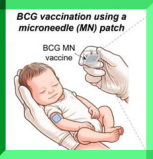
http://bmbk.pusan.ac.kr
ISSN: 2799-9017

BK21 FOUR
NEWS LETTER

BK21 FOUR 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀

Vol. 09





2025.09



부산대학교 바이오소재과학과 BioMat

DEPARTMENT OF BIOMATERIAL SCIENCE

통권 제9호
2025년 09월

CONTENTS

INTRODUCING OUR TEAM

03 졸업생 소개 전예지(한국재료연구원)

FOCUS

04 우수 교육성과 2025 한국실험동물학회 하계 국제학술대회 우수 포스터상 수상

05 우수 연구성과 나노다공성 마이크로니들 기반 고정밀 면역분석 플랫폼 개발

EDUCATION

06 대학원생 참여 프로그램

08 교육 프로그램

09 국제화 프로그램

10 학부생 참여 프로그램

RESEARCH

11 대표 연구성과

16 연구실적

16 EVENT & WORKSHOP

19 FUTURE SCHEDULE

| 통 권 | 제 9호
| 발행일 | 2025년 09월
| 발행인 | 황대연
| 편집인 | 박소해, 배아름
| 발행처 | 부산대학교 바이오소재과학과 BK21 FOUR
실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼
혁신 인력양성팀

INTRODUCING OUR TEAM 졸업생 소개

한국재료연구원



졸업생(25) **전예지**

■ 학　　위 : 석사
■ 졸업년도 : 2025년
■ 재직기관 : 한국재료연구원(KIMS)



1. 현재 재직중인 기관의 이름과 담당 업무

안녕하세요. 저는 한국재료연구원 나노재료연구본부에 석사 후 연구원으로 재직 중이며, 반도체 전자 산업에서 발생하는 고위험 폐수 처리를 위한 세라믹 분리막 기술을 연구하고 있습니다.

한국재료연구원(KIMS)은 국가과학기술연구회(NST) 소속 정부출연(연) 재료 전문 연구기관으로, 금속·세라믹·탄소/복합재·분말/적층제조·표면·부식·신뢰성·평가 등 재료 전주기에 걸친 원천기술 개발과 산업 적용을 수행합니다. 본원은 경남 창원에 위치하며, 에너지·환경·모빌리티·반도체·우주항공 등 다양한 산업 분야를 대상으로 핵심 소재·공정 기술, 신뢰성 평가, 기업 기술지원을 제공합니다. 또한 개방형 협력 체계를 통해 대학·기업·연구기관과의 공동연구, 장비 공동활용, 기술이전을 활발히 추진하고 표준·인증 지원 역량도 갖추고 있습니다. 아울러 파일럿 실증과 양산 공정화 지원 인프라를 기반으로 소재 개발부터 신뢰성 검증, 사업화까지 전 주기 R&D를 원스톱으로 제공하는 연구 기관입니다.

2. 바이오소재과학과에서 공부한 내용과 현재 업무의 연관성

표면적으로는 바이오소재과학 전공과 제가 수행하는 반도체·전자 고위험 폐수용 세라믹 분리막 연구가 달라 보이지만, 핵심 원리와 연구 역량 측면에서 긴밀히 연결되어 있습니다. 전공에서 다룬 표면개질·계면과학, 고분자·콜로이드, 기기분석 경험은 세라믹 막의 슬러리 분산/안정화(바인더·기공형성제 최적화), 솔-젤/딥코팅 공정 제어, 소결 후 기공구조 설계에 그대로 적용됩니다. 또한 단백질 흡착·세포부착 등 생체계의 표면 상호작용을 다뤘던 경험은 막 오염(fouling) 메커니즘 이해와 저오염·친수 코팅, 항미생물/광촉매 기능화 같은 표면개질 전략으로 자연스럽게 확장됩니다. 확산·수송현상과 열·물질전달의 기초는 플럭스-선택도 해석과 Hermia 4모델 적합 등 막 성능 분석의 기반이 되었고, 실습과 연구인턴에서 익힌 실험계획-데이터 해석-피드백 사이클은 공정 스케일업과 세정/내구성 프로토콜 확립에 직결되었습니다. 아울러 UV-Vis, FTIR, SEM 등 기기분석 역량과 표면전하(제타), 접촉각 측정 경험은 막의 화학·구조-성능 상관관계 구축과 원인 규명에 큰 도움을 주었습니다. 전공에서 축적한 계면·콜로이드·분석 역량이 세라믹 분리막의 표면개질, 공정 최적화, 오염 저감 설계에 근간을 제공하며, 현업의 파일럿 실증과 기술이전 단계까지 이어지는 문제 해결 능력으로 이어지고 있습니다.

3. 바이오소재과학과에 재학 중인 후배들에게 전하고 싶은 이야기

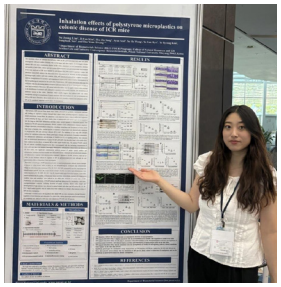
재학 중 수행한 인턴과 다양한 프로그램 참여는 매우 의미 있는 경험이었습니다. 특히 학부 시절 연구실 인턴 프로그램은 석사 진학 시 전공 분야를 선택하는 데 큰 도움을 주었고, 캡스톤디자인 등 여러 활동에서의 문제 해결 과정은 실제 실험 중 발생하는 이슈를 빠르게 진단하고 해결하는 역량을 길러 주었습니다. 전공 강의와 실습은 기초적인 내용처럼 보일 수 있으나, 모든 일의 기반이 되기에 연구직은 물론 취업 전반에도 확실한 경쟁력이 됩니다. 연구직을 목표로 한다면 논문 작성과 학회 발표 같은 경험이 큰 자산이 되며, 연구 과정에서 축적한 실험노트·결과 그래프·발표 자료는 곧 여러분의 포트폴리오이자 자신감이 됩니다. 전공 실습과 연구 인턴, 대외활동을 통해 넓어진 시야와 탄탄한 기본기는 진로 선택의 폭을 크게 넓혀 줄 것입니다. 작은 시도라도 꾸준히 쌓아 나가면, 어느 순간 그것이 여러분만의 분명한 강점이 되어 새로운 길을 열어 줄 것입니다. 여러분의 성장과 성공을 기원합니다.

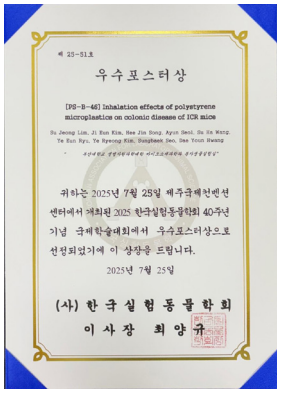
FOCUS 우수 교육성과

2025 한국실험동물학회 국제학술대회 우수 포스터상 수상



석사과정 **임수정**





본 교육연구팀의 임수정 (석사과정, 지도교수 황대연) 학생은 미세플라스틱의 인체 위해성에 대한 연구의 우수성 및 독창성을 인정받아, 2025년 7월 23일부터 25일까지 3일간 제주컨벤션 센터에서 열린 '2025 한국실험동물학회 하계 국제 학술대회'에서 우수 포스터상을 수상하였다. 한국실험동물학회는 생명과학 분야의 실험동물 및 동물실험에 관한 지식과 정보의 발표 등 실험동물학 및 관련 학문과 국가의 학술 발전에 기여하고자 설립된 학회이다. 임수정 학생은 2024년 3월에 바이오소재과학과 (분자생물실험실, 지도교수 황대연)에 입학하여 미세플라스틱이 대장 질환이나 혈액 등 생체 내 미치는 영향에 관련하여 연구를 진행하고 있다. 이번 학회는 'Inhalation effects of polystyrene microplastics on colonic disease of ICR mice'라는 주제로 참가하여 포스터 발표를 진행하였고, 해당 연구 주제로 우수 포스터상을 수상하였다.

미세플라스틱은 산업 공정 전반에서 생산되고 해마다 그 양이 증가하면서 인간을 비롯한 생물체에 대한 노출 위험성이 커지고 있으나, 아직까지 체내에서 어떠한 기전으로 영향을 주는지에 대해서는 명확하게 밝혀지지 않았다. 본 연구는 500 nm 크기의 미세플라스틱이 마우스에서 호흡 노출되었을 때, 대장 질환 및 관련 메커니즘에 미치는 영향에 대해 진행되었고, 미세플라스틱이 호흡 노출 후 혈관으로 흡수되어 장으로 도달한 뒤 변비를 유발한다는 결과를 도출하였다. 구체적으로, 미세플라스틱의 호흡 노출 후 장, 폐 등의 기관에서 정량화를 시도하였다. 정량화 분석을 진행하였을 때 1차 노출 기관인 폐 뿐만 아니라 장, 간 등에서도 미세플라스틱이 검출되었음을 확인할 수 있었고, 이는 미세플라스틱이 호흡기를 통해 흡수된 뒤 혈류를 따라 체내 전신 순환을 할 수 있음을 시사한다. 이 중에서도 특히 대장질환에 미치는 영향을 분석하고자 하였고, 대변 지표 분석, 조직 염색, western blot, 호르몬 분석 등을 진행하였을 때 호흡을 통한 미세플라스틱 노출이 변비를 유발하고, 변비와 관련된 기능의 메커니즘에 영향을 주었음을 도출할 수 있었다.

이번 연구는 미세플라스틱이 호흡을 통해 노출되었을 때 1차 노출 기관에만 국한되지 않고, 전신 순환을 통해 2차 노출 기관까지 영향을 줄 수 있음을 증명하였다. 이는 기존 연구들이 주로 1차 노출 기관에 대한 독성 및 기능 이상에 초점을 맞춘 것과 달리, 미세플라스틱의 전신 순환 및 2차 노출 기관에 영향을 줄 수 있다는 근거를 제시한 것이다. 또한 생체 내 기관들에 미세플라스틱이 축적되어 기능에 영향을 줄 수 있음을 분석함으로써, 향후 장기간 노출 시 만성적인 기능 저하에 관한 잠재적 가능성을 제시하는 중요한 성과로 평가된다.



FOCUS 우수 연구성과

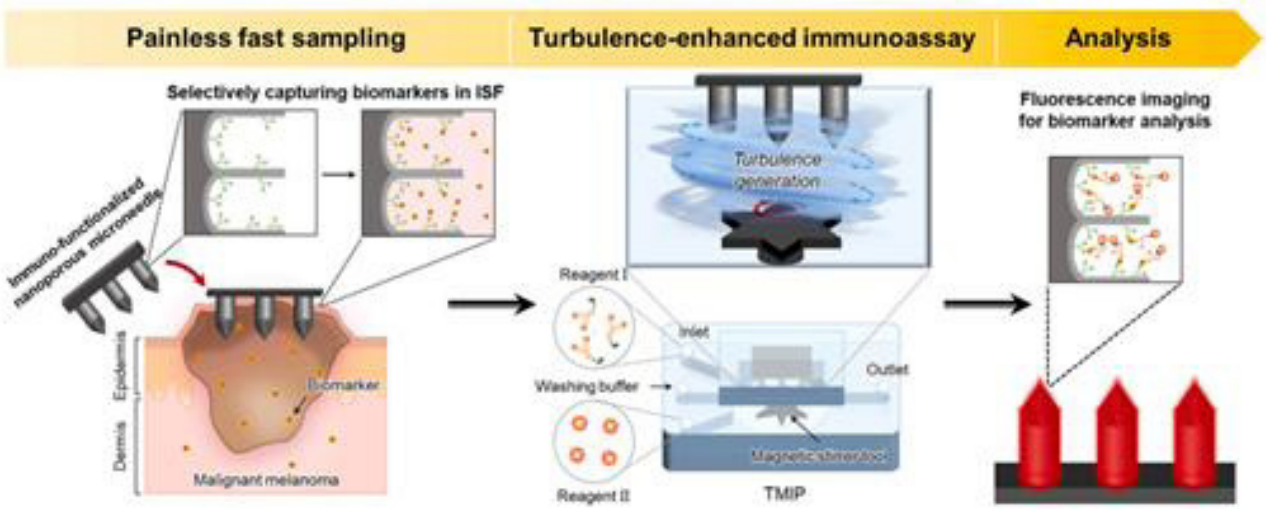
나노다공성 마이크로니들 기반 고정밀 면역분석 플랫폼 개발



참여교수 양승윤

고령화로 암을 비롯한 만성질환의 부담이 커지면서, 현장에서 최소 침습적이면서도 신속하고 재현성이 높은 바이오마커 검사의 수요가 높아지고 있다. 이에 따라 환자가 스스로 적용할 수 있고 통증없이 피부에 삽입되어 피부 간질액 내 바이오마커를 직접 검출할 수 있는 마이크로니들 기술이 주목받고 있으나, 분석 시간 단축과 재현성 확보 측면의 한계가 있다.

본 연구에서는 피부 내 간질액에서 바이오마커를 효율적으로 캡처하기 위한 나노다공성 마이크로니들, 분석 단계를 간소화하는 미세유체 디바이스, 미세 난류를 유도하여 세척 효율을 높이는 자성 마이크로입자를 통합한 면역분석 플랫폼을 개발하였다. 피부암 진단 바이오마커인 S100β를 대상으로 수동 조작 대비 측정값 분산을 최대 55% 감소할 수 있었고, 20 pg/mL의 낮은 검출한계를 달성하였다. 또한, 인공피부 모델과 피부암이 유발된 동물모델에서 1분 적용만으로도 바이오마커 검출에 대한 높은 재현성을 확인할 수 있었다. 결국, 나노다공성 마이크로니들과 난류 기반 세척 장치를 결합함으로써, 기존 기술의 침습성, 가변성, 복잡성의 한계를 극복할 수 있었고, 본 면역분석 플랫폼은 고령화 시대의 암 선별 및 모니터링을 포함한 현장진단의 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 Biosensors & Bioelectrnics (2024 IF 기준 10.5, Chemistry, Analytical 분야 Q1 (상위 2.7% 3/111)에 게재되었다.



EDUCATION 대학원생 참여 프로그램

글로벌 연구역량 강화를 위한 연구조교(RA)

글로벌 연구역량강화를 위한 연구조교 사업은 연구 참여 기회 확대를 통한 대학원생의 연구 역량 강화, 대학원생의 학자금, 생활비 부담 경감을 위한 장학금 제도로 운영되었다.

- 기 간 : 2025년 04월 – 2025년 08월
- 장학금 : 박사과정 (800천원/월), 석사과정 (600천원/월)

① 참여자 : 송희진 (박사과정)
- 주 제 : 보체단백질 C3 결핍 유도 변비와 Loperamide 유도 변비의 메커니즘 비교 연구

② 참여자 : 엄태준 (석사과정)
- 주 제 : 마이크로니들 기반 백신 패치 개발

③ 참여자 : 유동현 (석사과정)
- 주 제 : 신경작용제 기반 화학무기 탐지를 위한 ZIF-8 나노입자 바이오센서

석·박사 학습튜터링 프로그램

2024년 2학기 석·박사 학습튜터링 및 학습컨설팅 프로그램은 대학원생의 전공 학업과 학교생활 적응력을 강화하기 위해 선후배·동료 간 협력 학습을 지원하는 프로그램이다.

- 기 간 : 2025년 05월 – 2025년 09월
- 장학금 : 1,000천원(튜터)

① 팀 명 : 레벨UP팀 (유형A)
- 참여자 : 튜터 – 송희진 (박사과정)
  튜티 – 임수정, 류예은 (석사과정)
- 주 제 : 황반변성과 당뇨병성 망막병증의 발병기전 및 치료법 학습

② 팀 명 : 플랜P (유형B)
- 참여자 : 튜터 – 정수희 (석사과정)
  튜티 – 임정민 (석사과정)
- 주 제 : 천연 폴리페놀 기반의 맞춤형 바이오소재 연구 설계

2025년 1학기 대학원 교육 내실화를 위한 교육조교(TA)

4단계 BK21 대학원혁신사업의 다양한 프로그램의 효율적인 운영 지원을 위해 대학원혁신비 수혜범위를 BK21 미참여 또는 미지원 대학원생까지 확대 필요성을 지니고 운영 되었다.

- 기 간 : 2025년 04월 – 2025년 8월
- 장학금 : 박사과정 (20,000원/시간),
  석사과정 (15,000원/시간)

① 참여자 : 강현구 (박사과정)
- 주 제 : BK21 교육연구단(팀) 교육과정 개발 지원 및 프로그램 운영 교육조교

2025년 Innovation Course (PNU 융합 프로젝트)

2025 Innovation Course 프로그램은 PNU-융합창신 프로젝트 참여를 통해 다양한 전공과의 융합연구 활성화 및 사회문제 해결을 위한 창의적·융합적 프로젝트를 수행하도록 학제간 팀을 구성하여 타 전공 간의 연계 지원 확대 목표로 운영되었다.

- 기 간 : 2025년 05월 – 2026년 01월
- 장학금 : 5,000천원

① 참여자 : 송희진 (박사과정) 임수정, 박성철, 송지연 (석사과정)
- 주 제 : 자연분해형태의 2차 미세플라스틱이 대장 기능 저하에 미치는 분자기전 연구

② 참여자 : 유동현, 이지수, 박찬우 (석사과정)
- 주 제 : 다중 효소가 담지된 실리카 나노입자를 이용한 유기인산계 농약 검출 바이오센서 개발

③ 참여자 : 왕수하, 류예은, 이재호 (석사과정)
- 주 제 : 가령취(노인냄새)의 저감하는 효능을 갖는 새로운 바이오소재의 발굴 및 효능평가

④ 참여자 : 정명경, 류다혜, 신동희 (석사과정)
- 주 제 : 바이오매스 기반 생체 촉매 반응을 통한 고부가가치 암모니아 합성 연구

EDUCATION 대학원생 참여 프로그램

2025년 PNU-Fellowship

2025학년도 1학기 PNU-Fellowship 프로그램은 대학원생 주도의 연구수행 및 전문학술지 논문투고 장려를 위한 연구장학금 지원으로 대학원생의 안정적인 연구 활동 지원을 통해 연구몰입도 제고 및 연구성과의 질적 향상 도모 등 사업의 목표를 가진다.

- 기 간 : 2025년 05월 – 2026년 02월
- 운영비 : 5,000천원

① 참여자 : 설아윤 (박사과정)
- 주 제 : 노화성 황반변성(AMD) 발병과정에서 콜레스테롤 엑소좀의 작용기전 연구

② 참여자 : 이지수 (석사과정)
- 주 제 : 핵산을 포집하는 나노입자를 이용한 혈중종양 DNA의 고감도 검출 및 분석

③ 참여자 : 정명경 (석사과정)
- 주 제 : 바이오매스 기반 생체 촉매 반응을 통한 고부가가치 암모니아 합성

실버질환 맞춤형 진로탐색

참여대학원생의 진로설정을 위한 직무와 관련된 기업, 연구기관 탐방 및 강연을 실시하여 실버질환 맞춤형 바이오소재 플랫폼 진로탐색의 기회를 제공하는 전공특화형 비교과활동 프로그램이다.

① 참여자 : 강현구 (박사수료), 송희진, 장상수 (박사과정)
김서라, 박준민, 유동현, 김인환 (석사과정)

- 일 시 : 2025년 07월 16일(수) 15:10 ~ 16:10
- 소속명 : 프레스티지바이오파마DC, 이연숙 이사
- 주 제 : 항체의약품 개발 및 연구동향

글로벌 톡

실버질환 관련 국제 학술 및 강연, 이벤트, 세미나에 대학원생이 참석하여 실버질환 맞춤형 바이오소재 플랫폼 개발역량을 다각도로 강화하기 위한 전공특화형 비교과활동 프로그램이다.

① 참여자 : 명화인 (석사과정)
- 일 시 : 2025년 06월 02일(월) 17:30 ~ 19:00
부산대학교 제1물리관 317호
- 소속명 : University of Pennsylvania, Alexander Huang 교수
- 주 제 : Personalized Medicine for Cancer (세션 4)

② 참여자 : 한정우 (석사과정)
- 일 시 : 2024년 06월 02일(월) 17:30 ~ 19:00
부산대학교 제1물리관 211호
- 소속명 : Harvard Medical School, Hui Li 교수
- 주 제 : Big Data in Health

2025학년도 7월 대학원 비교과 프로그램

① 참여자 : 김세인 (석사과정)
- 주 제 : 생성형 AI로 똑똑하게 연구하기 (기초)

② 참여자 : 김세인, 명화인 (석사과정)
- 주 제 : 영어 프레젠테이션 스킬 UP (기초)

2025학년도 8월 대학원 비교과 프로그램

① 참여자 : 박준민, 명화인, 김세인, 임정민 (석사과정)
- 주 제 : 생명과학 계열 – 논문작성법 15차시

② 참여자 : 류다혜, 정명경, 명화인, 김세인, 한정우, 임수정 (석사과정)
- 주 제 : 이공자연 계열 – 논문작성법 15차시

EDUCATION 교육 프로그램

박사학위 자격 평가 시스템

박사과정의 질적 고도화를 위하여 평가 커미티를 구성하여 (인원 3명: 바이오 1명, 소재 1명, 외부 1명) 일관된 대학원생의 지도체계를 갖추어 입학부터 졸업단계까지 년 1회 실시하여 체계적으로 학생을 관리하는 박사학위 자격 평가 시스템을 도입하였다. 2025학년도 1학기(2025. 5. 23) 박사과정 자격 평가 시스템을 시행하여 4명의 박사과정 대학원생 (강현구, 설아윤, 송희진, 장상수)이 연구계획서를 제출하고, 박사학위논문 계획(진행)발표를 진행하여 연구질적개선 및 진행상황을 점검하여 향후 박사학위를 위한 체계적인 시스템을 구축하고자 하였다.

성명	과정	논문주제
강현구	박사수료	전립선암에서 엑소좀 내 테스토스테론의 기능 (커미티 : 안범수, 최영우, 윤우빈)
설아윤	박사과정	Study on the preventive efficacy and mechanism of BMDA against Leber hereditary optic neuropathy (LHON) (커미티 : 황대연, 최영우, 윤우빈)
송희진	박사과정	Identification of novel roles of complement component 3 in the pathogenesis of age- related macular degeneration (커미티 : 황대연, 안범수, 윤우빈)
장상수	박사과정	Fabrication of multimodal-powered artifical pancreas capsules for treatment of type 1 diabetes (커미티 : 양승윤, 서성백, 양기석)

하계 인턴 프로그램

바이오소재 전공 학업과 연계한 실무 능력 배양 및 실버질환 맞춤형 바이오소재 분야의 전문가 양성에 이바지하고자 기업 연계 하계 인턴 프로그램을 도입하여 운영하였다. 임수정 석사과정 대학원생이 선정되어 2025학년도 하계 방학기간 동안 ㈜덴티스에 인턴으로 참여하였다.

성명	과정	기관명(기간)
임수정	석사과정	㈜덴티스 (2025.07.01. ~ 2025.07.31.)

EDUCATION 국제화 프로그램

초청강연

일시	해외 학자	강연 제목	소속 학교	소속 국가
2025.06.30.	이영민	Gelation Behavior of Thermoreversible Diels–Alder Networks and Their Application for Reversible Adhesives	New Mexico Tech	미국

국제공동연구

연번	공동연구 참여자		상대국/소속 기관	국제 공동 연구실적
	참여교수	국외 공동연구자		
1	최영우	Quoc Quang Luu	USA/Loma Linda University	Therapeutic Potential of Arginine–Loaded Red Blood Cell Nanovesicles Targeting Obese Asthma. Mediators of Inflammation 8248722



EDUCATION 학부생 참여 프로그램

LAB인턴 프로그램

바이오소재과학과 연구실 인턴 프로그램은 실험실의 다양한 체험의 기회를 제공하기 위하여 학부생을 대상으로 방학동안 실시하는 체험 프로그램이다. 학생들은 관심 있는 실험실을 선택할 수 있으며 연구 체험을 통하여 향후 진로 선택과 진학을 희망하는 학생들에게 동기를 부여하고 전공 교육의 역량을 강화하는 바이오소재과학과만의 특화된 프로그램이다.

연구실명	학부생 연구프로그램	
분자생물 연구실	25년 하계방학 (25년 6월 30일 ~ 7월 24일) : 8명 (25년 7월 28일 ~ 8월 21일) : 4명	박재현, 이성은, 천지인
생체소재 및 대사질환 연구실		이현서, 박정민, 지선희, 김다영
고분자약물전달 연구실		최인수
나노인공세포공학 연구실		김세준, 최유진
바이오의약소재 연구실		김준우, 장수원

학부생 졸업논문

졸업논문 제도를 통하여 학부생의 연구 참여 기회를 제공하고 우수한 예비 대학원생의 대학원 진학을 유도하고자 하였다.

연구실명	지도교수	졸업논문(참여자)
분자생물 연구실	황대연	25년 2월(6명) 25년 8월(1명)
생체소재 및 대사질환 연구실	안범수	25년 2월(4명)
고분자약물전달 연구실	양승윤	25년 2월(2명)
고분자콜로이드 연구실	서성백	25년 2월(4명)
나노인공세포공학 연구실	조성민	25년 2월(5명) 25년 8월(1명)
바이오의약소재 연구실	최영우	25년 2월(2명) 25년 8월(1명)

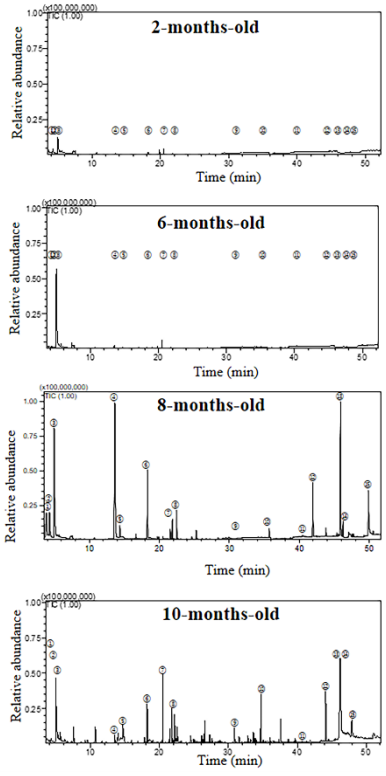
RESEARCH 대표 연구성과

고령 ICR 마우스에서 노화와 관련된 냄새 마커의 특성 분석

김태렬 석사졸업(지도교수 황대연)

황대연 교수연구팀은 ICR 마우스의 노화와 관련된 새로운 냄새 마커를 식별하고, 연령 의존적 특성화 연구를 진행하여 국제 전문 학술지 Scientific Reports 2025년 7월호에 논문을 게재하였다. 네 가지 다른 연령대(2개월, 6개월, 8개월, 10개월)의 ICR 마우스 소변에서 냄새 마커를 확인한 결과, 8개월 및 10개월 ICR 마우스 소변에서 에틸렌이민과 트리메틸아민(TMA)을 포함한 15가지 냄새 물질의 농도와 총 휘발성 유기 화합물(VOCs)이 유의하게 높았다. 그중 TMA는 노화 관련 상향 조절과 특성을 바탕으로 노화와 관련된 중요한 냄새 바이오마커로 선정되었다. 황대연 교수는 소변 휘발성 물질의 연령 의존적 변화가 ICR 마우스의 노화 관련 냄새를 나타낸다는 새로운 과학적 증거를 제시하였다. 따라서 본 연구는 TMA가 ICR 마우스의 노화와 관련된 새로운 진단 냄새 바이오마커로서, 탈취제의 효능과 작용 메커니즘을 분석하기 위한 실험 동물 플랫폼의 중요한 첫걸음을 확립하는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

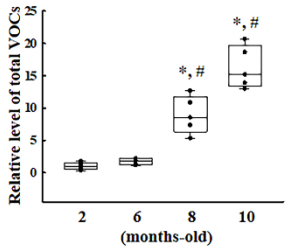
A



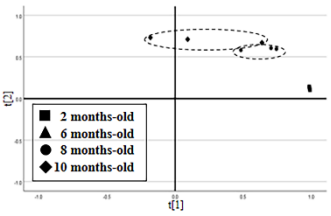
B

No	Compounds	Ret. Time	Area			
			2-month-old	6-month-old	8-month-old	10-month-old
1	Air+etc	3.777	8,169,035	4,447,554	82,413,097	5,649,414
2	Ethylenimine	4.261	15,380,761	6,543,619	30,251,395	23,511,828
3	Trimethylamine	4.919	306,043,341	404,476,480	600,693,119	337,775,283
4	Benzene	13.473	5,001,394	7,845,249	403,132,871	548,665,069
5	Methanediamine, N,N,N',N'-tetramethyl	14.336	507,333	777,486	163,526,221	586,522,311
6	Toluene	18.197	4,502,890	3,848,688	85,711,167	35,011,253
7	Phenylethyne	21.775	3,233,173	3,907,636	20,204,457	105,827,507
8	Styrene	22.442	617,114	849,640	27,887,481	181,925,739
9	Unknown	31.800	2,026	9,525	14,659	2,162,843
10	Azulene	35.657	32,498	16,410	8,649,761	41,588,713
11	Biphenyl	41.850	109,416	7,827	80,917,686	200,207,612
12	Diphenylmethane	43.681	224,672	292,098	11,952,066	69,605,097
13	1,4-Dihydrodibenzofuran	45.808	1,956,281	6,503,120	228,606,889	380,480,116
14	Dibenzofuran	46.201	29,628	12,125	17,701,661	310,813,228
15	3-Hydroxybiphenyl	49.795	983,977	235,795	109,705,240	299,492,614

C



D

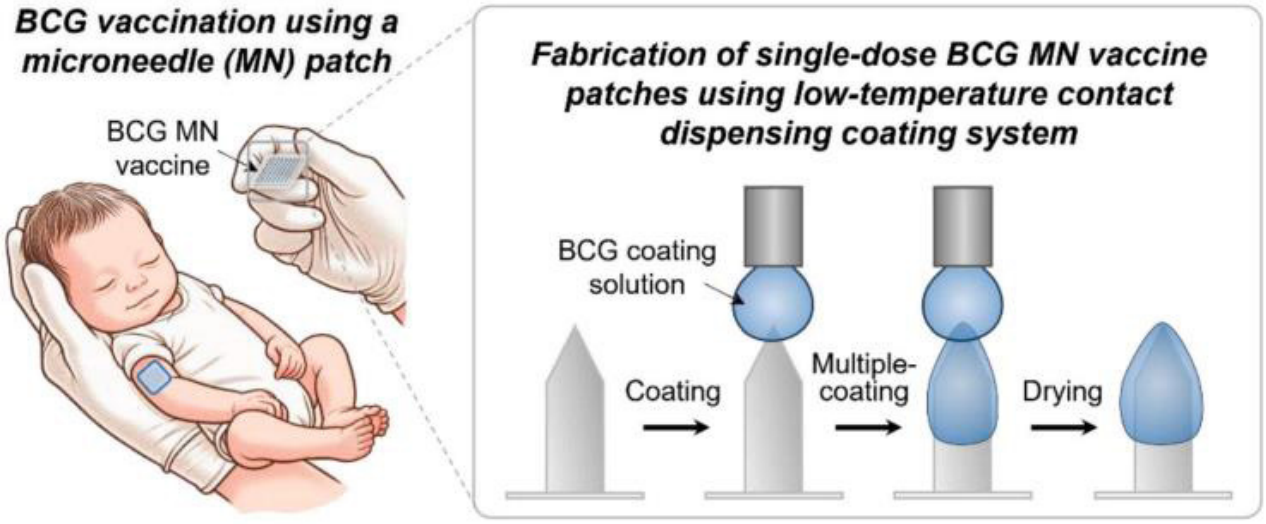


RESEARCH 대표 연구성과

마이크로니들을 기반으로 한 단회 결핵 예방접종용 Bacille Calmette-Guérin (BCG) 백신의 피내 전달

양승윤 교수

결핵은 인류 역사상 가장 많은 생명을 앗아간 감염성 질환으로 결핵균에 의한 공기매개 감염질환이다. 국내에서는 매년 약 3만 명의 신규 결핵환자가 발생하고 약 2천명의 사망자가 발생하고 있다. 초고령 사회로 진입한 인구 통계적 특성과 연령이 높아질수록 결핵발생률이 증가함에 따라 발병을 예방하기 위한 백신 개발 및 백신 전달 시스템에 대한 필요성이 높아지고 있다. 기존의 결핵 백신인 BCG 백신은 동결건조된 생균을 10회 접종분이 포함된 바이알형태로 공급하며, 피내 접종법을 통해 투여하고 있어, 사용편이성 및 안정성이 높고 백신 투여 및 유통 비용을 낮출 수 있는 새로운 백신 전달 방법이 요구되었다. 본 연구에서는 환자의 고통없이 면역원성을 향상시키고, 백신 안정성을 유지할 수 있는 마이크로니들 기술을 이용하여 결핵 백신 전달용 패치를 개발하였다. 백신의 활성을 유지하기 위해 부형제 조성을 확립하고, 4°C의 저온에서 마이크로 디스펜싱 방법을 통해 백신을 정량적으로 마이크로니들에 탑재하였다. 장기 저장 안정성 평가에서 -20°C에서 8주간 60% 이상 백신의 안정성이 유지되었다. 또한 기니피그를 이용한 in vivo 접종 시험에서 이상 반응 없이 기존 주사 대비 우수한 면역 반응을 보였다. 특히 고령인구를 포함한 취약 집단에서 최소침습적 투여, 정확한 용량 제어, 높은 저장 안정성은 접종 수용성과 접근성을 높이는 핵심요소로써 의미가 높을 것으로 판단된다. 이러한 연구의 중요성을 인정받아 Tuberculosis (2024 IF 기준 2.7, Respiratory system 분야 Q2)에 게재되었다.



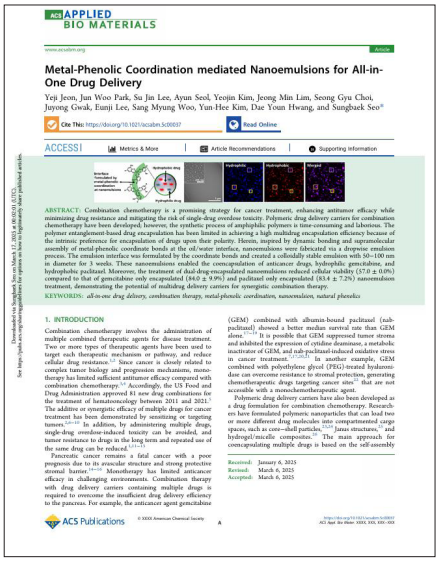
RESEARCH 대표 연구성과

일체형 약물 전달을 위한 금속-페놀 배위 매개 나노에멀젼

김여진 석사과정(지도교수 서성백)

본 연구에서는 항암 치료에서 약물 내성 및 단일 약물 과다 복용으로 인한 독성 문제를 해결하기 위해, 금속-페놀 배위결합을 기반으로 한 새로운 다중 약물 전달체를 개발하였다. 기존의 양친매성 고분자 기반 복합 약물 전달체는 합성 과정이 복잡하고 시간 소모가 크며, 약물의 극성 차이에 따른 캡슐화 효율의 한계가 존재했다. 이를 극복하기 위해, 연구진은 오일/물 계면에서 금속-페놀 배위결합의 동적 특성과 초분자 자가조립 메커니즘을 활용하여 적하 에멀젼 공정을 통해 나노에멀젼을 간단하고 빠르게 제조하였다. 그 결과, 탄닌산(TA)을 페놀 성분으로 사용했을 때 50~100nm 크기의 안정적인 나노에멀젼을 형성할 수 있었으며, 이 에멀젼은 3주 동안 콜로이드 안정성을 유지하였다.

제조된 나노에멀젼은 친수성 항암제 젬시타빈(GEM)과 소수성 항암제 파클리탁셀(PTX)을 동시에 고효율로 캡슐화할 수 있었으며, 최대 세 가지 모델 약물을 함께 포집하는 것이 가능하였다. 특히 GEM과 PTX가 동시에 캡슐화된 나노에멀젼은 각각의 단일 약물 캡슐화 나노에멀젼보다 췌장암 세포에서 유의하게 더 높은 세포 독성을 나타내며, 항암제 간의 시너지 효과를 입증했다. 이러한 결과는 본 플랫폼이 간단한 제조 공정으로 다양한 극성을 가진 약물을 동시에 전달할 수 있으며, 맞춤형 병용 화학 요법에 활용될 수 있는 잠재력을 제공할 것으로 기대한다. 이러한 연구결과는 2025년 3월, ACS Applied Biomaterials(2024 IF = 4.7)에 게재되었다.


ACS APPLIED BIO MATERIALS

Metal-Phenolic Coordination mediated Nanoemulsions for All-in-One Drug Delivery

Yeji Jeon, Jun Woo Park, Su Jin Lee, Ayun Seol, Yeojin Kim, Jeong Min Lim, Seong Gyu Choi, Juyong Gwak, Eunji Lee, Sang Myung Woo, Yun-Hee Kim, Dae Youn Hwang, and Sungbaek Seo*

Cite This: https://doi.org/10.1021/acsabm.5c00037 Read Online

ACCESS | Metrics & More | Article Recommendations | Supporting Information

ABSTRACT: Combination chemotherapy is a promising strategy for cancer treatment, enhancing antitumor efficacy while minimizing drug resistance and mitigating the risk of single-drug overdose toxicity. Polymeric drug delivery carriers for combination chemotherapy have been developed; however, the synthetic process of amphiphilic polymers is time-consuming and laborious. The polymer entanglement-based drug encapsulation has been limited in achieving a high multidrug encapsulation efficiency because of the intrinsic preference for encapsulation of drugs upon their polarity. Herein, inspired by dynamic bonding and supramolecular assembly of metal-phenolic coordinate bonds at the oil/water interface, nanoemulsions were fabricated via a dropwise emulsion process. The emulsion interface was formulated by the coordinate bonds and created a colloidally stable emulsion with 50−100 nm in diameter for 3 weeks. These nanoemulsions enabled the coencapsulation of anticancer drugs, hydrophilic gemcitabine, and hydrophobic paclitaxel. Moreover, the treatment of dual-drug-encapsulated nanoemulsions reduced cellular viability (57.0 ± 0.0%) compared to that of gemcitabine only encapsulated (84.0 ± 9.9%) and paclitaxel only encapsulated (83.4 ± 7.2%) nanoemulsion treatment, demonstrating the potential of multidrug delivery carriers for synergistic combination therapy.

KEYWORDS: all-in-one drug delivery, combination therapy, metal-phenolic coordination, nanoemulsion, natural phenolics

1. INTRODUCTION

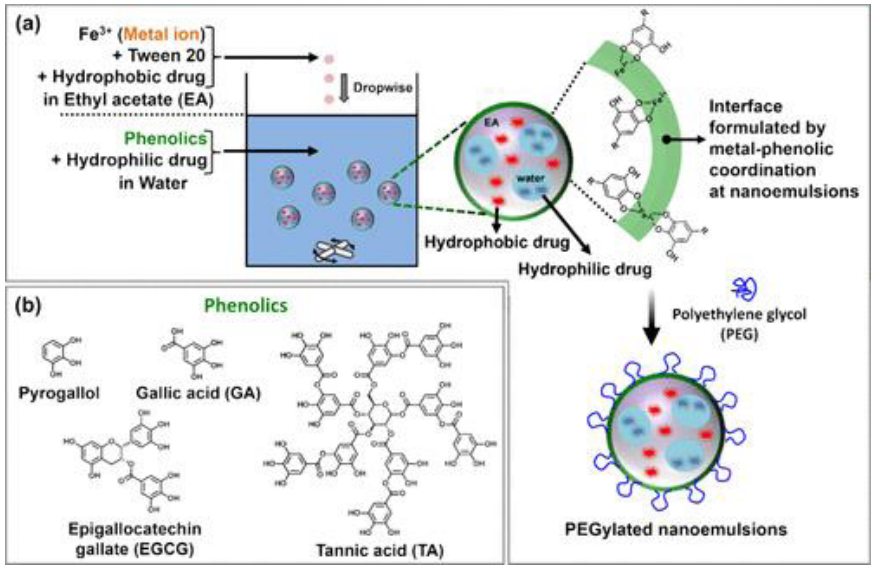
Combination chemotherapy involves the administration of multiple combined therapeutic agents for disease treatment. Two or more types of therapeutic agents have been used to target each therapeutic mechanism or pathway, and reduce cellular drug resistance.[1,2] Since cancer is closely related to complex tumor biology and progression mechanisms, monotherapy has limited sufficient antitumor efficacy compared with combination chemotherapy.[3,4] Accordingly, the US Food and Drug Administration approved 81 new drug combinations for the treatment of hematooncology between 2011 and 2021.[5] The additive or synergistic efficacy of multiple drugs for cancer treatment has been demonstrated by sensitizing or targeting tumors.[2,6−10] In addition, by administering multiple drugs, single-drug overdose-induced toxicity can be avoided, and tumor resistance to drugs in the long term and repeated use of the same drug can be reduced.[11−13]

Pancreatic cancer remains a fatal cancer with a poor prognosis due to its avascular structure and strong protective stromal barrier.[14−16] Monotherapy has limited anticancer efficacy in challenging environments. Combination therapy with drug delivery carriers containing multiple drugs is required to overcome the insufficient drug delivery efficiency to the pancreas. For example, the anticancer agent gemcitabine (GEM) combined with albumin-bound paclitaxel (nab-paclitaxel) showed a better median survival rate than GEM alone.[17,18] It is possible that GEM suppressed tumor stroma and inhibited the expression of cytidine deaminase, a metabolic inactivator of GEM, and nab-paclitaxel-induced oxidative stress in cancer treatment.[17,19] In another example, GEM combined with polyethylene glycol (PEG)-treated hyaluronidase can overcome resistance to stromal protection, generating chemotherapeutic drugs targeting cancer sites[20] that are not accessible with a monochemotherapeutic agent.

Polymeric drug delivery carriers have also been developed as a drug formulation for combination chemotherapy. Researchers have formulated polymeric nanoparticles that can load two or more different drug molecules into compartmentated cargo spaces, such as core−shell particles,[21−23] Janus structures,[24] and hydrogel/micelle composites.[25] The main approach for coencapsulating multiple drugs is based on the self-assembly

Received: January 6, 2025
Revised: March 6, 2025
Accepted: March 6, 2025

ACS Publications



RESEARCH 대표 연구성과

비만천식에서 아르기닌 담지 적혈구 나노소포의 잠재적 치료 효능

참여교수 최영우

최영우 교수연구팀은 아주대학교와의 공동연구를 통해 비만 천식에서의 적혈구 나노 소포 적용 및 활용에 대한 내용으로 알레르기 분야의 저명 국제 전문학술지『Mediators of Inflammation』2025년 3월 호에 게재하였다. 정상군과 비교하여 비만 천식 환자에서는 혈중 아르기닌 수치가 낮으며, 이를 해결하기 위한 방안으로 적혈구 나노소포를 개발하였다. 적혈구 나노소포는 전신을 순환하여 아르기닌을 운송하는데 이점이 있으며, 실제로 구강투여를 하였을 때 호흡기에서 작용하는 것을 관찰하였다. 구체적으로, 적혈구 나노 소포에 탑재된 아르기닌은 기도상피세포 안으로 전달되어 eNOS pathway를 통해 산화질소 생성에 기여하였다. 질소는 기도 근육을 이완시켜주고 기도 저항성 개선 및 기도 확장의 효과도 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해 표준 치료 약물인 스테로이드에 제대로 반응하지 않던 비만 천식 환자를 대상으로 새로운 병인기전의 규명과 더불어 적혈구 나노소포를 이용한 기존과 차별화된 치료 접근 전략을 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

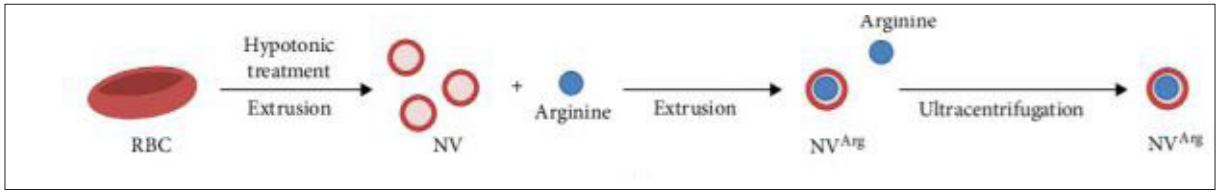


그림 1. 적혈구 나노소포 제작

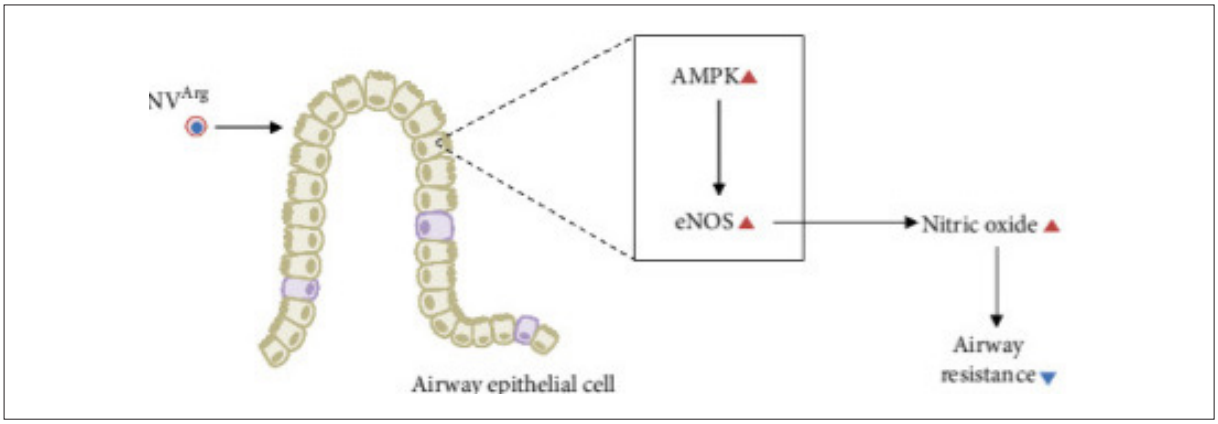


그림 2. 비만 천식에서의 작용기전

RESEARCH 연구실적

참여교수 연구성과/ 논문 (2025. 3. 1 - 2025. 8. 31)

연번	논문명	게재학술지명
1	Metal-Phenolic Coordination mediated Nanoemulsions for All-in-One Drug Delivery Yeji Jeon, Jun Woo Park, Su Jin Lee, Ayun Seol, Yeojin Kim, Jeong Min Lim, Seong Gyu Choi, Juyong Gwak, Eunji Lee, Sang Myung Woo, Yun-Hee Kim, Dae Youn Hwang, Sungbaek Seo*	ACS Applied Bio Materials 8(4), 3218-3226
2	Therapeutic Potential of Arginine-Loaded Red Blood Cell Nanovesicles Targeting Obese Asthma Quoc Quang Luu, Taejune Kim, Thi Bich Tra Cao, Injung Choi, Seung Yun Yang, Beum-Soo An, Dae Youn Hwang, Yungwoo Choi*, Hae-Sim Park	Mediators of Inflammation 8248722
3	Microneedle-mediated intradermal delivery of Bacille Calmette-Guérin (BCG) vaccines for single-dose tuberculosis vaccination Sanha Lee, Taeyoon Kim, Keum-Yong Seong, Sang-Gu Yim, Won-Kyu Lee, Semin Kim, Kang-Oh Lee, Seung Yun Yang*, Sungweon Ryoo	Tuberculosis 151, 102608
4	Characterization of odor markers associated with aging in old ICR mice Ji Eun Kim, Tae Ryeol Kim, Eun Seo Park, Ki Ho Park, Hee Jin Song, Ayun Seol, Su Jeong Lim, Su Ha Wang & Dae Youn Hwang*	Scientific Reports 15(1), 21411
5	Differential response of SNU-1826 colon cells on the autophagy, ER stress, and inflammation during the regulation of microplastic internalization Ayun Seol , Ji Eun Kim, Hee Jin Song, Tae Ryeol Kim, Eun Seo Park, Ki Ho Park, Su Jeong Lim, Su Ha Wang, Seong Cheol Park, Youngwoo Choi, Hyesung Kim, Sungbaek Seo, Dae Youn Hwang*	Journal of Toxicological Sciences 50(7), 361
6	Isolation of therapeutic extracellular vesicles using nanoporous membranes with uniform nanopores Gyeong Won Lee, Kyolck Koo, Soo-Eun Sung, Young-In Kim, Min-Soo Seo, Wook-Tae Park, Seung Yun Yang*,Gun-Woo Lee	Biomedical Microdevices 27(3), 35
7	Turbulence-enhanced microneedle immunoassay platform (TMIP) for high-precision biomarker detection from skin interstitial fluid Ju-Hong Yang, Keum-Yong Seong, Mingi Kang, Sangsoo Jang, Seung Yun Yang*, Young Ki Hahn	Biosensors & Bioelectronics 282, 117480
8	Distinct Roles Between Eotaxin 1 and Eotaxin 2 in Asthmatic Airways Soyoon Sim, Eun-Mi Yang, Yoo Seob Shin, Seon Beom Kim, Youngwoo Choi*, Hae-Sim Park*	Clinical and Translational Allergy 15(7), e70077

EVENT & WORKSHOP

BK21 FOUR 6차년도 참여대학원생 1차 간담회

바이오소재과학과 BK21 FOUR 사업단(팀) 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 6차년도 BK사업 참여, 지원대학원생을 대상으로 1차 간담회를 2025년 04월 24일(목)에 개최하였다. 5차년도 1학기, 2학기 대학원 혁신실에서 진행한 비교과 프로그램 참여 확인 및 실적 공유 그리고 향후 BK21 사업 진행에 있어 필요한 업무 사항 및 역량에 관해 박소해 전임연구원(산학협력전담인력)이 발표하였다.





2025년 청소년 나노스쿨 특강(1)

바이오소재과학과 BK21 FOUR 사업단(팀) 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 2025년 05월 30일(금)에 밀양여자고등학교 해윰관에서 생명과학기술의 발전과 과학자의 역할에 관하여 황대연 단장의 특강을 실시하였다.

황대연 단장은 밀양여자고등학교 학생들에게 분자생물학적 기술, 세포배양기술, 조직분석기술 등 생명과학 분야의 핵심 연구 기술을 주제로 진행되었으며 이번 특강은 해당 기술들이 바이오 의료 분야에서 실제 적용된 사례 중심으로 구성되어 학생들의 높은 관심을 받았다. 2025 청소년 나노스쿨 특강은 총 4회에 걸쳐 연속 운영될 계획이다.





EVENT & WORKSHOP

2025년 청소년 나노스쿨 특강(2)

바이오소재과학과 BK21 FOUR 사업단(팀) 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 2025년 06월 18일(금)에 밀양여자고등학교 해윰관에서 바이오소재를 활용한 약물전달 및 상처치료에 관하여 양승윤 교수의 특강을 실시하였다. 양승윤 교수는 밀양여자고등학교 학생들에게 바이오소재 기술이 보건/의료, 제약, 조직재생 등 다양한 분야에서 어떻게 활용되고 있는가를 주제로 진행되었으며 이번 특강은 과학과 진로를 연계한 실질적인 학습의 장이자, 학생들의 진로탐색 및 자기주도적 학습 동기 부여를 위한 의미있는 교육활동이였다.





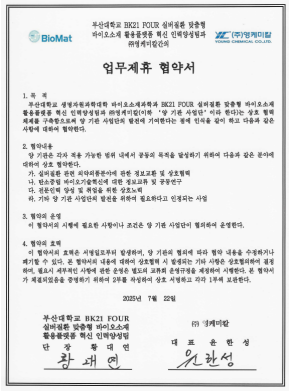
제10회 대학원생 산학협력 활성화를 위한 워크숍

바이오소재과학과 BK21 FOUR 사업단(팀) 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 2025년 7월 16일(수) ~ 17일(목) 제10회 대학원생 산학협력 활성화를 위한 워크숍을 대구보건대학 보현연수원에서 개최하였다. 프레스티지바이오파마 이연숙 이사는 항체의약품 연구동향 및 프레스티지 바이오파마아이디씨㈜ 기업소개에 관하여 제네웰 R&BD 김홍기 본부장은 생체재료의 의료기기 실용화 전략에 대하여 강연하였으며 한림제약에 재직하고 있는 바이오소재과학과 BK사업팀에 참여하였던 최윤주 졸업생은 제약 R&D 직무 소개와 진로탐색에 대해 강연하였다.



㈜영케미칼 MOU체결

바이오소재과학과 BK21 FOUR 사업단(팀) 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 2025년 07월 22일(화) 실버질환 맞춤형 소재를 기반으로한 의약외품분야의 협력을 위한 ㈜영케미칼와의 업무협약(MOU)를 체결하였다. 이번 협약은 BK21사업팀 황대연 단장과 ㈜영케미칼 윤한성 대표간에 체결되었으며, 향후 정보교환 및 상호협력, 탄소중립 바이오기술혁신에 대한 정보교류 및 공동연구, 전문 인력 양성 및 취업을 위하여 상호 협력하기로 하였다.



업무제휴 협약서

2025년 7월 22일

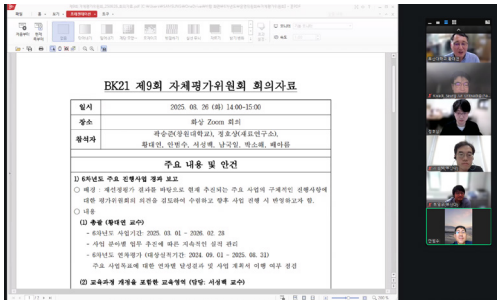
부산대학교 BK21 FOUR 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀 단장 황 대 연

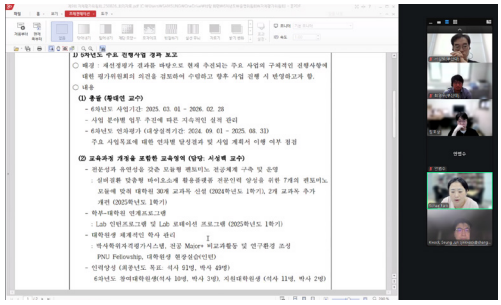
㈜ 영케미칼 대표 윤 한 성

EVENT & WORKSHOP

BK21 FOUR 6차년도 사업팀 1차 자체평가회의

바이오소재과학과 BK21 FOUR 사업단(팀) 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 6차년도 1차 자체평가회의를 2025년 8월 26일(화)에 개최하였다. 자체평가위원회는 외부위원 곽승준 교수(창원대학교) 정호상 연구원(한국재료연구원)이 참석하여 6차년도 주요 진행사업 경과 보고 및 향후 사업 진행에 관하여 논의하였다.





㈜행복나무에듀 MOU체결

바이오소재과학과 BK21 FOUR 사업단(팀) 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 2025년 07월 29일(화) 실버세대의 건강관리와 관련된 정보의 공유 및 상호 협력 위한 ㈜행복나무에듀와의 업무협약(MOU)를 체결하였다. 이번 협약은 BK21사업단(팀) 황대연 단장과 ㈜행복나무에듀 김유현 대표 간에 체결되었으며, 실버세대의 신체적 ·정신적 건강관리 분야에 대한 산업화, 기술교류 및 공동연구 추진, 관련 분야의 전문인력 양성과 취업 지원을 위한 상호 협력하기로 하였다.





FUTURE SCHEDULE

BK21 FOUR 6차년도 참여대학원생 2차 간담회

- 바이오소재과학과 BK21 FOUR 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 6차년도 참여대학원생을 대상으로 2차 간담회를 진행할 예정이다. 6차년도 사업성과 및 대학원혁신실에서 진행하는 비교과프로그램 참여 확인, 실적 공유 그리고 향후 BK21 사업 진행에 있어서 필요한 업무 사항, 필요 역량에 대해 발표할 예정이다.

해외연구실공동연구

- BK21 FOUR 국제공동연구의 학술 및 연구의 질적 향상을 강화하고자 참여 대학원생을 선발하여 지원하는 프로그램으로 2025년 12월 중으로 해외 연구기관과의 국제협력 기반을 조성하고 해외 연구실 공동연구를 통하여 최신 연구동향을 분석하고 연구자와의 교류를 수행할 예정이다.

제11회 대학원생 연구능력 향상을 위한 워크숍

- 바이오소재과학과 BK21 FOUR 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀 제11회 대학원생 연구능력 향상을 위한 워크숍을 2026년 1월에 진행할 예정이다.

BK21 FOUR 6차년도 사업팀 2차 자체평가회의

- 바이오소재과학과 BK21 FOUR 실버질환 맞춤형 바이오소재 활용플랫폼 혁신 인력양성팀에서는 2차 자체평가회의를 자체평가위원회 외부위원 곽승준 교수(창원대학교)와 정호상 연구원(한국재료연구원)이 참석하여 6차년도 연구실적 및 자체평가에 관하여 논의할 예정이다.