

TEAM

UNIST

MAGAZINE

No.27 WINTER 2017

CAMPUS ISSUE 2017 UNIST KEY NEWS _ 9 BRIDGES 아시죠? 반도체 다음은 배터리라는 길! _ UNISTAR 02 정중동의 마음으로 희망의 과녁을 향해 화살을 날리다
FIRST IN CHANGE UNIST의 TEM 연구자들, "WE ARE A TEAM" _ CURIOUS STORY U 새해 새맛이 명소, 간절곶

LET'S MEET UP IN UNIST

4th

우리는 살면서 많은 길을 접하고, 또 그렇게 찾은 무수한 길 위에서
누군가를 만나고 헤어지며 인연을 쌓아갑니다.

UNIST에도 여러 갈래의 길이 있습니다.

학술정보관에서 가막뚝을 둘러싼 길을 따라 걷다 보면 공학관으로 이어지고,
중간에 살짝 몸을 틀면 본관이나 학생회관으로 갈 수도 있지요.

사람과 사람을 잇고 마음과 마음을 전하는 길.

UNIST의 길 위에서 우리는 또 누구를 만나 아름다운 이야기를 만들게 될까요?



UNIST

WINTER 2017 NO.27

UNIST 소식지 2017 겨울호 통권 제27호

발행일 2017년 12월 1일

발행처 UNIST 대외협력처 홍보팀 052.217.1232

기획·편집디자인 김형운편집회사 02.335.4741



TEMxUNIST opens new science

올해 노벨 화학상의 영광은 '극저온 전자현미경(Cryo-EM)'에 돌아갔다. 이 기술을 이용하면 전자빔으로 생체 단백질을 파괴하지 않고 관찰할 수 있다. 그 덕분에 '생화학의 새 시대를 열었다'는 평가를 받았다. '보는 것이 믿는 것(Seeing is Believing)'이라는 프란시스 베이컨의 말처럼 눈으로 보게 되자 새로운 과학이 열린 것이다. UNIST에도 전자현미경으로 최초로 도전하는 연구자들이 있다. 특히 전자빔을 시료에 통과시켜 구조나 현상을 보여주는 투과전자현미경(TEM) 분야 실력자들이 많다. 원자 하나의 구조부터 배터리의 충전·방전 현상, 분자들의 화학반응까지 보려는 이들의 노력은 올해 노벨 화학상처럼 과학계에 새로운 시대를 열지도 모른다. UNIST MAGAZINE 2017년 겨울호에서는 UNIST TEM GUYS(연구지원본부 정후영 교수, 신소재공학부 이종훈 교수, 에너지 및 화학공학부 이현욱 교수, 자연과학부 권오훈 교수)를 만나 TEM 연구가 열어갈 새로운 과학에 대해 들어봤다. (관련 기사 p.28)

C O N T E N T S

06

CAMPUS ISSUE

2017 UNIST KEY NEWS

10

CAMPUS LIFE

'쌈: 일상적 글쓰기' 개발한 UNISTAR CEO
(주)10B 공동 대표 이운재·이지형 학생

12

9 BRIDGES

아시죠? 반도체 다음은 배터리라는 길!
에너지 및 화학공학부 조재필 교수

16

UNISTAR 01

'1+1=3 or More'
융합인재 기르는 융합전공의 힘

20

BRILLIANT THINKING

물의 오묘함이란!
자연과학부 김채운 교수

22

UNISTAR 02

정중동의 마음으로
희망의 과녁을 향해 화살을 날리다
UNIST 리더십 프로그램: 국궁 체험

26

TALK WITH

과학자가 발견한 규칙의 틈새
자연과학부 김재업 교수

28

FIRST IN CHANGE

UNIST의 TEM 연구자들,
"WE ARE A TEAM"



34

PHOTO ESSAY

공간을 채우는 새로운 상상!
디자인으로 삶을 바꾸다

38

PLAY SCIENCE

몽치고 더하니 좋지 아니한가!
KIST-UNIST 울산 융합신소재 연구센터

42

OUR IDOL SCIENTIST

생체시계의 비밀 밝혀낸
유전학의 유산
생명과학부 임정훈 교수

44

ALUMNI STORY 01

실리콘밸리에서
배터리 인생 2막을 열다
EoCell 연구원 정수경 동문

46

ALUMNI STORY 02

반짝반짝 빛나는 소자로
삶을 운택하게!
부경대 교수 이보람 동문

48

CURIOS STORY U

새해 새맛이 명소,
간절곶

50

UNI에게 물어봐

고등학교 방학,
어떻게 하면 알차게 보낼까?

2017 UNIST KEY NEWS



2017년 한 해도 UNIST는 인류에 기여할 세계적 과학기술 연구에 매진했다. 그만큼 좋은 소식도 많았다. 올해 처음 참여한 세계대학평가에서 '국내 1위'를 굳힌 지표가 나왔고, 배터리와 태양전지 분야에서 연일 주목받는 성과를 내놓았다. 세계에서 내로라는 연구소와 기업, 대학이 UNIST와 협력을 맺었다. 울산만명계능, 유루프(U-Loop), 사이언스월드 등 UNIST가 개척하는 프로젝트도 순항하고 있다. 개교 9년차 대학이라고는 믿기지 않는 폭발적인 성장이다. 10년 전 사연담 아래 한적한 농촌마을이 '세계적 과학기술 연구의 메카'로 변했다. 그 상전벽해(桑田碧海)의 현장에서 괄목상대(刮目相對)한 UNIST의 실력을 소개한다.

Creativity

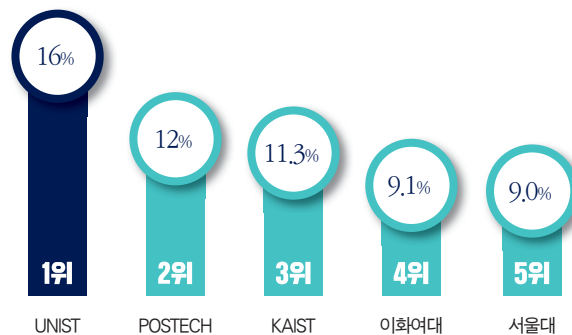
‘논문의 질’로 승부한다! 라이덴랭킹, THE 세계대학평가, US뉴스랭킹 ‘국내 1위’

UNIST는 올해 처음으로 각종 세계대학평가에 참가했다. 지난 6월 발표된 ‘라이덴랭킹’과 9월에 공개된 ‘THE 세계대학평가’, 그리고 10월에 평가된 ‘US뉴스랭킹’이다. 이들 평가는 모두 UNIST의 연구 영향력을 국내 1위로 발표했다. 연구의 질적 수준을 평가하는 ‘논문 피인용수’에서 UNIST가 압도적인 결과를 나타냈기 때문이다.

라이덴랭킹 대학의 연구력을 가능할 수 있는 논문으로 순위를 매기는 라이덴랭킹에서 UNIST는 종합 순위 국내 1위를 차지했다. 공동 저술의 비중치를 조정한 세계 순위는 36위로 나타나 UNIST가 8년 동안 얼마나 크게 성장했는지 보여줬다.

라이덴랭킹에서 UNIST의 전체 논문 중 상위 10% 논문 비율은 16%다. 그 뒤를 잇는 대학은 POSTECH(12%), KAIST(11.3%), 이화여대(9.1%), 서울대(9.0%) 등으로 UNIST와 격차가 꽤 큰 편이다. 해성같이 등장한 UNIST의 연구 경쟁력을 다른 대학이 쉽사리 넘보기 어려워 보인다.

라이덴랭킹 종합 순위 국내 1위



THE 세계대학평가 논문 피인용도 부분



THE 세계대학평가

UNIST는 THE 세계대학평가 논문 피인용도 부분에서 95.9점으로 만점에 가까운 점수를 얻었다. 이 점수로 순위를 매기면 UNIST는 국내 1위, 세계 45위를 차지한다. 연구의 질적 수준에서 세계적인 경쟁력을 다시금 인정받은 것이다.

종합 순위에서 UNIST는 서울대, KAIST, 성균관대, POSTECH에 이어 국내 5위에 올랐다. 세계 순위는 연세대, 고려대와 같은 구간인 201~250위권에 포함됐다. 올해 처음 THE 평가에 참여한 UNIST가 국내 대학 순위의 지형을 크게 바꾼 모양새다. THE 순위는 논문 피인용도 외에도 교육 여건, 연구 실적, 산학협력 수입, 국제화 등 5대 지표를 반영해 매겨진다. 여기에는 평판도가 33%를 차지하기 때문에 역사가 짧은 대학이 아주 높은 순위로 오르는 것은 힘든 실정이다. 이런 점을 감안한다면 개교 9년 차에 단숨에 국내 5위에 오른 UNIST의 성장은 놀라울 정도로 빠르고 강력하다.

US뉴스랭킹 미국을 비롯한 60개 국가의 대학을 대상으로 학술 연구와 평판도를 측정해 발표하는 순위인 US뉴스랭킹. 2014년부터 시작된 이 평가는 13개 지표를 측정 후 순위만 공개한다. UNIST는 이 순위에서 측정된 13개 지표 중 4개 분야에서 국내 1위에 올랐다. 논문 피인용도와 전체 논문 중 상위 10% 논문 비율, 전체 논문 중 상위 1% 비율, 국제 협력이다. 4개 지표는 모두 대학의 연구 경쟁력과 연결된다. 논문이 많이 인용됐다는 의미는 그만큼 우수한 연구를 했다는 뜻이고, 상위 10% 혹은 1% 논문 비율이 높다는 의미도 질적 수준이 훌륭하다는 의미를 담고 있다. 국제 협력 부분에서 뛰어나다는 의미는 다른 말로 세계적인 연구자와 공동 연구가 그만큼 활발하다는 것으로 풀이할 수 있다.

US뉴스랭킹 13개 지표 중 4개 분야에서 국내 1위



Research Intensive 선택과 집중이 최고의 기술을 만든다

태양전지

〈사이언스〉가 주목한 페로브스카이트 태양전지

세계적인 과학저널 〈사이언스(Science)〉는 올해 UNIST의 차세대 태양전지 연구에 주목했다. 3월에는 페로브스카이트 태양전지 안정성을 높인 논문을, 6월에는 페로브스카이트 태양전지의 최고효율을 네 번째로 갱신한 논문을 소개했다. 두 편 모두 에너지 및 화학공학부 석상일 특훈교수가 진행한 연구 결과다. 국내에선 이렇게 자주 〈사이언스〉에 논문을 발표한 전례가 없다. 석상일 교수의 기술력에 세계가 주목하고 있다는 방증이다.

페로브스카이트 태양전지는 실리콘 태양전지의 한계를 뛰어넘을 차세대 태양전지의 강력한 후보다. 석상일 교수는 올해 22.1% 효율의 페로브스카이트 태양전지 기술을 발표하며 상용화에 박차를 가하고 있다. 이제는 효율뿐 아니라 내구성을 보완하고, 대량생산이 가능한 방법까지 고안 중이다. 최근에는 ㈜프린티어에너지솔루션이라는 기업을 만들고, 페로브스카이트 태양전지 기술 사업화에 나서고 있다.

배터리

최고에 머물지 않고 최초에 도전

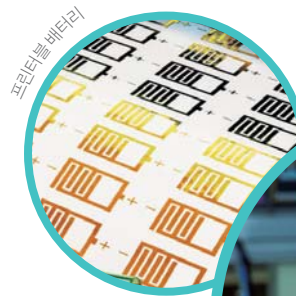
올해 3월 '이차전지 산학연 연구센터(Battery R&D Center)'가 문을 열었다. UNIST가 개교 초부터 집중해온 이차전지, 즉 배터리 연구에 특화된 건물과 장비가 완벽하게 구축된 것이다. '빠르게 충전하고, 오래 쓰며, 안전한 전지'를 목표로 배터리 분야별로 최고 전문가들이 모여 연구에 박차를 가하고 있다. 최근 UNIST의 배터리 연구는 최고에 머물지 않고 최초에 도전하고 있다. '해수 전지'와 '프린터블 배터리(printable battery)'가 대표적이다.

에너지 및 화학공학부 김영식 교수의 해수전지는 바닷물 속 소듐 이온(Na⁺)을 이용해 전기 에너지를 저장하는 장치다. 바닷물을 사용하기 때문에 자원 고갈 염려가 없고, 값싸며 해수담수화까지 가능하다는 장점이 있다. 한국전력공사와 한국동서발전이 총 50억 원의 연구비를 투자하며 이 기술의 상용화를 돕고 있다.

에너지 및 화학공학부 이상영 교수의 프린터블 배터리는 잉크젯 프린터로 글자나 그림을 출력하듯 찍어내는 이차전지를 말한다. 딱딱한 사각형에서 벗어나 옷감이나 휘는 물체에 배터리를 찍어낼 수 있어 사물인터넷(IoT, Internet of Things)용 전원으로도 주목받고 있다. 이런 획기적인 가능성 덕분에 올해 국가 R&D 우수 성과로도 뽑혔다.



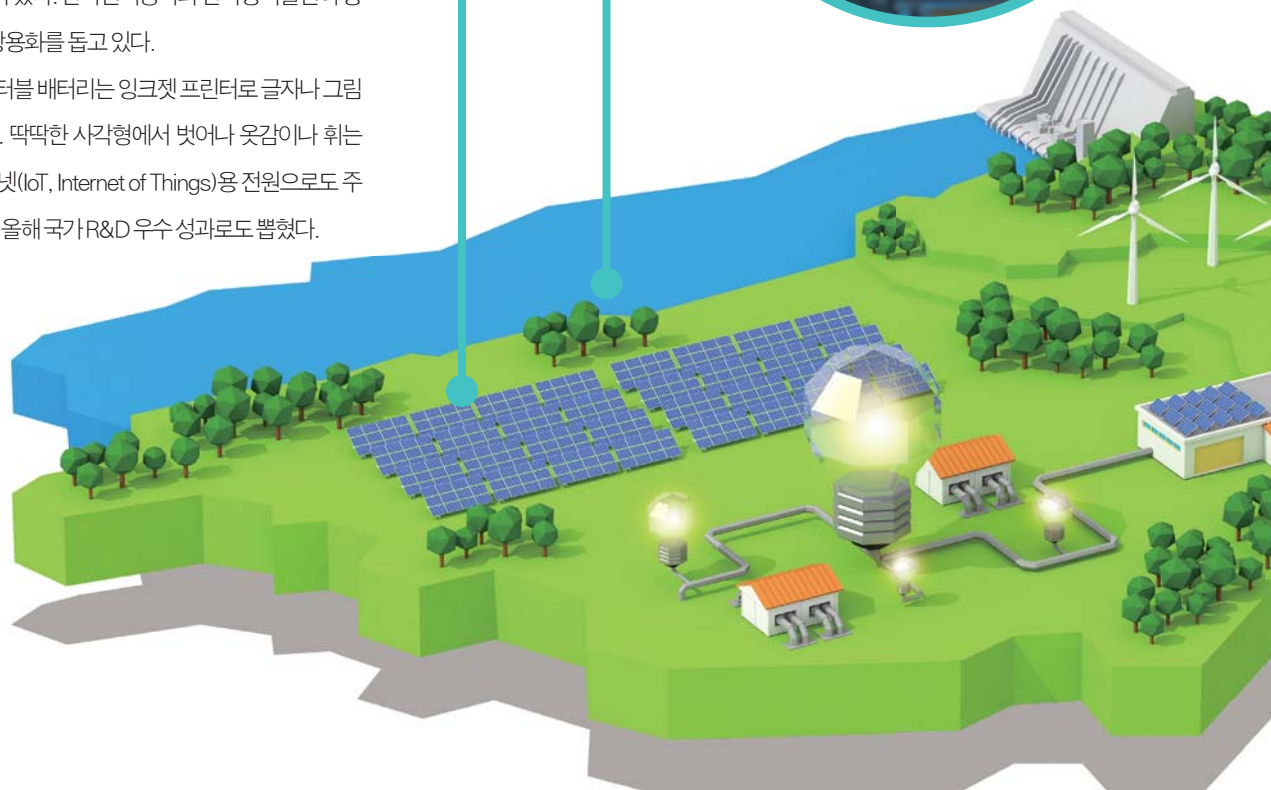
태양전지



프린터블 배터리



해수전지



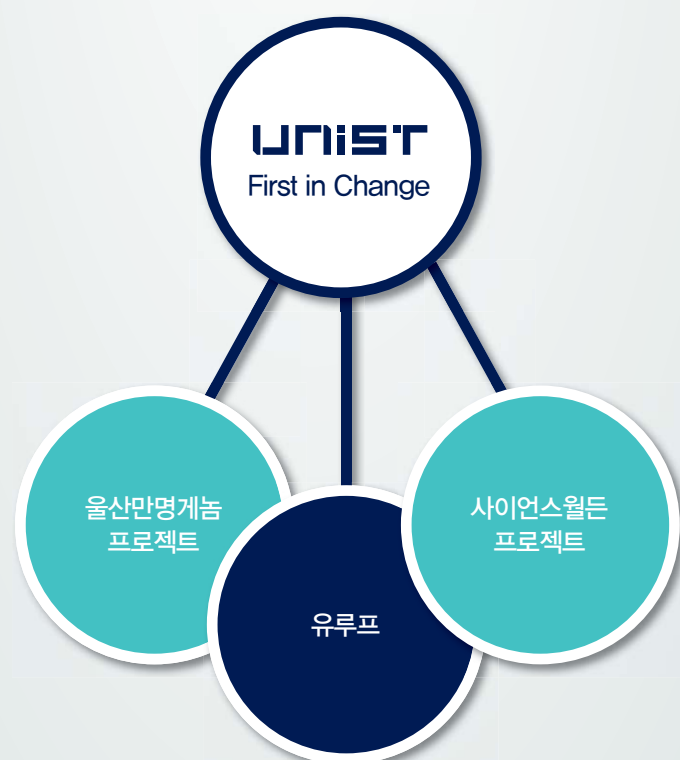
Interdisciplinary Research

남다른 프로젝트 순항 중 ... 울산만명게놈, 유루프, 사이언스월드

UNIST가 시작한 남다른 프로젝트들도 순조롭게 진행되고 있다. 먼저 2015년 출범한 울산만명게놈 프로젝트 소식. 이 프로젝트 책임자인 생명과학부 박중화 교수는 올해 2월 고대인 게놈 분석을 통해 한국인의 뿌리를 밝혔다. 6월에는 UNIST 게놈연구소를 '게놈산업기술센터'로 확대 개소하면서 게놈 관련 기술 실증화를 위해 기업체와 협약을 체결했다. 센터는 연구를 넘어 국민과 기업에 게놈산업혁명의 결실인 맞춤형 의료·정밀 의료 혜택을 경제적으로 실현하는 것을 목표로 연구에 매진 중이다. 게놈을 중심으로 각종 바이오 신약의 임상 실험과 맞춤형 의료의 근간을 마련하는 융합연구와 게놈기술 산업화가 기대된다.

2016년 6월 '하이퍼루프 국제 심포지엄'을 개최하며 시작된 하이퍼루프 관련 연구 개발도 작은 성과를 보였다. 한국형 하이퍼루프로 불리는 유루프(U-Loop) 모델을 10월 대중에게 공개한 것이다. 기계항공 및 원자력공학부 이재선 교수팀은 하이퍼루프의 주요 개념인 진공튜브, 부상, 리니어모터 구동 등을 작은 스케일로 구현했다. 유루프 모형은 아직 모델 단계지만 주요 원리를 토대로 실제 구동하는 모습을 보여줬다. UNIST는 하이퍼루프 원천기술 확보를 위해 기계공학, 전기, 통신, 디자인 등의 융합연구를 진행하고 있다.

똥을 돈으로 사용하는 '똥분위회폐'를 제시한 사이언스월드(Science Walden) 프로젝트는 과학기술정보통신부에서 5년간 연구비 100억 원을 지원받게 됐다. 과학기술에 예술과 인문학을 융합함으로써 인간 소외, 소통 부재, 경제적 어려움 등 사회문제를 해결하는 과학예술 연구 프로젝트가 시즌2를 맞게 된 것이다. 연구 책임자인 도시환경공학부 조재원 교수를 중심으로 한 연구진은 똥분위회폐를 도시와 마을 등 공동체에 적용하는 연구를 위해 생활형 실험실을 구축할 계획이다.



Globalization

독일 3대 연구소, 3D프린팅 1위 기업, 하버드공대와 손잡다

5월부터 UNIST는 독일 '헬름홀츠 울리히(Helmholtz Juelich) 연구소'와 함께 공동 연구에 나섰다. 이로써 UNIST는 독일을 기술강국으로 이끄는 3대 연구기관인 헬름홀츠, 막스플랑크, 프라운호퍼와의 공동 연구센터를 모두 구축했다.

'UNIST-헬름홀츠 울리히 미래에너지 혁신 연구센터'는 신소재공학부 조욱 교수를 필두로 미래 지향적 에너지 원천기술을 개발할 계획이다. 2010년부터 막스플랑크 분자생리학연구소와 공동 연구하고 있는 '한스셸러 줄기세포연구센터'는 생명과학부 김정범 교수를 중심으로 줄기세포와 재생의학 분야 연구를 진행 중이다. 이와 더불어 2016년부터 구축을 시작한 프라운호퍼 화학기술원 분원인 '프라운호퍼 프로젝트 센터'에서는 기계항공 및 원자력공학부 박영빈 교수 주도로 차량용 섬유강화 복합재 등 경량소재 핵심 원천 및 양산화기술을 개발하고 있다.

세계 3D프린팅 시장을 주도하는 글로벌 기업도 UNIST를 주목했다. 벨기에의 3D프린팅 소프트웨어 전문기업 '머티리얼라이즈(Materialise)'는 5월 UNIST와 협약을 맺고, 3D프린팅 기술을 활용해 자동차, 항공기, 조선 등 수송기기의 경량화 부품 제작 관련 공동 연구에 나섰다. 기계항공 및 원자력공학부 김남훈 교수는 3D프린팅 기술로 전기차의 전축면부와 바퀴, 좌석 등을 만들어 선보이며, UNIST가 보유한 3D프린팅 기술 역량을 입증하기도 했다.

올해 여름방학부터는 UNIST와 하버드공대의 '학부생 인턴십 프로그램'이 시작됐다. 하버드공대가 학부생 교육을 위한 한국 파트너로 UNIST를 선택한 것이다. 'UNIST-하버드공대 하계 프로그램(UNIST-Harvard SEAS Summer Program)'이라는 이름의 이 프로그램은 UNIST와 하버드공대, 중국 상하이 자오퉁대에서 각각 5명씩 15명의 학생을 선발해 2주 동안 연구와 교육, 문화 교류 등을 하도록 구성됐다. 학생들에게 세계적인 시각을 길러주면서 다양성이라는 가치를 배우도록 하는 데 목적이 있다. ■



‘쓱 : 일상적 글쓰기’ 개발한 UNISTAR CEO

(주)10B 공동 대표 이윤재·이지형 학생

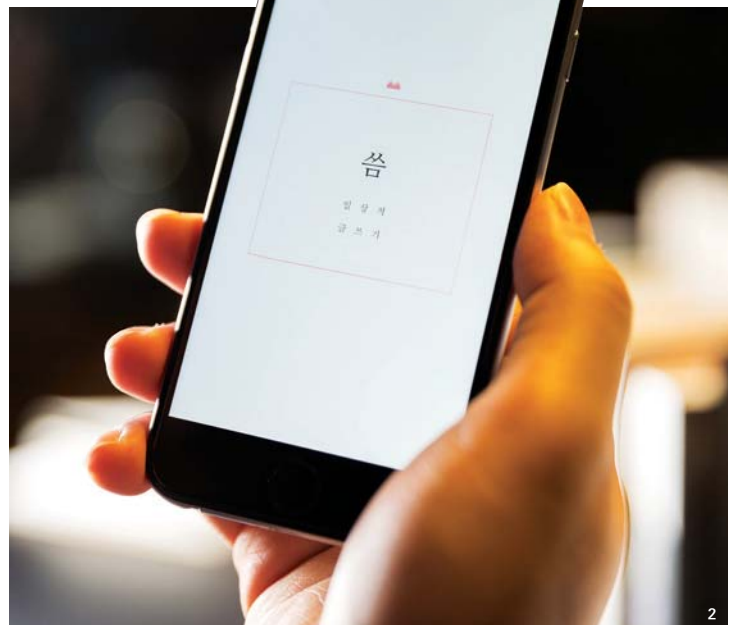
스마트폰 글쓰기 앱 ‘쓱: 일상적 글쓰기(이하 ‘쓱’)가 화제다. 이 앱은 ‘구글 플레이 2016 올해를 빛낸 가장 아름다운 앱’에 선정됐고, 애플 앱스토어에서도 2016 올해의 최고작 중 하나로 꼽혔다. 2015년 출시된 ‘쓱’의 개발자는 UNIST 선후배인 이윤재(디자인 및 인간공학부 10) · 이지형(전기전자컴퓨터공학부 13) 학생이다. 새로운 도전에 열정을 쏟고 있는 이들을 만나봤다.



아날로그 감성 물씬한 글쓰기 플랫폼

군더더기 없이 간결한 화면은 아날로그 감성을 자극하고, 소박하고 잔잔한 글쓰기는 사용자의 일상을 적신다. 그래서일까. 무수히 뜨고 지는 앱의 바다에서 ‘쓱’은 유독 눈길을 끈다.

‘쓱’에서 제공하는 가장 기본적인 기능은 오전 7시와 오후 7시에 배달되는 ‘글감’이다. 물론 사용자들이 꼭 글감에 맞춰 글을 써야 하는 건 아니다. 자신이 원하는 제목을 달고 글을 쓰는 것도 가능하다. 글감은 사용자의 글쓰기를 돕기 위해 제공될 뿐이다. 현재까지 제공한 글감은 약 1,400개. 그중 가장 많은 반응을 보인 글감은 ‘내일’이다. 무려 14,000명이이주제로 글을 썼다. 꿈, 좋은말, 생각이나서, 준비가그뒤를이었다. 하루에 두 번 배달되는 글감 찾기도 쉬운 일은 아닐 터. 이지형 대표는 “책과 인터넷 등을 통해 수많은 문장을 수집한 후 중심이 되는 단어들을 뽑는다”고 했다. 특징인만 이해할 수 있는 단어는 배제하고, 유사한 단어가 반복되지 않게 균형을 맞춰 제공하려 노력하고 있다.





우리가 정말 관심 있는 게 뭘까?

이윤재 · 이지형 대표는 UNIST 창업팀에서 처음 만나 룸메이트로 2년 넘게 생활했다. 창업동아리 활동을 함께하며 다양한 프로젝트를 진행하고 앱을 제작했다. 더러는 완성했지만, 더러는 미완의 프로젝트로 끝났다. 그러던 중 문득 의문이 들었다. 그동안 회사를 위한 회사, 서비스를 위한 서비스를 구상하는데 그쳤던 게 아닐까. 그래서 다시 고민했다. ‘우리가 진짜 관심 있고 흥미를 가진 건 뭘까’에 대해. 그 끝에서 건져 올린 것이 ‘글쓰기’다. 바야흐로 2015년 2학기가 시작될 무렵이었다. 애초에 ‘쓰’는 창업보다 앱을 완성해 선보이자는 마음으로 가볍게 시작한 프로젝트다. 두 대표는 온전하게 자신만의 글을 쓸 수 있는 공간을 만들고 싶었다. 한 달 동안 어떤 이름으로, 무슨 앱을 만들고, 무엇을 강조할까 고민한 후 본격적인 제작에 들어갔다. 마침내 2015년 12월 초 앱이 출시됐다. 어라? 그런데 웬걸, 예상했던 것보다 훨씬 많은 이들이 ‘쓰’를 찾았다. 출시 일주일 만에 사용자가 2,000명이 넘었고, 이 숫자는 한 달이 지나자 1만 명으로 늘었다.



5

1. 일을 하며 조바심과 욕심을 버리고 여유를 배우겠다는 이윤재(왼쪽) · 이지형 대표. 밝은 표정으로 개발에 몰두하고 있다.
2. ‘쓰: 일상적 글쓰기’의 초기 화면 모습.
3. 하루에 두 번 배달되는 글감을 찾기 위해서는 수많은 문장을 수집하고 단어들을 뽑아야 한다.
4. 이윤재(왼쪽) · 이지형 대표가 환한 모습으로 웃고 있다.
5. 사용자가 스스로 콘텐츠를 만들어서 제작한 종이책들.



조바심을 버리고 여유를 배우다

이윤재 · 이지형 대표는 현재 휴학 중이다. 일에 좀 더 집중하기 위해 내린 결정이었다. 비록 당분간 학교를 떠나 있지만, UNIST가 있는 곳이면 그곳이 곧 캠퍼스가 아닐까. 실제로 일을 하며 배운 것도 많다. 가장 큰 깨달음은 여유다. 당장 뭔가를 이루고 결과를 내야 한다는 조바심과 욕심을 버렸다. 하나의 문턱을 넘으면 또 다른 문턱을 마주해야 하는 지리한 과정을 거치면서 현재 하는 일에 보다 집중하고, 사업을 길게 보는 마음과 태도를 배우게 된 것이다.

“학교생활도 창업에 도움이 됐습니다. UNIST는 다른 학교에 비해 창업에 대한 관심이 높아서 다양한 친구들을 만나 함께 프로젝트를 진행할 기회가 많아요. 그런 경험들이 현재 사업을 운영하는 데도 많은 도움이 되고 있어요.”

이지형 대표의 말에 이윤재 대표는 “학교라는 심리적 안전망 덕분에 시행착오에 대한 부담이 적었다”며 “특히 UNIST의 융합전공으로 손쉽게 다른 학과의 수업을 듣고 다양한 분야의 친구들을 만날 기회가 많았던 것도 큰 도움이 됐다”고 덧붙였다.



누구나 작가가 될 수 있는 공간

지금의 ‘쓰’는 출시 때에 비해 제법 다양한 기능들을 갖추고 있다. 사용자가 쓴 글이 차곡차곡 쌓이면서 서로의 글을 담아가거나 구독할 수 있는 기능을 추가했고, 글 쓰기에 이야기가 가진 힘을 보태기 위해 모음 기능을 더했다. 제목부터 구성까지 사용자가 콘텐츠를 만들어서 발행할 수 있도록 한 것이다. 이렇게 발행한 모음으로 직접 종이책을 제작할 수도 있다.

이윤재 · 이지형 대표는 앞으로 사용자들이 자신의 글을 쉽게 퍼뜨릴 수 있도록 도울 예정이다. 종이책이나 전자책(e-book) 형태의 정식 출판이 아니어도 ‘쓰’ 안에서 서로의 글을 구독하고 담아가는 것도 한 방법이 될 것이다. 더 나아가 블로그나 SNS 등 외부로 전파하는 방법도 고민하고 있다. 이들이 궁극적으로 지향하는 건 사람들에게 자신을 표현할 수 있는 기회와 가능성을 공평하게 제공하고, 글을 쓰고 책을 내는 이들이 작가로 설 수 있는 디딤돌로 ‘쓰’가 자리매김하는 것이다. ‘세상에는 멋진 생각들이 많고, 우리는 누구나 글을 쓸 수 있다’는 ‘쓰’의 소개말이 허투루 들리지 않는 이유다.

전자기기의 디자인과 성능이 상향평준화되면서 배터리가 중요한 차별요소로 부각되고 있다. 최근 수년 사이에도 용량을 키워 사용 시간은 길고 충전 시간은 짧아진 배터리가 장착된 제품이 쏟아져 나오고 있다. 올해 나온 한 노트북의 경우 한번 충전에 24시간을 쓸 수 있다. 20년 전 필자가 처음 노트북을 샀을 때 4시간이었던 걸로 기억하는데 놀라운 발전 속도다. 그러나 여전히 배터리 성능에 만족하지 못하는 사람이 있다. 바로 UNIST 에너지 및 화학공학부 조재필 교수다.



“흑연 사이로 리튬이온이 들어가면 시커먼 전극(음극)이 황금색으로 바뀌면서 빛을 냅니다. 이 광경을 보고 있으면 아름답다는 생각이 들죠.”

매일 몇 시간씩 스마트폰이나 노트북을 쓰는 사람들에게 배터리는 공기와 같다. 기기가 제대로 작동할 때는 존재조차도 잊고 있지만 막상 배터리가 바닥을 드러내(기기의 숨이 끊어지기 직전)이 되면 충전할 콘센트를 찾아 사방을 두리번거리게 된다. 하지만 기기 안에 들어 있는 리튬이온배터리가 충전될 때 흑연 음극에서 이런 현상이 일어나는지는 아는 사람은 몇 명 되지 않을 것이다.

조재필 교수는 20여 년 동안 리튬이온배터리를 중심으로 이차전지, 즉 충전지 연구를 해오고 있다.

“그동안 리튬이온배터리 성능에 많은 발전이 있었습니다. 하지만 아직 이론적인 최대치의 70% 수준입니다. 30% 더 향상할 여지가 있는 것이죠.”

이 30%를 채우는 일을 자기 손으로 해내겠다는 의지가 대단하다. BoT(Battery of Things, 사물배터리) 시대가 하루라도 빨리 실현되는 데 한몫하겠다는 말이다. 참고로 BoT는 수년 전 삼성SDI의 조남성 사장이 IoT(사물인터넷)를 모방해 만든 신조어다.

실제로 배터리를 쓰는 기기의 범위가 넓어지면서 세계 배터리 시장 규모는 급속히 커지고 있다. 현재 리튬이온배터리의 시장 규모는 400억 달러(약 44조 원)가 넘고, 2020년에는 1,000억 달러가 넘을 것으로 전망된다. 조재필 교수는 어떻게 이처럼 잘 나가는 분야를 연구하게 됐을까?

“솔직히 뚜렷한 비전을 갖고 학과를 택한 건 아닙니다. 다만 당시 반도체가 막 주목을 받던 시기라 반도체 소재를 공부해야겠다는 생각은 있었죠.”

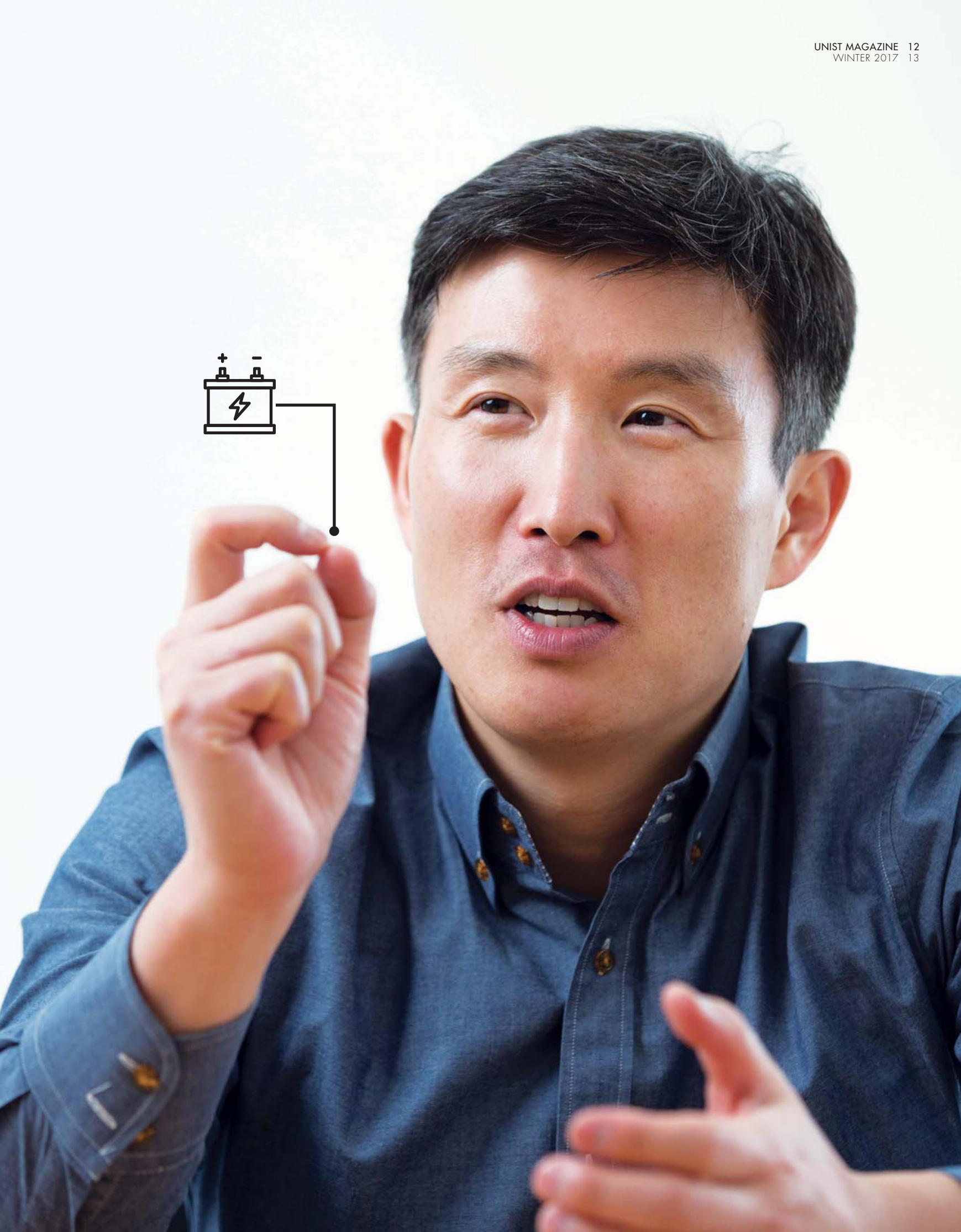
아시죠?

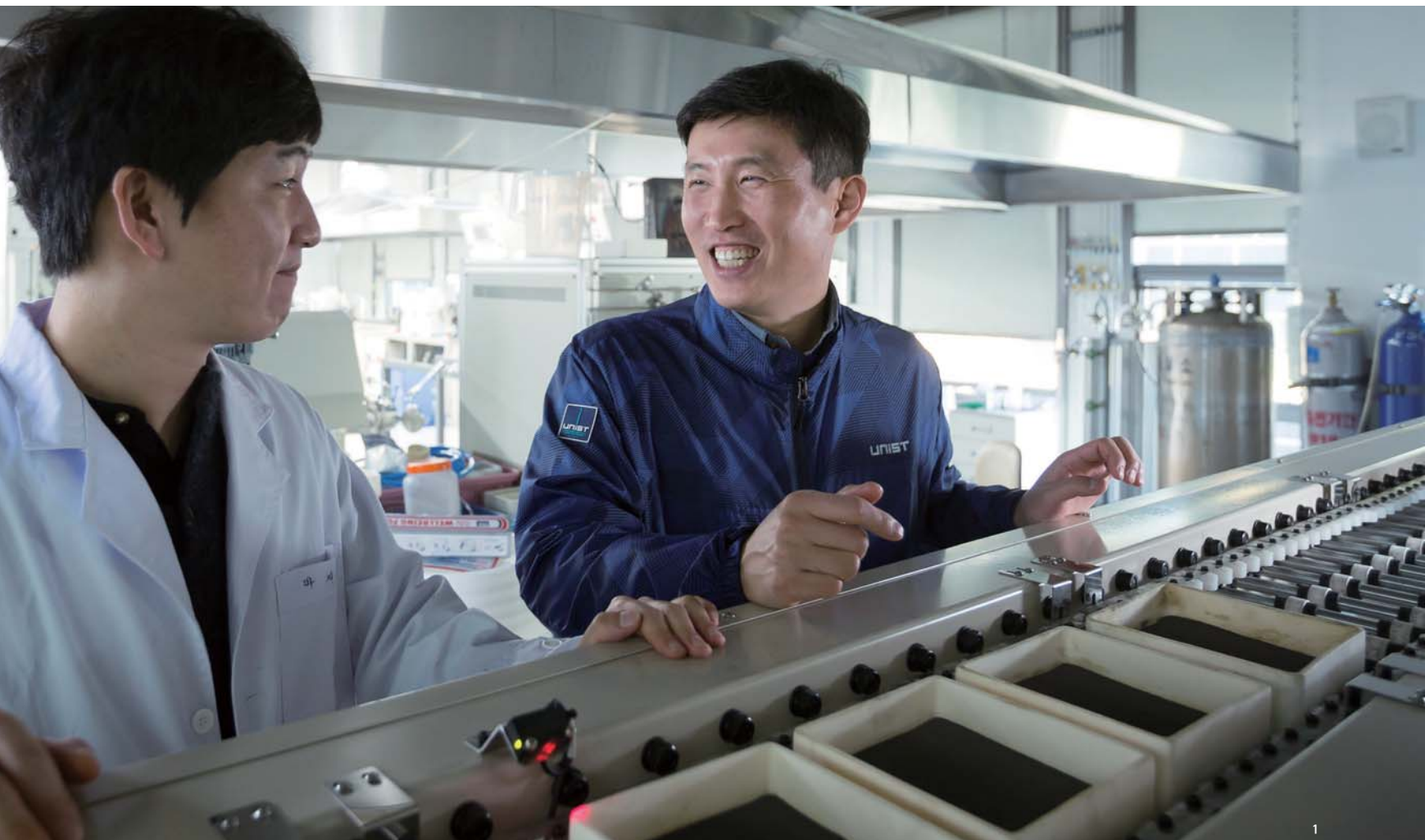
반도체 다음은 배터리라는 걸!

에너지 및 화학공학부 조재필 교수

글 강석기 과학칼럼니스트

서울대 화학과와 동대학원을 졸업하고 LG생활건강연구소에서 연구원으로 근무했으며, 2000년부터 2012년까지 <동아사이언스>에서 기자로 일했다. 2012년 9월부터 프리랜서 작가로 지내며 『강석기의 과학카페』, 『늑대는 어떻게 개가 되었나』를 저술했으며, 옮긴 책으로는 『반물질』, 『가슴이야기』가 있다.





대학원 시절 맺은 배터리와의 인연

1986년 그가 경북대 무기재료공학과에 들어갔을 때만 해도 주변에서 “무기(武器)를 만드는 재료를 공부하는 과도 있나?”고 농담을 했다. 물론 플라스틱 같은 유기(有機) 재료를 연구하는 화학(또는 고분자)공학과와 구분하기 위해서 쓴 학과명이다. 그 뒤 ‘무기’가 떨어져 나가고 요즘은 그냥 ‘재료공학’이라고 많이 쓴다.

당시 우리나라는 제5공화국 후반기라 정치적 혼란이 커서 대학에서 제대로 공부하기가 쉽지 않은 상황이었다. 공부에 뜻을 둔 다른 많은 학생들처럼 대학생 조재필도 2학년 때부터 일찌감치 유학을 준비해 미국 아이오와주립대 재료공학과에 입학 허가를 받았다. 대학을 졸업하고 6개월 뒤인 1990년 8월 그는 미국행 비행기에 올랐다.

석·박사 5년의 연구 주제는 황화물 유리 전해질을 만드는 일이었다. 배터리는 음극, 양극, 전해질 이렇게 세 가지 요소로 이루어지는데, 당시 액체 전해질은 안정성이 떨어져 고체(유리) 전해질을 개발하게 된 것이다. 대학원 때부터 배터리와 관련을 맺은 셈이다.

1995년 박사 학위를 받은 그는 미국 조지아공대에서 박사 후 연구원으로 본격적인 배터리 연구를 시작했다. 이 무렵 국내 기업들이 본격적으로 이차전지 사업에 뛰어들었

고, 그는 이듬해 삼성전관(현 삼성SDI)에 입사했다. 얼마 뒤 학계로 자리를 옮겨 금오공대, 한양대를 거쳐 2009년부터 UNIST에 재직하고 있다. 1990년대 중반의 조재필 박사와 몇몇 국내 기업들의 선견지명이 대단하다는 생각이 든다.

“사실 꼭 그렇지도 않습니다. 1991년 일본 소니(SONY)가 세계 최초로 리튬이온배터리 상용화에 성공하면서 본격적인 이차전지 시대가 열렸지만 시장이 이렇게 커질 줄은 몰랐어요. 심지어 일본 노무라연구소는 ‘2000년대 초에는 시장 포화로 이차전지 산업이 죽는다’고 예측할 정도였으니까요.”

1990년대 후반부터 휴대전화가 본격적으로 보급되기 시작하면서 노무라연구소의 전망은 완전히 빗나갔다. 특히 애플이 아이폰(2007년)과 아이패드(2010년)를 내놓으면서 개인 휴대기기 시장이 폭발적으로 커졌고, 이에 따라 배터리 수요도 급증했다. 게다가 테슬라가 2005년 리튬이온배터리를 장착한 전기차를 처음 내놓고 10여 년이 지난 지금, 머지않은 미래에 엔진을 단 차는 역사 속으로 사라질 것이라는 예상이 나올 정도다. 실제로 노르웨이는 2030년부터 엔진을 단 차의 운행을 금지한다고 선언했다. 보통 전기차 한 대에는 휴대전화 3,000대 분량의 배터리가 들어간다.

탁월한 연구 업적으로 세계에서 인정

이처럼 잘 나가는 분야를 연구하게 된 게 행운이라고 겸손하게 말하는 조재필 교수. 하지만 이런 분야에는 그만큼 많은 실력자들이 몰려들기 마련이다. 그가 세계에서 인정 받는 이차전지 연구자로 우뚝 선 건 그만큼 연구 업적이 탁월하기 때문이다. 그렇다면 조재필 교수는 어떤 연구를 해왔을까?

더 오래가고 빨리 충전되는 배터리를 만들려면 전극의 성능이 좋아야 한다. 현재 리튬 이온배터리의 경우 음극으로 흑연이 널리 쓰이고 있다. 흔하고 싼 재료인데다 층상 구조라 틈새에 리튬이온이 쉽게 들어갔다(충전) 나올 수 있고(방전), 이 과정이 반복돼도 안정적이기 때문이다. 다만 에너지 밀도가 높지 않고 충전 속도도 빠르지 않다.

“그래서 새로운 음극 소재를 개발하는 연구가 많이 진행되고 있습니다. 저희 연구팀의 경우 최근 흑연에 실리콘을 결합한 음극을 만들어 에너지 밀도를 높이고 충전 속도도 1.5배 빠르게 만드는 데 성공했죠.”

사실 실리콘은 흑연보다 에너지 밀도(단위 무게당 담을 수 있는 전력량)가 10배나 더 커서 오래 쓰는 이차전지를 만들 수 있는 재료로 손꼽힌다. 하지만 실리콘은 충전될 때 즉, 리튬이온이 들어오면 부피가 3배 이상 커지는 치명적인 문제가 있다. 이렇게 되면 충전 때 팽창, 방전 때 수축이 반복되면서 전극이 금방 망가진다.

조재필 교수팀은 먼저 흑연의 가장자리를 살짝 부식시켜 리튬이온이 좀 더 쉽게 드나들 수 있게 하고, 여기에 실리콘 나노층을 입혀 에너지 밀도를 높였다. 그 결과 기존 흑연 음극에 비해 충전 시간과 속도가 모두 개선된 음극 소재가 나온 것이다. 이 연구 결과를 담은 논문이 10월 9일자 <네이처 커뮤니케이션스(Nature Communications)>에 실렸다.

조재필 교수팀은 다른 유형의 배터리도 연구하고 있다. 예를 들어, 아연공기배터리의

경우 양극으로 공기(산소)가 쓰이는데 에너지 밀도가 리튬이온배터리의 4~5배에 이르고 충전도 빨리 된다. 그러나 아연 음극은 반복되는 충전과 방전에 불안정해지는 문제를 가지고 있다. 또 양극에서 산소를 수산화이온으로 환원시키거나(방전) 산소를 발생시키는(충전) 반응을 도와주는 싸고 효과적인 촉매를 찾아야 하는 등의 문제가 있어 널리 쓰이기에는 아직 갈 길이 멀다.

최근에는 같은 학과 김건태 교수팀과 함께 페로브스카이트라는 물질로 다공성 나노섬유 촉매를 만드는 데 성공해 백금이나 산화이리듐 같은 기존의 비싼 촉매를 대신할 수 있는 길을 열었다. 이 촉매를 적용한 아연공기배터리는 충전과 방전을 반복해도 안정성을 유지하는 것으로 나타났다. 이 연구 결과를 담은 논문이 지난 10월 20일 학술지 <ACS 나노(ACS Nano)> 사이트에 공개됐다.

시장 선도에 대한 자부심과 사명감

조재필 교수가 몸담고 있는 UNIST는 이차전지 연구로 세계적인 주목을 받고 있다. 조재필 교수를 포함해 이차전지 전공 교수가 8명이나 되고, 대학원에서 '배터리 과학 및 기술' 분야를 독립시켜 매년 40여 명의 대학원생을 따로 뽑는다. 또 지난해 12월 '미래형 이차전지 산학연 연구센터'가 문을 열었다. 조재필 교수는 이 연구센터의 초대 센터장이기도 하다.


“저희 센터의 자랑 중 하나는 준양산(pilot) 설비를 갖추고 있다는 것입니다. 실험실에서 아무리 성능이 뛰어난 배터리를 만들어도 막상 상업 양산 규모에서도 그렇게 되지는 보장이 없습니다. 그래서 그 중간 단계인 준양산 실험이 중요하죠. 제가 알기로는 준양산 설비를 갖춘 대학은 UNIST가 처음입니다.”

학생들은 자신이 개발한 배터리를 준양산 수준까지 규모를 키워 제대로 작동하는지 직접 확인해볼 수 있다. 이와 함께 준양산을 하며 실험실에서와는 또 다른 세계를 경험하게 된다. 배터리 회사 입장에서 준양산 경험이 있는 연구원들은 '준비된 인재'인 셈이다.

“저희는 기본적으로 엔지니어(공학자)입니다. 기초 연구도 좋지만 무엇보다도 자신의 연구가 실생활로 이어질 때 큰 보람을 느끼죠.”

조재필 교수는 지금까지 280여 편의 논문을 발표했고, 200여 건의 특허를 출원했다. 지난 7월에는 미국화학회가 선정하는 재료과학·공학 분야 '저널 스타(Journal Stars)'로 선정되기도 했다. 또 지난해와 올해 미국 정보서비스업체인 클래리베이트 애널리틱스가 발표한 '세계 상위 1% 연구자'에 이름을 올리며 연구 영향력을 인정받았다. 현재 조재필 교수가 이끄는 연구팀의 인원은 30명이 넘는데, 대학 실험실로는 초대형 규모다. 그와 배터리의 인기를 짐작할 수 있는 대목이다.

“현재 배터리 시장은 한·중·일 세 나라가 독점하고 있는 상태입니다. 그 가운데서도 우리나라가 가장 앞서 있지요. 배터리 연구자에게는 이상적인 환경이면서 동시에 꾸준히 우위를 지켜야 한다는 사명감도 느낍니다.”

이제 50대에 접어든 조재필 교수. 그러나 외모는 족히 10년은 젊어보였다. 인터뷰 내내 미소를 띠며 이야기하는 긍정적인 마인드와 활기 넘치는 태도가 이런 '착시'를 불러일으킨 게 아닌가 하는 생각이 들었다. 배터리에 대한 그의 열정과 도전도 같은 선상에 닿아 있다. 



1. '미래형 이차전지 산학연 연구센터'에서는 새로 개발한 배터리를 준양산 수준까지 규모를 키워 제대로 작동하는지 직접 확인해볼 수 있다. 이런 경험은 준비된 인재 만드는 힘이 된다.
2. 조재필 교수(오른쪽)의 제자는 학계와 산업계에 두루 진출하고 있다. 사진 속 왼쪽은 실리콘밸리에서 근무하는 제자 정수경 박사다.



1+1=3 or More

융합인재 기르는 융합전공의 힘

융합전공은 우리가 흔히 아는 복수전공이나 부전공과는 다르다. 복수전공은 학위를 2개 수여하고, 부전공은 별도로 전공명을 기재해주는 형태로 운영되지만, 융합전공은 학생들이 원하는 전공을 조합해 하나의 학문으로 융합한 1개의 학위를 받아 졸업한다. UNIST는 국내 최초로 융합전공 제도를 도입해 모든 학생이 자신만의 전공을 갖도록 했다. 개교부터 지금까지 꾸준히 운영되고 있는 융합전공 제도에 대해 학생들의 이야기를 직접 들어봤다.

공통 질문

01

자신의 융합전공을 어떻게 선택해서 조합하게 됐나요?

02

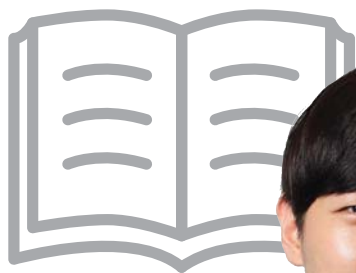
융합전공으로 얻은 시너지는 무엇인가요?
또 진로와 취업(창업)에는 어떤 도움을 받았나요?

03

후배들에게 하고 싶은 말이 있다면요?

04

'융합전공'은 이런 것이라고 생각해요.



03 후배들은 전공 선택에 앞서 스스로의 진로에 대해 더 고민하고, 자신이 어떤 분야에 주안점을 두고 있는지 생각해봤으면 합니다. 제 경우 창업 분야에 대한 꿈이 확고해서 경영학과 벤처경영 전공을 선택하는 데 의심의 여지가 없었어요. 하지만 자신이 선택한 융합전공에 회의감을 느끼는 후배들도 종종 있습니다. 따라서 후배 여러분들은 자신의 진로와 좋아하는 분야에 대해 보다 깊이 있게 고민하고, 충분한 이해를 바탕으로 전공을 선택한다면 자신의 꿈에 한 걸음 더 다가설 수 있을 거예요.

04 UNIST는 융합전공을 통해 여러 분야에 조예가 깊은 우수한 인재를 양성할 기반을 갖추고 있다고 생각합니다. T자형 인재(한 가지 전공 분야의 깊은 지식(I))과 알지만 여러 방면에 대한 폭넓은 지식(-)을 가진 인재)를 뛰어넘는 A자형 인재(사람인(人)자와 그사이를 잇는 선이 삼각 균형을 이루는 상태 즉 전문성, 인성, 팀워크 능력을 겸비한 인재)를 목표로 한다면, UNIST의 융합전공은 가장 올바른 선택이 될 거예요.

01 경영을 전공하면 경영 관련 이론에 대해서는 깊이 있게 공부할 수 있겠지만, 실무 경험을 하기는 어려울 것 같아서 다소 아쉬웠습니다. 경영 실무를 바탕으로 미래 기업경영인으로서의 소양과 자질을 쌓을 수 있는 방법을 고민했는데, 융합전공으로 해결할 수 있었습니다. 실제 창업과 연계되는 실무 경험과 이론을 접할 수 있는 벤처경영학도 함께 배울 수 있었거든요.

02 융합전공의 가장 큰 장점은 하나의 전공 분야에서 느끼는 부족함을 다른 전공에서 채울 수 있다는 겁니다. 제 경우를 예로 들어볼게요. 저는 경영학을 전공하면서 이론적인 측면을 중심으로 전반적인 기업 경영에 필요한 지식을 쌓았고, 벤처경영학을 통해 배운 이론을 실제 현장에서 적용해볼 수 있었습니다. 특히 벤처경영 전공 중 '창업과 벤처' 과목을 들으면서 진행한 프로젝트 아이디어를 실제 창업으로 연계할 수 있었습니다. 그 밖에 '기업가정신', '제품서비스디자인', '캡스톤프로젝트' 등의 과목에서 배운 이론과 실무 경험이 제가 만든 창업팀의 기반이 됐고, 회사의 방향성을 잡는 데도 아주 큰 도움이 됐습니다.

꿈을 이루는 가장 빠른 길

박상욱(경영학부 12) 학생
경영 · 벤처경영 융합전공, 現 대한민국 공군 소위

뿌리가 튼튼한 융합전공, 연구의 튼튼한 밑거름



유철희(도시환경공학부 13) 학생
환경과학공학 · 재난관리공학 융합전공, 現 도시환경공학과 석박사통합과정

01 1학년 때 여러 수업을 들으며 고등학교 때 느끼지 못했던 과학과 수학의 매력을 느꼈습니다. 학부 졸업 후에도 계속 공부하고 싶었지만 어떤 전공을 선택하는 게 최선일지, 저와 잘 맞는 분야는 어떤 것인지 명확한 답이 내려지지 않았어요. 두 개의 트랙(전공)을 어떻게 조합하느냐에 따라 진로가 좌우될 수 있다는 것도 적지 않은 부담이었죠. 저는 먼저 학부별 전공 설명회에 참석해 설명을 듣고, 여기서 나눠주는 책자들을 참고했습니다. 전공과 연구실에 대한 설명이 자세히 나와 있어 많은 도움이 됐습니다. 그렇게 제가 공부하고 싶은 환경과학공학을 1트랙으로 정한 후 선배들과의 상담을 통해 2트랙을 결정했어요.

02 저는 현재 환경원격탐사연구실(지도교수: 임정호)에서 인공위성 영상으로 지구의 여러 현상을 관측하고 분석하는 연구를 하고 있습니다. 위성 영상은 폭염, 가뭄, 태풍, 산불 등의 재난 현상을 관측할 수 있는 귀한 자료인데요. 위성 영상을 이용한 재난 모니터링 연구도 많이 진행되고 있습니다. 재난 모니터링 연구는 2트랙인 재난관리공학을 융합전공 하면서 배운 지식의 도움을 많이 받고 있습니다. 여러 재난 현상의 정의와 원리를 명확히 이해한 게 지금 연구의 밑거름이 됐거든요. 또 융합전공 덕분에 연구 주제를 선택하는 안목이 넓어졌고, 선행 연구를 접할 때 재난 관련 용어들을 쉽게 이해해 상대적으로 수월하게 공부할 수 있었습니다.

03 융합전공 선택 시기가 되면 정말 많은 고민을 하게 되죠. 심지어 3~4학년 때 융합전공의 조합을 바꾸는 친구들도 있습니다. 만약 대학원 진학을 고려하고 있다면, 우선 자신이 하고 싶은 연구 분야를 찾는 후 거기에 맞는 융합전공 조합을 선택해볼 것을 권합니다. 저는 이런 과정을 거쳤기 때문에 두 개 트랙을 공부하면서 융합전공의 목적을 확실히 할 수 있었고, 두 트랙 모두 흥미롭게 수강할 수 있었습니다.

UNIST의 융합전공은 정말 매력적인 제도입니다. 자신의 진로를 끊임없이 고민한 후 융합전공을 선택하세요. 학부 설명회에도 참석하고, 연구실 홈페이지도 찾아보고, 직접 교수님과 선배들에게 메일을 보내는 등 적극적으로 알아보세요. 많은 분들이 경험에서 우러나온 말들로 도와주실 겁니다.

04 융합전공은 단순히 두 분야의 전공지식을 쌓는 것 이상의 가치를 가집니다. 여러 분야의 수업을 듣고, 다양한 진로에 관심 있는 친구들과 만나 이야기를 나눠볼 수 있거든요. 어떤 조합이 최선인지 묻는다면 정답은 없다고 말씀드리고 싶어요. 자신에게 맞는 전공을 찾아 끊임없이 고민하고 두 트랙에서 공부할 걸 얼마나 살리느냐에 따라 이 제도가 발휘하는 힘은 천차만별이라고 생각합니다. 개인적으로는 전공 없이 입학해 제 진로를 진지하게 고민할 기회를 주고, 앞으로 배우고 싶은 두 분야를 직접 선택할 수 있게 해준 UNIST를 만나 너무 행복합니다.



저는 전공 선택 시기에 남들보다 오랫동안 고민했어요.

01

물리와 생물 두 과목을 가장 좋아했고 생명공학자

가 되고 싶었는데, IT와 전자공학에도 관심이 많았거든요.

그래서 2학년 1학기에 화학생명공학부와 전기전자공학

부의 과목들을 수강했어요. 그런데 수업을 듣고 공부를

할수록 전자기학과 디지털시스템 과목에서 더 큰 흥미

를 느꼈습니다. 결국 2학년 2학기 때 1트랙은 소자물리,

2트랙은 전기전자공학으로 바꿨습니다. 두 트랙은 서로

연관이 많아서 융합전공으로 배우면 더 깊이 있게 공부할 수

있을 것 같았거든요.

02

학부 3학년 때부터는 집적회로시스템연구실(지도교수: 최재혁)

에서 아날로그 회로설계에 관한 연구를 시작했고, 석사과정 동안

전력 소모를 줄이면서도 좋은 성능을 낼 수 있는 주파수 생성기를 설계하는

방법에 관해 연구했습니다. 전기전자공학과의 연구 분야지만 소자물리와

의 여러 과목을 공부한 게 도움이 됐습니다. 회로를 이루는 반도체 자체의

성질 등은 소자물리과에서 자세히 배울 수 있었거든요. 박사과정에서는 테

라헤르츠 주파수 대역에서 동작하는 회로설계를 연구할 예정입니다. 주파

수가 높아질수록 회로설계 시 고려해야 할 물리학적 요소들이 많아지기

때문에 융합전공으로 익힌 지식들이 크게 빛을 발할 것이라고 생각합니다.

회로설계자라는 지금의 제 꿈은 어찌 보면 융합전공으로 여러 분야를 폭넓

게 접한 덕분에 찾은 것일지도 모르겠어요.

03

원하는 전공을 자유롭게 선택할 수 있다는 게 UNIST의 가장 큰

장점이라고 생각합니다. 관심 있는 분야의 교수님이나 선배들의

조언도 얻고, 자신이 하고 싶은 게 무엇인지 잘 생각한 후에 전공을 선택하

는 게 중요하다고 생각합니다. 저는 2학년 2학기 때 지금의 전공을 선택했

는데, 후배들은 더 일찍 고민을 시작했으면 해요. 적극적으로 조사해서 조

금 더 빠르게 훌륭한 선택을 할 수 있길 바랍니다.

04

지금은 다양한 연구 분야에서 학문 간 융합이 일어나기 때문에 앞

으로 이러한 분야의 연구를 하고 싶다면 융합전공이 직접적인 도

움이 될 거예요. 또 서로 다른 두 분야를 융합해 공부한다는 점이 다른 이들과

과는 차별화돼 진로에도 도움이 되리라 생각해요. 커리큘럼이 딱 하나로 정

해져 있지 않다는 건 장점이기도 하지만, 필수과목을 못 듣는 상황이 발생하

거나 평이한 과목만 듣고 졸업하는 문제가 생길 수 있어요. 이 점에 유의해

서 계획을 세우고, 자기만의 융합전공을 살리면 좋겠습니다.

다양한 분야, 폭넓은 경험으로 진로 찾기

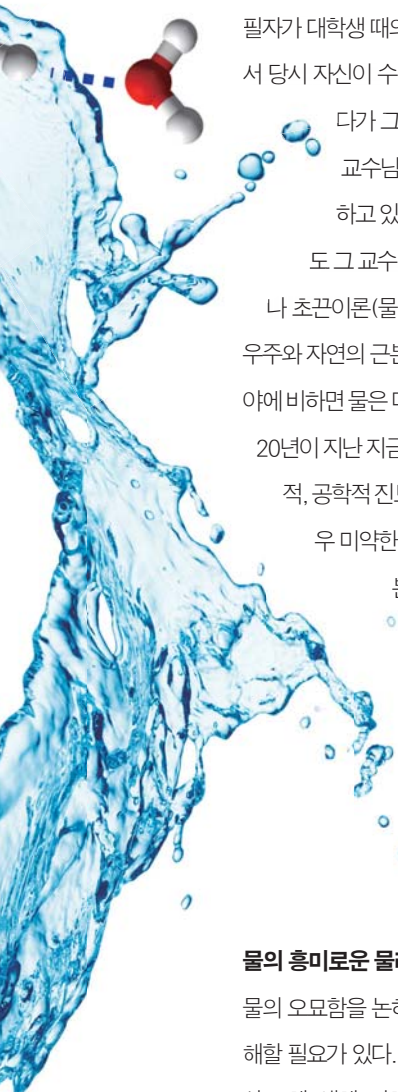
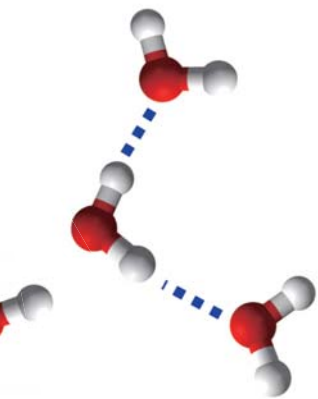
김민아(전기전자컴퓨터공학부 10) 학생
소자물리 · 전기전자공학 융합전공, 現 MIT 박사과정

물의 오묘함이란!

물은 화학적으로 매우 간단한 분자들로 이뤄져 있지만, 그 물리적 특성은 매우 복잡하다. 따라서 물의 이론 모델을 정교하게 정립하는 일은 물리, 화학 등의 기초과학뿐만 아니라 생명공학 등 공학 분야에서도 막대한 파급 효과가 있다. 알면 알수록 오묘한 세계, 물에 대해 들여다보자.

글 자연과학부 김재운 교수

김재운 교수는 고압력 과학(HIGH-PRESSURE SCIENCE), X-선 과학(X-RAY SCIENCE), 단백질 과학(PROTEIN SCIENCE)을 전문으로 연구하고 있다. 2014년부터 2017년까지 미래창조과학부 중견연구지원사업(핵심 연구)에 참여해 물의 상전이와 물-단백질의 상호 작용에 관한 연구를 진행해왔으며, 2018년부터는 삼성미래기술육성재단의 지원으로 극저온 액체 상태의 물에서 발견되는 새로운 생명현상에 관해 연구를 진행할 계획이다.



필자가 대학생 때의 일이다. 한 전공 수업을 듣는 중이었는데, 교수님께서 당시 자신이 수행하던 연구가 얼마나 중요한지에 대해 열변을 토하

다가 그 비교 대상으로 물(H₂O)에 관한 연구를 언급하셨다.

교수님 왈, “요즘이 어떤 세상인데 아직도 물 같은 것을 연구하고 있나. 하긴 물도 중요하지. 없으면 목도 마르고...” 아마

도 그 교수님은 초전도체(낮은 온도에서 저항이 0이 되는 물질)나 초끈이론(물리적 최소 단위를 끊임없이 진동하는 끈으로 기술해 우주와 자연의 근본적인 원리를 밝히려는 이론) 같은 당시의 최첨단 분야에 비하면 물은 매우 시시한 연구 주제라 여기신 듯하다.

20년이 지난 지금은 필자가 대학생이던 시절에 비해 놀랄 정도로 과학적, 공학적 진보가 이뤄졌다. 예를 들어, 태양계 밖에서 보내오는 매우 미약한 중력파를 정밀하게 측정할 수 있는 고도의 기술력과

분석력을 확보했으며, 인간만이 할 수 있다고 믿었던

높은 수준의 지적 활동을 인공지능을 탑재한

컴퓨터가 넘보는 시대가 된 것이다. 이런 최첨단

시대를 살고 있는 우리에게 물은 이전보다 더 시시

한 주제로 보여야 마땅할지 모르겠다. 하지만 과학

적 측면에서 물은 점점 더 ‘오묘’해지고 있으니,

아이러니한 상황이 아닐 수 없다.

물의 흥미로운 물리적 특성


물의 오묘함을 논하기에 앞서 우리는 일반적인 물질의 상태에 대해 이해할 필요가 있다. 물질이란 분자(혹은 원자)들이 모여 있는 것으로 통상 고체, 액체, 기체 상태로 나뉜다. 고체 상태의 물질은 분자들 사이를 가까이 묶어두는 상호작용이 열적 운동 에너지보다 훨씬 강해 분자들이 서로 오밀조밀 모여 있는 딱딱한 상태다. 이에 반해, 기체 상태는 상호작용에 비해 열적 운동 에너지가 훨씬 커서 각 분자들이 서로 멀리 떨어져 움직이고 있는 상태다. 액체 상태는 고체와 기체의 중간쯤으로, 분자간의 상호작용과 열적 운동 에너지가 비슷하게 균형을 맞추고 있는 상태다. 이로 인해 액체 상태에서 분자들은 고체 상태처럼 서로 가까이 있지만 서로에게 단단히 묶여 있지는 않아서 ‘출렁출렁’한 특징을 나타낸다. 이렇게 물질의 상태는 분자간의 상호작용과 열적 운동 에너지 간의 경쟁과 균형에 의해 결정된다. 물이 다른 물질들에 비해 특별히 흥미로운 물리적 특성을 보이는 이유도 바로 물 분자들 간의 상호작용이 오묘하기 때문이다. 하나의 물 분자는 산소 원자 주변에 두 개의 수소 원자를 공

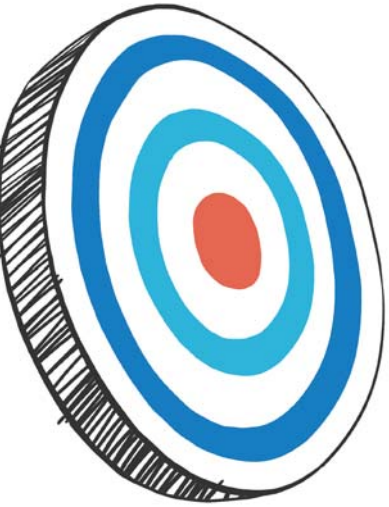
유결합으로 달고 있으며, 결합되지 않은 전자쌍을 두 개 지니고 있다. 이렇듯 물 분자는 본래의 모습이 선천적으로 비대칭적이어서 두 분자간의 상호작용은 바라보고 있는 두 분자의 방향에 따라 변화무쌍하다.

또한 물 분자는 지니고 있는 산소 원자의 높은 전기 음성도로 인해 주변의 물 분자와 수소결합을 할 수 있다. 하나의 물 분자는 주변 물 분자와 최대 4개의 수소결합을 이뤄내 3차원 공간에서 정사면체(tetrahedral) 구조를 만들어내는 게 가능하다. 이러한 물의 상호작용에 관한 특성들은 온도나 압력에 따라 미묘하게 변한다. 이로 인해 고체 상태의 얼음이 액체 상태의 물에 뜨고, 과냉각 물(어는점 이하에서 얼지 않고 액체 상태로 남아 있는 물)의 주요 물리적 특성이 비정상적으로 커지는 등 다른 액체들과는 매우 다른 특이한 성질을 보이게 되는 것이다.

영하 150℃에서 액체 상태의 물

물 분자들 간의 상호작용은 현재 물리·화학적 지식과 첨단 컴퓨터 계산 기법을 총동원하더라도 정확히 예측해낼 수 없을 정도로 매우 섬세하다. 대신 실험적 기법의 고도화로 인해 20년 전에는 불가능했던 물의 독특한 물리적, 화학적 특성에 관한 실험이 현재는 가능해졌다. 이에 따라 전 세계적으로 물에 관한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다. 이것이 물이 20년 전에 비해 한층 오묘해지고 있는 이유다. 일례로, 최근 필자는 압력을 정교히 조절하면서 물을 얼리면 영하 150℃에서도 액체 상태의 물을 유도해낼 수 있다는 사실을 실험적으로 밝혀냈다. 이 연구 결과는 물의 특성을 설명하는 정교한 이론적 모델을 수립하는 데 중요하게 기여할 것으로 기대된다.

물에 관한 연구가 활발해지는 이유는 비단 지적인 측면에서 흥미롭기 때문만은 아니다. 이를 테면 일상생활에 지대한 영향을 미치는 구름의 생성이나 비와 우박의 생성 기작은 여전히 완전히 이해하기 어려운 영역으로 남아 있다. 물의 오묘함을 풀어내야만 이들 현상의 원리도 명쾌하게 밝혀낼 수 있다. 공학적으로는 거친 환경에서 구동되는 기계의 내부와 표면에서 일어나는 물의 응결과 빙결 현상을 해결해야 한다. 이런 난제를 푸는 일도 물을 얼마나 이해하는지에 달려 있다. 생물학적 측면에서는 단백질의 기능 발현에 필수적인 단백질 내부 물 분자의 동역학적 움직임은 여전히 매우 도전적인 연구 영역으로 남아 있다. 이렇듯 물은 오묘하며, 물 연구는 중대하다. 필자와 함께 물의 오묘함에 대해 중대한 연구를 해보고 싶은 분들은 UNIST로 오길 기대한다. 



정중동의 마음으로 희망의 과녁을 향해 화살을 날리다

UNIST 리더십 프로그램 : 국궁 체험

UNIST 리더십 프로그램 중 하나인 '국궁 체험'은 우리 민족 고유의 전통무예이자 정신문화로 5천년이 넘는 오랜 역사를 지니고 있는 '궁도'를 배우는 프로그램이다. 이를 통해 집중력, 자신감, 성취감을 고취하고 심신 단련과 정신 수양의 기회를 갖는다. 화살 하나에 몸과 마음을 모으는 정중동의 자세를 통해 자기 성찰과 마음 정화에 나선 학생들을 만나봤다.





2

1. '국궁 체험'에 참가한 학생이 과녁을 향해 활을 조준하고 있다.
2. 학생들이 궁도를 지도하는 사범의 설명에 진지하게 경청하고 있다.
3. 화살 하나로 몸과 마음을 모으는 정중동의 자세를 배우는 시간.
4. 활쏘기가 끝난 학생들이 자신이 쓴 화살을 찾으러 과녁을 향해 이동하고 있다.



3

가을밤, 사위는 제법 어둡다. 달빛은 교묘하고, 적막 사이로 이따금 스산한 바람이 불어온다. 탄탄하게 고정된 다리에 다시 한번 힘을 준다. 꼭 다문 입술, 굳은 얼굴에 긴장감이 감돈다. 예리한 눈은 이미 과녁을 꿰뚫고 있다. 팽팽하게 줄이 당겨지자 활을 잡은 팔 근육도 불끈 솟아오른다. 시위를 놓자 숨소리마저 얼어붙게 만드는 적막과 답답하게 가로막힌 어둠을 가르고 화살이 난다.

삼국시대부터 국민을 훈련시키는 주된 방법으로 사용된 국궁은 우리 민족의 웅지(雄志)와 패기, 활달하고 진취적인 기상을 유감없이 보여주는 스포츠다. 초급자는 대개 석 달 코스를 밟아 궁도를 배우는데, UNIST의 '국궁 체험' 리더십 프로그램은 다섯 번의 속성 코스로 진행됐다.

실제 체험은 대한궁도협회 울주군지회의 지도로 UNIST 인근 국궁장인 고현정에서 진행됐다. 지난 9월 12일 첫 수업을 시작으로 네 번째 수업까지 궁도 소개, 예절 교육 및 궁도장 안전 수칙, 활쏘기 기본자세, 30m 과녁에 화살 보내기, 경기 방법 교육, 각종 올리기 시범 및 궁시의 이해 등의 교육이 진행됐다.

자세와 기본을 중시하는 심신 운동

프로그램 마지막 날인 10월 31일은 다섯 번째 수업으로 실제 국궁 경기의 거리인 145m 과녁에 화살을 보내는 날이다. 네 번째 수업에서 시범을 보며 미리 연습을 한 터라 과녁 적중에 대한 학생들의 기대감도 한껏 부풀어 올랐다. 활을 들고 궁대를 맨 학생들의 표정이 꽤 진지하다.

본격적인 활쏘기에 앞서 목부터 어깨, 팔, 허리순으로 가벼운 스트레칭이 이뤄졌다. 이어 지도를 맡은 주용웅 사범(대한궁도협회 울주군지회 전문이사·울산시 국궁 대표선수)이 학생들에게 질문을 던졌다.

“지난번에 145m 활쏘기를 해봤는데 과녁까지 잘 안나갔죠? 왜 그랬다고 생각해요?”

학생들이 우물쭈물 대답을 못하자 그가 말했다.

“힘이 부족해서입니다. 궁도의 힘은 올바른 자세와 집중력에서 나옵니다. 적어도 한



4

달 정도는 활을 당겨봐야 힘이 생기죠. 여러분은 훈련 시간이 부족했으니 무조건 힘을 쓰지 말고, 활을 잡는 팔과 시위를 당기는 팔에 힘을 집중하세요.”

총 20명의 학생이 10명씩 2열로 줄을 섰다. 앞줄 1조는 화살을 쓰고, 뒷줄 2조는 활을 당기는 연습을 했다. 제법 쌀쌀한 날씨에 몸이 많이 움츠러들었지만 학생들의 눈빛만은 형형하다. 지난번에 실제 활을 쏘아본 경험이 있어서인지 모두들 제법 자세가 안정적이다. 활을 당기는 모습에서도 자신감이 넘쳤다.

국궁에서는 활을 쏠 때 먼저 쏘는 이가 “활 배웁니다”라고 말하면 주변 사람들이 “많이 맞히세요”라고 호응한다. 국궁은 예를 중시하는 스포츠다. 남녀노소 누구나 전국 대한궁도협회 산하 지회에 가입해 자유롭게 활동할 수 있지만, 인성에 문제가 있는 사람은 활동에 제약을 받는다.

화살과 줄의 이슬이슬한 줄타기

한 사람씩 활쓰기가 시작됐다. 하지만 깎지(엄지손가락 아래 마디에 씌우는 덮개로 화살을 잡을 때 손가락을 보호하는 장비)를 낀 손가락에 실제 화살을 잡고 당기자 팔을 부들부들 떠는 학생들이 많았다. 빈 활을 당기는 것에는 익숙하지만 화살을 매겨 쓰기에 아직 실력이 부족해 보인다. 충분히 줄을 당겨줘야 어깨 근육이 풀려 유연하게 활을 쏠 수 있는데, 몸이 생각만큼 따라주지 않는다. 한 학생이 시위를 자신 있게 당기지 못하고 엉거주춤하자 주시범이 자세를 교정해주며 조언한다.

“화살을 넣은 후 활을 이마 위로 올리고 시위를 당기세요. 시위를 당길 때는 활을 잡은 손을 같이 힘껏 밀어줘야 해요.”

구체적이고 명쾌한 설명에 학생들이 조금씩 자세를 바로잡는다. 활을 잡은 손을 밀어 주는 느낌으로 하되 손목이 꺾여지지 않도록 곧게 펴본다. 과녁이 다 보이도록 활을 이마 위로 올려 시야를 넓힌다. 이어 활을 잡아 힘껏 당긴 후 호흡을 잠시 멈추고 과녁을 향해 화살을 쏜다.

본래 국궁은 서서 하는 운동이라 하체의 힘이 중요하다. 힘이 제대로 들어갔을 때 활을 당겨야 한다. 시위를 당길 때는 다리에 힘을 주고 몸을 깨끗하게 세워 움직이지 않게 고정한다. 또 화살과 줄을 잡은 손은 뺨에 밀착시키고, 당기는 팔꿈치는 아래로 처지지 않도록 제대로 올려야 한다.

김주연(기계항공 및 원자력공학부 16) 학생은 “시위를 당겨 활을 쏠 때가 가장 재미있다”며 활쓰기의 재미를 전했다.

“진짜 운동하는 느낌이 들어요. 역동적이랄까. 국궁은 정적인 운동인 줄 알았는데, 그게 아니었어요.”

활 쏘는 모습이 멋있어 보여서 이 프로그램을 선택했다는 김운성(기계항공 및 원자력공학부 16) 학생은 “아직까지도 화살이 날아가는 게 신기하고 흥미롭다”고 말한다.

“활을 잡으면 일단 흥분돼요. 아직 과녁을 맞히는 실력은 못 되지만 정신 수양에 크게 도움이 됩니다. 특히 집중력을 키우는 데 최고로 좋은 운동이에요.”

빛나간 과녁 보며 자신 돌아보기

활쓰기가 끝나자 학생들이 과녁을 향해 쏜 화살을 찾으러 이동했다. 활을 들고 과녁을 향해 걷는 모습에서 비장미마저 느껴진다. 학생들의 화살은 대부분 과녁 근처에 닿았





6



7



8

5. 학생들이 UNIST 인근 국궁장인 고현정에서 실제 국궁 경기의 거리인 145m 거리에서 활쓰기를 마친 후 기념 촬영을 했다.
6. 화살을 메겨 활을 쏠 때는 충분히 줄을 당겨줘야 한다. 그래야 어깨 근육이 풀려 유연하게 활을 쏠 수 있다.
7. 활을 쏠 때는 과녁이 다 보이도록 활을 이마 위로 올려 시야를 넓힌다. 이어 활을 잡아 힘껏 당긴 후 호흡을 잠시 멈춘다.
8. 어두운 가을밤, 과녁을 향해 천천히 활을 당기는 학생의 모습. 주변에 긴장감이 감돈다.

지만 과녁에 맞힌 학생은 없었다. 하지만 과녁 근처에 화살을 보낸 것도 대단한 일이다. 초심자는 145m 과녁을 맞추기는커녕 근처에 달기도 쉽지 않다. 2조 활쓰기가 어려웠지만, 결국 과녁에 맞힌 학생은 나타나지 않았다.

하지만 분명 변화는 있었다. 처음 왔을 때는 힘도 달리고 활 쏘는 자세도 좋지 않았는데, 이제 모두 제법 자세가 잡혔다. 사실 초급자의 경우 한 달 정도 매일 당기는 연습만 해야 궁력이 생긴다. 일주일에 한 번씩, 그것도 다섯 번으로 활에 제대로 힘을 쓰기란 쉽지 않다. 하지만 국궁은 체험만으로도 학생들에게 충분히 긍정적인 영향을 준다. 기본정신과 마음가짐을 강조하는 운동이고, 우리 고유의 무예와 전통을 익힌다는 점에서 그렇다. 국궁은 정신력과 집중력이 좋아지는 것은 물론 마음을 다스리는 데도 그만이다. 물론 전신 운동으로 체력을 강화하는 데도 효과가 있다. 한마디로 심신을 단련할 수 있는 운동이다.

국궁 체험 프로그램을 담당하는 UNIST 리더십센터 김환욱 씨는 “학생들이 젊다 보니 근력과 순발력이 좋아 기술 습득이 빠르다”면서도 “실력보다는 자세를 배우는 시간이었으면 한다”고 강조한다.

“국궁을 하는 활터에는 반바지, 슬리퍼, 운동복이 금지돼 있어요. 기본자세 즉 마음가짐이 중요하기 때문이죠. 국궁을 할 때는 결과가 좋지 않더라도 환경을 탓하기보다 자기 자신을 되돌아보는 자세를 가져야 합니다. 학생들이 이런 국궁의 기본정신과 자세를 배우는 게 체험의 목표이자 성과죠.”


국궁은 안전한 운동이라 부상이 거의 없다. 하지만 간혹 팽팽히 당겨진 줄이 뺨을 스치면서 상처를 내기 때문에 조심해야 한다. 오죽하면 ‘활은 임금님 뺨도 때린다’는 말이 생겼을까. 물론 학생들이 배울 때는 기본을 강조하기 때문에 부상이 거의 없다.

삶의 방향을 가능하는 활쓰기의 매력

스포츠를 좋아한다는 박한민(경영학부 16) 학생은 국궁이 운동으로서 충분히 효과가 있어 즐거웠고, 배우는 과정에서 조금씩 발전하는 모습에 뿌듯함을 느꼈다고 전한다.

“딱 한 번이라도 과녁을 맞히고 싶었는데 그러지 못해 아쉬워요. 나중에 제대로 배워 보고 싶어요. 머리가 복잡하고 생각이 정리가 안 될 때 도움이 될 것 같습니다. 활 쏘는 순간만큼은 잡생각이 사라지고 마음이 경건해지거든요. 함께했던 학생들과도 어느새 정이 들었어요. 국궁은 개인 운동이지만 화합에도 효과적인 것 같아요.”

박예영(기계항공 및 원자력공학부 15) 학생은 “그냥 서서 하는 운동이라 어렵지 않을 거라고 생각했는데 생각보다 근육을 많이 써서 힘이 들었다”며 “시간이 된다면 좀 더 배우고 싶다”고 소감을 밝혔다.

학생들은 심신에 활력을 느끼며 즐길 수 있는 국궁의 매력에 이제 막 빠져들기 시작했다. 궁도는 몸과 마음이 혼연일체가 돼 활을 쏠 때 과녁에 적중이 되는 경우가 많다. 이제 배우는 단계이기엔 활을 쏠 때 이런 무심의 경지에 이르는 쉽지 않다. 하지만 활을 쏘는 학생들의 표정에서 긴장과 설렘이, 과녁을 향한 눈빛에서 목표에 대한 강렬한 욕구가 느껴졌다. 학생들이 쏘아 올린 화살이 과녁에 정확히 꽂히기까지는 시간이 좀 더 필요해 보인다. 하지만 목표에 대한 노력과 갈망은 확연했다. 그들은 어쩌면 국궁 체험을 통해 인생의 방향을 가능하고 있는지도 모른다. 팽팽하게 당겨진 그들의 의지와 노력이 실력과 품성의 화살이 돼 삶의 목표, 희망의 과녁을 향해 날아갈 것이다. 

과학자가 발견한 규칙의 틈새

자연과학부 김재업 교수

구글의 바둑 인공지능(AI) 알파고 시리즈 중 최신 버전인 '알파고 제로'의 등장 이 연일 화제다. 지난 4월 <바둑룰의 이해>라는 책을 펴내고 기존 바둑 규칙들의 허점을 지적한 바 있는 물리학자 김재업 교수는 조금 다른 관점에서 알파고 시리즈를 평가한다. 그가 풀어내는 과학과 바둑, 바둑 규칙과 인공지능의 상관관계에 대해 들어봤다.



김재업 교수에게 물리와 바둑은 피하기 어려운 선택이었다. 아버지가 과학고 물리교사이자 바둑 애호가였기 때문이다. 너댓 살부터 아버지에게 배우기 시작한 바둑은 고등학교와 대학교 때 동아리 활동을 하면서 조금씩 실력이 늘었다. 현재 기력은 아마 5단 정도. 그렇다면 고분자 및 통계물리 이론 연구자로서 김 교수가 보는 바둑과 물리학은 어떤 관계일까?

“엄밀히 말해 바둑과 물리학은 직접적인 연관성이 없다고 봐야죠. 다만 인공지능과 사물의 규칙성은 어느 정도 관련이 있어요. 실제로 알파고를 비롯한 바둑 인공지능 제작자들 중에는 물리학을 하던 사람이나 물리학에 대한 이해가 깊은 사람들이 많습니다.”

바둑룰의 모순과 문제에 대한 고민

최근 김 교수는 <바둑룰의 이해>라는 책을 썼다. ‘물리 현상 뒤에 있는 숨겨진 규칙성과 물리 법칙의 가능한 선택지에 대해 고민하고 세상의 규칙을 찾는 게 일’인 물리학자로서 취미인 바둑 규칙에 관심을 가진 것은 어찌 보면 당연한 일이다.

“기존 바둑 규칙에서 용어와 개념에 대한 정의가 명확하지 않고, 대국 종료 조건이 확

실하지 않은 경우가 보였습니다. 바둑 규칙을 정확하게 이해하는 사람도 드물었고요. 특히 실제로 규칙을 글로 쓴 사람들조차 문제가 발생했을 때 제대로 판정을 내리지 못할 수도 있다는 사실은 정말 충격이었죠. 다른 나라의 바둑 규칙도 마찬가지로 있었어요. 보다 정교하게 제작하려고 노력한 일본과 최대한 간결하게 규칙을 만들려고 한 중국의 경우에도 모순은 존재했습니다.”

사실 바둑 규칙에 조금 모순이 있더라도 대부분의 대국이나 판정에서 큰 혼란은 벌어지지 않는다. 문제는

정확하지 않은 규칙 때문에 1,000분의 1의 확률이라도 판정이 불합한 경우가 생긴다는 것.

“작은 확률이라도 모순이 존재하거나, 발생할 가능성이 있으면 이를 적극 알리고 고치려고 노력해야죠. 그게 과학자의 의무고요. 바둑 규칙의 모순은 물론, 문제가 발생했을 때 학문적으로 어떻게 해결할지에 대한 문제를 더 많은 사람들이 고민했으면 하는 바람으로 이 책을 썼습니다.”

사실 과학의 엄밀함과 정밀성은 사람들이 신경 쓰지 않을 때 그 의미와 가치가 더욱 빛난다. 김 교수의 말대로 “막상 상황이 닥쳤을 때 문제를 해결하는 방식이 아니라 그런 문제가 애초에 일어나지 않게 하는 게 과학”이기 때문이다.

“바둑 규칙의 허점은 인공지능 바둑 프로그램의 문제와 연결됩니다. 바둑 규칙에 완벽하게 정리되지 않은 부분이 존재하면 모든 대국 과정을 완벽하게 프로그래밍할 수 없죠. 알파고 제로는 최대한 간단하게 동형반복을 금지시키는 규칙을 적용해 개발했지

만, 실제로 대부분의 대국은 그런 규칙으로 이뤄지지 않습니다.”

김 교수는 “향후 바둑 인공지능을 만드는 과정에서 보다 완벽하고 정밀한 바둑 규칙을 프로그래밍해 사용하면 인공지능을 발전시키는 데 조금이라도 더 기여할 수 있을 것”이라고 설명했다.

과학자는 누구도 하지 않는 일을 하는 사람

지난 5월 커제 9단과의 대국이 끝난 뒤, 알파고를 개발한 구글의 딥마인드는 더 이상 알파고 시리즈를 만들지 않을 것이라고 밝혔다. 바둑 연구자들 입장에서 알파고와 바둑의 새로운 분야를 개척하고 있다는 점에서 은퇴가 아쉽겠지만, 인공지능을 연구하는 과학자들 입장에서 볼 때 바둑은 딥러닝(Deep Learning)을 연구하는 무수한 과제 중 하나일 뿐이다. 김 교수는 알파고 개발과 발전이 인공지능 기술에 막대한 기여를 했다고보다 우리에게 커다란 시사점을 줬다는 점에서 의미가 있다고 말한다.

“바둑은 많은 두뇌 게임 중에서 가장 많은 시간과 공력을 들여 배워야 하죠. 고수가 되려면 적어도 1~2년을 집중적으로 투자해야 할 정도로 어려운 게임입니다. 알파고 시

리즈는 그 쉽지 않은 게임을 익히는 과정을 통해 대중의 마음에 인공지능의 가능성과 기술력을 각인시켰다는 점에서 높이 평가할 수 있습니다.”

김 교수는 인공지능의 미래 전망에 대해 “인공지능이 세상을 바꿀 것”이라고 단언한다. 산업 혁명 이후 완전한 과학적·기술적 변화가 없었는데, 이에 비견할만한 변화를 일으킬 수 있는 것이 인공지능이라는 것. 다만 그는 이 변화가 이론적인 큰 발견이 아니라 엔지니어링적인 개




구글 딥마인드는 10월 19일 <네이처(Nature)>에 바둑 인공지능 ‘알파고 제로’를 공개했다. 이 프로그램은 인간에게 배우지 않고 인공지능 스스로 수많은 시행착오를 통해 요령을 터득하도록 해 주목받았다.

발로 이뤄질 것으로 내다봤다.

김재업 교수는 바둑 규칙에 관한 자신의 책을 곧 영어로 번역할 계획이다. 바둑 규칙의 허점과 그 발견의 중요성을 더 많은 이들에게 알리고 싶기 때문이다.

“저는 이 분야와 관련된 과학 중 승률 판정에 대한 기본 가정의 검증과 예측 시스템 구축 등의 연구에도 관심이 있어서 기회가 있다면 더 연구해볼 생각입니다. 이와 별도로 대중적인 과학 주제에 대해 계속 발굴하고 싶은 욕심도 있고요.”

알파고 시리즈뿐 아니라 인간의 지식 없이 스스로 세상의 원리를 깨치는 인공지능은 앞으로 더욱 많아질 전망이다. 그만큼 우려도 큰 게 사실이다. 김재업 교수 같은 과학자가 있다면 인공지능의 미래는 어둡지 않다. 어떤 규칙이든 그 안의 작은 모순도 그냥 지나치지 않고 문제를 사전에 차단하기 위해 노력할 것이기 때문이다. 김 교수의 말처럼 “세상 사람 모두가 하지 않을 일을 하는 사람”인 과학자들이 더 나은 미래를 만들기 위해 오늘도 UNIST 연구실의 불을 밝히고 있다. 

‘보는 것이 믿는 것이다’라는 프란시스 베이컨의 유명한 말이 있다. 어떤 현상을 증명하기 위해서는 눈으로 보는 것이 가장 확실한 방법이라는 뜻이다. 과학자들도 관찰로써 위대한 발견을 증명했다. 갈릴레오는 망원경으로 지구가 태양 주위를 돈다는 것을 확신했고, 세포가 마치 작은 방처럼 생겼으며 셀(Cell)이라는 이름이 붙은 것도 현미경 덕분이다. 올해 노벨 화학상도 전자현미경으로 생명현상을 관찰한 이들에게 돌아갔다. UNIST에도 세상에서 가장 작은 것을 보기 위해 현미경을 연구하는 사람들이 있다. UNIST의 투과전자현미경(TEM) 연구자들은 현미경으로 무엇을 관찰하고 있을까.

글 송준섭 과학칼럼니스트

UNIST 생명과학과를 졸업하고, <과학동아>에서 기자로 일했다. 현재는 과학칼럼니스트로 일하고 있다.



| Transmission Electron Microscopy

UNIST의 TEM 연구자들, “WE ARE A TEAM”





정후영 교수 연구지원본부

우리가 주변에서 쉽게 볼 수 있는 현미경은 광학현미경이다. 가시광선과 볼록렌즈를 이용해 물체의 상(像)을 확대하는 현미경이다. 고해상도 광학현미경을 처음 개발한 건 17세기 영국의 과학자 로버트 훅이다. 그런데 광학현미경에는 치명적인 한계가 있다. 가시광선 파장의 절반 거리(대략 200nm) 이하의 물체를 관찰할 수 없다는 것이다. 빛의 회절 때문이다.

회절은 빛이 작은 구멍을 통과할 때 물결처럼 사방으로 퍼지는 성질을 말한다. 회절 현상 덕분에 빛은 장애물을 만나도 막히지 않고 파장을 전달할 수 있다. 그런데 빛이 통과할 구멍 크기가 빛의 파장 절반보다 작으면 회절이 일어나지 않는다. 그러니까 장애물이 너무 작으면 빛이 장애물에서 맴도느라 파장을 전하지 못해 상을 키우지 못하게 된다. 이런 빛의 회절 한계는 이 현상을 처음 발견한 독일의 과학자 에른스트 아베의 이름을 따 '아베 한계'라고 부른다.

과학자들은 광학현미경의 대안으로 전자현미경(EM, electron microscopy)을 개발했다. 전자현미경은 가시광선보다 훨씬 파장이 짧은 전자를 쏜다. 전자현미경에는 여러 종류가 있는데, 올해 노벨 화학상을 수상한 극저온 전자현미경(Cryo-EM)은 생명현상을 관찰하는 특수한 전자현미경이다. UNIST의 연구자들이 주로 연구하는 전자현미경은 TEM이다. TEM은 나노미터보다 더 작은 산소나 탄소 원자 하나하나를 구분할 수 있을 정도로 초고분해능을 자랑한다.

TEM의 어머니

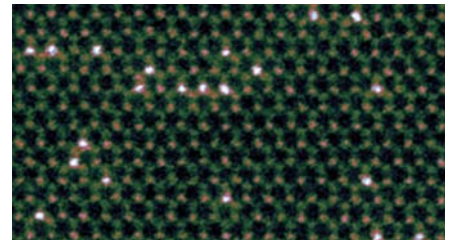
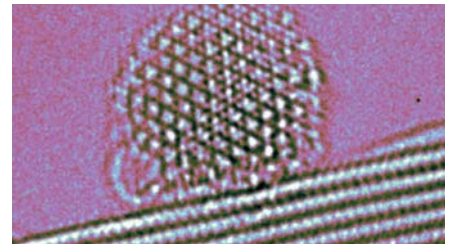
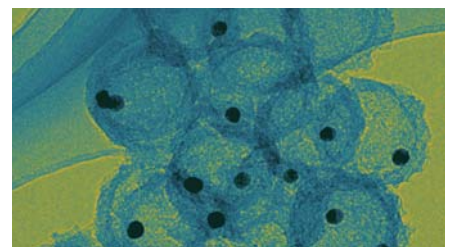
UNIST에는 총 7대의 TEM이 있다. 전자현미경마다 용도가 다르고 그에 따라 시스템도 다르다. 적게는 수억 원에서, 많게는 수십억 원이 넘는 귀한 TEM을 잘 관리하는 게 무엇보다 중요하다. 때문에 UNIST에는 TEM과 같은 고사양 장비를 관리하는 부서가 따로 있다. 연구지원본부(UCRF)다. 정후영 교수는 연구지원본부에서 TEM 관리와 유지를 담당하고 있다.

“TEM 같은 고사양 장비는 대학원생이나 교직원이 관리하기 무척 힘듭니다. 그래서 UNIST는 초창기부터 TEM 전공자들이 공동으로 사용하는 TEM을 직접 관리하고 있습니다. 단순히 고장을 수리하거나 장비를 현상 유지하는 게 아니라, 시료에 맞는 TEM을 골라 데이터를 얻고 이 데이터를 같이 분석하는 작업까지 하고 있죠.”

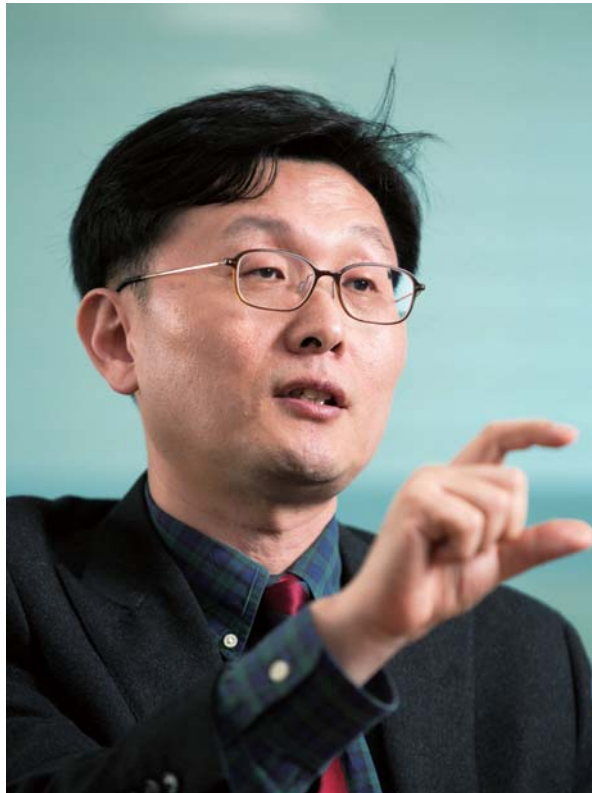
정 교수는 국내에서 드문 TEM 전문가다. 현미경의 기본인 광학을 전공했고, 설치와 안정화 작업에도 참여했다. UNIST의 TEM 성능을 높은 수준으로 관리하고 유지하는 어머니인 셈이다. UNIST가 자랑하는 장비로는 2011년 들여온 수차보정 TEM, ‘타이탄(TITAN)’이 있다. 이 장비의 분해능은 0.06nm에 이른다. 분해능이란 서로 떨어져 있는 두 물체를 구분할 수 있는 능력을 말한다.

“2000년대 초반까지는 에너지가 더 세고, 파장이 더 짧은 전자를 방출하는 방식을 주로 연구했는데요. 이 방법으로는 현재 수준의 높은 분해능을 얻을 수가 없었어요. 2000년대 중반에 들어서 전자의 수차를 보정하는 방법이 개발되는데, 이를 계기로 TEM의 분해능이 급속도로 향상됐습니다. UNIST는 개교 초기부터 수차보정 TEM을 도입해 활용하고 있습니다.”

수차는 한 점에서 출발한 빛이 굴절되는 정도가 달라, 다시 한 점에 맞지 못하고 일그러진 상을 내놓는 현상이다. 전자현미경을 예로 들면 전자빔에서 발사된 전자가 관찰하려는 대상을 통과한 뒤에는 검출 지점에서 다시 한 점으로 모아야 하는데, 현미경 내부에서 전자를 굴절시키는 자기장이 균일하지 못해 원래 출발했던 점보다 더 크게 상이 맺히는 것을 말한다. UNIST는 이런 수차를 보정하는 TEM을 운용 중이다.



1. 탄소 테두리에 갇힌 금 나노입자.
2. 탄소 나노튜브 위 산화코발트 나노입자.
3. 단층 이황화 몰리브덴에 박힌 텅스텐 원자들.



이종훈 교수 신소재공학부

TEM으로 개발하는 원자 재료

신소재공학부 이종훈 교수는 TEM을 개발하던 연구자다. 지금도 TEM을 직접 개발하고 성능을 개선하고 있지만, 요즘 그의 관심 분야는 신소재다.

“1990년대부터 지금까지는 나노 재료가 큰 관심을 받았습니니다. 나노미터 수준에서 물질의 구조를 조절해서 새로운 소재를 만드는 기술이죠. 그런데 TEM 기술이 발전하면서 이제는 나노미터 이상, 그러니까 탄소 원자 하나까지 직접 관찰하고 조절할 수 있는 원자 수준의 신소재를 개발하는 게 가능해졌습니다. 이 분야에서는 제가 개척자입니다.”

이 교수는 2000년대 중반 미국 로렌스버클리국립연구소에서 차세대 수차보정 전자현미경을 개발하고 활용하는 연구를 했다. 수차보정

로 인해 현미경의 분해능이 비약적으로 증가하면서, 이 교수는 새로운 소재를 개발하는 분야로 연구를 확장했다. 그때 당시에 떠오른 물질이 그래핀으로, 탄소 원자가 육각형 벌집 모양으로 평면을 이루는 2차원 소재다.

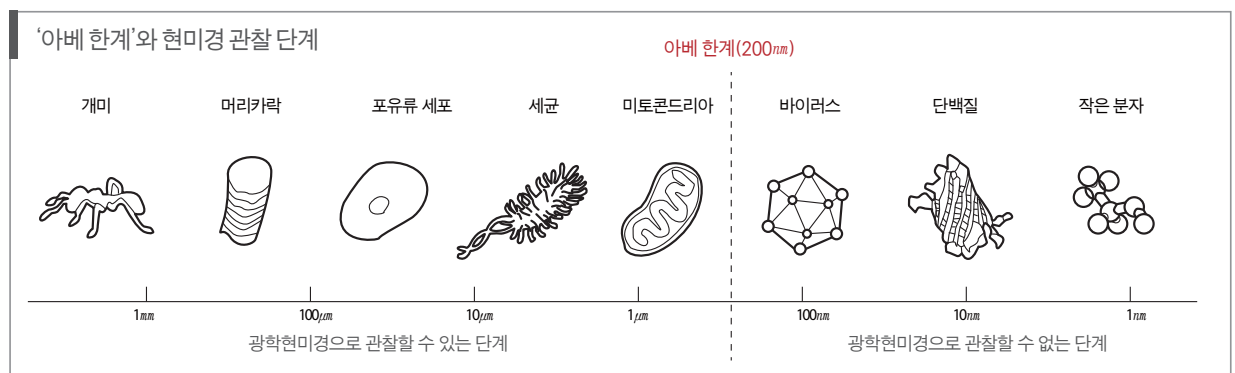
“육각형으로 생겼다고 상상하고 예측하는 것과 실제로 육각형으로 생긴 걸 보는 것은 완전히 다른 일입니다. 특히 재료의 특성을 관찰하거나 새로운 재료를 개발할 때 원자단위로 재료가 변하는 걸 꼼꼼히 관찰해야 합니다. 예를 들어, 그래핀의 육각형 탄소의 위치가 조금 바뀌거나 탄소보다 다른 원자로 치환될 수도 있습니다.”

최근에는 그래핀을 이용해 세상에서 가장 얇은 산화물 반도체를 개발했다. 그래핀 위에 산화아연을 원자 한 층 수준으로 쌓아 그래핀이 반도체처럼 작동할 수 있게 만든 것이다. 연구팀은 그래핀 위에서 산화아연 원자들이 성장하는 모습을 TEM으로 실시간 관찰하기도 했다. 산화아연 원자는 처음에 그래핀을 이루는 탄소 원자 위에 자리잡은 뒤, 성장을 할 때는 각도를 조금씩 바꿔 그래핀 위에 나란히 올려졌다.

“새로운 소재를 개발할 때마다 그 소재에 맞춰 사용하는 TEM 시스템을 조금씩 수정합니다. 최적의 상태를 관찰하기 위해 새로운 하드웨어를 개발하기도 합니다. UNIST의 타이탄은 처음 설치된 후에도 계속 진보하고 있습니다. TEM을 이용해서 연구를 할 때 누군가의 하드웨어를 그대로 받아만 쓴다면 그것은 절름발이 연구와 마찬가지로입니다.”



UNIST가 자랑하는 수차보정 TEM '타이탄(TITAN)'의 분해능은 0.06nm에 이른다.





이현욱 교수 에너지 및 화학공학부

배터리 폭발, TEM으로 막는다

TEM이 만능은 아니다. 진공 상태에서 전자를 쏘기 때문에 단백질 같은 생체 물질은 그대로 촬영이 어렵다. 두께도 문제다. TEM은 전자가 물체를 통과해서 지나가야 하는데, 이때 물체가 너무 두꺼우면 전자가 지나가지 못해 제대로 된 이미지를 얻을 수 없다. 0.1 μm 이하의 아주 얇은 물체만 TEM을 사용할 수 있다.

에너지 및 화학공학부 이현욱 교수는 배터리를 TEM으로 관찰하는 과학자다. 배터리 폭발 같은 문제가 생길 때 어디에 원인이 있는지를 알려면 배터리 속을 실시간으로 관찰해야 한다. 그런데 배터리는 TEM으로 관찰하기에는 너무 두껍다는 문제가 있다.

“만약 보통의 배터리를 TEM에서 관측할 수 있을 정도로 얇게 자르면 배터리 속의 전해질이 흘러나오게 됩니다. 배터리도 정상적으로 작동하지 않아서 어디서 문제가 생기는지 알 수 없죠. 그래서 배터리가 아주 얇은 상태에서도 실제처럼 잘 작동하게 만들어 TEM을 촬영해야 합니다.”

이 교수가 만드는 TEM용 배터리의 두께는 대략 0.1 μm 수준으로 일반적인 배터리와 비교할 수 없을 정도로 얇다. 그러면서도 실제 배터리와 유사하게 작동하기 때문에 배터리의 문제점을 눈으로 직접 관찰할 수 있다.

“사람이 아프면 병원에 가서 엑스선 검사를 하잖아요? 배터리도 문제

가 생기면 그런 과정이 필요합니다. 배터리 내부의 어느 부분이 특별히 잘 부서진대거나, 어디가 막혀 이온들이 통과하지 못하면 이를 직접 확인해야 하죠. 설계나 이론적인 추론으로 쉽게 확인할 수 없는 부분입니다.”

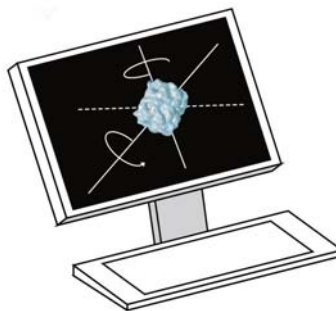
이 교수는 원래 배터리 성능 개선을 연구하던 연구자였다. 전자를 저장하고, 주고받는 음극과 양극을 새로 개발했다. 그러던 중에 그의 눈에 들어온 것이 TEM이었다.

“어떻게 남들과 차별화된 연구를 할 수 있을까 고민했어요. 그때 마침 박사과정 지도교수님이 TEM 연구를 해보면 어떻겠냐고 제안했습니다. 당시에는 배터리를 TEM으로 관찰하는 노하우가 없었기 때문에 1~2년간 고생만 하다가 실패했어요. 그러다가 박사 후 연구원 시절에 다시 한번 TEM 연구를 할 기회가 생겼고, 박사과정 때의 경험을 살려 성공할 수 있었습니다.”

이 교수팀은 요즘 행복한 비명을 지르고 있다. 다른 배터리 개발자들이 연구한 새로운 배터리를 찍어달라고 부탁하기 때문이다. 이차전지 연구가 활발한 UNIST는 물론이고 국내외 다른 대학과 연구기관에서도 함께 연구하자는 제안이 들어오고 있다. 국내에는 아직까지 TEM으로 배터리를 연구할 수 있는 연구자가 매우 드물다.

이 교수가 특히 관심을 가지고 있는 소재는 실리콘이다. 실리콘은 배터리의 차세대 음극물질로, 현재 주로 사용하는 흑연에 비해 용량이 10배 정도 높다. 저장할 수 있는 용량이 큰 만큼 배터리 용량도 커진다. 반대로 실리콘에 한 번에 많은 리튬이 결합해 자칫하면 배터리가 부풀어 오를 수 있다. 이 교수는 TEM으로 실리콘과 리튬이 결합하는 과정을 실시간으로 관찰해 이 문제를 예방할 방법을 찾고 있다.

2017 노벨 화학상, 극저온 전자현미경(Cryo-EM)



©Johan Jarnestad/
The Royal Swedish Academy of Sciences

극저온 전자현미경은 아주 낮은 온도인 영하 200 $^{\circ}\text{C}$ 에서 시료를 급속으로 냉동한 뒤 전자현미경으로 관찰하는 방법이다. 올해 노벨 화학상에 선정된 3명의 과학자(자케 두보셰, 요아킴 프랭크, 리처드 헨더슨)은 용액 상태의 단백질 복합체를 분자 수준에서 고화질 영상으로 만들 수 있는 기술을 개발하고, 생체 내 단백질 구조를 규명했다.

전자현미경은 해상도가 다른 현미경보다 뛰어나지만, 진공 상태에서 고에너지의 전자를 투과해서 촬영하기 때문에 생체 물질을 촬영하기에 적합하지 않다. 만약 전자현미경을 이용해 세포나 단백질을 관찰하면 진공 상태 때문에 수분이 순식간에 증발하고, 고에너지의 전자로 인해 원래의 형태가 파괴된다. 극저온 전자현미경은 시료를 공공 얼려 촬영하기 때문에 진공 상태나 고에너지의 전자로부터 안전하게 촬영할 수 있다.

TEM으로 초고속 동영상 찍어볼까

자연과학부 권오훈 교수는 TEM의 또 다른 한계에 도전하는 연구자다. 권 교수의 연구 분야는 TEM 동영상. 혹자는 TEM으로 동영상을 찍는 일이 그리 대단한 것이냐고 묻기도 한다. TEM으로 여러 장의 사진을 이어붙이면 그게 동영상이 아니냐고 말이다. 실제로 배터리를 연구하는 이현욱 교수는 10분가량 배터리가 작동하는 것을 동영상으로 촬영하기도 한다. 그런데 권오훈 교수의 TEM 동영상에는 특별한 것이 있다. 바로 사진 사이의 간격이다.

우리가 보는 동영상은 보통 1초에 30~60장의 사진을 빠르게 재생시킨 것이다. 대략 0.03초에 한 번씩 사진을 찍으면 동영상을 만들 수 있다. 반면 권 교수는 피코초(1조 분의 1초) 간격으로 TEM을 찍어 동영상을 만든다. 굳이 어렵게 피코초 간격으로 사진을 찍는 이유는 무엇일까.

“물체의 변화 속도는 그 물체의 크기에 맞춰 변합니다. 학교 도서관 같은 큰 빌딩과 나노미터 크기의 구조가 같은 속도로 흔들리지는 않으니까요. 작은 물체일수록 더 빨리 움직이기 때문에 그 물체의 움직임을 정확히 관찰하려면 움직임에 맞는 시간 간격으로 관찰해야 합니다.”

TEM을 빠른 속도로 촬영하기 위해 넘어야 할 난관은 디지털 정보를 처리하는 속도다. 전자는 물체를 통과한 뒤 탐지기로 모인다. 탐지기는 전자가 가지고 온 정보를 저장하고 다른 저장 장치로 보내는 시간은 밀리초(1천분의 1초) 정도다. 피코초 간격으로 전자를 빠르게 투과시킨다 하더라도 디지털 장치가 정보를 처리하는 시간이 그 속도를 따라가지 못한다. 때문에 현재는 특정한 반응(가역 반응)에 한정해서 시간 간격이 짧은 동영상을 찍거나 비가역 반응의 경우 정보의 시공간 변환을 이용해 나노초(10억 분의 1초) 간격으로 찍을 수 있다.

권 교수는 올해 여름부터 세계 최고의 공간 분해능 및 감도를 지니는 시간분해 TEM 설치를 마치고 화학 물질이 반응하는 찰나의 순간이나 고체의 상변이 현상 등 형태가 변하는 순간을 TEM으로 관찰하고 있다.

권 교수는 올해 여름부터 세계 최고의 공간 분해능 및 감도를 지니는 시간분해 TEM 설치를 마치고 화학 물질이 반응하는 찰나의 순간이나 고체의 상변이 현상 등 형태가 변하는 순간을 TEM으로 관찰하고 있다.

1. 펨토초 레이저 빔 조사 후 형태가 변화 중인 금 나노박막의 시간분해 TEM 이미지; 김예진 촬영, 노출시간 2피코초(전자펄스의 시간폭)
2. 전자직접검출카메라를 활용한 DNA 이미지; 김예진 촬영



권오훈 교수 자연과학부


우리는 TEAM이다

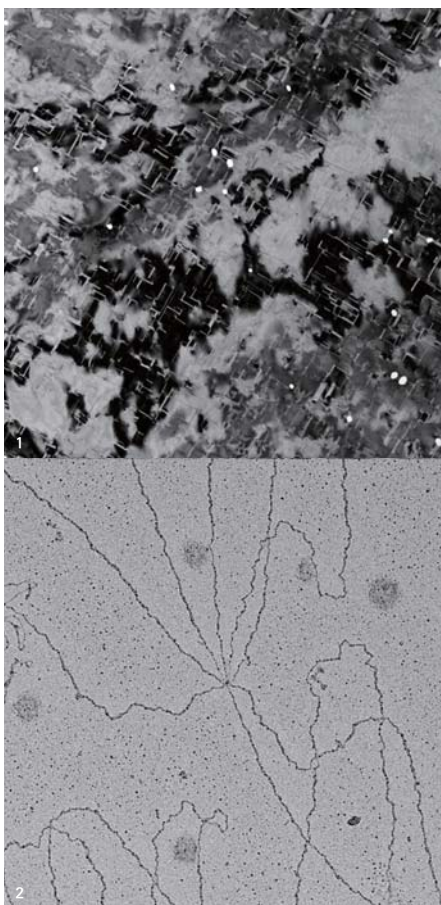
국내에서 UNIST처럼 다양한 TEM과 TEM 연구자들이 많이 모인 학교는 드물다. 각자 세세한 연구 방향과 목적은 다르지만, 같은 장비를 이용해 연구하는 연구자들이 함께 있어 도움이 되는 경우가 많다. 이들이 세상에서 가장 작은 세계를 탐닉하는 이유는 무엇일까.

권오훈 교수는 “중요한 발견은 대개 자세한 관찰에서 시작된다”며 “연구 대상 물질의 숨겨진 성질을 탐구하기 위해서 우리 ‘눈’의 시공간 분해능을 극한으로 끌어올리는 노력이 새로운 발견에 다가가는 중요한 발걸음이 된다”고 말한다.

이들이 하는 연구는 보는 것이 전부가 아니다. 더 작은 세상을 관찰하는 것만으로는 이제 새로운 결과를 내놓을 수 없다.

이종훈 교수는 “좋은 현미경이 좋은 결과를 보장하지는 않지만 한국에서는 아직까지 좋은 장비를 샀으니 얼른 좋은 결과를 내놓으라는 기대가 크다”며 “현미경으로 남들이 해보지 않은 새로운 연구를 개척하기 위해서는 오랜 시간이 필요하다”고 밝혔다.

UNIST에 모인 TEM 연구자들은 이제 출발할 준비를 마쳤다. 그들이 어디까지, 얼마나 멀리까지 가게 될지 지켜볼 시간이다. 그들은 최고의 팀이니까 말이다. 



2



투명하고 신선하게, 상온 냉장고 '에어 큐브'

디자인 및 인간공학부 김차중 교수팀(정연우 교수, 조광민·김재희·김정우·조민정 학생)

에어 큐브(Air Cube)는 과일과 채소를 신선하게 오랫동안 보관할 수 있는 상온 냉장고다. 뿌리채소를 보관할 칸과 과일 칸, 수분이 필요한 채소를 담은 공간, 감자처럼 빛을 차단해야 하는 채소를 위한 암실 칸 등으로 분리돼 식재료를 쉽게 관리할 수 있다. 또 투명한 재질로 만들어 내부를 볼 수 있기 때문에 미관상으로도 아름답다. 기존에는 없던 과일과 채소만을 위한 이상적인 저장 공간은 우리의 삶을 더 건강하게 이끌 것이다.

🏆 '스파크 디자인 어워드' 프로페셔널 콘셉트 부분 대상 수상

공간을 채우는 새로운 상상! 디자인으로 삶을 바꾸다

바야흐로 사물인터넷(IoT, Internet of Things)의 시대다. 사람과 사물, 사물과 사물이 서로 정보를 주고받는 시대의 첫머리에 서 있다. 인간과 컴퓨터, 디지털 정보와 아날로그 장치가 상호작용하는 시대. 기존 공간과 제품에 새로운 기술이 들어와 더해지는 세상에서 공간을 채우게 될 사물은 과연 어떤 모습일까? UNIST에서 제안한 새로운 사물들을 통해 미래의 우리 삶을 짐작해본다.



◆ 디지털 일정 알려주는 아날로그 탁상시계 '큐이토'

디자인 및 인간공학부 박영우 교수팀(이경룡 · 고건일 학생)

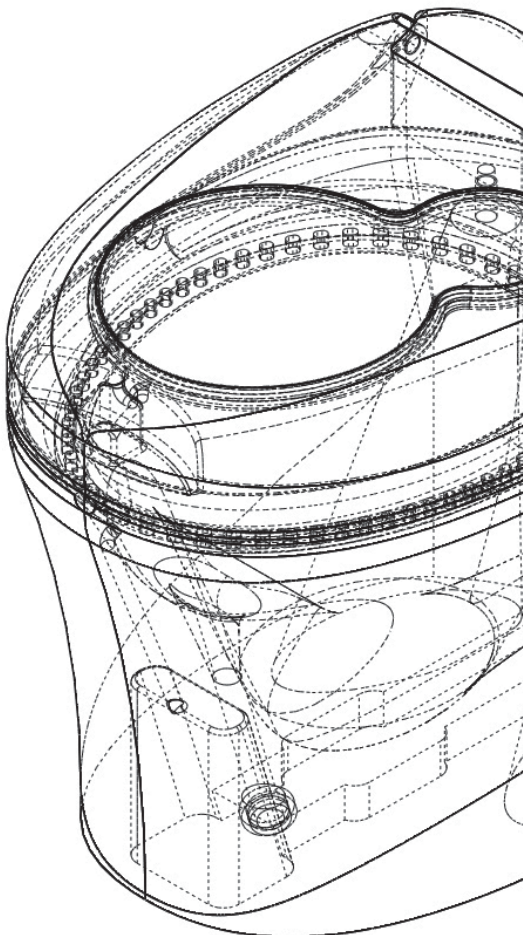
콘크리트와 나무로 만들어진 큐이토(Quietto)는 사용자가 디지털 공간에 저장해둔 일정을 실시간으로 받아온다. 사용자가 콘크리트 부분을 누르면, 시계 바늘이 움직이고 불빛이 들어오면서 다음 일정을 보여준다. 콘크리트를 제품 디자인에 사용했다는 점도 독특하다. 콘크리트와 나무를 결합해 특유의 질감과 시각적 안정감을 살렸다. 디지털 정보와 아날로그 장치가 상호작용하는 기술에 새로운 디자인을 입혔다.

🏆 미국컴퓨터협회(ACM) 주최 '컴퓨터-인간상호작용 학회(CHI 2017)' 논문상 수상

건강하고 청결한 미래 화장실 '비비 변기'

기초과정부 이현경 교수팀(배정현 학생)

물을 거의 쓰지 않고, 대소변으로 건강 상태를 확인하며, 배변 자세까지 도와 주는 똑똑한 변기다. 비비(BeeVi) 변기는 대변을 진공으로 빨아들여 에너지 생산시설로 바로 보낼 수 있는 구조를 갖추고 있다. 이때 0.5 l 정도의 물이 필요한데, 일반 변기에 들어가는 12 l 에 비하면 아주 적은 양으로 '초절수 진공 변기'를 구현했다. 이 변기에는 건강을 위한 첨단 기능도 추가됐다. 자외선(UV) 램프가 설치돼 변기 내부와 변좌를 살균·소독한다. 또 대변과 소변을 분석하는 바이오센서가 장착돼 있어 사용자의 건강 상태를 스마트폰으로 손쉽게 확인할 수 있다.



아기 돌보는 로봇유모차 '베이비킹'

디자인 및 인간공학부 정연우 교수팀(김차중 · 박영우 교수, 김정우 · 김재희 학생)

베이비킹(BabyKing)은 하루 종일 아기를 돌보느라 힘든 엄마를 쉬게 할 로봇가전이다. 스마트폰으로 조종해 유모차를 이동시킬 수 있고, 공기청정 기능이 있는 데다, 자동차 시트에 앉힐 수도 있어 다양하게 활용할 수 있다. 언뜻 보면 일반 유모차처럼 바퀴가 달린 아기 침대로 보인다. 하지만 자세히 살펴보면 특별한 기능 47지를 알 수 있다. 로봇청소기처럼 센서가 내장돼 집안을 자유롭게 돌아다닐 수 있고, 침대를 흔들어 아기를 달래고 재우는 것도 가능하다. 공기청정 기능도 있어 아기의 건강도 지켜준다. 육아를 위한 아기침대, 유모차, 높은 의자, 보행기, 카시트 등을 베이비킹 하나로 해결할 수 있다는 점에서 주목받고 있다.

🏆 '스파크 디자인 어워드' 프로페셔널 콘셉트 부문 대상 수상



● 공간과 에너지를 절약하는 전열 의자 ‘네스트’

디자인 및 인간공학부 김차중 교수팀(조광민·안윤기 학생)

네스트(NEST)는 1인 가구를 위한 전열 스톨(stool)로, 혼자 사는 사용자가 주거 공간을 더욱 효율적으로 활용할 수 있도록 디자인됐다. 부분 난방기구로 에너지를 절약할 수 있으며, 겨울에만 사용하는 계절 제품이 아닌 사계절용으로 사용이 가능하다. 작지만 다양한 기능을 가진 다기능 가구 네스트가 공간과 에너지를 절약할 수 있는 방법을 제시한다.

★ ‘스파크 디자인 어워드’ 프로페셔널 콘셉트 부문 동상 수상





뭉치고 더하니
좋지 아니한가!

KIST-UNIST 울산 융합신소재 연구센터

2012년 9월, KIST-UNIST 울산 융합신소재 연구센터(KUUC)가 설립됐다. UNIST와 KIST(한국과학기술연구원), 울산시가 '에너지 · 환경 융합소재 기술의 핵심 허브'를 만들겠다는 목표로 세운 연구소다. 대학과 정부출연연구소, 지역자치단체라는 성격이 다른 조직이 힘을 합친 결과는 생각보다 더 훌륭했다. 지난 5년간 KUUC에서 진행한 주요 프로젝트와 성과, 지역사회에 미친 영향력 등을 짚어본다.





에너지와 환경. 21세기 인류에게 가장 중요한 단어들이다. 환경을 오염시키지 않으면서 필요한 만큼의 에너지를 얻으려면 과학기술의 힘이 반드시 필요하다. 소재 분야에서도 마찬가지다. 햇빛이나 바람, 체온, 압력 등을 이용해 전기를 만들 수 있는 소재가 개발되면, 예전에는 버려지던 에너지를 유용하게 쓸 수 있다. KUUC(KIST-UNIST Ulsan Center for Convergent Materials)는 바로 이런 분야에서 빛을 발할 ‘융합신소재’에 집중하고 있다. 에너지·환경 분야에 새로운 패러다임을 제시할 원천기술을 확보하려는 것이다.

UNIST와 KIST, 울산시의 ‘융합’

“에너지와 소재 분야의 기초연구 역량이 뛰어난 UNIST와 응용기술 개발 역량이 뛰어난 KIST가 뭉쳐서 우리에게 꼭 필요한 과제들을 진행한다면 분명 좋은 결과물이 나올 거라고 확신했습니다. 여기에 울산시가 합류하며 모양이 갖춰졌죠. 울산시는 자동차, 조선, 화학과 같은 주력 산업이 부진해지면서 신성장동력에 대한 갈증이 있었던 터라 저희의 제안을 긍정적으로 받아들였습니다.”

KUUC를 이끌고 있는 최경진 센터장(신소재공학부 교수)은 2012년 KUUC 설립 배경을 이렇게 소개했다. UNIST의 젊고 패기 넘치는 교수진은 KIST 연구진과 합동과제를 진행하며 꾸준히 교류하고 있었다. 그 과정에서 과제들을 크게 키워보자는 이야기가 나왔는데, 울산시가 참여하면서 공식적인 센터가 세워지게 된 것이다. 특히 에너지와 환경 문제는 울산 지역에서도 중요한 문제라 세 조직의 뜻이 잘 맞아떨어졌다. ‘융합(Convergence)’이라는 키워드는 함께 개발해 나갈 기술뿐 아니라 서로 다른 세 주체가 뭉쳤다는 측면도 잘 설명하는 단어인 셈이다.

최경진 센터장은 “UNIST가 보유하고 있는 기초연구 역량과 KIST의 응용연구 역량, 울산시의 정책 개발 및 사업화 역량을 융합함으로써 산업 원천기술 개발에 힘을 모은 사례”라며 “현재 에너지와 환경 문제, 그중에서도 광에너지와 물 환경의 응용 및 처리에 대한 융합소재와 소자를 개발하는 연구에 주력하고 있다”고 말했다.

1. 연구원들이 실리콘/페로브스카이트 탕덤 태양전지를 제작하고 있다.
2. 실리콘/페로브스카이트 탕덤 태양전지를 선별하고 있는 모습.
3. 박막을 만드는 대표적인 장비 중의 하나인 Sputter. 현재 소자 인터레이어 등 다양한 박막 형성에 사용된다. 챔버 내에 반응성 가스를 주입한 다음 플라즈마를 발생시켜 타겟에서 sputter-out된 원자 및 분자가 기판에 증착되는 원리를 이용한다.



기술 이전된 연구, 현재 상용화 준비

KUUC는 UNIST와 KIST, 울산시가 각각 5억 원씩 출연해 총 15억 원 규모로 설립됐다. 규모는 그리 크지 않지만 꾸준히 알찬 성과를 거두고 있다. 우선 설립 1~3차년도에는 원천기술 확보를 위해 다양한 연구를 진행했다. 웨이퍼 없는 갈륨비소(Wafer-free GaAs) 기반 광전-열전 융합전지, 이중 광전소자 탠덤형 유연 태양전지, 표면제어 기반 고기능성 수처리용 분리막, 에너지 저감형 고도산화 수처리 촉매 등이 대표 기술이다. 이중에는 기술 이전을 완료한 과제도 있다. 에너지 및 화학공학부 박종남 교수와 신소재공학부 손재성 교수가 참여한 '친환경 인화인듐(InP) 양자점 기반 발광소자 개발' 연구다. 선명한 색을 구현하는 퀀텀닷 디스플레이를 더 친환경적으로 만들 수 있는 이 기술은 현재 울산 내 소재업체인 덕산하이메탈로 이전돼 상용화를 준비하고 있다.

비교적 짧은 역사를 가진 KUUC에서 알찬 성과들이 나오는 비결은 UNIST와 KIST, 울산시의 융합이 잘 이뤄진 데 있다. 연구 부분에서는 설립 초기부터 실질적으로 협력할 수 있도록 '1대1 파트너십' 체제를 구축한 게 주효했다. 하나의 과제가 주어질 때마다 UNIST와 KIST, 양쪽 연구자가 모두 참여하도록 한 것이다. KIST 연구자가 담당하는 연구과제에 UNIST 교수와 학생이, UNIST 교수가 진행하는 연구과제에 KIST 연구진이 함께 들어가다 보니 서로의 장점이 잘 녹아들어 효과적인 결과를 얻을 수 있었다.

기술 이전 성과는 울산시와 손조롭게 협력한 결과물이라 볼 수 있다. KUUC 연구진은 정기적으로 울산 지역 내 에너지 및 환경 관련 기업들과 만나 기술설명회를 갖는다. 이 설명회를 통해 기업과 소통하면서 연구가 완료된 기술을 이전하고, 본격적으로 상용화 절차를 밟기도 한다.

다른 분야 더해가며 다양한 프로젝트 진행

2016년 7월부터 2018년 6월까지 진행되는 4~5차년도의 대표 과제는 크게 세 가지다. 먼저 '차량일체형 태양전지(Vehicle-integrated photovoltaic, VIPV)'가 있다. 유연한 태양전지를 만들어 자동차에 붙이고 이동하면서 태양광으로 전기를 생산하려는 계획이다. 이 과제는 최경진 센터장이 1~3차년도까지 진행했던 '이중 광전소자 탠덤형 유연 태양전지 개발'을 심화·응용한 형태다. 한국에너지기술연구원 과제로도 선정된 이 연구의 핵심은 모듈 발전단가가 낮은 실리콘 태양전지와 고효율 페로브스카이트 태양전지를 접합해 유연하면서도 싸고 효율까지 높은 태양전지를 개발하는 데 있다.

두 번째 과제는 '자율주행 자동차용 적외선 야시(夜視)센서'로 적외선을 이용해 밤에도 사물을 구분할 수 있도록 만들 계획이다. KIST 최원준 책임연구원이 담당하고 있는데, 빛을 흡수하는 광흡수체가 이용된다. 마지막 과제는 '광·전기 촉매를 이용한 생활밀착형 오염정화시스템'이다. KIST 홍석민 책임연구원이 주도하는 이 연구에서는 정수기와 제습기처럼 우리가 흔히 쓰는 가전제품의 수처리 기술을 연구한다.

"KUUC는 처음부터 융합을 테마로 뭉쳤기 때문에 연구할 때마다 일단 결합해보는 시도를 많이 합니다. 태양전지와 태양전지를 융합한 탠덤형 태양전지, 태양전지와 광흡수체를 붙여 연구 중인 야시센서, 환경기술들을 융합하는 정화시스템 모두 그런 과정



4



5

4. 연구 결과에 대해 분석하고 토의하고 있는 모습.
5. Pulsed Laser Deposition (PLD)은 박막을 만드는 physical vapor deposition의 한 방식으로 현재 소재의 인터레이어 등 다양한 박막을 형성할 때 사용된다.
6. 완성된 실리콘/페로브스카이트 탠덤 태양전지.



ABOUT KIST-UNIST ULSAN CENTER FOR CONVERGENT MATERIALS

최경진 센터장은 “소재는 제품을 만드는 중간재이기 때문에 잘 드러나진 않지만, 제품의 대부분을 차지한다”며 소재기술 연구의 중요성을 강조한다. 마찬가지로 소재를 연구하는 연구진과 기업은 잘 드러나진 않지만, 우리나라 산업을 움직이는 핵심이다. KUUC는 어떤 것을 만드는 데 바탕이 되는 소재를 융합해 이전에 없던 성능과 용도를 가진 ‘신소재’를 연구한다. 기존 단점을 보완한 이 새로운 연구들은 눈에 잘 드러나진 않지만 곧 우리나라 산업에서 중요한 자리를 차지하게 될 것이다. 어쩌면 이 세계를 바꿀 새로운 기술을 만들어낼지도 모른다.



을 통해 진행하고 있습니다.”

다른 분야를 결합해서 얻은 결과들은 또 다른 프로젝트로 이어지기도 한다. 일례로, 최경진 센터장은 올 9월 기존 KUUC 연구과제에서 쌓은 노하우를 바탕으로 ‘웨어러블 태양광-열전 발전기’를 개발했다. 이는 ‘차량일체형 유전 태양전지’와 ‘적외선 야시센서’에 쓰이는 기술에서 힌트를 얻어 발전시킨 결과물이다.

100여 편의 논문 발표, 21개의 특허 출원


KUUC의 지속적인 융합신소재 연구는 훌륭한 성과를 거두며 빛을 발하고 있다. 상위 10% 논문 50여 편을 포함해 총 100편에 가까운 SCI(Science Citation Index, 과학기술논문 인용색인) 논문을 발표했고, 21개의 특허를 출원했다.

“15억 원 규모의 다른 국가 과제와 비교해보면 그 성과를 짐작할 수 있습니다. 100여 편이라는 논문의 양도 대단하지만, 논문 평균 인용지수(Impact Factor, 연구의 가치를 평가하는 점수)가 6~7점에 달할 정도로 높은 수준입니다. 양과 질 모든 면에서 인정받은 거죠. KUUC가 UNIST의 대표 연구 브랜드로 자리 잡았다고 해도 과언이 아닐 거예요.”

최경진 센터장은 KUUC가 뛰어난 성과를 거둔 주요 요인 중 하나로 시스템을 꼽았다. UNIST와 KIST, 울산시가 체계적으로 협력해 움직인 덕분이라는 것이다. 꾸준한 융합연구와 열린 마음을 바탕으로 한 다양한 시도들이 결국 지금의 KUUC를 만든 셈이다. KUUC의 목표는 앞으로 지속적인 연구를 통해 UNIST의 연구를, 울산 산업을, 나아가 국가 경쟁력을 향상시키는 데 있다.



“2018년 6월에 마무리될 5차년도까지는 센터가 자리를 잡아가는 1단계 과정이라고 볼 수 있습니다. 내년 이후에는 2단계 과정으로 센터 자립을 비롯해 국가 경쟁력 강화를 위해 더 많은 노력을 기울여야 할 것입니다.”

KUUC는 융합이라는 이름에 걸맞게 대부분의 연구가 더해지고 뭉쳐지는 과감한 시도로 진행되고 있다. 하나보다 둘이 낫고, 뭉칠수록 힘이 더 센 법이다. KUUC의 미래를 더욱 기대하는 이유다. 



시모어 벤저(Seymour Benzer)

생체시계의 비밀 밝혀낸 유전학의 유산

생체시계 분야 과학자들

2017년 노벨 생리의학상은 생체시계의 비밀을 밝힌 세 과학자(제프리 홀, 마이클 로스바시, 마이클 영)에게 돌아갔다. 수면이나 체온, 혈압, 호르몬 분비, 음식 섭취와 대사작용, 뇌기능(인지, 학습, 기억) 등 매일 반복적으로 변하는 생리현상을 조절하는 생체시계 유전자를 찾아내고 이들의 작용 모델을 최초로 확립한 공로다.

글 생명과학부 임정훈 교수

임정훈 교수는 박사과정에서 바이러스학을, 박사 후 과정에서는 초파리를 이용한 생체리듬과 수면주기를 연구 주제로 삼았다. 2013년부터 UNIST 교수로 재직하며 단백질 번역이라는 근본적인 생명현상을 풀어내는 연구를 하고 있다. 늘 새로운 분야에 도전한 결과 제1회 서경배신진과학자로 선정되며 주목받았다.

그림 레모

최신 기술을 이용한 분자 실험 기법이 하루가 멀다 하고 쏟아지고 있다. 이런 시대에 '유전학'이라는 분야는 매우 고리타분하게 들릴지도 모른다. 하지만 유전학은 1953년 왓슨과 크릭이 DNA 이중나선 구조를 밝혀내기 90여 년 앞서, DNA가 유전물질로 작용한다는 사실조차 알지 못했던 시기부터 시작했다. '현대 유전학의 아버지'로 불리는 멘델이 그의 소중환 완두콩 실험을 통해 개체의 여러 성질이 어떤 원리로 부모에서 다음 세대로 유전되는지 밝혀내면서부터다. 이처럼 유전학은 과학자들이 논리적 가설과 실험적 분석으로 생명현상의 근본 원리를 제시할 수 있는 강력한 실험 도구로 지금까지도 널리 사용되고 있다. 올해 노벨 생리의학상을 공동 수상한 세 명의 과학자들이 사용한 비밀 무기도 바로 유전학이다.

행동유전학의 아버지, 시모어 벤저

1960년대 말 미국 캘리포니아공대(Caltech)의 시모어 벤저 박사는 학습, 기억 등과 같은 다양한 신경유전학적 행동을 조절하는 원리를 밝히기 위해 초파리를 모델로 활용한 매우 단순한 실험을 설계했다. 먼저 초파리 염색체의 염기서열에 무작위로 돌연변이를 일으켜 특정한 행동에 변화를 보이는 돌연변이 초파리를 찾아낸다. 이후 각 돌연변이 초



제프리 홀(Jeffrey C. Hall)



마이클 로스배시(Michael Rosbash)



마이클 영(Michael W. Young)

파리에 나타난 유전자 변형을 밝혀내면, 특정 동물 행동을 정상적으로 조절하는 데 필요한 유전자들을 찾아낼 수 있다고 가정한 것이다. 이 실험기법은 '전위유전학(forward genetics)'이라 불리는데, 당시 다른 과학자들에겐 환영받지 못했다. 복잡한 형태의 동물 행동이 단순히 유전자 하나의 돌연변이로 영향받지 않을 거라고 생각했기 때문이다. 같은 이유로, 현대 과학 초기 생화학자들은 DNA(염기서열 4개)보다 단백질(아미노산 20개)이 복잡한 유전현상을 설명하는 유전물질로 작용할 것이라고 믿기도 했다.

하지만 벤저 박사와 대학원생 로널드 크눙카는 자신들의 방법으로 기념비적 논문을 발표했다. 24시간 주기의 생체리듬이 파괴된 생체시계 돌연변이 초파리를 세계 최초로 발견했고, 이 돌연변이 초파리에서 변형된 최초의 생체시계 유전자를 '피어리어드(period)'라고 명명한 것이다. 이 연구는 고전적 유전학 기법과 각 초파리의 주기적 움직임을 정량적으로 분석할 수 있는 실험기술이 융합되면서 이룩해낸 획기적인 성과였다. 그리고 이 발견이 2017년 노벨 생리의학상 공동 수상자들의 업적에 근간이 됐다.

생체리듬의 분자유전학적 원리 발견

노벨 생리의학상 공동 수상자인 홀, 로스배시, 영 박사는 1980년대 중반부터 1990년대 후반에 걸쳐 '블랙박스' 같았던 생체시계 유전자들을 발견했다. 아울러 이들 유전자의 유전정보가 24시간을 주기로 RNA 전사되고 단백질로 번역됨으로써 일주기적인 생체리듬을 유지하고, 하루 일과 시간에 따라 우리 몸의 여러 생리현상을 효과적으로 조절한다는 '전사-번역 되새김 고리(transcription-translation feedback loop)'의 분자시계 모델을 확립했다.


이 모델의 핵심은 다음 5단계다. ① 먼저 저녁 무렵 시작되는 전사 활동을 통해 피어리어드 유전자의 유전정보에서 만들어지는 피어리어드 RNA의 양이 증가한다. ② 밤 시간 동안 RNA 번역을 통해 세포질 내에 피어리어드 단백질이 축적되고, ③ 새벽 무렵 피어리어드 단백질이 생체시계 유전자 타임리스 단백질과 결합해 세포핵 안으로 유입되면서 피어리어드 유전자 자신의 전사 활동을 방해한다. ④ 이에 따라 낮 시

간 동안 피어리어드 RNA와 단백질의 양이 감소한다. ⑤ 결과적으로 이러한 피어리어드 유전자의 전사가 저녁 무렵부터 다시 활성화되는 과정이 24시간을 주기로 반복적으로 일어난다.

이후 많은 후속 연구로 세 개의 '전사-번역 되새김 고리'로 맞물려 있는 개선된 분자시계 모델이 확립됐다. 또 초파리뿐 아니라 인간을 포함한 다양한 동물 모델에서 이 같은 분자시계의 원리가 공통적으로 작용한다는 사실도 발견됐다.

재밌게도 피어리어드 유전자 이후 새로 발견한 생체시계 유전자에는 시간을 의미하는 특별한 이름을 지어주는 전통이 이어졌다. 홀 박사와 로스배시 박사팀이 발견한 '클락(clock)', '사이클(cycle)', 마이클 영 박사팀이 발견한 '타임리스(timeless)', '더블타임(doubletime)', 그리고 필자의 연구팀이 발견한 '클락워크 오렌지(clockwork orange)', '투웬티-포(twenty-four)' 등의 생체시계 유전자들이 대표적이다.

생체리듬 연구 이끄는 로스배시 패밀리

로스배시 박사는 70세가 훌쩍 넘은 나이에도 생체리듬 연구 분야를 이끌고 있다. 2000년대 중반에는 아침과 저녁, 혹은 계절 변화에 따라 초파리의 일주기적 활성성을 차별적으로 조절하는 생체시계 신경세포인 아침신경세포(morning cell)와 저녁신경세포(evening cell)를 보고했고, 이로부터 '두 개의 진동자 모델(two oscillator model)'이라 불리는 생체시계 신경세포 회로의 새로운 작용 모델을 제시했다. 또 2000년대 후반부터는 새롭게 개발된 대용량 염기서열 분석과 분자유전학적 기법을 활용해 24시간 주기의 생체시계 유전자 기능과 해독에 중요한 새로운 분자생물학적 원리들을 규명했다. 최근에는 공유전학과 신경세포 활성 이미지 기술을 활용해 수면에 중요한 신경세포 회로와 작용 원리를 밝혀냈다. 로스배시 박사의 왕성한 활동과 업적은 Caltech(화학)과 MIT(생물리학)의 학위 과정에서 공부했던 전공 융합에서 나온다고 본다. 더불어 그의 실험실에서 연구하는 박사 후 과정 및 대학원생들의 다양한 과학적 배경, 끊임없는 과학적 질문과 호기심, 실패를 두려워하지 않고 새로운 가설과 기술로 해답을 찾는 치열한 노력의 결과물이기도 할 것이다. 

실리콘밸리에서 배터리 인생 2막을 열다

이오셀(EoCell) 연구원 정수경 동문 (에너지 및 화학공학부 박사과정 10)

2014년 9월 UNIST에서 박사 학위를 받고 미국 국립연구소에 취업한 동문이 있다. 에너지 및 화학공학부 조재필 교수의 제자, 정수경 박사다. 지금은 실리콘밸리의 스타트업 기업으로 자리를 옮긴 그가 3년 만에 한국 땅을 밟았다. 오랜만에 모교를 찾은 반가운 얼굴, 정수경 박사를 만나 그간의 경험에 대해 들었다.

정수경 박사는 학위를 받고 한 달 뒤 미국으로 떠났다. 박사 후 연구원으로 미국 내 대학과 국립연구소를 두고 고민한 끝에 '연구소 행'을 택했다. 대학도 좋지만 해외 국립연구소라는 새로운 환경을 경험해보고 싶었다. "미국 국립연구소에는 해당 분야에서 뛰어난 업적과 경력을 가진 인재들이 모입니다. 그런 우수한 인재들과 교류하고 인연을 맺을 수 있는 기회라고 생각했어요." 실제로 미국 국립연구소는 전 세계 학생들이 선호하는 일자리로 꼽힐 만큼 높은 위상을 자랑한다. 그곳에서 근무한 정 박사는 시야를 넓히고, 귀한 인연을 맺으며 실리콘밸리에서 새로운 도전을 하는 발판을 마련했다.

짧지만 좋은 경험, 미국 국립연구소

정 박사가 맨 처음 자리를 잡은 곳은 '퍼시픽 노스웨스트 국립연구소(Pacific Northwest National Laboratory, 이하 국립연구소)'다. 그는 이곳에서 배터리의 양극 소재와 음극 소재, 바인더(전극을 만들 때 필요한 요소 중 하나) 개발 업무를 담당했다. 연구 환경이 무척 좋았고, 근무 조건도 유연했다. 인종차별에 대해서 엄격하게 금지하는 분위기였기에 자연스럽게 상대방을 존중하는 분위기가 형성돼 있었다. 직장 생활을 하면서 발생할 수 있는 인간적인 갈등이 거의 없으니 스트레스가 없고 협업도 잘 이뤄졌다.

그런데 이곳에서 1년 7개월을 보낸 정 박사는 돌연 실리콘밸리로 향했다. 이직을 결심한 이유는 단 하나다.

자신의 연구가 더 이상 발전하기 어렵다는 판단이 들었던 것이다.

"제가 주로 연구하는 분야는 배터리 소재 합성입니다. 국립연구소의 연구 환경이나 분석기기는 무척 좋았지만, 정작 소재 합성 관련 기기와 시설은 UNIST에 미치지 못했어요. 처음엔 이런 사실을 미처 몰랐어요. 1년 이상 생활하다 보니 소재 합성에 관해 제가 할 수 있는 일들이 매우 제한적이라는 걸 깨닫게 됐죠."

그는 2016년 4월부터 실리콘밸리에 있는 배터리 소재 회사에서 근무하고 있다. 이곳에서는 배터리 소재 합성과 더불어 셀(cell) 제작을 맡았다. 자신이 꾸준히 연구할 수 있고, 또 잘해낼 수 있는 분야를 선택한 것이다.

희망을 만드는 곳, 실리콘밸리

실리콘밸리에서 정수경 박사가 가장 인상적으로 본 건 벤처 투자회사인 YC(Y Combinator)에서 주최한 '스타트업스쿨'이었다. 우연찮게 참석한 그곳에서 새롭고 신선한 자극을 많이 받았고, 이를 계기로 그의 생각도 많이 바뀌었다.

"실리콘밸리의 매력을 제대로 느낀 시간이었습니다. 행 사장을 찾은 대부분의 사람들이 자기 회사를 가지고 있었어요. 자기만의 목표를 가지고 회사를 만들어서 운영하는 사람들의 모습을 보며 무척 큰 자극을 받았습니다."

그 덕분에 자신의 아이디어가 가치 있다면, 벤처 창업도 가능하다는 자신감과 깨달음을 얻었다. 그때까지 창업





에 대해서는 단 한 번도 생각해본 적이 없었으니 실로 대단한 변화였다. 그가 경험한 실리콘밸리는 과연 어떤 곳이었을까.

“실리콘밸리에서는 실패라는 단어를 부정적으로 바라보지 않습니다. 실패라는 작은 경험이 또 다른 데이터가 될 수 있으니까요. 이런 경험을 토대로 점점 더 나은 방향으로 나아갈 수 있다는 희망이 있습니다. 그래서 모든 것이 가능한 곳이지. 그게 바로 실리콘밸리의 가장 큰 매력이자 장점이에요.”

그는 자신의 경험을 곧잘 친구와 후배들에게 이야기한다. 아울러 국내에만 머무르기보다는 실리콘밸리 등 해외 문화와 분위기를 직접 접해보길 권한다.

“실리콘밸리에는 애플, 구글, 페이스북, 이베이, 테슬라 등 유명한 기업들이 많습니다. 모두 스타트업으로 시작해서 세계적인 회사로 성장했죠. 그곳에는 분명 스타트업을 키우는 다양한 환경과 노하우가 있어요.”

후회 없는 선택, 배터리와의 인연

정수경 박사는 GIST(광주과학기술원)에서 태양전지 소재 합성 연구로 석사 학위를 받았다. 그런 그가 어떻게 배터리와 인연을 맺고 실리콘밸리 스타트업까지 진출하게 된 걸까.

“석사 때 제가 연구했던 소재가 탄소나노튜브(CNT)였습니다. 당시 배터리가 한창 주목받던 시절이라 배터리와 탄소나노튜브를 키워드로 검색을 했는데, 가장 먼저 뜬 화면이 조재필 교수님이었어요. 연락을 드려 만남을 가졌고, 고민 끝에 UNIST 진학을 결정했습니다.”


조재필 교수와 인연을 맺으면서 정 박사의 배터리 인생이 시작됐다. 돌이켜봐도 이 선택은 정말 잘한 결정이었다. 스마트폰, 노트북은 물론 각종 전자기기에서 배터리를 빼놓기 어려운 세상이 됐기 때문이다.

“배터리는 활용 분야가 넓습니다. 앞으로 제가 만든 배

터리 소재와 전지(cell)가 전기자동차를 비롯한 다양한 분야에 적용될 수 있길 바랍니다.”

그는 스승에 대한 감사함이 큰 만큼 더 좋은 연구자가 되기 위해 노력 중이다. 자신의 경험에 비춰 후배들에게 조언도 남겼다. “남들이 닦아놓은 길, 똑같은 길만 가려고 하지 말고 자기만의 길을 만들어 새롭게 도전하라”는 메시지다. 물론 큰 용기와 도전이 필요한 일이다. 하지만 목표를 향해 묵묵히 그리고 꾸준히 길을 닦다 보면 그 안에서 느끼는 즐거움은 기대 이상으로 클 것이다.

“후배들이 좀 더 많은 희망과 용기, 철학을 가졌으면 합니다. 자기만의 뚜렷한 목표를 만들어서 시도해보세요. 그렇게 즐겁게 일하다 보면 한국 청년들의 모습도 한층 밝아지지 않을까요?”

그는 실리콘밸리가 그런 희망을 만들 수 있는 곳이라고 힘주어 말한다. 그래서 과감히 도전하길 권한다. 그가 실리콘밸리에서 배운 것처럼. 

반짝반짝 빛나는 소자로 삶을 윤택하게!

부경대 교수 이보람 동문

(신소재공학부 석박사통합과정 10)

UNIST 동문의 교수 임용 소식이 잦다. 올해 9월에는 국립 부경대에 2명의 동문이 교수로 임용됐다. 이 중 신소재공학부 송명훈 교수의 첫 제자, 이보람 동문을 만났다. 스승과 함께 고분자 유기발광소자 연구를 하며 학계에서 주목받아온 이보람 교수. 그는 요즘도 UNIST에서처럼 ‘인류의 삶에 기여하는’ 꿈을 꾸며 바쁜 나날을 보내고 있다.

차세대 디스플레이와 조명, 태양전지, 트랜지스터, 다이오드 레이저... 이보람 교수가 연구해온 고분자 유기발광소자를 적용할 수 있는 분야다. 그만큼 좋은 기술을 개발하면 우리 삶에 미칠 영향도 크다. 특히 새로운 발광물질인 ‘페로브스카이트(perovskite) 광전자소자’에는 학계뿐 아니라 경제계에서도 관심이 많다. 인류의 삶에 기여하는 기술은 경제성장도 동반할 수 있기 때문이다.

이 교수는 스승인 송명훈 교수를 따라 페로브스카이트 광전자소자 개발에 주도적으로 참여해왔다. 그만큼 주목받는 연구가 많았고, 덕분에 부경대 물리학과 교수로도 임용됐다. 2015년 2월 박사 학위를 받고, 영국 캠브리지대에서 2년간 박사 후 연구원을 한 다음이니 비교적 초고속 임용이다.

탁월한 성과의 바탕은 융합교육과 공동 연구

이보람 교수가 처음부터 강단에 서는 것을 꿈꿨던 것은 아니다. 연구하는 게 적성에 맞았고, 기회가 주어질 때마다 최선을 다하다 보니 어느덧 이 자리에서 있었다. “사실 아직 얼떨떨해요. 저 말고도 UNIST에서 함께 공부했던 친구들도 교수가 되거나 국책연구소에 들어가는 등 모두 잘 됐습니다. 인재를 키우는 UNIST 교육 시스템이 이제 본격적으로 빛을 발한다고 할까요. (웃음)” 2010년 울산대 물리학과를 졸업한 그는 대학원에 진학하면서 광전자소자 분야를 본격적으로 공부하기 시작했다. 당시 UNIST에서 조교로 있던 대학 선배가 “정말

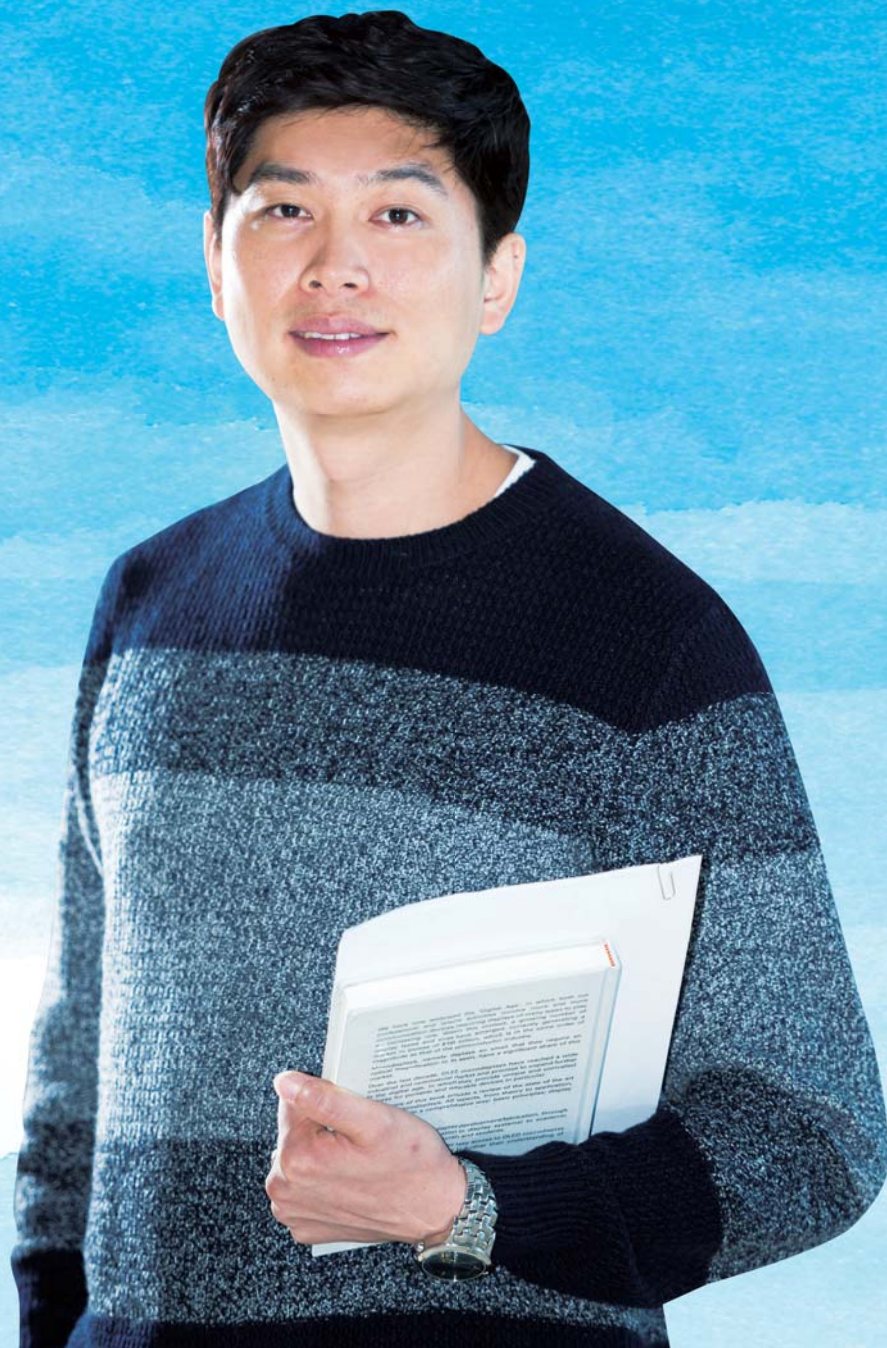
좋은 학교가 될 것 같다”며 UNIST 대학원을 적극 권한 게 계기가 됐다.

“학부 전공은 기초과학인 물리학이었어요. 그런데 개인적으로는 물리학을 응용할 수 있는 공학에 더 관심이 있었죠. 그래서 송명훈 교수님의 제자가 됐습니다. 교수님께서 젊으신 데다 첫 제자인 제게 모든 연구를 직접 가르쳐주셨어요. 실용성 높은 분야의 연구를 선도하는 송 교수님을 멘토로 만난 건 정말 행운이었어요.”

이 교수가 광전자소자 분야에 관심을 가진 이유는 ‘화학반, 물리반’이라고 해도 될 만큼 두 학문이 섞여 있었기 때문이다. 학부 전공인 물리를 기반으로 실용성 높은 화학공학을 배우는 게 좋았다. 실제로 광전자소자는 효율 향상 부분과 분석 메커니즘이 결합된 형태라 학문간 시너지 효과가 크게 나타난다. 공동 연구를 통한 융합교육을 강조하는 UNIST의 강점이 고스란히 드러나는 영역이기도 하다.

“UNIST는 각 분야별로 연구실 구성이 잘 돼 있고 공동 연구도 활발해요. 다른 교수님들의 연구를 함께 지켜보면서 배울 수 있죠. 공동 연구는 확장성에서나 연구 성과의 질적 상승이라는 측면에서 좋은 점이 많습니다. 자기 분야에 갇히지 않고 다른 연구실과 함께 문제를 해결하고 폭넓게 성과를 공유할 수 있기 때문에 연구 진행 속도도 빠른 편입니다.”

다양한 분야의 인재가 모여 있는 것, 다른 연구 분야 심지어 전혀 모르는 분야까지도 접하고 체득할 수 있는 기



회가 많은 것도 실제 연구에 많은 도움이 됐다고 이 교수는 설명한다.

과학기술로 더 편하고 행복한 생활 만드는 꿈

그는 인생에서 두가지 선택을 잘했다고 생각한다. 하나는 UNIST에 들어와 연구자의 길로 들어선 것이고, 다른 하나는 박사 후 과정으로 영국 캠브리지대 연구원으로 간 것이다. 그가 최고의 권위와 세계적인 명성을 자랑하는 리처드 프렌드(Richard Friend) 지도교수를 만날 수 있었던 건 송명훈 교수의 추천 덕분이었다. 리처드 프렌드 교수는 고분자 발광소자를 처음 발견한 인물로, 발광소자 및 태양전지 분야의 세계적인 석학이다. 이 교수는 스승의 스승에게서 보다 깊이 있는 배움을 이어가며 발광소자 연구를 꾸준히 진행했다.

“페로브스카이트 발광소자는 유기발광소자보다 선명도가 뛰어납니다. 여전히 유기발광소자보다 효율이 낮은 편이지만 그 향상 속도가 무척 빨라요. 현재까지 유기발광소자는 30%의 외부양자효율을 나타내고, 페로브스카이트 발광소자는 10%의 외부발광소자 효율을 나타내죠. 하지만 성장 속도가 무척 빠르고, 실용화에 대한 기대가 높아 학계와 국내의 기업에서도 관심이 많습니다.”


이 교수는 자신의 연구를 계속 심화시키면서 비전을 제시할 계획이다. 이와 더불어 학생들을 잘 지도해 우수한 과학기술자로 배출하겠다는 목표도 세웠다. 그는 “능력

이나 가능성에 비해 자존감과 자신감이 떨어져 있는 청년들을 많이 봤다”며 “그런 후배들의 잠재력을 잘 이끌어내는 선배 혹은 선생님이 되고 싶다”고 밝혔다. 아울러 UNIST 후배들에게도 당부의 말을 잊지 않았다.

“공부와 연구만큼 일과 휴식의 조화가 꼭 필요합니다. 연구가 지루하거나 평범해지지 않도록 몸과 마음을 재충전하는 시간을 가져야 해요. 더 좋은 연구를 하려면 선택과 집중이 필수예요. 일과 시간에는 최선을 다하고, 나머지 시간은 자유롭게 보내야 효율이 높아집니다. 또 성실한 생활 태도와 기본에 충실한 공부 자세도

빼놓을 수 없겠죠.”

그는 부경대 교수로 임용된 지금도 가끔씩 스승과 후배들이 있는 연구실을 찾는다. 그의 가능성이 싹튼 곳, 희망의 단초를 발견한 곳이 이곳 UNIST이기 때문이다. 그 래서일까. 개인적인 포부 역시 순박하리만큼 기본을 향해 있다.

“과학이 발전하는 이유는 대중에게 편리함을 주기 위해서예요. 제가 하는 연구가 실생활에 활용돼 사람들을 좀 더 편하고 행복하게 만들 수 있도록 계속 노력하겠습니다.” 

새해 새맛이 명소, 간절곶

매년 새해 해맞이 행사가 열리는 간절곶. 한 해의 마지막 날이 되면 사람들로 발 디딜 틈이 없다. 해안도시 울산이 품은 간절곶의 숨은 명소와 매력에 대해 알아보자.



바다가 산보다 좋은 이유는 포용력에 있다. 그것은 수평과 수직의 차이다. 수직으로 높이 솟은 산은 언제나 힘들여 오른 소수의 사람들만을 위해 존재한다. 산에 가려면 일단 목표부터 세워야 한다. 정상까지 오를 것이냐 말 것이냐, 그것이 문제다. 그렇다. 산은 늘 '정상'이라는 부담을 안고 가야 한다. 하지만 바다는 그렇지 않다. 수평으로 넓은 바다는 많은 사람들이 함께할 수 있다. 힘들여 오를 필요도 없다. 바다는 그렇게 부담이 없다. '그냥' 가면 된다. 목표가 없어서 맛있다고? 빙고 미안하지만 그게 필자가 하고 싶은 이야기다. 우열을 따지자는 게 아니다. 뭔가 마음을 다잡거나 운동을 하고 싶다면 산에 올라라. 하지만 힐링

이나 연인들 간의 데이트를 위해서는 바다를 찾으려는 거다. 운 좋게도 우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 어디서든 쉽게 바다를 만날 수가 있다. 하지만 바다라고 다 같은 바다는 아니다. 바다 중에서도 좀 더 멋진 바다가 있기를 바라며, 울산에는 속된 말로 그렇게 간지 펄펄 나는 명품 바다들이 제법 있다. 그 대표격이 바로 울주군 '간절곶'이다. '공업 도시'라는 말에 현혹되지 마시길. 울산은 엄연히 '해안 도시'다.

가장 먼저 해가 뜨는 곳, 간절곶

울산광역시 울주군 서생면 대송리에 위치한 간절곶은

간절곶

글 이상길(울산제일일보 기자), 사진 울주군청

이상길 기자는 현재 <울산제일일보> 취재1팀 차장으로 재직 중이다. '이상길의 시네에세이'를 연재 중이며, 네이버 파워블로그 '기리의 영화다이어리'를 운영하고 있다.



한반도에서 해가 가장 먼저 뜨는 곳이라는 이유 하나만으로도 이미 특별하다. 생명의 근원인 태양이 제일 먼저 모습을 드러내는 곳인 만큼 매년 한 해가 마무리되는 12월 31일이 되면 이곳은 문전성시(門前成市)를 이룬다. '간절'한 새해 소망을 품은 이들에게 간절곶은 이름부터 입에 짹짹 달라붙기 마련. 마침내 1월 1일 새벽, 새해 첫 해가 떠서 이곳을 비추면 한반도도 새 옷을 입고 눈을 뜬다.

하나 새해 첫 해를 맞이하는 행사는 간절곶의 데코레이션일 뿐, 간절곶은 그 자체만으로도 특별한 구성들이 참 많다. 그러니까 굳이 해맞이 행사가 아니라도 가볼 만하다는 뜻. 이제부터는 그 이야기를 해볼까 한다.

다양한 매력 품은 간절곶 공원

울산의 명소로 많이 알려진 만큼 간절곶은 이제 공원으로 불린다. 하지만 우리가 아는 일반적인 도심공원에 대한 선입견은 버려라. 이곳엔 탁 트인 대양이 있고, 그 바다를 동경하는 등대가 있다. 또 거대한 우체통이 있고, 풍차도 있으며, 드라마 세트장도 있다.

간절곶의 매력으로 가장 먼저 소개할 등대는 이곳을 오랫동안 지켜온 터줏대감으로 1920년 3월에 처음 점등된 유인 등대다. 다시 말해 등대지가 산다. 대략 40대 이상으로 아날로그 감성을 기억하는 이들에게 등대지는 사랑이다. 스마트폰은 고사하고 휴대전화조차 없었던 그 시절, 사랑은 기다림이었고 그렇게 사랑에 빠진 이들에게 등대지는 자연스럽게 감정이입이 될 수밖에 없는 존재였던 것. 워든 인스턴트 방식에 길들여져 있는 요즘, 이곳 등대는 당신에게 기다림과 느낌의 낭만을 선사할 것이다. 자랑 하나 보탠다면 간절곶 등대는 우리나라 아름다운 등대 16경에 선정되기도 했다.

등대 구경을 마치고 나면 이제 거대한 우체통이 나타나 당신에게 말을 걸 것이다. 우체통은 이렇게 말한다. '당신의 소망을 말해보세요.' 솔직히 이곳에 오면 너 나 할 것 없이 우체통을 가장 먼저 바라보게 된다. 등대야 바다에서는 이미 익숙한 풍경이지만, 동화 <잭과 콩나무>에 나오는 거인들이 사용할 것 같은 거대한 우체통은 생소하고 놀라울 수밖에 없다.

이 우체통의 이름은 '소망우체통'. 가로 2.4m에 세로 2m, 높이가 무려 5m에 이르는 소망우체통은 2006년 12월 지역의 한 기업체가 제작해 이곳에 설치했다. 간절



간절곶 등대



소망우체통



풍차



드라마하우스

곶의 '간절'이라는 한글 지명에 맞게 새해 간절한 소망과 염원을 소망우체통을 통해 기원할 경우 성취될 수 있다는 의미를 담고 있다.


비정상적인 크기인 만큼 그냥 장식일 뿐이라고? 아니! 인근 매점에서 무료 엽서를 받아 내용을 작성해 우체통 내부에 있는 일반 우체통에 투입하면 남울산우체국에서 정기적으로 수거해 정상 배달된다. 빠른 전화 한 통은 보통 기억으로 남을 뿐이지만, 어떤 소식이든 엽서 한 장은 추억이 된다. 간절곶에 온 김에 엽서로 한 장의 추억을 만들어봄이 어떨지.

우체통을 지나 해안선을 따라 조금만 걷다 보면 이제 '풍차'가 당신을 기다릴 것이다. 이 풍차로 말할 것 같으면 무려 높이가 15m에 이른다. 비록 하나뿐이지만 드넓은 잔디광장과 초화원에 둘러싸여 마치 풍차의 나라 네덜란드에 온 것같은 기분을 선사할 것이다.

풍차를 지나 조금만 더 걷다 보면 이젠 '드라마하우스'가 모습을 드러낸다. 이곳 간절곶은 출중한 해안 풍경 탓에 그동안 드라마 촬영지로 각광을 받았다. MBC의 2010년 <욕망의 불꽃>과 2012년 <메이퀸> 촬영지였고, 2013년 박경택 감독의 영화 <친구2>도 이곳을 배경으로 잠시 촬영했다. 드라마 촬영지로 쓰인 건물인 만큼 일반 건물보다 훨씬 더 예쁘다는 걸 미리 말해둔다.

사시사철 볼거리 가득

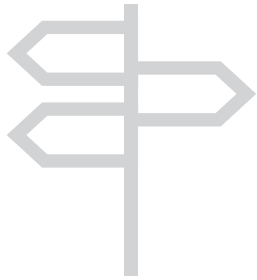
간절곶은 공원만으로도 충분히 외출 만한 곳이지만 연결해서 주변에 가볼 만한 명소도 많다. 여름이면 울산에서 가장 많은 인파가 모여드는 진해해수욕장이 바로 옆에 있고, 서생포왜성과 나사봉수대, 외고산 옹기마을 등의 관광 명소가 즐비하다.

서생포왜성은 임진왜란 때 왜군이 쌓은 왜성으로, 그 구조가 교묘하고 복잡해 남해안 각지에 산재해 있는 왜성 가운데 규모가 가장 웅장하다. 봉수대는 높은 산봉우리에 봉화를 올릴 수 있게 설비해 놓은 곳으로, 나사봉수대는 해발 21m의 봉대산 정상에 자리 잡고 있다. 화덕지는 원통 모양으로 돌을 쌓았고, 크기는 지름 10m에 높이 1.5m다. 아울러 옹기는 해마다 옹기축제가 열릴 정도로 울주군을 대표하는 문화유산이다. 그러니까 무더운 여름에는 이곳 간절곶에 들렀다가 진해해수욕장으로 직행하면 되고, 그 외 계절에는 서생포왜성이나 나사봉수대, 외고산 옹기마을 등을 방문하면 좋을 듯하다. 

고등학교 방학, 어떻게 하면 알차게 보낼까?

UNIST 선배들의 고등학교 방학 생활은 어땠을까? 또 이번 겨울방학은 어떻게 보내는 게 효과적일까? 이런 궁금증을 해결해주려 4명의 UNI 선배가 나섰다. 고등학교 방학 기간에 어떻게 공부하고, 또 자기계발에 힘을 쏟았는지 자신만의 노하우를 전한다.

Q 고등학교 방학 때 꼭 해봐야 할 게 있나요?



A 정종은: 방학이 시작되면 제가 목표했던 대학교 5곳을 선정해서 탐방했어요. 기회가 될 때는 해당 대학교에 진학한 고등학교 선배에게 캠퍼스 투어를 부탁하기도 했고요. 넓고 멋진 캠퍼스를 둘러보고 대학 생활을 엿본 경험은 제가 학업에 집중하고 목표를 설정하는 데 큰 자극이 됐습니다. 여러분도 대학 캠퍼스를 직접 방문해서 그 분위기를 느껴봤으면 해요. 특히 학교 공식 캠퍼스 투어를 신청하거나 고등학생 대상의 캠프 참여를 추천합니다.

A 김다연: 방학 때는 비교적 시간이 넉넉하니, 여러분의 꿈과 적성을 더 진지하게 생각해봤으면 합니다. 저는 고등학교 3년 내내 기계공학과를 가고 싶었는데, 막상 공부해보니 자랑 안 맞더라고요. UNIST에는 1학년을 전공 없이 기초과정부로 뽑는 제도가 있어서 제게는 참 다행이었죠. 시행착오를 거치지 않으려면 고등학교 때 미리 해당 학과에서 무엇을 배우고, 어떤 진로를 선택할 수 있는지 꼼꼼히 알아보는 게 좋아요. 대학 학부 홈페이지에 들어가서 개설 강좌를 살펴보거나, 학부 실험실에서 무엇을 연구하는지 살펴보면 자신이 원하는 길이 맞는지 아닌지 알 수 있을 거예요.

Q 방학 때 공부와 시간 관리는 어떻게 했나요? 나만의 공부 비법, 전수해주고 싶은 팁이 있다면 소개해주세요.



A 임채은: 저는 복습 위주로 공부했어요. 특히 시험기간에 제대로 이해하지 못하고 무작정 외우며 공부했던 부분들을 다시 봤습니다. 어떤 현상이나 공식의 유도 과정과 당위성에 대한 해답을 찾으려고 노력했어요. 이런 학습 방법이 개념을 기반으로 하는 신유형의 응용문제를 풀 때 큰 도움이 됐습니다. 시간 관리에 있어서는 일주일 단위로 스스로 정한 기준만큼은 꼭 넘을 수 있도록 공부했습니다. 그리고 남은 시간은 취미 활동이나 독서, 또 3학년 때는 대학과 학과를 알아보는 데 시간을 들였어요. 절대적인 공부의 양이나 시간 관리 방식은 없다고 생각해요. 다만 스스로 정한 기준을 끝까지 포기하지 않는 게 중요하다고 생각합니다.

A 정종은: 방학은 스스로 공부와 휴식의 시간을 정할 수 있는 유일한 시기죠. 저는 고2 겨울 방학 때부터 대학수학능력시험의 시간표처럼 과목별로 공부했습니다. 예를 들어, 아침에는 꼭 국어 문제를 푸는 식이죠. 그렇게 수능 적응에 초점을 둔 덕분에 모든 과목을 골고루 공부할 수 있었어요. 또 하나, 효율적인 시간 관리를 위해 스티디 플래너를 적극 활용했어요. 매번 공부 진도와 성취율을 스스로 평가할 수 있어 학업의 큰 길라잡이가 됐죠. 자신의 목표를 꾸준히 상기시키고 적절한 긴장감을 유지하는 게 중요하다고 생각합니다.



대외홍보부장
정종은(UNI 8기)



고누리(UNI 9기)

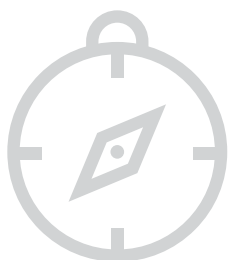


김다연(UNI 9기)



임채은(UNI 9기)

Q 고등학교와 대학교의
방학은 어떤 차이가 있는지
궁금해요!



A **고누리:** 대학교 방학은 약 두 달 정도로 무척 깁니다. 평소 하고 싶었던 일을 자유롭게 할 수 있어요. 학교에 남아서 계절 학기를 듣든, 가고 싶은 나라로 여행을 떠나든, 집에서 편하게 쉬든 원하는 대로 선택할 수 있답니다. 이러한 자유로움과 자발성의 유무가 고등학교와 대학교 방학의 가장 큰 차이점이라고 생각해요.

정종은: 대학교 방학은 정말 천국이 따로 없어요.(웃음) 공부 외에 정말 하고 싶었던 일, 가고 싶었던 곳, 도전하고 싶은 것 등을 언제든지 할 수 있거든요. 게다가 20대가 되니 금전적 여유가 생겨서 활동 폭도 넓어지고요. 저는 긴 방학 기간을 활용해 2개국 이상 다녀오는 여행 계획을 세웠어요. 또 UNIST에서 운영하는 문화교류 프로그램(culture exchange program)을 통해 다른 나라의 정서와 문화를 체험하고 싶은 마음도 있어요. 그래서 영어도 시간을 더 투자해서 공부하려고 해요. 이건 제가 해야 하는 공부가 아니라 하고 싶어서 하는 공부죠. 이런 계획 자체가 고등학생 때는 상상도 못할 일이었어요.

김다연: 방학 때 하고 싶은 공부를 찾아서 할 수 있다는 점이 가장 큰 차이라고 생각해요. 저는 고등학생 시절, 국어 공부를 좋아하지 않아서 늘 스트레스를 받았는데, 대학에서는 제 관심 분야를 깊이 있게 전문적으로 공부할 수 있어서 큰 기쁨을 느꼈어요. 또 방학 때는 그동안 경험하지 못했던 여러 대외 프로그램에 참가할 수 있는데, 이런 활동을 통해 많은 사람들을 만날 수 있어서 늘 즐겁고 새로워요. 다른 분야에 발을 담그고 있는 사람들이랑 다양한 의견을 나누면서 제 가치관이 변화하고 성장하는 것을 느낄 수 있어 참 좋아요. 재미있고 신기한 일이죠.

Q 겨울 방학을 보내는
고등학생들에게 한마디!



A **고누리:** 많은 학생들이 내가 다른 친구들에 비해 뒤쳐져 있는 것은 아닌지, 지금까지 걸어온 이 길이 맞는지 불안함을 느낄 거라 생각해요. 하지만 그럴 때마다 자신을 믿고 현재에 더 최선을 다했으면 해요. 이미 지나간 과거는 바꿀 수 없지만 미래는 여러분이 만들어가는 것이니까요. 그리고 다른 친구들과 자신을 너무 비교하지 말아요. 속도는 중요하지 않아요. 현재에 최선을 다하는 마음을 가지고 올바른 방향으로 꾸준히 걸어간다면 그에 대한 결과가 찾아올 거예요. 지금까지 충분히 잘해왔고 앞으로도 계속 잘할 것이라는 믿음과 자신감을 잃지 않길 바랍니다. 