

ISSN 2384-2407

2026 한국기계가공학회 춘계 학술대회

2026년 4월 29일(수) ~ 5월 1일(금)
창원컨벤션센터(CECO)

주최 |  한국기계가공학회
THE KOREAN SOCIETY OF MANUFACTURING PROCESS ENGINEERS

주관 |            

후원 |            

2026년도 춘계학술대회 조직위원회

대회장

이경창(회장, 국립부경대학교)

조직 위원장

김해지(수석부회장, 경상국립대학교)

조영태(부회장, 국립 창원대학교)

조직위원

문두환(고려대학교)

육세진(한양대학교)

이봉기(전남대학교)

이승재(원광대학교)

장성욱(동의대학교)

장원석(한국기계연구원)

전은채(울산대학교)

전용호(아주대학교)

공정리(한국폴리텍대학)

김병철(한국기술교육대학교)

김석(연세대학교)

김지연(한국폴리텍대학)

김형모(경상국립대학교)

김현준(경북대학교)

박상민(부산대학교)

심도식(국립한국해양대학교)

옥종걸(서울과학기술대학교)

윤해룡(한국로봇융합연구원)

이상민(동의대학교)

이재용(한국섬유기계융합연구원)

이재욱(경북대학교)

주백석(국립금오공대학교)

한장우(국립금오공대학교)

한준세(한국기계연구원)

(사)한국기계가공학회 2026년도 춘계학술대회 일정표

1. 4월 29일(수)

Technical Tour: 두산에너지빌리티, 국립창원대학교 M.AX Factory

2. 4월 30일(목)

시간 \ 장소	컨벤션홀II	컨벤션홀III	301호	302호
8:30-	등록(3층, 컨벤션홀 로비)			
09:00-10:15	OP1 적층제조 좌장: 김석 (연세대)	OS1 DNA+연구소 좌장: 박용갑 (국립창원대)	*OS4 프레스·용접공정 AI팩토리 기술 좌장: 이청환 (KOTMI)	*OS5 식물공장 내 방열 및 열회수 기술 좌장: 육세진 (한양대)
10:15-11:30	캡스톤 디자인 경진대회 예선 및 포스터 발표 A (PPA) (컨벤션홀 로비)			
11:30-12:00	Keynote Speech 1 (컨벤션홀II) <4차산업 혁명시대, 경상남도 기계제조업의 미래전략> 김남경 (前 경상국립대학교 총장) 사회: 김해지(경상국립대)			
12:00-13:00	Lunch			
13:00-14:15	젊은공학자발표 좌장: 김지언 (한국폴리텍)	OS2 전기차 배터리 보호차체 기술 좌장: 차승훈 (경북TP)	OP2-1 시뮬레이션 / 최적화1 좌장: 윤성민 (국립창원대)	OS6 International Student Session 좌장: 전용호(아주대), 김현찬(국립금오공대)
14:15-15:30	포스터 발표 B (PPB) (컨벤션홀 로비)			
15:30-16:45	부문1 제어로봇 자동화 좌장: 손정현 (국립부경대)	OS3 4차산업기술 좌장: 최성대 (국립금오공대)	캡스톤 경진대회 본선 좌장: 장원석 (KIMM)	부문2 열유체 좌장: 육세진 (한양대)
16:45-17:00				
17:00-17:40	Plenary Speech (컨벤션홀II) <한국연구재단 하반기 기초연구 사업소개> 강주원 (한국연구재단 공학단장) 사회: 이봉기(전남대)			
17:40-18:00	시상식 및 임시총회			
18:00-18:20	경품 1부			

*Closed Session

*OS7: 경남 생산제조AX화 기술(경남대학교 M.AX) (09:30~10:15, 601호), 좌장: 김병창(경남대)

포스터 A(PPA): 시뮬레이션/최적화

포스터 B(PPB): 제어/자동화/소음진동, CAD/CAM/CAE, 기계설계 1, 특별세션 - 4차 산업기술

3. 5월 1일(금)

시간	장소	컨벤션홀II	컨벤션홀III	301호	302호
8:30-		등록(3층, 컨벤션홀 로비)			
09:00-10:00		포스터 발표 C (PPC) (컨벤션홀 로비)			
10:00-10:30		OP3-1 NANO / MEMS / 미세가공 1 좌장: 정창윤 (영남대)	OS8 마이크로 - 나노융합 기술 좌장: 이상민 (동의대)	OP2-2 시뮬레이션 / 최적화 2 좌장: 김병철 (한국기술교육대)	부문3 나노마이크로 좌장: 김석민(중앙대)
11:15-11:30		Break			
11:30-12:00		Keynote Speech 2 (컨벤션홀 II) <두산에너지빌리티의 SMR 사업 및 설계제작 준비 현황> 서영빈(두산에너지빌리티 원자력설계 상무) 사회: 조영태(국립창원대)			
12:00-12:10		경품 2부			
12:10-13:30		Lunch			
13:30-14:30		포스터 발표 D(PPD) (컨벤션홀 로비)			
14:30-15:45		OP3-2 NANO / MEMS / 미세가공 2 좌장: 이정원(조선대)	OP4 기계설계 좌장: 권현식(동의대)	OP5 금형 / 절삭가공 / 연삭가공 & CAD / CAM / CAE 좌장: 심도식 (국립한국해양대)	OP6 용접 / 특수가공 & 제어 / 자동화 / 소음진동 좌장: 이재욱(경북대)

포스터 C: 적층제조, 금형/절삭가공/연삭가공, 용접/특수가공, 부문 - 나노마이크로

포스터 D: NANO/MEMS/미세가공, 열유체/유체기계, 기계설계 2

목 차

기조강연

Plenary Speech

논문발표

좌장: 이봉기(전남대)

Plenary Speech	한국연구재단 하반기 기초연구사업 소개 *#강주원(한국연구재단 공학단장)	027
----------------	--	-----

초청강연

Keynote Speech

논문발표

좌장: 김해지(경상국립대), 조영태(국립창원대)

Keynote Speech-1	4차산업혁명시대, 경상남도 기계제조업의 미래전략 *#김남경(前 경상국립대학교 총장)	029
Keynote Speech-2	두산에너지빌리티의 SMR 사업 및 설계제작 준비 현황 *#서영빈(두산에너지빌리티 원자력설계 상무)	030

젊은 공학자

좌장: 김지언(한국폴리텍대)

젊은 공학자-1	메타표면의 메타구조 생산을 위한 광소재 설계 및 공정 방법론 *#양영환(국립창원대), 노준석	032
젊은 공학자-2	바이오에어로졸 제어를 위한 항균 나노섬유 필터 *#허기준(전남대)	033
젊은 공학자-3	점착력 제어 기반 평판 물체 운반 기술 *#김재강(국민대)	034

구두발표

부문 특별세션 - 제어로봇자동화

부문 1

좌장: 손정현(국립부경대)

부문1-1	얼음 배출 성능 및 구조 상호작용 평가를 위한 MBD-DEM 연성 시뮬레이션 기술 박성한, 전수을, 류예영, 박진홍, 김요한, *#이재욱(경북대)	036
부문1-2	KIMM Motion용 MF 타이어 모델을 이용한 조향 시뮬레이션 *장영진(국립부경대), 정원진, #손정현	037
부문1-3	매니플레이터 기반 자동화 공정 설계 기법 연구 *정원진(국립부경대), 조한승, #손정현	038
부문1-4	전역 지도 생성을 위한 Metric 정보 기반 Bio-SLAM 프레임워크 개발 *이도근(경상국립대), 임경준, #김형준	039

부문1-5	천연 고분자-자성 나노입자 복합체 기반의 약물 전달용 소프트 로봇 *이경수(조선대), 남명혜, #고광준	040
부문1-6	가변 강성 메커니즘 기반 다자유도 연속체 로봇 *#이한솔(국립부경대)	041
부문1-7	수중로봇의 추진기 고장허용 제어 기반 자세 안정성 분석 *홍석준(계명대), 김민기, #유승열	042

구두발표

부문 특별세션 - 열유체

부문 2

좌장: 육세진(한양대)

부문2-1	SHAP 기법을 활용한 히트싱크-굴뚝 구조의 설계변수 기여도 평가 및 자연대류 성능 분석 *정수봉(서울과기대), 김용주, 이윤재, 조예담, #곽동빈	044
부문2-2	빔 이송에서 거울의 열변형 해소를 위한 충돌 제트 최적화 전산해석 연구 *김지훈(서울과기대), 우성철, #김주한	045
부문2-3	전기집진기 최적 상대습도 운전 조건에 관한 연구 *황석주(한양대), 강현민, 남학호, 허승민, #육세진	046
부문2-4	초소수성 분리판이 PEMFC 성능에 미치는 영향 *김지연(조선대), 이정원, #정성용	047
부문2-5	1.5 kW급 원심형 송풍기의 효율 개선을 위한 임펠러 최적 설계 연구 *조민철(고등기술연구원), 이예승, #노정훈	048

구두발표

부문 특별세션 - 나노마이크로

부문 3

좌장: 김석민(중앙대)

부문3-1	3D 프린팅 및 탄화공정을 이용한 기능성 수전해 전극 개발 무자히르 알리, 이성민, *#김석민(중앙대)	050
부문3-2	Micro-Nano Hierarchical Structured Interface for Efficient Hydrogen Generation *C.G. Jothi Prakash(조선대), #이정원	051
부문3-3	맞춤형 웨어러블 디바이스 제작을 위한 단일 공정 기반 적층 제조 기술 *정현윤(한국생산기술연구원), 김현범, 고정범, 오금윤, 김형찬, #박성현	052
부문3-4	연 미세격자 전극 내 측방향 ZnO 나노와이어 집적을 통한 절단형 압전 나노발전소자 제조 *김민욱(서울과기대), 이동현, 김관래, #옥종걸	053
부문3-5	수세미 구조의 CNT-Ag 복합재 가공 기술 기반 고감도 유연 압저항 센서 *김광준(서울과기대), 김민욱, #옥종걸	054

OS1-1	머신러닝 기반 흡차음재 삽입손실 예측 및 AutoML 기반 모델 최적화 *박종환(국립창원대), #편도경, #이재선	056
OS1-2	고온 초전도(HTS) 회전계자 냉각 균일화를 위한 히트파이프 냉각 채널의 열전달 성능 평가 *박준건(국립창원대), 김장돈, 손지호, 김유빈, 장보현, #김석호	057
OS1-3	LLM의 Sub-4-bit Activation Quantization에 대한 실증 연구 *김채하(국립창원대), #박종규	058
OS1-4	풍력터빈 통합 모델링을 위한 물리-ROM 결합 모델 *#이석주(국립창원대), 이준엽, 단민차우	059
OS1-5	Accumulator 내 액체 수위 측정을 위한 비침습식 자동화 시스템 *이현철(국립창원대), 최창영, #편도경, #이재선	060
OS1-6	동일 열전달 면적 내 마이크로채널 형태에 따른 열적 성능에 관한 수치적 연구 *양지성(국립창원대), 최훈기, #박용갑	061
OS1-7	기하학적 형상 기반 P _{Ma} -SynRM의 다변수-다목적 함수 최적 설계 *김민재(국립창원대), 김태인, 서민석, 이원재, 이효석, 유경태, 최창영, #신경훈	062
OS1-8	WA-DED 공정의 자동화를 위한 ROS2기반 산업용 로봇 제어 시스템 설계 *김범진(국립창원대), #조영태	063
OS1-9	전력변환시스템의 핵심부품 설계 및 기본설계를 위한 AI 엔지니어링에 관한 연구 *주창대(국립창원대), #김태규	064
OS1-10	극고온 환경 응용을 위한 실리콘 복합 소재 *#박상희(국립창원대)	065
OS1-11	인공지능 기술의 위험성과 대응 방안 *#박정식(국립창원대)	066

OS2-1	차량용 배터리팩 지지 프로파일 압출 금형의 유동 균일성 향상을 위한 비드 형상 설계 *정성화(한국생산기술연구원), #이성윤, 이상근, 이인규, 백정웅	068
OS2-2	전기차 하부차체 충돌 시험 절차 개발에 관한 연구 *황형진(경북IT융합산업기술원), 강보영, #윤장규	069
OS2-3	고강도 7xxx 알루미늄 압출재의 밴딩 공정에서 변형 거동 및 스프링백 분석 *#임정식((재)경북테크노파크), 강호영, 서창환	070
OS2-4	전기자동차 구동 모터 하우징의 냉각수 분배 균일성 향상을 위한 출구 직경 최적화 연구 *김중희((재)경북테크노파크), 김도형, #차승훈, 김수한, 임정식, 김명섭	071
OS2-5	미래 모빌리티 대응 모듈러 기반 편의내장 부품 개발 *이병훈(카이엠㈜), #정상진	072

OS2-6	전기차 하부총돌 안전성 향상을 위한 하부 차체 결합 구조에 관한 연구 *#차승훈(경북테크노파크), 이찬희, 박재욱	073
-------	--	-----

구두발표

4차산업기술

특별세션 OS3

좌장: 최성대(국립금오공대)

OS3-1	이종소재 접합부에서 양극산화 및 실링 공정 조건에 따른 계면 신뢰성에 관한 연구 *김문수(국립금오공대), 임도한, 김현경, #최성대	075
OS3-2	공구 형상 및 절삭 이송이 AI 7000 계열 박판 가공 평탄도에 미치는 영향 *김현경(국립금오공대), 김문수, 임도한, #최성대	076
OS3-3	화학적 표면처리 피막의 미세구조가 금속-수지 접합에 미치는 영향 *임도한(국립금오공대), 김문수, 김현경, #최성대	077
OS3-4	마찰교반용접에서 공정변수 변화에 따른 열입력 및 용접부 특성 연구 *장철영(국립금오공대), #최성대	078
OS3-5	반도체 OHT용 멀티 곡률 레일 커버의 해석 기반 설계 연구 *최주란(국립금오공대), 임영호, 김건형, #최성대	079
OS3-6	열교환기용 티타늄-스틸 이종관의 용접 소켓 제조 공정에 관한 연구 *김대진(국립금오공대), 최주란, #최성대	080
OS3-7	항공기 엔진 MRO 공정 효율화를 위한 10톤급 분리형 AGV의 구조 설계 *윤동현(국립금오공대), 김종태, 이성호, 최주란, #최성대	081

구두발표

프레스·용접 공정 AI팩토리 기술

특별세션 OS4

좌장: 이청환 (한국섬유기계융합연구원)

OS4-1	하드웨어 프로젝트선 용접 불량 예측 방법론 개발 *#박재필(한국자동차연구원), 서명근	083
OS4-2	CCTV 기반 작업자 안전관리를 위한 실시간 Instance Segmentation 모델 연구 *손민석(한국섬유기계융합연구원), #이청환, 김세종	084
OS4-3	복합 알고리즘 기반 무인 이송 로봇의 경로 최적화 및 협업제어에 관한 연구 *#박세명((주)에이치씨엔씨), 이해정, 김정민	085
OS4-4	다중 센서 데이터 융합 기반 프레스 설비 이상 탐지 및 예지보전 연구 *김진경(아진산업), #현대용, 우석준	086
OS4-5	1000T 프레스 공정 자동화를 위한 6축 로봇 유닛의 하중 해석을 통한 구조 설계 검증 *#정재환((주)디에이치지)	087

구두발표

식물공장 내 방열 및 열회수 기술

특별세션 OS5

좌장: 육세진(한양대)

- | | | |
|--------------|---|-----|
| OS5-1 | CFD 기반 수냉식 열교환기의 배터리 열관리 성능 분석
*선준완(한국생산기술연구원), #김영원 | 089 |
| OS5-2 | 먼지통 물 충전이 적용된 축류식 사이클론 집진기의 성능 평가
*강현민(한양대), 황석주, #육세진 | 090 |
| OS5-3 | CPCM 및 수냉이 결합된 하이브리드 배터리 열관리 시스템의 열적 성능 비교를 통한 유로 설계 최적화
*서민주(한국생산기술연구원), #김영원 | 091 |
| OS5-4 | 방열 성능과 유압 성능 동시 향상을 위한 핀-핀 마이크로채널 히싱크 최적화
*남학호(한양대), #육세진 | 092 |
| OS5-5 | Enhanced Thermal Control of a 20 Ah NMC Pouch Cell Using Hybrid CPCM-Water Cooling
*무하마드 다일(한국생산기술연구원), #김영원 | 093 |
| OS5-6 | 열회수 저장 장치 통합형 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 실험적 연구
*허승민(한양대), 류상범, #육세진 | 094 |

구두발표

International Student Session 1

특별세션 OS6-1

좌장: 전용호(아주대)

- | | | |
|----------------|---|-----|
| OS6-1-1 | Phase-Based Guided-Wave Imaging for Defect Localization in Plate Structures
*알리 아사드 라자(국립창원대), 모하마드 아슬람, #편도경, #이재선 | 096 |
| OS6-1-2 | Mechanical Performance and Process Optimization in Friction Stir Processing
*셀림 아메드 샤(경국대), #김호찬, 이인환 | 097 |
| OS6-1-3 | Integrated WMS-OFS Sensor for Simultaneous Temperature and Phase Distribution Measurement
*왕정칭(경상국립대), #김형모, 김한나 | 098 |
| OS6-1-4 | Development of a Bioactive Polycaprolactone/Chitosan Porous Scaffold Loaded with Apple Peel Extract for Antioxidant Wound Healing
*파이잔 E 무스타파(전남대), #이봉기 | 099 |

구두발표

International Student Session 2

특별세션 OS6-2

좌장: 김현찬(국립금오공대)

- | | | |
|----------------|---|-----|
| OS6-2-1 | Flow Velocity Measurement in a Horizontal Pipe Using a Distributed Optical Fiber Sensor
*김한나(경상국립대), 최지연, #김형모 | 101 |
|----------------|---|-----|

OS6-2-2	PVDF-HFP-TiO ₂ /Al ₂ O ₃ Nanofiber Membranes for Enhanced Passive Radiative Cooling *Dhandayuthapani Thiyagarajan(전남대), #이봉기	102
OS6-2-3	Dynamic Analysis of Wheel Rail Displacements Under the Effect of Track Stiffness Irregularities *마사보 베누스테(국립금오공대), #김현찬	103
OS6-2-4	Analysis of Effect of Periodic Tension Disturbances on Thickness Uniformity *윤준영(건국대), 권혁준, 조규진, #이창우	104

구두발표

경남 생산제조 AX화 기술 (경남대학교 M.AX)

특별세션 OS7

좌장: 김병창(경남대)

OS7-1	SHEAVE 품질개선을 위한 제작공정 개발 *백 훈(경남대), #김병창	106
OS7-2	CNC 자동선반의 검사 & 적재 자동 시스템 구축 *김도윤(경남대), #김병창	107
OS7-3	다중 센서 기반 AI 공구 마모 예측 및 로봇 연동 자동 교체 시스템 개발 *성기호(경남대), #이우송	108
OS7-4	머신비전 기반 Fixed Scroll 부품 가공 홀 자동검사 시스템의 설계 및 정밀도 평가 *강동우(선진기술), #이우송	109
OS7-5	고압배전반용 면진장치의 내진 및 내환경 신뢰성 평가에 관한 연구 *성만기(경남대), #이우송	110
OS7-6	Digital Twin 기반 CNC Machine Tending 공정의 AMR 투입 의사결정 연구 *김창섭(경남대), #박태현	111

구두발표

마이크로-나노 융합 기술

특별세션 OS8

좌장: 이상민(동의대)

OS8-1	알루미늄 와이어 본딩 전단 시험의 오차 분석 및 정확도 연구 *공혜성(동의대), 성지민, #이상민	113
OS8-2	레이저 표면 텍스처링을 이용한 금속 기판의 미세구조 및 젖음성 분석 *이승훈(동의대), 박경희, #이상민	114
OS8-3	비접촉식 온도 측정을 위한 라플라스 압력 기반 양자점 초입자 합성 *성민규(국립금오공대), 박제현, #이원형	115
OS8-4	액적 기반 초입자 대량생산 시스템과 그 응용 *#이원형(국립금오공대), 박정빈	116
OS8-5	촉각 센싱 기술의 원리와 로봇 응용 김지민, *#김호진(동서대)	117

구두발표**적층제조**

논문발표 OP1

좌장: 김석(연세대)

OP1-1	Diamond TPMS 단위체의 설계에 따른 도파관 내부 전자기적 특성 분석 *범종찬(조선대), #안동규	119
OP1-2	결정소성 유한요소해석을 통한 적층제조 IN738LC의 미세조직 기반저주기 피로 거동 해석 *유가온(포항공대), 이승훈, 전하늘, 조종욱, #김경덕	120
OP1-3	Investigation of the Influence of Unit Cell Size Variation on Flow Characteristics in Filter Structures *기데온 사이먼 엠두마(조선대), 범종찬, #안동규, 정영달	121
OP1-4	샌드 프린팅 서포트 보조 Wire Arc DED 하이브리드 공정을 활용한 오버행 형상 적층 연구 *최창영(국립창원대), 손휘준, 김영재, #조영태	122
OP1-5	전자빔 분말 베드 용융 공정(E-PBF)의 결함 검출 및 딥러닝 기반 공정 모니터링 프레임워크 *#이기준(국립금오공대)	123
OP1-6	TPMS 형상에 따른 그래핀 필라멘트 기반 재료압출 적층제조 시편의 제작 특성 및 전기적 저항 변화 고찰 *한승현(조선대), 범종찬, #안동규	124

구두발표**시뮬레이션/최적화 1**

논문발표 OP2-1

좌장: 윤성민(국립창원대)

OP2-1-1	로봇 유연 관절용 경사기능 베지어 오제틱 메타물질 구조 설계 *남궁길(조선대), 김재준, 박승훈, 양현성, #하태광	126
OP2-1-2	사출성형 압력 변수가 자동차용 Nozzle Defroster 부품의 중량 및 품질에 미치는 영향에 관한 회귀 분석 연구 *정하문(한성대), #윤주일	127
OP2-1-3	고온 인장 하중 조건에서 나노결정 Ni의 역 홀-패치 거동 *추민현(국립창원대), 변도균, #윤성민	128
OP2-1-4	제조 공정의 접촉-균열 상호작용 예측을 위한 위상장 기반 통합 유한요소 구조해석 프레임워크 개발 *#김재민(국립창원대), 김국현, 윤성민, 이동화	129
OP2-1-5	분자동역학 기반 CoCrNi 중엔트로피 합금의 온도, 변형 속도 및 결정립 크기 효과에 대한 변형 거동 분석 *박찬의(국립창원대), 변도균, #윤성민	130

구두발표**시뮬레이션/최적화 2**

논문발표 OP2-2

좌장: 김병철(한국기술교육대)

OP2-2-1	진동 시험용 지그의 경량화 및 고유진동수 향상을 위한 최적설계 기반 설계 자동화 방법 개발 *김지선(계명대), #김정진	132
---------	---	-----

OP2-2-2	VaRTM 공정변수 기반 현무암 섬유 기지 복합재의 기계적특성 평가 *윤기현(국립창원대), 변도균, #윤성민	133
OP2-2-3	열처리 시간에 따른 Cu-rich 상 변화가 AlCrCuNi 중엔트로피 합금의 마찰 및 마모 특성에 미치는 영향 분석 *허정원(국립창원대), 변도균, #윤성민	134
OP2-2-4	GNP 첨가에 따른 BFRP 복합재의 건식 마찰 마모 특성 향상 *조주한(국립창원대), 장태환, 변도균, #오용석, #윤성민	135
OP2-2-5	자가전파 고온합성으로 생성된 AlCoCrFeNi, Al _{0.3} CoCrFeNi 고엔트로피 합금의 압축 특성 분석 *김태민(국립창원대), 변도균, #윤성민	136
OP2-2-6	수소충전소용 70 MPa급 압력안전밸브의 열유동 특성에 관한 수치해석적 연구 *김정건(한국섬유기계융합연구원), 광경민, #이은하	137

구두발표

NANO/MEMS/미세가공 1

논문발표 OP3-1

좌장: 정창윤(영남대)

OP3-1-1	정전용량 기반 액체 측정 셀을 이용한 수질 시료의 임피던스 분석 *#윤진평(영남대), 백장운, 김진홍, 배현수, #정창윤	139
OP3-1-2	자가 구동형 초유연 다공성 나노 마찰 발전기 기반 실시간 인체 동작 인식 *주수좌이(영남대), #정창윤, 백장운, 김진홍, 배현수	140
OP3-1-3	표면 젖음성 제어와 자가세척 메커니즘을 이용한 그을음 패터닝 *김태웅(조선대), 신수빈, #이정원	141
OP3-1-4	A Highly Durable Antibacterial Surface with Enhanced Mechanical Performance Based on ZnO Nanowires within Nanoholes *임채완(원광대), 김희경, #조영삼, #박현하	142
OP3-1-5	아라미드 페이퍼의 기계적 보강 가능성 평가 *홍지훈(국립금오공대), #김현찬	143

구두발표

NANO/MEMS/미세가공 2

논문발표 OP3-2

좌장: 이정원(조선대)

OP3-2-1	투명 전자 소자 응용을 위한 ITO 박막의 기계가공 특성 연구 *이승훈(부산대), 황해인, 유영은, 박성균, #김정환	145
OP3-2-2	자기냉각 소재의 내부식성 향상을 위한 무전해 구리도금 및 PVDF 딥코팅 공정 개발 *이동현(조선대), 신다슬, #이정원	146
OP3-2-3	구강 기능 평가 및 타액 내 포도당 측정을 위한 레이저-유도-그래핀 기반 구강내 센서 *김현우(한국과학기술원), Wobai He, 남한구, 강상욱, #김영진	147
OP3-2-4	분자 결합 기반 금속-폴리머 이종 접합 사출 공정 기술 *#신다슬(한국재료연구원), 양수미, 김민직, 양우석	148

OP3-2-5 테라헤르츠 소자 응용을 위한 섬유 기반 레이저 유도 그래핀의 직접 펄초 레이저 패터닝 149
 *전진우(한국과학기술원), 양동욱, 강구선, 김재윤, 김현우, #김영진

구두발표		기계설계	
논문발표 OP4			좌장: 권현식(동의대)
OP4-1	e-코너 모듈 동력전달 메커니즘 기본 설계 및 해석 *정석환(고등기술연구원), #고동신		151
OP4-2	미래차 RISE사업 참여자의 만족도 및 인식 차이에 관한 연구: 중요도-수행도 분석(IPA)을 중심으로 *권병관(경상대), 변은경, #김해지		152
OP4-3	경추 각도 측정 기반 이중 피드백을 이용한 웨어러블 자세 교정 시스템 개발 *이창현(인하대), 박지상, #이선곤		153
OP4-4	TPA 해석 모델을 활용한 외접기어의 Micro-geometry 변화에 따른 접촉 거동 및 NVH 특성 연구 *#권현식(동의대)		154

구두발표		금형/절삭가공/연삭가공 & CAD/CAM/CAE	
논문발표 OP5			좌장: 심도식(국립한국해양대)
OP5-1	그래프 기반 기능 특징형상 인식 *박준환(고려대), 임승은, #문두환		156
OP5-2	AAS 기반 모듈형 디지털 트윈 시스템 개발 *김봉철(고려대), 강병국, #문두환		157
OP5-3	하이브리드 사출성형 자동차 부품의 성형 품질 향상을 위한 유전 알고리즘 기반 최적 설계 *이재영(국립부경대), 이정희, 이희철, 윤서현, #곽재섭		158
OP5-4	대형 항공부품 열가소성 탄소 복합재 구조물 성형을 위한 Press-welding consolidation 가압 방식 비교 *김원주(한국생산기술원), 이찬주, 최현석, 김동언, 백종훈, #김진수		159
OP5-5	LSTM 기반 진동 신호를 활용한 절삭력 변동성 지표 추정 *#류제두(한국생산기술연구원), 이정민, 김성렬		160

구두발표		용접/특수가공 & 제어/자동화/소음진동	
논문발표 OP6			좌장: 이재욱(경북대)
OP6-1	반/육외용 면진테이블의 성능 평가 *김승경(HPC홍성(주)), 강재용, 정찬세, #이형욱, #정영근		162

OP6-2	Deep Learning Model for Predicting Crater Formation in a large Pulsed Electron Beam (LPEB) Process *오민기(한국재료연구원), 배성준, 윤준석, 오영석, 강성훈, 이호원, 조민철, #김지수, #오세혁	163
OP6-3	반구형 툴 기반 마찰교반용접의 접합부 박화의 해석적 모델링 및 억제 *#김진수(한국생산기술연구원), 조민구, 박민석, 김재황, Frank Pfefferkorn, 이훈희, 윤왕호, 강성욱	164
OP6-4	휴머노이드 로봇의 Sim-to-Real Gap 감소를 위한 도메인 랜덤화 기반 시연 데이터 생성 *강정호(국립부경대), 변성준, 김명원, #이경창	165
OP6-5	공구 온도 데이터 기반 마찰교반용접 공정 관리 및 모니터링 범위 제안 *조민구(한국생산기술원), #김진수	166

포스터발표

시뮬레이션/최적화

논문발표 PPA

좌장: 윤성민(국립창원대)
정지영(한국핵융합에너지연구원)
하태광(조선대)

PPA-1	B-Spline 기반 뇌동맥류 모델링 및 응력 집중 현상 시뮬레이션 *유효민(국립창원대), 김승환, #김재민	168
PPA-2	여유도 행렬을 활용한 트러스 구조 시스템의 강건성 최적화 *김세연(국립창원대), #김재민	169
PPA-3	TPMS-BCC Hybrid Lattice 구조의 열유동 및 기계적 특성 분석과 다목적 최적설계 *장정훈(부산대), 허승재, 오민석, #박상민	170
PPA-4	동적 구조 특성을 활용한 구조물 손상 위치 추정 기술 개발 *김국현(국립창원대), #김재민	171
PPA-5	가공 공정 모니터링 및 시각화를 위한 디지털 트윈 기반적응형 제조 프레임 워크 *정상준(경상국립대), 박휘재, 박상민, #도재혁	172
PPA-6	마찰계수에 따른 알루미늄 판재의 사각컵 딥드로잉 연구 *#서창희(대구기계부품연구원), 권태하, 전효원, 오상균	173
PPA-7	전기차 속업소비용 고강도 스프링시트 다단 프레스 성형에 관한 연구 *권태하(대구기계부품연구원), #서창희, 전효원, 전진현, 이재동, 송확, 김은영, 장효정	174
PPA-8	분말베드용합 기반 Gyroid 냉각 인서트의 속도장 기반 유동 공간 설계 *설혜연(국립한국해양대), #심도식	175
PPA-9	장약 질량 변화에 따른 폭발 압력 특성의 수치해석 *정은채(아주대), 김세은, 이문구, #전용호	176
PPA-10	객체 추적을 위한 백분 및 추적기 성능 검토에 관한 연구 *박수찬(국립창원대), 김연후, #박종규	177
PPA-11	Oxygen Gradient Analysis in 3D Tubular Scaffolds for Hypoxic Intestinal Environment Simulation *김은채(원광대), 이승재, #서경덕	178
PPA-12	침수 대응을 위한 폴리 기반 자기작동 개방 시스템의 구조해석 박승훈, *#하태광(조선대)	179

PPA-13	다물체 동역학(MBD) 이산요소법(DEM) 연성 해석 기반 얼음 취출 및 파쇄 거동 예측 및 실험 검증 *박성한(경북대), 전수을, 정채은, 박진홍, 김요한, 권순덕, #이재욱	180
PPA-14	이산요소법(DEM) 기반 회전체 시스템에서의 얼음 거동 해석 *전수을(경북대), 박성한, 송민경, 박진홍, 김요한, 김지연, #이재욱	181
PPA-15	전기차 인서트 그로멧의 사출성형 불량분석 및 공정최적화 연구 *김중희(경북테크노파크), #차승훈, 이찬희, 최준진	182
PPA-16	FEM 기반 강선 누적 마모량의 단계별 특성 분석 *김세은(아주대), 정은채, 이문구, #전용호	183
PPA-17	분자 동역학 시뮬레이션 기반 도핑 원소 종류에 따른 DLC 나노복합 코팅의 기계 및 트라이볼로지 특성에 관한 연구 *이상훈(경북대), #김현준	184
PPA-18	실시간 모니터링을 위한 FPCB 기반 유연 기판의 기계적 거동 및 신뢰성 분석 *이하경(국립창원대), #오용석, 이남형, 한승주, 김영한, 한정아, 이상빈	185
PPA-19	AMR용 구동 모터의 초기 설계 기반 성능 최적화 연구 *하남훈(경상국립대), 한성희, #김규섭	186
PPA-20	PPO 강화학습 알고리즘을 통한 사족보행 로봇 훈련에 관한 연구 *양진허(경남대), 김동균, 장푸지, #김병창	187
PPA-21	CFRP-폼 샌드위치 수밀문의 구조 해석 *정수민(전주대), 최선호, 김영순, 강성수, #김홍건	188
PPA-22	카본 로드자전거 프레임 구조 형태의 기구학적 의미에 관한 고찰 *최선호(전주대), 김홍건, #곽이구	189
PPA-23	기하학적 형상의 구면 반사경에 대한 광기구 및 Zernike 다항식 기반 광학적 분석 *남궁길(조선대), 김재준, #하태광	190
PPA-24	구조 및 풍동 연성해석을 통한 상용차 Roof Side Panel 형상 설계 *#유건현(전남대), 곽성웅, 정병우	191
PPA-25	수분 함량 조절을 통한 수소 환원철(H ₂ -DRI) 온도별 안식각 모사 및 Purge System을 활용한 호퍼 내 입자 유동성 개선 분석 *최재원(국립금오공대), 천지호, #박준영	192
PPA-26	하이브리드 변속기 조립 공정 개선을 위한 조립지그 개발 *#송재혁(서진오토모티브), 정우석	193
PPA-27	3축 힘 센싱을 위한 Tri-Photodiode 기반 반사형 광전자 센서 *노유림(국립창원대), #오용석	194
PPA-28	분자동역학 기반 전력반도체 유한요소해석 정합성 향상을 위한 순수 알루미늄의 열기계적 물성 기초 데이터 구축 *박예원(동의대), 김동현, 이승현, #장성욱	195
PPA-29	군용 트럭 라디에이터 대체품 개발을 위한 질량 최적화 방안 연구 *#김대연(육군종합정비창), 김경업, 이민희, 정아영	196
PPA-30	물리 기반 신경망과 다중 모달 생체 정보를 융합한 체압 예측 모델 *이규태(국립창원대), #오용석	197

PPA-31	원자력 발전소용 밸브 구동기의 응답스펙트럼 기반 구조 건전성 평가 *#류제두(한국생산기술연구원), 이정민, 김성렬	198
PPA-32	알루미늄 파이프 요크 다단 단조공정 설계 *이성민(구미전자정보기술원), #이상곤	199
PPA-33	ITO-플라즈모닉 메타표면 포화흡수체를 위한 ITO 최적화 *김지수(한국기계연구원), 최진수, 조현민, 이원섭, #장원석	200
PPA-34	크로마토그래피 신호처리 알고리즘 평가를 위한 베이스라인, 피크 형상 및 잡음 시뮬레이션 인 실험 *#오유근(홍익대)	201
PPA-35	마이크로 드릴링 모니터링을 위한 AI에이전트 최적화 데이터 구조 연구 *박병희(대구기계부품연구원), 우완식, #김동규	202
PPA-36	가속시험을 통한 경형EV 하드웨어 용착강도 수명예측 *최현범((주)호원 기술연구소), #이상헌, 이서한, 김재열	203
PPA-37	생산성 및 구조 성능을 고려한 EV 배터리 팩 케이스 크로스 멤버 설계 *이서한((주)호원 연구기술본부), 최현범, 이정우, 김미혜, 김재열, #이상헌	204
PPA-38	Ansys를 이용한 멀티모달센서 궤도형 운반차의 모달 해석 *이상민(전주대), 이강욱, 오승욱, 강희용, #이충호	205
PPA-39	Tractor PTO 회전수에 따른 에어드릴 파종기 경운축 유연체(MFBD) 해석 *이강욱(전주대), 이상민, 오승욱, 강대식, #이충호	206

포스터발표

제어/자동화/소음진동

논문발표 PPB

좌장: 김선호(동익대), 오유근(홍익대),
한준세(한국기계연구원)
최우영(국립부경대), 윤해성(한국항공대)

PPB-1	롤투를 공정에서 아이들 롤 편심 결함 진단을 위한 이중 로드셀 기반 진단 모델 개발 *권혁준(건국대), 윤준영, 조규진, #이창우	208
PPB-2	MES 연계를 고려한 스마트팩토리 시스템 설계 및 구현 연구 *#안영필(한국폴리텍대)	209
PPB-3	비전카메라를 활용한 스마트팩토리 시스템 설계에 관한 연구 *#안영필(한국폴리텍대)	210
PPB-4	고온초전도 버퍼층 증착장비의 4-Roll 구조에서 선재 이송 안정화를 위한 Roller 설치각 최적화 연구 *최만호((주)마루엘앤씨), 고성용, 반선규, 강민경, 안남준, 이해권, #김동진	211
PPB-5	PLC-OPC UA 기반 설비 데이터 전송 지연 산정 *#이상희(한국폴리텍대)	212
PPB-6	스마트공장 연계형 머신비전 기반 투명 비닐포장지 실시간 품질관리 시스템 구현 *#유춘근((주)비에스이엔지)	213

PPB-7	유압식 사출성형기(TB-200S) 공정 변수가 PP 소재 리테이너의 중량 안정성 및 미성형에 미치는 영향 분석 *문홍섭(한성대), #윤주일	214
PPB-8	스마트 제조 환경의 보안 및 안전 확보를 위한 적외선 기반 야간 객체 탐지 성능 향상 연구 *이봉구(한성대), #윤주일	215
PPB-9	간편한 저가형 전기화학 기반 커피 특성 분류 디바이스 개발 *강지승(경상국립대), #유동우, #김성현	216
PPB-10	농기계 수확로봇 자동화를 위한 엔드이펙터 기술개발 *#윤해룡(한국로봇융합연구원), 조용준, 홍형길, 장선호, 박관형	217
PPB-11	모방학습 기반 로봇 운용 성능 향상을 위한 데이터 증강에 관한 연구 *변성준(국립부경대), 우다령, #이경창	218
PPB-12	선박 항주파를 고려한 해상 익수자 표류 경로 예측에 관한 연구 *자오 양(국립부경대), 강정호, #이경창	219
PPB-13	임무 조건 및 비행 패턴 기반 드론 전력 이상 탐지 모델에 관한 연구 *강대한(국립부경대), 변성준, 장재현, #이경창	220
PPB-14	Stacked GRU와 Transformer를 결합한 하이브리드 모델 기반 수소압축기 이상 탐지 및 실시간 모니터링 시스템에 관한 연구 *김세영(국립부경대), 정지현, 장재현, #이경창	221
PPB-15	Mel-spectrogram 기반 운율 통합형 영어 발음 평가 모델 개발 및 교사 평가와의 통계적 비교 분석 *정지현(국립부경대), 장재현, #이경창	222
PPB-16	실시간 자율 비행 경량 드론의 인식 성능 향상을 위한 센서 퓨전 기법 연구 *쿠자예브 쿠르보날리(국립부경대), 장재현, #이경창	223
PPB-17	CNN 기반 드론 잔여 비행시간 예측에 관한 연구 *이재훈(국립부경대), 변성준, 장재현, #이경창	224
PPB-18	소수성 표면에서 표적 이동을 위한 자성유체 기반 로봇의 자기장 제어 *정지유(조선대), 이정원, #고광준	225
PPB-19	비침습적 자기장 자극 기반 인공 심장 조직 소프트 로봇 *차연주(조선대), #고광준	226
PPB-20	객체 밀집 환경에서 로봇 작업을 위한 LiDAR-Camera 센서 융합 기반 밀기 및 파지 학습 *김명원(국립부경대), 우다령, #이경창	227
PPB-21	휴머노이드 로봇의 작업 행동 모델 학습을 위한 텔레오퍼레이션 시연 기반 합성 데이터 생성 *김도경(국립부경대), 강정호, #이경창	228
PPB-22	초소형 로봇의 정밀 조작을 위한 전자기 구동 시스템 *문건희(조선대), 정지유, #고광준	229
PPB-23	텔레오퍼레이션 기반 시연 데이터를 활용한 VLA 모델의 로봇 매니플레이션 모방학습 성능 분석 *우다령(국립부경대), 강정호, #이경창	230
PPB-24	접합 조건에 따른 A5052P-O 알루미늄-수지 제진소재의 접합 강도 특성 분석 *배기만(일지테크), #백종진	231

PPB-25	확률적 주파수 추정 및 정규화를 통한 가변속도 조건의 회전체 결함 진단 *신정민(한국항공대), 박보경, #윤해성	232
PPB-26	복합 지형 대응을 위한 4절 링크 기반 휠-레그 로봇 제어 *조현성(국립금오공대), #손정우	233
PPB-27	신발 갑피용 Mesh 원단의 AI 비전 기반 형태 안정화 분석 연구 *#신유정(한국섬유기계융합연구원), 이노준, 석지훈, 김기혁	234
PPB-28	무인기 착륙 보조 모션플랫폼 시스템을 위한 상태 추정 기반 강인 제어 *강형엽(국립부경대), #최우영	235
PPB-29	칼만 필터를 이용한 실내 자율 모빌리티 수직 이동거리 추정 시스템 *권도영(국립부경대), 이준호, #최우영	236
PPB-30	사이클로이드 감속기 및 스파이럴 베벨 기어 적용 로봇 팔의 제작과 YOLOv8 기반 비전 제어 시스템 구현 *류현우(한성대), 이재용, 정원석, 박승우, 한원채, #윤주일	237
PPB-31	이미지 기반 산업 검사의 미세 결함 탐지를 위한 ROI-aware CBAM-CAE 모델에 관한 연구 *장재현(국립부경대), 정지현, #이경창	239

포스터발표

CAD/CAM/CAE

논문발표 PPB

PPB-32	코어리스 모터-사이클로이드 감속기 일체형 구동모듈의 동특성 해석 *김석범(고등기술연구원), #정석환	241
PPB-33	그래프 신경망 기반 기계가공 특징형상 인식 시 데이터셋에 따른 성능 비교 *이승재(한국기술교육대), #김병철	242
PPB-34	실험계획법을 이용한 칩 압축 시스템의 최적 형상 설계에 관한 연구 *유대원(한국폴리텍대), 윤영찬, 김성태, 김익진, 김수한	243
PPB-35	스티어링 휠 조향각 구동 기어모듈 진동소음 저감 해석기술개발 *정석환(고등기술연구원), #정희숙	244
PPB-36	Development of a DEM Thermo-Mechanical Model for Elasto-Plastic Fibers *Minh Tam Nguyen(국립금오공대), 김동주, #박준영	245
PPB-37	Open-top 패키지를 활용한 SiC 소자의 In-situ 온도 및 변형을 실시간 통합 분석 방법 *김동현(동의대), 박성민, 류호윤, 김민승, #장성욱	246
PPB-38	음함수 필드 기반 텍스처 이미지의 3차원 형상 텍스처링 기법 *구성모(인천대), #박상인	247
PPB-39	기하학적 특징 추출 기반 기초 산업 부품의 점군 형상 분류 방안 *이지훈(고려대), 양우림, #문두환	248
PPB-40	섬유기계용 가압 롤의 가압력 측정을 위한 내부 센서 카트리지 구조 최적화 시뮬레이션 *석지훈(한국섬유기계융합연구원), 신유정, #정영철	249
PPB-41	노즐 경로에 따른 복합소재 FDM 출력물의 열-기계적 거동 예측 *설영훈(국립금오공대), 김정민, 심민호, 윤민호, #한장우	250

PPB-42	복합소재 물성의 불확실성을 고려하기 위한 가상 시험 기반 확률론적 물성 분석 *최정욱(국립금오공대), 이금현, #한장우	251
PPB-43	사출 성형품 내부의 단섬유 배향 특성에 따른 부위별 이방 물성이 고려된 2D 판 기반 사출-구조 연계 해석 *김정민(국립금오공대), 설영훈, 최정욱, 성민준, 곽윤기, #한장우	252
PPB-44	급경사 사면법을 이용한 바이오리액터용 피치임펠러의 사출성형공정 최적화 및 변형 거동 제어 *박정연(한국생산기술연구원), #김기범, 윤길상, 김성규	253
PPB-45	액화수소 외부 배관용 용접공정 개발을 위한 316L 스테인리스강의 용접 공정변수 기초연구 *#정영철(한국섬유기계융합연구원), 유병문	254

포스터발표

기계설계 1

논문발표 PPB

PPB-46	온도 기반 쌍안정거동 전환이 가능한 생체모사음의 포아송비 배터리 아머구조 개발 *허승재(부산대), 김백규, 허수성, #박상민	256
PPB-47	오리가미 기반 외피 구조를 적용한 블레이드리스 풍력발전기의 유동 특성에 대한 풍동 실험 연구 *김채희(경상국립대), 장지현, #도재혁	257
PPB-48	중증 사지 외상환자 이송에 필요한 상지형 스플린트 개발 *배재범(부산대), 김중선, 주환이, 문준호, 김재영, #안석영	258
PPB-49	주행 데이터 기반 모터 샤프트의 피로수명예측 *#김성모(국민대)	259
PPB-50	한옥 주먹장맛춤 기법과 확장형 핀 메커니즘을 융합한 모듈형 드론의 이중 잠금 탈부착 구조 설계 *백민재(국립금오공대), 이도형, 정준엽, 박현빈, #주백석	260
PPB-51	전기자동차 트랙션 모터 하우징 로딩 프레임의 구조적 안정성 평가에 관한 연구 *김성태(경상국립대), #김해지	261
PPB-52	Zr 미세첨가 기반 AI 합금의 조직 제어와 성능 향상 *강준이(조선대), #김정석	262

포스터발표

4차산업기술

논문발표 PPB

PPB-53	금속과 플라스틱 접합에서 Gate거리와 Glass Fiber 배양이 접합강도에 미치는 영향에 관한 연구 *김문수(국립금오공대), 임도한, 김현경, #최성대	264
PPB-54	공구동력계를 활용한 공구 형상에 따른 AI 가공 절삭력 분석 *김현경(국립금오공대), 김문수, 임도한, #최성대	265
PPB-55	TRI 공정 변수에 따른 7000 계열 알루미늄의 표면 젖음성 및 이중 접합 신뢰성 평가 *임도한(국립금오공대), 김문수, 김현경, #최성대	266

PPB-56	AL6061-T6 합금의 마찰교반용접에서 공정변수 변화에 따른 용접부 특성 평가 *장철영(국립금오공대), #최성대	267
PPB-57	이륜차 전기 개조를 위한 배터리 모듈 Generative Design 및 배출가스 분석 *최주란(국립금오공대), 이해인, 이성호, 남상수, #최성대	268
PPB-58	압력용기 용접 재료 가공을 위한 플라즈마 절단 자동화 시스템 개발 *김대진(국립금오공대), 최주란, #최성대	269
PPB-59	항공기 엔진 MRO 스탠드 검증을 위한 다목적 더미 엔진 설계 및 개발 *이성호(국립금오공대), 윤동현, 김종태, 최주란, #최성대	270

포스터발표

적층제조

논문발표 PPC

좌장: 김현준(경북대), 김석민(중앙대),
김중현(계명대), 이원형(국립금오공대)

PPC-1	제품 설계 단계에서의 AI기반 가공 공정선택 프레임워크 연구 *#김은영(한국폴리텍대)	272
PPC-2	DLP 3D 프린팅용 고강도 레진의 적층 방향에 따른 초음파 피로 특성 분석 *박금정(아주대), 박은성, 이문구, #전용호	273
PPC-3	PBF 기반 밀링 공구 바디의 내부 격자 구조에 따른 정강성 및 모달 해석에 관한 연구 *손호민(에스제이엔텍), 김동규, #사민우	274
PPC-4	SLA 3D 프린팅 기반 TPMS 구조를 적용한 정전용량형 압력센서의 제작 및 민감도 특성 연구 *이혁빈(제주대), 고영배, 정현윤, 강철웅, #양영진	275
PPC-5	분리형 서포트를 적용한 직접에너지적층 오버행 Down-skin 표면 특성에 대한 경사각의 영향 *윤빛나(국립한국해양대), 조혜원, #심도식	276
PPC-6	분말 기반 직접에너지적층으로 제조된 AISI M4 적층재의 극저온처리 유지시간이 충격 특성에 미치는 영향 *이두빈(국립한국해양대), 오창민, #심도식	277
PPC-7	가압 파우더 기반 L-PBF를 통한 텅스텐 적층구현 *#김지연(한국폴리텍대)	278
PPC-8	하향식 DLP 3D 프린팅에서의 in-situ 스캐닝 시스템 적용 연구 *제갈지원(연세대), 권현태, Davaasuren Nyamdavaa, 탁세훈, 현재상, #김석	280
PPC-9	머신러닝 기반 Wire Arc-DED 공정에서 층간 온도 및 전기적 변수에 따른 CTWD 예측 알고리즘 *김영재(국립창원대), 손휘준, 김범진, 최창영, #조영태	281
PPC-10	금속 적층제조 기반 자동차 부품의 공정 해석 및 치수 특성에 관한 연구 박정규, 이권일, *정명휘(경상국립대), #김해지	282
PPC-11	금속 적층제조에서 적층각도 및 오버행 조건에 따른 치수정밀도 특성 평가 *정명휘(경상국립대), 이권일, 박정규, #김해지	283
PPC-12	라티스 구조 기반 경량최적화 및 DFAM을 통한 디퍼렌셜 기어 설계 *이권일(한국폴리텍VIII대), *정명휘(경상대), 박정규, #김해지	284
PPC-13	관류 기반 바이오리액터의 개발 및 이를 이용한 3D 드래깅 프린팅 다층 식도 인공지지체의 동적 배양 *김재석(광운대), 강준규, 정훈진, 장진아, 곽소정, #남효영, #이승재	285

PPC-14	이산요소 시뮬레이션 기반 금속 적층제조용 분말의 정적·동적 유동 정량평가 기술 개발 *#이재욱(경북대), 박성한, 전수을, 류예영, 송민경, 정재은, 문지윤	286
PPC-15	직접에너지적층으로 제작된 폐쇄형 알루미늄 폼의 기공 구조 제어 및 특성 평가 *하동훈(국립한국해양대), #심도식	287
PPC-16	DED 공정 지능화를 위한 IR 모니터링 기반 멜트풀 페루프 제어 시스템 구축 *권수빈(한국생산기술원), 최우성, 이윤선, 김다혜, 성지현, 박석희, #김건우	288
PPC-17	TPMS 구조를 적용한 3D프린팅 기반 8인치 하부척의 열유동 해석 *박민성(한국생산기술원), 이지현, 성지현, 박석희, #김건우	289
PPC-18	직접에너지적층 기반 표면 패턴이 AISI D2 공구강의 윤활 및 마모 특성에 미치는 영향 *강효정(국립한국해양대), 문희승, 김건우, #심도식	290
PPC-19	파이프라인 유지보수를 위한 금속 와이어 적층 공정에 관한 연구 *김은중(국립창원대)	291
PPC-20	Maraging Steel 적층공정 최적화를 통한 물성 신뢰성 검토 및 고기능성 금형 제작 *김선형(구미전자정보기술원), #김선형, 이종현	292

포스터발표

용접/특수가공

논문발표 PPC

PPC-21	Zn과 Cr 보강재에 의한 알루미늄 판재의 마찰교반점용접 연구 *김중선(부산대), 조인호, 김성관, 김승경, #안석영	294
PPC-22	레이저 가공에 의한 광섬유 팁 형상 제어 및 곡률 반경 연구 *우성철(서울과기대), 김지훈, #김주한	295
PPC-23	레이저 소결 기반 미세 패턴 프린팅 공정 개발 *서유석(계명대), 김찬희, 우민우, 김한범, 김종현, #최해운	296
PPC-24	GMAW 용접에서 모재 폭에 따른 열 축적 및 용융풀 거동 변화 *정광호(한국기계연구원), 안상현, 송인영, #조대원	297

포스터발표

금형/절삭가공/연삭가공

논문발표 PPC

PPC-25	24인치급 파이프 맞대기 용접 전 그루브 가공을 위한 모듈형 베벨링 시스템 개발 *#김미루(한국생산기술연구원), 이훈희	299
PPC-26	ITER 블랭킷 차폐블록 냉각채널 오염방지 제작 및 세척절차 개선 *#정지영(한국핵융합에너지연구원), 장준성, 김사웅, 권태환, 강대일	300
PPC-27	기장연구로 핵연료집합체의 Comb 가공 개선 연구 *문제혁(한국원자력연구원), #박동준, 황형진, 정용진	301
PPC-28	전용 샌딩 장비를 이용한 호두나무 표면거칠기 평가 *이해진(경상국립대), #김해지	302

PPC-29	고정밀 연삭기용 드레서 및 2-Roll 주축의 구조 해석 및 동적 안정성 평가 *윤영찬(경상국립대), #김해지	304
PPC-30	광촉매 반응을 이용한 LiTaO ₃ CMP에서 TiO ₂ 함량 및 온도 변화에 따른 재료제거 특성 *송관훈(동아대), 이재욱, 하인철, 강보빈, #이현섭	305
PPC-31	다중센서 데이터를 활용한 용접 비드 정압 연삭 공정의 표면 거칠기 예측에 관한 연구 *김석진(한국생산기술연구원), #이상직	306
PPC-32	자유형상 마이크로 렌즈용 초정밀 평삭 기반 라인 코어 가공 기술 개발 *이화섭(한국기계연구원), 서동현, 최두선, 곽은지, #한준세	307
PPC-33	단결정 압전소자의 edge chipping 개선을 위한 가공 경로 설계 연구 *서동현(한국기계연구원), 곽은지, 최두선, #한준세	308
PPC-34	초정밀 절삭가공에 관한 연구 *이경일(한국전자기술연구원), 김재열, #최철준	309
PPC-35	단방향 탄소섬유강화섬유(CFRP)의 초음파 진동 보조 드릴링을 위한 이중 열원 기반 추력-온도 예측 모델 *장바오루이(영남대), 천이니, 곽예인, #고태조	311
PPC-36	항공부품 가공 오차 보정을 위한 기상측정 검사 적용 연구 *윤왕호(한국생산기술연구원), 박민석, 한명희, #이훈희	312
PPC-37	샌딩 입도에 따른 호두나무와 물푸레나무의 가공 충전 특성 분석 *공정리(한국폴리텍대), 이해진, #김해지	313
PPC-38	연속 웨이브렛 변환 기반 실시간 연마력 특성을 활용한 표면 특성 예측 *배원준(국립부경대), 이정희, 김해인, 강민석, 김상현, #곽재섭	314
PPC-39	고탄소강 박판 열처리품 표면 품질 향상을 위한 연마공정 연구 *김명섭(경북테크노파크), 박진석, #차승훈	315
PPC-40	선삭에서 회전당 이송이 칩두께비와 절삭저항에 미치는 영향 *이만식(대양정밀), #황종대	316

포스터발표

나노마이크로 부문

논문발표 PPC

PPC-41	밀착 및 방향성 접착을 위한 마이크로필러 구조 기반 하이브리드 접착 패치 *강동관(울산과학기술원), 박성진, #정훈의	318
PPC-42	몰드 임프린팅 기반 다중 스케일 CNP-PDMS 표면의 제조 및 방빙 성능 *이영석(국민대), #임시형	319
PPC-43	광열 변환 특성을 갖는 마이크로/나노 계층 구조 기반 CNT-PDMS 복합 표면의 결빙 지연 및 능동 제빙 성능 *허성빈(국민대), 손현우, 전유진, #임시형	320
PPC-44	STS 소재의 표면 미세구조 형성 및 코팅을 통한 결빙 지연과 빙착력 저감 *전유진(국민대), 수밋 바타왈, 손현우, #임시형	321
PPC-45	레이저를 이용한 마이크로 LED 패널 패키징용 미세 패턴 제조 *이제성(국민대), #강봉철	322

PPC-46	다양한 형태의 실리콘 마이크로구조의 레이저 유도 형성 *최종문(국민대), #강봉철	323
PPC-47	조성 최적화를 통한 Ti ₃ C ₂ MXene/Graphene Oxide 코팅막의 트라이볼로지 특성 향상 *김원석(부산대), 이성윤, #김송길	324
PPC-48	Microstructured Shape Memory Polymer Patch for Switchable Adhesion in Wet Environment *이희진(울산과학기술원), 박성진, 강동관, #정훈의	325
PPC-49	밀리초 플래시 광열 공정을 통한 마이크로 구조 다공성 그래핀 형성 및 다기능 유연 센서 응용 *김찬혁(국립금오공대), 조용준, #박정환	326
PPC-50	Flash-Driven Multiscale Interfacial Engineering for Stretchable Cu Conductors *조용준(국립금오공대), 김찬혁, #박정환	327

포스터발표

NANO/MEMS/미세가공

논문발표 PPD

좌장: 김호진(동서대), 김형모(경상국립대)
오용석(국립창원대), 이상민(동의대)

PPD-1	마이크로 구조화된 TiAl ₆ V ₄ 기반 고투명 고강성 폴리우레탄 초소수성 표면 및 SLIPS 공정 개발 *박종훈(조선대), 이동현, 임동준, #이정원	329
PPD-2	Nanoline Array-Based Mechanical Bactericidal Surface with Selective ZnO Nanowire Growth *배재현(원광대), 김희경, #조영삼, #박현하	330
PPD-3	오가노겔 기반 미세 구조를 이용한 고감도 감지 기판 제작 *윤성민(국립창원대), 윤채혁, 김동주, #조영태	331
PPD-4	PEDOT:PSS/AgNW/SWCNT 하이브리드 구조를 이용한 유연 투명 면상 발열체의 제작 및 최적화 *이현국(영남대), 최혜조, 백장운, 김진홍, 배현수, #정창윤	332
PPD-5	근거리 전기방사를 이용한 마이크로 채널 제조 방법 *김찬희(계명대), 서유석, 최명진, 김한범, 김종현, #최해운	333
PPD-6	롤투를 제조 공정을 위한 Golden Skeleton 기반 결합 검출 기법 *서혜원(계명대), 서유석, 김찬희, 김한범, 김종현, #최해운	334
PPD-7	란타넘 강화 PEO 기반 복합 전해질을 이용한 장수명 전고체 리튬 금속 배터리 *천이니(영남대), 광예인, 장바오루이, #고태조	335
PPD-8	Biomass-Integrated ZIF-67@Carbon Black Hybrid Network for Flexible, Biodegradable Ammonia Sensors 칼파나 판데이, 포다르 디파크, *김선주(국민대), #유형민	336
PPD-9	Biomacromolecular Engineering of Redox-Active Chitosan-Polypyrrole-Clay Hybrid Materials for Machine Learning-Assisted Desulfurization and Supercapacitor Application *이원철(영남대), #정창윤, 백장운, 김진홍, 배현수	337

PPD-10	Capillary-Driven Selective Foaming for Programmable Stiffness in 3D-Printed Lattice Structures *신동훈(연세대), 이석재, #김석	339
PPD-11	미세구조가 형성된 오가노겔 기반 미끄러운 표면의 저점착 특성 분석 *유휘상(국립창원대), 윤성민, #조영태	340
PPD-12	Flexible TENG Sensor for Low-Frequency SCG Detection toward Cuffless Blood Pressure Estimation *한정아(국립창원대), 김영한, #한승주, #오용석	341
PPD-13	푸리에 스펙트럼을 활용한 다층 마이크로 패턴 마크리스 회전 정렬 방법 *윤서나(국립창원대), #조영태	342
PPD-14	SUS 표면 처리에 따른 Lid Attach 공정의 계면 접착력 향상 연구 *박경희(동의대), 김성현, 이승훈, 이상현, #이상민	343
PPD-15	알루미늄 와이어 본딩 전단 시험의 오차 요인 분석 및 파단 특성 영향 연구 *성지민(동의대), 공혜성, #이상민	344
PPD-16	탄소기반 재료와 전자파 차폐효과 *최선호(전주대), 김영순, 정수민, 오민진, 진재언, 임석대, #김홍건	345
PPD-17	나노패턴의 극초단 레이저 어닐링 기술 *김혜수(한국기계연구원), 조준희, #장원석	347
PPD-18	DMD 기반 롤투롤 마스크리스 리소그래피에서의 선형 노광 서브픽셀 구현 방법 *최진수(한국기계연구원), 이원섭, 조현민, 김기홍, 김재영, 강동우, #장원석	348
PPD-19	나노스크래치 시험법에서의 박리지점 결정을 위한 복합 분석 *조아름(울산대), 김동규, 박태원, 박민지, 이정구, #전은채	349
PPD-20	스테인리스강 표면의 전해도금 및 나노와이어 성장을 통한 극소수성 표면 구현 기술 개발 *신수빈(조선대), #이정원	350
PPD-21	냉간 인발 및 응력제거 열처리에 따른 가돌리늄 와이어의 자기열량 이방성 변화 *김민직(한국재료연구원), 양우석, 양수미, 배재한, #신다슬	351
PPD-22	La-Fe-Co-Si 합금의 열간 변형 메커니즘과 열간 압연 결함 저감에 관한 연구 *양선영(한국재료연구원), 김민직, 양우석, 양수미, 배재한, #신다슬	352
PPD-23	유연 투명 전극 제작을 위한 은 촉매 기반 구리 무전해 도금 공정 개발 *#김건휘(충북대), 유선종, 김나경	353
PPD-24	전기자동차 고전압 시스템 고장 사례 분석 및 진단방법 연구 *#황성완(한국폴리텍대)	354

포스터발표

열유체/유체기계

논문발표 PPD

PPD-25	흡광도 측정 기반의 섬유 소재의 미세먼지 오염도 평가 *황석주(한양대), 강현민, 남학호, 허승민, #육세진	356
--------	---	-----

PPD-26	배터리 모듈 내 열 차단 패드 유형이 열폭주 지연 특성에 미치는 영향 분석 *#육세진(한양대), 허승민, 강현민, 황석주, 남학호	357
PPD-27	웨이퍼 보관시 입자 오염 저감을 위한 구조 개발 *강현민(한양대), 황석주, #육세진	358
PPD-28	식물공장 내 엽채류 증산량 예측 모델 및 제습 부하 해석 *허승민(한양대), #육세진	359
PPD-29	공기청정기와 순환 장치의 설치 위치에 따른 플라스틱 온실 내 공기질 평가 *남학호(한양대), #육세진	360
PPD-30	차량 공력특성 해석을 위한 격자의존성 연구 *김민성(국립금오공대), 오대성, 박재홍, 이시목, 양종인, 김현찬, #김경록, 홍승기, 이종율	361
PPD-31	차량 공력특성 분석을 위한 축소시험모델 및 지지부 설계 *오대성(국립금오공대), 김민성, 이시목, 양종인, 김현찬, #김경록, 김준영, 김승훈	362
PPD-32	ATM 내부 발열 해소를 위한 냉각 구조 개선 및 CFD 기반 성능 분석 *조민철(고등기술연구원), 나다을, 이예승, #노정훈	363
PPD-33	압출형 방사형 히트싱크용 분리형 원통 굴뚝의 설계와 내부 필렛 유입구가 자연대류 방열 성능에 미치는 영향 *이윤재(서울과기대), 김용주, 정수봉, 조예담, #곽동빈	364
PPD-34	계면 자유부피의 역할: 흡착을 위한 압축성 분자 DFT 프레임워크의 개념적 소개 *#이태일(경남대)	365
PPD-35	분포형 광섬유 센서를 이용한 구조물 부착형 액위 측정 방법 *최지연(경상국립대), 임혜원, #김형모	366
PPD-36	소형 팬션의 복사열 냉방장치의 냉방성능에 관한 연구 *제미연(㈜이에스텍), 조명기, #조동현	367

포스터발표

기계설계 2

논문발표 PPD

PPD-37	페스크랩을 활용한 Al-8Mg-6Si 합금의 T6 열처리에 따른 미세조직 변화와 기계적 특성 *이도윤(조선대), #김정석	369
PPD-38	PCB Motor의 열관리 향상을 위한 Cooling Channel의 실험 및 수치해석 연구 *최명진(계명대), 박재현, 우민우, 서혜원, 김종현, #최해운	370
PPD-39	Explicit Dynamics 기반 E-모터 하우징의 충격 거동 분석 *박재현(계명대), 최명진, 우민우, 서혜원, 김종현, #최해운	371
PPD-40	고효율 산업용 감속기 기어의 파라메트릭 기반 제원 설계 *오동석(경상국립대), 김태현, 김현철, #류성기	372
PPD-41	동력 전달 장치의 기어 치형 최적설계에 관한 연구 *김태현(경상국립대), 광기명, 윤민호, 김현철, #류성기	373
PPD-42	유성기어의 Pitting결함 방지 및 진동 특성 최적설계 연구 *광기명(경상국립대), 오동석, 강진경, #류성기	374

PPD-43	마이크로셀룰러 발포 기반 고인성-경량 아키텍티드 재료 *백정훈(연세대), 안태호, #김석	375
PPD-44	비주기적 격자 구조를 활용한 아키텍티드 셀의 기계적 성능 향상 *방유민(연세대), 하지율, 배민준, #김석	376
PPD-45	안토시아닌 하이드로겔 기반 배터리-프리 무선 pH 센서를 이용한 상처 상태 모니터링 *이성주(국립창원대), 장태환, 최고은, 김상원, #오용석	377
PPD-46	Whisper 기반 액추에이터 음성제어 시스템의 구현 및 기초 성능 평가 *장푸지(경남대), 김동균, 양진허, #김병창	378
PPD-47	GI/E 적층복합재 빔의 탄성파 전파 특성 분석 *조희근(국립경국대)	379
PPD-48	수경재배 자동화 시스템을 위한, 누수 제로 유체 도킹 메커니즘 개발 *김동균(경남대), #김병창, 박정원, 윤재겸, 임동현	380
PPD-49	반도체 제조공정의 폐가스 이송 라인 정온 가열장치 *#조영태(전주대), 마상동	381
PPD-50	3축 가속도 센서 기반 근골격 자세 교정용 웨어러블 슈트 *이창현(인하대), 박지상, #이선곤	382
PPD-51	차량용 서지탱크의 냉각수 순환 안정성 향상을 위한 내부구조 개선에 관한 연구 *#김광호(한국폴리텍V대)	383
PPD-52	전자기 선형 액추에이터를 적용한 2속 직접 구동 동력전달 시스템의 변속력 최적화 및 퀘적 추종 제어 *#진진(중국산둥이공대), 우위팅, 리보, #류성기	384
PPD-53	전달오차 최소화를 위한 산업용 감속기 기어의 치형 수정 설계 *오동석(경상국립대), 광기명, 김현철, #류성기	385
PPD-54	유성기어 시스템 TE그래프 최적화를 위한 고조파 저감 치형설계 *광기명(경상국립대), 김태현, 강진경, #류성기	386
PPD-55	전위계수를 고려한 동력전달용 기어의 굽힘강도 및 안전성 검증 *김태현(경상국립대), 오동석, 윤민호, 김현철, #류성기	387
PPD-56	NVH 성능 향상을 위한 기어 Transmission Error 최적 설계 및 해석 *김태현(경상국립대), 광기명, 윤민호, 김현철, #류성기	388
PPD-57	다구찌 실험계획법을 이용한 고수밀성 복합소재의 강건설계 *강영임(경북자동차임베디드연구원), #홍성수, 김재훈, 홍성준, 김항성	389

캡스톤 디자인

CP

좌장: 장원석(KIMM), 김영원(KITECH), 김송길(부산대)
옥종걸(서울과기대), 이상민(동의대)

CP-1	HVAC용 압력용기 경판가공 자동화 시스템 개발 *김민규(국립금오공대), 김관호, 박현우, 이권희, 이성호, 이해인, 김대진, #최성대	391
CP-2	LiTaO ₃ CMP에서 슬러리 전해 이온화 적용에 관한 연구 *박기태(동아대), 김현수, 김태환, 김영웅, 진민기, #이현섭	392

CP-3	PLA를 이용한 시제품 제작 시 채움 밀도가 강도와 인성에 미치는 영향 *한정훈(한국폴리텍V대), 유재원, #강일석	393
CP-4	RAG-LLM 기반 2D 도면 공차 적정성 판단 시스템 *이초빈(국립금오공대), 이동민, #김현찬	394
CP-5	Vision-PHM 기반 비지도 학습을 이용한 산업용 외관 품질 진단에 관한 연구 *장석현(국립부경대), 김우진, 박준제, 장지용, 이태관, 정정효, 전충민, 김동규, #이경창	395
CP-6	구연산 가교 PVA/CNF 기반 pH 반응형 식품 신선도 지시 필름 개발 *홍지훈(국립금오공대), 김민서, #김현찬	396
CP-7	다양한 3D 구조체의 표면을 잘 미끄러지게 하는 SLIPS 공정 제안 *이지나(국립창원대), 한유주, #조영태	397
CP-8	디지털 트윈 기반 내부 유로 막힘에 따른 증발기 상태 분석 *도현석, 이승민, 이병진, #허장욱	398
CP-9	디지털트윈을 활용한 응축기 외부 오염에 따른 압축기 거동 분석 *백지흠(국립금오공대), 이강민, 현유현, #허장욱	399
CP-10	마이크로 패턴이 적용된 소수성 핫스팟 기반의 분석 입자 정밀 응집 *김동주(국립창원대), 윤채혁, 윤성민, #조영태	400
CP-11	소구경 배관 비파괴 검사용 크롤러 센서 리프트오프 제어 메커니즘 최적화 설계 강진영, *강경구(경상국립대), 서주안, 이승훈, 오승윤, #류성기	401
CP-12	소방대원 생존성 향상을 위한 다중 단열 구조 기반 투척형 위험 알림 비콘 개발 *서창덕(동의대), 최해진, 김도현, 정대환, 고진성, 김문수, #민병현	402
CP-13	스마트폰 비전 기반 식물 생장 계측 에이전트 *조형철(국립금오공대), 이상승, #김현찬	403
CP-14	시야 제한 환경에서의 플러그 체결 편의성 향상을 위한 기구학적 보조장치 개발 *#이선규(아주대), 황준태, 이용준, 이중서, 오지원, 김민진	404
CP-15	아라미드 나노 섬유 - 지르코니아 기반 고내열 재난드론용 보호 아머 개발 *이윤서(국립금오공대), 김현진, 최정진, #김현찬	405
CP-16	엣지 컴퓨팅 기반 YOLO를 활용한 사족보행 담배꽂초 수거 로봇 김동현, 정이삭, *이현준(국립부경대), 이종화, 노경언, 정성현, 박수아, #이경창	406
CP-17	유성기어를 이용한 저전력 경량화 파라솔 설계 *류원우(경상국립대), 박영균, 유상준, 김경민, 김동훈, #류성기	407
CP-18	지능형 비전 기반 자율 순찰 모빌리티 개발 *류예영(경북대), 송민경, 문지윤, 정채은, 이호, #이재욱	408
CP-19	폐에너지를 활용한 수전해 기반 수소 에너지 생산 및 상태 진단 시스템 *양현성(조선대), 남궁길, 박승훈, 김재준, #하태광	409
CP-20	환자 반응 감응형 간병 로봇의 암 개발 *유준석(한국폴리텍대), #김지연, 장우성, 이주현, 윤성현	410
CP-21	시나리오 기반의 멀티모달 자율주행 다목적 농용 운반차 개발 *오승욱(전주대), 이상민, 이강욱, 이대성, 배정민, #이충호	412

기조강연

한국연구재단 하반기 기초연구사업 소개

*#강주원¹

*#Joo-Won Kang(kangj@nrf.re.kr)¹

¹한국연구재단 기초연구본부 공학단장

National Research Foundation of Korea (NRF), Basic Research in Science & Engineering

*발표자, #교신저자

정부의 기초연구 투자 확대와 연구자 중심 지원체계 강화 흐름에 따라 2026년도 기초연구사업은 예산 및 지원 규모 측면에서 큰 변화를 맞이하고 있다. 이번 기초연구사업 개편은 기존의 연령·경력 중심의 지원체계를 연구 성장단계별 체계로 전환하고, 폐지되었던 기본연구를 복원하여 연구 안전망을 강화하는데 중점을 두고 있다. 또한, 신진연구 과제를 대폭 확대하고 Top-Tier 리더연구자를 위한 신규 지원 유형을 신설하는 등 연구자 생애주기 전반에 걸친 지원체계를 재정비하였다. 본 강연에서는 한국연구재단의 2026년도 기초연구 지원 방향과 사업 구조 변화, 과제 평가 및 선정·관리의 주요 개편 내용을 소개함으로써 공학분야 연구자들의 기초연구사업에 대한 이해를 돕고자 한다.

초청강연

4차산업혁명시대, 경상남도 기계제조업의 미래 전략

*#김남경¹

*#Nam Kyung Kim(nkkim@gnu.ac.k)¹

¹경상국립대학교 명예교수

*발표자, #교신저자

경남 기계제조업은 항공·자동차·방위산업을 중심으로 첨단화 전략이 요구된다. 스마트공장과 AI 기반 설계·생산 기술을 도입해 정밀 제조 경쟁력을 강화하고, 미래 모빌리티와 국방 첨단장비 분야로 산업 영역을 확대해야 한다. 산학연 협력과 전문 인력 양성을 통해 글로벌 공급망 대응과 지속가능한 성장 기반 구축이 핵심 과제로 제시된다.

두산에너지빌리티의 SMR 사업 및 설계제작 준비 현황

*#서영빈¹

*#Yeong Bin Seo¹

¹두산에너지빌리티 원자력설계 상무

*발표자, #교신저자

본 발표는 SMR(Small Modular Reactor) 상용화를 대비한 두산에너지빌리티의 설계·제작 준비 현황과 향후 계획을 소개한다. 두산은 다수의 국내외 SMR 프로젝트 참여 경험을 바탕으로, 기기 제작 기술 고도화와 전용 생산 인프라 구축을 추진하고 있다. 특히 SMR 특유의 헬리컬 튜브, 접근 제한 용접부 등 제작 난이도가 높은 핵심 기술에 대해 장기간의 모의시험과 장비 개발을 통해 제작 준비를 완료하였다.

아울러 EBW, 레이저 클래딩 등 혁신 제작 기술을 적용하여 생산성 및 품질 향상을 도모하고 있다. 설계 측면에서는 튜브 건전성 평가, 고온로 구조·열수력 설계 지원, 디지털 해석 자동화 및 AI 기반 설계 기술을 준비 중이다. 이를 통해 두산은 SMR 초기 설계 단계부터 제작까지 연계하는 글로벌 SMR 파운드리로의 역할을 강화하고자 한다.

신진공학자

메타표면의 메타구조 생산을 위한 광소재 설계 및 공정 방법론 Optical Material Design and Fabrication Methodology for Metasurface

*#양영환¹, 노준석²

*#Younghwan Yang¹, Junsuk Rho²

¹국립창원대학교 기계공학부 스마트제조융합전공,

²포항공과대학교 기계공학과/화학공학과/전자전기공학과

Key words : Metasurface, Manufacturing, Optical Material Engineering, Self-Driving Lab

*발표자, #교신저자

본 연구는 메타표면의 상용화를 위해 나노임프린트 및 PECVD를 활용한 메타표면 제조 방식을 설명합니다. 소개하는 공정 방식은 고효율 대면적 메타표면 제조를 위한 것이며, 특히 대면적 나노공정이 가능케 하는 광소재 개량법도 설명하빈다. 나노임프린트 및 롤투플레이트 공정 기반 최적화로 대면적 패턴의 정밀도와 경제성을 확보했으며, PECVD를 통해 수소화 비정질 실리콘 및 산화 실리콘 박막의 광학 상수를 제어함으로써 가시광 영역의 광손실 문제를 해결했습니다.

이를 통해 구현된 소자는 실험과 시뮬레이션 모두에서 우수한 성능을 입증하며 메타광학 소자의 양산 기반을 마련했습니다. 마지막으로, 국립창원대학교에서 이러한 첨단 공정 기술을 고도화하고 실질적인 산업 응용을 연구하기 위한 자율연구실 연구를 설명하고자 합니다.

1. 배경 및 목적

메타표면(Metasurface)은 나노 구조체를 통해 빛의 특성을 자유자재로 제어하는 차세대 평면광학 기술입니다. 기존의 크고 무거운 굴절식 광학계를 대체하여 미래 핵심 기술로 주목받고 있습니다. 그러나 나노미터 수준의 정밀도를 유지하면서도 대면적화와 저비용 제조를 동시에 달성하는 공정 기술의 부재가 상용화의 큰 걸림돌이 되어 왔습니다.

2. 광소재 개량을 통한 메타표면 개선

본 연구는 기존 공정의 한계를 극복하기 위해 나노임프린트 리소그래피와 플라즈마 화학기상증착(PECVD)을 결합한 통합 제조 공정을 제안합니다.

나노임프린트 기반 패턴링은 고가의 포토리소그래피를 대체하여 공정 비용을 획기적으로 낮추었습니다. 자체 제작한 몰드와 최적화된 레진 조성을 통해 나노 구조의 균일성을 확보했으며, 수백 마이크로미터에서 웨이퍼 스케일까지 확장 가능한 대면적 패턴 정밀도를 달성했습니다.

광학 재료 엔지니어링은 PECVD를 통해 이뤄지며, 수소화 비정질 실리콘 및 산화 실리콘 박막을 증착하는 과정에서 플라즈마 전력, 기판 온도 등 매개변수를 정밀 제어하였습니다.

3. 신진연구계획: 자율연구실 연구

본 연구자는 연구 성과를 바탕으로 메타표면 공정 고도화를 위한 ‘자율연구실’을 직접 구축하고 있습니다. 실시간 모니터링 기반의 지능형 인프라를 통해 공정 자동화를 실현하고, 지역 산업계와 연계하여 메타광학 소자 양산 기술을 공급하는 핵심 거점으로 육성할 계획입니다.

REFERENCES

1. Yang, Y., Yoon, G., Namgung, S.D., Badloe, T., Nam, K.T., Rho, J., “Revealing Structural Disorder in Hydrogenated Amorphous Silicon for a Low-Loss Photonic Platform at Visible Frequencies” *Advanced Materials*, Vol. 33, No. 9, p.2005893, 2021
2. Ko, B., Badloe, T., Yang, Y., Park, J., Kim, J., Jeong, H., Jung, C., Rho, J., “Tunable Metasurfaces via the Humidity Responsive Swelling of Single-Step Imprinted Polyvinyl Alcohol Nanostructures” *Nature Communications*, Vol. 13, p.6256, 2022

바이오에어로졸 제어를 위한 항균 나노섬유 필터 Antimicrobial Nanofibre Filters for Bioaerosol Control

*#허기준¹

*#Ki Joon Heo(k.heo@jnu.ac.kr)¹

¹전남대학교 기계공학부

Key words : Bioaerosol Nanofibre, Air Filter, Antimicrobial, Visible-light

^{*}발표자, [#]교신저자

최근 공기 중 병원성 미생물을 포함한 바이오에어로졸은 실내 공기질과 공중보건 측면에서 중요한 위험 요소로 인식되고 있다. 기존의 항균 필터 기술은 주로 자외선(UV) 또는 특정 외부 에너지원에 의존하는 방식이 사용되어 왔으나, 이러한 방법은 에너지 소비, 안전성, 그리고 실제 환경 적용성 측면에서 한계를 가진다. 이에 따라 실내 조명 환경에서도 작동 가능한 가시광 기반 항균 기술에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이는 지속적으로 작동 가능한 차세대 공기정화 기술로 주목받고 있다.

본 연구는 실내 환경에서 상시 존재하지만 충분히 활용되지 못하고 있는 저조도 가시광 에너지를 활용하여 부유미생물을 효과적으로 저감할 수 있는 기술 개발을 목표로 한다. 실내 저조도 가시광에서 반응이 가능한 광촉매의 활성 향상을 위한 설계 전략과 작동 원리를 규명하였다. 아울러 이러한 광촉매 기술을 공기 중 바이오에어로졸 제어에 적용하기 위하여, 가시광 반응 광촉매를 에어 필터 시스템에 적용하기 위한 전략들을 소개한다. 본 연구는 실내 저조도 가시광 환경을 활용한 부유미생물 제어 기술의 새로운 접근 방식을 제안하며, 향후 실내 공기질 관리 및 공기정화 시스템 분야에서의 적용 가능성을 제시할 것으로 기대된다.

점착력 제어 기반 평판 물체 운반 기술 Adhesion-Control-Based Flat Object Transfer Technology

*#김재강¹

*#Jae-Kang Kim(kimjaekang@kookmin.ac.kr)¹

¹국민대학교 기계공학부

Key words : Adhesion Control, Flat Object Transfer, Pick-and-Place, Automated Handling/Gripping

*발표자, #교신저자

점착력 제어 기반의 물체 핸들링 기술은 건식점착(dry adhesion) 및 전기점착(electroadhesion)의 발전과 함께 다양한 산업 공정으로의 확장이 기대되고 있다. 특히 유리, 금속 박판, 웨이퍼 등과 같은 평판 물체의 이송(transfer)은 고속/고정밀 자동화 공정에서 핵심 공정임에도 불구하고, 대상 물체의 표면 거칠기, 표면 자유 에너지, 오염, 박리(peeling) 유발 등으로 인해 안정적인 파지와 신뢰성 있는 방출(release)을 동시에 만족시키기 어렵다는 공학적 난제가 존재한다. 그 결과, 실험실 수준에서 우수성이 검증된 점착 기반 파지 기술이 실제 양산 라인에 적용되는 과정에서 반복 구동 내구성, 소재 변동성에 대한 강인성, 그리고 파지-방출 전환의 재현성 확보가 상용화의 병목으로 작용해 왔다. 본 발표에서는 점착력 제어 기반 평판 물체 이송을 위한 대표 기술로서 건식점착 기반 평판 운반 기술과 전기점착 기반 평판 운반 기술에 대하여 설명한다. 먼저 건식 점착의 경우, 미세구조 형상 및 운용, 접촉면 분할, 소재 특성 등 점착패드 및 소재 관련 변수가 점착력 및 이송 특성에 미치는 영향을 중심으로 논의하며, 이를 극복하기 위한 연구들에 대하여 논의한다. 다음으로 전기점착의 경우, 단순한 전극 패턴 및 절연층 설계가 아니라 전압 인가 및 제거 시퀀스와 같은 구동 프로토콜이 점착력의 크기와 변동성, 표면 조건 의존성에 미치는 영향을 다루고, 실제 운용 환경에서의 안정적 운용을 위한 설계 지침을 제시한다. 이를 통해 공정 요구조건에 따라 적합한 점착력 제어 전략을 선택 및 설계할 수 있는 관점을 제공함으로써 점착 기반 사물 운반 기술의 실용화 및 적용 범위 확장에 기여하고자 한다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-00516998, RS-2025-02223634).

구두발표

부문 특별세션
제어로봇자동화

좌장 : 손정현(국립부경대)

**얼음 배출 성능 및 구조 상호작용 평가를 위한
MBD-DEM 연성 시뮬레이션 기술**
**Coupled MBD-DEM Simulation Technology for Evaluating Ice Dispense
Performance and Structural Interaction**

박성한¹, 전수을¹, 류예영¹, 박진홍², 김요한², *#이재욱¹

Seonghan Park¹, Sueul Jeon¹, Ye-Young Ryu¹, Jinhong Park², Yohan Kim², *#Jaewook Lee¹

¹경북대학교 스마트모빌리티공학과, ²LG 전자(주)

Key words: Ice Dispensing System, Ice Crushing, MBD-DEM Coupled Analysis

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 제빙기 내부에서 발생하는 얼음의 파쇄 및 배출 거동을 예측하기 위해 다물체동역학(MBD)과 이산요소법(DEM)을 연계한 연성 해석기술을 개발하였다. 가전제품에서 얼음 배출 성능은 사용자 만족도와 제품 경쟁력에 직접적인 영향을 미치지만, 얼음의 재료 특성과 초기 조건에 민감한 복잡한 거동 때문에 이를 정량적으로 예측하는 방법은 아직 제한적이다. 이를 위해 본 연구에서는 얼음의 파괴강도와 입도분포(PSD)를 반영한 블록 모델링 기법을 구축하고, 파괴 및 접촉 거동을 재현할 수 있도록 DEM 기반 얼음 모델을 보정하였다. 또한, 다양한 운전 조건에서 제빙기 내부 얼음의 거동을 분석할 수 있는 가상 MBD-DEM 연성해석 환경을 구성하였다. 성능 평가는 Cube mode와 Crush mode를 기준으로 수행하였으며, 각 모드에서의 배출력, 파쇄 특성, 배출 질량을 정량적으로 비교하였다. 아울러 제빙기 핵심부품의 설계변수가 제빙기 얼음의 파쇄 및 배출 성능에 미치는 영향을 분석하기 위한 파라미터 연구를 수행하였으며, 특히 Cube mode에서는 얼음이 사용자가 받는 목표 영역을 벗어나 배출되는 비정상 현상을 확인하고, 이를 연성해석을 통해 원인 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 내부 스프링 가이드 메커니즘의 형상을 개선하였으며, 개선안은 얼음 배출 위치의 안정성을 높이는 동시에 기계적 하중을 줄여 성능 향상에 기여하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 제빙 시스템 내 얼음 거동을 물리 기반으로 예측하고, 고성능 얼음 배출 시스템의 설계 최적화를 지원할 수 있는 유효한 해석 기반을 제공한다.

KIMM Motion용 MF 타이어 모델을 이용한 조향 시뮬레이션 Steering Simulation by Using MF Tire Model for KIMM Motion

*장영진¹, 정원진¹, #손정현¹

*Yeong Jin Jang¹, Won Jin Jeong¹, #Jeong Hyun Sohn(jhsohn@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Multibody Dynamics, Steering Simulation, Vehicle Dynamics

*발표자, #교신저자

최근 디지털 트윈 기반 해석 기술에 대한 관심이 증가함에 따라 다물체동역학(MBD) 해석의 중요성이 커지고 있다. 한국기계연구원에서는 상용 소프트웨어의 비용 및 접근성 한계를 보완하기 위해 프리웨어 기반 MBD 해석 프로그램 KIMM Motion을 개발하고 있다. 본 연구에서는 KIMM Motion의 해석 성능 고도화를 위해 Magic Formula(MF) 타이어 모델을 개발하고, 차량 조향 시뮬레이션을 통해 그 유효성을 검증하였다. 중형 승용차 모델에 대해 조향 입력 조건을 부여하고 차량의 동적 응답을 해석하였으며, 그 결과를 동일 조건의 상용 프로그램 RecurDyn 해석 결과와 비교하였다. 비교 결과, KIMM Motion에 적용된 MF 타이어 모델은 차량의 조향 거동을 안정적으로 재현하였고, 상용 프로그램과 유사한 응답 경향을 나타내었다. 이를 통해 MF 타이어 모델 적용이 KIMM Motion의 조향 해석 성능 향상에 효과적임을 확인하였다.

1. 서론

최근 제조업 및 연구 현장에서는 디지털 트윈 기반 해석 기술에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이를 구현하기 위한 다물체동역학(Multi-Body Dynamics, MBD) 해석의 중요성도 함께 커지고 있다. 그러나 상용 MBD 소프트웨어는 높은 비용과 제한된 접근성으로 인해 교육, 연구 및 중소기업 현장에서 활용에 제약이 있다. 이를 보완하기 위해 한국기계연구원에서는 프리웨어 기반 MBD 해석 프로그램 KIMM Motion을 개발하고 있다. 본 연구에서는 KIMM Motion의 해석 성능 고도화를 위해 Magic Formula(MF) 타이어 모델을 적용하였으며, 차량 조향 시뮬레이션을 통해 해당 모델의 적용성과 유효성을 검증하고자 하였다.

2. 본론

본 연구에서는 중형 승용차를 대상으로 차량 모델을 구성하였으며, 전륜은 맥퍼슨 현가장치, 후륜은 솔리드 액슬 현가장치, 조향계는 랙 앤 피니언 구조를 적용하였다. KIMM Motion에 MF 타이어 모델을 적용한 후 차량 조향 시뮬레이션을 수행하였으며, 해석 결과의 검증을 위해 동일한 조건에서 상용 다물체동역학 해석 프로그램 RecurDyn의 결과와 비교하였다. 주요 비교 항목은 차량의 조향 응답과 차체 거동 특성이며, 조향 입력에 따른 동적 응답을 중심으로 두 프로그램의 결과를 분석하였다.

3. 결론

해석 결과, KIMM Motion에 적용된 MF 타이어 모델은 차량의 조향 거동을 안정적으로 재현하였으며, 상용 프로그램과 전반적으로 유사한 응답 경향을 나타내었다. 이를 통해 MF 타이어 모델의 적용이 KIMM Motion의 조향 해석 성능 향상에 효과적임을 확인하였다. 본 연구는 타이어 모델 고도화를 통해 프리웨어 기반 MBD 해석 프로그램의 활용성을 확장하였다는 점에서 의의를 가지며, 향후 다양한 주행 조건 및 차량 모델에 대한 검증을 통해 KIMM Motion의 적용 범위를 더욱 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

후기 본연구는 산업통상자원부의 지원을 받아 수행된 “디지털트윈 3단계 기술 활용 전기 수소 메카트로닉스 모듈 신뢰성 예측 검증 테마구축” (P0022333) 과제의 연구 결과임.

매니플레이터 기반 자동화 공정 설계 기법 연구

A Study on Design Methods for Manipulator-Based Automated Processes

*정원진¹, 조한승¹, #손정현¹

^{*}Won Jin Jeong¹, Han Seung Cho¹, #Jeong Hyun Sohn(jhsohn@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Motion Planning, Physics Based Simulation

^{*}발표자, #교신저자

본 연구는 자동차 부품 후처리 공정의 자동화를 위해 작업 동작을 분석하고 시뮬레이션 기반 검증을 수행하였다. 후처리 작업을 수행하기 위한 공정 시나리오를 정의한 후, 작업자의 실제 작업 동작을 계측하여 로봇 작업 자세를 도출하고 이를 기반으로 로봇 작업 궤적을 생성하였다. 생성된 궤적은 물리 기반 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 시뮬레이션 결과 검사 자세 오차는 3% 이내로 나타났으며, 블로우 공정 위치 오차는 약 1mm 수준으로 확인되어 로봇 기반 후처리 공정 자동화 적용 가능성을 확인하였다.

1. 서론

자동차 부품 생산 공정에서 자동화 기술은 생산성 향상과 공정 신뢰성 확보를 위해 중요한 역할을 한다. 그러나 부품 후처리 공정은 부품 형상의 다양성과 정밀한 파지 요구로 인해 여전히 작업자의 수작업에 의존하는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서는 작업자의 동작을 분석하고 이를 기반으로 로봇 경로 계획 및 시뮬레이션 기반 검증을 수행하였다.

2. 본론

후처리 공정에서 작업자의 동작을 분석하기 위해 작업물에 IMU 센서를 부착하여 검사 작업 중 자세 변화를 계측하였다. 측정 결과 검사 시 약 20° 수준의 Roll 및 Pitch 변화가 발생하는 것으로 확인되어 로봇 검사 동작에서도 Roll 및 Pitch를 ±20° 범위로 설정하였다.

로봇 궤적 생성은 ROS2 기반 매니플레이터 제어 플랫폼인 MoveIt2를 사용하여 수행하였다. 작업 공간 목표를 관절 공간 목표로 변환하기 위해 KDL(Kinematics and Dynamics Library) 기반 역기구학 솔버를 사용하였다. 해당 솔버는 자코비안 기반 반복 계산과 감쇠 최소제곱법을 통해 관절 변화량을 산출한다. 감쇠 최소제곱법은 식 (1)로 정의되며, 해는 식 (2)로 계산된다.

$$\| J\Delta\theta - \vec{e} \|^2 + \lambda^2 \| \Delta\theta \|^2 \quad (1)$$

$$\Delta\theta = J^T(JJ^T + \lambda^2 I)^{-1} \vec{e} \quad (2)$$

생성된 경로는 관절각 데이터로 추출하여 NVIDIA Isaac Sim 환경에서 물리 기반 시뮬레이션을 수행하였다. 6자유도 FANUC M-20iD/35 로봇을 사용하였으며 Fig. 1과 같은 3지 그리퍼를 모델링하여 적용하였다.

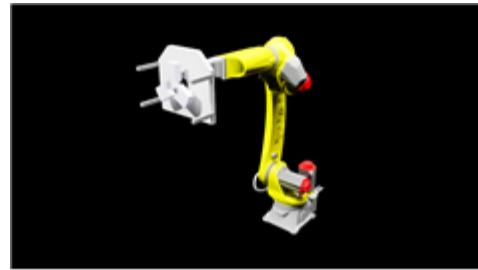


Fig. 1 Robot arm with a three-finger gripper

3. 결론

본 연구에서는 작업자 동작 분석을 기반으로 로봇 경로 계획을 생성하고 시뮬레이션 기반 검증을 수행하였다. 안정적인 파지를 제공하는 3지 그리퍼를 적용하였을 때 검사 동작에서 평균 Roll과 Pitch는 각각 19.4°, 19.9°로 나타났으며 목표 자세 대비 상대 오차는 3.0%와 0.5%로 계산되었다. 또한 블로우 공정에서의 위치 오차는 X축 0.8 mm, Y축 1.4 mm 수준으로 나타나 자동화 공정 적용 가능성을 확인하였다.

전역 지도 생성을 위한 Metric 정보 기반 Bio-SLAM 프레임워크 개발 Metric-Informed Bio-SLAM for Global Map Generation

*이도근¹, 임경준¹, #김형준¹

*Lee Do geun¹, Im Gyeong Jun¹, #Kim Hyeong Jun(hj.kim@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : Metric-SLAM, Bio-SLAM, Hybrid-SLAM, Loop Closure

*발표자, #교신저자

본 연구는 metric-SLAM의 정밀한 지역 기하 추정 능력과 bio-SLAM의 전역 구조 해석 및 안정화 특성을 결합한 하이브리드 SLAM 프레임워크를 제안한다. 제안 프레임워크는 metric-SLAM front-end에서 연속 센서 데이터 기반의 특징 추출, 데이터 연관, 지역 정합, 지역 맵 추정을 수행하고, bio-SLAM back-end에서 축적된 관측 정보를 구조적으로 재해석하여 전역 관계를 유지하도록 지도 전체를 보정한다. 이 과정에서 루프 클로저 탐지, 전역 최적화, 구조적 제약 반영을 통해 장시간 주행과 대규모 환경에서 발생하는 드리프트를 억제하며, 환경 변화와 센서 잠음 조건에서도 전역 지도 일관성과 자기 위치 추정의 안정성을 향상시키고 강건한 지도 생성을 달성하는 것을 목표로 한다.

천연 고분자-자성 나노입자 복합체 기반의 약물 전달용 소프트 로봇 A Drug-Delivery Soft Robot Based on a Natural Polymer-Magnetic Nanoparticle Composite

*이경수¹, 남명혜², #고광준¹

*Kyong Su Lee¹, Ming Hui Nan², #Gwang Jun Go(gwangjungo@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과, ²한국마이크로의료로봇연구원

Key words : Minimally Invasive Surgery, Natural Polymer, Magnetic Nanoparticle, Drug Delivery

*발표자, #교신저자

최근 고령 환자의 증가로 인해 후유증을 최소화할 수 있는 최소침습 치료의 필요성이 높아지고 있다. 이에 본 연구에서는 천연 고분자와 자성 나노입자 복합체를 기반으로 소프트 로봇을 제작하였다. 제작된 로봇은 우수한 생체 적합성 및 생분해성과 함께 자기장 기반 무선 구동 특성을 갖추어 최소침습 치료에 활용될 수 있다. 특히, 천연 고분자 하이드로겔의 수분 흡수에 따른 팽윤 특성을 이용하여 로봇 내부에 약물을 담지하고, 이를 표적 지점까지 전달할 수 있다. 성능 평가 결과로서, 체외 실험에서 인간 유래 간암세포의 생존율이 약 30% 수준까지 감소하였고, 마우스 종양 모델에서는 대조군 대비 약 2배 이상의 종양 성장 억제 효과를 확인하였다. 이러한 결과는 제안한 소프트 로봇의 최소침습 치료 적용 가능성을 보여준다.

후기 본 연구성과물은 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. RS-2025-25414085). 또한, 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구이며(No. RS-2025-00519457), 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25477640).

가변 강성 메커니즘 기반 다자유도 연속체 로봇 Tunable Stiffness Mechanism-based Multi-DOF Continuum Robot

*#이한솔¹

*#Han Sol Lee¹

¹국립부경대학교 기계공학부

Key words : Continuum Robot, Tunable Stiffness, Electro-permanent Magnet

*발표자, #교신저자

연속체 로봇은 협소 공간 내 조작성이 용이한 유연성과 다자유도 조작성이 가능한 구조로 다양한 산업 분야에서 연구되고 있다. 그러나 기존 연속체 로봇은 다자유도 구현을 위해 복잡한 다중 세그먼트 구조와 다수의 텐던 구동부를 필요로 한다는 한계가 있다. 본 연구에서는 이를 극복하기 위해 자기장 기반 가변 강성 메커니즘이 적용된 볼 조인트와 이를 다중 결합한 연속체 로봇 구조를 제안한다. 제안된 메커니즘은 각 관절에 독립적인 강성을 부여함으로써, 단일 텐던 구동부 및 단일 세그먼트 구조만으로도 정교한 다자유도 동작과 자세 제어를 가능하게 한다. 실험 결과, 개발된 메커니즘은 20ms 이하의 빠른 응답 속도와 약 370배의 높은 강성 변화율을 달성했으며, 해당 메커니즘과 텐던 구동을 통해 단일 및 다중 곡률을 포함한 다양한 자세를 성공적으로 구현하였다. 본 연구는 연속체 세그먼트의 물리적 추가 없이 가변 강성 메커니즘의 도입으로 다자유도를 달성하는 새로운 방법론을 제시하였으며, 이를 통해 차세대 로봇 시스템으로의 가능성을 입증하였다.

수중로봇의 추진기 고장허용 제어 기반 자세 안정성 분석 Attitude Stability Analysis of an Underwater Robot under Thruster Fault Conditions

*홍석준¹, 김민기¹, #유승열²

^{*}Seok Jun Hong¹, Min Ki Kim, [#]Seong Yeol Yoo(usyeol@kmu.ac.kr)²

¹계명대학교 로봇시스템공학과, ²계명대학교 로봇공학과

Key words: Underwater Robot, Thrust Allocation, Fault-Tolerant Control, Thruster Fault

*발표자, #교신저자

수중에서 유영을 하는 수중로봇은 다수의 추진기를 이용하여 6자유도 운동을 생성하므로, 일부 추진기 고장 시 자세 불안정 및 제어 성능 저하가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 완화하기 위해 특정 추진기 고장 시 나머지 추진기의 추력 할당 기법과 축 우선 순위를 반영한 가중치 행렬 기반의 제어알고리즘을 적용하고, 다양한 추진기 고장조건에서의 자세유지 및 목표 추종성을 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다. 이를 통해 고장 상황에서의 제어가능성과 추력 할당 기법의 적용 방향을 검토하였다.

1. 서론

수중로봇은 다수의 추진기를 이용하여 6자유도 운동을 생성하는 시스템으로, 높은 기동성을 가지는 반면 추진기의 고장 발생 시 제어 성능의 저하와 자세 불안정 문제가 발생할 수 있다^[1]. 특히 고장의 조건에 따라 생성 가능한 자유도가 달라지므로, 고장 상황에서도 안정적인 자세유지가 가능한 제어기법이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 추진기 고장 조건에서의 자세 안정성과 제어 가능성을 분석하고자 한다.

2. 추력 할당 방법

본 연구에서는 고장 상황을 고려하여 고장이 발생한 추진기를 제외한 추력 할당을 수행하고, 축별 중요도를 반영하기 위해 가중치 행렬을 적용하여 특정 자유도의 우선 순위를 고려하도록 하였다.

$$\min (B_{Healthy}f - \tau)^T Q (B_{Healthy}f - \tau) \quad (1)$$

가중치 행렬 기반 제어할당은 정상 추진기를 포함한 행렬 $B_{healthy}$ 를 이용하여, 목표 힘/모멘트 τ 와 실제 생성 힘/모멘트 사이의 오차를 최소화하도록 추진기 입력 f 를 결정하는 방법이다. 이때 가중치 행렬 Q 는 자유도 별 중요도를 반영하는 가중치 행렬이다. 본 연구에서는 고장상황에서도 중요 축을 우선적으로 유지하도록 하였다.

3. 결론

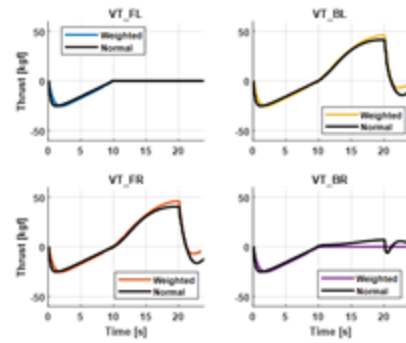


Fig. 1 Thrust comparison under fault conditions

Fig. 1을 통해 가중치 기반 추력 할당은 고장 상황에서도 수직 추진기 출력의 안정적인 재분배를 가능하게 함을 확인하였다.

후기 본 논문은 산업부와 민군협력기술진흥원의 지원을 받아 ‘선저어망제거를 위한 수중로봇 기술개발’ 연구를 통해 수행되었음(21-CM-MU-01)

REFERENCES

1. Deng, L. and Tao, J., “Thrust Allocation Control of an Underwater Vehicle with a Redundant Thruster Configuration,” *Mathematics*, Vol. 13, No. 11, Article 1766, 2025.

구두발표

부문 특별세션
열유체

좌장 : 육세진(한양대)

SHAP 기법을 활용한 히트싱크-굴뚝 구조의 설계변수 기여도 평가 및 자연대류 성능 분석

Assessment of Design Variable Contributions and Natural Convection Performance of an Heat Sink–Chimney Structure Using SHAP

*정수봉¹, 김용주¹, 이윤재¹, 조예담¹, #곽동빈¹

^{*}Soo Bong Jung¹, Yong Joo Kim¹, Yoon Jae Lee¹, Ye Dam Jo¹,

[#]Dong Bin Kwak(dbkwak@seoultech.ac.kr)¹

¹서울과학기술대학교 MSDE학과

Key words : Thermal Resistance, Chimney Effect, ANN, SHAP

*발표자, #교신저자

본 연구는 LED 조명 시스템에서 증가하는 열부하에 대응하기 위해, 굴뚝 구조를 통합하여 압출형 방사형 히트싱크의 자연대류 냉각 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다. 기존 연구는 주로 단조 방사형 히트싱크에 굴뚝 구조를 부착하는 방식에 초점을 맞춰왔으나, 압출형 방사형 히트싱크에 최적화된 굴뚝 설계에 대한 연구는 제한적이었다. 특히 압출형 방사형 히트싱크는 상단이 평평한 상면구조라서, 굴뚝을 그대로 장착하면 내부 유동이 막히는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CFD 시뮬레이션과 실험을 통해 굴뚝 형상과 유입구 설계가 방열 성능에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 본 연구에서 새롭게 제안한 필렛 유입구를 함께 검토하고, 기존의 직각 모서리 유입구와 비교하여 유동 안정성 및 방열 성능 개선 여부를 검증하였다. 또한 최적 형상 파라미터를 도출하기 위해, CFD로 생성한 데이터를 사용하여 ANN 기반 최적화 모델을 구축하였다. 주요 형상 변수들 사이의 비선형적 관계를 파악하고, SHAP 기법을 이용하여 형상 변수들 사이의 기여도를 정량적으로 산출하였다. 그 결과 CFD 데이터에 대해 약 낮은 수준의 예측 오차로 근사 예측이 가능함을 확인하였다. 종합적으로, 본 연구는 CFD와 ANN을 결합하여 히트싱크-굴뚝 시스템의 설계 최적화하고 히트싱크 방열 성능을 개선하였다. 이 과정에서 제안한 접근법이 유사한 자연대류 기반 냉각 설계 개선을 위한 유용한 참고가 될 수 있음을 시사한다.

빔 이송에서 거울의 열변형 해소를 위한 충돌 제트 최적화 전산해석 연구

Numerical Analysis Study on the Optimization of Impinging Jets for Mitigating Mirror Thermal Deformation in Beam Delivery

*김지훈¹, 우성철¹, #김주한¹

^{*}Ji Hun Kim¹, ^{Seong} Cheol Woo¹, ^{#Joo} han Kim(joohankim@seoultech.ac.kr)¹

¹서울과학기술대학교 기계공학과

Key words : Thermal Deformation, Beam Delivery, Impinging Jet

*발표자, #교신저자

고출력 레이저의 빔 이송계에서 반사거울은 흡수된 광에너지로 인해 온도 상승과 열변형이 발생하며, 이는 파면 왜곡과 빔 품질 저하를 초래할 수 있다. 본 연구에서는 SiC 반사거울과 하부 냉각유로로 구성된 2차원 축대칭 모델을 이용하여 열-유동 해석을 수행하였다. 이를 통해 충돌 제트의 설계변수가 온도 분포와 열변형에 미치는 영향을 분석하고, 반사거울의 변형 저감에 유리한 냉각 조건을 도출하였다.

1. 서론

고출력 레이저의 빔 이송에서 반사 거울은 광 에너지를 일부 흡수하여 온도 상승과 열변형이 일어난다. 이는 파면 왜곡과 빔 품질 저하로 이어질 수 있다[1]. 이러한 문제를 완화하기 위한 열관리 기법 중 충돌 제트 냉각은 높은 국부 열전달 성능으로 인해 효과적인 방법이다. 그러나 냉각 성능은 노즐 조건과 배치에 따라 크게 달라지므로, 거울의 열변형 저감을 위한 최적 설계 조건의 검토가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 빔 이송용 거울에 적용되는 충돌 제트의 주요 설계변수가 온도 분포 및 열변형에 미치는 영향을 전산해석을 통해 분석하고자 한다.

2. 해석 모델링

본 연구에서는 반사거울의 열적 거동과 냉각 성능을 분석하기 위해 2차원 축대칭 모델을 구축했다. 해석 영역은 SiC로 구성된 고체영역과 냉각유체가 흐르는 하부 유로영역으로 이루어져있다. 거울 상부 표면의 국부 영역에는 레이저 조사에 따른 열유속을 부여했고, 하부에는 유체 유입, 우측에는 유출 조건을 적용했다. 또한 구조해석을 위해 거울 우측 양면에 고정 경계조건을 설정했다.

유체의 강제대류와 고체 내부 열전도를 동시에 고려한 열-유동 해석을 수행하였으며, 해석 결과를 바탕으로 온도 분포와 열변형 거동을 평가하였다. 이를 통해 반사거울의 변형을 최소화할 수 있는 충돌 제트 냉각 조건을 도출하였다.

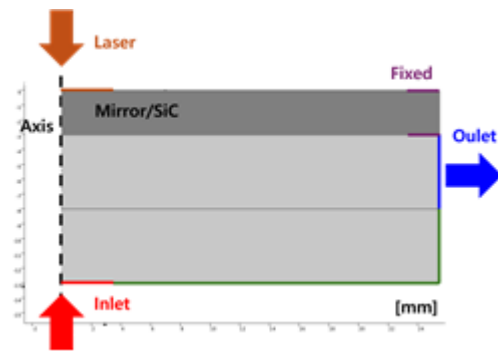


Fig. 1 Schematic of the analysis model and boundary conditions

후기 본 연구는 산업통상자원부 국제공동기술개발사업의 지원을 받아 수행됨 (P0028828)

REFERENCES

- Kim, J. H., Woo, S. C., and Kim, J., "Effects of temperature on optical aberrations in beam delivery components" International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 25, No. 3, pp. 527-538, 2024.

전기집진기의 최적 상대습도 운전 조건에 관한 연구
Investigation of Optimal Relative Humidity Operating Conditions for an Electrostatic Precipitator

***황석주¹, 강현민¹, 남학호¹, 허승민¹, #육세진¹**

^{*}Seok Ju Hwang¹, Hyeon Min Kang¹, Hak Ho Nam¹, Seung Min Heo¹,

[#]Se Jin Yook(ysjnuri@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : Electrostatic Precipitator, Relative Humidity, Discharge Current, Collection Efficiency

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 상대습도가 전기집진기의 방전 특성과 집진 효율에 미치는 영향을 규명하기 위하여 수치해석 및 실험적 연구를 수행하였다. 수치 해석 모델에는 상대습도 변화에 따른 코로나 개시 전계 강도 보정과 이온 이동도 특성을 반영하여 내부 전계 분포와 공간 전하 밀도를 정밀 분석하였다. 또한 상대습도 조건에 따른 방전 전류의 변화를 분석하고 입자 크기 별 집진 효율과 부산물인 오존의 농도 변화 특성을 종합적으로 고찰하였다. 실험 측정 값과 해석 결과의 비교로 모델 타당성을 검증하였으며, 포집 성능 극대화와 오존 발생량을 고려한 상대습도 기반의 운전 전략을 제안하였다. 본 결과는 향후 공기질 관리용 전기집진 시스템 설계 시 유용한 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

후기 This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20217010100110).

초소수성 분리판이 PEMFC 성능에 미치는 영향 Influence of Superhydrophobic Bipolar Plate on PEMFC Performance

*김지연¹, 이정원¹, #정성용¹

*Ji Yeon Kim¹, Jeong Won Lee¹, #Sung Yong Jung(syjung@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell, Bipolar Plate Wettability,
Superhydrophobic, Pressure Drop

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 PEMFC의 물 관리 성능 향상을 위해 분리판 표면에 초소수성 표면 개질을 적용하고, 이에 따른 전기화학적 성능 변화를 분석하였다. SUS316L 분리판의 cathode 유로 및 rib에 해당하는 활성 면적을 표면 개질하였으며, 에칭 및 산화 처리를 수행한 후, SAM 코팅을 통해 초소수성 표면을 구현하였다. Cathode 분리판의 표면 젖음성 변화에 따른 물 배출 특성과 성능 변화를 비교하기 위해 분극 곡선 및 압력 강하 분석을 수행하였다. 그 결과, 초소수성 분리판 적용 시 유로 내 액상 물 제거가 촉진되었으며 산소 전달 저항이 감소하였다. 특히 고전류 밀도 영역에서 PEMFC의 전기화학적 성능이 향상되는 것을 확인하였다.

Acknowledgement: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2026-25490715). And this research was also supported by Basic Science Research Program through the NRF of Korea funded by the Ministry of Education (No. RS-2024-00415011).

1.5 kW급 원심형 송풍기의 효율 개선을 위한 임펠러 최적 설계 연구

A Study on the Impeller Design Optimization for the Efficiency Enhancement of 1.5 kW Centrifugal Blower

*조민철¹, 이예승¹, #노정훈¹

^{*}Min Cheol Cho¹, Ye Seung Lee¹, [#]Jung Hun Noh(junghunnoh@iae.re.kr)¹

¹고등기술연구원 기계융합시스템센터

Key words : Centrifugal Blower, Impeller, Design of Experiments, Optimization

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 1.5 kW급 송풍기의 효율 개선을 위해 실험계획법을 이용한 임펠러 최적 설계를 수행하였다. 임펠러의 주요 설계변수를 대상으로 민감도 분석을 수행한 결과, 임펠러 외경이 송풍기의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 설계변수임을 확인하였다. 또한, 임펠러와 팬 케이싱 사이의 간극인 Tip clearance를 최소화할수록 내부 유동 손실이 저감되어 송풍기 전반의 성능이 유의미하게 개선됨을 도출하였다.

1. 서론

산업용 가스보일러의 연소 효율 및 안정성 확보를 위해 송풍기의 고효율 설계는 필수적이다^[1]. 본 연구에서는 송풍기 성능의 핵심 요소인 임펠러 블레이드 형상을 최적화하고자 하였으며, 주요 설계변수인 임펠러 내경(D_i), 외경(D_o), 블레이드 개수(Z), 입구각(β_1), 출구각(β_2) 등을 변수로 선정하여 최적 설계를 수행하였다.

1. 설계변수 중 임펠러 외경이 송풍기 효율 및 정압 특성에 가장 큰 영향을 미치는 변수임을 확인하였다.
2. 특히, 임펠러와 팬케이싱 사이의 간극인 Tip clearance가 줄어들수록 송풍기 성능이 개선되는 것을 확인하였다.

후기 본 연구는 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 민군기술협력사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (과제번호 : 23-CM-ER-04)

Table 1 Boundary conditions

	Boundary condition	Value	Unit
Inlet	Pressur inlet	0	Pa
Outlet	Mass flow outlet	0.47809	kg/s
MRF Zone	Interface	4,800	RPM

2. 본론

본 연구에서는 실험계획법 기반의 반응표면분석법을 적용하여 임펠러의 최적 설계 조건을 도출하였다. 각 설계변수의 민감도 분석을 통해 유의미한 인자를 선별하고 변수 간의 상호작용을 고려하여 최적 설계 조건을 선정하였다.

3. 결론

본 연구에서 원심형 송풍기 임펠러 최적 설계를 통해 도출된 결과는 다음과 같다.

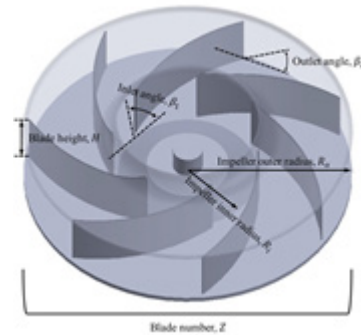


Fig. 1 Design parameters for the impeller

REFERENCES

1. Kshirsagar, S. R., "Design analysis and optimization of centrifugal blower," International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology, NCST-2K20. 54-57, 2020.

구두발표

부문 특별세션
나노마이크로

좌장 : 김석민(중앙대)

3D 프린팅 및 탄화공정을 이용한 기능성 수전해 전극 개발 Development of Functional Water Electrolytic Electrodes Using 3D Printing and Carbonization Process

무자히르 알리¹, 이성민¹, *#김석민^{1,2}

Muzahir Ali¹, Seong Min Lee¹, *#Seok Min Kim(smkim@cau.ac.kr)^{1,2}

¹중앙대학교 기계공학과, ²중앙대학교 컴퓨터공학과

Key words : 3D Printing, Carbon Electrode, Water Electrolytic, Hydrogen Evolution Reaction(HER)

*발표자, #교신저자

Architected porous electrodes fabricated via additive manufacturing offer a promising route to high-efficiency hydrogen evolution. Here, we present a scalable digital light processing (DLP) method for producing carbon microlattices. To identify the structural arrangement best suited for mass transport and electrochemical accessibility, a library of lattice designs was evaluated. The composition was subsequently tuned by incorporating controlled metal loadings into the photocurable resin, which enhanced electrical conductivity, and lowered the energy barrier, thereby improving HER performance. This integrated approach, combining geometric optimization with in situ compositional control, demonstrates a practical and scalable route for manufacturing advanced 3D electrodes.

후기 Following are results of a study on the “Convergence and Open Sharing System” Project, supported by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea and was supported by the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology(KEIT) grant funded by the Korea government(MOTIE) (RS-2024-00441515)

효율적인 수소 생산을 위한 마이크로-나노 계층 구조 계면 Micro-Nano Hierarchical Structured Interface for Efficient Hydrogen Generation

*C.G. Jothi Prakash¹, #이정원¹

^{*}C.G. Jothi Prakash¹, [#]Jeong Won Lee (jwlee07@chosun.ac.kr)¹

¹ 조선대학교 기계공학과

Key words : Hierarchical Structure, Aerophobic, Electrodeposition, HER

^{*}발표자, [#]교신저자

The present study presents a cost-effective electrodeposition technique to fabricate highly active electrode-electrolyte interface for hydrogen generation. The facile binder-free process effectively increased the catalytic activity in hydrogen evolution reactions. Furthermore, the catalyst coated commercial stainless steel with superaerophobic wettability, is highly durable at elevated current density without any catalyst erosion.

1. Introduction

Hydrogen (H₂) is considered as a promising energy carrier for the upcoming transition to sustainable energy utilization. Water splitting electrolysis is one of the potential and sustainable methods to produce green hydrogen. However, the commercial catalytic electrodes are less durable due to loss of effective electrode-electrolyte interface. Primarily, longer duration of bubble accumulation and residence decreases the mass transfer activity. Therefore, the catalyst design with faster bubble release at higher current densities are essential to enhance the durability of cost-effective catalyst materials [1]. This study presents an approach to design an efficient bubble release electrode-electrolyte interface to enhance hydrogen evolution kinetics.

2. Methodology

Commercially available stainless steel (304) perforated plates is employed as current collector electrode. Cathodic potential of 1200 mV has been maintained between the electrodes for 180 seconds. Linear sweep voltammetry and chronopotentiometry has been employed to determine the catalytic activity and durability of electrodes.

3. Result and Discussion

The electrodeposited steel foils exhibited flake-like structure of ceria and platelets-like nanostructure of cobalt oxide as determined from field-emission scanning electron microscopy. Raman spectroscopy demonstrated fluorite crystal structure for CeO₂ and spinel crystal structure for Co₃O₄. The oxygen

vacancies and ionic species of Ce and Co were determined from X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The hierarchical surface structure facilitated electrolyte infusion and enhanced the catalytic active sites as understood from the non-faradaic cyclic voltammetry. The synergistic effect of hierarchical surface structure, electrochemical active sites, superaerophobic wetting enhanced the catalytic efficiency towards higher hydrogen evolution reaction. Furthermore, the binder-free catalytic electrodes demonstrated impressive durability in elevated current density without any catalyst erosion.

4. Conclusion

The facile electrodeposition process promoted binder-free fabrication and enhanced the hydrogen generation in an alkali electrolyte. The self-supported catalytic electrode is extremely durable for over 50 hours in electrocatalytic HER, and open new avenues to employ similar interface-engineered catalyst-coated commercial stainless steel plates in large-scale alkaline electrolyzers.

REFERENCES

1. Franco F D, Zaffora A, Pupillo D, Seminara, Santamaria M, 2024, "Optimized Base Metals Electrodeposition On Ni Perforated Plate Type Electrodes For High-Performance Alkaline Water Electrolysis," Int. J Hydrogen Energy, 70, p. 548-556.

맞춤형 웨어러블 디바이스 제작을 위한 단일 공정 기반 적층 제조 기술 Single-Process-Based Additive Manufacturing Technology for Customized Wearable Device Fabrication

*정현윤¹, 김현범¹, 고정범¹, 오금윤¹, 김형찬¹, #박성현¹

*Hyeon Yun Jeong¹, Hyeon Beom Kim¹, Jeong Beom Ko¹, Geum Yoon Oh¹, Hyung Chan Kim¹,

#Sung Hyun Park(sungpark@kitech.re.kr)¹

¹ 한국생산기술연구원

Key words : Customized, Wearable Device, Single-Process, 3D Printing, Design Flexibility

*발표자, #교신저자

최근 맞춤형 웨어러블 디바이스에 대한 수요가 증가함에 따라, 개별 사용자에게 최적화된 디바이스를 신속하고 정밀하게 구현·측정이 가능함을 할 수 있는 제조 기술의 중요성이 커지고 있다. 그러나 기존 제조 공정은 설계 유연성이 제한적이어서 다양한 기능성 소재를 효과적으로 통합하는 데 한계가 존재한다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 별도의 추가 공정이나 조립 과정 없이 다양한 기능성 소재를 단일 공정 내에서 층별로 적층하여 맞춤형 구조로 통합할 수 있는 3D 프린팅 기반 제작 기술을 제안한다. 제안된 공정은 소재 간 계면 분리 및 성능 저하를 최소화하여 통합 구조에서도 안정적인 기계적 특성과 전기적 신뢰성을 확보하였다. 또한, 실제로 고품질 생체 신호 입증하여 공정의 실용성과 응용 가능성을 확인하였다. 이러한 결과는 다기능 소재의 구조적·기능적 통합이 단일 공정에서 효과적으로 구현될 수 있음을 보여준다. 결과적으로 본 연구는 적층 기반 제조 공정의 한계를 극복하고, 공정 단순화와 설계 유연성의 향상을 동시에 달성할 수 있는 기술적 기반을 제시하며, 차세대 맞춤형 웨어러블 및 헬스케어 디바이스 개발에 기여할 것으로 기대된다.

후기 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원(RS-2024-00423123)에 의한 과제로 수행되었음.

**유연 미세격자 전극 내 측방향 ZnO 나노와이어 집적을 통한
절단형 압전 나노발전소자 제조**

**Fabrication of a Scissorable Piezoelectric Nanogenerator via
Lateral Integration of ZnO Nanowires within Flexible Micrograting Electrodes**

*김민욱¹, 이동현², 김관래², #옥종걸³

*Min Wook Kim¹, Dong Hyun Lee², Kwan Lae Kim², #Jong G. Ok(jgok@seoultech.ac.kr)³

¹서울과학기술대학교 자동차공학과, ²서울과학기술대학교 MSDE학과,

³서울과학기술대학교 기계시스템공학부

Key words : Energy Harvesting, Glancing Angle Deposition, Metal-mediated
Seedless Hydrothermal Synthesis, Piezoelectric Nanogenerator

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 유연 마이크로그레이팅 전극 내부에 측방향 정렬 ZnO 나노와이어를 집적한 절단형 압전 나노발전소자를 제안한다. 나노임프린팅 공정과 경사증착을 이용해 Ag/Au 비대칭 측벽 전극과 Cr 불활성 캡핑층을 형성하고, 저온 시드리스 수열합성으로 측방향 정렬된 ZnO 나노와이어를 Au 전극 표면에 선택적으로 합성하였다. 제작 소자는 반복 굽힘에서 최대 140 V, 180 nA의 출력을 보였고 외부 정류회로 없이 자기 정류 특성을 나타냈다. 또한 절단 크기와 방향에 따라 전압 및 전류 스케일링 거동이 제어되어 맞춤형 웨어러블 에너지 하베스팅 소자로의 적용 가능성을 확인하였다. 해당 공정은 대면적 구현이 가능한 미세패턴 기반 제조기술로서 다양한 유연 자유곡면 및 인체 부착형 전원 소자 응용이 가능하다.

후기 이 연구는 정부(과학기술정보통신부) 재원 한국연구재단 나노및소재기술개발사업(RS-2024-00449882), STEAM연구사업(NRF-2022M3C1A3081178) 및 글로벌기초연구실 (RS-2024-00413607) 과제 및 정부(교육부) 재원 한국연구재단 보호연구(NRF-2022R111A2073224) 과제의 지원으로 수행됨.

수세미 구조의 CNT-Ag 복합재 가공 기술 기반 고감도 유연 압저항 센서 Manufacturing of Loofah-like CNT-Ag Structure (LOOCAS) via for Highly Sensitive Piezoresistive Transient Sensing Platform

*김광준¹, 김민욱¹, #옥종걸²

¹Kwang Jun Kim¹, Min Wook Kim¹, #Jong G. Ok(jgok@seoultech.ac.kr)²

¹서울과학기술대학교 자동차공학과, ²서울과학기술대학교 기계시스템공학부

Key words : Loofah-like Structure, CNT-Ag Structure, Piezoresistive Transient Sensor, Strain, Impulse Load, UAV

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 수세미 구조의 탄소나노튜브(CNT)-은 하이브리드 구조(Loofah-like CNT-Ag structure, LOOCAS)를 이용한 유연 압저항 센서를 제안한다. 수직 배향된 CNT 구조체 내부에 이온성 은 잉크를 모세관 힘으로 침투시키고 열 환원하는 공정을 통해, CNT 표면 및 접촉점 부위에 은 나노입자를 형성하여 견고한 전기적 접촉과 미세 가공 구조를 구현하였다. 은 잉크 농도와 CNT 구조체 길이를 최적화하여 30% 인장 변형에서 30,000 이상의 높은 저항 변화율과 우수한 반복성을 확보하였다. 본 센서는 인장 변형과 수직 충격에 대해 높은 민감도의 신호를 생성하여 다방향 기계적 자극의 검출이 가능하며, 최종적으로 유연하고 확장 가능한 항공우주용 스마트 스킨 개념을 제시한다.

후기 이 연구는 정부(과학기술정보통신부) 재원 한국연구재단 나노및소재기술개발사업(RS-2024-00449882), STEAM연구사업(NRF-2022M3C1A3081178) 및 글로벌기초연구실(RS-2024-00413607) 과제 및 정부(교육부) 재원 한국연구재단 보호연구(NRF-2022R111A2073224) 과제의 지원으로 수행됨.

구두발표

특별세션 OS1

좌장 : 박용갑(국립창원대)

기계학습 기반 흡차음재 삽입손실 예측 및 AutoML 기반 모델 최적화 Machine Learning-Based Prediction of Insertion Loss for Soundproof Material with AutoML-Based Model Optimization

*박종환¹, #편도경², #이재선²

^{*}Jong Hwan Park¹, [#]Do Kyung Pyun(dpyun@changwon.ac.kr)²,

[#]Jae Sun Lee(jaesun@changwon.ac.kr)²

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정, ²국립창원대학교 모빌리티기계공학과

Key words : Insertion Loss Prediction, Machine Learning, AutoML, Acoustic Materials

*발표자, #교신저자

일반적으로 흡차음재의 삽입손실(Insertion Loss)은 실험을 통해 평가되며, 다양한 재료 조건에 대해 반복 시험을 수행하기 때문에 과도한 시간과 비용이 소요된다. 본 연구에서는 흡차음재의 삽입손실을 사전에 예측하기 위해 기계학습 기반 학습 모델을 구축하였다. 1/3 octave band 기준으로 0.25-5.0 kHz 범위에 대해 측정된 삽입손실 데이터를 활용하였으며, 재료 두께와 면밀도 및 사용된 재료 구성을 입력 변수로 사용하였다. 또한, AutoML을 적용하여 기계학습 모델 선택과 하이퍼파라미터 최적화 과정을 수행하였다. 학습된 모델은 미측정 흡차음재 조합에 대한 삽입손실 예측 가능성을 확인하였으며, 이를 기반으로 설계 단계에서 흡차음재 성능을 예측하는 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

고온 초전도(HTS) 회전계자 냉각 균일화를 위한 히트파이프 냉각 채널의 열전달 성능 평가 Thermal Performance Evaluation of a Heat Pipe-Based Cooling Channel for Uniform Cooling of High-Temperature Superconducting(HTS) Rotors

*박준건¹, 김장돈¹, 손지호¹, 김유빈¹, 장보현¹, #김석호²

¹Jun Geon Park¹, Jang Don Kim¹, Ji Ho Son¹, Yu Bin Kim¹, Bo Hyun Jang¹,

#Seok Ho Kim(seokho@changwon.ac.kr)²

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정, ²국립창원대학교 공학융합학부

Key words : High-Temperature Superconducting (HTS) Motors, Heat Pipe Cooling System, Cryogenic Cooling

*발표자, #교신저자

고온초전도(HTS) 회전 시스템은 안정적인 운전을 위해 코일 전 영역의 균일한 냉각이 요구되나, 기존 전도 냉각 방식은 열전도도 및 열전달 메커니즘의 한계로 인해 위치별 온도 구배가 발생하는 한계를 가진다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위해 극저온 유체를 적용한 히트파이프 기반 냉각 채널을 설계하고, 수치해석과 실험을 통해 열전달 특성을 체계적으로 평가하였다. SUS 블록 기반 냉각 구조와 SUS 히트파이프 기반 냉각 채널을 대상으로 배치 조건 및 작동유체 유무에 따른 열저항과 온도 분포를 비교·분석하였으며, 극저온 환경에서의 열전달 거동을 중심으로 냉각 채널의 적용 가능성을 검토하였다. 이를 통해 초전도 회전기 냉각 시스템 설계를 위한 기초 데이터와 설계 방향을 제시하고자 한다.

후기 본 연구성과(고온 초전도(HTS) 회전계자 냉각 균일화를 위한 히트파이프 냉각 채널의 열전달 성능 평가)는 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-고온초전도마그네티기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2025-25396743), (2022M3I9A1073187)

LLM의 Sub-4-bit Activation Quantization에 대한 실증 연구

An Empirical Study of Sub-4-bit Activation Quantization in Large Language Models

*김채하¹, #박종규²

¹Chae Ha Kim¹, [#]Jong Kyu Park(chong@gs.cwnu.ac.kr)²

¹국립창원대학교 인공지능융합공학과, ²국립창원대학교 공학융합학부

Key words : Activation Quantization, Split Inference, 3-bit Threshold, LLM

*발표자, #교신저자

분할 추론에서 활성화 전송은 대역폭 병목의 핵심이다. 본 연구는 디코더 기반 LLM (Llama-3-8B, Mistral-7B, Qwen-1.5-7B, Phi-2)에서 활성화를 2비트까지 양자화하며 성능 한계를 실험하였다. 3비트는 FP16 대비 1pp 이내 손실로 약 5배 압축을 달성하나, 2비트에서 5~22pp의 급격한 저하가 발생한다. 이 임계점은 분할 깊이와 태스크 유형에 따라 달라지며, 75% 깊이 분할 시 판별형 태스크의 2비트 저하가 2pp 이내로 억제되지만, 생성형 태스크에서는 10pp 이상으로 유지된다. 이러한 결과는 분할 추론 시스템의 비트폭 결정시 분할 깊이와 태스크 특성을 함께 고려해야 함을 시사한다.

1. 서론

분할 추론은 모델을 엣지-클라우드로 나눠 실행하며, 분할 지점의 활성화를 네트워크로 전송해야 한다. 가중치 양자화는 2~4비트까지 실용화되었으나, 활성화 양자화는 아웃라이어 문제로 4비트 이하 탐색이 제한적이었다. 본 연구는 이에 대해 네 모델군에 걸쳐 체계적인 실험을 진행한다.

2. 실험 결과 및 분석

50% 깊이 분할 시, 3비트는 네 모델 모두에서 FP16 동등 성능을 유지하며 4.92배 압축을 달성하였다. 2비트에서는 MMLU 기준 5.78pp 하락이 발생하고, 3→2.75비트 전환만으로 18.3pp가 떨어져 임계점이 급격한 전이임을 확인하였다.

Table 1 3->2 bit cliff on MMLU(pp)

Split ratio	Llama3 -8B	Mistral -7B	Qwen-1.5-7B	Phi-2
25%	-15.88	-23.35	-6.08	-14.82
50%	-5.78	-6.03	-5.89	-8.83
75%	+0.08	-1.02	-0.17	-1.78

분할 깊이를 25%/50%/75%로 변화시키면, 깊이 증가에 따라 2비트 클리프가 체계적으로 감소하는 패턴이 네 모델 전체에서 재현되었다.

다만 벤치마크에 따라 안전 영역이 다르다. Llama-3-8B 75% 분할에서 MMLU 클리프는 +0.08pp이나, HellaSwag -4.72pp, GSM8K -10.38pp로, 생성형 태스크에서는 후기 분할이라도 3비트가 필요하다.

EMP 알고리즘은 레이어별 엔트로피 백분위로 비트를 할당하여 8B/70B 모두에서 평균 3.10비트, PPL 약 5% 증가를 달성하였다.

3. 결론

3비트 활성화 임계점은 네 모델군에 걸쳐 보편적이며, 레이어 깊이에 따라 변화한다. 동시에 태스크 유형에 따라 안전 영역이 달라진다는 점을 확인하였다. 50% 이상 깊이에서의 분할이라면 3비트(약 5배 압축)가 태스크에 무관하게 안전하고, 75% 이상에서는 판별형 태스크에 한해 2비트(약 7배 압축)가 허용 가능하다. 따라서 분할 추론의 활성화 압축은 단일 비트폭이 아닌, 분할 깊이와 태스크에 맞춘 적응적 설정이 요구된다.

후기 본 연구성과는 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 과제 번호 : RS-2025-25396743)

REFERENCES

1. Frantar, E., Ashkboos, S., Hoefler, T. and Alistarh, D., "GPTQ: Accurate Post-Training Quantization for Generative Pre-trained Transformers," Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR), 2023.

풍력터빈 통합 모델링을 위한 물리-ROM 결합 모델 A Physics-ROM Coupled Model for Integrated Wind Turbine Modeling

*[#]이석주¹, 이준엽², 딘민차우²

[#]Seok Ju Lee(dltjrwn79@changwon.ac.kr)¹, Jun Yeop Lee², Minh Chau Dinh²

¹국립창원대학교 우주항공공학부, ²국립창원대학교 DNA+ 연구소

Key words : Wind Turbine, Reduced-Order Model (ROM), Digital Twin

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 2 MW급 DFIG 풍력터빈을 대상으로 공력·기계·전기 연성 해석이 가능한 통합 모델과 발전기 Reduced-Order Model(ROM)을 제안한다. 고해상도 FEM 기반 전자기 해석 데이터를 이용하여 slip 기반 입력-출력 관계를 학습한 ROM을 구축하고, 이를 Modelica 기반 터빈 모델과 연계하였다. 제안 모델은 계산 효율을 크게 향상시키면서도 전자기 응답을 정확히 재현하였으며, 장시간 시뮬레이션과 다양한 운전 시나리오 분석이 가능함을 확인하였다.

1. 서론

풍력터빈의 대형화로 공력-기계-전기 연성을 고려한 통합 모델링의 중요성이 증가하고 있다. 그러나 기존 모델은 발전기 전자기 거동을 단순화하거나 FEM 기반 해석은 높은 계산 비용으로 적용에 한계가 있다. 본 연구에서는 물리 기반 모델과 FEM 기반 발전기 ROM을 결합하고 slip 기반 인터페이스를 적용하여 계산 효율성과 물리적 정합성을 동시에 확보한다.

2. 물리 기반 모델과 발전기 ROM 결합 모델링

본 연구에서는 물리 기반 풍력터빈 모델과 FEM 기반 발전기 ROM을 결합한 통합 모델링 기법을 적용하였다. 풍력터빈은 공력, 구동계 및 제어를 포함하는 물리 모델로 구성되며, 발전기 전자기 거동은 FEM 기반 ROM으로 반영된다.

이를 통해 계산 효율성과 물리적 정합성을 동시에 확보할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 물리 기반 풍력터빈 모델과 FEM 기반 발전기 ROM을 결합한 통합 모델링 기법을 제안하였다. Slip 기반 결합을 통해 계산 효율성과 전자기 거동의 정합성을 동시에 확보하였다. 또한, 제안된 모델은 향후 디지털 트윈 및 상태진단으로의 확장 가능성을 제공한다.

후기 This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(RS-2025-25396743)

Table 1 통합 모델링 연산 흐름

단계	내용	출력
1	공력 및 구동계 응답 계산	회전속도, 토크
2	Slip 계산	Slip
3	발전기 ROM 기반 전자기 응답 계산	전압, 자속, 전력
4	토크 피드백 및 시스템 응답 갱신	갱신된 시스템 상태

전체 연산 흐름은 Table 1과 같이 구성되며, slip 기반 연계를 통해 통합 응답을 계산한다. 발전기 ROM은 slip을 입력으로 전압, 자속, 토크 및 전력 등을 예측하며, FEM 데이터 기반 입력-출력 관계를 활용한다.

REFERENCES

1. Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. and Bossanyi, E., "Wind Energy Handbook," 2nd ed., John Wiley & Sons, 2011.

Accumulator 내 액체 수위 측정을 위한 비침습식 자동화 시스템 Non-invasive Automatic System for Liquid Level Measurement in Accumulator

*이현철¹, 최창영², #편도경³, #이재선³

*Hyeon Cheol Lee¹, Chang Young Choi², #Do Kyung Pyun(dpyun@changwon.ac.kr)³,

#Jae Sun Lee(jaesun@changwon.ac.kr)³

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정, ²LG전자 ES연구소, ³국립창원대학교 모빌리티기계공학과

Key words : Non-invasive Technique, Automated Measurement, Liquid Level Detection, Ultrasonic Wave

*발표자, #교신저자

에어컨 냉매 사이클 중 과열 증기 환경에서 운행될 때, 에어컨 Accumulator 내부의 냉매 급 손실로 성능 저하 문제가 발생한다. 따라서 사이클 중 냉매 수위를 정확히 측정해야 하지만, 현재 가시화창을 통한 측정 기법은 내부 증기로 인해 정확한 수위 측정이 어렵다. 이를 개선하기 위해 초음파를 활용한 액체 수위의 비침습식 측정 자동화 시스템 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 Pulse-Echo 방식의 초음파 검사 기법을 기반으로 액체의 음속을 측정하고, 측정된 음속을 기반으로 액체 수위를 계산한다. 제안된 기법의 반복 측정을 통해 측정 정확도와 재현성을 확인하였다. 본 수위 측정 기법은 육안으로 직접 측정이 어려운 환경에서의 액체 수위 모니터링 기술로 활용될 것으로 기대된다.

동일 열전달 면적 내 마이크로채널 형태에 따른 열적 성능에 관한 수치적 연구 A Numerical Study on the Thermal Performance of Microchannels in the Same Heat Transfer Area

*양지성¹, 최훈기², #박용갑²

¹Ji Seong Yang¹, Hoon Ki Choi², #Yong Gap Park²

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정, ²국립창원대학교 기계공학부

Keywords : Computational Fluid Dynamics (CFD), Microchannel, Heat Transfer, Flow Channel

*발표자, #교신저자

최근 전자기기 장치의 고성능화 및 고집적화에 따라 급증하는 발열을 제어하기 위한 고효율 냉각 연구가 진행되고 있다. 특히 마이크로채널 히트싱크의 방열 성능 향상을 목적으로 다양한 채널 형상에 관한 연구가 이루어지고 있으나, 대부분 열전달 면적의 변화를 동반한 채널 형상 변형을 다루고 있다. 따라서 본 연구는 전산유체역학(CFD)을 통해 동일 열전달 면적을 갖는 직사각형, 물결형, 톱니형 마이크로채널의 방열 성능을 비교 분석하였다. 또한, 제한된 열전달 면적 내에서 채널의 입구 크기 및 높이 변화가 열유체 거동에 미치는 영향을 살펴보았다. 본 연구 결과는 투입되는 마이크로채널 재료량 대비 열적 성능을 극대화할 수 있는 고효율 히트싱크 설계의 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

후기 본 연구성과는 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 과제 번호 : RS-2025-25396743).

기하학적 형상 기반 PMa-SynRM의 다변수-다목적 함수 최적 설계

Multi-variables and Multi-objective Performance Design Optimization of PMa-SynRM based on Geometric Shapes

*김민재¹, 김태인¹, 서민석¹, 이원재¹, 이효석¹, 유경태³, 최장영³, #신경훈²

¹Min Jae Kim¹, Tae In Kim¹, Min Seok Seo¹, Won Jae Lee¹, Hyo Seok Lee¹, Kyeong Tae Yu³

Jang Young Choi³, #Kyung Hun Shin(kshin@changwon.ac.kr)²

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정, ²국립창원대학교 AI전기공학과, ³충남대학교 전기공학과

Key words : Geometric Parametrization, Optimization, NSGA-II Algorithm, PMa-SynRM

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 영구자석 보조형 동기 릴럭턴스 전동기(Permanent magnet assisted synchronous reluctance motor, PMa-SynRM)의 출력 밀도 및 효율 향상을 목적으로 NSGA-II 알고리즘(Non-dominated sorting genetic algorithm II)을 활용한 다변수-다목적 최적화 설계를 수행하였다. 주요 설계 변수 변화에 따른 전동기 성능 특성을 분석하여 최적 설계안을 도출하였으며, 유한요소해석(FEA)을 통해 제안된 모델의 전자기 성능이 초기 모델 대비 향상되었음을 확인하였다. 이를 통해 희토류 영구자석 사용 의존도를 낮추면서도 우수한 성능을 가진 NSGA-II 알고리즘 기반 전동기 최적 설계 방법을 제시하였다.

1. 서론

전기자동차 및 산업용 구동 시스템의 발전으로 고효율·고출력 전동기 기술의 중요성이 증가하고 있으며, 높은 출력 밀도와 넓은 운전 영역을 가진 IPMSM이 널리 사용되고 있지만 희토류 영구자석의 높은 비용과 공급망 불안정 문제가 존재한다. 이에 따라 희토류 사용을 저감하면서 성능을 유지할 수 있는 PMa-SynRM의 다변수-다목적 최적화 연구가 활발히 진행되고 있다.

2. 다변수 및 다목적 최적 설계

PMa-SynRM은 SynRM의 낮은 기동 토크와 출력 밀도 문제를 해결하기 위해 배리어 내부에 영구자석을 삽입하고, 마그네틱 및 릴럭턴스 토크를 동시에 활용하여 자석 사용량 대비 출력 밀도를 높일 수 있다. 본 연구에서는 NSGA-II 기반의 다목적 최적화를 적용하여 목적 함수들을 동시에 고려하고, 민감도 분석을 통해 목적 함수 간 trade-off 관계를 반영한 파레토 프론트 해를 도출한다.

자기 성능이 향상되었으며, 권선의 점적률 개선에 따른 동손 감소로 모터 효율이 증가하였다. Table 1의 결과를 통해 NSGA-II 기반 최적화의 유효성을 확인하였으며, 비희토류 영구자석 전동기 설계로의 확장 가능성을 제시한다.

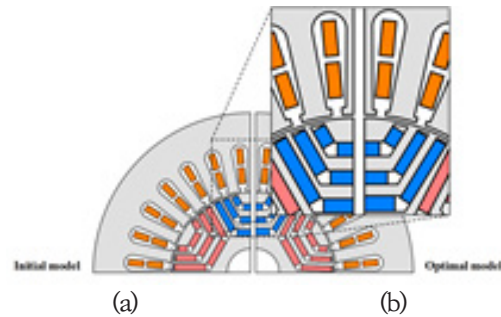


Fig. 1 Comparison of model geometry: (a) Initial model, (b) Optimal model

REFERENCES

1. Y. Li, Z. Xie, S. Yang, and Z. Ren, "A hybrid algorithm based on NSGA-II and MOPSO for multi-objective designs of electromagnetic devices," IEEE Trans. Magn., vol. 59, no. 5, pp. 1-4, 2023.

Table 1 Performance comparison

Objective function	Initial model	Optimal model	Unit
Output power	1725.74	1736.59(↑10.85)	[W]
Power density	4.39	4.42(↑0.03)	[kW/L]
Efficiency	81.58	83.01(↑1.43)	[%]

3. 결론

다목적 최적 설계를 통해 Fig. 1과 같은 최적의 모델 형상을 확보하였다. 자속 분포 개선과 포화 완화로 전

WA-DED 공정의 자동화를 위한 ROS2기반 산업용 로봇 제어 시스템 설계

Design of a ROS2-based Control System for Industrial Robots in WA-DED Process Automation

*김범진¹, #조영태¹

*Bum Jin Kim¹, #Young Tae Cho(ytcho@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : WA-DED, Industrial Robot, ROS2, Feedback Control

*발표자, #교신저자

자동화 용접 공정에서 로봇 경로의 실시간 보정은 용접 품질 향상과 불량률 저감을 위한 핵심 과제로, 기존 티치펜던트 기반 오프라인 프로그래밍 방식은 적층 비드의 형상 오차 및 결함에 즉각 대응하기 어렵다는 한계를 지닌다. 본 연구에서는 금속 와이어 아크 적층 제조공정(WA-DED)에 특화된 용접 로봇 제어 시스템을 제안한다. 이는 오픈소스 로봇 운영체제인 ROS2와 ABB의 외부 유도 모션 인터페이스(EGM)를 결합하여 경로 계획과 실시간 보정이 통합된 시스템으로, MoveIt2 기반 경로 계획과 EGM 피드백 보정을 단일 소프트웨어 프레임워크 내에서 운용할 수 있도록 설계되었다. 향후 아크센싱 및 비전 센서와의 연동을 통해 용접 자동화 시스템으로 확장 가능한 구조적 기반을 제공한다.

후기 본 연구성과는 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (RS-2025-25396743), 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2410010399, 우주항공/소형원전/방위산업 특화 적층제조기술 혁신 얼라이언스 구축, 중견기업-지역 혁신 얼라이언스 지원사업). 또한

**전력변환시스템의 핵심부품 설계 및 기본설계를 위한
AI 엔지니어링에 관한 연구**
**Research on AI Engineering for Core Component Design and
Basic Design of Power Conversion Systems**

*주창대¹, #김태규¹

^{*}Chang Dae Joo¹, [#]Tae Kue Kim(ttkim@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 AI전기공학과

Key words : AI Engineering, PyAEDT, Electrical Component Automation Design, Power Conversion Device

*발표자, #교신저자

This research proposes **AI engineering techniques** to optimize the design of power conversion systems for defense electrification in extreme environments. To overcome the difficulties in acquiring component data and the complexities of multi-physics analysis, high-fidelity models were developed using **Reduced Order Modeling (ROM)** and experimental boundary conditions. Specifically, an **AI-automated design environment** was established for **magnetic components**, the core parts of power converters, by integrating Python with FEM simulation tools. Additionally, the study utilized a block-diagram-based AI circuit design platform to derive optimized specifications and Bills of Materials (BOM). These AI-driven methods are expected to enhance design reliability and significantly reduce development lead times for future defense technologies.

극고온 환경 응용을 위한 실리콘 고무 복합 소재 Silicon Rubber Composites for Extremely Environmental Applications

*#박상희¹

*#Sang Hee Park(sanghee.park@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 인공지능화학공학과

Key words : Silicone Rubber Composite, Carbon Fiber, Inorganic Additives, Heat Resistance

*발표자, #교신저자

This study focuses on developing ultra-high-temperature silicone-based rubber packing materials capable of withstanding extreme environments exceeding 800 °C. The composite was synthesized by integrating a Si-O backbone silicone matrix with inorganic metallic substances and fiber reinforcers, such as glass/carbon fibers and inorganic additives. Experimental results demonstrated that the fiber-silicone composite forms a robust ceramic ash layer upon thermal exposure, effectively preventing flame propagation into the material's interior. Prototype rubber packings were fabricated for pipe connections and tested under direct heat at 800 °C, confirming minimal volume reduction and superior thermal stability compared to conventional elastomers. This research secured core original technology for extreme heat resistance, a field currently lacking successful domestic or international precedents. Given its critical application in shipbuilding, nuclear energy, and aerospace, the successful localization of this material promises a significant technological paradigm shift and global market competitiveness.

인공지능 기술의 위험성과 대응 방안

A Study on Risks of Artificial Intelligence and Mitigation Strategies

*#박정식¹

¹국립창원대학교 철학과

Key words : Artificial Intelligence, Ethics, AI Safety

*발표자, #교신저자

오늘날 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 기술은 다양한 산업 분야에서 혁신을 촉진하며 사회 전반에 중요한 변화를 이끌고 있다. 그러나 이러한 발전과 함께 윤리적 문제, 개인정보 침해, 기술 오남용, 시스템 안전성 등 다양한 위험성 또한 대두되고 있다. 본 연구는 인공지능 기술이 내포한 주요 위험 요소를 체계적으로 분석하고, 이에 대한 대응 방안을 종합적으로 제시하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 인공지능의 잠재적 위험을 유형별로 분석하고, 대응 방안으로 공정성, 투명성, 설명 가능성을 기반으로 한 윤리적 인공지능 개발과 법·제도적 규제 강화, 기술적 안전 장치 구축을 제안한다. 궁극적으로 본 연구는 안전한 인공지능 발전을 위해 통합적이고 균형 잡힌 접근의 필요성을 강조한다.

구두발표

특별세션 OS2

좌장 : 차승훈(경북테크노파크)

차량용 배터리팩 지지 프로파일 압출 금형의 유동 균일성 향상을 위한 비드 형상 설계 Bead Geometry Design to Improve Flow Uniformity in Extrusion Dies for Automotive Battery Pack Support Profiles

*정성화¹, #이성윤¹, 이상곤¹, 이인규¹, 백정웅¹

^{*}Seong Hwa Jeong¹, [#]Sung Yun Lee(yunskills@kitech.re.kr)¹, Sang Kon Lee¹, In Kyu Lee¹,

Jeong Woong Baek¹

¹한국생산기술연구원 대구부리기술지원센터

Key words : Aluminum Extrusion, Bead Design, Flow Uniformity, Sensitivity Analysis

*발표자, #교신저자

최근 전기차 경량화를 위해 알루미늄 압출품 적용이 확대되고 있다. 배터리팩 지지 프로파일과 같이 단면이 복잡한 알루미늄 제품은 용접성 확보를 위한 높은 치수 정밀도가 요구되며, 이를 위해 금형 내부 소재 유동 제어를 통한 성형부의 균일한 압출이 필요하다. 그러나 단면이 복잡할수록 성형부의 유속 편차가 발생하기 쉬워 균일한 압출이 어려운 문제가 있다. 본 연구는 금형 내부에 비드(Bead)를 적용해 국부적으로 소재 흐름을 제어하고 속도 편차를 줄여 균일한 유동을 확보하고자 하였다. 비드 위치, 높이, 폭, 길이, 거리를 형상 변수로 선정하고 다구찌 직교배열을 이용해 비드 형상을 설계하였다. DEFORM-3D 시뮬레이션으로 금형 내부 유동에 미치는 각 인자의 영향을 평가하고 민감도를 분석한 결과, 비드 적용이 유동 균일성 향상에 효과적임을 확인하였다.

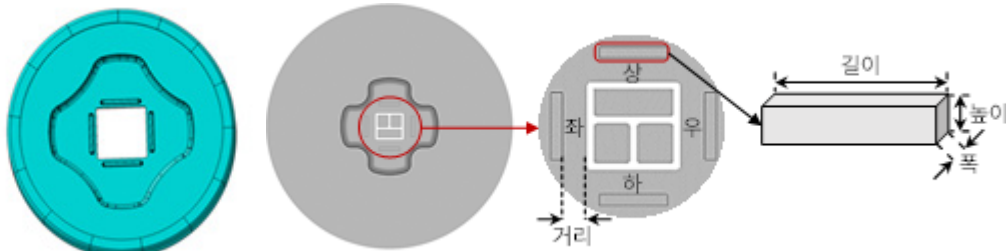


Fig. 1 비드 설계 인자

후기 이 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (과제번호: P0023730)

전기차 하부차체 충돌 시험 절차 개발에 관한 연구

Study on the Development of a Underbody Impact Test Procedure for Electric Vehicles

*황형진¹, 강보영¹, #윤장규¹

¹Hyeong Jin Hwang¹, Bo Young Kang¹, #Jang Kyu Yun¹

¹경북IT융합산업기술원

Key words : EV battery Pack, Underbody Impact Test, EV Fire Safety

*발표자, #교신저자

최근 전기차 보급 확대에 따라 관련 사고 발생 건수 또한 증가하고 있으며, 특히 배터리 화재 사고는 중요한 안전 문제로 대두되고 있다. 전기차는 배터리 팩이 차량 하부에 탑재되는 구조적 특성으로 인해 하부 충돌 시 배터리 손상 및 화재로 이어질 가능성이 존재한다. 소방청 통계에 따르면 2018년부터 2024년 상반기까지 발생한 전기차 화재 139건 중 17건이 주행 중 충돌로 인한 것으로 보고되었다. 이처럼 기존 내연기관 차량과는 다른 양상의 화재 위험이 확인되고 있으며, 전기차 안전성 향상을 위한 체계적인 충돌 시험 절차 개발의 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 하부 충돌 유형을 분류하고 이를 기반으로 실제 하부 충돌 상황을 모사할 수 있는 전기차 하부차체 충돌 시험 절차를 제시하고자 한다.

후기 본 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원의 “xEV 보호차체 얼라이언스 기업지원 플랫폼 구축 (P00023730_xEV 보호차체 충돌안전 기업지원 기반구축)”의 지원을 받아 수행된 연구결과임.

고강도 7xxx 알루미늄 압출재의 밴딩 공정에서 변형 거동 및 스프링백 분석 Analysis of Deformation Characteristics and Springback in Bending of High-Strength 7xxx Aluminum Extrusions

*#임정식¹, 강호영¹, 서창환²

*#Jeong Sik Lim(jslim@gbtp.or.kr)¹, Ho Young Kang¹, Chang Hwan Seo²

¹(재)경북테크노파크 미래모빌리티육성본부, ²알루스(주)

Key words : High-strength Aluminum, Extruded Profiles, Deformation Characteristics, Roll Bending

*발표자, #교신저자

전기차 배터리 탑재로 인한 차량 중량 증가에 대응하기 위해 경량 소재 적용이 요구되고 있다. 알루미늄 압출재는 높은 비강성과 비틀림 강성을 확보할 수 있으나, 직선 형상 중심의 제조 공정으로 인해 복잡 형상 적용에는 한계가 있다. 본 연구에서는 7xxx계 고강도 알루미늄 압출재의 롤 밴딩 공정을 대상으로 유한요소해석을 수행하여 변형 거동과 국부 좌굴 및 두께 감소 등의 결함 발생 가능성을 분석하고, 곡률 형성 및 스프링백 특성을 정량적으로 평가하며 보정을 위한 최적 조건을 도출하였다. 또한 공정 변수 변화에 따른 성형 안정성과 형상 정밀도 변화를 비교 분석하고, 공정 최적화를 위한 기초 데이터를 도출하였다. 이를 통해 공정 조건에 따른 형상 구현 가능성과 구조 안전성을 종합적으로 확인하였다.

후기 이 연구는 2024년도 산업통상부 및 한국산업기술기획평가원 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00405428)

전기자동차 모터의 냉각수 분배 균일성 향상을 위한 출구 직경 최적화 연구 Optimization of Outlet Diameter to Improve Coolant Distribution Uniformity for Electric Vehicle Motors

*김중희¹, 김도형², #차승훈¹, 김수한¹, 임정식², 김명섭¹

¹Joong Hui Kim(kimjh@gbtp.or.kr)¹, Do Hyung Kima², #Seung Hun Cha¹, Su Han Kim¹,

Jeong Sik Im¹, Myung Seop Kim¹

¹(재)경북테크노파크, ²(주)신라공업

Key words : Traction Motor Cooling, Coolant Distribution, Flow Uniformity, Outlet Diameter Optimization

*발표자, #교신저자

본 연구는 구동 모터 하우징 냉각 시스템의 설계 최적화를 위해 다중 출구 구조에서의 유량 분포 특성을 수치 해석적으로 연구하였다. 난류 모델을 적용하여 벽면 근접 유속 및 압력 변화를 정밀하게 모사하였으며, 출구 직경에 따른 정압 분포와 유량 분배율을 비교 분석하였다. 분석 결과, 출구 직경이 커질수록 평균 정압은 상승하나 유량 편차가 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 특히 2.0mm 직경에서 입구 압력 약 24,227Pa 수준의 안정적인 압력 구배와 최소 유량 편차(0.69%)를 확보하여 실제 차량용 펌프 시스템에 적용 가능한 최적 설계 범위를 도출하였다.

후기 본 연구는 자동차산업기술개발(그린카) “전기차 구동모터 동력 제어용 ISO26262 기능안전 ASIL-D등급 디스커넥터 개발(RS-2025-25455278)” 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

미래 모빌리티 대응 모듈러 기반 편의내장 부품 개발 Development of Modular-Based Interior Convenience Components for Future Mobility

*이병훈¹, #정상진¹

^{*}Byung Hoon Lee¹, [#]Sang Jin Jung (lbh3136@kaieminc.com)¹

¹카이엠(주) 선행연구팀

Key words : Modular-Based, Future Mobility, Interior, Console, Life Style

^{*}발표자, [#]교신저자

기존 자동차의 내부 탑승공간은 이동만을 목적으로 하는 운전과 수송의 공간이었으나, 미래 모빌리티는 레저, 거주, 운송 등의 또 다른 생활 및 활동 영역으로 빠르게 변화하고 있다. 이러한 변화에 대응할 수 있는 미래 모빌리티 전용 편의내장 부품에 대한 새로운 니즈가 증가하고 있으며, 주행방법 및 자동차 실내 환경에 직접적으로 큰 변화를 가져올 것으로 기대되고 있다. 특히 완전자율주행 기술은 자동차 실내 공간의 구성, 이용 형태 및 라이프 스타일에도 큰 변화를 가져올 것으로 예상된다.

본 연구에서는 미래 라이프스타일의 변화에 따라 캠핑카, SUV, PBV 등 다양한 차량형태, 사용자 취향, 사용 환경에 대응하기 위해 모듈러 기반의 기능 확장 및 교체가 가능한 편의내장 부품의 디자인 컨셉을 도출하고, 도출된 디자인 기반으로 목업품을 제작하여 모듈러 시스템을 검증해보고자 한다.

후기 이 연구는 2026년 산업통상부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20019078)

전기차 하부충돌 안전성 향상을 위한 하부 차체 결합 구조에 관한 연구 A Study on Underbody Fastening Structures for Improving Underbody Collision Safety in Electric Vehicle

*#차승훈¹, 이찬희¹, 박재욱²

*#Seung Hoon Cha(shcha@gbtp.go.kr)¹, Chan Hee Lee¹, Jae Wook Park²

¹경북테크노파크 미래모빌리티육성본부, ²(주)대한메탈

Key words : Underbody Structures, Collision Safety, Electric Vehicle, CAE

*발표자, #교신저자

전기차(EV) 시장의 급격한 성장에 따라 배터리 팩의 충돌 안전성 확보가 핵심 과제로 부상하고 있다. 특히 차량 하부에 위치한 배터리 팩은 노면 돌출물이나 연석과의 충돌 시 직접적인 손상을 입을 가능성이 크며, 이는 열 폭주로 인한 화재 사고로 이어져 탑승장의 안전을 심각하게 위협할 수 있다. 그러나 기존의 충돌 안전 규제는 하부 충격 시나리오를 충분히 반영하지 못하고 있어, 최근 CNCAP 및 2026년 도입 예정인 KNCAP에서는 하부 충돌 안전성 규정을 새롭게 강화하는 추세이다. 본 연구에서는 이러한 규제 변화에 대응하여 전기차 하부 충격 시 배터리 팩의 건전성을 유지하기 위한 차체-배터리 결합 구조 최적화를 수행하였다. 먼저 고강도 소재를 적용하여 구조적 강성을 확보하였으며, 충돌 안전성을 극대화하기 위해 차체와 배터리 간 체결 부품의 개수와 배치에 대한 최적 설계를 진행하였다. 설계의 유효성 검증을 위해 차체-배터리팩 결합한 구조물에 대한 하부 충돌 해석을 수행하였다. 시험 결과, 최적화된 결합 구조는 하부 충돌 조건에서도 체결부의 파손이나 배터리 팩의 이탈 없이 안정적인 고정 상태를 유지함을 확인하였다. 향후 연구에서는 차량 무게 중심 변화를 고려한 동역학적 분석과 실제 배터리 셀을 포함한 하부 충돌 시험을 통해 안전성 평가를 수행하고자 한다.

구두발표

특별세션 OS3

좌장 : 최성대(국립금오공대)

**이종소재 접합부에서 양극산화 및 실링 공정 조건에 따른
계면 신뢰성에 관한 연구**

**Effect of Anodizing and Sealing Parameters on the Interfacial Bonding Strength
and Reliability of Al-Polymer Joints**

*김문수¹, 임도한², 김현경², #최성대¹

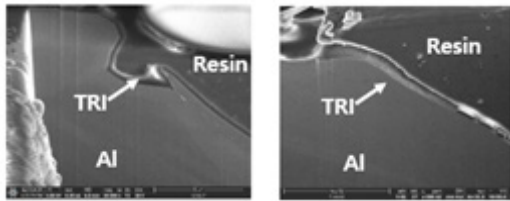
*M. S. Kim¹, D. H. Im², H. K. Kim², #S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 산업대학원 기계공학과

Key words: Anodizing, Dissimilar Material, Moisture Exposure, Adhesion Strength, Galvanic Corrosion, Sealing

*발표자, #교신저자

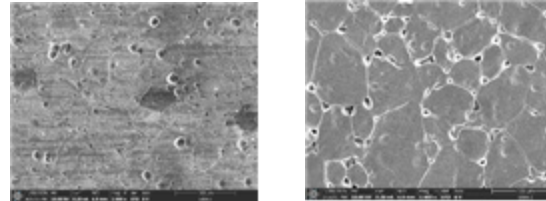
This study investigates the impact of anodizing conditions on the bonding strength of Al7000 alloy and PBT GF45% dissimilar material joints. Experimental results showed that increasing exposure time to chemical solutions, particularly sulfuric acid (H₂SO₄) and nickel acetate sealing solutions, leads to significant tensile strength degradation. Specifically, immersion in nickel acetate for 6 hours resulted in an approximately 70% reduction in bonding strength (10.9 MPa) compared to untreated samples. This degradation is attributed to solution penetration into the interface, triggering galvanic and crevice corrosion. Furthermore, excessive sealing prevents molten resin from penetrating the nano-scale pores, thereby losing the mechanical interlocking (anchoring effect). High-temperature moisture exposure also weakened the bond by transforming the oxide film into Al(OH)₃, causing volumetric expansion. These findings emphasize that minimizing chemical exposure and optimizing sealing parameters are critical for ensuring the durability of dissimilar material joints in electronic devices.



[Untreatment]

[100 Min]

Fig. 1 FE-SEM Analysis of Fractured Surfaces by Nickel Acetate Exposure



[Untreatment]

[100 Min]

Fig. 2 Surface roughness and grain boundary morphology

공구 형상 및 절삭 이송이 AI 7000 계열 박판 가공 평탄도에 미치는 영향 The Effect of Cutting Feed Direction and End Mill Geometry on the Machining Precision of AI 7000 Series Thin Plates

*김현경¹, 김문수², 임도한¹, #최성대²

*H. K. Kim¹, M. S. Kim², D. H. Im¹, #S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)²

¹국립금오공과대학교 산업대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 대학원 기계공학과

Key words : Toolpath, Residual Stress, Thin-plate Machining, Endmill Geometry, Flatness

*발표자, #교신저자

Due to the increasing demand for high-strength metal smartphone cases, securing machining precision for 0.3~0.7mm thick plates of Al 7000 series materials is essentially required. Thin-plate components exhibit anisotropy with different structural stiffnesses depending on their length-to-width ratio. Consequently, bending deformation is amplified as the release of residual stress concentrates in specific directions depending on the cutting feed direction. This study experimentally investigated the effects of the cutting feed direction (X, Y, diagonal, and contour machining) and end mill geometry (flat, bullnose) on the flatness in AL 70 series thin-plate machining. The experimental results confirmed that bending deformation was minimized by preventing the concentration of residual stress release when applying diagonal and contour (around) toolpaths, compared to toolpaths parallel to a single stiffness axis, such as the width (X) or length (Y) direction. Furthermore, it was verified that process stability against cutting load fluctuations is maximized when concurrently using tools with a corner radius. The results of this study can be utilized as guidelines for optimal CNC toolpath strategies and tool selection to suppress deformation during the thin-plate machining of smartphone metal components.

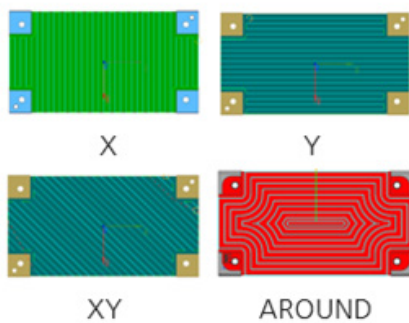


Fig 1. Cutting Feed Test Cases for Machining Flatness Verification

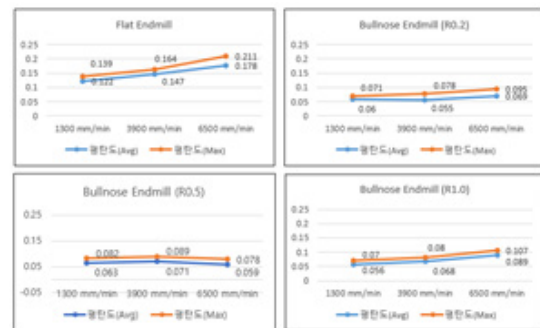


Fig. 2 Flatness Verification by Tool Geometry

화학적 표면처리 피막의 미세구조가 금속-수지 접합에 미치는 영향

Effect of Microstructure of Chemical Surface Treatment Film on Metal-Resin Bonding

*임도한¹, 김문수², 김현경¹, #최성대²

¹D. H. Im¹, M. S. Kim², H. K. Kim¹, #S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)²

¹국립금오공과대학교 산업대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 대학원 기계공학과

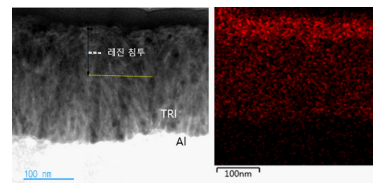
Key words : TRI, Aluminum 7000-series Alloy, Mechanical Interlocking, Resin Penetration, PBT+GF45%

*발표자, #교신저자

This study investigates the microstructural factors governing mechanical interlocking between 7000-series aluminum and PBT+GF45% resin treated with the TRI process across varying current densities (0.2-0.9 A/dm²). While macroscopic roughness remained uniform, anodic film thickness and pore size increased with current density. Tensile strength peaked at 0.5 A/dm² (40.75 MPa) but declined at 0.9 A/dm². Cross-sectional TEM analyses revealed the cause: the optimal 0.5 A/dm² condition enabled deep resin penetration (48%), maximizing mechanical interlocking. Conversely, excessive current (0.9 A/dm²) caused an irregular over-oxidized film layer, severely hindering penetration (29%) and triggering premature interfacial failure despite larger pores. Conclusively, forming a sound porous structure that maximizes resin penetration is the critical factor for metal-resin hybrid bond reliability.

Table 1 Effect of TRI current density on the microstructure and bonding strength of Al 7000/PBT joints

Current Density (A/dm ²)	Avg. Bonding Strength (MPa)	Deviation	Film Thickness (nm)	Pore Size (nm)	Resin Penetration (%)
0.2	27.41	4.30	95.86	24	-
0.3	34.65	6.24	107.84	27	43
0.4	36.37	2.58	167.76	31	-
0.5	40.75	1.44	174.6	37	48
0.6	35.46	5.54	273.9	42	-
0.7	32.82	5.84	351	43	37
0.8	35.56	4.32	380	46	-
0.9	36.39	3.77	443	52	29



(a) Current Density 0.5 A/dm²

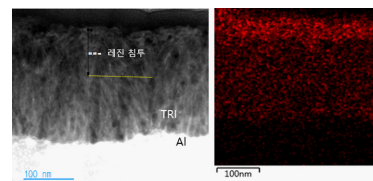


Fig. 1 Cross-sectional TEM images of resin penetration: (a) 0.5 A/dm² and (b) 0.9 A/dm².

마찰교반용접에서 공정변수 변화에 따른 열입력 및 용접부 특성 연구 A Study on Heat Input and Weld Characteristics According to Process Parameters in Friction Stir Welding

*장철영¹, #최성대²

*Chul Young Jang¹, #Seong Dae Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr.kr)²

¹국립금오공과대학교 산업대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Friction Stir Welding, Heat Input, Process Parameters, Weld Properties

*발표자, #교신저자

마찰교반용접(Friction Stir Welding, FSW)은 회전하는 비소모성 공구가 재료에 삽입될 때 발생하는 마찰열을 이용해 접합을 수행하는 고상 공정이다. 본 연구에서는 AL6061-T6 합금 판재를 대상으로 공구의 회전속도(1000~3000 rpm)와 이송속도(100~300 mm/min)가 열입력 및 용접부 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 사용된 공구는 PIN 직경 3 mm, SHOULDER 직경 15 mm의 형상을 가지며, 용접 후 미세조직 관찰과 기계적 특성 평가를 통해 공정 변수 변화에 따른 경향을 검토하였다. 회전속도 증가는 공구와 모재 사이의 마찰열 발생과 소성유동을 촉진하나, 과도한 입열은 재결정을 활성화시켜 용접부 균열을 유발할 수 있다. 또한, 회전속도와 이송속도의 조합에 따른 열입력 조절 효과를 비교함으로써, 적정 공정 조건 확립을 위한 기초 자료를 확보하였다.



Pin Φ 3 / Shoulder Φ 15

Fig. 1 Types of tools for FSW

반도체 OHT용 멀티 곡률 레일 커버의 해석 기반 설계 연구
A Study on Simulation-Based Design of Multi-Curvature Rail Covers
for Semiconductor OHT

*최주란¹, 임영호², 김건형², #최성대¹

*Ju Ran Choi¹, Yeong Ho Im², Geon Hyeong Kim², #Seong Dae Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 대학원 기계공학과, ²(주)해성이아이엠

Key words : Multi-Curvature Rail Cover, Polymer Extrusion, Simulation, Overhead Hoist Transport

*발표자, #교신저자

To achieve localization of multi-curvature rail covers for semiconductor OHT (Overhead Hoist Transport) systems, polymer extrusion forming simulation studies were conducted. Using a non-Newtonian viscous flow model, nonlinear flow behavior analysis of polymer materials revealed the mechanism of thickness variation in curvature change sections. Thermal-structural coupled analysis predicted temperature and residual stress distributions under IR heating conditions. Key analysis results confirmed that extrusion speed and die shape dominantly affect thickness variation, and optimal process parameters were derived to minimize thickness variation across all curvature sections. These theoretical analysis results provide design guidelines for prototype fabrication of multi-curvature extrusion forming processes, verifying the technical feasibility of semiconductor OHT rail cover localization.

Acknowledgment This work was supported by the Technology Development Program (Project No. RS-2026-25530583) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea) through the Korea Technology and Information Promotion Agency for SMEs (TIPA).

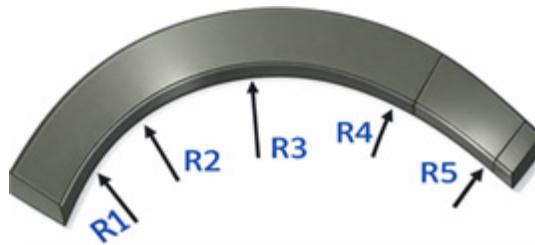


Fig. 1 Multi-Curvature Rail Cover

열교환기용 티타늄-스틸 이중관의 용접 소켓 제조 공정에 관한 연구 A Study on the Manufacturing Process of Weld Sockets for Titanium-Steel Double Pipes in Heat Exchangers

*김대진¹, 최주란¹, #최성대¹

*Dae Jin Kim¹, Ju Ran Choi¹, #Seong Dae Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 대학원 기계공학과

Key words : Titanium-Steel Double Pipe, Weld Socket, Heat Exchanger, Manufacturing Process

*발표자, #교신저자

열교환기는 고온 유체에서 저온 유체로 열을 효율적으로 전달하여 냉각, 가열, 응축, 증발을 수행하는 장치이다. 이중관식 열교환기는 내부 티타늄관의 우수한 내식성과 외부 스틸관의 구조적 강도를 활용하여 해수담수화, 해양플랜트 등 부식환경에서 고효율 열전달을 구현한다. 이중관 제작에서 용접 소켓의 제조 방법은 이중소재 접합의 핵심 기술이나, 형상 정밀도와 접합 신뢰성 확보가 주요 과제이다. 본 연구는 열교환기용 이중관에 적용되는 용접 소켓의 기본 형상과 구조적 특성을 분석한다. 티타늄-스틸 이중소재 특성을 고려한 형상 안정성 확보와 용접 조건 최적화에 중점을 두어 제조 공정 개발을 수행한다. 이를 통해 이중관식 열교환기의 안정적인 소켓 제조 공정을 확립하고자 한다.



Fig. 1 Titanium-Steel Double Pipe Heat Exchanger

항공기 엔진 MRO 공정 효율화를 위한 10톤급 분리형 AGV의 구조 설계

Design of a 10-ton Detachable AGV for Enhancing Aircraft Engine MRO Process Efficiency

*윤동현¹, 김종태¹, 이성호², 최주란³, #최성대²

*D. H. Yoon¹, J. T. Kim¹, S. H. Lee², J. R. Choi³, #S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)²

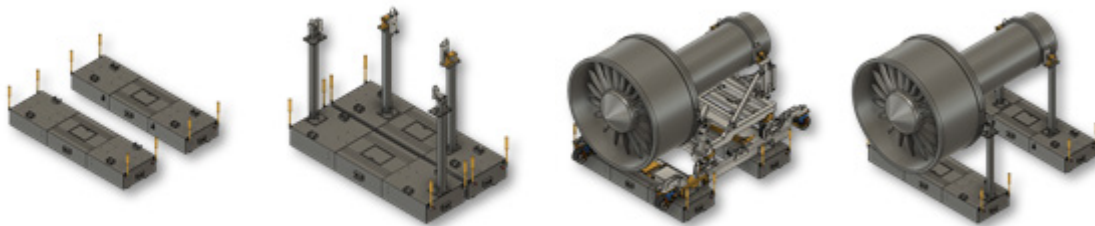
¹주광정밀(주), ²국립금오공과대학교 기계시스템전공, ³국립금오공과대학교 대학원 기계공학과

Key words : Aircraft Engine MRO, Detachable AGV, Structural Analysis, Logistics Automation

*발표자, #교신저자

항공기 유지보수 및 정비(MRO) 공정은 고중량의 초정밀 부품을 다루는 작업이다. 기존의 인력 의존적인 견인 방식은 자동화의 한계와 내재적인 안전 리스크로 인해 큰 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 P-Engine 등의 항공기 엔진을 자동으로 이송할 수 있고 실내외 통합 물류가 가능한 ‘분리형 AGV’를 제안한다. 제안된 AGV는 10톤급 하중을 균일하게 분산하기 위해 우물정자(#) 형태의 프레임 구조를 채택하였다. 또한, 탄성체가 통합된 6점 지지 시스템을 적용하여 노면이 고르지 않은 환경에서도 최적의 접지력과 주행 안정성을 유지하도록 설계하였다. 구조 해석을 통해 최대 하중 조건에서 프레임의 기계적 무결성과 구조적 안정성을 검증하였다. 본 연구는 신뢰성 있는 자동 이송 솔루션을 제공함으로써 항공 MRO 현장의 생산성 향상과 작업자 안전 확보에 크게 기여할 것으로 기대된다.

후기 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호: RS-2023-00239124)



(a)Detachable Structure

(b)Combined Structure

(c)Dolly with P-Engine

(d)Stand with P-Engine

구두발표

특별세션 OS4

좌장 : 이청환 (한국섬유기계융합연구원)

하드웨어 프로젝션 용접 불량 예측 방법론 개발 Development of Failure Estimation Methodology for H/W Projection Welding

*[#]박재필¹, 서명곤¹

[#]Jae Phil Park(jppark@katech.re.kr)¹, Myoung Gon Seo¹

¹한국자동차연구원 신뢰성연구본부

Key words : Projection Welding, Failure Estimation, Prognostics and Health Management

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구에서는 기존의 육안 및 샘플링 검사를 대체할 프로젝션 용접 전수검사 방법론을 제안하였다. 현장의 데이터 수집 한계(정밀 시계열 데이터 부재)를 극복하기 위해, 단일 계측된 용접전류, 가압력, 통전시간만을 활용하였다. 기본적 용접이론(줄 발열 및 가압력에 따른 접촉 저항 변화)에 근거하여, 계측된 공정 변수로부터 너겟의 형태와 강도를 결정짓는 지배적 요인인 발열량률을 계산하고, 발열량률과 통전시간을 핵심 특성으로 삼아 용접부의 토크/용착 강도를 예측하는 surrogate 모델을 구축하는 것이 본 연구의 최종 목표이다.

1. 서론

하드웨어 프로젝션(projection) 용접은 저항용접의 일종으로, 자동차 부품 산업에서 널리 사용되는 공정 중 하나이다. 예를 들면 nut/bolt를 금속 판넬에 접합하기 위해 프로젝션 용접이 사용된다. 지금까지는 이러한 프로젝션 용접의 불량 여부를 작업자가 육안으로 관찰하여 용접 표면의 변색 형태를 보고 양/불 판정을 내리거나, 샘플링 검사를 통해 접합된 nut/bolt의 토크/용착강도 양/불 판정을 수행하였다. 이에 본 연구에서는 프로젝션 용접 공정 중 계측되는 공정변수들에 기반하여 결과물의 양/불 여부를 판단하는 전수검사 모델링 방법론을 개발하고자 한다.

2. 방법론 개발 전략

이론적으로는 정밀한 공정 데이터 계측 시스템을 구축하여 한 접합공정의 시작부터 끝까지 미세한 전류/전압, 온도, 동저항 변화 데이터 등을 계측한 후, 이를 활용하여 시계열 데이터 기반 AI 모델 학습을 수행하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

그러나 실제 현장에서 계측 가능한 데이터는 한정되어 있다. 본 연구에서는 한 접합 당 하나의 용접전류, 가압력, 통전시간 데이터만을 계측할 수 있었다.

주로 inverse power law 형태로 고려되는 가압력과 접촉 저항의 경험적 관계를 고려하면 가압력이 증가할

수록 표면의 미세 돌기가 소성 변형되어 실제 접촉 면적이 넓어지므로 접촉 저항은 감소한다. 그리고 Joule의 발열 모델을 고려하면 발열량은 전류의 제곱과 저항의 곱에 비례한다. 따라서 가압력이 너무 높으면 저항이 감소하여 너겟 형성이 불량해지고, 가압력이 너무 낮으면 표면에 과도한 열이 발생해 금속이 튀는 스파터가 발생한다.

용접부의 강도는 너겟의 형태 및 크기와 연관된다. 발열량률(i.e., 발열량의 시간에 대한 미분값)이 낮고 통전시간이 긴 경우는 접합면에 수평방향으로 넓게 퍼진 형태의 너겟이 생성되고, 발열량률이 높고 통전시간이 짧으면 그 반대 형상의 너겟이 생성된다.

따라서, 본 연구에서는 매 현장에서 샘플링 검사를 수행할 때마다 수행되는 용접전류, 가압력, 통전시간에 기반하여 발열량률을 계산하고 발열량률과 통전시간 계산값에 기반하여 가장 잘 토크/용착강도를 예측할 수 있는 surrogate model을 생성하는 것이 좋다고 판단하였다. 해당 surrogate model은 판넬의 두께/표면조도, nut/bolt 규격, 냉각수 온도 등에 영향 받을 수 있다.

후기 이 논문은 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호: RS-2025-2545541)

CCTV 기반 작업자 안전관리를 위한 실시간 Instance Segmentation 모델 연구 A Study on a Real-Time Instance Segmentation Model for Worker Safety Management Based on CCTV

*손민석¹, #이청환¹, 김세종¹

^{*}Min Seok Son¹, [#]Cheong hwan Lee(chlee@kotmi.re.kr)¹, Se Jong Kim¹

¹한국섬유기계융합연구원

Key words : CCTV, Vision, AI, Segmentation

*발표자, #교신저자

본 연구는 제조현장 CCTV 영상에서 작업자를 정밀하게 인식하고 안전사고를 예방하기 위한 Instance Segmentation 모델을 소개한다. 기존 Mask R-CNN은 높은 정확도를 가지나 실시간 처리에 한계가 있으며, YOLACT는 빠른 추론 속도를 바탕으로 실시간 작업자 인식과 위험상황 판단에 적합하다. 이에 따라 본 연구는 YOLACT의 구조적 장점을 활용하여 제조현장 안전관리 시스템에 효과적으로 적용 가능성을 제시한다.

1. 서론

제조 현장의 작업자 안전관리 필요성이 증가함에 따라, CCTV 영상에서 작업자를 정밀하게 인식하기 위한 segmentation 모델을 소개한다.

2. 본론

CCTV 영상에서 작업자를 정밀하게 검출하기 위해 Instance Segmentation 기반 모델이 활용된다. Mask R-CNN[1]은 2-stage 구조로 높은 정확도를 제공하지만 연산량이 많아 실시간 처리에 한계가 있다.

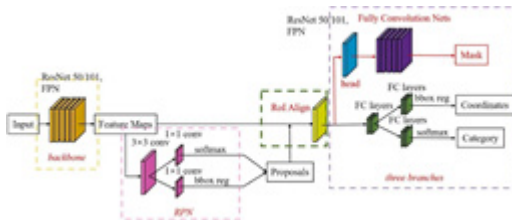


Fig. 1 Mask R-CNN Architecture

반면 YOLACT(You Only Look At CoefficientTs) [2]는 1-stage 구조를 기반으로 Prototype과 Coefficient를 조합하여 마스크를 생성함으로써 빠른 추론 속도를 확보할 수 있다. 일부 경계 정밀도는 다소 낮을 수 있으나, 실시간 작업자 인식과 위험상황 판단이 중요한 제조현장에서는 처리 속도와 효율성이 더 중요하므로 YOLACT가 보다 적합한 모델로 판단된다.

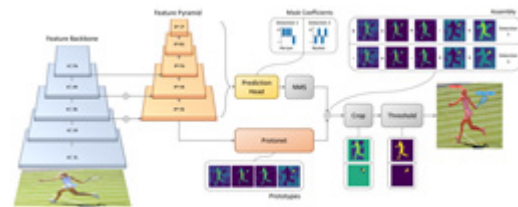


Fig. 2 YOLACT Architecture

3. 결론

YOLACT는 빠른 추론 속도와 효율적인 구조를 통해 제조현장 CCTV 환경에서 작업자를 실시간으로 인식하고 위험상황을 신속히 판단하는 데 적합하다. 정확도와 속도의 균형을 고려할 때 안전관리 시스템에 효과적으로 적용될 수 있다.

후기 이 논문은 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호: RS-2025-2545541)

REFERENCES

1. Kaiming, H., Georgia, G., Piotr, D. and Ross, G., "Mask R-CNN," CVPR, 2018.
2. Daniel, B., Chong, Z., Fanyi, X. and Yong, Jae, L., "YOLACT: Real-time Instance Segmentation," CVPR, 2019.

복합 알고리즘 기반 무인 이송 로봇의 경로 최적화 및 협업제어에 관한 연구

A Study on Hybrid Algorithm-Based Path Optimization and Cooperative Control for Autonomous Mobile Robots

*[#]박세명¹, 이해정¹, 김정민¹

[#]Se Myoung Park(sampark@hcnc.co.kr)¹, Hae Jung Lee¹, Jung Min Kim¹

¹(주)에이치씨엔씨

Key words : Autonomous Mobile Robot, Path Optimization, Simultaneous Localization and Mapping, Multi-Robot Coordination

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 자동차 부품 프레스·용접 공정의 물류 자동화를 위해 무인 이송 로봇 기반 경로 계획 및 운영 시스템을 제안한다. 공정 간 물류 흐름을 분석하여 최적 경로를 도출하고, 장애물 및 안전 요소를 고려한 경로 계획 구조를 설계하였다. 또한 LiDAR와 RGB-D 센서 융합 기반 3D SLAM 알고리즘을 적용하여 정밀한 환경 맵을 구축하고, 다수 로봇 간 협업을 위한 통신 구조를 정의하였다. 제안된 시스템은 공정 연계 물류 자동화 구현을 위한 기반 기술로 활용가능하다.

1. 서론

자동차 부품 제조 공정에서 물류 이송은 공정 효율성과 생산성을 좌우하는 핵심 요소이다. 그러나 기존 물류 시스템은 고정 경로 기반으로 운영되어 공정 변화 및 장애물 상황에 유연하게 대응하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 SLAM 기반 자율주행과 다중 로봇 협업을 고려한 무인 이송 로봇의 경로 계획 및 운영 시스템을 제안한다.

2. 본론

본 연구에서는 공정 간 물류 흐름 분석을 기반으로 무인 이송 로봇의 최적 경로를 설계하고, 장애물 및 안전 요소를 고려한 경로 계획 구조를 구성하였다. 또한 LiDAR와 RGB-D 센서 융합 기반 3D SLAM 알고리즘을 적용하여 실내 환경 맵을 구축하고, 이를 기반으로 경로 주행 시나리오를 모델링하였다. 더불어 다수 로봇 간 협업 운영을 위해 물류 로봇 통신망 구조를 정의하여 공정 연계 물류 자동화 기반을 구축하였다.

3. 결론

본 연구에서는 SLAM 기반 자율주행과 다중 로봇 협업을 고려한 무인 이송 로봇의 경로 계획 및 운영 시스템을 설계하였다. 이를 통해 공정 간 물류 흐름을 반영한 최적 경로 생성과 실시간 대응이 가능한 구조를 구축하였다. 향후 실공정 적용을 통해 시스템 성능 검증 및 물류 자동화 효율 향상이 기대된다.

후기 이 논문은 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호: RS-2025-2545541)

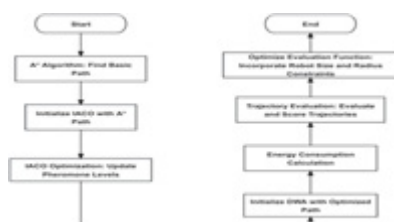


Fig. 1 Hybrid algorithm for path optimization

다중 센서 데이터 융합 기반 프레스 설비 이상 탐지 및 예지보전 연구

Multi-Sensor Data Fusion-Based Anomaly Detection and Predictive Maintenance for Press Equipment

*김진경¹, #현대용², 우석준³

¹Jin Kyoung Kim¹, [#]Dae Yong Hyeon(hdvision@wamc.co.kr)², Seok Jun Woo³

¹아진산업 FA사업팀, ²아진산업 생산기술본부, ³아진산업 FA사업팀

Key words : Press Equipment, Anomaly Detection, Predictive Maintenance

*발표자, #교신저자

This study proposes an anomaly detection and predictive maintenance method for press equipment based on multi-sensor data fusion. Motor current and vibration signals were transformed into time- and frequency-domain features, and multiple algorithms (PCA, Mahalanobis Distance, SVM, Isolation Forest) were applied for condition diagnosis. The proposed method effectively distinguished normal and abnormal states and detected early failure signs. A three-month field validation on Ajin Industrial's press production line demonstrated the practicality and reliability of the approach through continuous comparison with actual downtime cases.

1. 서론

프레스 설비는 자동차 차체 생산라인의 핵심 장비로, 고장 발생 시 생산성 저하 및 유지보수 비용 증가를 초래한다. 이에 따라 설비 상태를 실시간으로 감시하고 이상을 사전에 검출하는 예지보전 기술의 중요성이 증가하고 있다. 특히 단일 센서 기반 진단의 한계를 극복하기 위해 전류와 진동 데이터를 결합한 다중 센서 기반 접근이 요구된다.

2. 본론

본 연구에서는 프레스 모터에 전류 및 진동 센서를 설치하여 데이터를 수집하고, 이를 시간 및 주파수 영역 특징으로 변환하였다. 이후 PCA, Mahalanobis Distance, SVM 알고리즘을 적용하여 설비 상태를 진단하였다. 또한 실시간 모니터링 및 데이터 기반 분석을 수행하였다. 제안 방법은 아진산업 프레스 양산라인에 적용되어 3개월간 실증되었으며, AI 진단 결과와 실제 비가동 사례를 비교하여 모델을 반복적으로 보정하고 현장 적용성을 확보하였다.

3. 결론

전류 및 진동 데이터 기반 다중 센서 융합 기법은 프레스 설비의 이상 상태를 효과적으로 검출하고 조기 고장 예측 가능성을 확인하였다. 또한 현장 실증을 통해 설비 고장 예방, 비계획 정지 감소, 유지보수 효율 향상 측면에서 실용성을 입증하였다.

후기 아진산업 프레스 양산라인 현장 실증을 통해 수행되었다. 실제 설비 운영 환경에서 발생한 다양한 이슈 사례를 분석하고 검증 과정에 참여해 주신 모든 분들께 깊이 감사드립니다.

이 논문은 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호: RS-2025-2545541)



Fig. 1 Vibration&Current Sensors on a Motor

REFERENCES

1. Chevtchenko, S. F., et al., "Predictive Maintenance Model Based on Anomaly Detection in Induction Motors," arXiv preprint, arXiv: 2310.14949, 2023.

1000T 프레스 공정 자동화를 위한 6축 로봇 유닛의 하중 해석을 통한 구조 설계 검증 Structural Design Validation through Load Analysis of a 6-Axis Robot Unit for 1000-Ton Press Process Automation

*#정재환¹

*#Jae Hwan Jeong(jhjung@globaldh.com)¹

¹(주)디에이치지

Key words : Manufacturing, Press Process, Robot Automation, Structural Analysis

*발표자, #교신저자

본 연구는 1000T 프레스 공정 자동화를 위한 6축 로봇 유닛의 구조 안정성 확보를 목적으로 수행되었다. 대상 시스템은 6축 산업용 로봇과 이를 지지하는 하부 프레임으로 구성된 로봇 유닛으로 정의되며, 로봇 동작에 따른 하중 조건을 반영한 구조 해석을 수행하였다. 해석 시 이동 물체 및 로봇 핸드 중량을 고려하여 3축 방향에 각각 최대 하중 조건을 적용하고, 이에 따른 프레임의 응력 및 변형 특성을 분석하였다. 그 결과, 모든 작업 조건에서 허용 응력 및 변형 범위를 만족함을 확인하였으며 설계된 로봇 유닛의 구조적 안정성을 검증하였다.

1. 서론

프레스 공정 자동화는 생산성 향상과 작업자 안전 측면에서 중요성이 증가하고 있다. 특히 1000T급 프레스 라인에서는 로봇 적용이 확대됨에 따라 동작 하중이 구조물에 미치는 영향 검증이 요구된다. 본 연구에서는 6축 로봇 유닛을 대상으로 동작 기반 하중을 고려한 구조 해석을 통해 설계의 적정성을 검증한다.

2. 로봇 유닛 설계 검증

로봇 유닛은 6축 산업용 로봇과 하부 프레임으로 구성되며, 구조적 안정성 검토를 위해 구조 해석을 수행하였다. 이동 물체 및 로봇 핸드 중량을 고려하여 3축 방향에 각각 100 kgf(981 N)의 하중을 적용하고 응력 분포를 분석하였다. 그 결과, 모든 조건에서 허용 응력을 만족하여 구조적 안전성을 확인하였다.

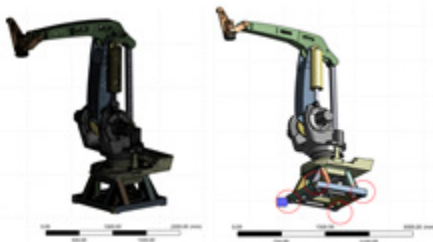


Fig. 1 3D model mesh and boundary conditions

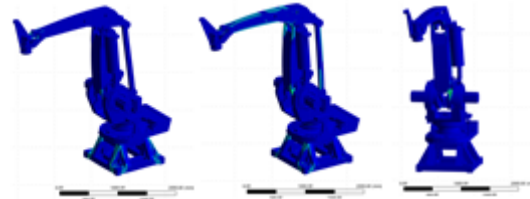


Fig. 2 Stress distribution in each axis(X, Y, Z)

3. 결론

본 연구에서는 프레스 공정 자동화를 위한 로봇 유닛을 대상으로 동작 기반 하중을 고려한 구조 해석을 수행하였다. 해석 결과, 허용 응력 및 변형 범위를 만족하여 구조적 안정성을 확인하였으며, 프레스 자동화 설계 시 구조 안정성 평가에 활용될 수 있다.

후기 이 논문은 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (과제번호: RS-2025-2545541)

REFERENCES

1. Al Nageim, H., "Structural Mechanics: Loads, Analysis, Materials and Design of Structural Elements," Prentice Hall, 2010.

구두발표

특별세션 OS5

좌장 : 육세진(한양대)

CFD 기반 수냉식 열교환기의 배터리 열관리 성능 분석

CFD-Based Performance Analysis of a Water-Cooled Heat Exchanger for Battery Thermal Management

*선준완¹, #김영원¹

¹Jun Wan Seon¹, #Young Won Kim(ywkim@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원

Key words : Battery Thermal Management System, Water-Cooled Heat Exchanger,
Computational Fluid Dynamics

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 기존 공냉식 배터리 열관리 시스템의 한계를 보완하기 위해 수냉식 열교환기를 적용한 냉각 성능을 분석하였다. 공냉식 방식은 구조가 단순하고 유지보수가 용이하지만 주변 온도 변화에 따라 냉각 성능이 크게 달라지는 한계가 있다. 특히 드론과 같이 외부 환경의 영향을 받는 시스템에서는 이러한 영향이 더욱 크게 나타난다. 이에 본 연구에서는 전산유체해석(CFD)을 이용하여 열교환기 입구 온도 30 °C와 일정 질량유량 조건에서 주변 공기 온도 변화에 따른 출구 온도와 냉각 성능을 분석하였다. 해석 결과 주변 공기 온도가 낮아질수록 열교환기 출구 온도가 감소하며 냉각 성능이 향상되는 경향을 확인하였다.

후기 본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)과 산업통상자원부(MOTIE)의 지원을 받아 수행되었습니다 (과제번호 : RS-2024-00441895).

먼지통 물 충전이 적용된 축류식 싸이클론 집진기의 성능 평가 Performance Evaluation of an Axial-flow Cyclone Separator with Water Filling in the Dust Container

*강현민¹, 황석주¹, #육세진¹

^{*}Hyeon Min Kang¹, Seok Ju Hwang¹, [#]Se Jin Yook(ysjnuri@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : Axial Cyclone Separator, Cutoff Size, Collection Efficiency

*발표자, #교신저자

싸이클론 집진기는 미세입자 제거를 위한 대표적인 관성 집진장치로 널리 사용되고 있으나, 장치 하부 먼지통에서의 입자 재비산과 미세입자 영역에서의 제한적인 포집 성능은 여전히 해결이 필요한 과제로 남아 있다. 본 연구에서는 기존 장치의 형상 변경 없이 집진 성능을 향상시키기 위한 방안으로 먼지통 내부에 물을 충전하는 운전 방식을 제안하였다. 이를 위해 물 충전 조건과 비충진 조건에 대해 실험 및 전산유체해석을 수행하여 유동 구조 변화와 포집 특성을 정량적으로 분석하였다. 먼지통에 물을 충전한 경우 입자의 포집 위치가 상향 이동하고 절단직경이 감소하여 전체적인 포집 효율이 향상되는 것으로 나타났다. 반면, 액체 계면 형성에 따른 추가적인 유동 저항으로 인해 압력강하는 다소 증가하였다. 또한 먼지통 내부에 건식 입자층이 형성된 상태에서는 청정 공기 유입 시 재비산 현상이 뚜렷하게 발생하였으나, 물과 혼합된 슬러리 상태에서는 입자의 재비산이 효과적으로 억제되는 것으로 확인되었다. 본 연구 결과는 먼지통 물 충전 방식이 기존 축류식 싸이클론 집진기의 구조적 변경 없이도 미세입자 포집 성능과 재비산 특성을 동시에 개선할 수 있음을 보여주며, 다양한 산업 공정에서의 실용적 적용 가능성을 제시한다.

후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2024-00346834).

**CPCM 및 수냉이 결합된 하이브리드 배터리 열관리 시스템의
열적 성능 비교를 통한 유로 설계 최적화**
**Optimization of Flow Channel Design through Thermal Performance Comparison
of a Hybrid Battery Thermal Management System
Combining CPCM and Water Cooling**

*서민주^{1,2}, #김영원¹

*Min Joo Seo^{1,2}, #Young Won Kim(ywkim@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원 에너지 나노그룹, ²한양대학교 기계공학부

Key words : Computational Fluid Dynamics(CFD), Battery Thermal Management System, Liquid Cooling, CPCM

*발표자, #교신저자

본 연구는 배터리 열관리 시스템(Battery Thermal Management System, BTMS)의 성능 향상을 위하여 복합 상변화 물질(Composite Phase Change Material, CPCM)과 수냉 방식을 결합한 하이브리드 열관리 구조를 제안하고, 배터리를 이상 작동 온도 범위 내에서 안정적으로 유지할 수 있는지를 평가하는 것을 목적으로 한다. 최근 고출력·고집적 배터리 시스템에서는 충·방전 과정에서 발생하는 발열로 인해 셀 온도 상승, 셀 간 온도 편차 증가, 국부적 과열 영역 발생 등의 문제가 나타날 수 있으며, 이는 배터리 성능 저하, 수명 감소, 및 안전성 악화로 이어질 수 있다. 따라서 수동 냉각과 능동 냉각을 상호 보완적으로 적용한 열관리 기술의 필요성이 증대되고 있다. 이를 위하여 본 연구에서는 잠열 저장 특성을 갖는 상변화 물질에 알루미늄 폼을 적용한 복합 상변화 물질을 배터리 모듈에 도입하여 순간적인 온도 상승을 완화하고 온도 분포의 균일성을 향상 시키고자 하였다. 동시에 지속적인 열 제거를 위해 수냉 플레이트를 적용하였으며, 냉각 유로는 서로 다른 세 가지 형상으로 설계하여 그 성능을 비교하였다.

REFERENCES

후기 본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)과 산업통상자원부(MOTIE)의 지원을 받아 수행되었습니다 (과제번호 : RS-2024-00441895).

방열 성능과 유압 성능 동시 향상을 위한 핀-핀 마이크로채널 히싱크 최적화 Simultaneous Enhancement of Thermo-hydraulic Performance in Pin-fin Microchannel Heat Sinks Using Optimization

*남학호¹, #육세진¹

*Hak Ho Nam¹, #Se Jin Yook(ysjnuri@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : Micro Channel, Heat Sink, Optimization

*발표자, #교신저자

마이크로채널 히싱크 설계에서는 열전달 향상과 압력 강하 간의 상충을 효과적으로 관리하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 개방형 채널 내 비틀린 타원 핀-핀 구조를 대상으로, CFD 해석과 서로게이트 기반 다목적 최적화를 결합한 설계 방법을 제안하였다. 온도에 의존하는 물성치를 고려한 3차원 층류 모델을 검증한 후, 설계변수(핀 길이, 높이, 회전각)에 대해 실험계획법과 반응표면 모델을 구축하였다. 이후 GPR 기반 서로게이트 모델과 NSGA-II를 적용하여 파레토 최적해를 도출하였다. 분석 결과, 핀 높이는 열전달 향상의 지배 인자로 나타났으며, 회전각은 유동 혼합과 경계층 재형성을 통해 이를 보조하였다. 반면, 핀 길이는 열전달에는 제한적인 영향을 보이지만 압력 강하는 비선형적으로 증가시키는 경향을 보였다. 제안된 모델은 열전달 예측에서 높은 정확도를 보였으며, 압력 강하에 대해서도 다목적 설계에 충분한 신뢰성을 확보하였다. 도출된 파레토 해는 압력 강하 제약 하에서 설계 선택을 위한 유용한 기준을 제공하며, 본 프레임워크는 반복적인 CFD 계산 없이도 효율적이고 신뢰성 있는 최적 설계를 가능하게 한다. 이는 고열밀도 전자장치용 MCHS 설계에 실질적인 지침을 제공한다.

후기 This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment(MCEE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00441895).

20 Ah NMC 파우치 셀의 열 관리를 위한 하이브리드 CPCM-물 냉각을 이용한 향상된 열 제어 Enhanced Thermal Control of a 20 Ah NMC Pouch Cell Using Hybrid CPCM- Water Cooling

*무하마드 다일¹, #김영원¹

^{*}Muhammad Dail¹, [#]Young Won Kim(ywkim@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원

Key words : Battery Thermal Management System (BTMS), Pouch Cell, Phase Change Material (CPCM),
Hybrid Cooling, Liquid Cooling, Copper Foam

^{*}발표자, [#]교신저자

Many hybrid BTMS studies combining PCM and liquid cooling focus on small cells under mild loads. This study examines a 20 Ah NMC pouch cell at 1C, 2C, 3C, 5C, and 10C at 25 °C. A conjugate heat-transfer CFD model is developed using volumetric heat generation derived from internal resistance estimated from discharge data. The model evaluates peak temperature, temperature non-uniformity, melt behavior, and coolant performance. PCM alone is effective at low C-rates but loses cooling capacity after full melting at high rates. Water cooling improves heat removal but still leads to thermal gradients. A hybrid CPCM-water design with embedded copper foam offers compact and effective thermal control for EV-scale pouch cells.

후기 본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)과 산업통상자원부(MOTIE)의 지원을 받아 수행되었습니다 (과제번호 : RS-2024-00441895).

열회수 저장 장치 통합형 하이브리드 지열 히트펌프 시스템의 실험적 연구 Experimental Investigation of a Hybrid Ground Source Heat Pump System Integrated with a Heat Recovery Storage Unit

*허승민¹, 류상범¹, #육세진¹

*Seung Min Heo¹, Sang Bum Ryu¹, #Se Jin Yook(ysjnuri@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : Ground Source Heat Pump, Thermal Recovery Storage, Phase Change Material

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 기존 지열 히트펌프 시스템이 지니는 에너지 효율 저하 및 지중 열 불균형 문제를 극복하기 위해, 새로운 형태의 하이브리드 지열 히트펌프 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 개방형 및 밀폐형 지중 열교환기를 열회수 축열조와 통합한 구조를 갖는다. 특히, 축열조 내부에 상변화물질 캡슐을 적용하여 히트펌프 입구 온도를 5°C 이상으로 안정적으로 유지함으로써, 시스템의 성능 저하를 원천적으로 방지하도록 설계되었다. 더불어, 동적 부하 조건에서 운전 효율을 극대화하기 위해 순환 펌프에 간헐적 제어 전략을 도입하였다. 본 시스템을 실제 건물에 구축하고 현장 실험을 수행하여 열적 성능, 전력 소비 특성, 성적계수(COP) 및 경제성을 종합적으로 평가하였다. 실증 실험 결과, 시스템의 평균 COP는 냉방 모드에서 3.18, 난방 모드에서 3.08로 나타났다. 기존 대비 히트펌프와 순환 펌프의 전력 소비량은 각각 최대 48.1%, 78.8%까지 절감되었다. 경제성 분석 결과 연간 운전 비용은 71.7% 감소하였으며, 투자 회수 기간은 10.6년 이내로 산출되어 우수한 타당성을 입증하였다. 환경적 측면에서도 연간 CO₂, SO₂, NO_x 배출량이 67% 이상 저감되는 것으로 평가되었다. 결론적으로, 본 연구에서 개발된 하이브리드 지열 히트펌프 시스템은 에너지 효율, 경제성 및 친환경성을 모두 효과적으로 개선하였으며, 향후 탄소중립 건물, 스마트팜 및 지역 에너지 네트워크에 폭넓게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기 This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment(MCEE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00441895).

구두발표

특별세션 OS6-1

좌장 : 전용호(아주대)

판 구조물의 결함 위치 추정을 위한 위상 기반 유도파 이미징 기법 Phase-Based Guided-Wave Imaging for Defect Localization in Plate Structures

*알리 아사드 라자¹, 모하마드 아슬람², #편도경³, #이재선³

*Ali Asad Raza¹, Mohammed Aslam², #Do Kyung Pyun³, #Jae Sun Lee³

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정, ²국립창원대학교 극한환경 스마트 기계부품 설계/제조혁신센터, ³국립창원대학교 GAST 기계공학대학 모빌리티기계공학과

Key words : Guided Wave, Cross-spectral Phase, Structural Health Monitoring

*발표자, #교신저자

This study proposes a phase-based ultrasonic imaging technique for the defect localization in plate structures using guided ultrasonic waves and a circular piezoelectric sensor array. A band-averaged cross-spectral phase (BACP) index is used to extract stable phase variations between baseline and damaged signals, for the enhanced robustness against amplitude fluctuations and measurement noise. The most defect-sensitive transmitter-receiver paths are identified and integrated with the Reconstruction Algorithm for Probabilistic Inspection of Damage (RAPID) to reconstruct defect probability maps. The proposed framework is validated through finite element-based simulations and experiments on an aluminium plate with a 32-sensor array. The results demonstrate accurate and reliable localization of defects, highlighting the potential of the BACP-based approach for guided-wave structural health monitoring.

1. Introduction

Guided-wave-based structural health monitoring has been widely studied for defect detection in plate-like structures because guided ultrasonic waves are highly sensitive to defects and able to propagate over long distance. Among various signal features, phase information is particularly attractive because it is generally less sensitive to amplitude fluctuations caused by measurement noise and environmental variability. However, many existing phase-based approaches remain limited to path-level damage assessment and are not directly linked to an imaging framework for spatial defect localization. To overcome the limitation, this study applies a band-averaged cross-spectral phase (BACP) index with RAPID imaging to localize defects in an aluminium plate using a circular PZT sensor array.

2. Results and Conclusion

The proposed method was validated through numerical and experimental studies. In simulation, each defect, with 6, 8, and 10 mm sizes, drilled on

a 2 mm thick aluminium plate was successfully localized with normalized errors of 0%, 0.825%, and 1.6%, respectively. Experimental validation showed accurate localization of 6 mm and 8 mm through-hole defects, with normalized errors of 1.78% and 2.88%, respectively. These results demonstrate that the BACP-driven RAPID framework provides accurate, robust, and practical defect localization for guided-wave structural health monitoring.

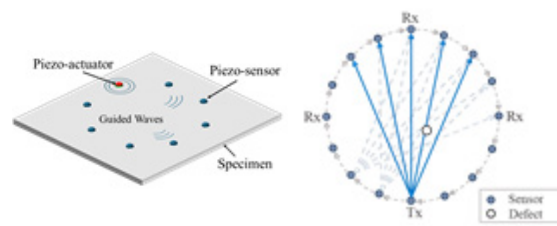


Fig. 1 Schematic of the guided-wave-based defect localization framework, showing the circular PZT sensor array on the plate and the selection of defect-sensitive transmitter-receiver paths for BACP-driven RAPID imaging.

마찰교반가공에서의 기계적 성능 및 공정 최적화 Mechanical Performance and Process Optimization in Friction Stir Processing

*셀림 아메드 샤¹, #김호찬², 이인환³

¹Selim Ahamed Shah¹, [#]Hochan Kim(hckim@andong.ac.kr)², In Hwan Lee³

¹Department of Future Automotive Engineering, GyeongKuk National University, Andong, Republic of Korea,

²Department of Smart Mobility, GyeongKuk National University, Andong, Republic of Korea,

³School of Mechanical Engineering, Chungbuk National University, Cheongju, Republic of Korea

Key words : Friction Stir Processing(FSP), Aluminium

*발표자, #교신저자

In this study, peel testing is utilized for determining the Al-Al lap joining characteristics of the joining areas. For the experimental frameworks, the process parameters, varying tool frequency and travel speed, are utilized at a constant plunge depth and tilt angle. The results show that peeling load and stress are 300 N and 20 MPa, respectively, in optimized joint strength. Conversely, peak peeling and load energy absorption are significantly affected by varying parameters.

1. Introduction

Friction Stir Processing (FSP) is an effective solid-state joining technique that improves joint quality through controlled process parameters. However, joint performance is highly sensitive to process parameters such as tool frequency and travel speed. This study aims to evaluate the influence of process parameters on the mechanical characteristics of Al-Al lap joints.

2. Method & Result

Process optimization was conducted by varying tool frequency and travel speed while maintaining a constant plunge depth of 3.00 mm with a 1.2° Tilt Angle, as shown in Table 1.

Exp.	Frequency	Travel Speed	Maximum Temp.
01	50 Hz	42 mm/min	210.1 °C
02	50 Hz	60 mm/min	236.4 °C
03	55 Hz	42 mm/min	226.9 °C
04	55 Hz	60 mm/min	213.1 °C

Table 1 Operational framework for Al-Al lap joint in FSP process

Frequency and travel speed significantly influence thermal behavior, with the highest temperature of 236.4°C at 60 mm/min and lower frequency. Mechanical performance ranged from 108-300 N and 7.20-20.00 MPa, with energy absorption of 1.61-3.53 Nm, where stronger joints showed higher strength and resistance. The peeling load graph respect to time in Fig. 01.

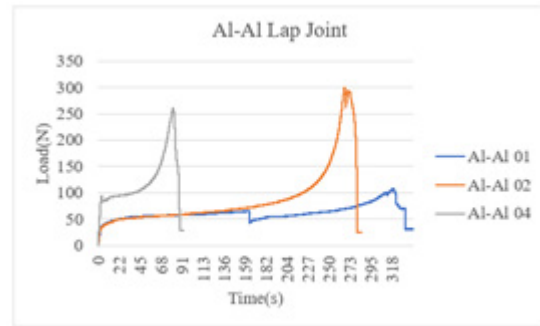


Fig. 1 Peeling load of the weld area.

3. Conclusion

Process parameters critically govern, material flow, and weld quality, directly influencing joint performance. experiment no 02 show the peak tensile load of 300 N; optimized conditions microstructures and superior strength, whereas weaker joints exhibit higher ductility.

WMS-OFS 통합 센서를 이용한 온도 및 상 분포의 동시 측정 Integrated WMS-OFS Sensor for Simultaneous Temperature and Phase Distribution Measurement

*왕정칭¹, #김형모¹, 김한나¹

^{*}Zhengqing Wang¹, [#]Hyung Mo Kim(hyungmo@gnu.ac.kr)¹, Han Na Kim¹

¹경상국립대학교 기계공학부

Key words : Fluid Flow, WMS, OFS, Temperature and Phase Distribution

^{*}발표자, [#]교신저자

This experiment includes a main test section filled with water and air, in which a novel sensor is installed. The novel sensor combines wire mesh sensor (WMS) and optical fiber sensor (OFS) to measure the flow phase and temperature distribution across a cross-section. In the experiment, a heater in the test section can change the fluid temperature and the temperature distribution can be measured by the OFS. Meanwhile, at the bottom of the test section, water can be poured out to change the water volume and the WMS can measure the change in phase distribution. Therefore, when temperature and phase distribution change, this sensor enable monitoring the information in pipes or tanks to avoid some abnormal conditions like leakage or local overheating.

후기 본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원(No. RS-2024-00398425)과 과학기술정보통신부(MSIT)의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원(RS-2025-25445840)을 받아 수행되었음.

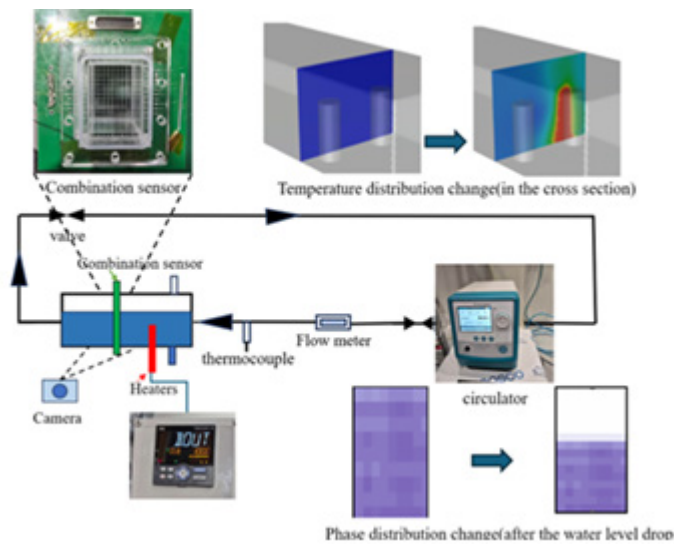


Fig. 1 The schematic diagram of experiment facility

사과 껍질 추출물을 함유한 항산화성 상처 치유용 폴리카프로락톤/키토산 다공성
지지체의 개발

Development of a Bioactive Polycaprolactone/Chitosan Porous Scaffold Loaded
with Apple Peel Extract for Antioxidant Wound Healing

*파이잔 E 무스타파¹, #이봉기¹

^{*}Faizan E Mustafa¹, [#]Bong Kee Lee(b.lee@chonnam.ac.kr)¹

¹전남대학교 기계공학부

Key words : Antioxidant, Apple Peel Extract, Porous Scaffold, Wound Healing

*발표자, #교신저자

In this study, apple peel extract (APE), a phenolic-rich natural antioxidant, was incorporated into a polycaprolactone (PCL)/chitosan (CS) porous scaffold for wound healing applications. The scaffold was fabricated by freeze-drying and exhibited a highly porous and interconnected structure, with a porosity of 89.25% and pore sizes ranging from 6.76 to 18.52 μm , favorable for tissue regeneration. The scaffold demonstrated enhanced compressive strength (5.847 MPa) and antioxidant activity, showing ABTS and DPPH radical scavenging activities of 70.04% and 61.12%, respectively. In vitro APE release experiment showed a sustained release behavior of 34% over 24 hours. These findings underscore the scaffold's strong potential as a sustainable and bioactive wound dressing material.

Acknowledgement This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. RS-2024-00357288).

구두발표

특별세션 OS6-2

좌장 : 김현찬(국립금오공대)

분포형 광섬유 센서 기반 수평 배관 내 유속 측정

Flow Velocity Measurement in a Horizontal Pipe Using a Distributed Optical Fiber Sensor

*김한나¹, 최지연¹, #김형모¹

^{*}Han Na Kim¹, Ji Yeon Choi¹, [#]Hyung Mo Kim(hyungmo@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 대학원 기계항공우주공학부

Key words : Distributed Temperature Sensing, Rayleigh Scattering, Convective Heat Transfer, Flow Velocity Profile

^{*}발표자, [#]교신저자

This study proposes and experimentally validates a method for measuring the flow velocities of both water and air using a distributed optical fiber sensor. The sensor, inserted perpendicular to the flow direction, distinguishes local velocities by measuring temperature distribution along its axis at a high resolution of 0.65 mm and 15.61 Hz. In air-water stratified flow, heat was applied to the sensor to measure fluid temperature. Results showed that increasing flow velocity enhances the convective heat transfer coefficient, leading to greater heat loss and a decrease in peak temperature at a quasi-equilibrium state. The temperature response was analyzed across laminar, transition, and turbulent regimes for water, and laminar and transition regimes for air. Minimizing inlet fluid temperature fluctuations significantly improved reproducibility. This method enables the reconstruction of velocity profiles in multi-phase pipe flows.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(Ministry of Science and ICT) (No. RS-2025-25445840), by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment(MCEE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00398425).

REFERENCES

1. Sekine M., Furuya M., "Development of Measurement Method for Temperature and Velocity Field with Optical Fiber Sensor," *Sensors*, Vol. 23, No. 1627, pp. 1-12, 2023.
2. Palmieri L., Schenato L., "Distributed Optical Fiber Sensing Based on Rayleigh Scattering", *The Open Optics Journal*, Vol. 7, pp. 104-127, 2013.
3. S. Lomperski., C. Gerardi., W.D. Pointer., "Fiber optic distributed temperature sensor mapping a jet-mixing flow field", *Experiments in Fluids*, Vol. 56, No. 55, 2015.
4. Brian J. Soller., Dawn K., Matthew S. Wolfe., Mark E. Froggatt., "High resolution optical frequency domain reflectometry for characterization of components and assemblies", *Optics express*, Vol. 13, No. 2, pp. 666-674, 2005.
5. D. Rautenberg, T. Renner, T. Trick, J. Kriegseis, "Determination of flow velocities using fiber-optic temperature measurements", *Experiments in Fluids*, Vol. 65, No. 22, pp. 1-10, 2024.

이중층 구조를 통한 PVDF-HFP 기반 복사 냉각 막의 구조적 최적화 PVDF-HFP-TiO₂/Al₂O₃ Nanofiber Membranes for Enhanced Passive Radiative Cooling

*Dhandayuthapani Thiyagarajan¹, #이봉기¹

^{*}Dhandayuthapani Thiyagarajan¹, [#]Bong Kee Lee(b.lee@chonnam.ac.kr)¹

¹전남대학교 기계공학부

Key words : Radiative Cooling, Electrospinning, Mie Scattering, Thermal Management

*발표자, #교신저자

Passive radiative cooling mitigates heat gain by reflecting solar radiation and emitting thermal energy through the atmospheric window (8-13 μm). In this study, four membrane architectures were systematically compared: PVDF-HFP-TiO₂, PVDF-HFP-Al₂O₃, mixed composite, and TiO₂/Al₂O₃ bilayer. Optimized particle sizes (TiO₂: 0.7-1.1 μm ; Al₂O₃: 50-300 nm) enhanced broadband reflectance via complementary Mie scattering, with TiO₂ primarily scattering near-infrared light and Al₂O₃ effectively scattering visible wavelengths. All samples exhibited high solar reflectance (~90-95%) and strong mid-infrared emissivity (~0.98); however, the bilayer structure achieved superior cooling performance (12 °C), outperforming Al₂O₃ (9 °C), mixed (10 °C), and TiO₂ (8 °C) systems. Theoretical modeling predicted cooling powers of 71.7 W/m² (daytime) and 121.7 W/m² (nighttime), consistent with experimental observations. The enhanced performance is attributed to the spatial separation of optical functions in the bilayer configuration, minimizing particle interference while optimizing solar reflection and thermal emission, demonstrating its potential for energy-efficient cooling applications.

Acknowledgement This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. RS-2024-00357288).

궤도 강성 불균일 조건에서의 휠-레일 동적 변위 특성 연구

Dynamic Analysis of Wheel Rail Displacements Under The Effect of Track Stiffness Irregularities

*마사보 베누스테¹, #김현찬¹

¹Masabo Venuste¹, #Hyun Chan Kim(hyunckim@kumoh.ac.kr)¹

국립금오공과대학교 기계공학부¹

Key words : Track Irregularities, Sleeper Modulus, Track Stiffness Variation, Rail Deflection

*발표자, #교신저자

As the global transportation sector increasingly prioritizes railway systems for their cost-effectiveness and environmental sustainability, addressing track irregularities has become a critical research priority. Among various contributing factors, longitudinal variations in track stiffness are known to accelerate structural deterioration and adversely affect vehicle dynamics. This study investigates the combined influence of rail vehicle speeds and spatial stiffness variations on wheel-rail vertical displacements. An explicit dynamic finite element analysis was performed on a model consisting of a rotating train wheel and a rail supported by sleepers with randomly distributed moduli. The results indicate that both increasing operational speeds and spacial stiffness variations for a given mean modulus lead to increased rail deflection. Quantitatively, at a standard deviation (SD) of 60 MPa, rail deflection increased from 2.208 mm to 2.271 mm as the speed rose from 10 m/s to 20 m/s. Similarly, at a constant speed of 10 m/s, increasing the SD from 20 MPa to 60 MPa resulted in a deflection rise from 2.084 mm to 2.208 mm. These findings, showing deflections within the 0-5 mm range at speeds up to 70km/h, are consistent with Winkler model, thereby validating the proposed numerical model for predicting track performance under dynamic loading conditions.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the government (Ministry of Science and ICT) (RS-2024-00353023).

롤투롤 코팅 공정 내 장력 외란 주파수에 따른 두께 균일도 분석 Analysis of Effect of Periodic Tension Disturbances on Thickness Uniformity

*윤준영¹, 권혁준¹, 조규진², #이창우³

¹Jun Young Yun¹, Hyuk Jun Kwon¹, Gyou Jin Cho², #Chang Woo Lee³

¹건국대학교 기계설계과, ²성균관대학교 생명물리학과, ³건국대학교 기계공학과

Key words : Roll-to-roll Coating, Coating Uniformity, Web Tension, Periodic Disturbances

*발표자, #교신저자

롤투롤(Roll-to-Roll, R2R) 슬롯다이 코팅 공정에서는 웹 이송 과정에서 발생하는 기계적 교란이 도막 균일도에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구에서는 롤 편심에 의해 발생하는 주기적 웹 장력 교란이 도막 두께 변동에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 아이들 롤에 편심 요소를 부착하여 서로 다른 주기의 장력 교란을 발생시켰으며, 동일한 공정 조건에서 형성된 도막의 기계 방향(MD) 두께 분포를 측정하였다. 실험 결과 평균 두께는 유사하게 유지되었으나 두께 변동 폭은 교란 조건에 따라 차이를 보였다. 장력 신호와 두께 데이터를 비교한 결과 특정 주기 교란이 도막 비균일성에 상대적으로 크게 반영되는 경향이 확인되었다.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.RS-2020-NR049544) and the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. RS-2026-25478062).

구두발표

특별세션 OS7

좌장 : 김병창(경남대)

SHEAVE 품질개선을 위한 제작공정 개발

Development of a Manufacturing process for Sheave Quality Improvement

*백 훈¹, #김병창¹

^{*}Hoon Baek¹, [#]Byoung Chang Kim(bckim@uok.ac.kr)¹

¹경남대학교 스마트제조시스템공학과

Key words : Sheave, Forging, Ultrasonic Testing, Quality Improvement

^{*}발표자, [#]교신저자

작은 힘으로 고중량을 들어올리는데 사용되는 시브(sheave)는 작업안전을 위해 제조공정 중 높은 품질관리가 요구되는 부품이다. 본 연구에서는 기존 주조 제작공정에서 발생했던 다양한 문제점을 해결하기 위해 단조공정을 개발하였다. 개발을 통해 주조공정에서 발생했던 제품변형과 크랙발생의 문제점이 해결되었으며, 초음파 비파괴검사(U.T.)가 가능해져 품질을 향상할 수 있게되었다. 제작공정개발은 불량률 감소와 수명기간 연장을 할 수 있으며, 제품의 성능 및 안전성, 유지보수 비용절감에도 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서론

시브(Sheave)는 중량물 운반작업 등을 할 때 사용되는 홈 형상의 활차 (PULLEY)이며, 여기에 와이어로프를 걸고 끌어당겨 방향을 바꾸거나, 여러개를 조합하여 작은 힘으로 큰 물건을 들어올리는 기계부품이다. 사용 특성상 작업 안정성을 위해 높은 수준의 품질관리가 필요한 부품이다. 기존에는 주강 주조공정으로 수행되었으며, 주조공정 중 표면열처리에의한 제품변형 및 크랙 발생 등 다양한 품질결함이 발생하였다.

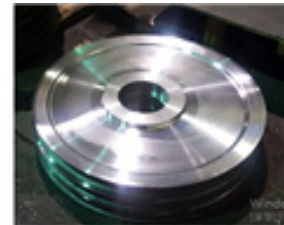
2. 제작공정 개발

공정개발을 위해 기존 주조공정에 사용되었던 주강을 단조강으로 재질을 변경하였으며, 단조공정의 특성상 압축력에 의해 조직이 조밀해져 기계적 성질이 향상되었다. 10단계 주조공정(목형제작, 조형작업, 주조, 탈사, 쇼트, 열처리, 황삭가공, 고주파열처리, 정삭가공, 최종검사)이 8단계 단조공정(단조, 열처리, 흑피제거, 초음파탐상검사, 황삭가공, 고주파열처리, 정삭가공, 최종검사)으로 공정절차가 축소되어 생산을 향상의 결과를 얻을 수 있었다.

Fig. 1 Casted Sheave



Fig. 2 Forged Sheave



3. 개발공정 개선사항

기존 주조제조공정의 문제점을 개선하기 위해 단조공정으로 제조공정을 개선하였으며, 개발결과 개선사항은 아래와 같다.

Table 1 Manufacturing Process Comparison

제작공정	개선사항
주강 Sheave (기존방식)	. Ultrasonic Testing 불가능 . 기포발생률이 높음 . Crack 발생률 높음
단조 Sheave (개발방식)	. Ultrasonic Testing 가능 . 기포발생률 없음 . Crack 발생률 없음.

REFERENCES

- 1 <https://blog.naver.com/gumjung>
- 2 <https://blog.naver.com/dualsk4941>

CNC 자동선반의 검사 & 적재 자동 시스템 구축

Development of Automated Inspection and Loading System for CNC Automatic Lathes

*김도윤¹, #김병창¹

¹Do Yun Kim¹, #Byoung Chang Kim(bckim@uok.ac.kr)¹

¹경남대학교 스마트제조시스템공학과

Key words : CNC Lathe, Pinion Shaft, Robotic Inspection, Cleaning Automation

*발표자, #교신저자

본 연구는 CNC 선반으로 가공되는 8속 자동변속기용 Pinion Shaft의 후공정을 대상으로 로봇 연계 자동 치수검사 및 세척 공정을 개발한 것이다. 기존 공정은 이송·검사·세척·적재가 작업자 수작업에 의존하여 생산성 저하와 품질 편차가 발생하였다. 이에 머신텐딩 로봇, 센서 기반 치수검사, 자동 세척 및 적재 모듈을 In-line으로 통합하였다. 개발 결과, 사이클 타임 단축, 검사 정확도 향상, 인력 투입 감소 및 공정 데이터 자동 수집 기반을 확보하였으며, Pinion Shaft 공정의 품질 안정화와 제조원가 절감 가능성을 확인하였다.

1. 서론

Pinion Shaft는 자동 변속기 내부에서 동력 전달에 관여하는 핵심 정밀부품으로, 치수 안정성, 외관 품질 및 청정도 관리가 중요하다. 기존 수작업 후공정은 작업자 숙련도와 인력 공백에 따른 품질 편차가 발생하기 쉬워 자동화 요구가 높았습니다.

2. 시스템 구성 및 결과

개발 시스템은 CNC 선반 배출부와 연동되는 6축 로봇, 센서 기반 치수검사 장치, 에어블로우 중심 세척 모듈, 자동 적재 모듈 및 PLC/HMI 제어부로 구성되었다. 현장 적용 결과, 로딩·언로딩 및 검사·적재 공정의 연속화가 가능하였고, 생산성 향상과 품질 관리 데이터 확보 효과를 확인하였다.

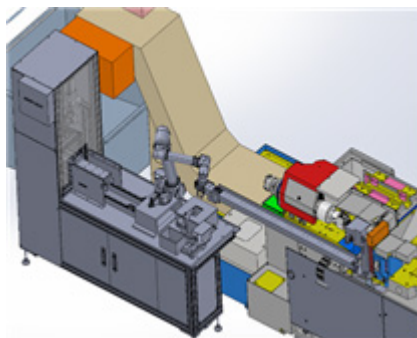


Fig. Automated System for CNC

Table 1 KPI Summary

(단위 : ea/mon, %, 천원)

구분	사업전	사업후	개선실적
생산성 향상	6,500	8900	36.9
불량률 감소	2.10	0.35	83.3
원가절감	85,457	38,944	54.4

3. 결론

본 시스템은 Pinion Shaft 후공정의 자동화 실용성을 확보한 사례로, 향후 유사 샤프트류 및 핀류 부품 공정으로 확대 적용이 가능하다. 또한 스마트 제조 기반의 품질 추적 및 원가 절감 체계 구축에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

1. International Federation of Robotics (IFR), "World Robotics Report 2023 - Industrial Robots," 2023.
2. Bosch "Automotive Transmission Technology Overview," <https://www.bosch.com/>
3. FANUC Corporation, "CNC Machine Tending Robot Solutions."

다중 센서 기반 AI 공구 마모 예측 및 로봇 연동 자동 교체 시스템 개발 Development of a Multi-Sensor-Based AI Tool Wear Prediction and Robot-Linked Automatic Tool Replacement System

*성기호¹, #이우송¹

*Ki Ho Sung¹, #Woo Song Lee(elflws@daum.net)¹

¹경남대학교 스마트제조시스템공학과

Key words : Tool Wear Prediction, Remaining Useful Life, Predictive Maintenance, Automatic Tool Change, Smart Machine Tool

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 공작기계 절삭공구의 마모를 실시간으로 진단·예측하고, 이를 로봇 및 CNC 제어 시스템과 연동하여 자동 공구 교체를 수행하는 지능형 유지관리 시스템을 제안하였다. 진동, 온도, 전류, 스피들 부하 등 다중 센서 데이터를 기반으로 AI 예측 알고리즘을 적용하여 공구 상태를 정량적으로 판단하였으며, Edge Gateway와 HMI를 통해 자동 교체 및 공정 재가동이 가능하도록 구성하였다. 제안 시스템의 목표 성능은 공구 마모 예측 오차 $\pm 10\%$ 이내, 이상 탐지 정확도 95% 이상, 자동 공구 교체 성공률 98% 이상, 비가동시간 20% 이상 감소이다.

1. 서론

절삭공구의 마모는 가공 정밀도, 표면 품질, 설비 안정성 및 생산성에 큰 영향을 미친다. 그러나 제조현장에서는 여전히 주기적 또는 경험 기반의 공구 교체가 이루어져 공구비 증가와 돌발 파손 문제가 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 다중 센서 기반 공구 상태 진단, AI 기반 마모·수명 예측, 로봇·CNC 연동 자동 공구 교체를 통합한 스마트 머신툴 유지관리 시스템을 제안하고자 한다.

2. 시스템 구성 및 연구 방법

제안 시스템은 센서 모듈, 데이터 수집·전처리 모듈, AI 분석 엔진, 로봇 인터페이스 모듈, CNC·Edge 연동부, HMI 기반 대시보드로 구성된다. 센서 모듈은 진동, 온도, 전류 및 스피들 부하 신호를 실시간 수집하며, 전처리부에서는 노이즈 제거, 특징 추출 및 공정조건 기반 정규화를 수행한다. AI 분석 엔진은 CNN 기반 특징 학습, LSTM 기반 시계열 마모 추적 및 Transformer 기반 RUL 예측 구조를 활용하여 공구의 마모 단계와 이상 여부를 판단한다. 이후 예측 결과는 공구 수명 DB와 연계되어 최적 교체 시점을 산출하며, 로봇 인터페이스 모듈을 통해 ATC 또는 Robot Tool Changer로 전달된다. 또한 CNC 제어기와의 실시간 통신을 통해 자동 교체 명령, 가공조건 조정 및 재가동 절차가 수

행되며, HMI에서는 공구 상태, 교체 시점, 이상 경보 및 운전 상태를 시각화한다.

3. 결론

본 연구에서는 공작기계 절삭공구의 상태를 다중 센서 데이터로 실시간 계측하고, AI 기반으로 마모와 잔여수명을 예측한 뒤, 로봇 및 CNC와 연동하여 자동 공구 교체를 수행하는 지능형 유지관리 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 단순 모니터링을 넘어 공구 상태 진단, 교체 시점 예측, 자동 교체, 공정 재가동의 전 주기를 통합한 구조라는 점에서 의의가 있다. 향후 실증 데이터를 기반으로 예측 성능과 자동 교체 신뢰성을 검증할 경우, 공구비 절감, 비가동시간 감소, 품질 안정화 및 무인 생산라인 구축에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 머시닝센터, CNC 공작기계, 복합가공기 등 다양한 제조 공정으로의 확장 적용이 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. "Tool Wear Monitoring with Artificial Intelligence Methods: A Review,"
2. "An efficient deep learning prognostic model for remaining useful life estimation of high speed CNC milling machine cutters,"

머신비전 기반 Fixed Scroll 부품 가공 홀 자동검사 시스템의 설계 및 정밀도 평가 Design and Precision Evaluation of a Machine Vision-Based Automated Inspection System for Machined Holes in Fixed Scroll Components

*강동우¹, #이우송²

*Dong Woo Kang¹, #Woo Song Lee(elflws@daum.net)²

1(주)선진기술, 2경남대학교 스마트제조시스템공학과

Key words : Fixed Scroll, Machine Vision, Hole Inspection, Sub-pixel Measurement, Precision Evaluation

*발표자, #교신저자

에어컨용 스크롤 압축기의 Fixed Scroll 부품은 냉매 및 윤활유 유로와 조립 정합성 확보를 위해 높은 형상 정밀도가 요구된다. 특히 측면 가공 홀의 미가공, 편심, 내경 오차 및 Burr 발생은 압축 효율 저하와 누유의 주요 원인이므로 정밀 품질검사가 필수적이다. 본 연구에서는 이를 위해 머신비전 기반 자동 검사 시스템을 설계하고, 측정 정밀도와 반복성을 평가하였다. 제안 시스템은 고해상도 카메라, 마크로 렌즈, 돛형 조명, 산업용 IPC로 구성되며, 패턴 정합, 서브픽셀 에지 검출, 원형 피팅, Burr 및 미가공 판별 알고리즘을 통합하였다. 실험 결과 중심좌표 평균오차 0.12 mm, 반경 평균오차 0.08 mm, Burr 및 형상 검출 정확도 98.3%, 반복 정밀도 ± 0.05 mm를 확보하였다. 이는 제안 시스템이 비접촉 기반 자동 품질검사 공정에 효과적으로 적용될 수 있음을 보여준다.

1. 서론

최근 스크롤 압축기의 고효율·저소음화 요구에 따라 Fixed Scroll 부품의 정밀 가공 품질 확보가 중요해지고 있다. 특히 측면 가공 홀의 미가공, 위치 편차, 내경 오차, Burr 발생은 압축 효율 저하와 누유, 조립 불량 등의 주요 원인이다. 그러나 기존의 게이지 및 육안 검사 방식은 샘플링 기반으로 전수 품질보증이 어렵고 작업자 의존성이 크다.

이에 본 연구에서는 Fixed Scroll 부품의 가공 홀 품질을 자동 판정하기 위한 머신비전 시스템을 개발하고, 패턴 정합, 서브픽셀 에지 검출, 원형 피팅 및 Burr 판별 알고리즘을 적용하여 정밀도, 반복성 및 검출 신뢰도를 평가하고자 한다.

2. 시험 대상 및 방법

시험 대상은 고정 지그에 고정된 Fixed Scroll 부품이며, 카메라는 측면 홀 방향에 수직하게 배치하였다. 조명은 그림자 및 반사 최소화를 위해 돛형 구조를 채택하였고, ROI(Region of Interest) 내 조도 균일도를 $\pm 5\%$ 이하로 유지하도록 제어하였다. 비전 검사 시스템의 하드웨어는 5 MP급 Mono Global Shutter 카메라(2448×2048 px), 마크로 렌즈(LDA15.00, focal length 15 mm), 돛형 조명(CLD 120/90-W12), 조명 제어기(Emini K-304PPA-F, 30 W/4CH/RS-232), 산업용 IPC(Intel i7 계열)로 구성된다.

3. 결과 및 고찰

측정 결과, 중심좌표 (ΔX , ΔY)의 평균오차는 0.12mm, 표준편차는 0.09mm, 인식률은 99.1%로 확인되었다. 반경 R의 평균오차는 0.08 mm, 표준편차는 0.07mm, 인식률은 97.6%였으며, Burr 및 형상 검출 정확도는 98.3%, 오탐률은 2% 이하로 나타났다.

4. 결론

제안한 시스템은 기존 육안 및 게이지 기반 검사 대비 자동화성과 반복 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있으며, 향후에는 조명 조건 및 열변위에 대한 강건성 분석, PLC/MES 연동, AI 기반 품질예측 기능과 결합된 지능형 검사 시스템으로 확장 가능하다.

REFERENCES

1. "Comprehensive Investigation of Subpixel Edge Detection Schemes in Metrology,"
2. "A High-Accuracy Circular Hole Measurement Method Based on Multi-Camera System,"

고압배전반용 면진장치의 내진 및 내환경 신뢰성 평가에 관한 연구

A Study on Seismic and Environmental Reliability Evaluation of Seismic Isolation Devices for High-Voltage Switchboards

*성만기¹, #이우송¹

^{*}Man Gi Seong¹, [#]Woo Song Lee(elflws@daum.net)¹

¹경남대학교 스마트제조시스템공학과

Key words : High-voltage Switchboard, Seismic Isolation Device, Seismic Test, Salt Fog Test, Reliability Evaluation

*발표자, #교신저자

고압배전반은 산업 현장과 도시 인프라의 핵심 전력설비로서 높은 신뢰성이 요구된다. 특히 지진, 진동, 습기 및 염해와 같은 외부 환경은 설비의 구조 안정성과 내구성에 큰 영향을 미치므로, 이에 대한 실증적 검증이 필요하다. 본 연구에서는 고압배전반(YJS-HV-630)과 면진장치(YRM-200M)를 대상으로 내진 및 내환경 성능을 평가하였다. 고압배전반은 방송통신설비 내진시험 방법 기준에 따라 ZPA 0.9 g 수준의 내진시험이 수행되었으며, 면진장치는 MIL-STD-810G Method 509.5 Salt Fog 기준에 따라 염수분무시험이 수행되었다. 또한 수배전반 화재 예방형 지능 모니터링 시스템의 현장 적용성을 확보하기 위해서는 하부 구조체와 설치 기반의 기계적·환경적 신뢰성 확보가 선행되어야 하므로, 본 연구는 그 기초 검증 단계로서 의미를 가진다.

1. 서론

수배전반은 전력계통의 핵심 설비로서, 전기적 이상 뿐 아니라 지진, 충격, 습기, 염해 등 외부 환경에 의해 신뢰성이 저하될 수 있다. 최근에는 전력설비의 내진 성능과 상태감시 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 시험성적서를 기반으로 고압 배전반의 내진 특성과 면진장치의 내환경 성능을 평가하여, 현장 적용을 위한 기초 신뢰성을 검토하고자 하였다.

2. 시험 대상 및 방법

시험 대상 고압배전반은 YJS-HV-630이며, 크기는 W 1400 mm × D 2500 mm × H 2550 mm, 질량은 2055 kg, 정격은 3상 25.8 kV, 630 A, 25 kA, 60 Hz이다. 시험 입력은 ZPA 0.9 g 수준으로 적용되었다. 시험은 내진시험 전 공진탐색, 내진응답스펙트럼시험 1차 및 2차, 내진시험 후 공진탐색 순으로 수행되었다. 면진장치는 YRM-200M 모델로, 시료는 2 EA가 사용되었다. 시험 조건은 염수 분무 구간 35 ± 2 °C, 건조 구간 25 ± 10 °C, 염수 농도 5 ± 1 % NaCl, 분무량 1~3 mL/80 cm²/h, 2주기(100 h) 조건으로 설정되었다. 시험 전후에는 육안 검사를 통해 부식 여부를 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 고압배전반용 면진장치의 내진 및 내환경 신뢰성을 시험성적서 기반으로 평가하였다. 고압 배전반 YJS-HV-630은 ZPA 0.9 g 수준의 내진시험에서 구조 건전성과 기능 유지가 확인되었으며, 면진장치 YRM-200M은 MIL-STD-810G Method 509.5 기준의 염수분무시험에서 부식 없음 결과를 나타내었다. 이를 통해 본 면진장치는 고압배전반의 지진 및 염해 환경 대응력 향상에 기여할 수 있는 실용적 구성 요소로 판단된다. 향후에는 반복 진동, 장기 내구성, 온습도 복합환경 조건을 포함한 추가 시험과 지능형 화재 예방 모니터링 시스템과의 통합 검증이 필요하다.

REFERENCES

1. "Shaking table tests of power distribution cabinets: Physical damage, post-earthquake functionality and seismic response evaluation,"
2. "Fault Detection in MV Switchgears Through Unsupervised Learning of Temperature Conditions,"
3. "A case study on the failure of the electrical panel of nuclear power plants by shaking table tests,"
4. H. J. Heo, S. W. Park, and J. H. Park, "고압 배전반의 내진성능 평가,"

Digital Twin 기반 CNC Machine Tending 공정의 AMR 투입 의사결정 연구 A Study on Digital Twin-based AMR Decision-making for CNC Machine Tending

*김창섭¹, #박태현²

^{*}Chan Seob Kim¹, [#]Tae Hyun Park(taehyun@kyungnam.ac.kr)²

¹경남대학교 스마트제조시스템공학과, ²경남대학교 기계공학부

Key words : Digital Twin, CNC Machine Tending, AMR(Autonomous Mobile Robot), Simulation

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 CNC Machine Tending 공정에서 작업자 기반 소재 이송을 AMR 기반 자동화로 전환할 때 공정 성능을 정량적으로 분석하고, 최적 AMR 투입 조건 및 의사결정식을 도출하는 것을 목적으로 한다. Digital Twin 기반 공정 모델을 구축하고 AMR 대수, 이송 시간, 공정 조건을 변수로 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. Throughput, Cycle Time 및 CNC Utilization을 기반으로 공정 성능을 분석한 결과, AMR 투입 증가에 따라 생산성은 향상되었으나 일정 수준 이후에는 병목 현상으로 인해 성능 향상이 둔화되는 포화 구간이 나타났다. 이를 바탕으로 공정 조건에 따른 적정 AMR 투입 기준을 제안하고, 효율적인 공정 운영을 위한 활용 가능성을 제시하였다.

1. 서론

최근 CNC Machine Tending 공정에서 AMR 기반 자동화 도입이 확대되고 있으나, AMR 투입 대수 변화에 따른 공정 성능과 관련된 정량적 분석 연구가 충분히 다루어지지 않았다. 이에 본 연구에서는 Digital Twin 기반 공정 모델을 활용하여 AMR 투입 대수 변화에 따른 공정 성능을 분석하고, 공정 조건에 따른 적정 AMR 투입 조건을 제안하고자 한다.

2. 공정 모델 구성 및 시뮬레이션 조건

본 연구에서는 CNC Machine Tending 공정을 대상으로 Digital Twin 기반 공정 모델을 구축하였다. 공정 시스템은 CNC 장비 3대와 소재 이송 시스템으로 구성되며, 이송 방식은 작업자 기반 이송(Manual)과 AMR 기반 자동 이송으로 구분하였다. Simulation은 8시간 공정을 기준으로 수행하였으며, AMR 투입 대수를 주요 변수로 설정하였다.

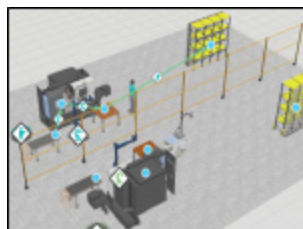


Fig. 1 CNC Machine Tending Digital Twin

Table 1 Performance Comparison by Transport Method and Number of AMRs

Method	Number of AMRs	Cycle Time(s)	Throughput(ea/h)	CNC Utilization (%)
Manual	0	160	67.5	75
AMR	1	150	72.0	80
AMR	2	138	78.0	85
AMR	3	136	79.0	86

3. 결론

AMR 적용 시 생산성과 설비 활용도가 향상됨을 확인하였다. 그러나 투입 대수가 일정 수준을 초과할 경우, 병목 현상으로 인해 성능 향상이 제한되는 포화 구간이 나타났다. 본 연구는 구축된 디지털 공정 환경을 통해 공정 변수 변화에 따른 AMR 투입 대수의 정량적 분석 가능성을 제시한다.

REFERENCES

1. Ellithy, K. et al., "AGV and Industry 4.0 in Warehouses: A Comprehensive Analysis," Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2024.
2. Erdogan, B. et al., "Manufacturing Intralogistics Concepts for a Battery Assembly Line," Winter Simulation Conference, 2024.

구두발표

특별세션 OS8

좌장 : 이상민(동의대)

알루미늄 와이어 본딩 전단 시험의 오차 분석 및 정확도 연구

Analysis of Error Source and Accuracy Evaluation for Aluminum Wire Bonding Shear Test

*공혜성¹, 성지민¹, # 이상민^{2,3}

^{*}Hye Seong Kong¹, ^{Ji}Min Seong¹, [#]Sang Min Lee(thinking@deu.ac.kr)^{2,3}

¹동의대학교 기계공학과, ²동의대학교 자동차공학과, ³동의대학교 미래모빌리티연구소

Key words : Wire Bonding, Shear Strength, Fracture Mode

*발표자, #교신저자

전력반도체 패키지에서 와이어 본딩은 전기적 연결과 기계적 신뢰성 확보를 위한 핵심 공정이며, 접합부 신뢰성은 패키지 성능을 결정하는 중요한 인자(factor)이다. 알루미늄 와이어의 접합 강도는 주로 전단 시험(shear test)으로 평가되나, 시험 조건과 파단 양상에 따라 결과의 일관성과 재현성 확보에 한계가 있다. 또한 전단 시험을 통해 획득한 전단 강도만으로는 접합부의 본딩 강도를 충분히 평가하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 전단 시험에서 획득한 하중-변위 프로파일 및 파단 형상 데이터에 기반하여 시험 과정의 오차 요인과 그 영향을 분석하고, 시험 결과의 정확도를 정량적으로 평가하고자 한다. 나아가 머신러닝 기술을 활용한 데이터 분석을 통해 정확도 예측 모델을 개발하고, 전단 시험의 신뢰성 향상을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

후기 본 연구는 교육부 및 한국산업기술진흥원의 첨단산업 인재양성 부트캠프 (P0028153) 사업 재정지원을 받아 수행된 연구입니다.

레이저 표면 텍스처링을 이용한 금속 기판의 미세구조 및 젖음성 분석 Microstructure and Wettability Analysis of Metal Substrates via Laser Surface Texturing

*이승훈¹, 박경희¹, # 이상민^{2,3}

^{*}Seung Hun Lee¹, Kyeong Hui Park¹, [#]Sang Min Lee(thinking@deu.ac.kr)^{2,3}

¹동의대학교 기계공학과, ²동의대학교 자동차공학과, ³동의대학교 미래모빌리티연구소

Key words : Laser Surface Texturing, Pattern Design, Wettability, Surface Modification

*발표자, #교신저자

반도체의 활용 범위가 확대되면서 반도체 패키징 분야에서 열적·기계적 변형으로 인한 신뢰성 저하 문제가 주요 기술적 과제로 부각되고 있다. 패키징 공정에서 발생하는 금속-금속 및 금속-폴리머 계면의 접착력 향상을 위해 다양한 표면 처리 방법이 연구되어 왔다. 본 연구는 레이저 표면 텍스처링(Laser Surface Texturing, LST) 기술을 활용하여 금속 표면의 계면 접합력을 향상시킬 수 있는 미세구조를 개발하고자 한다. 상용 금속 레이저를 이용하여 알루미늄 및 구리 기판에 형성된 미세구조를 분석하고, 개질된 금속 표면이 접착제(adhesive)의 젖음성에 미치는 영향을 고찰한다. 아울러, 표면 패턴 형상에 따른 젖음성 변화를 비교 분석한다. 향후 개질된 표면의 접착력 평가를 통해, 반도체 패키징에 활용되는 금속 재료의 계면 접착력 향상을 위한 최적 구조 및 패턴 설계의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

후기 본 연구는 교육부 및 한국산업기술진흥원의 첨단산업 인재양성 부트캠프 (P0028153) 사업 재정지원을 받아 수행된 연구입니다.

비접촉식 온도 측정을 위한 라플라스 압력 기반 양자점 초입자 합성 Laplace Pressure-Based Synthesis of Quantum Dot Supraparticles for Non-Contact Temperature Sensing

*성민규¹, 박제현¹, #이원형¹

*Min Gyu Seong¹, Je Hyeon Park¹, #Won Hyung Lee(wonhyung@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Droplet, Capillary Pressure, Fluorescence

*발표자, #교신저자

양자점은 온도에 따라 형광 신호가 변화하는 고유한 광학적 특징을 지닌다. 그러나 나노미터 수준의 미세한 크기로 인해 실제 조작 및 활용처가 제한적이라는 한계가 있다. 본 연구에서는 이를 극복하고자 나노 양자점을 마이크로미터 크기로 응집시킨 온도 감응형 초입자를 제작하였다. 유기용매 내 물, 2상의 유체 계면 라플라스 압력을 기반으로 양자점 현탁액 액적을 형성하고, 수용액 액적의 증발 및 수축 현상을 유도하였다. 그 과정에서 액적 내 양자점은 응집되어 초입자로 합성되었다. 비접촉식으로 온도 변화에 따른 양자점 초입자의 형광 신호값 변화를 확인하였으며, 현재 공정의 제한적인 생산성을 극복하기 위해 향후 본 기술을 대량 생산 플랫폼에 적용할 계획이다.

액적 기반 초입자 대량생산 시스템과 그 응용
Droplet-based Supraparticle Production System and Its Applications

*[#]이원형¹, 박정빈¹

*[#]W. Lee, J. B. Park

¹국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Microfluidics, Manufacturing, Self-assembly

^{*}발표자, [#]교신저자

액적 기반 초입자 대량생산 시스템은 마이크로플루이딕 기반 액적 생성과 증발 유도 자가조립을 결합해, 나노 입자를 마이크로 사이즈의 구조적·기능적 초입자로 효율적으로 전환하는 기술이다. 본 연구에서는 3D 다중노즐 액적 생성, punch-free 흐름 분배, 대면적 증발기 구현을 통해 생산성을 높이고 입자 크기와 균일도를 제어하는 전략을 제시한다. 또한 초입자의 계층적 다공성 및 높은 반응성을 활용하여 가스 저장·센싱, 바이오센싱, 차세대 droplet digital polymerase chain reaction (ddPCR) 플랫폼 등 다양한 응용 가능성을 논의한다.

촉각 센싱 기술의 원리와 로봇 응용 Principles and Robotic Applications of Tactile Sensing Technologies

김지민¹, *#김호진¹

Ji Min Kim¹, *#Ho MJn Kim(hjkim@dongseo.ac.kr)¹

¹동서대학교 기계공학과

Key words : Electrical Tactile Sensor, Vision-Based Tactile Sensor, Robotic Manipulation

*발표자, #교신저자

본 논문에서는 전기적 촉각 센서와 시각 기반 촉각 센서의 동작 원리와 구조적 특성을 비교하고, 하드웨어 및 소프트웨어 측면의 장단점을 분석하여 로봇 제어에서의 활용 가능성을 살펴보고자 한다. 전기적 방식은 빠른 응답성과 단순 신호 처리에 강점이 있으나 배선 복잡도와 공간 해상도 측면에서 한계를 가지며, 시각 기반 방식은 고해상도 접촉 정보와 다양한 물리량 추정에 유리하나 영상 처리 지연과 환경 민감성을 동반한다. 또한 마커 기반 및 강도 기반 시각 센서의 특성을 정리하고^[1], GelSight Wedge의 소형 고해상도 3차원 형상 복원 기술^[2]과 GelTip의 전방향 접촉 감지 특성^[3]을 통해 정밀 파지, 물체 인식, 복잡한 조작 작업에서의 응용 가능성과 발전 방향을 논의하고자 한다.

REFERENCES

1. Haoran Li, Yijiong Lin, Chenghua Lu, Max Yang, Efi Psomopoulou and Nathan F. Lepora, "Classification of Vision-Based Tactile Sensors: A Review", IEEE Sensors Journal, Vol. 25, No. 19, pp. 35672-35686, 2025.
2. Shaoxiong Wang, Yu She, Branden Romero and Edward Adelson, "GelSight Wedge: Measuring High-Resolution 3D Contact Geometry with a Compact Robot Finger", Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), IEEE, pp. 6468-6475, 2021.
3. Daniel Fernandes Gomes, Zhonglin Lin and Shan Luo, "GelTip: A Finger-shaped Optical Tactile Sensor for Robotic Manipulation", Proceedings of the 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), IEEE, pp. 9903-9909, 2020.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00213140).

구두발표

OP1 적층제조

좌장 : 김석(연세대)

Diamond TPMS 단위체의 설계에 따른 도파관 내부 전자기적 특성 분석 Investigation of the Effects of Design of Unit Cell for Diamond TPMS on Electromagnetic Characteristics in the Waveguide

*범종찬¹, #안동규¹

*Jong Chan Beom¹, #Dong Gyu Ahn (smart@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Diamond, Triply Periodic Minimal Surface, Design, Electromagnetic Characteristics

*발표자, #교신저자

삼중 주기적 최소 곡면 (Triply periodic minimal surface : TPMS) 은 3 차원 주기적으로 반복되는 곡면을 내부에 가진 구조로 비표면적 및 공간 충전율이 높다는 특징이 있다. 이러한 곡면은 입사된 전자기파 (Electromagnetic wave : EMW) 를 다중 반사시켜 EMW 와 TPMS 구조 기반 필터 사이의 접촉 횟수를 크게 증가시킬 수 있다. 이는 전자기파 간섭 (Electromagnetic interference : EMI) 차폐 성능 향상 뿐만 아니라 경량화 등의 기계적 특성 향상에도 기여할 수 있다. 하지만 TPMS 구조를 적용한 EMI 차폐 필터 관련 연구는 거의 진행되지 않았다. 따라서, 이 연구에서는 다양한 TPMS 형상 중에서 상대적으로 높은 EMI 차폐 성능이 관측된 Diamond TPMS 단위체의 설계에 따른 도파관 (Waveguide) 내부의 전자기적 특성을 분석하고자 한다. 상용 소프트웨어인 nTopology 을 통해 생성한 Diamond 단위체를 반복 배치하여 다중 셀 형태로 설계하였다. 설계된 Diamond 구조를 전자기적 특성 분석 소프트웨어인 ANSYS HFSS 에 적용하여 단위체의 크기 및 두께에 따른 전자기적 특성 변화를 수치적으로 분석하였다. 이 결과를 통해 EMI 차폐 성능이 가장 뛰어난 Diamond TPMS 단위체의 설계 방안을 도출하였다.

후기 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (No. RS-2025-00562459).

결정소성 유한요소해석을 통한 적층제조 IN738LC의 미세조직 기반 저주기 피로 거동 해석

Crystal Plasticity Finite Element Modelling of Microstructure-sensitive Low-cycle Fatigue in Additively Manufactured IN738LC

*유가온¹, 이승훈¹, 전하늘¹, 조중욱¹, #김경덕¹

¹Ga On Yu¹, Seung Hoon Lee¹, Ha Nul Jeon¹, Jung Wook Cho¹, #Kyoung Doc Kim¹

¹포항공과대학교 친환경대학원 친환경소재학과

Key words : IN738LC, Additive Manufacturing, Aging Heat Treatment, Low-Cycle Fatigue

*발표자, #교신저자

적층제조 IN738LC의 시효 열처리 조건이 저주기 피로수명에 미치는 영향을 미세조직-기반 시뮬레이션을 통해 예측하고, 실험적으로 검증하였다. 1120°C 용체화 처리 후 800°C/24h, 800°C/48h, 900°C/24h, 900°C/48h 조건을 적용하였으며, SEM/EBSD 관찰 결과를 바탕으로 유한요소해석(Crystal Plasticity Finite Element Method, CPFEM) 기반 피로 모델을 활용하여 FIP 기반 균열 개시, 미세조직 장균열 및 균열성장 해석을 수행하였다. 미세하고 조밀한 bimodal γ' 분포와 낮은 KAM을 나타내는 미세조직 구조의 경우엔 반복 소성변형의 국부화를 효과적으로 억제하여 우수한 저주기 피로 수명을 보였다. 이를 통해 인장강도 최적 조건과 저주기 피로수명 최적 조건이 상이함을 확인하였다.

1. 서론

니켈기 초내열합금 IN738LC는 고온 구조재료 널리 사용되며, 적층제조 적용 시 후열처리에 따른 γ' 미세조직 제어가 기계적 특성과 피로수명을 좌우한다. 특히 저주기 피로는 단조 인장특성과 달리 반복 소성변형의 국부화와 균열 개시 거동에 민감하므로, 미세조직 기반 수명 예측과 실험 검증이 필요하다.

2. 연구방법

적층제조 IN738LC에 1120°C 용체화 처리 후 800°C/24h, 800°C/48h, 900°C/24h, 900°C/48h 시효를 적용하였다. SEM 및 EBSD를 통해 γ' 분포와 결정립 정보를 분석하였고, 이를 유한요소해석 기반 피로 모델의 입력값으로 사용하였다. 시뮬레이션은 Dream.3D 기반 porosity/grain 정보와 물성 입력을 바탕으로 CPFEM calibration을 수행하고, stress-strain/slip/internal stress 상태에서부터 FIP distribution, crack start point, microstructurally long crack, crack growth, full fatigue life를 계산하는 방식으로 수행하였다.

3. 결론

본 연구에서는 적층제조 IN738LC의 시효 열처리 조건에 따라 γ' 미세조직과 저주기 피로 거동이 크게 달라짐을 확인하였다. 시뮬레이션과 실험 응력-변형률 곡선을 비교한 결과, 전체 곡선 기준 약 93.3%의 일치도를 나타냈으며, 최대 인장응력과 최대 압축응력의 재현도는 각각 98.2%, 99.6%로 평가되었다.

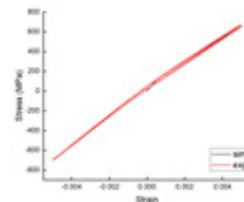


Fig. 1 Comparison of Experimental and Simulated Stress-Strain Curves

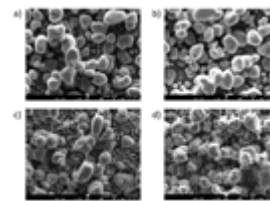


Fig. 2 Scanning electron micrographs of IN738LC after ageing for a) 900°C/24h, b) 900°C/48h c) 800°C/24h, d) 800°C/48h

Table. 1 Chemical composition of IN738LC(at%)

Element	Ni	Al	Ti	Co	Cr
IN738LC	59.57	7.16	4.040	8.20	17.49

단위체 크기 변화에 따른 직접식 공기 포집 필터 구조 내부 유동 특성 변화 분석 Investigation of the Influence of Unit Cell Size Variation on Flow Characteristics in Filter Structures

*기데온 사이먼 엠두마¹, 범종찬¹, #안동규¹, 정영달¹

*Gideon Simon Mduma¹, Jong Chan Beom¹, #Dong Gyu Ahn(smart@chosun.ac.kr)¹,

Young Dal Jeong¹

¹ 조선대학교 기계공학과

Key words : Flow Characteristics, Computational Fluid Dynamics, Lattice Structures, Non-Stochastic

*발표자, #교신저자

Air filters often utilize structured porous materials, such as lattices or monoliths. The size of the unit cells within these materials affects gas flow, mass transfer, and the kinetics of CO₂ adsorption. This study examines how non-stochastic variations in unit cell size impact CO₂ capture performance. By employing computational fluid dynamics modeling and MATLAB-based optimization, the surface-to-volume ratio, permeability, and pressure changes were assessed in nine different unit cells. The results presented an optimal unit cell for enhanced capture efficiency.

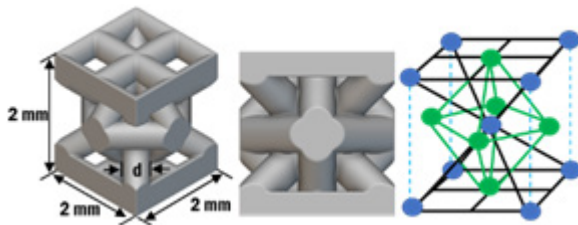


Fig. 1 Hybrid Body-centered and Face-centered unit cell structure

REFERENCES

1. Lee, J., Lee, H., Tan, W. S., Chuah, C. Y., Tan, M. J., Bae, T.-H., & Song, J. (2025), Enhancing CO₂ capture efficiency using optimized 3D-Printed structured adsorbents, Separation and Purification Technology, 361, 131495.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2025-00562459)

**샌드 프린팅 서포트 보조 Wire Arc DED 하이브리드 공정을 활용한
오버행 형상 적층 연구**
**Sand-Printing-Assisted Wire Arc Directed Energy Deposition for
Overhang Structure Fabrication: A Hybrid Process Approach**

*최창영¹, 손휘준¹, 김영재¹, #조영태¹

¹Chang Young Choi¹, Hwi Jun Son¹, Yeong Jae Kim¹,

#Young Tae Cho(ytcho@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : WA-DED, Sand Printing, Bead Collapse, Overhang Structure

*발표자, #교신저자

Wire Arc Directed Energy Deposition(WA-DED)은 높은 증착률과 재료 효율성으로 대형 금속 구조물 제작에 유리하나, 저각 오버행 구간에서 중력에 의한 비드 용락이 발생하여 안정적 공정 제어가 어렵다. 본 연구는 이를 해결하기 위해 샌드 프린팅 기반 서포트를 활용한 하이브리드 WA-DED 공정을 제안한다. 지지체 없는 조건을 기초 실험에서 경사각 약 40° 이하 구간에 뚜렷한 용락이 확인되었으며, 경사각별 샌드 서포트를 적용한 결과 저각 오버행 구간에서도 형상 붕괴 없이 안정적인 적층이 가능함을 검증하였다. 표면 waviness 및 형상 정밀도 분석을 통해 정량적으로 확인하였으며, 제안 공정이 기존 WA-DED의 오버행 적층 한계를 효과적으로 극복함을 입증하였다.

Acknowledgement 이 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-KI002700, 우주항공/소형원전/방위산업 특화 적층제조기술 혁신 얼라이언스 구축, 중견기업-지역 혁신 얼라이언스 지원사업). 이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00507253)

전자빔 분말 베드 용융(E-PBF) 공정의 기공 및 표면 결함 모니터링 프레임워크 개발 Development of a Process Monitoring Framework for Pore and Surface Defect Detection in Electron Beam Powder Bed Fusion (E-PBF)

*#이기준¹

*#Ki Joon Lee(kijoon.lee@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계시스템공학과

Key words : Additive Manufacturing, Electron-beam Powder Bed Fusion, In-situ Process Monitoring,
Electron-optical Imaging

*발표자, #교신저자

전자빔 분말 베드 용융(E-PBF)은 고에너지 전자빔을 열원으로 사용하여 금속 분말을 층별로 용융·적층하는 금속 적층제조 공정이다. 레이저빔 방식(L-PBF)과 달리 잔류 응력이 낮고 티타늄 등 고온 소재 가공에 특히 유리하다. 그러나, 엄격한 품질 인증 요건과 반복적인 결함 발생으로 인해 항공우주·방산 등 고신뢰성 요구 산업으로의 광범위한 적용이 제한되고 있다. 본 연구에서는 기공과 불균일 표면 형상을 탐지하기 위한 공정 모니터링 프레임워크를 제안한다. 후방산란전자 검출기를 활용한 전자광학(ELO) 이미징을 통해 레이어별 이상 징후를 검출하고, X선 컴퓨터 단층촬영 데이터와의 상관 분석을 수행하였다. 결함 검출에는 고전적 확률적 검출(POD) 방법과 딥러닝 기반 분할 기법을 함께 평가하였다.

TPMS 형상에 따른 그래핀 필라멘트 기반 재료압출 적층제조 시편의 제작 특성 및 전기적 저항 변화 고찰

A Study on the Manufacturing Characteristics and Electrical Resistance Variation of Graphene Filament-Based Material Extrusion Specimens with Different TPMS Geometries

*한승헌¹, 범종찬¹, #안동규¹

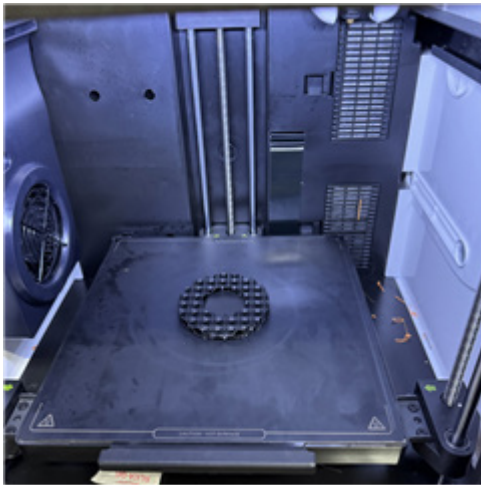
*S. H. Han¹, J. C. Beom¹, #D. G. Ahn(smart@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Electrical Resistance, Graphene Filament, Triply Periodic Minimal Surface

*발표자, #교신저자

용융 압출 적층제조 공정 (Fused Deposition Modeling, FDM) 은 공간 충전율 및 적층 경로를 조절할 수 있어 차폐 구조물의 전기적 저항 특성을 효과적으로 분석할 수 있는 공정이다. 본 연구에서는 FDM 공정 기반 3D 프린터인 MakerBot Sketch Sprint 를 사용하여 그래핀이 함유된 필라멘트를 적용하고, 다양한 제작 조건에서 Diamond, Gyroid, Primitive, Split-P, Lidinoid 및 Neovius 여섯 가지 TPMS 단위 구조를 설계 및 제작하였다. 제작된 시편에 대해 전기적 저항을 측정하고 비교 분석함으로써 제작 조건이 시편 내부 구조의 불균일성 및 미세 균열 발생이 전기적 특성에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구는 TPMS 구조 기반 적층제조 시편의 제조 조건과 전기적 특성 간의 상관관계를 규명하고, 향후 EMI 차폐 구조 설계를 위한 기초 자료를 제공한다.



후기 이 연구는 정부 (과학기술정보통신부) 의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (No. RS-2025-00562459).”

구두발표

OP2-1
시뮬레이션/최적화

좌장 : 윤성민(국립창원대)

로봇 유연 관절용 경사기능 베지어 오제틱 메타물질 구조 설계 Structural Design of Functionally Graded Bézier Auxetic Metamaterials for Robotic Flexible Joints

*남궁길¹, 김재준¹, 박승훈¹, 양현성¹, #하태광¹

^{*}Gil Namgung¹, Jae Jun Kim¹, Seung Hun Park¹, Hyeon Seong Yang¹,

[#]Tae Kwang Ha(hataekwang@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Flexible Joint, Auxetic Metamaterial, Bézier Spline, Functionally Graded Structure

*발표자, #교신저자

로봇의 유연 관절은 구조의 탄성 변형을 이용하여 운동을 구현하는 방식으로, 물리적 유연성을 기반으로 동작을 수행하기 때문에 높은 유연성과 변형 제어 능력이 중요하다. 본 연구에서는 직선형 오제틱 구조에 베지어 스플라인(Bézier Spline)을 적용한 메타물질 구조를 설계하였으며, 유닛 셀 간 기하학적 구배를 적용한 경사기능(Functionally Graded) 오제틱 구조의 인장 및 압축 거동을 유한요소 해석을 통해 분석하였다. 곡선형 구조는 직선형 대비 반력이 감소하여 유연성이 향상되었으며, 기하학적 구배를 통하여 포아송비를 효과적으로 제어할 수 있음을 확인하였다.

후기 본 연구는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업의 연구결과입니다.

사출성형 압력 변수가 자동차용 Nozzle Defroster 부품의 중량 및 품질에 미치는 영향에 관한 회귀 분석 연구

A Study on the Impact of Injection Molding Pressure on Weight and Quality of Automotive Nozzle Defroster Parts via Regression Analysis

*정하문¹, #윤주일²

¹Jeong Ha Moon¹, [#]Ju Il Yoon(juilyoon@hansung.ac.kr)²

¹한성대학교 스마트융합건설링학과 스마트팩토리전공, ²한성대학교 기계시스템공학과

Key words : Injection Molding, Process Parameter, Correlation, Regression

*발표자, #교신저자

플라스틱 사출성형 공정에서는 다양한 공정 조건이 제품 품질에 중요한 영향을 미치며, 특히 사출성형 설비의 가동 조건은 제품 중량과 밀접한 관련이 있다. 본 연구에서는 사출압력, 위치전환 최대 압력, 쿠션 위치와 같은 주요 공정 인자가 제품 중량에 미치는 영향을 분석하기 위하여 사출 현장에서 수집한 488 사이클의 공정 데이터와 실제 계량된 제품 중량을 활용하였다. 이를 통해 공정 조건과 제품 중량 간의 관계를 정량적으로 규명하고, 공정 설정 최적화를 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

1. 서론

자동차 부품 산업에서 사출성형 공정의 조건 설정은 제품 품질의 일관성을 결정짓는 핵심 요소이다. 특히 본넷트와 같은 대형 외장 부품은 미세한 공정 변화가 제품 중량의 변동과 불량으로 직결되므로, 설비 가동 조건과 품질 지표 간의 상관관계를 명확히 규명하는 것이 필수적이다. 본 연구는 스마트 팩토리 구현을 위한 기초 단계로서, 사출 현장에서 발생하는 대규모 공정 데이터를 활용하여 주요 인자가 제품 중량에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 품질 예측을 위한 회귀 모델의 유효성을 검증하고자 한다.

2. 연구 방법 및 결과

본 연구는 우진 플라임 유압식 사출기(DL700A)와 금형을 사용하여 자동차용 대시보드에 적용되는 PP(Polypropylene) 수지를 대상으로 실증 테스트를 수행하였다. 데이터 수집은 사출 현장에서 직접 수집한 총 488 사이클의 실제 공정 데이터와 이에 대응하는 제품 계량 중량 데이터를 활용하였다. 연구를 위한 독립 변수로는 품질에 유의미한 영향을 미치는 사출 압력, 위치 전환 시 최대 압력, 쿠션 위치를 주요 공정 인자로 선정하였다.

각 인자별 단순 선형 회귀 분석을 수행한 결과, 모든 변수가 제품 중량과 뚜렷한 양(+)의 상관관계를 보임을 확인하였다. 특히 사출 압력이 상승함에 따라 성형 중

량이 선형적으로 증가하는 경향이 뚜렷하게 나타났습니다.

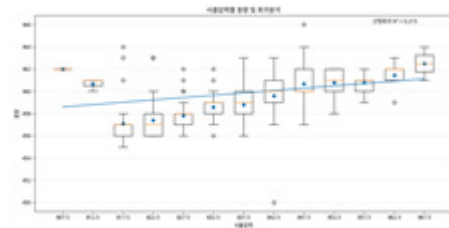


Fig. 1 The correlation between injection pressure and molded part weight

3. 결론

488 사이클의 실증 데이터를 바탕으로 분석한 결과, 사출 압력과 쿠션 위치 등의 변수는 자동차 부품의 중량 안정성을 결정짓는 결정적 인자임을 확인하였다. 이는 현장에서 제품 중량 측정만으로도 주요 공정 변수의 이상 유무를 역으로 추적하거나 불량(미성형 등)을 예측할 수 있는 실용적인 근거가 된다고 판단된다.

REFERENCES

1. Cavity pressure based grey prediction of the filling-to-packing switchover point for injection molding 2 Page. Journal of Materials Processing Technology 183 (2007) 419-424

고온 인장 하중 조건에서 나노결정 Ni의 역 홀-패치 거동 Inverse Hall-Petch Behavior in Nanocrystalline Ni under High-Temperature Tensile Loading

*추민현¹, 변도균², #윤성민¹

*Min Heon Chu¹, Do Gyun Byeon², #Sung Min Yoon(yoonsm@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 기계공학부, ²국립창원대학교 첨단나노과학기술연구소

Key words : Nanocrystalline Nickel, Inverse Hall-Petch, High-temperature, Microstructural Analysis

*발표자, #교신저자

나노결정 금속에서는 결정립 크기 감소에 따라 기존 홀-패치 관계와 반대되는 역 홀-패치 거동이 나타나며, 이는 재료 강도 예측의 불확실성을 증가시키는 요인으로 작용한다. 특히 고온 환경에서는 열적 활성화로 인해 강도 예측을 더욱 불확실하게 하기 때문에 다양한 고온 조건에서의 나노-인장분석은 고온용 금속 연구분야에서 필수적이다. 이에 본 연구에서는 나노결정 Ni에 대하여 분자동역학 시뮬레이션을 이용하여 평균 결정립 크기 10.8-17.2 nm 범위의 모델을 대상으로 300-900 K 온도 조건에서 인장 거동을 분석하였다. 나노결정 Ni의 역 홀-패치 거동을 전위, 상변태와 같은 미세구조 관점에서 규명하였고, 해당재료의 기계적특성을 고온 환경 변형 메커니즘과 함께 상세화한다.

제조 공정의 접촉-균열 상호작용 예측을 위한 위상장 기반 통합 유한요소 구조해석 프레임워크 개발

Development of a Finite Element Framework Combining Phase-field Fracture and Third-medium Contact for Manufacturing Process Simulation

*#김재민¹, 김국헌¹, 윤성민¹, 이동화²

*#Jae Min Kim(jaeminkim@changwon.ac.kr)¹, Guk Heon Kim¹, Sung Min Yoon¹, Dong Hwa Lee²

¹국립창원대학교 기계공학부, ²한국원자력연구원 경수로핵연료기술연구부

Key words : Third-medium Contact Mechanics, Phase-field Fracture Mechanics, Three-point Bending Test, Brazilian Disk Test

*발표자, #교신저자

본 논문은 대변형 구조해석 체계 내에서 위상장 파괴(Phase-field fracture mechanics) 모델과 제3매질 접촉(Third-medium contact mechanics) 모델을 통합하는 이론적·수치적 유한요소(Finite elements) 프레임워크를 제시한다. 날카로운 균열은 확산 손상장으로, 불연속 접촉 계면은 보조장을 갖춘 가상 매질(Third-medium)로 각각 정규화되며, 이 두 기법의 통합은 여러 수치적 난제에 대한 견고한 처리를 필요로 한다. 2차원 3점 굽힘 시험과 3차원 브라질리안 디스크 시험을 통해 검증한 결과, 안정적인 하중-변위 응답과 접촉-균열 상호작용이 확인되었다. 특히 브라질리안 디스크에서는 접촉 영역 부근의 2차적 압쇄형 파괴가(Secondary crushing-type fracture) 자연스럽게 재현되어, 변화하는 접촉 면적이 구동하는 복잡한 파괴 메커니즘에 대한 해석 능력을 입증하였다.

후기 본 과제(결과물)는 교육부와 경상남도(RISE센터)의 재원으로 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 연구결과입니다. 이 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-KI002700, 우주항공/소형원전/방위산업 특화 적층제조기술 혁신 얼라이언스 구축, 중견기업-지역 혁신 얼라이언스 지원사업)

분자동역학 기반 CoCrNi 중엔트로피 합금의 온도, 변형 속도 및 결정립 크기 효과에 대한 변형 거동 분석

Molecular Dynamics Based Study of Tensile Deformation Behavior in CoCrNi Medium Entropy Alloys Considering Temperature, Strain Rate, and Grain Size

*박찬의¹, 변도균², #윤성민³

*Chan Ui Park¹, Do Gyun Byeon², #Sung Min Yoon(yoonsm@changwon.ac.kr)³

¹국립창원대학교 기계공학대학, ²국립창원대학교 첨단나노과학기술연구소, ³국립창원대학교 기계공학대학
모빌리티기계공학과

Key words : CoCrNi, Temperature, Strain Rate, Grain Size

*발표자, #교신저자

CoCrNi 기반 중엔트로피 합금은 높은 강도와 안정된 구조로 극한 환경 적용 가능성이 주목된다. 이러한 합금의 변형 거동은 결정립 크기, 변형 속도, 온도와 같은 조건에 의해 복합적으로 결정되며, 이는 소성 변형 및 상구조 변화와 밀접한 관련을 갖는다. 본 연구에서는 분자동역학 시뮬레이션을 통해 격자상수 3.60 Å, 약 300 x 300 x 300 Å³ 크기의 모델을 구성하고, 단결정과 다양한 결정립 크기(60-150 Å)를 대상으로 300-900 K 및 1.0 × 10⁸-1.0 × 10¹⁰ s⁻¹ 조건에서 인장 거동을 분석하였다. 이러한 결과를 바탕으로 온도 및 미세조직 변화에 따른 변형 메커니즘과 구조 진화 특성을 비교 분석하였다.

구두발표

OP2-2
시뮬레이션/최적화

좌장 : 김병철(한국기술교육대)

**진동 시험용 지그의 경량화 및 고유진동수 향상을 위한
최적설계 기반 설계 자동화 방법 개발**
**Development of an Automated Optimization Method for Weight Reduction
and Natural Frequency Enhancement of Vibration Test Fixtures**

*김지선¹, #김정진¹

*Ji Sun Kim¹, #Jung Jin Kim(kjj4537@gmail.com)¹

¹계명대학교 기계공학과

Key words : Vibration Test Fixture, Optimization Method, Lightweight Design, Modal Analysis

*발표자, #교신저자

기존 진동 시험용 지그는 경험 기반의 반복 설계에 의존하여 설계 효율이 낮고 결과의 일관성이 부족한 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 차량용 램프 지그의 구조 효율 향상을 위해 경량화와 고유진동수 향상을 동시에 달성할 수 있는 최적설계 기반 설계 자동화 방법을 제안하였다. 주요 리브, 유효 리브, 보강 리브를 고려한 단계적 최적설계를 수행하였으며, 각 단계에서 모달해석 결과를 반영하여 설계를 점진적으로 개선하였다. 적용 결과, 고유진동수의 저하 없이 질량을 약 25~30% 감소시키는 결과를 확인하였다. 이러한 결과는 제안된 방법이 구조 효율 향상에 효과적이며 실제 설계 적용 가능성이 있음을 보여준다.

후기 이 연구는 2026년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음. (과제번호: 20250558)

VaRTM 공정변수 기반 현무암 섬유 기지 복합재의 기계적특성 평가

Evaluation of Mechanical Properties in Basalt Fiber Composites Fabricated by Different Process Parameters of VaRTM

*윤기현¹, 변도균², #윤성민³

*Gi Hyun Yoon¹, Do Gyun Byeon², #Sung Min Yoon(yoonsm@changwon.ac.kr)³

¹국립창원대학교 일반대학원 스마트제조융합협동과정, ²국립창원대학교 나노첨단과학기술연구소,

³국립창원대학교 기계공학대학 모빌리티기계공학과

Key words : Basalt Fiber Composites, VaRTM, Process Parameter, Tensile Strength

*발표자, #교신저자

기존 금속 재료는 우수한 기계적 특성을 가지지만 높은 밀도와 부식 문제로 인해 경량화 및 내환경성이 요구되는 산업 분야에서 한계를 가진다. 이를 대체하기 위해 섬유강화 복합재료가 주목받고 있으며, 그 중 현무암섬유는 우수한 내열성, 내화학성 및 국산화 가능성을 전제로 차세대 우주항공 구조재로서 활용 가능성이 높다. 그러나 현무암섬유 복합재는 이방성 및 취성 특성을 가지며, 제조 공정 조건에 따라 내부 결함 및 계면 특성이 달라져 기계적 성능과 가공 손상 거동에 영향을 미친다. VaRTM (Vacuum-assisted Resin Transfer Molding) 성형 공정 변수를 고려하여 현무암섬유 복합재를 제조하고, 이에 따른 인장강도 및 기계적 거동을 평가하였다. 인장 시험 후, 주사전자현미경을 사용하여 마이크로 스케일에서의 파단면 및 인장 하중으로 인한 섬유-기지재 간 계면 손상/박리 부위를 관찰하였다. 본 연구는 VaRTM 공정 변수와 복합재의 기계적 성능 및 미세구조적 계면손상 상관관계를 규명함으로써 성형파라미터 기반의 소재 계면 손상 거동 메커니즘을 제공한다.

열처리 시간에 따른 Cu-rich 상 변화가 AlCrCuNi 중엔트로피 합금의 마찰 및 마모 특성에 미치는 영향 분석

Effect of Heat Treatment Time on Cu-rich Phase Evolution and Tribological Properties of AlCrCuNi Medium Entropy Alloys

*허정원¹, 변도균², #윤성민³

¹Jeong Won Hur¹, Do Gyun Byeon², #Sung Min Yoon(yoonsm@changwon.ac.kr)³

¹국립창원대학교 일반대학원 기계설계전공, ²국립창원대학교 첨단나노과학기술연구소,

³국립창원대학교 기계공학대학 모빌리티기계공학과

Key words : Medium Entropy Alloys, Heat Treatment, Tribology, Reciprocal

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 AlCrCuNi 중엔트로피 합금의 Cu-rich 상 변화에 의한 마찰/마모 특성 변화를 분석하였다. 해당 합금은 Self-propagating High-temperature Synthesis(SHS) - Spark Plasma Sintering(SPS) 공정을 통해 제조되었으며, 1050 °C에서 0.5, 1, 2 시간의 세 조건으로 열처리를 수행하였다. 마찰/마모 특성 평가는 왕복 등 마찰시험기를 이용하여 다양한 하중 조건에서 진행되었다. AlCrCuNi 합금 내 Cu는 기지상과의 상 분리 경향으로 Cu-rich 상을 형성하며, 이는 낮은 전단강도를 기반으로 마찰 시 윤활 역할에 기여한다. 따라서 초기 상태에서는 마찰계수 저감 및 마모 억제를 도모하는 반면, 열처리 시간이 증가함에 따라 Cu-rich 상의 용해 및 재분배가 발생하고, 결국 상 분율 및 분포 변화로 마찰/마모 거동에 영향을 미친다. Cu-rich 상의 감소는 마찰계수 상승으로 이어진다. 열처리를 통한 미세조직 제어가 중엔트로피 합금의 트라이볼로지 특성 개선에 중요한 변수로 작용함을 확인하였다.

GNP 첨가에 따른 BFRP 복합재의 건식 마찰 마모 특성 향상 Enhanced Dry Tribological Performance of BFRP Composites via Graphite Nanoplatelet Fillers

*조주한¹, 장태환², 변도균², #오용석^{2,3}, #윤성민⁴

¹Joo Han Jo¹, Tae Hwan Jang², Do Gyun Byeon², #Yong Suk Oh^{2,3},

#Sung Min Yoon(yoonsm@changwon.ac.kr)⁴

¹국립창원대학교 기계공학대학, ²국립창원대학교 첨단나노과학기술연구소, ³국립창원대학교 기계공학대학
스마트제조융합학과, ⁴국립창원대학교 기계공학대학 모빌리티기계공학과

Key words : Basalt Fiber Reinforced Polymers, Graphite Nanoplatelets, Tribology, Resin Transfer Molding

*발표자, #교신저자

현무암 섬유 강화 복합재(Basalt Fiber Reinforced Polymers, BFRP)는 경량 구조재로 주목받고 있으나, 반복적인 접촉 및 슬라이딩 조건에서 마찰 및 마모 손상이 누적될 수 있어 트라이볼로지 특성에 대한 평가가 요구된다. 본 연구에서는 진공 보조 수지 이송 성형 공정을 이용하여 그래파이트 나노플레이트렛(Graphite Nanoplatelets, GNP)을 0, 5, 10, 15 wt% 첨가한 BFRP를 제조하고, X선 회절 분석 및 건식 ball-on-disk 시험을 통해 트라이볼로지 특성을 평가하였다. 그 결과, GNP 함량 증가에 따라 마찰계수는 최대 약 25% 감소하였으며, 마모면적은 5 N 조건에서 약 72%, 10 N 조건에서 약 21% 감소하였다. 이는 GNP의 층상 구조에 의한 고체윤활 효과와 전이층 형성에 기인한 것으로 해석되며, BFRP의 내마모 성능 향상에 효과적인 전략임을 제시한다.

**자가전파 고온합성으로 생성된 AlCoCrFeNi, Al0.3CoCrFeNi
고엔트로피 합금의 압축 특성 분석**
**Compression Properties Analysis of AlCoCrFeNi and Al0.3CoCrFeNi High
Entropy Alloys Produced By Self-Propagating High-Temperature Synthesis**

***김태민¹, 변도균², #윤성민³**

^{*}Tae Min Kim¹, Do Gyun Byeon², [#]Sung Min Yoon(yoonsm@changwon.ac.kr)³

¹국립창원대학교 기계공학대학, ²국립창원대학교 첨단나노과학기술연구소, ³국립창원대학교 기계공학대학
모빌리티기계공학과

Key words : Self-propagation High-temperature Synthesis, Spark Plasma Sintering, High Entropy Alloys

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구에서는 자가전파 고온합성(Self-propagating High-temperature Synthesis, SHS)과 스파크 플라즈마 소결(Spark Plasma Sintering, SPS)을 이용하여 AlCoCrFeNi, Al0.3CoCrFeNi 고엔트로피 합금을 제조하고 미세조직, 상 형성 거동 및 압축 특성을 평가하였다. 목표 조성에 맞춰 금속 분말을 압분체로 성형한 뒤 탄탈륨 전극을 이용한 출발열을 통해 다공성 반응 생성체를 제작했으며 이를 분쇄 후 SPS 공정을 통해 벌크 시편을 제작하였다. 제조된 시편의 압축 특성은 시마즈 만능시험기를 이용하여 평가하였으며 Al의 조성 제어를 통해 BCC 상분율 차이에 따른 압축 특성을 비교 분석하였다. 본 연구는 SHS-SPS 복합공정을 통한 AlCoCrFeNi 및 Al0.3CoCrFeNi 고엔트로피 합금의 제조 가능성과 상 안정성 및 기계적 물성 간 상관관계를 규명하는 데 목적이 있다.

수소충전소용 70 MPa급 압력안전밸브의 열유동 특성에 관한 수치해석적 연구

Numerical Study on Thermo-Fluid Characteristics of 70 MPa Pressure Safety Valve for Hydrogen Refueling Stations

*김정건¹, 광경민², #이은하¹

^{*}Jeong Geon Kim¹, Kyung Min Kwak², #Eun Ha Lee(eunha@kotmi.re.kr)¹

¹한국섬유기계융합연구원 에너지DX연구부, ²대정밸브 기술연구소,

Key words : Pressure Safety Valve, Hydrogen Refueling Station, Computational Fluid Mechanics

*발표자, #교신저자

수소경제의 핵심인 고압 수소 저장 시스템에 해당되는 수소충전소는 일반적으로 고압(70 MPa)으로 수소가스를 압축하여 저장한다. 시스템의 주위 환경이 변함에 따라 내부 압력도 변화하게 되므로, 압력 안정성 확보를 위해 압력안전밸브(Pressure Safety Valve)가 설치 및 사용된다. 압력 방출 밸브는 설정 압력에 도달하면 빠르게 개방되어 압력을 조절하고 장비를 보호하는 역할을 한다. 밸브 성능평가를 위해 국제 표준에 따라 물리적 시험을 수행하는 것이 권장되지만, 이러한 시험은 비용과 시간이 많이 소요된다. 이에 대한 대안으로, 전산유체역학 시뮬레이션이 효과적으로 적용될 수 있다. 본 연구에서는 고압 수소 충전소에 적용이 가능한 압력안전밸브의 방출 시 유동 특성을 수치해석을 통해 예측하였다.

후기 본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. RS-2024-00451324)

구두발표

OP3-1
NANO/MEMS/미세가공

좌장 : 정창윤(영남대)

정전용량 기반 액체 측정 셀을 이용한 수질 시료의 임피던스 분석 Impedance Analysis of Water Quality Samples Using a Capacitive Liquid Measurement Cell

*윤진평¹, 백장운², 김진홍², 배현수², #정창윤¹

*Jin Pyung Yoon¹, Jang Woon Baek², Jin Hong Kim², Hyun Su Bae², #Changyoon Jeong(yoonni22@yu.ac.kr)¹

¹영남대학교 기계공학과, ²한국전자통신연구원

Key words : Capacitive Sensing, EIS, Liquid Measurement Cell, Impedance

*발표자, #교신저자

본 연구는 액체 시료의 전기적 응답을 주파수에 따라 변화에 따른 임피던스 응답 특성을 분석하였음. 수질 시료의 분석은 정전용량 기반 액체 측정 셀을 제작하고, 전기화학 임피던스 분광법(EIS)을 이용한 기초 특성 분석을 수행하였음. 측정은 2전극 방식으로 진행하였으며, 기준 시료로 탈이온수(DIW)와 이온 용액을 사용하여 1 Hz~1 MHz 조건에서 임피던스 응답을 측정하였음. 그 결과, 액체 시료의 전기적 응답은 주파수에 따라 서로 다른 경향을 나타내었고, 이온 농도에 따른 임피던스의 변화를 확인하였음. 이는 수질 시료의 상태에 따라 유전 특성과 전기적 거동이 달라질 수 있음을 보여주며, 다양한 수질 시료의 유전응답 특성 분석을 위한 기초 평가 구조로 활용 가능성을 보여줌.

후기 본 연구 논문은 한국전자통신연구원 내부연구과제(기타)의 일환으로 수행되었음. [25YD1200, 촉각센서 기반 보급형 정밀 그리퍼 및 응용기술 기획연구]

자가 구동형 초유연 다공성 나노 마찰 발전기 기반 실시간 인체 동작 인식 Ultra-Flexible Breathable Porous Triboelectric Nanogenerator for Self-Powered Real-Time Human Motion Recognition

*주수좌이¹, #정창윤¹, 백장운², 김진홍², 배현수²

*Shu Shuai Zhu¹, #Chang Yoon Jeong(yoonni22@yu.ac.kr)¹, Jang Woon Baek², Jin Hong Kim², Hyun Su Bae²

¹영남대학교 기계공학과, ²한국전자통신연구원

Key words : Porous Triboelectric Nanogenerator, ZnO NRs, MWCNTs, PDMS; Human Motion Monitoring

*발표자, #교신저자

Wearable and IoT devices require fully energy-autonomous hardware for sustainable operation. Here, we present a breathable, ultraflexible porous triboelectric nanogenerator (P-TENG). An 80% porous PDMS film fabricated using a sacrificial template significantly increases the effective contact area and mechanical compliance. Doping the porous PDMS with 10 wt% ZnO nanorods and 0.2 wt% multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) further enhances surface roughness, dielectric constant, and charge transport properties. The optimized P-TENG delivers a maximum output power of 1.38 mW (552 mW m⁻²) at 66.68 kPa under a 10⁷ Ω load. It can efficiently charge capacitors, power an 800 mAh Li-ion battery, and simultaneously illuminate 324 commercial LEDs. Furthermore, the device exhibits excellent mechanical durability, maintaining stable performance over 10,000 cycles. When embedded in a shoe insole and integrated with a microcontroller and a lightweight convolutional neural network (CNN), the P-TENG enables real-time classification of human motions, including static, walking, and running. This scalable, self-powered platform offers a promising solution for multifunctional wearable electronics in smart healthcare and IoT applications.

후기 본 연구 논문은 한국전자통신연구원 내부연구과제(기타)의 일환으로 수행되었음. [25YD1200, 촉각센서 기반 보급형 정밀 그리퍼 및 응용기술 기획연구]

표면 젖음성 제어와 자가세척 메커니즘을 이용한 그을음 패터닝

Soot Patterning via Surface Wettability Control and a Self-Cleaning Mechanism

*김태웅¹, 신수빈¹, #이정원¹

*Tae Woong Kim¹, Su Bin Shin¹, #Jeong Won Lee(jwlee07@chosun.ac.kr)¹

¹ 조선대학교 기계공학과

Key words : Wettability, Micronanostructures, Soot, Plasma Treatment

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 표면 젖음성 제어와 자가세척 메커니즘을 활용한 그을음 패터닝 방법을 제안하였다. 알루미늄 표면에 마이크로/나노 구조를 형성한 뒤 HDFs 코팅을 적용하여 극소수성을 부여하였고, 이후 플라즈마 처리를 통해 극소수성/극친수성 표면을 구현하였다. 그 후 시편 표면에 그을음을 부착하고 자가세척 과정을 통해 그을음 패턴을 완성하였다. 이후 SEM, EDS 분석을 통해 표면 구조와 탄소 분포 차이를 확인함으로써 패턴의 유효성을 검증하였다. 본 연구는 자가세척 메커니즘이 단순한 오염물 제거를 넘어, 그을음의 선택적 제거 및 잔존을 통한 패턴 형성에도 활용될 수 있음을 보여주었다.

1. 서론

표면의 젖음성은 액적 거동뿐 아니라 물질의 부착 및 제거 특성에도 큰 영향을 미치며, 이는 자가세척 표면 설계의 중요한 요소이다. 일반적으로 자가세척 효과는 표면에 부착된 오염물질을 제거하는 기능으로 알려져 있다. 한편, 오염물질 중 하나인 그을음은 최근 다양한 기능성 탄소 소재로서 주목받고 있다. 본 연구에서는 그을음을 완전히 제거해야 할 오염물질로만 바라보는 것이 아니라, 선택적으로 제거 및 잔존시켜 특정 형상이나 패턴을 구현할 수 있는 물질로 재해석하고자 하였다.

2. 본론

알루미늄 표면에 마이크로/나노 구조를 형성하기 위해 HCl 에칭과 열수 산화 공정을 적용한 후, HDFs 코팅을 통해 극소수성을 부여하였다. 이후 플라즈마 처리를 적용하여 일부 영역에 극친수성을 구현함으로써 극소수성/극친수성 표면을 형성하였다. 그 후 불완전 연소로부터 얻은 그을음을 시편 표면에 부착하고 자가세척 과정을 적용한 결과, 극친수성 영역에서는 그을음이 제거되고 극소수성 영역에서는 그을음이 유지되어 그을음 패턴이 형성되었다. 마지막으로 SEM 분석을 통해 영역별 그을음 잔존 상태를 확인하였고, EDS 분석을 통해 탄소 성분의 분포와 비율을 검증함으로써 패턴

의 신뢰성을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 표면 젖음성 제어와 자가세척 메커니즘을 이용하여 그을음 패터닝을 구현하였다. 특히 그을음을 단순한 제거 대상의 오염물질이 아니라, 선택적으로 잔존시켜 형상을 구현할 수 있는 탄소 기반 물질로 해석하였다는 점에서 의미가 있다. 또한 본 연구는 복잡한 공정 없이도 그을음 패턴을 형성할 수 있는 가능성을 제시하였으며, 향후 저비용 탄소 기반 표면 패턴 형성 연구의 기초 자료로 활용될 수 있다.

후기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25477358).

REFERENCES

1. Kim, K., Park, H.R., Kim, H.J., Lee, D., Ha, S., Lee, K. and Hwang, W., "Self-cleaning mechanisms according to the wettability of the surface and deposition material," Applied Surface Science, Vol. 626, Article 157197, 2023.

**나노홀 내부 ZnO 나노와이어를 기반으로 기계적 성능이 향상된
내구성이 뛰어난 항균 표면**

**A Highly Durable Antibacterial Surface with Enhanced Mechanical Performance
Based on ZnO Nanowires within Nanoholes**

*임채완¹, 김희경³, #조영삼^{2,3,4}, #박현하^{2,3,4}

^{*}Chae Wan Lim¹, Hee Kyeong Kim³,

[#]Young Sam Cho(youngsamcho@wku.ac.kr)^{2,3,4}, [#]Hyun Ha Park(plmn130@wku.ac.kr)^{2,3,4}

¹원광대학교 기계공학과, ²원광대학교 기계공학부, ³원광대학교 메카바이오연구소,

⁴원광대학교 첨단바이오융합연구센터

Key words : Antibacterial Effect, ZnO Nanowires, Nanoholed Surface, Hydrothermal Growth

*발표자, #교신저자

Biofilms on surfaces cause infections, contamination, and diseases. Nanostructure-based mechanical sterilization has been widely investigated. This approach inhibits bacterial adhesion and growth or directly kills bacteria regardless of antibiotic resistance. However, previous studies have shown that structurally stable nanohole surfaces exhibit only bacteriostatic effects, limiting their ability to fully eliminate *Staphylococcus aureus*. To overcome this limitation, ZnO nanowires were grown within nanoholes to develop a surface with improved antibacterial performance. The ZnO nanowires mechanically disrupt bacterial membranes, leading to the death of *S. aureus*. Their mechanical robustness also prevents deformation under external forces, ensuring long-term antimicrobial effectiveness.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant from the Korean government (No. RS-2025-00520946, No. RS-2025-25432945).

아라미드 페이퍼의 기계적 보강 가능성 평가 Feasibility Study on Mechanical Reinforcement of Aramid Paper

*홍지훈¹, #김현찬¹

*J. H. Hong¹, #H. C. Kim(hyunckim@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학부

Keywords : Aramid Nanofiber, Meta Aramid Paper, Mechanical Reinforcement, Coating

*발표자, #교신저자

아라미드 나노섬유(ANFs)는 고분자 기반 나노섬유로서 높은 인장 강도와 탄성률, 우수한 열적 및 화학적 안정성, 그리고 뛰어난 절연 특성을 가지며 차세대 절연 및 보강 소재로 주목받고 있다. 본 연구에서는 아라미드 페이퍼 기재 표면에 ANF 코팅층을 형성하여 인장 강도 및 전반적인 기계적 성능을 향상시키고, 이에 따른 절연 특성 변화를 분석하였다. 상용 아라미드 섬유를 탈양성자화하여 ANF 현탁액을 제조한 후, 이를 페이퍼 표면에 코팅 및 건조하여 ANF 코팅 시편을 제작하였다. 이후 인장 시험을 통해 시편의 강도 및 파단 거동을 평가하였다. 본 연구는 ANF 기반 코팅의 기계적 보강 효과를 확인하고, 아라미드 페이퍼의 성능 향상에 대한 적용 가능성을 제시한다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00353023).

구두발표

OP3-2
NANO/MEMS/미세가공2

좌장 : 이정원(조선대)

투명 전자 소자 응용을 위한 ITO 박막의 기계가공 특성 연구 Study on the Machinability of ITO Thin Films for Transparent Electronic Device Applications

*이승훈^{1,2}, 황해인², 유영은³, 박성균¹, #김정환²

^{*}Seung Hun Lee^{1,2}, Hae In Hwang¹, Yeong Eun Yoo³, Sung Kyun Park¹,

[#]Jeong Hwan Kim(jkim@hanbat.ac.kr)²

¹부산대학교 물리학과, ²국립한밭대학교 응용소재공학과, ³한국기계연구원 나노리소그래피연구센터

Key words : Precision Machining, Patterning, ITO Thin Film, Thin-film Transistor

^{*}발표자, [#]교신저자

반도체, 디스플레이 분야의 전자 소자는 고집적화와 미세화가 요구됨에 따라 정밀 패터닝이 요구되며, 이를 위해 photo-lithography 공정이 주로 사용된다. 그러나, 해당 공정은 높은 비용, 복잡한 공정, 그리고 화학약품 사용에 따른 환경적 한계를 가진다^[1,2]. 따라서, 본 연구에서는 대안 공정으로서 정밀 기계가공 기술에 주목하고, 투명 전극 소재로 널리 활용되는 ITO 박막을 대상으로 열처리 조건에 따른 물리적 특성 변화와 기계가공 특성을 분석하였다. 또한, 가공 조건에 따른 패턴 형성 거동을 비교하여 필요한 패턴 구현을 위한 최적 가공 조건을 도출하고, 가공 후 전기적 분리 특성과 전극 형성 가능성 확인으로 확장하여 투명 전자 소자용 전극 패터닝 공정으로의 적용 가능성을 평가하고자 한다.

REFERENCES

1. Ito, T. and Okazaki, S., "Pushing the Limits of Lithography," *Nature*, Vol. 406, pp. 1027-1031, 2000.
2. Zawadzka, A. and Paszkiewicz, R., "Limitation of Optical Lithography on Non-Planar Surfaces," *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 143, pp. 106548, 2022.

자기냉각 소재의 내부식성 향상을 위한 무전해 구리도금 및 PVDF 딥코팅 공정 개발

Development of Electroless Copper Plating and PVDF Dip-Coating Processes for Enhancing Corrosion Resistance of Magnetocaloric Materials

*이동현¹, 신다슬², #이정원¹

¹Dong Hyeon Lee¹, Da Seul Shin², #Jeong Won Lee¹

¹조선대학교 기계공학과, ²한국재료연구원

Key words : Magnetocaloric, Electroless Copper Plating, PVDF(poly(vinylidene fluoride)), La-Fe-Co-Si Alloys

*발표자, #교신저자

자기냉각 기술은 자기열량 효과를 이용하는 친환경 고효율 냉각 기술로 주목받고 있으나, 자기냉각 소재의 수계 환경 내 부식 취약성은 상용화를 제한하는 주요 요인이다. 본 연구에서는 La-Co-Fe-Si 계 자기냉각 합금에 구리 치환도금과 PVDF(poly(vinylidene fluoride)) 딥코팅을 적용하고, 두 표면 보호 공정의 특성과 내부식 거동을 비교하였다. 표면 특성 분석과 탈이온수 침지 시험, 3.5 wt% NaCl 용액에서의 전기화학 평가를 통해 열화 및 내부식 거동을 확인하였다. 그 결과, 두 코팅 모두 bare 합금 대비 내부식성 향상 효과를 보였으며, 공정별 표면 특성과 적용상 장단점이 구분되었다. 본 연구는 자기냉각 소재의 장기 안정성 확보를 위한 표면 보호 전략 수립에 기초 자료를 제공한다.

1. 서론

자기냉각 기술은 친환경 고효율 냉각 방식으로 주목받고 있으나, La-Fe-Co-Si 계 자기냉각 합금은 수계 환경에서 부식에 취약해 실용화에 한계가 있다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위해 구리 치환도금과 PVDF 코팅을 적용하고, 두 표면 보호 공정의 효과를 비교하였다.

2. 본론

La-Fe-Co-Si 합금에 대해 구리 치환도금과 PVDF 딥코팅을 적용하고, 표면 형성 거동, 젖음성, 침지 부식 및 전기화학적 특성을 분석하였다. 구리 치환도금의 경우, 도금 시간이 짧을 때는 불균일한 층 형성으로 오히려 부식이 촉진되었으나, 충분한 도금 시간에서는 균일한 금속층이 형성되어 내식성이 향상되었다. 또한 도금 층은 산화/수산화 반응을 통해 친수화되는 경향을 보였다. 반면 PVDF 코팅은 소수성 장벽층을 형성하여 수분 및 이온 침투를 효과적으로 차단하였으며, 침지 및 전기화학 평가에서 가장 우수한 내식성을 나타냈다. 전체적으로 두 공정은 서로 다른 메커니즘으로 내부식성을 개선하며, 공정 조건에 따라 성능 차이가 뚜렷하게 나타났다.

3. 결론

구리 치환도금과 PVDF 코팅 모두 자기냉각 합금의 내부식성 향상에 기여하였다. 특히 PVDF 코팅은 우수한 장벽 효과를 보였고, 구리 도금은 공정 조건에 따라 보호 성능 차이가 나타났다. 본 연구는 자기냉각 소재의 장기 안정성 확보를 위한 표면 보호 전략 수립에 기초 자료를 제공한다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25477358).

REFERENCES

1. Weiß, N. P., Rocabert, U., Hoppe, C., Zwick, J.-P., Loewe, K., Fries, M., Karttunen, A. J., Gutfleisch, O. and Muench, F., "Stable Operation of Copper-Protected La(FeMnSi)13Hy Regenerators in a Magnetic Cooling Unit," ACS Applied Engineering Materials, Vol. 3, pp. 256-265, 2025.

구강 기능 평가 및 타액 내 포도당 측정을 위한 레이저-유도-그래핀 기반 구강내 센서 Intraoral Sensor Based on Laser-Induced-Graphene for Oral Function Assessment and Salivary Glucose Monitoring

*김현우¹, Wobai He¹, 남한구², 강상욱³, #김영진¹

¹Hyeon Woo Kim¹, Wobai He¹, Han Ku Nam², Sang Wook Kang³, #Young Jin Kim¹

¹한국과학기술원(KAIST) 기계공학과, ²충남대학교 기계공학과, ³경희대학교 치과대학

Key words : Intraoral Sensor, Laser-Induced Graphene, Direct Laser Writing, Wearable Device

*발표자, #교신저자

본 연구는 레이저-유도-그래핀(LIG)을 이용해 구강 내에서 기계적 및 화학적 생체 신호를 모두 안정적으로 모니터링할 수 있는 물리/화학적 센서 제작에 대해 소개한다. LIG는 간단한 레이저 탄화 공정을 통해 형성되는 전도성 탄소 소재로서, 기계적/화학적 안정성, 큰 비표면적 그리고 생체 적합성을 띄고 있어 구강 환경에서 안정적으로 구동할 수 있는 전극으로 사용될 수 있다. 이를 바탕으로, 본 연구에서는 LIG를 기반으로 구강 기능을 평가하기 위한 설압 센서와 타액 내 포도당 농도를 측정할 수 있는 전기화학 센서를 구현하였다. 본 연구에서 제작된 LIG 기반 구강내 센서는 향후 고령자 구강 건강 관리, 조기 진단, 그리고 개인 맞춤형 헬스케어에 위한 다기능 구강 센서 플랫폼으로 확장될 수 있으리라 기대한다.

후기 This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) provided by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. MAFRA: RS-2024-00401642), the R&D Program for Forest Science Technology (project no. RS-2023-KF002530) provided by Korea Forest Service (Korea Forestry Promotion Institute), and National Research Foundation of the Republic of Korea (RS-2024-00401786).

분자 결합 기반 금속-폴리머 이종 접합 사출 공정 기술

*,#신다슬¹, 양수미¹, 김민직¹, 양우석¹, 김정현²

*#Da Seul Shin(daseulshin@kims.re.kr)¹, Su Mi Yang¹, Min Jik Kim¹, Woo Seok Yang¹, Jeong Hyun Kim²

¹한국재료연구원 재료공정연구본부, ²국립한밭대학교 신소재공학과

Key words : Cu-based Alloys, Injection Molding, Metal-Polymer Dissimilar Bonding, Covalent Bonding

*발표자, #교신저자

금속과 고분자는 서로 다른 물성을 가지므로 계면에서 높은 접합 강도와 신뢰성을 확보하기 어려운 대표적인 이종 소재 조합이다. 본 연구에서는 황동과 유리섬유 강화 폴리프로필렌의 접합 성능을 높이기 위해, 기계적 고정 효과와 계면 화학 결합을 동시에 유도하는 통합 표면 설계 공정을 적용하였다. 이를 위해 표면 전처리, 화학적 에칭, 화학 산화, 양극산화, 트리아진 기반 계면 활성화, 사출 접합으로 이어지는 다단계 공정을 수행하였다. 이 과정에서 황동 표면에는 마이크로·나노 크기의 계층적 다공 구조가 형성되었고, 금속 표면의 반응성이 향상되어 접합에 유리한 계면 상태가 조성되었다.

형성된 다공 구조는 사출 과정에서 용융 고분자가 내부까지 충분히 침투하도록 하여 강한 기계적 결합을 유도하였으며, 동시에 트리아진 활성화 처리는 계면에서 화학 결합 형성을 촉진하여 접합 안정성을 더욱 향상시켰다. 미세조직 관찰 결과, 고분자가 다공 구조 내부에 효과적으로 채워졌고, 파단 이후에도 황동 표면에 고분자가 잔류하는 양상이 확인되어 기계적 결합과 화학적 결합이 함께 작용하는 통합 접합 구조가 형성되었음을 확인하였다. 또한 성분 분석을 통해 계면에서 결합 형성의 가능성을 확인하였으며, 그 결과 약 29 MPa 이상의 높은 전단 접합 강도를 확보하였다. 이는 기존 구리 합금 기반 금속-고분자 이종 접합 연구와 비교해 뚜렷하게 향상된 수준이다. 본 연구는 금속-고분자 이종 접합의 한계를 극복할 수 있는 새로운 계면 설계 방향을 제시하며, 전기·전자, 자동차, 전동화 부품, 고신뢰성 패키징 분야에 적용 가능한 기반 기술로 활용될 수 있다.

테라헤르츠 소자 응용을 위한 섬유 기반 레이저 유도 그래핀의 직접 펨토초 레이저 패터닝

Direct Femtosecond Laser Patterning of Laser-Induced Graphene on Kevlar for Terahertz Device Applications

*전진우¹, 양동욱¹, 강구선², 김재윤¹, 김현우¹, #김영진¹

*Jin Woo Jeon¹, Dong Wook Yang¹, Gu Seon Kang², Jae Yoon Kim¹, Hyeon Woo Kim¹,

#Young Jin Kim(yj.kim@kaist.ac.kr)¹

¹한국과학기술원 기계공학과, ²한국생산기술연구원

Key words : Laser-Induced Graphene, Femtosecond Laser Direct Writing, THz Absorber, THz Device

*발표자, #교신저자

테라헤르츠(THz) 대역은 통신, 비파괴 검사, 분광 등 미래 산업에서 활용 가능성이 높은 주파수 영역이다. 그러나 실제 응용을 위해서는 저비용이면서도 간단하게 제작이 가능하고, 동시에 우수한 성능을 확보할 수 있는 THz 소자 기술이 필요하다. 본 연구에서는 펨토초 레이저를 이용해 Kevlar 섬유 위에 레이저 유도 그래핀(LIG)을 직접 패터닝하고, 이를 바탕으로 THz 흡수체와 DOE 개념의 Fresnel zone plate를 제작하였다. 측정 결과, 흡수체는 0.36 THz에서 최대 약 -35 dB의 선택적 응답 특성을 보였으며, 제작된 zone plate는 THz 빔이 집속되는 특성을 확인하였다. 이러한 결과는 본 공정이 THz 소자와 차세대 메타표면 제작에 효과적으로 활용될 수 있음을 보여준다.

후기 This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) provided by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. MAFRA: RS-2024-00401642), the R&D Program for Forest Science Technology (project no. RS-2023-KF002530) provided by Korea Forest Service (Korea Forestry Promotion Institute), and National Research Foundation of the Republic of Korea (RS-2024-00401786).

구두발표

OP4 기계설계

좌장 : 권현식(동의대)

e-코너 모듈 동력전달 메커니즘 기본 설계 및 해석

Fundamental Design and Analysis of the Power Transmission Mechanism of an E-Corner Module

*정석환¹, #고동신¹

^{*}Suk Hwan Jeong¹, [#]Dong Shin Ko(dsko@iae.re.kr)¹

¹고등기술연구원 기계융합시스템센터

Key words : e-Corner Module, Power Transmission, Planetary Gear Reducer

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 미래 모빌리티용 4륜 독립 구동 전동화 모듈 개발의 일환으로 e-코너 모듈용 동력전달 모듈 설계 및 메커니즘 해석 기술을 다루었다. 48V 10kW BLDC 모터를 기반으로 감속비 5:1, 정격토크 654Nm 이상의 유성 감속기를 설계하였으며, 링기어 고정형 정방향 감속 구조를 채택하였다. Ansys Motion 기반 다물체 동역학 해석을 통해 등속조인트의 동력전달 특성과 기어 접촉 하중을 분석하였다. 초기 설계에서 관찰된 치면압 비대칭 분포를 개선하기 위해 치형 미세 수정 기법(Profile slope +20 μ m, Tip relief +5 μ m, Lead crown +5 μ m)을 적용하였으며, 개선 후 치면압이 대칭적으로 분포하여 진동·소음 저감 및 내구성 향상 효과를 확인하였다.

1. 서론

본 연구에서는 48V, 10kW급 BLDC 모터를 기반으로 e-코너 모듈 구동용 유성감속기를 설계하였다. 해당 모터는 효율 91%, 피크 토크 80Nm의 고성능을 가지며, 감속기는 감속비 5:1, 정격 토크 654Nm 이상, 효율 95% 이상, 백래시 0.15° 이하의 고정밀 요구조건을 만족해야 한다. 또한 감속기의 두께를 65mm 이하로 제한하고, 등속조인트와의 간격을 5mm로 유지해야 하는 설계 제약이 존재한다.

2. 본론

본 연구에서는 모터 회전방향과 같은 방향으로 감속기 출력축이 감속되고, 모터와 감속기를 하나의 모듈로 구성하기 용이한 링기어 고정 방식을 선정하여 기본 설계를 수행하였다.

하중 조건은 구동 모터 축에 0rpm부터 3,700rpm 까지 1초 동안 가속하는 각속도를 적용하였으며, 등속 조인트에 인가한 하중은 654Nm로 설정하여 구동 중 발생하는 치면압을 분석하였다.

3. 결론

접촉 하중 분포는 비대칭으로 분포되어, 치면압 분포 또한 비대칭으로 분포될 것으로 예측되었다. 구동 시 치면압은 모두 비대칭 분포되는 것으로 분석되었으며, 치면압은 치폭 오른쪽 부분에 집중되어 발생하여 치형 미세 수정이 필요한 것으로 분석되었다. 치형 미세 수정은 기어 물림 치면압 개선을 위한 것으로, 기어의 치면을 미세하게 가공하여 하중 분산을 균등하게 하고 강도를 높이는 기술이다. 본 연구에서는 치면압 비대칭 현상이 발생되지 않도록 치폭 끝단을 수정할 필요가 있어, Profile slope +20 μ m, Tip relief +5 μ m, Lead crown +5 μ m로 수정하여 치면압을 개선하였다.

후기 이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2025-02318164)

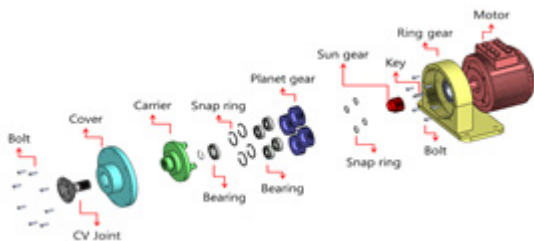


Fig. Exploded View of the Design of the Reduction Gear

미래차 RISE사업 참여자의 만족도 및 인식 차이에 관한 연구: 중요도-수행도 분석(IPA)을 중심으로

A Study on the Satisfaction and Perception Gap of Participants in the Future Car RISE Project: Focusing on Importance-Performance

*권병관¹, 변은경², #김해지³

¹Byung Kwan Kwon¹, Eun Kyung Byun², #Hae Ji Kim(khji@gnu.ac.kr)³

¹경상국립대학교 지식재산융합학과, ²경상국립대학교 과학기술정책학과, ³경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : Importance-Performance Analysis, Manufacturing, Gap Analysis, Industry-University Cooperation

*발표자, #교신저자

본 연구는 경상국립대학교 미래차 RISE 사업에 참여한 학생 120명과 기업 25개사를 대상으로 만족도 및 인식 차이를 분석하고, 중요도-성취도 분석(IPA)을 통해 전략적 개선 과제를 도출하였다. 분석 결과, 기업의 전반적 만족도가 학생보다 유의미하게 높았으며, 교과목·프로그램 및 취업 연계 영역에서 인식 차이가 가장 크게 나타났다. 학생 만족도 기반 IPA에서 교육과정, 교육 운영, 사업 행정은 1사분면(현상 유지)에 위치하여 성공적 운영이 확인되었고, 교과목·프로그램, 기업 참여, 학생 지원은 2사분면(집중 개선)에 해당하여 비교과 활동의 질 제고, 실질적 산학 협력, 맞춤형 학생 지원 강화가 시급한 것으로 나타났다. 이를 통해 산학 연계 프로그램 확대, 산업 트렌드를 반영한 교육과정 유지, 교육 환경의 장기적 투자가 권고된다. 본 연구 결과는 RISE 체제로 전환된 지역혁신 교육의 효과성 제고와 지역 맞춤형 인재 양성을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

1. 서론

본 연구는 경상국립대학교 미래차 RISE(Regional Innovation System & Education, 지역혁신중심대학 지원체제) 사업에 참여한 학생 및 참여기업을 대상으로, NIS(National Innovation System, 국가혁신시스템)에서 RISE로 전환된 이후 최초로 수요자(기업)와 공급자(학생) 양측의 만족도 현황 및 집단 간 인식 차이(Gap)를 실증적으로 분석하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 경상국립대학교 미래차 RISE사업에 참여한 학생 120명과 기업 25개사를 대상으로 만족도 및 인식 차이를 분석하기 위하여 SPSS 23.0 통계 프로그램을 사용하여, 중요도-수행도 분석(IPA, Importance-Performance Analysis)을 실시하였다.

3. 결론

학생 만족도를 기반으로 한 IPA 결과, 교육과정·교육 운영·사업 행정 영역은 1사분면(현상 유지)에 해당하여 현재의 운영 방식이 효과적으로 유지되고 있음을 확인하였다. 반면 교과목·프로그램·기업 참여·학생 지원 영역은 2사분면(집중 개선)에 위치하여, 비교과 활동의 내실화, 산학 협력의 실질적 강화, 그리고 학생 개인별 맞춤형 지원 체계 구축이 우선적으로 요구된다.

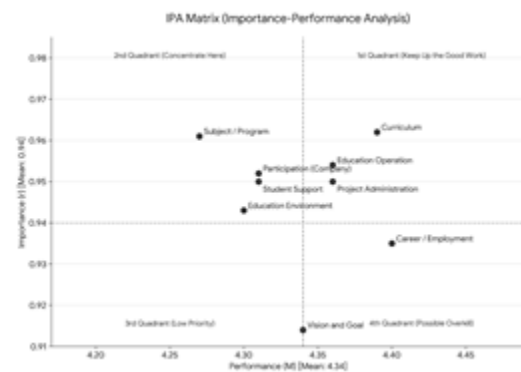


Fig. 1 Importance-Performance Analysis(IPA) Results

후기 이 논문은 2025년도 교육부 및 경상남도의 재원으로 경상남도RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체제(RISE)의 결과입니다.(2025-RISE-16-001)

경추 각도 측정 기반 이중 피드백을 이용한 웨어러블 자세 교정 시스템 개발 Development of a Wearable Posture Correction System Using Cervical Angle Measurement and Dual Feedback

*이창현¹, 박지상¹, #이선곤¹

^{*}Chang hyeon Lee¹, Ji Sang Park¹, #Sun Kon Lee¹

¹인하대학교 기계공학과

Key words : Forward Head Posture Correction, Artificial Pneumatic Muscle, Craniovertebral Angle

*발표자, #교신저자

스마트폰 및 컴퓨터 사용 증가로 인해 거북목 증후군(Forward Head Posture, FHP)이 증가하고 있으며, 이는 근골격계 문제뿐만 아니라 운전 중 집중력 저하와 졸음운전 위험을 유발한다. 본 연구에서는 운전자의 올바른 자세 유지와 안전 운전을 지원하기 위한 웨어러블 기반 자세 교정 시스템을 제안한다. 해당 시스템은 IMU 센서를 활용하여 경추 각도(CVA)를 실시간으로 측정하고, 임계값을 기준으로 자세 이상을 판단한다. 이상 자세가 감지되면 진동 모터를 통한 1차 촉각 피드백과 인공 공압근육의 견인력을 이용한 2차 물리적 교정 피드백을 제공한다. 실험 결과, 사용자의 즉각적인 자세 인지와 자발적 교정을 유도하는 데 효과적이었으며, 운전 중 자세 유지 및 졸음운전 예방에 기여 가능성을 확인하였다.

1. 서론

기존 거북목 증후군(FHP) 교정 방법은 실시간 피드백 부족과 높은 사용자 의존도의 한계를 가진다. 최근 IMU 기반 웨어러블 모니터링 연구가 이루어지고 있으나, 대부분 물리적 교정 기능이 미흡하다. 이에 본 연구에서는 경추 각도(CVA)를 실시간 측정하고, 촉각 및 공압 기반 이중 피드백을 제공하는 시스템을 제안한다.

2. 실험 및 고찰

본 시스템은 MPU-6050 기반 IMU 센서를 활용하여 가속도 데이터를 수집하고, 이를 통해 목의 기울기 각도를 산출하여 개인화된 임계값을 설정한다. 측정된 각도가 임계값 이하로 감소하면 비정상 자세로 판단하여 진동 모터를 구동하는 1차 피드백을 제공한다. 이후 일정 시간 내 자세가 교정되지 않을 경우, 자체 제작 인공 공압근육(내경/외경 $\phi 10/18$, 길이 200mm 기준 수축률 23% 및 최대 견인력 약 3.7 kg)의 견인력으로 물리적 교정을 수행하는 2차 피드백을 제공한다. Fig. 1은 시간에 따른 목 기울기 각도 변화를 나타낸 것으로 정상 자세에서는 약 40° 이상을 유지하다가, 자세가 무너지면서 임계값(34.42°) 이하로 감소한다. 그리고 Fig. 2는 임계값 이하로 떨어지는 순간 진동 피드백(Vibration Trigger)이 발생하여 사용자에게 즉각적인 경고를 제공 및 인공 공압근육의 견인력으로 자세 교정

이 이루어짐을 나타낸 것이다.

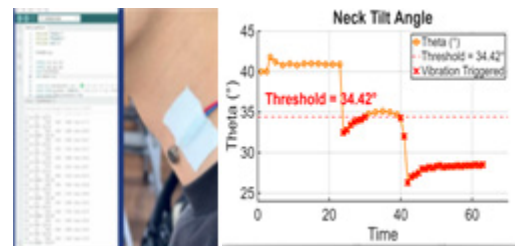


Fig. 1 IMU & Vibration Sensor Activation



Fig. 2 Wearable Posture Corrector

3. 결론

본 연구는 IMU 기반 경추 각도 측정과 촉각·공압 이중 피드백을 결합한 웨어러블 자세 교정 시스템을 제안하였다. 실험 결과, 시스템은 자세 이상을 효과적으로 감지하고 교정을 유도하였으며, 운전 중 자세 유지와 졸음운전 예방에 기여할 가능성을 확인하였다.

**TPA 해석 모델을 활용한 외접기어의 Micro-geometry 변화에 따른
접촉 거동 및 NVH 특성 연구**
**An Investigation on Contact Behavior and NVH Characteristics of External Gears
Based on Micro-geometry Variations Using a Tapered Plate Approximation
(TPA) Model**

***#권현식¹**

*#H. S. Kwon(hskwon@deu.ac.kr)¹

¹동의대학교 자동차공학과

Key words : External Gear Pair, Gear Analysis, Transmission Error, Loaded Gear Contact

*발표자, #교신저자

전기차용 고속 감속기는 고주파 소음에 민감한 특성을 보이며, 미세한 치형 오차가 NVH 성능에 직결되므로 기어 물림(Gear Meshing)에 대한 정밀 해석이 필수적이다. 그러나 NVH 성능의 핵심 지표인 전달 오차(Transmission Error) 분석 시, 기존 3D 유한요소해석(FEA) 기법은 비선형 접촉 조건으로 인해 과도한 전산 자원과 시간이 소요된다는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 이러한 효율성 문제를 해결하고자 연산 속도와 해석 정밀도를 동시에 확보할 수 있는 Tapered Plate Approximation(TPA) 기반의 반수치(Semi-analytical) 해석 모델을 구축하였다. 이를 통해 기어의 Profile 및 Lead 수정(Crowning, Relief 등) 변수가 부하 전달 오차(Loaded TE)와 치면 하중 분포에 미치는 상관관계를 정량적으로 고찰하였다.

구두발표

OP5
금형/절삭가공/연삭가공 &
CAD/CAM/CAE

좌장 : 심도식(국립한국해양대)

그래프 기반 기능 특징형상 인식 Graph Based Recognition of Design Features

*박준환¹, 임승은¹, #문두환¹

^{*}Jun Hwan Park¹, [#]Seung Eun Lim¹, [#]Du Hwan Mun(dhmun@korea.ac.kr)¹

¹고려대학교 기계공학과

Key words : Attention Mechanism, Boundary Representation, Design Feature, Graph Neural Network

^{*}발표자, [#]교신저자

제품 설계 분야에서는 일반적으로 CAD/CAM을 사용하여 제품을 설계한다. 설계가 완료된 3D CAD 모델은 관련 표준이나 설계 가이드를 제대로 지켰는지 검증하는 과정이 필요하며 이를 위해 검증 대상 형상과 관련 파라미터를 측정할 필요가 있다. 그러나 이러한 과정은 현재 대부분 수작업으로 의존하고 있어 많은 시간과 인력이 소요될 뿐만 아니라 인적 오류가 발생할 가능성도 높다. 본 연구에서는 이러한 한계를 해결하고자 중립 모델에서 사용되는 B-rep 형식으로 표현된 제품 3D CAD 모델을 그래프로 변환한 뒤 검증 대상 형상인 기능 특징형상을 인식하기 위해 GNN을 적용하는 방법을 제안하고자 한다.

후기 이 논문은 산업통산자원부 및 한국산업기술평가원 (KEIT) 산업기술알키미스트프로젝트사업 (No. RS-2024-00419010), 한국산업통산자원부(MOTIE)의 기계장비산업기술개발사업 (RS-2025-25449384), 한국연구재단의 기초연구사업 (RS-2026-25492385)의 지원을 받아 수행된 연구 결과임을 밝힙니다.

AAS 기반 모듈형 디지털 트윈 시스템 개발 Development of a AAS-based Modular Digital Twin System

*김봉철¹, 강병국¹, #문두환¹

*Bong Cheol Kim¹, Byeong Guk Kang¹, #Du Hwan Mun(dhmun@korea.ac.kr)¹

¹고려대학교 기계공학과

Key words : Asset Administration Shell, Digital Twin, Industrial Robot, Model Reusability

제조 산업에서 디지털 트윈 시스템은 설비 상태를 파악하고 이상 상황에 대응하기 위한 핵심 기술로 활용되고 있다. 그러나 기존 디지털 트윈 시스템은 데이터 모델과 기능이 강하게 결합된 구조로 설계되는 경우가 많아, 자산 구성의 변경이나 기능 확장 시 시스템 전반의 수정을 요구한다. 본 연구에서는 Asset Administration Shell(AAS) 기반 디지털 트윈 프레임워크를 활용하여 모듈형 디지털 트윈 시스템 구현 방법을 제안한다. 제안 방법은 서버모델 템플릿과 응용 기능 템플릿의 조합을 통해 다양한 디지털 트윈 기능을 유연하게 구성할 수 있도록 한다. 이를 검증하기 위해 산업용 로봇을 대상으로 운전 상태 모니터링 시스템을 구현하였으며, 데이터의 높은 재사용성과 시스템 구현 효율성 향상을 확인하였다.

후기 본 연구는 한국 산업통상자원부(MOTIE)의 기계장비산업기술개발 사업(RS-2025-25449384), 산업통상자원부 및 한국산업기술평가원 (KEIT) 산업기술알키미스트프로젝트사업 (No. RS-2024-00419010), 한국연구재단의 기초연구사업(RS-2026-25492385)의 지원을 받아 수행된 연구임을 밝힙니다.

하이브리드 사출성형 자동차 부품의 성형 품질 향상을 위한 유전 알고리즘 기반 최적 설계 Genetic Algorithm-based Optimal Design for Hybrid Injection-molded Automotive Component

*이재영¹, 이정희¹, 이희철², 윤서현³, #곽재섭¹

*Jae Young Lee¹, Jung Hee Lee¹, Hui Chul Lee², Seo Hyun Yun³,

#Jae Seob Kwak(jskwak5@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 기계공학과, ²한국폴리텍VII대학(부산) 기계시스템과, ³한국폴리텍VII대학(창원) 금형가공시스템과

Key words : Hybrid Injection Molding, Genetic Algorithm, Multi-Objective Design Optimization

*발표자, #교신저자

본 연구는 대형 하이브리드 자동차 부품의 제조 공정에서 발생하는 유동 불균형과 치수 정밀도 저하 문제를 해결하기 위하여 유전자 알고리즘을 활용한 형상 최적화 기법을 제시한다. Metal-GFRP bolster는 금속 인서트와 이종 재료간의 복잡한 계면으로 인하여 미충전 및 과도한 수축이 발생하기 쉽다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위하여 runner system의 유동 해석을 통해 사출성형 공정 시 전단율을 최소화함으로써 충전율과 안정적인 체적 수축율을 확보하고자 하였다. 또한 비지배 분류 유전 알고리즘 기반 bolster 형상 최적화를 수행함으로써 부품의 중량을 절감하면서도 우수한 치수 안정성을 확보할 수 있었다.

1. 서론

차량 경량화를 위하여 금속의 강성과 플라스틱의 성형성을 결합한 하이브리드 구조가 주목받고 있다. 그러나 대형 부품의 경우 복잡한 형상과 계면 특성으로 성형 불량률이 발생하기 쉽다. 본 연구는 bolster 부품의 생산성 및 품질을 향상시키기 위하여 유전자 알고리즘^[1] 기반의 설계 최적화 공정을 수행하고자 한다.

2. 다목적 형상 설계 최적화

본 연구에서는 하이브리드 자동차용 bolster의 성형 품질을 결정하는 핵심 지표로 충전율, 체적 수축률, 부품 중량을 선정하였다. 이를 위하여 복잡한 인서트 구조 내에서 유동 저항을 유발하는 주요 지점인 boss, receptacle, edges 영역의 벽 두께를 주요 설계 변수로 정의하였다. 각 변수가 성형 거동에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 다구찌 직교 배열표를 기반으로 수치 해석을 수행하였고, 확보된 데이터를 바탕으로 목적 함수간의 비선형적 상관관계를 근사화하는 2차 반응표면모형을 구축하였다.

구축된 대리 모델을 적합도 함수로 활용하여 비지

배 분류 유전 알고리즘 기반의 다목적 최적화를 실시하였다. 본 연구에서는 세대수 500회, 개체 수 50의 진화 연산을 통해 최적의 두께 조합을 탐색하였다. 최적화 결과, baseline 모델 대비 100%의 충전율을 달성하였고 체적 수축률은 약 12% 수준으로 감소하여 치수 안정성을 확보하였다.

3. 결론

본 연구에서는 유전자 알고리즘 기반의 다목적 형상 최적화 방안을 구축함으로써 하이브리드 사출성형 부품의 품질을 최적화할 수 있는 설계 방안을 제시하였다.

REFERENCES

1. Fu, Z., Zuo, W., Li, Q., Zhou, K., Huang, Y., and Li, Y., "Multi-objective optimization of liquid cooling plate partially filled with porous medium for thermal management of lithium-ion battery pack by RSM, NSGA-II and TOPSIS," Energy, Vol. 318, pp. 134853, 2025.

**대형 항공부품 열가소성 탄소 복합재 구조물
성형을 위한 Press-welding consolidation 가압 방식 비교**
**Comparison of Pressurization Methods for Press-welding and Consolidation
of Large Thermoplastic Carbon Fiber Composite for Aircraft Part Structures**

*김원주^{1,2}, 이찬주³, 최현석³, 김동연⁴, 백종훈⁴, #김진수¹

*Won Ju Kim^{1,2}, Chan Joo Lee³, Hyun Seok Choi³, Dong Earn Kim⁴, Jong Hun Baek⁴,

#Jin Su Gim(jgim@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원 동남기술실용화본부 진주뿌리기술지원센터, ²광주대학교 미래융합기술공학과,
³한국생산기술연구원 대경기술실용화본부 모빌리티부품그룹, ⁴한국생산기술연구원 지능화뿌리기술연구소

Key words : Thermoplastic Composite, Carbon Fiber Reinforced Plastics, Composite Welding,
Composite Consolidation

*발표자, #교신저자

항공기 경량화를 위해 널리 사용되는 열경화성 탄소섬유 강화 복합재는 주로 오토클레이브 공정으로 성형되나, 공정 효율성과 재활용의 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위한 대안으로써 열가소성 복합재의 접합과 치밀화를 동시에 수행하는 Out of Autoclave 성형 공정을 제안한다. 성형 방식으로 열팽창 및 정수압 기반 가압 방식을 제안하고 비교하였다. 두 가압 방식에 따른 성형품의 두께 분포를 분석한 결과, 열팽창 기반 방식은 금형 내 온도 구배와 금형 정렬 오차에 따른 두께 불균형이 나타났다. 반면, 정수압 기반 가압 방식은 성형품 전체 영역에서 비교적 균일한 두께 및 온도 분포를 나타냈다. 따라서 정수압 기반 가압 방식이 대면적 열가소성 복합재 구조물 성형에 효과적인 것으로 판단된다.

후기 이 연구는 2026년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00431591).

LSTM 기반 진동 신호를 활용한 절삭력 변동성 지표 추정

LSTM-Based Estimation of Cutting Force Variability Index Using Vibration Signals

*#류제두¹, 이정민¹, 김성렬¹

^{*}Je-Doo Ryu(ryujd88@kitech.re.kr)¹, Jung-Min Lee², Sung-Ryul Kim³

¹한국생산기술연구원

Key words : Long Short-Term Memory, Vibration Signal, Cutting Force Variability, Tool Condition Monitoring

^{*}발표자, #교신저자

본 연구에서는 가공 누적에 따른 공구 마모 상태를 효과적으로 반영할 수 있는 절삭력 변동성 지표를 정의하고, 이를 진동 신호만을 이용하여 추정하기 위한 LSTM 기반 모델을 제안하였다. 동일한 공구와 가공조건에서 다수의 공작물을 연속 가공하여 절삭력 변화를 분석하였으며, 이송 방향 힘과 반경 방향 힘 간의 상관관계 기반 gradient를 변동성 지표로 설정하였다. 가공이 진행됨에 따라 해당 지표는 점진적으로 감소하는 경향을 보였으며, 특정 임계값 이하에서 Burr가 발생하여 공구 상태 및 가공 품질과의 높은 연관성을 확인하였다. 또한, 3축 진동 신호를 입력으로 하는 LSTM(Long Short-Term Memory) 모델을 적용하여 절삭력 변동성 지표를 예측하였으며, 시간 의존성을 고려한 시계열 학습을 통해 높은 예측 성능을 확보하였다. 기존 Fully Connected 모델 대비 우수한 상관계수를 나타내었으며, 이를 통해 진동 신호만으로 공구 상태를 효과적으로 추정할 수 있음을 확인하였다.

후기 본 논문은 산업통상자원부 “뿌리산업 고도화를 위한 BIZ 플랫폼 구축사업(MZ260009)” 및 한국생산기술연구원 기본사업 “의료 수술현장 진단 지원을 위한 스마트 센싱 및 디지털 의료공정 핵심기술 개발(EH260004)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

구두발표

OP6
용접/특수가공 &
제어/자동화/소음진동

좌장 : 이재욱(경북대)

반/옥외용 면진테이블의 댐퍼 성능 평가 Performance Evaluation of a Seismic Isolation Table for Agrivoltaic Systems

*김승경^{1,2}, 강재용², 정찬세³, #이형욱¹, #정영근²

*Seung Kyung Kim^{1,2}, Jae Yong Kang², Chan Sae Jeong³, #Hyung Wook Yi(hpc@i-hpc.com)¹,
#Young Keun Jeong²

¹HPC홍성(주), ²부산대학교 융합학부, ³하일시스템(주)

Key words : Seismic Isolation, Viscous Damper, Vibration Isolation, Actuator

*발표자, #교신저자

LM가이드 형식 면진테이블은 주로 데이터 센터 랙(rack)과 같은 옥내의 1ton 이하 하중을 대상으로 설계되어, 1ton 이상의 수배전반이나 외부 진동이 빈번한 옥외에 적용하기에는 면진테이블의 한정된 변위가 있다. 적재물이 무거울수록 같은 속도의 변위라도 충격력이 크게 발생하여 적재물 및 LM가이드에 손상이 발생한다. 본 연구는 1ton 이상 중량물용 면진테이블의 한계 스트로크 도달 시 발생하는 충격을 완화하기 위해 충격 흡수용 댐퍼를 적용하였다. 액추에이터를 활용한 에너지 소산 성능 시험 결과, 스톱퍼 도달 전 100mm 이내 구간에서 효과적인 속도 감쇠를 확인하였으며, 이를 통해 중량물 적재 시의 기기 손상 및 공진 가속도 에너지를 성공적으로 제어할 수 있음을 입증하였다.

1. 서론

기존의 면진 시스템은 주로 데이터 센터 등 실내의 1ton 이하 설비를 대상으로 설계되었다. 지하철의 주기적 진동 및 농지와 같은 연약지반에서 진동의 증폭 현상은 수배전반 내부 정밀 부품의 손상 및 결선 풀림을 유발하는 주요 원인이 된다. 본 연구에서는 반/옥외용 면진테이블을 위한 댐퍼를 적용을 제안한다.

2. 댐퍼 설계

반/옥외용 면진테이블은 지반 및 환경의 영향을 받아 풍하중 및 지반의 진동을 고려한 설계가 필요하다. 지반 계수에 따라 진폭이 증폭되므로 지반 구조 1.5~2.5배에 달하는 연약지반(S4) 기준으로 설계하였다. 에너지 소산 및 면진테이블 복귀 시 2차 진동 억제를 위해 방향에 따른 감쇠력을 차등화 하였다.

0.4m/s 속도 이상일 때, 1ton이상 적재물이 면진테이블 한계 스트로크 충돌 전 댐퍼가 운동 에너지를 대부분 소산 및 영점 복귀 시 오버슈트(overshoot)를 억제하였으며 영점 드리프트는 0.12mm 수준으로 나타났다.

후기 이 논문은 경상남도 지진안전산업 기술사업화 지원사업 및 행정안전부 재난안전산업진흥시설조성 지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00418342)



Fig. A actuator for a damper test

Table 1 Soil Amplification Factor for Seismic Response

	S1	S2	S3	S4	S5
amplification factor	0.8~1.0	1.0~1.2	1.2~1.5	1.5~2.5	2.5~

3. 반/옥외 면진테이블용 댐퍼 평가

댐퍼가 흡수하는 에너지 소산을 측정하기 위해 액추에이터 속도를 제어하여 댐퍼의 성능을 측정하였다.

REFERENCES

1. Kim, J. D., Lee, H., & Yoon, M. C. Response Behaviour of Sinusoidal Forced Excitation according to its Amplitude. Proceedings of the KSMPE Conference, 2020.

딥 러닝 기반 대면적 펄스 전자빔 표면 처리 공정의 크레이터 발생 예측 모델 Deep Learning Model for Predicting Crater Formation in a Large Pulsed Electron Beam (LPEB) Process

*오민기¹, 배성준¹, 윤준석¹, 오영석¹, 강성훈¹, 이호원^{1,2}, 조민철³,
#김지수^{3,4}, #오세혁^{1,2}

*Min Gi Oh¹, Seong Jun Bae¹, Jun Seok Yoon¹, Young Seok Oh¹, Seong Hoon Kang¹, Ho Won Lee^{1,2}, Min Cheol Cho³, #Ji Soo Kim (js.kim@knu.ac.kr)^{3,4}, #Se Hyeok Oh (shoh@kims.re.kr)^{1,2}

¹한국재료연구원(KIMS), ²과학기술연합대학원대학교(UST), ³경북대학교 반도체융합공학부, ⁴경북대학교 미래과학기술융합학부

Key words : Deep Learning, Generative Model, Large Pulsed Electron Beam (LPEB), Steel Alloys, Craters

*발표자, #교신저자

In a large pulsed electron beam (LPEB) process, optimizing processing parameters to minimize crater formation is essential for surface quality. However, conventional physics-based models have experienced difficulties for directly predicting craters. This study proposes a data-driven deep learning framework to predict crater formation in the LPEB process. A deep generator produced LPEB-processed surface images from material properties (non-metallic composition) and processing parameters (energy density and pulse number). Using optical microscopy data from four steel alloys, crater size, number, and distribution were predicted with accuracies of 84.5% (mean absolute error of 3.70 μm), 93.8%, and 88.9%, respectively, while also demonstrating fast inference and strong physical consistency.

후기 This work was supported by the Fundamental Research Program of the Korea Institute of Materials Science (PNKA220). This work was also supported by the Ministry of Trade, Industry and Resources (MOTIR) through the Korea Planning & Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) (RS-2025-24536099) and Korea Institute for Advancement of Technology (KAIT) (RS-2024-00419967)

반구형 툴 기반 마찰교반용접의 접합부 박화의 해석적 모델링 및 억제
Analytical Modeling and Control of Joint Thinning
in Hemispherical Tool-based Friction Stir Welding (H-FSW)

***#김진수¹, 조민구¹, 박민석¹, 김재황², Frank Pfefferkorn³, 이훈희¹, 윤왕호¹, 강성욱⁴**

[#]Jinsu Gim (jgim@kitech.re.kr)¹, Min Goo Cho¹, Min Suk Park¹, Jaeh Wang Kim²,

Frank Pfefferkorn³, Hoon Hee Lee¹, Wang Ho Yun¹, Sung Wook Kang⁴

¹한국생산기술연구원 진주뿌리기술지원센터, ²전북기술실용화본부,

³University of Wisconsin-Madison, Dept. of Mech. Eng. ⁴창원대학교 스마트오션모빌리티공학과

Key words : Friction Stir Welding, Hemispherical Tool, Joint Thinning, Friction Model

*발표자, #교신저자

반구형 툴 기반 마찰교반용접은 단일 공구로 다양한 두께의 용접물 접합이 가능한 유연성이 장점이나, 이를 산업적으로 적용하기 위해서는 접합부에서 발생하는 박화를 억제하기 위한 방법론이 필요하다. 본 연구에서는 반구형 툴 표면의 마찰량에 대한 해석적 모델을 고안하고, 이를 기반으로 용접부 박화 억제 방안을 제시한다. 마찰 모델이 광범위의 공정조건에서의 마찰 조건을 정확히 나타냄을 툴 온도를 측정을 통하여 검증하였다. 고안한 마찰모델과 용접부 단면 분석으로 후퇴측으로의 공구 기울임 각도의 박화 완화에 대한 메커니즘을 제시하였다. 최종적으로 접합부 박화가 억제되는 공정 윈도우는 툴-용접물의 형상과 마찰량을 각각 나타내는 2가지 무차원수를 통하여 나타낼 수 있었으며, 이를 실험적으로 검증하였다.

후기 본 연구는 2026년도 한국생산기술연구원 기관주요사업 “고위험, 고난이도 파이프 제작 공정 대응 원격 제조시스템 개발”(KITECH EH-26-0011)과 2025년도 한국생산기술연구원의 기본사업 “설명가능 인공지능(XAI) 및 무선 툴 온도 모니터링 기반 Hemispherical 툴 FSW 공정 기술 개발”(KITECH JE-25-0027)의 지원을 받아 수행되었습니다.

휴머노이드 로봇의 Sim-to-Real Gap 감소를 위한 도메인 랜덤화 기반 시연 데이터 생성

Domain Randomization-Based Demonstration Data Generation for Reducing the Sim-to-Real Gap in Humanoid Robot

*강정호¹, 변성준¹, 김명원¹, #이경창¹

J. H. Kang¹, S. J. Byun¹, M. W. Kim¹, *K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Humanoid Robot, Sim-to-Real Gap, Simulation, Domain Randomization

*발표자, #교신저자

최근 VLA(Vision-Language-Action) 및 모방학습 기반 로봇 조작 기술이 발전하면서 다양한 작업 수행 가능성이 확대되고 있다. 그러나, 모델 학습에는 대규모 작업 행동 데이터셋이 필요하며, 사람이 직접 로봇을 교시해 데이터를 수집하는 방식은 시간과 비용 측면에서 한계가 있다. 본 논문에서는 이를 보완하기 위해 도메인 랜덤화 기반 시뮬레이션 데이터셋 구축 방법을 제안한다. 조명, 배경, 물체 위치, 센서 노이즈 등을 다양하게 변화시켜 학습 데이터를 생성하고, 이를 통해 실제 환경 변화에 강인한 휴머노이드 로봇 정책 학습을 유도하였다.

공구 온도 데이터 기반 마찰교반용접 공정 관리 및 모니터링 범위 제안 Process Control and Monitoring Window for Friction Stir Welding (FSW) based on Tool Temperature Data

*조민구¹, #김진수¹

*Min Goo Cho¹, #Jin Su Gim(jgim@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원 진주뿌리기술지원센터

Key words : Friction Stir Welding, Tool Temperature, Temperature Measurement

*발표자, #교신저자

마찰교반용접(FSW)은 회전하는 공구와 모재 사이에서 발생하는 마찰열을 이용하는 접합 공정으로, 용접부 품질은 공정 중 발생하는 마찰열에 의해 결정된다. 이러한 마찰열은 공구 형상, 이송속도, 회전속도 등 다양한 공정 변수에 의해 좌우되므로, 공정 중 온도 측정은 매우 중요하다. 특히 공구 온도는 실제 FSW 공정 조건과 용접 품질을 반영하는 핵심 데이터이나, 공구가 회전하므로 기존 유선 방식으로는 직접 측정에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 열전대 통합형 FSW 공구와 실시간 무선 온도 측정 장치를 제작하였다. 이를 실제 FSW 공정에 적용한 결과, 공정 중 발생하는 열을 안정적으로 측정할 수 있음을 확인하였으며, 측정된 공구 온도 데이터를 기반으로 공정 관리 및 모니터링 범위를 제안한다.

후기 본 연구는 산업통상부와 한국산업기술진흥원의 '지역혁신클러스터육성(R&D) 거점기관 개방형혁신 사업(No. P0025383)'의 지원을 받아 수행되었습니다.

포스터발표

시뮬레이션/최적화

좌장 : 윤성민(국립창원대)

정지영(한국핵융합에너지연구원)

하태광(조선대)

B-Spline 기반 뇌동맥류 모델링 및 응력 집중 현상 시뮬레이션

B-Spline-based Modeling of Cerebral Aneurysms and Simulation of Stress Concentration

*유효민¹, #김재민¹, 김승환²

¹Hyo Min Ryu¹, #Jae Min Kim(jaeminkim@changwon.ac.kr)¹, Seung Hwan Kim²

¹국립창원대학교 기계공학부, ²삼성창원병원 신경외과

Key words : Machine Tool, Manufacturing, Production, Tool Path

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 뇌동맥류 파열 위험의 정량적 예측을 위한 GP-PINN SCAISA 프레임워크를 제안한다. 기존 KKT 기반 표면 피팅에서 발생하는 기하학적 잠금(Geometric locking) 문제를 베이지 적응형 접근법으로 해결하여, 환자 맞춤형 데이터로부터 정밀한 C^2 연속 표면을 재건한다. 이를 바탕으로 정적 평형 방정식을 풀어 국소 응력 분포 및 파열 위험 지역(Hotspot)을 도출한다. 본 기술은 임상 현장에서 저비용·고효율의 강건한 생체역학적 지표로 활용될 높은 잠재력을 가진다.

1. 서론

뇌동맥류 파열의 임상적 심각성을 해결하기 위해 국부 응력 해석을 위한 3D 형상 모델링이 필요해졌고, 기존 KKT 피팅의 '기하학적 잠금(Locking)' 한계에 따라 대안으로서의 GP-PINN 선언.

2. B-Spline 기반 뇌동맥류 모델링 및 응력 집중 현상 시뮬레이션

기존 희소한 환자 데이터로 인한 피팅의 불확실성을 가우시안 프로세스 기반 피팅 모델로 해소하고, 이를 기반한 모델링에서 뇌동맥류의 국부적 파열 위험도를 예측하기 위해 곡률기반 응력 집중 분석을 시행

REFERENCES

1. Moola, A., Corpuz, A. M., Burkhart, M. J., Ross, C. J., Mir, A., Burkhart, H. M., ... & Pawar, A. (2026). VALVEFIT: An analysis-suitable B-spline-based surface fitting framework for patient-specific modeling of tricuspid valves. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 448, 118466.
2. Humphrey, J. D., & Kyriacou, S. K. (1996). The use of Laplace's equation in aneurysm mechanics. *Neurological Research*, 18(3), 204-208.

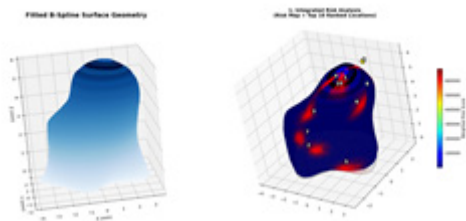


Fig. 1 (a) GP-PINN 기반 Surface fitting, (b) 곡률기반 응력 집중 구간 분석

여유도 행렬을 활용한 트러스 구조 시스템의 강건성 최적화 Truss Structural System Robustness Optimization Using Redundancy Matrix

*김세연¹, #김재민¹

^{*}Se Yeon Kim¹, [#]Jae Min Kim(jaeminkim@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 기계설계공학과

Key words : Simulation, Optimization

^{*}발표자, [#]교신저자

본 논문은 Redundancy Matrix 이론과 인공지능 기법을 결합하여 구조물의 강건성을 향상시키는 최적 설계 방법을 제안한다. 먼저 트러스 구조를 설계한 후 각 부재의 Redundancy Matrix 값을 계산하여 구조 내 여유도 (R) 분포를 분석하였다. 이후 AI 기반 최적화 알고리즘을 적용하여 R 분포가 가능한 한 균등해지도록 부재 위치를 조정하였다. 이를 통해 특정 부재에 하중이 집중되는 현상을 완화하고 구조 전체의 강건성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 제안된 방법은 구조물의 안전성과 신뢰성을 고려한 효율적인 설계 전략으로 활용될 수 있다.

후기 본 과제(결과물)는 교육부와 경상남도(RISE센터)의 재원으로 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계 (RISE)의 연구결과입니다. 이 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-KI002700, 우주항공/소형원전/방위산업 특화 적층제조기술 혁신 얼라이언스 구축, 중견기업-지역 혁신 얼라이언스 지원사업)

TPMS-BCC Hybrid Lattice 구조의 열유동 및 기계적 특성 분석과 다목적 최적설계

Multi-objective Optimization of Thermal-Fluid and Mechanical Performance in TPMS-BCC Hybrid Lattice Structures

*장정훈¹, 허승재¹, 오민석¹, #박상민¹
J. H. Jang¹, #S. M. Park(ksmpe@ksmpe.ac.kr)¹
¹부산대학교 기계공학부

Key words : Hybrid Lattice, Thermal-Fluid, Mechanical, GPR, NSGA-II

*발표자, #교신저자

경량 구조체는 우수한 비강도와 높은 비표면적을 바탕으로 열관리 및 구조 부재 등 다양한 분야에서 활용 가능성이 높다. 특히 격자 구조는 형상 설계에 따라 열전달 성능과 기계적 성능을 동시에 조절할 수 있어, 다기능 구조체로서의 잠재력이 크다. 그러나 기존 연구에서는 열유동 특성 또는 기계적 특성 중 한 측면에만 초점을 맞춘 경우가 많아, 실제 적용을 위해서는 두 성능을 통합적으로 고려한 설계 접근이 필요하다.

본 연구에서는 TPMS 기반 lattice와 BCC 구조를 결합한 hybrid lattice를 대상으로 열유동 특성과 기계적 특성을 함께 고려한 최적설계를 수행하였다. Primitive, Gyroid, Diamond 계열 구조를 기반으로 두께, 지름, 형상 조합 등의 설계변수를 변화시키며 수치해석을 수행하였고, 열유동 해석을 통해 Nusselt number와 마찰계수를 도출하여 열전달 성능과 유동 저항을 평가하였다. 또한 압축 해석을 통해 구조의 응력 분포, 변형 거동 및 기계적 안정성을 분석함으로써 각 격자 형상의 구조적 특성을 비교하였다.

해석 결과를 바탕으로 Gaussian Process Regression 기반 surrogate model을 구축하여 설계공간 내 성능을 효율적으로 예측하였으며, NSGA-II 알고리즘을 적용해 열전달 향상과 유동 손실 저감, 그리고 기계적 성능 확보를 동시에 고려한 다목적 최적설계를 수행하였다. 이를 통해 단일 성능 지표가 아닌 복합 성능 기준에서 유리한 hybrid lattice 설계안을 도출하고, 각 설계변수가 열적·기계적 응답에 미치는 영향을 체계적으로 분석하였다.

그 결과, lattice 형상과 기하학적 변수에 따라 열유동 성능과 압축 거동이 크게 달라졌으며, hybrid lattice 구조는 특정 조건에서 우수한 열전달 특성과 함께 안정적인 기계적 성능을 나타냈다. 또한 surrogate model과 다목적 최적화 기법을 결합한 설계 프레임워크는 복잡한 격자 구조의 성능 예측 및 최적 형상 도출에 효과적임을 확인하였다.

결과적으로, 본 연구는 hybrid lattice 구조의 열유동 및 기계적 특성을 통합적으로 분석하고, AI-assisted design optimization을 통해 다기능 경량 구조체 설계 가능성을 제시하였다. 이러한 접근은 열관리 구조체, 경량 기계부재, 고성능 에너지 시스템용 구조 설계에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기 이 성과는 2024년도 중소벤처기업부의 기술개발사업(RS-2024-00487746) 지원과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2026-25496793)을 받아 수행된 연구임.

동적 구조 특성을 활용한 구조물 손상 위치 추정 기술 개발

Development of Structural Damage Localization Technique Using Structural Modal Analysis

김국헌¹, #김재민¹^{}Guk Heon Kim¹, [#]Jae Min Kim(jaeminkim@changwon.ac.kr)¹¹국립창원대학교 기계공학부

Key words : 구조 안전성 모니터링, 유한요소법, 의사 잔류력, 손상 위치 추정

*발표자, #교신저자

구조물 손상의 조기 탐지를 위해 유한요소 모델(FEM) 기반 모달 해석을 이용한 손상 위치 추정 파이프라인을 개발하였다. Ge & Lui(2005)의 잔류력(Residual force) 이론을 MATLAB으로 구현하여 10층 2경간 철골 프레임에 적용하였다. 비손상 및 손상 구조물의 고유치 해석으로부터 의사 잔류력(Pseudo residual force)을 계산하여 손상 위치를 탐지하고, 고유값 민감도 행렬과 최소자승법(LSM)을 결합하여 강성 변화율을 정량 추정하였다. 강성 10%, 40%, 90% 감소 시나리오에서 $\pm 5\%$ 모드형상 노이즈 조건에도 손상 부재를 정확히 탐지하였으며, 추정 강성 변화율 오차는 손상이 작을수록 감소하여 10% 손상 케이스에서 2.3%를 기록하였다. 향후 확장 칼만 필터(EKF) 기반 실시간 상태 추정 및 물리 정보 신경망(PINN) 연계 확장을 계획하고 있다.

This study develops a finite element model (FEM)-based damage localization pipeline for structural health monitoring using modal analysis. The residual force framework proposed by Ge & Lui (2005) was implemented in MATLAB and applied to a 10-story, two-bay steel frame (50 members, 90 degrees of freedom). A pseudo residual force vector, derived from eigenvalue analysis of undamaged and damaged states, was used to localize damage, while a least squares method (LSM) combined with an eigenvalue sensitivity matrix quantified stiffness reduction. Three damage scenarios involving stiffness reductions of 10%, 40%, and 90% were simulated; the damaged member was correctly identified in all cases including under $\pm 5\%$ mode shape noise contamination, with stiffness reduction estimation errors as low as 2.3% for the 10% damage scenario, increasing for larger damage levels. Future work will extend this framework toward real-time state estimation using an Extended Kalman Filter (EKF) and physics-informed neural network (PINN) integration for enhanced damage severity estimation.

REFERENCES

1. Ge, M. and Lui, E. M., "Structural Damage Identification Using System Dynamic Properties," Computers & Structures, Vol. 83, No. 21-22, pp. 2185-2196, 2005.
2. Hassiotis, S. and Jeong, G. D., "Identification of Stiffness Reduction Using Natural Frequencies," Journal of Engineering Mechanics, Vol. 121, No. 10, pp. 1106-1113, 1995.

후기 본 과제(결과물)는 교육부와 경상남도(RISE센터)의 재원으로 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 연구결과입니다. 이 연구는 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-KI002700, 우주항공/소형원전/방위산업 특화 적응제조기술 혁신 얼라이언스 구축, 중견기업-지역 혁신 얼라이언스 지원사업)

가공 공정 모니터링 및 시각화를 위한 디지털 트윈 기반 적응형제조 프레임 워크 A Digital Twin-Based Adaptive Manufacturing Framework for Machining Process Monitoring and Visualization

*정상준¹, 박휘재², 박상인², #도재혁³

^{*}Sangjun Jeong¹, Hwijae Park², Sang-In Park², #Jaehyeok Doh(jdoh@gnu.ac.kr)³

¹경상국립대학교 기계항공우주공학부, ²인천대학교 바이오-로봇시스템공학과,

³경상국립대학교 항공우주공학부

Key words : Digital Twin, Adaptive Manufacturing, Process Monitoring, Visualization

*발표자, #교신저자

This study developed a digital twin system that links a real robotic arm with a Unity-based virtual robotic arm and applied it to machining process monitoring and visualization. The proposed framework reflects the real process state in a virtual environment in real time, enabling intuitive observation of robotic motion and process changes. In addition, the framework suggests the possibility of future expansion toward adaptive manufacturing through integration with correction and control. The results show that digital twin technology can improve process visibility and operational efficiency in machining applications.

1. 서론

가공 공정에서는 공정 상태를 실시간으로 파악하고 이를 직관적으로 확인할 수 있는 기술이 중요하다. 기존에는 센서 데이터나 장비 상태를 개별적으로 확인하는 경우가 많아 전체 공정 흐름을 통합적으로 이해하는데 한계가 있었다. 디지털 트윈(Digital twin)은 실제 시스템과 가상 시스템을 연동하여 공정 상태를 실시간으로 반영할 수 있다는 점에서, 가공 분야의 모니터링과 시각화 기술로 활용 가능하다. 본 연구에서는 실제 로봇팔과 Unity 기반 가상 로봇팔을 연동한 디지털 트윈 시스템을 구축하여, 이를 가공 공정에 적용 가능한 적응형 제조 프레임워크를 제안한다.

2. PGNN 모델 구축

본 연구에서는 실제 로봇팔, 가상환경, 센서 계측부 간 데이터 흐름을 기반으로 디지털 트윈 시스템을 구성하였다. 구축한 시스템은 실제 로봇팔의 동작 정보와 센서 데이터를 가상환경에 실시간으로 반영하여 공정 상태를 시각적으로 확인할 수 있도록 설계되었다. 이를 통해 작업자는 가상 로봇팔을 통해 실제 공정 진행 상태를 직관적으로 파악할 수 있으며, 이상 징후나 상태 변화를 보다 쉽게 인지할 수 있다.

3. 결론

본 연구는 실제 로봇팔과 가상 로봇팔을 연동한 디지털 트윈 시스템이 가공 공정의 모니터링과 시각화에 적용 가능성을 보여준다. 구축한 시스템은 공정 가시성을 높이고 작업자의 상태 인지와 대응 가능성을 향상시킬 수 있는 기반을 제공한다. 또한 본 구조는 단순 모니터링을 넘어 향후 페루프 제어 및 적응형 제조 시스템으로 확장 가능한 가능성을 가진다. 따라서 디지털 트윈은 가공 분야에서 공정 운영 고도화를 위한 유용한 기반 기술로 활용될 수 있다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-23402968).

REFERENCES

1. Zhu, Z., Zhu, W., Huang, J. and He, B., "An Intelligent Monitoring System for Robotic Milling Process Based on Transfer Learning and Digital Twin," Journal of Manufacturing Systems, Vol. 78, pp. 433-443, 2025.

마찰계수에 따른 알루미늄 판재의 사각컵 딥드로잉 연구
Deep Drawing Study of Square Cup on Aluminum Sheet according to Friction Coefficient

***#서창희¹, 권태하¹, 전효원¹, 오상균²**

***#Chang Hee Suh(suhch@dmi.re.kr)¹, Tae Ha Kwon¹, Hyo Won Jeon¹, Sang Gyun Oh²**

¹대구기계부품연구원 소재부품연구본부, ²대구기계부품연구원

Key words : Deep Drawing, Square Cup, Aluminum Sheet, Friction Coefficient

*발표자, #교신저자

During the forming of aluminum sheets, various problems such as cracks and springback occur due to friction between the aluminum material and the die. Reducing the friction coefficient is one of the most effective methods to improve the formability of aluminum sheets. In this study, a PVD coating with a low friction coefficient was applied to the die to reduce the friction coefficient during forming, and formability was evaluated using the square cup deep drawing method when using coated and uncoated dies. Through finite element analysis, the change in formability according to the friction coefficient during square cup deep drawing forming was investigated and compared with actual experimental results.

후기 이 논문은 중소기업기술혁신개발사업의 지원으로 수행되었음(RS-2023-00220522)

전기차 속업쇼바용 고강도 스프링시트 다단 프레스 성형에 관한 연구

A Study on the Multi-Stage Press Formation of High Strength Spring Sheet for Electric Vehicle Shock Absorber

*권태하¹, #서창희¹, 전효원¹, 전진현¹, 이재동¹, 송확², 김은영², 장효정²

^{*}T. H. Kwon¹, [#]C. H. Suh(suhch@dmi.re.kr)¹, H. W. Jeon¹, J. W. Jeon¹, J. D. Lee¹, H. Song²,

E. Y. Kim², H. J. Jang²

¹(재)대구기계부품연구원, ²기승공업(주)

Key words : Electric Vehicle, Shock Absorber, High Strength Steel, Muiltl-Stage Press, Spring Seat

*발표자, #교신저자

자동차용 속업쇼바의 스프링시트(Spring seat)는 속업쇼바 스프링에 가해지는 축력을 상쇄시켜 해당 축력에 의해 스프링이 유동되거나 비틀림 또는 좌굴되는 것을 방지하는 부품으로 고강도 고내구성이 요구된다. 전기차는 내연기관 자동차에 비해서 배터리의 중량이 무거워 내연기관 자동차보다 높은 하중을 담당해야 하기 때문에 가변속업쇼바의 스프링시트는 고강도 소재의 적용이 요구되고 있으며, 깊은 성형깊이를 요구하고 있어 성형난이도가 매우 높아지고 있다. 일반적으로 스프링시트 및 새시모듈의 부품들은 철강 소재를 사용하여 프레스 성형공법으로 생산되고 있다. 1차 블랭크 공정에서 전단작업을 할 때 표면이 거친 파단면 및 에지(Edge)부에 잔류응력이 발생된다. 파단면 및 잔류 응력은 후공정 작업시 포밍, 드로잉, 밴딩 등의 2차 공정작업에서 하중을 가하는 순간 파단면에서 크랙이 쉽게 발생하여 성형불량으로 이어지게 되면서 많은 문제를 나타내게 됨으로 이를 해결할 수 있는 성형기술의 개발이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 고강도강을 적용한 난형상의 스프링시트에 대해 다단성형공정 및 금형형상을 검토하였고 성형해석을 통한 제조기술 향상에 대한 연구를 수행하였다.

후기 본 연구는 중소기업기술혁신개발사업 (과제번호 : RS-2024-00421689, 과제명 : 유도국부연성제어 기술을 활용한 수출형 전기차 전자제어 가변속업쇼바용 고강도 스프링시트 개발) 의 지원에 의하여 수행되었습니다.

분말베드융합 기반 Gyroid 냉각 인서트의 속도장 기반 유동 공간 설계
Design of Gyroid Cooling Inserts via Velocity Field Analysis in Powder Bed
Fusion for Improved Thermal Performance

*설혜연^{1,2}, #심도식^{1,2}

^{*}Hye Yeon Seol^{1,2}, [#]Do Sik Shim(think@kmou.ac.kr)^{1,2}

¹국립한국해양대학교 신소재융합공학과, ²국립한국해양대학교 해양신재생에너지융합공학전공

Key words : Powder Bed Fusion, Gyroid(TPMS), Flow Space Design, Cooling Performance

*발표자, #교신저자

분말베드융합(Powder Bed Fusion) 기반 Gyroid 냉각 인서트는 유동 공간 증가에 따라 냉각 성능 향상이 기대된다. 본 연구에서는 인서트 내 냉각수 유동 해석을 통해 유입 속도 기준 10% 미만을 dead zone으로 설정하고, 이를 제외한 영역을 유효 유동 공간으로 정의하였다. 그 결과, 이러한 유효 유동 공간을 고려한 냉각 인서트는 그 령치 않은 모델 대비 dead zone 비율이 73.53% 감소하였고, 냉각성능이 개선되었음을 확인하였다. 이를 통해 dead zone을 고려한 유효 유동 공간의 인서트 설계의 유효성을 검증하였다.

장약 질량 변화에 따른 폭발 압력 특성의 수치해석 Numerical Modeling of Explosion Pressure with Varying Charge Mass

*정은채¹, 김세은¹, 이문구¹, #전용호¹

^{*}Eun Chae Jeong¹, Se Eun Kim¹, M. G. Lee¹, #Y.H. Jeon(princaps@ajou.ac.kr)¹

¹아주대학교 기계공학과

Key words : Ballistics, In-Bore System, Propellant, Numerical Modeling

^{*}발표자, #교신저자

강내(In-Bore) 탄도학에서 장약량(Propellant)은 탄자의 추진력과 포열의 구조적 건전성을 결정짓는 핵심 변수이다. 본 연구에서는 155 mm 곡사포를 대상으로 MATLAB을 활용한 수치해석 모델링을 수행하여, 장약 무게 변화에 따른 강내 압력 거동 및 탄자의 운동 특성을 정밀 분석하였다. 강내 탄도학 지배방정식을 기반으로 연소 가스의 팽창과 탄자의 가속 과정을 모사하였으며, 장약량에 따른 시간별 강내 압력 곡선, 탄자 속도 변화 및 최종 총구 초속(Muzzle Velocity)을 정량적으로 도출하였다. 시뮬레이션을 통해 장약량 증가에 따른 최대 압력의 비선형적 변화 추이를 확인하였다. 향후 장약 설계 최적화 및 포열 안전성 평가 시스템 자동화를 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

후기 본 연구는 산업통상자원부에서 지원하고 한국산업기술진흥원(KIAT)에서 주관하는 산업혁신 인력양성(HRD) 프로그램의 지원을 받아 연구되었음. (No. RS-2025-02304112)

객체 추적을 위한 백본 및 추적기 성능 검토에 관한 연구 Performance Analysis of Backbones and Trackers in Object Tracking

*박수찬¹, 김연후¹, #박종규²

^{*}Su Chan Park¹, Yeon Hu Kim¹, #Jong Kyu Park(chong@gs.cwnu.ac.kr)²

¹국립창원대학교 기계공학과, ²국립창원대학교 공학융합학부

Key words : Computer Vision, Object Tracking, Real-Time Object Detection, Backbone Network

*발표자, #교신저자

본 연구는 Intel NUC 플랫폼 기반 LIMO 로봇 환경에서 백본(MobileNetV3, ResNet50)과 추적기(ByteTrack, BoT-SORT)의 조합별 성능을 비교하였다. 실험 결과, ResNet50와 BoT-SORT 조합이 77.5%로 가장 높은 정확도를 보였고 MobileNetV3와 ByteTrack 조합이 7.0 FPS로 가장 빨랐다. 결과적으로는 로봇 환경에서는 MobileNetV3와 BoT-SORT의 조합이 속도와 정확도 간 균형이 가장 우수한 실용적 선택임을 확인하였다. 본 연구는 실시간 객체 추적 시스템의 백본 및 추적기 선택에 대한 실험적 근거를 제공한다.

1. 서론

자율 주행 로봇의 객체 추적은 보안, 물류, 서비스 로봇 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 그러나, 여러 대상이 교차하거나 장애물에 가려지는 상황에서 추적 실패 및 오작동으로 이어지는 한계가 존재한다. 본 연구에서는 제한된 환경에서 백본과 추적기 조합을 비교하여 최적 구성을 도출하였다.

2. 실험 환경 및 모델 비교

실험은 AgileX LIMO의 Intel NUC 플랫폼(Core i7 프로세서)과 ORBBEC Dabai (640×480)를 이용한 환경에서 수행하였다. 본 연구에서는 컴퓨팅 보드와 카메라는 고정 변수로 설정하고 YOLOv8 탐지기에 백본과 추적기를 조합하여 성능 지표 FPS, CPU 사용률, 메모리 사용률, 평균 정확도를 비교하였다.

실험 결과 CASE 1은 7.0 FPS로 가장 빠른 처리 속도를 보였으나 정확도는 71.4%에 그쳤다. 반면 CASE 4는 77.5%로 가장 높은 정확도를 기록하였으나 FPS는 5.0으로 가장 낮았다. CPU, 메모리의 사용률은 4가지 조합 모두 유사한 수준을 보여 연산 자원 측면에서 차이는 미미하였다.

CASE	Backbone	Tracker
1	MobileNetV3	ByteTrack
2	MobileNetV3	BoT-SORT
3	ResNet50	ByteTrack
4	ResNet50	BoT-SORT

CASE	FPS	CPU(%)	Memory(%)	Accuracy(%)
1	7.0	58	36.0	71.4
2	6.7	57	36.5	72.3

3	6.2	58	37.2	75.8
4	5.0	58	37.1	77.5

3. 결론

LIMO 로봇 환경에서 구동한 백본 및 추적기 조합을 비교했을 때, ByteTrack 대비 BoT-SORT가 모든 조합에서 높은 정확도를 확인할 수 있었다. 백본별로는 MobileNetV3 대비 ResNet50가 정확도가 더 높았으나 처리 속도 저하가 발생하였다. 이에 실시간 처리가 요구되는 환경에서는 MobileNetV3와 BoT-SORT의 조합이 효과적이라고 판단된다. 향후 최적화와 경량화를 통해 실시간 성능 개선 연구를 진행하고자 한다.

후기 본 연구성과는 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 과제 번호 : RS-2025-25396743)

REFERENCES

- Aljami, H.M., et al., "Benchmarking YOLOv8 Variants for Object Detection Efficiency on Jetson Orin NX for Edge Computing Applications," Computers, Vol. 15, No. 2, pp. 74, 2026.

저산소 장 내 환경 모사를 위한 3차원 관형 스캐폴드의 산소 구배 해석
Oxygen Gradient Analysis in 3D Tubular Scaffolds
for Hypoxic Intestinal Environment Simulation

***김은채¹, 이승재², #서경덕²**

¹Eun Chae Kim¹, Seung Jae Lee², #Kyoung Duck Seo(kdseo85@wku.ac.kr)³

¹원광대학교 기계공학과, ²원광대학교 기계공학부

Key words : Intestine, Hypoxia, Microbiome, Scaffold

*발표자, #교신저자

In a healthy gut state, the microbiome remains balanced, whereas dysbiosis is associated with metabolic, infectious, and autoimmune diseases. Therefore, understanding host-microbe interactions within the intestinal microenvironment is an important research focus. Previously developed platforms, including transwell system, gut-on-a-chip, and scaffolds, have limitations in reproducing the 3D structure and oxygen gradients of the intestine. In this study, we propose a 3D tubular scaffold designed to generate physiologically relevant oxygen gradients. Computational simulations using COMSOL Multiphysics were performed to analyze oxygen diffusion according to scaffold geometry. The results showed that hypoxic conditions formed in the central region as the scaffold length and thickness increased.

후기 This work has supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(No.RS-2025-23963145).

침수 대응을 위한 풀리 기반 자기작동 개방 시스템의 구조해석
Structural Analysis of a Pulley-Based Self-Actuating Opening System
for Flood Control

박승훈¹, *#하태광¹

Seung Hun Park¹, *#Tae Kwang Ha(hataekwang@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Floodgate, Self-Actuating System, Structural Analysis, Finite Element Analysis

*발표자, #교신저자

Due to the increasing frequency of flood damage driven by climate change, there is a rising demand for self-actuating flood control systems. This study proposes a system that converts rainwater-induced loads into an actuation force through a pulley mechanism. To evaluate the structural integrity of the floodgate, finite element analysis (FEA) was employed to examine stress and deformation under hydrostatic pressure, specifically at the maximum external water level immediately prior to opening. The results demonstrate that the proposed system maintains structural safety and operates reliably under rainfall conditions capable of inducing floods.

다물체 동역학(MBD) 이산요소법(DEM) 연성 해석 기반 얼음 취출 및 파쇄 거동 예측 및 실험 검증 Coupled MBD-DEM Analysis for Predicting Ice Dispensing and Crushing Behavior with Experimental Validation

*박성한¹, 전수을¹, 정채은¹, 박진홍², 김요한², 권순덕³, #이재욱¹

*Seong Han Park¹, Su Eul Jeon¹, Chae Eun Jung¹, Jin Hong Park², Yo Han Kim², Sun Deok Kwon³,

#Jae Wook Lee(jaewk95@knu.ac.kr)¹

¹경북대학교 스마트모빌리티공학과, ²LG 전자(주), ³경북테크노파크

Key words : Coupled Numerical Simulation, Multi-Body Dynamics, Discrete Element Method,
Ice Dispensing, Ice Crushing

*발표자, #교신저자

최근 제빙 기능이 탑재된 가전 시장에서 내부 아이스메이커의 얼음 취출 성능은 사용자의 만족도와 제품 경쟁력을 결정하는 핵심 품질 요소로 부상하고 있다.

그러나 현재 제품 개발 과정에서는 취출 성능에 대한 정량적 예측 기술이 충분히 확보되지 못하였으며, 그 신뢰성 또한 미흡한 실정이다. 특히 얼음은 초기 조건에 따라 물성 및 거동 변화가 민감하게 나타나는 재료로, 이를 정밀하게 반영한 해석 모델 구축이 요구된다.

이에 본 연구에서는 이산요소법(Discrete Element Method, DEM) 기반의 얼음 블록 모델을 구축하고, 물성 보정(calibration)을 통해 실제 얼음의 거동을 반영할 수 있는 모델링 기법을 제안한다. 또한 다물체 동역학(Multi-Body Dynamics, MBD)과 DEM을 연성한 해석 기법을 적용하여 얼음의 취출 및 파쇄 성능을 정량적으로 예측한다. 본 연구에서는 Cube 모드와 Crush 모드에서의 얼음 취출 및 파쇄 성능을 주요 해석 요소로 선정하였다. 이에 실제제품의 아이스메이커 내부 환경 및 작동 조건을 반영한 물리 모델과 DEM 기반 블록 모델을 연성한 통합 해석 모델을 구축하고, 외부로 취출되는 얼음의 질량 데이터를 확보하여 가상 환경에서 제품의 취출 및 파쇄 성능을 평가할 수 있는 해석 기술을 개발한다.



Fig. 1 DEM based Block in an Indoor Icemaker

이산요소법(DEM) 기반 회전체 시스템에서의 얼음 거동 해석 Analysis of Ice Behavior in a Rotating System Based on the Discrete Element Method

*전수을¹, 박성한¹, 송민경¹, 박진홍², 김요한², 김지연³, #이재욱¹

*Su Eul Jeon¹, Seong Han Park¹, Min Kyung Song¹, Jin Hong Park², Yo Han Kim², Chi Yen Kim³, #Jae Wook Lee(jaewk95@knu.ac.kr)¹

¹경북대학교 스마트모빌리티공학과, ²LG 전자(주), ³한국폴리텍대학교

Key words : Discrete Element Method(DEM), Numerical Simulation, Rotating System, Ice Behavior

*발표자, #교신저자

제빙기 및 아이스 크러셔와 같은 회전체 기반 장비에서는 내부에서 발생하는 얼음 입자의 거동이 공정 성능을 결정하는 주요 인자로 작용한다. 특히 얼음의 이동 경로, 충돌 양상 및 체류 특성은 회전 속도(rpm)에 따라 달라지며, 이는 파쇄 효율과 에너지 요구량에 직결된다. 그러나 기존의 설계 방식은 주로 경험적 판단에 의존하고 있어 이러한 거동을 체계적으로 분석하는 데 한계가 있다. 본 연구에서는 회전체 내부 얼음 거동을 규명하기 위해 이산요소법(DEM)을 활용한 가상 해석 모델을 구축하고, 실험 데이터를 기반으로 모델을 보정하여 해석 신뢰도를 향상시켰다. 해석은 초기 적층 상태를 고려하여 15rpm 간격으로 15~60rpm 구간으로 회전속도를 선정하여 수행되었으며, 실험은 외부 진동 영향을 최소화했다. 또한 압축시험기(UTM)를 이용하여 얼음의 힘-시간 그래프를 가상 시뮬레이션 압축시험 결과를 비교함으로써 시뮬레이션 내 얼음의 강성 값을 설정하여 블록의 물성 입력 값을 실험 거동을 반영하도록 하였다. 해석 결과, 11.31° 영역(제1사분면 부근)에서 블록 입자가 내벽으로부터 분리되어 낙하하는 거동이 확인되었고, 동일한 경향이 DEM에서도 재현되었다. 이를 통해 해석 모델이 회전체 내부 얼음 거동을 모사할 수 있음을 확인하였다. 본 연구는 회전 조건에 따른 얼음 거동 특성을 가상 해석을 통해 분석하고, 설비 설계에 활용이 가능한 기초 데이터를 제공하는데 있다.

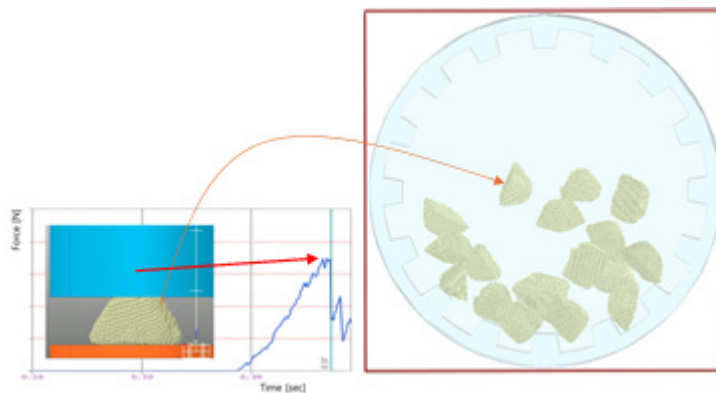


Fig. DEM Calibration and ice Behavior in Rotating System

전기차 인서트 그로멧의 사출 성형 불량 분석 및 공정 최적화 연구
A Study on Injection Molding Defect Analysis and Process Optimization
of Insert Grommets for Electric Vehicles

***김중희¹, #차승훈¹, 이찬희¹, 최준진²**

^{*}Joong Hui Kim(kimjh@gbtp.or.kr)¹, [#]Seung Hun Cha¹, Chan Hee Lee¹, Jun Jin Choi²

¹경북테크노파크, ²경림테크(주)

Key words : Insert Grommet, Injection Molding, Defect Analysis, Process Optimization, PA6 Nylon

*발표자, #교신저자

전기자동차 전장 시스템의 고도화로 와이어링 하니스의 구조가 복잡해짐에 따라, 핵심 부품인 인서트 그로멧의 성형 품질 확보가 차량 전체의 신뢰성을 결정짓는 중요한 요소로 부상하였다. 본 연구는 사출 성형 시 발생하는 주요 불량 원인을 체계적으로 분석하여 최적 공정 기술을 정립하고자 한다. PA6 나일론 소재를 대상으로 사출 성형 해석을 수행하였으며, 탄화, 미성형, 단차, 표면 불량 등 주요 불량 유형에 대한 금형 및 공정 요인을 분석하고, 전산해석 데이터 기반 충전 프로파일과 보압 조건을 도출하여 성형 타당성을 검토하였다. 본 연구를 통해 도출된 사출 조건 및 충전 프로파일은 인서트 그로멧 생산 품질 향상 및 와이어링 하니스의 시제품 개발을 위한 기반으로 활용하고자 한다.

후기 본 연구는 중소기업기술혁신개발(R&D) “전기차용 다품종 와이어링 하니스 및 공정 시스템 개발(RS-2023-00277432)” 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

FEM 기반 강선 누적 마모량의 단계별 특성 분석 FEM-Based Analysis of Stage-wise Characteristics of Cumulative Rifling Wear

*김세은¹, 정은채¹, 이문구¹, #전용호¹

^{*}Se Eun Kim¹, Eun Chae Jeong¹, Moon Gu Lee¹, #Yonh Ho Jeon(princaps@ajou.ac.kr)¹

¹아주대학교 기계공학과

Key words : Gun Barrel, Rifling, Cumulative Wear, Finite Element Method

^{*}발표자, #교신저자

강선의 누적 마모는 반복 발사에 따라 포열 내부의 형상 변화와 누적 손상을 유발하며, 이는 탄의 거동, 명중 정확도, 포구초속, 안전성, 그리고 포신 수명에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 강선의 누적 마모량을 정량적으로 파악하는 것은 성능 저하 예측, 정비 및 교체 시점 판단, 그리고 수명 예측 측면에서 중요하다. 또한 강선 마모는 발사 횟수 증가에 따라 초기 마모, 안정 마모, 가속 마모 단계로 구분될 수 있으며, 각 단계에서 마모율, 표면 형상 변화, 열-기계적 손상 누적 특성이 서로 다르게 나타난다. 본 연구에서는 다회 발사에 따른 포열 내부 형상 변화를 대상으로 유한요소해석을 수행하고, 그 결과를 강선의 누적 마모량 실측 데이터와 비교하여 해석의 타당성을 검토하고자 한다. 또한 누적 마모량 분석을 통해 마모 단계를 구분하고, 각 단계별 특성을 분석하고자 한다. 이러한 강선의 누적 마모량에 대한 단계별 특성 분석은 반복 발사 조건에서의 포열 거동을 이해하고, 내마모 성능 향상 및 신뢰성 있는 수명 평가 체계를 구축하기 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대한다.

후기 본 연구는 정부(산업통상자원부)에서 지원하고 한국산업기술진흥원(KIAT)에서 주관하는 산업혁신 인력양성(HRD) 프로그램의 지원을 받아 연구되었음. (No. RS-2025-02304112)

분자 동역학 시뮬레이션 기반 도핑 원소 종류에 따른 DLC 나노복합 코팅의 기계 및 트라이볼로지 특성에 관한 연구

Effect of Dopant Species on the Mechanical and Tribological Characteristics of DLC Nanocomposite Coatings via Molecular Dynamics

*이상훈¹, #김현준^{1,2}

^{*}Sang Hoon Lee¹, [#]Hyun Joon Kim(hjoonkim@knu.ac.kr)^{1,2}

¹경북대학교 미래과학기술융합학부, ²경북대학교 정밀기계공학과

Key words : Friction, Molecular Dynamics Simulation, Diamond-like Carbon(DLC), Metal Doping

*발표자, #교신저자

전기자동차(EV) 산업으로의 급격한 전환에 따라 저점도 윤활 및 누설 전류에 의한 마모 가속화 등 새로운 트라이볼로지적 과제가 대두되고 있다. 기존의 단일 탄소 기반의 DLC 코팅만으로는 이러한 가혹한 환경을 극복하기에 한계가 존재한다. 이 연구에서는 분자 동역학 시뮬레이션을 활용하여 금속 도핑이 DLC 코팅의 기계 및 트라이볼로지적 특성에 미치는 영향을 분석하고, 저마찰 및 고인성(High Toughness) 특성을 동시에 확보하고자 하였다. 시뮬레이션 결과, 도핑 농도가 증가함에 따라 탄성 계수는 감소하였고 마찰 계수는 증가하였다. 특히 도핑 원소의 종류에 따라 인성이 개선된 것을 확인하였다. 이러한 결과는 제어된 금속 도핑을 통해 기계적 순응성과 트라이볼로지 특성의 균형을 맞출 수 있음을 시사한다.

후기 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노·소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00452417).

실시간 모니터링을 위한 FPCB 기반 유연 기판의 기계적 거동 및 신뢰성 분석 Mechanical Behavior and Reliability Analysis of FPCB-based Flexible Substrates for Real-time Monitoring

*이하경¹, #오용석¹, 이남형¹, 한승주¹, 김영한¹, 한정아¹, 이상빈¹

*Ha Kyoung Lee¹, #Yong Suk Oh(oyongsuk@changwon.ac.kr)¹, Nam Hyeong Lee¹, Seng Ju Han¹, Young han Kim¹,
Jeong A Han¹, Sang Bin Lee¹

¹국립창원대학교

Key words : FPCB, Mechanical Reliability, Flexible Sensor, FEA

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 육창 예방을 위해 실시간으로 자세와 압력을 측정할 수 있는 FPCB(Flexible Printed Circuit Board) 기반의 유연 센서 패치를 설계하고, 이에 대한 기계적 신뢰성을 분석하였다. 기존의 리지드 PCB는 유연성이 부족하여 신체 부착 시 사용자에게 불편함을 주고 반복적인 움직임에 의해 회로가 파손될 위험이 있다. 이를 해결하기 위해 폴리이미드 기판을 활용하여 유연성을 확보한 센서 시스템을 구성하였다.

연구를 위해 IMU(관성 측정 장치)와 압력 센서를 하나로 통합한 회로를 설계하였으며, 실제 사용 환경에서 기판이 받는 영향을 확인하기 위해 유한요소분석(FEA)을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 기판이 굽혀지거나 눌릴 때 내부 구리 패턴과 센서 실장 부위에 발생하는 응력 분포를 확인하였다. 분석 결과, 설계된 기판은 반복적인 변형 조건에서도 재료의 강도 범위 내에서 안정적인 거동을 보임을 확인하였다. 본 연구의 결과는 향후 유연 웨어러블 기기의 기계적 설계와 안정성 평가를 위한 참고 자료로 활용될 수 있다.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(RS-2023-00212892). This research was also supported by Global - Learning & Academic research institution for Master's-PhD students, and Postdocs(LAMP) Program of the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Ministry of Education(No. RS-2024-00444460).

This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the RISE Center, Gyeongsangnam-do, funded by the Ministry of Education(MOE) and the Gyeongsangnam-do Provincial Government, Republic of Korea.(2026-RISE-16-002).

AMR용 구동 모터의 초기 설계 기반 성능 최적화 연구

Performance Optimization of an AMR Drive Motor Based on Initial Design

*하남훈¹, 한성희², #김규섭¹

*Nam Hun Ha¹, Seong Hee Han², #Kyu Seob Kim(ks.kim@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 미래자동차공학과, ²경상국립대학교 전기공학과

Key words : Optimization, Response Surface Methodology, Central Cposite Design, IPMSM

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 AMR용 구동 모터의 초기 설계 모델을 바탕으로 성능 개선을 위한 최적 설계를 수행하였다. 먼저 요구 사양을 만족하는 초기 모델을 설계하고, 전자기 해석을 통해 토크와 효율 등 기본 성능을 확인하였다. 이후 주요 설계 변수를 선정한 뒤 실험계획법(Design of Experiments, DOE)에 따라 해석 데이터를 구축하였으며, 중심 합성계획법(Central Composite Design, CCD)과 반응표면 분석법(Response Surface Methodology, RSM)을 적용하여 대리 모델을 구성하였다. 이를 바탕으로 목적 성능과 제약조건을 함께 고려한 최적화를 수행하였고, 초기 모델 대비 개선된 설계안을 도출하여 실제 설계에 대한 적용 가능성을 검토하였다.

1. 서론

최근 물류 및 제조 현장에서 자율 이송 로봇(AMR)의 활용이 확대되면서 구동 모터의 성능 향상과 설계 효율 개선의 중요성이 커지고 있다. 구동 모터의 성능은 설계 변수의 변화에 따라 토크, 효율, 토크 리플 등 여러 특성이 함께 달라지므로 초기 설계 이후 성능을 체계적으로 검토하고 개선하는 과정이 필요하다. 일반적으로 전자기 해석을 이용하여 설계 성능을 평가할 수 있으나, 설계 변수가 증가할수록 반복 해석에 따른 시간적 부담이 커진다. 따라서 본 연구에서는 AMR용 구동 모터의 초기 설계 모델을 바탕으로 주요 설계 변수를 선정하고, 실험계획법과 반응표면 분석법을 적용하여 성능 개선을 위한 최적 설계를 수행하고자 하였다.

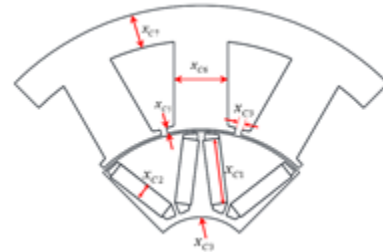


Fig. 1 8-Pole, 12-Slot IPMSM Model

2. 결론

본 연구에서는 AMR용 구동 모터의 초기 설계 모델을 대상으로 주요 설계 변수를 선정하고, 실험계획법 기반 해석 데이터를 구축한 후 중심 합성 계획법과 반응표면 분석법을 적용하여 최적 설계를 수행하였다. 이를 통해 설계 변수와 주요 성능지표 경향을 확인할 수 있었으며, 초기 모델 대비 성능 개선이 가능한 설계 방향을 도출할 수 있었다. 또한 반복적인 전자기 해석에 비해 효율적으로 최적 설계를 검토할 수 있어 설계 시간 단축 측면에서도 활용 가능성을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 방법은 AMR용 구동 모터의 초기 설계 보완과 성능 향상에 유용하게 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

후기 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 경상남도의 재원으로 경상남도RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다. (2026-RISE-16-001)

REFERENCES

1. J.-Y. Lee, S.-H. Lee, G.-H. Lee, J.-P. Hong, and J. Hur, "Determination of parameters considering magnetic nonlinearity in an interior permanent magnet synchronous motor," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 42, no. 4, pp. 1303-1306, Apr. 2006

PPO 강화학습 알고리즘을 통한 사족보행 로봇 훈련에 관한 연구

Learning Quadruped Robot Locomotion Using PPO Reinforcement Learning

*양진허¹, 김동균¹, 장푸지¹, #김병창¹

J. H. Yang¹, D. G. Kim¹, F. J. Zhang¹, #B. C. Kim(bckim@uok.ac.kr)^{1}

¹ 경남대학교 기계융합공학과

Key words : Reinforcement Learning, Proximal Policy Optimization (PPO), PyBullet Simulation

*발표자, #교신저자

본 논문은 사족보행 로봇의 안정적이고 효율적인 보행 학습을 위해 강화학습 알고리즘인 PPO(Proximal Policy Optimization)를 적용하는 것을 목적으로 한다. 기존의 DDPG 알고리즘은 연속적인 제어 문제에 적용 가능하나, 학습 과정에서의 불안정성과 Q값 과대추정 문제로 인해 로봇 제어에 한계를 가진다. 이에 따라 보다 안정적인 학습이 가능한 PPO 알고리즘을 적용하여 성능을 비교·분석하였다.

1. 서론

최근 로봇 기술의 발전으로 사족보행 로봇은 다양한 지형에서 안정적으로 이동할 수 있어 산업, 군사, 구조 등 여러 분야에서 주목받고 있다. 기존의 모델 기반 제어는 환경 변화에 대한 적응에 한계가 있어, 이를 보완할 수 있는 강화학습 기반 제어 방법이 효과적인 대안으로 제시되고 있다

2. 시스템 구성

사족보행 로봇의 제어를 위해 PPO 기반 강화학습 알고리즘을 적용하고, PyBullet 시뮬레이션 환경에서 로봇과의 상호작용을 통해 학습 데이터를 구축하였다. 학습 과정에서는 관절 각도, 속도, 자세 등의 상태값과 관절 제어 입력을 동기화하여 약 200만 step 이상의 데이터를 수집하였다..

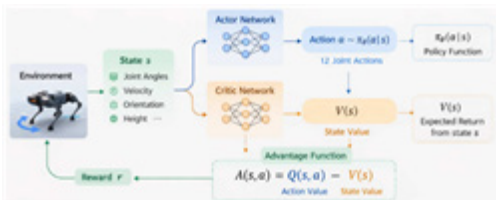


Fig. 1 PPO 강화학습 알고리즘 흐름도

AI 학습을 위해 이동 거리, 목표 거리, 자세 안정성 (roll, pitch), 에너지 효율, 미끄럼 등을 반영한 보상 함수를 설계하였다. 이를 통해 안정적이고 효율적인 보행을 학습하도록 하였으며, 이동 성능, 안정성, 목표 도달

성공률을 기준으로 결과를 평가하였다

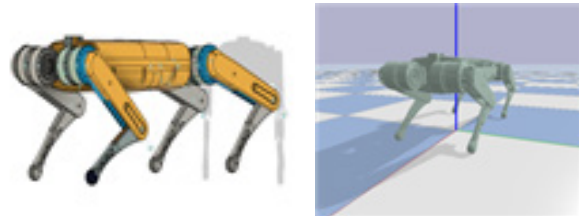
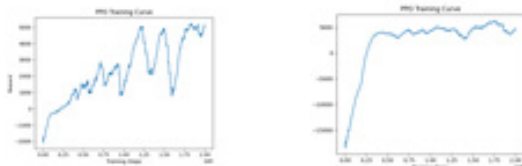


Fig. 2 사족보행 로봇 모델 및 PyBullet 시뮬레이션 환경

3. 결론

본 연구에서는 PPO 기반 강화학습을 통해 사족보행 로봇의 안정적인 보행을 구현하였다. 실험 결과, 목표 지점까지의 이동 성능과 안정성이 향상되었으며, 강화학습 기반 제어의 효과를 확인하였다. 향후에는 실제 환경 적용 및 복잡한 지형 학습으로 확장할 예정이다



REFERENCES

1. Schulman, John, et al. "Proximal Policy Optimization Algorithms." arXiv, 2017, arXiv:1707.06347. doi:10.48550/arXiv.1707.06347.

CFRP-폼 샌드위치 수밀문의 구조 해석

Structural Analysis of CFRP-Foam Sandwich Watertight Doors

*정수민¹, 최선호², 김영순³, 강성수⁴, #김홍건⁴

*Su Min Jung¹, Sun Ho Choi², Youug Soon Kim³, Sung Soo Kang⁴, #Hong Gun Kim(hkim@jj.ac.kr)⁴

¹전주대학교 탄소융합에너지학과, ²전주대학교 탄소융합공학과,

³전주대학교 탄소연구소, ⁴전주대학교 기계자동차공학과

Key words : CFRP, Foam Sandwich, Watertight Door, Structural Analysis, FEA

*발표자, #교신저자

1. 서론

선박 경량화를 통한 탄소 저감 요구가 높아짐에 따라 기존 철강 수밀문의 중량 한계를 극복할 대안이 필요하다. 본 연구는 탄소 복합재 및 HX100 폼 코어 기반의 샌드위치 구조를 설계하고, 유한요소해석(FEA)을 실시하여 구조적 안정성과 경량화 효과를 확인하였다. 이를 통해 탄소 복합재 수밀문의 우수한 강성 및 경량 효율성을 입증하는 데 목적이 있다.

2. 본론

본 연구에서는 HX100 폼 코어를 적용한 샌드위치 구조 수밀문을 설계하고, 실제 운용 환경을 모사한 수치 모델(Fig. 1)을 구축하였다. 가스켓 접촉부의 완전 고정(Bonded) 조건과 0.3MPa의 정수압 하중을 설정하여 유한요소해석(FEA)을 수행하였다. 이를 통해 탄소섬유 적층 및 폼 충전재의 복합 보강 효과가 구조적 응답과 변형에 미치는 영향을 분석하였다.

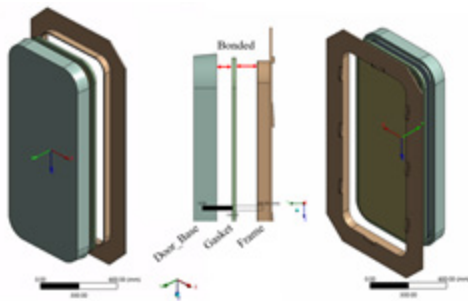


Fig. 1 Hydrostatic pressure test model

Table 1 Foam Material Data

HX100	
Density (kg/m ³)	103.2
Compressive strength (MPa)	2.29
Tensile strength (MPa)	3.51
Shear strength (MPa)	1.57
Shear modulus (MPa)	41.6

3. 결론

해석 결과(Table 2), 탄소 복합재 샌드위치 구조는 정수압 하중에서도 안정적인 응력 및 변형 특성을 보이며 설계 강도를 확보하였다. 특히 폼의 보강 효과로 구조적 건전성과 동시에 중량 절감을 달성하였다. 이는 선박 경량화와 경제성을 동시에 충족하는 대안임을 입증한다.

Table 2 FEA Results for Carbon and Foam

Analysis Results		
Analysis Items	Carbon	HX100
Total Deformation (mm)	20.184	20.184
Equivalent Stress (MPa)	112.67	1.8357
Total Weight (kg)	38.91	

후기

본 연구는 과학기술정보통신부(RS-2025-02222810)의 [2025 연구개발 특구 추진] 사업(탄소섬유 및 난연성 하이브리드 경량 복합재 적용 중대형 선박 및 특수선박용 다목적 수밀문의 실증), 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제임. (RS-2025-07852969)

REFERENCES

1. Cho, J. H., Choi, W. S., Lee, J. J. and Shin, J. K. "Optimum design of sandwich composite structures under various dynamic loads using the equivalent static load method," Composite Structures, Vol. 132, pp. 1114-1123, 2015.
2. Kim, J. H., Park, S. H. and Lee, S. Y. "Finite-element Analysis for Structural Strength Assessment of Marine Sandwich Material on Ship Side-shell Structure," Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 32, No. 5, pp. 345-352, 2018.

카본 로드자전거 프레임 구조 형태의 기구학적 의미에 관한 고찰

Structural Form and Kinematic Significance of Shape Evolution in Carbon Road Bicycle Frames

*최선호¹, 김홍건², #곽이구²

*Sun Ho Choi¹, Hong Gun Kim², #Lee Ku Kwac(jjrokm2012@jj.ac.kr)²

¹전주대학교 탄소융합공학과, ²전주대학교 기계자동차공학과

Key words : Carbon Road Bicycle, Frame Geometry, Kinematics, Load Path

*발표자, #교신저자

카본 로드자전거 프레임은 경량성과 강성뿐 아니라 하중전달, 조향응답 및 라이더 자세를 함께 고려하여 설계되어야 함. 본 연구는 문헌조사를 통해 로드 프레임의 기본 구조의 형상 변화의 기구학적 의미를 고찰함. 각 단계의 변화는 부품 수용성 향상뿐 아니라 페달링 하중 입력점의 정의, 조향축 형성, 질량중심 조정, 후륜 및 구동계 간섭 제거를 통해 하중전달 경로와 구조 응답을 변화시키는 과정으로 이를 통해 카본 로드 프레임 설계는 형상설계와 구조설계가 결합된 통합 문제임을 확인함.

1. 서론

카본 로드자전거 프레임은 탑튜브, 다운튜브, 시트튜브, 체인스테이 및 시트스테이로 구성된 다이아몬드형 삼각구조를 기반으로 CFRP는 높은 비강성과 형상 자유도를 제공하지만, 실제 프레임 성능은 재료 적층 이전에 기본 형상과 하중경로에 크게 좌우됨. 설계 논문은 자전거 프레임을 처음부터 복잡한 3D 형상으로 최적화하지 않고, spaceframe 기반 모델을 점진적으로 수정하는 절차를 제시함으로써 형상 자체가 구조 성능을 먼저 결정하고자함.

2. 카본 로드자전거구조의 기구학적 의미

Model 1은 기본 삼각구조만으로 이루어진 기준형이며, 초기 fitting 치수와 기본 하중경로를 정의함. 바텀브래킷을 추가하여 페달링 하중의 입력점을 구조 안에 포함시키고, 헤드튜브를 추가하여 조향축과 전면 하중전달 경로를 형성후 시트스테이 위치를 낮춰 무게중심을 조정하고 후삼각부 응답을 변경함. Model 5는 후륜수용을 위해 시트스테이를 성형하여 동적 clearance를 확보하여 후륜과 크랭크셋 간섭을 피하도록 체인스테이를 형성하여 단순 공간 확보를 넘어서 바텀브래킷과 후륜 사이의 비틀림 강성과 하중전달 방향을 재설계함.

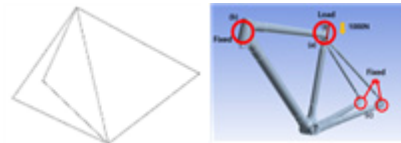


Fig. 1 Sequence of Simple Design for Carbon Road Bicycle Frame

3. 결론

카본 로드자전거 프레임의 형상 변화는 단순한 조형 변화가 아니라, 하중전달 경로, 질량 배치, 후륜 및 구동계 간섭 조건을 단계적으로 해결하는 기구 설계 과정으로 특히 체인스테이 형상 변경은 구조 성능을 동시에 만족시키기 위한 핵심단계로 카본 로드 프레임의 고성능 설계를 위해서는 적층 최적화 이전에 기본 형상과 하중경로에 대한 기구학적 검토가 필요로함.

후기 본 연구는 정부의 재원으로 2022년도 *중소벤처기업진흥공단(No.S3275446)*의 지원을 받아 수행함.

REFERENCES

1. Kitselis, A.G., Nikolakea, C.S. and Manolakos, D.E., "The Design Process of an Optimized Road Racing Bicycle Frame," *Machines*, Vol. 10, No. 2, 149, 2022.
2. Waechter, M., Riess, F. and Zacharias, N., "A Multibody Model for the Simulation of Bicycle Suspension Systems," *Vehicle System Dynamics*, Vol. 37, No. 1, pp. 3-28, 2002.

기하학적 형상의 구면 반사경에 대한 광기구 및 Zernike 다항식 기반 광학적 분석 Opto-Mechanical and Zernike Polynomial-Based Optical Analysis of Spherical Mirrors with Geometric Configuration

*남궁길¹, 김재준¹, #하태광¹

*Gil Nam Gung¹, Jae Jun Kim¹, #Tae Kwang Ha(hataekwang@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Opto-mechanics, Mirror, Zernike Polynomials, Finite Element Analysis

*발표자, #교신저자

With increasing resolution requirements in space telescopes and aerospace precision instruments, the demand for high surface accuracy of spherical mirrors, which serve as critical optical components, has increased accordingly. In such high-precision optical systems, even small deformations caused by self-weight and external loads can induce optical aberrations and degrade image quality. In this study, spherical mirrors with various geometric configurations were designed, and their structural deformation behavior under self-weight was analyzed using finite element analysis (FEA). In addition, the wavefront error of the deformed mirrors was decomposed into Zernike polynomials to evaluate the aberration components, and the root mean square (RMS) error was subsequently calculated. Based on these analyses, the effects of geometric configurations on the structural deformation, wavefront error, and optical performance of spherical mirrors were evaluated.

구조 및 풍동 연성해석을 통한 상용차 Roof Side Panel 형상 설계 Shape Design of a Commercial Vehicle Roof Side Panel Using Coupled Structural and Aerodynamic Analysis

*[#]유건현^{1,2}, 곽성웅², 정병우³

^{*#}Geon Hyeon Yoo(ghr58@kunsan.ac.kr)^{1,2}, Seongung Kwak², Byeong Woo Jeong³

¹전남대학교 기계공학부, ²국립군산대학교 고등기술융합연구원, ³삼진산업(주)

Key words : Structural Analysis, Wind Tunnel Analysis, Coupled Analysis, Roof Side Panel

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 중대형 상용차의 돌출형 미러-캠 장착에 따른 공기저항 저감 및 차체 구조 강성을 확보하기 위해 곡률 페어링 기법을 적용한 Roof Side Panel의 최적 형상 설계를 목적으로 한다. 이를 위해 측면 및 전면부 곡률 처리 방식에 따라 단일 곡률 형상(CASE-A), 곡률 및 직선부 혼합 형상(CASE-B), 접선 연계 직선면 형상(CASE-C) 3종의 설계 모델을 고안하고, 구조 및 풍동 해석을 연계하여 성능을 비교 분석하였다. 전산유체역학(CFD) 기반의 풍동 해석을 통해 각 설계 모델의 공기저항계수와 압력 및 속도 구배를 평가하였으며, 유한요소해석(FEA)을 적용한 구조 해석을 통해 국부 하중에 따른 유효 응력과 전체 변형량을 산출하였다. 본 연구는 이러한 해석 결과를 바탕으로 차체 곡률 페어링 기법이 공력 성능과 구조적 거동에 미치는 영향을 다각도로 검증하였으며 최종적으로 상용차 외장 패널의 유체역학적 효율 향상과 강성 확보를 동시에 달성할 수 있는 최적의 설계 프로세스를 확보했다.

후기 본 연구는 중소벤처기업부 중소기업기술혁신개발사업 '중대형 상용차 어라운드 미러 캠 설치를 위한 루프 개발'(연구개발과제번호 : S3434261) 과제의 지원을 받아 수행된 연구임

수분 함량 조절을 통한 수소 환원철(H₂-DRI) 온도별 안식각 모사 및 Purge System을 활용한 호퍼 내 입자 유동성 개선 분석

Analysis of H₂-DRI Repose Angle Simulation by Temperature through Moisture Content Control and Hopper Particle Flowability Improvement Using a Purge System

*최재원¹, 천지호², #박준영^{1,2}

*J. W. Choi¹, J. H. Cheon², #J. Park(pcello@kumoh.ac.kr)^{1,2}

¹ 금오공과대학교 항공기계전자융합전공, ² 금오공과대학교 기계공학부

Key words : Repose Angle, Purge System, Hydrogen Direct Reduced Iron, Hopper, Moisture Contents

*발표자, #교신저자

수소환원철(H₂-DRI)은 고온 환경에서 입자 간 점착 특성이 변화하여 온도에 따른 유동 특성의 차이를 나타낸다. 본 연구에서는 실험적 제약이 큰 고온 호퍼 내부의 유동성을 분석하기 위해, 철광석의 수분 함량을 조절함으로써 고온 H₂-DRI에서 발생하는 유동 저하 현상을 모사하였다. 실험 결과, 25℃, 400℃, 600℃에서 H₂-DRI의 안식각은 각각 31.17°, 39.38°, 43.79°로 측정되었으며, 철광석의 수분 함량을 각각 1.41%, 9.66%, 10.44%로 조절하여 각 온도 조건에서의 안식각을 성공적으로 모사하였다. 해당 조건을 적용한 호퍼 배출 실험에서 25℃와 400℃ 조건은 원활한 배출이 이루어졌으나, 600℃ 조건에서는 유동성 저하로 인해 배출 불능 상태가 확인되었다. 이에 600℃ 조건에 Purge System을 적용한 결과, 50 lpm의 유량에서 배출이 시작됨을 확인하여 유동성 개선 효과를 검증하였다.

후기

본 연구는 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(RS-2023-00246518, 25%), 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원(IITP-2025-RS-2020-II201612, 25%) 및 산업통상자원부(MOTIE)와 산업기술평가관리원(KEIT)의 지원으로 수행되었음 (RS-2023-00262421, 50%).

하이브리드 변속기 조립 공정 개선을 위한 조립지그 개발 Development of Assembly Jig for Improving Assembly Process of Hybrid Transmission

*#송재혁¹, 정우석¹

*#Jae Hyeok Song(songjh@secoautomotive.com)¹, Woo Seok Jeong¹

¹(주)서진오토모티브

Key words : Hybrid Transmission, Assembly Jig&Fixture, Assembly Process

*발표자, #교신저자

하이브리드 변속기의 조립 및 리크 테스트 공정에서는 반복적인 반전 작업이 요구되며, 작업자 의존도가 높아 피로도 증가와 작업 효율 저하 문제가 발생한다. 본 연구에서는 조립 공정의 작업성 향상을 위한 조립지그를 설계, 제작하였다. 개발된 지그는 변속기의 구조와 무게중심을 반영하여 안정적인 반전이 가능하도록 설계되었다. 특히 구동시스템 조립 시 클러치 액추에이터 조립 과정에서 슬리브 단수 위치 변경이 어려운 문제를 개선하기 위해, 45도 간격의 위치 고정 구조를 적용하여 전 방향 반전이 가능하도록 하였다. 또한 지그 양측에 위치 고정핀을 적용하여 안정적인 고정이 가능하도록 하였다. 이를 통해 조립 작업의 원활성과 공정 효율 향상 효과를 확인하였다.

1. 서론

하이브리드 변속기 조립 공정에서는 반복적인 반전 작업이 필수적으로 수행되며, 작업자 의존도가 높아 작업 피로도도 공정 비효율 문제가 발생한다. 또한 변속기의 비대칭 구조로 인해 안정적인 반전이 어려워 작업성 저하 요인이 된다.

특히 기존 조립지그의 경우 구동시스템 조립 시 클러치 액추에이터 조립 과정에서 슬리브 단수 위치 변경이 어려워 작업성이 저하되는 문제가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 개선하기 위해 변속기의 구조와 무게중심을 고려한 조립지그를 설계하고자 한다.

2. 조립지그 설계 및 제작

변속기의 형상과 무게중심을 고려하여 중심축을 최적화하고 안정적인 반전이 가능한 지그를 설계하였다. 특히 클러치 액추에이터 조립 시 슬리브 단수 위치 변경이 용이하도록 45도 간격의 위치 고정 구조를 적용하여 전 방향 반전이 가능하도록 하였다. 또한 지그 양측에 위치 고정핀을 적용하여 변속기를 안정적으로 고정할 수 있도록 하였다.

설계된 지그는 시제품으로 제작하여 실제 조립 공정에 적용하였다. 그 결과 반전 작업 시 작업자의 부담이 감소하고 변속기 고정 안정성이 향상되었으며, 45도

단위 위치 고정을 통해 슬리브 단수 위치 변경이 용이해져 클러치 액추에이터 조립 작업이 원활해졌다. 또한 전반적인 작업 효율 향상과 공정 중 간섭 감소 효과를 확인하였다.



Fig. 1 Assembly jig

3. 결론

본 연구에서는 하이브리드 변속기 조립 공정의 작업성 향상을 위한 조립지그를 설계 및 제작하였다.

개발된 지그는 무게중심 기반 설계와 45도 위치 고정 구조를 통해 전 방향 반전 및 단계별 조립을 가능하게 하였으며, 특히 슬리브 단수 위치 변경 작업성을 개선하였다.

이를 통해 작업자의 부담을 줄이고 공정 효율 향상에 기여하였으며, 향후 다양한 변속기 적용을 위한 추가적인 구조 최적화가 필요하다.

후기 이 논문은 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 : RS-2024-00430890)

3축 힘 센싱을 위한 Tri-Photodiode 기반 반사형 광전자 센서 Tri-Photodiode Reflective Optoelectronic Sensor for Three-Axis Force Sensing

*노유림¹, #오용석¹

^{*}Yoo Rim Loh¹, [#]Yong Suk Oh(oyongsuk@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교

Key words : Reflective Optoelectronic Sensor, Machine Learning, Three-Axis Force, Force Decoupling

^{*}발표자, [#]교신저자

실제 접촉 환경에서는 수직력과 전단력이 동시에 작용하므로, 기존 단축 압력 센서로는 다축 하중을 정밀하게 분리·정량화하기 어렵다. 이러한 힘 성분의 정확한 측정엔 촉각 센싱, 로봇 조작, 페루프 힘 제어에 필수적이다. 본 연구에서는 tri-photodiode 구성을 기반으로 수직력과 전단력을 실시간으로 분해할 수 있는 반사형 광전자 센서를 제안한다. 외력에 따른 광 경로 및 반사광 분포 변화를 3개의 포토다이오드로 검출하고, 유한요소해석과 머신러닝 기반 힘 추정 알고리즘을 통해 힘 성분 간 상관관계를 해석함으로써 분해 정확도와 재현성을 향상시켰다. 해당 센서는 AI 기반 신호 해석이 결합된 지능형 촉각 센서 플랫폼으로서 소프트로보틱스와 바이오메디컬 분야에 활용 가능하다.

후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(RS-2023-00212892).

This research was supported by Global - Learning & Academic research institution for Master's·PhD students, and Postdocs(LAMP) Program of the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Ministry of Education(No. RS-2024-00444460).

This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the RISE Center, Gyeongsangnam-do, funded by the Ministry of Education(MOE) and the Gyeongsangnam-do Provincial Government, Republic of Korea.(2026-RISE-16-002)

REFERENCES

1. Feng, Jiansong, et al., "Monolithic integrated optoelectronic chip for vector force detection," *Microsystems & Nanoengineering*, Vol. 10, No.85, 2024.
2. Iwasaki, Takuma, et al.. "Shearing force measurement device with a built-in integrated micro displacement sensor." *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 221, pp. 1-8, 2015.

**분자동역학 기반 전력반도체 유한요소해석 정합성 향상을 위한
순수 알루미늄의 열기계적 물성 기초 데이터 구축**

**Molecular Dynamics-Based Construction of Baseline Thermo-Mechanical Data
of Pure Aluminum for Enhanced FEA Reliability in Power Semiconductors**

***박예원¹, 김동현¹, 이승현¹, #장성욱¹**

^{*}Ye Won Park¹, Dong Hyeon Kim¹, Seung Heun Lee¹, #Sung Uk Zhang(zsunguk@deu.ac.kr)¹

¹동의대학교 디지털트윈 연구소

Key words : Molecular Dynamics Simulation, Pure Aluminum, Thermo-Mechanical Properties, Finite Element Analysis, Temperature Dependence

^{*}발표자, #교신저자

전력반도체 패키징의 신뢰성 평가를 위한 유한요소해석(FEA)에는 알루미늄(Al) 와이어의 온도에 따른 정확한 물성 데이터가 필수적이거나, 활용 가능한 공개 데이터는 한정적이다. 본 연구는 FEA 입력용 물성 확보를 위한 기초 데이터를 구축하고자, 분자동역학(MD) 시뮬레이션을 통해 순수 Al 단결정의 열기계적 특성을 평가하였다. 특히, Al의 격자 동역학 및 열팽창 거동을 높은 정확도로 재현하는 것으로 검증된 Mishin Embedded-Atom Method(EAM) 포텐셜을 적용하여, 238K~498K의 구동 온도 범위에서 열팽창계수, 밀도, 항복강도 및 탄성계수의 일관된 온도 의존성을 성공적으로 도출하였다. 도출된 데이터는 향후 실제 와이어 소재인 다결정 Al 1100-O의 열기계적 물성을 정밀하게 모사하고, 전력반도체 유한요소해석의 정합성 향상을 위한 기초 데이터로 활용될 것이다.

군용 트럭 라디에이터 대체품 개발을 위한 질량 최적화 방안 연구 A Study on Mass Optimization for the Development of Replacement Radiators for Military Trucks

*#김대언¹, 김경업¹, 이민희¹, 정아영¹

*#D. U. Kim(akdong48@nate.com)¹, K. U. Kim¹ M. H. Lee², A. Y. Jeong²

¹육군종합정비창 정비기술연구소, ²국방기술품질원 표준연구실

Key words : Core Weight, Modal Vibration, Random Vibration, Natural Frequency

*발표자, #교신저자

This study aims to develop aluminum radiators for K700-series military vehicles to replace discontinued brass units. While increasing fin density improves thermal efficiency, the resulting mass increase amplifies inertial loads under vibration, compromising structural integrity. To address this, vibration analysis was conducted per MIL-STD-810H standards. The results identified a maximum mass of 35 kg as the critical threshold to ensure the structural safety of the radiator and its brackets against engine and driving vibrations. These findings provide essential engineering data for the optimized design and localization of military vehicle radiators.

1. 서론

본 연구는 군용 구형 5톤 트럭 라디에이터의 전열 면적 증대에 따른 질량 증가가 구조적 안전성에 미치는 영향을 분석하였다. 미 군사규격 MIL-STD-810H를 준용하여 진동해석을 수행하고 구조적 안전성이 확보되는 최대 질량값을 도출하기 위해서 진동해석을 추진하였다.

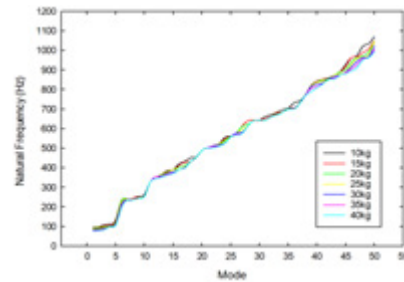


Fig. 2 Mode vs. frequency for modal analysis

2. 진동해석 참고 데이터

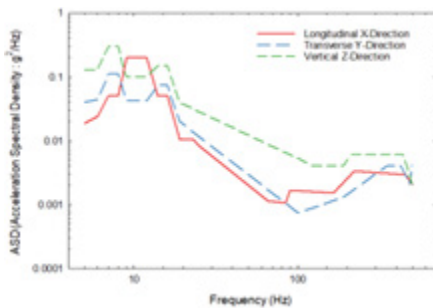


Fig. 1 Acceleration spectral density graph for CWV

Table 1 Material properties

component name	Material Name	Density (kg/m ³)	Young's Modulus(GPa)	Poisson's Ratio	Yield Strength(MPa)
Core	AL3003	2730	70	0.33	186
Bracket	SS400	7850	200	0.3	250
Bolt	SCM435	7850	210	0.29	835

Table 2 Result of random vibration analysis

Core Mass (kg)	Result Index (MPa)	longitudinal x-direction	transverse y-direction	vertical z-direction
10	Equivalent stress	50.039	27.410	105.110
	Safety factor	4.996	9.121	2.378
15	Equivalent stress	54.039	32.230	134.040
	Safety factor	4.626	7.757	1.865
20	Equivalent stress	57.570	39.792	148.580
	Safety factor	4.343	6.283	1.683
25	Equivalent stress	61.287	45.702	182.270
	Safety factor	4.079	5.470	1.372
30	Equivalent stress	66.117	49.383	209.110
	Safety factor	3.781	5.062	1.196
35	Equivalent stress	69.805	53.398	230.640
	Safety factor	3.581	4.682	1.084
40	Equivalent stress	73.256	57.291	250.170
	Safety factor	3.413	4.364	0.999

3. 결론

랜덤진동해석에서 Vertical z-direction의 등가응력이 다른 방향보다 높은 응력값을 나타내었으며, 진동에 대한 구조적 안전성을 확보할 수 있는 라디에이터의 최대 질량 35kg을 도출하였다.

물리 기반 신경망과 다중 모달 생체 정보를 융합한 체압 예측 모델

*이규태¹, #오용석¹

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : Physics-Informed Neural Networks, Pressure Ulcer Prevention, Closed-Loop Control,
Non-Contact Pressure Estimation

*발표자, #교신저자

욕창 예방을 위한 기존 접촉식 센서는 환자의 불편과 교차 감염 우려를 초래한다. 본 연구는 단일 RGB-D 카메라 영상과 환자의 생체 정보를 다중 모달로 융합하고 물리 기반 신경망을 적용하여, 천골 등 주요 뼈 돌출부의 국소 체압을 비접촉으로 정밀 추정하는 모델을 제안한다. 나아가 예측된 압력값을 공압 액추에이터 구동 입력값으로 변환하여, 0.5초 이내에 집중된 체압을 30% 이상 물리적으로 분산시키는 초저지연 페루프 제어 시스템을 구현하였다. 본 시스템은 극저조도 및 이불 가림 등 비정형 병동 환경에서도 강건하게 동작하며, 간호 인력 개입 없이 환자 맞춤형 무구속 체압 관리를 24시간 자율 수행함으로써 차세대 지능형 스마트 돌봄 인프라의 새로운 표준을 제시한다.

후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (IRIS 2024-0174).

This research was supported by Global - Learning & Academic research institution for Master's·PhD students, and Postdocs (LAMP) Program of the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Education (No. RS-2024-00444460).

This work was supported by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), Changwon City, and the Changwon Industry Promotion Agency (CWIPA) under the project "Establishment of AI and Big Data-based Advanced Medical Device Research and Manufacturing Center.

원자력 발전소용 밸브 구동기의 응답스펙트럼 기반 구조 건전성 평가 Response Spectrum Analysis-Based Structural Integrity Assessment of a Valve Actuator for Nuclear Power Plants

*#류제두¹, 이정민¹, 김성렬¹

^{*}Je-Doo Ryu(ryujd88@kitech.re.kr)¹, Jung-Min Lee¹, Sung-Ryul Kim¹

¹한국생산기술연구원

Key words : Response Spectrum Analysis, Structural Integrity, Valve Actuator, Nuclear Power Plant

*발표자, #교신저자

원전 설비의 안전성 확보를 위해 유압구동 제어밸브의 내진 성능 평가는 필수적이다. 본 연구에서는 개발 단계 유압구동기를 대상으로 유한요소 기반 내진 해석을 수행하고 구조 보강을 통한 안정성 향상을 검토하였다. 구조 모델은 주요 질량 및 강성 특성을 반영하여 단순화하였으며, 접촉조건 및 체결부 거동을 고려한 해석 모델을 구성하였다. 내진 해석은 모달 해석과 5.5g 수준의 3축 응답스펙트럼 해석을 적용하여 수행하였다. 초기 해석 결과 1차 고유진동수는 43.34Hz로 설계 기준(40Hz)을 만족하였으나, 국부 영역에서 최대 449MPa의 응력이 발생하여 구조적 취약성이 확인되었다. 이에 변위 집중 영역에 보강 구조를 적용하고 재해석을 수행한 결과, 고유진동수는 54.3Hz로 증가하고 최대 응력은 213.3MPa로 감소하여 구조적 건전성이 향상됨을 확인하였다. 또한 보강 설계를 통해 동적 응답 특성이 개선되고 응력 분포가 완화됨을 확인하였다.

후기 본 논문은 산업통상자원부 “원전 안전등급 유압구동 제어밸브 국산화 개발(NS260006)” 및 한국생산기술연구원 기본사업 “의료 수술현장 진단 지원을 위한 스마트 센싱 및 디지털 의료공정 핵심기술 개발(EH260004)”의 지원으로 수행한 연구입니다.

알루미늄 파이프 요크 다단 단조공정 설계 Process Design of a Multistage Forging Process for Aluminum Pipe Yoke

*이성민¹, #이상곤²

*Sung Min Lee¹, #Sang Kon Lee(sklee@kitech.re.kr)²

¹구미전자정보기술원, ²한국생산기술연구원

Key words : Al Pipe Yoke, Multistage Forging, Sliding Die, FE Analysis

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 기존 스틸 소재가 적용되고 있는 스티어링 파이프 요크를 알루미늄 합금으로 대체하기 위한 냉간 단조공정 설계를 수행하였다. 현장 노하우와 성형해석결과를 토대로 파이프 요크 공정수와 각 공정별 금형형상을 설계하였다. 다단 단조공정 중 홀의 깊이가 깊은 파이프 요크 압출공정 시 소재 유동제어를 통한 성형성 향상이 매우 중요하며, 본 연구에서는 압출 시 소재와 금형 사이의 마찰저항을 최소화하기 위해 슬라이딩 금형을 적용하였다. 슬라이딩 금형 적용으로 성형용 소재와 금형사이의 마찰저항을 최소화할 수 있었으며, 설계된 공정에 대한 현장 테스트 결과, 요구 형상 및 표면 품질을 만족하는 알루미늄 파이프 요크를 성공적으로 성형할 수 있었다.

ITO-플라즈모닉 메타표면 포화흡수체를 위한 ITO 최적화

ITO Optimazation for ITO-plasmonic Metasurface Saturable Absorber

*김지수¹, 최진수¹, 조현민¹, 이원섭¹, #장원석^{1,2}

*Ji Su Kim¹, Jinsu Choi¹, Hyunmin Cho¹, Won-Sup Lee¹, #Won Seok Chang(paul@kimm.re.kr)^{1,2}

¹한국기계연구원 나노리소그래피 연구센터, ²한국기계연구원 나노융합본부

Key words : Metasurface, ENZ material, Saturable Absorber

*발표자, #교신저자

We investigated the optimization of Indium tin oxide (ITO) films for a plasmonic metasurface saturable absorber by varying rapid thermal annealing (RTA) conditions and thickness. For the RTA optimization, various annealing temperatures with dwell time were applied to examine the shift in the epsilon-near-zero (ENZ) wavelength. Based on these results, the optimal annealing condition was selected, for linear and nonlinear transmission properties in the near-infrared region. Finite-difference time-domain (FDTD) simulations were employed to explore local field enhancement and coupling interactions between the plasmonic modes and the ENZ modes. The results demonstrated that both RTA conditions and ITO thickness significantly influence the ENZ wavelength and nonlinear absorption characteristics of the metasurface saturable absorber.

1. Introduction

Epsilon-near-zero (ENZ) materials are characterized by a permittivity approaching zero. Recent studies have shown that combining plasmonic structures can substantially enhance nonlinear optical effect [1]. The nonlinear optical properties of such structures depend on shape of plasmonic structure, material properties, and the thickness of the ENZ layer.

This study focused on an ENZ-plasmonic hybrid structure that combines a gold nanorods with the ENZ material. We analyze how both the Indium tin oxide (ITO) thickness and annealing conditions affects the coupling effects and optical properties.

2. Experiments and Results

To verify the resonance condition between the plasmonic resonance and ENZ modes, we performed finite-difference time-domain (FDTD) simulation for different thickness of ITO and rapid thermal annealing (RTA) conditions. After applying various RTA temperatures and dwell times, the optical properties of each ITO sample was characterized using ellipsometry. Based on these results, the appropriate nanorod dimensions were determined to achieve resonance matching between the plasmonic and ENZ mode. The nanorod arrays coupled with the ITO film were then fabricated using commercial electron-beam lithography. The measurement results revealed that mode splitting was observed in the fabricated

samples. Furthermore, all samples showed nonlinear transmission property.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) (Grant No. RS-2024-00438128) and the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2026-25495743).

REFERENCES

1. M. Zahirul Alam, Sebastian A. Schulz, Jeremy Upham, Israel De Leon and Robert W. Boyd., "Large optical nonlinearity of nanoantennas coupled to an epsilon-near-zero material," nature photonics, Vol. 12, No. 2, pp. 79-83, 2018.

크로마토그래피 신호처리 알고리즘 평가를 위한 베이스라인, 피크 형상 및 잡음 시뮬레이션인 실험

Simulation of Baseline, Peak Shape, and Noise for Benchmarking Chromatographic Signal Processing Algorithms

*#오유근¹

*#Youkeun Oh(youkeun@hongik.ac.kr)¹

¹홍익대학교 기계·시스템디자인공학과

Key words : Chromatographic Signal Processing, Baseline Simulation, Peak Shape Modeling

*발표자, #교신저자

크로마토그래피 신호처리 알고리즘의 신뢰성 있는 성능평가를 위해서는 실제 실험 데이터의 특성을 충분히 반영하는 합성 데이터가 필요하다. 그러나 기존의 많은 성능평가 연구에서는 매끄러운 베이스라인, 대칭적인 Gaussian 피크, 백색잡음만으로 구성된 단순 신호를 사용하여, 실제 분석 환경에서 나타나는 복잡한 베이스라인 변동, 비대칭 피크, 중첩 피크, 상관잡음 등의 영향을 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 본 연구에서는 베이스라인, 피크 신호, 잡음으로 구성되는 크로마토그래피 신호의 시뮬레이션 프레임워크를 제안한다. 제안된 프레임워크는 선형, 볼록, 오목, 지수형, sigmoid형, 구간별, 혼합형 등 다양한 베이스라인 모델과 Gaussian, exponentially modified Gaussian, bi-Gaussian, Fraser-Suzuki, modified Pearson VII 등 다양한 피크 형상을 포함한다. 또한 백색잡음, 신호 의존 잡음, 저주파 상관잡음을 포함하고 신호대잡음비를 제어할 수 있도록 구성하였다. 본 연구에서 제안하는 시뮬레이터는 베이스라인 보정, 피크 검출, 피크 및 베이스라인 분리 알고리즘의 성능을 보다 현실적이고 재현 가능하게 평가하기 위한 벤치마크 플랫폼으로 활용될 수 있다.

후기 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업(RS-2024-00448287, RS-2025-25442774)의 지원을 받아 수행된 연구임.

마이크로 드릴링 모니터링을 위한 AI에이전트 최적화 데이터 구조 연구 A Study on Optimized Data Structure for AI Agents in Micro-drilling Monitoring

*박병희¹, 우완식, #김동규²

¹Byeonghui Park¹, #Dong Gyu Kim(kdg0830@dmi.re.kr)¹

¹대구기계부품연구원 첨단공구가공사업단

Key words : AI Agent, Data Schema, Micro-drilling, Silicon Carbide, Time Synchronization

*발표자, #교신저자

반도체 식각 공정의 수율 및 생산성 향상을 위해 샤워헤드 전극 소재가 Si에서 고경도 및 내플라즈마특성이 우수한 SiC로 전환되고 있다. SiC 샤워헤드는 수천 개의 미세 홀을 가공하며 높은 진원도, 진직도 및 표면조도를 동시에 만족해야 한다. 특히 전극의 가공 깊이 증가는 생산성을 높이는 반면, 추력 상승에 따른 마이크로 드릴의 파손 위험을 수반한다. 본 연구에서는 난삭재 가공 조건에 따른 마이크로 드릴링 공정에서 공구 파손 시점을 분류하기 위한 AI에이전트 최적화 데이터 구조 설계론을 제안한다. 가공 중 발생하는 진동, 전류, 음향 방출 신호를 다채널로 수집 시 샤워헤드당 수백 GB에 달하는 대용량 이종 데이터가 생성된다. 이때 실제 가공경로를 고려한 센서별 시간 동기화 오차 제어는 데이터 신뢰성 확보를 위한 핵심 과제이다. 본 연구에서는 SiC 가공 중 수집한 데이터를 분석한 결과 신호 유형별 샘플링 특성과 물리적 이벤트 트리거를 결합한 계층적 시간 동기화 알고리즘의 설계가 필수임을 도출하였고, 공구 상태와 가공 경로를 유기적으로 결합할 수 있는 데이터 스키마 구축의 구조를 연구하였다.

후기 이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(No. RS-2025-24535868)

가속시험을 통한 경형EV 하드웨어 용착강도 수명예측 Life Prediction of Welds for Light EV Hardware in Accelerated Testing

*최현범¹, #이상헌¹, 이서한¹, 김재열²

*H. B. Choi¹, #S. H. Lee(shlee@howon.com)¹, S. H. Lee¹, J. Y. Kim²

¹(주)호원 기술연구소, ²조선대학교 기계공학과,

Key words : Electric Vehicle, Welding Strength, Reliability Evaluation, Life Prediction

*발표자, #교신저자

자동차 차체부품 용접에 대한 신뢰성은 전기차(EV, Electric Vehicle) 개발에서도 중요하게 요구되고 있으며, 고강도 하드웨어 용착강도 대하여 신뢰성 확보는 여전히 중요하게 대두되고 있다. 본 연구에서는 염수침수를 통하여 하드웨어 용접부를 가속시험(Accelerated Test)을 수행하였으며, 도출된 시험 결과값과 통상적인 현장(Field) 조건을 가정하여 이를 응용하여 수명예측을 진행하였다.

1. 서론

국내 OEM 도면 상 명기된 강도를 최소 유지강도로 설정하여 품질 보증기간을 도출하는 것을 목적으로 가속 수명 모델(Accelerated Life Model) 및 Nelson의 열화 법칙을 적용하여 이론적인 예측을 수행하였다.

2. 기술개요 및 추진

프론트 모듈의 서스펜션 장착을 위한 고강도 하드웨어 용착강도는 도면에 명기된 2000 Kgf 값을 최소 유지 강도로 설정하였으며. 또한 하드웨어 용착부의

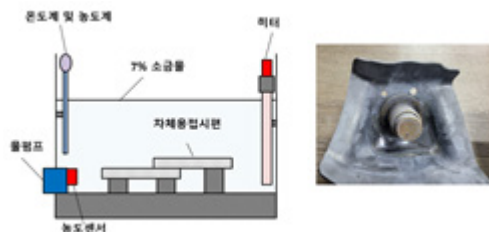


Fig. 1 Weld Strength Evaluation Through Salt Immersion Test

부식 가속의 강도 변화를 Fig.1와 같이 하드웨어 용착부를 상온 25도, 농도7%의 염수에 침수 120시간을 수행하여 전 후, 하드웨어 용착강도 결과값을 구하였다. 식(2-1)과 같이 가속 부식속도와 현장조건을 통상 환경 5년 노출시 강도 20% 저하로 설정한 현장 부식속도를 도출하여 식(2-1)을 반영하여 가속계수(Acceleration Factor, AF) 결과값을 도출하였다.

$$R_{lab} = (P_o - P_d) / HR_{Test}$$

$$R_{field} = (P_o * \Delta P) / HR_{field}$$

$$AF = R_{lab} / R_{field} \quad (2-1)$$

설계 도면상 요구되는 최소 강도 2,000Kgf 도달하기까지 허용 감소량을 기반으로 식 (2-2)로 시험실 한계시간을 구하였으며, 가속계수(AF)를 반영하여 실 현장 기대수명(L)을 예측 하였다.

$$HR = (P_o - P_d) / R_{lab}$$

$$L = HR * AF \quad (2-2)$$

3. 결론

식 (2-1)을 반영한 가속계수(AF)는 시험실 1시간 당 약 660시간에 해당하는 결과로 나왔으며, 시험실 기준 한계시간은 208시간으로 도출되어 실제 현장 기대 수명(L)은 연 단위로 환산하여 통상 사용환경에서는 최소 유지강도 2000Kgf 까지 약 15.7년으로 수명예측을 하였으며, 실 주행환경을 고려하여 안전계수(SF) 2 값을 반영하면 예측된 보증수명은 7.5년 이상으로 확인 할수 있다. 이는 자동차 차체 3년 보증 범위를 상회한 결과로 충분히 만족하는 수치로 판단된다.

후기 본 연구는 한국산업기술기획평가원의“자동차산업기술개발(그린카)”(RS-2024-00453431)으로 수행된 연구결과입니다.

생산성 및 구조 성능을 고려한 EV 배터리 팩 케이스 크로스 멤버 설계 Design of Cross Members for EV Battery Pack Case Considering Manufacturability and Structural Performance

*이서한¹, 최현범¹, 이정우¹, 김미혜², 김재열³, #이상현¹

¹Seo Han Lee¹, Hyun Bum Choi¹, Jeong Woo Lee¹,

Mi Hye Kim², Jae Yeol Kim³, #Sang Hun Lee(shlee@howon.com)¹

¹호원 연구기술본부, ²솔루션라인코리아, ³조선대학교 기계공학과

Key words : Battery Pack Case, Cross Member, Manufacturability, CAE

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 스틸 기반 배터리 팩 케이스의 측면 충돌 안전성 확보를 위해 Tray 내부 크로스 멤버 구조를 설계하고 구조 성능을 평가하였다. 에너지 밀도, 생산성 및 구조 강성을 고려하여 세 가지 설계안을 도출하였으며, CAE 해석을 통해 변위 하중 조건에서 각 구조의 반력을 비교하였다. rib-cage type 구조를 적용한 Case 1은 효과적인 하중 분산 거동을 나타내어 구조 성능과 제조성 간 균형을 확보하였다. 본 연구는 배터리 팩 케이스 크로스 멤버 설계 시 다목적 성능을 고려한 구조 설계 방향을 제시한다.

1. 배터리 팩 케이스 크로스 멤버 설계

본 연구에서는 스틸 기반 배터리 팩 케이스 설계를 위하여 Tray 형 하우징 내부에 적용되는 크로스 멤버를 설계하고, 측면 충돌 시 배터리 셀을 보호하기 위한 구조 성능을 평가하였다. 에너지 밀도, 생산성 및 구조 강성을 고려하여 총 3가지 설계 모델을 도출하였으며, CAE 해석을 통해 내부 침입 발생 시 구조 반력을 비교·평가하였다.

Fig. 1은 해석에 적용된 세 가지 크로스 멤버 형상의 3D 모델링 결과를 나타내며, 좌측부터 Case 1, Case 2, Case 3으로 구분하였다.

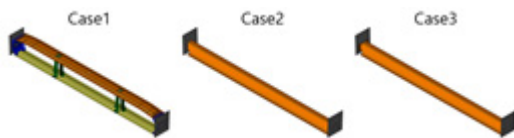


Fig. 1 Cross-member models for each case

2. 크로스 멤버 강성 해석

측면 충돌 시 발생하는 멤버 방향 압축 하중을 모사하기 위해 구배각 2°를 갖는 트레이 벽면 일부를 모델링하였으며, 차량 기준 L방향으로 3 mm 변위를 입력 하중으로 부여하여 각 크로스 멤버의 반력을 평가하였다. 복잡한 접촉 조건과 대변형 거동을 고려하기 위해

Explicit 해석 기법을 적용하였다. Fig. 2는 Case 1의 응력 분포 결과를 나타내며, 설계 시 의도한 하중 전달 경로(load path)와 일관된 응력 분포 경향이 나타나 효과적인 하중 분산 거동을 확인할 수 있었다.

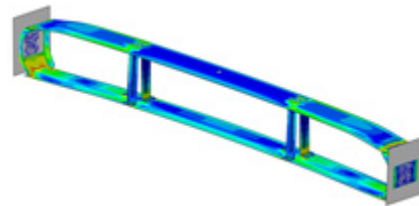


Fig. 2 Stress distribution of Case 1

3. 해석 결과

반력의 크기는 Case2 > Case1 > Case3 과 같았으며, Case3의 경우 스폿용접을 위한 플랜지에서 국부적인 변형이 발생하며 반력이 낮은 것으로 판단된다.

Case 1, Case 2는 생산성, 에너지 밀도 등을 고려하여 추가적인 설계 보완 및 절대평가 기반의 최적 설계 검토가 필요할 것으로 사료된다.

후기 본 연구는 한국산업기술기획평가원의 “자동차 산업기술개발(그린카)” (RS-2024-00453431)으로 수행된 연구결과입니다.

Ansys를 이용한 멀티모달센서 궤도형 운반차의 모달 해석

Ansys Modal Analysis for Orbital Wheel Type Agricultural Mobility using Multimodal Sensors

*이상민¹, 이강욱¹, 오승욱¹, 강희용², #이충호¹

¹Sang Min Lee¹, Kang Uk Lee¹, Seung Uk Oh¹, Hee Yong Kang², #Choong Ho Lee(leech@jj.ac.kr)¹

¹전주대학교 산업공학과, ²(주)로봇팜

Key words : Ansys, Modal Analysis, Orbotal Wheel, Multimodal Sensors

*발표자, #교신저자

노지 농업용 궤도차량은 농작업 보조 등 여러 용도로 활용되는 장비로 궤도차량의 주행 환경인 노지 특성상 포장되지 않은 불균일한 지면이 대부분이다. 본 과제에서는 노지 농업용 지능형 궤도식 운반 모빌리티 기술개발을 목표로 연구중이고, 멀티모달 센서 융합, 인공지능(AI), 음성 및 모션 인식, LiDAR, UWB(Ultra-Wideband) 등의 노지 궤도형 운반 로봇 제품이며 이 플랫폼은 인간-로봇 상호작용 협업(HRI)을 기반으로 작업자의 이동을 실시간으로 동행 추종하며, 최대 200kg 이하의 화물을 운반할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 본 연구에서는 Ansys의 Modal 해석을 활용하여 주행 중 발생하는 고유진동수 문제를 검토하여 진동으로 인한 궤도차량에 발생할 수 있는 문제점을 사전에 검토하였다.

1. 서론

노지 환경에서는 주행 시 차량 구조에 반복적인 진동과 충격이 발생하게 되므로 여기서 발생하는 외력은 구조적 손상이나 변형을 유발할 수 있으므로, 모달해석을 통해 1차적인 검토를 수행한 하여 전체적인 궤도형 차량의 프레임에 대한 안전성 검토를 수행할 필요성이 있다.

2. 연구내용

노지 농업용 궤도차량 상부 프레임에 가해지는 진동과 충격으로 인해 발생할 수 있는 형상을 도출하기위해 궤도차량 하부에 고정구속조건을 설정하였고, Mesh의 크기를 20으로 설정하였다. 총 10개의 모드를 대상으로 0~200Hz 범위에서 Modal 해석을 수행하였다. 주요 프레임의 소재는 SS400으로 해당 시제품의 부품별 소재를 입력하여 모달해석을 수행하였다.

3. 연구결과

모달해석은 10개의 모드를 설정하였으며 그림1에 나타냈으며, Ansys 모달 해석결과, Mode 3 과 Mode 10에서 가장 큰 변형이 발생함을 확인하였다. 이 부분은 98.243Hz, 175.74Hz에서 가장 큰 변형이 일어났으며 각각 9.6978mm, 9.1157mm로 변위값이 도출되었다. Fig 2와 같이 모드 3에서는 좌우 반대방향으로 프레임 상부에 비틀림 변형이 일어났으며, 모드 10에서는 같은 방향인 위쪽 방향으로 변형이 발생하였다. 이를 통해 고유진동수를 검토한 설계보강을 수행하였으며, 이를 토대로 향후 유연체해석(MFBD:multi

flexible body dynamics)을 통해 2차적으로 주요부에 대한 동적인 상태에서의 해석을 통해 취약부에 대한 추가적인 안전성 검토를 수행할 계획이다.

Mode	Frequency [Hz]
1	72.55
2	78.737
3	98.243
4	106.18
5	109.56
6	123.74
7	130.59
8	151.82
9	165.2
10	175.74

Fig. 1 Mode and Frequency

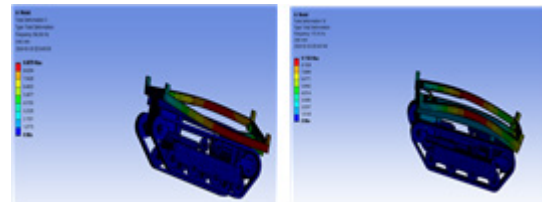


Fig. 2 Modal Analysis Results(mode 3, 10)

후기

본 과제(결과물)은 2025년도 교육부 및 전북특별자치도의 재원으로 전북 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심대학지원체계(RISE)의 결과입니다.(2025-RISE-13-JJU)

REFERENCES

1. Kim Jung Gil, Cho Seung Je, Lee Dong Geun. (2025). Power transport vehicle development system with adjustable driving width and height. Journal of the Korean Society of Machinery Processing, 24 (5), 74-80.

Tractor PTO 회전수에 따른 에어드릴 파종기 경운축 유연체(MFBD) 해석 Multi Flexible Body Dynamics(MFBD) of Air Drill Seeding Machine according to the RPM of Tractor PTO

*이강욱¹, 이상민¹, 오승욱¹, 강대식², #이충호¹

¹Kang Uk Lee¹, Sang Min Lee¹, Seung Uk Oh¹, Dae Sik Kang², Choong Ho Lee(leech@jj.ac.kr)¹

¹전주대학교 산업공학과, ²㈜그린맥스

Key words : RecurDyn, Flexible Body Analysis, Rotavator Shaft, MFBD

Air Drill 파종기는 로터베이터와 진압롤러로 구성된 파종과 동시에 유연호스를 통한 진공압을 이동해 파종과 시비를 동시에 수행할 목적으로 사용되는 트랙터 부착 작업기다. 트랙터에서 공급되는 동력은 표준 회전수인 540 및 1000 RPM로 로터베이터 기어박스에 전달되며, 유니버설 조인트를 거쳐 측면 사이드 기어에 연결된 로터 축에 플랜지 커플링으로 연결된 경운 축으로 최종 토크가 전달된다. 본 연구에서는 유연체 해석(MFBD) 소프트웨어인 리커다인(Recurdyn)을 이용하여 2단계의 PTO 회전수와 로터베이터의 저속과 고속 모드에서 작용하는 에어드릴 파종기의 로터베이터 경운 축에 작용하는 동적거동하의 응력을 확인하고자 가상의 토양을 모델링하고 에어드릴 파종기의 유연체 해석을 수행하여 안전성을 검토하였다.

1. 서론

트랙터 PTO에 가해지는 표준 회전수는 저속에서 540rpm, 고속에서 1000rpm으로 작업기로 동력이 전달된다. 여기서 전달된 동력은 로터베이터의 기어박스를 통해 변속이 이루어지고 이중 유니버설 조인트를 거쳐 측면 사이드 기어를 통해 변속되어 로터 축으로 동력이 전달되며, 플랜지 커플링을 통해 최종적으로 경운 축으로 인가된다. 경운 축은 사이드 기어 조합에 의해 저속 및 고속으로 동력이 전달되므로 트랙터 마력에 따른 공급동력에 따른 경운 축과 토양 사이에 작용력을 고려한 유연체 해석을 통해 동적거동시 거동을 분석할 필요성이 있다.

2. 경운축 유연체 해석

본 연구에서는 유연체 해석을 진행하기 위해 Ground의 재질을 사양토로 설정하였다. 트랙터의 동력은 120PS을 기준으로, PTO 출력은 ISO표준인 540, 1000rpm을 적용하였다. 디스크 날이 부착되어있는 경운축에 Revolute Joint를 적용하여 가상의 토양에 대해 자중을 고려한 상태에서 경운축에 전달되는 4가지 경우의 회전 운동에 대한 유연체 해석을 수행하였다. 로터베이터 사이드 기어에 연결된 로터축과 플랜지 커플링으로 연결된 경운 축은 STPG370 소재로, Mesh를 생성 후 유연체 해석을 수행하였다. PTO 540rpm 기준 사이드 기어 저/고속시 rpm은 각각 94와 262로 변속되었으며, PTO 1000rpm 기준 wj/고속 모드에서는 174와 484 rpm으로 변속되어 로터 축과 경운 축의 회전속도로 설정하여 해석하였다.

3. 결론

4가지 경우에 대해서 최대응력이 발생한 지점은 모

두 경운 축의 로터 연결부가 아닌 중앙 연결부로 나타났다. 최대 응력은 각각 540rpm의 저/고속에서는 237.9과 287.5MPa, 1000rpm의 저/고속에서는 251.3과 287.1MPa로 나타나서 모두 STPG370의 항복점(215MPa)을 넘었으나 최대 부하의 동적 상태에서의 결과이고 중심부의 연결부에 집중되어 보강설계를 통해 안정성을 높일 필요가 있다. 평균응력을 산출하여 피로수명 예측이 가능한 내구성 모듈을 이용한 해석을 향후 진행할 계획이다.

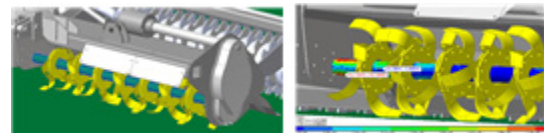


Fig. 1 Rotavator mesh and the MFBD at PTO 540 rpm

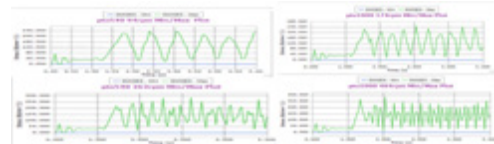


Fig. 2 Max. stress on tillage shaft at PTO 540/1000

후기 본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품 기술기획평가원의 2026년도 기술사업화지원사업과 2026년도 전북TP 지역특성화산업 전문인력양성사업의 지원으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

REFERENCES

1.C.H Jeong, D.C Park, C,H Lee, and B.J Kim. "Interpretation of Rotary Blade Strength of Combined Seeding Machine Rotator." Journal of the Spring and Autumn Conference of the Korean Society of Machinery and Processing 2019.10 (2019): 90-90.

포스터발표

제어/자동화/소음진동

좌장 : 김선호(동의대), 오유근(홍익대)
한준세(한국기계연구원)
최우영(국립부경대), 윤해성(한국항공대)

**롤투롤 공정에서 아이들 롤 편심 결함 진단을 위한
이중 로드셀 기반 진단 모델 개발**
**Dual-Load Cell-Based Diagnostic Model for Idler Roll Eccentricity
Defect Detection in Roll-to-Roll System**

*권혁준¹, 윤준영¹, 조규진², #이창우³

¹Hyeok Jun Kwon¹, Jun Young Yun¹, Gyou Jin Cho², #Chang Woo Lee(leewoo1220@konkuk.ac.kr)³

¹건국대학교 기계설계학과, ²성균관대학교 생명물리학과, ³건국대학교 기계공학과

Key words : Eccentricity Defect, Fault Diagnosis, R2R System, Tension Data

*발표자, #교신저자

롤투롤(R2R) 시스템은 유연 전자소자와 이차전지 등 첨단 제품의 대면적·대량 생산을 위한 핵심 공정이다. 그러나 공정 중 발생하는 롤러의 편심 결함은 주기적인 장력 변동을 유발하여, 웹 이송 안정성을 저하시켜 제품 품질과 생산 효율에 부정적인 영향을 미친다. 기존 단일 로드셀 기반 편심 결함의 진단 방식은 아이들 롤의 위치에 따라 진단 성능이 달라지는 한계를 가진다. 본 연구에서는 단일 로드셀이 아닌 인피더(Infeeder)와 아웃피더(Outfeeder) 로드셀에서 측정된 장력 데이터를 분석하여 특징 변수를 추출하고 이를 기반으로 편심 진단 알고리즘을 제안하였다. 제안된 이중 센서 기반 모델은 결함 롤러 위치와 무관하게 안정적인 진단 성능을 보였으며, 단일 센서 기반 방법 대비 향상된 성능을 확인하였다.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. RS-2020-NR049544) and the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. RS-2026-25478062).

MES 연계를 고려한 스마트팩토리 시스템 설계 및 구현 연구 Design and Implementation of a Smart Factory System with MES Integration

*#안영필¹

*#Y.P.An(an082@kopo.ac.kr)¹

¹ 한국폴리텍대학 구미캠퍼스 반도체전자과

Key words : Smart Factory, MES, MES Middleware

*발표자, #교신저자

1. 서론

Smart Factory는 제조 공정의 자동화와 지능화를 위해 정보통신기술(ICT)을 생산 시스템에 통합한 지능형 생산체계를 의미하며, 이를 구현하기 위한 핵심 요소로 MES(Manufacturing Execution System)가 활용된다. MES는 생산 설비 및 공정 데이터를 실시간으로 수집·분석하여 작업 지시, 공정 관리, 품질 관리, 설비 운영을 통합적으로 제어함으로써 생산 효율성과 공정 신뢰성을 향상시킨다. 이러한 데이터 기반 운영은 노동 의존도를 감소시키고 기술 혁신 중심의 제조 경쟁력 확보에 기여한다. 본 연구에서는 MES를 적용하여 스마트팩토리 시스템을 설계 및 구성하고자 한다.

2. 본론

스마트팩토리 시스템은 5단계의 공정으로 구성한다. 공정1(공급), 공정2(Vision), 공정3(검사), 공정4(포장), 공정5(Robot), Fig 1은 스마트팩토리 서비스 구성도이며, 생산 설비에서 데이터 발생, MES가 통합 관리 SCADA(모니터링), ERP(상위시스템과 연계)로 구성한다.

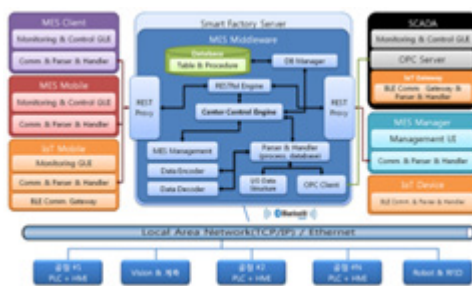


Fig. 1 Smart Factory System Service Configuration Chart

아래 그림 구조는 스마트팩토리 환경에서 MES Middleware를 중심으로 생산 설비, OPC 기반 자동화 시스템, IoT 디바이스를 통합하여 데이터 수집, 공정

제어 및 생산 관리를 수행하는 계층적 아키텍처를 설계 및 구성하였다.



Fig. 2 Send and receive MES information Flow



Fig. 3 Send and receive information in out flow



Fig. 4 Receive and store IoT device information Flow

3. 결론

본 연구에서는 MES Middleware를 중심으로 OPC 기반 설비 연동 및 IoT 기술을 통합한 스마트팩토리 시스템 구조를 제안하고, 이를 통해 생산 공정의 통합 관리 및 지능화된 제조 환경 구축 가능성을 제시하고자 한다.

REFERENCES

김성민, and 안재경. “스마트 팩토리 구현을 위한 ERP 와 MES 간의 효율적인 연계방안 연구.” 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집 (2019): 3860-3884.

비전카메라를 활용한 스마트팩토리 시스템 설계에 관한 연구 Design of a Smart Factory System Using Machine Vision Technology

*#안영필¹

*#Y.P.An(an082@kopo.ac.kr)¹

¹한국폴리텍대학 구미캠퍼스 반도체전자과

Key words : Vision Camera, Vision Machine, Measurement Range

*발표자, #교신저자

1. 서론

최근 산업 자동화의 발전과 함께 머신비전 시스템의 활용이 확대되고 있으며, 비전카메라를 이용한 색상 검출 기술은 품질 검사 및 공정 자동화 분야에서 중요한 역할을 수행하고 있다. 그러나 조명 변화나 객체 특성에 따라 검출 정확도가 저하되는 문제가 존재한다. 이에 본 연구에서는 비전카메라 기반 색상 검출 기법을 제안하고 다양한 환경에서의 성능을 분석하여 스마트팩토리 시스템 및 다양한 디바이스에 적용 가능성을 검증하고자 한다.

2. 본론

비전 카메라를 사용하기 위해서는 PC와 비전 카메라를 Ethernet 통신으로 연결하고, 전용 프로그램인 Touch Finder를 실행하여 카메라의 영상 및 측정 조건을 설정한다. 프로그램 실행 후 카메라에서 획득된 실시간 영상을 확인할 수 있으며, 이 영상에서 측정 대상이 포함되는 영역을 설정하는 과정이 필요하다. Fig 1는 초록색 박스를 이용하여 측정할 범위를 선택한다. 측정할 범위는 측정대상물의 움직일 수 있는 반경을 고려하여 조금 넓게 설정한다. 설정한 범위내 흰색 면적을 확인할 수 있으며, 해당 그림의 흰색 면적은 2787이다. 이를 확인해서 면적의 범위를 설정해 준다. (예,1500 ~ 3500)

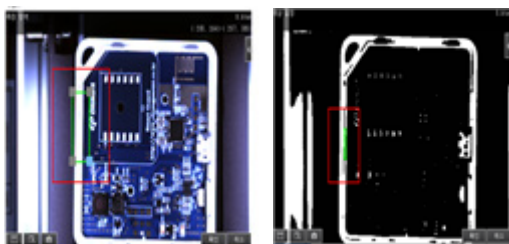


Fig. 1 Specifying the Measurement Range

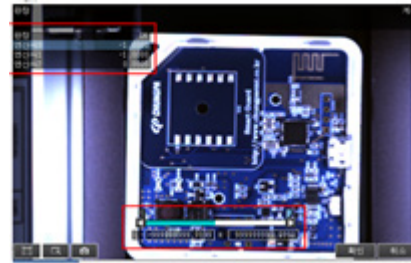


Fig. 2 the results of a range judgment

Fig 2는 왼쪽 화면이 판정결과 화면이고 아래쪽 그래프는 합격 판정 범위를 나타낸다. 초기 범위는 -9999 ~ +9999설정되어 있어 모든 값을 합격으로 판정합니다.

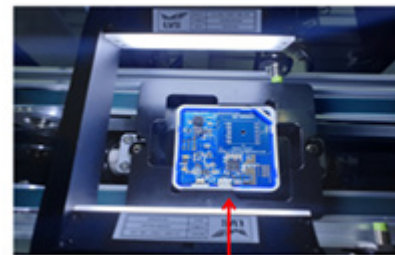


Fig. 3 Smart Factory Vision Machine

3. 결론

Fig 3는 비전카메라를 스마트팩토리시스템에 적용하여 검출된 값이 프로그램에서 설정한 범위에 따라 색상 판독결과를 확인할 수 있었다. 범위는 -9999 ~ +9999설정되어 있어 범위내 들어오는 값은 합격으로 판정된 결과를 얻을 수 있었다.

REFERENCES

1. Camera, Vision. “비전 카메라를 이용한 멀티 터치 입력 장치.” 한국지능시스템학회 논문지 21.6 (2011): 718-723.

고온초전도 버퍼층 증착장비의 4-Roll 구조에서 선재 이송 안정화를 위한 Roller 설치각 최적화 연구

Optimization of Roller Installation Angle for Stable HTS Tape Transport in a 4-Roll Structure

고성용¹, *최만호¹, 반선규¹, 강민경¹, 안남준¹, 이해권¹, #김동진¹

S.Y.Ko¹, *M.H.Choi¹, S.G.Ban¹, M.K.Kang¹, N.J.Ahn¹, H.G.Lee¹, #D.J.Kim¹

¹(주)마루엘앤씨 기업부설연구소

Key words : HTS Tape, 4-Roll System, Roller Alignment, Transport Stability

*발표자, #교신저자

고온초전도 버퍼층 증착장비의 4-roll 구조에서 선재 손상 및 이동 경로 오차를 최소화하기 위한 Roller 설치각을 평가하였다. 실험 결과 Re-winder 방향 휠에서 선재가 1열 이동하면서 휠 벽면에 접촉하는 현상이 관찰되었다. 선재 간섭이 최소화되는 각도는 시계방향 약 0.6~0.7°범위로 나타났으며, 해당 범위에서 선재에 가해지는 기계적 스트레스가 가장 낮은 것으로 확인되었다. 또한 Roller 간 간격을 충분히 확보할 경우 선재의 접촉 스트레스를 추가적으로 저감할 수 있는 것으로 나타났다. Turn 수 증가는 휠 벽면 접촉 횟수 감소 측면에서 제한적인 효과를 보였으며, 양측 Reel 각도를 선재 이동각과 평행하게 배치하면 초기 및 마지막 휠에서의 접촉이 감소하는 경향을 확인하였다.

후기 본 연구는 2025년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임[RS-2025-25455365]

This work was supported by the Technology development Program(RS-2025-25455365) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea).

PLC-OPC UA 기반 설비 데이터 전송 지연 산정

Estimation of Data Transmission Latency in PLC-OPC UA-Based Data Acquisition Systems

*#이상희¹

*#Sang Hee Lee(leeshee@kopo.ac.kr)¹

¹한국폴리텍VI대학 구미캠퍼스 자동화시스템과

Key words : PLC, OPC UA, Latency, Monitoring

*발표자, #교신저자

스마트공장 환경에서는 설비 데이터를 기반으로 한 모니터링이 중요하다. 본 연구에서는 PLC-OPC UA 기반 데이터 수집 구조를 대상으로 데이터 전송 지연을 구성 요소 단위로 구분하고, 이를 기반으로 전체 지연을 산정하였다. 지연은 PLC 처리 시간, OPC UA 전송 시간, 네트워크 지연으로 구성되며, 각 요소는 산업 환경에서 일반적으로 사용되는 설정 범위를 기준으로 적용하였다. 산정 결과 전체 데이터 전송 지연은 약 70~100ms 수준으로 나타났으며, 이는 설비 데이터 수집 시스템 설계 시 지연 수준을 사전에 추정하기 위한 참고 자료로 활용될 수 있다.

1. 서론

스마트공장에서는 설비 상태 파악을 위해 데이터 기반 모니터링이 요구된다. 그러나 제조 현장에서는 설비 제조사별로 상이한 통신 방식과 데이터 구조로 인해 설비 간 데이터 통합에 어려움이 존재한다. 이를 해결하기 위해 OPC UA는 이기종 시스템 간 데이터 교환을 지원하는 산업용 표준 프로토콜로 활용된다. 본 연구에서는 PLC-OPC UA 기반 데이터 수집 구조를 대상으로 데이터 전송 지연을 구성 요소 단위로 구분하고, 이를 기반으로 전체 지연을 산정한다.

2. 시스템 구성

설비 데이터는 센서를 통해 생성되며, PLC에서 수집·처리된 후 OPC UA 서버를 통해 상위 시스템으로 전달된다. Fig. 1은 PLC-OPC UA 기반 설비 데이터 흐름 구조를 나타낸다.



Fig. 1 PLC-OPC UA based data flow architecture

3. 데이터 전송 지연 산정

데이터 전송 지연은 다음과 같이 구성된다.

PLC 처리 시간

OPC UA 전송 시간

네트워크 지연

전체 지연은 다음과 같이 표현할 수 있다.

Total Latency \approx PLC + OPC UA + Network

본 연구에서는 각 지연 요소를 선형 합산 방식으로 전체 지연을 산정하였다. 각 지연 값은 실제 측정값이 아닌, 산업 환경에서 일반적으로 사용되는 설정 범위를 기준으로 적용하였다.

PLC 처리 시간: 약 10~20ms

OPC UA 전송 시간: 약 50ms

네트워크 지연: 약 10~30ms

이를 기반으로 전체 지연은 다음과 같이 산정된다.

최소 지연: 10 + 50 + 10 = 70ms

최대 지연: 20 + 50 + 30 = 100ms

산정 결과, OPC UA 전송 시간이 상대적으로 큰 지연 값을 갖는 요소로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 PLC-OPC UA 기반 데이터 수집 구조에서 데이터 전송 지연을 구성 요소 단위로 구분하고, 이를 기반으로 전체 지연을 산정하였다. 산정 결과 전체 데이터 전송 지연은 약 70~100ms 수준으로 나타났으며, 이는 시스템 설계 시 지연 특성을 이해하기 위한 참고 자료로 활용될 수 있다. 향후 실제 설비 환경에서의 측정을 통해 제시한 산정 방법의 적용 가능성을 검토할 필요가 있다.

스마트공장 연계형 머신비전 기반 투명 비닐포장지 실시간 품질관리 시스템 구현 Implementation of Smart Factory-linked Real-time Quality Management System for Transparent Vinyl Packaging using Machine Vision

*,#유춘근¹

*#Chun Gun Yu¹(tonko96@gmail.com)

¹주식회사 비에스이엔지

Key words : Smart Factory, Machine Vision, Ai, Quality Management

*발표자, #교신저자

제조업의 스마트공장 전환에 따라 공정 데이터의 실시간 수집과 자동화된 품질 관리의 중요성이 대두되고 있다. 본 논문은 머신비전을 활용하여 비닐포장지의 불량률 실시간으로 검출하고, 그 결과를 데이터 센터와 연동하는 스마트 품질 관리 시스템의 설계 및 구현을 제안한다.

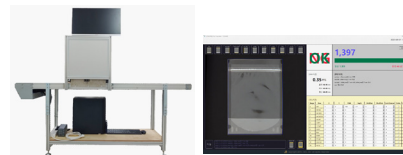
1. 서론

비닐포장지 생산 공정은 속도가 빠르고 찢림, 절단, 지퍼 부위 등 검사 항목이 다양하여 기존 육안 검사로는 한계가 있다. 스마트공장 환경에서는 단순한 불량 판별을 넘어, 공정 라인에서 발생하는 모든 데이터를 수집하고 분석하여 불량률을 낮추는 예방적 품질 관리가 필수적이다. 본 논문은 제품 검사 과정을 디지털화하고, 검사기 자체를 하나의 엣지(Edge) 디바이스로 활용하여 사업장의 검사 결과를 실시간으로 수집하고 데이터 센터로 전송하는 통합 시스템 구현 과정을 기술한다.

상 검사를 분리하여 병렬 연산하는 하이브리드 방식을 적용하였다

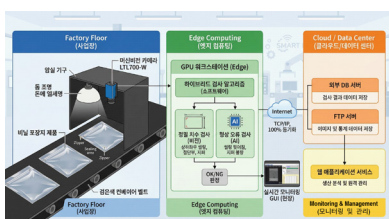
2.3. 스마트공장 데이터 네트워크 및 클라우드 연동

본 시스템의 가장 큰 특징은 단일 장비의 자동화를 넘어 스마트공장의 통합 데이터 흐름에 기여한다는 점이다.



2. 본론

2.1. 스마트 품질관리 하드웨어 구성



본 연구를 통해 구현된 비닐포장지 불량 검출 시스템은 돔형 조명과 특수 컨베이어 환경을 통해 고품질의 이미지를 획득하고, 머신비전기술을 결합하여 정밀한 검사를 수행한다. 더 나아가 검사 과정에서 발생하는 모든 데이터를 외부 DB와 연동함으로써 실시간 모니터링과 통계 분석이 가능한 스마트공장 인프라의 핵심 모듈로서 기능할 수 있음을 확인하였다.

데이터의 정확성은 입력되는 이미지의 품질에 좌우된다. 투명한 비닐포장지의 특성을 고려하여 다음과 같은 데이터 수집 하드웨어를 구성하였다.

2.2. 머신비전 검사 알고리즘

단일 알고리즘의 한계를 극복하고 최대 40ms 이내의 실시간 검사 속도를 달성하기 위해, 치수 검사와 형

REFERENCES

1. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. "You only look once: Unified, real-time object detection," Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR), 779-788, 2016

**유압식 사출성형기(TB-200S) 공정 변수가 PP 소재 리테이너의
중량 안정성 및 미성형에 미치는 영향 분석**
**Analysis of the Effects of Hydraulic Injection Molding Machine (TB-200S)
Process Variables on Weight Stability and Incomplete Molding of PP Retainers**

*문흥섭¹, #윤주일²

¹Heung Seop Moon¹, [#]Ju Il Yoon(juilyoon@hansung.ac.kr)²

¹한성대학교 스마트융합건설링학과 스마트팩토리전공, ²한성대학교 기계시스템공학과,

Key words : Injection Molding, Process Parameter, Weight, Short Shot

본 연구는 냉장고용 PP(Polypropylene) 무범퍼 리테이너 생산 시 발생하는 미성형 및 수축 불량을 최소화하기 위해 유압식 사출성형기(TB-200S)의 핵심 공정 인자를 최적화하였다. 다구찌 기법과 실험계획법(DOE)을 적용하여 사출 압력, 보압, 보압 시간, 냉각 시간을 제어 인자로 설정하고, 제품 중량 변화를 통한 불량 판정의 실용적 지표를 제시하였다. 분산분석(ANOVA) 결과, 보압 시간과 압력이 제품 중량 산포 및 미성형 발생에 결정적인 영향을 미침을 확인하였다. 특히 특정 임계 보압 시간 이하에서 제품 중량이 급격히 감소하며 미성형이 집중됨을 파악하여 최적 보압 조건을 도출하였다. 최적화된 공정을 현장에 적용한 결과, 초기 공정 대비 중량 안정성이 확보되고 불량률이 유의미하게 감소하여 양산 품질 및 생산성을 향상시켰다.

스마트 제조 환경의 보안 및 안전 확보를 위한 적외선 기반 야간 객체 탐지 성능 향상 연구

A Study on Performance Improvement of Infrared-Based Nighttime Object Detection for Security and Safety in Smart Manufacturing Environments

*이봉구¹, #윤주일²

*Bong Goo Lee¹, #Ju Il Yoon(juilyoon@hansung.ac.kr)²

¹한성대학교 스마트융합건설링학과 스마트팩토리전공, ²한성대학교 기계시스템공학과

Key words : Smart Manufacturing, Object Detection, Infrared Imaging, Security and Safety

*발표자, #교신저자

본 연구는 스마트 제조 환경의 무인 설비 보호를 위한 24시간 지능형 감시 체계 구축을 목적으로, 기존 가시광선(RGB) 기반 보안 시스템이 저조도 및 악천후 환경에서 지니는 객체 식별 한계를 극복하고자 한다. 이를 위해 근적외선(NIR) 영상과 딥러닝(YOLO)을 결합한 강건한 객체 탐지 시스템을 제안한다. 공개된 적외선 데이터셋을 활용해 도메인 격차를 보상하는 미세조정을 수행한 결과, 제안 모델은 1 Lux 미만의 극저조도 환경에서도 일반 범용 모델 대비 우수한 탐지 성능(mAP)을 안정적으로 유지함을 확인하였다. 이를 통해 제조 현장의 야간 보안 및 안전 확보에 기여할 수 있다.

간편한 저가형 전기화학 기반 커피 특성 분류 디바이스 개발 Simple and Low-Cost Electrochemical Coffee Classification Device

*강지승¹, #유동우², #김성현¹

Ji Seung Kang¹, #Dong Woo Yoo(dwyo@seoultech.ac.kr)², #Seong Hyeon Kim(shk1014@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 전기공학과, ²서울과학기술대학교 기계공학과

Key words : Coffee Classification, Electrical Resistance, Electrochemical Sensing, Sensing Device

*발표자, #교신저자

기존 커피 분석은 굴절계(굴절률 기반)와 분광광도계(흡광도 기반)를 이용해 농도를 측정하지만 고가 장비와 시료 전처리가 요구된다^[1]. 전기화학적 분석 방법은 높은 민감도와 정확도, 저비용 장비 구성이 가능하다는 장점을 가진다^[2]. 본 연구에서는 카본/알루미늄 전극 기반 디바이스를 설계하고 3D 프린팅으로 제작하였다. 커피 추출액을 희석(25,50,100%)하여 전기적 응답 특성을 분석하였다. 농도 증가에 따라 결과 값이 감소하였으며 Light 11.1→5.7k Ω , Dark 7.9→4.8k Ω , Colombia 8.9→5.6k Ω , Mexico 7.3→4.9k Ω 로 나타났다. 이는 이온 이동에 따른 전도 경로 형성에 기인하며^[3], 간단한 측정만으로 커피 품질 평가 가능성을 보였다.

후기 본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: [RS-2025-00518047]).

REFERENCES

1. Grasso, S., Di Loreto, M.V., Zompanti, A., Ciarrocchi, D., De Gara, L., Pennazza, G., Vollero, L., and Santonico, M., "Intelligent Electrochemical Sensing: A New Frontier in On-the-Fly Coffee Quality Assessment," *Chemosensors*, 2025, Vol. 13, 24.
2. Amare, M. and Aklog, S., "Electrochemical Determination of Caffeine Content in Ethiopian Coffee Samples Using Lignin Modified Glassy Carbon Electrode," *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2017, Article ID 3979068.
3. Sobolik, V. et al., "Viscosity and Electrical Conductivity of Concentrated Solutions of Soluble Coffee," *Journal of Food Engineering*, Vol. 51, pp. 93-98, 2002.

농기계 수확로봇 자동화를 위한 엔드이펙터 기술개발 Technology Development of End-Effector for Automation of Agricultural Harvesting Robots

***#윤해룡¹, 조용준¹, 홍형길¹, 장선호¹, 박관형¹**

***#Haeyong Yun(hyyun@kiro.re.kr)¹, Yongjun Cho¹, Hyunggil Hong¹, Seonho Jang¹, Kwanhyung Park¹**

¹ 한국로봇융합연구원 농업로봇자동화연구센터

Key words : End-Effector, Agricultural Robots

*발표자, #교신저자

농업 분야의 고령화와 노동력 부족 문제가 심화됨에 따라, 수확 작업의 자동화에 대한 필요성이 증가하고 있다. 수확로봇의 핵심 구성요소인 엔드이펙터는 작물을 직접 파지하고 수확하는 역할을 수행하며, 그 성능이 수확 효율과 작물 손상률을 좌우한다. 본 연구에서는 엔드이펙터에 촉각센서를 적용하여 수확 과정에서의 파지력을 실시간으로 제어하는 기술을 개발하였다. 촉각센서는 엔드이펙터의 그리퍼 내부에 부착되어 작물과의 접촉 시 압력, 미끄러짐, 형상 변화를 감지하며, 이를 기반으로 최적의 파지력을 자동으로 조절한다. 이를 통해 과일, 채소 등 다양한 작물의 크기와 경도에 따라 적응적 파지가 가능하며, 작물 손상을 최소화할 수 있다. 실험 결과, 촉각센서 적용 시 기존 대비 작물 손상률이 약 35% 감소하였으며, 수확 성공률은 94% 이상을 달성하였다. 본 연구는 스마트 농업 실현을 위한 수확로봇 자동화 기술 고도화에 기여할 것으로 기대된다.

모방학습 기반 로봇 운용 성능 향상을 위한 데이터 증강에 관한 연구 A Study on Data Augmentation for Improving Robot Operation Performance Based on Imitation Learning

*변성준¹, 우다령¹, #이경창¹

*S. J. Byun¹, D. R. Woo¹, #K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Imitation learning, Robot, Teleoperation, Data Augmentation

*발표자, #교신저자

로봇은 다양한 산업분야에 적용되고 있으며, 로봇의 자율적인 작업 수행을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 로봇의 작업 성능 향상을 위해 강화학습 기반의 연구가 다수 진행되었다. 그러나 강화학습 기반의 기법은 복잡하고 정밀한 공정 작업 적용에 한계가 존재한다. 때문에 이를 해결하기 위한 대안으로 모방학습에 대한 연구가 진행되고 있으나 모방학습은 로봇 학습을 위해 대규모의 데이터가 필요하며, 이를 구축하기 위한 비용 문제가 존재한다. 이에 따라, 본 연구에서는 모방학습 기반의 로봇 운용 성능 향상을 위한 데이터 증강 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 원격 조작을 통해 데이터를 구축하여 데이터를 증강 하며, 모방학습에 적용한다. 실험 결과 제안하는 방법은 안정적인 학습이 가능함을 확인하였다.

후기 이 논문은 2026년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원 산업혁신기반구축사업 (과제명 : 제조산업 공정작업용 로봇 엔드이펙터 실증 기반 구축)의 지원을 받아 수행된 연구임

선박 항주파를 고려한 해상 익수자 표류 경로 예측에 관한 연구

A Study on the Prediction of Drift Trajectories of Man Overboard Considering Ship-Induced Waves

*자오 양¹, 강정호¹, #이경창¹

^{*}Yang Zhao¹, Jung Ho Kang¹, [#]Kyung Chang Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Drift Prediction, Kelvin Ship Wave, Ocean Current, Search and Rescue

^{*}발표자, [#]교신저자

해상 추락 사고는 돌발성이 강하고 구조 가능 시간이 매우 제한적이라는 특징을 가진다. 이러한 사고는 바람, 파랑, 해류 등 다양한 환경 요인의 복합적인 작용으로 인해 단시간 내에 목표 위치가 빠르게 변화하며, 이에 따라 수색 범위가 급격히 확대되어 구조의 난이도와 불확실성이 크게 증가한다. 따라서 익수자의 표류 경로를 정확하게 예측하는 것은 수색 범위를 효과적으로 축소하고 구조 효율을 향상시키는 데 있어 매우 중요하다. 기존의 표류 예측 방법은 주로 Leeway 모델을 기반으로 하며, 경험적 계수를 이용하여 풍에 의한 표류 효과를 모델링하고 해류 데이터를 결합하여 표류 경로를 추정한다. 그러나 이러한 방법은 선박 운동에 의해 유도되는 국부 파랑장의 영향을 충분히 고려하지 못하는 한계가 있으며, 특히 선박 인근 해역에서는 선박 유도파가 표류 초기 단계에 미치는 영향이 매우 중요함에도 불구하고 이를 반영하지 못하는 경우가 많다. 또한 기존 연구에서는 환경 데이터 활용 측면에서 정적이거나 저해상도의 데이터를 사용하는 경우가 많아, 실제 해양 환경의 동적 변화를 충분히 반영하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 선박 유도파 효과와 다원 환경 데이터를 통합적으로 고려한 해상 표류 예측 모델을 제안한다. 제안된 모델은 기존 Leeway 기반 방법에 선박 유도파 영향을 추가하고, 실시간 해류 및 풍장 데이터를 결합하여 표류 과정을 동적으로 모델링한다. 이를 통해 표류 예측의 정확성과 적용성을 향상시키고, 해상 수색 및 구조 작업에 보다 신뢰성 있는 기술적 지원을 제공하는 것을 목표로 한다.

후기 이 논문은 4단계 BK21 사업(스마트로봇융합응용교육연구단)에 의하여 지원되었음.

임무 조건 및 비행 패턴 기반 드론 전력 이상 탐지 모델에 관한 연구

A Study on Power Consumption-based Anomaly Detection for Drones Based on Mission Conditions and Flight Patterns

*강대한¹, 변성준¹, 장재현¹, #이경창¹

^{*}D. H. Kang¹, S. J. Byun¹, J. H. Jang¹, [#]K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Abnormal Detection, AutoEncoder, Energy Management System, Drone

*발표자, #교신저자

드론의 전력 소모는 임무 조건과 비행 패턴 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 선행 연구에서는 임무 단계, 속도, 가속도와 같은 운용 맥락이 전력 소모 특성에 유의한 영향을 미칠 수 있음이 보고되었으며, 이상 탐지 분야에서도 전력 데이터와 관련 변수를 함께 활용하는 다변량 접근의 효과가 제시되었다. 그러나 드론 환경에서 임무 조건과 비행 패턴을 동시에 반영한 전력 기반 이상 탐지 연구는 여전히 제한적이다. 이에 본 논문에서는 임무 조건별 클래스를 구성하고 속도, 가속도, 방전 용량 및 전력 데이터를 입력으로 사용하는 CNN 기반 AutoEncoder 모델을 설계함으로써 드론 운용 환경의 특성을 반영한 전력 기반 이상 탐지 모델을 구현하였으며, 실험 결과 안정적인 이상 탐지가 가능한 것을 확인하였다.

후기 본 논문은 민군기술협력사업(과제 : 통신/GPS 음영환경에서의 자율임무 수행용 초소형 지능형 드론 개발, 23-CM-AI-08)의 결과물이며, 국방과학연구소 민군협력진흥원으로 지원받아 수행 중임

Stacked GRU와 Transformer를 결합한 하이브리드 모델 기반 수소압축기 이상 탐지 및 실시간 모니터링 시스템에 관한 연구

A Study on a Hybrid Model-Based Anomaly Detection and Real-Time Monitoring System for Hydrogen Compressors Combining Stacked GRU and Transformer

*김세영¹, 정지현¹, 장재현¹, #이경창¹

*S. Y. Kim¹, J. H. Jung¹, J. H. Jang¹, #K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Hydrogen Compressor, Anomaly Detection, Stacked GRU, Transformer

*발표자, #교신저자

이오닉 피스톤 수소압축기는 운영 중 이상이 발생하는 경우 폭발 및 화재의 위험이 높아 안정적인 운영을 위해 고장을 예지하고 건전성을 관리하는 PHM(Prognostics and Health Management) 기술이 필요하다. 하지만 산업 현장에서는 이상 데이터가 적어 기존 지도학습 기반 이상 탐지 적용에 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 수소압축기의 정상 데이터만을 활용하여 Stacked GRU와 Transformer를 결합한 하이브리드 모델을 제안하고, 다변량 시계열 데이터에서 센서의 이상 신호를 탐지한다. 또한 이를 기반으로 실시간 모니터링 시스템을 구축한다. 향후에는 탐지된 이상 신호를 활용하여 수소압축기의 RUL(Remaining Useful Life)을 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

후기 본 연구는 기후에너지환경부(MCEE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 임. (No. RS-2024-00422128)

Mel-spectrogram 기반 운율 통합형 영어 발음 평가 모델 개발 및 교사 평가와의 통계적 비교 분석

Development of a Mel-Spectrogram-Based English Pronunciation Assessment Model with Integrated Prosodic Features and Statistical Comparison with Teacher's Assessments

*정지현¹, 장재현¹, #이경창¹

*Ji Hyun Jung¹, Jae Hun Jang¹, #Kyung Chang Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹ 국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Mel-Spectrogram, Pronunciation Assessment, Computer-Assisted Pronunciation Training, Deep Learning

*발표자, #교신저자

2022년 개정 교육과정에서 영어 말하기 교육이 강조됨에 따라, 말하기 평가 채점자의 주관성을 배제할 수 있는 인공지능 기반 자동 발음 평가 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 기존 연구는 음소 정확도 평가에만 의존해 왔으며, 운율적 요소 반영과 비원어민(한국인)의 고유한 발화 특성 고려가 부족하다는 한계가 있다. 이에 본 연구는 한국인 발화를 중심으로 음성 데이터를 이미지 데이터로 변환하고, Convolutional Autoencoder와 Attention Mechanism을 결합한 딥러닝 모델 제안한다. 이를 통해 음운과 운율적 특징을 통합하여 원어민 기준과의 유사도에 기반한 발음 평가 점수를 산출한다. 또한, 제안 모델이 산출한 점수는 중등 영어 교사의 실제 평가와 비교하여 딥러닝 모델과의 통계적 경향성을 분석하고자 한다. 본 모델은 교사의 발음 평가 채점을 보조하는 CAPT 적용 가능성을 지니며, 평가의 신뢰성과 공정성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

후기 본 연구는 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임(RS-2025-25433732)

실시간 자율 비행 경량 드론의 인식 성능 향상을 위한 센서 퓨전 기법 연구

Sensor Fusion Method for Improving Real-Time Perception of Lightweight Autonomous Drones

*쿠자예브 쿠르보날리¹, 장재현¹, #이경창¹

*Kh. Qurbonali¹, J. H. Jang¹, #K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Sensor Fusion, Lightweight UAV, Real-Time, Perception

*발표자, #교신저자

자율 비행 드론은 임무 수행을 위해 주변 환경을 인식하고 장애물 및 충돌을 회피해야 한다. 기존에는 카메라 기반 인식 방법이 많이 사용되었고, 최근에는 3D LiDAR와 카메라를 함께 사용하는 센서 퓨전 기법이 연구되고 있다. 그러나 이러한 방법은 연산량이 커서 경량 드론에서 실시간 적용에 어려움이 있다.

본 연구에서는 경량 드론에서도 실시간으로 적용 가능한 센서 퓨전 기법을 제안한다. 제안한 방법은 3D LiDAR와 카메라 데이터를 Point Correspond 기반으로 결합하여 연산량을 줄이고 인식 성능을 향상시킨다. 실험 결과, 제안한 기법은 실시간 구동이 가능하며 안정적인 장애물 회피 성능을 보였다.

후기 이 논문은 4단계 BK21 사업(스마트로봇융합응용교육연구단)에 의하여 지원되었음.

CNN 기반 드론 잔여 비행시간 예측에 관한 연구

CNN-based Estimation of Remaining Flight Time for Drone

*이재훈¹, 변성준¹, 장재현¹, #이경창¹

*J. H. Lee¹, S. J. Byun¹, J. H. Jang¹, #K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Drone, Battery, CNN, Attention

*발표자, #교신저자

드론의 잔여 비행시간 추정은 안전한 임무 수행과 복귀 판단을 위해 필수적이다. 그러나 기존 방식은 평균 전류 기반 추정과 저역통과필터에 의존하여 급격한 기동 변화와 순간 부하 변동을 즉시 반영하기 어렵다. 또한 일부 연구는 미래 경로 정보를 가정하고 있어 실제 자율비행 환경에 직접 적용하는 데 한계가 있다. 본 연구에서는 미래 경로 정보 없이 비행 중 실시간으로 잔여 비행 시간을 추정하는 딥러닝 기반 모델을 제안한다. 제안 모델은 관측된 기동 및 배터리 데이터를 CNN과 attention으로 인코딩하고, 장기 배터리 상태 정보를 결합하여 단기 반응성과 장기 방전 특성을 동시에 반영한다. 실험 결과 제안하는 방법으로 다양한 비행 패턴에서 안정적인 성능을 확인했다.

1. 서론

SoC(State of Charge)는 현재 남아 있는 배터리 용량의 상대적 비율을 나타내는 지표일 뿐이며, 잔여비행시간을 신뢰성 있게 판단하기 어렵다. 이를 보완하는 방법으로 잔여 용량과 평균 전류를 기반으로 잔여 비행 시간을 직접 계산하는 방법이 사용될 수 있다. 이 방법은 전류의 변동성을 완화하기 위해 저역통과 필터와 같은 평활화 기법을 강하게 적용하게 되는데, 그 결과 응답 지연이 커져 비행 초반이나 급격한 기동 구간에서 추정 오차가 증가할 수 있다. 이에 본 연구에서는 UAV의 과거 및 현재 상태 시계열 데이터와 배터리 상태 입력을 함께 사용하는 CNN 기반 모델을 통해 잔여비행시간을 추정하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 드론의 단기 기동 패턴과 배터리의 전기적 반응 간 복합적인 상관관계를 학습함으로써, 배터리 노화 및 비행 외란 조건에서도 실시간으로 신뢰성 있는 RFT(Remaining Flight Time) 정보를 제공한다.

본 연구는 최근 5초 구간의 시계열 정보를 활용하는 슬라이딩 윈도우 기반 접근을 사용한다. 장기 시계열 처리의 비효율성과 불필요한 과거 정보의 노이즈 문제를 고려하여, streaming 방식 대신 짧은 구간에 집중하는 구조를 채택하였다. 그러나 슬라이딩 윈도우 방식은 각 구간을 독립적으로 처리하기 때문에, 장기 상태 정보를 반영하기 어렵다는 한계를 가진다. 이를 해결하기 위해 배터리 상태 정보를 별도의 입력으로 추가하였다. 해당 입력은 배터리의 누적 방전 상태를 요약하는 역할을 수행하여, 장기 상태 정보를 보완할 수 있도록 한다. 모델 구조로는 국소적인 시간 패턴을 효과적으로 추출할 수 있는 CNN 기반 구조를 사용하였으며, 이를 통해 전압 sag, 전류 스파이크, 방전 곡선 기울기와 같은 중요한 특징을 포착하였다.

이후 attention 메커니즘을 통해 이러한 특징 중 예측에 중요한 요소를 강조하였다. 제안하는 방법과 기존 방법을 5초이후 구간과 100초 이후구간에서 RMSE 기준으로 평가했을 때, 5초 이후의 구간은 98.9%, 100초 이후의 구간은 86.5%의 오차가 개선되었다.

후기 본 논문은 민군기술협력사업(과제 : 통신/GPS 음영환경에서의 자율임무 수행용 초소형 지능형 드론 개발, 23-CM-AI-08)의 결과물이며, 국방과학연구소 민군협력진흥원으로 지원받아 수행 중임

2. 제안하는 시스템

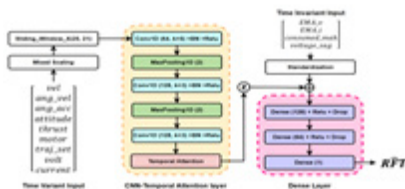


Fig. 1 잔여비행시간 추정 딥러닝 모델 아키텍처

소수성 표면에서 표적 이동을 위한 자성유체 기반 로봇의 자기장 제어 Magnetic Field-Driven of Ferrofluid-Based Robots for Targeted Delivery on Superhydrophobic Surface

*정지유¹, 이정원¹, #고광준¹

^{*}Ji Yu Jung¹, Jeong Won Lee¹, [#]Gwang Jun Go(gwangjungo@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Magnetic Actuation, Ferrofluid, Magnetic Field Control, Magnetic Nanoparticle

*발표자, #교신저자

기존의 고분자 기반 초소형 로봇은 형상 고정형으로 설계되어 초기 이용목적 이외의 환경에 적용하기 어렵다는 한계를 지닌다. 본 연구에서는 형상 변형성을 갖춘 자성유체 기반 초소형 로봇을 제안하였다. 제안된 로봇은 액적형 로봇으로 초소수성 표면 위에서 외부 자기장 조건 제어를 통해 형상 변형, 이동 속도 및 방향을 세밀하게 조절할 수 있다. 로봇의 이동 속도는 외부 자기장의 자속밀도와 주파수에 비례하였으며, 지정 경로 추적 및 직경이 급격하게 감소하는 통로를 통과할 수 있음을 검증하였다. 이러한 결과는 기존의 형상 고정형 초소형 로봇이 구동 한계를 갖는 제한적인 환경에서도 자성유체 기반 로봇의 효율적인 구동이 가능함을 보여준다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구이며(No. RS-2025-00519457), 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25477640).

비침습적 자기장 자극 기반 인공 심장 조직 소프트 로봇 Non-invasive Magnetic Stimulation-Based Engineered Heart Tissue Soft Robot

*차연주¹, #고광준¹

^{*}Yeon Ju Cha¹, [#]Gwang Jun Go(gwangjungo@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Soft Robot, Engineed Heart Tissue, Magnetic Stimulation

^{*}발표자, [#]교신저자

심장 조직 모델은 질환 모델링 및 치료 전략 개발의 핵심 기술로 주목받고 있다. 그러나 기존 2차원 세포 모델과 동물 모델은 실제 심장의 역학적·전기생리학적 특성을 재현하지 못해 실험 결과의 신뢰도를 저하시킨다. 본 연구에서는 비침습적 다축 자극 기반의 바이오하이브리드 소프트 로봇 플랫폼을 제시한다. 로봇의 구조 설계 및 구동 조건 최적화를 통해 안정적인 변형 거동과 구동 재현성을 확보하였다. 또한, 자기장 세기와 주파수 변화에 따른 운동 변위 및 비틀림 각도를 정량화하여 정밀 제어가 가능함을 검증하였으며, 심장의 복합적 운동을 효과적으로 모사할 수 있음을 입증하였다. 제안한 로봇은 심장 근육 조직의 주요 특성을 반영함으로써, 연구 정확도와 효율을 향상시켜 의생명 분야 전반의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구이며(No. RS-2025-00519457), 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25477640).

객체 밀집 환경에서 로봇 작업을 위한 LiDAR-Camera 센서 융합 기반 밀기 및 파지 학습

Learning Pushing and Grasping for Robotic Manipulation in Cluttered Environments Using LiDAR-Camera Sensor Fusion

*김명원¹, 우다령¹, #이경창¹

*M. W. Kim¹, D. R. Woo¹, #K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Machine Tool, Manufacturing, Production, Tool Path

*발표자, #교신저자

객체 파지는 로봇 조작의 핵심 기능이지만, 객체가 밀집된 환경에서는 단순 파지만으로 안정적인 수행이 어려워 밀기와 파지 동작 간의 상호작용이 중요하다. 기존 Visual Pushing Grasping(VPG)은 강화학습으로 이를 통합 학습했지만, 단일 RGB-D 기반 Heightmap을 입력으로 사용하기 때문에 깊이 결측과 차폐 문제가 발생하여 실제 환경에서 한계를 보이며, 특히 반사율이 높거나 투명한 객체는 인식 오류로 인해 다양한 환경에서의 일반화 성능이 떨어진다. 본 연구에서는 RGB-D 카메라와 LiDAR를 융합하여 TSDF 기반 3D 공간에서 밀기 및 파지 정책을 학습하는 강화학습 프레임워크를 제안한다. 이를 통해 센서 한계를 보완하고 밀기와 파지 동작 간의 상호작용을 효과적으로 학습한다.

후기 이 논문은 2026년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원 산업혁신기반구축사업(과제명 : 제조산업 공정작업용 로봇 엔드이펙터 실증 기반 구축)의 지원을 받아 수행된 연구임

**휴머노이드 로봇의 작업 행동 모델 학습을 위한
텔레오퍼레이션 시연 기반 합성 데이터 생성**
**Synthetic Data Generation from Teleoperation Demonstrations for
Learning Task Behaviors in Humanoid Robots**

*김도경¹, 강정호¹, #이경창¹

^{*}D. K. Kim¹, J. H. Kang¹, [#]K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Imitation Learning, Teleoperation, Humanoid Robot, Synthetic Data

*발표자, #교신저자

로봇 모방학습에서 고품질의 현실 시연 데이터 수집은 비용과 시간 측면에서 제약이 있어 대규모 확보가 어렵다. 이를 보완하기 위해 시뮬레이션 기반 학습과 데이터 증강 기법이 활용되어 왔다. 그러나 증강 데이터가 실제 시연 데이터를 얼마나 대체할 수 있는지에 대한 정량적 검증은 부족하며, 현실 데이터와 증강 데이터의 혼합 비율에 따른 정책 성능 변화를 분석한 연구도 제한적이다. 이에 본 연구에서는 휴머노이드 로봇 환경에서 텔레오퍼레이션 시연을 통해 현실 시연 데이터를 수집하고, 이를 기반으로 합성 증강 데이터를 생성한다. 또한 두 데이터를 다양한 비율로 구성한 학습 데이터를 구축하여 정책을 학습하였으며 각 데이터 구성에 따른 성능을 정량적으로 비교하고, 데이터 비율 변화에 따른 학습 효율성을 평가한다.

후기 이 논문은 2026년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원 산업혁신기반구축사업 (과제명 : 제조산업 공정작업용 로봇 엔드이펙터 실증 기반 구축)의 지원을 받아 수행된 연구임

초소형 로봇의 정밀 조작을 위한 전자기 구동 시스템 An Electromagnetic Actuation System for Precise Microrobot Manipulation

*문건희¹, 정지유¹, #고광준¹

*Geon Hui Mun¹, Ji Yu Jung¹, #Gwang Jun Go(gwangjungo@chosun.ac.kr)¹

¹ 조선대학교 기계공학과

Key words : Microrobot, Electromagnetic Actuation, Precise Manipulation, Magnetic Uniformity

*발표자, #교신저자

기존 수술의 침습적 한계를 극복하기 위한 초소형 의료 로봇 기술이 핵심 연구 분야로 자리 잡고 있다. 그중 자기장 구동 방식은 체내 비침습적 접근이 가능하다는 장점이 있으나, 작업 공간 확장 시 발생하는 자기장 균일도 저하는 로봇의 정밀 제어를 저해하는 구조적 한계로 지적되어 왔다. 이를 해결하기 위해 본 연구에서는 유한요소 해석 기반의 설계 최적화를 수행하여, 95% 이상의 자기장 균일도를 유지하면서도 광범위한 유효 작업 공간을 확보한 3축 헬름홀츠 코일 시스템을 구현하였다. 실제 초소형 로봇을 활용한 경로 추종 평가를 통해 시스템의 제어 재현성과 응답 특성을 입증하였으며, 본 연구 성과는 향후 비침습 치료용 고정밀 로봇 개발을 위한 핵심 구동 시스템으로 활용될 것으로 기대된다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국기초과학지원연구원 국가연구시설장비진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구이며(No. RS-2025-00519457), 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25477640).

**텔레오퍼레이션 기반 시연 데이터를 활용한 VLA 모델의
로봇 매니플레이션 모방학습 성능 분석**
**Analysis of the Imitation Learning Performance of a VLA Model for
Robot Manipulation Using Teleoperation-Based Demonstration Data**

*우다령¹, 강정호¹, #이경창¹

*Da Ryeong Woo¹, J. H. Kang¹, #Kyung Chang Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Imitation Learning, Manipulation, Teleoperation, VLA

*발표자, #교신저자

최근 Physical AI 기술의 발전과 함께, 로봇틱스 분야에서 모방학습 기반 접근법이 활발히 연구되고 있다. 특히 Vision-Language-Action(VLA) 모델은 시각과 언어 정보를 통합하여 로봇이 인간의 지시를 이해하고 이를 행동 계획으로 연결하는 엔드 투 엔드(End-to-End) 학습 체계를 가능하게 하여 로봇의 복잡한 조작 작업 기술 학습을 위한 모델로 주목받고 있다. 그러나 이러한 VLA 모델 기반 모방학습의 실제 환경에 대한 성능은 다양한 요인에 민감하게 영향을 받으며, 성능에 미치는 요인과 영향에 대한 정량적 분석은 충분히 이루어지지 않은 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 Gello 텔레오퍼레이터와 UR5를 사용하여 pick and place 작업에 대한 시연 데이터를 수집하고, ACT(Action chunking with Transformer) 및 GROOT와 같은 VLA 모델을 대상으로 모방학습 및 성능 평가를 수행한다. 학습 데이터 수, 카메라 수, 2D RGB 및 Depth 이미지 포함 여부를 실험 변인으로 설정하며, 변인에 따른 학습 및 실제 환경에서의 추론 실험을 통해 작업 성공률과 수행시간을 측정하여 이를 기반으로 통계적 분석을 수행한다. 이를 통해 각 요인이 모델의 성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고, 주요 오차 발생 요인을 식별함으로써 VLA 모델 기반 모방학습의 일반화 성능 및 신뢰성 향상에 기여하고자 한다.

후기 이 논문은 4단계 BK21 사업(스마트로봇 융합응용교육연구단)에 의하여 지원되었음.

**접합 조건에 따른 A5052P-O 알루미늄-수지 제진소재의
접합 강도 특성 분석**

**Analysis of the Effect of Joining Conditions on the Bond Strength of
A5052P-O Aluminum-Resin Vibration Damping Materials**

*배기만¹, #백종진¹

*Ki Man Bae¹, #Jong Jin Baek(bjj100@iljitech.co.kr)¹

¹(주)일지테크 선행개발팀

Key words : Vibration Damping Materials, Resin, T-Peel, Surface Treatment

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 A5052P-O 알루미늄 합금과 점탄성 수지 간의 이중재 접합 특성을 향상시키기 위하여 TiZr 및 Cr 기반 표면처리 공정을 적용하고, 열가소성 및 열경화성 수지의 물성 차이에 따른 접합 강도 변화를 체계적으로 분석하였다. 수지층의 두께를 20 μ m, 30 μ m, 40 μ m로 달리하여 점탄성 거동과 응력 전달 메커니즘의 상관관계를 비교 분석하였다. 실험 결과, TiZr 표면처리는 미세한 활성층 형성을 통해 계면 결합력을 향상시키는 반면, Cr 처리의 경우 내식성과 함께 안정적인 접착 계면을 형성하는 경향을 보였다. 열가소성 수지는 변형 순응성이 우수하여 응력 분산 효과가 크게 나타났으나, 열경화성 수지보다 낮은 접합강도를 확인할 수 있었다. 수지 두께가 증가함에 따라 계면 접합 강도가 증가하는 경향을 보였으나, 과도한 두께에서는 내부 결함 및 응력 집중으로 인해 오히려 강도가 저하되는 결과가 예상되었다. 특히 40 μ m 조건에서 최적의 강도 균형이 확보되는 것으로 분석되었다. 계면 접합강도 실험을 통해 표면처리 방식과 수지 종류에 따른 접합 특성을 확인하였으며, 이는 접합 메커니즘 이해에 중요한 근거를 제공한다. 본 연구는 알루미늄-수지 제진소재의 접합 구조 최적 조건에 대한 기초 자료를 제공하며, 향후 자동차 및 항공 구조용 소재 개발에 유용한 방향성을 제시한다.

후기 이 연구는 산업통상자원부 및 산업기술기 획평가원(KEIT) 연구비 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.
(RS-2024-00433194)

확률적 주파수 추정 및 정규화를 통한 가변속도 조건의 회전체 결함 진단 Fault Diagnosis of Rotating Machinery Under Variable Speed Conditions via Probabilistic Frequency Estimation and Normalization

*신정민¹, 박보경¹, #윤해성^{1,2}

^{*}Jeong Min Shin¹, Bo Kyung Park¹, #Hae Sung Yoon(hsyoon7@kau.ac.kr)^{1,2}

¹한국항공대학교 스마트항공모빌리티학과, ²한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

Key words : Fault Diagnosis, Rotating Machinery, Probabilistic Estimation, Normalization

*발표자, #교신저자

본 연구는 가변속도 환경에서 회전기계의 결함 진단 및 분류를 위한 방법론을 제안한다. 가변속도 조건 아래 회전체 결함 진단을 위한 기존 방식은 속도 변화에 따른 진폭 변동과 부가 센서 필요성 등의 한계가 있었다. 이를 해결하기 위해 진동 신호를 연속적인 짧은 구간으로 분할 하여 각 구간을 등속 상태로 가정하였으며, 초기 스펙트럼을 바탕으로 유효 결함 주파수 대역을 설정했다. 이후 대역 내 최적의 결함 주파수 값을 락인 증폭기와 확률 분포 모델을 적용하여 산출하였다. 또한, 추정된 진폭으로부터 속도 변화에 의한 변동 영향을 최소화하기 위해 특징값을 정규화하여 진단 성능을 개선하였다. 제안된 기법은 축 불균형 및 베어링 결함 데이터에 적용하여 불충분한 속도 조건 하에도 안정적인 결함 진단이 가능함을 확인하였다.

후기 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단(RS-2026-25473880), 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원(No. P0023691, 우주 소재·부품·장비 전문인력양성사업), 그리고 2024년 한국연구재단 BK21 FOUR(과제번호: 2120240715457)의 지원을 받아 작성되었습니다.

복합 지형 대응을 위한 4절 링크 기반 휠-레그 로봇 제어

Control of a Four-Bar Linkage-Based Wheel-Legged Robot for Complex Terrain

*조현성¹, #손정우²¹Hyeon Sung Jo¹, [#]Jung Woo Sohn(jwsohn@kumoh.ac.kr)²¹국립금오공과대학교 기계전자융합전공, ²국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Wheel-Legged Robot, Linear Matrix Inequality, Linear Parameter Varying

*발표자, #교신저자

1. 서론

휠-레그로봇은 평지에서는 바퀴를 이용해 고속으로 주행하고, 험지에서는 다리 관절을 이용해 지형을 극복할 수 있는 차세대 하이브리드 로봇이다⁽¹⁾. 그러나 다리의 굽힘과 펴 동작에 따른 기구학적 변화는 로봇의 무게 중심을 실시간으로 변동시키며, 이는 제어 측면에서 강한 비선형성과 불안정성을 유발한다. 기존 연구에서는 이러한 복잡한 로봇을 제어하기 위해 LQR 기반의 게인 스케줄링 기법이 널리 사용되어왔다⁽²⁾. 하지만 기존의 방식은 매 제어 주기마다 변화하는 다리 길이를 계측하고, 이를 통해 제어 게인을 얻어야 한다. 또한 파라미터의 불확실성이나 외부 외란에 대한 안정성을 수학적으로 보장하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 4절 링크 구조를 가진 휠-레그 로봇의 주행 안정성을 극대화하기 위해, 선형 행렬 부등식 기반의 제어를 통해 균형 유지와 충격 흡수 성능을 동시에 만족하는 제어를 구현하고자 한다.

2. 이론 및 실험

본 연구의 제어 시스템은 로봇의 피치 균형을 유지하기 위해 로봇의 기구학적 한계점을 정점으로 하는 폴리토프 LPV 모델을 통해 LMI 최적화를 수행하여, 다리 길이의 전체 변동영역에서 점근적 안정성을 보장하는 제어를 설계하였다. 또한, 다리 관절 모터는 가상 모델 제어 기반의 독립적인 제어 루프를 통해 차체 높이를 유지하기 위한 수직 방향의 가상 목표 하중을 산출한 뒤, 4절 링크의 야코비안 연산을 통해 이를 실제 관절 모터의 요구 토크로 변환함으로써 지면의 충격을 효과적으로 흡수한다. 제안된 제어 알고리즘의 성능은 MATLAB/Simulink Simscape 환경에서 동역학 시뮬레이션을 수행하였다.

3. 결론

본 연구에서는 4절 링크 다리 구조를 갖는 휠-레그 로봇을 위한 선형 행렬 부등식 기반의 균형 유지 제어를

를 성공적으로 설계하고 그 유효성을 검증하였다. 시스템의 다리 길이 변동을 폴리토프 LPV 모델로 정의하고 LMI 기법을 적용함으로써, 외부 외란에 대한 강인 안정성을 확보하여 균형 제어와 충격 흡수라는 두 가지 목표를 효과적으로 달성하였다.

후기 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학ICT연구센터(ITRC)의 지원(IITP-2026-RS-2024-00437190, 50%)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2023-NR076925, 25%)을 받아 수행된 연구임. 또한, 이 논문은 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0027951, 자율 비자율 혼합상황 지원 플랫폼 기반 조성사업, 25%).

REFERENCES

1. Dong, J., Liu, R., Guo, X., and Liu, H., "LQR-based balance control of two-wheeled legged robot" In 2022 41st Chinese Control Conference (CCC) (pp. 450-455). IEEE.
2. DAN-DAN, L. I. U., and WEI, W., "Locomotion Control of a Bipedal Wheeled Robot Using Virtual Model Control and Linear Quadratic Regulator Techniques." Taiwan Association of Engineering and Technology Innovation, 4, 17-32. 2024

신발 갑피용 Mesh 원단의 AI 비전 기반 형태 안정화 분석 연구

A Study on AI Vision-Based Shape Stability Analysis of Mesh Fabric for Shoe Uppers

*#신유정¹, 이노준¹, 석지훈¹, 김기혁²

*#Yu Jeong Shin(yjshin@kotmi.re.kr)¹, Noh Jun Lee¹, Ji Hun Seok¹, Ki Hyuk Kim²

¹한국섬유기계융합연구원, ²(주)원텍스

Key words : Mesh Fabric, Shape Stabilization, AI Segmentation, Image Analysis

*발표자, #교신저자

Mesh 원단은 신발 갑피를 비롯한 다양한 산업 분야에 적용되고 있으나, 이송 및 가공 과정에서 발생하는 형상 변형으로 인해 품질 안정성 확보에 어려움이 있다. 본 연구에서는 신발 갑피용 Mesh 원단의 형태 안정성 분석을 위해 AI 세그멘테이션 기반 영상 분석 알고리즘을 개발하고 그 적용 가능성을 검토하였다. 이를 통해 영상 내 패턴 영역 분리와 형상 정보 추출이 가능함을 확인하였으며, 비전 기반 형태 안정화 분석 기술의 기초 적용 가능성을 제시하였다. 향후에는 구축된 Test-bed 환경을 활용한 추가 검증을 통해 현장 적용성과 예측 신뢰성을 확보하고자 한다.

1. 서론

Mesh 원단은 우수한 통기성, 경량성 및 세탁 용이성을 바탕으로 신발 갑피, 의자용 소재, 인테리어 자재 등 다양한 분야에서 활용 범위가 확대되고 있다. 특히 신발 갑피용 Mesh 원단은 기능성과 심미성을 동시에 요구하므로, 제조 과정에서의 형태 안정성 확보가 최종 제품 품질을 좌우하는 중요한 요소가 된다. 그러나 Mesh 원단은 구조적으로 유연성이 커 이송 과정에서 패턴 배열 불균일, 국부 왜곡 및 형상 변형이 발생할 수 있으며, 이는 치수 편차와 외관 품질 저하로 이어질 수 있다. 기존 현장에서는 이러한 문제에 대해 작업자 경험에 기반한 수동 보정 방식이 주로 적용되어 공정 정밀도와 재현성 측면에서 한계를 보이고 있다. 이에 본 연구에서는 신발 갑피용 Mesh 원단을 대상으로 AI 세그멘테이션 기반 영상 분석 알고리즘을 적용하여 비전 기반 형태 안정화 분석의 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

2. Mesh 원단 형태 안정화 분석 연구

본 연구에서는 비전 카메라 기반 패턴 검출 모듈과 영상 분석 알고리즘을 활용하여 신발 갑피용 Mesh 원단의 패턴 형상 정보를 추출하고, 형태 안정화 분석에 대한 적용 가능성을 검토하였다. 측정 대상 영역의 분

리 성능을 확보하기 위해 AI 기반 세그멘테이션 모델을 적용하였으며, 입력 영상에 대한 전처리 후 CNN 기반 세그멘테이션 기법을 통해 Mesh 원단 영상 내 패턴 영역을 분리하였다. 이후 분리된 마스크 영상으로부터 노이즈 제거 및 형상 정제 과정을 수행하고, 외곽선과 형상 정보를 산출함으로써 원단 형상 분석에 필요한 기초 데이터를 확보하였다. 이러한 절차를 통해 비전 기반 형태 안정화 분석을 위한 영상 처리 및 AI 세그멘테이션 기반 알고리즘의 적용 가능성을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 Mesh 원단의 형태 변형 검출을 위한 AI 세그멘테이션 기반 알고리즘을 개발하였다. 이를 통해 비전 기반 형태 안정화 분석의 기초 적용 가능성을 확인하였으나, 현장 적용성 및 반복 측정 신뢰성 확보를 위해서는 추가적인 검증이 필요하다. 향후에는 구축된 Test-bed 환경을 활용하여 장시간 운전 안정성, 패턴 변화 대응성, 외란 환경에서의 보정 성능 및 예측 재현성을 종합적으로 검증할 예정이다.

후기 이 논문은 2023년도 산업통상자원부의 '우수기업 연구소육성사업(ATC+)' 사업의 지원을 받아 연구되었음(20023546)

무인기 착륙 보조 모션플랫폼 시스템을 위한 상태 추정 기반 강인 제어 State Estimation based Robust Control for UAV Landing Support Motion Platform System

*강형엽¹, #최우영²

^{*}Hyoeng Yeop Kang¹, [#]Woo Young Choi(wychoi@pknu.ac.kr)²

¹국립부경대학교 지능로봇공학과, ²국립부경대학교 제어계측공학과

Key words : Robust Control, UAV, Motion Platform, Super Twisting Sliding Mode Control, State Estimation

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 착륙 충격 감소를 위한 6자유도 모션플랫폼 제어시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 6개의 액추에이터로 구성된 플랫폼으로 구성되어 있으며, 제어기는 STSMC(Super Twisting Sliding Mode Control)기반 모션 추종 제어와 임피던스 제어를 적용하여 설계되었다. 또한 STA(Super Twisting Algorithm) Observer를 통해 액추에이터의 속도를 추정하여 제어 성능을 향상시키고 Chattering문제를 해결하였다. 제안된 방법을 통해 착륙 충격이 효과적으로 감소하는 것을 확인하였다. 향후 무인기 안정성 향상과 무인기 운용 범위 확장에 기여할 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 무인기 시장의 성장에 따라 사고 발생 사례도 증가하고 있다. 무인기 사고의 62%는 이착륙 시 발생하고 있으며^[1], 이를 방지하기 위해 착륙 충격 감소를 위한 6 자유도 모션플랫폼 제어 전략을 제안한다.



Fig. 1 Environment Setup

2. 제어기 설계

모션플랫폼은 6개의 다리로 이루어지며, Inverse Kinematic Analysis와 Dynamics Analysis를 통해 동작을 위한 각 다리의 길이와 힘을 계산한다.

제안하는 제어기는 STA기반 Observer를 통해 다리의 속도를 추정하여 피드백 하도록 설계된 STSMC기반 강인 제어기이며, Lyapunov Function을 통해 안정성을 평가한다. 또한, Virtual Impedance Control을 적용하여 착륙 충격 감소 동작을 수행한다^[2].

3. 실험

Fig. 1은 모션플랫폼 시스템을 나타낸다. 무인기의 착륙 충격이 약 82% 감소하는 것을 확인하였다.

4. 결론

6자유도 모션플랫폼의 강인제어를 통해 무인기 착륙 충격이 감소함을 검증하여 제안하는 시스템의 유용성을 확인하였다.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2023-002 13640) and partly by the Technological Innovation R&D Program(S3430140, RS-2026-25505979) funded by the Ministry of SMEs and Startups(MSS, Korea).

REFERENCES

1. H. Y. Kang, and W. Y. Choi., "Visual Servoing-based Motion Platform Impedance Control for UAV Takeoff and Landing Shock Reduction," Journal of Power System Engineering, Vol. 28, No. 6, pp. 71-78, 2024.
2. H. Y. Kang, and W. Y. Choi., "Robust 6-DOF Motion Platform Control for UAV Landing Shock Mitigation via Sliding Mode Control Approach," The 25th International Conference on Control, Autom, and Systems, 2025.

칼만 필터를 이용한 실내 자율 모빌리티 수직 이동거리 추정 시스템

Vertical Distance Estimation System for Indoor Autonomous Mobility based on Kalman Filter

*권도영¹, 이준호¹, #최우영^{1,2}

¹Do Young Kwon¹, Joon Ho Lee¹, #Woo Young Choi(wychoi@pknu.ac.kr)^{1,2}

¹국립부경대학교 지능로봇공학과, ²국립부경대학교 제어계측공학전공

Key words : Distance Estimation System, Indoor Autonomous Mobility, Kalman Filter, Support Vector Machine

*발표자, #교신저자

This paper presents a system for estimating the vertical distance of autonomous mobility using an IMU(Inertial Measurement Unit) sensor. First, a KF(Kalman Filter) removes noise from the linear acceleration raw data of the IMU sensor. Then, a SVM(Support Vector Machine) constructs decision boundaries based on the IMU data reduced noise. Finally, the vertical distance is estimated based on the characteristics of the mobility state and the SVM decision boundary. We confirmed that the proposed method can accurately estimate the vertical distance.

1. Introduction

자율주행 모빌리티의 발전에 따라 다층 건물 내 자율주행 시스템 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 연구는 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서를 통해 자율주행 모빌리티의 수직 방향 이동 거리를 추정하는 시스템을 제안한다.

2. Vertical Distance Estimation System

IMU 센서는 noise가 존재함으로 인해 데이터 후처리가 필수적이다. 이를 위해 KF(Kalman Filter)를 기반으로 IMU 센서의 선형 가속도 데이터 noise를 제거한다. Noise를 보완한 IMU 데이터는 SVM(Support Vector Machine)의 클래스 별 결정 경계를 형성하고 판단 기준으로 적용된다. 이후 자율주행 모빌리티의 움직임 및 클래스 별 결정 경계 특성에 따라 정확한 수직 이동거리를 추정한다.

3. Experiment & Results

실험은 다층 실내 환경에서 진행했고 Fig. 1은 자율주행 모빌리티의 수직 이동거리 추정 시스템의 결과를 보여준다. 클래스 별 결정 경계 특성에 따라 자율주행 모빌리티가 Standard Floor부터 Target Floor까지 이동한 거리를 정확히 추정한 것을 확인할 수 있다.

4. Conclusion

본 연구는 IMU 센서를 통해 자율주행 모빌리티의

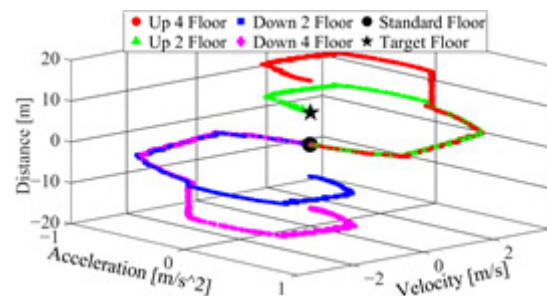


Fig. 1 층간 수직 이동거리 추정 결과

수직 이동 거리를 추정하는 시스템을 제안했으며 실험 및 결과를 통해 그 유효성을 입증하였다.

후기 본 논문은 정부(과학기술정보통신부 및 교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(RS-2023-00213640, RS-2025-25421283)와 중소기업기술정보진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(S3430140)와 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구(2024-0-00018)의 결과임.

REFERENCES

1. W. Y. Choi, S. H. Lee and C. C. Chung, "On-Road Object Collision Point Estimation by Radar Sensor Data Fusion," in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 23, no. 9, pp. 14753-14763, Sept. 2022

사이클로이드 감속기 및 스파이럴 베벨 기어 적용 로봇 팔의 제작과 YOLOv8 기반 비전 제어 시스템 구현

Development of a Robot Arm with Cycloidal Reducers and Spiral Bevel Gears and Implementation of a YOLOv8-Based Vision Control System

*류현우¹, 이재용¹, 정원석¹, 박승우¹, 한원채¹, #윤주일¹

¹Hyeon-Woo Ryu¹, Jae-Young Lee¹, Won-Seok Jung¹,

Seoung-Woo Park¹, Won-ChaeYoung Han¹, #Juil Yoon(juilyoon@hansung.ac.kr)²

¹한성대학교 기계시스템공학과

Key words : Cycloidal Reducer, YOLOv8, Inverse Kinematics, Jacobian Correction

*발표자, #교신저자

본 연구를 통해 딥러닝 기반의 비전 인식과 정밀 로봇 제어를 결합한 통합 시스템을 구현하였다. YOLOv8 노이즈 학습을 통해 작업 환경의 변수에도 흔들림 없는 객체 탐지가 가능해졌으며, Jacobian 기반의 역기구학 보정을 통해 하드웨어의 기구적 한계를 소프트웨어적으로 극복하였다. 향후 본 시스템을 로봇 팔 끝단에 카메라를 부착하는 Eye-in-Hand 구조로 고도화하여 더욱 유연하고 능동적인 공정 검사 시스템을 구축할 계획이다.

1. 서론

최근 스마트 팩토리 및 공정 자동화 분야에서는 비정형 객체를 정밀하게 인식하고 이를 하드웨어로 제어하는 통합 시스템의 중요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 YOLOv8 딥러닝 모델을 활용하여 자동차 부품 및 보드의 불량률을 실시간으로 판독하고, 인식된 좌표를 로봇 작업공간 좌표계로 변환하여 역기구학(Inverse Kinematics, IK) 기반으로 제어하는 시스템을 구축하였다. 특히, 하드웨어의 비선형적 오차를 극복하기 위해 Jacobian 기반의 보정 모델을 도입하여 제어 정밀도를 향상시키는 데 주안점을 두었다.

2. 연구방법 및 결과

로봇 팔 하드웨어는 고토크 구현과 정밀 제어를 목적으로 설계되었으며, 특히 최대 토크를 확보하기 위해 15:1 감속비의 사이클로이드 기어를 직접 제작하여 적용하였다. 관절 구조에서는 백래쉬를 최소화하기 위해 스파이럴 베벨 기어를 도입하고, 타이밍 벨트와 풀리를 통해 하중을 효율적으로 분산시켰다. 또한 비정형 물체의 안정적인 파지를 목표로 흡착 그리퍼와 집게 그리퍼를 선택적으로 사용할 수 있는 엔드이펙터 시스템을 구축하였다.

비전 인식 단계에서는 YOLOv8 알고리즘을 기반으로 객체 분류 및 위치 추출 모델을 개발하였다. 데이터셋은 자동차 부품 및 아두이노 보드의 정상과 불량 시료 이미지 총 576장으로 구성하였으며, 현장 환경의 가변성에 대응하기 위해 노이즈 모델을 추가하여 모델의 강건성을 확보하였다. 학습 결과 복잡한 환경 속에

서도 mAP50 기준 0.958이라는 높은 수치를 기록하였으며, 기존 모델 대비 결함 탐지 성능이 비약적으로 향상되었음을 확인하였다. 웹캠을 통해 인식된 픽셀 좌표는 실시간으로 작업공간 기준 좌표로 변환되었으며, 이를 통해 객체의 중심점과 기물기 데이터를 정밀하게 도출하였다.

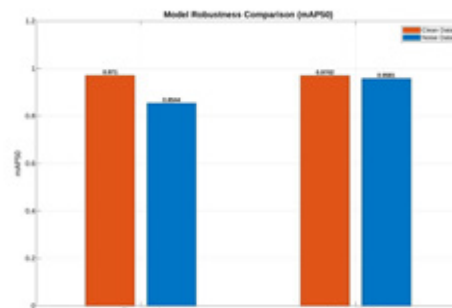


Fig. 1 Model Robustness Comparison (mAP50)

최종적으로 추출된 좌표 데이터는 ROS2 환경 내에서 제어 노드로 송신되었으며, 실측을 바탕으로 모터의 틱(tick) 값을 라디안 각도로 변환하는 고유의 맵핑 수식을 도출하여 제어의 정확도를 높였다. 특히 제어 알고리즘 연동 과정에서 단순 선형 보정 시 발생하는 Y축 이동에 따른 비선형적 높이 변화 문제를 해결하고자 Jacobian 기반 보정 모델을 도입하였다. 보정식 $\Delta q = J^{-1} \Delta p$ 를 적용하여 연산을 수행한 결과, X축 전진 시 Z축 높이가 원치 않게 변화하는 간섭 현상을 성공적으로 제어하고 목표 지점에 대한 정밀한 접근이 가능한 통합 제어 시스템을 완성하였다.

3. 결론

본 연구를 통해 딥러닝 기반의 비전 인식과 정밀 로봇 제어를 결합한 통합 시스템을 구현하였다. YOLOv8 노이즈 학습을 통해 작업 환경의 변수에도 흔들림 없는 객체 탐지가 가능해졌으며, Jacobian 기반의 역기구학 보정을 통해 하드웨어의 기구적 한계를 소프트웨어적으로 극복하였다. 향후 본 시스템을 로봇 팔 끝단에 카메라를 부착하는 Eye-in-Hand 구조로 고도화하여 더욱 유연하고 능동적인 공정 검사 시스템을 구축할 계획이다.

후기 This research was financially supported by Hansung University Innovation Support Project.

**이미지 기반 산업 검사의 미세 결함 탐지를 위한
ROI-aware CBAM-CAE 모델에 관한 연구**
**A Study on an ROI-Aware CBAM-CAE Model for Detecting
Microdefects in Industrial Inspection Images**

*장재현¹, 정지현², #이경창²

*Jae-Hun Jang¹, Ji-Hyun. Jung², #Kyung Chang Lee²(gcleee@pknu.ac.kr)

¹국립부경대학교 스마트로봇융합응용교육연구단

²국립부경대학교 지능로봇공학과

Key words : Vision-PHM, Anomaly Detection, Defect Localization, Unsupervised Learning

*발표자, #교신저자

산업 이미지 이상 탐지 및 국소화는 자동 품질 검사에서 중요한 역할을 수행하지만, 실제 제조 환경에서는 결함이 국소적으로 발생하고 크기가 작으며 배경과의 대비가 낮아 검출이 어렵다. 또한 결함 데이터 확보와 라벨링의 한계로 인해 정상 데이터만을 이용하는 재구성 기반 이상 탐지 기법이 널리 활용되고 있다. 그러나 기존 CAE 기반 방법은 비정상 영역까지 정상처럼 복원하는 과잉 일반화 문제와 함께, 배경 및 비검사 영역의 변화가 전역 이상 점수에 반영되어 미세 결함 검출 성능이 저하될 수 있다. 이에 본 논문에서는 전체 이미지 학습과 ROI 기반 부분 추론을 결합한 CBAM-CAE 기반 이상 탐지 구조를 제안한다. 학습 단계에서는 전체 이미지를 사용하여 정상 구조와 전역 문맥을 학습하고, 추론 단계에서는 사전 정의된 ROI 내부의 재구성 오차를 중심으로 이상 여부를 판단한다. 또한 CBAM을 적용하여 결함 관련 특징 표현을 강화하고, 픽셀 단위 이상 점수 맵을 통해 결함 위치를 시각적으로 제시한다. 실제 자동차 부품 검사 데이터를 대상으로 정량 성능과 위치 정합성을 함께 분석하여, 고정형 산업 검사 환경에서 제안 방법의 적용 가능성을 검토하였다.

후기 이 논문은 4단계 BK21 사업(스마트로봇융합응용교육연구단)에 의하여 지원되었음.

포스터 발표

CAD/CAM/CAE

코어리스 모터-사이클로이드 감속기 일체형 구동모듈의 동특성 해석 Analysis of the Dynamic Characteristics of an Integrated Drive Module with a Coreless Motor and Cycloidal Reducer

*김석범¹, #정석환¹

^{*}Seok Beom Kim¹, [#]Suk Hwan Jung(shjeong@iae.re.kr)¹

¹고등기술연구원

Key words : Coreless Motor, Backdrivability, Cycloidal Reducer, Rigid Multibody Dynamics

^{*}발표자, [#]교신저자

웨어블 로봇, 재활 보조장치, 소형 산업용 로봇의 경량·고효율 구동 수요에 대응하기 위해, 본 연구에서는 코어리스 모터와 19:1 사이클로이드 감속기를 통합한 일체형 마이크로 구동모듈을 제안하였다. 코어리스 모터의 저관성·무코깅 특성과 사이클로이드 감속기의 고감속·저백래시 특성을 결합하고, 강체 동역학 해석을 통해 정상 구동 및 역구동 조건에서의 토크 응답, 속도 특성, 역구동 입력토크를 분석함으로써 웨어러블용 구동모듈의 설계 기준과 구조 개선 방향을 제시하였다.

1. 서론

웨어블 로봇, 재활 보조장치, 소형 산업용 로봇에 적용되는 구동계는 경량화, 고응답성, 고토크 밀도와 함께 정밀한 힘 및 위치 제어 성능이 요구된다. 특히 인체 친화형 구동시스템에서는 부드러운 동작과 안정적인 역구동 특성 확보가 중요하므로, 코어리스 모터와 감속기를 통합한 일체형 구동모듈의 설계 및 동특성 분석에 관한 연구를 진행하였다.

2. 본론

본 연구에서는 강체 동역학 시뮬레이션을 이용하여 코어리스 모터 일체형 사이클로이드 감속 구동모듈의 구동 거동을 해석하였다. 해석모델은 모터, 감속부, 출력축, 베어링, 하우징의 형상과 구속 조건을 반영하여 구성하였으며, Fixed Joint, Revolute Joint, Contact 조건으로 부품 간 상호작용을 모사하였다. 또한 출력축에 5 N·m 부하와 점진적 역방향 토크를 인가하여 동력 전달 특성, 입력축 요구 토크, 역구동 발생 조건을 분석하였다.

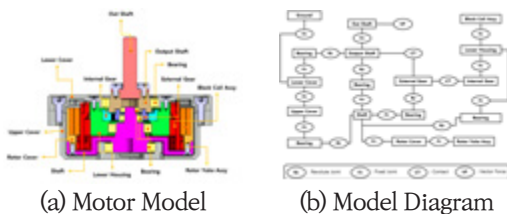


Fig. Dynamics Model

3. 결론

본 연구에서는 코어리스 모터 일체형 사이클로이드 감속 구동모듈의 정상 구동 및 역구동 특성을 강체 동역학 해석을 통해 검토하였다. 해석 결과, 제안된 구동모듈은 감속비 19:1 조건에서 목표 출력토크 및 속도 성능을 대체로 만족하는 것으로 나타났으며, 정상 구동 시 요구 토크는 모터 정격토크 이내에서 형성되었다. 반면, 역구동 조건에서는 구조적 마찰과 감속기 특성에 의해 비교적 큰 입력토크가 요구되어, 사용자 조작성 및 역방향 효율 측면에서 개선의 여지가 있음을 확인하였다. 따라서 향후에는 실험 검증과 함께 감속비, 마찰 조건 및 모터 사양을 종합적으로 최적화할 필요가 있을 것으로 고찰된다.

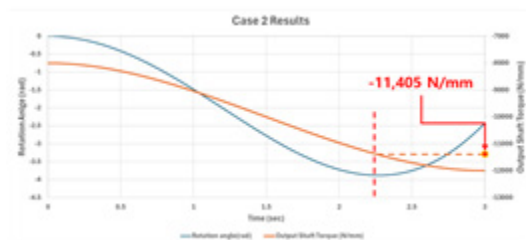


Fig. Rotation Angel / Output Shaft Torque (N/mm)

후기 이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00507566)

그래프 신경망 기반 기계가공 특징형상 인식 시 데이터셋에 따른 성능 비교

Performance Comparison According to Datasets in Machining Feature Recognition Based on Graph Neural Networks

이승재¹, #김병철¹^{}Seung Jae Lee¹, [#]Byung Chul Kim(mir7942@koreatech.ac.kr)¹¹한국기술교육대학교 기계공학부

Key words : Feature Recognition, Graph Neural Network, Dataset

*발표자, #교신저자

기계가공 특징형상 인식(feature recognition)은 CAD 모델로부터 설계 의도를 파악하고 공정 계획에 활용되는 기술이다. 최근 그래프 신경망(graph neural network, GNN) 기반 연구가 활발히 진행되고 있으며, 주로 MFCAD++ 데이터셋을 기반으로 성능을 평가하고 우수한 성능을 보였다. 그러나 특정 데이터셋(dataset)에 한정된 평가는 모델 일반화 성능을 검증하는데 한계가 있다. 본 연구에서는 GNN 기반 학습 모델을 구성하고 Fusion 360 Gallery 데이터셋을 활용하여 학습 및 성능을 비교하였다.

1. 서론

기계가공 특징형상 인식은 CAD 및 CAM 에서 공정 계획을 위한 기술이다. 최근 그래프 신경망(graph neural network, GNN) 기반 연구가 진행되고 있으나, 제한된 데이터셋 기반 평가로 인해 데이터셋 변화에 따른 적용에 한계가 있다. 본 연구에서는 GNN을 활용한 특징형상 인식 모델을 설계하고 다른 데이터셋을 활용하여 데이터셋 변화에 따른 성능 차이를 분석한다.

2. 데이터 전처리

GNN을 활용한 학습을 위해서는 STEP 형식의 CAD 모델을 그래프 구조로 변환하는 전처리 과정이 필요하다. CAD 파일의 면 간 인접 관계를 추출하고, 각 면을 노드로, 인접 관계를 엣지로 정의한 그래프 구조를 구성했다. 노드 피처는 UV grid 샘플링을 통해 생성되며 3차원 좌표, 법선 벡터, 가시성 정보를 포함한다. 엣지 피처는 좌표와 접선 벡터 정보를 포함하도록 구성하였다. 또한, 노드의 속성 정보로 면에 대해 면의 타입, 정규화된 면적, 중심 좌표를 포함하였으며, 엣지의 속성 정보로 곡선의 타입과 길이 정보를 포함하였다. 모든 기하 정보는 정규화를 적용하였다.

3. 학습 모델

본 연구에서는 그래프 기반 특징형상 인식 모델을 설계하였다. 면과 엣지로부터 생성된 UV grid 정보를 합성곱 신경망(convolutional neural network, CNN)을 통해 임베딩하였다. 이후, 면과 엣지의 속성 정보는 신경망을 통해 임베딩된 후, UV grid 기반 임베딩 벡터와 결합되어 최종 입력으로 구성된다. 결합된 입력

은 그래프 신경망에 전달되며 메시지 패싱(message passing) 기반 연산을 통해 정보를 갱신한다. 최종적으로 분류 레이어를 통해 각 면의 특징형상을 예측한다.

3. 결론

본 연구에서는 GNN 기반 기계가공 특징형상 인식을 진행했다. 실험 결과, MFCAD++ 대비 Fusion 360 Gallery에서 성능이 감소하였으며, 속성 정보 제거 시 성능이 더욱 저하되었다. 이를 통해 데이터셋 변화에 대응하는 모델의 필요성을 확인하였다.

Table 1 Semantic Segmentation Results

	Accuracy(%)	mIOU(%)
MFCAD++	99.89	99.32
Fusion 360 Gallery (속성 정보 포함)	88.28	68.89
Fusion 360 Gallery	82.74	54.71

후기 이 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 연구비 지원을 받아 수행한 개인기초연구(RS-2024-00354618), 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술기획평가원 연구비 지원을 받아 수행한 산업기술알키미스트프로젝트사업(RS-2024-00419010)의 결과임.

실험계획법을 이용한 칩 압축 시스템의 최적 형상 설계에 관한 연구

A Study on the Optimal Shape Design of a Chip Compression System Using the Design of Experiments

*#유대원¹, 윤영찬¹, 김성태¹, 김익진², 김수한²

*#Dae Won Yoo(yoodw14@kopo.ac.kr)¹, Young Chan Yoon¹, Sung Tae Kim¹, Ik Jin Kim², Soo Han Kim²

¹한국폴리텍대학 창원캠퍼스 스마트제조기계설계과, ²아이엔테크(주)

Key words : Design of Experiments, Shape Optimization, Chip Compression System, Finite Element Analysis

*발표자, #교신저자

본 논문은 실험계획법(Design of Experiments, DOE)을 적용하여 차세대 칩 압축 시스템의 최적 형상을 도출하였다. 주요 설계 변수를 선정하고, 각 변수에 따른 응답 특성을 분석하여 성능에 미치는 영향과 주요 인자를 규명하였다. 이를 기반으로 최적 설계 조건을 도출하였다. 그 결과, 최적 형상 조건에서 구조적 성능과 내구성이 향상됨을 확인하였으며, 설계 변수 간 상호작용이 시스템 성능에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 본 연구 결과는 칩 압축 시스템의 성능 최적화 및 설계 효율 향상에 기여할 것으로 판단된다.

This paper presents the optimal shape design of a next-generation chip compression system using the Design of Experiments(DOE). Key design variables were selected, and their effects on system performance were analyzed through response characteristics to identify significant factors. Based on this analysis, the optimal design conditions were determined.

The results show that the optimal shape improves both structural performance and durability. In addition, the interaction effects between design variables on system performance were quantitatively evaluated. The findings of this study are expected to contribute to the performance optimization and design efficiency improvement of chip compression systems.

REFERENCES

1. Yoo, D. W., "A Study of the Optimal Shape Design of Front Axle of Wheel Loader using the Design of Experiments," Journal of KSPE, Vol. 29, No. 2, pp. 193~200, 2012.

후기 본 연구는 중소벤처기업부와 중소기업기술정보진흥원의 "지역혁신선도기업육성(R&D), (S3456346)" 사업의 지원을 받아 수행된 연구 결과임.

This research was financially supported by the Ministry of Small and Medium-sized Enterprises(SMEs) and Startups(MSS), Korea, under the "Supporting Project for boosting a Local Innovation Leading Company(R&D), (S3456346)" supervised by the Korea Technology and Information Promotion Agency for SMEs(TIPA).

스티어링 휠 조향각 구동 기어모듈 진동소음 저감 해석기술개발

Vibration and Noise Reduction Analysis of Steering Wheel Angle Sensor Gear Module

*정석환¹, #정희숙¹

^{*}Sukhwan Jeong¹, [#]Hee Suk Jung(hsjung@iae.re.kr)¹

¹고등기술연구원 기계융합시스템센터

Key words : Steering Wheel, Large Display, Angle Sensor Module, Tooth Micro Modification

*발표자, #교신저자

본 연구는 대화면 디스플레이 일체형 다기능 통합 스티어링 휠 시스템 개발의 일환으로 조향각 검출 기어 모듈의 진동소음 저감 해석 기술을 다루었다. Rotary Hall IC 방식의 조향각 센서는 메인 기어 1개와 서로 다른 기어비로 회전하는 서브 기어 2개로 구성되며, 모듈 0.7mm, 잇수 34/72/36개의 스피어 기어로 설계되었다. Ansys Motion 기반 다물체 동역학 해석을 통해 기어 접촉 하중 및 치면압 분포를 분석하였다. 기본 설계에서 치 뿌리 영역의 치면압 집중 현상이 관찰되어, Profile crown +2 μ m의 치형 미세 수정 기법을 적용하였다. 개선 후 치면압이 연속적으로 분포하여 진동소음 저감에 기여할 것으로 확인되었다.

1. 서론

본 연구의 목적은 대화면(7인치) 디스플레이 일체형 다기능 통합 스티어링 휠 시스템 개발과 관련하여, 스티어링 휠 조향각 검출 기어의 진동/소음 저감을 위한 해석기술개발에 관한 것으로, 설계 형상에 대한 동특성 수치해석을 수행하여 현수준을 검토하고, 기어 미세 치형수정을 통해 진동/소음 저감 개선사항을 도출하였다.

2. 본론

조향각 검출 기어 메커니즘은 외륜 스피어 기어 3개로 구성된 감속 구조이다. 기어비는 Gear Pair 1에서 2.12:1, Gear Pair 2에서 2:1로 설계되었다.

하중 조건은 스티어링 휠 축에 가속구간 없이 30 rpm의 일정한 각속도를 적용하여 구동 중 발생하는 치면압을 분석하였다.

mm³, 항복강도 91 MPa)를 적용하였다.

3. 결론

기본 설계 해석 결과, CW, CCW 구동 시 치면압 분포가 연속적이지 않고 치 뿌리 영역에서 치면압 집중 현상이 발생하는 것으로 분석되었다.

미세치형 수정은 치면압 분포가 연속적이며, 치 뿌리 영역에서 치면압 집중현상이 발생하지 않도록 설계를 개선하였고, 치면압 분포가 균형적으로 발생하여 기어의 진동소음 저감에 기여할 것으로 예측된다.

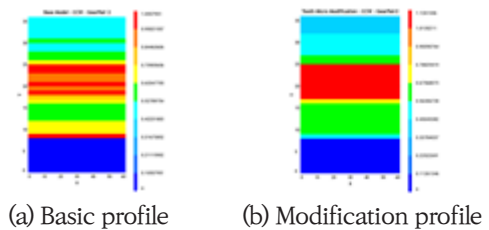


Table Basic Design Parameters of Steering Angle Detection Gear

Parameter	Gear1	Gear2	Gear3
Module (mm)	0.7	0.7	0.7
Number of Teeth	34	72	36
Center Distance (mm)	37.69		38.4

감속구조 치면압 분포는 유연 다물체 해석으로 수행하며, 각 기어에 적용된 재질은 PA66 + GF30%(영계수 5,500 MPa, 푸아송 비 0.34, 밀도 1.34 \times 10⁻⁶kg/

후기 이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00444866)

열-기계 연성 탄소성 섬유를 위한 DEM 모델 개발 Development of a DEM Thermo-Mechanical Model for Elasto-Plastic Fibers

*Minh Tam Nguyen^{1,2}, 김동주², #박준영^{1,3}

*Minh Tam Nguyen^{1,2}, Dong Joo Kim², #Jun Young Park(pcello@kumoh.ac.kr)^{1,3}

¹금오공과대학교 항공기계전자융합전공, ²금오공과대학교 기계공학과, ³금오공과대학교 기계시스템공학과

Key words : Discrete Element Method (DEM), Thermo-Mechanical, Elasto-Plastic Fiber, Bonded Spherocylinder

*발표자, #교신저자

1. Introduction

Flexible fibers in drying processes experience large deformation, contact, and heat transfer. In this work, a fiber is represented by bonded spherocylinders to avoid the artificial surface roughness of conventional bonded-sphere models. The present mechanical formulation follows the Timoshenko-beam bond of Obermayr et al.^[1] and the bonded spherocylinder framework of Guo et al.^[2], with a history-dependent elasto-plastic bending relation added to represent permanent shape change. The thermal extension includes contact conduction, bond conduction, frictional heating, and convection.

2. Results

The elasto-plastic bending behavior is examined with a fiber composed of bonded spherocylinders subjected to a three-step loading history (see Fig. 1). Each step contains loading, holding, and unloading so that the permanent deformation accumulated in one step affects the next step. For comparison with Guo et al. [2], the test case uses a single fiber with an aspect ratio $AR_f = 23.5$, $N_e = 40$ bonded-spherocylinder elements, and applies the same elasto-perfectly plastic material constants in both DEM and FEM. A global damping coefficient $\alpha = 1.885 \text{ s}^{-1}$ is used to dissipate residual vibration after unloading. As shown in Fig. 2, the DEM model reproduces the progressive increase in residual bending and the final deformed shape in good agreement with FEM results.

Acknowledgments This work was supported by the

National Research Foundation of South Korea (NRF) [RS-2023-00246518], the Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP) Innovative Human Resource Development for Local Intellectualization program grant funded by the Korea government (MSIT) [IITP-2026-RS-2020-II201612, 25%], and the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT).

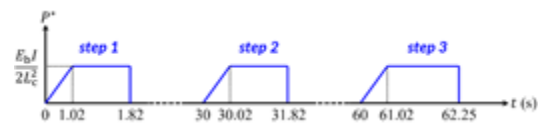


Fig. 1 Three-step loading history.

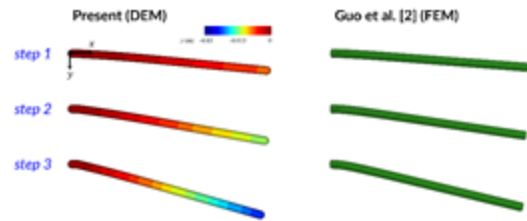


Fig. 2 Comparison of permanent fiber deformation after three loading steps.

REFERENCES

- Obermayr, M., Dressler, K., Vrettos, C. and Eberhard, P., "A Bonded-Particle Model for Cemented Sand," *Computers and Geotechnics*, Vol. 49, pp. 299-313, 2013.
- Guo, Y., Wassgren, C., Curtis, J. S. and Xu, D., "A Bonded Sphero-Cylinder Model for the Discrete Element Simulation of Elasto-Plastic Fibers," *Chemical Engineering Science*, Vol. 175, pp. 118-129, 2018.

**Open-top 패키지를 활용한
SiC 소자의 In-situ 온도 및 변형률 실시간 통합 분석 방법**
**In-situ Integrated Analysis of Real-time Temperature and Strain
in SiC Devices Using Open-top Packages**

*김동현¹, 박성민¹, 류호윤¹, 김민승¹, #장성욱¹

^{*}Dong Hyeon Kim¹, Seong Min Park¹, Ho Yoon Ryu¹, Min Seung Kim¹,

[#]Sung Uk Zhang(zsunguk@deu.ac.kr)¹

¹동의대학교 디지털트윈 연구소

Key words : Silicon Carbide, Open-top Package, In-situ Measurement, Effective CTE

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 SiC 소자의 동작 중 발생하는 열-기계적 상호작용을 정밀하게 분석하기 위한 IR-DIC 동시 계측 방법론을 제안한다. 전통적인 방식은 패키지의 구속 조건을 반영한 소자의 실제 거동 파악에 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 상부 개방형 세라믹 패키지를 설계하고, 적외선(IR) 열화상 카메라와 Digital Image Correlation(DIC) 장비를 연계하여 칩 표면의 온도 변화와 변형률을 실시간 동시 측정하였다.

제안된 방법론은 실제 구속 조건이 반영된 유효 열팽창계수를 도출하며, 이를 유한요소해석(FEA)의 입력 데이터로 활용하여 모델의 정합성을 획기적으로 향상시킨다. 본 기술은 차세대 전력모듈의 설계 최적화 및 고정밀 수명 예측 모델(PHM) 구현을 위한 핵심 계측 기술로 활용될 수 있다.

음함수 필드 기반 텍스처 이미지의 3차원 형상 텍스처링 기법 3D Surface Texturing from 2D Images Using Implicit Field Modeling

*구성모¹, #박상인¹

^{*}Sung Mo Gu¹, [#]Sang In Park(sangin.park@inu.ac.kr)²

¹인천대학교 바이오-로봇시스템공학과

Key words : Surface Texturing, Implicit Modeling, Design for Additive Manufacturing

^{*}발표자, [#]교신저자

최근 적층제조(Additive Manufacturing) 기술의 발전에 따라, 별도의 후처리 없이 텍스처가 반영된 부품을 직접 제조하기 위한 형상 모델링 기술의 중요성이 증가하고 있다. 기존의 표면 텍스처링 방법은 주로 2D 텍스처를 3D 표면에 시각적으로 매핑하는 데 초점을 두며, 실제 형상 반영을 위해서는 변위 매핑과 같은 추가 기법이 요구된다 [2]. 그러나 이러한 접근은 복잡한 전처리를 필요로 하고, 메시 품질에 의존적이며, 복잡한 3차원 텍스처 표현에 한계를 가진다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해, 음함수 기반 모델링 환경에서 2D 텍스처 이미지를 이용한 표면 텍스처링 방법을 제안한다. 제안 방법은 입력 텍스처 이미지로부터 연속적인 텍스처 필드를 생성하고, 기준점 기반 좌표 매핑과 가중 블렌딩을 통해 대상 형상과 정렬한 뒤, 형상의 부호 거리장(SDF)과 텍스처 필드를 결합하여 텍스처가 내재된 3차원 형상을 생성한다.

제안 알고리즘의 유효성과 적용성을 평가하기 위해 단순 곡면 모델과 실제 산업용 부품을 대상으로 텍스처링 실험을 수행하였으며, 체크 패턴 기반 정량 평가를 통해 생성된 패턴의 면적 왜곡 분포를 분석하였다. 실험 결과, 제안 방법은 완만한 곡률 영역에서 텍스처를 안정적으로 유지하면서, 메시 기반 변위 매핑 없이도 텍스처가 반영된 3차원 형상을 직접 생성할 수 있음을 확인하였다. 또한, 단순 형상뿐 아니라 실제 산업용 부품에도 적용 가능함을 보였으며, 사슬 형상의 3차원 텍스처를 통해 입체적 패턴 생성이 가능함을 확인하였다. 이러한 결과는 2D 텍스처 이미지를 기반으로 한 음함수 모델링 기반 텍스처링이 실제 형상 생성에 효과적으로 활용될 수 있음을 보여준다.

기하학적 특징 추출 기반 기초 산업 부품의 점군 형상 분류 방안 Geometric Feature-Based Classification Methodology for Point Cloud Shapes of Basic Industrial Components

*이지훈¹, 양우림¹, #문두환¹

*Jee Hoon Lee¹, You Lin Yang¹, #Du Hwan Mun(dhmun@korea.ac.kr)¹

¹고려대학교 기계공학과

Key words : Point Cloud, Shape Classification, 3D Mesh Generation, Tradiational Geometric Techniques

*발표자, #교신저자

디지털 트윈의 확산에 따라 점군을 활용하여 대규모 산업 현장을 3D 메시 모델로 구축하는 요구가 증가하고 있다. 최근 딥러닝을 활용하여 점군에서 메시를 생성하는 연구가 활발하게 진행되고 있으나, 플랜트나 조선소와 같은 대규모 산업 현장의 점군을 처리하는 것은 여전히 연산 부하와 수동 작업의 한계가 존재한다. 따라서 딥러닝 모델 적용 전, 전통적 기하학적 기법을 통해 분류 가능한 점군을 최대한 식별하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 산업 현장의 대규모 점군에서 효율적으로 3D 메시 모델을 구축하기 위하여, 산업 점군의 특성을 분석하여 구성 컴포넌트를 형상 별로 분류하고, 형상별 3D 메시 생성 방안을 제안한다. 이를 통해 산업 현장에 대한 디지털 트윈 모델의 효율적인 생성에 기여할 것으로 기대된다.

후기 이 논문은 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원(KEIT) 디자인산업기술개발 사업(No. RS-2025-04752997), 한국산업통상자원부(MOTIE)의 기계장비산업기술개발사업 (RS-2025-25449384), 한국연구재단의 기초연구사업 (RS-2026-25492385)의 지원을 받아 수행된 연구 결과임을 밝힙니다.

섬유기계용 가압 롤의 가압력 측정을 위한 내부 센서 카트리지 구조 최적화 시뮬레이션 Structural Optimization Simulation of an Internal Sensor Cartridge for Nip Pressure Measurement in Textile Machinery Pressure Rolls

*석지훈¹, 신유정¹, #정영철¹

¹Ji Hun Seok¹, [#]Yu Jeong Shin¹, Cheol Young Jeong(ycjeong@kotmi.re.kr)¹

¹한국섬유기계융합연구원 AX부품장비연구부

Key words : Textile Machinery, Pressure Roll, Nip Pressure Measurement, Internal Sensor Cartridge

*발표자, #교신저자

섬유기계에서 롤은 이송, 압착, 탈수, 염색 및 후가공 전반에 걸쳐 공정 품질을 좌우하는 핵심 요소이며, 특히 가압공정에서는 롤의 선압 균일도가 제품의 두께, 밀도, 약제 부여량 및 표면 품질의 균일성에 직접적인 영향을 미친다. 닙(nip) 압력이 폭 방향으로 불균일할 경우 원단의 pick-up 편차, 색상 불균일, 품질 저하 및 공정 재현성 악화가 발생하므로, 가압 상태를 정량적이고 직관적으로 예측할 수 있는 롤 구조 개발이 중요하다. 본 연구에서는 섬유기계용 스마트 가압 롤 개발을 위해 롤 내부에 센서 어레이가 설치된 카트리지 구조를 최적화 하고자 한다. 기존형, Cymbal, Notch, Transverse, Double helix 구조에 대한 구조해석을 수행하였고, 응력 및 변형 특성을 비교하였다. 해석 결과, Double helix 구조는 최대 응력 2.8170 MPa, 평균 변형 2.8641 mm, 표준편차 0.000286으로 가장 높은 변형 값을 나타냈다. 향후 3D 프린터를 이용하여 제안한 형상을 제작하고 성능을 평가할 계획이다.

후기 이 논문은 2023년도 산업통상자원부의 '우수기업연구소육성사업(ATC+)' 사업의 지원을 받아 연구되었음 (20023546)

노즐 경로에 따른 복합소재 FDM 출력물의 열-기계적 거동 예측

Prediction of Thermo-Mechanical Behavior of FDM-printed Composite Parts According to Nozzle Path

*설영훈¹, 김정민¹, 심민호¹, 윤민호², #한장우¹

¹YeongHun Seol¹, JeongMin Kim¹, MinHo Sim¹, MinHo Yoon², #JangWoo Han(uddan@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학과, ²서울시립대학교 기계정보공학과

Key words : Composite Structures, FDM Printing, Thermo-Mechanical Behavior

*발표자, #교신저자

FDM 프린팅 기법을 통해 제작되는 복합소재 구조물은 우수한 소재 및 형상 자유도로 인해 모빌리티, 방위산업 등과 같은 다양한 고강도 경량 산업 분야에서 주목을 받고 있다. 하지만, 고온의 필라멘트를 적층하여 출력물을 제작하는 FDM 출력 방식은 노즐 경로에 따라 출력물 내부의 온도 분포 및 잔류 응력 등이 결정되며, 이러한 특성은 최종 출력물의 기계적 거동 특성에 명확한 영향을 미치게 된다. 이에 따라, 본 연구에서는 FDM 공정 변수에 따른 최종 출력물의 내부 온도 및 잔류 응력 분포 양상을 예측하기 위한 열-기계적 해석을 수행하고자 하였으며, 해당 수치 해석을 토대로 동일한 형상의 FDM 출력물이라도 노즐 경로 등의 출력 조건에 따라 열적/기계적 거동 특성이 달라질 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 항공우주 및 모빌리티 산업을 중심으로 섬유 강화 복합소재 구조물에 대한 관심이 증가하고 있으며, 관련 제작 방안으로써 형상 자유도가 높은 FDM 기반의 적층 제조 기술이 새롭게 주목을 받고 있다. 하지만, FDM 출력 공정은 반응용된 필라멘트가 적층/냉각되는 과정이 반복됨에 따라, 노즐 경로에 따른 이방 물성 및 불균일한 온도 구배에 의한 열 변형이 수반될 수 있다. 이러한 특성은 최종 출력물의 치수 정밀도를 저하시킬 뿐만 아니라 내부 잔류 응력으로 인한 거동 특성 변화를 유발할 수 있게 된다. 이에 따라, 본 연구를 통해 FDM 공정 연계 해석을 바탕으로 노즐 경로에 따른 최종 출력물의 열-기계적 거동을 예측하고자 하였다.

2. FDM 출력물의 열-기계적 거동 예측

본 연구에서는 상용 유한요소해석 소프트웨어인 ABAQUS 및 AM Modeler 플러그인을 활용하여 FDM 공정 연계 해석을 수행하였다. 노즐 경로 정보가 포함된 G-code를 시간 및 공간 좌표 기반의 Event Series 데이터로 변환함으로써 구조 해석 과정에서 FDM 출력물의 제작 과정을 반영하고자 하였다. 복합소재의 열-기계적 물성은 균질화 기법을 통해 정의하였으며, FDM 출력물에 대한 순차적 열-기계적 거동 예측을 위해 열전달 해석을 위한 DC3D8 요소 및 구조 해석을 위한 C3D8R 요소를 복합적으로 적용하였다. 또한, Element Activation 기법을 바탕으로 출력 과정에 따른 소재의 위상 변화를 효과적으로 반영하고자 하였다.

나아가, 열전달 해석을 통해 도출된 온도 분포 결과를 구조 해석을 위한 하중 조건으로 직접 연계함으로써 출력 공정에 따라 발생하는 잔류 응력 및 기하학적 뒤틀림 등을 예측하고자 하였다.

3. 결론

상기 수치 해석 결과를 바탕으로 동일한 기하학적 형상을 가진 출력물이라도 노즐 경로에 따라 내부 온도 및 잔류 응력 분포 양상이 달라질 수 있음을 확인하였다. 향후 연구에서는 FDM 출력물에 대한 내부 온도 분포 양상을 실험적으로 분석하고자 하며, 해석 결과와의 비교·분석을 통해 제안된 해석 방안의 신뢰성을 확보하고자 한다.

후기 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2022-NR072163, RS-2024-00356107). 또한, 이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0024166, 2022년지역혁신클러스터육성사업).

복합소재 물성의 불확실성을 고려하기 위한 가상 시험 기반 확률론적 물성 분석 Virtual Test-based Probabilistic Analysis to Consider Property Uncertainties of Composite Materials

*최정욱¹, 이근현¹, #한장우²

¹Jeong Uk Choe¹, Geung Hyeon Lee¹, #Jang Woo Han(uddan@kumoh.ac.kr)²

¹국립금오공과대학교 기계공학과, ²국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Uncertainty, Stochastic Simulation, Composite Structure

*발표자, #교신저자

본 연구를 통해 복합소재 구조의 비등방성 및 재료 물성, 제조 공정, 시험 과정에서 발생하는 다양한 변동성을 고려한 물성 분석 방안을 제시하고자 하였다. 복합소재 물성 분석을 위한 실험적 접근 방식은 시간 및 비용이 많이 소요되며, 동시에 다양한 변수들을 동시에 고려하기 어렵다는 한계를 가진다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 Digimat-VA를 활용한 가상 시험 기반 복합소재 물성 분석을 수행하고자 하였으며, 동시에 입력 변수의 불확실성이 구조적 응답 특성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 또한 변동성을 유형별로 구분하여 반영함으로써 복합소재 구조물의 거동 특성을 보다 현실적으로 예측할 수 있는 방안을 제시하고자 하였으며, 이를 통해 복합소재 구조물에 대한 설계 신뢰성을 향상시키고자 하였다.

1. 서론

산업 기술이 고도화됨에 따라 소재에 대한 요구 사항이 다양해지고 있으며, 이에 대한 방안으로써 경량 특성, 강성 및 강도, 내식성 등이 우수한 복합소재에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 하지만, 비등방 특성을 가지는 복합소재는 손상의 메커니즘이 복잡하며, 재료 배합 및 함침 특성 등과 같은 불확실한 변수들에 따라 물성이 변화될 수 있다는 단점이 존재한다. 이러한 특성은 복합소재의 구조적 거동 특성에 대한 변동성을 야기할 수 있으며^[1], 통상적으로 실험을 바탕으로 이러한 복합소재의 물성 변동성을 분석하기 위한 연구를 진행해 왔다. 하지만, 실험적 접근 방식은 막대한 시간 및 비용이 요구되며, 다양한 변수들을 동시에 고려하기 어렵다는 한계점을 가진다. 이에 따라, 본 연구에서는 Digimat-VA 기반 가상 시험을 바탕으로 복합소재 물성의 불확실성을 분석하고자 하였으며, 동시에 다양한 입력 변수의 불확실성을 고려함으로써 복합소재 구조물의 거동 특성을 현실적으로 예측할 수 있는 물성 분석을 수행하고자 하였다.

2. 본론

본 연구에서는 복합소재 물성의 불확실성을 분석하기 위해 소재 물성 산포도(Constituent variability), 제조 공정에서의 변동성(Process variability), 시험 과정에서의 변동성(Test variability)등을 입력 변수로 고려하였다. 또한, 상기와 같은 입력 변수들의 변동성

을 반영한 구조적 응답 특성을 분석하기 위해 18가지의 유형을 나누어 해석을 수행하였으며, 이를 통해 입력 변수의 불확실성이 복합소재 물성에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

3. 결론

본 연구에서는 Digimat-VA를 활용한 가상 시험을 통해 입력 변수의 불확실성이 복합소재 물성에 미치는 영향을 해석적으로 분석하였으며, 이러한 물성 불확실성을 반영함으로써 복합소재 구조물에 대한 보다 정확한 구조 설계가 가능함을 확인하였다.

후기 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2022-NR072163, RS-2024-00356107). 또한, 이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0024166, 2022년지역혁신클러스터육성사업).

REFERENCES

- Butler, R., Dodwell, T. J., Haftka, R. T., Kim, N. H., Kim, T., Kynaston, S., & Scheichl, R. "Uncertainty quantification of composite structures with defects using multilevel Monte Carlo simulations," In 17th AIAA non-deterministic approaches conference, p. 1598, 2015.

사출 성형품 내부의 단섬유 배향 특성에 따른 부위별 이방 물성이 고려된 2D 판 기반 사출-구조 연계 해석

2D Plate-Based Injection-Structural Coupled Analysis Considering Local Anisotropic Properties According to the Short-Fiber Orientation in Injection Molded Products

*김정민¹, 설영훈¹, 최정욱¹, 성민준², 곽윤기², #한장우²

¹Jeong Min Kim¹, Yeong Hun Seol¹, Jeong Uk Choe¹,

Min Joon Sung², Yoon Ki Gwak², #Jang Woo Han(uddan@kumoh.ac.kr)²

¹국립금오공과대학교 기계공학과, ²국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Fiber Orientation Tensor, Molding-Structure Coupled Analysis, 2D Plate Theory

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 단섬유 강화 복합소재 사출 성형품의 부위별 배향 특성 및 그에 따른 이방 물성을 구조 해석 과정에서 효율적으로 고려하기 위한 방안으로써 2D 판 이론 기반 사출-구조 연계 해석 기법을 제안하고자 하였다. 이를 위해 성형 해석 S/W인 Moldex 3D를 활용하여 사출 성형 과정에서 발생하는 단섬유 배향 특성을 분석하고자 하였으며, MATLAB을 통해 수치적으로 근사된 단섬유 배향 특성을 구조해석 과정에서 반영하고자 하였다. 또한, Averaging Orientation 기법을 요소 별 국부적 이방 물성을 도출하고자 하였으며, 이를 2D 판 모델과 접목함으로써 복합소재 사출 성형품의 기계적 거동 특성을 효과적으로 예측하고자 하였다.

1. 서론

단섬유 강화 복합소재 사출 성형품은 상대적으로 우수한 기계적 특성 및 양산성 등으로 인해 다양한 고강도 경량 산업 분야에서 활용도가 증가되고 있다. 하지만, 복합소재 사출 성형품의 경우 성형 과정에서 부위별로 상이한 단섬유 배향 특성이 유발될 수 있으며, 이로 인해 최종 성형품의 기계적 거동 특성이 결정될 수 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 복합소재 사출 성형품의 기계적 거동 특성을 효과적으로 예측하기 위한 방안으로써, 2D 판 이론 기반 사출-구조 연계 해석을 수행하고자 하였다. 성형 해석 S/W인 Moldex 3D를 통해 사출 성형에 따른 단섬유 배향 특성을 분석하고자 하였으며, MATLAB을 통해 단섬유 배향 특성을 수치적으로 근사함으로써 2D 판 모델에서 부위별 이방 물성을 효과적으로 고려하고자 하였다. 수치 예제로써 사출 성형된 인장 시편을 고려하였으며, 이를 통해 제안된 해석 기법의 신뢰성 및 정확성을 검증하고자 하였다.

2. 2D 판 이론 기반 사출-구조 연계 해석 방안

복합소재 사출 성형품 내부의 부위별 단섬유 배향 특성을 분석하기 위해 성형 해석 S/W인 Moldex 3D를 활용하였다. 나아가, MATLAB을 활용하여 성형 해석을 통해 도출된 부위별 단섬유 배향 특성을 수치적으로 근사하고자 하였으며, 2D 판 요소에서의 이방 물성을 정의하기 위해 Advani와 Tucker가 제안한

Averaging Orientation 기법을 적용하였다. 상기와 같이 도출된 단섬유 배향 특성 및 그에 따른 국부적 이방 물성이 반영된 2D 판 해석을 수행하고자 하였으며, 수치 예제 해석 결과를 바탕으로 제안된 해석 기법의 신뢰성을 검증하고자 하였다.

3. 결론

본 연구에서는 복합소재 사출 성형품의 기계적 거동 특성을 효과적으로 예측하기 위한 방안으로써, 근사된 단섬유 배향 특성에 따른 국부적 평면 이방 물성이 고려된 2D 판 기반 사출-구조 연계 해석 방안을 제안하였다. 주어진 수치 예제 해석 결과를 바탕으로 제안된 해석 방안의 타당성을 검증하였으며, 향후 제안된 해석 기법을 FGM 이론 및 다양한 평판 모델로 확장함으로써 사출-구조 연계 해석 기법의 활용 범위를 넓히고자 한다.

후기 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2022-NR072163, RS-2024-00356107). 또한, 이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(P0024166, 2022년지역혁신클러스터육성사업)

급경사 사면법을 이용한 바이오리액터용 피치임펠러의 사출성형공정 최적화 및 변형 거동 제어

Optimization of Injection Molding Process and Warpage Control for Bioreactor Pitch Impellers via Steepest Descent Method

*박정연¹, #김기범¹, 윤길상¹, 김성규¹

¹Jeong Yeon Park¹, #Ki Beom Kim(kkb@kitech.re.kr)¹, Gil Sang Yoon¹, Sung Gyu Kim¹

¹한국생산기술연구원 지능화부리기술연구소 디지털생산부문(한국금형기술센터)

Key words : Pitch Impeller, Injection Molding Optimization, Steepest Descent Method, Warpage

*발표자, #교신저자

In stirred cell-culture single-use bioreactors, the pitch impeller plays a critical role in mixing performance and in generating a cell-friendly flow field; however, its asymmetric geometry makes it susceptible to deformation during injection molding. In this study, injection molding conditions were optimized for a pitch impeller used in a 5 L plastic three-dimensional cell-culture bioreactor. Injection time, melt temperature, V/P switchover point, cycle time, and packing pressure were selected as process variables. The initial design-of-experiments results showed a baseline warpage of approximately 0.401 mm, and the optimal molding conditions were subsequently determined through repeated application of the steepest descent method. Under the optimized conditions—an injection time of 2.9 s, a V/P switchover point of 84%, a cycle time of 32 s, a melt temperature of 298°C, and a packing pressure of 175 MPa—the predicted total warpage decreased to 0.3068 mm, corresponding to an approximately 23.5% reduction compared with the initial condition. These results present a practical process-optimization procedure for improving the molding quality of asymmetric impellers for large-scale bioreactors. Future work will be extended to analyze the effects of geometric asymmetry and cooling non-uniformity on warpage.

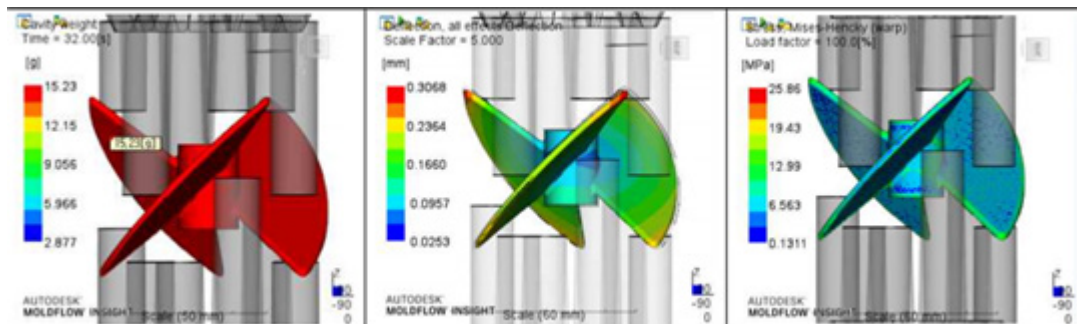


Fig. 1 Simulation Results of Process Optimization to Reduce Warpage of a 5 L Pitch Impeller

Acknowledgement This work was supported by the Market & Enterprise Innovation Technology Support Program of the Korea Institute of Industrial Technology (Project No. JF260010).

액화수소 외부 배관용 용접공정 개발을 위한 316L 스테인리스강의 용접 공정변수 기초연구

Preliminary Study on Welding Process Parameters of 316L Stainless Steel for Developing an External Welding Process for Liquid Hydrogen Piping

*#정영철¹, 유병문¹

*#Young Cheol Jeong(ycjeong@kotmi.re.kr)¹, Byung Moon Yu¹

¹한국섬유기계융합연구원 AX부품장비연구부

Key words : Liquid Hydrogen Piping, 316L Stainless Steel, External Pipe, Welding Process Parameters

*발표자, #교신저자

세계적인 에너지 수급 불안과 탄소중립 기조에 따라 수소는 차세대 청정에너지 매체로 주목받고 있으며, 액화수소는 장거리·대용량 운송에 유리한 방식으로 평가된다. 이에 따라 액화수소 운반선의 적용 확대와 함께 유체이송의 핵심인 배관 계통의 건전성 및 용접 신뢰성 확보가 중요해지고 있다. 본 연구는 액화수소 배관의 외부 용접공정 개발을 위한 기초연구로서 316L/316LH 스테인리스강을 대상으로 PAW+GTAW, Pulse GMAW, CMT 및 GTAW 공정의 적용성을 비교 평가하였다. BOP 시험, 용접부 단면 관찰, 인장 및 저온 충격시험, 수소 함유량 분석을 수행한 결과, PAW+GTAW 공정이 양호한 용입 특성, 우수한 기계적 물성 및 낮은 수소 함유량을 나타내어 액화수소 배관 외부 용접공정으로의 적용 가능성을 확인하였다.

후기 이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00507853)

포스터발표

기계설계 1

온도 기반 쌍안정거동 전환이 가능한 생체모사음의 포아송비 배터리 아머구조 개발

Development of a Bio-Inspired Auxetic Battery Armor Structure with Temperature-Induced Bistable Behavior Transition

*허승재¹, 김백규¹, 허수성¹, #박상민¹

*S. J. Huh¹, B. K. Kim¹, S. S. Huh¹, #S. M. Park(ksmpe@ksmpe.ac.kr)¹

¹부산대학교 기계공학부

Key words : Wearable Sensor, Bistable Structure, Bio-inspired Structure

*발표자, #교신저자

리튬이온 배터리의 안전성 확보를 위해 충격 보호와 열 관리 기능을 동시에 수행할 수 있는 경량 구조체에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 배터리 시스템은 외부 충격뿐만 아니라 내부 발열에 의해 성능 저하 및 열폭주 위험이 발생할 수 있으므로, 기계적 보호와 능동적 열 대응이 통합된 구조 설계가 필요하다.

본 연구에서는 온도에 따라 쌍안정(bistable)과 단일안정(monostable) 거동이 전환되는 생체모사음의 포아송비(auxetic) 기반 배터리 아머 구조를 제안한다. 제안된 구조는 힌지 부위에 액체금속 갈륨을 적용하여, 온도 상승 시 갈륨의 상변화를 통해 구조 강성이 감소하고 쌍안정 구조가 단일안정 구조로 전환되도록 설계되었다. 이 과정에서 상부 커버 구조가 자발적으로 상승하며 배터리 상부의 열 방출을 촉진하는 능동형 방열 메커니즘이 구현된다.

또한, 아르마딜로 피부 구조에서 영감을 얻은 auxetic 유닛셀을 기반으로 구조를 구성하여, 낮은 밀도 대비 우수한 에너지 흡수 성능을 확보하였다. 더불어, 배터리 상부에는 마찰전기 나노발전기(Triboelectric Nanogenerator, TENG) 기반 센서를 통합하여 외부 충격을 실시간으로 감지하고 충격 이력을 저장할 수 있는 모니터링 기능을 추가하였다.

결과적으로, 본 구조는 경량성, 충격 흡수 성능, 온도 기반 능동형 형상 변환, 그리고 충격 감지 기능을 동시에 만족하는 다기능 배터리 보호 시스템을 제시한다. 이러한 접근은 차세대 배터리 팩의 안전성 향상 및 스마트 구조체 설계에 기여할 것으로 기대된다.

후기 이 성과는 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 국가과학기술연구회 창의형 융합연구사업(No. CAP25061-101)의 지원과 산업통상자원부의 소재부품산업 기술개발기반구축사업-소재부품기술기반혁신-가상공학플랫폼 구축(용역과제)(No. P0022331)의 지원을 받아 수행된 연구임.

오리가미 기반 외피 구조를 적용한 블레이드리스 풍력발전기의 유동 특성에 대한 풍동 실험 연구

Wind Tunnel Experimental Study on the Flow Characteristics of a Bladeless Wind Turbine with an Origami-Based Outer Shell

*김채희¹, 장지현¹, #도재혁¹

^{*}Chae Hee Kim¹, Ji Hyeon Jang¹, #Jae Hyeok Doh(jdoh@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 항공우주공학부

Key words : Bladeless Wind Turbine, Wind Tunnel Experiment, Vortex Shedding

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 블레이드리스 풍력발전기의 공력 응답 특성 향상을 위해 오리가미 기반 외피를 적용하고, 풍동 실험을 통해 후류 구조 및 와류 형성 특성을 비교 분석하였다. 외피 형상은 접힘각, 비틀림각, 층 수, 반복 패턴 수를 설계 인자로 설정하고, 다구찌 실험계획법을 적용하여 신호대잡음비와 민감도 분석을 통해 최적 조합을 도출하였다. 가시화 결과, 오리가미 외피는 원통형 외피에 비해 구조물 인접 영역에서 박리가 조기에 발생하고, 후류 내에서 교대 와류가 보다 규칙적으로 형성되는 경향이 관찰되었다. 반면 원통형 외피에서는 후류 형성이 상대적으로 하류에서 발생하며 와류 구조가 확산되는 경향이 나타났다. 이는 오리가미 기반 표면의 기하학적 특성이 박리 위치 및 후류 구조를 변화시켜 교번 양력 형성에 유리한 유동 구조를 유도할 수 있음을 보여준다.

1. 서론

블레이드리스 풍력발전기(Bladeless Wind Turbine, BWT)는 와류-유도 진동(Vortex-Induced Vibration)을 이용하여 에너지를 수확하는 구조다. 그러나 lock-in 현상이 제한된 풍속 범위에서만 유지되어 작동 풍속 대역이 협소하다는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 외피 형상 설계를 통해 교번 양력 기반 가진력 형성 특성을 개선하고자 하였으며, 오리가미 기반 외피 구조를 적용하여 유동 특성 변화를 실험적으로 분석하였다.

2. 본론

외피 형상은 오리가미의 접힘각, 비틀림각, 층 수, 반복 패턴 수를 설계 인자로 설정하고, 다구찌 실험계획법을 적용하여 신호대잡음비 및 민감도 분석을 통해 최적 조합을 도출하였다. 도출된 최적 조합 형상의 오리가미 기반 외피와 기존 원통형 외피를 대상으로 풍동 실험을 수행하여 유동을 가시화하였다. 연기 가시화 결과, 오리가미 외피는 구조물 인접 영역에서 박리가 조기에 발생하고, 후류 내에서 교대 와류가 보다 규칙적으로 형성되는 경향이 확인되었다. 반면 원통형 외피에서는 후류 형성이 상대적으로 하류에서 발생하며 와류

구조가 확산되는 양상이 나타났다.

3. 결론

본 연구를 통해 오리가미 기반 외피는 후류 구조 및 와류 형성을 변화시켜 교번 양력 형성에 유리한 유동 구조를 유도할 수 있음을 확인하였다. 이는 외피 형상 설계를 통해 BWT의 공력 응답을 개선할 수 있는 가능성을 보여주며, 향후 블레이드리스 풍력발전기 시스템에 적용하여 실제 발전 성능 영향을 평가할 필요가 있다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-23402968).

REFERENCES

1. Cui, J., Guan, G., Liang, G., Han, H., Zhu, L., Mei, Y., and Kadapa, C., "Study on the flow past an origami-inspired cylinder at low Reynolds numbers," *Physics of Fluids*, Vol. 38, 012127, 2026.

중증 사지 외상환자 이송에 필요한 상지형 스플린트 개발 Development of Upper Limb Splints Required for Transportation of Severe Limb Trauma Patients

*배재범¹, 김종선¹, 주환이¹, 문준호², 김재영², #안석영¹

¹J. B. Bae(repulse1103@pusan.ac.kr)¹, J. S. Kim¹, H. Y. Joo¹, J. H. Mun², J. Y. Kim², #S. Y. Ahn¹

¹부산대학교 기계공학부, ²부산대학교 V-Space

Key words : Splint, Traction, Arm, Fracture

*발표자, #교신저자

중증 사지 외상은 신속하게 골절부를 견인하여 골절 정복을 유지하는 것이 중요하다. 그러나 기존의 스플린트는 견인기능이 없으며 일부 견인이 가능한 제품의 경우 환자에게 착용하기가 복잡하여 응급 처치용으로 부적합하다. 이러한 단점을 해소하고 골절 환자에게 신속한 응급처치와 이송이 가능한 기구를 연구해보았다. 골절부를 견인할 수 있는 다양한 메커니즘을 탐색한 후 환자의 손목과 팔꿈치를 고정하고 견인할 수 있는 상지형 스플린트를 개발해보았다. 연구 결과, 장치는 보다 신속하고 안정된 견인이 가능하였고, 골절부의 정복 상태를 잘 유지할 수 있었다.

1. 서론

중증 사지 외상성 골절 환자의 경우, 골절 부위를 견인하여 골절 정복 상태를 유지한다면 환자의 고통 완화가 가능하며, 2차 상해 피해를 막을 수 있다. 하지만 기존의 스플린트는 골절부를 견인하는 기능이 없거나 환자가 착용하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 신속한 응급처치가 가능하고, 환자를 이송하는 동안의 골절부 견인 유지가 가능한 상지형 스플린트를 개발하고자 한다.

2. 상지형 스플린트 설계 및 제작

Fig. 1와 같이 상지형 스플린트를 설계하였다. 환자의 손목과 팔꿈치를 장치로 고정 및 체결하도록 설계하였다. 또한 압박을 통해 고정된 상태에서 골절부를 인장하여 골절부의 정복 상태를 지속적으로 유지가 가능하도록 설계하였다. 설계된 상지형 스플린트의 구동 테스트를 위하여 3D 프린터와 리니어 액추에이터를 사용하여 시제품을 제작하였다.

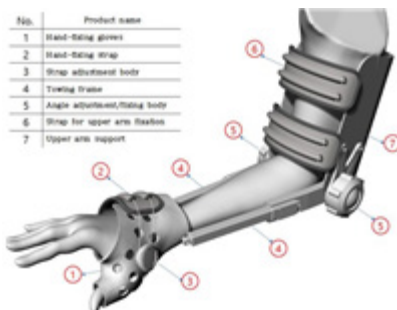


Fig. 1 Splint 3D design

3D 프린팅의 경우 Nylon + Carbon 필라멘트를 사

용하여 충분한 강도를 가지는 시제품을 제작하였다.

3. 상지형 스플린트 가동 테스트

상지형 스플린트의 시제품을 통해 가동 테스트를 Fig. 2와 같이 진행하였다. 내회전 각도 조절, 신전 및 굴곡, 손목 회전 동작^[1]의 테스트를 진행하였으며, 제품의 구동상 움직임이 자연스러움을 확인하였다.



Fig. 2 Device behavior implementation test

4. 결론

상지 골절 환자의 신속한 응급처치와 지속적 골절부 견인 유지가 가능한 상지형 스플린트를 설계하고 시제품을 제작하였다. 시제품을 통하여 제품의 자연스러운 구동을 확인하였으며, 이 장치는 환자의 통증 완화 및 2차상해 피해를 예방 가능할 것으로 판단된다. 이후 추가적인 연구를 진행하여 장치를 완성할 계획이다.

REFERENCES

1. Gopura, R. A. R. C., Kiguchi, K. and Horikawa, E., "A study on human upper-limb muscles activities during daily upper-limb motions," International Journal of Bioelectromagnetism, Vol. 12, No. 2, pp. 54-61, 2010.

주행 데이터 기반 모터 샤프트의 피로수명예측 Fatigue Life Prediction of a Motor Shaft Based on Driving Data

#김성모¹#Sung Mo Kim(sungmo3158@kookmin.ac.kr)¹¹국민대학교 기계공학부

Key words : Fatigue Life Prediction(피로수명예측), Rainflow Counting, Combined Loading(복합하중), Driving Data(주행데이터)

*발표자, #교신저자

동력 전달 장치에서 사용되는 샤프트는 일반적으로 비틀림 하중을 전달하는 요소로 설계되지만, 체인 구동 구조에서는 체인 장력에 의해 굽힘 하중이 동시에 작용하여 복합 하중 조건이 형성된다. 특히 소형 전기 구동 시스템 및 산업용 동력전달 라인과 같이 체인 및 벨트 기반 구동계를 사용하는 경우가 증가하고 있음에도 불구하고, 실제 주행 데이터를 기반으로 복합 하중을 고려한 샤프트 피로 수명 평가에 대한 연구는 제한적이다. 그럼에도, 고토크 전기모터 적용이 확대됨에 따라 샤프트의 내구성 확보를 위한 정량적 수명 평가의 필요성이 증가하고 있다. 본 연구에서는 자작 전기자동차의 체인 구동 파워트레인에서 사용되는 모터 샤프트를 대상으로 실제 주행 데이터를 기반으로 피로 수명을 평가하였다. 먼저 파워트레인 구조를 기반으로 전단력 선도(SFD)와 굽힘모멘트 선도(BMD)를 계산하고, 이를 이용하여 샤프트에 작용하는 비틀림 응력, 전단 응력, 굽힘 응력을 산출하였다. 이후 응력 집중 계수를 고려하여 Von Mises 등가응력을 계산하였으며, 시간에 따른 응력 이력을 기반으로 Rainflow Counting 기법을 적용하여 반복 응력 사이클을 추출하였다. 또한 S-N 선도와 Palmgren-Miner 누적 손상 법칙을 이용하여 피로 수명을 평가하였다. 분석 결과, 계산된 최대 등가응력은 재료의 피로 한도보다 낮게 나타나 해당 샤프트는 무한 수명 영역에 존재하는 것으로 확인되었다. 본 연구는 실제 주행 데이터를 활용한 모터 샤프트의 복합 피로 수명 평가 방법을 제시하며, 산업용 동력전달 라인 및 소형 전기 구동계 설계의 내구성 평가에 활용될 수 있다.

한옥 주먹장맞춤 기법과 확장형 핀 메커니즘을 융합한 모듈형 드론의 이중 잠금 탈부착 구조 설계

Design of a Dual-Locking Detachable Structure for Modular Drones Integrating Hanok Dovetail Joints and Expansion Pin Mechanisms

*백민재¹, 이도형¹, 정준엽², 박현빈², #주백석¹

¹Min Jae Baek¹, Do Hyeong Lee¹, Jun Yeop Jung², Hyun Bin Park²,

#Baek Suk Chu(bschu@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학부, ²국립금오공과대학교 항공기계전자융합전공

Key words : Modular Drone, Hanok Dovetail Joint, Expansion Pin, Detachable Mechanism

*발표자, #교신저자

최근 드론 활용이 확대되면서 다양한 임무 수행을 위한 모듈형 드론 연구가 증가하고 있다. 본 논문에서는 한옥의 주먹장맞춤 기법과 확장형 핀 잠금 메커니즘을 융합한 모듈 탈부착 구조를 제안한다. 기체는 팔각기둥 형태의 기능 모듈과 이를 연결하는 사각기둥형 결합 모듈로 구성된다. 각 모듈 측면에 사다리꼴의 암수 주먹장 구조를 적용하여 x, y 방향 구속을 형성한다. 이어 결합 모듈 내부의 회전판이 회전하면 네 방향의 핀이 외부로 확장되어 기능 모듈의 홈을 관통한다. 이를 통해 z축 방향의 구속을 완성함으로써 모듈 간 분리를 방지한다. 이러한 이중 잠금 방식은 결합력을 극대화하며 향후 구조 해석과 하중 실험을 통해 기계적 견고성을 검증할 계획이다.

후기 이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (20026197).

전기자동차 트랙션 모터 하우징 로딩 프레임의 구조적 안정성 평가에 관한 연구

A Study on the Structural Stability Evaluation of the Loading Frame for Electric Vehicle Traction Motor Housing

*김성태¹, #김해지²

*Sung Tae Kim¹, #Hae Ji Kim(khji@gnu.ac.kr)²

¹경상국립대학교 미래자동차공학과 대학원, ²경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : Traction Motor Housing, Loading Frame, Structural Analysis, Safety Factor

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 전기자동차용 트랙션 모터 하우징의 스테이터 압입 공정 시 발생하는 하중을 지지하는 로딩 프레임의 구조적 안정성을 분석하였다. 하우징 가열 후 고하중 압입이 진행되는 과정에서 프레임에 가해지는 응력과 변형량을 예측하기 위해 ANSYS를 이용한 유한요소해석을 수행하였다. 프레임 재질은 SM45C를 적용하였으며, 실제 공정 조건을 반영하여 300kg에서 600kg까지의 하중 변화에 따른 거동을 검토하였다. 해석 결과, 최대 하중 600kg 조건에서 발생하는 최대 등가응력은 30.37 MPa, 최대 변형량은 0.029 mm로 나타났다. 이는 재료의 항복강도 대비 충분히 낮은 수치로, 안전율 15 이상을 확보하여 압입 공정 중 프레임의 구조적 신뢰성이 우수함을 확인하였다.

Zr 미세첨가 기반 Al 합금의 조직 제어와 성능 향상 Microstructural Control and Property Enhancement of Al Alloys through Minor Zr Addition

*강준이¹, #김정석¹

*Jun I Kang(sky109345@naver.com)¹, #Chung Seok Kim(chs2865@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 신소재공학과

Key words : Heat Treatment, Microstructure, Al₃Zr

*발표자, #교신저자

본 연구의 목적은 Al-Si-Cu합금의 Zr 첨가 따른 물성 변화를 토대로 열처리 공정 중 발생하는 변화를 관찰하는 것이다. 본 연구에서는 Al-Si-Cu 합금에 Zr을 0.2, 0.4, 0.8, 1wt% 함량을 첨가하였다. 이후, 495℃에서 4시간 용체화한 후 190℃에서 1, 2, 5, 8, 16, 24, 48, 100, 1000시간동안 시효하였다. 열처리에 따른 변화를 관찰하기 위해 광학현미경, 주사전자현미경, 투과전자현미경을 이용하여 미세조직 및 구조변화를 관찰하였다. 특히, 투과전자현미경을 통해 더욱 미세한 상의 분석을 진행하였다. ICP-MS, XRD, JMatPro를 이용하여 성분분석과 상태도를 분석하였다. 마이크로 비커스 경도시험기, 인장시험기, 전기 전도도 측정기를 이용하여 기계적 특성을 평가하였다.

포스터발표

특별세션
4차산업기술

금속과 플라스틱 접합에서 Gate거리와 Glass Fiber 배양이 접합강도에 미치는 영향에 관한 연구

Analysis of Interfacial Bonding Strength in Metal-Plastic Joints : Impact of Fiber Alignment and Gate Location

*김문수¹, 임도한², 김현경², #최성대¹

*M. S. Kim¹, D. H. Im², H. K. Kim², #S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 산업대학원 기계공학과

Key words: Anodizing, Dissimilar Material, Moisture Exposure, Adhesion Strength, Galvanic Corrosion, Sealing

*발표자, #교신저자

This study focuses on the critical role of Glass Fiber (GF) orientation in determining the bonding strength of smartphone metal case joints. Through CAE analysis and tensile testing, a direct correlation was established between the resin flow-induced GF alignment and the resulting fracture behavior. The results demonstrated that bonding strength is highly anisotropic: a 0° orientation relative to the tensile direction yielded the maximum stress of 135 MPa, while a 90° orientation resulted in a significant drop to 85 MPa. Adjusting the gate distance to 10 mm successfully reoriented fibers to 0° and shifted the fracture point, yet overall strength decreased due to associated pressure losses. These findings indicate that achieving high-performance joints requires advanced interface control to align GF in the tensile direction while simultaneously optimizing injection process parameters.

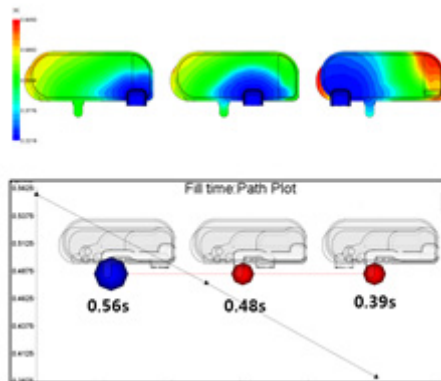


Fig. 1 Filling time at Different Gate Gap Distances (Default conditions)

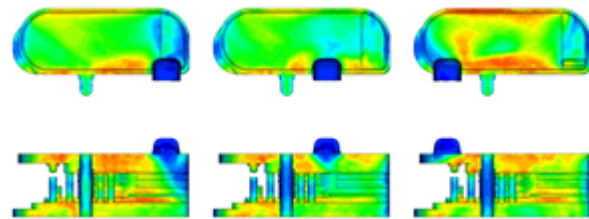


Fig. 2 GF orientation according to gate distance (Default conditions)

공구동력계를 활용한 공구 형상에 따른 AI 가공 절삭력 분석 Analysis of Cutting Force According to Tool Geometry in AI Machining Using a Tool Dynamometer

*김현경¹, 김문수², 임도한¹, #최성대²

*H. K. Kim¹, M. S. Kim², D. H. Im¹, #S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)²

¹국립금오공과대학교 산업대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 대학원 기계공학과

Key words : Tool Dynamometer, Tool Geometry, Cutting Force, Thin-Plate Machining, FEM, Aluminum

*발표자, #교신저자

With the recent trend toward slimmer smartphones and thinner mechanical components, the application of high-strength Al 7000 series alloys is expanding. However, when machining thin plates around the 0.3mm level, bending deformation occurs due to high residual stress inherent to the material and cutting loads, limiting the ability to secure strict flatness quality. This study aims to analyze the effect of tool geometry on the cutting force and deformation behavior in thin-plate machining. Specifically, it is planned to quantitatively measure and comparatively analyze the cutting forces generated during actual machining using a tool dynamometer, focusing on flat end mills and bullnose end mills with a corner radius. Previous studies have confirmed that the bullnose geometry distributes the cutting load in the radial direction, reducing the axial load applied to the thin plate. Through empirical tool dynamometer experiments in this study, we intend to clearly identify the correlation between the cutting force distribution mechanism and flatness improvement. Through this, it is expected to enhance the stability of the ultra-thin part machining process and provide optimal tool selection criteria for mass production in the field.

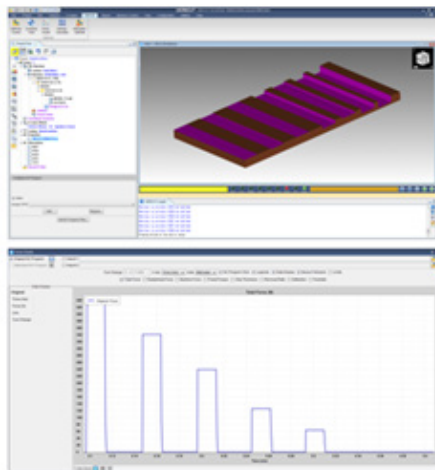


Fig 1. Cutting Force Simulation by Tool Geometry and Depth of Cut Using VERICUT Force

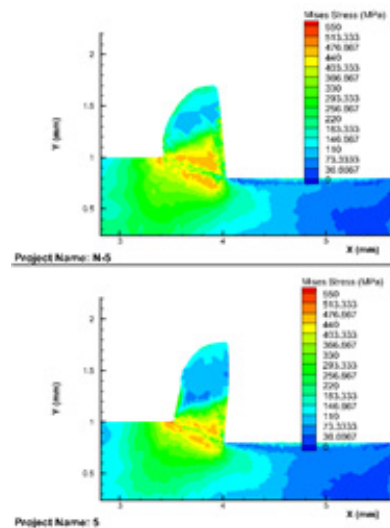


Fig. 2 Tool chipping FEM simulation results according to rake angle (+/-)

TRI 공정 변수에 따른 7000 계열 알루미늄의 표면 젖음성 및 이종 접합 신뢰성 평가 Evaluation of Surface Wettability and Dissimilar Bonding Reliability of 7000-Series Aluminum According to TRI Process Parameters

*임도한¹, 김문수², 김현경¹, #최성대²

^{*}D. H. Im¹, M. S. Kim², H. K. Kim¹, [#]S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)²

¹국립금오공과대학교 산업대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 대학원 기계공학과

Key words : TRI, Aluminum 7000-series, PBT+GF45%, Wettability, Bonding, Reliability, Standard Deviation

*발표자, #교신저자

Securing consistent bonding reliability in metal-resin hybrid structures is critical for mass production. This study evaluates the effect of TRI process current density (0.2-0.9 A/dm²) on the surface wettability and bonding reliability of 7000-series aluminum and PBT+GF45% resin. While macroscopic roughness remained uniform, anodic film thickness and pore size increased with current density. Furthermore, TRI-treated surfaces exhibited complete wetting compared to untreated ones (75-80°), ensuring excellent resin spreadability. Tensile tests revealed optimal bonding at 0.5 A/dm², yielding the highest average strength (40.75 MPa) and the lowest standard deviation (1.44) for exceptional stability. Conversely, higher currents (e.g., 0.9 A/dm²) decreased strength and increased variability. Conclusively, optimizing wettability and minimizing strength deviation via precise current control is critical for hybrid component reliability.



Fig. 1 Surface Wettability Comparison: (a)Untreated AL 7000 and (b)Optimal Zone(0.5 A/dm²)

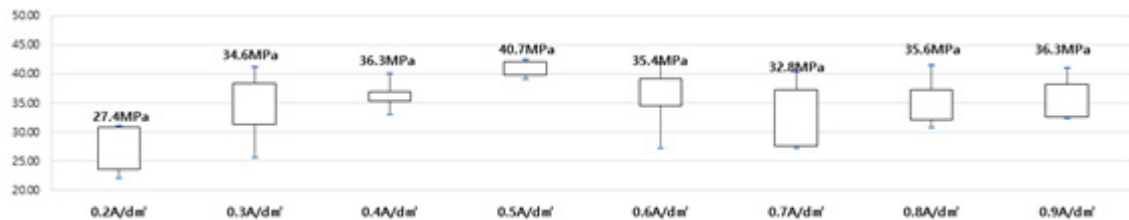


Fig. 2 Bonding Strength and Reliability (Deviation) by TRI Current Density

AL6061-T6 합금의 마찰교반용접에서 공정변수 변화에 따른 용접부 특성 평가 Evaluation of Weld Properties According to Process Parameters in Friction Stir Welding of AL6061-T6 Alloy

*장철영¹, #최성대²

*Chul Young Jang¹, #Seong Dae Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)²

¹국립금오공과대학교 산업대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : AL6061-T6, Friction Stir Welding, Process Optimization, Mechanical Properties

*발표자, #교신저자

본 연구는 AL6061-T6 합금의 마찰교반용접 공정에서 회전 및 이송속도 변화가 용접부 특성에 미치는 영향을 조사한 것이다. 공구는 PIN 지름 3mm, SHOULDER 지름 15mm 규격을 사용하였으며, 회전속도(1000~3000RPM)와 이송속도(100~300mm/min)를 단계적으로 변화시켰다. 용접된 시편의 조직 변화와 기계적 특성을 분석하여, 공정조건에 따른 용접품질의 차이를 확인하였다. 이송속도가 빠를수록 냉각속도 또한 빨라져 입열량은 줄어들게 된다. 금속의 유동이 충분하지 않으면 내부 터널 결함이 발생한다. 또한 회전속도와 이송속도의 증가 비율에 따라 열의 전달과 접합부의 강도 변화 양상을 비교하였으며, 공정 최적화를 위한 기초적 경향을 제시하였다.



Fig. 1 Tensile Test Specimen

이륜차 전기 개조를 위한 배터리 모듈 Generative Design 및 배출가스 분석 Generative Design of Battery Modules for Electric Motorcycle Retrofitting and Emission Analysis

*최주란¹, 이해인², 이성호², 남상수², #최성대¹

*Ju Ran Choi¹, Hae In Lee², Sung Ho Lee², Sang Soo Nam², #Seong Dae Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 대학원 기계공학과, ²국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Electric Two-Wheeler Retrofit, Generative Design, Emission Reduction, Battery Mounting Module

*발표자, #교신저자

Due to the growth of the semiconductor and delivery industries, there are approximately 2.26 million registered two-wheelers in Korea. However, among the 104,848 newly registered two-wheelers in 2025, electric two-wheelers accounted for only 9.7% (11,137 units). Two-wheelers emit a higher proportion of pollutants than passenger cars: specifically, two-wheelers over 150cc emit 113 times more hydrocarbons (HC) and 71 times more carbon monoxide (CO) compared to 1600cc passenger cars, while small two-wheelers under 50cc emit 51 times more HC and 17 times more CO. This study analyzes the emission reduction effects of electric retrofit for aging two-wheelers and plans to develop lightweight battery mounting modules using generative design. The proposed technology is expected to contribute to low-cost eco-friendly mobility transition.



Fig. 1 Diagram of Electric Retrofit Process for Aging Two-Wheelers

압력용기 용접 재료 가공을 위한 플라즈마 절단 자동화 시스템 개발 Development of Plasma Cutting Automation System for Pressure Vessel Welding Material Processing

*김대진¹, 최주란¹, #최성대¹

*Dae Jin Kim¹, Ju Ran Choi¹, #Seong Dae Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 대학원 기계공학과

Key words : Plasma Cutting, Automation, Pressure Vessel, Welding Materials

*발표자, #교신저자

압력용기 제조에서 용접 재료를 준비하는 작업은 절단 톱과 드릴을 이용한 수작업으로 진행되어 정밀도가 낮고 생산성이 부족한 문제가 있었다. 이를 해결하고자 작업 환경 개선, 생산성 향상, 품질 균일화를 목표로 파이프 절단, 파이프 측면 구멍 가공, 경판 구멍 가공을 플라즈마 절단으로 자동화하는 시스템을 개발하였다. 파이프 절단 자동화 장치, 파이프 측면 및 경판 구멍 가공 자동화 장치와 트레이, 그리고 용접 공정 소재 준비의 자동 생산 관리 시스템으로 구성된다. 테스트 결과 파이프와 경판의 가공 정밀도를 확보하여 정확하고 깨끗한 절단 품질을 달성하였으며, 가공 시간을 단축해 하루 140개 생산량을 실현하였다. 이 시스템은 위험하고 정밀한 작업을 자동화함으로써 압력용기 제조 효율성을 높이고 작업자 안전성을 강화한다.

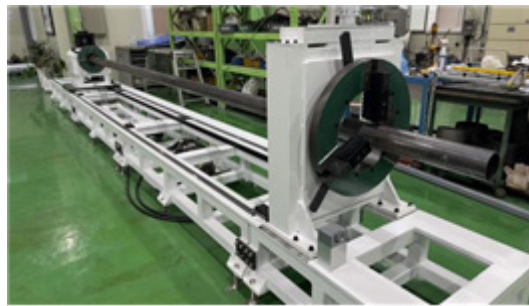
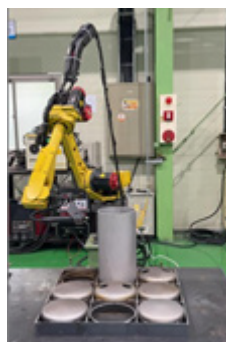
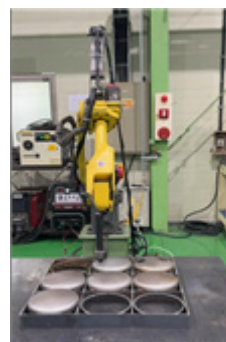


Fig. 1 Pipe Cutting Automation Device



(a)Pipe Side Hole



(b)Head Hole

Fig. 2 Hole Processing Automation Device

항공기 엔진 MRO 스탠드 검증을 위한 다목적 더미 엔진 설계 및 개발 Design and Development of a Multi-purpose Dummy Engine for Aircraft Engine MRO Stand Validation

*이성호¹, 윤동현², 김종태², 최주란³, #최성대¹

*S. H. Lee¹, D. H. Yoon², J. T. Kim², J. R. Choi³, #S. D. Choi(sdchoi@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계시스템전공, ²주광정밀(주), ³국립금오공과대학교 대학원 기계공학과

Key words : Dummy Engine, Pedestal Stand, MRO Equipment, Load Test

*발표자, #교신저자

항공기 엔진 정비 산업의 성장에 따라 다양한 기종의 엔진을 수용할 수 있는 공용 정비 스탠드의 중요성이 증대되고 있다. 본 연구에서는 실제 엔진을 대신하여 스탠드의 안전성과 경제성을 검증할 수 있는 항공기용 더미 엔진을 설계하였다. P-Engine, C-Engine, L-Engine 등 3기종 엔진의 물리적 특성을 반영하여 공용 Pedestal Stand에 장착 가능하도록 설계되었으며, 실제 정비 환경과 유사한 부하 시험을 수행할 수 있도록 제작되었다. 더미 엔진의 활용은 고가의 실제 엔진 손상 리스크를 방지하고, 정비 장비의 신뢰성 확보를 위한 테스트 베드로서 효율적인 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

후기 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호: RS-2023-00239124)

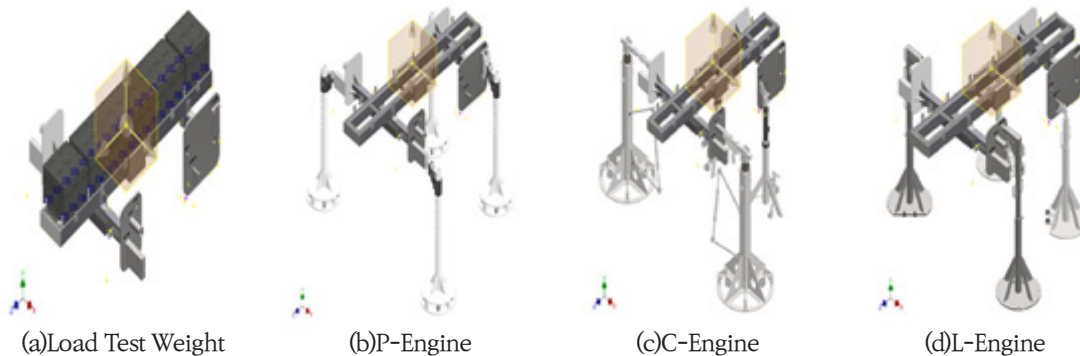


Fig. 1 Mounting Suitability

포스터발표

적층제조

좌장 : 김현준(경북대), 김석민(중앙대)
김종현(계명대), 이원형(국립금오공대)

제품 설계 단계에서의 AI 기반 가공 공정 선택 프레임워크 연구 AI-Based Framework for Manufacturing Process Selection in the Product Design Stage

*.#김은영¹

^{*}Eun Young Kim¹

¹한국폴리텍대학 광명융합기술교육원 3D제품설계과

Key words : Additive Manufacturing, Process Selection, Product Design, Artificial Intelligence

*발표자, #교신저자

기계제품 설계 단계에서는 적층가공, 절삭가공 등 다양한 제조 공정을 고려할 수 있으나 실제 공정 선택은 설계자의 경험에 의존하는 경우가 많다. 본 연구에서는 제품 설계 단계에서 형상 특성, 공차 요구, 생산 수량 등 주요 설계 변수를 기반으로 가공 공정을 분류하는 AI 기반 의사결정 지원 프레임워크를 제안하였다. 특히 교육 및 연구 환경에서 활용 가능한 3D 프린팅 기반 설계 사례를 활용하여 공정 선택 데이터를 구축하고, 이를 통해 공정 분류 모델을 개발하였다. 사례 분석 결과 제안된 모델은 설계 초기 단계에서 제조 공정 선택을 체계적으로 지원할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 디지털 제조 환경의 발전과 함께 적층가공(Additive Manufacturing)과 절삭가공(Subtractive Manufacturing)이 제품 개발 과정에서 함께 활용되고 있다. 특히 3D 프린팅 기술의 확산으로 설계 단계에서 다양한 제조 공정을 고려할 수 있게 되었으나, 실제 공정 선택은 설계자의 경험에 의존하는 경우가 많다. 이러한 문제를 해결하기 위해 설계 단계에서 형상 특성, 공차 요구, 생산 수량 등의 정보를 기반으로 적합한 제조 공정을 체계적으로 선택할 수 있는 의사결정 지원 방법이 필요하다. 본 연구에서는 제품 설계 단계에서 가공 공정을 선택하기 위한 AI 기반 의사결정 프레임워크를 제안한다.

2. 본론

본 연구에서는 제품 설계 단계에서 가공 공정 선택에 영향을 미치는 주요 설계 변수를 정의하였다. 주요 변수로는 내부 형상 존재 여부, 언더컷 구조 여부, 요구 공차 수준, 표면 품질 요구, 생산 수량 및 재료 특성을 선정하였다. 이러한 변수들은 범주형 데이터로 정리하여 공정 분류 모델의 입력 변수로 활용하였다.

데이터 구축을 위해 3D 프린팅 기반 제품 설계 사례를 수집하고 적층가공, 절삭가공 및 하이브리드 공정으로 분류하였다. 수집된 사례 데이터는 머신러닝 기반 분류 모델의 학습 데이터로 활용하였으며 Random Forest 알고리즘을 적용하여 공정 선택 모델을 구축하였다. 또한 설계 입력, 설계 변수 분석, AI 기반 공정 추천, 전문가 검토의 단계로 구성된 제조 공정 선택 프레임워크를 제안하였다.



Fig. 1 AI-Based Manufacturing Process Selection Framework

3. 결론

본 연구에서는 제품 설계 단계에서 제조 공정을 선택하기 위한 AI 기반 의사결정 지원 프레임워크를 제안하였다. 제안된 모델은 설계 변수 정보를 기반으로 적층가공과 절삭가공 중 적합한 공정을 분류할 수 있으며 설계 초기 단계에서 제조 공정 선택을 체계적으로 지원할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 AI 기반 가공 공정 선택 프레임워크는 제품 설계 단계에서 제조 공정 선택을 체계적으로 지원할 수 있는 기초 모델로 활용될 수 있다. 향후 연구에서는 제작 비용 및 생산 시간 예측을 포함한 통합 제조 의사결정 모델로 확장할 계획이다.

DLP 3D 프린팅용 고강도 레진의 적층 방향에 따른 초음파 피로 특성 분석

Ultrasonic Fatigue Behavior of High-Strength Resin for DLP 3D Printing According to Build Orientation

*박금정¹, 박은성¹, 이문구¹, #전용호¹

^{*}Geum Jeong Park¹, Eun Sung Park¹, Moon Gu Lee¹, #Yong Ho Jeon(princaps@ajou.ac.kr)¹

¹아주대학교 기계공학과

Key words : Digital Light Processing, Ultrasonic Fatigue Test, Build Orientation

*발표자, #교신저자

3D 프린팅 기술의 발전에 따라 출력물의 산업적 적용이 다양한 분야에서 이루어지고 있다. 적층 제조 공정의 산업적 적용 확대를 위해 반복하중 조건에서의 내구 신뢰도 검증을 위한 피로 특성의 정량적 평가가 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 DLP 3D 프린팅용 고강도 레진 출력물의 출력 방향을 달리한 조건에서 초음파 피로시험을 수행하고, 초고주기 피로 수명 특성을 평가하여 공정 변수에 따른 수명 영향을 분석하고자 한다. 시험 시편은 20kHz의 구동 주파수에서 공진하도록 설계하여 피로시험 적용을 위한 공진 안정성을 확보하는 설계로 진행하였다. 이를 통해 응력-수명 특성을 도출하고, 적층 방향에 따른 피로 수명과의 상관성을 분석하여 DLP 공법에 서 적층 방향이 피로 거동에 미치는 영향을 규명하고자 한다.

후기

이 연구는 과학기술정보통신부(MSIT)의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 지원을 받아 수행되었습니다.

(No. RS-202400346883)

이 연구는 대한민국 정부(산업통상자원부)에서 지원하고 한국산업기술진흥원(KIAT)에서 주관하는 RS-2025-02304112 산업혁신 인력양성(HRD) 프로그램의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

PBF 기반 밀링 공구 바디의 내부 격자 구조에 따른 정강성 및 모달 해석에 관한 연구

A Study on Static Stiffness and Modal Analysis according to Internal Lattice Structures of Milling Tool Body based on Powder Bed Fusion Technology

*손호민¹, 김동규², #사민우¹

¹Ho Min Son¹, Dong Gyu Kim², #Min Woo Sa(79smw42@gmail.com)¹

¹에스제이엔텍 기업부설연구소, ²대구기계부품연구원 정밀가공종합기술지원센터

Key words : Powder Bed Fusion, Cutting Tool, Milling, Lattice Structure

*발표자, #교신저자

최근 금속 3D 프린팅 방식인 분말 적층 용융(Powder Bed Fusion, PBF) 기술을 이용한 제품 개발이 점차 증가되고 있다. PBF 적층 기술을 절삭공구 산업에 적용시킨다면 기존 공구 제조 공정인 소결 방식에 비해 공정 수가 단축되며, 가공에서 발생하는 불필요한 소재 칩들을 줄일 수 있어 환경적으로 안전하다. 또한 공구 내부 구조를 다양한 형상으로 설계 및 제작이 가능하여 공구의 가공 성능과 경량화를 향상시키기가 수월하다. 따라서, 본 연구에서는 PBF 방식을 이용한 밀링 공구 적층 제조에 앞서, 직경 20mm인 밀링 공구 바디 내부에 Solid, BCC, FCC, Gyroid 형태의 격자구조별로 nTop 프로그램을 통해 각각 설계하였다. 이후, 시뮬레이션 해석을 실시하여 구조 해석을 통해 공구 특성을 비교 분석하였다. 그 결과, 각 격자구조별 공구 바디 중 BCC 구조가 가장 높은 경량률을 보였고, Gyroid 구조가 가장 높은 정강성을 나타내었다. 진동 해석을 통해 Modal 강성을 나타낸 결과, Solid 구조 바디가 가장 크게 나타났다. 또한 설계를 토대로 PBF 방식의 장비를 통해 공구 바디를 제작하여 실제 정강성 및 진동 해석 실험을 수행한 결과에서도 구조 해석 결과와 동일하게 나타나게 되었다. 향후, 제작된 밀링 공구 바디에 절삭 팁을 체결하여 밀링 공구를 완성하고자 한다. 이후 제작된 각 격자구조별 밀링 공구의 가공 실험을 실시하여 비교 분석을 수행할 계획이다.

후기 본 연구는 2025년도 중소벤처기업부 “지역혁신선도기업육성(R&D)사업”지원에 의한 연구임(S3451625).

**SLA 3D 프린팅 기반 TPMS 구조를 적용한
정전용량형 유연압력센서의 제작 및 민감도 특성 연구**
**Fabrication and Sensitivity Analysis of a Flexible Capacitive Pressure Sensor
Based on an SLA 3D-Printed TPMS Structure**

*이혁빈^{1,2}, 고영배², 정현윤², 강철웅¹, #양영진²

¹Hyeok Bin LEE^{1,2}, Young Bae Ko², Hyeon Yun Jeong², Chul Ung Kang¹,

#Young Jin Yang(yangyj23@kitech.re.kr)²

¹제주대학교 메카트로닉스공학과, ²한국생산기술연구원

Key words : 3D Printing, SLA 3DP, TPMS(Triply-Periodic Minimal Surface), Flexible Pressure Sensor

*발표자, #교신저자

TPMS (Triply Periodic Minimal Surface) 구조는 연속적이고 주기적인 3차원 곡면 형상을 가지며, 높은 공극률과 우수한 구조적 연결성을 동시에 구현할 수 있는 특징이 있다. 이러한 구조적 특성은 하중 분산과 변형 안정성에 유리하여 다양한 분야에서 활용되고 있다. 본 연구에서는 TPMS 구조를 유전층으로 적용한 정전용량형 압력센서를 제안하고, 구조 형상 및 적층 수에 따른 민감도 특성을 체계적으로 평가하였다. TPMS 유전층은 unit cell 크기 3 mm × 3 mm × 3 mm의 Type P, G, D 구조를 설계한 후, 이를 8 × 8 배열로 확장하여 구현하였다. 제작된 구조체는 SLA 3D 프린팅을 통해 출력하였으며, ITO-coated PET 필름을 전극으로 결합하여 정전용량형 압력센서를 제작하였다. 이후 유전상수, 유전손실 및 측정 안정성을 고려하여 800 kHz 조건에서 구조 형상, 적층 Layer수(2, 3, 4) 및 공극률 변화에 따른 정전용량 응답 특성을 비교·분석하였다. 실험 결과, 동일 조건(공극률 65%, 3-layer)에서 구조별 성능을 비교한 경우 Type D 구조가 가장 우수한 선형 민감도를 나타내었으며, 동일 구조 조건(공극률 65%, Type D)에서 적층 Layer수에 따른 비교에서는 4-layer 구조가 가장 높은 민감도와 선형성을 보였다. 본 연구 결과는 TPMS 구조 설계가 정전용량형 압력센서의 성능 향상에 효과적인 전략이 될 수 있음을 보여준다.

후기 본 논문은 산업통상자원부(MOTIE)와 한국산업기술기술평가원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다. (No.RS-2024-00507954)

분리형 서포트를 적용한 직접에너지적층 오버행 Down-skin 표면 특성에 대한 경사각의 영향

Effect of Inclination Angle on Down-Skin Surface Characteristics of Overhangs Fabricated by Directed Energy Deposition with Removable Support

*윤빛나^{1,2}, 조혜원³, #심도식^{1,2,3}

*Bit Na Yun^{1,2}, Hea Won Jo³, #Do Sik Shim(think@kmou.ac.kr)^{1,2,3}

¹국립한국해양대학교 신소재융합공학과, ²국립한국해양대학교 해양신재생에너지융합전공,

³국립한국해양대학교 해양신소재융합공학과

Key words : Directed Energy Deposition (DED), Overhang, Inclination Angle, Removable Support

*발표자, #교신저자

직접에너지적층공정(Directed Energy Deposition)에서 높은 열전도도를 갖는 구리(Cu) 서포트를 적용하여 경사각(20°, 30°, 40°, 50°)이 오버행 하부면(Down-skin) 표면 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 모든 조건에서 적층부는 안정적으로 형성되었다. 하부면 표면 거칠기는 경사각에 따라 변화하였으며, 20°에서는 큰 파형(waviness)이 관찰되었고 40°에서 가장 낮은 Ra 값을 나타냈다. 이는 저각에서 유효층높이 증가에 따른 계단효과(stair-stepping effect)에 기인한 것으로 판단된다. 반면 50°에서는 미용용 분말 및 스패터(splatter) 부착 증가로 표면 거칠기가 다시 증가하였다. 결과적으로 경사각에 따라 표면 특성이 달라지는 것으로 나타났다.

**분말 기반 직접에너지적층으로 제조된 AISI M4 적층재의 극저온처리
유지시간이 충격특성에 미치는 영향**
**Effect of Deep Cryogenic Treatment Holding Time on the Impact Characteristics
of Post-Heat-Treated AISI M4 Deposits Fabricated by Directed Energy
Deposition**

*이두빈^{1,3}, 오창민², #심도식^{1,2,3}

*Du Bin Lee^{1,3}, Chang Min Oh², #Do Sik Shim(think@kmou.ac.kr)^{1,2,3}

¹국립한국해양대학교 신소재융합공학과, ²국립한국해양대학교 해양신소재융합공학과,

³국립한국해양대학교 해양신재생에너지융합공학전공

Key words : Deep Cryogenic Treatment, Impact Characteristics, Directed Energy Deposition, Post-heat Treatment

*발표자, #교신저자

본 연구는 SKD11 모재에 DED(Directed Energy Deposition) 적층한 AISI M4를 대상으로, 상이한 극저온 처리(Depth Cryogenic Treatment, DCT) 유지시간과 템퍼링이 충격특성에 미치는 영향을 평가하고자 한다. DCT는 적층재 내 잔류 오스테나이트와 잔류응력 상태를 변화시키고, 후속 템퍼링 과정의 조직 변화에 영향을 줄 수 있는 후처리로 알려져 있다. 이에 충격시험과 함께 시험 전 잔류응력, 시험 후 경도 및 미세조직 변화를 종합적으로 분석하였다. 또한, DCT 유지 시간에 따른 충격특성과 조직 변화의 상관성을 검토하여, 적층 공구강의 충격 특성 제어를 위한 후처리 설계 기준을 마련하고자 한다.

가압 파우더 기반 L-PBF를 통한 텅스텐 적층 구현

Additive Manufacturing of Pure Tungsten through Pressurized Laser Powder Bed Fusion: Process and Implementation

*#김지연¹

#*Chi Yen Kim(chiykim@kopo.ac.kr)¹

¹한국폴리텍대학 청주캠퍼스 메카트로닉스과

Key words : Additive Manufacturing, Tungsten 3D Printing, Hybrid Manufacturing

*발표자, #교신저자

텅스텐은 섭씨 3422도에서 녹는 고용점 소재의 대표 소재이며, 내화학성과 강한 강도, 높은 기계적 성질 때문에 무기나 원자력, 핵시설등에서 필히 사용되어야 하는 중요한 소재이다. 하지만 높은 용융점으로 분말야금으로 만든 잉곳을 절삭가공으로 제품을 만들어야 하는 가공제한이 있어서 가공법에 따른 설계제약을 많이 받는 금속이다. 그래서 많은 적층제조 기법을 적용하는 연구가 수행되었지만 상온으로 바뀔 때 발생하는 균열과 취성 때문에 적층제조 기술을 적용하기가 어려웠다. 본 연구에서는 잉곳을 만드는 원 기법인 분말야금학에 기초를 두고 파우더를 가압하는 방안을 제시하여 적층제조 파라미터를 최적화 하였고, 이를 통해 샘플 제조를 구현하였다.

1. 서론

본 연구는 분말야금에 모티브를 두고 고용점 소재인 텅스텐의 적층시 파우더에 Green density의 20%까지의 가압을 하여 분말압축 상태에서 Melt pool을 형성하고 소결하여 적층제조 하는 기법을 제안하고 2년간 파라미터 최적화와 가압에 따른 적층 결과 특징 및 현상 규명에 관한 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 최적화된 파라미터 연구 결과를 사용하여 최종적으로 텅스텐 소재의 적층 수행과 표면 및 내부 조직 및 추가 연구 사항등을 종합적으로 발표한다.

2. 가압파우더 기법

분말야금과 같은 파우더 가압을 위해서 본 연구에서는 Fig 1과 같이 L-PBF 방식의 금속 프린팅 과정에 Recoating 부분을 변형하였다. 파우더에 수직 가압을 하고 이 후 표면이 평탄화 되면 laser scanning 과정을 수행하면서 한레이어씩 적층하는 구조를 제시하였다.

이때 압력은 선행 연구에서 압력에 따른 적층 성능을 시험평가하였고 100MPa정도라도 greendensity 보다는 낮은 압력에서도 급격한 크랙 및 결함 발생율이 작아지는 것을 확인하였다.

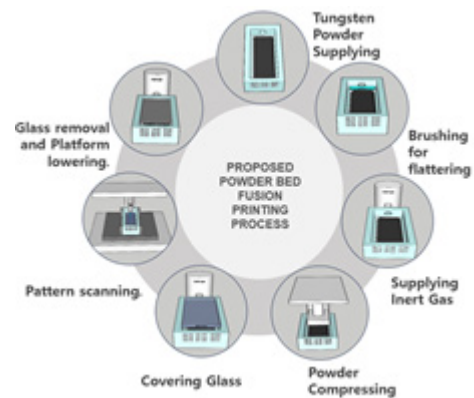


Fig. 1 Pressurized powder bed fusion

3. 파라미터 최적화

적층 파라미터로는 레이저의 파워와 가공속도, 가압 정도, 기저부 온도, 파우더 크기 등을 종합적으로 실험 조사를 하였고 표 1.과 같은 값으로 적층이 안정적으로 수행되는 것을 확인하였다.

특히 기저부 즉 파우더의 온도는 100도에서 1000도 까지 여러 가지 경우에 관해 실험을 수행하였고, 실험결과 섭씨 400에서도 표면의 결함을 획기적으로 줄이는 결과를 얻을 수 있었다.

Table 1 Optimized process parameters

PARAMETER	VALUE
LASER	Fiber laser
LASER WAVELENGTH	1030 nm
LASER POWER	800W
METAL POWDER	Tungsten powder 99.9% (1.8~5um)
LAYER THICKNESS	100um
PRESSURE	80Mpa
SCAN SPEED	80 mm/s

4. 적층구현

Fig 2와 같은 실험 장치를 구현하여 펄스레이저를 사용한 적층 실험을 구현하였고 Fig 3과 같은 1.98m의 샘플을 제작하였다. 등을 종합적으로 실험 조사를 하였고 표 1.과 같은 값으로 적층이 안정적으로 수행되는 것을 확인하였다.

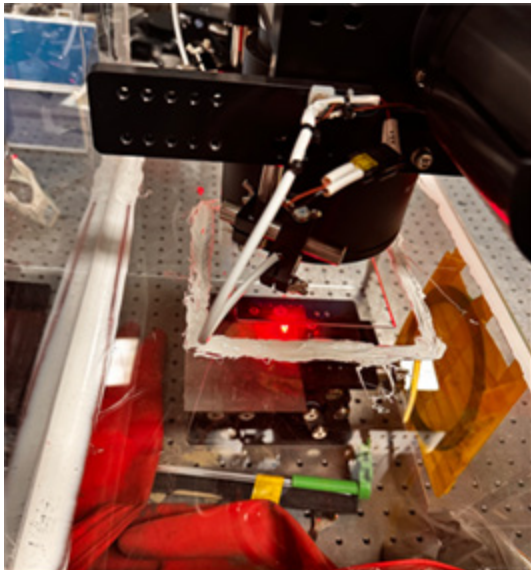


Fig. 2 Experiment system

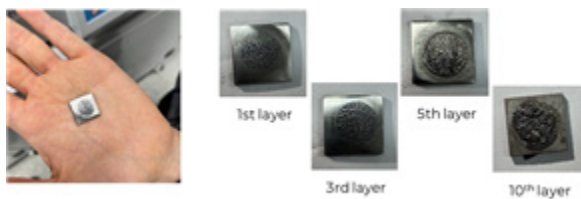


Fig. 3 Built Sample and layer result

5. 결론

본 연구에서는 분말야금 개념을 적용한 가압 기반 적층제조 기법을 통해 텅스텐 적층 시 발생하는 균열을 효과적으로 저감할 수 있음을 확인하였다. 특히 예열과 가압 조건의 최적화를 통해 균열 빈도 감소와 밀도 향상을

동시에 달성하였으며, 안정적인 미세조직 형성이 가능함을 SEM 분석으로 검증하였다. 본 기법은 고용점 금속의 적층제조에 유효한 대안으로 활용될 수 있다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2023-00247733)

REFERENCES

1. Talignani, A., Seede, R., Whitt., A., Zheng, S., Ye, J., Karaman, I., Kirka, M. Katoh, Y., Wang, Y., "A review on additive manufacturing of refractory tungsten and tungsten alloys," Additive Manufacturing Journal, Vol. 38, pp. 103009, 2022.

하향식 DLP 3D 프린팅에서의 in-situ 스캐닝 시스템 적용 연구 Top-Down DLP 3D Printing with in-situ Scanning System

*제갈지원¹, 권현태¹, Davaasuren Nyamdavaa¹, 탁세훈¹, 현재상¹, #김석¹

*Ji Won Chegal¹, Hyun Tea Kwon¹, Davaasuren Nyamdavaa¹, Se Hoon Tak¹, Jae Sang Hyun¹,
Seok Kim(seokkim@yonsei.ac.kr)¹

¹ 연세대학교 기계공학부

Key words : Addictive Manufacturing, In-situ Scanning, Digital Light Processing

*발표자, #교신저자

현재 DLP(Digital Light Processing) 3D 프린팅 시스템은 정밀한 형상과 기하학적으로 복잡한 구조물을 제작할 수 있지만, 그 과정에서 실시간으로 제작의 정확도를 모니터링하는 메커니즘은 부재하다. 따라서 품질 보증은 일반적으로 후처리 검사를 통해 이루어지며, 이는 연속적인 레이어에 걸쳐 기하학적 오류가 누적되는 것을 방지할 수 없다. 본 연구에서는 FPP(Fringe Projection Profilometry)와 DLP 3D 프린팅 시스템을 단일 플랫폼 내에 결합하여 in-situ 모니터링을 가능하게 하는 통합 시스템을 제안한다. 자외선 경화와 구조광 투영 모두에 동일한 프로젝터를 활용함으로써, 각 프린팅 레이어의 3차원 표면을 재구성한다.

1. 서론

DLP 3D 프린팅은 디지털 광 투영을 통해 광경화성 수지 레이어 전체를 한 번에 경화시키는 방식으로, 높은 해상도, 우수한 표면 품질, 빠른 제작 속도를 제공한다. 최근에는 뼈 스캐폴드, 치과 임플란트, 소프트 로보틱스, 미세유체 장치 등 다양한 분야에 활용되고 있다. AM[Additive Manufacturing]의 산업적 적용이 확대됨에 따라, 결합 감지·수정 및 공정 파라미터 최적화가 가능한 폐루프 제어 시스템 구현을 위해 in-situ 실시간 모니터링이 필수적으로 요구되고 있다. DLP 3D 프린팅의 in-situ 모니터링 방법으로는 간섭계 기반 경화 모니터링 등 여러 접근법이 연구되어 왔으며, 기존의 간섭계 기반 경화 모니터링 방법은 제한된 수의 픽셀 또는 소규모 관심 영역에서의 정량적 관측에 의존한다. 전체 시야 간섭무늬가 촬영되더라도, 이후 분석은 선택된 픽셀에만 제한되는 경우가 많다. 이러한 한계 극복을 위해 새로운 구조광 기반 스캐닝 접근법을 제안한다.

2. 본론

여러 방식의 DLP 3D 프린팅 방법들중 FPP 패턴을 왜곡없이 촬영하기 위하여 Top-down 방식을 채택하여 시스템을 제작하였다. 형상 제작을 위한 슬라이싱 이미지와 스캐닝을 위한 Fringe 패턴을 하나의 프로젝터를 이용하여 순차적으로 조사한다. 목표 형상이 경화된 후 조사된 Fringe 패턴이 형상의 표면에 반사되어 카메라로 촬영된다. 촬영된 패턴 이미지들을 층별로 쌓으며 출력중인 형상의 3차원 형태로 재구성된다.

3. 결론

제안된 시스템은 기존 DLP 시스템에 카메라 하나를 추가하는 것만으로 in-situ 모니터링이 가능하다. 매 레이어마다 경화시 결합, 과경화, 에어버블 형성등의 오류가 있는 것을 실시간으로 확인이 가능하다. 이런 확인을 바탕으로 제품의 품질을 높이고, 출력 실패로 인한 낭비를 최소화하는데 기여 할 수 있을 것이다.

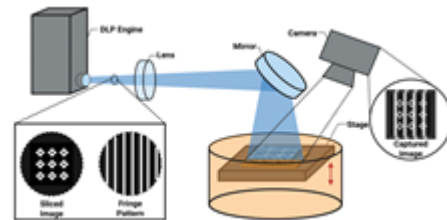


Fig. 1 Diagram of printing-scanning process

후기 이 연구는 한국연구재단(RS-2025-23524172), 한국산업기술진흥협회(KOITA20250002-11), 및 연세대학교(2025-22-0146)의 지원을 받아 수행된 것

**머신러닝 기반 Wire Arc-DED 공정에서 층간 온도
및 전기적 변수에 따른 CTWD 예측 알고리즘**
**Machine Learning-Based CTWD Prediction Algorithm for Wire Arc-DED
Considering Interlayer Temperature and Electrical Parameters**

*김영재¹, 손휘준¹, 김범진¹, 최창영¹, #조영태¹

¹Yeong Jae Kim¹, Hwi Jun Son¹, Bum Jin Kim¹, Chang Young Choi¹,

#Young Tae Cho (ytcho@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : Wire Arc-DED, CTWD, Machine Learning

*발표자, #교신저자

Wire Arc-DED 공정은 열 축적과 입열 변화에 민감하여 층간 높이와 비드 형상 안정성에 큰 영향을 받는다. 본 연구에서는 층간 온도와 전류·전압 기반 입열을 고려하여 최적 CTWD를 예측하는 머신러닝 알고리즘을 제안하였다. 다양한 조건에서 데이터를 구축하고 다중선형 회귀분석을 통해 변수 간 관계를 도출하였다. 제안된 모델은 CTWD를 정밀하게 예측하고 실시간 제어를 가능하게 하여 치수 정밀도와 공정 안정성 향상에 기여한다. 또한, 공정 변수 변화에 따른 형상 오차를 효과적으로 보정할 수 있음을 확인하였으며, 향후 자동화 및 디지털 트윈 기반 적층 제조 시스템에 적용 가능성을 제시하였다. 나아가 공정 최적화 및 생산성 향상에도 기여할 것으로 기대된다.

후기 이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구이며 (RS-2024-00507253), 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-KI002700, 우주항공/소형원전/방위산업 특화 적층제조기술 혁신 얼라이언스 구축, 중견기업-지역 혁신 얼라이언스 지원사업).

금속 적층제조 기반 자동차 부품의 공정 해석 및 치수 특성에 관한 연구
A Study on Process Simulation and Dimensional Characteristics of Automotive Components Fabricated by Metal Additive Manufacturing

박정규¹, 이권일², *정명휘¹, #김해지³

Jung Gyu Park¹, Kwan il Lee², *Myung Hwi Jung¹, #Hae Ji Kim³

¹경상국립대학교 미래자동차공학과 대학원, ²한국폴리텍VII대학 부산캠퍼스 전기자동차과, ³경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : Metal Additive Manufacturing, Additive Manufacturing Process Simulation, Dimensional Accuracy

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 금속 적층제조를 이용한 자동차 힌지 부품의 치수 특성 향상을 위해 공정 시뮬레이션 기반 변형 저감 방안을 제안하였다. 초기 해석을 통해 열응력에 의한 변형이 집중되는 영역을 확인하고, 적층 방향 변경 및 서포트 구조 보강을 통해 변형 거동을 개선하였다. 재해석 결과, 변형이 감소함을 확인하였으며, 이를 바탕으로 변형 보상 설계를 적용하였다. 최종적으로 시제품을 제작하고 3D 스캐닝 기반 치수 편차 분석을 수행하여 치수 정확도 향상 효과를 검증하였다.

금속 적층제조에서 적층각도 및 오버행 조건에 따른 치수정밀도 특성 평가 Evaluation of Dimensional Accuracy According to Build Angle and Overhang Conditions in Metal Additive Manufacturing

*정명휘¹, 박정규¹, 이권일², #김해지³

¹Myung Hwi Jung¹, Jung Gyu Park¹, Kwan Il Lee², #Hae Ji Kim³

¹경상국립대학교 미래자동차공학과 대학원, ²한국폴리텍VII대학 부산캠퍼스 전기자동차과, ³경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : Metal Additive Manufacturing, Build Angle, Overhang, 3D Scanning Dimensional Accuracy

*발표자, #교신저자

금속 적층제조 공정에서 적층각도, 적층방향 및 오버행 구조는 형상 구현 가능성과 표면 품질에 중요한 영향을 미치며, 이에 대한 설계 기준은 주로 출력 성공 여부 및 처짐 발생 여부를 기반으로 제시되어 왔다. 그러나 이러한 접근은 실제 치수정밀도를 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 본 연구에서는 다양한 적층각도 및 오버행 조건을 갖는 시편을 설계 및 제작하고, 3차원 스캐닝을 통해 CAD 모델 대비 편차를 정량적으로 분석하였다. 이를 통해 적층조건에 따른 치수오차 분포 및 변형 특성을 평가하고, 금속 적층제조 공정의 정밀도 향상을 위한 설계 지침을 제시하고자 한다.

라티스 구조 기반 경량최적화 및 DFAM을 통한 디퍼렌셜 기어 설계
Design of a Differential Gear Using Lattice-Based Lightweight Optimization, DFAM, and Support Structure Optimization

***이권일¹, *정명휘², 박정규², #김해지³**

^{*}Kwan Il Lee¹, ^{*}Myung Hwi Jung², Jung Gyu Park², [#]Hae Ji Kim³

¹한국폴리텍Ⅶ대학 부산캠퍼스 전기자동차과, ²경상국립대학교 미래자동차공학과 대학원, ³경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : Metal Additive Manufacturing, Lattice Structure, Support Structure, Lightweight Design

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구에서는 금속 적층제조를 고려한 디퍼렌셜 기어의 경량화 및 제조 가능 설계를 위해 내부 라티스 구조를 적용하였다. DFAM 관점에서 서포트 구조와 적층 형상 및 빌드 전략을 최적화하고, 공정 해석을 통해 열변형 거동을 예측하였다. 이를 기반으로 변형보상 설계를 수행하여 치수 편차를 최소화하고 설계 신뢰성을 확보하였다. 최종적으로 경량화와 치수정밀도를 동시에 만족하는 적층 제조 적합 설계를 제안하였다.

**관류 기반 바이오파이퍼의 개발 및 이를 이용한
3D 드래깅 프린팅 다층 식도 인공지지체의 동적 배양**
**Development of a Perfusion-Based Bioreactor and Dynamic Culture of
3D Dragging-Printed Multilayered Esophageal Scaffolds**

*김재석¹, 강준규², 정훈진³, 장진아^{2,4,5,6}, 곽소정⁷, #남효영⁸, #이승재^{1,9,10,11}

^{*}Jae Seok Kim¹, Jun Kyu Kang², Hun Jin Jeong³, Jin Ah Jang^{2,4,5,6}, So Jung Gwak⁷,

[#]Hyo Ryung Nam⁸(ryung@cu.ac.kr), [#]Seung Jae Lee^{1,9,10,11}(sjlee411@wku.ac.kr)

¹원광대학교 기계공학과, ²포항공과대학교 기계공학과, ³메릴랜드대학교 이스턴 쇼어 공학과,

⁴포항공과대학교 IT융합공학과, ⁵포항공과대학교 시스템생명공학부, ⁶연세대학교 미래융합연구원,

⁷원광대학교 화학공학과, ⁸대구가톨릭대학교 의과대학 의공학과, ⁹원광대학교 기계공학부,

¹⁰원광대학교 메카바이오연구소, ¹¹원광대학교 첨단바이오융합연구센터

Key words : Esophagus, Tissue Engineering, Scaffold, Bioreactor

^{*}발표자, [#]교신저자

Reconstruction of functional esophageal tissue remains a major challenge in tissue engineering, particularly due to the difficulty in reproducing coordinated peristaltic motion and layered histological organization. Despite advances, achieving both structural fidelity and functional maturation remains difficult. In this study, we developed a biomimetic esophageal scaffold mimicking histological structure and a dynamic perfusion-based bioreactor for its organization and maturation. A multilayered porous scaffold was fabricated via dragging printing with bioinks between layers and cultured under perfusion with peristalsis-like stimulation. This approach significantly enhanced the proliferation of human esophageal epithelial cells and smooth muscle cells. These results suggest that combining biomimetic scaffolds with dynamic perfusion-based culture systems is promising for esophageal tissue engineering.

후기 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음. (No. 2022R1A2C2008149)

이산요소 시뮬레이션 기반 금속 적층제조용 분말의 정적·동적 유동 정량평가 기술 개발

Development of a Quantitative Evaluation Method for Static and Dynamic Powder Flow in Metal Additive Manufacturing Using Discrete Element Simulation

*#이재욱¹, 박성한¹, 전수을¹, 류예영¹, 송민경¹, 정채은¹, 문지윤¹

*#Jae Wook Lee¹, Seong Han Park¹, Su Eul Jeon¹, Min Kyung Song¹, Chae Eun Jeong¹, Ji Yun Mun¹

¹경북대학교 스마트모빌리티공학과

Key words: Discrete Element Method, Additive Manufacturing, Powder Flowability, Dynamic & Static AOR

*발표자, #교신저자

1. 정적·동적유동 정량평가 기술

금속 적층제조는 항공우주, 국방, 자동차, 에너지 분야에서 경량화, 고성능화, 설계 자유도 향상을 동시에 구현할 수 있는 유망 제조기술로 빠르게 확대되고 있다. 그러나 분말베드 기반 공정에서는 분말층 형성의 불균일성과 리코팅 과정의 변동으로 인해 에너지 전달, 용융풀 안정성, 응고 거동이 영향을 받으며, 이는 결함 발생과 품질 편차로 이어질 수 있다. 특히 분말 유동성과 분말층 형성성은 입도분포, 입자 형상, 표면 상태와 같은 분말 특성뿐 아니라 레코터 속도, 층두께, 공급 방식, 장비 내부 분위기 등 다양한 인자에 의해 좌우되므로, 이를 정량적으로 평가하고 예측하는 기술이 중요하다. 현재 Carney Hall 시험, 탭 밀도, 정적 안식각과 같은 오프라인 평가법이 널리 활용되고 있으나, 실제 장비 내 동적 리코팅 조건에서 나타나는 전단, 재배열, 응집, 분리 및 표면 형상 변화를 충분히 반영하는 데에는 한계가 있다. 또한 실험만으로는 분말 물성, 장비 조건, 공정 조건 간 상호작용을 체계적으로 분석하기 어렵다. 이에 따라 입자 거동을 직접 추적할 수 있는 이산요소법(DEM)이 금속 분말의 유동 및 층 형성 거동을 물리 기반으로 해석할 수 있는 유력한 도구로 주목받고 있다.

본 연구에서는 회전드럼과 Carney Hall 조건을 대상으로 DEM 기반 가상평가 체계를 구축하고, 실험 유동성 지표와의 정량 비교를 통해 예측 신뢰성을 검토하고자 한다. 또한 입도 조건 변화에 따른 동적 안식각의

민감도를 분석함으로써, 향후 리코팅 성능과 분말층 형성 품질 예측으로 확장 가능한 기반 기술을 마련하고자 한다. 이를 통해 반복 실험 의존도를 줄이고, 금속 적층제조용 분말 거동에 대한 정량적 해석 및 예측 체계를 확보하는 데 기여하고자 한다.

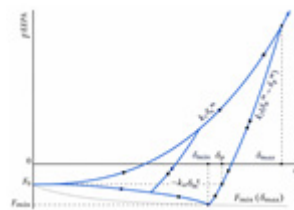


Fig. 1 EEPA for cohesive plasticity property



Fig. 2 Dynamic behaviors of AlSi10Mg Powders at 10rpm for predicting a dynamic angle of repose

후기 본 연구는 교육부 및 대구광역시의 재원으로 대구 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역 혁신 중심 대학 지원 체계(과제번호: 2026-RISE-03-001)의 결과입니다.

직접에너지적층으로 제작된 폐쇄형 알루미늄 폼의
기공 구조 제어 및 특성 평가

Characterization of Pore Structure Control and Properties of Closed-Cell
Aluminum Foams Fabricated by Directed Energy Deposition

*하동훈^{1,2}, #심도식^{1,3}

[†]Dong Hun Ha^{1,2}, [#]Do Sik Shim(think@kmou.ac.kr)^{1,3}

¹국립한국해양대학교 신소재융합공학과, ²국립한국해양대학교 해양신재생에너지융합전공, ³국립한국해양대학교
해양신소재융합공학과

Key words : Directed Energy Deposition, Closed-cell Aluminum Foam, Porosity, Foaming Agent

*발표자, #교신저자

직접에너지적층(Directed Energy Deposition, DED)은 금속 분말을 국부 용융·적층하는 공정으로 최근에는 폐쇄형 알루미늄 폼 제조에도 적용되고 있다. 본 저자의 선행 연구에서는 AlSi₁₀Mg 와 ZrH₂ 의 혼합 분말을 DED 적층하였고, 내부에 폐쇄 기공의 형성을 확인하였다. 본 연구에서는 발포제 함량, 레이저 출력, 노즐 이동속도에 따른 기공률과 기공 형상·분포를 비교하였다. 실험 결과, 발포제 함량 증가 시 기공률은 상승했으나 8:2 혼합비에서는 과발포로 기공 결합과 구조 불균일성이 증가하였고, 공정 조건을 9:1, 700 W, 1050 mm/min 로 설정할 때 최대 기공률과 비교적 균일한 기공 분포를 확보하였다. 이를 통해 공정변수 제어로 기공 구조 조절이 가능함을 확인하였다.

후기 이 논문은 2025년도 한국연구재단의 중견연구자지원사업의 지원을 받아 연구되었음(No. RS-2024-0034616660282063490102).

**DED 공정 지능화를 위한 IR 모니터링 기반 멜트풀
폐루프 제어 시스템 구축**

**Development of an IR Monitoring-Based Melt Pool Closed-Loop Control System
for Intelligent DED Processes**

***권수빈¹, 최우성¹, 이윤선¹, 김다혜¹, 성지현¹, 박석희², #김건우¹**

*Su Bin Kwon¹, Woo Sung Choi¹, Yoon Sun Lee¹, Da Hye Kim¹, Ji Hyun Sung¹, Suk Hee Park², #Kun Woo
Kim(kwkim@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원, ²부산대학교 기계공학부

Key words : Directed Energy Deposition, IR Image, Meltpool, Closed-loop

*발표자, #교신저자

DED 공정에서 멜트풀의 안정성은 적층물의 기하학적 정밀도를 결정하는 핵심 요소이다. 본 연구는 레이저와 동축으로 구성된 IR 카메라로 멜트풀 형상 및 온도 분포를 실시간 모니터링하고 레이저 출력을 조절하는 폐루프 시스템을 구성하였고, 용융 입계 온도 이상의 픽셀 수와 형상, 온도 분포를 산출해 피드백 지표로 활용하였다. 실시간 모니터링 중 멜트풀 형상 및 온도 분포가 목표 범위를 벗어나면 레이저 파워의 보상 제어를 통해 멜트풀 형상 및 온도 분포를 일정하게 유지한다. 이를 통해 일정하게 출력되는 레이저 방식의 DED 공정이 가지는 적층물의 형상 오차를 감소시키고, 실시간 레이저 제어를 통해 DED 공정의 치수 정밀도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

후기 본 연구는 한국생산기술연구원(KITECH) 기관고유사업(No. EH260002)에 의한 연구임을 밝힙니다.

TPMS 구조를 적용한 3D프린팅 기반 8인치 하부척의 열유동 해석 Thermal-Flow Analysis of a 3D-Printed 8-Inch Lower Chuck with TPMS Structure

*박민성¹, 이지현¹, 성지현¹, 박석희¹, #김건우

^{*}Min Seong Park¹, Ji Hyun Lee¹, Ji Hyun Sung¹, Suk Hee Park²,

[#]Kun Woo Kim(kwkim@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원 대경기술실용화본부, ²부산대학교 기계공학부

Key words : Additive Manufacturing, Triply Periodic Minimal Surface, Thermal-flow Analysis

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 반도체 공정용 8인치 하부척의 열전달 효율을 극대화하기 위해, 암시적 모델링 기법을 활용한 삼중주기최소표면(Triply Periodic Minimal Surface, TPMS) 기반 유로 구조를 설계하고 열유동 해석을 통해 성능을 확인하였다. 해석 모델은 실제 공정 조건을 모사하여 상부 표면에 일정 온도 및 일정 열유속을 각각 적용하였으며, 이를 기존 기계 가공 방식의 직렬 유로 구조와 비교하였다. 냉각수 출구 온도, 총 열전달량 및 표면 온도 균일도에 대한 정량적 분석을 수행한 결과, 적층제조 기반의 TPMS 유로 구조는 기존 대비 높은 비표면적과 유동 교란 효과를 통해 열교환 효율이 향상됨을 확인하였다. 본 연구는 생성형 설계와 적층제조 기술의 결합이 향후 반도체 부품의 냉각 성능 최적화를 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

후기 본 연구는 한국생산기술연구원(KITECH) 기관고유사업(No. IL260025)에 의한 연구임을 밝힙니다.

직접에너지적층 기반 표면 패턴이 AISI D2 공구강의 윤활 및 마모 특성에 미치는 영향 Effect of Directed Energy Deposition-Based Surface Patterns on the Lubrication and Wear Characteristics of AISI D2 Tool Steel

*강효정^{1,2}, 문희승³, 김건우³, #심도식^{1,3}

^{*}Hyo Jeong Kang^{1,2}, Hee Seung Moon³, Geon Woo Kim³, #Do Sik Shim(think@kmou.ac.kr)^{1,3}

¹국립한국해양대학교 신소재융합공학과, ²국립한국해양대학교 해양신재생에너지융합전공, ³국립한국해양대학교
해양신소재융합공학과

Key words : Additive Manufacturing, Directed Energy Deposition, High-speed Tool Steel, Wear

*발표자, #교신저자

직접에너지적층(Directed Energy Deposition, DED)공정은 금속 분말을 국부적으로 용융·적층하여 형상을 구현하는 공정으로, 최근 표면 특성 향상에도 활용되고 있다. 본 연구에서는 DED로 적층된 AISI D2 공구강 표면에 flat, 1.2, 1.5, 1.8 mm 패턴을 형성하고, PAO1 윤활유를 단회 도포한 조건에서 WC pin 기반 pin-on-disk 시험으로 트라이볼로지 특성을 평가하였다. Flat 조건은 윤활막이 빠르게 붕괴되어 고마찰로 전이되었으나, 패턴 조건은 윤활막이 일정 시간 유지되었고 1.5 mm는 유지 시간이 가장 길었다. 마모는 flat 및 1.2 mm에서 크게 나타났고, 1.8 mm는 우수한 내마모 특성을 보여 DED 기반 표면 패턴의 효과를 확인하였다.

파이프라인 유지보수를 위한 금속 와이어 적층 공정에 관한 연구 A Study on Metal Wire-Additive Manufacturing for Maintenance of Pipeline

*#김은중¹

*#Eun Jung Kim(angel9940@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 DNA+연구소

Key words : Wire Additive Manufacturing, Maintenance, Pipeline

*발표자, #교신저자

터널(Tunnel), 플랜트(Plant) 및 철도와 같은 길이가 긴 파이프 라인으로 구성되는 구조물은 일반적으로 사람의 접근이 어렵고 유지보수 환경이 열악하다. 터널이나 철도에서는 야간이나 부분적인 선로 통제 등을 수행하고 유지보수를 수행하기 때문에 작업환경 개선을 목적으로 하는 무인화된 자동 유지보수 시스템의 개발이 필요하다. 또한, 이러한 파이프라인의 유지보수에서 와이어를 이용한 적층 공정은 다양한 결함에 쉽게 적용이 가능하기 때문에 관련된 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 이송 장치에 로봇을 적용한 이동형 유지보수 장치를 개발하고자 한다. 적층 공정은 실험을 통해 AISI 1045, AISI 1040 및 SUS 316 소재의 적층조건 데이터를 획득하여 결함의 유형에 맞게 적용하였다.

후기 이 논문은 2026년도 산업통상자원부의 '산업기술국제협력(R&D)사업'의 지원을 받아 연구되었음("터널 및 플랜트를 위한 금속 적층 리페어 기술 및 VR 활용 가상화 시뮬레이션 플랫폼 개발", No. P0025817)

Maraging Steel 적층공정 최적화를 통한 물성 신뢰성 검토 및 고기능성 금형 제작 Optimization of Additive Manufacturing Processes for Maraging Steel: Property Reliability Assessment and High-Functionality Mold Fabrication

*김선형¹, #김선형¹, 이종현²

*S. H. Kim¹, #S. H. Kim(shk@geri.re.kr)¹, J. H. Lee¹

¹ 구미전자정보기술원 디지털융합본부

Key words : PBF(Powder Bed Fusion), AM(Additive Manufacturing), Maraging Steel, Energy Density

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 금형 및 고기능성 부품 제조를 위해 Maraging steel의 적층제조(AM) 공정 효율을 최적화하고 실제 금형 적용성을 평가하였다. 5가지 주요 공정 변수의 조합 실험을 수행하고, 측정된 진밀도 데이터를 딥러닝으로 해석하여 생산성을 고려한 최적의 공정 조건을 확보하였다. 실험 결과, 적층 시편은 이론 밀도의 99% 이상에 도달하였으며, 경도 및 인장 강도 면에서 기존 압연재와 대등한 수준의 품질 신뢰성을 확보하였다. 특히 고온 환경에서의 우수한 기계적 특성을 입증함으로써 열간 공구강으로서의 적합성을 확인하였다. 이를 바탕으로 냉각 채널 등이 포함된 복잡 형상의 금형 부품을 성공적으로 제작하여 실제 산업 현장으로의 확장 가능성을 제시하였다.

포스터발표

용접/특수가공

Zn과 Cr 보강재에 의한 알루미늄 판재의 마찰교반점용접 연구

A Study on the Friction Stir Spot Welding of Aluminum Alloy Sheets by with Zn and Cr Reinforcement

*김중선¹, 조인호², 김성관³, 김승경⁴, #안석영¹

*J. S. Kim(kjs16852002@naver.com)¹, I. H. Cho², S. G. Kim³, S. K. Kim⁴, #S. Y. Ahn¹

¹부산대학교 기계공학부, ²대한항공, ³홀루테크, ⁴홍성정공

Key words : Friction Stir Spot Welding, Zn Powder, Zn Sheet, Cr Powder, Tensile-shear Load

*발표자, #교신저자

본 연구는 AA5052-H32 알루미늄 판재와 SPCUD 냉간압연 강판을 대상으로 마찰교반용접(FSSW) 공정을 적용하여 접합부의 기계적 성능을 분석하였다. FSSW 공정 조건을 설정하고, Zn Powder, Zn Sheet, Cr Powder 첨가에 따른 접합부의 특성을 비교하였다. 공구 체류 시간이 증가함에 따라 전단인장강도가 증가하는 경향을 보였으나, 일정 공구 체류 시간을 초과하면 전단인장강도가 감소하는 현상이 나타났다.

1. 연구배경

알루미늄합금은 철에 비해 가벼우면서도 내구성과 내식성이 우수하여, 자동차 산업에서 경량화의 방안으로 주목받고 있다. 하지만 알루미늄은 용융용접을 사용할 경우 변형이나 기계적 결합 발생 확률이 높아 이를 해결하기 위한 접합 기술 연구가 필요하다.^[1]

2. 시편 소재 제작

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 AA5052-H32 알루미늄 판재(두께 3 mm)와 SPCUD 냉간압연 강판(두께 0.8 mm)을 사용하였고, 겹침부의 크기는 45 × 40 mm로 하였다. 또한 KS B ISO 14273 표준 규격에 따라 폭 45 mm, 길이 105 mm로 절단하여 시편을 제작하였다.

3. 공정 설정 및 측정 방법

마찰교반용접(FSSW) 조건으로는 공구 회전속도 6,000 rpm, 이송 속도 60 mm/min, 삽입 깊이 2.75 mm, 공구 체류 시간은 5s, 10s, 15s로 설정하여 실험을 진행하였다. 보강재 삽입을 위해 직경 10 mm, 깊이 2.5 mm의 홀이 선가공 되었으며, 보강재를 삽입한 후 삽입 깊이 2.75 mm로 용접을 완료하였다. 보강재는 순도 99% 이상의 입자크기 200 mesh인 Zn, Cr Powder, φ10 크기의 Zn Sheet를 사용하였다.

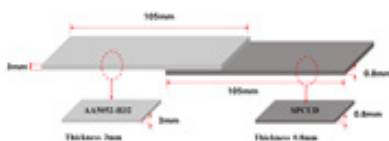


Fig. 1 Schematic diagram of the size of Friction Stir Spot Welding specimens

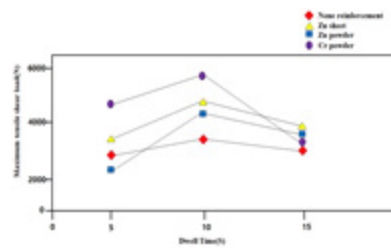


Fig.3 Tensile - shear load as a function of dwell time and reinforcement

만능재료시험기(MTDI, Minos-100S)를 이용하여 전단인장시험을 진행하였으며, 조건별로 각 3회씩 시험하여 평균값을 구하였다.

4. 고찰 및 결론

Fig. 3은 체류시간과 보강재에 따른 전단인장강도 그래프이다. 체류 시간을 10s로 연장했을 때 체류시간 5s 대비 미첨가 16.6%, Zn Powder 첨가 66.9%, Cr Powder 첨가 13.5%, Zn Sheet 첨가 28.7%의 전단인장강도가 증가하였다. 하지만 체류시간 15s에서 전단인장강도가 감소하는 현상이 나타났다. 이는 공구의 장시간 체류로 인한 과도한 입열량으로 인해 접합부에 불균일한 미세구조와 파단이 발생했기 때문으로 사료된다. 이에 따라 보강재 종류에 따른 적정 공구 체류 시간 설정이 필요할 것으로 판단되었다.

REFERENCES

1. Chen H. B., et al., "The investigation of typical welding defects for 5456 aluminum alloy friction stir welds," Materials Science and Engineering: A, Vol. 433, No. 1-2, pp. 64-69, 2006.

레이저 가공에 의한 광섬유 팁 형상 제어 및 곡률 반경 연구

Study on Optical Fiber Tip Shaping and Radius of Curvature Control via Laser Processing

*우성철¹, 김지훈¹, #김주한¹

^{*}Seong Cheol Woo¹, Ji Hun Kim¹, #Joohan Kim(joohankim@seoultech.ac.kr)¹

¹서울과학기술대학교 기계공학과

Key words : PMMA, Optical Fiber, ABCD, Laser

*발표자, #교신저자

본 연구는 고가공성 PMMA 기반 코어리스 플라스틱 광섬유(CPF) 끝단을 레이저로 가공하여 정밀 렌즈 소자화하는 기술을 다룬다. ABCD 행렬 이론을 통해 내부 전파, 렌즈 굴절, 공기 중 전파 과정을 수치화하였으며, 가우시안 빔의 수렴 특성을 분석하여 초점 거리를 도출하였다. 이는 복잡한 광학계를 간소화하고 초소형 정밀 광학 분야 및 MEMS 소자의 소형화를 실현하는 핵심 기술로 활용 가능하다.

1. 서론

광섬유는 코어와 클래드의 굴절률 차이에 의한 전반사 원리를 이용해 빛을 손실 없이 전송하는 매체이다. 현대 광학계에서 광섬유는 단순한 빛의

전송을 넘어 레이저, 광섬유 센서, 간섭계 등 전 분야의 핵심 소자로 자리 잡았다.

최근 광학 시스템의 소형화 및 고효율화가 요구됨에 따라, 복잡한 외부 렌즈 광학계를 생략하고 광섬유 끝단 자체를 정밀 렌즈 형태로 가공하는 연구가 주목받고 있다. 렌즈의 기능을 광섬유 끝단에 첨가함으로써 초소형 정밀 광학 분야에서 독창적이고, 핵심 역할을 한다 [1].

본 발표에서는 특히 가공성이 우수하고 렌즈 구현이 용이한 플라스틱 광섬유(PMMA)를 사용하여 코어리스 구조의 광학적 설계의 유연성을 활용하여, 레이저 가공을 통한 렌즈 형상 제어 기술과 이에 따른 가우시안 빔의 전파 특성을 ABCD 행렬 이론을 바탕으로 분석하고자 한다.

2. 광섬유 렌즈의 ABCD행렬

Fig.1과 같이 광섬유(PMMA)에서 곡률반경에 따른 초점거리는 세 단계의 행렬 결합, 즉 광섬유 내부 전파 행렬(M_P), 렌즈 경계면 굴절 행렬 (M_L), 공기 중 전파 행렬(M_A)의 곱으로 식(1)과 같다.

$$M_{total} = M_A \times M_L \times M_P = \begin{pmatrix} 1 & z \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{n_1 - n_2}{n_2 R} & \frac{n_1}{n_2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & L_c \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

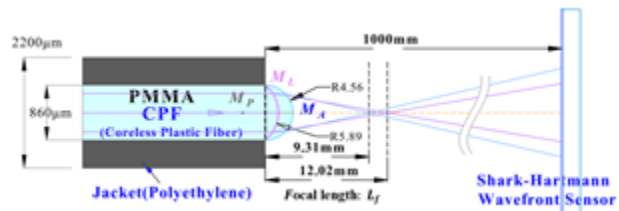


Fig. 1 The schematic of ray propagation through PMMA based CPF with spherical tips.

$$L_f = \frac{n_2 R}{n_1 - n_2}, \quad (n_1 = 1.49, n_2 = 1.0) \quad (2)$$

따라서 굴절률 n_1 , n_2 그리고 곡률에 따라 식(2)에서 초점거리 L_f 를 구할 수 있다.

3. 결론

광섬유(PMMA)의 끝단 가공의 측면 이미지 형태로 측정하였고, 곡률 반경은 $R=5.89, 4.56\text{mm}$ 이었고, 가공 렌즈의 초점거리는 각각 $9.31\text{mm}, 12.03\text{mm}$ 의 결과를 얻었다.

후기 본 연구는 산업통상자원부 국제공동기술개발사업의 지원을 받아 수행됨 (P0028828)

REFERENCES

1. A. Malki, R. Bachelot, and F. V. Lauwe "Two-step process for micro-lens-fibre fabrication using a continuous CO2 laser source", Journal of Optics A: Pure Appl. Opt. 3 291-295, 2001.

레이저 소결 기반 미세 패턴 프린팅 공정 개발 Development of a Laser Sintering-based Micro-Pattern Printing Process

*서유석¹, 김찬희¹, 우민우¹, 김한범¹, 김종현¹, #최해운¹

^{*}Yu Seok Seo¹, Chan Hee Kim¹, Min Woo Woo¹, Han Beom Kim¹, Jong Hyun Kim¹,

[#]Hae Woon Choi(hwchoi@kmu.ac.kr)¹

¹계명대학교 기계공학과

Key words : Laser Sintering, Microprinting, Pulsed Laser, Process Optimization

*발표자, #교신저자

프린팅 기반 제조는 디지털 설계 데이터를 바탕으로 재료를 원하는 위치에 직접 적층·패터닝하는 기술이다. 이러한 특성은 공정 단순화와 맞춤형 제작에 유리하며, 복잡한 형상의 미세 구조를 정밀하게 구현하는 데 적합하다. 미세 프린팅 방식으로는 잉크젯, 스크린, 에어로졸 제트 등이 있다. 하지만, 금속 패턴의 전도성 확보를 위해 소결과 같은 별도의 후공정이 필요하다. 후공정은 공정 시간이 증가하고, 열에 의한 기판 손상이나 패턴 변형이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 미세 프린팅과 레이저 인라인 소결을 결합한 미세 패턴 제작 공정을 제안한다. 미세 패턴 제작 공정 효율을 높이고 패턴의 연속성과 전기적 특성을 향상시켜, 향후 웨어러블 전자소자와 플렉시블 디바이스 분야에 활용 가능하다.

후기 본 연구는, 산업통상부의 소재부품기술개발사업 모터연구개발과제 2410009586(00445669)의 지원을 받아 수행하였습니다. 또한, 산업통상부의 산업기술국제협력 배터리연구개발과제(P0030524)의 지원을 받아 수행하였습니다.

GMAW 용접에서 모재 폭에 따른 열 축적 및 용융풀 거동 변화 Thermal Accumulation and Molten Pool Behavior with Varying Base Metal Width in GMAW Welding

*정광호^{1,2}, 안상현¹, 송인영¹, #조대원¹

^{*}Gwang-Ho Jeong^{1,2}, Sang-Hyun Ahn¹, Inyoung Song¹, #Dae-Won Cho(dwcho@kimm.re.kr)¹

¹한국기계연구원 원전기기연구실, ²국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : Molten Pool Dynamics, Base Metal Geometry, Solidification Behavior

*발표자, #교신저자

ASME Section IX의 클래딩 자격 절차는 표준 평판 시편에 기반하여 모재 형상 효과를 충분히 반영하지 못한다. 본 연구는 동일 탄소강을 이용한 GMAW Bead-on-Plate 조건에서 모재 폭(150, 40, 8 mm)에 따른 용융풀 거동과 응고 특성을 수치해석으로 분석하였다. 그 결과, 폭이 감소할수록 열 싱크 효과가 저하되어 용융풀 크기 증가, 유동 변화 및 열 축적이 증가하였으며, 이는 비드 형상과 미세조직 변화에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

후기 본 연구는 한국산업기술기획평가원(KEIT)의 '선박 소부재 생산지능화 혁신기술 개발사업'의 지원을 받아 수행하였음(RS-2023-00247726)

포스터발표

금형/절삭가공/연삭가공

24인치급 파이프 맞대기 용접 전 그루브 가공을 위한 모듈형 베벨링 시스템 개발

Development of a Module Type Beveling System for Groove Processing before 24-inch Pipe Butt Welding

*#김미루¹, 이훈희¹

*#Mi Ru Kim(mrkim@kitech.re.kr)¹, Hoon Hee Lee¹

¹한국생산기술연구원 동남기술실용화본부

Key words : Beveling, Pipe, Clamping, Module Type

*발표자, #교신저자

석유 화학, 원자력 등 에너지 산업에는 대형 구조물의 신규 설치나 기존 설비의 유지보수를 위해서는 24인치급 또는 그에 준하는 직경을 갖는 구조용강, 송유관용 탄소강과 같은 파이프가 다량 사용이 된다. 이러한 파이프는 파이프 간 연결을 위한 맞대기 용접이 이루어지는데, 용접 전 단계에서 파이프 양 끝단을 베벨링 공정을 통해 V-그루브 형태의 약 37.5도의 경사각을 형성한다. 이러한 베벨링 공정은 파이프 간 맞대기 용접에서 필수적으로 선행되어야 하는 공정이며, 주로 전문 공장 내에서 베벨링 전용 장비를 통해 가공이 되거나 공사 현장에서 포터블 또는 모듈 형태의 중소형 베벨링 장치를 통해 필요에 따라 즉시 가공이 이루어진다. 베벨링 전용 장비의 경우 가공 성능은 높으나, 장비 도입에 비용이 높으며 공장 내부에서만 파이프의 가공이 가능하다는 단점이 있다. 또한 포터블 또는 모듈 형태의 베벨링 장치의 경우 TAG사, KRAIS사와 같은 유럽, 미국 선진사 제품에 많이 의존하고 있으며, 중국에서도 저가의 제품이 많이 있지만 내구성과 가공 성능이 낮다는 단점이 있다. 국내에서는 포터블, 모듈 형태의 베벨링 장치가 개발되어 활용이 되고 있는 사례는 극히 드물며, 대부분 해외 수입 장치에 의존하고 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 높은 가공 성능을 가지면서 공장 환경에서도 활용이 가능하고 공사 현장에서도 활용이 가능하도록 모듈 형태의 베벨링 시스템을 개발하였다. 본 모듈형 베벨링 시스템은 단품으로도 작업자에 의해 24인치급 파이프 가공에 사용이 가능하며, 향후 자동화와 숙련공 의존 탈피를 위해 로봇으로도 제어가 가능하도록 로딩/언로딩 장치와 그리퍼를 반영하여 설계, 제작하였다. 또한 파이프의 가공 성능과 품질 확보를 위해 초경 공구를 선정하였으며, 24인치 뿐만 아니라 다양한 직경의 파이프에 대응할 수 있도록 베벨링에 적합한 별도의 공구 홀더를 개발하였다. 베벨링 장치에서 중요한 요소 중 하나인 고정 요소는 모듈형 베벨링 장치와 파이프 간 안정적인 고정을 위해 최대 6점 지지가 가능한 유압식 클램핑 시스템을 적용하였다. 이와 같이 본 모듈형 베벨링 시스템을 구성하고 기초 베벨링 테스트를 통해 개발한 시스템의 가공 성능을 확인하였다. 테스트용 파이프로는 ASTM A106 Gr.B 구조용 강관을 사용하였으며, 회전속도 60rpm 및 이송속도 1mm/min의 건식 조건에서 베벨링 테스트를 수행하였다. 베벨링 테스트 결과, 베벨링 장치의 회전 정밀도는 5 μ m 이내로 나타났으며 파이프와 장치간 클램핑 시 틀어짐 없이 고정이 잘 되는 것을 확인하였다. 더불어 베벨링 과정에서 발생하는 칩과 가공 후 공구의 상태를 확인한 결과 파이프 가공 면의 양호한 품질을 유지하면서 안정적인 가공이 가능함을 확인하였다.

후기 본 논문은 2026년 한국생산기술연구원 기관주요사업인 ‘고위험, 고난이도 파이프 제작 공정 대응 원격 제조 시스템 개발(kitech-EH-26-0011)’의 지원을 받아 연구되었음

ITER 블랑켓 차폐블록 냉각채널 오염방지 제작 및 세척절차 개선 Improvement of Manufacturing and Cleaning Procedure for Cooling Circuit of ITER Blanket Shield Block

*#정지영¹, 장준성¹, 김사웅¹, 권태환¹, 강대일²

*#Ji Young Jeong(jyjeong@kfe.re.kr)¹, Jun Sung Chang¹, Sa Woong Kim¹,

Tae Hwoan Kwon¹, Dae Il Kang²

¹한국핵융합에너지연구원 차폐블록기술팀, ²Energy & Machinery Korea Co., LTD

Key words : ITER, Blanket Shield Block, Cooling Circuit, Manufacturing Procedure, Cleaning Procedure

*발표자, #교신저자

ITER 블랑켓 차폐블록은 국제핵융합실험로(ITER)의 진공용기 내부에서 핵융합시 발생하는 고에너지 중성자로부터 진공용기 내, 외의 핵심부품과 초전도 자석으로의 충돌을 막는 기능을 한다. 특히, 차폐블록은 내부의 냉각채널을 통해 핵융합시 발생하는 수백 MW 수준의 열부하에서 진공용기 내의 핵심부품들을 보호하는 역할을 수행한다.

차폐블록 냉각채널 제작은 SS316L(N)-IG 소재에 Gun-drilling 공정을 통한 Deep hole을 형성하고, 절삭가공으로 열부하가 심한 부위에 쿨링 챔버를 만들어 Deep hole을 연결함으로써 개방구조의 쿨링채널이 구성된다. 이후 커버 플레이트를 용접하여 닫힌 구조의 쿨링 채널을 완성하며, 차폐블록의 최종 정삭 단계에서 First Wall 및 Manifold와 연결하는 인터페이스 구조인 Inlet 및 Outlet 형성한다. 이러한 절삭공정과 용접공정이 혼합된 냉각채널의 제작시 내부에 절삭유, 절삭칩 및 용접 오염물들이 유입되는 경우 이를 제거하는 것이 매우 어렵다. 특히, ITER는 프랑스 원자력 안전규제에 의해 관리받고 있으며 이러한 오염물들이 향후 ITER의 운용간 방출된다면 방사능 폐기물에 해당되어 사전에 이러한 문제를 예방하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 차폐블록의 제작 공정간에 냉각채널로 유입되는 절삭칩의 원천적 차단을 위해 냉각채널을 이용한 절삭유 공급 방안과 절삭유 공급경로로 사용된 냉각채널의 잔여 절삭유를 제거하기 위한 세척절차 개발 결과를 소개하며, 이에 대한 유효성 검증결과를 제시한다.

향후 본 연구 결과를 바탕으로 ITER Blanket 차폐블록의 제작공정에 적용하여 차폐블록 쿨링채널 내부 오염을 원천적으로 예방하여 성공적인 조달을 달성하고자 한다.

후기 This research was supported by R&D Program of "Manufacturing and Procurement of ITER Blanket Shield Block(2710000407)" through the Korea Institute of Fusion Energy(KFE) funded by the Government funds, Republic of Korea

기장연구로 핵연료집합체의 Comb 가공 개선 연구 A Study on the Improvement of Comb Processing of Nuclear Fuel Assemblies in Kijang Research Reactor

*문제혁¹, #박동준¹, 황형진¹, 정용진¹

^{*}Jea Hyuek Moon¹, [#]Dong Jun Park(pdj@keari.re.kr)¹, Yong Jin Jeong¹

¹한국원자력연구원 연구로핵연료부

Key words : Nuclear Fuel, Research Reactor, Deburring Tool, Assembly

*발표자, #교신저자

한국원자력연구원은 기장연구로의 초기노심에 장입되는 저농축 고밀도의 핵연료집합체를 제조하기 위한 실험을 진행하고 있다. 집합체의 부품인 Comb & Comb Pin은 스웨이징 가공으로 정렬된 핵연료판 21장에 Hole가 공을 한 후 조립된다. 이때 드릴비트에 의해 발생하는 Burr를 제거하기 위한 작업이 필요하지만 핵연료판 사이의 Gap은 2.35 ± 0.25 mm이므로 Deburring Tool은 사용이 불가능하다. 또한 Comb 장착시 $\varnothing 2.6$ mm의 동심을 일치시켜야 하며, 이때 발생하는 스크래치를 최소화 해야 한다.

본 연구에서는 좁은 틈새에 발생된 Burr를 제거하기 위한 별도의 공정과 핵연료판의 스크래치를 최소화 하며 동심을 일치시킬 수 있는 Comb & Comb Pin의 조립방식에 대해 실험을 진행하였다.

전용 샌딩 장비를 이용한 호두나무 표면거칠기 평가

Surface Roughness Evaluation of Walnut (*Juglans regia*) under Controlled Sanding Conditions Using a Custom Apparatus

*이해진¹, #김해지¹

^{*}H. J. Lee¹, [#]H. J. Kim(khji@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : Custom-built Equipment, Surface Roughness, Wood, Surface Strength

*발표자, #교신저자

목재 표면가공은 제품의 품질과 내구성을 결정하는 핵심 공정이며, 특히 샌딩 조건은 표면거칠기에 직접적인 영향을 미친다^[1]. 본 연구에서는 호두나무(*Juglans regia*)를 대상으로, 압력과 회전속도를 정밀 제어할 수 있는 전용 샌딩 장비를 적용하여 표면가공 조건에 따른 표면조도 특성을 분석하였다. 120, 220, 400, 1000 grit 조건에서 실험을 수행한 결과, 입도가 증가함에 따라 표면조도(Ra)는 1.765 μm 에서 0.242 μm 로 약 86.3% 감소하였다. 또한 미세 입도 영역에서는 기공 충전 효과로 인해 보다 균일한 표면이 형성되었다. 전용 장비 적용 시 가공시간은 90.4% 단축되었으며, 표면조도의 재현성은 73.2% 향상되었다. 본 연구는 호두나무 표면가공 조건 최적화 및 생산성 향상에 기초 자료를 제공한다.

1. 서론

본 연구는 일정한 압력과 회전속도를 유지하는 전용 샌딩 장비를 활용하여, 목재 횡방향 가공 시 사포 입도에 따른 표면거칠기와 기공 충전 특성을 분석하는 것을 목적으로 한다. 실험은 해당 조건을 고정하여 수행하였으며, 경험식의 정량적 모델링이나 다변수 최적화는 범위에서 제외하였다.

2. 전용 샌딩 장비 개발

예비 실험(pilot study)을 통해 수작업 샌딩의 주요 문제점을 분석한 결과, 작업자의 손 압력이 20-50 N 범위에서 불규칙하게 변동(평균 35 ± 12 N, CV=34%) 하며, 이에 따라 표면거칠기 편차가 30% 이상 증가하는 것으로 나타났다. 또한 작업자 피로 누적으로 가공 품질이 저하되는 경향이 확인되었다. 이러한 한계를 개선하기 위해 Fig. 1과 같이 압력과 회전속도를 정량적으로 제어할 수 있는 전용 샌딩 장비를 설계·제작하였다.



Fig. 1 Custom sanding apparatus with detachable handheld sander

3. 실험결과 및 고찰

각 샌딩 입도별 실험은 4회 반복 측정하였다. Fig. 2(a)는 400 grit, (b)는 1000 grit 조건에서 가공된 호두나무의 표면거칠기 측정 결과를 나타내며, Fig. 2는 광학현미경(10 \times)을 이용한 기공 충전 상태를 보여준다. Table 1은 가공 표면의 표면거칠기 측정값을 정리한 것이다.

분석 결과, 샌딩 입도가 증가할수록 표면거칠기 값이 감소하는 경향을 확인하였다. 또한 전용 샌딩 장비를 적용함으로써 수작업에서 발생하던 압력 편차, 회전수 변동, 목분 압착이 감소하였으며, 이에 따라 표면 품질의 일관성이 향상되었다. 작업 시간은 약 10분에서 1분으로 단축되어 약 10배의 효율 개선이 나타났다.

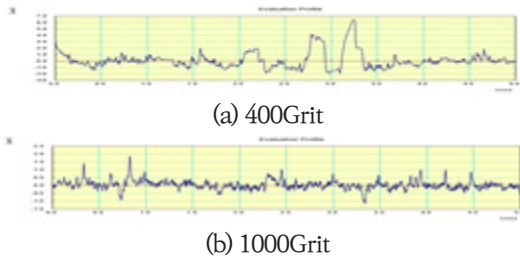


Fig. 2 profile graph of juglans regia after surface processing

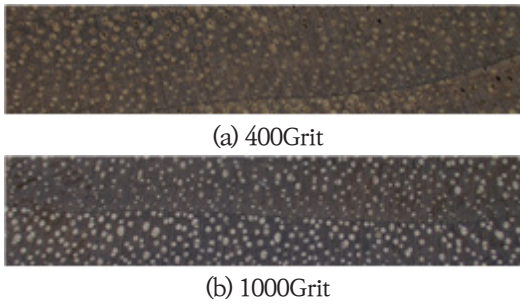


Fig. 3 A picture of a juglans regia's processed surface

Sanding Paper Specification	Juglans regia	
	Mean \pm SD (μm)	CV (%)
120Grit	1.765 \pm 0.282	16.0
220Grit	1.061 \pm 0.050	4.7
400Grit	0.796 \pm 0.243	30.5
1000Grit	0.242 \pm 0.038	15.7

REFERENCES

1. Lee, H. J., Kong, J. R., Kim, H. G., "Comparative Analysis of Surface Roughness by Wood Type after Surface Processing," The Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.24 No.7, pp. 60 ~ 69 (2025. 7)

고정밀 연삭기용 드레서 및 2-Roll 주축의 구조 해석 및 동적 안정성 평가 Structural Analysis and Dynamic Stability Evaluation of Dresser and 2-Roll Spindles for High-Precision Grinding Machine

*윤영찬¹, #김해지²

*Y. C. Yoon(sjyyc@naver.com)¹, #H. J. Kim²

¹경상국립대학교 미래자동차공학과 대학원, ²경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : High-precision Grinding Machine, Dresser, 2-Roll Spindle, Structural Analysis

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 소형·박형 정밀 부품의 연마 가공을 위한 고정밀 연삭기에 탑재되는 핵심 유닛인 드레서(Dresser)와 2-Roll 주축 시스템(2-Roll Spindles)을 대상으로 구조적 건전성 및 동적 안정성을 수치해석적으로 검증하였다. 고정밀 연삭기의 가공 공정에서 드레서는 연삭 스톨의 절삭 성능을 유지하고 형상을 정밀하게 교정하는 필수 장치이며, 2-Roll 주축 시스템은 가공물의 회전 정밀도를 결정짓는 중추적인 역할을 수행한다. 따라서 설계 단계에서 이러한 고정밀 연삭기 부착 유닛들의 강성과 진동 특성을 분석하는 것은 장비의 국산화 개발 및 가공 신뢰성 확보를 위해 필수적이다. 연구 수행을 위해 CATIA V5를 활용하여 고정밀 연삭기용 드레서 및 주축 시스템의 3차원 정밀 모델을 구축하였으며, ANSYS Workbench를 이용하여 유한요소해석(FEA)을 실시하였다. 정적 구조 해석 결과, 가공 하중 및 자중에 의한 최대 변위가 10^{-3} mm 수준으로 산출되어 초정밀 가공 공정에 적합한 높은 수준의 정적 강성을 확보하였음을 확인하였다. 또한, 모달 해석(Modal Analysis)을 통해 도출된 드레서와 주축의 1차 고유진동수는 각각 264.86 Hz와 275.15 Hz로 나타났다. 이는 해당 고정밀 연삭기의 상용 운전 주파수 대역을 충분히 상회하는 수치로, 가공 중 발생할 수 있는 공진(Resonance) 현상을 효과적으로 회피하도록 설계되었음을 입증한다. 본 연구의 결과는 국산화 고정밀 연삭기의 설계 최적화 및 제작 공정에서의 기술적 신뢰도를 뒷받침하는 근거 자료로 활용될 것으로 기대된다.

광촉매 반응을 이용한 LiTaO₃ CMP에서 TiO₂ 함량 및 온도 변화에 따른 재료제거 특성 Material Removal Characteristics by TiO₂ Concentration and Temperature Changes in LiTaO₃ CMP Using Photocatalytic Reaction

*송관훈¹, 이재욱¹, 하인철¹, 강보빈¹, #이현섭¹

¹Gwan Hun Song¹, Jae Wook Lee¹, In Cheol Ha¹, Bo Bin Kang¹, #Hyun Seop Lee¹

¹동아대학교 기계공학과

Key words : Chemical Mechanical Polishing(CMP), Photocatalysis, Titanium Dioxide, Ultraviolet(UV)

*발표자, #교신저자

리튬탄탈레이트는 우수한 압전·유전 특성 및 광학적 비선형성을 바탕으로 표면 탄성파 소자, 광변조기 및 센서 등 다양한 전자·광학 소자에 활용되는 단결정 소재이다. 그러나 안정한 화학적 특성으로 인해 화학기계적 연마에서 표면 반응층 형성이 제한되어 재료제거율이 낮은 경향이 있다. 본 연구에서는 UV 조사 TiO₂ 광촉매 슬러리를 적용하여 LiTaO₃ CMP 공정에서의 화학 반응성 변화를 유도하고, 슬러리 온도 변화를 포함한 공정 변수에 따른 재료제거 특성을 분석하고자 한다.

1. 서론

리튬탄탈레이트(Lithium tantalate; LiTaO₃)는 표면 탄성파(Surface acoustic wave; SAW) 소자 및 RF 필터 같은 통신용 전자소자와 광변조기 등 광통신 소자에 널리 활용되는 단결정 소재이다. 이러한 응용은 우수한 압전, 유전 특성 및 광학적 비선형성에 기반하며, 공정 효율과 소자 성능 확보를 위해 안정적인 재료제거 특성이 요구된다. 이를 위해 화학기계적 연마(Chemical mechanical polishing; CMP)가 적용되나, 표면 반응층 형성이 제한되어 재료제거율이 낮은 경향이 있다. 따라서 재료제거율 향상을 위해, 본 연구에서는 4인치 LiTaO₃ 웨이퍼를 대상으로 UV-TiO₂ 광촉매 슬러리(Slurry)를 이용한 CMP 공정에서의 재료제거 특성을 분석하였다.

2. 본론

본 연구에서는 TiO₂ 슬러리를 UV 조사하여 유도되는 광촉매 반응이 CMP 공정 특성에 미치는 영향을 분석하였다. TiO₂는 UV를 흡수하여 전자(e⁻)와 정공(h⁺)을 생성하며, 생성된 정공으로부터 생성된 활성 라디칼(·OH)은 표면 산화 반응을 촉진하여 재료제거 메커니즘에 중요한 역할을 한다. 이와 같은 광촉매 반응은 슬러리 내 화학적 반응성을 증가시키며, 표면 산화층 형성을 통해 화학기계적 제거를 용이하게 하여 재료제거율(Material removal rate; MRR) 및 마찰 거동에 영향을 미친다. 또한 TiO₂ 기반 광촉매 반응은 슬러리 온도 및 조성과 같은 공정 변수에 의해 영향을 받으며, 이러한 변수들은 광촉매 활성(Photocatalytic activity; PCA)을 변화시켜 CMP 성능에 직접적으로 작용한다.

따라서 본 연구에서는 UV-TiO₂ 광촉매 반응을 기반으로 CMP 공정에서의 화학적·기계적 상호작용을 규명하고, 공정 변수에 따른 재료제거 특성의 변화를 체계적으로 분석하고자 한다.

후기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원(NRF-2022M3H4A3085283), 2025년 산업통상자원부, 한국산업기술기획평가원(KEIT)과 한국반도체연구조합 지원 사업인 민관공동투자 반도체 고급인력 양성사업(2410014361, RS-2025-25452526, 25081-15FC), 한국환경산업기술원의 미세먼지관리 특성화대학원 사업, 부산광역시 및 (재)부산테크노파크의 BB21plus 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

다중센서 데이터를 활용한 용접 비드 정압 연삭 공정의 표면 거칠기 예측에 관한 연구 A Study on Surface Roughness Prediction in Weld Bead Constant-Pressure Grinding Using Multi-Sensor Data

*김석진¹, #이상직¹

^{*}Seok Jin Kim¹, [#]Sang Jik Lee(sjikle@kitech.re.kr)¹

¹한국생산기술연구원

Key words : Force Compliant Grinding, Welding Bid, Process Condition Monitoring, Grinding Characteristics

*발표자, #교신저자

차세대 원전과 같은 고신뢰성 용접 구조물에서 용접비드는 응력 집중으로 인한 균열 및 비파괴 결함 검출 정확도 저하를 유발하므로 정밀 제거가 필수적이다. 하지만 기존의 수작업에 의한 용접비드 제거는 품질의 편차 및 공정 시간 증가 등의 한계를 가지며, 따라서 공정 자동화 기술과 모니터링 기술이 요구된다. 이에 본 연구에서는 정압 연삭 장비를 활용한 용접비드 가공 실험을 수행하고 다중센서 및 가공 표면 거칠기 데이터를 수집·분석하여, 용접비드 가공 품질 감시 기술을 개발하고자 하였다. 실험에서는 재료제거 특성을 검출하는 음향방출 센서와 진동을 검출하는 가속도 센서를 사용하였다. 다중센서 데이터와 표면거칠기 데이터 분석 결과, 센서 데이터의 시계열·주파수계열 경향을 기반으로 품질 감시가 가능함을 확인하였다.

후기 본 연구는 한국생산기술연구원의 ‘차세대원전 제조기술 혁신을 위한 수요기술 기반 R&BD 사업(UR250110)’의 지원을 받아 수행되었음.

자유형상 마이크로 렌즈용 초정밀 평삭 기반 라인 코어 가공 기술 개발 Development of Line Core Machining Technology based on Ultra-precision Planing for Free-form Micro-optics

*이화섭^{1,2}, 서동현^{1,2}, 최두선¹, 곽은지^{1,2}, #한준세^{1,2}

*Hwa Sub Lee^{1,2}, Dong Hyun Seo^{1,2}, Doo Sun Choi¹, Eun Ji Gwak^{1,2}, #Jun Sae Han(jshan@kimm.re.kr)^{1,2}

¹한국기계연구원 나노리소그래피연구센터, ²과학기술연합대학원대학교(UST)

Key words : Free-form Micro-optics, Ultra-precision Planing, Line Core

*발표자, #교신저자

AR/VR 기기 및 소형 디스플레이에 대한 수요가 증가하면서 고해상도 구현 및 소형화 등을 위해 비대칭 자유형상 마이크로 렌즈에 대한 필요성이 증가하고 있다. 전체 표면 형상을 하나의 수식으로 나타내기 어려운 비대칭 자유형상은 선삭 가공 적용이 어렵기 때문에 평삭 혹은 밀링 기반의 가공 기술이 필요하다. 본 연구에서는 자유형상 멀티파셋 코어의 모서리 형상을 정밀하게 구현하기 위해 코어를 라인 단위로 분할하였으며, 초정밀 평삭 가공 기술을 기반으로 라인 코어를 가공하였다. 가공 경로를 기반으로 표면 형상을 근사하는 절삭 방향 설계 형상을 도출하였으며, 접촉식 표면 형상 측정기를 통해 측정된 표면 형상 좌표를 통해 형상 정밀도를 분석하였다.

후기 이 논문은 2026년도 산업통상자원부의 '중견기업-공공연 기술혁신챌린지(R&D)사업'의 지원을 받아 연구되었음(RS-2025-02307280).

단결정 압전소자의 edge chipping 개선을 위한 가공 경로 설계 연구

Study of Tool Path Generation for Reduction of Edge Chipping on Single-Crystal Piezoelectric Elements

*서동현^{1,2}, 곽은지^{1,2}, 최두선¹, #한준세^{1,2}

*Dong Hyun Seo^{1,2}, Eun Ji Gwak^{1,2}, Doo Sun Choi¹, #Jun Sae Han^{1,2}

¹한국기계연구원, ²과학기술연합대학원대학교(UST)

Key words : Single-Crystal Piezoelectric Elements, Spiral Shape, Edge Chipping, Tool Path Generation

*발표자, #교신저자

압전소자를 spiral한 형상으로 가공함으로써 vortex transducer와 같은 첨단 초음파 트랜스듀서 응용에 활용 가능하다고 알려져 있다. 우수한 성능을 통해 고품위 제품에 활용될 수 있는 단결정 압전소자는 높은 취성으로 인해 형상 가공의 적용이 어려운 문제가 있다. 이에 본 연구에서는 단결정 압전소자를 대상으로 spiral 형상 가공 시 발생하는 edge chipping 현상을 개선하기 위해 가공 경로를 개선하여 chipping 현상을 개선하고자 하였다. step 가공 시 공구가 탈출하는 경로에서 chipping 현상이 발생하여 spiral 형상의 상단부 edge에 chipping 현상이 집중된다. 이에 공구를 진입하는 방향으로 경로를 설계하여 가공을 실시하였으며, 최종 설계 형상을 얻기 위해 사전 가공 공정을 고안하였다. 개선된 가공 경로를 통해 진입하는 방향으로 step 가공 시 edge chipping 현상을 개선할 수 있음을 확인하였다.

후기 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00210764)

초정밀 절삭가공에 관한 연구 A Study on Ultra-Precision Cutting

*이경일¹, 김재열², #최철준¹

*G. I. Lee¹, J. Y. Kim², #Choel-jun Choi(cjchoi@keti.re.kr)¹
¹한국전자기술연구원 AI융합가전연구센터, ²조선대학교 기계공학과

Key words : Fine Servo System, Flexure Hinge, Ultra-Precision Machining, FEM

*발표자, #교신저자

1. 서론

현 일반기계산업은 4차 산업혁명에 맞추어 IOT융복합기술이 매우 발전하고 있다. 하지만 국제 무역 환경에 따라 이러한 선진국의 장비와 부품을 공급하기 어려움이 발생하며, 이러한 문제를 해결하고 높은 가공기술을 구현하기 위하여 많은 연구기관에서 연구를 하고 있으나 절삭공구에 연구가 집중되고 있는 현실이다. 본 연구에서는 절삭공구가 아닌 가공기계에 서보 제어기를 추가하여 에러를 보상하고 가공정밀도를 높일 수 있도록 Fine Servo System을 제작하여 Dual Servo System을 구현하여 10nm의 위치 정밀도와 40nm의 표면거칠기를 확보하는 것을 목표로 연구하고자 한다.

2. Dual Servo System

2.1 Optimum Design of Flexure hinge

Flexure hinge는 탄성 변형 형태가 간단하고 동작이 편리하며, 마찰 및 백래쉬가 없고, 응답속도가 빠르며 한 방향의 입력에 대해서는 견고한 성질을 가지고 있다. 따라서 원하는 방향의 운동만 발생시켜주고 나머지 방향에 대해서는 운동을 유발하지 않아 운동의 간섭을 줄일 수 있다. 본 논문에서는 탄성가이드에 10개의 원형 노치를 사용하여 T형 Flexure hinge를 설계하였으며 굽힘강성과 축강성은 식(1)과 같으며 Fig.1은 Flexure hinge 2D도면과 FEM해석을 나타내고 있다.

$$k_b = \frac{2Edt^2}{9\pi R^2} \quad K_s = \frac{Ed}{\pi(r/t)^{1/2} - 2.57} \quad (1)$$

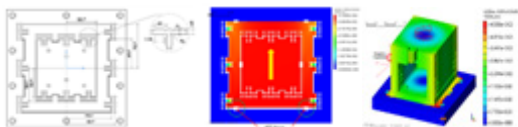


Fig. 1 Flexure hinge and Fine Servo System FEM

2.2 Dual Servo System Controller Design

Dual Servo System의 X-Y의 2입력 1출력 상태방정식은 Global Servo System과 Fine Servo System을 바탕으로 유도하였다.

$$\dot{x}_s = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{55} & a_{56} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} x_s + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ b_{21} & 0 \\ b_{31} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & b_{62} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_p \\ V_m \end{bmatrix}$$

$$x_s = [x \quad \dot{x} \quad v \quad x_c \quad \dot{x}_c \quad i_m]^T \quad (3)$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} x_s \quad y = [1 \quad 0] \dot{y}$$

이와 같이2개의 기구를 한 개의 상태방정식으로 표현 할 수 있으며 Dual Servo System 설계하는 것이 가능하다.

2.3 초정밀 가공실험

본 실험에서 초정밀 가공은 초정밀선반인 UP3를 이용하여 진행하였다. UP3는 유정압 베어링을 이용하여 개발한 초정밀 CNC선반으로 광학센서와 피드백 포지션 컨트롤러등을 이용하여 나노미터 가공정도를 갖는 선반이다. Fig. 2은 ECTS 가 장착된UP3를 나타내었다.

실험은 다이아몬드 바이트와 세라믹 바이트 2종류의 바이트를 이송속도와 절삭깊이를 고정하고 주축회전속도를 100rpm ~ 600rpm까지 변경하며 가공시 발열과 가공정밀도(조도)의 관계를 실험하였다. Fig. 3는 가공시 발열을 측정된 IR 측정 이미지이다.



Fig. 2 UP3(ECTS)

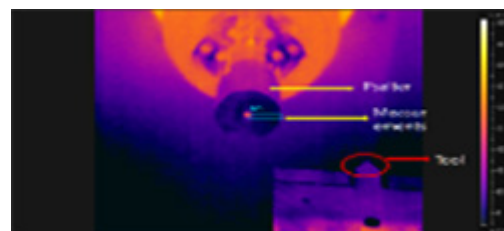


Fig. 3 Image measured with IR camera

Table 1 Generated heat and cutting accuracy in ultra-precision cutting depending on spindle rotation speed changes Diamond

Spindle speed(rpm)	Result(°)	Surface roughness(μm)
100	15.542	0.2141
200	14.668	0.2882
300	15.21	0.1841
400	15.001	0.1986
500	13.556	0.1785
600	13.179	0.2052

of Manufacturing Process Engineers, Vol.17, No.1, pp.63~68, 2018.

Table 2 Generated heat and cutting accuracy in ultra-precision cutting depending on spindle rotation speed changes Ceramics

Spindle speed(rpm)	Result(°)	Surface roughness(μm)
100	10.9	0.7333
200	12.6	0.8863
300	13.2	0.6335
400	12.4	0.8187
500	12.3	0.9332
600	15.2	0.8804

3. 결론

본 연구는 초정밀 가공 시 발생하는 발열과 가공정밀도에 관하여 분석하여 초정밀 가공 시 가공정밀도가 가공 시 발생하는 발열과 관계가 있음을 검증하였다.

또한 가공 시 공구 재질에 따라 발생하는 발열과 그에 따른 가공정밀도에 차이를 연구하였다.

1. 다이아몬드 가공공구를 사용시 발열과 가공정밀도 의 관계로 볼때 가장 좋은 정밀도를 보인 주축회전속도는 500rpm으로 나타났다.
2. 세라믹 가공공구를 사용시 발열과 가공정밀도 의 관계로 볼때 가장 좋은 정밀도를 보인 주축회전속도는 300rpm으로 나타났다.

후기 이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임 (20026618)

REFERENCES

1. Kim, J. Y., Park, D. K., Lee, G. I., Gao, J. C., "Research on the Design of the Ultra-high-precision Positioning Control Error Compensation," IJPEM pp. 1351-1358, 2016.
2. Kim, J. Y., Lee, G. I., "A Study on Heat Generation and Machining Accuracy According to Material of Ultra-precision Machining", Journal of the Korean Society

**단방향 탄소섬유강화섬유(CFRP)의 초음파 진동 보조 드릴링을 위한 이중 열원 기반
추력-온도 예측 모델**

**A Dual-Heat-Source-Based Thrust-Temperature Prediction Model for Ultrasonic
Vibration-Assisted Drilling of Unidirectional CFRP**

*장바오루이¹, 천이니¹, 광예인¹, #고태조¹

^{*}Baorui Zhang¹, Yi Ni Chen¹, Ye In Kwak¹ [#]Tae Jo Ko¹(tjko@yu.ac.kr)¹

¹영남대학교 기계공학과

Key words : Ultrasonic Vibration-Assisted Drilling, Unidirectional CFRP, Thrust Prediction,
Anisotropic Heat Conduction

^{*}발표자, [#]교신저자

This study develops an integrated thrust-temperature prediction model for ultrasonic vibration-assisted drilling (UVAD) of unidirectional CFRP. By discretizing the chisel edge and main cutting edges and introducing an ultrasonic influence coefficient together with fiber-orientation-dependent specific cutting energy, a thrust model capable of capturing intermittent cutting and ploughing effects is established. The chisel edge and main cutting edges are further modeled as a circular and a conical moving heat source, respectively. Combined with the predicted thrust forces and the anisotropic thermal conductivities of CFRP, a three-dimensional transient heat-transfer model is formulated, and heat-partition coefficients are identified using a conjugate gradient inversion method. Experimental validation shows that the model accurately reproduces half-revolution thrust oscillations and temperature evolution, achieving prediction errors of 5.34% for thrust and 4.98% for peak temperature, while correctly capturing the 15-20 °C temperature reduction enabled by ultrasonic assistance. The enhanced predictive accuracy demonstrates the model's capability to reflect the coupled thermo-mechanical behavior of UVAD and provides a robust theoretical foundation for improving drilling quality, suppressing thermal damage, and guiding parameter optimization in composite machining.

후기 This research was supported by the Shipbuilding and Marine Engineering Technology Development Project funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE, Korea) (RS-2025-25422962).

항공부품 가공 오차 보정을 위한 기상측정 검사 적용 연구

Research on the Application of On-machine Measurement Inspection for Compensation of Machining Errors in Aircraft Components

*윤왕호¹, 박민석¹, 한명희¹, #이훈희¹

^{*}Wang Ho Yun¹, [#]Hoon-Hee Lee(hhlee84@kitech.re.kr)¹, Min Suk Park¹, Myeong Hee Han¹

¹한국생산기술연구원 극한공정제어그룹 진주부리기술지원센터

Key words : Machine Tool, On-machine Inspection, Aircraft Components, Machining Error

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 항공부품과 같은 치수 공차가 중요한 부품의 가공오차를 효과적으로 측정하고 보정하기 위해 머신프 로브 기반의 온머신 검사 기반 형상 오차 판단 및 보정 값 산출을 목표로 하였다. 온머신 검사는 측정 경로를 검 증하고, 검사 시 준수시간으로 동기화되어 검사 결과를 가시화하는 플랫폼을 개발하여 수행하였다. 온머신 검사 플랫폼은 검사 결과를 좌표데이터와 공차 연산 결과로 출력하는 기능을 포함하며, 공차 연산 결과로부터 오차를 판단하여 보정 여부, 보정 값을 산출하는 기능도 포함하여 개발하였다. 항공부품 중 연결부로 공차 요구조건이 높 은 Fitting에 적용하였고, 내경을 가공 즉시 온머신에서 검사하여 보정 값을 산출하는 것을 확인하였다.

1. 서론

최근 항공 산업에서는 경량화 및 구조적 안정성을 확 보하기 위해 정밀 부품 가공 기술이 요구되고 있다. 또 한, 항공 부품은 대표적 다품종 소량생산으로 자동화의 난이도가 높지만, 수주 경쟁력을 위한 자동화가 지속적 으로 진행되고 있다. 완전 자동화를 위해서는 작업자의 개입이 최소가 되어야 하며, 가공 오차가 예상되는 경 우 작업자의 측정이 필요하여 이를 자동화 하는 기술이 요구된다.

2. 온머신 검사 활용 가공오차 보정

온머신 검사는 공작기계 스피들에 머신 프로브를 연 결하여 공작물을 탈거하지 않고 측정을 진행하기 때문 에, 검사를 위한 이동 및 재가공 요구 시 재장착 오차 등이 최소화된다. 기상측정 시스템과 공작기계의 연결 을 위해 Fig. 1과 같이 모델링 데이터(STEP)에 치수정 보 및 공차정보를 입력하고 측정경로(NC)를

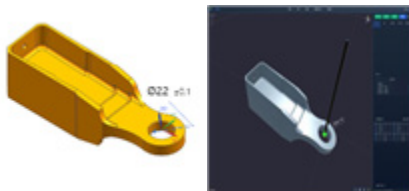


Fig. 1 Fitting Model and On-machine Inspection Platform

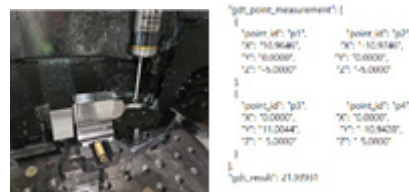


Fig. 2 Experimental setup and inspection result

생성한다. 가공 후 Fig. 2와 같이 기상측정을 통해 내 경의 치수 데이터를 획득하였으며, 공구경 보정에 활용 하여 공차 범위 내에 들어오도록 정삭 공정을 수행하였 다.

3. 결론

개발한 온머신 검사 플랫폼과 CNC 공작기계의 연결 을 통해 가공 후의 치수오차를 공작물의 탈거 및 이동 없이 보정 적용하여 개발 기술이 자동화에 활용될 수 있음을 확인하였다. 이를 기반으로 다양한 형상에 보정 을 할 수 있는 툴 패스 생성 등에도 활용하여 정밀가공 을 위한 연구를 진행할 계획이다.

후기 이 연구는 2025년 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (RC-2025-25455482)

샌딩 입도에 따른 호두나무와 물푸레나무의 기공 충전 특성 분석 Analysis of Pore-Filling Characteristics of Walnut and Ash According to Sanding Grit Conditions

*공정리¹, 이해진², #김해지²

¹Jeong Ri Kong¹, H. J. Lee², #H. J. Kim(khji@gnu.ac.kr)²

¹한국폴리텍대학 로봇캠퍼스 로봇기계과, ²경상국립대학교 미래자동차공학과

Key words : Pore Filling, Surface Roughness, Wood, Juglans Regia, Fraxinus Rhynchophylla

*발표자, #교신저자

목재 샌딩 공정에서 기공 충전은 표면거칠기와 도장 품질을 결정하는 핵심 인자이다. 본 연구에서는 호두나무(*Juglans regia*)와 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*)를 대상으로, 120, 220, 400, 1000 grit 조건에서 샌딩 가공 후 광학현미경(10×)을 이용하여 기공 충전율을 정량 분석하고 표면거칠기(Ra)와의 상관관계를 규명하였다. 분석 결과, 기공 충전율과 표면거칠기 간에는 강한 음의 상관관계($r=-0.92$, $p<0.001$)가 확인되었다. 1000 grit 조건에서 호두나무는 63.2%, 물푸레나무는 57.7%의 충전율을 달성하였으며, 호두나무의 큰 기공 직경(120-150 μm)이 목분 충전에 유리하게 작용한 것으로 해석된다. 본 연구는 수종별 기공 구조 특성을 고려한 표면가공 조건 최적화에 기초 자료를 제공한다.

1. 서론

목재 표면의 기공은 샌딩 시 발생하는 목분에 의해 부분적으로 충전되며, 이는 후속 도장 공정의 접착력과 최종 제품의 표면 품질에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 수종별 기공 구조의 차이가 충전 효율에 미치는 영향을 정량적으로 규명한 연구는 충분하지 않다. 본 연구는 평균 기공 직경이 상이한 호두나무(120-150 μm)와 물푸레나무(80-120 μm)를 비교 대상으로 선정하고, 입도 조건에 따른 기공 충전율 변화를 체계적으로 분석하고자 하였다.

2. 실험결과 및 고찰

광학현미경으로 촬영된 이미지를 ImageJ 소프트웨어를 이용하여 분석하였으며, 기공 충전율은 초기 기공을 대비 가공 후 기공을 감소 비율로 산출하였다. Fig. 1은 실험에 사용된 두 수종의 시편이며, Table 1은 입도에 따른 기공 충전율 및 표면거칠기 측정값을 정리한 것이다.

분석 결과, 두 수종 모두 입도가 증가함에 따라 기공 충전율이 상승하고 표면거칠기는 감소하는 경향을 보였다. 호두나무는 400-1000 grit 구간에서 충전율 증가 기울기가 물푸레나무보다 가파르게 나타났으며, 이는 큰 기공 직경이 미세 목분의 충진을 효과적으로 유도한 결과로 해석된다. 반면 물푸레나무는 높은 경도(5,870 N)와 작은 기공 직경(80-120 μm)으로 인해 전 입도 구간에서 상대적으로 낮은 충전율을 나타냈다.



Fig. 1 Wood specimen types used in the experiment

Table 1 Pore Filling Rate and Surface Roughness (Ra) by Wood Species and Sandpaper Grit Size

Sanding Grit	Juglans regia Ra (μm)	Juglans regia pore filling ratio (%)	Fraxinus rhynchophylla Ra (μm)	Fraxinus rhynchophylla pore filling ratio (%)
120 Grit	1.765	-	2.419	-
220 Grit	1.061	-	1.316	-
400 Grit	0.796	-	0.771	-
1000 Grit	0.242	63.2	0.329	57.7

연속 웨이브렛 변환 기반 실시간 연마력 특성을 활용한 표면 특성 예측 Prediction of Surface Characteristics Using CWT-based Real-Time Abrasive Force Features

*배원준¹, 이정희¹, 김해인¹, 강민석², 김상현³, #곽재섭¹

*Won Jun Bae¹, Jung Hee Lee¹, Hae In Kim¹, Min Seok Kang², Sang Hyun Kim³,

#Jae Seob Kwak(jskwak5@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 기계공학과, ²한국폴리텍VII대학(부산) 반도체금형과, ³한국폴리텍VII대학(부산) 기계시스템과

Key words : Extreme Gradient Boosting, Real-time Finishing Force, Continuous Wavelet Transform

*발표자, #교신저자

힘 신호는 공구와 공작물 간 상호작용을 직접적으로 반영하는 물리량으로, 다양한 제조 공정에서 공정 상태 모니터링과 품질 예측을 위한 핵심 변수로 활용된다. 이에 본 연구에서는 자기연마 공정 중 측정된 연마력 신호만을 입력 변수로 사용하여 표면 특성을 예측하고자 하였으며, 이를 위해 XGBoost 기반 예측모델을 구축하였다. 또한 제안된 모델의 성능을 검증하기 위하여 공정변수만을 입력으로 사용하는 모델과 비교 분석을 수행하였다.

1. 서론

절삭, 연삭 등 다양한 가공 공정에서 힘은 표면 상태와 품질에 중요한 영향을 미치는 핵심 변수로 알려져 있다.^[1] 특히 자기장 내 미세 입자에 의해 연마가 이루어지는 자기연마(Magnetic abrasive finishing, MAF) 공정에서는 공정 중 발생하는 연마력 신호가 표면 특성을 반영하는 중요한 정보로 활용될 수 있다.

2. XGBoost 기반 표면 특성 예측

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 MAF 공정에서 발생하는 실시간 연마력을 예측하기 위하여 공구동력계(9119AA1, Kistler)를 사용하였다. 다양한 공정 조건에서 연마력 신호를 획득하기 위하여 전류, 간극, 실리콘 겔의 점도를 공정변수로 선정하였고, 총 18개의 full factorial 실험을 수행하였다.

이후 획득된 신호에 대하여 연속 웨이브렛 변환(Continuous wavelet transform, CWT)을 적용한 결과, 모든 조건에서 0.5-1.5 kHz 범위가 표면 특성에 유의한 영향을 미치는 유효 주파수 대역으로 나타났다. 각 조건별 연마력은 0.1초 RMS 값을 기준으로 정량화하였으며, 이를 통해 공정 중 발생하는 연마력 특성을 대표하도록 하였다. 또한 산출된 연마력 특성을 입력 변수로 활용한 XGBoost 기반 예측모델을 구축하고 그 성능을 평가하였다.

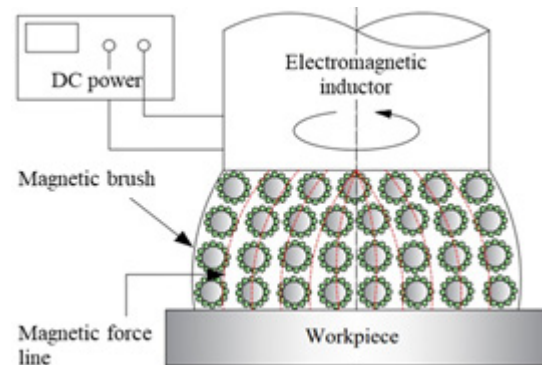


Fig. 1 Schematic of the MAF process

3. 결론

테스트 데이터를 기준으로 예측 성능을 비교한 결과, 연마력 기반 XGBoost 모델은 약 96.0%의 예측 정확도를 나타냈으며, 공정변수만을 입력으로 갖는 모델보다 약 10% 우수한 예측 성능을 보였다.

REFERENCES

1. Ahmad, S., Tian, Y., and Arora, K., "Magnetic abrasive finishing: Innovations and possibilities," *Journal of Manufacturing Processes*, Vol. 134, pp. 299-336, 2025.

고탄소강 박판 열처리품 표면 품질 향상을 위한 연마공정 연구

A Study on Polishing Process for Surface Quality Improvement of Heat-Treated High-Carbon Steel Sheets

*김명섭¹, 박진석², #차승훈¹

*Myeong Seop Kim¹, Seok Jin Park², #Seung Hoon Cha(shcha@gbtp.go.kr)¹

¹경북테크노파크 미래모빌리티육성본부, ²(주)나스테크

Key words : Polishing, Abrasives, Wear, Surface Quality, High-Carbon Steel

*발표자, #교신저자

고탄소강 박판 열처리품의 표면 품질은 제품 성능에 직접적인 영향을 미치는 요소로, 이를 결정하는 핵심 공정인 연마공정의 정량적 관리 필요성이 증가하고 있음. 그러나 연마재의 마모 특성 및 수명에 대한 체계적인 평가 기준은 부족한 상황임. 이에 따라 본 연구에서는 실험실 환경에서 연마공정을 재현하고, 외부 변수를 최소화한 조건에서 연마재(사포)의 수명 특성을 정량적으로 분석하고자 함.

폴리싱 장비와 시편 규격화를 통해 연마 조건을 일정하게 유지한 상태에서 반복 가공을 수행하고, 가공 전·후 시편 중량 변화를 기반으로 연마량을 산출함. 또한 회전 운동에 따른 상대운동을 고려하여 연마 거리를 계산하고, 연마 거리 대비 연마량 감소 거동을 분석함. 이를 통해 연마공정에서 발생하는 마모 특성을 정량적으로 평가함.

실험 결과, 연마량 감소 특성은 초기 급격한 감소 이후 점차 완만해지는 로그형 거동을 나타내었으며, 연마 진행에 따라 감소율이 점차 안정화되는 경향을 보임. 또한 연마재의 물리적 마모가 두께 감소 형태로 확인되었으며, 연마 거리 증가에 따른 성능 저하 특성이 명확히 나타남. 이를 통해 연마 거리 기반의 연마재 수명 평가가 유효함을 확인하였으며, 향후 공정 조건 최적화를 통해 연마 성능 유지 및 표면 품질 향상이 가능할 것으로 판단됨.

선삭에서 회전당 이송이 칩두께비와 절삭저항에 미치는 영향 Effect of Feed Per Revolution on Chip Thickness Ratio and Cutting Resistance in Turning

*이만식¹, #황종대²

*M. S. Lee¹, #J. D. Hwang(hjd@kopo.ac.kr)²

¹대양정밀, ²한국폴리텍7대학 기계시스템과

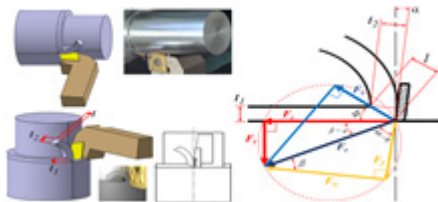
Key words : Chip Thickness Ratio, Feed Per Revolution, Cutting Resistance

*발표자, #교신저자

선삭에서 회전당 이송(f_r)이 칩두께비(r_c)와 절삭저항(F_c)에 미치는 영향을 파악하기 위하여 회전당 이송량과 반경방향 절삭폭(a_p)을 입력조건으로 하고 칩두께(t_2) 측정을 통하여 절삭저항을 구하였다. 실험 결과 회전당 이송이 커질수록 칩두께비와 전단각이 커지고 전단면적이 감소함으로써 상대적으로 절삭저항이 줄어드는 결과를 알 수 있다. 또한 절삭폭을 달리하여도 칩두께의 변화는 작은 결과로부터 공구마모 등을 고려하여 적절한 범위 내에서 절삭폭과 회전당 이송을 크게 함으로써 생산성 향상을 도모할 필요가 있다.

1. 절삭실험

선삭에서 적절한 회전당 이송량과 절삭폭 등 절삭조건을 선정하기 위하여 머친트윈과 절삭칩두께 측정을 수행하였다. Fig. 1은 선삭에서 전단각과 절삭력의 역학관계를 보여주는 머친트윈이다. 식 (1)과 같이 전단각을 구하고 식 (2)와 같이 전단면적과 절삭저항을 구할 수 있다. 절삭칩 두께를 측정한 Table 1 실험 결과로부터 S45C 탄소강의 회전당 이송, f_r 이 칩두께비, r_c 와 절삭저항, F_c 에 미치는 영향을 파악할 수 있다.



기호	영향	비고	기호	영향	비고
a_p	절삭폭	공구 반경과 수직선과 이루는 각	f_r	회전당 이송	전단면적, $f = f_r / \sin \phi$
ϕ	전단각	절삭방향 F_c 와 전단면적, A_s 의 수직선과 이루는 각	A_s	전단면적	전단면적(A_s)과 절삭폭(a_p)의 비는 전단면적
r_c	칩두께비	전단면적에 수직선과 이루는 각	F_c	절삭력	공구와 공작물 사이에 작용하는 힘
r_c	칩두께비	$a_p = t_2 \cdot \cos \alpha / f_r$	F_c	주방향	절삭방향 및 절삭속도(v_c)의 정반 방향
r_c	칩두께비	전단면적에 수직선과 이루는 각	F_c	역방향	선삭 : 절삭방향과 수직선 및 α 방향
r_c	칩두께비	회전당 이송, $f_r = f_r$	F_c	이동력	방향 : 절삭방향과 수직선 및 α 방향
r_c	칩두께비	방향 : 이동식 칩 두께 t_2 와 관련 없음	F_c	수직방향	공구와 수직선과 수직선과 수직선과 관련 없음
r_c	칩두께비	방향 : 이동식 칩 두께 t_2 와 관련 없음	F_c	전단면적	전단면적(A_s)과 절삭폭(a_p)의 비는 전단면적
r_c	칩두께비	방향 : 이동식 칩 두께 t_2 와 관련 없음			

Fig. 1 Merchant circle in turning

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{r_c \cos \alpha}{1 - r_c \sin \alpha} \right) \quad (1)$$

$$A_s = \frac{t \cdot t_1}{\sin \phi}, \quad F_s = \tau \cdot A_s \quad (2)$$

동일한 절삭폭, a_p (0.5)가 주어질 때 회전당 이송을 0.1로 한 No.1 실험과 0.25로 한 No.3 실험 결과와 같이 회전당 이송량이 커질수록 칩두께비가 커져서 상대적으로 전단력과 합력의 증가율(ΔF_s , ΔF_r)이 줄어든다.

다.

Table 1 Experiment on the effect of feed per revolution on chip thickness ratio and cutting force

	No.1		No.3		No.2		No.4	
	$f_r = 0.1$	$f_r = 0.25$	$f_r = 0.1$	$f_r = 0.25$	$f_r = 0.1$	$f_r = 0.25$	$f_r = 0.25$	$f_r = 0.25$
$a_p = 0.5$								
$a_p = 0.5$								
절삭된 두께 t_2	[Image]		[Image]		[Image]		[Image]	
절삭된 칩 W_c	[Image]		[Image]		[Image]		[Image]	
회전당 이송, $f_r = f_r$	[Image]		[Image]		[Image]		[Image]	
절삭폭, $a_p = f_r$	[Image]		[Image]		[Image]		[Image]	
F_c	F_x	W_y	F_x	W_y	F_x	W_y	F_x	W_y
MD	0.37	1	0.63	1.37	0.37	1.08	0.64	1.08
MD	0.4	1	0.67	1.2	0.37	1.47	0.71	1.00
MD	0.30	0.90	0.60	1.34	0.4	1.3	0.70	1.7
MD	0.37	1	0.63	1.37	0.4	1.47	0.71	1.70
MD	0.4	0.90	0.7	1.4	0.4	1.47	0.65	1.7
F_c (AVE)	0.30	0.90	0.60	1.37	0.30	1.08	0.71	1.08
칩두께비, $r_c = t_2 / f_r$	0.36	0.36	0.36	$\Delta r_c = 1.46$	0.36	$\Delta r_c = 1.38$	0.36	$\Delta r_c = 1.38$
전단면적, A_s	14.84		23.28	$\Delta A_s = 1.64$	14.84		20.82	$\Delta A_s = 1.37$
절삭력, F_c (N)	98		171	$\Delta F_c = 1.74$	105		160	$\Delta F_c = 1.55$
절삭저항, F_c (N)	127		248	$\Delta F_c = 1.95$	254		312	$\Delta F_c = 2.01$

2. 결론

선삭에서 회전당 이송이 칩두께비와 절삭저항에 미치는 영향을 고찰한 실험 결과 적절한 회전당 이송의 증가는 칩두께비와 전단각을 증가하고 전단면적을 감소함으로써 회전당 이송의 증가율에 비해 상대적으로 절삭저항 증가율을 감소하였다. 본 실험결과는 적절한 공구마모 조건하에서 생산성을 향상할 수 있는 임계 절삭조건과, 절삭조건에 따른 절삭부하 출력 결과를 비교, 추론하는 인공지능 학습모델에 활용될 수 있다.

포스터발표

나노마이크로 부문

밀착 및 방향성 접착을 위한 마이크로필러 구조 기반 하이브리드 접착 패치 Hybrid Adhesive Patch with Micropillar Architecture for Conformal and Directional Adhesion

*강동관¹, 박성진¹, #정훈의¹

*Dong Kwan Kang¹, Seong Jin Park¹, #Hoon Eui Jeong(hoonejeong@unist.ac.kr)¹

¹울산과학기술원 기계공학과

Key words : Smart Adhesives, Crack Control, Metamaterial Adhesives, Dry Adhesives

*발표자, #교신저자

Smart adhesives that can strongly and repeatedly attach to rough surfaces while allowing easy release remain difficult to realize. We present a hybrid adhesive patch that combines height-tuned hexagonal micropillars with nonlinear open cuts to couple microscale conformal contact with macroscale crack control. The optimized micropillars improve contact on rough substrates, while the cuts direct and reverse crack propagation for directional detachment. The patch delivers a pull-off strength of 79.5 kPa, a peel capacity of 106.3 N m⁻¹, over 100 cycles of durability, and a 20-fold adhesion contrast on surfaces with RMS roughness up to 20.1 μm, and also enables reliable robotic grasp-and-release.

후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2025-02223634), and by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea) (RS-2024-00445152).

몰드 임프린팅 기반 다중 스케일 CNP-PDMS 표면의 제조 및 방빙 성능 Fabrication of Mold-Imprinted Multi-Scale CNP-PDMS Surface for Ice Mitigation

*이영석¹, #임시형²

^{*}Yeong Seok Lee¹, [#]Si Hyung Lim(shlim@kookmin.ac.kr)²

¹국민대학교 나노메카트로닉스 연구실, ²국민대학교 기계공학부

Key words : Mold Imprinting, Photothermal Effect, Multi-Scale Structure, Anti-/De-Icing

^{*}발표자, [#]교신저자

야외 구조물에서 발생하는 결빙은 기계적 성능 저하와 안전 문제를 유발하며, 기존의 화학적·열적 제빙 방식은 높은 에너지 소비와 환경 문제를 동반한다. 이에 따라 무에너지 기반의 방빙 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 본 연구에서는 몰드 임프린팅 공정을 이용하여 다중 스케일 구조를 갖는 CNP-PDMS 표면을 제조하고, 광열 및 초발수 특성 기반 방빙 성능을 평가하였다. 형성된 계층적 구조는 광 흡수를 극대화하고 반사를 억제하여 우수한 광열 변환 성능을 유도하였으며, 물접촉각 150° 이상의 초발수성을 나타내었다. 또한 1 sun 조사 조건에서 빠른 온도 상승과 저온 환경에서의 효과적인 제빙 성능을 확인하였다. 아울러 결빙 지연 시간 증가와 낮은 얼음 부착 강도를 통해 우수한 방빙 특성을 입증하였다.

광열 변환 특성을 갖는 마이크로/나노 계층 구조 기반 CNT-PDMS 복합 표면의 결빙 지연 및 능동 제빙 성능

CNT-PDMS Surface with Photothermal Effect and Micro/Nano Hierarchical Structure for Ice Formation Delay and Active Deicing

*허성빈¹, 손현우¹, 전유진², #임시형³

*Seong Bin Hur¹, Hyeon Woo Son¹, Yu Jin Jeon², #Si Hyung Lim(shlim@kookmin.ac.kr)³

¹국민대학교 기계시스템공학과, ²국민대학교 나노메카트로닉스 연구실, ³국민대학교 기계공학부

Key words : Superhydrophobic, Stainless Steel, Anti-Icing, Surface Engineering

*발표자, #교신저자

착빙 현상은 항공, 에너지, 송배전 등 주요 산업 인프라의 운용 효율과 안전성을 위협하는 핵심 환경 문제이다. 초발수 표면 기반의 기존 방빙 기술은 수동적 결빙 억제에 일정한 효과를 나타내지만, 반복적인 결빙-제빙 환경에서 표면 미세구조의 열화로 인한 내구성 한계가 거론되어 왔다. 본 연구에서는 CuO 나노플라워 몰드를 활용한 임프린팅 공정으로 PDMS 기판에 계층적 마이크로/나노 구조를 전사하고, 광열효과를 갖는 CNT 입자를 도입하여 광열 변환 기능을 부여한 능동-수동 복합형 방빙·제빙 표면을 개발하였다. 1 sun 조사 조건에서 뚜렷한 표면 온도 상승이 확인되었으며, 미처리 PDMS 대비 결빙 지연 시간 약 20배 연장, 제빙 시간 약 80% 단축, 얼음 접착력 약 90% 저감되어 전반적으로 우수한 성능을 나타냈다. 반복 결빙·제빙 사이클 및 실외 태양광 환경에서도 뚜렷한 광열 효과로 인해 기능적 성능이 안정적으로 유지되어, 실환경 적용 가능성을 갖춘 표면 플랫폼으로서의 유효성을 확인하였다.

STS 소재의 표면 미세구조 형성 및 코팅을 통한 결빙 지연과 빙착력 저감 Ice Formation Delay and Ice Adhesion Reduction on Stainless Steel via Micro- Nano Structured Surface and Coating

*전유진¹, 수밋 바타왈¹, 손현우², #임시형³

¹Yu Jin Jeon¹, Sumit Barthwal¹, Hyeon Woo Son², #Si Hyung Lim(shlim@kookmin..ac.kr)³

¹국민대학교 나노메카트로닉스 연구실, ²국민대학교 기계시스템공학과, ³국민대학교 기계공학부

Key words : Superhydrophobic, Staineless Steel, Anti-Icing, Surface Engineering

*발표자, #교신저자

금속 구조물의 방빙 성능 확보는 저온 환경에의 산업에서 중요한 기술적 요구사항이다. 본 연구는 STS 소재에 기계적 텍스처링과 저에너지 표면 코팅을 순차적으로 적용하여 마이크로-나노 크기의 계층적 거칠기 구조 기반의 초발수 특성을 구현하고, 이에 따른 결빙 지연 및 제빙 성능을 정량화하였다. -15 °C 및 -10 °C 환경에서의 방빙 특성 평가 결과, 처리 시편은 미처리 대조군 대비 최대 145 s의 동결 지연 효과를 보였으며, 이는 표면 구조물에 포집된 공기층이 열전달 경로를 차단하고 액적 접촉 면적을 감소시킨 데 기인한다. 반복적인 얼음 접착력 시험에서도 낮은 접착 강도가 유지되어 내구성이 확인되었다. 본 결과는 별도의 능동적 제빙 수단 없이 표면 가공만으로 방빙 성능을 향상시킬 수 있음을 시사한다.

레이저를 이용한 마이크로 LED 패널 패키징용 미세 패턴 제조 Micro-pattern Fabrication by Laser Sintering Method for Micro-LED Panel

*이제성¹, #강봉철¹

*Je Seong Lee¹, #Bong Chul Kang(bckang@kookmin.ac.kr)¹

¹국민대학교 기계시스템공학부

Key words : Laser Patterning, Micro-LED Display, Seamless Display, Electrode Interconnection, Glass Substrate

*발표자, #교신저자

디스플레이는 모바일, 시계 등의 소형에서부터 TV, 차량, 영화관, 광고판 등에 사용되는 중대형까지 다양한 크기와 여러 분야에서 활용되고 있다. 디스플레이의 패널로 사용 비중이 높은 LCD, OLED는 휘도, 해상도, 에너지 효율 등의 한계가 있고, 특히 화면의 잔상이나 얼룩이 남는 열화 현상이 발생하여 불편함을 초래하고 있다. 새로운 디스플레이 패널로 기존 Pixel의 크기가 1,000 μm 이상의 LED에서 100 μm 이하의 Pixel 크기를 가지는 Micro-LED가 주목받고 있다. 그러나 이용한 대형 디스플레이의 제조는 공정 복잡성과 수율 문제 등에 의해 기술적 한계에 직면하여 기존의 디스플레이 제조 공정이 아닌 새로운 공정 기술 개발이 필요한 시점이다. 제작한 소형의 디스플레이 패널을 여러 장 겹쳐 대형 디스플레이 패널로 구현하는 모듈형 방법은 기존의 LCD, OLED 기반 대형 디스플레이를 대체할 수 있는 차세대 형식으로 주목받고 있다. 이러한 모듈형 디스플레이에서는 각각의 소형 디스플레이의 경계면 이음이 없이 결합할 수 있는 패키징 공정이 중요하다. 전면 발광부와 후면 구동부를 기판 모서리를 통하여 배선을 연결하게 되면 경계부 이음이 없는 대형 화면을 구현할 수 있다. 따라서, 본 연구는 레이저 기반의 마이크로 LED 패널용 배선 제조 공정을 소개한다.

후기 본 연구는 산업통상자원부가 지원하는 기계장비산업기술개발사업(과제번호 RS-2024-00446120)의 지원을 받아 수행되었음. 또한 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음 (과제번호 RS-2023-NR076648, RS-2025-02223634).

다양한 형태의 실리콘 마이크로구조의 레이저 유도 형성 Laser-induced Formation of Silicon Microstructures with Diverse Morphologies

*최종문¹, #강봉철²

^{*}Jong Moon Choi¹, [#]Bong Chul Kang²

¹국민대학교 기계공학과

Key words : Silicon Microstructures, Laser-induced Fabrication, Bottom-up Manufacturing

^{*}발표자, [#]교신저자

Silicon microstructures, characterized by their high surface-area-to-volume ratios, are widely utilized in applications such as energy storage and biosensing, where they contribute to improved device performance. However, conventional top-down fabrication approaches based on semiconductor processing involve complex procedures, high costs, and strict environmental requirements due to the use of hazardous chemicals, vacuum systems, and cleanroom facilities. In this study, we present an environmentally friendly bottom-up method for fabricating silicon microstructures using laser processing under ambient conditions. Silicon nanoparticles were first coated onto a copper foil substrate, followed by pulsed laser irradiation. The laser interaction induces fragmentation and sintering of the nanoparticles, resulting in the formation of well-defined microstructures. By adjusting laser power and pulse interval, three distinct structures were achieved: bump, double bump, and hierarchical structures. The entire fabrication process is conducted at atmospheric pressure and room temperature, enabling rapid and high-resolution patterning through localized laser irradiation. This approach reduces processing time and improves energy efficiency. The proposed method demonstrates a controllable strategy for silicon microstructure fabrication and shows potential for scalable manufacturing and advanced device applications.

This work was supported by the Ministry of Trade, Industry and Energy (RS-2024-00446120) and the National Research Foundation of Korea (NRFK) (RS-2023-NR076648, RS-2025-02223634).

**조성 최적화를 통한 Ti_3C_2 MXene/Graphene Oxide
코팅막의 트라이볼로지 특성 향상**
**Enhanced Tribological Performance of Ti_3C_2 MXene/Graphene
Oxide Coating Films via Compositional Engineering**

*김원석¹, 이성윤², #김송길^{1,2}

*Won Seok Kim¹, Seong Yun Lee², #Song Kil Kim(songkil.kim@pusan.ac.kr)^{1,2}

¹부산대학교 하이브리드 제조혁신 엔지니어링 센터, ²부산대학교 기계공학부

Key words : Ti_3C_2 MXene, Grphene Oxide, Solid Lubrication, Blending Ratio

*발표자, #교신저자

In this study, two-dimensional nanomaterials, MXene and graphene oxide (GO), were blended at different ratios (2:1, 1:1, and 1:2) to fabricate coating films and evaluate their tribological properties. MXene provides active surface terminations for chemical interactions, while GO contains oxygen functional groups that promote protective layer formation. Their combination enhances tribo-chemical interactions during sliding, leading to a stable transfer layer. Ball-on-disk tests under ambient air showed that pure MXene and GO coatings had limited durability below 100 m, with COF values of ~ 0.95 and ~ 0.43 . In contrast, composite coatings (1:1 and 1:2) maintained a stable COF of ~ 0.2 up to 10 km. The 1:1 coating exhibited over 100-fold improvement in durability and significantly reduced friction. Surface and Raman analyses confirmed the formation of a stable tribofilm (TiC, oxides, and carbon-based layers), providing high load-bearing capacity and low shear resistance, thereby improving wear resistance even under humid conditions.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) Global Basic Research Laboratory grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2025-02216195) and supported by Korea Basic Science Institute (National research Facilities and Equipment Center) grant funded by the Ministry of Education. (grant No. 2021R1A6C101A449).

수중 환경 적응형 마이크로구조 형상 기억 고분자 기반 열가변 스마트 접착 패치 Microstructured Shape Memory Polymer Patch for Switchable Adhesion in Wet Environment

*이희진¹, 박성진¹, 강동관¹, #정훈의¹

^{*}Hee Jin Lee¹, Seong Jin Park¹, Dong Kwan Kang¹, #Hoon Eui Jeong(hoonejeong@unist.ac.kr)¹

¹울산과학기술원 기계공학과

Key words : Shape Memory Polymer, Wet Adhesion, Water Repellency

*발표자, #교신저자

Achieving controllable adhesion in wet environments is challenging due to interfacial water and limited surface conformity. This study presents a microstructured shape memory polymer (MSMP) patch for switchable wet adhesion. The design integrates water-repellent micropillar arrays with a thermally responsive PUA/PCL shape memory polymer. The micropillars expel interfacial water to form dry contact, while thermal softening enables conformal deformation and increased contact area. Cooling fixes the adapted geometry for strong adhesion, and reheating induces shape recovery for detachment. The MSMP patch achieved a pull-off strength of 612.5 kPa and a switching ratio of 46.3 under wet conditions, showing stable cyclic performance.

1. 서론

Reliable adhesion in wet environments is difficult because interfacial water limits solid contact. Microstructured adhesives remove water but show limited adhesion, while shape memory polymers enable reversible adhesion. This work combines both approaches to realize adaptive and switchable wet adhesion.

offering potential for underwater manipulation systems.

후기 This work was supported by the Technology Innovation Program (00144157, Development of Heterogeneous Multi-Sensor Micro-System Platform) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea), and the National Research Foundation of Korea (RS-2024-00507605).

2. 제목

The adhesive consists of micropillar arrays fabricated from a PUA/PCL-based shape memory polymer. The microstructure removes water and the thermally tunable modulus enables conformal contact and reversible detachment.

REFERENCES

1. C. Linghu, Y. C. Y. Liu, Y. Y. Tan, et al., "Overcoming the Adhesion Paradox and Switchability Conflict on Rough Surfaces with Shape-memory Polymers," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 120, e2221049120, 2023.
2. H. E. Jeong, J. K. Lee, H. N. Kim, S. H. Moon and K. Y. Suh, "s" *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 106, pp. 5639-5644, 2009.

3. 결론

A microstructureed SMP patch for switchable wet adhesion was developed. The integration of water repellent microstructures and thermally responsive SMP enabled strong adhesion and reversible detachment,

**밀리초 플래시 광열 공정을 통한 마이크로 구조 다공성 그래핀 형성 및
다기능 유연 센서 응용**

**Millisecond Flash Photothermal Fabrication of Microstructured Porous Graphene
for Multifunctional Flexible Sensing Applications**

***김찬혁¹, 조용준¹, #박정환¹**

^{*}Chan Hyeok Kim¹, Yong Jun Cho¹, #Jung Hwan Park¹

¹ 금오공과대학교 기계공학과 항공기계전자융합전공

Key words : Flash-induced Graphene(FIG), Photothermal Processing, Flexible Wearable Sensors,
Multifunctional Sensing

*발표자, #교신저자

Rapid and scalable fabrication of conductive microstructured materials is crucial for flexible sensing devices, yet conventional graphene synthesis involves complex steps and high temperatures that limit substrate compatibility. This study presents a millisecond flash photothermal process using a xenon lamp to form three-dimensional porous graphene on polymer substrates. The resulting structure offers high surface area and efficient charge transport. A multifunctional flexible sensor capable of detecting strain, temperature, and ions was integrated on a single platform. A CNT-PDMS composite electrode was applied to ensure stable electrical contact. The device exhibited a high gauge factor, linear thermal response, and ion detection down to micromolar levels.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(RS-2025-02223634).

플래시 공정을 이용한 다중 스케일 계면 공학 기반 신축성 구리 전도체 Flash-Driven Multiscale Interfacial Engineering for Stretchable Cu Conductors

*조용준¹, 김찬혁¹, #박정환¹

*Yong Jun Cho¹, Chan Hyeok Kim¹, #Jung Hwan Park(parkjh1151@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학과 항공기계전자융합전공

Key words : Flash Processing, Stretchable Conductor, Copper Nanoparticles, Interfacial Engineering,
Flexible Electronics

*발표자, #교신저자

Herein, we present a stretchable Cu conductor with high electrical conductivity and mechanical stretchability, achieved through flash-induced multiscale tuning at the Cu/elastomer interface. Microscale randomly wrinkled Cu structures (amplitude of $\approx 5 \mu\text{m}$ and wavelength of $\approx 45 \mu\text{m}$) are generated on a polymer substrate by a single millisecond-scale flash pulse, allowing the Cu layer to sustain elongation exceeding 20% regardless of the stretching direction. At the nanoscale, an interlocked interface formed between Cu nanoparticles (NPs) and the elastomer enhances interfacial adhesion, leading to improved stability and stretchability of Cu under mechanical deformation. In addition, the flash-induced photoreduction of CuO NPs, followed by the welding of Cu NPs, results in a highly conductive buckled elastic electrode with a conductivity of $\approx \text{kS cm}^{-1}$. Finite element analysis is employed to model the three-dimensional wrinkled Cu structure, confirming that the flash-activated stretchable Cu conductor can withstand strains greater than 20% in all directions. Finally, the wrinkled Cu conductor is demonstrated for wireless near-field communication on human skin.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(RS-2025-02223634).

포스터발표

NANO/MEMS/미세가공

좌장 : 김호진(동서대), 김형모(경상국립대)
오용석(국립창원대), 이상민(동의대)

마이크로 구조화된 $TiAl_6V_4$ 기반 고투명 고강성 폴리우레탄 초소수성 표면 및 SLIPS 공정 개발

Process Development for Highly Transparent Rigid Polyurethane Superhydrophobic Surfaces and SLIPS on Microstructured $TiAl_6V_4$

*박종훈¹, 이동현¹, 임동준¹, #이정원¹

¹Jong Hun Park¹, Dong Hyeon Lee¹, Dong Jun Im¹, #Jeong Won Lee(jwlee07@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : $TiAl_6V_4$, Poly Urethane(PU), Microstructure Transfer, SLIPS

*발표자, #교신저자

금속 재료의 기능성 표면개질은 내식성 및 방오성을 향상하고 제품의 수명을 연장하기 위해 필수적이다. 가혹한 환경의 $TiAl_6V_4$ 합금은 부식 방지를 위해 미세 구조 제어가 요구되나, 불투명성으로 인해 광학적 응용에는 한계가 있었다. 본 연구에서는 금속 기판의 마이크로 구조를 우레탄(PU) 표면으로 복제하는

전사 공정을 제안한다. 2단계 복제를 통해 미세 구조를 이상적으로 구현하였으며, 접촉각 170°이상의 초소수성 달성 및 실리콘 오일 주입을 통해 투과율을 62.73%까지 획기적으로 향상시켰다. 본 공정은

금속의 기능성과 고분자의 광학적 장점을 결합한 차세대 방오 표면의 최적 솔루션을 제시한다.

1. 서론

금속의 마이크로 구조는 젖음성 제어에 효과적이지만, 불투명한 특성으로 인해 광학 소자로의 적용이 제한적이다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 금속 구조를 투명 고분자로 복제하는 전사 기술을 실현하고, 초소수성과 투명성을 동시에 확보한 기능성 표면의 성능 상관관계를 규명하고자 한다.

2. 본론

본 연구에서는 40 °C 황산 용액 내 에칭 공정으로 $TiAl_6V_4$ 표면의 산화층을 제거하고 마이크로 요철 구조를 형성하였다. 이후 HDFS 코팅을 적용하여 액적의 접촉 면적을 최소화한 전사 기반 표면을 구축하였으며, PDMS 몰드와 우레탄 시편을 활용한 단계적 복제 공정을 수행하였다. 구조 분석 결과, 최종 우레탄 표면에서 160°이상의 높은 접촉각이 유지되어 금속의 미세 구조가 원자적 수준으로 정밀하게 재현되었음을 확인하였다. 특히 구조 사이의 공기층을 실리콘 오일로 치환하는 SLIPS 공정을 통해 빛의 난반사를 억제함으로써, 불투명했던 표면의 광투과도를 극대화하였다. SEM 분석을 통해 확인된 균일한 구조 전사와 굴절률 매칭

효과는 본 공정의 기술적 완성도를 뒷받침한다.

3. 결론

화학적 에칭 구조를 우레탄 표면에 성공적으로 전사하여 초소수성과 고투명도를 동시에 갖춘 SLIPS를 구현하였다. 복제 후에도 유지되는 탁월한 표면 기능성은 본 공정의 우수한 재현성을 입증하며, 이는 향후 고성능 투명 방오 소자의 저비용 및 대면적 제작을 위한 최적의 공정 모델이 될 것으로 사료된다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25477358).

REFERENCES

1. Lee, E. J., Lee, K. K., Ahn, D. G. and Lee, J. W., "Micro/nanostructure-Based Surface Modification After Electropolishing of $TiAl_6V_4$ Manufactured by SLM Process," Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Tech., Vol. 13, No. 1, pp. 65-75, 2026.

선택적 산화아연 나노와이어 성장을 이용한 나노라인 어레이 기반 기계적 살균 표면 Nanoline Array-Based Mechanical Bactericidal Surface with Selective ZnO Nanowire Growth

*배재현¹, 김희경³, #조영삼^{2,3,4}, #박현하^{2,3,4}

*Jae Hyeon Bae¹, Hee Kyeong Kim³, #Young Sam Cho(youngsamcho@wku.ac.kr)^{2,3,4},

#Hyun Ha Park(plmn130@wku.ac.kr)^{2,3,4}

¹원광대학교 기계공학과, ²원광대학교 기계공학부, ³원광대학교 메카바이오연구소, ⁴원광대학교 첨단바이오융합연구센터

Key words : Antibacterial Effect, ZnO Nanowires, Nanoline Arrays

*발표자, #교신저자

Bacterial infections pose significant challenges to public health, while conventional chemical-based antibacterial strategies suffer from antibiotic resistance and environmental concerns. In this study, we propose a mechanical bactericidal surface based on nanoline arrays with selectively grown ZnO nanowires. Nanoline patterns were fabricated via nanoimprinting, followed by spin-coating and hydrothermal synthesis to induce confined growth of ZnO nanowires within the groove regions. The resulting hybrid nanostructure enhances mechanical interactions with bacterial cells, leading to cell deformation and membrane rupture. As a result, the proposed surface exhibits improved bactericidal performance compared to nanoline structures alone, demonstrating a promising strategy for chemical-free antibacterial applications.

Funding: This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant from the Korean government (No. RS-2025-00520946, No. RS-2025-25432945).

오가노겔 기반 미세 구조를 이용한 고감도 감지 기판 제작 Fabrication of High-Sensitive Detection Substrate using Organogel-Based Microstructures

*윤성민¹, 윤채혁¹, 김동주², #조영태¹

¹Seong Min Yoon¹, Chae Hyeok Yoon¹, Woo Young Kim²,

#Young Tae Cho(ytcho@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정, ²국립창원대학교 기계공학부 스마트제조융합전공

Key words : Organogel, Microstructure, Colloidal Droplet, High-sensitive Detection

*발표자, #교신저자

센싱 응용 분야에서 용질을 포함하는 액적의 건조는 매우 중요하게 다뤄지지만, 전통적인 커피 링 현상 기반의 증착 방식은 입자 분포가 불균일하여 민감도 및 재현성 측면에서 한계가 존재한다. 이러한 한계를 극복하기 위해 미세 패터닝이나 액체 주입 다공성 표면(SLIPS)와 같은 방법들이 연구되어 왔으나, 이러한 방식들은 센싱 과정에서 기판 신호와의 간섭으로 신호 왜곡을 야기할 수 있다. 본 연구에서는 UV 나노임프린트 리소그래피를 활용하여 육각형 격자 패턴을 가지는 오가노겔 표면을 제작한 후, 콜로이드 용액 증발 실험을 진행했다. 제작된 표면은 입자들이 특정 부위에 국소적으로 응집되도록 유도되었으며, 이러한 결과는 기존 검출 방법의 제약을 해결할 수 있는 감지 기판으로서의 잠재력을 보여준다.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT)(NRF-2023R1A2C3006499, RS-2023-00238462)

**PEDOT:PSS/AgNW/SWCNT 하이브리드 구조를 이용한
유연 투명 면상 발열체의 제작 및 최적화**
**Optimization of Flexible Transparent Film Heaters Based on PEDOT:PSS/AgNW/
SWCNT Hybrid Nanostructures**

***이현국¹, 최혜조¹, 백장운², 김진홍², 배현수², #정창윤¹**

¹Hyeon Guk Lee¹, Hye Jo Choi¹, Jang Woon Baek², Jin Hong Kim², Hyun Su Bae², #Chang Yoon Jeong¹,

¹영남대학교 기계공학부, ²한국전자통신연구원

Key words : Flexible Transparent Heaters, Silver Nanowires, Hybrid Nanostructures, Electrothermal Performance

*발표자, #교신저자

This study develops flexible transparent heaters using a PEDOT:PSS/AgNW/SWCNT hybrid structure. A PEDOT:PSS base layer was spin-coated for initial conduction and protection, followed by an AgNW network deposited via ultrasonic spray coating as the primary conductive layer, and a final SWCNT spin-coated layer for surface passivation. We investigated the correlation between the number of AgNW coating cycles and the resulting heating temperature under various applied voltages. By analyzing the trade-off between optical transparency and thermal performance, the optimal number of coating cycles was identified to maximize electrothermal efficiency and mechanical flexibility for next-generation wearable applications.

후기 본 연구 논문은 한국전자통신연구원 내부연구과제(기타)의 일환으로 수행되었음. [25YD1200, 촉각센서 기반 보급형 정밀 그리퍼 및 응용기술 기획연구]

근거리 전기방사를 이용한 마이크로 채널 제조 방법 Facile Fabrication of Micro-channel based on Near-field Electrospinning

*김찬희¹, 서유석¹, 최명진¹, 김한범¹, 김종현¹, #최해운¹

*Chan Hee Kim¹, Yu Seok Seo¹, Myung Jin Choi¹, Han Beom Kim¹, Jong Hyun Kim¹, #Hae Woon Choi(hwchoi@kmu.ac.kr)¹

¹계명대학교 기계공학과

Key words : Electrospinning, Microchannel, Capillary Flow, Fabrication

*발표자, #교신저자

미세 구조 기반 응용 분야에서는 미세 채널을 냉각, 반응 및 분석에 널리 활용한다. 미세 채널을 제작하기 위해 포토리소그래피, 레이저 가공, 기계적 가공 등의 방법을 적용한다. 그러나 기존 미세 가공 방식은 다단계 공정으로 인해 공정 시간이 길고 장비 구성이 복잡한 한계를 가진다. 공정 복잡성과 제작 효율 저하 문제를 개선하기 위한 제작 방법이 주목받고 있다. 본 연구에서는 노즐-기판 간 직접 패턴링이 가능한 근거리 전기방사를 활용하여 공정 및 장비 구성을 단순화한다. 기판 위에 섬유 패턴을 형성한 뒤 PDMS 몰딩 및 기판 결합을 통해 채널을 제작한다. 제작된 채널은 구조 내에 모세관 현상에 의해 유체가 채널을 따라 이동한다. 근거리 전기방사로 구현한 패턴이 연속적인 유체 통로로 기능 할 수 있음을 보여준다. 이 연구결과는 미세 채널 제작의 효율 향상에 기여할 수 있으며, 향후 복잡한 마이크로 형상 구현 및 정밀 부품의 미세 패턴 제작에 있어 공정 단순화가 가능한 가공 공정으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기 본 연구는, 산업통상부의 소재부품기술개발사업 모터연구개발과제 2410009586(00445669)의 지원을 받아 수행하였습니다. 또한, 산업통상부 및 달성군청의 재원으로 산학협력단지(B20250239) 모빌리티개발공동연구과제(20250767, 20250768)의 지원을 받아 수행하였습니다.

롤투롤 제조 공정을 위한 Golden Skeleton 기반 결함 검출 기법 Golden Skeleton-Based Real-Time Defect Detection for Roll-to-Roll Sensor Manufacturing

*서혜원¹, 서유석¹, 김찬희¹, 김한범¹, 김종현¹, #최해운¹

¹Hye Won Seo¹, Yu Seok Seo¹, Chan Hee Kim¹, Han Beom Kim¹, Jong Hyun Kim¹, #Hae Woon Choi¹

¹계명대학교 기계공학과

Key Words : Golden Skeleton, Vision, Defect, Manufacturing, Inspection

*발표자, #교신저자

롤투롤 금속 패턴 공정은 금속 나노 잉크를 기판 위에 기능성 패턴을 연속적으로 형성하는 패터닝 기술이다. 그러나 공정 조건 변화로 인한 결함은 불량률 증가와 수율 저하를 초래하므로, 공정 내 결함 검출이 필수적이다. 기존 결함 검출 방식은 정렬 오차에 민감하고 구조적 특성을 충분히 반영하지 못해 검출 정확도가 저하되는 한계를 가진다. 본 연구에서는 정상 패턴의 구조를 기반으로 구조적 결함을 정밀하게 분석할 수 있는 Golden Skeleton 기반 결함 검출 기법을 제안한다. 먼저 정상 이미지의 패턴 형상을 인식하여 Skeleton 모델을 생성하고, 특징점 기반 정렬을 통해 입력 이미지와 동일 좌표계로 정합한다. 이후 정합된 Skeleton 구조 차이를 분석하여 결함을 판정하고, 그 위치를 좌표 데이터로 저장한다. 본 연구에서 제안한 기법을 통해 구조 기반 결함 검출이 가능함을 인식하였으며, 가공 공정의 품질 관리, 공정 제어 및 실시간 공정 모니터링이 가능하다.

후기 본 연구는, 산업통상부의 소재부품기술개발사업 모터연구개발과제 2410009586(00445669)의 지원을 받아 수행하였습니다. 또한, 산업통상부 및 달성군청의 재원으로 산학협력단지(B20250239) Ai개발공동연구과제(20250765, 20250766)의 지원을 받아 수행하였습니다.

란타넘 강화 PEO 기반 복합 전해질을 이용한 장수명 전고체 리튬 금속 배터리 Long-Life All-Solid-State Lithium Metal Batteries Using a Lanthanum -Enriched PEO-Based Composite Electrolyte

*천이니¹, 곽예인¹, 장바오루이¹, #고태조¹

¹Yini chen¹, Ye In Kwak¹, Baorui Zhang¹ #Tae Jo Ko(tjko@yu.ac.kr)¹

¹영남대학교 기계공학과

Key words : Composite Electrolyte, Cycling Stabilit, Lithium Metal Battery

*발표자, #교신저자

A lanthanum-enriched PEO-based composite electrolyte (LP) was developed for improving the electrochemical performance of solid-state Li||LFP batteries. The LP-based cell exhibited enhanced rate capability over 0.1-1 C, delivering higher discharge capacities and better capacity recovery than the cell with the conventional PEO electrolyte. In addition, the charge-discharge profiles showed more stable voltage plateaus and lower polarization, indicating facilitated Li⁺ transport and improved interfacial kinetics. In long-term cycling at 0.5 C, the LP-based cell retained 94.61% of its initial capacity after 300 cycles, whereas the PEO-based cell underwent severe capacity fading within 100 cycles with a marked increase in polarization. The LP electrolyte also maintained stable cycling behavior, clear voltage profiles, and high Coulombic efficiency under an extended voltage window of 2.5-4.2 V. These results suggest that LaMe effectively enhances bulk ion transport and interfacial stability by suppressing PEO crystallinity and stabilizing the electrolyte structure. This study demonstrates the potential of LaMe-modified PEO composite electrolytes for durable all-solid-state lithium metal batteries.

후기 This study was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2026-25486668)

Biomass-Integrated ZIF-67@Carbon Black Hybrid Network for Flexible, Biodegradable Ammonia Sensors.

칼파나 판데이¹, 포दार 디파크², *김선주¹, #유형민¹

Kalpana Pandey¹, Poddar Deepak², *Seon Ju Kim¹, #Hyeong Min Yoo(yhm2010@kookmin.ac.kr)¹

¹국민대학교 기계공학부, ²한국기술교육대학교 기계공학부

Key words : Pine Leaves-Derived Films, Carbon Black@ZIF-67, Eco-Friendly Sensor Systems, Electrochemical Ammonia Detection

*발표자, #교신저자

We developed a fully biodegradable, flexible ammonia sensor by combining pine-leaf biomass with a conductive ZIF-67@CB network in our study. The process uses mild base hydrolysis to turn biomass into a strong film without making any waste. It keeps the natural matrix of the biomass. ZIF-67 nanocrystals grown in situ on carbon black make this hierarchical architecture better by increasing surface area and redox kinetics. The BM-CB-ZIF₆₇ film can detect ammonia down to 1 ppb at room temperature and is very stable. The sensor has been successfully tested on shrimp spoilage, and it links the response of NH₃ to the evolution of TVBN. This makes it a long-lasting, high-performance tool for smart food packaging.

Acknowledgements : This work was supported by National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the korea government(MSIT)(RS-2026-25493833)

기계 학습 기반 탈황 및 슈퍼커패시터 응용을 위한 산화환원 활성 키토산-폴리피롤-점토 하이브리드 소재의 생체고분자 공학

Biomacromolecular Engineering of Redox-active Chitosan-polypyrrole-clay Hybrid Materials for Machine Learning-assisted Desulfurization and Supercapacitor Application

*이원철¹, #정창윤¹, 백장운², 김진홍², 배현수²

*Li Yuanzhe¹, #Changyoon Jeong(yoonni22@yu.ac.kr)¹,

Jang Woon Baek², Jin Hong Kim², Hyun Su Bae²

¹영남대학교 기계공학과, ²한국전자통신연구원

Key words : Bentonite Clay-Chitosan-Polypyrrole, Adsorptive Desulfurization, Supercapacitor

*발표자, #교신저자

The bentonite-chitosan-polypyrrole (Bent-CS-PPy) composite was developed as a multifunctional material for dibenzothiophene (DBT) adsorption and electrochemical energy storage. It combines bentonite's layered structure, chitosan's functional groups, and polypyrrole's conductive framework, forming a porous and redox-active matrix. The composite achieved 81.26% DBT removal with a Langmuir adsorption capacity of 33.71 mg/g. Machine learning models predicted adsorption performance, with ANN showing the best accuracy. As a symmetric supercapacitor electrode, it delivered 44.67 Wh/kg energy density and retained 73.44% capacitance after 13,000 cycles.

1. Experimental

2.1 Synthesis of PPy

Polypyrrole (PPy) was synthesized via chemical oxidative polymerization. Pyrrole (0.1 M) was dissolved in 1 M HCl and stirred in an ice bath (0-5 °C). A 0.1 M ammonium persulfate (APS) solution in 1 M HCl was added dropwise over 30 min under constant stirring. The reaction proceeded for 6 h, forming a black precipitate. The product was filtered, washed with distilled water and ethanol until neutral pH, and dried at 60 °C under vacuum for 12 h.

2.2 Synthesis of chitosan-Polypyrrole (CS-PPy)

Chitosan (1 g) was dissolved in 100 mL of 1% acetic acid and stirred for 12 h to obtain a homogeneous solution. Pyrrole (0.1 M) was then added under ice bath conditions (0-5 °C). Subsequently, 0.1 M ammonium persulfate (APS) in 50 mL distilled water was added dropwise to initiate oxidative polymerization. The reaction proceeded for 6 h. The black precipitate was filtered, washed with water and ethanol, and dried at 60 °C for 12 h, yielding the CS-PPy composite.

2.3 Synthesis of bent-CS-PPy

Bentonite (1 g) was dispersed in 50 mL distilled water and sonicated for 30 min. Separately, chitosan

(1 g) was dissolved in 100 mL of 1% acetic acid and stirred for 12 h. The bentonite dispersion was added to the chitosan solution and stirred for 2 h. Pyrrole (0.1 M) was then introduced under ice bath conditions, followed by dropwise addition of APS (0.1 M). After 6 h polymerization, the product was filtered, washed to neutral pH, and vacuum-dried at 60 °C for 12 h to obtain Bent-CS-PPy.

2. Results and Discussion

This section systematically evaluates the adsorptive desulfurization performance of the Bent-CS-PPy composite for dibenzothiophene (DBT) removal from model fuel. The results show that the composite achieves an optimal DBT removal efficiency of about 81.2% under conditions of 0.2 g adsorbent dosage, pH ≈ 6, and 480 min contact time. The adsorption capacity increases with higher initial DBT concentration, while removal efficiency slightly decreases due to site saturation. Kinetic analysis indicates that the adsorption follows a pseudo-second-order model, suggesting a chemisorption-dominated process involving both film diffusion and intra-particle diffusion. Isotherm studies reveal that the Langmuir model best describes the adsorption behavior with a maximum capacity of 33.71 mg/g, indicating monolayer adsorption. Temperature

studies confirm that the process is endothermic. Additionally, the composite demonstrates promising performance in real diesel fuel, achieving 66.13% sulfur removal, with adsorption driven by π - π interactions, hydrogen bonding, electrostatic interactions, and porous structure adsorption.

Table1 Comparison of Desulfurization Capacity of Different Adsorbents.

Adsorbent	Equilibrium time (min)	adsorption capacity (mg/g)	Removal efficiency (%)	References
Cobalt/granular activated carbon	240	37.56	92	[47]
chitosan-coated bentonite	-	4.28	56.72	[48]
PTA@MIL-101 (Cr)	3.5 h	136.5	-	[4]
Chitosan-coated bentonite	48 h	40.49	88.75	[49]
Ni/Fe ₃ O ₄ /rGO	8 h	60	73	[5]
Pig dung with garlic peel extract	90	94.01	67.76	[46]
CoCu/AC	30	3.52	90	[11]
Mesoporous silica	120	0.74	-	[50]
PC-derived AC modified bentonite	120	34.38	96.5	[45]
	60	58.2	90	[51]
Bent-CS-PPy	400	33.71	81.2	Our work

3. Conclusions, Significance and/or Future

This study developed a bentonite-chitosan-polypyrrole (Bent-CS-PPy) composite with dual functionality for adsorptive desulfurization and supercapacitor applications. The hybrid structure combines bentonite’s porosity and ion-exchange capacity, chitosan’s hydrophilic functional groups, and polypyrrole’s redox-active conductive framework. The composite achieved 81.26% removal of dibenzothiophene (DBT) with a maximum adsorption capacity of 33.71 mg/g, following pseudo-second-order kinetics and the Langmuir isotherm. Machine learning models (NLR, SVR, ANN) were used to predict adsorption performance, with ANN showing the highest accuracy. As a symmetric supercapacitor electrode, the material delivered an energy density of 44.66 Wh/kg at 500 W/kg and retained 73.44% capacitance after 13,000 cycles. These results demonstrate a sustainable dual-functional material for fuel desulfurization and energy storage

REFERENCES

[1] R. Dehghan, M. Anbia, Zeolites for adsorptive desulfurization from fuels: a review, Fuel Process. Tech

[2] B. Saha, S. Vedachalam, A.K. Dalai, Review on recent

advances in adsorptive desulfurization, Fuel Process. Technol. 214 (2021) 106685.

[3] K. Jiang, Z. Li, Z. Zheng, J. Li, X. Qi, J. Zhou, H. Wei, Y. He, M. Xue, H. Chu, Enhanced adsorption performance for aromatic sulfur compounds over a hierarchical structured AgX zeolite, Environ. Sci. Atmos. 1 (7) (2021) 569-576

[4] S.-Y. Jia, Y.-F. Zhang, Y. Liu, F.-X. Qin, H.-T. Ren, S.-H. Wu, Adsorptive removal of dibenzothiophene from model fuels over one-pot synthesized PTA@MIL-101(Cr) hybrid material, J. Hazard. Mater. 262 (2013) 589-597.

[5] T. Rashid, A. Raza, H.A.M. Saleh, S. Khan, S. Rahaman, K. Pandey, M.A. AlDamen, F. Sama, A. Ahmad, M. Shahid, S.A. Ahmad, Green synthesis of Ni/Fe₃O₄/rGO nanocomposites for desulfurization of fuel, ACS Applied Nano Materials 6 (20) (2023) 18905-18917.

[6] M. Moradi, R. Karimzadeh, E.S. Moosavi, Modified and ion exchanged clinoptilolite for the adsorptive removal of sulfur compounds in a model fuel: new adsorbents for desulfurization, Fuel 217

Acknowledgement

본 연구 논문은 한국전자통신연구원 내부연구과제(기타)의 일환으로 수행되었음. [25YD1200, 촉각센서 기반 보급형 정밀 그리퍼 및 응용기술 기획연구]

모세관 현상 기반 3D 프린팅 격자 구조의 선택적 발포를 통한 강성 프로그래밍

Capillary-Driven Selective Foaming for Programmable Stiffness in 3D-Printed Lattice Structures

*신동훈¹, 이석재¹, #김석¹

¹Dong Hoon Shin¹, Suk Jae Lee¹, #Seok Kim(seokkim@yonsei.ac.kr)¹

¹ 연세대학교 기계공학부

Key words : Microcellular Foaming, 3D Printing, Lattice Structure, Cellular Fluidics

*발표자, #교신저자

소프트 로보틱스나 맞춤형 에너지 흡수 구조체와 같은 첨단 공학 분야에서 고도화된 기능을 구현하기 위해서는, 구조 내부의 국부적인 강성을 정밀하게 제어하는 기술이 필수적이다. 그러나 다재료 적층제조 기술은 강성 구배 형성이 가능함에도 불구하고, 사용 가능한 소재의 제한과 높은 장비 비용, 다중 소재 계면에서 발생하는 접착 신뢰성 저하와 같은 한계를 가진다. 본 연구에서는 Cellular Fluidics 개념과 Microcellular Foaming Process(MCP)를 결합하여 단일 소재 구조 내부에서 선택적 발포를 통해 강성을 제어하는 제조 공정을 제안한다.

1. 서론

기존 배치 방식의 발포 공정은 발포 가스 또는 용액이 구조 표면에서 내부로 확산되는 특성으로 인해 두꺼운 구조체에서 국부적인 물성 제어가 어렵다. 특히 특정 영역만 선택적으로 발포시키거나 구조 내부에 공간적으로 차별화된 물성을 구현하는 데 한계가 존재한다. 한편 다재료 적층제조 기술은 강성 구배 구조 구현이 가능하지만, 높은 장비 비용과 제한된 소재 조합, 이종 소재 계면에서 발생하는 접착 결함으로 인해 구조 신뢰성 확보에 제약이 따른다. 따라서 단일 소재 기반으로 구조 내부 물성을 능동적으로 제어할 수 있는 새로운 제조 접근이 요구된다.

2. 본론

본 연구에서는 격자 구조의 단위셀 크기와 스트럿 직경을 주요 설계 변수로 활용하여 모세관 압력을 제어하고, 이를 통해 발포 유도 용액의 선택적 침투 거동을 구현하고자 하였다. 유체 침투 거동은 Lucas-Washburn 모델을 기반으로 분석하였으며, 고밀도 격자 영역에서는 높은 모세관 압력에 의해 용액이 우선적으로 침투하고, 이후 열 활성화 과정에서 미세 기포가 형성되어 국부적인 강성 저하가 가능함을 이론적으로 제시하였다. 이러한 설계 접근을 통해 단일 소재 격자 구조 내부에서도 기능적 강성 구배 구현 가능성을 제안한다.

3. 결론

제안된 공정은 고가의 다재료 적층제조 장비 없이도 일반적인 단일 소재 FDM 프린터로 구현 가능하며, 발

포 공정이 비교적 간단하고 소재 선택의 자유도가 높다는 장점을 가진다. 또한 이종 소재 계면이 존재하지 않아 구조적 신뢰성 확보에 유리하다. 본 기술은 향후 소프트 로보틱스용 인공 근육, 맞춤형 에너지 흡수 구조체 및 기능성 메타구조 설계와 같은 다양한 공학적 응용 분야에 활용될 것으로 기대된다.

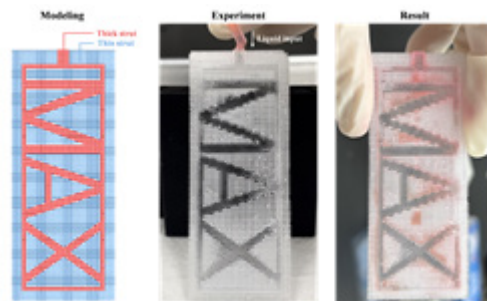


Fig. 1 Capillary-driven selective infiltration in lattice structures with strut thickness gradient

후기 이 연구는 한국연구재단(RS-2025-23524172), 한국산업기술진흥협회(KOITA20250002-11), 및 연세대학교(2025-22-0146)의 지원을 받아 수행된 것임

미세구조가 형성된 오가노겔 기반 미끄러운 표면의 저점착 특성 분석 Analysis of Low-Adhesion Properties of Microstructured Organogel-Based Slippery Surfaces

*유휘상¹, 윤성민¹, #조영태¹

^{*}Hwi Sang Yoo¹, Seong Min Yoon¹, #Young Tae Cho(ytcho@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : Organogel, Slippery Surface, Microstructure, Contact Angle Hysteresis

*발표자, #교신저자

결빙, 오염 등과 같은 현상으로 인해 발생하는 에너지 손실을 최소화하기 위해 자가 세척 표면이나 유체의 저항을 줄여주는 미세구조가 새겨진 표면, 또는 오가노겔과 같은 저점착 특성을 가진 표면에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 미세구조를 통해 발수성을 가지게 하면 높은 접촉각을 만들어 낼 수는 있으나 높은 점착력으로 미끄러운 특성을 가지지 못하기도 한다. 본 연구에서는 UV 나노임프린트 리소그래피를 이용해 미세 구조가 새겨진 표면과 오가노겔을 결합한 후 기존 오가노겔의 접촉각과 히스테리시스를 비교 분석하였다. 제작한 사각 및 팔각 패턴의 표면에서 미세 구조가 없는 오가노겔에 비해 낮은 점착 특성을 보여주었다. 이러한 결과는 기존 표면보다 뛰어난 미끄럼 특성으로 인해 효과적인 방오, 방빙 능력으로 에너지 효율 향상을 보여줄 수 있다.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT)(NRF-2023R1A2C3006499, RS-2023-00238462)

**저주파 SCG 검출을 위한 유연 TENG 센서 및
커프리스 혈압 추정을 위한 적용 가능성 연구**
**Flexible TENG Sensor for Low-Frequency SCG Detection toward Cuffless Blood
Pressure Estimation**

*한정아¹, 김영한¹, #한승주², #오용석³

*Jeong A Han³, #Yong suk Oh (oyongsuk@changwon.ac.kr)¹, #Seng ju Han(sjuhan@ucdavis.edu)²,
Young Han Kim³,

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정, ²University of California, DAVIS, ³국립창원대학교

Key words : Seismocardiogram, Coil-Magnet Sensor, Wearable Patch, Continuous Monitoring

*발표자, #교신저자

Continuous monitoring of cardiac activity is essential for early cardiovascular assessment. Conventional wearable sensors such as ECG and PPG have limitations in directly capturing mechanical heart motion and are sensitive to motion artifacts. This study presents a flexible triboelectric nanogenerator (TENG)-based sensor for detecting low-frequency vibrations associated with seismocardiogram (SCG) signals. The sensor employs a Cu spiral coil electrode with a polyurethane dielectric in a contact-separation configuration. A molded elastomer layer with a central protrusion is introduced to improve contact conditions by inducing air-gap variation and localized pressure. The fabricated sensor was evaluated using a shaker system in the 10-100 Hz range, demonstrating stable electrical output in the low-frequency regime relevant to cardiac signals. These results indicate the feasibility of the proposed TENG sensor for SCG-based heart rate monitoring, with potential extension to cuffless blood pressure estimation.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(RS-2023-00212892).

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (RS-2026-25497451).

※ MSIT: Ministry of Science and ICT.

This research was supported by Global - Learning & Academic research institution for Master's-PhD students, and Postdocs(LAMP) Program of the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Ministry of Education(No. RS-2024-00444460).

This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the RISE Center, Gyeongsangnam-do, funded by the Ministry of Education(MOE) and the Gyeongsangnam-do Provincial Government, Republic of Korea.(2026-RISE-16-002).

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(No. RS-2025-25433692)

푸리에 스펙트럼을 활용한 다층 마이크로 패턴 마크리스 회전 정렬 방법 Markless Rotational Alignment Method for Multilayer Micropatterns Using Fourier Spectral Analysis

*윤서나¹, #조영태¹

*Seo Na Yoon¹, #Young Tae Cho(ytcho@changwon.ac.kr)¹

¹ 국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : Mark-Free Alignment, Fourier Transform, Cartesian Coordinates

*발표자, #교신저자

다층 마이크로패턴 구조에서 층간 회전 정렬 오차는 광학 성능 및 표면 특성을 크게 저하시키며, 정렬 마크 사용이 제한되는 광학 소자, 센서 어레이, 기능성 필름 등의 응용 분야에서 마크리스 정렬 기술의 필요성이 높아지고 있다. 본 연구는 푸리에 변환 기반의 마크리스 회전 정렬 방법론을 기존 2층 구조에서 3층 구조로 확장한 프레임워크를 제안한다. 마이크로패턴 비전 이미지로부터 스펙트럼 특징을 추출하고, 푸리에 도메인의 방향성 피크 분석 및 각도 에너지 분포 평가를 통해 각 층의 회전 상태를 정량적으로 산출한다. 이를 통해 각 층의 회전 각도를 정밀하게 추정할 수 있다. 제안된 방법은 정렬 마크 방식과 동등한 수준의 고정밀 정렬 성능을 달성하며, 광학 소자·마이크로센서·차세대 디스플레이 등 다양한 분야의 다층 기능성 표면 제조 공정에 적용 가능하다.

Acknowledgement This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT)(NRF-2023R1A2C3006499, RS-2023-00238462)

SUS 표면 처리에 따른 Lid Attach 공정의 계면 접착력 향상 연구

Study on Improvement of Interfacial Adhesion Strength in Lid Attach Process via SUS Surface Treatment

*박경희¹, 김성현², 이승훈¹, 이상현³, #이상민^{4,5}

*Kyeong Hui Park¹, Seong Hyeon Kim², Seung Hun Lee¹, Sang Hyun Lee³, #Sang Min Lee^{4,5}

¹동의대학교 기계공학과, ²경상국립대학교 전기공학과, ³국립한국해양대학교 기계공학부, ⁴동의대학교 자동차공학과,

⁵동의대학교 미래모빌리티연구소

Key words : Lid Attach, Surface Roughness, Surface Modification, Adhesion Strength

*발표자, #교신저자

반도체 패키징 공정에서 Lid Attach 공정은 내부 소자를 보호하고 발생하는 열을 효과적으로 방출할 뿐만 아니라, 열변형에 의한 휨(Warping)을 억제하는 핵심 공정 중 하나이다. 특히 PCB(Printed Circuit Board) 기반 패키지에서 주로 활용되며, Lid 재료로는 구리 및 SUS가 널리 사용되고 있다. 패키징 신뢰성 측면에서 Lid 재료와 PCB 계면의 접착력은 중요한 기술적 과제로 부각되고 있다. 본 연구에서는 Lid Attach 공정에 사용되는 SUS와 PCB 간 접착 신뢰성 향상을 위해 SUS 표면 처리에 따른 접착력 변화를 실험적으로 분석하고자 한다. SUS 표면의 미세구조 형상을 분석하고, 계면 접착력은 전단 시험(lap shear test)을 통해 평가한다. 이를 통해 금속 재료의 표면 구조적 특성이 접착력에 미치는 영향을 규명하고, 나아가 접착력 향상을 위한 표면 개질 방향을 제시하고자 한다.

후기 본 연구는 교육부 및 한국산업기술진흥원의 첨단산업 인재양성 부트캠프 (P0028153) 사업 재정지원을 받아 수행된 연구입니다.

알루미늄 와이어 본딩 전단 시험의 오차 요인 분석 및 파단 특성 영향 연구 Analysis of Error Factors and Effect of Fracture Characteristics in Aluminum Wire Bonding Shear Test

*성지민¹, 공혜성¹, # 이상민^{2,3}

¹Ji Min Seong¹, Hye Seong Kong¹, #Sang Min Lee(thinking@deu.ac.kr)^{2,3}

¹동의대학교 기계공학과, ²동의대학교 자동차공학과, ³동의대학교 미래모빌리티연구소

Key words : Wire Bonding, Shear Position, Shear Height, Shear Speed

*발표자, #교신저자

와이어 본딩 공정은 반도체 패키징에서 전기적 연결과 기계적 신뢰성을 확보하는 핵심 기술이며, 본딩 강도 향상을 위한 연구는 지속적으로 관심을 모으고 있다. 본딩 강도 평가 방법 중 접합부의 전단 강도를 측정하는 전단 시험(shear test)이 널리 활용되고 있지만, 다른 기계적 강도 평가 방법과 마찬가지로 실험적 오차로 인해, 평가의 일관성과 재현성 확보에 어려움이 있다. 본 연구에서는 본딩된 와이어의 전단 강도 평가 과정에서 발생할 수 있는 오차 요인을 분석하고자 한다. 구체적으로 시험 팁과 접합부의 접촉 위치(높이 및 수평 위치) 및 시험 속도 등의 시험 조건이 평가 결과에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 또한 각 조건에 따른 파단 모드를 분류하고, 전단 강도 및 파단 특성과의 상관관계를 분석하고자 한다. 이를 통해 시험 조건에 따른 측정값 변동 특성을 규명하고, 신뢰성 향상을 위한 평가 기준을 제시하고자 한다.

후기 본 연구는 교육부 및 한국산업기술진흥원의 첨단산업 인재양성 부트캠프 (P0028153) 사업 재정지원을 받아 수행된 연구입니다.

탄소기반 재료와 전자파 차폐효과

Carbon-based Materials and Electromagnetic Shielding Effect

*최선호¹, 김영순², 정수민³, 오민진⁴, 진재언⁴, 임석대⁵, #김홍건^{1,2,3}

*Sun Ho Choi¹, Young Soon Kim², Su Min Jung³, Min Jin Oh⁴, Jae Un Jin⁴, Suk Dae Lim⁵, #Hong Gun Kim^{1,2,3}

¹전주대학교 탄소융합공학과, ²전주대학교 탄소연구소, ³전주대학교 탄소융합에너지공학과, ⁴엘앤디테크, ⁵더데움

Key words : LED, Disply Panel, Electromagnetic Shielding, Carbon Composites

*발표자, #교신저자

In this study, the use of carbon-based composite materials as efficient shielding materials for LED panels was investigated. The shielding effect of the materials was measured using the currently widely used ASTM D4935 standard method. According to the results, carbon fiber nonwoven fabrics were able to shield electromagnetic waves by 40 to 90 dB. In this case, the shielding was primarily due to reflection. Composites containing multi-walled carbon nanotubes were able to shield electromagnetic waves by 10 to 20 dB. In this case, the shielding was primarily due to absorption. These results suggest that combining these materials could improve shielding performance while maintaining structural stability and reducing overall weight.

1. 서론

최근 전자기기의 고성능화와 경량화가 빠르게 진행되면서, 전자파 간섭을 효과적으로 차단할 수 있는 소재의 필요성이 커지고 있다. 특히 LED 패널과 같은 전자부품은 외부 전자파의 영향을 받을 수 있어, 높은 차폐 성능과 함께 구조적 안정성, 경량성을 동시에 만족하는 소재 개발이 중요하다.

기존의 금속 기반 차폐재는 우수한 차폐 효과를 보이지만, 무게 증가와 가공성 저하 등의 한계가 있다. 이에 따라 탄소섬유, 탄소나노튜브와 같은 탄소 기반 복합재료가 대안으로 주목받고 있으며, 이들은 전기적 특성과 기계적 특성을 조절하여 다양한 형태의 전자파 차폐재로 응용될 수 있다.

본 연구에서는 탄소 기반 복합재료를 LED 패널용 효율적 차폐 소재로 적용할 가능성을 검토하고, ASTM D4935 표준법^[1]을 이용하여 전자파 차폐 성능을 평가하고자 한다. 이를 통해 각 소재의 차폐 메커니즘을 비교하고, 경량성과 성능을 동시에 확보할 수 있는 복합 차폐 구조의 설계 방향을 제시하고자 한다.

2. 실험

본 연구에서는 LED 패널의 전자파 차폐 성능 향상을 위해 탄소 기반 복합재료를 제조하고, 각 소재의 전자파 차폐 효과를 비교 평가하였다. 차폐 소재로는 탄소섬유 부직포와 다중벽 탄소나노튜브를 포함한 복합재료를 사용하였다. 탄소섬유 부직포는 전자파 반사에 의한 차폐 성능을, 탄소나노튜브 복합재료는 전자파 흡수에 의한 차폐 성능을 확인하는 데 중점을 두었다.

복합재료 제조를 위해 먼저 고분자 매트릭스에 다중벽 탄소나노튜브를 일정 함량으로 분산시켜 균일한 복합 조성을 갖도록 하였다. 이후 탄소섬유 부직포 또는 탄소나노튜브 함유 복합재를 필요한 크기와 두께로 성형하여 시험편을 제작하였다. 이때 시험편은 전자파 차폐 성능 평가에 적합하도록 균일한 두께와 일정한 면적을 유지하도록 준비하였다.

제작된 시험편의 전자파 차폐 성능은 ASTM D4935 표준 시험법에 따라 측정하였다. 측정은 동축 전송선 방식의 차폐 성능 평가 장치를 이용하여 수행하였으며, 일정 주파수 구간에서 입사파와 투과파를 비교하여 차폐 효과를 정량적으로 분석하였다. 측정 결과는 차폐효과(SE, shielding effectiveness) 값으로 나타내었고, 이를 통해 각 소재의 전자파 차폐 성능을 비교하였다.

3. 결론

그림 1(a)은 0.4~1.6 GHz 주파수 대역에서 탄소섬유 부직포의 전자기파 차폐 성능을 분석한 것으로, 투과계수인 S21(그림 1(b))이 약 -90 dB에 달해 전자파가 거의 통과하지 못하는 강력한 차폐력을 보여줍니다. 반사계수인 S11과 S22(그림 1(c))가 0 dB에 매우 근접하게 나타나는 것은 입사된 전자파의 대부분이 소재 내부로 흡수되지 않고 표면에서 반사됨을 의미합니다. 결론적으로 이 소재는 전자파 투과는 철저히 억제되 흡수보다는 반사를 통해 차단이 이루어지는 전형적인 강력한 반사형 차폐재의 특성을 나타내고 있습니다.

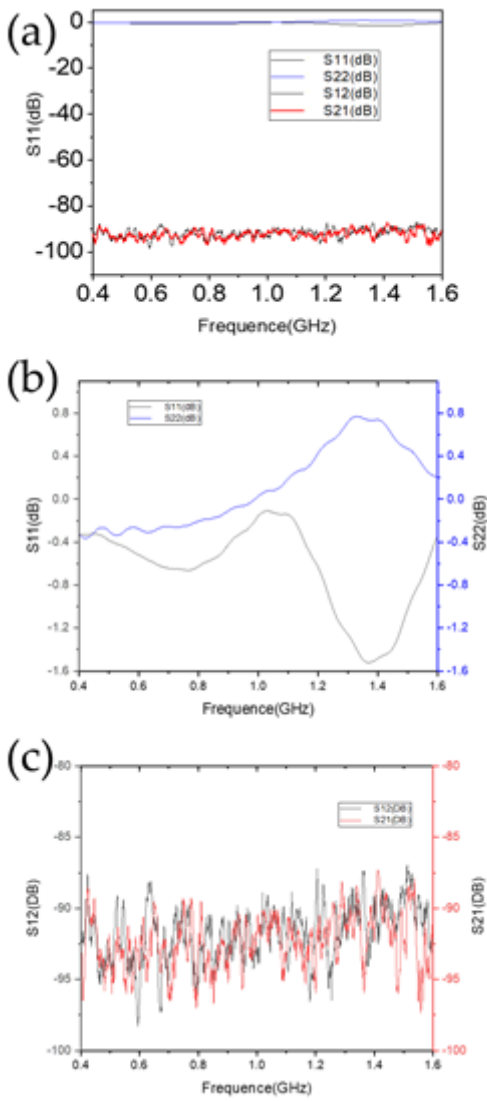


Fig. 1 S-parameter analysis of carbon fiber non-woven showing strong reflection characteristics S11 and minimal transmission S21 across the 0.4-1.6 GHz frequency range.

그림 2는 0.4~1.6 GHz 주파수 대역에서 탄소복합체의 전자파 차폐 성능을 분석한 것으로, 투과 계수인

S21 약 -15 dB이며, 반사 계수인 S11과 S22는 약 -3 dB을 보입니다. 결론적으로 이 소재는 전자파 투과는 탄소섬유 부직포와는 달리 약하게 억제하는 흡수 특성을 보입니다.

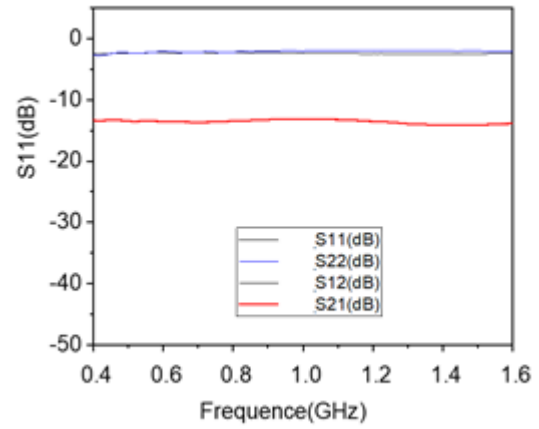


Fig. 2. S-parameter analysis of carbon composite showing the reflection characteristics S11 and minimal transmission S21 across the 0.4-1.6 GHz frequency range.

REFERENCES

- Vasquez, H., Espinoza, L., Lozano, K., Foltz, H., & Yang, S. (2009). Simple Device for Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness Measurement..

Acknowledgment

본 결과물은 과학기술정보통신부의 재원으로 연구개발특구진흥재단의 [2025년 연구개발 특구 육성(R&D)] (탄소섬유 및 난연강화 소재 적용 하이브리드 경량복합소재의 중대형 선박 및 특수 다목적 수밀문 실선 실증, RS-2025-02222810) 및 2025년 전북특별자치도 혁신성장 R&D+ 사업(내수 및 수출 진작형 탄소용복합 전자파차폐 고품질 전광판의 개발) 지원을 받아 연구되었음.

나노패턴의 극초단 레이저 어닐링 기술 Femtosecond Laser Annealing on Nanopattern

*김혜수^{1,2}, 조준희^{1,2}, #장원석^{1,2}

*Hye Soo Kim^{1,2}, Jun Hee Jo^{1,2}, #Won Seok Chang(paul@kimm.re.kr)^{1,2}

¹한국기계연구원, ²과학기술연합대학원대학교

Key words : Femtosecond Laser, Cold Annealing, Infrared Sensor

*발표자, #교신저자

A comprehensive strategy to enhance the polarization performance of photodetectors (PDs) was developed and implemented by integrating nano-grating wire-grid polarizers (WGPs) by femtosecond laser (FSL) annealing and polishing. This combined approach offers significant advantages, including large-area fabrication capabilities, practical device integration, and improved polarization characteristics. By addressing optical losses, the primary factor contributing to polarization degradation through the thermal effects of FSL annealing, we achieved substantial improvements in surface roughness by polishing and grain boundary reduction by annealing on the WGP, resulting in remarkable performance enhancements. As a result, the extinction ratio of the integrated WGP InAs/GaSb type-II superlattice mid-wavelength infrared range PD achieves an impressive value. This approach holds promising potential for advancing polarization-based imaging and measurement systems to new heights.

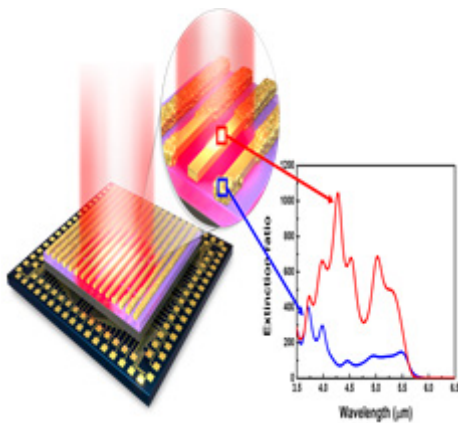


Fig. 1 Femtosecond laser annealing on nanopattern for enhancement of extinction ratio of WGP

후기 본 연구는 산업통상자원부 소재부품기술개발사업(RS-2004-00438128)의 지원을 받아서 수행되었습니다.

DMD 기반 롤투롤 마스크리스 리소그래피에서의 선형 노광 서브픽셀 구현 방법 Subpixel Implementation Method Using Line Exposure in DMD-Based Roll-to-Roll Maskless Lithography

*최진수¹, 이원섭¹, 조현민¹, 김기홍¹, 김재영³, 강동우³, #장원석²

*Jin Su Choi¹, Won Sup Lee³, Hyun Min Cho³, Gee Hong Kim³, Jae Young Kim³, Dong Woo Kang³, #Won Seok Chang(paul@kimm.re.kr)¹

¹한국기계연구원 나노리소그래피연구센터, ²한국기계연구원 나노융합연구본부, ³한국기계연구원 이차전지장비연구실

Key words : Maskless Lithography, DMD, Roll-to-Roll, Deformation Compensation

*발표자, #교신저자

본 연구는 DMD(Digital Micromirror Device)를 활용한 롤투롤 마스크리스 리소그래피 시스템에서 선형 노광 기반의 CD(Cross-Direction) 및 MD(Machine-Direction) 방향 서브픽셀 구현 방법을 제안한다. DMD의 대각 픽셀 그룹은 실린더 렌즈에 의해 하나의 스폿으로 집속되며, CD 서브픽셀은 duty 변조를 통한 노광량 제어로, MD 서브픽셀은 서브프레임 분할로 구현한다. 이를 통해 DMD의 물리적 픽셀 해상도를 초과하는 패턴 에지 위치 제어가 가능하며, 실시간 변형 보상과 결합하여 정밀한 롤투롤 패턴링이 가능하다.

1. 서론

롤투롤(Roll-to-roll, R2R) 공정은 대면적 유연 기판에 대한 연속적인 패턴링을 가능하게 하는 방법으로 디스플레이, 태양전지, 유연 전자소자 분야에서 주목받고 있다. 마스크 기반 리소그래피는 대량 생산에 유리하나 마스크 제작 비용이 높고 패턴 변경이 어려운 단점이 있다. DMD 기반 마스크리스 리소그래피는 소프트웨어로 패턴을 자유롭게 제어할 수 있어 유연성이 높고 기판 변형에 의한 패턴 오정렬 문제를 해결할 수 있으나, 픽셀 격자에 의해 에지 계단 현상과 픽셀 단위로만 패턴 변조가 가능한 문제가 존재한다. 본 연구에서는 실린더 렌즈로 롤투롤 곡면 기판에 DMD를 선형노광하는 시스템에서 CD 및 MD 방향의 서브픽셀을 구현하는 방법을 제안한다. 이를 통해 서브픽셀 정밀도의 변형 보상을 위한 패턴 변조가 가능한 롤투롤 마스크리스 리소그래피 시스템의 구현이 가능해진다.

2. 시스템 구성

제안된 시스템은 롤투롤 이송 장치에 더해 DMD 기반 광학 헤드, 정렬 마커 계측용 카메라, 그리고 실시간 제어 PC로 구성된다. DMD는 45° 기울어져 있어 같은 CD 위치를 공유하는 픽셀들이 하나의 대각 그룹을 형성하며, 실린더 렌즈에 의해 롤러 표면의 기판 위에 선형 스폿으로 집속된다. 기판에는 등간격으로 정렬 마커가 배치되어 있으며, 카메라가 이를 순차 계측하여 CD

및 MD 방향의 국소 변형량을 실시간으로 추정한다. 추정된 변형 데이터는 패턴 래스터화 단계에서 좌표 변환에 활용되며, 이후 서브픽셀 보정 패스와 순차적으로 연동되어 최종 DMD 패턴을 생성한다.

3. 서브픽셀 구현 방법

CD 서브픽셀 보정은 래스터화 결과에서 패턴의 에지 경계에 해당하는 두 대각 그룹을 추출한 후, 두 대각 그룹 사이의 정밀한 에지 위치를 이진 탐색한다. 이후, 두 대각 그룹의 duty 비율을 조절하여 노광 프로파일에서 정의된 에지를 서브픽셀 단위로 이동시키는 방식으로 구현한다. Duty와 에지 위치의 관계는 실험적으로 보정한 LUT(Look-Up Table)로 관리하며, 역 LUT를 통해 목표 에지 위치로부터 각 대각의 duty를 역산한다. MD 서브픽셀 보정은 하나의 DMD 노광 프레임을 M 개의 서브프레임으로 분할하고, 에지 전환이 일어나는 서브프레임 위치를 이진 탐색하여 MD 방향 에지 위치를 정의한다. 이후, 정의된 에지 위치까지의 서브프레임에 CD 보정에서 결정된 대각 그룹별 duty를 대입하는 방식으로 구현한다.

후기 본 연구는 산업통상자원부 소재부품기술개발사업(RS-2004-00438128)의 지원을 받아서 수행되었습니다.

나노스크래치 시험법에서의 박리지점 결정을 위한 복합 분석 Multi-factor Analysis for Determining Delamination Point in Nanoscratch Test

*조아름¹, 김동규¹, 박태원¹, 박민지¹, 이정구¹, #전은채¹

*Ah Reum Cho¹, Dong Gyu Kim¹, Tae Won Park¹, Min Ji Park¹, Jung Gu Lee¹, #Eun Chae Jeon(jeonec@ulsan.ac.kr)¹
¹울산대학교 첨단소재공학부

Key words : Multi-factor, Delamination Point, Nanoscratch Test, Adhesion

*발표자, #교신저자

접합력 분석법 중 하나인 나노스크래치 시험법은 타 시험법은 적용하기 어려운 3층 이상, 즉 2개 이상의 계면을 갖는 다층 소재에도 적용이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 그러나 나노스케일에서 박리가 발생하기 때문에 2개 이상의 계면 중 어느 계면에서 박리가 발생했는지 결정하기가 어려운 문제도 갖고 있다. 이에 본 연구에서는 나노스크래치 시험법에서 얻어지는 정량적, 정성적 데이터와 더불어 박리 지점에서의 원소 분석을 복합적으로 사용하여 나노스케일에서의 박리 지점을 결정하는 방법을 제안하였다.

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00408180)

스테인리스강 표면의 전해도금 및 나노와이어 성장을 통한 극소수성 표면 구현 기술 개발

Fabrication of Superhydrophobic Surfaces on Stainless Steel via Electroplating and Nanowire Growth

*신수빈¹, #이정원¹

^{*}Su Bin Sin¹, [#]Jeong Won Lee(jwlee07@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Superhydrophobic Surface, Stainless Steel, Electroplating, Nanowire Growth

^{*}발표자, [#]교신저자

스테인리스강은 우수한 내식성과 기계적 특성으로 다양한 산업 부품에 널리 사용되지만, 높은 화학적 안정성으로 인해 표면 나노구조 형성이 제한적이며 극소수성 구현이 어렵다. 본 연구에서는 전해도금과 화학 처리를 이용하여 스테인리스강 표면에 구리층을 형성하고, 이를 기반으로 구리 나노와이어 구조를 성장시켜 극소수성 표면을 구현하였다. 형성된 구리 나노구조 기반 극소수성 표면은 우수한 열전달 성능과 방빙 특성을 나타내며, 이를 통해 열교환기 및 응축기와 같은 스테인리스 기반 산업 부품에 적용할 수 있다. 본 연구는 산업 현장에서의 에너지 효율 향상에 기여할 수 있는 표면 개질 기술을 제시한다.

1. 서론

스테인리스는 우수한 내부식성 및 오염 저항성을 가지는 물질이지만, 친수성 표면 특성으로 인해 결빙 및 열전달 성능 저하를 유발할 수 있다. 전해도금을 통해 스테인리스 표면에 극소수성 구현에 유리한 구리 표면을 형성할 수 있다. 이에 본 연구는 구리 나노구조를 형성하여 극소수성 표면을 구현하는 것을 목적으로 한다.

2. 본론

본 연구에서는 스테인리스(SS316L) 표면에 전해도금을 통해 구리층을 형성한 후, 나노와이어 구조 성장을 유도하고 Self-Assembled Monolayer(SAM) 코팅을 수행하였다. 접촉각 측정 결과, 나노구조 형성 단계에서는 $13.7 \pm 4.46^\circ$ 로 친수성 특성이 나타났으며, SAM 코팅 이후에는 $168.4 \pm 13.65^\circ$ 로 향상되어 극소수성 특성을 나타냈다. SEM 분석을 통해 전해도금 후 균일한 구리층이 형성되었으며, 나노와이어 성장 단계에서 표면 거칠기가 증가하고 미세한 나노구조가 형성된 것을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 스테인리스강 표면에 전해도금과 나노와이어 성장을 통해 구리 기반 극소수성 표면을 구현하고, SAM 코팅을 적용하여 표면 특성을 향상했다. 그 결과 평균 접촉각 168.4° 의 극소수성 특성을 확보하였으며, 간단한 공정을 통해 기능성 표면 구현 가능성을 제시하였다. 이러한 표면은 열교환기 및 응축기와 같은 스

테인리스 기반 부품에 적용될 경우, 액적 제거 촉진에 따른 열전달 특성 향상과 결빙 지연 효과를 기대할 수 있다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2026-25477358).

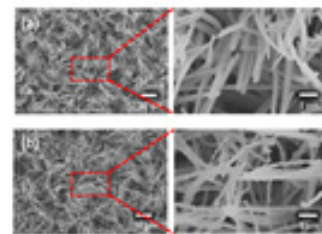


Fig. 1 (a) SEM images of Cu nanowires formed on SS316L (30 min, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8:\text{NaOH} = 1:4$), (b) SEM images after SAM coating.

REFERENCES

1. Feng, J., Qin, Z. and Yao, S., "Factors Affecting the Spontaneous Motion of Condensate Drops on Superhydrophobic Copper Surfaces," *Langmuir*, Vol. 28, No. 13, pp. 6067-6075, 2012.

냉간 인발 및 응력제거 열처리에 따른 가돌리늄 와이어의 자기열량 이방성 변화 Cold-Drawn Gadolinium Wires: Texture-Driven Evolution of Magnetocaloric Anisotropy and Its Recovery by Stress-Relief Annealing

*김민직¹, 양우석¹, 양수미¹, 배재한¹, #신다슬¹

*Min Jik Kim¹, Woo Seok Yang¹, Su Mi Yang¹, Jae Han Bae¹, #Da Seul Shin (daseulshin@kims.re.kr)¹

¹한국재료연구원 재료공정연구본부

Key words : Gadolinium, Wire Drawing, Magnetocaloric Materials, Magnetic Anisotropy

*발표자, #교신저자

This work examines how cold drawing and subsequent stress-relief annealing affect the directional magnetocaloric behavior of gadolinium (Gd) wires. Mechanical deformation during drawing promotes texture evolution in the Gd matrix, causing the easy magnetization axis (c-axis) to preferentially align in the radial direction through the activation of basal and prismatic slip systems. As a result, magnetocaloric performance is enhanced perpendicular to the drawing direction, while it is diminished along the drawing axis. With increasing reduction ratio, this preferred orientation becomes more pronounced, leading to stronger magnetocaloric anisotropy. In the 1.0 mm final wire, the maximum magnetic entropy change under 2.0 T reached $5.5 \text{ J kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ in the radial direction, compared with $3.6 \text{ J kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ along the drawing direction. After annealing, part of the deformation-induced anisotropy was relaxed and the magnetic response in the drawing direction was partially restored, indicating recovery of microstructural distortion and residual stress. These findings demonstrate that deformation processing and post-heat treatment can be combined to tune the anisotropic magnetocaloric response of Gd wires, offering useful design insight for high-performance magnetocaloric cooling systems.

La-Fe-Co-Si 합금의 열간 변형 메커니즘과 열간 압연 결함 저감에 관한 연구 Hot Deformation Behavior of La-Fe-Co-Si Alloys and a Defect-Mitigation Strategy for the Hot Rolling Process

*양선영^{1,2}, 김민직¹, 양우석¹, 양수미¹, 배재한¹, #신다슬¹

*Seon Yeong Yang¹, Min Jik Kim¹, Woo Seok Yang¹, Su Mi Yang¹, Jae Han Bae¹, #Da Seul Shin
(daseulshin@kims.re.kr)¹

¹한국재료연구원 재료공정연구본부, ²울산과학기술원 신소재공학과

Key words : La-Fe-Co-Si Alloys, Nanoindentation, Magnetocaloric Effect, Hot Rolling Defects,
Multi-step Heat Treatment

*발표자, #교신저자

La(Fe,Co,Si)₁₃-based alloys are regarded as promising magnetocaloric materials for solid-state cooling because they offer excellent functional performance together with the possibility of near-net-shape processing. However, the hot deformation behavior of these alloys and the origin of defects formed during hot rolling have not been fully clarified. In this study, the hot deformation mechanisms, microstructural evolution, and magnetocaloric properties of hot-rolled La_{1.05}Fe_{11.2}Co_{0.7}Si_{1.38} alloy were systematically investigated. To evaluate temperature-dependent mechanical behavior, multiscale analyses were carried out using macroscale hot compression tests and microscale high-temperature nanoindentation up to 800 °C. The results showed that both the α -Fe phase and the 1:1:1 phase exhibited substantial softening with increasing temperature. In particular, the 1:1:1 phase showed a marked reduction in hardness and elastic recovery between 600 and 800 °C, indicating significant flow softening near half of its melting temperature. These findings suggest that the deformability of the alloy during hot working is strongly influenced by the thermal softening behavior of these secondary phases.

In addition, deformation-induced microstructural defects, including residual α -Fe and lattice distortion in the 1:13 phase, were identified after hot rolling and subsequent annealing. To address these issues, a multi-step heat-treatment route was developed by combining partial transient liquid-phase diffusion through the 1:1:1 phase with prolonged annealing to promote the formation of the NaZn₁₃-type 1:13 phase. As a result, the volume fraction of the primary 1:13 phase increased to 97.5%, compared with 87.5% obtained by conventional annealing. Correspondingly, the magnetocaloric performance was effectively recovered, with the Curie temperature shifting from 276 K to 266-268 K and the maximum magnetic entropy change increasing from 7.56 to 8.67 J kg⁻¹ K⁻¹ under a magnetic field of 2 T. These results provide a practical processing strategy for improving the hot workability of La-Fe-Co-Si alloys while suppressing rolling-induced defects, and they offer a useful technical basis for the fabrication of high-performance magnetocaloric components.

유연 투명 전극 제작을 위한 은 촉매 기반 구리 무전해 도금 공정 개발 Development of a Silver Catalyst-Based Electroless Copper Plating Process for Flexible Transparent Electrodes

*#김건휘¹, 유선종¹, 김나경¹

*#Geon Hwee Kim(geonhwee.kim@chungbuk.ac.kr)¹, Seon Jong Yu¹, Na Kyoung Kim¹

¹충북대학교 기계공학과

Key words : Electrospinning, Electroless Plating, Pd-Free, Flexible Transparent Electrode

*발표자, #교신저자

전기방사 섬유 기반 유연 투명전극의 제작을 위해 사용되는 무전해 도금 공정은 고가의 팔라듐(Pd) 촉매 및 복잡한 전처리 과정을 수반한다. 본 연구는 이를 극복하고자 Pd-free 기반의 경제적인 구리 무전해 도금 공정을 개발하였다. Silver nitrate, PEI(Polyethylenimine), PAN(Polyacrylonitrile)을 혼합한 용액을 전기방사한 후, UV 광환원을 통해 생성된 은 나노입자를 도금 촉매로 활용하였다. 별도의 활성화 단계 없이도 치밀하고 균일한 구리 도금층 형성이 가능하며, PEI 첨가를 통해 다양한 기판과의 우수한 계면 접착력을 확보하였다. 본 공정은 우수한 전기전도도 및 광투과도를 달성하여, 차세대 유연 투명전극의 저비용·고효율 제조 기술로서 높은 유효성을 갖는다.

후기 This research was supported by the Regional Innovation System & Education(RISE) program through the (Chungbuk Regional Innovation System & Education Center), funded by the Ministry of Education(MOE) and the (Chungcheongbuk-do), Republic of Korea (2025-RISE-11-014-01). This work was supported by Korea Foundation for Women In Science, Engineering and Technology (WISSET) grant, funded by the Ministry of Science and ICT(MSIT) under the Team Research Program for female engineering students (WISSET-2026-215).

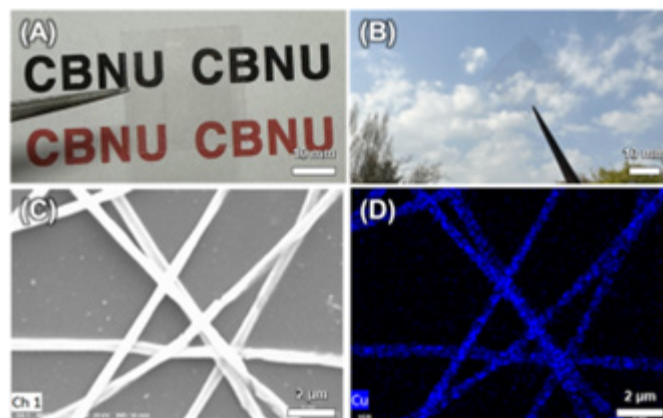


Fig. 1 Morphological and optical characterization of the fabricated transparent electrode. (A,B) Optical photographs of the transparent electrode against different backgrounds. (C) SEM image of the transparent electrode. (D) EDS mapping image of the transparent electrode (Cu signal).

전기자동차 고전압 시스템 고장 사례 분석 및 진단방법 연구

A Study on Failure Cases and Diagnostic Methods of High-Voltage Systems in Electric Vehicles

*#황성완¹

*#S. W. Hwang(jaebeol@naver.com)¹

¹ 한국폴리텍대학 부산캠퍼스 전기자동차과

Key words : Electric Vehicle, High Voltage Battery, HVIL, ICCU, BMS Diagnostics

*발표자, #교신저자

최근 전기자동차 보급 확대에 따라 고전압 배터리 및 전력변환 시스템 관련 고장이 증가하고 있다. 본 연구에서는 실제 정비 현장에서 발생한 고장 사례를 기반으로 BMS, ICCU, 고전압 인터록(HVIL) 시스템의 주요 고장 유형을 분석하고, 효과적인 진단 방법을 제시하였다. 주요 사례로는 배터리 미세 단락(P1AD300), 셀 전압 편차 이상(P1AA700), 고전압 인터록 회로 이상(P0A0A12), 그리고 ICCU 내부 절연파괴 문제가 확인되었다. 특히 미세 단락 진단의 경우 셀 전압 편차가 미미함에도 불구하고 BMS의 이상 거동 감지 로직에 의해 고장이 검출되었으며, ICCU의 경우 충전 회로 절연저항 저하로 인해 충전 불량 및 차단 현상이 발생하였다. 또한 인터록 커넥터의 체결 불량 및 기계적 손상은 시스템 전반의 안전 차단을 유발하는 주요 원인으로 분석되었다. 본 연구에서는 각 고장 유형별로 센서 데이터 기반 진단 절차와 절연저항 측정, 인터록 전압 확인 등의 체계적인 점검 방법을 제안하였다.

1. 서론

전기자동차는 고전압 배터리와 전력변환 장치를 기반으로 구동되며, 안전성과 신뢰성이 매우 중요한 시스템이다. 그러나 최근 현장에서는 배터리 내부 이상, 충전 시스템(ICCU) 고장, 고전압 인터록(HVIL) 오류 등 다양한 고장이 증가하는 추세이다. 이러한 고장은 차량 주행 불능 및 충전 불량으로 직결되며, 정확한 진단이 요구된다.

2. 고장사례 분석 및 진단방법

2.1 배터리 미세 단락(P1AD300)

BMS에서 미세 단락(MISD)으로 판단된 사례에서 셀 전압은 최대/최소 4.10V로 편차가 거의 없었으나, 내부 저항 변화에 따른 이상 거동이 감지되었다. 이는 단순 전압 기반 진단의 한계를 보여준다.

2.2 셀 전압 편차 이상(P1AA700)

특정 셀에서 약 0.2V 이상의 전압 편차가 발생하여 고장이 검출되었으며, 모듈 교환 후 편차가 0.02V로 감소하여 정상화되었다.

2.3 고전압 인터록(HVIL) 이상

인터록 커넥터 체결 불량 및 고정 너트 이탈로 인해 인터록 전압이 불안정하게 변화(약 2.5V → 4.1V)하며 시스템 차단이 발생하였다.

2.4 ICCU 절연파괴

충전 회로 절연저항 측정 결과 ICCU 내부 절연파괴가 확인되었으며, 이는 완속 충전 중 차단 및 알람 발생의 원인으로 분석되었다.

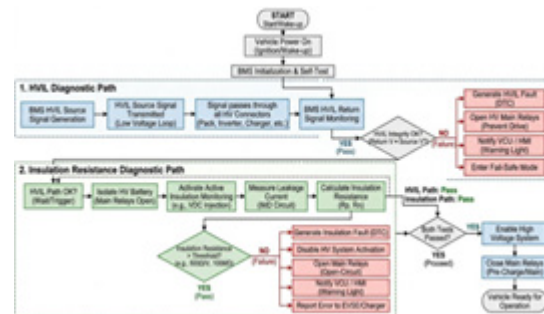


Fig. 1 BMS HVIL and Insulation Resistance Diagnostic Flow Chart

3. 결론

본 연구에서는 전기자동차 고전압 시스템의 대표적인 고장 사례를 분석하고, 각 고장 유형에 대한 진단 방법을 제시하였다. 특히 BMS 기반 이상 감지, HVIL 회로 점검, ICCU 절연저항 측정의 중요성을 확인하였다. 향후 정비 현장에서는 단순 DTC 확인을 넘어 센서 데이터 기반 분석과 절연 진단을 병행해야 하며, 이를 통해 고장 진단 정확도와 안전성을 향상시킬 수 있다.

포스터발표

열유체/유체기계

흡광도 측정 기반의 섬유 소재의 미세먼지 오염도 평가 Absorbance-based Assessment of Particulate Contamination on Textile Materials

*황석주¹, 강현민¹, 남학호¹, 허승민¹, #육세진¹

*Seok Ju Hwang¹, Hyeon Min Kang¹, Hak Ho Nam¹, Seung Min Heo¹, #Se Jin Yook(ysjnuri@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : Beta-ray Absorption Method, Particulate Matter (PM), Contamination

*발표자, #교신저자

본 연구는 의류 부착 미세먼지가 실내 공기질에 미치는 영향을 고려하여, 섬유 오염도를 정량적으로 평가하는 기법을 제시한다. 풍동 장치에서 Arizona Test Dust를 활용해 TR 선염 및 면 원단을 7단계 농도로 오염시켰다. Sr-90과 C-14 베타 동위원소를 사용해 Beer-Lambert 법칙 기반의 흡광도를 분석하였다. 동위원소 종류, 방사선 세기, 소재에 따른 흡광도 차이로 오염도를 비교하였다. 검증을 위해 단위 면적당 질량과 흡광도로 질량감쇠계수를 도출했으며, 반복 실험을 통해 계수 오차가 동위원소 종류와 세기에 따라 달라짐을 확인하였다. 이를 통해 섬유 오염도 평가에 최적인 동위원소를 선정하였다. 본 기법은 섬유의 오염 방지 성능을 평가하는데 참고 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기 This study has been performed for 'Development Project for One-stop Platform Technology of Atmospheric Environmental Monitoring UAV System' (SN: RS-2025-02213909) funded by the ROKG.

배터리 모듈 내 열차단 패드 유형이 열폭주 지연 특성에 미치는 영향 분석 Effect of Thermal Barrier Pad Type on Thermal Runaway Delay in a Battery Module

*#육세진¹, 허승민¹, 강현민¹, 황석주¹, 남학호¹

*Se Jin Yook(ysjnuri@hanyang.ac.kr)¹, Seung Min Heo¹, Hyeon Min Kang¹, Seok Ju Hwang¹, Hak Ho Nam¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : Thermal Runaway, Battery Module, Thermal Barrier Pad

*발표자, #교신저자

에너지 및 환경 문제 대응을 위한 전기차 보급 확대와 함께, 리튬이온 배터리의 안전성 확보가 중요한 이슈로 부각되고 있다. 특히 셀 간 열폭주 전파는 시스템 전체의 치명적 손상을 유발할 수 있어 이를 지연시키기 위한 설계 기술이 요구된다. 본 연구에서는 배터리 모듈 내 셀 사이에 적용되는 열차단 패드의 유형이 열폭주 지연 특성에 미치는 영향을 수치해석과 실험을 통해 분석하였다. 다양한 재료 조합을 고려한 열차단 패드 조건을 설정하여 열전달 및 열확산 거동을 비교하였으며, 그 결과 열차단 패드를 적용한 경우 인접 셀로의 열전달이 효과적으로 억제되어 열폭주 전파 시간이 유의하게 증가하는 것을 확인하였다. 또한 패드 특성에 따라 지연 효과의 차이가 발생함을 확인하였으며, 이를 통해 열관리 설계 시 고려해야 할 주요 인자를 도출하였다. 본 연구 결과는 열안전성 향상을 위한 설계 지침을 제공하며, 열폭주 확산 억제를 위한 구조적 접근에 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 보인다.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2024-00346834).

웨이퍼 보관 시 입자 오염 저감을 위한 구조 개발 Structural Design Development for Particle Contamination Reduction in a Wafer Storage Chamber

*강현민¹, 황석주¹, #육세진¹

*Hyeon Min Kang¹, Seok Ju Hwang¹, #Se Jin Yook(ysjnuri@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : FOUP, Wafer, Particulate Contamination

*발표자, #교신저자

반도체 공정 이후 고온 상태의 웨이퍼는 FOUP 내부에 보관되며, 이때 형성되는 자연대류 유동은 내부에서 발생한 미세입자의 이동 경로와 표면 침착 특성에 중요한 영향을 미친다. 밀폐된 환경에서는 입자가 재순환 유동을 따라 장시간 체류하면서 특정 위치의 웨이퍼에 집중적으로 부착될 가능성이 존재한다. 본 연구에서는 이러한 입자 이송 특성을 고려하여 FOUP 내부에서 입자를 능동적으로 차단 및 포집할 수 있는 구조를 제안하고, 해당 구조가 웨이퍼 오염에 미치는 영향을 수치해석과 모사 실험을 통해 검토하였다. 가열된 웨이퍼 주변에서는 상승류와 하강류가 결합된 순환 유동 구조가 형성되며, 이로 인해 입자가 상부 영역으로 이동한 뒤 FOUP 내부를 따라 반복적으로 순환하는 거동이 관찰되었다. 입자 차단 및 포집 구조가 적용된 경우에는 이러한 유동 경로가 부분적으로 변경되면서 입자의 일부가 웨이퍼 표면에 도달하기 전에 구조물에 의해 포집되는 경향을 보였다. 설계 변수에 대한 통계적 분석을 통해 구조의 기하학적 인자가 포집 성능에 유의한 영향을 미침을 확인하였으며, 최적 조건에서 약 절반 수준의 입자 제거 효과가 나타났다. 형광 에어로졸을 활용한 실험에서도 구조 도입 시 웨이퍼 표면의 오염이 줄어드는 경향이 확인되었으며, 특히 상부 웨이퍼에서의 입자 침착 감소가 두드러졌다. 본 연구는 자연대류가 지배적인 웨이퍼 보관 환경에서 구조 설계를 통한 입자 제어 가능성을 제시하며, FOUP 내부 오염 관리 전략 수립에 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2024-00346834).

식물공장 내 엽채류 증산량 예측 모델 및 제습 부하 해석 Prediction of Transpiration Rate of Leafy Vegetables and Analysis of Dehumidification Load in a Plant Factory

*허승민¹, #육세진¹

^{*}Seung Min Heo¹, [#]Se Jin Yook(ysjinuri@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : Transpiration Rate, Dehumidification Load, Plant Factory

*발표자, #교신저자

밀폐형 식물공장 내에서 발생하는 엽채류 군락의 활발한 증산 작용은 실내 잠열을 급증시키며, 이는 제습 부하 상승 및 식물 성장 저하를 유발하는 핵심 요인이다. 따라서 고효율 환경제어 시스템 설계를 위해서는 온·습도, 잎 면적지수, 기류 속도 등 다양한 환경 변수에 따른 증산량의 물리 기반 정량적 예측이 필수적이다. 본 연구에서는 경험적 추정을 넘어, 확산 및 대류 기반의 물질 전달 메커니즘을 융합하여 엽채류의 증산 거동을 해석하는 통합 예측 모델을 제안한다. 구체적으로, 기공과 경계층 사이의 수증기압 농도 구배에 따른 기본 확산 법칙과 함께, 실내 서큐레이터가 유발하는 강제 기류가 대류 증산을 촉진하는 공기역학적 수송 효과를 수치해석적으로 모델링하였다. 본 해석에는 수증기 확산계수, 공기 밀도 외에도 잎과 기류 간의 상호작용을 대변하는 잎-공기 간극, 실질 증산 계수 및 유효 면적 계수를 핵심 매개변수로 적용하였다. 본 연구는 잎 표면에서 일어나는 미시적 증산 현상을 거시적인 공조 부하 데이터로 연계함으로써, 향후 스마트팜 및 식물공장의 정밀 환경 제어와 최적의 냉방·제습 인프라 설계를 위한 공학적 기초 자료를 제공한다는 데 의의가 있다.

후기 This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment(MCEE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00441895).

공기청정기와 순환 장치의 설치 위치에 따른 플라스틱 온실 내 공기질 평가 Evaluation of Indoor Air Quality in a Plastic Greenhouse Considering the Installation Positions of Air Purifiers and Air Circulation Devices

*남학호¹, #육세진¹

¹Hak Ho Nam¹, #Se Jin Yook(ysjnuri@hanyang.ac.kr)¹

¹한양대학교 기계공학부

Key words : Plastic Greenhouse, Indoor Air Quality, Age of Air

*발표자, #교신저자

플라스틱 그린하우스는 경제성과 설치 유연성 측면에서 농업 현장에서 널리 활용되고 있으나, 자연 환기에 의존하는 운영 방식으로 인해 내부 공기질 관리에 한계가 존재한다. 특히 환기가 제한된 조건에서는 공기 중 병원성 입자나 유해 가스가 온실 내부에 축적되어 작물 생육에 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 전산유체역학 시뮬레이션을 활용하여 공기청정기와 순환 팬의 설치 높이 및 운전 조건이 온실 내 공기질에 미치는 영향을 분석하였다. 다양한 설치 높이와 운전 시나리오를 설정하여 유동장과 오염물질 분포를 평가하였으며, 이를 통해 온실 내부의 온도 성층화를 효과적으로 완화하면서 동시에 균일한 공기질을 유지할 수 있음을 확인하였다. 또한 운전 전략 측면에서 주간에는 공기청정기와 순환 팬을 동시에 운전하고, 야간에는 공기청정기만 운전하는 방식이 에너지 효율과 공기질 유지 측면에서 유리함을 확인하였다. 본 연구는 플라스틱 그린하우스 환경에서 추가적인 설비 비용 없이 실내 공기질을 효과적으로 개선할 수 있는 운전 및 배치 전략을 제시한다는 점에서 의의를 갖는다.

후기 This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment(MCEE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00441895).

차량 공력특성 해석을 위한 격자의존성 연구

Mesh Independence Study for Analyzing Vehicle Aerodynamic Characteristics

*김민성¹, 오대성¹, 박재홍¹, 이시목¹, 양종인¹, 김현찬¹, #김경록¹, 홍승기², 이종울²

¹Min Sung Kim¹, Dae Sung Oh¹, Jae Hong Park¹, Si Mok Lee¹, Jong In Yang¹, Hyun Chan Kim¹, #Gyeong Rok Kim (gyeongrok91@kumoh.ac.kr)¹, Seung Gi Hong², Jong Youl lee²

¹국립금오공과대학교 기계공학부, ²LIG Nex1

Key words : CFD, Mesh Independence Test, Vehicle, Aerodynamic Characteristics

*발표자, #교신저자

차량 운행 시 차량 부근에서 발생하는 유동장으로 인해 차량에 항력, 양력, 측력 등 공력이 발생하게 되며, 이때 공력은 차량의 형상과 유동 조건에 따라 결정된다. 이러한, 차량의 공력특성은 연료 효율 등 차량에의 효율에 결정적인 영향을 미치므로 차량의 공력특성 예측은 필수적이다. 따라서, 본 연구에서는 단순화된 3차원 차량 모델에 대하여 차량 운행 시 공력특성을 전산유체역학 (CFD) 상용 소프트웨어를 통해 분석하였다. 정확한 공력특성 분석을 위해, 서로 다른 노드수의 계산 격자들을 구성하였으며, 동일한 유동 조건에서 압력, 유동 속도, 항력계수를 통해 공력특성을 분석 및 비교하였다. 분석 결과 일정 노드수 이상의 격자부터 계산된 공력 성능 결과값이 수렴하는 것을 확인하였다.

후기 이 연구는 LIG NEX1 산학협력과제 지원으로 연구되었음 (This research is performed based on the cooperation with Kumoh National Institute of Technology-LIG Nex1 Cooperation)

REFERENCES

1. Kim, M. and You, D., "Unsteady characteristics of flow over a realistic heavy vehicle," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 36, No. 8, 2022.
2. Kim, J., J., Lee, S., Kim, M., You, D. and Lee, S. J., "Salient drag reduction of a heavy vehicle using modified cab-roof fairings," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 164, pp. 138-151, 2017.
3. Nadamani, M., Dbouk, T., Obeid, B., Murzyn, F. and Harion, J. L., "CFD analysis of fine clay particles dispersion from a truck operating on unpaved roads," *Atmospheric Pollution Research*, Vol. 16, 102408, 2025.
4. Phan, T. L., Nguyen, T. T. and Nguyen, T. H. T., "Optimization of unsteady jet control flow method for aerodynamic drag reduction of heavy truck model," *Results in Engineering*, Vol. 22, 102167, 2024.
5. Karthik, M. S., Reddy, P. S. K., Makwana, R., Dasi, S., Gamaoum, F., Prakash, C. and Smitha, T. V., "Computational investigation on drag coefficient and pressure distribution of the truck with add-on," *Ain shams Engineering Journal*, Vol. 16, 103332, 2025.
6. Djeddou, M., Lecomte, A. P., Fokoua, G., Mehel, A. and Tanière, A., "Comparative analysis of Eulerian and Lagrangian models for the simulation of fine and ultrafine particle dynamics in the wake of a heavy truck," *Journal of Aerosol Science*, Vol. 186, 106568, 2025.
7. Chilbule, C., Upadhyay, A. and Mukkamala, Y., "Analyzing the profile modification of truck-trailer to prune the aerodynamic drag and its repercussion on fuel consumption," *Procedia Engineering*, Vol. 97, pp. 1208-1219, 2014.

차량 공력특성 분석을 위한 축소시험모델 및 지지부 설계 Design of a Scaled Experimental Model and Supporting Components for Analysis of Vehicle Aerodynamic Characteristics

*오대성¹, 김민성¹, 이시목¹, 양종인¹, 김현찬¹, #김경록¹, 김준영², 김승훈²

¹Dae Seong Oh¹, Min Sung Kim¹, Si Mok Lee¹, Jong In Yang¹, Hyun Chan Kim¹, #Gyeong Rok Kim (gyeongrok91@kumoh.ac.kr)¹, Jun Yeong Kim², Seung Hoon Kim²

¹국립금오공과대학교 기계공학부, ²LIG Nex1

Key words : Wind Tunnel Test, Scaled Model, Aerodynamic Coefficient, Load Cell

*발표자, #교신저자

차량의 공력특성은 차량의 효율성을 결정하는 중요한 특성이므로, 차량의 공력특성을 분석하는 것은 필수적이다. 공력특성 분석을 위해서는 풍동시험과 해석적 방법인 CFD가 주로 활용된다. 이 중 풍동시험은 유동을 발생시켜 모델 주위에서 형성되는 유동장 구조로 인해 실험 대상에 작용하는 힘을 측정하는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 이러한 풍동실험 수행을 위해 축소시험모델 및 지지부 설계를 수행하였다. 축소시험모델의 크기는 풍동시험장 내 토출 유동장에 대한 축소시험모델의 막힘률과 힘측정 센서의 크기를 고려하여, 1/8 스케일로 선정하였고, 힘측정 센서로는 로드셀을 고려하였다. 축소시험모델의 지지부는 풍동장비 토출유동에 노출되어 풍하중이 차량에 작용하면, 로드셀에 하중이 전달되도록 형상을 설계하였다.

후기 이 연구는 LIG NEX1 산학협력과제 지원으로 연구되었음 (This research is performed based on the cooperation with Kumoh National Institute of Technology-LIG Nex1 Cooperation)

REFERENCES

1. Salati, L., Schito, P. and Cheli, F., "Wind tunnel experiment on a heavy truck equipped with front-rear trailer device," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 171, pp. 101-109, 2017.
2. Lee, J., Song, C. and Park, S., "Optimum Structural Design of a Triaxial Load Cell for Wind Tunnel Test," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 28, No. 2, pp. 226-232, 2011.
3. Sor, S., Baradera, R., Magariño, A. G., García, J. C. M. and Donoso, E., "Development and characterization of a low cost wind tunnel balance for aerodynamic drag measurements," *European Journal of Physics*, Vol. 40, 045002, 2019.
4. Chowdhury, H., Moria, H., Ali, A., Khan, I., Alam, F. and Watkins, S., "A Study on Aerodynamic Drag of a Semi-trailer Truck," *Journal of Procedia Engineering*, Vol. 56, pp. 201-205, 2013.
5. Galamboš, S., Nikolić, N., Vorotović, G., Stojić, B., Dorić, J. and Feher, D., "An optimization procedure of shape and position of the aerodynamic device at the rear side of a semi-trailer truck model," *Journal of Heliyon*, Vol. 11, e41411, 2025.
6. Sarkar, M. A., Samdi, O. and Sarkar, P. P., "Investigation of the effects of crosswinds on the aerodynamics of high-sided road vehicles on open terrain highways," *Journal of Engineering Structures*, Vol 349, 121893, 2026.

ATM 내부 발열 해소를 위한 냉각 구조 개선 및 CFD 기반 성능 분석

Improvement of Cooling Structures and CFD-Based Performance Analysis for Heat Dissipation in ATM

*조민철¹, 나다울¹, 이예승¹, #노정훈¹

¹Min Cheol Cho¹, Da Yul Na¹, Ye Seung Lee¹, #Jung Hun Noh(junghunnoh@iae.re.kr)¹

¹고등기술연구원 기계융합시스템센터

Key words : Thermal Management, Duct Design, Ventilation Hole, CFD

*발표자, #교신저자

본 연구는 ATM의 고성능화에 따른 내부 발열량 증가와 이로 인한 시스템 섯다운 문제를 해결하기 위해 수행하였다. 기기 내부의 비정상적인 온도 상승 문제를 해결하고자 수치해석을 활용하여 열유동 특성을 분석하였으며 에어 덕트, 냉각팬, 환기구의 추가 및 배치 변경에 따른 냉각 효율을 비교 검토하였다. 연구 결과로 내부 유동 사각지대를 해소하고 최적의 온도 분포를 형성하는 설계안을 도출하였다.

1. 서론

최근 금융 서비스의 다양화로 인해 ATM 내부에 탑재되는 제어부 및 주변 기기들이 고성능화되면서 부품별 발열량이 급격히 증가하고 있다^[1]. 특히 밀폐된 구조 내에서 발생하는 열이 적절히 해소되지 않을 경우 부품의 열적 손상이나 시스템 강제 종료 등의 신뢰성 저하 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 수치해석 기반의 분석을 통해 기기 운용의 연속성을 확보할 수 있는 효율적인 열관리 방안을 제시하고자 한다.

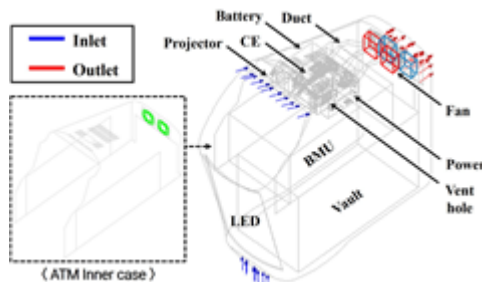


Fig. 1 Design parameters for the impeller

2. 본론

본 연구에서는 실제 ATM 모델을 단순화한 해석 도메인을 생성하고 주요 발열원의 발열량을 경계 조건으로 설정하여 초기 모델의 열유동 분포를 확인하였다. 이후 세 가지 개선 방안을 적용하여 성능을 비교 분석하였다.

1. 에어 덕트 설계: 발열원 후단에 배치된 냉각팬의 흡입 유동이 집중될 수 있도록 밀폐형 구조 적용
2. 냉각팬 설치: 팬의 풍량과 설치 개수를 변수로 설정하여 내부 공환 순환율을 개선
3. 환기구 추가: 개구율을 조정하여 내부 압력 손실을 최소화하고 원활한 배기 유도

3. 결론

본 연구를 통해 고성능 ATM 내부의 열적 취약 지점을 파악하고 덕트, 팬, 환기구 추가에 따른 냉각 성능 향상 효과를 정량적으로 검증하였다. 특히 단일 요소의 변경보다 덕트와 환기구의 위치를 상호 보완적으로 설계했을 때 가장 균일한 온도 분포를 얻을 수 있음을 확인하였다. 이러한 수치해석 기반의 설계는 시제품 제작 비용을 절감하고 제품의 개발 주기를 단축하는데 기여할 것으로 기대한다.

후기 본 연구는 효성티앤에스의 ATM 기기 내부의 공기 유동 및 열전달 특성 개선 기술 용역 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Yu, S. Q., F. L. Tan, and S. C. Fok., "Cooling of an automatic teller machine: a numerical study," Eng. Appl. Comput. Fluid Mech, Vol. 3, No. 3, pp. 445-457, 2009.

압출형 방사형 히트싱크용 분리형 원통 굴뚝의 설계와 내부 필렛 유입구가 자연대류 방열 성능에 미치는 영향

Design of a Separated Cylindrical Chimney for an Extruded Radial Heat Sink and the Effect of an Internal Filleted Inlet on Natural Convection Cooling Performance

*이윤재¹, 김용주¹, 정수봉¹, 조예담¹, #곽동빈¹

*Yoon Jae Lee¹, Yong Joo Kim¹, Soo Bong Jung¹, Ye Dam Jo¹, #Dong Bin Kwak(dbkwak@seoultech.ac.kr)¹

¹서울과학기술대학교 MSDE학과

Key words : Thermal Resistance, Chimney Effect, ANN, Filleted Inlet

*발표자, #교신저자

히트싱크의 형상 및 설계변수가 자연대류 방열 성능에 미치는 영향에 대한 연구는 활발히 이루어져 왔으며, 추가적인 성능 향상 방안으로 굴뚝 구조가 제안되어 왔다. 그러나 제조 용이성과 비용 측면에서 장점을 가지는 압출형 방사형 히트싱크에 적합한 굴뚝 설계에 대한 연구는 아직 제한적이다. 압출형 방사형 히트싱크는 중심부가 원통형 베이스로 채워진 형상을 가지므로, 기존의 직접 결합형 굴뚝보다 상향 유동 통로를 보다 효과적으로 확보할 수 있는 분리형 원통형 굴뚝 구조가 적합할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 압출형 방사형 히트싱크에 적용 가능한 분리형 원통형 굴뚝을 제안하고, 굴뚝 높이와 히트싱크-굴뚝 간격이 자연대류 방열 성능에 미치는 영향을 CFD 해석을 통해 분석하였다. 또한 기존의 직각 모서리 유입구와 본 연구에서 제안한 내부 필렛 유입구를 비교하여, 유입구 형상 변화에 따른 유동 특성과 열저항 변화를 평가하였다. 해석 결과, 분리형 원통형 굴뚝은 자연대류 유동의 형성과 발달에 긍정적인 영향을 주어 기준 모델 대비 방열 성능을 향상시키는 것으로 나타났다. 또한 내부 필렛 유입구는 유동 특성을 보다 안정적으로 형성하는 데 기여하였으며, 이에 따라 열저항 감소에도 긍정적인 효과를 보였다. 결과적으로 제안한 굴뚝 구조와 유입구 형상은 압출형 방사형 히트싱크의 자연대류 방열 성능 향상에 효과적인 것으로 확인되었다. 본 연구는 압출형 방사형 히트싱크에 적용 가능한 분리형 원통형 굴뚝 구조를 제안하고, 유입구 형상 변화가 자연대류 방열 성능에 미치는 영향을 CFD 기반으로 평가하였다는 점에서 의의를 가진다.

계면 자유부피의 역할: 흡착을 위한 압축성 분자 DFT 프레임워크의 개념적 소개

Why Interfacial Free Volume Matters: A Conceptual Introduction to a Compressible Molecular DFT Framework for Adsorption

*#이태일¹

*#Tae Il Yi¹

¹경남대학교 기계공학부

Key words : Interfacial Adsorption, Free Volume, Compressible Molecular DFT, Soft Macromolecules

*발표자, #교신저자

본 연구는 고체-액체 계면에서 연성 거대분자의 흡착을 설명하기 위한 자유부피 기반 압축성 분자 DFT 프레임워크의 개념을 소개한다. 계면 흡착은 단순한 표면 인력만으로 결정되지 않으며, 병진 엔트로피, 입체적 패킹, 용매 치환, 그리고 상태 의존적 표면 친화도의 경쟁적 균형에 의해 좌우된다. 그러나 기존의 Flory-Huggins형 불압축 혼합물 이론은 계면 부근의 국소 밀도 감소와 자유부피 효과를 직접 표현하는 데 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 본 프레임워크는 용질-용매 이원계 대신 용질-용매-void의 삼원계 관점을 도입하고, Compressible Regular Solution(CRS) 자유에너지 밀도를 분자 평균장/밀도범함수 기술에 결합하였다. 여기서 void는 실제 거시적 공동이 아니라, 계면에서의 국소 자유부피, 수화 불균질성, 패킹 완화 효과를 나타내는 유효 변수로 해석된다. 이 접근은 엄격한 불압축 제약을 완화하면서도 해석 가능한 열역학 구조를 유지할 수 있다는 장점을 갖는다. 현재 관련 정량 결과는 심사 중인 원고에 포함되어 있으므로, 본 포스터에서는 상세 수치보다는 이러한 프레임워크의 물리적 동기, 개념적 구조, 그리고 계면 압축성이 흡착 열역학을 어떻게 질적으로 바꿀 수 있는지에 초점을 맞추어 소개하고자 한다.

분포형 광섬유 센서를 이용한 구조물 부착형 액위 측정 방법

A Liquid-Level Measurement Method for Structure-Attached Applications Using a Distributed Optical Fiber Sensor

*최지연¹, 임혜원¹, #김형모¹

*Jiyeon Choi(ssttooxy45tt@gnu.ac.kr)¹, #Hyungmo Kim(hyungmo@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 기계항공우주공학부

Key words : Liquid Level Sensor, Distributed Optical Fiber Sensor, Rayleigh Scattering

*발표자, #교신저자

본 연구는 레일리 산란 기반의 분포형 광섬유 센서를 활용하여 높은 공간 분해능으로 액위의 연속적인 변화를 측정하는 시스템을 제안하고 실험적으로 검증하였다. 기존 점 단위 측정 센서들이 가지는 공간적 한계를 극복하기 위해, 단일 광섬유 라인 전체에서 발생하는 온도 분포를 연속적으로 분석하는 방식을 적용하였다. 이를 위해 센서에 일정한 열을 가한 뒤, 대기와 수중 매질의 열전달 계수 차이로 인해 발생하는 뚜렷한 온도 변화율을 측정함으로써 기액 계면의 위치를 명확히 도출하였다. 실험 결과, 제안된 광섬유 센싱 시스템은 물리적인 공간 제약 없이 수위의 미세한 변동까지 정밀하게 추적할 수 있음을 확인하였다.

후기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(Ministry of Science and ICT) (No. RS-2025-25445840), by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Climate, Energy & Environment(MCEE) of the Republic of Korea (No. RS-2024-00398425).

소형 팬션의 복사열 냉방장치의 냉방성능에 관한 연구

A Study on the Cooling Performance of Radiant Heat Cooling System in Small Pension

*제미연¹, 조명기², #조동현³

^{*}Mi-yeon Je¹, Myeong-Gi Jo², #Dong_Hyun Cho³(chodh@daejin.ac.kr)

¹(주)이에스텍, ²(주)이에스텍, ³대진대학교 IT기계공학과

Key words : Small Pension, Cooling System, Radiant Heat, Cooling Performance, Wall Temperature

^{*}발표자, #교신저자

여름철의 냉방시에 건물 3벽면에 냉수 순환 튜브를 매설하고, 냉수를 순환시켜서 냉수의 냉열에 의해 복사냉방을 구현하는 연구를 수행하였다. 냉수패널이 매설된 벽면의 표면온도 감소율은 크게 나타났으며, 냉수패널이 매설되지 않은 벽면의 표면온도 감소율은 아주 적게 나타났다. 냉동사이클의 작동으로 소형 팬션 건축 벽면에 냉수패널을 매설하여 냉수칠러를 순환함으로써 웰빙 복사냉방이 구현되었다.

1. 서론

국내·외에서 기존 주택, 사무실, 팬션 등의 여름철 냉방기술은 8평이상에 국한되어 있으며, 공기순환 대류열 전달 방식으로 냉방기술이 구현되고 있다. 소형 냉수매트 냉방기술은 연구보고가 되고 있으나 매트와 냉수에 의해 인체에 와사풍 등의 인체 건강에 유해한 위험성 있는 실정이다. 그러므로 본 연구에서 여름철의 냉방시에 건물 3벽면에 냉수 순환 튜브를 매설하고, 냉수를 순환시켜서 냉수의 냉열에 의해 복사냉방을 구현하는 연구를 수행하였다.

2. 복사열 냉방장치

Fig. 1은 소형 팬션의 복사열 냉방장치를 나타낸다. Fig. 1에 나타낸바와 같이 건물 3벽면(옆벽2, 후면벽1)에 냉수(칠러) 순환 튜브를 매설하고, 냉수를 순환시켜서 냉수의 냉열에 의해 복사냉방을 구현하였다. 그리고 습도가 높을 때 습기를 흡수하고, 건조시 습기 발산을 하는 자동습도 조절력이 있는 황토벽면을 구성하여 결로 현상을 방지하였다.

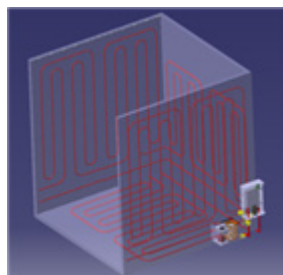


Fig. 1 Radiant Heat Cooling System

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 소형 팬션 벽면의 표면온도를 나타낸다.

Fig. 2에 나타낸바와 같이 냉수패널이 매설된 벽면의 표면온도 감소율은 크게 나타났으며, 냉수패널이 매설되지 않은 벽면의 표면온도 감소율은 아주 적게 나타났다.

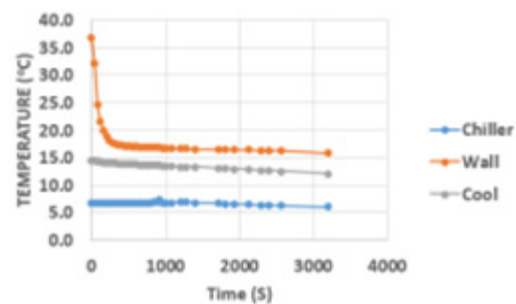


Fig. 2 Wall temperature distribution in a pension

4. 결론

냉동사이클의 작동으로 소형 황토방 건축 벽면에 냉수패널을 매설하여 냉수칠러를 순환함으로써 웰빙 복사냉방이 구현되었다.

REFERENCES

- Kim, Y. H., "Study on Conceptual Design of Pressure Vessel to Transport CNG and CO₂," J. of Ocean Engineering and Technology, Vol. 27, No.1, pp. 51-28, 2013.

포스터발표

기계설계 2

**폐스크랩을 활용한 Al-8Mg-6Si 합금의 T6 열처리에
따른 미세조직 변화와 기계적 특성**
**Microstructure and Mechanical Properties of Waste Scrap-Based
Al-8Mg-6Si Alloys after T6 Heat Treatment**

*이도윤¹, #김정석¹

^{*}Lee Do Yun(dy21589@naver.com)¹, [#]Chung Seok Kim(chs2865@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 신소재공학과

Key words : T6 Heat Treatment, Primary Mg₂Si, Eutectic Mg₂Si, Eutectic Si

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구에서는 자동차 부품에 적용하기 위한 Al-Mg-Si계 알루미늄 합금의 열처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 특성 변화를 평가하였다. 시편은 Al-8Mg-6Si 합금을 사용하여 520°C, 540°C, 570°C, 590°C, 610°C에서 각각 5시간 동안 용체화 열처리를 수행하였다. 이후 540°C에서 열처리한 시편을 대상으로 160°C 및 190°C에서 1h, 2h, 7h, 12 h, 24h 동안 인공시효 처리를 진행하였다. 열처리 조건에 따른 조직 및 상 변화를 관찰하기 위해 광학현미경(OM), 주사전자현미경(SEM), X선 회절(X-Ray Diffraction) 분석을 수행하였다. 또한 마이크로비커스 경도 시험, 인장 시험, 시차 주사 열량계를 이용하여 기계적 특성을 평가하였다.

PCB Motor의 열관리 향상을 위한 Cooling Channel의 실험 및 수치해석 연구

Experimental and Computational Analysis of Cooling Channels for Improving Thermal Management in PCB Motor

*최명진¹, 박재현¹, 우민우¹, 서혜원¹, 김종현¹, #최해운¹

*Myung Jin Choi¹, Jae Hyun Park¹, Min Woo Woo¹, Hye Won Seo¹,

Jong Hyun Kim¹, #Hae Woon Choi(hwchoi@kmu.ac.kr)¹

¹계명대학교 기계공학과

Key words : PCB Stator Motor, Cooling, Simulation, Experiment

*발표자, #교신저자

고출력 밀도와 소형·경량화를 동시에 요구하는 차세대 모터 시스템에 대한 수요가 증가하고 있다. 따라서 차세대 모터 시스템 요구를 충족시키기 위한 대안으로 PCB Motor가 주목받고 있다. PCB Motor는 고정자를 인쇄회로기판으로 구성하여 소형·경량화에 유리하다. 그러나 평면 트레이스 권선 구조 및 협소한 공극으로 인해 열 방출 경로가 제한되는 구조적 한계를 가진다. 열 방출 제한으로 인한 온도 증가는 모터 효율 저하 및 권선 박리를 유발할 수 있으므로 냉각 성능 향상이 필요하다. 본 연구에서는 Cut-out 패턴을 적용한 Cooling Channel 구조를 제안하고, 유한요소해석 기반 열 해석과 시제품 구동 실험을 통해 온도 변화를 비교 분석한다. 그 결과, Cooling Channel 구조는 공기 유동을 증가시켜 열 방출 향상 및 온도 저감에 효과적이다. 또한 모터를 설계 및 제작하고, 해석과 실험을 진행한 결과 Cut-out 면적이 증가할수록 냉각 성능이 향상되는 경향을 보였다. 본 연구는 PCB 기반 모터의 열관리 설계 지침을 제시하며, 모터 시스템의 경량화 및 냉각 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후기 본 연구는, 산업통상부의 소재부품기술개발사업 모터연구개발과제 2410009586(00445669)의 지원을 받아 수행하였습니다. 또한, 산업통상부 및 달성군청의 재원으로 산학연협력단지(B20250239) 모빌리티개발공동연구과제(20250767, 20250768)의 지원을 받아 수행하였습니다.

Explicit Dynamics 기반 E-모터 하우징의 충격 거동 분석 Impact Behavior Analysis of Electric Vehicle Motor Housing Using Explicit Dynamics

*박재현¹, 최명진¹, 우민우¹, 서혜원¹, 김종현¹, #최해운¹

*Jae Hyun Park¹, Myung Jin Choi¹, Min Woo Woo¹, Hye Won Seo¹, Jong Hyun Kim¹,

#Hae Woon Choi(hwchoi@kmu.ac.kr)¹

¹계명대학교 기계공학과

Key words : Motor, Housing, Impact, Explicit Dynamics

*발표자, #교신저자

전기차 E-모터는 차량 하부에 장착되어 동력을 발생시키는 장치로, 모터 하우징의 형상과 두께와 같은 설계 인자에 따라 충격에 대한 거동이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 이러한 설계 인자의 영향성을 분석하기 위해 Explicit Dynamics 기반 유한요소 해석을 적용하였다. 먼저 알루미늄 플레이트에 대해 임팩트 해머 시험과 충격 해석 결과를 비교하여 모델의 신뢰성을 확보한다. 이후 형상 및 두께 조건을 변화시킨 하우징 모델에 대해 충격해석을 수행한다. 해석 결과, 국부적인 응력 집중과 변형이 발생하며, 충격지점의 형상과 두께에 따라 거동이 달라진다. 본 연구 결과는 전기차 구동모터 하우징의 설계 최적화를 위한 기준이 될 수 있다.

후기 본 연구는, 산업통상부의 소재부품기술개발사업 모터연구개발과제 2410009586(00445669)의 지원을 받아 수행하였습니다. 또한, 산업통상부 및 달성군청의 재원으로 산학협력단지(B20250239) Ai개발공동연구과제(20250765, 20250766)의 지원을 받아 수행하였습니다.

고효율 산업용 감속기 기어의 파라메트릭 기반 제원 설계 Parametric Design of Gear Macro Geometry for High-Efficiency Industrial Reducers

*오동석¹, 김태현¹, 김현철², #류성기¹

*D.S. Oh¹, T.H. Kim¹, H.C. Kim², #S.K. Lyu(sklyu@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 기계항공우주공학부, ²나라삼양감속기(주)

Key words : Gear Design, Parametric, Macro-geometry, KISSsoft

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 산업용 감속기 기어의 저소음 및 고강도 설계를 위하여 파라메트릭 스터디 기반의 제원 최적 설계를 수행하였다. 입력 조건으로 전달토크 8,300 Nm 및 회전속도 5,700 rpm을 적용하였으며, 모듈, 압력각 (20°), 잇수, 치폭, 전위계수 및 비틀림각을 설계 변수로 설정하였다. KISSsoft의 sizing 기능을 활용하여 다양한 설계 조합을 도출하고, 정면 물림율 1.0 이상, 특정 미끄럼율 3.0 이하 조건과 함께 간섭 및 언더컷 발생 여부를 평가하여 설계 가능 영역을 정의하였다. 이후 중심거리와 기어비를 만족하는 해 중에서 효율과 소음 특성을 고려하여 후보군을 선별하고, 강도 조건을 기반으로 최적 기어 제원을 도출하였다.

후기 본 연구는 산업통상자원부 한국산업기술기획평가원의 소재부품기술개발사업(No. RS-2024-00434150)과 Gleason의 KISSsoft(S/W) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

동력 전달 장치의 기어 치형 최적설계에 관한 연구 Optimal Design of Gear Tooth Profile for Power Transmission Systems

*김태현¹, 곽기명¹, 윤민호², 김현철³, #류성기¹

*T.H. Kim¹, K.M. Kwak¹, M.H. Yoon², H.C. Kim³, #S.K. Lyu¹(sklyu@gnu.ac.kr)

¹경상국립대학교 기계항공우주공학부, ²남도공업사, ³나라삼양감속기(주)

Key words : Romax Designer, Tooth flank, Micro-geometry Modification, Load Distribution

*발표자, #교신저자

최근 동력전달장치의 고효율화 및 경량화 추세에 따라 기어에 더욱 높은 수준의 내구 신뢰성이 요구되고 있다. 초기 설계안은 하중이 기어 치면 끝단에 집중되어 소성 변형을 유발할 위험이 있었다. 이를 해결하기 위해 치형 수정량을 0~20 μm 범위 내에서 조정하는 반복 해석을 수행하여, 하중이 치면 전체에 균일하게 분산되는 최적의 접촉 패턴을 도출하였다. 결론적으로 본 연구의 미세 치형 수정 설계가 시스템의 내구 신뢰성을 효과적으로 향상 시킴을 검증하였다.

후기 본 연구는 산업통상자원부 한국산업기술기획평가원의 소재부품기술개발사업(No. RS-2024-00434150)과 Romax Technology의 Romax Designer(S/W) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

유성기어의 Pitting결함 방지 및 진동 특성 최적설계 연구 A Study on the Optimal Design of Vibration Characteristics and Pitting Failure Prevention in Planetary Gears

*곽기명¹, 오동석¹, 강진경^{2,3}, #류성기¹

*K.M. Gwak¹, D.S. Oh¹, J.G. Kang^{2,3}, #S.K. Lyu(sklyu@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 기계항공공학부, ²주식회사 유한이엔에스, ³경상국립대학교 융합기계공학과

Key words : Planetary Gears System, Romax, Contact Stress, Transmission Errors

*발표자, #교신저자

본 연구는 건설기계 크레인에 사용되는 445 Nm급 유성기어시스템의 접촉응력과 전달오차(TE)를 저감하기 위한 최적 Micro geometry 최적설계 방안을 제안한다. 초기 해석 결과, 미스얼라인먼트로 인해 치끝부에 응력이 집중되고 peak-to-peak TE가 크게 나타났으며 Romax를 이용해 445Nm, 3000rpm 조건에서 해석을 수행하였다. 이에 profile slope, profile crown, lead slope, lead crown를 설계변수로 선정하고, 총 4,659개의 파라메트릭 해석을 수행하였다. 최적 설계 결과 평균 최대 접촉응력은 1,243 MPa에서 890 MPa로 약 28% 감소하였고, peak-to-peak TE는 약 3.0에서 2.49로 약 17% 감소하였다. 이를 통해 내구성 향상과 진동 저감 효과를 확인하였다.

후기 본 연구는 2024년 중소벤처기업부 산학연 Collabo R&D과제(과제번호 : RS-2024-00422243)의 연구비 지원과 한국엠에스씨소프트웨어의 ROMAX(S/W)지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

마이크로셀룰러 발포 기반 고인성·경량 아키텍티드 재료 Tough and Lightweight Architected Materials via Microcellular Foaming

*백정훈¹, 안태호¹, #김석¹

¹Jung Hoon Baek(harmony1205@yonsei.ac.kr)¹, Tae Ho Ahn¹, #Seok Kim(seokkim@yonsei.ac.kr)¹

¹연세대학교 기계공학부

Key words : 3D Printing, Microcellular Foaming, Lightweight, Energy Absorption

*발표자, #교신저자

최근 폴리머 기반 FDM 3D 프린팅은 높은 설계 자유도와 공정 접근성을 바탕으로 다양한 산업 및 연구 분야에서 사용되고 있다. 그러나 범용 고분자인 PLA(polylactic acid)는 경량성과 우수한 가공성에도 불구하고 높은 취성과 낮은 인성으로 인해 실제 구조재 응용에 제약이 따른다. 이에 본 연구에서는 PLA와 Microcellular foaming process를 결합하여 초경량이면서도 높은 인성을 갖는 소재를 제안한다.

1. 서론

본 연구에서는 범용 고분자인 PLA의 취성 및 낮은 인성으로 인한 구조적 활용 한계를 극복하기 위해 Microcellular foaming process(MCP)를 도입하였다.

MCP는 고압 이산화탄소를 재료 내부에 포화시킨 뒤 열 자극을 통해 미세 기공 구조를 형성하는 공정으로, 소재의 밀도를 감소시키는 동시에 에너지 흡수 성능을 향상시킬 수 있다. 따라서 본 연구는 MCP를 통해 PLA의 기계적 특성을 개선하고, 경량 구조 소재로서의 적용 가능성을 확대하는 데 목적이 있다.

2. 본론

MCP 공정에서 이산화탄소의 포화도는 재료 두께의 영향을 크게 받으며, 두께가 증가할수록 기체 확산이 제한되어 발포 효율이 저하될 수 있다. 이에 본 연구에서는 3D 프린팅 기반 구조 설계를 통해 이산화탄소와의 유효 접촉 면적을 증가시키고, 효과적인 발포 및 형상 변형을 유도하고자 하였다.

Fig. 1은 구조 설계가 적용된 MCP 시편의 발포 전후 형상 변화를 나타낸다. MCP 이후 시편 내부에 microcellular 구조가 형성되면서 꽃잎형 구조의 입체화와 슬릿 구조의 굽힘 변형이 관찰되었으며, 이는 구조 설계와 발포 공정의 결합이 경량화뿐만 아니라 형상 구현 가능성까지 확장할 수 있음을 보여준다.

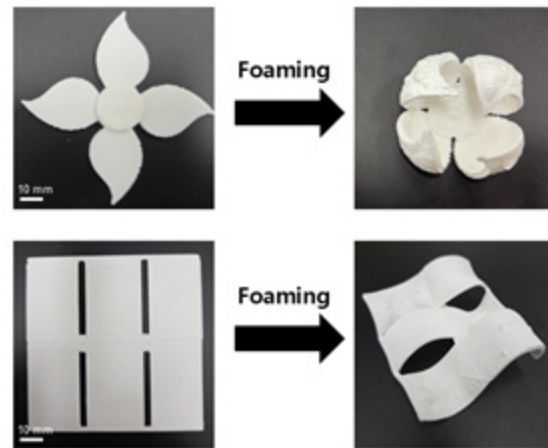


Fig. 1 Shape transformation of structured PLA induced by MCP foaming

3. 결론

본 연구에서는 MCP와 구조 설계를 통해 PLA 기반 소재의 경량화와 에너지 흡수 성능 향상 잠재력을 확인하고자 한다. 또한 동일 공정을 TPU에 적용한 결과, PLA와는 다른 물성 변화가 나타났으며 특히 더 큰 연성 증가가 관찰되었다. 이는 MCP가 PLA에 국한되지 않고 다양한 고분자 소재의 기계적 특성을 제어하고 확장할 수 있는 잠재력을 지님을 시사한다.

후기 이 연구는 한국연구재단(RS-2025-23524172), 한국산업기술진흥협회(KOITA20250002-11), 및 연세대학교(2025-22-0146)의 지원을 받아 수행된 것임.

비주기적 격자 구조를 활용한 아키텍티드 셸의 기계적 성능 향상 Enhanced Mechanical Performance of Architected Shells Enabled by Aperiodic Lattices

*방유민¹, 하지율¹, 배민준¹, #김석¹

^{*}Yu Min Bang¹, Ji Yul Ha¹, Min Jun Bae¹, [#]Seok Kim(seokkim@yonsei.ac.kr)¹

¹연세대학교 기계공학부

Key words : Architected Shell, Aperiodic Patterns, Lattice Structure, Structural Optimization

*발표자, #교신저자

로봇 매니퓰레이터의 링크나 및 심해 잠수정 등 극한 환경 구조물은 경량화와 구조적 무결성을 확보하는 중공형 셸 설계가 필수적이거나 기존 구조는 국부 변형과 응력 집중에 취약하다. 따라서 본 연구는 중공 원통형 셸 내부에 인장, 중간, 굽힘 지배 특성을 갖는 3종의 격자를 적용하고 모아레 구조를 도입해 중첩 각도를 변화시키며 최적 설계를 도출한다. 격자의 위상을 그래프 네트워크로 해석하는 로직과 본 셸 구조에 특화된 하중 인가 방식을 통합하여 독자적인 강성 도출 알고리즘을 구축함으로써 강성-밀도 기울기 변화를 파악하고 COMSOL의 응력 및 변형 에너지 맵으로 기계적 특성 변화의 원인을 분석하였다. 이를 통해 위상학적 특성과 모아레 패턴을 결합한 고효율 셸 구조 설계 가이드라인을 제시한다.

1. 서론

첨단 모빌리티 및 로봇틱스 분야에서는 경량화와 고강성을 위한 다공성 셸 구조가 필수적이거나 기존 단순 다공성 셸 구조는 지지력 부족에 따른 국부 변형과 응력 집중에 취약하여 새로운 설계 대안이 요구된다. 이에 본 연구는 셸 내부에 인장, 중간, 굽힘 지배 특성을 갖는 3종의 격자 기반 모아레 구조를 적용하여 최적의 위상학적 하중 분산 경로를 도출하고 그 하중 우회 메커니즘을 구조역학적으로 검증하고자 한다.

2. 본론

본 연구에서는 이중 벽 원통형 셸 내부에 명확한 위상학적 특징을 가지는 3종의 격자(삼각형, 사각형, 허니컴)를 선정하였다. 이후 모아레 로직을 도입하고 중첩 각도를 0도에서 75도까지 15도 간격으로 변화시키며 셸 구조의 비강성 및 내부 하중 전달 메커니즘을 분석하였다.

3. 결론

본 연구에서는 이중 벽 원통형 셸 내부에 모아레 격자 구조를 적용함으로써 기존 중공형 구조의 취약성을 극복하고 기계적 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 특정 위상학적 특징과 모아레 중첩 각도의 조합은 외부 하중을 셸 내·외벽 사이로 효과적으로 우회시켜 국부적인 응력 집중을 완화하였으며 그 결과 전반적인 구조적 안정성 및 비강성 향상 효과가 관찰되었다. 이는 단순한 내부 격자의 위상 및 각도 제어만으로도 로봇 매니퓰레이터 및 심해 잠수정 등 극한 환경 구조물의 하중

분산 능력을 근본적으로 개선할 수 있는 최적 설계의 가능성을 제시한다.

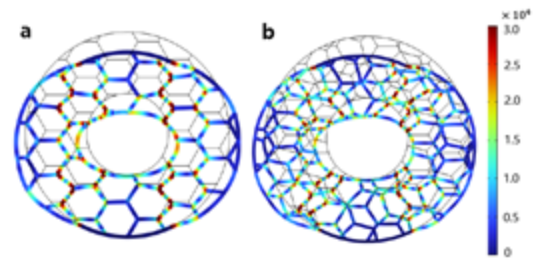


Fig. 1 Stress distribution maps demonstrating the load-bypassing mechanism of (a) conventional honeycomb and (b) 15° honeycomb Moiré architected shell at equal mass

후기 이 연구는 한국연구재단(RS-2025-23524172), 한국산업기술진흥협회(KOITA20250002-11), 및 연세대학교(2025-22-0146)의 지원을 받아 수행된것임.

안토시아닌 하이드로젤 기반 배터리-프리 무선 pH 센서를 이용한 상처 상태 모니터링 Wound Condition Monitoring Using a Battery-Free Wireless pH Sensor Based on an Anthocyanin Hydrogel

*이성주¹, 장태환¹, 최고은¹, 김상원¹, #오용석¹

^{*}Seong Ju Lee¹, Tae Hwan Jang¹, Go Eun Choi¹, Sang Won Kim¹, #Yong Suk Oh(oyongsuk@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교

Key words : Anthocyanin Hydrogel, Battery-free, Wireless, Wound Monitoring

^{*}발표자, #교신저자

의료 분야에서 생체 신호를 지속적으로 확인할 수 있는 무선 센서의 활용도는 점차 확대되고 있음. 특히 상처 부위의 pH는 감염 여부와 치유 경과를 판단할 수 있는 중요한 지표이므로, 장기간 안정적으로 측정 가능한 웨어러블 센서 기술이 필요함. 본 연구에서는 안토시아닌 하이드로젤의 pH 의존적 색 변화 특성과 광학 검출 방식을 결합하여 외부 배터리 없이 구동 가능한 무선 pH 센서를 구현하였음. 센서는 pH 변화에 따라 달라지는 하이드로젤의 광학 응답을 LED와 포토다이오드 기반 검출부로 측정하고, 이를 전기적 신호로 변환하여 상처 상태를 판독하도록 설계하였음. 또한 상처 드레싱과 연계 가능한 구조로 구성하여 착용 편의성과 활용성을 높였으며, 이를 통해 실시간 상처 모니터링 및 감염 조기 감지 가능성을 확인하였음.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2023-00212892).

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2026-25497451).

이 논문은 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 G-램프(LAMP) 사업 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00444460).

본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 경상남도의 재원으로 경상남도RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역 혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다.(2026-

RISE-16-002)

본연구성과물은2025년도정부(교육부)의재원으로한국연구재단의지원을받아수행된기초연구사업임(No. RS-2025-25437418)

REFERENCES

1. Min Hyung Kang, Gil Ju Lee, Joo Ho Yun, et al. "NFC-based wearable optoelectronics working with smartphone application for untact healthcare."
2. Zhai, X. et al. "Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. Food Hydrocoll."

Whisper 기반 액추에이터 음성제어 시스템의 구현 및 기초 성능 평가 Implementation and Basic Performance Evaluation of a Whisper-Based Voice Control System for Actuators

*장푸지¹, 김동균¹, 양진허¹, #김병창¹

*F. J. Zhang¹, D. G. Kim¹, J. H. Yang¹, #B. C. Kim(bckim@kyungnam.ac.kr)¹

¹경남대학교 기계융합공학과

Key words : Voice Recognition, Smart Actuator Control, Artificial Intelligence(AI), Remote Control

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 OpenAI의 Whisper 모델과 제어 회로를 결합하여, 음성 명령을 기반으로 스마트 액추에이터를 제어할 수 있는 시스템을 구현하였다. 제안한 시스템은 사용자의 자연어 음성 명령을 Whisper를 통해 텍스트로 변환하고, Python 환경에서 이를 구조화된 제어 명령으로 처리한 후, Arduino 제어기를 통해 액추에이터의 회전 방향과 목표 각도를 제어한다. 시스템의 기초 성능을 평가하기 위하여 20 dB, 60 dB, 100 dB의 소음 환경에서 실험을 수행하였다. 그 결과, 음성인식 정확도는 각각 97%, 92%, 83%로 나타났으며, 제어 성공률은 각각 95%, 89%, 80%로 확인되었다. 또한 액추에이터의 각도 제어 오차는 $\pm 4^\circ$ 이내로 유지되었다. 본 연구를 통해 Whisper 기반 음성인식 기술이 액추에이터 제어 시스템에 적용될 수 있음을 확인하였으며, 향후 4족 보행 로봇의 음성 기반 제어를 위한 기초 연구로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

음성인식 기술은 로봇 제어를 위한 직관적인 인터페이스로 활용될 수 있다. 본 연구에서는 Whisper 모델을 기반으로 음성 명령을 인식하고, 이를 액추에이터 제어 명령으로 변환하는 시스템을 구현하였다.

2. 시스템 구성

제안한 시스템은 사용자의 음성 명령을 입력받아 Whisper 모델을 통해 텍스트로 변환하고, Python 환경에서 이를 구조화된 제어 명령으로 처리하도록 구성하였다. 변환된 명령은 시리얼 통신을 통해 Arduino 제어기로 전달되며, Arduino는 모터 드라이버 및 엔코더와 연동하여 스마트 액추에이터의 회전 방향과 목표 각도를 제어한다.

이와 같은 구조를 통해 음성 입력부터 액추에이터 구동까지의 일련의 제어 흐름을 하나의 통합 시스템으로 구성하였다.

3. 실험 결과

시스템의 성능을 확인하기 위해 20 dB, 60 dB, 100

dB의 소음 환경에서 음성인식 및 액추에이터 제어 실험을 수행하였다.

실험 결과, 음성인식 정확도는 각각 97%, 92%, 83%로 나타났으며, 제어 성공률은 각각 95%, 89%, 80%로 확인되었다.

또한 액추에이터의 목표 각도에 대한 제어 오차는 $\pm 4^\circ$ 이내로 유지되었다.

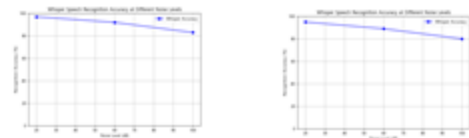


Fig. 1 Speech Recognition & Voice Control Success Rate by Noise Level

결론 및 후기 제안한 시스템은 음성 명령 기반의 액추에이터 제어가 안정적으로 가능함을 보여주었다.

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2026RS-2024-00436773)

GI/E 적층복합재 빔의 탄성파 전파 특성 분석

Analysis of Elastic Wave Propagation in a Laminated GI/E Composite Beam

*#조희근¹

*Hee Keun Cho(hkcho@gknu.ac.kr)¹

¹국립경국대학교 기계교육과,

Key words : Composite, FEM, Elastic Wave

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 [0/90/0/90/0] 적층 구조를 갖는 5층 Glass/Epoxy 복합재 빔의 탄성파 전파 특성을 분석하였다. 해석 대상은 길이 500mm, 폭 20mm, 두께 5mm의 복합재 빔이며, 한쪽 끝단은 완전 고정하고 반대쪽 자유단에는 축방향 충격하중을 가하는 조건으로 모델링하였다. 충격하중은 반정현파(half-sine pulse) 형태로 정의하였으며, 기준 조건으로 최대 하중 300 N, pulse duration 10 μ s를 적용하였다. 또한 pulse duration 변화(5 μ s, 10 μ s, 20 μ s)에 따른 응답 특성을 비교하였다.

1. 서론

본 연구의 목적은 [0/90/0/90/0] 적층 구조를 갖는 Glass/Epoxy 복합재 빔에 대해, 탄성파 전파 특성을 분석하는 데 있다. 특히 하중 크기 변화와 pulse duration 변화에 따른 응답 진폭, 주파수 성분, 반사파 형상의 차이를 비교함으로써 복합재 빔의 탄성파 응답 특성을 고찰하고자 한다.

2. 복합재 빔적화

아래의 그림과 같은 형상을 가진 모델에 대하여 충격하중 $F(t) = F_0 \sin(\pi t / T_p)$, $0 \leq t \leq T_p$ 의 충격하중을 가하였다.

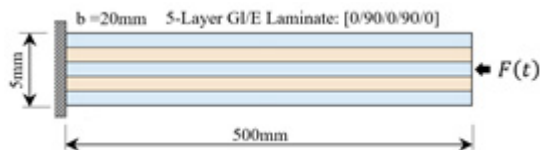


Fig. 1 Geometry model configuration of the the analysis structure

Pulse duration 변화는 입력 신호의 시간폭을 변화시키며, 이는 곧 주파수 성분 분포의 변화를 의미한다. 5 μ s pulse는 가장 짧은 시간 동안 작용하므로 상대적으로 높은 주파수 성분을 다수 포함하는 넓은 대역의 입력으로 해석할 수 있다. 반면 20 μ s pulse는 시간적

으로 더 길게 작용하므로 저주파 성분이 상대적으로 우세하며, 고주파 대역 성분은 감소한다. 자유단으로 부터 125mm 안쪽 지점의 응답은 다음과 같다.

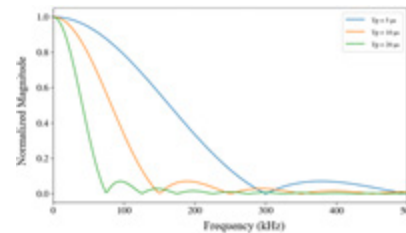


Fig. 3 Frequency content change with pulse duration

3. 결론

$F_0 = 300N$ 입력에 대한 pulse duration은 응답의 주파수 성분과 반사파 형상에 큰 영향을 미쳤다.

후기 이 논문은 국립경국대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- Palacz, M., "The spectral finite element model for analysis of flexural-shear coupled wave propagation in laminated, multilayer composite beams," *Comp. Struc.*, vol.68, no.3, pp.365-374, 2005.

수경재배 자동화 시스템을 위한, 누수 제로 유체 도킹 메커니즘 개발 Development of a Zero-leakage Fluid Docking Mechanism for Automated Hydroponic Systems

*김동균¹, #김병창², 박정원², 윤재겸², 임동현²

*D.G. KIM(inus2021@naver.com)¹, #B.C. KIM², J.W. PARK², J.K. YOON², D.H. LIM²

¹경남대학교 기계융합공학과, ²경남대학교 기계공학부

Key words : Smart Farm, Smart Manufacturing, AI Device, Automated Cultivation System

본 연구는 “레일 기반의 이동 가능한 모듈형 재배 장치”의 개발을 위해 고안된 것으로 특히, 장치 결합 시 별도의 수동 조작 없이 유로(Flow path)를 자동 밀폐할 수 있도록 O-ring을 전동 액추에이터로 압착하는 메커니즘을 설계·개발하고자 한다.

1. 서론

	어댑터	커넥터	피팅
사진			
목적	서로 다른 규격이나 타입의 부품을 연결	잘못 교체, 유지보수를 위한 탈부착	관과 관 사이를 고정 안정적인 유로 형성
밀폐 방식	구조적 밀폐	O-Ring 압착	구조적 밀폐
분리 여부	불가능	가능	조건부 가능

기존의 어댑터와 피팅은 높은 밀폐성을 유지하나, 공구 사용 및 파손 문제로 탈부착이 어렵다는 한계가 존재한다. 반면 커넥터는 원터치 방식으로 탈부착은 쉽지만 수동 조작이 반드시 수반되어야 하며, 이는 차후 로봇이나 고성능 기계장치를 사용한 자동화 시스템에서 불리하게 작용하게 된다.

이에 본 연구는 커넥터의 O-ring 압착 원리를 활용하되, 이를 전동 메커니즘으로 자동화할 수 있는 도킹 장치를 구현하고자 한다.

2. 제목



Fig. 1 3D Modeling and Structure

유닛 명칭	유닛 역할
본체(바디)	배양액 입·출구 및 체결 구조(하우징)
압착부	O-Ring 압착을 통한 밀폐형 구조
구동부	기어 및 구동축을 이용, 직선 운동 발생
지지·고정	베어링, 샤프트 등 적용, 안정성 확보

Table 1 유닛별 구성요소

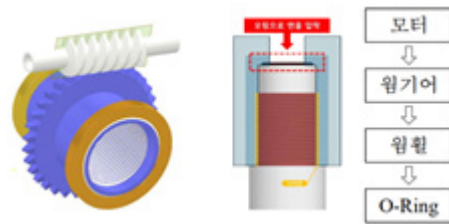


Fig. 2 O-Ring 압착 방식

3. 결론



Fig. 3 최종 제작

유체	유량 (m ³ /min)	압력 (bar)	관 지름 (mm)	시간 (sec)	결과 (%)
Water	0.061	8	25	60	0
	0.078	5.49	25	60	0
	0.187	6.2	25	60	0

Table 2 누수 테스트 결과

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화학혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2026RS-2024-00436773)

반도체 제조공정의 폐가스 이송 라인 정온 가열장치 Isothermal Heating System for Exhaust Gas Transfer Lines in Semiconductor Manufacturing Processes

*#조영태¹, 마상동²

*#Young Tae Cho(choyt@jj.ac.kr)¹, Sang Dong Ma²

¹전주대학교 공과대학 기초과학과, ²(주)다원물산

Key words : PTC Heater, Isothermal Heating, 3-Way Valve, Exhaust Gas

*발표자, #교신저자

반도체 제조공정에서는 많은 유해 화학물질을 사용하고 있어 사용 후 다양한 유해 폐가스가 파우더와 함께 배출되고 있다. 폐가스를 처리하기 위해서 여러 방식의 스크러버(scrubber)를 사용하고 있으며, 반도체 제조공정에서 필수적인 장비이다. 최근 패턴 미세화 공정으로 사용되는 화학물질의 사용량이 증가하고, 제조공정 변화로 사용 후 폐가스는 180℃ 이상으로 온도가 상승하고 파우더를 포함하고 있는데 이는 각종 독성 및 산성, 가연성, 환경 유해가스로 안전하게 분해 후 배출해야만 한다. 발생한 폐가스는 스테인리스 파이프 이송라인을 통과하여 3-way 밸브를 거쳐 스크러버로 이송된다. 폐가스의 이송 시 가열장치가 설치되지 않고 실온 20~25℃에 노출된 파이프 및 3-way 밸브의 경우에는 온도 차로 인해서 폐가스에 포함된 파우더가 내부에 고착되게 된다. 이는 파이프 내경이 줄어 가스의 흐름을 방해하거나, 밸브 오동작을 일으키게 된다. 또한 장치의 효율 및 수명을 떨어뜨리고, 잦은 유지보수 및 교체로 비용이 증가하게 된다. 따라서 원활한 가스 이송을 위한 가열장치 기술이 요구되었다. 기존에는 케이블 히터를 배관 또는 3-way 밸브에 감거나, 봉 또는 면상 히터를 적용하고 있으나, 부위별로 10~20℃ 정도로 온도편차가 크다. 또한 내구성 문제로 화재 위험에 노출되어 있으며, 재사용 불가 및 에너지 소비가 큰 등의 단점이 있다. 반도체 공장은 많은 전기에너지를 소비하는 산업으로 부품 및 장치별 에너지 절감이 절실한 상황이다. 이를 위한 대안으로 기존 열원을 대체할 수 있는 PTC(Positive temp. coefficient resistor) 히터를 사용한 180℃ 정온 가열장치를 개발하였다.

3축 가속도 센서 기반 근골격 자세 교정용 웨어러블 슈트 A 3-Axis Accelerometer-Based Wearable Suit for Musculoskeletal Posture Correction

*이창현¹, 박지상¹, #이선곤¹

*Chang Hyeon Lee¹, Ji Sang Park¹, #Sun Kon Lee¹

¹인하대학교 기계공학과

Key words : Artificial Pneumatic Muscle (APM), Posture Correction, 3-Axis Accelerometer

^{*}발표자, [#]교신저자

본 연구는 공기압 기반 인공 공압 근육(APM)을 활용한 저비용·고효율 웨어러블 슈트를 개발하여 자세 교정 및 근력 보조를 구현하고자 한다. 제안된 시스템은 압축공기 공급 시 발생하는 수축력을 이용하여 인체 움직임을 보조하며, 등허리, 어깨, 팔목 등에 적용되어 생체역학적 지지를 제공한다. 시스템은 라텍스 튜브, 우레탄 호스 및 공기 압축기 기반 동력부로 구성된다. 성능 평가 결과, 10호 라텍스 튜브 기준 최대 수축률 약 23%와 견인력 약 3.7 kg을 나타내어 실용적 보조 성능을 확인하였다. 본 시스템은 단순 구조와 경제성을 바탕으로 재활 및 자세 교정 분야에서 활용 가능성을 가진다.

1. 서론

스마트폰과 컴퓨터 사용 증가로 인해 거북목 증후군(FHP)이 확산되고 있으며, 이는 근골격계 부담과 안전 문제를 유발한다. 이에 본 연구에서는 공기압 기반 인공 공압 근육(APM)을 적용한 웨어러블 슈트를 제안하여 자세 교정과 근력 보조를 동시에 구현하고자 한다.

2. 실험 및 고찰

본 연구에서는 IMU 센서를 이용한 경추 각도 측정과 공압 기반 자세 교정 시스템의 동작을 실험적으로 검증하였다. Fig 1과 같이 MPU-6050 센서를 통해 3축 가속도 값(ax, ay, az)을 측정하고, 이를 기반으로 목의 기울기 각도를 산출하였다. 계산된 각도는 기준 자세에서의 값과 비교하여 개인별 임계값을 설정하는 데 활용되었다. 실험 결과, 경추 각도가 임계값 이하로 감소할 경우 진동 모터가 즉각적으로 작동하여 사용자에게 자세 이상을 인지시키는 1차 피드백이 정상적으로 수행되었다. 이후에도 자세가 교정되지 않을 경우, 우측 그림과 같이 공압 튜브 및 인공 공압 근육이 작동하여 상체를 지지하고 뒤로 밀어 올림으로써 물리적 교정을 유도하는 2차 피드백이 효과적으로 구현되었다. 특히, 공

압 구동 구조는 비교적 단순한 구성으로도 충분한 수축력과 지지력을 제공하여 자세 교정에 유의미한 효과를 나타냈다. 이는 기존의 단순 알림 기반 시스템 대비 실제 교정 효과를 향상시킬 수 있음을 시사한다. 다만, 센서 부착 위치에 따른 측정 오차와 사용자별 체형 차이에 따른 임계값 설정의 정밀도가 시스템 성능에 영향을 미칠 수 있으며, 장시간 착용 시 편의성과 내구성에 대한 추가 검증이 필요하다.



Fig. 1 x, y, z Acceleration sensor / Fig. 2 Air pump

3. 결론

본 연구에서는 IMU 기반 경추 각도 측정과 축각·공압 이중 피드백을 적용한 웨어러블 자세 교정 시스템을 제안하였다. 실험 결과, 자세 이상 감지와 교정 유도, 근골격계 부담 완화 효과를 확인하였다. 향후 CNN 기반 개인화와 보안 기술 적용이 요구된다.

차량용 서지탱크의 냉각수 순환 안정성 향상을 위한 내부구조 개선에 관한 연구

A Study on Internal Structure Improvement for Enhancing Coolant Circulation Stability in Automotive Surge Tanks

*#김광호¹

*#Gwang Ho Kim(ghkim@kopo.ac.kr)¹

¹한국폴리텍V대학 광주캠퍼스 기계시스템과

Key words : Surge Tank, Coolant Flow, Cooling System Reliability, Internal Structure Design

*발표자, #교신저자

자동차 냉각계통용 서지탱크는 냉각수의 저장, 팽창 여유 확보, 기포 분리 및 안정적인 순환을 담당하는 핵심 부품으로, 내부 유동 특성이 냉각 성능과 시스템 신뢰성에 직접적인 영향을 미친다. 본 연구는 서지탱크 내부 구조가 냉각수 유동에 미치는 영향을 분석하고, 유동 개선을 위한 구조 설계 방안을 제시하였다. 기존 서지탱크의 리브 형상을 분석하고, 냉각수의 흐름이 원활하도록 내부 가이드 구조를 보완하고, 체류 또는 난류 집중이 발생 구간을 완화하고, 냉각수 유로 확보를 위한 홈 형상의 내부 구조를 적용하였다. 구조 개선 효과 검증을 위하여 냉각수 주입 시험 및 파열압 시험을 수행하였다. 개선 구조는 냉각수 흐름의 연속성을 높이고, 국부 정체 가능성을 줄여 보다 안정적인 순환 특성을 나타냈다. 냉각수 정체 영역이 해소되었고, 내부 순환의 연속성이 향상되었다. 본 연구는 서지탱크 내부 구조 설계 시 냉각수 유동 신뢰성 확보를 위한 설계 기준 수립에 기여할 것으로 기대된다.

전자기 선형 액추에이터를 적용한 2속 직접 구동 동력전달 시스템의 변속력 최적화 및 궤적 추종 제어

Shift Force Optimization and Trajectory Tracking Control for a Dual-speed Direct Drive Powertrain System

*진진¹, 우위팅², 리보², #류성기³

*Zhen Qin¹, Yu-Ting Wu², Bo Li², #Sung-Ki Lyu³(sklyu@gnu.ac.kr)

¹중국산둥이공대학교 기계공학부, ²중국산둥이공대학교 교통차량공학부,

³경상국립대학교 기계항공우주공학부

Key words: Dual-speed Direct Drive Powertrain, Shift Force Optimization, Trajectory Tracking Control

*발표자, #교신저자

변속 성능을 향상시키고 구조를 간소화하기 위해 전자기 선형 액추에이터를 탑재한 새로운 2속 직접 구동 동력 전달 시스템을 제안한다. 변속 시간, 마찰 일, 충격도를 포함한 균형적이고 종합적인 변속 성능을 구현하기 위해 폰트라긴 최소 원리를 이용하여 마찰 토크를 최적화하고, 최적화된 변속력을 추종하기 위해 전향 전류 능동 외란 제거 제어를 제안한다. 또한 능동 외란 제거 제어 기반의 이중 페루프 제어기를 이용하여 신속하고 안정적인 변위 제어를 구현한다. 비교 시뮬레이션 및 실험을 수행한 결과, 제안한 추종 기법이 최적 변속력을 잘 구현할 수 있으며 변속 시간, 충격도, 마찰 일 등 최적 변속 지표를 통합할 수 있음을 확인하였다. 제안한 제어 기법과 결합하여 신규 2속 직접 구동 동력전달 시스템의 우수성 및 실현 가능성을 검증하였다.

후기 본 연구는 2024년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원(NRF-2024K2A9A2A06013274)에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

전달오차 최소화를 위한 산업용 감속기 기어의 치형 수정 설계 Micro-Geometry Design of Gears for Industrial Gear Reducers Considering Transmission Error Reduction

*오동석¹, 곽기명¹, 김현철², #류성기¹

*D.S. Oh¹, K.M. Kwak¹, H.C. Kim², #S.K. Lyu(sklyu@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 기계항공우주공학부, ²나라삼양감속기(주)

Key words : Gear, Micro-geometry, Transmission Error, KISSsoft

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 산업용 감속기 기어의 저소음 성능향상을 위하여 치형 수정 기반의 최적 설계를 수행하였다. Profile 방향의 Tip relief와 Helix 방향의 Crowning을 적용하였으며, Tip relief는 HPSTC를 기준으로 설정하고, Crowning은 피니언과 기어에 균등 분배하였다. 치형 수정량은 Gear contact analysis를 통해 최적화하였으며, 전달오차, 접촉응력, 물림강성 및 간섭 여부를 종합적으로 평가하였다. 특히 전달오차는 최대값과 최소값의 차이로 정의하여 내부 가진 및 소음 특성을 분석하였으며, 불필요한 접촉 제거와 하중 분포 균일화를 통해 저소음 특성을 확보하였다. 이를 통해 기어 물림 조건에서의 동적 성능을 개선할 수 있음을 확인하였다.

후기 본 연구는 산업통상자원부 한국산업기술기획평가원의 소재부품기술개발사업(No. RS-2024-00434150)과 Romax Technology의 Romax Designer(S/W) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

유성기어 시스템 TE그래프 최적화를 위한 고조파 저감 치형설계 Harmonic-Reduction Tooth Profile Design for TE Waveform Optimization in Planetary Gear Systems

*곽기명¹, 김태현¹, 강진경^{2,3}, #류성기¹

*K.M. Gwak¹, T.H. Kim¹, J.G. Kang^{2,3}, #S.K. Lyu¹(sklyu@gnu.ac.kr)

¹경상국립대학교 기계항공공학부, ²주식회사 유한이엔에스, ³경상국립대학교 융합기계공학과

Key words : Planetary Gears System, Transmission Error, Micro Geometry, k_H Factor

*발표자, #교신저자

본 논문은 유성기어 시스템의 소음·진동 저감을 위해 전달오차(TE) 파형을 이상적인 사인파 형상에 가깝게 만드는 Micro geometry 최적설계 방안을 제안한 연구이다. 먼저 기존 시스템의 TE, misalignment, FFT를 분석하여 급경사 TE 파형과 고차 harmonic 성분이 큰 상태를 확인하고, ROMAX 파라메트릭 해석으로 lead 방향 수정량은 k_H 계수를 기준으로, involute 방향 수정량은 2·3차 harmonic 간섭률을 기준으로 최적값을 도출하였다. 이후 MATLAB으로 이상적 사인파 대비 RMSE를 계산한 결과, Ring gear는 2.61에서 0.64, Sun gear는 1.86에서 0.53으로 감소하였고, 최대 contact stress도 Sun-Planet 접촉에서 1196 MPa→955 MPa, Ring-Planet 접촉에서 1369 MPa→629 MPa로 낮아져 NVH와 내구성 측면에서 모두 개선 효과를 확인하였다.

후기 본 연구는 2024년 중소벤처기업부 산학연 Collabo R&D과제(과제번호 : RS-2024-00422243)의 연구비 지원과 한국엠에스씨소프트웨어의 ROMAX(S/W)지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

전위계수를 고려한 동력전달용 기어의 굽힘강도 및 안전성 검증
Bending Strength and Safety Verification of
Power Transmission Gears Based on Profile Shift Coefficients

***김태현¹, 오동석¹, 윤민호², 김현철³, #류성기¹**

*T.H. Kim¹, D.S. Oh¹, M.H. Yoon², H.C. Kim³, #S.K. Lyu¹(sklyu@gnu.ac.kr)

¹경상국립대학교 기계항공우주공학부, ²남도공업사, ³나라삼양감속기(주)

Key words : Romax Designer, Profile Shift Coefficient, Bending Stress Safety Factor, Fatigue Life

*발표자, #교신저자

일반적으로 잇수가 적은 피니언(Pinion) 기어는 얇은 이뿌리와 고속 회전으로 인해 피로 하중에 취약하다. 본 연구는 이러한 강도 불균형을 해소하고자 피니언에 양(+)의 전위를 적용해 이뿌리 굽힘 강도를 보강하고, 상대적으로 여유가 있는 휠(Wheel) 기어에는 음(-)의 전위를 부여하여 두 기어 간의 굽힘 응력 안전율을 동등한 수준으로 조정하였다. 결과적으로 기어 쌍의 안전율 편차를 최소화하여 조기 파손을 방지하고, 구동 시스템 전체가 균일한 피로 수명을 확보하도록 설계 밸런스를 최적화하였다

후기 본 연구는 산업통상자원부 한국산업기술기획평가원의 소재부품기술개발사업(No. RS-2024-00434150)과 Romax Technology의 Romax Designer(S/W) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

NVH 성능 향상을 위한 기어 Transmission Error 최적 설계 및 해석 Optimal Design and Analysis of Gear Transmission Error for NVH Performance Improvement

*김태현¹, 광기명¹, 윤민호², 김현철³, #류성기¹

*T.H. Kim¹, K.M. Kwak¹, M.H. Yoon², H.C. Kim³, #S.K. Lyu¹(sklyu@gnu.ac.kr)

¹경상국립대학교 기계항공우주공학부, ²남도공업사, ³나라삼양감속기(주)

Key words : Transmission Error, Romax Designer, Parametric Study, Micro-geometry Modification

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 초기 기어 모델에서 발생하는 불균일한 전달오차를 개선하기 위해 미세 치형 수정 기반의 최적 설계를 수행하였다. 기어 물림 시의 충격을 완화하고 응력을 치면 중앙으로 유도하기 위해 Lead 및 Involute 방향의 치형 수정을 적용하였다. 최적화 과정은 Romax Designer의 Parametric Study를 활용하였으며, 무수정 기준 모델을 바탕으로 치형 수정량 설계변수를 0~20 μm 범위 내에서 미세 조정하는 반복 해석을 통해 전달오차 변동폭을 최소화하였다.

후기 본 연구는 산업통상자원부 한국산업기술기획평가원의 소재부품기술개발사업(No. RS-2024-00434150)과 Romax Technology의 Romax Designer(S/W) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

다구찌 실험계획법을 이용한 고수밀성 복합소재의 강건설계

Robust Design of a High-Tightness Composite Material Using the Taguchi Method

*강영임¹, #홍성수¹, 김재훈¹, 홍성준², 김항성³

*Y. I. Kang¹, #S. S. Hong(sshong@givet.re.kr)¹, J. H. Kim¹, S. J. Hong², H. S. Kim³

¹(재)경북자동차임베디드연구원, ²(주)명신, ³(주)루소

Key words : Taguchi Method, High Sealing Performance, Robust Design, Regression Analysis

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 자동차 와이퍼용 고수밀성 복합소재 개발을 위해 다구찌 실험계획법을 적용하였다. 고무탄성체 함량, 상용화제 함량, 광안정제 함량, 용융온도를 제어인자로 설정하고 L8 직교배열을 통해 실험을 수행하였다. 신호 대 잡음비(S/N비) 분석 결과, 주요 유의 인자인 상용화제와 광안정제의 최적 조건은 각각 1.5 phr, 0.3 phr로 도출되었다. 개발된 소재는 인장 탄성계수와 굴곡 탄성율의 향상과 함께 공정 안정성의 확보를 동시에 달성하였다.

1. 서론

자동차 와이퍼 부품은 높은 수밀성과 내구성이 요구되며, 기존 소재의 한계를 극복하기 위해 다구찌 실험계획법을 적용하여 강건한 복합소재 설계 조건을 도출하고자 하였다.

2. 실험 설계

다구찌 실험계획법의 방법론에 따라 제어인자 4개와 잡음인자 1개를 선정하였다. 제어인자는 고무탄성체 함량(A), 상용화제 함량(B), 광안정제(C), 용융온도(D)로 설정하였으며, 직교배열 L8(2수준)로 설계하였다. 각 실험 조건에 대해 인장탄성계수 및 굴곡탄성율을 측정하였다.

3. 신호 대 잡음비(S/N비) 기반 평가

본 연구에서는 기계적 물성의 최대화를 목표로 하여 망대 특성의 S/N비를 적용하였다. S/N비 분석 결과, 상용화제(B)가 주요 지배인자로 확인되었으며, 이는 소재 내부 계면 결합 안정성과 직접적으로 연관되는 것으로 판단된다. 광안정제(C)는 보조 인자로 작용하며, 적정 수준에서만 보조적인 효과를 나타냈다.

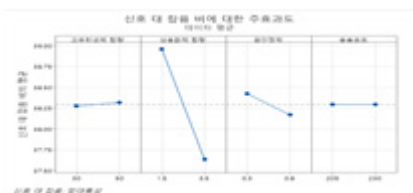


Fig. 1 신호대 잡음 비에 대한 주효과도

4. 회귀분석 모형 도출

주요 인자에 대해 회귀분석을 수행하여 반응값과의

정량적 관계를 도출하였다. 회귀모델은 높은 결정계수 ($R^2=0.87$)를 나타내어 우수한 설명력을 보였으며, 유의확률(P-value)을 통해 통계적 유의성이 확인되었다. 또한 잔차 분석을 통해 정규확률도에서 직선성을 확인함으로써 잔차가 정규분포를 따름을 검증하였으며, 이를 통해 모델의 통계적 신뢰성을 확보하였다.

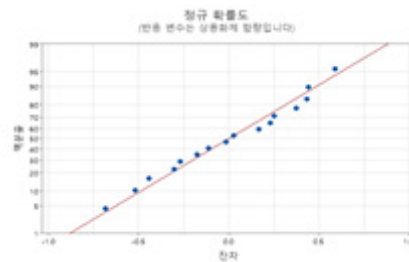


Fig. 2 상용화제 함량에 대한 잔차의 정규확률도

5. 결론

다구찌 실험계획법과 회귀분석을 결합하여 고수밀성 복합소재의 강건 설계를 수행하였다. S/N비 분석을 통해 상용화제가 핵심 인자로 확인되었으며, 회귀 및 정규분포 검증으로 모델의 신뢰성을 확보하였다.

후기 본 연구는 중소벤처기업부와 중소기업기술정보진흥원의 “중소기업기술혁신개발(R&D, RS-2024-00447507)”사업의 지원을 받아 수행된 연구 결과임.

포스터 발표

캡스톤 디자인 경진대회

좌장 : 장원석(KIMM), 김영원(KITECH), 김송길(부산대)
옥종걸(서울과기대), 이상민(동의대)

HVAC용 압력용기 경판가공 자동화 시스템 개발

Development of an Automated Processing System for Pressure Vessel Heads in HVAC Applications

*김민규¹, 김관호¹, 박현우¹, 이권희¹, 이성호¹, 이해인¹, 김대진², #최성대¹

*M. G. Kim¹, G. H. Kim¹, H. W. Lee¹, G. H. Lee¹, S. H. Lee¹, H. I. Lee¹, D. J. Kim², #S. D. Choi¹

¹국립금오공과대학교 ²(주)위더스스틸

Key words : Automated Processing System, CNC Plasma, Auto loading, Curved Surface Processing

1. 서론

HVAC(Heating, Ventilation, and Air Conditioning) 시스템에서 사용되는 압력용기는 냉매 저장 및 열교환 과정에서 중요한 역할을 수행하는 장치이다. 압력용기는 일반적으로 원통형 몸체와 양단의 경판으로 구성되며, 경판은 내부 압력을 견디고 용기의 구조적 안정성을 유지하는 핵심 구성 요소이다. 따라서 경판의 가공 정밀도와 품질은 압력용기의 성능과 안전성에 중요한 영향을 미친다. 그러나 압력용기 경판은 곡면 형상과 다양한 규격을 가지기 때문에 가공 과정에서 위치 정렬 및 고정이 어렵고, 일부 제조 현장에서는 여전히 수작업 중심의 공정이 사용되고 있다. 이러한 방식은 작업자의 숙련도에 따라 품질 편차가 발생할 수 있으며 반복 작업으로 인한 작업자의 피로도 증가와 생산성 저하 등의 문제가 발생할 수 있다.

2. 연구 목적

본 연구에서는 CNC 라우터 기반 플라즈마 절단기를 활용하여 압력용기 경판 가공 공정을 자동화할 수 있는 시스템을 설계하고자 한다. 또한 경판의 자동 투입, 고정 및 배출 기능을 포함한 자동화 장치를 구현하여 기존 수작업 공정의 문제점을 개선하고 가공 공정의 효율성과 안정성을 향상시키는 것을 목표로 한다.

3. 경판 가공 자동화 시스템 설계

압력용기용 경판을 자동으로 공급, 가공 및 배출할 수 있는 CNC 기반 플라즈마 가공 시스템을 설계하였다. 경사면에 일렬로 정렬된 경판은 중력에 의해 경사면을 따라 하판으로 이동한다. 이후 경판은 리니어 액추에이터에 밀려 장치 내부로 이동되며, ㄱ자형 지지 블록에 닿아 고정된다. ㄱ자형 지지 블록 내부의 터치 센서를 통해 피드백을 받아 정확한 위치에 경판을 고정할 수 있다.

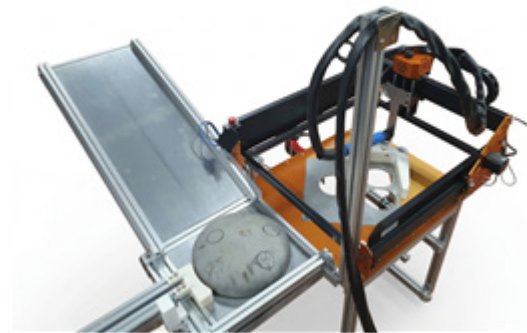


Fig. 1 CNC plasma automated processing system

가공 장치는 CNC 라우터와 결합된 플라즈마 절단기를 이용하여 곡면 형상을 띄는 경판에 홀 가공이 가능하도록 구성하였다. 가공 완료 후에는 아두이노 제어를 통해 ㄱ자형 지지 블록이 하강하여 고정이 해제되고 공급에 이용한 리니어 액추에이터에 의해 경판이 자동으로 배출되도록 설계하였다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 압력용기 경판 가공 공정의 열악한 작업 환경 문제를 해결하기 위해 CNC 라우터 기반의 플라즈마 정단 및 자동 공급, 배출 시스템을 개발하였다.

후기

본 결과물은 2025년도 경상북도 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)-지역성장 혁신LAB의 지원을 받아 수행된 결과입니다.

LiTaO₃CMP에서 슬러리 전해 이온화 적용에 관한 연구

Application of Slurry Electro-Ionization in Chemical Mechanical Polishing of LiTaO₃

*박기태¹, 김현수¹, 김대환¹, 김영웅¹, 진민기¹, #이현섭¹

¹Gi Tae Park¹, Hyun Su Kim¹, Dae Hwan Kim¹, Young Woong Kim¹, Min Gi Jin¹,

#Hyun Seop Lee(hyunseop@dau.ac.kr)¹

¹동아대학교 기계공학과

Key words : Chemical Mechanical Polishing, Lithium Tantalate, Electrochemical Ionization

*발표자, #교신저자

리튬탈탈레이트는 차세대 통신 소자의 핵심 압전 소재이나, 높은 경도와 낮은 화학적 반응성으로 인해 기존 CMP 공정에서는 연마 효율이 낮다는 한계가 있다. 최근 이를 극복하기 위해 화학적 반응을 촉진하는 전기화학적 연마 기법이 주목받고 있다. 따라서 본 연구에서는 슬러리 유입 시 전극을 이용한 외부 전기적 인가를 통해 슬러리의 화학적 환경을 제어하고 이에 따른 LiTaO₃ CMP 특성 변화를 분석하고자 한다. 웨이퍼에 Si 기판을 본딩하여 접합한 복합 구조를 대상으로 수행되었으며, 전극 종류 및 전류 인가 조건에 따른 재료제거 특성을 평가하고자 한다.

1. 서론

리튬탈탈레이트(Lithium tantalate; LiTaO₃)는 우수한 압전성(piezoelectricity)을 보유한 대표적인 다기능성 단결정 소재이다. 특히 온도 변화에 따른 특성 변화가 적어 고신뢰성이 요구되는 차세대 무선통신(Wireless communication) 및 광전자 소자의 기판 재료로 핵심적인 역할을 담당하고 있다. 고품질 표면과 정밀한 두께 제어가 필수적이며, 이를 위해 화학기계적 연마(Chemical Mechanical Polishing, CMP) 공정이 핵심적으로 사용된다. 그러나 LiTaO₃는 높은 경도와 낮은 화학적 반응성을 가지기 때문에 기존 CMP 공정에서는 재료제거율(Material Removal Rate, MRR)이 낮고 연마 효율이 제한되는 문제가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 4인치 LiTaO₃ 웨이퍼를 대상으로 전극 종류 및 인가 전류 변화에 따른 재료제거 특성을 체계적으로 분석하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에서 LiTaO₃ 웨이퍼 CMP 공정을 수행하기 위해 GnP Technology사의 POLI-400 장비를 이용하였다. 연마 패드는 폴리우레탄(Polyurethane) 계열의 패드를 사용하였으며, 슬러리는 약 80 nm 입자의 콜로이드 실리카 기반 연마제를 적용하였다. 슬러리의 화학적 조성은 산화제로 과산화수소(H₂O₂), 착화제로 옥살산

(Oxalic acid)가 사용되었다. 슬러리 내 전해 이온화(electrochemical ionization)를 유도하기 위해 외부 전원을 연결한 전극 시스템을 구성하였으며, 전극 재료로는 Ni, Cu, Al, SUS를 사용하여 조건별 차이를 비교하였다. 인가 전류를 주요 공정 변수로 설정하여 재료제거 변화를 분석하고자 하였다.

3. 결론 및 향후 계획

본 연구를 통해 LiTaO₃ CMP에서 슬러리의 전해이온화를 통해 MRR을 향상시킬 수 있음을 확인하였으며, 전극 재료에 따라 그 향상 정도에 차이가 있음을 실험적으로 확인하였다. 향후 본 연구를 통해 선정된 전극을 이용하여 보다 다양한 공정 변수에 대한 연구가 필요할 것으로 보인다.

후기

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-나노 및 소재기술개발사업의 지원(NRF-2022M3H4A3085283) 및 2023년도부터 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2023-0-00076, SW중심대학(동아대학교))

PLA를 이용한 시제품 제작 시 채움 밀도가 강도와 인성에 미치는 영향

Effect of Fill Density on Strength and Toughness in Prototype Manufacturing Using PLA

*한정훈¹, 유재원¹, #강일석²

*J. H. Han¹, J. W. Ryu¹, #I. S. Kang(ilseuk11@kopo.ac.kr)²

¹한국폴리텍V대학 광주캠퍼스 기계시스템과, ²한국폴리텍V대학 광주캠퍼스 기계시스템과

Key words : FDM, PLA, 3D Printer, Fill Density

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 열가소성 수지를 압출하여 적층하는 FDM 방식을 이용하여 인장 시험편을 출력했으며, 밀도는 100%, 50% 그리고 30%를 적용했다. 인장시험 결과에서 평균 인장강도는 밀도 100%에서 32.75MPa, 50%에서 13.45MPa 그리고 30%에서 12.53MPa를 나타냈다. 또한 응력 변형률 곡선의 면적을 적분하여 흡수된 에너지인 인성계수를 분석한 결과 밀도 100%에서 1.0051 MJ/m³, 50%에서 0.3656 MJ/m³, 밀도 30%에서 0.2551 MJ/m³ 을 나타냈다.

1. 서론

FDM 제조특성에 따라서 밀도 증가는 강도와 인성에서 직접적인 영향을 미친다. 따라서 내부 채움의 밀도 변화에 따른 강도와 인성을 확인하기 위해서 출력된 결과물을 이용하여 인장시험을 수행했다. 또한 응력 변형률 곡선의 면적을 적분하여 파괴 시까지 흡수된 에너지를 분석했으며, 이를 기준으로 이론적으로 파단에 필요한 에너지를 예측하고자 한다.

2. 실험방법

인장시험편을 밀도 100%, 밀도 50%, 그리고 밀도 30%로 각각 적용하여 출력했으며, KS B 0801 5호 규격을 준수하여 출력했다. 내부 채움 패턴은 직선형으로 적용했으며, 실험을 통해 얻어진 응력 변형률 곡선을 적분하여 인장시험을 통해 재료가 파괴되기까지의 흡수에너지인 인성계수를 분석했으며, 이론적으로 파단에 필요한 총 에너지를 예측했다.

3. 실험결과

인장 시험의 결과는 Fig. 1에서 나타냈으며, 밀도 100%에서 32.75 MPa를 나타냈으며, 밀도 50%에서는 58.93% 감소된 13.45 MPa 그리고 밀도 30%에서는 61.74% 감소된 12.53 MPa를 나타냈다.

또한 파단에 필요한 총 에너지는 Table 1에 나타냈으며, 밀도 100%에서 6.2821 J을 나타냈으며, 밀도 50%에서 63.62% 감소된 2.2852 J 그리고 밀도 30%

에서 74.62% 감소된 1.5945 J의 결과를 나타냈다.

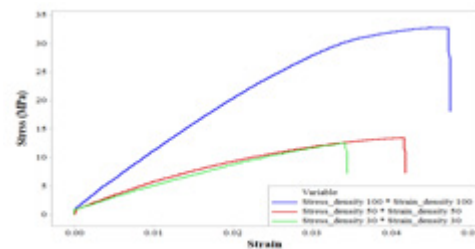


Fig. 1 Results of stress-strain curves for PLA filament densities of 100%, 50%, and 30%.

Table 1 Total energy using the toughness modulus obtained from the stress-strain curve

	100%	50%	30%
toughness	1.0051 MJ/M ³	0.3656 MJ/M ³	0.2551 MJ/M ³
Total energy	6.2821 J	2.2852 J	1.5945 J
Energy/area	50.26 kJ/M ²	18.28 kJ/M ²	12.76 kJ/M ²

4. 결론

본 연구의 결과로 FDM 제조 시 PLA 소재의 내부 채움 밀도 변화에 따른 강도와 인성에 미치는 영향을 분석하고 예측할 수 있었다.

REFERENCES

1. Kang, I. S., "The effect of density on strength when printing industrial prototypes in PLA" The Korean Association of Maritime Transportation Studies, Vol. 1, 39-41, 2023.

RAG-LLM 기반 2D 도면 공차 적정성 판단 시스템 RAG-LLM Based Tolerance Validation System for 2D Drawings

*이초빈¹, 이동민¹, #김현찬¹

*Cho Bin Lee¹, Dong Min Lee¹, #Hyun Chan Kim(hyunckim@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Retrieval-Augmented Generation, Large Language Model, 2D Drawing, Tolerance Validation

*발표자, #교신저자

기계 설계 과정에서 공차 설정은 제품의 조립성, 가공 가능성 및 품질을 결정하는 핵심 설계 요소이다. 그러나 KS 및 ISO 표준 문서의 양이 방대하고 도면과 공차 기준을 수동으로 대조해야 하므로 많은 시간이 소요되며, 공차 판단이 설계자의 경험에 의존한다는 한계가 있다. 본 연구에서는 표준 문서를 바탕으로 2D 도면의 공차 적정성을 자동으로 판단하는 시스템을 제안한다. KS 및 ISO 표준 문서를 데이터베이스로 구축하고, 도면에서 추출된 치수와 공차 정보를 기준으로 관련 표준 문서를 검색하여 적정성을 판단한다. 또한 RAG(Retrieval-Augmented Generation)와 LLM(Large Language Model)을 결합하여 표준 문서를 기반으로 한 설명 가능한 피드백을 생성한다. 제안된 시스템은 설계 초기 단계에서 공차 오류를 자동으로 검출하고 규격 근거 기반의 피드백을 제공함으로써 설계 검토 시간을 단축하고 설계 품질 향상 및 설계자의 경험 의존도 감소에 기여할 것으로 기대된다.

Vision-PHM 기반 비지도 학습을 이용한 산업용 외관 품질 진단에 관한 연구 A Study on the Industrial Appearance Quality Diagnosis Using Vision-PHM- Based Unsupervised Learning

*장석현¹, 김우진¹, 박준제¹, 장지용¹, 이태관¹, 정정호¹, 전충민¹, 김동규¹, #이경창¹

¹Seok Hyeon Jang¹, Woo Jin Kim¹, Jun Je Park¹, Ji Yong Jang¹, Tae Gwan Lee¹, Jeong Hyo Jeong¹, Chung Min Jeon¹, Dong Kyu Kim¹, #Kyung Chang Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 제어계측공학전공

Key words : Vision-PHM, Unsupervised Anomaly Detection, Convolutional Auto Encoder Production, Defect Detection

*발표자, #교신저자

Vision-PHM은 영상 정보를 이용해서 제품이나 기계의 고장을 진단하고, 예측하는 알고리즘 기술이다. 최근 무인 자동화 공정의 발전과 함께 제조 공정에서 미세한 결함이라도 시스템의 성능 저하 및 안전과 직결되는 산업용 부품의 정상/이상 상태 판별 기술은 필수적이다. 과거 Vision 검사는 과거 수천~수만 개의 이상 데이터를 필요로 하여 실제 산업 현장에서 적용에 한계가 있었다. 따라서 본 연구는 10초 정도의 짧은 영상을 통해 제품의 정상 상태를 학습하는 비지도 학습인 CAE 모델을 제안한다. 10초의 영상을 0.1초 단위의 이미지로 변환한 후 증강하여 적은 데이터로도 학습 및 이상 판별이 가능하다. 또한 산업용 부품 중 조명에 의한 표면 반사도가 높은 나사를 학습하여 그 방식의 효용을 검증하였다.

후기 본 논문은 지능형로봇혁신융합대학사업단에서 지원하여 연구하였음.

구연산 가교 PVA/CNF 기반 pH 반응형 식품 신선도 지시 필름 개발 Development of a Citric Acid Crosslinked PVA/CNF-Based pH-Responsive Film for Food Freshness Monitoring

*홍지훈¹, 김민서¹, #김현찬¹

¹J. H. Hong¹, M. S. Kim¹, #H. C. Kim(hyunckim@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Anthocyanin, Citric Acid, pH-responsive Film, PVA/CNF Composite

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 식품 신선도 모니터링을 위한 구연산(CA) 가교 기반 PVA/CNF 복합 pH 반응형 필름을 개발하였다. 기존 스마트 필름은 기능성 나노소재를 포함하여 식품과의 직접 접촉 적용에 한계가 있는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 친환경 가교제인 구연산을 도입하여 추가적인 나노소재 없이 필름의 구조적 안정성을 향상시키고자 하였다. PVA/CNF 복합 필름은 용액 캐스팅 공정을 통해 제조하였으며, CA 농도에 따른 가교 효과를 비교하였다. 또한 안토시아닌을 도입하여 pH 변화에 따른 색 변화를 통해 신선도 지시 기능을 부여하였다. 본 연구 결과는 친환경 소재 기반의 식품 포장용 스마트 필름 개발 가능성을 제시한다.

후기 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00353023).

다양한 3D 구조체의 표면을 잘 미끄러지게 하는 SLIPS 공정 제안 Proposal of a SLIPS Process for Slippery Surfaces on Various 3D Structures

*이지나¹, 한유주², #조영태^{1,2}

*J. N. Lee¹, Y. J. Han², #Y. T. Cho(ytcho@changwon.ac.kr)^{1,2}

¹국립창원대학교 기계공학부 기계공학전공, ²국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : Slippery Surface, SLIPS, PDMS Brush, 3D Structure, Anti-fouling

*발표자, #교신저자

기존 SLIPS 기술은 주로 2차원 평면에 적용되어 복잡한 입체 형상에 활용하는 데 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 본 캡스톤디자인에서는 다양한 실험을 통해 3차원 구조체에 적합한 SLIPS 제조 공정을 탐색하고 제안하고자 한다. 최적의 공정 조건을 찾기 위해 먼저 2차원 평면에 표면 처리를 진행하고, 표면장력이 다른 여러 액적을 이용해 접촉각과 미끄러짐 각도를 측정하여 기본 성능을 테스트했다. 이후 직접 제작한 다양한 형상의 3차원 구조체에 공정을 적용해보며, 구조에 따른 미끄러짐 성능 유지 여부를 비교·분석했다. 본 과정을 통해 복잡한 3차원 구조에서도 안정적인 방오 성능을 구현할 수 있는 공정 조건을 도출했으며, 향후 산업용 배관이나 자가세정 코팅 등 산업 현장에 적용될 수 있다.

Acknowledgement This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT)(NRF-2023R1A2C3006499)

디지털 트윈 기반 내부 유로막힘에 따른 증발기 상태 분석 Analysis of Evaporator Status by Digital Twin-Based Internal Flow Blocking

*도현석¹, 이승민¹, 이병진¹, #허장욱²

*Seok Hyun Do¹, Seung Min Lee¹, Seung Min Lee¹, Byung Jin Lee¹, #Jang Wook Hur(hhjw88@kumoh.ac.kr)²
¹국립금오공과대학교 기계공학과, ²국립금오공과대학교 기계공학과(항공기계전자융합전공)

Key words : Digital Twin, Thermodynamic Analysis, Evaporator, Internal Flow Blockage

*발표자, #교신저자

본 논문은 냉각장치용 판형 열교환기(PHE) 내부 유로 막힘 고장을 예측하기 위한 시뮬레이션 기반 연구를 수행하였다. MATLAB/Simulink로 R-1234yf 냉동 사이클을 모델링하고 수력 직경을 1.0에서 0.5까지 단계적으로 축소하며 변수 거동을 분석하였다. 고장이 심화됨에 따라 입구 압력(MPa)과 출구 온도(K)가 상승하고 유량이 급격히 감소하는 경향을 확인하였다. 특히 잔차 학습 기법을 도입하여 실제 데이터와의 편차로 고장 심각도를 정량화하였으며, 이는 시스템 잔여 수명(RUL) 예측을 위한 건전성 관리(PHM) 프레임워크의 기초 자료로 활용되어 냉각 시스템 안정성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

This study presents a simulation-based approach for predicting channel blockage in plate heat exchangers (PHE). A R-1234yf refrigeration cycle was modeled in MATLAB/Simulink, and the hydraulic diameter was reduced from 1.0 to 0.5 to analyze system variables. Results showed that worsening clogging leads to increased inlet pressure (MPa) and outlet temperature (K), while significantly decreasing mass flow rate. A residual learning technique quantified fault severity by analyzing the discrepancy between experimental and simulation data. These findings provide a foundational dataset for a Prognostics and Health Management (PHM) framework to predict Remaining Useful Life (RUL), contributing to improved system reliability in cooling applications.

1. 서론

판형 열교환기(PHE)는 높은 열효율을 갖는 장점이 있으나, 내부 스케일 축적으로 인한 유로 막힘이 성능 저하 및 장비 고장을 유발하는 문제가 있다. 이러한 문제는 기존의 경험적 유지보수 방식으로는 한계가 있어, 본 연구에서는 운전 데이터(온도, 압력 등)를 기반으로 디지털 트윈을 활용하여 막힘 상태를 실시간으로 진단하고 고장을 사전에 예측하는 모델을 제안한다.

2. 고장 모사 및 데이터 비교

열교환기의 정상 상태에서의 물리적 거동을 모사하는 디지털 트윈 모델을 구축하였다. 고장 진단은 디지털 트윈의 예측값과 실제 측정값 간의 유사도를 비교하여 수행된다. 유로 막힘이 발생할 경우 Fig. 1 및 Fig. 2와 같이 데이터의 잔차가 증가하며 특정 고장 패턴이 나타난다. 이러한 변화 패턴을 추적함으로써 물리적 고장 징후를 조기에 포착할 수 있다.

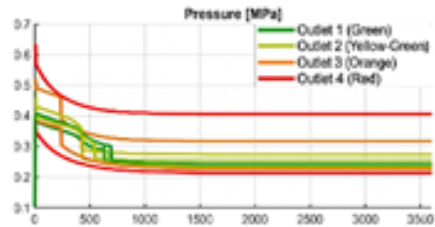


Fig. 1. Simulated Pressure Characteristics using Simulink

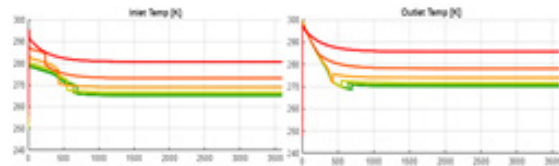


Fig. 2. Simulated Temperature Characteristics using Simulink

3. 결론

본 연구에서는 디지털 트윈과 실시간 데이터 간 유사도 분석을 통해 명확한 상관관계를 확인하였으며, 이를 근거로 효과적인 상태 진단이 가능함을 입증하였다.

디지털트윈을 활용한 응축기 외부 오염에 따른 압축기 거동 분석 Compressor Analysis under Condenser External Fouling: A Digital Twin

*백지흠¹, 이강민¹, 현유현¹, #허장욱²

¹Ji Heum Baek¹, Gang Min Lee¹, Yu Hyeon Hyeon¹, #Jang Wook Hur(hhjw88@kumoh.ac.kr)²

¹국립금오공과대학교 기계공학과, ²국립금오공과대학교 기계공학과(항공기계전자융합전공)

Key words : Digital Twin, Compressor Analysis, Condenser Fouling, Fault Dignosis

*발표자, #교신저자

냉각 시스템의 핵심 동력원인 밀폐형 왕복동 압축기의 안정적 운용과 고장 예지를 위해 디지털트윈 기반의 열역학적 거동 분석 방법론을 제시하였다. 실제 산업용 냉각 시스템을 모사하여 MATLAB/Simscape 기반의 가상 모델을 구축하고, 응축기의 외부 오염을 주요 외란으로 설정하였다. 검증된 모델을 활용해 응축기 오염도를 4단계(0~60%)로 나누어 시뮬레이션을 수행하였으며, 응축 성능 저하에 따른 압력과 온도 지표의 변화를 확인하였다. 이는 향후 잔존 수명(RUL) 예측을 위한 토대가 될 것으로 기대된다.

This study proposes a digital twin-based thermodynamic analysis to ensure stable operation and enable fault prognosis of a hermetic reciprocating compressor in a refrigeration system. A MATLAB/Simscape model replicating an industrial system was developed, with air-cooled condenser fouling as the main disturbance. Simulations at four fouling levels (0-60%) show that performance degradation leads to nonlinear increases in discharge pressure and temperature, resulting in a higher compression ratio and reduced refrigerant flow rate. These results provide a physical basis for improving Remaining Useful Life (RUL) prediction models.

1. 서론

냉각 시스템의 압축기는 시스템 전체의 냉각 효율을 결정짓는 핵심 요소 중 하나이다. 특히 주로 활용되는 밀폐형 왕복동 압축기는 다양한 고장 위험에 노출된다. 하지만 기존의 육안 점검은 실제 성능 저하를 예측하기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 MATLAB/ Simscape를 활용한 디지털트윈으로 응축기 외부 막힘에 의한 압축기의 열역학적 거동을 분석하고, 수명을 예측하기 위한 기반을 마련하고자 한다.

2. 실험 모사와 디지털트윈 모델링

주요 외란에 따른 냉각 시스템의 실제 거동을 모사하기 위해 Fig. 1과 같이 Simscape 모델을 구성하였다. 핵심 설계 변수로는 압축기 체적 효율과 압축비를 선정하여, 외란에 따른 시스템의 열역학적 거동 모사에 집중하였다. 제작된 가상 모델의 정확도를 검증하기 위해 테스트베드의 실제 압축기 압력 및 온도 데이터와 비교하였다. 응축기 외부 막힘을 0~60%까지 4단계로 나누었으며, 압축기 입·출구에 압력 및 온도 센서를 부착하여 데이터를 수집하였다.

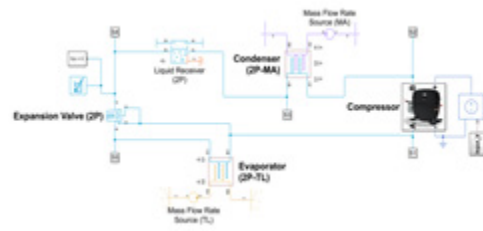


Fig. 1 Refrigeration cycle simscape model

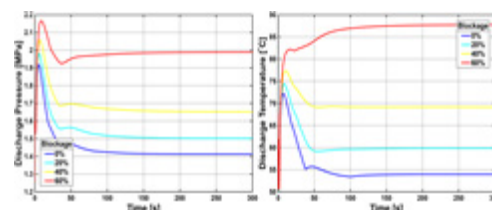


Fig. 2 Compressor outlet pressure, temperature

3. 결론

MATLAB/Simscape를 활용하여 디지털트윈 환경을 구축하였으며, Fig. 2와 같이 실제 압축기 데이터와 유사한 결과를 수집하였다. 향후 연구를 통해 머신러닝을 활용한 RUL 예측을 진행할 예정이다.

마이크로 패턴이 적용된 소수성 핫스팟 기반의 분석 입자 정밀 응집 Precise Particle Aggregation based on Micropatterned Hydrophobic Hotspots

*김동주¹, 윤채혁¹, 윤성민¹, #조영태¹

*D. J. Kim¹, C. H. Yoon¹, S. M. Yoon¹, #Y. T. Cho(ytcho@changwon.ac.kr)¹

¹국립창원대학교 스마트제조융합협동과정

Key words : Particle Aggregation, Hot Spot, Micro Pattern, Slippery Surface

*발표자, #교신저자

고감도 바이오센서 분야에서 무작위로 퍼져있는 입자들을 효율적으로 감지하기 위해 미끄러운 표면이나 미세 패턴을 기판에 적용하여 입자를 좁게 응집시키는 연구가 진행되었다. 하지만 이러한 방식에서는 입자 분포가 불규칙하여 재현성을 감소시키고 대량의 액적을 원하는 위치로 응집시킬 수 없다는 한계가 존재한다. 본 연구는 디지털 패터닝을 통해 미끄러운 표면 위에 소수성의 핫스팟을 형성하여 특정 위치에만 입자를 응집시켰다. 또한 핫스팟 내부에 미세 패턴을 적용하여 많은 양의 액적에도 특정 위치로 응집하도록 하였다. 다양한 콜로이드 액적을 증발시킨 결과, 대량의 액적에도 특정 위치로 입자가 응집되는 것을 확인하였다. 이는 바이오센서의 민감도와 재현성을 높이는 데 기여할 것으로 기대된다.

후기 This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT)(NRF-2023R1A2C3006499, RS-2023-00238462)

소구경 배관 비파괴 검사용 크롤러 센서 리프트오프 제어 메커니즘 최적화 설계 Active Lift-off Control for a 4-inch Pipe NDT Crawler

강진영¹, *강경구¹, 서주안¹, 이승훈¹, 오승윤¹, #류성기¹

¹J. Y. Kang¹, K. G. Kang¹, J. A. Seo¹, S. H. Kim¹, S. Y. Oh¹, #S. K. Lyu

¹경상국립대학교 기계공학부

Key words : Lift-off Control, Optimization, Pipe

*발표자, #교신저자

본 연구는 4인치 소구경 배관의 비파괴 검사 정밀도 향상을 위한 리프트오프 제어 크롤러 개발을 목적으로 한다. 0.1mm의 간격 변동만으로도 검사 신뢰도가 급격히 저하되는 난제를 해결하기 위해, 크롤러 구동 메커니즘과 볼-스프링 기반의 컴플라이언스 축 설계를 적용하였다. 특히 휠 축에 장착된 스프링 하이브리드 기구는 배관 내벽의 요철을 물리적으로 흡수하며, 탑재된 레이저 센서를 통해 리프트오프를 실시간으로 보정한다. 이러한 하드웨어 중심의 자가 정렬 설계는 별도의 회전 모터 없이 360도 전주 스캔을 가능케 하며, 산업용 배관의 선제적 유지보수를 위한 고신뢰성 검사 플랫폼으로서의 실효성을 검증할 수 있을 것으로 기대된다.

후기 위 내용은 세이프텍(주)의 지원을 통해 수행된 캡스톤디자인 결과물입니다.

REFERENCES

1. Wu, J., Song, Y., Chen, S., Xiao, Y., Tytko, G., Kang, Y. and Feng, B., "Reduction of Lift-off Effect in Eddy Current Measurement of Electrical Conductivity Using Multi-Frequency Excitation," Sensors, Vol. 26, No. 2, 555, 2026.

소방대원 생존성 향상을 위한 다중 단열 구조 기반 투척형 위험 알림 비콘 개발 Development of a Throwable Hazard Alert Beacon with Multi-Layer Thermal Insulation Structure to Enhance Firefighter Survivability

*서창덕¹, 최해진¹, 김도현¹, 정대환¹, 고진성¹, 김문수¹, #민병현¹

^{*}Chang Deok Seo¹, Hae Jin Choi¹, Do Hyeon Kim¹, Dae Hwan Jeong¹, Jin Seong Go¹,

Mun Su Kim¹, #Byeong-Hyeon Min(bhmin@deu.ac.kr)¹

¹동의대학교 기계공학과

Key words : Thermal Break, Gasket Joint Structure, Throwable Beacon, Multi-layered Insulation Structure

*발표자, #교신저자

건물 화재 현장에서 소방대원은 통상 2인 1조로 진입하며, 선발 대원이 발견한 건물 붕괴·낙하구 등의 위험 요소를 중앙 컨트롤 타워 및 후속 팀에 신속히 공유하는 것이 인명 피해 예방의 핵심이다. 그러나 화재 현장 특유의 열악한 통신 환경으로 인해 위험 정보 전파 체계가 제대로 작동하지 못하는 경우가 빈번하다. 본 연구는 선발 대원이 발견한 위험 요소를 통신 장애 없이 후발 대원에게 신속·정확하게 전달하여 현장 생존성을 높이는 시스템을 제안하고자 한다. 이를 위해 선발 대원이 위험 지점에 비콘을 투척·설치하면 해당 지점에 접근하는 후발 대원의 스마트워치로 즉각 경보가 전송되는 방식을 채택하였다. 해당 비콘은 STS 316 외피와 세라믹 섬유·실리콘 패드를 적용한 다중 단열 구조를 통해, 화재 현장의 극한 환경에서도 안정적으로 동작할 수 있는 내열 하드웨어 설계에 중점을 두었다. 본 시스템은 기존 중앙 전달 체계를 벗어나 실질적인 위험 요소를 쉽고 빠르게 전달할 수 있어, 소방대원의 현장 생존성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 KSMPE 2025 춘계학술대회에서 발표된 연구의 후속 연구로 수행되었다.

본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 부산시의 재원으로 부산RISE 혁신원의 지원을 받아 수행된 지역혁신 중심 대학지원체계(RISE)의 결과임

(2026-RISE-02-009-000).

스마트폰 비전 기반 식물 성장 계측 에이전트 Smartphone Vision-based Plant Growth Measurement Agent

*조형철¹, 이상승¹, #김현찬¹

*Hyeong Cheol Cho¹, Sang Seung Lee¹, #Hyun Chan Kim(hyunckim@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Smart Farm, Growth Rate Monitoring, Smartphone Camera, Image Processing, Leaf Area

*발표자, #교신저자

본 연구에서는 스마트팜 환경에서 식물의 성장 상태를 저비용으로 정밀하게 모니터링하기 위한 스마트폰 카메라 기반의 성장 에이전트 시스템을 제안한다. 기존의 생장률 측정 방식은 고가의 듀얼 카메라나 고정형 장비를 활용하여 장비 접근성과 설치 비용에 한계가 있었다. 이를 해결하기 위해 범용 스마트폰 카메라의 영상 정보를 활용하여 식물의 잎 면적 및 높이를 분석하고, 획득된 데이터를 기반으로 생장률을 산출하는 알고리즘을 개발하였다. 제안된 시스템은 기존 듀얼 카메라 방식 대비 유사한 수준의 정밀도를 확보하면서도 하드웨어 구성을 간소화할 수 있었다. 본 시스템은 농가의 진입 장벽을 낮추고 효율적인 생육 관리를 가능하게 할 것으로 기대된다.

시야 제한 환경에서의 플러그 체결 편의성 향상을 위한 기구학적 보조장치 개발 Development of a Kinematic Assist Device for Plug Connection in Limited Visibility Environments

*#이선규¹, 황준태¹, 이용준¹, 이종서¹, 오지원¹, 김민진¹

*#Seon Gyu Lee(dltjsrb0201@ajou.ac.kr)¹, Jun Tae Hwang¹, Yong Jun Lee¹,

Jung Seo Lee¹, Ji Won Oh¹, Min Jin Kim¹

¹아주대학교 기계공학과

Key words : Power Strip, Assist Dvice, Kinematic, Auto Alignment

*발표자, #교신저자

다양한 전자기기를 사용하는 현대인의 책상에는 멀티탭이 필수적이다. 멀티탭은 일반적으로 미관이나 공간 활용의 이유로 책상 하단과 같이 눈에 잘 띄지 않는 사각지대에 위치하게 된다. 이런 환경은 사용자가 플러그를 멀티탭에 체결할 때 과도한 허리굽힘이나 반복적인 손목짓힘과 같은 불쾌한 경험을 유발한다. 본 보조장치는 이와 같은 불편함을 개선하기 위해 개발하였다. 기존 멀티탭에 부착하여 사용할 수 있게 1구 어댑터 형상으로 제작하였으며, 기구학적인 정렬 및 회전 메커니즘을 이용한 자동정렬 기능을 제공한다. 사용자는 단순히 플러그를 보조장치에 밀어 넣는 것만으로 플러그 체결을 완료할 수 있으며 이는 일상생활의 불편함을 해소시켜줄 것으로 기대된다.

아라미드 나노 섬유 - 지르코니아 기반 고내열 재난드론용 보호 아머 개발 Development of Heat-Resistant Protective Armor for Disaster Response Drones Using an Aramid Nanofiber-Zirconia Composite

*이윤서¹, 김현진¹, 최정진¹, #김현찬¹

^{*}Youn Seo Lee¹, Hyun Jin Kim¹, Jung Jin Choi¹, #Hyun Chan Kim(hyunckim@kumoh.ac.kr)¹

¹국립금오공과대학교 기계공학부

Key words : Aramid Nanofiber(ANF), Zirconia(ZrO₂), Disaster Response Drone

^{*}발표자, #교신저자

최근 산불 등 고온 재난환경에서 기존 드론 외장재인 Nylon과 CFRP는 열변형 및 기계적 성능 저하로 임무 지속성에 한계를 보인다. 본 연구에서는 이를 개선하기 위해 아라미드 나노섬유(ANF), 아라미드 펄프, 지르코니아(ZrO₂)를 활용한 고내열 복합 보호 아머를 제안하였다. 세 재료를 볼밀 혼합, 재양성자화 핫프레스 공정으로 제조하여 균일 분산과 고밀도 구조 형성을 유도하고자 하였다. 제안 구조는 고온 환경에서의 형태 안정성과 기계적 신뢰성 향상을 통해 재난드론의 임무 지속성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

후기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00353023).

엣지 컴퓨팅 기반 YOLO를 활용한 사족보행 담배꽂초 수거 로봇 Edge-based YOLO Quadruped Robot for Cigarette Butt Collection

김동현¹, 정이삭¹, *이현준¹, 이종화¹, 노경언², 정성현³, 박수아⁴, #이경창¹

Dong Hyun Kim¹, I Sak Jeong¹, *Hyun Jun Lee¹, Jong Hwa Lee¹,

Kyung Eon Noh², Seong Heon Jeong³, Su A Park⁴, #K. C. Lee(gclee@pknu.ac.kr)¹

¹국립부경대학교 제어계측공학전공, ²기계공학전공, ³에너지화학소재공학전공, ⁴휴먼바이오융합전공

Key words : Quadruped Robot, Object Detection, Edge Computing, SLAM

*발표자, #교신저자

본 연구는 도심 내 담배꽂초 무단 투기 문제를 해결하기 위해 YOLO 객체 인식과 엣지 컴퓨팅을 활용한 4족 보행 수거 로봇 시스템을 제안한다. 기존 로봇이 접근하기 힘든 좁은 지형에서의 유연한 이동과 도심 경관과의 조화를 위해 4족 보행 플랫폼을 채택하였다. 임베디드 환경에서 YOLO 알고리즘으로 꽂초를 실시간 탐지하고, 릴레이 제어와 연동하여 진공 흡입 수거를 자동 수행한다. 실험 결과, 안정적인 탐지 및 수거 성능을 검증하였으며, 향후 지능형 스마트 미화 로봇으로의 확장 가능성을 확인하였다.

1. 서론

공원은 산책과 휴식 등으로 사람의 밀집도가 높은 공간이므로, 로봇은 사람과 가까운 거리에서도 안전하고 자연스럽게 공존할 수 있어야 한다. 또한, 기존 바퀴형 청소 로봇은 평탄한 지형에서는 효율적이나 협소 공간 및 험지 접근에 한계가 있다. 이를 극복하고자 본 연구는 다양한 지형에서 안정적인 수거가 가능할 뿐만 아니라, 사람들에게 친밀감을 주어 도심 환경과 자연스럽게 어우러지는 강아지 형태의 4족 보행 로봇을 자율 수거 플랫폼으로 제안한다.

2. 시스템 구성 및 제어 메커니즘

2D LiDAR와 SLAM을 활용해 주변 환경을 실시간으로 맵핑하고, 동적 장애물을 회피하는 안정적인 자율주행을 시간 탐지하며, 영상 내 흡입구의 표적 좌표와 꽂초의 위치가 구현하였다.

특히, 수거 성공률을 극대화하기 위해 전면 카메라를 진공 흡입기가 장착된 우측 다리 방향으로 하향 배치하였다. Jetson Orin Nano 기반의 YOLO 알고리즘으로 꽂초를 실일치하도록 로봇을 미세 기동하여 정렬한다.

결과적으로 조준 완료 시, 출력되는 제어 신호가 Arduino와 릴레이(Relay)를 거쳐 진공 흡입 모터를 즉각 가동하는 자동 연동 메커니즘으로 구현했다.



Fig. 1 YOLO Detection Fig. 2 System Process

3. 결론

본 연구는 딥러닝 객체 인식과 하드웨어 제어 기술을 통합하여 4족 보행 기반 지능형 담배꽂초 수거 로봇을 구현하고 안정적인 연동 성능을 검증하였다. 향후, 열화상 카메라와 연기·가스 센서를 융합하여 화재 발생 징후를 조기에 탐지하고, 공원 환경의 화재 예방까지 수행하는 다목적 순찰 로봇으로 발전시킬 계획이다.



Fig. 3 Mapping with Slam Fig. 4 Cleaning Robot

후기 본 논문은 지능형로봇혁신융합대학사업단에서 지원하여 연구하였음.

유성기어를 이용한 저전력 경량화 파라솔 설계 Design and Implementation of a Low-Power, Lightweight Parasol Based on a Planetary Gear Mechanism

*류원우¹, 박영균¹, 유상준¹, 김경민¹, 김동훈¹, #류성기¹

*W. W. Ryu¹, Y. G. Park¹, S. J. Yoo¹, G. M. Kim¹, D. H. Kim¹, #S. K. Lyu(sklyu@gnu.ac.kr)¹

¹경상국립대학교 기계공학부

Key words : Planetary Gear, Carbon Fiber Reinforced Plastic, BLDC Motor

*발표자, #교신저자

최근 지구 온난화로 인한 이례적인 폭염으로 야외 활동 시 온열 질환 예방을 위한 냉방 장치의 수요가 급증하고 있다. 그러나 기존 파라솔은 과도한 중량으로 인해 기동성이 낮으며, 휴대용 선풍기 우산은 낮은 풍량, 짧은 배터리 수명으로 인해 냉방 효율이 낮다는 한계가 있다.

본 연구에서는 CFRP(탄소섬유강화플라스틱) 소재와 유성기어 감속기 기반의 BLDC 모터 시스템과 유성기어 시스템을 결합하여 휴대성과 냉방 성능을 동시에 확보한 도심형 스마트 파라솔을 제안한다. 본 연구에서는 유성기어 메커니즘을 적용하여 모터의 회전수 대비 높은 토크를 확보함으로써 블레이드의 구동 효율을 극대화한 저전력 동력전달 시스템을 설계하였다. 개발된 스마트 파라솔은 개인 레저용(B2C)뿐만 아니라 지자체(B2G) 또는 건설현장(B2B) 등 다양한 아웃도어 환경에 즉각 도입이 가능할 것으로 기대된다.

후기 본 연구는 2024년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원(NRF-2024K2A9A2A06013274)에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

지능형 비전 기반 자율 순찰 모빌리티 개발 Development of an Intelligent Vision-Based Autonomous Patrol Mobility

*류예영¹, 송민경¹, 문지윤¹, 정채은¹, 이호¹, #이재욱¹

*Ye Young Ryu¹, Min Gyeong Song¹, Ji Yun Mun¹, Chae Eun Jeong¹, Ho Lee¹, #Jaewook Lee(jaewk95@knu.ac.kr)¹
¹경북대학교 스마트모빌리티공학과

Key words : Security Robot, Recurdyn, Vision Sensor

*발표자, #교신저자

1. 서론

사회적 안전망에 대한 요구가 증가함에 따라, 고정형 CCTV의 사각지대와 인력 순찰의 비효율성을 극복할 능동형 보안 솔루션의 필요성이 커지고 있다. 본 연구에서는 실시간 관제와 복합 상황 판단이 가능한 '지능형 자율 순찰 로봇'을 개발하여 이에 대응하고자 한다. 시스템의 신뢰성을 확보하기 위해, 설계 단계에서 Inventor 3D 모델링 기반의 디지털 목업기능을 활용하여 간섭 검증을 거쳤으며, 맞춤형 방진 브라켓과 고밀도 PCB 설계를 적용해 하드웨어적 구동 안정성을 극대화하였다. 제어 측면에서는 중간값 필터를 통해 노면 노이즈를 효과적으로 억제하고, Recurdyn 시뮬레이션으로 도출된 파라미터를 반영하여 주행 정밀도를 높였다. 최종적으로 본 로봇은 얼굴 인식 및 환경 센싱 시나리오를 통합 수행함으로써, 산업 현장의 보안 공백을 해소하고 고신뢰성 안전 관리 체계를 구축하는 데 목적이 있다.

2. 본론

IR LED, Phototransistor, mux, ic driver 등의 전자 소자들을 최소한의 공간에 배치하고, 자체 제작한 차량 프레임에 정확히 결합되고, 협소한 공간 내 센서 밀집으로 인한 전기적, 광학적 간섭을 방지하기 위해 소자 배치 및 배선 시 이를 고려하여 pcb를 설계하였다. 주행 시스템은 IR LED에서 조사된 적외선 반사량을 포토트랜지스터가 감지해 차량이 목표 경로를 정밀하게 따라가도록 구성하였다. 또한 트랙 내 주요 구간에서 얼굴 인식과 압력-온도계 상태 확인을 수행하기 위한 판단 및 제어 시나리오를 구축했다.

제어의 안정성을 확보하기 위해 초기 센서 캘리브

레이션을 수행하고, 노면 흠집이나 먼지로 인해 발생하는 극단적인 센서 노이즈는 중간값 필터(Median Filter)를 적용해 효과적으로 제거하였다. 최종적으로 가상 환경 시뮬레이션을 통해 센싱 데이터를 분석하고 차량 제어 알고리즘의 핵심 파라미터를 사전에 시뮬레이션함으로써 전체 시스템의 주행안정성을 확보하였다.



Fig. 1 Autonomous Patrol Mobility

3. 결론

3D 모델링과 Recurdyn 시뮬레이션을 연계 구축하였고, 시뮬레이션 상에서 주행 제어에 필요한 최적의 파라미터 값을 사전에 확보함으로써 개발에 소요되는 시간과 비용을 단축시킬 수 있었다. 또한 초기 캘리브레이션, 중간값 필터와 같은 소프트웨어적 신호 처리 기술을 융합하는 과정을 통해 정밀한 경로 추종을 수행할 수 있는 자율 순찰 로봇 플랫폼을 개발하였다.

후기 본 연구는 교육부 및 대구광역시의 재원으로 대구 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역 혁신 중심 대학 지원 체계(과제번호: 2026-RISE-03-001)의 결과입니다.

폐에너지를 활용한 수전해 기반 수소 에너지 생산 및 상태 진단 시스템
Design of an Electrolysis-Based Hydrogen Energy Production and Condition
Monitoring System Using Waste Energy

***양현성¹, 남궁길¹, 박승훈¹, 김재준¹, #하태광¹**

¹Hyeon Seong Yang¹, Gil Namgung¹, Seung Hun Park¹, Jae Jun Kim¹

#Tae Kwang Ha(hataekwang@chosun.ac.kr)¹

¹조선대학교 기계공학과

Key words : Water Electrolysis, Energy Storage System, Oxygen Generation, Monitoring System

*발표자, #교신저자

Waste energy in various facilities is often dissipated despite its recovery potential. Exhaust airflow from an outdoor unit contains recoverable kinetic energy typically released into the environment. This study proposes an electrolysis-based hydrogen generation and condition monitoring system utilizing waste wind energy. A small-scale wind turbine was designed, and several blade geometries were compared to identify the optimal configuration for efficient energy harvesting. The generated power was rectified, stored in an energy storage system (ESS), and supplied as a constant current to a water electrolysis cell for hydrogen production. A condition monitoring system was implemented to visualize key parameters such as power, stored energy, and hydrogen production in real time.

환자 반응 감응형 간병 로봇의 암 개발 Development of a Robotic Arm for Patient-Adaptive Caregiving Systems

*유준석¹, #김지연¹, 장우성¹, 이주현¹, 윤성현¹

¹Junseok Yoon¹, #Chiyen Kim(chiykim@kopo.ac.kr)¹, Wooseong Jang¹, Juhyun Lee¹, Seunghyeon Yun¹

¹한국폴리텍대학 청주캠퍼스 메카트로닉스과

Key words : Physical AI, Robot Arm, Caregiving System

*발표자, #교신저자

최근 고령화 사회로 인해 장기간 간병이 필요한 환자가 증가하면서 간병 인력 부족과 높은 간병 비용 문제가 사회적 문제로 대두되고 있다. 특히 장기간 침대에 누워 생활하는 환자는 스스로 자세를 변경하거나 물건을 사용하는 데 어려움이 있어 지속적인 간병 지원이 필요한 상황이다. 이에 본 프로젝트에서는 ICT 기술과 로봇 기술, 인공지능 기반 기술을 융합한 스마트 간병 로봇 시스템을 개발하고자 한다. 본 시스템은 환자의 자세를 보조하는 피지컬 AI 기반 자세 보조 로봇 Arm과 물품 전달을 위한 미니 SCARA 로봇 Arm으로 구성되며, LLM 기반 음성 인식 기술과 표정 classification 기반 영상 인식 기술을 통해 환자의 상태를 판단하고 로봇 동작을 제어하도록 설계한다. 이를 통해 환자의 생활 자립도를 향상시키고 보호자 및 의료진의 간병 부담을 줄이며, 의료 및 복지 분야에서 활용 가능한 지능형 간병 보조 로봇 시스템을 구현하는 것을 목표로 한다. 특히 본 논문에서는 환자 자세 보조 기능을 하는 간병 로봇 암을 개발하고 있으며, 피지컬 AI 기반 로봇 Arm을 이용하여 환자의 등과 허리를 지지하고 상체를 일으키거나 눕히는 동작을 보조할 수 있도록 환자의 음성, 얼굴 표정등을 감응하고 속도 보정, 긴급 복귀등의 환자 반응에 적응하는 로봇 암을 개발 하고 있다.

1. 서론

고령화 사회로 인해 장기 간병이 필요한 환자가 증가하면서 간병 인력 부족과 비용 문제가 심화되고 있다. 특히 침상 환자는 자세 변경과 일상 활동 수행에 어려움이 있어 지속적인 지원이 요구된다. 이에 본 연구에서는 ICT 및 인공지능 기술을 적용한 스마트 간병 로봇 시스템을 제안하며, 환자 반응에 적응하는 피지컬 AI 기반 자세 보조 로봇 Arm을 개발하고자 한다. 본 논문에서는 로봇Arm을 개발 하는 단계에서 Recurdyn에서 Digital Twin을 생성하고 Physical AI 모델링 학습 시스템 구현을 실험적으로 보여준다.



Fig. 1. Developing Robotic Arm for Patient- Adaptive Caregiving Systems

2. 본론

본 연구에서 개발하는 환자 감응형 간병 로봇 시스템은 Fig 1과 같이 크게 환자 자세를 보조하는 로봇 Arm과 물품 전달을 수행하는 SCARA 로봇 Arm으로 구성되며, 본 논문에서는 이 중 자세 보조 로봇 Arm 개발에 중점을 둔다.

해당 로봇 Arm은 환자의 등과 허리를 지지하여 상체를 일으키거나 눕히는 동작을 보조하도록 설계되었으며, 피지컬 AI 기반 메커니즘을 적용하여 환자의 신체 상태와 반응에 따라 유연하게 동작하도록 구현되었다. 이는 기존의 단순 자동화 장치와 달리 환자의 상태에 적응하는 순응형 제어 시스템을 특징으로 한다.

또한 본 시스템은 LLM 기반 음성 인식 기술을 활용하여 환자의 명령을 인식하고, 영상 기반 표정 인식 기술을 통해 환자의 상태를 분석한다. 이러한 멀티모달 인식 기술을 통해 환자의 의도를 파악하고 로봇 Arm의 동작을 제어함으로써 보다 직관적이고 안전한 간병 보조가 가능하도록 설계하였다.

특히 본 연구에서는 환자의 반응을 고려한 기능으로 다음과 같은 요소를 구현하였다.

- 환자의 음성 명령 및 표정 변화에 따른 동작 제어
- 동작 중 환자 상태에 따른 속도 보정 기능
- 이상 상황 발생 시 즉시 복귀하는 긴급 복귀 기능
- 이를 통해 로봇 Arm이 단순 반복 동작이 아닌 환자의 상태에 적응하는 지능형 보조 장치로서 기능

이러한 기능 구현을 위해 본 연구에서는 Recurdyne 을 사용하여 간략한 scara robot arm을 물리계 모델링하며, LLM을 사용한 음성 기반 명령을 통해 좌표 이동과 궤적 생성 및 학습을 구현한다.

3. 결론

본 논문에서는 고령화 사회에서 증가하는 간병 수요에 대응하기 위해 환자 감응형 간병 로봇 Arm을 설계 및 개발하였다. 제안된 시스템은 피지컬 AI 기반 메커니즘과 LLM 기반 음성 인식, 표정 인식 기술을 융합하여 환자의 상태를 인식하고 이에 적응하는 지능형 간병 보조 기능을 제공한다.

특히 환자의 등과 허리를 지지하여 상체 움직임을 보조하는 로봇 Arm을 구현하고, 환자의 반응에 따라 속도를 조절하거나 긴급 상황 시 복귀하는 기능을 통해 안전성과 실용성을 향상시켰다. 또한 RecurDyn을 활용한 Digital Twin 기반 모델링을 통해 로봇 동작의 효율적인 설계 및 검증이 가능함을 확인하였다.

후기 본 과제(결과물)는 2026년도 교육부 및 충청북도의 재원으로 충북RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다.(2026-RISE-11-016-01)

REFERENCES

1. Thakur, A., "Physical AI for Powering the Next Revolution in Robotics," *Journal of Mechanisms and Robotics*, 2025. DOI: 10.1115/1.4070122.

시나리오 기반의 멀티모달 자율주행 다목적 농용 운반차 개발 Development of Multi-Modal Self-Driving Agricultural Mobility Based on the Scenario

*오승욱¹, 이상민¹, 이강욱¹, 이대성¹, 배정민¹, #이충호¹

^{*}Seung Uk Oh¹, Sang Min Lee¹, Kang Uk Lee¹, Dae Sung Lee¹, Jeong Min Bae¹,

Choong Ho Lee(leech@jj.ac.kr)¹

¹전주대학교 산업공학과

Key words : Multi-Modal Sensor Fusion, Self Driving Agricultural Mobility, Scenario, ROS2

본 과제에서는 자율주행 다목적 농용운반차 개발을 모듈형의 주행 및 제어장치인 시나리오 기반의 SLAM 기반 지도 작성과 Nav2 경로 계획이 가능하도록, LiDAR, IMU, Depth 카메라 및 YOLO 모델을 활용하여 정밀한 위치 인식과 장애물 감지를 수행할수 있는 제어기를 개발하였다. 실제 환경의 지도를 작성하고 자율 주행 경로를 구성하여 Navigation 성능을 검증하였다. 또한 아루코(Aruco) 마커 인식을 통해 농용운반차의 위치를 실시간으로 추적하고, 이를 웹(Web) 환경에서 시각화하여 정보를 확인할수 있다. 이 과정에서 자율주행 기능뿐 아니라 원격제어와 모니터링 기능이 결합된 통합형 플랫폼으로 발전시켜, 다양한 작업에서의 안전성과 편의성을 동시에 확보하였다. 제안된 플랫폼은 모듈형식으로 개발되어 다양한 형태의 농용 운반차 모빌리티 플랫폼에 적용 가능하며 모듈 교체를 통해 물류 운송, 소형 배달, 방역 및 안내 서비스 등으로 활용할 수 있다.

1. 서론

국내 농업 노동력 감소 및 고령화가 심화 되어 농작업 자동화·기계화 필요성 증가하고 있다. 노동력 의존도가 높은 운반·물류 작업은 자동화가 가장 시급한 분야로 농업 노동 강도 완화 및 생산성 향상을 위해 자율주행 기반 물류 자동화 솔루션 도입 필요하다. 멀티모달 센서 융합, 인공지능(AI), 음성 및 모션 인식, LiDAR, UWB 등의 핵심기술을 활용한 지능형 비정형 노지 궤도형 운반 차는 다양한 용도로의 활용이 필요하므로 구동부와 제어장치를 모듈로 제작하여 다양한 형태의 운반차에 적용하는 플랫폼 기술은 인간-로봇 상호작용 협업(HRI)을 기반으로 시나리오 기반의 주행방법을 도입하면 활용도가 높아질수 있을 것이다.

2. 연구내용

본 연구개발과제는 장애물 회피 및 자율주행은 LiDAR와 YOLO기반의 AI 알고리즘을 활용한 지능형 충돌 회피 시스템을 도입하였으며, 멀티모달 센서 융합으로 LiDAR, 카메라, 초음파 센서 등을 활용해 주변 환경을 실시간으로 인식하고 AI 기반 작업자 인식 및 추종이 가능한 다수의 작업자 중 특정 작업자 선택해 7미터 이내로 간격을 유지, 동행 주행을 가능하도록 설계하였다. 그림1과 ROS2 플랫폼을 기반으로 하드웨어와 소프트웨어 간의 연동을 통해 이송 로봇이 임무를 수행할 수 있도록 센서 시스템 구축하고 Python으로 작성된 코드(Modbus 통신(RS 485)) 연동, 키보드 & 조이스틱을 이용한 주행, 모션/음성 수집 및 라벨링을

통해 학습용 데이터 셋을 구축하는 연구를 수행하였다. 또한 멀티센서 융합을 통해 자율주행, 작업자 추종과 제어모드에 따라 원격제어 및 자율주행 모드 변경 가능하도록 설계하였다.

3. 결론

본 연구에서는 무한궤도 방식의 지능형 운반 로봇의 하드웨어 장치개발을 수행하였으며, 향후 실외 노지 환경에서의 실증 포장시험 계획을 수립하고 있으며 개발한 플랫폼을 이용하여 1차적으로 모사환경에 대한 실증을 통해 경로인식과 장애물회피를 2차적으로는 멀티센서 융합 시나리오에 의한 자율주행검증실험을 수행할 계획이다.

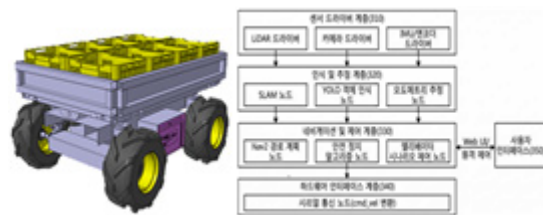


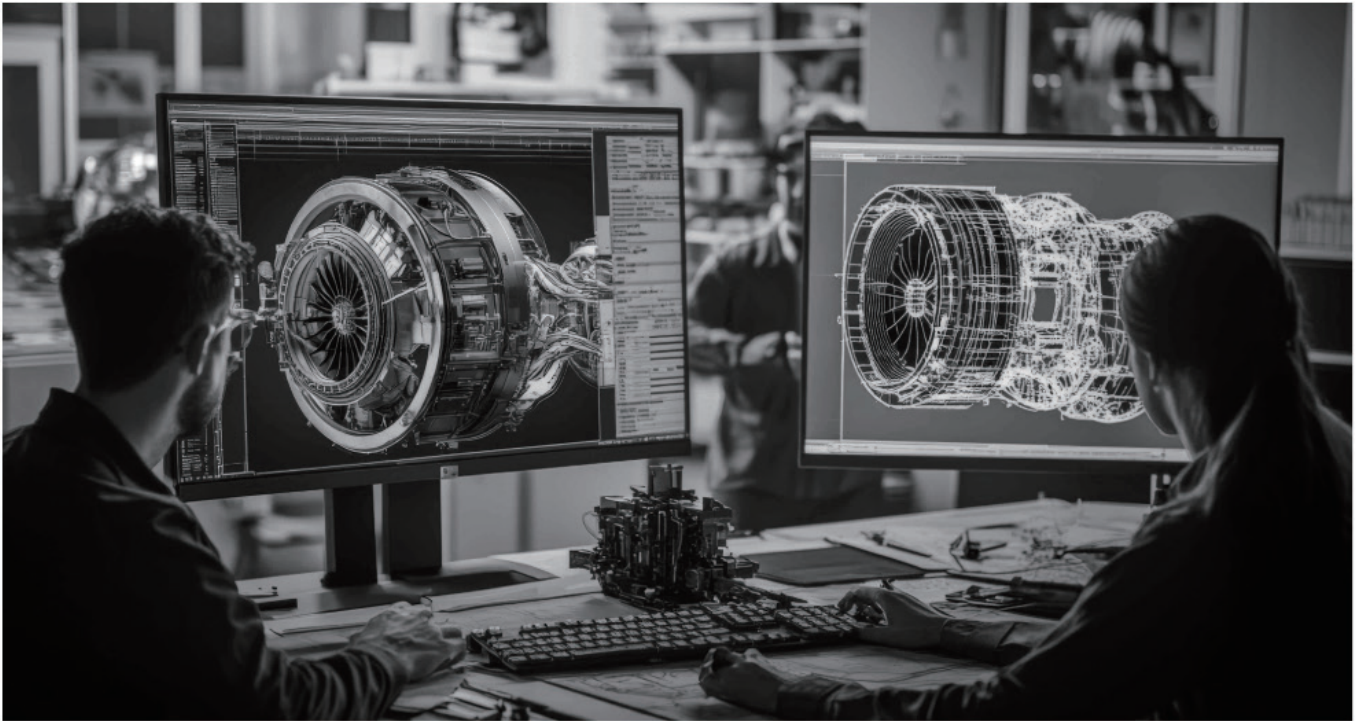
Fig. 1 Agricultural mobility and ROS2 architecture

후기

본 과제(결과물)은 2025년도 교육부 및 전북특별자치도의 재원으로 전북 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심대학지원체계(2025-RISE- 13-JJU)와 2026년도 지역혁신 클러스터육성(비R&D) 사업(계약 랩)수행으로 인한 결과임을 밝힙니다.(P0024167)

DX·AX·교육, 모든 영역의 디지털 인사이트를 제공합니다.

(No.1) 디지털 인사이트



Digital Twin Solution

디지털 트윈 솔루션 사업

다쏘시스템의 핵심 솔루션 (CATIA, DELMIA, Dymola, DIOTA)을 기반으로 3D 모델링, 시뮬레이션 및 XR 콘텐츠를 개발하여 공간적·시간적 한계를 극복하고 운영 효율성과 디지털 인사이트를 향상시키는 혁신 가치를 제공합니다.

AI Solution

AI 솔루션 사업

(주)디인사이트의 AI 솔루션은 딥러닝 기반 ROM(Reduced Order Model) 및 PINN(Physics-Informed Neural Network) 기술을 활용하여 복잡한 물리현상을 실시간으로 예측하고, 다양한 산업분야에서 신속하고 정밀한 의사결정을 지원합니다.

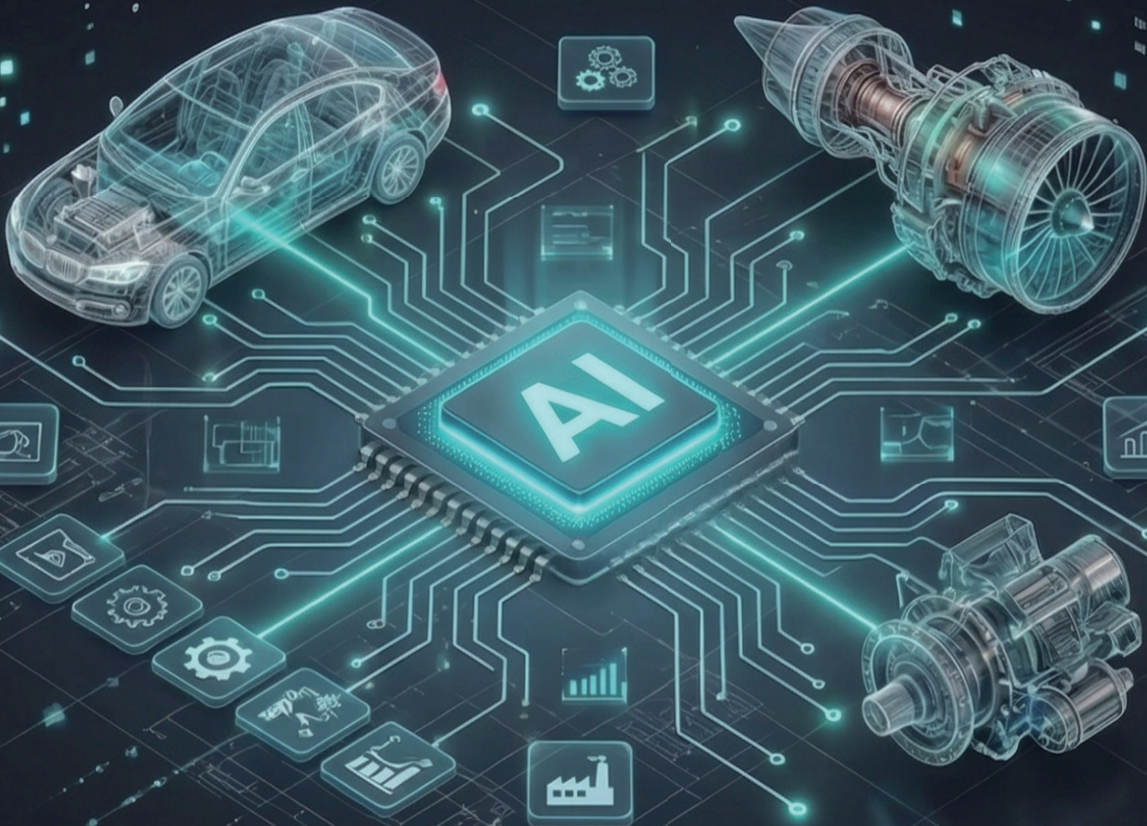
Education

교과개발 사업

다쏘시스템의 솔루션을 기반으로 이론과 실습 강의를 제공하여 기초 지식은 물론 솔루션 사용 방법에 대한 기술을 효과적으로 전달하며, 이를 통해 산업체 취업 이후에도 솔루션을 능동적으로 활용할 수 있는 핵심 인재를 양성합니다.

Virtual Twin 기반 시뮬레이션 혁신

설계부터 해석 · 생산 · 운영까지 하나의 플랫폼으로 연결



3DEXPERIENCE · CATIA · SIMULIA · ENOVIA



Virtual Twin + PLM

제품 설계부터 생산까지
3DEXPERIENCE 기반
통합 플랫폼 구축



Virtual Turin + PLM

설계와 해석을
하나로 연결



AI/Data Intelligence

데이터 기반 의사 결정

부산대 하이브리드 제조혁신 엔지니어링 센터

PNU Hybrid Innovative Manufacturing & Engineering Center

기계제조분야 핵심연구지원센터

숙련된 경험과 노하우로
대학·기업 연구에 필요한 맞춤형 제작, 가공, 정밀측정 서비스 제공

PNU-HIMEC

Since **2021**

대학 연구지원



장비공동활용

공동 연구 수행

가공실습 교육진행

연구용 시작품 제작 서비스



시작품 · 지그 제작 및 측정분석 기술 서비스

접수담당자 : 강재영 ☎ 051) 510-3793

산업 연구지원



기업체 제조혁신 산학연구 지원

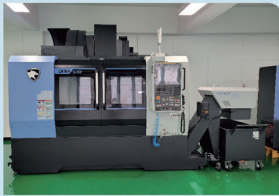
벤처기업 시작품 · 초도품 제작

최신 제조기술 개발지원

산업체 인력 교육

주요 이용 장비

가공 장비군



- 01 DN 머시닝센터
- 02 DN 터닝센터
- 03 CNC 머시닝센터
- 04 머시닝센터
- 05 산업용절단기

- 06 CNC 슈퍼드릴
- 07 CNC 밀링머신
- 08 WIRE 방전가공머신
- 09 CNC 선반머신
- 10 평면연삭기

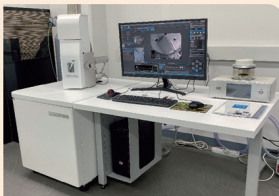
성형 장비군



- 01 금속 3D 프린터 (SLM 280)
- 02 금속 3D 프린터
- 03 플레이트압연기
- 04 유압프레스
- 05 레이저직접금속성형시스템

- 06 사출성형기
- 07 동적재료시험기 및 성형기
- 08 5축 필라멘트 와인딩시스템
- 09 3D 프린터
- 10 박판성형용 가변성형장치

측정 장비군



- 01 주사식 전자현미경
- 02 만능재료시험기(압축)
- 03 X-선 단층촬영장치
- 04 X-선 투시검사장치
- 05 휴대용 제품정밀도 측정기

- 06 마이크로 경도 측정기
- 07 주사탐침현미경
- 08 충격센서
- 09 비접촉대구경 레이저 간섭계
- 10 광학식 3차원 스캐닝 시스템

장비 사용안내

- 1 ZEUS 장비활용 종합포털 접속 (www.zeus.go.kr)
- 2 ZEUS QUICK 메뉴 중 "핵심연구지원센터" 클릭
- 3 기계소재 부산대 하이브리드 제조혁신 엔지니어링 센터 클릭
- 4 장비 검색 후 원하는 장비 선택
- 5 장비 활용

지능형로봇 혁신융합대학 사업단 (SHARE School) SHared AI-Robotics Education school



대학간·학과간 장벽을 초월하는 국가단위 지능형로봇분야 혁신융합교육을 위한 지능형로봇 혁신융합대학 사업 추진 체계 구성 및 운영

지능형로봇 혁신융합대학 협력체계

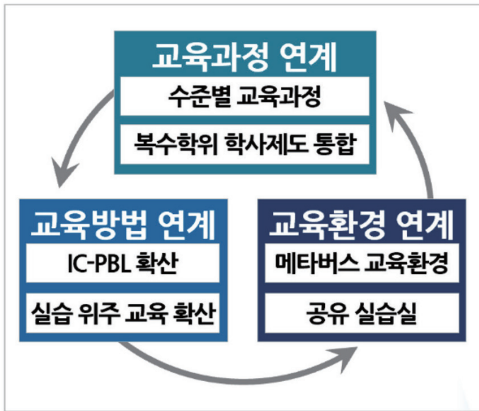
- 교육과정/방법/환경의 균형 있는 연계 협력체계 구축

지능형로봇 혁신융합대학 컨소시엄 구성

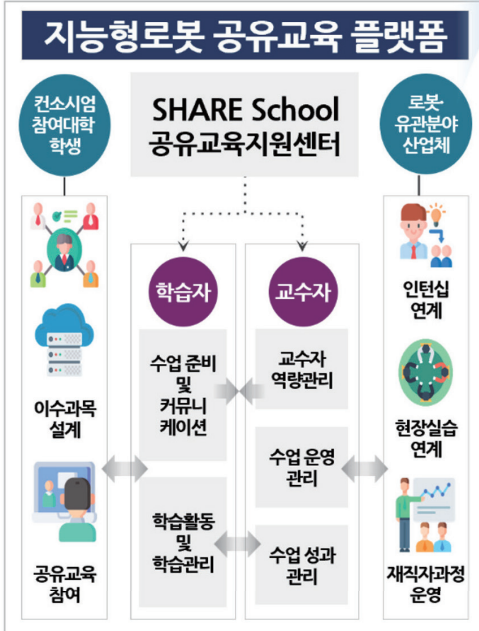
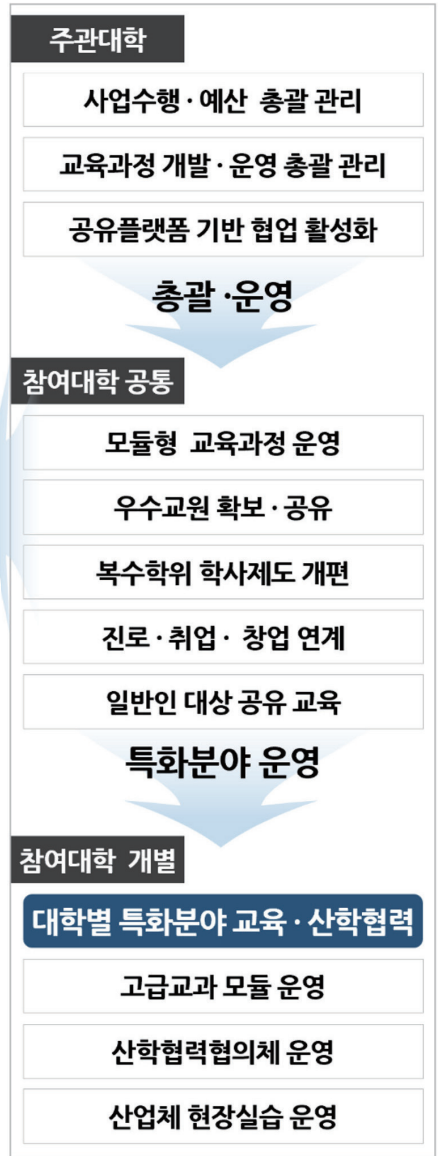
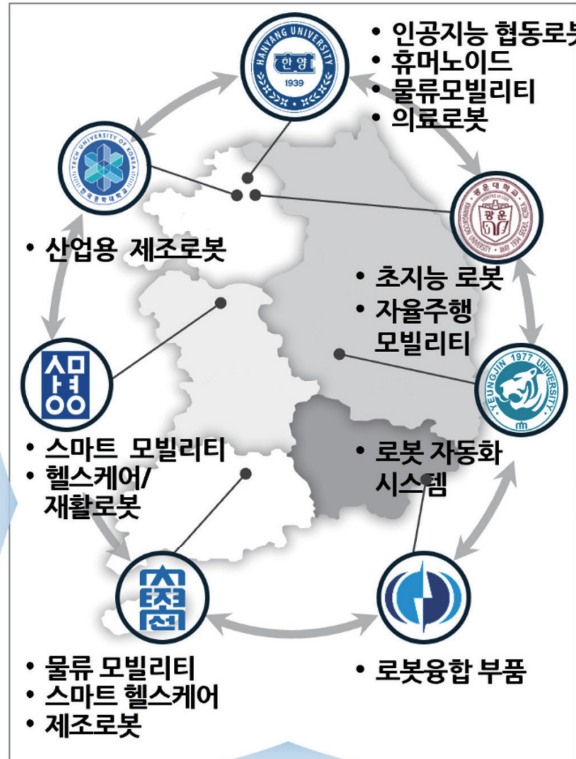
- 수도권·비수도권 동일 균형 비율
- 지역 특화 산업과 연계한 컨소시엄

지능형로봇 혁신융합대학 역할분담

- 주관대학이 총괄·운영하며 지역 특화산업과 연계한 역할분담



- 공유교육 플랫폼을 통한 공간을 초월한 협력체계 구축



국가 규모의 지능형로봇 분야 혁신공유교육을 위한 참여대학의 역량 총집결

<p>대규모 실감형 비대면 교육 환경 (텔레프레즌스)</p>	<p>지역산업 수요 맞춤형 현장 교육 (지산학 프로젝트)</p>	<p>실무중심 종합설계 교육 (WE-MEET)</p>	<p>현장연계형 실습 교육 (산업연계 현장실습)</p>	<p>지능형 로봇 분야 특화 교육 모델</p>	<p>융합 전공 연계형 산학협력 교육모델</p>
---	---	---------------------------------------	--	-------------------------------	--------------------------------

중견기업-지역혁신 얼라이언스센터

연구개발

고부가가치의 대형 금속적층 형상물 제작을 위한 데이터베이스 및 시뮬레이션, 디지털 트윈 및 후가공 공정 & 디지털 얼라이언스 전문인력 양성

주관기관



위탁

- 엔드밀공구개발및제작기업
- 소형원전 SMR 부품 제작 업체
- 적층 후속 가공 공정 연구 및개발

국립창원대학교

- 금속적층 원천기술보유 및 연구 개발
- 적층물 가공 및 공구개발 기술 연구
- 디지털 트윈 기술 연구 개발
- 기업 맞춤형 인력 양성 프로그램 개발

피케이벨브

- 금속 3D 프린터를 이용한 중공업 부품개발 기업
- 항공·우주, 방산 부품 제작 업체
- 대형 금속 시제품 적층 및 검증

공동연구개발기관

인력양성

구분 지원자격

석사과정

- 국내·외 대학에서 학사학위를 취득(예정)한 자
- 기타 법령에 의하여 위와 동등하거나 그 이상의 학력이 있다고 인정된 자

박사과정

- 국내·외 대학원에서 석사학위를 취득(예정)한 자
- 기타 법령에 의하여 위와 동등하거나 그 이상의 학력이 있다고 인정된 자

석·박사 통합과정

- 국내·외 대학에서 학사학위를 취득(예정)한 자 또는 법령에 의하여 이와 동등 이상의 학력이 있다고 인정된 자로서, 지원학과 지도교수의 추천을 받은 자

1



스마트제조융합
협동과정 대학원 입학

2



얼라이언스 트랙 학생 모집
석박사 선발시 트랙 참여학생 선발 및 해당 기업 취업 희망자 선발

3



트랙 이수
해당트랙의 지정 교과목을 포함한 트랙 교육과정 이수

4



얼라이언스 공동연구 참여
공동R&D를 통해 실무프로젝트 수행

5



현장실습 및 인턴십
트랙이수학생은 현장실습 및 인턴십을 통한 현장실습 교육 연계

6



취업
트랙이수를 완료한 맞춤형 인력은 해당 기업으로 취업

❖ 비전 및 목표

창원국가산단 미래 50년 K-방산·원전·스마트제조 연구중심대학

3대 추진 전략

- 대통합 거버넌스 구축**
국립창원대 GAST + KERI + KIMS 연합, 도립거창대·남해대 통합
- DNA+ 특성화**
DNA+ 분야 특성화 및 인재 육성 초점중
- 3無 경계 고등교육**
교육, 학생, 교수 경계 허무는 혁신적 교육 모델

비전 (Vision) & 목표 (Goals)

창원국가산단 미래 50년 K-방산·원전·스마트제조 연구중심대학

목표
창원국가산단 2.0 실현, 매출 80조원 달성, DNA+ 인재 1,000명 공급, K-DNA+ 한국 1위 대학 도약

추진 체계 및 지역별 거점 (UGN)

경남 전역 연결 UGN 체계로 지역 맞춤형 인재 양성

DNA란?

Defense(방산) Nuclear(원전) Autonomous(스마트제조/디지털전환)

8대 추진 과제 및 21개 세부 과제

1 연구 강화	2 지역 협력	3 특성화 집중	4 경쟁력 강화	5 인재 양성	6 무경계 교육	7 무경계 교수	8 글로벌 무경계
① 대학/연구소 연합거버넌스	② 1도-1국립대 UGN 모델 ③ 경남 UGRIC 체계 ④ 세계적 선도 모델	⑤ DNA+ 특성화 단과대 설립 ⑥ 우수학생 유치 ⑦ DNA+ 인프라 구축	⑧ GCIST 구축 ⑨ GCIST 운영	⑩ DNA+ 고급 인재 ⑪ DNA+ 기능 인재 ⑫ UGRIC 인재양성/글로벌 셀	⑬ 무연공 자율전공 ⑭ 융합물입교육 ⑮ P-R-C 지산학 공동교육 ⑯ 디지털배지 경력성장체계	⑰ 교수 구성체계 대학신 ⑱ 교수 역량 집중	⑲ 글로벌 얼라이언스 ⑳ 원스탑 국제교류 ㉑ G-Expert 시스템

인재 양성 트랙

- K-방산 기능 인재**
 - 남해-거창캠퍼스 재학
 - JA-1 명장교원 공동 지도
 - 방산기업 인턴십
 - 방산기능 자격증
- K-방산 고급 인재**
 - 창원캠퍼스 재학
 - JA-R, JA-I 교원 공동 지도
 - 방산·연구소기업 HoME
 - 방산분야 URP(국내)
- K-방산 글로벌 인재**
 - 방산 JA 교원 공동 지도
 - 방위산업융합전공
 - 방산기업 HoME
 - 글로벌URP → 창업

DNA+ 학생 및 교원 확보 계획

DNA+ 교원: 500명 확보

DNA+ 학생 (총 1,000명)

방산 230명 원전 180명 스마트제조 590명

❖ 기대효과

- 대학-정출연-산업체 간 연계 협력체계 고도화를 통해 공동 연구·교육 기반을 강화하고, 지역 주력산업과 연계된 과학기술혁신 역량을 제고
- DNA+ 특성화 분야 중심의 융합교육 및 연구 활성화를 통해 지역 정주형 고급 인재를 체계적으로 양성하고, 지역 내 인재 유출을 완화
- 통합 거버넌스 및 공유 인프라 운영을 통해 교육·연구 자원의 활용 효율성을 높이고, 대학 중심의 협력 생태계 구축
- 규제개혁 및 제도 개선을 기반으로 대학-정출연 간 인적·물적 자원 교류를 확대하여 지속 가능한 산학연 협력 모델 정착
- 교육·연구-산업이 연계된 선순환 구조를 구축함으로써 지역 주도의 혁신성장 및 과학기술 경쟁력 강화에 기여

❖ 국립창원대학교 글로벌대학사업단 8대 핵심 추진과제

국립창원대학교 글로벌대학 30 : 8대 핵심 추진과제

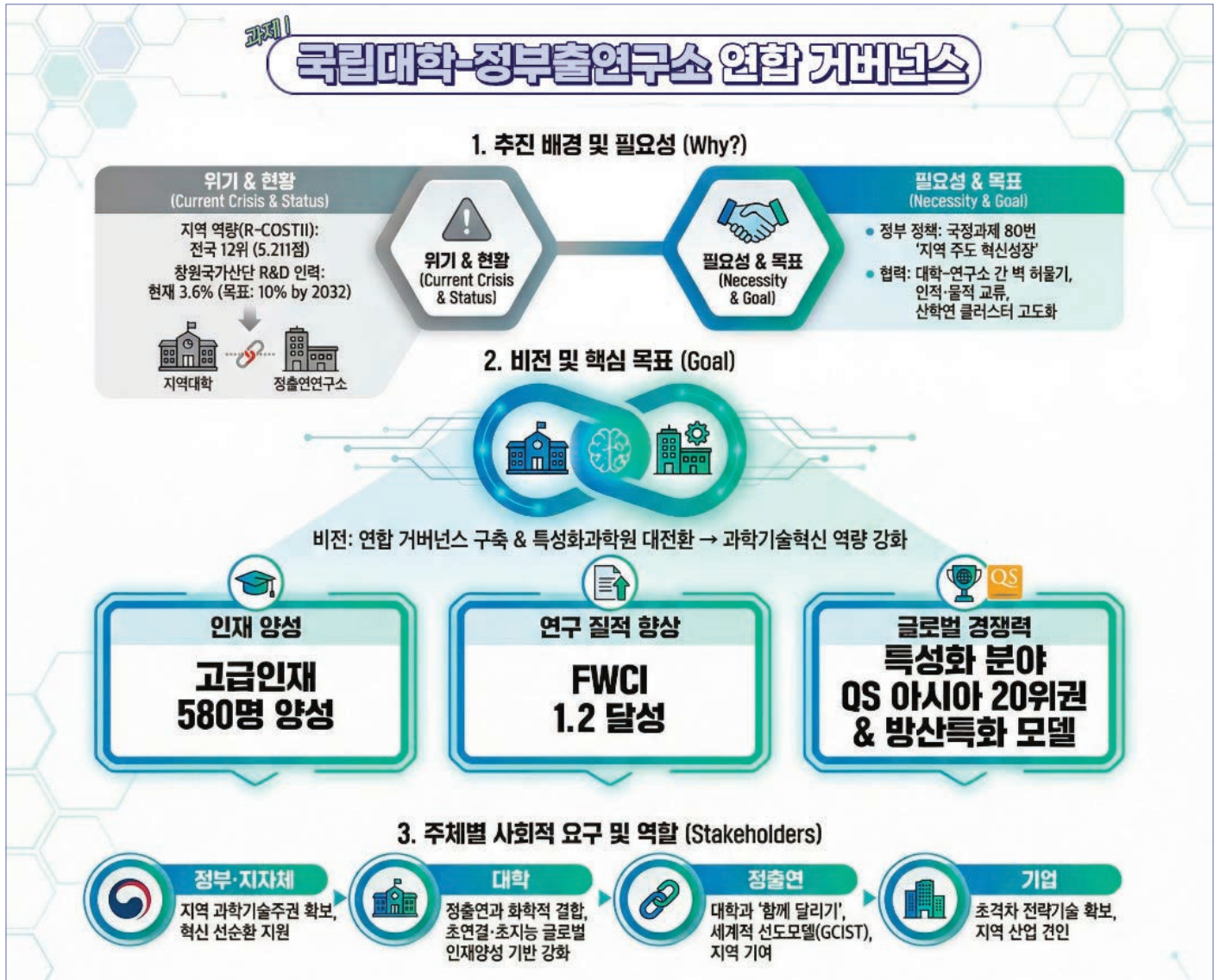
DNA+ 핵심 추진과제

경계를 넘어 지역과 함께 세계로, DNA+ 혁신 엔진 국립창원대



❖ 우수성과

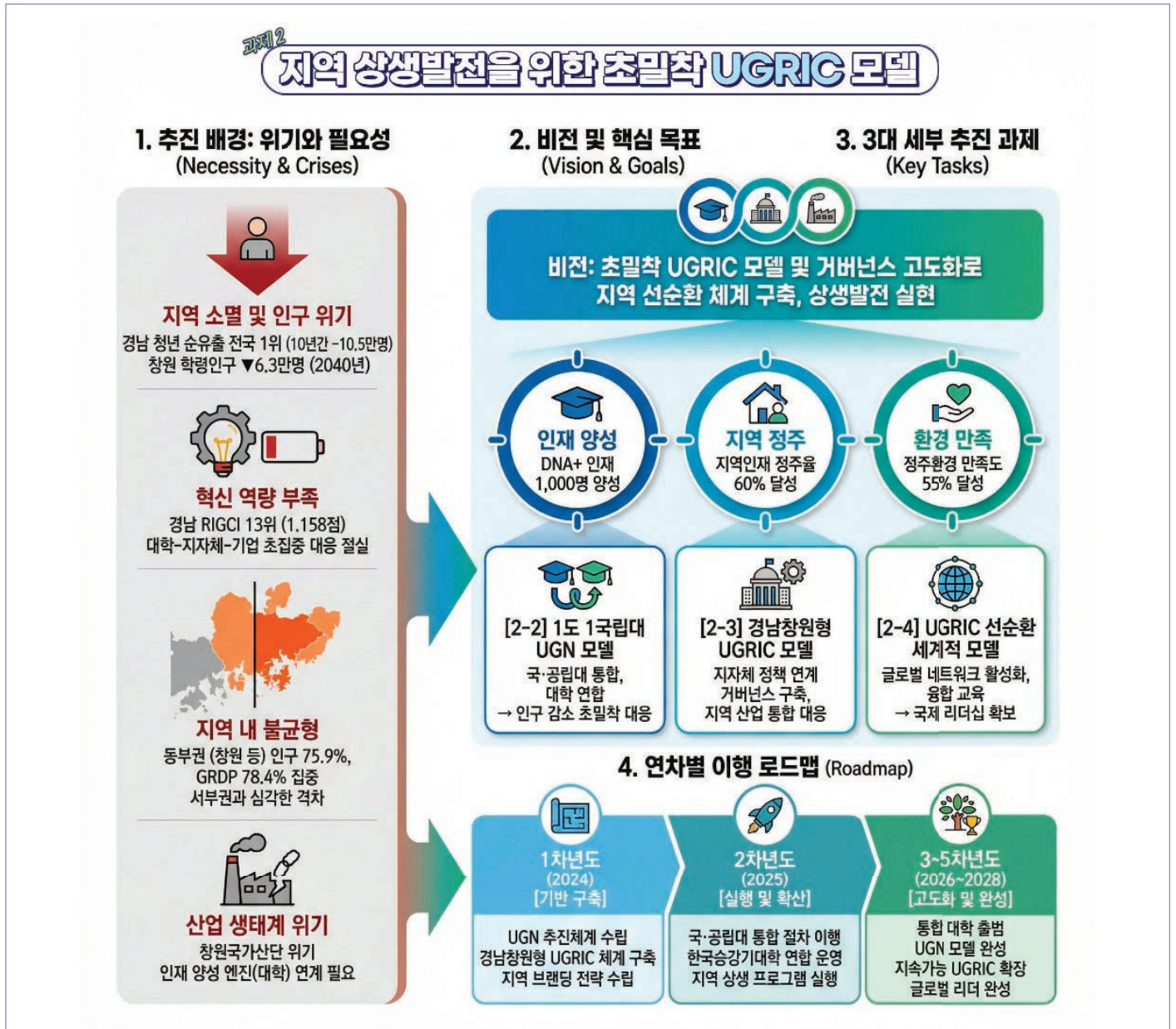
1. 국립대학-정부출연연구소 연합거버넌스 구축



- 대학-정출연 표준현장실습 선도모델 개발
 - 제 1·2기 KERI RESEARCH CAMP 실시
- 대학-정출연 공동 인력양성 체계 구축
 - DNA+분야 전문가 JA-R교원 임용 확대(2026.2.26.기준)
 - 임용현황: 44명[전기연(32명), 재료연(11명), 식품연(1명)]
 - 주요활동: URP프로그램 지도, 현장실습지도, 전공 및 융합전공과목 운영 등 DNA+분야 융·복합 인재양성을 위한 활동 수행

❖ 우수성과

2. 지역상생발전을 위한 초밀착 UGRIC 모델



- 국립창원대-도립거창대-도립남해대 대학통합 교육부 승인(2025.5.28.)
- 경남형 UGRIC추진위원회 출범식(2025.7.1.) 및 경남형 UGRIC 대학 MOU체결(2025.9.29.)
- 지역맞춤형 방위산업 인재양성을 위한 업무협력 체결(2025.12.17.)
- 경남창원형 UGRIC 모델 확산 및 지속가능한 지역사회조성을 위한 업무협력 체결(2026.1.8.)
- The 거창해 체인지메이커-거창한 상상, 거침없는 제안 프로그램 운영
- 청년중심 특화도시 조성을 위한 리빙랩 프로그램 운영
- (운영결과) 지역정주, 일자리, 복지 등 6개 분야 총 11개팀 운영 (국내 6팀 67명/해외 5팀 10명)
- 미래방산 융합인재 양성을 위한 통합대학 연합 캠프(2026.2.4.~6.)

3. DNA+특성화 첨단과학기술단과대학(GAST) 설립

과제 3

GAST: DNA+ 특성화 첨단과학기술 단과대학 설립

1. 추진 배경 및 필요성 (Why?)

지역 산업의 DX 및 인력난 해결

세계적 안보-에너지 수요 급증

국가적 정책 중심지 (창원)
K-방산-원전 지원 중심

지역 산업 인프라 (경남 창원)
방산·원전 국가산단, 최대 집결지

인력 공급 불균형

지역 주력 산업 2,410명 전문 인력 부족, 체계적 양성 시급

2. 비전 및 핵심 목표 (Goal)

지역 특화 고급 인재 양성

인재 유입 구조
DNA+ 최우수 학생 확보·지원

DNA+ 기반 특성화 단과대 설립

인프라 고도화
세계적 수준 첨단 교육·연구 인프라

지역사회 기반
학내 우수 역량 집중, 석·박사급 인재 배출

3. 세부 추진 과제 (What?)

핵심 과제 이행

3-2. GAST 단과대학 구성

참여학과 구성, 산학연 협업 인력 공급망

3-3. 우수학생 확보 및 지원

GAST 신입생 288명 모집

국내외 선진대학 공동·복수학위제

3-4. 교육 연구 인프라 구축

Mirror Lab

현장미러형(Mirror Lab) 실험실
세계 최고 수준 특화 연구실(HW/SW)

4. 연차별 이행 로드맵 (When?)

단계별 성장 계획

1차년도 (2024)
[신설]

2차년도 (2025)
[운영]

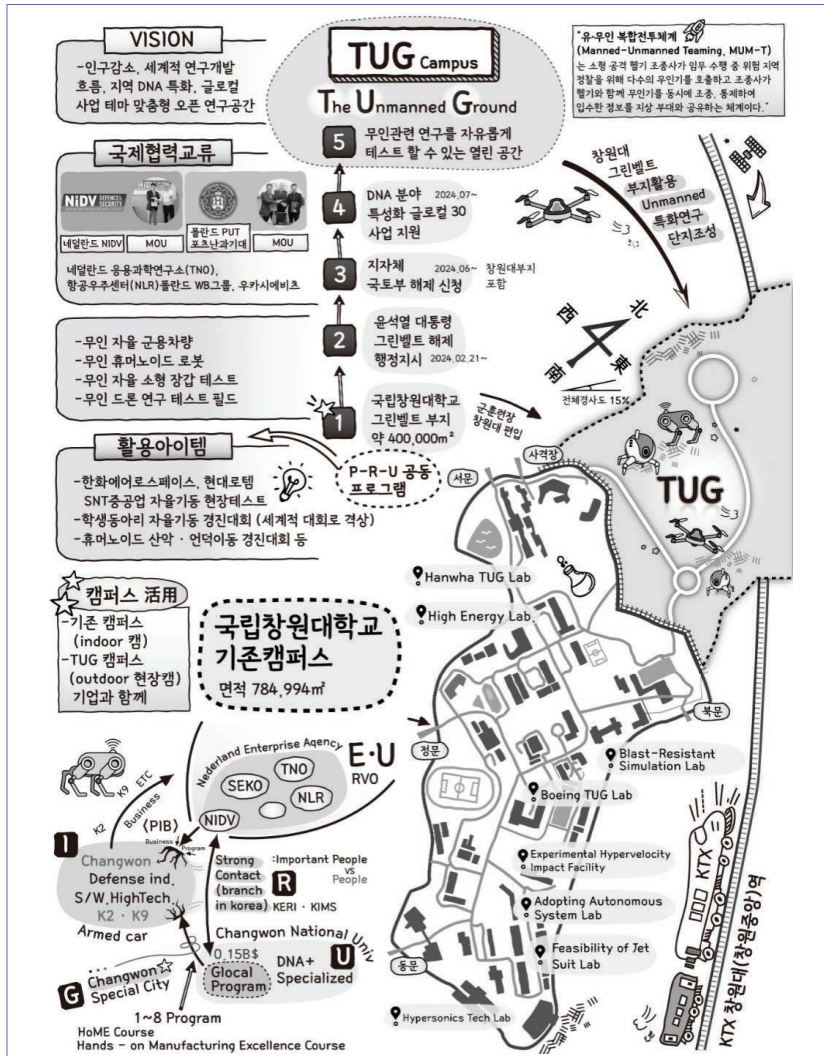
3~5차년도 (2026~2028)
[확산]

글로벌 첨단과학기술대학 (GAST) 신설
신입생 288명
현장미러형 실험실 구축

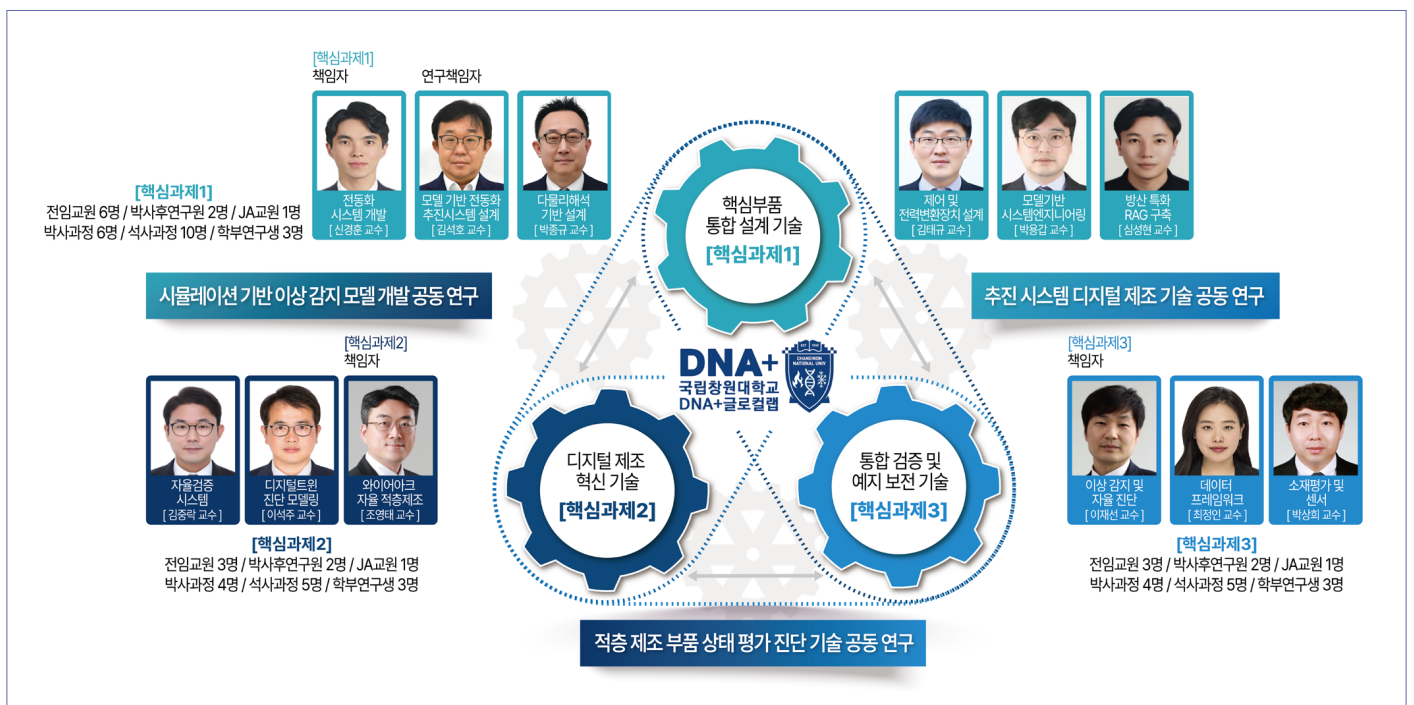
GAST 첫 신입생 입학
마이크로디그리
세계 최고 수준 특화 연구실

모집 정원 확대
1:1 AA(Academic Advisor) 구성
창업 인큐베이터실 구축

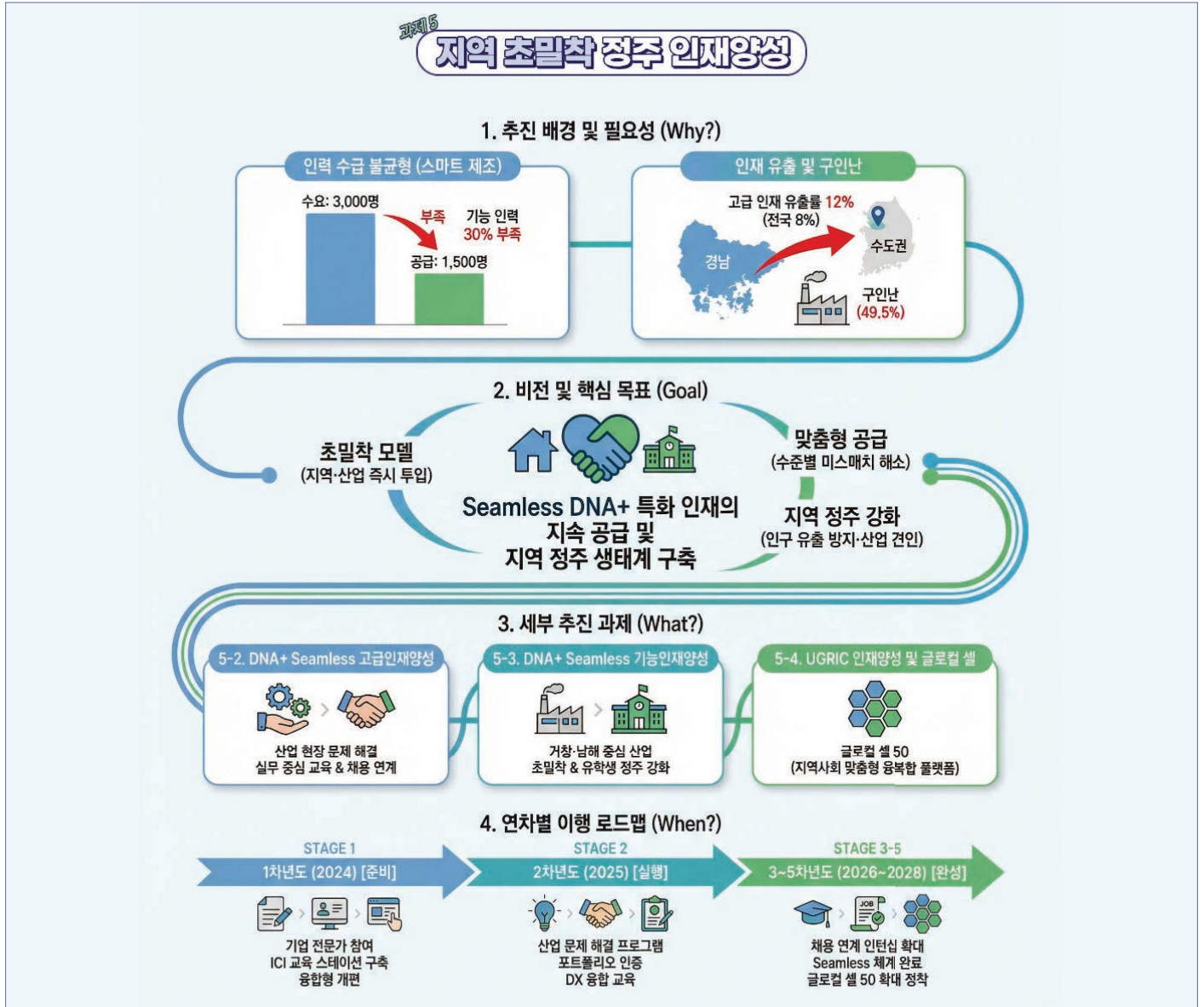
- **글로벌첨단과학기술대학(GAST) 구성 및 고도화**
 - 국립창원대학교 캠퍼스 구역을 무인 자율주행 테스트베드로 활용할 수 있는 DNA+특성화 TUG (The Unmanned Ground)아웃도어 캠퍼스 구축



- 경남유일 교육부 이공분야 학술연구지원사업 ‘글로벌랩 사업’ 선정
- 국립창원대DNA+연구소 주관 인공지능(AI) 기술 기반 방산 제조분야 제조혁신 선도
- 9년간 총 180억 지원



4. 지역 초밀착 정주 인재양성



▪ **지역산업 맞춤형 DNA+Seamless 고급인재 양성**

- 지역산업맞춤형 R&D 수행 및 인력양성
 - LG전자 에어솔루션 연계 산학공동R&D과제 20건 수행
 - PBL기반 교과목 개발(6건) 및 산업체 전문가 초청특강 운영
 - 첨단기술세미나(5건) 개최 및 공동장비활용(20회), 애로기술지원(10건)수행
- 대학-기업간 인프라투자를 통한 연구 및 인력양성 고도화 체계 구축
 - LG전자 연구 대응 투자액 총 10억원(연 2억, 5개년) 확보
 - 국립창원대학교 부지 내 글로벌 수준의 LG연구센터 건립

▪ **UGRIC 인재 양성 및 글로벌 셀: 지역사회 융복합 인재양성**

- 셀 기반 학생-교수 초밀착 프로젝트 수행(32개 과제 운영, 357명 참여)

2026

한국기계가공학회 추계학술대회

2026년 11월 25일 **수** ~ 11월 27일 **금**
제주 그랜드하얏트호텔

○ 안내사항

- ☑ **논문분야**
- 기계설계
 - 금형/절삭가공/연삭가공
 - 용접/특수가공
 - 열유체/유체기계
 - 시뮬레이션/최적화
 - 적층제조
 - 제어/자동화/소음진동
 - NANO/MEMS/미세가공
 - CAD/CAM/CAE

- ☑ **문의처** 한국기계가공학회 사무국
전 화) 053-581-2239
이 메 일) conf@ksmpe.or.kr
홈페이지) <https://ksmpe.or.kr>

주최 |  한국기계가공학회
THE KOREAN SOCIETY OF MANUFACTURING PROCESS ENGINEERS

주관 |   
KIMM 한국기계연구원 KOREAN INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS
COSS 지능형로봇 혁신융합대학사업단
금부경대학교
지능형로봇
혁신융합대학사업단


경상국립대학교
Gyeongsang National University

 국립창원대학교

후원 |  제주관광공사
JEJU TOURISM ORGANIZATION

 KITECH
한국생산기술연구원

 한국기계연구원
KOREAN INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

(사)한국기계공학회
2026년도 춘계학술대회 논문집

대구광역시 동구 동부로 22길 48 (신천동 292-6) 동대구 유성푸르나임 상가 207호
TEL. (053) 581-2239 FAX. (053) 581-2295 E-Mail. conf@ksmpe.or.kr
Homepage. <http://www.ksmpe.or.kr>
