

## 〈보고서 요약문〉

중심어	이론수학-계산수학	융합형 교육 프로그램	중심문제 해결
	포괄적 사고	타 분야와의 접목	국제적 연구 및 교육기관
	산학공동연구	현장문제 해결 능력 배양	수학 및 과학의 대중화
교육연구단의 비전과 목표	<p>본 교육연구단의 비전은 “수학의 중심문제 해결에 도전하고, 사회에서 요구되는 융합인재를 양성” 하는 것이며, 이를 달성하기 위한 교육연구단의 목표는 다음의 세 가지를 제시하였다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 포괄적 사고와 문제 해결력을 갖춘 수학자</li> <li>▶ 수학에 대한 깊은 이해를 갖춘 신산업분야의 개척자</li> <li>▶ 연구의 국제적 위상 확립</li> </ul> <p>○ 교육측면에서 목표달성을 위한 노력</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 수요자 중심/대학원생 주도적 교과목 운영 : 과목군 세분화 및 수강지도를 통해 체계적 전공과목 이수가 되도록 하고 있으며, 학생들이 수업 내용을 설계 및 제안하는 학생제안 교과목을 4과목 운영하였다. (대학원생 수요자 중심 교육 실시)</li> <li>- 다학제간 융합형 교육 : 기계학습 및 딥러닝 관련 14과목 개설, Math-CSE 전공간 과목공유 프로그램 운영을 통한 전공의 확장, 특성화과목군을 연구와 연계(문제해결 능력 함양) 3과목을 운영하였다.</li> <li>- 실무전문가 강의 및 팀티칭 : 금융수학 관련 3과목, 현장에서 사용하는 기계학습 관련 1과목 개설, 해외학자 집중강연 11건 등을 수행하였다.</li> </ul> <p>○ 연구측면에서 목표달성을 위한 노력</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다중멘토링을 통한 연구 조언 : 학사/논문 지도교수를 입학과 동시에 선정하고, 필요시에 공동 논문 지도교수 제도를 운영하였다. 담당 지도교수와 Lab 연구미팅 및 대학원생 개별미팅 실시하여 연구 조언을 진행하였다.</li> <li>- 논문 우수성 향상을 위한 노력 : 학술활동 졸업요건을 준수하여 학위취득, 박사학위 연구과정 연구실적 평가 및 학과차원의 포스터 발표회를 통한 연구 점검 (매학기 실시), 분야별 정기 세미나 및 콜로퀴움 개최, 대학원생 주도의 개방형 세미나, 대학원생을 위한 Open Training 세미나, 대학원생 그룹리딩 세미나 등으로 교수 및 대학원생 논문의 질적 우수성 확보하고 있다.</li> </ul>		
교육역량 영역	<p>본 교육연구단은 사업선정(2020년) 당시 제안서에 기술하였던 교육과정과 학사관리의 계획을 충실히 이행하였다.</p> <p>○ 교육과정 운영 : 교육 프로그램은 필수핵심-전문심화-특성화로 이어질 수 있도록 교과목을 개설하고 대학원생을 수강지도하여 교육의 효율을 높였다. 기계학습 및 딥러닝 교과목 개설을 통해 인공지능 연구에 부합하는 교육 제공, 학생제안 교과목 및 사회문제해결형 교과목을 통한 현장문제 니즈에 부합하는 교육을 제공하였다. 산업체 연구원 초빙 및 해외학자 집중강연 등을 통해 다양한 분야의 교육이 가능하도록 하였으며 이과대 공통과목 개설을 통한 수학의 대중화를 꾀하고자 하였다. 개설과목의 81%정도가 영어로 진행되었다.</p> <p>○ 학사관리 : 전공종합시험, 영어 졸업 자격시험, 학술활동 졸업 요건 등을 준수하면서 학위취득을 하도록 유도하고 있다.</p> <p>○ 교육 및 연구 활동 모니터링 : 입학 직후 지도교수 선정, 지도교수와의 개별미팅 및</p>		

	<p>Lab 단위 미팅, 연구실적 보고서 및 포스터 발표회 등을 통한 학과차원의 연구 점검이 이루어지고 있다.</p> <p>○ 교육과 연구의 선순환 : 대학원생이 자발적으로 연구활동을 진행할 수 있도록 대학원생 주도 개방형 세미나, 그룹리딩 세미나 등을 꾸준히 진행하여 연구력을 향상시키고 있다. 산업체와의 공동연구를 통한 연구력 향상 및 현장 전문가를 양성하고 있다.</p>
<p><b>연구역량 영역</b></p>	<p>본 교육연구단 참여교수 23인은 이론수학, 응용수학 및 계산수학 등의 다양한 분야(대수학, 해석학, 위상/기하학, 수치해석, 금융수학, 데이터사이언스/기계학습, 의료영상, 유체역학 등)에서 우수한 연구를 진행하였다.</p> <p>○ 연구결과의 우수성 : 평가기간 (2.5년, 2020.09.01.-2023.02.28.) 동안 SCI급 논문을 총 199편(1인당 연간 3.45편)을 게재하였다. 사업신청(2020년) 당시와 비교하면, 제안서 상의 1인당 연간 2.86편에 비해 21.1% 증가했음을 보여준다. JIF 상위 25%(Q1) 이내의 논문은 전체의 49.2%이며, 5% 이내의 논문은 전체의 11.1%, 10% 이내의 논문은 전체의 27.6%, 15% 이내의 논문은 전체의 38.7%이다.</p> <p>○ 산업·사회문제 해결 : 헬스케어 분야 산학 공동연구, 의료기관과 협력 공동연구를 진행하였으며, 3D FEM기반 NEGF 솔버 개발(삼성디스플레이), 레이더 흡수물질 및 거대유전체구조 전자파해석연구를 위한 유한요소 솔버 개발(국방과학연구소), 폐배터리 RUL 예측 알고리즘 개발(현대자동차), Slip-wall OLED 증착원 공정 시뮬레이션 고도화(삼성디스플레이) 등을 수행하였다. 또한, 감염병 기초·원천 핵심기술 로드맵 수립 분과위원으로 활동하며 수학적 확산모델을 활용한 신종 감염질환의 효과적 대응전략 제시(교수신문 인터뷰)하였다. 수학의 중요성을 각인시키고 대중화를 위해 “수학의 기초” 대중강좌를 9명이 공동으로 온라인(LearnUs)에 개설하였다.</p> <p>○ 해외학자와 교류 및 국제학술 활동 : 참여교수들은 해외학자들과 온라인 및 방문을 통해 공동연구를 수행하고 있으며, 우수한 연구성과들을 도출하고 있다. 평가기간 동안 15기관의 해외학자 및 연구자와 교류하면서 다수의 논문 게재 및 작성/투고, 대학원생 연구지도 및 공동연구 실적을 도출하였다. 국제 학술 활동으로는 기초/초청강연 31건, 국제학술대회 위원회 및 좌장 활동 15건, 국제 학술지 편집위원 활동 16건, 대외 수상 5건 등으로 다양하게 활동을 하고 있다. 또한, ICM 초청연사 등 유명 연구자를 초빙하여 국제학회인 Harmonic Analysis and PDE in Seoul을 개최하였으며, 2023.08월에 제14회 ICOSAHOM2023이 연세대에서 개최될 예정이다.</p>
<p><b>향후 계획</b></p>	<p>본 교육연구단은 리더 수학자 양성, 융합형 연구자 양성, 산업계에 부합하는 현장 전문가 양성 및 연구 특성화 목표를 달성하기 위해서 꾸준히 노력할 것이다. 교육과정의 개선과 사회/산업문제에 대한 수학적 이론 및 해결방안을 모색하는 연구를 진행할 수 있도록 연구환경을 조성할 계획이다.</p> <p>교육 측면에서는 사회의 패러다임 변화에 부합하는 교육 프로그램 운영, 수학 문제 및 사회/산업문제에 적용 가능한 교육 수행, 다양한 수학의 분야를 유연하게 연결하도록 융합형 교육 프로그램 개발 및 운영을 하고, 학생의 니즈에 부합하는 새로운 교과목 개설 및 실무담당자와의 팀티칭을 할 것이다.</p> <p>연구 측면에서는 선도적인 연구 주제의 특성화, 다중 멘토링 및 다양한 연구 모니터링을 통한 대학원생 연구결과의 질적 향상 유도, 우수 연구인력 확보 및 외부 연구자와의 교류, 산학 및 산업 분야와의 공동연구 추진 등을 진행할 계획이다.</p>

# 목 차

<b>I. 교육연구단의 구성, 비전 및 목표</b> .....	<b>1</b>
1. 교육연구단 구성 .....	2
1.1 교육연구단장의 교육·연구·행정 역량 .....	2
1.2 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진 .....	3
1.3 교육연구단 대학원 학과(부) 현황 .....	5
2. 교육연구단의 비전 및 목표 .....	7
2.1 교육연구단의 비전 및 목표 달성도 .....	7
<b>II. 교육역량 영역</b> .....	<b>17</b>
1. 교육과정 구성 및 운영 .....	18
1.1 교육과정 구성 및 운영 실적 .....	18
1.2 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 실적 .....	33
2. 인력양성 현황 및 지원 실적 .....	38
2.1 평가 대상 기간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적 .....	38
2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적 .....	39
2.3 참여대학원생 취(창)업 현황 .....	42
3. 대학원생 연구역량 .....	44
3.1 참여대학원생 연구 실적의 우수성 .....	44
3.2 대학원생 연구 수월성 증진 실적 .....	72
4. 신진연구인력 운용 .....	75
4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적 .....	75
5. 참여교수의 교육역량 .....	81
5.1 참여교수의 교육역량 대표실적 .....	81
6. 교육의 국제화 전략 .....	85
6.1 교육 프로그램의 국제화 실적 .....	85
6.2 외국인 교수 현황과 역할 .....	92
<b>III. 연구역량 영역</b> .....	<b>94</b>
1. 참여교수 연구역량 .....	95
1.1 연구비 수주 실적 .....	95
1.2 연구업적물 .....	95
1.3 교육연구단의 연구역량 향상 실적 .....	99
2. 산업·사회에 대한 기여도 .....	104
2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적 .....	104
3. 연구의 국제화 현황 .....	115
3.1 참여교수의 국제화 현황 .....	115

## I. 교육연구단의 구성, 비전 및 목표

# I. 교육연구단의 구성, 비전 및 목표

## 1. 교육연구단 구성

### 1.1 교육연구단장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	박은재	영문	PARK, Eun-Jae
소속기관	연세대학교		이과대학	수학계산학부

<표 1-1> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구단장 변경 현황

연번	성명	교육연구단장 수행 기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	변경 사유
1	박은재	20200901-20230228	변경없음

소속	연세대학교 수학계산학부 교수
최종학력	미국 Purdue University, PhD (1993년), 전공: 응용수학/수치해석
연구실적	최근 3년간 SCI 급 저널 20여편
행정경력	연세대 수학과 대학원주임(2008), 계산과학공학과 학과장(2015-2016, 2019-2020) 대한수학회 응용수학 분과 위원장(2017-2020), 한국산업응용수학회 부회장(2019-2020)

#### ▶ 연구역량

교육연구단장인 박은재 교수는 불모지나 다름없었던 우리나라에 처음으로 영역분할법, 적응유한요소법, 멀티스케일기법, 그리고 폴리곤 유한요소법 등을 도입하여 국내 수치해석학계의 선도적 역할을 하였다. 또한 수치해석 분야 ICES 연구소(현 Oden Institute, University of Texas-Austin)의 J. Tinsley Oden Faculty Fellow(2006-2007)에 선정되었으며, 정기 주요 국제학회 및 워크숍에 Plenary 및 Invited speaker로 수십 회 초청강연을 하였다. 특히 수학계에서 세계적으로 권위 있는 연구소인 독일의 Oberwolfach 수학연구소에서 주관한 Oberwolfach 워크숍에서 6회(2009, 2012, 2014, 2015, 2018, 2021년)에 걸쳐 초청되어 강연과 좌장을 맡아 국제적인 연구결과를 발표하고 토론하였다. 2012년 베를린에서 열린 국제학회(5th Int. Conf. on Computational Methods in Applied Math, 7/30-8/3, 2012)에서는 불연속 갤러킨방법의 연구를 인정받아 Plenary speaker로 초청되어 발표하였다. 최근에는 일반메쉬에서 작동하는 스테거드 갤러킨 방법이라는 새로운 패러다임을 SIAM J. Scientific Computing에 발표(2018년)하여 폴리곤 메쉬기반의 유한체적법을 새로운 시각에서 접근하게 하는 계기가 되었다. 이 연구로 프랑스 파리의 INRIA 연구소에서 주관한 유한요소법의 최고 전문가들이 참석하는 ERC 워크숍(2022년 6월)에서 초청강연을 하였으며, 2022년 8월 오스트리아 비엔나에서 열린 제9회 국제학회(Computational Methods in Applied Mathematics 2022)에서 기조강연을 하였다. 최근 상훈으로는 연세대의 우수업적교수상(2019년), 공헌교수상(2022년), 그리고 KSIAM-금곡학술상(2021년) 수상 등이 있다.

#### ▶ 교육·행정 역량

박은재 교수는 2008년 연세대학교 수학과 대학원 주임 재임시 World Class University 프로그램의 일환으로 계산과학공학과 설립에 주도적 역할을 하였다. 첫 번째 학과장(2015-16년) 시절 연세대학교에 선도

연구센터(SRC-응용해석 및 계산센터)의 설립을 주도하였고, 두 번째 학과장직(2019-2020)을 수행하면서 수학과와 통합하여 이과대학 대학원에 수학기산학부를 설립하였다. 또한, 대한수학회의 응용수학 분과위원장(2017-2020), 한국산업응용수학회 부회장(2019-2020)으로 활동하였다. 미국 과학재단의 패널로 참여하여 계산응용수학 분야 과제에 대해 심도 있는 토론과 심사를 하였으며, 10여 회에 걸쳐 다양한 국제학회/워크숍을 주관/유치하여 한국 응용수학계의 국제화에 중추적 역할을 하였다. 연세대학교에 14th ICOSAHOM (Int. Conf. on Spectral and High Order Methods, 2023.08)를 유치하였으며 이 대회 조직위원장을 맡고 있다. 활발한 국제교류와 더불어 연세대학교에서 열린 국제학술회의(ICCM 2012, 2013)의 조직위원장으로 응용수학 분야 상위 10% 저널인 Computers and Mathematics with Applications의 2014년 12월 특별호의 Lead editor를 맡기도 하였다. 또한 대한수학회지(2013-2019)와 더불어 SCI 국제저널(Computational Methods in Applied Math, 2015-현재)의 편집위원으로 활약하고 있다.

## 1.2 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

<표 1-2> 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여교수 현황

연번	성명 (한글/영문)	연구자 등록번호	세부전공 분야	대표연구 업적물 분야	신임 교수	외국인	사업 참여 여부
1	강경근 Kang,Kyungkeun		편미분방정식	편미분방정식	X	X	O
				편미분방정식			
2	기하서 Ki,Haseo		수론	수론	X	X	O
3	김병한 Kim,Byunghan		수리논리	선형대수/수리논리학/집합론	X	X	O
				선형대수/수리논리학/집합론			
4	김세익 Kim,Seick		편미분방정식	편미분방정식	X	X	O
				편미분방정식			
5	김준일 Kim,Joonil		복소/조화해석		X	X	O
6	박은재 Park,Eun-Jae		수치해석	수치해석/계산수학	X	X	O
				수치해석/계산수학			
7	박승경 Park,SeungKyung		조합론		X	X	X
8	서수길 Seo,Soogil		수론	수론	X	X	O
				수론			
9	서진근 Seo,Jin Keun		연속체역학	인공지능/기계학습	X	X	O
				과학공학의 수학적 방법론			
10	손재범 Sohn,Jaebum		수론/조합론	조합수학/그래프이론/이산기하	X	X	O
				조합수학/그래프이론/이산기하			
11	신원용 Shin,Won-Yong		기타전자/정보통신공학	인공지능(기반 및 학습/추론)	X	X	O
				통신 기반 융합			

연번	성명 (한글/영문)	연구자 등록번호	세부전공 분야	대표연구 업적물 분야	신임 교수	외국인	사업 참여 여부
12	양민석 Yang,Minsuk		편미분방정식	편미분방정식	X	X	O
				편미분방정식			
13	유명준 Yu,Myungjun		수론	수론	O	X	O
14	윤경호 Yoon,Kyungho		전산역학	치료 및 인체기능복원	O	X	O
15	이승철 Lee,Sungchul		확률적극한이 론	금융수학	X	X	O
16	이은정 Lee,EunJung		수치해석	수치해석/계산수학	X	X	O
				수치해석/계산수학			
17	이지현 Lee,Jeehyun		수치해석	의생명수학	X	X	O
				의생명수학			
18	최성락 Choi,SungRak		대수기하	대수기하/가환환	X	X	O
				대수기하/가환환			
19	최영필 Choi,YoungPil		편미분방정식	편미분방정식	X	X	O
				편미분방정식			
20	최정일 Choi,Jung-II		유체역학	수치해석/계산수학	X	X	O
				수치해석/계산수학			
21	허영미 Hur,YoungMi		수치해석	수치해석/계산수학	X	X	O
				수치해석/계산수학			
22	홍한솔 Hong,Hansol		미분기하	복소/사교기하	X	X	O
				복소/사교기하			

### 1.3 교육연구단 대학원 학과(부) 현황

<표 1-3> 교육연구단 참여교수 현황

(단위: 명)

평가 대상 기간	구분	총 환산 참여교수 수		
		기존교수 수	신임교수 수	합계
2020.9.1. - 2023.2.28.	임상, 건축학 인문사회계열 포함	21	2	23
	임상, 건축학 인문사회계열 제외	21	2	23

<표 1-4> 교육연구단 참여교수 변동 현황

(단위: 명)

구분	2020년	2021년		2022년		비고
	2학기	1학기	2학기	1학기	2학기	
총 참여교수 수	21	21	21	22	21	
신규 참여교수 수	-	-	-	2	-	
종료 참여교수 수	-	-	1	1	-	

<표 1-5> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구단 참여교수 변동 내역

연번	성명	변동 학기	참여/종료	변동 사유	비고
1	최희준	2021년 2학기	종료	정년퇴임	
2	김정훈	2022년 1학기	종료	정년퇴임	
3	유명준	2022년 1학기	참여	신규임용	
4	윤경호	2022년 1학기	참여	신규임용	

<표 1-6> 교육연구단 평균 참여대학원생 현황

(단위: 명)

구분	참여대학원생 수			
	석사	박사	석·박사통합	계
5개 학기의 평균	27.6	11.4	53.2	92.2

<표 1-7> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구단 외국인 참여대학원생 현황

연번	성명	국적	학사출신대학	공인어학성적		비고
				국어	영어	
1	SUN	중국			IELTS B2	
2	DO	베트남			TOEIC 750	
3	BAYARAA	몽골			IELTS B2	
4	YU	중국			TOEIC 815	
5	XU	중국			TOEIC 810	
6	DORLIGJAV	몽골			-	
7	HOU	중국			IELTS B2	
8	ULZII	몽골			-	
9	TSOY	카자흐스탄			TOEIC 840	
10	CARTY	아일랜드			-	

## 2. 교육연구단의 비전 및 목표

### 2.1 교육연구단의 비전 및 목표 달성도

#### 가. 교육연구단의 비전 및 목표 (선정평가 제안서에서 일부 발췌)

연세대학교 “수리과학 및 계산 교육연구단 (Yonsei Mathematical Sciences and Computation)”의 비전은 다음과 같이 설정하였다.

수학의 중심문제 해결에 도전하고, 사회에서 요구되는 융합 인재를 양성

교육연구단의 비전 달성을 위한 3가지 목표를 다음과 같이 설정하였다.

- ▶ 포괄적 사고와 문제 해결력을 갖춘 수학자
- ▶ 수학에 대한 깊은 이해를 갖춘 신산업분야의 개척자
- ▶ 연구의 국제적 위상 확립

#### ▶ 포괄적 사고와 문제 해결력을 갖춘 수학자

첫 번째 목표는 수학의 중심문제 해결에 도전하는 수학자를 육성하는 것이다. 근래 수학에서 중심문제 해결을 위한 가장 중요한 요건은 여러 분야의 핵심 아이디어를 연결하는 능력이다. 한 분야의 이론을 기반으로 다른 분야 문제들에 대한 새로운 관점을 제시하고 연구를 확장하는 것은 수학 혁신의 출발점이 된다. 본 교육연구단은 다양한 분야의 핵심주제를 연구하는 교수진으로 구성되어 있어 교수 간 활발한 연구 교류를 통하여 연구에서의 큰 시너지 효과를 불러일으킬 수 있다. 또한, 학생들로 하여금 다양한 수학분야를 연결하는 유연한 연구정신을 체득하게 하여 수학의 중심문제를 해결할 수 있는 선도적인 수학자를 양성하고자 한다. 따라서 본 교육연구단의 이상은 여러 분야의 풍부한 수학지식을 넘나들며, 다양한 분야에서 공통으로 작동하는 수학적 원리를 발견하는 수학자이다. 이들은 포괄적 사고로 난제를 풀어낼 수 있을 뿐만 아니라, 새로운 이론을 창안하여 미래의 연구 방향을 개척함으로써 수학발전의 원동력이 될 것이다.

#### ▶ 수학에 대한 깊은 이해를 갖춘 신산업 분야 개척자

본 교육연구단의 두 번째 목표는 수학에 대한 깊은 이해를 바탕으로 초연결 지능정보사회에 신산업 분야를 개척하는 것이다. 이를 위해서 이론수학과 응용수학 그리고 계산수학을 통합하는 연구집단과 교육체계가 필요하다. 본 교육연구단의 수학전공 분야에서는 이미 금융수학, 생물수학, 기계학습 등 다방면에 걸쳐 우수한 응용수학 연구팀을 운영하고 있다. 또한 계산과학공학전공은 계산수학, 의료영상, 전산유체역학 등의 분야에서 이미 국내 최고의 경쟁력을 가진 선도적 연구 집단이다. 2020년 9월부터 수학기산학부로 통합되어 운영됨에 따라 이론수학과 응용수학, 계산수학 연구에서의 다양화 및 경쟁력 제고와 더불어 교육혁신 차원의 상승효과를 일으킬 것이다. 그간의 협력을 기반으로 계산과학공학의 실용적 접근을 통한 현실 문제연구와, 순수/응용수학 연구의 다양한 방법론 및 노하우가 자연스럽게 결합될 수 있는 계기를 마련하였다. 이론수학 과목과 계산과학 과목을 균형 있게 개설하여 현시대의 사회문제에 대한 수학적 정립과 원리규명, 응용분야와의 연결 및 이해, 수학적 모델링 및 시뮬레이션 능력 등을 교육하고, 미래를 선도할 수 있는 새로운 교과과정 및 교육체계를 구축할 것이다. 나아가, 교수진 스스로가 수학연구에서 이론과 응용의 벽을 허무는 노력을 통해, 새로운 분야를 개척하는 리더들을 배출하는 것이 장기적인 목표이다.

▶ 연구의 국제적 위상 확립 (breakthrough, networking)

본 교육연구단 참여교수들은 이론수학, 응용수학 및 계산수학 등의 다양한 분야에서 연구를 진행하고 있으며, 꾸준히 우수한 결과들을 국제저명학술지에 게재하고 있다. 정량 지표인 교수 1인당 연간 편수와 질적 지표인 Q1의 비율 등은 이미 국제 수준에 근접하였으나, 각 논문의 창의성 및 선도성을 나타내는 citation 지표는 국제 수준과 다소 격차가 있다. 본 교육연구단의 참여교수들은 현재의 정량수치를 유지하는 한편, 특성화된 연구 분야에서 질적인 향상을 추구하고, 타 분야와의 협력 연구를 통해 연구의 원천 기술력을 확보하고자 한다. 본 교육연구단은 수학적 이론정립을 위한 이론수학 분야(대수학, 해석학, 위상 및 기하학), 수하이론-문제해결의 인터페이스 역할의 응용수학 분야(금융수학, 수치해석학), 실제 현상의 문제를 다루고 해결하는 계산수학 분야(데이터사이언스/기계학습, 의료영상, 유체역학)에서 우수 연구를 선도하고 있는 균형 있는 연구자 풀을 보유하고 있어 향후 이들의 협력이 기대된다. 또한 이러한 교육연구단의 외연 확장 및 연구의 질적 우수성 향상은, 국내외 난제 해결 연구자 및 계산과학 관련 전문 연구자들의 국제 연구허브 구축으로 이어질 수 있다.

나. 비전 및 목표 달성을 위한 노력

본 교육연구단의 비전과 목표를 달성하기 위해 지난 선정평가 제안서에서 교육영역과 연구영역으로 구분하여 아래 표와 같은 계획을 제시하였다. 성과평가 기간 동안 본 교육연구단에서 비전 및 목표달성을 위한 실적 요약은 아래 표에 나타내었으며, 자세한 사항은 그 다음에 기술하였다.

분야	계획(제안서)	목표 달성 노력 및 실적(2020.09.01.-2023.02.28.)
교육	수요자 중심/대학원생 주도적 교과목 운영	과목군 세분화를 통한 체계적 교육 프로그램 운영 학생제안 교과목 운영(4과목)
	다학제간 융합형 교육	기계학습 및 딥러닝 교과목 14과목 개설 Math-CSE 전공간 과목공유 프로그램 운영 특성화과목군을 연구와 연계(문제해결 능력 함양)
	실무 전문가 강의 및 팀티칭	금융수학 관련 교과목 3과목 개설 현장에서 사용하는 기계학습 관련 교과목 1과목 개설 해외학자 집중강연 11건 수행
	새로운 교과목 개발	사회문제 해결형 교과목 1과목 운영 이과대학 대학원 공통과목 2과목 운영 과학계산 관련 신규 교과목 2과목 개설
	새로운 산업분야 개척	산학협력을 통한 대학원생의 실무연구 트레이닝 산업수학 석사과정 및 산학장학생 교육
연구	다중 멘토링을 통한 연구 조인	학사/논문 지도교수 선정, 공동 논문지도 교수 운영 교수 Lab별 미팅, 대학원생 개별미팅 실시
	논문 우수성 향상을 위한 노력	학술활동 졸업요건 준수 박사학위 연구과정 연구실적 평가 학과차원의 포스터 발표회를 통한 연구 점검(매학기 실시) 분야별 정기 세미나 및 콜로퀴움 개최 대학원생 주도의 개방형 세미나 대학원생을 위한 Open Training 세미나 대학원생 그룹리딩 세미나
	우수 신진연구 인력 확보	교수 및 대학원생 논문의 질적 우수성 확보 우수 신진연구인력(4명) 및 논문 실적 확보
	국제 공동연구 강화	각 교수님 Lab별 국제 교류 및 공동연구 수행

## A. 교육 영역에서의 노력 및 성과

### a1. 수요자 중심/대학원생 주도적 교과목 운영

#### (1) 과목군 세분화를 통한 체계적인 교육 프로그램 운영

본 교육연구단은 엄밀한 수학적 사고력과 창의적인 문제 해결력을 갖춘 수학자를 양성하기 위하여 필수 핵심과목군, 전문심화과목군, 특성화과목군으로 교과과정을 세분화하여 효과적인 교육 프로그램을 운영하고 있다.

- ▶ 필수핵심과목군 : 수학 및 계산과학을 이해하는 기본과목으로 향후 전공 선택 시 필수적으로 필요한 교과목으로 구성되었으며, 본 교육연구단의 전공별 전공종합시험 과목으로 지정되어 있다. 과목으로는 대수학1,2, 실해석학1,2, 이공계편미분방정식, 수치해석, 수치편미분방정식, 점성유체역학 등이다.
- ▶ 전문심화과목군 : 대학원생들이 각 세부전공 분야에서 연구를 수행하기 위해 기본적으로 필요한 과목들로 구성되어 있으며, 대부분의 대학원 전공교과목이 여기에 속한다.
- ▶ 특성화과목군 : 필수핵심과목과 전문심화과목을 이수한 학생들이 세부영역에서 보다 전문적인 전공연구 영역을 탐구할 수 있도록 개설된 특론과목들이다. 심도 깊은 이론연구 능력과 제한 조건하의 현실 문제 해결 능력을 배양할 수 있도록 교과목을 구성하였다.

#### (2) 학생제안 교과목 운영

학생제안 교과목은 학생들이 원하는 수업 내용을 설계 및 제안하여 학생의 과목 선택권 확대와 학과 커리큘럼 다양화, 학생수요 중심의 교육과정 구현을 목적으로 하고 있다. 평가기간 동안에 총 4과목이 개설되었다.

- ▶ MAT6000 수리논리학 (김병한 교수, 2021-1학기)  
괴델의 불완전성 정리 증명을 목표로, 명제논리학, 일차 술어 논리를 다루며 튜링기계에 대해 소개
- ▶ CSE7840 물리기반 모델링 및 시뮬레이션2 (최정일 교수, 2021-2학기)  
배터리 작동원리, 열화 및 관리의 이해, 기초적인 물리 기반 배터리 모델링, 시뮬레이션 방법 학습
- ▶ MAT8830 수치해석특강1 (허영미 교수, 2022-1학기)  
다른 응용분야에 필요한 선형대수 이론을 공부하고, 연관되는 머신러닝/딥러닝 모델 및 연구 소개
- ▶ CSE9980 그래프학습원리및최근동향 (신원용 교수, 2022-2학기)  
그래프 학습 분야의 전반적인 원리와 그의 최근 동향 학습

### a2. 다학제간 융합형 교육

#### (1) 기계학습 및 딥러닝 교과목 운영

- ▶ MAT6480 기계학습1 (최희준 교수, 2020-2학기, 2021-2학기)
- ▶ MAT7480 기계학습2 (최희준 교수, 2021-1학기)
- ▶ CSE5013 인공지능 이론 (신원용 교수, 2020-2학기, 2021-2학기, 2022-2학기)
- ▶ CSE5851 딥러닝과 데이터과학 (신원용 교수, 2021-1학기, 2022-1학기)
- ▶ CSE9980 그래프학습원리 및 최근 동향 (신원용 교수, 2022-2학기)
- ▶ CSE9100 의료영상을 위한 기계학습 (서진근 교수, 2020-2학기)
- ▶ CSE7301 딥러닝과 영상처리1 (서진근 교수, 2022-1학기)
- ▶ CSE5003 기계학습을 위한 수학 (서진근 교수, 2022-2학기)
- ▶ CSE7002 머신러닝과 응용3 (이승철 교수, 2020-2학기)
- ▶ CSE8870 머신러닝과 응용특론1 (이승철 교수, 2021-1학기)

**(2) Math-CSE 전공간 과목공유 프로그램 운영**

과목공유 프로그램은 타 학과/전공의 특정 개설 과목을 수강한 경우에 전공으로 인정하는 제도이며, 해당 과목 목록을 학과/전공 내규에 구체적으로 명시하고, 이러한 과목들은 졸업요건 사정시 전공과목으로 인정하게 된다. Math-CSE 전공간 과목공유 교과목은 아래와 같다.

전공	과목공유 교과목명	비고
수학계산학부(수학)	수치해석, 수치편미분방정식, 기초유한요소법, 수치최적화, 인공지능과 이론, 머신러닝과 응용1,2,3	CSE전공
수학계산학부(계산과학공학)	실해석학1,2, 함수해석학1,2, 복소해석학, 편미분방정식1,2	수학전공

※ CSE (계산과학공학) : Computational Science and Engineering

**(3) 특성화과목군을 연구와 연계 (문제 해결 능력 함양)**

- ▶ CSE7840 물리 기반 모델링 및 시뮬레이션2 (최정일 교수, 2021-2학기, 학생제안교과목)  
학생들의 강의내용 요약/발표, 관련 리뷰 논문 정리/발표, Benchmark 문제 중심의 수치실험 /응용
- ▶ MAT6430 수리유체 역학 특강 1, 2 (참여교수: 강경근 교수, 2021-2학기, 2022-1학기)  
수리유체 관련 논문 위주 수업 진행을 통해 대학원생들이 논문을 읽을 수 있는 능력 배양
- ▶ CSE9980 그래프학습원리 및 최근 동향 (신원용 교수, 2022-2학기)  
새로운 인공지능 모델 개발 및 분석 가능한 통합적 사고능력을 배양하고, 실험결과 분석 및 토의를 통해 체험적 습득이 가능하도록 함

**a3. 실무전문가 강의 및 팀티칭**

**(1) 금융수학 관련 교과목 개설**

- ▶ MAT8800 응용수학특강 I (윤지훈 교수, 부산대 수학과, 2020-2학기) - 금융수학
- ▶ MAT8810 응용수학특강 II (윤지훈 교수, 부산대 수학과, 2021-1학기) - 금융수학
- ▶ MAT7740 금융수학 (이승철 교수, 2022-2학기)

**(2) 현장에서 사용하는 기계학습 관련 교과목**

- ▶ CSE5003 기계학습을 위한 수학 (서진근 교수, 2022-2학기)  
머신러닝에서 중요한 수학적 개념, 기계학습 알고리즘, 영상 분석을 위한 딥러닝 방법론, 구체적인 실무 능력을 배양할 수 있도록 교육 내용을 구성하였다. 또한, 기업 현장에서 근무하고 있는 연구원 및 전문가를 초청하여 특별 자문시간을 제공하였다.
  - 김OO 팀장 ((주)딥노이드), 기업적인 측면에서 의료영상 분석 AI 솔루션으로 수익 모델 제작 과정
  - 박OO 프로 (삼성메디슨), 초음파로 태아의 바이오메트릭들의 측정에서 표준 평면을 찾는 연구
  - 장OO 박사 (HUIINNO), 생체 신호를 위한 머신러닝 방법론에 대한 전반적인 리뷰
  - 조OO 박사 (삼성메디슨), 초음파 관련 인공지능 기반 알고리즘 소개 및 기업 측면의 도전 과제
  - 김OO 박사 (하나금융융합기술원), Computer Vision (CV) Cell 연구 소개

**(3) 해외학자 집중강연**

- ▶ Isaac Goldbring 교수(UC Irvine, USA) : 모델론 관련 8일간 강연
- ▶ Itzhak Fouxon(Ben Gurion University) : 난류와 입자, 액적 거동 관련 2회 강연
- ▶ Hyunchul Park (SUNY New Paltz, USA) : 확률미분방정식 관련 3회 강연
- ▶ Jiri Neustupa(Czech Academy of Sciences) : 수리유체역학 관련 2회 강연
- ▶ Michel Van Garrel (Univ of Birmingham, UK) : Toric mirror symmetry & log symmetry 관련 2회 강연

- ▶ David Burns(King's College London) : 콜만 가설 관련 2회 강연
- ▶ Sarka Necasova(Czech Academy of Sciences) : 수리유체역학 관련 2회 강연
- ▶ Hideyuki Miura(Tokyo Institute of Technology) : 비선형 열 방정식 관련 2회 강연
- ▶ Weiwei Wu(University of Georgia) : symplectic 구조 관련 2회 강연
- ▶ Carsten Carstensen (Humboldt-Universität zu Berlin, Germany) : adaptive FEM 관련 8일간 강연
- ▶ Takahiro Okabe(Osaka University) : 나비에-스톡스 관련 2회강연

#### a4. 새로운 교과목 개발

##### (1) 사회문제 해결형 교과목 개설

- ▶ CSE5013 인공지능이론 (신원용 교수, 2022-2학기)  
그래프 마이닝과 기계학습 분석 툴에 기초하여 인공지능 이론 및 소셜 네트워크로의 다양한 응용을 다루고, 이를 활용해 학생들이 기말 프로젝트를 수행함으로써 실세계 사회문제를 직접 정의하고 이를 해결하기 위한 방법을 설계하며 최종적으로 성능을 검증하는 일련의 과정을 경험할 수 있게 함.

##### (2) 이과대학 공통과목 개설

- ▶ SCI5001 선형대수와 양자정보 입문 (최성락 교수, 2022-1학기)  
선형대수 기반 양자 컴퓨팅과 양자 정보 이론, 고전 컴퓨팅 이론, 양자회로와 양자 알고리즘 소개
- ▶ SCI5003 적분점근계산 (양민석 교수, 2022-2학기)  
적분으로 표현된 미분방정식을 근사적 계산으로 풀기 위한 적분 근사적 계산 방법들 소개

##### (3) 과학계산 관련 신규 교과목 개설

- ▶ CSE5101 고체및구조물의 유한요소해석 (윤경호 교수, 2022-1학기, 2022-2학기)
- ▶ CSE5102 연속체역학및구조해석 (윤경호 교수, 2022-1학기)

#### a5. 새로운 산업분야 개척

##### (1) 산학협력을 통한 대학원생 실무연구 트레이닝

- ▶ 현대자동차, 전기자동차용 Li-ion전지의 ESS 재사용을 위한 수명예측 알고리즘 개발(최정일 교수, 김OO, 김OO, 최OO, 하OO)
- ▶ LG전자, 모터 냉매 상변화 열전달 성능 예측기술 개발(최정일 교수, 하OO)
- ▶ 삼성전자, 저선량 Cone-Beam CT에서 금속물에 의한 영상왜곡 해결(서진근 교수, 장OO, 윤OO, 조OO, Siyu, Taigyntuya)
- ▶ 현대엔지비, 폐배터리 RUL 예측 알고리즘 개발(최정일 교수, 김OO, 오OO, 정OO, 조OO, 하OO)
- ▶ 휴런, 알츠하이머병에 대한 수학적 모델 연구(강경근 교수, 김OO)
- ▶ 카이로스랩, K-소재 계층 이니셔티브를 위한 실험 재료물성 데이터 베이스 구축(신원용 교수, 김OO, 박OO, 신OO)
- ▶ 삼성디스플레이, Slip-wall 경계조건 기반의 OLED 증착원 공정 시뮬레이션 고도화(최정일 교수, Xu, 양OO, 오OO)
- ▶ 삼성디스플레이, 3D FEM 기반 NEGF Solver 개발(이은정 교수, Dorligjav, 조OO)

**(2) 산업수학 석사과정 및 산학 장학생 교육**

- ▶ 박OO (산업수학 석사과정, 2021-1학기 입학, 삼성메디슨과 연계, 2022-2학기 졸업)
- ▶ 고OO (산업수학 석사과정, 2022-1학기 입학, 삼성SDI 연계)
- ▶ 김OO (산업수학 석사과정, 2023-1학기 입학, 삼성SDI 연계)
- ▶ 박OO (산학장학생, 박사과정, 2020-2학기 입학, 볼트시뮬레이션 연계)

**B. 연구 영역에서의 노력 및 성과**

**b1. 다중 멘토링을 통한 대학원생 연구 조언**

**(1) 학사/논문 지도교수 선정**

본 교육연구단에서는 학사지도교수(Academic Advisor) 제도를 운영하여 입학 후부터 논문지도교수가 결정되지 전까지 대학원생의 학사를 지도하고 있다. 논문지도교수를 종합시험(전공종합시험, 영어시험) 합격한 후 결정하여 졸업연구를 수행하게 하는 것을 원칙으로 하고 있다. 향후 전공분야에 대한 계획을 사전에 수립한 대학원생의 경우, 입학과 동시에 교수와의 개별 면담을 통하여 학사지도교수 및 논문지도교수를 정할 수도 있다.

**(2) 공동 논문지도 교수**

다학제간 연구를 위해 타 전공과의 공동 논문지도 교수(Co-Advisor) 제도를 운영하고 있으며, 평가기간 동안 공동 논문지도 교수 현황을 아래 표에 나타내었다.

대학원생명	학위	졸업	논문지도교수(소속)	공동지도교수(소속)
이OO	공학박사	2020-2학기	이창훈(연세대 기계)	최정일(수학계산학부 CSE)
김OO	공학박사	2021-1학기	이창훈(연세대 기계)	최정일(수학계산학부 CSE)
김OO	이학석사	2021-1학기	이지현(수학계산학부 수학)	이은정(수학계산학부 CSE)
김OO	공학석사	2021-2학기	이창훈(연세대 기계)	최정일(수학계산학부 CSE)
김OO	공학석사	2021-2학기	이창훈(연세대 기계)	최정일(수학계산학부 CSE)
이OO	이학박사	2021-2학기	이지현(수학계산학부 수학)	이은정(수학계산학부 CSE)
강OO	이학석사	2022-1학기	이승철(수학계산학부 수학)	서진근(수학계산학부 CSE)
조OO	이학석사	2022-1학기	이지현(수학계산학부 수학)	이은정(수학계산학부 CSE)
서OO	이학박사	2022-1학기	이지현(수학계산학부 수학)	이은정(수학계산학부 CSE)

**(3) 대학원생 일대일 논문지도 및 연구 그룹별 정기 세미나 운영**

교수는 지도학생과 매주 1-2회 일대일 개별 연구 미팅을 진행하고 있으며, Lab 단위의 그룹별 정기 세미나 운영 등으로 학생들과 연구에서 미진한 부분을 토론하고 연구 방향을 지도하는 시간을 갖는다.

**b2. 논문 우수성 향상을 위한 노력**

**(1) 학술활동 졸업요건 준수**

대학원생이 학위취득 전에 우수한 연구결과를 도출할 수 있도록 학술활동 졸업요건을 운영내규에 명시하여 반드시 이를 준수하도록 하고 있다. 두 세부 전공(Math, CSE)의 특성을 반영하여 조금 다르게 운영하고 있다.

전공	학위과정	졸업요건	평가기간 동안 졸업생 학술활동		
			학기	논문편수	학술대회발표
Math	박사	SCIE 저널에 1편 이상 논문 게재	2020-2학기	22	3
	석사	없음	2021-1학기	2	1
CSE	박사	국제저명학술지에 2편 이상 논문 게재, (단, 제출된 논문 중 1편은 본인이 제1저자)	2021-2학기	7	5
			2022-1학기	23	7
	석사	제1저자인 국제저명학술지 게재 또는 제1저자 학술대회 논문 1편	2022-2학기	20	11

## (2) 박사학위 연구과정 연구실적 평가

연구학기의 박사학위 과정생은 지난 1년 동안 수행한 연구결과(논문 및 학술대회 실적, 연구 내용 보고서)를 보고서에 작성하여 학과 심사위원의 평가를 받는다. 이는 박사학위 과정의 불필요한 장기화를 방지하고 연구에 몰입하는 분위기를 조성하는데 목적이 있으며, 향후에도 지속적으로 유지하고자 한다.

전공	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
수학	14	19	22	17	8
CSE	5	9	7	6	5

## (3) 학과차원의 포스터발표회를 통한 연구점검

매 학기 중에 Math-CSE open lab(포스터 발표회) 행사를 진행하여, 대학원생들의 연구 경과를 점검한다. 대학원생은 연구 내용을 담은 포스터 제작하고 각 포스터에 대한 설명/토론 등을 진행한다.

- ▶ 2020-2학기 : 제1회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (2020.11.30., 총39명 발표)
- ▶ 2021-1학기 : 제2회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (2021.05.21., 총33명 발표)
- ▶ 2021-2학기 : 제3회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (2021.11.19., 총28명 발표)
- ▶ 2022-1학기 : 제4회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (2022.05.20., 총21명 발표)
- ▶ 2022-2학기 : 제5회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (2022.11.18., 총31명 발표)

## (4) 연구 분야별 정기 세미나 및 클로퀀텀 개최

- ▶ BK 기하학 수요집회 - 최성락, 홍한솔 교수

2021년 3월 17일부터 격주로 교수 또는 박사급의 국내 연구자들을 연사로 초청하여 기하학 정기 세미나를 진행하여 대학원생들이 실제로 배울 수 있는 수준의 강연을 진행하였다. 연사는 대수기하 및 사교기하 전공의 전문가로 구성되었으며, 2021-1학기 9명, 2021-2학기 8명, 2022-1학기 6명, 2022-2학기 9명을 초빙하였다.

- ▶ BK 해석학 세미나 - 최영필 교수

2021년 6월 24일부터 매주 수요일 편미분방정식 또는 응용수학을 전공하는 교수, 박사후연구원, 대학원생들을 대상으로 세미나를 진행하고 있다. 기체운동론, 유체역학, 금융수학, 수치해석, 산업수학 분야에서 연구하는 다양한 교수, 박사후연구원들이 강연하였으며, 2021-1학기 8명, 2021-2학기 6명, 2022-1학기 9명, 2022-2학기 9명을 초빙하였다.

- ▶ 신촌 기하학 세미나(SWAG, Shinchon Workshop on Algebraic Geometry) - 최성락, 홍한솔 교수

2016년부터 매 학기에 신촌 소재 대학원(서강대, 연세대, 이화여대)의 기하학을 전공하는 교수 및 대학원생들을 대상으로 워크숍을 개최하고 있다. 평가기간 내 총 4회의 세미나가 진행되었다.

- ▶ 신촌 3대학원(연세대, 이화여대, 서강대) 해석학 및 PDE 공동 세미나 운영 - 최영필 교수

YES-SAP(Yonsei-Ewha-Sogang Seminar on Analysis & PDEs)는 신촌 3대학원의 해석학 및 편미분방

정식을 연구하는 교수 및 대학원생이 참여하는 세미나로 대학원생들이 참여교수들의 연구분야와 이와 관련된 최신 연구동향을 파악할 수 있는 기회를 제공하고 있다. 평가기간 내 총 3회의 세미나가 운영되었다.

▶ Math-CSE 콜로퀴움

매학기 격주로 수학교산학부 “Math-CSE 콜로퀴움”을 개최하고 있으며, 외부 석학들을 초청하여 최신의 연구 주제들에 관해 대학원생을 대상으로 1시간 강연을 진행하고 있다.

**(5) 대학원생 주도의 개방형 세미나**

대학원생이 주체가 되어 세미나를 개최하고 참여한 대학원생 및 교수진들과의 토론을 진행하는 개방형 세미나를 진행하였다. 수동적인 자세로 강의를 듣는 기존의 형식을 탈피하고, 논의의 주체가 되어 세미나를 이끌어가는 경험을 통하여 연구역량을 향상시킬 수 있도록 하고 있다. 해석학 및 금융수학, 수치해석 분야 등 다양한 분야에서 활동이 이루어졌으며, 2020-2학기 15회, 2021-1학기 13회, 2021-2학기 13회, 2022-1학기 9회, 2022-2학기 6회 수행하였다.

**(6) 대학원생을 위한 Open Training 세미나**

- ▶ 오OO 대학원생 (위스콘신대학) 조화해석 관련 세미나 (주관: 김준일 교수) 5회
- ▶ 조OO 대학원생(U of British Columbia) Hyperbolic 편미분방정식 세미나(주관: 강경근 교수) 4회
- ▶ 이정욱 연구교수(KAIST)의 논리학 세미나 (주관: 김병한 교수) 2주간 방문 세미나
- ▶ 조윤희 교수(성균관대), 박지훈 교수(POSTECH/기초과학연구원) 기하학 관련 세미나(주관 최성락교수)
- ▶ 남하얀 교수(덕성여대) Numerical Semigroup 세미나 (주관: 손재범 교수) 3회
- ▶ 유동근 (U Rochester), 오창근(U Wisconsin-Madison), 연기석(Purdue U), 이상혁(서울대) 조화해석 세미나 (주관: 김준일 교수) 4회
- ▶ 김민수(경남대), D. Burns (King’s College London) 정수론 세미나 (주관: 서수길, 유명준 교수) 4회

**(7) 대학원생 그룹리딩 세미나**

대학원생의 소규모 그룹 Reading 세미나를 지원해줄 지도교수/박사후연구원/대학원생을 선정하고, 세미나의 주제를 Open Training Seminar로 연계하여 Reading 학습이 연구로 연결될 수 있도록 한다.

▶ 강경근 교수팀

나비어-스톡스 방정식의 약해가 유일하지 않을 수 있다는 최신 결과에 대해서 김OO, 구OO, 민OO 학생의 주도적인 논문 발표 세미나를 가졌으며 forward self-similar solution에 대한 존재성 문제에 대해서 일련의 논문을 읽고 매주 목요일 또는 금요일에 집중적으로 토론하였다.

▶ 김병한 교수팀

모델론 연구팀은 해당 논문을 reading하고 이해하는 seminar을 2022-2학기에 series로 가졌고, 관련 증명의 technique을 사용하여 김OO, 이OO 박사는 NATP 구조에서 Kim-independence와 관련한 새로운 결과를 얻어 논문을 작성하였다.

▶ 손재범 교수팀

팀세미나의 일환으로 대학원생들이 최신 논문을 읽고 세미나를 진행하였다. 또한, 외부연사를 초청하여 초청강연 및 전문가에게 최신 문제에 대해 논의할 수 있는 기회를 제공하였다.

▶ 유명준 교수팀

대수적 수론 연구팀은 2022년 5월부터 대수적 수론의 주요 토픽인 class field 이론, 타원 곡선이론 등에 대한 Reading seminar를 매주 하고 있으며 분야 전문가들을 초청하여 동분야 최신 트렌드 등을 접할 수 있는 기회를 제공하고 있다.

▶ 최성락 교수팀

이OO, 장OO, 김OO 박사과정 대학원생과 potentially klt pair에 대한 최신 응용에 대해서 관련 논문을 같이 해독해 나가는 Learning seminar를 진행하였다. 세미나를 진행 후 potentially klt pair에 대한 이해도를 높일 수 있었으며 complexity, complement와의 연관성도 밝힐 수 있었다.

▶ 허영미 교수팀

Wavelets and Approximation 팀은 2022.12.02.~2023.02.22.에 임OO 학생이 주도하여 설명/발표하는 Lean Learning 세미나를 9회 진행하였다. 또한, AI 스타트업 (주)젠티와 관심있는 연구실 대학원생들과 온라인 공동 세미나를 진행하였다.

**(8) 교수 및 대학원생 논문의 우수성**

본 교육연구단 참여교수는 총 23명이며, 평가기간 (2.5년, 2020.09.01.-2023.02.28.) 동안 SCI급 논문을 총 199편 게재하였다. JIF 상위 25%(Q1) 이내의 논문은 총 98편으로 전체 논문의 49.2%이다. 5% 이내의 논문은 22편(전체 논문수의 11.1%)이며, 10% 이내의 논문은 55편(전체 논문수의 27.6%), 15% 이내의 논문은 77편(전체 논문수의 38.7%)이다.

<참여교수의 논문 게재 실적>

평가구분	기간	교수수	총논문수	5%이내	10%이내	15%이내	25%이내(Q1)
성과평가	2.5년	23	199	22	55	77	98
	1년환산	23	79.6	8.8	22	30.8	39.2
비율				<b>11.1%</b>	<b>27.6%</b>	<b>38.7%</b>	<b>49.2%</b>

<참여교수 게재 논문의 IF 실적 비교>

평가구분	기간	교수수	총논문수	1인당논문수	IF합	1인당IF합	논문1편당IF
선정평가	5년	21	301	14.33	685.58	32.65	2.28
	1년환산	<b>21</b>	<b>60</b>	<b>2.86</b>	<b>137.12</b>	<b>6.53</b>	<b>2.28</b>
성과평가	2.5년	23	199	8.65	742.18	32.27	3.73
	1년환산	<b>23</b>	<b>79.6</b>	<b>3.46</b>	<b>296.87</b>	<b>12.91</b>	<b>3.73</b>
1년환산 기준 증가율(%)			32.7%	21.1%	116.5%	97.7%	63.2%

본 교육연구단 참여대학원생 총수는 461명(5학기 합계)이며, 평가기간 (2.5년, 2020.09.01.-2023.02.28.) 동안 SCI급 논문을 총 52편 게재하였다. JIF 상위 25%(Q1) 이내의 논문은 총 23편으로 전체 논문의 44.2%이다. 5% 이내의 논문은 9편(전체 논문수의 17.3%)이며, 10% 이내의 논문은 17편(전체 논문수의 32.7%), 15% 이내의 논문은 20편(전체 논문수의 38.5%)이다.

<참여대학원생의 논문 게재 실적>

평가구분	기간	참여대학원생수	총논문수	5%이내	10%이내	15%이내	25%이내(Q1)
성과평가	2.5년	92.2/학기	52	9	17	20	23
	1년환산	92.2/학기	20.8	3.6	6.8	8	9.2
비율				<b>17.3%</b>	<b>32.7%</b>	<b>38.5%</b>	<b>44.2%</b>

### b3. 우수 신진연구인력 확보

본 교육연구단은 제안서에서 박사후연구원 4명, 계약교수 2명 내외의 신진연구인력을 채용하여 운영할 계획이었다. 성과평가 기간 동안 신진연구인력(박사후 연구원)은 총 4명을 채용하여 운영하고 있다. 멘토 교수를 지정하여 연구/학술활동을 지원하고 있으며, 각 분야의 전문가 초청 및 세미나 개최를 통해 신진 연구인력 연구능력 배양에 힘쓰고 있다.

- ▶ 김OO 박사 (대수기하학 분야 신진연구인력, 2021년 3월 채용)
- ▶ 이OO 박사 (대수기하학 분야 신진연구인력, 2021년 3월 채용)
- ▶ 한OO 박사 (정수론 분야 신진연구인력, 2021년 3월 채용)
- ▶ 돌로OO 박사 (기하학 분야 신진연구인력, 2021년 9월 채용)

### b4. 국제 공동연구 실적

참여교수들은 해외학자들과 온라인 및 방문을 통해 공동연구를 수행하고 있으며, 우수한 연구성과들을 도출하고 있다. 평가기간 동안 공동연구 실적이 있는 참여교수-해외학자들을 기술하였다.

- ▶ 김병한 교수 : UC Irvine의 Isaac Goldbring 교수
- ▶ 박은재 교수 : 독일 Humboldt University of Berlin 대학의 Carsten Carstensen 교수  
인도 Indian Institute of Technology, Bombay 대학의 Amiya Pani 교수  
홍콩 City University of Hong Kong 대학의 Lina Zhao 교수
- ▶ 신원용 교수 : 호주 The University of New South Wales의 Xin Cao 교수  
독일 Heidelberg University의 Michael Gertz 교수
- ▶ 양민석 교수 : Czech Academy of Sciences 소속의 Jiri Neustupa 교수와 Sarka Necasova 교수
- ▶ 유명준 교수 : National Taiwan 대학의 Jia-Wei Guo, Yifan Yang 교수
- ▶ 윤경호 교수: 미국 Harvard Medical School(Brigham and Women' s Hospital)의 Seung-Schik Yoo 교수  
미국 Yale School of Medicine의 Spencer Brinker 교수
- ▶ 이은정 교수 : University of Colorado at Boulder의 Thomas A. Manteuffel 교수
- ▶ 최성락 교수 : 일본 도쿄대학교의 Yoshinori Gongyo교수
- ▶ 최영필 교수 : 영국 Oxford University의 José Carrillo 교수  
네덜란드 Eindhoven University of Technology의 Oliver Tse 교수  
이탈리아 L' Aquila University의 Cristina Pignotti 교수

4단계 BK21 사업

## II. 교육역량 영역

## II. 교육역량 영역

### 1. 교육과정 구성 및 운영

#### 1.1 교육과정 구성 및 운영 실적

본 교육연구단의 교육과정은 이론수학, 응용수학, 계산수학 분야의 교과목 및 각종 교육 프로그램을 대학원생들에게 제공함으로써 수학적 이론에서 현실 세계에 이르는 다양한 문제해결이 가능한 인재 양성을 목표로 하고 있다.

	분야	학문분야	내용
수 학 계 산 학 부	Math (이론수학)	대수학	논리학, 대수적수론, 해석적수론, 표현론, 가환대수, 체론, 암호학
		해석학	PDE, 조화해석, 응용PDE, 복소해석, 함수해석
		위상수학/기하학	대수기하, 미분기하, 사교기하, 대수적위상수학
	Applied Math (응용수학)	금융수학	확률론, 확률과정론, 금융수학, 금융실무
		수치해석학	수치해석, FEM, FDM, FVM
	Computational Math (계산수학)	기계학습/데이터과학	머신러닝, 인공지능이론, 조합론, 의료영상기계학습, 알고리즘
		의료영상	의료영상모델링, 영상처리
		전산유체역학	난류이론, 전산유체역학

#### ▶ Ph.D / M.S. 학위 프로그램

본 교육연구단의 학위 프로그램은 수학전공, 계산과학공학전공, 산업수학 학위 프로그램의 총 3개로 이루어져 있으며, 각 학위 프로그램에 따라 교과목 및 이수체계가 다르게 구성된다.

전공분야	학위명(영문)	학위명(국문)
Math (수학전공)	Ph.D. in Mathematics	이학박사
	M.S. in Mathematics	이학석사
CSE (계산과학공학전공)	Ph.D. in Computational Science and Engineering	이학박사, 공학박사
	M.S. in Computational Science and Engineering	이학석사, 공학석사
산업수학	M.S. in CSE - Industrial Mathematics	이학석사, 공학석사

※ CSE : Computational Science and Engineering(계산과학공학)

#### ▶ 과목 다양성 및 전공 유연성을 위한 타전공/타학교 학점인정

본 교육연구단에서 대학원생들이 다학제간 연구를 수행할 수 있는 능력을 배양할 수 있도록, 본 학과에서 개설하지 않는 교과목에 대하여 타학과 및 타학교에서의 학점이수를 인정하고 있다. 수강신청 전에 반드시 지도교수의 수강지도를 받아야 하며, 대학원 주임교수의 최종승인을 통해 졸업 이수학점으로 인정받을 수 있다. 대학원생 전공과 관련한 자연과학, 금융 및 경제, 컴퓨터 및 공학 분야의 교과목을 본 교의 타과에서 수강할 수 있으며, 대학차원에서 시행 중인 연세대-서강대-이화여대간의 대학원 학점 교환제도를 활용할 수도 있다.

본 교육연구단은 사업선정(2020년) 당시 제안서에 기술하였던 교육과정과 학사관리의 계획을 충실히 이행하였다. 교육 프로그램은 필수핵심-전문심화-특성화로 이어질 수 있도록 교과목을 개설하고 대학원생을 수강지도하여 교육의 효율을 높였다. 또한, 학생제안 교과목 및 사회문제해결형 교과목, 산업체 연구원 초빙 및 해외학자 집중강연 등을 통해 다양한 분야의 교육이 가능하도록 하였다. 대학원생 연구의 질적 향상을 위해서 입학 직후 지도교수 선정, 지도교수와의 개별미팅 및 Lab 단위 미팅, 연구실적 보고서 및 포스터 발표회 등을 통한 학과차원의 연구점검이 이루어지고 있다. 대학원생이 자발적으로 연구활동을 진행할 수 있도록 대학원생 주도 개방형 세미나, 그룹리딩 세미나 등을 꾸준히 진행하여 연구력이 향상되도록 하고 있다. 아래의 표에는 지난 제안서 대비 평가기간 동안의 실적을 기술하였으며, 자세한 사항은 표 다음에 제시하였다.

분야	계획(제안서)	달성 노력 및 실적(2020.09.01.-2023.02.28.)
가. 교육과정 운영	A. 교육과정 구성	a1. 과목군 세분화를 통한 체계적 교육과정 구성 a2. 온라인 교육 플랫폼 (LearnUs) 활용
	B. 대학원 과목 개설	대학원 전공강의의 개설 (2020-2학기 22과목, 2021-1학기 26과목, 2021-2학기 28과목, 2022-1학기 24과목, 2022-2학기 29과목)
	C. 특성화된 교과목 운영	c1. 기계학습 및 딥러닝 관련 교과목 개설 c2. 학생 제안 교과목 운영 c3. 사회문제 해결형 교과목 운영 c4. 산업수학 관련 교과목 운영 c5. 이과대학 대학원 공통과목 개설 c6. 대다수 과목의 영어 강의
나. 학사관리	A. 운영내규를 통한 학사운영	a1. 지도교수 선정 및 세부전공 선택 a2. 전공종합시험 a3. 영어 졸업 자격시험 a4. 학술활동 졸업 요건
	B. 다중멘토링제도 운영	b1. 학사지도 교수 (Academic Advisor) b2. 교육 및 연구의 지도교수 멘토링 (Thesis Advisor) b3. 공동 논문지도교수 (Co-Advisor)
다. 교육 및 연구 활동 모니터링	A. 지도교수의 모니터링	a1. 지도교수의 학생 개별 수강 지도 a2. 일대일 논문지도 및 연구 그룹별 정기 세미나 운영
	B. 학과차원의 모니터링	b1. 박사학위 연구과정 연구실적 평가 실시 b2. 학과차원의 포스터 발표회를 통한 연구 점검
라. 교육과 연구의 선순환	A. 정규과목에서 연구 연계	a1. 특성화과목군을 연구와 연계 (문제 해결 능력 함양) a2. 외부기관 연구자 토탈칭(현장문제 해결 능력 배양) a3. 해외학자 및 전문가 집중강연
	B. 대학원생 학술 및 연구활동 자발적 참여	b1. 학과차원의 단기집중 계절학교에 자발적 참여 유도 b2. 정기 세미나, 워크숍, 콜로퀴움을 연구로 연결 b3. 대학원생 주도의 개방형 세미나
	C. 대학원생 리서치 트레이닝	c1. Open Training Seminar without Entry Barrier c2. 대학원생의 Group Reading Seminar 독려 및 지원 c3. 해외석학들과 연계 및 교류
	D. 산업체 연구연계를 통한 교육	d1. 산업체와의 공동연구를 통한 현장 전문가 양성 d2. 산업수학 석사학위 프로그램 및 산학장학생 운영

## 가. 교육과정 운영 현황

### A. 교육과정 구성

#### a1. 과목군 세분화를 통한 체계적인 교육 프로그램 운영

본 교육연구단은 엄밀한 수학적 사고력과 창의적인 문제 해결력을 갖춘 수학자를 양성하기 위하여 필수 핵심과목군, 전문심화과목군, 특성화과목군으로 교과과정을 세분화하여 효과적인 교육 프로그램을 운영하고 있다. 또한 학부-대학원 연계 교과목과 산업수학 석사학위 프로그램 관련 교과목을 개설하고 있다.

구분	과목명
필수핵심과목군	대수학1, 대수학2, 실해석학1, 실해석학2, 이공계편미분방정식, 수치해석, 수치편미분방정식, 점성유체역학
전문심화과목군	대수적정수론1, 타원곡선이론, 가환대수1,2, 유한체이론, 자연수분할이론, 집합론1, 조합론1, 모델론1, 수리논리학, 사이버네틱스, 계산가능성이론, 편미분방정식, 함수해석학1,2, 조화해석학1,2, 미분기하학1,2, 대수기하학, 대수적위상수학, 리만곡면, 유한요소법, 수치선형대수, 고급유한요소법, 수치최적화, 확률론1,2, 금융수학1, 금융실무1,2, 기계학습1,2, 머신러닝과 응용1,2, 자연언어처리: 딥러닝, 알고리즘과응용, 딥러닝과데이터과학, 인공지능이론, 병렬과학계산, 불확실성정량화방법론, 난류모델링
특성화과목군	대수학특강, 대수적정수론특강1,2, 해석적정수론특강1,2, 보형형식론특강1,2, 조합론특강1,2, 논리학특강1,2, 해석학특강1, 수리유체역학특강, 편미분방정식 특강1,2, 수치해석특강1, 대수기하학특강1,2, 금융수학특강1,2, 응용수학특강1,2, 물리기반모델링과 시뮬레이션1,2, 수학적모델링 및 수치해석1,2, 수학적모델링및해석특강1,2, 수치시뮬레이션기반과학특강1,2, 의료영상을위한기계학습, 의료영상의수학적 모델링, 전산난류특론, 난류특론
논문작성법 교과목	논문작성법 및 발표1,2 (Scientific Writing and Presentation Skills) 세미나1,2 (Seminar), 수학난제와세미나 (Millenium Problems and Seminar)
학부-대학원 연계과목	기초계산과학공학, 기초계산유체역학, 기초유한요소법, 계산과학공학 학부연구1,2

#### a2. 온라인 교육 플랫폼 (LearnUs) 활용

본 교육연구단은 2021-1학기부터 우리 대학교의 뉴미디어·디지털 시대의 교육혁신을 선도할 지식 공유 플랫폼인 LearnUs를 활용하여 정규 학위과정의 온라인수업을 안정적이고 원활하게 진행하고 있다.

LearnUs는 온라인 교육을 위한 학습 관리뿐만 아니라 오프라인 교육, 온·오프라인 혼합수업(Blended Learning)까지 통합 관리함으로써 급변하는 시대적 요구 및 대외적 여건을 반영하여 다양한 학습 요구 사항에 대응할 수 있게 설계된 지식 공유 플랫폼이다. 우리 대학의 LearnUs는 학위과정/전문과정/공개과정/국제 프로그램의 영역에서 국내외 대학, 기업 사회와 양질의 교육 콘텐츠 공유를 목표로 하고 있다. 2021년 8월에 국내 고등교육 기관 최초로 LearnUs를 국내외 일반인 대상 오픈형 온라인 교육 플랫폼으로 확장하고 각 분야의 최고 전문가들로 구성된 비학위 전문과정을 개설하고 있다.

B. 대학원 강의 개설 현황 (최근 2.5년 : 2020.9.1 ~ 2023.2.28)

본 교육연구단이 평가기간 동안 개설한 대학원 교과목은 아래 표와 같다. 학과 전공종합시험으로 구성되어있는 필수핵심과목군은 각 학기마다 개설을 하고, 전문심화과목과 특성화과목군은 사전 2년 예고제를 통해 계획적으로 개설된다. 평가기간 동안 전공과목은 2020-2학기 22과목, 2021-1학기 26과목, 2021-2학기 28과목, 2022-1학기 24과목, 2022-2학기 29과목 개설되었으며, 이중 영어강의 비율은 평균 81.4%이었다.

구분	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
필수핵심과목	대수학2 실해석학2 수치해석1 수치편미분방정식 이공계편미분방정식1	대수학1 실해석학1 수치해석1 수치편미분방정식 이공계편미분방정식1	대수학2 실해석학2 수치해석1 수치편미분방정식 점성유체역학	대수학1 실해석학1 수치해석1 수치편미분방정식 이공계편미분방정식1	대수학2 실해석학2 수치해석1 수치편미분방정식 이공계편미분방정식1 점성유체역학
전문심화과목	집합론1 편미분방정식2 대수다양체개론 기계학습1 함수해석학1 리만기하학 인공지능이론 병렬과학계산 점성유체역학 머신러닝과응용3 의료영상을위한기계학습 난류이론	수리논리학 조합론 대수적정수론1 기계학습2 미분다양체 랑란드프로그래밍 푸리에해석과응용 알고리즘과응용 딥러닝과데이터과학	수리유체역학 모델론1 조합론2 대수적정수론2 자연수분할이론 함수해석학1 확률론 기계학습1 사교기하 인공지능이론 수치최적화	편미분방정식1 조합론 미분다양체 모델론(2) 확률론(2) 고체및구조물의유한요소해석 연속체역학및구조해석 알고리즘과응용 딥러닝과데이터과학 불확실성정량화방법론 딥러닝과영상처리1	금융수학1 수리논리학 조합론2 조화해석학1 편미분방정식2 기계학습을위한수학 인공지능이론 고체및구조물의유한요소해석 병렬과학계산 수치최적화
특성화과목	해석적정수론특강1 응용수학특강1 박사학위논문연구1(CSE)	응용수학특강2 수치해석특강1 물리기반모델링및시뮬레이션1 수학적모델링및수치해석2 머신러닝과응용특론1 석사학위논문연구1(수학) 석사학위논문연구1(CSE) 박사학위논문연구1(CSE) 박사학위논문연구2(CSE)	편미분방정식특강 해석학특강1 물리기반모델링및시뮬레이션2 수학적모델링및수치해석1 석사학위논문연구1(수학) 박사학위논문연구1(수학) 박사학위논문연구2(수학) 석사학위논문연구1(CSE) 박사학위논문연구2(CSE)	수리유체역학특강2 수치해석학특강1 해석학특강1 보형형식특강1	기하학특강 보형형식특강2 응용수학특강1 편미분방정식특강 해석적정수론특강2 해석학특강2 수학적모델링및수치해석2 그래프학습원리및최근동향 학위논문연구2(CSE)
논문작성법	논문작성법및발표2 수학난제와세미나	논문작성법및발표1	논문작성법및발표2 수학난제와세미나	논문작성법및발표1	논문작성법및발표2 수학난제와세미나
이과대공통				선형대수와양자정보 입문	적분점근계산
학부-대학원연계		기초계산유체역학 기초유한요소법	기초유한요소법	기초계산과학공학 기초계산유체역학	기초유한요소법

### C. 특성화된 교과목 운영 현황

#### c1. 기계학습 및 딥러닝 관련 교과목 개설 현황

본 교육연구단에서는 수학적론과 계산과학을 기반으로 한 기계학습 및 딥러닝, 데이터과학, 인공지능 등의 다양한 교과목 개설로 대학원생들에게 각 연구분야에 적용 가능한 지식 및 능력을 배양하였다.

과목명	학정번호	개설학기	교수명	비고
기계학습1 기계학습2	MAT6480 MAT7480	2020-2학기, 2021-2학기 2021-1학기	최희준	영어
인공지능이론 딥러닝과데이터과학 그래프학습원리및최근동향	CSE5013 CSE5851 CSE9980	2020-2학기, 2021-2학기, 2022-2학기 2021-1학기, 2022-1학기 2022-2학기	신원용	영어
의료영상을위한기계학습 딥러닝과영상처리1 기계학습을위한수학	CSE9100 CSE7301 CSE5003	2020-2학기 2022-1학기 2022-2학기	서진근	영어 영어 -
머신러닝과응용3 머신러닝과응용특론1	CSE7002 CSE8870	2020-2학기 2021-1학기	이승철	- -

#### c2. 학생 제안 교과목 운영 현황

학생 제안 교과목은 4단계 BK21사업 추진과제의 일환으로 학생들에게 원하는 수업 내용을 설계해볼 수 있는 기회를 제공함으로써 학생 수요 중심의 교육과정 구현에 기여하고, 학생의 과목 선택권 확대 및 학과 커리큘럼 다양화를 목적으로 하였다. 학생제안 교과목의 이수를 통해 본인의 전공분야연구 및 논문작성에 직접적으로 도움을 받을 수 있고, 교과목 개발 과정에서 학생과 교수자의 협업을 통해 학생들의 현실적 수요와 교수자의 연구력이 조화를 이룸으로써 시너지 효과를 창출할 수 있다.

##### ■ MAT6000 수리논리학 (김병한 교수, 2021-1학기)

- 제안목적 : 수리논리 커리큘럼 변경
- 학습내용
  - 괴델의 불완전성 정리에 대한 증명, 집합론의 기본 이론을 세운 칸토어의 일생에 대해 학습
  - IT 시대를 도래하게 한 디지털 컴퓨터의 이론을 제공하고 튜링 기계에 대해 학습함
- 수업 및 평가 방식
  - 학기 내 과제 4-5개 제출하고 프레젠테이션 발표

##### ■ CSE7840 물리 기반 모델링 및 시뮬레이션2 (최정일 교수, 2021-2학기)

- 제안목적 : 대표적인 전기화학 시스템인 배터리의 작동원리, 열화 및 관리에 대해 이해하기 위해 기초적인 물리 기반 배터리 모델링과 시뮬레이션 방법을 학습함
- 학습내용
  - 전기화학 배터리 작동 방식 및 성분, 모니터링 필요성, 등가 회로 모델의 경험적 배터리 모델링
  - 마이크로/메크로스케일 모델 유도과 해석, 시간에 따른 배터리 거동 및 상태 공간 모형 유도
  - 차원 축소 모형, 데이터 기반 모델의 필요성, 배터리 진단 및 예후를 위한 방법론 정리
- 수업 및 평가 방식
  - 교재 내용을 매주 학생들이 발표하고 다른 학생이 강의자료를 평가, 중간 및 기말 보고서 작성

■ MAT8830 수치해석특강1 (허영미 교수, 2022-1학기)

- 제안목적 : 타분야 응용에 필요한 선형대수 이론 및 연관된 머신러닝 및 딥러닝 모델 연구 소개
- 학습내용
  - 선형대수 이론 : decomposition, positive definite matrices, eigenvalue location theorems
  - 머신러닝 및 딥러닝 모델 및 연구 : Graph theory, Model optimization, approximations

■ CSE9980 그래프학습원리 및 최근동향 (신원용 교수, 2022-2학기)

- 제안목적 : 최근 수요와 관심이 급증하는 그래프 학습 분야의 전반적인 원리와 최근 동향 학습
- 학습내용
  - 인공신경망 학습 파라미터 초기화 및 정규화 방법론, 에너지 기반 학습 방법론 이해,
  - 그래프 신경망 및 설명 가능한 인공지능 방법론, 그래프 신경망의 추천 시스템에서의 적용
  - 그래프에서의 적대적 공격, 대조 학습, 그래프 지식 증류 방법론 등
- 수업 및 평가 방식
  - 매주 발표 및 토의 형식으로 진행하며, 2개 세션으로 다른 주제 논문 기반 발표 후 토의 진행
  - 논문 실험결과 구현: jupyter notebook형식 제출. 결과 재생산성이 확인되는 방식으로 평가 진행

**c3. 사회문제 해결형 교과목 운영 현황**

대학원 과정 내 사회문제 해결에 기여할 수 있는 교육 성과를 도출하기 위한 대학원 정규 수업을 지원하는 제도(사회문제해결형 교과 지원사업, 대학원)를 시행하고 있다.

■ CSE5013 인공지능이론 (신원용 교수, 2022-2학기)

- 신청취지 : 그래프 마이닝과 기계학습 분석 툴에 인공지능 이론 및 소셜 네트워크의 다양한 응용을 다루고, 기말 프로젝트 수행을 통해 실세계 사회문제를 직접 정의 및 이를 해결하기 위한 방법 설계, 최종적으로 성능 검증의 일련 과정을 경험할 수 있게 함
- 학습내용
  - 소셜 네트워크 분석에 필요한 그래프 마이닝과 기계학습 이론(다양한 실세계 사회문제/해결 방법)
  - 소셜 네트워크 마이닝 개요, 링크 분석, 커뮤니티 탐지, 영향력 최대화, 추천 시스템 등
- 학생활동
  - 리딩세션 : 2인 1조로 사전에 제시된 주제와 논문들에 대한 발표 및 토의 진행
  - 정기과제 : 수업에서 다룬 이론 및 구현에 대한 문제를 직접 해결 (1~4차 과제 부여)
  - 기말 프로젝트 : 1) 실제 사회문제 정의 2) 문제해결 알고리즘 구현 3) 성능 측정 및 분석 수행

**c4. 산업수학 관련 교과목 운영 현황**

■ MAT8800 응용수학특강 I (윤지훈 교수, 부산대 수학과, 2020-2학기) - 금융수학

대표적인 확률과정인 Brownian Motion을 사용하여 확률미분방정식을 도입하고 확률미분방정식의 해가 되는 Diffusion process 특성 조사 및 금융위험자산 모델의 응용문제를 다루었다.

■ MAT8810 응용수학특강 II (윤지훈 교수, 부산대 수학과, 2021-1학기) - 금융수학

블랙-숄츠 모형과 블랙-숄츠 공식을 리뷰하고 확장된 금융 모형들을 다루었으며, 확률 변동성 모형 및 점프 확산 모형, 그리고 레비 모형들을 금융파생상품 프라이싱에 적용하였다.

■ MAT7740 금융수학 (이승철 교수, 2022-2학기)

이자율 시장에서 발생하는 다양한 금융수학 모델과 수학적으로 금융상품을 분석하기 위하여 이토 적분 이론을 소개하였다. 이자율 모델 중 가장 중요한 Vasicek 모델과 CIR 모델을 중심으로 수업을 진행하고 파이썬을 이용 각각의 모델을 구현하는 방법을 소개하였다.

### c5. 이과대학 대학원 공통과목 개설

본 교육연구단에서는 과학 및 공학 분야의 연구에 필요한 수학의 기초 이론을 제공하기 위해 이과대학 대학원 공통과목을 개설하여 운영하였다.

#### ■ SCI5001 선형대수와 양자정보 입문 (최성락 교수, 2022-1학기)

선형대수의 탄탄한 기반 위에서 양자 컴퓨팅과 양자 정보의 이론을 소개하는 것을 목표로 우선 양자 정보 이론을 공부해 나가기 위한 기초적인 선형대수 이론을 제공하였다. 선형대수 이론과 부울 대수, 고전 컴퓨팅 이론을 간략히 알아보고 양자회로와 대표적인 양자 알고리즘을 소개하였다.

#### ■ SCI5003 적분점근계산 (양민석 교수, 2022-2학기)

미분방정식으로 기술된 물리 문제의 해는 많은 경우 적분 변환으로 표현되지만, 많은 경우 정확한 적분이 불가능하므로 근사적인 계산으로 분석해야 하는 경우가 빈번하다. 이 수업을 통해 적분을 근사적으로 계산하는데 필요한 방법들을 제공하였다.

### c6. 대다수 과목의 영어 강의 개설

본 교육연구단에서 개설되는 교과목 대다수는 영어로 운영되고 있다. 평가기간(2020.09-2023.02) 개설 과목 중 평균 81.4%의 강의를 영어로 진행되어 사업신청서 작성 당시 평균 72.4%보다 크게 증가하였다.

학기	전공과목 개설수	영어과목 개설수	영어강의 비율
2020-2학기	22	18	81.82%
2021-1학기	26	22	84.62%
2021-2학기	28	22	78.57%
2022-1학기	24	21	87.50%
2022-2학기	29	22	75.86%

## 나. 학사관리 현황

### A. 학과 운영내규의 명문화를 통한 체계적인 학사 운영

본 수학교산학부에서는 학사에 관한 사항을 전공별 운영내규와 세칙으로 명문화하여 대학원생들이 학사 지도 및 졸업 관련 사항들을 파악하기 쉽게 하였다. 외국인을 위한 영문본도 함께 제정하였으며, 각 전공별 홈페이지에 게시하고 있다. 학과 운영내규에는 지도교수 배정 및 수강신청, 이수학점, 대학원 등록 및 수료, 전공종합시험, 영어(외국어) 시험, 학위논문심사, 학술활동 졸업요건, 학위과정 변경 등에 관한 사항을 구체적으로 기술하였다.

- (수학전공) 수학교산학부(수학) 대학원 운영내규
- (CSE전공) 대학원 수학교산학부(계산과학공학) 운영내규
- (산업수학) 산업수학 석사 학위과정 운영내규

#### a1. 지도교수 선정 및 세부전공 선택

본 교육연구단에서는 학사지도교수(Academic Advisor) 제도를 운영하여 입학 후부터 논문지도교수가 결정되기 전까지 대학원생의 학사를 지도하고 있다. 종합시험(전공종합시험, 영어시험)을 모두 합격한 후 논문지도교수를 결정하여 졸업연구를 수행하게 하는 것을 원칙으로 하고 있다.

〈신입생 및 재학생 지도교수 선정 현황〉

구분	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
학사지도교수	6	15	4	9	1
논문지도교수	12	8	13	4	9

**a2. 전공종합시험**

수학 전공종합시험은 학부기초시험(Calculus, Linear Algebra)과 대학원기초시험(Real Analysis, Algebra)이고, 계산과학공학(CSE) 전공종합시험은 필답시험(수치해석, 수치PDE, 이공계PDE(이학학위), 점성유체역학(공학학위))과 연구제안서발표시험(박사학위)로 구성되어 있다.

〈전공종합시험 합격자 현황〉

전공	구분	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
수학	학부기초시험	7	3	10	8	5
	대학원기초시험	21	7	4	7	10
CSE	필답시험	9	5	6	6	19
	발표시험	9	1	1	1	5

**a3. 영어 졸업 자격시험**

공인된 영어시험(TEPS, TOEIC, TOEFL 등)의 최소점수를 규정하고 그 이상일 때 합격한 것으로 본다. 아래의 표에 평가기간 영어시험에 합격한 대학원생 현황을 기술하였다.

전공	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
수학	16	10	6	5	6
CSE	3	6	4	6	2

**a4. 학술활동 졸업 요건**

수학전공의 박사학위자는 SCI급 저널에 1편 이상 논문 게재(승인)하여야 한다. 계산과학공학 박사학위자는 국제저명학술지에 2편 이상 논문 게재, 석사학위자는 국제저명학술지 1편 게재 또는 제1저자 학술대회 1편 발표하여야 한다. 아래의 표에는 평가기간 동안 졸업한 대학원생의 학술활동 실적을 나타내었다.

구분	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
논문	22	2	7	23	20
학술발표	3	1	5	7	11

**B. 다중 멘토링 (Mutiple Mentoring) 제도 도입을 통한 지속적 학사관리**

**b1. 학사지도 교수 (Academic Advisor)**

수학전공 대학원생들은 입학 학기에 각 입학생의 희망 전공별로 학사지도 교수(Academic Advisor)를 선택하고 배정된 학사지도 교수와 세부전공 수강지도부터 논문지도 교수(Thesis Advisor) 선택까지 학사에 관한 사항을 상담한다. 계산과학공학 전공은 입학 학기에 학사지도교수 및 논문지도교수를 동시에 선정하여 교육 및 연구의 멘토링을 받는다.

**b2. 지속적인 교육 및 연구의 지도교수 멘토링 (Thesis Advisor)**

지도교수는 지도학생과 매주 일대일 개별연구 미팅 및 학사/연구에 대한 상담을 진행하고 있다. 또한, Lab 단위 그룹 세미나를 실시하여 교육 및 연구에 관해 연속적으로 조언하는 시스템을 운영하고 있다.

### b3. 공동 논문지도교수 (Co-Advisor)

계산과학공학 전공에서는 타전공 지도교수와 졸업연구를 진행하는 경우 수학기산학부(CSE) 교수를 공동 지도교수로 하여 학위취득이 가능하게 하였다. 아래의 표에는 평가기간 동안의 공동지도교수 현황을 나타내었다.

대학원생명	학위	졸업	논문지도교수(소속)	공동지도교수(소속)
이OO	공학박사	2020-2학기	이창훈(연세대 기계)	최정일(수학기산학부 CSE)
김OO	공학박사	2021-1학기	이창훈(연세대 기계)	최정일(수학기산학부 CSE)
김OO	이학석사	2021-1학기	이지현(수학기산학부 수학)	이은정(수학기산학부 CSE)
김OO	공학석사	2021-2학기	이창훈(연세대 기계)	최정일(수학기산학부 CSE)
김OO	공학석사	2021-2학기	이창훈(연세대 기계)	최정일(수학기산학부 CSE)
이OO	이학박사	2021-2학기	이지현(수학기산학부 수학)	이은정(수학기산학부 CSE)
강OO	이학석사	2022-1학기	이승철(수학기산학부 수학)	서진근(수학기산학부 CSE)
조OO	이학석사	2022-1학기	이지현(수학기산학부 수학)	이은정(수학기산학부 CSE)
서OO	이학박사	2022-1학기	이지현(수학기산학부 수학)	이은정(수학기산학부 CSE)

## 다. 교육 및 연구역량 강화 모니터링 체계 구축

### A. 지도교수의 모니터링

#### a1. 지도교수의 학생 개별 수강 지도

대학원생이 원하는 연구 분야를 선택하고 해당분야의 지식을 습득하고자 할 때, 수강해야하는 과목을 안내함으로써 지도교수가 학생들의 수강신청을 돕는다. 기초과목 및 필수과목, 전공심화과목으로 수강이 이루어지도록 수강신청확인서(운영내규 별지2서식)를 지도교수 서명/확인 후 수강신청하도록 하고 있다.

#### a2. 일대일 논문지도 및 연구 그룹별 정기 세미나 운영

교수는 지도학생과 매주 1-2회 일대일 개별 연구 미팅을 진행하고 있으며, Lab 단위의 그룹별 정기 세미나도 운영하여, 학생들과 연구에서 미진한 부분을 토론하고 연구 방향을 지도하는 시간을 갖는다. 각 연구팀별 대학원생 지도에 대한 요약은 아래와 같다.

- 수리유체역학 및 수리생물모델 연구실 (강경근교수) : 매주 대학원생과 개별 면담 진행
- 수론연구팀 (기하서교수) : 정기적으로 지도대학원생과 면담형식으로 운영
- 수리논리학팀 (김병환교수) : 2주에 한 번 대학원생 연구 진행 사항 발표 및 면담
- 금융수학팀 (김정훈교수) : 매주 대학원생과 개별 연구 면담 진행
- 조화해석학팀 (김준일교수) : 매달 1-2회 그룹 세미나 연구결과 발표
- 큐급수연구팀 (손재범교수) : 매주 정기적인 팀세미나 진행
- 금융수학팀 (이승철교수) : 매주 대학원생 연구결과 발표 및 대학원생 개별 면담 진행
- Mathematical Epidemiology 연구실 (이지현교수) : 매주 대학원생 연구결과 발표 및 개별 면담 진행
- 대수기하학 팀 (최정락교수) : 수요일 정기 스터디/연구 세미나 및 일대일 연구 지도
- 수치해석팀1 (박은재교수) : 매주 대학원생 연구결과 발표 및 개별 면담 진행
- 딥러닝-데이터 과학 연구실 (서진근교수) : 매주 대학원생 연구결과 발표 및 개별 면담 진행
- 수치해석팀2 (이은정교수) : 매주 대학원생 연구결과 발표 및 개별 면담 진행
- Mathematical biology팀 (이지현교수) : 매주 대학원생 연구결과 발표 및 개별 면담 진행
- 멀티피직스 계산 연구실 (최정일교수) : 매주 그룹세미나 연구결과 발표 및 개별 면담 진행
- 데이터사이언스팀 (신원용교수) : 매주 대학원생 연구결과 발표 및 개별 면담 진행
- 전산유체역학팀 (이창훈교수) : 매주 대학원생 연구결과 발표 및 개별 면담 진행
- 양민석교수팀 : 매주 대학원생 일대일 면담 및 지도학생 논문지도 진행
- 유명준교수팀 : 매주 대학원생 개별 논문지도 및 면담 진행
- 윤명호교수팀 : 매주 대학원생 개별 논문지도 및 면담 진행
- 최영필교수팀 : 매주 지도학생과 일대일 개별 논문지도 진행

- 최희준교수팀 : 정기적 팀세미나 진행
- 허영미교수팀 : 매주 대학원생 개별 논문지도 및 면담 진행
- 홍한솔교수팀 : 정기 세미나 및 2주에 한 번 대학원생 개별 면담

## B. 학과차원의 모니터링

### b1. 박사학위 연구과정 연구실적 평가

박사학위 과정의 장기화 방지 및 연구 몰입 분위기를 조성하기 위해 연구학기 박사학위 과정생은 지난 1년 동안 수행한 연구결과(논문 및 학술대회 실적, 연구 내용 보고서)를 보고서에 작성하여 학과 심사위원의 평가를 받고 있다. 아래의 표에 평가기간 동안에 수행한 연구실적 평가 대상자수가 기술되어 있다.

<박사학위 연구과정 연구실적 평가 현황>

전공	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
수학	14	19	22	17	8
CSE	5	9	7	6	5

### b2. 학과차원의 포스터 발표회를 통한 연구 점검

매 학기 중에 Math-CSE open lab(포스터 발표회) 행사를 진행하여, 대학원생들의 연구 경과를 점검한다. 대학원생은 포스터를 이과대 2층 복도에 제작/게시하고, 2시간여 동안 참가 대학원생들과 설명/토론을 진행한다. 심사위원은 외부위원과 학과 교수로 구성되어 대학원생들의 연구를 점검한다.

- ▶ 2020-2학기 : 제1회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제18회 CSE포스터 발표회), 2020.11.30(월)  
발표자 : 총 39명 발표(석사과정 5명, 박사과정 4명, 통합과정 28명, 학부인턴연구원 2명)
- ▶ 2021-1학기 : 제2회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제19회 CSE포스터 발표회), 2021.05.21(금)  
발표자 : 총 33명 (석사과정 8명, 박사과정 3명, 통합과정 20명, 학부인턴연구원 2명)
- ▶ 2021-2학기 : 제3회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제20회 CSE포스터 발표회), 2021.11.19(금)  
발표자 : 총 28명 발표(석사과정 2명, 박사과정 5명, 통합과정 21명)
- ▶ 2022-1학기 : 제4회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제21회 CSE포스터 발표회), 2022.05.20(금)  
발표자 : 총 21명 (석사과정 1명, 박사과정 6명, 통합과정 14명)
- ▶ 2022-2학기 : 제5회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제22회 CSE포스터 발표회), 2022.11.18(금)  
발표자 : 총 31명 발표(석사과정 2명, 박사과정 8명, 통합과정 21명)



## 라. 교육과 연구의 선순환 구조 구축

### A. 정규과목에서 연구와의 연계

#### a1. 특성화과목군을 연구와 연계 (문제 해결 능력 함양)

##### ■ CSE7840 물리기반 모델링 및 시뮬레이션2 (최정일 교수, 2021-2학기, 학생제안교과목)

기존 “물리기반 모델링 및 시뮬레이션2” 교과목을 학생이 제한한 내용의 이차전지 수리모델링 내용으로 강의하였다. 학생들의 적극적인 수업참여로 강의내용의 이해도가 높았으며, 실질적인 응용 가능성을

보여주었다.

■ MAT6430 수리유체 역학 특강 1, 2 (참여교수: 강경근 교수, 2021-2학기, 2022-1학기)

2021-2학기 수리유체 역학 특강 1, 2022-1학기 수리유체 역학 특강 2를 각각 개설하여 수리유체 관련 논문 위주의 수업을 진행하여 대학원 학생들이 논문을 읽을 수 있는 능력을 배양하고자 하였다.

■ CSE9980 그래프학습원리 및 최근동향 (신원용 교수, 2022-2학기)

기계학습 일반 및 그래프 신경망에 대한 방법론의 이론뿐만 아니라 구현 및 응용을 종합적으로 다루어 학생들의 만족도가 매우 높았으며, 단순히 인공지능 S/W 툴을 적용하는 데에 그치지 않고, 새로운 인공지능 모델을 개발하고 분석할 수 있는 통합적 사고능력을 배양할 수 있는 프로그램으로 진행되었다. 또한, 실험결과 분석 및 토의를 통해 체험적 습득이 가능하도록 하였다.

a2. 외부기관 연구자 정규과목 팀티칭을 통한 현장문제 대면 및 문제 해결 능력 배양

■ CSE5003 기계학습을 위한 수학 (서진근 교수, 2022-2학기)

이 강의는 머신러닝에서 중요한 수학적 개념과 기계학습 알고리즘 이해 및 개발이 가능하도록 진행하였다. 머신러닝에서 사용되는 수학적 이론, 영상분석을 위한 딥러닝 방법론, 구체적인 실무능력을 배양할 수 있도록 하였으며, 기업 현장에서 근무하고 있는 연구원 및 전문가 초청을 통해 현장문제 해결을 위한 특별 자문시간을 제공하였다.

- 김OO 팀장 ((주)딥노이드), 기업적인 측면에서 의료 영상 분석 AI 솔루션으로 수익 모델 제작 과정
- 박OO 프로 (삼성메디슨), 초음파로 태아의 바이오메트릭들의 측정에서 표준 평면을 찾는 연구
- 장OO 박사 (HUIINNO), 생체 신호를 위한 머신러닝 방법론에 대한 전반적인 리뷰
- 조OO 박사 (삼성메디슨), 초음파 관련 인공지능 기반 알고리즘 소개 및 기업 측면의 도전 과제
- 김OO 박사 (하나금융융합기술원), Computer Vision (CV) Cell 연구 소개

a3. 해외학자 및 전문가 집중강연

- ▶ Isaac Goldbring 교수(UC Irvine, USA) 2022.01.15.-02.23 (매주 수요일 8회), 줌 집중강연  
모델론과 operator algebra, quantum information theory와 연계되는 강의
- ▶ Itzhak Fouxon 교수 (Ben Gurion University, 이스라엘) 2022.04.21., 2022.06.02.  
대학원생 대상 난류와 입자, 액적 거동 관련 2회 집중강연
- ▶ Hyunchul Park (SUNY New Paltz, USA) 2022.05.27, 2022.05.30., 2022.06.02,  
대학원생 대상 확률미분방정식 기초에 대한 3회 집중강연
- ▶ Jiri Neustupa(Czech Academy of Sciences) 2022.09.19. 2022.09.20.  
대학원생 대상 수리유체역학 2회 집중강연
- ▶ Michel Van Garrel (University of Birmingham, UK) 2022.09.26.  
대학원 대상 Toric mirror symmetry and log symmetry 관련 2회 집중강연
- ▶ David Burns(King's College London) 2022.10.26., 2022.10.27.  
참여대학원생이 콜만 가설과 다마가와수 가설에 대한 논문의 계산 완성을 목표로 2회 집중강연
- ▶ Sarka Necasova(Czech Academy of Sciences) 2022.11.29.  
대학원생 대상 수리유체역학 연구 및 최신 연구동향 관련 2회 집중강연
- ▶ Hideyuki Miura(Tokyo Institute of Technology) 2022.12.07.  
대학원생 대상 비선형 열 방정식의 비선형 구조 및 특성 관련 2회 집중강연
- ▶ Weiwei Wu(University of Georgia) 2022.12.20.  
대학원생 수준의 symplectic 구조, deformation, holomorphic 곡선 등에 관한 2회 집중강연

- ▶ Carsten Carstensen (Humboldt-Universität zu Berlin, Germany) 2023.02.08.-17.(8일간)  
대학원생 대상 집중강연 (제목: Primer on adaptive finite element methods)
- ▶ Takahiro Okabe(Osaka University) 2023.02.20., 2023.02.22.  
대학원생 대상 나비에-스톡스의 Decay 문제 해결 결과 관련 2회 집중강연

## B. 대학원생의 학술 및 연구활동에 자발적 참여 유도

### b1. 학과차원의 단기집중 계절학교에 자발적 참여 유도

#### ▶ Unimod2022 여름 집중강연 및 학회참여

2022.7.18.~ 8.5(3주간) 진행된 Unimod2022 여름 집중강연에 서OO(김병한 교수팀)과 김OO(BK학술연구 교수)가 참여하였으며, 최신 모델론 연구의 진행 방향과 자신의 연구 설계에 큰 도움을 받았다.

#### ▶ (주)젠티와 AI 관련 온라인 공동 세미나 개최(허영미 교수팀)

이OO, 임OO, 한OO은 AI 스타트업 젠티와 2021.01-09월까지 AI를 사용한 문자인식 관련 논의 세미나를 진행하였으며, 2021.11월부터 현재까지 매주 AI를 사용한 수학증명 관련 논의를 하고 있다.

### b2. 정기 세미나, 워크숍, 콜로퀴움을 학생의 연구로 연결

#### (1) BK 기하학 수요집회 - 최성락, 홍한솔 교수

2021.03.17부터 격주로 교수/박사급의 국내 연구자를 초청하여 기하학 정기 세미나를 진행하였으며 대학원생들이 이해할 수 있는 수준의 강연을 진행하였다. 대수기하학(최성락 교수 전공)과 사교기하학(홍한솔 교수 전공) 전문가를 교대로 초빙하여 대학원생들의 눈높이에 맞춘 새로운 연구결과를 소개하는 자리를 가졌다. 기하학 수요집회의 초청연사는 2021-1학기 9명, 2021-2학기 8명, 2022-1학기 6명, 2022-2학기 9명이었다. 세미나 홈페이지: <https://sites.google.com/yonsei.ac.kr/yonseigeometry>

#### (2) BK 해석학 세미나 - 최영필 교수

2021.06.24부터 매주 수요일 편미분방정식 또는 응용수학을 전공하는 교수, 박사후연구원, 대학원생들을 대상으로 세미나를 진행하고 있다. 기체운동론, 유체역학, 금융수학, 수치해석, 산업수학 등 다양한 연구분야를 소개하고 각 분야의 최신 연구 동향을 파악이 가능하도록 하고 있다. 세미나를 지속적으로 운영하여 대학원생 연구에 도움을 주고 교수들과 공동연구를 할 수 있는 자리를 만들고자 하였다. BK 해석학 세미나에 초청된 연사는 2021-1학기 8명, 2021-2학기 6명, 2022-1학기 9명, 2022-2학기 9명이었다.

#### (3) 신촌 기하학 세미나(SWAG, Shinchon Workshop on Algebraic Geometry) - 최성락, 홍한솔 교수

2016년부터 매 학기에 하루 또는 이틀 동안 신촌 소재 대학원(서강대, 연세대, 이화여대)의 기하학을 전공하는 교수 및 대학원생들을 대상으로 워크숍을 개최하고 있다.

- 제09회 신촌 대수/기하학 워크숍 (2021년 07월 01일), 강연자 2명
- 제10회 신촌 대수/기하학 워크숍 (2021년 12월 10일), 강연자 3명
- 제11회 신촌 대수/기하학 워크숍 (2022년 06월 10일), 강연자 3명
- 제12회 신촌 대수/기하학 워크숍 (2022년 12월 15일), 강연자 3명

#### (4) 신촌 3대학원(연세대, 이화여대, 서강대) 해석학 및 PDE 공동 세미나 운영 - 최영필 교수

YES-SAP(Yonsei-Ewha-Sogang Seminar on Analysis & PDEs)는 신촌 3대학원의 해석학 및 편미분방정

식을 연구하는 참여교수, 대학원생이 참여하는 세미나로 대학원생들이 참여교수들의 연구분야와 관련된 최신 연구동향을 파악할 수 있는 기회를 제공하고 있다.

- 세미나 홈페이지 : <https://sites.google.com/ewha.ac.kr/yes-sap>
- 2021년 01월 20일 : 제1회 세미나 진행 (줌 온라인, 강연자 8명)
- 2022년 01월 05일 : 제2회 세미나 진행 (줌 온라인, 강연자 2명)
- 2023년 01월 03일 : 제3회 세미나 진행 (서강대, 강연자 4명)

**(5) Math-CSE 콜로퀴움 (주관교수: 홍한솔 교수, 최영필 교수)**

수학계산학부 “Math-CSE 콜로퀴움”은 매학기 격주로 외부 석학들 초청하여 최신 연구 주제에 관해 대학원생을 대상으로 1시간 강연을 대학원생 대상으로 진행하고 있다. 다양한 분야에서 관심을 받는 연구 주제들을 소개함으로써 참여대학원생들이 향후 연구로 이어질 수 있는 계기를 마련하였다.



**b3. 대학원생 주도의 개방형 세미나**

대학원생이 주체가 되어 세미나를 개최하고 참여한 대학원생 및 교수진들과 토론 형식의 개방형 세미나를 진행하였다. 수동적인 자세로 강의를 듣는 기존 형식을 탈피하고, 대학원생이 발표하고 논의를 주도하는 세미나로 진행하고 있다. 해석학 및 금융수학, 수치해석 분야 등 다양한 분야에서 활동이 이루어졌으며, 2020-2학기 15회, 2021-1학기 13회, 2021-2학기 13회, 2022-1학기 9회, 2022-2학기 6회 수행하였다.

**C. 대학원생의 리서치 트레이닝(Graduate Research Training) 강화**

**c1. Open Training Seminar without Entry Barrier**

유사 전공/연구 분야의 참여교수들이 주제를 정하고, 전문가를 초빙하여 다음과 같이 운영한다.

- (step 1) Abstract for Preparation : 사전에 알아야 할 내용을 1-2주 전에 미리 공지
- (step 2) Preliminary Lectures : 중심문제와 핵심 정리들을 초보자가 이해할 수 있는 수준으로 소개
- (step 3) Main Seminar 및 Discussion : 아이디어와 핵심계산을 1-2시간 정도의 강의 및 토론으로 진행

**(1) 오OO 대학원생 (위스콘신대학) 조화해석 관련 세미나 (주관: 김준일 교수)**

위스콘신대학 오창근(대학원생)이 Decoupling 이론에 관하여 2021.01.13.-19 5회에 걸쳐 대학원생 대상 세미나를 Zoom으로 진행, 조화해석학 전공학생들이 참여하였다.

**(2) 조OO 대학원생(U of British Columbia) Hyperbolic 편미분방정식 세미나(주관: 강경근 교수)**

캐나다 British Columbia 대학 조민준 대학원생이 학과 대학원생을 위한 hyperbolic 편미분방정식 이론에 관한 세미나를 2021.02월에 3회의 nonlinear dispersion, 2021.06월에 stratified floating inviscid 부시네스크, 2022.10월에 1회의 quasi-geostrophic approximation에 대해 Zoom으로 진행하였다. 편미분방정식 전공학생들 및 해석학 관련 학생들도 참여하였다.

(3) 이OO 연구교수(KAIST)의 논리학 세미나 (주관: 김병한 교수)

KAIST의 이OO 연구교수가 2020년 10월 26일부터 2주간 방문하여 강연 및 세미나를 진행하였으며, 김병한 교수팀과 공동연구를 진행하였다.

(4) 남하얀 교수(덕성여자대학교)의 Numerical Semigroup 세미나 (주관: 손재범 교수)

덕성여대 남하얀 교수를 초청하여 2022.06월에 2회, 10월에 1회의 Numerical semigroup 과 core-partition에 대해 세미나를 하였다. 수론 전공 대학원생들이 다수 참여하였다.

(5) 조화해석 세미나 (주관: 김준일 교수)

조화해석에 관심이 있는 대학원생을 위한 Harmonic Analysis Training Seminar를 3시간 동안 진행

- 2021.01월에 2회(연사 : 유동근, 오창근), 2022.05(연기석), 2022.08(이상혁) 각각 1회

(6) 정수론 세미나 (주관: 서수길, 유명준 교수)

정수론에서 활발하게 연구되고 있는 분야의 전문가 3인을 초청하여, 총 4회에 걸쳐 대학원생들이 접근 가능한 수준으로 정수론 세미나를 열었다.

- 김민수(경남대, 2021.12 1회), David Burns (King' s College London, 2022.01 2회), 정길용(University of California, 2022.08 1회)

## c2. 대학원생의 Group Reading Seminar 독려 및 지원

▶ (강경근 교수 주관) 나비어-스톡스 방정식의 약해가 유일하지 않을 수 있다는 최신 결과에 대해서 김OO광, 구OO, 민OO 학생의 주도적인 논문 발표 세미나를 진행하였으며, forward self-similar solution에 대한 존재성 문제에 대해서 일련의 논문을 읽고 매주 목요일 또는 금요일에 집중적으로 토론하였다.

▶ (김병한 교수 주관) 모델론 연구팀(김병한 교수팀)은 SOP1과 SOP2 관련한 논문을 리딩하고 이해하는 세미나를 2022-2학기에 시리즈로 가졌고, 관련 증명 방법론을 사용하여 김OO, 이OO 박사는 NATP 구조에서 Kim-independence와 관련한 새로운 결과를 얻어 논문을 작성하였다.

▶ (손재범 교수 주관) 팀세미나의 일환으로 대학원 지도학생들이 최신 논문을 읽고 세미나를 진행하였다. 남하얀 교수(덕성여대), 조OO 박사(이화여대), 허OO 박사(아주대)를 초청하여 세미나를 수행하였고, 전문가에게 최신 문제에 대해 상의하고 자문을 구할 수 있는 기회를 학생들에게 제공하였다.

▶ (유명준 교수 주관) 대수적 수론 연구팀은 2022년 5월부터 대수적 수론의 주요 토픽인 class field 이론, 타원 곡선이론 등에 대한 Reading seminar를 매주 하고 있으며 분야 전문가들을 초청하여 동분야 최신 트렌드 등을 접할 수 있는 기회를 제공하고 있다.

▶ (최성락 교수 주관) 이OO, 장OO, 김OO 박사과정 대학원생과 potentially klt pair에 대한 최신 응용 관련 논문을 같이 해독해 나가는 러닝 세미나를 진행하였다. 최성락 교수의 연구주제인 K-Minimal Model Program에 필요한 필요조건과 충분조건을 찾음으로서 기존의 K-MMP에서는 발견되지 못한 새로운 cohomology의 vanishing/non-vanishing 결과를 도출하려고 하였다. 이 세미나를 진행 후 potentially klt pair에 대한 이해도를 높일 수 있었으며 complexity, complement 와의 연관성도 밝힐 수 있었다.

▶ (허영미 교수 주관) Wavelets and Approximation팀 (허영미 교수팀)은 2022.12.02.-2023.02.22.일에 걸쳐 임효재 학생이 주도하여 설명/발표하는 Lean Learning 세미나를 9회 진행하였고 이OO, 이OO, 임OO,

한OO이 참석하였다. 또한, AI 스타트업 (주)젠티와 관심있는 연구실 대학원생들과 온라인 공동 세미나를 진행하였다.

**c3. 해외석학들과 연계 및 교류**

참여대학원생들은 지도교수와 공동연구를 진행하는 해외학자들로부터 연구지도를 받으며, 우수한 결과를 논문에 게재하거나 현재 논문 작성중에 있다. 해외학자들과 연계를 통해 대학원생 연구력을 향상시키고자 하였다. 평가기간 동안 실적을 요약하여 기술하였으며, 자세한 사항은 “6.1 ② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 실적”에 자세히 기술하였다.

- ▶ 박OO : The University of New South Wales 해외연수 (2023.01.15.-2023.02.19., 35일)
- ▶ 서OO : University of British Columbia 해외연수 (2023.01.14.-2023.01.29., 16일)
- ▶ 김OO, 김OO : 콜롬비아 대학교(Columbia University, 미국) 해외 연수 (2023.01.28.-2023.02.10., 14일)
- ▶ 김OO : Auckland U of Tech.의 Jiling Cao및 Wenjun Zhang 교수와 공동연구 (2022.01-2022.10)
- ▶ 송OO : Rutgers 대학 Mirek 교수, 영국 Edinburgh 대학 Wright 교수와 공동연구 (2022.10-2023.02)
- ▶ 조OO : Czech Academy of Sciences의 Jiri Neustupa 교수와 공동연구 (2022.09-2023.02)
- ▶ 이OO : UCLA의 Joaquin Moraga 교수와 공동연구 (2022.07-2022.08)
- ▶ 김OO : Boston 대학교의 Yu-Shen Lin 교수와 공동연구 (2022.11-2022.12)
- ▶ 김OO : City University of Hong Kong의 Lina Zhao 교수와 공동연구 (2020.09-2022.02)
- ▶ 김OO : City University of Hong Kong의 Lina Zhao 교수와 공동연구 (2020.09-2021.06)
- ▶ 김OO : Ocean University of China의 Xiang Sun 교수와 공동연구 (2020.09-2021.06)

**D. 산업수학-산업체 연계를 통한 산업문제 전문가 양성**

**d1. 산업체와의 공동연구를 통한 현장 전문가 양성**

기업명	연구명	참여교수, 참여대학원생
삼성전자	저선량 Cone-Beam CT에서 금속물에 의한 영상왜곡 해결	서진근, 윤OO, 장OO, 조OO, TaigOO, SUN OO
LG전자	모터 냉매 상변화 열전달 성능 예측기술 개발	최정일, 하OO
현대자동차	전기자동차용 Li-ion전지의 ESS 재사용을 위한 수명예측 알고리즘 개발	최정일, 김OO, 김OO, 하OO
현대엔지니어링	폐배터리 RUL 예측 알고리즘 개발	최정일, 김OO, 정OO, 조OO, 하OO
휴먼젠티	알츠하이머병에 대한 수학적 모델 연구	강경근, 김OO
젠티	문자인식 관련 세미나 진행	허영미, 임OO, 이OO, 한OO, 기OO
삼성디스플레이	Slip-wall 경계조건 기반의 OLED 증착원 공정 시뮬레이션 고도화	최정일, OO XU, 양OO
카이로스랩	K-소재 계층 이니셔티브를 위한 실험 재료물성 데이터 베이스 구축	신원용, 김OO, 박OO, 신OO
삼성디스플레이	3D FEM 기반 NEGF Solver 개발	이은정, OODorligjav, 조OO

**d2. 산업수학 석사학위 프로그램을 통한 맞춤형 산업인재 양성**

- 박OO (산업수학 석사과정, 2021-1학기 입학, 삼성메디슨과 연계, 2022-2학기 졸업)
- 고OO (산업수학 석사과정, 2022-1학기 입학, 삼성SDI 연계)
- 김OO (산업수학 석사과정, 2023-1학기 입학, 삼성SDI 연계)
- 박OO (산학장학생, 박사과정, 2020-2학기 입학, 볼트시뮬레이션 연계)

## 1.2 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 실적

본 교육연구단에서는 과학기술·산업·사회 문제 해결 능력을 겸비한 인재를 육성하기 위해 수학기론에 기반한 다양한 융합과목 및 다학제간 과목을 개설하여 운영하고 있다. 금융수학 및 금융 실무 교과목 운영, 기계학습 및 딥러닝 관련 교과목 지속적 개설, 산업현장 전문가를 강의에 초빙하여 산업현장의 니즈와 기술개발 현황 등을 소개하여 현장에 적합한 인재를 양성하고 있다.

### < 신청서 계획대비 달성 노력 >

신청서 계획	사업기간(2020.09.01.-2023.02.28.) 실적	비고
가. 금융수학 및 금융실무 교과목	응용수학특강1(2020-2학기), 응용수학특강2(2021-1학기), 금융수학 1 (2022-2학기)	
나. 기계학습 및 딥러닝 교과목	기계학습1(2020-2학기, 2021-2학기), 기계학습2(2021-1학기) 인공지능 이론(2020-2학기, 2021-2학기, 2022-2학기) 딥러닝과 데이터과학(2021-1학기, 2022-1학기) 그래프학습 원리 및 최근 동향(2022-2학기) 기계학습을 위한 수학(2022-2학기) 머신러닝과 응용3(2020-2학기) 머신러닝과 응용특론(2021-1학기) 의료영상을 위한 기계학습(2020-2학기) 딥러닝과 영상처리1(2022-1학기)	
다. 산업수학 교과목	산업수학 석사과정 대학원생 지도	
라. 외부 연구자와의 공동강의	기계학습을위한수학 (2022-2학기)	수업중 특강 진행
마. 현실문제 적용의 강의 및 연구	CSE5003 기계학습을 위한 수학 (2022-2학기) CSE5013 인공지능이론 (2022-2학기) 신종 감염질환의 확산모델 개발 연구	제안서에는 없는 신규 작성분

### 가. 금융수학 및 금융실무 교육 프로그램 운영 현황

#### ■ 응용수학특강1(2020-2학기), 응용수학특강2(2021-1학기)

연세대 수학과에 방문교수로 있는 부산대 수학과 윤지훈 교수가 응용수학특강1과 2를 개설하여 대학원생들에게 금융수학을 교육하였다. 대표적인 확률과정인 Brownian Motion을 사용하여 확률미분방정식을 도입하고 확률미분방정식의 해가 되는 Diffusion Process 특성을 조사하며, 금융위험자산의 모델에 관한 응용문제를 다루었다. Ito formula, Ito calculus, Martingale Representation Theorem, Markov Property, Generators, Dynkin's formula, Feynman-Kac formula, Girsanov Theorem 등을 교육하였다.

#### ■ 금융수학 1 (2022-2학기)

이승철 교수는 이자율 시장에서 발생하는 다양한 금융수학 모델을 소개하였다. 수학적으로 금융상품을 분석하기 위하여 이토 적분 이론을 소개하였으며, 블랙숄즈 모델을 분석하는데, 사용하지 않은 수학적 기법인, 길사노프 정리, 메저 체인지와 이와 관련된 뉴메리어를 소개하였다. 이자율 모델중 가장 중요한 Vasicek 모델과 CIR 모델을 중심으로 수업을 진행하였으며, 파이썬을 이용 각각의 모델을 구현하는 방법을 소개하였다. HJM 이론을 소개하였으며, 이를 Vasicek 모델에 적용 Hull White 모델을 설명하였다. 시장 데이터를 Hull White 모델에 직접 적용하는 방법을 파이썬을 이용 구현하였고, 또한 이 강의를 직접 듣지 못한 대학원생들 위하여 YouTube(<https://url.kr/9ydv6s>)에 강의내용을 공개하였다.

## 나. 기계학습 및 딥러닝 관련 교과목 개설 현황

### ■ 기계학습1(2020-2학기, 2021-1학기), 기계학습2(2021-1학기)

최희준 교수는 기계학습1, 기계학습2 강좌를 개설하여 인공지능의 방법론인 기계학습의 기초지식과 수학적 관점에서의 기계학습 기법에 대하여 교육하였다. Bayesian, NN, SVM, PCA, K-means 분류, CNN 등을 다루었으며, 영상과 음성에 대한 application도 병행하였다.

### ■ 인공지능 이론(2020-2학기)

신원용 교수는 다양한 분야에서 도출되는 데이터를 직접 다루는 인공지능 이론에 대하여 강의하였으며, graph mining, 기계학습 기법 등을 이용하여 현상의 문제를 시뮬레이션하는 교육을 실시하였다. 링크 분석, community 검색, influence 최대화, 링크 예측 등에 대한 내용으로 강의를 진행하였다.

### ■ 인공지능 이론(2021-2학기)

신원용 교수는 다양한 분야에서 도출되는 실세계 데이터를 다루는 인공지능 이론에 대하여 강의하였으며, 그래프 마이닝, 기계학습 기법 등을 이용하여 현상의 문제를 시뮬레이션하는 교육을 실시하였다. 대표적인 그래프 분석 응용 업무인 링크 분석, 커뮤니티 탐지, 랭킹 알고리즘, 영향력 최대화, 링크 예측 등에 대한 내용으로 강의를 진행하였고, 해당 주제에 대해 논문 선정 후 리뷰 및 토의를 진행하였다.

### ■ 인공지능 이론(2022-2학기)

신원용 교수는 그래프 마이닝과 기계학습 분석 틀에 기초하여 인공지능 이론 및 소셜 네트워크로의 다양한 응용을 다루고, 이를 활용해 학생들이 기말 프로젝트를 수행함으로써 실세계 사회문제를 직접 정의하고 이에 대한 해결 방법을 설계하며 최종적으로 성능을 검증하는 일련의 과정을 경험할 수 있게 하였다.

### ■ 딥러닝과 데이터과학(2022-1학기)

신원용 교수는 실제 데이터 처리를 위한 머신러닝/딥러닝 기법에 대하여 강의하였으며, word2vec model in NLP, Network embedding of DeepWalk with hierarchical softmax, Proximity-learning-based approach (LINE) with negative sampling, variant of the random-walk-based approach (node2vec) 등을 교육하였다. 해당 주제에 대한 토론 및 리뷰 등을 병행하여 수강생들의 이해를 높였다.

### ■ 딥러닝과 데이터과학(2021-1학기)

신원용 교수는 딥러닝 알고리즘을 활용하여 소셜 네트워크 분야에서의 데이터에 기반해 실제적인 사회 문제 (커뮤니티 탐색, 사용자 분류, 친구 예측)를 도출하고 해결하는 방법론에 대해 강의하였으며, 매주 정해진 문제를 풀기 위한 알고리즘 설계/구현/해석에 대한 과제를 부과하는 방향으로 교육을 실시하였다. 학기말에는 수강생 모두가 각자의 문제를 정의하고 수업에서 배운 콘텐츠를 응용하여 이를 해결하는 프로젝트를 수행하였다.

### ■ 그래프학습 원리 및 최근 동향(2022-2학기)

신원용 교수는 최근 그래프 기반 기계학습 및 데이터 분석에 대한 수요와 관심이 급증함에 따라 대학원생 제안 교과목으로 그래프 학습 분야의 전반적인 원리와 최근 동향을 학습하는 교과목을 개설하였다. 기본적인 인공 신경망 학습 방법론(DiffPool, LIME, Contrastive learning, Energy-based learning 등)과 그래프에서의 다양한 학습 모델(GCN, SGC, GAT, GraphSAGE, GIN, GNNExplainer 등)에 대한 내용으로 강의하였다. 주기적 과제 및 기말 프로젝트를 통해 단순 이론 학습에 그치는 것이 아니라 방법론 구현 등 종합적 사고능력을 배양하고자 하였다.

### ■ 기계학습을 위한 수학(2022-2학기)

서진근 교수는 머신러닝 및 딥러닝 기법과 관련한 수학적 개념(벡터, 노름, 선형대수, 다변수 미적분, 확률 이론, 통계적 추론, 최적화 등)을 교육하였다. 최근 이미지 분석이 딥러닝 기술의 발전으로 새로운 패러다임으로의 전환을 맞이하여 이미지 분석을 위한 딥러닝 방법론 학습과 더불어 학생들이 이를 이해하여 기계학습 알고리즘을 이해하고 개발할 수 있도록 하였다.

### ■ 머신러닝과 응용3(2020-2학기)

이승철 교수는 텐서플로우(tensorflow)를 이용하여 다양한 강화 기계학습 알고리즘을 구현하는 수업을 진행하였다. Logistic regression, NN, CNN, RNN, VAE, GAN, 강화학습에 대한 알고리즘 구현과 기말 프로젝트를 부여하였다.

### ■ 머신러닝과 응용특론(2021-1학기)

이승철 교수는 다양한 딥러닝 방법들을 금융데이터에 적용하는 교육을 실시하였다. 금융데이터의 기본적인 지식에서 출발하여, Machine Learning의 방법론들인 Linear Models, Time Series Models, Bayesian Machine Learning, Decision Trees and Random Forests, Gradient Boosting Machines, Unsupervised Learning 등을 금융데이터에 적용하였으며, 대학원생의 발표, 토론 및 기말 프로젝트 등을 통해 실제 데이터의 접근에 대한 교육을 진행하였다.

### ■ 의료영상을 위한 기계학습 (2020-2학기)

서진근 교수는 기계학습 응용의 한 분야로 의료영상에 적용하는 방법론을 강의하였다. 의료영상의 기계학습에 대한 수학적 개념, underdetermined 역문제 상황에서 training 데이터의 구조와 관계 등을 이용하여 undersampled MRI, local tomography, sparse view CT 등에서 의료영상을 획득할 수 있는 방법들을 다루었다.

### ■ 딥러닝과 영상처리1 (2022-1학기)

서진근 교수는 영상처리를 위한 딥러닝 기법을 강의하여, 수학적 이론과 최근 대두되고 있는 딥러닝 기법들에 대하여 교육하였다. 의료영상에 적용할 수 있는 딥러닝 기법 중에서 image classification and semantic segmentation을 중심으로 이에 필요한 deep learning architectures 기본 지식과 더불어 실제로 사용되는 FCN, U-net, M-net, Variational Auto Encoder, YOLO, various GANs, Transformer 등의 기법을 강의하였다.

## 다. 산업수학 석사학위 과정 대학원생 지도

o 박OO (석사과정, 2021-1학기 입학, 삼성메디슨과 연계, 2022-2학기 졸업)

박OO 프로는 삼성메디슨과 연계하여 수학기산학부(계산과학공학)에 입학하였으며, 서진근 교수의 지도하에 초음파를 이용한 태아의 상태 측정을 위한 인공지능 시스템 연구를 진행하였으며, 2022-2학기에 산업수학 석사 학위를 취득하고 삼성메디슨으로 복귀하였다.

- 석사논문 : AI 기반 태아 초음파 분석

o 고OO (석사과정, 2022-1학기 입학, 삼성SDI 연계)

고OO 프로는 삼성SDI와 연계하여 수학기산학부(계산과학공학)에 입학하였으며, 최정일 교수의 지도하에 리튬이온 배터리의 고장 진단 기술에 관한 연구를 진행하고 있다.

o 김OO (석사과정, 2023-1학기 입학, 삼성SDI 연계)

김OO 프로는 삼성SDI와 연계하여 2022-2학기 산업수학 석사과정 입학전형으로 2023-1학기에 수학기산학부(계산과학공학)에 입학하였으며, 최정일 교수의 지도하에 배터리 노화 진단/예측 기술에 관한 연구를 진행하고 있다.

**라. 산업체/연구소 등 외부 연구자와의 공동강의 개설현황**

**■ 기계학습을 위한 수학 (2022-2학기)**

서진근 교수는 영상 분석을 위한 딥러닝 방법론에 대한 교과목을 개설하여, 학생들이 구체적인 실무 능력을 배양할 수 있도록 지원하였다. 또한 기업 현장에서 근무하고 있는 연구원 및 전문가를 초청하여 특별 자문시간을 가졌다.

- 김OO 팀장 ((주)딥노이드), AI applications in healthcare from the perspective of medical revenue
- 박OO 프로 (삼성메디슨), Reinforcement learning for fetal ultrasound
- 장OO 박사 (HUINNO), AI-based remote monitoring solution for arrhythmia detection
- 조OO 박사 (삼성메디슨), Artificial Intelligence for Ultrasound
- 김OO 박사 (하나금융융합기술원), Computer Vision (CV) Cell 연구 소개
- 김OO 팀장 ((주)딥노이드), 딥노이드 AI-assisted Clinical Decision Support System 소개

**마. 현실 문제 적용을 위한 강의 및 연구**

**■ CSE5003 기계학습을 위한 수학 (서진근 교수, 2022-2학기)**

서진근 교수는 머신러닝에서 중요하게 다루는 수학적 개념과 영상 분석에 적용하는 딥러닝 기법에 관하여 강의를 진행하였다. 실제 현장에서 사용되는 영상 분석의 딥러닝의 사례를 소개하고자 기업의 전문가 및 연구원을 수업시간에 초청하여 현장문제를 다루는 데 있어서 어려움과 이를 극복하기 위한 기술 등의 발표하도록 하였다. 대학원생들이 영상분석의 딥러닝 이론과 구체적인 실무 능력을 배양할 수 있도록 수업을 구성하였다.

- 김OO 팀장 ((주)딥노이드), 기업적인 측면에서 의료영상 분석 AI 솔루션으로 수익 모델 제작 과정
- 박OO 프로 (삼성메디슨), 초음파로 태아의 바이오메트릭들의 측정에서 표준 평면을 찾는 연구
- 장OO 박사 (HUINNO), 생체 신호를 위한 머신러닝 방법론에 대한 전반적인 리뷰
- 조OO 박사 (삼성메디슨), 초음파 관련 인공지능 기반 알고리즘 소개 및 기업 측면의 도전 과제
- 김OO 박사 (하나금융융합기술원), Computer Vision (CV) Cell 연구 소개

**■ CSE5013 인공지능이론 (신원용 교수, 2022-2학기)**

신원용 교수는 인공지능 이론을 현실 문제에 적용해 보는 수업을 진행하였다. 그래프 마이닝과 기계학습 분석 툴에 인공지능 이론 및 소셜 네트워크의 다양한 응용을 다루고, 기말 프로젝트 수행을 통해 실세계 사회문제를 직접 정의 및 이를 해결하기 위한 방법 설계, 최종적으로 성능 검증의 일련 과정을 경험할 수 있게 하였다. 소셜 네트워크 분석에 필요한 그래프 마이닝과 기계학습 이론(다양한 실세계 사회문제/해결 방법)과 소셜 네트워크 마이닝 개요, 링크 분석, 커뮤니티 탐지, 영향력 최대화, 추천 시스템 등의 교과 내용을 2인 1조로 하여 발표 및 토의를 하였다. 기말 프로젝트를 통해 실제 사회문제를 정의하고, 문제해결 알고리즘 구현, 성능 측정 및 분석을 수행하였다.

■ 신종 감염질환의 확산모델 개발 위한 연구

이지현 교수는 접촉 양상을 반영한 신종 감염질환의 확산모델을 개발하고 다양한 중재 전략의 효과를 평가하여 효과적인 대응 전략 제시함으로써 지역사회 문제 해결에 기여하였다. 다양한 분야의 전문가(응용수학, 통계학, 의사, 정책 결정자)와 협업하여 체계적이고 효과적인 방법으로 융합연구를 수행하여 결과를 저널에 게재하고 인력양성, 사회 현안 해결을 위한 가이드라인을 제시하였다. 이는 코로나 확산과 같은 대유행 상황뿐만 아니라, 일반적인 감염병의 관리에도 적용할 수 있으며, 환자 발생과 질병 부담 예측, 대응 전략 마련에 중요한 역할을 담당할 수 있다. 이와 관련한 연구결과는 다음의 논문으로 출간되었다.

- T Lee, H-D Kwon, J Lee, The effect of control measures on COVID-19 transmission in South Korea, PLoS One, 16(3), e0249262, (2021), 10.1371/journal.pone.0249262
- B Kim, YA Kang, J Lee, Heterogeneous impact of Covid-19 response on tuberculosis burden by age group, Scientific Reports, 12(1), 13773, (2022), 10.1038/s41598-022-18135-6

## 2. 인력양성 현황 및 지원 실적

### 2.1 평가 대상 기간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구단 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

참여대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사통합	계
확보 (재학생)	2020년 2학기	44	8	59	111
	2021년 1학기	29	10	56	95
	2021년 2학기	23	12	56	91
	2022년 1학기	22	14	51	87
	2022년 2학기	20	13	44	77
	계	138	57	266	461
배출 (졸업생)	2021년 2월	9	4		13
	2021년 8월	10	0		10
	2022년 2월	11	3		14
	2022년 8월	5	6		11
	2023년 2월	4	3		7
	계	39	16		55

## 2.2 교육연구단의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적

본 교육연구단에서는 학부지도교수 및 학부인턴연구원 제도, 학부연계과목 개설 및 조기전형 등의 다양한 방법으로 우수 대학원생을 확보하고 있다. 산학협력을 통한 인력 확충, 해외 대학과의 공동연구 등을 통해 대학원생을 유치하고 있다. 대학원생들은 BK장학금을 비롯하여 학부(전공)에서 준비한 다방면의 장학금을 수혜받아 연구에 전념할 수 있도록 하고 있다. 평가기간 동안에 수행한 우수 대학원 확보 및 지원의 요약은 아래의 표에 나타내었으며, 자세한 사항은 다음에 기술하였다.

구분	신청서(계획)	평가기간 실적(2020.09.01.-2023.02.28.)	비고
가. 확보	A. 학부지도교수	매학기 학년별 지도교수 운영 및 상담	
	B. 학부인턴연구원	2020-2학기 15명, 2021-1학기 12명, 2021-2학기 19명 2022-1학기 10명, 2022-2학기 24명	
	C. 학부연계과목	기초계산과학공학 등 총9과목 개설	
	D. 학부-대학원 연계과정	7명 입학	
	E. 조기전형	1명 입학	
	F. 입학설명회	COVID-19로 인해 진행되지 않음	
	G. 홈페이지 홍보	학과 홈페이지 운영	
	H. 포스터발표회	매학기 진행하여 총 5회 진행	
	I. 산학프로젝트	산업수학 석사과정 : 삼성메디슨 1명, 삼성SDI 2명 산학장학생 : 볼트시물레이션 1명	
	J. 외국대학 학생 유치	몽골 2명, 아일랜드 1명, 중국 2명, 카자흐스탄 1명	
	K. 신규교원채용	유명준(수론), 윤경호(응용역학)	2022-1
나. 지원	BK21장학금	훈령 및 교육연구단 운영내규에 따라 대학원생 선별 및 지원	
	각종장학금 활용	BHS 및 우수외국인 장학금 등 다수 지원	
	연구환경 개선	개인 연구환경 조성 및 계산자원 활용	
	학술행사 지원	15명 학회 참석 지원	
	인센티브	포스터 발표 최우수, 우수상, 우수 조교 인센티브 지급	
	외국인 의료보험	2020-2학기 6명, 2021-1학기 6명, 2021-2학기 8명 2022-1학기 7명, 2022-2학기 5명	
	학술프로그램	2021 Summer 산업수리 문제해결 경진대회 2022 수학기산학부(계산과학공학) 여름특강	

### 가. 우수 대학원생 확보를 위한 제도의 현황

#### A. 학부 지도교수 (UA, Undergraduate Advisor) 제도 운영

학년	학기별 지도교수	주요 지도내용
1학년	김정훈, 기하서, 김정훈, 김준일, 김준일	겨울방학 때 수학의 분야들을 접할 수 있는 책 또는 공부 방법 상담
2학년	손재범, 양민석, 최영필, 홍한솔, 홍한솔	수강과목 및 학업 성취도에 대한 조언 교환학생, 대학원 진학, 유학 등 장래 계획에 대한 조언
3학년	강경근, 홍한솔, 허영미, 김병한, 김병한	진로 고민 상담 및 취직/진학 등의 내용 조언 성적 등 현재 당면하고 있는 문제를 듣고 조언 학업 수행과 관련한 어려움을 경청하고 해결책 등을 제시
4학년	최성락, 김준일, 최성락, 유명준, 유명준	취직, 대학원, 유학, 군입대 등을 선택해야 하는 4학년들의 고민 상담 선배들의 경험 또는 졸업생들의 사례로 개인 사정에 맞는 진로 조언
상시면담	김병한, 강경근, 최성락, 손재범, 김준일, 양민석, 이지현, 김세익, 허영미	코로나로 정신적 어려움을 극복하는 방법에 대한 상담 논문 읽기를 병행하여 연구자로 성장할 수 있도록 조언

### B. 학부생 인턴연구원(URP, Undergraduate Research Program) 활용

우수 대학원생을 사전에 확보하고자 학부생 인턴연구원 제도를 활용하고 있다. 선발된 인턴연구원은 지도교수를 선정하여 학기 중 또는 방학 기간에 지도교수로부터 전공기초교육 또는 연구지도를 받거나, 인턴연구원 간 세미나 및 연구 프로젝트에 참여하게 된다. 대학원 전공에 대한 기초 지식을 쌓고 연구 과정을 경험할 수 있는 기회를 통하여 자연스럽게 대학원 진학에 관심을 갖도록 유도하고 있다.

구분	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
인턴연구원	15	12	19	10	24
대학원 진학	2	1	1	1	3

### C. 학부연계 교과목 개설을 통한 학부생의 관심 유도

- 기초계산과학공학, 기초계산유체역학, 기초유한요소법, 수치해석1, 수치편미분방정식,
- 이공계편미분방정식1, 인공지능이론, 알고리즘과 응용, 계산과학공학학부연구(CSE 인턴 only)

### D. 대학원 학부-대학원 연계과정(학-석 통합 전형) 활용

구분	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
신입생	2	1	1	1	2

### E. 조기전형을 통한 우수 인재 선제적 확보

2020-2학기 1명을 조기전형으로 입학생을 확보하였다.

### F. 수학기산학부 대학원 입학설명회 COVID-19로 인해 대학원 입학설명회 진행하지 않음

### G. 학과 홈페이지 통한 대학원 학과 홍보

- 홈페이지: <https://math.yonsei.ac.kr>, <https://cse.yonsei.ac.kr>
- 교육연구단 홈페이지: [https://cse.yonsei.ac.kr/cse/BK21/bk21\\_home.do](https://cse.yonsei.ac.kr/cse/BK21/bk21_home.do)

### H. 학과 포스터 발표회 개최를 통한 타학과(부)생의 참여 유도

교내 학생들에게 수학 및 계산과학전공 분야를 소개하는 장으로서 Math-CSE Open Lab & 포스터 발표 행사를 진행하며, 대학원생들의 1년간의 연구를 포스터 발표회 형식으로 소개하고, 참석자들과 질의 응답을 통해 수학의 다양한 전공 분야를 접하게 되는 자리이다. 포스터 발표자는 2020-2학기 39명, 2021-1학기 33명, 2021-2학기 28명, 2022-1학기 21명, 2022-2학기 31명이었다.

### I. 산학협력 프로젝트 및 각종 자문활동을 통한 대학원생 확보

산업수학 석사과정 학위 프로그램을 운영하여 연계기관과의 인력교류의 장으로 활용하고 있다.

- 산업수학 석사과정 : 박OO(석사과정, 2021-1학기 입학, 삼성메디슨과 연계, 2022-2학기 졸업)  
고OO(석사과정, 2022-2학기 입학, 삼성SDI와 연계)  
김OO(석사과정, 2023-1학기 입학, 삼성SDI와 연계)
- 산학장학생 : 박OO(박사과정, 2020-2학기 입학, 볼트시뮬레이션과 연계)

### J. 외국 대학과 학술교류/학생교류 등을 통한 우수한 학생 유치

2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
Dorlgjav(몽골)	CARTY(아일랜드), Yu(중국), Ulzii(몽골)	TSOY(카자흐스탄)	Wang(중국)

### K. 시대적 요구에 부응하는 교과목 개설 및 해당 신규 교원 초빙

2022-1학기에 수론과 응용역학 분야의 신입교원 2명(유명준, 윤경호)을 채용하여, 고체및구조물의유한요소해석, 연속체역학및구조해석 등의 교과목을 신규로 개설하였다. 또한, 2022년도에 채용 프로세스를 진행하여, 2023-1학기에 신입교원(조합론 전공)이 부임하였다.

### 나. 우수 대학원생 지원

#### ■ BK21 장학금 지원

구분	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
지원대학원생수	76	64	59	49	76

#### ■ 각종 장학금 제도를 활용한 재정 지원확대

BK21 장학금 이외에 대학원생들이 재정적 문제 없이 연구에 전념할 수 있도록 BHS 장학금(생계형 장학금), 대학원 우수 외국인 장학금, 대학원 재학조교장학금, 대학원 혁신사업 재학조교 장학금, 대학원 주임교수 지원 조교 장학금, Need-based Fellowship 장학금, 코로나19 특별장학금, YGF(Yonsei Graduate Fellowship) 장학금, 대학원생 아이디어 인큐베이팅(III) 지원사업 장학금 등 다수의 장학금을 지급하였다.

- 2020-2학기 총 81명, 2021-1학기 82명, 2021-2학기 124명, 2022-1학기 101명, 2022-2학기 62명 수혜

#### ■ 연구 환경 개선 (연구실 공간 배정, 연구용 PC 지급, 과학계산용 서버 지원 등)

대학원생의 연구실을 매학기 학업성취도, 연구의 연관성, 학기초과 등을 고려하여 재배정하였다. 개인용 PC 지급, 과학계산용 그리드/서버(GPGPU 워크스테이션, 테라곤(Teragon) 서버 등), KISTI(한국과학기술정보연구원)와 협약을 통해 누리온 클러스터 자원 활용할 수 있도록 하였다.

#### ■ 국내외 학술대회 발표 및 참여 지원, 해외 기관 방문 비용 보조

평가기간 동안 해외 장기연수 1명과 국내외 학술발표 14건의 재정적 지원이 있었다.

#### ■ 대학원생 우수 활동 실적에 대한 인센티브 지급 (현금, 업무경감 등)

수학계산학부 대학원생 연구 포스터 발표회 최우수, 우수상 및 인센티브 지급, 참여대학원생 평가 최우수, 우수 조교 장학금 학생 선정 등

#### ■ 외국인 학생 의료보험 지원

외국인 대학원생이 안정적인 대학원 생활을 할 수 있도록 의료보험 가입을 권장하며 의료보험 가입한 경우 확인서와 영수증을 제출하면 매 달 인건비와 함께 지급하고 있다.

- 2020-2학기 6명, 2021-1학기 6명, 2021-2학기 8명, 2022-1학기 7명, 2022-2학기 5명 지원함

#### ■ 수학계산학부 차원의 다양한 전공의 학술프로그램 개최

- 2021년 Summer 산업수리 문제해결 경진대회 : 수학계산학부 대학원생을 대상으로 산업분야의 수리문제 해결능력과 창의적 아이디어를 가진 연구자 발굴 및 문제해결 우수 아이디어 포상을 위해 개최
- 2022년 수학계산학부(계산과학공학) 여름 특강 : 상용 유한요소해석 소프트웨어를 사용해 필요한 기본 이론 및 유한요소해석의 작동원리와 특성에 대한 교육 실시

### 2.3 참여대학원생 취(창)업 현황

#### ① 취(창)업률

<표 2-2> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 취(창)업률 실적

(단위: 명, %)

구 분		졸업 및 취(창)업현황					취(창)업률 (D/C)×100		
		졸업자(A)	비취업자(B)			취(창)업대상자 (C=A-B)		취(창)업자 (D)	
			진학자		입대자				
			국내	국외					
2021년 2월 졸업자	석사	9	0	1	0	X			
	박사	4	X		0				
2021년 8월 졸업자	석사	10	0	0	1				
	박사	0	X		0				
2022년 2월 졸업자	석사	11	2	1	0		8	6	82%
	박사	3	X		0		3	3	
2022년 8월 졸업자	석사	5	1	2	0	2	2	88%	
	박사	6	X		0	6	5		
2023년 2월 졸업자	석사	4	X						
	박사	3							

② 참여대학원생 취(창)업의 질적 우수성 (평가 대상 기간)

<표 2-3> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 중 취(창)업의 질적 우수성

연번	성명	졸업연월	수여 학위 (석사/박사)	학위취득 시 학과(부)명	현 직장(직위)		
<b>대표 취(창)업 사례의 우수성</b>							
1	권OO	2022.2	박사	수학계산학부(수학)	한국자산평가		
	연구 분야였던 금융 수학을 활용하여 채권평가 회사인 한국자산평가 금융공학 연구소에 취업해 대리 직급으로 재직 중이다. 주된 업무는 실제 평가를 담당하는 평가 본부의 요청을 받아 여러 금융상품의 공정가치를 계산하는 함수를 만들어 제공하는 것이며 이 과정에서 재학 중 연구하였던 금융수학 모델들 또는 평가 방법론 등을 활용하였다. 또한, 산출되는 값을 검증하고 타당성을 설명하는 업무를 수행하며 이 과정에서도 기존에 연구했던 지식을 활용하였다.						
2	김OO	2023.2	박사	수학계산학부(수학)	아주대학교		
	금융수학을 전공하여 수학 박사학위를 취득한 후, 박사후연구원 과정을 거치지 않고 2023년 3월 1일부로 아주대 금융공학과 전임교원(조교수)으로 임용되었다. 아주대 금융공학과는 금융시장에 관한 수리적 분석과 더불어 수치적인 방법론을 통한 연구를 전문적으로 추구하는 우리나라의 대표적인 학과로서, 박사과정에서의 우수한 연구성과가 전임교원 임용에 큰 영향을 끼쳤다.						
3	이OO	2022.2	석사	수학계산학부(수학)	키움증권		
	2022년 2월 Stochastic Volatility Model들을 Implied Volatility Smile Curve fitting 효율 관점에서 비교 분석한 논문으로 석사학위를 취득하고, 키움증권에서 채권을 기반으로 장외 파생상품 Hedge 운용 전략을 기획하는 부서에 재직하고 있다. 이자율 커브 움직임에 따른 채권 가치 변동 리스크를 관리하고, 금융 수학 모델을 활용해 각종 장외 파생상품을 평가하는 업무를 담당하고 있다.						
4	김OO	2021.2	박사	수학계산학부 (계산과학공학)	삼성SDS		
	딥러닝 기반 의료영상분석으로 박사학위를 취득하고 삼성SDS 연구소의 AI연구팀에서 근무 중이다. 대학원 과정에서 익힌 딥러닝 관련 논문들을 분석하고 모델을 설계하는 능력과 경험이 주 업무로 삼고 있는 다양한 분야에 딥러닝의 적용과 응용에 매우 큰 도움이 된 것으로 사료된다. 또한, 학위과정에서 익힌 발표 및 소통능력을 바탕으로 회사에서 요구하는 다학제적 협력의 중심에서 근무하고 있다.						
5	김OO	2021.2	석사	수학계산학부 (계산과학공학)	SK온		
	계산과학공학 전공에서 배터리 데이터 분석에 관한 연구로 석사학위를 취득한 후, SK온에 취직하였다. 학위논문 주제인 '전기화학 임피던스 분광법에서 등가회로 모델을 사용한 배터리 퇴화 분석'은 배터리 성능 예측 및 최적화에 중요한 연구 주제이며, 이러한 전문성을 바탕으로 SK온의 셀 시뮬레이션 유닛에서 데이터 리서처로 근무하고 있으며 학위전공에서 연구한 주제들을 직장생활에 적용하고 있다.						
6	조OO	2022.8	박사	수학계산학부 (계산과학공학)	삼성메디슨		
	딥러닝 기반 태아 초음파 영상 분석을 주제로 박사학위를 취득하였으며, 학위과정 동안 삼성메디슨과의 산학협력 과제를 통해 긴밀한 협업 속에서 연구를 진행하여 그 결과를 의료영상에서의 최고의 저널인 Medical Image Analysis에 결과를 게재하였다. 삼성메디슨의 AI Vision 연구실에서 입사하여 관련된 연구를 이어 가고 있으며, 개발한 인공지능 기술들은 현재 삼성메디슨 초음파 기계에 탑재되어 이용되고 있다.						
평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 수				석사	39	제출요구량	6
				박사	16		

### 3. 대학원생 연구역량

#### 3.1 참여대학원생 연구 실적의 우수성

##### ① 참여대학원생 대표연구업적물의 우수성

<표 2-4> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여대학원생 대표연구업적물

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
1	석박사통합	구OO	편미분방 정식	저널논문	Y-P Choi, D Koo
					One dimensional consensus based algorithm for non-convex optimization
					Applied Mathematics Letters
					124, 107658
					202202
					10.1016/j.aml.2021.107658
<p>최적화 문제가 머신러닝 및 인공지능, 전통적으로는 경제학 및 경영학, 공학 등 여러 분야에 걸쳐 핵심 요소로 등장한다. 수학적으로는 최적화 대상인 목적함수(objective function)가 볼록(convex)인 경우에는 이론이 아주 잘 알려져 있지만, 현실에서는 대부분 비볼록 함수(non-convex function)를 다뤄야 한다. 이를 수학적으로 해석(analysis)하는 것은 어려운 문제이다. 해당 연구에서는 data set이 1차원인 경우에 컨센서스 기반 알고리즘(consensus-based optimization)을 이용해 일반적인 경우에 해가 global minimizer 근처로 수렴함을 증명했다. 기존 연구들은 초기 상태에 강한 조건을 주었는데, 이를 전혀 사용하지 않은 것이 가장 혁신적인 성과이며 고차원 문제를 해결할 수 있다면 학계 내에서 더욱 주목받을 것으로 기대된다. 이 저널 Mathematics, Applied 분야 랭킹은 267개 중 8등이다.</p>					
2	석박사통합	권OO	금융수학	저널논문	H-G Kim, S-J Kwon, J-H Kim
					Fractional stochastic volatility correction to CEV implied volatility
					Quantitative Finance
					21(4), 565-574
					202104
					10.1080/14697688.2020.1812703
<p>프랙셔널 브라운 운동과 이를 통해 구현되는 확률 변동성 모델 연구로 변동성 상관관계의 프랙셔널 성질에 기초하여 Constant Elasticity of Variance 모델 하에서 유러피언 옵션 가격과 그에 파생되는 두 가지 유형의 확률 국소적 변동성을 계산하고 분석하였다. 관련된 내재 변동성 기간 구조가 기초 자산 값뿐만 아니라, 탄성 인자 및 허스트 지수와 어떻게 연관되어 있는지를 분석하였다. 특히 짧은 기간에서의 모형을 이용한 결과를 프로그래밍을 통해 구현했으며 이와 실제 시장 데이터를 이용해 Calibration 후 비교, 분석해 프랙셔널 브라운 운동의 허스트 지수의 성질을 확인하고 변동성 곡면에서 발생하는 변동성 미소를 반영하는 것을 확인하는 등 실제 시장의 경향성을 잘 잡아내는 결과를 보여주어 모델의 타당성을 증명하였다. 그 결과로 저명한 금융 저널인 Quantitative Finance에 (JCR IF 1.986) 게재되며 창의성과 혁신성을 인정받았다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
3	석박사통합	김OO	편미분방 정식	저널논문	K Kang, D Kim, S-O Yang
					Existence of generalized solutions to an attraction-repulsion Keller-Segel system with degradation
					Journal of Mathematical Analysis and Applications
					511(1), 126069
					202207
					10.1016/j.jmaa.2022.126069
<p>본 논문은 알츠하이머병에서 발생하는 화학 물질의 상호작용을 모델링하는 방정식인 켈러-지겔-응집-반발 시스템 해의 존재성을 다룬다. 이는 다양한 환경에서의 세포의 선택적 이동에 대한 연구에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 해당 모델은 실제 생물학적 시스템에서 나타나는 상호작용을 고려하여 모델링되었으며, 특히 이 논문에서 다루는 방정식은 세포의 생성과 사멸을 고려함으로써 더 현실적인 상황을 반영하고 있다. 논문에서는, 세포의 생성과 사멸을 기술하는 항의 감쇠 효과가 충분히 약한 경우에도 전시간 해가 존재함을 보임으로써 이 분야에서의 해의 존재성 문제해결에 대한 단초를 제공했다. 이 논문에서 사용된 여러 가지 방법과 기술은 다양한 켈러-지겔 타입의 방정식에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 이 논문의 결과는 수리생물학 연구 분야에서 적용할 수 있으며, 이를 통해 수치적인 접근 등 다양한 응용 분야에서의 문제해결에 도움이 될 것으로 기대된다.</p>					
4	박사	김OO	수치해석	저널논문	B Kim, YA Kang, J Lee
					Heterogeneous impact of Covid-19 response on tuberculosis burden by age group
					Scientific Reports
					12(1), 13773
					202208
					10.1038/s41598-022-18135-6
<p>이 논문은 국내의 결핵 관련 정책이 질병 부담에 미치는 영향을 연령별 특성에 따라 분석한 연구이다. 나이에 따른 차이를 반영하기 위해서 연령별 결핵 진행의 특성을 반영하여 수학적 모델을 구축하였다. 전체 인구를 5세 단위로 분류하여 모델링함으로써 연령별로 다르게 시행하는 국내 결핵 정책을 평가하고, 도출된 결과를 현실에 적용할 수 있도록 하였다. 그뿐만 아니라, 국내와 상황이 비슷한 결핵 부담이 높은 나라에서도 활용할 수 있으므로 국내외 공중보건 정책에 기여도가 높을 것으로 예상된다. 또한, 코로나 대유행 이후 결핵의 발생뿐만 아니라 결핵으로 인한 사망자 모니터링이 중요함을 시사하였다. 연구 결과는 Impact Factor가 4.997인 저널에 주저자로 게재하였고 Google Scholar에서 1회 인용되었다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
5	박사	김OO	확률적극 한이론	저널논문	J Cho, Y Kim, S Lee
					An accurate and stable numerical method for option hedge parameters
					Applied Mathematics and Computation
					430, 127276
					202210
					10.1016/j.amc.2022.127276
					<p>파생 상품 시장이 커지면서 평가와 헷지 운용을 위해 정확하고 안정적인 수치해석 방법의 중요성은 증가하고 있다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘은 옵션의 가격과 헷지 파라미터를 Crank-Nicholson 방식의 유한차분법보다 정확하게 근사한다. Crank-Nicholson 방식의 유한차분법은 실무에서 사용되는 가장 정확한 평가 방법이다. 이론적 및 실험적으로 증명된 수치해석 모델의 정확성과 안정성은 해당 연구의 우수성을 보여주며, 다차원으로 확장한 후 다양한 파생 상품 평가에 응용하는 등 후속 연구의 기반이 될 것으로 기대된다.</p>
6	석박사통합	김OO	금융수학	저널논문	S-T Kim, H-G Kim, J-H Kim
					ELS pricing and hedging in a fractional Brownian motion environment
					Chaos, Solitons & Fractals
					142, 110453
					202101
					10.1016/j.chaos.2020.110453
					<p>본 논문은 fractional Brownian motion (fBm) 기반의 모형 하에서 구조화증권인 ELS의 가격 결정 및 헷지 전략에 관한 연구이다. fBm 기반 모형은 실제 데이터를 매우 잘 반영하지만, 수학적으로 구현이 어려워 해당 모형을 활용한 실증적 연구가 제한되어 있었다. 본 연구에서는 복잡한 구조를 가진 구조화증권의 구현 및 분석에 성공했고, fBm 기반 모형의 파라미터들이 ELS의 가격과 헷지에 주는 영향을 분석했다. 그 결과로 Choas, Solitons &amp; Fractals (JCR IF 9.922, Mathematics, Interdisciplinary Applications 분야 108개 저널 중 1위) 저널에 게재되며 창의성과 혁신성을 인정받았다.</p>

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
7	석박사통합	서OO	편미분방 정식	저널논문	K Kang, HK Kim, T Lim, G Seo
					Uniqueness and characterization of local minimizers for the interaction energy with mildly repulsive potentials
					Calculus of Variations and Partial Differential Equations
					60(1), 15
					202101
					10.1007/s00526-020-01882-7
<p>Collection of particles interacting via a repulsive-attractive potential given as a difference of power 을 연구하였다. Probability measure on <math>\mathbf{R}</math>에서 정의된 interaction energy를 고려하며, strong attraction and mild repulsion인 potential을 다루었으며, interaction energy의 ground state가 명시적으로 규명되었다. 문제 자체는 자연현상의 모델링에서 오는 한편, 무한차원 위의 non-convex functional의 minimizer를 찾는다는 것은 일반적인 해법이 없기에 이러한 수학적 이론을 계발하는 것은 매우 중요하며 여러 응용을 가진다고 볼 수 있다. (JCR IF 10.060이며 Mathematics 분야 333개 중 34등 저널이다.)</p>					
8	박사	윤OO	금융수학	저널논문	Y Yoon, J-H Seo, J-H Kim
					Closed-form pricing formulas for variance swaps in the Heston model with stochastic long-run mean of variance
					Computational and Applied Mathematics
					41(6), 235
					202209
					10.1007/s40314-022-01939-7
<p>파생상품의 가격을 구함에 있어 확률변동성 모형 중 가장 널리 알려진 Heston 모형의 단점을 극복하기 위해 학계에서는 여러 과정으로 위 모형을 확장하거나 수정해왔다. 이 논문은 기존의 Heston 모형을 개선함으로써 분산 스왑의 공정행사가를 구하는데 초점을 두고 Heston 모형의 장기 분산 평균을 확률 모형화한 He-Chen 모형과 간소화한 이중 평균 회귀 모형에서의 분산 스왑의 공정행사가의 닫힌 해를 구하였다. 위 공식들은 모두 적분 형태가 포함되지 않은 초등 함수로만 이루어져 있다. He-Chen 모형과 간소화한 이중 평균 회귀 모형 모두 Heston 모형보다 더 나은 성능을 보여준다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
9	석박사통합	이OO	대수기하	저널논문	D-W Lee
					Classification of full exceptional collections on smooth toric Fano varieties with Picard rank two
					Advances in Geometry
					23(1), 25-49
					202301
					10.1515/advgeom-2022-0025
<p>본 연구에서 A. Kuznetsov가 line bundle로 이루어진 maximal exceptional collection은 모두 full exceptional collection일 것이라는 추측을 부분적으로 검증하였다. Picard rank가 2인 3, 4차원의 smooth toric Fano variety의 경우 Kuznetsov의 추측이 참이라는 것을 증명하였으며, 이 추측을 검증하는 과정에서 영감을 얻어서 대수다양체에 대해 모든 full exceptional collection들을 건설하고 equivalence relation으로 분류하였다. 일반적으로는 full exceptional collection 분류는 매우 어렵지만, 위의 특수한 경우에 대해서 모두 손수 계산해서 완벽한 분류 테이블을 얻은 것은 아주 큰 의미가 있다.</p>					
10	석박사통합	이OO	수치해석	저널논문	T Lee, H-D Kwon, J Lee
					The effect of control measures on COVID-19 transmission in South Korea
					PLoS One
					16(3), e0249262
					202103
					10.1371/journal.pone.0249262
<p>본 논문에서는 수학적 모델링을 통해서 COVID-19 확산에 대응하는 정책들을 비교하고, 국내 정책 변화에 따른 상황을 예측하는 연구를 진행하였다. 연령 구조를 고려하여 전염병의 전파를 예측하고, 국내 상황을 반영하여 실제에 가까운 상황을 기술하는 모델을 만들었다. 코로나 유행 기간 설문조사를 실시하여 사회적 거리두기로 인한 접촉 양상 변화를 반영하였다. 모델 시뮬레이션을 통하여 자가 격리, 확진자 격리, 등교 제한, 사회적 거리두기 등의 정책이 국내 COVID-19 확산에 미치는 영향을 분석하고, 각 대응 정책의 영향력을 평가하였다. 위 논문은, Impact Factor 3.75로 Multidisciplinary 분야의 Q1 rank에 해당하는 PLoS One 저널에 게재되었고, 지금까지 피인용 횟수는 22번이다. FWCI 값은 1.66으로 세계적 평균보다 높은 인용 영향력을 가진 것으로 해석할 수 있다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
11	석박사통합	이OO	수리논리	저널논문	B KIM, H LEE
					Automorphism groups over a hyperimaginary
					Journal of the Mathematical Society of Japan
					75(1), 21-49
					202301
					10.2969/jmsj/87138713
<p>이 논문은 기존 갈로아 군에 대한 연구를 hyperimaginary parameter로 확장하는 근원적 연구결과를 담고 있다. 라스카 갈로아 군은 대수적으로 닫힌 체의 갈로아 군 개념을 일반 모든 대수적 구조에 적용하여 모델론적 관점에서 연구하는 것이며, hyperimaginary parameter란 일반 set parameter를 확장하여 type-definable한 동등관계의 하나의 동등류를 의미한다. 이 개념은 현대 모델론에서 일반 set parameter로 다룰 수 없는 개념들을 확장하여 연구할 때 자주 등장하는 개념이다. 이 논문에서는 특히, 모델론의 연구에서 중추적 역할을 하는 결과인 라스카 갈로아 군이 위상군이 되는 결과를 확장했으며 이를 이용해 세 가지 strong type의 특징을 완전히 규명했다. 2023년 1월 SCIE 저널인 Journal of Mathematical Society of Japan에 게재되었다.</p>					
12	박사	한OO	금융수학	저널논문	A-R Han, J-H Kim, S-W Kim
					Variance Swaps with Deterministic and Stochastic Correlations
					Computational Economics
					57(4), 1059-1092
					202104
					10.1007/s10614-020-10002-8
<p>본 연구는 Heston model에 결정론적 및 확률적 상관관계를 각각 도입하여 확장한 두 모델을 기반으로, 변동성 파생상품의 일종인 variance swap의 적정 인도 가격을 구하는 analytical formula를 제시하였다. 파생상품 모델링에 널리 사용되는 Heston model이 시장 상황을 적절히 반영하는 implied volatility를 내지 못한다는 한계점에 대하여 그 원인을 주가와 변동성 사이의 constant correlation 가정에서 찾고, 이를 개선하기 위해 non-constant correlation을 도입하는 모델을 제시하였으며 numerical test를 통해 그 개선 효과를 입증하였다. 본 논문이 출판된 저널 Computational Economics의 Impact Factor는 2021년 JCR 기준 1.741이다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
13	박사	김OO	수치해석	저널논문	D Kim, AK Pani, E-J Park
					Morley finite element methods for the stationary quasi-geostrophic equation
					Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering
					375, 113639
					202103
					10.1016/j.cma.2020.113639
					<p>준지형류 방정식의 유동함수는 해수의 대규모 운동을 묘사하는 4계 비선형 타원형 방적식으로 기술된다. 본 연구에서는 4계 편미분 방정식에 사용되는 단순한 유한요소 공간 중 하나인 Morley 유한요소를 사용하여 기존의 안정화 항 없이 안정적인 유한요소법을 개발하였다. 주어진 데이터가 작다는 가정하에 해의 존재가 보장되는 기존과 달리 본 연구에서는 격자의 크기가 작다는 가정하에 해의 국소적 존재를 증명하였다. 해수를 묘사하는 방정식의 특성상 경계층을 가지는 해가 자주 관측되는데 이를 더 효율적으로 근사하기 위해 경험적 오차 추정치를 기반으로 한 적응형 격자 형성법을 고안하였다. 실제 지중해 연안 예제를 활용하여 복잡한 형태의 계산 및 비정렬 격자에서 이 방법이 잘 적용됨을 확인하였다. 학제간 수학분야의 최고 권위 국제학술지 Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering (IF=6.588, 학제간 수학 분야 108개 중 4등)에 게재되었다.</p>
14	박사	김OO	수치해석	저널논문	L Zhao, E-J Park, W Kim
					A staggered cell-centered DG method for the biharmonic Steklov problem on polygonal meshes: A priori and a posteriori analysis
					Computers & Mathematics with Applications
					117, 216-228
					202207
					10.1016/j.camwa.2022.04.018
					<p>본 연구에서는 Steklov 경계 조건 하에서 쌍조화방정식을 해결하기 위하여 staggered cell-centered DG (SDG) 방법을 개발하였다. SDG 방법은 hanging nodes를 처리할 수 있기 때문에 일반 다각형 격자를 다루기에 적합하며, 적응형 격자 형성을 효율적으로 활용할 수 있다. 모든 변수에서의 최적 수렴이 증명되었으며, 후처리를 통하여 수렴률이 높은 piecewise 선형 함수를 생성하였다. 잔차 유형의 추정치를 기반으로 한 적응형 격자 형성은 특이성을 가진 해에 대하여 최적의 수렴률을 갖도록 근사할 수 있음을 확인하였다. Babuska 예제를 통하여 단위 디스크 및 타원 격자, 직사각형-반원 격자에서의 최적 수렴을 확인하였으며, 특이성을 가진 예제를 통해 적응형 격자 형성이 잘 적용됨을 확인하였다. 연구결과는 계산수학 분야의 전문 저널인 Computers &amp; Mathematics with Applications (IF=3.218)에 게재되었다.</p>

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
15	석박사통합	SUN OO	연속체역학	저널논문	S Sun, J-Y Kwon, Y Park, HC Cho, CM Hyun, JK Seo
					Complementary Network for Accurate Amniotic Fluid Segmentation from Ultrasound Images
					IEEE Access
					9, 108223-108235
					202107
					10.1109/ACCESS.2021.3098844
					최근 딥러닝의 발전으로 초음파 이미지를 이용한 양수량 측정 자동화가 이루어졌지만, 여전히 그 정확도와 안정성이 부족한 현실이다. 본 논문에서 산전 초음파 영상에서 빈번하게 나타나며, 자동 양수량 측정 시스템의 성능의 주요 하락 요소인 초음파의 잔향 아티팩트들을 효율적으로 다루는 딥러닝 기반의 방식을 제안하였다. 잔향 아티팩트의 생성 원리를 반영하여 정확한 양수량을 추정할 수 있도록 하는 양방향 기반 심층학습 네트워크를 제안하였다. 메인 경로에서는 전체 이미지 구조를 검사하여 양수 영역을 분할 하고, 보조 경로에서는 메인 경로에서 잔향 아티팩트에 의해 잘못 추정된 양수 영역을 수정하는 데 특화되어 있어 초음파의 잔향 아티팩트가 있더라도 정확한 자동 양수량 측정을 제공할 수 있다. 이 연구는 연세대 세브란스 산부인과, 삼성메디슨과의 공동 연구 결과이다.
16	박사	Bayaraa	연속체역학	저널논문	T Bayaraa, CM Hyun, TJ Jang, SM Lee, JK Seo
					A two-stage approach for beam hardening artifact reduction in low-dose dental CBCT
					IEEE Access
					8, 225981-225994
					202012
					10.1109/ACCESS.2020.3044981
					본 논문에서 치과용 CBCT에서 금속에 의해서 생기는 빔경화 아티팩트를 완화하는 새로운 방식을 제안하였다. 모든 종류의 CT 영상화 분야에서 도전적인 문제로 알려진 빔경화 아티팩트의 완화는 치과용 CBCT에서 오프셋 검출기, 시야각 잘림, 낮은 에너지의 X-ray의 사용으로 인한 저 신호대잡음비 등 여러 가지 요인에 의해 훨씬 더 도전적인 문제로 알려져 있다. 제안한 방법은 치과용 CBCT의 환경에 적응적인 방식으로 빔경화 현상의 수학적 분석을 바탕으로 하여 데이터에 생긴 불일치를 우선적으로 완화하고, 그 과정에서 증폭되는 노이즈를 완화하기 위한 심층 학습 기반 방식을 추가적으로 적용하는 방법이며, 특히, 제안된 방식은 치과용 CBCT에서 중요한 뼈와 치아에 관련된 영상의 질을 증진하는데 이점이 있다. 이 연구는 치과용 CBCT 회사인 ㈜HDXWILL과의 산학협력 연구의 결과물이다.

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
17	박사	김OO	연속체역 학	저널논문	KC Kim, HC Cho, TJ Jang, JM Choi, JK Seo
					Automatic detection and segmentation of lumbar vertebrae from X-ray images for compression fracture evaluation
					Computer Methods and Programs in Biomedicine
					2000, 105833
					202103
					10.1016/j.cmpb.2020.105833
<p>본 논문은 딥러닝 기술을 활용한 X-ray 영상에서 요추의 detection 및 segmentation에 관한 방법을 제시하고 있다. CT나 MRI 영상과 비교하여 X-ray 영상에서의 segmentation은 매우 도전적인 문제인데, 복잡한 3차원 구조물이 겹쳐서 나타나기 때문이다. X-ray 영상에서의 개별 요추의 robust identification 및 localization을 위하여 pose-estimation 기반의 detection 방법을 제시하였으며, 개별 척추뼈의 정교한 segmentation을 위하여 딥러닝 기반의 segmentation과 level-set 방법을 제시하였다. 본 논문은 (주)딥노이드와 공동연구 결과이며, 국제학술지 Computer Methods and Programs in Biomedicine (IF 7.027)에 게재되었으며, 2023년 4월 현재 Google Scholar 기준 31회 인용되었다.</p>					
18	박사	윤OO	연속체역 학	저널논문	HS Yun, CM Hyun, SH Baek, S-H Lee, JK Seo
					A semi-supervised learning approach for automated 3D cephalometric landmark identification using computerized tomography
					PLoS One
					9, e02575114
					202209
					10.1371/journal.pone.0275114
<p>본고해상도 3D CT 데이터의 큰 용량으로 인한 메모리 문제 또는 의료 데이터 사용에 있어 생기는 윤리적 제한으로 인한 학습 데이터 부족 문제 등의 기계 학습적 한계를 극복하며 3D 두부 계측 랜드마크를 검출할 수 있는 자동 검출 방법에 관한 연구이다. 두부 계측 랜드마크는 인간의 두개골 형태를 대리 표현하는 역할로서, 두개안면 복합체와 치아의 관계 및 위치-형태를 분석하여 진단, 수술 계획, 치료 계획을 수행할 수 있도록 하는 형태 계측 지침을 제공하며, 그 검출은 악안면 수술 및 치아교정 등에서 필수적인 작업이다. 이 기술은 CT 데이터가 아닌 랜드마크 데이터를 이용하여 준 지도 학습 방식으로 학습이 수행되므로 적은 수의 학습 데이터로도 용이하게 학습될 수 있고, 검출하기 용이한 적은 수의 랜드마크를 우선 검출한 후 나머지 랜드마크를 검출하고, 패치 기반 딥러닝 기법을 이용하여 정확한 3D 두부 계측 랜드마크를 검출하는 방법이다. 이는 연세대 치과대학교와 공동 연구의 결과물이다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
19	석박사통합	장OO	연속체역학	저널논문	TJ Jang, KC Kim, HC Cho, JK Seo
					A fully automated method for 3D individual tooth identification and segmentation in dental CBCT
					IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE
					44(10), 6562-6568
					202106
					10.1109/TPAMI.2021.3086072
<p>본 연구는 3차원 치과 CBCT 영상에서 완전 자동 개별 치아 식별 및 분할을 하는 방법을 제안하였다. 치아 교정 수술 시뮬레이션 및 임플란트 가이드 제작 등에서 요구되는 기본 작업으로, 기존 의료진들에게 수 시간이 걸리는 업무를 약 3분 이내로 단축시킬 수 있는 결과를 보여주었다. 이는 2차원 파노라마 영상을 기반으로 수행되는데, 고해상도의 3D CBCT 영상을 처리하기 위한 메모리 문제와 학습 데이터 수의 충분한 확보의 문제를 획기적으로 해결하는 접근으로 실제 이용될 수 있는 실용적인 알고리즘을 개발했다. 또한, 치아 보철물과 같은 금속 인공물로 왜곡되어 CT 단면영상이 크게 저하되어 3차원 치아 분할은 더 어렵지만, 금속 인공물 영향을 거의 받지 않는 2차원 파노라마 영상을 통해 효과적인 치아 분할을 달성하였다. 이 결과는 최고 권위의 저널 IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE (IF=24.314)에 게재되었다.</p>					
20	석박사통합	조OO	연속체역학	저널논문	HC Cho, S Sun, CM Hyun, J-Y Kwon, B Kim, Y Park, JK Seo
					Automated ultrasound assessment of amniotic fluid index using deep learning
					MEDICAL IMAGE ANALYSIS
					69, 101951
					202104
					10.1016/j.media.2020.101951
<p>본 논문에서 초음파 태아 영상에서 딥러닝 기반의 자동 양수량 측정 시스템 방식을 세계 최초로 제시하였다. 양수량은 태아의 건강과 주산기 예후를 반영하는 지표로, 그 추정은 산전 초음파에서 요구되는 기본적인 측정이지만, 초음파 영상에 있는 잔향 아티팩트, 양수와 비슷한 영역들, 부유 물질들 등과 같은 여러 가지 방해요소로 인해 자동으로 양수의 체적을 추정하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한, 초음파 영상에서 양수의 영역은 모양과 크기에 대한 불특정한 변동이 있으며 그 구조적 경계가 모호하거나 없는 경우가 많기에 어려움이 가중된다. 이러한 점들을 극복하기 위해, 실전에서 의사가 사용하는 해부학적 지식을 반영하는 계층적 딥러닝 방법론을 제안하였다. 이 논문은 연세대 세브란스 산부인과와 삼성메디슨과의 공동연구 결과물이며 의료영상 분석 최고 저널 중 하나인 MEDICAL IMAGE ANALYSIS(IF=13.828)에 게재되었다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
21	박사	현OO	연속체역 학	저널논문	CM Hyun, SH Baek, M Lee, SM Lee, JK Seo
					Deep Learning-Based Solvability of Underdetermined Inverse Problems in Medical Imaging
					MEDICAL IMAGE ANALYSIS
					69, 101967
					202104
					10.1016/j.media.2021.101967
<p>딥러닝 기술은 기존의 수학적 방식들의 한계를 극복하고 있는 것처럼 보이지만 심층학습이 보여주는 뛰어난 성능의 이유와 관련한 수학적 분석이 여전히 부족하다. 이 연구는 비정칙성이 심한 역 문제들을 해결하기 위해 심층학습에 적합한 학습 데이터 구조와 관련한 인과 관계를 분석하여, 블랙박스 모델인 심층학습 기술의 뛰어난 성능을 보여주는 이유를 이해하기 위한 연구이다. 본 논문에서 의료영상 분야에 있는 고도로 과소 결정된 역 문제를 해결하기 위한 심층학습의 학습에 적합한 훈련 데이터의 구조의 인과 관계를 수학적 분석을 통하여 설명하였으며, 미결정 선형 시스템의 비선형성 구조와 학습 조건에 대해 분석하였다. 이 논문은 의료영상 최고 저널 중 하나인 MEDICAL IMAGE ANALYSIS(IF=13.828)에 게재되었으며, challenge report로 선정되었다.</p>					
22	석박사통합	정OO	기타전자/ 정보통신 공학	저널논문	K-J Jeong, J-D Park, KH, S-L Kim, W-Y Shin
					Two-Stage Deep Anomaly Detection With Heterogeneous Time Series Data
					IEEE Access
					10, 13704-13714
					202202
					10.1109/ACCESS.2022.3147188
<p>산업체와의 협업을 통해 스마트공장 실측 데이터를 사용한 인공지능이 탑재된 예지보전 기술을 소개하였다. 구체적으로, 실세계 시계열 데이터로 이루어진 데이터셋을 사용하여 이상 탐지 프레임워크를 제안하였다. 신호 유형에 따라 두 가지 다른 비지도 학습 모델을 채택하는 두 단계의 딥 이상 탐지(T-DAD) 프레임워크를 제안하였으며, 1단계에서는 운영 주기 신호에, 2단계에서는 센서 신호에 대해 시간적 지속성을 활용하기에 적합한 다른 모델을 사용하여 이상을 검출하는 방법론을 소개하였다. 실험결과는 단일 단계 벤치마크 접근법보다 우수한 성능과 강건성을 포괄적으로 보여준다. 이러한 방법은 제조 분야에서의 데이터 기반 이상 탐지에 크게 기여할 것으로 기대되며, 해당 결과물은 IEEE Access (IF: 3.476)에 게재되었다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
23	석박사통합	나OO	수치해석	저널논문	E Lee, H Na
					Dual System Least-Squares Finite Element Method for a Hyperbolic Problem
					Computational Methods in Applied Mathematics
					22(1), 113-131
					202201
					10.1515/cmam-2021-0003
<p>이 논문에서 주파수 매개변수가 큰 경우 Helmholtz 방정식을 해결하기 위해 LL* 방법을 사용하여 일계 시스템으로 재정리하고 해당 듀얼 문제를 고려하였다. 본 연구를 통하여 듀얼 문제의 약한 해의 유일한 존재를 증명하고, 주파수 매개변수에 따라 일어나는 연속성 및 강제성 상수의 명시적 형태를 개발하였다. 사전 오차 추정을 기반으로 다양한 스케일링으로 수치실험을 수행하고 결과를 제시하였고 이를 표준 최소자승 유한요소법으로 얻은 결과와 비교함으로써 그 우월성을 증명하였다. Helmholtz 방정식을 해결하는 중요한 과제 중 하나는 대역폭 k로 인해 발생하는 오염 효과를 줄이는 것이다. 본 연구를 통해 mesh size의 k에 대한 의존성을 약화시켜 그 응용 범위를 넓혔다.</p>					
24	석사	송OO	수치해석	저널논문	N Song, E Lee
					Dual system least squares finite element method for the Helmholtz equation
					Results in Applied Mathematics
					9(18), 100138
					202102
					10.1016/j.rinam.2020.100138
<p>본 연구에서 LL* 방법을 사용하여 비선형 초음파 보존 법칙을 풀고, 근사에 대한 비물리적 진동을 피하기 위해 LL* 함수에 안정화 항을 포함하는 것을 제안했다. 버거스 방정식을 이용하여 그 이론적 수치적 검증을 진행하였다. 본 연구는 두 가지 중요한 이론적 제안을 하고 있다. 첫째는, 비선형 문제를 처리하기 위해 뉴턴 방법을 사용할 때 좋은 초기 추정치를 선택하는 것이 중요한데, LSFEM을 통해 H1 초기 추정치를 사용할 것을 제안하였으며, 둘째로는 LL* 방법을 사용하여 hyperbolic 문제에서 쉽게 야기되는 oscillation을 감소시킬 것을 제안하였다. 본 연구는 안정화 항을 LL* 방법을 사용하여 hyperbolic conservation law를 해결하는 첫 번째 시도로 성공적인 결과를 보였다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적을 상세내용
25	박사	서OO	수치해석	저널논문	J Suh, J-K Choi, J Lee, SH Park
					Estimation of single-dose varicella vaccine effectiveness in South Korea using mathematical modeling
					Human Vaccines & Immunotherapeutics
					18(5), e2085468
					202206
					10.1080/21645515.2022.2085468
					<p>이전 연구에서 개발한 연령별로 구조화된 수두-대상포진 전파 모델을 이용하여 실제 우리나라 연령별 수두 발생률 자료(2007년 ~2015년)로부터 백신의 유효성을 추정하였다. 우리나라 1차 수두 백신이 기대보다 낮은 효과를 가짐을 보여주었고 높은 1차 수두 백신 실패율이 돌파 감염의 원인이 될 수 있음 보여줌으로써 2회 수두 백신 접종 도입의 필요성을 뒷받침하였다. 본 연구는 수학적 모델링을 통해 집단 수준의 백신 효과 추정을 가능하게 하였고 실제 자료를 활용하여 우리나라 최초로 그 값을 추정한 것에 의미가 있다. 또한, 본 연구를 통해 도출된 결과는 실제 공중 보건 관련 정책 수립을 위한 가이드라인을 제공할 수 있다.</p>
26	석박사통합	조OO	수치해석	저널논문	H Cho, Y Park, J Seok, JS Yeom, JY Choi, HJ Kim, YA Kang, J Lee
					Predicting the impact of control strategies on the tuberculosis burden in South and North Korea using a mathematical model
					BMJ Global Health
					6(10), e005953
					202110
					10.1136/bmjgh-2021-005953
					<p>이 논문의 창의성은 수학적 모델링을 사용하여 서로 다른 두 지역의 결핵 부담에 대한 다양한 제어 전략의 영향을 연구하는 데 있다. 결핵은 남북한 모두에서 주요 공중보건 문제로, 질병 통제를 위한 정책을 평가하여 효과적인 전략 도출이 필요하다. 또한, 남한과 북한의 경제적, 사회적 차이를 고려할 때 두 지역에서 결핵을 통제하는 정책의 결과를 비교하는 것이 중요하다. 따라서, 각 지역의 특성을 반영한 수학적 모델을 구축하고 이를 시뮬레이션하여 북한과 남한에서 결핵 발생률과 유병률에 대한 다양한 제어 전략의 영향을 예측하였다. 다양한 제어 전략의 효과를 정량적으로 분석하고 남한과 북한에서 차이점을 관찰하였다. 연구의 결과는 정책 입안자가 결핵 발생에 대응하는 전략의 우선순위를 결정하는데 활용할 수 있는 과학적 근거를 제공하였다.</p>

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
27	석박사통합	남OO	유체역학	저널논문	J Nam, C Lee
					Real-time prediction of urban flow and dispersion
					Journal of Mechanical Science and Technology
					35(10), 4565-4574
					202110
					10.1007/s12206-021-0926-0
<p>본 논문은 전산유체역학을 통해 도심지 유동해석을 수행하고자 할 시 해결해야 할 문제점 3가지에 대한 해법을 담고 있다. 첫 번째는 해석영역 내에 존재하는 건물들의 고려로써, 이를 위해 본 연구진은 건물형상을 정확히 반영할 수 있는 가상경계법을 개발하였다. 두 번째는 입구유동의 생성으로써, 수평방향으로 주기적인 조건이 부여된 상황에서도 적용할 수 있는 와류합성법을 고안하였다. 마지막으로 전산유체역학에 필요한 계산을 GPU를 통해 수행할 수 있는 GPU 병렬화 기법을 적용하여 실시간 도심지 유동해석을 가능케 하였다. 즉 본 연구진은 본 논문을 통해 실시간 도심지 유동해석을 수행할 수 있는 전산유체역학 알고리즘을 제시하였다.</p>					
28	석박사통합	김OO	유체역학	저널논문	S Kim, YY Choi, J-I Choi
					Impedance-based capacity estimation for lithium-ion batteries using generative adversarial network
					APPLIED ENERGY
					308, 118317
					202202
					10.1016/j.apenergy.2021.118317
<p>본 논문은 리튬 이온 배터리 상태 추정 및 진단에 대한 딥러닝 기술을 접목, Applied Energy (IF:11.446, JCR 상위 5.944%)에 게재하는 등 우수한 연구결과를 도출하였다. 제안된 연구를 통해, 생성적 적대 신경망 기반 배터리의 특성 추출 및 진단 기술의 정확성 및 강건성을 향상시키기 위해 비지도 딥러닝 방법을 개발하였으며, 이 방법론은 완전한 비지도 학습 기술로, 회로 모델을 사용할 때 어려운 직류 및 완화 없이 측정된 임피던스 데이터에서 의미 있는 표현을 얻을 수 있고, 추출된 잠재 변수는 용량 저하가 진행됨에 기계학습 방법을 활용해 배터리의 방전 용량을 추정하는 데 사용된다. 제안된 방법은 딥러닝 기술이 임피던스 데이터에서 유효한 정보를 추출하는 데 매우 효과적임을 입증하고, 배터리의 상태 추정에 필요한 비용을 획기적으로 줄여 리튬 이온 배터리의 성능 평가 및 개선에 대한 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다.</p>					

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용		
29	박사	이OO	유체역학	저널논문	J Choi, S Kim, K Lee		
					Gradient estimates for elliptic equations in divergence form with partial Dini mean oscillation coefficients		
					Journal of the Korean Mathematical Society		
					57(6), 1509-1533		
					202011		
					10.4134/JKMS.j190777		
					<p>발산 타원형 방정식의 약한 해에 대한 내부와 경계에서의 정칙성에 관한 연구로 방정식의 계수를 측도 가능하며 유계조건을 가지도록 설정하였고, 계수의 정칙성은 부분 디니 평균 진동(partial Dini mean oscillation)으로 가정하였다. 이러한 조건에서 주어진 방정식의 약한 해가 특정한 함수 공간에 속한다면, 그 해의 1계 도함수가 국소적으로 유계되어 있고, 특정한 선형조합들이 연속임을 자세히 증명하였다. 또한, 계수의 정칙성 조건을 부분 힐더 연속으로 변경하면, 그에 대응하는 특정한 선형조합들 역시 힐더 연속임을 증명하였다. 이러한 결과들은 발산 타원형 방정식의 계수가 가지는 정칙성 조건과 그에 대응하는 약한 해가 가지는 정칙성 사이에 대한 이해를 높이고, 관련된 후속 연구들을 진행하는데 있어서 좋은 참고 자료가 될 것으로 기대된다. 이 논문은 현재까지 Google Scholar를 기준으로 2회 인용되었다.</p>		
30	석박사통합	하OO	유체역학	저널논문	J Ha, YY Choi, Y Kim, J-N Lee, J-I Choi		
					Two-layer hydrodynamic network model for redox flow battery stack with flow field design		
					INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND MASS TRANSFER		
					201, 123626		
					202302		
					10.1016/j.ijheatmasstransfer.2022.123626		
					<p>본 연구는 유로구조가 존재하는 레독스 흐름 전지에서 유로 흐름을 최적화하기 위한 전극 내부에서의 전해질 흐름을 분석한 결과이다. 레독스 흐름 전지의 성능 향상에 있어서 구조 최적화는 필수적인데, 이를 하기 위해서는 내부의 반응을 비파괴적으로 분석할 필요가 있으며, 본 연구를 통해 실제 레독스 흐름 전지에 적용을 하면 특히 유로구조가 있는 레독스 흐름 전지에 대해 실험적으로 최적화를 하는 방법보다 시간과 비용 측면에서 큰 장점이 있다고 볼 수 있다. 본 연구는 INTERNATIONAL JOURNAL OF HEAT AND MASS TRANSFER (IF 5.4, 10.5%)에 실리는 등 그 우수성과 창의성을 인정받고 있다.</p>		
총 참여대학원생 수				석사	138	제출요구량	47
				박사	57		
				석박사통합	266		
				계	461		

② 참여대학원생 학술대회 대표실적의 우수성

<표 2-5> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여대학원생 학술대회 발표실적

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원 생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
1	석박사통합	구OO	구두	구OO
				A Novel Approach for Wafer Defect Pattern Classification based on Topological Data Analysis
				2022 KSIAM Annual Meeting
				202211, 서귀포, 대한민국
2	석박사통합	김OO	포스터	김OO
				Existence and Uniqueness Problem of Solutions for Variable Coefficient Helmholtz Equation in Divergence Form
				2021 KSIAM Annual Meeting
				202112, 부산, 대한민국
3	석사	김OO	구두	김OO
				Heterogeneous impact of Covid-19 on tuberculosis burden by age group
				2021 한국수리생물학회 동계학술대회
				202112, 제주, 대한민국
4	석박사통합	김OO	구두	김OO
				Pricing exotic options with flow-based generative networks
				2021 KSIAM Annual Meeting
				202112, 부산, 대한민국
5	석박사통합	김OO	구두	김OO, 홍OO
				Mirror symmetry for log Calabi-Yau surfaces
				2022 Global Korean Mathematical Society International Conference
				202210, 서울, 대한민국
6	석박사통합	이OO	구두	이OO
				Classification of full exceptional collections on smooth toric Fano varieties with Picard rank two
				2021 KMS Annual Meeting
				202110, 온라인, 대한민국

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원 생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
7	석박사통합	이OO	구두	이OO, 임OO
				수학증명에 적합한 형식언어의 자연어 처리
				2022 차세대 여성 수리과학 전공자 커리어 리더스 포럼
				202210, 대구, 대한민국
8	석박사통합	이OO	구두	이OO
				The impact of control strategies for COVID-19 in South Korea
				Virtual SMB 2021 Annual Meeting
				202106, 캘리포니아, 미국
9	석박사통합	이OO	구두	이OO
				Shelah-strong type and algebraic closure over a hyperimaginary
				Research Institute for Mathematical Sciences Model Theory Workshop 2021
				202112, 교토, 일본
10	석박사통합	한OO	구두	한OO, 허OO, 허OO
				Laplacian Pyramid-like Autoencoder
				Computing Conference 2022
				202207, 런던, 영국
11	박사	Do	포스터	HN Do, E-J Park
				Polygonal Staggered Discontinuous Galerkin methods for the Heat Equation
				계산과학공학회 2022년도 추계학술대회(KSCSE 2022)
				202209, 서울, 대한민국
12	박사	김OO	구두	W Kim
				A priori and a posteriori error analysis of a staggered cell-centered DG method for the biharmonic problem on general meshes
				2022 KSIAM Annual Meeting
				202211, 서귀포, 대한민국

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원 생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
13	박사	HYU	포스터	Y Hou, C Tran, W-Y Shin
				META-CODE: Community Detection via Exploratory Learning in Topologically Unknown Networks
				The 31st ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM '22)
				202210, 아틀란타, 미국
14	석박사통합	박OO	포스터	J-D Park, C Tran, W-Y Shin, X Cao
				Grad-Align+: Empowering Gradual Network Alignment Using Attribute Augmentation
				The 31st ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM '22)
				202210, 아틀란타, 미국
15	석박사통합	서OO	구두	C Seo, K-J Jeong, W-Y Shin
				Enhanced Recommendation Using Sign-Aware Graph Neural Networks
				2021년 한국통신학회 하계학술대회
				202106, 제주, 대한민국
16	석박사통합	신OO	포스터	Y-M Shin, S-W Kim, E-B Yoon, W-Y Shin
				Prototype-Based Explanations for Graph Neural Networks
				AAAI conference on artificial intelligence
				202202, 캐나다 (virtual)
17	석박사통합	나OO	구두	나OO, 이OO
				유한요소법을 이용한 3차원 도체 및 유전체 코팅 도체의 전자파 산란 해석
				KIEES-2022 하계종합학술대회
				202208, 제주, 대한민국
18	석박사통합	김OO	구두	J.Kim, J.Kim, C.Lee
				Prediction and Control of 2D Decaying Turbulence using Generative Adversarial Networks
				75th Annual Meeting of the American Physical Society Division of Fluid Dynamics (APS DFD 2022)
				202211, 인디애나폴리스, 미국

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원 생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
19	석박사통합	남OO	포스터	남OO, 이OO
				Real-time prediction of urban flow and terrain flow
				2021년도 한국화생방방어학회 춘계심포지엄
				202104, 성남, 대한민국
20	석박사통합	XU	구두	T.Xu, J.-I. Choi
				Monolithic Immersed Boundary Method for Thermal Incompressible Flows
				13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference
				공란으로 돌것
202210, 서귀포, 대한민국				
21	석박사통합	YU	구두	W Yu, S Song, T Xu, J-I Choi
				Numerical Simulations of Blast Wave Propagations after a High-Energy Explosion
				13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference
				202210, 서귀포, 대한민국
22	석박사통합	김OO	포스터	최OO, 김OO, 김OO, 최정일
				리튬 이온 배터리 모델 개발을 위한 파라미터 추정과 추정가능성 분석 방법
				2020년도 한국전지학회 추계학술대회
				202011, 대전, 대한민국
23	석박사통합	김OO	구두	김OO, 김OO, 최OO
				리튬이온배터리 전기화학모델 파라미터의 민감도 분석
				대한기계학회 2022년 학술대회
				202211, 서귀포, 대한민국
24	석박사통합	김OO	구두	김OO, 최OO
				비정상 전기화학 임피던스 분광법을 통한 리튬 이온 배터리의 건강 상태 추정
				2022년도 전력전자학술대회
				202207, 경주, 대한민국
25	석박사통합	양OO	구두	M Yang, G Oh, J-I Choi
				A Multi-GPU based LES Urban Wind Flow Solver for Real-time Simulation
				Conference on building energy and environment 2022
				202207, 몬트리올, 캐나다

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원 생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용		
26	박사	이OO	구두	이OO, 최OO, 윤OO		
				지수 함수 공간 기반 3-point WENO 수치 기법		
				제 12회 한국유체공학학술대회		
				202206, 창원, 대한민국		
27	석사	이OO	구두	이OO, 김OO, 최OO		
				정규화 기반의 연속 학습 방식을 활용한 리튬 이온 배터리의 건강 상태 추정		
				2022년도 한국전지학회 춘계학술대회		
				202206, 고양, 대한민국		
28	석박사통합	조OO	구두	조OO, 김OO, 최OO		
				다중 목적 입자 군집 최적화 기반 리튬이온 배터리 팩 고속충전		
				대한기계학회 2022년 학술대회		
				202211, 서귀포, 대한민국		
29	석박사통합	하OO	구두	하OO, 최OO		
				레독스 흐름 전지의 전기화학적 모델링에 대한 파라미터 추정과 민감도 분석		
				2022년도 전력전자학술대회		
				202207, 경주, 대한민국		
30	석박사통합	현OO	구두	Y Hyun		
				Model predictions of size-resolved distributions of indoor ultrafine particles based on monitored total number concentrations		
				Indoor Air 2020		
				202011, 서울, 대한민국		
총 참여대학원생 수			석사	138	제출요구량	47
			박사	57		
			석박사통합	266		
			계	461		

## ■ 학술발표 실적의 우수성

### 1. (구OO) A Novel Approach for Wafer Defect Pattern Classification..., 202211

persistent homology 개념을 반도체 공정 웨이퍼 결함 패턴 분류에 최초로 적용하여, 기존 CNN에 기반을 둔 방법보다 훨씬 효율적이고 적은 데이터만 가지고도 정확한 학습이 가능한 방법론을 제시하였다.

### 2. (김OO) Existence and Uniqueness Problem of Solutions for Variable Coefficient..., 202112

변수계수의 고차항 헬름홀츠 방정식 그린함수의 존재성 및 계측 등의 연구는 일반적인 타원형 방정식에서 적용되지 않으므로 Fredholm Alternative 이용하여 해의 존재성과 유일성을 보이는 것을 성공시켰다.

### 3. (김OO) Heterogeneous impact of Covid-19 on tuberculosis burden by age group, 202112

COVID-19 팬데믹 상황에서 국내 정책이 결핵 관리에 미치는 영향을 분석하여 연령에 따라 결핵이 어떻게 진행되는지를 반영하여 연령 구조를 갖는 수학적 모델을 구축하였다. 이후 결핵 발생뿐만 아니라 결핵으로 인한 사망 모니터링의 중요성을 제시하는 새로운 모델로 활용 가능하다.

### 4. (김OO) Pricing Exotic Options with Flow-based Generative Networks, 202112

실제 데이터를 잘 반영하는 모형은 구조가 복잡해 이색옵션의 가격을 구하는 데에 어려움이 있다. 본 연구는 생성신경망을 활용하여 이 문제를 해결했고, 기존 방법론 대비 수백 배 빠르게 결과를 계산했다.

### 5. (김OO) Mirror symmetry for log Calabi-Yau surfaces, 2022102.

특정 조건의 로그 칼라비-야우 곡면 사교기하 포텐셜 함수 극점을 트로피칼화 조합론적 방법을 적용하였다. 세미-파노 곡면의 논-토릭 블로우업 포텐셜 함수의 극점 분석으로 포텐셜 함수의 자코비안 링이 대수적 세미심플 조건을 만족함을 보이고, 곡면의 양자코호몰로지와 비교하여 거울대칭을 증명하였다.

### 6. (이OO) Classification of full exceptional collections on smooth toric Fano varieties..., 202110

Kuznetsov 가설을 Picard rank가 2인 3, 4차원의 smooth toric Fano variety에 대해 증명하고, 모든 full exceptional collection을 분류하였다. 이 연구는 이미 해외 연구자로부터 피드백을 받았으며, 이 가설의 당위성 확인을 위해 큰 의미가 있는 결과이다. 향후 일반적인 경우로 확장하여 가설 검증할 계획이다.

### 7. (이OO) 수학증명에 적합한 형식언어의 자연어 처리, 202210

자연어 처리에서 수학증명 자동화 모델을 개발하고자, 형식언어를 이용하여 증명을 생성하는 것이 비형식언어를 이용하는 방법보다 자동수학증명 생성에 더 적합하다는 판단을 얻었다. 그리고 형식언어 중에서도 Lean이 적합하다고 생각하여, Lean에 기반한 모델을 구상하고 데이터를 구성하고자 하였다.

### 8. (이OO) The impact of control strategies for COVID-19 in South Korea, 202106

국내의 방역 정책이 코로나 감염에 미친 영향을 평가하고, 효과적인 대응 전략 마련을 위한 과학적 근거를 제시하였다. 다양한 방역 정책과 보건 당국의 적극적인 노력으로 예상을 다르게 확산을 억제하여 우수한 사례로 세계적인 주목을 받았다.

### 9. (이OO) Shelah-strong type and algebraic closure over a hyperimaginary, 202112

Shelah-strong type의 파라미터 범위를 일반적인 set parameter가 아닌 hyperimaginary로 확장하였으며, 이를 algebraic closure를 이용해 완전히 특징지었다. 또한, algebraic closure가 hyperimaginary 파라미터에서는 set 파라미터일 때와는 완전히 다른 성질을 가질 수 있음도 구체적인 예시를 통해 제시하였다.

### 10. (한OO) Laplacian Pyramid-like Autoencoder, 202207

라플라시안 피라미드(LP)와 유사한 성질을 갖는 autoencode 구성으로 수학과 딥러닝을 연결하여 기존 classification network를 간소화하여 30%의 시간 감소와 유사 성능을 확인하였다. Super-resolution network로 확장하여 당시의 최신 모델들과 비교할만한 성능을 얻음으로써 높은 응용 가능성 보였다.

**11. (OO Do) Polygonal Staggered DG methods for the Heat Equation, 202209**

본 연구에서는 2차원 열방정식을 모델로 일반 다각형 격자에서의 시간중속 문제에 확장된 Staggered 불연속 갤러킨 방법을 적용하였다. Theta scheme을 통해 시간에 대한 이산화를 진행하였다.

**12. (김OO) A priori and a posteriori error analysis of a staggered..., 202211**

본 연구에서는 SDG 방법으로 일반 격자에서 4계 타원형 편미분방정식인 쌍조화방정식을 해결하였다. 모든 변수의 최적 수렴과 후처리를 통한 변위 변수의 빠른 수렴을 증명하였다. SDG 방법은 hanging nodes를 처리할 수 있어 적응형 격자 형성에 효율적이며, 잔차 유형의 경험적 오차 추정치를 유도하였다.

**13. (HOUOO) META-CODE: Community Detection via Exploratory Learning..., 202210**

네트워크 구조를 알 수 없는 중첩된 커뮤니티 구조 탐지 방법을 세계 최초로 제시하였다. 그래프 신경망 및 반복적 네트워크 탐지 방법론으로 데이터에서 현존하는 벤치마크 방법 대비 높은 성능을 보였다.

**14. (박OO) Grad-Align+: Empowering Gradual Network Alignment Using Attribute..., 202210**

네트워크 정렬 분야에서 노드 속성 정보나 사전 정렬 정보 없이도 강건한 성능을 보장해주는 방법론을 소개하였다. 추가 정보에 대한 낮은 의존성과 높은 성능이 그래프 데이터 마이닝을 다수의 네트워크에서 수행하는 연구에 높은 가치를 제공해줄 것이다.

**15. (서OO) Enhanced Recommendation Using Sign-Aware Graph Neural Networks, 202106**

Low rating 정보도 학습 시 함께 활용하여 성능을 고도화하는 방법을 새롭게 제안하였다. 부호를 가진 이분 그래프 생성, 그래프 신경망 모델 적용, 손실 함수에서 부호를 고려하여 임베딩 학습하는 추천 시스템으로 실세계 추천 데이터셋에서 현존하는 벤치마크 방법 대비 우수한 top-N 정확도를 보였다.

**16. (신OO) Prototype-Based Explanations for Graph Neural Networks, 202202**

고차원적인 model 단위 그래프 신경망 모델의 해석 방법론을 제시하여, 모델에서 학습한 내용을 한 번에 직관적으로 검출할 수 있는 방법론을 제안하였다.

**17. (나OO) 유한요소법을 이용한 3차원 도체 및 유전체 코팅 도체의 전자파 산란 해석, 202208**

유전체로 코팅된 도체 구조의 산란체에 의한 전자파 산란 해석을 위한 FEM 기반의 효율적인 알고리즘을 제시하였다. 적은 수의 메쉬(mesh) 조건에서 jump condition을 적용하여 비교적 정확한 수치 해를 도출해내는 FEM 기반의 수치 알고리즘을 개발하고 그 성능을 검증하였다.

**18. (김OO) Prediction and Control of 2D Decaying Turbulence using GAN, 202211**

2차원 난류의 동적 특성을 높은 정확도의 예측 모델을 GAN을 통해 개발하였으며, 고정확도 예측 모델을 대리 모델로 활용하여 유동 제어 및 더 복잡하고 실질적 유동 제어에 대한 가능성을 제시하였다.

**19. (남OO) Real-time prediction of Urban flow and Terrain flow, 202104**

전산유체역학을 통한 해석영역 내 건물형상을 정확히 반영할 수 있는 가상경계법과 지형 유동해석에서 해석영역 내에 존재하는 지형을 고려하기 위해 지형유동의 특성을 잘 살리는 가상경계법을 개발하였다.

**20. (XU OO) Monolithic Immersed Boundary Method for Thermal Incompressible Flows, 202210**

비압축성 열유동에 대한 새로운 일체형 가상경계기법을 제안하였으며, 두 단계 LU분해, 결합된 시스템의 순차적 분리, 가상경계 표면에서 점착조건 안정성과 정확한 적용 등 다양한 문제를 검증하였다.

**21. (YU OO) Numerical Simulations of Blast Wave Propagations after a High-energy..., 202210**

고에너지 폭발 후 폭풍과 전파 시뮬레이션을 위한 FVM 기반 3차원(3D) 압축성 유동 해석기법에 관한 연구로 복사-유체역학 방정식을 풀기 위해 IMEX로 알려진 암시적/명시적 수치 알고리즘이 적용되었다.

**22. (김OO) 리튬 이온 배터리 모델 개발을 위한 파라미터 추정과 추정 가능성 분석 방법, 202011**

PDE 기반 모델에 실험 데이터 기반 신뢰 구간 설정, 모델 파라미터 식별 가능성 평가, 정확한 파라미터 추정 방법을 제안하였다. 배터리 내부 상태 및 수명 예측을 위한 비파괴 진단기술로 활용 가능하다.

**23. (김OO) 리튬이온배터리 전기화학 모델 파라미터의 민감도 분석, 202211**

마르코프 체인 몬테카를로 방법 및 베이지안 추론을 기반 전압 관측값으로 리튬이온 배터리 모델 파라미터를 추정하는 프레임워크를 제안하였다. 다양한 방전조건 하에서 전기화학 파라미터의 불확실성 정량화 가능 및 파라미터의 분포로부터 분산 기반의 민감도 분석을 수행할 수 있다.

**24. (김OO) 비정상 전기화학 임피던스 분광법을 통한 리튬 이온 배터리의 건강 상태 추정, 202207**

배터리 상태 추정/진단에 딥러닝을 접목한 GAN기반 배터리 특성 추출, 진단 기술의 정확성 및 강건성 향상을 위한 비지도 딥러닝 개발, 배터리 상태 추정에 필요한 비용을 감소시키는 방법을 제안하였다.

**25. (양OO) A Multi-GPU based LES Urban Wind Flow Solver for Real-time Simulation, 202207**

multi-GPU로 실시간 시뮬레이션을 가능케 하는 LES 기반 도시 바람 유동해석 솔버를 개발하였다. NVIDIA A100 GPU 2개로 1억 개 격자에서 실시간보다 빠른 시뮬레이션이 가능하였다. 병렬화 기술 및 최신의 수치해석 기법이 고속의 바람길 생성에 기여할 수 있는 것으로 평가된다.

**26. (이OO) 지수 함수 공간 기반 3-point WENO 수치 기법, 202206**

지수 다항식 상에서 안정적인 WENO 방법을 개발하였으며 기존의 방법들보다 우수함을 증명하였고, 다른 방법론들과 결합하여 연구가 확장되어 진행될 수 있음을 시사하였다.

**27. (이OO) 정규화 기반의 연속 학습 방식을 활용한 리튬 이온 배터리의 건강 상태 추정, 202206**

리튬-이온 배터리의 건강 상태 추정을 위한 심층 신경망의 정규화 기반 연속 학습 방식을 제시했다. Elastic weight consolidation을 적용해서 일부 데이터 사용만으로 과거 데이터와 새로운 데이터에 대한 정확한 성능을 보였다. 추가적 비용 없이 실제 환경에서 정확한 건강 상태를 추정할 수 있음을 보였다.

**28. (조OO) 다중 목적 입자 군집 최적화 기반 리튬이온 배터리 팩 고속충전, 202211**

수치적 최적화 기법을 통해 배터리 급속 충전 프로토콜의 최적 충전 전략을 제안한다. 제안 충전 프로토콜을 사용하였을 때 셀 간 전압과 온도 편차가 CC 충전을 사용하였을 때보다 작음을 알 수 있었다.

**29. (하OO) 레독스 흐름 전지의 전기화학적 모델링에 대한 파라미터 추정과 민감도 분석, 202207**

기존의 레독스 흐름 전지의 한계인 파라미터 추정, 파라미터와 성능간 영향성에 관한 연구결과로 레독스 흐름전지의 성능 향상에 있어 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

**30. (현OO) Model predictions of size-resolved distributions of indoor..., 202011**

에어로졸 총수농도 데이터만을 이용하여 실내 에어로졸 수리 해석자와 최적화 알고리즘의 결합을 통해 모델 계산에 필요한 파라미터를 추정하며 시간에 따른 입자 수농도 분포 계산 및 방출율, 침적율에 대한 특징 분석을 가능하게 하였다.

③ 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 실적의 우수성

<표 2-6> 참여대학원생 특허, 기술이전, 창업 등 실적

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	실적구분	특허, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용
1	박사	현OO	특허	현OO, 서OO, 이OO, 김OO, 이OO
				Apparatus and method for reconstruction MRI use learning, undersampling apparatus and method about it and recoding medium thereof
				미국
				US10,989,779
				202104
2	석박사통합, 석사	박OO, 정OO	특허	신OO, 정OO, 김OO, 박OO
				이질적 다변량 시변 데이터를 이용한 이상 감지 장치 및 방법
				대한민국
				10-2321440 202110
3	석사, 석박사통합	정OO, 서OO	특허	신OO, 서OO, 정OO
				네트워크 임베딩을 이용한 다양성 강화 추천 장치 및 방법
				대한민국
				10-2467676 202211
4	석박사통합	양OO	특허	최OO, 최OO, 양OO
				Redox Flow Battery With Porous Electrode In Which Mixing Plate Is Inserted
				미국
				US11,069,913 202107
5	석박사통합	김OO	특허	최OO, 최OO, 김OO
				배터리 상태 평가 및 분석을 위한 BMS 데이터 처리 장치 및 방법
				대한민국
				10-2392627 202204
6	석박사통합	현OO	특허	최OO일, 현OO, 최OO, 오OO
				미세입자 분포 추정 장치 및 방법
				대한민국
				10-2492772 202301

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	실적구분	특히, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용
7	석사	성OO	창업	성OO
				창업기술명 : 딥러닝
				에이치엠데이터(HMDATA)
				202206
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				

연번	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여대학원생 성명	실적구분	특히, 기술이전, 창업 등 실적 상세내용		
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
총 참여대학원생 수			석사	138	제출요구량	47
			박사	57		
			석박사통합	266		
			계	461		

## ■ 특허 및 창업의 우수성

### 1. (현OO) Apparatus and method for reconstruction MRI use learning, undersampling apparatus and method about it and recoding medium thereof, 미국 등록특허

세계 최초로 인공지능을 적용하여 기존의 MRI 영상화 시간을 단축하는 고속 MRI 영상화 기술로, 미국 및 한국 특허로 등록되었다. 기존 데이터의 27~29%의 데이터를 이용하여 고품질의 MRI 영상을 복원할 수 있으며, 이는 1시간 정도의 MRI 기존 촬영 시간을 15분으로 줄일 수 있는 혁신적인 기술이다. MRI 촬영에서 요구되는 고립된 기계 공간 속에서의 시간을 최소화하여 폐쇄 공포증이 있는 환자의 MR 촬영을 용이하게 하거나 데이터 획득 중 움직임에 의해서 발생하는 아티팩트를 최소화할 수 있는 등 다양한 임상적, 기술적 측면의 파급 효과들이 있다. 또한, 웨이브릿(wavelet)과 프레임릿(framelet)을 이용한 풀링 방식으로 고화질의 영상을 정보 손실 없이 저화질의 영상으로 변환하여 효율적인 영상복원이 가능하게 하는 방법론을 포함합니다. 이 기술과 관련한 논문은 382번 인용되었다.

### 2. (박OO, 정OO) 이질적 다변량 시변 데이터를 이용한 이상 감지 장치 및 방법, 대한민국 등록특허

해당 발명은 이질적 특성을 갖는 시계열 데이터가 주어졌을 때, 더 높은 정확도로 이상 감지를 수행하는 방법론에 대한 특허이다. 해당 기술은 이질적인 공정 데이터 및 센서 데이터에서 각각에 대해 오토 인코더 인공 신경망을 적용하여 두 가지 복원 오차가 모두 이상을 나타내는 시간 구간을 관찰하는 방식으로 진행된다. 이상 감지 특성상 이상 신호에 해당하는 데이터가 매우 적은 현실적인 문제를 해당 기술은 비지도 학습 기반으로 설계하여 이를 방지하게 된다. 이러한 특성에 힘입어, 공정 자동화, 사기 감지 등 산업 전반에 존재하는 다양한 종류의 이질적 시계열 데이터에 범용적 적용이 가능하다는 장점이 있어 여러 산업군에 높은 파급 효과를 가져올 것으로 기대한다.

### 3. (정OO, 서OO) 네트워크 임베딩을 이용한 다양성 강화 추천 장치 및 방법, 대한민국 등록특허

해당 발명은 추천 시스템에서 사용자와 아이템, 아이템이 포함되는 장르, 사용자의 아이템 이용 내역 및 평가 정보인 가중치를 받아 임베딩 공간 상에 사용자 벡터와 아이템 벡터를 배치하여 추천 아이템을 선택하는 방법론에 대한 특허이다. 사용자의 다양한 요구에 더욱 부합할 수 있는 아이템을 선별하여 추천할 수 있을 뿐만 아니라, 이전 소비하지 않았거나 많이 소비하지 않은 장르의 아이템도 추천될 수 있도록 하여, 추천되는 아이템의 신규성과 다양성을 확보할 수 있는 추천 장치 및 방법을 제공할 수 있다. 최근 넷플릭스 등 다양한 콘텐츠가 집중되고 있는 여러 온라인 서비스의 핵심 기술인 추천 시스템에서 개인화, 그리고 추천되는 콘텐츠 자체의 다양성 및 과추천 방지 등이 중요한 이유로 대두되는 가운데, 이러한 추천 시스템에 적용되어 더욱 적합한 콘텐츠 추천과 신규성 및 다양성을 확보할 수 있다.

### 4. (양OO) Redox Flow Battery With Porous Electrode In Which Mixing Plate Is Inserted, 미국 등록특허

이 발명은 다공성 전극에서 활성 물질을 섞는 혼합 공간을 도입하여 불균일한 농도 문제를 개선하고 전지의 성능을 향상시키는 창의성과 혁신성을 갖추고 있다. 이를 통해 에너지 효율을 개선하며, 과전압을 감소시키고 스택 영역과 출력을 증가시키는 방법을 제공한다. 본 발명은 에너지 저장 및 전력 공급 관

런 산업에 기여할 것으로 예상되며, 특히 지역 산업에서 환경 친화적인 에너지 저장 방안을 제공할 수 있다. 또한, 이 기술은 지속 가능한 에너지 소스와 연계하여 전력 공급 안정성을 향상시킬 수 있다. 이러한 레독스 흐름 전지 기술은 다양한 규모의 에너지 저장 시스템에 적용 가능하며, 광범위한 산업에 활용될 수 있는 확장성과 적용 가능성을 가지고 있다. 따라서 이 발명은 에너지 저장 기술의 혁신과 산업 발전에 크게 기여할 것으로 기대된다.

#### 5. (김OO) 배터리 상태 평가 및 분석을 위한 BMS 데이터 처리 장치 및 방법, 대한민국 등록특허

본 발명은 BMS용 배터리 충방전 데이터 처리 방법으로, 배터리 SOH 산출을 위한 모델 파라미터를 정확하게 추정하여 계산 비용을 줄이고 파라미터 추정의 정확도를 높이는 알고리즘을 제공한다. 이는 BMS 시스템에서 충방전 가능한 배터리의 수명을 예측함으로써, 에너지 저장 장치의 효율적인 자원 활용과 안정적인 관리 및 사용을 가능하게 한다. 이는 과충전, 과방전, 과전류 등의 문제를 방지하고, 화재사고를 줄이는 효과를 가져온다. 또한, 리튬이온 배터리와 같은 현재 상용화되어 있는 이차전지뿐만 아니라, 리튬-황, 리튬-에어, 나트륨-마그네슘 등의 차세대 전지에도 적용 가능한 범용적인 방법이다. 본 특허는 전기차와 퍼스널 모빌리티 등의 시장 성장에 따라 다양한 종류의 배터리에 적용돼 안전하고 효율적인 배터리 관리를 가능케 한다.

#### 6. (현OO) 미세입자 분포 추정 장치 및 방법, 대한민국 등록특허

휴대용 입자계수기로 시간에 따른 미세입자의 입자개수 농도를 측정하고, 측정 데이터를 이용하여 휴대용 입자계수기를 사용하여 측정하지 못하는 크기의 입자의 시간에 따른 개수 농도의 크기분포를 추정하기 위한 장치이다. 종래 기술인 나노 에어로졸 입경분포 측정기(Scanning mobility particle sizer, SMPS)는 나노단위의 입자분포를 측정할 수 있으나, 측정계의 부피가 크고 많은 비용이 들며, 주로 고정식으로 사용하므로 휴대 또는 이동에 용이하지 않다. 본 발명은 종래의 나노 입자 개수농도 측정장치와 달리 휴대용 입자계수기로 측정한 입자 개수 데이터로 SMPS로만 측정할 수 있는 크기의 입자의 분포까지 추정 가능하여 크기와 비용면에서 경제적이다.

#### 7. (성OO) 에이치엠데이터, 회사창업

본 회사는 빅데이터 분석툴과 소프트웨어 솔루션을 개발하는 회사로 머신러닝과 딥러닝을 기반으로 시계열 데이터를 다루는데 중점을 두고 있다. 현재, 농업 분야에서는 스마트팜이 각광을 받으면서 환경에 따른 식물의 성장속도를 체크하고 있는데 이를 위해서는 환경요인과 시계열 데이터의 관계를 잘 밝혀내야 하는데 이를 위해서 사람이 예측하지 못하는 부분을 찾아내기 위해 딥러닝을 기반으로 모델링을 시도하고 있다. 디지털 시대로 이커머스의 중요성이 날로 높아지고 있습니다. 빅데이터를 활용해 오픈마켓에서 물건을 판매하는 셀러 입장에서 상품 트렌드나 좋은 물건을 찾아내기 위한 데이터 분석툴을 만들기 위해 노력하고 있다.

### 3.2 대학원생 연구 수월성 증진 실적

본 교육연구단은 선정평가 당시 “3.2 대학원생 연구 수월성 증진 계획”을 교육과정 활성화, 학사관리를 통한 연구환경 조성, 학술활동 지원 등의 내용으로 작성되었다. 선정평가 제안서 내용을 기반으로 계획 대비 실적을 다음의 표에 요약하여 나타내었으며, 자세한 사항은 표 다음에 기술하였다.

구분	계획(제안서)	실적(2020.09.01.-2023.02.28.)
가. 다양한 교육과정 활성화를 통한 우수 연구자 양성	우수 신입교원 확보 및 학과의 외연 확대	2022-1학기 2명 채용 2023-1학기 1명 채용
	협업 형태의 교과목 개설 및 폭넓은 지식 제공	학생제안 교과목개설 수치해석학특강(2022-1학기) 물리기반모델링및시뮬레이션(2021-2학기) 그래프학습원리및최근동향(2022-2학기)
	우수 연구자 초청을 통한 대학원생 연구 트레이닝	대학원생의 리서치 트레이닝, 해외 석학들과의 연계 및 교류
	대학원생 집중교육(계절학기)	유한요소법(2022-1)
	대학원생 주도의 개방형 세미나	총 56건 수행
나. 학사관리 개선을 통한 연구 환경 조성	학술활동의 졸업요건	졸업생에게 지속적 적용
	포스터 발표회를 통한 연구 점검	2020-2학기(11월), 2021-1학기(5월) 2021-2학기(11월), 2022-1학기(5월) 2022-2학기(11월)
	박사학위 연구과정 실적 평가	매학기 수행
	개인지도 및 그룹별 연구 점검	참여교수 별로 Lab 및 개인미팅 진행
다. 학술활동 지원 확대	해외 장·단기 교육 및 연수프로그램	1건
	학술대회 발표 권장 및 참여	2020-2, 2021-1학기 : 국내 44건, 국제 7건 2021-2, 2022-1학기 : 국내 43건, 국제 9건 2022-2학기 : 국내 23건, 국제 3건
	우수 성과에 대한 인센티브 제공	포스터발표회 우수상 시상 및 인센티브 지급

#### 가. 다양한 교육과정 활성화를 통한 우수 연구자 양성

##### ▶ 우수 신입교원 확보 및 학과의 외연 확대

융합연구에 대한 시대적 요구를 반영할 수 있는 신입교원을 2022-1학기에 2명(수론, 응용역학 전공)을 확보하고, 대학원 교과목으로 고체및구조물의유한요소해석과 연속체역학및구조해석 교과목을 새롭게 개설하여 운영하였다. 또한, 2023-1학기에 신입교원 1명(조합론)을 확보하였다.

##### ▶ 협업 형태의 교과목 개설 및 폭넓은 지식 제공

학생들이 원하는 수업 내용을 설계함으로써 학생 수요 중심의 교육과정을 구현하고자 학생 제안 교과목을 3과목을 운영하였다. 학생의 과목 선택권 확대 및 학과 커리큘럼 다양화를 목적으로 하였다. 물리기반 모델링 및 시뮬레이션2(2021-2학기)에서는 물리기반 배터리 모델링과 시뮬레이션을 학습하였고, 수치해석특강1(2022-1학기)에서는 머신러닝과 딥러닝에 필요한 선형대수 이론을 학습, 그래프학습원리및최근동향(2022-2학기)에서는 그래프 이론 및 최근 동향을 학습하였다.

▶ **국내의 우수 연구자 초청을 통한 대학원생 연구 트레이닝**

대학원생들의 연구역량을 높이기 위해 다양한 분야의 전문가를 초청하여 최신의 연구동향과 연구자 교류를 하도록 유도하였다. 기존 학과 콜로키움 이외에도 BK21 기하학 수요집회(32회), BK해석학 세미나(32회), 신촌3대학원(연대-이대-서강대)해석학 및 PDE 세미나(3회)등을 진행하였다. 또한, 대학원생 리서치 트레이닝 강화차원에서 위스콘신대학 오OO(대학원생) 5회 조화해석 줌 강연, UBC 조OO(대학원생) 4회 PDE 줌강연 등을 다수 진행하였다.

▶ **대학원생 집중교육을 위한 계절학교 개최**

평가기간 동안 계절학교는 총2회 개최하였다. 2021년 Summer 산업수리 문제해결 경진대회를 교육연구단 대학원생을 대상으로 진행하였다. 또한, 2022년 수학기산학부(계산과학공학) 여름 특강을 통해 상용 유한요소해석 소프트웨어 및 유한요소해석의 작동원리와 특성에 대한 교육을 진행하였다.

▶ **대학원생 주도의 개방형 세미나**

대학원생 각자가 연구 주제에 대하여 발표 및 토론하는 개방형 세미나를 운영하였다. 2020-2학기에 15회, 2021-1학기에 13회, 2021-2학기에 13회, 2022-1학기에 9회, 2022-2학기에 6회를 실시하였다. 관심 있는 주제 발표 또는 연구 중인 문제에 대하여 자유로운 형식으로 진행하며, 해당 분야의 참여교수들과 박사후연구원이 함께 참여하여 조언 및 지도를 하였다.

**나. 학사관리 개선을 통한 대학원생의 연구 몰입 환경 조성**

대학원생의 연구 활성화 및 수월성 확보를 위해 최근 다수의 규정들을 연구에 주안점을 두고 개선하고 있으며, 학위과정이 장기화되지 않도록 대학원생의 연구몰입 방안을 마련하고 있다.

▶ **박사학위 과정 대학원생에 대한 DTT (Double Triple Track) 규정 마련**

박사과정 또는 통합과정 대학원생은 입학 후 2년 내에 연구자격을 검증받으며, 2년 이내에 연구의 진척 상황을 보고하고, 2년 이내에 학위에 맞는 결과를 도출하여 졸업하는 방향으로 규정을 마련하였다. 이를 통해 박사학위 대학원생은 박사학위 취득을 6년 이내에 하도록 권고하고 있다.

▶ **학술활동의 졸업요건**

연구의 수월성을 신장하기 위해 박사학위 취득을 위한 학술활동 요건을 국제저명학술지 (SCI급) 논문 1편 이상 게재(또는 게재승인)로 규정하고 있다. 단, 계산과학공학 전공 박사학위 과정생은 국제저명학술지에 논문 2편 이상 게재하거나 게재승인을 받아야 한다.

〈졸업자의 학술활동 현황〉

구분	2020-2학기	2021-1학기	2021-2학기	2022-1학기	2022-2학기
논문	22	2	7	23	20
학술발표	3	1	5	7	11

▶ **학과차원의 포스터 발표회를 통한 연구 점검**

매 학기 초에 “Math-CSE open lab & 포스터 발표회” 행사에서 대학원생들이 연구결과를 포스터로 제작하여 참가자 및 심사위원들과 토론형식의 발표를 진행한다. 이를 통해 연구진행 상황을 점검하고 미진한 부분에 대해 조언을 구할 수 있는 기회를 제공하고 있다.

- 2020-2학기 : 제1회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제18회 CSE포스터 발표회), 2020.11.30.(월)

- 2021-1학기 : 제2회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제19회 CSE포스터 발표회), 2021.05.21.(금)
- 2021-2학기 : 제3회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제20회 CSE포스터 발표회), 2021.11.19.(금)
- 2022-1학기 : 제4회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제21회 CSE포스터 발표회), 2022.05.20.(금)
- 2022-2학기 : 제5회 수학기산학부 통합 포스터발표회 (제22회 CSE포스터 발표회), 2022.11.18.(금)



#### ▶ 박사학위 연구과정 실적 평가

연구학기 홀수학기 박사학위 과정생은 본인이 지난 1년간의 수행한 연구결과(논문 및 학술대회 실적, 연구 내용 보고서)를 간략한 보고서로 제출하도록 하여 평가를 진행하고 있다. 2020-2학기 19명, 2021-1학기 28명, 2021-2학기 29명, 2022-1학기 23명, 2022-2학기 13명이 평가를 받았다.

#### ▶ 일대일 논문지도 및 연구 그룹별 정기 세미나 운영

지도교수는 지도학생과 매주 1-2회 일대일 개별 연구 미팅을 진행하고 있으며, Lab 단위의 그룹별 정기 세미나도 운영하여, 학생들의 연구에서 미진한 부분을 토론하고 연구방향을 탐색하는 시간을 갖는다.

#### ▶ 조교 업무 조정을 통해 연구에 몰입할 수 있도록 유도

다양한 평가항목(성적, 경제사정, 연구실적 등)을 종합적으로 고려하여 조교업무 또는 기타 대학원 업무(시험 감독, 채점 등)를 조정하고 있다. 대학원생 연구에 방해가 되지 않도록 배려를 하고 있다.

### 다. 대학원생 학술활동 지원 확대를 통한 연구 수월성 확보

#### ▶ 대학원생의 해외 장·단기 교육 및 연수프로그램 운영

참여대학원생 대상으로 해외 장·단기 교육 및 연수프로그램을 운영하고 있다. 평가기간 동안에 참여대학원생 1명이 호주 University of New South Wales에 35일간 방문하여 멘토교수와 그래프 학습모델에 대한 심층적 연구를 진행하였다. 또한, 단기 교류로는 베를린 대학 방문 팀과의 교류, 교토대 RIMS(일본)에서 한국과 일본의 모델론 연구자 교류, 중국과학원과 대수기하학 워크샵, Oberwolfach 연구소(독일) 여름학교에서 수리생물 모델 연구자들과의 토론 및 연수를 진행하였다.

#### ▶ 국내외 학술대회 발표 권장 및 참여 지원

대학원생들의 연구를 자극하고, 연구동향 파악을 위해 국내외 학술대회에 참여를 권장하고 있다. 평가기간동안 국내 100건, 국제 19건의 발표가 있었으며, 참여대학원생에 대하여 국내외 학술발표 14건의 재정적 지원이 있었다.

#### ▶ 우수 성과에 대한 인센티브 제공

수학기산학부 대학원생에게 연구 포스터 발표회 최우수, 우수상 및 인센티브 지급(매학기 6명) 하였고, 참여대학원생 조교 평가하여 최우수, 우수 조교에게 인센티브 성격의 장학금을 추가로 지급하였다.

## 4. 신진연구인력 운용

### 4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

<표 2-7> 교육연구단 신진연구인력 현황

(단위: 명)

구분	신진연구인력 수		
	평가 대상 기간 내 총 인원 수	총 참여 개월 수	1인당 평균 참여 개월 수
박사후 과정생	4	89	22
계약교수	-	-	-
계	4	89	22

#### ① 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

##### A. 우수 신진인력 확보 현황

본 교육연구단은 제안서에서 박사후연구원 4명, 계약교수 2명 내외의 신진연구인력을 채용하여 운영할 계획이었다. 평가기간(2020.09.01.-2023.02.28.) 동안 신진연구인력(박사후 연구원)은 총 4명을 채용하여 운영하고 있다.

##### a1. 공모를 통한 공개모집

채용사이트(연세대학교 수학과 홈페이지, 사람인, 대한수학회, 한국산업응용수학회, 하이브레인넷)를 통해 우수 신진연구인력 채용을 홍보하였으며 많은 지원자 중 강의/연구의 적합성과 우수성을 심사하여 3명의 박사 후 연구원을 채용하였다. 국제적 연구 동향 파악과 영어 세미나의 증진을 위해 해외 신진연구인력 채용에도 노력을 기울였고 데이터 사이언스, 머신러닝 등에서 실전 경험을 갖춘 외국인 신진연구인력 1명을 추가 채용하였다.

##### a2. 우수신진연구 인력 현황

##### ■ 김OO 박사(대수기하학 분야 신진연구인력, 2021년 3월 채용)

김OO 박사는 대수기하학의 Birational Geometry 분야의 전문가인 최성락 교수의 멘토링과 연구단의 지원으로 안정적인 연구 활동을 하고 있다. 특별히 Fano manifold의 K-stable에 대한 연구를 진행하고 있고 최성락 교수의 anticanonical minimal model의 연구와의 연관성에 대해 의논 중이며 새로운 프로젝트를 시작할 계획을 갖고 있다. 이는 멘토링 교수와 비정기적인 연구회의의 결과이며 다른 여러 연구주제를 찾기 위해 지속적인 연구회의를 진행하고 있다. 격주 수요일에 연구단의 지원을 통해 각 분야의 전문가를 초청하여 세미나를 개최하고 있으며 이는 현재 진행 중인 연구에 많은 도움이 되고 있다. 채용된 신진연구인력은 연구뿐만 아니라 강의 능력 향상을 위해 기초과목과 수학 전공과목의 강의 기회를 부여받고 있으며 이를 통해 교육실적을 쌓고 있다. 김OO 박사는 2021년 1학기부터 매 학기 한 과목씩 네 학기에 걸쳐 강의 경력을 쌓았다.

(논문) Alpha invariants of birationally bi-rigid Fano 3-folds I, European Journal of Mathematics vol. 7, pages 272-308 (2021)

(논문) Unstable singular del Pezzo hypersurfaces with lower index, Communications in Algebra, vol. 49, no. 6,

pages 2679-2688 (2021)

(논문) Hodge ideal and spectrum of isolated hypersurface singularities, Annales de l' Institut Fourier, Volume 72, no. 2, pages 465-510 (2022)

(논문) Higher Du Bois singularities of hypersurfaces. Proc. Lond. Math. Soc. (3) 125, no. 3, 543-567 (2022)

(논문) Delta-invariants of complete intersection log del Pezzo surfaces, Proceedings A of the Royal Society of Edinburgh, 게재예정 (2022)

(논문) Log canonical thresholds on Burniat surfaces with  $K^2=6$  via pluricanonical divisors. Taiwanese J. Math. 26 no. 6, 1133-1144(2022)

(논문) Briançon-Skoda exponents and the maximal root of reduced Bernstein-Sato polynomials. Selecta Math. (N.S.) 28, no. 4, Paper No. 78, 15 pp. (2022)

(논문) K-stability of log del Pezzo hypersurfaces with index 2. Internat. J. Math. 33, no. 14, Paper No. 2250070, 46 pp. (2022)

(연구발표) Algebraic geometry and related topics, Sasaki-Einstein 5-Manifolds, Buyeo, Korea, 2022.09.27.

(연구발표) Workshop on Algebraic Geometry in Yeonggwang, Classification of singular del Pezzo surfaces, Yeonggwang, Korea, 2022.08.21.

(연구발표) Workshop on Algebraic Geometry at Muju, Classification of singular del Pezzo surfaces, Muju, Korea, 2022.08.01.

(연구발표) Algebraic geometry and topology workshop 2022 summer, Sasaki-Einstein 5-Manifolds, Wonju, Korea. 2022.07.29

(연구발표) 2022 Algebraic and symplectic aspects in degenerations of complex surfaces seminar, An introduction to K-stability of Fano varieties, ZOOM, 2022.04.15.

(교육) 2021-1학기 : MAT2016 공학수학(3), 2021-1학기 : MAT3102 미분기하(2), 2022-1학기 : SME6502 미분기하, 2022-2학기: SME6557 기하학

(정부연구비) 한국연구재단, 중견연구자지원사업, Fano 다양체의 켈러-아인슈타인 계량의 존재성에 대한 연구 (2021.03.01.-2023.02.28.)

## ■ 이OO 박사(대수기하학 분야 신진연구인력, 2021년 3월 채용)

대수기하학을 전공하는 최성락 교수의 멘토링 아래 안정적인 연구/학술 활동을 할 수 있도록 다방면으로 지원을 하고 있다. 재직기간 동안 우수한 연구를 수행할 수 있도록 멘토링 교수와 비정기적인 연구 회의를 실시하여 연구 결과를 공유하고 토의를 진행하고 있다. 신진연구인력과 멘토링 교수와의 공통된 연구 주제를 찾아서 공동연구도 추진할 계획이다. 또한 채용된 신진연구인력이 원할 경우 전공관련 분야의 기초과목을 강의할 수 있는 기회도 제공하여 교육실적을 쌓을 수 있게 하고 있다. 이OO 박사는 2022년도 1학기에 공학수학(3) 2과목, 2학기 공학수학(4) 2과목을 강의하였다.

(논문) Salem numbers of automorphisms of  $K3$  surfaces with Picard number 4, submitted to the Comptes Rendus Mathématique on 2021. 11. 13. (submitted the revision on 2022. 4. 15.)

(논문)  $K3$  surfaces with infinite dihedral automorphism group, submitted to the Communications in Algebra on 2022. 2. 12.

(논문) Automorphisms of  $K3$  surfaces with Picard number two, submitted to the Bull. Korean Math. Soc. 2022. 5. 30.

(논문) Automorphism groups of some  $K3$  surfaces and Beauville-Bogomolov involutions of their Hilbert schemes, submitted to Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo Series 2 on 2022. 6. 13. (received the reviewer letter on 2022. 7. 29 and under revising process)

(연구발표) Beauville involutions of Hilbert schemes of  $K3$  surfaces, 2021 Workshop on Algebraic Geometry in Gunsan, 2021. 11. 18-21.

(연구발표) Automorphisms of  $K3$  surfaces with Picard number 2, 충남대학교 기초연구실 세미나, 2022. 3. 31.

(연구발표)  $K3$  surfaces with Picard number 2, 고려대학교 세미나, 2022. 5. 17.

(교육) 2022-1학기 : MAT2016 공학수학(3) 2과목, 2022-2학기 : MAT2017 공학수학(4) 2과목

(정부연구비) 한국연구재단, 창의도전 연구과제, 하이퍼케일러 다양체의 자기동형사상 연구  
(2021.03.01.-2023.02.28.)

### ■ 한OO 박사(정수론 분야 신진연구인력, 2021년 3월 채용)

한OO 박사는 보형 형식 표현의 중심 문제 중 하나인 Gan-Gross-Prasad (이하 GGP)예상에 대한 연구를 하고 있다. GGP 예상은 크게 국소적인 문제와 대역적인 문제로 이루어져 있는데, 국소적인 GGP 문제에 대한 논문을 22년 Journal of Number Theory에 출간했고 22년 1월 대역적인 GGP 예상에 관한 논문의 preprint를 arXiv 에 올렸다. 현재는 전남대학교에 있는 김연수 교수와 같이 보다 정밀한 형태의 GGP 예상에 대해 연구하고 있다.

(논문) The local Gan-Gross-Prasad conjecture for  $U(n+1) \times U(n)$ : A non-generic case, Journal of Number Theory, vol 223, page 1-23 (2022),

(연구발표) Automorphic periods of symplectic groups and non-vanishing of twisted central L-values, 유니스트, 2021.10.05

(연구발표) On the non-vanishing of central values of certain automorphic L-functions of  $GL(2n)$ , 2021년도 대 한수학회 정기총회 및 가을 연구발표회 정수론 특별 세션, 2021.10.21

(연구발표) 관동대학교 정수론 초청 강연 “(Local) Converse Theorem”, 2022.12

(정부연구비) 한국연구재단, 보형 표현의 주기와 L-함수의 특수값의 관계에 대한 연구(2021.03.01.-2023.02.28.)

### ■ 돌로OO 박사(기하학 분야 신진연구인력, 2021년 9월 채용)

AI 산업체에서 연구경험을 쌓아온 돌로OO 박사는 홍한솔 교수의 멘토링과 함께 연구단에서 고성능 전산장비를 지원하여 관련분야의 연구를 진행하고 있다. 해당 연구를 통해 또한 전산네트워크를 활용하여 멕시코의 National Polytechnique Institute와 함께 정보과학 (Data Science)에 쓰이는 수학적 알고리즘을 주제로 수학경연대회를 매년 개최하여 수학과 대학원생뿐만 아니라 학부생, 타과 대학원생들에게도 큰 호응을 얻고 있다. 대회에 수상한 학생들에게는 연구단에서 상품을 지원하여 주고 또한 연세대와 멕시코 National Polytechnique Institute과의 연구를 지속적으로 진행할 수 있게 하고 있다.

(논문) An algebra over the operad of posets and structural binomial identities. Bol. Soc. Mat. Mex. 29, 8 (2023)

(Co-organizer) 2022 Competition “Math of data science” between Yonsei University, Korea, and National Polytechnique Institute, Mexico. <https://www.esfm.ipn.mx/encuentro> 2022.03.28.

(Co-organizer) International Meeting on Artificial Intelligence and its Applications Hybrid Meeting I 2022.09.28.

(Co-organizer) Temas avanzados de ciencia de datos, National Polytechnique Institute Mexico. Sponsored by the patrimonial chair Ing. Eugenio Méndez Docurro. 2022.11.14

(Co-organizer) 2023 Competition “Math of data science” between Yonsei University, Korea, and National Polytechnique Institute, <https://www.esfm.ipn.mx/encuentro> 2023. 02. 21

한편, AI 연구에서 얻은 아이디어를 이론수학연구와 접목하여 조합론에서 우수한 연구성과를 내어 저널에 투고한 상태이고, 연구결과에 대해 아래 국제학회에서 발표를 하였다. 해당 연구에 관해서는 위상수학을 전공한 홍한솔 교수와 정기적으로 면담하고 있으며, 공통 관심 영역에 대해 논의하고 지식을 공유하는 연구 세미나를 수차례 개최하기도 하였다.

(Speaker) the AMS Joint Mathematical Meeting special session “Latinx combinatorics” 2022, 6. 5 USA-online <https://meetings.ams.org/math/jmm2022/meetingapp.cgi/Session/3520>

(Speaker) International Algebraic Conference “At the End of the Year 2021”, Virtual posets, shuffle algebras and associators, December 27-28 2021, Kyiv Ukraine-Online. <https://www.imath.kiev.ua/~algebra/algebra2021/program>

(Speaker) Wolfram Technology Conference, New Identities in Combinatorics Discovered with help from Mathematica Software, October 12-15 2021, USA-Online.

- (Speaker) International Algebraic Conference “At the End of the Year 2021” , Virtual posets, shuffle algebras and associators, December 27-28 2021, Kyiv Ukraine-Online.
- (Speaker) 3rd International Conference on Mathematics and Applications (Icomathapp), Order series and some identities of Ramanujan, August 23-24, 2022, Jakarta, Indonesia
- (Speaker) 5th International Meeting on Artificial Intelligence and its Applications RIIAA 2022, Trained in USA and Used in Latin America: Balancing Between Safety and Surveillance of BIPOC Populations with AI, 28-30 September 2022, Mexico-Online.
- (Speaker) Two-Days International Workshop on Recent Developments in Pure and Applied Mathematics, Operads in number theory, October 09-10, 2022, Department of Mathematics, Government College University Faisalabad, Faisalabad Pakistan.
- (Speaker) 55 National meeting of the Mexican Mathematical Society (55 Congreso Nacional de la Sociedad Matemática Mexicana), Los resultados de Ramanujan sobre números Eulerianos y las series de orden, October 23-28 2022, Mexico -online

## B. 신진연구인력 지원 현황

### b1. 안정된 급여 보장을 통한 연구 몰입 연건 조성

4단계BK21 교육연구단 내규에 월300만원 이상 인건비를 지급을 규정(제14조, 신진연구인력)하고 있으며, 본 교육연구단에서는 규정보다 더 많은 월330만원 이상의 안정된 급여(4대보험 포함)를 지급하였고, 멘토 교수의 개인과제에서 추가 지원하여 금전적 부분에서 연구를 방해하는 요인들을 제거하려고 하였다.

### b2. 강의경력 지원

강의를 원하는 신진연구인력에게는 본인의 연구분야와 맞는 학부수업을 진행하게 하여 학생들의 직접 지도하고 강의 실전 경험을 쌓게 하였고 연구만을 원하는 신진연구인력에게는 강의를 강제하지 않는다.

- 김OO 박사 : 2021-1학기 : MAT2016 공학수학(3), 2021-1학기 : MAT3102 미분기하(2),  
2022-1학기 : SME6502 미분기하, 2022-2학기: SME6557 기하학
- 이OO 박사 : 2022-1학기 : MAT2016 공학수학(3) 2과목, 2022-2학기 : MAT2017 공학수학(4) 2과목

### b3. 멘토교수 지정 및 협업 연구

멘토 교수를 지정하여 연구/학술활동을 지원하고 있으며, 각 분야의 전문가 초청 및 세미나 개최를 통해 신진연구인력 연구능력 배양에 힘쓰고 있다.

- 김OO 박사, 이광우 박사 - 최성락 교수
- 한OO 박사 - 기하서 교수
- 돌로OO 박사 - 홍한솔 교수

### b4. 연구환경 조성

BK21 신진연구인력을 위한 연구실을 별도의 공간으로 마련하였으며, 학과의 연구장비 지원, 연구 논의 및 토론 가능한 5군데의 세미나실을 활용하여 멘토교수와 박사후연구원간의 연구활동을 적극적으로 지원하였다.



**b5. 국내의 학술활동 연계 및 지원**

외부 연구자와의 미팅 및 교류 등의 국내의 출장을 가는 경우, 그 경비를 지원함으로써 연구의 질을 높이고 있다. 주로 출장 경비는 BK21 사업비 보다는 멘토교수의 개인연구비에서 지급하고 있다.

**b6. BK21 신진연구인력 세미나 개최**

2년간의 신진연구인력의 연구성과를 확인하기 위해 2023.11.10.에 BK21 박사후연구원 세미나를 개최하였으며 교수와 학생에게 본인 연구를 설명하고 질의응답 시간을 가졌다.



**b7. 자체평가를 통한 연구수당 지급**

매년 1번씩 신진연구인력 활동보고서를 받아 연구 진행 상태를 확인하고, 교육연구단 내규 제14조 제6항에 의거하여 매년 정기적 평가를 받는다. 이 평가 결과는 재계약 및 성과급 지급과 연결된다. 지난 평가에서 전원 재계약을 하면서 더욱 연구에 매진할 수 있도록 환경을 조성하였다.

[참고] 4단계 BK21 연세대학교 수리과학 및 계산 교육연구단 운영내규

<p>제14조(신진연구인력)</p> <p>① 신진연구인력(박사후과정생, 계약교수)의 근무조건 및 임용원칙은 BK21운영지침 제14조(신진연구인력)에 준하며, 채용시행세칙(BK세칙 3)을 마련하여 운영한다.</p> <p>② 채용된 신진연구인력에게 사업비에서 월 300만원 이상을 인건비로 지원하여야 한다.</p> <p>③ 신진연구인력 중 자교 박사학위 취득자는 3분의 2 이내로 한다. 다만 지원 인원이 3명 미만이거나, 자교 박사학위 취득 후 전공분야가 본 교육연구단 전공분야와 다른 경우에는 자교박사학위 취득자로 계산하지 아니한다.</p> <p>④ 신진연구인력의 계약기간은 1년 이상 2년 이내(1차년도 및 8차년도는 6개월 이상 2년 이내)로 하되, 최대 4년까지 계약기간을 갱신 또는 연장할 수 있다.</p> <p>⑤ 계약교수는 본교 ‘비전임교원의 임용 등에 관한 규정’ 제3조의3(강의시수) 제1항에 따라 매주 6시간 이내에서 강의를 수행할 수 있으며, 제2항에 따라 소속기관장의 승인 하에 교외에서 학기당 매주 3시간 이내에서 강의를 수행할 수 있다.</p> <p>⑥ 신진연구인력은 본 내규 제9조(참여교수 평가)에 준하여 매년 정기적 평가를 받는다. 평가용 목록(BK세칙1-별지 서식1)을 신진연구인력 별로 작성하고, 이를 기반으로 교육연구단장이 연구업적 평가표(BK세칙1-별지 서식3)에 평가한다. 평가결과는 성과급 지급 및 재계약여부와 차기년도 연봉에 반영한다.</p>
--

② 우수 신진연구인력의 대표 연구 실적

<표 2-8> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 신진연구인력 대표 연구 실적

연번	구분	성명	참여 시작일	실적구분	대표 연구 실적 상세내용		
1	박사후연구원	김OO	2021.3.1.	저널논문	I-K Kim, S-J Jung, M Saito, Y Yoon		
					Higher Du Bois singularities of hypersurfaces		
					Proceedings of the London Mathematical Society		
					125(3), 543-567		
					202209		
					10.1112/plms.12464		
<p>Du Bois 특이점은 위상적 정보로 정의되는 특이점이다. 높은 연구적 가치로 많은 수학자에게 연구되는 주제이지만 정의의 난해함으로 많은 연구가 Du Bois 특이점의 구별방법에 집중되고 있다. 최근 Mixed Hodge module을 이용하여 Du Bois 특이점에 대한 일반화가 이루어졌다. 따라서 일반화된 higher p-Du Bois 특이점 구별방법에 대한 연구가 이루어져야 한다. Birational geometry 분야에서 많은 연구가 이루어진 여러 특이점과의 비교가 선행 연구이며 특별히 log canonical 특이점의 일반화인 higher p-log canonical 특이점과의 비교는 자연스럽다. 이 논문에서는 이러한 자연스러운 질문에 대해 mixed Hodge module을 사용하여 많은 수학자들이 기대하는 결과인 higher p-Du Bois 특이점과 higher p-log canonical 특이점이 동일함을 얻었다. 또한, micro V-filtration을 이용하여 reduced Bernstein-Sato polynomial을 이용하여 higher p-Du Bois 특이점을 구별할 수 있음을 보였다.</p>							
2	박사후연구원	한OO	2021.3.1.	저널논문	J Haan		
					The local Gan-Gross-Prasad conjecture for $U(n+1) \times U(n)$ : A non-generic case		
					Journal of Number Theory		
					233, 1-23		
					202204		
					10.1016/j.jnt.2021.06.002		
<p>Local Gan-Gross-Prasad 예상은 global Gan-Gross-Prasad 예상의 local 버전으로 rank 가 <math>n+1</math> 인 고전군의 어떤 irreducible admissible representation 파이가 주어졌다고 하자. 그랬을 때, 파이의 정의역을 rank <math>n</math> 인 유니터리 부분군으로 제한시키면 그 표현은 어떠한 rank <math>n</math> 유니터리 군의 irreducible 표현들을 그 sub representation 혹은 quotient로 가질까 하는 질문에서 시작된다. Local Gan-Gross-Prasad 예상은 주어진 representation 이 tempered representation 인 경우에 이 질문에 대해 명확한 답을 주는데, 필자는 이 질문을 주어진 representation 이 non-tempered 일 때에 대하여 연구하였다. 그리고 상당히 많은 non-tempered representation에 대해서 이 질문에 대한 명확한 답을 이 논문에서 제시했다.</p>							
총 신진연구인력 수				박사후과정생	4	제출요구량	1~2
				계약교수	0		
				계	4		

## 5. 참여교수의 교육역량

### 5.1 참여교수의 교육역량 대표실적

<표 2-9> 교육연구단 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여교수명	참여기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	연구자등록 번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
<b>참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성</b>						
1	김병한	20200901~ 20230228		수리논리	학생제안 교과목	
<p>o 학생제안 교과목은 4단계 BK21 추진에 따른 혁신사업의 일환으로 2021학년도 1학기부터 도입하였으며 시대의 흐름에 맞춰 학생들이 원하는 교과목을 직접 제안하고 개설한 과목임.</p> <p>o 과목명 : MAT6000 수리논리학 (2021-1학기) 괴델의 불완전성 정리 증명을 목표로, 명제논리학, 일차 술어 논리를 다루며 튜링기계에 대해 소개하는 내용으로 제안하여 강의를 구성함</p> <p>o 수업 내용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 괴델의 불완전성 정리에 대한 증명, 집합론의 기본 이론을 세운 칸토어의 일생에 대해 학습</li> <li>- IT 시대를 도래하게 한 디지털 컴퓨터의 이론을 제공하고 튜링 기계에 대해 학습함</li> </ul>						
2	박은재	20200901~ 20230228		수치해석	KOCW 강의영상	<a href="http://www.kocw.net/home/search/ke/mView.do?kemId=635662">http://www.kocw.net/home/search/ke/mView.do?kemId=635662</a>
<p>대학원에서 강의하는 수치해석 분야의 이론은 해석학, 편미분 방정식 이론, 함수해석학, 근사함수 이론 등에 기반하고 있다. 다양한 편미분방정식을 다루기 때문에 소볼레프 함수공간 등을 기본 공간으로 하며 엄밀한 수학기론을 다룬다. 또한 영어로 진행되는 강의이므로 이를 쉽게 이해하기 위해서는 다양한 배경지식이 있는 학생들로 하여금 Korea open courseware(KOCW)를 수시로 접속할 수 있도록 하여 어려운 이론을 반복해서 공부함으로써 빨리 습득할 수 있도록 하였다. 수치편미분방정식의 한 학기 정도 분량의 강의 영상이 제공된다.</p>						
3	박은재	20200901~ 20230228		수치해석	리뷰논문	<a href="https://doi.org/10.12941/jksiam.2021.25.066">https://doi.org/10.12941/jksiam.2021.25.066</a>
<p>수치해석을 전공하는 학생들은 해석학, 편미분 방정식 이론, 함수해석학, 근사함수 이론 등을 기본적으로 이수하고, 수치해석, 수치편미분방정식, 유한요소법 등과 연관된 최신의 연구동향 및 임플리멘테이션을 익히는 과정이 필요하다. 최신 유한요소법의 연구를 효율적으로 진행하기 위해 다각형기반 유한요소법에 대한 리뷰논문과 임플리멘테이션 기법을 쉽게 이해할 수 있도록 본 논문을 작성하였다.</p>						

연번	참여교수명	참여기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	연구자등록 번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
<b>참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성</b>						
4	서진근	20200901~ 20230228		연속체역학	산업수학 교과목	
<p>o 과목명 : CSE5003 기계학습을위한수학 (2022-2학기)</p> <p>이 강의의 목적은 머신러닝에서 중요한 수학적 개념을 설명하고, 학생들이 이를 이해하여 기계학습 알고리즘을 이해하고 개발할 수 있도록 하는 것이다. 머신러닝에서 사용되는 기본적인 수학 이론을 제공하고, 영상 분석을 위한 딥 러닝 방법론을 다루며, 학생들이 구체적인 실무 능력을 배양할 수 있도록 지원한다. 또한, 기업 현장에서 근무하고 있는 연구원 및 전문가를 초청하여 특별 자문시간을 제공하였다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 김OO, 답노이드, AI applications in healthcare from the perspective of medical revenue</li> <li>- 박OO, 삼성메디슨, Reinforcement learning for fetal ultrasound</li> <li>- 장OO, HUINNO, AI-based remote monitoring solution for arrhythmia detection</li> <li>- 조OO, 삼성메디슨, Artificial Intelligence for Ultrasound</li> <li>- 김OO, 하나금융융합기술원, Computer Vision (CV) Cell 연구 소개</li> <li>- 김OO, 답노이드, 답노이드 AI-assisted Clinical Decision Support System 소개</li> </ul>						
5	신원용	20200901~ 20230228		기타전자/정보 통신공학	학생제안 교과목	
<p>o 학생제안 교과목은 4단계 BK21 추진에 따른 혁신사업의 일환으로 2021학년도 1학기부터 도입하였으며 시대의 흐름에 맞춰 학생들이 원하는 교과목을 직접 제안하고 개설한 과목임.</p> <p>o 과목명 : CSE9980 그래프학습원리및최근동향 (2022-2학기)</p> <p>최근 그래프 기반 기계 학습 및 데이터 분석에 대한 수요와 관심이 급증함에 따라, 그래프 학습 분야의 전반적인 원리와 그의 최근 동향을 학습하고자 함.</p> <p>o 학습내용</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공신경망 학습 파라미터 초기화 및 정규화 방법론, 에너지 기반 학습 방법론 이해,</li> <li>- 그래프 신경망 및 설명 가능한 인공지능 방법론, 그래프 신경망의 추천 시스템에서의 적용</li> <li>- 그래프에서의 적대적 공격, 대조 학습, 그래프 지식 증류 방법론 등</li> </ul> <p>o 학생활동</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 매주 사전 제시된 주제와 논문에 대해 학생들이 직접 발표 및 토의를 진행함</li> <li>- 기말 프로젝트: 1) 특정 딥러닝/그래프 학습 문제 정의, 2) 문제 해결을 위한 방법론 및 알고리즘 구현 3) 성능 척도를 결정하고 측정 및 분석/해석 수행, 4) 보고서는 ACM Proceedings template으로 최대 4 페이지까지 작성</li> </ul> <p>o 교육효과</p> <p>심화된 내용 이해와 심층 토의를 통해 모든 학생들이 성공적으로 기말 프로젝트를 완료하였으며, 이중 2건의 프로젝트는 top-tier 인공지능분야 학회 (ICML, ACM KDD)에 정리하여 투고할만큼 높은 성과를 도출하였음.</p>						

연번	참여교수명	참여기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	연구자등록 번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
<b>참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성</b>						
6	신원용	20200901~ 20230228		기타전자/정 보통신공학	사회문제해결형 교과목	
	<p>o 과목명 : CSE5013 인공지능이론 (2022-2학기) 그래프 마이닝과 기계학습 분석 툴의 AI 이론, SNS 다양한 응용, 기말 프로젝트 수행을 통한 실세계 사회문제 정의 및 해결을 위한 방법 설계, 최종적으로 성능 검증의 일련 과정을 경험할 수 있게 함</p> <p>o 학습내용 - SNS 분석에 필요한 그래프 마이닝과 기계학습 이론(다양한 실세계 사회문제/해결 방법) - SNS 마이닝 개요, 링크 분석, 커뮤니티 탐지, 영향력 최대화, 추천 시스템 등</p> <p>o 학생활동 - 리딩세션: 사전 제시된 주제와 논문에 대해 2인 1조로 구성, 발표 및 토의 진행 - 정기과제: 수업에서 다룬 이론 및 구현에 대한 문제를 직접 해결 (1~4차 과제 부여) - 기말 프로젝트 : 1) 실제 사회문제 정의, 2) 문제해결 알고리즘 구현, 3) 성능 측정 및 분석 수행</p> <p>o 교육효과 사회문제와 관련한 주제로 주별 수업 내용을 구성하였음. 또한, 모든 수강생들이 수업 시간에 다룬 주제를 활용하여 직접 사회문제를 정의하고 이를 해결하기 위한 방법론을 제안하는 등 성공적으로 기말 프로젝트를 완료하였음</p>					
7	양민석	20200901~ 20230228		해석학	대학원 신규 교과목 개발	
	<p>o 과목명 : SCI5003 적분점근계산 (2022-2학기) 물리적으로 중요한 문제의 해는 종종 적분으로 표현된다. 특히 미분방정식으로 기술된 물리 문제의 해는 많은 경우 적분 변환으로 표현된다. 그러나 많은 경우 적분을 정확하게 계산하는 것은 불가능하기 때문에 근사적인 계산으로 분석해야 하는 경우가 빈번하다. 이 수업에서 적분을 근사적으로 계산하는데 필요한 방법들을 공부한다.</p> <p>o 수업 내용: 1. The Laplace method for Laplace integrals 2. The stationary phase method for Fourier integrals 3. The steepest descent method for complex integrals</p>					
8	윤경호	20220301~ 20230228		수치해석	대학원 신규 교과목 개발	
	<p>o 과목명: CSE5101 고체 및 구조물의 유한요소해석 (2022-1학기) 본 과목에서는 고체와 구조의 선형/비선형 문제에 대한 유한요소해석의 기초를 학습한다. 이 과정은 이론적 기초와 유한요소해석 방법의 적절한 활용, 유한요소해석 절차의 컴퓨터 프로그래밍을 다룬다. 또한, 상용 소프트웨어를 이용한 기계, 토목 및 항공 산업에서 광범위하게 활용되는 실용적인 해석 방법들을 학습한다.</p> <p>o 수업 내용: 1. Matrix structural analysis 2. Principle of virtual work 3. Isoparametric finite element formulation 4. Large displacement kinematics 5. Total lagrangian formulation 6. Dynamic analysis</p>					

연번	참여교수명	참여기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	연구자등록번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
<b>참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성</b>						
9	최성락	20200901~ 20230228		대수기하학	대학원 신규 교과목 개발	
	<p>○ 과목명 : SCI5001 선형대수와 양자 정보입문 (2022-1학기)</p> <p>이 강좌는 양자정보 이론에 관심을 갖고 있는 수학과 대학원생뿐만 아니라 모든 대학원생을 대상으로 하는 입문 강좌이며 2022년 1학기에 개설되었다. 양자정보 이론은 물리학의 양자역학 이론에서 영감을 얻어 정보를 새로운 방식으로 효율적으로 처리하고 전송하는 방법을 연구하는 분야이다. 이 강좌는 양자정보 이론에서 기본적으로 쓰이는 선형대수의 기초지식을 배양하기 위해 개설되었다. 학부수준을 벗어난 대학원 수준의 선형대수 이론을 다뤘으며 양자정보 이론을 이해하기 위해 필요한 다른 수학분야의 기초적인 결과들도 다뤘다. 수강생은 수학과 대학원생 뿐만 아니라 물리학, 통계학, 전자공학, 인지과학을 전공하는 다양한 배경을 가진 학생들로 구성되었으며 이 강좌를 수강하고 더 깊은 내용을 공부하고 싶은 학생들과는 일대일로 진로상담을 진행하였다.</p>					
10	최정일	20200901~ 20230228		유체역학	학생제안 교과목	
	<p>○ 학생제안 교과목은 4단계 BK21 추진에 따른 혁신사업의 일환으로 2021학년도 1학기부터 도입하였으며 시대의 흐름에 맞춰 학생들이 원하는 교과목을 직접 제안하고 개설한 과목임.</p> <p>○ 과목명: CSE7840 물리기반 모델링 및 시뮬레이션2 (2021-2학기)</p> <p>대표적인 전기화학 시스템인 배터리의 작동원리, 열화 및 관리에 대한 이해, 기초적인 물리 기반 배터리 모델링과 시뮬레이션 방법을 배우기 위해 학생이 학습 내용을 제안하여 강의를 구성함</p> <p>○ 수업 내용</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 전기화학 배터리의 작동 방식과 구성 성분 이해</li> <li>2. 등가 회로 모델을 통한 경험적 배터리 모델링</li> <li>3. 마이크로스케일/매크로스케일 물리 기반 모델의 유도과 해석</li> <li>4. 시간에 따른 배터리 거동 이해를 위한 상태 공간 모형 유도 및 해석</li> <li>5. 차원 축소 모형의 필요성,</li> <li>6. 데이터 기반 모델의 필요성,</li> <li>7. 배터리 진단 및 예후를 위한 방법론 정리</li> </ol>					
11	허영미	20200901~ 20230228		수치해석	학생제안 교과목	
	<p>○ 학생제안 교과목은 4단계 BK21 추진에 따른 혁신사업의 일환으로 2021학년도 1학기부터 도입하였으며 시대의 흐름에 맞춰 학생들이 원하는 교과목을 직접 제안하고 개설한 과목임.</p> <p>○ 과목명 : MAT8830 수치해석특강1 (2022-1학기)</p> <p>다른 분야에 응용할 때 필요한 선형대수의 이론을 공부하며, 연관되는 머신러닝 및 딥러닝 모델 및 연구들을 소개하는 내용으로 제안하여 강의를 구성함</p> <p>○ 수업 내용</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 선형대수의 이론 : decomposition, positive definite matrices, eigenvalue location theorems</li> <li>2. 머신러닝 및 딥러닝 모델 및 연구 소개 - Graph theory, Model optimization, approximations</li> </ol>					
<b>총 환산 참여교수 수</b>			21.2		<b>제출요구량</b>	5~11

## 6. 교육의 국제화 전략

### 6.1 교육 프로그램의 국제화 실적

#### ① 교육 프로그램의 국제화 실적

〈교육프로그램의 국제화 계획대비 달성 노력〉

계획(제안서)	실적(2020.09.01.-2023.02.28.)
A. 해외 장단기 연수	호주 UNSW 연수(35일) 1건 캐나다 UBC 연수(16일) 1건 미국 콜롬비아대학 연수(14일) 1건
B. 세미나 워크숍을 통한 교류	Oberwolfach 연구소(독일) 여름학교 참석 Harvard 대학교(미국) 학회 참석 후 연구교류 베를린 대학교(Humboldt-University of Berlin) 방문학생 초청 세미나 베를린 대학교(Humboldt-University of Berlin) NA 팀과 줌미팅
C. 해외학자 활용	집중강연자 리스트 Isaac Goldbring 교수 (UC Irvine, 미국) Itzhak Fouxon 교수 (Ben Gurion University, 이스라엘) Hyunchul Park (SUNY New Paltz, 미국) Jiri Neustupa 교수 (Czech Academy of Sciences, 체코) Michel van Garrell 교수 (Birmingham 대학교, 영국) David Burns(King' s College London, 영국) Sarka Necasova 교수 (Czech Academy of Sciences, 체코) Hideyuki Miura 교수 (Tokyo Institute of Technology) Weiwei Wu 교수 (University of Georgia, 미국) Carsten Carstensen 교수 (Humboldt University of Berlin, 독일) Takahiro Okabe 교수 (Osaka University, 일본)
D. 우수대학원생 확보	중국 Ocean 대학, 몽골과학기술대학(MUST) 등 다수 확보

#### A. 해외 장·단기 연수

##### (1) 호주 University of New South Wales (UNSW) 해외연수(35일)

박OO 참여대학원생은 2023.01.15.-2023.02.19.(35일) 일정으로 호주 University of New South Wales (UNSW)에 방문하여 Xin Cao 교수 연구진과 그래프 학습 모델을 활용한 다 기준 추천 모델에 대한 심층 연구를 진행하였다. 국제적 연구 문화 학습 및 경험을 통한 글로벌 리서치 경쟁력 강화와 해외 연구자와의 교류를 통한 글로벌 리서치 네트워크를 구축하였다.

##### (2) 캐나다 University of British Columbia 대학 해외연수(16일)

서OO 참여대학원생은 2023.01.14.-2023.01.29.(16일) 일정으로 캐나다 밴쿠버 University of British Columbia 대학 수학과 김영헌 교수를 방문하여 연구에 대해서 조언을 받았으며, UBC DG + MP + PDE Seminar에서 “A gradient flow for the Porous Medium Equations with Dirichlet boundary condition” 제목으로 연구주제 발표하였다.

### (3) 미국 콜롬비아 대학(Columbia University) 해외 연수(14일)

김OO, 김OO 참여대학원생은 2023.01.28.-2023.02.10.(14일) 일정으로 세계적 석학인 Qiang Du 교수가 이끄는 Columbia University의 Computational Mathematics and Multiscale Modeling (CM3) research group을 방문하여 연구 동향 및 기법을 배우고 공통의 관심 주제에 대한 학술적 교류와 공동연구 가능성을 논의하였다. 또한, 서OO 박사후연구원과 Agent-based model for Malaria, Cost-effectiveness analysis of Herpes Zoster vaccination, Predicting the impact of control strategies on the Malaria burden in North Korea 등의 주제에 대하여 해결이 필요한 이슈들을 중심으로 토의하고 진행 방향을 수립하였다.

## B. 세미나 및 워크숍을 통한 인적 교류

### (1) Oberwolfach 연구소(독일) 여름학교 참석

일시 및 학회명 : 2022.06.05.-2022.06.11. Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach

김OO 학생은 수리생물 모델인 Keller-Segel 방정식에 대한 해의 특성을 밝히고자 하는 연구를 진행하였는데 독일 Oberwolfach 연구소에서 개최된 쾰름스쿨에 참석하여 연구주제 발표하고 초청강연자들의 집중강연에 참석하였다. The model classes involving various kinds of taxis in the context of cell migration, in particular, haptotaxis models for cancer invasion with degenerate diffusion에 대한 새로운 경험을 하였고, taxis-driven singularity formation에 대해 깊이 이해하게 되었다.

### (2) Harvard 대학교(미국) 학회 참석 후 연구교류

김OO, 진OO 박사과정생은 미국에서 개최된 학회(Representation Theory, Calabi-Yau Manifolds, and Mirror Symmetry 2022.11.28.-2022.12.01)에 참여하고, Boston 대학교의 Yu-Shen Lin 교수, Siu-Cheong Lau 교수와 공동연구를 진행하는 한편, Harvard 대학교 Tsung-Ju Lee 연구원과 연구교류를 하였다.

### (3) 베를린 대학교(Humboldt-University of Berlin, 독일) 방문학생 초청 세미나

일시 및 장소 : 2020.09.23. 연세대학교 첨단관 615호

방문학생인 Emilie Pirch의 연구주제 A modified HHO method and its implementation에 대한 발표가 주를 이루었으며, 대학원생들(신OO, 김OO, Do OO, 이OO)의 관심 분야 및 연구주제를 관련지어 관점을 달리하여 해석해보는 등 다양한 논의를 진행하였다. 특히 이상희 학생과의 공동연구 방향성을 설정하여 2020-2학기 공동연구 진행을 위한 발판을 마련하였다.

### (4) 베를린 대학교(Humboldt-University of Berlin, 독일) Numerical Analysis 팀과의 zoom meeting

일시 및 장소 : 2020.11.25, online zoom meeting

베를린 대학교 NA team-seminar에 초청받아 이OO 대학원생이 그 구성원 Emilie Pirch와 공동 발표를 진행하였다. 두 학생은 공동연구 주제를 메인으로 각자의 연구주제와 연결하여 소개하고, 격식을 벗어나 보다 자유로운 분위기 속에서 질의응답 진행하였으며, 두 학과는 향후에도 대학원생 주도의 연구교류를 지속하기를 기대하고 있다.



C. 해외학자(전임교수, 초빙교수, 객원교수 등 포함) 활용

(1) Isaac Goldbring 교수 (UC Irvine, 미국)

2022.01.15.-2022.02.23. 매주 수요일 8회에 걸쳐 모델론 관련하여 줌 집중강연  
모델론과 operator algebra, quantum information theory와 연계되는 강의

(2) Itzhak Fouxon 교수 (Ben Gurion University, 이스라엘)

2022.04.21. 난류와 입자에 대한 zoom 온라인 집중강연 및 대학원생과 토론  
2022.06.02. 액적 거동에 대한 zoom 온라인 집중강연 및 대학원생과 토론

(3) Hyunchul Park 교수(SUNY New Paltz, USA)

2022.05.27, 2022.05.30, 2022.06.02, 대학원생 대상 확률미분방정식 기초에 대한 3회 집중강연

(4) Jiri Neustupa 교수 (Czech Academy of Sciences, 체코)

2022.09.19. 2022.09.20. 총 2회에 걸친 수리유체역학 관련 집중강연

(5) Michel van Garrell 교수 (Birmingham 대학교, 영국)

2022.09.26. 1시간씩 2회의 대수기하 및 열대기하 관련 집중강연 및 1시간 동안 대학원생과 집중토론

(6) David Burns(King' s College London, 영국)

2022.10.26., 2022.10.27. 참여대학원생이 콜만 가설과 카토의 다마가와수 가설에 대한 논문의 세부적 계산을 완성을 목표로 2회 집중강연

(7) Sarka Necasova 교수 (Czech Academy of Sciences, 체코)

2022.11.29. 총2회에 걸친 수리유체역학 집중강연, 30분간 토론 및 연구 자문

(8) Hideyuki Miura 교수 (Tokyo Institute of Technology, 일본)

2022.12.07. 70분씩 2회에 걸쳐 편미분방정식의 폭발해에 대하여 대학원생에게 집중강연

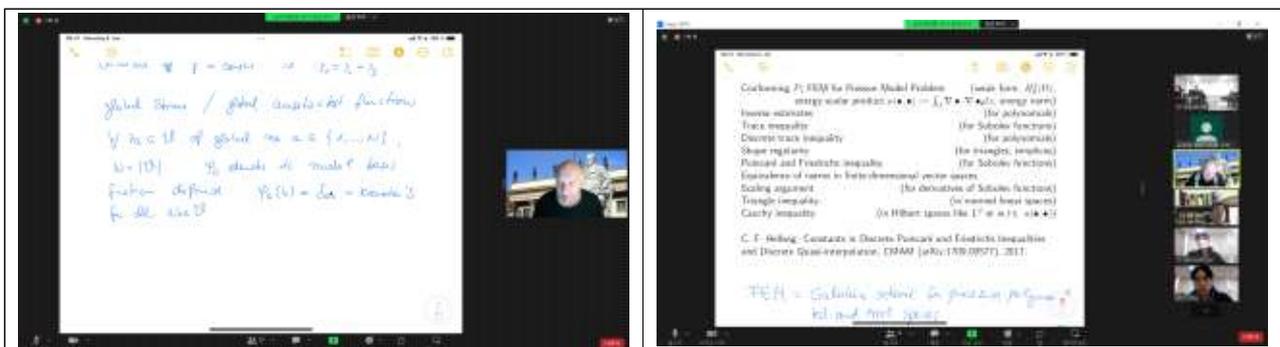
(9) Weiwei Wu 교수 (University of Georgia, 미국)

2022.12.20. 2시간 동안 사교기하학에 관한 집중강연 및 1시간 대학원생들과 집중토론

(10) Carsten Carstensen 교수 (Humboldt University of Berlin, 독일)

2023.02.08.-2023.02.17.(8일간) 대학원생에게 adaptive FEM에 관하여 강의함

(제목: Primer on adaptive finite element methods)



(11) Takahiro Okabe 교수 (Osaka University, 일본)

2023.02.20., 2023.02.22. 대학원생 대상 나비어-스톡스의 Decay 문제 해결 결과 관련 2회 집중강연

#### D. 우수 외국인 학생 유치 현황

본 교육연구단은 중국 Ocean 대학, 몽골과학기술대학(MUST) 등으로부터 학생을 추천받아 외국인 신입생으로 선발해 오고 있다. 또한, 정부초청장학생 및 민간외국인초청장학생 제도 등을 통해 우수 외국인 학생을 유치하려고 노력하고 있다.

외국대학 추천 신입생	Dorlgjav (MUST, 몽골) - 2021-1학기 입학 ULZII (MUST, 몽골) - 2021-2학기 입학 Yu (Ocean U, 중국) - 2021-2학기 입학
현대차 정몽구 글로벌 장학사업	TAN (말레이시아) - 학부 졸업 연기로 입학취소(코로나19)
정부초청외국인 장학생	TSOY (카자흐스탄) - 2022-1학기 입학
외국인 특별 장학생	CARTY (아일랜드) - 2021-2학기 입학

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 실적

<표 2-10> 참여대학원생 국제공동연구 실적

연번	공동연구 참여자			상대국/소속기관	연구주제	연구기간 (YYYYMM-YYYYM M)
	교육연구단		국외 공동연구자			
	참여 대학원생	지도교수				
1	박OO	신원용	Xin Cao	호주/The Univ of New South Wales	그래프 신경망을 활용한 추천 시스템 설계 연구	202301-202302
2	서OO	강경근	Young-Heon Kim	캐나다/The Univ of British Columbia	Optimal Transport 이론을 활용한 ‘nonlinear diffusions involving Dirichlet boundary conditions’	202301-202301
3	김OO, 김OO	이지현	Qiang Du	미국/Columbia Univ	Computational Mathematics and Multiscale Modeling(CM3) research group의 연구 동향 및 기법 학습	202301-202302
4	김OO	김정훈	Jiling Cao; Wenjun Zhang	뉴질랜드/Aucklan d Univ of Technology	A Mellin transform approach to pricing barrier options under stochastic elasticity of variance	202201-202210
5	송OO	김준일	Mitrius Mirek; James Wright	미국/Rugers, 영국/Edinburgh	Multi-parameter Ergodic Theorem	202210-202302
6	조OO	양민석	Jiri Neustupa	체코/Czech Academy of Sciences	A Liouville-type theorem for the stationary MHD equations	202209-202302
7	이OO	최성락	Joaquin Moraga	미국/UCLA	Complexity라는 개념을 이용하여 toric 다양체 또는 사영다양체를 판별하는 방법	202207-202208
8	김OO	홍한솔	Yu-Shen Lin	미국/Boston University	Calabi-Yau Manifolds, and Mirror Symmetry	202211-202212
9	김OO	박은재	Lina Zhao	City Univ of Hong Kong	Staggered DG for biharmonic equations	202009-202202
10	김OO	박은재	Lina Zhao	City Univ of Hong Kong	Staggered DG for fractured media	202009-202106
11	김OO	최정일	Xiang Sun	Ocean Univ of China	Recurrent Neural Network (RNN) 기반 예측 기술의 고도화를 위해 Gaussian Process Regression 응용	202009-202106

## <참여대학원생 공동연구 내용>

### (1) 박OO : The University of New South Wales 해외연수 (2023.01.15.-2023.02.19. 35일)

박OO 참여대학원생은 Xin Cao 교수 (The University of New South Wales) 연구팀과 “그래프 신경망을 활용한 다 기준 추천 시스템 설계”에 대한 공동연구를 수행하였다. 2022년 8월부터 2022년 12월까지 온라인 (이메일, 화상회의)을 통해 문제 정의 및 방법론에 대해 논의하였고, 2023년 1월부터 2월까지 5주간 박OO 대학원생이 해당 대학 연구팀에 파견되어 긴밀하게 실험 검증 및 분석 작업을 수행하였다. 연구 결과물은 데이터사이언스 최우수국제학술대회인 ACM KDD에 투고되어 현재 심사 중이다.

- J.-D. Park, S. Li, X. Cao, and W.-Y. Shin, “Criteria tell you more than ratings: Criteria preference-aware light graph convolution for effective multi-criteria recommendation,” ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery & Data Mining (under review).

### (2) 서OO : University of British Columbia 해외 연수 (2023.01.14.-2023.01.29., 16일)

서OO 참여대학원생은 캐나다 밴쿠버 University of British Columbia 대학 수학과 김영헌 교수를 2023년 1월에 방문하여 일반적인 경계조건을 가진 열방정식 및 porous medium 방정식에 대해서 gradient flow 관점에서 Wasserstein metric을 만들어 내고자 공동연구를 진행하고 있다.

### (3) 김OO, 김OO : 콜롬비아 대학교(Columbia University, 미국) 해외 연수 (2023.01.28.-2023.02.10., 14일)

김OO, 김OO 참여대학생이 세계적 석학인 Qiang Du 교수가 이끄는 Columbia University의 Computational Mathematics and Multiscale Modeling (CM3) research group을 방문하여 연구 동향 및 기법을 배우고 공통의 관심 주제에 대한 학술적 교류와 공동연구 가능성을 논의하였다. 또한, 서OO 박사후 연구원과 Malaria 및 vaccination에 대한 주제들에 관해 해결이 필요한 이슈들을 중심으로 토의하고 진행 방향을 수립하였다.

### (4) 김OO : Auckland University of Technology의 Jiling Cao 및 Wenjun Zhang 교수와 공동연구

김OO 참여대학원생은 지도교수인 김정훈 교수와 함께 온라인을 통해 뉴질랜드의 오클랜드공과대학 (Auckland University of Technology) 수학과 Jiling Cao 교수 및 Wenjun Zhang 교수와 공동으로 10개월간(2022.01.01-2022.10.20) 확률탄성모형하에서 배리어옵션의 공정가격결정에 대한 국제공동연구를 수행하여 그 결과를 저널 Applied Stochastic Models in Business and Industry에 투고, accept되어 현재 온라인 출판된 상태이다.

- H-G. Kim, J. Cao, J-H. Kim, W. Zhang, A Mellin transform approach to pricing barrier options under stochastic elasticity of variance, Appl. Stoch. Models. Bus. Ind., 39(2), pp.160-176, 2023

### (5) 송OO : Rutgers 대학의 Mirek 교수, 영국 Edinburgh 대학의 Wright 교수와 공동연구

송OO 참여대학원생은 2022년 10월부터 현재까지, 미국 Rutgers 대학의 Mirek교수 그리고 영국 Edinburgh대학의 Wright교수와 함께, Multi-parameter Ergodic정리를 만드는 공동 연구를 온라인으로 진행하였다. 2023년 2월에는 Bello-Furstenberg 등이 1980년대부터 제시한 문제의 Commutative 최종버전을 만들어 내었다. 연구 방법론은 송OO 학생과 김준일 교수의 논문 Discrete Double Hilbert transform along polynomial surface에서 만들어낸 선행 연구 방법과 두 해외 교수의 최근 이론을 연결시킨 것이다. 특히 송OO 학생이 제시한 Takeya Method는 이들의 이론과 결합하여 어려운 상황을 돌파하는 주요 도구가 되었다. Mirek과 Wirght은 조화해석학 분야의 석학 교수들이다.

### (6) 조OO : Czech Academy of Sciences의 Jiri Neustupa 교수와 공동연구

조OO 대학원생은 지도교수인 양민석교수와 함께 Jiri Neustupa 교수와 공동연구를 수행하였다. 리우빌

정리를 주제로 수리유체역학에서 중요하게 다루는 모델들의 해가 자명해만 가질 수밖에 없음을 보여주는 조건들을 연구하였다. 현재 국제저명학술지에 2편을 투고하였고 1편은 투고 준비 중이다. 이 주제로 심화된 추가연구를 진행하고 있다.

- A Liouville-type theorem for the stationary MHD equations
- On Liouville type theorems for the stationary Navier Stokes equations, the stationary MHD equations and the Hall MHD equations
- On Liouville type theorems for the stationary MHD equations and the stationary magneto-micropolar fluids

**(7) 이OO : UCLA의 Joaquin Moraga 교수와 공동연구**

UCLA의 Joaquin Moraga 교수가 2022년 3월에 최성락 교수의 지도학생인 이OO 박사과정생의 논문을 읽고 피드백을 주었으며 이를 계기로 공동연구를 시작하게 되었다. Complexity라는 개념을 이용하여 toric 다양체 또는 사영다양체를 판별하는 방법을 Moraga교수가 개발하였는데 이것을 일반화한 결과를 이대원학생이 증명하였다. 이OO 학생의 결과를 더욱더 일반화하기 위해 Moraga 교수와 공동연구를 진행하였다.

**(8) 김OO : Boston 대학교의 Yu-Shen Lin 교수와 공동연구**

김OO 학생은 미국 Boston 대학교의 Yu-Shen Lin교수, Sidharth Soundararajan 박사과정생과 함께 wall-crossing 현상으로부터 호몰로지 거울대칭 가설의 두 범주를 긴밀하게 연결하는 프로젝트에 대한 공동연구를 진행하고 있다. 해당 연구는 복잡한 미분기하적 현상을 효율적인 조합론적 방법론을 이용하여 분석함으로써 거울대칭 가설을 공략하려는 새로운 시도이다.

**(9) 김OO : City University of Hong Kong의 Lina Zhao 교수와 공동연구**

Lina Zhao 교수(City University of Hong Kong)는 18개월간 (2020.09.01.-2022.02.28.) 온라인을 통하여 박은재 교수의 지도학생인 김OO 대학원생과 공동연구를 수행하였다. Biharmonic 문제에 대한 Staggered DG 방법을 연구하였으며, 그 결과는 국제저명학술지에 출간되었다. 또한, 탄성학 문제 등에 관한 추가연구를 진행 중이다.

- L. Zhao, E-J Park, W. Kim, A staggered cell-centered DG method for the biharmonic Steklov problem on polygonal meshes: a priori and a posteriori analysis. *Comput. Math. Appl.* 117 (2022), 216-228.

**(10) 김OO : City University of Hong Kong의 Lina Zhao 교수와 공동연구**

Lina Zhao 교수 (City University of Hong Kong)는 10개월간 (2020.09.01.-2021.06.30.) 온라인을 통하여 박은재 교수의 지도학생인 김OO 대학원생과 공동연구를 수행하였다. 크랙이 존재하는 다공성 물질을 통과하는 Darcy flow 및 Navier-Stokes equations에 대한 연구를 진행하였으며, 그 결과는 국제저명학술지에 출간되었다. 또한, Boussinesq problem 등 여러 모델에 관한 추가연구를 진행 중이다.

- L. Zhao, D. Kim, E-J Park, Staggered DG Method with Small Edges for Darcy Flows in Fractured Porous Media. *J Sci Comput* 90, 83 (2022)

**(11) 김OO : Ocean University of China의 Xiang Sun 교수와 공동연구**

Xiang Sun 교수 (Ocean University of China)는 6개월간 (2020.09.01.-2021.06.30.) 온라인을 통하여 최정일 교수의 지도학생인 김OO 대학원생과 공동연구를 수행하였다. 배터리 상태 추정 관련 기존 Recurrent Neural Network (RNN) 기반 예측 기술의 고도화를 위해 Gaussian Process Regression 응용에 대해 이론 및 실증연구를 수행하였으며, 관련 연구결과를 국제저명 학술지에 게재하였다.

- X. Sun, S. Kim, J.-I. Choi, Recurrent neural network-induced Gaussian process, *NEUROCOMPUTING*, Vol.509, pp.75-84, 2022

## 6.2 외국인 교수 현황과 역할

### 가. 외국인 교수 현황

본 교육연구단에서는 외국인 교수 채용을 위해 다방면으로 노력을 하고 있으나, 4단계BK21 사업 시작 시점부터 외국인 전임교수 없이 사업을 진행하고 있다. 외국인 겸직교수 1명을 초빙하여 참여교수와의 연구, 대학원생에 대한 세미나 및 공동연구 등의 역할을 진행하고 있다.

- (겸직교수) Itzhak Fouxon, Ben Gurion University, Israel

#### ■ 겸직교수의 교육활동

▶ Dr. Fouxon (Ben Gurion University, Israel) 대학원생을 위한 특강

- (2022.06.02.) Intermittency and collisions in turbulence, 온라인 진행
- (2022.04.21.) Levitation of particles in fluids near oscillating walls, 온라인 진행

### 나. 외국인 교수 부재에 대한 보완 방안

현재 본 교육연구단에는 외국인 전임교수가 소속되어 있지 않지만, 교과 강의 및 연구지도에서 외국인 교수가 담당할 수 있는 역할을 해외학자의 집중강연 및 해외연수, 공동연구 진행, 다수의 외국어 강의 개설 등 대안을 통해 보완해 나가고 있다.

#### ■ 해외학자 집중강연

본 교육연구단에서는 해외학자를 초빙하여 대학원생들이 전문적 지식 및 최신 전공 지식을 습득할 수 있도록 집중강연을 실시하였다.

- ▶ Isaac Goldbring (UC Irvine, USA) 2022.01.15.~02.23 매주 수요일 8회 (쭈 집중강연)  
내용 : The Connes Embedding Problems, MIP\*=RE, and Model Theory
- ▶ Itzhak Fouxon 교수 (Ben Gurion University, 이스라엘) 2022.04.21., 2022.06.02. (2회)  
내용: 대학원생 대상 난류와 입자, 액적 거동 관련 2회 집중강연
- ▶ Hyunchul Park (SUNY New Paltz, USA) 2022.05.27., 2022.05.30., 2022.06.02. (3회)  
내용 : Construction of Brownian motions, Ito calculus/Ito theorem, Stochastic differential equations
- ▶ Jiri Neustupa(Czech Academy of Sciences) 2022.09.19. 2022.09.20. (2회)  
내용 : On the Role of Pressure in Theory of the Navier Stokes Equations and MHD Equations
- ▶ Michel van Garrell 교수 (Birmingham 대학교, 영국) 2022.09.26. (2회 강연 및 집중토론)  
내용 : 강연1-Mirror symmetry as toric duality, 강연2-Log mirror symmetry
- ▶ David Burns (King' s College London) 2022.10.26., 2022.10.27. (2회)  
내용 : Distributions with or without congruences
- ▶ Sarka Necasova (Czech Academy of Sciences) 2022.11.29., 2022.11.29. (2회)  
내용 : Mathematical analysis of the motion of fluids and application to fluid structure interaction

On the Role of Pressure in Theory of the Navier Stokes Equations and MHD Equations

- ▶ Hideyuki Miura (Tokyo Institute of Technology) 2022.12.07. (2회)  
내용 : Blow up behavior of solutions to a semilinear heat equation I and II
- ▶ Weiwei Wu (University of Georgia) 2022.12.20. (2회)  
내용 : Symplectic Torelli Groups for Positive Rational Surfaces I and II
- ▶ Carsten Carstensen (Humboldt-Universität zu Berlin, Germany) 2023.02.08.~2023.02.17.(8일) 집중강연  
내용: Primer on adaptive finite element methods
- ▶ Takahiro Okabe(Osaka University) 2023.02.20., 2023.02.22. (2회)  
내용 : Control of the Navier-Stokes flow by external force I

■ 해외석학들과 연계 및 교류

참여대학원생들은 지도교수와 공동연구를 진행하는 해외학자들로부터 연구지도를 받으며, 우수한 결과를 논문에 게재하거나 현재 논문 작성중에 있다.

- 박OO : The University of New South Wales 해외연수 (2023.01.15.-2023.02.19. 35일)
- 서OO : University of British Columbia 해외연수 (2023.01.14.-2023.01.29., 16일)
- 김OO, 김OO : 콜롬비아 대학교(Columbia University, 미국) 해외 연수 (2023.01.28.-2023.02.10.,14일)
- 김OO : Auckland U of Tech.의 Jiling Cao 및 Wenjun Zhang 교수와 공동연구
- 송OO : Rutgers 대학의 Mirek 교수, 영국 Edinburgh 대학의 Wright 교수와 공동연구
- 조OO : Czech Academy of Sciences의 Jiri Neustupa 교수와 공동연구
- 이OO : UCLA의 Joaquin Moraga 교수와 공동연구
- 김OO : Boston 대학교의 Yu-Shen Lin 교수와 공동연구
- 김OO : City University of Hong Kong의 Lina Zhao 교수와 공동연구
- 김OO : City University of Hong Kong의 Lina Zhao 교수와 공동연구
- 김OO : Ocean University of China의 Xiang Sun 교수와 공동연구

■ 대다수 과목의 영어 강의 개설

본 교육연구단에서 개설되는 교과목 대다수는 영어로 운영되고 있다. 수학교산과학부에서는, 글로벌 전문가 양성과 해외의 우수 인재 확보 및 지도를 위해 평가기간(2020.09-2023.02) 개설 과목 중 평균 81.4%의 강의를 영어로 진행되었으며 이는 사업신청서 작성 당시 평균 72.4%보다 크게 증가한 수치이다. 따라서 외국인 교수가 없는 점을 일부 보완할 수 있었다.



2020-2학기 : 81.8% (영어 18 / 전공 22)

2021-1학기 : 84.6% (영어 22 / 전공 26)

2021-2학기 : 78.6% (영어 22 / 전공 28)

2022-1학기 : 87.5% (영어 21 / 전공 24)

2022-2학기 : 75.9% (영어 22 / 전공 29)

4단계 BK21 사업

### Ⅲ. 연구역량 영역

### Ⅲ. 연구역량 영역

#### 1. 참여교수 연구역량

##### 1.1 연구비 수주 실적 (별도 제출/평가)

##### 1.2 연구업적물

① 참여교수 대표연구업적물의 우수성 (별도 제출/평가)

② 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성 (별도 제출/평가)

③ 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 10년)

<표 3-4> 최근 10년간 교육연구단의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물

연번	대표연구업적물 설명
1	<p><b>대표업적: 비가환 호몰로지 거울사상 (홍한솔 교수)</b>  <b>논문 : Noncommutative Homological Mirror Functor, Memoirs of the American Mathematical Society, 202105</b></p> <p>거울대칭가설은 사교기하와 복소기하간의 쌍대성을 예측함으로써, 많은 후속 연구들을 자극하였다. 1994년 세계수학자대회(ICM)에서 Kontsevich는 사교기하와 복소기하를 이용하여 범주라는 대수적 구조를 만들고 이들 범주들을 비교해야 한다고 제창하였다. 사교기하의 정보는 푸카야 범주라는 구조 안에 담기게 되는데, 이 푸카야 범주의 핵심이 본 논문의 주요한 도구 중 하나인 라그랑지안 플로어 이론이다. Fukaya-Oh-Ohta-Ono, Seidel 등이 엄밀히 정립된 라그랑지안 플로어 이론은 사교다양체 안의 가장 중요한 부분다양체인 라그랑지안들이 어떻게 서로 교차하는지를 살펴봄으로써 사교다양체의 위상적 성질을 규명한다. 라그랑지안 플로어 이론은 라그랑지안에 경계가 놓은 복소곡면들의 흥미로운 축퇴 행동을 분석함으로써 풍부한 대수구조를 가진 사교다양체의 강력한 불변량을 주는데, 이들을 일괄하여 푸카야 범주를 얻는다.</p> <p>Strominger-Yau-Zaslow(SYZ)가 예측한 바에 따르면 주어진 사교다양체에 대해 이 다양체의 거울복소다양체는 라그랑지안 원환체들이 (미분)기하학적으로 변형되는 것을 매개화하는 공간으로 주어진다. 라그랑지안 원환체들이 변형되면서, 그 모양이 매끄럽지 않게 될 경우가 많이 발생하여 대개는 매개공간을 매우 복잡한 방식으로 교정해주어야 한다. 본 논문이 제시하는 새로운 아이디어는 라그랑지안의 기하적 변형 대신, 플로어 이론이 주는 대수구조의 호몰로지 대수적 변형을 분석하는 데 있다. 특히 플로어 이론의 변형이론이 가진 풍부한 대수구조를 이용하여, 거울다양체를 비가환 기하학적 대상으로 보다 추상화할 수 있는 새로운 방법론을 제시하였다. 또한 본 논문에서 개발된 거울건설 이론이 거울대칭의 두 범주를 연결하는 거울 사상을 자연스럽게 제공함을 이용하여, 다양한 사례에서 흥미로운 거울대칭현상을 관찰, 증명하였다.</p> <p>앞서 논의된 바와 같이, 가장 널리 알려진 거울다양체의 건설이론은 매우 복잡한 교정과정을 수반하며 아직 사교기하학적으로 완전히 정립되지 못하였다. 본 논문이 제시하는 방법론은 국소거울다양체를 호몰로지 대수적 변형이론을 통해 자연스럽게 건설해 줄 뿐 아니라, 대수적 접근법의 유연성으로 다양한 응용가능성을 내재한다. 또한, 호몰로지 거울대칭을 증명하기 위한 거울사상을 자동적으로 수반하여, 거울대칭을 연구할 수 있는 매우 효율적인 도구를 제공한다. 특히 통상의 가환공간을 벗어나 비가환적인 방향으로의 변형이론을 생각하는 혁신적 사고의 전환을 통하여, 기존에는 가용한 변형의 폭이 좁아 다루지 않았던 라그랑지안들이 거울대칭에서 중요한 역할을 수행하고 있음을 새롭게 발견하였다.</p> <p>한편, 비가환 다양체는 매우 신비로운 기하적 대상으로 콤팩트 표현론, 양자화 등 다양한 분야와 밀접히 연관되어 있으나, 통상의 기하적 직관으로 이들을 상상하고, 연구하는데 다소 어려움이 있다. 본 논문의 연구는 비가환적인 기하대상이 가지고 있는 추상적 성질들을 거울대칭의 입장에서 사교다양체의 기하로 번역하여 이해할 수 있는 도구를 제공함으로써, 양측 기하학이 상호 소통하고 시너지를 일으킬 수 있는 기틀을 마련하였다. 예를 들어, 가장 간단한 곡면들의 라그랑지안 플로어 이론을 비가환적으로 변형하는 경우에도, Sklyanin algebra, Poisson 구조의 deformation quantization 등 중요한 비가환 대수들이 얻게 됨을 구체적인 계산을 통하여 확인하였고, 이를 거울대칭의 큰 틀에서 자연스럽게 해석할 수 있는 방법을 찾아내었다.</p> <p>해당 연구결과물의 출판 저널인 Memoirs of the American Mathematical Society (IF=2.808, 수학 분야 상위 4.2%)는 장편 논문이 출판되는 권위 있는 저널이다. 또한, 본 연구결과는 학계에서 인정받아 2023년 대한수학회 논문상을 수상하였다.</p>

연번	대표연구업적물 설명
2	<p><b>대표업적: 입자방정식에서 유체방정식으로의 평균장 극한 (최영필 교수)</b>  <b>논문 : Mean-field limits: from particle descriptions to macroscopic equations, Archive for Rational Mechanics and Analysis, 2021</b></p> <p>본 연구에서는 수리생물, 공학, 물리학 등의 다양한 분야의 모델링에 자주 이용되는 개체들의 비국소적(nonlocal) 비선형(nonlinear) 상호작용을 고려한 Newton 방정식 형태의 입자 방정식에서 입자의 수가 무한히 증가할 때 압력이 없는 오일러 방정식으로 수렴한다는 것을 정량적으로 해석했다. 주어진 Newton 형태의 방정식은 개체들의 거리의 의존하는 인력과 척력에 관한 항과, 속도의 정렬에 관한 항이 비선형하고 비국소적으로 주어진 일반적으로 active matter를 기술하는 수학적 모델링이다. 한편 이러한 Newton 방정식의 차원을 고려하면 개체의 수를 <math>N</math>이라고 하고, 차원을 <math>d</math>라고 하면, 시간의 차원을 포함하여 <math>2dN+1</math>을 갖는다. 따라서 차원이 크고, 개체의 수가 많은 경우를 고려한다면 주어진 방정식의 직접 고려하는 것은 불가능하다. 이는 차원의 저주(Curse of dimensionality)라고 불리며 이러한 복잡도(complexity)를 줄이는 것은 매우 중요한 문제이다. Newton 형태의 방정식의 개체들의 상호작용 함수가 좋은 정칙성(regularity)을 갖는 경우에는 입자방정식에 Vlasov 형태의 기체동역학 방정식을 엄밀하게 유도하는 연구결과가 있으며 이때의 차원은 <math>2d+1</math>로 줄어들게 된다. 더 나아가 거시적 관점에서의 관찰 가능한(macroscopic observables) 함수를 고려하여 유체방정식을 형식적으로 유도할 수 있는데, 이때의 유체방정식의 차원은 <math>d+1</math>이 된다. 따라서 입자방정식의 차원과 비교했을 때, 문제의 복잡도 많이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이러한 입자방정식, 기체동역학방정식, 유체방정식의 관계를 엄밀하게 해석하는 것은 힐베르트의 6번째 문제와 관련이 깊다.</p> <p>이 논문에서는 위에서 언급한 Newton 형태의 방정식의 해와 압력이 없는 Euler 방정식의 해의 차이를 정량적으로 해석하는 연구를 진행했다. 특히, 입자방정식, 유체방정식의 해를 통해 구성된 단일 동역학 분포(mono-kinetic distribution)이 스케일 관점에서 두 방정식의 사이에 있는 기체동역학방정식의 해가 분포적인 관점(distributional sense)에서 된다는 것을 관찰했다. 이를 통해 해의 차이가 초기치의 적절한 조건하에서 입자의 수가 무한히 증가할 때, 0으로 수렴함을 엄밀하게 보였다. 사용된 수학적 도구는 변조된 에너지(modulated energy) 방법론과 각 방정식의 밀도함수의 오차를 계산하기 위한 유계-립시츠(bounded-Lipschitz) 거리를 결합하여 비선형, 비국소적인 항을 해석했다. 또한 Coulomb 가스 또는 Riesz 가스를 기술하는 경우, 즉 개체들이 Coulomb 또는 Riesz 퍼텐셜 함수를 통하여 상호작용하는 경우에는 Serfaty 교수가 최근에 Duke Math. J. (2020)에 게재한 논문의 아이디어를 결합하여 해결했다.</p> <p>이 논문의 부수적인 결과로는 Euler-alignment model을 최초로 Cucker-Smale model에서 정량적인 해석을 통해 유도했다는 것이다. 참고로 Euler-alignment model이라는 이름은 최교수와 José Carrillo 교수, Eitan Tadmor 교수, Changhui Tan 교수와의 2016년에 Math. Models Methods Appl. Sci. (Math. Appl. 분야 상위 5.01%)에 출판된 공동 논문에서 처음으로 소개되었으며 google scholar 기준 110회 인용되는 등 많이 연구가 되었다. 하지만 Euler-alignment model의 방정식을 Cucker-Smale model에서 엄밀하게 유도한 연구결과 기준에 없었다. 이 논문에서는 또한 입자방정식에서 작은 관성(small inertia) 극한도 함께 고려하여 연속방정식(continuity equation)을 정량적으로 유도하는 내용도 최초로 증명했다.</p> <p>본 연구결과는 Oxford 대학의 José Carrillo 교수와의 공동 연구논문이며 편미분방정식론 분야의 최고 권위 국제학술지 Archive for Rational Mechanics and Analysis (2021 Journal IF=2.528, Math. Appl. 분야 상위 17.42%)에 게재되었으며 최근에 출판되었음에도 Google Scholar 기준으로 4월 현재 20회 인용되었다.</p>

연번	대표연구업적물 설명
3	<p><b>대표업적: Polygon mesh에서 작동하는 새로운 갤러킨 패러다임 (박은재교수)</b>  <b>논문: A Staggered Discontinuous Galerkin Method of Minimal Dimension on Quadrilateral and Polygonal Meshes, SIAM Journal on Scientific Computing, 2018</b></p> <p>유한요소법은 유체역학, 탄성역학, 전자기학 등을 지배하는 편미분 방정식 문제를 수치적으로 푸는 대표적인 방법이며 엄밀한 수학적론과 함께 지난 반세기 동안 비약적으로 발전하였다. 그러나 기존의 연구는 주로 삼각형 또는 사각형 메쉬에 제한되었으며 일반메쉬에서 작동하는 유한요소법의 구축은 어려운 난제로 남아있었다. 이 분야의 오랜 숙원은 일반 다각형 메쉬에서 작동 가능한 유한요소법을 개발하고 이에 기반한 효율적인 수치 알고리즘을 고안하는 것인데 이는 행잉노드, 불규칙한 메쉬 모양, 프랙처, 크랙 등 기존의 많은 난제들을 비교적 쉽게 다룰 수 있는 프레임 워크를 제공하기 때문이다. 기존의 다각형 메쉬를 허용하는 방법론은 유리함수나 비다항식을 기저함수로 사용하므로 근사이론의 구축이나 수치적분을 이용한 프로그래밍에 많은 어려움이 발생한다. 최근 이태리의 Brezzi 그룹이 가상요소법 프레임워크를 창안하여 완성한 연구를 진행하고 있으나 기저함수공간의 생성 또한 매우 복잡하여 실용성이 제한적이다.</p> <p>본 논문에서는 스태거드 기법에 기반한 새로운 형태의 불연속 갤러킨 패러다임을 제안하였다. 포아송 모델방정식에 대하여 일반적인 폴리곤 메쉬에서 작동하는 새로운 유한요소 프레임워크를 제시하였다. 특히 이 접근법은 물리학의 기본법칙인 질량보존법칙이 국소적으로 성립하며, 가장 낮은 차수의 방법뿐만 아니라 임의의 고차 다항식을 기저함수로 사용할 수 있도록 고안되었다. 이 방법의 장점은 매우 심하게 꼬인 사다리꼴 같은 거친 격자나, 부드러운 격자에 mesh-size <math>h</math>만큼의 변화를 가하여 생성된 격자 모두에도 유연하게 적용할 수 있다는 점이다.</p> <p>Fractional Sobolev 공간을 다루는 nonstandard trace theory에 기반한 엄밀한 수학적론을 정립하였으며 낮은 정칙성을 가지는 해에 대해서도 포텐셜 변수와 벡터 변수에 대한 inf-sup 안정성과 최적의 수렴성을 증명하였다. 다음으로 행잉노드를 다루는 데에 있어 유연함과 단순함 때문에 일반적인 요소망은 adaptive method를 사용할 때 유용하다. 이를 위하여 Helmholtz 분해에 기반하여 벡터 변수에 대한 엄밀한 a posteriori error estimator를 유도하였고, 이 estimator의 의존성과 효율성을 증명하였다. 수치 결과를 통해 포텐셜 변수와 벡터 변수 모두 최적 수렴함과 특이성이 주어진 오차 추정치에 의해 잘 다뤄질 수 있음을 검증하였다. 본 연구에서 제공하는 패러다임을 활용하여 기존의 유한체적법의 문제를 체계적으로 연구할 수 있게 되었고, 엄밀한 수학적론의 정립 및 새로운 adaptive algorithm의 고안이 가능하게 되었다.</p> <p>본 연구결과는 과학계산 분야 최상위 학술지인 SIAM J. Scientific Computing (응용수학, 상위 12.9%)에 게재되었다. 본 논문이 제시하는 새로운 패러다임을 따른 후속 연구로 Stokes 유체에 대한 결과로 학제간 수학분야의 최고권위지 Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering(학제간 수학, 상위 3.24%) 2019년 1월호에 게재되었으며, 탄성역학에서 locking 현상이 없고 변위의 왜곡에 강한 새로운 유한요소를 창안하여 과학계산 분야 최상위 학술지 SIAM Journal on Scientific Computing(응용수학, 상위 12.9%) 2020년 4월호에 출간되었다. 또한 Stokes와 Darcy-Forchheimer 유체의 interface 문제에 대한 연구로 수치해석분야의 최고 권위 학회지 SIAM Journal on Numerical Analysis(응용수학, 상위 10.3%) 2021년 1월호에 출간되었다. 특히, 본 대표논문이 제시하는 폴리곤 갤러킨 방법에 대한 연구는 그 접근법의 우수성이 인정되어, 최고권위의 국제학회(2021년 1월 독일 Oberwolfach meeting, 2022년 6월 프랑스 파리 INRIA연구소의 ERC workshop, 2022년 8월 오스트리아 비엔나의 제9회 CMAM, 2022년 12월 이태리 밀라노의 POEMS)에서 기조/초청강연을 하였다. 본 연구로 박은재 교수는 2021년 KSIAM-금곡상을 수상하였으며, 연세대에서 학위를 마친 Lina Zhao 박사는 홍콩의 성시대 교수로 재직 중이며, 김도현 박사는 미국 Brown대학의 박사후연구원으로 있다.</p>

### 1.3 교육연구단의 연구역량 향상 실적

본 교육연구단에서는 수이론수학 분야(대수학, 해석학, 위상 및 기하학), 응용수학 분야(금융수학, 수치해석학), 계산수학 분야(데이터사이언스/기계학습, 의료영상, 전산유체역학) 참여교수들이 각각 특성화된 연구 수행을 통해 연구의 질적 우수성을 확보하였다. 선정평가 제안서 내용을 기반으로 계획대비 실적을 다음의 표에 요약하여 나타내었으며, 자세한 사항은 표 다음에 기술하였다.

분야	교수명	계획(제안서)	실적(2020.09.01.-2023.02.28.)
대수학	기하서	리만가설 L-함수 연구	Bogomolny-Schmidt 예상 관련 논문1편 투고
	김병환	다학제간 연계 KAIST 공동연구	국제 교류/강연 등으로 공동연구(영국) 논문 게재 KAIST 팀과 정기적 학술 발표 진행
	서수길	Coleman Conjecture 영국의 Kings College 교류	관련 증명 완성(2022년 여름) David Burns 교수와 공동연구 수행
	손재범	동시코어 파티션 및 큐급수 연구 해외 공동연구	동시코어 파티션에 대한 논문 3편, 큐급수 관련 논문 1편 Bruce Berndt 교수(U of Illinois at U-C)
해석학	강경근	나비에-스톡스 연구 국제교류	나비에-스톡스 관련 논문 10편 게재 Muenster대학(독일), UBC(캐나다) 교수와 공동연구
	김세익	국제교류를 통한 공동연구	Harmonic Analysis and PDE in Seoul 국제학회를 개최(연세대) 및 공동연구 진행
	김준일	전파방정식 L2스트리카츠 측정 해외공동연구	관련 논문 4편 투고 Rutgers 대학 Mirek, Edinburgh 대학 Wright 공동연구
	양민석	MHD 연구 해외연구사업	MHD 약해 관련 논문 6편 게재 및 3편 투고 Czech Academy of Sci.와 국제 공동연구사업 진행중
	최영필	블라소프-나비에-스톡스 연구 해외학자 공동연구	영국 옥스퍼드 Carrillo 교수와 공동연구 진행으로 관련 논문 3편 게재
위상/ 기하학	최성락	Okounkov body 연구 해외학자 공동연구	도쿄대 Y.Gongyo 교수와 공동연구 논문 1편 게재(3편 투고)
	홍한솔	거울다양체 건설 방법론 연구 국제교류	복잡한 사교기하 불변량 계산하는 방법론 정립 Boston대학 및 Chines U. of Hong Kong 교수와 세미나
수치해 석	박은재	SDG 연구 해외 공동연구	관련 논문 2편 게재 및 1편 작성중 Humbold 대학 Carstensen, 홍콩 중문대 Eric Chung 등
	이은정	stabilized LL*기법 개발 쉬레딩거 방정식 FEM 해외 공동연구	관련 논문 2편 출간 관련논문 1편 출간 U of Colorado의 Manteuffel 교수와 공동논문 1편 작성
	이지현	vaccination evaluation 연구 해외 공동연구	관련논문 게재 및 투고 U of Sydney Peter Kim 교수와 공동연구
	허영미	웨이블릿 관련 연구 해외 공동연구 국내 공동연구	관련 논문 2편 게재 미국 Tufts대학 및 Johns Hopkins 대학 교수와 공동연구 GIST 최정욱교수와 공동연구 논문1편 출간
금융수 학	김정훈	다중요소 하이브리드 모형 개발	관련논문 5편 게재 뉴질랜드 오클랜드공과대학 Cao 및 Zhang과 공동연구
데이터 사이언 스/기 계학습	신원용	인공지능 기반 네트워크 연구 해외 공동연구	관련논문 2편 게재 및 1편 준비중 호주 UNSW 및 독일 Heidelberg대학
	최희준	자연어 처리 및 정보처리	자연어 처리 및 정보처리 연구과제 수행
	이승철	딥러닝 기반 금융수학	관련 논문2편 게재 및 특허2건
의료영 상	서진근	인공지능 Digital Dentistry 개발 공동연구	관련 논문 1편 및 특허등록 1건 연대 치과대학, 산업체(HDXWILL)와 공동 연구과제 수행
유체역 학	최정일	Uncertainty Quantification 연구 해외 공동연구 국내 공동연구	관련 논문 2편 게재 미국 PNNL과의 공동연구과제 도출 준비중 KETI와 공동연구 논문 1편 게재

## A. 대수학 분야

### (1) 기하서 교수(수론)

Maass form의 supnorm 예상은 린텔뢰프가설과 밀접한 관련이 있다. Maass form으로부터 유도된 L-함수의 린텔뢰프가설로부터 supnorm 예상을 얻는 시도를 하였으며, Bogomolny-Schmidt 예상과 관련한 연구를 진행하였다. Bogomolny-Schmidt 예상이 해결되기 위해서는 최소한 린텔뢰프가설을 극복해야 할 것으로 추측이 된다. Bogomolny-Schmidt 예상을 지지하는 결과를 얻었으며, 이 논문은 심사 중에 있다.

### (2) 김병한 교수 (논리학)

KAIST Martin Ziegler 교수팀과 정기적 학술발표(Korean Logic Day, 2021.01.14.)를 통해 공동연구를 진행하였다. 다학제간 연계 분야 관련 연구는, 2022년 영국에서의 수리논리학 팀의 연수로 Galois 자기동형사상 군의 일반화에 대한 일정 수준의 성과를 내어 2023.2월 Journal of the Mathematical Society of Japan 에 논문이 게재 되었다. 연구팀의 최근 성과는 수리논리학 분야 최고 저널인 Journal of Mathematical Logic (IF 1.229, Logic 분야 상위 9.52%)에 두 편이 게재 확정되는 등 국제적 선도수준을 유지하고 있다.

### (3) 서수길 교수 (대수적 정수론)

1980경 Coleman에 의해 발표된 Coleman 가설은 단순명료한 가설이나, 접근 가능한 수학적 도구가 제한적이기 때문에 해결이 힘들었다. Kolyvagin, Rubin 등의 오일러 systems 이론을 Iwasawa theory에 응용하여 콜만 가설에 대한 최초의 도구가 본 연구진에 의해 발견되었다. 영국의 Kings College 대학의 David Burns 교수가 본 연구진과 콜만 가설에 대한 공동연구를 계속 진행하였다. 2020년 전후 공동연구진은 가설의 해결아이디어를 발견하였으며, 2022년 여름경 완전한 증명을 완성하는데 성공하였다.

### (4) 손재범 교수 (해석적 정수론)

2020.9월부터 2023.2월에 동시코어 파티션에 대한 논문 3편, 큐급수 관련 논문 한편 등 총 4편의 논문이 Advances in Applied Mathematics, Ramanujan Journal (2편), Hardy-Ramanujan Journal에 출간되었다. 2022년 여름에 Bruce Berndt 교수(U of Illinois at U-C)를 방문하였을 때, 대학원생을 위한 t-core partition 관련 survey talk을 진행하였다. Encyclopedia of Srinivasa Ramanujan and His Mathematics의 project에 포함될 Ramanujan's Notebooks, Part IV라는 제목의 article을 작성하였으며, Springer에서 print와 online version으로 출간 예정이다.

## B. 해석학 분야

### (1) 강경근 교수 (편미분방정식)

독일 Muenster 대학의 Angela Stevens 교수와 Freiburg 대학의 Michael Ruzicka 그리고 Paderborn 대학의 Michael Winkler 교수와 방문 및 온라인 연구를 통하여 나비어-스톡스 관련 공동연구를 진행하여 2편의 논문 게재 및 2편의 논문 투고하였다. 또한, 캐나다 British Columbia 대학의 Tai-Peng 교수와 일본 Tokyo Institute of Technology 대학의 H. Miura 교수 그리고 X. Pan 교수와 방문 및 온라인 연구를 통하여 공동연구를 진행하여 5편의 논문을 출간하였으며 1편의 논문이 출간 예정이다.

### (2) 김세익 교수 (편미분방정식)

Harmonic Analysis and PDE in Seoul 국제학회를 연세대에서 개최(2022.5.16.-20)하였다. ICM 초청연사 Steve Hofmann, Guy David, Svitlana Mayboroda 등 유명 연구자 등 총20명의 국내외 연사가 발표하였다. 대면 국제학회로 조화해석학과 편미분방정식 분야의 연구자들이 모여서 교류를 하는 기회가 되었다. 연세대학교를 포함한 국내외 많은 대학원생들 강연에 참석하였고 국제적 감각을 익히는 기회가 되었다.

(3) 김준일 교수 (조화해석)

일반적인 형태의 전파방정식에 관한 L2스트리카츠 측정에 관한 연구로 4편의 논문을 투고중이며 추가로 1편의 preprint논문을 작성하였다. 2022년 10월부터 미국 Rutgers University의 Mitrius Mirek 교수와 영국 Edinburgh 대학의 James Wright교수와 Multi-parameter Ergodic Theory를 연구하였으며, Discrete Double Hilbert transforms along polynomial surfaecs 방법론으로 일반적인 버전을 해결할 수 있었다.

(4) 양민석 교수 (편미분방정식)

다양한 경계조건에서 MHD 방정식의 약해의 안정성 연구를 진행하였고 SCI급 6편의 논문을 출판하였다. 최근 리우빌 정리에 대해 국제 공동연구를 진행하여 3편의 논문을 국제저명학술지에 투고하였고 2편의 논문을 투고 준비 중에 있다. 또한 Czech Academy of Sciences의 J. Neustupa, S. Necasova 교수와 국제 공동연구사업에 한국연구재단 및 체코연구재단에 각각 선정되어 공동연구를 진행하고 있다.

(5) 최영필 교수 (응용 편미분방정식)

영국 Oxford University의 José Carrillo 교수를 직접 방문하거나 화상회의를 통해 다른 스케일의 방정식의 hierarchy에 대한 엄밀한 수학적 해석에 관한 연구를 진행하여 Large friction-high force fields limit for the nonlinear Vlasov-Poisson-Fokker-Planck system 논문을 2022년에 게재하였다. 최초로 aggregation-diffusion 방정식을 nonlinear Vlasov-Poisson-Fokker-Planck system에서 엄밀하게 유도하였으며, 주어진 kinetic equation의 weak solution이 aggregation-diffusion equaton의 strong solution으로 strong converge 한다는 것을 증명하여 그 결과를 논문에 게재하였다. 또한, 최초로 Euler-alignment system을 Cucker-Smale model에서 엄밀하게 유도하였으며, 특히 discrete relative entropy method를 통해서 두 방정식의 해의 차이를 양적으로 계산한 결과를 논문에 게재하였다.

C. 위상 및 기하학 분야

(1) 최성락 교수 (대수기하학)

일본 도쿄대의 Yoshinori Gongyo 교수와의 공동연구 결과물인 논문이 Mathematische Zeitschrift 저널에 2021년 6월에 최종 게재되었다. 기존에 수행했던 Okounkov body를 통한 divisor의 연구 결과들을 바탕으로 2021년도에 3편의 논문을 완성해서 투고하였다. 그중 한편은 International Mathematics Research Notices에 게재승인을 받아서 2022년 12월에 온라인으로 게재되었다. Gongyo 교수와의 논문과 이 세편의 논문 실적은 제안서(2020년) 계획한 목표량보다 훨씬 상향된 수준이며 후속 논문도 준비 중이다.

(2) 홍한솔 교수 (Symplectic Geometry)

라그랑지안 플로어 이론의 대수적 구조의 변형을 이용하여 거울다양체의 국소형태를 결정하는 방법론을 정립하고, 이를 다양한 기하 상황에 적용하여 기존의 불변량들에 새로운 기하적 의미를 부여하였다. 또한 월크로싱 현상을 활용하여, 복잡한 사교기하 불변량을 조합적으로 계산하는 방법론을 정립하였다. 또한, Boston 대학의 Yu-Shen Lin 교수, Siu-Cheong Lau 교수, Chinese Univ of Hong Kong의 Naichung Conan Leung 교수, Zhejiang 대학 Weiwei Wu 교수 등 국제적 수준의 연구성과를 보여주고 있는 교수들과 활발한 공동연구(일부는 현재 진행중) 및 연구 교류 학회 및 정례 온라인 세미나를 개최하였다.

D. 수치해석 분야

(1) 박은재 교수 (계산과학기반 수치해석)

제14회 ICOSAHOM2022(14th International Conference on Spectral and High Order Methods, 연세대 2023.08.14.-18) 조직위원장을 맡고 있다. 역대 응용수학 국제학회 중 가장 많은 외국인 발표자(300명 정도)가 있는 대규모 학술행사이며, 국내 응용수학/수치해석 분야의 국제 경쟁력 제고에 기여할 것이다.

Humboldt 대학의 Carstensen 교수와 pseudostress-velocity formulation에 근거한 mixed FEM을 제안하였고, nonconforming Crouzei-Raviart 유한요소 기법과의 연관성을 규명하고 안정성과 최적의 수렴성을 증명하였으며 Preprint 작성 중에 있다.

홍콩 중문대의 Eric Chung 교수, 홍콩 성시대의 Lina Zhao 교수, 김OO 박사(미국 브라운대 포스트닥)와 Darcy 유체방정식의 효율적 해법을 연구하여 Journal of Scientific Computing (2022)에 게재하였다.

인도 IIT-Bombay의 Pani교수와 준지형류 방정식에 Morley element를 사용한 안정적인 유한요소법 연구는 Comput. Meth. Appl. Mech. Eng. (IF=6.756, 학제간 수학 분야 상위 1.389%)에 2021년 게재되었다.

### (2) 이은정 교수 (계산과학기반 수치해석)

제안서의 Hyperbolic 보존법칙을 따르는 편미분방정식의 최적 근사해를 위한 stabilized LL\*기법을 개발, Stabilization 향으로 shock 발생 문제의 근사해를 구할 때 불필요한 oscillation 최소화 기법을 제안하였다. 관련 결과를 2022년과 2023년에 논문 2편 출간하였다. FDM으로 유도된 비선형 쉬레딩거 방정식의 discrete system의 stability를 최초로 해석한 논문 1편을 2022년에 게재하였다. 미국 Manteuffel 교수(U of Colorado Boulder)와 “Negative norm least squares finite element method” 논문을 진행 중에 있다.

### (3) 이지현 교수 (Epidemic Disease)

박사•통합과정 대학원생과 다양한 분야의 전문가(카톨릭대 감염내과, 세브란스 감염내과)와 연계하여 다학제간 주제에 관해 정기적인 연구 미팅을 통한 공동연구 진행하고 결과를 우수한 저널에 게재하거나 투고하였다.

- Varicella and zoster virus dynamics and economic evaluation (가톨릭대 감염내과)
- Optimal control of oncolytic virotherapy of cancer (University of Sydney Peter Kim 교수)
- Cost-Benefit Analysis of rapid diagnostic tests and Tafenoquine for vivax Malaria in Korea (세브란스 감염내과)

### (4) 허영미 교수 (응용수학)

해외 공동연구를 통해 제안서에서 계획한 새로운 웨이블릿 및 수학적 데이터 표현방법 연구를 진행하였으며, 미국 Tufts University 대학의 Kasso Okoudjou 교수와 Multivariate tight wavelet frames with few generators and high vanishing moments 논문을 출간하였으며, 미국 Johns Hopkins 대학의 Zachary Lubberts 연구교수와 Interpolatory tight wavelet frames with prime dilation 논문을 출간하였다. 국내 조함론 연구자 GIST 최정옥 교수와 Invertibility of circulant matrices of arbitrary size 논문을 출간하였다.

## E. 금융수학 분야

### (1) 김정훈 교수 (금융수학 & 기계학습)

뉴질랜드 오클랜드공과대학 Cao 교수 및 Zhang 교수와 국제공동연구를 수행하여 프랙셔널(fractional) 확률탄성과 하이브리드 확률변동성에 대한 자산가격모형을 개발하고, 이를 여러 파생금융상품의 공정가격결정에 적용하여 그 연구결과를 3편의 논문으로 출판하였다. 또한, 머신러닝 기법을 사용하여 이색옵션의 공정가격결정과 확률탄성의 예측에 적용함으로써 얻은 연구결과를 2편의 논문으로 출판하였다.

## F. 데이터사이언스/기계학습 분야

### (1) 신원용 교수(데이터사이언스 & 인공지능)

Xin Cao 교수 (호주 The University of New South Wales)와 공동연구를 통해 그래프 신경망을 통해 representation learning을 하는 새로운 방법론인 Edgeless-GNN을 제안하여 계산 및 응용 분야 저명학술지인 IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing에서 현재 2차 심사 중이다. 또한, Supervision data가 없을 시 속성 증강을 통해 다수의 네트워크에서 점진적으로 정렬을 수행하는 Grad-Align+ 기술

을 설계하여 그 결과물을 데이터사이언스 최상위학술대회인 ACM CIKM에서 2022년 10월 발표하였다. Michael Gertz 교수 (독일 Heidelberg University)와는 Missing node와 edge를 가지면서 부분적으로만 관찰 가능한 네트워크에서 심층 그래프 생성 모델을 사용하여 네트워크 복구를 수행하는 새로운 방법론인 DeepNC를 제안하였으며, 연구결과는 인공지능 분야 최상위 저명학술지인 IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence에 2022년 4월 게재되었다.

#### (2) 이승철 교수 (금융수학 & 기계학습)

2021년에 딥러닝 기술을 MRI영상에 적용, 기존 샘플링보다 입력정보를 줄임에도 불구하고, 기존의 해상도를 유지하는 방법을 대한민국(2021.01.26.)과 미국(2021.04.27)에 특허 등록하였다. Physics in Medicine & Biology(IF 4.174)는 최근 5년간 논문 중 가장 citation이 많은 논문에 Rotblat Medal을 수여하는데 2022년도에 딥러닝기술을 MRI영상에 적용하는 논문인 Deep learning for undersampled MRI reconstruction (Google Scholar 384회 인용)이 수상하였다. 금융 분야에서는 좀 더 현실적인 모형을 구축하려는 연구를 수행 중인데 좀 더 정확하고 안정적인 금융상품의 평가와 헷지 운용에 주력하였다. 트렁케이션 에러를 최소화하고 해석학적인 계산을 수치 방법에 최대한 적용 에러를 최소화하였으며, 필요하다면 병렬화가 가능하도록 알고리즘을 구현하였다. 이 연구는 하나의 자산에 관한 옵션을 다루는데, Applied Mathematics and Computation(IF 4.397)에 게재하였다.

#### (3) 최희준 교수(인공지능 & 기계학습)

인공지능 분야의 기술적 학문적 중요성이 날로 증가하는 상황에 다음의 여러 가지 연구과제들을 수행하였다. 1)자연어처리: 인간의 언어를 컴퓨터가 인식하고 언어에 관한 전산처리 방법들을 연구 실습하였다. 이 과제는 요즘 챗 GPT가 산업적으로 각광받는 추세에 비추어 본 연구진에서 선도적으로 수행하였다. 연관된 소프트웨어는 BERT(Bidirectional Encoder Representations Transformer)와 같은 서방세계 학자들에 의해 선도되었으나 우리나라에서도 관련 이론들과 컴퓨터 소프트웨어를 개발하고 적용하였다. 2) 최적화 방법에 의한 자율주행: 자동차에 거리측정을 위한 레이더 장비 및 카메라 등을 설치하여 입력되는 정보들을 고속으로 처리하기 위한 비선형 최적화 프로그램을 개발하였다. 자동차의 속도에 따른 계산은 초고속으로 수행하여야 하므로 GPU와 같은 초고속 계산을 위한 병렬처리 방법들을 연구 개발하였다.

### G. 의료영상 분야

#### (1) 서진근 교수 (의료영상)

3차원 CT 영상에서의 인공지능 기반 영상 품질 개선, 치과 디지털 데이터베이스 시스템 구축 등의 산학연 공동연구를 통해 인공지능 Digital Dentistry 개발하였으며, 특허 출원(치과용 CBCT에서 개별 치아 자동 식별 분할 장치 및 방법, 10-2021-0112125), 소프트웨어 저작권 등록(치과용 CBCT에서 개별 치아 자동 식별 분할 소프트웨어, C-2023-005230), 상위 1% Top 저널에 논문 게재(A fully automated method for 3D individual tooth identification and segmentation in dental CBCT, IEEE Trans. PAMI) 등의 성과를 도출하였다. 또한, 산업체(HDXWILL)와 삼성미래재단의 공동 연구과제(과제명: 저선량 Cone-Beam CT에서 금속물에 의한 영상왜곡 해결, 2020-현재)를 수행 중에 있다.

### H. 유체역학 분야

#### (1) 최정일 교수 (계산과학기반 유체역학)

POD-PCE 기반 Non-intrusive ROM을 활용한 Uncertainty Quantification에 관한 연구를 Xiang Sun (Ocean University of China)과 공동으로 수행하여 SCI 논문 2건을 게재하였다. 한국전자기술연구원(KETI)의 김영권 박사팀과 공동연구를 통해 Redox Flow Battery의 Flow Frame의 설계에 대한 수리모델링 및 해석기술을 개발하여 SCI 논문 1건을 게재하였다.

## 2. 산업·사회에 대한 기여도

### 2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적

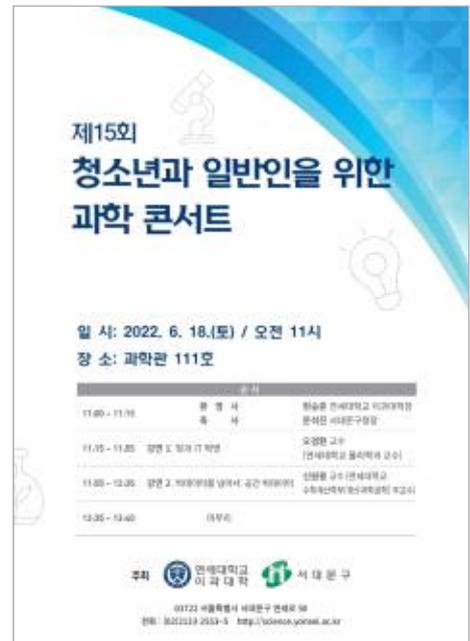
<표 3-5> 교육연구단 참여교수의 산업·사회 문제 해결 기여 실적

연번	실적명	참여교수명	실적 해당 분야	실적 요약
1	과학 콘서트	신원용	인력 재교육	신원용 교수는 2022년 6월 18일 서대문구와 연세대 이과대학이 공동주최하는 “청소년과 일반인을 위한 과학 콘서트”에서 “빅데이터를 넘어서: 공간 빅데이터” 주제로 대중 강연을 실시함.
			미래/글로벌 대응	
			학문의 개방화/대중화	
2	헬스케어 분야 산학협력 공동연구	신원용	기업현안 해결	신원용 교수는 웨어러블 의료기기/플랫폼 전문업체인 ㈜스카이랩스와 함께 “다파장 PPG 신호 기반 산소포화도 모니터링 알고리즘 개발” 주제로 공동연구를 수행함. 해당 기술은 Covid-19 환자의 재택치료 시 유용하게 활용 가능함.
			미래/글로벌 대응	
			정책 기여	
3	의료기관과 협력 공동연구 진행	윤경호	미래/글로벌 대응	윤경호 교수는 연세대 세브란스 병원 신경외과 장원석 교수팀과 비침습적 뇌 질환 치료를 위한 집속초음파 치료기기의 치료효과를 제고하고 부작용을 최소화 할 수 있는 최적 치료 알고리즘을 개발하였다. 본 연구결과는 관련 분야 최고 권위 저널인 Computer Methods and Programs in Biomedicine에 게재되었다.
4	산-학-병 (산업-학교-병원) 협력 공동연구 진행	윤경호	기업현안 해결	㈜뉴로소나와 및 하버드 의대 유승식 교수팀과 공동연구를 통해 경두개 집속초음파 치료에서 초음파 변환기의 위치의 실시간 네비게이션 정보를 제공하는 인공지능 치료 보조 시스템을 개발하였다. 본 연구결과는 관련 분야 최고 권위 저널인 IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics에 게재되었다.
			미래/글로벌 대응	
5	3D FEM기반 NEGF 솔버개발 (삼성디스플레이)	이은정	기업현안 해결	나노스케일 장치에서 양자 전송의 탐색은 기존의 이론 물리로 설명 불가능함. EL-QD 기반의 양자 전송 모델의 시뮬레이션을 위해 Schrodinger 방정식을 이용한 전자 밀도 계산과 비선형 Poisson 방정식을 사용한 공간 전하 효과 계산하는 솔버 개발. Quantum device 시뮬레이션을 통해 QLED기반의 우수한 디스플레이 구조를 개발하고 그 공정 과정을 효율적으로 운용할 수 있음.
			미래/글로벌 대응	
6	레이더 흡수물질 및 거대 유전체구조 전자파해석연구를 위한 유한요소 솔버 개발 (국방과학연구소)	이은정	거버넌스 구축	3차원 복잡 및 복합 구조물에서의 전자파 해석 국산 FEM 솔버 개발 진행 중. 현재까지 상용 소프트웨어 (ANSYS HFSS) 대비 기술적으로 대등하며 계산 신속성 측면에서 우수한 in-house 전자파 해석 FEM 알고리즘을 구현하고 있음. 군 관련 응용 영역 및 가상 전자파 실험이 요구되는 산학연 기관에서 활용할 것으로 기대 됨.
			미래/글로벌 대응	
			학문의 개방화/대중화	

연번	실적명	참여교수명	실적 해당 분야	실적 요약	
7	교수신문인터뷰	이지현	학문의 개방화/대중화	‘수학적 확산모델을 활용한 신종 감염질환의 효과적인 대응 전략 제시’에 관해 교수신문과 인터뷰하여 기사가 실림. 해당 분야 연구를 통해 지역사회의 현안을 해결하고 학문의 대중화에 기여함	
8	감염병 기초·원천 핵심기술 로드맵 수립 분과위원	이지현	정책 기여	감염병 기초·원천 핵심기술 감시예측 분야 적절성 검토, 핵심기술별 역할 분담, 공백기술 및 향후 일정을 논의하는 전문가 위원회에 참여함.	
9	“수학의 기초” 온라인 대중강좌 개설	최성락	학문의 개방화/대중화	연세대학교의 온라인 강좌 플랫폼인 런어스에 일반 대중을 대상으로 하는 “수학의 기초” 강좌를 총 9명의 교수가 공동으로 개설하였다. 수학을 공부하는 이유와 함께 수학의 기원에 대해서 간단히 알아보고 수학의 여러 분야의 흥미로운 역사적 결과들을 소개하였다. 일반 대중에게 낯이 커져가는 수학의 중요성에 대해 홍보하고 수학에 대한 관심을 고취시키는 데 목적이 있다. 2023년 2월 중순부터 무료로 수강신청을 받고 있다.	
10	폐배터리 RUL 예측 알고리즘 개발	최정일	기업현안 해결	현대자동차에 탑재된 EV용 전지 팩 해체 및 Module의 상태 분석 및 평가 기술을 개발하고, ESS로의 2nd life 보증을 위한 단전지의 잔존수명 예측을 위한 딥러닝 기반 알고리즘을 확립함. 또한, 주어진 작동 데이터 바탕으로, EV 작동 조건/ESS 작동조건에 따라 각각 수명 예측이 가능한 통합 알고리즘을 개발함.	
			미래/글로벌 대응		
11	Slip-wall 경계조건 기반의 OLED 증착원 공정 시뮬레이션 고도화	최정일	기업현안 해결	본 연구에서 디스플레이 패널을 생성하는 초저압 증착 공정의 압축성 희박기체 유동의 효과적인 시뮬레이션이 가능한 해석 프레임워크를 구축하였다. 기존 상용 유동해석 프로그램으로는 불가능했던 초저압에서의 압축성 유동해석을 가능하게 하였다. 또한, 희박기체 유동해석에서 적용되는 slip 모델에 대해 초저압 작동조건에서 유효한 모델상수를 도출하였다.	
			미래/글로벌 대응		
총 환산 참여교수 수			21.2	제출요구량	5~11

## (1) 과학 콘서트 (신원용)

신원용 교수는 2022년 6월 18일 서울시 서대문구와 연세대학교 이과대학이 공동 주최하는 제15회 “청소년과 일반인을 위한 과학 콘서트”에서 “빅데이터를 넘어서: 공간 빅데이터”라는 주제로 대중 강연을 실시하였다. 본 과학 콘서트에는 연세대학교 교수, 재학생 외에 지역에 거주하는 학부모와 학생 등 총 200여 명이 참석하였다. 강연에서는 공간 태그를 포함하는 빅데이터가 가지는 잠재력과 향후 펼쳐질 다양한 응용 서비스에 대해 소개하였다. 또한, 트위터 API를 사용하여 수집한 실세계 공간 데이터 샘플을 보이고 사용자들의 이동성 및 친구 관계 측면에서 이를 시각화하여 보았다. 그 외에도, 수집한 공간 빅데이터 기반하여 신원용 교수가 과거에 수행했던 세 가지 다른 종류의 소셜 네트워크 응용문제 및 결과물을 소개하였다. 구체적으로, 공간 태그된 대규모 트윗 샘플을 활용하여 1) 공간에서의 친구 관계에 대한 분포도를 분석하는 문제, 2) 사회적 관심지점 경계선을 정의하고 추정하는 문제, 3) 트윗봇 검출 시 공간 정보를 활용하는 문제 등 실생활에서 밀접하게 접할 수 있는 다양한 응용문제를 직관적으로 설명하였다. 해당 강연은 이론적 배경에 대한 설명 외에도 빅데이터 분석 결과물을 시각화를 통해 구체적으로 보여줌으로써 많은 참석자들로부터 높은 관심을 받았다. 질의응답을 통해 신원용 교수가 수행한 연구 결과물에 대한 한계점과 다양한 연구/개발 챌린지에 대해서도 논의하였다.

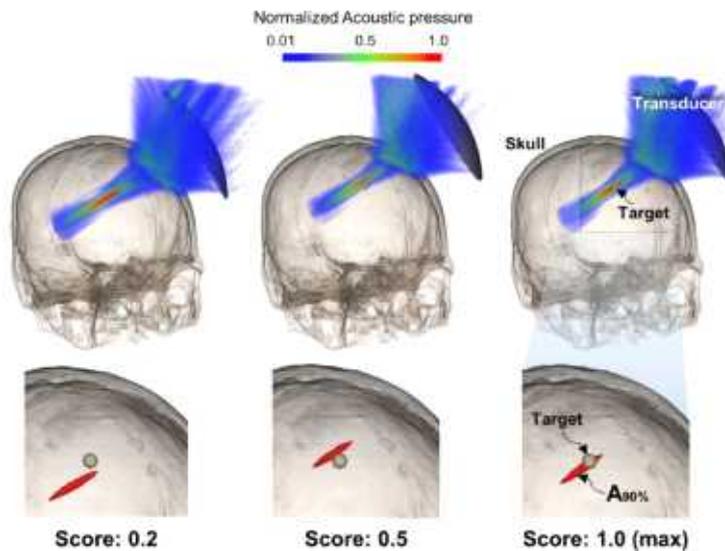


## (2) 헬스케어 분야 산학협력 공동연구 (신원용)

신원용 교수는 판교테크노벨리에 위치한 웨어러블 의료기기/플랫폼 전문업체인 주식회사 스카이랩스 지원을 받아 “다과장 PPG 신호 기반 산소포화도 모니터링 알고리즘 개발” 주제로 2022년 3월부터 8월까지 산학 프로젝트를 수행하였다. 지금까지의 비침습적 산소포화도 (SpO2) 측정 방식은 혈관을 지나면서 감소하는 광신호의 광량 감소비에 기반한 Beer-Lambert law라 불리는 전통적 계산식에 따라 이루어졌고, 해당 방식은 웨어러블 기기에서 자주 쓰이는 반사형 측정 방식에서는 만족할 성능을 나타내지 못하였다. 또한, 최근 광범위한 산업 분야에 적용되고 있는 기계학습 기술을 활용한 산소포화도 측정은 매우 드물게 연구되어 왔다. 본 산학 프로젝트에서는 반사형 웨어러블 장치를 통해 측정된 다과장 PPG 신호 기반으로 산소포화도를 예측하는 방법론에 대해 연구하였다. 구체적으로, 측정 환경 및 샘플 간 이질성을 고려하여 예측 정확도를 높이기 위해 전략적으로 설계한 “두 단계 산소포화도 예측 모델을 제안하였다. 구체적인 연구 결과로는 1) LightGBM 모델을 활용한 단일 산소포화도 예측 모델 개발, 2) 입력 신호 종류 (PPG 신호, SSA 신호, FFT 처리 이후 신호 등)에 따른 단일 산소포화도 예측 모델의 성능 비교 및 분석, 3) 분류 모델과 회귀 모델을 지능적으로 결합한 두 단계 산소포화도 예측 모델 개발, 4) 두 단계 산소포화도 예측 모델에 contrastive label mix-up 기능을 추가한 학습 모델 고안을 포함한다. 해당 기술은 가정에서 평소에 사용할 수 있는 비침습적 산소포화도 측정 장치로써, Covid-19 환자의 재택치료 시 유용하게 활용 가능한데 특히 산소포화도가 급격히 떨어진 응급환자가 골든타임을 놓치지 않도록 사전 예측하는데 유용하다고 할 수 있다.

### (3) 의료기관과 협력 공동연구 진행 (윤경호)

신경기능조절법(Neuromodulation)은 신경계의 일부를 활성화 또는 억제시키는 기술로서 치매, 파킨슨 병, 간질, 뇌졸중 등의 다양한 신경의학적 질환뿐만 아니라 조울증, 강박장애 등의 정신의학적 질환의 비침습적/비약품적 치료 가능성을 가지고 있다. 집속초음파를 이용한 신경기능조절법은 기존 방법론들의 한계점을 극복하고 비침습적으로 심뇌영역을 포함하여 수 mm의 극소 영역을 자극할 수 있다는 장점을 가지고 있어 차세대 뇌질환 치료도구로써 주목을 받고 있다. 그러나, 두개골과 뇌세포 사이의 음향 특성의 큰 불일치로 인해 초음파가 두개골을 관통하며 그 전달이 크게 변화하며, 두 개 내의 원하는 목표 뇌 영역에 음향 초점을 정밀하게 생성하지 못해 의료기관에서 집속초음파 매개 신경기능조절 치료의 임상 적용에 어려움을 가지고 있다. 윤경호 교수는 이러한 의료 현장에서의 문제점을 극복하고자 신촌 세브란스 병원 신경외과학교실 장원석 교수팀과 공동연구를 수행하였다. 본 연구에서는 대상 영역에 초점을 생성하게 해주는 단일요소 집속초음파 트랜스듀서의 최적 위치를 찾기 위한 수치적 방법을 제시한다. 음파의 상대 위상차와 투과율에 따른 중점의 정도를 나타내는 스코어 함수는 음파의 시간 역전 불변성과 트랜스듀서의 공간적 위치에 따라 정의하였다. 트랜스듀서의 최적 위치는 차분 진화 알고리즘을 사용하여 결정한다. 제안된 방법을 평가하기 위해 순방향 시뮬레이션을 수행하고 결과 초점 위치를 원하는 목표 지점과 비교하였다. 또한, 수조에서 ex vivo 인간 두개골을 통해 음압 장을 측정하여 실험적 검증 또한 수행하였다. 수치적 결과에 따르면 스코어 함수가 대상의 음압과 양의 비례 관계를 가짐을 나타냈다. 또한, 최적화된 트랜스듀서 위치에 대해 수치 및 실험결과 모두 대상에서 정규화된 음압이 0.9보다 높은 것으로 나타났다. 본 연구에서는 음향 에너지를 뇌의 목표 영역으로 효과적으로 전달하는 단일 요소 변환기를 배치하는 최적화 방법을 개발했으며, 본 수치 및 실험결과는 제안된 방법이 안전하고 효율적인 집속초음파 치료를 위한 최적의 변환기 위치를 제공할 수 있음을 보여준다. 본 연구결과는 관련 분야 최고권위 저널인 Computer Methods and Programs in Biomedicine (IF: 7.027, JCR 상위 10.45%)에 2022년 게재되었다.



<최적의 초음파 트랜스듀서 위치 결정 모습>

- ※ JCR 상위 10.45% (전산 의료해석 분야 최상위 저명학술지)
- ※ 관련 기술 국내 특허출원 (출원번호 10-2021-0085707)
- ※ 의료 물리해석 분야 연구
- ※ 세브란스 병원 신경외과학교실 공동연구

#### (4) 산-학-병 협력 공동연구 진행 (윤경호)

최근 경두개 집속초음파(tFUS)는 비침습적 신경치료 가능성으로 인해 뇌 자극 분야에서 주목을 받고 있어 뇌자극 치료용 전용 집속초음파 장비 개발이 시급하다. 국내에서는 현재 (주)뉴로소나에서 해당 치료기기 장비를 개발하여 국내 및 북미 식약처(FDA) 의료기기 인허가를 받기 위해서 노력 중에 있으나, 치료기기의 정밀성과 안전성을 제고하기 위한 치료 현장에서 치료를 보조하는 guidance 시스템의 탑재를 요구받고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 윤경호 교수는 하버드의대와의 공동연구를 통해 계산과학, 의료공학, 인공지능 세 분야의 초 융합 기술인 인공지능 기반 경두개 집속 초음파 치료보조 시스템을 개발하였다. 인공지능 학습에 필요한 트레이닝 데이터는 각 환자의 두개골 컴퓨터 단층 촬영(CT) 이미지 데이터를 사용하여 각 환자 별 두개골 구조에 대한 서로 다른 두개골 내 초음파 전달 특성을 반영하여 구성하였다. 3개의 ex vivo calvaria를 통해 인공지능 모델의 성능을 평가하였으며, 높은 공간 정확도(~99.59%의 변환기 위치 정확도, 집속 ~74.49%의 초음파 초점 일치도, 초점 중심점 기준 ~0.96mm의 초점 위치 정확도)의 변환기 조정 정보를 실시간(~10ms)으로 사용자에게 제공할 수 있었다. 본 연구는 환자마다 상이한 두개골의 구조 및 물성 정보를 반영하여 환자 맞춤형 정밀 치료를 가능케 하는 연구로써, 의료 4.0시대를 선도하는 디지털/스마트의료 시스템 개발의 초석이 될 것으로 사료된다. 뿐만 아니라, 개발된 인공지능기반 치료 보조시스템을 통해 경두개 집속초음파의 치료효과와 안전성을 제고함으로써, 뇌암, 치매, 간질, 파킨슨 병 등의 다양한 뇌질환의 비침습적 치료를 앞당길 것으로 생각된다. 본 기술은 2023년 공동연구 과제 종료 시점에 맞추어 (주)뉴로소나의 시작품 NS-US100에 기술이전을 통해 탑재할 계획을 가지고 있다. AI 신기술이 탑재된 국내산 치료기기가 세계 시장에서의 경쟁력을 확보하고 기술적 우위를 점하는 선도기업으로 성장할 것으로 기대한다. 본 연구결과는 관련 분야 최고 권위 저널인 IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics (IF: 7.021, JCR 상위 6.14%)에 2022년 게재되었다.



<2022년 11월 17일 인공지능신문 게재 화면>

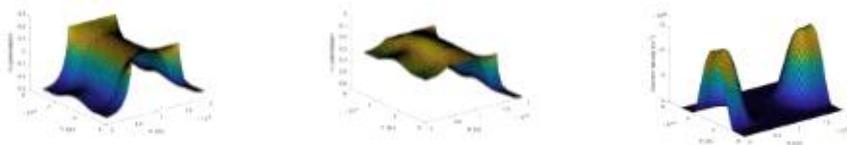


<(주)뉴로소나에 기술 탑재 계획 도식>

- ※ JCR 상위 6.14% (전산 생물학 분야 최상위 저명학술지)
- ※ 관련 기술 PCT 특허출원 (출원번호 PCT-KR-016845)
- ※ 2023년 과제 종료 시점에 (주)뉴로소나에 기술이전 예정
- ※ 인공지능/물리해석 분야 연구
- ※ Harvard Medical School 및 (주)뉴로소나 공동연구

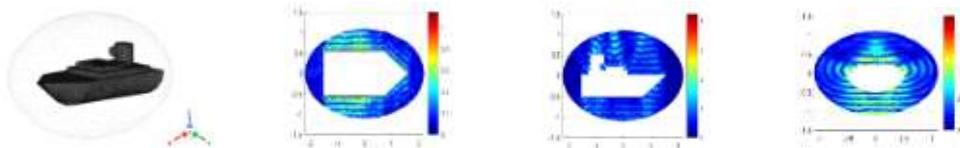
**(5) 3D FEM 기반 NEGF 솔버개발 (이은정)**

Quantum device의 경우, 기존 bulk(microscale) 기반 drift-diffusion transport 모델 적용 해석이 불가능하다. 특히, silicon-based 소자뿐만 아니라, heterojunction 기반 LD/LED 발광 소자 등의 구조를 활용할 경우, quantum transport 모델링 기반 특성 해석 및 분석을 해야 한다. 따라서, 산학 과제를 통해 QD를 가지는 구조에서의 NEGF 기반 quantum transport 모델을 개발을 진행하고 있다. 모델링을 통해 여러 layer로 구성된 QD이 존재하는 공간에서, Schrodinger equation을 이용한 전자 밀도 계산과 비선형 Poisson 방정식을 사용한 공간 전하 효과 계산 사이의 self-consistent 프로세스 구성 후 quantum transport 수치 시뮬레이션을 완성한다. 이 과정에서 빠른 전자 밀도의 계산을 위해 nonequilibrium Green function matrix (NEGF)를 이용하고 전자가 에너지 E를 갖는 양자 상태에 있을 확률은 Fermi-Dirac 함수를 이용하여 표현한다. 본 연구에서는 모델링을 통해 구축된 시스템을 각종 수치기법을 이용하여 계산하는 소프트웨어를 개발하였다. 현재까지 단일재료로 구성된 quantum device에서 전자 밀도를 구현하고 이를 통해 energy potential을 계산하는 과정을 완성하고 기존에 발표된 결과들과의 양적 질적 비교를 통해 솔버의 유효성을 검증하였다.

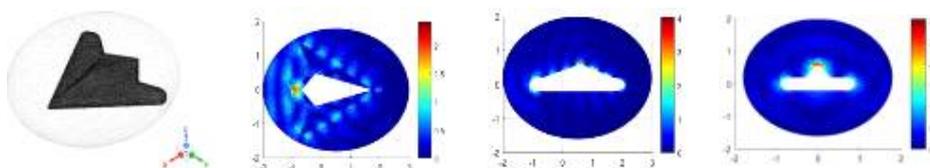


**(6) 레이더 흡수물질 및 거대유전체 구조 전자파 해석연구를 위한 유한요소 솔버 개발 (이은정)**

유한요소법(Finite Element Method, FEM)은 3차원 공간에서 복합적 물질로 이루어진 복잡 구조의 수치 계산에 널리 사용되는 기술이다. 수치 시뮬레이션은 전자파 분석이 필요한 많은 분야에서 이미 중요한 부분을 차지하고 있으나 전자파 해석을 위한 대부분의 FEM 계산은 외국 상용 소프트웨어에 의존하고 있다. 외산 소프트웨어를 이용할 경우, 객체의 디자인 변수가 자유롭게 변화하는 대규모 계산을 효율적이고 반복적으로 수행함에 있어 내부 구성이 공개되지 않고 그 변형이 불가능한 외산 상용 프로그램의 사용에는 제약이 따른다.



특히 분석 대상이 기밀이라면 외산 소프트웨어를 사용하는데 한계가 있다. 따라서 전자파 해석 프로그램의 국산화와 시뮬레이션 기술의 개발이 절실히 필요하다. 다양한 환경에서 독특한 구조의 문제를 해석해야 할 때나 항공기와 같이 복잡한 구조에서의 전자파 해석이 필요할 때, 계산 공간의 형태에 제약을 적게 받고 이중 물질상에서 야기되는 특이성으로부터 강점이 있는 FEM을 이용한 알고리즘을 개발한다면 전자파 해석에 쓰이는 국내의 독자 기술을 확보할 것으로 기대한다. 현재까지 기본 알고리즘과 그 구현은 완성이 되었으며 추후 이를 가속화 하고 고도화할 계획이다.



(7) 교수신문 인터뷰 : 수학적 확산모델을 활용한 신종 감염질환의 효과적 대응전략 제시 (이지현)

수학적 모델링이 사회문제 해결에 기여한 연구에 관해 다음과 같은 내용의 인터뷰를 진행하였다.

감염병을 예측할 수 있다면 통제전략을 마련할 수 있다. 여기서 가장 중요한 것이 바로 ‘모델링’이다. 코로나19가 어떻게 확산하는지, 대응 전략이 어떤 영향을 미치는지 밝혀내는 것이다. 감염병은 더욱 진화하는데, 대응은 그에 못 미친다. 이지현 교수는 ‘수학적 확산모델을 활용한 신종 감염질환의 효과적 대응 전략 제시’ 과제를 수행 중이다. 우리나라 자료를 반영하여 상황에 적합한 모델링으로 감염병에 효과적으로 대응하려는 것이다. 코로나19를 포함해 말라리아, 수두와 대상포진, 에이즈, 다제내성균, 결핵, 로타바이러스 등의 감염병을 대상으로 수학적 모델링을 활용한 연구를 수행하고 있다.

다음의 질문이 감염병 모델링에서 다루는 몇 가지 예시에 해당한다. 평균적으로 예상되는 환자의 수는 몇 명인가? 최선, 최악의 경우, 감염병 확산 시나리오는 무엇인가? 제어 전략의 영향을 평가하고 비교할 수 있는가? 특정 정책을 도입하는 것은 비용 대비 효율적인가? 환자 치료를 위한 효과적인 약물 투여 일정을 제안할 수 있는가?

감염병 분야에서 수학적 모델은 확산을 예측하고 다양한 중재 전략의 효과를 평가하는 핵심적인 도구이다. 이러한 연구를 수행하기 위해서는 수학, 통계학, 의학을 포함한 전문가의 협업이 필수다. 감염내과·예방의학 연구팀은 문제 설정부터 감염병에 대한 정보제공, 결과해석과 현실적용을 맡는다. 통계를 전공한 지역 전문가는 질병에 대한 자료를 수집하고 분석한다. 이를 토대로 모델 변수 추정 등을 수행한다. 연구책임자인 이 교수는 모델 구축, 경제성 분석, 최적제어의 역할을 담당한다.

감염질환의 유행은 질병 자체의 위험뿐 아니라, 사회 불안 증가 등을 포함한 국가적 위기 상황으로 이를 최소화하기 위해서는 질병의 발생 초기에 전파를 효과적으로 억제하는 신속한 대응 전략이 매우 중요하다. 수학적 모델링을 활용하여 실시간 환자 발생 상황을 예측하고, 적용 가능한 통제전략을 수립하며, 비용-효과 분석을 통해 효율적인 방안을 도출함으로써 정책 결정에 과학적 근거를 제시하고, 사회문제 해결에 기여한다. (출처 : 교수신문(<http://www.kyosu.net>))

**감염병, '한국형 수학적 모델'로 미리 대응한다**

스. 김계호 · 주. 윤수 · 2020년 11월 14일

전세계 대유행병 확산이 예상되는 가운데, 우리나라는 수학적 모델을 통해 감염병의 발생을 예측하고, 효과적인 대응 전략을 제시할 수 있다. 이 교수는 '수학적 확산모델을 활용한 신종 감염질환의 효과적 대응 전략 제시' 과제를 수행 중이다. 우리나라 자료를 반영하여 상황에 적합한 모델링으로 감염병에 효과적으로 대응하려는 것이다. 코로나19를 포함해 말라리아, 수두와 대상포진, 에이즈, 다제내성균, 결핵, 로타바이러스 등의 감염병을 대상으로 수학적 모델링을 활용한 연구를 수행하고 있다.

다음의 질문이 감염병 모델링에서 다루는 몇 가지 예시에 해당한다. 평균적으로 예상되는 환자의 수는 몇 명인가? 최선, 최악의 경우, 감염병 확산 시나리오를 무엇인가? 제어 전략의 영향을 평가하고 비교할 수 있는가? 특정 정책을 도입하는 것은 비용 대비 효율적인가? 환자 치료를 위한 효과적인 약물 투여 일정을 제안할 수 있는가?

성명	직책
이지현	수학·통계학·의학과 융합 연구실 연구원(수학·통계학)
김계호	수학·통계학·의학과 융합 연구실 연구원(수학·통계학)
윤수	수학·통계학·의학과 융합 연구실 연구원(수학·통계학)
김민준	수학·통계학·의학과 융합 연구실 연구원(수학·통계학)
김민준	수학·통계학·의학과 융합 연구실 연구원(수학·통계학)



**누가 먼저 백신을 접종을 받아야 하나**

이 교수는 '수학적 확산모델을 활용한 신종 감염질환의 효과적 대응 전략 제시' 과제를 수행 중이다. 우리나라 자료를 반영하여 상황에 적합한 모델링으로 감염병에 효과적으로 대응하려는 것이다. 코로나19를 포함해 말라리아, 수두와 대상포진, 에이즈, 다제내성균, 결핵, 로타바이러스 등의 감염병을 대상으로 수학적 모델링을 활용한 연구를 수행하고 있다.

(8) 감염병 기초원천 핵심기술 로드맵 수립 분과위원 활동 (이지현)

감염병 대응 중장기 R&D 계획 수립의 일부로 감염병 기초·원천 핵심기술 로드맵을 준비하는 분과위원으로 활동하였다. 위원회의 논의를 거쳐서 다음과 같은 결론을 도출하고 기술 개발의 방향을 제시하는 보고서를 작성하였다.

□ 개념

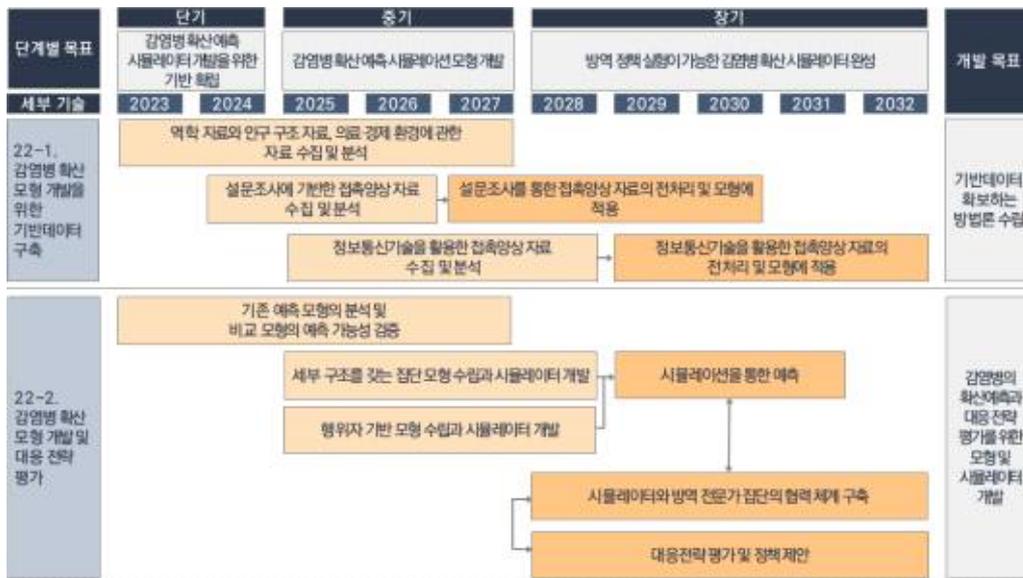
- 국내를 중심으로 감염병 전파경로 및 확산을 예측하고, 미래 예측을 위한 시뮬레이션, 대응 전략 검증 연구

<감염병 확산 예측 및 대응 전략 효과 평가의 세부기술>

세부 기술	주요 내용
기반 데이터 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 인구 구조 및 사회적 접촉 양상 자료 구축 및 분석</li> <li>▶ 의료 및 경제 환경에 관한 자료 구축 및 분석</li> <li>▶ 감염병의 역학 자료 구축 및 분석</li> </ul>
시뮬레이터 개발 및 활용전략 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 인구 구조, 사회적 접촉 양상 및 질병의 특성을 반영하는 모형 수립 및 구조 선택</li> <li>▶ 모형을 통한 감염병 확산 예측의 가능성 검증 및 시뮬레이터 개발</li> <li>▶ 감염병 확산 예측 시뮬레이터 개발</li> <li>▶ 중재 방안 시나리오 구성 및 최적의 대응 전략 설계</li> </ul>

□ 현황 및 지원 필요성

- (현황) 감염병 확산을 예측하는 다양한 시뮬레이터가 개발되어 있으나, 국내의 활용사례 미흡
  - 해외에서는 수리모형을 기반으로 감염병 확산에 대한 피해 규모 예측 및 방역 정책 효과를 분석하고, 대응 전략 수립에 활용 중 \* WHO의 CovidSIM(2020) : 시뮬레이션 결과를 기반으로 영국과 미국에서 코로나19로 인한 사망자 수 감소를 위한 봉쇄령 정책에 근거로 활용(2020.3)
- (지원 필요성) 다양한 방역 정책에 따른 효과를 사전에 예측하여 정책의 이행 시기 및 강도 등을 결정할 수 있도록 과학기술 기반의 근거 마련을 위한 기술 개발 필요



(9) “수학의 기초” 온라인 대중강좌 개설 (최성락 외 8명)

BK 교육연구단 참여교수 총 9명이 일반 대중을 대상으로 하는 온라인 ‘기초 수학’ 교양강좌를 개설하였다. 수학과 관련된 사람들뿐만 아니라 일반 대중에게도 낯이 커져가는 수학의 중요성을 각인시키고 수학의 대중화에 뜻을 모은 교수들의 자발적인 참여로 이 강좌를 개설하게 되었다. 연세대학교의 온라인 강좌 플랫폼인 런어스(LearnUs)에 2023년 2월에 개설되어 상시 무료로 수강신청을 받고 있다.

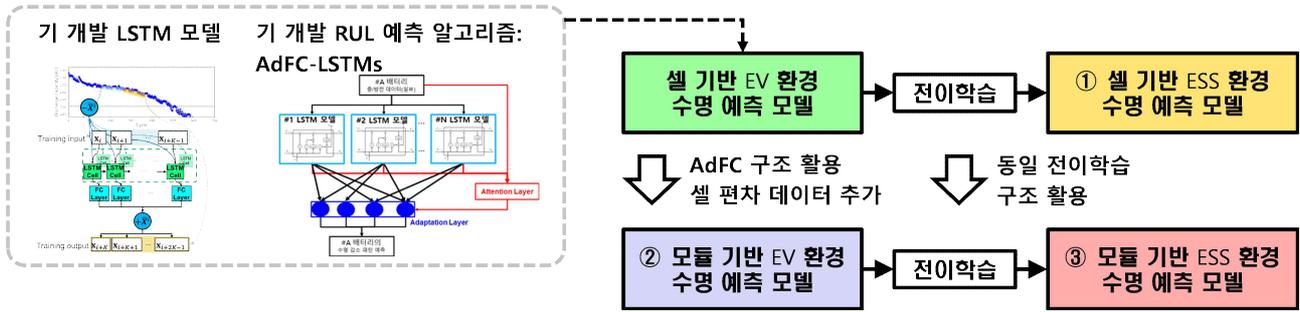
수학의 많은 분야가 생활 속의 필요에 의해 발전했으며 과거는 물론 현재도 수학이 일상생활을 하는 데 많은 편리함을 가져다준 것은 누구나 아는 사실이다. 수학이 발달한 문명일수록 첨단 기술이 발달했고 풍요로운 문화를 꽃피웠다. 현대는 물론이고 과거에도 모든 문명의 혜택은 수학의 발전에서 비롯되었다고 해도 과언이 아니다. 오늘날에도 인공지능, 머신러닝 등의 새로운 형태의 최첨단 수학 이론이 기업의 운명, 나라의 운명을 좌지우지할 수도 있게 되었다.

이렇게 수학의 중요성은 많은 사람들이 인지하고 있지만 중고등학교 또는 대학교에서 배우는 수학은 일상생활에서 쓸모가 없어 보일 때가 많아 괴리감을 느낄 때가 있다. 이러한 이유때문에 소위 ‘수포자’가 양산되고 수학이 어려운 학문으로 다가온다. 수학을 단순히 지식을 배우는 학문으로 이해하고 있기 때문이다. 이 강좌에서는 수학을 공부함으로써 얻어지는 것은 수학의 공식이 아니라 논리적 사고력, 문제해결 능력, 창의력이며 수학을 배워야 하는 이유가 바로 여기에 있다고 강조한다.

수학의 중요성을 언급한 후 수학의 기원에 대해서도 간략하게 배운다. 그리고 대학 수학에서 배울 수 있는 여러 분야에 대해서 해당 분야를 연구하는 교수로부터 직접 강의를 듣는 순으로 강좌를 편성을 했다. 아래의 분야에서 흥미로운 역사 또는 결과를 일반인들도 이해할 수 있는 쉬운 언어로 풀어서 강의를 하도록 노력했다.

<p>&lt;강사진&gt;                  수학의 기초(수의 체계) - 김병한                  대수기하학 - 최성락                  위상수학 - 홍한솔                  대수학 - 유명준                  정수론 - 유명준                  해석학 I, II - 양민석                  편미분방정식 - 최영필                  확률론 - 이승철                  응용수학 - 허영미</p>		
		

(10) 폐배터리 RUL 예측 알고리즘 개발 (최정일)



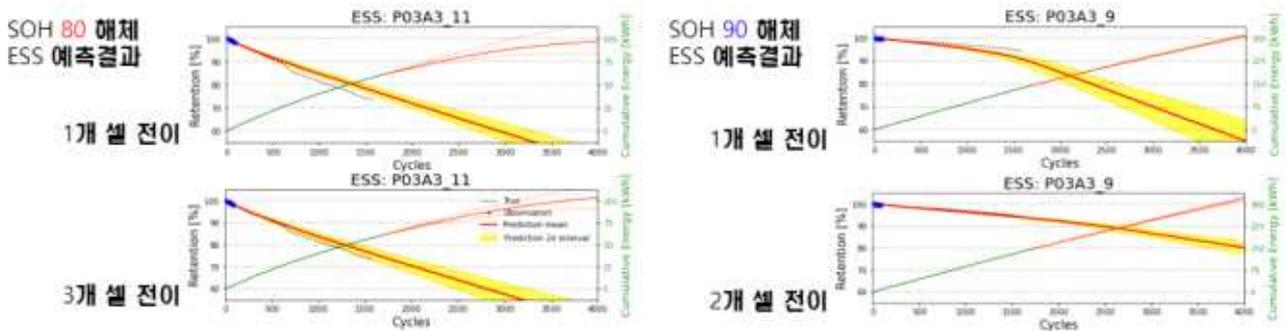
현대자동차에 탑재된 EV용 전지 팩 해체 및 Module의 상태 분석 및 평가 기술을 개발하고, ESS로의 2nd life 보증을 위한 단전지의 잔존수명 예측을 위한 딥러닝 기반 알고리즘을 확립하였다.

이를 위해 딥러닝을 활용한 셀 기준의 폐배터리 수명 예측 알고리즘 개발 및 이를 확장하여 팩 모듈에 대한 수명 예측 알고리즘을 개발하였다.

다양한 작동 조건에서 동작 가능하도록 데이터 기반 모델인 뉴럴 네트워크 방법을 사용하고, 뉴럴 네트워크 중 순차적 데이터 처리에 유용한 기법인 LSTM(Long Short-Term Memory) 방법을 사용하였다.

전기 자동차 작동 조건일 때의 수명예측 결과 및 ESS 작동 조건일 때의 수명예측 결과 2가지를 모두 제공하는 통합 예측 알고리즘 구현하였다.

최종적으로는, 주어진 작동 데이터를 바탕으로 EV 작동 조건/ESS 작동 조건에 따라 각각 수명 예측이 가능한 통합 알고리즘을 개발하였다.



셀 기반 ESS 환경, 모듈 기반 EV 환경, 모듈 기반 ESS 환경 수명 예측 알고리즘의 전체 사이클 감소퍼센트 오차는 각각 1.89%, 2.81%, 0.36% 이하로, 제안된 개발 목표를 초과 달성하는 우수한 성능 확보. 또한, 제안한 알고리즘 관련 특허 2건을 출원하였다.

## (11) Slip-wall 경계조건 기반의 OLED 증착원 공정 시뮬레이션 고도화 (최정일)

### o 연구 목적

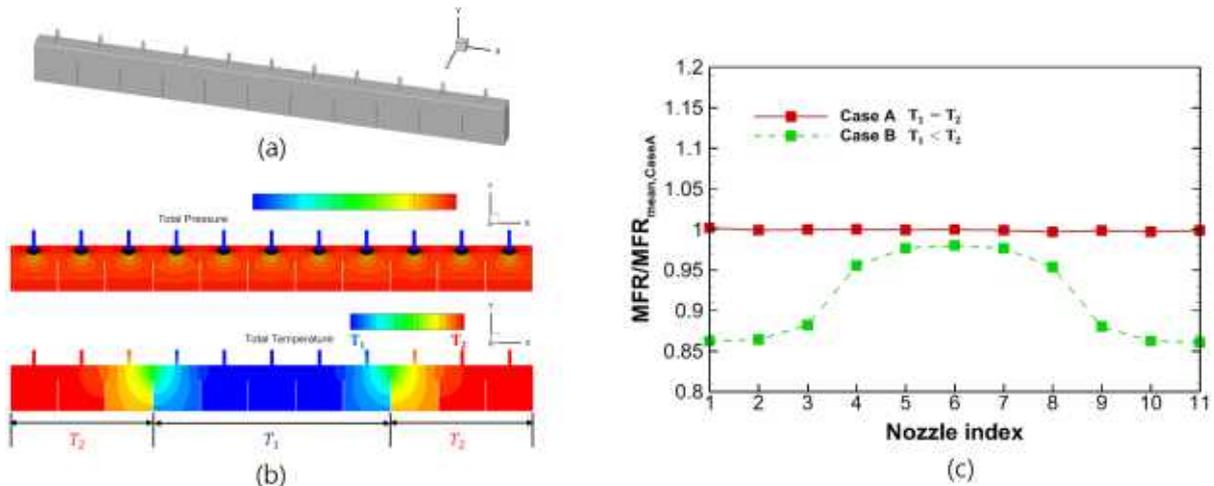
- DSMC 해석 결과에 준하는 예측 정확도를 보일 수 있는 slip 모델이 적용된 Navier-Stokes 압축성 유동해석 프레임 개발.
- 증착 공정의 작동조건에 적합한 slip 모델상수 도출.

### o 연구 필요성

- 증착공정의 희박기체 거동은 천이에서 자유분자 영역으로 적합한 해석기법이 개발되지 않음.
- 해석을 시도할 수 있는 Direct Simulation Monte Carlo는 계산 시간이 매우 오래 걸려 산업계의 요구 정도에 부합하기 어려우며 공정설비의 CAD 형상 반영이 불가.
- 증착공정의 작동조건에서 DSMC 해석결과와 유사한 예측결과를 매우 빠르게 계산할 수 있는 slip 모델이 적용된 Navier-Stokes 유동해석 프레임 개발 필요.
- 초저압 증착 공정에 적합한 수정된 slip 모델 상수 도출 필요.
- 초저압 희박기체 유동의 안정적인 압축성 계산 필요.

### o 연구 내용

- DSMC를 활용한 초저압 희박기체 유동에 대한 reference data 생성.
- Slip모델을 적용한 Navier-Stokes의 초저압 압축성 계산 수렴성 개선.
- 초저압 증착공정에 적합한 slip 모델상수 도출.
- 단일 노즐 증착원 기준으로 reference data 대비 slip모델을 적용한 Navier-Stokes 계산의 유기물 분출량 예측오차 5% 이내, 계산소요시간 약 1/300로 단축.
- 매우 비효율적인 DSMC를 대신하여 선형 증착원의 작동조건에 따른 노즐별 유기물 분출량 예측할 수 있는 프레임워크 구축.



선형 증착원 내부 초저압 희박기체 거동 해석.

(a) 증착원 형상, (b) 내부 압력장 및 온도장, (c) 노즐별 유기물 분출량.

### 3. 연구의 국제화 현황

#### 3.1 참여교수의 국제화 현황

##### ① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

###### 가. 국제학회 기조강연 및 Invited talk 실적

본 교육연구단 참여교수의 평가기간(2020.09.01.-2023.02.28) 동안 국제학회 기조강연 및 초청강연의 실적은 각각 4건과 27건으로 총 31건이다. 다양한 분야의 국제학회에서 강연을 수행하였다.

교수명	기조강연(건)	초청강연(건)	합계
박은재	3	2	5
강경근		2	2
기하서		2	2
김병한		2	2
김준일		1	1
서진근	1	4	5
신원용		2	2
양민석		1	1
최성락		1	1
최영필		8	8
최정일		2	2
합계	4	27	31

- ▶(박은재) 기조강연, Polygonal Staggered DG Method, Oberwolfach workshop on Nonstandard Finite Element Methods, 독일, 20210113
- ▶(박은재) 기조강연, Computational Methods in Applied Mathematics (CMAM 2022), TU Wien, August 29 - September 2, 2022, Vienna, Austria
- ▶(박은재) 기조강연, International Conference on Computational Partial Differential Equations and Applications (ICCPDEA-2022), September 06 - 08, 2022 BML Munjal University, India
- ▶(서진근) 기조강연, Deep Learning for Solving Ill-posed Problems in Medical Image Analysis, SIAM Conference on Imaging Science (IS22), 독일, 2022.03.21.
- ▶(박은재) 초청강연, ERC Workshop 2022: Interplay of discretization and algebraic solvers: a posteriori error estimates and adaptivity, June 8-June 10, 2022, INRIA Paris, France
- ▶(박은재) 초청강연, Polytopal Element Methods in Mathematics and Engineering (POEMS 2022), Politecnico di Milano, December 12-14, 2022, Milan, Italy
- ▶(강경근) 초청강연, Analysis of some differential equations related to chemotactic nonlinearity, Mathematical Modeling and Analysis (M2A2; Angela's birthday conference), Münster, Germany, June 7th-9th, 2022
- ▶(강경근) 초청강연, Local regularity of Stokes system and Navier-Stokes equations near boundary, Analysis Session, MSJ-KMS Joint Meeting 2021. Japan, Sept. 13th, 2021 via ZOOM video conference.
- ▶(기하서) 초청강연, On the de Bruijn-Newman constants, International Conference on Analytic

Number Theory dedicated to 75th anniversary of G.I. Arkhipov and S.M. Voronin at Steklov Mathematical Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, 러시아, 20201214

- ▶ (기하서) 초청강연, On the de Bruijn–Newman constant: Kim and Lee’s results on the zeros of Jensen polynomials, The Laguerre–Polya Class and Combinatorics at Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach, 독일, 20220313
- ▶ (김병한) 초청강연, Weak canonical bases in NSOP1 theories, model theory workshop, RIMS(일본, Kyoto) 20201208
- ▶ (김병한) 초청강연, A report on the antichain tree proeprty, Newostability workshop, BIRS 캐나다 20230221
- ▶ (김준일) 초청강연, Spherical Maximal Averages on Nilpotent Groups, East Asian Conference of Harmonic Analysis and its applications, 대한민국, 20220819
- ▶ (서진근) 초청강연(opening lecture), Deep Learning for ill-posed inverse problems in medical imaging, Oberwolfach Workshop Deep Learning for Inverse Problems (hybrid meeting), 독일 Oberwolfach, 2021.03.08.
- ▶ (서진근) 초청강연, Deep Learning-Based Solvability of ill-posed Inverse Problems in Medical Imaging, Deep learning and inverse problems(hybrid meeting), 뉴톤 Institute, 캠브리지 대학, 영국, 2021.09.28
- ▶ (서진근) 초청 강연, Nonlinear Ill-posed Inverse Problem in X-ray CT, Tomography Across the Scales 2022 at RICAM Workshop 1 on “Medical Imaging” , Linz, 오스트리아, 2022.10.11.
- ▶ (서진근) 초청강연, Clinical Use of Electrical Impedance Tomography, Inverse Problems in the Desert, 아부다비 뉴욕대학, 아랍에미레이트, 2022.12.20.
- ▶ (신원용) 초청강연, Personalized preference learning for caching: A data analytics perspective, The 11th International Conference on ICT Convergence (ICTC), 한국 제주도, 20201022
- ▶ (신원용) 초청강연, Towards new challenges on recommender systems using graph neural networks, The 13th International Conference on ICT Convergence (ICTC), 한국 제주도, 20221020
- ▶ (양민석) 초청강연, On Liouville-type theorems for the stationary MHD equations, Mathematical Fluid Mechanics In 2022, 체코, 20220825
- ▶ (최성락) IBS(기초과학연구원) Center for Geometry and Physics, 창립 10주년 기념 국제학회 초청강연, 포항, 2022년 10월 4-6일
- ▶ (최영필) 초청강연, Rigorous derivation of the continuum hydrodynamic equations, Kinetic and fluid equations for collective dynamics, Virtual Summer School, 프랑스(온라인), 20210826
- ▶ (최영필) 초청강연, Asymptotic limits connecting: kinetic, hydrodynamic and aggregation equations, Kinetic and fluid equations for collective dynamics, Virtual Summer School, 프랑스(온라인), 20210826
- ▶ (최영필) 초청강연, Well-posedness and singularity formation for Vlasov–Riesz system, Boltzmann Equation and BGK Models: Theory and Numerics in 32nd International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, 한국, 20220708
- ▶ (최영필) 초청강연, The Vlasov–Riesz system: existence and singularity formation, Workshop on Mathematical Physics and Probability: Theory, Numeric and Application, 한국, 20220808
- ▶ (최영필) 초청강연, Derivation of the Euler–alignment system, 2022 Global KMS International Conference, 한국, 20221019
- ▶ (최영필) 초청강연, The Vlasov–Riesz system: existence and singularity formation, BIRS–CMO workshop on Kinetic Equations: Recent Developments and Novel Applications, 멕시코(하이

- 브리드), 20221031
- ▶(최영필) 초청강연, Critical thresholds in pressureless Euler-Poisson equations: a new method based on Lyapunov functions, 2023 winter Workshop on Mathematical Analysis of Fluids, 한국, 20230201
  - ▶(최영필) 초청강연, Critical thresholds in pressureless Euler-Poisson equations: a new method based on Lyapunov functions, Multiscale analysis and methods for PDEs: fluids and active matter dynamics, 싱가포르, 20230209
  - ▶(최정일) 초청강연, State-of-health Predictions of Lithium-ion Batteries using Deep Learning, KSIAM-MINDS-NIMS International Conference on Machine Learning and PDEs, 한국, 20220812
  - ▶(최정일) 초청강연, Direct Numerical Simulation of Turbulent Natural Convection at High Rayleigh Numbers, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference, 한국, 20221017

#### 나. 국제학회/학술대회 위원회 및 좌장 활동

본 교육연구단 평가기간(2020.09.01.-2023.02.28) 동안의 국제학회/학술대회 위원회 및 좌장활동은 참여교수 7명이 활동하였으며, 총 15건의 실적을 내었다. Organizer가 총 5건, committee 총4건(org. 3건, Adv. 1건), 좌장이 6건으로 나타났다.

교수명	Organizer	Organizing Committee	Local Organizing Committee	Advisory Committee	Session Chair	총 합
박은재	1					1
김병한					3	3
김세익	1					1
김준일	1					1
신원용		2			1	3
이지현	1				2	3
최정일			1	1		2
홍한솔	1					1
	5	2	1	1	6	15

- ▶(박은재) Organizer, The 26th International Domain Decomposition Conference, DD XXVI, Polygonal Finite Elements, DG, and Related Methods, Virtual Conference, Hong Kong, China, 2020.12.07-12
- ▶(김병한) Session Chair, Model Theory: Workshop, RIMS(Japan, Kyoto) 2021.12.13.-15
- ▶(김병한) Session Chair, Model Theory: Workshop, RIMS(Japan, Kyoto) 2022.12.12.-14
- ▶(김병한) Session Chair, Model Theory: Combinatorics, Groups, Valued Fields and Neostability, MFO (Germany, Oberwolfach) 2023.1.8.-14
- ▶(김세익) Organizer, Harmonic Analysis and PDE in Seoul, Yonsei University, Seoul, 2022.05.16.-20
- ▶(김준일) Organizer/ East Asian Conference of Harmonic Analysis and its applications/Japan/2021.08
- ▶(신원용) Organizing Committee, 2023 IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, USA, 2023.01.08-11
- ▶(신원용) Organizing Committee, The 37th International Conference on Information Networking

(ICOIN), Bangkok, Thailand, 2023.01.11-14

- ▶ (신원용) Session Chair, 2023 IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, USA, 2023.01.08-11
- ▶ (이지현) Organizer, Europe-Korea Conference on Science and Technology 2023, 독일, 2023.08.14-18
- ▶ (이지현) Session Chair, 2020 KMS Annual Meeting, 온라인, 2020.10.23-24
- ▶ (이지현) Session Chair, 2021 KMS Spring Meeting, 온라인, 2021.04.29-30
- ▶ (최정일) International Advisory Committee, The 8th Asian Symposium on Computational Heat Transfer and Fluid Flow, Qingdao, China, 2021.09.23-26.
- ▶ (최정일) Local Organizing Committee, The 13th Asian Computational Fluid Dynamics Conference, Jeju, Korea, 2022.10.16-19.
- ▶ (홍한솔) Organizer, QSMS Workshop on symplectic geometry and related topics. Jeju, Korea. 2023.02.05.-2023.02.10

#### 다. 국제 학술지 편집 위원 활동

참여교수명	Editorial Board	Managing Editor	Associate Editor	총 합
박은재	1		1	2
기하서	1			1
김세익	1		1	2
손재범	1	1		2
서진근	3			3
신원용			2	2
윤경호			1	1
이은정			1	1
최영필	2			2
	9	1	6	16

- ▶ (박은재) Associate Editor, Computational Methods in Applied Mathematics, De Gruyter, 2015-present
- ▶ (박은재) Editor, Advances and Applications in Fluid Mechanics, 2006-2021
- ▶ (기하서) Editorial Board, Journal of the Korean Mathematical Society, 2007-2012, 2013.02-present
- ▶ (김세익) Associate Editor, Annals of Applied Mathematics, 2020.09-present
- ▶ (김세익) Editorial Board, Journal of the Korean Mathematical Society, 2017.01-present
- ▶ (손재범) Managing Editor, Journal of the Korean Mathematical Society, 2021.1-2022.12
- ▶ (손재범) Editorial Board, Journal of the Korean Mathematical Society, KMS, 2021.1-present
- ▶ (서진근) Executive Editorial Board, Inverse Problems, IOP science, 2021-present
- ▶ (서진근) Editorial Board, Inverse Problems and Imaging, IOP science American Institute of Mathematical Science, 2021-present
- ▶ (서진근) Editorial Board, Mathematics in Industry, Springer Verlag, 2021-present
- ▶ (신원용) Associate Editor, IEIE Transactions on Smart Processing & Computing, IEIE, 2013-2022
- ▶ (신원용) Associate Editor, ICT Express, KICS, 2022-present
- ▶ (윤경호) Associate Editor, Journal of Computational Design and Engineering, Oxford University Press, 2022-present.

- ▶(이은정) Associate Editor, Results in Applied Mathematics, Elsevier, 2019-present
- ▶(최영필) Editorial board, Networks and Heterogeneous Media, 2021-present
- ▶(최영필) Editorial board, Bulletin of the Korean Mathematical Society, 2023-present

## 라. 국제 학술대회 수상

- ▶(박은재) 제8회 KSIAM-금곡 학술상, 2020년 11월, 계산응용수학분야에서 탁월한 연구업적으로 한국산  
업응용수학회(KSIAM) 가을정기학술대회에서 ‘KSIAM-금곡학술상’ 수상자로 선정
- ▶(최희준) 대한수학회 디아이 수학자상, 2020년 10월, 준선형 편미분 방정식의 정칙성 연구와 비압축성/  
압축성 나비에-스톡스 방정식의 강해 및 정칙성, 수치해석 기법인 meshfree method 개발  
※ 디아이 수학자상은 한국 수학의 학문적 발전에 기여하거나 국내외적으로 수학적 위상을 높여 학계  
발전이 기여한 자를 시상
- ▶(강경근) 대한수학회 국내논문상, 2020년 10월, Asymptotic Behaviors of Solutions for an Aerotaxis  
Model Coupled to Fluid Equations
- ▶(최영필) 대한수학회 논문상, 2022년 4월, Mean-field limit for collective behavior models with sharp  
sensitivity regions  
※ 지난 3년간에 발표된 단일 논문으로 그 우수성을 인정받아 수학발전에 크게 공헌한 본회 회원
- ▶(서진근, 이승철) Physics in Medicine & Biology Citations Prize (Rotblat Medal) to the Winners 2022  
Congratulations to Chang Min Hyun, Hwa Pyung Kim, Sung Min Lee, Sungchul Lee  
and Jin Keun Seo for their paper “Deep learning for undersampled MRI  
reconstruction” (Citation 384회)  
[https://iopscience.iop.org/journal/0031-9155/page/Citations\\_Prize](https://iopscience.iop.org/journal/0031-9155/page/Citations_Prize)  
※ Physics in Medicine & Biology(IF 4.174)에서 5년 누적해서 1년에 1개씩만 주는 상

② 국제 공동연구 실적

<표 3-6> 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 국제 공동연구 실적

연번	공동연구 참여자		상대국 /소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자			
1	강경근	T.-P. Tsai	캐나다 /British Columbia 대학	Finite energy Navier–Stokes Flows with unbounded gradients induced by localized flux in the half space, Trans. of the AMS. 375(9), (2022), 6701–6746.	10.1090/tran/8739
2	강경근	H. Miura; T.-P. Tsai	일본/ Tokyo Inst. Tech. 캐나다/British Columbia 대학	Regular set and an $\varepsilon$ -regularity theorem in terms of initial data for the Navier–Stokes equations, Pure Appl. Anal. 3 (2021), no. 3, 567–594	10.2140/paa.2021.3.567
3	김병한	J. Dobrowolski; N. Ramsey	영국/U of Manchester; 미국/U of Notre Dame	Independence over arbitrary sets in NSOP1 theories, Annals of Pure and Applied Logic, 173 (2022) 103058	10.1016/j.apal.2021.103058
4	김세익	Dong, Hongjie	미국/Brown 대학교	Estimates for fundamental solution of parabolic equations in non-divergence form. J. Differential Equations, 340 (2022), no. 1, 557–591.	10.1016/j.jde.2022.09.007
5	김세익	Townsend, Alex	미국/Cornell 대학교	Learning Green’s functions associated with time-dependent partial differential equations. Journal of Machine Learning Research 23 (2022), no. 218, 1–34	<a href="https://jmlr.org/papers/volume23/22-0433/22-0433.pdf">https://jmlr.org/papers/volume23/22-0433/22-0433.pdf</a>
6	양민석	Jiri Neustupa; Patrick Penel	체코/Czech Academy of Sci 프랑스/U du Sud-Toulon-Var	Regularity Criteria for Weak Solutions to the Navier–Stokes Equations in Terms of Spectral Projections of Vorticity and Velocity (2022) J. Math. Fluid Mech. Vol 24, 104	10.1007/s00021-022-00728-w
7	이지현	Davey M. Smith	USA/UC San Diego	Cost-effectiveness analysis of pre-exposure prophylaxis for the prevention of HIV in men who have sex with men in South Korea: a mathematical modelling study, Scientific reports 10.1 (2020): 14609.	10.1038/s41598-020-71565-y
8	최성락	Gongyo, Yoshinori	일본/도쿄대학교	On a generalized Batyrev’s cone conjecture, Math.Z. 300, 1319–1334 (2022)	10.1007/s00209-021-02813-8
9	최영필	José A. Carrillo	영국/Oxford 대학교	Mean-field limits: from particle descriptions to macroscopic equations, Arch. Ration. Mech. Anal., 241, (2021), 1529–1573.	10.1007/s00205-021-01676-x
10	최영필	Oliver Tse	네덜란드/Eindhoven Univ. of Tech.	Quantified overdamped limit for kinetic Vlasov–Fokker–Planck equations with singular interaction forces, J. Differential Equations, 330, (2022), 150–207.	10.1016/j.jde.2022.05.008

연번	공동연구 참여자		상대국 / 소속기관	국제 공동연구 실적	DOI 번호/ISBN 등 관련 인터넷 link 주소	
	교육연구단 참여교수	국외 공동연구자				
11	허영미	Kasso Okoudjou	미국/Tufts Univ.	Multivariate tight wavelet frames with few generators and high vanishing moments, Int. J. Wavelets Multiresolut. Inf. Process., 20(5), 2250009 (2022)	10.1142/S0219691322500096	
12	허영미	Zachary Lubberts	미국/Johns Hopkins Univ.	Interpolatory tight wavelet frames with prime dilation, Appl. Comput. Harmon. Anal., 49(3), pp. 897-915, 2020	10.1016/j.acha.2019.05.003	
13	홍한솔	Lin, Yu-Shen	미국/Boston Univ	Bulk-Deformed Potentials for Toric Fano Surfaces, Wall-Crossing, and Period, Int. Math. Res. Notices, Vol. 2022, Issue 16 (August 2022) pp. 12699-12766	10.1093/imrn/rnaa357	
14	홍한솔	Lau, Siu-Cheong	미국/Boston Univ	Noncommutative Homological Mirror Functor, Mem. Am. Math. Soc., 271(1326), June 2021	10.1090/memo/1326	
15	박은재	Amiya Pani	인도/IIT-Bombay	Morley finite element methods for the stationary quasi-geostrophic equation. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 375 (2021), No. 113639	10.1016/j.cma.2020.113639	
16	박은재	Eric Chung	중국/Chinese Univ of Hong Kong	Staggered DG method for coupling of the Stokes and Darcy-Forchheimer problems. SIAM J. Numer. Anal. 59, no. 1, 1-31, 2021	10.1137/19M1268525	
17	서진근	Yizhuang Song; Rosalind Sadleir	중국/Shandong Normal Univ 미국/Arizona State Univ	Low frequency conductivity reconstruction based on a single current injection via MREIT, Phys. Med. Biol. 65 (2020) 225016, 2020	10.1088/1361-6560/abbc4d	
18	신원용	Andreas Spitz; Michael Gertz	스위스/EPFL, 독일/Heidelberg University	DeepNC: Deep Generative Network Completion, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 44, pp. 1837-1852, 2022	10.1109/TPAMI.2020.3032286	
19	윤경호	Brinker, Spencer	US/ Yale School of Medicine	Feasibility of upper cranial nerve sonication in human application via neuronavigated single-element pulsed focused ultrasound, Ultrasound Med. Biol., vol. 48, pp. 1045-1057, 2022	10.1016/j.ultrasmedbio.2022.01.022	
20	최정일	Xiaomin Pan	중국/Shanghai Univ	Monolithic projection-based method with staggered time discretization for solving non-Oberbeck-Boussinesq natural convection flows, Journal of Computational Physics, Vol.463, 111238, 2022.	10.1016/j.jcp.2022.111238	
21	최정일	Xiang Sun	중국/Ocean Univ of China	Non-intrusive reduced-order modeling for uncertainty quantification of space-time-dependent parameterized problems, Computers & Mathematics with Applications, Vol.87, pp.50-64, 2021.	10.1016/j.camwa.2021.01.015	
총 환산 참여교수 수				21.2	제출요구량	5~21

### ③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적

(1) 김병한 교수 : UC Irvine의 Isaac Goldbring 교수의 줌 집중강연(2022.01.15.-02.23), 매주 수요일 8회에 걸쳐 모델론과 operator algebra, quantum information theory와 연계되는 강의로 필즈상 수상자인 Connes의 embedding property의 부정적 해결에 대한 모델론적 접근과 관련하여 발생한 관련 새로운 결과들에 대하여 강연함. 매년 국내외 operator algebra, quantum information theory와 모델론 관련 학자, 학생들이 3-40명 정도 참여하여 성공적으로 강연을 마무리하였다. 특히 수학, 전산학 관련 대학원생들이 수리논리 모델론이 수학, 전산학의 다양한 분야와 연계하여 성과를 내고 있음을 알리는 좋은 계기가 되었다. 관련 홈페이지: <https://www.math.uci.edu/~isaac/yonsei.html>

(2) 박은재 교수 : 독일 Humboldt University of Berlin 대학의 Carsten Carstensen교수와 연세대학교의 박은재 교수는 상호교류를 꾸준히 진행하고 있다. 2020년 9월~12월까지 Emilie Pirch 학생이 본학과에 방문학생으로 수업 및 연구를 진행하였다. 최근 Carsten Carstensen교수는 매일 100분씩 8일(2023년 2월 8일~17일)동안 Adaptive finite element method에 대하여 대학원 학생과 신진 연구인력을 대상으로 기초부터 연구의 프런트까지 집중강연을 진행하였다.

(3) 박은재 교수 : 인도 Indian Institute of Technology, Bombay 대학의 Amiya Pani 교수와 연세대학교 박은재 교수는 오랜 상호교류를 지속하고 있다. 2019년 8월19일~9월30일까지 연대를 방문하여 김도현 학생과 여러 논문 주제에 대하여 토론하고 초고를 작성하였으며, 그 이후는 코로나 여파 등으로 비대면 연구를 진행하였다. 이메일, 줌 등의 교류를 하며 공동연구를 수행하여 총 2편의 뛰어난 연구결과가 있다. 1편은 Methods Appl. Mech. Engrg. 375 (2021)에 게재되었고, 다른 한편은 현재 투고 중에 있다.

- D. Kim, A.K. Pani & E-J Park (2021) Morley finite element methods for the stationary quasi-geostrophic equation. Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. 375 (2021), 113639,

(4) 박은재 교수 : 홍콩 City University of Hong Kong 대학의 Lina Zhao 교수와 연세대학교 박은재 교수는 사제지간으로 김OO 학생과 함께 지속적인 연구를 진행하고 있다. 특히, 김OO 학생은 졸업후 홍콩으로 건너가 Lina Zhao 교수와 공동연구를 수행하며 여러 편의 우수한 논문을 작성하였다. 크랙이 존재하는 다공성 물질을 통과하는 Darcy flow 및 Navier-Stokes equations에 대한 연구를 진행하였으며, 그 결과는 국제저명학술지 J Sci Comput (2022)에 게재되었다. 다른 한편은 현재 투고 중에 있다.

- L. Zhao, D. Kim, E-J Park, Staggered DG Method with Small Edges for Darcy Flows in Fractured Porous Media. J Sci Comput 90, 83 (2022)

(5) 신원용 교수 : Xin Cao 교수 (호주 The University of New South Wales)와의 교류 실적  
소셜 네트워크에 연결 정보를 갖지 않은 새로운 사용자가 참여하는 상황에서 그래프 신경망을 통해 representation learning을 하는 새로운 방법론인 Edgeless-GNN을 제안하였으며, 해당 결과물은 계산 및 응용 분야 저명학술지인 IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing에서 현재 2차 심사 중이다. 한편, Supervision data가 없을 시 속성 증강을 통해 다수의 네트워크에서 점진적으로 정렬을 수행하는 Grad-Align+ 기술을 설계하였으며, 해당 결과물은 데이터사이언스 최상위학술대회인 ACM CIKM에서 2022년 10월 발표되었다..

(6) 신원용 교수 : Michael Gertz 교수 (독일 Heidelberg University)와의 교류 실적  
Missing node와 edge를 가지면서 부분적으로만 관찰 가능한 네트워크에서 심층 그래프 생성 모델을 사용하여 네트워크 복구를 수행하는 새로운 방법론인 DeepNC를 제안하였으며, 해당 결과물은 인공지능분

야 최상위저명학술지인 IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.에 2022년 4월 게재되었다.

(7) 양민석 교수 : 과학기술정보통신부 한국연구재단의 기관사업인 연구교류지원사업(양자)에 선정되어 체코 국립과학원 Czech Academy of Sciences 소속의 Jiri Neustupa 교수와 Sarka Necasova 교수가 참여하는 국제공동연구과제에 각각 선정되었다. 2022년 1월 1일부터 2023년 12월 31일까지 2년간 협약을 맺고 MHD와 관련된 방정식의 정성적 이론을 수립하는 연구를 진행하고 있고 다수의 연구결과를 국제저명 학술지에 투고하여 심사중에 있다.

(8) 유명준 교수 : National Taiwan 대학의 Jia-Wei Guo, Yifan Yang과 서울대학교의 유화중 교수와 함께 공동연구를 진행하여 연구결과 The rational cuspidal subgroup of  $J_0(p^2M)$  with  $M$  squarefree를 냈고 현재 이 논문은 현재 Mathematische Nachrichten 저널에 게재 확정되었다. Modular 곡선에 대해 국제적으로 최고의 전문가들과 함께한 이 연구에서는 줌미팅과 이메일 등 활발한 논의를 통해 효율적으로 논문을 작성하였으며 이 결과의 후속 결과들에 대한 방향성을 제시하였다.

(9) 윤경호 교수: 미국 Harvard Medical School(Brigham and Women's Hospital)의 Seung-Schik Yoo 교수와 2018년부터 대면미팅, 이메일, 화상미팅, 카카오톡 등으로 폭넓은 연구 교류를 진행 중이다. 최근 경두개 집속초음파 치료에서 초음파 변환기의 위치의 실시간 네비게이션 정보를 제공하는 인공지능 치료 보조 시스템을 개발하였으며, 본 공동연구의 결과물로 다음 저널에 논문을 게재하였다.

- M. Choi, M. Jang, S-S. Yoo, G. Noh, K. Yoon, Deep Neural Network for Navigation of a Single-element Transducer during Transcranial Focused Ultrasound Therapy: Proof of Concept, IEEE J. Biomed Health Inform, Vol. 26, 2022, pp. 5653-5664.

(10) 윤경호 교수: 미국 Yale School of Medicine의 Spencer Brinker와 미국 Mount Sinai School of Medicine의 Alan C. Seifert 교수와 2020년부터 이메일, 화상미팅 등으로 연구 교류를 진행하고 있다. 최근 삼차신경 자극 임상 치료를 위한 장비 및 소프트웨어를 구축하였고 이를 실험적/수치적 검증을 수행하였다. 본 공동연구의 결과물로 다음 저널에 논문을 게재하였다.

- S. T. Brinker, P. Balchandani, A. C. Seifert, H-J Kim, K. Yoon, Feasibility of Upper Cranial Nerve Sonication in Human Application via Neuronavigated Single-Element Pulsed Focused Ultrasound, Ultrasound Med. Biol., Vol. 48, 1 June 2022, 1045-1057.

(11) 이은정 교수 : University of Colorado at Boulder의 Thomas A. Manteuffel 교수와 공동연구 L2-근사해를 찾을 때, 음의 노름 최소제곱법은 유용한 도구임. 이 방법은 풍부한 이론을 가지고 있지만, 수치적 구현은 직관적이지 않고 복잡한 과정을 거치게 되고 사용이 가능한 편미분 방정식에 제약이 있어 실질적으로 널리 이용되지 않다. 공동연구를 통해 전통적인 음의 노름 최소제곱법을 확장하고, 적절히 정의된 음의 노름을 사용하여 편미분 방정식의 일차계 시스템을 해결하는 방법을 제안하였다. 또한, 이러한 음의 노름 최소화 문제의 대안을 개발하여 수치 시뮬레이션 구현이 용이하도록 하였다. 현재 Negative norm least squares finite element method의 제목으로 논문을 작성 중이다.

(12) 최성락 교수 : 일본 도쿄대학교의 Yoshinori Gongyo교수와의 공동연구의 결과로 “On a generalized Batyrev’s cone conjecture, Math.Z. 300, 1319-1334 (2022)” 를 출판할 수 있었다. 이 연구 결과에 대한 후속 연구의 일환으로 potential klt/lc pair 개념을 이용한 다양한 cone의 구조를 규명하기 위해 지속적인 연구 교류를 해 왔다. 그동안 코로나바이러스의 확산으로 상호 방문을 할 수 없었지만 2023년 4월에 그동안 서신으로만 진행된 연구결과들을 확인하기 위해 방문할 계획이다.

(13) 최영필 교수 : 영국 Oxford University의 José Carrillo 교수와 2012년부터 공동연구를 진행하여 많은 연구결과를 학술지에 게재해 왔다. 매년 영국을 방문하여 공동연구를 진행했으나 코로나 여파 등으로 최근에는 이메일, 줌 회의를 통해 공동연구를 수행 중이다. 2022년 6월에 Oxford 대학에 방문하여 진행 중인 공동논문에 대해서 논의했으며 올해 8월에 대면으로 회의를 진행할 예정이다. 최근 3년 동안에는 아래의 공동논문 3편을 출판했다.

- J. A. Carrillo, Y.-P. Choi, and Y. Peng, Large friction-high force fields limit for the nonlinear Vlasov-Poisson-Fokker-Planck system, *Kinet. Relat. Models*, 15, (2022), 355-384.
- J. A. Carrillo and Y.-P. Choi, Mean-field limits: from particle descriptions to macroscopic equations, *Arch. Ration. Mech. Anal.*, 241, (2021), 1529-1573.
- J. A. Carrillo, Y.-P. Choi, and J. Jung, Quantifying the hydrodynamic limit of Vlasov-type equations with alignment and nonlocal forces, *Math. Models Methods Appl. Sci.*, 31, (2021), 327-408.

(14) 최영필 교수 : 네덜란드 Eindhoven University of Technology의 Oliver Tse 교수와 수년간 공동연구를 진행하고 있다. 2020년 1월, 2022년 7월에 Eindhoven University of Technology에 방문하여 공동연구를 진행했으며 주기적으로 이메일, 줌 회의를 통해 공동연구를 진행 중이다. Oliver Tse 교수는 올해 8월 한 달 정도 연세대에 방문할 예정이며 이를 통해 현재 진행 중인 공동논문 2편을 완성하고자 한다. 최근 3년에는 아래의 공동논문 2편을 출판했다.

- Y.-P. Choi and O. Tse, Quantified overdamped limit for kinetic Vlasov-Fokker-Planck equations with singular interaction forces, *J. Differential Equations*, 330, (2022), 150-207.
- Y.-P. Choi, D. Oh, and O. Tse, Controlled pattern formation of stochastic Cucker-Smale systems with network structures, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 111, (2022), 106474.

(15) 최영필 교수 : 2018년부터 이탈리아 L' Aquila University의 Cristina Pignotti 교수와 함께 공동연구를 시작했으며 코로나 여파 등으로 인해 이메일, 화상회의를 통해 교류를 지속하여 최근 3년에는 아래의 논문 2편을 출판했다. 주기적인 이메일 교신을 통해 교류를 지속하고 있으며 후속 공동연구에 대해서 논의하고 있다.

- Y.-P. Choi and C. Pignotti, Exponential synchronization of Kuramoto oscillators with time delayed coupling, *Commun. Math. Sci.*, 19, (2021), 1429-1445.
- Y.-P. Choi, A. Paolucci, and C. Pignotti, Consensus of the Hegselmann-Krause opinion formation model with time delay, *Math. Methods Appl. Sci.*, 44, (2021), 4560-4579.