



연구실 소개

보이지 않는 미세유체의 세계에서 다학제간 융합을 꿈꾸다

전남대학교 기계공학부에 근무 중인 박진수입니다. 저는 KAIST 기계공학과에서 학사, 석사, 박사학위 취득 후 2019년 9월 전남대학교에 임용되었습니다. 석사학위는 입자영상유속계를 이용한 유동가시화 연구로, 박사학위는 미세유체역학과 음향학의 융합학문인 음향-미세유체역학 연구로 학위를 취득하였습니다.



연구실 소개

단일세포 유전체와 공간멀티오믹스로 질병의 지도를 그린다

연세대학교 의생명과학부 황병진 교수입니다. 저희 연구실은 생명현상의 근본 원리를 규명하기 위해 단일세포 수준에서 유전체, 전사체, 단백질체 등 다양한 오믹스 데이터를 기반으로 한 시스템 생물학과 인공지능을 접목한 융합연구를 수행하고 있습니다.

보이지 않는 미세유체의 세계에서 다학제간 융합을 꿈꾸다

전남대학교 기계공학부 박진수 교수 인터뷰

Q. 교수님에 대한 간단한 소개 부탁드립니다.

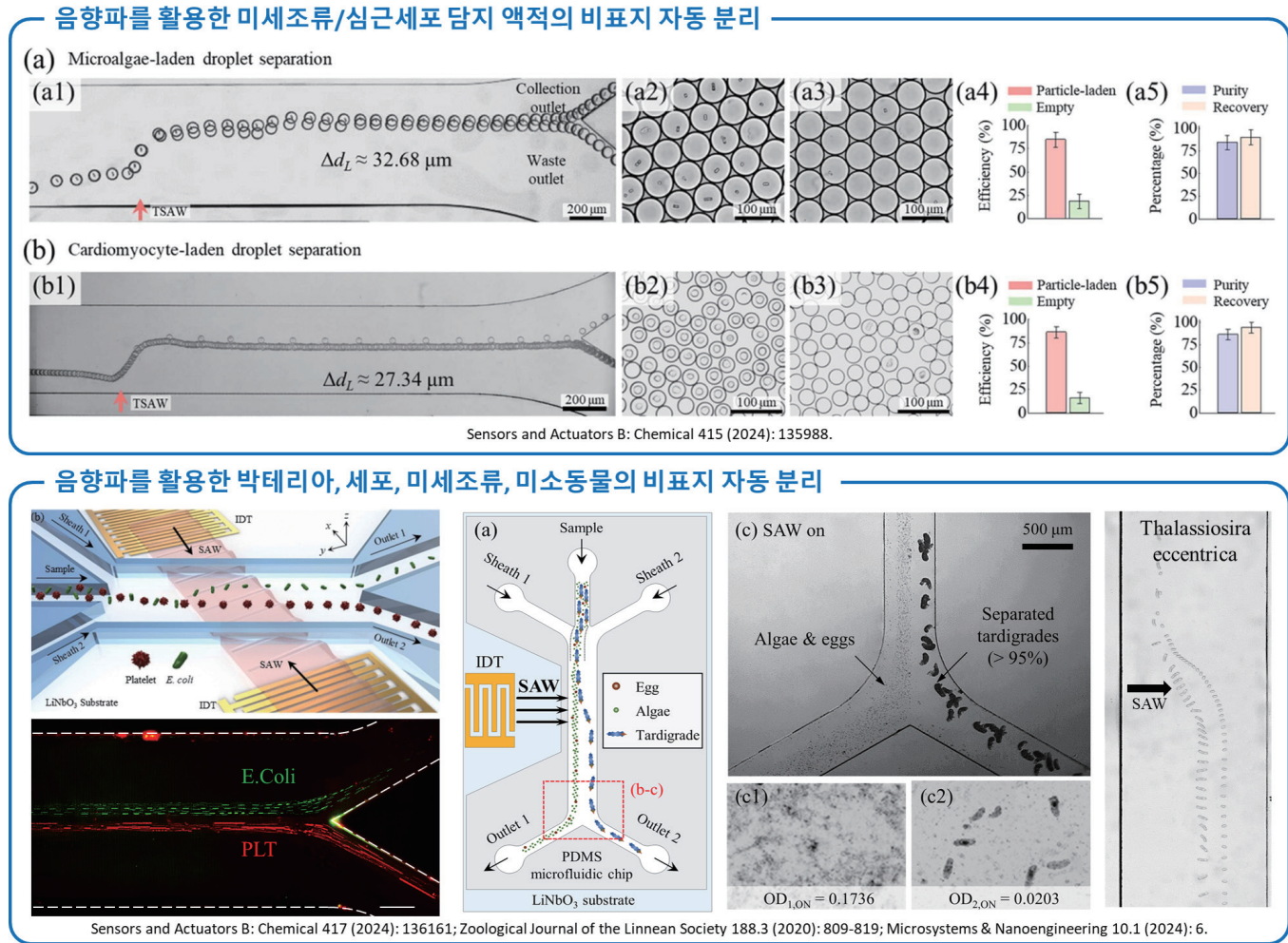
안녕하세요, 전남대학교 기계공학부에 근무 중인 박진수입니다. 저는 KAIST 기계공학과에서 학사, 석사, 박사학위 취득 후 2019년 9월 전남대학교에 임용되었습니다. 석사학위는 입자영상유속계를 이용한 유동가시화 연구로, 박사학위는 미세유체역학과 음향학의 융합학문인 음향-미세유체역학 연구로 학위를 취득하였습니다. 현재 멀티스케일유동제어연구실 소속 14명의 학생들과 4건의 국가연구개발사업을 수행하며 즐겁게 미세유체역학 연구를 수행하고 있습니다.

Q. 미세유체역학을 연구 분야로 선택하신 특별한 이유가 있으실까요?

기계공학의 근간을 이루는 주요 학문을 4대역학(혹은 死대역학) 이라고 부르며, 이는 동역학, 고체역학, 열역학, 유체역학을 지칭합니다. 그 중 유체역학은 통상 가장 늦게 배우는 교과목으로 어렵기로 악명이 높습니다. 유체역학이 어려운 이유는 유체는 눈에 보이지 않고, 강체(rigid) 해석이 일반적으로 불가하며, 유동의 선형운동량 보존을 다루는 Navier-Stokes 방정식의 수학적인 엄밀해가 알려져 있지 않기 때문입니다. 다만 마이크로스케일 유동을 다루는 미세유체역학에서는 관성력 대비 점성력이 우세한 스토크스 유동을 주로 다룹니다. 따라서 수학적으로 해석 및 예측이 가능한 미세유체역학이 수학과 물리를 좋아하는 기계공학도로서 매력적으로 다가왔습니다. 뿐만 아니라 전통적인 유체역학에서는 많이 시도되지 않는 다중물리현상에 대한 해석과 생물학, 의학, 화학, 신소재 등 다학제간 융합 연구를 할 수 있다는 점이 가장 큰 매력이라고 생각합니다.

Q. 음향유체역학과 생물학을 접목했을 때 어떠한 강점을 가질 수 있나요?

대학 졸업 후 취업을 걱정하신 아버님의 조언에 따라 기계공학과에 진학했지만, 저는 대학수학능력시험 때 물리 대신 생물과 화학을 선택할 정도로 학창시절부터 생물학을 가장 좋아했습니다. (여담이지만 과탐으로 물리를 선택하지 않은 기계공학도는 흔치 않을 것 같습니다.) 유체역학을 세부전공으로 선택한 것도, 인체 대사활동에서 유체 유동이 지대한 역할을 한다는 점도 크게 작용한 것 같습니다. 과학기술계의 화두는 시대에 따라 계속 바뀌어 왔지만, 생물학은 그 포장만 조금씩 달라질 뿐 항상 중요한 한 축이었던 것 같습니다. 누구나 건강하게 오래 살고 싶어하니까요. 그러한 점에서 제 연구에서도 늘 바이오메디컬 응용을 가장 중요하게 여기고 있습니다. 음향파를 활용하면 비표지, 비접촉식으로 정교하게 생체입자를 정밀 제어할 수 있으며, 전자기파와 달리 탄성파인 음향파는 유동을 직접 제어할 수 있다는 장점을 지닙니다. 이를 이용하여 저는 세포, 박테리아, 단백질 등 다양한 스케일의 생체입자 분리, 고속대량스크리닝을 위한 세포 담지 미세액적 제어, 고속대량 세포 배양을 위한 초음파 열유동 교반과 같은 연구를 주로 수행하였습니다. 이러한 연구는 합성생물학의 DBTL 사이클 중 주로 Test 부분(특히 유세포 분석/분리 및 배양)에서 유용하게 활용될 수 있을 것이라고 생각합니다.



연구관련 사진

Q. 대학원 생활에서 스트레스를 어떻게 관리하셨나요?

긴 호흡의 대학원 생활에서 스트레스 관리란 무엇보다 중요하다고 생각합니다. 사실 생산성 유지에 적당한 스트레스는 필요한 요소라고 생각하지만, 임계점 이상의 스트레스는 제때 해소하려고 노력했습니다. 제겐 힘들고 지난한 대학원 과정을 버틸 수 있게 한 원동력이 운동이었습니다. 대학원 생활 중 풋살, 조깅, 골프를 번갈아 거의 매일 하면서, 스트레스도 해소하고 공부 체력을 기르곤 했습니다. 제 대학원 생활의 가장 자랑스러운 성과로 오히려 연구보다는 KAIST배 풋살, 마라톤, 스크린골프 대회 준우승입니다. 현재는 수영과 테니스를 즐기며 일과 삶의 균형을 건강하게 유지하려고 노력하고 있습니다.

Q. 연구실에 지원하는 학생들에게 가장 중요하게 생각하는 점은 무엇인가요?

기계공학을 전공하는 학생들 중 대부분은 생물학과 화학보다는 물리학을 좋아하는 학생들입니다. 전남대 기계공학부 기준으로 학부과정에 일반생물학을 배우지 않습니다. 저희 연구실은 유체역학을 중심으로 생물, 화학, 의학, 신소재 등 다학제간 융합연구를 추구하므로, 새로운 학문을 배우는 것에 대한 유연한 마음자세가 가장 중요하다고 생각합니다. 아울러 저희는 실험을 주로 하는 wet lab으로 하나의 프로젝트를 위해 다양한 장비와 공정이 활용됩니다. 따라서 혼자 연구를 수행하기 보다는 주로 팀을 이루어 연구하게 되는데, 이 때문에 협동능력을 매우 중요하게 생각합니다.

Q. 앞으로의 연구 목표나 지향점이 있으신가요?

대한민국이 개도국 시절 패스트팔로워로서 과학기술계에서도 양적인 성장에 초점을 두었다면, 현재는 퍼스트무버로서 질적인 성장에 방점을 두어야 한다고 생각합니다. 유행을 쫓는 연구를 하기 보다는 제가 가장 좋아하고 잘할 수 있는 나만의 연구분야를 독심 있게 장기간 수행하는 것을 목표로 합니다. 저는 음파-열 유체-고체 다중물리 상호작용에 대한 이해를 바탕으로 다양한 분야에 응용하는 음향유체역학 연구를 앞으로도 계속 수행하고자 합니다. 아울러 논문을 많이 쓰는 것도 중요하지만, 논문을 위한 논문이 아닌 실제 산업계에서 활용될 수 있는 원천기술과 플랫폼을 개발하는 데에 더욱 노력하고자 합니다. 합성생물학 혁신을 위한 바이오파운드리에 핵심 장비를 포함하여 다양한 바이오 연구장비가 수입에 의존하고 있습니다. 유체역학 전공자로서 유동이 수반되는 다양한 장비들에 대해 원천기술을 확보하여 장비를 국산화하는 데에 깊은 관심을 갖고 연구를 수행하고자 합니다.

Q. 마지막으로 웹진 구독자님들께 한마디 부탁드립니다.

많은 선배, 동료 연구자분들에 비해 여러모로 많이 부족한 제가 여러 말씀을 드리기 부끄러웠지만, 웹진 구독자분들 대부분이 아마 대학원생분들이실 것 같아 비슷한 길을 조금 일찍 걸은 동료연구자로서 조금이나마 도움이 되었으면 좋겠다는 생각에 본 인터뷰에 임하였습니다. 연구는 단기간 성과가 나오기 어렵고, 대부분 긴 호흡으로 많은 실패를 거치며 꾸준히 노력해야 해서 어려운 것 같습니다. 바쁜 학업 중에도 몸과 마음의 건강을 유지하기 위해 운동을 비롯한 취미활동을 꼭 병행하시길 추천드립니다. 매일 연구에서 성취감을 느낄 순 없지만, 매일 소소한 성취감을 느낄 수 있어 제 개인적으로는 운동이 큰 버팀목이 되었습니다.

마지막으로 합성생물학은 생물학 뿐만 아니라 다양한 배경의 연구자들이 함께 융합연구를 해야한다고 생각합니다. 혹시 저희 연구실에서 수행 중인 연구에 관심이 있으신 분들이 계시다면 제 이메일 혹은 저희 연구실 홈페이지를 통해 연락 주시고, 상호호혜적인 공동연구 가능성을 타진해보면 좋겠습니다. 국내 합성생물학의 무궁한 발전을 기원합니다. 감사합니다.

단일세포 유전체와 공간멀티오믹스로 질병의 지도를 그린다

연세대학교 의생명과학부 황병진 교수 인터뷰

Q. 교수님의 간단한 소개와 연구실에 대해 설명해주실 수 있나요?

안녕하세요. 연세대학교 의생명과학부 황병진 교수입니다. 저희 연구실은 생명현상의 근본 원리를 규명하기 위해 단일세포 수준에서 유전체, 전사체, 단백질체 등 다양한 오믹스 데이터를 기반으로 한 시스템 생물학과 인공지능을 접목한 융합연구를 수행하고 있습니다. 특히, 개별 세포수준에서의 유전자 조절 네트워크를 이해하고 이를 질병 진단이나 맞춤형 치료에 활용할 수 있는 정밀의학 기반 유전체 기술 개발에 주력하고 있습니다. 생명과학, 컴퓨터공학, 화학이 만나는 학제간 융합연구를 지향하고 있으며, 궁극적으로는 질병의 예방과 치료를 위한 혁신적인 생명공학 솔루션을 제시하는 것을 목표로 하고 있습니다.

Q. 현재 연구 분야인 유전체학 관련 연구를 하시게 된 계기가 궁금합니다.

박사과정 초기에 NGS(차세대 염기서열 분석) 기술을 처음 접하면서, DNA를 병렬로 대량 읽어들이 수 있다는 점이 굉장히 신선하고 흥미롭게 다가왔습니다. 그전까지는 생물학이 다소 정성적인 학문이라는 인상이 있었는데, GWAS(전장유전체연관분석)와 같은 대규모 생명정보 분석)를 통해 유전적 변이와 표현형 간의 연관성을 정량적으로 분석할 수 있다는 사실에 매료되어 유전체학 분야에 입문하게 되었습니다. 데이터 기반으로 생명현상을 수치화하고 해석할 수 있다는 점에서 큰 가능성을 느꼈고, 그 흥미가 지금까지 연구를 이끌어오고 있습니다.

Q. 유전체학이 어떤 점에서 매력있다고 생각하시나요? 교수님의 연구가 합성생물학과 어떻게 연계된다고 생각하시나요?

수많은 세포와 유전자의 작동이 겹보기에 무질서해 보일 수 있지만, 그 안에는 정교한 규칙과 질서가 숨어 있습니다. 유전체학은 바로 그 무질서 속에서 질서를 찾아내는 과학입니다. 복잡한 생명현상을 데이터 기반으로 정량화하고, 유전자 간의 상호작용과 조절 메커니즘을 분석함으로써 생물학을 예측 가능한 시스템으로 바라볼 수 있게 해준다는 점이 가장 큰 매력입니다. 특히 단일세포 수준의 유전체 분석이 가능해지면서, 세포 운명 결정이나 질병 발현 메커니즘을 정밀하게 추적할 수 있게 되었고, 이는 진단, 치료, 재생의학 등 다양한 분야로 확장 가능한 강력한 기반이 되고 있습니다.

합성생물학은 흔히 유전자를 인위적으로 재조합하는 것에 국한된 분야처럼 보이지만, 실제로는 생명 시스템을 정량적으로 해석하고, 조작 가능하게 만드는 기술 전반을 아우르는 광범위한 분야입니다. 연구실에서 개발하는 공간오믹스 기술, 유전체변형 기술(CRISPR) 등도 세포를 원하는 방향으로 유도하는 제어가능한 생명시스템도 포괄하는 연구입니다.

Q. Single cell genomic에 대해서 자세히 설명해주실 수 있나요? 교수님께서 해결하시고 싶은 문제는 무엇인가요?

Single-cell genomics는 말 그대로 ‘하나의 세포’ 단위로 유전체 정보를 분석하는 기술입니다. 기존의 벌크 분석이 여러 세포의 평균값만 보여줬다면, 단일세포 기술은 각 세포가 가진 고유의 유전자 발현, 돌연변이, 염색질 상태 등을 분해해 볼 수 있다는 점에서 혁신적입니다. 이를 통해 조직 내의 이질성(heterogeneity), 드문 세포(rare population), 그리고 세포 간의 상태 전이 과정(state transitions)을 정밀하게 관찰할 수 있게 되었습니다. 크게 3가지 연구 영역으로 요약할 수 있습니다.

- 단일세포 멀티오믹스 기반 질병 아틀라스 구축

scito-seq와 같은 고해상도고효율 단일세포 멀티오믹스 기술을 활용하여, DNA, RNA, 단백질 수준의 변화를 통합적으로 분석하고 암, 면역질환, 대사질환 등 다양한 질병 샘플에 대해 정밀한 분자 지도(atlas)를 구축합니다.

- 공간 오믹스 및 공간 멀티오믹스 기술 개발

Visium, MERscope 등 최신 공간 유전체 분석 플랫폼을 넘어, 후성유전체(epigenome)까지 탐지 가능한 자체 공간 멀티오믹스 원천기술을 개발 중이며, 이 분야에서 글로벌 기술 격차를 좁히는 것을 목표로 합니다.

- CRISPR 기반 단일세포 기능 유전체 분석

CRISPR 유전자 조작 기술을 단일세포 수준에서 적용해 면역세포와 암세포 등에서 특정 유전자의 기능을 고해상도로 규명하며, 질병 기전 해석과 유전자 타겟 발굴을 위한 기반을 마련합니다.

Q. 공간전사체 또는 공간멀티 오믹스가 질병치료에 더욱 주목을 받는 이유는 무엇인가요?

기존의 단일세포 분석은 세포 간의 유전자 발현 차이를 파악할 수 있지만, 그 세포가 조직 내 어디에 위치해 있었는지, 어떤 이웃 세포와 상호작용했는지는 알 수 없다는 한계가 있습니다. 공간전사체 및 공간멀티오믹스 기술은 유전자 발현뿐 아니라 단백질, 염색질 정보 등을 조직 내 위치 정보와 함께 통합적으로 분석할 수 있어, 세포 기능을 맥락(context) 속에서 해석하게 해줍니다.

특히 종양 미세환경, 염증성 질환, 신경질환처럼 세포 간 상호작용이 치료 반응과 병태생리에 중요한 역할을 하는 질병에서는, 공간 정보가 치료 타겟 규명과 약물 반응 예측에 핵심적인 단서를 제공합니다. 예를 들어, 암 조직 내 면역세포와 종양세포의 공간적 배치를 파악하면 면역 회피 메커니즘이나 면역항암제 반응성을 예측할 수 있고, 조직 재생이나 섬유화 질환에서는 병리적 리모델링의 위치적 특이성을 규명할 수 있습니다.

결국, 공간멀티오믹스는 질병을 ‘지도 위에 펼쳐서 보는’ 접근을 가능하게 해주며, 이는 정밀 진단, 예측 가능한 치료 전략, 공간 기반 약물 타겟 설계로 이어질 수 있어 주목받고 있습니다.

Q. computation 기술과 유전학이 결합한다면 어떠한 강점을 가질 수 있나요?

유전학은 방대한 양의 생물학적 데이터를 다루는 분야이고, 컴퓨테이션(생명정보학?) 기술은 그 데이터를 정제하고 해석하며 예측하는 핵심 도구입니다. 두 분야가 결합하면 단순히 데이터를 수집하는 것을 넘어, 복잡한 생명현상의 패턴을 찾아내고, 그 기반 위에 새로운 생물학적 가설을 세우는 것이 가능해집니다. 최근에는 기계학습, 딥러닝 같은 인공지능 기술을 활용해 유전체 정보를 바탕으로 환자 맞춤형 예측, 치료 반응성 분석, 신약 타겟 발굴까지 이어지고 있어, 유전학의 해석력이 비약적으로 향상되고 있습니다. 요컨대, 컴퓨테이션은 유전학을 정성적 설명을 넘어 정량적 예측의 과학으로 발전시키는 데 있어 필수적인 파트너입니다.

Q. 교수님의 간단한 소개와 연구실에 대해 설명해주실 수 있나요?

저희 연구실은 유전체학, 단일세포 분석, 그리고 생명정보학을 융합한 다학제 연구를 수행하고 있습니다. 그래서 한 가지 전공 지식만으로는 모든 문제를 해결하기 어렵습니다. 생물학에 대한 호기심을 갖되, 수학적 사고와 데이터 해석에 거부감이 없고, 복잡한 문제를 끝까지 탐구해보고자 하는 자세를 가진 학생이면 누구든 환영입니다. 프로그래밍, 통계, 생물학 지식 중 하나라도 기반이 있다면 시작할 수 있고, 나머지는 연구를 하며 얼마든지 배워갈 수 있다고 생각합니다. 저는 무엇보다도 자기주도적으로 생각하고, 질문을 던질 줄 아는 학생을 중요하게 생각합니다.

Q. 대학원 생활을 하면서 스트레스를 관리하는 것이 정말 중요하다고 생각합니다. 선배님으로써 스트레스를 해소하는 노하우를 알려주실 수 있나요?

저는 연구실 밖에서 나만의 시야를 넓힐 수 있는 활동이 꼭 필요하다고 생각합니다. 개인적으로는 여행이 큰 도움이 됐습니다. 새로운 장소에서 전혀 다른 일상과 환경을 접하면, 자연스럽게 머릿속에 맴도는 문제들로부터 거리를 두게 되고, 의외로 해결 실마리가 떠오르기도 합니다. 꼭 멀리 떠나지 않더라도, 일상에서 자신만의 루틴을 만드는 것, 예를 들어 산책, 음악 감상, 전시회 관람 같은 취미도 정신적으로 균형을 잡는 데 매우 효과적입니다

Q. 교수님 연구실의 다음 지향점은 무엇인가요? 이루고 싶으신 목표가 궁금합니다

저는 장기적으로 종양 내 면역 환경과 항암 반응을 결정짓는 세포 수준의 다양성을 이해하고자 합니다. 네오안티젠(neoantigen)은 암세포에만 존재하는 돌연변이 기반 항원으로, 환자 맞춤형 면역치료의 핵심 표적입니다. 기존의 신생항원 연구는 bulk 수준에서 유전체와 전사체를 분석해 후보 항원을 예측했지만, 종양 내 이질성과 실제 항원 발현 세포의 희소성 때문에 면역반응을 유도하는 ‘진짜 표적’을 구분하는 데 한계가 있었습니다. 단일세포 유전체 기술은 각 세포 수준에서 돌연변이, 항원 발현, MHC 제시 여부 등을 정밀하게 분석할 수 있어, 면역회피 기전이 다른 세포 집단을 구분하고, 실제로 면역계에 인식되는 세포를 추적할 수 있는 강력한 도구가 됩니다. 이를 통해 신생항원 기반 치료의 타겟을 더욱 정확하게 정의할 수 있습니다.

Q. 마지막으로, 연구를 열심히 하고 있는 웹진 구독자에게 한마디 부탁드립니다.

최근 chatGPT를 포함한 인공지능은 이미 사람 수준에 가까운 사고력을 보여주고 있고, 연구의 효율성과 정확성도 매년 눈에 띄게 향상되고 있습니다. 이제는 “이게 정말 가능할까?” 싶은 기술적 문제들조차 곧 해결될 거라고 생각합니다. 하지만 그다음 단계를 여는 건 결국 **‘무에서 유를 상상하고 질문을 던질 수 있는 인간만의 창의력’**이라고 믿습니다. 지금 연구에 몰두하고 있는 여러분도, 그 창의력을 통해 세상의 패러다임을 바꿀 수 있는 주체라고 생각합니다. 끊임없이 질문하고, 상상하고, 도전하세요. 저도 그런 연구자가 되기 위해 계속 나아가고 있습니다. 함께 멀리 나아가길 응원합니다.