



새로운 미래를 여는
창조적 시너지

융합연구 모범사례집

융합연구 활성화와 아이디어 창안의 열쇠가 되길

분절적 기술의 한계 극복과 대형화된 사회·경제 문제 해결을 위한 새로운 패러다임으로서 '융합'에 대한 관심이 그 어느 때보다 뜨겁습니다. 미래 트렌드에 대한 선제적 대응과 新 성장동력 확보를 위한 융합연구의 역할은 그 중요성이 점차 부각되고 있으며 이러한 기조를 따라 우리 정부에서도 전략적으로 융합연구를 지원·육성하기 위해 많은 노력을 기울이고 있습니다.

그러나 융합연구의 중요성에 대한 공감대와 융합연구 확산을 위한 정책적 노력에도 불구하고, 연구자들이 융합연구 수행 시 현장에서 마주하는 방법론적 어려움은 여전히 풀리지 않은 숙제로 남아 있습니다.

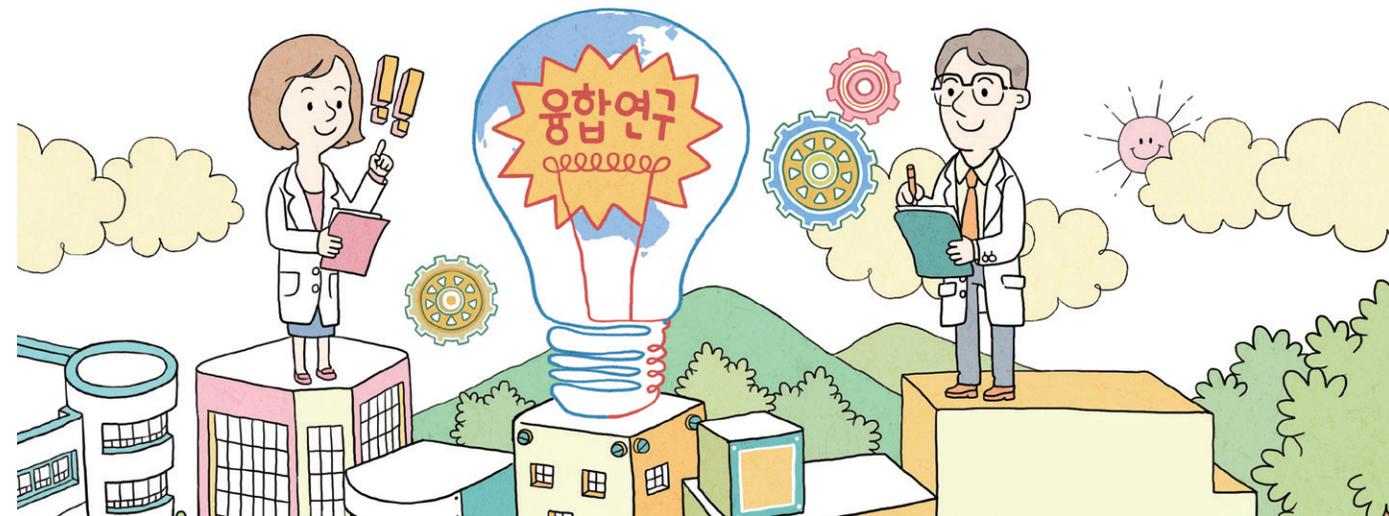
이에 융합연구정책센터는 융합연구 현장의 문제점 해결과 이를 통한 융합연구 확산에 일조하기 위해 총 15건의 우수한 융합연구 사례들을 발굴하여 《모범사례집》을 발간하게 되었습니다. 발굴된 사례들은 융합연구 주제의 발굴부터 융합연구 조직 관리에 이르기까지 다양한 융합연구 수행 노하우를 포함하고 있습니다. 본 사례집에 담긴 우수한 융합연구 사례들이 현장에서 고군분투하고 있는 연구자들에게 아이디어 창안의 열쇠가 되길 바랍니다.



마지막으로 본 사례집을 통한 융합연구 방법론의 확산이 융합연구 활성화 및 생태계 조성을 위한 융합연구 문화정착으로 이어지도록 많은 관심 부탁드립니다.

감사합니다.

융합연구정책센터 소장 하성도



PART 1

융합연구 팀 구성

최상의 팀 구성이 이끈 융합연구 시너지

CHAPTER 1



김한성 연세대학교 의공학부 교수

근골격계 치료기의 효능을
획기적으로 높여라 010

근골격계 치료기의 효능을 극대화한 치료 및 평가 시스템 개발

CHAPTER 2



오일권 한국과학기술원(KAIST) 기계항공시스템공학부 교수

다기능성 신소재 인공근육 개발,
융합형 메카트로닉스 산업을 이끈다 028

소프트 액츄에이팅 융합소재를 이용한 바이오메카트로닉스 융합기술 개발

CHAPTER 3



송기봉 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원

알츠하이머 조기진단의
예측 기술을 확보하다 044

생체진단 가능 시각, 미각 수용체 기반 센싱기술 개발

CHAPTER 4



이상준 포항공과대학교 교수

순환기질환의
원인 규명 및 진단 기술 연구 062

생체유동현상 규명과 생체모방기술 개발의 융합적 연구

CHAPTER 5



김도경 한국과학기술원(KAIST) 신소재공학과 교수

생체모방 경량 나노복합 에코소재,
산업제품의 무게를 줄여라 080

경량 고강도 구조 및 고온 내열 충격성을 갖는 나노복합 에코소재 기술개발

PART 2

융합연구 수행

소통과 열린 사고를 바탕으로 한 연구 수행

CHAPTER 1



이건재 한국과학기술원(KAIST) 신소재공학과 교수

배터리 필요 없는
인공심장박동기 시대 열다 100

자기발전형 심장박동기의 구현

CHAPTER 2



김완두 한국기계연구원 영년직연구원

세상에 없는 기술,
완전이식형 인공달팽이관에 도전하다 118

청각 장애인을 위한 완전이식형 신개념 인공달팽이관 개발

CHAPTER 3



김은수 광운대학교 전자공학과 교수

사람과 똑같은 홀로그램 휴먼,
아바타의 기술을 꿈꾸다 136

홀로그램 휴먼미디어의 핵심 원천기술 연구 개발

CHAPTER 4



이두용 한국과학기술원(KAIST) 기계공학전공 교수

ERCP 시뮬레이션 기술 개발로
선진 의료화 실현 154

ERCP 시뮬레이션 기술 개발 및 영상유도 ERCP 기술 개발

CHAPTER 5



정명애 한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원

신경계 기능을 모방하는
IT기반 융합기술 170

뉴런 및 수용체와 반도체 소자의 하이브리드 네트워크

PART 3

주제 발굴 및 성과와 평가

진취적인 주제 발굴, 탁월한 성과 및 평가

CHAPTER 1



최정현 이화여자대학교 환경공학과 교수

기후변화로 인한
미래 물 환경 변화를 예측하다 188

기후변화 대응을 위한 통합형물관리시스템 개발 및 적용

CHAPTER 2



조준동 성균관대학교 휴먼ICT융합학과 학과장, H-Lab. 지도교수

휴먼ICT융합학과,
융합교육 연구의 산실이 되다 206

다학제 간 융합연구 시스템 구축 및 프로젝트 개발

CHAPTER 3



최해천 서울대학교 공과대학 기계항공공학부 교수

생명체처럼 자유롭게 움직이는
기계기술을 구현하다 222

소프트 모핑 기계기술의 융합적 개발

CHAPTER 4



이종석 한국과학기술연구원(KIST) 녹색도시기술연구소 박사

신소재 기체분리막, 환경보전과
에너지 문제 해결의 실마리가 되다 240

고분자 하이브리드 소재를 이용한 기체분리막 개발 사례 적용

CHAPTER 5



허신 한국기계연구원 책임연구원

생체모사 인공달팽이관 소자 개발,
청각장애인들의 소리가 되다 258

완전이식형 인공달팽이관 소자 개발 및 평가 시스템 개발



융 합 연 구 팀 구 성

PART
1

최상의 팀 구성이 이끈
융합연구 시너지



- 김한성(연세대학교 의공학부 교수)
- 오일권(한국과학기술원(KAIST) 기계항공시스템공학부 교수)
- 송기봉(한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원)
- 이상준(포항공과대학교 교수)
- 김도경(한국과학기술원(KAIST) 신소재공학과 교수)



김한성

연세대학교 의공학부 교수

근골격계 치료기의 효능을 획기적으로 높여라

근골격계 치료기의 효능을 극대화한 치료 및 평가 시스템 개발



본 융합연구는 김한성 연세대학교 의공학부 교수와 공동연구진, 독일의 프라운호퍼 연구소(Fraunhofer IKTS-MD), 그리고 의료기기 전문업체 누가의료기기가 함께 진행 중이다.

효율적인 연구를 위해 한국 원주와 독일 드레스덴에 각각 공동연구소를 설립했으며, 특히 독일 프라운호퍼 연구소 내에 본 융합연구의 성과를 빠르게 사업화하기 위한 누가 랩(NUGA Lab GmbH)을 설립했다. 그 결과 2014년 신물질 '나노-다이아몬드 토르마늄'을 세계 최초로 개발해 특허 출원했으며, 이를 토대로 기 개발된 근골격계 관련 치료기의 효능을 극대화한 새로운 기기를 개발 중이다. 2014년 박근혜 대통령은 프라운호퍼 내 누가 랩 전시관을 방문한 바 있으며, 같은 해 한국과 독일의 성공적인 공동 연구 네트워크 구축에 대한 성과를 인정받아 한국연구재단으로부터 표창장을 받았다.

의료기기산업의 미래, 융합연구로 꿈꾸다

“독일에서 답변 왔어?”

“아뇨, 드레스덴은 지금 새벽시간이라서…….”

김한성 연세대학교 의공학부 교수는 낮게 숨을 뱉으며 고개를 끄덕였다. 독일 드레스덴의 연구소 프라운호퍼 IKTS-MD(Fraunhofer IKTS-MD, 전신 IZFP, 이하 프라운호퍼)와 공동연구센터 설립을 논의하기 시작하면서부터 연세대학교 연구진은 7시간의 시차와 싸움을 벌여야 했다.

‘이거 참, 간단한 답변 하나만 들으면 해결되는데…….’

한국과 독일, 원주와 드레스덴의 물리적 거리로 인한 소통의 불편함은 김한성 교수를 조금하게 만들곤 했지만, 공동연구센터를 설립하고 융합연구의 과제를 개발하는 과정은 힘든 만큼 설레는 시간이었다.

김한성 교수가 프라운호퍼와 ‘연세대학교 프라운호퍼 의료기기 공동연구센터(이하 공동연구센터)’ 설립을 추진한 것은 지난 2009년의 일이다.

“바로 이거다!”

당시 정부의 ‘해외유수연구기관 유치사업’ 공고를 확인하자마자 김한성 교수는 머릿속이 바빠졌다. 오랫동안 생각만 해오던 계획을 실제로 구현해볼 수 있는 기회가 왔다고 판단한 것이다.

김한성 교수는 일찌감치 국내 진단 및 치료를 위한 의료기기 분야의 장기적 발전을 위해 ‘선진 기술’ 개발의 중요성을 인식해왔다.

이미 세계적 수준에 도달한 임상기술 분야와 달리 국내 의료기기 분야는 선진국과 뚜렷한 기술 차이를 극복하지 못하고 있는 현실이다. 하지만 그동안 정부의 의료기기산업화 방안에 따라 원주 의료기기클러스터, 동화의료산업단지, 대구 의료첨단복합단지 등 대학과 연구소, 그리고 산업체가 쉽게 교류할 수 있는 인프라는 충분히 구축되어 있는 만큼, 이제 국내 의료기기 산업의 신성장 동력을 확보하기 위한 기술 발굴이 필요한 때가 온 것이다.



연구사업의 성패는 최고의 파트너십을 발휘할 수 있는 연구기관을 찾는 데 좌우될 것이라고 판단하고 이 기관을 찾는 데 총력을 기울였다.

김한성 교수는 이와 같은 새로운 패러다임을 바로 연세대학교 의공학부가 앞서 선도하는 비전을 품고 있었다. 연세대학교 의공학부는 지난 20여 년 동안 의공학 분야의 다양한 국책사업을 성공적으로 이끌어오면서 내실을 탄탄하게 다져온 연구 인프라를 갖추고 있는 만큼, 산업화에 치중해 온 기존의 연구 방향을 기초·응용연구로 전환하는 데 무리가 없다는 판단도 섰다. 때문에 김한성 교수는 해외유수연구기관 유치사업의 수행기관으로 선정된다면 무엇보다 가장 중요한 재정적 지원을 받을 수 있는 만큼, 그 기회를 놓치고 싶지 않았다.

그러나 먼저 생각해야 할 조건이 있었다. 무엇보다 되도록 빠른 시간 내에 실패를 최소화한 연구를 진행할 수 있어야 했고, 동시에 기초 연구를 통해 획득한 기술을 시장에 재빠르게 진입시킬 수 있는 응용화 방안도 찾아야 했다.

‘이 복합적인 난제를 해결하기 위해서는 최고의 해외 연구기관을 유치해야 한다. 결국 최고의 파트너십을 구축하는 게 이번 연구사업의 성패를 결정짓게 되겠군.’

김한성 교수는 본 연구사업의 성패는 최고의 파트너십을 발휘할 수 있는 연구

참여기관 현황

Fraunhofer
IZFP

- 유럽 최대의 응용과학 연구기관
- 특히 비침습적 의료 진단분야 특화
- 지난 20년간 초음파 및 레이저를 이용한 비침습적 암 진단 기술 연구
- 지난 3년간 148편의 논문(SCI(E)급) 발표

연세대학교
YONSEI UNIVERSITY

- 아시아권 최초 의공학과 개설
- 음파진동, 초음파, 레이저 이용 자극 치료기 및 진단기 관련 기술 보유
- 근골격계 치료 효능 평가 기술 보유
- 참여 교수 지난 3년간 101편의 논문(SCI(E)급) 발표

드레스덴 + SIEMENS 원주

기관을 찾는 데 좌우될 것이라고 판단하고 이 기관을 찾는 데 총력을 기울였다.

김한성 교수는 먼저 의료 선진국의 유명 연구기관 리스트를 작성한 후 △전통과 명성, 현재의 활동상황 △해당 기관 연구 인력의 국내 상주 가능 여부 △국내에는 없는 기술보유 여부 △융합연구를 통한 시너지 효과 극대화 가능성 등을 고려해 신중한 검토를 거듭했다.

그 결과 유럽 최대의 연구기관으로 손꼽히는 독일의 프라운호퍼를 융합연구를 위한 파트너로 선정했다. 프라운호퍼는 의·생명 관련 소재 분야에 특화된 기술력을 갖추고 있고, 특히 비침습 평가기술에 관해서는 세계 최고 수준으로 정평이 난 연구소였다. 지난 12년간 골다공증, 골절 등 근골격계에서 발생하는 현상에 대한 기전과 치료 방법에 대한 연구를 지속해 온 김한성 교수 연구팀과 함께 융합연구를 수행하기에 최적의 요건을 갖춘 기관이었다.

김한성 교수는 연세대학교가 손상된 근골격계 치료를 위한 기계적 자극 시스템을 개발하고, 프라운호퍼가 비침습 진단 기술을 활용해 김한성 교수 연구



팀이 개발한 시스템의 성능을 평가하는 역할을 담당한다면 최고 수준의 파트너십으로 만족할 만한 연구 성과를 기대할 수 있다고 확신했다.

팀의 구성, 독립적 연구와 통합적 수행 위한 준비

“교수님, 혹시 기사 보셨어요? 국내 한 기업에서 국소부위에 집중적으로 자극을 줄 수 있는 전도율 높은 새로운 바이오 세라믹을 개발했습니다.”

“그래? 거기가 어디야?”

“누가의료기라는 회사입니다.”

어느 날 연구자 한 명이 들려준 얘기는 공동연구센터 설립을 추진하며 분주한 나날을 보내고 있는 김한성 교수에게 가뭇의 단비와도 같은 희소식이었다. 프라운호퍼 측과 융합연구 과제 등에 관한 논의를 진행 중이던 당시 김한성 교수는 깊은 고민에 빠져있었다.

융합연구의 주제, 즉 ‘기계적 자극 시스템의 개발과 비침습 진단기술’은 사실 기준에도 충분히 연구되어 온 주제였다. 그러나 진동, 초음파, 레이저 등 한 자극원만 사용하는 방식으로 접근했기 때문에 치료효과가 미미했고, 따라서 상용화에 어려움을 겪고 있었다.

김한성 교수는 바로 이 문제를 해결할 방안으로서 보다 치료효과가 뛰어난 ‘다중 자극을 국소부위에 집중적으로 가할 수 있는 기술적 방법’을 찾아야 하는 숙제를 안고 있었다.

김한성 교수는 즉시 의료기기 전문업체 누가의료기가 개발한 토르마늄 (tourmanium)에 대한 조사를 시작했다. 게르마늄에 특수 성분을 합금한 바이오 세라믹으로서 전도율이 매우 높은 토르마늄은 바로 김한성 교수가 찾던 신소재였다.

그날 바로 누가의료기를 방문한 김한성 교수는 연구진과 오랜 시간 대화를 나누며 융합연구의 미래에 대한 강한 희망이 솟구쳐 오르는 것을 느꼈다.

그도 그럴 것이 세계에서 단 2곳의 연구소만이 보유하고 있는 초고순도 나노-다이아몬드 합성 기술을 바로 프라운호퍼의 Dr. Jürgen Schreiber가 갖고 있는데, 이 기술을 토르마늄에 적용한다면 지금보다 훨씬 높은 전도율을 지닌 신물질을 개발할 수 있는 가능성을 확인한 것이다.

김한성 교수는 이번 융합연구의 성공을 위해서는 토르마늄의 특허권을 갖고 있는 누가의료기의 참여가 무척 중요하다고 판단했다.

“제가 제안을 하나 드려도 되겠습니까? 우리 공동연구센터의 융합연구에 누가의료기도 함께 참여해주시죠. 아시겠지만 저희와 함께 하는 프라운호퍼는 전 세계 네트워크를 가진 유럽 최대 연구소입니다. 누가의료기에도 분명 큰 도움이 될 겁니다.”

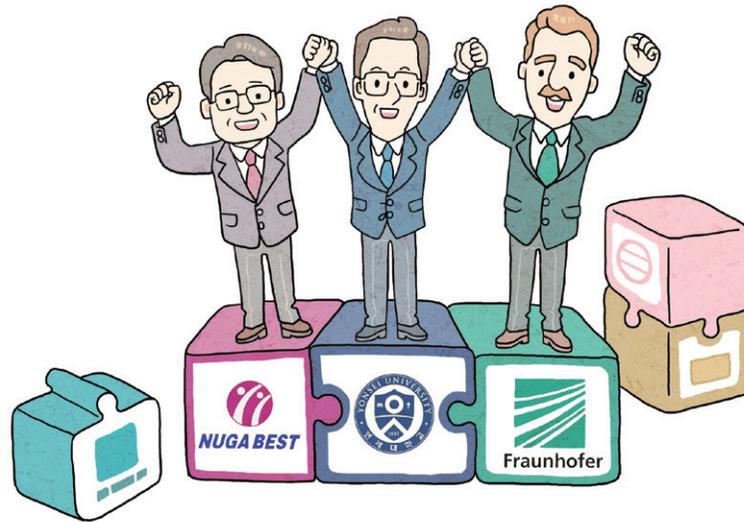
김한성 교수의 적극적 제안에 누가의료기 측 역시 매우 긍정적인 반응을 보였다.

“저희도 독일에 벤처회사를 설립할 계획을 갖고 있어요. 앞으로 어떻게 하면 좋을지 함께 얘기를 나눠봅시다.”

누가의료기의 적극적 의사를 확인한 김한성 교수는 곧 프라운호퍼 측과 논의를 통해 최종연구 목표에 나노-다이아몬드 토르마늄 개발 아이디어를 포함시켰다. 더불어 독일 프라운호퍼 내에 누가 랩(NUGA Lab GmbH)을, 연세대학교 첨단의료기기센터 내 공동연구센터를 구축하기로 협의하는 데 성공했다.

이로써 연세대학교를 중심으로 세계적인 의료기술연구소 프라운호퍼, 그리고 누가의료기까지 합세한 융합연구 3각 편대가 완성되었다.

- ◆ **토르마늄(tourmanium)** 복합 신소재 바이오 세라믹. 토르말린, 게르마늄, 맥반석, 화산암 등이 섞인 결정체로 흔히 토르마늄 세라믹(Tourmanium Ceramic, TC)이라 불리며 원적외선 및 음이온 방출효과가 있다.
- ◆ **나노-다이아몬드(Nano-Diamond)** 나노다이아몬드는 화학적·생물학적으로 활성화가 가능하고, 무독성이며, 특별한 광학적·열적·기계적 특성을 가진 나노 소재로서 현재 복합 도금, 연마재료, 바이오산업 등 여러 분야에 적용되어 사용되고 있다.



연세대학교를 중심으로 세계적인 연구소 프라운호퍼, 그리고 누가의료기까지 합세한 융합연구 3자 편대가 완성되었다.

독립적 연구, 통합적 수행을 위한 사전 준비

김한성 교수는 본격적으로 융합연구팀을 구성했다. 비록 최종적으로 하나의 목표를 향해 연구가 진행되어야 하지만 기존의 3개 기관, 즉 연세대학교, 프라운호퍼, 누가의료기를 비롯해 한국과 독일 양국에 설립된 2개의 공동연구소 등 서로 다른 5개 기관을 총괄할 창구를 정하는 것이 가장 중요했다.

한국에서 진행되는 모든 사항은 기획에서부터 실질적인 연구까지 모두 김한성 교수가 총괄하기로 했지만, 문제는 독일에 설립하기로 한 누가 랩이었다. 한국기업인 누가의료기가 자금을 지원하지만 프라운호퍼 부지 안에 연구소가 세워지기 때문에 총괄을 결정하기가 쉽지 않았다. 더불어 연구 단계에서는 기초 연구에 매진해야 하는데, 기업 주도로 운영된다면 이 부분이 잘 수용될지에 대해서도 우려가 있었다.

연세대학교, 프라운호퍼, 누가의료기는 모두 머리를 맞대고 이 문제를 심도 있게 논의하기 시작했고, 결국 누가 랩은 특정 기관의 산하가 아닌 독립체로 운

영하기로 결정했다. 또한 누가 랩의 상임 CEO 역시 프라운호퍼에서 오랫동안 연구를 해 온 Dr. Jürgen Schreiber로 선임했다. 프라운호퍼 측은 Dr. Jürg Opitz에게 총괄 관리를 맡겼다. 더불어 각 기관별 연구원의 상호 이동이 있을 경우 원 소속과 관계없이 해당 기관장의 총괄에 따르기로 합의함으로써 순조롭게 융합연구의 기반을 다질 수 있었다.

김한성 교수는 3개 기관이 함께 공동으로 융합연구를 진행하며 각 기관별 연구의 독립성을 매우 중요하게 고려했다. 기초연구뿐만 아니라 상업화를 위한 기술이전 문제가 함께 존재하는 만큼, 각 주체 간 연구내용에 차별성을 확실하게 정리해야만 향후 혼선을 막을 수 있을 것으로 판단한 것이다.

연세대학교는 김한성 교수를 비롯한 4명의 의공학부 교수와 생명공학부 2명의 교수, 프라운호퍼는 Dr. Jürg Opitz 산하 30명의 전임연구원, 그리고 누가 랩은 5명의 상시 연구 인력이 배치되었고, 각 연구기관은 독립적인 연구주제를 수행하고 있다.

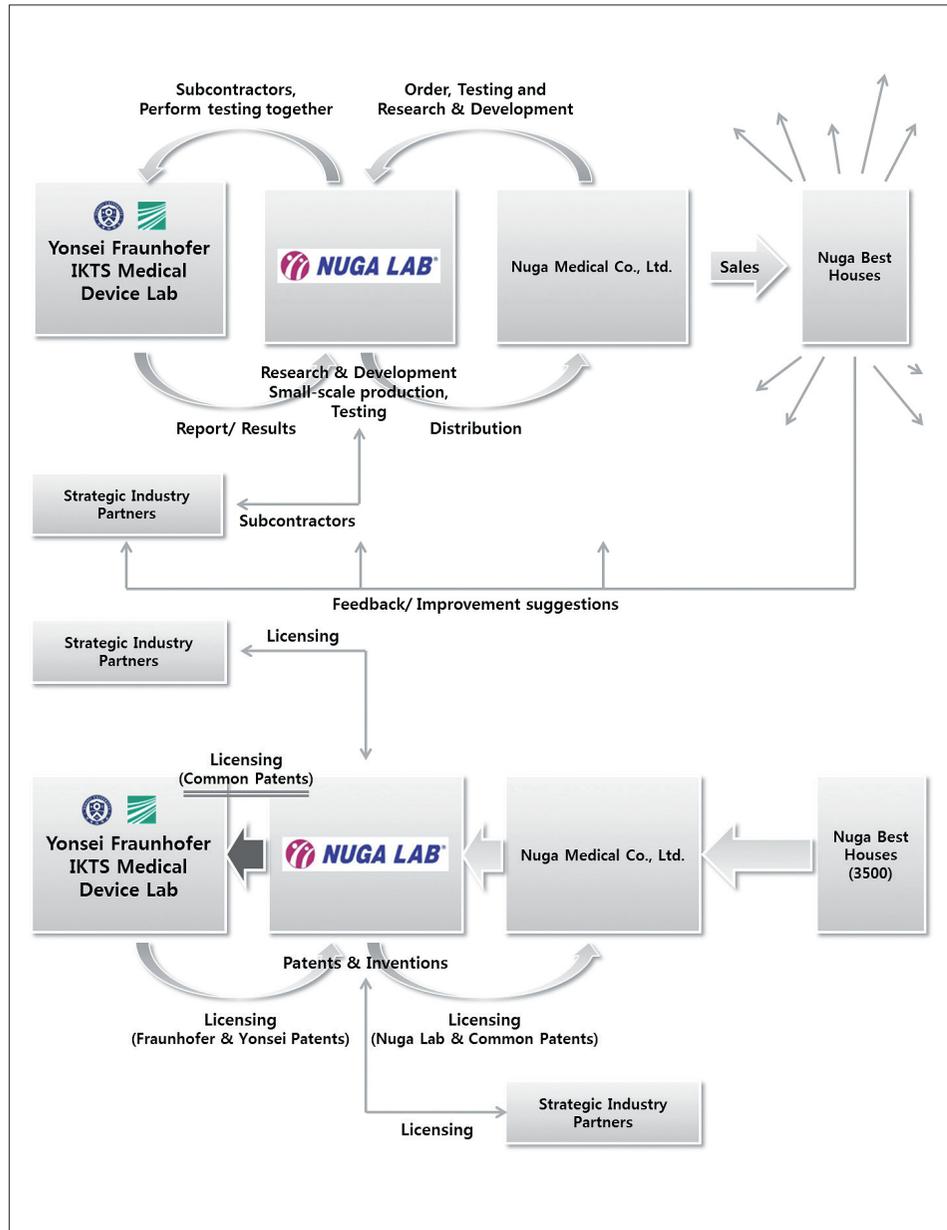
다만, 지나친 연구의 독립성이 오히려 융합연구에 방해가 될 수 있고, 향후 성과 분배 문제로도 이어질 수 있는 만큼, 연구 초기에 협의를 거쳐 이에 기준을 마련했다.

학술 논문의 경우 소속 기관에 상관없이 참여자 모두 저자로서 권한을 인정하되, 주도적 참여 여부와 기여도를 따져 제1저자의 권한을 갖도록 했다. 교신 저자는 연구내용에 따라 세부 연구성향이 강하면 세부 연구 책임자가, 통합연구 성향이 강하면 공동 교신저자를 취하는 것으로 합의했다. 특히 역시 학술논문과 유사한 기준을 적용하고, 시제품에 대한 권한은 회사에 우선권을 주기로 합의했다.

또한, 무엇보다 중요한 사항인 연구비 관리에 대해서는 융합연구의 출발을 가능하게 한 해외우수연구기관 유치사업은 연세대학교 산학협력단과 정부 간 계약이기 때문에, 투명한 연구비 집행과 효율적 관리를 위해 한국 측에서 모든



연구비를 통합관리하기로 했다. 이로써 한국과 독일에서 공동으로 수행할 융합 연구는 첫 걸음을 뗄 수 있는 모든 준비를 마쳤다.



<표> 주관 연구기관과 해외 연구기관의 연구 내용

주관 연구기관	해외 연구기관
<ul style="list-style-type: none"> ● 근골격 치료기술 개발 ● 음파진동, 초음파, 레이저 다중 자극을 이용한 손상된 근골격 치료 기술 개발 ● 천연물을 이용한 근골격 세포 손상 억제 분자 기전 연구 ● Scaffold Matrix를 활용하여 저장도 초음파 자극 기전 연구 ● 연구 공간 제공과 연구 개발용 장비 제공 	<ul style="list-style-type: none"> ● 근골격 치료기술 평가 ● 비침습 진단을 통한 음파진동, 초음파, 레이저 다중 자극을 이용한 손상된 근골격의 손상 및 회복 효과 평가 ● 천연물을 이용한 근골격 조직 손상 억제 효과 측정 및 평가 ● 세포 배양의 효과를 증진하기 위한 Scaffold Matrix 제작 및 초음파 자극 효과 평가 ● 장단기 상주 인력 파견, 참여기업 지도

융합연구, 소통에서 시작해 소통으로 끝난다

“무조건 자주 만나야 합니다. 얼굴을 보고 얘기해야 마음도 여는 법이죠.”

프라운호퍼 측과 공동연구센터 설립 및 융합연구 과제 발굴에 대한 논의를 진행하며 김한성 교수와 공동연구진, 그리고 누가의료기 실무진은 모두 직접 만남의 중요성을 절절하게 깨달았다.

이메일과 전화 등을 통해 접촉하다 보니, 시차의 문제로 서로 필요할 때 바로 대화를 할 수 없어 시간적 손실이 컸고, 무엇보다 자유롭게 아이디어를 제안하고 공유하기 위해서는 신뢰가 중요하다는 사실을 너무나 잘 알고 있었기 때문이다.

서로 다른 연구기관이 융합연구를 진행할 경우, 각 기관은 솔직히 자신들이 보유한 기술이 타 기관으로 유출되는 것을 우려해 제대로 된 정보 공유를 꺼리게 된다. 때문에 행정적으로 아무리 좋은 합의를 마쳐도, 내부 용화가 먼저 선행되지 않으면 융합연구의 시너지 효과를 충분히 발휘할 수 없게 된다.

김한성 교수는 단순히 아이디어의 제안을 넘어서 융합연구가 성공적으로 진행되기 위해서는 한국과 독일 연구자들의 ‘열린 마음’이 필수 요소라고 판단하고 이를 위해 행동에 나섰다.

2009년 6월 김한성 교수와 공동연구진은 ‘과제기획단’을 꾸려 먼저 독일의



프라운호퍼를 찾았다. 그리고 바로 다음 달 프라운호퍼의 연구진을 원주로 초대했으며, 이후로 꾸준히 학술회의, 심포지엄, 컨퍼런스 등을 개최해 양국의 연구자들이 어울리며 자연스럽게 주제를 발굴할 수 있도록 분위기를 조성했다. 그리고 2010년 2월 프라운호퍼 측에서 연세대학교에 박사급 인력 파견을 요청해왔을 때 김한성 교수는 속으로 쾌재를 불렀다.

‘이제 됐다. 함께 어울려 일하다 보면 그만큼 빨리 가까워질 수 있을 거야.’

공동연구센터가 정식으로 출발하기 전부터 미리 연구자들이 열린 마음으로 서로를 대할 수 있다면 융합연구도 그만큼 원활하게 수행할 수 있을 것으로 확신한 만큼 연세대학교는 실력 있는 박사급 연구자들을 프라운호퍼 측에 파견했다. 효과는 기대 이상이었다. 프라운호퍼 측에서는 연세대학교 연구자들의 적극적인 태도와 놀라운 실력에 크게 만족감을 표시했고, 이어 드레스덴 공과대학의 학생들을 연세대학교에 파견하는 등 활발한 인적 교류의 장이 열린 것이다. 그 결과 교수진의 노력 없이도 학생들과 연구원들 사이에는 자연스러운 분



2009년부터 2010년까지 연세대학교와 프라운호퍼 측은 무려 12번의 상호 방문을 통해 긴밀한 소통을 이어갔다.

위기가 조성되었고, 생각지도 못했던 아이디어들이 양산되는 효과도 거뒀다.

융합연구를 위한 공동연구센터 설립과 과제발굴을 위한 논의를 지속한 2009년부터 2010년까지 연세대학교와 프라운호퍼 측은 무려 12번의 상호 방문을 통해 긴밀한 소통을 이어갔다.

김한성 교수는 공동연구센터 개소를 앞두고 연구자 간 언어소통에 대한 문제도 미리 준비를 했다. 한국과 독일 모두 영어권이 아니지만 영어를 공용어로 사용해야 하는 부담이 연구에 지장을 줄 수 있었기에 이 문제를 소홀하게 다룰 수 없었다. 특히 연구자 개인의 영어실력의 차이로 인해 자칫 해외연구팀과의 교류 기회가 일부 연구자에게 편중되지 않도록 신경을 써야만 했다. 공동연구진은 수차례 회의를 열었고, ‘동시통역사를 배치하자’는 의견도 나왔지만, 이안은 결국 선택되지 않았다.

“우리는 대학 소속의 연구소입니다. 효율도 좋지만 교육적 효과를 먼저 배려해야 하지 않을까요?”

김한성 교수는 동료 교수진들과 의논 끝에 ‘현재 진행중인 연구에 방해가 되지 않는 선에서 연구자들의 해외파견 빈도를 높이고 정기적으로 추진한다’는 기준을 세웠다. 누구의 압력 때문이 아니라 연구자들 스스로 영어의 필요성을 느껴야만 가장 큰 교육의 효과를 거둘 수 있다는 판단 때문이었다. 실제로 시간이 흐른 현재, 김한성 교수의 제안은 어느 정도 가시적인 효과를 거두고 있다.

그러나 소통을 위한 이런 사전의 충분한 노력에도 불구하고 공동연구센터의 융합연구가 시작되자 여러 가지 문제점이 드러나기 시작했다.

한국과 독일의 연구자들은 함께 일을 하며 생활적인 면에서 문화적 차이로 인한 크고 작은 갈등을 겪었다. 또 자신이 속한 기관의 특성과 집단 문화에 따라 연구를 바라보는 시각이 달랐고, 분야 간 이해도의 차이로 인해 크고 작은 마찰이 발생한 것이다.

그중 가장 큰 갈등은 바로 각 연구 집단별 진행 속도의 차이로 인해 발생했



다. 한국과 독일의 업무시간과 휴가문화가 다르고, 또 기업과 학교 연구자들의 숙련도에 차이가 있다 보니 연구 집단별 성과의 차이가 크게 벌어졌는데, 이에 대한 불만이 쌓이기 시작한 것이다.

김한성 교수는 이 문제를 그대로 방치했다가는 융합연구에 차질을 빚을 것으로 판단해 즉시 책임자 회의를 열었다. 그러나 회의를 거듭해도 마땅한 해결책은 나오지 않았다. 분야별 진행되는 연구의 속도를 일정하게 맞추는 일도, 성과에 대한 평가의 공정성을 도입하는 문제도 명답을 찾기가 쉽지 않았던 것이다.

“연구 성과에 대한 인센티브제를 도입하면 어떨까요? 일정이 일찍 마무리된 집단이 타 기관의 업무를 분담하도록 하고, 대신 인센티브를 지급하는 거죠.”

회의 테이블에 처음 등장한 누군가의 아이디어에 모두 잠시 생각에 잠겼다. 그러나 곧 김한성 교수를 비롯한 교수진은 모두 한마음으로 제안을 받아들였다.

“좋습니다. 그럼 먼저 통합된 연구일정관리 방안부터 만들어야겠군요.”

“그렇습니다. 그리고 덧붙여서 SCI급 이상의 논문을 투고하거나 특허를 등록했을 때도 연구자들의 참여율에 따른 차등액을 인센티브로 제공합시다.”

김한성 교수는 교수진 회의에서 결정된 사항을 즉시 시행했다. 그 결과, 연구자 간 갈등이 크게 줄었고, 시행 전에 비해 연구 성과물이 1.5배 이상 배출되는 등 뚜렷한 성과로 나타났다.

소통이란 바로 이런 것이다. 대화와 어울림을 넘어 구성원 간 갈등 요소를 빨리 이해하고 해소하려는 적극적인 행동이 바로 소통을 가능케 하는 요소이다. 김한성 교수와 공동연구진은 연구자의 노력과 성과에 따른 공정한 평가, 그리고 인센티브를 통한 격려를 통해 소통의 힘을 융합연구의 시너지 효과로 전환하는데 성공했다.

나노-다이아몬드 토르마늄 개발 성공, 공유와 분담의 미학

‘나노-다이아몬드 토르마늄의 제조방법 특허 출원.’

2014년 융합연구의 첫 가시적 성과가 탄생했다. 세계 최초로 나노-다이아몬드 토르마늄 개발에 성공한 것이다.

하지만 나노-다이아몬드 토르마늄이 개발되기까지, 김한성 교수는 먼저 매우 민감하고 어려운 문제들을 해결해야만 했다.

나노-다이아몬드 토르마늄은 연세대학교와 프라운호퍼가 참여한 공동연구센터, 그리고 누가의료기가 참여한 공동연구의 산물이다. 참여 주체가 많은 만큼 그 성과에 대한 배분 문제 역시 복잡할 수밖에 없었다.

김한성 교수는 융합연구를 시작할 때부터 이 부분에 대한 명확한 원칙을 세우고, 합의를 이끌어내기 위해 많은 공을 들였다. 공동연구센터 설립 시 맺은 협약은 융합연구로 원천기술을 공동 개발할 경우 개발 기관 간에 균등한 권리를

◆ **나노-다이아몬드 토르마늄(Nano-Diamond Tourmanium)** 세계 최초로 나노다이아몬드를 누가의료기의 바이오세라믹인 토르마늄에 적용한 신개념의 바이오세라믹. 독성이 없고, 기존 바이오세라믹보다 훨씬 많은 원적외선이 방출되며, 높은 열전도율을 자랑한다.



가질 수 있도록 배분하고, 한쪽 기관이 원천 기술을 확보하고 있는 경우는 연구 개발 참여 정도에 따라 차등으로 권리를 갖는 식으로 원칙을 정했다.

하지만 이 협약은 실제 융합연구를 진행하며 그 경계가 모호해지기 시작했다. 융합연구에 참여한 기관은 연세대학교, 프라운호퍼, 누가의료기를 비롯해 한국과 독일에 각각 세운 공동연구소까지 모두 5개에 달했고, 이들 기관의 연구자들이 유동적으로 이동하며 연구가 진행되었기 때문이다. 결국 학술논문과 특허, 시제품에 대한 세부 규정을 만들고, 연구를 주로 진행한 기관에 주도권을 부여하는 등 세부규정에 합의했지만, 막상 융합연구가 시작되자 각 기관의 입장 차이가 뚜렷하게 부각되기 시작했다.

나노-다이아몬드 토르마늄 개발 초기 누가의료기는 특허기술 공개에 무척 부정적이었다. 토르마늄에 나노-다이아몬드 합성 기술을 접목시키기 위해서는 누가의료기가 프라운호퍼 측에 토르마늄의 구성성분과 가공과정을 전면적으로 공개해야 했다. 반면 나노-다이아몬드 합성 기술은 프라운호퍼만의 특화된 기술로서 공유가 가능한 기술이 아니다. 한쪽이 일방적으로 기술을 공개해야 하는 형국이 되자 누가의료기 측이 거부감을 드러낸 것이다. 결국 김한성 교수는 두 기관의 중재역할을 맡았고, 누가의료기 측과 대화를 시작했다.

“토르마늄 제작 기술을 공개하는 부담을 진심으로 이해하고 있습니다. 그래서 이렇게 프라운호퍼 측보다 먼저 입장을 들어보기 위해 찾아왔습니다.”

“융합연구에 참여하며 이런 문제를 예상하지 않은 것은 아닌데, 이 경우는 우리에게 손해인 것 같습니다. 토르마늄 제작기술에 대한 소유권이 저희에게 100% 있는 것은 아시죠? 저희가 원천기술 보유자이니 향후 개발될 신물질에 대한 전면적인 소유권도 인정해줘야 하지 않겠습니까?”

누가의료기 측은 단호했고, 김한성 교수는 무척 난감했다. 누가의료기의 입장이 일면 이해가 되기도 했지만, 프라운호퍼는 물론 연세대학교도 이를 받아들이기 어려운 조건이었다.

융합연구가 진행되려면 누가의료기 측의 협조가 반드시 필요한 만큼, 김한성 교수는 결국 누가의료기 측을 설득할 수밖에 없었다.

“토르마늄의 기술 공개가 누가의료기에 부담만 되는 것은 아닙니다. 나노-다이아몬드 토르마늄이 신물질이긴 하지만 기본적으로 토르마늄의 성능을 개선한 것이지 완전히 새로운 물질이라고 볼 수는 없어요. 그러니 토르마늄이라는 개념이 훼손되는 것은 아닙니다.”

잠시 말을 끊고 누가의료기 측의 표정을 살폈지만, 여전히 굳은 표정을 풀지 않고 있었다. 김한성 교수는 차분한 목소리로 다시 말을 이었다.

“프라운호퍼는 세계적 네트워크를 갖고 있는데, 이번에 협조해주시면 그 네트워크를 활용해 국제적 인지도를 쌓는 데 도움이 될 겁니다. 게다가 세계적인 연구소 프라운호퍼와 연세대학교가 함께 연구 개발했다는 사실만으로도 누가의료기의 기술력에 신뢰도를 더 할 수 있지 않을까요?”

김한성 교수는 끈질기게 설득을 이어갔고, 결국 누가의료기는 소유권에 대한 일정 부분을 양보하기로 마음을 돌려주었다.

융합연구는 서로 다른 분야의 우수한 기술을 보유한 다수의 기관이 함께 수행하는 만큼 서로의 역할 분담과 공유를 위한 양보가 무척 중요하다.

연구를 수행하기 전에 미리 연구 성과에 대한 배분, 참여에 따른 인정을 비롯해 학술 논문, 특허, 사용권 등 매우 세부적인 기준을 명확하게 규정하고, 역할에 따른 공정한 배분의 원칙을 분명하게 정하지 않는다면, 융합연구의 성공적인 시너지 효과는 기대하기 어렵다.

또한 명확한 역할의 분리와 분담만큼 잊어서는 안 될 중요한 조건이 바로 조직 간의 자연스러운 융합이다.

공동연구센터가 수행하는 융합연구 과제의 경우 의공학, 생명공학, 생물학 전공자들이 참여하고 있다. 분야의 유사성이 있음에도 불구하고, 세부적으로는 분명 다름이 존재하기 때문에 연구현장에서 원활한 소통을 위한 준비가 필요하다.



김한성 교수는 장기적 관점에서 이와 같은 문제를 자연스럽게 해결하고자, 연세대학교 의공학부 대학원생이 생명과학기술학부 세부과제에 참여해 연구를 수행하도록 하고, 생명과학기술학부 학생들 역시 의공학부 세부과제에 참여토록 했다. 또한 누가 랩과 연계도 고려해 그동안 해당 과제에 참여해 온 의공학부 졸업생이 누가 랩의 상시 연구원으로 일할 수 있도록 기회를 만들고, 프라운호퍼 소속 연구원이 공동연구센터에서 연구를 진행하도록 하는 등 인적 자원의 원활한 흐름을 조율하고 있다.

이와 같은 노력은 국경을 넘은 융합연구 네트워크를 단단하게 유지하고, 연구 인력의 내부 융합을 가능케 함으로써 연구 인프라를 단단하게 구축하는 힘이 되었다. 현재까지 공동연구소 개소를 통해 가지적으로 나온 성과는 세계 최초의 나노-다이아몬드 토르마늄 개발을 들 수 있다. 박근혜 대통령의 방독 일정 시 본 의제가 채택되어 대통령의 독일 방문이 성공리에 성사되었다. 이러한 공로를 인정받아 한국연구재단으로부터 표창장을 수여받는 등 성과도 거두었다. 무엇보다 세계 최고의 연구팀과 함께 의미 있고 가치 있는 연구를 성실히 수행하여 궁극적으로 질병으로 고통받는 이들에게 기여할 수 있을 것이다.

김한성 교수와 공동연구진, 그리고 프라운호퍼와 누가의료기는 융합연구의 최종 목표인 우수한 성능의 근골격계 치료 및 평가 시스템 개발의 성공을 확신하며 공동 연구에 땀을 쏟고 있다.

융합 포인트

최고의 파트너십을 구축하라

융합연구의 가장 중요한 요인 중 하나가 바로 최고의 파트너십을 구축하는 것이다. 김한성 교수는 연세대학교의 장점을 살리고, 단점을 보완할 수 있는 최고의 파트너로서 프라운호퍼 연구소를 선택했으며, 의료기기 전문 업체 누가의료기와 협력체계를 구축함으로써 원천기술의 확보, 새로운 기술개발, 그리고 사업화를 위한 네트워크를 구축하는데 성공했다.

팀 운영, 갈등 요인은 빨리 찾아 해결하라

한국과 독일, 또 기업이 함께 하는 융합연구에서 연구자 간 갈등은 연구 성과를 떨어뜨리는 중요한 요인이다. 김한성 교수는 언어, 문화 등의 장벽을 최대한 낮추기 위해 사전에 다양한 행사를 마련해 직접 대면의 기회를 넓혔고, 공동 연구를 수행하며 연구자 간 업무 갈등을 빨리 찾아내 인센티브제 등을 도입함으로써 갈등 요인을 긍정적 경쟁체제로 유도해 오히려 연구 성과를 1.5배 늘렸다.



CHAPTER
2

오일권

KAIST 기계항공시스템공학부 교수

다기능성 신소재 인공근육 개발, 융합형 메카트로닉스 산업을 이끈다

소프트 액츄에이팅 융합소재를 이용한 바이오메카트로닉스
융합기술 개발



본 융합연구는 인공근육형 소프트 액츄에이팅 소재와 탄소 나노 신소재 개발을 기획으로 꾸려졌으며, 기계·재료·고분자·생물·화학·전자 공학의 우수 연구진들로 구성되어 학제적 융합 및 협력 연구를 효과적으로 수행하였다. 2008년 국가지정연구실로 소프트 액츄에이팅 소재를 개발하여 <Advanced Functional Materials>에 논문을 발표했으며, 2009년에는 WCU사업단을 통해 스마트 탄소 나노 소재 개발연구와 소재원천기술개발사업으로 능동형 스텐트용 스마트 감지 및 구동 융합소재 기술 융합연구를 했다. 이러한 연구 성과를 인정받아 2012년과 2014년 미래창조과학부(구 교육과학기술부), 한국연구재단 기초연구 우수성과 50선에 선정되었다. 특히 오일권 교수는 최근까지 다양한 형태의 새로운 인공근육들을 개발하여 유수저널들에 논문이 게재됐고, 2013년 8월에 개최된 'The 7th World Congress on Biomimetics, Artificial Muscles, and Nano-Bio(BAMN2013)'의 학회 의장으로 선임됐다.

융합연구, 한계를 뛰어넘는 꿈의 시작

2012년, 오일권 교수는 뜻밖의 선물을 받았다. 생체모사 인공근육형 액츄에이터가 한국연구재단 기초연구 우수성과 50선에 선정된 것이다. 그동안의 융합연구에 대한 공로를 대내외적으로 인정받은 것이다. 이 소식은 오일권 교수가 스마트 탄소 나노 소재에 몰입하고 8년을 훌쩍 넘긴 후의 일이었다.

‘이제야 한걸음 떼었구나.’

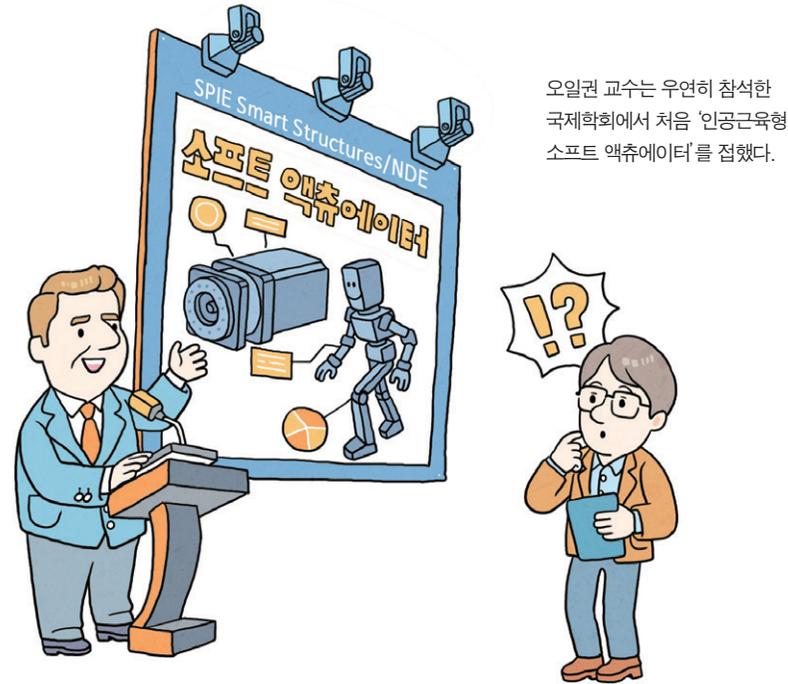
오일권 교수의 기쁨은 오랜 연구 시간만큼 담담하고 묵직했다. 그는 스마트 탄소 나노 소재의 개발과 이를 바탕으로 한 생체모사 인공근육을 만들기까지 마치 긴 꿈을 꾸 것만 같았다.

박사를 마치고 LG 연구소 재직시절, 오일권 교수는 우연히 참석한 SPIE Smart Structures/NDE 국제학회에서 처음 ‘인공근육형 소프트 액츄에이터’를 접했다. 그리고 그날 이후 그는 커다란 호기심과 함께 긴 꿈의 시작을 알렸다.

인공근육은 전기에너지를 운동에너지로 변환시켜 실제 근육처럼 원하는 움직임을 만드는 액츄에이터(구동기)를 말한다. 기존 인공근육용 액츄에이터는 움직임을 위해 기계전기식 모터를 이용하기 때문에 크기나 형상을 제어하기 어려웠고, 딱딱한 금속전극을 사용해 유연성에 한계가 있었다. 그런데 새로 접한 소프트 액츄에이터는 그 어떤 스마트 재료보다 부드러워 움직임이 자유로웠던 것이다.

‘지금껏 압전 세라믹이나 광섬유, 형상기억합금 등의 많은 스마트 재료들을 봐왔지만 모두 변형량이 작아 움직임에 제약이 많았어. 그런데 이처럼 부드러운 스마트 재료로 만든 인공근육이라면 자유로운 움직임이 가능하겠는 걸!’

◆ **소프트 액츄에이터(Soft Actuator)** 경량의 고효율 그리고 유연성을 갖추고자 하는 인공근육 기술에서 나온 개념으로 스마트 고분자 재료를 기본으로 하여 외부 에너지를 기계적 운동 에너지로 변환시켜 움직이는 유연한 물질이나 소자



오일권 교수에게 소프트 액츄에이터는 매우 신선하고 놀라운 충격이었다. 공상과학(SF) 영화에서나 나올 법한 인간을 닮은 로봇이 어찌면 현실이 될 수도 있겠단 생각이 들었다. 인공근육으로 사람처럼 움직이는 기계를 오일권 교수는 일찌감치 기대하고 있었던 것이다. 그리고 그 꿈의 첫발을 2004년 전남대학교 기계공학과 교수로 부임하면서 내딛게 되었다.

먼저 그는 같은 전남대학교에서 재직 중이던 화학과의 이선우 교수와 뜻을 맞춰 연구를 시작했다. 그런 다음 생체모사형 소프트 액츄에이터의 재료 디바이스를 공학적으로 응용하기 위해 평소 알고 지내던 한국과학기술원(이하 KAIST)의 한재홍 교수에게 도움을 요청했다. 한재홍 교수는 일찍이 한국연구재단(구 과학재단)을 통해 스마트 재료를 이용하여 생체모사 비행로봇을 연구 중에 있었다. 그의 자문을 통해 오일권 교수와 이선우 교수는 생체모사형 소프트 액츄에이터 개발을 위한 기초 작업에 차근차근 접근할 수 있었다.

“낮은 전압에서 대변형이 가능한 소프트 액츄에이터를 개발하려면 사람의 근육과 비슷한 물성과 운동 특성을 가져야 합니다. 그래야 특정 부분에 무게중심이 몰리지 않아 과도한 토크가 필요 없으니까요.”

“그렇다면 우리가 제일 먼저 해야 할 것은 근육의 역할을 대체할 수 있는 스마트 재료 연구입니다. 이 재료만 개발된다면 기존의 모터 방식이 갖는 부자연스러움, 효율저하, 진동 및 소음 등의 문제점들을 해결할 수 있을 것입니다.”

어떤 스마트 재료를 이용하느냐에 따라 소프트 액츄에이터의 성능은 크게 좌우된다. 오일권 교수는 부드럽고 자유롭게 움직이는 스마트 재료에 대해 한참 고민한 끝에 한 가지 재료를 떠올렸다.

“소프트 액츄에이터 중에서도 낮은 작동 전압에서 큰 변형을 가질 수 있는 재료는 이온성 금속 복합체입니다. 이온성 금속 복합체는 제작도 복잡하지 않고, 위험하지도 않아 탁월한 연구재료가 될 것입니다.”

오일권 교수의 얼굴엔 확신이 서려있었다. 그가 생각한 이온성 금속 복합체는 형태면이나 활용면에서 그 어느 재료보다 생체모사형 액츄에이터로서 가장 전도유망한 재료라고 판단했다. 그리하여 오일권 교수와 이선우 교수는 학부생과 함께 연구팀을 구성하고 이후 3년간 소프트 액츄에이터 연구재료에 매진했다.

그동안 오일권 교수는 이 분야의 선도 연구 그룹이 모이는 SPIE 학회는 물론, 여타 다른 국제 및 국내 학술대회에 꾸준히 참석하면서 연구 교류를 게을리하지 않았다. 비록 커다란 성과는 내지 못했지만 작은 연구 성과라도 발표를 주저하지 않았고, 관련 전문연구원들의 자문을 청하며 조언에 귀 기울였다. 이러한 3년여의 시간 덕분에 오일권 교수는 생체모사형 인공근육 액츄에이터 개발의 연구기초를 다지고, 관련 연구 그룹과 인적·물적 인프라 확보에 성공할 수 있었다.

◆ **이온성 금속 복합체(IPMC, Ionic Polymer-Metal Composite)** 이온성 고분자와 금속 전극이 샌드위치 형태로 적층되어, 전기적 자극이 주어졌을 때 내부 이온의 이동으로 굽혀지는 액츄에이터

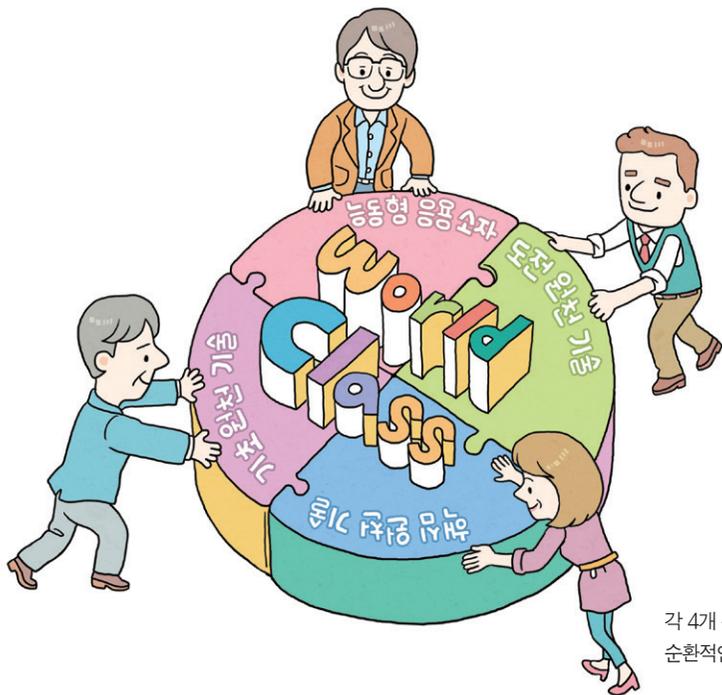


소프트 액츄에이팅 소재 분야의 'World Class 연구팀' 탄생

연구의 깊이가 더해질수록 오일권 교수의 시름도 깊어져갔다. 성실함과 꾸준한 노력에도 불구하고 연구 성과는 좀처럼 나타나지 않았다. 오히려 연구를 수행하는 데 어려움만 커질 뿐이었다.

“생체모사 인공근육 액츄에이터를 만들려면 인체와 똑같은 모습으로 움직이고 부작용이 없어야 해. 그렇기 때문에 생체에 적합하고 내부에서도 분해가 가능한 소프트 액츄에이팅 소재 기술과 합성 기술이 필요한데…….”

오일권 교수의 머릿속은 까마득해졌다. 본 연구를 수행하기 위해서는 기본적으로 기계·재료·고분자·생물·화학·전자 공학 등에 바탕을 둔 다학제적인 지식과 경험이 요구됐다. 우선 인공근육형 소프트 액츄에이팅의 소재가 되는 고분자 액츄에이터의 개발이 있어야 했다. 그러기 위해서는 바이오·고분자 신소재(합성, 물성 고도화), 다중물리 이론(멀티피직스 시뮬레이션, 작동 원리 규명), 기계-



각 4개 분야의 연구팀이 순환적인 연구체계를 구축했다.

전기-화학-바이오 평가(전기/기계/화학 물성 측정, 전기/기계적 구동 특성, 생체적합성 평가), 전기/기계/바이오 시스템(의료계 요구 조건 도출, 디바이스화) 등의 연구들 간에 융합연구 과정이 반드시 필요했다.

‘그래! 그동안 쌓아둔 인적자원을 적극 활용해야겠다.’

오일권 교수는 3년 동안 기초연구를 해오면서 축적한 인공근육형 소프트 액츄에이터에 대한 연구 노하우와 구축된 인프라를 통해서 화학 및 고분자, 전기, 재료 공학 등의 연구자로부터 자문을 구하기 시작했다. 이 과정에서 단순히 소프트 액츄에이터 개발로 끝날 것이 아니라 이를 기반으로 한 능동형 생체 의료 기기(바이오 메디컬 디바이스)의 연구 개발까지 생각하기에 이르렀다.

그리하여 그는 2008년부터 ‘Biomedical Materials and Devices Interests Group’ 등과 같은 정보교류회에 꾸준히 참석하며, 인공근육형 액츄에이터의 바이오 메디컬 응용에 대해 관련 전문가들과 활발한 교류를 진행했다. 그 결과 새로운 인공근육 개발과 이를 바이오 메디컬 디바이스, 생체모사 로봇 등에 응용하려는 융합연구를 기획할 수 있었고, 마침내 기계, 고분자, 바이오, 환경공학을 아우를 수 있는 팀을 꾸리게 되었다.

이렇게 탄생된 본 연구팀에는 기계·생체모사공학 전공의 오일권 교수를 주축으로, 화학·고분자 전공 전남대 화학과 이선우 교수, 바이오 고분자 전공 전남대 환경공학과 김성준 교수, 생체공학전공 전남대 의대 박인규 교수의 연구진들로 구성됐다.

본 융합연구의 진행에 관해서는 △신소재 합성 기초 원천기술(신규 생체모사 전기활성 고분자 개발) △도전 원천기술(생체적합성과 생분해성을 갖는 신규 전기활성 고분자 개발) 그리고 이를 바탕으로 △능동형 의료 디바이스 개발(능동형 스텐트 융합

◆ **생체모사공학(biomimetics)** 자연계에 존재하는 것으로부터 구조나 기능을 모사하여 이를 기존 시스템의 한계를 극복하는 데 이용하려는 학문 분야이다.



소재 및 모듈 개발) 등의 연구 주제를 선정하여, 각각 4개 연구 분야의 연구팀이 상호 간의 요구 조건과 시스템을 구현하며 분야별 연구내용이 유기적으로 연계될 수 있도록 순차적이면서 순환적인 연구체계를 구축했다. 예를 들어 연구그룹에서 A라는 과제를 수행하게 되면 A에 대한 기술을 다른 연구팀이 순차적으로 점검하면서, 보완될 부분을 협의하게 된다. 마치 물건이 옮겨지는 것처럼 기술 하나하나가 연구팀별로 이동하면서 오류를 최소화하는 것이다. 또한 각 연구팀별 모든 기술이 하나로 연결되어 작동되도록 하기 위해서는 전체적으로 연구내용을 공유하면서 완벽한 시스템을 만들 수 있도록 했다. 이를 통해 연구과제가 겹치지 않고 빠르게 기술 개선이 가능하다는 장점이 있다.

이처럼 유기적인 형태의 융합연구를 활성화하기 위해 오일권 교수는 예전보다 더욱 신경 쓰는 일이 많아졌다. 상호 연구자들 간의 끊임없는 소통을 염두에 두지 않으면 안 됐던 것이다.

‘이번 융합연구의 성패는 연구자 간의 상호 유대감 형성에 달려 있다!’

그는 연구자 간의 유대감을 고취시키기 위해 정기적인 세미나와 워크숍으로 서로 간에 기술 및 연구 교류를 할 수 있는 자리를 마련했고, 운영철학과 목표 아래 한마음으로 발전을 도모했다.

‘스마트 탄소 나노 구조체와 소프트 액츄에이팅 소재 기초 및 응용 연구 분야의 World Class 연구팀을 만들자!’

이러한 목표 아래 연구팀은 탄탄한 팀워크를 형성해가기 시작했고, 이후 생체모사 인공근육 소재 개발을 위한 융합연구도 더욱 탄력을 받게 되었다. 따라서 본 융합연구의 결실로 연구팀은 △2008년 국가지정연구실(NRL; 2008년~2012년)로 선정되어 소프트 액츄에이팅 소재 개발 △이듬해에는 WCU사업단

◆ **그래핀(graphene)** 탄소원자의 공유결합으로 형성된 2D hexagonal 형태의 단원자층으로 이루어진 2차원적 박막형태의 구조를 갖는 스마트 탄소 나노 소재

(**그래핀** 기반 나노-바이오 트랜스듀서 개발단; 2009년~2010년)을 통해 스마트 탄소 나노 소재 개발 연구 △소재원천기술개발사업(2009년~2013년)을 통해 능동형 스텐트용 스마트 감지 및 구동 융합 소재 기술 융합연구에 박차를 가할 수 있었다. 그리하여 소프트 액츄에이팅 소재 개발과 다기능 신소재 스마트 탄소 나노 소재 개발로 이어지는 괄목할만한 연구 성과를 냈다.

이는 매우 고무적인 결과였다. 탄소 나노 소재에 관한 연구는 전 세계적으로 기초 수준의 연구 상태에 불과했다. 탄소 나노 소재를 기반으로 한 인공근육형 액츄에이터의 연구 역시 기초적 원천기술개발 중심의 센서 및 액츄에이터와 메커니즘 개발에 머물러 있었다. 이러한 상황 속에 오일권 교수팀의 기술 개발은 세계 공학수준을 한 단계 상승시키는 데 크게 일조한 셈이다. 오일권 교수의 목표처럼 본 연구팀은 명실공이 ‘World Class 연구팀’임을 자신할 수 있었다.

〈표〉 융합연구팀의 목표 및 관련 핵심 기술

소프트 액츄에이팅 소재 개발
<ul style="list-style-type: none"> ● 생체 모사성과 생체 적합성을 지닌 전기활성 고분자 액츄에이터 개발 ● 생분해성을 지닌 전기활성 바이오 고분자 액츄에이터 개발 ● 고분자 액츄에이터를 이용한 인간친화형 소프트 일렉트로닉스분야 응용 가능성 제시
스마트 탄소 나노 소재 개발
<ul style="list-style-type: none"> ● 풀러린과 그래핀을 기반으로 한 고기능화된 스마트 탄소 나노 소재 유도체 개발 ● 스마트 탄소 나노 소재를 바탕으로 한 생체모방 인공근육형 액츄에이터 개발 ● 개선된 고성능 생체모사 인공근육형 이온성 고분자 액츄에이터 개발
바이오메카트로닉스 연구
<ul style="list-style-type: none"> ● 생체모사 로봇과 능동형 바이오 메디컬 디바이스 및 시스템 구현 - 생체모사공학 기법을 적용하여 자연 모사한 작동 신호 프로그램 개발, 이를 적용한 생체모사형 해파리 로봇 개발, 이 연구로 지능재료·구조·트랜스듀서 분야의 최고 저널인 〈Smart Materials and Structures〉에 ‘Highlights of 2009’로 선정



국내외 적극적인 인적 교류, 융합연구의 진화

오일권 교수와 연구팀의 어깨는 나날이 무거워졌다. 융합연구의 수행 과정 중 성과가 하나, 둘씩 나타나면서 그만큼 새로운 융합기술 아이템 발굴도 이루어지고 주요 융합연구 수행기관 참여도 많아졌다. 자연스럽게 융합연구의 범위가 넓어지면서 체계적인 연구계획과 관련분야의 전문성이 보다 많이 요구됐다. 이에 오일권 교수는 한 가지 결심한 것이 있었다.

“국제적인 공동 융합연구 체계를 구축해야겠습니다. 국내에서는 관련 분야 연구팀으로 참여하고, 해외로는 관련 우수 연구원들과 상호 교환 훈련 프로그램을 시행하는 것입니다.”

오일권 교수의 말에 연구팀에 작은 소란이 일었다. 자칫 잘못했다가는 원천 기술 관리 문제에 소홀함이 생길 수도 있는 상황이었다. 하지만 소란도 잠시, 오일권 교수의 의도를 알게 되자 연구원들도 흔쾌히 그를 따라주었다.

‘국제적 공동 융합연구 체계를 갖춘다면 향후 우수 연구원 양성과 바이오메카트로닉스 연구에 커다란 도움을 줄 거야!’

오일권 교수는 국내외 적극적인 인적교류가 관련 연구 산업의 국가 경쟁력을 키우는 길이라고 판단했다. 이러한 믿음은 곧장 활발한 융합연구 수행으로 이어졌다.

국내에서는 스마트 탄소 나노 소재인 그래핀 연구를 활발히 진행했다. 오일권 교수는 KAIST에 부임하면서 KAIST 내에 있는 그래핀연구센터에 참여했다. 기존의 그래핀 연구를 진행했던 그래핀연구회와 그래핀연구소 등과도 교류를 추진하면서 단기적·장기적으로 그래핀 연구를 설정하고 공동연구를 진행했다.

이 같은 공동연구의 활성화를 위해서 오일권 교수는 주기적으로 연구 세미나를 개최하고 융합연구의 아이디어와 성과를 공유하도록 했다. 특히 공동으로 진행된 융합연구 중 논문과 특허가 이루어진 성과는 해당 핵심아이디어와 이를 구현한 연구팀이 책임져서 진행하게 했다. 그에 따른 연구 성과의 배분은 융합

연구팀이 공동으로 공정하게 배분될 수 있도록 노력했다.

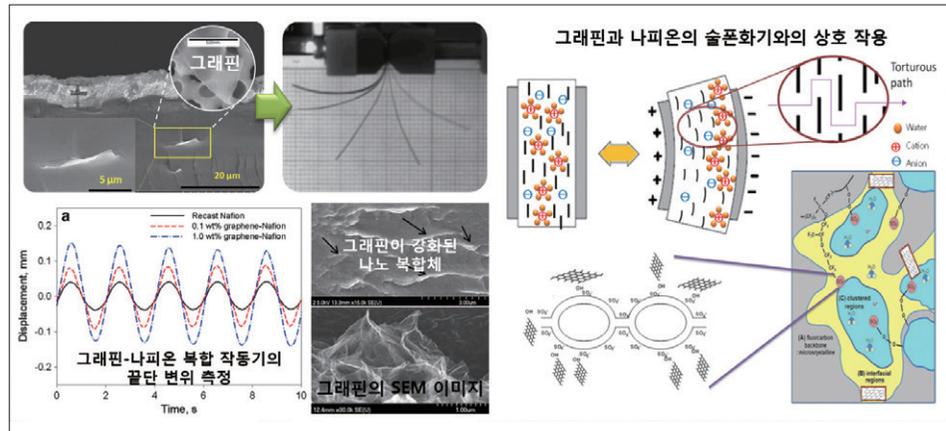
한 예로 전남대학교 화공과 이윤성 교수 연구팀과 미국 렌슬러공대 코라트카(Korotkar) 교수 연구팀과 진행했던 융합연구가 바로 그러했다. 전남대학교 화공과 이윤성 교수의 연구팀은 고기능화된 탄소 나노 소재를 혁신적인 방법으로 간편하게 합성하여 이를 바탕으로 배터리, 생체모사 고성능 인공근육 액츄에이터, 비소 흡착 분야에 관해 연구하는 그룹이다. 국내 에너지 저장소재 연구의 선도 그룹이라 할 수 있는데, 오일권 교수 역시 함께 이를 연구하고 있다.

코라트카 교수 연구팀과는 구리 표면에 그래핀을 덧입히는 연구를 공동수행했다. 전기도금으로 물에 젖지 않도록 거칠게 만든 구리 표면에 산화에 강한 그래핀을 덧입히는 것이다. 이 연구의 핵심은 구리 표면의 굴곡을 그대로 유지하면서 그래핀 코팅을 하는 기술인데, 이를 개발해 성과를 공동으로 배분했다.

현재도 오일권 교수는 그래핀과 에너지 소재 관련하여 전남대학교 이윤성 교수, 인하대학교 박성진 교수, 미국 렌슬러공대 코라트카 교수 연구팀과 국제 공동 연구를 꾸려 ‘에너지국제공동연구(2013년~2015년)’ 사업을 진행하고 있다. 또한 그래핀 분야 선도 연구 그룹인 삼성테크윈, 전자부품연구원, 한국화학연구원, 삼성종합기술원 등과 교류하면서 지문을 구해 대형 연구센터를 유치할 수 있도록 노력하고 있다.

그밖에도 교육과학기술부의 ‘그래핀 소재 부품기술개발사업(2013년~2019년)’에 선정되어 그래핀 허브센터 및 전략기술 연구, 전략기획단 그래핀 소재 및 부품 응용기술개발 등 국가적 아젠다(사업아이템)에 효과적으로 대응하기 위한 그래핀 소재 기반의 융합연구를 함께 수행 중에 있다.

이처럼 다방면으로 융합연구를 시도한 덕분에 오일권 교수는 2014년에 ‘혁신적 생체모사 탄소 나노 구조체 합성 및 액츄에이터로의 응용’이라는 성과로, 2012년 ‘스마트 탄소 나노 소재 기반 생체모사 인공근육형 액츄에이터 개발’ 이후 다시 한 번 한국연구재단 기초연구 우수성과 50선에 선정되는 영광을 누렸다.

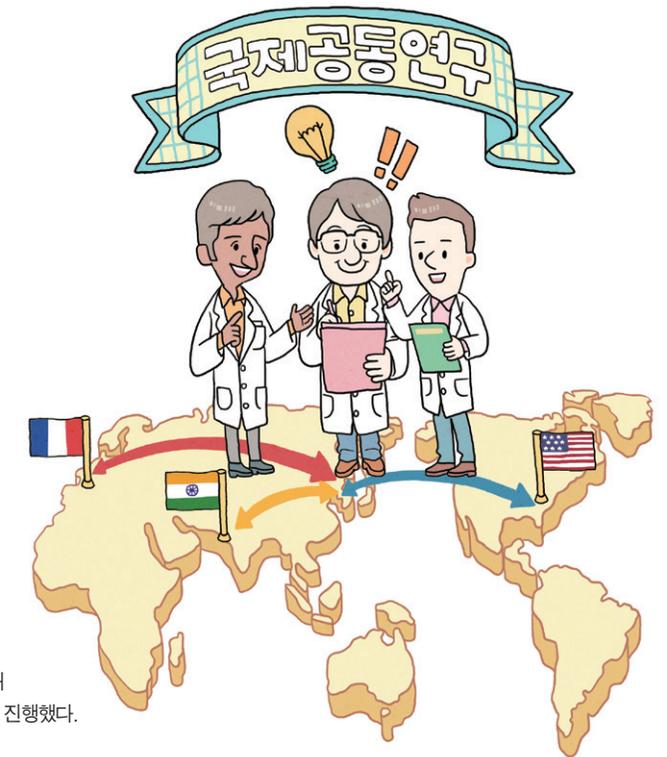


그라핀 기반 인공근육형 소프트 액츄에이터

오일권 교수의 융합연구가 빛을 발한 곳은 국내만이 아니었다. 그는 국제적으로도 연구 인력 파트너십을 통한 국제협력관계 형성을 진행하기도 했다. 그 일환으로 해외 우수 연구원과 상호교환 훈련프로그램을 시행해, 본 연구실의 박사과정에 있던 학생 장정환 군을 인공근육 전문가인 텍사스대학(University of Texas at Dallas)의 Ray H. Baughman 교수 연구팀에 1년간 방문학생으로 파견했다. 그리하여 ‘스마트 탄소 기반의 고성능 인공근육 개발’과 관련한 국제공동 연구를 수행토록 했다.

또한 해외 인재들의 국내연구 참여를 적극 추진하기도 했다. 탄소 나노 소재 전문가인 인도 Banaras Hindu University의 Anchal Srivastva 교수 연구팀의 Sima Umrao와 Rishabh Jain 학생이 방문하여 스마트 탄소 나노 신소재에 관한 공동연구를 진행했다. 전도성 고분자 전문분야로는 프랑스 Université Paris Diderot – Paris 7 대학의 Hyacinthe Randriamahazaka 교수 연구팀의 Doriane Heimburger, Sabrina, Asma 학생이 방문하여 그래핀 에어로겔과 전도성 고분자 등을 이용한 액츄에이터 연구를 수행했다.

오일권 교수의 인적교류는 여기서 끝이 아니었다. 고분자 액츄에이터 기반



연구 인력 파트너십을 통해 상호 유기적인 국제협력을 진행했다.

의 수중 로봇 전문가인 미국 Polytechnic Institute of New York University 대학의 Maurizio Porfiri 교수 연구팀의 Paul Phamduy 학생이 방문하여 잉크젯 프린팅 기법과 전도성 고분자를 이용한 물고기 로봇 연구를 수행하기도 했다. 이를 통해 오일권 교수는 세계 여러 기관의 다양한 전문가 및 학생들과 융합연구의 장을 마련하여 융합연구 프로세스를 체계화하는 데 한몫했다.

그의 끊임없는 열정 덕분에 오일권 교수팀의 연구 성과는 학교나 실험실에서만 머물러 있지 않고 산업계로 확산될 수 있는 특허 확보로도 이어졌다. 본 연구 성과를 통해 오일권 교수는 국내 특허 25건 등록, 국외 2건 등록이라는 결과를 낳았고, 자연스럽게 여러 연구팀과 성과도 공유할 수 있어서 이를 응용한 기술개발의 전망을 밝게 해주고 있다.



스마트 탄소 나노 소재에 미래가 있다

“이제 우리의 과제는 본격적으로 다기능성 신소재를 바탕으로 한 소프트 액츄에이터 바이오 메디컬 디바이스를 개발하는 것입니다.”

오일권 교수의 서글서글한 눈매에 다소 비장함이 감돌았다. 그는 마치 이제 막 찰흙을 손에 쥐고 무언가를 빚으려는 아이처럼 진지했다.

실제로 오일권 교수에게 스마트 탄소 나노 소재는 찰흙과 진배없는 재료였다. 마음먹기에 따라 여러 모양을 빚어내듯 다양한 응용 연구로 확대가 가능한 소재였다. 에너지/환경, 생체의료, 전자정보 산업 등의 분야에서 많은 주목을 받고 있고, 이를 통한 바이오 메디컬 디바이스는 물론 생체모사형 로봇과 에너지 저장 소자 등의 다양한 응용 연구가 가능하다.

최근 IDTechEx Research의 <IDTechEx, Electroactive Polymer and Devices 2013-2018: Forecasts>에 따르면, 전도성 고분자 시장은 2013년 245백만 달러에 이를 것으로 예상하고 있다. 이 조사에서는 구동기(액츄에이터), 캐패시터(콘덴서), 나노복합체를 주요한 응용제품으로 분류했다. 만약 이들 소재가 성능이 뛰어나고 장시간 작동하며 안정성에서 신뢰할 만하다면, 그리고 대량생산이 가능하다면, 2018년에는 가전제품, 구동기, 센서 등의 응용분야에서 약 2.25억 달러 규모로 급성장할 것으로 예측하고 있다.

더불어 IDTechEx는 앞으로 5년 안에 전기활성 고분자 시장이 10배 이상 성장할 것이라고 자신하고 있다. 그들은 구동기와 센서를 포함한 가전제품이 약 38% 점유율을 차지할 것으로 판단하였다.

가장 주요한 응용 제품으로는 터치스크린을 갖춘 포터블 가전제품의 액츄에이팅 기능을 포함한 햅틱 소자이며, 센서, 메디컬 응용 소자 순으로 예측했다. 이들의 추가적으로 활용 가능한 응용분야로는 초소형 고감도 센서, 생체모사형 액츄에이터/로봇, 생체의료용 장비, 약물전달체, 나노공진기, 대변형 MEMS 액츄에이터, 태양 전지의 투명 전극, 나노반도체 소자, 수퍼 캐패시터, 분리흡착

판, 리퀴드 크리스탈 소자, 능동 햅틱 디스플레이 소자 등으로 무궁무진하다.

특히 차세대 능동형의 인간 친화형 소프트 일렉트로닉스 분야인 웨어러블 디바이스, 햅틱 유연 전자소자, 차세대 디스플레이, 스마트 모바일폰 등 다양한 차세대 전자 소자들에서 요구되는 소형화, 집적화, 저전력 소모 및 생체모사형 액츄에이션의 기능을 갖춘 소재 및 소자의 원천기술로 활용이 가능하다. 따라서 3차원 탄소 나노 구조체 기반 액츄에이터 개발은 기초연구와 응용연구를 연결하는 하나의 중대한 관문이며, 미래 나노-바이오 산업의 핵심기술이자 국가 발전을 도모할 수 있는 신(新) 성장 동력이라 할 수 있다. 오일권 교수는 바로 그 중심에 서서 핵심 역할을 하고 있는 셈이다.

“저는 다차원 구동이 가능한 생체모사형 인공근육 제작으로 생체모사 로봇과 지능형 의료기기 개발에 혼신의 힘을 쏟을 것입니다.”

오일권 교수의 연구는 언제나 명확하고 뚜렷하다. 지금 그는 KAIST 화학과 의 ‘생체 소재’ 전문가인 이해신 교수와 생체 접촉 재료인 도파민을 이용한 인공근육 연구를 진행하고 있다. 게다가 KAIST 나노융합연구소 산하 그래핀연구센터에서 다공성과 기능성의 스마트 탄소 소재를 인공근육형 액츄에이터에 접목하는 등의 융합연구도 함께 한다.

오일권 교수의 지치지 않는 연구 열정과 노력에는 또 하나 작은 꿈이 담겨있다. 자신을 비롯한 관련 연구원들의 심도 있는 연구를 통해 향후 수많은 학문적 담론이 창출되기를, 그로 인해 미래 공학의 학문 후속세대가 많이 양성되기를 말이다. 그렇기에 오일권 교수의 연구는 언제나 진행형이다.

◆ **계층적 3차원 탄소 나노 구조체(Hierarchical 3D Carbon Nanostructure)** 강자성 금속산화물, 탄소 나노 튜브, 그래핀이 복합적으로 구성되어 있는 구조체로 그래핀 위에 촉매와 함께 탄소 나노 튜브가 자라 있는 형태의 혁신적 탄소 나노 소재



참고 문헌

- 오일권, “전남대학교 기계시스템공학부 지능시스템 설계 및 제어 연구실 소개” 소음 진동, 20(1), 2010.
(인터뷰) 오일권 카이스트 해양시스템공학과 교수 “완전 유기고분자로 된 인공근육 개발” 사이언스 타임즈, 2014.08.20.
- C.H. Jo, D. Pugal, I.K. Oh, K.J. Kim, K. Asaka, Recent Advances in Ionic Polymer-Metal Composite Actuators and their Modeling and Applications, Progress in Polymer Science, 38(7), 1037-1066, 2013.
- G.T. Kim, S.J. Gim, S.M. Cho, N. Koratkar, I.K. Oh, Wetting-Transparent Graphene Films for Hydrophobic Water-Harvesting Surfaces Advanced Materials, 26(30), 5166-5172, 2014.
- J.H. Jung, J.H. Jeon, V. Sridhar, I.K. Oh, Electro-active graphene-Nafion actuators, Carbon, 49(4), 1279-1289, 2011.
- J.Kim, J.H. Jeon, H.J. Kim, H. Lim, I.K. Oh, Durable and Water-Floatable Ionic Polymer Actuator with Hydrophobic and Asymmetrically Laser-Scribed Reduced Graphene Oxide Paper Electrodes, ACS NANO, 8(3), 2986-2997, 2014.
- M. Rajagopalan, I.K. Oh, Fullerenol-Based Electroactive Artificial Muscles Utilizing Biocompatible Polyetherimide, ACS NANO, 5(3), 2248-2256, 2011.
- S.H. Lee, S. Vadahanambi, J.H. Jung, K. Karthikeyan, Y.S. Lee, R. Mukherjee, N. Koratkar, I.K. Oh, Graphene-Nanotube-Iron Hierarchical Nanostructure as Lithium Ion Battery Anode, ACS NANO, 7(5), 4242-4251, 2013.
- S.W. Yeom, I.K. Oh, A biomimetic jellyfish robot based on ionic polymer metal composite actuators, Smart Materials and Structures, 18(8), 085002, 2009.
- V. Sridhar, H.J. Kim, J.H. Jung, C. Lee, S. Park, I.K. Oh, Defect-Engineered Three-Dimensional Graphene-Nanotube-Palladium Nanostructures with Ultrahigh Capacitance, ACS NANO, 6(12), 10562-10570, 2012.

융합 포인트

상호 유기적인 인력 파트너십을 형성하라

오일권 교수는 융합연구의 가장 중요한 것은 다양한 연구진들 간의 소통과 협력이 밑바탕이 된 팀워크라고 강조했다. 그는 전문 연구원은 물론 학부생까지 융합연구팀에 합류시켜 다양한 주제 도출을 꾀하고, 국내외 적극적인 공동연구와 인적 교류를 통해 인재 양성 및 상호 유기적인 인력풀을 형성했다. 이러한 조직력을 바탕으로 본 연구의 도약을 이뤄냄으로써 융합연구의 좋은 본보기를 제시했다.

융합연구, 시간을 과감하게 투자하라

융합연구는 우수한 인재들의 참여가 있다 해도 성과를 내는 데 오랜 시일이 걸린다. 그만큼 융합연구는 시간과의 싸움이라 해도 과언이 아니다. 오일권 교수 역시 10년이란 기간 동안 소프트 액츄에이터 소재 개발과 응용에 몰두하며 커다란 인내와 의지를 필요로 했다. 특유의 꾸준함과 성실한 자세로 연구에 임했기 때문에 생체모사 인공근육 소자개발 성과를 일궈냈고, 해당 분야의 글로벌 리더로서 성장하는 원동력이 되었다.



송기봉 ETRI 책임연구원

알츠하이머 조기진단의 예측 기술을 확보하다

생체진단 가능 시각, 미각 수용체 기반 센싱기술 개발



의료융합인지연구단은 2009년부터 알츠하이머를 조기진단하는 센싱기술을 개발하는 융합연구를 수행해왔다. 알츠하이머에 관심을 갖고 처음 해당 연구를 시작할 당시, 알츠하이머에 대한 사회적 관심은 높았지만 생물학적인 방법으로 여러 가지 시도를 하여 조기진단의 가능성만 언급하는 정도였다.

그러나 연구단은 통상적인 의학적 접근방법에 의한 감각기능 및 퇴행기반의 발병 바이오마커 검출, 뇌 발병과의 상관관계 규명 및 기전연구를 수행하였다. 더불어 IT기반 기술에 적용이 가능한 BT기반의 바이오 물질 확보 융합연구를 수행해 알츠하이머 조기진단에 활용할 수 있는 센싱기술을 개발했다.

알츠하이머와의 만남

“나한테 잘해줄 필요 없어. 난 다 까먹을 텐데…….”

“내가 다 기억해줄게. 네가 다 잊어버리면, 내가 짠하고 나타날게. 어때? 죽이지? 넌 평생 연애만 하는 거야.”

영화 ‘내 머릿속의 지우개’의 한 장면이다. 알츠하이머는 가족은 물론이고 사람을 거의 알아보지 못하는 문제의 병으로 영화 주인공처럼 머릿속의 기억들을 완전히 지워가는 뇌질환으로 알려져 있다. 이 영화를 통해 많은 사람들이 알츠하이머란 병을 알게 되었다. 송기봉 연구원도 그 중 하나이다. 물론 병에 대해서는 알고 있었지만, 직감적으로 알츠하이머 조기진단의 가능성을 새로운 연구 주제로 받아들이게 된 것이다.

사람은 나이가 들수록 여러 가지 감각계가 제대로 그 기능을 발휘하지 못하고 부실하게 된다. 점차 눈도 침침해지고 안구건조증 혹은 노인 등 질환이 발생하게 된다. 또 냄새를 잘 맡지 못하거나 음식의 맛을 점점 느끼지 못하는 현상까지 나타나게 된다.

송 연구원은 고령화에 따라 나타나는 여러 가지 노화 현상에 대해 뇌과학 전공자, 병원관계자와 대화를 하던 중 퇴행성 신경계 뇌질환의 노인성 질병과 감각기능이 떨어지는 현상의 연관성에 대한 과학적 연구논문에 대한 전문지식을 접하게 되었다. 해외 특정기관에서는 노인성 질환과 감각기능 퇴행, 특히 후각과의 연관관계를 다년간 연구하고 있음을 파악할 수 있었다.

결과적으로 의학적 방법이 아닌 감각계를 이용한 조기진단의 가능성을 예상할 수 있었다. 뇌와 가장 가까운 감각계 세포인 후각세포, 후각세포와 가깝게 연결되어 있는 미각세포 등 송 연구원은 알츠하이머 발병 전에 후각이나 미각세포에도 손상이 있을 거라는 판단을 내렸다.

일단 송 연구원은 알츠하이머 조기진단 기술에 대해서 알아보기로 하고 3개월 이상에 걸쳐 문헌조사를 실시하였다. 그 결과 조기진단을 위해서는 의학, 생



물학, 심리학 등 다양한 지식을 갖추고 정보를 처리할 수 있는 반도체를 이용한 센싱기술, 화학적인 물질을 활용하여 설계할 수 있는 화학설계기술, 질병을 예측하여 모델링할 수 있는 질병예측의 소프트웨어기술 등 실로 다양한 학문을 넘나들며 이해할 수 있어야 했다. 알츠하이머의 조기진단은 한 가지 학문만으로는 해결할 수 없는 연구주제였다.

물론 의학적인 방법으로 조기진단을 하기도 한다. 그러나 정상적인 사람들이 조기진단을 위해 일부러 MRI 등의 뇌 영상이나 비싼 비용을 치르기는 현실적으로 어렵다. 더군다나 초기 진단의 확실성을 100% 보장하지도 않는다. 손쉬운 진단과 높은 정확도가 관건이었다.

그래서 연구의 핵심은 센싱기술 개발이 될 수밖에 없었다. 센싱기술이라 함은 감각계, 즉 시각과 미각의 특징점을 찾아내고 구체적인 수치값을 계량화해 조기진단 데이터로 확보하는 기술이라고 할 수 있다.

확진을 하는 의학적인 방식 이외에, 새로운 방식의 창의적 아이디어로 조기진단하는 기술을 개발하기 위해서는 많은 다학제 분야의 전문가와 융합연구를 수행해야만 했다. 동시에 감각기능을 연구하는 노인성질환에 관심을 둔 의학적인 지식을 갖춘 전문가도 포함시켜야 했다.

송기봉 연구원은 해당 분야의 최고 전문가를 찾는 것이 알츠하이머 조기진단 기술을 성공적으로 개발하는 첫 단추가 될 것이라고 확신했다. 더불어 새로운 방식의 창의적 아이디어, 전공분야를 뛰어 넘는 해박한 지식을 단기간에 어떠한 방식으로 습득할 것인가를 고민하기 시작했다. 학제 간 영역의 다리를 건너 상호이해를 바탕으로 서로 소통할 수 있을까 하는 것은 참으로 어려운 문제

◆ **센싱기술** 일반적으로 센싱은 센서의 작동으로 물체 또는 소리, 빛, 압력, 온도 등을 탐지하고 계측하는 일을 말한다. 본문에서 쓰인 센싱기술의 의미는 감각계, 즉 시각과 미각의 특징점을 찾아내고 구체적인 수치값을 계량화해 조기진단 데이터로 확보하는 기술을 뜻한다.



서로 사용하는 용어가 상이하어 상호소통을 위해 많은 노력을 기울여야 했다.

가 될 것임을 직감했다.

소통메신저의 활약, 가교 역할 융합전문가

“왜 그렇게 하지요?”

송기봉 연구원이 신경과 의사들에게 가장 많이 들었던 말이다.

알츠하이머 조기진단을 위해 감각기능 이상과의 연관성을 찾으려고, 맨 처음 해당 분야의 전문가와 연구주제에 대해 상호협의를 시작하였다. 알츠하이머 질환은 전통적으로 병원의 신경과 업무이기 때문에 신경과 의사와 만나는 경우가 잦았다. 신경과 의사들은 좀 더 의학적인 접근 방법으로 조기진단 기술을 개발 하길 원했다.

그러나 당시에는 의학적으로 특정한 바이오마커에 대해 무엇이 진실인지, 무엇으로 조기진단을 할지 등 다양한 방법에 대한 학문적 논란이 계속되고 있



는 상황이었다. 알츠하이머는 현재까지도 100% 확진을 못하는 상당히 어려운 질병에 해당된다. 또한 뇌 사멸에 해당되는 바이오마커(일반적으로 베타아밀로이드)가 모든 사람들에게 동일하게 적용되지 않음을 밝히는 학술적 의견도 제시되고 있어 더욱 힘든 일이었다.

결국 다양한 논의와 협의를 통하여 의학적인 접근 방법으로 바이오마커를 진단하는 방법과 조기진단에 활용하는 다른 방법을 찾기로 하였다. 또한 감각기능 이상과 뇌세포 사멸의 원인물질을 동시에 고려하는 연구방법을 채택함이 유리하다는 판단을 하게 되었다.

사람의 감각기능은 청각, 촉각과 같은 물리적 감각과 시각, 후각, 미각과 같은 화학적 감각으로 구분된다. 감각계를 연구하며 의학적인 전문지식을 갖춘 전문가를 모색하며 상호토론을 통하여 알츠하이머 질환과 관련이 있을 법한 감각계는 시각, 후각, 미각 등의 화학적 감각이 그 후보가 될 수 있음을 알게 되었다.

알츠하이머 조기진단을 하기 위해서는 감각기능과 감각기능 퇴행과의 상관관계를 연구하고 부가적으로는 의학적인 방법으로 상관관계를 풀어가며 연구를 수행해야 했다. 송기봉 연구원은 혈액이나 뇌영상과 같은 의학적인 접근 방법에 의한 바이오마커를 진단하는 방법과 동시에 감각계를 통한 감각기능 이상과 뇌병변의 원인물질을 동시에 고려하는 연구방법을 채택했다. 그에 따라 구성되는 융합연구팀은 해당되는 분야의 최고의 전문가로 구성되어야 했다.

그러나 알츠하이머 조기진단과 같은 특이질병의 조기진단 센싱기술 개발과

◆ **바이오마커(biomarker)** 단백질 등을 이용해 몸 안의 변화를 알아낼 수 있는 지표를 가리킨다. 생명체의 병리적인 상태나 약물에 대한 반응 정도 등을 측정할 때 바이오마커를 활용한다. 각종 난치병을 진단하기 위한 효과적인 방법으로 주목받고 있다.

◆ **베타아밀로이드** 베타아밀로이드는 작은 단백질로 과도하게 만들어지면 뇌에 침착되고 뇌 세포에 악영향을 끼치며 병을 유발한다. 즉, 베타아밀로이드는 신경세포의 기능을 마비시키거나 왜곡시켜 단백질이나 DNA에 치명적인 상처를 입혀 뇌세포의 손상을 초래한다. 그래서 알츠하이머 발병의 주요 원인물질로 알려져 있다.

같은 특정 주제를 가지고 혈액, 뇌영상, 반도체소자, SW, 재료, 생명공학, 의학, 감각계, 뇌전문가 등 실로 다양한 분야의 융합연구 전문가를 구성하는 일은 결코 만만하지 않았다.

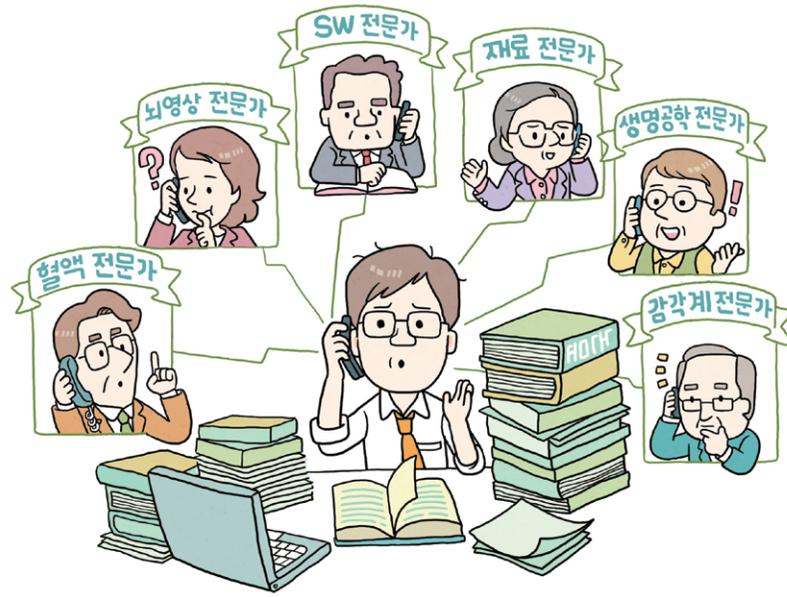
일단 생명공학을 접하지 않은 이과, 공과 출신의 전문가와 생명공학을 전문으로 공부한 전문가와의 그룹핑이 필요했다. 그런데 비생명과학 전문가와 생명과학 전문가, 특히 의대 전문가와는 서로 사용하는 용어 자체도 상이하여 의사소통이 일어나지 않았다. 결국 이들의 상호소통을 위해서는 어떤 방법 혹은 두 가지 그룹핑 분야에 대한 의사소통이 가능한 ‘가교역할 융합전문가’가 필요했다.

상호이해의 수준을 높이는 문제, 전문가별 소통능력을 향상시키는 문제, 전문가 집단 내 타 분야에 대한 이해를 높이는 문제, 연구자 간 상호의사전달의 표현방식, 의사전달의 최적의 도구 등등 상호이해를 위한 방법론 개발이 융합의 성공적 과제가 아닌가 판단되었다.

연구팀 구성에 있어 가장 근본적인 고민은 각 분야의 최고의 전문가를 어떻게 하면 확보할 수 있을까이다. 해당되는 전문가가 누구인지, 또 어떻게 설명을 하여 합류할 수 있게 할지, 만약 합류가 가능하지 않다면 어떤 대안을 마련해야 하는지 송 연구원은 머리가 복잡했다. 전혀 일면식이 없는 사람일 경우에 어떻게 만남을 성사시킬 것인지, 또 해당되는 전문가가 특정주제에 대해 전문가인지 아닌지 바른 판단을 내릴 수 있는지 등등 난관이 즐비했다.

결론적으로 송기봉 연구원이 택한 방법은 좋은 논문을 많이 낸 평판이 좋은 사람을 한 사람, 한 사람 고민하며 찾는 방식이었다. 연락처를 확보하고 일대일 전화로 자세하게 설명해가며 참여를 설득하는 긴 여정을 시작했다.

사실 혈액, 뇌영상, 반도체소자, SW, 재료, 생명공학, 의학, 감각계, 뇌 전문가 등 다양한 분야의 전문가가 감각퇴행과 연관된 알츠하이머 조기진단 센싱기술이란 특정주제에 대해 전문적인 지식을 확대하여 연구에 참여하는 것은 쉽지



해당 전문가를 찾기 위해 좋은 논문을 많이 낸 평판이 좋은 사람을 한 사람, 한 사람을 찾는 방식을 선택했다.

않았다. 반도체 소자를 연구하는 연구자가 감각퇴행이라는 과학적 현상을 쉽게 이해하지 못하였으며, 의학계 연구자는 반도체소자에 대한 센싱기술에 대한 방식을 이해하지 못했다.

송기봉 연구원은 의학 분야 최고의 전문가를 만나 연구주제에 대한 설명을 하고 있었다.

“거기 줄을 그어 놓은 게 무엇입니까?”

반도체소자를 설명하기 위해 반도체소자의 대표적인 소자인 FET의 소스와 드레인의 금속 전극을 보고 의학 분야 전문가는 ‘그어 놓은 줄’로만 여길 뿐이었다. 그때부터 금속이 무엇이며, 어떻게 되며, 왜 이렇게 작동하는지에 대한 설명을 장황하게 늘어놓아야만 했다. FET소자에 대해 설명을 하였으나 쉽게 이해하지 못하는 일들이 발생하였다. 서로 다른 전문영역의 언어를 상호소통이 가능한 상태까지 이해할 수 있도록 최선을 다해서 설명하고 이해하는 과정의 방

식이 아니면, 서로 추구하는 특정한 한 가지 목표가 공허한 목표로 밖에 될 수 없음을 새삼 느끼게 되었다.

이렇게 두 달 가까이 부딪히고 설득하며 최상의 연구팀을 구성할 수 있었다. 그나마 다행인 것은 요청한 최고의 전문가들이 전혀 일면식이 없음에도 불구하고 흔쾌히 본 연구과제의 목표달성이 가능하다는 의지를 보여주었다는 것이다. 송기봉 연구원이 상호소통을 책임지고 의사소통이 가능한 ‘가교역할 융합전문가’로서의 역할을 충실히 수행한 결과였다. 이는 융합연구가 성공적으로 목표를 달성하게 된 계기가 되었다.

조직의 융합은 소통으로 시작해 소통으로 끝난다

일차적으로 최고의 전문가를 구성하는 문제는 다소 해결이 되었다. 이들 중엔 개별 연구영역에서는 최고의 전문가지만, 융합연구를 수행함에 있어선 경험이 부족한 사람도 있었다. 송기봉 연구원은 서로 다른 학제 간 융합연구를 성공적으로 수행하기 위해서는 연구 전체를 총괄적으로 바라볼 수 있는 전문가, 즉 총괄융합 인력의 확보가 필수적이라고 생각했다. 따라서 일반적인 자문위원회가 아닌 두 가지 이상의 전문성을 가진 사람들이 상호연계성에 대한 내용을 자문해줄 수 있는 그룹이 필요했다. 이른바 ‘총괄융합 자문단’을 두고 연구 주제에 맞게, 방향성에 맞게 운영되고 있는지 수시로 점검하고 연구단에 그 결과를 반영했다.

또 다른 융합의 문제로 실무자 급의 의사소통을 들 수 있다. 서로 다른 전문영역의 실무자가 생활하는 공간이 다르고, 실험실 등 여타 기반 자체가 다른 지역에 있어 의사소통의 장을 의무적으로 만드는 것이 필요했다. 과제의 특정목적에 해당되는 연구 공간을 하나로 하여 그 안에서 서로 소통하는 것이 가장 좋겠지만, 현실적인 어려움에 부딪혀 아쉽지만 차선책을 선택해야 했다. SNS 애플리케이션을 활용해 의사소통의 장을 만든 것이다.



상호지식을 나누는 의사소통의 장은 의무적으로 모임을 가지는 방법으로 정하였다. 의사소통을 위해서 마련한 모임은 의무적으로 참여하게 하였고 실무진으로만 구성하였다.

일반적으로 연구교류를 위한 회의 시 실무를 담당하는 연구자 외에 책임자급이 참석하는 경우, 실무자들의 회의 참여가 현저하게 떨어지는 경향을 보인다. 따라서 책임자급이 전혀 참여하지 않는, 담당 실무자 간의 모임을 마련하여 담당분야의 진행 상황을 자연스럽게 편하게 소통하였다. 또 활발한 소통을 위해서 사업 및 과제 시작과 동시에 매월 한 달에 한 번씩 정기적으로 토론을 하고 자유롭게 질문과 설명을 곁들인 회의를 진행했다. 이러한 과정 속에서 서로 다른 분야를 이해하고 나아가 다른 분야에 아이디어까지 제시할 수 있는 수준으로 발전하게 되었다.

융합연구단은 의학을 전공하는 연구그룹, 반도체소자를 연구하는 연구그룹, 바이오 물질의 선택성을 연구하는 연구그룹 등등 각각 다양한 분야의 전문 연구그룹으로 구성하였다. 그런데 ‘각각의 연구그룹 내에서의 전문성을 주제로 한 연구는 진행이 가능하나 이들을 전체적으로 바라볼 총괄그룹은 어찌하여야 하나?’, ‘현실적으로 총괄그룹에 소속된 실무담당을 확보하기가 가능한 일인가?’라는 새로운 문제에 봉착했다.

이 문제를 해결하기 위해서 각 분야를 연구하는 실무진을 총괄그룹에 배치하는 방법으로 문제를 해결하고자 하였다. 그러나 각 분야의 전문성을 가지는 실무담당을 확보하기란 무척 어려운 과정이었다. 대개 각 기관들은 특정분야로 특화되어 연구를 진행하는 기관들이라 보니 더욱 그랬다.

한국전자통신연구원(ETRI)의 경우 정보통신 IT기술을 기반으로 하는 정부 출연연구소이다 보니 대개의 연구인력이 정보통신 관련 연구자로 구성되어 있다. 따라서 융합과제 수행을 위해서는 연구진 구성 시 계약직이라도 채용하여 과제를 수행할 수밖에 없다. 과제 책임자로서 송기봉 연구원은 향후에라도 융

합연구의 연속성을 위해서 꼭 해결해야만 하는 문제라고 생각한다.

또 한 가지 풀어야 할 과제로 최초 아이디어 제시자에 대한 포상문제였다. 연구단은 연구수행 과정에서 서로 다른 분야의 전문적인 언어를 이해하며 소통한 결과, 상호 다른 분야의 아이디어까지 제시할 수 있는 수준으로 발전하게 되었다. 그러나 최초의 아이디어 제시자에게는 어떤 인센티브도 제시할 수 없었던 상황은 아쉬움으로 남는다.

송 연구원은 융합연구를 진행함에 있어서 고민해야 하는 또 다른 문제로 전체를 총괄하는 총괄책임자의 전문성을 꼽는다. 융합연구를 하다 보면 총괄책임자는 상이한 전문적인 학문의 영역에 대해서도 포괄적인 지식을 가져야 한다. 그렇지 않으면 자칫 특정한 목표점이 분산되어 융합연구의 목표를 상실하게 될 여지가 있기 때문이다.

따라서 총괄책임자는 두루 지식을 갖추어야 함은 두말할 나위가 없다. 그러나 한 가지 분야의 전문지식을 획득하기도 쉽지 않은 상태에서 다방면의 전문 지식을 어떻게 확보할 수 있을까. 송기봉 연구원은 이를 해결하는 방법으로 1년을 4사분기로 구분하여 각각의 전문분야에 대해 사분기 동안 집중적으로 외부전문가를 초청하여 강연을 듣는 것이 가장 최선의 길이라 판단했다. 물론 강연 몇 번으로 해당 분야에 대해 전문성을 갖추기란 쉽지 않다. 그래서 1년 주기로 전년도에 다루었던 분야에 대해 다시 한 번 심도 있는 강연을 재추진하는 방법을 선택했다. 전년도에 들은 강의를 좀 더 심도 있는 강연으로 다시 듣게 되면 그동안 성장한 자신을 발견하게 된다. 국내 석학은 물론이고 해외에 있는 석학을 초청하여 강연을 듣는 방법도 활용했다.

다른 한편으로 총괄책임자는 세부책임자에게 정기적으로 ‘찾아가는 책임자’의 역할을 하였다. 매월 한 번은 다른 전문분야의 세부책임자와 정기적으로 미팅을 가진다. 이때 전문분야의 지식을 습득하기 위한 4사분기 외부전문가가 진행하는 세미나 추진 분야와 일정을 맞추어 추진하는 방향으로 토의의 기회



〈표〉 연구내용

알츠하이머병 진단용 바이오마커 개발
COPD 환자의 진단 및 모니터링을 위한 후각 셀/센서에 의한 바이오마커 검출 및 패턴인식 기술
아벨리노각막이상증 진단의 세포모델 개발 및 뉴런망막칩 개발의 생체연구
신경세포/수용체 패턴링 기술 이용 SoC적합 트랜스듀서 어레이 및 평가기술 개발
특이질병(만성 및 난치성) 조기진단의 세포 및 소자기반 센싱 정량화 기술 개발
인공후각·미각센서를 위한 저 잡음 어레이 칩과 미각 수용체 인터페이스 기술 개발
미각·후각센서 검지용 다채널 미세신호처리 회로 개발

를 가졌다. 이런 소통의 장을 통해 융합연구는 성공의 길로 서서히 접어들게 되었다.

국제학회 개최로 세계적인 기술 흡수

“하늘도 무심하시지. 하필 오늘 같은 날에 태풍이라니…….”

송기봉 연구원은 절로 한숨이 나왔다. 그 날은 국제학회 내에 알츠하이머 특별 세션을 구성하기 위해서 국제학회의 의장단이 제주도에 방문하는 시점에 맞춰 유치를 위한 프레젠테이션을 하기로 약속한 날이었다. 그런데 때마침 태풍 볼라벤이 제주도 근처까지 북상해 기상상태가 악화되고 있었다.

약속시간을 변경할 수도 없는 일정이었다. 송기봉 연구원은 미리 비행기표를 예약해두었지만, 마음은 타들어가고 초조해졌다. 일단 공항으로 갔다. 다행히 비행기가 뜰 수 있을 정도의 기상상태가 되어 무사히 제주도에 도착할 수 있었다. 그런데 태풍은 계속 북상해 송 연구원 일행이 도착한 직후부터 비행기 운항은 전면 취소되었다.

약속 장소인 제주컨벤션센터까지 가는 길은 험난했다. 엄청난 바람과 비가

시야를 가로막고 차가 흔들리기까지 했다. 제주컨벤션센터에 도착하니 태풍의 위력은 가히 상상을 못할 정도였다. 주차하고 차에서 내려 건물로 들어가기가 지 거리는 불과 몇 미터. 그 짧은 거리를 걸어오는 동안, 우산은 무용지물이 되고 온 몸은 비에 흠뻑 젖어버렸다.

그래도 송 연구원은 의장단을 만날 수 있다는 사실만으로도 행복하고 감사했다.

“알츠하이머 조기진단 기술을 연구하는 것은 세계적 관심이 필요합니다. 세션구성으로 최신의 연구동향을 파악하고 교류해야 마땅합니다. 여러분, 이 아름다운 제주도에 다시 오고 싶지 않으십니까?”

송 연구원은 의장단의 밝은 얼굴을 바라보며, 국제학회 유치가 가능하다는 것을 예감했다. 제주 바다가 한눈에 보이는 회의실에서의 프레젠테이션. 일대 장관을 이룬 태풍 치는 바다, 아마 이런 자연적인 요소가 의장단의 마음을 더욱 사로잡았을 것이라고 생각했다.

고령화가 전 세계적으로 가속화됨에 따라, 알츠하이머 조기진단은 각국에서 적극적으로 해결하여야 하는 기술군으로 포함되었다. 여타 어느 질병보다 발병률이 높은 노인성 질환이고 알츠하이머가 발병하면 그 가족까지 힘든 처지에 놓인다. 따라서 세계 많은 나라들은 대규모 연구비를 투자해 알츠하이머 질병을 해결하고자 노력하고 있는 실정이다.

송기봉 연구원은 이런 세계적 경향을 고려해볼 때, 세계적인 기술과 연구 동향을 보다 정확하고 빠르게 자신의 융합연구단에 전파하는 것이 성공적인 연구 수행을 이끄는 방법의 하나라고 생각했다. 각국의 연구개발 동향을 한자리에서 볼 수 있는 방법은 국제적인 세미나 혹은 국제적인 학회를 개최하는 것이 최상의 방법이었다.

국제대회 유치는 성공이었다. 곧바로 알츠하이머 조기진단 세션을 구성하기 위해 각국의 전문가를 인터넷 혹은 논문을 뒤지며 유명한 저자의 이메일을 중



심으로 연락하고 일정을 협의하였다.

영국, 미국, 독일, 일본, 한국 등의 대표 전문가들로 구성하여 드디어 국제학회 알츠하이머 세션을 구성하여 개최하였다. 융합연구에 참여하고 있는 대다수의 연구원들이 참석하여 세계 최신의 알츠하이머 조기진단 기술에 대한 연구동향을 파악할 수 있는 좋은 기회가 되었다. 이밖에도 융합연구단은 해외 최고의 후각 관련 전문가를 초청하여 매년 강연을 추진함으로써 해마다 전문성을 다지는 기회를 마련하고 있다.

알츠하이머 조기진단 기술, 건강한 사회를 만드는 융합연구

“선생님, 이 샘플은 환자 것이 아닌데요.”

송기봉 연구원이 타액샘플을 보며 말했다.

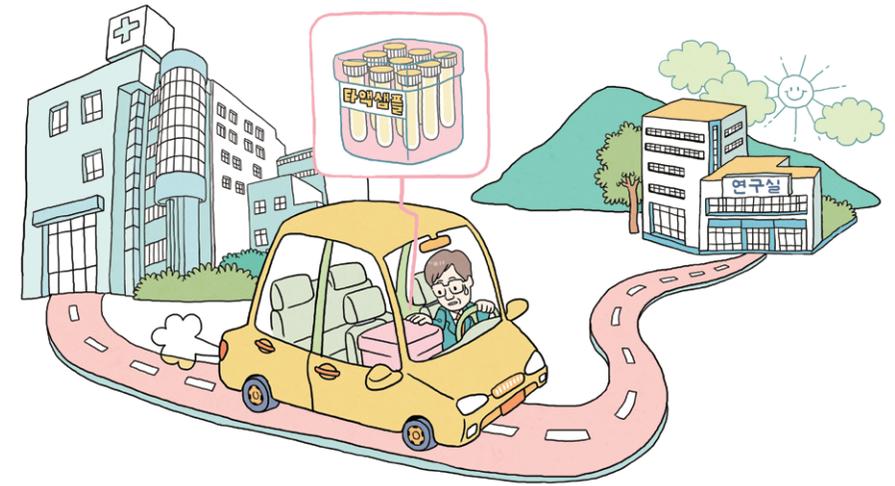
“그래요? 저는 잘 모르겠습니다. 확실한가요?”

타액샘플을 준 의사는 시치미를 뚝 떼고 말했다.

“이제 보기만 해도 느낌이 오는데요. 하하.”

융합연구단은 연구 3차년부터 타액에 대한 연구에 집중했다. 후각과 미각은 기억에 영향을 미치는 감각으로, 뇌세포에 손상이 오면 함께 손상이 있을 거란 예상은 적중했다. 쥐를 이용한 실험을 통해 후각세포가 먼저 손상된다는 연구결과를 얻을 수 있었다. 그러나 후각세포 샘플을 사람에게서 채취하는 데는 어려움이 따랐고 간단한 문제도 아니었다. 결론적으로 미각과 관련한 연구로 집중되었고 연구수행 3차년부터는 타액으로 조기진단을 할 수 있는 기술개발에 역점을 두었다.

연구단은 협력병원의 도움으로 65세 이상의 일반인 타액샘플을 받아 연구를 수행했다. 타액샘플을 냉동상태로 손상 없이 연구실로 가져오는 일은 첩보 작전을 방불케 했다. 이런 노력으로 뇌세포를 파괴하는 특이단백질인 베타아밀로이드 40번, 42번이 타액 속에도 극미량으로 존재한다는 연구결과를 얻었다.



연구단은 협력병원의 도움으로 65세 이상의 일반인 타액샘플을 받아 연구를 수행했다.

융합연구단은 타액을 이용해 알츠하이머를 조기진단하는 센싱기술을 확보하고, 현재 알츠하이머 환자와 일반인의 타액샘플을 이용한 기술 적용 결과, 75% 이상의 정확도를 보여주고 있다.

알츠하이머는 질병을 조기에 진단하고 실증하기까지 제약조건이 많다. 질병을 확인하고자 정상인의 뇌 속을 직접적으로 볼 수도 없을 뿐더러, 알츠하이머 증상이 의심된다고 해서 뇌 속을 직접 확인할 수도 없기 때문이다. 다양한 방식을 간접적으로 확인하고 상호 비교하는 방식의 진단밖에 될 수 없다. 때문에 현재까지 알츠하이머는 특정 바이오마커 하나로 조기진단이 가능하지 않는 분야라고 말한다.

이를 고려해 송 연구원은 최초 융합연구 수행 당시, 1단계 2년은 최대한 각 전문가 그룹에서는 기초원천 연구를 자율적으로 수행할 수 있도록 하였다. 2단계에서는 선택적 자율에 의해 융합연구를 수행할 수 있도록 했다. 다시 말해, 1단계 기초원천 연구에서는 모든 다양한 방법으로 연구하도록 문을 활짝 열어 두었다. 예를 들면 다양한 방식의 센싱소자(전기, 자기, 광 방식 등)를 개발하여 어



편 방식이 최적의 현실적인 센싱방식이 될지 확인하였다. 유전자 변형쥐를 교배 증식하여 변형쥐를 이용하여 독성 및 뇌세포 기능을 확인하여 바이오마커로서 가능성이 있는지 확인하는 등 다양한 방법을 개발하고자 하였다.

또 2단계 연구의 선택적 자율형 융합연구에서는 1단계 연구의 자율성은 보장하되, 연구의 목표를 달성하기 위해 1단계의 연구결과들을 바탕으로 목표달성을 위한 최적의 방법을 선택하고 시행하였다. 이 과정에서 특허 50여 개를 포함해 알츠하이머 조기진단 키트 등 기술개발의 윤곽이 드러났다.

그런데 송 연구원은 융합연구를 진행하면 할수록 알츠하이머 조기진단 분야, 적어도 생명과학적 전문분야와 관계되는 융합연구는 단기간에 특정 결과물을 도출해낼 수 없는 경우가 많다는 것을 뼈저리게 느꼈다. 이런 융합연구에 있어서 연구과제 5년은 굉장히 짧은 시간이었다. 기초원천 연구부터 시작하여 임상까지 완료, 사업화 활용이 가능한 기술까지 개발하는 시간이 단 5년. 국내 연구 환경은 오랫동안 기다려주지 않는 단점이 있다. 송 연구원은 융합연구에 있어서 연구기간에 대한 충분한 고려가 있어야 성공적 결과물을 도출한다고 충언한다.

송기봉 연구원은 과제책임자로서 융합연구의 전문성을 확보하고 지속하는데 많은 어려움을 겪었다. 반도체 연구자, SW 연구자들의 참여는 비교적 가능하지만, 생명과학을 연구하는 전문가를 찾기란 쉽지 않았다.

예전부터 같이 연구하던 동료의 전문성을 최대한 고려하여 연구팀을 구성하였으나 알츠하이머 조기진단이란 생명의 질환과 관련된 전문성을 가진 실무 담당자를 참여시키기란 여간 어려운 문제가 아니었다.

종합연구소를 지향하는 연구기관이지만 정보통신을 연구하는 기관에서 알츠하이머 조기진단 기술의 연관성으로 내부적인 인정을 받기란 간단한 문제가 아니었다. 더욱이 내부에 전문가가 없는 경우에 외부에 있는 전문가가 내부로 이직하거나 일정시간 동안 참여하게 하여야 하는데, 이 모든 것은 해당 기관의

인사문제와 연관되어 있어 기관에서 전폭적인 지원이 없는 경우는 불가능에 가까웠다.

이런 문제를 해결하기 위해 계약직을 활용할 수밖에 없었다. 일부는 계약직 인력이 양산되어 고용의 문제가 발생한다고 하나, 이러한 방법 말고는 현재 연구기관 간에 다양한 차이점이 있는 상황에서는 융합연구를 위해 다른 방법이 없었다. 과제를 총괄하고 책임지는 책임자로서는 어쩔 수 없는 선택이었다.

현실적으로 현 기관에서의 계약직은 과제종료와 함께 계약이 만료되어 타 과제로 계약을 하거나 아니면 다른 직장으로 이직하게 될 수밖에 없는 구조적 문제를 가지고 있다. 이때 계약이 완료되어 그나마 비슷한 분야에서 연구를 수행하게 되면 융합분야의 전문성 확보의 보람이 있겠지만, 현실적으로 다른 전문분야의 연구를 수행하게 되면 그동안 확보한 융합분야의 전문성 확보는 일순간에 물거품이 되는 구조적 문제가 발생하게 된다. 따라서 융합분야의 전문가를 양성하고 지속적으로 전문 인력을 확보하기 위해서는 연구원의 안정적인 고용이라는 숙제를 풀어야 한다.

연구성과 배분에 있어서도 투명한 운영으로 갈등을 최소화해야 한다. 의료인지융합연구단은 알츠하이머병을 진단하기 위한 진단장치 및 이를 이용한 진단방법, 침을 이용한 알츠하이머 질병의 진단 방법, 광 필터링 아밀로이드 측정 방법, 포토트랜지스터를 이용한 알츠하이머 질병의 조기진단 방법, 단백질 미세구조 분석방법 및 단백질 미세구조 분석용 구조체 등 50여 개에 달하는 특허를 가지고 있다. 따라서 송 연구원은 특허와 관련한 배분의 문제를 예방하기 위해 연구기여도에 따라 특허 등록 시 배분 비율을 달리 적용했고, 기술이전 시엔 다시 인센티브가 적용되도록 하였다.

의료인지융합연구단은 2009년부터 2014년 현재까지, 지난 5년 동안 연구과제를 수행하며 융합연구에 매진하고 있다. 알츠하이머는 유병률이 9% 이상으로 노인 열 명 중 한 명은 이 병으로 고통을 받고 있다. 현재 65세 이상의 환자



만 50만 명이 넘는다. 게다가 점점 증가하는 추세이다. 알츠하이머는 이미 개인의 질병이 아닌 환자의 가족, 그리고 사회가 풀어야 할 숙제가 되었다. 뇌세포는 파괴되면 재생이 되지 않기 때문에 무엇보다도 조기에 진단하는 것이 절대적으로 필요하다. 의료인지융합연구단의 연구가 중요한 이유이기도 하다.

알츠하이머를 조기진단하는 예측 기술을 확보한 연구팀은 앞으로 임상을 거친 후, 진단 키트의 형태로 제품을 상용화할 계획이다. 연구과제가 마무리되고 있는 이 시점에도 송기봉 연구원은 여전히 국제학회에서 알츠하이머 특별 세션을 구성하고 선진기술을 흡수하려는 계획을 갖고 있다. 알츠하이머 진단 기술의 세계 정복, 송 연구원의 열정은 멈추지 않는다.

융합 포인트

소통공간도 구성원의 특성에 맞게 만들어라

사이버 공간이든 현실의 연구공간이든, 의무적으로 만나서 소통할 수 있는 공간이 있어야 한다. 송기봉 연구원은 연구실을 확보하는 데에 있어 현실적인 어려움을 느끼고, 가상의 소통 공간인 앱을 개발한다. 특히 책임자급보다는 실무진 간의 소통을 중시하고 실무진만을 위한 모임을 별도로 만들었다. 참여는 의무적으로 하도록 규칙을 정해 운영했다. 책임자급을 배제한 토론은 보다 더 자율적이고 창의적으로 진행되었으며, 새로운 아이디어가 많이 도출됐다.

조직 내 자문단과 융합전문가를 두고 활용하라

융합연구는 상호소통이 연구 성패를 좌우한다. 따라서 상호소통을 위해서는 적어도 두 가지 분야에 대한 의사소통이 가능한 가교역할 융합전문가가 필요하다. 송기봉 연구원은 그 역할을 자처해 적극적으로 의사소통에 나섰고 성공적으로 연구팀을 구성할 수 있었다. 또한 일반적인 자문위원회가 아닌 두 가지 이상의 전문성을 가진 사람들이 상호 연계성에 대한 내용을 자문해줄 수 있는 그룹, 즉 '총괄융합 자문단'을 구성해 연구 주제에 맞게, 방향성에 맞게 운영되고 있는지 수시로 점검하고 보완해 소통의 문제를 해결했다.



CHAPTER
4

이상준 포항공과대학교 교수

순환기질환의
원인 규명 및
진단 기술 연구

생체유동현상 규명과 생체모방기술 개발의 융합적 연구



이상준 교수는 생체유동 연구에 필요한 첨단 Bio-imaging 기술들을 개발하고, 이를 다양한 생체에 적용하여 미지의 생체유동현상과 자연의 신비를 밝히는 융합연구를 오랫동안 수행해오고 있다.

순환기질환과 관련된 혈액유동을 실험적으로 규명하기 위해 다양한 분야의 전문가와 연구를 융합적으로 수행해왔으며, 이 과정에서 X선 영상기법을 이용하여 유체 흐름을 측정하는 X-ray PIV 기술을 세계 최초로 개발하기도 했다. 한국연구재단의 창의적 연구지원사업에 지원하여 '생체유체연구단'이라는 이름의 창의연구단으로 선정된 후 다양한 생체 내부 유동현상을 연구하여 심혈관계 질환의 발병 원인을 밝히고, 공학적으로 응용 가능한 생체모방기술을 개발하는 융합연구를 수행하고 있다.

상호 협조와 이해가 필수인 융합연구

이상준 교수는 어느 때와 다름없이 곤충과 식물 등과 같은 생명체 내부에서 일어나는 생체유동현상을 연구하고 있었다. 그러다 우연히 말라리아로 생명을 잃은 어린이 사진을 보게 된다. 말라리아는 아프리카에서 1분에 1명 꼴로 어린이가 생명을 잃을 만큼 심각한 전염병이지만, 모기에 의해 전염되기 때문에 방역을 확실하게 하는 것 외엔 별다른 예방법이 없는 실정이다.

이상준 교수는 이번에는 말라리아 기생충의 이동 메커니즘을 밝히기로 결심하고 융합연구에 착수한다. 지금의 도전이 말라리아를 손쉽게 진단할 수 있는 방법을 찾고 고귀한 생명이 꺼지는 것을 막을 수 있으리라고 확신하면서 말이다.

그러나 말라리아가 고위험군의 전염병인 관계로 사전에 처리해야 할 일들이 산적했다. 먼저 질병관리본부를 통해 말라리아균을 실험실 내에서 다룰 수 있는 허가를 얻기 위해 별도의 실험 공간을 마련해야 했다.

연구 제안서를 제출하고 타당한 연구 환경을 갖추었음을 증명한 끝에, 어렵사리 허가를 받고 연구실 내에 말라리아 연구를 위한 Task Force Team(TFT) 조직을 꾸려 본격적으로 연구를 시작하였다. 이 TFT팀은 모기를 연구하는 학생, 말라리아 병원균을 다루는 학생, X선 및 홀로그래를 이용한 가시화 기술을 담당하는 학생 등 다양한 분야의 학생들과 박사급 연구원들로 구성하였다.

“교수님, 계획했던 기술이 적용되지 않아요. 어떻게 하죠?”

“일주일이나 걸려서 준비한 샘플인데, 다 버리게 생겼군.”

연구팀은 일주일에 걸쳐 힘들게 생체 샘플을 준비했다. 그러나 막상 실험을 하려고 보면 계획하였던 기술을 적용할 수 없어 힘들게 준비한 샘플을 모두 버리게 되는 경우도 생겼다.

이상준 교수는 매번 융합연구를 수행할 때마다 크고 작은 어려움에 봉착한다. 문제 해결의 핵심은 융합연구는 자기가 맡은 분야만 잘 알면 되는 것이 아니라, 서로가 가진 기술의 한계점을 공유하고 확실하게 이해해야 한다는 점이다.



또한 TFT 조직 멤버들 사이의 상호협조가 필수라는 점이다.

그는 수많은 시행착오 끝에 얻었던 성공적인 연구 성과들을 돌이켜본다. 그리고 지난 융합연구의 과정들을 반추하며 또 한 번의 난관을 극복할 수 있는 방법을 찾는다.

순환기질환의 이해를 위한 첫 걸음

학부에서 화학기계공학을 전공하고 대학원에서는 기계공학으로 전공학과를 변경하여 공부하던 이상준 교수는 새로운 연구분야로 눈을 돌려 학제 간 융합연구의 초석을 다지게 되었다.

“조장희 교수님, 환자 진료에 사용하는 MRI를 공학적 유동해석에 이용하면 어떻겠습니까?”

이상준 교수는 한국과학기술원(KAIST) 전자과 조장희 교수 연구실에 설치된 MRI(Magnetic Resonance Imaging)를 우연히 접하게 된 후, 융합연구의 첫 발을 내딛는다. 선진국에서도 이에 대한 연구가 1990년대 이후에 본격적으로 시작된 것을 고려하면, 1980년대 초반에 이 분야 연구를 시작하게 된 것은 융합연구에 대한 남다른 관심과 혜안이 있었기에 가능한 일이었다.

이상준 교수는 MRI를 이용하여 시간에 따라 변화하는 열유동의 속도장 변화를 측정하는 연구를 수행하였다. 이 연구결과는 저명 국제학술지에 2편의 논문으로 게재되었으며, 순환기질환과 관련된 혈액유동 연구에 지속적인 관심을 가지게 되는 계기가 되었다.

◆ **MRI(Magnetic Resonance Imaging)** MRI(자기공명영상)란 자석으로 된 커다란 통 속에서 고주파를 발생시켜 인체 각 조직에서 나오는 신호의 차이를 측정하여 디지털 정보로 재구성해 영상화하는 장비를 말한다.

◆ **순환기질환** 순환기, 즉 심장 및 동맥계, 정맥계의 이상에 따른 질환으로 심근경색, 협심증 등의 심장병과 동맥경화, 뇌졸중 같은 혈액순환과 관계된 질병을 말한다.

포항공대에 교수로 부임한 직후, 이 교수는 MRI를 이용한 연구를 계속하고자 하였다. 그러나 신생대학의 조교수 입장에서 고가의 의료장비를 연구용으로 구입하기는 어렵고, 의대가 없는 대학에서 의생명 관련 연구를 혼자 힘으로 수행하는 것은 불가능하였다. 이에 따라 생체유동현상을 본격적으로 연구할 수 있는 기회가 오기를 기다리면서 선행 연구로 레이저를 이용한 유동가시화기술들을 차근차근 개발하였다.

예를 들어 광학기술에 기초하여 혈액유동의 속도장 정보를 측정할 수 있는 디지털 홀로그래피(holography), 마이크로 입자영상속도계(Particle Image Velocimetry: PIV) 기술들을 개발하였다. 이러한 선행 연구를 통한 준비는 1995년 포항공속기연구소가 방사광 시설을 이용한 연구를 개시하면서 빛을 보게 되었다.

“방사광가속기의 X선을 광원으로 이용하는 X선 영상기법은 의료기관에서 사용하는 임상용 X선보다 훨씬 뛰어난 공간 분해능으로 생체 내부 구조를 보다 자세하게 볼 수 있습니다. 따라서 생체 내부 유동을 측정할 수 있는 방사광 X선 영상기법을 개발하면, 훗날 순환기질환 연구에 크게 도움이 될 것이라고 확신합니다.”

방사광가속기에 대한 이해와 기술적인 지원을 받기 위해 포항공속기연구소의 윤화식 박사, 정석상 박사에게 연구과제에 동참을 제안하여 방사광을 이용한 생체유동 연구를 본격적으로 시작하게 되었다. 이 연구 과제를 통해 이 교수는 X선 영상기법을 이용하여 혈액 흐름의 속도장 정보를 측정할 수 있는 X-ray PIV 기술을 세계 최초로 개발하였다.

◆ **방사광가속기** 첨단 과학기술 연구에 필수적인 장치로, 빛을 발생하는 입자를 광속에 가까운 속도로 원운동을 시켜 방사광을 발생시키는 장치이다. 방사광은 가시광선으로는 투과할 수 없는 물질을 투과하여 그 내부 구조를 볼 수 있다.



이상준 교수의 첫 융합연구는 의료장비인 MRI를 공학적 유동 해석에 이용한다는 창의적인 발상에서 시작되었고, 이를 계기로 생체유동에 대한 관심을 가지고 X선 영상기법과 광학기술 등을 이용한 첨단 유동가시화 기법들을 적극적으로 개발하였다. 이러한 융합연구는 성공적이었으며 이후 순환기질환에 대한 융합연구를 수행함에 있어서 큰 밑거름이 되었다.

선행연구를 바탕으로 진화하는 융합연구

2000년 4월 서울에서 포항으로 가는 비행기 안, 신문을 찬찬히 읽어 내려가던 이상준 교수의 눈에 작은 사진 한 장이 섬광처럼 번쩍거렸다. 그것은 포항 방사광가속기를 이용하여 찍은 모기의 몸통 내부 구조를 보여주는 사진이었다. 가속기로 찍은 모기 사진에 대한 단순한 기사였지만, 이상준 교수에게는 곤충에 대한 융합연구의 길로 안내하는 초대장이나 다름없었다.

‘단순한 영상에서 더 나아가 곤충 내부구조의 동적 변화와 생체유동현상을



비행기 안에서 우연히 보게 된 가속기로 찍은 모기 사진은 곤충에 대한 융합연구의 길로 안내하는 초대장이나 다름없었다.

정량적으로 가시화할 수 있지 않을까? 좀 더 알아보면 무언가 답이 나오겠지.’

이상준 교수는 비행기에서 내리자마자 신문기사에 나온 윤화식 박사를 찾았다.

“우리 연구실은 세계 최고 수준의 유동가시화 기술을 가지고 있습니다. 이 가시화 기술들을 가속기에 적용하여 생체 내부에서 일어나는 유동현상을 연구하고 싶습니다.”

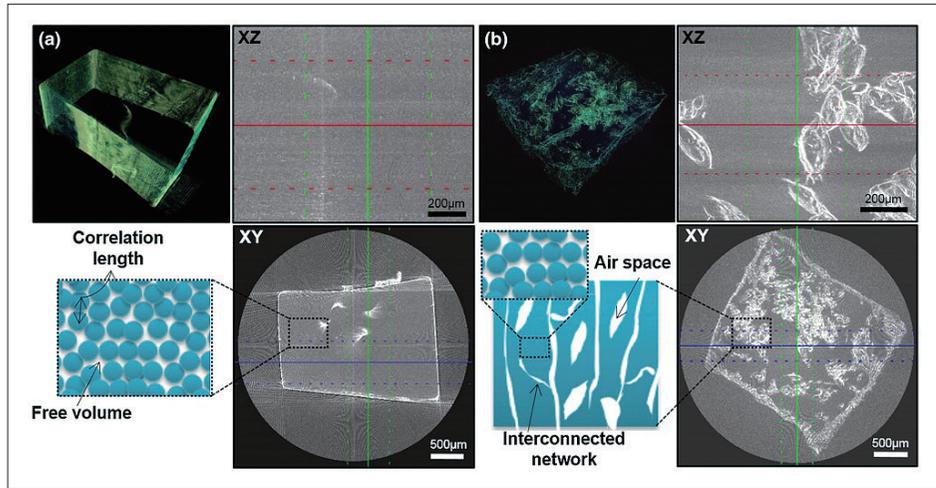
갑작스런 방문에 윤 박사는 잠시 당황했지만, 이내 호의적인 반응을 보였다.

“새로운 아이디어네요. 정적인 구조를 보는 것이 아니라 동적(dynamic) 현상을 보겠다는 것이니, 성공한다면 획기적인 기술이 되겠는데요.”

이 교수는 방사광가속기의 X선 영상기법에 자신이 개발한 PIV 속도장 측정 기법을 적용한다면 유체역학 연구에 새로운 전환점을 가져올 수 있다고 내다보았다. 이렇게 우연히 보게 된 신문기사가 결국 모기의 흡혈과정을 정량적으로 가시화하는 융합연구로 연결되었다.

이상준 교수가 가장 먼저 시작한 것은 모기를 찾아다니는 일이었다. 항상 피하기만 했던 모기를 채집하고자 캠퍼스 내 호수에서부터 구룡포 앞바다까지 모기가 있을 만한 곳은 발품을 팔아 찾아다녔다. 이미 성충이 된 모기는 운반하는 과정에서 상할 수 있기 때문에 양동이를 들고 모기 유충을 채집하여 성충으로 만들려는 노력도 수차례 기울였다. 하지만 이러한 과정은 매우 번거롭고 성공 확률이 낮았는데다 여름철에만 실험이 가능하여 많은 어려움을 겪어야만 했다.

이러한 문제점들을 해결하고자 모기 전문가인 고신대 생명과학부 이동규 교수에게 자문을 구하여 모기를 직접 기르고 관리할 수 있는 모기 사육장 시설을 갖추었다. 이 덕분에 계절에 상관없이 모기 샘플이 안정적으로 공급됨에 따라 가속기 X선을 이용한 모기 연구를 본격적으로 수행할 수 있게 되었다. 여러 번의 시행착오 끝에 모기침 내부를 관찰할 수 있는 실험조건을 찾아냈지만, 흡혈한 피가 흘러 지나는 도관을 주변의 다른 조직과 분간하기 어려웠고 혈류의 속



식물의 다공성 구조를 묘사한 Agarose Gel과 Agarose Cryogel의 3차원 X선 영상

도정보를 얻기도 쉽지 않았다. 이에 따라 혈류측정에 적절한 X선 조영제와 조영제 농도를 찾기 위해 여러 차례 반복해서 실험을 수행하였다. 이렇게 모기 실험에 필요한 실험 환경과 측정기법을 구축하는데 꼬박 1년이라는 시간이 걸렸다.

또 다른 측면에서의 융합연구도 시작되었다. 이 교수는 국가핵심연구센터(NCRC)와 WCU(World Class University) 사업으로 I-Bio대학원 및 융합생명공학과에 겸직 교수로 소속되어 생명과학과 교수들과 공동연구를 수행하는 과정에서 자연스럽게 식물 연구에 관심을 가지게 되었다. 이 교수가 식물 물관 내부 수액흐름에 관심을 갖기 이전에는 다양한 가설만 분분할 뿐, 이를 검증할 만한 실험 데이터가 전혀 없었다. 이러한 사실을 파악한 이 교수는 식물 물관 내부의 수액흐름을 정량적으로 가시화하기 위하여 다양한 Bio-imaging 기법들을 동원하여 기존과는 전혀 다른 새로운 패러다임의 식물 연구를 시작하게 되었다.

◆ **Bio-imaging 기법** 생체영상기법으로 생체물질을 영상화하는 기술을 말한다. 즉, 영상으로 보는 기술

즉, 모기 연구를 통해 구축한 X선 미세영상기법을 활용하고 금나노입자를 유체추적입자로 사용하여 식물 물관 내부 유동을 정량적으로 가시화하는 데 성공했다.

이것은 수년간에 걸친 끊임없는 노력과 여러 학문 분야의 전문가들의 도움을 받아 이룬 결과였다. 이 교수는 이처럼 식물 생리학에 실험유체역학을 접목시킨 융합적 연구로 새로운 학문분야를 개척하였고, 유체공학자와 식물학자들에게 새로운 패러다임을 제시하는 역할을 했다. 수억 년의 세월을 통해 최적화된 식물의 구조와 기능을 연구하고, 효율적인 물 수송 메커니즘을 공학적으로 모사함으로써 인류에게 유익한 생체모방기술을 개발할 수 있을 것이다.

조직의 화학적 융합이 성공의 지름길

“저희는 생체유동현상을 정확히 가시화할 수 있는 첨단 Bio-imaging 기법들을 개발하고 이러한 기술들을 다양한 생체에 적용하여 미지의 생체유동현상을 규명하고, 이를 기초로 인류에 도움이 되는 생체모방기술을 개발하는 융합연구를 수행하고자 합니다.”

이상준 교수는 생체유동현상을 본격적으로 연구하기 위하여 한국과학재단의 창의적 연구지원사업에 지원하여, 2008년 그의 연구실은 ‘생체유체연구단’이란 이름의 창의연구단으로 선정되었다.

생체유체연구단 소속 연구인력은 모두 25명으로, 단장 이외에 연구교수 2명, 박사후과정 2명, 박사과정 및 석박사 통합과정 학생 20명으로 구성되어 있다. 연구교수 2명의 전공은 식물 수력학과 bio나노공학으로 단장의 전공분야와 크게 다르며, 학부나 석사과정에서 기계공학이 아닌 다른 학문분야를 전공한 대학원생이 5명이며, I-Bio대학원과 융합생명공학부 소속 학생이 4명이다.

융합연구를 보다 효과적으로 수행하기 위해 유체역학, 실험생물학, 의생명 영상기법, 혈유변학(hemorheology), 식물생리학, bio나노공학 등 다양한 학문



생체유체연구단은 다양한 학문을 전공한 연구 인력을 갖추으로써 최고의 연구 인프라를 구축하였다.



적 배경을 가진 연구 인력을 연구단 내에 갖추으로써 융합적 연구 관점에서 최고의 연구 인프라를 구축하였다.

융합연구를 제대로 수행할 수 있는 이런 연구조직을 자체적으로 갖추는 것은 결코 쉬운 일이 아니었다. 이 교수는 능력과 책임감을 갖춘 사람들을 적재적소에 배치하기 위해 발 벗고 나섰다. 먼저 순환기질환을 정확하게 이해하고, 조기에 진단하기 위해서는 사람에 가까운 동물 모델을 이용해야 했다. 그러나 기계공학을 전공하여 해부학적 지식이 없는 대학원생들이 동물실험을 제대로 수행하기란 쉽지 않았다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 동물실험에 대한 경험이 풍부하고 해부학적 전문지식을 가진 남권호 박사를 연구교수로 채용했다. 남 박사의 도움으로 생쥐를 이용한 동물실험을 본격적으로 시작하고, X선 영상 기법을 생쥐의 혈류 계측에 적용할 수 있게 되었다(참고문헌 1). 그리고 순환기질환 진단용 Bio-chip을 개발하기 위하여 Bio-MEMS 분야 전문가인 강양준 박사가 연구교수로 연구실에 합류하게 되었다.

순환기질환을 연구함에 있어서 의대 출신의 연구원이 필요한데, 대부분 임

상 의사로 일하다 보니 의대 출신 연구원을 구하기 어려웠다. 이에 따라 다른 대안으로 임상 의사들과 소통할 수 있는 기회의 장을 마련하기 위해 이 교수는 뜻이 맞는 교수들과 '순환기의공학회'라는 학회를 조직하여 교류를 확대하였다. 물론 처음에는 공학과 의학 분야에서 사용하는 전문용어가 달라 많은 어려움을 겪었지만, 임상 의사들과의 정기적인 학술대회 개최 등을 통한 교류는 순환기 질환 연구에 많은 도움을 주었다.

학제 간 융합연구를 수행하는 데 이상적인 조직을 갖추고 있는 생체유체연구단에서는 서로 다른 전공과 연구 배경을 가진 대학원생들과 박사급 연구원들이 화학적으로 융합된 형태의 협업 연구에 박차를 가하고 있다. 그리고 연구단을 거쳐간 조선대 강양준 교수와 제주대 남권호 교수는 수시로 포항을 방문하여 공동연구를 진행하고 있으며, 교내외의 생명과학 및 의과학 분야 전문가들과도 활발하게 교류하고 일부와는 공동 연구를 진행하면서 학문의 장을 지속적으로 넓혀오고 있다.

이상준 교수는 생체유체연구단을 전통적인 연구실 개념을 뛰어넘어 융합적 사고로 학제 간 연구를 수행하는 연구실로 만들기 위해 각고의 노력을 기울여 왔다. 다양한 전공과 연구배경을 가진 랩 구성원 전체가 매주 토요일 정기적으로 모이는 랩미팅을 통해 수행중인 연구결과에 대한 발표와 심층적으로 토론하는 시간을 갖고 있다. 이러한 모임은 학문적 깊이를 더해줄 뿐만 아니라 공동의 목표를 향해 각자가 맡고 있는 연구에 대한 책임감도 동시에 다지게 하는 기회가 되고 있다.

유사한 주제를 연구하는 대학원생들과 박사급 연구원들을 4개의 연구그룹으로 나누고 같은 오피스를 사용하게 하여, 최신 연구정보를 공유하고 연구 수행과정에서 도움을 주고받게 하였다. 그리고 연구그룹별로 매월 한차례 정례모임을 가지고 지난 한 달간의 연구성과와 향후 연구계획을 발표하게 하고 어떻게 창의적이고 융합적으로 연구할 수 있을까를 활발히 토론하고 있다.



또한 생체유체연구단을 효율적으로 운영하기 위해 매 학기말에 연구그룹별 연구실적을 비교하여 우수한 실적을 거둔 팀에게 별도의 인센티브를 지급하고, 회식 기회를 제공하는 방식으로 선의의 경쟁을 유도하고 있으며, 우수한 연구 결과를 저명 학술지에 게재한 사람에게는 개인별로 인센티브를 지급하여 격려하고 있다.

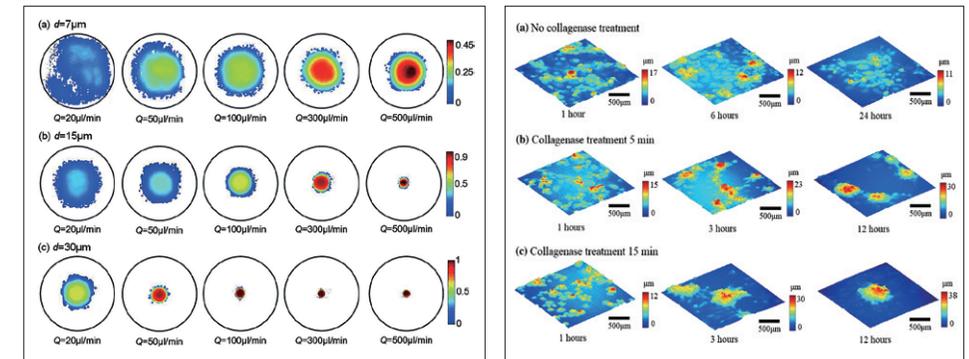
국내외 학술대회 참석도 적극적으로 장려하여 학술대회 발표를 통해 개발한 연구결과를 외부 사람들과 공유하고 새로운 연구정보를 교환하도록 하고 있으며, 관련 분야의 저명 과학자나 우수 연구자들을 초청하거나 직접 방문하여 융합연구의 기틀을 단단히 하였다. 이러한 일련의 과정을 오랫동안 지속하다 보니 연구를 진행하는 속도도 점차 빨라져 상대적으로 빠른 시간 내에 우수한 연구결과를 얻게 되었다.

즉 생체유체연구단은 서로 다른 학문분야를 전공한 학생 및 연구원들로 구성하고 이들 사이의 활발한 의사소통과 두려움 없이 새로운 연구분야에 접근하는 도전정신으로 주어진 인적·물적 인프라를 최대한 활용하는 방식으로 연구를 수행해왔다. 그리고 주어진 문제를 진단하고 그 원인을 분석하여 해결 방안을 찾아내는 일련의 과정을 연구단 내부에서 자체적으로 진행하여 우수한 연구결과를 신속하게 얻을 수 있었다.

이처럼 융합연구에 필요한 연구기반이 구축됨에 따라 미지의 생체유동현상을 제대로 밝혀내고 이러한 이해에 기반하여 Bio-chip이나 미세유동장치(microfluidics) 등과 같은 생체모방 기술들을 개발해오고 있다.

순환기질환의 진단과 치료를 위한 장치개발

모든 생명체는 신진대사에 필요한 생체물질을 이송하는 순환시스템을 갖추고 있으며, 생체물질의 순환, 즉 생체유동현상을 통해 생명을 유지하게 된다. 따라서 생명유지의 원천인 혈액과 같은 생체물질의 흐름이 원활해야 건강한 생활



점탄성유체 내부를 흐르는 입자의 크기와 유량변화에 따른 이동현상

콜라겐 필름을 이용한 혈관 내피세포의 3차원 형상 변화연구

을 영위할 수 있다. 이렇게 생체유동현상은 생존과 직결되기 때문에 이를 정확하게 이해함으로써 순환기질환을 다스리는 실마리를 풀 수 있다.

순환기질환은 선진국의 경우 사망률 1위이며, 우리나라에서도 순환기질환을 겪는 환자가 크게 늘어나는 추세에 있어 이 분야 연구에 대한 기대치와 관심이 대단히 높다. 따라서 순환기질환의 진단 및 발병기전을 규명하는 연구는 수명 연장과 삶의 질을 향상시키고, 보건관리 비용을 크게 낮출 수 있어 사회경제적 또는 과학기술적으로 매우 중요하다.

이상준 교수가 순환기질환 연구에 열정을 다하는 것은 연구의 중요성뿐만 아니라 이 교수 개인적인 경험에도 기인한다. 부친과 조부께서 뇌혈관 질환으로 돌아가셨고, 같은 과 선배 교수 두 분이 관상동맥 폐색으로 수술 중 돌아가시는 아픔을 겪었기에 순환기질환 연구에 남다른 관심을 가지게 되었다. 이에 따라 이 교수는 순환기질환의 진단을 위한 혈류역학적 및 혈유변학적 특성에 관한 다양한 연구를 수행하고 있다. 순환기질환을 혈류역학적 관점에서 접근하는 것이 심혈관계 질환의 조기진단과 치료에 필수적이다.

“혈액은 일반 유체와 다르게 적혈구, 백혈구, 혈소판 등이 혈장과 함께 흘러가는 다상 유체이며 혈액 흐름을 X선 영상기법으로 측정하기 위해서는 혈구들



이 X선 영상에 어떻게 잡히는지를 우선 파악해야 합니다.”

이 교수는 혈액 샘플과 카메라 사이의 거리와 샘플의 두께에 따라 일정한 스펙클(speckle) 패턴이 형성됨을 확인하고 이를 통해 X선 영상기법을 이용하여 혈류의 속도장을 측정할 수 있는 최적의 실험조건을 파악하였다(참고문헌 1). 그러나 몸속에 위치한 혈관 내부를 흐르는 혈류의 속도를 적혈구에 의해 형성되는 스펙클 패턴만으로 측정하기가 쉽지 않다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 X선 영상용 조영제를 개발하였다(참고문헌 3). 또한 빠른 유체흐름을 보다 정확하게 측정하기 위해 고속 X선 영상기법과 분석기술을 지속적으로 개발해오고 있다.

“방사광가속기는 우리가 원할 때 항상 사용할 수 있는 시설이 아니므로 가시광선을 이용하여 혈액유동을 측정하고 생체유동현상을 이해하는 연구도 진행합니다.”

이 교수가 선행연구를 통해 개발하였던 첨단 유동가시화 기법들을 적극 활용하고자 현미경을 이용하여 미세 채널 내부 유동의 속도장을 측정할 수 있는 디지털 홀로그래피 기법과 마이크로 PIV 기술도 개발하였다.

홀로그래피 기법을 배우기 위해서 이 교수는 1996년에 미국의 Johns Hopkins 대학의 Joseph Katz 교수 연구실에서 1년간 방문교수로 연구하였다. 홀로그래피 기술은 광학에 대한 기초 지식과 관련 노하우를 익혀야 개발할 수 있으므로 십 년이라는 긴 시간이 소요되었으나, 끊임없이 노력한 덕분에 독자적인 Digital Holography Microscopy(DHM) 기법을 개발하였고, 세계에서 이 분야 연구를 선도하고 있다.

이렇게 힘들게 DHM 기법을 개발하고 나니 응용 가능한 분야가 다양하였다.

◆ DHM(Digital Holography Microscopy) 기법 현미경 기술을 과학적으로 개발하여 광학 기초 지식과 홀로그래피 기술을 이용한 현미경

우선 입자들의 3차원 위치 정보와 전체 속도장 정보를 획득할 수 있다는 장점을 이용하여 미세 채널 내부 유동의 3차원 속도장 정보를 정확하게 해석하였다.

또한 이상준 교수는 DHM 기술을 이용하여 세포의 동적 거동을 관찰할 수 있다면, 당뇨나 말라리아와 같은 혈구성 질환 연구에 크게 도움이 될 것이라는 확신을 갖고 세포의 3차원 형상 변화를 실시간으로 측정할 수 있는 위상차(Phase Contrast) 홀로그래프 현미경(PCHM)기술을 개발하였다. 수많은 시행착오와 다른 전문가들의 조언을 구하여 개발한 이 PCHM 기술을 이용하면 적혈구나 혈관 내 피세포의 동적거동과 3차원 형상 변화를 실시간으로 정확하게 측정할 수 있다.

이상준 교수는 유정관을 이용하여 대표적인 심혈관계 질환인 동맥경화증과 관련된 협착(stenosis) 부위의 혈류역학적 특성도 연구하였다. 이를 통해 순환기 질환을 보다 잘 이해하게 되었고, 협착에 대한 연구를 다양한 실험조건에서 체계적으로 수행하게 되었다. 그리고 혈소판 응집체는 혈전 생성과 매우 밀접하게 관련되어 있으므로, 협착 부위 후방에 생성되는 와류의 크기를 억제하여 순환기질환을 예방하고자 협착 부위 후방에 형성된 와류의 크기를 줄이는 연구를 진행하였다.

최근에는 스월(swirl) 유동이 협착 주변 유체흐름에 미치는 영향을 연구하고 이러한 유동을 이용하여 순환기질환을 치료할 수 있는 장치를 개발하고 있다. 또한 순환기질환과 연관된 것으로 알려진 혈액의 점도와 점탄성을 바로 측정할 수 있는 'H' 형상의 미세채널을 가진 바이오칩을 개발하여 특허로 출원하였다(참고문헌 4). 이러한 연구결과는 수년 내에 상용화 과정을 거칠 것으로 예상된다.

이 밖에 생쥐를 이용한 체외순환 질병모델을 개발하고, 다양한 측정기법을 적용하여 혈류역학 및 혈유변학적 특성을 정확하게 측정하는 연구를 진행하고

◆ 스월(swirl) 유동 회오리처럼 회전하면서 나아가는 유체의 흐름



있다. 그리고 다른 연구 기관과의 공동 연구로, 제주대의 팽동국 교수와 초음파를 이용한 계측기법 개발, 서울 아산병원과 MRI를 이용한 혈류역학적 연구 등과 같은 순환기질환의 진단기술 개발 연구를 진행하고 있다.

또한 경북의대 이종민 교수와 혈액유동 측정연구, 이대 부속병원의 홍영미 교수와 김관창 교수와는 폐동맥 고혈압이 혈관에 미치는 영향 연구, 보훈병원 김두상 박사와 복부 대동맥류에 대한 공동 연구를 진행하는 등 의대 소속 교수들과도 공동 연구를 수행하고 있다.

이러한 융합연구는 다양한 연구팀 사이의 협동심이 요구되기 때문에 FTP 서버를 활용하여 실시간으로 연구 성과를 공유하고 있으며, 필요에 따라서는 외부 연구기관에 일정 기간 파견하기도 하고, 연구팀끼리 정기적인 미팅을 통해 연구결과를 발표하고 토론하도록 하였다. 생체유체연구단에서는 그동안 특허 50여 건, 학술지 논문 400여 편을 게재하는 성과를 거두었으며, 개발한 연구 성과를 대외적으로 공유하기 위해 학술대회나 세미나 등을 통해 개발한 기술을 꾸준히 발표해오고 있다.

인류의 건강한 삶을 향한 과학자의 꿈

이상준 교수는 말라리아로 고통받는 사람들에게 희망을 주는 것 또한 과학자의 길이라고 생각했으며 그에 대한 연구를 시작한 바 있다. 그간의 연구로 이룩한 세계 최고 수준의 Bio-imaging 기술, 모기 연구를 통해 익힌 실험 노하우, 생명공학을 전공한 학생 및 연구원들의 전문성이 하나가 된다면 못할 것도 없다고 생각했다.

그는 말라리아 기생충의 이동 메커니즘을 밝히고 말라리아를 손쉽게 진단할 수 있는 방법을 연구하는 데 심혈을 기울였다. 그리고 결국 연구 과정 중에서의 수많은 조율과 시행착오를 거친 끝에 모기 침 내부를 이동하는 말라리아 병원균을 관찰하고, 말라리아에 감염된 쥐의 혈액 흐름을 정상 쥐의 혈류와 비교 분

석할 수 있었다.

또한 물체의 3차원 구조를 가시화할 수 있는 위상 홀로그래프 기법을 이용하여 말라리아에 감염된 적혈구의 구조적 변화를 분석하였다(참고문헌 5). 이러한 일련의 과정을 통해 말라리아의 진단 연구에 필요한 기초 자료를 얻게 되었으며, 이를 기반으로 말라리아를 보다 손쉽게 진단하기 위한 후속 연구를 수행하고 있다.

모기의 흡혈과정과 펌핑 기능을 생체모사한 미세펌프에 대한 성공적인 연구 성과에 자신감을 얻은 이 교수는 나비 역시 경이로운 기능을 갖추고 있음에 주목했다. 모기 연구를 통해 익힌 실험 노하우를 이용하여 나비의 침을 통해 액체가 이송되는 과정을 실시간으로 가시화하고 분석하여 흥미로운 유체역학적 특성을 밝혀내고, 새로운 개념의 유체기기를 개발하고 있다(참고문헌 6, 7). 이러한 연구는 유체 기기의 효율 향상과 함께 차세대 핵심기반기술로 발전할 수 있을



인류의 생존율과 연관이 있는 말라리아 문제 해결에 이바지할 수 있다면, 이보다 보람된 일은 없다는 생각에 본격적으로 연구를 시작했다.



것이다.

인간에게 필요한 생체모방기술들을 자연으로부터 도출해내는 이상준 교수의 융합연구는 언제나 새로운 분야에 도전하고 개척하면서 일궈온 것이다. 누구도 가지 않은 험한 길이지만, 그렇기에 더욱 보람된 일이라 말하는 이상준 교수. 보다 빠르고 정확하게 순환기질환을 진단하는 기술을 개발함으로써 인류의 건강한 삶에 이바지하고 싶은 이 교수의 꿈과 노력은 아직도 열정적으로 진행 중이다.

참고 문헌

1. Jung, S. Y., Ahn, S., Nam, K. H., Lee, J. P., Lee, S. J. In vivo measurements of blood flow in a rat using X-ray imaging technique. *Int. J. Cardiovasc. Imaging* 28, 1853-1858, (2012).
2. Kim, G. B., Lee, S. J. X-ray PIV measurements of blood flows without tracer particles. *Exp. Fluids* 41, 195-200, (2006).
3. Ahn, S., Jung, S. Y., Lee, J. P., Kim, H. K., Lee, S. J. Gold nanoparticle flow sensors designed for dynamic X-ray imaging in biofluids. *ACS Nano* 4, 3753-3762, (2010).
4. Kang, Y. J., Ryu, J., Lee, S. J. Label-free viscosity measurement of complex fluids using reversal flow switching manipulation in a microfluidic channel. *Biomicrofluidics* 7, 044106, (2013).
5. Seo, K. W., Ha, Y. R., Lee, S. J. Vertical focusing and cell ordering in a microchannel via viscoelasticity: Applications for cell monitoring using a digital holographic microscopy. *Appl. Phys. Lett.* 104, 213702(2014).
6. Lee, S. C., Kim, B. H., Lee, S. J. Experimental analysis of the liquid-feeding mechanism of the butterfly *Pieris rapae*. *J. Exp. Bot.* 217, 2013-2019 (2014).
7. Lee, S. J., Lee, S. C., Kim, B. H. Liquid-intake flow around the tip of butterfly proboscis. *J. Theo. Biol.* 348, 113-121(2014).

융합 포인트

협업을 통해 융합연구를 활성화하라

이상준 교수는 연구실을 구성하는 학생들은 물론 박사급 연구원들도 가급적 이 교수와 다른 전공을 가진 사람들로 구성하여 연구실 내에서 융합연구가 자체적으로 이루어지게 하였다. 융합연구를 수행하기 위해서는 서로를 믿고 의지할 수밖에 없는 조건이기도 했다. 결과적으로 각자 자기 분야에 대한 책임감이 강해졌고, 다른 학문분야에 대해 호기심과 관심을 가지고 융합연구자로서 성장하는 발판이 되었다.

연구 열정을 자극하는 소통의 시간을 가져라

생체유체연구단은 매주 정기적으로 열리는 랩미팅을 통해 수행중인 연구에 대한 심층적인 토론을 유도하고 배움에 대한 열정과 호기심을 자극했다. 또한 유사한 연구주제를 가진 학생과 연구원들을 4개의 연구그룹으로 나누고 같은 연구실에 배정하여 최신 연구동향을 함께 파악하고 학문적 교류를 활발히 하여 서로 시너지를 내도록 유도하고 있다. 또한 연구그룹별로 매월 한차례 정례 모임을 가지고, 연구원들 사이에 선의의 경쟁을 유도하고 있다. 이 결과로 학문적 깊이가 더해졌을 뿐만 아니라 서로에 대해 보다 자세히 알고 소통하는 기회가 되었다.



CHAPTER
5

김도경

KAIST 신소재공학과 교수

생체모방 경량 나노복합 에코소재, 산업제품의 무게를 줄여라

경량 고강도 구조 및 고온 내열 충격성을 갖는
나노복합 에코소재 기술개발



본 융합연구는 'Bio-inspired 경량 나노복합 에코소재 기술 탐구'를 과제로, 나노 수준의 생체모방을 통하여 새로운 개념의 경량 소재 및 기능 소재를 개발하고 있다. 이에 인하대학교, 한국세라믹기술원, KAIST, 국민대학교, 선문대학교, 성신여자대학교의 각 연구그룹들이 모여 '생체모방 경량 에코소재 융합연구단'이라는 팀을 만들고 연구를 수행 중에 있다.

융합연구단은 2009년 6개월간의 선행기획연구를 시작으로, 자연모사 아이디어 및 기술 융합을 통하여 한정된 목표로만 연구를 제한하지 않고 각 보유 기술들이 융합하여 얻어질 수 있는 모든 가능성에 염두를 두어 에너지, 환경, 구조재료 등의 다양한 응용분야로의 확장을 이루고 있다.

그 중 김도경 교수팀은 2010년부터 3년간의 1단계 계층적 다공성 구조체 제조 기술연구를 마치고 그 가치를 인정받아, 2단계로 1단계의 구조체를 바탕으로 한 세라믹/금속 경량 구조 복합체 제조 및 응용분야 연구를 목표로 수행해왔다.

협력, 융합연구의 첫 번째 성과

융합연구단의 결음은 쉽지 않았다. 몸집이 커다란 형태의 융합연구단을 이끌어가는 일은 결코 간단한 일이 아니었다. 특히 융합연구단의 단장인 김형순 교수는 더욱 고민이 많았다. 연구그룹이 많다 보니 융합과제를 한데 모으는 것도 어려웠기 때문에 융합연구단은 출발부터 어려운 여정을 시작해야만 했다.

'연구과제 도출부터 이렇게 힘들다니……. 각각의 연구팀이 진행해오던 연구주제를 내놓다 보니 진정한 의미의 융합연구라고 하기엔 목적성이 많이 부족해.'

김도경 교수 역시 융합연구단을 어떻게 하나의 융합과제로 묶어 이끌어갈 것인지 걱정이 이만저만 아니었다. 이번 융합연구 아이디어 도출에 있어 그 역시 커다란 축을 이루고 있기 때문에 누구 못지않게 책임감이 들었다.

처음 아이디어를 낼 때만해도 김도경 교수 또한 이렇게 큰 융합연구의 규모가 탄생되리라고는 짐작조차 못했었다. 굳이 생각할 것도 없이 시작은 의외로 단순했기 때문이다.

2007년, 당시 김도경 교수는 방문교수 자격으로 연구원가 차 1년간 미국 U.C. Berkeley에 머무른 적이 있었다. 그는 R.O. Ritchie 교수 그룹에서 연구 중이던 뼈 대체재(Bone Replacement)용 재료 및 그의 파괴 현상 연구를 지켜볼 기회가 있었는데, 그때 문득 이런 아이디어가 떠오른 것이다.

'자연의 뼈처럼 가벼우면서 높은 강도와 인성을 가진 소재라면 단단하고 가벼운 제품을 만들 수 있겠는걸. 언제 한번 뼈를 모방해서 가볍고도 단단한 에코소재를 만들어봐야겠는 걸!'

그때의 결심이 지금의 융합연구단과 함께 하게 된 계기였다.

융합연구단이라고 해봤자 사실 여러 분야의 연구원들이 모였을 뿐이지 확실히 융합연구 형태를 갖췄다고 말하기는 힘들었다. 융합연구의 의미는 그룹별로 하나의 목적성을 가진 통합적인 연구과제가 이루어져야 하는데, 그런 면에서



부족한 상태라 아쉬움이 컸다.

“파이오니어사업에 어울리려면 조금 더 목적성이 분명하고 융합연구의 뜻이 잘 이뤄진 기획이 필요합니다!”

김도경 교수는 무엇보다 통합적이고 체계적인 기획이 연구보다 우선이란 생각이 들었다. 승리한 전투에는 뛰어난 전략과 전술이 있듯이, 연구도 마찬가지로 연구방향에 따라 전략과 목표를 세우는 것이 중요했다. 결국 융합연구단에 게 필요한 것은 선행 연구기획과 기술 개발에 대한 토론을 진행하는 일이었다.

“융합연구는 자신이 무엇을 연구하겠다는 중요한 것이 아닙니다. 어떤 동기로부터 융합연구가 시작됐는지, 그 첫 아이디어를 잘 다듬어 각자 자신에게 맞는 역할을 분담하는 것입니다.”

“우리 융합연구단의 존재이유는 경량 나노 복합 에코소재 개발입니다. 이 광범위한 주제를 일단 자동차 부품 소재개발로 제한하고, 그에 맞는 소재의 경량화 및 고효율화를 통한 에너지, 환경문제 해결을 주테마로 하는 것이 어떻겠습니까?”

회의는 연일 후끈거렸다. 연구진들 역시 기획단계의 중요성을 충분히 이해하고 있었다. 김도경 교수와 융합연구진들은 자신들이 가진 기술을 어떻게 융합할 것인지, 그 방법과 방향을 하나하나 설정해나가기 시작했다. 본격적인 연구를 하기 전에 확실히 목표를 정해놓으면 융합연구 진행 시에 생기는 혼선을 줄이는 장점이 있기 때문이었다.

“좋습니다. 이렇게 목적이 확실하니 융합연구에 대한 이해도 쉽고, 그룹별 연구과제 도출도 확실해지겠네요!”

장시간의 열띤 토론과 심사숙고 끝에 융합연구단의 연구과제는 마침내 그 윤곽이 잡혀가기 시작했다. 자동차 부품이 되는 소재를 가볍게 만드는 것을 하나의 목표로 하여 네 개의 그룹을 형성해 융합연구를 진행하기로 했다. 그리고 이 네 개의 그룹은 서로를 지지하고 보완하며 융합과제의 형태를 정하기로 했다.

“자동차 부품이 되는 소재를 가볍게 만드는 것을 하나의 목표로 하여 네 개의 그룹을 형성해 융합연구를 진행하기로 했다. 그리고 이 네 개의 그룹은 서로를 지지하고 보완하며 융합과제의 형태를 정하기로 했다.”

가령, 각 그룹이 보유한 기술에 대해 서로의 이해를 도우면서 연구방향에 맞도록 설계해나가고 이를 통해 시너지를 얻을 수 있는 방안에 중점을 두어 선행 연구를 조사하기로 했다. 이를 통해 현재의 기술현황을 파악해 앞으로 발전 가능한 기술에 대해 융합연구 원천기술 확보에 힘쓰기로 했다.

이렇게 차근차근 협의를 통해 서로의 생각을 정리해나가지 융합연구단의 연구과제는 어느덧 완성되어갔다. 김도경 교수는 새삼 팀워크의 효과에 놀라지 않을 수 없었다. 물과 기름처럼 잘 섞이지 않을 것 같았던 각각의 연구주제들이 마치 퍼즐이 맞춰지듯 제자리를 잡아갔다. 그리고 어느새 완벽한 융합연구의 형태를 띠고 있었다.

‘이것이야말로 융합연구의 진정한 성과다!’

그는 연구 시작도 전에 이미 팀워크라는 커다란 수확을 거둔 기분이었다. 융합연구단의 유대감이 높아지면서 김도경 교수도 팀에 누를 끼치고 싶지 않은 마음이 간절해졌다. 그래서 누구보다 자신의 임무에 최선을 다하여 연구에 임할 것을 단단히 결심했다.

‘생체모방 경량 에코소재 융합연구단’의 탄생

융합연구단이 완전한 형태를 갖춘 것을 보니 김도경 교수의 감회도 남달랐다. 그는 처음 융합연구단을 모집할 때만해도 이런 조화를 예측하지 못했다. 단



순히 자신과 같이 에너지와 환경문제에 관심이 있는 연구자들의 교류를 원했던 것이, 2009년 미래창조과학부의 바이오니아사업 공모를 알게 되면서 구체적으로 계획되기 시작했다. 김도경 교수가 생체의 뼈를 이용한 에코소재를 만들기로 결심한 순간부터 이미 주사위는 던져진 셈이었다.

나날이 에너지감소와 환경문제 등의 위기의식이 높아지면서 산업전반에서는 경량화 소재개발 연구가 한창이었다. 경량화 소재개발이 에너지, 환경문제 해결의 가장 현실적인 대안으로 떠오르고 있기 때문에 경량화 소재 연구는 근래 연구자들에게 요구되는 매우 중요한 과제 중 하나였다.

예컨대 자동차의 경우, 자동차 수가 증가하면 자연히 연료 소비량도 지속적으로 증가하고 이에 따른 자동차의 배기가스 배출량도 증가하게 된다. 그로인해 에너지 소비량뿐만 아니라 온실효과 등의 환경문제를 빠르게 진행시켜 전반적으로 규제나 감축이 불가피한 실정이다. 이러한 상황을 해결하기 위해 경량화 소재개발이 이루어지는 것이다. 만약 차의 무게가 10%만큼 감소하면 차의 연비는 6.8% 정도만큼 상승하게 된다. 자연히 에너지 효율도 높이고 배기가스 배출량의 감소 효과도 생긴다. 그러므로 차의 내·외장재, 유리소재 등의 경량화가 필요해진다.

따라서 김도경 교수의 아이디어는 사회적으로나 산업적으로도 도움을 줄 수 있는, 매우 매력적인 연구라 할 수 있었다. 이번 연구의 실현을 위해 김도경 교수는 그 어느 때보다 마음이 조급했다. 그는 서둘러 연구 파트너를 모집하기로 마음먹었다.

생체모사 경량 에코소재를 실현시키기 위해서는 세라믹 재료, 금속 재료, 고분자 재료 분야에 해박한 지식이 있는 연구원들과의 융합연구가 필요했다. 다행히 김도경 교수는 미국에 있을 당시 같은 Ritchie 교수 그룹 내에서 금속 폼 및 고온 파괴 거동을 연구했던 국민대의 최희만 교수를 만나 함께 연구팀을 이룰 수 있었다. 그리고 한국과학기술원(이하 KAIST) 내에서는 고분자 템플릿을



국내 각 분야의 여러 연구진들이 생체모방 경량소재 개발이라는 하나의 목표로 모이게 되었다.

연구하는 전석우 교수를 만났고, 유리 재료를 주로 연구하는 인하대 김형순 교수와 세라믹 재료 및 평가기법을 연구하는 한국세라믹기술원의 전문가들을 모아 융합기술 과제 공모를 하게 되었다. 그리하여 인하대 김형순 교수가 연구단의 단장으로 과제 주관을 맡게 되고 KAIST 소속의 김도경 교수를 포함한 네 개의 팀이 꾸러지게 된 것이다.

하지만 융합연구가 전문가들로 모였다 해서 술술 일이 잘 풀리는 것은 아니다. 이 융합연구단은 과제기획 초기단계에서부터 더 다양한 분야의 연구원에 대한 갈등을 겪어야 했다.

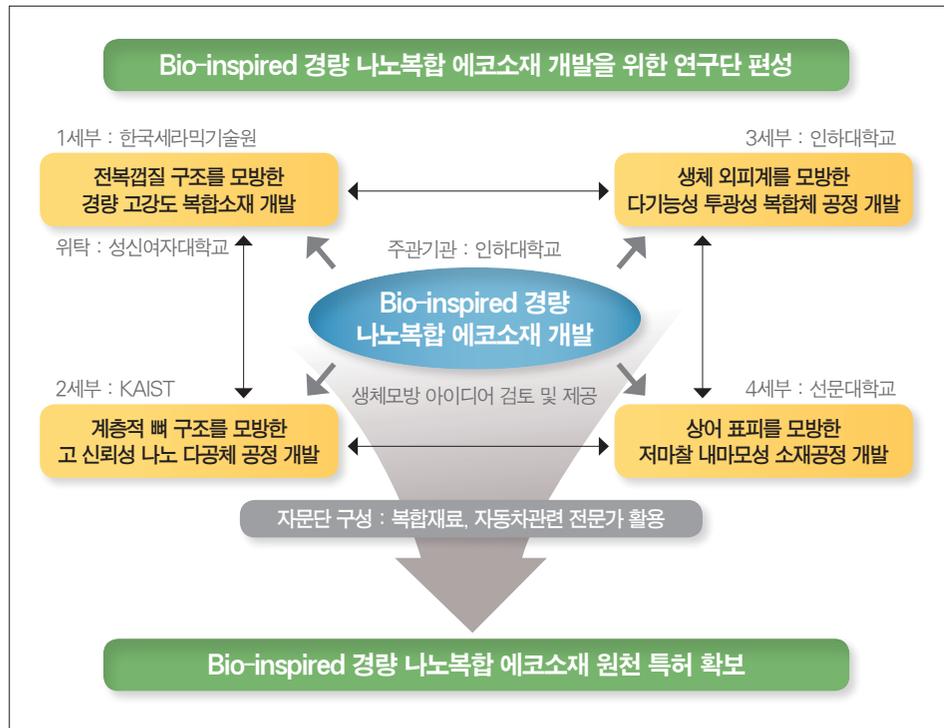
“우선 자동차의 경량화를 중점으로 한 신개념 생체모방 소재개발은 전복겹질 구조를 모방한 경량 구조체, 뼈를 모방한 다공체 및 복합체 제조, 생체 외피(피부: 가죽)를 모방한 투광성 복합체 제조, 상어 표피를 모방한 저마찰 내마모성 소재 공정개발로 과제가 정리되었습니다.”

“그런데……. 생체 해석을 담당할 수 있는 연구원도 필요하지 않을까요?”

생체모방을 통한 신개념 재료개발이라는 대략적인 아이디어만 갖고 연구 과제를 도출하다보니 재료 분야의 전문가들만 모여 있었다. 과제를 진행하기 위



〈표〉 생체모방 경량 에코소재 융합연구단 세부 편성 및 추진전략



해서는 생물 분야의 전문가도 절실히 필요로 했다. 연구단은 또다시 연구원 수 소문에 나설 수밖에 없었다.

다행히 생체 해석을 담당할 성신여대팀 등이 그들과 함께 뜻을 모으기로 약속했다. 그리하여 마침내 국내 각 재료 분야의 여러 연구진들이 생체모방 경량 소재 개발이라는 하나의 목표로 모이게 되었다.

“이제부터 우리는 각자 소속을 떠나 하나의 ‘생체모방 경량 에코소재 융합연구단’인 것입니다!”

인하대학교, 한국세라믹기술원, KAIST, 국민대학교, 선문대학교, 성신여자대학교 등 각 연구그룹이 한데 어우러진 것은 그야말로 진풍경이었다. 이 흔치 않은 융합연구는 김형순 교수의 책임 하에 파이오니어 미래유망 융합기술사업

의 일환으로 ‘Bio-inspired 경량 나노복합 에코소재 기술탐구’ 과제를 수행하게 된다.

이번 융합연구단에서 김도경 교수는 KAIST 전석우 교수와 국민대 최희만 교수와 함께 한 팀을 이뤄 전체 과제의 네 개 중 하나인 제2세부과제 책임을 맡았다. 제2세부과제에서는 김도경 교수 그룹에서 Ice-templating 방법을 이용한 다공성 세라믹 구조체 제조기술로 기존의 한계를 극복한 다공체를 제조한다. 최희만 교수 그룹과 공동연구를 통해 계층적 구조를 지니는 고온 경량 세라믹/금속 복합체 제조를 연구한다.

또한 전석우 교수 그룹은 근접장 나노 패터닝 기술로 다양한 형태의 3차원 나노 다공성 고분자 템플릿을 제조한다. 이를 세라믹 재료나 최희만 교수 그룹의 금속 도금기술로 금속 재료를 덧입혀 나노 수준의 기공 크기를 갖는 세라믹, 금속 다공성 구조체 제조를 연구한다. 최희만 교수도 두 연구실과의 공동연구와 함께 다공성 금속 폼 연구를 통한 경량 구조체 및 복합체 제조 연구를 수행하기로 했다.

이러한 기획단계를 거친 후 김도경 교수는 본격적인 연구에 돌입할 수 있었다. 그때까지 6개월이라는 적지 않은 시간이 흐른 뒤였지만 김도경 교수는 이 시간이 전혀 아깝지 않았다. 이미 그는 소통의 과정 속에서 ‘융합’이라는 연구의 참 기쁨을 발견할 수 있었기 때문이다.

- ◆ **Ice-templating 공정** Freeze-casting 공정 또는 동결 주조법이라고도 하며, 세라믹 혹은 금속 원료 분말을 물과 같은 액체에 섞어 이를 한쪽방향으로 냉각시켜 얼리면 냉각방향으로 성장하는 얼음 결정과 원료 분말의 분리가 일어나고, 이때 얼음을 승화시키면 얼음 결정자리만 비어있는 독특한 기공 구조를 제조할 수 있는 방법이다.
- ◆ **근접장 나노 패터닝(Proximity Field Nano Patterning)** 근접장 나노 패터닝 기술은 기존 반도체 제조 공정과 유사한 공정으로, 일정한 단차와 주기를 가지는 투명한 위상마스크를 이용하여, 한 번의 노광을 통해 3차원 나노 구조체를 제작하는 기술로, 보통의 3차원 나노 구조체 제작 기술은 수백나노 수준의 나노입자를 쌓거나, 레이저로 직접 그리는 방법으로 긴 공정 시간, 복잡한 공정, 좁은 제작 면적 등의 문제가 있는 반면, 대면적에 수 초 내로 3차원 나노 구조체를 제작할 수 있는 장점을 가지고 있다.



불편해소를 위한 신속한 대응, 융합연구 환경조성에 기여

융합연구는 기획대로 잘 흘러갔다. 김도경 교수가 속한 제2세부과제 연구팀도 별다른 장애물 없이 수월하게 연구를 진행할 수 있었다. 그룹연구자들 간의 보이지 않는 배려가 있어 가능한 일이었다.

제2세부과제는 다른 세부과제들과 달리 한 가지 차별화된 특징을 가지고 있었다. 그것은 김도경 교수팀과 전석우 교수팀, 최희만 교수팀으로 세 그룹이 혼합된 형태로, 융합연구단 내의 또 작은 융합연구팀이라는 점이였다. 그래서 김도경 교수는 각기 다른 세 연구팀과도 조화를 이뤄야 하는 또 하나의 숙제를 가지고 있었다.

‘세라믹, 금속, 고분자 재료의 연구 조화를 어떻게 이뤄가야 할까?’

다공성 구조체 및 복합체 제조라는 목표를 가지고 각기 다른 세 연구팀의 조화를 이루는 것은 말처럼 쉽지 않았다. 서로 생소한 분야다 보니 각자의 기술 이해도 필요했고, 그룹 간의 물리적인 거리 역시 융합연구의 장벽이 되었다. 세미나를 통해 각 기술 간의 융합방안을 고민해야 되는 시점에서 누군가 장거리를 오고가야 하는 희생이 반드시 필요했다.

“두 교수님께서 KAIST에 있으니 제가 대전으로 내려가겠습니다.”

최희만 교수팀은 김도경 교수팀과 전석우 교수팀을 위해 기꺼이 KAIST로 오는 수고로움을 자청했다. 만약 일정이 바빠 교수진의 참석이 어려운 경우에는 과제 참여 대학원생만으로도 회의를 계속하도록 진행했다. 그의 이러한 배려 덕분에 제2세부과제 연구팀은 지속적인 세미나를 이어갈 수 있었다.

김도경 교수는 정기적인 미팅뿐만 아니라 그룹 간(김도경-전석우, 전석우-최희만, 최희만-김도경) 연계되는 공동 목표 및 실험 진행을 위해서는 각자의 연구실로 방문하여 회의와 기술 교류가 계속되도록 했다. 뿐만 아니라 생체모방 경량 에코소재 융합연구단 전체 연구그룹과도 정기적인 워크숍을 개최해 친밀도를 높일 기회를 많이 만들었다. 비교적 잦은 교류와 친목도모 덕분에 융합연구단



최희만 교수팀은 김도경 교수팀과 전석우 교수팀을 위해 기꺼이 KAIST로 오는 수고로움을 자청했다.

은 어느새 스스럼없이 대하는 사이가 되었고, 다른 분야의 연구 이해도도 자연스럽게 높아지면서 효율적인 연구진행을 할 수 있었다. 김도경 교수는 이 점 역시 융합연구의 또 하나의 수확이라 생각했다.

‘융합연구 그룹 간의 교류로 인해 학생 개개인 역시 다른 분야의 네트워킹을 확보할 수 있게 됐어. 이것은 앞으로 그들의 연구에 중요한 자양분이 되어 줄 것이다.’

그는 이번 프로젝트가 학생들에게도 좋은 경험과 영향을 주리라 확신했다. 그렇기 때문에 연구교류 이외의 행정적인 부분에서도 모범이 될 수 있도록 각별히 신경 썼다.

처음에는 연간 배정되는 과제비를 일정 비율로 나눠 세 연구실에 고루 배분하고, 각자 지출되는 연구비 집행은 과제 책임자인 김도경 교수가 맡아 직접 처리하기로 했다. 그런데 여기서 사소한 잡음들이 생겨나기 시작했다.

“여기 최 교수님 연구실인데, 저번에 신청한 재료비는 언제쯤 처리되는 건가



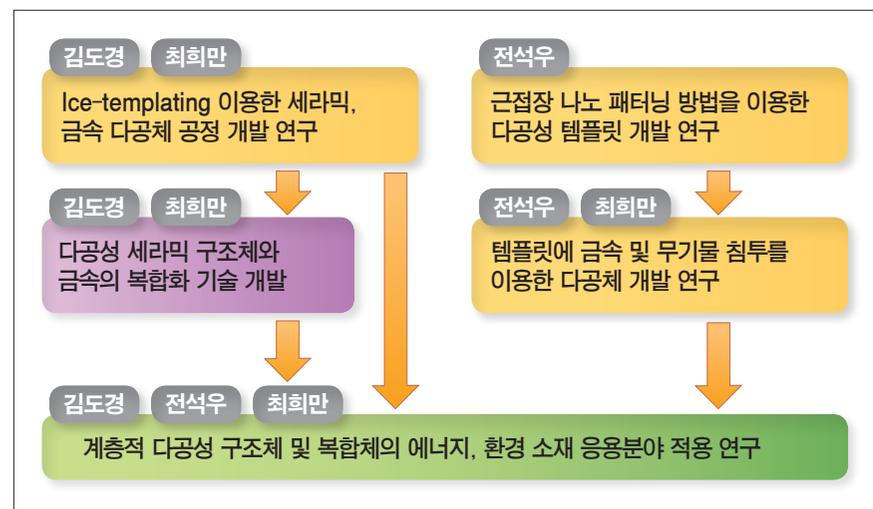
요?”

“네? 죄송하지만 저희에게 요청한 재료비 증빙서류가 없습니다. 아무래도 누락된 것 같은데요.”

김도경 교수와 지역이 다른 최희만 교수팀의 경우 가끔 계산서나 회의록 등의 증빙서류들이 누락되는 일이 발생했고, 연락을 놓쳐 비용처리 기간이 늦어지는 일들이 벌어졌다. 그도 그럴 수밖에 없는 것이 매년 김도경 교수 연구실로 비용처리 서류를 전달해야 하는 번거로움이 있었고, 회의비 사용이나 출장 방식 같은 경우 학교마다 처리기준이 달라 연구비 사용에 혼선을 빚기도 했다.

특히, 각자 배분된 연구비 한도를 고려해 사용해야 하는데 중간 중간 연구비 변경도 있고 기안을 각자 올리거나 몰아서 증빙서류를 보내는 바람에 정확한 연구비 사용현황 파악도 어려웠다. 그 결과 한쪽이 초과해서 사용되어 다른 한쪽은 못쓰게 되는 일도 일어났다. 이로 인해 연구그룹 간의 미묘한 신경전이 벌어져 돈독했던 조직력에 위기감마저 감돌게 되었다. 이는 하루빨리 해결하지 않으면 안 될 긴급한 사안이었다.

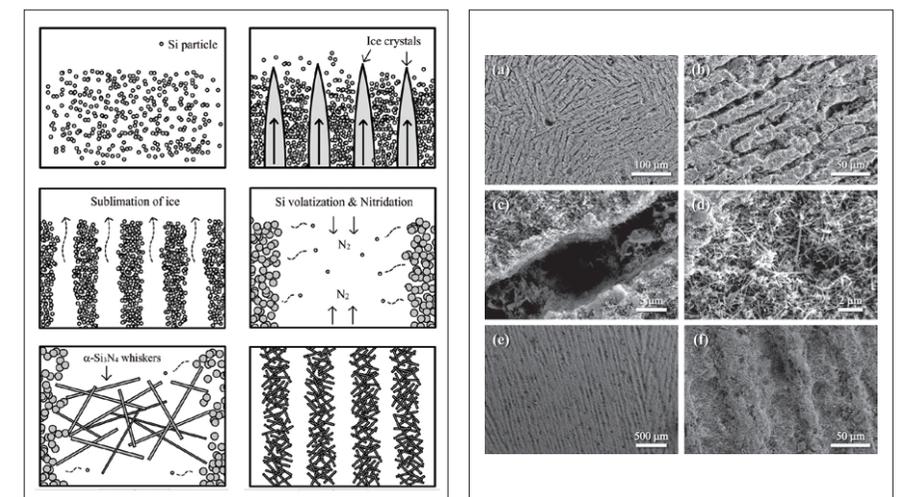
〈표〉 김도경 교수 연구팀 융합연구 추진 전략



‘물리적인 거리를 해소하고 바로 바로 확인할 수 있는 시스템이 필요한데…….’

김도경 교수는 고민을 거듭했다. 어디서나 빠르고 신속하게 내용 전달이 가능한 방법은 인터넷을 활용하는 것뿐이었다. 그러나 어떤 서비스를 이용하느냐가 중요했다. 보안이 확실히 되면서 문서 공유가 가능한 인터넷 서비스가 필요했다. 그는 고심 끝에 Google의 서비스 중 하나인 Google Docs의 문서 공유 기능을 선택하고, 연구비 예산집행내역 양식을 스프레드시트로 작성하여 통일성을 주었다. 그리하여 연구실에서 지출된 연구비가 있는 경우 간편하게 내역을 올려 각 연구실이 사용할 수 있는 예산과 지출내역, 연구비 변경내역 등 연구비 현황을 즉각적으로 확인할 수 있게 하였다.

이렇게 행정적 시스템을 재정비하자 효과는 신속하게 나타났다. 그동안 겪었던 연구비 문제가 해소되면서 균형 있고 효율적인 행정업무가 이루어졌고, 연구팀 내의 불필요한 신경전이 사라져 다시 연구에만 전념할 수 있는 환경이 만들어졌다. 덕분에 김도경 교수도 조마조마했던 연구팀 간의 눈치싸움에서 벗어나 한시름 놓을 수 있었다.



Ice-templating 방법을 이용한 다공성 질화규소 구조체 제조 방법 및 미세구조



이후 탄탄한 행정기반을 바탕으로 안정된 융합연구는 급물살을 타기 시작했다. 서로 활발히 교류하며 열띤 융합연구를 수행하던 김도경 교수 연구팀에게 드디어 연구 성과들이 하나둘씩 열매를 맺고 있었다.

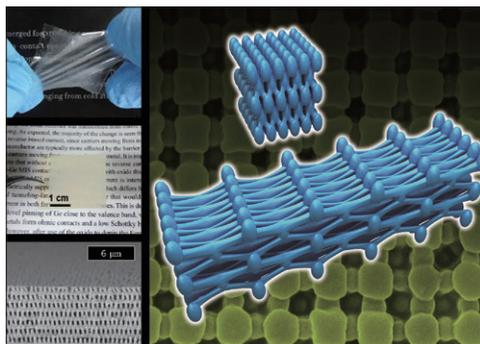
넓은 시야의 기술융합, 다양한 가능성을 열다

‘계층적인 기공 구조를 지닌 다공성 세라믹 필터소재 개발, 특허 출원 및 등록 완료.’

‘세계 최고 수준의 유연한 초신축성 전극소재 개발, 특허 등록 완료.’

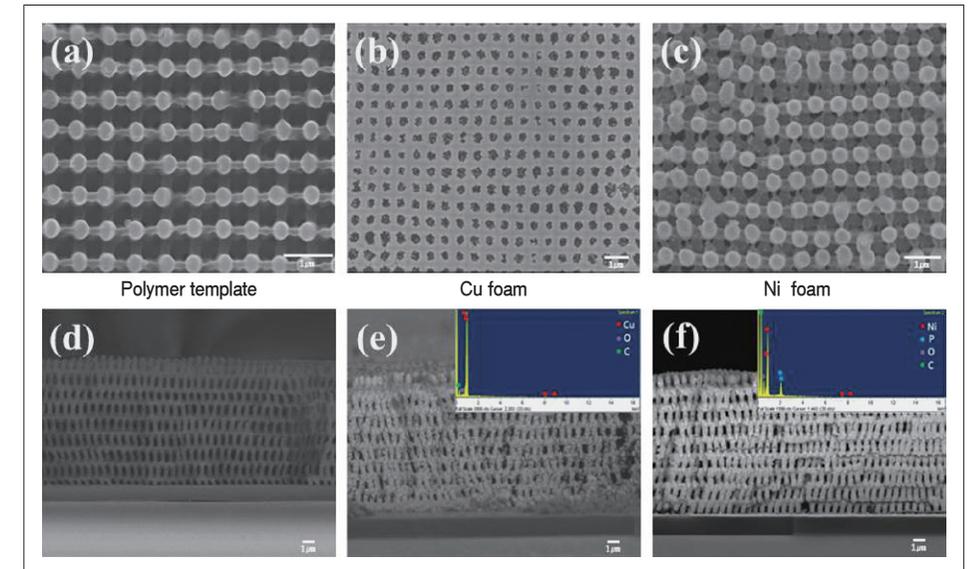
2010년 융합연구를 시작하고 3년 동안 김도경 교수 연구팀의 성과는 연이어 쏟아졌다. 처음 계층적 기공 구조를 지닌 향상된 고온 필터소재를 개발하여 특허를 등록한 데 이어, 전석우 교수와 김도경 교수의 융합연구에서 미국 노스웨스턴대학과 일리노이대학 연구팀 간의 기술 교류를 통해 얻은 신축성이 있는 유연 전극 개발에도 성공했다.

“우리의 신축성 전극소재는 기존 유연 전극소자에 변형을 줄 때 나타나는 신축 한계와 전도성 상실의 한계를 극복하여 근 미래에 전자책과 유연 디스플레이, 입을 수 있는 컴퓨터 등 다양한 응용분야에서 차세대 전자소자에 크게 기여할 것으로 전망하고 있습니다.”



고분자 템플릿을 이용한 초 신축성 전극소재

김도경 교수팀의 이번 연구는 해외 저명 학술지인 <Nature Communications>에 발표될 정도로 완성도 높은 연구결과였다. 또한 2011년~2012년 KAIST 대표연구 우수성과 10선에 선정되어 수상하면서 그 가치를 다시 한 번 인정받기도 했다. 이로써 김도경 교수팀은 1단계



고분자 템플릿과 무전해 도금을 이용한 다공성 금속 미세구조

연구를 성공적으로 마칠 수 있었다.

이제 연구는 2단계로 진입하여 최근에는 전석우 교수 그룹의 3차원 나노 다공체 고분자 템플릿에 최희만 교수 그룹의 무전해도금기술을 융합한 ‘차세대 전지 재료로 이용될 3차원 나노 다공체 음극 소재개발’로 이어지고 있다. 3차원 나노 기공 전극소재는 기존의 이차전지의 단점을 극복하고 전해액과 전자 이동에 유리하도록 연구하여 향상된 전지효율을 기대할 수 있게끔 한다.

이와 같은 우수한 성과로 김도경 교수 연구팀은 미국특허 출원과 함께 해외 학술지 <Materials Letters>에 게재되는 기쁨을 누렸고, 이밖에도 SCI 논문 8건 및 국내 특허 12건, 국외 특허 3건이라는 융합연구 성과를 달성할 수 있었다. 그

◆ 무전해도금(Electroless Plating) 보통의 도금 방식이 전류를 흘려보내 용액 내의 금속이온에 전자의 이동을 주어 대상 표면에 금속을 부착시키는 방식인 반면, 외부로부터 전류 공급 없이 금속 이온을 화학적인 환원방법을 통하여 대상 표면 위에 금속을 석출시키는 방법이다.



야말로 모두가 주목할 만한 활약상이었다. 이처럼 김도경 교수팀을 포함한 융합연구단이 성공적인 연구를 수행할 수 있었던 것은 남다른 전략이 숨어있었기 때문에 가능했다.

“아무래도 연구주체가 대학교이다 보니 자칫 잘못하면 현실성 없는 연구결과를 도출할 수도 있지 않을까요?”

“저 역시 그 점이 염려스럽습니다.”

김도경 교수를 비롯해 두 명의 교수 모두 자신들의 연구가 그저 대학중심의 과제 연구수행으로 머무르게 될 것이 걱정스러웠다. 본 연구취지에 맞게 좀 더 현실적인 기술개발로 이어지도록 제도적 장치마련이 필요했다.

“그렇다면 관련 분야 연구소, 산업체의 도움을 받아 현실적인 기술평가와 자문을 구해보는 게 좋겠습니다. 연구 성과 또한 논문발표만으로 끝낼 것이 아니라 특허 등의 지적재산권 방면으로도 시야를 확보하는 것이 중요합니다.”

생체모방 경량 에코소재 융합연구단은 단순한 보고성의 수행연구를 탈피해 연구수행 역량을 강화하고자 노력했다. 과제수행과 관련된 다양한 분야의 외부 전문가들을 자문위원으로 초청하여 융합연구팀이 수행한 연구를 평가받도록 했다. 자동차부품연구원, 한국에너지기술연구원, (주)창성, (주)KCC, 현대자동차연구소, RIST(포항산업과학연구원), 한국재료연구소 등에서 R&D 컨설팅을 매년 2회 시행하여 연구단 내의 자체적인 평가 틀에서 벗어나 전문가 평가와 피드백을 통해 융합연구의 방향성을 유지하는 데 많은 도움을 받았다.

특히 이 융합연구가 원천특허 확보를 목표로 한 과제다 보니, 지적재산권도 염두에 두고 진행했다. 한국지식재산전략원의 IP-R&D 사업 등과 연계하여 융합연구로 도출할 기술들의 특허 자문과 함께 포트폴리오 작성을 병행하여 기술개발 방향 제시 및 특허확보에 대한 대비책을 설정하고 연구를 수행할 수 있었다.

이러한 일련의 과정을 통해서 김도경 교수 연구팀은 한정된 목표로만 연구



과제수행과 관련된 다양한 분야의 외부 전문가들을 자문위원으로 초청하여 융합연구팀이 수행한 연구를 평가받도록 했다.

를 제한하지 않았다. 각 그룹 간의 기술개발 연구에 충실하며 정기적인 회의 및 기술 교류, 연구실 탐방 및 실험을 통해 자체적으로 연구수행을 점검하고, 다양한 차원의 기술융합 아이디어를 도출하며 보완책 마련을 위한 유기적인 시간을 가졌다.

이렇게 기술 간의 융합 가능성을 항상 열어둔 것이 우수한 성과를 도출하는데 결정적 역할을 하게 된 것이다. 예를 들어 기존의 자동차용 경량 소재 개발을 진행하면서 한편으로는 추가적인 목표로 에너지, 환경소재 개발에도 힘을 쏟았다. 사실 세 그룹은 세라믹, 금속, 고분자 템플릿으로 다공성 소재를 연구하는 것 외에도 이차전지, 연료전지, 유연소자 등의 에너지 재료 분야에도 능통한 장점이 있었다. 이를 십분 활용하여 차세대 전기 자동차를 위한 이차전지 및 연료전지의 전극소자 개발 등의 목표를 추가적으로 설정했고, 현재 그 목적을 전부 달성하게 된 것이다.

결국 더 넓은 시야로 연구 범위를 넓혀 얻어진 시너지 효과인 셈이다. 각자



보유한 기술융합으로 얻어낼 수 있는 모든 가능성을 열어두었기에 응용분야로 확대됐고, 그에 따른 관련 특허 및 우수 논문 성과를 획득할 수 있었다.

무엇보다 가장 큰 성과는 환경과 에너지, 수송 등의 다양한 산업에서 요구하는 고강도, 고용점, 고성능, 장수명 경량 구조 소재뿐만 아니라 차세대 플렉서블 IT 소재 및 전극 소재로도 기술파급 효과가 매우 크다는 사실이다. 만약 이같은 독자적인 원천기술만 완성된다면 세계 최고의 기술강국으로 우리나라를 끌어 올리는 데 결정적인 역할을 하게 된다.

여기까지는 그저 빙산의 일각일 뿐이다. 지금의 융합연구 성과가 김도경 교수 연구팀의 과제수행 중 일부임을 염두에 둔다면, 생체모방 경량 에코소재 융합연구단이 이뤄낼 성과는 그야말로 상상 이상의 가치를 기대해볼 만하다.

융합 포인트

선행기획연구 및 사전 기술전략회의에 주력하라

김도경 교수팀은 철저한 기획단계를 거쳐 융합연구의 방향성을 확고히 하며 연구 성과를 얻는 데 성공했다. 서로 다른 분야의 연구그룹들이 함께 움직이는 공동연구에서는, 모두가 이해하는 정확하고 구체적인 목표설정이 확보되지 않으면 저마다 지엽적인 목표의 개별연구가 되기 쉽다. 따라서 김도경 교수처럼 초기 연구기획 단계부터 치밀하게 기술전략을 세우고 그 흐름에 잘 따라가는지 매순간 점검이 필요하다.

기술융합의 열린 사고관을 가져라

단순한 기술의 혼합(A+B=AB)이 되기보다는 기술의 융합(A+B=C)이 될 수 있도록 창의적인 아이디어가 필요하다. 김도경 교수 연구팀이 그랬듯 아이디어의 융합으로 전혀 다른 분야에 쓰일 수 있는 결과들을 창출하거나, 각각의 보유기술을 다양한 차원으로 생각하고 기술융합 가능성을 열어둔다면 얼마든지 목표 이외의 새로운 우수성과를 도출도 가능하게 된다.



융 합 연 구 수 행



PART
2

소통과 열린 사고를 바탕으로 한 연구 수행



이건재(한국과학기술원(KAIST) 신소재공학과 교수)

김완두(한국기계연구원 영년직연구원)

김은수(광운대학교 전자공학과 교수)

이두용(한국과학기술원(KAIST) 기계공학전공 교수)

정명애(한국전자통신연구원(ETRI) 책임연구원)

이건재

KAIST 신소재공학과 교수

배터리 필요 없는 인공심장박동기 시대 열다

자가발전형 심장박동기의 구현



본 융합연구는 이진재 KAIST 신소재공학과 교수 연구팀의 주도로 정보영 연세대학교 의과대학 교수(세브란스병원 심장내과) 연구팀과 함께 진행했다. 이진재 교수 연구팀은 2009년부터 유연한 압전 자가발전기 연구를 수행했으며, 2012년 정보영 교수 연구팀과 함께 ‘유연한 압전 자가발전기’를 이용한 ‘자가발전 인공심장박동기’의 구현을 목표로 융합연구팀을 구성했다. 2013년 이진재 교수 연구팀은 단결정 PMN-PT 압전 박막을 이용해 세계 최고 성능의 유연한 압전 자가발전기를 개발했다. 이어 2014년 완성된 압전 자가발전기에서 생성되는 전기에너지를 이용해 배터리를 충전하고 심장을 직접적으로 자극하는 동물 실험을 실시, 심장박동의 규칙화에 성공했다.

본 연구는 기존의 화석에너지를 대체할 친환경 에너지원으로 주목받는 신기술, 유연한 압전 자가발전기의 개발과 이 기술을 적용한 자가발전형 인공심장박동기의 개발이라는 성과를 거뒀다.

의학과 공학의 만남, 생명을 살리는 융합연구의 출발

2014년 7월 23일, 세계적 학술지 <어드밴스드 머티리얼즈>(Advanced Materials)는 한국과학기술원(이하 KAIST) 신소재공학과 이진재 교수 연구팀의 ‘자가발전형 인공심장박동기 구현’ 연구 논문을 표지로 소개했다. 이진재 교수를 비롯해 오랫동안 고생을 함께 해 온 연구팀에게는 충분히 격려가 될 만한 기쁜 소식이었다.

이 연구는 지난 2009년부터 이진재 교수 연구팀이 진행해 온 유연한 압전 자가발전기 연구로부터 시작되었다.

유연한 압전 자가발전기란 압력이나 구부러짐 등의 물리적 힘이 가해질 때 전기를 발생하는 물질인 압전 물질을 유연하게 만든 소형 전기발전기를 말한다. 최근 각광받고 있는 환경친화적 그린에너지 소자를 이용한 것으로써, 태양, 바람, 파도, 동물의 움직임 등의 자연에서 흔히 생성되는 진동, 기계적 에너지를 전기적 에너지로 전환하는 에너지 하베스트(harvest) 기술이 적용된 것이다.

이는 인체의 심장박동이나 걸음에 의한 진동으로 발생하는 역학에너지를 이용해 외부 에너지원이 제공되지 않는 상황에서도 미세한 누름이나 굽힘 등의 기계적인 힘으로부터 에너지를 수집할 수 있어, 2009년 <MIT 테크놀로지 리뷰>의 ‘세상을 놀라게 할 10대 기술’로 선정될 정도로 세계적인 관심을 받고 있는 신기술이다.

유연한 자가발전기를 구현하는 방법 중 하나로 강유전체의 압전 특성을 이용하는 기술이 있으며, 최근에는 이러한 기술을 플라스틱 기판에 구현해 내는 연구가 진행되고 있다. 이와 같은 유연한 기판을 이용해 스스로 전기를 생성하는 나노발전기를 제작하게 되면, 부드러운 신체 표면 위에 부착하거나, 심

◆ **유연한 압전 자가발전기** 압력이나 구부러짐의 물리적 힘이 가해질 때 전기를 발생하는 물질인 압전물질을 유연하게 만들어 소형 전기발전기로 제작한 것이다.



지어는 인체 내부에 넣어 언제 어디서나 전기를 생성할 수 있어 유비쿼터스(ubiquitous) 시대에 꼭 필요한 기술로 부각될 것으로 예상된다.

이건재 교수 연구팀은 이 기술을 생체 이식형 의료기기에 적용할 방법을 찾고 있었다. 그리고 이를 실현하기 위해서는 유연한 압전 자가발전기를 제작하는 신재생에너지, 소재, 공정기술 및 살아있는 심장의 인공적인 박동을 만들어 내는 의료기술을 유기적으로 융합하는 것이 필수적이었다.

하지만 전문 의료지식과 경험이 부족한 연구팀이 자체적으로 생체 의료기기에 자가발전기를 적용해 연구하는 것은 무척 어려운 일이었고, 연구는 그만큼 더디게 진행될 수밖에 없었다.

2010년 이진재 교수 연구팀이 개발한 유연한 압전세라믹 자가발전기는 최대 10V와 1 μ A를 생성하는 수준이었는데, 인체에 삽입된 인공심장박동기를 구동시킬 수 있는 기준, 즉 3V의 전압과 100 μ A의 전류량과는 큰 차이가 있었던 것이다.

결국 연구는 큰 진전을 보이지 못한 채 시간이 흘렀고, 2012년 이진재 교수는 연세대학교 세브란스병원 정보영 교수와 만남을 통해 새로운 돌파구를 찾게 되었다. 두 교수의 만남은 융합연구 과제를 기획하는 자리에서 이루어졌다.

“인공심장박동기의 가장 큰 문제가 바로 배터리예요. 배터리 수명이 짧아서 주기적으로 교체를 해야 하는데, 교체 시술로 인한 비용 부담과 의료사고 등의 문제가 발생할 수 있습니다.”

정보영 교수로부터 인공심장박동기의 문제점에 대한 얘기를 들으며 이진재

◆ **인공심장박동기** 심장은 우심방, 좌심방, 우심실, 좌심실로 이루어져 있는데, 이 중 우심방에 있는 동방결절이란 부분에서 자동적으로 전기 자극이 발생한다. 이렇게 발생된 전기 에너지가 심장 자극 전도계를 따라 심장 전체로 퍼지면 심장근육이 수축하여 박동하고 피를 온몸으로 흐르게 할 수 있다. 이때 동방결절에서 전기 자극을 잘 만들지 못하거나 전기가 잘 흐르지 못하면 심장이 원래 속도로 뛰지 못하게 된다. 심장박동기는 전기 자극본체와(회로 + 배터리), 전기 자극을 심장으로 전달하는 자극선으로 이루어져 있으며, 인위적인 전기 자극을 심장에 규칙적으로 가함으로써 심장의 박동을 정상화시킨다.

교수는 순간 귀가 번쩍 뜨였다.

“정 교수님, 만약에 저희가 연구하고 있는 유연한 압전 자가발전기를 환자 몸속에 이식해 스스로 전기를 생성할 수 있다면 인공심장박동기의 에너지 부족 문제를 해결하는 데 큰 도움이 될 수 있겠군요.”

이진재 교수가 조심스럽게 자신의 연구와 인공심장박동기의 연관성에 대한 얘기를 꺼내자, 정보영 교수의 표정이 금세 환하게 밝아졌다.

“그럼요. 특히 교체수술 중 출혈과 감염으로 생명에 직접적인 영향을 받는 환자들에게는 큰 도움이 될 겁니다.”

이진재 교수는 정보영 교수의 말에 고개를 끄덕이며, 자신이 진행 중인 연구에 대한 설명을 이어갔다.

“유연한 압전 자가발전기는 매우 얇고 가볍기 때문에 몸속에 이식하기 유리합니다. 또 장기의 움직임에 의해서 전기를 만들어 낼 수 있는 장점이 있어요. 그런데……, 아쉽게도 현재 우리 연구팀에서 제작한 자가발전기는 전기출력이



‘유연한 압전 자가발전기’를 이용한 ‘자기발전 인공심장박동기’의 구현이라는 구체적인 연구 목표를 위해 서로 굳게 손을 잡았다.



낮아서 의미 있는 결과를 보여주기는 힘들 것 같습니다.”

이건재 교수는 잠시 말을 멈추고 생각에 잠겼다. 하지만 곧 확신에 찬 목소리로 답했다.

“지금부터 더 고민해서 자가발전기의 전기 발전량을 획기적으로 늘려보겠습니다.”

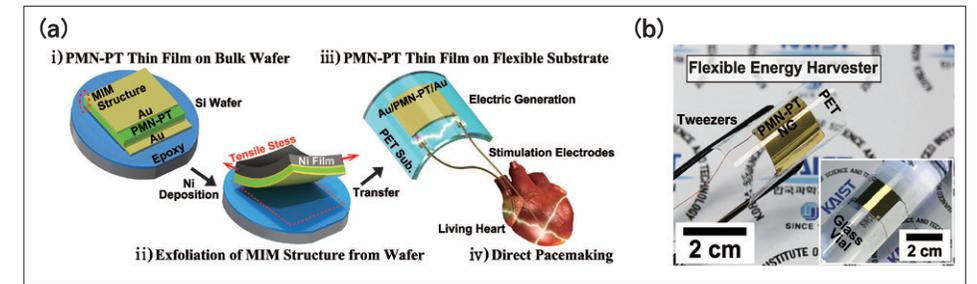
‘유연한 압전 자가발전기 연구가 인공심장박동기의 수명 연장에 비전을 제시하고 생명을 살리는 방법이 될 수 있다’는 사실은 이건재 교수에게 무척 큰 의미로 다가왔다.

이건재 교수 연구팀은 지난 2012년 ‘국가지정연구실(NRL)’로 지정되었을 만큼, 국내 유연한 압전 발전기 분야에서 독보적인 연구 성과를 인정받고 있다. 정보영 교수 역시 국내 인공심장박동기 기술 분야 최고 전문가이다. 이 두 교수의 만남만으로도 공학과 의학의 융합연구에 대한 성공적인 결과를 기대하기 충분했고, 이건재 교수 연구팀과 정보영 교수 연구팀은 ‘유연한 압전 자가발전기’를 이용한 ‘자가발전 인공심장박동기’의 구현이라는 구체적인 연구 목표를 위해 서로 굳게 손을 잡았다.

협력과 신뢰의 시너지 효과, 세계 최고 유연한 배터리 개발

정보영 교수와 만남 후 이건재 교수는 자가발전 인공심장박동기의 구현이라는 구체적인 목표를 설정했고, 정보영 교수 연구팀과 긴밀한 논의를 해 나가면서 연구개발에 더욱 몰두했다.

당시 이건재 교수 연구팀의 최대 고민이자 당면한 목표는 바로 압전 자가발전기의 성능을 크게 향상시키는 것이었다. 이는 세계 최고 성능의 소자보다도 성능을 수십 배 높여야 한다는 것을 의미했다. 연구팀은 이 목표를 달성하기 위해 먼저, 압전 특성이 우수한 새로운 소재를 찾아내야 했고, 더불어 이를 구현할 기술을 동시에 개발해야만 했다. 때문에 ‘유연한 압전 자가발전기와 인공심



연구의 개략도와 완성된 유연한 압전나노발전기의 모습

장박동기의 융합’이라는 연구의 밑그림은 그렸지만, 압전 자가발전기의 성능이 충분하게 나올 때까지 인공심장박동기에 적용하는 단계의 연구는 진행될 수 없었다.

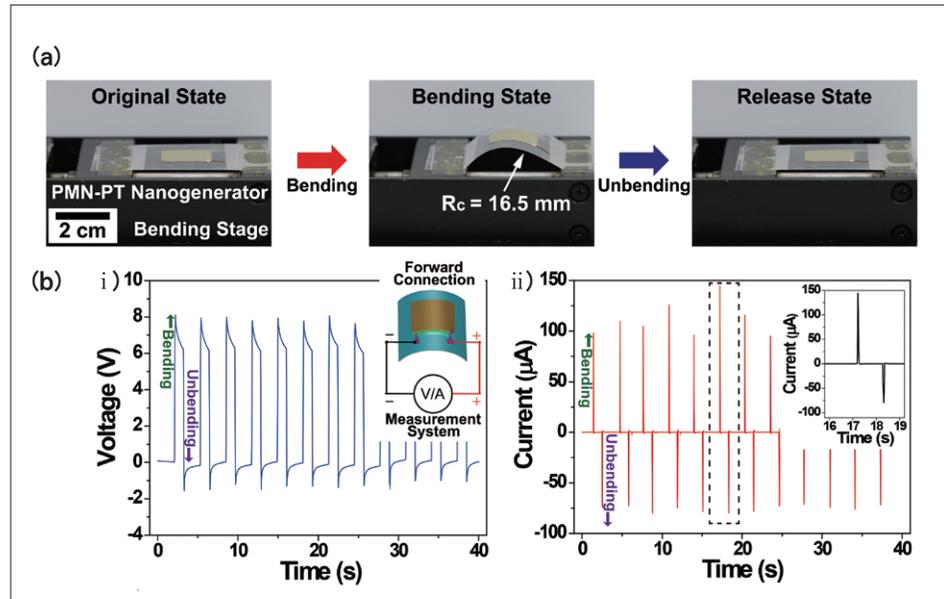
“정보영 교수님, 현재 수준으로도 심장박동기에 응용할 수 있는 방법을 찾을 수 있겠지만, 역시 전기 생성능력이 낮아 억지로 끼워 맞추는 모양새입니다. 유연한 압전 자가발전기를 응용하기 위해서는 시간이 좀 더 필요할 것 같습니다.”

이건재 교수는 언제나 솔직하게 연구 진행 상황을 논의했고, 정보영 교수는 기꺼이 인내의 시간을 공유했다.

두 연구팀은 문헌조사와 회의를 통해 실질적으로 유연한 압전 자가발전기의 성능이 어느 정도가 되어야 인공심장박동기에 적용이 가능할지 예측하는 데 집중했다. 정보영 교수는 이 과정에서 “일반적으로 동물의 심장을 자극해 인공적인 심장박동을 만들기 위해서는 수 μJ 의 전기에너지가 필요하며, 유연한 자가발전기를 실제로 동물실험에 이용하기 위해서는 최소 1.3 μJ 의 에너지를 발생할 수 있어야 한다”는 전문적인 조언을 주며 협력을 아끼지 않았다.

두 연구팀의 기대와 열정의 시간이 바쁘게 흘러 2013년이 되었고, 이건재 교수 연구팀의 고효율 압전 물질을 찾기 위한 노력에 드디어 성과가 나타났다.

그동안 다양한 소재를 대상으로 조사와 실험을 거친 결과 압전 성능이 매우 우수한 단결정 PMN-PT 압전 박막을 찾아낸 것이다. 하지만 이 소재를 다시 플



(a) : 유연한 압전 자가발전기를 굽힘기계를 이용해 구부리는 모습

(b) : 유연한 압전 자가발전기에서 출력되는 전압과 전류의 크기

라스틱 기판에 구현하기 위해서는 PMN-PT 압전 박막을 딱딱한 기판에서 박리해야만 했다. 생체에 삽입이 되어 미세한 근육의 움직임에서 전기에너지를 수집할 수 있을 정도로 얇고 우수한 성능을 유지하기 위해서는 최소한 수 마이크로급의 얇은 필름 형태가 필요했다.

연구팀은 고민을 거듭한 끝에 반도체 공정기술 중 하나인 ‘니켈박리법’을 도입했다. 니켈의 인장력을 이용한 기술의 적용은 성공적이었다. 연구팀은 단결정 PMN-PT 압전 박막을 웨이퍼에서 박리해냈고, 이를 다시 플라스틱 소재의 기판에 부착해 최고 성능의 ‘유연한 압전 자가발전기’를 제작하는 데 성공했다.

그리고 이제 마지막 단계, 바로 제작한 압전 자가발전기가 인공심장박동기

◆ 단결정 PMN-PT 압전 박막 현존하는 최고효율의 압전물질로, 결정이 규칙적으로 배열된 수 μm 두께의 Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3}) - PbTiO₃ 막을 뜻한다.

에 적용될 수 있을 정도의 충분한 전기에너지를 생성할 수 있는지 확인하는 과정이 남았다. 연구팀은 굽힘 기계를 이용해 압전 자가발전기를 인공적으로 굽히고 구부리는 실험을 시작했다.

“와, 최고 8.2V의 전압에 145μA의 전류가 출력되는데요?”

결과는 매우 고무적이었다. 인체에 삽입된 인공심장박동기의 동작을 위해 필요한 3V의 전압과 100μA의 전류 기준을 충족할 수 있는 결과였다.

“이번에는 기계 말고 손으로 약하게 쳤을 때 어느 정도의 전기에너지가 만들어지는지 한 번 볼까?”

이건재 교수의 제안에 따라 연구팀은 압전 자가발전기를 손가락으로 톡톡 건드리며 생성되는 전기에너지를 측정했다. 결과는 놀라웠다. 최고 0.22mA의 전류가 출력되었는데 이는 현존하는 유연한 압전 자가발전기 중 가장 높은 전류 값이다. 우수한 압전 특성을 가진 단결정 PMN-PT를 넓은 면적의 박막구조로 제작한 연구팀의 선택이 빛을 발하는 순간이었다.

새로 개발한 유연한 압전 자가발전기는 8.2V의 전압과 0.22mA의 전류 출력이 가능한 만큼 인공심장박동기에 적용은 물론, 응용 범위가 훨씬 넓어 기존의 자가발전기와는 큰 차이가 있었다. 이건재 교수는 이 소식을 바로 정보영 교수에게 알렸다.

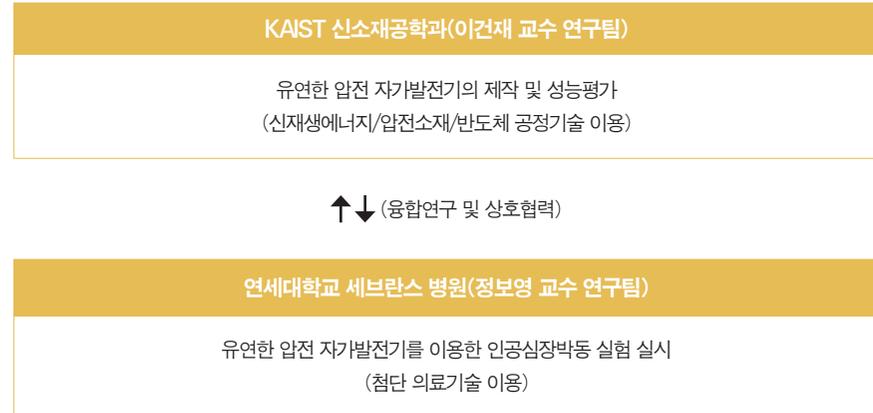
“교수님, 저희 연구팀에서 기존 자가발전기보다 전기 생성능력이 획기적으로 향상된 유연한 압전 자가발전기를 개발하는 데 성공했습니다. 이제는 생체 의료기기 쪽에 이 자가발전기를 적용할 수 있을 것 같습니다.”

1년여 기간의 기다림 끝에 이룬 성과였기에 정보영 교수의 기쁨도 무척 컸다. 정보영 교수는 이건재 교수에게 인공심장박동기에 유연한 압전 자가발전기를 직접 응용할 수 있는 새로운 의견을 제시했다.

“유연한 압전 자가발전기에서 생성되는 전기에너지로 심장을 직접 자극해서 인공적인 심장 박동을 만들면 어떨까요? 자가발전기의 성능만 충족된다면 가



〈표〉 융합연구팀 내 역할체계



능하지 않을까요?”

정보영 교수의 제안은 이진재 교수의 생각과도 일치했다.

“만약에 살아있는 심장을 유연한 압전 자가발전기를 이용해 자극할 수 있다면 초기의 실험결과로만으로도 인공심장박동기의 수명 연장에 큰 비전을 제시할 수 있을 것 같습니다. 정 교수님, 융합을 위한 협력연구를 바로 진행해 봅시다.”

유연한 압전 자가발전기의 성능을 향상시키기 위해 많은 시간이 걸렸지만, 자가발전형 인공심장박동기의 구현에 대한 융합연구팀의 의지는 그 어느 때보다 강했다.

자가발전형 인공심장박동기술 구현을 위한 융합연구는 이진재 교수팀의 주도로 이루어졌다. 유연한 압전 자가발전기를 의료분야에 사용하려는 커다란 밑그림은 이진재 교수의 구상에서 출발되었고, 이를 실현하는 과정에서 정보영 교수팀과 융합연구를 진행하게 된 것이다. 하지만 실제 협력연구는 서로 수평적인 의사소통을 통해 진행되었고, 각자의 맡은 역할을 완성하기 위해 독립적으로 수행되었다.

이진재 교수 연구팀은 우수한 성능의 유연한 압전 자가발전기를 개발하는

연구에 주력하고, 정보영 교수 연구팀은 고성능의 자가발전기를 완성하면 이를 실제로 심장에 적용하는 실험과 이론적 준비를 맡았다. 서로의 역할을 명확하게 정리한 후, 공학과 의학의 융합연구는 더욱 빠른 속도로 독립적이고 자율적으로 진행되기 시작했다.

긴밀한 소통, 융합연구의 성공 위한 조건

“인공심장박동기는 주로 서맥증상을 보이는 환자에게 이식합니다.”

“서맥증상이요? 그게 뭔지…….”

“아, 서맥이란 용어를 먼저 설명 드려야겠군요. 서맥이란 쉽게 말해서 심장박동이 느려지는 현상이에요. 일반인의 경우 심장박동은 1분에 60~100회 정도 뛰는데, 만약 50~60회 이하로 뛰면 서맥환자로 분류합니다…….”

대전의 이진재 교수 연구팀과 서울의 정보영 교수 연구팀이 본격적인 융합 연구에 돌입한 후 가장 먼저 맞닥뜨린 문제는 바로 ‘소통’이었다. 공학과 의학, 서로 다른 분야의 연구원들에게 상대방 분야의 전문용어는 자주 대화의 걸림돌





이 되었고, 연구를 이해하는 데 어려운 요소가 되기도 했다.

하지만 두 교수 연구팀의 연구원들은 긴밀한 소통을 위해 적극적으로 상대방 분야의 생소한 용어를 공부하고 수시로 설명을 해주며 서로를 도왔다. 이들은 또 단순한 용어의 이해를 넘어서 서로의 연구 분야에 대해 전반적인 내용을 공부하는 데도 많은 시간을 쏟았다.

예를 들어, 이진재 교수 연구팀은 기존에 사용되고 있는 인공심장박동기에서 출력되는 전기에너지의 크기를 바탕으로 유연한 압전 자가발전기가 생성할 출력 목표를 세워야 했는데, 이를 위해서는 인공심장박동기에 대한 정보가 필요했다. 인터넷 검색은 기본이었고, 각종 문헌정보를 뒤져가며 공부를 했고, 그래도 이해가 되지 않는 전문적인 내용은 정보영 교수 연구팀에 연락을 해 자문을 구했다.

“여기 이진재 교수 연구팀인데요, 일반적으로 인공심장박동기가 심장박동을 일으키기 위해 어느 정도의 전기에너지를 심장에 전달합니까?”

“보통 3~5V의 전압을 심장에 전달하는데요, 이때 수 μ 의 에너지가 필요해요.”

“아, 그래요? 그 정도의 전압이라면 그리 높은 편이 아닌데, 결국 자가발전기에서 생성되는 전류가 관건이겠네요.”

이렇게 질문과 답이 오고 가다 보면, 다시 질문자와 답변자가 바뀌어 정보영 교수 연구팀의 질문으로 이어지곤 했다.

“그게 무슨 뜻인지 설명을 해주실 수 있나요?”

“유연한 압전 자가발전기의 경우 생성되는 전압에 비해서 전류가 약한 단점이 있어요. 결국 우수한 특성의 압전 물질을 적용해야 출력 전류를 향상시킬 수 있고, 에너지를 높일 수 있는 거죠.”

“네, 그렇군요.”

이처럼 원활한 소통을 위한 노력의 시간은 결코 ‘편한’ 과정은 아니었다. 하



본격적인 융합연구에 돌입한 후 가장 먼저 맞닥뜨린 문제는 바로 ‘소통’이었다.

지만 소통을 위한 노력은 실제로 융합연구 과정에서 시행착오를 상당히 줄여주는 역할을 했다.

두 연구팀은 서로 다른 분야의 연구를 독립적으로 진행하면서 동시에 융합 연구를 수행해야 했기 때문에 전문적인 의견교환은 그 무엇보다 중요했다. 때문에 이진재 교수 연구팀과 정보영 교수 연구팀은 소통을 매우 중요한 조건으로 판단하고, 적극적으로 대처했다.

융합연구를 진행하며 잦은 소통이 필요했지만 현실적으로 서울과 대전에 위치하다 보니 대면 회의를 자주 할 수 없는 만큼, 이를 대신할 다양한 통신수단을 적극 활용했다. 공식적인 회의는 화상회의로 진행했고, 실무적 의견이나 연구 결과의 교환은 이메일, 전화, SNS 등 다양한 네트워크가 활용되었다.

막상 유연한 압전 자가발전기를 이용한 인공심장박동기의 수명 연장이라는 목표를 가지고 연구를 시작하면서 과연 어떤 모습의 응용을 보여줄 수 있을지 쉽게 정리를 할 수 없었던 두 연구팀은 본격적으로 연구를 시작하기 전, 서로의



의견을 충분히 듣고 반영해 구체적인 연구의 밑그림을 그리는 과정에 충분한 시간을 쏟았다.

두 연구팀이 동의하는 이론적인 목표를 먼저 정하고, 이것이 실현 가능한지 살펴본 후에 부족한 부분을 집중적인 연구를 통해 해결하는 방식을 도입함으로써 융합연구는 매우 순조롭게 진행될 수 있었다.

이건재 교수 연구팀과 정보영 교수 연구팀은 또한 융합연구 수행 과정에서 발생하는 여러 주변적 문제에 대해서도 신뢰를 바탕으로 한 팀워크를 선보였다.

두 연구팀은 공식적인 행정 절차 없이 구두로 의견을 교환하며 융합연구를 진행할 정도로 서로 신뢰를 기반으로 한 호흡을 보여줬으며, 융합연구 수행 전 독립적으로 연구를 진행하는 만큼 비용은 각자 부담하는 것으로 미리 협의를 마쳤다. 단, 논문 출판과정에 필요한 비용은 두 연구팀이 공동으로 부담하고, 논문 출판 후 언론보도 등 연구 성과에 대한 홍보업무 역시 KAIST 홍보팀과 세브란스병원 홍보팀이 팀워크를 발휘해 함께 준비하기로 하는 등 융합연구의 성공 이후에 대한 준비 역시 철저히 역할에 대한 논의를 마쳤다.

자가발전 인공심장박동기의 개발, 신개념 기술의 탄생

2013년 최고 성능의 유연한 압전 자가발전기를 개발한 이건재 연구팀은 곧 이를 실제 전자기에 응용하는 연구에 들어갔다.

이를 위해서는 교류 형태의 출력을 모두 양(+)의 값으로 만들어 주는 정류 작업이 필요했고, 연구팀은 4개의 다이오드(diode)를 이용해 정류를 시키는 방식을 도입했다. 특히 인공심장박동기에 응용하기 위해서는 배터리 충전 문제를 해결해야 했는데, 연구팀은 자가발전기를 이용해 상용 코인 배터리를 충전시키는 실험을 실시했고, 이를 통해 충전된 배터리가 초시계를 작동할 정도의 에너지를 생성해내는 것을 확인했다.

이렇게 성능 실험을 마친 후, 드디어 실제로 유연한 압전 자가발전기가 인공

수년간 진행해온 유연한 압전 자가발전기의 연구와 이를 인공심장박동기에 구현하는 연구개발 성공의 기쁨을 누렸다.



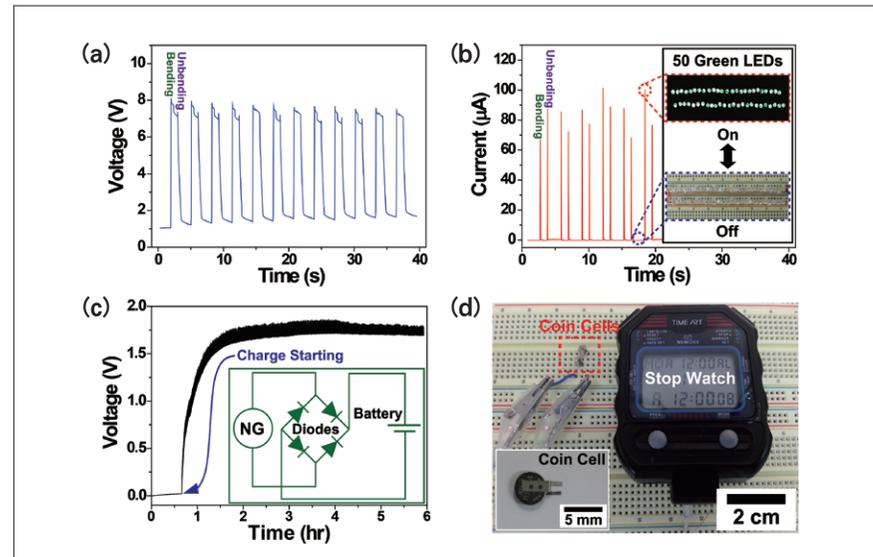
심장박동기로서 직접 심장을 자극할 수 있는지 확인하는 실험이 시작되었다. 정보영 교수 연구팀은 쥐를 이용한 동물실험을 선택했다.

연구팀은 유연한 압전 자가발전기를 전극에 연결하고 자극 바늘을 마취된 쥐의 심장에 고정시켰다. 그리고 압전 자가발전기를 껐다 폈다 반복하며 쥐의 심전도가 어떻게 변하는지 지켜보았다. 결과를 지켜보는 연구팀 모두의 얼굴에 긴장감이 흘렀다.

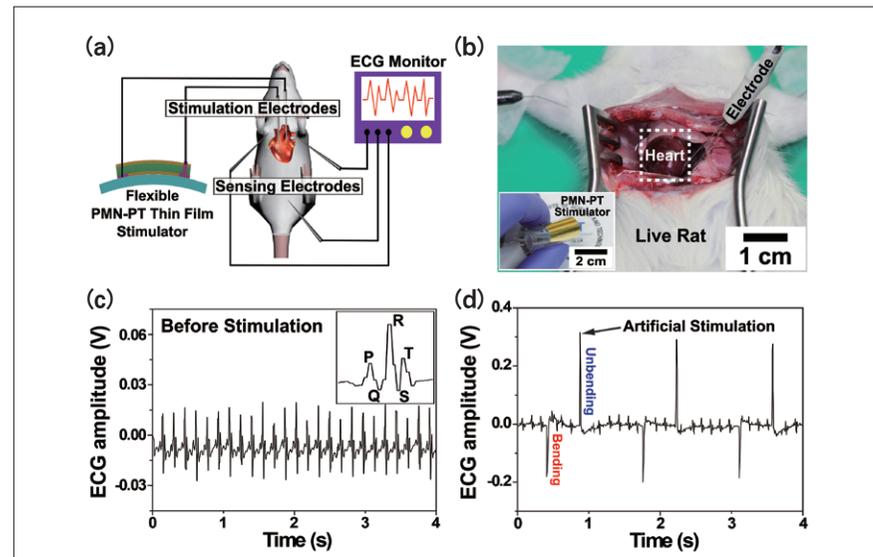
‘탁, 탁탁…….’

전류가 흐르자 가는 바늘이 심전도의 변화에 따라 움직이기 시작했다. 아래

- ◆ **다이오드(diode)** 전류를 한 방향으로만 흐르게 하고, 그 역방향으로 흐르지 못하게 하는 성질을 가진 반도체 소자의 명칭이다.
- ◆ **상용 코인 배터리** 시중에서 구입할 수 있는 단추(버튼) 모양의 건전지이다.



(a) 정류 후 유연한 압전 자가발전기에서 생성되는 전압, (b) 정류 후 압전 자가발전기에서 생성되는 전류 및 LED 점등, (c) 유연한 자가발전기를 이용한 배터리 충전, (d) 충전된 배터리를 이용한 초시계 구동



(a) 유연한 압전 자가발전기를 이용한 쥐 심장자극 실험의 개략도, (b) 마취된 쥐를 이용한 실험의 실제모습, (c) 일반적인 쥐의 심전도 모습, (d) 유연한 압전 자가발전기를 이용한 인공적인 심장박동 생성

〈표〉 융합연구팀의 연구 수행과정



위로 바쁘게 움직이는 바늘을 따라 나타난 그래프는 힘찔고 또한 규칙적이었다. 유연한 압전 자가발전기를 이용하면 쥐의 심장박동을 규칙적으로 만들 수 있음을 증명한 것이다.

연구팀은 크게 환호성을 질렀다. 그동안 ‘자가발전형 인공심장박동기의 구현’을 위한 연구가 소중한 생명을 살리고, 환자의 비용부담을 줄임으로써 인류 삶의 질을 향상시킬 수 있다는 사회적 의미를 공유하고, 서로를 격려했던 시간들이 주마등처럼 스쳐갔다.

효율적으로 연구를 진행하기 위해 필요한 연구의 동기 부여를 연구원들에게 확실히 심어주고자 부단히 노력했던 결과이기도 했다. 이렇게 수년간 진행해온 유연한 압전 자가발전기의 연구와 이를 인공심장박동기에 적용하는 연구의 성공을 자축하며 기쁨을 누렸다.

이건재 교수 연구팀은 정보영 교수 연구팀과 협력으로 진행한 융합연구를 통해 고성능 고효율의 유연한 압전 자가발전기를 인체에 적용할 수도 있는 가능성을 확인했다.

이번 융합연구는 15대 국가전략융합기술의 신재생에너지기술과 신체기능 복원 및 재활기술과 직접적으로 관련이 있다. 유연한 압전 자가발전기를 이용



해 사람의 심장을 인공적으로 자극할 수 있다면 스스로 전기생성이 가능해 배터리가 필요 없는 인공심장박동기의 개발도 가능할 것이며, 그 시기 또한 크게 앞당길 수 있을 것이다. 또한 이 기술의 응용으로 인공심장박동기뿐만 아니라 뇌심부자극기, 인공망막 등 여러 가지 생체이식형 의료기기의 수명을 늘릴 수 있어 환자들의 건강과 비용의 부담을 크게 줄이는 효과를 기대할 수도 있다. 이 건재 교수 연구팀의 자가발전형 인공심장박동기는 기존에 없던 개념을 만든 것이다. 또한 유연한 압전 자가발전기는 친환경 에너지원으로 기존 화석에너지를 대체할 수 있는 획기적인 기술만큼 향후 더 많은 연구가 필요하다.

세계 압전 자가발전 시장은 2018년에는 1억 4,500만 달러, 2022년에는 6억 6,700만 달러의 규모로 크게 성장할 것으로 예측되는 만큼 이 건재 교수 연구팀의 관련 연구는 우리나라 과학 및 경제 발전에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.

이 건재 교수는 현재 자가발전형 인공심장박동기 개발을 위해 꾸준한 연구와 지원이 필요하다는 판단 아래, 이번 융합연구를 조금 더 발전시켜 실제로 확산하고 활용하기 위한 추가 연구를 준비 중이다.

참고 문헌

Hwang et al, Self-Powered Cardiac Pacemaker Enabled by Flexible Single Crystalline PMN-PT Piezoelectric Energy Harvester, Advanced Materials: 2014.

◆ 생체이식형 의료기기 질병을 치료할 목적으로 사람의 몸속에 이식된 의료기기. 대표적인 예로 심장박동을 조절하는 인공심장박동기, 파킨슨병을 완화하는 뇌심부 자극기 등이 있다.

융합 포인트

융합의 시작, 충분한 의견 교환으로 밑그림을 그려라

융합연구를 본격적으로 시작하기 전에 이론적인 의견 교환으로 연구의 밑그림을 그리는 것이 매우 중요하다. 이 건재 교수 연구팀과 정보영 교수 연구팀은 서로 다른 분야의 연구를 진행하지만 전문적인 의견 교환을 통해 이론적인 목표를 먼저 정하고, 이것이 실현 가능한지 살펴본 후에 부족한 부분을 집중적인 연구를 통해 해결했다. 이는 오랜 기간 두 연구팀이 서로 신뢰를 바탕으로 인내하고 협력할 수 있는 바탕이 되었으며, 효율적인 연구 진행을 가능케 한 요인이다.

융합연구의 수행, 강한 동기부여로 열정 살려라

융합연구는 낯선 분야의 연구원들이 전혀 새로운 개념의 기술을 개발하는 과정이다. 따라서 연구원들이 융합연구의 목표와 의미에 대한 동기부여가 매우 중요하다. 이 건재 교수 연구팀과 정보영 교수 연구팀은 자가발전형 인공심장박동기의 구현이 성공할 경우 그동안 잦은 교체 수술로 인해 어려움을 겪었던 환자들의 비용부담을 줄이고, 소중한 생명을 살릴 수 있어 인류 삶의 질을 향상시킬 수 있다는 사회적 의미를 함께 공유하려고 노력했고, 바로 이 점이 연구원들 모두가 자발적으로 최선을 다하는 강한 동기가 되었다.



CHAPTER
2

김완두

한국기계연구원 영년직연구원

세상에 없는 기술, 완전이식형 인공달팽이관에 도전하다

청각 장애인을 위한 완전이식형 신개념 인공달팽이관 개발



‘생체모사 인공달팽이관’은 달팽이관 속의 얇은 기저막과 부동섬모를 모사한 신개념의 인공달팽이관으로 장치가 간단하여 귀속에 완전이식이 가능한 기술이다. 2007년도에 교육과학기술부의 미래유망융합기술 파이오니어사업 기획연구를 시작하여 본격적인 연구개발은 2009년도부터 시작되었다. 2012년 생체모사 인공달팽이관의 원천기술이 개발되었으며, 이는 기존의 인공달팽이관과 달리 세계 최초로 시도되는 기술로 국내 특허는 물론이고, 해외에도 등록되어 있는 기술이다. 국내외 주요 언론에 보도되며 본 인공달팽이관 기술은 세간의 이목과 기대를 끌고 있다.

융합연구단은 한국기계연구원의 김완두 박사를 필두로 한국기계연구원의 자연모사연구실과 전북대학교의 첨단소재공정실, 서울대학교의 나노바이오표면연구실, KAIST 생체모방연구실 그리고 서울의대 인공달팽이관 임상연구실 등으로 구성되어 있다.

아이디어의 한계, 융합에서 해답을 얻다

“그래 바로 이거야!”

한국기계연구원(KIMM) 김완두 박사는 자신의 무릎을 세게 쳤다. 그는 <네이처> 잡지 표지에 실린 한 장의 사진에 온통 마음을 빼앗겨버렸다.

‘이 기술이 별도의 외부 전력장치 없이도 기기 스스로 전력을 만들고 기능을 수행하게 한다는 말이지. 정말 그렇게만 된다면 앞으로 기계도 배터리가 필요 없는 시대가 찾아올 거야!’

2005년 <네이처>를 통해 발표된 미국 조지아공대 왕중린 교수팀의 나노압전소자에 관한 논문은 한순간에 김완두 박사의 마음을 빼앗아버렸다. 김완두 박사는 나노압전소자가 자신의 연구에 커다란 반향을 일으킬 것이라 조심스러운 추측을 해보았다.

사실 김완두 박사는 한국기계연구원에서 자연모사연구실을 운영하며 자연에서 배운 새로운 기술개발에 힘쓰고 있던 중이었다. 자연의 신비로운 능력에서 아이디어를 얻고 그것을 생활에 편리한 제품개발로 이어지도록 하는 것이 김완두 박사의 일이었다. 하지만 이러한 과정에서 늘 그가 아쉬워했던 것은, 스스로 자생하는 자연의 생태 능력과 달리 별도의 동력장치를 필요로 하는 공학 기술이 좀처럼 따라가지 못한다는 점이었다. 그런데 이 문제를 단번에 해결할 수 있는 것이 바로 나노압전소자의 탄생이었다.

나노압전소자는 누르거나 당기는 등의 변형을 가하면 별도의 외부 전력장치를 연결하지 않아도 스스로 전기가 발생하도록 만드는 특성을 가진 물질이었다. 이러한 나노압전소자를 잘 활용한다면 기계도 자연의 자생력처럼 스스로 전력을 만들어 기능을 수행할 수 있는 능력을 갖추게 되는 셈이었다. 이 좋은 소

◆ **자연모사연구** 자연의 생물체 및 생체물질의 기본구조의 원리를 모방 및 응용하여 새로운 기술로 개발하는 연구를 말한다. 영경씨의 기사를 모방하여 만든 벨로크가 대표적인 예이다.



재를 김완두 박사가 결코 놓칠 리 없었다.

‘나노압전소자……. 이 훌륭한 기술을 어떤 장치에 응용해서 사용할 수 있을까?’

하지만 ‘어떻게 활용할 것이냐’를 두고는 깊은 고민에 빠졌다. 일상생활에 반드시 필요하고 유익한 방향으로 기술을 발전시키는 것이 모든 공학자의 목표이자 딜레마였다. 공학기술을 무엇으로 인간 삶에 대입할 것인지 선택하는 문제는 그리 쉽지 않았다. 고민을 거듭하던 끝에 김완두 박사는 마침내 결정적인 아이디어를 떠올렸다.

나노압전소자 사진을 보니 사람의 청각기관 속에 있는 부동섬모와 모양이 비슷하다는 것을 깨닫게 되었다. 그는 이를 이용하여 인공 부동섬모를 만들면 전기를 스스로 생산하는 인공달팽이관을 만들 수 있지 않을까란 생각이 들었다. 마침 2007년 당시 교육과학기술부의 미래융합기술 파이오니어사업 공모도 있던 터라 이 아이디어를 갖고 개발을 실현시켜보고자 하는 기대감이 생겼다.

파이오니어사업 공모는 ‘외국에서도 연구하지 않는 원천기술’이라는 단서와 함께 적어도 3개의 다른 분야, 3개의 다른 기관이 참여해야 한다는 조건도 붙었다. 그날 이후 김완두 박사는 함께 연구할 연구자를 수소문하기 시작했다. 그리고 그는 서울대 전기공학부 나노바이오기전연구실의 김성준 교수를 찾기에 이르렀다.

“김 박사님, 이거 아주 기막힌 아이디어인데요. 그 어떤 외부 부품 없이 체내에 완전 이식이 가능한 인공달팽이관이라니! 불편하게 착용해야 하는 송수신기나 배터리의 휴대가 없는 인공달팽이관라면 모든 청각장애인들의 꿈일 겁니다. 당장이라도 연구를 시작하고 싶군요!”

김성준 교수는 몹시 흥분된 상태였다. 김성준 교수가 이처럼 열광하는 것을 보면, 김완두 박사의 상상이 결코 불가능한 일은 아니라는 사실을 증명해주고 있었다.



김완두 박사의 공학적 상상은 김성준 교수의 공조에 힘입어 융합연구가 시작됐다.

“좋습니다. 한번 해보지요. 지금은 아이디어뿐이지만 서로 기술을 공유한다면 분명 새로운 형태의 인공달팽이관을 탄생시킬 수 있을 것입니다.”

2007년, 김완두 박사의 공학적 상상은 김성준 교수의 공조에 힘입어 비로소 불꽃을 튀기기 시작했다.

융합연구의 안정화를 위한 단계별 프로세스 완성

오래 전부터 김완두 박사는 ‘사람의 귀가 여러 감각기관 가운데 유일한 기계적 고감도 기관으로 이를 모방한 제품을 만들면 어떤 공학센서보다 우수할 것’이라고 생각해왔었다. 자연에 존재하는 모든 종류의 동물들 역시 청각기관으로부터 외부 침입자의 접근을 감지하고, 자연 재해 등을 예측하여 대피한 사례는 무수히 찾아볼 수 있다. 만약 인간이 이러한 감각기관을 모사하여 구현한다면



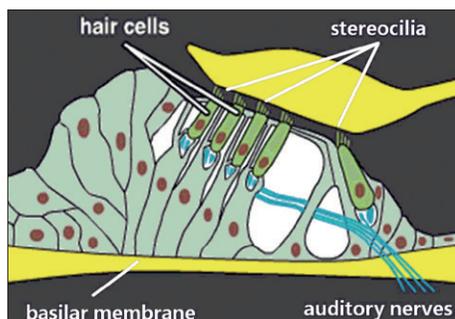
청각장애를 가진 사람들을 위한 새로운 개념의 인공청각기구는 물론, 지진과 같은 재난을 감지하는 센서 등 다양한 공학적 응용 제품 개발에 크게 기여할 것이라 판단했다. 그래서 이번 융합연구는 바로 이를 입증할 수 있는 세계 최초의 시도였던 셈이다.

‘만약 나노압전소자 구조를 갖는 인공달팽이관 기술만 개발된다면, 인간은 청각장애뿐만 아니라 모든 감각계 장애를 복원할 수 있는 다양한 인공감각기 개발에 단서가 될 것이다.’

김완두 박사의 생체모사 인공달팽이관 연구는 인공감각기구 발전에 중요한 출발선상에 놓여있었다.

물론 현재 인공달팽이관이 시중에 전혀 없는 것은 아니다. 외국의 성능 좋은 인공달팽이관은 무수히 많고 익히 체내 삽입에 성공적인 기술을 선보인 바 있다. 그럼에도 불구하고 김완두 박사의 융합연구가 높은 기대와 관심을 끄는 이유는 기존의 인공달팽이관과는 확연히 다른 시스템을 가지기 때문이다.

인체 내 청각기관은 마치 보들보들한 털들이 모여 있는 모습처럼 아주 미세한 굵기의 섬모들이 움직이면서 소리를 감지한다. 이 섬모들을 통해 감지된 소리가 고막에서 달팽이관으로 전달되면 달팽이관은 이를 생체 내에서 작동되는 전기신호로 바꾼다. 이렇게 바뀐 전기신호가 청신경을 자극해 뇌에서 소리를 이해하는 것이다. 여기서 청각장애는 대부분 달팽이관의 이상에 원인이 있다.



기저막과 부동섬모

따라서 청각장애를 해결하기 위해서 인공달팽이관 기술을 하게 되는 것이다. 현재 사용되는 인공달팽이관은 귀 뒤쪽에 장착하는 마이크와 송신기, 환자가 늘 휴대해야 하는 어음처리기와 전원장치가 있다. 그리고 체내에 이식되

는 수신기와 신경자극을 위한 전극 등으로 구성된다. 때문에 현재 인공달팽이관 이식은 시술이 번거롭고 외부로 장치가 노출되기 때문에 미관상 좋지 않다는 게 단점이다. 또한 전력소모도 많다는 것이 큰 흠으로 작용하여 최근 인공달팽이관 개발은 마이크 및 음성처리기의 체내이식과 충전식 배터리 사용을 통한 완전이식형 개발로 초점이 맞춰지고 있다. 이점이 바로 김완두 박사가 계획하는 생체모사 완전이식형 인공달팽이관 기술인 것이다.

물론 외국에서도 이와 같은 연구가 진행 중이긴 하나 김완두 박사의 완전이식형 인공달팽이관과는 커다란 차이가 있다. 현재 외국에서 진행되는 완전이식형 인공달팽이관 기술개발은 기존 기술의 일부 개량기술일 뿐, 생체모사를 통한 신개념의 인공달팽이관 기술에 비하면 한 단계 뒤쳐진 기술이다.

김완두 박사가 설계한 인공달팽이관은 달팽이관 속의 기관인 기저막과 부동섬모까지 모사해서 귀속에 영구적으로 이식할 수 있는 방법이다. 즉, 인체에 적합물질로 인공기저막과 나노압전소자를 이용한 인공부동섬모를 만들고, 청신경처럼 소리를 전기신호로 바꾸는 신경자극전극으로 구성된 초소형의 전기기계장치이다. 이 장치는 간단한 구조라 시술이 간편하고 전력 소모가 8분의 1 수준으로 적어져 기존의 인공달팽이관 시술의 단점을 완벽히 극복할 수 있는, 세상 어디에도 없는 전무후무한 연구였다.

그 때문에 연구는 시작부터 진통을 겪어야 했다.

“김 박사님, 이건 기존의 인공달팽이관을 발전시키는 개념이 아닙니다. 완전히 다르게 인식하셔야 합니다.”

김성준 교수는 난감한 표정을 지었다. 무엇을 먼저 어떻게 시작할지부터 결

◆ **기저막과 부동섬모** 달팽이관 속 기저막은 음파에 진동하는 얇은 막이다. 기저막의 어떤 부분이 진동하는가에 따라 소리의 높낮이를 구분할 수 있다. 부동섬모는 달팽이관 내 유모세포로, 기저막이 진동하면 부동섬모가 자극되면서 청각 신경신호가 발생하게 된다.



정짓는 것이 힘든 상황이었다.

“동감입니다. 생체모사 인공달팽이관을 구현하려면 기구는 물론 시스템까지 새로 개발해야 합니다. 달팽이관 속의 얇은 기저막을 모사한 인공기저막을 제작하고, 달팽이관 섬모의 기능을 수행하는 인공부동섬모 역시 개발이 필요합니다.”

생체모사 인공달팽이관의 통합설계를 맡은 김완두 박사 역시 난감하기는 마찬가지였다. 본 연구가 하나부터 열까지 전부 개발하고 제작하는 과정의 연속이었기 때문에 계획을 수립하는 것부터 어려움이 컸다.

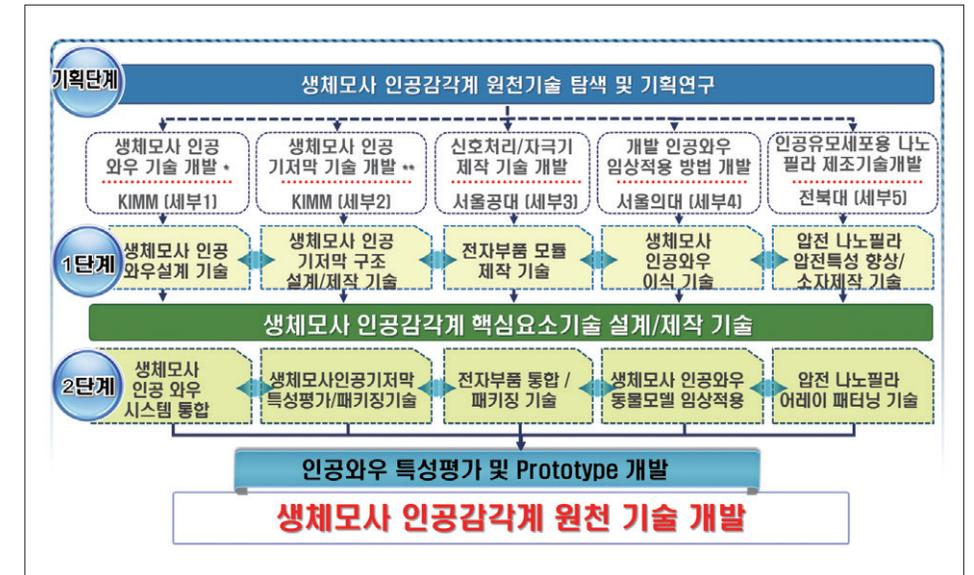
“어디 그뿐입니까? 새로운 방식에 맞게 신호모듈도 구축해야하고, 상용화를 위한 임상시험도 수차례 거쳐야 합니다. 역시 우리만으로는 힘든 연구입니다.”

결국 김완두 박사와 김성준 교수는 자신들만으로 연구진행이 어렵다는 결론에 도달했다. 그들은 의기투합할 동반자가 절실히 필요했고, 연구 방향에 따라 관련 연구자를 모집하기 시작했다. 그리하여 김성준 교수를 통해 서울대의 인공달팽이관 임상연구실의 오승하 교수가 연구에 합류했고, 나노압전소자 개발에는 전북대 첨단소재공정연구실의 한윤봉 교수가 나섰다. 인공기저막 통합설계·제작에는 김완두 박사와 같은 한국기계연구원의 소속 허신 박사가 함께 참여하기로 했다. 이로써 나노압전소자 구조의 ‘무(無)전원 생체모사 인공달팽이관’ 구현을 위한 생체모사 인공청각계 융합연구단의 면모가 갖춰지게 되었다.

생체모사 인공청각계 융합연구단은 2007년 교육과학기술부의 미래유망융합기술 파이오니어사업 기획연구를 시작하여 본격적인 연구개발은 2009년도부터 시작되었다. 본 융합연구팀 내 조직 간 역할체계는 세부 연구별 수행 내용이 유기적으로 수행되어 최종 결과물이 연구주체에 집중되도록 구성했다.

각각 △달팽이관 기저막의 주파수 분리 특성을 모사한 인공기저막 개발 △부동섬모(유모세포)의 생체전기신호 발생 원리를 모사한 나노압전소자 소재 개

〈표〉 융합연구팀 구성 및 세부 연구 내용



발 △인공달팽이관 신호처리 및 자극기 전자모듈 개발 △신개념의 인공달팽이관 통합 패키지의 임상 적용방법 연구 등으로 단계별 방법론을 통한 융합연구 프로세스를 구축했다. 이렇게 서로의 역할을 명확하게 정리하자 공학과 의학의 융합연구는 좀 더 체계적으로 자리를 잡혀갔다.

낮춤과 공유의 전략, 융합연구 인프라 구축의 핵심

확실한 융합연구 시스템이 갖춰지게 되자 기술개발에도 가속도가 붙기 시작했다. 나노압전소자를 이용한 자가전원 인공감각계 설계 시뮬레이션에서 그야말로 희망적인 대답을 들을 수 있었다. 생체모사 인공달팽이관 구현을 위한 선행연구에서 연구팀은 확실한 가능성을 다시 한 번 검증받은 셈이다. 이제는 본격적인 기술개발뿐이었다.

“지금부터가 중요합니다. 연구의 핵심기술이라 할 수 있는 생체모사 인공기저막과 나노압전소자를 이용한 인공부동섬모(나노필라)를 개발해야하니까요.



모두 생소한 분야라 연구 접근이 쉽지만은 않을 것입니다.”

융합연구단의 총괄책임자를 맡은 김완두 박사의 목소리는 어느 때보다 비장했다. 신개념 인공기적막과 나노압전소자 인공부동섬모인 나노필라의 개발은 본 융합연구의 중추적 기능이였다.

생체모사 인공달팽이관의 소리 전달은 실제로 사람의 청각기능과 똑같이 진행되도록 이루어져있다. 소리가 발생하면 인공기적막이 진동하고 그 위에 나노필라를 두어 진동으로 인해 전류가 발생하는 원리이다. 이 때문에 별도의 외부 전력장치가 필요 없어 귀 안으로 완전이식이 가능한 것이다. 이는 신개념 생체모사 인공달팽이관의 핵심기술이기 때문에 첫 연구 단계부터 연구원들의 부담감을 클 수밖에 없었다.

“어렵고 힘든 문제는 다 같이 풀어갑시다. 모르면 묻고 배우는 것이 당연하겠지요? 우리도 모르는 부분이 있으면 솔직히 인정하고, 다른 연구원들과 소통하

지역적 거리로 인해 자주 만날 수 없는 단점은 네트워크 방식으로 다자 간 화상회의 시스템을 구축하여 이를 극복했다.



며 기초부터 하나씩 배워나갑시다!”

김완두 박사는 원천기술개발에 있어 자신들의 학문적 권위를 내려놓을 것을 던지시 부탁했다. 다양한 분야의 지식이 한데 어우러져 하나의 결과물을 탄생시키려면 연구원 각자가 자신의 분야에서는 선생이 되고, 다른 분야에서는 학생이 되길 주저하지 말아야 한다. 융합연구란 연구자 간의 열린 마음이 선행될 때 내부 결속력이 다져지며, 시너지 효과를 제대로 발휘할 수 있게 되는 것이다.

따라서 김완두 박사는 융합연구의 가치를 ‘공유’에 있다고 굳게 믿었다. 그래서 공동연구원들의 격이 없는 소통, 배움의 창구가 될 수 있는 커뮤니티 형성을 우선시 했다. 그 일환으로 융합연구단 참여 연구원을 중심으로 한 ‘인공감각계 연구회’, ‘자연모사 응용제품 연구회’를 운영하면서 자연스럽게 최근 정보 교류와 상호 이해도를 증진시켰다.

또한, 분기별 연구회 주관 워크숍을 개최하여 자신의 분야 밖의 일에도 적극적인 참여 분위기를 조성했다. 지역적 거리로 인해 자주 만날 수 없는 단점은 네트워크 방식으로 다자 간 화상회의 시스템을 구축하여 이를 극복했다. 가령, 대전권에서는 KIMM 연구 13동에 ‘생체모사 인공청각계 융합연구단’을 만들고, 서울권에서는 서울대병원 이비인후과에 지역별 공동연구실을 운영하여 수시로 소통하며 연구교류에 힘썼다.

김완두식 공유는 여기에서 그치지 않았다. 본 연구에 대한 보다 객관적인 판단과 기술개발의 실현 가능성을 높이기 위해 해당 소재 관련 연구기관이라면 누구에게나 참여의 기회를 열어놓았다. 기술의 최종 적용분야의 전문가, 해외 관련 저명학자들, 관련 산업계 등의 연구자들에게 자문을 청하고 이를 반영할 수 있게끔 했다. 그렇게 연구개발, 사업화, 특히 전문가로 구성된 자문단을 구성하여 자체 R&D 컨설팅을 운영함으로써 정기적 사업 진행 현황 보고 및 컨설팅을 할 수 있게 되었다.

이러한 공유 전략 덕분에 김완두 박사의 연구팀은 최신 논문 및 특허 정보에



〈표〉 융합연구 수행을 위한 아이디어 제안 및 공유 방법

주관 연구기관의 커뮤니티 및 지원 강화	외부 연구자와 의견 교류
<ul style="list-style-type: none"> ● 분기별 과제 미팅(융합연구 팀원 전원 참여) 및 각 세부과제별 별도 미팅 운영 ● Technology Tree를 구축, 생체 첨가기구를 모사한 인공감각계 기술의 연구동향 및 특허동향 조사, 인공달팽이관의 현 시장 분석과 경제성 분석을 위한 전문가 컨설팅 기획 ● 다자 간 화상회의 시스템을 구축하여 소통의 물리적 거리감 해소 ● 연구 공간 및 고가장비 지원 강화 	<ul style="list-style-type: none"> ● 파이오니어 사업단 관련 행사인 미래유망파이오니어사업 워크숍(년 1회)과 미래융합기술 포럼 및 전시회(생체모사기술 소개, 연구성과 전시 등) 참여 ● 관련 핵심기술을 보유한 연구기관과 기술의 최종 수요자인 병원, 해외 관련 저명학자들이 기술기획에 참여토록 채널을 마련 ● 사업화 단계에서 필요한 사항을 사전에 반영하기 위해 관련 산업계의 자문

대한 많은 양의 데이터를 구축할 수 있었고, 다학제 간 연구집단의 인프라를 확보하게 되었다. 이처럼 국내외 종합적인 정보량은 생체모사 인공기적막 설계를 구체화시키는 데 도움을 톡톡히 받았다.

신개념 생체모사 인공달팽이관 개발의 동력, 열린 교류

“나노필라의 구현에 문제가 발생했습니다. 산화아연으로 만들어진 탓에 딱딱하고 내구성도 떨어집니다. 다른 대체연구가 필요할 것 같습니다.”

각 분야별 연구원들의 얼굴이 컴퓨터 화면을 가득 메웠다. 화상채팅으로 마주한 그들의 얼굴은 사태의 심각성을 여실히 보여주듯 다들 표정이 굳어있었다.

“사람의 말랑말랑한 부동섬모도 오래 써서 낡으면 손상이 가고 성능이 떨어지기 마련입니다. 그런데 만약 나노필라가 처음부터 내구성이 떨어진다면 장기간 사용은 불가능하겠지요. 그러면 반영구적인 무전원 생체모사 인공달팽이관의 연구 취지와 동떨어지게 됩니다.”

◆ **Technology Tree** 기술전략을 수립하기 위해 세우는 기술구성도이며, 기술결과에 따라 중목성, 포괄성을 고려하여 분류해서 정리한 형태이다.

김완두 박사는 답답함을 감추지 못했다. 연구팀은 또 다시 벽을 마주하는 기분이었다. 여러 인공기적막 모델을 만들어 성능 실험은 통과했지만 정작 중요한 인공부동섬모 나노필라의 개발에 발목이 잡힌 것이다.

“나노압전소자의 필요성은 분명합니다. 다만 인공기적막 위에 위치하는 나노필라의 활용은 재고할 필요가 있습니다.”

“하지만 압전소자가 전기를 도출하려면 기적막의 진동이 있어야 합니다. 나노필라가 인공기적막 위에 위치하지 않으면 전기도출은 물거품이 됩니다.”

신의 소재로 여긴 나노필라가 이제와 골칫덩어리로 전락하여 연구팀을 괴롭히고 있었다. 연구기관별 따로, 또 같이, 수차례 회의를 거듭해도 이 문제는 쉽게 해결되지 않았다. 늘 활발히 토론이 이어졌던 회의장도 연일 무거운 침묵으로 이어졌다. 난항이 거듭될수록 김완두 박사의 머릿속은 ‘이대로 연구가 끝나는 것인가……’라는 절망적인 생각마저 맴돌았다. 결국 완전이식형 인공달팽이관 연구에 최대 고비가 찾아오고 만 것이다.

김완두 박사의 초조함은 극에 달했다. 이번 고비를 넘기지 않고서는 다음 단계로 일을 진행할 수 없기 때문이다. 어떻게든 돌파구를 찾아내지 않으면 연구가 파행으로 치닫는 것은 시간문제였다. 절박한 마음에 김완두 박사는 대내외 연구자 간 교류를 더욱 활발히 진행시켰고, 더 많은 자료를 수집했다. 그러던 중 뜻밖의 단비 같은 소식을 접하게 되었다.

“박사님, 혹시 압전효과가 나오는 박막이 개발됐다는 발표를 들어보셨습니까? 만약 별도의 나노필라 개발이 힘들다면 아예 압전박막처럼 인공기적막을 만드는 건 어떨까요?”

압전박막에 대한 생소한 내용에 김완두 박사와 다른 연구원들도 잠시 생각에 잠겼다.

‘압전효과가 나오는 박막이라? 인공기적막 자체에서 전기가 생성된다면?’

그러면 굳이 나노필라의 설계와 개발로 시간을 지체할 필요가 없었다. 김완



인공기저막 자체를 압전소자로 만드는 방향으로 전환했고, 이후 융합연구는 기술개발에 급물살을 타며 가시적 성과들을 쏟아내기 시작했다.

두 박사를 비롯한 모든 연구진들은 한마음으로 그 제안을 받아들였다.

“압전박막을 융합한 인공기저막을 설계합시다! 오히려 제품을 간소화시킬 수 있고, 연구 속도나 경비 면에서도 1석 2조의 효과를 얻을 수 있을 것입니다.”

마침내 팍 막혔던 속이 뻥 뚫린 것처럼 김완두 박사의 목소리에 생기가 넘쳐났다. 침체되어있던 다른 연구팀들 역시 다시 활기를 되찾기 시작했다.

국내에서 고효율 압전박막 개발은 본 융합연구단에겐 선물이었다. 김완두 박사는 회의에서 결정된 사항을 즉시 이행하여 인공기저막 자체를 압전소자로 만드는 방향으로 전환하기로 했다. 즉, 압전박막형으로 이루어진 생체모사 인공기저막의 개발에 착수한 것이다. 이후 융합연구는 기술개발에 급물살을 타며 2012년 그 가시적 성과들을 쏟아내기 시작했다.



생체모사 완전이식형 인공달팽이관 개발을 위한 핵심기술

‘인공기저막 장치 특허출원’, ‘센서 및 전극을 갖춘 인공 와우용 장치 특허출원’, ‘능동 피드백 제어용 인공와우 장치의 특허출원.’

마침내 외부전원이 필요 없는 완전이식형 인공달팽이관 소자개발에 성공한 것이다. 이같은 결과는 여러 관련 연구원 및 연구기관들의 기술정보 공유 없이는 결코 이뤄내지 못했을 일이었다. 김완두 박사는 다시 한 번 융합연구의 중요성을 깨닫는 계기가 되었다.

만약 자신의 연구 성과만을 위해 교류에 폐쇄적인 입장을 취한다면 연구 시도와 문제해결에 상당부분 어려움을 겪었을 것이다. 다행히 수많은 연구원들과 소통한 덕분에 김완두 박사의 연구팀은 고비를 이겨내고 ‘완전이식형 인공와우 원천기술 확보’라는 고무적인 성과를 얻는 데 성공했다.

그동안 김완두 박사가 커뮤니티 활성화를 강화시킨 이유도 이 때문이다. 각

◆ **인공와우(달팽이관)** 인공달팽이관은 강력한 소형 전자칩을 이용해 소리의 크기와 음색에 따라 달팽이관을 자극해 청신경에 전달하는 장치이다.



기관별 연구의 독립성도 물론 중요하지만 융합은 모든 연구자들의 이론과 기술을 나누는 과정에서 구체화된다. 김완두 박사와 융합연구단은 이러한 사실을 완전이식형 인공달팽이관 개발로 여실히 보여준 셈이다.

완전이식형 인공달팽이관 상용화를 위한 마지막 스퍼트

생체모사 완전이식형 인공달팽이관은 연일 세간의 관심을 끌었다. 다양한 언론보도와 전시·강연이 이어졌고, 해외에서도 기술력을 높이 인정받으며 신개념 인공달팽이관의 특허가 등록되었다. 이것만으로도 김완두 박사와 연구팀은 성공을 자축하며 기쁨을 누릴 자격이 충분했다.

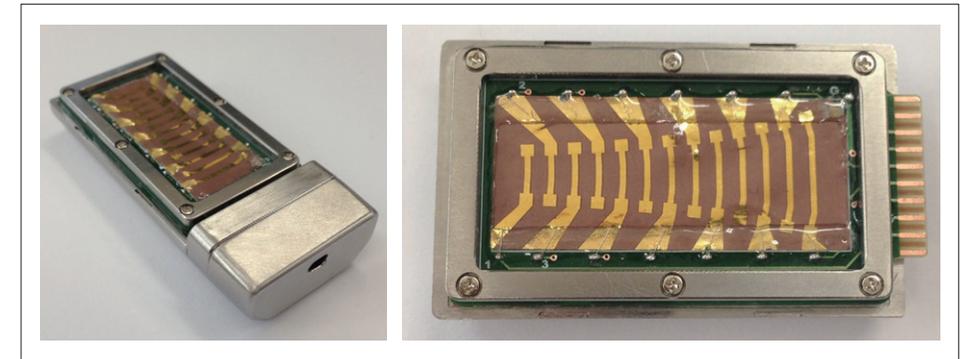
하지만 김완두 박사는 오히려 평소보다 더 많은 시간을 연구에 할애했다. 그가 이토록 끊임없이 연구과제에 매진한 데에는 일로 알게 된 한 공무원을 만난 직후부터였다.

“박사님의 연구 성과를 들었습니다. 사실 제 딸아이가 선천성 청각장애를 가지고 있습니다. 현재 양쪽 귀에 모두 인공달팽이관을 착용하는 수술을 해야 하는데, 한쪽만 하고 완전이식형 인공달팽이관 연구가 완성되면 그때 남은 한쪽을 수술해도 되겠습니까?”

그의 물음에 김완두 박사의 머리가 쭈뼛해졌다. 선뜻 “네, 그렇게 하세요!”라는 대답이 나오지 않았던 것이다. 생체모사 인공달팽이관 소자기술이 개발됐지만 실제로 개발을 완료하고 상용화되기까지, 그 시기를 장담할 수 없었기 때문이다. 연구자로서 김완두 박사는 난감함을 감출 길이 없었다. 그는 채찍을 세계 얻어맞은 느낌이었다.

‘그 말고도 지금 수많은 청각장애인들이 생체모사 인공달팽이관을 기다리고 있겠지. 그들을 위해서 연구 속도를 더 내야겠다.’

김완두 박사는 지금의 성공을 만끽할 여유가 없었다. 한시라도 빨리 생체모사 인공달팽이관을 이용하여 청각장애인들에게 소리를 찾아주고 싶은 마음이



패키지된 인공달팽이관 소자

굴뚝같았다. 이러한 마음으로 김완두 박사를 비롯한 생체모사 인공청각계 융합 연구단은 지금도 연구에 구슬땀을 쏟고 있다.

현재 연구팀은 2015년까지 생체모사 인공달팽이관 기술개발을 완료하는 데 목표를 두고 있다. 그리고 인공달팽이관 기술에 이용되는 센서원리를 먼저 활용하여 일반 센서 상용화를 예정에 두고 있다. 이러한 센서원리는 각종 초소형·고감도 센서기술에 응용이 가능해 국내 센서산업의 발전에 기여하고 나아가 국제 경쟁력의 확보도 기대할 수 있다. 센서산업의 국내 시장만 해도 그 가치가 548억 원으로 예상되고 있다.

실질적인 신개념의 인공달팽이관 기술은 임상시험을 거쳐 2020년에 상용화될 계획이다. 완전이식형 인공달팽이관의 효과는 최소 시장점유율 20%를 가정할 때 150억 원 정도 기존 인공달팽이관 수입 대체효과가 있으며, 2015년도 국내시장 규모 1,300억 원, 세계시장 규모는 17억 달러에 이르는 것으로 추정된다. 하지만 신개념 생체모사 인공달팽이관 기술은 국내외 시장 선점에 매우 유리하기 때문에 90%에 이르는 높은 시장점유율을 전망할 수 있다. 그만큼 독과점 수출이 예상되므로 경제적 기대가치는 상상을 초월한다.

김완두 박사는 그 고지를 향해 인공달팽이관 개발에 막판 스퍼트를 가하고



있다. 그는 이번 융합연구를 기점으로 인공감각계를 더 발전시키고 확산시켜 고차원적인 활용방법을 모색 중에 있다. 고감도 센서를 장착한 미래 사회를 기대하며.

참고 문헌

- von Békésy, G. Some biophysical experiments from fifty years ago. *Annu. Rev. Physiol.* 1974, 36, 1-16.
- Robles, L.; Ruggero, M.A. Mechanics of the mammalian cochlea. *physiol. Rev.* 2001, 81, 1305-1352.
- Zeng, F.G.; Rebscher, S.; Harrison, W.V.; Sun, X.; Feng, X. Cochlear Implants: System design, integration and evaluation. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* 2008, 1, 115-142.
- Xu, T.; Bachman, M.; Zeng, F.; Li, G. Polymeric micro-cantilever array for auditory front-end processing. *Sens. Actuators A Phys.* 2004, 114, 176-182.
- Chen, F.; Cohen, H.I.; Bifano, T.G.; Castle, J.; Fortin, J.; Kapusta, C.; Mountain, D.C.; Zosuls, A.; Hubbard, A.E. A hydromechanical biomimetic cochlea: Experiments and models. *J. Acoust. Soc. Am.* 2006, 119, 394-405.
- White, R.D.; Grosh, K. A. Micromachined Cochlear-Like Acoustic Sensor. In *Proceedings of Smart Structures and Materials 2002: Smart Electronics, MEMS and Nanotechnology*, San Diego, CA, USA, 11 July 2002.
- White, R.D.; Grosh, K. Microengineered hydromechanical cochler model. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2005, 102, 1296-1301.
- Wittbrodt, M.J.; Steele, C.R.; Puria, S. Developing a physical model of the human cochlea using microfabrication methods. *Audiol. Neurotol.* 2005, 11, 104-112.
- Wittbrodt, M.J. A Life-Sized Model of the Human Cochlea: Design, Analysis, Fabrication, and Measurements. Ph. D. Thesis, Boston University, Boston, MA, USA, 2005.
- Shintaku, H.; Nakagawa, T.; Kitagawa, D.; Tanujaya, H.; Kawano, S.; Ito, J. Development of piezoelectric acoustic sensor with frequency selectivity for artificial cochlea. *Sens. Actuators Aphys.* 2010, 158, 183-192.
- Tarn, J.-Q.; Huang, L.-J. Saint-Venant end effects in multilayered piezoelectric laminates. *Int. j. Solids Struct.* 2002, 39, 4979-4998.

융합 포인트

효율적 연구수행을 위해 명확한 목적성을 가져라

융합연구는 퍼즐을 맞추는 것과 같다. 다양한 분야의 연구원들이 각각의 연구 성격에 맞게 기술개발을 진행하며 하나의 결과물을 도출하게 된다. 그러므로 연구팀의 목적이 명확하지 않으면 제대로 된 합을 이룰 수 없다. 김원두 박사는 이러한 시행착오를 겪지 않기 위해 처음부터 생체모사와 나노압전소자의 융합이라는 목적으로 인공달팽이관 원천기술개발을 시행했다. 덕분에 각 연구팀별 집중도와 성취감을 높이며 원천기술 확보에 성공할 수 있었다.

단계별 방법론을 통한 융합연구 프로세스를 구축하라

김원두 박사의 융합연구단은 철저한 Technology Tree를 기획하고 적용하여 효율적인 연구를 진행케 했다. 융합연구는 분업으로 독립적인 연구가 진행되기 때문에 연구주체별 역할분담 및 협력체제가 확실하지 않으면 기술개발의 속도차가 생기게 된다. 그런데 융합연구 프로세스를 구축함으로써 연구별 균형을 이루고, 연구자 간 신뢰를 높이는 시너지 효과를 얻었다.



CHAPTER
3

김은수

광운대학교 전자공학과 교수

사람과 똑같은 홀로그램 휴먼, 아바타의 기술을 꿈꾸다

홀로그램 휴먼미디어의 핵심 원천기술 연구 개발



본 융합연구는 영화 속 ‘홀로그램 아바타’와 같이 사람과 똑같이 묘사된 ‘홀로그램 휴먼’ 구현을 위한 연구개발이 이루어지고 있다. 이번 연구를 위해 2011년 김은수 교수를 센터장으로 한 ‘홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터’가 창설되었으며, 그의 국내 관련분야 최고의 전문가 14명이 주축으로 참여하여 융합연구를 수행하고 있다.

본 연구센터는 2020년도형 홀로그램 휴먼미디어의 핵심기술 연구개발 및 시연을 목표로 자유공간 홀로그램 디스플레이 핵심기술, 감성인지적 휴먼미디어 콘텐츠 핵심기술, 홀로그램 휴먼미디어 통합 인터페이스 및 플랫폼 핵심기술 개발 등 3개의 총괄과제를 구성하고, 이를 통해 연구개발된 각각의 핵심기술들 간에 직렬/병렬 통합적 융합연구가 활발히 진행되어 현재 130편의 SCI 논문과 137건의 지적재산권을 출원 및 등록하는 성과를 냈다. 또한 <Nano Letters>(IF:13) 및 <Advanced Functional Materials>(IF:10), <Scientific Reports>(IF:5)에 게재됨으로써 융합연구의 우수성을 인정받고 있다.

학제 간·기술 간 융합공간, 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터

홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터의 토의과정은 때론 난투장 같기도 하고, 엄숙한 회의장 같기도 했다. 차근차근 하나하나 토론을 거치면서 연구원들은 각 세부연구 분야에서 개발되어야 할 핵심 요소기술을 결정하고, 이들 요소기술을 어떻게 서로 간에 융합할 것인가를 심도 있게 논의를 이어갔다.

“홀로그램 아바타의 존재이유는 사람과의 교감을 이루고자 하는 데 있습니다. 즉, 사람의 감정을 이해하고 소통할 수 있어야 된다는 것이죠.”

“가령 독거노인들의 말벗이 되어준다거나 아바타로 아이들의 학습을 도와주는 것처럼 말이죠?”

학제 간·기술 간 융합을 위해 김은수 교수가 제일 먼저 시행한 것은 토론회를 개최하는 일이었다. 학자적 지위를 내려놓고 참여연구원 누구나 가감 없이 아이디어를 제안하고, 공유할 수 있도록 자유로운 토론 분위기를 형성했다. 그리하여 각 연구원들 간의 대화를 통해 추상적인 아이디어를 구체화하고, 세부 연구주제를 고안할 수 있는 방편으로 삼고자 했다.

전공분야가 완전히 다른 연구원들은 센터의 연구목표, 연구내용 및 신기술에 대한 이해정도가 서로 달라, 이를 조율하는 과정에서 편견 없는 질문과 대답은 상호이해도를 높이는 효과를 주었다. 그러다 어느 순간 연구원들의 입을 막는 경험적·지식적 한계에 다다르는 때가 생기면 김은수 교수는 세부연구원들에게 각자 부족한 부분이 무엇인지 듣고, 해당 부분을 채워줄 수 있는 국내외 전문가를 추천받아 초청강연을 진행하기도 했다. 그야말로 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터는 다양한 학문과 기술이 공존하는 연구 장터가 된 셈이다.

◆ **홀로디지로그** 홀로그램(hologram)이 결합된 신개념의 디지로그(digilog). 홀로그램 및 인터랙션 기술을 이용하여 가상세계와 현실세계가 같은 실공간에 함께 공존하며 상호 소통하는 진정한 의미의 증강현실 기술 및 이를 기반으로 한 인간감성이 극대화된 휴먼미디어 개념을 의미한다.

◆ **휴먼미디어** 인간 중심의 HHI 미디어



‘이번 융합연구는 연구과제뿐만 아니라 연구방식에 있어 좋은 선례가 될 것이다!’

그간 발 벗고 연구자 모집에 열중했던 김은수 교수는 감회가 새로웠다. 2011년 ‘Screen to Space’라는 캐치프레이즈를 가지고 미래창조과학부(한국연구재단) 지정 우수연구센터(ERC)인 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터를 출범시킬 때만 해도 모든 일이 막막했다. 마치 SF영화 속 가상현실처럼 실체하지 않는 일을 현실로 만드는 것은 그야말로 모험이었다. 실제 사람과 똑같이 묘사된 홀로그램 아바타 구현을 위한 기술개발의 출발선상에서 김은수 교수는 무(無)에서 유(有)를 함께 창조해나갈 유능한 인재들이 절실히 필요했다.

‘오늘은 제대로 된 짝을 만나야 될 텐데…….’



‘홀로그램’, ‘인간 감성’, ‘통합 인터페이스, 인터랙션 및 플랫폼’ 등의 핵심 키워드를 기반으로 세부연구책임자 3명을 찾아 나섰다.

김은수 교수의 기다림은 걱정부터 시작됐다. 매일 여러 학자들과 만남을 이어가고 있지만 뜻을 같이 할 수 있는 연구책임자를 찾는 것은 쉬운 일이 아니었다. 자신이 목표한 기술개발을 위해 어떤 연구를 해야 하는지, 어떻게 연구가 수행되어야 하는지, 좀처럼 정리가 되지 않았다.

그도 그럴 것이 김은수 교수가 기획한 연구는 지금껏 전 세계적으로 기술개발이 구체화된 예가 없었고, 기술개발 발표를 공식화한 적도 없었다. 따라서 이곳에서의 모든 시작이 바로 이 기술의 첫 사례가 되는 셈이다. 당연히 김은수 교수로서는 어떤 관련전문가를 모셔야 할지부터가 고민이 될 수밖에 없었다. 팬스레 센터장이라는 목직한 직함이 그를 짓누르고 있는 것만 같았다.

“이미 세계적인 IT기업들의 미래전략보고서를 보면 홀로그램 영상기술을 상상의 기술이 아닌 현실적인 차세대 신기술로 소개하고 있습니다.”

“그렇습니다. 일본도 2002 월드컵 유치전이 한창일 때, 전 세계 모든 축구경기장에서 홀로그램을 이용한 현실감 있는 중계를 할 것이라고 홍보하기도 했죠. 이제 홀로그램 아바타는 단순한 만화적 호기심이 아니라 미래 산업을 이끌 신 성장동력으로 자리 잡았습니다.”

연일 융합연구 후보자들과 김은수 교수 간의 격의 없는 대화가 이어졌다. 이처럼 많은 연구원들과 소통하다 보니 초반 연구원 모집에 다소 혼란스러웠던 것도 잠시, 센터의 연구목표가 좀 더 명확해지고 대략적인 관련분야 연구원의 윤곽이 잡혀가고 있었다.

센터의 연구목표인 홀로그램 아바타가 실제 자유공간상에서 사람과 감정적 교감을 이뤄나가려면 3가지의 기술개발이 중요했다. 공간을 만들어주는 홀로그램 3D 디스플레이 기술개발, 사람의 행동 및 감정선을 구현하는 감성형 공감 홀로그램 콘텐츠 생성기술개발, 사람과 현실상의 소통을 위한 인간과 홀로그램 아바타 간의 상호 인터랙션 기술개발 등이었다. 이를 위해서는 홀로그램, 영상 처리, 정보통신, 디스플레이, 레이저, 광나노 소자, 3D 콘텐츠, 컴퓨터그래픽스,



haptic(촉각), 인터페이싱, 인터랙션, 휴먼팩터, 인간 감성 인지/측정/평가, 통합 플랫폼 기술 등 다양한 분야의 전문가들의 긴밀한 학제 간 공동연구가 절대적이다. 따라서 이 분야의 전문가들을 찾아 융합연구팀을 구성하는 것이 매우 중요했다.

우선 ‘홀로그램’, ‘인간 감성’, ‘통합 인터페이스, 인터랙션 및 플랫폼’ 등의 핵심 키워드를 기반으로 세부연구책임자 3명을 찾아 나섰다. 주변의 소개도 받고, 인터넷을 통해 관련 전문가를 직접 검색하면서 대학 및 국책연구소에서 40여 명의 후보자를 찾아냈고, 그중 센터와 연구 분야의 일치도, 관련 연구업적 등을 심사하여 10여 명의 박사를 선발했다.

이후 김은수 교수는 해당 후보자들을 직접 방문하여 인터뷰를 진행했고, 개인사정으로 만나지 못하는 후보자의 경우 전화인터뷰로 대신하기도 했다. 그리하여 홀로그램 아바타 기술개발에 적합한 3명의 세부연구책임자가 선정됐다. 각 세부연구책임자들은 또다시 관련기술개발의 참여연구원들을 모집하여 최종 15명의 학제 간 연구 집단을 구성할 수 있었다.

지금까지의 대부분 센터 단위의 공동연구는 같은 분야의 연구자들이 모여 관련기술의 핵심 및 응용기술을 연구 개발하는 것에 지나지 않았다. 학문연구에서 다른 분야의 연구자들을 만날 수 있는 기회가 그리 많지 않을뿐더러 대부분 자기 분야 외에 다른 분야는 잘 모르기 때문에 융합연구의 기회를 찾기도 어려웠다.

이처럼 다양한 분야의 연구자가 참여한 학제 간 연구는 쉽게 오는 기회가 아니다. 따라서 김은수 교수는 현실과 가상세계의 벽을 허무는 이번 연구를 위해 먼저 학제 간·기술 간 벽을 허문 융합공간을 탄생시킨 셈이다.

아이디어의 융합, 기술 간 연결고리를 만든다

영화 스타워즈(Star Wars)를 보면 멀리 떨어져 있는 사람이 회의장에 홀로그

램 영상으로 참석하여 여러 사람과 마주보며 이야기를 나누는 장면이 나온다. 톰 크루즈가 주연한 영화 마이너리티 리포트(Minority Report)에서도 주인공이 가족과 생전에 찍은 동영상을 공중에 홀로그램으로 펼쳐놓고 대화하는 장면이 나온다. 여기서 홀로그램으로 등장하는 회의 참석자나 가족은 물리적인 실체는 아니지만 말과 행동, 얼굴표정 등 모든 것이 실제 사람과 똑같이 묘사되고 있다.

이렇듯 SF영화에서는 영화감독의 무한한 상상력을 통해 다양한 미래사회 모습과 과학기술의 미래비전이 제시되어 왔다. 이는 현대 과학자들에게는 많은 신기술개발 동기를 제공해 왔다고 볼 수 있다. 스티브 잡스(Steve Jobs)의 아이패드가 이미 43년 전 한 영화 속에서 뉴스패드란 이름으로 먼저 선을 보였듯이 지난 20년간 할리우드 영화에서 가장 많이 등장해 온 홀로그램 아바타도 머지 않아 우리 앞에 등장할 것이라는 확신과 함께 김은수 교수는 관련연구에 과감한 도전장을 내민 것이다.

‘지금처럼 급속한 정보통신 기술의 발달이라면 영화 속 홀로그램 아바타 세상도 머잖아 현실로 다가오지 않을까?’

순전히 김은수 교수의 학문적 호기심에서 홀로그램 아바타 연구의 출발이 이루어졌기 때문에 처음 기술 간의 연결고리를 찾는 일이 쉽지 않았다. 따라서 무엇보다 핵심은 목표를 구현하기 위해 세부기술 발굴 및 기술 간 융합을 위한 방안 모색이 가장 절실했다.

세부기술 발굴을 위한 아이디어 제안은 가장 중요한 과정 중 하나이기 때문에 센터에서는 다양한 방법을 동원하여 참여연구원 간에 아이디어를 공유함으로써 새로운 세부 연구주제를 고안해냈다. 대외적으로 공청회를 가져 기술구현을 위한 새로운 아이디어를 획득할 수 있게 만들었고, 자체적으로는 연구 아이디어 상시 자유공모(연구주제 풀링제도)를 통해 적극적인 연구를 도모했다.

또한 국제적인 홀로그램 아바타의 산업화 방향 및 세계적인 연구추세를 알기 위해 다양한 미래전략보고서를 활용하기도 했다. IBM사의 <Next Five in



다양한 토의와 브레인스토밍은 상호이해도를 높이고 아이디어를 공유하는 데 도움이 되었다.

Five), Microsoft사의 <Microsoft Office Labs Vision 2019>와 같은 객관적인 인용 자료에는 공통적으로 홀로그램을 기반으로 한 공간홀로그램 화상통신 시스템, 홀로그램을 활용한 의자 설계 및 조립 기술과 같은 새로운 형태의 홀로그램 가상현실 시스템을 예견하고 있었다. 이를 바탕으로 김은수 교수는 연구팀이 추구하고자 하는 기술의 흐름과 전망 등을 손쉽게 알 수 있도록 했다.

게다가 회의장소를 매번 바꾸는 소소한 노력도 게을리하지 않았다. 아이디어 및 기술 융합을 위한 김은수 교수의 이러한 정성은, 그가 구현하려는 최종목표가 기존의 과학적 기술한계의 틀을 깨는 것이기 때문에 연구원 스스로도 틀에 박힌 사고를 깰 수 있는 최상의 조건을 만들어주고 싶은 마음에서였다.

결국 김은수 교수의 다양한 브레인스토밍 방법은 아이디어를 공유하고 구체화하기 위한 아이디어 유통경로를 확보하는 데 주요했다. 참여연구원들에게 추

천받은 관련 분야 단체만 해도 국내기업은 물론 연구소, 기관과의 산학연관 협력 연계망이 47개나 되고, 해외 20개국 75개 대학 및 연구소와 국제협력 네트워크를 구성할 수 있었다.

이를 토대로 각 연구팀 간의 활발하고 원활한 연구연계가 이어지면서 세부 분야별 연구개발기술 로드맵 작성이 완성되었다. 총 3개의 연구 그룹으로 구성하였고, 그 첫 번째 그룹은 홀로그램 3D 영상을 자유공간에 보여주는 기술을 연구 개발한다. 이는 일반적인 2D 모니터상에서 보여주는 평면 형태의 가상현실 세계를 실제 공간상에 홀로그램 영상 형태로 보여줌으로써 어느 위치에서나 동일한 홀로그램 영상을 볼 수 있게 해주는 기술이다.

두 번째 그룹은 시각적으로 그리고 감성적으로 실제 사람의 모습, 행동, 그리고 감정표현을 동일하게 표현해줄 수 있는 감성적 홀로그램 콘텐츠를 합성하는 연구를 진행한다. 즉, 실제 사진 기반의 영상 홀로그램 획득 및 처리기술, 컴퓨터 그래픽 기술을 이용하여 가상의 물체 또는 캐릭터 등을 합성 및 처리할 수 있는 기술과 인간의 감성을 인지하고 측정, 그리고 판단을 하고, 이를 실제 사람과 똑같이 표현하는 기술을 연구하는 것이다.

세 번째 그룹은 휴먼-홀로그램 인터랙션 기술을 연구한다. 휴먼-홀로그램 인터랙션이란, 사람과 홀로그램 영상 간의 상호작용을 통해 사람이 마치 실제 사람과 대화하고 행동하고 반응하는 것과 같은 형태의 물리적, 그리고 감성적 교감을 할 수 있게 해주는 인터랙션 기술의 연구를 의미한다. 즉, 실제 사람이 홀로그램 영상을 만졌을 때 촉감을 느끼게 해준다는 것과 실제 사람과 동일한 감정을 얼굴 표정의 변화를 통해 보여주는 것, 그리고 상대방의 반응에 따라서 다른 행동을 보여주는 것 등을 포함하는 기술의 연구이다.

이렇게 3개의 세부 전문분야를 나누고 각각의 연구책임자를 중심으로 그룹간 과제를 도출하며 기술 간 융합연구 시스템에 완벽이 기해졌다. 홀로디지로 그 휴먼미디어 연구센터의 센터장으로서 김은수 교수의 역할이 빛을 발하는 순



〈표〉 융합연구 조직형태

제1 총괄과제
<ul style="list-style-type: none"> ● 홀로그램/집적영상 합성, 처리, 공간투영 기술(광운대 김은수 교수) ● 홀로그램/집적영상 합성, 처리 모듈 기술(광운대 김남영 교수) ● 홀로그램 및 집적영상 디스플레이 기술(충북대 김남, 경희대 민성욱 교수) ● 공간홀로그램 디스플레이 핵심 광/나노 소자 기술(광운대 이상신, 이지훈 교수)
제2 총괄과제
<ul style="list-style-type: none"> ● 실사에 의한 3D 영상 제작/획득 기술(광주과기원 호요성, 한경대 조명진 교수) ● CG에 의한 3D 콘텐츠 제작 기술(KAIST 윤성의 교수) ● 사용자 감성인지 기술(경희대 이승룡 교수) ● 제작된 홀로그램 휴먼미디어 콘텐츠의 감성 평가 기술 및 감성인지적 콘텐츠 제작 핵심 기술 담당(상명대 황민철 교수)
제3 총괄과제
<ul style="list-style-type: none"> ● 홀로그램 휴먼미디어 시스템 통합 플랫폼 핵심 기술(고려대 김정현 교수) ● 공간홀로그램 영상과 사용자 간 센싱/인식 및 인터랙션 기술(KIST 박민철 박사, 동서대 이병국 교수) ● 홀로그램 공간영상 촉각 기술(광주과기원 류제하 교수)

간이었다.

융합연구의 효율과 신뢰를 높인 행정 시스템

‘다양한 연구수행과 여러 전문가들과의 교류가 이루어지니까 정신이 하나도 없네. 행정처리 일만도 만만치 않겠어.’

홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터의 윤곽이 명확해지고 점점 부피가 커지면서 김은수 교수의 업무량도 자연스럽게 늘어났다. 연구 외에도 센터의 운영을 책임져야 하는 그로서는 체계적인 연구지침과 관리규정의 필요성도 함께 느꼈다.

융합연구의 투명성을 기하고 효율성을 높이는 방안을 고심한 끝에 김은수 교수는 행정시스템을 더욱 견고히 하기로 했다. 우선 그룹별 연구비 집행에 관한 구체적인 관리가 이루어져야 하고, 그룹 연구진행 상황에 따라 재빠른 의사교환이 가능해야 했다. 그래야 서로 신뢰가 쌓이고 각 연구수행의 즉각적인 수

정 및 대응이 원활하기 때문이다.

따라서 김은수 교수는 연구비 집행을 위해서는 기존의 한국연구재단 및 광운대학교 산학협력단 관리지침에 센터 자체의 연구비 관리규정을 제작하여, 각 참여연구원에게 배포하고 연구비 집행에 대한 가이드라인을 제공했다. 그리하여 연구비 집행기준과 집행절차에 의해 각 세부과제 전체의 연구비를 관리하고, 연구비 관리를 담당하는 인력과 조직을 하나로 묶어 중복된 통제활동으로 인한 비용과 인력낭비를 방지했다.

또한 각 예산 항목에 대한 필요한 서류들을 양식화하고, 예문의 일관성을 갖도록 서류작성을 유도했다. 이를 통해 빠른 행정업무와 일관된 업무처리를 꾀하려 했던 것이다. 그러나 이러한 중앙관리체제 방식이 체계적인 관리에는 효과적이지만 분명 단점도 가지고 있었다. 김은수 교수는 이를 고민하지 않을 수 없었다.

‘기준과 절차의 통일성을 지나치게 강조하면 연구 활동에 장애나 언쟁이 발생할 수도 있을 텐데……. 행정 시스템의 조화를 이루면서 자유로운 연구수행이 가능하도록 보완이 필요하겠군.’

하나를 해결하면 다른 하나의 문제가 생겼다. 본인도 센터장 이전에 한 명의 참여연구원으로서 복잡한 연구를 수행하며 까다로운 행정절차까지 지키기란 쉽지 않다는 것을 충분히 이해하고 있었다.

“본 연구센터에서는 연구비 관리규정을 따르되 행정절차를 간소화하여 연구원들의 연구진행에 무리가 없도록 할 것입니다. 또한 센터의 주요 결정사항은 각 사업부의 의견을 수렴하고 자문위원회와 운영위원회의 의견을 통해 최종 결정하겠습니다.”

김은수 교수는 비로소 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터의 운영방침을 확정했다. 최대한 연구원들의 불편을 최소화하고, 연구의 투명성을 높이려는 흔적이 역력했다. 그리하여 연구비의 부정사용을 예방하는 동시에 참여연구원에



융합연구의 투명성을 기하고 효율성을 높이기 위해 행정시스템을 더욱 견고히 했다.

게 필요한 연구 기자재를 즉시 지급할 수 있는 효과를 얻을 수 있었다.

또한 김은수 교수는 연구원들의 연구 의욕을 독려하는 것도 잊지 않았다. 그는 연구수행 단계에 자체평가위원회를 구성하여 평가기준에 따라 각 세부과제별 목표달성도에 따른 연구비를 배분하고, 자체 인센티브 지급기준을 마련하여 인센티브를 차등지급하는 제도도 갖추었다. 즉, 전체 예산의 20%를 유동적으로 운영하여 각 세부과제 간의 목표달성도에 대한 상대평가를 수행하고, 이를 인센티브 지급기준에 따라 인센티브 포함 연구비를 차등지급하게 된다.

각 연구원에 대해서도 실적평가를 통한 인센티브 기준에 의거 연구원별 인센티브를 차등지급하며, 신규 아이디어 공모를 통해 평가위원회의 우수관정을 받은 연구원에게도 위에서 언급된 20%의 유동예산을 이용하여 새로운 과제를 창출하도록 적극 지원한다.

하지만 만약 각 단계별 중간·최종 평가를 통하여 연속으로 목표달성을 이루

지 못한 세부과제의 경우에는 자체평가위원회를 통하여 세부과제의 탈락 및 연구원 교체 등의 조치를 취하게 된다. 이처럼 당근과 채찍을 적절히 이용한 김은수 교수팀의 행정운영은 연구원들의 사기를 높이며 효율적인 연구수행에 도움을 주고 있다.

그리고 연구수행 중 의사교환과 빠른 업무지원을 위해서는 SNS Tool을 활용했다. 실시간적인 교류 및 소통이 이어질 수 있는 인터넷을 적극 활용하여 연구진행 사항과 내용을 수시로 공유하게끔 하였다. 가령 오픈형 문서공유 시스템인 Google Drive를 이용하여 문서 공유권한을 갖는 사람은 언제 어디서든 문서를 확인할 수 있게 했고, 통신용 메신저 등으로 실시간 협의가 가능해 잘못된 방향의 연구는 즉각 수정이 가능케 했다. 그리하여 연구목표의 일관성을 유지하며 불필요한 연구수행을 줄이고, 연구팀 간의 물리적 거리로 생기는 행정 지연이나 소통불능을 사전에 차단할 수 있었다.

이처럼 탁월한 행정적 뒷받침이 따라준 덕분에 연구업적을 쌓는 데에도 긍정적으로 작용됐다. 학제 간 공동·융합연구가 활발해지면서 새로운 융합주제 발굴이 늘어났고, 이를 바탕으로 수행된 연구 실적이 커다란 상승선을 그리고 있었다. 본 연구센터에서 분기마다 개최되는 홀로디지로그 기술워크숍의 각 참여연구원별 연구업적에 대한 정량적 실적 달성도를 보면, 센터에서 처음 잡았던 목표를 초과 달성한 사례가 많았다.

일례로 본 연구센터에서는 관련연구 분야 저널 중 상위 10% 안에 드는 SCI 저널에 전체 논문의 20% 이상 게재하도록 참여연구원들을 유도하고 있었다. 어찌 보면 꽤나 부담스러운 목표였지만, 김은수 교수는 이번 연구의 의미를 단순히 융합과제를 성실히 수행하는 것으로 만족할 수 없었다. 김은수 교수의 진정한 목표는 국제저널에 논문 유도를 통해 홀로그램 기술에 관한 주도권을 명확히 하고, 관련 분야의 세계 최고 연구그룹으로 지향하는 데 있었다.

그의 홀로그램 아바타 세상을 주도하는 글로벌 대표주자의 야심은 결코 허



튼 꿈이 아니었다. 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터는 2011년 9월부터 현재 까지 130편의 SCI 논문과 137건의 지적 재산권 출원 및 등록을 진행했다. 이는 목표대비 실적을 가뿐히 뛰어넘어 초과 달성한 수치였다. 결국 김은수 교수와 그의 연구팀은 이미 홀로그램 아바타 세상을 이끌어가는 드림팀이었던 셈이다.

직렬/병렬 통합적 융합연구의 완벽 하모니

김은수 교수는 자체평가위원회에서 실시한 연구수행평가 결과를 보고 낮은 탄식이 흘러나왔다. 각 팀별 연구실적은 뛰어난데 아직 학제 간·기술 간 교류는 부족하다는 분석이 나온 것이다. 외모적·감정적·공간적으로 인간모습과 거의 흡사해야 할 홀로그램 아바타 개발은 그만큼 기술개발이 복잡하고 정교하기 때문에 그 어느 연구보다 기술 간 상호작용이 절대적으로 중요했다. 즉, 기술 간 교류와 협력이 융합연구의 성패를 좌우한다고 해도 과언이 아니다. 그런데 사업추진 상황을 평가하고 문제점을 파악하도록 만든 자체평가위원회에서 이번 연구에 가장 중요한 덕목을 여실히 지적한 것이다. 김은수 교수로서는 아쉬움이 큰 대목이었다.

‘각 연구팀이 참여분야 요소기술 개발에 집중하다 보니 상대적으로 기술적 협력은 저조해졌다. 그렇다면 참여연구팀 간의 공동연구 프로젝트를 보다 강력히 추진해야겠어.’

총괄적인 연구를 책임져야 하는 김은수 교수는 결단을 내릴 수밖에 없었다. 효율적이고 능동적인 융합연구를 위해 그는 직렬/병렬 통합적 융합연구의 형태로 각 그룹별 기술융합이 이루어지도록 애썼다.

이를테면, 제1과제에서 연구 개발된 공간홀로그램 디스플레이 시스템에 제2과제의 연구 개발된 감성형 공간홀로그램 영상을 투영시키고, 제3과제에서 연구 개발된 플랫폼 위에 사람과 투영된 공간홀로그램 간의 인터랙션으로 최종 홀로그램 아바타 시스템을 구현하고 시연하게 된다.

이 핵심기술 간의 세부적인 융합은 예를 들어 제2세부과제의 상명대와 제3세부과제의 고려대가 ‘홀로그램 인터랙션을 위한 가상 촉각의 인지반응 분석 연구’를 위해서 수시로 각 기관을 방문하여 공동실험 및 결과분석을 함께 추진하도록 하는 것이다. 또한 제1세부과제의 광운대와 제3세부과제의 고려대는 광운대에서 제작한 홀로그램 3D 디스플레이 프로토타입을 고려대 측에 전달하여, 이 프로토타입에 인터랙션 기술을 장착하는 연구를 공동으로 진행하게 된다.

이러한 3자 간 쌍방향 연구형태는 각자 기술개발을 수행하며 서로 간 기술적 용과 개선, 보완이 동시에 이루어진다. 그럼으로써 선례가 없던 홀로그램 아바타 기술 융합연구의 시너지 효과를 극대화하는 역할을 하게 된다.

실제로 김은수 교수와 연구팀은 직렬/병렬 통합적 융합연구를 적용하여 학제 간 협력연구 및 공동시제품 설계제작을 수행하고 있다. 현재 제1세부과제의 김은수 교수팀이 프리즘 어레이 및 플로팅 렌즈를 이용하여 3차원으로 영상이 보이는 홀로그램 시제품을 만들었고, 이를 이용하여 제3세부과제의 박민철 박사팀은 뇌파로 인터랙션하는 기술을 연구, 개발하고 있다.

다음으로 광주과기원의 류제하 교수 연구팀이 이 시제품을 이용하여 햅틱(haptic) 기반의 연구를 진행하고 있으며, 이를 이용하여 평면상의 인터랙션을 3차원으로 확장하였을 시 생기는 문제점들을 발견하고 해결하는 연구도 진행하고 있다. 마지막으로 상명대의 황민철 교수팀은 이 시제품을 이용하여 3차원 디스플레이가 인간의 감성에 미치는 영향에 대해 연구를 진행하고 있다.

이렇듯 유기적으로 연결되는 하나의 융합연구는 완벽한 호흡으로 20여 편의 학제 간 공동논문 및 특허발표의 성과를 가져왔다. 그저 양적인 연구결과 달성만이 아니라 질적으로도 우수한 연구를 유도하여, 그 결과 이지훈 교수와 김은수 교수가 공동으로 진행한 융합연구는 <Nano Letters>(IF:13) 및 <Advanced Functional Materials>(IF:10)에, 이상신 교수와 김은수 교수의 융



합연구는 <Scientific Reports>(IF:5)에 각각 게재되면서 융합연구 결과의 우수성을 인정받고 있다.

김은수 교수는 단순히 결과에만 만족하는 것이 아니라 이번 융합연구를 통해 얻은 결과물을 인류사회 발전에 도움이 되도록 성과물 확산에도 힘을 쓰고 있다. 그는 어느 날 낮선 이로부터 한 통의 전화를 받고 깨달은 것이 있었다.

“교수님이 연구 중인 홀로그램 가상현실 기술을 전국 고등학생들에게 가르치고 싶은데 마땅한 실험장비와 교재가 없어 안타깝습니다. 혹시 관련 실험교재를 개발할 수 있으십니까?”

부산의 한 과학고등학교 선생님이라고 밝힌 이의 부탁이었다. 그분의 제안은 김은수 교수에게는 매우 신선하면서 한편으론 자극적이었다.

‘우리의 연구를 이렇게 활용할 수도 있겠구나!’

이후 김은수 교수는 그분과 홀로그램 가상체험을 위한 교육적 홀로그램 가상현실 실험기기 연구개발을 추진하고 있다. 그리고 또 다른 방식의 기술 확산에도 눈을 돌리고 있다. 적극적으로 연구 성과물을 관련기업에 기술이전하여 산업화를 추진하고 있는데, 특히 LG전자와는 센터 출범 초기부터 미래의 홀로그램 아바타 관련 핵심기술을 공동연구개발하고 시제품을 공동제작하며 산업화를 추진해왔다. 또한 SK텔레콤과는 스마트폰용 홀로 그래픽 콘텐츠 생성 핵심기술 개발을, (주)마이마스와는 홀로그램 기반 광고 시스템 개발을 진행하고 산업화를 준비하고 있다. 그 외에도 현대모비스와는 자동차에의 응용기술을, 인천공항과는 공항 내부 영상물 장치 개발을, (주)아이지엠과는 의료분야 응용을 위한 홀로그램 기술 개발 등을 비롯하여 다수의 중소기업과 키오스크, 옥외광고, 의료영상, 바이오산업 등 다양한 분야에 최초로 공간홀로그램 기술을 적용한 산학협력연구를 협의하거나 진행하고 있다.

또 다른 한편으로는 참여연구원들을 중심으로 한 벤처창업을 유도하여 성과물의 사회 환원을 시도하고 있다. 일례로 홍석표 박사 등 4명의 박사급 연구

원들을 주축으로 올해 4월 1일 홀로스페이스(주) 법인을 설립하고, 현재 센터로부터 기술이전 받은 홀로그램 디스플레이 기술을 바탕으로 신제품을 개발하고 있다.

이처럼 홀로그램 아바타 기술이 더욱 확산된다면 교육, 방송, 통신, 건축, 의료, 게임 등 다양한 분야에 접목되어 우리의 실생활에 혁명적인 변화는 물론 경제적 파급효과도 상당할 것으로 예상된다. 최근 미래창조과학부 조사에 따르면 현재 세계 홀로그램 시장의 규모는 지난해 기준 168억 5,400만 달러(약 17조 3,050억 원)이며, 2017년 257억 달러(약 26조 3,880억 원)를 넘어 2025년에는 5배 이상 시장규모가 상승할 것으로 예측하고 있다. 한국전자통신연구원(ETRI) 산업전략연구부의 조사결과 역시 2017년부터 8년간 총 11조 5,000억 원의 생산규모가 창출될 것으로 전망하며, 아울러 같은 기간 시장창출로 총 22조 4,000억 원의 생산 유발, 총 5조 1,000억 원의 부가가치, 총 10만 8,000명의 누적 고용창출이 생성될 것으로 분석되고 있다.

이제는 홀로그램 융합산업이 막연한 환상이 아니라 미래 국가경제 차세대 산업으로 ‘ICT(정보통신기술) 10대 핵심기술’로 선정될 만큼 우리 안에 바짝 다가와 있다. 그 꿈의 기술을 실현시키려는 김은수 교수는 이런 말을 했다.

“홀로그램 아바타 기술은 10년 이내 상용화를 목전에 두고 있다. 인간의 생활공간이 현실세계에서 가상세계로까지 확장되는 즐거움을 맛보게 될 것이다.”

그날을 기대하며 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터의 김은수 교수는 국제 컨퍼런스인 ‘CC3DMR’을 매년 개최하며, 세계 속 홀로그램 아바타의 선구자적 입지를 새롭게 다지고 있다.



참고 문헌

- 김은수, "광운대학교 홀로디지로그 휴먼미디어 연구센터," 대한전자공학회 Webzine, 2012.
- 이동훈, "광운대학교 『홀로-디지로그 휴먼미디어 연구센터』," 정보과학회지, 2011.
- 김은수, "홀로그램 아바타와 UX," 정보처리학회지, 2014.
<http://www.holodigilog.org>
- 아이패드, 30년전 SF영화에 이미 등장, ZDNet Korea, 2011.08.24.
- IBM Reveals Five Innovations That Will Change Our Lives in the Next Five Years, <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/33304.wss>, 2010.
- Microsoft Office Labs Vision 2019, http://www.youtube.com/watch?v=Zp_oUwdSeY, 2010.
- (이머징 이슈) 2022 월드컵 한일전, 전자신문, 2010.06.03.
- 스마트교육 추진 전략(안), 국가정보화전략위원회, 교육과학기술부, 2011.
<http://www.cc3dmr.org>

융합 포인트

융합연구 수행에 적합한 고급 연구인력 배출에 힘써라

효과적인 융합연구를 추진하기 위해서는 여러 분야를 통찰하고, 이를 모아 하나의 큰 융합시스템을 기획할 수 있는 미래 전문 연구인력 양성이 필수적이다. 김은수 교수의 연구센터에서도 주기적인 공동워크숍 개최, Google Drive를 통한 상시 공동연구 수행, 공동 시제품 설계제작, 국제학술지 공동연구논문 발표 등 활발한 공동연구를 통해 참여연구인력 간의 보다 많은 융합연구 경험을 유도하고 있다. 이로써 융합연구에 적합한 인재를 육성하고 원활한 연구수행을 이뤄가고 있다.

연구 성과 공유와 확산을 위한 다양한 방안들을 마련하자

본 연구센터에서는 매 분기마다 홀로디지로그 기술워크숍 및 'CC3DMR'이라는 국제학술 대회를 개최하여 국제적 융합연구 주제 발굴 및 기술 공유를 이뤄가고 있다. 또한, 다양한 인터넷 tool을 사용하여 참여연구원 누구나 쉽게 정보를 공유하고, 그 정보를 수정 및 업데이트할 수 있도록 했다. 이로써 연구현황 파악이 쉬워지고 기술개발 접근을 용이하게 하여 다양한 기술 확산의 성공적인 토대를 마련하게 되었다.



이두용

KAIST 기계공학전공 교수

ERCP 시뮬레이션 기술 개발로 선진 의료화 실현

ERCP 시뮬레이션 기술 개발 및 영상유도 ERCP 기술 개발



본 융합연구팀은 연구책임자인 한국과학기술원 기계공학전공 이두용 교수와 공동연구자인 이화여자대학교 의학전문대학원 소화기내과 및 이대목동병원 이선영 교수 그리고 참여연구원들로 이루어졌다.

이번 융합연구를 통해 ERCP 시뮬레이션 기술 및 영상유도 ERCP 기술이 개발되었다. ERCP 시뮬레이션 기술은 신진 의사들을 훈련시키는 데 활용할 수 있고, 여러 가지 다른 시술에 대한 계획이나 훈련을 목적으로 하는 시뮬레이션에도 직접적으로 활용될 수 있다. 새로운 영상유도 ERCP 기술은 의사가 더욱 안전하고 정확하게 시술하도록 도와줄 수 있다. 또한 의료 선진화를 위해 꼭 필요한 의료용 시뮬레이션에 대한 관심을 이끌어낸 것도 이번 융합연구의 빼놓을 수 없는 성과이다.

KTX 최고등급으로 소통하다

이른 아침, 이두용 교수의 발길이 향한 곳은 대전KTX 역사였다. 그의 목적지는 몇 해 전부터 ‘ERCP 시뮬레이션 기술 개발 및 영상유도 ERCP 기술 개발’을 공동으로 진행하고 있는 서울 이화여자대학교 의과대학 부속 목동병원(이하 이대목동병원)이었다.

이두용 교수는 서울에 있는 병원과 협업을 했기 때문에 수시로 가는 서울 출장이 만만치는 않았다. 1분 1초가 아쉬운 상황에서 애써 서울까지 가는 이유는 직접 대면하는 것이 최고의 소통이라 믿기 때문이었다.

언젠가 이두용 교수는 몇 날 며칠이 지나도록 의견교환이 제대로 안 되어 고생을 한 일이 있었다. 더 이상은 안 되겠다는 생각에 직접 서울로 연구팀을 찾아가 단순한 그림과 이야기 몇 마디로 10분도 안 되어 문제가 해결되었다. 이런 일은 이번 공동연구는 물론 과거에도 빈번히 일어났다.

전화, 이메일, 유튜브 등 제아무리 통신수단이 발달해도 직접 보고 의견을 나누는 것이 최고의 소통이라는 것을 잘 아는 이두용 교수는 가급적이면 공동연구자와 얼굴을 맞대고 연구를 진행한다. 함께 의견을 나누는 일은 늘상 필요했기 때문에 자연스럽게 자주 대전과 서울을 오갔다. 과거 KTX 등급제가 있었을 당시 다이아몬드라는 최고등급을 부여받았을 정도였다.

“아무리 소통이 중요하다지만 오고가며 허비하는 시간이 아깝지도 않으세요?”

“허비라뇨? 그때야말로 연구를 돌아볼 수 있는 천금과도 같은 기회죠. 그래서 저는 출장이라는 말 대신 여행이라는 표현을 쓴답니다.”

오고가는 와중에 이두용 교수는 연구에 대한 책이나 자료를 읽고 생각에 생각을 거듭한다. 연구자로서 평소 당연이 해야 할 일들이지만 바쁜 일정에 쫓기다 보면 오롯이 사색에 잠길 여유가 생각보다 없다. 이러한 직접적인 소통은 여러모로 품이 많이 드는 일이지만, 공동연구자와 진정으로 교감하게 만들어주는



것은 물론 창의적인 아이디어를 떠올릴 수 있는 시간까지 가져다준다.

드디어 이두용 교수의 몸을 실은 KTX가 출발하였다. 차창 밖으로 쏟아져 쏟아져 스쳐가는 풍경처럼 이두용 교수의 머릿속에는 지난 3년여 간 연구에 주력한 시간들이 흘러갔다.

의술의 맥도날드 효과

기계공학자인 이두용 교수는 로봇 연구를 막 시작했을 때부터 공학과 의료의 융합에 관심이 매우 컸다.

산업 및 군수 분야 다음으로 로봇이 많이 사용되는 곳이 의료였기 때문이다. 더불어 실리적인 연구를 희망하는 이두용 교수에게 공학과 의료의 융합은 그 어떤 것보다 많은 이들에게 직접적으로 혜택을 주리라 기대하게끔 만들었다.

“이 교수님과는 의료 관련 세미나나 학술대회에서 빠지지 않고 만나게 되네요.”

융합을 위해서 의료에 대해 잘 알아야 한다고 생각한 이두용 교수는 열심히 의료 관련 세미나와 학술대회에 참여했다. 그러자 나중에는 이두용 교수를 먼저 알아보고 인사를 하는 의료계 인사가 있을 정도였다. 의료인들과 자연히 안면을 튼 이두용 교수는 의료 분야 역시 공학과와의 융합에 큰 관심을 가지고 있다는 사실을 알게 되었다.

1990년대부터 보급되기 시작한 로봇 수술은 비용 대비 효과의 검증 면에서 아직 논란이 많으나, 많은 의사들에게는 부족한 경험과 술기(術技)를 보완하여 줄 수 있는 든든한 동료가 될 수 있다. 의사들에게는 불경스러운 표현이 될 수도 있겠지만 소위 ‘의술에서의 맥도날드 효과’가 가능해질 수 있는 것이다.

세계 많은 도시에서 맥도날드 햄버거나 버거킹 햄버거 가게를 손쉽게 찾을 수 있다. 맥도날드와 버거킹이 성공한 이유 중의 하나는 제공되는 햄버거의 최소 품질에 대한 검증 때문이다. 즉, 세계 어느 곳의 맥도날드 가게에 가도 최소



이두용 교수는 의료 분야 역시 공학과와의 융합에 큰 관심을 가지고 있다는 사실을 알게 되었다.

한으로 예상되는 햄버거의 품질에 대해 우리는 신뢰를 갖고 있다. 수십 년의 경험을 축적한 의사가 제공하는 의술처럼 의과대학을 갓 졸업한 의사의 의술에 대해 최소한으로 기대할 수 있게 만드는 데 공학과 기술이 큰 역할을 수행하고 있으며, 이것이 더욱 발전한다면 의술의 맥도날드 효과를 가져올 수 있다. 현재 의학계에 불어오는 이러한 바람은 이미 세계적으로 거스를 수 없는 추세이다.

의료용 시뮬레이션에 관심을 갖다

“직접 수술에 참여하는 것이 처음이어서인지 무척 떨리네요.”

어느 날이었다. 이두용 교수가 참관을 하는 수술 현장에 투입된 신입 의사가 말했다.

다소 긴장한 듯 보였던 신입 의사는 선배 의사의 숙련된 지시에 맞춰 수술을 성공적으로 마쳤다. 신입 의사의 술기 연마를 위한 불가피한 과정이었지만, 숙



련되지 못한 의사의 수술은 당사자는 물론 환자와 그 가족에게는 우려가 될 수 있는 부분이었다.

이후 이두용 교수는 의사들과 신입 의사의 수술 참여에 대한 대화를 나누었다. 많은 의사들 역시 부족한 경험과 술기를 가진 신입 의사를 실습시키는 일에 부담감을 안고 있었다. 이 문제에 대해 깊이 생각하던 이두용 교수는 인권을 중요시하는 나라에서는 이와 같은 문제의 해결책으로 의료용 시뮬레이션을 이용하고 있다는 사실을 떠올렸다. 하지만 당시 우리나라에서는 의료용 시뮬레이션에 대한 연구는 물론 관심까지 거의 전무하였다. 이두용 교수는 자신이라도 하루 빨리 관련 기술을 개발해야겠다는 뜻에 도달하였다.

이두용 교수가 개발하고자 한 의료용 시뮬레이션의 첫 번째 용도는 교육과 훈련에 있다. 의학 교육에서 익히고자 하는 의술은 크게 인지적 의학지식과 운동감각적 술기를 포함한다. 심오하고 방대한 의학지식은 책, 선생님, 선배 등을 통해서 전수된다. 이 부분에 있어서는 어느 다른 공학과 유사하다. 그러나 운동감각적 술기는 반복적인 훈련과 오랜 경험을 통하여 완성된다.

의사는 많은 의학지식을 쌓는 데서 멈추지 않고, 수술이나 시술과 관련한 다양한 운동감각적 술기를 반복 연습해서 익혀 나간다. 의학 교육과 훈련이 예과, 본과, 인턴(intern), 레지던트(resident), 펠로우(fellow) 등의 여러 과정을 거치며, 타 학문에 비해서 긴 시간과 많은 비용이 소요되는 이유 중 하나가 여기에 있다.

의학지식을 쌓는 과정은 여타 학문과 같이 안전하다. 그러나 운동감각적 술기를 훈련하는 과정에는 많은 위험이 도사리고 있다. 사체(死體)를 통한 실습은 비교적 안전하다고 할 수 있으나 배울 수 있는 술기에 있어서 매우 제한적이다. 결국 환자를 통해서 수행하는 실습과 훈련이 필수적이고 효과도 크지만, 환자의 입장에서 보자면 수십 년 경험을 가진 숙련 의사가 아닌 경험이 부족한 의사들에게 몸을 맡긴다는 것이 달가울 리 없다. 그렇다고 이러한 위험부담을 없앨 수도 없는 노릇이다. 어쨌든 신진 의사들을 길러내는 과정은 폐지할 수 없기 때

문이다. 이러한 과정에서 환자에 대한 위험을 크게 완화하고 훈련 중인 의사들이 겪는 스트레스와 고통을 줄일 수 있는 방법 중의 하나가 바로 첨단 기술을 적용한 의료용 시뮬레이션이다.

의료용 시뮬레이션의 두 번째 용도는 수술 또는 시술의 사전 계획 및 평가에 있다. 아무리 경험이 많은 의사들도 개별 환자에 맞춘 특정한 수술 또는 시술을 수행하기 전에는 환자에 대한 각종 영상 자료 등을 이용하여 매우 구체적인 세부 절차와 사항을 계획해야 한다. 현재는 주로 의사의 머리 안에서 이러한 계획과 평가가 이루어지고 있으며, 그러한 계획이 실제로 얼마나 정확하며 구체적으로 어떤 결과를 가져올지에 대해서는 그저 경험에 미루어 짐작하는 수준에 머무르고 있다. 환자의 맞춤형 자료로부터 구성된 컴퓨터 모델을 이용하여 수

의료용 시뮬레이션은 교육과 훈련, 수술 또는 시술의 사전 계획 및 평가, 질병의 진단과 약물의 검증 등 여러 용도가 있다.





술 또는 시술을 계획하고, 계획대로 시뮬레이션을 수행한 후, 결과를 컴퓨터에서 평가하며, 그 평가 결과에 따라서 수술 및 시술 계획을 다시 수정하는 등의 과정을 만족스러울 때까지 반복할 수 있다면, 실제 수술이나 시술의 결과를 크게 향상시키고 환자를 더욱 안전하게 치료할 수 있을 것이다.

의료용 시뮬레이션의 세 번째 용도는 질병의 진단, 인체 생리현상의 기전에 대한 이해, 약물의 효과에 대한 검증 등등에 있다. 특정한 질병과 인체의 현상에 대한 컴퓨터 모델을 구축하고 정교한 시뮬레이션을 수행함으로써 해당 질병과 관련된 진단과 정보를 얻을 수도 있다. 또는 인체의 생리현상과 질환에 대한 정교한 모델을 구현하고 시뮬레이션을 수행함으로써 특정 질환의 치료 방법에 대한 단초를 얻을 수도 있다. 예를 들어, 혈당과 인슐린의 작용에 대한 정교한 컴퓨터 모델을 구축할 수 있다면 다양한 시뮬레이션 결과를 이용하여 치료 방향에 대한 단서를 얻을 수도 있다. 새로운 약물을 시험할 경우에도 그 약물과 관련된 인체 시스템의 컴퓨터 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행함으로써 동물이나 인체에 대한 직접적인 실험에 앞서서 그 위험을 줄이는 데 기여할 수 있다. 이런 용도의 시뮬레이션이 가능하기 위해서는 개발된 컴퓨터 모델이 상당히 정확하고 신뢰도가 높아야 할 것이다.

긴 단어와의 인연이 시작되다

“이렇게 긴 단어는 처음 보네요. 허허. 공부를 좀 더 해야 되겠는데요.”

여러 의료진과 의료용 시뮬레이션에 관해 논의를 하던 중 나온 단어인 ‘Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography(ERCP: 내시경적 역행성 담췌관 조영술)’에 대해 이두용 교수가 말했다.

ERCP란 내시경을 구강을 통해서 십이지장까지 삽입한 후에 유두부(Major Papilla)라고 불리는 담관(Bile Duct)과 췌관(Pancreatic Duct)이 함께 만나는 입구를 통해서 카테터(catheter)를 삽입하고 조영제와 X-ray 영상을 활용하여, 담

낭, 담낭관, 췌장, 췌관 등으로 이루어진 소화기관에 생기는 질병을 진단하고 치료하는 방법이다. 일반 내시경과 달리 진행 방향에 카메라 렌즈가 있지 않고 옆 방향으로 렌즈가 있으며 좀 더 긴 내시경을 사용하고, 유두부의 절개, 담석의 제거 등을 위한 다양한 카테터를 사용한다. 조영제를 주사하여 X-ray 영상(flouroscopy)을 보면서 진단과 치료를 수행한다. 많은 연습과 경험이 필요한 술기이고 통계적으로도 일정한 비율의 합병증이 보고되는 어렵고 위험한 시술이다. 수십 년의 경험을 가진 의사들도 합병증을 완벽하게 피할 수 없는 시술이고 신진 의사들을 훈련시키는 과정에도 어려움이 많다.

의료용 시뮬레이션 중 ERCP 시뮬레이션 기술 개발에 보다 더 관심을 갖게 된 이두용 교수는 해당 기술 개발에 있어 공학적인 여러 기술은 물론 의학적인 자문과 각종 자료 제공, 기술의 실제적 검증을 해줄 수 있는 의료진과 협력이 필요함을 느꼈다. 그리하여 여러 의사들과 의견을 개진하던 이두용 교수는 이번 연구에 적극적으로 공감한 이대목동병원 이선영 교수와 함께 공동연구를 진행하기로 합심한다. 그 후 두 사람은 ‘ERCP 시뮬레이션 기술 개발 및 영상정합 기술 개발’ 융합연구팀을 만들었다.

한국연구재단이 지원한 해당 융합연구팀은 연구책임자인 한국과학기술원 기계공학전공 이두용 교수와 공동연구자인 이화여자대학교 의학전문대학원 소화기내과 및 이대목동병원 이선영 교수 그리고 참여연구원들로 이루어졌다. 연구 시 필요한 지원금은 한국연구재단으로부터 연구비 집행용 신용카드를 발급받아, 이를 한국과학기술원과 이대목동병원에 비치하여 사용했다. 연구를 시작하면서 큰 틀에서 어디에 얼마의 연구비가 필요할 것인가에 대해 협의가 미리 이루어졌고, 어느 정도 큰 금액을 쓰기 전에는 서로 협의하였다.

◆ **카테터** 의료 분야에서 주로 쓰이는 관 모양의 기구를 가리키며, 그 쓰임새에 따라 각기 다른 형태, 소재, 크기 등으로 이루어져 있다.



연구추진 체계

융합연구를 효과적으로 수행하기 위한 조직의 형태는 다음과 같았다. 이두용 교수가 주도하는 한국과학기술원 로봇 및 시뮬레이션 연구실은 축적된 기술력을 바탕으로 변형체 모델링, 인체장기-시술도구 상호작용 모델링, 영상분할추출, 영상정합 등 핵심 기술의 개발을 담당했다. 그리고 이선영 교수가 지휘하는 이화여자대학교 의과대학 내과학교실 및 이대목동병원은 현실성 및 활용성이 높은 기술을 개발하기 위해서, 실제 환자의 데이터베이스(database)를 제공하고 시술 현장에서 일어나는 실질적인 문제점을 기술 개발에 반영하도록 하며, 개발된 기술의 의학적 유효성을 검증하여 개선할 수 있는 역할을 맡았다.

대부분의 경우와 마찬가지로 이번 융합연구팀도 동기를 유발하기 위한 별다른 인센티브가 필요하지는 않았다. 이미 연구를 시작할 때부터 자발적인 강력한 열정과 동기부여가 있어서 참여를 결정했기 때문이다.

의료 선진화에 한 걸음 더 다가간다

융합연구팀은 해당 연구 목표를 도출하였다. 첫째는 이 기술을 새롭게 익히는 신진 의사들이 편하게 기술을 연습할 수 있는 시뮬레이션을 개발하는 것이고, 둘째는 일정한 수준의 숙련도를 가졌지만 아직 숙련의 경지에는 도달하지 못한 의사들이 내시경으로 유두부를 관찰할 때 십이지장의 표면 안쪽에 있는 장기 구조를 CT 영상의 형태로 내시경 화면과 함께 연동하여 보여주는 것이다. 그러면 시술하는 의사가 내시경으로 관찰하는 영상 정보에 추가하여 표면 안쪽의 장기 구조에 대한 정보를 함께 복합적으로 활용함으로써 시술의 결과를 향상시키고 환자에 대한 위험을 줄일 수 있다. 이렇게 실시간으로 획득하는 카메라 영상과 가상으로 구성된 영상 정보를 연동하여 제공하는 기술을 증강현실





(Augmented Reality)이라고 한다. 증강현실 기술은 구글(Google)이 내놓아 큰 관심을 끌고 있는 구글 글라스(glass)뿐만 아니라 우리가 사용하는 스마트폰의 다양한 앱(app, application)에도 널리 활용되고 있다.

이 과제를 수행하기 위해서 필요한 주요 공학적 전문성 또는 기술을 나열하면 다음과 같다. 환자의 영상 자료를 이용하여 물성(Physical Property)이 포함되어 있는 3차원 인체 장기를 구성하고 이를 컴퓨터에서 표현하는 기술, 목표 수술 또는 시술을 컴퓨터 화면에서 양방향(interactive) 시뮬레이션으로 구현하는 기술, 실제로 수술 및 시술을 수행할 때 의사의 손에서 느끼는 감각을 구현하기 위한 로봇 형태의 하드웨어 즉, **햅틱장치(Haptic Interface)** 기술, 이러한 요소들을 통합하여 사실감 높고 부드럽게 연동하여 제어하는 기술 등이 필수적이다. 이와 같은 기술들은 전통적인 분류에 따르면 주로 기계공학, 전자공학, 전산학 등에서 나누어서 다루는 것들이다. 다행히 이두용 교수가 지도하는 연구실에서는 지난 20년간 전통적인 학과 또는 학문의 울타리를 개의치 않고 필요한 기술들을 축적하여 왔기에 큰 어려움에 부딪히지는 않았다.

연구 목표에 따른 융합연구의 절차는 다음과 같았다. △연구 목표를 달성하기 위한 핵심 요소기술 정의(시술 시뮬레이션 및 영상정합 구현에 필요한 핵심 요소기술을 연구의 시작 단계에서 의료 현장의 경험 많은 임상 의사들과 협의하여 정의함), △선행연구 분석 및 활용(공학팀의 축적된 기술력-대장 모델화 기술, 담체관 조영술의 모델화 기술, 가상모델 간 상호작용 분석기술-을 활용하여 핵심 요소기술의 개발 방향을 정립), △핵심 요소기술 개발(연구 결과의 활용성을 높이기 위해 상시적으로 의학팀과 공동연구를 수행, 공동연구기관을 통해서 실제 ERCP 시술에서 발생하는 여러 가지 상황과 다양한 시술 사례에 대한 데이터베이스를 구축함, 각 핵심 요소기술의 개발 단계에서 의료 현장에서 필요로 하는

◆ **햅틱** 신체가 감각을 느낄 수 있도록 촉감 또는 역감 등을 발생시키는 기술로서 컴퓨터 촉각기술로도 불린다.

수준에 도달하였는지를 상시적으로 평가, 개발된 요소기술들이 통합된 시뮬레이션에 대해서 의학팀이 의학적 유효성을 평가하고 이를 다시 기술 개발에 활용함)

의학적 아이디어와 공학적 요소기술의 만남

“이거 진짜 시술하는 느낌인데요.”

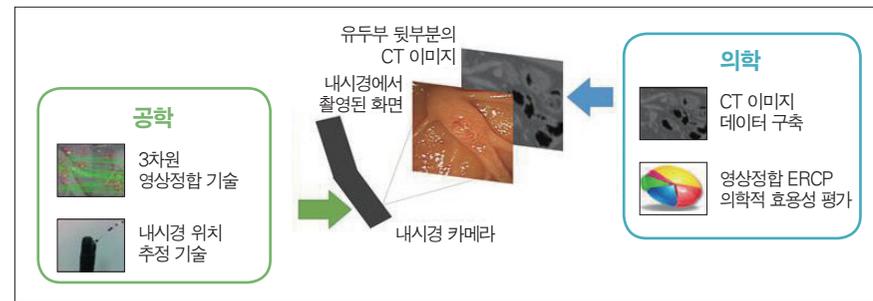
햅틱 인터페이스 장치를 시험해보는 이선영 교수가 눈을 휘둥그렇게 뜨며 말을 하였다. 이번 ERCP 시뮬레이션 기술 개발 융합연구에서 실제로 시술을 하는 것과 같이 손에 감각을 심어주는 햅틱 상호작용 모델화 기술(햅틱 인터페이스 기술 및 반력 제어 알고리즘 기술)은 의료진이 행한 검증과정에서 특히나 큰 호응을 얻었다. 기존 시뮬레이션에는 단순히 눈으로 볼 수 있는 장치 기술만 있었다면, 이번에 개발한 시뮬레이션 기술에는 눈으로 보는 것과 동시에 그것을 행하



이번에 개발한 시뮬레이션 기술에는 눈으로 보는 것과 동시에 그것을 행하는 손에 실제의 감각을 부여하는 기술까지 합해져 사실감을 높였다.



ERCP 시뮬레이션 기술 개발



영상유도 ERCP 기술 개발

〈표〉 ERCP 시뮬레이션 기술 개발과 영상유도 ERCP 기술 개발 성과

ERCP 시뮬레이션 기술 개발	영상유도 ERCP 기술 개발
<ul style="list-style-type: none"> ● 시술 시뮬레이션을 위한 소화관 모델 데이터 베이스 구축 ● 상부위장관 및 췌담도계 모델과 내시경과의 상호작용 시뮬레이션 기술 개발 ● 햅틱 인터페이스 및 반력 제어 알고리즘 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ● 마커를 사용하지 않는 영상정합 기술 개발 ● CT 영상을 이용한 영상유도 ERCP 기술 개발

는 손에 실제의 감각을 부여하는 기술까지 합해져 사실감을 높인 것이다.

또한 영상유도 ERCP 기술 개발도 빼놓을 수 없는 성과였다. 지금까지 생각하지 못했던 내시경과 CT의 기술이 합쳐진 영상유도 ERCP 기술 개발로 인해, 십이지장 유두부의 절개방향이나 카테터의 삽관 방향 등을 내시경 영상에 중첩

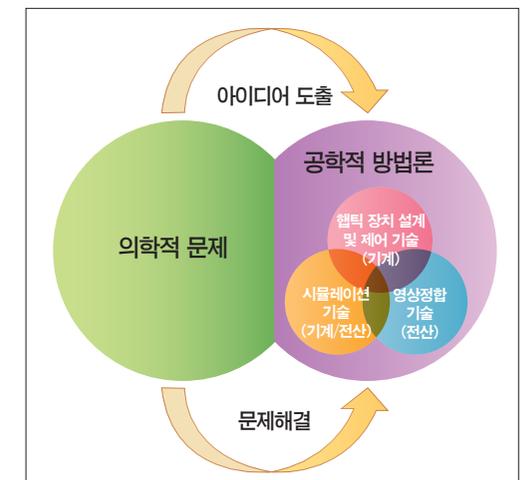
하여 보여줌으로써 경험이 많지 않은 의사들도 실수하지 않고 기술을 정확하게 할 수 있도록 도와주었다.

융합에 융합을 거듭하며 나아가다

이번 융합연구에서 주목할 점은 복수의 융합 형태를 포함하는 복합적 융합 연구를 수행했다는 점이다. 우선 의학 분야의 문제(현행 ERCP 시술의 어려운 점) 해결을 위해 공학 분야의 방법론(가상환경 기술 및 증강현실 기술)을 도입한 ‘방법론 도입 융합연구’였으며, 기계공학(햅틱 장치 설계 및 제어 기술)과 컴퓨터 공학(시뮬레이션 및 영상정합 기술) 분야의 화학적 융합을 통해서 ERCP 시술 훈련용 시뮬레이션 및 영상유도 ERCP 기술을 개발한 ‘화학적 융합연구’였다. 그리고 의학 분야로부터 도출된 아이디어를 공학적 요소기술을 활용하여 구현한 ‘아이디어 수용 융합연구’라고 볼 수 있다.

더불어 성과의 관점에서 살펴보면, 시뮬레이션 기술과 영상정합 기술은 췌담도계 질환에 대한 대표적 시술인 ERCP를 보다 안전하고 정확하게 실행할 수 있는 길을 열었으며, 영상정합을 이용하는 새로운 ERCP 시술은 의사가 더욱 안전하고 정확하게 시술할 수 있도록 도와주었다. 그리고 시뮬레이션 기술은 ERCP 시술을 훈련시키는데 활용할 수 있으며, 여러 가지 다른 시술에 대한 계획이나 훈련을 목적으로 하는 시뮬레이션에도 직접적으로 활용될 수 있다.

하지만 무엇보다 가장 큰 성과라고 느끼는 점은 ‘의료용 시뮬레이션’에 대한 관심 증대와 참여 확장이다.



융합연구 구성



지금까지는 사람들의 입에 거의 오르내리지도 않던 의료용 시뮬레이션의 성과를 바탕으로 향후 발전 가능성의 길을 닦아놓은 것이다.

이두용 교수는 앞으로 우리 사회의 융합연구가 보다 발전하기 위해서는 융합연구의 질적 쇄신을 꾀해야 하며 그 기대되는 결과의 가치에 대해 관련 전문가들의 깊이 있는 토의와 평가를 통해 과제를 선정하는 것이 중요하다고 강조한다.

또한 “융합연구에 있어서 좋은 협력자를 만나는 것은 매우 큰 행운이지만 진정한 협력 관계는 손쉽게 만들어낼 수 없다. 특히 연구자들은 같은 직업에 오랜 기간 종사함으로써 생기는 일종의 직업병과 같은 사고방식과 습관, 가치관을 가지고 있다. 융합연구를 할 때 각 분야 전문가의 이러한 특성을 잘 이해하고 배려해야 한다. 나는 의사와 회의를 시작하기 전에는 습관적으로 ‘이분들은 우리와 같은 과학자나 공학자가 아니고 음악을 하거나 미술을 하는 예술가에 훨씬 가깝다’는 나만의 명제를 스스로 상기하는데, 실제로 일을 하는 데 있어서 큰 도움이 되는 것을 많이 느낀다”라고 조언한다.

이러한 배려 있고, 심도 있는 접근에 의해 수행된 융합연구에서 세상을 놀라게 할 결과가 탄생할 수 있을 것이다.

융합 포인트

최고의 소통은 직접 얼굴을 마주보는 것이다

‘백문이 불여일견’이라는 말이 있다. 백 번 듣는 것보다 한 번 보는 것이 낫다는 뜻이다. 이 말은 융합연구에서도 통한다. 전화, 이메일, 영상 등 의사소통 관련 첨단기술이 아무리 발달해도 직접 얼굴을 마주하고 의견을 나누는 것에는 비할 바가 아니다. 따라서 의사소통에 특히 심혈을 기울여야 할 융합연구자라면 공동연구자와 항상 직접 대면하는 것을 소통의 최우선 법칙으로 삼아야 할 것이다. 글자나 영상으로 도저히 나눌 수 없는 깊은 교감을 통해 진정한 융합을 이룰 수 있을 것이다.

융합연구 결과에 대한 심도 있는 접근을 우선시하라

연구과제를 선정할 때는 단순히 화제성에 이끌려서는 안 된다. 항상 연구과제 수행 후의 결과에 대한 깊이 있는 성찰을 바탕으로 선정해야 한다. 즉, 융합연구자는 연구만을 위한 연구를 하지 말고, 연구가 사회에 얼마나 큰 파급효과를 가져다줄지를 공동연구원과 함께 심도 있게 접근해야 할 것이다. 그럴 때만이 융합연구의 궁극적 목표인 세상을 바꾸는 가치가 만들어질 것이다.



CHAPTER
5

정명애 ETRI 책임연구원

신경계 기능을
모방하는
IT기반 융합기술

뉴런 및 수용체와 반도체 소자의 하이브리드 네트워크



뉴런 및 수용체와 반도체 소자의 하이브리드 네트워크 연구센터(이하 연구센터)는 생물학적 신경계와 IT, NT 그리고 다양한 기초 학문과의 협력을 통하여 신경계의 기능 회복, 대체, 주변 환경과의 인터페이스 등 신경계의 기능을 모방하는 융합 기술 분야를 연구해왔다.

연구센터는 미래창조과학부 주관 글로벌 R&D 협력의 대표적 프로그램인 글로벌연구실(GRL) 지원과제에 선정돼 본격적인 융합연구를 수행했으며, 신경계 인터페이스 기술로 효율적인 전기자극 치료와 기능 대체, 그리고 컴퓨터 및 인공보철기기와의 안전하고 안정된 인터페이스 형성 기술을 개발하는 데 주력하고 있다.

사람을 향한 기술, IT-의료 융합연구

“사람의 시야는 정면, 그리고 측면 15도 정도잖아요. 그런데 곤충의 시야는 360도니까, 우리가 만약 곤충처럼 볼 수 있다고 상상해보세요. 완전히 새로운 세상이겠죠?”

정명애 연구원은 동료 연구원에게 오랫동안 생각해왔던 연구 소재에 대한 이야기를 했다.

“놀라운 기술이긴 한데, 뭐하러 그런 힘든 기술을 개발합니까? 그럴 바에는 아이언맨을 개발하는 게 낫지요. 사람을 로봇처럼 만드는 게 더 빠르겠어요.”

동료 연구원의 대답에 화학을 전공한 정명애 연구원의 목소리가 커졌다.

“아니요, 난 아이언맨보다는 소머즈가 되는 걸 택하겠어요. 사람이 로봇이 되는 게 아니라, 로봇이 사람 안에서 융합되는 거죠. 귀가 안 들리는 사람이 로봇 기술의 도움을 받아서 귀가 완벽하게 들리는 걸 보고 싶어요. 불의의 사고로 팔을 못 쓰게 된 사람이 다시 팔을 쓸 수 있게 되는 기술 말이예요.”

정명애 연구원은 사람을 향한 기술에 언제나 관심이 많았다. 그것은 중풍 걸린 사람이 전기 자극으로 움직이거나, 눈을 깜빡거리는 것으로 전등을 켜는 것처럼 신체를 다친 사람이 생각만으로도 어떠한 행동의 결과를 얻을 수 있는 기술을 뜻한다.

이것은 행동을 명령하는 뇌에 어떤 자극을 주면 가능한 일이다. 즉, 머리에 칩을 심으면 가능하게 된다. 하지만 금속에 세포를 올리면 그냥 흘러내리거나 따로 놀게 된다. 그래서 어떻게 하면 금속과 세포를 잘 붙여서 칩으로써 사용할 수 있을 것인가의 문제를 해결해야만 한다. 정 연구원은 이런 문제 해결에 대한 고민의 연장선에서, 어떻게 하면 기계적인 것과 자연적인 것을 접목시킬 것인가에 대한 문제의식을 갖게 되었다.

정 연구원은 2000년대 초반부터 국가의 융합기본기획에 관여해 일을 해왔다. IT기술과 다른 분야의 융합을 선도하는 것, 그것이 정명애 연구원이 화학전



공자로서 IT기술을 중시하는 치열한 연구현장인 한국전자통신연구원에서 살아남을 수 있었던 이유이기도 하다.

정 연구원은 자신이 갖고 있는 문제의식과 한국전자통신연구원 내의 물리, 화학 및 나노공정을 전공한 사업 책임자 및 연구그룹의 특징점을 가장 잘 살릴 수 있는 융합연구가 무엇일까 한동안 그 생각에 빠져지냈다.

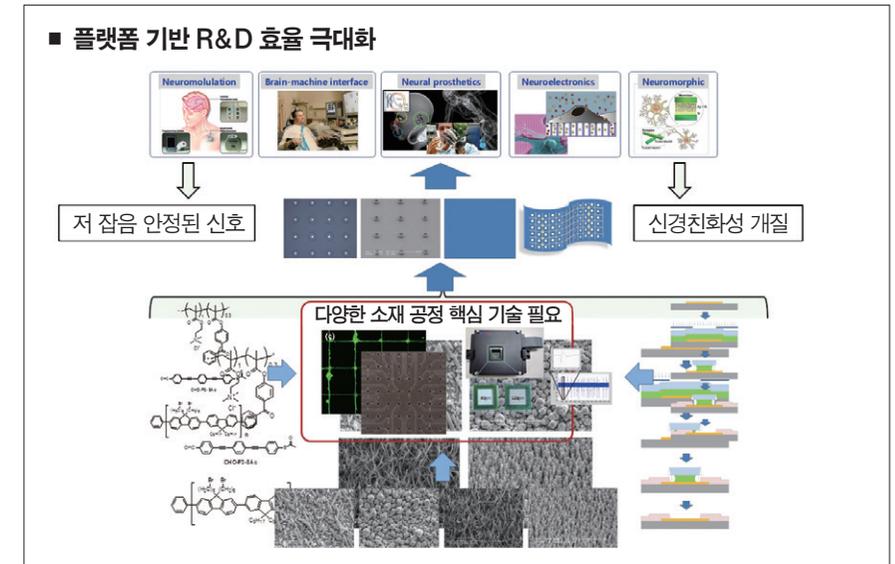
그러다 자신이 가장 잘할 수 있고 미래 전망도 밝은 IT-의료 분야, 특히 신경 융합기술 분야의 융합연구라는 결론을 내리게 되었다. 마침 미래창조과학부 주관 글로벌 R&D 협력의 대표적 프로그램인 글로벌연구실(GRL) 지원과제에 선정돼 본격적인 융합연구를 수행하게 되었다.

곤충의 눈처럼 볼 수 있는 눈을 만드는 것, 척추를 다쳐 움직일 수 없는 사람이 눈을 깜빡거리는 것으로 전등을 켜는 일 등은 신경세포 배양, 반도체 공정, 화학적 표면처리, 나노구조 기반 임피던스 제어 기술, 하드웨어 및 소프트웨어 신호처리 시스템 기술 등 다양한 분야의 융합이 요구되었다.

더불어 전자소자와 생물학적 신경 네트워크의 양방향 인터페이스는 신경세포의 기억과 학습 그리고 다양한 자극에 따른 반응성을 소규모 네트워크 수준에서 살펴볼 수 있는 유력한 도구이기 때문에 이에 대한 이해가 선행되어야 했다.

한 가지 영역의 전문가가 할 수 있는 일이 아니었다. 정 연구원은 각 분야의 전문성뿐만 아니라 서로의 분야에 대한 이해를 이끌어야 성공적인 연구 성과를 낼 수 있을 것이란 생각을 하고 연구진 구성에 힘을 쏟았다.

◆ **IT(Information Technology)** IT는 정보기술 혹은 정보통신기술이라 불린다. 이 기술은 정보를 주고받는 것은 물론 개발하고 저장, 교환하는 데 필요한 모든 유·무형의 기술을 총망라하는 개념의 기술이다. 정보통신산업의 발전과 함께 세계 시장을 주도하는 기술로 부각되었다.



플랫폼 기반 R&D 효율 극대화

최적화된 내·외부 연구진의 네트워크

정 명예 연구원은 먼저 물리화학(금속 나노입자 전기전착)과 화학합성(신경세포접착소재 합성)이 가능한 화학 및 화공 전공자를 연구진에 포함시켰다. 그리고 생명과학(신경세포 초대배양)과 정보처리(단일신경신호 추출)가 가능한 생명공학자, 반도체 공정(신경전극 제작)이 가능한 물리 또는 재료공학자, 신경신호 측정 시스템 제작이 가능한 전자공학 또는 의공학자 등 다양한 전공자로 내부 인력을 구성했다.

이렇게 내부 인력 구성은 마무리가 되었지만, 신경 융합기술 분야의 적용을 위해서는 신경계 및 안과, 이비인후과, 재활의학과 등의 의료진과의 외부 네트워크가 원활하게 이루어져야 했다. 이들의 협력을 끌어내는 것이 9년 연구과제를 성공으로 이끌 키포인트였다 해도 과언이 아니었다. 그래서 정 연구원이 고안해 낸 묘수가 바로 외부 네트워크로서 기능을 수행할 ‘대전메디컬포럼’의 창립이었다.



“안 그래도 할 일이 많은데, 왜 우리 병원이 거기에 합류해야 하나요?”

정명애 연구원이 포럼의 창립을 위해서 병원을 처음 찾을 때, 한결같이 들었던 말이다.

“한국전자통신연구원? 아니 전자통신하는 사람이 무슨 메디컬포럼을…….”

병원장들의 반응은 냉랭하기까지 했다. 정명애 연구원은 물러설 수 없었다. 몇 번이고 찾아가 설득하고 설명했다.

“의사선생님들이 서로 협력해서 연구하고 정보를 교류해야 생명과학이 발전하는 것이잖아요. 지역사회와 국가 발전의 측면에서도 대전 시내의 종합병원이 뭉쳐야 하지 않겠습니까?”

정 연구원의 끈질긴 설득에 하나, 둘 마음을 움직이는 병원장들이 생겨났다.



대전메디컬포럼은 의·생명과학의 상호교류 및 협력연구를 통해 학문적 발전과 연구능력을 향상시키기 위한 모임이다.

“○○대학병원이 그쪽 포럼에 참여한다는 소식을 들었습니다. 아니 왜 우리한테 먼저 오지 않은 겁니까?”

IT-의료에 관심을 갖고 있던 한 병원장의 참여가 불씨가 되어 대학병원이 경쟁적으로 참여하겠다는 연락을 주었다. 마침내 정 연구원이 공을 들였던 융합연구의 외부 네트워크인 대전메디컬포럼도 구성에 탄력을 받았다.

대전메디컬포럼은 대전광역시 내의 종합병원급 의료기관과 대덕연구단지 및 그 일원의 각 연구원(또는 연구소), 대학교 간의 의·생명과학의 상호교류 및 협력연구를 통해 학문적 발전과 연구능력을 향상시키기 위한 모임이다.

또 대전광역시 일원에서 행해지는 기초 의·생명과학연구, 임상연구, 기초 의·생명과학의 임상시험을 원활히 하기 위하여 대전광역시 및 그 일원의 관련 의료, 연구, 교육, 행정기관의 업무조정, 협력, 지원, 대외협력 사업을 수행하고 있다. 이를 기반으로 지역사회와 국가 발전에 이바지함을 목적으로 하여 탄생했다.

연구진은 세미나와 컨퍼런스, 미팅 등의 모임을 통해 주기적인 소통을 이어가게 되었으며, 이로써 정명애 연구원과 연구센터는 탄탄한 연구진을 갖추며 융합연구에 힘을 얻게 되었다.

선진 연구기관과의 공동연구 수행

신경 네트워크의 신호처리 및 학습을 이해하는 데에 있어서 요구되는 대용량 신경신호 전기-광학적 하이브리드 인터페이스 기술은 나노기술-정보통신 기술-신경생물학-바이오물리 등 다학제 분야의 융합이 요구된다.

당시 국내의 상황은 뉴런-반도체, 전기-광학 하이브리드 분야의 잠재적 활용성은 대단하지만 미개척 분야나 다름없었다. 그래서 정 연구원은 독자적 연구수행보다는 우호적 관계를 형성할 수 있는 외국 연구기관과의 공동연구를 수행하는 것이 효율적이라고 판단했다.

정 연구원은 유학시절 인연을 맺었던 독일 Forschungszentrum Jülich(울리



시연연구소)의 Prof. Dr. Andreas Offenhäuser팀에 이와 같은 제의를 했고 공동으로 연구를 수행하기로 뜻을 모았다.

연구진의 인적 구성은 한국과 독일 양측에 연구 책임자를 각 한 명씩 따로 두고, 7~8명의 참여연구원과 활동하게 하였다. 우리나라 연구원들은 독일을 방문해 공동 실험에 참여하며 선진기술을 습득하는 기회를 얻을 수 있었다.

양측은 뉴런 세포 배양 프로토콜을 협의하고 스템프를 이용한 Neuron Patterning 공동 실험을 진행했다. 또한 공동 실험분야를 도출하고 공동실험을 위한 프로토콜을 협의하며 효과적인 공동 연구를 수행하는 데 노력을 아끼지 않았다.

〈표〉 GRL 사업구성 현황(단위: 명/year)

	(1) 연구 책임자	(2)참여연구원								(3) 행정 기타	(1+2 +3) 합계
		교수급 (책임급)	박사후 연구원	박사	박사 과정	석사	석사 과정	학사	학사 과정		
한국	1	1		2	1	2		1			8
독일	1	2		2				2			7

한국과 독일 양국의 연구진은 각 나라별 연구범위 및 역할을 구분해서 효율적으로 연구를 수행했다. 그리고 이런 구분으로 소통에 있어 문제가 될 소지를 제거하려고 했다.

독일이 원천 연구로 선진기술을 가지고 있기 때문에 독일 측이 먼저 역할과 범위를 정하면, 그에 따라 한국 측에서 연구 범위와 역할을 정하는 방법으로 구

◆ **프로토콜(protocol)** 일반적으로 컴퓨터와 컴퓨터 사이에서 통신을 할 경우, 이를 원활하게 하기 위해 정해놓은 통신규칙과 방법에 대한 규약을 의미한다. 본문에서는 한국과 독일연구소 상호 간에 연구방법에 대한 규칙과 약속이라는 의미로 쓰였다.

〈표〉 연구범위 및 역할 분담 내용(예시)

연구목표	KPI 역할(한국)	FPI 역할(독일)
뉴런-반도체 소자 인터페이스 기술 향상	- 생체친화성 및 신경친화성 향상을 위한 전극의 화학적 표면처리 기술 개발 - 신경 신호 저 잡음 측정을 위한 생체친화성 나노 막대 및 나노 와이어를 이용한 전극 표면 개질 기술 개발 - 생체친화성 전압-민감 염료 개발을 포함하는 신경신호 광학 영상 기록 기술 개발	- 선진적인 Patch Clamping 기술 및 신경 세포 유도 성장 기술 향상 - CMOS 또는 FET 소자와 결합된 뉴런 네트워크의 학습 알고리즘 개발 - 생체 하이브리드 네트워크 CMOS 소자를 이용한 화학물질에 대한 뉴런 신호 변화 특성 규명
뉴런-반도체 소자 하이브리드 기반 인공시냅스 구현	- 장기적인 신경신호의 측정 또는 양방향 통신을 위해서는 물리적인 접촉뿐 아니라 뉴런 세포의 장기간 생명 유지가 필수적이며, 이를 위한 perforated MEA 개발 - 나노전기화학셀 제작 - 생체모방 인공시냅스 시스템 개발	- CMOS 또는 FET 소자 기반 개별 시냅스 수준의 신호 측정 기술 개발 - 나노전기화학셀 기반 뉴런 네트워크의 학습 알고리즘 개발 - 생체 하이브리드 네트워크 CMOS 소자를 이용한 화학물질에 대한 뉴런 신호 변화 특성 규명

분했다.

예를 들어 ‘뉴런-반도체소자 인터페이스 기술 향상’이라는 연구 목표와 관련해서는 독일에서 ‘선진적인 Patch Clamping 기술 및 신경세포 유도 성장 기술 향상’을 담당하고, 한국에서는 ‘생체친화성 및 신경친화성 향상을 위한 전극의 화학적 표면처리 기술 개발’에 초점을 두고 연구를 진행했다.

또 연구 목표가 ‘뉴런-반도체소자 하이브리드 기반 인공시냅스 구현’이라면, 독일 연구기관은 ‘CMOS 또는 FET 소자 기반 개별 시냅스 수준의 신호 측정 기술 개발’이라는 역할을 충실히 수행하며 공동 연구를 진행하였다. 이와 달리 한국에서는 장기적인 신경신호의 측정 또는 양방향 통신을 위해서는 물리적인 접촉뿐 아니라 뉴런 세포의 장기간 생명 유지가 필수적이기 때문에, 이를 위한 ‘perforated MEA 개발’을 담당했다.

이렇게 서로의 연구범위와 역할에 대한 구분으로 낭비되는 시간은 최소화되고 공동 연구 수행은 최적화되었다. 한국과 독일 연구진을 아우르며 효과적인 융합연구를 수행한 연구센터는, 선진 연구기관과의 긴밀한 협력과 연구성과를



선진 연구기관과의 연구수행을 통해 세계적인 수준의 기반을 확보하는 데 도움이 되었다.

기반으로 또 다른 연구 주제를 도출해 내기도 하였다.

그것은 신경 세포-반도체 소자 인터페이스 형성 제어 기술을 기반으로 생체 신경계 및 감각기관의 활동 이해, 이상 활동의 감지 및 분석, 손상된 신경계 및 감각기관의 회복 지원과 기능 대체, 그리고 생체 모방 인공지능 및 감각기관의 구현을 위한 생체 신경계-컴퓨터 인터페이스 시스템 개발에 관한 것으로 현재 연구를 수행중이다.

선진 연구기관과의 연구수행은 세계적인 수준의 기반을 확보하는 데에 매우 적합한 방법이였다. 연구센터는 더 나아가 국가적으로 취약한 신경생물학-바이오물리 분야의 선진 기관과의 긴밀한 협력을 통하여 뇌 과학 및 뇌 공학 그리고 지능형 사회의 구현에 기여하고자 한다.

기술이전으로 저비용 고효율의 경쟁력 제고

IT 기반 융합연구는 기존의 산업에 IT를 접목함으로써 지금까지 없었던 새로운 형태의 기술이 진화되는 과정이라고 할 수 있지만, 제품상용화나 기술이전 등의 연구수행 결과물 또한 중요하다.

원천기술만으로 연구수행의 결과는 인정되지 않기 때문에, 그에 합당한 성과를 내야했다. 그런 면에서는 과제를 공동으로 책임지는 정상돈 박사의 활약이 컸다. 평소 기술이전과 상용화에 관심이 많았던 정상돈 박사는 연구센터 내 연구를 통솔하며 상용화를 진두지휘했다.

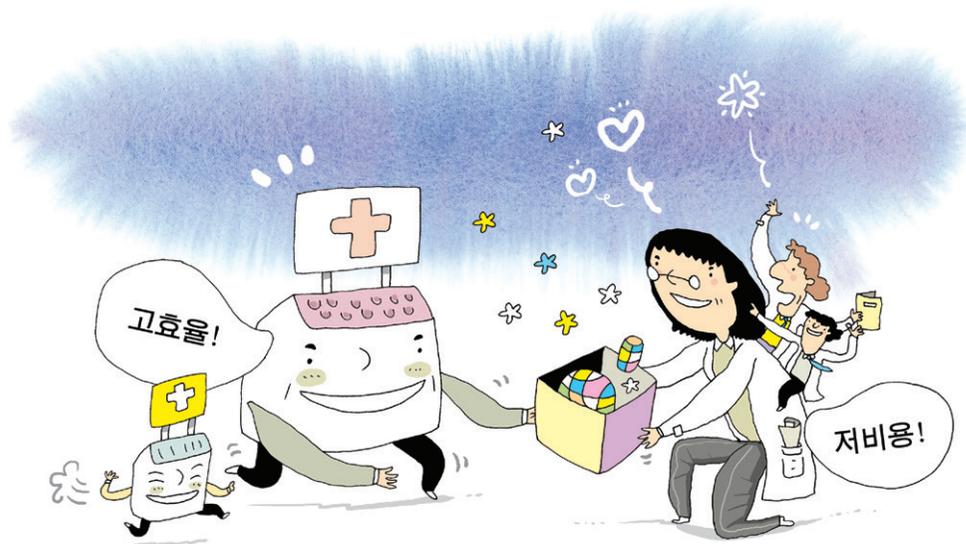
연구센터에서 개발한 핵심기술 중 하나인 '다중 전극 어레이'는 뉴런과 전극 인터페이스 기반 기초연구용으로 뇌 과학 및 신경공학 분야 핵심 연구 장비이다. 이를 개발한 연구센터는 을지대학교병원과 충남대학교병원 등에 기술을 이전하여 각 병원 생리학실에서 사용할 수 있도록 하였다.

이 장비의 수입가는 최소 2~3억 원인데, 연구센터는 10분의 1 정도의 가격으로 제공함으로써 수입 대체 효과뿐만 아니라 저비용 고효율의 경쟁력을 갖추고 병원 운영적 측면에서 실질적인 도움을 줄 수 있었다.

이밖에도 연구센터의 핵심기술은 여러 가지가 있다. 생물학적 신경계(뇌 및



뇌 과학 및 신경공학 분야 기초 핵심 연구장비 개발
예) 다중 전극 어레이(뉴런과 전극 인터페이스 기반 기초연구용)



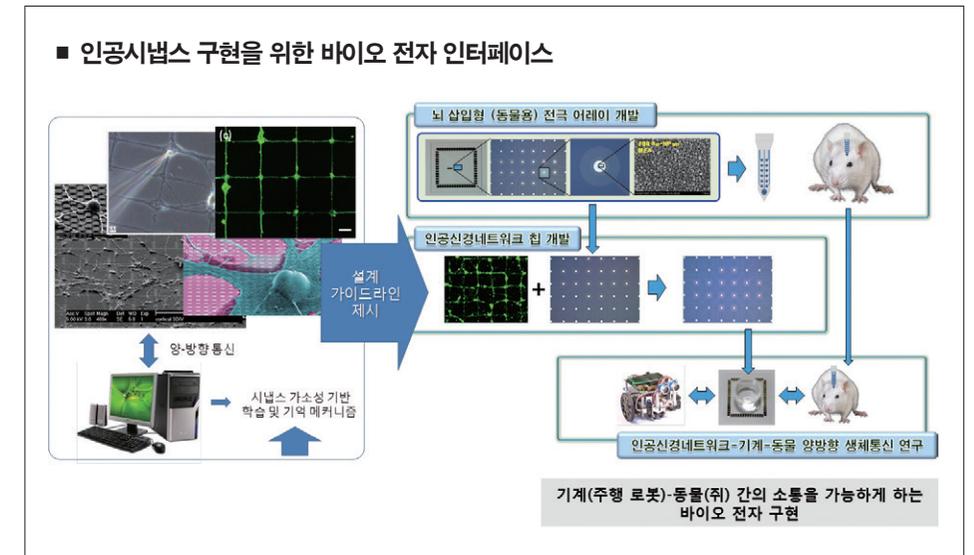
연구센터가 개발한 다중 전극 어레이는 저비용 고효율의 경쟁력을 갖췄다.

말초신경, 감각신경)와 전기화학적 인터페이스 형상 기술과 생체친화성 및 신경친화성 물리화학적 표면처리 기술, 그리고 초 전력 소비형 생체이식형 무선 전력 및 신호 전송 시스템 기술을 개발했다. 또 연구센터는 신경 신호 처리 기술, 생체친화성(System Packaging) 기술, Long-term Recording Stability, 저전력 마이크로 프로세스 기술, 고효율 전원 공급기술, 감각 신경세포 및 세포(예: Rod/Cone Cell) 배양과 추출 기술을 핵심기술로 보유하고 있다.

연구센터는 이러한 핵심기술을 산업현장에서 활용하고 경쟁력을 높이는 기술이전에도 적극적으로 나서고 있다. 이렇게 다양한 핵심기술을 개발한 연구센터의 연구성과는 성공적이라고 말할 수 있다.

융합연구의 성과라는 측면에서도 성공적인 연구를 수행했다고 평가할 수 있다.

일단 뉴런네트워크 성질의 이해 및 반도체와의 결합을 통해 정보처리와 통신 분야에 있어서 대변환을 가져올 수 있다는 점을 들 수 있다. 이어서 새로운



인공시냅스 구현을 위한 바이오 전자 인터페이스

반도체 물질, 나노소자 및 나노 가공 기술 개발을 유도한 면에서 성공적이었다.

또 연구센터가 세포-반도체 결합을 기반으로 하는 바이오물질 검출 방법과 생체 친화적이고 안정된 뇌-기계 인터페이스 및 뇌질환 전기자극 치료법도 함께 제시한 점은 융합연구의 성공적인 성과물이다.

무엇보다도 이번 융합연구의 대표적인 성과는 국제공동연구 모델을 제시한 점이다. 정보통신 기술 분야에서 경쟁력을 보유하고 있는 한국전자통신연구원과 생체 물리 분야에 있어서 학문적 기초를 확보하고 있는 독일 헬름홀츠 재단 산하 Jülich연구소, 양측은 진정한 연구 파트너로서 성공적인 공동연구를 이끌었다.

새로운 IT기반 융합기술로 세계시장 주도

연구센터는 한국전자통신연구원 내에서 연구를 수행하면서 사소한 오해를 받기도 했다. 하루는 정명에 연구원이 쓰레기를 정리하고 있었다. 얼려서 버려



아하는 폐기물이었다.

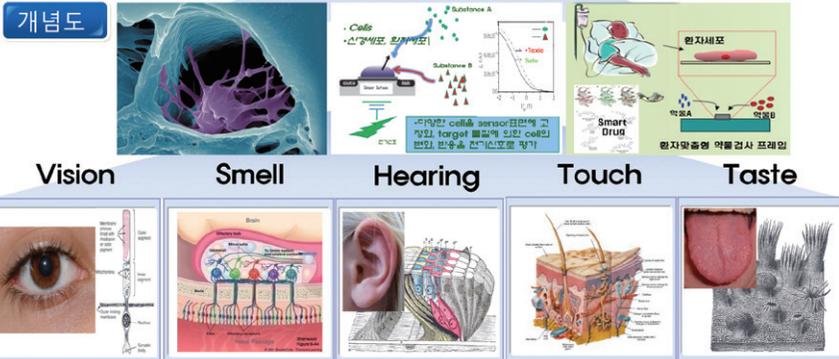
“아니 왜 IT하는 곳에서 저런 연구를 하는지…….”

지나가던 동료 연구원은 무심결에 혼잣말을 중얼거렸다. 정 연구원은 그 사람이 특별한 악의를 가지고 한 말은 아니라고 보았다. IT기반 융합기술을 연구한다는 것에 대해서 낯설어하는 동료 연구원의 사소한 오해에서 비롯한 일종의 해프닝이라고 생각했다.

정 연구원은 새로운 융합분야를 연구하고 개척하는 것이 연구자로서의 보람이자 사명으로 받아들였다. 한 연구과제를 가지고 9년이라는 시간 동안 융합연구를 수행하면서, 정 연구원이 가장 절실하게 느낀 것은 자기 기본기에 충실해야 다른 분야도 잘 알아듣는다는 것이다. 그래서 이번 융합연구는 스스로를 돌

III. 뉴런과 반도체소자 결합 기술 현황

환자 질병치료 및 진단 등에 약물을 이용하는 전통적 방법에서 생체조직을 반도체와 결합하는 즉, 세포와 IT디바이스 이용 조기진단 미래기술 개발 변화
대표적으로는 환자 세포를 이용, 개인의 다양한 자극 인식능력을 감지하여 질병을 모니터링 하는 세포 칩 구조로 발전.



뉴런과 반도체소자 결합 기술 현황

아보고 기본에 충실해지는 기간이었다.

정명에 연구원은 IT기반 융합기술이 다시 한 번 우리나라의 성장잠재력을 이끌어내는 원동력이 될 것이라고 확신하고 기술의 세계적인 흐름에 주목하고 있다.

뉴런과 반도체소자 결합 기술은 환자 질병치료 및 진단 등에 약물을 이용하는 전통적 방법에서 생체조직을 반도체와 결합하는 방법으로 바뀌고 있다. 다시 말해서 세포와 IT디바이스를 이용한 조기진단 기술개발 분야로 변화하고 있다. 대표적으로는 환자세포를 이용, 개인의 다양한 자극 인식능력을 감지하여 질병을 모니터링하는 세포 칩 구조로 발전하고 있다.

이러한 경향 때문에 연구센터가 보유한 기술은 기술적인 측면과 경제·산업적인 측면에서의 여러 가지 기대효과가 있다. 먼저 기술적인 측면에서의 기대효과로는 안전하고 안정된 신경계 인터페이스 시스템 개발을 통한 신경계 질환 치료 및 재활 기술의 선진화를 꼽을 수 있다. 둘째, 전기생리학 관련 기술의 고도화 및 자립화를 통한 뇌 및 신경과학 분야의 기초 연구능력 제고에 기여한다는 점이다.

셋째는 생체내장형 정보처리 시스템을 모태로 하는 실질적인 유비쿼터스 헬스케어 구현에 관한 것이며, 마지막으로 병렬처리가 가능한 신경모방 집적회로의 핵심이 되는 인공시냅스 원천기술 확보를 통하여 지능화 수요에 대응할 수 있다는 점이다.

경제·산업적 측면에서의 기대효과도 만만치 않다. 첫째, 현재 전량 수입에 의존하고 있는 선진 재활기기의 국산화 및 세계시장 진출에 유력하다. 둘째, 의료 및 신경과학 분야의 신 산업 창출을 가져온다. 셋째, 급속한 수요가 예상되는 지능형 집적회로 관련 신 산업 창출에도 기여한다. 넷째, 바이오 의료분야의 신 산업 창출이라는 측면이며 마지막으로 경제·산업적 측면에서의 기대효과로 개인 맞춤형 인터페이스 기술 확보라는 점이다.



<표> 연구센터 보유기술에 대한 기대효과

기술적인 측면	경제·산업적 측면
① 안전하고 안정된 신경계 인터페이스 시스템 개발을 통한 신경계 질환 치료 및 재활 기술의 선진화 ② 전기생리학 관련 기술의 고도화 및 자립화를 통한 뇌 및 신경과학 분야의 기초 연구능력 제고 ③ 생체내장형 정보처리 시스템을 모태로 하는 실질적인 유비쿼터스 헬스케어 구현 ④ 병렬처리가 가능한 신경모방 집적회로의 핵심이 되는 인공시냅스 원천기술 확보를 통하여 지능화 수요에 대응	① 현재 전량 수입에 의존하고 있는 선진 재활기기의 국산화 및 세계시장 진출 유력 ② 의료 및 신경과학 분야의 신 산업 창출 ③ 급속한 수요가 예상되는 지능형 집적회로 관련 신 산업 창출 ④ 바이오 의료분야의 신 산업 창출 ⑤ 개인 맞춤형 인터페이스 기술 확보

연구센터는 현재 인공망막 전극 기술과 인공 보청 기술 개발을 수행하고 있다. 정명애 연구원은 IT가 대한민국 성장의 원동력이었지만, 또 다시 우리나라의 성장 잠재력을 이끌어내는 원동력도 역시 IT기술 기반 융합이 될 것이라고 확신한다. 새로운 IT기반 융합기술을 통한 세계 시장의 주도, 융합연구에 대한 열정과 도전이 있는 한 가까운 현실로 다가올 것이라 기대한다.

**융합
포인트**

연구 파트너 간 역할을 체계화하라

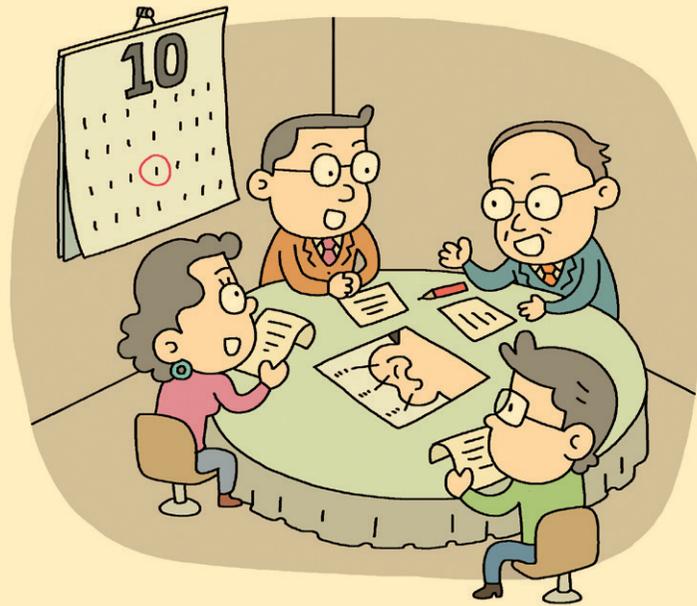
과제 공동책임자인 정명애 연구원과 정상돈 박사는 역할을 나누었다. 정 연구원은 연구기획과 외부 연구진과의 소통을 맡았고, 평소 기술이전과 상용화에 관심이 많았던 정상돈 박사는 연구센터 내 연구를 통솔하며 상용화를 진두지휘했다. 그 결과 내·외부 네트워크가 탄탄해졌고 연구센터의 핵심 기술들은 상용화와 기술이전의 성과를 거두었다.

국가 간 공동연구에 있어 연구범위를 정하라

연구센터는 국가 간 공동연구의 기회를 최대한 활용하기 위해 양국의 연구범위와 역할을 미리 구분했다. 선진기술을 가진 독일 측이 먼저 역할과 범위를 정하면, 그에 따라 한국 측에서 연구 범위와 역할을 정하는 방법을 따랐다. 그 결과 연구수행 과정 중에 빚어질 수 있는 소통의 문제, 비효율적인 시간배분 등의 문제를 어느 정도 차단할 수 있었다.



주 제 발 굴 및 성 과 와 평 가



PART
3

진취적인 주제 발굴, 탁월한 성과 및 평가



최정현(이화여자대학교 환경공학과 교수)

조준동(성균관대학교 휴먼CT융합학과 학과장, H-Lab. 지도교수)

최해천(서울대학교 공과대학 기계항공공학부 교수)

이종석(한국과학기술연구원(KIST) 녹색도시기술연구소 박사)

허신(한국기계연구원 책임연구원)

최정현

이화여자대학교 환경공학과 교수

기후변화로 인한 미래 물 환경 변화를 예측하다

기후변화 대응을 위한 통합형물관리시스템 개발 및 적용



본 연구는 이화여자대학교 기후·환경변화예측연구센터 최정현 교수(환경공학과)와 연구팀이 중심이 되어 진행되었다. 기후·환경변화예측연구센터는 한국연구재단이 선정한 선도연구센터(ERC)로서, 환경분야의 최정현 교수는 센터 내 지리정보분야, 대기과학분야와 융합연구를 시도했다.

최정현 교수팀은 '기후변화 대응을 위한 통합형물관리시스템 개발 및 적용'을 목표로 미래의 기후 정보들을 생산하는 대기과학분야와 유역의 정보들을 생산하는 지리정보분야의 정보를 통합한 통합형물관리시스템(Integrated Water Resources Management System)을 개발하는 데 성공했다. 연구 성과는 2012년 논문 「기후변화가 아시아 몬순지역 호수의 수문 성층화에 미치는 영향」이 환경과학 및 공학 저널 <Climatic Change>에 소개되었으며, 2013년에는 논문 「기후변화가 증화된 호수에서 탁수의 움직임에 미치는 영향」이 <Climatic Change>에 채택되었다.

사람들의 궁금증이 곧 연구과제다

“최정현 교수, 이번 기후·환경변화예측연구센터 연구에 한 번 참여해보지 않겠어요?”

2009년 예상치 못했던 기회가 찾아왔다. 최정현 교수는 그동안 마음속에 무겁게 담아두고만 있던 ‘연구과제’를 시작할 수 있다는 생각에 무척 흥분되었다.

이화여대 기후·환경변화예측연구센터는 한국연구재단이 선정한 선도연구센터(ERC)로서 기후·환경시스템의 상호작용 및 피드백 기작(機作, mechanism)을 규명하고, 기후변화 대응을 위한 기후, 환경, 행태 통합예측 시스템을 개발, 적용하는 것을 목표로 하고 있다.

최정현 교수가 마음속에 도전 과제를 품게 된 것은 지난 2008년으로 거슬러 올라간다.

당시 최정현 교수는 국립환경과학원이 발주한 ‘수자원, 수질부문 기후변화 영향평가 및 적응대책 인벤토리 발굴 연구’에 공동연구원으로 참여했다. 1년 여 기간에 걸친 연구 끝에 ‘기후변화로 인한 징후들, 즉 평균기온 상승에 따른 유기물 분해속도 증가, 대기 중 CO₂ 농도 증가에 따른 식물의 일차 생산성 증가, 강수 패턴의 변화로 인한 유량의 증가가 수중 난분해성 유기물 증가에 영향을 줄 수 있다’는 연구 성과를 얻었고, 이는 수질과 기후변화의 연관성을 밝힌 중요한 사례가 되었다. 또한 ‘기후변화가 수질에 미치는 영향을 예측하기 위해서는 수질모델을 사용하는 것이 가장 적합하고, 수질모델 적용 시 고려할 요소에 대한 시사점’도 함께 도출해냈다.

하지만 당시 연구결과를 발표하는 보고회에서 최정현 교수는 크게 당황했다. 자문위원들이 “수질모델을 사용한 미래의 수질 예측 결과를 보여 달라”는 요구를 한 것이다.

제대로 된 답변도 내놓지 못하고 보고회를 마친 최정현 교수는 마음이 너무 무거웠다.



“미래의 수질변화 예측 향상에 도움을 줄 수 있는 연구를 하자”는 목표 아래 본격적으로 연구수행에 착수했다.

“아니, 현재의 기후변화 징후들이 수질에 영향을 미치고 있다는 사실을 확인하는 것이 먼저 아니야? 1년 정도의 기간으로 이 모든 연구를 어떻게 다 하라는 거지?”

보고회가 끝나고 주위에 억울한 심정을 토로했지만, 마음속으로는 보다 완벽하게 연구결과를 제시하지 못했다는 속상함이 떠나질 않았다. 이후 최정현 교수는 ‘만약 수질모델로 예측을 한다면 어디에서 어떻게 시작해야 할까?’라는 질문을 갖게 되었고, 관련 연구에서 사람들이 가장 궁금해하는 부분은 바로 ‘우리나라 미래의 수질변화에 대한 예측’이라는 사실과 이것이 바로 연구과제가 되어야 한다는 사실을 깨닫게 되었다. 하지만 바로 연구를 진행할 기회를 갖지 못하다가 드디어 선도연구센터의 지원을 받을 수 있는 기회가 찾아온 것이다.

“미래의 수질변화 예측 향상에 도움을 줄 수 있는 연구를 하자.”

최정현 교수는 구체적인 연구과제와 팀을 구성하며, 본격적으로 연구수행을 위한 준비 작업에 착수했다.

공동연구, 분업과 협력의 팀워크

최정현 교수는 ‘기후변화 대응을 위한 통합형물관리시스템 개발 및 적용’을 연구과제로 결정했다.

그런데 이 과제를 성공적으로 수행하기 위해서는 ‘습지 내 생지화학적 물질 순환 변화’의 연구와 ‘유역모델과 수질모델을 연계한 통합형물관리시스템’ 개발이라는 두 개의 주제로 연구가 진행되어야 했다.

‘습지 내 생지화학적 물질순환 변화’는 기후변화가 진행됨에 따라 나타날 수 있는 다양한 환경변화의 상황에서 습지 퇴적물 내 유기물의 혐기성 물질대사(Anaerobic Mineralization Metabolism) 변화를 알아보기 위한 연구이다.

기후변화가 대기 중 온실가스 농도의 증가, 기온 상승, 극심한 가뭄과 홍수를 유발하고, 이러한 현상이 또 습지에 존재하는 식생의 성장 및 증발산 작용에 영향을 준다. 이 때문에 습지 퇴적물 내 유기물의 혐기성 물질대사가 변화될 수 있으며, 변화된 혐기성 물질대사는 다시 퇴적물 내 CO₂와 CH₄ 발생량에 영향을 줘서 습지에서 대기로 방출되는 CO₂와 CH₄ 농도에 영향을 주게 된다. 결국 기후변화에 순영향 혹은 악영향을 줄 수 있는 구조가 만들어지는 것이다.

이미 수질과 기후변화 관계에 관한 선행연구를 수행한 경험이 있는 만큼 최정현 교수는 이 부분에 대해서는 큰 걱정이 없었다. 그러나 ‘유역모델과 수질모델을 연계한 통합형물관리시스템’ 개발은 또 다른 전문가의 도움이 필요했다.

최정현 교수는 이를 위해 우리나라 수질모델 분야의 선두 연구자이자, 국립환경과학원장을 역임한 바 있는 박석순 교수를 찾았다. 이미 수차례 함께 일해 온 경험이 있는 두 교수는 연구과제와 팀 구성, 그리고 각자의 역할에 대해 이견 없이 뜻을 모았고, 박석순 교수는 흔쾌히 ‘유역모델과 수질모델을 연계한 통합형물관리시스템’의 개발을 맡아주었다.

두 교수의 연구팀은 각자 연구를 진행함과 동시에 긴밀한 논의를 통해 세밀하게 연구의 균형을 맞춰나갔다. 특히 연구대상지역을 선정하고, 수질모델을



정하는 과정에는 서로가 매우 큰 힘이 되어 주었다.

유역모델과 수질모델을 연계해 통합형물관리시스템(Integrated Water Resources Management System)을 구축하기 위해서는 연구대상지역의 선정이 무척 중요하다. 연구대상이 하천인지, 호수인지, 하구인지에 따라 사용할 수 있는 수체(水體)의 종류가 달라지고, 수체가 인접한 유역의 투지 이용현황이 도시인지, 농촌인지에 따라서 사용할 수 있는 유역모델의 종류가 달라지기 때문이다.

연구팀은 대상지역을 ‘용담호’로 결정했다. 호수는 물리, 화학, 생물학적 특성이 기후에 민감하고, 기후변화와 관련된 변화들에 영향을 많이 받기 때문에 다양한 기후변화 징후들의 영향을 살펴보기에 가장 적합한 장소이다.

용담호를 수체로 정한 후 연구팀은 모델의 종류를 정하기 위한 논의에 들어갔다.

“연구대상 유역 대부분이 산지와 농지로 이뤄져 있으니, USEPA(United States Environmental Protection Agency)에서 개발한 HSPF(Hydrological Simulation Program-FORTRAN)가 어떨까요?”

연구원들은 누구랄 것도 없이 이 제안에 찬성했다. HSPF는 강우로 인한 비점오염물질 유출과정을 하천 내의 수리와 퇴적물-화학물질 상호작용과 결합시켜 시뮬레이션할 수 있는 유역모델이고, 이전에 기후변화 시나리오를 적용한 사례들이 있었기 때문에 큰 이견이 있을 수 없었다.

하지만 수질모델 선정을 두고는 모두 고민에 빠졌다. 호수는 깊이에 따른 온도변화가 수질변화에 영향을 미치므로 2차원(2-Dimension) 이상의 모델을 사용한다. 최정현 교수 연구팀은 우리나라 호수에 많이 사용된 2차원 수질모델

◆ 수체 호수, 댐, 하천, 수원지 등 수질 연구의 대상을 일컫는 말

인 CE-QUAL-W2와 박석순 교수 연구팀에서 지속적으로 사용하고 있는 3차원 수질모델인 GEMSS(Generalized Environmental Modeling System for Surface waters) 중 어느 것이 더 효과적일지 판단을 내리기 어려웠다.

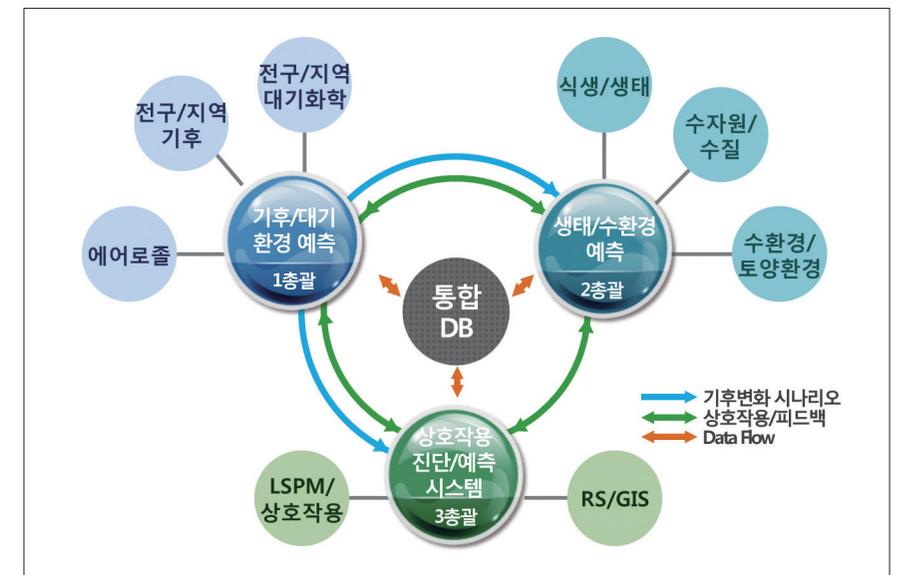
“2차원보다는 3차원이 좀 더 최신의 기법이지 않을까요?”

“3차원을 사용하게 되면 모델 시뮬레이션 시간이 길어질 텐데 그것도 고려해야죠.”

이처럼 쉽게 결정을 내리지 못하고 있을 때 도움을 준 사람은 바로 박석순 교수였다.

“CE-QUAL-W2는 댐을 설치해 생긴 폭이 좁고 수심이 깊은 인공 호수에 매우 적합해요. 호수 내 물 순환과 수직 수온 분포를 잘 시뮬레이션할 수 있을 겁니다.”

최정현 교수팀은 박석순 교수의 제안에 따라 2차원 수질모델인 CE-QUAL-W2를 선정했다.



선도연구센터 분야별 상호 관계



“유역모델과 수질모델이 모두 결정되었으니 이제 통합형 모델 구축만 남았다. 모델을 구축하면 기후변화 시나리오는 여기에 적용만 하면 될 거야.”

본격적인 융합연구를 앞에 두고 최정현 교수는 막연한 기대감에 부풀었다.

환경·대기과학·지리정보의 융합, 소통 위한 특별한 노력

“이번 강연은 모두 참석하세요. 의무사항입니다.”

선도연구센터의 공지가 날아오자, 연구원들 사이에서 조금씩 불편한 기운이 번지기 시작했다.

“아이고, 해야 할 일이 산더미인데…….”

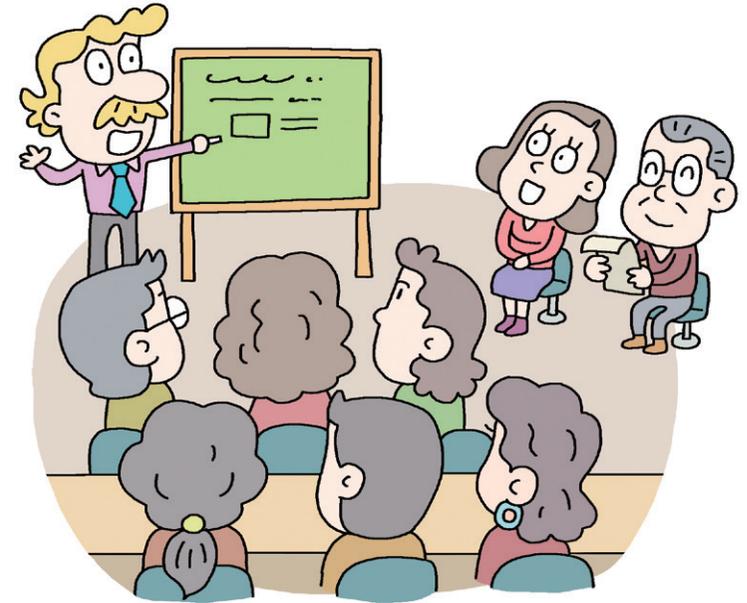
“잘 알지도 못하는 분야의 강연을 왜 꼬박꼬박 의무적으로 들어야 하는 건지…….”

정해진 기간 동안 각자 맡은 연구과제를 반드시 해내야만 하는 연구원들에게 선도연구센터의 지침은 사실 쉬운 일이 아니었다.

이화여대 선도연구센터에는 환경분야, 대기과학분야, 지리정보분야 등 3개의 연구센터가 소속되어 있다. 이중 환경분야에 소속된 최정현 교수팀이 통합형물관리시스템을 개발하기 위해서는 미래의 기후 정보들을 생산하는 대기과학분야, 그리고 유역의 정보들을 생산하는 지리정보분야와 융합연구가 반드시 필요했고, 이 과정에는 선도연구센터 차원의 적극적인 지원이 뒷받침 되어야만 했다.

이 때문에 박선기 센터장은 각 분야와의 효율적 ‘소통’ 연구가 성공과 실패를 결정하는 요인이 될 것으로 판단했고 환경, 대기과학, 지리정보 3개 분야의 연구원들이 서로의 분야를 이해하고, 의견을 나눌 수 있는 기회를 적극적으로 마련했다.

하지만 강연과 세미나를 비롯한 각종 미팅을 의무적으로 참석하는 일은 연구원들에게 결코 쉽지 않은 업무였다. 연구에서 발생한 문제를 해결하기 위해



선도연구센터는 1년에 2번 자체 결과 발표회를 개최했다.

발을 동동 구르고, 머리를 쥐어짜며 마음은 조급한데, 자신의 연구와 상관이 없다고 생각되는 강연과 세미나에 참석하기 위해 시간을 내야 하는 연구원들의 심정은 충분히 이해가 가는 부분이었다.

최정현 교수 역시 이와 같은 규정이 부담이 되지 않는 것은 아니었지만, 차츰 이와 같은 소통의 노력이 융합연구에 얼마나 중요한지 마음 깊이 깨닫고 누구보다 적극적으로 센터의 프로그램에 참여했다.

선도연구센터는 1년에 2번 ‘자체결과 발표회’를 개최했는데, 이를 통해 다른 연구팀들의 진행 상황과 결과들을 주기적으로 업데이트할 수 있었고, 이는 연구의 방향과 범위를 빠르게 조정하며 융합연구의 균형을 맞춰가는 매우 중요한 기회가 되었다.

무엇보다 매년 겨울 열리는 윈터스쿨(Winter School)은 융합연구에 참여하는 모든 연구원들을 하나로 묶는 매우 효과적인 프로그램이었다.



선도연구센터는 해마다 연구진행에 도움이 되는 주제를 선정하고, 해당 주제로 연구를 진행하고 있는 해외 석학을 초청했다.

연구원들은 윈터스쿨에 참여함으로써 말 그대로 선도적인 연구와 연구진행에 대한 귀중한 정보를 획득할 수 있었을 뿐만 아니라 해당 분야에 대한 이해를 높이는 데 큰 도움을 받았다. 더불어 관련 주제를 연구하는 센터 내 연구팀들도 강의를 진행했는데, 이는 제한된 시간 안에 실적 위주로 발표를 하는 자체결과 발표회에서는 얻기 힘든 핵심 정보를 교환하는 자리가 되었고, 이것이 바로 융합연구의 깊이를 더하는 계기가 되었다.

융합연구의 첫 성과, 통합형물관리시스템 개발 성공

융합연구가 시작된 후 1차년도 자체성과 발표회장. 허창희 교수(서울대 지구환경과학부)가 이끄는 대기과학분야 연구팀의 발표가 이어지는 동안 최정현 교수와 연구원들은 모두 할 말을 잃은 표정이 되었다.

“기후시나리오 생산은 NCEP GCM(Global Climate Model, 전지구기후모델) 자료를 바탕으로 동아시아지역에 RCM(Regional Climate Model, 지역기후모델)을 이용하여 Dynamic Downscaling을 해서 고해상도 기후자료를 생산하고…….”

대기과학분야 연구팀의 발표 내용이 도대체 무슨 말인지 제대로 이해하기도 힘들었던 것이다.

“도대체 무슨 용어가 그렇게 어려워?”

“용어는 그렇다 하더라도, 저 그림 봤어? 동아시아 지역이 몇 개의 셀로 표현되는 거야?”

유역모델과 수질모델을 담당하는 연구원들은 놀라움을 숨기지 못했다. 그도 그럴 것이 최정현 교수팀의 연구대상은 대한민국 지도에 점으로 표시되는 정도인데, 대기과학분야 연구팀은 동아시아를 대상으로 연구를 진행하고 있었다.

최정현 교수는 마음이 친근만근 무거웠다. 처음 연구를 시작하며 막연하게

‘대기과학분야에서 미래의 기후 정보들을 받아 통합형 모델에 적용하면 미래의 수질 예측도 가능할거야’라고 생각했던 게 얼마나 안일했는지 깨달은 것이다.

하지만 서로의 연구대상 지역에 큰 차이가 있음에도 불구하고 융합연구는 필요했고, 최정현 교수는 연구원들과 “우리가 통합형 모델을 구축하는 동안 대기과학분야도 연구 스케일이 좀 작아지지 않겠어? 기운 내자”라며 서로를 격려했다.

그리고 정말 다행스럽게도 성효현 교수(이화여대 사회과학교육과)가 이끄는 지리정보분야 연구팀과의 융합연구는 비교적 순조롭게 진행되었다.

최정현 교수팀이 유역모델과 수질모델을 구축하려면 지리정보분야의 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)이 필요했다. 지리정보시스템은 지리 공간 정보를 효과적으로 수집, 저장, 갱신, 분석, 표현할 수 있도록 설계된 소프트웨어로서, 유역모델 구축 시 DEM(Digital Elevation Model)을 활용해 유역형상(경사도)을 도출하고 인구밀집, 불투수율, 경작지비율, 산지비율, 축산오염원 분포 등의 정보를 사용해 유역의 오염원 분포 현황을 계산할 수 있다. 수질모델을 구축할 때도 DEM을 활용해 하천바닥 형상을 도출해, 수체의 형상 및 깊이가 실제 수체를 잘 모사할 수 있다.

최정현 교수팀은 지리정보분야 연구팀과 협력을 통해 최신의 정보와 기술을 손쉽게 접할 수 있었고, 이전보다 현실감 있는 유역 및 수질모델을 구축할 수 있었다.

이 과정에서 무려 2년의 시간이 소요되었고, 2011년 드디어 유역과 수질모델을 연계한 통합형물관리시스템의 초기버전을 완성하는 데 성공했다.

최정현 교수는 다시 대기과학분야의 연구진행 상황이 궁금했고, 내심 기대를 하며 자체평가보고회에 참석했다.

“센터에서 구입한 슈퍼컴 덕분에 모델의 해상도를 세분화할 수 있었습니다. 50km×50km의 셀을 이용해 시뮬레이션하고 있고…….”



기대는 곧 실망으로 변했다.

“아직도 50km×50km가 하나의 셀이라니…….”

“그럼 우리 시스템에 적용하기에는 너무 차이가 있잖아.”

최정현 교수팀 연구원들은 난감했다. 공간적 크기의 차이를 좁히지 못한다면, 대기과학분야 연구팀으로부터 필요한 정보를 받을 수 없기 때문이었다.

최정현 교수는 크게 낙담해 얼굴 표정이 굳었고, 함께 방법을 고민하던 대기과학분야 연구팀은 “통계적인 downscaling(기후정보 상세화) 기법을 이용한 기후시나리오 자료가 있으니, 일단 그것을 한 번 활용해보면 어떨까요?”라며 제안을 해주었다.

최정현 교수는 대기과학분야 연구팀의 도움을 받아 한국건설기술연구원 김병식 박사팀에서 생산한 고해상도 기후시나리오 자료를 받을 수 있었다.

“아니, 이걸 뭐지?”

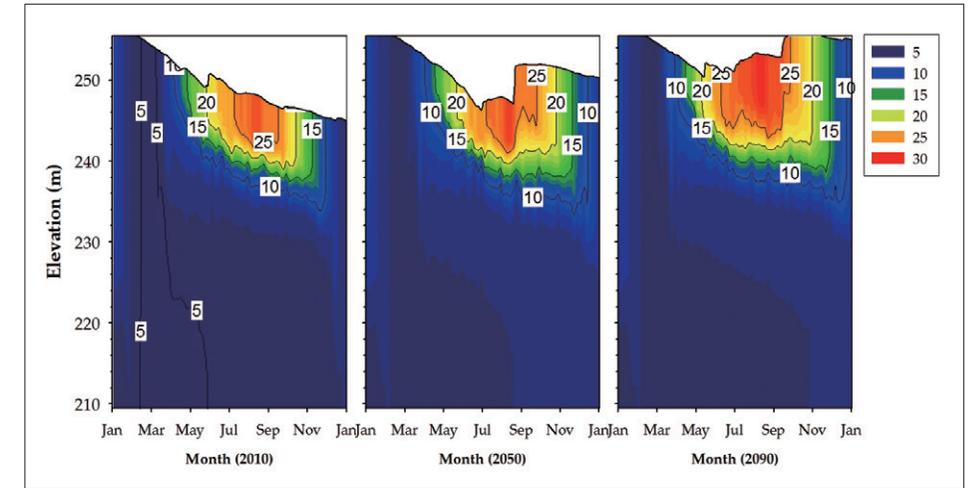
어렵게 구한 자료에는 2030년 한 해만 해도 수십 가지의 일별 온도, 강수량 등의 자료가 있었고, 최정현 교수팀에서 이 자료를 이해하기란 너무 어려웠다. 결국 자료 생산자인 김병식 박사의 도움을 받고 나서야 데이터를 수질모델에 적용할 수 있었다.

최정현 교수팀은 개발한 통합형물관리시스템으로 호수의 미래 수질을 예측하는 실험에 들어갔다.

2010년과 2050년, 2090년의 수온 성층현상(stratification)이 발생하는 호수의 깊이와 지속기간을 서로 비교한 결과, 연구팀은 기후변화에 따라 수온 성층현상의 발생 깊이가 깊어지고 강도도 더 커지며 지속기간도 길어짐을 예측해냈다.

성층현상이란 수심에 따른 온도변화와 온도에 따른 물의 밀도 차이에 의해

◆ **성층현상** 수심에 따른 온도변화와 온도에 따른 물의 밀도 차이에 의해 수중에 구분할 수 있는 층이 생기는 것



기후변화에 따른 수온성층의 크기와 기간의 변화

수중에 구분할 수 있는 층이 생기는 것을 말하는데, 맨 위의 표수층(表水層)과 맨 아래의 심수층(深水層), 그리고 중간에 변온층(變溫層)으로 구분된다. 그런데 여름에 온도가 높아진 표수층이 겨울에 4℃ 이하가 되면 표수층의 물이 심수층의 물보다 무거워져 심수층으로 가라앉는 전도현상(turnover)이 발생한다. 이때 심수층 퇴적물의 오염물질이 표층으로 이동하게 되는 것이다.

호수의 수온이 바로 이러한 전도현상을 유도하기 때문에 기후변화에 따라 호수에서 수온성층의 발생 깊이가 얼마나 변화되고, 지속기간이 얼마나 달라지는가에 대해 많은 연구자들이 관심을 갖고 있다.

최정현 교수팀은 지리정보분야 연구팀과 협력으로 개발한 통합형물관리시

- ◆ **표수층** 온도와 바람의 영향을 쉽게 받는 호수의 표면층
- ◆ **심수층** 여름의 계절적 수온성층에 의해 호수가 정체되어 있는 경우, 변수층보다 아래 부분. 수온차가 적고, 열대호에서는 동계의 표층수 최저수온(4℃보다 높음)에, 온대호에서는 4℃에 가깝다.
- ◆ **변온층** 여름에 호수나 바다에서 급속히 온도가 변하는 수층으로 위쪽에는 표수층이 있고, 아래층엔 심수층이 있음.



스탬에 관한 논문 「기후변화가 아시아 몬순지역 호수의 수온 성층화에 미치는 영향」을 환경과학 및 공학 저널 <Climatic Change>에 제출, 환경과학분야 분야별 상위 6%에 해당하는 논문으로 선정되었고, 2012년 출판되었다. 이 논문은 통합형물관리시스템에 기후변화 시나리오를 적용한 프론티어 논문으로 많은 이들에게 인용되고 있다.

융합의 어려움, 목표를 향한 인내의 중요성

통합형물관리시스템을 개발하며 융합연구의 첫 성과를 거뒀지만, 최정현 교수는 대기과학분야 연구팀과 융합연구를 완전하게 이루지 못한 점이 무척 아쉬웠다. 때문에 2012년 ‘탁수(濁水)’를 주제로 통합형물관리시스템의 두 번째 연구를 시작하며, 다시 한 번 대기과학분야와 융합연구를 시도했다.

지표수를 수자원으로 사용하고 있는 우리나라에서는 기후변화에 따라 달라지는 탁수 발생 현상을 예측하는 것은 수질관리 입장에서 꼭 필요한 만큼, 이번 연구에 대한 최정현 교수의 기대는 무척 컸다.

“현재 시뮬레이션 중인 모델이 어느 정도의 해상도를 가지고 있나요?”

대기과학분야 연구팀과 첫 번째 미팅에서 최정현 교수는 기대에 찬 목소리로 연구진행 과정을 물었다.

“25km×25km의 해상도까지 근접했어요.”

최정현 교수는 무척 기뻐했다. 그 정도라면 통합형물관리시스템에 적용이 가능할 것으로 판단한 것이다. 그런데 서로 화기에애한 분위기에서 논의를 하던 중 정말 생각지도 못한 곳에서 문제가 발생했다.

“언제쯤 저희가 ‘일별 온도와 강우량’ 데이터를 받을 수 있을까요?”

최정현 교수의 말에 대기과학분야 연구팀의 얼굴이 굳었다.

“일변화 온도와 강우량이요? 현재는 일별 온도만 모의하고 있는데요.”

“네? 왜 강우량은 모의를 안 하세요?”



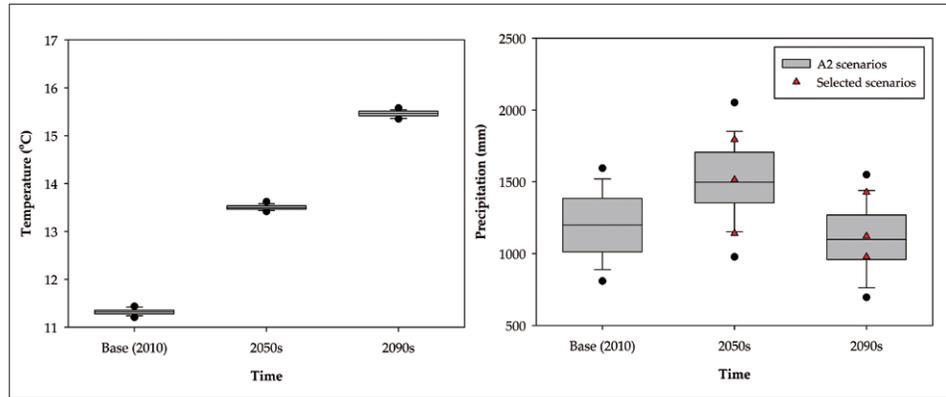
‘탁수(濁水)’를 주제로 통합형물관리시스템의 두 번째 연구를 시작하며, 다시 한 번 대기과학분야와 융합연구를 시도했다.

“해상도 처리를 기반으로 하는 모델에서 모수화(parameterization)를 하는 것이 여러 가지 측면에서 한계점이 있어서 모의 결과가 신뢰성을 가지기 어렵습니다. 그래서 해상도 차이에 크게 영향을 받지 않는 온도만 일차적으로 모의를 하고 있습니다.”

청천벽력(靑天霹靂) 같은 소식이었다. 대기과학분야 연구팀과 미팅을 갖기 전 이미 연구논문을 쓸 연구진들도 결정했고, 서론 및 연구방법에 대한 부분도 각 연구팀에서 집필을 진행 중이었기 때문에 상실감은 첫 번째 융합연구가 실패로 돌아갔을 때보다 더 컸다.

결국 2차 연구 역시 1차 때와 마찬가지로 통계적인 downscaling에 의해 얻

◆ **모수화** 현재까지의 수치모델은 아무리 작은 규모의 수평 규모라 하더라도 최소 수km이다. 그러나 자연계에서는 이보다 작은 규모의 수평 규모를 가진 대기 운동이 존재한다. 이처럼 수평 격자보다 작은 규모의 운동이나 명시적으로 계산하기 어려운 비선형 성분들을 직접 계산하지 않고, 모델의 격자 규모에서 계산된 변수를 사용하여 암시적으로 그 효과를 반영하는 방법을 말한다.



A2 시나리오에서 온도와 강우량의 변화범위 및 선택된 시나리오에 대한 정보

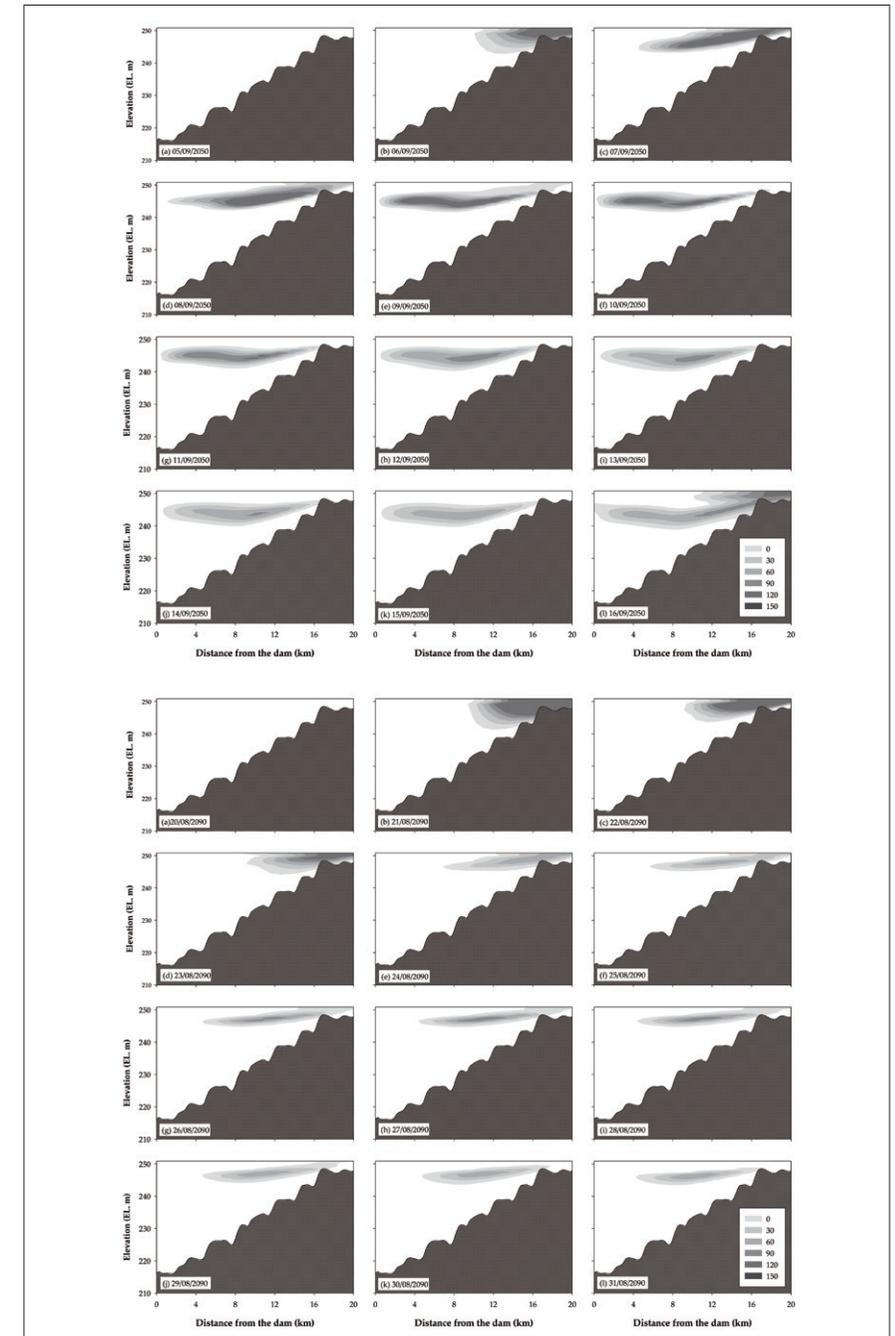
어린 자료를 사용할 수밖에 없었다.

최정현 교수팀은 2050년의 전과 후 각각 5년과, 2090년의 전과 후 각각 5년의 데이터를 확인하는 방식으로 온도변화 범위와 강우량변화 범위를 산정하고, 그 중 온도와 강우량 값이 상, 중, 하에 속하는 3개의 시나리오를 선택해 통합형 물관리시스템에 적용하는 실험을 진행했다.

이 실험을 통해 연구팀은 유역에서 발생한 탁수가 호수로 유입될 때에는 수온이 높은 표층보다는 탁수와 수온, 밀도가 비슷한 중층으로 유입된다는 사실을 확인했다. 또한 유입된 탁수가 콜로이드(colloid)성 부유입자를 많이 포함하고 있을 경우, 전도현상이 일어나기 전까지 중층에서 머물게 되어 오랫동안 탁수의 영향을 받게 된다는 사실도 밝혀냈다.

이는 첫 번째 연구에서 밝힌 바와 같이 여름철 표층 온도 상승에 따른 성층현상의 발생 양상이 기후변화에 따라 달라지므로, 유역에서 발생한 탁수의 유입

◆ **콜로이드(colloid)성 부유입자** 콜로이드란 어떤 물질이 특정한 범위의 크기(0.1µm 정도)를 가진 입자가 되어 다른 물질 속에 분산된 상태를 말하며, 콜로이드성 부유물이란 현탁한 물에 분산되어 있는 토양 교질 입자를 말한다.



2050년과 2090년에 하나의 강우 사상에 의해 발생한 탁수의 진행 양상



위치 및 수체 이동 현상도 기후변화에 따라 달라진다는 것을 의미한다. 연구팀은 2050년에는 수체 표면에서 8m 깊이까지, 2090년에는 수체 표면에서 15m 깊이까지 탁수가 발생해 수직 혼합을 이루게 되고, 심수층과 분리되어 표층에서 상당기간을 머물게 된다는 실험 결과를 소개한 논문 「기후변화가 층화된 호수에서 탁수의 움직임에 미치는 영향」을 2013년, 1차 연구 때와 마찬가지로 환경과학 및 공학 저널 <Climatic Change>에 제출해 환경과학분야 분야별 상위 6%에 해당하는 논문으로 선정되었다.

먹는 물을 지표수에 의존하는 우리에게 미래 물 환경 변화를 예측하는 과학 기술은 삶에 직결되는 연구주제로서, 본 연구는 미래 물 환경 변화를 예측하는 과학기술의 중요성을 보여주는 사례라고 하겠다.

참고 문헌

- Adrian R., O'Reilly C.M., Zagarese H., Baines S.B., Hessen D.O., Keller W., Livingstone D.M., Sommaruga R., Straile D., Van Donk E., Weyhenmeyer G.A., Winder M. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography* 54:2283 – 2297, 2009.
- Albek M., Ögütveren U.B., and Albek E. Hydrological modeling of Seydi Suyu watershed (Turkey) with HSPF. *Journal of Hydrology*, 285:260 – 271, 2004.
- Arhonditsis G.B., Brett M.T., DeGasperi C.L., Schindler, Göncü S., and Albek E. Modeling climate change effects on streams and reservoirs with HSPF. *Water Resources Management*, 24:707 – 726, 2010.
- Lee H.W., Kim E.J., Park S.S., and Choi J.H. "Effects of Climate Change on the Thermal Structure of Lakes in the Asian Monsoon Area", *Climate Change*, 112: 859-880, 2012.

융합 포인트

융합의 조건, 서로 공부하고 이해하라

융합연구에서 반드시 필요한 작업이 서로 다른 분야에 대한 공부이다. 최정현 교수팀은 선도연구센터의 주도로 진행된 각 분야의 강연, 세미나, 토론 프로그램에 의무적으로 참가함으로써 타 분야에 대한 이해도를 빠르게 넓혀갔다. 특히 관련분야 세계 석학을 초청해 강연을 들음으로써 보다 폭 넓은 정보를 제공받았으며, 이는 각자 고유의 연구 분야의 특성에 따른 장벽을 낮추고, 연구원들 간 소통의 기회로 삼았다.

서로의 연구 성과를 자주 공개하고 공유하라

정기적인 자체결과 발표회를 통해 각자의 연구 성과를 공유할 수 있었고, 이 과정에서 요청과 피드백을 통해 필요한 정보를 만들어 낼 수 있도록 자극을 주었다. 서로의 연구 성과를 공개하고 또 공유하는 자리를 통해 각 연구팀은 연구의 방향을 조정하고, 연구 속도의 균형을 맞출 수 있었다. 이는 융합연구의 원활한 진행에 반드시 필요한 작업이다.



CHAPTER
2

조준동

성균관대학교 휴먼ICT융합학과 학과장,
H-Lab. 지도교수휴먼ICT융합학과,
융합교육 연구의
산실이 되다

다학제 간 융합연구 시스템 구축 및 프로젝트 개발



포스트 스마트 시대의 주력 ICT(Information and Communication Technology)산업인 휴먼ICT(Information and Cognition Technology)산업은 다학제 간 융합이 필요한 분야로 미래 핵심산업이다. 이렇게 융합교육의 필요성이 대두되는 세계적 추세 속에서, 조준동 교수는 2012년 '융합캡스톤디자인' 과목을 개설하여 융합교육의 첫 시작을 알린다. 이후 2013년 9월에 일반대학원 '휴먼ICT융합학과'가 성균관대학교 성균융합원에 설립되면서 본격적인 융합연구와 교육프로그램 개발을 수행하고 있다. 이 학과는 2013년도 산업통상자원부의 '창의산업융합 특성화 인재양성사업(과제번호 N0000717)'의 지원을 받아 신설되었다.

휴먼ICT융합학과는 사람에게 필요할 때 언제 어디서나 도움을 주는 스마트 헬스 케어 분야의 선도적인 역할을 하기 위해서 정보통신대학, 예술대학 디자인학과, 인터랙션 사이언스, 삼성융합의과학, 경영학, 시스템경영공학과 교수진으로 구성된 창의산업융합 특성화 프로그램을 마련하고 융합형 휴머니어 양성에 매진하고 있다.

인재의 요람 휴먼ICT융합학과

성균관대학교 휴먼ICT융합학과 학과장인 조준동 교수는 밤 10시를 훌쩍 넘겨 퇴근하는 것이 일상이 돼버렸다. 교육자로서의 책임감과 융합연구자의 열정이 그를 쉴 수 없게 만들었다.

휴먼ICT융합학과는 정보통신대학, 예술대학, 인문·사회대학, 경영대학, 의과대학, 산업체 겸임 교수진과 참여기업체가 유기적으로 새로운 연구 프로젝트를 구성한다. 그리고 융합팀의 연구 결과물이 기업체 제품개발에 바로 활용될 수 있도록 개방된 환경을 조성한다. 기업체 실무진들이 퇴근후 학과를 방문해 학생들에게 특강을 해주기 위해서 또한 학생들이 다른 수업 중복이 되는 것을 피하기 위해서 일주일에 두 번은 야간수업을 하고 있다.

“별을 보며 퇴근하는 것이 일상이 돼버렸어요. 내년에는 좀 여유가 생기지 않을까요?”

휴먼ICT융합학과 개설과 함께 앞만 보고 달려온 조준동 교수. 그는 다시 예



조준동 교수는 일주일에 두 번 야간수업을 하고 있다.



전으로 돌아가도 지금과 같은 길을 갈 것이라 말한다.

대한민국의 미래를 책임질 융합교육의 필요성

조준동 교수가 융합교육의 필요성을 인지하고 학과 개설에 나선 것은 한 미국인의 성공이 작은 단초가 되었다. 조준동 교수는 평범한 대학생이던 케빈 시스트롬이 세계적인 개발자이자 기업의 CEO가 될 수 있었던 배경을 분석하며 우리나라 교육의 현실을 되짚어 보게 되었다. 케빈 시스트롬은 대학 재학 중에 사진 기반 소셜네트워크 앱인 ‘인스타그램’을 만들었고, 세계적인 인기와 성공을 거둔 인스타그램의 CEO가 되었다.

조준동 교수는 케빈 시스트롬의 성공 비결로 사용자 경험 중심의 소비를 볼 줄 아는 마케팅 능력을 꼽았다. 또 아이디어를 보기 좋게 시각화할 줄 아는 기술, 그리고 사진 업로드 처리 속도를 빠르게 해 사용자 경험을 향상시키는 정보 통신 프로그래밍 지식 등을 고루 갖추었기 때문이라고 평가했다. 케빈 시스트롬은 대학에서 Management Science and Engineering을 전공했으며, 공동 개발자인 마이크 크리거는 Symbolic System(인지과학, 인공지능, 휴먼 컴퓨터 인터페이스)을 전공했다. 두 사람이 만나 융합적 시너지의 효과를 발휘한 것이다.

휴먼ICT(Information and Cognition Technology)산업은 일상생활에서 제공되는 제품과 서비스를 상황에 맞게, 사용자가 원하는 맞춤형 서비스를 제공하여 ICT(Information and Communication Technology)산업을 재도약시킬 핵심 산업이다. 2020년까지의 국내 ICT 융합시장은 109조 원, 그 중에 감성ICT는 26조(세계시장 1,000조) 원이고, IoT(사물인터넷) 시장은 2020년에 26조 원을 예상하고 있다. 조준동 교수는 이렇게 휴먼ICT 분야에 대하여 상당한 산업적인 수요가 있음에도 이 분야의 인력을 양성하는 국내 교육 프로그램은 부족한 상황이라고 결론을 내렸다.

조준동 교수는 정보통신대학 전자전기공학부에서 집적회로 CAD 분야를 연

구하면서 컴퓨터를 이용한 디자인에 관심을 갖고 휴먼ICT 분야에 많은 관심을 기울이고 있었다. 그렇기에 국내 융합교육의 필요성을 더욱 절실히 느끼고 있었다. 본격적으로 조준동 교수는 세계적으로 융합교육을 선도하는 대학의 교육 프로그램과 정보를 수집하기 시작했다.

미국은 이미 2001년부터 Nano Bio Info Cogno 정책과 STEAM(Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics) 등 휴먼 융합연구 및 교육 정책을 잘 수립하여 스마트폰과 같은 휴먼ICT 분야에 큰 변화를 가져오고 있었다. 또 2009년 실리콘밸리에 ‘Singularity University’를 설립해 융복합 기술을 가르치고 있었다. 이 대학에는 다양한 백그라운드를 가진 공학, 경영, 예술, 인문, 사회과학 전공자들이 8주간의 프로그램에 참여했다.

우주첨단과학, 미래학 등 10개 과목을 수강하고 산업체와 협력한 뒤, 교육 마지막 3주간 팀별 프로젝트를 통해 기업모델을 결과물로 산출하여 교육이 끝나면 벤처기업이 여러 개 생겨났다. 영국, 미국 등 주요 선진국은 수년 전부터 STEM에 art를 포함시켜 STEAM(인용: Dr. John Maeda) ‘융합인재교육’ 시스템을 통한 선진적 산업체계 구축에 나서고 있었다.

조준동 교수는 이와 같이 선진국의 융복합기술은 공학, 의료, 환경 등의 자연과학을 중심으로 예술, 사회과학 등이 접목된 융복합 프로그램으로 인재양성을 하고 있는 추세라는 것을 직접 확인할 수 있었다.

융합교육과 연구의 토대를 마련하다

조준동 교수는 융합교육의 필요성을 절감한 만큼, 융합교육에 대한 기틀을 세우는 일에 바로 착수했다. 그 당시 과학기술과 예술의 융합에 대한 사회적 관심도 높아지고 있었다. 과학기술은 그저 편리성을 높이는 수단을 넘어 인간의 감성적 욕구를 충족시켜야 하기에 예술의 특질을 고려할 필요성이 높아진 것이다. 또 융합연구를 지원하는 학내 분위기 덕분에 조준동 교수가 하려는 새로운



시도는 힘을 얻었다.

그 결과 성균관대학교에서는 2012년 가을 산학협력선도대학 사업(일명 링크사업)의 일환으로 ‘융합캡스톤디자인’이라는 과목을 예술대학에 개설하였다. 조준동 교수는 디자인학과의 이경현 교수, 정지숙 교수 등과 함께 과목을 진행하게 되었다.

융합캡스톤디자인 과목은 교수진 구성도 중요하지만 더욱 중요한 것은 수업에 참여해 실질적으로 프로젝트를 이끌어가는 학생들의 역할이었다. 이들에게 융합교육이자 융합연구의 성과가 달려있다고 해도 과언이 아니었다.

조준동 교수는 여러 교수들이 참여한 가운데, 학생들을 대상으로 수업설명회를 열었다.

“이 수업의 핵심은 정보통신, 예술, 경영, 공학, 인문, 사회 등 다양한 전공의 학생들을 4~6명 정도로 나눠 프로젝트 팀을 조직하는 데 있습니다. 프로젝트 팀은 융합 아이디어를 도출하고 그것을 산업현장에서 어떻게 구현이 가능한지를 전 과정을 통해 배우게 될 것입니다.”

생소한 과목에 고개를 갸우뚱하거나 웅성거리는 학생들이 많았다.

“서로 다른 생각을 가진 사람들끼리 팀을 이루고 프로젝트를 진행하는 것이기 때문에 어려움도 생길 것입니다. 하지만 프로젝트가 마무리될 때는 문제해결 역량이 향상되고 사회가 원하는 인재로 성장할 수 있을 것입니다.”

호기심에 빛나는 학생들의 눈을 바라보며, 조 교수는 말을 이어갔다.

“특히 팀당 시제품 제작비가 300만 원씩 지원된다는 것도 큰 장점입니다. 우수작품은 국내외 경연대회에 출품할 계획입니다.”

학생들은 그제야 뜨거운 반응을 보이며 관심을 갖기 시작했다. 그 결과 수업에 열정적으로 참여하고자 하는 학생들을 면접을 통해 선발할 수 있었다.

조 교수는 학생들의 원만한 프로젝트 수행을 위해 토론 시간을 충분히 배분하고, 멘토로서의 역할을 수행해 다각적인 도움을 주기 위해 노력했다. 그 역할



성균관대학교에서는 2012년 가을 산학협력선도대학 사업(일명 링크사업)의 일환으로 ‘융합캡스톤디자인’이라는 과목을 예술대학에 개설했다.

로는 ‘왜?’, ‘어떻게?’와 같이 비판적인 상호작용을 촉진하도록 하는 것이 필요했으며, 가능한 교수가 학생의 창의성을 방해하는 개입을 최소화하는 것이 융합캡스톤디자인 과목의 성공 포인트라고 여겼다.

조준동 교수는 융합캡스톤디자인 과목을 진행하면서 다학제 학생들의 성공적인 작품들을 눈으로 확인하게 되었다. 다양한 전공의 학생들로 구성된 프로젝트 팀이 만들어낸 인간 친화적이고 감성적인 프로젝트 작품들은 공학교육 국제학술대회에서 우수사례로 발표되었다.

세계 3대 디자인 어워드인 IDEA 어워드 및 Reddot 어워드를 수상하였으며, 국내 아이디어 경진대회에서 3개의 대상, 즉, 보건복지부 장관상, 산업통상부장관상, 미래창조과학부 장관상을 받는 등 괄목할 만한 성과를 보였다.

조준동 교수는 이러한 성공적인 성과를 주도하면서, 융합교육의 정착과 본격적인 연구의 필요성을 다시금 느끼게 되었다.



융합연구가 가능한 인프라 구축

2012년 2학기에 개설된 ‘융합캡스톤디자인’ 과목은 현재 경영대학, 공과대학, 문과대학, 사회과학대학, 예술대학, 정보통신대학 등 16개 학과에서 전공과목으로 크로스 리스팅하여 8개 전공학과 40여 명의 학생이 수강하고 있다. 이 과목을 위해 특별히 구축된 원격화상회의 강의실이 인과캠(예술대학)과 자과캠(산학협력센터)에 구축되어 인과캠 4팀, 자과캠 4팀이 원격화상시스템을 통하여 프로젝트 발표를 진행하고 있다.

조준동 교수는 융합캡스톤디자인 과목을 진행하면서 대학원 과정에도 필요하다는 생각을 하게 되었다. 조준동 교수는 디자인학과 교수와 함께 학과개설에 대한 의견을 나눴다.

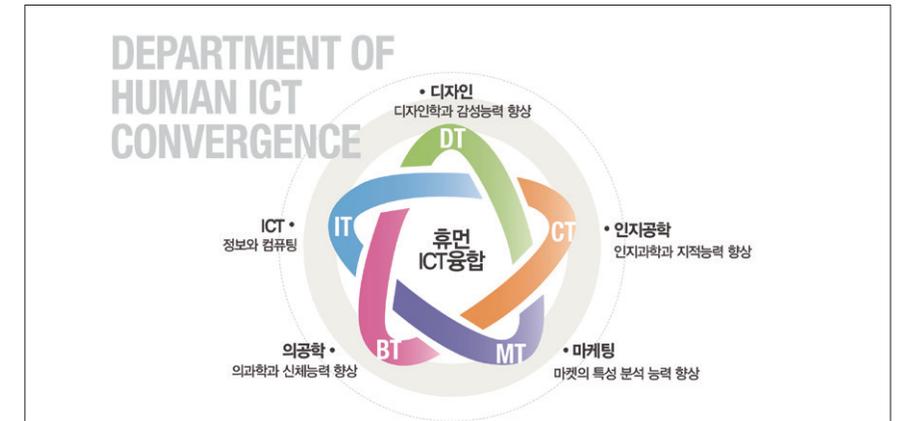
“학부생도 이렇게 잘하는데, 대학원생은 더 잘하지 않겠어요?”

조 교수는 성공에 대한 자신감과 융합교육에 대한 자부심이 컸다. 디자인학과 교수도 긍정적인 의견을 피력했다.

“대학원에 이런 융합교육과과가 생기면 금방 MIT 따라잡겠는데요?”

조준동 교수는 거침없이 달렸다. 그 성과로 2013년 5월 산업통산자원부의 창의산업융합 특성화 프로그램 공모에 1등으로 선정되었다. 드디어 2013년 9월에 성균관대학교 성균융합원에 일반대학원 ‘휴먼ICT융합학과’가 설립되었다. 명실상부 융합교육의 산실이 마련된 것이다.

성균관대학교 휴먼ICT융합학과의 융합연구는 H-Lab.에서 수행하는데, 이곳에서 스마트 케어를 위한 웨어러블 UI/UX 연구를 진행하고 있다. H-프로젝트를 이끌고 있는 지도교수 조준동 교수는 “1940년대 미국의 산업디자이너인 에그몬트 아렌스는 제품을 디자인할 때 인간의 오감을 즐겁게 하는 것을 목적으로 인간 시스템의 ‘스펙’에 따라 제품 디자인을 할 것을 강조했다”며 “‘존재하지 않는 것을 상상할 수 없다면 새로운 것을 만들 수 없다’는 폴 호건의 말처럼 휴먼ICT융합학과는 글로벌 헬스를 위해서 필요한 인간 중심의 체화된 인지기



다양한 전공 간의 랑데부, 휴먼ICT융합학과

반의 인터랙티브 웨어러블을 연구한다”고 말한다.

디자인, 공학, 인문학이 만나는 지점에 H-Lab.이 있다. H-Lab.은 인간과 기술 사이에서 디자인적 사고와 정보통신기술의 만남을 통하여 인간 중심의 감동을 전달하는 휴머니어(휴먼과 엔지니어의 합성어) 소통의 공간이다.

H-Lab.에서는 산업체 수요에 기반한 창조적 리더급 휴먼 IT 연구를 통하여 기술, 소비자, 시장을 통합적으로 보는 능력, 문제를 찾아 현실적인 해결책을 찾는 능력, 새로운 기술의 가치를 발견하는 능력, 다른 부서와 협업하는 능력, 시장 변화를 빠르게 읽고 받아들이는 능력, 자신의 아이디어를 시각적으로 표현하는 능력을 배양하고 있다.

휴먼ICT융합학과의 대 연구주제는 체화된 인지 기반의 스마트 케어 디바이

- ◆ **휴머니어** 휴먼과 엔지니어의 합성어로 1946년 산업디자이너인 Egmond Arens가 사용한 말로 “인간의 오감을 즐겁게 하도록 물건을 디자인한다”는 의미의 동사로 사용되었다.
- ◆ **인지** 환경과 몸, 뇌가 하나의 통합적 단위(nexus)를 이루는 것을 말하며, 신체적 경험을 수단으로 활용하여 정보를 처리 및 기억하고 표상화하는 것으로 인간이 신체의 특정한 감각 및 운동체계를 지니고 생활하는 것이 사고와 정서에 영향을 미친다.(Davis and Markman 2012)



학과 내에 전임 교수만을 지도교수로 정하는 것이 아니라 학생의 전공 및 연구 관심 분야에 따라 타 학과 교수의 지도를 받는 것을 허용하고 있다.



스 개발이며, 다음의 세 가지 분야를 연구하고 있다. 첫 번째는 라이프 스타일 변화(행동, 취미, 질병 등)에 따른 스마트 케어 분야이다. 두 번째는 직관적 의도 인지 유니버설 스마트 사용자 인터페이스(웨어러블) 분야이다. 세 번째로 포스트 스마트 시대의 사용자 경험 시나리오 및 서비스 개발 분야에 대한 연구이다.

이러한 연구를 위하여 학생들이 수강하고 있는 과목은 융합캡스톤디자인, 모바일 융합 컴퓨팅, HCI, 지각 컴퓨팅, 실험심리학, 인지과학과 공학, 신사업개발론, 인간정보처리론, 고급 심리 통계, 비즈니스 특허융합전략, 인터랙티브 스토리텔링, 기계학습, 비즈니스데이터분석, 사용자경험스튜디오, 컴퓨터그래픽스UX디자인, U-헬스케어, 휴대용의료기기, 시각인지 및 영상처리, 생체인식 및 감성케어, 휴먼ICT융합기술세미나, 글로벌디자인경영전략, 감성디자인트렌드연구 등이 있다.

휴먼ICT융합학과의 구성원인 다학제 학생들은 대학의 전 학문 분야 전체 과목을 대상으로 본인의 프로젝트에 필요한 과목을 수강하는 것이 가능하다. 또한 그 수업을 통하여 본인의 연구 주제를 발굴하게 되고 논문 지도교수를 선정할 수 있는 자율권이 주어진다. 예를 들면 의과대학에서 '생활과 건강'이라는 과목을 수강한 학생은 현재 그 교수의 지도 아래 관련 개인 연구를 수행하며, 동시에 여전히 H-Lab.에서는 프로젝트 지도교수의 지도를 받으면서 다학제 팀으로 구성된 팀 연구를 수행하는 것이다.

따라서 기존의 학과와 같이 학과 내에 전임 교수만을 지도교수로 정하는 것이 아니라 학생의 전공 및 연구 관심 분야에 따라 타 학과 교수의 지도를 받는 것을 허용하고 있다. 이런 유연하고 개방된 학과운영 절차에 따라서 자연스러운 창의적인 학제 간 융합 결과물이 탄생하는 것이 가능해진다.

H-Lab.에서는 학과장이 H-Lab.의 지도교수를 겸하여, 전체 과제를 기획하고 운영한다. H-Lab.의 30명 학생들은 8~10개 정도의 프로젝트 팀에 속하게 된다. 즉, 각 팀은 3명으로 구성된다. 3명의 학생은 팀 프로젝트를 통하여 9개월 간 3개의 결과물을 만들어낸다. 각각의 결과물은 학술대회 및 공모전을 통하여 각 학생이 주저자로 발표하게 되고 그 결과물들을 모아 졸업 논문을 제출한다.

휴먼ICT융합학과는 학제 간 공동지도 교수, 산학협력 중점교수 및 산업체 겸임교수, 인턴과정 등으로부터 학생들이 다양한 경험을 할 수 있도록 체계적인 교육 인프라를 구축하고 있다. 한 가지 전공분야에서 만들어내는 제품이나 서비스는 전문성이 있을 수 있으나 실제화하고 상품화했을 때에는 한계가 있다. 즉, 하나의 혁신적인 제품이 만들어지기 위해서는 디자인, 경영, 공학, 인문학의 효율적인 융합팀 활동이 필요하다. 각기 다른 전공을 가진 학생들이 학부에서 배운 지식을 교류하는 과정에서 시너지 효과가 나타난다.



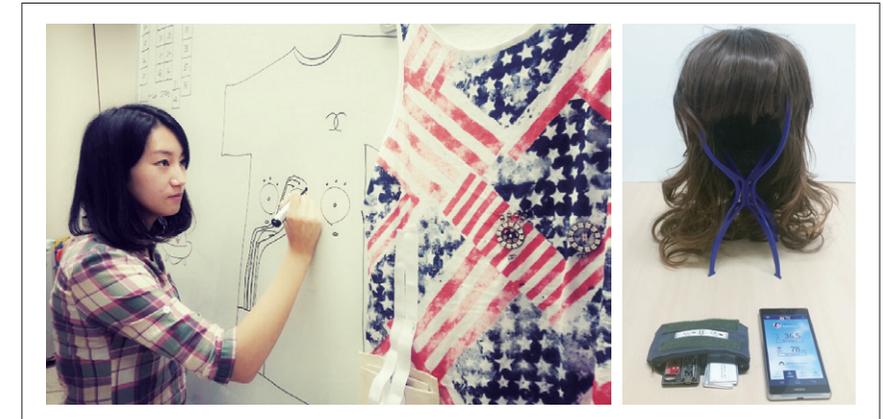
인간친화적이고 감성적인 프로젝트 작품들

융합교육을 통해서 도출된 인간 친화적이고 감성적인 프로젝트 작품들은 세계적인 디자인공모전과 정부기관 및 기업의 공모전에서 두각을 나타내는 등 좋은 성과를 거두었다. 이미 휴먼ICT융합학과를 개설하기 전인 2012년 2학기에 최초로 개설된 융합캡스톤디자인 과목의 아이맘팀(디자인학과 서은영, MBA 안준효-이철현, 기계공학과 양재현, 전자전기공학부 이정균, 신문방송학과 정금주)은 보건복지부 주최 ‘저출산/고령사회 대국민 정책 공모전’에서 최우수상(보건복지부장관상)을 받았다. 이 팀이 제안한 ‘고운맘 카드’는 SBS 모닝와이드에 방송되는 등 큰 화제가 되기도 했다.

다학제팀(경영학과 권준우, 디자인학과 김혜림, 전자전자공학과 양종엽-이연우, 컴퓨터공학과 이주영)은 세계 3대 공모전 중 하나인 ‘Red Dot’에서 5.7%만 선정되는 ‘Reddot Award’를 수상했다. 수상작인 ‘jumble(소셜네트워크를 이용한 온라인 벼룩시장 서비스)’은 온라인 중고거래의 신뢰 부족을 해소하기 위한 해결방안을 친구, SNS라는 연결고리에서 찾았고 더 나아가 소셜네트워크 기반의 온라인 중고거래로 발전시켰다.

또한 디자인학과 최혜정, 전기전자 최보락-장진수, 비교문화협동과정 서혜미팀은 미국산업디자이너협회(IDSA) 주관으로 수여하는 ‘IDEA(Industrial Design Excellence Awards)’ 파이널리스트에 선정되었다. 이들의 수상작품은 사용자가 소지할 물품을 등록해놓으면 일정별로 챙길 수 있도록 돕는 서비스이다. 사용자는 고안된 모바일 애플리케이션을 통하여 자신의 일정과 소지할 물품을 등록하여 개인화된 설정모드를 만들 수 있고, 원하는 시간에 푸시 알림을 통해 정보를 얻는다. 챙겨야 할 물품을 소지품에 부착된 RFID 태그를 통해 어디에 위치해 있는지 찾을 수 있게 되는 것이다.

또한 이 팀은 SK플래닛이 NFC의 활용성을 높이기 위해 진행한 공모전에서 ‘귀로 보다’ 아이디어로 은상을 수상했다. 이 작품은 시각장애인이 외부에서 건



휴먼ICT융합학과 웨어러블 작품 : 태아의 태동을 감지하는 임신부복(Lily Kickee)과 항암치료에 의해 탈모를 겪고 있는 환자들을 위한 낙상감지 스마트 가발(Smart Wig-Ace)

물 안으로 진입했을 때 입구에서 스마트폰의 NFC 태그를 통해 실내 안내를 받을 수 있도록 하는 서비스로 호평을 받았다. 따뜻한 기술 아이디어 공모전에서는 ‘영유아용 버스 안전벨트’로 산업통상자원부 장관상을 수상했다.

융합캡스톤디자인 프로젝트 주제 및 결과물

다음은 삼성디자인 멤버십 22기 UX 디자이너 과정에 합격한 석사과정 박민재 군의 소감문이다. 그의 말 속에 융합팀이 만들어내는 시너지가 어떤 결과로 나타나는지 예상할 수 있다.

저는 학부에서 디자인을 공부하면서, 디자인을 독립적으로 실행하고 가르치는 시스템에 의문을 품게 되었습니다. 예를 들어, 제품디자인은 인간공학과, 시각디자인은 인간의 시각 정보 처리 등과 밀접한 관계가 있습니다. 그래서 저는 디자인을 더욱 강화시킬 수 있는 다른 학문과의 융화가 필요함을 알게 되었고, 여기 휴먼ICT융합학과에 지원하게 되었습니다.

짧은 한 학기였지만 많은 일이 있었습니다. 첫 번째로, 산업융합인재육성



교과목명: 융합캡스톤디자인 전공심화(학석공통, 3학점/3시간)

교과목 목표 및 내용

1. 인류의 라이프스타일을 파악하여 ICT를 기반으로 인간에게 편의성과 만족, 행복을 주는 사용자 경험 연구를 수행함.
2. ICT-디자인-인문 분야의 융합적인 사고를 통한 창의력과 팀워크를 통한 커뮤니케이션 능력을 갖춘 다학제 융합 혁신가 배출을 목표로 함.
3. 디자인, 예술, IT, 경영학, 인문사회학, 공학 등 다학제 학생들이 모여 창의적 상품의 개발을 연구하고 결과물의 데모까지 진행함.(Demo or Die)
4. 인문과학과 자연과학의 인터렉션(융합, 소통)에 중점을 두는 과목

설계 주제

1. 인간의 Active Ageing을 위한 디지털미디어 UI/UX 콘텐츠 또는 제품
2. 실버계층, 장애인 등 소외계층을 위한 Smart UI/UX 서비스 및 디자인

교과목 개요

정보통신공학부, 공과대학, 예술학부, 의과학, 경영대학, 인문대학, 사회대학 등 다학제 팀을 구성하며 팀당 제작비가 지원되고 국내외 경진 대회 출품을 지원함. 디자인 프로세스는 다음과 같이 진행된다.

1. discovery 단계에서는 서비스 맥락에서 고객의 인지적 이해와 문제점을 파악하고(Contextual Inquiry) 고객들이 하는 동작들을 분석(Task Analysis)해서 고객들이 기존의 UI를 어떻게 사용하고 소통하고 있는지 관찰하는 일로부터 시작된다.
2. Design Exploration 단계에서는 브레인 스토밍, 스케칭, 스토리보딩, 프로토타이핑으로 이루어진다.
 - 1) 브레인스토밍을 통한 목표설정 및 예상 제품 스케칭
 - 2) 사용자, 마켓리서치 및 persona를 통한 UX시나리오(스토리보딩)
 - 3) 디자인 프로토타이핑
3. 빠른 프로토타이핑이 완성되면 사용자가 그것을 어떻게 사용하는지 관찰하여 피드백을 받아 디자인 개선(Design Refinement)을 수행한다.

사업 프로젝트의 목적과 걸맞게 융합의 힘을 경험하였습니다. 전자전기, 법학, 컴퓨터공학 등의 학생들과 함께 도전한 공모전 및 스타트업 경진대회에서 미래창조부장관상, 최우수상, 그리고 인기상을 수상하게 되었습니다. 저는 주로 디자인적 감성을, 공대 학생은 체계적인 플로우를, 법학과 학생은 날카로운 시야와 풍부한 문어적 표현 등을 살렸으며, 우리는 어우러져 엄청난 시너지를 발휘하였습니다. 두 번째로, 삼성에서 시행하는 디자인 인재양성 프로그램인 '삼성 디자인 멤버십'에 UX디자이너로 발탁되었습니다. 입학 장벽이 상

당히 높았지만, 앞서 몸소 배웠던 융합적 사고와 힘을 통해 UX디자이너가 꼭 가져야할 덕목인 통섭과 커뮤니케이션 스킬, 정보구조화를 익힐 수 있었고, 이를 통해 합격을 할 수 있었던 것 같습니다.

개방적인 융합연구 환경으로 인재양성을

조준동 교수는 융합연구를 위한 환경 조성을 위해서는 파괴적인 융합환경이 필요하고 생각한다. 조 교수는 기본적으로 사람은 중요하거나 흥미롭거나 아름답게 여기는 문제들을 해결하고자 할 때, 타인의 통제를 받지 않는다고 느껴야 창의적인 발상이 솟아난다고 본다. 따라서 융합연구 환경을 조성하기 위해서는 신세대들의 끼를 마음껏 발휘할 수 있는 개방된 환경을 마련해주는 것이 중요한 과제이다. 학생들이 하고 싶은 연구를 하도록 적극 도와주는 것이다.

또한 융합연구에 매진할 수 있도록 경제적인 환경도 고려해야할 대상이라고 판단했다. 휴먼ICT융합학과에서는 2013년 2학기부터 ICT와 휴먼 감성을 모두 갖춘 전원 국비 장학생을 모집하고 있다. 정보통신, 디자인, 인문/사회, 경영학, 공학 전공자 중 신입생을 선발해 해마다 15명 내외의 석사과정 학생들이 학비 전액을 국비로 지원받아 공부할 수 있게 되었다.

조준동 교수는 사회적 약자(노약자, 유아, 노인, 지체부자유자, 병약자, 빈곤층 등)에 대한 연민을 가질 때, 적정기술(개발도상국들, 아니면 이미 산업화된 국가들의 소외된 교외 지역들에 알맞은, 단순한 기술)을 통해 공유가치창출(Creating Shared Value)을 만들어가는 사회적 기업들이 많이 만들어지게 되며, 젊은이들의 일자리가 늘어나게 될 것이라고 생각한다.

휴먼ICT융합학과가 개방적인 융합연구 환경 조성에 힘쓰고 매진하는 길이

◆ **공유가치창출** 시민의식과 자선활동을 동기로 가지고 있으며, 기업의 가치사슬상 존재하는 사회문제와 이와 관련된 이해관계자 이슈에 대응하는 활동을 의미한다.



국내 산업 활성화라는 결실과 미래를 이끌어갈 휴머니어 인재 양성의 표본이 될 것이라고 확신하고 있다.

휴먼ICT융합학과 학생들은 말한다.

“이 수업을 통해 비전공자와의 토론이 오히려 더 뛰어난 결과를 가져올 수 있다는 것을 경험했습니다.”

“서로 다른 생각을 가진 사람들이 팀을 이루고 프로젝트를 진행하는 것이기 때문에, 산업현장의 실무에 가까운 형태의 수업이라고 생각해요.”

“프로젝트를 완성해가는 과정에서 팀플뿐 아니라 개인의 생각을 효과적으로 전달하는 방법에서도 다시 한 번 생각해보게 되었습니다.”

“서로의 전공에 대한 무지로 무리한 요구를 하거나 이해하지 못하는 문제도 미리 경험함으로써 준비할 기회가 되었어요.”

조준동 교수는 융합학문 연구와 취업의 길이라는 두 가지 관문을 넘으려는, 도전하는 젊은이들과 함께 나아가려고 한다. 더욱 적극적으로 프로젝트 결과물을 전시하고 인터내셔널 심포지엄을 열어 알려나갈 우리나라의 인재들, 조 교수는 만반의 준비태세를 갖추고 오늘도 융합교육의 한길을 걸어가고 있다.

융합 포인트

최대한의 자율권을 보장하라

휴먼ICT융합학과에서는 대학의 전 학문 분야, 전체 과목을 대상으로 본인의 프로젝트에 필요한 과목이라면 그 어떤 것이라도 수강하는 것을 보장해준다.

과목 선택의 자율권과 동시에 논문 지도교수를 선정할 때도 자율권이 주어진다. 개인 연구를 수행하고 프로젝트를 진행함에 있어서 최대한의 자율권을 보장하며 학생들이 개방된 융합연구 환경 속에서 자유롭게 사고할 수 있도록 유도한다.

융합연구의 결과물을 적극적으로 알려라

H-Lab.의 학생들은 8~10개 정도의 프로젝트 팀에 속하게 된다. 각 팀은 3명으로 구성되며, 3명의 학생은 팀 프로젝트를 통하여 9개월간 3개의 결과물을 만들어낸다. 그렇게 만들어진 각각의 결과물은 학술대회 및 공모전을 통하여 각 학생이 주저자로 발표하게 된다. 학생들은 융합연구를 통해 산업현장의 실무경험을 쌓는 것은 물론, 졸업 후의 진로를 결정하는 데도 큰 도움을 받게 된다. 조준동 교수는 프로젝트 결과물의 공모전 참여나 경시대회, 심포지엄 등의 행사를 권장하고 적극적으로 나서고 있다.



최해천

서울대학교 공과대학 기계항공공학부 교수

생명체처럼 자유롭게 움직이는 기계기술을 구현하다

소프트 모핑 기계기술의 융합적 개발



‘생체모방 소프트 모핑 기반기술은 생물체와 같이 스스로 유연하게 자신의 모양을 변화시키는 로봇 또는 기계에 필요한 원천기술이다.

본 융합연구팀은 2009년도부터 시작된 5년간의 연구 기간 중 초기에는 소프트 모핑 운동 메커니즘 개발을 위해 생물학적 해석, 액추에이터 성능 최적화, 소프트 모핑 구조의 시제품 제작에 필요한 제작공정 연구 등을 수행하였다. 이후 소프트 모핑 운동을 구현할 수 있는 세계 최초 ‘벼룩 모사 점핑 로봇’ 등의 성공적인 결과물을 바탕으로 유수의 국내외 학술지에 논문을 게재하고 학술 수상 실적을 만들었으며, 다수의 국내외 특허를 출원/등록하였다.

생명체 움직임 구현 기술로 세상을 놀라게 하다

초청을 받고 날아온 외국의 학자들이 소프트 모핑 기계들을 보며 감탄사를 내뱉었다.

“이것이야말로 진정한 생체모방 소프트 모핑입니다!”

“그러게요, 한국의 학자들이 대단한 연구를 하고 있네요!”

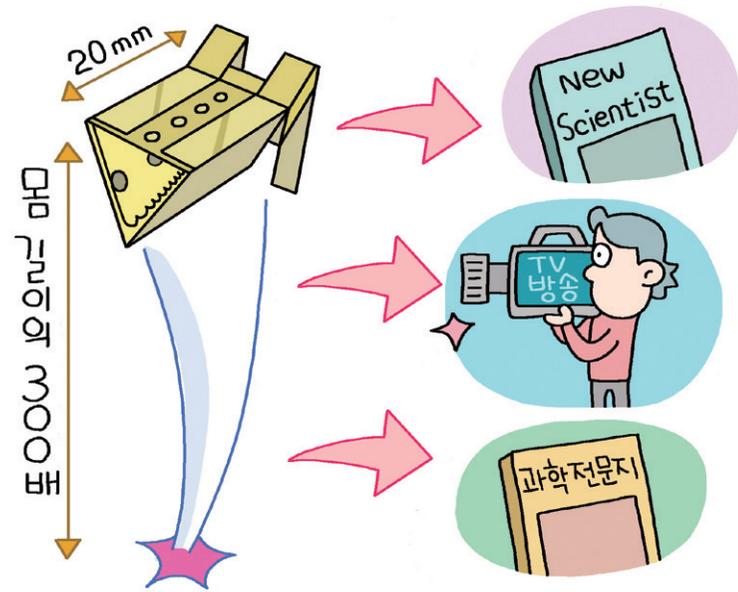
외국 학자들의 반응을 접한 융합연구팀은 그동안의 노고가 말끔히 씻겨나가는 것을 느꼈다. 실낱같은 희망을 안고서 연구한 오랜 시간이 헛되기는커녕 세계의 기계기술을 진일보하게 만들었기 때문이다.

본 융합연구팀의 생체모방 소프트 모핑 기반기술은 이전까지 수행된 생체모방 연구와는 다른 차별성을 가진다. 이전까지의 생체모방 기술에서는 강체 요소 기반의 기계 구조 설계와 모터 기반의 구동을 통해 생물의 외양 모사 및 걸보기 운동을 구현하였지만, 기존의 기계기술이 갖는 한계가 있기 때문에 그 성능은 생물에 비해 낮은 수준이다. 하지만 본 융합연구는 기존 기계기술의 한계를 극복하고, 생물의 구조 및 움직임과 동등한 수준에 도달하는 생체모방 소프트 모핑 기반기술을 개발하였다.

이러한 기술들은 국내외에서 인정을 받으며 국내 연구의 우수성을 해외에 알렸다. 새로운 연구에 대한 씨앗을 뿌렸고 그러한 씨앗들이 해외에까지 퍼져나가 인정을 받았다. 해외 언론에 소개되고 각종 상을 수상하며 한국 연구의 위상을 높였다. 무엇보다 이번 결과의 큰 성과는 해외 연구진들에게도 뒤처지지 않고 창의적인 연구를 할 수 있다는 국내 연구진의 자신감이 향상되었다는 점이다.

◆ **생체모방(Bio-mimetic&Bio-inspiration)** 생물체가 지닌 차별화된 특성이나 참신한 디자인 등을 연구하고 모방하여 인류의 편의를 도모하는 혁신적인 기술이다.

◆ **소프트 모핑(Soft Morphing)** 주위 환경과 필요 기능에 따라 부드러운 물질을 이용하여 스스로 매우 큰 변형을 일으키고 다시 원상복구가 가능한 기능이다.



벼룩을 모사한 점핑 로봇의 경우 벼룩의 점핑원리를 모사하여 국내외의 많은 관심을 받았다.

벼룩을 모사한 점핑 로봇의 경우 세계 최초로 벼룩의 점핑원리를 모사하여 국내 미디어 매체인 <과학동아>, SBS뿐만 아니라 해외 언론인 <New Scientist>에도 소개가 되는 등 국내외의 많은 관심을 받았다. 또한 이러한 벼룩의 점핑원리에 대한 모사를 더욱 발전시켜서 물 위에서도 도약할 수 있는 로봇을 세계 최초로 개발하는 데 성공하였다.

파리지옥 로봇도 세계 최초로 파리지옥의 구동 원리를 모사하여 해외 언론인 <New Scientist>에 소개되었으며 국내 언론인 <조선일보>에도 소식이 실렸다. 이러한 구동원리는 소프트 로봇의 구동원리 중 한가지로 외국에서도 인정을 받았다.

거북이의 움직임을 모사한 로봇도 해외 저널 <Smart Materials and Structures>의 Highlights of the year로 선정되었다.

본 융합연구팀이 2009년부터 여러 가지의 소프트 모핑 관련 연구들을 진행

해 오고 있는 동안 외국에서도 Soft Robotics라는 분야가 자리를 잡아가고 있었다. <Soft Robotics>라는 이름의 새로운 저널이 2010년에 새로 생겼고, 국제로봇학회에서도 Soft Robotics Technical Committee가 생기면서 언론에서도 많은 관심을 보이고 있었다. 또한 EU에서는 RoboSoft라는 FP7 과제가 시작되어 Soft Robot을 연구하는 학자들 간의 활발한 교류가 이어지고 있다. 본 연구진 중의 한 명인 조규진 교수는 이러한 Soft Robot 분야의 공로를 인정받아 한국인 최초로 IEEE 국제로봇학회의 젊은 연구자상을 수상하는 쾌거를 이루기도 하였다.

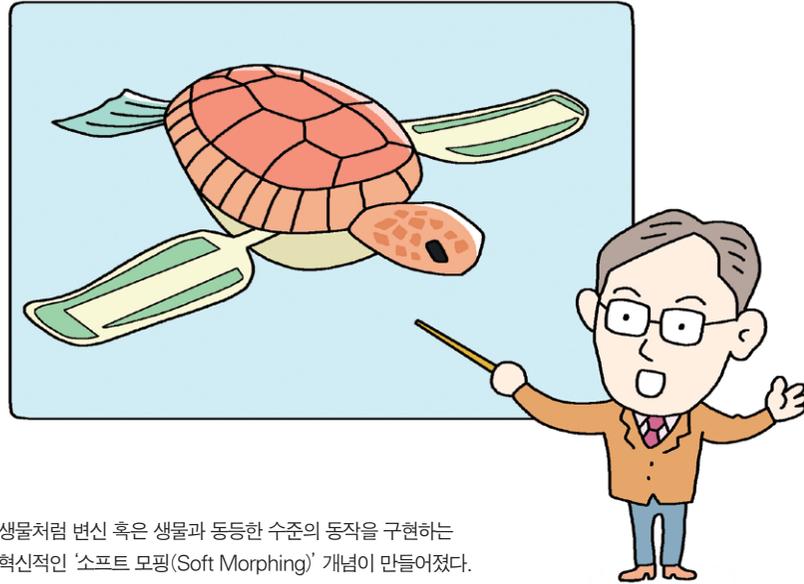
이렇게 세상의 눈과 귀를 한데 모은 놀라운 연구가 하루아침에 이루어진 것은 아니었다. 연구개발 가능성에 대한 순수한 호기심과 열정에서 출발한 해당 연구는 장장 5년이라는 긴 시간 동안 많은 사람의 땀과 노력이 어우러져 만들어진 결과물이었다.

세계 기계기술 트렌드를 주도할 신개념의 탄생!

‘저 자벌레는 어떻게 그렇게 자유자재로 움직일 수 있을까?’

연구실에서 우연히 자벌레를 발견한 최해천 교수가 골똘히 생각에 잠겼다. 자벌레는 등을 굽혔다 폈다 하는 단순한 동작을 반복하며 창틀을 기어오르더니, 이윽고는 쉽게 방향을 바꿔 천정 쪽으로 나아갔다. 평소와 같으면 무심코 넘겼을 일이었다. 하지만 최근 해외에서 생물의 외양이나 특성을 모방한 기계나 로봇이 성공적으로 만들어졌다는 소식을 접한 최 교수에게는 그냥 지나칠 수 없는 인상적인 사건이었다.

소프트 모핑 기계기술 융합연구를 시작하기 훨씬 이전부터 최 교수는 생물과 연관된 기계기술에 관심을 가지고 있었다. 2000년대 초, 해당 연구를 하기 위해 다방면으로 방법을 찾았지만 소재나 기술 등의 인프라가 턱없이 부족하여 엄두를 낼 수 없었다. 그런데 해외 연구진의 성공 소식에 자극을 받은 최 교수에



생물처럼 변신 혹은 생물과 동등한 수준의 동작을 구현하는 혁신적인 '소프트 모핑(Soft Morphing)' 개념이 만들어졌다.

게 자벌레의 자유로운 움직임은 하나의 불씨가 되어 접어둔 꿈을 다시금 타오르게 했다.

“생명체의 외양이나 특성을 본 딴 기계기술에 대한 연구가 외국에서 성과를 거두고 있어요. 더 늦기 전에 연구를 시작해야 하는 것은 아닌가라는 생각이 듭니다. 교수님들의 의견은 어떤가요?”

최 교수가 조규진 교수와 김호영 교수에게 물었다.

“생명체와 근접한 기계기술은 이미 피할 수 없는 트렌드라고 할 수 있죠. 과거와는 달리 소재나 기술 등도 엄청난 발전을 했기 때문에 우리 연구에 큰 도움이 될 것입니다.”

의기투합한 세 사람은 연구를 결심하였다.

이 연구는 ‘자연의 생명체들은 유연하면서도 매우 효율적인 운동을 하는 예들이 많은데, 지금의 기계 기술로는 왜 이러한 자연의 특징을 따라갈 수 없는가’에서 출발했다. 즉, 앞에서 언급한 자벌레는 매우 단순한 구조와 움직임으로 다

양한 형태의 벽을 기어올라가고 거꾸로 매달리며 다닐 수 있다. 벼룩은 매우 작은 몸을 지니고 자기 몸의 300배 이상의 높이를 뿔 수 있고, 역시 단순한 구조를 지닌 파리지옥은 0.1초 안에 잎을 닫아 파리를 잡을 수 있다. 이러한 다양한 생명체의 움직임은 아직까지 공학적으로 구현되지 않은 힘을 내는 근육, 에너지 원 등을 이용하기 때문이기도 하지만, 구조 자체도 공학적으로 구현할 수 있는 근본 원리들이 있을 것이라는 생각으로 연구를 시작한 것이다.

미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 생물의 외양 및 동작 특성을 모방한 기기 및 로봇의 기능을 개선하려는 시도가 행해지고 있었다. 특별히 각광받고 있는 생체모방 로봇들은 강체만을 이용하지 않고 부드러운 소재를 이용하여 소재 자체의 유연성을 이용한 구조를 가지고서 구동하여 보다 더 생체에 근접한 동작 특성을 보였다. 이러한 로봇들은 단순히 생체 모방 로봇이라는데 의의가 있는 것이 아니었다. 기존의 로봇들이 사용하지 않던 연성(延性, compliant, flexible) 재료들과 그에 적합한 구조 및 메커니즘 설계를 함으로써 새로운 기능을 갖춘 로봇들이 나올 수 있었다는 점이 특별하였다. 그리고 바로 이것이 최근 로봇 공학의 새로운 패러다임이라고 할 수 있다.

하지만 당시 대다수의 로봇은 연성 재료를 국부적으로 적용한 것이기에 생명체의 특성을 완벽하게 구현하기 힘들었고, 개발된 생체모방 기술들은 개별적인 로봇에서만 국한되는 기능이기에 다양한 분야에 기술적으로 파급될 수 있는 원천요소 기술과는 아직 거리가 먼 단계였다.

“우리는 보다 근본적인 기반기술을 개발하는 데 초점을 맞춰야 할 것 같습니다. 단순히 생물의 특성을 모방하는 것이 아니라, 생물처럼 변신 혹은 생물과 동등한 수준의 동작을 구현하는 것이지요.”

국내외 각종 사례들을 통해 최근 급부상하는 생체모방 로봇기술의 한계점을 인지한 최 교수 그리고 조 교수와 김 교수는 기존에서 한걸음 더 나아간 연구목표를 잡기로 했다.



“그런데 우리의 융합연구를 뭐라고 부르면 좋을까요?”

셋은 다소 난처한 듯 서로의 얼굴을 바라보았다. 세계 어디에서도 행해지지 않던 연구에 대한 개념을 부여하는 일하기에 쉽게 정할 수 없었다. 그러던 중, 개발하고 있던 파리지옥 로봇이 순식간에 몸체를 바꾸며 움직이는 것을 본 김호영 교수에게 아이디어가 떠올랐다.

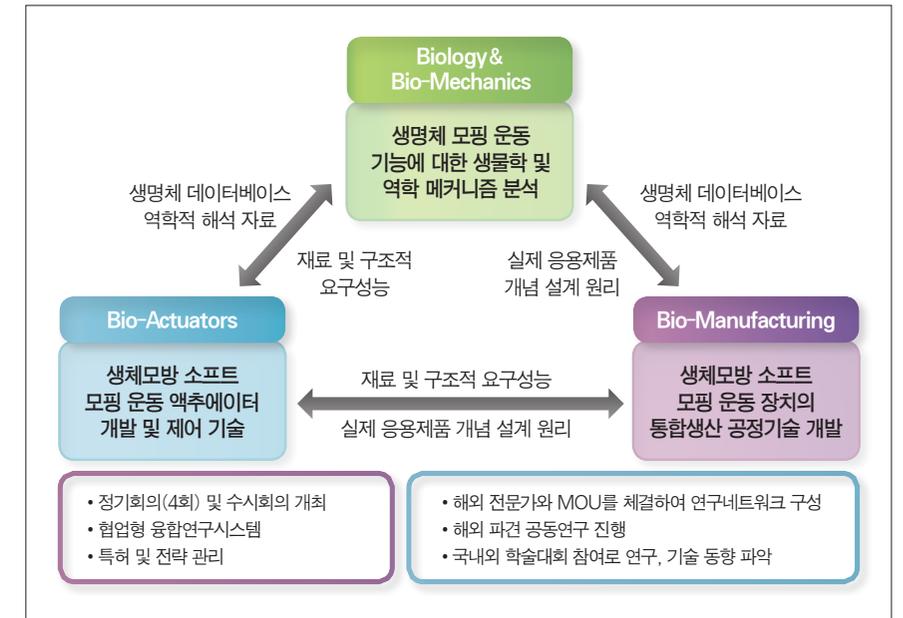
“애니메이션에서 얼굴이 바뀌는 개념을 모핑이라고 하는데, 이 개념이 공학으로 건너오면서 구조가 바뀌는 것으로 의미가 확장되었습니다. 단순히 생물의 특성을 모방하는 것이 아니라, 움직임까지 구현하려고 하는 우리의 연구목표에 맞게 ‘모핑’이라는 개념을 붙이면 좋을 것 같군요.”

“참 좋은 생각입니다. 더불어 연구에 사용하는 거의 모든 소재가 유연하니 ‘소프트’를 붙여서 소프트 모핑이라고 부르면 될 것 같습니다!”

이렇게 생물처럼 변신 혹은 생물과 동등한 수준의 동작을 구현하는 혁신적인 ‘소프트 모핑(Soft Morphing)’ 개념이 만들어졌다.

융합연구의 개발목표인 ‘생체모방 소프트 모핑 기반기술’은 주위 환경과 필요 기능에 따라 유연하게 모양을 변화시키는 소프트 모핑 로봇 또는 기계의 개발을 위해 기존의 단단한 재료가 아닌 △유연한(soft) 물질들을 이용하여, △ 스스로(autonomous), △매우 큰 변형(Large Deformation)을 일으키고, △다시 원상복귀(reversible)할 수 있는 소재, 구조, 메커니즘 및 액추에이터의 설계 과정에서 공학적으로 찾기 힘든 해답을 자연에서 생물들의 독특한 형태와 효율적인 움직임의 분석을 통해 찾아나가고자 하는 기술이다.

그리하여 생체모방 소프트 모핑 기능 구현을 위한 기반기술 개발을 최종 목표로 하여 생명체의 소프트 모핑 데이터베이스를 구축하고, 생물/기계/재료/전자 기술을 융합한 소프트 모핑 기반기술을 개발하고자 하며, 이를 이용하여 생체모방 소프트 모핑 원천요소기술을 응용한 시제품을 제작하고자 했다.



융합연구 조직 형태

공학부터 생물까지 융합연구의 드림팀이 만들어지다

새로운 패러다임의 생체모방 소프트 모핑 기술은 생체모방(Bio-mimetic & Bio-inspiration) 접근 방법과 모핑 기능을 이용하여 이를 공학적으로 구현하기 위한 생물/재료/기계/전기 등 다양한 분야의 요소기술을 결합하여 새로운 형태의 원천기술을 개발할 수 있으며, 학제 간 융합연구를 통해 개발되어야 했다.

하지만 연구 초기 시점에서는 전 세계를 살펴봐도 각 세부 분야의 연구가 개별적으로만 진행될 뿐 이를 융합적으로 공동연구하려는 시도는 아직 미미했다.

“아무래도 이번 연구는 다양한 분야의 연구자들과 힘을 합쳐야 할 것 같습니다.”

“나도 그렇게 생각합니다. 각기 차별화된 시각과 아이디어를 가진 연구자들이 필요해요.”



최 교수와 조 교수, 김 교수는 소프트 모핑 기술 개발을 기존 기술로 접근한다면 기술적인 한계에 당면하게 될 것이라고 생각하였다.

2009년 초, 생체모방 소프트 모핑 기계기술을 연구할 융합연구팀이 본격적으로 꾸러졌다. 최 교수는 소프트 모핑 연구를 구현하기 위해 생물, 유체, 로봇, 역학해석, 복합재료, 폴리머, 센서 재료, 생산 및 제어 등 다양한 분야의 연구 인력을 모았다. 다행히 최 교수가 제안한 융합연구에 흥미를 느끼는 이들이 많았기에 서울대학교를 중심으로 연구 인력을 쉽게 모을 수 있었다.

팀원 구성을 마친 융합연구팀은 보다 효율적인 연구를 수행하기 위해 세 가지 분야로 세부 조직을 편성하여 연구를 수행하였는데, 그 구성은 다음과 같다.

우선 △소프트 모핑 운동 메커니즘 개발을 위한 생체역학 해석[서울대학교 최해천 교수(유체역학), 서울대학교 김호영 교수(마이크로유체역학), 서울대학교 피오토르 야브원스키 교수(생물학), 서울대학교 이상임 교수(생물학), 이화여자대학교 최재천 교수(생물학)] 조직은 생명체의 데이터베이스와 역학적 해석 자료를 연구하였다. 다음으로 △소프트 모핑 운동 메커니즘 구현을 위한 액추에이터 기술 개발[서울대학교 조맹효 교수(구조역학), 서울대학교 김현진 교수(제어), 연세대학교 박철민 교수(재료)] 조직은 재료 및 구조적 요구성능 구현에 매진했다. 마지막으로 △소프트 모핑 운동 구조제작을 위한 공정 연구[서울대학교 안성훈 교수(복합재료, 설계 및 생산), 서울대학교 조규진 교수(로봇공학), 서울대학교 홍용택 교수(전자, 유연한 전자소재)] 조직은 실제 응용제품의 개념설계 및 원리 연구에 힘을 썼다.

멀고도 먼 분야라고 할 수 있는 생물부터 공학까지 다양하게 모인 공동연구진은 처음의 기대처럼 생명체의 원리를 역학, 재료, 제어, 구조, 메커니즘 등 다

◆ **유체역학** 정지해 있거나 움직이는 기체와 액체 등 유체의 운동을 다루는 물리학 분야이다. 밀접한 연관이 있는 공학의 발전에 상당 부분 이바지했다.

양한 관점으로 풀어냈다. 그야말로 손발이 딱딱 들어맞는 융합연구 드림팀이 구성된 것이다.

공학자들의 생물학 완전 정복기

융합연구팀이 제일 처음 한 일은 다양한 생명체들의 소프트 모핑에 관한 자료 조사 및 논의를 통해 구동 원리를 이해하는 것과, 그것을 구현했을 때 공학적으로 충분한 의미를 지닐 수 있는 사실을 찾는 일이었다. 이를 위하여 선행연구를 통해 생물체 모핑 현상을 모양의 변화 양상에 따라 ‘접힘/펴짐’, ‘팽창/수축’, ‘굽힘/비틀림’, ‘진동’, ‘자기 절단’으로 분류하였다. 이에 대한 조사는 전공에 상관없이 모든 연구원들이 모여서 생물학 논문들을 읽고 토의를 하면서 진행을 하였다.



생물학과 공학의 차이를 극복하고자 생물학 논문들을 읽고 토의를 진행했다.



“전공 분야가 아니다 보니 생물학 논문들이 생소하네.”

생물학 논문을 읽고 토의를 하던 중에 답답함을 호소하는 속내들이 쏟아졌다. 그도 그럴 것이 대부분의 연구진에게는 난생 처음 접하는 전문적인 생물학 단어가 외계어만큼이나 거리감 있게 느껴진 것이다. 낯선 용어는 낱밤을 새워 서라도 익히면 된다지만, ‘관찰’ 중심인 생물학적 기술과 ‘원리’ 중심인 공학적 기술의 차이가 너무나 컸다. 생체모사 소프트 모핑 연구에 대한 아이디어를 얻으려면 생물의 특성이나 움직임에 대한 근본 원리가 필요했는데, 생물학 논문 대부분은 관찰 중심의 사고를 기반으로 하여 서술되어 있었다.

하지만 생물학 완전정복을 꿈꾸던 융합연구팀은 공부하고 또 생각하기를 멈추지 않으며 원리 발견에 몰두했다.

융합연구팀이 생물학 공부를 통해 밝혀낸 것은 생명체가 구현하는 다양한 종류의 움직임(locomotion)은 각각 먹이 획득, 주변 환경에의 적응, 에너지 효율

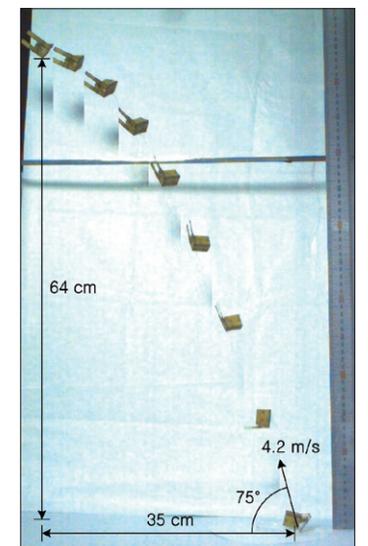
〈표〉 생명체 모핑 동작의 역학 원리와 변형 유형 분류

기능 원리	접힘/펴짐 (1차원)	접힘/펴짐 (2차원)	팽창/수축	굽힘	비틀림	진동	자기 절단
중합(개별적인 것들이 합쳐져 하나가 되는 것)			아메바				
유체 분출			복어 소금쟁이 생식기 달팽이 더듬이				포자
근육 수축	물고기 지느러미 타살 돌음 고슴도치	해파리	달팽이 문어	쥐머느리 애벌레 자벌레		거미	도마뱀
탄성 스프링 추진	곤충 날개 곤충 도약						
기하 형상 변형		곤충 날개 서어나무 잎 미모사 잎			수선화		

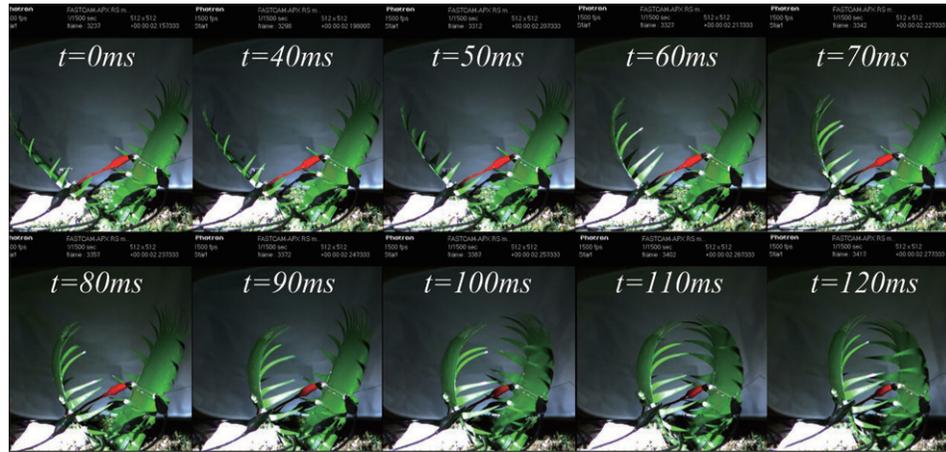
향상, 신체 보호 등의 기능적인 의미가 있다는 사실이었다. 이것을 바탕으로 융합연구팀은 생물의 모핑 동작을 기계적인 역학 원리와 변형 유형에 대하여 분류하였다.

이들 생명체 모핑 동작에 대한 사전조사 및 연구 수행을 통해 각 전공별로 생명체에 대한 다양한 움직임을 분석할 수 있었다. 예를 들어 유체 전공인 최해천 교수는 물고기 지느러미의 접힘/펴짐 현상에 관한 조사를 통해 물고기의 지느러미는 뼈대와 얇은 막으로 구성되어 있어서 접힘/펴짐에 특화되어 있다는 사실을 알아냈다. 물고기 지느러미의 접힘/펴짐은 각각의 뼈대에 부착되어 있는 근육에 의해서 일어난다. 뼈대의 앞쪽에는 두 개의 기립근(Erector Muscle)이, 뒤쪽에는 두 개의 억제근(Depressor Muscle)이 존재한다. 지느러미를 펼칠 때에는 기립근이 수축하여 각각의 뼈대를 세워주고, 반대로 지느러미를 접을 때에는 억제근이 수축되어 각각의 뼈대를 몸통 쪽으로 눕혀 준다. 뼈대의 양쪽 옆에 부착되어 있는 경사근(Inclinor Muscle)은 뼈대를 양쪽 옆으로 움직이게 해준다. 즉 물고기 지느러미의 접힘/펴짐은 각각의 뼈대에 부착되어 있는 근육이 독립적으로 뼈대를 일으키거나 눕히면서 지느러미의 전체적인 형상을 변화시키는 것이다.

물 위에서의 도약이 가능한 소금쟁이에 관한 연구에 관심이 있던 김호영 교수와 이에 대한 역학적 원리의 이해를 통한 로봇 개발에 관심이 있던 조규진 교수는 곤충의 도약 원리에 대해 관심을 갖기 시작했고, 벼룩의 도약 동작에 특별한 원리가 있다는 것을 발견하게 되었다. 벼룩과 메뚜기 뒷다리의 움직임은 회전 관절로 연결된 링크가 접혔다 펴지는 운동으로 이해될 수 있다. 특히 벼룩은 토크방향 전환 메커니즘을 통해 많은 양의 에너지를 효과



벼룩 로봇 2



파리지옥 로봇 1 고속 촬영 스냅샷

적으로 저장하였다가 순간적으로 방출하여 효과적인 도약을 할 수 있다. 이러한 발견은 추후에 세계 최초의 벼룩 모사 점핑 로봇을 개발하는 데 결정적인 계기가 되었다.

복합재료에 대한 관심을 갖고 있는 조맹효 교수와 조규진 교수는 파리지옥의 움직임이 가능한 이유가 구조 자체의 잔류 응력에 의한 이중안정성(bistability)이라는 논문을 접한 후, 이 원리를 복합재료로 만든 구조에 적용함으로써 추후에 세계 최초의 파리지옥 모사 로봇을 개발하였다. 이 밖에 해파리의 움직임 원리, 곤충 날개의 접힘 원리, 자벌레의 움직임 원리, 식물의 주름 원리 등 생명체의 소프트 모핑에 관한 다양한 조사와 이들의 구현을 위해 필요한 기술에 대한 고찰을 통하여 연구를 진행하였다.

또한 생명체들의 구조가 접히는 방식에 대한 연구를 통해 곤충 날개와 나뭇잎이 가지는 공통적인 특징이 효율적으로 면적을 변화시킬 수 있는 주름 구조를 가지고 있다는 점을 알아냈다. 곤충 날개의 접힘 방식은 접히는 방향에 따라 횡접힘(Transverse Folding), 종접힘(Longitudinal Folding) 및 방사형 접힘(fanning)으로 나눌 수 있으며, 각각 정해진 패턴(Wing Venation)에 따라 기작이

이루어진다. 실제로 곤충 날개에는 근육이 분포하고 있지 않기 때문에 날개의 접힘과 펴짐 동작의 제어는 날개와 몸통 간의 접합 부위 근육에 의해서 능동 제어가 가능한 모핑 현상임이 밝혀져 있다. 한편 날개의 접힘/펴짐을 제어하고 조정하는 데 효율을 높이기 위해 레실린(resilin, 탄성 단백질 구조)이 날개 구조 곳곳에 분포하여 탄성에너지를 저장하고 방출하는 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 이는 본 융합연구에서 재료 및 구조, 제어 분야의 원천요소기술을 개발하는 데 필요한 것이었다.

이렇게 여러 생명체에 대한 광범위한 조사는 많은 시간이 걸렸지만, 다양한 생명체의 원리들을 공학적인 관점으로 고찰해 봄으로써 많은 유용한 기술들을 유추해 낼 수 있었다. 자연을 통해 새로운 기계기술에 관한 힌트를 얻을 수 있었다는 것만으로 이러한 광범위한 조사는 매우 효율적이었다.

하지만 이러한 형태의 연구진 구성은 초기에 과제를 기획하기에는 적합하였으나 실제로 연구를 수행해 나갈 때는 동일한 주제를 다루지 않는 이상 시너지가 많이 나타나지 않았다. 고민 끝에 융합연구팀은 전체 모임보다는 소규모의 교류를 활성화하여 창의적인 연구들을 진행해 나갈 수 있었다. 전체 모임은 최소화하여 시간적 부담을 줄이면서도 서로에 대한 이해를 넓혀 나갈 수 있는 여지로 남겨두고, 팀들 간의 융합연구가 긴밀해지도록 점핑을 연구하는 팀과 모핑 원리를 연구하는 팀으로 응용분야에 따라 두 팀을 새로이 구성하여 연구를 진행하였다.

결국 다양한 분야를 융합하는 성격에 맞춰 체계적이며 효율적인 연구개발 추진 전략과 체계를 세워 진행하였다. 추진 전략은 기술 정보 수집, 전문가 확보, 정보 교류, 타 기관과의 협조방안, 연구개발 방법론으로 세분화하여 수립하였으며, 세부 연구 조직의 연구 성격을 고려하여 반영하였다. 그리고 수행할 연구 내용을 세부 연구 조직별로 구성하여 5년 동안의 연구 기간을 2단계로 나누어 1단계(1~3차년도)에서는 각 세부 연구 조직별 요소기술 확보에 중점을 두어



연구를 진행하고, 2단계(4~5차년도)에서는 1단계에서 개별적으로 개발된 요소 기술들을 바탕으로 융합 기술 개발을 진행하는 연차별 추진체계를 설립하여 수행하였다. 또한 각 연차마다 중간 및 결과 보고를 통해 연구 결과 및 차년도 계획을 평가하여, 평가 결과를 피드백하고 다음 단계 연구 일정에 적극적으로 반영하여 연구를 수행하였다.

시너지는 융합연구의 가장 큰 인센티브

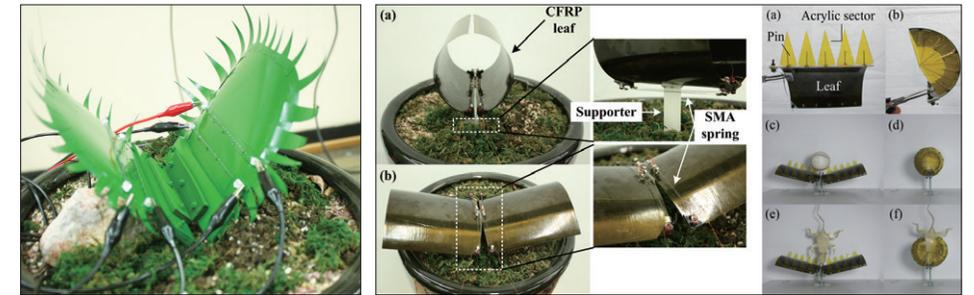
융합연구팀이 효과적으로 운영되기 위해서 가장 중요한 것은 본인의 연구 관심사와 다른 연구진들이 가지고 있는 기술 간에 얼마나 시너지를 낼 수 있는가 하는 부분이었다. 기본적으로 연구원들은 좋은 연구주제라고 생각하는 것에 대해서는 별다른 인센티브가 없어도 그 자체만으로 즐거워하면서 연구를 진행하였다. 본 융합연구팀은 참여한 모든 공동연구자의 연구가 어느 한 학문의 도구로 사용되는 것이 아닌, 각자의 입장에서 연구를 해나갈 수 있도록 처음부터 구체적인 목표를 잡지 않고 과제를 진행해 나가면서 지속적으로 새로운 연구를 발굴해 내기 위해 노력했다.

“과거 파리지옥에 관한 이중안정성을 연구한 논문이 크게 주목을 받아 하버드대 홈페이지에 실린 적이 있습니다. 당시 그것을 흥미롭게 여기던 저는 이중안정성의 원리를 이용해 파리지옥의 움직임을 모방한 로봇을 만들 수 있을까에 대해 고민하고 있습니다.”

로봇을 연구하는 조규진 교수가 말을 하였다.

“그런 점이려면 구조역학 연구자인 제가 힌트를 드릴 수 있을 것 같습니다. 실제로 이중안정성을 구현할 수 있는 이중안정성 복합소재 구조라는 게 있거든요.”

조맹효 교수가 말을 하였다. 혼자서는 해결해 나갈 수 없었던 연구가 융합을 통해 실마리를 찾는 일이 점차 늘어났다.



파리지옥 로봇 1

파리지옥 로봇 2

대표 연구 성과 중의 하나인 벼룩을 모사하는 점핑 로봇의 경우에도 초소수성 재료를 연구하는 유체역학자와 로봇 학자의 만남으로 이루어질 수 있었다. 물 위에서의 도약에 관심이 많은 유체역학자의 동기 부여로 초경량 점핑 메커니즘에 관심을 가진 로봇학자가 1967년에 논문에 게재되어 있으나 아직까지 한 번도 구현된 적이 없는 벼룩의 점핑 메커니즘을 발견해낸 것이다.

창조의 한 가지 법칙 중의 하나가 관련이 적어 보이는 두 가지를 연결시킬 때 이루어진다는 사실을 생각해볼 때 관련이 적은 두 분야의 사람들이 모여서 논의하는 것만으로도 창의적인 연구주제와 그에 따른 시너지를 도출해낼 수 있다. 물론 명확한 목표가 없이 손으로 땅을 디디면서 찾아나가는 과정이 두렵지 않은 것은 아니다. 그러나 남들이 해보지 않은 것에 도전하고 노력하는 과정이 야말로 새로운 창조를 할 수 있는 밑거름이 아닌가?

창조경제 실현을 위한 미래성장동력

최종 연구 결과를 통해서 본 융합연구팀은 과제의 연구 계획 및 수행 과정이 생체모방 기술 개발에 효과적인 접근 방법임을 입증하였다. 이는 융합연구를 통해 개별적인 연구/기술 분야가 지닌 기술적 한계를 서로 보완 및 개선하였기에 가능한 일이었다. 본 과제의 연구 방법론은 후속 자연 모사 연구 및 융합연구, 통합 설계 공정 기술개발에 있어 본보기가 될 수 있을 것이다. 실제로 연구



결과에 관심을 가진 기업체에서 접촉해오는 등 창의적인 연구 결과들을 통해 새로운 기술개발을 촉진시키는 매개체로서의 가능성을 확인할 수 있었다.

현재 대부분의 산업 분야에서는 기능성과 디자인을 혁신적으로 변화시킬 수 있는 새로운 기술에 대한 수요가 매우 높다. 또한 국가 차원에서는 창조경제 실현을 위해 미래성장동력에 해당하는 융합기술이 필요한 시점이다. 하지만 현재의 기술 수준은 이러한 수요를 충족시키기 힘들고, 해외 의존도가 매우 높다. 이러한 시점에서 본 융합연구팀이 개발한 생체모방 소프트 모핑 기반기술은 위와 같은 요구를 충족시켜줄 수 있는 새로운 패러다임의 기술이자 원천기술이 될 수 있다.

시장 발전 가능성이 큰 기계 및 전자 분야에서 소프트 모핑 운동 기술의 활용을 통하여 디자인과 기능성의 혁신을 달성한 획기적인 제품을 개발하고 원천 특허를 보유하면, 관련 산업으로 기술이전이 용이하게 되며, 이를 기반으로 세계적인 트렌드를 선도하여 세계 시장을 선점할 수 있을 것이다.

뿐만 아니라 생체모방 소프트 모핑 기반기술은 정부가 수립한 15대 국가전략융합기술 중에서 융합서비스로봇, 첨단생산 시스템, 차세대 다기능 소재, 신체기능복원 및 재활 치료 기술에 직접적으로 관련이 있어 해당 기술들의 원천요소기술이 될 수 있기 때문에 선진국과의 경쟁 속에서도 지속적으로 국내 산업과 경제를 성장할 수 있도록 하여 연간 수십조 원의 부가가치를 창출할 것으로 기대된다.

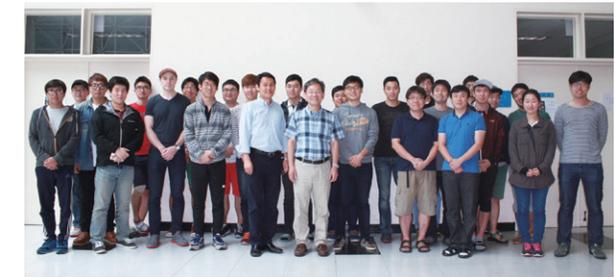
융합 포인트

연구 초기 목표에 제한을 두지 말고 아이디어를 찾아라

연구 초기 모든 가능성을 열어두고 연구목표를 찾는 데 몰두한 해당 융합연구팀은 결국 '소프트 모핑'이라는 기계기술의 새로운 패러다임을 열어갈 신개념을 탄생시켰다.

종속관계가 아닌 상호보완적인 관계로 연구조직을 만들어라

본 융합연구팀은 어느 한 학문의 도구가 아닌, 각자의 입장에서 모든 연구가 주도적으로 진행이 될 수 있도록 상호보완적인 관계로 연구조직을 만들어서 진행했다. 결국 이러한 융합의 과정을 통해 '벼룩 모사 점핑 로봇', '파리지옥 모사 로봇' 등이 만들어졌다.



이종석

KIST 녹색도시기술연구소 박사

신소재 기체분리막, 환경보전과 에너지 문제 해결의 실마리가 되다

고분자 하이브리드 소재를 이용한 기체분리막 개발 사례 적용



본 융합연구는 합성 고분자물질인 사다리형 구조의 폴리실세퀴옥산(PSSQ) 물질을 기체분리막 제작에 응용해 가능성을 제시하고 기술개발을 진행하고 있다. 고분자물질 합성의 전문성을 지닌 'KIST 다원물질융합연구소 물질구조제어연구단'의 황승상 박사 연구팀의 PSSQ 물질 합성기술과 기체분리 전문성을 지닌 '녹색도시기술연구소 환경복지연구단' 이종석 박사 연구팀의 기술융합으로 한창 연구가 진행 중에 있다.

융합연구팀이 PSSQ라는 유기/무기물의 혼합구조를 갖는 하이브리드 소재를 기체분리막 분야에 시도하는 것은 첫 사례로, 실제 이 물질의 기체분리막 응용 가능성은 최근 분리막 관련 전문 국제 저명학술지인 <멤브레인 사이언스 저널(Journal of Membrane Science)>에 투고, 논문이 게재되면서 그 사실을 입증했다. 현재 본 융합연구팀은 PSSQ 물질을 기반으로 하여 차세대 기체분리막을 개발하고 있으며, 최근 관련된 특허를 출원했다.

기술과 기술의 결합, 융합연구의 시작

2013년 4월, KIST 물질구조제어연구단의 고분자 그룹 세미나가 있던 날, 어느 낮선 이가 이종석 박사의 발길을 붙잡았다. 이종석 박사는 세미나에서 자신의 연구내용을 발표한 후였다.

이날 이종석 박사에게는 세미나에 서게 된 것만으로도 좋은 기회였는데, 가장 큰 기회는 바로 이 낮선 이의 출현이었다. 그가 훗날 자신의 연구에 뜻밖의 동행을 하게 될 줄은 그 순간 전혀 알 리 없었다.

“저는 KIST 물질구조제어연구단의 황승상 박사입니다. 제가 박사님의 기체분리막 연구에 대해서 흥미로운 제안을 하나 하고 싶은데요.”

낮선 이의 정체는 황승상 박사였다. 그는 고분자물질 합성의 전문가로서 다원물질융합연구소 물질구조제어연구단에 몸담고 있었다. 이종석 박사는 그의 출현이 당황스럽기는커녕 오히려 반가웠다. 어쩌면 그가 다가오기 전부터 그를 기다린 쪽은 이종석 박사였는지도 모를 일이다.

사실 이전부터 이종석 박사는 연구에 있어 한 가지 커다란 고민이 있었다.

‘좀 더 우수한 기체분리막 개발을 위해 새롭게 적용할 수 있는 물질은 없을까?’

소재 개발에 대한 아이디어의 한계에서 그의 연구는 새로운 활로를 찾지 못하고 헤매고 있었다. 이러한 때에 황승상 박사와의 만남은 그야말로 운명적이었다. 그가 제안하는 연구는 이종석 박사의 호기심과 연구 열정을 자극하기에 충분했다.

“그러면 황승상 박사님의 고분자합성물질을 제 연구 분야인 기체분리막 개

◆ **기체분리막** 산소와 질소를 분리하거나, 이산화탄소와 메탄을 분리하는 것처럼 기체를 분리하는 막으로, 특정한 기체를 선택적으로 분간하는 성질을 가진 고분자 분리막이다. 화학공업에서 분리기술은 불가결한 중요 기술이며, 고분자 분리막을 사용하는 분리기술이 자원의 절약, 에너지 절약, 그리고 환경면에서 주목을 받고 있다.



발에 적용해 보고 싶다는 말씀이지요?”

이종석 박사의 목소리는 한껏 흥분되어 있었다. 어쩌면 자신이 그토록 애타게 찾던 새로운 물질이 제 발로 굴러들어오는 순간이었기 때문에 좀처럼 기쁜 마음을 감출 수 없었다.

“그렇습니다. 사실 저도 새로운 고분자합성물질을 개발하고 이를 적용할 분야를 물색하고 있었습니다. 그런데 오늘 이종석 박사님의 기체분리막 연구를 보고 여기에 적용하면 시너지 효과를 누릴 수 있겠다는 판단이 섰습니다. 박사님 생각은 어떠십니까?”

이종석 박사 역시 두말할 필요가 없는 완벽한 조합이었다. 물론 기체분리막 적용의 가능성 여부를 먼저 타진해 봐야겠지만 각자 서로의 연구에서 빠진 부품 하나씩을 찾은 기분이었다. 더욱이 황승상 박사가 제안하는 고분자합성물질인 폴리실세스퀴옥산(polysilsesquioxane, 이하 PSSQ) 물질은 이종석 박사가 개발하고자 하는 ‘고온의 조건에서도 사용할 수 있는 기체분리막’ 연구에 탁월한 물질이었다.

최근의 고분자 신소재에 관한 연구는 고분자에 열적, 기계적, 전기적 특성을 더하여 기능화된 방향으로 전환하고 있는 추세이다.

특히 유기물과 무기물이 혼성화된 유-무기 하이브리드 재료가 주목받고 있으며, 유-무기 하이브리드 물질의 제조에 있어 가장 중요한 점은 유기, 무기 단량체 또는 고분자들 서로 간의 상용성에 문제가 없어야 하는 것이다. 즉, 열적 구배 현상이 발생하지 않고 안정성이 확보될 수 있어야 한다. 이러한 요구를 충족시키는 물질로 PSSQ가 각광받고 있다.

PSSQ는 이미 많은 논문과 특허를 통해 고내열성의 안정성을 인정받았다. PSSQ는 오일, 고무, 수지 등의 형태로 내열성 재료, 내후성 재료, 내충격성 재료, 포장재, 봉입재, 절연성 재료, 윤활제, 박리제, 반 가스투과성 코팅제 그리고 유연한 기판 등에서 광범위하게 사용되고 있으며, 산업 전반에 걸쳐 매우 중요



폴리실세스퀴옥산 물질 합성 기술을 가지고 있는 황승상 박사와 기체 분리의 기술을 지닌 이종석 박사가 마침내 손을 맞잡았다.

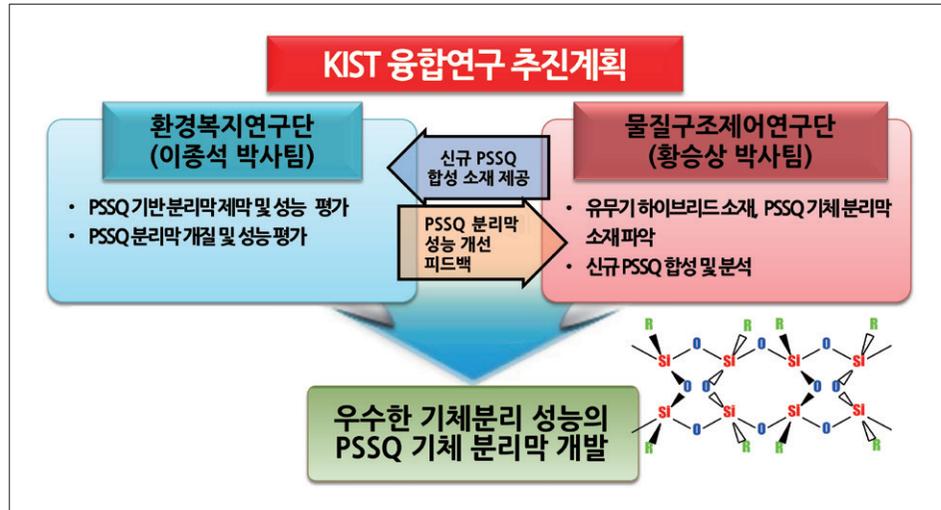
한 폴리머로 인식되고 있다.

하지만 이러한 합성 고분자가 기체분리막에 적용된 사례는 여태껏 없었다.

‘PSSQ를 기반으로 하는 기체분리막이라……. 가능성만 입증한다면 새로운 기체분리막 개발은 승산 있는 싸움이다!’

만약 PSSQ 물질을 기반으로 한 기체분리막이 개발된다면 차세대 신소재 기체분리막으로 해당 분야에 탁월한 입지에 올라 설 수 있는 절호의 찬스였다. 연구자로서 이러한 기회를 놓칠 리 없는 이종석 박사였다. 물론 이는 황승상 박사 역시 마찬가지였다.

◆ **폴리머** 한 종류 또는 수 종류의 구성단위가 서로에게 많은 수의 화학결합으로 중합되어 연결되어 있는 분자로 되어 있는 화합물이다. 고분자 화합물(분자량이 1만 이상의 화합물)과 같은 의미로 사용되는 경우가 많다.



이로써 PSSQ 물질 합성 기술을 가지고 있는 황승상 박사와 기체 분리의 기술을 지닌 이종석 박사가 마침내 손을 맞잡고 있었다.

그때부터 이종석 박사는 황승상 박사와 함께 PSSQ 물질 기반의 기체분리막 개발논의에 착수했고, 이후 성공 가능성 여부를 두고 지속적으로 연구해 나가기 시작했다. 우선 사전조사 및 브레인스토밍을 통해 합성 가능한 PSSQ를 선별하고 기체분리막 가능성을 논의하기로 했다.

아직 융합연구의 주제가 구체화된 것은 아니지만 가능성만을 믿고 연구에 임하는 두 연구원의 열정은 시작부터 뜨겁게 불타올랐다. 기술과 기술의 만남으로 새로운 시험대에 오른 이번 융합연구는 이종석 박사의 도전정신과 기대감을 한껏 키우고 있었다.

기체분리막의 연구세계에 빠지다

이제 다시 새로운 연구에 돌입하는 이종석 박사는 처음 기체분리막을 연구할 때처럼 흥분을 감추지 못했다. 그는 지금보다 더 우수한 성능의 차세대 기체 분리막 개발을 간절히 원하고 있었다.

‘기체분리막의 기능이 정교하고 섬세해진다면 환경보전과 에너지절약에 있어 엄청난 영향을 줄 것이다.’

오래 전부터 기체분리막 성능 향상을 위해 노력하는 그의 연구 철학은 언제나 뚜렷했다. 무분별한 연료 사용으로 훼손된 지구 환경문제를 해결하는 데 보탬이 되고자 했던 것이다. 이와 더불어 건강한 삶을 유지하면서 지속가능한 경제성장을 유지시켜주는 명제를 제시하고자 했다.

이러한 그의 연구과제는 단순히 기우에서 비롯된 것이 아니다. 최근 10년간 가장 많이 회자되는 이슈 중 하나를 꼽는다면 바로 온난화가스 배출의 증가로 인한 지구 온난화 문제일 것이다.

세계기상기구(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 보고에 따르면, 310억 톤의 CO₂가 배출되면 지구 온도가 2°C 상승한다고 한다. 현재 전 세계적으로 연간 10억 톤의 CO₂가 배출되고 있는 사실을 고려할 때, 앞으로 30년 뒤에는 2°C 지구 온도 증가가 예상된다.

어떤 사람들은 2°C의 온도 상승을 대수롭지 않게 여기기도 하지만 지구온도가 상승하면 작은 온도 차이라도 지구 전반에 엄청난 나비효과를 불러온다. 극지방의 해빙으로 인한 해수면 상승은 물론 저지대의 침강, 사막화, 해안 생태계의 급변 등 심각한 자연파괴를 초래할 수 있다. 그래서 혹자는 지구온난화에 따른 피해규모를 다음과 같이 이야기하기도 한다.

“1·2차 세계대전 때 겪었던 피해규모를 합한 것보다 10배가 넘는 파괴를 불러올 것이다.”

이는 상상조차 어려울 정도로 끔찍한 재앙이다. 그래서 전 세계의 많은 연구자들은 이러한 환경문제를 해결하려는 다양한 기술 연구를 활발히 진행하고 있다. 이종석 박사 역시 그 연장선상에서 자신의 연구주제를 끊임없이 발굴하려고 노력했던 것이다.

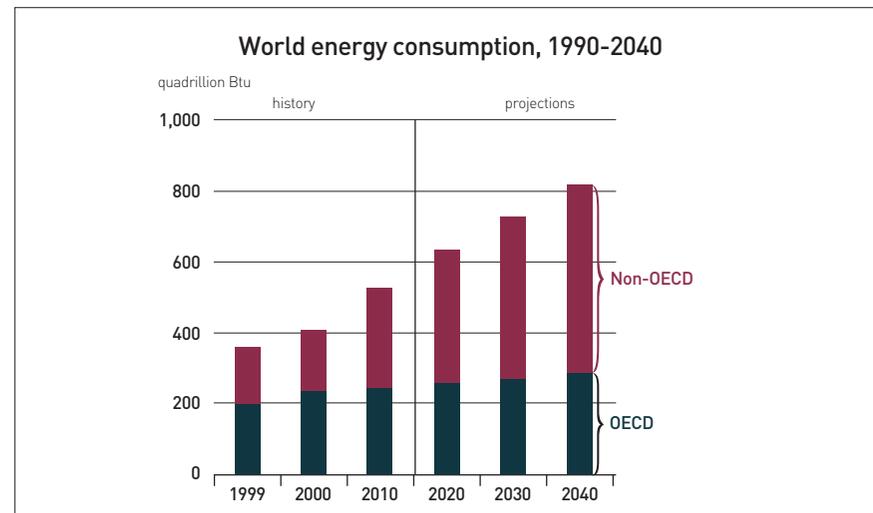
물론 처음부터 이런 거창한 연구철학과 과제를 가진 것은 아니었다. 박사 학



위 시절 겪었던 다양한 융합연구의 과정을 통해 그는 자연스레 지금과 같은 연구주제를 도출할 수 있었다. 특히 미국 조지아텍 화학공학과에서 만난 William J. Koros 교수는 이종석 박사에게 기체분리막 연구의 참의미를 일깨워준 멘토 같은 분이였다.

2006년 8월, 이종석 박사가 기체분리 세부전공으로 박사학위를 취득하려던 당시 그는 지도 교수였던 Koros 교수를 처음 만났다. 그의 지도하에 분리막을 이용한 기체분리를 배우면서 이종석 박사는 단순히 학문적인 지식만을 습득한 것이 아니었다.

“가스 분리막 개발이 범지구적인 문제인 환경보전 해결의 실마리가 될 것이네. 어디 그뿐인가! 에너지 절약에 있어서 역할도 크지. 사실 화력이나 원자력 발전소를 통해 생산된 에너지 중 많은 양은 분리공정 과정에서 소모되고 있지. 좀 더 구체적으로 말하자면 2040년에는 350quadrillion joule에 해당하는 에너지가 분리공정에서 소모될 것으로 예상되는데, 이는 2005년 전 세계 에너지 생산량의 90%에 해당하는 엄청난 양이라네.”



시대에 따른 전 세계 에너지 소비량 추세

푸근한 인상에 자상한 이웃집 할아버지 같았던 Koros 교수도 기체분리를 설명할 때만은 비장한 모습이었다. 늘 열정적으로 환경과 에너지 문제의 중요성을 설명하는 노 교수의 진정성 덕분에 이종석 박사 역시 기체분리막 연구주제에 호기심을 갖고 진지하게 임하는 자세를 익혔다.

그때부터 이종석 박사는 가스 분리막 관련 논문들을 찾아 읽고, 깊이를 더해가는 논의를 거치면서 분리막에 기반한 가스분리연구 주제를 자신의 것으로 삼을 수 있었다.

‘육안으로 확인할 수 없고, 만져지지도 않는 가스를 분리할 수 있다니 놀라운 일이야!’

대개 산업체에서 관심을 갖는 가스분리 대상으로는 O_2/N_2 , CO_2/CH_4 , CO_2/N_2 를 들 수 있는데, 이러한 기체들의 분자 크기는 O_2 : 3.46Å, N_2 : 3.64Å, CO_2 : 3.3Å, CH_4 : 3.8Å로 알려져 있다. 이를 분리막을 이용하여 0.18, 0.5, 0.34Å에 불과한 분자 크기 차이를 구분하여 O_2/N_2 , CO_2/CH_4 , CO_2/N_2 가스들을 분리하는 것이다. 사람의 머리카락 두께가 100μm이고 1μm가 10^4 Å인 사실을 고려할 때, 기체분리막 기술이 얼마나 정교한 기술인지를 짐작할 수 있다.

이러한 정교하고 복잡한 기체분리막 기술 개발에 이종석 박사도 Koros 교수만큼이나 완전히 매료되어 있었다. 그는 기체분리막을 제조할 때 실린더 형태의 중공사막을 모듈화하는 과정에서도 기체분리막의 성능이 현저히 달라진다는 사실을 알게 되었다.

고분자 용액 조성, 공기와 접하는 시간, 물의 온도, 중공사막 회수 속도 등 다양한 변수에 의해서 중공사막의 크기 및 기체분리 성능의 차이가 난다는 것이 꽤나 흥미로웠다.

이 모든 변수들이 이종석 박사에게는 다양한 연구주제를 발굴할 수 있는 재료였다. 마치 블록놀이처럼 어떠한 재료를 갖고 어떻게 맞춰 가느냐에 따라 기체분리막의 성능은 달라지는 것이다. 그에게 기체분리막 연구는 날이 새는지도



모를 정도로 재미난 장난감이었던 셈이다.

‘앞으로 기체분리막의 속성을 더욱 자세히 파악하려면 다양한 연구를 진행해 봐야겠어.’

이 같은 결심과 함께 이종석 박사의 연구는 시작됐다. 기체분리막 기술이 어느 곳에서 어떠한 형태로 구현되며, 무엇으로 변화가 주어지는지 직접 확인하고 개발하고 싶은 마음이 커졌다. 이종석 박사의 이러한 연구 욕심은 기체분리 분야에 전문성을 지닌 지금의 그를 만드는 데 커다란 한몫을 했다.

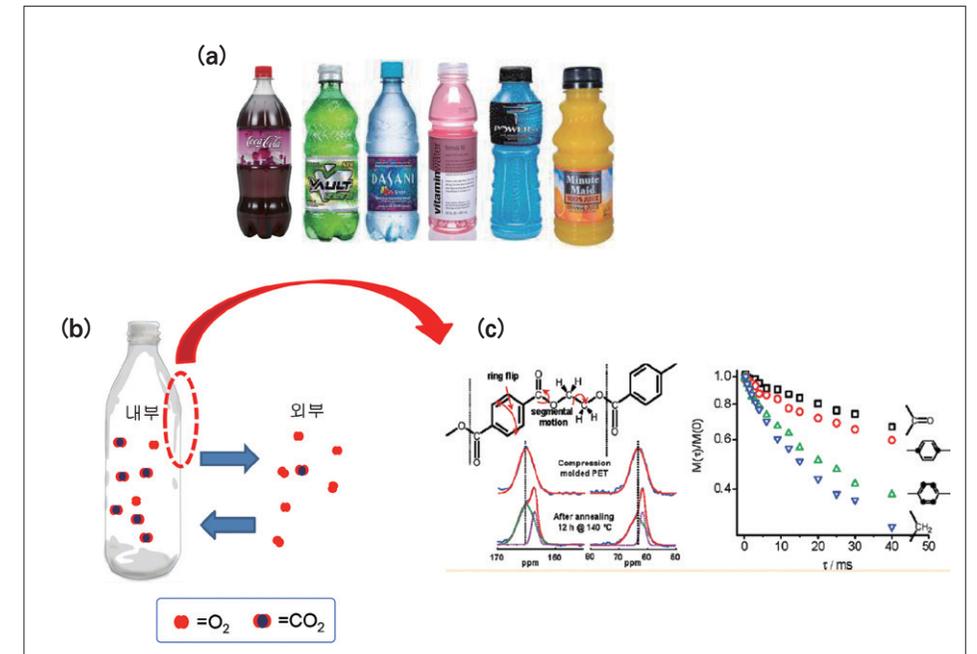
다양한 융합연구 주제로 쌓은 기체분리막 기술

이종석 박사는 지금의 결과에 이르기까지, 오랜 기간을 기체분리에 관한 연구로 보냈다. 조지아텍에서 고분자 물질에 기반한 미디어에서의 기체이동현상에 대한 연구생활을 하는 동안, 대학 내는 물론 코카콜라와 같은 주변 기관의 여러 연구자들과 다양한 주제의 융합연구를 수행했다.

연구주제로는 기존의 청량음료의 유통기한을 연장시킬 수 있는 차세대 배리어(barrier) 소재 개발 및 체리향 콜라나 향미워터(Flavored Water)처럼 청량음료에 들어있는 미량의 첨가제(flavor)들이 O₂나 CO₂의 투과도에 미칠 수 있는 영향을 평가할 수 있는 장치개발이었다.

콜라의 경우, 주위에서 흔히 “김이 새서 맛이 없다”라는 말들을 많이 들어봤을 것이다. 이는 콜라에 들어있는 탄산이 빠져나가면서 특유의 톡 쏘는 맛을 잃게 하기 때문인데, 이것이 내용물의 유통기한을 결정하는 중요한 요인이 된다. 또한, 오렌지주스 같은 경우 시간이 지나면서 공기 중에 있는 산소가 용기 안에 있는 내용물로 침투하여 천천히 산화되며 맛이 변한다. 그러므로 음료제조업체들은 기존의 문제를 보완할 수 있는 방법으로 좀 더 배리어 특성이 우수한 소재를 만들기 위해 노력 중이다.

이종석 박사 역시 새로운 배리어 소재를 개발하기 위해 교내에서 Choud-

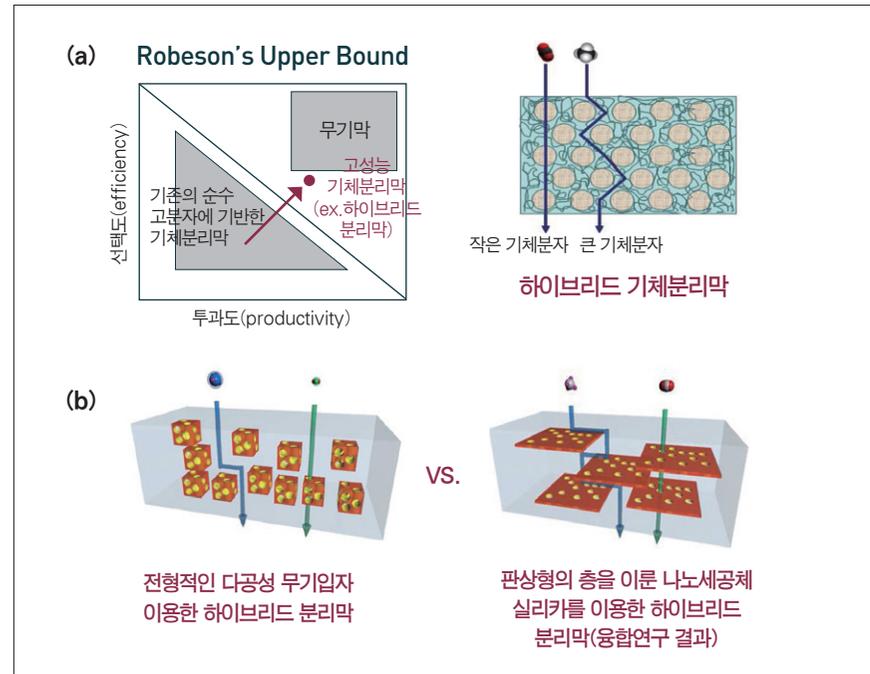


(a) 다양한 청량음료 사례들, (b) PET 플라스틱 병을 통한 O₂, CO₂ 이동현상
(c) NMR 분석 방법을 통한 배리어(barrier) 소재 개발 결과

hury 박사와 함께 공동연구를 진행했으며, 1년여 간의 공동연구 끝에 고체 NMR(Nuclear Magnetic Resonance) 분석기법에 기반한 배리어 특성 결과와 기체투과 특성의 상관관계를 증명하고, 이를 국제 저명 논문지인 <Macromolecules> 게재에 성공했다.

하지만 이종석 박사의 본격적인 기체분리막 기술 연구는 하이브리드 분리막 소재 개발 과정에서 다져졌다. 하이브리드 분리막 소재 개발은 천연가스에서 발생하는 CO₂/CH₄ 분리성능을 향상시키기 위한 연구로, 오늘날의 에너지 부

◆ **NMR(Nuclear Magnetic Resonance)** 핵자기공명장치로 분자 내의 수소, 질소, 탄소 사이의 거리와 각도를 측정해 거대 생체고분자의 구조를 밝혀내는 첨단장치이다. 천연물, 합성신물질 등 여러 분자의 구조에 대한 연구를 수행하는 데 이용된다.



(a) 순수 고분자 기체분리막의 투과도와 선택도 관계(왼편), 하이브리드 기체분리막 도식화(오른편)

(b) 등방성의 다공성 무기 입자 기반의 하이브리드 분리막 vs 판상형의 층을 이룬 다공성 무기 입자 기반의 하이브리드 분리막

즉 문제를 해결하기 위한 대안 중 하나였다.

즉, 기존 기술의 에너지 효율성을 향상시켜 에너지 소비량을 감소시키는 방법이다. Koros 교수의 말처럼 가스 분리공정 과정에서 소모되는 에너지를 분리막에 기반한 가스 분리공정으로 최대한 가스 분자입자 크기 차이에 의해 압력을 적용하여 분리하기 때문에 엄청난 에너지의 절감이 가능한 것이다.

물론 기존의 고분자 분리막이 전혀 없는 것은 아니다. 기체분리막의 분리성능 지표로는 투과도와 선택도를 들 수 있다. 투과도는 처리할 수 있는 기체유량과 밀접한 관계를 가지는 투과도가 큰 분리막일수록 작은 면적으로 같은 양의 기체를 처리할 수 있기 때문에 비용을 절감할 수 있다.

반면에 선택도는 분리된 기체의 순도와 밀접한 연관을 갖고 있어 선택도가

높은 기체분리막은 고순도의 제품을 얻을 수 있다. 하지만 순수 고분자에 기반한 기체분리막은 투과도와 선택도 성능 사이에 고유의 한계가 존재하기 때문에 투과도가 높은 고분자 분리막은 선택도가 낮고, 선택도가 높은 분리막은 투과도가 낮게 나타나는 단점이 있다.

따라서 이종석 박사는 이 둘 사이의 한계성능을 뛰어넘는 우수한 성능의 분리막을 개발하기 위한 연구주제에 돌입했다. 그리하여 작은 기체분자는 기공을 통해서 빨리 통과할 수 있고, 큰 기체분자는 무기입자 주위를 돌아서 투과하도록 하는 복합소재가 필요로 했다.

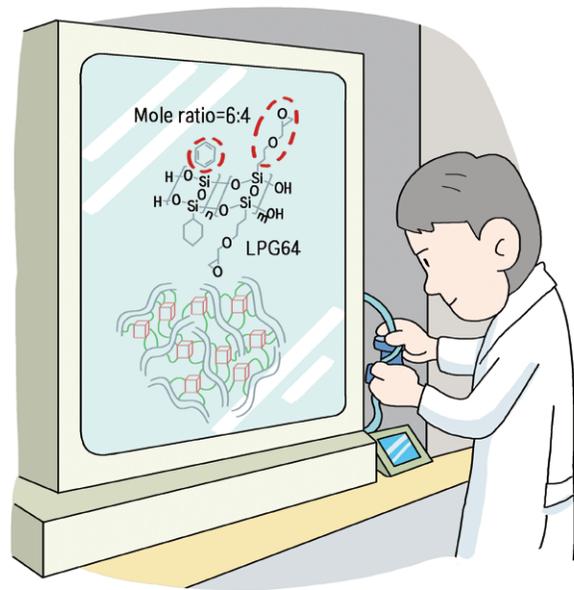
‘다공성 무기질 입자와 가공이 용이한 고분자를 섞어서 만든 소재를 기반으로 한 분리막이어야 한다.’

결국 이종석 박사는 조지아텍에서 무기 재료를 이용한 분리막 합성에 전문성을 지닌 nair 그룹에 도움을 청했다. 당시 그룹 내에는 김운귀 박사가 있었는데, 둘은 서로의 정보를 공유하면서 무기 입자들과 고분자들을 혼합했을 때 나타나는 문제점과 그 해결책을 고민하며 좋은 연구결과를 도출할 수 있었다.

특히 기존의 하이브리드 분리막들은 등방성의 무기 입자들을 기반으로 하기 때문에 많은 양의 입자들을 넣어야 했는데, 김운귀 박사가 합성했던 무기 입자는 이방성 층을 이룬 구조였기 때문에 큰 기체분자들의 투과경로가 길어져서 상대적으로 적은 양의 무기입자로도 향상된 분리성능을 얻었다.

이렇게 이종석 박사와 김운귀 박사의 공동연구는 2년여간 지속되면서 분리막 관련 국제 저명학술지인 <Journal of Membrane Science>에 게재되는 기쁨도 맛보았다.

그렇게 이종석 박사는 기체분리막에 관한 숙련된 연구기술을 익혀갔고, 2011년 포스닥 과정에서는 미국 Advanced Research Project Agency-Energy(ARPA-E)의 지원을 받아 Oak Ridge National Lab의 Dai 그룹과 함께 이온성 액체와 중공사막을 혼합한 하이브리드 흡착제(Hybrid Sorbent)를 개발



오랜 기간 기체분리에 관한 연구에 매진했다.

하기도 했다.

당시 이종석 박사와 Dai 그룹의 Hillesheim 박사는 2년 남짓한 기간 동안 공동연구를 하면서 서로 이온성 액체와 중공사막에 대한 이해를 도와주었다. 이처럼 상호보완적인 연구를 수행하며 고분자 관련한 국제 학술지인 <Polymer> 저널에 연구결과를 게재하고, CO₂를 포집하기 위한 새로운 방법으로 특허를 출원하는 쾌거도 이뤘다.

이 모든 일련의 과정을 통해 이종석 박사는 기체분리막 분야의 연구자로서 국제적인 명성을 얻었을 뿐만 아니라 연구기술의 깊이도 한층 더해갔다. 타지에서 오롯이 연구에 몰두한 시간 동안 만반의 준비를 갖춘 이종석 박사는 마침내 한 가지 커다란 결심을 굳혔다.

‘우리나라의 분리막 기술 개발 및 산업화 응용에도 기여하고 싶다.’

그렇게 하여 이종석 박사는 귀국, 2012년 말 한국과학기술연구원에 입원했다. 그리고 그 다음해에 황승상 박사를 만나게 된 것이다. 지금까지 다양한 연구주

제를 수행하며 공동연구의 시너지 효과를 몸소 느꼈던 이종석 박사로서는 이번 융합연구에 대한 기대가 몹시 크다. 과연 PSSQ의 합성으로 좀 더 우수한 성능의 기체분리막 개발이 가능할 수 있을지, 두 박사의 연구는 이제 막 기지개를 펴고 있었다.

First Mover가 되기 위한 융합연구 활성화 방안

“PSSQ는 현재 사다리 구조, 바구니 구조와 같이 다양한 구조로 되어 있습니다. 이를 여러 유기 기능기와 합성하여 우리에게 적합한 합성고분자를 찾아야 합니다.”

“그렇습니다. 우선 PSSQ 합성분자를 기체분리막에 적용해서 결과를 본 후 좀 더 구체적으로 어떤 분리를 할 건지 연구를 하여 과제화해야하겠지요.”

이종석 박사와 황승상 박사는 각자의 연구팀을 꾸린 후 공동연구에 있어서 간의 이해를 조율했다. 황승상 박사팀의 경우, 새로운 물질 합성엔 전문성을 지니고 있지만 이 물질의 응용에 대해서 상대적으로 약했다. 반면에 이종석 박사팀은 기체분리 분야에 대해 전문성을 지니고 있지만 합성 부분은 상대적으로 취약했다.

이처럼 각 팀의 취약한 부분을 보완하기 위해 연구팀은 매주 정해진 요일에 정기적인 연구회의를 진행했다. 그간 각자 연구에 있어 발견한 문제점을 얘기하고 서로 요구하는 사항에 대해 논의하면서 차근차근 해결책을 마련해갔다.

이종석 박사는 단기간의 연구 성과를 얻기보다는 객관적인 가능성 확인을 거쳐 연구의 주제를 정한 후 숙성된 연구 성과를 얻길 원했다. 따라서 PSSQ 물질의 기체분리막 적용 가능성을 검증하는 과정도 녹록하지는 않았다. 끊임없이 서로의 연구에 대해 피드백을 주고받으며 그들은 새로운 PSSQ 물질 합성을 거듭한 끝에 기체분리막 적용에 들어갔다.

그 결과 PSSQ 물질을 기반으로 한 기체분리막의 우수한 기체분리 성능을 입



증했다.

하지만 그들은 성급하게 결론을 내리지 않았다. 자신들의 연구에 대해 보다 확실하고 공식적인 인정을 받길 원했다. 그 답변을 듣기 위해 이종석 박사는 조용히 기다릴 뿐이었다. 그리고 얼마 후, 마침내 자신이 원하던 답을 듣게 되었다.

“박사님! 드디어 나왔습니다. <멤브레인 사이언스 저널(Journal of Membrane Science)>에 우리 연구내용이 실렸어요!”

연구팀은 모두 축제 분위기였다. 사실 이종석 박사팀과 황승상 박사팀은 그간 자신들의 연구내용을 분리막 관련 전문 국제 저명 학술지인 <멤브레인 사이언스 저널>에 투고하고, 동시에 특허를 출원해 놓고 있었다. 그 답을 최근에서야 듣게 된 것이다. 이보다 더 확실하고 공식적인 인정은 없었다.

‘이제 본격적인 시작이다!’

이종석 박사는 다시 한 번 마음을 다잡았다. PSSQ 기체분리막의 가능성을 확인하고 나서 융합연구는 지금부터 제2막에 들어서고 있었다.



<멤브레인 사이언스 저널(Journal of Membrane Science)>에 연구내용이 실렸다.

현재 이종석 박사팀과 황승상 박사팀은 상호 정기적인 그룹미팅을 이어가며 실용적인 기체분리막 기술을 위한 구체적인 연구주제를 발굴하고 실질적인 개발 진행의 단계에 돌입했다.

개발을 위한 제2막

그들의 연구는 ‘새로운 CO₂/N₂ 또는 O₂/N₂ 등 다양한 기체분리막 제조 기술 확보’, ‘기체분리막에 기반한 온실가스 처리로 에너지 저감 및 공정비용 저감 기술 확보’라는 분명한 목표를 갖고 있으며, 15대 중점 융합기술 중 항목 △7: 차세대 다기능 소재 기술, △11: 온실가스 저감 및 관리 기술과 직접적으로 관련되어 개발에 기대감을 높이고 있다.

또한 성공적인 연구 성과를 이룬다면 화력발전소의 배연가스에 있는 CO₂ 포집으로 1억 톤 감축 시 약 2조 6,000억 원의 경제효과 창출을 예상할 수 있다. 이는 환경과 에너지문제뿐만 아니라 경제성장에 미치는 기여도 역시 상당히 높은 수준이다.

따라서 연구에 대한 막중한 의무감으로 이종석 박사는 융합연구 활성화를 위해 각별히 신경 쓰고 있다. 그는 융합연구 활성화를 위한 두 가지 방안을 구상했다.

첫째는, 과제에 따라 장기간 사업화할 것과 단기간 사업화할 것을 유동성 있게 구분하고, 기존의 문제해결형 연구사업과 함께 새로운 문제를 발굴할 수 있는 문제발굴형 연구사업도 함께 추진해야 한다고 생각한다. 이러한 문제발굴형 연구 사업이 진행돼야 Fast Follower가 아닌 First Mover로서 한국의 변화된 과학기술의 위상을 앞당겨 실현시킬 수 있으리라 기대하고 있다.

둘째로, 문제발굴 연구과제와 함께 융합연구 촉진제도도 같이 개발되어야 한다. 아무리 우수한 연구를 진행하더라도 이를 뒷받침할 수 있는 제도적 장치가 수반되지 않는다면 성공적인 결실을 이룰 수 없다. 기술혁신을 위한 협력연



구 활성화와 소통, 연구저변 확대를 위해서는 반드시 융·복합연구 분야에 적극적인 지원이 필요하다.

이종석 박사는 이를 통하여 좀 더 효율적인 연구수행과 훌륭한 연구 성과를 낼 수 있으리라 기대한다. 그 자신도 이번 융합연구에 체계적인 기반을 갖추 수 있도록 연구수행 및 연구 성과 배분, 지원에 있어서도 세심한 주의를 기울이고 있다. 따라서 앞으로 이종석 박사와 황승상 박사가 함께 일귀널 기술융합의 성과를 충분히 기대해봄직하다.

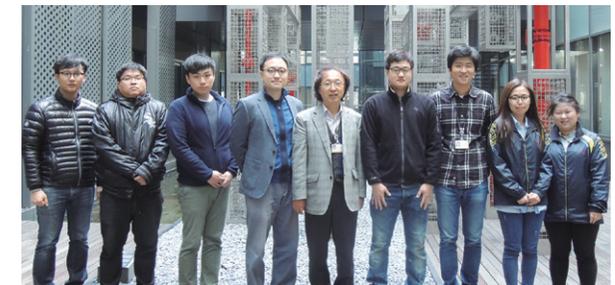
융합 포인트

사회적 이슈 및 현안문제를 살핀 연구주제를 발굴하라

이종석 박사는 융합연구를 포함한 어떠한 연구든지, 성공적인 결실을 위해서는 본인이 하고 싶은 연구와 사회적 필요성이 잘 결합되어야 한다고 말한다. 기술개발은 단순히 자기 만족을 위한 것이 아닌 대의를 위한 발전방향으로 모색될 때 존재할 가치가 있고, 연구자로서 보람과 성취감이 커진다. 이종석 박사 또한 환경과 에너지 감소라는 사회적 문제 해소를 연구목적에 두고 한 단계 더 높은 의식적인 연구 진화를 꾀하고 있다.

융합연구의 제도적 지원, 불평보다 활성방안을 제시하라

성공적인 융합연구가 활성화되려면 정부, 산업계, 연구자의 자발적인 융합연구 노력 및 이를 촉진시키는 제도발전이 병행되어야 한다. 이러한 기반이 확실할 때 융합연구도 활발히 진행되기 때문이다. 따라서 이종석 박사는 먼저 발 벗고 융합연구 활성화 방안을 제시함으로써 자신의 원활한 연구수행 기반 마련에 적극적이다. 이처럼 연구자 본인이 융합연구의 제도적 개선에 앞장선다면 성공적인 융합연구의 활성화도 이루어질 것이다.



허신

한국기계연구원 책임연구원

생체모사 인공달팽이관 소자 개발, 청각장애인들의 소리가 되다

완전이식형 인공달팽이관 소자 개발 및 평가 시스템 개발



본 융합연구는 생체모사 인공달팽이관 소자 개발을 위해 인공기저막 기술, 인공부동섬모 기술, 통합 패키징 기술개발을 수행하고, 이 단위기술을 융합하여 생체 달팽이관의 기능을 모사하는 핵심 원천기술을 개발하는 연구이다.

융합연구는 한국기계연구원의 허신 박사를 주축으로 기계, 전자, 소재, MEMS공정 전문가로 구성된 다학제 간의 연구팀으로서, 생체모사 인공 달팽이관 소자 설계 및 제작과 성능 평가를 수행하였다. 지금까지 융합연구 수행을 통해 생체모사 인공달팽이관 소자에 관한 다수의 특허 출원 및 등록을 하였으며, <Advanced Functional Materials(AFM)>에 논문 게재와 다수의 SCI 논문 및 센서학회에서 논문 발표상을 받는 쾌거를 이뤘다. 또한 대한민국과학축전, 미래융합포럼, R&D성과대전 등에 전시되어 세간의 주목과 기대를 끌고 있으며, 국제적으로 생체모사 인공달팽이관 연구의 우수성을 인정받고 있다.

감성적 이해와 합리적 사고가 이뤄낸 융합연구

“달팽이관은 나선형으로 말려 있는 구조인데 실제로 제작할 때는 이런 모양으로 제작하기가 상당히 어렵기 때문에 저희는 달팽이관 구조를 편 다음, 그 구조를 맵스(초소형시스템)공정과 나노 기술을 이용해 구현하고 있습니다.”

생체모사 인공달팽이관 구조를 설명하는 허신 박사는 카메라 앞에서도 주저함이 없었다. 오히려 차분하게 연구 목표를 말하는 그의 말투에는 당찬 포부가 담겨 있었다.

허신 박사의 연구는 인공달팽이관 기술사상 새로운 시도라는 점에서 언론은 물론 전 세계의 이목과 기대를 한 몸에 받고 있었다. 이를 누구보다 잘 알고 있던 그였기에 인터뷰에 조심스러운 면도 없잖아 있었다. 아직 연구가 진행 중이라 성공 여부를 속단할 수 없고, 그 시기조차 장담할 수 없었기 때문이다. 그런데도 허신 박사가 인터뷰에 응한 까닭은 그만의 남다른 의도가 숨겨져 있었었다.

‘말뿐인 연구는 하지 않겠다! 내가 한 말은 반드시 결과로 보여줄 것이다.’

사실 허신 박사의 이번 인터뷰는 일종의 자기최면 같은 것이었다. 이렇게 공개적인 발표를 통해 다시 한 번 연구에 대한 확신과 자신감을 갖고자 했고, 대외적으로는 국내 기술력을 알리는 기회로 삼고 싶었다. 하지만 무엇보다 가장 큰 이유는 오랜 연구로 다소 잊고 지냈던 초심을 상기시키기 위한 것이었다.

“박사님, 태어날 때부터 달팽이관이 손상되어 청각고도장애가 있는 아이들이 우리나라에서만 얼마나 되는 줄 아십니까?”

이 질문 때문에 허신 박사는 융합연구를 시작했다고 해도 과언이 아니다. 평소 알고 지내던 한 이비인후과 의사의 물음에 허신 박사는 한참을 고민했다. 매일 손상된 부품이나 성능 저하된 기계에만 관심을 뒀지 그동안 이런 분야에 대해서는 크게 생각지 않았던 터였다.

“우리나라만 해도 태어날 때부터 청각장애를 가진 아이가 1,000명당 1명으



청각장애인과 인공달팽이관에 관심을 쏟기 시작했고, 마침내 생체모사 인공달팽이관 개발이라는 연구 목표를 가지게 되었다.

로, 한해 400~500여 명에 이르고 있습니다. 이외에도 난청환자는 인구 1,000명당 4.4명이나 되고요. 이 많은 수의 사람들이 처음부터 소리를 듣지 못하거나 점점 소리를 잃어가고 있다고 생각해보십시오. 정말 안타까운 노릇입니다.”

이 말을 듣고 있던 허신 박사는 가슴 한편에 아픔이 전해졌다. 그저 지나가던 대화 중 일부였을 뿐인데 그의 마음이 내내 불편했던 것이다. 그래서였는지 허신 박사는 자연스럽게 청각장애인과 인공달팽이관에 관심을 쏟기 시작했고, 기존의 인공달팽이관 장치가 가지고 있는 단점을 파악할 수 있었다.

지금 현재 시술되는 인공달팽이관은 귀의 밖(체외부)과 안(체내부)의 장치로 나뉘어 있다. 체외부는 음성처리가 있어 주변의 소리가 들리면 그것을 디지털 신호로 바꿔준다. 이렇게 바뀐 전기신호를 컷속 장치로 전송해주기 위해 RF 무선 데이터 전송장치도 있다. 이때 음성처리는 실시간으로 소리를 바꿔 전

송해야하기 때문에 전력 소모량이 커지는 단점이 있다.

몸에 이식하는 체내부에서는 전송된 신호를 받는 수신장치와 청신경을 자극해 뇌가 소리를 인식할 수 있도록 하는 자극기 그리고 전극어레이로 구성된다.

이처럼 복잡한 인공달팽이관 구조 때문에 전력소모량뿐만 아니라 여러 장치로 인해 부득이하게 청각장애가 노출되는 문제가 발생하기도 한다. 그래서 허신 박사는 기존의 인공달팽이관이 갖는 단점을 보완하고 개선한 신개념의 인공달팽이관 개발이 필요하다는 생각이 들었다.

‘사람의 청각 시스템처럼 체내에서 소리를 듣고, 전달하고, 의미를 파악할 수 있으면 얼마나 좋을까? 완전이식형 인공달팽이관을 만들면 청각장애인들의 불편도 많이 해소될 수 있을 텐데…….’

허신 박사는 사람의 청각기관을 그대로 모방하여 인공달팽이관을 만들면 청각장애인의 불편을 없앨 것이라고 믿었다. 그리하여 마침내 그는 생체모사 인공달팽이관 소자 개발이라는 연구 목표를 가지게 되었다. 생체모사 인공달팽이관을 만들면 기존의 인공달팽이관 장치보다 더 정교하게 소리를 전달할 수 있겠다는 확신도 들었기 때문이다.

그래서 허신 박사는 카메라를 증인삼아 융합연구 실현을 위한 다짐이 필요했다. 생체모사 인공달팽이관을 설명하는 허신 박사의 당찬 포부에는 수많은 청각장애인들에게 희망의 메시지를 전하고 싶은 마음이 더 크게 자리 잡고 있던 것이다.

생체모사 인공달팽이관 연구의 핵심이 되다

허신 박사는 교육과학기술부의 미래융합기술 파이오니어사업단의 세부과제 연구팀으로 참여하면서부터 인공달팽이관 원천기술 개발에 착수했다. 이때 모인 융합연구팀은 소재, 기계, 전자, 의공학, 화학공학 전공자들로 다학제 간 연구를 수행할 수 있도록 구성됐다.



“소리를 듣기 위해서는 달팽이관 속 기저막의 역할이 중요합니다. 기저막은 외부에서 들어오는 소리를 실로폰의 모양처럼 분리해서 소리를 이해하는 기관입니다.”

“또 하나 중요한 것은 인공달팽이관의 장치가 완전이식이 가능해지려면 안에서 전기를 공급하는 장치도 함께 있어야겠지요.”

생체모사 인공달팽이관 소자 개발을 위해 모인 융합연구팀은 연구 기획 단계부터 열띤 토론을 이어갔다. 하지만 각기 다른 전공분야의 전문가들로 구성되다 보니 초반 연구기획 및 설계에 있어 애를 먹은 것도 사실이다. 목표하는 기술에 대해 의견이 달라 이를 한데 모으는 것만도 오랜 시일이 걸렸다.

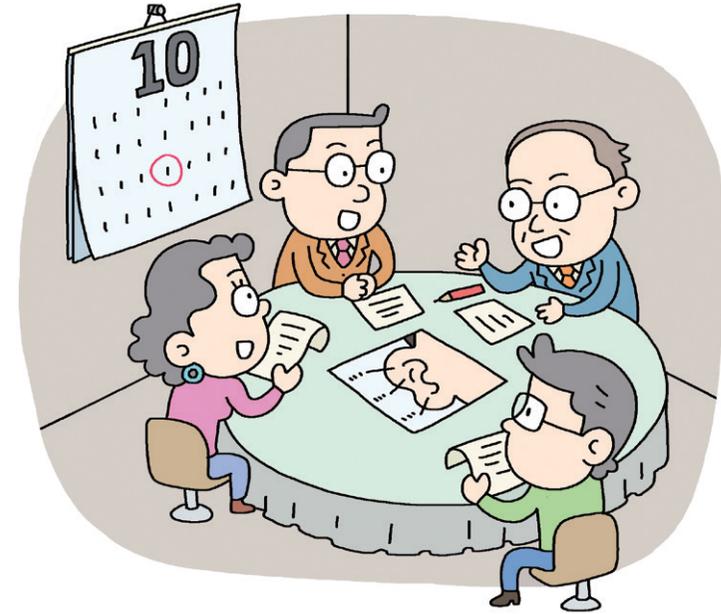
“만약 전력장치가 귓속에 들어가서 오류가 생기면 건강상 다른 문제를 일으킬 수도 있잖아요? 환자의 안전을 생각하면 완전이식은 매우 위험한 생각인 것 같은데…….”

“얼마나 많은 소리를 듣게 만들 것인지 주파수 개수도 결정해야 합니다.”

생체모사 인공달팽이관 소자 개발은 인체에 안전한 것으로, 얼마만큼 성능을 향상시켜야 하는지, 해결해야 할 숙제만 산더미 같았다. 다들 전공이 다르다 보니 기술을 이해하는 정도도 달라서 어떻게 개발할지 생각의 차이를 푸는 것이 융합연구팀의 첫 관문이었다.

한 달에 한 번 정도 연구미팅을 갖고 개발기술에 대한 이해를 높이는 노력을 계속했다. 다행히 융합연구팀은 개인의 의견보다 ‘생체모사 인공달팽이관 소자 개발’이라는 과제에 목표를 맞추었고, 서서히 합의점을 찾아갔다. 그리고 연구 목표와 연구내용에 대해서도 구체화시키기 시작했다.

그중 허신 박사 연구팀은 이번 융합연구단에서 완전이식형 인공달팽이관 장치개발의 핵심기술인 생체모사 인공달팽이관 소자 설계 및 제작을 진행하게 되었다. 달팽이관을 생체모사하기 위한 핵심기술은 달팽이관 속 기저막과 부동섬모의 기능을 모사하여 인공적으로 만드는 것이다. 즉, 인공기저막과 인공



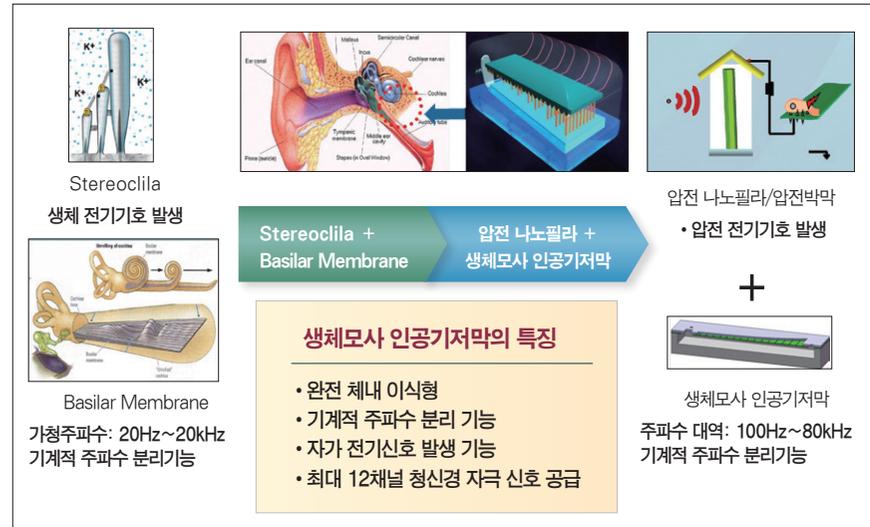
한 달에 한 번 정도 연구미팅을 갖고 개발기술에 대한 이해를 높게 되었다.

부동섬모, 인공달팽이관 패키징 기술을 개발하는 것이 허신 박사 연구팀의 임무였다.

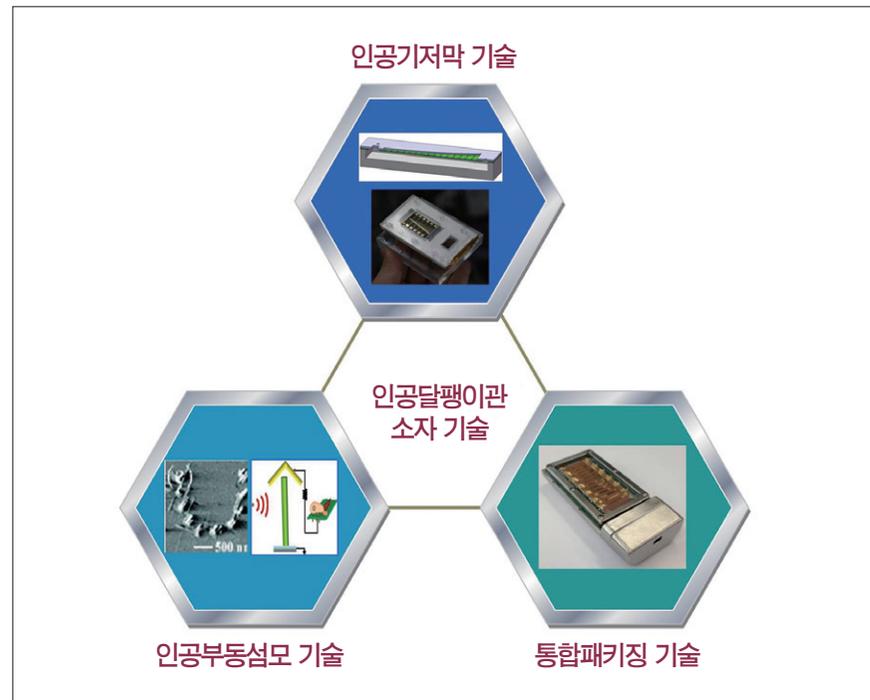
인공기저막 기술은 실로폰을 치듯이 사다리꼴 모양의 지지판으로 되어 있어서 소리의 주파수에 따라 울리도록 하는 기술이다. 인공부동섬모 기술은 인공기저막이 울리게 되면 그 떨림을 이용해 전기가 발생하도록 하는 기술이다. 예컨대 스스로 전기가 생산되는 압전소자로 막을 만들어서 인공기저막 위에 올려놓고, 소리의 울림으로 전기를 만드는 것이다.

이런 압전소자는 압전박막과 압전나노필라가 있으며 이를 활용해 인공부동섬모를 만드는 것이다. 인공달팽이관 통합(패키징) 기술은 인공기저막과 인공부

◆ **압전나노필라** 누르거나 당기는 등의 변형을 가하면 별도의 외부 전력장치 없이 스스로 전기를 발생하도록 만드는 특성을 가진 나노압전소자를 이용해 만든 인공부동섬모 구조체이다.

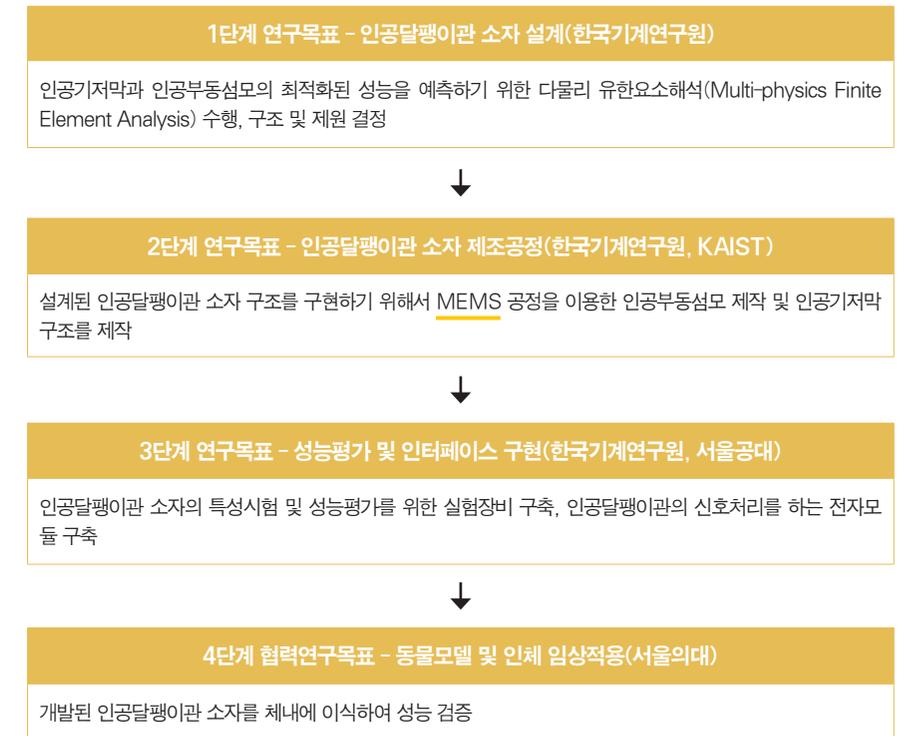


생체모사 달팽이관 소자의 융합 개념



인공달팽이관 소자 기술의 융합 구성

〈표〉 융합연구팀의 단계별 연구수행



동섬모를 통합하여 보호될 수 있도록 포장해 외부환경의 영향을 받지 않고 원활히 작동할 수 있게 하는 기술이다. 또한 체내에 이식되어도 사람의 몸에 이상이 발생하지 않도록 해준다. 이 모든 기술이 융합되면 청각기관의 핵심기능이 갖춰지게 되는 것이다.

따라서 신개념 생체모사 인공달팽이관 개발에 있어 허신 박사의 역할은 매우 중요하다. 그만큼 그에게는 많은 어려움이 기다리고 있었다.

◆ MEMS 미세기계전자시스템(MEMS, Micro Electro Mechanical System)으로 기계적 신호나 빛, 바이오 분자 등 비전자 분야의 정보매체를 빠르고 정교하게 처리하기 위해 기계와 전자 부품을 마이크로미터(100만분의 1m) 크기로 작게 만든 것이다.



융합연구의 위기극복, 빠른 수용과 변화

물샬틈없이 꽉 막힌 실험실 내부에는 적막함과 비장함이 감돌았다. 오로지 실험장비들의 작동소리만 들릴 뿐이었다. 컴퓨터 모니터 상에 분주하게 그래프가 그려지기 시작하자 그제야 비로소 굳어있던 연구원들의 얼굴에도 하나둘 미소가 돌아오기 시작했다.

“박사님, 인공기저막이 소리를 잘 분리하고 있는데요! 소리의 주파수가 400Hz에서 6kHz까지 확실히 분리되고 있습니다!”

허신 박사의 얼굴에도 열은 미소가 지어졌다. 이번 인공기저막의 특성시험은 만족할 만한 정도로 성공적인 수준이었다. 하지만 한편으로는 아쉬움도 컸다. 기계적 주파수 분리는 되었으나 그에 따른 전기신호 발생이 기대만큼 나오지 않았기 때문이다.

“가장 큰 문제는 인공부동섬모 개발이다. 인공부동섬모 구현에 대한 뾰족한 수가 떠오르지 않는군.”

허신 박사의 말에 실무연구자들의 얼굴도 급격히 어두워졌다. 이미 한차례 압전나노필라를 이용한 인공부동섬모 구현에 실패를 맞본 터라 금세 풀이 죽어 버렸다.

처음 인공달팽이관 설계는 인공부동섬모인 압전나노필라를 인공기저막 위에 단단히 고정시켜 제조하려 했다. 그런데 산화아연으로 압전나노필라를 만들다 보니 인공기저막으로부터 떨어지기 쉽고, 발생전류를 측정하는 방법도 어려워 전기가 발생했을 때 전기를 수집하고 유지하는 일이 쉽지 않았다. 성능평가를 해보기는 했지만 역시 원하는 결과를 얻기 어려웠다.

“부동섬모를 모사하는 기술은 지금으로써 힘이 듭니다. 이대로 시간을 지체하는 것보다 다른 대안을 찾는 게 좋겠습니다.”

융합연구팀 앞에서 허신 박사는 꺼내기 힘든 고백을 해야만 했다. 현실적으로 어려운 기술개발을 인정하고 하루 빨리 포기해야했기 때문이다. 그것이 다



압전나노필라 대신 전기에너지 수확소자를 개발하는 것으로 방향 전환하는 것에 의견이 모아졌다.

른 연구팀의 흐름을 방해하지 않고 시간도 절약할 수 있는 최선의 방법이라 여겼던 것이다.

그의 이러한 빠른 상황파악과 문제인식 덕분에 융합연구팀은 새로운 대안을 찾는데 속도를 낼 수 있었다. 결국 압전나노필라를 이용하기보다 새롭게 다른 전기에너지 수확소자를 개발하는 것으로 연구방향을 전환하기로 했다. 그리하여 새롭게 고안한 대안은 인공기저막 자체에서 전기가 만들어지도록 압전박막 형태로 만드는 것이었다. 그렇게 되면 인공부동섬모 대신 소리의 진동에 의해 바로 인공기저막의 압전박막이 전기신호를 발생시키게 된다.

허신 박사는 그 즉시 이 원리를 이용한 ‘유연 압전박막형 인공달팽이관 소자’ 개발에 온 신경을 집중했다. 하지만 문제는 여기서 끝이 아니었다. 유연 압전박



막형 인공달팽이관 소자 역시 생성되는 전류량이 적어 목표하는 인공달팽이관 성능에는 한참 모자랐다. 또다시 허신 박사의 연구에 시커먼 먹구름이 드리워져 있었다.

‘이 정도의 발생 전기로는 생체모사 인공달팽이관의 감도를 향상시킬 수 없어. 다른 고효율 압전 소재가 없을까?’

허신 박사는 여러 자료를 찾아가며 고민에 고민을 거듭했다. 전류량을 높일 수 있는 방법을 모색하고 실험하기를 여러 번이었다. 하지만 별다른 해결방법을 찾지 못하고 발만 동동 구르고 있는 실정이었다.

다시 찾아온 위기로 인해 연구팀의 사기는 나날이 떨어져갔다. 밤낮 대안 찾기에 몰입하던 허신 박사의 연구팀은 이미 지칠대로 지쳐 의욕을 많이 상실한 상태였다. 허신 박사 역시 피로가 쌓여 체력적으로도 힘들어지고 일의 능률도 점점 떨어져갔다. 하지만 그는 이번 과제를 맡은 연구책임자로서 다시 한번 힘을 내야만 했다. 자신은 물론 연구팀을 위해서라도 새로운 돌파구가 시급한 순간이었다.

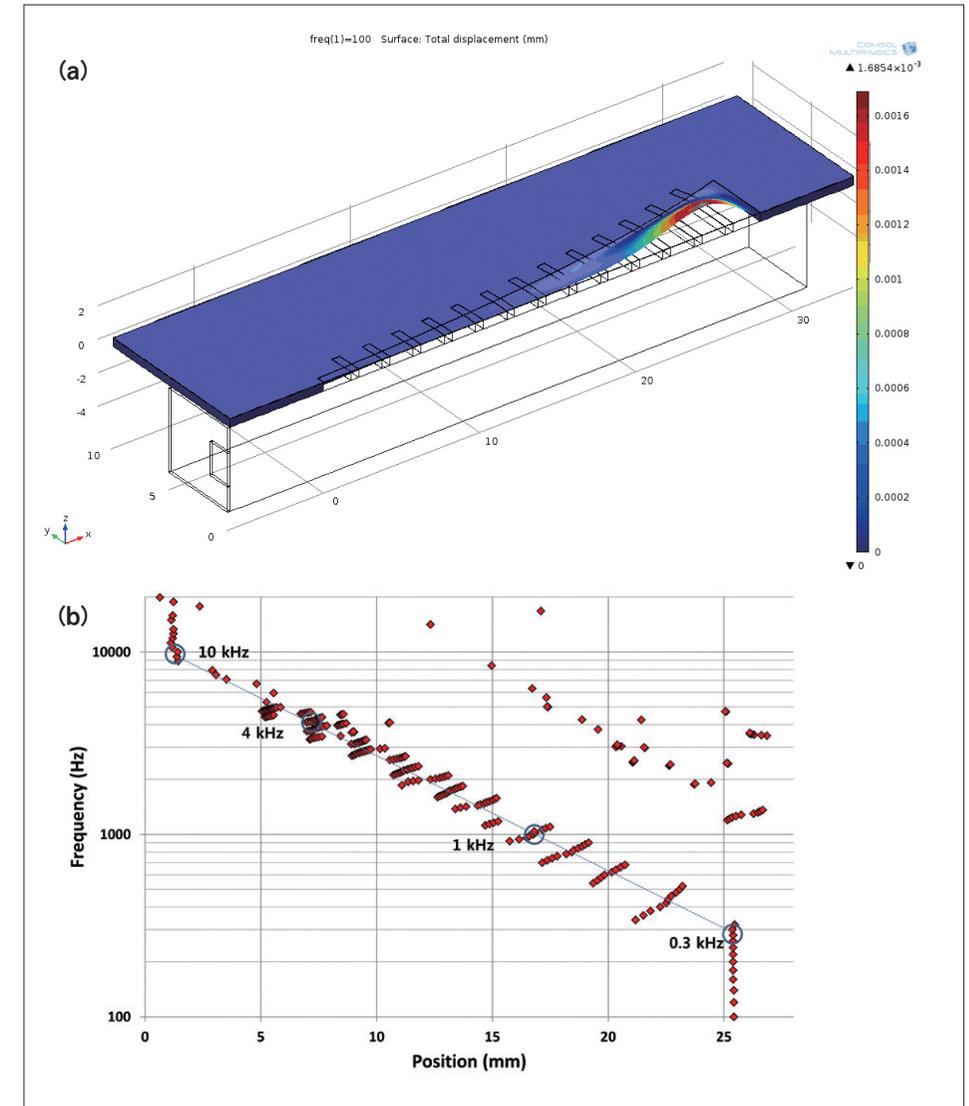
‘그래, 기술개발이 고집 부려서 될 문제는 아니야. 한국과학기술원(KAIST)의 이진재 교수님에게 도움을 청해야겠다.’

허신 박사가 내민 해결책은 이진재 교수와 융합연구를 수행하는 것이었다. 때마침 이진재 교수가 고효율 압전박막을 연구하고, 에너지 수확소자에 대한 연구를 수행하여 좋은 결과를 얻었다는 연구발표가 있던 차였다.

“좋습니다. 우리 함께 인공부동섬모 기술개발에 힘을 모읍시다!”

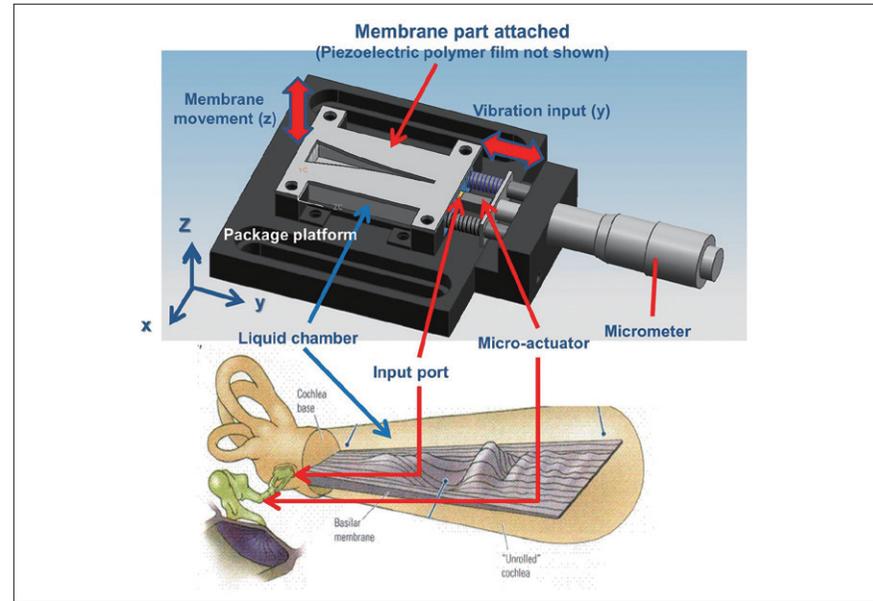
이진재 교수는 허신 박사의 융합연구 제안을 흔쾌히 받아들였다. 덕분에 허신 박사는 천군만마를 얻은 듯 연구에 박차를 가할 수 있었고, 융합연구를 순조롭게 수행할 수 있었다.

이번에 수행하는 인공달팽이관 소자는 이진재 교수의 고효율 압전박막을 이용한 것이다. 고효율 압전박막이 이용된 인공부동섬모를 인공기저막에 합성해



인공달팽이관 소자 모델의 (a) 거동해석 결과, (b) 주파수 분리 해석 결과

서 제조하는 또 하나의 새로운 방법이다. 허신 박사는 이렇게 만들어진 인공달팽이관 소자의 성능을 실험했고, 다행히 성공적인 결과를 얻을 수 있었다. 즉, 이전 인공달팽이관 소자보다 새로 설계된 인공달팽이관 소자가 동일한 소리의



인공달팽이관 소자의 실험 장치

진동에도 더 큰 전류를 만든 것이다. 그로 인해 생체모사 인공달팽이관 소자의 기능을 향상시키는 데 큰 기여를 한 셈이다. 마침내 허신 박사는 끈질기게 자신을 괴롭혔던 골칫거리에서 해방감을 맛보았다.

이제는 인공달팽이관 소자를 제작하여 성능을 시험하고 평가하는 일만 남았다. 허신 박사는 제작된 인공달팽이관 소자의 특성시험 및 성능평가를 위해서 비접촉 진동측정 LDV(Laser Doppler Velocitymeter) 장비, 방음실, 신호처리 분석기 등의 실험시설을 준비하였다. 그런 다음, 소자의 성능을 측정하여 목표량보다 떨어지면 원인을 파악하고 개선하는 일을 반복했다. 재설계와 제작을 되풀이하며 인공달팽이관 소자가 목표한 성능에 도달하도록 최선을 다했다.

허신 박사의 이러한 노력의 과정이 결과적으로 '생체모사 인공달팽이관 소자 원천기술 개발'이라는 놀라운 일을 해낸 것이다. 수차례 시행착오를 겪고 연구변화를 꾀하며 이룬 성과였기 때문에 허신 박사에게는 그 어느 때보다 값진

〈표〉 융합연구 절차

효율적인 융합연구 수행을 위한 연구수행 절차 제시

- 개발되는 인공기저막 소자는 인체에 삽입되므로, 사전에 타 세부과제인 이비인후과 전문의와 사이즈, 방향, 접속부, 생체접합 패키지에 대한 조건을 만족할 수 있도록 설계 기준을 마련함.
- 인공유모세포 기능 및 주파수를 기계적으로 분리하는 기능을 설계하기 위해서는 다물리 유한요소해석을 수행하여 최적의 인공기저막 구조 및 특성을 예측하는 연구절차를 수행함.
- 설계된 인공기저막 구조를 구현하기 위해서 MEMS 공정 및 패키징 기술을 활용하였으며, 제작된 인공기저막 소자의 성능평가 후에는 타 세부과제 책임자와 협의하여 최종 목표성능이 달성되도록 노력함.

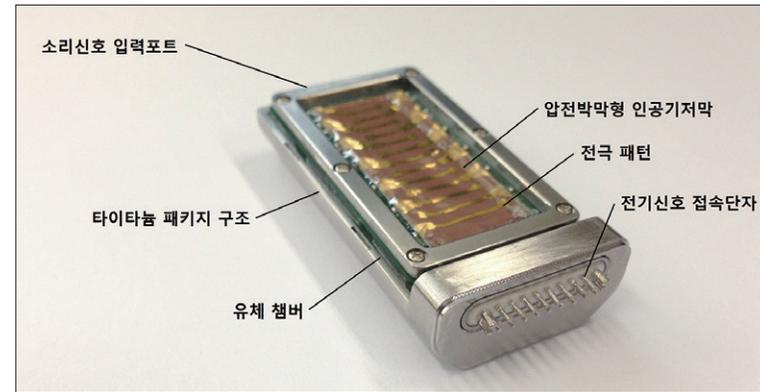
영광이었다.

연구자 간의 의리와 신뢰, 융합연구의 최대 가치

'자연모사연구+나노압전소자, 이식형 인공달팽이관 꿈꾼다', '생체 청각기구를 모사한 인공감각계기술 개발', '소리를 보는 청각소자, 국내 첫 개발. 청각 장애인에 희망!'

생체모사 인공달팽이관 소자 개발 소식은 곧장 언론을 통해 알려졌다. 세간의 관심은 그야말로 뜨거웠다. 생체모사 인공달팽이관에 대해 궁금증을 참지 못한 몇몇 청각장애인과 청각장애인을 둔 부모들은 한국기계연구원으로 직접 문의를 하는 경우도 있었다. 모두들 하나같이 언제쯤이면 사용이 가능한지 묻는 내용이었고, 하루 빨리 사용해 봤으면 좋겠다는 소망을 전하기도 했다. 마지막 인사에는 "장애인들에게 필요한 장치를 개발해줘서 감사합니다"란 고마움과 연구원에 대한 격려도 잊지 않았다.

이처럼 생체모사 인공달팽이관 기술개발에 대해 깊은 관심과 기대를 보이는 분들이 있어 허신 박사는 연구에 더욱 책임감을 느끼고 있었다. 인공달팽이관 소자를 체내에 이식하였을 때 주위 환경으로부터 인공달팽이관을 보호하기 위한 구조물(패키지) 제작에도 힘을 쏟았다. 남다른 꼼꼼함과 정교함으로 조금의 결함도 생기지 않도록 최선을 다했다.



인공달팽이관 구조

한번은 초기 인공달팽이관 시제품을 연구팀 내부에서 만들어 성능실험을 한 적이 있었다. 그런데 그 결과 문제점이 하나, 둘, 발생하기 시작한 것이다. 인공기저막과 압전박막이 팽팽하게 고정되어야 주파수 분리가 잘 되는 법인데 실험실에서 제작하다 보니 고정이 제대로 이루어지지 않았다. 이 때문에 물이 누출되는 일도 있었고, 초기 모델이라 긴 전선으로 인공달팽이관 소자를 연결했더니 노이즈(소음)가 발생하기도 했다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 허신 박사는 세밀한 패키징 설계를 한 다음, 외부의 전문기관에 제작을 맡겨 다시 점검하고 개선하는 데 주저하지 않았다. 그 결과 더 이상 예전 같은 문제는 발생하지 않았다. 그제야 비로소 허신 박사는 자신의 연구수행을 성공적으로 마무리할 수 있다는 기대감이 높아졌다.

허신 박사와 연구팀은 그동안 연구내용을 수행하면서 가능성이 검증된 연구는 특허를 공동출원하기도 했다. 서로 강점을 갖는 기술이 융합된 연구다 보니 세계적인 수준의 결과를 창출하고, 연구에 대한 논문(Advanced Functional Materials)도 작성할 수 있게 되었다.

그 덕분에 허신 박사는 다수의 특허 출원 및 등록을 진행할 수 있었는데, 특히 핵심이 되는 원천특허는 미국, 호주, 일본에 PCT 특허를 등록했고 PCT 출

“ 핵심이 되는 원천특허는 미국, 호주, 일본에 PCT 특허를 등록했고, PCT 출원 6건, 국내특허 등록 및 출원도 12건과 9건이 달성됐다. 또한 타 연구팀과 융합연구를 통하여 공동으로 출원한 특허는 10건으로 융합연구의 결실이기도 했다. ”

원 6건, 국내특허 등록 및 출원도 12건과 9건이나 달성했다. 또한 타 연구팀과 융합연구를 통하여 공동으로 출원한 특허도 10건으로, 융합연구의 결실을 특히 얻을 수 있었다.

‘이 모든 성과는 융합연구팀의 완벽한 호흡 덕분이었다.’

허신 박사는 자신의 연구결과가 결코 혼자만의 것이 아니라는 사실을 잘 알고 있다. 이번 융합연구 과정에서 융합연구팀은 서로에 대한 배려를 잊지 않았다.

간혹 대형 융합연구 사업을 수행하다 보면 각자 자기 연구팀의 성과만 내는데 급급해 다른 연구팀과 협력연구를 소홀히 하는 경우도 많다. 그러다 보면 ‘배가 산으로 간다’는 옛말처럼 연구진행은 엉망이 되기 십상이다. 그런데 다행히 본 연구팀은 서로의 보유기술이 잘 융합되도록 다른 세부연구팀도 적극적으로 도움을 주었다. 허신 박사 역시 다른 연구팀의 인적·지적·물적 등의 지원을 받아 효율적인 연구를 수행할 수 있었다.

따라서 허신 박사에게 이번 융합연구는 인공달팽이관 소자 개발과 동시에 연구자 간에 끈끈한 의리와 신뢰를 쌓아가는 과정이기도 했다. 이는 그 어떤 연구 성과보다 값진 융합연구의 가치였다.

앞으로 허신 박사의 연구계획은 2015년까지 인공달팽이관 소자 원천기술 개발을 완료하여 2020년 상용화까지 최선을 다해 협력하는 것이다. 인공달팽



이관 소자 기술은 국외 8억 달러, 국내 200억 원이라는 시장규모로 어마어마한 경제적 효과를 기대하게 한다.

하지만 무엇보다 허신 박사가 크게 기대하는 것은 청각장애인들의 희망찬 미래이다. 그날을 기약하며, 허신 박사는 오늘도 따뜻한 기술개발에 최선을 다하고 있다.

참고 문헌

Georg von Békésy, Some Biophysical Experiments from Fifty Years Ago, Annual Review of Physiology 36: 1 - 16, 1974.

Wang, ZL; Song, JH, Piezoelectric nanogenerators based on zinc oxide nanowire arrays, Science Vol. 312, 5771 Pages, 2006.

유재영·김기일·손은희, 압전세라믹스, 한국과학기술정보연구원, 2002.

The Market for Neurotechnology: 2006~2010, Nurotech Report, 2006.

영합 포인트

현명한 포기도 문제를 해결하는 방법이다

생체모사를 통한 새로운 소자를 개발할 경우, 전체 구조 및 기능을 유사하게 모사한다고 해서 실현 가능성이 높은 것은 아니다. 허신 박사는 현실적인 여건을 고려하여 현재 구현 가능한 제조공정 기술, 소재 기술 등을 객관적으로 판단하고, 가장 핵심적인 원리만 모사하되 지금 기술로 어려운 특성 및 구조 구현은 과감히 포기하고 새로운 방법을 찾는 데 집중했다. 그 덕분에 다른 방향의 길도 발견하면서 인공달팽이관 소자 기술개발에 성공할 수 있었다.

끈질긴 개선 노력으로 기술개발에 완벽 기하라

기술개발의 성공을 자신하는 길은 0.1%의 오류도 허용하지 않는 제품의 성능이다. 그러기 위해서는 연구자의 끊임없는 기능실험과 개선 노력이 뒷받침돼야 가능하다. 허신 박사 역시 소자의 성능이 목표사양에 미달할 경우, 그 원인을 파악하여 재설계 및 제작을 반복함으로써 최종 목표성능이 달성되도록 노력했다. 그의 이같은 끈질긴 개선노력이 최고의 연구 성과를 낸 요인이라 할 수 있다.



새로운 미래를 여는 창조적 시너지

융합연구 모범사례집

발행일 : 2014년 12월 12일

발행처 : 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

주 소 : 서울 성북구 화랑로 14길 5

전 화 : 02)958-4985

제 작 : (주)봄날의기록(bomday.co.kr)

※ 이 책의 무단 전재와 무단 복제를 금하며, 책 내용의 전부 또는 일부를 이용하려면 반드시 융합연구정책센터의 동의를 받아야 합니다.