

〈자체평가 보고서 요약문〉

중심어	스마트공장	디지털 제조혁신	교육혁신
	산학중심 교육	연구혁신	글로벌 인재양성
	대한민국 제조 도약	현장중심 인재양성	실사구시
교육연구단의 비전과 목표 달성 정도	<ul style="list-style-type: none"> - 본 교육연구단의 비전은 디지털 기술을 통해 급변하는 제조산업의 리더를 양성하는 것이다. 특히 글로벌 리더쉽을 갖춘 최고 연구자 육성을 위해 디지털 기술과 제조기술을 융합한 교육 및 첨단제조 교육-연구 환경을 구축하는 것을 목표로 한다. 본 비전과 목표 달성을 위해 2020년에는 다음의 사항들을 진행하였다. <ul style="list-style-type: none"> - 첨단제조 지능 연구실 구축 완료 및 관련 수업 개설 (2개과목 신설) - Top 저널 논문 게재 및 리더급 연구자 양성을 위한 도전 연구 수행 (학생이 1저자로 참여한 Top 저널 다수 게재 및 정량적 평가가 아닌 정성적 연구 평가 도입) - 국제 연구 리더쉽 확보 (국제학회 초청 기조연설 및 튜토리얼/워크샵 진행) 등을 수행하였다. 2020년 목표의 90% 이상 달성하였지만, 코로나 사태로 인해 국제학회 유치 및 국제 교류는 목표 대비 달성이 미흡하였다. 		
교육역량 영역 성과	<ul style="list-style-type: none"> - 2020년도 교육 부분 목표는 교육환경개선, 학생주도 Top저널 게재 지도, 신규 수업 개설이다. 대표 성과는 다음과 같다. <ul style="list-style-type: none"> - 제조 관련 수업 실험기반 플랫폼 완성 <제조 프로세스 혁신>, <공급사슬망 관리>, <스케줄링 이론 및 응용> 수업 활용 실험 기자재 구축 및 실험 환경 구축 - Top 저널 학생 1저자 (first author) 게재 및 저널 커버페이지 소개 (Cooperative zone-based rebalancing of idle overhead hoist transportations using multi-agent reinforcement learning with graph representation learning, Kyuree Ahn, Jinkyoo Park, IISE Transactions, Volume 53, 2021 - Issue 10, Published Online: 01 Feb 2021) - 기계공학과 산업공학 공동으로 스마트팩토리 관련 신규과목 개설 (생산공학특론<첨단지능 제조공학> (ME870), <스마트 제조 기술> (ME491)) 		
연구역량 영역 성과	<ul style="list-style-type: none"> - 연구영역의 성과는 다음으로 요약된다. <ul style="list-style-type: none"> - 참여교수 SCI/SSCI/SCIE급 논문 게재 실적: 45건 - 참여교수 학회 발표 실적: 11건 - 융합연구를 위해 기계공학과와 공동으로 연구센터 운영 추진체 마련 (첨단제조 지능 혁신 연구 사업 추진) - 중견연구 지원사업 2건 수주 (연구재단) 		
산학협력 영역 결과	<ul style="list-style-type: none"> - 산학협력의 대표 성과는 다음과 같다. <ul style="list-style-type: none"> - 22억 규모 연구센터 설립 - 한국엔컴퍼니 (구: 한국타이어 그룹)와 공동으로 연구 디지털 혁신 연구센터 수립 - 첨단 제조 분야 연구 육성 - 특허 4 건 등록 및 기술이전 1건, 연구소 기업 1건 창업 - 시너스텍 연구센터 기술 사업화 완료 (10억 규모 매출 기여) - 중소기업 지원센터 스마트팩토리 지원 사업 시행 기획 		
미흡한 부분 / 문제점 제시	<ul style="list-style-type: none"> - 코로나 사태로 인해 계획된 국제화 사업 및 국제 교류 사업을 진행하지 못했음 <ul style="list-style-type: none"> - 2020년 본 산업단이 추진하기로 한 ISMI 국제학회는 코로나 사태로 2022년으로 보류 - 국제 연구자 교류 계획 또한 코로나 사태로 다수 보류 - 국제 연구자 국내 초청 및 공동 연구 추진 일부 보류 		
차년도 추진계획	<ul style="list-style-type: none"> - 차년도 핵심 사업은 다음과 같다 <ul style="list-style-type: none"> - 학생 1저자의 Top 저널 게재 지속 추진 및 확대 - 20억 규모 연구센터 유치 - 글로벌 연구 리더쉽 확보를 위해 국제학회 초청 Keynote, Plenary talk, Tutorial/Workshop 확대 - 우수연구자 1명 이상 교원 유치 		

〈표 요약1〉 목표 달성도 요약

항목	세부 항목	세부 내용	추진 현황	차년도 추진 계획	핵심사항 및 대표 성과
BK 계획	교육	트라이앵글 수업 설계	기획완료 (2020년), 2021년 가을 <공급사슬물관리>, <물류관리> 수업 시범 적용 중	향후 2개과목 확대 추진 계획	<ul style="list-style-type: none"> - 제조 관련 수업 실험기반 플랫폼 완성 <제조프로세스 혁신>, <공급사슬물관리>, <스케줄링 이론 및 응용> 수업 활용 실험 기자재 구축 및 실험 환경 구축 - Top 저널 학생 1저자 (first author) 게재 및 저널 커버페이지 소개 (Cooperative zone-based rebalancing of idle overhead hoist transportations using multi-agent reinforcement learning with graph representation learning, Kyuree Ahn, Jinkyoo Park, IJSE Transactions, Volume 53, 2021 - Issue 10, Published Online: 01 Feb 2021) - 기계공학과 산업공학 공동으로 스마트팩토리 관련 신규과목 개설 (생산공학특론<첨단지능제조공학> (ME870), <스마트 제조 기술> (ME491))
		현장 밀착형 대학원 CO-OP 제도 운영	관련제도 정비 완료 - 2020년도 가을학기 3명 참여 - 2021년도 봄학기 5명 참여 - 2021년도 가을학기 3명 참여	참여 기업 및 인원 20% 확대 계획	
		실제 문제해결 중심의 실험 기반 수업 운영	<제조프로세스 혁신>, <공급사슬물관리>, <스케줄링 이론 및 응용> 수업 적용	실험기반 수업 추가 3개이상 확대 계획	
		제조 분야 TOP 글로벌 대학 교수 양성	Top 저널 학생 1저자 (first author) 3편 게재	Top 저널 학생 1저자 (first author) 3편 게재	
		제조 분야 TOP 저널 AE, Editor 5인 이상 배출	참여교수 Top저널 AE, Editor 현재 9명 참여	참여교수 Top저널 AE, Editor 9명 참여 계획	
		개설 예정 교과목 스마트 제조 자동화 R&E 사례분석 대학원 CO-OP	기획완료 (2021년 가을 개설) 개설 준비중 개설 완료	수업운영 개설완료 참여학생 확대	
	연구	Active learning 과목 20개 과목으로 확대	4개 과목 개설	8개과목 확대	<ul style="list-style-type: none"> - 참여교수 SCI/SSCI/SCIE급 논문 게재 실적: 56건 - 참여교수 학회 발표 실적: 11건 - 첨단 제조지능 혁신센터 개소 - 실험중심 연구 기반 마련
		기계공학-산업 및 시스템공학 공동 학부/대학원 수업 개설	기계공학특강 <스마트 제조 기술> (ME491) 공동 개설 (2020) - 생산공학특론<첨단지능 제조공학> (ME870) 공동 개설 (2021)	완료	
		Citation 100편 이상 논문 20편 이상	Top저널 게재 독려 및 문제풀이가 아닌 문제 정의형 연구로 전환 진행중 (졸업시 논문 게재 조건 철회 - 우수 연구 독려위한 방안)	첨단 산업분야 문제 정의 중심 연구 지속 독려	
		ISMI, IEEE CASE, AAAI, ICML 등 학회에 매년 논문 발표	56편 발표 (2020-2021상반기)	2020년도 대비 10%이상 발표건수 확대	
		석·박사 첨단제조 융합연구 도전과제 프로그램 지원	프로그램 기획 완료 및 2021년 상반기 첫 시행	시행 확대	
		박사과정 학생의 학위 논문에 디지털 제조혁신과의 관계를 나타내고 산업적용 검증하는 내용의 챕터 추가 의무화	계획 완료	시범적용 시행	
	산학	기계공학-산업 및 시스템공학 공동 연구비 조성 연구 활동	첨단제조지능 연구실 개소 (2020)	연구활동 확대	<ul style="list-style-type: none"> - 22억 규모 기업체 연구센터 수주 (한국엔테크놀로지) - 특허 4회, 기술이전 1회, 창업 1건 - 중견연구자 지원사업 2건 선정 (장영재, 문일철) - 원익 IPS 반도체 제조 연구센터 운영 - 중소기업 지원센터를 통한 스마트팩토리 기술 지원
		기계공학-산업 및 시스템공학 공동 연구센터 설립 추진	추진 완료	완료	
		100억원 규모 연구센터 유치	22억 규모 <한국엔테크놀로지 그룹 (구 한국타이어 그룹)>과 계약 체결	20억 규모 신규 센터 유치	
		산학과제 부가가치 총 400억 달성	시너스텍 연구센터 통한 기업 매출 10억 달성	중소기업 협의체 구성	
		기업가치 1000억원 이상의 졸업/교원 제조 솔루션 기업 창업	2개 기업 신규 창업	창업관련 세미나 시리즈 오픈	
		K-school과 연계하여 디지털 제조 기반 스타트업 창업 지원	기획 진행 중	K-school (카이스트 내 창업전문 과정) 협업 추진	
		기업체 대상 비학위 과정 운영	LG 그룹 과정운영	과정 진행 및 참여기업 확대	
		40억원 규모 기업 기술이전	특허 4건 등록	10억규모 기술이전	
		역인턴십 추진	한국엔테크놀로지 그룹 및 LG그룹 진행	과정 진행 및 참여기업 확대	

항목	세부 항목	세부 내용	추진 현황	차년도 추진 계획	핵심사항 및 대표 성과
	인력 유치	신임 교수 충원 3년 내 제조 기술 분야 3명 및 디지털 기술 분야 1명 2년 내 의사 결정 분야 1명	3명 신규임용 진행중	1명 추가 임용 추진	<ul style="list-style-type: none"> - 신규 임용 - 박찬영 교수 (21.03.22참여) - 이익항 교수 (21.04.01참여, 외국인) - 안정연 교수 (21.07.01참여)
		교육 연구단의 홍보 및 채용을 위한 인터뷰 연 2회 이상 진행	진행완료	추진	
		연 1회 1박 2일 워크샵 및 교류 행사 진행 신진연구인력 관련 해외 대학 및 연구소 공동으로 연구 기회 제공 취업 지원 대학원생 연구 지도 장려 제도 도입 현재 학과에서 운영 중인 스마트제조 관련 연구센터당 1명 이상의 연구교수 채용	워크샵 진행 (2020년 여름, 2021년 초) 코로나 사태로 해외 공동연구 추진 보류 취업행사 진행 공동연구 지도 추진 중 (연구센터 중심 참여 교수가 공동지도 추진) 추진중	추진 코로나 상황에 따른 계획 수정 필요 2020년 추진 사항 제도화 추진	
	국제화	국제 학회 2회 유치 참여 교수 국제학회 초청 기조연설(keynote, plenary speech), 초청튜토리얼/워크샵10회이상	코로나 사태로 보류 IEEE CASE 워크샵 1회 Ubiquitous 컴퓨팅 기조연설 1회	코로나 상황에 따른 계획 수정 필요 3회 추가	<ul style="list-style-type: none"> - 해외대학 복수 학위 운영 - 수여자: (INSA Lyon 2명, TU Eindhoven 1명) - 해외 연구자 유치 - 1년 체류 (연구재단 연구비 유치 - 2021년도 해외우수과학자유치사업 “스마트 공장 물류 자동화를 위한 신경망 기반 하이브리드 조합적 최적화 기술 개발”, 196,237,000원) - 국제 활동 <ul style="list-style-type: none"> - 국제학회 및 학술대회 활동 (좌장, 위원회 등) 11회 - 국제학회 수상 실적 2회 - 국제학술지 Editor 활동 15회 - 국제 저술 활동 2회 - 국제 공동 연구 실적 9회 - 연구자 교류 실적 및 계획 12회
		국제 공동지도 해외대학 복수 학위제 해외 인턴쉽 국제학위 논문심사	기획 완료 (카이스트 - 이탈리아 폴리텍 공동지도 추진중) -3명 수여 (INSA Lyon 2명, TU Eindhoven 1명) 코로나 사태로 추진 보류 박사 논문심사 2회 - 안정현 교수/ University of Georgia - 서평송 교수/ National Institute of Technology Rourkela (NITR)	2회이상 추진 중 추진 확대 코로나 사태를 고려한 인턴쉽 계획중	
		University of Toronto 공동 지도 프로그램	추진 중	추진	
		Tampere University of Technology 교환학생 프로그램	추진 중	추진	
		국제 공동연구 계획 파트너십 구축 및 협력 방문 교원 및 대학원생 교환 국제 학술대회 협력 국제 연구 공동 출간 Invited talk, Intensive seminar 정례화	<ul style="list-style-type: none"> - 국제학회 및 학술대회 활동 (좌장, 위원회 등) 11회 - 국제학회 수상 실적 2회 - 국제학술지 Editor 활동 15회 - 국제 저술 활동 2회 - 국제 공동 연구 실적 9회 - 연구자 교류 실적 및 계획 12회 		
		IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE) 2023년 개최 해외 저명 석학 초청 세미나	코로나 사태로 추진 보류 - 해외 연사 초빙 세미나 8회 - Harvard University 등 - 교환교수 유치 (1명 - 1년 체류 공동연구)	코로나 사태로 추진 계획 수정 필요 해외 연사 초청 세미나 추진	

1. 교육연구단장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	장영재	영문	Young Jae Jang
소속기관	한국과학기술원 공과대학 산업 및 시스템공학과			

■ 단장의 연구역량

장영재 교수는 MIT 기계공학과에서 박사 학위를 받고 현재 카이스트 산업 및 시스템 공학과에서 제조 시스템 및 자동화 분야 연구를 담당하고 있다. 카이스트 부임 전 글로벌 반도체 기업에서 제조 혁신 업무를 4년간 수행한 현장 경험을 바탕으로 국내 제조 산업 혁신을 위한 연구와 교육 혁신을 선도적으로 추진해왔다.

지난 3년간 총 62억원 규모의 제조 시스템 분야 카이스트 대표 산학센터인 <시너스텍-카이스트 AI 자동화 시스템 연구센터>, <한국타이어-카이스트 디지털 혁신 연구센터>, <LG CNS-카이스트 AI & 빅데이터 연구센터>를 설립 및 센터장을 역임하며 현장 중심의 산학 연구를 수행하였다.

반도체 제조분야 국제학회인 International Symposium in Semiconductor Manufacturing Intelligence (ISMI)의 2015년 조직위원장, IEEE International Conference on Smart Manufacturing Industrial & Logistics Engineering (SMILE) 2020년 조직위원장을 역임하였다. 또한 IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (T-ASE) 부편집장 및 International Journal of Production Research, Journal of Intelligent Manufacturing 등의 제조부분 Top 저널의 부편집장을 역임했다. 다수 국제학회 기조연설 (Keynote, Plenary Talk), 기타 Invited Tutorial 등에 초청받아 산업혁신 관련 연구를 소개하며 국제적인 지도력을 발휘하고 있다.

대표 수상 이력은 2017년 International Conference on Production Research 편집장 선정우수 연구상, 2019년 <AI 기반 스마트팩토리> 연구를 통한 카이스트 10대 연구 선정, 2019년 카이스트 공대 혁신상이 있다. 14건의 출원 등록과 지난 2년간 1억원 이상의 기술이전 등 실사구시 연구 결과를 도출하였다.

■ 단장의 교육역량

지난 10년간 장영재 교수는 대한민국 제조 교육 혁신을 주도해 왔다. 카이스트 “레고기반 제조혁신 수업”은 학생들이 직접 제조 시스템과 IT시스템을 학생들이 레고 로봇으로 구축하며 스마트공장의 본질을 몸소 체험하는 수업이다*.

(*관련동영상: https://www.youtube.com/watch?v=-s_pwGoqr4)

본 혁신 수업은 다수 국내 대학 및 기업에서 스마트 팩토리 과정으로 도입하고 있으며, 국외 MIT, 이태리 밀란공대, 대만칭화대, 터키 코츠 대학들도 이를 도입하여 교육을 진행하고 있다. 또한 최근 카이스트 기계공학과와 공동으로 디지털 제조 수업 및 실험실을 구축, 국내 최초 스마트공장 전용 AI, 디지털 트윈 교육 실습실을 완공하였다. 이러한 교육혁신 노력으로 2017년 글로벌 공학소프트웨어 기업인 미국 Mathworks Inc.로부터 4만 달러 교육혁신 지원기금 (Education Grant)를 수상하였다.

■ 단장의 행정역량

장영재 교수는 지난 3년간 카이스트 대표 3개 산학 제조센터 (총 62억원)를 직접 유치하여 현재 센터장을 역임하고 있다. 최근 첨단제조 연구실 구축을 위해 기업대상 기부 프로젝트를 총괄하여 총 15억 상당의 기부금 모집을 성공적으로 추진하는 등의 행정 리더십을 결과를 통해 검증하였다.

또한 다수의 국제 학회의 조직위원장 및 IEEE 국제 학회 워크샵 운영위원장을 맡아 국제학회 운영을 경험하였다. 또한 대한산업공학회 재무 이사 및 총괄본부 이사로 재직하며 국내학회 운영에 대한 노하우를 축적하였다. 과거 해외 글로벌 기업 근무 경험(매니저급) 및 벤처기업 창업 경험으로 민간 조직 행정 운영에 대한 경험도 보유하고 있다.

2. 대학원 신청학과 소속 전체 교수 및 참여연구진

<표 1-1: 교육연구단 대학원 학과(부) 전임 교수 현황>

(단위: 명)

신청학과(부)	기준학기	전체교수 수			참여교수 수		
		전임	겸임	계	전임	겸임	계
산업및시스템 공학과	20년 2학기	15	3	18	13	0	13
	21년 1학기	17	4	21	16	0	16

<표 1-2: 최근 1년간 교육연구단 대학원 학과(부) 소속 전임/겸임 교수 변동 내역>

연번	성명	변동 학기	전출/전임	변동 사유	비고
1	박찬영	2021년 1학기	전임	신규 임용	2021.03.22. 참여
2	이익항	2021년 1학기	전임	신규 임용	2021.04.01. 참여 (외국인)
3	안정연	2021년 1학기	전임	신규 임용	2021.07.01. 참여

<표 1-3: 교육연구단 참여교수 지도학생 현황>

(단위: 명, %)

신청학과 (부)	기준학기	대학원생 수											
		석사			박사			석·박사 통합			계		
		전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)	전체	참여	참여 비율 (%)
산업및시스 템공학과	20년 2학기	67	48	71.64	57	33	57.89	23	20	86.96	147	101	68.71
	21년 1학기	63	48	76.19	61	38	62.3	27	21	77.78	151	107	70.86
참여교수 대 참여학생 비율					722.84								

3. 교육연구단의 비전 및 목표 달성정도

1. 교육연구단의 비전 및 목표(교육, 연구, 국제화 등) 대비 실적

■ 교육 연구단의 비전 및 목표

본 사업단의 비전은 “대한민국 제2의 제조 도약을 위한 디지털 제조혁신 인재양성”이다. 본 사업은 스마트 공장 개념을 중심으로 설계-생산-유통을 통합한 차세대 성장 분야인 “디지털 제조 혁신 산업”의 리더를 육성하고, 궁극적으로 대한민국 전체 제조 산업의 고도화를 달성할 수 있는 인재 양성을 목표로 한다.

■ 교육 비전 목표 및 계획

본 사업단의 교육 비전의 핵심은 산업 중심의 혁신 교육이다. 대한민국 학계의 혁신 교육의 리더인 이태억 교수를 필두로, MOOC 머신러닝 분야 국내 최고의 강사인 문일철 교수, 그리고 레고기반 제조 교육을 통해 세계 제조 교육혁신을 리드하는 장영재 교수 등으로 구성된 연구진은 과감하고 혁신적인 교육을 시도할 계획이다. 전통 제조 수업과 디지털 기술 관련 수업을 함께 수강하며 두 수업을 함께 연계한 프로젝트 수업을 수행하는 ‘트라이앵글 수업’ 설계, 6개월 인턴을 통한 현장 밀착형 대학원 코업 (CO-OP) 제도 운영, 실제 문제해결 중심의 실험 기반 수업 등 이미 다양한 실험을 통해 검증이 확인된 혁신 수업을 적극 도입할 계획이다.

■ 교육비전 달성

지난 1년은 교육비전 달성을 위한 초석을 다지는 기간이었다. 이태억 교수를 필두로 장영재, 서평송, 문일철, 김현정 교수진이 스마트팩토리 관련 분야 프로젝트 기반의 수업을 완료하였다.

장영재 교수와 권창현 교수 (미국 University of South Florida 교수로 올해 학과 초빙 교수로 참여)와 함께 ‘트라이앵글 수업’을 추진 중에 있다. 장영재 교수의 <공급사슬망 관리> 수업과 권창현 교수의 <물류 최적화> 수업을 연계하여 공동 프로젝트 추진을 2021년 가을학기 추진을 계획하고 있다.

현재 대학원 코업 제도를 운영 중이며 (참여 기업 8곳, 참여학생 11명), 실제 문제 중심의 실험 기반 수업 <첨단 제조 지능 (ME870)>, <제조 프로세스 혁신 (IE251)>, <공급사슬망 관리 (IE431)> 수업을 진행하였다. 또한 메타버스 및 기타 디지털 트윈 기반 수업을 <제조프로세스 혁신(IE251)> 및 <스케줄링 이론과 응용 (IE536)> 수업 도입을 추진 중에 있다.

■ 연구 비전 목표 및 계획

본 사업단의 연구는 현장중심 실용주의를 목표로 하고 있다. 논문만을 위한 연구가 아닌 현장에서 문제를 발굴하고, 연구의 방법론 또한 현장에서 활용할 수 있는 형태의 접근 방법을 추구한다. 본 사업단은 글로벌 수준에 맞는 디지털 제조혁신의 연구 방향을 정의하고 실증 사례를 도출하여, 학계에서 디지털 제조혁신 분야를 선도할 계획이다.

대학원의 질적 연구 지향을 위한 노력을 학과에서 제도적으로 지원한다. 학과 주도 박사학위논문 심사위원 지정 방식을 도입하여 지도교수 한 명에 종속되는 연구 지도를 지양하고, SCI(E)논문 게재 졸업 조건을 철회하여 단기적 논문 게재 성과에 매몰되지 않도록 유도할 계획이다.

매 학기 모든 대학원생의 연구 진척을 점검하는 위원회를 구성하여, 논문게재 결과 중심의 연구 관리가 아닌 연구 내용과 과정을 심도 있게 점검하여, 과거 단일 교수에게만 의지하던 대학원생 연구 관리의 문제점을 보완하고 효과적이며 합리적인 대학원생 연구 지도 시스템을 도입한다.

■ 연구비전 달성

본 사업단의 목표인 연구 편수 중심의 연구를 과감히 철회하였다. 학생 졸업 요건에서 SCI(E) 논문 게재 조건을 철회하였으며, 대신 매 학기 학생 연구 관리를 통해 연구의 질적 향상을 도모하였다. 이러한 질적 연구 중심의 대표적인 결과로 박진규 교수, 김희영 교수 등 다수 교수 지도 대학원생들이 1저자로 글로벌 Top 저널에 논문을 게재하는 성과를 달성하였다(대표연구실적 35-40페이지 참조)

또한 합리적인 연구 지도를 위해 결과 중심이 아닌 과정 중심의 대학원생 연구 평가를 매학기 진행 중에 있다.

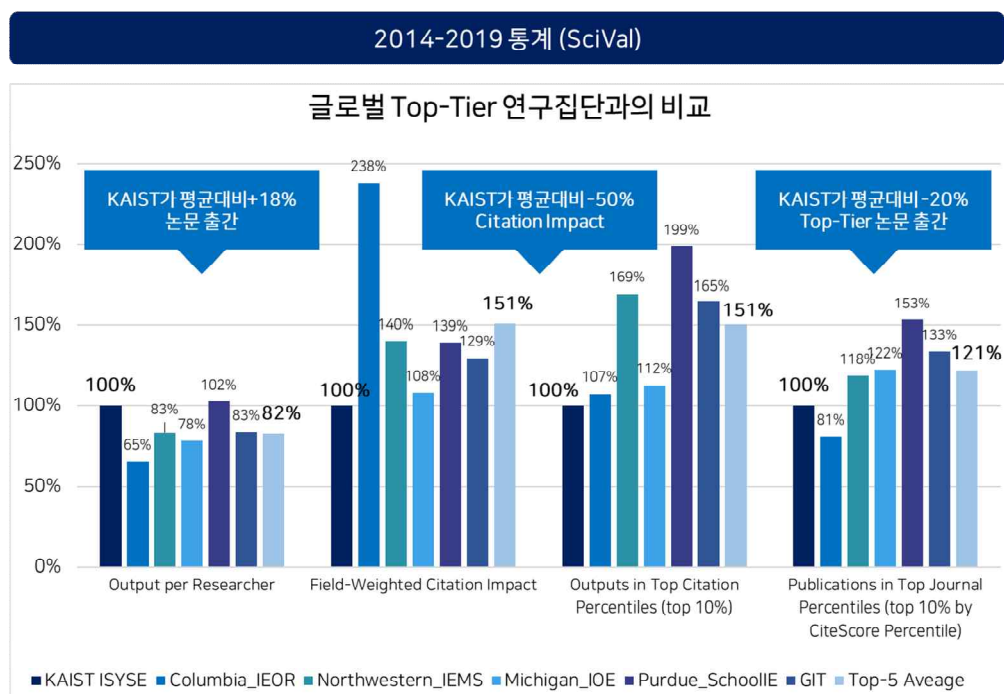
2. 신청서에 작성된 저명대학 벤치마킹 대상과의 비교 분석

본 교육연구단의 목표 설정을 위해, 디지털 제조혁신 교육 및 연구의 선도 기관들을 정성적, 정량적 측면에서 벤치마킹하였다.

본 교육연구단의 학술적 측면에서 글로벌 위상을 세계 저명대학과 비교하기 위하여, 정량적 분석을 수행하였다. 디지털 제조혁신은 아직 명확한 선도 대학 및 선도국이 없어 개척대상인 연구 분야로, 제조산업에 대해 지금까지 혁신을 추진해 온 저명대학들과 새로운 디지털 제조혁신을 수행 중인 우수 대학들을 동시에 벤치마킹하였다.

지금까지 제조산업을 혁신해 온 대표적인 국가는 미국이며, 특히 미국의 산업공학 분야가 제조산업의 효율성 증대를 위한 연구를 진행하였기에, 미국의 Top 5 산업공학 학과들과 교육연구단이 소속된 학과의 비교를 통해 교육연구단의 글로벌 현재 위상을 확인하였다. SCOPUS의 SciVal을 통하여 컬럼비아대, 노스웨스턴대, 미시건대, 퍼듀대, 조지아공대를 비교 대상으로 선정하고 정량적 분석을 진행하였다.

본 교육연구단이 속한 학과의 결과물을 100%로 하였을 때, Top5의 평균은 82% 수준으로 제안 교육연구단이 소속된 학과가 18% 이상 더 많은 논문을 발표한 것으로 집계되었으나, 인용수(FWCI)를 따르면, 가장 저조한 실적을 보였다 <그림 1-1>. 인용 수가 높은 대부분의 논문들은 새로운 영역을 창출하고 실제 산업의 문제를 학계로 소개하는 진보적인 연구였다.



<그림 1-1: 미국 Top 5 산업공학 학과들과의 연구 정량적 지표 비교>

이와 더불어, 디지털 제조혁신에 대한 집중적인 노력을 기울이고 있는 제조 분야 유력 대학의 교육 연구 노력에 대해 벤치마킹하였다.

- National Tsing Hua University (NTHU)

- Chen-Fu Chien 교수는 제조의 탁월성(Manufacturing Excellence)을 위한 NTHU-TSMC 센터장을 맡고 있으며 Semiconductor Technologies Empowerment Partner(STEP) 컨소시엄을 이끌고 있다.

- Georgia Tech Manufacturing Institute (GTMI)

- GTMI는 기초과학, 공학, 정책, 경영 등 다양한 전공을 가진 연구자들이 미국 제조산업의 글로벌 경쟁력 강화, 숙련된 노동자 양성 등을 목표로 구성되었다.

- Purdue University

- Purdue Polytechnic Institute는 4차 산업혁명 시대에 글로벌 경쟁력을 갖춘 인재를 양성하기 위해 AI, 로봇, CPS, IoT, Cloud Computing 등의 기술을 학습하고 활용할 수 있도록 Intelligent Learning Factory, Intelligent Foundry, Intelligent Process Laboratory, Intelligent Industrial Systems Laboratory 등 4개의 실습실을 구축하였으며 산업체의 의견을 받아 기능 중심이 아닌 목적 중심으로 교과과정을 새롭게 개편하였다.

- 벤치마킹 대상 분석을 통한 발전 방안

발전 방향으로 다음과 같은 노력을 추진 중에 있다.

1) 연구의 질적 향상

- 논문 편수 위주가 아닌 Top 저널 게재 및 Citation을 높일 수 있는 새로운 기술 분야 연구 집중
- Citation을 높이는 방안으로 산업계에 중요하지만 아직 학계에는 문제가 소개되지 않는 새로운 분야 중심의 연구를 지향하기 위해 산학연계 연구를 활성화하는 방안을 모색하였다.

2) 산학협력 강화

- 한국엔컴퍼니 그룹, 시너스텍, 원익 IPS 기업과 공동 연구센터를 설립하여 실제 산업현장의 문제를 인식하고 이를 기반으로 연구를 진행 중에 있다.
- 특히 한국엔컴퍼니 그룹과 20억 규모 연구센터 2단계 연구 계약을 체결하였다.

3. 교육연구단의 비전 및 목표 달성을 위한 애로사항 등 기술

비전 달성을 위한 가장 큰 애로사항으로 코로나 사태로 인한 현장 교육 어려움과 양적 중심 연구 평가로 요약한다.

1) 코로나 사태로 인한 현장교육 어려움

- 본 사업단의 핵심 과제인 현장 기반 연구가 코로나 사태로 인해 많은 제약을 받고 있다. 특히 기업들과의 현장 현업 교육은 협력 기업의 외부인 출입 제한으로 추진이 현재 어려운 상황이다. 또한 카이스트 내 방역 조치로 인해 실험 실습실을 정상적으로 운영이 지난 1년간 불가능하였다. 이러한 상황으로 현장 중심 교육 및 실습 중심 수업이란 교육 비전 수행에 많은 어려움을 겪고

있다.

- 많은 해외 학회들이 코로나로 인해 취소되거나 온라인으로 소규모로 운영되어 학생들의 국제학회 발표 기회가 줄어들어 해외학회 참석이 무산되었다.
- 또한 국제화 추진 목표의 하나로 ISMI를 비롯한 국제학회 개최 계획에도 차질을 빚고 있다. 현재 계획된 ISMI 2021 카이스트 개최는 2022년으로 미뤄졌지만 내년에 오프라인 개최가 가능할지는 미지수다.

2) 양적 중심 연구 평가로 인한 질적 연구 전환 어려움

- 연구재단이나 기타 과기부 관련 연구에서는 최근 질적 연구 중심 평가를 수행하고 있지만, 기타 타 국가 기관들의 연구과제는 아직 양적 중심 (논문편수, 특허 출원 수, 학회 발표 수 등)으로 이뤄지고 있다.
- 본 BK 사업에서는 타 국가과제 수주를 또 하나의 목표로 설정하여 많은 교수들이 타 국가과제 수주를 위해 노력을 진행 중이며 실제 과제를 수주하였다.
- 그러나 이러한 국가과제의 연구 평가가 대부분 질적 평가보다는 정량적 평가로 이뤄지며 이로 인해 본 BK사업에서 추구하는 질적 수준 향상 계획과 상충되는 문제를 야기하고 있다.
- 이를 위해서는 본 연구재단 사업 뿐만 아닌 타 국가 기관에서 관장하는 연구 사업에도 질적 연구 중심 평가로의 전환을 적극 건의한다.

□ 교육역량 대표 우수성과

BK 교육역량의 대표 실적을 대학원생의 연구실적, 참여교수 교육 대표실적으로 요약함

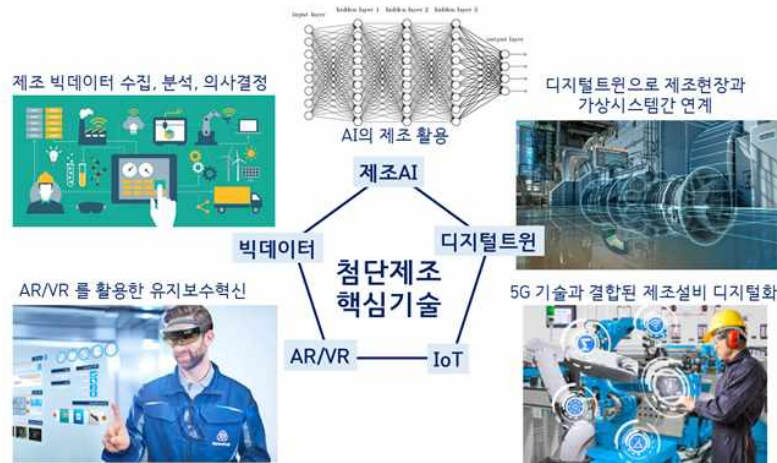
■ 대학원생 연구실적

- 본 사업에 참여하는 대학원생들의 연구로 총 56건의 SCI 논문이 게재되었음
- 특히 대학원생들의 연구들 중 학과의 안규리 학생 (박사과정) 연구는 산업공학의 저명한 국제학술지인 IISE의 Cover Page 논문 (SCI IF: 2.90) 으로 선정되었음
- IISE 는 산업공학 분야에서 제조 분야 최고 권위의 학술지이며, 특히 출간된 논문들 엄정한 심사를 거쳐 최고의 논문이 Cover Page 논문으로 추천됨
- 본 사업에 참여한 대학원생이 1저자로 참여한 논문이 최고 학술지 논문의 Cover Page로 선정된 것은 BK 사업에서의 최대 실적이라 사료됨
- 관련 연구에 정보 및 대한 간략한 내용은 다음과 같음

“Cooperative zone-based rebalancing of idle overhead hoist transportations using multi-agent reinforcement learning with graph representation learning, Kyuree Ahn, Jinkyoo Park, IISE Transactions, Volume 53, 2021-Issue 10, Published Online: 01 Feb 2021.

■ 교육 대표실적

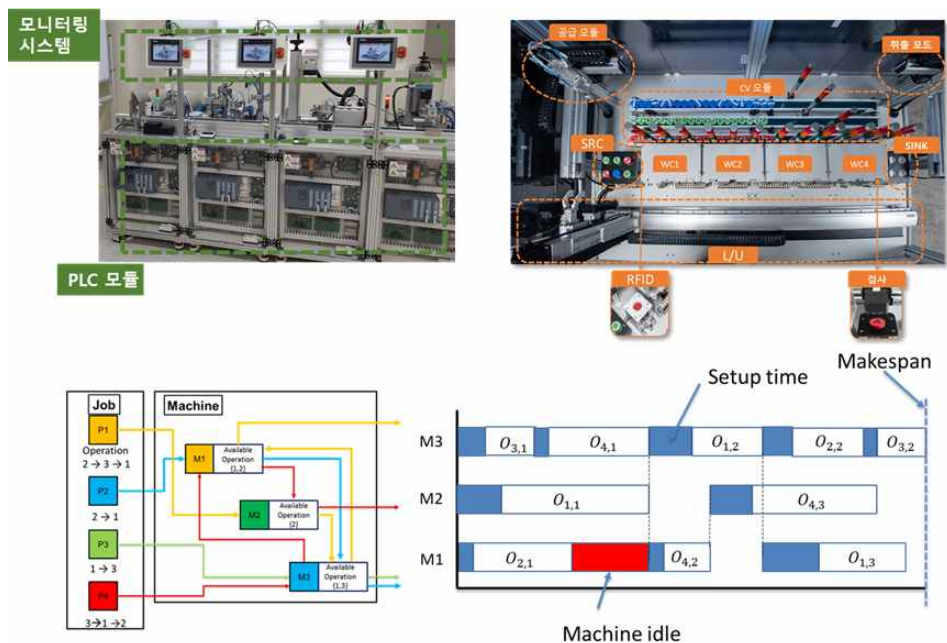
- 다음 수업 혁신을 교육 대표실적으로 요약함
 1. <생산공학 특론> 개설
 2. <첨단제조 실습 시스템> 개발
 3. Project Based Learning (PBL - 프로젝트 기반 수업) 혁신 및 양방향 교수학습 콘텐츠 개발
- 생산공학 특론 (첨단 제조지능 제조공학) 개설
 - 본 수업은 기계공학과와 공동으로 개설한 2020년 가을학기 첫 개설한 과목임
 - 기존 학과 간의 벽을 허물고 기계공학과 산업 및 시스템 공학과가 공동으로 첨단제조 요소 기술과 시스템 기술을 함께 교육하는 수업임
 - 본 수업에 총 15명의 대학생들이 수강하였으며 이들 중 기계공학과 10명, 산업공학과 5명으로 기계공학과 산업공학 학생이 함께 과제와 프로젝트를 수행하는 수업으로 진행하였음
 - 본 수업은 스마트팩토리 제조 ICT기술을 소개하며 관련 실습을 진행하는 수업임 (그림 2-1)



〈그림 2-1: 생산공학 특론 (첨단 제조지능 제조공학) 수업 내용〉

- <첨단제조 실습 시스템> 개발

- <제조프로세스혁신> 수업 및 <제조 스케줄링> 수업을 위해 제조 자동화 시스템 실습 모델을 구축하였음 (그림 2-2)
- 기존 이론 중심으로 진행되어온 제조 운영 및 스케줄링 수업을 혁신하기 위해 실제 자동화 시스템을 모사한 실습 시스템을 직접 개발하여 수업에 활용하였음
- 관련 시스템은 학생들이 학습한 이론을 기반으로 알고리즘을 개발하며 이를 실제 자동화 시스템에 적용하는 실습으로 진행됨
- 수학적 스케줄링 이론을 실제 시스템에 적용하는 세계 최초 스케줄링 학습 시스템임



〈그림 2-2: 첨단제조 실습 시스템〉

- Project Based Learning (PBL - 프로젝트 기반 수업) 혁신 및 양방향 교수학습 콘텐츠 개발

- <스케줄링 이론 및 응용> 수업에서 PBL을 적용하여 수업을 혁신하였음
 - 최적화 이론인 Branch-and-bound, Dynamic Programming, Meta-heuristics 등의 이론을 학습한 다음 학생들이 새로운 방식을 제안하여 프로젝트 형식으로 문제를 해결해 나가는

방식으로 진행하였음

- 학생들이 스스로 사고하며 문제를 해결해 나가는 프로젝트 기반 수업을 혁신하였음
- 인간공학 수업 및 제조 프로세스 혁신 수업을 학생 참여형 수업으로 전환하여 진행하였음

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 현황과 계획

■ 교육과정 및 학사과정 장단점 분석

본 교육 연구단의 장단점을 다음과 같이 분석하였다 <표 2-1>

<표 2-1: 교육과정 및 학사과정 장단점 분석 요약>

장점	단점
<ul style="list-style-type: none">- 디지털 제조혁신을 위한 실습실 환경 구축- 산업 중심 연구를 위한 환경 마련- Active learning 및 기타 혁신적 교육과정에 대한 교수자들의 능력	<ul style="list-style-type: none">- 디지털 제조혁신 실험실이 특정 과목에만 활용 확대하지 못하고 있음- 대부분의 수업이 다른 수업들과 연계성을 구축하지 못해 학생들이 전체 커리큘럼 구성에서 복잡하며 통합적인 사고 능력을 향상하는데 한계가 있음- 대학원생들이 지도교수의 연구 방향 및 지도방식에 종속적이며 스스로 창의적으로 문제를 해결해 나가는 교육이 필요함

• 장점 분석

본 교육연구단의 가장 큰 장점은 디지털 제조혁신 교육환경을 이미 구축하고 있다는 점이다. 파트너 기업들을 통해 학생들이 실제 문제를 접할 수 있다는 점과 직접 장비를 구동하고 시스템을 구축하여 직접 문제를 체험할 수 있는 실험실이 있다는 점이다.

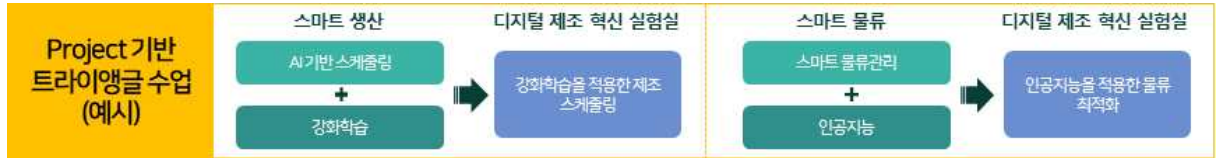
본 교육연구단은 <시너스텍 AI 자동화 시스템 연구센터>, <한국타이어 디지털 혁신 연구센터>, <LG CNS AI & 빅데이터 연구센터>와 함께 데이터를 함께 공유하며 실제 사례를 통해 학습하는 환경을 제공하고 있다.

본 교육연구단 참여교수들은 이미 다양한 혁신적 수업방식 교과목(Active Learning) 형식의 8개 과목을 진행하고 있었으며 혁신적이고 적극적인 마인드를 갖추고 있다.

• 단점 분석 및 해결 방안

현재 디지털제조 지능 혁신 실험실을 구축하고 있지만 특정 과목에만 제한되어 활용되고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 2021년 가을부터 디지털 제조 실습실을 확장하며 다양한 실습 장비 도입을 통해 다양한 수업에서 활용될 수 있도록 확충 중에 있다. 구체적으로 <제조 프로세스 혁신> 수업에만 제한된 디지털 제조 실습실 활용을 <첨단제조 지능>, <공급사슬물관리>, <스케줄링 이론> 수업으로 확장하였다.

수업 간의 상호 연계성을 전달하며 통합적인 문제해결 능력을 고취하기 위해 ‘트라이앵글 커리큘럼’을 제안하였다. 트라이앵글 수업은 전통 제조 분야에서 1과목, 디지털 기술 분야 (AI, 빅데이터, 디지털트윈 등등) 분야에서 1과목을 동시에 수강하고 제조 기술과 디지털 기술을 융합한 하나의 프로젝트를 수행하여 학점을 받는다. 예를 들어 <그림 2-3>과 같이 ‘물류관리’ 수업과 ‘AI 강화학습’을 동시에 수강하고 강화학습 기법을 적용한 AI반도체 물류시스템 프로젝트를 수행해 두 과목에서 함께 실습학점을 인정받는 것이다.



〈그림 2-3: Triangle 커리큘럼 수업의 예시〉

본 교육연구단의 교육 비전 및 목표인 인재의 양성을 위하여 대학원생 각각에 최적의 연구 분야 선택의 기회 및 다양한 연구/산학의 기회를 제공하고자 여러 정책들을 수정 보완하여 시행해오고 있으며 앞으로도 더욱 발전시킬 계획이다. 입학생은 다음과 같은 절차를 거쳐 연구실 및 지도교수를 선택하게 된다.

- 전공을 희망하는 관련 연구 분야에 맞추어 2-3개의 연구실에 지원함
- 교수 면담 및 연구실의 결정은 입학 후 1-2주 내에 이루어짐
- 학생이 희망하는 경우, 2-3개의 연구실에서 첫 학기에 인턴십을 수행하면서 연구 분야에 대해 좀 더 면밀히 파악한 후 지도교수 결정함
- 위와 같은 수행 방안을 지난 3년 전부터 시범적으로 수행하였으며, 이번 BK21사업을 시작하며 본 수행 방안을 정식 학과 운영 프로세스로 확립함

이와 함께 연구실 간의 벽을 허물고 공동 프로젝트 및 논문 연구를 장려하기 위하여 수년 전부터 공고하고 시행 중인 정책은 다음과 같다:

- 각 대학원생은 본인의 논문 연구에 도움을 받을 수 있는 학과 내 모든 교수에게 지도를 요청할 수 있고, 관심이 있는 과제에 자유로이 참여할 수 있음
- 산학 센터 과제 참여 학생은 센터 참여 교수들의 공동지도를 받게 됨
- 이와 같은 공동 연구 방식을 3년 전부터 수행하였으며, 본 BK21사업을 통해 작년부터 정식 프로세스로 확립 중에 있음

■ 교육과정 계획 및 관련 실적

본 교육과정 개편 계획대비 실적을 <표 2-2> 와 같이 요약한다.

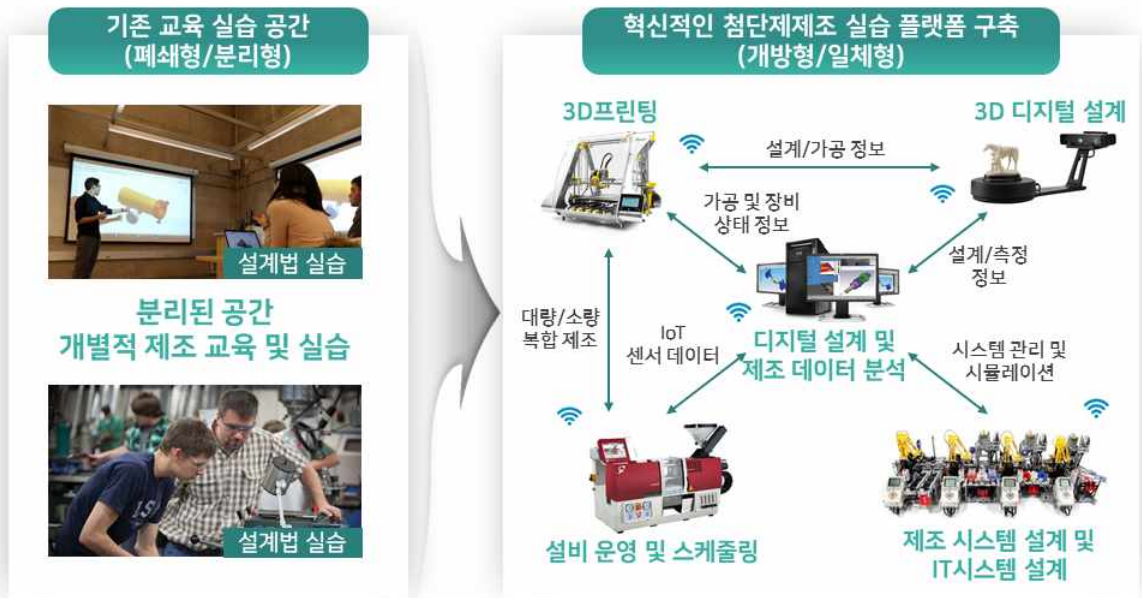
〈표 2-2: 교육과정 계획 및 관련 실적 요약〉

계획 (향후 7년간)	실적
디지털 제조혁신 실험실 확충 - 기존 실험실을 오픈	<ul style="list-style-type: none"> - <첨단제조 지능>, <공급사슬망관리>, <스케줄링 이론> 수업으로 확장함 - 기존 폐쇄형 분리형 공간을 시범적으로 개방형으로 구축하였으며 작년 사업 기간 중 완전 개방형으로 개편 완료하였음 - 기존 장비에서 3D 스캐너, AGV 물류 장비, Injection Molding 장비를 추가로 구매하여 다양한 수업에 활용될 수 있도록 실습환경을 확충하였음

계획 (향후 7년간)	실적
Active learning 수업을 총 20개로 확충	- 현재 <스케줄링 이론>, <인간공학>, <제조 프로세스 혁신>, <공급사슬망 관리>, <첨단 제조지능>, <생산관리> 수업을 Active Learning 기반 수업으로 진행하였으며 이를 확대해 나갈 계획임
산업 및 시스템공학과와 기계공학과 공동 수업 개설	- <첨단 제조 지능> 수업을 2021년 가을 개설하여 기계공학과 및 산업및시스템 공학과 대학원생들이 공동 수강 하였음. 본 수업은 매년 가을 개설될 계획임
트라이앵글 수업 설계	- 최적화 이론 중심의 <물류 최적화> 수업과 실습 및 사례 중심의 <공급사슬망 관리> 수업을 트라이앵글 수업으로 설계하여 2021년 가을 시범 운영할 계획임
현장 밀착형 대학원 Co-Op 제도 운영	- 2020년부터 Co-op 제도를 운영하였으며 관련 사항은 <표 2-3과 같음>
실제 문제 해결 중심 수업 운영	- <제조프로세스 혁신>, <공급사슬망관리>, <스케줄링 이론 및 응용> 수업 적용

<표 2-3: 코업 (Co-op) 참여 학생 및 참여 기업 리스트>

순번	지원 기업	성명	비고
1	삼성전자 DS	김선웅	2020년 가을학기
2	삼성전자 DS	김영집	2020년 가을학기
3	신한금융지주회사	이주연	2020년 가을학기
4	신한은행	이소영	2021년 봄학기
5	신한은행	박재성	2021년 봄학기
6	오렌지라이프	이광현	2021년 봄학기
7	라인파이낸셜	김민석	2021년 봄학기
8	카카오	윤태영	2021년 봄학기
9	신한 AI	정진규	2021년 가을학기
10	신한금융투자	김기영	2021년 가을학기
11	카카오	김신엽	2021년 가을학기



<그림 2-4: 커리큘럼과 디지털 제조 실습실의 연계>

■ 교육과 연구 선순환 구조 구축 방안

연구 기반 수업 개편

- 산업계 문제 해결 및 최신 연구를 기반으로 기존 수업을 지속적으로 업그레이드 진행하고 있음
- 한국엔컴퍼니(구:한국타이어 그룹) 연구센터에서 수행 중인 연구 결과를 실제 수업에 활용할 수 있도록 수업 콘텐츠 제작
- 시너스텍 산업체 연구를 기반으로 학계 연구로 발전 및 이를 기반으로 수업 사례연구 실행 (그림 2-5)



<그림 2-5: 시너스텍 연구센터 결과물을 기반으로 저널논문 게재 및 이를 수업 시간 사례로 활용 (첨단제조 지능 혁신센터)>

■ 연구역량의 교육활용 방안

전임교수 강의 계획 대비 실적

<표 2-4: 최근 1년간 전임교수의 대학원 강의 실적>

구분	2020학년도 가을학기	2021학년도 봄학기
개설 과목수	10	11

구분	교과목명	담당교수
2020학년도 가을학기	게임이론과 다중에이전트 강화학습(IE631)	박성수
	인공지능/데이터마이닝 응용(IE661)	문일철
	인간공학기법과 방법론(IE416)	서평송
	공급체인관리(IE426)	장영재
	산업공학의 특수논제 K온라인으로 수강하는 데이터 구조 및 분석>(IE481)	문일철
	스케줄링 이론 및 응용(IE536)	김현정
	컨벡스 최적화(IE539)	김우창
	게임이론과 다중에이전트 강화학습(IE579)	박진규
	지식공학과 지식의사결정(KSE643)	이문용
2021학년도 봄학기	추계적 모델 I(IE632)	김경국
	의사결정분석 및 위험관리(IE432)	김우창
	데이터 기반 의사결정 및 제어 방법론(IE437)	박진규
	공학자를 위한 응용해석과 확률(IE438)	김경국
	금융공학개론(IE471)	김우창
	산업공학의 특수논제 K스마트 제조 기술>(IE481)	장영재
	선형계획법(IE531)	박성수
	동적계획법과 강화학습(IE540)	신하용
	고급공학통계(IE541)	김희영
	의료서비스 시스템(IE573)	이태식
	비즈니스 인텔리전스(KSE521)	이문용

2. 인력양성 계획 및 지원 방안

2.1 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

■ 우수학생 선발을 위한 노력

- 대학원 설명회

2021년 4월 온라인으로 대학원 설명회를 개최하였음. 학과의 비전을 밝히고 학과의 연구실들을 소개하였음. 설명회는 대학원 진학에 관심이 있는 학생들에 대하여 구체적인 정보를 제공해주는 창구가 활용하였음.

- 랩인턴 제도 운영

매해 여름방학과 겨울방학 기간을 이용하여 약 8주간 랩인턴을 받아 교육실습 및 프로젝트 참여 등의 기회를 제공하였음. 이들 기회는 산업 및 시스템공학과 학부생에게만 국한된 것이 아닌 타과생 및 타 대학 학부생들에게도 열려있다. 인턴 학생들은 대학원생들과 공동으로 생활하며 대학원 생활을 미리 경험해보고 관심 분야에 대해 좀 더 알아갈 수 있음.

<표 2-5: 2020년 겨울 및 2021년 랩인턴 참여 실적>

순번	2020년 겨울학기 랩인턴		2021년 여름학기 랩인턴	
	교수	학생	교수	학생
1	김우창	주혜민	김우창	양민규
2		이동규		신지우
3		구영민		고주환
4	김현정	강선미	김현정	김정휴
5		이수연		김채영
6		송대섭		김민찬
7	문일철	김영민		Fuad Samadov
8		이한빛	문일철	권정민
9		조영재		지인선
10		최효결		이준모
11	박찬영	이운호	박찬영	남지현
12		김세인		송민학
13		윤석원		김정훈
14		김기범		주혜민
15		김유진		김수진
16		남재현		이한빛
17	서평송	George Murage	신하용	김효준
18		주선영		Meng Ran
19			장영재	권정준
20				이상헌
21			이익항	Ali Ahmed Sheikh
23				Huang Yiming
24				Li Sijia
25				Zhengyang Ling
26			서평송	OU WANWEI

- 리서치데이 및 세미나 개최

대학원생 및 학부생 대상으로 다음과 같이 세미나를 개최하여 대학원 연구를 공유하며 학부생들이 대학원 연구에 대한 관심을 가질 수 있도록 유도함

<표 2-6: 최근 1년간 학과 세미나 개최 실적>

학과 세미나 개최 횟수	2020.9~2020.12	~2021.8
	44	26

2.2 대학원생 학술활동 지원 계획

■ 산학 센터 과제를 통한 연구 활동 지원

현재 카이스트 산업 및 시스템 공학과 내 운영중인 <시너스텍 - 카이스트 인공지능 자동화 시스템 연구센터>, <한국엔컴퍼니-카이스트 디지털 혁신센터>, <LG CNS 인공지능 연구센터>를 활용하여 실제 산업의 연구를 파악하며 이를 기반으로 산업과 연계된 연구활동을 지원하였음.

센터 연계된 대표적인 연구활동은 다음과 같음

- 반도체 OHT 시스템 동적 최적 할당 연구, 홍상표 - <시너스텍-카이스트 인공지능 자동화 시스템 연구센터>
 - 황일희, 조혜민, 홍상표, 이준희, 김석중, 장영재, Q-learning-based route-guidance and vehicle assignment for OHT systems in semiconductor fabs, 2020 31st Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC)
- 그래프 뉴럴 네트워크 활용한 반도체 OHT 할당 연구. 안규리 - <시너스텍-카이스트 인공지능 자동화 시스템 연구센터>
 - Cooperative zone-based rebalancing of idle overhead hoist transportations using multi-agent, reinforcement learning with graph representation learning by Kyuree Ahn, Jinkyoo Park, - IJSE Transactions, Volume 53, 2021 - Issue 10, Published Online: 01 Feb 2021
- 한국타이어 AGV 충전을 고려한 최적 경로 계획 및 작업 할당 연구. 김민수 - <한국엔컴퍼니-카이스트 디지털 혁신센터>
 - 김민수, 황일희, 장영재. 수리 모델 기반 AGV 대규모 군집 제어 알고리즘. 대한산업공학회. 2021년 6월 4일.
- LG 전자 AGV 운영 시스템 동적 할당 배정 연구. 이재웅 - <LG CNS 인공지능 연구센터>
 - 김강민, 정창현, 장영재. 다수의 AGV가 양방향으로 이동할 수 있는 물류창고에서, 혼잡과 교착 상태를 피할 수 있는 이동경로를 찾는 라우팅 알고리즘 개발. 대한산업공학회. 2020년 11월 12일
 - 정창현, 장영재, 김강민. 양방향 저장형 물류 로봇 대규모 군집제어를 위한 연구 방향 공유. 대한산업공학회. 2021년 6월 4일
- 향후 계획
 - 기존 연구 센터 기반 연구를 지속적으로 활성화하여 실제 산업 적용 가능한 연구 진행
 - 논문 뿐만 아닌 실제 산업 적용 및 지적재산권 확보 계획

■ 디지털 제조 실습실 활용

- 첨단제조 지능 혁신 실험실 기반 활용
 - 첨단제조 지능 혁신센터 AGV 활용하여 실제 연구 진행



<그림 2-6: 첨단제조 지능 혁신 연구센터 자동물류 시스템>

- 관련 연구 진행사항
 - OHT 시스템 이상징후 파악 연구, 김현정 교수
 - Abnormal with deep autoencoder for OHT 시스템 연구, 박진혁
 - Jinhyeok Park, Jiyeon Myung, Munki Jo, Sujeong Baek, Young Jae Jang. Semiconductor Overhead Hoist Transport (OHT) Track Inspection System for Abnormality Detection with Autoencoder. IEEE CASE 2021, 2021년 8월 25일
- 향후 계획
 - OHT 운영 실데이터 기반 연구 DB 개발 및 학계 공유
 - 실제 데이터를 학계에 공유함으로써 학계 연구를 촉진하며 반도체 제조 자동화 산업 고도화에 기여할 계획임

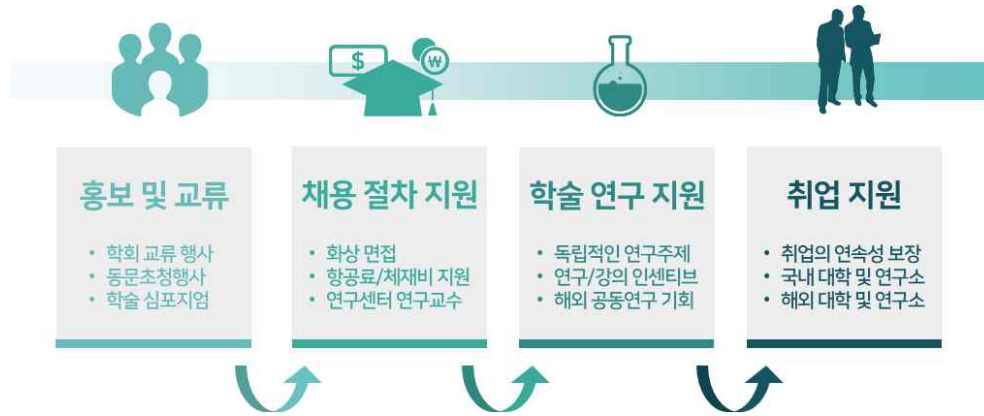
■ 석-박 첨단제조 융합 연구 도전 프로그램 지원

- 추진 현황
 - 첨단제조 기반 실제 문제를 기반으로 공모 프로그램 지원
 - 2021년 : 석사 1팀, 학부 1개 팀 선정 지원
 - OHT 실시간 이상징후 파악 알고리즘 개발 (김현정 교수 연구팀)
 - 반도체 자동 반송장비 OHT 재할당 알고리즘 (산업 및 시스템공학과 박지민 학생 연구팀)
 - AGV 알고리즘 개발 및 운영 시스템 개발 (산업 및 시스템공학과 권정준 학생 연구팀)
- 향후 계획
 - 관련 공모 프로그램 확대 지원

3. 신진연구인력 현황 및 실적

■ 스마트제조 분야 연구 확대를 위한 우수 신진연구인력 확보 및 지원의 목적과 목표

우수 신진 인력의 확보 및 지원 계획 목적: 우수 신진 인력이 해외 및 국내 대학의 교원급 인재가 되도록 지원하는 것이다. <그림 2-7>과 같이 본 교육연구단의 지원 과정은 채용, 연구 지원, 취업 지원의 전주기에 해당된다. 교육연구단의 연구와 산학협력의 중심 임무를 수행할 연구 교수를 매년 2명 이상 채용을 목표로 한다.



<그림 2-7: 신진연구인력 확보 및 지원 절차>

■ 교육단 홍보 및 교류 활동 지원

- 학술학회를 통한 교육연구단의 홍보 및 신진연구인력 발굴

- 2016년부터 매년 미국에서 열리는 INFORMS(운영과학 학회) 학회에서 KAIST Networking Night 행사를 개최하여 관련 분야에서 활동 중인 연구자들을 초청하여 교류하는 행사를 해오고 있음
- 그러나 코로나 사태로 INFORMS 학회가 온라인으로만 개최되어 교류 행사를 진행하지 못하였음
- 대신 해외 우수 연구자를 초대하여 온라인 세미나를 개최하는 방식으로 전환하여 진행하였음

- 연례 동문 초청 행사 및 세미나를 통한 교육연구단 홍보

- Research Day 행사를 개최하여 현업에서 활동 중인 동문을 초청하는 행사를 계획하였지만, 코로나 사태로 진행하지 못하였음
- 대신 온라인 미팅을 통해 동문 연구자들의 연구를 공유하는 방식으로 진행하였음

- 스마트제조 관련 심포지엄을 개최하여 교육연구단을 홍보하고 신진연구인력 발굴

- 교육연구단 소속의 대학원생, 국내에서 활동하는 연구자들을 포함한 행사를 기획하였지만 코로나 사태로 인해 진행하지 못하였음

■ 신진연구인력 채용 위원회 설립 및 운영

- 신진연구인력 채용 위원회 채용 절차 및 규정

- 채용 대상인 신진연구인력을 평가하기 위한 지표를 교육, 연구, 산학협력 관점에서 정의하고 교육연구단에서 인력을 채용할 때 공통으로 적용하였음
- 1차는 화상 세미나 2차 인터뷰는 현지 인터뷰로 진행하였음

■ 신진연구인력을 위한 교육연구단의 지원 계획

- 신진연구인력 지원 방안

- 센터 과제의 범위에서 독립적으로 연구주제를 선정하여 연구를 진행할 자유를 보장

- 대학원생 연구 지도 장려 제도

- 연구 교수가 센터 소속 대학원생의 연구를 지도하며 논문을 작성할 경우 연구 인센티브 제공
- 대학원생 수업을 강의할 수 있는 기회 적극 제공

- 해외 대학 및 연구소 공동으로 연구 기회 제공

- 매년 1회 이상의 스마트제조 관련 학회 참가비 체재비 지원 기반 마련
- 해외 대학 및 연구소와 공동연구 진행할 경우 해외 체재비 적극 지원
- 연구 교수가 해외 대학 및 연구소에서 연구원이나 교수로 채용될 수 있도록 돕고 지원하는 것이

연구 교육단의 궁극적인 목표임



- 신진연구인력 취업 지원

- 신진연구인력이 교육연구단을 떠나 국내외 산업체, 연구소, 학계에서 핵심적인 소임을 수행할 수 있도록 지속해서 지원하고 추후 상호협력 관계를 구축하는 것이 목표임
- 교육연구단과 활발히 교류 중인 국내외 산학연 기관에 신진인력을 적극 추천

4. 참여교수의 교육역량 대표실적

<표 2-7: 해당 신산업분야 문제해결을 위한 참여교수의 교육역량 대표실적>

연 번	참여교수명	연구자등록 번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성					
1	김현정	10963868	스케줄링	PBL	2020년 가을학기/ 스케줄링 이론 및 응용(IE536)
	‘스케줄링 이론 및 응용’ 교과목에서 PBL(project-based learning)을 적용하여 교육하였음. 복잡한 제조시스템의 스케줄링 문제를 제공하고 학생들이 수업 시간에 배운 이론 및 알고리즘(branch and bound, dynamic programming, meta-heuristics 등)을 기반으로 본인들이 새롭게 방법론을 개발하여 성능을 비교하였음. 개별 면담을 통해 피드백을 제공하여 알고리즘 성능 향상에 도움을 제공하였으며 학생들이 제조시스템의 스케줄링 문제를 이해하고 최적화 알고리즘 등에 대해 학습할 수 있는 기회가 되었음.				
2	서평송	10966724	인간공학	학습콘텐츠 개발	2020년 가을학기
	[실시간 양방향 교수학습 콘텐츠 개발: 2020년 가을학기] 코로나 시대에 비대면 학습의 수요가 늘어남에 따라 화상 강의가 늘어나고 있지만, 실습이 중요한 강의의 경우 화상 강의를 하기에 어려움이 있음. 실시간 양방향 교수학습 콘텐츠를 개발함으로써, 인간공학 관련 실습(예. Human Streotype and Expectation on Control-Display Mapping, Kinect-based Human Motion Capture and Data Analytics, Digital Human Modeling-Simulation based Ergonomic Assessment)을 비대면 줌(Zoom) 화상 강의를 통해 교수 및 수업 조교와 실시간으로 진행함. 실습 후 수강생들은 실습 내용 및 결과를 바탕으로 보고서를 작성하고 교수 및 수업 조교가 이를 평가함.				
3	신하용	10059849	산업공학	MOOC	
	강화학습 강의를 Video로 녹화하여 KOOC (KAIST MOOC)에 등재하기로 계약함.				

연 번	참여교수명	연구자등록 번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
	참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성				
4	장영재	10151466	산업공학	신규 대학원 교과목 개발 및 개설	2020년 가을학기/생산공학특론<첨단지 능 제조공학>(ME870), 2021년 봄학기/기계공학특강<스마트 제조 기술>(ME491)
	기계공학과와 산업공학과와의 협력하에 진행되는 스마트 팩토리 관련 대학원 과목 개설 및 강의 진행함.				
5	장영재	10151466	산업공학	MOOC	스마트팩토리 강좌 오픈 (카이스트 인공지능 중소벤처 제조 플랫폼 - KAMP) https://www.kamp-ai.kr/front/education/edu-list.jsp
	스마트팩토리 AI활용에 대한 총 9개 공개강좌 오픈함. 1. 제조에서의 스마트 의미 2. 스마트팩토리 핵심 요소 3. 제조 시스템 정의 4. 제조에서의 큐잉이론 5. 제조 지능화 6. 제조 디지털 트윈 7. 제조 AI 8. 제조 빅데이터 각 강좌는 장영재 교수가 기업과 공동 연구를 통해 정리한 사례를 기반으로 제작하여 실제 산업 문제 해결 중심으로 설명함.			 <p>KAMP 교육 동영상은 제조AI와 빅데이터에 대한 비전문 학습을 목표로 합니다. 제조AI & 빅데이터 개념뿐만 아니라 실제사례를 통해 첨단 제조 혁신을 이해할 수 있도록 도움을 드립니다.</p> <p>총 동영상 수 : 9개</p> <p>[8강] 디지털 트윈 [7강] 제조 AI 및 빅데이터 사례 [6강] 제조 AI</p>	
6	장영재	10151466	산업공학	MOOC	EBS 동영상
	스마트팩토리 의미와 제조 시스템 운영에 대한 EBS방송 촬영함. 일반 대중을 위한 스마트팩토리 강좌 관련 동영상 수업에 활용하여, 학생들 개념 전달 기초 자료로 활용함.			 <p>확 바뀌는 스마트한 제조업</p> <p>장영재</p>	

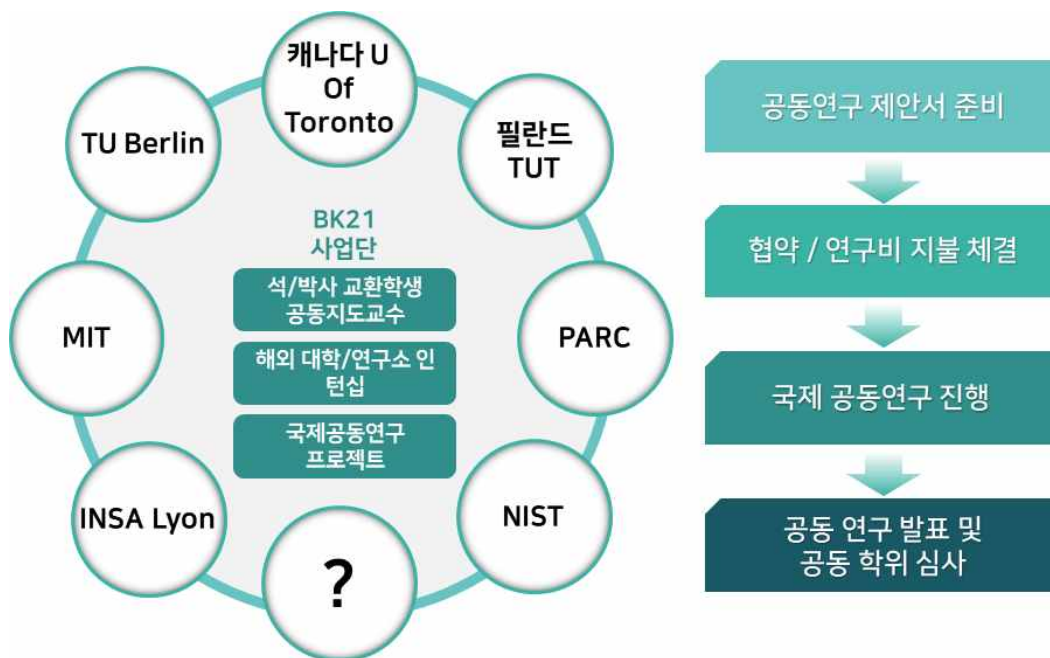
5. 교육의 국제화 전략

① 교육 프로그램의 국제화 현황 및 계획

■ 대학원생 국제 공동 연구의 의의 및 목표

교육연구단 소속 대학원생들에게 명성 있는 해외 연구소/연구실의 공동 연구 활동에 참여할 기회를 제공함으로써 제조 혁신과 제조산업의 2차 도약을 위한 글로벌 인재와 리더를 양성하는 것을 목적으로 한다.

<그림 2-8>은 교육연구단이 추진하고 있는 대학원생 국제 공동 연구를 지원하는 전략들과 현재 공동연구를 추진 중인 대학 및 연구기관을 도식화한 것이다.



<그림 2-8: 대학원생 국제공동연구 계획>

- 복수학위 수여자 현황

지난 사업기간 중 <표2-8>와 같이 INSA Lyon 2, TU Eindhoven 1명의 학생이 복수학위를 취득하였다.

<표 2-8: 최근 1년간 복수학위 수여자>

구분	INSA Lyon	TU Berlin	TU Eindhoven
	2	-	1

- 국제공동연구 정부 지원 수주

- University of South Florida 의 권창현 교수를 연구재단 해외 우수 연구자 사업을 통해 본 학과 1년 방문연구원으로 초청하였다.
- 교육연구단 참여교수들은 해외 연구자들과의 교류를 확대하기 위하여, 아래와 같은 정부 지원 해외협력 프로젝트를 진행 중이다.

- 아래의 연구 프로젝트를 진행하면서, 대학원생의 인력교류는 포함되어 있으며, 본 교육연구단은 외부 지원을 받는 인적 교류에 대해서도 추가 인원의 교류를 제공하여, 상대 기관과의 협력을 확대해 나갈 예정이다.
- University of Paris, University of Nantes: 한국-프랑스 협력기반 조성사업 지원하고, 이산사건 시스템의 스케줄링 및 제어연구 협력을 계획하고 있다.

<표 2-9: 최근 1년간 외국인 학생 유치 실적>

연번	과정명	성명	국적
1	석사	CHUANBO HUA	중국
2	석사	PANYU ZHANG	중국
3	석사	FEDERICO BERTO	이탈리아
4	석사	MUHAMMAD UMAR FAROOQ	파키스탄
5	석사	Fatima Ezzahra El Habibi	이탈리아
6	석사	Martha, Gevinda Arulia	인도네시아
7	박사	TIEJUN MA	중국
8	박사	JIANSONG WAN	중국

<표 2-10: 최근 1년간 해외 연사 초빙 세미나 실적>

연번	연사명	초빙연사 소속	활용내역
1	임주영	Montefiore Medical Center	이동형 감염병원 타당성 및 해외시장성
2	안도현	The Chinese University of HongKong	산업및시스템공학과 학생들을 위한 Career Talk 2 (Academic Job)
3	이지현	University of Calgary	Application of industrial robots in machining: Challenges and Approaches
4	김종우	Univ. of Toronto	차세대 의료 서비스 로봇 연구와 비전
5	Olivia Seunghae Jung	Harvard University	Crowdsourcing and Engaging Employees in Innovation: Three Field Experiments
6	이해강	New York University	The Financial Benefits of Health Engagement Programs to Life Insurers
7	Yuchen Xie	Northwestern University	A Noise-Tolerant Quasi-Newton Method for Unconstrained Optimization
8	Gloria Hyunjung Kwak	HKUST(홍콩과기대)	Will Artificial Intelligence Help ICU Practice?
9	이성관	The Chinese University of Hong Kong(홍콩중문대)	Fintech Nudges: Overspending Messages and Personal Finance Management
10	김예진	University of Texas Health Science Center at Houston	Innovating Drug Development using Machine Learning

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 계획

<표 2-11: 참여대학원생 국제공동연구 추진 현황 및 계획>

목표	추진현황	계획
해외 파견 연구 - University of Toronto Mechanical and Industrial Engineering 학과 소속 교수와 공동 지도	코로나 사태로 계획 취소됨	온라인 논문 지도로 2021년 대체할 계획임
Milan Politec LEGO 기반 스마트팩토리 교육 공동연구 (대학원생 1명 카이스트 파견 계획)	코로나 사태로 온라인 논문 지도로 대체	향후 관련 연구 온라인으로 지속 계획
기타 오프라인 파견 연구	코로나 사태로 오프라인 파견이 어려운 관계로 온라인으로 대체 중에 있음	향후 코로나 사태 추이에 따라 전면 온라인으로 계획 수정 불가피

□ 연구역량 대표 우수성과

<김우창 교수>

Jang Ho Kim, Yongjae Lee, Jaekyu Bae and Woo Chang Kim, “Recent Trends and Perspectives on the Korean Asset Management Industry “, Journal of Portfolio Management, 2021

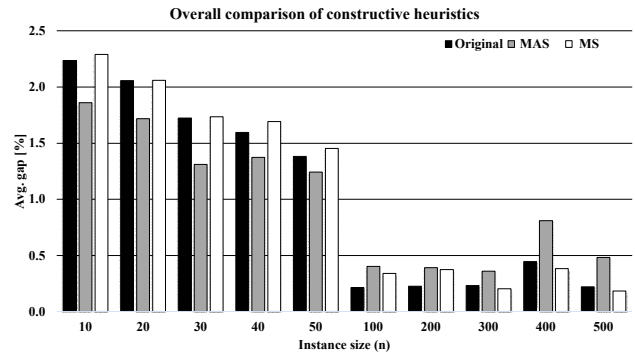
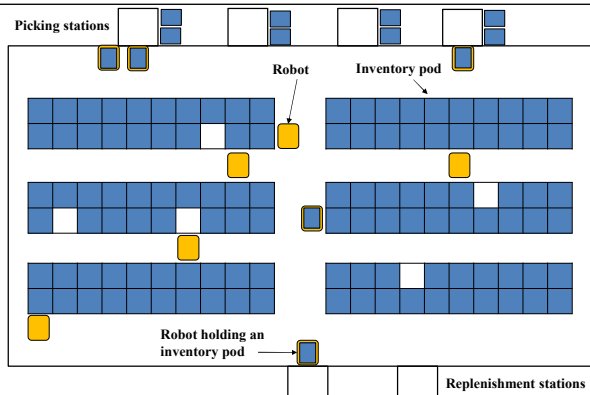
JPM(Journal of Portfolio Management)은 많은 기관 투자자들이 금융 시장에 대한 통찰력을 얻기 위해 활용되는 중요한 학술지이며, JPM의 모든 호에는 노벨상 수상자를 포함한 저명한 학자 및 연구자의 논문이 실린 바 있으며, 이들의 논문은 현대 포트폴리오 이론, 자산 배분, 투자 성과 측정, 시장 동향, 포트폴리오 최적화, 리스크 관리 등 투자 관련 모든 최신 금융 시장 관련 주제를 다룸. 해당 논문은 non-US financial market special issue에 투고된 논문이며, 최근 한국 자산운용 시장의 동향을 소개함. 해당 논문에서는 동학개미운동을 중심으로 한 최근 한국 자산운용 시장의 트렌드에 대해 논의하며, 실무자의 통찰력을 통해 논문의 질을 제고하기 위하여 삼성자산운용의 배재규 부사장이 공동저자로 참여하였음. 해당 논문은 최근 한국 자산운용 시장의 큰 흐름, 동학개미운동의 발생원인과 의의, 그리고 앞으로 자산운용 업계의 역할과 한계 등에 대해 서술하였으며 작성을 위하여 국내 주요 금융사의 CEO, CIO, 본부장 등 투자 의사결정에 큰 영향을 끼치는 국내 주요 금융사의 CEO, CIO, 본부장 등을 대상으로 실시한 설문조사에 대한 분석 결과가 포함되어 있어 향후 한국 자산운용 시장의 방향에 대해 제시한다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있는 논문이라고 할 수 있음.

<김현정 교수>

로봇 기반 물류창고 제품 할당 알고리즘 개발

제품이 선반에 담겨 있고 선반을 picking station까지 운반하는 로봇으로 구성되어있는 자동화 물류창고 시스템에서 다양한 제품을 선반에 할당하는 최적화 문제를 다루었음. 수학적 모델링을 기반으로 효율적인 알고리즘을 개발하였고 알고리즘의 worst-case bound를 분석하였음. 또한, 제품 수요의 변동성을 고려하여 제품을 새롭게 할당하는 알고리즘도 개발하였으며 실험을 통해 성능을 입증하였음. 해당 연구는 University of California, Berkeley의 Zuo-Jun Max Shen 교수와 Cristobal Pais 박사과정 학생과 공동으로 수행하였으며 자동화 및 제조 분야의 저명학술지 IEEE Transactions on Automation Science and Engineering (IF 5.083, Automation & Control Systems Q1)에 2020년 10월 게재되었음.

개발한 알고리즘은 제품들의 상관관계를 고려하여 grouping 하는 것으로 각 그룹의 중요 제품을 중심으로 상관관계가 높은 다른 제품들이 할당될 수 있도록 하였음. 제품의 수요나 상관관계는 시간이 지나면 변할 수 있기 때문에 이를 반영하고자, 초기해가 주어졌을 때 더 나은 할당을 도출하는 알고리즘 또한 개발하였음. 해당 알고리즘은 그룹 내, 그룹 간의 제품들을 바꿔가면서 해를 향상시키는 방향으로 진행됨.

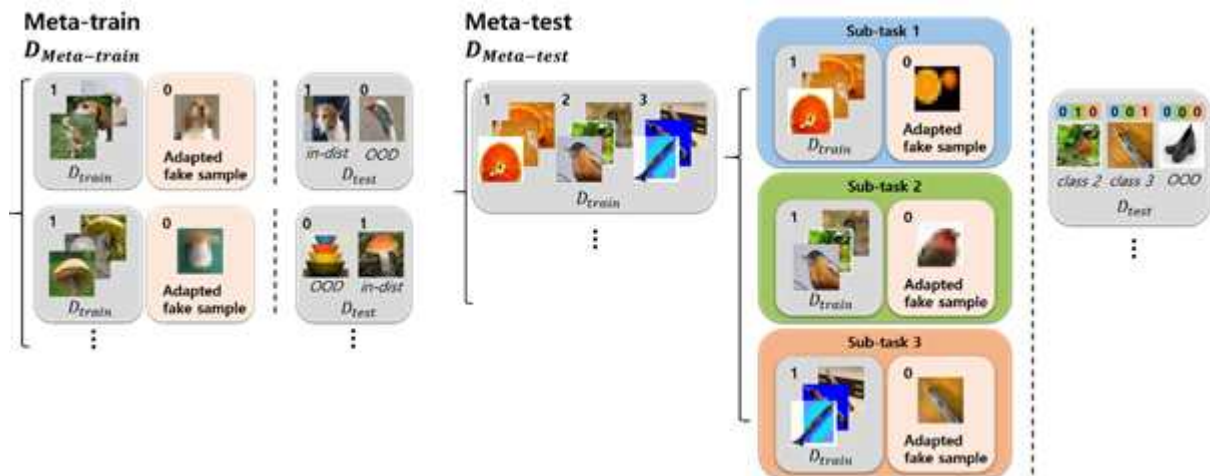


<그림 3-1: 자동화 물류창고 레이아웃 (왼쪽) 및 개발된 알고리즘 성능 평가 (오른쪽)>

<김희영 교수>

T. Jeong and H. Kim “OOD-MAML: Meta-Learning for Few-Shot Out-of-Distribution Detection and Classification,” Neural Information Processing Systems (NeurIPS) 2020.

NeurIPS는 머신러닝 분야 top conference로 본 논문은 적은 양의 학습데이터만 주어진 상황에서 패턴 분류 및 새로운 클래스 감지를 동시에 수행하는 메타러닝 기법 개발함.



<그림 3-2: 고안된 메타러닝 기법>

<박성수 교수>

Seulgi Joung, Sungsoo Park, “Robust mixed 0-1 programming and submodularity” , INFORMS Journal on Optimization, 17 Mar 2021

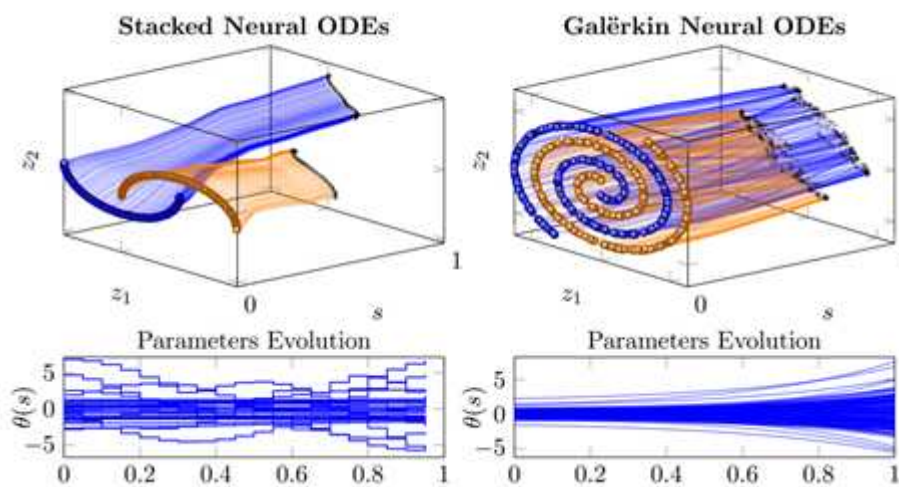
부분보형 함수라는 집합 함수의 특징을 데이터의 불확실성을 고려하는 강건 최적화 문제 해법에 적용한 연구임. 부분보형성은 유용한 특징을 많이 가지고 있는 함수이지만, 강건 최적화 분야에서는 거의 적용되지 않았음. 본 연구에서는 이를 강건 최적화 문제를 해결하는 분지절단법에 적용함으로써

일반적인 강건 최적화 문제를 효율적으로 풀 수 있도록 하였음. 부분보형 함수의 특징을 이용하여, 가장 효과적인 유효 부등식을 다항 시간 내에 찾는 알고리즘을 제안하였음. 실험 결과, 기존의 상용 소프트웨어에 비해 제약식이 여러 개인 강건 배낭 문제를 더 짧은 시간 내에 최적해를 찾는 것을 확인하였음. 본 연구는 강건 최적화 문제의 유효 부등식을 찾는 새로운 방향을 제시함으로써, 후속 연구를 유도할 수 있을 것이라 기대됨. 본 논문이 게재된 INFORMS Journal on Optimization은 최적화 분야의 세계적인 석학 중 하나인 MIT의 교수 Dimitris Bertsimas가 editor-in-chief인 저널이며, 2019년에 처음 출판된 이후, MIT, Carnegie Mellon University, IBM Research center, Google 등 세계적인 연구 기관에서 논문을 게재한 세계적인 저널임.

<박진규 교수>

Continuous Depth Deep learning 기법과 Graph Neural Network 기법을 활용하여 복잡한 시스템의 시공간적 변화를 효과적으로 표현하는 기법을 제시한 논문을 인공지능 최대 권위 학회인 NeurIPS에서 Oral presentation을 함 (전체 제출 논문 중 상위 1%)

Stefano Massaroli, Michael Poli, Jinkyoo Park, Atsushi Yamashita, Hajime Asama, “Dissecting neural odes,” 34th Conference on Neural Information Processing Systems, NeurIPS 2020

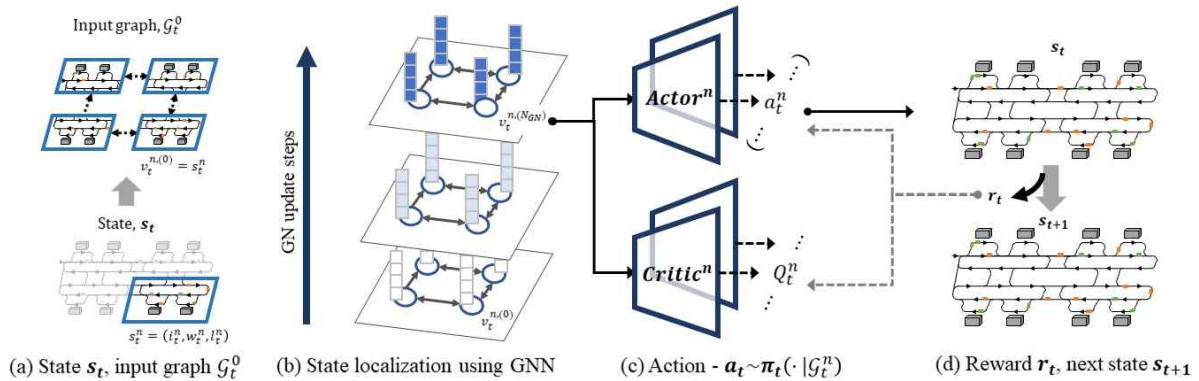


<그림 3-3: Depth-varying neural ODE를 활용한 classifier 학습>

Cooperative zone-based rebalancing of idle overhead hoist transportations using multi-agent reinforcement learning with graph representation learning by Kyuree Ahn, Jinkyoo Park

대규모 엔지니어링 시스템은 서로 상호 작용하는 하위 시스템들로 구성된다. 예를 들어 풍력 발전소는 풍력 터빈들로, 자동화 공정은 로봇/기계들로, 스마트 그리드는 수많은 에너지 저장소들로 구성되어 있다. 비슷하게, 반도체 FAB은 단방향 트랙을 따라 웨이퍼를 운반하는 수백개의 OHT들로 구성되어 있다. 상위의 엔지니어링 시스템이 복잡해짐에 따라 시스템 수준의 성능을 달성하기 위해 하위 시스템들의 협력적으로 제어/운영하는 것이 어려워지며 시스템 수준 성능을 달성하기 위한 하위 시스템의 협력/분산적 정책의 필요성이 대두된다. 본 연구에서는 다중 에이전트 강화학습 (multi-agent reinforcement learning, MARL) 기반의 유휴 OHT 재배치 정책을 통한 공정 제어 알고리즘을 제안한

다. 제안된 알고리즘은 우선 FAB을 여러 영역으로 이산화하고 그래프 상태 표현을 도출한다. 그래프 기반 상태 표현 모듈은 각 구역별 OHT의 개수, 대기 중인 웨이퍼들의 수, 처리 중인 웨이퍼 수 등의 데이터를 지리적인 분포와 관계성을 고려해 효과적으로 표현한다. 이후, 그래프 기반 상태 표현 모듈로 취득된 환경 정보를 이용해 FAB의 각 구역이 주변 어떤 구역으로 OHT를 재배치해야 하는가에 대한 최적 재배치 정책을 결정한다 (그림 3-4).

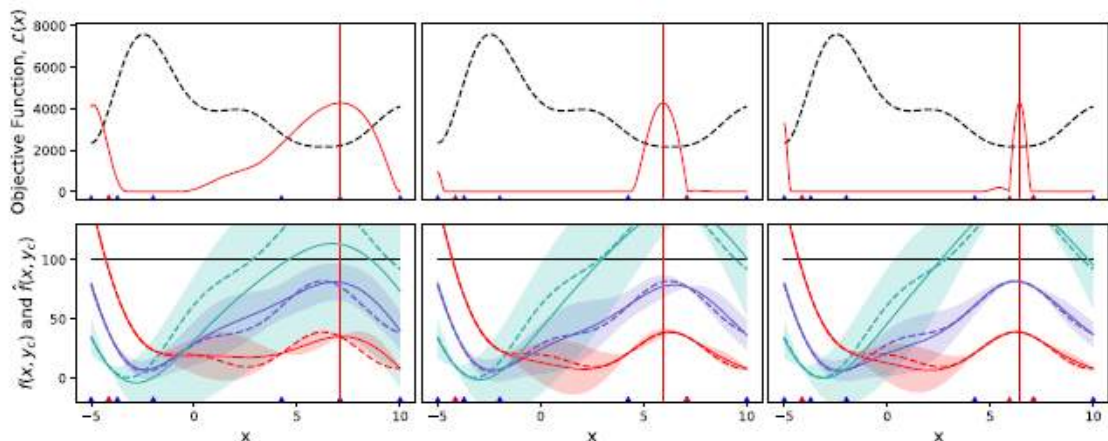


<그림 3-4: 협동적 재배치 정책 알고리즘 아키텍처>

제시된 그래프 기반 다중 에이전트 강화학습 방법론은 기존 알고리즘 대비 OHT의 이용률 (utilization ratio), 평균 차량 회수 소요 시간 (retrieval time), 차량 이동 시간 (transportation time) 등을 크게 줄일 수 있음을 보여준다. 또한 다양한 OHT 수와 정체 조건 하에서 학습된 정책이 추가적인 학습 없이 동적인 FAB 환경에서 이용 가능함을 확인함으로써 알고리즘의 전이성 (transferability)을 검증했다.

<신하용 교수>

Bayesian optimization을 이용하여 SMD 기관의 최적 공정 조건을 찾아가는 방법을 제시하였고, 이 결과를 Computers & Ind. Eng. 저널(IF 4.135)에 게재됨. J. Jeong and Hayong Shin, "Bayesian optimization for a multiple-component system with target values", Computer & Industrial Engineering, V157 (2021.7)



<그림 3-5: Bayesian optimization을 이용한 SMD 기관 공정 최적화>

<이태익 교수>

Wafer Delay Analysis and Workload Balancing of Parallel Chambers for Dual-Armed Cluster Tools With Multiple Wafer Types 논문을 IEEE Transactions on Automation Science and Engineering(Impact Factor 4.938) 학술지에 게재.

최근 반도체 공정장비는 다양한 종류의 제품을 생산하기 때문에, 동일한 공정장비에도 다른 종류의 웨이퍼가 Lot(24장) 단위로 들어오게 될 수 있음. 이러한 혼류 생산 시에도 기존의 Baseline Sequence인 Swap Sequence가 생산성 측면에서 여전히 우수한 성능을 가지는 것이 입증된 바 있음. 하지만 혼류 생산을 시행하는 경우에 대한 Wafer Delay 등의 품질 관리 지표에 대한 변화는 아직 규명된 바가 없음. 본 논문에서는 Swap Sequence를 운용하는 장비에서 타이밍 패턴의 조절을 통하여 Wafer Delay 등의 품질 관리 지표를 우수하게 만드는 방안을 제시함.

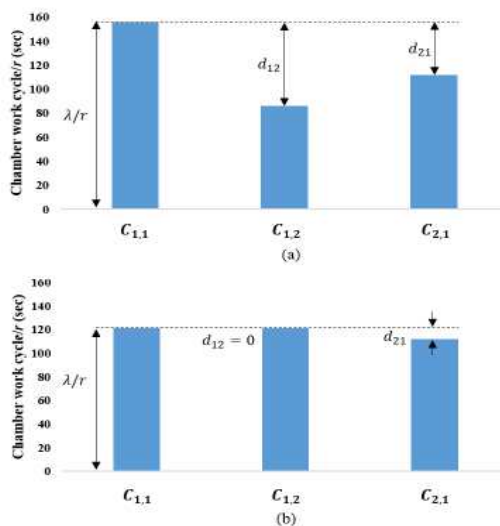


Fig. 7. Chamber workloads and wafer delays when parallel chambers are shared and balanced. (a) Parallel chambers are dedicated. (b) Parallel chambers are shared and balanced.

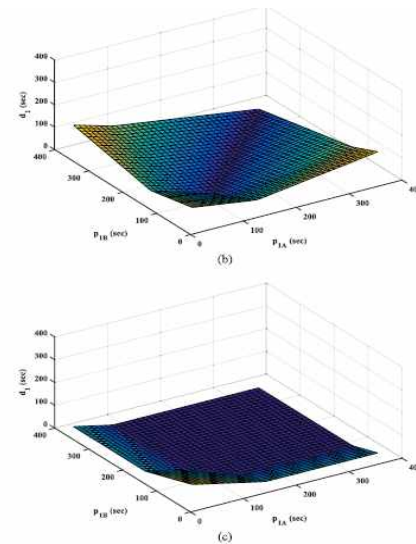


Fig. 8. Wafer delays for two different cycle plans. (a) Wafer delays for dedicated parallel chambers ($r = 1$). (b) Wafer delays for shared but unbalanced parallel chambers ($r = 3$). (c) Wafer delays for shared and balanced parallel chambers ($r = 2$).

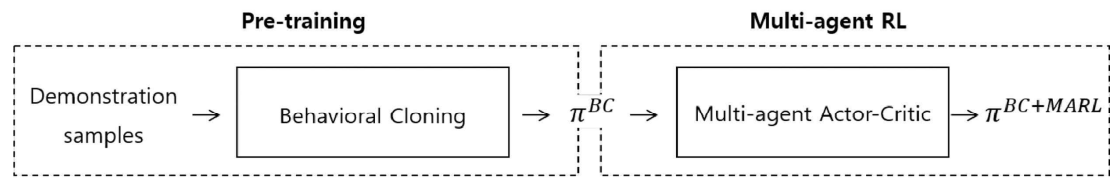
<그림 3-6: Swap Sequence를 운용하는 장비에서 타이밍 패턴의 조절을 통하여 Wafer Delay 등의 품질 관리 지표 고도화 결과>

<이태식 교수>

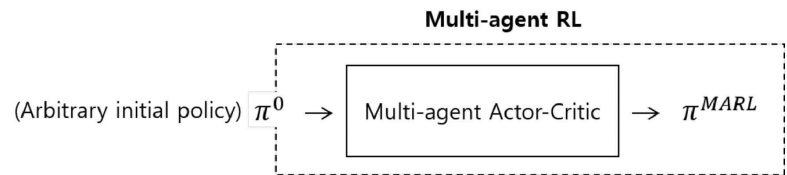
Lee, H. R., & Lee, T. (2021). Multi-agent reinforcement learning algorithm to solve a partially-observable multi-agent problem in disaster response. European Journal of Operational Research, 291(1), 296-308.

재난 상황 시 발생하는 개인의 의사결정을 decentralized-partially observable Markov decision process로 표현하고 이를 해결하는 방법으로 multi-agent reinforcement learning algorithm augmented by behavioral cloning을 제시한 논문을 operations research & management science 분야 상위 저널인 EJOR에 게재함. (IF : 5.33, JIF/IF 기준 Q1)

(a) Proposed method



(b) Standard MARL



<그림 3-7: multi-agent reinforcement learning algorithm augmented by behavioral cloning>

1. 참여교수 연구역량

1.1 중앙정부 및 해외기관 연구비 수주 실적

<표 3-1> 최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 이공계열 참여교수 1인당 중앙정부 및 해외기관 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천원)		
	3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 실적(선정평가 보고서 내용)	최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 실적	비고
중앙 정부 연구비 수주 총 입금액	7,245,195	3,530,330	
해외기관(산업체 제외) 연구비 수주 총 (환산)입금액	0	0	
이공계열 참여교수 수	13	14	
1인당 총 연구비 수주액	577,322	252,166	

〈표 3-2〉 최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 참여교수 논문 게재 실적

연도	연 번	논문제목	게재정보									저자 중 교육연구단 참여교수 성명	IF (JCR2020 기준)	IF 등급(Q1~ Q4)	비고
			게재 학술지명	학술지 구분	ISSN	DOI/URL	학술대회 발표구분 (regular/ short)	권	호	쪽	게 재 월 (MM)				
2020년	1	Development of a Framework to Understand Tables in Engineering Specification Documents	APPLIED SCIENCES-BASEL	SCIE	2076-3417	10.3390/app10186182		10	18		09	서효원	2.679	Q2	
	2	Demand-Side Management with Shared Energy Storage System in Smart Grid	IEEE Transactions on Smart Grid	SCIE	1949-3053	10.1109/TSG.2020.2980318		11	5	4466	09	박진규	8.96	Q1	
	3	Effects of 3D Virtual “Try-On” on Online Sales and Customers’ Purchasing Experiences	IEEE ACCESS	SCIE	2169-3536	10.1109/ACCESS.2020.3023040		8		189479	09	장영재	3.367	Q2	
	4	Achieving Portfolio Diversification for Individuals with Low Financial Sustainability	SUSTAINABILITY	SCIE	2071-1050	10.3390/su12177073		12	17		09	김우창	3.251	Q2	
	5	Development and validation of a wearable inertial sensors-based automated system for assessing work-related musculoskeletal disorders in the workspace	INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH	SCIE	1660-4601	10.3390/ijerph17176050		17	17	6050	09	서평송	3.39	Q1	
	6	An automated system for motor function assessment in stroke patients using motion sensing technology: A pilot study	MEASUREMENT	SCIE	0263-2241	10.1016/j.measurement.2020.107896		161			09	서평송	3.927	Q1	
	7	Count-based change point detection via multi-output log-Gaussian Cox processes	IIEE TRANSACTIONS	SCIE	2472-5854	10.1080/24725854.2019.1676937		52	9	998	09	박진규	2.681	Q2	
	8	Multiresolution spatial generalized linear mixed model for integrating multi-fidelity spatial count data without common identifiers between data sources	SPATIAL STATISTICS	SCIE	2211-6753	10.1016/j.spasta.2020.100467		39			10	김희영	2.06	Q2	
	9	Analysis of Backward Sequence for Single-Armed Cluster Tools With Processing Time Variations	IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING	SCIE	1545-5955	10.1109/TASE.2020.3002560		17	4	2167	10	김현정	5.083	Q1	
	10	Housing Market Agent-Based Simulation with Loan-To-Value and Debt-To-Income	JASSS-THE JOURNAL OF ARTIFICIAL SOCIETIES AND SOCIAL SIMULATION	SSCI	1460-7425	10.18564/jasss.4410		23	4		10	문일철	2.106	Q2	

11	Deep Generative Positive-Unlabeled Learning under Selection Bias	29th ACM International Conference on Information and Knowledge Management	SCIE	BKCSA042	10.1145/3340531.3411971	regular			1155	10	문일철	3	Q1	CIKM
12	Wind Field-Based Short-Term Turbine Response Forecasting by Stacked Dilated Convolutional LSTMs	IEEE Transactions on Sustainable Energy	SCIE	1949-3029	10.1109/TSTE.2019.2954107		11	4	2294	10	박진규	7.917	Q1	
13	Emergency medical service resource allocation in a mass casualty incident by integrating patient prioritization and hospital selection problems	IIEE TRANSACTIONS	SCIE	2472-5854	10.1080/24725854.2020.1727069		52	10	1141	10	이태식	2.681	Q2	
14	Item Assignment Problem in a Robotic Mobile Fulfillment System	IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING	SCIE	1545-5955	10.1109/TASE.2020.2979897		17	4	1854	10	김현정	5.083	Q1	
15	Guest Editorial Special Section-Papers From the 2019 MASM/WSC Conference	IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING	SCIE	0894-6507	10.1109/TSM.2020.3031442		33	4	493	11	이태억	2.874	Q2	
16	Semi-Supervised Multi-Label Learning for Classification of Wafer Bin Maps With Mixed-Type Defect Patterns	IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING	SCIE	0894-6507	10.1109/TSM.2020.3027431		33	4	653	11	김희영	2.874	Q2	
17	Memory-Augmented Convolutional Neural Networks With Triplet Loss for Imbalanced Wafer Defect Pattern Classification	IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING	SCIE	0894-6507	10.1109/TSM.2020.3010984		33	4	622	11	김희영	2.874	Q2	
18	Bayesian nonparametric latent class model for longitudinal data	STATISTICAL METHODS IN MEDICAL RESEARCH	SCIE	0962-2802	10.1177/0962280220928384		29	11	3381	11	김희영	3.021	Q1	
19	Dirichlet Variational Autoencoder	PATTERN RECOGNITION	SCIE	0031-3203	10.1016/j.patcog.2020.107514		107			11	문일철	7.74	Q1	
20	A Sequential Search Method of Dispatching Rules for Scheduling of LCD Manufacturing Systems	IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING	SCIE	0894-6507	10.1109/TSM.2020.3029124		33	4	496	11	김현정	2.874	Q2	

	21	OOD-MAML: Meta-Learning for Few-Shot Out-of-Distribution Detection and Classification	34th Conference on Neural Information Processing Systems	SCIE	BKCSA087	https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/28e209b61a52482a0ae1cb9f5959c792-Abstract.html	regular				12	김희영	4	Q1	NIPS
	22	Effects of working posture, lifting load, and standing surface on postural instability during simulated lifting tasks in construction	ERGONOMICS	SCIE	0014-0139	10.1080/00140139.2020.1807614		63	12	1571	12	서평송	2.778	Q3	
	23	A robust contingency-constrained unit commitment with an N - alpha k security criterion	INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER & ENERGY SYSTEMS	SCIE	0142-0615	10.1016/j.ijepes.2020.106148		123			12	박성수	4.63	Q1	
	24	Dissecting Neural ODEs	34th Conference on Neural Information Processing Systems	SCIE	BKCSA087	https://arxiv.org/abs/2002.08071	regular				12	박진규	4	Q1	NIPS
	25	Hypersolvers: Toward Fast Continuous-Depth Models	34th Conference on Neural Information Processing Systems	SCIE	BKCSA087	https://arxiv.org/abs/2007.09601	regular				12	박진규	4	Q1	NIPS
2021년	1	Extending the Scope of ALM to Social Investment: Investing in Population Growth to Enhance Sustainability of the Korean National Pension Service	SUSTAINABILITY	SCIE	2071-1050	10.3390/su13010401		13	1	401	01	김우창	3.251	Q2	
	2	Objective Bound Conditional Gaussian Process for Bayesian Optimization	38th International Conference on Machine Learning	SCIE	BKCSA027	http://proceedings.mlr.press/v139/jeong21a.html	regular	139		4819	01	김희영	4	Q1	ICML
	3	Scheduling uniform parallel dedicated machines with job splitting, sequence-dependent setup times, and multiple servers	COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH	SCIE	0305-0548	10.1016/j.cor.2020.105115		126			02	김현정	4.008	Q2	
	4	Combined unsupervised-supervised machine learning for phenotyping complex diseases with its application to obstructive sleep apnea	SCIENTIFIC REPORTS	SCIE	2045-2322	10.1038/s41598-021-84003-4		11	1		02	김희영	4.379	Q1	
	5	Counterfactual Fairness with Disentangled Causal Effect Variational Autoencoder	AAAI Conference on Artificial Intelligence	SCIE	BKCSA001	https://www.aaai.org/AAAI21Paper	regular				02	문일철	4	Q1	AAAI

					rs/AAAI-6311.KimH.pdf												
6	Implicit Kernel Attention	AAAI Conference on Artificial Intelligence	SCIE	BKCSA001	https://www.aaai.org/AAAI21Papers/AAAI-2475.SongK.pdf	regular				02	문일철	4	Q1	AAAI			
7	Modeling Individual Differences in Driver Workload Inference Using Physiological Data	INTERNATIONAL JOURNAL OF AUTOMOTIVE TECHNOLOGY	SCIE	1229-9138	10.1007/s12239-021-0020-8		22	1	201	02	장영재	1.269	Q4				
8	Industry 3.5: IE developments and prospects in the Asia-pacific region Foreward	COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING	SCIE	0360-8352	10.1016/j.cie.2020.107088		153			03	이태억	5.431	Q1				
9	Iterative job splitting algorithms for parallel machine scheduling with job splitting and setup resource constraints	JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY	SSCI	0160-5682	10.1080/01605682.2019.1700191		72	4	780	03	김현정	2.86	Q2				
10	Black-Box Expectation-Maximization Algorithm for Estimating Latent States of High-Speed Vehicles	JOURNAL OF AEROSPACE INFORMATION SYSTEMS	SCIE	2327-3097	10.2514/1.1010831		18	4	175	04	문일철	1.185	Q3				
11	Robust estimation of sparse precision matrix using adaptive weighted graphical lasso approach	JOURNAL OF NONPARAMETRIC STATISTICS	SCIE	1048-5252	10.1080/10485252.2021.1931688		33	2	249	04	김희영	1.231	Q3				
12	HDMI: High-order Deep Multiplex Infomax	2021 World Wide Web Conference	SCIE	BKCSA035	10.1145/3442381.3449971	regular			2414	04	박찬영	4	Q1	WWW			
13	Multi-agent reinforcement learning algorithm to solve a partially-observable multi-agent problem in disaster response	EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH	SCIE	0377-2217	10.1016/j.ejor.2020.09.018		291	1	296	05	이태식	5.334	Q1				
14	Mean-Variance Optimization for Asset Allocation	JOURNAL OF PORTFOLIO MANAGEMENT	SSCI	0095-4918	10.3905/jpm.2021.1.219		47	5	24	05	김우창	0.709	Q3				
15	Cost of shareholder engagement by institutional investors under short-swing profit rule	FINANCE RESEARCH LETTERS	SSCI	1544-6123	10.1016/j.frl.2020.101700		40			05	김우창	5.596	Q1				
16	Cooperative and Competitive Biases for Multi-Agent Reinforcement Learning	Autonomous Agents and Multiagent Systems	SCIE	BKCSA109	https://arxiv.org/abs/2101.06890	regular			1091	05	신하용, 박진규	2	Q2	AAMAS			
17	Refine Myself by Teaching Myself : Feature Refinement via Self-Knowledge Distillation	IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition	SCIE	BKCSA014	https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2021/html/Ji_Refine_Myself_by_Teaching_Myself_Featur	regular			10664	06	문일철	4	Q1	CVPR			

					e_Refinement_via_Self-Knowledge_Distillation_CVPR_2021_paper.html										
18	On using cardinality constrained uncertainty for objective coefficients in robust optimization	OPTIMIZATION LETTERS	SCIE	1862-4472	10.1007/s11590-020-01622-y		15	4	1195	06	박성수	1.769	Q2		
19	Detecting and Analyzing Politically-Themed Stocks Using Text Mining Techniques and Transfer Entropy-Focus on the Republic of Korea's Case	ENTROPY	SCIE	1099-4300	10.3390/e23060734		23	6		06	김우창	2.524	Q2		
20	Learning to schedule job-shop problems: Representation and policy learning using graph neural network and reinforcement learning	INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH	SCIE	0020-7543	10.1080/00207543.2020.1870013		59	11	3360	06	박진규	8.568	Q1		
21	Bootstrapping User and Item Representations for One-Class Collaborative Filtering	ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval	SCIE	BKCSA007	10.1145/3404835.3462935	regular			1513	07	박찬영	4	Q1	SIGIR	
22	Bayesian optimization for a multiple-component system with target values	COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING	SCIE	0360-8352	10.1016/j.cie.2021.107310		157		107310	07	신하용	5.431	Q1		
23	Ergonomic Postural Assessment Using a New Open-source Human Pose Estimation Technology (OpenPose)	INTERNATIONAL JOURNAL OF INDUSTRIAL ERGONOMICS	SCIE	0169-8141	10.1016/j.ergon.2021.103164		84		103164	07	서평송	2.656	Q3		
24	A Large-scale Open Motion Dataset (KFall) and Benchmark Algorithms for Detecting Pre-impact Fall of the Elderly Using Wearable Inertial Sensors	FRONTIERS IN AGING NEUROSCIENCE	SCIE	1663-4365	10.3389/fnagi.2021.692865		13		692865	07	서평송	5.75	Q1		
25	Identifying the mobile application repertoire based on weighted formal concept analysis	EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS	SCIE	0957-4174	10.1016/j.eswa.2021.114678		173			07	서효원	6.954	Q1		
26	Reachability Tree-Based Optimization Algorithm for Cyclic Scheduling of Timed Petri Nets	IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING	SCIE	1545-5955	10.1109/tase.2020.3009984		18	3	1441	07	이태억	5.083	Q1		
27	Wafer Delay Analysis and Workload Balancing of Parallel Chambers for Dual-Armed Cluster Tools With Multiple Wafer Types	IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING	SCIE	1545-5955	10.1109/TASE.2021.3061140		18	3	1516	07	이태억	5.083	Q1		
28	Emerging ExG-based NUI Inputs in Extended Realities: A Bottom-up Survey	ACM TRANSACTIONS ON INTERACTIVE INTELLIGENT SYSTEMS	SCIE	2160-6455	10.1145/3457950		11	2		07	이익항	2.137	Q3		

	29	Recent Trends and Perspectives on the Korean Asset Management Industry	JOURNAL OF PORTFOLIO MANAGEMENT	SSCI	0095-4918	10.3905/jpm.2021.1.248		47	7	172	07	김우창	0.709		
	30	User-Defined Walking-in-Place Gestures for VR Locomotion	INTERNATIONAL JOURNAL OF HUMAN-COMPUTER STUDIES	SCIE	1071-5819	10.1016/j.ijhcs.2021.102648		152	102648		08	서평송	3.632	Q1	
	31	Bayesian variable selection in clustering high-dimensional data via a mixture of finite mixtures	JOURNAL OF STATISTICAL COMPUTATION AND SIMULATION	SCIE	0094-9655	10.1080/00949655.2021.1902526		91	12	2551	08	김희영	1.424	Q3	
IF 합계			2020년		97.850										
			2021년		112.973										
참여교수 1인당 IF			2020년(13명)		7.5269										
			2021년(16명)		7.061										

1.2 연구업적물

① 참여교수 연구업적물의 우수성

본 교육연구단 연구목표의 핵심가치는 산업에 기여할 수 있는 연구이며 이러한 목표에 부합되는 우수 연구는 현실 적용하여 산업을 바꿀 수 있는 연구로 정의하였다.

본 교육연구단의 “연구 역량 향상 계획”에서도 논문을 위한 연구가 아닌 산업에 직접 기여하는 연구를 우수 연구로 기술하였다.

이러한 의미에서 다음 연구 <표 3-3>를 우수 대표 연구업적물로 선정하였다.

1. **박진규 교수**, 안규리 학생의 연구는 실제 반도체 현장에 활용되는 자동화 장비의 운영 문제를 해결한 연구다. 시너스텍-카이스트 연구센터에서 실제 반도체 공장 운영의 문제를 파악하여 진행된 연구이며 산업공학 대표 저널인 ISE Transactions에서 표지 연구 (cover page)로 소개되었다.

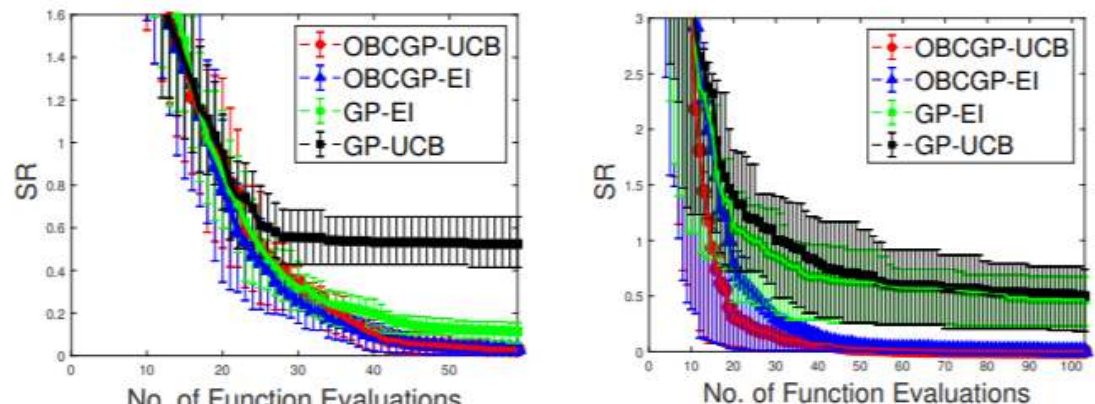
2. **김희영 교수**의 연구 또한 실제 최적화 문제의 한계를 극복한 연구로 제조 파라미터 최적화 분야에서 다양하게 적용될 수 있는 연구다. 본 연구는 AI연구 최상급 저널인 ICML 출간되었다.

3. **장영재 교수**의 특허는 (등록번호: 2021-04-06 / 10-2238930-0000, 듀얼 스토키 스케줄링 방법 및 장치) - LCD 및 OLED와 같은 평판 디스플레이 장비 AI활용하는 기법에 대한 연구의 업적물로 관련 기술을 기업에 성공적으로 이전하였으며 해당 기업은 본 특허를 기반으로 약 20억원의 매출고를 달성하였다.

② 연구의 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 1년(2020.9.1.-2021.8.31.))

<표 3-3: 대표 연구 업적물>

연 번	대표연구업적물 설명
1	<p>박진규 교수, 안규리 학생 연구</p> <p>Cooperative zone-based rebalancing of idle overhead hoist transportations using multi-agent reinforcement learning with graph representation learning by Kyuree Ahn, Jinkyoo Park, <i>ISE Transactions</i>, Volume 53, 2021 - Issue 10, Published Online: 01 Feb 2021</p> <p>대규모 엔지니어링 시스템은 서로 상호작용하는 하위 시스템들로 구성된다. 예를 들어 풍력 발전소는 풍력 터빈들로, 자동화 공정은 로봇/기계들로, 스마트 그리드는 수많은 에너지 저장소들로 구성되어 있다. 비슷하게, 반도체 FAB은 단방향 트랙을 따라 웨이퍼를 운반하는 수백개의 OHT들로 구성되어 있다. 상위의 엔지니어링 시스템이 복잡해짐에 따라 시스템 수준의 성능을 달성하기 위해 하위 시스템들의 협력적으로 제어/운영하는 것이 어려워지며 시스템 수준 성능을 달성하기 위한 하위 시스템의 협력/분산적 정책의 필요성이 대두된다. 본 연구에서는 다중 에이전트 강화학습 (multi-agent reinforcement learning, MARL) 기반의 유휴 OHT 재배치 정책을 통한 공정 제어 알고리즘을 제안한다.</p>

2	<p>김희영 교수 연구</p> <p>T. Jeong and H. Kim (2021), "Objective Bound Conditional Gaussian Process for Bayesian Optimization," International Conference on Machine Learning (ICML).</p> <p>순차적 최적화 방법인 Bayesian optimization의 surrogate model로 Gaussian process (GP)가 널리 사용된다. 본 논문에서는 GP에 최적 함수 값의 bound를 준 새로운 surrogate model인 objective bound conditional GP (OBCGP)를 제안하였다. 최적 함수 값의 bound는 현재까지 관찰된 최적값으로 설정할 수 있으며 실험이 진행되면서 순차적으로 업데이트될 수 있다. 이론적으로 OBCGP가 GP와 같은 수렴 속도를 가짐을 보였으며, 실험을 통해 다양한 Bayesian optimization 문제에서 GP보다 더 좋은 성능을 보임을 검증하였다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: center;">〈그림 3-8: OBCGP와 GP의 iteration 수에 따른 simple regret 비교〉</p>
3	<p>장영재 교수 특허</p> <ul style="list-style-type: none"> - 등록번호: 10-2238930-0000(2021.04.06) - 특허명 : 듀얼 스토커 스케줄링 방법 및 장치 <p>LCD 및 OLED와 같은 평판 디스플레이 장비 AI활용 기법에 대한 특허로, 관련 등록 기업 기술이전 및 특허기반 사업 매출 약 20억원 추정한다.</p>

2. 연구의 국제화 현황

① 참여교수의 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

(1) 국제학회 및 학술대회 활동 (좌장, 위원회 등)

연번	교수명	학술대회 및 워크샵 명	활동분야, 좌장
1	김경국	2020 Winter Simulation Conference	Program Committee for Model Uncertainty and Robust Simulation
2	김현정	MASM: Semiconductor Manufacturing, Winter Simulation Conference, 2020	Program Committee Member
3	김현정	IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2021	Associate Editor

연번	교수명	학술대회 및 워크샵 명	활동분야, 직장
4	문일철	ACL 2020, 2021	Program Committee Member
5	문일철	AAAI 2021	Program Committee Member
6	문일철	IJCAI 2021	Senior Program Committee Member
7	문일철	AIStat 2021	Program Committee Member
8	문일철	NeurIPS 2020	Program Committee Member
9	문일철	NeurIPS 2021	Program Committee Member
10	문일철	CVPR 2021	Program Committee Member
11	서평송	The 12th International Conference on Physical Ergonomics and Human Factors	Co-Chair

(2) 국제학회 수상 실적

연번	교수명	수상내역	년월
1	문일철	WinterSim 2020, Best Application Paper Finalist	2020.12
2	이태억	IEOM Society Distinguished Professor Award	2021.03

(3) 국제학술지 활동

연번	교수명	저널명	자격	활동기간
1	김경국	The Engineering Economist	Area Editor	2017~
2	김우창	Sustainability	Topic Editor	2020~
3	김우창	Quantitative Finance	Managing Editor	2017~
4	김우창	Optimization and Engineering	Associate Editor	2014~
5	김우창	Journal of Portfolio Management	Editorial Board Member	2013~
6	김우창	Journal of Korean Institute of Industrial Engineers	Associate Editor	2012~
7	김현정	IEEE Robotics and Automation Letters	Associate Editor	2021~
8	김현정	International Journal of Production Research	Guest Editor	2021~
9	김희영	IIE Transactions	Associate Editor	2020~
10	김희영	IEEE Transactions on Automation Science and Engineering	Associate Editor	2020~
11	문일철	Journal of Artificial Society and Social Simulations	Associate Editor	2019~
12	서평송	Journal of Physiological Anthropology	Associate Editor	2014~
13	서평송	Scientific Reports (SCI, Nature Publishing Group)	Editorial Board	2019~
14	서평송	International Journal of Industrial Ergonomics	Editorial Board	2019~

연번	교수명	저널명	자격	활동기간
15	서평송	Theoretical Issues in Ergonomics Science	Editorial Board	2019~
16	서평송	International Journal of Environmental Research and Public Health	Guest Editor	2020~
17	신하용	Computer-Aided Design	Editorial Board	2006~
18	안정연	The American Statistician	Associate Editor	2014~
19	안정연	Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems	Editorial Board Member	2016~
20	안정연	Journal of the Korean Statistical Society	Associate Editor	2019~
21	장영재	IEEE Transactions on Automation Science and Engineering	Associate Editor	2019~
22	장영재	Computers and Industrial Engineering	Associate Editor	2018~
23	장영재	SMMSO (Stochastic Models for Manufacturing and Service Operations)	Board Member	2019~

(4) 국제 저술 활동

연번	교수명	전문학술도서	연도
1	서평송	Title: Handbook of Footwear Design and Manufacture, 2e - Chapter 5: Foot models and measurements (ISBN 978-3-030-80713-9) Publisher: Elsevier/Woodhead Publishing Authors: Xiong S.*, Luximon A. and Zhao J.	2021
2	서평송	Title: Advances in Physical, Social & Occupational Ergonomics (ISBN 978-0-12-821606-4) Publisher: Springer Nature Authors: Goonetilleke, R.S., Xiong, S., Kakis, H., Roja, Z., Karwowski, W., Murata, A.	2021

② 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자			
1	김경국	Dong-Young Lim	영국/University of Edinburgh	K. Kim, D.-Y. Lim (2021) Static replication of barrier-type options via integral equations. Quantitative Finance, Vol. 21, pp. 281-294.	10.1080/14697688.2020.1817973
2	김현정	Cristobal Pais, Zuo-Jun Max Shen	USA/University of California, Berkeley	H.-J. Kim, C. Pais & Z.-J. Shen (2020), Iterm Assignment Problem in a Robotic Mobile Fulfillment System, Vol. 17, no. 4, pp. 1854-1867	10.1109/TASE.2020.2979897
3	박진규	Stefano Massaroli,	일본/The University of	Stefano Massaroli, Michael Poli, Jinkyoo Park, Atsushi Yamashita,	https://papers.nips.cc/paper/202

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자			
		Atsushi Yamashita, Hajime Asama	Tokyo	Hajime Asama, “Dissecting neural odes,” 34th Conference on Neural Information Processing Systems, NeurIPS 2020	0/hash/293835c2cc75b585649498ee74b395f5-Abs tract.html
4	박진규	Stefano Massaroli,, Atsushi Yamashita, Hajime Asama	일본/The University of Tokyo	Michael Poli, Stefano Massaroli, Atsushi Yamashita, Hajime Asama, Jinkyoo Park, “Hypersolvers: Toward Fast Continuous-Depth Models,” 34th Conference on Neural Information Processing Systems, NeurIPS 2020	https://papers.ni ps.cc/paper/202 0/hash/f1686b4b adcf28d33ed632 036c7ab0b8-Abs tract.html
5	박찬영	Hanghang Tong, Baoyu Jing	미국/University of Illinois	Jing, Baoyu, Chanyoung Park, and Hanghang Tong. “Hdmi: High-order deep multiplex infomax.” Proceedings of the Web Conference 2021. 2021.	10.1145/3442381 .3449971
6	서평송	Liangjie Guo	중국 / China University of Geosciences	Guo L and Xiong S*, 2020. Effects of working posture, lifting load, and standing surface on postural instability during simulated lifting tasks in construction. Ergonomics, 63 (12): 1571-1583.	10.1080/0014013 9.2020.1807614
7	신하용	Jihwan Jeong	캐나다/U.of Toronto	J. Jeong and Hayong Shin (2021), “Bayesian optimization for a multiple-component system with target values” , Computers & Industrial Engineering, V157	10.1016/j.cie.202 1.107310
8	안정연	J. C. Poythress	미국/Univ. New Hampshire	Poythress, Ahn, and Park (2021), Low-rank, Orthogonally Decomposable Tensor Regression with Application to Visual Stimulus Decoding of fMRI Data, Journal of Computational and Graphical Statistics, in press.	10.1080/1061860 0.2021.1951741
9	장영재	권창현	University of South Florida	A Reinforcement Learning Approach for Rebalancing Electric Vehicle Sharing Systems	10.1109/TITS.20 21.3085217
10	이익항	Dimitris Chatzopoulos, Dimitris Chatzopoulos, Pan Hui	Hong Kong University of Science and Technology	Emerging ExG-based NUI Inputs in Extended Realities: A Bottom-up Survey	10.1145/3457950

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적 및 계획

연번	교육연구단 참여교수	기관명	상대기관 연구자명	교류 실적 및 계획
1	김경국	Hong Kong/ Chinese University of Hong Kong	Dohyun Ahn, Nan Chen	Systemic risk quantification 대하여 논문연구를 진행 중임
2	김현정	UK/Queen Mary University of London	Eun-Seok Kim	김은석 교수와 작업물의 공정시간이 변하는 상황에서 스케줄링 문제의 복잡도를 분석하고 최적 알고리즘을 개발하는 연구를 수행하고 있음.
3	김현정	China/Northeastern University	Lixin Tang	Lixin Tang교수와 에너지를 고려한 제조시스템 스케줄링 문제의 알고리즘 개발을 공동으로 수행하고 있음.
4	문일철	Havard Univ	올리비아정	Crowdsourcing and Engaging Employees in Innovation: Three Field Experiments 온라인 초청강연, 2021/5/18
5	문일철	New York Univ	이해강	The Financial Benefits of Health Engagement Programs to Life Insurers 온라인 초청강연, 2021/5/25
6	문일철	Univ. of Calgary	이지현	Application of industrial robots in machining: Challenges and Approaches 온라인 초청강연, 2021/3/16
7	박진규	The University of Hong Kong	Jinhyun Choo	PDE를 효과적으로 푸는 인공지능 기법을 공동으로 개발 중
8	서평송	The University of Auckland	Yanxin Zhang	VR을 활용한 노인의 신체기능 평가 및 운동 처방에 대하여 논문연구를 진행하며 두 연구그룹 간 공동 세미나 및 공동 제안서 작성 계획 중임
9	안정연	Univ. Georgia	Yuan Ke	다중시계열자료의 변화점 탐색에 대하여 논문연구를 진행 중임
10	이태식	University of Toronto	이치근	multi-agent reinforcement learning을 이용한 non-cooperative multi-agent system의 incentive design framework 개발을 위해 학술 교류 진행 (주 1회 화상회의)함. 박사후연구원 1명, 박사과정 1명이 포함된 연구진과 교류를 진행 중이며 단기 계획으로 AAMAS 2022 제출을 목표로 함
11	장영재	University of South Florida	권창현	강화학습 기반 Electric vehicle의 운영 최적화에 대하여 논문연구를 진행 중임
12	장영재	General Motors Holdings	Seog-Chan Oh	인공지능 기반의 Matrix assembly system 운영 고도화 관련 연구를 진행 중임

□ 산학협력 대표 우수성과

■ 한국엔컴퍼니 디지털 혁신센터 개소 (2021년 2월)

- 2021년부터 2022년 말까지 **2년간 22억 원의 연구비** 투자를 받음
- 스마트팩토리 및 제조 설계 관련 7개 과제 연구 수행
- 카이스트와 협업을 통해 국내 제조기업이 세계적인 경쟁력을 확보에 기여할 것으로 기대됨



〈그림 4-1: 한국엔컴퍼니-KAIST 미래기술 연구 협약식〉

■ 반도체 장비 제조회사 원익IPS 사 (설립 추진 중)

- 2020년부터 2021년까지 2년간 8억 원의 연구비 투자를 합의하고 현재 계약함
- 반도체 장비의 설계와 운영을 효과적으로 수행하기 위한 인공지능 기법을 개발을 목적으로 함
- 산학협력을 통해 국내 반도체 장비 공급업체의 세계적 경쟁력을 확보하고 이를 통해 국내 반도체 산업에 이바지하는 것이 목표임



〈그림 4-2: 원익IPS-KAIST 연구 협약식〉

1. 참여교수 산학협력 역량

1.1 연구비 수주 실적

〈표 4-1〉 최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 참여교수 1인당 국내외 산업체 및 지자체 연구비 수주 실적

항 목	수주액(천 원)		
	3년간(2017.1.1.-2019.12.31.) 실적 (선정평가 보고서 작성내용)	최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 실적	비고
국내외 산업체 연구비 수주 총 입금액	3,928,545	2,034,348	
지자체 연구비 수주 총 입금액	0	0	
이공계열 참여교수 수	13	14	
1인당 총 연구비 수주액	302,195	145,524	

1.2 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

〈표 4-2〉 최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 이공계열 참여교수 특허, 기술이전, 창업 실적

연 번	참여교 수명	연구자 등록번 호	전공분 야	실적 구분	특허, 기술이전, 창업 상세내용
			세부전 공분야		
특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성					
1	문일철	101931 57	전산학	창업	① 문일철
					② 보조정보를 이용하는 조건부 변분 오토인코더 기반의 협업 필터링 방법 및 장치 (특허등록번호:10-2070049)
			시물레이션		③ 주식회사 써머리에이아이
					④ 5000만원
					⑤ 2021
	중소기업용 MES 클라우드 시스템의 제공 및 품질관리 영역의 Vision Data 분석 분야의 기술중심 스타트업 창업함.				
2	문일철	101931 57	전산학	특허	① 김동준,문일철,윤태섭
					② 에이전트 기반 시물레이션에서 기계학습을 이용한 미시 시물레이션 파라미터 교정 방법 및 장치
			시물레이션		③ 대한민국
					④ 10-2153540
					⑤ 2020.09
	산업체에서 쓰는 시물레이션 혹은 디지털트윈의 정합성을 향상시키기 위한 기계학습 기반의 파라미터 교정 방식을 제안함.				

연 번	참여교 수명	연구자 등록번 호	전공분 야	실적 구분	특허, 기술이전, 창업 상세내용
			세부전 공분야		
특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성					
3	이태억	100816 79	산업공 학	특허	① 이태억,최호진,이경호,홍철희
			산업공 학		② 전력 수요 예측 장치 및 방법
					③ 대한민국
					④ 10-2229209
					⑤ 2021.03
LSTM 및 RMSE를 이용하여 전력 수요량 피크값이 고려된 전력 수요량을 예측하는 전력 수요 예측 장치 및 방법을 개발함. 불확실성이 높아 수요 예측을 통한 운영이 중요한 전력시스템 분야에서 해당 기술의 활용도가 높을 것으로 보이며, 전력 이외의 다른 산업 시스템에도 적용이 가능할 것으로 기대됨.					
4	서효원	100534 09	산업공 학	특허	① 서효원,백현석
			동시공 학		② 파이프 라우팅 방법 및 그를 위한 컴퓨터 프로그램
					③ 대한민국
					④ 10-2209876
					⑤ 2021.01
플랜트 모듈의 컴팩트(Compact)화를 위하여 모듈의 장비배치 및 파이프 라우팅 배치를 최적화 하기 위하여 라우팅 조건을 고려한, 3차원 파이프 라우팅 최적 설계 방법과 이를 자동으로 수행하기 위한 프로그램을 제공함.					
5	장영재	101514 66	산업공 학	특허	① 장영재,황설
			공급체 인관리		② 듀얼 스토커 스케줄링 방법 및 장치
					③ 대한민국
					④ 10-2238930
					⑤ 2021.04
듀얼 스토커 시스템의 현재 상태를 반영한 이미지 데이터를 생성하고, 생성된 이미지 데이터를 기반으로 궤적 형태(Trace Shape)의 행렬을 생성하며, 궤적 형태 행렬을 합성곱 인공 신경망에 대입하여 특정 작업을 수행하였을 때 기대되는 듀얼 스토커 시스템의 성능을 각각 산출하고, 산출된 각각의 성능 중 최적의 성능을 출력할 수 있는 작업을 선택하여 듀얼 스토커 시스템을 스케줄링 하는 한편, 스케줄링 결과를 기반으로 인공 신경망을 지속적으로 학습시켜 시스템의 효율성을 확보할 수 있는 듀얼 스토커 스케줄링 방법 및 장치를 제공함.					
6	장영재	101514 66	산업공 학	기술 이전	① 장영재
			공급체 인관리		② 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm) 을 통한 설계인자 조합 최적화 알고리즘 노하우
					③ 한국타이어테크놀로지
					④ 40,000천원
					⑤ 2020.9
유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm) 을 통한 설계인자 조합 최적화 알고리즘 개발 노하우 외 2건의 노하우를 전수함.					

1.3 산학협력을 통한 (지역)산업문제 해결 실적의 우수성

〈표 4-3〉 최근 1년간(2020.9.1.-2021.8.31.) 참여교수 (지역)산업문제 해결 대표실적

연 번	참여교수명	연구자등록번호	세부전공분야	(지역)산업문제
	실적의 적합성과 우수성			
1	김우창	10677581	산업공학	감염병원 서비스를 위한 시스템 운영 모델 개발
	COVID-19 시대에서의 감염병 대응을 위한 음압 병실의 부족과 환자 이송을 위한 인프라의 비효율성 개선을 위하여 감염병원 서비스를 위한 지능형 음압 이송장치 개발, 감염병원 서비스를 위한 이동 확장형 음압 병동, 감염병원 서비스를 위한 이송-입원 연계형 음압 앰블런스 모형 제시 및 개발을 통하여 지역 감염병 발생에 대한 즉각적이면서도 전문적인 대응이 가능케 하는 데에 기여함.			
2	김현정	10963868	스케줄링	머신러닝 기반 설비 셋업 결정문제
	VMS Solutions와 함께 반도체 및 LCD 공정 스케줄링 문제에서 머신러닝을 활용하여 설비의 셋업 변경 최적 시점을 결정하는 문제를 해결하였음.			
3	김현정	10963868	스케줄링	설비 이상탐지
	(주)원익IPS와 함께 반도체 설비의 데이터를 분석하여 설비의 이상을 탐지하는 알고리즘을 개발하였음.			
4	문일철	10193157	시뮬레이션	디스플레이 품질문제
	디스플레이 분야의 품질문제 분석을 위한 산학과제를 삼성디스플레이와 수행하였음. 디스플레이의 Critical Dimension 예측을 위한 기계학습 방법론을 제공함. Il-Chul Moon, Quality Control and Process Understanding in Display Manufacturing, IMID 2021, Seoul, Aug 25			
5	신하용	10059849	산업공학	산업체 문제해결
	(주)고영테크놀로지와의 산학 연구를 통해서 PCB 검사장비의 검사 계획 최적화 기법을 개발하였고, 제품에 탑재할 것을 준비 중.			
6	신하용	10059849	산업공학	산업체 문제해결
	(주)원익IPS와 산학연 구를 통하여 반도체 제조를 위한 PECVD 장비의 virtual metrology를 위한 예측 모델을 개발하고 이를 통해 장비의 사용성 증대			
7	이태억	10081679	생산관리 및 자동화	반도체 공정장비 운영 최적화
	(주)원익IPS(반도체 및 디스플레이 공정장비 벤더) 내에서 사용되는 디스플레이 장비에 대하여 장비 상태에 따른 최적 작업 순서를 결정해주는 스케줄링 룰을 제시함. 또한, 클리닝 작업 및 EFEM 모듈을 포함한 반도체 장비에 대하여 장비의 운영 최적화를 위한 인공지능(강화학습) 스케줄러를 개발하였음. 또한, 공정 시간이 고정적으로 주어진 경우에 대하여 인공지능을 통해 학습시킨 주기적 스케줄을 추출하는 기술을 개발하여 실제 장비에 구현하였음.			
8	이태억	10081679	생산관리 및 자동화	반도체 공정 운영 최적화
	SK하이닉스 내 FAB 내 생산 설비에 대한 Feedback 기반 Workload Balancing 기법을 개발하였음. 해당 기법 개발을 통해 납기 만족을 달성함과 동시에 안정적인 생산을 지속 가능함. 추가적으로 설비 할당 제약을 해결하기 위한 LP 기법 및 Heuristic 기법을 개발하였으며, 위 기법들과 함께 상황에 따른 Feedback 가중치 제어를 통한 KPI 향상 가능성을 확인하였음.			

2. 산학 간 인적/물적 교류

2.1 산학 간 인적/물적 교류 실적과 계획

■ LG AI-BigData 전문가 과정 (“역-인턴십”)

- 기업의 AI 및 빅데이터 분야 인력양성 필요성에 대한 심도있는 지식 습득을 목적으로 기업체 교육생들이 카이스트에서 1학기 동안의 장기 교육을 수행하는 방식을 수행.
- 지도교수와 1:1 프로젝트 진행을 통해 현업문제 해결을 위한 단초를 제공함.

<표 4-4> LG AI-BigData 전문가 과정 진행개요>

연도	기간	참여 기업	교육 내용
2020년 가을학기	2020.10.5. ~2021.2.28	LG화학(5명) LG 디스플레이(3명) LG이노텍(1명)	KAIST 산업및시스템공학과의 인공지능 관련한 교수들이 총 72시간의 강좌를 개설하여 대면교육을 실시하고, 관련 교수들과 개별연구를 진행함.
2021년 가을학기	학기 중 개설 예정	LG그룹 계열사	인공지능 관련 강좌 개설 및 개별연구 진행 예정임.

■ 스마트제조혁신을 위한 디지털 제조 국내외 산학연 클러스터 구축

산학 센터와 별도로 국내기업과 해외 대학을 함께 연계, 디지털 제조기술 혁신을 이끌 수 있는 소통 및 협력의 장을 마련하기 위한 국제 산학연 클러스터 구축을 준비하고 있다. 국내외 산학연 네트워크를 통해 개발된 기술과 지식을 활용하여 디지털 제조 기술을 공급하는 벤처기업을 육성 및 국내 중소/벤처 기업들 중 제조기술 노하우를 필요로한 기업 대상으로 교육도 실시하여 디지털 경쟁력 강화에 기여할 것이다.

■ 해외 공동 네트워크 구성


해외 우수 대학들과 공동 네트워크를 통해 디지털 제조 관련 산학협력 사례를 공유하고, 공동연구 추진 및 대학이 중심이 되어 국내 중소/벤처 기업들의 해외 진출을 간접적으로 홍보하는 역할도 병행할 계획이다.

■ 디지털 제조 관련 창업 지원을 통해 지역경제 및 제조산업 활성화에 기여

카이스트에서 창업융합 전문석사 과정을 운영 중인 K-School과 연계하여 디지털 제조 관련 기술을 사업화하는 과정을 본 교육연구단에서 지원할 계획이다.

교육연구단(팀)명	디지털 제조 혁신 인재 양성 사업단
교육연구단(팀)장명	장 영 재

연 번	구 분	언론사명 /수상기관 등	보도일자/ 수상일자 등	제목/ 수상명 등	관련 URL
		주요내용 (200자 이내)			
1	기타	이투데이 외 2건	20.11.09	교육부, 원격 수업 질 향상...원격교육지원센터 10곳 선정	https://www.etoday.co.kr/news/view/1960416
		코로나 19시대로 인하여 중요성이 커진 원격 수업의 질을 개선하기 위하여, 교육부가 10개 지원센터를 선정함. 해당 10개 센터는 학습관리시스템(LMS) 구축 등을 통하여 원격 교육 관련 교육자원을 개발 및 공유할 예정이며, 해당 사업을 위해 128억원의 예산이 편성됨. 해당 사업은 이태억 카이스트 교수에 의하여 관리될 예정임.			
2	기타	보안뉴스	20.11.17	KAIST 가현욱·장영재 교수, AI 교육 과정 공동 개발	https://www.boannews.com/media/view.asp?idx=92628&kind=
		KAIST와 구글이 AI 우수 인재 양성을 위해 체결한 협약의 일환으로 진행되는 AI 교육 과정 개발 프로그램에 참여함. 데이터과학과 인공지능에 관한 기초 지식을 갖춘 학습자들이 보다 실제적이고 융합적인 데이터과학 및 인공지능 기술 기반 문제해결능력과 활용 역량을 갖추는 데 필요한 적절하고 풍부한 학습 경험을 제공하는데 있으며, 산학계와의 협력 경험을 기반으로 이론만이 아닌 실제 제조 산업 현장의 문제를 AI를 통해 해결하는 방법을 사례 중심의 교육을 개발할 계획임.			
3	성과	IT비즈니스 외 23건	20.11.30	중소제조기업 위한 제조AI분석 데이터셋 12종 공개	http://www.ccdailynews.com/news/articleView.html?idxno=2019308
		중소기업 제조AI구축을 위한 Vision 분석 이미지 셋을 만들고, 그에 맞는 교육자료 및 예시 모델을 공개함.			
4	기타	워크투데이 외 4건	21.03.31	신세계아이앤씨, KAIST와 리테일테크 전문 연구 센터 'AI연구센터' 개소	http://www.worktoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=14488

		<p>신세계아이앤씨는 KAIST와 손잡고 리테일 특화 인공지능(AI) 기술을 연구하는 ‘신세계아이앤씨-KAIST AI연구센터’를 개소 했음. 리테일 산업에 필요한 AI기술을 발굴하고 공동 연구해 실제 리테일 산업에 적용하는 산학협력 리테일테크 전문 연구센터로, AI 기술로 동작을 인식하는 셀프서비스 스토어의 핵심 기술인 AI비전 기술 고도화를 통해 현재 소형 유통매장으로 한정된 셀프서비스 스토어를 패션, 식품, 가구 등 다양한 업태에 적용하는 것은 물론 대형 유통 매장으로 확대할 수 있도록 연구를 진행할 계획임.</p>			
					
5	기타	매일경제 외 1건	21.04.01	KAIST · GIST · DGIST · UNIST 손잡고 '중소기업 R&D 공유센터' 출범	https://www.mk.co.kr/news/it/view/2021/04/313472/
		<p>중소기업 기술역량 혁신을 위하여 4대 과기원 공동 중소기업 R&D 공유센터를 설치하였으며, 이태억 교수가 해당 센터의 센터장을 맡게 되었음. 해당 센터를 통하여 기술개발에 어려움을 겪는 중소 및 중견기업에 대한 4대 과기원의 핵심기술을 효율적으로 매칭시킬 수 있을 것이라고 예상됨.</p>			
6	성과	IT비즈니스 외 60건	21.04.23	KT, 카이스트와 ICT취약계층 돌봄 기술개발 MOU협약	https://www.itbiznews.com/news/articleView.html?idxno=35355
		<p>KT가 카이스트(KAIST)와 손잡고 AI, IoT 등을 활용한 사회취약계층 돌봄 기술개발을 추진함. 이번 협약으로 사회취약계층 케어를 위한 ICT 기반 기술개발에 박차를 가할 수 있게 되었다. 그로 인해 취약계층 돌봄 분야에서 선두주자로서 리더십을 확보하고자 함.</p>			
					

7	기타	매일경제 외 3건	21.05.18	한국엔컴퍼니-KAIST, ‘디지털 미래혁신센터 2기 협약’ 체결	https://www.donga.com/news/article/all/20210518/107004353/2
		<p>한국엔컴퍼니(한국타이어엔테크놀로지 지주사)와 KAIST가 ‘디지털 미래혁신센터 2기 협약’을 체결하고, 미래 성장 동력과 테크놀로지 기반 혁신 역량 확보를 위한 협력을 한층 강화할 예정임.</p>			

