

『4단계 BK21사업』미래인재 양성사업(기초과학 분야) 교육연구팀 성과평가 보고서

관리번호	4299990414342															
사업 분야	기초과학	신청분야	수학	단위	전국	구분	교육연구팀									
학술연구분야 분류코드	구분	관련분야		관련분야		관련분야										
		중분류	소분류	중분류	소분류	중분류	소분류									
	분류명	수학	수학일반													
	비중(%)	100%		0%		0%										
학과(학부)	고려대학교 수학과															
교육연구 단명	국문) 4차 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀															
	영문) Fourth BK21 Korea University Mathematical Science Future Human Education Team															
교육연구 단장	소 속		고려대학교 이과대학 수학과													
	직 위		교수													
	성명	국문	김준석	전화												
		영문	Junseok Kim	팩스												
				이동전화												
			E-mail													
연차별 총 사업비 (백만원)	구분	1차년도 (‘20.9~’21.2)		2차년도 (‘21.3~’22.2)		3차년도 (‘22.3~’23.2)										
	국고지원금	183		366		374										
총 사업기간		2020.9.1.-2027.8.31.(84개월)														
평가 대상 기간		2020.9.1.-2023.2.28.(30개월)														
<p>본인은 『4단계 BK21』사업 성과평가 보고서를 제출합니다. 아울러, 보고서에는 사실과 다른 내용이 포함되지 아니하였으며 만약 허위 사실이나 중대한 오류가 발견될 경우에는 그에 상응하는 불이익을 감수하겠음을 서약합니다.</p> <p style="text-align: right;">2023년 월 일</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 15%;">작성자</td> <td style="width: 40%;">교육연구단장</td> <td style="width: 45%;"></td> </tr> <tr> <td>확인자</td> <td>대학교 산학협력단장</td> <td></td> </tr> <tr> <td>확인자</td> <td>대학교 총장</td> <td></td> </tr> </table> <p style="margin-top: 10px;">한국연구재단 이사장 귀하</p>								작성자	교육연구단장		확인자	대학교 산학협력단장		확인자	대학교 총장	
작성자	교육연구단장															
확인자	대학교 산학협력단장															
확인자	대학교 총장															

〈신청서 요약문〉

중심어	4차 산업혁명	인공지능	수학적 사고력
	금융수학	데이터 수리과학	미래인재양성
	사회문제 해결	수학	학문후속세대양성
교육연구팀의 비전과 목표	<p>4차 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀은 과학기술 난제 또는 사회문제 해결 능력을 갖춘 우수한 미래인재를 양성하기 위해서 양적인 인재양성보다는 질적인 인재양성에 중점을 두며 세계적 수준의 대학원 교육과 연구중심 수학과를 육성하려는 비전을 갖고 다음과 같은 목표를 세웠다. 대학원생이 안정적으로 학업과 연구에 집중할 수 있도록 재정적으로 지원하고, 큰 포부를 갖고 자신의 미래 진로를 능동적으로 설계할 수 있도록 대학원 교육과 연구인프라 체계를 갖춘다. 대학원 교육과정 개편과 4차 산업혁명 시대에 필요한 신규 교육과정 개발을 통해서 대학원 교육과 연구의 질적 수준을 강화한다. 활발한 국내외 공동연구 수행을 통해 4차 산업혁명 시대의 사회변화에 선도적으로 대응할 창의적이고 도전적인 대학원생들의 기초연구역량 강화 및 세계적 수준의 연구 성과를 창출한다. 4차 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀은 끊임없는 혁신 노력을 통해 미래 환경변화에 적극적으로 대응하고 새로운 지식과 가치를 창조하는 대학원생들을 양성하는데 목표를 두고 있다.</p>		
교육역량 영역	<p>4차 산업혁명 시대에 능동적으로 다양한 문제를 해결할 수 있는 능력을 갖춘 대학원생 양성을 위한 교육과정 개발 및 운영과 효과적이고 효율적인 학사운영을 통해 대학원생 교육역량을 강화한다. 인공지능, 빅데이터 분석, 금융수학, 산업수학, 학문후속세대 양성 등 개별적인 교육역량을 강화하고 공통적인 기초수학 학습을 탄탄하게 다져서 창의력 있고 문제 해결력 있는 대학원생을 양성한다. 세계적 수준의 수학과 대학원 교육을 위해서는 어느 특정 과목에만 집중하여 교육해서는 안되며, 수학과 교수진 구성원 모두가 협력하여 대학원 교육을 이끌어야 한다. 이에 본 연구팀은 해석학, 대수학, 위상수학, 기하학 등 수학의 뿌리가 되는 기본 분야와 함께 사회문제를 수학적으로 해결하기 위한 응용 분야를 함께 교육할 것이다. 이를 통하여 수리과학 이론연구, 과학 및 첨단기술 개발, 그리고 인류사회에 이바지할 수 있는 수학적 사고력을 갖춘 글로벌 인재 양성을 교육 목표로 한다.</p>		
연구역량 영역	<p>각 참여교수는 지도 대학원생들의 연구지도와 연구과제 참여를 통해서 연구역량을 강화한다. 산학협력 활동을 통해 실제 사회 문제에 대한 수학적 문제 해결을 도출하고, 참여대학원생의 졸업 후 취업에 도움이 되도록 한다. 또한, 활발한 국제 공동연구를 통해서 우수 연구 성과를 도출한다. 수학 분야에서는 SCI급 저널에 대학원생이 학위과정 중에 논문을 단독으로 투고하여 게재하는 것은 일반적으로 어렵다. 연구논문을 작성할 때 형식과 내용 및 국제저널에 투고하는 방법과 리비전 하는 방법 등 일련의 과정을 지도교수가 자세하게 지도하고, 이후 연구와 논문작성에 대해서 대학원생이 독립적인 연구자로 성장할 수 있도록 지도한다.</p>		

	<p>대학원생이 자신의 연구를 다른 연구자들에게 명확하게 설명하는 발표 능력 및 협동 연구능력 향상을 위하여 타이거 세미나를 운영한다. 타이거 세미나는 ‘대학원생의, 대학원생에 의한, 대학원생을 위한’ 세미나로, 발표자 및 발표주제 선정, 세미나 진행 등 모든 것이 대학원생들에 의해서 자율적으로 운영이 된다. 대학원생들이 직접 발표하고 상호토론을 통하여 지식의 폭을 넓히며, 독자적 연구역량을 키울 수 있도록 장려한다. 대다수의 세미나는 교수 혹은 전문연구원에 의하여 진행되지만, 타이거 세미나는 대학원생들이 주체성을 가지고 세미나를 진행하며 자유로운 분위기 속에서 본인의 세부전공 이외의 타전공에 대한 지식 교류가 가능하다. 또한, 타이거 세미나에서 영어로 발표를 함으로써 국제 컨퍼런스에서 자신의 연구를 자유롭게 발표할 수 있는 역량을 키우도록 한다.</p>
<p>기대 효과</p>	<p>4단계 두뇌한국21 사업의 성공적인 수행을 통하여 세계적 수준의 대학원 교육과정을 구성하고 효과적이고 효율적인 학사관리 시스템 운영을 통해 기초과학인 수학을 활용하는 석·박사급 전문인력을 배출하여 미래 국가경쟁력을 근본적으로 강화하는 효과를 기대할 수 있다. 4차 산업혁명과 이에 따른 교육 및 연구의 변화는 학제 간 교육과 융·복합 연구를 통한 창의적이고 혁신적 인재가 필요하다. 본 연구팀의 성공적인 운영을 통해 급변하고 있는 4차 산업혁명 시대를 주도할 수 있는 국제적 경쟁력을 갖춘 창의적 수학 인재를 양성하는 효과를 기대할 수 있다.</p> <p>이번 4차 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀은 기존 BK 사업의 성과를 계승·발전하고, 빠르게 변화하고 있는 시대에서 발생하는 문제를 수학적으로 해결할 수 있는 문제 해결 능력이 있고 사회변화에 선도적으로 대응할 창의적·도전적 석·박사급 인재양성 및 세계적 수준의 수학과로 도약하는 효과를 기대한다.</p>

〈보고서 요약문〉

중심어	4차 산업혁명	인공지능	수학적 사고력
	금융수학	데이터 수리과학	미래인재양성
	사회문제 해결	수학	학문후속세대양성
교육연구팀의 비전과 목표	<p>2020년 9월부터 2023년 2월은 1단계 기반구축에 해당되는 시기로 인적 인프라 구축을 위해 우수한 신진연구인력 2인을 확보하였고, 대학원생의 텐서플로를 활용한 머신러닝 학습을 위한 교재와 대학원생의 순수수학과 응용수학 연구의 수월성을 위해서 대수, 기하학과 수치해석 교재를 개발하여 출판하였으며, 국제공동연구 등 학술활동을 활발하게 진행하여 교육연구팀은 평가대상기간 동안 177편의 SCIE급 논문을 출판하였다. 또한 2020년 9월부터 2023년 2월까지 졸업생의 약 70%가 박사과정으로 진학하거나 산업체 또는 대학에 취업하였다.</p> <p>본 교육연구팀은 미국 Stanford 대학교를 벤치마킹하여 4차 산업혁명 관련 데이터 과학 교과목의 신설 및 기존 수학 교과목과의 융·복합 교과목 개설을 목표로하였다. 그 결과 2022년 봄 학기부터 고려대학교 수학과 대학원에서 Mathematical Data Science 전공을 신설하게 되었다. Mathematical Data Science 전공은 수학 지식을 겸비한 데이터 과학 전문인력을 양성하기 위한 맞춤형 교육을 제공하고, 학부 입학부터 대학원까지 이어지는 연계 교육을 통해 우수한 인재를 양성하고, 더 나아가 4차 산업혁명 시대에 데이터 과학 분야를 선도할 우수한 전문가 육성을 목표로 한다. 이는 4단계 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀의 비전이다. 2021년에 출원하였던 [훼손된 지문복원에 대한 편미분 방정식과 수치기법]을 2022년에 특허청 등록 완료하였다. 이 방법은 과학수사 등에 활용이 될 수 있으며 사회문제 해결에 도움이 될 수 있다. 특허 출원과 등록의 전 과정을 참여대학원생이 경험함으로써 수학의 응용성과 중요함을 확인했다.</p>		
교육역량 영역	<p>참여교수의 교육과 지도로, 평가 대상 기간동안 참여대학원생이 주저자 또는 공동저자로 참여하여 SCIE 급 저널에 93편의 논문을 게재하였다. IF 총합은 296.826이다. 이 중에서 29건이 2021 JCR 기준 분야별 상위 백분율 10% 이내에 드는 저널에 출판된 실적이다. 연구 결과를 여러 수학자들과 교류하기 위해 그리고 최신 연구 동향을 파악하기 위해 대한수학회(KMS), 한국산업응용수학회(KSIAM), 호남수학회(HMS), Society for Mathematical Biology (SMB), International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Institute of Mathematical Statistics (IMS), International Centre for Mathematical Sciences (ICM) 등에서 개최한 국내외 학회 및 컨퍼런스에 발표 및 참석하였다. 평가 대상 기간동안 총 29건의 학술대회 발표 실적이 있으며, 이중 국제 학술대회 발표가 9건이었다. 수학 분야의 특성상, 대학원생이 공동으로 특허를 출원하고 등록하기까지가 어려우나 4단계 BK21에서 본 수리과학 교육팀의 참여교수와 참여대학원생이 현재 출원한 특허는 5건, 등록된 특허는 1건이 있다.</p> <p>평가 대상 기간동안 총 21명의 참여대학원생이 학위를 취득하였고 (박사 10명, 석사 11명), 그중 3명이 국내 또는 국외 대학으로 진학하였으며 졸업 후 취업한 대학원생 대부분이 대학원 전공과 밀접한 관련이 높은 기관 및 산업체에서 성실히 제 역할을 수행 중이다.</p>		

<p>연구역량 영역</p>	<p>평가 대상 기간동안 참여교수 17인이 출판한 SCIE/SSCI 저널 논문은 2020년에 21편, 2021년에 66편, 2022년 73편, 2023년 17편으로, 총 177편이고, 2021 JCR 기준 IF 총합 523.108이다. 2021 JCR 기준 분야별 상위 백분율 10% 이내의 저널에 게재된 우수한 논문 46건을 포함한 Q1 저널에 게재된 논문은 총 77건으로, 전체 논문의 약 43%를 차지한다. 국제 공동연구 실적 관련 논문은 총 61건이다. 또한, 국제학회 “The 11th International Conference on Matrix-Analytic Methods in Stochastic Models” 와 “The 3rd Conference on Surfaces, Analysis, and Numerics” 를 개최하였고, 12건의 국제학회 발표 실적이 있으며, 3명의 참여교수가 국제학회 좌장을 맡았고, 4곳의 국제학술지 편집위원을 맡고 있다. 이를 통해 참여교수들이 연구의 국제화를 위해 해외 대학 및 기관의 연구자와 활발하게 교류하였음을 알 수 있다.</p> <p>본 연구팀은 산업·사회 문제 해결 기여를 위한 연구로 수학적 모델링 및 데이터 분석 방법, 수치계산법 개발, 기계학습을 이용한 예측 및 생성 모델 개발을 하였다. 이에 대한 대표적 실적으로 감염 확산에 대한 수학적 모델링과 암 치료를 위한 유전 데이터 분석 방법 개발, 메타물질 디자인을 위한 수치계산법 개발, 기계학습을 이용한 다이오드 부품의 단종 시기 예측 및 3차원 의류생성, 장착 생성알고리즘 개발을 하였다. 또한, 생체지지체의 최적 디자인을 위한 연구와 유체 흐름 수리모델링 및 수치기법, 금융상품 관련 연구를 진행하였다.</p> <p>참여교수들이 수주한 정부 연구비는 4단계 BK21 선정 당시보다 증가하였다. 수학 분야 특성상 대학원생이 공동으로 특허 출원 및 등록이 어려운데, 편미분 방정식을 이용한 훼손된 지문 복원에 관한 1건의 특허 등록 실적이 있다.</p>
<p>향후 계획</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내외 학회에 단순 참여를 지양하고 연구결과 발표 참여를 독려하며 학회 등록비와 제반 경비를 지원한다. ○ 참여대학원생과 참여교수의 국제저명저널(SCIE급)에 연구 논문게재를 더욱 활성화한다. ○ 연구 분야에 따른 연구실 배정 및 콜로키움, 세미나의 질적 향상을 통한 대학원생들을 위한 연구공간 확대 및 연구환경을 조성한다. ○ 산업·사회 문제를 해결하는 연구 결과에 대한 특허 출원 및 등록을 꾸준히 진행한다. ○ 개설된 Mathematical Data Science 전공을 활성화하고, 관련 교과목을 다양하게 개설할 계획이다. ○ 연구지도 및 졸업생과의 연계, 데이터 과학 관련 교육과정을 통해 우수 전문인력을 양성하여 취업률 향상을 목표로 한다. ○ 지역사회 발전을 위해서 지역사회 문제 해결과 수학의 대중화에 기여한다.

목 차

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표	7
1. 교육연구팀 구성	8
1.1 교육연구팀장의 교육·연구·행정 역량	8
1.2 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진	10
1.3 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황	11
2. 교육연구팀의 비전 및 목표	13
2.1 교육연구팀의 비전 및 목표 달성도	13
 II. 교육역량 영역	 23
1. 교육과정 구성 및 운영	24
1.1 교육과정 구성 및 운영 실적	24
1.2 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 실적	39
2. 인력양성 현황 및 지원 실적	44
2.1 평가 대상 기간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적	44
2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적	45
2.3 참여대학원생 취(창)업 현황	48
3. 대학원생 연구역량	50
3.1 참여대학원생 연구 실적의 우수성	50
3.2 대학원생 연구 수월성 증진 실적	63
4. 신진연구인력 운용	66
4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적	66
5. 참여교수의 교육역량	73
5.1 참여교수의 교육역량 대표실적	73
6. 교육의 국제화 전략	76
6.1 교육 프로그램의 국제화 실적	76
 III. 연구역량 영역	 85
1. 참여교수 연구역량	86
1.1 연구비 수주 실적	86
1.2 연구업적물	87
1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 실적	90
2. 산업·사회에 대한 기여도	95
2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적	95
3. 연구의 국제화 현황	104
3.1 참여교수의 국제화 현황	104

〈부록〉 첨부자료

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표

I. 교육연구팀의 구성, 비전 및 목표

1. 교육연구팀 구성

1.1 교육연구팀장의 교육·연구·행정 역량

성명	한글	김준석	영문	Junseok Kim
소속기관	고려대학교		이과대학	수학과

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

연번	성명	교육연구팀장 수행 기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	변경 사유

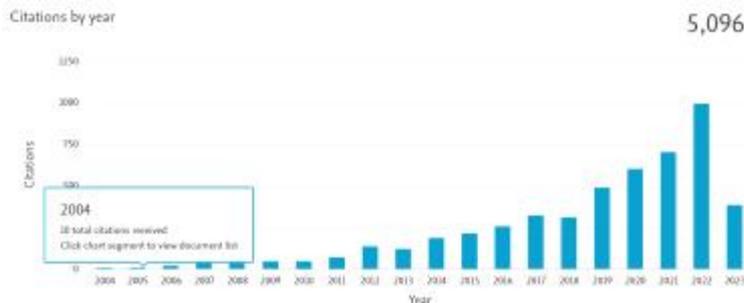
4단계 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀장의 연구·교육·행정 역량은 다음과 같다.

1) 주요경력

- ㄱ. 1988 - 1995 : 고려대학교 수학교육학과 학사
- ㄴ. 1995 - 1997 : 서울대학교 수학과 석사
- ㄷ. 1997 - 2002 : University of Minnesota 수학과 박사
- ㄹ. 2002 - 2006 : University of California, Irvine 수학과 박사후연구원
- ㅁ. 2006 - 2008 : 동국대학교 수학과 조교수
- ㅂ. 2008 - 현재 : 현 고려대학교 수학과 정교수

2) 연구역량

ㄱ. 연구실적: 현재까지 280여편의 연구논문을 SCIE급 저널에 발표하였다. 특히, 그중 45편은 최근 2021년 Journal Citation Reports (JCR) 기준 상위 10% 이내의 저널에 발표했다. 연구자 h-index는 39로써, 발표된 전체 연구논문 중 39편은 적어도 39번 이상씩 피인용 되었다는 것으로 이는 단순히 양적으로만 많은 연구논문을 작성하여 발표한 것이 아니라, 질적으로도 우수한 내용의 연구논문을 많이 발표한 것으로 판단할 수 있는 지표이다. SCOPUS 기준으로 현재까지 발표한 연구논문들의 총 피인용 횟수는 5,096번으로, 유관 분야에서 국제 경쟁력을 갖추고 있음을 확인할 수 있다.



다음과 같이 응용수학 분야의 다양한 연구주제를 다루고 있다.

- 연구주제: 바이오 3D 프린팅, 다상 유체역학, 계산금융, 이미지 프로세싱, 고성능 과학계산, 수리생물, 감염병 모델링, 크리스탈 성장, 패턴 형성, 곡면 위 편미분방정식 등
- ㄴ. 학회 활동: 대한수학회(KMS), 한국산업응용수학회(KSIAM)
- ㄷ. 국가 R&D 과제
 - 한국연구재단, 2022~2027 지구 구면 위에서의 유체흐름에 대한 전지구 및 국지예보 수리모델링과 고성능 수치기법 연구
 - 한국연구재단, 2019~2022 커피링 효과에 대한 상태방정식 모델링과 수치기법 연구
 - 한국연구재단, 2017~2018 편미분방정식을 이용한 바이오, 금속 3D 프린팅 형상 최적화 연구

3) 교육역량

- ㄱ. 대학원 교재 개발: [다상 유체 유동에 대한 상태장 모델링과 멀티그리드 수치기법, 지오북스, 2023], [MATLAB 활용 수치해석, 지오북스, 2022], [파이썬 활용 산업응용수학의 기본, 지오북스, 2020], [ELS 평가를 위한 몬테카를로 시뮬레이션과 유한차분법: 파이썬 활용, 지오북스, 2019], [산업응용수학의 기본, 경문사, 2017]
- ㄴ. 학문후속세대 양성: 9명의 정년트랙 전임교수 배출
- ㄷ. 산업인력 양성: 15명의 금융 관련 회사 취업

4) 행정역량

3단계 BK21 플러스 고려대학교 수리과학사업단장직을 성공적으로 수행하였다. 주어진 예산을 국제화 경비, 학술대회 참석, 논문게재 지원, 해외석학 초빙 등으로 적절히 배분하여 집행하였으며, 우수 대학원생들이 학업과 연구에 전념할 수 있도록 연구장학금을 지원하였다. 또한, 신진연구인력을 지원하여 정년트랙 전임교수로 임용이 되는 성과를 달성하였다.

1.2 대학원 학과(부) 소속 전체 교수 및 참여연구진

〈표 1-2〉 교육연구팀 참여교수 현황

연번	성명 (한글/영문)	연구자등록번호	세부전공분야	대표연구 업적물 분야	신임교수	외국인	사업 참여 여부
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							

13	
14	
15	
16	
17	

1.3 교육연구팀 대학원 학과(부) 현황

<표 1-3> 교육연구팀 참여교수 현황

(단위: 명)

평가 대상 기간	구분	총 환산 참여교수 수		
		기존교수 수	신임교수 수	합계
2020.9.1. - 2023.2.2 8.	임상, 건축학 인문사회계열 포함	16	1	17
	임상, 건축학 인문사회계열 제외	16	1	17

<표 1-4> 교육연구팀 참여교수 변동 현황

(단위: 명)

구분	2020년	2021년		2022년		비고
	2학기	1학기	2학기	1학기	2학기	
총 참여교수 수	17	17	17	17	17	
신규 참여교수 수	0	0	0	0	0	
종료 참여교수 수	0	0	0	0	0	

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

연번	성명	변동 학기	참여/종료	변동 사유	비고

<표 1-6> 교육연구팀 평균 참여대학원생 현황

(단위: 명)

구분	참여대학원생 수			
	석사	박사	석·박사통합	계
5개 학기의 평균	11.6	5.8	16.4	33.8

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

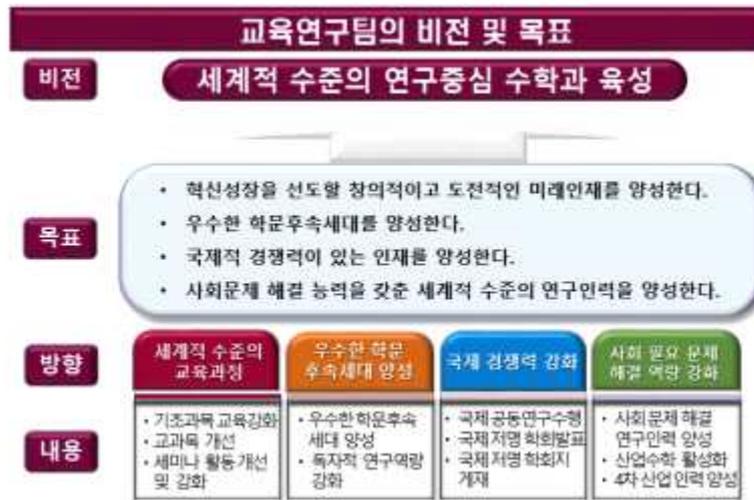
연번	성명	국적	학사출신대학	공인어학성적		비고
				국어	영어	
1		중국	Chongqing Jiaotong University	TOPIK(5급)	TOEFL(83)	

2. 교육연구팀의 비전 및 목표

2.1 교육연구팀의 비전 및 목표 달성도

[교육연구팀의 비전 및 목표]

- 4단계 BK21 고려대학교 수리과학 교육연구팀의 교육 비전과 목표는 혁신성장을 선도할 창의적이고 도전적인 석·박사급 미래인재 양성과 사회문제 해결 능력을 갖춘 세계적 수준의 연구인력 양성이다.



세계적 수준의 연구중심 수학과를 육성한다는 본 교육연구팀의 교육 비전을 바탕으로 석·박사 인력 양성의 구체적인 목표를 다음과 같이 설정하였다.

- 혁신성장을 선도할 창의적이고 도전적인 미래인재를 양성한다.
- 우수한 학문후속세대(Academic Track)를 양성한다.
- 국제적 경쟁력이 있는 인재를 양성한다.
- 사회문제 해결 능력을 갖춘 세계적 수준의 연구인력(Industry Track)을 양성한다.
- 데이터 과학 전공 신설한다.

교육연구팀의 비전 및 목표 달성도

교육연구팀의 비전 및 목표 대비 실적

● 미래 인재 양성

2020년 9월부터 2023년 2월은 1단계 기반구축에 해당되는 시기로, 혁신성장을 선도할 창의적이고 도전적인 미래인재 양성을 위해 우수한 참여대학원생을 선발하고 17명의 참여교수들이 지도해왔다. 평가기간 동안 평균 34명의 대학원생이 재학하였고, 평균 33.8명의 대학원생이 4단계 BK21 교육연구팀에 참여하였다. 교육연구팀에서는 참여대학원생이 학업 및 연구에 집중할 수 있도록 재정 지원을 하였다. 국내외 학회 참석 경비를 지원함으로써 다양한 수확자들의 연구 결과를 들으며 연구 동향을 파악하고, 발

표를 통해 연구 내용을 검증받을 수 있도록 하였다. 또한, 우수한 성과를 낸 참여대학원생에게 차등 성과급을 지급하여 연구 동기를 높이고 성취의욕을 고취하였다. 그 결과, 평가대상기간 동안 참여대학원생들이 주저자 또는 공동저자로 참여하여 총 93편의 논문이 국제저명학술지(SCIE/SSCI 저널)에 게재되었고, 2021 JCR 기준 IF 총합은 296.826이며, 93편 중 국제공동연구를 시행하여 달성한 실적은 27편이다. 다음은 참여대학원생들이 평가대상기간 동안 게재한 대표적 논문 리스트이다.

논문 제목	게재 학술지명	출판 연월	참여 대학원생	IF
Shape transformation using the modified Allen-Cahn equation	Applied Mathematics Letters	2020 09		4.294
The susceptible-unidentified infected-confirmed (SUC) epidemic model for estimating unidentified infected population for COVID-19	Chaos Solitons & Fractals	2020 10		9.922
Periodic travelling wave solutions for a reaction-diffusion system on landscape fitted domains	Chaos Solitons & Fractals	2020 10		9.922
Pattern formation in reaction-diffusion systems on evolving surfaces	Computers & Mathematics with Applications	2020 11		3.218
On the evolutionary dynamics of the Cahn-Hilliard equation with cut-off mass source	Numerical Mathematics-Theory Methods and Applications	2020 10		1.524
Boundary behavior and interior Hölder regularity of the solution to nonlinear stochastic partial differential equation driven by space-time white noise	Journal of Differential Equations	2020 11		2.615
Uniformly distributed circular porous pattern generation on surface for 3d printing	Numerical Mathematics-Theory Methods and Applications	2020 11		1.524
Delay analysis in the discrete-time multi-server queue with batch arrivals of packets having deterministic length	Economics Letters	2020 11		1.469
A phase-field model and its efficient numerical method for two-phase flows on arbitrarily curved surfaces in 3D space	Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering	2020 12		6.588
A novel Cahn-Hilliard-Navier-Stokes model with a nonstandard variable mobility for two-phase incompressible fluid flow	Computers & Fluids	2020 12		3.077
Fast Monte Carlo Simulation for Pricing Equity-Linked Securities	Computational Economics	2020 12		1.741

Phase-field modeling and computer simulation of the coffee-ring effect	Theoretical and Computational Fluid Dynamics	2020 12	2.892
Modeling and simulation of droplet evaporation using a modified Cahn-Hilliard equation	Applied Mathematics and Computation	2021 02	4.397
An improved scalar auxiliary variable (SAV) approach for the phase-field surfactant model	Applied mathematical modelling	2021 02	5.336
A regularity theory for stochastic partial differential equations driven by multiplicative space-time white noise with the random fractional Laplacians	Stochastics and Partial Differential Equations-Analysis and Computations	2021 02	1.565
An unconditionally stable scheme for the Allen-Cahn equation with high-order polynomial free energy	Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation	2021 04	4.186
A variant of stabilized-scalar auxiliary variable (S-SAV) approach for a modified phase-field surfactant model	Computer Physics Communications	2021 04	4.717
A fast and practical adaptive finite difference method for the conservative Allen-Cahn model in two-phase flow system	International Journal of Multiphase Flow	2021 04	4.044
Reconstruction of the local volatility function using the Black-Scholes model	Journal of Computational Science	2021 04	3.817
Optimal non-uniform finite difference grids for the Black-Scholes equations	Mathematics and Computers in simulation	2021 04	3.601
Phase-field modeling and numerical simulation for ice melting	Numerical Mathematics-Theory Methods and Applications	2021 05	1.524
A regularity theory for stochastic partial differential equations with a super-linear diffusion coefficient and a spatially homogeneous colored noise	Stochastic Processes and their Applications	2021 05	1.430
An $L_q(L_p)$ -theory for diffusion equations with space-time nonlocal operators	Journal of Differential Equations	2021 06	2.615
An efficient stabilized multiple auxiliary variables method for the Cahn-Hilliard-Darcy two-phase flow system	Computers & Fluids	2021 06	3.077
Simple and efficient volume merging method for triply periodic minimal structures	Computer Physics Communications	2021 07	4.717

A weighted Sobolev space theory for the diffusion-wave equations with time-fractional derivatives on C^1 domains	Discrete and Continuous Dynamical Systems	2021 07	1.588
A practical adaptive grid method for the Allen-Cahn equation	Physica A-Statistical Mechanics and Its Applications	2021 07	3.778
A weighted Sobolev regularity theory of the parabolic equations with measurable coefficients on conic domains in \mathbb{R}^d	Journal of differential Equations	2021 08	2.615
Energy dissipation-preserving time-dependent auxiliary variable method for the phase-field crystal and the Swift-Hohenberg models	Numerical Algorithms	2021 08	2.370
Numerical investigation to the effect of initial guess for phase-field models	East Asian Journal on Applied Mathematics	2021 08	2.011
Parabolic equations with unbounded lower-order coefficients in Sobolev spaces with mixed norms, Journal of Evolution Equations	Journal of Evolution Equations	2022 03	1.261
An explicit conservative Saul'yev scheme for the Cahn-Hilliard equation	International Journal of Mechanical Sciences	2022 03	6.772
Computation of powered option prices under a general model for underlying asset dynamics	Journal of Computational and Applied Mathematics	2022 05	2.872
A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier	Applied Mathematics Letters	2022 04	4.294
Accurate and efficient finite difference method for the Black-Scholes model with no far-field boundary condition	Computational Economics	2022 02	1.741
Weighted 3D volume reconstruction from series of slice data using a modified Allen-Cahn equation	Pattern Recognition	2022 12	8.518
Motion by Mean Curvature with Constraints Using a Modified Allen-Cahn Equation	Journal of Scientific Computing	2022 07	2.843
An explicit adaptive finite difference method for the Cahn-Hilliard equation	Journal of Nonlinear Science	2022 09	3.443
A Sobolev space theory for the Stochastic Partial Differential Equations with space-time non-local operators	Journal of Evolution Equations	2022 06	1.261
Trace theorem and non-zero boundary value problem for parabolic equations in weighted Sobolev spaces	Stochastics and Partial Differential Equations-Analysis and Computations	2022 11	1.565
A phase-field model without artificial curvature effect for the crystal growth simulation	International Journal of Heat and Mass Transfer	2023 01	5.431

Stability analysis for a maximum principle preserving explicit scheme of the Allen-Cahn equation	Mathematics and Computers simulation	2023 01		3.601
--	--------------------------------------	---------	--	-------

학술대회 발표 실적은 다음과 같다.

학회발표 연구 제목	학술대회명	개최일	참여 대학원생
Estimating unconfirmed infected population with SUC model	2020년 대한수학회 정기 총회 및 가을연구발표회	2020.10.23.- 2020.10.24.	
Numerical simulation for pattern formation in the reaction diffusion equations on evolving curved surfaces	2020년 대한수학회 정기 총회 및 가을연구발표회	2020.10.23.- 2020.10.24.	
On the space-time non-local equations: Probabilistic approach	2020년 대한수학회 정기 총회 및 가을연구발표회	2020.10.23.- 2020.10.24.	
A Green's function estimate of the parabolic operators with conic domains	2020년 대한수학회 정기 총회 및 가을연구발표회	2020.10.23.- 2020.10.24.	
Mathematical modeling and numerical simulation for mitigating COVID-19 by monetary compensation	2020년 대한수학회 정기 총회 및 가을연구발표회	2020.10.23.- 2020.10.24.	
On completely decomposable defining equations of points in P_n	2020년 대한수학회 정기 총회 및 가을연구발표회	2020.10.23.- 2020.10.24.	
Properties of solution to super-linear stochastic partial differential equation driven by multiplicative space-time white noise with the random fractional Laplacian	2020년 대한수학회 정기 총회 및 가을연구발표회	2020.10.23.- 2020.10.24.	
Landscape-dependent computational domains for reaction-diffusion equations	2020 KSIAM Annual Meeting	2020.11.12.- 2020.11.15	
Mathematical modeling and computational simulation of the Coffee-ring phenomena using a phase-field method	2020 KSIAM Annual Meeting	2020.11.12.- 2020.11.15	
Trace theorem and non-zero boundary value problem for parabolic equations in weighted Sobolevspaces	2021년 대한수학회 봄 연구발표회	2021.04.29.- 2021.04.30.	
Numerical simulation of the pattern formation in reaction-diffusion equations on time-stepped moving curved surfaces	SMB 2021 Annual Meeting	2021.06.13.- 2021.06.17.	
A sobolev space theory for SPDEs with space-time nonlocal operators	Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics	2021.07.19.- 2021.07.23.	
A maximal L_p -regularity theory to initial value problems with time measurable nonlocal operators generated by additive processes	Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics	2021.07.19.- 2021.07.23.	
Deterministic and Stochastic Parabolic Equations with space-time non-local operators	2021년 대한수학회 정기 총회 및 가을 연구발표회	2021.10.20.- 2021.10.22.	

An unconditionally stable positivity-preserving numerical method of one-dimensional Fisher-Kolmogorov-Petrovsky-Pisunov equation	2021 KSIAM Annual Meeting	2021.12.02.-2021.12.05
A conservative and stable explicit numerical method for heat equation	2021 KSIAM Annual Meeting	2021.12.02.-2021.12.05
Numerical simulation for a parabolic sine-Gordon equation using unconditionally stable method	2021 KSIAM Annual Meeting	2021.12.02.-2021.12.05
Susceptible-unidentified infected-confirmed model for long-term epidemic	2021 KSIAM Annual Meeting	2021.12.02.-2021.12.05
Kernel estimate and L_p theory for the heat equation on conic domains	2022년도 대한수학회 봄 연구발표회	2022.04.28.-2022.04.29.
Sobolev space theory for the Dirichlet problem of the elliptic and parabolic equations with the fractional Laplacian on $C^1,1$ open sets	2022년도 대한수학회 봄 연구발표회	2022.04.28.-2022.04.29.
Epidemic control using monetary compensation	2022 KSIAM Spring Conference	2022.05.27.-2022.05.29.
Asian option pricing under Merton's jump diffusion model	2022년도 호남수학회 정기총회 및 학술대회	2022.06.17.-2022.06.18.
Sobolev and trace embeddings via mollifications	Harmonic Analysis, Stochastics and PDEs in Honour of the 80th Birthday of Nicolai Krylov	2022.06.20.-2022.06.24.
Light-weight Frequency Information Aware Neural Network Architecture for Voice Spoofing Detection	ICPR 2022 26TH International Conference on Pattern Recognition	2022.08.21.-2022.08.25.
Noun-MWP: Math Word Problems Meet Noun Answers	The 29th International Conference on Computational Linguistics	2022.10.12.-2022.10.17.
Catenoids in the three-dimensional light cone	2022년도 대한수학회 정기총회 및 IMU 승급 기념 국제학회	2022.10.18.-2022.10.21.
Aztec Bipyramid and dicube tilings	2022년도 대한수학회 정기총회 및 IMU 승급 기념 국제학회	2022.10.18.-2022.10.21.
In three dimensional space, finite volume lattice Boltzmann scheme for curved surface	2022 KSIAM Annual Meeting	2022.11.24.-2022.11.27.
Rotationally invariant zero mean curvature surfaces in the three dimensional light cone space	The 3rd Conference on Surfaces, Analysis, and Numerics	2023.02.20.-2023.02.23.

● 국제적 경쟁력이 있는 인재 양성

국제화 시대에 수학계는 이미 오래전부터 국제화되어 있었다. 수학이 전 세계인의 공통 학문이므로 국제적 경쟁력의 필요성은 자명하다. 국제 연구자들과의 학술교류 및 공동연구를 통한 국제적 경쟁력이 있는 석·박사급 인재를 양성하기 위해서 적극적으로 국제 학술활동에 참여를 독려했다.

참여대학원생의 대표적 국제 공동연구 실적은 다음과 같다.

1. Benchmark problems for the numerical discretization of the Cahn-Hilliard equation with a source term, , , Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 2021, Article ID 1290895, 11 pages, 2021.
2. A conservative and stable explicit finite difference scheme for the diffusion equation, , Journal of Computational Science, Vol. 56, 101491, 2021.
3. Fast and Efficient Numerical Finite Difference Method for Multiphase Image Segmentation, , Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2021, 2414209, 2021.
4. Numerical simulations of the dynamics of axisymmetric compound liquid threads with a phase-field model, , European Journal of Mechanics / B Fluids, Vol. 89, pp. 203-216, 2021.
5. Explicit hybrid numerical method for the Allen-Cahn type equations on curved surfaces, , Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications, Vol. 14, pp. 797-810, 2021.
6. Simple and efficient volume merging method for triply periodic minimal structures, , Computer Physics Communications, Vol. 264, 107956, 2021.
7. An unconditionally stable scheme for the Allen-Cahn equation with high-order polynomial free energy, , Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Vol. 95, 105658, 2021.
8. A simple benchmark problem for the numerical methods of the Cahn-Hilliard equations, , Discrete Dynamics in Nature and Society, Vol. 2021, Article ID 8889603, 8 pages, 2021.
9. An explicit adaptive finite difference method for the Cahn-Hilliard equation, Kim, Journal of Nonlinear Science, Vol. 32, 80, 2022.
10. Weighted 3D volume reconstruction from series of slice data using a modified Allen-Cahn equation, , Pattern Recognition, Vol. 132, 108914, 2022.
11. Phase-field computations of anisotropic ice crystal growth on a spherical surface, , Computers and Mathematics with Applications, Vol. 125, pp. 25-33, 2022.

12. Motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn equation,
 ,
 , Journal of Scientific Computing, 2022.
13. Numerical study of an indicator function for front-tracking methods,
 ,
 Mathematical Problems in Engineering, 2022.
14. Reconstructing the local volatility surface from market option prices,
 , Mathematics, 2022, 10, 2537.
15. Classification of ternary data using the ternary Allen-Cahn system for small data sets, Donghun Lee, Sangkwon Kim, Hyun Geun Lee, Soobin Kwak, Jian Wang, Junseok Kim, AIP Advances, 2022.
16. Numerical simulation of the coffee-ring effect inside containers with time-dependent evaporation rate,
 Theoretical and Computational Fluid Dynamics, Vol. 36, pp. 423-433, 2022.
17. Finite volume scheme for the lattice Boltzmann method on curved surfaces in 3D,
 , Engineering with Computers, Vol. 38, 5507-5518, 2022.
18. A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier,
 , Applied Mathematics Letters, Vol. 126, 107838, 2022.
19. An explicit conservative Saul' yev scheme for the Cahn-Hilliard equation,
 ,
 International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 217, 106985, 2022.

평가 대상 기간동안 졸업한 참여대학원생은 2021년 2월에는 6명(박사 4명, 석사 2명), 2021년 8월에는 5명(박사 2명, 석사 3명), 2022년 2월에는 5명(박사 1명, 석사 4명), 2022년 8월에는 3명(박사 1명, 석사 2명) 2023년 2월에는 2명(박사 2명)으로 총 21명이고, 전공과 관련된 연구기관 및 산업체에서 근무하면서 대학원 재학기간 동안 성실하게 갖춘 역량을 발휘하고 있다. 박사학위를 취득한 졸업생 모두 여러 대학교의 연구실에서 박사후연구원으로 계속하여 전공 관련 연구를 수행하고 있으며, 석사학위 취득 대학원생들은 취업 후 금융과 데이터 과학 관련 직무를 담당하게 되었다. 졸업 후 취업한 대학원생 모두 대학원 전공과 밀접한 관련이 높은 기관 및 산업체에서 성실히 제 역할을 수행 중이다.

● 우수한 신진연구인력 확보 및 양성

인적 인프라 구축을 위해 본 교육연구팀은 우수한 신진연구인력을 2인 확보하였고, 참여교수 및 참여대학원생들과 함께 활발히 공동연구를 수행하고 있다. 참여교수와 공동연구를 진행하여 SCIE 논문 17편을 출판하였고, 특허 등록 1건이 있다. 또한, 교육연구팀은 논문 게재료 및 학술대회 참가경비를 지원하였고, 고려대학교에서는 논문 교정 서비스를 지원하였다. 그 결과를 국내 학술대회 그리고 세미나 등에서 여러 건의 연구 결과를 발표하였다. 특히, 이들 학회는 수리생물분야에서 가장 큰 국내외 학회로써, 많은 연구자들 앞에서 연구 결과를 발표할 수 있도록 지원함으로써 신진연구인력은 발표역량을 강화할 수 있었고, 학계에서의 네트워크를 형성하는 데 도움이 되었다.

신진연구인력의 대표적 연구 실적은 다음과 같다.

1. Robust and accurate construction of the local volatility surface using the Black-Scholes equation,
Chaos, Solitons and Fractals, Vol. 150, 111116, 2021.
2. A conservative and stable explicit finite difference scheme for the diffusion equation,
, Journal of Computational Science,
Vol. 56, 101491, 2021.
3. Robust optimal parameter estimation for the Susceptible-Unidentified infected-Confirmed model,
Chaos,
Solitons and Fractals, Vol. 153, 111556, 2021.
4. An explicit conservative Saul' yev scheme for the Cahn-Hilliard equation,
,
International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 217, 106985, 2022.
5. A robust and efficient fingerprint image restoration method based on a phase-field model,
Pattern Recognition, Vol. 123, 108405,
2022.
6. Three-dimensional volume reconstruction from multi-slice data using a shape transformation,
Computers and Mathematics with Applications, Vol. 113, pp. 52-58, 2022.
7. Motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn equation,
,
Journal of Scientific Computing, Vol. 92(1), pp. 16, 2022.

● **사회문제 해결 역량 함양 및 강화**

공학 분야와는 다르게 수학 분야의 특성상, 대학원생이 기초수학을 공부하고 전공분야를 연구하고 논문을 작성하면서 특허를 출원하고 등록하기에 어려움이 있으나 지속적인 관심과 노력으로 전년도에 출원하였던 ‘훼손된 지문 복원 방법’ 을 2022년 5월에 특허청 등록 ()하였다. 제안하는 기술은 국소적으로 훼손된 지문을 복원하는 방법에 관한 것으로. 지문의 윤선이 국소적으로 마모 및 훼손된 곳을 복원할 수 있는 수학적 모델과 수치 알고리즘을 제공한다. 과학수사 및 신원조회용으로 사용이 될 수 있어서 사회에 필요한 문제에 활용이 될 수 있다. 특허 등록은 지도교수가 대학원생의 연구에 대한 성장 단계에 맞추어 도전적인 연구과제를 부여하고 연구지도를 한 결과이다. 4단계 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀에서는 과학기술·산업·사회 문제를 해결과 관련된 주제에 대해 [응용수학특수연구Ⅱ,Ⅲ], [수치해석] 등의 교육과정



프로그램을 매 학기 개설해서 진행하고 있다. 순수수학 분야를 전공하는 학생들도 함께 수강하며 산업 및 사회 문제 해결을 위한 여러 가지 수리 모델 및 수치기법, 기계학습 등을 학습하였다.

관련 과목을 담당하는 참여교수가 대학원생 교육 프로그램을 위해서 직접 대학원 교재 ‘파이썬 활용 산업응용수학의 기본 (ISBN 9791187541882, 지오북스, 2020)’ 을 출판하였다. 실제 문제 해결과 관련하여 연구한 내용 중 대학원생에게 강의하면 좋을 주제들을 선정하여 집필하였으며, 대학원 수업과 관련하여 다뤄본 산업 및 사회 문제인 ‘코로나19 수리 모델링’ 으로 참여교수와 참여대학원생들이 함께 연구하여 국제전문학술지에 2편의 논문을 출판하는 성과를 얻었다. 금융 수학 분야에 대한 연구를 통해서도 국제전문학술지에 2편의 논문을 출판하였고, 또한, 복합 다공 구조의 3차원 바이오 스캐폴드에 대한 연구를 수행하여 우수한 국제전문학술지에 논문을 게재하였다. 또한, 수학과 대학원생들이 어렵지 않게 텐서플로를 활용하여 머신러닝을 학습할 수 있도록 교재를 개발하여 출판하고, 대학원 수업시간에 강의교재로 활용하였다. 참여교수와 함께 관련 공동연구를 수행하였던 참여대학원생들 중 2명이 산업체에 취업하여 전공 관련 직무를 성실히 수행하고 있다.

● **Mathematical Data Science 전공 신설 및 운영**

본 교육연구팀은 미국 Stanford 대학교를 벤치마킹하여 4차 산업혁명 관련 데이터 과학 교과목의 신설 및 기존 수학 교과목과의 융·복합 교과목 개설을 목표로하였다. 그 결과 2022년 봄 학기부터 고려대학교 수학과 대학원에서 Mathematical Data Science 전공을 신규 개설하게 되었다. 이 세부전공은 수학과 일반대학원의 세부 전공 중 하나로 타 세부전공과 동일한 입시 과정으로 학생을 선발한다. 세부전공 신설에 맞추어 관련 교과목의 신설을 신중히 검토 중이다. Mathematics Data Science 전공은 수학 지식을 겸비한 데이터 과학 전문 인력 양성하기 위한 맞춤형 교육을 제공하고, 학부 입학부터 대학원까지 이어지는 교육을 통해 우수한 인재를 양성하고, 더 나아가 4차 산업혁명 시대에 데이터 과학 분야를 선도할 우수한 전문가 육성을 목표로 한다. Mathematical Data Science 전공 개설교과목으로는 수학과와의 기존 실해석학과 응용수학에 더불어 인공지능과 수학, 딥러닝과 수학, 강화학습과 수학, 금융공학을 위한 기계학습, 데이터 시각화 등이 있다. 또한, 학생 주도 교과목인 프로젝트와 캡스톤 과목을 통해 프로젝트를 선택하고 이를 해결하는 우수한 방법들을 배운다.

Mathematical Data Science 전공 과정의 이수요령 및 졸업요건은 다음과 같다.

- 3학기(18개월) 과정: 24학점 + Pass/Fail 교과 3과목
- 학·석사 연계과정 가능
- 종합시험 및 석사논문은 Pass/Fail 교과로 대체
- 교과 평점 3.75 이상 취득 및 Pass/Fail 교과 3과목(프로젝트, 인턴, 캡스톤) 통과 시 석사학위 취득

Mathematical Data Science 전공의 특징

- 3학기 (18개월) 과정 (24학점+Pass/Fail 교과 3과목)
- 학석사 연계과정을 통해 1학기 단축 가능 (4+1년에 학사+석사 취득 가능)
- 종합시험 및 석사논문은 Pass/Fail 교과로 대체
- 교과 평점 3.75 이상 취득 및 Pass/Fail 교과 3과목(프로젝트, 인턴, 캡스톤) 통과 시 석사학위 취득

교육연구팀이 제시한 비전 및 목표를 위해 기술된 내용과 같이 달성하였다.

4단계 BK21 사업

II. 교육역량 영역

II. 교육역량 영역

1. 교육과정 구성 및 운영

1.1 교육과정 구성 및 운영 실적

[교육연구팀의 대학원 교육과정과 학사관리 운영계획과 교육연구팀의 대표적 교육 목표]

4단계 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀의 현 교육과정과 학사관리, 교육과정의 충실성 및 지속성, 교육연구팀의 비전과 목표에 적합한 세계적 수준의 대학원 교육과정과 학사관리 운영계획, 교육과 연구의 선순환 구조 구축방안 그리고 연구역량의 교육적 활용방안 등은 다음과 같다.

■ 교육연구팀의 충실하고 지속성 있는 교육과정

본 교육연구팀의 대학원 교육과정에는 대수학 및 수론, 위상수학, 해석학, 확률론, 기하학, 응용수학 분야로 구성되어 있으며, 각 세부 분야별로 다양한 교과목을 구성하여 졸업 후 진로에 따라 학생들이 본인이 원하는 방향으로 교과목을 선택하여 폭넓은 선택 및 자기 계발이 가능하도록 구성되어 있다. 석사과정 및 석·박사통합과정 1학기에는 학부과정보다 폭넓고 깊이 있는 기본과목 및 6개의 세부 전공을 이해할 수 있는 교과목으로 구성을 하였고, 이를 바탕으로 2학기에는 세부 전공을 결정할 수 있게 하였다. 이후에는 학기별로 6개의 세부 전공에 대한 각각의 다양한 교과목을 개설하여 대학원생의 진로에 따라 본인이 선택해서 수강할 수 있도록 하였다.

현 수학과 대학원 과정의 교과목은 500, 600, 700, 800단위로 구성되어 있으며 기초공통과목과 전공과목, 총 202개의 과목으로 구성되어 있다. 500단위는 기초공통과목으로, 총 7개 과목으로 구성되어 있다. 기초공통과목들을 통해서 학자로서의 수학적 기초 실력을 갖추 수 있도록 하며 본인이 연구하고자 하는 분야에 대해 경험하고 알아갈 수 있도록 교과과정을 구성하였다.

교과목 번호	교과목명	과목개요
MTH 501	Algebra I	군·환·체, 환의 구조, 벡터 공간의 기본개념, 가환군의 이론.
MTH 502	Real Analysis I	실수체, Lebesgue 가측 함수, Lebesgue 적분, Lebesgue 측도, 가측분 함수의 공간, 미분법과 적분법.
MTH 503	Topology I	호모토피, Van Kampen의 정리, 기본군, Covering 공간.
MTH 505	Probability I	확률론과 실함수론의 관계, 큰 수의 법칙, 확률의 기본개념, 조건부 평균, 에르고딕 이론, 마아팅게일 이론.
MTH 506	Applied Mathematics I	초함수, Green 함수 및 경계치 문제, 분포이론, Fourier 변환.
MTH 507	Complex Analysis	조화함수, 경계거동, 최대원리, 유리함수 근사, 해석함수의 기본성질, 해석적 확장, 해석함수의 영점, 등각사상.
MTH 514	Geometry I	Shape Operator, 곡선론, 곡면론, 곡면 기하, Riemann 기하.

600단위는 세부전공분야에 따른 다양한 과목들로 총 19개의 과목으로 구성되어 있고, 몇몇 교과목에 대한 개요는 다음과 같다.

교과목 번호	교과목명	과목개요
MTH 601	Algebra II	Noetherian환과 가군, Primary Decomposition, 기의 정리, Localization과 Tensor Product, 완비성, Local환.

MTH 603	Real Analysis II	집합함수로서의 Lebesgue 적분, 복합측도, Radon-Nikodym의 정리, Daniell 적분, 측도 공간의 사상, 측도와 위상.
MTH 605	Topology II	단체 및 특이 호몰로지, Mayer-Vietoris 수열, 코호몰로지군, Poincare 쌍대정리.
MTH 621	Geometry II	Levi-Civita 접속, 최소곡적, 곡률, 등질공간, 구면정리, Morse정리 및 닫힌측지선, 비양곡률공간, 비음곡률공간.

700단위는 세부전공분야에 따른 다양한 과목들로 대표적으로는 26개의 과목으로 구성되어 있고, 몇몇 교과목에 대한 개요는 다음과 같다.

교과목 번호	교과목명	과목개요
MTH 705	Algebraic Geometry I	임의의 체 위의 아핀과 사영 대수적 다양체.
MTH 723	Stochastic Process I	Random Walk, Discrete Markov Chain, Gaussian Process, Invariance Theorem, Brownian Motion.
MTH 731	Theory of Partial Differential Equations I	라플라스, 열 및 파동 방정식, 해의 존재성 및 유일성, 해의 성질 및 정칙성, 경계치 및 초기치 문제.
MTH 749	Harmonic Analysis	특이적분이론, 변환의 보간, Hardy-Littlewood 최대함수, A_p -측도, Carleson 측도, BMO, H^p 공간.

마지막으로 800 단위는 세부전공분야의 특수 주제를 다루는 특강들로 총 20개의 과목으로 구성되어 있다.

본 교육연구팀은 연구분야를 [작용소의 함수론], [저차원 다양체의 기하 구조], [대수적 구조 분석], [확률론 및 응용], [과학적 계산 및 응용], [금융수학 및 응용]으로 구성하고 대학원생들이 세부연구 분야에 집중해서 연구능력을 강화할 수 있도록 교육 목표와 관련 교과목을 수립하였다. 기초공통과목은 모든 참여대학원생이 필수적으로 알아야 할 기초수학이며 매년 개설하여 지속성을 유지한다.

● **작용소의 함수론 연구 분야에 대한 교육 목표:** 작용소에 대한 함수론적 연구의 국제적인 연구 흐름에 적극 참여할 수 있는 학문후속세대와 수학을 문제 해결에 활용할 수 있는 우수한 전문 인력을 양성한다. 해석학은 극한과 관련된 수학적 주제를 다루는 학문으로써 크게 복소해석학, 조화해석학, 함수해석학, 미분방정식론 등으로 분류된다.

● **저차원 다양체의 기하 구조 연구 분야에 대한 교육 목표:** 항등평균곡률 곡면론, 극소곡면론, 극대곡면론, 3차원 다양체론 및 매듭이론의 국제적인 연구흐름에 적극 참여할 수 있는 대학원생을 양성한다.

● **대수적 구조 분석 연구 분야에 대한 교육 목표:** 대수기하학 및 군표현론 분야의 국제적인 연구 주제들을 연구할 수 있는 우수한 대학원생을 양성한다. 사영대수기하학은 사영 공간에 매립된 사영대수 다양체의 대수적 성질과 기하적 성질과의 상호 관계를 연구하는 학문이다.

● **확률론 및 응용 연구 분야에 대한 교육 목표:** 확률론의 국제적인 연구 흐름에 동참할 수 있고 확률론을 산업문제 해결에 활용할 수 있는 우수 대학원생을 양성한다. 본 연구 분야에서는 확률론의 기본과 중요한 응용에 관한 연구와 교육을 수행한다.

● **과학적 계산 및 응용 연구 분야에 대한 교육 목표:** 수리생물, 전산유체역학 등에서 제기되는 여러 문제를 수학적으로 모형화하는 방법론과 각 모형에 대해 수치해석적으로 접근하는 방법론 등을 다룬다.

● **금융수학 및 응용 연구 분야에 대한 교육 목표:** 대학원생들이 졸업 후에 경쟁력을 갖추고 금융 산업체에 취업하는데 필요한 지식을 습득하고 실무 능력을 갖추도록 한다.

☐ **교육연구팀의 체계적 학사관리**

- **종합시험 과목:** 종합시험은 대학원생이 학자로서의 수학적 기초 실력을 충분히 갖추었는지 확인함과 동시에 공부의 방향을 제시하는 역할을 한다.
- **학과 지정과목:** 학위 수여 전 연구의 방향을 정하거나 연구 분야의 심층적인 이해 및 다양한 방향성을 제시해 주기 위해서 학과에서 대학원생이 반드시 수강해야 하는 과목을 지정한다.
- **지도교수 지정과목:** 본 대학원은 지도교수 지정과목을 통한 기본적인 내용부터 깊이 있는 응용된 내용까지 지도 학생이 배울 수 있도록 돕는 제도를 시행하고 있다.
- **박사과정 및 석·박사통합과정 졸업요건**은 SCIE 논문에 1편 이상을 주저자 또는 교신저자로 게재 확정되어야 한다.

☐ **교육연구팀 참여교수가 맡은 현 교과과정 장단점, 교육연구팀의 비전과 목표에 적합한 세계적 수준의 대학원 교육과정과 학사관리 운영계획**

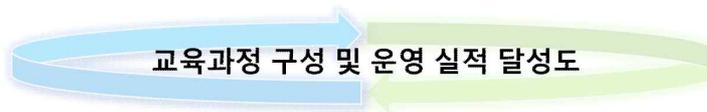
- 새로운 학문 적용을 위해 교육과정을 원칙적으로 1년마다 보완 및 개편한다.
- 학술 세미나를 강화한다.
- 콜로키움을 다양화한다.
- 세미나 활동을 강화한다.
- 영어논문 작성법과 영문교정 서비스를 제공한다.
- 수학 연구와 교육에 활용할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 교육한다.

☐ **학사관리제도를 강화한다.**

- 학제 간 연구와 융·복합 연구를 위한 타 대학 전공분야 수강
- 학술대회 포스터 발표 및 구두 발표
- 연구 내용 영어 세미나 발표
- 연구윤리 교육 수강 의무
- 학위논문심사 전 표절검사 승인 필수

☐ **교육과 연구의 선순환 구조 구축 방안, 연구역량의 교육적 활용**

[교육연구팀의 대학원 교육과정 구성 및 운영 실적]



☐ **교육연구팀의 충실하고 지속성 있는 교육과정 운영 실적**

본 교육연구팀의 대학원 교육과정에는 있는 대수학 및 수론, 위상수학, 해석학, 확률론, 기하학, 응용수학 분야의 교과목을 각각 1건 이상 매 학기 개설하였으며, 각 세부 분야별로 다양한 교과목을 구성하여 졸업 후 진로에 따라 학생들이 본인이 원하는 방향으로 교과목을 선택하여 폭넓은 선택 및 자기 계

발이 가능하도록 구성하였다. 또한, 매 학기 인공지능/머신러닝 관련 교과목을 개설하여 인공지능/딥러닝 등에 관심있는 학생들이 수강할 수 있도록 하였다.

☐ 교육연구팀의 체계적 학사관리 실적

1차년도에서는 그동안의 학사관리를 분석하여 필요한 항목들을 동일하게 유지하며 학과를 운영하고 있다. 학과 지정과목 및 지도교수 지정과목은 대학원생이 학위 수여 전 연구를 위한 제도로서 변동사항 없이 운영하였다. 학과 종합시험은 본 교육연구팀의 대학원생들이 수학적 기초 실력을 충분히 갖추었는지 확인하기 위하여 대수학 및 수론, 위상수학, 해석학, 확률론, 기하학, 응용수학 분야 중 기초공통과목을 선정하여 학과 종합시험 지정과목으로 두고 있다. 이를 일정 이상의 학점을 취득하고 종합시험에 응시하도록 하고 있다. 지정과목에는 변동이 없고, 구술시험을 모두 지필시험으로 변경하였다.

☐ 세계적 수준의 대학원 교육과정과 학사관리 운영 실적

● **학문적 추세의 변화에 따라 인공지능, 딥러닝, 데이터 과학 관련 교과목 및 산업수학 관련 교과목 개설**

급변하는 4차 산업혁명 시대에는 과학기술 난제 또는 사회문제 해결 능력을 갖춘 인재를 양성하기 위해서 다음과 같은 교육과정을 구성 및 운영하였다. 먼저, 대수학, 실함수론, 위상수학, 기하학, 확률론, 복소해석학 등 기초 교과는 시대의 유행을 초월하는 근본적인 과목으로 기본원리와 개념을 더 자세히 학습할 필요가 있으므로 동일하게 유지하였다. 각 세부전공별 심화학습을 위한 과목 또한 꾸준히 개설하여 대학원생들을 교육하였다. 응용수학 분야에서는 4차 산업혁명 관련 인공지능 및 머신러닝에서 수학의 역할을 이해하고, 인공지능의 기초 학습 목표로 매 학기 수업(응용수학특수연구Ⅱ,Ⅲ)을 개설하였다. 이 수업은 기존 교과목명을 그대로 활용하였지만, 학생들의 인공지능 관련 교과목 수요에 맞춰, 인공지능 및 강화학습을 전공하고 산업체에서 약 3년간 관련 연구를 한 이동현 신입교수가 개설하였으며, 데이터 과학 관련 신규 세부전공 개설에 맞추어 신규 교과목 개설도 검토 중에 있다. 2021년 1학기에는 텐서플로를 활용한 머신러닝을 다루는 수업을 개성하였다(수치해석). 또한, 2020년 2학기에는 최근 트렌드를 반영하여 COVID-19과 같은 감염병의 수학적 모델링에 대한 수업(응용수학Ⅱ)을 개설하여 진행하였다. 이러한 응용 수업들은 세부전공과 무관하게 다양한 학생들이 수강하여 산업수학 문제 해결을 위한 기초를 학습할 수 있도록 담당 교수들이 고려대학교 수학과 대학원생에게 적합한 맞춤 수업을 구성하였다.

데이터 과학 관련 신규 세부 전공 개설에 맞추어 신규 교과목으로 딥러닝과 수학, 금융공학을 위한 기계학습, 수리인공지능세미나, 강화학습과 수학을 개설하였다. 2022년 1학기에는 신규 개설 교과목인 딥러닝과 수학, 금융공학을 위한 기계학습, 수리인공지능세미나가 진행되었다. 또한, 2022년 2학기에는 신규개설 교과목인 수리인공지능세미나, 강화학습과 수학의 수업이 개설되었다.

교과목 번호	교과목명	과목개요
MTH771	딥러닝과 수학	Deep Learning의 개념들을 이해한다.
MTH774	금융공학을 위한 기계학습	이 과목에서 학생들은 기계학습 및 딥러닝 방법을 금융 데이터에 적용하는 방법을 배우고 이를 통해 금융시장의 다양한 문제를 해결하는 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 습득한다.
MTH777	수리인공지능세미나	직접 발표 및 토론을 통해 AI/ML 연구 학습하고 최신 AI/ML 연구 논문을 발표하여 학술 세미나 주도하며 현대 AI/ML에 대한 더 깊은 이해를 위한 학술 세미나 참여한다.
MTH773	강화학습과 수학	강화학습의 기본 개념과 최근 모델에 대한 이해

● 새로운 학문 적용을 위해 교육과정 보완

본 교육연구팀은 미국 Stanford 대학교를 벤치마킹하여 4차 산업혁명 관련 데이터 과학 교과목의 신설 및 기존 수학 교과목과의 융·복합 교과목 개설을 목표로하였다. 그 결과 2022년 봄 학기부터 고려대학교 수학과 대학원에서 Mathematical Data Science 전공을 신규 개설하게 되었다. 이 세부전공은 수학과 일반대학원의 세부 전공 중 하나로 타 세부전공과 동일한 입시 과정으로 학생을 선발하며 세부전공 간 변경은 허용하지 않는다. Mathematics Data Science 전공은 수학 지식을 겸비한 데이터 과학 전문 인력 양성하기 위한 맞춤형 교육을 제공하고, 학부 입학부터 대학원까지 이어지는 교육을 통해 우수한 인재를 양성하고, 더 나아가 4차 산업혁명 시대에 데이터 과학 분야를 선도할 우수한 전문가 육성을 목표로 한다.

● 타이거 세미나를 통해 영어 세미나 진행

고려대학교 BK21 수학과 팀에서는 참여대학원생들의 국제 역량을 강화하기 위해 주관하는 타이거 세미나에서 매 학기 영어 세미나를 진행하였다. 타이거 세미나는 참여대학원생들이 직접 기획하고, 신청하고, 발표하고 피드백을 진행하는 등 온전히 대학원생들에 의해 운영되었다. 작성한 세미나 일정에 맞추어 발표자는 자신의 연구내용을 영어로 발표를 진행하였다. 각 주제당 20분의 발표와 10분의 질의응답으로 진행되었고 세미나 이후 대학원생들 간의 친목을 도모하는 시간 또한 마련되었다. 타이거 세미나의 발표와 참석은 모두에게 자유롭게 열려있다. 타이거 세미나를 통해 참여대학원생들은 다른 대학원생들과 자유롭게 발표하고 토론을 할 수 있는 좋은 기회가 되었다. 그뿐만 아니라 동료 대학원생들 국제학회에 참석하기에 앞서 자신의 연구내용을 발표해보고 피드백을 받는 연습을 해볼 수 있는 시간이 되었다.



다음과 같은 타이거 세미나가 열렸다.

주제	발표자	내용
1차원 Fisher 방정식의 무조건 안정적 수치적 방법론		본 발표에서는 1차원 Fisher-Kolmogorov-Petrovsky-Piskunov (Fisher-KPP) 방정식에 대한 무조건 안정적이고 양의 정부호성을 보존하는 수치적 방법을 제시합니다. Fisher-KPP 방정식은 인구 증가 및 파동 전파 등을 모델링하는데 사용할 수 있는 반응-확산 시스템입니다. 저희가 제안하는 방법은 연산자 분할 방법과 보간법이 기반입니다. 제시한 방법을 사용하여 주장한 특징들에 대한 수치 실험을 진행하였습니다.
입방체 표면에서의 Allen-Cahn 방정식에 대한 유한차분법		입방체 표면에서 Allen-Cahn(AC) 방정식을 풀기 위한 유한 차분 방법(FDM)에 대하여 영어발표를 하였다. 제시하는 방법은 2차원 공간에서 적절한 경계 조건을 적용하여 입방체 표면에 대한 수치해를 계산하는데, 이는 3차원 공간에서 직접 계산하는 것보다 간단하다. 제시하는 알고리즘은 3차원의 입방체 표면을 2차원의 6개의 하위 도메인으로 펼쳐 계산한다. 마지막으로 수치 실험 결과를 보여주었고 그에 따른 앞으로의 발전 방향을 토론하였다.

Modica-Mortola 범함수의 2차 시간-정확도를 갖는 무조건적 안정적 방법	함석준	Modica-Mortola 범함수의 그레디언트 플로우에 대한 2차 시간-정확도를 갖는 무조건적 안정적 방법이라는 주제로 수치 방법을 제안했다. 제안된 수치 방법은 그레디언트 플로우를 선형, 비선형 연산자로 분할하는 연산자 분할방법 (Operator Splitting Method)를 기반으로 한다. 선형 연산자와 비선형 연산자는 각각, 푸리에 스펙트럴 방법과 해석적 해를 사용하여 해결한다. 각 단계에서 수치 해는 모든 시간 단계에 대하여 유계이고, 전체적으로는 시간에 대한 2차 정확도를 갖는다.
Noun-MWP: Math Word Problem Meet Noun Answers	정재현	본 연구에서는 자연어 처리 분야의 질의 응답 문제와 수학 문장제 문제 풀이를 연결하도록 문제 본문에 포함되어 있는 명사를 정답으로 하는 수학 문장제 문제를 학습 대상으로 제안하고, 기존의 수학 문장제 문제 풀이를 위해 제안된 인공지능 모델이 제안된 문제를 풀기 위해서는 어떤 방법이 추가되어야 하는지 추상적인 접근 방식과 구체적인 구현을 제시하였다.
4차원 로렌츠 공간의 부분공간들에 대한 항등평균곡률 곡면과 그 표현식	이원주	4차원 로렌츠 공간에는 6가지 부분공간들이 있다. 이 부분공간들의 거리 개념이 다르기 때문에 각 부분공간들의 기하 또한 서로 다르다. 그러므로 같은 바이어슈트라스 함수들을 가지고 곡면을 만들었을 때 가지고 있는 모양과 성질이 매우 달라지게 된다. 이번 연구에서는 4차원 로렌츠 공간의 부분공간들에 대한 항등평균곡률 곡면과 그 표현식을 유도하고 4차원 공간을 3차원으로 시각화하여 항등평균곡률 곡면의 예를 살펴본다.

● **콜로키움 및 세미나 활동 다양화**

수학과에서는 학기마다 수학전공 분야 전반의 국내외 연구자들을 다양하게 초빙하여 콜로키움을 개최하고 있다. 대학원생들이 수학에 대한 폭넓은 안목을 갖출 수 있도록 유도한다. 석사과정 학생들의 교과과정 필수과목이었던 것을 확장하여 2020년 가을학기 입학생부터는 박사과정 학생도 필수과목으로 추가하였다. 이를 통해 다양한 수학 분야를 접어볼 수 있도록 보다 강력하게 장려하고 있다. 2020년부터는 계획했던 대로 인공지능 분야와 산업수학에 관련된 다양한 주제의 세미나도 유치하여 진행하였다. 다음은 2020년 9월~2023년 2월까지 수학과에서 개최한 대표적 콜로키움 및 세미나 목록이다.

콜로키움 및 세미나 실적	
[20201030 : Colloquium] Hodge Laplacians and Simplicial Networks 연사 :	초록 : The Hodge Laplacian on a simplicial complex is a discrete analogue of the Laplace-Beltrami operator. Combinatorial Hodge theory says that the kernel of this operator is isomorphic to the homology group as a vector space, and an element of the space satisfies the energy-minimizing property. Based on the theory, we introduce the notion of effective resistance for simplicial networks.
[20201126 : 수학과세미나] Heat kernel estimates for Markov processes with jumps 연사 :	초록 : In this talk, I will introduce recent results on heat kernel estimates for Markov processes with jumps. First, I am going to explain heat kernel estimates for pure jump processes whose jump kernels are comparable to isotropic functions. Then I will focus on singular stable processes and mixed singular processes.

[20201126 : 수학과세미나] Introducing applied geometry
연사 : , 초록 : Geometers and designers share an interest in creating various shapes. In this talk, we will introduce several on-going research topics that both the geometers and designers can appreciate.
[20201127 : Colloquium] functional MRI를 이용한 뇌 연구
연사 : 초록 : 인간의 마음과 행동은 철학과 심리학의 오랜 연구 주제로, 최근 30년간 각종 기술의 발달로 뇌의 구조와 기능을 자세히 연구할 수 있게 되었습니다. 본 세미나에서는 뇌연구에 사용되는 MRI의 구조와 원리, 뇌의 기능을 연구하는 functional MRI의 원리를 소개하고, 최신 뇌연구 결과를 소개합니다.
[20210205 : Colloquium] Data-Driven Methods for Artist-Directed Fluid Simulations
연사 : 초록 : Fluid phenomena are ubiquitous to our world experience: winds swooshing through trembling leaves, turbulent water streams running down a river, and cellular patterns generated from wrinkled flames are some few examples. These complex phenomena capture our attention and awe due to the beautifully materialized complex patterns and become crucial elements to artistically support storytelling.
[20201211 : 수학과세미나] Boundary regularity for nonlocal operators with kernels of variable order
연사 : 초록 : We study the boundary regularity of solutions of the Dirichlet problem for the nonlocal operator with a kernel of variable orders. Since the order of differentiability of the kernel is not represented by a single number, we consider the generalized Holder space.
[20210226 : 수학과세미나] Deep Reinforcement Learning for Legged Robots
연사 : 초록 : Legged robots pose one of the greatest challenges in robotics. Dynamic and agile maneuvers of animals cannot be imitated by existing methods that are crafted by humans. A compelling alternative is reinforcement learning, which requires minimal craftsmanship and promotes the natural evolution of a control policy. However, so far, reinforcement learning research for legged robots is mainly limited to simulation, and only few and comparably simple examples have been deployed on real systems. The primary reason is that training with real robots, particularly with dynamically balancing systems, is complicated and expensive. Recent algorithmic improvements have made simulation even cheaper and more accurate at the same time. Leveraging such tools to obtain control policies is thus a seemingly promising direction.
[20210402 : Colloquium] Topological data analysis and its application to Korean music (Jeong-Ak) data
연사 : 초록 : Topological Data Analysis (TDA) is a rising field useful for the analysis of high-dimensional data structure. The main tool in TDA is persistent homology, introduced by Edelsbrunner et al. in 2002, where snapshots of the topological structure of the data set is taken at many different scales and the results are compared from one scale to the next. TDA via persistent homology provides an efficient way of analyzing the cycle or loop structures embedded in multi-dimensional data. Particularly the one-dimensional homology structure is closely related to the repeating patterns in music flow when it is mapped to the proper topological space.

<p>[20210514 : Colloquium] Invitation to Birational Geometry (Minimal model program)</p> <p>연사 : , 초록 : In this talk, I will introduce the brief history and recent progress in the birational algebraic geometry, including the work of Birkar Caucher who won the Fields medal in 2018. I will also introduce my ongoing work with Dr. Jinhyung Park in the related area.</p>
<p>[20210528 : Colloquium] Data-driven modeling for stochastic systems with machine learning</p> <p>연사 : 초록 : Models of physical systems typically involve uncertainty in the input data such as those associated with coefficients initial or boundary conditions, geometry, etc. Estimating the propagation of this uncertainty into model output predictions is crucial to provide more insight to the true physics and produce predictions with high fidelity. This often leads to solve partial differential equations with many parameters. We discuss machine learning based algorithms to solve parametric PDEs and present numerical examples to demonstrate the effectiveness of the proposed methods.</p>
<p>[20210604 : Colloquium] Operations preserving polynomially chi-boundedness</p> <p>연사 : 초록 : A coloring of a graph G is a coloring of vertices of G so that no pair of adjacent vertices receive the same color, and the chromatic number $\chi(G)$ of G is the minimum number of colors needed for a coloring of G. The main question regarding graph coloring in structural graph theory is the following: how can we control the chromatic number by controlling local structures of graphs?</p>
<p>[20210719 : 수학과세미나] Mixing Schemes for Fixed-Point Problems with Application to Self-Consistent Calculations of Electronic Structures</p> <p>연사 : , 초록 : In the self-consistent calculations of electronic structures, mixing schemes are widely used to improve the convergence of the iteration. With a fixed-point problem arisen from such a calculation, I will review on the past and present results on deterministic mixing schemes such as the simple mixing and Anderson mixing. Secondly, I will give an overview of the simple mixing scheme towards convergence in mean-square and stochastic stability based on the Lyapunov functional approach.</p>
<p>[20210917 : Colloquium] 평면 곡선의 변환에서 비롯되는 가적분 이산화에 대하여</p> <p>연사 : , 초록 : 가적분이산화(integrable discretization)는 최근 큰 반향을 얻고 있는 이산미분기하학(discrete differential geometry)의 핵심입니다. 본 발표에서는 접근성이 뛰어난 평면 곡선의 예를 통해 적분가능계(integrable systems)의 중심 개념인 변환이론(transformation theory)과 중첩원리(superposition principle)를 살펴보고, 이에 기반한 가적분이산화를 소개합니다.</p>
<p>[20211001 : Colloquium] Introduction to the operator splitting method</p> <p>연사 : 초록 : In this talk, we introduce the operator splitting method for some nonlinear equations. For any time, the method gives an approximation solution depending only on initial data for the nonlinear equation. In this argument, we divide the nonlinear equation into computable parts and consist of the approximation solution by composing these computable parts. This method is widely used for numerical computation. However, it remains a very fundamental question to converge between the approximation with the original solution.</p>

<p>[20211022 : Colloquium] Some variations of the Riemann-zeta function and Multiple Zeta Values</p> <p>연사 : 초록 : The Riemann-zeta function appears in many contexts in mathematics. Firstly, we explain some results regarding the Riemann zeta function and its variations. Next, we see why a reciprocal sum related to the Riemann-zeta function for some natural numbers s. Also, we give some bounds of the inverses of tails of the Riemann-zeta function on $0 < s < 1$ and compute the integer parts of the inverses of tails of the Riemann-zeta function for some real numbers between 0 and 1. In addition to this, we look some properties related to the Multiple Zeta Values and Finite Multiple Zeta Values.</p>
<p>[20211029 : Colloquium] Multivariate Hermite Interpolation via Explicit Groebner Basis of Fat Points Ideals</p> <p>연사 : 초록 : Multivariate Hermite interpolation problem asks to find a “small” polynomial that has given values of several partial derivatives at given points. It has numerous applications in science and engineering. Thus, naturally, it has been intensively studied, resulting in various beautiful ideas and techniques.</p>
<p>[20211112 : Colloquium] Two smooth objects from singularities</p> <p>연사 : 초록 : For each singular point, one may associate two smooth objects: One from algebraic geometry and the other from symplectic topology. We investigate the relation of the two smooth objects via new technology that originated from the minimal model program for 3-fold.</p>
<p>[20220325 : Colloquium] 유한체위에 정의된 이차형식공간과 관련된 조합론</p> <p>연사 : 초록 : $1 \leq k \leq n$ 에 대해서 F_q 위에 정의된 n차원 유한 벡터 공간 F_q^n 이 주어졌을 때 k차원의 부분 공간의 개수를 세는 공식이 잘 알려져 있다. 이것은 q-이항 계수라 불리고, 이항 계수와 유사한 형태로 표현할 수 있다. 이와 관련된 많은 조합론적 해석 방법이 있고 많은 분야에서 이를 활용하고 있다. 이번 발표에서는 공간 F_q^n 에서 정규직교기저를 가지는 부분공간들을 세어 주는 공식을 알아보고 이 공식 또한 유사이항계수로 표현될 수 있음을 볼 것이다.</p>
<p>[20220415 : Colloquium] Allocation of risk capital: proportional allocations revisited</p> <p>연사 : 초록 : In the current reality of prudent risk management, the problem of determining aggregate risk capital in financial entities has been intensively studied. As a result, canonical methods have been developed and even embedded in regulatory accords. Though applauded by some and questioned by others, these methods provide a much desired standard benchmark for everyone. The situation is very different when the aggregate risk capital needs to be allocated to the business units (BUs) of a financial entity. That is, there are overwhelmingly many ways to conduct the allocation exercise, and there is arguably no standard method to do so on the horizon. Irrespective of the choice of approaches is assumed,</p>
<p>[20220513 : Colloquium] Pascal, Bezout and Study</p> <p>연사 : , 초록 : 파스칼의 육각형은 사영기하를 상징하는 정리이다. 이에 대하여는 사영기하적인 증명을 포함해 다양한 증명이 알려져 있다. 이 강의에서는 대수기하적으로 베주 정리를 이용한 증명을 살펴본다. 엄밀히 증명하기 위해서는 베주 정리와 스튜디 보조정리가 필요한데, 가환대수의 이론을 이용하는 대신, 이차곡선의 유리매개화를 이용한 초보적인 증명을 소개하고, 이를 이용해 파스칼의 정리를 증명하고자 한다.</p>

<p>[20220520 : Colloquium] Newton-Okounkov bodies in algebraic geometry</p> <p>연사 : , 초록 : In algebraic geometry, the study of divisors is crucial because divisors encode rich geometric information of algebraic varieties. Naturally, there are many ways to study divisors. In this talk, I will explain how one can attach a convex body to a given divisor and how various positivities of divisors are encoded in such convex bodies.</p>
<p>[20220527 : Colloquium] Arithmetic of character variety of reductive groups</p> <p>연사 : , 초록 : Counting the number of points on a variety is a historical method for investigating the variety, for example, in the Weil conjecture. Nowadays, it is known that the point count helps us determine the E-polynomial. This E-polynomial, in turn, gives arithmetic-geometric information on the variety such as the dimension, the number of irreducible components and Euler characteristic. In this talk, we will consider a specific type of variety, the character variety associated to the fundamental group of a surface.</p>
<p>[20220603 : Colloquium] Frequency principle and Phase-shifted adversarial training</p> <p>연사 : , 초록 : Counting the number of points on a variety is a historical method for investigating the variety, for example, in the Weil conjecture. Nowadays, it is known that the point count helps us determine the E-polynomial. This E-polynomial, in turn, gives arithmetic-geometric information on the variety such as the dimension, the number of irreducible components and Euler characteristic. In this talk, we will consider a specific type of variety, the character variety associated to the fundamental group of a surface.</p>
<p>[20220902 : Colloquium] 전자서명의 이해와 응용</p> <p>연사 : 초록 : 전자서명(digital signature)은 사이버 세상에서 인증, 무결성 등을 위한 핵심적인 보안 기능을 담당하고 있다. 본 강연에서는 수학적 난제에 기반한 전자서명의 구성방법, 안전성 개념, 그리고 이의 응용기법들을 설명하고, 현실 세계에서 어떻게 이용되는지 살펴본다.</p>
<p>[20220915 : Colloquium] Integrability of isoperimetric deformations</p> <p>연사 : , 초록 : 본 발표에서는 평면 곡선의 등주변형으로부터 얻어지는 가적분 조건(integrability condition)에 대해 알아보고, 이 가적분성을 보존하는 이산화에 대해 소개합니다.</p>
<p>[20220916 : Colloquium] Tropical Variety</p> <p>연사 : , 초록 : To understand complex geometry in relation to p-adic geometry, tropical varieties with combinatorial nature have been introduced. We can also define Hodge structures on these combinatorial geometries and they are widely used in many subjects including mirror symmetry. In this introductory talk, we will explain the basic concepts and the current research directions(if time permits) with no prerequisite. This tropical concept is the main theme and methods for the works by Prof. June Huh for his Fields medal.</p>
<p>[20220923 : Colloquium] Kakeya problem and its applications</p> <p>연사 : 초록 : In this talk, we study Kakeya problem and its applications. Firstly, we introduce a Besicovitch set and fractal dimensions, and also we show a simplest argument to prove the problem in two dimensional case. We also introduce many applications to other fields such as harmonic analysis, PDE, and number theory. In the last of talk, we will briefly review the recent techniques in harmonic analysis.</p>

[20221014 : Colloquium] L^p summability of Hermite Bochner-Riesz means

연사 : 초록 : Bochner-Riesz mean is one of summability methods usually considered when a given series is not convergent. This is a generalization of the Cesaro's summation and can also be understood as a smoothed out version of Riesz mean. The idea behind the Bochner-Riesz mean is quite simple; mitigating influence of new terms entering into the series. In this talk, we study the problem of determining whether the Bochner-Riesz means of a series consisting of the Hermite functions converge in the L^p space. For audiences unfamiliar with this topic, I will give the lecture beginning with introducing basic concepts.

[20221028 : Colloquium] Introduction to Zero-Knowledge Proofs

연사 : 초록 : Zero-Knowledge Proof (영지식 증명)이란 프라이버시 보호와 무결성 검증을 위해 사용되는 중요한 암호학적 기법이다. 특히, Zero-Knowledge Proof 분야는 최근 몇 년간 학계뿐만 아니라 산업계에서도 활발히 연구 개발을 진행하고 있을 뿐만 아니라 표준화도 진행 중에 있다. 본 강연에서는 Zero-Knowledge Proof 개념을 소개하고 가장 간단한 Zero-Knowledge Proof 설계 방식 중 하나인 그룹 기반 Zero-Knowledge Proof 설계에 대해서 살펴본다. 암호에 대한 기초지식이 없어도 들을 수 있도록 기초적인 암호 기법들의 개념도 함께 소개할 예정이다. 마지막으로, 블록체인 응용에서 왜 Zero-Knowledge Proof가 중요한 역할을 수행하는지 설명한다.

[20221111 : Colloquium] Toric varieties in the flag variety

연사 : 초록 : Let G be a simple Lie group and let B be a Borel subgroup. The homogeneous space G/B becomes a smooth projective variety, called the flag variety. A maximal (complex) torus T acts on the flag variety and this produces an interesting connection between geometry, combinatorics, and representation theory. In this talk, we study a family of the most interesting T -invariant subvarieties of the flag variety, called the Schubert varieties. We consider *toric* Schubert varieties (with respect to the action of T) and their isomorphism classes. This talk is based on joint work with Mikiya Masuda and Seonjeong Park.

● 영어과학논문 작성법 및 연구윤리 관련 특강 진행

본 교육연구팀의 팀장인 김준석 교수는 체계적으로 영어논문을 작성하는 방법에 대하여 매 학기 특강 진행을 계획하였다. 대학원생들이 영어논문을 작성하고 국제 저명 저널에 논문을 투고하는 데 겪는 어려움을 해결하는 노하우를 정리하여 2019년에 발간한 저서 '이공계 영어과학논문 작성법 및 투고 매뉴얼'을 영어과학논문 작성법 교재로 활용하였다. 그리고 2021년 7월 31일 수학과 대학원생을 대상으로 특강을 진행하였다. 온라인 화상회의 플랫폼인 zoom을 활용한 비대면 강의로 진행된 영어과학논문 작성법에 대한 특강은 Google Scholar 사용법, 논문 작성법, Figure copyright 얻는 방법, 틀린 영어표현의 수정, Cover letter 작성 등 국제저널에 논문을 투고할 때 필수적인 내용을 포함하였다. 또한, 표절과 같은 연구윤리 위반을 예방하기 위해 참고문헌 인용법, 그림의 저작권 획득하는 법 등에 대해서 교육한다.

● 대학원생 자치로 운영되는 세미나 활동

참여대학원생인 박사수료생(석박사통합과정 9학기 재학)이 수학과 대학원생들을 대상으로 학위논문 작성법에 대해 세미나를 진행하였다. 주요 내용은 이공계 대학원생들이 논문 작성할 때 주로 사용하는 LaTeX의 온라인 기반 에디터인 오버리프(Overleaf)의 사용법과 기본적인 학위논문의 구성에 대한 설명, 그림 및 수식을 추가하는 방법, 참고문헌 작성법, 논문 작성 시 주의사항 등에 대해 발표하였다.

● 영문교정 서비스 지원

고려대학교 교내 학술연구활동 지원사업의 일환으로 논문 편수에 제한 없이 영문교정료 전액을 지원하는 제도를 운영하였다. 우수한 학술연구논문을 국제학술지에 투고하기 전에 에디티지(Editage)와 같은 영문교정 전문업체에서 논문에 대한 영어권의 Native Speaker가 교정을 보게 함으로써 논문에 대한 신뢰성을 제고하고, 국제학술지 게재논문을 적극적으로 발굴하여 연구 활동 활성화 목적으로 영문교정료를 지원하는 것이다. 또한, 연구진흥팀에서 BK21 신진연구인력 및 참여대학원생을 위한 국제학술지 영어논문 교정 지원 프로그램을 운영하고 있다. 이는 교내 학술연구활동 지원사업과는 별개로 운영되며, 원하는 교정업체에 교정의뢰 후 교정료를 신청자가 선납부하고, 교정 완료된 논문을 학술지에 투고한 뒤 프로그램에 신청하는 것이다. 이러한 영문교정 서비스 지원 사업과 같은 활발한 학술 활동 지원이 대학교 차원에서 진행되고 있다.

■ 학사관리제도 강화

● 학제 간 연구와 융·복합 연구를 위한 타 대학 전공분야 수강

4차 산업혁명 시대의 변화에 맞춰 하나의 학문분과로 해결할 수 있는 문제는 한계가 있다. 발전한 과학기술과 산업, 복잡해진 사회에 맞춰, 다양한 문제들을 잘 이해하고 정확히 해결하기 위해 학제 간, 융·복합 연구와 교육의 필요성이 증대되었다. 본 교육연구팀에서는 참여대학원들이 융·복합 연구를 통해 폭넓은 융합적 사고를 고취하고 창조적인 연구능력을 함양할 수 있도록, 타 단과대학의 전공분야 수강을 적극 권장하였다. 그 결과, 데이터과학원의 ‘딥러닝입문’, ‘딥러닝 이론과 응용’, 공학계열의 ‘기계학습’ 산업공학과와 ‘최적화이론 및 응용’, 금융공학협동과정의 ‘금융공학입문’, ‘위험관리’ 등을 수강하였다. 이러한 과목들은 금융수학 분야의 연구에 있어 기본적인 지식을 쌓을 수 있거나, 수학의 여러 세부전공들과 융합하여 인공지능 및 기계학습 연구를 진행하는 데 도움이 된다.

● 연구윤리 교육 수강

고려대학교는 윤리강령, 윤리규정, 연구윤리지침, 교육윤리지침과 학생의 학습윤리지침을 보유하고 있으며, 전체 대학원생을 대상으로 온라인 연구윤리 프로그램을 진행한다. 본 교육연구팀에서는 이 프로그램을 활용하여 석사 및 박사과정 참여대학원생들에게 연구윤리에 대한 교육을 안내하고 학위 과정동안 반드시 연구윤리교육을 필수적으로 이수하도록 안내하였다.

● 학위논문심사 전 표절검사 승인 필수

고려대학교에서는 학위논문심사 시 논문표절예방 프로그램인 턴잇인(Turnitin) 검사확인서 제출을 필수적으로 요구하고 있다. 매달 도서관에서 한 시간씩 턴잇인 프로그램의 사용법에 대해 교육하고 있다. 출처를 밝히지 않고 타인의 기존 아이디어, 결과, 표현 등을 재사용하는 것에 대해 강력하게 경고하며, 학위논문뿐만 아니라 국제학술지에 투고하는 논문도 이 프로그램을 사용하도록 권고한다. 아래는 ‘논문표절예방 프로그램’ 검사 결과의 일부이다.

3 Computational results

In this section, we perform the various numerical tests to validate the effectiveness of the proposed scheme. We present the benchmark problem with its exact solution. Using the benchmark problem, convergence results with and without the startup procedure is given. Then, results with various p and q values are presented to propose adequate parameter values.

3.1 The benchmark problem

The European call option is highly used in the financial market and can be used as building blocks to construct complex option products [20], thus we consider European call option as a benchmark problem for numerical examples. In a numerical analysis perspective, analytic solution exist for European call option, accordingly it is suitable for numerical experiments. In this study, we concentrate on options with single asset, which is governed by one-dimensional BS equation.

European call option has payoff function

$$u(x, 0) = \max(x - K, 0), \quad \forall x \in [0, L], \quad (14)$$

where K is the strike price. When parameter value are given, the closed-form solution of the BS equation is [1]

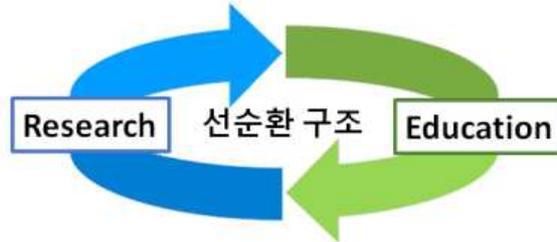
● 학술대회 포스터 발표 및 구두 발표

전공 관련 학회에 참석 경비 지원을 원하는 참여대학원생에게 학회 등록비 및 여비를 적극적으로 지원하여, 다른 연구자들의 연구결과를 들으며 최근 연구 동향을 파악할 수 있도록 하였다. 또한, 참여대학원생들이 연구한 결과를 관련 분야의 연구자들에게 발표하면서 연구내용을 검증받거나 발전시킬 수 있도록 하였다. 연구에 있어서 독자적인 연구역량뿐만 아니라 관련 분야의 연구자들과의 활발한 의사소통 및 공동연구를 수행할 수 있는 학문적 네트워크가 중요시되고 있으며, 이는 국제적인 연구자로 거듭나기 위해 반드시 갖추어야 할 역량이기 때문이다. 우수학회에서의 포스터 및 구두 발표를 우선적으로 지원하였고, 대한수학회와 같이 다양한 세부 분야의 수학 연구에 대해 다루는 학회에 대해서는 단순참여도 지원하였다. 다음은 참석경비를 지원한 학회 목록이다.

- 2020년도 대한수학회 정기총회 및 가을 연구발표회, 2020.10.23.~2020.10.24.
- 2020 KSIAM Annual Meeting, 2020.11.12.~2020.11.15.
- 대한수학회 제2차 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2020.12.17.
- 2021년 대한수학회 봄 연구발표회, 2021.04.29.~2021.04.30.
- SMB 2021 Annual Meeting, 2021.06.13.~2021.06.17.
- 2021 KSIAM Spring Conference, 2021.06.25.~2021.06.27.
- 2021 한국 수리생물학회 연례 학술대회, 2021.08.26.~2021.08.28.
- 2021년 대한수학회 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2021.09.30.
- OSIA 딥러닝 기초 및 실습, 2021.10.14.~2021.10.15.
- 2021년 대한수학회 정기총회 및 가을 연구발표회, 2021.10.20.
- 2021 KSIAM Annual Meeting, 2021.12.02.~2021.12.05.
- 2022년도 대한수학회 봄 연구발표회, 2022.04.28.~2022.04.29.
- KSIAM-NIMS School on CFD, 2022.05.13.
- 2022년도 KSIAM 2022 Spring Conference, 2022.05.27.~2022.05.29.
- 2022년 대한수학회 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2022.08.25.~2022.08.27.
- 2022년 대한수학회 정기총회 및 IMU 승급 기념 국제학회, 2022.10.18.~2022.10.21.
- 2022 KSIAM Annual Meeting, 2022.11.24.~2022.11.27.

❖ **교육과 연구의 선순환 구조 구축 방안, 연구역량의 교육적 활용 실적**

교육과 연구는 선순환 구조를 가질 수 있다. 연구의 주된 방법론을 알기 쉽게 정리해서 대학원 교재를 만들어 대학원생들 교육에 활용하고 교육받은 학생들은 더 발전된 방법을 고안해서 연구하고 그 결과로 우수 연구논문을 국제저널에 게재할 수 있다.



구체적인 예를 들면, 2020년에 게재한 연구논문의 방법론으로 2020년에 집필한 파이썬 활용 산업응용수학의 기본 (ISBN 9791187541882) 교재 중 제3장 ‘제3장 ELS (Equity-Linked Securities, 추가연계증권) 가격 결정’ 으로 대학원 수업을 하였으며 2021년에 방법론을 더 향상해 “Reconstruction of the local volatility function using the Black-Scholes model” 과 “Optimal non-uniform finite difference grids for the Black-Scholes equations” 이라는 제목으로 SCIE 저널에 연구논문 2편을 게재하였다. 이외에도 감염병에 대한 예측 수리 모델링이 있다.

Research (2020)	Fast Monte-Carlo simulation for equity-linked securities, Computational Economics, 56(4), 865-882.
<p>Computational Economics (2020) 56:865-882 https://doi.org/10.1007/s10614-019-09947-2</p>  <p>Fast Monte Carlo Simulation for Pricing Equity-Linked Securities</p>	
Education (2020)	파이썬 활용 산업응용수학의 기본 (ISBN 9791187541882) 교재 중 제3장 ELS (Equity-Linked Securities, 추가연계증권) 가격 결정, 김준석 외 5명, 지오북스, 2020
<p>제 3 장</p> <p>ELS (Equity-Linked Securities, 추가연계증권) 가격 결정</p> <p>제 1 절 기초자산</p> <p><small>이 장에서는 다양한 기초자산으로 이루어진 ELS (Equity-Linked Securities, 추가연계증권) 상품의 가격 결정을 다루고자 한다. ELS는 2003년에 증권거래법</small></p>	
Research (2021)	Reconstruction of the local volatility function using the Black-Scholes model. Journal of Computational Science, 51, 101341. Calibration of the temporally varying volatility and interest rate functions. International Journal of Computer Mathematics. 99, 1066-1079.



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Computational Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jocs



Reconstruction of the local volatility function using the Black–Scholes model

Sangkwon Kim^a, Hyunsoo Han^b, Hanbyeol Jang^b, Darae Jeong^c, Chaeyoung Lee^a, Wonjin Lee^b, Junseok Kim^{a,*}

^a Department of Mathematics, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea
^b Department of Financial Engineering, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea
^c Department of Mathematics, Kangwon National University, Gangwon-do 24341, Republic of Korea



Research (2016)

The daily computed weighted averaging basic reproduction number $R_{0,k,\omega}^n$ for MERS-CoV in South Korea. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 451, 190–197.



Contents lists available at ScienceDirect

Physica A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/physa



The daily computed weighted averaging basic reproduction number $R_{0,k,\omega}^n$ for MERS-CoV in South Korea



Education (2020)

파이썬 활용 산업응용수학의 기본 (ISBN 9791187541882) 교재 중 제5장 전염병 모델 (SIR model), 김준석 외 5명, 지오북스, 2020
제 5 장

전염병 모델 (SIR model)

집단 내에서 일어나는 전염병의 원인을 규명하는 학문을 역학(epidemiology)이라 한다. 본 장에서는 이러한 역학에서 다루는 가장 기본적인 모델인 SIR 모델에 대하여 다루고자 한다.

Research (2020)

The susceptible–unidentified infected–confirmed (SUC) epidemic model for estimating unidentified infected population for COVID-19. *Chaos, Solitons & Fractals*, 139, 110090.
 Long-Time Analysis of a Time-Dependent SUC Epidemic Model for the COVID-19 Pandemic. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021, 5877217.



Contents lists available at ScienceDirect

Chaos, Solitons and Fractals

Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena

journal homepage: www.elsevier.com/locate/chaos



The susceptible–unidentified infected–confirmed (SUC) epidemic model for estimating unidentified infected population for COVID-19



^a Department of Mathematics, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea
^b School of Mathematics and Statistics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

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

[계획]

지식 창출자로서의 연구자는 학자적 관심에서 더 나아가 지역사회, 국가, 글로벌 차원의 문제 해결에 대한 역할을 담당한다. 본 교육연구팀의 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 운영 계획으로는 산업문제 해결을 위한 교육과정 개발, 산학협력 연구 추진, 산학문제 해결에 대학원생들을 적극적으로 참여하게 하는 것이다. 산업수학(Industrial Mathematics)이란, 수학을 응용해서 과학기술·산업·사회 문제를 해결하는 활동이다. 정부가 제4차 산업혁명의 핵심 기초학문이라고 할 수 있는 산업수학을 육성하기 위해 2016년부터 전략과제를 지원하기 시작했다.

4단계 BK21 고려대학교 수리과학 미래인재 교육연구팀에서는 과학기술·산업·사회 문제를 해결과 관련된 교육 프로그램을 위해서 대학원 교재 ‘산업응용수학의 기본 (ISBN 9791160730289, 경문사, 2017)’ 를 개발하였다. 또한, 본 연구팀은 과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 주제에 대해서 [계산유체역학], [수리모델], [응용수학 I], [수치해석], [수치적편미분방정식] 등 교육과정 프로그램을 매 학기 개설해서 진행하고 있다. 수업 내용과 관련하여 앞으로 다루 볼 산업 및 사회 문제는 다음과 같다.

❑ 코로나19 수리 모델링

❑ 미세먼지 확산 예측을 위한 수치기법 개발

❑ 현재 운영되고 있는 산업응용수학의 기본 교재를 바탕으로 하는 교과목을 확대한다.

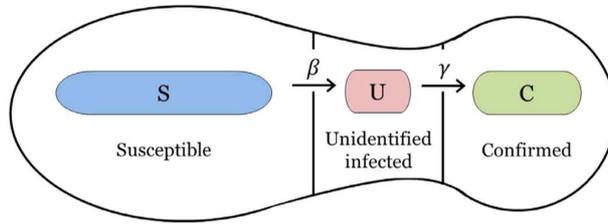
과학기술·산업·사회 문제 해결과 관련된 교육 프로그램 현황과 구성 및 운영 실적

❑ Mathematical Data Science 과정

전 세계적으로 데이터과학 분야에 대한 인력 수요가 급증하고 있고, 수학과 내에서도 많은 학생들이 데이터과학 분야로 진출하고 싶어하며 이 분야에 대한 교육을 원하고 있다. 데이터과학 분야는 수학, 통계, 전산 등 여러 분야가 융합된 분야로 각 분야 나름의 전공 특색을 살려 교육하는 것이 바람직하고 이에 데이터 과학의 중요한 축인 수학과에서 수학지식을 겸비한 딥러닝 및 데이터과학 분야 전문인력에 대한 맞춤형 교육과정을 목표로 Mathematical Data Science (MDS)라는 18개월 석사과정을 2022년에 수학과 안에 신설하여 운영하고 있다. MDS는 기존의 연구중심의 대학원 세부전공과는 다르게 현대 산업사회의 다양한 문제를 해결하기위해 관련 이론교육과 실습을 중심으로 수학기반의 데이터과학 전문인력을 양성하는 과정이다. MDS 과정은 학문적 교육 뿐 아니라 기업 및 연구소에서의 인턴과정과 각종 프로젝트 진행, 그리고 캡스톤 등을 통한 실무 교육까지 데이터 과학과 관련한 다양한 교육 프로그램을 제공하고 있고 이는 산업 및 사회문제 해결로 이어질 것이다. MDS는 현재 3번의 신입생 선발이 있었고, 입학생들은 의류업체, 반도체업체, 전쟁연구소 등에서의 인턴과정을 통해 실제 산업 현장이나 연구소에서 고민하는 문제를 해결하였고, 금융, 국방, 화학, 영상 등 다양한 연구 프로젝트에 참여하여 사회 여러 분야의 문제를 풀어나가고 있다. 현재 첫 번째 입학생들은 전쟁사, 화학 실험, 영상 분야의 실제 문제를 해결하는 캡스톤을 진행하고 있다.

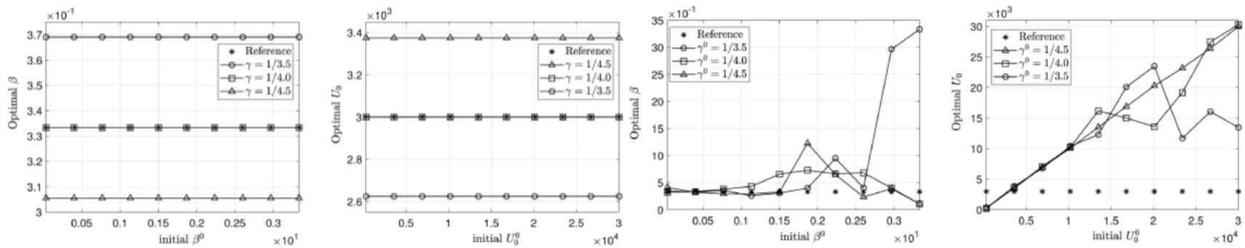
❑ 코로나19 수리 모델링

박사는 저널 Chaos, Solitons and Fractals (IF 5.994, 분야별 상위 백분율 2% 이내, Q1)에 2021년 12월 출판된 “Robust optimal parameter estimation for the susceptible-unidentified infected-confirmed model” 의 주저자로 신종 감염병 모델 (SUC model)에 대한 연구를 수행했다.



$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= -\frac{\beta S(t)U(t)}{N}, \\ \frac{dU(t)}{dt} &= \frac{\beta S(t)U(t)}{N} - \gamma U(t), \\ \frac{dC(t)}{dt} &= \gamma U(t). \end{aligned}$$

여기서 γ 는 미확인 감염자가 감염이 확인되는 것까지 걸리는 기간의 역수이고 β 는 감염자 개인의 시간당 평균 접촉 수이다. 감염병 모델링에서는 매개변수값을 결정할 때의 문제 중 하나로 최적의 매개변수값이 매개변수값의 초기 추측에 매우 예민하다는 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 한 매개변수의 값을 고정하고 확진자 모집단에 가장 잘 맞는 다른 매개변수값을 찾아 최적의 감염병 매개변수를 추정했다. 고정된 매개변수 γ 는 역학 감시 시스템의 데이터를 사용하여 얻은 뒤 상수로 고정하고 감염병 모델의 수치 해 결과로 최적의 매개변수 β 를 추정했다. 논문에서는 제안된 방법의 효과성을 보여주기 위해 이전의 γ 를 고정하지 않고 감염병 매개변수를 추정하는 방법과 γ 를 고정하고 감염병 매개변수를 추정하는 제안된 방법을 비교하였다.



왼쪽부터 제안된 방법으로 추정된 β , U_0 , 이전 방법으로 추정된 β , U_0 를 보여준다. 수치 시뮬레이션 결과 제안된 방법은 이전의 방법과 달리 초기 추측 값에 민감하지 않음을 보여주었다. 또한 제안된 방법의 정확성을 입증하기 위해 한국, 미국, 인도, 브라질을 대상으로 2021년 4월 18일부터 2021년 5월 14일까지의 확진자 데이터를 사용한 감염병 예측은 다음과 같은 결과를 보여주었다.

복잡한 구면 위에서의 유체 흐름 시뮬레이션 방법 개발

교수는

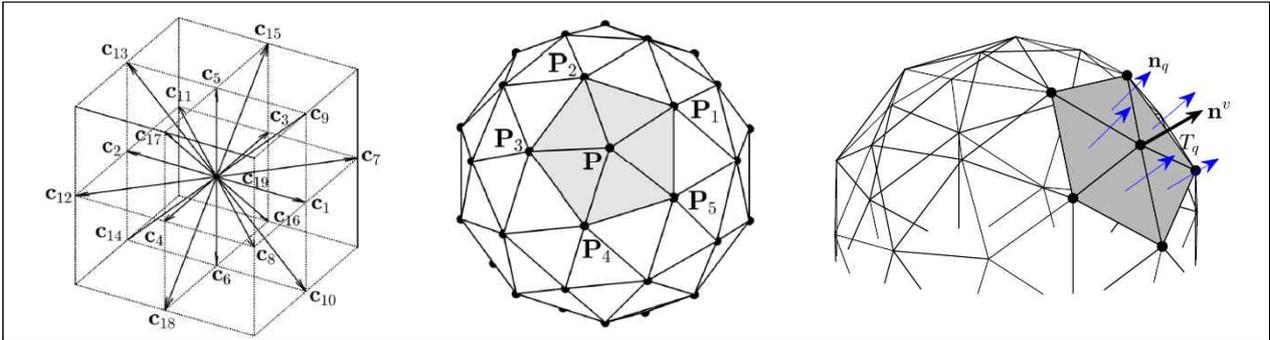
박사와 함께 ‘Finite volume scheme

for the lattice Boltzmann method on curved surfaces in 3D’을 주제로 진행한 공동연구의 결과를 Engineering with Computers (2021 JCR 기준 IF 8.083, 분야별 상위 백분율 4.38%) 저널에 제출하여 2022년에 게재하였다. 복잡한 유체 흐름을 수치 시뮬레이션하는 방법으로 볼츠만 방법(LBM)이 널리 사용되었다. 볼츠만 방법은 물리적 현상을 모델링하는 것이 쉬우며 구현이 단순하다는 장점이 있다. 다만, 이산 속도의 방향이 공간 격자 구조를 따르기 때문에 속도 벡터의 방향이 제약받는다라는 단점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위하여 2차원 유한 체적 볼츠만 방법이 제시되었다. 이 연구에서는 기존 연구를 확장시켜, 3차원 공간에서 행성의 대기 순환과 같은 곡면의 유체 흐름을 시뮬레이션하기 위한 유한 체적 볼츠만 방법(FVLBM)을 제시하였다. 제시한 방법은 다음 지배방정식을 따른다.

$$\frac{\partial f_i}{\partial t}(\mathbf{x}, t) + \mathbf{c}_i \cdot \nabla f_i(\mathbf{x}, t) = -\frac{1}{\tau} (f_i(\mathbf{x}, t) - f_i^{eq}(\mathbf{x}, t))$$

수치 계산을 위하여 속도 및 공간을 이산화하였으며, 각각 D3Q19 격자 및 삼각형 메쉬를 사용하였다.

한 번의 계산을 통해 완전히 명시적인 형태로 각 꼭짓점에 대한 분포 함수를 계산하며, 이 계산을 반복하는 형태로 진행된다. 또한, 표면에 접하는 속도 벡터를 유지하기 위해 실용적인 보정 기술을 사용하였다. 아래 그림은 D3Q19 격자와 삼각형 메쉬, 그리고 속도 보정 과정을 표현하였다.



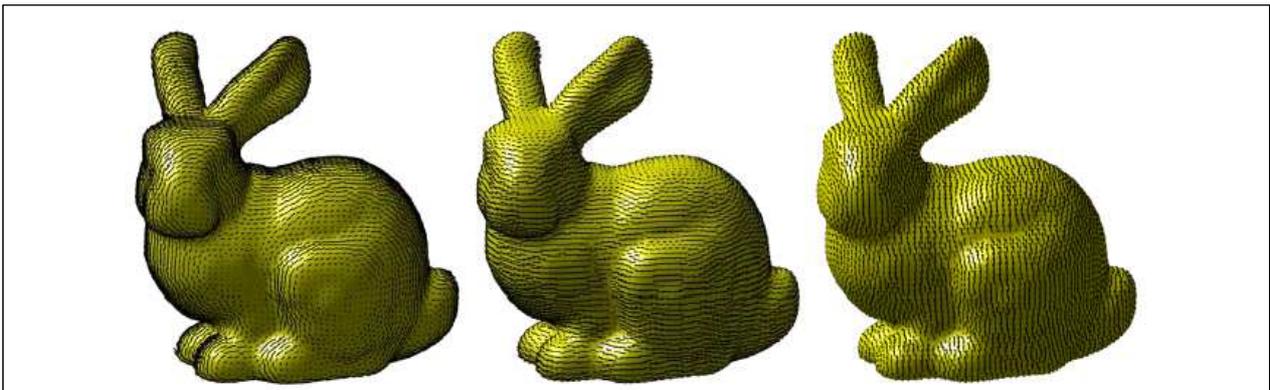
제안하는 방법은 곡면의 유체 흐름을 해결하는 데 매우 효율적이며, 그 성능을 입증하기 위해 다양한 조건에서 실험을 진행하였다. 구, 원환체, 토끼와 같은 다양한 곡면에 대해 일련의 계산 실험을 수행하였다. 예를 들어, 복잡한 영역에서도 제안한 방법을 잘 적용하는 것을 보여주기 위해 토끼 곡면에서의 실험은 다음과 같다. 다음과 같이 3가지 초기 속도 벡터를 사용하였다.

$$\mathbf{u}_1(\mathbf{x}, 0) = (-0.01n_z, 0.1n_z, 0.01n_x - 0.1n_y),$$

$$\mathbf{u}_2(\mathbf{x}, 0) = (0.1n_y, -0.1n_x + 0.01n_z, -0.01n_y),$$

$$\mathbf{u}_3(\mathbf{x}, 0) = (0.01n_y - 0.1n_z, -0.01n_x, 0.1n_x).$$

아래 그림은 각 초기 속도 벡터에 대하여 8초 동안 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 결과를 통해 제안한 방법은 복잡한 표면에서 잘 작동하는 것을 관찰할 수 있다.



☐ 콘테스트에서 참가자 수의 공개 전략과 비공개 전략의 비교 분석

상대방을 알지 못하고 경쟁하는 상황은 실제로 일어나는 경쟁에서 자주 발생하게 된다. 지원자가 누구인지 모르는 상황에서, 더 나아가 지원자의 수가 몇 명인지도 모르는 상황에서 누구와 경쟁하는지 모르면서 면접을 보기도 하고, 경쟁자의 정보가 부족한 상황에서 회사가 R&D 경쟁을 하게 되기도 한다. 이러한 환경에서 경쟁자들은 주어진 불완전한 정보를 바탕으로 상대방의 능력과 행동을 예상하며 최적의 행동을 선택하게 된다. 본 연구에서는 경쟁자 수를 공개적으로 알 수 없는 상황에서 콘테스트에서 발생하게 되는 정보 공개 문제를 분석하였다. 노벨 경제학상 수상자인 로저 마이어슨의 교수의 환경등가원칙을 적용하여 콘테스트 관계자들은 경쟁자 수에 대한 불완전한 정보를 갖게 된다. 본 연구에서 다루는 콘테스트는 전형적인 표준전액지불 경매 방식을 이용하여 기술된다. 경매 참가자 수에 대해 완전 무작위 환경을 가정하여 경매 참가자 수가 확률적으로 결정되며 평균이 λ 인 포아송 분포를 따른다고 가정

하였다. 콘테스트 운영자는 경매 참가자 수를 알 수 있지만 콘테스트 운영자가 참가자들에게 정보를 주지 않으면 참가자들은 표준전액지불 경매에 얼마나 많은 경쟁자들이 있는지 알지 못한다. 경쟁자 수에 대한 정보가 주어지지 않을 때는 참가자들은 환경등가원칙을 적용하여 자신을 제외한 경매 경쟁자 수가 일 확률을 $p(n|\lambda) = e^{-\lambda}\lambda^n/n!$ 로 알아낼 수 있다. 참가자가 명이고 참가자들이 각각 b_1, \dots, b_n 의 입찰가격을 제시하면 참가자 i 의 이익은 최종 승자가 되면 $v_i - b_i$ 이며 그렇지 않으면 $-b_i$ 가 된다. 콘테스트 관리자가 수익의 극대화에 관심이 있다면 경쟁자 수에 대한 정보를 콘테스트 참가자들에게 공개할지는 전혀 중요한 문제가 되지 않는다는 것을 보였다. 즉, 경쟁자 수를 참가자들에게 공개하는 경우와 공개하지 않는 경우에 모두 콘테스트 운영자의 수익은 같게 된다는 결과를 도출하였다. 반면 면접을 통해 직원을 채용하는 경우와 같이 최종 승자의 노력을 극대화 하는 문제라면 경쟁자 수에 대한 정보 공개 여부는 콘테스트 관리자의 만족도에 대한 결과를 완전히 다르게 할 수 있다. 본 연구에서는 마이어슨의 환경등가원칙과 베이시안 분석을 통해 콘테스트 관리자의 만족도 측면에서 콘테스트 관리자가 참가자에게 경쟁자 수를 공개하는 경우와 그렇지 않은 경우를 비교 분석하였다. 본 연구의 결과에 의하면 최종 승자의 노력을 극대화하는 문제에서는 콘테스트 참가자 수의 기댓값이 클 때는 참가자들에게 경쟁자의 수를 공개하는 정책이 우세하고, 콘테스트 참가자 수의 기댓값이 작을 때에는 참가자들에게 경쟁자의 수를 공개하지 않는 정책이 우세하게 된다.

기계학습을 이용한 다이오드 부품의 단종 시기 예측 알고리즘 개발

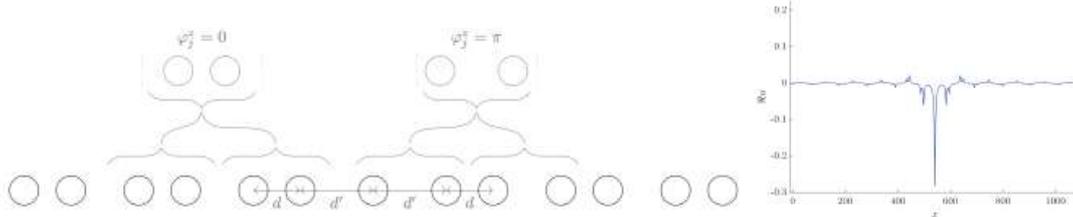
산업계의 모든 생산라인에서는 기존보다 성능이 향상되거나 가격 면에서 경쟁력이 있는 제품을 생산하려고 하고 이는 제품의 단종으로 이어진다. 하지만 해당 제품을 이용하는 업체에서는 이것이 생산 차질을 야기할 수 있기 때문에 단종이 예상되는 제품에 대한 예측이 관련 업체의 생산 손실 감소, 나아가 긍정적인 고객 만족 등을 유도할 수 있다. 이에 2021년부터 2022년까지 (주) 레오이노비전의 요청을 받아 기계학습을 이용하여 제품의 단종 시기를 예측하는 알고리즘을 개발하였다. 업체에서 제공하는 실제 반도체 데이터를 이용한 딥러닝 알고리즘을 개발하여 여러 부품에 대한 단종 시기를 정확하게 예측할 수 있게 함으로써 업체가 당면한 실제 문제를 해결하는 기회가 되었다. 이 연구를 통해 연구 결과는 2편의 SCIE 논문으로 출간되었고 특허 1건을 신청한 상태이다. 또한, 과제가 끝난 이후에도 업체의 요청에 따라 대학원 석사과정 학생이 인턴과정을 통해 관련 문제에 관한 후속연구를 진행하였고 이를 통해 산업체의 문제를 해결하는 경험을 하기도 했다.

메타물질 디자인을 위한 이론적 모델과 수치계산법 개발

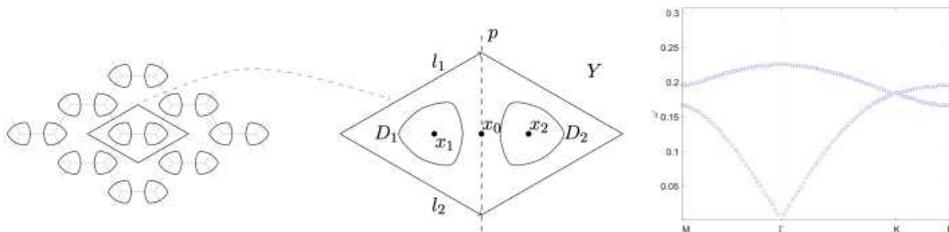
메타물질이란 자연계에 존재하지 않는 물성을 보여주는 인공적으로 설계된 물질로서, 신소재과학의 새로운 패러다임으로 불리고 있다. 본 실적에서는 메타물질의 디자인을 위해 이론적 모델링 및 효율적인 수치 알고리즘을 개발하였다. 메타물질 분석은 수학적으로 다음과 같은 타원형 편미분연산자의 고유값 문제로 표현된다:

$$\mathcal{L} := -\frac{1}{\delta + (1-\delta)\chi_C} \nabla \cdot \left((\delta + (1-\delta)\chi_C) \nabla \right)$$

여기서 C 는 입자들의 영역을 나타내고 δ 는 입자들의 물성을 결정하는 작은 양수의 파라미터이다. 위 편미분 연산자의 계수가 high-contrast를 갖는 특징 때문에 이론적 분석과 수치적 계산이 어려워지는 문제가 있는데, 포텐셜 이론과 점근적 해석 방법을 활용하여 high-contrast limit 에서도 정확하게 성립하는 reduced order model을 개발하였다. 다양한 물성 중 최근 큰 관심을 받고있는 위상적 경계 상태(topological edge state)을 고려하였다. 1차원 위상적 메타물질의 경우 입자들의 영역은 다음과 같은 형태를 가진다.



이 경우, 중심의 입자 근처에서 국소적으로 공명하는 localized state가 나타나는데, 입자의 구조가 크게 변형되어도 매우 안정적으로 존재할 수 있으며, 이는 그 존재성이 어떤 위상수학적 양에 의해 기인하기 때문이다. 관련된 topological phase transition이 일어남을 이론적으로 확인하고, localized state의 안정성을 수치적으로 확인하였다. 해당 연구는 다음 논문으로 출판되었다. - Journal de Mathematiques Pures et Appliquees, 144 (2020), 17-49. 또한 2차원 위상적 메타물질의 분석을 위해 Honeycomb symmetry를 갖는 입자구조를 고려하고 이때 Dirac cone 형태의 스펙트럼이 나타난다는 것을 엄밀하게 증명하였다.



또한, 이와 함께 high frequency homogenization 방법을 개발 및 적용하여 입자구조를 통과하는 파동이 거시적 스케일에서 Dirac 방정식을 만족한다는 것을 엄밀하게 증명하였다. 이는 2차원 위상적 메타물질 이론과 실제 구현 초석이 될 것이다. 해당연구는 다음 두 논문으로 출판되었다.

- Archive on Rational Mechanics and Analysis, 238 (2020) 1559-1583

- SIAM Journal on Mathematical Analysis, 52 (2020), no. 6, 5441-5466

이렇게 개발된 reduced order model 들은 실제 신소재 산업에서 메타물질 개발 시 디자인 과정의 복잡도를 획기적으로 줄일 수 있게 한다.

3차원 의류생성 및 아바타 착장 생성 인공지능 알고리즘 구현 및 적용

컴퓨터비전 기술을 사용하여 2차원의 아바타 착의 이미지 셋을 학습하였으며, 학습한 2차원 의류 이미지를 입력으로 사용할 수 있게 하였다. 입력된 2차원 의류 이미지는 3차원 아바타에 옷을 입히게 된다. 착의 된 3차원의 아바타를 회전시킬 수 있게 하기 위해서 3차원 이미지 생성 기술을 개발하였다. (주)스타일봇과 공동연구로 진행하였고, 3차원 의류 생성 및 아바타 착장 생성 인공지능 알고리즘을 구현하여 (주)스타일봇의 기술적 현안을 해결해 주었다. 메타버스 등 미래 이슈 개척을 위한 교두보를 마련하는 계기가 되었다. 더 나아가 개발한 3차원 이미지 생성 기술을 단순히 회사에 이전해준 것뿐만 아니라 회사의 기술 인력들이 현업에서 실제로 사용할 수 있도록 필요한 기술교육 등 사후교육도 진행하였다.

다중 관측소 지진데이터를 사용한 데이터과학 지진정보생성기법 구현

한반도 지진 관측망에서 수집된 다중관측소 지진 파형을 사용하여 지진정보생성에 특화된 인공지능 모델을 설계한다. 한국지진관측소 자료를 제안한 인공지능 모델에 학습시키면서 데이터과학 기반 지진정보생성기법을 고도화할 수 있는 메타기법을 연구한다. 기상청 지진정보과에서 인공지능 기법 도입에 대한 기본 거버넌스 피드백과, 미래기술도입 시 고려할 점들에 대해서도 대응 방안을 꾸준히 논의 중이다. 기상청 발주의 연구과제를 진행하면서 만든 인공지능 모델의 효용성을 실제 지진정보생성에 사용할 수 있는지 타당성을 검증하는 단계에 있다.

2. 인력양성 현황 및 지원 실적

2.1 평가 대상 기간 대학원생 인력 확보 및 배출 실적

<표 2-1> 교육연구팀 참여대학원생 확보 및 배출 실적

(단위: 명)

참여대학원생 확보 및 배출 실적					
실적		석사	박사	석·박사통합	계
확보 (재학생)	2020년 2학기	14	8	18	40
	2021년 1학기	7	6	17	30
	2021년 2학기	8	3	15	26
	2022년 1학기	12	6	16	34
	2022년 2학기	17	6	16	39
	계	58	29	82	169
배출 (졸업생)	2021년 2월	2	4		6
	2021년 8월	3	2		5
	2022년 2월	4	1		5
	2022년 8월	2	1		3
	2023년 2월	0	2		2
	계	11	10		21

2.2 교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적

☑ 우수 대학원생 확보 및 지원 계획

본 교육연구팀의 교육 비전을 함께 실현하고 달성할 수 있는 우수한 대학원생을 선발하기 위해, 학부생의 연구지원 및 우수 학부생 우선선발, 학부생과 대학원생의 정보 전달 및 소통 장려, 박사과정생의 선발기준 강화, 우수 외국인 학생 유치 계획과 확보한 우수 대학원생들의 학술연구를 지원하기 위해 다음과 같은 계획을 수립하였다.

- 학부생의 연구지원 및 우수 학부생 우선선발, 우수 외국인 학생 유치
- 대학원생이 안정적으로 학업과 연구에 집중할 수 있도록 재정적 지원 강화
- 연구조교(Research Assistant, RA) 배정으로 학습과 연구에 집중
- 아낌없이 주는 연구지도, 공동연구 역량 강화, 국내외 학회 참석 경비 지원
- 대학원생들을 위한 연구환경의 조성 및 공간의 확대
- 우수 대학원생에 대한 평가 강화 및 보상 확대

교육연구팀의 우수 대학원생 확보 및 지원 실적 달성도

☑ 우수 대학원생 확보 및 지원 실적

본 교육연구팀의 교육 비전을 함께 실현하고 달성할 수 있는 우수한 대학원생을 선발하기 위해, 학부생의 연구지원 및 우수 학부생 우선선발을 위해 학·석사 연계 과정에 대해 적극적으로 홍보하였다. 또한, 우수한 대학원생을 확보하고자 4차 산업혁명 관련 데이터 과학 교과목의 신설 및 기존 수학 교과목과의 융·복합 교과목을 개설하였다. 2022년 봄 학기부터 고려대학교 수학과 대학원에서 Mathematical Data Science 전공을 신규 개설하게 되었다. Mathematics Data Science 전공은 수학 지식을 겸비한 데이터 과학 전문인력 양성하기 위한 맞춤형 교육을 제공하고, 학부 입학부터 대학원까지 이어지는 교육을 통해 4차 산업혁명시대에 데이터 과학 분야를 선도할 우수한 전문가 육성을 목표로 한다. 본 교육연구팀은 확보한 우수 대학원생들의 학술연구를 지원하기 위해 준비한 계획을 실행하였다. 참여대학원생은 안정적으로 학업과 연구에 집중할 수 있도록 조교장학금, 4단계 BK21 지원장학금, 참여교수들의 연구과제를 통한 인건비 등을 통해 많은 경제적 지원을 받고 있다. 재정적 지원이 강화되면서 대학원생들이 안정적으로 학업과 연구에 집중할 수 있게 되었다. 또한, 연구에 집중할 수 있도록 연구환경을 조성하였다. 대학원생 세미나실을 따로 두어 학생들끼리 세미나 할 수 있는 공간과 자유로운 대화를 하며 휴식을 취할 수 있는 공간 또한 제공하고 있다. 대학원생의 연구지도는 매우 중요한 지원 중 하나이다. 참여교수 모두가 적극적으로 지도 학생들에게 연구를 지도하고, 공동연구 수행에 함께 참여할 수 있도록 하여 평가 대상 기간 동안 SCIE급 논문 93편이 출판되었고, 특허 등록 1건과 국제 공동연구 결과 논문 게재도 27건 진행되었다. 다음은 참여대학원생이 주저자 또는 공동저자로 게재한 대표적 논문 리스트이다.

▷ **Modeling and simulation of droplet evaporation using a modified Cahn-Hilliard equation,** Applied Mathematics and Computation, Vol. 390, 125591, 2021.

▷ **Shape transformation using the modified Allen-Cahn equation,** Applied Mathematics Letters, Vol. 107, 106487, 2020.

▷ **The Susceptible-Unidentified infected-Confirmed (SUC) epidemic model for estimating unidentified infected population for COVID-19,** Chaos, Solitons & Fractals, Vol. 139, 110090, 2020.

- ▷ **A phase-field model and its efficient numerical method for two-phase flows on arbitrarily curved surfaces in 3D space**, Junxiang Yang and Junseok Kim, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 372, 113382, Dec. 2020.
- ▷ **Boundary behavior and interior Hölder regularity of the solution to nonlinear stochastic partial differential equation driven by space-time white noise**, Journal of Differential Equations Vol. 269(11) 9904-9935 2020
- ▷ **Periodic travelling wave solutions for a reaction-diffusion system on landscape fitted domains**, Chaos, Solitons & Fractals, Vol. 139, 110300, 2020.
- ▷ **Delay analysis in the discrete-time multi-server queue with batch arrivals of packets having deterministic length**, Electronics Letters, Vol. 56, No. 23, 1250-1253, November, 2020.
- ▷ **A regularity theory for stochastic partial differential equations driven by multiplicative space-time white noise with the random fractional Laplacians**, Stochastics and Partial Differential Equations: Analysis and Computations, Vol. 9 No. 4 940-983, 2021.
- ▷ **A regularity theory for stochastic partial differential equations with a super-linear diffusion coefficient and a spatially homogeneous colored noise**, Vol. 135 pp 1-30, 2021.
- ▷ **An L-q(L-p)-theory for diffusion equations with space-time nonlocal operators**, Journal of Differential equations Vol. 287 376-427, 2021.
- ▷ **A weighted sobolev space theory for the diffusion-wave equations with time-fractional derivatives on C^1 domains**, Discrete and Continuous Dynamical Systems- Series A, Vol 41, No. 7 pp 3415-3445.
- ▷ **Parabolic equations with unbounded lower-order coefficients in Sobolev spaces with mixed norms**, Journal of evolution equations, Vol. 22 No. 1 2022
- ▷ **Computation of powered option prices under a general model for underlying asset dynamics**, Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol 406, 113999, 2022.
- ▷ **Weighted 3D volume reconstruction from series of slice data using a modified Allen-Cahn equation ...** Pattern Recognition, Vol. 132, 108914, 2022
- ▷ **Motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn equation**, Journal of Scientific Computing, 2022.
- ▷ **A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier**, Applied Mathematics Letters, Vol. 126, 107838, 2022.
- ▷ **Simple and efficient volume merging method for triply periodic minimal structures**, Computer Physics Communications, Vol. 264, 107956, 2021.
- ▷ **Trace theorem and non-zero boundary value problem for parabolic equations in weighted Sobolev spaces**, Stochastics and Partial Differential Equations: Analysis and Computations, November 2022
- ▷ **An unconditionally stable scheme for the Allen-Cahn equation with high-order polynomial free energy**, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Vol. 95, 105658, 2021.
- ▷ **A variant of stabilized-scalar auxiliary variable (S-SAV) approach for a modified phase-field surfactant model ...** Computer Physics Communications, Vol. 261, 107825, 2021

수학 분야의 특성상, 특허를 출원하고 등록하기까지가 어려우나 4단계 BK21에서 본 수리과학 교육팀의 참여교수와 대학원생들이 참여하여 등록한 특허가 1건 있고 다음과 같다.

특허명: 훼손된 지문 복원 방법, 특허 등록자 명단 :

국내외 학회 참석경비를 지원하여 참여대학원생들이 연구 결과를 관련 분야 연구자들에게 발표하면서 연구내용을 검증받거나, 다른 연구자들의 연구 결과를 들으며 최근 연구 동향을 파악할 수 있도록 하였다. 다음은 학회 참석경비를 지원하여 참여대학원생들이 적극적으로 발표한 학회 목록이다.

- 2020년도 대한수학회 정기총회 및 가을 연구발표회, 2020.10.23.~2020.10.24. (학회 발표 :)
- 대한수학회 제2차 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2020.12.17.
- 2021년 대한수학회 봄 연구발표회, 2021.4.29.~2021.4.30. (학회 발표 :)
- 2020 KSIAM Annual Meeting, 서귀포 칼호텔, 2020.11.12.~2020.11.15. (학회 발표 :)
- 2021 KSIAM Spring Conference, 강릉 탑스텐 호텔, 2021.6.25.~2021.6.27.
- 2021년 대한수학회 봄 연구발표, 2021.4.29.~2021.4.30. (학회 발표 :)
- SMB 2021 Annual Meeting, 2021.6.13.~2021.6.17. (학회 발표 :)
- Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics, 2021.7.19.~2021.7.23. (학회 발표 :)
- 2021 한국 수리생물학회 연례 학술대회, 2021.8.26.~2021.8.28.
- 2021년 대한수학회 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2021.09.30.
- 2021년 대한수학회 정기총회 및 가을 연구발표회, 2021.10.20. (학회 발표 :)
- 2021 KSIAM Annual Meeting, 2021.12.02.~2021.12.05. (학회 발표 :)
- 2022년도 KSIAM 2022 Spring Conference, 2022.05.27.~2022.05.29. (학회 발표 :)
- 2022년도 호남수학회 정기총회 및 학술대회, 2022.06.17.~2022.06.18. (학회 발표 :)
- Harmonic Analysis, Stochastics and PDEs in Honour of the 80th Birthday of Nicolai Krylov, 2022.06.20.~2022.06.24. (학회 발표 :)
- ICPR 2022 26TH International Conference on Pattern Recognition, 2022.08.21.~2022.08.25. (학회 발표 :)
- 2022년 대한수학회 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2022.08.25.~2022.08.
- The 29th International Conference on Computational Linguistics, 2022.10.12.~2022.10.17. (학회 발표 :)
- 2022년도 대한수학회 정기총회 및 IMU 승급 기념 국제학회, 2022.10.18.~2022.10.21. (학회 발표 :)
- 2022 KSIAM Annual Meeting, 2022.11.24.~2022.11.27. (학회 발표 :)
- The 3rd Conference on Surfaces, Analysis, and Numerics, 2023.02.20.~2023.02.23. (학회 발표 :)

매 학기마다 학생들의 실적에 대한 평가를 진행하여 우수한 학생들에 대해 차등 지원하였다. 차등 평가에 대한 항목으로는 국내외 학회 발표 및 참석 횟수, 게재 및 제출 논문, 특허 출원, 저서 출판, 윤리교육수강 등으로 세부항목을 나누고 이를 정량적이고 객관적으로 점수화하여 학술 활동을 활발하게 한 우수 대학원생을 선발하였다. 참여대학원생들이 논문 및 학술대회 발표, 특허등록 부분에서 우수한 성과를 거두는데 큰 동기부여가 되었고, 매 학기 우수한 성과를 거두고 있다. 또한, 고려대학교에서 실시하는 KU Graduate Student Achievement Award 등과 같은 시상프로그램에 우수한 실적을 갖춘 이채영 박사과정생이 2021년 2월에 수상하였다. 본 교육연구팀은 우수 참여대학원생을 확보하고 적극적으로 지원하여 우수 논문 게재와 학회발표, 특허등록 등 제시한 계획을 달성하였다.

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	2	0	0	0	X			
	박사	4	X		0				
2021년 8월 졸업자	석사	3	0	0	0				
	박사	2	X		0				
2022년 2월 졸업자	석사	4	1	0	0		3	1	50
	박사	1	X		0		1	1	
2022년 8월 졸업자	석사	2	1	1	0	0	0	100	
	박사	1	X		0	1	1		
2023년 2월 졸업자	석사	0	X						
	박사	2							

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)		
대표 취(창)업 사례의 우수성							
1		2021.8	석사	수학과			
	석사 졸업 후 삼성 SDS에 정규직으로 취업하였으며 삼성SDS는 클라우드와 디지털 물류 서비스를 제공하는 기업으로써 기업 환경에 최적화된 클라우드 서비스와 디지털 물류 플랫폼 기반 물류 서비스를 제공한다. 삼성SDS는 2021년 Gartner 기준 글로벌 IT 서비스 기업 21위, 제조 분야 1위를 기록하였고, 2022년에는 풋 브랜드 파이낸스(Brand Finance)의 글로벌 IT 서비스 시장 브랜드 가치 13위에 선정되는 등 글로벌 기업이다.						
2		2021.8	석사	수학과			
	석사졸업생은 흥국자산운용 정규직으로 취업하여 업무를 수행 중이다. 흥국자산운용은 고객의 필요에 부합하는 맞춤형 상품제공과 안정적인 운용수익을 달성하여 가치 성장을 선도하는 자산 운용사이다. 석사과정 동안 고려대학교 수학과 김준석 교수의 지도하에 비 균일한 격자를 형성하는 방법을 접목하여 금융 상품을 효율적으로 평가하는 연구를 하였다. 위 연구 경험을 바탕으로 금융 데이터를 이용해 유의미한 시그널을 찾아내고 자동화시키는 업무를 담당하고 있다.						
3		2022.2	박사	수학과			
	박사과정동안 삼각화된 표면에서 간단하게 이산화된 라플라스-벨트라미 연산자로 구성된 수치 방법을 제시하였다. 정적 및 변화하는 영역에서 패턴 형성, 또는 패턴형성을 모방하기 위한 형상 변환 등을 검증하기 위해 다양한 수치 실험이 수행하였다. 수치 결과들은 제안하는 명시적인 시간 의존 방법이 변화하는 곡면 위에서 반응-확산 시스템의 패턴형성, 또는 패턴 형성을 모방하기 위해 형상 변환을 시뮬레이션할 수 있음을 보여준다.						
평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 졸업한 참여대학원생 수				석사	11	제출요구량	3
				박사	10		

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

번호	학위과정 (석사/박사/ 석박사통합)	참여 대학원생 성명	세부전공 분야	실적구분	대표연구업적물 상세내용
1	박사		Numerical Analysis	저널논문	The susceptible-undetected infected-confirmed (SUC) epidemic model for estimating unidentified infected population for COVID-19
					CHAOS SOLITONS & FRACTALS 139, 110090
					2020 10
					10.1016/j.chaos.2020.110090
	이 연구에서는 코로나바이러스 질병 2019(COVID-19)에 대한 미확인 감염 인구를 추정하기 위한 Susceptible-Undetected infection-Confirmed(SUC) 전염병 모델을 제안합니다. 미확인 감염자는 감염되었으나 감염이 확인되지 않는 사람으로서 아직 격리되지 않고 취약한 사람들에게 질병을 퍼뜨릴 수 있습니다. 미확인 감염자 추정을 위해 최소제곱법으로 확인된 사례 데이터에 가장 적합한 최적의 모델 매개변수를 찾습니다. 데이터는 세계보건기구가 보고한 확진 사례 시계열 데이터를 사용합니다. 또한 Monte Carlo 시뮬레이션을 이용하여 제안된 모델의 실제 식별 가능성 분석을 수행합니다. 제안된 모델은 새로운 질병을 모니터링하고 공급할 보호 마스크 또는 COVID-19 진단 키트의 수량, 병상, 백신, 의료진 등을 준비하기 위해 식별되지 않은 감염 인구를 추정하는 데 잠재적으로 유용합니다.				
2	박사		Numerical Analysis	저널논문	Periodic travelling wave solutions for a reaction-diffusion system on landscape fitted domains
					CHAOS SOLITONS & FRACTALS 139, 110300
					2020 10
					10.1016/j.chaos.2020.110300
	이 논문에서는 복잡한 지형 영역에서 확산성 포식자-피식자 시스템을 위한 주기적인 진행파 솔루션의 경계 처리와 새로운 지형 적합 도메인 구성을 제안합니다. 제안하는 방법은 장애물에 기반한 거리 함수를 사용합니다. 지형 적합 도메인은 장애물로부터의 거리가 양수이고 미리 정의된 거리보다 작은 영역으로 정의됩니다. 도메인의 외부 경계에서는 zero-Neumann 경계 조건을 사용하고 거리 함수의 법선 방향에서 쌍선형 보간된 값으로부터 경계 값을 정의합니다. 내부 경계에서 균일한 Dirichlet 경계 조건을 사용합니다. 일반적으로 반응 확산 시스템은 직사각형 영역에서 수치적으로 해결됩니다. 그러나 주기적인 진행파 솔루션의 경우 잘못된 패턴이 발생할 수 있으므로 경계 처리가 중요합니다. 이러한 잘못된 패턴을 방지하려면 경계 처리 효과를 최소화하기 위해 충분히 큰 계산 도메인을 사용해야 합니다. 제안한 방법을 사용하면 상대적으로 작은 도메인 크기를 사용하더라도 정확한 결과를 얻을 수 있습니다.				

3	석박사통합		Numerical Analysis	저널논문	Pattern formation in reaction-diffusion systems on evolving surfaces
					COMPUTERS & MATHEMATICS WITH APPLICATIONS
					80(9), 2019-2028
					2020 11
					10.1016/j.camwa.2020.08.026
이 연구에서는 진화하는 표면의 반응-확산 시스템에서 패턴 형성을 위한 명시적인 시간 단계 체계를 제안합니다. 제안된 수치적 방법은 삼각형 표면에 대한 Laplace-Beltrami 연산자의 간단한 이산화 방식을 기반으로 합니다. 정적 및 진화 도메인에서 도메인 성장 및 패턴 형성 효과에 대한 다양한 수치 실험을 수행합니다. 계산 결과는 제안된 방법이 진화하는 표면의 반응-확산 시스템에서 패턴 형성을 시뮬레이션할 수 있음을 보여줍니다. 실제 얼룩말 피부 패턴과 계산 결과를 비교합니다. 계산 결과에서 특정 회전 속도로 진화하는 표면에서 다양한 패턴 형성을 관찰할 수 있습니다.					
4	석박사통합		Stochastic Partial Differential Equations	저널논문	Boundary behavior and interior Hölder regularity of the solution to nonlinear stochastic partial differential equation driven by space-time white noise
					JOURNAL OF DIFFERENTIAL EQUATIONS
					269(11), 9904-9935
					2020 11
					10.1016/j.jde.2020.07.002
이 연구에서는 방정식의 가중 Sobolev 공간에서 고유한 해결 가능성 결과를 제시합니다. 초기 데이터와 제로 경계 조건이 주어집니다. 여기에 시공간 백색 잡음이 있고, 계수는 랜덤 함수입니다. 또한, 솔루션의 다양한 내부 Hölder 규칙성 및 경계 동작을 얻습니다. 예를 들어, 초기 데이터가 적절한 공간에 있으면 작은 입실론에 대하여 거의 확실하게 T는 유한합니다. 카파가 람다에 수렴하면 시간과 공간에 대하여 최대 Hölder 거듭제곱을 얻습니다. 카파가 0.5에 수렴하면 경계 근처에서 더 나은 감소 행동을 보입니다.					
5	박사		Numerical Analysis	저널논문	Uniformly distributed circular porous pattern generation on surface for 3d printing
					Numerical Mathematics-Theory Methods and Applications
					13(4), 845-862
					2020 11
					10.4208/NMTMA.OA-2019-0199
상태장 모델을 사용하여 3차원(3D) 인쇄를 위해 표면에 균일하게 분포된 원형 다공성 패턴 생성을 위한 알고리즘을 제시합니다. 이 알고리즘은 표면의 전역 Cahn-Hilliard 방정식에 대한 현대적 도메인 방법을 기반으로 합니다. 표면은 3D 그리드에 포함되며 현대적 도메인은 표면의 이웃으로 정의됩니다. 3D에서 표준 이산 라플라시안을 사용하여 수치 계산을 수행할 수 있습니다. 복잡한 표면의 경우 포인트 클라우드 데이터에서 재구성하고 이산 부호 거리 함수의 0레벨 세트르 나타냅니다. 제안된 알고리즘을 사용하여 표면에 균일하게 분포된 원형 다공성 패턴을 3D로 생성하고 결과 3D 모델을 인쇄할 수 있습니다. 제안하는 방법의 정확도 및 에너지 안정성 테스트를 제공합니다.					
6	박사		Applied Probability	저널논문	Delay analysis in the discrete-time multi-server queue with batch arrivals of packets having deterministic length
					Electronic Letters
					56(23), 1250-1253
					2020 11
					10.1049/el.2020.1560
Takine, T.의 논문 'A simple approach to the MAP/D/s queue'에서 영감을 받아, 저희는 결정론적 길이를 갖는 패킷의 일괄 도착으로 이산 시간 다중 서버 대기열에서 패킷 지연 분포를 유도하는 새로운 방법을 제안했습니다. 패킷 지연의 분포 함수와 평균 및 분산을 구하였습니다. 또한, 제안된 새로운 방법의 계산은 매우 가벼운 워크 로드를 가집니다.					

7	박사		Numerical Analysis	저널논문	Finite volume scheme for the lattice Boltzmann method on curved surfaces in 3D
					Engineering with Computers
					38(6), 5507–5518
					20221201
					10.1016/j.patcog.2022.108914
이 연구에서는 3차원(3D) 공간에서 곡면의 유체 흐름을 시뮬레이션하기 위한 유한 체적 격자 볼츠만 방법 (Finite Volume-lattice Boltzmann method, LBM)을 제시합니다. 곡면은 구조화되지 않은 삼각형 메시를 사용하여 이산화됩니다. 속도 및 공간 이산화를 위해 각각 D3Q19 격자 및 삼각형 메시를 선택합니다. 한 번의 반복으로 완전히 명시적인 형식으로 각 점점에 대한 분포 함수만 계산하면 됩니다. 따라서 제안하는 방법은 LBM을 사용하여 곡면의 유체 흐름을 해석하는 데 매우 효율적입니다. 속도 필드를 표면에 접선으로 유지하기 위해 실용적인 속도 보정 기술이 채택되었습니다. 제안하는 방법의 성능을 입증하기 위해 구, 토러스, 버니 등 다양한 곡면에 대한 일련의 계산 실험을 수행합니다.					
8	석사		Numerical Analysis	저널논문	Optimal non-uniform finite difference grids for the Black-Scholes equations
					MATHEMATICS AND COMPUTERS IN SIMULATION
					182, 690–704
					2021 04
					10.1016/j.matcom.2020.12.002
이 논문에서는 Black-Scholes(BS) 방정식에 대한 최적의 비균일 유한 차분 격자를 제시합니다. 유한차분 법은 균일한 메시를 주로 사용하며, BS 방정식의 여러 옵션 가격을 책정하는 데 상당한 시간이 걸립니다. 차원이 높을수록 문제가 어려워지는데 제안된 방법은 오차가 최소인 점의 수치해를 기반으로 반복적으로 제거하여 균일한 격자로부터 최적의 비균일 격자를 얻습니다. 1차원, 2차원 및 3차원 BS 방정식으로 여러 가지 수치 테스트가 수행되어 있습니다. Cash-or-Nothing 및 ELS(Equity-Linked Security) 옵션 모두에 대해 수치 테스트가 수행됩니다. 최적의 비균일 그리드는 적은 수의 그리드 포인트로 옵션 가격을 효율적으로 계산할 수 있기 때문에 3차원 경우에 특히 유용합니다.					
9	석박사통합		Stochastic Partial Differential Equations	저널논문	A regularity theory for stochastic partial differential equations with a super-linear diffusion coefficient and a spatially homogeneous colored noise
					STOCHASTIC PROCESSES AND THEIR APPLICATIONS
					135, 1–30
					2021 05
					10.1016/j.spa.2021.01.006
유색 노이즈와 초선형 확산 계수가 있는 확률적 PDE에 대해 강한 솔루션의 존재성, 고유성 및 규칙성을 구합니다. 확산 계수의 비선형성을 처리하는 전략은 일반적인 Lipschitz 경우에 대한 강한 추정치를 찾아 이를 초선형화 하는 것입니다. 또한, 추정치에 대한 연구는 유일해 가능성에 대한 충분 조건인 λ 의 범위를 제공하면, 범위는 F 공간 공분산과 공간 차원 d에 따라 달라집니다.					
10	석박사통합		Stochastic Partial Differential Equations	저널논문	Kyeong-Hun Kim, Daehan Park, Junhee Ryu
					An Lq(Lp)-theory for diffusion equations with space-time nonlocal operators
					JOURNAL OF DIFFERENTIAL EQUATIONS
					287, 376–427
					2021 06
10.1016/j.jde.2021.04.003					
초기 데이터 u_0 와 및 제로 경계 조건이 주어진 가중 Sobolev 공간에서 유일해의 가능성 결과를 제시합니다. 여기서 계수 λ 는 1/2보다 크거나 같으며, B는 시공간 백색 잡음이고, 계수 a, b, c 및 x_i 는 (t, x) 에 따른 랜덤 함수입니다. 또한 솔루션의 다양한 내부 Hölder 규칙성 및 경계 동작을 얻습니다. 예를 들어 초기 데이터가 적절한 L_p 공간에 있으면 0보다 크고 T가 무한하지 않은 작은 엡실론에 대해 x에서 경계까지의 거리인 $\rho(x)$ 에 대한 거의 확실한 방정식을 얻습니다. 카파가 람다로 수렴하면 시간과 공간에서 최대 홀더 지수를 얻습니다. 또한 0.5로 수렴하면 경계 근처에서 더 나은 감쇠 또는 동작이 나타납니다.					

11	박사	Stochastic Partial Differential Equations	저널논문	A weighted sobolev space theory for the diffusion-wave equations with time-fractional derivatives on C^1 domains
				DISCRETE AND CONTINUOUS DYNAMICAL SYSTEMS
				41(7), 3415-3445
				2021 07
				10.3934/dcds.2021002
우리는 시간 비례 확산 방정식의 가중치 L_p 이론($p > 1$)을 도입합니다. 여기서 알파는 0과 2 사이의 값이며, t 는 양수이고, ∂_t^α 는 카푸토 형태의 분수차 미분을 나타내며, Ω 는 d 차원의 유클리드공간에서의 C^1 도메인입니다. 우리는 솔루션 파생물이 경계 부근에서 발산할 수 있도록 가중치를 갖는 소볼레프 공간의 존재와 고유성의 결과를 증명합니다. 해의 도함수 순서는 임의의 실수이며, 분수 또는 음수일 수 있습니다.				
12	박사	Stochastic Partial Differential Equations	저널논문	A weighted Sobolev regularity theory of the parabolic equations with measurable coefficients on conic domains in R^d
				JOURNAL OF DIFFERENTIAL EQUATIONS
				291, 154-194
				2021 08
				10.1016/j.jde.2021.05.001
우리는 M_0 이 S^{d-1} 의 부분집합일 때, 유형의 원뿔 도메인 D 에 정의된 집합에서, 단위 점이 M 에 들어가는 집합 $(0,1)D(M)$ 에서 측정 가능한 계수를 가진 2차 포물선 방정식에 대한 존재성, 고유성 및 임의 차수의 소볼레프 규칙성 결과를 설정합니다. 우리는 정점까지의 거리와 경계까지의 거리의 적절한 거듭제곱으로 구성된 혼합 가중치 시스템을 사용하여 규칙적인 결과를 얻었습니다. 우리는 또한 정점과 경계까지의 거리의 허용 가능한 범위의 엄밀한 범위를 구했습니다.				
13	석박사통합	Numerical Analysis	저널논문	A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier
				Applied Mathematics Letters
				126, 107838
				2022 04
				10.1016/j.aml.2021.107838
본 연구에서는 곡률 의존 라그랑주 승수를 갖는 새로운 보전적인 알렌-칸 (Conservative Allen-Cahn, CAC) 방정식을 제안한다. 제안된 CAC 방정식은 우수한 구조 보존 특성을 가지고 있다. 면적 또는 부피 제약에 따른 평균 곡률에 의한 운동을 갖는 종래의 CAC 방정식과는 다르게, 제안된 모델은 평균 곡률에 의한 운동 역학을 최소화하고 인터페이스 전이층의 평활화 특성만을 갖는다. 따라서, 2상 유체 흐름과 같은 보수적 위상장 응용 프로그램을 모델링하기 위한 구성 요소 방정식으로 활용될 수 있다. 구조 보존 특성 측면에서 제안된 CAC 방정식의 우수한 성능을 확인하기 위해 계산 테스트를 수행하였다.				
14	석사	Numerical Analysis	저널논문	An explicit adaptive finite difference method for the Cahn-Hilliard equation
				Journal of Nonlinear Science
				32, 80
				2022 09
				10.1007/s00332-022-09844-3
본 연구에서는 상분해 과정을 설명하는 칸-힐리어드(CH) 방정식에 대한 명시적 적응형 유한 차분 방법(FDM)을 제안합니다. CH 방정식은 복잡한 계면 유체 흐름 및 재료 과학과 같은 다양한 분야 응용 프로그램을 모델링하고 시뮬레이션하는 데 성공적으로 사용되었습니다. 수치적으로 CH 방정식을 빠르고 효율적으로 해결하기 위해 FDM과 시간 적응형 narrow-band 영역을 사용합니다. 적응형 격자의 경우, 우리는 분할되지 않은 유한 차분을 기반으로 위상장의 인터페이스 전이층을 포함하는 narrow-band 영역을 정의하고 narrow-band 영역에 대한 수치 체계를 해결합니다. 제안된 수치 체계는 교대 방향 명시적(ADE) 방법을 기반으로 합니다. 수치 기법을 보존적으로 만들기 위해, 우리는 각 시간 반복 단계 후에 질량 보정 알고리즘을 적용합니다. CH 방정식에 대해 제안된 적응형 FDM의 우수한 성능을 입증하기 위해 2차원 및 3차원 수치 실험을 제시하고 이전의 다른 수치 방법과 비교합니다.				

15	석박사통합	Partial Differential Equations	저널논문	Parabolic equations with unbounded lower-order coefficients in Sobolev spaces with mixed norms	
				Journal of Evolution Equations	
				22, 9	
				2022 03	
				10.1007/s00028-022-00761-2	
우리는 완전한 저차 항을 가진 발산 형태 포물선형 방정식의 $L_{\{p,q\}}$ -해결 가능성을 증명합니다. 계수와 비동차 항은 적분가능성 최소 조건을 가진 혼합 르베그 공간에 속합니다. 특히, 저차 항에 대한 계수가 반드시 제한되어 있는 것은 아닙니다. 우리는 불규칙한 도메인에서 디리클레와 등각 도함수 경계값 문제를 모두 연구합니다. 우리는 또한 독립적인 관심사인 포물선형 소볼레프 공간에 대한 임베딩 결과를 증명합니다.					
16	석박사통합	Numerical Analysis	저널논문	Benchmark problems for the numerical schemes of the phase-field equations	
				Discrete Dynamics in Nature and Society	
				2022, 1-10	
				2022 01	
				10.1155/2022/2751592	
본 연구에서는 상태장 방정식의 수치적 방법에 대한 벤치마크 문제를 제시합니다. 적절한 벤치마크 문제를 찾기 위해 먼저 선형 안정성 분석을 수행한 다음 원래 지배 방정식의 역학과 밀접한 관련이 있는 성장하는 해를 벤치마크 문제로 사용합니다. 구체적인 예로 제안된 벤치마크 문제를 사용하여 알렌-칸(Allen-Cahn, AC) 및 칸-힐리아드(Cahn-Hilliard, CH) 방정식의 수치적 방법의 수렴성 테스트를 수행합니다. 1차원 및 2차원 계산 실험을 통해 벤치마크 문제로 제안 기법의 정확성과 효율성을 확인합니다.					
17	석사	Numerical Analysis	저널논문	An unconditionally stable splitting method for the Allen-Cahn equation with logarithmic free energy	
				Journal of Engineering Mathematics	
				132(1), 18	
				2022 01	
				10.1007/s10665-021-10203-6	
일반적으로 사용되는 다항식 포텐셜보다 물리적으로 더 의미 있는 로그 자유 에너지를 가진 알렌-칸(Allen-Cahn, AC) 방정식에 대해 무조건 안정적인 방법을 제시합니다. 로그 자유 에너지의 특이성 때문에 로그 포텐셜을 가진 AC 방정식에 대해 무조건 안정적인 계산 방법은 개발하기 어렵습니다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 이전 연구에서는 로그 에너지에 안정화 항을 추가하거나 정규화된 포텐셜을 사용했습니다. 본 연구에서는 안정화 항을 추가하거나 로그 에너지를 정규화하지 않고 연산자 분할 방법을 사용하여 로그 포텐셜을 갖는 AC 방정식을 풉니다. 로그 자유 에너지 포텐셜을 포함하는 방정식은 보간법을 사용하여 풀고, 남은 확산 방정식은 유한 차분 방법을 적용하여 수치적으로 풉니다. 각 단계에서 해를 구하는 알고리즘은 무조건 안정적이며 제안된 방법은 무조건 안정적입니다. 여러 계산 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 입증합니다.					
총 참여대학원생 수		석사	58	제출요구량	17
		박사	30		
		석박사통합	81		
		계	169		

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)	참여대학원생 성명	발표 형식 (구두, 포스터)	학술대회 발표실적 상세내용
1	석박사통합		포스터	Numerical simulation of the pattern formation in reaction-diffusion equations on time-stepped moving curved surfaces
				SMB 2021 Annual Meeting
				2021.06. VIRTUAL
2	석박사통합		구두	A sobolev space theory for SPDEs with space-time nonlocal operators
				Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics
				2021.07. 대한민국
3	석박사통합		구두	A maximal L_p -regularity theory to initial value problems with time measurable nonlocal operators generated by additive processes
				Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics
				2021.07. 대한민국
4	석박사통합		포스터	Sobolev and trace embeddings via mollifications
				Harmonic Analysis, Stochastics and PDEs in Honour of the 80th Birthday of Nicolai Krylov
				2022.06. 영국
5	석사		포스터	Light-weight Frequency Information Aware Neural Network Architecture for Voice Spoofing Detection
				ICPR 2022 26TH International Conference on Pattern Recognition
				2022.08. 인도
6	박사		포스터	Noun-MWP: Math Word Problems Meet Noun Answers
				The 29th International Conference on Computational Linguistics
				2022.10. 대한민국

7	박사		구두	Rotationally Invariant Zero Mean Curvature Surfaces in the three-dimensional light cone space
				The 3rd Conference on Surfaces, Analysis, and Numerics
				2023.02. 대한민국
8	석사		구두	Estimating unconfirmed infected population with SUC model
				2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회
				2020.10. 대한민국
9	석박사통합		포스터	On the space-time non-local equations: Probabilistic approach
				2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회
				2020.10. 대한민국
10	박사		구두	Mathematical modeling and numerical simulation for mitigating COVID-19 by monetary compensation
				2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회
				2020.10. 대한민국
11	석박사통합		구두	On Completely Decomposable Defining Equations of Points in General Position in P^n
				2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회
				2020.10. 대한민국
12	석박사통합		포스터	Properties of solution to super-linear stochastic partial differential equation driven by multiplicative space-time white noise with the random fractional Laplacian
				2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회
				2020.10. 대한민국
13	석박사통합		포스터	An unconditionally stable positivity-preserving numerical method of one-dimensional Fisher-Kolmogorov-Petrovsky-Piskunov equation
				2021 KSIAM Annual Meeting
				2021.12. 대한민국
14	석사		포스터	Numerical simulation for a parabolic sine-Gordon equation using unconditionally stable method
				2021 KSIAM Annual Meeting
				2021.12. 대한민국

15	석박사통합	포스터	2021 KSIAM Annual Meeting		
			2021.12. 대한민국		
16	박사	구두	Kernel estimate and L_p theory for the heat equation on conic domains		
			2022년도 대한수학회 봄 연구발표회		
			2022.04. 대한민국		
17	박사	구두	Asian option pricing under Merton's jump diffusion model		
			2022년도 호남수학회 정기총회 및 학술대회		
			2022.06. 대한민국		
총 참여대학원생 수		석사	58	제출요구량	17
		박사	30		
		석박사통합	81		
		계	169		

- 박사과정생은 시간 단계 이동 곡선 표면에서 반응 확산 방정식의 패턴 형성에 대한 명시적인 시간 종속 수치 체계를 제시하는 연구를 진행하였다. 제안하는 방법은 삼각측정면에 대한 Laplace-Beltrami 연산자의 이산화 기법으로 구성된다. 제안된 수치적 방법에 의한 패턴 형성 및 증가하는 도메인 효과를 입증하기 위해 몇 가지 수치 실험을 수행하고 얻은 연구결과를 국제학회인 2021 수리생물학회에서 “시간 단계 이동 곡면에서 반응-확산 방정식의 패턴 형성에 대한 수치 시뮬레이션” 주제로 발표하였다.
- 석박통합과정생은 Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics에서 시간과 공간에 대해 비 로컬 연산자를 갖는 반선형 확률적 편미분 방정식에 대해 p 가 2보다 큰 경우의 L_p -이론에 대해 발표하였다. 뿐만 아니라 다차원 시공간 백색 노이즈에 의해 유도되는 확률적 편미분 방정식 또한 다룬다. f, g 함수의 적절한 연속성 가정하에 이 방정식의 해결가능성과 최대 규칙성을 증명하였다.
- 석박통합과정생은 Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics에서 덧셈 연산에 의해 생성된 시간 측정 가능한 비로컬 연산자를 사용한 초기값 문제에 대한 최대 L_p -정규성 이론에 대해 발표하였다. 초기값 문제에 대한 L_p -해결 가능성을 설정하고 이 초기값문제가 고유하게 풀 수 있고 솔루션이 확률적 프로세스에 의해 생성된 확산으로부터 전체 규칙성 이득을 얻는다는 것을 보였다.
- 석박사통합과정생은 Harmonic Analysis, Stochastics and PDEs in Honour of the 80th Birthday of Nicolai Krylov에서 L_p -이론에서 편리한 도구인 임베딩에 관하여, 주어진 도메인에 대한 적절한 완화를 사용하여 여러 유형의 L_p -공간에서 Sobolev 및 추적 임베딩에 대해 발표하였다. 포스터 발표를 통해 적분 표현의 구성, Sobolev/트레이스 임베딩의 예 및 관련 문제를 간략히 소개했다.
- 석사과정생은 2022년 인도에서 개최된 ICPR 2022 26TH International Conference on Pattern Recognition에서 보이스 스푸핑 탐지를 위한 Light-weight 주파수 정보 인식 인공지능망 아키텍처를 설계하기 위해 두 가지 시스템 DDWS (Double Depthwise Separable) 컨볼루션과 max feature map (MFM)를 사용하는 BC-ResNet 아키텍처 (BC-ResMax)을 제안했다.

6. 박사과정생은 The 29th International Conference on Computational Linguistics에서 Math Word Problems (MWP)에 대하여 숫자가 아닌 명사를 포함하여 문제를 해결하기 위한 새로운 유형의 문제를 소개했습니다. 기존의 MWP 솔버가 명사-MWP를 처리할 수 있는 새로운 방법을 제시하고 제시한 방법을 Expression-Pointer-Transformer (EPT)에 적용했다.
7. 박사과정생은 The 3rd Conference on Surface, Analysis, and Numerics에서 3차원 빛원추 공간에서 회전 불변인 제로 평균 곡률 곡면을 찾아 입체 투영을 사용하여 시각화 했다. 3차원 유클리드 공간에서는 현수면은 회전 불변인 유일한 국소 곡면이다. 그러나 3차원 광원뿔 공간에는 세 가지 유형의 회전이 있으며 세 가지 유형에 대하여 회전 불변인 제로 평균 곡률 곡면을 시각화 했다.
8. 석사과정생은 2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회에서 중국 우한의 COVID-19에 대한 새로운 감염 모델이 제안하였다. 확인되지 않은 감염 인구는 격리되거나 입원하지 않기 때문에 감염되지 않은 사람들을 감염시킬 수 있으므로 새로운 감염 모델은 미확인 감염 인구를 추정하기 위해 제안되었다. 세계보건기구에서 보고한 중국 확진자의 시계열 데이터를 이용하여 최소자승법을 사용해 적합한 모형 매개변수를 찾는다. Monte Carlo 시뮬레이션을 사용하여 제안된 모델의 식별 가능성 분석을 수행한다. 지원 마스크, 코로나19 진단키트 확보, 정부 개입을 위해 미확진자 추정이 필요하다. SUC 모델은 단순하지만 미확인 감염자 수를 참고하여 정책을 시행하는데 유용할 것으로 기대된다.
9. 석박사통합과정생은 2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회에서 시간에 대한 분수차 미분과 공간에 대해 비국소적인 연산자가 있는 편미분 방정식을 확률적 접근을 포스터 섹션에서 발표하였다.
10. 박사과정생은 2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회에서 금전적 보상 정책으로 코로나 바이러스 질병 2019 COVID-19를 제어하기 위해 수정된 Susceptible-Unidentified 감염 확인 SUC 모델을 제시한다. 확진자에 대해서는 자발적 검사를 거쳐 금전적 보상을 하는 것으로 보고, 확진자를 신속하게 격리하는 것이 효과적일 것으로 본다. SUC 모델을 이용하여 수치 시뮬레이션을 진행하고, 코로나19 종식까지 소요되는 시간에 따른 보상 효과를 살펴보았다.
11. 석박통합과정생은 2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회에서 On Completely Decomposable Defining Equations of Points in General Position in P_n 을 포스터 섹션에서 발표하였다. 포스터 발표에서 Tregers result에 대한 재증명과 발전을 새로운 시각에서 제시하였다.
12. 석박통합과정생은 2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회에서 주어진 확률미분방정식에 대하여 방정식 해의 고유성, 존재성 및 최대 규칙성을 연구하였다. 결과를 도출하기 위하여 확률미분방정식의 해에 maximum principle을 사용하였다. 해당 발표에서 해의 regularity에 대한 결과를 보여주었다.
13. 석박통합과정생은 2021 KSIAM Annual Meeting에서 2차원 Fisher-KPP 방정식에 대한 무조건적으로 안정적인 방법에 대하여 포스터 발표를 진행하였다. Fisher-KPP 방정식을 OSM을 사용하여 돌로 나눈 뒤, 각각을 수치적으로 해결하였다. 또한, 제시한 결과에 대하여 수렴성, 안정성, p에 대한 영향 등을 수치적 실험을 통해 확인하였다.
14. 석사과정생은 KSIAM 2021 가을 학술대회 및 정기총회에서 Parabolic sine-Gordon 방정식에 대해서 연산자 분할방법을 사용하여 선형 항은 푸리에 스펙트럴 방법을 사용하고 비선형 항은 closed form solution을 사용하여 무조건적 안정적인 수치 방법을 제시하고 수치 분석 및 시뮬레이션 결과를 포스터 섹션에서 발표하였다.
15. 석박사통합과정생은 KSIAM 2021 가을 학술대회 및 정기총회에서 장기간 지속된 COVID-19를 분석하기 위한 전염병 모델링을 주제로 SUSCEPTIBLE_UNIDENTIFIED INFECTED_CONFIRMED MODEL FOR LONG_TERM EPIDEMIC를 포스터 섹션에서 발표하였다.

16. 박사과정생은 2022년도 대한수학회 봄 연구발표회에서 원뿔 모양의 영역에서 정의된 열방정식의 L_p 이론과 열에 대한 커널의 계산을 구두로 발표하였다. 해당 발표를 통해, 꼭짓점에서의 적절한 힘에 대한 혼합된 가중치를 이야기했다.

17. 박사과정생은 2020년 대한수학회 정기총회 및 가을연구발표회에서 Merton의 점프 확산 방정식 하에 이산화되게 모니터링된 아시아 옵션의 가격을 수치적으로 계산하는 것에 대해 구두로 발표하였다. 공간에 대한 차원 제한 방법은 계산의 복잡성을 줄이기 위해 도입이 되었다. 또한, 재귀 공식은 옵션의 가격의 계산함으로써 도출되었다. 아시아 옵션의 가격은 재귀 공식을 사용함으로써, 수치적으로 계산되었다.

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	석박사통합		특허	①		
				② 훼손된 지문 복원 방법, 이를 수행하기 위한 기록 매체 및 장치		
				③ KOREA		
				④ 10-2396516		
				⑤ 2022.05.06.		
총 참여대학원생 수			석사	58	제출요구량	17
			박사	30		
			석박사통합	81		
			계	169		

■ 대학원생의 특허 실적

수학 분야의 특성상, 특허를 출원하고 등록하기까지가 어려우나 4단계 BK21에서 본 수리과학 교육팀의 참여교수와 참여대학원생이 현재 출원한 특허는 5건, 등록한 특허는 1건이 있다. 특허 등록은 지도교수가 대학원생의 연구에 대한 성장 단계에 맞추어 도전적인 연구과제를 부여하고 연구지도를 한 결과이다.

등록 완료된 특허명) 훼손된 지문 복원 방법(지도: 김준석 교수)

특허 등록자 명단 :

등록한 특허인 ‘훼손된 지문 복원 방법’에 대한 자세한 내용은 다음과 같다. 2022년 5월 ‘훼손된 지문 복원 방법’의 특허가 등록되었다. 본 발명에 따른 지문 복원 장치에 의한 지문 복원 방법은, 훼손된 지문 이미지를 입력하는 단계; 상기 훼손된 지문 이미지 상에서 복구 대상 영역을 선택하는 단계; 및 선택된 영역의 지문을 복원 수리 모델에 기초하여 복원하는 단계를 포함한다. 이에 의해, 융선이 마모 또는 훼손된 상태로 지문이 채취되었다고 마모 및 훼손된 부분의 지문을 복원하는 것은 물론, 지문의 복원 시 별도의 빅데이터를 사용하거나 데이터를 추출하는 방식이 아닌, 선택된 부분을 오직 수리적 알고리즘만을 이용해 훼손된 지문을 복원할 수 있다.

1. 발명의 명칭

국문 : 훼손된 지문 복원 방법, 이를 수행하기 위한 기록 매체 및 장치

영문 : Damaged fingerprint restoration method, recording medium and apparatus for performing the same

2. 기술분야

본 발명은 입력된 이미지에서 훼손된 지문 복원 방법과 이를 수행하기 위한 기록 매체 및 장치에 관한 것이다.

3. 배경기술

지문은 손가락표면 피부가 불균일한 요철로 형성된 무늬로, 지문의 무늬는 유일성, 안정성인 특징을 갖기에 일반적으로 신분을 인식하기 위한 기초로 사용된다. 주민등록증을 발급하는 과정에는 본인임을 증명하기 위해 증명사진과 십지지문 채취작업을 포함하고 있다. 지문과 같이 생물학적 특성을 가진 개개의 생체 고유주소는 신원확인이 필요한 작업에 자주 사용되고 있다. 그러나 신원확인을 위해 지문 채취작업을 진행할 때 지문에 이물질이 묻어있는 자, 손을 사용하는 노동을 주로 하는 자, 손이 물에 접촉하는 일을 하는 자, 다한증을 보유한 자나 노령자 등은 지문의 용선이 마모 및 훼손된 상태로 지문이 채취되기 때문에 신원조회가 곤란한 문제가 있다. 또한 스마트폰, 태블릿 PC 등 개인 전자기기의 보안을 위해 지문을 사용할 때, 지문을 여러 번 입력하여 등록하는 번거로움이거나, 이미 등록된 지문을 인식할 때 훼손된 지문은 인식의 정확도가 떨어지는 문제점들이 있다. 또한 변사자 중 익사한 변사자의 손가락 피부 각질층이 물에 의해 부풀어 박리되거나, 부패하여 피부 표면이 이탈되었을 때 등의 훼손된 지문은 신원확인이 어려운 문제가 있기에 훼손된 지문 이미지를 복원할 수 있는 기술의 필요성이 대두되고 있다. 손상된 이미지를 복원하는 종래 기술 중 방정식만을 이용해 손상된 이미지를 복원하는 경우, 칸-힐리아드(Cahn-Hilliard) 방정식을 적용해 손상된 이미지를 복원하는 방법이 제시되었으나, 칸-힐리아드 방정식의 특성상 분리된 상이 뭉쳐지는 과정(coarsening dynamics)에서 지문의 용선과 골, 분기점과 같은 라멜라 구조를 나타낼 수 없으므로 이는 훼손된 지문을 복원하는 데는 적용을 할 수 없다는 문제가 있다.

4. 발명의 내용

4.1 해결하려는 과제

지문의 용선이 마모 및 훼손된 상태로 지문이 채취되었다고 마모 및 훼손된 부분의 지문을 복원할 수 있는 훼손된 지문 복원 방법, 이를 수행하기 위한 기록 매체 및 장치를 제공하는 것이다. 또한 손상된 이미지를 복원하는 데 별도의 빅데이터를 사용하거나 데이터를 추출하는 방식이 아닌, 오직 선택된 부분만을 수리적 알고리즘만을 이용해 훼손된 지문을 복원할 수 있는 지문 복원 방법을 제공하는 것이다.

4.2 과제의 해결 수단



지문을 복원하기 위한 지배방정식은 수정된 오타-가와사키(Ohta-Kawasaki) 모델이다.

$$\frac{\partial \phi(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = \Delta(\phi^3 - \phi - \epsilon^2 \Delta \phi(\mathbf{x}, t)) - \alpha(\phi(\mathbf{x}, t) - \bar{\phi}) - \gamma(f(\mathbf{x}) - \phi(\mathbf{x}, t))$$

여기서 상태장 ϕ 는 어두운색부터 밝은색까지 나타내는 기준으로 최솟값이 -1, 최댓값이 1이며, $\bar{\phi}$ 는 선택된 영역에서 ϕ 의 평균, $f(\mathbf{x})$ 는 주어진 훼손된 지문의 이미지이고, ϵ 은 어두운 영역과 밝은 영역 사이의 경계 간격을 나타낼 수 있도록 조절해주는 상수이고 γ 는 훼손된 지문을 복원할 때 주어진 이미지에서 크게 벗어나지 않고 유지하면서 복원할 수 있게끔 보정해주는 상수이다. 복원 수리 모델은, 지배방정식을 이산화하고 명시적 반복법을 적용해 수치해를 계산할 수 있다. 또한 명시적 반복법은 다음과 같이 표현되는 가우스-세이델 반복법(Gauss-Seidel iteration)이다.

$$\begin{aligned} \phi_{ij}^{n+1} = & \left[\frac{\phi_{ij}^n}{\Delta t} + \Delta_d((\phi_{ij}^n)^3 - 3\phi_{ij}^n) + 2(\phi_{i-1,j}^{n+1} + \phi_{i+1,j}^{n+1} + \phi_{i,j-1}^{n+1} + \phi_{i,j+1}^{n+1}) \right. \\ & + \epsilon^2 [\phi_{i-2,j}^{n+1} + \phi_{i+2,j}^{n+1} + \phi_{i,j-2}^{n+1} + \phi_{i,j+2}^{n+1} + 2(\phi_{i-1,j-1}^{n+1} + \phi_{i-1,j+1}^{n+1} + \phi_{i+1,j-1}^{n+1} + \phi_{i+1,j+1}^{n+1}) \\ & \left. - 8(\phi_{i-1,j}^{n+1} + \phi_{i+1,j}^{n+1} + \phi_{i,j-1}^{n+1} + \phi_{i,j+1}^{n+1})] + \alpha \bar{\phi} + \gamma f \right] / (1/\Delta t + 8 + 20\epsilon^2 + \alpha + \gamma) \end{aligned}$$

여기서 ϕ_{ij}^n 는 한 칸의 크기가 1인 격자로 이산화된 계산 영역에서 x 방향으로의 인덱스를 i , y 방향으로의 인덱스를 j 라 하였을 때, n 번째 시간 단계 $n\Delta t$ 에서 x_i 와 y_j 에 대응하는 상태장의 값 $\phi(x_i, y_j, n\Delta t)$ 를 간단하게 표현함. $\Delta_d \phi_{ij}$ 는 이산 라플라스 연산자로 다음을 의미함.

$$\Delta_d \phi_{ij} = (\phi_{i-1,j} + \phi_{i+1,j} + \phi_{i,j-1} + \phi_{i,j+1} - 4\phi_{ij})/h^2$$

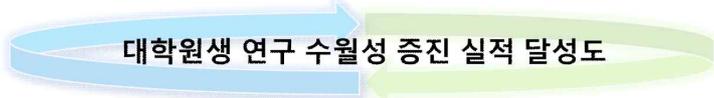
5. 발명의 효과

훼손된 지문 복원 방법, 이를 수행하기 위한 기록 매체 및 장치를 제공함으로써, 음선이 마모 또는 훼손된 상태로 지문이 채취되더라도 마모 및 훼손된 부분의 지문을 복원하는 것은 물론, 지문의 복원 시 별도의 빅데이터를 사용하거나 데이터를 추출하는 방식이 아닌, 오직 선택된 부분만을 수리적 알고리즘만을 이용해 훼손된 지문을 복원할 수 있다. 수학의 응용으로써 사회 문제를 해결하는 데 활용이 된다는 것을 확인하였으므로 향후 사회 경제적으로 도움이 되는 특허 발굴에 관심을 가지고 출원 및 등록할 계획이다.

3.2 대학원생 연구 수월성 증진 실적

대학원생의 연구 수월성 증진계획으로는 다음과 같은 계획을 수립하였다.

- 대학원생이 연구에만 집중할 수 있도록 재정 지원 확대
- 기초학력 강화, 지도교수의 자세한 연구지도 및 박사학위 졸업요건 강화
- 타이거 세미나를 통한 국제 역량 강화, 국내외 학회 참석경비 지원, 공동연구 역량 강화
- 우수 대학원생에 대한 평가 강화 및 보상 확대
- 대학원생들을 위한 연구환경의 조성 및 공간의 확대
- 국내외 학술지 논문 게재 지원 계획



교육연구팀이 제시한 대학원생 연구 수월성 증진 달성도는 다음 내용과 같다.

- 수학과 대학원생들은 조교로 근로 장학금을 수여 받았다. 조교는 미적분학 조교와 연구 조교, 교육 조교로 나뉜다. 연구조교는 학부생의 수업 준비와 시험 또는 과제 채점, 연습문제 풀이 등의 업무를 하는 교육조교와 미적 조교와는 다르게 지도교수의 연구를 보조해주거나 연구 프로젝트를 수행할 수 있으므로 본인의 학업과 연구에 집중할 수 있다. 대부분 참여교수는 개인 연구과제를 수행하였고, 우수 대학원생은 연구 보조원으로 연구과제에 참여하여 그에 따른 인건비를 지원받았다. 연구과제의 결과로 다양한 연구논문을 출판하고 특허를 등록하며, 인건비를 통해 금전적인 도움도 받을 수 있었다. 4단계 BK21 교육연구팀으로 선정됨으로써 위에서 언급한 교내 조교 장학금과 연구 인건비와는 별도의 인건비를 지원할 수 있었다. BK21 장학금은 학생들의 논문 발표, 학회 참여와 발표실적, 포스터 발표실적 등을 기준으로 우수 대학원생을 선별하여 지급하였다. 다양한 장학금과 인건비 지급을 통해 대학원생들이 학비와 생활비를 마련하기 위해서 아르바이트를 하지 않고도 안정적으로 학업과 연구에만 집중할 수 있도록 하였다.



타이거 세미나를 진행하는 참여대학원생들

- 고려대학교 BK21 수리과학 미래인재 교육연구팀에서는 참여대학원생들의 국제 역량을 강화하기 위해 주관하는 타이거 세미나에서 매 학기 영어 세미나를 진행하였다. 타이거 세미나는 참여대학원생들이 직접 기획하고, 신청하고, 발표하고 피드백을 진행하는 등 온전히 대학원생들에 의해 운영하고 있다. 먼저, 정해진 기간 내에 자신의 연구내용 발표를 희망하는 대학원생들은 수학과 게시판에 직접 세미나 일정과 발표 자료의 초록을 작성한다. 작성한 세미나 일정에 맞추어 발표자는 자신의 연구내용을 영어로 발표를 진행하였다. 세미나 이후 연구 내용에 대해서 자유롭게 논의하는 시간 또한 마련되었다. 타이거

세미나의 발표와 참석은 모두에게 자유롭게 열려있다. 타이거 세미나를 통해 참여대학원생들은 다른 대학원생들과 자유롭게 발표하고 토론을 할 수 있는 좋은 기회가 되었다. 그뿐만 아니라 동료 대학원생들이 국제학회에 참석하기에 앞서 자신의 연구내용을 발표해보고 피드백을 받는 연습을 해볼 수 있는 시간이 되었다.

● 참여대학원생들의 연구결과를 관련 분야 연구자들에게 발표하면서 연구내용을 검증받고, 다른 연구자들의 연구결과를 들으며 최근 연구 동향을 파악할 수 있도록, 국내외 학회 참석 및 발표 준비 비용에 대한 지원을 확대하였다. 학회에 참석하며 발생하는 경비에 대해, 학회 등록비와 여비를 적극 지원하였다. 전공관련 우수학회에서의 포스터 및 구두 발표를 우선적으로 지원하였고, 대한수학회와 같이 다양한 세부 분야의 수학 연구에 대해 다루는 학회에 대해서는 단순참여도 지원하였다. 다음은 참석경비를 지원한 학회 목록이다.

- 2020년도 대한수학회 정기총회 및 가을 연구발표회, 2020.10.23.~2020.10.24.
- 2020 KSIAM Annual Meeting, 2020.11.12.~2020.11.15.
- 대한수학회 제2차 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2020.12.17.
- 2021년 대한수학회 봄 연구발표회, 2021.04.29.~2021.04.30.
- SMB 2021 Annual Meeting, 2021.06.13.~2021.06.17.
- 2021 KSIAM Spring Conference, 2021.06.25.~2021.06.27.
- 2021 한국 수리생물학회 연례 학술대회, 2021.08.26.~2021.08.28.
- 2021년 대한수학회 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2021.09.30.
- OSIA 딥러닝 기초 및 실습, 2021.10.14.~2021.10.15.
- 2021년 대한수학회 정기총회 및 가을 연구발표회, 2021.10.20.
- 2021 KSIAM Annual Meeting, 2021.12.02.~2021.12.05.
- 2022년도 대한수학회 봄 연구발표회, 2022.04.28.~2022.04.29.
- KSIAM-NIMS School on CFD, 2022.05.13.
- 2022년도 KSIAM 2022 Spring Conference, 2022.05.27.~2022.05.29.
- 2022년 대한수학회 인공지능과 대학수학 심포지엄, 2022.08.25.~2022.08.27.
- 2022년 대한수학회 정기총회 및 IMU 승급 기념 국제학회, 2022.10.18.~2022.10.21.
- 2022 KSIAM Annual Meeting, 2022.11.24.~2022.11.27.

● 대학원생 연구 수월성 증진에서 가장 중요한 부분은 연구지도이다. 대학원생의 연구에 대한 성장 단계에 맞추어 도전적인 연구과제를 부여하고 연구지도를 하였다. 참여대학원생이 지도교수의 모든 연구역량을 전수받고, 학문에 대한 열정으로 연구를 진행한 결과, SCIE/SSCI 저널에 다수의 우수 논문이 게재되었다. 다음 논문 리스트는 연구 수월성 증진으로 인한 참여대학원생들의 대표적 우수 논문 실적이다.

- ▷ Shape transformation using the modified Allen-Cahn equation. n
, Appl. Math. Lett. (2020)
- ▷ The Susceptible-Unidentified infected-Confirmed (SUC) epidemic model for estimating unidentified infected population for COVID-19. , Chaos Solitons Fractals (2020)
- ▷ Periodic travelling wave solutions for a reaction-diffusion system on landscape fitted domains. , Chaos Solitons Fractals (2020)
- ▷ Pattern formation in reaction-diffusion systems on evolving surfaces. .

- , Comput. Math. Appl. (2020)
- ▷ Boundary behavior and interior Holder regularity of the solution to nonlinear stochastic partial differential equation driven by space-time white noise. J. Differ. Equ. (2020)
 - ▷ Delay analysis in the discrete-time multi-server queue with batch arrivals of packets having deterministic length. (2020)
 - ▷ A phase-field model and its efficient numerical method for two-phase flows on arbitrarily curved surfaces in 3D space. , Comput. Meth. Appl. Mech. Eng. (2020)
 - ▷ Modeling and simulation of droplet evaporation using a modified Cahn-Hilliard equation. , Appl. Math. Comput. (2021)
 - ▷ An improved scalar auxiliary variable (SAV) approach for the phase-field surfactant model. , Appl. Math. Model. (2021)
 - ▷ A regularity theory for stochastic partial differential equations driven by multiplicative space-time white noise with the random fractional Laplacians. . Equ.-Anal. Comput. (2021)
 - ▷ A regularity theory for stochastic partial differential equations with a super-linear diffusion coefficient and a spatially homogeneous colored noise. . Their Appl. (2021)
 - ▷ An L-q(L-p)-theory for diffusion equations with space-time nonlocal operators. , Equ. (2021)
 - ▷ A weighted sobolev space theory for the diffusion-wave equations with time-fractional derivatives on c^1 domains. . Contin. Dyn. Syst. (2021)
 - ▷ Parabolic equations with unbounded lower-order coefficients in Sobolev spaces with mixed norms. . Equ. (2022)
 - ▷ Computation of powered option prices under a general model for underlying asset dynamics. l. Math. (2022)
 - ▷ Weighted 3D volume reconstruction from series of slice data using a modified Allen-Cahn equation. , Pattern Recognit. (2022)
 - ▷ Motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn equation. , Comput. (2022)
 - ▷ Trace theorem and non-zero boundary value problem for parabolic equations in weighted Sobolev spaces. Equ.-Anal. Comput. (2022)
 - ▷ A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier. Appl. Math. Lett. (2022)
 - ▷ Simple and efficient volume merging method for triply periodic minimal structures. , Comput. Phys. Commun. (2021)
 - ▷ An unconditionally stable scheme for the Allen-Cahn equation with high-order polynomial free energy. , Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. (2021)
 - ▷ A variant of stabilized-scalar auxiliary variable (S-SAV) approach for a modified phase-field surfactant model. , Comput. Phys. Commun. (2021)

4. 신진연구인력 운용

4.1 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

<표 2-7> 교육연구팀 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	2	18	9
계약교수	0	0	0
계	2	18	9

※ 위의 수치는 다음의 [첨부자료]에 입력된 수치와 동일하게 직접기입

▶ [첨부 3] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 신진연구인력 확보 실적

① 우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

우수 신진연구인력 확보 및 지원 실적

본 교육연구팀은 참여교수와 공동연구를 활발히 수행할 수 있는 분야의 연구자를 확보하여 교육연구팀의 연구역량을 강화하고자 하는 비전 및 목표를 세웠다. 2021년 3월에 확보한 박사(박사)에 이어 2021년 9월 박사(박사)를 추가로 확보하여, 2명의 우수 신진연구인력을 확보하였다. 새로 확보한 김상권 박사는 참여교수와 함께 공동연구를 활발히 진행할 수 있는 능력 및 우수한 실적을 보유하고 있으며, 기존 신진연구인력과 시너지 효과를 낼 수 있는 인력이라고 판단하였다. 응용수학 분야의 김준석 교수와 함께 수치해석, 금융수학, 과학계산 관련 연구를 수행할 수 있으며, 이동현 교수와 인공지능 및 강화학습에 대한 공동연구를 수행할 수 있는 역량이 있다. 신진연구인력들이 연구에 전념할 수 있도록 재정지원 뿐만 아니라 연구 인프라도 함께 지원함으로써 연구 활동의 지속성 유지 및 질적 향상을 유도하였다. 신진연구인력에게 연구공간을 제공하고 데스크톱, 프린터 등의 기자재를 제공하였고, 고려대학교에서 제공하는 무료 논문원문제공 서비스, 논문 영문교정 서비스, 특허 출원 및 등록 경비 지원 서비스를 활용할 수 있도록 안내하였으며, 교육연구팀에서는 학술대회 참가 경비와 학술 연구실적에 따른 인센티브 등을 지원하였다.

■ 신진연구인력의 연구 실적

● 논문

그리고 참여대학원생들과 공동연구한 결과로 2021년 9월부터 2022년 8월까지 총 17편의 논문을 SCIE 저널에 출판하였다. 박사의 가장 우수한 실적은 2021 JCR 기준 분야별 상위 백분율 0.926% 저널인 Chaos, Solitons & Fractals에 주저자로 게재한 논문 “Robust optimal parameter estimation for the Susceptible-Unidentified infected-Confirmed model” 이다. 박사도 Chaos, Solitons & Fractals에 주저자로 논문 “Robust and accurate construction of the local volatility surface using the Black-Scholes equation” 을 게재하였다. 또한, 교수와 공동으로 데이터과학 관련 연구인, 데이터셋을 분류하는 방법에 대한 논문 “Classification of ternary data using the ternary Allen-Cahn system for small data sets” 를 출판하였다. 두 신진연구인력과 교육연구팀 참여교수인 교수, 의 교수와의 국제적 공동연구의 결과로, 2021 JCR 기준 Impact Factor (IF) 8.518, 분야별 상위 백분율 8.633%의 우수 저널인 “Pattern Recognition” 에 논문 “A robust and efficient fingerprint image restoration method based on a phase-field model” 을 게재하였다. 박사는 교수, 박사와의 공동연구의 결과로, 2021 JCR 기준 IF 6.772, 분야별 상위 백분율 5.072%의 우수 저널인 “International Journal of Mechanical Sciences” 에 논문 “An explicit conservative Saul’ yev scheme for the Cahn-Hilliard equation” 을 게재하였다. 구체적인 연구실적은 다음과 같다.

- 논문제목: Robust and accurate construction of the local volatility surface using the Black-Scholes equation (202109)

- 저널명: CHAOS SOLITONS & FRACTALS (2021 JCR 기준 IF 9.922, 분야별 상위 백분율 0.926%)

- DOI: 10.1016/j.chaos.2021.111116

- 내용: In this study, we develop a numerical method for the robust and accurate construction of

a local volatility (LV) surface using the generalized Black-Scholes (BS) equation from the given option price data. The BS equation is a partial differential equation and has been used to model financial option pricing. Constant volatility was used in the classical BS model. However, it is well known that the constant volatility BS model is practically unsuitable because real financial market data demonstrate non-constant volatility behavior. The LV function is dependent on the asset prices and time. One of the difficulties in reconstructing an unknown LV surface is uniqueness. We extend a previous study of reconstructing time-dependent volatility, which is unique, to time- and space-dependent volatility surfaces. We propose an algorithm comprising four steps: the first step is estimating constant implied volatility; the second step is finding the influential region using the probability density function of a log-normal distribution; the third step is calculating the time-dependent volatility function; and the final step is reconstructing the LV surface. We use a finite difference method to numerically solve the BS model and a nonlinear fitting function to compute the LV surface. We perform computational experiments using synthetic and real market data. The numerical results demonstrate the robust and accurate construction of an unknown LV surface using the proposed method.

- 논문제목: **A conservative and stable explicit finite difference scheme for the diffusion equation (202111)**

- 저널명: **Journal of Computational Science (2021 JCR 기준 IF 3.817, Q1)**

- DOI: **10.1016/j.jocs.2021.101491**

- 내용: In this study, we present a conservative and stable explicit finite difference scheme for the heat equation. We use Saul' yev-type finite difference scheme and propose a conservative weighted correction step to make the scheme conservative. We can practically use about 100 times larger time step than the fully Euler-type explicit scheme. Computational results demonstrate that the proposed scheme has stable and good conservative properties.

- 논문제목: **Robust optimal parameter estimation for the Susceptible-Unidentified infected-Confirmed model (202112)**

- 저널명: **CHAOS SOLITONS & FRACTALS (2021 JCR 기준 IF 9.922, 분야별 상위 백분율 0.926%)**

- DOI: **10.1016/j.chaos.2021.111556**

- 내용: In this study, we consider a robust optimal parameter estimation method for the Susceptible-Unidentified infected-Confirmed (SUC) epidemic dynamics model. One of the problems in determining parameter values associated with epidemic mathematical models is that the optimal parameter values are very sensitive to the initial guess of parameter values. To resolve this problem, we fix the value of one parameter and solve an optimization problem of finding the other parameter values which best fit the confirmed population. The fixed parameter value can be obtained using data from epidemiological surveillance systems. To demonstrate the robustness and accuracy of the proposed method, we perform various numerical experiments with synthetic and real-world data from South Korea, the United States of America, India, and Brazil. The computational results confirm the potential practical application of the proposed method.

- 논문제목: **An explicit conservative Saul' yev scheme for the Cahn-Hilliard equation (202203)**

- 저널명: **INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICAL SCIENCES
(2021 JCR 기준 IF 6.772, 분야별 상위 백분율 5.072%)**

- DOI: **10.1016/j.ijmecsci.2021.106985**

- 내용: We present an explicit conservative Saul' yev finite difference scheme for the

Cahn-Hilliard (CH) equation, which models a phase separation phenomenon in binary alloys. The CH equation has been successfully used in various scientific and practical applications. A variety of numerical algorithms were developed to efficiently calculate the CH equation. Because of the highly nonlinear term and the biharmonic operator, numerical methods were mostly implicit schemes. Although a fully explicit scheme is very simple, the time-step restriction is very stringent and the stable time step size is not practicable in high-dimensional spaces. To overcome this severe time-step restriction and retain the simplicity of the explicit method for the CH model, we develop an explicit conservative numerical method based on the Saul'yev method. The proposed scheme has four main merits: (i) the phase-field variable can be directly updated without iterative algorithms; (ii) the numerical solution remains stable even if relatively larger time steps are used; (iii) the mass conservation of the CH equation can be satisfied; and (iv) the simulations in complex domains are easy to implement. The computational experiments confirm the superior performance of the proposed algorithm.

- **논문제목: A robust and efficient fingerprint image restoration method based on a phase-field model (202203)**

- **저널명: Pattern Recognition (2021 JCR 기준 IF 8.518, 분야별 상위 백분율 8.633%)**

- **DOI: 10.1016/j.patcog.2021.108405**

- **내용:** In this study, we present a robust and efficient fingerprint image restoration algorithm using the nonlocal Cahn-Hilliard (CH) equation, which was proposed for modeling the microphase separation of diblock copolymers. We take a small local region embedding the damaged domain and solve the nonlocal CH equation to restore the fingerprint image. A Gauss-Seidel type iterative method, which is efficient and simple to implement, is used. The proposed method has the advantage in that the pixel values in the damaged fingerprint domain can be obtained using the image information from the outside of the damaged fingerprint region. Fingerprint restoration based on adjacent pixel information can ensure the accuracy of the fingerprint information with a low computational cost. Computational experiments demonstrated the superior performance of the proposed fingerprint restoration algorithm.

- **논문제목: Three-dimensional volume reconstruction from multi-slice data using a shape transformation (202205)**

- **저널명: COMPUTERS & MATHEMATICS WITH APPLICATIONS
(2021 JCR 기준 IF 3.218, 분야별 상위 백분율 9.363%)**

- **DOI: 10.1016/j.camwa.2022.03.018**

- **내용:** We present a computational method for the 3D volume reconstruction from cross-sectional data. The proposed method is based on the Allen-Cahn (AC) equation with a source term. The source term is related to shape transformation from a source object to a target object. Using the operator splitting method, the governing equation is solved by splitting it into three steps. The numerical solution is obtained explicitly using the Euler's methods and the separation of variables. To reconstruct the 3D object from two slice data, we set one slice as the target data and the other data as the initial data. We solve the governing equation and stack intermediate solutions based on the relative fraction of the symmetric difference of two regions occupied by the target and source data. To demonstrate that the proposed method can reconstruct a 3D model through extracted intermediate slice data during shape transformation, we perform several computational tests. Furthermore, the proposed method is applied to a 3D volume reconstruction from multi-slice

data of human vertebra.

- 논문제목: Motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn equation (202206)

- 저널명: Journal of Scientific Computing (2021 JCR 기준 IF 2.843, Q1)

- DOI: 10.1007/s10915-022-01862-3

-내용: In this article, we present a simple and accurate computational scheme for motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn (AC) equation. The modified AC equation contains a nonlinear source term which enforces the constraints such as volume and average mean curvature. We use a linear convex splitting-type method with Fourier spectral method to numerically solve the modified AC equation. We perform several characteristic computational tests to demonstrate the efficiency and accuracy of the proposed method. The computational results confirm the robust and high performance of the proposed algorithm.

● 학술대회 발표

박사는 본 교육연구팀의 지원을 받으며 연구했던 결과를 국내 학술대회에서 2회 발표하였다. 국내에서 가장 큰 산업수학 학회인 Korean Society for Industrial and Applied Mathematics의 의료수학 분과에서 관련 분야 교수, 연구원 및 대학원생을 대상으로 80분간 발표 및 실습을 진행하였다. Korean Society for Mathematical Biology는 수리생물 분야에서 유수의 국내학회로, 많은 연구자들 앞에서 수리생물 모델링 관련 연구 결과를 발표하였다. 이를 통해 신진연구인력은 발표역량을 강화할 수 있었고, 학계에서의 네트워크를 형성하는 데 도움이 되었다.

- 제목: Introduction to a nonlinear curve-fitting solver function in MATLAB: lsqcurvefit

- 학회명: 2022 KSIAM Spring Conference (국내)

- 주관기관: Korean Society for Industrial and Applied Mathematics

- 기간: 2022.5.27.-2022.5.29

- 내용: We introduce a MATLAB function, lsqcurvefit, for solving nonlinear curve-fitting or data fitting problems in least-squares sense. It is based on the trust-region method and interior reflective method which are important numerical method in solving nonlinear programming. The least-squares fitting is a mathematical algorithm for finding the best-fitting curve to a given set of points by minimizing the sum of the squares of the residuals of the points from the curve. It is helpful to obtain best solution for unknown parameters from given data and mathematical models. Therefore, we first cover the syntax of lsqcurvefit and related definitions. In addition, we practice through simple examples using the mathematical model and confirmed data for COVID-19.

- 제목: Computational model of a cytokine shield formation of senescent tumor cells

- 학회명: 2022 KSMB spring conference (국내)

- 주관기관: Korean Society for Mathematical Biology

- 기간: 2022.6.24.-2022.6.26

- 내용: In this talk, we present a mathematical model and computational simulation of a cytokine shield formation of senescent cells. Recently, there was a study on the mechanism of a cytokine shield that is a chemical barrier protecting cancer cells from attack by immune cells. A high concentration of C-X-C motif chemokine ligand 12 (CXCL12) from senescent tumor cells prevents infiltration of immune cells (called CD8+ T cells), and colony stimulating factor 1 (CSF1) changes monocyte differentiation into M2 macrophages, which prevents CD8+ T cell activation. We mathematically model the chemical mechanism and perform in silico experiments.

● 특허 등록

박사와 박사는 교수와 함께 연구한 ‘훼손된 지문 복원 방법’에 대한 특허를 2022년 5월에 등록하였다 (특허 제 10-2396516 호). 제안하는 기술은 국소적으로 훼손된 지문을 복원하는 방법에 관한 것으로, 지문의 융선이 국소적으로 마모 및 훼손된 곳을 복원할 수 있는 수학적 모델과 수치 알고리즘이다.

등록된 특허의 주요 내용은 다음과 같다. 대한민국의 행정안전부에서는 17세 이상의 대한민국 국민에게 관할구역의 주민임을 증명할 수 있도록 주민등록증을 발급하는 행정서비스를 제공한다. 주민등록증을 발급하는 과정에는 본인임을 증명하기 위해 증명사진과 십지지문 채취작업을 포함하고 있다. 국가에 등록된 주민등록번호와 지문은 특별한 사유가 반영되지 않는 이상 불변하는 고유의 양이며, 지문과 같이 생물학적 특성을 가진 개개인의 생체고유주소는 신원확인이 필요한 작업에 자주 사용되고 있다. 그러나 신원확인을 위해 지문 채취 작업을 진행할 때 지문에 이물질이 묻어있는 자, 손을 사용하는 노동을 주로 하는 자, 손이 물에 접촉하는 일을 하는 자, 다한증을 보유한 자, 노령자 등은 지문의 융선이 마모 및 훼손된 상태로 지문이 채취되기 때문에 신원조화가 곤란한 문제가 있다. 보편적으로 스마트폰, 태블릿 PC 등 개인 전자기기의 보안을 위해 지문을 사용할 때, 지문을 여러 번 입력하여 등록하는 번거로움이나, 이미 등록된 지문을 인식할 때 훼손된 지문은 인식의 정확도가 떨어지는 문제점들이 있다. 또한, 변사자 중 익사한 변사자의 손가락 피부 각질층이 물에 의해 부풀어 박리되거나, 부패하여 피부 표면이 이탈된 경우 등의 훼손된 지문은 신원확인이 어려운 문제가 있다. 상기와 같은 문제점들을 해결하려는 방법으로 본 발명의 지문 복원 알고리즘을 적용할 수 있다. 제안한 내용은 융선이 마모 또는 훼손된 상태의 지문이 채취되더라도 마모 및 훼손된 부분의 지문을 복원하는 것은 물론, 지문의 복원 시 별도의 빅데이터를 사용하거나 데이터를 추출하는 방식이 아닌, 오직 선택된 부분만을 수리적 알고리즘만을 이용해 훼손된 지문을 복원하는 방법에 대한 것이다. 훼손된 지문 이미지를 입력하는 단계, 상기 훼손된 지문 이미지 상에서 복구대상 영역을 선택하는 단계 및 선택된 영역의 지문을 복원 수리 모델에 기초하여 복원하는 단계를 포함한다.



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	박사후 과정생		2021.9.1.	저널논문	①		
					② Robust and accurate construction of the local volatility surface using the Black-Scholes equation		
					③ Chaos, Solitons and Fractals		
					④ 150, 111116		
					⑤ 2021.09.		
					⑥ 10.1016/j.chaos.2021.111116		
					본 연구에서는 주어진 옵션 가격 데이터로부터 일반화된 블랙-숄즈(BS) 방정식을 사용하여 로컬 변동성(LV) 함수를 견고하고 정확하게 재구성하는 수치적 방법을 제안합니다. BS 편미분 방정식은 금융 옵션 가격을 모델링하는데 사용되었습니다. 상수 변동성은 고전적인 BS 모델에서 사용되었습니다. 그러나 실제 금융시장 데이터는 일정하지 않은 변동성 행태를 보여주기 때문에 변동성이 상수인 BS 모델은 현실적으로 적합하지 않다는 것은 잘 알려진 사실입니다. 알려지지 않은 로컬 변동성 함수를 재구성하는 데 어려움 중 하나는 고유성입니다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 다음과 같이 구성되어 있습니다: 상수 내재 변동성을 추정, 대수정규분포의 확률밀도함수를 이용하여 영향영역을 찾음, 시간에 따른 변동성 함수를 계산, LV 표면을 재구성. 유한 차분 방법을 사용하여 BS 모델을 수치적으로 풀고 비선형 피팅 함수를 사용하여 LV 표면을 계산합니다. 실제 금융시장 데이터를 사용하여 전산 실험을 수행한 결과는 제안된 방법이 LV 함수의 정확한 재구성을 할 수 있다는 것을 보여줍니다. 연구 결과가 게재된 CHAOS SOLITONS & FRACTALS 저널은 2021 JCR 기준 IF 9.922이며 분야별 상위 백분율 0.926%로 매우 우수한 저널입니다.		
총 신진연구인력 수				박사후과정생	2	제출요구량	1
				계약교수	0		
				계	2		

5. 참여교수의 교육역량

5.1 참여교수의 교육역량 대표실적

<표 2-9> 교육연구팀 참여교수의 교육역량 대표실적

연번	참여교수명	참여기간 (YYYYMMDD-YYYYMMDD)	연구자등록번호	세부전공분야	대학원 교육관련 대표실적물	DOI번호/ISBN/인터넷 주소 등
참여교수의 교육관련 대표실적의 우수성						
1				수치해석	저서	9791191346046
	<p>25시간만에 배우는 머신러닝 예제: 텐서플로 (미/21.05.01) 인공지능, 머신러닝은 많이 들어본 단어이지만 초보자에게는 쉽게 이해하기 힘든 내용이었다. 어떻게 하면 쉽게 머신러닝의 원리를 이해할 수 있을까 해서 이 책을 쓰게 되었다. MNIST 손글씨 데이터를 인식하는 알고리즘을 집중적으로 소개할 것이다. 텐서플로(TensorFlow)는 구글(Google)에서 머신러닝과 딥러닝을 위해 만든 오픈 소스 라이브러리다. 텐서플로는 여러 데이터(이미지, 음성, 비디오 등)를 쉽게 다룰 수 있으며 다양한 컴퓨터 언어를 지원하고 있다. 또한 머신러닝 분야에서 텐서플로 커뮤니티가 크게 자리 잡고 있어 정보 교류가 빠르다는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 도서의 목표는 텐서플로와 머신러닝 알고리즘을 통해 MNIST 손글씨 데이터를 학습하는 코드를 작성하는 것이다. 머신러닝 기술에 대한 폭발적인 관심을 끌고 있는 4차 산업혁명 시대에 시기적절한 교재이다. 머신러닝의 기본 알고리즘을 수학적으로 설명함으로써 수학을 공부하는 대학원생들이 머신러닝의 기본을 탄탄하게 하는 효과를 기대할 수 있다.</p>					
2				군과표현	저서	9791196945510
	<p>다항식과 변환군 () 이 책은 학부 및 대학원 대수학에서 거의 다루고 있지 않는, 현대 대수학의 흐름을 이끈 중요한 주제였던 불변량 이론, 2-4차 방정식 해법, 대수곡선 등의 내용을 다루고 있다. 이러한 내용들에는 다항식, 방정식, 그리고 이들의 변환에 사용되는 행렬군이 공통된 주제로 자리잡고 있다. 현재 커리큘럼에서는 정식 교재 외에 추가적인 부교재로 사용되기에 적합한 책이다. 특히 고차 다항 방정식의 해법, 선형변환과 동치관계 등을 이용한 이차 대수곡선의 분류 등을 통해 대수학이 현재의 모습을 갖춰가는 모습을 학생들이 쉽게 이해할 수 있도록 하였다. 실제 학과 학부 수학 동아리에서 이 책을 기반으로 세미나를 진행하여 좋은 호응을 얻었으며, 대학원 대수학 수강생들도 교과서와 함께 이 책을 보조로 읽으며 대수학의 전체적인 발전상과 흐름을 이해하는데 도움을 받았다.</p>					
3				군과표현	저서	9791196945527
	<p>유한군의 표현론 () 이 책은 학부 선형대수와 대수학 내용을 사전 지식으로 가정하고, 대학원생 또는 학부 고학년생이 군표현론의 기초를 배울 수 있도록 구성하였다. 특히 기저를 이용하여 추상적인 벡터와 선형변환을 종벡터와 행렬로 변환하는 계산을 복습한 후, 군의 표현이란 군의 벡터 공간에 대한 선형작용이라는 관점에서, 슈어 보조정리, 마슈케 정리, 지표 이론 등을 차례로 소개하고 이들을 이용하여 유한군 기약 표현의 성질과 분류를 쉽게 터득할 수 있도록 설계하였다. 전반적으로 풍부한 예제를 담으려 노력했는데, 특히 후반부에서는 대칭군과 일반 선형군의 기약표현과 이들의 특성을 조합론적 관점에서 기술하여 최근의 연구 경향을 따라갈 수 있도록 하였다. 실제로 2022년 2학기 대학원 과목으로 군표현론을 개설하여 강의와 함께 이 책에 들어갈 내용과 구성을 학생들과 함께 최종 점검하였고, 책 출간 이후에는 방학 중 학부생 특강에 교재로 사용하여 학생들이 표현론을 어렵지 않게 접근할 수 있었음을 확인하였다.</p>					

		수치해석	저서	9791191346572
4	<p>다상 유체 유동에 대한 상태장모델링과 멀티그리드 수치기법() 이 책은 전산유체역학(Computational fluid dynamics, CFD)을 다루고 있습니다. 특히 서로 섞이지 않는 2상 유체유동(Two-phase fluid flow)에 대해서 칸-힐 리아드 방정식(Cahn-Hilliard equation)을 이용한 방법론의 자세한 설명과 기본 멀티그리드 방법 (Multigrid method) 알고리즘 설명을 자세하게 기술하였으며, 이를 구현하는 C코드를 덧붙여 수치시뮬레이션을 할 수 있도록 구성하였습니다. 멀티그리드 방법은 이산 방정식을 푸는 효율적이며 정확한 기법이지만 한글로 된 해설서가 거의 없는 상태여서 이 책에서 자세하게 설명하고자 합니다. 멀티그리드 방법은 강력한 수치 계산 방법이므로 다른 응용문제를 해결하는 데에도 적용 가능합니다. 코드 작성은 최적화보다는 프로그램의 이해를 높이는 방향으로 자세하게 기술해 놓았습니다.</p>			
		수치해석	대학원 교과목 개발 및 개설	
5	<p>2022년 2학기 금융공학을위한기계학습(MTH774) 전공개설 이 과목에서 학생들은 기계학습 및 딥러닝 방법을 금융 데이터에 적용하는 방법을 배우고 이를 통해 금융 시장의 다양한 문제를 해결하는 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 습득한다. Machine Learning and Data Science Blueprints for Finance 교재를 사용하여 case study를 모두 실습해 본 후 관련 논문을 읽고 내용을 실습한다. 이 수업을 수강함으로써 학생들은 금융 데이터가 다른 분야의 데이터와 어떤 차이가 있는지 학습하고, 다양한 기계학습 및 딥러닝 프로그래밍 기법을 학습하며, 나아가 금융시장의 여러 문제를 기계학습 프로그래밍을 통해 접근하는 방법을 학습한다.</p>			
		고전/실해석	저서	9791125103592
6	<p>의 미분기하학의 2편() 이 책은 대학원 고학년을 위한 미분기하 교재다. 곡면의 내재적 미분기하학을 아주 충실히 익힌 학생을 위한 교재로써 주목표는 공간 곡률 계산법을 전달하는 데에 있다. 그 방법에는 크게 두 가지가 있는데 역사적으로 먼저 발견된 카르탕의 미분형식을 이용한 계산법과 역사적으로는 나중에 발견되었지만, 매우 일반적으로 확장되며 널리 쓰이는 접속을 이용한 방법이다. 이 책은 그 둘을 각각 소개함과 동시에 그 둘이 왜 같은 결과를 주는 가를 다루고 있다. 후반부에는 4차원 시공간 다양체의 곡률 계산을 다루어 일반 상대론에 어떻게 쓰이는가를 보였으며 부록으로 리만이 어떻게 공간의 곡률에 대한 생각을 하게 되었는가를 그때까지 알려진 지식을 바탕으로 해설하는 내용을 실었다.</p>			
		고전/실해석	저서	9791125103677
7	<p>() 이 책은 저자가 20여 년에 걸쳐 연구해 오던 여러 공간의 극소 곡면론, 항등평균곡률 곡면론 중에서 해석적 표현공식과 관련된 기초 부분을 정리한 것이다. 다루고 있는 공간으로는 4차원 로렌츠 공간의 3차원 초평면 3가지 (유클리드 공간, 로렌츠 공간, 등방적 공간), 3차원 초구 3가지 (쌍곡 공간, 더시터르 공간, 광원뿔 공간) 이렇게 총 6가지다. 이 공간 각각에는 해석적 표현 공식을 허용하는 곡면들이 들어 있는데 그것들이 왜 표현공식을 허용하는지를 일관된 관점에서 제공하여 현재 유클리드 공간의 곡면론에 대한 지식이 있는 사람은 자연스럽게 타 공간의 곡면론에 자연스럽게 접근할 수 있도록 유도하고자 하였다. 즉 한 공간에 대한 곡면론을 깊게 파기보다 여러 공간의 곡면론을 기초 수준에서 다룸으로써 수학도들이 타 공간의 곡면론에 쉽게 다가갈 수 있게 하였다. 마지막으로 무료 프로그램인 SageMath로 여러 공간의 여러 곡면들을 그린 코드를 제공함으로써 사람들이 시각적으로도 다양한 공간의 곡면론을 감상할 수 있게 함과 동시에 실제로 곡면론을 가르치는 데에 유료 프로그램에 구애받지 않게 하였다.</p>			

		기하위상수학	대학원 교과목 개발 및 개설	
8	<p>데이터 과학 관련 신규 세부 전공 개설을 위하여 2022년도 1학기에 딥러닝과수학(MTH771) 전공 수업을 개설하였다. 인공지능 (Artificial Intelligence)에 대한 전반적 개념과 Deep Neural Network로 구성된 합성곱신경망(Convolutional Neural Network), 순환신경망(Recurrent Neural Network) 학습을 통해 Deep Learning의 개념들을 이해한다. 강화학습과수학(MTH773) 전공을 개설하였다. 강화학습의 기본 개념과 최근 모델에 대한 이해를 위하여 마코프 프로세스(Markov Decision Process)를 시작으로 벨만 방정식(Bellman Equation) 동적 계획법(Dynamic programming)을 먼저 학습하고 강화학습의 기초적인 모델부터 최근 모델까지 각 모델에 대한 장단점과 모델이 기반으로 하는 수학적 개념에 관한 내용을 이해하도록 하였다.</p>			
		인공지능시스 템및응용	대학원 교과목 개발 및 개설	
9	<p>2022년 2학기 수리인공지능세미나(MTH777) 전공개설 직접 발표 및 토론을 통해 AI/ML 연구 학습하고 최신 AI/ML 연구 논문을 영어로 발표하여 학술 세미나 주도하며 현대 AI/ML에 대한 더 깊은 이해를 위한 학술 세미나 참여한다. 가우시안 프로세스(Gaussian Process) 주제를 중심으로 주어진 text book에 대하여 챕터를 나누어 내용 발표 및 토의를 진행한다. 또한, 개인별로 머신러닝을 활용한 화학공학, 금융, 의료, 수학 등의 응용 또는 이론에 대한 관련 논문 주제를 정하고 주제에 대한 리뷰 및 발표를 진행한다.</p>			
총 환산 참여교수 수		17	제출요구량	4~9

6. 교육의 국제화 전략

6.1 교육 프로그램의 국제화 실적

① 교육 프로그램의 국제화 실적

❏ 교육 프로그램의 국제화 계획

교육 프로그램의 국제화 계획

비전	국제적으로 경쟁력 있는 우수한 대학원생 양성			
목표	<ul style="list-style-type: none"> • 교육 프로그램의 국제화로 대학원생의 국제 공동연구와 학술교류를 수월하게 한다. • 외국인 대학원생이 교육받는데 어려움이 없게 한다. 			
방향	<div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center; font-weight: bold;">국제화 교육 강화</div> <div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center; font-weight: bold;">외국인 전임교원 초빙 우수 외국인 대학원생 유치</div> <div style="background-color: #003366; color: white; padding: 5px; text-align: center; font-weight: bold;">국제 공동 연구 활성화</div>			
내용	<table border="1" style="width: 30%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> • 영어강의 확대 • 국제 학회참석 지원 • 대학원생의 영어 세미나 확대 </td></tr> </table> <table border="1" style="width: 30%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> • 외국인 전임교원 초빙 • 우수 외국인 대학원생 유치 • 해외석학초빙 • 외국인 초빙교수, 객원교수 활용 </td></tr> </table> <table border="1" style="width: 30%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> • 국제 공동 연구 활성화 • 대학원생 장·단기 해외연수 • 국제 협력과제 수행 </td></tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> • 영어강의 확대 • 국제 학회참석 지원 • 대학원생의 영어 세미나 확대 	<ul style="list-style-type: none"> • 외국인 전임교원 초빙 • 우수 외국인 대학원생 유치 • 해외석학초빙 • 외국인 초빙교수, 객원교수 활용 	<ul style="list-style-type: none"> • 국제 공동 연구 활성화 • 대학원생 장·단기 해외연수 • 국제 협력과제 수행
<ul style="list-style-type: none"> • 영어강의 확대 • 국제 학회참석 지원 • 대학원생의 영어 세미나 확대 				
<ul style="list-style-type: none"> • 외국인 전임교원 초빙 • 우수 외국인 대학원생 유치 • 해외석학초빙 • 외국인 초빙교수, 객원교수 활용 				
<ul style="list-style-type: none"> • 국제 공동 연구 활성화 • 대학원생 장·단기 해외연수 • 국제 협력과제 수행 				

- 대학원생의 국제화를 위해 대학원 영어강의 교과목을 점차 확대한다.
- 우수한 연구결과를 국제학회에서 구두발표나 포스터 발표를 할 수 있게 지원한다.
- 다양한 국적을 지닌 우수 외국인 대학생을 적극적으로 유치한다.
- 해외에 있는 외국 교수와 직접적인 공동연구와 협력과제 수행을 활성화하고 국제 공동연구를 위해 대학원생의 장·단기 해외연수를 지원한다.

❏ 교육 프로그램의 국제화 실적

대학원생들의 국제 경쟁력을 갖추기 위해서 교육연구팀은 교육 프로그램의 국제화를 적극적으로 수행해 왔다. 영어강의 개설, 해외학자들의 콜로키움 및 세미나 개최 등 다양한 노력을 해왔고, 국제학술대회 참석 지원을 통해 참여대학원생들이 해외 학회에서 우수한 논문들을 공유할 수 있었다. 교육 프로그램의 국제화 실적은 다음과 같다.

- 평가 대상 기간 내 수학과 대학원 영어강의 개설 교과목 리스트

개설학기	학수번호	교과목명	참여교수
2020년 2학기	MTH601	Algebra II (영강)	—
	MTH603	Real Analysis II (영강)	—
	MTH609	Probability II (영강)	—
	MTH612	Applied Mathematics II (영강)	—

	MTH621	Geometry II (영강)	
	MTH707	Lie Group and Lie Algebra (영강)	
	MTH708	Functional Analysis II (영강)	
	MTH731	Theory of Partial Differential Equations I (영강)	
	MTH810	Research in Probability II (영강)	
	MTH818	Research in Applied Mathematics III (영강)	
2021년 1학기	MTH501	Algebra I (영강)	
	MTH614	Numerical Analysis (영강)	
	MTH723	Stochastic Process I (영강)	
	MTH737	Theory of Partial Differential Equations II (영강)	
	MTH812	Research in Applied Mathematics II (영강)	
2021년 2학기	MTH507	Complex Analysis (영강)	
	MTH618	Numerical Partial Differential Equation (영강)	
	MTH632	Algebraic Number Theory I (영강)	
	MTH731	Theory of Partial Differential Equations I (영강)	
	MTH803	Research in Analysis I (영강)	
	MTH811	Research in Applied Mathematics I (영강)	
2022년 1학기	MTH501	Algebra I (영강)	
	MTH505	Probability I (영강)	
	MTH604	Functional Analysis I (영강)	
	MTH777	Mathematical Methods in AI (영강)	
	MTH787	Computational Fluid Dynamics (영강)	
2022년 2학기	MTH507	Complex Analysis (영강)	
	MTH601	Algebra II (영강)	
	MTH614	Numerical Analysis (영강)	
	MTH701	Representation Theory of Groups (영강)	
	MTH731	Theory of Partial Differential Equations I (영강)	
	MTH777	Mathematical Methods in AI (영강)	

본 교육연구팀은 우수 외국인 대학원생을 유치하였고 다양한 영어강의 제공으로 학위과정을 이수하는데 어려움이 없게 했고 국내 대학원생과의 공동연구를 진행하여 시너지효과를 얻을 수 있었다. 결과적으로 국제적 저명 저널에 다수의 우수한 연구결과를 논문으로 발표하는 성과를 거두었다. 다음은 대표적 연구 논문 리스트이다.

- ▷ **Shape transformation using the modified Allen-Cahn equation.** , Applied Mathematics Letters, Vol. 107, 106487, 2020.
- ▷ **Modeling and simulation of droplet evaporation using a modified Cahn-Hilliard equation,** , Applied Mathematics and Computation, Vol. 390, 125591, 2021.
- ▷ **Motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn equation,** , Journal of Scientific Computing, 2022.
- ▷ **A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier.** Soobin Kwak, Junxiang Yang, Junseok Kim, Applied Mathematics Letters, Vol. 126, 107838, 2022.
- ▷ **An unconditionally stable scheme for the Allen-Cahn equation with high-order polynomial free energy** , Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Vol. 95, 105658, 2021.
- ▷ **A variant of stabilized-scalar auxiliary variable (S-SAV) approach for a modified phase-field surfactant model** , Computer Physics Communications, Vol. 261, 107825, 2021

● 대학원생들이 지도교수와 함께 연구한 결과를 관련 분야의 해외 여러 학자와 교류함으로써 국제화 능력을 향상시키기 위하여 해외 학회 발표 참여를 적극적으로 독려했다.

은 미국 수리생물학회(Society for Mathematical Biology, SMB) 2021 Annual Meeting (2021.6.13.-2021.6.17.)에서 논문 ‘Numerical simulation of the pattern formation in reaction-diffusion equations on time-stepped moving curved surfaces’ 을 발표하였다. 학술대회에서 우수한 논문 내용 및 뛰어난 발표 실력을 인정받아 SMB 포스터 상을 수상하였다.

은 Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics (2021.7.19.-2021.7.23.)에 참석하여 ‘A maximal L_p -regularity theory to initial value problems with time measurable nonlocal operators generated by additive processes’ 를 발표하였다.



는 Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics (2021.7.19.-2021.7.23.)에 참석하여 ‘A sobolev space theory for SPDEs with space-time nonlocal operators’ 를 발표하였다.

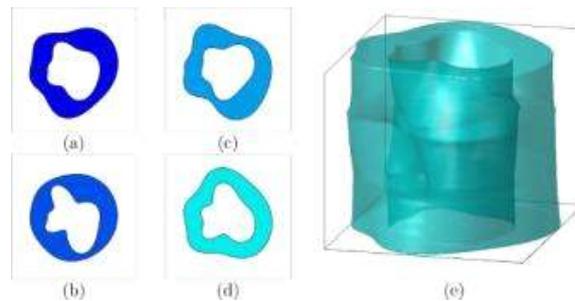
● 해외에서 연구 중인 수학자 초청 세미나를 통해 대학원생의 국제화 역량을 강화하기 위해 노력하였다. 다음은 대학원생들이 참여한 대표적 세미나 및 콜로키움이다.

[20201126 : 수학과세미나] Introducing applied geometry
1. 일시 : 2020년 11월 26일 (목) 20:00-21:00
2. 연사 :
3. 제목 : Introducing applied geometry
[20210205 : Colloquium] Data-Driven Methods for Artist-Directed Fluid Simulations
1. 일시 : 2021년 2월 5일 (금) 13:00-14:30
2. 연사 :
3. 제목 : Data-Driven Methods for Artist-Directed Fluid Simulations
[20210719 : 수학과세미나] Mixing Schemes for Fixed-Point Problems with Application to Self-Consistent Calculations of Electronic Structures
1. 일시 : 2021년 7월 19일 (월) 14:00
2. 연사 :
3. 제목 : Mixing Schemes for Fixed-Point Problems with Application to Self-Consistent Calculations of Electronic Structures
[20210917 : Colloquium] 평면 곡선의 변환에서 비롯되는 가적분 이산화에 대하여
1. 일시 : 2021년 09월 17일 (금) 15:30-16:30
2. 연사 :
3. 제목 : 평면 곡선의 변환에서 비롯되는 가적분 이산화에 대하여
[20220415 : Colloquium] Allocation of risk capital: proportional allocations revisited
1. 일시 : 2022년 04월 15일 (금) 15:30-16:30
2. 연사 :

3. 제목 : Allocation of risk capital: proportional allocations revisited
 [20220527 : Colloquium] Arithmetic of character variety of reductive groups
 1. 일시 : 2022년 05월 27일 (금) 15:30-16:30
 2. 연사 :
 3. 제목 : Newton-Okounkov bodies in algebraic geometry

● 평가 대상 기간 내 참여 대학원생들의 해외학자와의 대표적 공동연구 결과 리스트

▷ **Weighted 3D volume reconstruction from series of slice data using a modified Allen-Cahn equation,** , Pattern Recognition, Vol. 132, 108914, 2022



▷ **The Susceptible-Unidentified infected-Confirmed (SUC) epidemic model for estimating unidentified infected population for COVID-19,** , Chaos, Solitons & Fractals, Vol. 139, 110090, 2020.

▷ **Motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn equation,** , Journal of Scientific Computing, 2022.



▷ **A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier.** , Applied Mathematics Letters, Vol. 126, 107838, 2022.

▷ **Simple and efficient volume merging method for triply periodic minimal structures,** , Computer Physics Communications, Vol. 264, 107956, 2021.

▷ **An unconditionally stable scheme for the Allen-Cahn equation with high-order polynomial free energy** , Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Vol. 95, 105658, 2021.

② 참여대학원생 국제공동연구 현황과 실적

<표 2-10> 참여대학원생 국제공동연구 실적

연번	공동연구 참여자			상대국/소속기관	연구주제	연구기간 (YYYYMM-YYYYMM)
	교육연구팀		국외 공동연구자			
	참여 대학원생	지도교수				
1					Benchmark Problems for the Numerical Discretization of the Cahn-Hilliard Equation with a Source Term	202103-202112
2					A conservative and stable explicit finite difference scheme for the diffusion equation	202103-202112
3					Fast and Efficient Numerical Finite Difference Method for Multiphase Image Segmentation	202103-202112
4					Numerical simulations of the dynamics of axisymmetric compound liquid threads with a phase-field model	202009-202109
5					Explicit Hybrid Numerical Method for the Allen-Cahn Type Equations on Curved Surfaces	202009-202103
6					Simple and efficient volume merging method for triply periodic minimal structures	202009-202104

7		An unconditionally stable scheme for the Allen–Cahn equation with high–order polynomial free energy	202009–202103
8		A Simple Benchmark Problem for the Numerical Methods of the Cahn–Hilliard Equation	202009–202104
9		An Explicit Adaptive Finite Difference Method for the Cahn–Hilliard Equation	220301–220825
10		Weighted 3D volume reconstruction from series of slice data using a modified Allen–Cahn equation	220101–220718
11		Phase–field computations of anisotropic ice crystal growth on a spherical surface	220301–220823
12		Motion by Mean Curvature with Constraints Using a Modified Allen–Cahn Equation	211001–220505

13		Numerical Study of an Indicator Function for Front-Tracking Methods	220301-220704
14		Reconstructing the Local Volatility Surface from Market Option Prices	211230-220720
15		Classification of ternary data using the ternary Allen-Cahn system for small datasets	220101-220801
16		Numerical simulation of the coffee-ring effect inside containers with time-dependent evaporation rate	220101-220607
17		Finite volume scheme for the lattice Boltzmann method on curved surfaces in 3D	210901-220429
18		A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier	210301-211102
19		An explicit conservative Saul'yev scheme for the Cahn-Hilliard equation	210301-211113

[계획]

☐ 대학원생 국제공동연구 계획: 현재 진행 중인 대학원생의 국제 공동연구를 활성화한다.

참여교수가 국외 공동연구자와 함께하는 연구에 대학원생도 참여할 기회를 제공하고, 적극적으로 연구에 기여할 수 있도록 지도하고 공동연구 결과로 우수한 SCIE 논문을 꾸준히 게재한다. 이는 대학원생들이 앞으로도 국제적 공동연구 활동에 매진할 수 있게 하는 긍정적인 원동력이 될 것이며, 국제적 연구역량을 향상시킬 수 있는 좋은 기회가 될 것이다.

[실적]

● 은 중국 교수와 함께 2021년 9월부터 2022년 8월까지 국제 공동연구를 진행한 결과물로, International Journal of Mechanical Sciences 저널에 논문 “An explicit conservative Saul’ yev scheme for the Cahn-Hilliard equation’ 을 출판하였다. 저자들은 칸-힐리어드(CH) 방정식에 대한 명시적이고 보존적인 Saul’ yev 방법을 사용한 유한 차분법을 제시한다. CH 방정식을 통해 저자들은 이원 합금의 위상 분리 현상을 모델링했다. CH 방정식은 위상 분리 현상뿐만 아니라, 다양한 과학적이고 실용적인 응용에 사용된다. 이 논문에서는 시간에 대한 간격의 제한을 극복하고 CH 모델에 대한 명시적 방법의 단순성을 유지한다.

● 중국 박사과 함께 2021년 9월부터 2022년 8월까지 국제 공동연구를 진행한 결과물로, Applied Mathematics Letters 저널에 논문 “A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier’ 을 출판하였다. 본 연구에서는 새로운 보존적인 앨런-칸(CAC) 방정식을 제안한다. 제안된 CAC 방정식은 곡률 의존성 라그랑주 승수를 사용한다. 기존의 구조 보존적인 CAC 방정식과 달리 면적 또는 부피 제약과 함께 평균 곡률에 의한 운동을 갖는 경우, 제안된 모델은 평균 곡률에 의한 움직임의 최소를 하는 역학을 가지고 있다.

● 은 중국 교수와 함께 2021년 9월부터 2022년 8월까지 국제 공동연구를 진행한 결과물로, Journal of Computational Science 저널에 논문 “A conservative and stable explicit finite difference scheme for the diffusion equation’ 을 출판하였다. 이 연구에서, 저자들은 열 방정식에 대한 보존적이고 안정적인 명시적 유한 차분법을 제시한다. 저자들은 Saul’yev-type 유한 차분법을 사용하고 보존적인 가중치 보정 단계를 제안한다. 제시된 방법을 통해, 실질적으로 명시적 유한 차분법보다 약 100배 더 큰 시간에 대한 간격을 사용할 수 있다.

● 은 박사과 함께 2021년 9월부터 2022년 8월까지 국제 공동연구를 진행한 결과물로, Journal of Scientific Computing 저널에 논문 “Motion by Mean Curvature with Constraints Using a Modified Allen-Cahn Equation’ 을 출판하였다. 이 논문에서는 평균 곡률에 의한 운동을 위한 간단하고 정확한 수치적인 방법을 제시한다. 수정된 앨런-칸(AC) 방정식을 사용하여 제한 조건을 갖는 곡률에 대한 방정식을 푸는 것을 고려한다. 푸리에 스펙트럼을 가진 선형 볼록 분할 방식을 사용하여 방정식을 해결한다.

● 은 중국 박사과 함께 2021년 9월부터 2022년 8월까지 국제 공동연구를 진행한 결과물로, AIP Advances 저널에 논문 “Classification of ternary data using the ternary Allen-Cahn system for small datasets’ 을 출판하였다. 본 연구에서는 수정된 세 개의 알렌-칸(tAC) 방정식으로 만든 tAC 시스템을 사용하여 세 종류의 데이터집합을 분류하는 방법을 제시한다. 지배방정식은 주어진 데이터에 가능한 한 가깝게 솔루션을 유지하는 충실도 항을 갖는 tAC 방정식이다. tAC 시스템을 해결하기 위해 연산자 분할 방법을 적용한다. 널리 사용되는 다른 수치 알고리즘인 로지스틱 회귀 분석, 의사 결정 트리, 서포트 벡터 머신, 랜덤 포레스트 및 작은 데이터 세트를 위한 인공신경망과 같은 분류기와의 비교 테스트를 수행한다.

● 은 중국 박사과 함께 2021년 9월부터 2022년 8월까지 국제 공동연구를 진행한 결과물로, Discrete Dynamics in Nature and Society 저널에 논문

4단계 BK21 사업

Ⅲ. 연구역량 영역

Ⅲ. 연구역량 영역

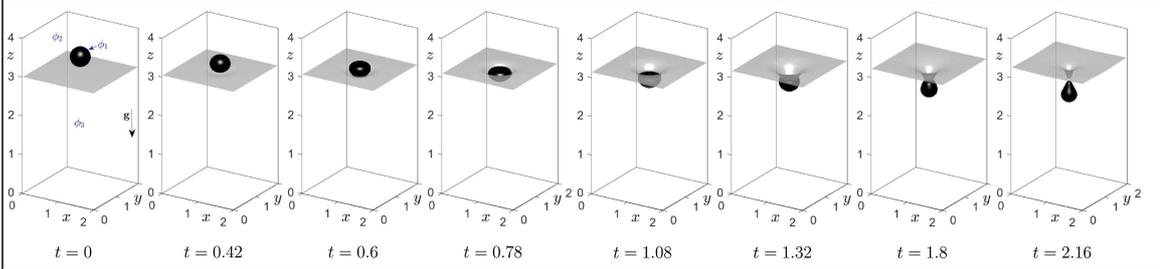
1. 참여교수 연구역량

1.1 연구비 수주 실적 (별도 제출/평가)

1.2 연구업적물

③ 교육연구팀의 학문적 수월성을 대표하는 연구업적물 (최근 10년)

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

연번	대표연구업적물 설명
1	<p> ■ Efficient IMEX and consistently energy-stable methods of diffuse-interface models for incompressible three-component flows, Computer Physics Communications, Vol. 282, 2023, pp. 108558, </p> <p> 이 논문은 수학의 응용분야 Top 저널인 Computer Physics Communications(IF 4.717, JCR IF 분야별 상위 백분율 3.571%)에 출판되었다. 특히 FWCI(Field-Weighted Citation Impact)가 18.54로 FWCI는 동일한 그룹을 기준으로 세계 평균을 낸 다음 게재한 논문을 세계 평균에 비교하는 방식으로 계산을 하게 된다. FWCI가 1이면 동일 그룹 전 세계 평균과 동일한 성과를 의미하며, 2면 동일 그룹보다 2배 성과를 낸 것이고, 0.5는 동일 그룹의 절반의 성과를 낸 것을 의미한다. </p> <p> 이 연구에서 우리는 비압축성이고 서로 섞이지 않는 3개의 유체로 이루어진 시스템의 수치적 근사를 고려합니다. 여기서 서로 다른 유체의 경계인 인터페이스는 3항 칸-힐리아드(Cahn-Hilliard) 방정식으로 캡처되고 유체 흐름은 나비에-스톡스(Navier-Stokes) 방정식으로 제어됩니다. 이 시스템에는 비선형 효과뿐만 아니라 위상 필드 변수, 속도 및 압력 간의 결합도 포함됩니다. 칸-힐리아드-나비에-스톡스(Cahn-Hilliard-Navier-Stokes) 삼원계는 기본 물성인 에너지 소산법칙도 만족합니다. 비선형 및 결합 항의 적절한 처리와 불연속 버전의 에너지 소산 법칙 보존을 위해 스칼라 보조 변수(scalar auxiliary variable, SAV)의 변형을 사용하여 2차 시간 정확도, 선형 암시적-명시적(implicit-explicit, IMEX) 방법을 개발했습니다. 최초 에너지와 수정된 에너지 사이의 일관성을 향상시키기 위해 간단하고 효과적인 에너지 이완 기법이 고려됩니다. 해의 유일성과 완화된 에너지 소산 법칙을 이론적으로 증명했습니다. 제안하는 방식은 선형 타원 방정식만 따로 풀면 되기 때문에 구현에 매우 효율적입니다. 제안된 방법의 정확성, 에너지 안정성 및 성능을 검증하기 위해 광범위한 계산 실험을 수행하였고 아래 시뮬레이션 결과는 서로 섞이지 않는 3개의 유체 시스템에서 3차원 공간에서 떨어지는 물방울의 시간에 따른 변화를 표시합니다. 물방울이 중력의 영향으로 아래로 낙하하고 변형되어 결국 인터페이스를 관통한다는 것을 확인할 수가 있었으며 시뮬레이션은 제안한 수치기법이 중력과 표면 장력의 결합된 효과 하에서 3개의 유체 시스템에 효과적으로 적용될 수 있음을 나타냅니다. </p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">서로 섞이지 않는 3개의 유체의 시간에 따른 3차원 시뮬레이션 결과</p> </div>

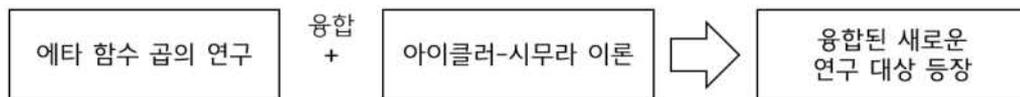
☒ Pairs of eta-quotients with dual weights and their applications. *Advances in Mathematics*, Vol. 355, pp. 106779, (2019).

이 논문은 *Advances in Mathematics*(IF 1.435, IF 분야별 상위 백분율 13.7%)에 출판되었다. 페르마의 마지막 정리에서 보듯이 보형 형식은 정수론, 조합론, 수리 물리, 위상수학 등의 다양한 분야의 대상들을 표현해 주는 중요한 함수이다. 이러한 보형 형식 중에서 에타 함수는 더욱 각별한 의미가 있다. 예를 들어, 1을 에타 함수로 나누어 얻어지는 함수는 조합론에서 중요한 분할수의 생성함수가 된다. 이러한 관계 덕분에 분할수에 관한 다양한 추측들이 보형 형식의 이론을 통해 증명이 이루어지게 되었다. 보다 일반적으로 에타 함수의 곱으로 표현되는 함수는 정수론, 조합론, 수리 물리 등에 다양한 대상들에 대한 생성함수가 되게 된다.

다른 한편으로 페르마의 마지막 정리는 타니야마 시무라 추측 증명을 통해 이루어지게 되었는데 이러한 이론의 저변에 보형 형식과 군 코호몰로지 사이에 관계에 관한 아이클러-시무라 코호몰로지가 있다. 아이클러-시무라 코호몰로지 이론은 보형 형식의 공간과 군 코호몰로지 사이에 동형 사상이 존재한다는 것을 증명하고 있으며, 이것은 타니야마 시무라 추측에 앞서 그 역에 관한 이론을 제시하고 있었다. 아이클러-시무라 코호몰로지 이론에서 불의 연산자는 중요한 역할을 한다. 또한, 이러한 불 연산자에 대한 보형 형식 혹은 막보형 형식의 상에 대해서는 다양한 응용과 그 자체의 중요성으로 활발히 연구되었다.

두 연구 주제, 에타 함수의 곱으로 표현되는 함수와 아이클러-시무라 코호몰로지 이론이 융합되면서 새로운 응용이 등장하여 불 연산자의 상 역시 에타 곱 함수가 되는 에타 곱함수에 대한 연구가 이루어지게 되었다.

2



하지만, 이러한 새로운 연구 대상에 대한 이론의 부재로 이전의 연구들은 개별적인 (유한한) 예들을 연구하는데 머물러 있었다. 이 대표 업적물에서는 이러한 어려움을 극복하고 불 연산자의 상이 에타 함수 곱이 되는 에타 함수의 존재성을 판별해 줄 수 있는 조합적인 모델을 최초로 만들어 그 모델의 조합적인 성질을 통해 레벨이 제곱인자를 가지지 않았을 때 대한 완벽한 분류를 얻어내었다.

- 기존 결과 : 이론의 부재로 인한 개별적인 유한한 예들에 대한 조사
- 업적물의 결과 : I. 최초로 만든 조합론 모델을 통해 일반적 적용 가능한 이론을 정립함
 II. 위 이론을 바탕으로 개별적인 몇몇 예들에 국한되어 있던 결과에서 벗어나 일반적 제곱수 인자를 갖지 않는 레벨에 대한 완벽한 분류를 얻어 냄.

Double Pieri algebras and iterated Pieri algebras for the classical groups. *American Journal of Mathematics*, Vol. 139(2), pp. 347-401, (2017).

이 논문은 Impact factor 1.527, Q-value Q1 (상위 10.2%)인 *American Journal of Mathematics*에 게재되었다. 이 논문은 복소 고전군 또는 선형군이라 불리는 complex classical groups/linear algebraic groups $GL(n)$, $SL(n)$, $Sp(n)$, $O(n)$ 표현공간의 피에리 타입 텐서 곱을 매우 독창적인 방법으로 기술하고, 이를 이용하여 얻은 여러 새로운 결과물들을 담고 있다.

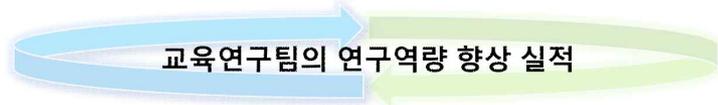
앞서 나열한 고전 군들의 기약(irreducible) 표현공간은 조합론적으로 한 줄짜리 영 다이어그램들과 대응되는 단순한 형태의 기약 표현공간들을 여러 번 텐서 곱하여 얻은 벡터공간을 분해하여 얻을 수 있다는 점이 알려져 있고, 이러한 텐서 곱을 직합으로 분해할 때 적용되는 피에리 규칙이 고전 군의 타입별로 잘 알려져 있다. 이 논문에서는, 군의 작용 하에 변하지 않는 다항식들이 이루는 불변환의 구조를 주제로 하는 고전적인 불변다항식 이론(classical invariant theory)을 이용하여, 여러 번 중복된 꼴의 피에리 규칙을 규명하기 위해 중첩 피에리 환이라는 특별한 등급환을 구성하였다. 적절한 조건에서, 이 중첩 피에리 환의 구조는 고전 군의 타입과 상관없이 동일하게 기술되며, 이로부터 피에리 형식의 텐서 곱 상황에서 나타나는 고전 군의 공통적인 표현론적 성질을 유도하였다.

또한, 대수적 조합론과 계산 기하적 관점에서, 피에리 환이 부분 순서(partial order)로부터 유래된 토릭 다양체의 변형으로 볼 수 있다는 점을 증명함으로써 현대 표현론에서 등장하는 기약 표현공간의 중복도 및 차원 계산을 위한 조합론적 대상들에 대한 대수학적인 연결 고리를 제시하였다. 더불어, 다소 예상치 못한 분야 대한 응용으로, 이 피에리 환에 Howe duality라는 관점으로 상호 쌍대성을 적용하여, 유한 차원 표현공간의 피에리 형식의 텐서 곱을 특정 리 대수의 무한차원 표현공간을 부분 대수의 표현공간으로 재구성하는 상황으로 해석하고, 관련된 기약 표현공간의 중복도 문제에 대한 답도 제시하였다.

이 논문의 우수성은 다양한 후속연구에서도 지속해서 드러나고 있다. 피에리 환이 클러스터 대수 구조를 갖추고 있음을 밝혔고 (*Journal of Pure and Applied Algebra*, 2018), 피에리 타입 곱의 skew symmetric 버전에 해당하는 대상을 연구하였고 (*Journal of Mathematical Physics*, 2018), 수리물리, 대수기하, 선형대수 등 다양한 분야와 밀접하게 연결된 Littlewood-Richardson coefficients와의 관련성에 대해서도 일부 결과물을 내놓았으며 (*Journal of Algebraic Combinatorics*, 2017; *International Journal of Algebra and Computation*, 2019), 계속해서 다양한 관련 후속 연구를 준비 중이다.

3

1.3 교육연구팀의 연구역량 향상 실적



평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 동안 참여교수가 출판한 SCIE급 저널 논문은 총 177편이고, 2021 JCR 기준 IF 총합 523.108이다. 2021 JCR 기준 분야별 상위 백분율 10% 이내의 저널에 게재된 우수한 논문 46건을 포함한 Q1 저널에 게재된 논문은 총 77건이다. 위와 같은 연구 성과로 세계적 수준의 질적으로 우수한 논문 게재 향상, 우수한 박사후연구원 확보로 연구역량 향상, 국내외 활발한 공동연구 및 학술 활동 역량 향상, 대학원생 교육과 연구의 선순환 구조 시스템 구축을 제시한 계획을 달성하였다.

다음은 참여교수가 평가 대상 기간 동안 출판한 SCIE급 저널 전체 논문 중 일부 목록이다.

논문 제목	게재 학술지명	출판 연월	참여 교수 성명	IF
A stochastic model of contagion with different individual types	Journal of Industrial and Management Optimization	2020 09		1.411
A high-frequency homogenization approach near the dirac points in bubbly honeycomb crystals	Archive for Rational Mechanics and Analysis	2020 12		2.528
A phase-field model and its efficient numerical method for two-phase flows on arbitrarily curved surfaces in 3D space	Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering	2020 12		6.588
Off-diagonal estimates for the first order commutators in higher dimensions	Journal of Functional Analysis	2020 10		1.891
On hyperquadrics containing projective varieties	Forum Mathematicum	2020 09		0.943
Hodge dual operators and model algebras for rational representations of the general linear group	Journal of Algebra	2020 11		0.908
An approach for weighted mixed-norm estimates for parabolic equations with local and non-local time derivatives	Advances in Mathematics	2021 01		1.675
Chromatin accessibility of circulating CD8+ T cells predicts treatment response to PD-1 blockade in patients with gastric cancer	Nature Communications	2021 02		17.694
Transform approach for discounted aggregate claims in a risk model with descendant claims	Annals of Operations Research	2020 10		4.820
Delay analysis in the discrete-time multi-server queue with batch arrivals of packets having deterministic length	Electronics Letters	2020 11		1.202
Honeycomb-lattice minnaert bubbles	SIAM Journal on Mathematical Analysis	2020 11		2.071
Topologically protected edge modes in one-dimensional chains of subwavelength resonators	Journal De Mathematiques Pures Et Appliquees	2020 12		2.282
Zero mean curvature surfaces in isotropic three-space	Bulletin of the Korean Mathematical Society	2021 01		0.467
High-order exceptional points and enhanced sensing in subwavelength resonator arrays	Studies in Applied Mathematics	2021 02		2.343
Population uncertainty and revealing contestants	Economics Letters	2021		1.202

		02	
Comparison of socially optimal and profit maximizing prices in an unobservable queue with heterogeneous waiting costs	OPERATIONS RESEARCH LETTERS	2021 03	1.151
Stick numbers of Montesinos knots	Journal of Knot Theory and Its Ramifications	2021 03	0.456
The Hörmander multiplier theorem for n-linear operators	Mathematische Annalen	2021 03	1.334
Difference of weighted composition operators II	Integral Equations and Operator Theory	2021 04	0.720
A weighted sobolev space theory for the diffusion-wave equations with time-fractional derivatives on C^1 domains	Discrete and Continuous Dynamical Systems	2021 07	1.865
Number of dominating sets in cylindric square grid graphs	Graphs and Combinatorics	2021 07	0.620
Density of modular forms with transcendental zeros	Journal of Mathematical Analysis and Applications	2021 08	1.417
Joint Carleson measure for the difference of composition operators on the polydisks	Complex Variables and Elliptic Equations	2022 06	0.765
Compact difference of composition operators on the Hardy spaces	Transactions of the American Mathematical Society Series B	2022 08	1.353
Linear connection between composition operators on the Hardy space	Journal of Mathematical Analysis and Applications	2022 11	1.417
On zero-dimensional linear sections of surfaces of maximal sectional regularity	Journal of Algebra and its Applications	2022 07	0.762
Parisian ruin in a discrete-time Markov-modulated dual risk model	Computers and Industrial Engineering	2022 07	5.431
Analysis of the waiting time distribution in M/G/1 retrial queues with two way communication	Annals of Operations Research	2022 03	4.854
Dimer coverings of 1-slab cubic lattices	Graphs and Combinatorics	2022 07	0.556
Stock market prediction based on adaptive training algorithm in machine learning	Quantitative Finance	2022 03	1.986
Parabolic equations with unbounded lower-order coefficients in Sobolev spaces with mixed norms	Journal of Evolution Equations	2022 03	1.261
An L_p -maximal regularity estimate of moments of solutions to second-order stochastic partial differential equations	Stochastics and Partial Differential Equations: Analysis and Computations	2022 03	1.565
A refined Green's function estimate of the time measurable parabolic operators with conic domains	Potential Analysis	2022 02	1.096
Conjectures about determining the regions of eigenvalues of stochastic and doubly stochastic matrices	Linear Algebra and Its Applications	2022 03	1.307
Monotonicity of the mean queue size in DPS systems	Queueing Systems	2022 04	1.402
On surfaces of minimal degree in P^5	Journal of Symbolic Computation	2022 03	0.970
Identification of parameters from the distribution of the maximum or minimum of Poisson random variables	Statistics and Probability Letters	2022 01	0.718
Counting dissections into integral squares	Discrete Mathematics	2022	0.961

		05		
Bipartite intrinsically knotted graphs with 23 edges	Discrete Mathematics	2022 11		0.961
Lattice conformation of theta-curves accompanied with Brunnian property	Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	2022 11		2.331
Subwavelength guided modes for acoustic waves in bubbly crystals with a line defect	Journal of the European Mathematical Society	2022 08		2.655
On the rank of quadratic equations for curves of high degree	Mediterranean Journal of Mathematics	2022 12		1.305
Parabolic systems with measurable coefficients in weighted Sobolev spaces	Communications on Pure and Applied Analysis	2022 08		1.273
A Sobolev space theory for the stochastic partial differential equations with space-time non-local operators	Journal of Evolution Equations	2022 09		1.261
Sobolev space theory and Hölder estimates for the stochastic partial differential equations on conic and polygonal domains	Journal of Differential Equations	2022 12		2.615
Modular forms of half-integral weight on $\Gamma_0(4)$ with few nonvanishing coefficients modulo 1	Open Mathematics	2022 10		0.979
The algebraic parts of the central values of quadratic twists of modular L-functions modulo 1	Research in Mathematical Sciences	2022 11		1.824
Totally decoupled implicit-explicit linear scheme with corrected energy dissipation law for the phase-field fluid vesicle model	Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering	2022 09		6.588

다음은 참여교수와 참여박사후연구원이 평가 대상 기간 동안 출판한 SCIE급 저널 전체 논문 17편 중 일부 목록이다.

논문 제목	게재 학술지명	출판 연월	박사후 연구원 성명	IF
Robust and accurate construction of the local volatility surface using the Black-Scholes equation	Chaos, Solitons & Fractals	2021 09		9.922
A conservative and stable explicit finite difference scheme for the diffusion equation	Journal of Computational Science	2021 11		3.817
Robust optimal parameter estimation for the Susceptible-Unidentified infected-Confirmed model	Chaos, Solitons & Fractals	2021 12		9.922
An explicit conservative Saul'yev scheme for the Cahn-Hilliard equation	International Journal of Mechanical Sciences	2022 03		6.772
A robust and efficient fingerprint image restoration method based on a phase-field model,	Pattern Recognition	2022 03		4.757
Three-dimensional volume reconstruction from multi-slice data using a shape transformation	Computers and Mathematics with Applications	2022 05		3.218
Motion by mean curvature with constraints using a modified Allen-Cahn equation	Journal of Scientific Computing	2022 06		2.843

다음은 참여교수와 참여대학원생이 해외대학과 평가 대상 기간 동안 공동연구로 출판한 SCIE급 저널 전체 논문 61편 중 일부 목록이다.

논문 제목	게재 학술지명	출판 연월	해외학자 성명	IF
-------	---------	-------	---------	----

Compact difference of composition operators with smooth symbols on the unit ball	Journal of Mathematical Analysis and Applications	2022 02	1.417
Path components of composition operators over the half-plane	Journal of Mathematical Analysis and Applications	2021 05	1.417
Boundary Lebesgue mixed-norm estimates for non-stationary Stokes systems with VMO coefficients	Communications in Partial Differential Equations	2021 01	1.675
Optimal stochastic control of the intensity of point processes	Statistics and Probability Letters	2022 01	0.718
Effect of oxytocin injection on fetal heart rate based on multifractal analysis	Chaos Solitons & Fractals	2021 07	9.922
The susceptible-unidentified infected-confirmed (SUC) epidemic model for estimating unidentified infected population for COVID-19	Chaos Solitons & Fractals	2020 10	9.922
Weighted 3D volume reconstruction from series of slice data using a modified Allen-Cahn equation	Pattern Recognition	2022 12	4.757
Finite volume scheme for the lattice Boltzmann method on curved surfaces in 3D	Engineering with Computers	2022 12	8.083
An energy-stable method for a phase-field surfactant model	International Journal of Mechanical Sciences	2022 11	6.772
An explicit conservative Saul'yev scheme for the Cahn-Hilliard equation	International Journal of Mechanical Sciences	2022 03	6.772
Energy-stable method for the Cahn-Hilliard equation in arbitrary domains	International Journal of Mechanical Sciences	2022 08	6.772
A phase-field model without artificial curvature effect for the crystal growth simulation	International Journal of Heat and Mass Transfer	2023 01	5.431
Efficient IMEX and consistently energy-stable methods of diffuse-interface models for incompressible three-component flows	Computer Physics Communications	2023 01	4.717
Simple and efficient volume merging method for triply periodic minimal structures	Computer Physics Communications	2021 07	4.717
Numerical approximation of the square phase-field crystal dynamics on the three-dimensional objects	Journal of Computational Physics	2022 12	4.645
ECG classification comparison between MF-DFA and MF-DXA	Fractals	2021 03	4.555
Shape transformation using the modified Allen-Cahn equation	Applied Mathematics Letters	2020 09	4.294
An unconditionally stable scheme for the Allen-Cahn equation with high-order polynomial free energy	Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation	2021 04	4.186
Thermal-fluid topology optimization with unconditional energy stability and second-order accuracy via phase-field model	Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation	2023 01	4.186
Unconditionally energy stable schemes for fluid-based topology optimization	Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation	2022 08	4.186
A conservative and stable explicit finite difference scheme for the diffusion equation	Journal of Computational Science	2021 11	3.817
An Explicit Adaptive Finite Difference Method for the Cahn-Hilliard Equation	Journal of Nonlinear Science	2022 12	3.443
An unconditionally energy stable method for	Computers and	2022	3.218

binary incompressible heat conductive fluids based on the phase-field model	Mathematics with Applications	08		
High-order time-accurate, efficient, and structure-preserving numerical methods for the conservative Swift-Hohenberg model	Computers and Mathematics with Applications	2021 11		3.218
Phase-field computations of anisotropic ice crystal growth on a spherical surface	Computers and Mathematics with Applications	2022 11		3.218
A second-order unconditionally stable method for the anisotropic dendritic crystal growth model with an orientation-field	Applied Numerical Mathematics	2023 02		2.994

다음은 참여교수와 참여 대학원생들이 평가 대상 기간 동안 출판한 SCIE급 저널 전체 논문 93편 중 일부 목록이다.

논문 제목	게재 학술지명	출판 연월	참여 대학원생 성명	IF
A variant of stabilized-scalar auxiliary variable (S-SAV) approach for a modified phase-field surfactant model	Computer Physics Communications	2021 04		4.717
Periodic travelling wave solutions for a reaction-diffusion system on landscape fitted domains	Chaos Solitons & Fractals	2020 10		9.922
Linear and fully decoupled scheme for a hydrodynamics coupled phase-field surfactant system based on a multiple auxiliary variables approach	Journal of Computational Physics	2022 03		4.645
An efficient time-dependent auxiliary variable approach for the three-phase conservative Allen-Cahn fluids	Applied Mathematics and Computation	2023 02		4.397
Modeling and simulation of droplet evaporation using a modified Cahn-Hilliard equation	Applied Mathematics and Computation	2021 02		4.397
A weighted Sobolev regularity theory of the parabolic equations with measurable coefficients on conic domains in \mathbb{R}^d	Journal of Differential Equations	2021 08		2.615
An $L_q(L_p)$ -theory for diffusion equations with space-time nonlocal operators	Journal of Differential Equations	2021 06		2.615
Boundary behavior and interior Hölder regularity of the solution to nonlinear stochastic partial differential equation driven by space-time white noise	Journal of Differential Equations	2020 11		2.615
Robust optimal parameter estimation for the susceptible-unidentified infected-confirmed model	Chaos Solitons & Fractals	2021 12		9.922
Computation of powered option prices under a general model for underlying asset dynamics	Journal of Computational and Applied Mathematics	2022 05		1.675
A maximal L_p -regularity theory to initial value problems with time measurable nonlocal operators generated by additive processes	Stochastics and Partial Differential Equations: Analysis and Computations	2023 01		1.565

2. 산업·사회에 대한 기여도

2.1 산업·사회 문제 해결 기여 실적

<표 3-5> 교육연구팀 참여교수의 산업·사회 문제 해결 기여 실적

연번	실적명	참여교수명	실적 해당 분야	실적 요약
1	사회적 활동이 매우 활발한 개체가 포함된 감염 확산 모형의 확률적 모델링과 분석		거버넌스 구축	확률적 모델링과 분석을 통해 전염 확산 모형에서 사회적 활동이 활발한 개체가 전염 확산에 미치는 영향을 조사하였다. 감염자가 회복 후 재감염이 될 수 있는 상황을 SIS 모형을 기반으로 하는 확률 모형으로 모델링하고 개체들 간의 접촉 시간 분포가 개체의 특성이 반영되도록 하였다. 구성원을 보통 수준의 사회적 활동을 하는 일반 개체들과 사회적 활동이 큰 소수의 특이 개체들로 분류하여 사회적 활동이 매우 활발한 소수 개체가 전염 확산에 미치는 영향을 조사하였다.
			미래/글로벌 대응	
2	콘테스트에서 참가자 수의 공개 전략과 비공개 전략의 비교 분석		거버넌스 구축	콘테스트에서 참가자의 수를 운영자만 알고 있을 때 운영자가 참가자 수를 공개하는 것이 좋을지 공개하지 않는 것이 좋을지 조사하였다. 노벨 경제학상을 수상한 로저 마이어슨 교수의 환경등가원칙을 적용하여 참가자 수의 공개 여부가 전체 기대수익에는 영향을 미치지 않는다는 사실을 알아냈다. 반면 당선자의 지분을 최대화 하는 문제에서는 참가자 수가 많을 때는 참가자 수를 공개하고 참가자 수가 적을 때는 공개하지 않는 것이 좋다는 사실을 밝혀냈다.
			미래/글로벌 대응	
3	암 치료를 위한 후생 유전학적으로 데이터 분석 방법 개발		미래/글로벌 대응	최근 의학계에서는 후생 유전학적인 관점에서 특정 유전체의 발현 정도를 활용하여 특정 암환자 치료에 대한 특정 약물의 적합성 여부를 미리 알 수 있는지에 대해 연구가 활발히 진행되고 있다. 이는 단순히 의학, 생물학적인 문제가 아니라 경제적, 산업적인 문제이다. 이 주제로 서울대 의대팀과 같이 거대한 유전 자료의 효과적인 분석 방법 개발을 이끌었으며 (Nature Communications, 2021년 2월) 계속하여 의료 데이터의 수학적 모델링에 대한 후속 연구를 진행 중이다.
			거버넌스 구축	
			고전 불변량 이론에 대한 기고 활동	
4	숨어있는 코로나 19 감염자 수를 예측하는 수리 모델링		미래/글로벌 대응	확진되지 않았으므로 격리되지 않아 감염 가능성이 있는 숨은 감염자 수를 예측하는 새로운 감염병 모델을 코로나19에 적용하였다. 전체 인구 수 N 을 감염 가능성이 있는 개체 (Susceptible), 감염되었으나 확진되지 않은 개체 (Unidentified infected), 그리고 확진된 개체(Confirmed)로 분류하고, 세 변수 간의 관계와 확진자수 자료를 통해 숨어있는 감염자 수를 예측하는 코로나19 SUC 모델을 제안하였다. 수학지식을 겸비한 데이터과학 분야의 전문인력에 대한 맞춤형 교육을 위하여 세부 전공 Mathematical Data Science (MDS)를 2022년 수학과 안에 신설하여 운영 중. 기존 연구 중심의 대학원과는 다르게 현대 산업사회의 다양한 문제를 해결하기 위해 수학기반의 데이터과학 전문인력을 양성하는 과정으로 프로젝트 참여, 인턴과정 및 캡스톤 등이 포함된 교과과정을 통해 다양한 산업 및 사회문제 해결과 직접적으로 관련된 교육 프로그램을 운영 중.
			거버넌스 구축	
5	Mathematical Data Science 전공 신설 및 운영		인력 재교육	수학지식을 겸비한 데이터과학 분야의 전문인력에 대한 맞춤형 교육을 위하여 세부 전공 Mathematical Data Science (MDS)를 2022년 수학과 안에 신설하여 운영 중. 기존 연구 중심의 대학원과는 다르게 현대 산업사회의 다양한 문제를 해결하기 위해 수학기반의 데이터과학 전문인력을 양성하는 과정으로 프로젝트 참여, 인턴과정 및 캡스톤 등이 포함된 교과과정을 통해 다양한 산업 및 사회문제 해결과 직접적으로 관련된 교육 프로그램을 운영 중.
			일자리 창출	
			미래/글로벌 대응	

6	기계학습을 이용한 다이오드 부품의 단종 시기 예측 알고리즘	기업현안 해결	산업계의 모든 생산라인에서는 기존보다 성능이 향상되거나 가격면에서 경쟁력이 있는 제품이 만들려고 하고 이는 제품의 단종으로 이어지는데 기계학습을 이용하여 제품의 단종 시기를 예측하는 알고리즘을 개발하였음. 본 알고리즘을 통하여 단종이 예상되는 제품을 이용하는 회사의 생산 손실을 감소시키고 나아가 긍정적인 고객 만족을 유도할 수 있음.	
		미래/글로벌 대응		
7	메타물질 디자인을 위한 이론적 모델과 수치계산법 개발	거버넌스 구축	신소재과학의 새로운 패러다임으로 불리는 메타물질을 위해 수학적으로 엄밀한 reduced order model을 개발하였다. 구체적으로 Honeycomb structure의 Dirac cone 스펙트럼과 위상적(topological) 상태등의 다양한 메타물성을 다루었으며, 이를 위해 포텐셜이론 기반 방법을 사용하였다. 이 모델들을 활용하면, 메타물질의 역디자인 최적화 과정에 필요한 수치계산량을 획기적으로 줄일 수 있다.	
		미래/글로벌 대응		
8	3차원 의류생성 및 아바타착장 생성인공지능 알고리즘 구현 및 적용	기업현안 해결	2차원 아바타 착의 이미지 셋을 학습하여, 2차원 옷 이미지를 입력으로 삼아, 3차원 아바타에 옷을 입히고, 착의된 아바타를 회전시킬 수 있는 3차원 이미지 생성기술을 연구개발했음. (쥬스타일봇의 기술적 현안을 해결해주고, 메타버스 등 미래이슈 개척을 위한 교두보를 마련하였으며, 회사의 기술인력들에게 필요한 기술교육도 진행하였음.	
		인력 재교육		
9	다중 관측소 지진데이터를 사용한 데이터과학 지진정보생성기법 구현	거버넌스 구축	한반도 지진 관측망에서 수집된 다중관측소 지진파형을 사용하여, 데이터과학 기반 지진정보생성기법을 고도화할 수 있는 메타기법을 연구했음. 기상청 지진정보과에서 인공지능 기법 도입에 대한 기본 거버넌스 피드백과, 미래기술 도입시 고려할 점들에 대해서도 대응방안을 함께 논의함.	
		미래/글로벌 대응		
총 환산 참여교수 수		17	제출요구량	4~9

연번	교육연구팀 참여교수의 산업·사회 문제 해결 기여 실적 설명
1	<p>사회적 활동이 매우 활발한 개체가 포함된 감염 확산 모형의 확률적 모델링 및 분석</p> <p>개체들 간의 접촉으로 인해 감염병이 확산되는 상황에서 사회적 활동이 매우 큰 소수의 개체들은 감염 확산에 미치는 영향이 심각하게 클 수 있다. 본 연구에서는 감염 확산이 일어나는 집단에서 일상적인 사회적 활동을 하는 일반 개체와 매우 활발한 사회적 활동을 하는 소수의 특이 개체가 공존할 때 감염 확산에 대한 수리분석을 수행하였다. 감염 확산의 확률적인 행태를 분석하기 위해 감염 확산의 기본 모형 중 하나인 SIS 모형을 기반으로 하여 일반 개체와 특이 개체의 감염 개체 수를 표현할 수 있도록 이차원 연속시간 마코프 과정을 이용한 감염 확산의 확률적 모델을 개발하였다. 시점 t에서 감염된 상태의 일반 개체 수를 $I_1(t)$, 감염된 상태의 특이 개체 수를 $I_2(t)$라 하면 $(I_1(t), I_2(t))$는 유사출생사망 과정(Quasi-birth-and-death process)이 된다. 구조화된 마코프 과정의 확률적 분석 도구인 행렬 해석 방법을 이용하여 집단에서 감염병이 사라질 때까지 소요되는 시간의 분포, 개인별 감염 지속 시간 분포, 재감염 횟수의 분포 등을 계산하고 사회적 활동이 매우 큰 특이 개체가 집단의 감염 확산에 미치는 영향을 조사하였다.</p> <p>일반 개체 감염자 n 명과 특이 개체 감염자 i명인 상태에서부터 집단에서 감염병이 사라질 때까지 걸리는 시간 D의 분포의 라플라스-스틸저스 변환은</p> $h_{n,i}(s) = E[e^{-sD} (I_1(0), I_2(0)) = (n, i)]$ <p>에 의해 정의된다. 마코프 과정의 전이 구조를 분석하여 행렬해석 방법에 의해 변환 $h_{n,i}(s)$를 구할 수 있다. 감염병이 사라질 때까지 걸리는 시간의 분포는 라플라스-스틸저스 변환 $h_{n,i}(s)$의 수치 역변환으로 구하게 된다. $N_1(t)$를 t 시점까지 특정 일반 개체가 감염 및 재감염을 하게 되는 횟수라 하면 집단에서 감염병이 사라질 때까지 하나의 일반 개체가 겪는 감염의 횟수 분포는 $N_1(D)$가 된다. 집단에 n 명의 일반 개체 감염자와 i 명의 특이 개체 감염자가 있을 때 감염되지 않은 일반 개체 감염자와 감염된 일반 개체 감염자가 겪게 되는 감염 횟수의 확률 생성함수는 각각</p> $\phi_{n,i}^{1,S}(z) = E[z^{N_1(D)} (I_1(0), I_2(0), \xi_1(0)) = (n, i, S)]$ $\phi_{n,i}^{1,I}(z) = E[z^{N_1(D)} (I_1(0), I_2(0), \xi_1(0)) = (n, i, I)]$ <p>에 의해 정의된다. 이 변환식들은 행렬해석 방법에 의해 구해질 수 있다. 변환식의 수치 역변환에 의해 감염되지 않은 일반 개체 감염자와 감염된 일반 개체 감염자가 겪게 되는 감염 횟수의 분포가 구해진다. 감염되지 않은 일반 개체 감염자와 감염된 일반 개체 감염자가 겪게 되는 감염 횟수의 분포도 변환식 유도과 변환식의 수치역변환을 통해 구해진다. 감염 확산의 확률 모형 분석으로부터 얻을 수 있는 수치 결과에 의하면 사회적 활동이 큰 특이 개체들은 이들의 수가 아주 적더라도 이들이 집단의 감염에 미치는 영향이 무시할 수 없게 커질 수 있음을 알 수 있다.</p>

콘테스트에서 참가자 수의 공개 전략과 비공개 전략의 비교 분석

상대방을 알지 못하고 경쟁하는 상황은 실제로 일어나는 경쟁에서 자주 발생하게 된다. 지원자가 누구인지 모르는 상황에서, 더 나아가 지원자의 수가 몇 명인지도 모르는 상황에서 누구와 경쟁하는지 모르면서 면접을 보기도 하고, 경쟁자의 정보가 부족한 상황에서 회사가 R&D 경쟁을 하게 되기도 한다. 이러한 환경에서 경쟁자들은 주어진 불완전한 정보를 바탕으로 상대방의 능력과 행동을 예상하며 최적의 행동을 선택하게 된다.

본 연구에서는 경쟁자 수를 공개적으로 알 수 없는 상황에서 콘테스트에서 발생하게 되는 정보 공개 문제를 분석하였다. 노벨 경제학상 수상자인 로저 마이어슨의 교수의 환경등가원칙을 적용하여 콘테스트 관계자들은 경쟁자 수에 대한 불완전한 정보를 갖게 된다. 본 연구에서 다루는 콘테스트는 전형적인 표준전액지불 경매 방식을 이용하여 기술된다. 경매 참가자 수에 대해 완전 무작위 환경을 가정하여 경매 참가자 수가 확률적으로 결정되며 평균이 λ 인 포아송 분포를 따른다고 가정하였다. 콘테스트 운영자는 경매 참가자 수를 알 수 있지만 콘테스트 운영자가 참가자 수에 정보를 주지 않으면 참가자들은 표준전액지불 경매에 얼마나 많은 경쟁자들이 있는지 알지 못한다. 경쟁자 수에 대한 정보가 주어지지 않을 때는 참가자들은 환경등가원칙을 적용하여 자신을 제외한 경매 경쟁자 수가 n 일 확률을

$$p(n|\lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^n}{n!}$$

로 알아낼 수 있다. 참가자가 n 명이고 참가자들이 각각 b_1, \dots, b_n 의 입찰가격을 제시하면 참가자 i 의 이익은 최종 승자가 되면 $v_i - b_i$ 이며 그렇지 않으면 $-b_i$ 가 된다.

콘테스트 관리자가 수익의 극대화에 관심이 있다면 경쟁자 수에 대한 정보를 콘테스트 참가자들에게 공개할지 여부는 전혀 중요한 문제가 되지 않는다는 것을 보였다. 즉, 경쟁자 수를 참가자들에게 공개하는 경우와 공개하지 않는 경우에도 두 콘테스트 운영자의 수익은 같게 된다는 결과를 도출하였다.

반면 면접을 통해 직원을 채용하는 경우와 같이 최종 승자의 노력을 극대화 하는 문제라면 경쟁자 수에 대한 정보 공개 여부는 콘테스트 관리자의 만족도에 대한 결과를 완전히 다르게 할 수 있다. 본 연구에서는 마이어슨의 환경등가원칙과 베이시안 분석을 통해 콘테스트 관리자의 만족도 측면에서 콘테스트 관리자가 참가자에게 경쟁자 수를 공개하는 경우와 그렇지 않는 경우를 비교 분석하였다. 본 연구의 결과에 의하면 최종 승자의 노력을 극대화 하는 문제에서는 콘테스트 참가자 수의 기댓값이 클 때에는 참가자들에게 경쟁자의 수를 공개하는 정책이 우세하고, 콘테스트 참가자 수의 기댓값이 작을 때에는 참가자들에게 경쟁자의 수를 공개하지 않는 정책이 우세하게 된다.

암 치료를 위한 후생유전학적 의료 데이터 분석 방법 개발

후생유전학 (또는 후성유전학)은 DNA 염기서열 변화없이 이루어지는 유전자의 발현 상태를 주로 연구하는 유전학의 한 분야이다. 유전이 되는 상황보다는 외부 환경요인으로 인해 변화하는 세포의 잠재성 및 다양한 생리학적 특성을 주로 연구한다. 후성유전적 변형에 의한 유전자 발현 변화가 각종 암 유발과 관련있다고 알려지고 있고, 이를 암의 진단과 임상 치료에 이용하기 위해 각종 후성유전적 요소들을 암의 종류에 따라 적절하게 활용하는 기술이 개발되고 있다.

항 PD-1 면역항암요법은 일부 암 환자에서 큰 부작용 없이 효과가 지속되는 장점을 보이는 것으로 알려진 요법 중 하나인데, 적용할 수 있는 암의 종류 및 효과, 후성유전적으로 어떤 환자들에게 유의미한 효과가 있는지에 대한 추가 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 일례로 종양 유전체 프로파일링을 통해서 항 PD-1 치료의 임상적 이점이 있는 위암 환자 집단들을 식별하는 것이 일부 가능하다는 것이 알려져 있다. 하지만, 모든 반응을 종양 시퀀싱만으로 설명할 수 있는 것은 아니다.

3

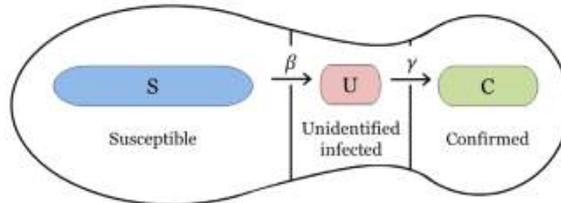
서울대 의대 연구팀과 협업으로 진행한 연구에서 환자의 말초 혈액에서 채취한 CD8+ T 세포의 염색질을 정량적으로 평가하여 항 PD-1 요법에 대한 다른 반응의 원인이 될 만한 후성유전학적 요소를 조사하였다. 특별히, ATAC-seq를 사용하여 항 PD-1 요법에 대한 반응자와 비반응자를 유의하게 구별하는 염색질의 고유한 개방 식별 영역을 확인하였는데, CD8+ T 세포의 염색질 개방성이 높은 위암 환자는 항 PD-1 요법에 대한 반응도가 높게 나타났다. 이러한 결과는 항 PD-1 요법을 위암 환자 치료에 적용하는 등의 임상적 판단에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

이러한 결론을 도출하기 위해, 개방 식별 영역에 대한 방대한 데이터를 수학적으로 정량화하고, 개방성 정도를 서로 비교하기 위한 정규화 기법을 개발하여 이를 실험 결과 분석에 적용하였다. 이러한 데이터 분석 방법 역시 추후 다양한 상황에서 실행하는 ATAC-seq 분석에 적용하여 결과 도출에 큰 도움이 되리라 기대한다.

이 결과는 Nature Communications에 2021년 2월에 실렸다 (Chromatin accessibility of circulating CD8+ T cells predicts treatment response to PD-1 blockade in patients with gastric cancer).

숨은 감염자 수를 예측할 수 있는 신종 감염병 모델링

확진되지 않았으므로 격리되지 않아 감염 가능성이 있는 개체의 수를 예측하는 새로운 감염병 모델을 코로나19에 적용하였다. $S(t)$ 는 감염 가능성이 있는 개체로 감염되지 않았으나 감염자와의 접촉을 통해 감염될 수 있는 개체이다. $U(t)$ 는 감염 사실이 확진되지 않은 개체로 감염되었으나 확진되지 않았으므로 격리(isolation)되지 않아 감염 가능성이 있는 개체에 전염 가능하다. $C(t)$ 는 확진된 개체로 감염되었고 감염 사실이 확진된 개체의 누적치이다. 감염되었다가 회복되거나 사망한 경우도 포함한다. 일단 확진되면 완전히 격리되므로 다른 개체에게 전염시킬 수 없다고 가정한다. β 는 단위 시간당 질병 전염률이고, 전체 인구는 β 의 확률로 동일하게 감염될 수 있다. γ 는 미확진 개체가 확진될 확률이다. 전체 인구 수 N 을 감염 가능성이 있는 개체(susceptible, $S(t)$), 감염되었으나 확진되지 않은 개체(unidentified infected, $U(t)$), 그리고 확진된 개체(confirmed, $C(t))$ 로 분류하고, 세 변수 간의 관계를 통해 다음과 같은 SUC 모델을 고안하였다.



4

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= -\frac{\beta S(t)U(t)}{N}, \\ \frac{dU(t)}{dt} &= \frac{\beta S(t)U(t)}{N} - \gamma U(t), \\ \frac{dC(t)}{dt} &= \gamma U(t). \end{aligned}$$

감염되었으나 확진되지 않은 개체인 U 를 예측하는 것은 감염병 확산의 방지를 위해 시행할 정책의 효과를 판단하는 근거가 될 수 있을 것이다. U 의 변화는 확산의 정도를 예측하는 기준이 되어 정부가 공급해야 할 마스크나 코로나19 진단 키트의 수, 격리 병상의 수, 의료진 등의 적정량을 책정할 수 있을 것이다. 이는 감염병 확산으로 인한 피해 예방에 상당히 중요한 역할을 할 것이다. 주어진 SUC 모델을 수치적 방법을 이용하여 근사치를 구할 수 있다. 먼저 유한차분법을 이용하여 연속된 시간과 공간에 대한 식을 이산화하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} S_{n+1} &= S_n + \Delta t \frac{\beta S_n U_n}{N}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \\ U_{n+1} &= U_n + \Delta t \left(\frac{\beta S_n U_n}{N} - \gamma U_n \right), \quad C_{n+1} = N - S_{n+1} - U_{n+1}. \end{aligned}$$

시간 $t_n = n\Delta t$ 에서 각각의 변수를 $S_n = S(n\Delta t)$, $U_n = U(n\Delta t)$, $C_n = C(n\Delta t)$ 라고 한다. 여기서, 주어지지 않은 데이터 β , γ , U_0 를 구하기 위해 최소제곱법 (least-square method) 개념을 사용할 수 있다. 즉, 최적의 값을 알기 위해 비선형 곡선을 맞추는 MATLAB 내장함수 lsqcurvefit을 사용한다.

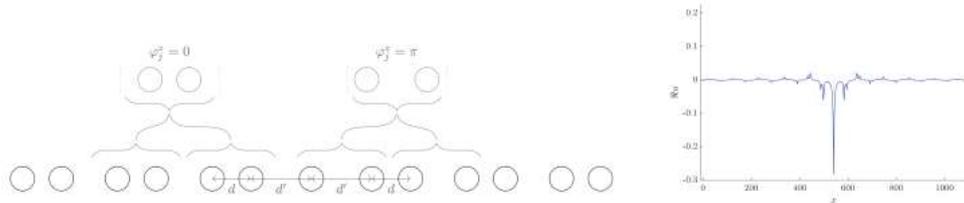
<p>5</p>	<p>Mathematical Data Science 전공 신설 및 운영</p> <p>전 세계적으로 데이터과학 분야에 대한 인력 수요가 급증하고 있고, 수학과 내에서도 많은 학생들이 데이터과학 분야로 진출하고 싶어하며 이 분야에 대한 교육을 원하고 있다. 데이터과학 분야는 수학, 통계, 전산 등 여러 분야가 융합된 분야로 각 분야 나름의 전공 특색을 살려 교육하는 것이 바람직하고 이에 데이터 과학의 중요한 축인 수학과에서 수학지식을 겸비한 딥러닝 및 데이터과학 분야 전문인력에 대한 맞춤형 교육과정을 목표로 Mathematical Data Science (MDS)라는 18개월 석사과정을 2022년에 수학과 안에 신설하여 운영하고 있다.</p> <p>MDS는 기존의 연구중심의 대학원 세부전공과는 다르게 현대 산업사회의 다양한 문제를 해결하기 위해 관련 이론교육과 실습을 중심으로 수학기반의 데이터과학 전문인력을 양성하는 과정으로, 학문적 교육 뿐 아니라 기업 및 연구소에서의 인턴과정과 각종 프로젝트 진행, 그리고 캡스톤 등을 통한 실무 교육까지 데이터 과학과 관련한 다양한 교육 프로그램을 제공하고 있고 이는 산업 및 사회문제 해결로 이어질 것이다.</p> <p>MDS는 현재 3번의 신입생 선발이 있었고, 입학생들은 의류업체, 반도체업체, 전쟁연구소 등에서의 인턴과정을 통해 실제 산업 현장이나 연구소에서 고민하는 문제를 해결하였고, 금융, 국방, 화학, 영상 등 다양한 연구 프로젝트에 참여하여 사회 여러 분야의 문제를 풀어나가고 있다. 현재 첫 번째 입학생들은 전쟁사, 화학 실험, 영상 분야의 실제 문제를 해결하는 캡스톤을 진행하고 있다.</p>
<p>6</p>	<p>기계학습을 이용한 다이오드 부품의 단종 시기 예측 알고리즘 개발</p> <p>산업계의 모든 생산라인에서는 기존보다 성능이 향상되거나 가격에서 경쟁력이 있는 제품을 생산하려고 하고 이는 제품의 단종으로 이어집니다. 하지만 해당 제품을 이용하는 업체에서는 이것이 생산 차질을 초래할 수 있기 때문에 단종이 예상되는 제품에 대한 예측이 관련 업체의 생산 손실 감소, 나아가 긍정적인 고객 만족 등을 유도할 수 있다. 이에 2021년부터 2022년까지 (주) 레오이노비전의 요청을 받아 기계학습을 이용하여 제품의 단종 시기를 예측하는 알고리즘을 개발하였다. 업체에서 제공하는 실제 반도체 데이터를 이용한 딥러닝 알고리즘을 개발하여 여러 부품에 대한 단종 시기를 정확하게 예측할 수 있게 함으로써 업체가 당면한 실제 문제를 해결하는 기회가 되었다.</p> <p>이 연구를 통해 연구 결과는 2편의 SCI급 논문으로 출간되었고 특허 1건을 신청한 상태다. 또한 과제가 끝난 이후에도 업체의 요청에 따라 대학원 석사과정 학생이 인턴과정을 통해 관련 문제에 관한 후속 연구를 진행하였고 이를 통해 산업체의 문제를 해결하는 경험을 하기도 했다.</p>

메타물질 디자인을 위한 이론적 모델과 수치계산법 개발

메타물질이란 자연계에 존재하지 않는 물성을 보여주는 인공적으로 설계된 물질로서, 신소재과학의 새로운 패러다임으로 불리고 있다. 본 실적에서는 메타물질의 디자인을 위해 이론적 모델링 및 효율적인 수치 알고리즘을 개발하였다. 메타물질 분석은 수학적으로 다음과 같은 타원형 편미분연산자의 고유값 문제로 표현된다:

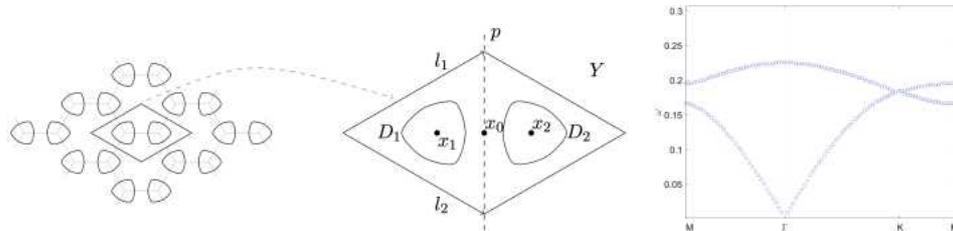
$$\mathcal{L} := -\frac{1}{\delta + (1-\delta)\chi_C} \nabla \cdot \left((\delta + (1-\delta)\chi_C) \nabla \right),$$

여기서 C 는 입자들의 영역을 나타내고 δ 는 입자들의 물성을 결정하는 작은 양수의 파라미터이다. 위 편미분 연산자의 계수가 high-contrast를 갖는 특징 때문에 이론적 분석과 수치적 계산이 어려워지는 문제가 있는데, 포텐셜 이론과 점근적 해석 방법을 활용하여 high-contrast limit 에서도 정확하게 성립하는 reduced order model을 개발하였다. 다양한 물성 중 최근 큰 관심을 받고있는 위상적 경계 상태 (topological edge state)을 고려하였다. 1차원 위상적 메타물질의 경우 입자들의 영역은 다음과 같은 형태를 가진다.



7

이 경우, 중심의 입자 근처에서 국소적으로 공명하는 localized state가 나타나는데, 입자의 구조가 크게 변형되어도 매우 안정적으로 존재할 수 있으며, 이는 그 존재성이 어떤 위상수학적 양에 의해 기인하기 때문이다. 관련된 topological phase transition 이 일어남을 이론적으로 확인하고, localized state의 안정성을 수치적으로 확인하였다. 해당연구는 다음 논문으로 출판되었다. - Journal de Mathématiques Pures et Appliquées, 144 (2020), 17-49. 또한 2차원 위상적 메타물질의 분석을 위해 Honeycomb symmetry를 갖는 입자구조를 고려하고 이때 Dirac cone 형태의 스펙트럼이 나타난다는 것을 엄밀하게 증명하였다.



또한 이와 함께 high frequency homogenization 방법을 개발 및 적용하여 입자구조를 통과하는 파동이 거시적 스케일에서 Dirac 방정식을 만족한다는 것을 엄밀하게 증명하였다. 이는 2차원 위상적 메타물질 이론과 실제 구현 초석이 될 것이다. 이렇게 개발된 reduced order model 들은 실제 신소재 산업에서 메타물질 개발 시 디자인 과정의 복잡도를 획기적으로 줄일 수 있게 한다. 해당 연구는 다음 두 논문으로 출판되었다.

- Archive on Rational Mechanics and Analysis, 238 (2020) 1559-1583

- SIAM Journal on Mathematical Analysis, 52 (2020), no. 6, 5441-5466

8	<p>3차원 의류생성 및 아바타 착장 생성 인공지능 알고리즘 구현 및 적용</p> <p>컴퓨터비전 기술을 사용하여 2차원의 아바타 착의 이미지 셋을 학습하였으며, 학습한 2차원 의류 이미지를 입력으로 사용할 수 있게 하였다. 입력된 2차원 의류 이미지는 3차원 아바타에 옷을 입히게 된다. 착의 된 3차원의 아바타를 회전시킬 수 있게 하기 위해서 3차원 이미지 생성 기술을 개발하였다. (주)스타일봇과 공동 연구로 진행하였고, 3차원 의류 생성 및 아바타 착장 생성 인공지능 알고리즘을 구현하여 (주)스타일봇의 기술적 현안을 해결해주었다. 메타버스 등 미래 이슈 개척을 위한 교두보를 마련하는 계기가 되었다.</p> <p>더 나아가 개발한 3차원 이미지 생성 기술을 단순히 회사에 이전해준 것뿐만 아니라 회사의 기술 인력들이 현업에서 실제로 사용할 수 있도록 필요한 기술교육 등 사후교육도 진행하였다.</p>
9	<p>다중 관측소 지진데이터를 사용한 데이터과학 지진정보생성기법 구현</p> <p>한반도 지진 관측망에서 수집된 다중관측소 지진 파형을 사용하여 지진정보생성에 특화된 인공지능 모델을 설계한다. 한국지진관측소 자료를 제안한 인공지능 모델에 학습시키면서 데이터과학 기반 지진정보생성기법을 고도화할 수 있는 메타기법을 연구한다. 기상청 지진정보과에서 인공지능 기법 도입에 대한 기본 거버넌스 피드백과, 미래기술도입 시 고려할 점들에 대해서도 대응 방안을 꾸준히 논의 중이다.</p> <p>기상청 발주의 연구과제를 진행하면서 만든 인공지능 모델의 효용성을 실제 지진정보생성에 사용할 수 있는지 타당성을 검증하는 단계에 있다.</p>

3. 연구의 국제화 현황

3.1 참여교수의 국제화 현황

① 국제적 학술활동 참여 실적 및 현황

본 교육연구팀 참여교수들은 활발한 국제적 학술활동을 수행하고 있으며 세계적으로도 연구를 인정 받아 국제적 위상을 높이고 있다. 다음은 국제학회 및 학술대회와 국제 학술지 관련 활동 실적이다.

● 국제학회 개최

▶ 1995년부터 2년 또는 3년 마다 개최되는 확률모형에 대한 국제학회인 “The 11th International Conference on Matrix-Analytic Methods in Stochastic Models” 를 2022년 6월 29일 ~ 7월 1일에 개최하였다. 코로나 상황으로 인하여 온라인 학회로 변경하여 개최하였다. MAM은 2년 또는 3년 마다 개최되는 국제학회로서 확률론적 모델에서 행렬 분석 기법의 이론, 알고리즘 및 방법론적 측면과 컴퓨터 과학 및 공학, 전화 통신 및 통신 네트워크, 전기 및 산업 공학, 운용과학, 경영 과학, 재무 및 위험 분석, 생물 통계 및 진화가 포함하는 광범위한 분야에 걸친 수학적 연구의 응용을 연구하는 연구자들을 한자리에 모으는 것을 목표로 하고 있다. 이번 11번째 MAM 국제학회는 본 교육연구팀의 지원을 받아 개최 되었다.



MAM 11
June 29 - July 1, 2022
Virtual Conference

ABOUT CONFERENCE

- MAMI
- Welcome Message
- Committees
- MAMs

Keynote Speakers

PROGRAM

- Technical Program
- MAMI Participants

SUBMISSION

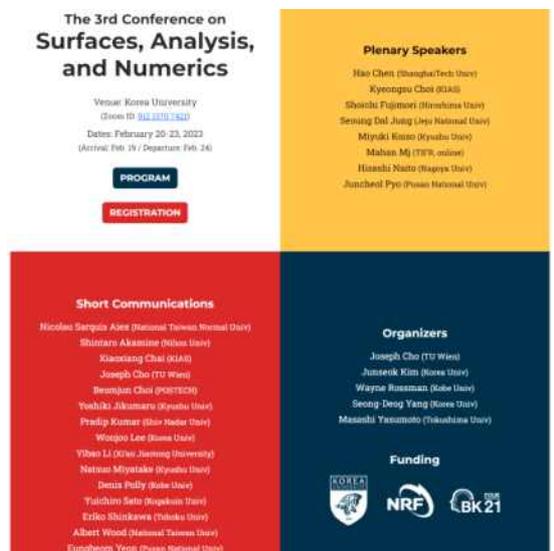
- Conference Topics
- Paper Submissions

Registration

INFORMATION

Co-Organized by 고려대학교 KOREA UNIVERSITY 서울시립대학교 UNIVERSITY OF SEOUL NSRI 서울시립대학교 연구처·산학협력단 BK21

▶ 국제학회 “The 3rd Conference on Surfaces, Analysis, and Numerics” 는 표면이론, 기하해석, 이산미분기하학, 수치해석 등 다양한 미분기하학 분야를 다루는 학회로써 한국에서 2023년 2월 20일 ~ 2023년 2월 23일에 개최하였다. CoSAN은 중국의 ShanghaiTech 대학, Xi'an Jiaotong 대학, 일본의 Hiroshima 대학, Kyushu 대학, Nagoya 대학, Nihon 대학, Kobe 대학, Kogakuin 대학, Tohoku 대학, 인도의 Tata 기초 연구소, Shiv Nadar 대학, 대만의 National Taiwan 사범 대학, National Taiwan 대학, 오스트리아의 TU Wien 등 많은 외국 대학에서 참여하여 다



The 3rd Conference on Surfaces, Analysis, and Numerics

Venue: Korea University
Green 19 921,323,7427
Dates: February 20-23, 2023
(Arrival Feb. 19 / Departure Feb. 24)

PROGRAM

REGISTRATION

Plenary Speakers

- Hao Chen (ShanghaiTech Univ)
- Kyeonggu Choi (KIAS)
- Shouchi Fujimori (Hiroshima Univ)
- Sensung Dal Jung (Jeju National Univ)
- Miyuki Kasai (Kyushu Univ)
- Mahua Mj (TIFR, online)
- Hirotoshi Naito (Nagoya Univ)
- Junchul Pyo (Pusan National Univ)

Short Communications

- Nicolau Sampaio Aires (National Taiwan Normal Univ)
- Shuntaro Akasator (Nihon Univ)
- Xiaozhang Chi (KIAS)
- Joseph Choi (TU Wien)
- Beroun Choi (POSTECH)
- Yoshiaki Jikumaru (Kyushu Univ)
- Pradip Kumar (Shiv Nadar Univ)
- Woojoo Lee (Sooon Univ)
- Yibin Li (Dong Joong University)
- Natsuo Miyatake (Kyushu Univ)
- Denis Polub (Sooon Univ)
- Tatsumi Sato (Kogakuin Univ)
- Eiichiro Shinkawa (Tohoku Univ)
- Albert Wood (National Taiwan Univ)
- Eunghyun Yeon (Pusan National Univ)

Organizers

- Joseph Cho (TU Wien)
- Junseok Kim (Sooon Univ)
- Wayne Rasmussen (Sooon Univ)
- Seung Deog Yang (Sooon Univ)
- Masahito Yasumoto (Tohoku Univ)

Funding

KOREA NRF BK21

양한 아이디어를 교환하며 연구 결과를 발표하였으며 전 세계의 신진 수학자들을 모으는 것을 목표로 하고 있다. 이번 3번째 CoSAN 국제학회는 본 교육연구팀의 지원을 받아 개최 되었다.

● 국제학회 (발표)

- ▶ 2022년 8월 18일부터 2022년 8월 21일까지 핀란드의 알토 대학교에서 개최된 28th Nordic Congress of Mathematicians에 참가하여 Operator Theory and Analytic Function Spaces 세션에서 다음의 내용으로 “Compact difference of composition operators on the Hardy space” 를 발표하였다. <https://ncm28.math.aalto.fi/>



- ▶ International Conference on Partial Differential Equations Related to Material Science (2021.5.6.-2021.5.9.), <http://bnumath.xg23.osdlwdj.com/conference/> (<http://math.bnu.edu.cn/xzky/230263.htm>)



- ▶ Harmonic Analysis, Stochastics and PDEs in Honour of the 80th Birthday of Nicolai Krylov Edinburgh, (2022.06.20.-2022.06.24.), Lp theory for parabolic equations with local and non-local time derivatives.

Harmonic Analysis, Stochastics and PDEs

20 - 24 Jun 2022

ICMS, Bays Centre, Edinburgh

Scientific Organisers

- Zdzisław Brzezniak, University of York
- Tadahiro Oh, University of Edinburgh
- István Gyöngy, University of Edinburgh
- Dana Pasowicz, Hokkaido University

- ▶ 2022 Fall Southeastern Sectional Meeting (2022.10.15.-2022.10.16., University of Tennessee at Chattanooga, Chattanooga, TN),

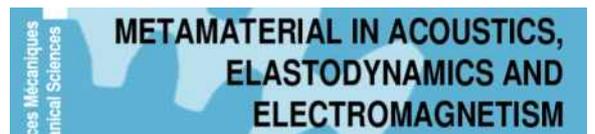


Parabolic equations with unbounded lower-order coefficients in mixed norm Lebesgue spaces, <https://meetings.ams.org/math/fall2022se/meetingapp.cgi/Home/0>

- ▶ International Conference on Partial Differential Equations Related to Material Science (2021.5.6.-2021.5.9., Brown University & Beijing Normal University), Hybridization of singular plasmons via transformation optics, <https://sites.math.rutgers.edu/~yyli/2021-05-09.pdf>



- ▶ Lectures in Advanced Course on Metamaterial in acoustics, elastodynamics and electromagnetism, CISM, Udine, Italy, July 12-16, 2021.



- ▶ Imaging & inverse problems (IMAGINE) One World IMAGINE seminars (2021.5.26. Virtual), Hybridization of singular plasmons via transformation optics



<https://sites.google.com/view/oneworldimagine/3rd-season-jan-june-2021?authuser=0>

- ▶ Series of Lectures on Waves and Imaging (IV) (2021.7.8.-2021.7.9., ETH Zurich, Switzerland), Hybridization of singular plasmons via transformation optics

https://math.ethz.ch/fim/activities/conferences/past-conferences/2021/series_of_lectures_on_waves_and_imaging_4.html



- ▶ CISM Advanced School (2021.7.12.-2021.7.16., Udine, Italy), Metamaterial in Acoustics, Elastodynamics and Electromagnetism



https://www.cism.it/media/filer_public/22/2b/222b14ea-f686-4085-9202-4ccad8157307/poster_giallo_2021_h.pdf

- ▶ SIAM Annual Meeting (2021.7.19.-2021.7.23., Virtual Conference), Hybridization of Singular Plasmons via Transformation Optics



<https://www.siam.org/conferences/cm/conference/an21>

- ▶ 이동현 교수는 2022년 5월 16일부터 2022년 5월 19일까지, 중국 Chengdu에서 열린 26회 Pacific-Asia



Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD2022) 국제학회에 참가했다. PAKDD는 데이터 마이닝 및 지식 발견 분야에서 설립된 지 가장 오래되고 선도적인 국제학회 중 하나이다. 본 국제학회의 V13-Foundation 세션에서 좌장 및 “Online Learning with Refularized Knowledge Gradients” 라는 주제로 발표를 하였다.

<http://www.pakdd.net/>

- ▶ The 8th East Asian Conference In Harmonic Analysis and Applications (2021.8.18.- 2021.8.20, 한중일 국제학회, Nagoya University, Japan), Off-diagonal estimates for the first order commutators in higher dimensions



<https://www.math.nagoya-u.ac.jp/en/research/conference/2021/east-asian-conf.html>

● 국제학회 (좌장)

- ▶ Bernoulli-IMS 10th World Congress in Probability and Statistics (2021.7.19.-2021.7.23.)
- ▶ The 26th Pacific-Asia Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD2022) (2022.5.16.-2022.5.19.)

- ▶ The 3rd Conference on Surfaces, Analysis, and Numerics (2023.2.20.-2023.2.23.)

- 국제 학술지 편집위원

- ▶ Journal of Industrial and Management Optimization (SCIE 저널) (2019.5.1-2021.7.31)
- ▶ Communications in Korean Mathematical Society (SCOPUS 저널) (2019.1.1-현재)
- ▶ Bulletin of the Korean Mathematical Society (SCIE 저널) (-현재)
- ▶ Communications in Korean Mathematical Society (SCOPUS 저널) (-현재)

- 국제 저술 활동

- ▶ Discrete Minimal Nets with Symmetries,
In Minimal Surfaces: Integrable Systems and Visualisation,
Springer Nature, 2021 (ISBN 978-3-030-68540-9)

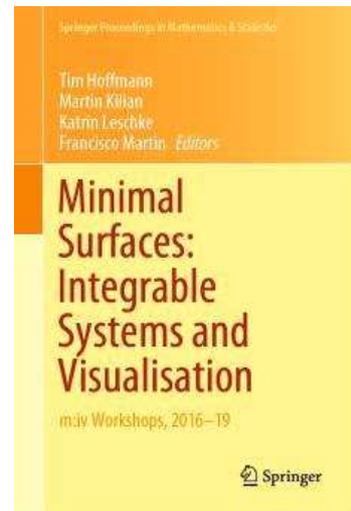
Discrete Minimal Nets with Symmetries



Joseph Cho, Wayne Rossman, and Seong-Deog Yang

Abstract In this paper, we extend the notion of Schwarz reflection principle for smooth minimal surfaces to the discrete analogues for minimal surfaces, and use it to create global examples of discrete minimal nets with high degree of symmetry.

Keywords Discrete minimal nets · Reflection principle



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
	교육연구팀 참여교수	국외 공동연구자			
1				Gu, C., & Koo, H. (2022). Compact difference of composition operators with smooth symbols on the unit ball. <i>Journal of Mathematical Analysis and Applications</i> , 506(1), 125555.	10.1016/j.jmaa.2021.125555
2				Choe, B. R., Koo, H., Smith, W., & Tien, P. T. (2021). Path components of composition operators over the half-plane. <i>Journal of Mathematical Analysis and Applications</i> , 497(2), 124861.	10.1080/17476933.2021.1873960
3				Dong, H., Kim, D., & Phan, T. (2022). Boundary Lebesgue mixed-norm estimates for non-stationary Stokes systems with VMO coefficients. <i>Communications in Partial Differential Equations</i> , 47(8), 1700-1731.	10.1080/03605302.2022.2084627
4				Dong, H., Jung, P. & Kim, D. Boundedness of non-local operators with spatially dependent coefficients and L^p -estimates for non-local equations. <i>Calc. Var.</i> 62, 62 (2023).	10.1007/s00526-022-02392-4
5				Kim, B., Kim, J., & Wang, C. L. (2022). Optimal stochastic control of the intensity of point processes. <i>Operations Research Letters</i> , 50(2), 574-580.	10.1016/j.orl.2022.08.006
6				Kim, Sangjib and Lee, Soo Teck, Hölder dual operators and model algebras for rational representations of the general linear group. <i>J. Algebra</i> 562 (2020), 497-536.	10.1016/j.jalgebra.2020.06.026
7				Choi, C., Kim, S., & Seo, H. (2021). A filtration on the ring of Laurent polynomials and representations of the general linear Lie algebra. <i>Algebra and Discrete Mathematics</i> , 32(1).	10.12958/adm1304

8		Yang, J., Wang, J., Tan, Z., & Kim, J. (2023). Efficient IMEX and consistently energy-stable methods of diffuse-interface models for incompressible three-component flows. <i>Computer Physics Communications</i> , 282, 108558.	10.1016/j.cpc.2022.108558
9		Li, Y., Wang, K., Yu, Q., Xia, Q., & Kim, J. (2022). Unconditionally energy stable schemes for fluid-based topology optimization. <i>Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation</i> , 111, 106433.	10.1016/j.cnsns.2022.106433
10		Fujimori, S., Kawakami, Y., Kokubu, M., Rossmann, W., Umehara, M., Yamada, K., & Yang, S. D. (2022). Analytic extensions of constant mean curvature one geometric catenoids in de Sitter 3-space. <i>Differential Geometry and its Applications</i> , 84, 101924.	10.1016/j.difgeo.2022.101924
11		Kim, H., Mattman, T., & Oh, S. (2022). Bipartite intrinsically knotted graphs with 23 edges. <i>Discrete Mathematics</i> , 345(11), 113022.	10.1016/j.disc.2022.113022
12		Ammari, H., Davies, B., Hiltunen, E. O., Lee, H., & Yu, S. (2021). High-order exceptional points and enhanced sensing in subwavelength resonator arrays. <i>Studies in Applied Mathematics</i> , 146(2), 440–462.	10.1111/sapm.12349

13		Ammari, H., Hiltunen, E. O., & Yu, S. (2021). Subwavelength guided modes for acoustic waves in bubbly crystals with a line defect. Journal of the European Mathematical Society, 24(7), 2279–2313.	10.4171/JEMS/1126
14		Lee, D., Kim, S., Lee, H. G., Kwak, S., Wang, J., & Kim, J. (2022). Classification of ternary data using the ternary Allen–Cahn system for small datasets. AIP Advances, 12(6), 065324.	10.1063/5.0094551
총 환산 참여교수 수		17	제출요구량 4~17

③ 외국 대학 및 연구기관과의 연구자 교류 실적

외국대학 및 연구기관과의 연구자 교류실적으로는 다음과 같이 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 동안 참여교수의 다양한 분야에서의 국제협력 연구결과가 있다.

교수는 교수와 함께 ‘Shape transformation using the modified Allen-Cahn equation’ 를 주제로 Applied Mathematics Letters (2021 JCR 기준 IF 4.294) 저널에 2020년에 게재했다. 이 논문에서 형상 변환을 위한 상태장 모델과 간단한 수치적 방법을 제안했다. 제안된 모델은 2계 비선형 포물선 편미분 방정식인 알렌-칸 방정식을 기반으로 한다. 이 모델을 사용하여 2차원 및 3차원 형상 변형을 수행하며 계산 결과로 제안된 수학적 모델이 형상 변환을 자연스럽게 시뮬레이션함을 보여준다.

교수는 과 함께 ‘Transform approach for discounted aggregate claims in a risk model with descendant claims’ 를 주제로 Annals of Operations Research (2021 JCR 기준 IF 4.820) 저널에 2020년에 게재했다. 이 연구에서는 세 가지 유형의 클레임(ordinary, leading, descendant)이 있는 위험 모델을 고려했고 discounted aggregate claims의 Laplace-Stieltjes 변환에 대한 표현식을 도출했다.

교수는 의 와 함께 ‘Hodge dual operators and model algebras for rational representations of the general linear group’ 를 주제로 Journal of Algebra (2021 JCR 기준 IF 0.908) 저널에 2020년에 게재했다. 이 논문에서 각각의 원소들이 일반 선형 그룹의 환원 불가능한 분수 표현의 다중성 자유 합이 대수군을 구성한다. Hodge 이중 연산자의 속성을 사용하며, 제한에 의해 일반 선형 그룹의 축소 불가능한 유리적 표현 각각에 대한 명시적 근거를 얻었다.

교수는 와 함께 ‘Honeycomb-Lattice Minnaert Bubbles’ 를 주제로 SIAM Journal on Mathematical Analysis (2021 JCR 기준 IF 2.071) 저널에 2020년에 게재했다. 이 논문에서 서브과장 공명기의 별집형 배열을 고려하고 서브과장 척도에서 디랙 분산 원뿔의 존재를 처음으로 입증했다. 이 논문의 결과로 Brioun 구역의 대칭점 K에 가까운 준주기 Minnaert 공명 주파수에 대한 점근식을 도출했고, Dirac 콘의 선형 분산관계를 얻었다.

교수는 와 함께 ‘A High-Frequency Homogenization Approach Near the Dirac Points in Bubbly Honeycomb Crystals’ 를 주제로 Archive for Rational Mechanics and Analysis (2021 JCR 기준 IF 2.530) 저널에 2020년에 게재했다. 이 논문의 목적은 Dirac 포인트 근처에서 Bloch 고유함수가 두 고유모드의 합이라는 것을 증명하는 것이다. 이 논문에서의 결과는 서브과장 메타 물질에서 Bloch 고유 함수의 평면파 엔벨로프에 대한 Dirac 지점 근처에서 거의 0에 가까운 유효 굴절률을 처음으로 입증했다.

교수는 와 함께 “An approach for weighted mixed-norm estimates for parabolic equations with local and non-local time derivatives” 를 주제로 Advances in Mathematics (2021 JCR 기준 IF 1.680) 저널에 2021년에 게재했다. 이 논문에서 계수가 시간 변수에서 단순히 측정할 수 있는 경우 비 발산 형식의 일반 및 시간 분수 포물선 방정식 모두에 대한 가중 혼합 표준 추정 및 풀이 가능성에 대한 통합된 접근 방식을 제공한다. 공간 변수에서 선형 계수는 국부적으

로 작은 평균 진동을 갖는데 이 논문의 결과는 가중치가 없는 혼합되지 않은 L_p -estimates에 대한 이전 결과를 확장했다. 또한, 김도윤 교수는 2022년 1월부터 2023년 1월까지 캐나다 University of British Columbia의 Visiting Professor와 함께 공동연구를 진행하였다.

● **교수는** **와 함께 논문**
'An unconditionally stable scheme for the Allen-Cahn equation with high-order polynomial free energy' 를 국제전문학술지 Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation (2021 JCR 기준 IF 4.190)에 2021년에 게재했다. 본 연구는 고차(4차 이상) 다항식 자유 에너지를 갖는 알렌-칸 방정식에 대한 무조건 안정적인 수치 체계를 개발했다. 2차 연산자 분할 방법과 보간 방법을 사용하고, 크랭크-니콜슨 멀티그리드 방법을 사용하여 확산 방정식을 푼다. 개발된 방법은 무조건적으로 안정적이며 이론적으로 증명되었다. 개발된 방법은 다양한 계면 현상을 모델링하는 것에 유용할 것이다.

● **교수는** **와 함께**
'Topologically protected edge modes in one-dimensional chains of subwavelength resonators' 를 Journal de Mathématiques Pures et Appliquées (2021 JCR 기준 IF 2.280) 저널에 2020년에 게재했다. 이 논문의 목적은 파장 결정의 구성의 불안전성에 대하여 안정성이 있는 설계를 개발함으로써 파장 결정의 개발을 진전시키는 것이다. 먼저 서브 파장 공명 이량체의 무한 사슬을 연구하고 구조물의 파장 전송 특성을 포착하는 위상학적 양을 정의한다. 이를 지침으로 사용하여 임의 결합에 대해 강력한 파장 척도로 파장 위치 지정 특성을 갖는 것으로 나타나는 유한 결정을 설계한다.

● **교수는** **와 함께 논문**
'Path components of composition operators over the half-plane' 를 국제전문학술지 Journal of Mathematical Analysis and Applications (2021 JCR 기준 IF 1.420)에 2021년에 게재했다. 다양한 설정에서 작동하는 합성 연산자의 공간에서 경로 구성 요소의 특성화는 오랫동안 공개된 문제였으나, 최근 Dai는 단위 디스크의 가중치 Hilbert-Bergman 공간에 작용하는 두 합성 연산자가 선형으로 연결될 때의 특성을 얻었다. 이 논문은 고립된 유일한 합성 연산자가 반평면의 자기형성에 의해 유도된다는 것을 보여주고, 선형 분수 자체 지도에 의해 유도된 합성 연산자가 동일한 경로 구성 요소에 속하는 경우를 특성화한다. 위 논문 외에도 구형운 교수는 2022년 12월 4일부터 2022년 12월 19일까지 베트남 하노이 국립대학의 Tien P.T. 교수를 단기 초청하여 공동연구를 진행하였다.

● **교수는 국제교류 공동연구의 결과로서 2021년** ,
과 함께 논문 'High-order exceptional points and enhanced sensing in subwavelength resonator arrays' 를 국제전문학술지 Studies in Applied Mathematics (2021 JCR 기준 IF 2.343)에 게재했다. 이 연구에서는 퇴화가 나타날 수 있는 다양한 구성의 범위를 보여주고 이를 계산하는 효율적인 기술을 제공한다. 퇴화를 나타내는 시스템은 특히 센서 설계에서 강력한 응용 프로그램과 함께 놀라운 특성을 가지고 있다.

● **교수는** **교수와 함께 논문** 'Simple and efficient volume merging method for triply periodic minimal structures' 를 국제전문학술지 Computer Physics Communications (2021 JCR 기준 IF 4.717)에 게재했다. 이 연구에서 다공성과 가공 크기가 서로 다른 삼중 주기 극소 곡면(TPMS) 장치를 단순히 붙이면 불연속 구조가 유도되고 물리적 특성이 파괴될 수 있으므로 삼중 주기 극소 곡면에 대한 간단하고 효율적인 체적 병합 방법을 개발하였다.

- 김준석 교수는 Xi'an Jiaotong University의 Yibao Li, 교수와 함께 'A robust and efficient fingerprint image restoration method based on a phase-field model' 를 Pattern Recognition (2021 JCR 기준 IF 8.518) 저널에 2022년에 게재했다. 이 논문에서는 nonlocal 칸-힐리아드 방정식을 사용하여 효율적인 지문 이미지 복원 알고리즘을 제시한다. 제시하는 알고리즘은 손상된 지문 영역 외부의 영상 정보를 이용하여 손상된 영역의 픽셀 값을 복구한다. 효율적이고 구현이 간단한 Gauss-Seidel 유형의 반복법을 사용하였으며 논문에서 실험을 통해 복원 알고리즘의 우수성을 입증하였다.
- 구형운 교수는 California Polytechnic State University의 Caixing Gu 교수와 함께 'Compact difference of composition operators with smooth symbols on the unit ball' 을 Journal of Mathematical Analysis and Applications (2021 JCR 기준 IF 1.417) 저널에 2022년에 게재하였다. 이 논문에서는 단위 구체에 대한 Hardy 또는 Bergman 공간의 콤팩트 차이의 기능 이론적인 특성을 조사하였다. 두 단일 합성 연산자가 Hardy 또는 Bergman 공간의 단위 구체에서 콤팩트 하기 위한 조건을 찾았다. 이 연구에서 조건이 연산자가 $L^p(B)$ 이기 위한 필요조건임을 보였다. 위 논문은 2021년 6월 1일부터 2021년 7월 21일까지 미국 CalPoly-San Luis Obispo의 Caixing Gu와 방문연구를 진행하여 발표한 공동연구 논문이다.
- 김준석 교수는 Sun Yat-sen University의 Junxiang Yang 박사와 함께 'A conservative Allen-Cahn equation with a curvature-dependent Lagrange multiplier' 를 Applied Mathematics Letters (2021 JCR 기준 IF 4.294) 저널에 2021년에 게재했다. 이 논문에는 곡률 종속 라그랑주 승수를 사용하는 새로운 보존적 알렌-칸(Allen-Cahn) 방정식을 제안한다. 제안된 방정식은 구조 보존이 매우 우수하며 2상 유체 흐름과 같이 보존적 위상장 응용을 모델링하기 위한 기본 구성 방정식으로 활용될 수 있다. 여러 계산 테스트를 통하여 제안된 방정식의 우수한 구조 보존적 성능을 확인하였다.
- 유상현 교수는 ETH Zurich의 Habib Ammari 교수, Imperial College London의 Bryn Davies 교수, Yale University의 Orved Hiltunen 교수와 함께 'Bound states in the continuum and Fano resonances in subwavelength resonator arrays' 을 Journal of Mathematical Physics (2021 JCR 기준 IF 1.520) 저널에 2021년에 게재하였다. 이 논문에서는 하위 파장 공진기 시스템에서 연속체의 경계 상태로 알려진 존재를 증명하기 위해 레이어 전위 기술을 사용하였다. 이를 통해 공진 주파수의 양쪽에 있는 주파수에 대해 전송이 근본적으로 다른 비대칭(Fano-type) 산란 동작을 생성할 수 있다. 점근적 분석을 사용하여 시스템의 산란 행렬을 명시적으로 계산하고, 이 Fano-type 전송 이상을 특성화하였다. 유상현 교수는 2022년 8월 2일부터 2022년 8월 9일까지 스위스 취리히 소재한 ETH Zurich 대학교에 방문하여 위 논문의 공동저자 중 한명인 Habib Ammari 교수와 메타물질에 대하여 학술교류를 진행하였다. 또한, 2023년 1월 17일부터 2023년 1월 26일까지 영국 The University of Edinburgh 대학에 방문하여 Matias Ruiz 박사와 Surface Plasmon에 대하여 학술교류를 하였다.
- 교수는 교수와 함께 'Joint Carleson measure for the difference of composition operators on the polydisks' 을 Complex Variables and Elliptic Equations (2021년 JCR 기준 IF 0.765) 저널에 2022년에 게재하였다. 이 논문에서는 공동 Carleson 측정의 개념을 폴리디스크 설정으로 확장하고 단위 폴리디스크에 대한 가중치 Bergman 공간에서 두 합성 연산자의 차이의 경계의 아날로그 특성화를 얻었다. 또한, boundedness와 compactness가 모두 인덱스 p 에 의존한다는 것을 보여주는 구체적인 예를 보였다. 단위 폴리디스크에 대한 Carleson 측정의 복잡성으로 인해 폴리디스크 설정에 몇 가지 새로운 기술이 필요함을 주장하였다. 또한, 구형운 교수는 2022년 3월부터 2022년 8월까지 미국 UC-Irvine 연구년 방문 교수인 Song-Ying Li 교수와 공동연구를 진행하였다.

4단계 BK21 사업

Ⅲ.1.2.① 참여교수
대표연구업적물의 우수성

대표업적물 : <표3-2> 사업 참여 기간 내 참여교수 대표업적물 실적

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
1					복소/조화해석	저널논문		합성 연산자	Composition operator
							Path components of composition operators over the half-plane	다각적 연결	polygonally coneected
							Journal of Mathematical Analysis and Applications	반평면	Half-plane
							497(2), 124861	선형 연결	Linearly connected
								가중된 버그만 공간	Weighted Bergman space
							20210515		
							10.1016/j.jmaa.2020.124861		
<p>The characterization of path components in the space of composition operators acting in various settings has been a long-standing open problem. Recently Dai has obtained a characterization of when two composition operators acting on the weighted Hilbert-Bergman space on the unit disk are linearly connected, i.e., they are joined by a continuous "line segment" of composition operators induced by convex combinations of the maps inducing the two given composition operators. In this paper we consider composition operators acting on the weighted Bergman spaces over the half-plane.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
2					복소/조화해석	저널논문		합성 연산자	Composition operator
							Compact difference of composition operators with smooth symbols on the unit ball	컴팩트 차분	Compact difference
							Journal of Mathematical Analysis and Applications	하디 공간	Hardy space
							506(1) 125555	가중된 버그만 공간	Weighted Bergman space
								단위 볼	Unit ball
							20220210		
							10.1016/j.jmaa.2021.125555		
<p>A long-standing problem raised by Shapiro and Sundberg in 1990, the characterization for compact differences of composition operators acting on the Hardy space over the unit disk, has been recently obtained in terms of certain Carleson measures. The function theoretic characterization for compact differences still remains open in the Hardy space case even on the unit disc and the situation is much more complicated for the several variables case. We investigate a function theoretic characterization of the compact difference on the Hardy or the Bergman spaces over the unit ball.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
3					확률론/확률과정/확률해석학	저널논문		비선형 확률 편미분 방정식	Nonlinear stochastic partial differential equations
							<small>Boundary behavior and interior Hölder regularity of the solution to nonlinear stochastic partial differential equation driven by space-time white noise</small>	공간-시간 화이트 노이즈	Space-time white noise
							Journal of Differential Equations	경계에서 변화	Boundary behavior
							269(11), 9904-9935	내부 힐더 규칙성	Interior Hölder regularity
							20201015		
							10.1016/j.jde.2020.07.002		
<p>We present unique solvability result in weighted Sobolev spaces given with initial data u_0 and zero boundary condition. Here coefficient λ is same or larger than λ_0 and smaller than $1/2$, B is a space-time white noise, and the coefficients a, b, c and ξ are random functions depending on (t, x). We also obtain various interior Hölder regularities and boundary behaviors of the solution. For instance, if the initial data is in appropriate L_p space, then for any small ϵ larger than 0 and T not infinite, we obtain an almost sure equation about $\rho(x)$, the distance from x to the boundary.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
4					확률론/확률과정/확률해석학	저널논문		공간-시간 논로컬 방정식	Space-time nonlocal equations
							An $L_q(L_p)$ -theory for diffusion equations with space-time nonlocal operators	$L_q(L_p)$ 이론	$L_q(L_p)$ -theory
							Journal of Differential Equations	카푸토 분수계 미분	Caputo fractional derivative
							287, 376-427	인테그로 미분 연산자	Integro-differential operator
							20210625		
							10.1016/jjde.2021.04.003		
<p>The main purpose is to present a Sobolev-regularity theory of the space-time fractional equation, which has Caputo fractional derivative of order α and Bernstein function. We prove uniqueness and existence results in Sobolev spaces, and obtain maximal regularity results of the solution. Our approach is based on BMO estimate for $p = q$ and vector-valued Calderon-Zygmund theorem for $p \neq q$. The Littlewood-Paley theory is also used to treat the non-zero initial data problem.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
5					편미분방정식	저널논문		포물선 방정식	Parabolic equation
							An approach for weighted mixed-norm estimates for parabolic equations with local and non-local time derivatives	시간 분수계 미분	Time fractional derivative
							Advances in Mathematics	평균 진동 추정치	Mean oscillation estimates
							377, 107494	측정 가능 계수	Measurable coefficients
							20210122		
							10.1016/j.aim.2020.107494		
<p>We give a unified approach to weighted mixed-norm estimates and solvability for both the usual and time fractional parabolic equations in nondivergence form when coefficients are merely measurable in the time variable. In the spatial variables, the leading coefficients locally have small mean oscillations. Our results extend the previous result in [5] for unmixed L_p-estimates without weights.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
6					편미분방정식	저널논문		포물선 방정식	Parabolic equations
							Parabolic equations with unbounded lower-order coefficients in Sobolev spaces with mixed norms	비유계 저차 계수	Unbounded lower-order coefficients
							JOURNAL OF EVOLUTION EQUATIONS	소볼레프 공간	Sobolev spaces
							22(1) 1-40	임베딩 정리	Embedding theorem
								라이펜베르그 평면 도메인	Reifenberg flat domains
							20220301		
							10.1007/s00028-022-00761-2		
<p>We prove the $L_{p,q}$-solvability of parabolic equations in divergence form with full lower-order terms. The coefficients and non-homogeneous terms belong to mixed Lebesgue spaces with the lowest integrability conditions. In particular, the coefficients for the lower-order terms are not necessarily bounded. We study both the Dirichlet and conormal derivative boundary value problems on irregular domains. We also prove embedding results for parabolic Sobolev spaces, the proof of which is of independent interest.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
7					수론	저널논문		p진수 다항식	p-adic polynomial
							Minimality of 5-adic polynomial dynamics	p진수 다이나믹 시스템	p-adic dynamical system
							DYNAMICAL SYSTEMS	풀 사이클	full-cycle
							35(4), 584-596	최소 요소	minimal component
								최소 조건	minimality condition
							20201001		
							10.1080/14689367.2020.1748573		
<p>We study the dynamical systems consisting of the set of 5-adic integers Z_5 and polynomial maps from Z_5 into itself. A polynomial map decomposes the set Z_5 into minimal components, which is usually countably infinite. We characterize the polynomials in terms of coefficients which has the only one minimal components, that is, the whole set Z_5 is the minimal component under the polynomials.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
8					큐잉이론/응용 확률	저널논문		강화된 옵션	Powered option
							Computation of powered option prices under a general model for underlying asset dynamics	기하적 레비 모델	Geometric Levy model
							Computation of powered option prices under a general model for underlying asset dynamics	리그미-변환 모델	Rigme-swithcing model
							406, 113999	블랙-숄즈 바시켓모델	Black-Scholes-Vasicek model
								헤스톤의 확률적 휘방성 모델	Heston's stochastic volatility model
							20220501		
							10.1016/j.cam.2021.113999		
<p>We derive the Laplace transforms for the prices and deltas of the powered call and put options, as well as for the price and delta of the capped powered call option under a general framework. These Laplace transforms are expressed in terms of the transform of the underlying asset price at maturity. For any model that can derive the transform of the underlying asset price, we can obtain the Laplace transforms for the prices and deltas of the powered options and the capped powered call option.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
9					큐잉이론/응용 확률	저널논문		마르코프 변조 이중 위험 모델	Markov-modulated dual risk model
							Parisian ruin in a discrete-time Markov-modulated dual risk model	파리 폐허	Parisian ruin
							COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING	폐허 확률	Ruin probability
							169, 108072	불연속 상형 분포	Discrete phase-type distribution
							20220501		
							10.1016/j.cie.2022.108072		
<p>In this paper, we investigate the Parisian ruin problems in a discrete-time Markov-modulated dual risk model, wherein the gain process is governed by the underlying Markov process with a finite state space. By using the strong Markov property of the risk process, we derive recursive expressions for the conditional probability generating functions of the classical ruin time and the Parisian ruin time. From this, we not only obtain the infinite-time ruin probabilities but also compute the finite-time ruin probabilities by using numerical inversion.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
10					군론/환론/표현론/리대수	저널논문		호지 듀얼 연산자	Hodge dual operator
							Hodge dual operators and model algebras for rational representations of the general linear group	히비 콘	Hibi cones
							Journal of Algebra	겔판드-세틀린 패턴	Gelfand-Tsetlin patterns
							562, 497-536	일반 선형 그룹	General linear groups
								선형 표현	Rational representations
							20201115		
							10.1016/j.jalgebra.2020.06.026		
<p>In this paper, we construct a family of algebras each of whose members is a multiplicity free sum of irreducible rational representations of the general linear group $GL_n(\mathbb{C})$. We then use the properties of a generalized version of the Hodge dual operator to determine an explicit basis for each of these algebras, and by restriction, we obtain an explicit basis for each of the irreducible rational representations of $GL_n(\mathbb{C})$. Our results clearly extends classical algebro-combinatorial results on polynomial representations of $GL_n(\mathbb{C})$ to rational representations.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
11					<p>논문/환론/표현론/리대수</p>	<p>저널논문</p>	대표연구업적물 우수성		
								바이오마커, 종양	Biomarkers, Tumor
							Chromatin accessibility of circulating CD8+ T cells predicts treatment response to PD-1 blockade in patients with gastric cancer	염색질	Chromatin
							Nature Communications		
							12(1), 975		
							20210212		
							10.1038/s41467-021-21299-w		
<p>Although tumor genomic profiling has identified small subsets of gastric cancer (GC) patients with clinical benefit from anti-PD-1 treatment, not all responses can be explained by tumor sequencing alone. We investigate epigenetic elements responsible for the differential response to anti-PD-1 therapy by quantitatively assessing the genome-wide chromatin accessibility of circulating CD8+ T cells in patients' peripheral blood. We reveal that epigenetic characteristics of baseline CD8+ T cells can be used to identify metastatic GC patients who may benefit from that therapy.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
12					확률론/확률과정/확률해석학	저널논문	대표연구업적물 우수성		
								최대 규칙성 모멘트 추정	Maximal regularity moment estimate
							An L^p -maximal regularity estimate of moments of solutions to second-order stochastic partial differential equations	마르코프 미분방정식	Stochastic partial differential equations
							Stochastics and Partial Differential Equations: Analysis and Computations	제로 이니셜 변화 방정식	Zero initial evolution equation
							10(1), 278-316		
							20220301		
							10.1007/s40072-021-00201-1		
<p>We obtain uniqueness and existence of a solution u to the second-order stochastic partial differential equation. Moreover, for the solution u, we obtain the following maximal regularity moment estimate. We use classical harmonic analysis tools such as heat kernel estimates, the Hardy-Littlewood maximal theorem, the Fefferman-Stein theorem and the Marcinkiewicz interpolation theorem.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
							대표연구업적물 우수성		
13					확률론/확률과정/확률해석학	저널논문		비로컬 연산자	Nonlocal operators
							A maximal L_p -regularity theory to initial value problems with time measurable nonlocal operators generated by additive processes	확률 과정	Stochastic processes
							Stochastics and Partial Differential Equations: Analysis and Computations	적분미분방정식	Integro-differential equations
							1-64	리틀우드-페이리 이론	Littlewood-Paley theory
								최대 L_p 정규성	Maximal L_p regularity
							202301		
							10.1007/s40072-023-00286-w		
	<p>In this paper, we establish the L_p-solvability to the initial value problem partial derivative u/partial derivative t $(t, x) = AZ(t)u(t, x)$, $u(0, \cdot) = u(0)$, $(t, x) \in (0, T) \times \mathbb{R}^d$, (0.2) where $u(0)$ is contained in a scaled Besov space $B_{p,q}(\gamma-2/q)(\mathbb{R}^d)$ (see Definition 2.8) with a scaling function s, exponent p is an element of $(1, \infty)$, q is an element of $[1, 8)$, and order γ is an element of $[0, \infty)$. We show that equation (0.2) is uniquely solvable and the solution u obtains full-regularity gain from the diffusion generated by a stochastic process Z.</p>								

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
14					수치해석/계산 수학	저널논문	대표연구업적물 우수성		
								3-성분 유체	Three-component fluids
							Efficient IMEX and consistently energy-stable methods of diffuse-interface models for incompressible three-component flows	선형 방법	Linear method
							Computer Physics Communications	에너지 안정성	Energy stability
							282, 108558	이완 기법	Relaxation technique
							20230101		
10.1016/j.cpc.2022.108558									
<p>In this study, we consider the numerical approximation of incompressible three-component fluids, in which the fluid interfaces are captured by ternary Cahn–Hilliard equations and the fluid flows are governed by Navier–Stokes equations. This system includes not only nonlinear effects but also coupling among phase-field variables, velocities, and pressure. The proposed schemes are highly efficient for implementation because only linear elliptic equations need to be solved separately.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
15					수치해석/계산 수학	저널논문	대표연구업적물 우수성		
								Phase-field 모델	Phase field model
							A second-order unconditionally stable method for the anisotropic dendritic crystal growth model with an orientation-field	Crystal 성장 모델	Crystal growth model
							Applied Numerical Mathematics	이방성	Anisotropy
							184, 512-526	무조건적인 에너지 안정성	Unconditionally energy-stable
								Orientalional field 모델	Orientalional field model
							20230201		
							10.1016/j.apnum.2022.11.006		
<p>We develop a linear, unconditionally energy stable computational scheme for solving the dendritic crystal growth model with the orientational field using the phase field model. The model, which couples the heat equation and anisotropic Allen–Cahn type equation, is a complicated nonlinear system. The time integration is based on the second-order Crank–Nicolson method. The anisotropic coefficient is treated by using the invariant energy quadratization. We mathematically prove that the proposed method is unconditionally energy stable.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
16					수치해석/계산 수학	저널논문	대표연구업적물 우수성		
								적응형 데이터 구축	Adaptive data construction
							Stock market prediction based on adaptive training algorithm in machine learning	경험적 검증	Empirical validation
							Quantitative Finance	경제 예측	Financial forecasting
							22(6), 1133-1152	머신 러닝	Machine learning
							20220301		
10.1080/14697688.2022.2041208									
<p>This study deals with one of the most important issues for understanding financial markets, future asset fluctuations. Predicting the direction of asset fluctuations accurately is very difficult due to the uncertainty of the stock market, the influence of various economic indicators, and the sentiment of investors, etc. In this study, we present a new method to improve the effectiveness of machine learning by selecting appropriate training data using an adaptive method.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
17					수치해석/계산 수학	저널논문		기계 학습	Machine learning
							Mean-variance portfolio optimization with stock return prediction using XGboost	평균-분산 모델	Mean-variance model
							Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research	포트폴리오 최적화	Portfolio optimization
							55(4) 5-20	주식 수익률 예측	Stock return prediction
								XG부스트	XGBoost
							20221001		
							10.24818/18423264/55.4.21.01		
<p>Portfolio optimization is one of the most concerning issues in finance and its success relies on accurate prediction of future stock market, which is challenging due to its dynamic, non-stationary, chaotic and noisy nature. This paper studies the performance of a portfolio optimization model when combined with stock return prediction using a machine learning model. In this study, two portfolio optimization algorithms are proposed. The algorithm performs the eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) for stock return forecasting and the meanvariance (MV) model for portfolio selection.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
18					대수기하/가환 환	저널논문		사영 곡선	Projective curve
							On the Rank of Quadratic Equations for Curves of High Degree	균일 아이디얼	homogeneous ideal
							Mediterranean Journal of Mathematics	속성 QR(3)	property QR(3)
							19(6), 244		
							20221015		
							10.1007/s00009-022-02170-8		
<p>Let C is the subset of P^r be a linearly normal curve of arithmetic genus g and degree d. B. Saint-Donat proved that the homogeneous ideal $I(C)$ of C is generated by quadratic equations of rank at most 4 whenever d is bigger than $2g+2$. Also, in Eisenbud et al. (Amer J Math 110: 513–539, 1988) Eisenbud et al. proved that $I(C)$ admits a determinantal presentation if d is bigger than $2g+2$. In this paper, we will show that $I(C)$ can be generated by quadratic equations of rank 3 if either $g=0,1$ and d is bigger than $2g+2$ or else g is bigger than 2 and d is bigger than $2g+2$.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
19					대수기하/가환 환	저널논문	대표연구업적물 우수성		
								낮은 랭크의 이차식들	low rank quadrics
							Rank 3 quadratic generators of Veronese embeddings	베르누이 변수	Veronese variety
							Compositio Mathematica	베르누이 리임베딩	Veronese re-embedding
							157(9), 2001-2025	행렬식 표현	determinantal presentation
								QR(k)의 특성	property QR(k)
							20220301		
							10.1016/j.jsc.2021.08.001		
<p>In this paper, we first prove that if char k not equal 3 then $(P_n, \mathcal{O}(d))$ satisfies property QR(3) for all $n \geq 1$ and $d \geq 2$. We also investigate the asymptotic behavior of property QR(3) for any projective scheme. Specifically, we prove that (i) if X subset of $\mathbb{P}^n(X, L)$ is m-regular then $(X, L(d))$ satisfies property QR(3) for all $d \geq m$, and (ii) if A is an ample line bundle on X then $(X, A(d))$ satisfies property QR(3) for all sufficiently large even numbers d. These results provide affirmative evidence for the expectation that property QR(3) holds for all sufficiently ample line bundles on X.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
20					미분/일반기하	저널논문		컴팩트 최소 곡면	compact minimal surfaces
							Addendum to the paper: Compact embedded minimal surfaces in the Berger sphere	베르거 구	Berger sphere
							Comptes Rendus. Mathematique	나선형 Karcher-Scherk surfaces	the helicoidal Karcher-Scherk surfaces
							361(G1), 257-264		
							202301		
							10.5802/crmath.403		
<p>We construct a two discrete parameter family of compact minimal surfaces embedded in the Berger sphere which may be considered as the analogue of the helicoidal Karcher-Scherk surfaces.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
21					미분/일반기하	저널논문	대표연구업적물 우수성		
								3차원 등방성 공간	Isotropic three-space
							Zero mean curvature surfaces in isotropic three-space	제로 평균 곡률	zero mean curvature
							Bulletin of the Korean Mathematical Society	와이어스트라스 표현 공식	Weierstrass representation formula
							58(1), 1-20		
							20210131		
							10.4134/BKMS.b190783		
We examine the theory of surfaces in the isotropic three-space, with emphases on the surfaces related to the zero mean curvature.									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
22					고전/비선형해 석	저널논문		다중선형 연산자	Multilinear operatorsa
							Off-diagonal estimates for the first order commutators in higher dimensions	교환자	Commutators
							Journal of Functional Analysis	다선형 특이 적분 연산자	Multilinear singular integral operators
							279(7), 108652		
							2/2		
							20201015		
							10.1016/j.jfa.2020.108652		
<p>We study natural generalizations of the first order Calderon commutator in higher dimensions $d \geq 2$. We study the bilinear operator T. Our results are obtained under two different conditions of the multiplier m. When $K \in S \cap L^1(\mathbb{R}^d \setminus \{0\})$ is a regular Calderon-Zygmund convolution kernel of regularity $0 < \delta \leq 1$, T_K maps $L^p(\mathbb{R}^d) \times L^q(\mathbb{R}^d)$ into $L^r(\mathbb{R}^d)$ for all $1 < p, q \leq \infty, 1/r = 1/p + 1/q$ as long as $r > d/(d+1)$. When the multiplier $m \in C^{(d+1)}(\mathbb{R}^d \setminus \{0\})$ satisfies the Hormander derivative conditions, T maps $L^p(\mathbb{R}^d) \times L^q(\mathbb{R}^d)$ into $L^r(\mathbb{R}^d)$ for all $1 < p, q \leq \infty, 1/r = 1/p + 1/q$ as long as $r > d/(d+1)$.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
							대표연구업적물 우수성		
23					고전/비선형해 석	저널논문		다중선형 추리에 곱연산자	MULTILINEAR FOURIER MULTIPLIERS
							The Hörmander multiplier theorem for n-linear operators	최소 소보레프 규칙성	MINIMAL SOBOLEV REGULARITY
							Mathematische Annalen		
							381(1-2), 499-555		
							2/2		
							20210325		
							10.1007/s00208-021-02162-1		
<p>We study the Hörmander multiplier theorem for multilinear operators. We generalize the result of Tomita (J Funct Anal 259(8):2028–2044, 2010) to wider target spaces and extend that of Grafakos and Van Nguyen (Monatsh Math 190(4):735–753, 2019) to multilinear operators. We indeed give two different proofs: The proof is based on the results of Grafakos et al. (Can J Math 65(2):299–330, 2013; II J Math Soc Jpn 69(2):529–562, 2017), Grafakos and Van Nguyen (Colloq Math 144(1):1–30, 2016; Monatsh Math 190(4):735–753, 2019), Miyachi and Tomita (Rev Mat Iberoam 29(2):495–530, 2013).</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
24					기하위상수학 /미분위상수학	저널논문	대표연구업적물 우수성		
								브루니안	Brunnian
							Lattice conformation of theta-curves accompanied with Brunnian property	래티스 막대기 수	lattice stick number
							Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	래티스 막대기 수세타 곡선	theta-curve
							55(43) 435207	점들	KNOTS
							2021028		
10.1088/1751-8121/ac845a									
<p>A Brunnian theta-curve is a nontrivial theta-curve with the property that if we remove any one among three edges, then the remaining knot can be laid in the plane without crossings. We focus on the rigidity of polymer chains with the Brunnian theta-curve shape by using the lattice stick number which is the minimal number of sticks glued end-to-end that are necessary to construct the theta-curve in the cubic lattice. We improve the lower bound of the lattice stick number for Brunnian theta-curves to 16.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
25					기하위상수학 /미분위상수학	저널논문		브루니안	Brunnian
							Topological aspects of theta-curves in cubic lattice	세타 곡선	theta-curve
							Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical	래티스 막대기 수	lattice stick number
							54(45) 455204	점들	KNOTS
							20211112		
							10.1088/1751-8121/ac2ae9		
<p>Knots and embedded graphs are useful models for simulating polymer chains. A Brunnian theta-curve is a nontrivial theta-curve that becomes a trivial knot if any one edge is removed. In this paper we obtain qualitative results of these theta-curves, using the lattice stick number which is the minimal number of sticks glued end-to-end that are necessary to construct the theta-curve type in the cubic lattice. We present lower bounds of the lattice stick number for nontrivial theta-curves by 14, and Brunnian theta-curves by 15.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
26					편미분방정식	저널논문		어쿠스틱 파동	Acoustic-waves
							A High-Frequency Homogenization Approach Near the Dirac Points in Bubbly Honeycomb Crystals	인덱스	Index
							Archive for Rational Mechanics and Analysis		
							128(3), 1559-1583		
							20201201		
							10.1007/s00205-020-01572-w		
<p>The aim of this paper is to prove that, near the Dirac points, the Bloch eigenfunctions is the sum of two eigenmodes. Each eigenmode can be decomposed into two components: one which is slowly varying and satisfies a homogenized equation, while the other is periodic across each elementary crystal cell and is highly oscillating. Our results in this paper prove for the first time a near-zero effective refractive index near the Dirac points for the plane-wave envelopes of the Bloch eigenfunctions in a sub-wavelength metamaterial. They are illustrated by a variety of numerical examples.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
27					편미분방정식	저널논문		거품	bubble
							Subwavelength guided modes for acoustic waves in bubbly crystals with a line defect	아파장 공명	subwavelength resonanace
							Journal of the European Mathematical Society	아파장 포노닉 크리스탈	subwavelength phononic crystal
							24(7), 1435-9855	아파장 도파관	subwavelength waveguide
								라인 결함	line defect
							20220810		
							10.4171/JEMS/1126		
<p>The recent development of subwavelength photonic and phononic crystals shows the possibility of controlling wave propagation at deep subwavelength scales. Subwavelength bandgap phononic crystals are typically created using a periodic arrangement of subwavelength resonators. In this work, a waveguide is created by modifying the sizes of the bubbles along a line in a dilute two-dimensional bubbly crystal, thereby creating a line defect. We prove that the line defect indeed acts as a waveguide; waves of certain frequencies will be localized to, and guided along, the line defect.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
28					인공지능/기계 학습	저널논문		다중 분리	Multi-classification
							Classification of ternary data using the ternary Allen-Cahn system for small datasets		
							AIP Advances		
							12(6), 065324		
							20220601		
							10.1063/5.0094551		
<p>We present a classification method for ternary small data using the modified ternary Allen–Cahn (tAC) system. The governing system is the tAC equation with the fidelity term, which keeps the solution as close as possible to the given data. To solve the tAC system with the fidelity term, we apply an operator splitting method and an implicit-explicit finite difference method. We perform the comparison tests with other widely used classifiers such as logistic regression, decision tree, support vector machine, random forest, and artificial neural network for small datasets.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
							대표연구업적물 우수성		
					수론	저널논문		모듈형식	Modular forms
							Density of modular forms with transcendental zeros	큰수	Transcendental zeros
							Journal of Mathematical Analysis and Applications	밀도	Density
							500(2), 125141		
							20210815		
							10.1016/j.jmaa.2021.125141		
29	<p>In this paper, we prove that if we let $M-Z = (U_k = 0M_k, Z) - M\text{-infinity}(SL_2(Z))$ (resp. $M-Z(\text{tran}) = (U_k = 0M_k, Z_{\text{tran}}) - M\text{-infinity}(SL_2(Z))$) and ϕ is a monotone increasing function on \mathbb{R}^+ such that $\phi(x + 1) - \phi(x) \geq Cx^2$ for some positive number C, then we prove $\lim_{X \rightarrow \infty} \frac{\#\{f \text{ is an element of } M-Z(\text{tran}) : \omega(f) + \phi(k(f)) \leq X\}}{\#\{f \text{ is an element of } M-Z : \omega(f) + \phi(k(f)) \leq X\}} = 1$.</p>								

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
							대표연구업적물 우수성		
30					수론	저널논문		모듈러 L함수의 중앙값	central values of modular L-functions
							The algebraic parts of the central values of quadratic twists of modular L-functions modulo ℓ	모드 l 모듈러 형식	Mod l modular forms
							Research in the Mathematical Sciences	시무라 일치	shimura correspondece
							9(4)	갈로아	Galois
							20221102		
							10.1007/s40687-022-00361-z		
<p>We prove that for each sign ϵ, if W^ϵ_l is a non-empty finite set, then $W^\epsilon_l \in \{1, (-1)^{\lfloor (l-1)/2 \rfloor}\}$. We prove that if ϵ is the sign of $(-1)^k$, then $k \geq l-1$ or $k = (l-1)/2$. These are applied to obtain a lower bound for $\#\{D \in W^\epsilon_l : D \leq X\}$ and the indivisibility of the order of the Shafarevich–Tate group of an elliptic curve over \mathbb{Q}. We refine Waldspurger’s formula on the Shimura correspondence for general odd levels N and study mod l modular forms of half-integral weight with few non-vanishing coefficients.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
31					복소/조화해석	저널논문		다중선형 추리에 곱연산자	MULTILINEAR FOURIER MULTIPLIERS
							The Hormander multiplier theorem for n-linear operators	최소 소보레프 규칙성	MINIMAL SOBOLEV REGULARITY
							MATHEMATISCHE ANNALEN		
							381, 1-2		
							2/2		
							20210301		
							10.1007/s00208-021-02162-1		
<p>We study the Hörmander multiplier theorem for multilinear operators. We generalize the result of Tomita (J Funct Anal 259(8):2028–2044, 2010) to wider target spaces and extend that of Grafakos and Van Nguyen (Monatsh Math 190(4):735–753, 2019) to multilinear operators. We indeed give two different proofs: The proof is based on the results of Grafakos et al. (Can J Math 65(2):299–330, 2013; II J Math Soc Jpn 69(2):529–562, 2017), Grafakos and Van Nguyen (Colloq Math 144(1):1–30, 2016; Monatsh Math 190(4):735–753, 2019), Miyachi and Tomita (Rev Mat Iberoam 29(2):495–530, 2013).</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	대표연구 업적물 분야	실적 구분	대표연구업적물 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
대표연구업적물 우수성									
32					복소/조화해석	저널논문		정류자	Commutators
							Off-diagonal estimates for the first order commutators in higher dimensions	다선형 연산자	Multilinear operators
							Journal of Functional Analysis	다선형 단일 적분 연산자	Multilinear singular integral operators
							279(7) 108652		
							2/2		
							20201015		
							10.1007/s00208-021-02162-1		
<p>We study natural generalizations of the first order Calderon commutator in higher dimensions $d \geq 2$. We study the bilinear operator T. Our results are obtained under two different conditions of the multiplier m. When $K \in S \cap L^1(\mathbb{R}^d \setminus \{0\})$ is a regular Calderon-Zygmund convolution kernel of regularity $0 < \delta \leq 1$, T_K maps $L^p(\mathbb{R}^d) \times L^q(\mathbb{R}^d)$ into $L^r(\mathbb{R}^d)$ for all $1 < p, q \leq \infty, 1/r = 1/p + 1/q$ as long as $r > d/(d+1)$. When the multiplier $m \in C^{(d+1)}(\mathbb{R}^d \setminus \{0\})$ satisfies the Hormander derivative conditions, T maps $L^p(\mathbb{R}^d) \times L^q(\mathbb{R}^d)$ into $L^r(\mathbb{R}^d)$ for all $1 < p, q \leq \infty, 1/r = 1/p + 1/q$ as long as $r > d/(d+1)$.</p>									

4단계 BK21 사업

Ⅲ.1.2.② 참여교수
저서, 특허, 기술이전, 창업 등
실적의 우수성

기타업적물 : <표3-3> 평가 대상 기간 동안의 참여교수 저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
1					군론/환론/표현론/리대수	저서		현대대수학	Abstract Algebra
							다항식과 변환군	불변량 이론	invariant theory
								대수곡선	algebraic curve
							9791196945510	다항식	polynomial
							2022. 05. 01	변환군	transformation group
<p>다항식과 변환군 (김상집/제이앤씨(J&C)/2022.5.1)</p> <p>이 책은 학부 및 대학원 대수학에서 거의 다루고 있지는 않으나, 현대 대수학의 흐름을 이끈 중요한 주제였던 불변량 이론, 2-4차 방정식 해법, 대수곡선 등의 내용을 다루고 있다. 이러한 내용들에는 다항식, 방정식, 그리고 이들의 변환에 사용되는 행렬군이 공통된 주제로 자리잡고 있다. 현재 커리큘럼에서는 정식 교재 외에 추가적인 부교재로 사용되기에 적합한 책이다. 특히 고차 다항 방정식의 해법, 선형변환과 동치관계 등을 이용한 이차 대수곡선의 분류 등을 통해 대수학이 현재의 모습을 갖춰가는 모습을 학생들이 쉽게 이해할 수 있도록 하였다. 실제 학과 학부 수학 동아리에서 이 책을 기반으로 세미나를 진행하여 좋은 호응을 얻었으며, 대학원 대수학 수강생들도 교과서와 함께 이 책을 보조로 읽으며 대수학의 전체적인 발전상과 흐름을 이해하는데 도움을 받았다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
2					수치해석/계산 수학	특허		훼손된 지문	damaged fingerprint
							훼손된 지문 복원 방법, 이를 수행하기 위한 기록 매체 및 장치	지문 복원	fingerprint restoration
							KOREA		
							10-2396516		
							2022. 05. 06		
<p>등록한 특허인 '훼손된 지문 복원 방법'에 대한 자세한 내용은 다음과 같다. 2022년 5월 '훼손된 지문 복원 방법'의 특허가 등록되었다. 본 발명에 따른 지문 복원 장치에 의한 지문 복원 방법은, 훼손된 지문 이미지를 입력하는 단계; 상기 훼손된 지문 이미지 상에서 복구 대상 영역을 선택하는 단계; 및 선택된 영역의 지문을 복원 수리 모델에 기초하여 복원하는 단계를 포함한다. 이에 의해, 융선이 마모 또는 훼손된 상태로 지문이 채취되더라도 마모 및 훼손된 부분의 지문을 복원하는 것은 물론, 지문의 복원 시 별도의 빅데이터를 사용하거나 데이터를 추출하는 방식이 아닌, 선택된 부분을 오직 수리적 알고리즘만을 이용해 훼손된 지문을 복원할 수 있다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드		
		시작일	종료일					한글	영문	
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성										
3					미분/일반기하	저서		미분기하	differential geometry	
							양성덕의 미분기하강의 2편	공간 곡률	curvature of space	
							9791125103592			
							2022. 07. 20.			
<p>이 책은 대학원 고학년을 위한 미분기하 교재다. 곡면의 내재적 미분기하학을 아주 충실히 익힌 학생을 위한 교재로써 주목표는 공간 곡률 계산법을 전달하는 데에 있다. 그 방법에는 크게 두 가지가 있는데 역사적으로 먼저 발견된 카르탕의 미분형식을 이용한 계산법과 역사적으로는 나중에 발견되었지만, 매우 일반적으로 확장되며 널리 쓰이는 접속을 이용한 방법이다. 이 책은 그 둘을 각각 소개함과 동시에 그 둘이 왜 같은 결과를 주는 가를 다루고 있다. 후반부에는 4차원 시공간 다양체의 곡률 계산을 다루어 일반 상대론에 어떻게 쓰이는가를 보였으며 부록으로 리만이 어떻게 공간의 곡률에 대한 생각을 하게 되었는가를 그때까지 알려진 지식을 바탕으로 해설하는 내용을 실었다.</p>										

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
4					군론/환론/표현론/리대수	저서		군표현론	Representation of a group
							유한군의 표현론	슈어 보조정리	Schur's lemma
								마슈케 정리	Maschke's theorem
							9791196945527	지표 이론	index theorem
							2022. 12. 23		
<p>유한군의 표현론 (김상집/제이앤씨(J&C)/22.12.23)</p> <p>이 책은 학부 선형대수와 대수학 내용을 사전 지식으로 가정하고, 대학원생 또는 학부 고학년생이 군표현론의 기초를 배울 수 있도록 구성하였다. 특히 기저를 이용하여 추상적인 벡터와 선형변환을 중벡터와 행렬로 변환하는 계산을 복습한 후, 군의 표현이란 군의 벡터공간에 대한 선형작용이라는 관점에서, 슈어 보조정리, 마슈케 정리, 지표 이론 등을 차례로 소개하고 이들을 이용하여 유한군 기약 표현의 성질과 분류를 쉽게 터득할 수 있도록 설계하였다. 전반적으로 풍부한 예제를 담으려 노력했는데, 특히 후반부에서는 대칭군과 일반 선형군의 기약표현과 이들의 특성을 조화론적 관점에서 기술하여 최근의 연구 경향을 따라갈 수 있도록 하였다. 실제로 2022년 2학기 대학원 과목으로 군표현론을 개설하여 강의와 함께 이 책에 들어갈 내용과 구성을 학생들과 함께 최종 점검하였고, 책 출간 이후에는 방학 중 학부생 특강에 교재로 사용하여 학생들이 표현론을 어렵지 않게 접근할 수 있었음을 확인하였다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
5					미분/일반기하	저서		미분기하	differential geometry
							양성덕의 미분기하강의 3편	등방적 공간	homogeneous space
								광원뿔	light cone
							9791125103677	곡면론	surface
							2023. 02. 15.		
<p>이 책은 저자가 20여 년에 걸쳐 연구해 오던 여러 공간의 극소 곡면론, 항등평균곡률 곡면론 중에서 해석적 표현공식과 관련된 기초 부분을 정리한 것이다. 다루고 있는 공간으로는 4차원 로렌츠 공간의 3차원 초평면 3가지 (유클리드 공간, 로렌츠 공간, 등방적 공간), 3차원 초구 3가지 (쌍곡 공간, 더시터르 공간, 광원뿔 공간) 이렇게 총 6가지다. 이 공간 각각에는 해석적 표현 공식을 허용하는 곡면들이 들어 있는데 그것들이 왜 표현공식을 허용하는지를 일관된 관점에서 제공하여 현재 유클리드 공간의 곡면론에 대한 지식이 있는 사람은 자연스럽게 타 공간의 곡면론에 자연스럽게 접근할 수 있도록 유도하고자 하였다. 즉 한 공간에 대한 곡면론을 깊게 파기보다 여러 공간의 곡면론을 기초 수준에서 다룸으로써 수학교수들이 타 공간의 곡면론에 쉽게 다가갈 수 있게 하였다. 특히 등방적 공간이나 광원뿔 공간의 곡면론에 대해서는 비전문가가 읽을 수 있는 곡면론 서적이 거의 부재한 상황에서 이 책은 그 이론을 상세하게 설명함으로써 수학교수들이 등방적 공간과 광원뿔 공간의 곡면론으로 진출하는 데에 도움이 되고 있다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
6					수치해석/계산 수학	저서		전산유체역학	Computational fluid dynamics
							다상 유체 유동에 대한 상태장 모델링과 멀티그리드 수치기법	2상 유체유동	Two-phase fluid flow
								칸-힐 리아드 방정식	Cahn-Hilliard equation
							9791191346572	멀티그리드 방법	Multigrid method
							2023. 02. 28.		
<p>이 책은 전산유체역학(Computational fluid dynamics, CFD)을 다루고 있습니다. 특히 서로 섞이지 않는 2상 유체유동(Two-phase fluid flow)에 대해서 칸-힐 리아드 방정식(Cahn-Hilliard equation)을 이용한 방법론의 자세한 설명과 기본 멀티그리드 방법(Multigrid method) 알고리즘 설명을 자세하게 기술하였으며, 이를 구현하는 C코드를 덧붙여 수치시뮬레이션을 할 수 있도록 구성하였습니다. 멀티그리드 방법은 이산 방정식을 푸는 효율적이며 정확한 기법이지만 한글로 된 해설서가 거의 없는 상태여서 이 책에서 자세하게 설명하고자 합니다. 멀티그리드 방법은 강력한 수치 계산 방법이므로 다른 응용문제를 해결하는데에도 적용 가능합니다. 코드 작성은 최적화보다는 프로그램의 이해를 높이는 방향으로 자세하게 기술해 놓았습니다.</p>									

연번	참여 교수명	참여기간		연구자 등록번호	업적물 분야	실적 구분	저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 상세내용	키워드	
		시작일	종료일					한글	영문
저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적의 우수성									
7					인공지능/기계 학습	창업		인공지능	AI
							인공지능 가속화기법	소프트웨어	software
							5,000,000원		
							2021. 12.		
<p>인공지능 알고리즘을 학습시킬 때 투입되는 인적/물적/시간적 자원을 줄이는 기술과, 이를 구현한 소프트웨어를 제공하는 업체인 주식회사 베르사이를 창업했습니다. 인공지능 학습을 통해 최고의 성능을 내는 설정값들을 찾아내는 과정 자체를 보다 신속하게 수행하고, 그 과정에서 필연적인 시행착오를 줄여주는 기술과 그 구현체를 제공하는 회사입니다.</p>									

4단계 BK21 사업

첨부자료

[첨부 1] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구단 참여 교수 현황

연번	성명		연구자 등록번호	세부 전공분야	대표 연구업적물 분야	신임/ 기존	사범대/ 분교	임상/기초	외국인/ 내국인	참여 기간	총 참여 개월 수	환산 참여교수 수	대표 연구업적물 제출 요구량	비고
	한글	영문						건축학/건축공학						
								인문사회계열						
1				복소/조화 해석	복소/조화해석 복소/조화해석	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	연구년 (22.3.1- 22.8.31)
2				확률과정론	확률론/확률과정/확률해석학 확률론/확률과정/확률해석학	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
3				편미분방정 식	편미분방정식 편미분방정식	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	연구년 (22.3.1- 23.2.28)
4				수론	수론	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	연구년 (21.3.1- 22.2.28)
5				큐잉이론과 응용	큐잉이론/응용확률 큐잉이론/응용확률	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
6				군과표현	군론/환론/표현론/리대수 군론/환론/표현론/리대수	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	

연번	성명		연구자 등록번호	세부 전공분야	대표 연구업적물 분야	신임/ 기존	사범대/ 분교	임상/기초	외국인/ 내국인	참여 기간	총 참여 개월 수	환산 참여교수 수	대표 연구업적물 제출 요구량	비고
	한글	영문						건축학/건축공학						
								인문사회계열						
7				확률해석학	확률론/확률과정/확률해석학	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
					확률론/확률과정/확률해석학									
8				수치해석	수치해석/계산수학	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
					수치해석/계산수학									
9				수치해석	수치해석/계산수학	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	연구년 (20.9.1- 21.8.31)
					수치해석/계산수학									
10				대수기하	대수기하/가환환	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	연구년 (21.9.1- 22.2.28)
					대수기하/가환환									
11				미분기하	미분/일반기하	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	연구년 (20.9.1- 21.2.28)
					미분/일반기하									
12				고전/실해 석	고전/비선형해석	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
					고전/비선형해석									

연번	성명		연구자 등록번호	세부 전공분야	대표 연구업적물 분야	신임/ 기존	사범대/ 분교	임상/기초	외국인/ 내국인	참여 기간	총 참여 개월 수	환산 참여교수 수	대표 연구업적물 제출 요구량	비고
	한글	영문						건축학/건축공학						
								인문사회계열						
13				기하위상수학	기하위상수학/미분위상수학	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
				기하위상수학	기하위상수학/미분위상수학									
14				편미분방정식	편미분방정식	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
				편미분방정식	편미분방정식									
15				인공지능시 스템및응용	인공지능/기계학습	신임			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
				인공지능시 스템및응용										
16				수론	수론	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	연구년 (21.3.1-21.8.31)
				수론	수론									
17				복소/조화 해석	복소/조화해석	기존			내국인	20200901 - 20230228	30	1.000	2	
				복소/조화 해석	복소/조화해석									

교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	전체 참여교수 수	17	기존교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	전체 참여교수 수	16	신임교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 포함)	전체 참여교수 수	1
	총 환산 참여교수 수	17		총 환산 참여교수 수	16		총 환산 참여교수 수	1
교수 수 (임상, 선축학, 인문사회계열 제외)	전체 참여교수 수	17	기존교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 제외)	전체 참여교수 수	16	신임교수 수 (임상, 건축학, 인문사회계열 제외)	전체 참여교수 수	1
	총 환산 참여교수 수	17		총 환산 참여교수 수	16		총 환산 참여교수 수	1

신임교수 실적 포함 여부	①저서, 특허, 기술이전, 창업 등 실적 / ② 연구비 / ③ 교육역량 대표실적 / ④ 산업·사회 문제 해결 기여실적 / ⑤ 국제 공동연구실적	포함
---------------	---	----

[첨부 2] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 교육연구단 참여대학원생 현황

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2020	2학기	1								석사	2		
2020	2학기	2								석박사통합	2		
2020	2학기	3								박사	4		
2020	2학기	4								석박사통합	3		
2020	2학기	5								석사	4		
2020	2학기	6								석박사통합	8		
2020	2학기	7								석사	1		
2020	2학기	8								석사	3		
2020	2학기	9								석사	2		

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2020	2학기	10									석박사통합	12	
2020	2학기	11									석박사통합	3	
2020	2학기	12									석사	4	
2020	2학기	13									석사	2	
2020	2학기	14									박사수료	5	
2020	2학기	15									석박사통합	2	
2020	2학기	16									석사	2	
2020	2학기	17									박사	2	
2020	2학기	18									박사	3	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2020	2학기	19									석박사통합	8	
2020	2학기	20									석박사통합	12	
2020	2학기	21									석사	4	
2020	2학기	22									석박사통합	8	
2020	2학기	23									박사	4	
2020	2학기	24									박사	2	
2020	2학기	25									석박사통합	6	
2020	2학기	26									박사수료	6	
2020	2학기	27									석사	4	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2020	2학기	28									박사	6	
2020	2학기	29									석박사통합	9	
2020	2학기	30									석사	4	
2020	2학기	31									석박사통합	4	
2020	2학기	32									석박사통합	11	
2020	2학기	33									석박사통합	4	
2020	2학기	34									석사	2	
2020	2학기	35									석박사통합	8	
2020	2학기	36									석사	4	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2020	2학기	37									석박사통합	8	
2020	2학기	38									석박사통합	4	
2020	2학기	39									석박사통합	12	
2020	2학기	40									석사	3	
2021	1학기	1									석박사통합	1	
2021	1학기	2									석사	3	
2021	1학기	3									석박사통합	3	
2021	1학기	4									석박사통합	1	
2021	1학기	5									박사수료	5	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2021	1학기	6									석박사통합	4	
2021	1학기	7									석박사통합	9	
2021	1학기	8									석사	4	
2021	1학기	9									석사	3	
2021	1학기	10									석사	4	
2021	1학기	11									석사	3	
2021	1학기	12									박사수료	6	
2021	1학기	13									석박사통합	3	
2021	1학기	14									박사	3	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2021	1학기	15									박사	4	
2021	1학기	16									석박사통합	9	
2021	1학기	17									석박사통합	9	
2021	1학기	18									석박사통합	3	
2021	1학기	19									박사	3	
2021	1학기	20									석박사통합	7	
2021	1학기	21									박사수료	7	
2021	1학기	22									석박사통합	5	
2021	1학기	23									석박사통합	12	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2021	1학기	24									석박사통합	5	
2021	1학기	25									석사	3	
2021	1학기	26									석박사통합	9	
2021	1학기	27									석박사통합	10	
2021	1학기	28									석박사통합	1	
2021	1학기	29									석박사통합	5	
2021	1학기	30									석사	4	
2021	2학기	1									석박사통합	2	
2021	2학기	2									석박사통합	4	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2021	2학기	3									석사	4	
2021	2학기	4									석박사통합	2	
2021	2학기	5									석박사통합	5	
2021	2학기	6									석사	1	
2021	2학기	7									석박사통합	10	
2021	2학기	8									석사	4	
2021	2학기	9									석박사통합	1	
2021	2학기	10									석사	4	
2021	2학기	11									석사	1	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2021	2학기	12									박사	4	
2021	2학기	13									석박사통합	10	
2021	2학기	14									석박사통합	4	
2021	2학기	15									박사	4	
2021	2학기	16									석박사통합	8	
2021	2학기	17									박사수료	8	
2021	2학기	18									석사	1	
2021	2학기	19									석박사통합	6	
2021	2학기	20									석박사통합	6	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2021	2학기	21									석사	4	
2021	2학기	22									석박사통합	10	
2021	2학기	23									석박사통합	2	
2021	2학기	24									석박사통합	6	
2021	2학기	25									석사	1	
2021	2학기	26									석박사통합	1	
2022	1학기	1									석박사통합	3	
2022	1학기	2									석박사통합	5	
2022	1학기	3									석사	1	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	1학기	4									석박사통합	3	
2022	1학기	5									석사	2	
2022	1학기	6									석박사통합	2	
2022	1학기	7									석사	1	
2022	1학기	8									박사수료	8	
2022	1학기	9									석사	2	
2022	1학기	10									박사수료	5	
2022	1학기	11									석사	1	
2022	1학기	12									석박사통합	11	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	1학기	13									석박사통합	11	
2022	1학기	14									석박사통합	5	
2022	1학기	15									박사수료	5	
2022	1학기	16									박사	1	
2022	1학기	17									석박사통합	9	
2022	1학기	18									석사	2	
2022	1학기	19									박사	1	
2022	1학기	20									석사	1	
2022	1학기	21									석사	1	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	1학기	22									석박사통합	7	
2022	1학기	23									석사	1	
2022	1학기	24									석박사통합	7	
2022	1학기	25									석박사통합	11	
2022	1학기	26									석사	1	
2022	1학기	27									박사	1	
2022	1학기	28									석박사통합	1	
2022	1학기	29									석사	1	
2022	1학기	30									석박사통합	12	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	1학기	31									석박사통합	3	
2022	1학기	32									석박사통합	7	
2022	1학기	33									석사	2	
2022	1학기	34									석박사통합	2	
2022	2학기	1									석박사통합	4	
2022	2학기	2									석박사통합	6	
2022	2학기	3									석사	2	
2022	2학기	4									석사	1	
2022	2학기	5									석박사통합	4	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	2학기	6									석사	3	
2022	2학기	7									석사	1	
2022	2학기	8									석박사통합	1	
2022	2학기	9									석사	1	
2022	2학기	10									석사	2	
2022	2학기	11									석박사통합	4	
2022	2학기	12									석사	3	
2022	2학기	13									박사수료	6	
2022	2학기	14									석사	2	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	2학기	15									석박사통합	12	
2022	2학기	16									박사	1	
2022	2학기	17									석박사통합	12	
2022	2학기	18									석박사통합	6	
2022	2학기	19									박사수료	6	
2022	2학기	20									박사	2	
2022	2학기	21									석박사통합	10	
2022	2학기	22									석사	3	
2022	2학기	23									박사	2	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	2학기	24									석사	2	
2022	2학기	25									석사	1	
2022	2학기	26									석사	1	
2022	2학기	27									석박사통합	8	
2022	2학기	28									석사	2	
2022	2학기	29									석박사통합	8	
2022	2학기	30									석박사통합	12	
2022	2학기	31									석박사통합	1	
2022	2학기	32									석사	2	

연도	기준월	연번	성명		학번	연구자 등록번호	외국인/ 내국인	생년	지도교수 성명	임상/기초	학위과정	재학 학기 수	비고
			한글	영문						건축학/건축공학 인문사회계열			
2022	2학기	33									박사	2	
2022	2학기	34									석사	2	
2022	2학기	35									석사	1	
2022	2학기	36									석박사통합	4	
2022	2학기	37									석박사통합	8	
2022	2학기	38									석사	3	
2022	2학기	39									석박사통합	3	

2020년 2학기	전체	석사	14	2021년 1학기	전체	석사	7	2021년 2학기	전체	석사	8	X		
		박사	8			박사	6			박사	3			
		석박사통합	18			석박사통합	17			석박사통합	15			
		계	40			계	30			계	26			
	외국인 참여대학원생	석사	0		외국인 참여대학원생	석사	0		외국인 참여대학원생	석사	0			
		박사	1			박사	1			박사	0			
		석박사통합	0			석박사통합	0			석박사통합	0			
		계	1			계	1			계	0			
	임상제외	석사	14		임상제외	석사	7		임상제외	석사	8			
		박사	8			박사	6			박사	3			
		석박사통합	18			석박사통합	17			석박사통합	15			
		계	40			계	30			계	26			
2022년 1학기	전체	석사	12	2022년 2학기	전체	석사	17	전체 참여대학원생 수	전체	석사	58	5개 학기의 평균 (전체)	석사	11.6
		박사	6			박사	6			박사	29		박사	5.8
		석박사통합	16			석박사통합	16			석박사통합	82		석박사통합	16.4
		계	34			계	39			계	169		계	33.8
	외국인 참여대학원생	석사	0		외국인 참여대학원생	석사	0		외국인 참여대학원생	석사	0			
		박사	0			박사	0			박사	29			
		석박사통합	0			석박사통합	0			석박사통합	82			
		계	0			계	0			계	169			
	임상제외	석사	12		임상제외	석사	17		임상, 건축학, 인문사회계열 제외	석사	58			
		박사	6			박사	6			박사	29			
		석박사통합	16			석박사통합	16			석박사통합	82			
		계	34			계	39			계	169			

[첨부 3] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28) 내 교육연구단 신진연구인력 확보 실적

구분	참여 연도	연번	성명		연구자등록번호	외국인/ 내국인	생년	자교/타교	참여기간		총 참여 개월 수
			한글	영문					시작일	종료일	
박사후 과정생	2021	1							20210301	20220228	12
박사후 과정생	2021	2							20210901	20220228	6

신진연구인력 수(명)	박사후 과정생	총 인원 수	2	X	
		총 참여 개월 수	18		
		1인당 평균 참여 개월 수	9		
	계약교수	총 인원 수	0		
		총 참여 개월 수	0		
		1인당 평균 참여 개월 수	0		
	합계	총 인원 수	2	실적 제출 건수	1~1
		총 참여 개월 수	18		
		1인당 평균 참여 개월 수	9		

[첨부 4] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여대학원생 배출 실적 (졸업 및 취(창)업 실적)

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2021	2	1						박사	201503	취업			서울
2021	2	2						석사	201903	취업			서울
2021	2	3						박사	201903	취업			서울
2021	2	4						박사	201803	취업			서울
2021	2	5						석사	201903	기타			

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2021	2	6						박사	201503	취업			대전
2021	8	1						박사	201903	취업			서울
2021	8	2						석사	201909	취업			서울
2021	8	3						석사	201909	취업			서울
2021	8	4						박사	201909	취업			해외

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2021	8	5						석사	201903	기타			
2022	2	1						석사	202003	기타			
2022	2	2						석사	201903	기타			
2022	2	3						박사	201703	취업			강릉
2022	2	4						석사	202003	취업			서울

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2022	2	5						석사	201903	국내진학			
2022	8	1						석사	202003	국외진학			
2022	8	2						석사	201903	국내진학			
2022	8	3						박사	201403	취업			대전
2023	2	1						박사	201703	취업			서울

연도	기준월	연번	성명		학번	생년	지도교수 성명	취득학위	입학년월	진로 및 취(창)업 구분	취(창)업 정보		
			한글	영문							회사명	취(창)업 형태	근무 지역
2023	2	2						박사	201803	취업			서울

졸업생	2021년	구분	2월	8월	2022년	구분	2월	8월	2023년	구분	2월	전체 기간	구분	합계
		석사	2	3		석사	4	2		석사	0		석사	11
		박사	4	2		박사	1	1		박사	2		박사	10
		계	6	5		계	5	3		계	2		계	21
비취업자	2021년 2월 졸업자	석사	0	국내 진학자 소계	0	2021년 8월 졸업자	석사	0	국내 진학자 소계	0				
				국외 진학자 소계	0				국외 진학자 소계	0				
				입대자 소계	0				입대자 소계	0				
		박사	0	입대자 소계	0	박사	0	입대자 소계	0					
취(창)업	2022년 2월 졸업자	석사	2	국내 진학자 소계	1	2022년 8월 졸업자	석사	2	국내 진학자 소계	1				
				국외 진학자 소계	0				국외 진학자 소계	1				
				입대자 소계	0				입대자 소계	0				
				취(창)업 대상자	3				취(창)업 대상자	0				
				취(창)업자 소계	1				취(창)업자 소계	0				
		박사	1	입대자 소계	0	박사	1	입대자 소계	0					
				취(창)업 대상자	1			취(창)업 대상자	1					
				취(창)업자 소계	1			취(창)업자 소계	1					
		취(창)업률					50	취(창)업률					100	
		실적제출요구량												

[첨부 5-1] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여교수의 정부 연구비 수주 실적

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2020.9.1.~ 2021.2.28.	1	한국연구 재단														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	2	한국인터 넷진흥원														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	3	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	4	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	5	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	6	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	7	교육부														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2020.9.1.~ 2021.2.28.	8	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	9	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	10	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	11	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	12	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	13	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	14	교육부														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2020.9.1.~ 2021.2.28.	15	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	16	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	17	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	18	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	19	교육부														
2020.9.1.~ 2021.2.28.	20	정보통신 기획평가 원														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	1	한국연구 재단														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	2	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	3	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	4	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	5	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	6	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	7	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	8	한국연구 재단														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	9	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	10	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	11	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	12	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	13	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	14	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	15	서울과학 고등학교														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	16	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	17	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	18	한국기상 산업진흥원														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	19	정보통신 기획평가 원														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	20	한국연구 재단														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	21	재단법인 서울산업 진흥원														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	22	한국은행 인재개발 원														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	23	한국은행 인재개발 원														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	24	한국기상 산업진흥 원														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	25	정보통신 기획평가 원														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	26	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	27	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	28	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	29	교육부														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	30	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	31	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	32	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	33	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	34	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	35	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	36	교육부														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	37	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	38	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	39	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	40	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	41	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	42	교육부														
2021.3.1.~ 2022.2.28.	43	정보통신 기획평가 원														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2021.3.1.~ 2022.2.28.	44	중소기업 기술정보 진흥원														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	1	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	2	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	3	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	4	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	5	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	6	한국연구 재단														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	7	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	8	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	9	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	10	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	11	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	12	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	13	한국연구 재단														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	14	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	15	정보통신 기획평가 원														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	16	서울과학 고등학교														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	17	재단법인 서울산업 진흥원														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	18	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	19	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	20	한국연구 재단														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	21	한국은행 인재개발 원														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	22	한국은행 인재개발 원														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	23	한국기초 과학지원 연구원														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	24	한국연구 재단														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	25	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	26	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	27	교육부														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	28	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	29	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	30	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	31	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	32	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	33	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	34	교육부														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	35	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	36	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	37	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	38	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	39	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	40	교육부														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	41	교육부														

산정 기간	연번	주관 부처	사업명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
									시작일	종료일						
2022.3.1.~ 2023.2.28.	42	한국산업 기술진흥 원														
2022.3.1.~ 2023.2.28.	43	한국과학 창의재단														

정부 연구비 수주 총 입금액(원) (건축학 참여교수 정부 연구비 제외)	2020.9.1.~2021.2.28	270,650,000	건축학 참여교수의 정부 연구비 총 입금액(원)	2020.9.1.~2021.2.28	0
	2021.3.1.~2022.2.28.	2,366,184,400		2021.3.1.~2022.2.28.	0
	2022.3.1.~2023.2.28.	2,281,496,254		2022.3.1.~2023.2.28.	0
	계	4,918,330,654		계	0

[첨부 5-2] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여교수의 산업체(국내) 연구비 수주 실적

산정 기간	연번	산업체명	산업체 구분	지역 구분	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록 번호	건축학/ 건축공 학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	연구비 입금일
										시작일	종료일						
2021.3.1.~2022.2.28.	1	(주) 레오 이노비전	중소(상장)	서울													
2022.3.1.~2023.2.28.	1	(주) 레오 이노비전	중소(상장)	서울													

산업체(국내) 연구비 수주 총 입금액(원) (건축학 참여교수 산업체 연구 비 제외)	2020.9.1.~2021.2.28	0	건축학 참여교수의 국내 산업체 연구비 총 입금액(원)	2020.9.1.~2021.2.28	0
	2021.3.1.~2022.2.28.	12,000,000		2021.3.1.~2022.2.28.	0
	2022.3.1.~2023.2.28.	8,000,000		2022.3.1.~2023.2.28.	0
	계	20,000,000		계	0

[첨부 5-3] 평가 대상 기간(2020.9.1.-2023.2.28.) 내 참여교수의 해외기관 연구비 수주 실적

산정 기간	연번	해외 기관명	국가명	연구 과제명	연구 책임자 성명	참여 교수 성명	연구자 등록번호	건축학/ 건축공학	연구기간		연구 형태	총 연구비(원)	총 연구비 중 입금액(원)	총 입금액 중 사업 참여교수 지분액(원)	사업 참여 교수 지분(%)	환산 입금액(원)	연구비 입금일
									시작일	종료일							
조회된 데이터가 없습니다.																	

해외기관 연구비 총 (환산) 입금액(원) (건축학 참여교수 해외기관 연구비 제외)	2020.9.1.-2021.2.28	0	건축학 참여교수의 해외기관 연구비 총 (환산) 입금액(원)	2020.9.1.-2021.2.28	0
	2021.3.1.-2022.2.28.	0		2021.3.1.-2022.2.28.	0
	2022.3.1.-2023.2.28.	0		2022.3.1.-2023.2.28.	0
	계	0		계	0