

## ■ 박유하 재판으로 불거진 ‘학문의 자유’ 논란

일본군 위안부를 ‘자발적 매춘부’에 빗대어 논란이 된 책 ‘제국의 위안부’의 저자 박유하 세종대 교수를 상대로 제기된 소송은 학계에서 ‘학문의 자유’를 어디까지 허용해야 하는지에 대한 논란의 불을 지폈다.

박 교수는 2013년 8월 위안부 문제를 제국주의 욕망에 동원된 ‘개인의 희생’으로 보는 내용을 담은 이 책을 출간했다.

박 교수는 책에서 위안부 할머니들을 ‘정신적 위안자’, ‘군인의 전쟁 수행을 도운 애국처녀’, ‘자발적 매춘부’ 등으로 표현했고, 이옥선 할머니 등 9명은 이 같은 문구 34개가 명예를 훼손했다며 1인당 3천만원을 배상하라는 소송을 2014년 7월 냈다.

재판은 2015년 내내 진행됐고, 2016년 1월 1일 서울동부지법은 이 책이 위안부 할머니 9명에게 정신적 고통을 줬다며 “원고에게 1천만원씩 총 9천만원을 배상하라”는 원고 일부 승소 판결을 내렸다. 법원이 학문적 자유·표현의 자유보다는 생존 인물에 대한 명예를 지키는 것이 더 중요하다고 판단했음을 보여준다.

그동안 학계는 비교적 해석의 차이에 관대한 편이었던 만큼 파장도 컸다. 앞서 ‘제국의 위안부’가 기소됐을 당시 지식인 192명은 “국가가 원한다면 위안부 문제를 넘어 역사 문제 일반과 관련해서도 시민의 사상과 표현의 자유를 제한할 수 있다는 반민주적 관례를 낳을 것”이라며 반대 성명을 내기도 했다.

학계에서는 “자유와 방종은 구분돼야 한다”는 의견과 “해석이나 의견의 영역을 명예훼손으로 처벌하는 것이 옳은 것인지에 대해서는 좀 더 많은 논의가 필요할 것 같다”는 생각이 맞부딪혔다.

## ■ 학술 논문 키워드는 ‘삶의 질’

2015년 학술계의 최대 관심사는 ‘삶의 질’이었다. 최근 사회적으로 큰 주목을 받은 ‘사물인터넷’, ‘핀테크’, ‘드론’ 등에 대한 학술적 연구도 잇달았다.

지식콘텐츠 전문기업 ‘누리미디어’에 따르면 2015년 학술 데이터베이스(DB) 서비스 사이트 ‘DBpia’에 실린 논문 9만3천여 편 중 삶의 질과 관련된 연구가 가장 많은 1천300여 편으로 집계됐다. 이용자가 내려 받은 삶의 질 관련 논문 편수도 2만6천여 건에 달했다.

스트레스, 우울 등이 개인의 심리적 문제를 넘어서 전 사회적 문제로 떠오르면서 행복한 삶이나 치유 등 삶의 질에 대한 관심이 커진 것이 학계에도 반영된 것으로 보인다. 가장 많이 이용한 논문은 ‘잘 사는 국가는 행복한가?’(서문기, 한국사회학 제29집 1호), ‘힐링(Healing)의 개념분석’(김지영 외, 중용간호학회지 제15권 제1호)이었다.

사물인터넷, 핀테크(fintech·금융(finance)과 기술(technology)의 합성어), 드론 등 기술력의 발전과 함께 대두해 사회적으로 큰 주목을 받은 키워드에 대한 학계의 관심도 커졌다.

사물인터넷은 2014년에 이어 2015년에도 정보통신(IT) 분야에서 가장 많은 논문 수(610편)와 다운로드 수(2만여 건)를 기록했다. 핀테크는 발표된 논문은 23편에 불과했지만, 다운로드

수는 7천500여 건에 달해 학계의 높은 관심을 보여줬다. 드론의 발표 논문은 90편, 다운로드 수는 4천400여 건이었다.

온 국민을 공포에 떨게 한 중동호흡기증후군(메르스)이나 2015년 1주기를 맞은 세월호에 관련된 연구도 활발하게 이뤄졌다. 메르스 관련 논문은 41편, 세월호 관련 논문은 70여 편이나 발표됐다. 이들 이슈는 모두 다운로드 수가 4천여 건이 넘었다.

## 과학기술

### ■ ‘이제는 달로 간다’ 한국우주개발 새 도약

한국 기술로 개발한 무인 달 탐사선을 2018년 쏘아 올리는 사업이 가동됐다. 2013년 1월 위성 로켓인 나로호의 자체 발사 성공 이후 한국 우주 개발의 목표를 ‘달 탐사로 한 차원 더 높게 끌어 올리는 시도라 주목된다.

한국항공우주연구원(KARI)은 2018년 말까지 시험용 달 궤도선 1기를 발사하는 것을 목표로 2016년부터 1천978억원을 투입하는 달탐사 1단계 사업을 본격적 추진키로 했다.

이 사업에는 2016년 예산 200억원이 배정됐다. 애초 계획된 금액보다 100억원이 늘었지만 여전히 부족한 규모다. 2014년에는 2015년 예산으로 410억원이 책정됐다가 국회에서 ‘꼭지 예산’ 논란으로 한푼도 반영되지 않았다.

그러나 달탐사에 참여하는 국내 17개 정부출연연구기관과 대학 등은 2013년 ‘출연연 달탐사 협력협의회’를 구성, 자체 예산을 투입해 달탐사선·탐재체·심우주지상국·로버 등 4개 분야, 21개 세부 과제의 융합연구를 해왔다.

한국항공우주연구원은 이와 함께 2020년에는 달착륙선을 국내에서 개발하고 제작한 로켓으로 발사하는 것을 목표로 ‘한국형 발사체 개발사업’도 진행하고 있다. 한국형 발사체 개발사업 1단계 목표인 발사체 예비설계, 엔진 시험설비 구축, 7급 액체엔진 조립 및 점화·연소시험을 마치고 2015년 8월 2단계 사업에 돌입했다.

2단계 사업에서는 국내 주도로 75급 액체엔진을 개발하고 이를 활용해 1.5급 실용위성을 지구 저궤도에 올려놓을 300급 3단형 발사체를 개발한다.

2018년 발사될 달 궤도선에는 외국 발사체가 사용되지만 2020년 달착륙선은 한국형 발사체를 이용한다. 그러나 달착륙선 발사는 2단계 사업에서 개발할 300급 3단 로켓으로는 부족하다.

3단형 한국형 발사체는 1.5급 위성을 약 700km 지구 저궤도에 올릴 수 있는 수준이어서 맨 위에 1단형 로켓을 추가해 4단형 발사체를 개발해야 탐사선을 달로 가는 비행궤도에 올릴 수 있다.

달탐사선이 4단 로켓에서 분리돼 달 궤도에 진입하면 한국은 미국·러시아·유럽·중국·인도·일본에 이어 7번째로 달에 탐사선을 보낸 국가가 된다.

최기혁 달탐사연구단장은 “선진국보다 늦었지만 지금이라도 달탐사를 시작되게 됐다는 점에서 무척 고무적이다. 한국

우주기술을 진일보시키는 전기가 될 것"이라며 "한국형 달 탐사선이 한국형 발사체로 달탐사에 성공하면 우주 개발 선진국으로 도약, 점차 활발해지는 우주 개발 국제협력에서 의미 있는 역할을 할 수 있게 될 것"이라고 말했다.

달궤도선은 높이 2.3m, 무게 550kg급으로 국내에서 개발할 궤도선 본체, 고해상도 달 지형 촬영카메라, 과학탐재체, 우주 인터넷 등 기술검증 탑재체, 미항공우주국(NASA) 제공 탑재체로 구성된다.

달의 북극-남극 상공을 도는 궤도에 1년 이상 머물며 달 지형관측, 착륙선 착륙지점 정보 수집, 우주인터넷 기술 검증 실험 등을 하게 된다. 달궤도선 운영을 위해 국내에 처음으로 심우주지상국이 구축되고 달이 우리나라 반대쪽에 있을 때 궤도선 추적과 통신을 위해 NASA 심우주지상국을 활용한다.

## ■ 한국 제약업계 최대 기술 수출…'R&D스타' 한미약품

2015년에는 국내 제약계의 연구개발(R&D) 성과가 빛났다. 외국 특허약품을 복제해 생산하던 구태에서 벗어나 신약 기술을 역대 최대 규모로 수출했다.

애초 국내 제약업계는 영세한 규모를 벗어나지 못했다. 시장규모는 2014년 기준 19조원 수준으로 글로벌 매출 1위 노바티스(스위스) 한 곳의 2014년 한 해 매출액 60조원(513억 달러)의 3분의 1에도 미치지 못한다.

환자의 부담을 최소화할 수 있도록 촘촘하게 짜인 건강보험 체계의 영향도 없지는 않았겠지만, 신약 개발보다 복제약 제조에 안주하는 업계의 분위기가 이런 차이를 만들었다는 분석도 나온다.

이 때문에 적잖은 중견 제약업체 최고경영자(CEO)들은 신약 개발로 회사를 세계 수준으로 키우겠다는 야망보다, 현재 규모를 유지해서 회사를 자식에게 물려주겠다는 욕망이 큰 것 같다는 지적도 적지 않았다.

성장보다 안정을 추구하다 보니 R&D 투자는 소극적이었다. 식품의약품안전처가 1999년 제1호 신약(SK케미칼 함양제 선폴라주)을 허가한 이후 국내 제약사의 신약이 25개뿐이라는 사실이 이를 방증한다.

그러나 한미약품의 성과는 '이번'이었다. 글로벌 제약사 사노피와 39억 유로(약 5조원) 규모의 신약기술 수출 계약을 성사시켜 국내 제약업계가 상상하던 수출 액수의 단위를 바꿨다.

한미약품의 수출 기술은 '퀸텀 프로젝트'로 불린다. 당뇨병 치료제 등 3개 신약후보물질을 묶은 포트폴리오다. 체내에서 약품이 오래 지속되도록 하는 '랩스커버리' 기술로 글로벌 제약사들의 시선을 잡아끌었다. 당뇨 환자들이 매일 맛아야 하는 기저인슐린 주사를 1주일에 한 번만 맞을 수 있게 한 것이다.

한미약품은 이 밖에도 2015년 일라이릴리에 6억9천만 달러를 받고 면역질환치료제를 수출했고, 베링거인겔하임과는 7억 3천만 달러에 내성표적 항암신약 수출을 성사시켰다.

성공 뒤에는 독심 있는 R&D 투자가 있었다. 한미약품은 적자가 이어지던 시기에도 굽히지 않고 R&D 투자를 늘렸다. 그 결과 복제약과 영업력을 앞세워 국내에서 덩치만 키워가던 한미약품이 글로벌 시장에도 당당히 이름을 올렸다는 평이다.

한미약품의 성과는 다른 국내 제약사들이 R&D 예산을 늘리는 주요 계기가 됐다. 2015년 말 기준으로 파이프라인(연구 중인 신약후보물질)을 가동하는 국내 제약바이오업체는 한미약품, 녹십자, 동아에스티, 종근당, 셀트리온 등 10곳에 이른다.

단 아직 우리 제약업계가 글로벌 시장에서 신약을 대거 내놓기는 어렵다는 분석이 지배적이다. 상업화와 임상시험에 드는 비용이 일개 기업이 감당하기 힘들 정도로 크기 때문이다. 이 때문에 완제품 대신 비용과 위험이 상대적으로 적은 기술 수출을 꾸준히 늘리며 실력을 축적해야 한다고 많은 전문가들은 제안한다.

## ■ 국산 스마트 원자로 해외 수출 첫발

국산 '스마트(SMART) 원자로'가 수출 첫발을 디뎠다. 스마트 원자로로는 용량이 상용 원자력발전소의 14분의 1 정도인 100MW급 소형 원전이다.

앞서 한국은 2009년 아랍에미리트연합(UAE)에 대해 상용원전을 수출하고, 요르단에 연구용 원자로를 수출했지만 이처럼 소형 원전 납품의 판로를 만든 것은 처음이다. 원자력 기술 강국의 위상을 굳힌 성과다.

미래창조과학부는 2015년 9월 2일 사우디아라비아에서 한국원자력연구원과 사우디 왕립 원자력신재생에너지원(KACARE)이 '스마트 원자로 건설 전 상세설계(PPE) 협약'을 체결했다고 밝혔다. 같은 해 3월 박근혜 대통령이 중동 순방 중 서명한 '스마트 파트너십 양해각서(MOU)'가 실질적인 후속 성과를 낸 것이다.

MOU에는 스마트 원자로 건설의 사전단계로 상세설계를 한국과 사우디가 공동수행하고 이후 사우디에 스마트 2기 건설 및 사우디 내 추가건설·제3기 시장 공동 진출 등의 내용이 담겨 있다.

이번 PPE 협약에 따라 한국과 사우디 양국은 앞으로 3년간 총 1억3천만 달러(한국 3천만 달러+사우디 1억 달러)를 공동 투자해 사우디에 스마트 원자로를 건설하기 위한 상세설계를 수행하게 된다.

또 한국이 사우디의 연구인력 34명에게 원자력의 기초와 스마트 원자로 설계의 기술·실무를 교육·훈련하고, 스마트 원자로 1·2호기 건설을 준비한다는 내용도 협약에 담겼다.

특히 물 확보가 어려운 사우디 내륙이 스마트 원자로의 후보지로 검토됨에 따라 이에 맞춰 냉각 방식을 새로 설계하고, 원자로 건설 인·허가 신청에 필요한 예비안전성 분석보고서와 사우디 내 건설 제안서도 작성한다.

미래부 관계자는 "이번 협약은 사우디 내 원자로의 부지 특성에 맞춰 스마트 원자로를 설계하기로 한 것"이라며 "설계 결과가 나오면 사우디 측이 이를 검토한 뒤 특별한 문제가 없는 한 원자로 건설을 발주할 것"이라고 말했다.

다만 사우디 측이 이 원자로 후보지로 내륙 지역을 유력하게 검토 중인데 한국이 보유한 스마트 표준설계는 수냉식이어서 내륙에 이를 적용하려면 공랭식으로 설계를 변경해야 한다. 원자력연구원 관계자는 "공랭식 설계는 기존의 화력발전소에도 일반적으로 사용되는 냉각 방식이어서 설계 변경에 큰 어려움은 없을 것"이라고 말했다.

협약에는 또 PPE 사업과 향후 건설 사업의 효율적 추진을 위해 양국 기업 공동으로 특수목적법인(SPC)을 구성해 PPE 종료 후 사우디 내 스마트 원자로 1·2호기 건설과 해외 공동 사업을 추진한다는 내용도 포함됐다.

한국원자력연구원은 PPE 과정에서 이 사업을 총괄하면서 원자로계통의 설계와 사우디 연구인력의 교육·훈련을 담당한다. 그 밖의 원자로보조계통 설계, 핵연료 설계, 기기 설계 등은 협약 서명 뒤 3개월간 주관기관을 선정해 맡기게 된다.

스마트 원자로는 주요 기기를 하나의 용기 안에 배치한 일체형 원자로로, 배관이 없어 배관 파손에 의한 사고 가능성이 원천적으로 차단됐다는 점이 특징이다.

또 별도의 비상전원이 아니라 중력 등 자연의 힘에 의해 작동하는 안전시스템을 적용해 일본 후쿠시마 원전 사고 같은 조건에서도 최대 20일간 안전성을 유지할 수 있다. 안전성이 획기적으로 향상된 원자로인 셈이다.

사우디는 2040년까지 자국 전력의 20% 수준(17.6GWe)을 원전으로 공급하고, 그중 15~20%는 소형 원전으로 추진할 계획이어서 스마트 원자로의 첫 수출 가능성이 큰 상황이다. 또 이번 PPE 협약에 따라 한국은 국내에 스마트 원자로의 실증로를 건설하지 않고도 이를 상용화할 수 있는 기반을 마련한 것으로 평가된다.

## ■ ‘열을 전기로 빠르게 변환’…최고 효율 소재 개발

국내 연구진이 열전(熱電·thermoelectrics) 소재의 성능을 기존 소재보다 2배 가까이 향상시킬 수 있는 기술을 개발, 세계 최고 수준의 성능을 구현하는 데 성공했다.

기초과학연구원(IBS) 나노구조물리연구단 이영희 단장과 김성웅 연구위원팀은 2015년 4월 3일 과학저널 ‘사이언스’(Science)에서 새로운 금속공학적 소결공정을 이용해 상온에서 최고 수준의 열-전기 변환 성능을 보이는 열전소재를 개발했다고 밝혔다.

열전소재는 자동차 엔진이나 배기가스, 산업현장, 체온, 태양열 등 일상생활 등에서 쉽게 버려지는 열을 전기로 전환해 재활용할 수 있게 해주는 ‘꿈의 소재’로, 미래 친환경 에너지 분야의 핵심기술로 주목받고 있다.

현재 열전소재 성능은 열을 감지해 전기신호를 발생시키는 수준으로 미사일 열추적 장치 등 군사적 목적 등에 제한적으로 사용되지만, 향후 열전소재가 본격적으로 상용화되면 각종 발전·충전 기기에 활용될 것으로 전망된다.

고효율 열전소재를 이용하면 체온을 이용한 웨어러블 기기 충전이나 자동차 배기가스 열 등을 이용한 전기 생산, 태양광 뿐만 아니라 태양열을 함께 전기 생산에 이용하는 고효율 태양전지 등도 가능할 것으로 보인다.

연구진은 새롭게 고안한 액상소결 방법을 열전소재인 비스무트-안티몬-텔루라이드에 적용, 낮은 에너지 상태의 결정립계 고밀도 전위배열을 형성해 중파장의 포논(phonon, 음향양자)을 효과적으로 산란시킴으로써 매우 낮은 열전도도를 달성했다.

포논은 양자화된 진동을 나타내는 준입자로 물질의 열전달

에 중요한 역할을 하지만 지금까지 개발된 열전소재들은 중파장 포논을 제대로 이용하지 못했다.

이렇게 만들어진 열전소재는 성능을 나타내는 ‘열전성능지수( $zT$ )’가 2.0으로 기존 소재보다 월등히 높은 것으로 확인됐다. 현재 상용화된 열전모듈(열전소재를 이용한 냉각시스템)에 쓰이는 소재의  $zT$ 는 1.0~1.2 수준이다.

김성웅 연구위원은 “이 연구는 산업적으로 대량생산이 가능한 금속공학적 소결공정을 이용해 세계 최고 효율의 에너지 변환 열전소재를 구현했다는 데 의의가 있다”며 “상용화가 가능한 소재 성능을 100으로 볼 때 미국, 일본 등에서 개발한 소재는 40정도인데 이번에 이를 70정도로 2배 가까이 높인 것”이라고 설명했다.

그는 또 “이번 성과는 사람의 체온, 자동차 폐열 등을 이용해 전기를 생산하는 데나 미래 모바일 기기의 전원에 활용될 수 있을 것”이라며 “실용화를 위해서는 성능 향상과 함께 물질의 안정도 테스트, 공정 테스트 등 공학적 측면의 문제를 해결해야 할 것”이라고 덧붙였다.

## ■ 나무로 만든 종잇장 배터리 탄생

종이학 수준으로 접을 수 있고, 기존 전지보다 3배 이상 오래 쓸 수 있는 차세대 종이 리튬이온 전지(배터리) 기술이 국내에서 개발됐다.

산림과학원 이선영 박사팀과 울산과학기술원 이상영 교수팀은 나무에서 추출한 물질인 나노셀룰로오스를 이용해 리튬이차전지의 전극과 분리막을 제조하는 방식으로 고용량에 유연성이 있는 종이배터리 원천기술을 확보했다.

이번 기술은 국내와 국제 특허출원을 마쳤으며, 나노재료 분야의 세계적 권위자인 ‘어드밴스드 펄서널 머티리얼즈’ 2015년 10월 12일자에 표지 논문으로 게재됐다. 공동 연구팀은 2014년 9월에도 종이처럼 휘어지는 배터리 제조 원천기술을 세계 최초로 확보해 관심을 모았다.

이번 연구 성과는 2014년보다 전지 용량을 3배 이상으로 증가시켰으며, 종이처럼 접을 수 있을 정도로 모양을 자유자재로 변경할 수 있는 것이 특징이다.

리튬이온전지 세계시장은 2014년 기준 23조원으로 추정되며, 2020년에는 64조원까지 확대될 것으로 보인다. 이번 원천기술이 상용화되면 전 세계 차세대 리튬이온전지 시장을 선도할 수 있을 것으로 기대를 모은다.

국립산림과학원 목재가공과 이선영 박사는 “자연에서 쉽게 구할 수 있는 나무 소재를 이용해 기존 전지보다 월등한 성능과 유연성을 확보했다는 점에서, 국내 이차전지 수준을 한 단계 높일 수 있을 것”으로 기대했다.

## ■ 마이크로알엔에이 생성 비밀 풀렸다

‘마이크로알엔에이(miRNA)’ 연구로 국제 학계에서 주목받아 온 김빛내리 기초과학연구원(IBS) RNA 연구단장 연구팀이 세계 최초로 miRNA를 만드는 단백질 복합체의 구성과 기능을 밝혀냈다.

miRNA는 21~23개의 염기로 구성된 매우 작은 RNA로, 다른

유전자를 조절하는 역할을 맡는다. 지금까지 사람의 세포에는 2천여 개의 miRNA가 존재하며, 이들은 세포분화·사멸·분열·암 발생 과정 등에서 다양하고 핵심적인 역할을 하는 것으로 알려져 있다.

연구팀은 일명 ‘마이크로프로세서’로 불리는 ‘드로서-DGCR8’ 단백질 복합체가 1개의 드로서 분자와 2개의 DGCR8 분자로 구성되어 있는 것을 파악했다.

드로서는 miRNA의 재료가 되는 물질인 ‘miRNA 1차 전구체’의 하단 부분을 인식한 뒤 절단할 위치를 찾아 자르는 ‘재단사’ 역할을 수행하고, DGCR8은 전구체의 상단 부분을 인식한 뒤 드로서가 전구체의 정확한 절단부위를 찾도록 도와주는 ‘조수’ 역할을 한다는 사실을 연구팀은 확인했다.

miRNA의 생성과정은 마이크로프로세서가 독특한 이차구조를 지닌 miRNA 1차 전구체를 인식하고 이를 절단하는 메커니즘에서 시작되며, 이후 여러 과정을 거치면서 비로소 miRNA로 만들어진다.

이번 연구 결과는 김빛내리 단장과 같은 연구단에 있는 우재성 연구위원이 공동으로 거둔 성과로, 과학저널인 ‘셀(Cell)’ 온라인에 2015년 5월 28일(현지시간) 소개됐다.

우재성 연구위원은 “miRNA의 탄생 과정을 명확하게 그려내는데 주력해왔다”면서 “miRNA를 활용해 특정 유전자를 통한 단백질 합성을 인위적으로 조절할 수 있게 된다면 암이나 유전질환 치료에도 활용할 수 있을 것으로 기대한다”고 밝혔다.

## ■ 10만 번 써도 멀쩡... ‘다이하드’ 연료전지 소재 나와

‘꿈의 소재’인 그래핀에 ‘준금속(準金屬)’을 입혀 전기화학적 특성을 극대화한 연료전지용 소재가 세계 최초로 개발됐다. 울산과학기술대학교(UNIST) 백종범 교수 연구팀은 기계화학적 공정을 통해 준금속의 하나인 안티몬(antimony)을 그래핀 가장자리에 선택적으로 입혀 전기화학적 특성을 높은 연료전지용 소재를 개발했다고 2015년 5월 26일 밝혔다.

연료전지는 촉매를 이용해 연료와 산소 간 화학반응을 일으켜 전기 에너지를 생산하는 것이다. 촉매로는 보통 백금이 사용돼왔다. 그러나 백금이 가격이 비싼데도 성능이 떨어져 이를 넘어설 촉매로 꿈의 나노 소재로 불리는 그래핀의 활용 가능성이 부상했다.

그래핀은 탄소 원자가 벌집모양으로 연결된 것으로, 전기·화학·물리적으로 물성이 뛰어난 게 특징이다.

하지만 탄소로만 구성된 중성적 특성 탓에 촉매로 활용할 경우에는 이종 원소로 분극현상을 유도해야 하지만, 이 과정에서 그래핀의 결정을 손상시켜 타고난 성질을 잃게 하는 문제가 제기됐다.

연구팀은 이점에 주목해 기계화학적 공정인 ‘볼밀링’을 통해 그래핀 가장자리에 금속과 비금속의 중간 성질인 ‘안티몬’이라는 준금속을 입히는 데 성공했고, 새롭게 탄생한 그래핀이 산소환원용 촉매로서 우수한 특성을 가진 것을 확인했다.

안티몬이 입혀진 그래핀은 10만 번을 사용해도 최초의 특성을 그대로 유지하고 있어 ‘다이하드(die-hard)’ 연료전지용 소재로 볼 수 있다는 게 연구팀의 설명이다.

논문의 교신저자인 백종범 교수는 “준금속인 안티몬을 그

래핀에 쉽게 도입하면서 완전히 새로운 특성을 지닌 그래핀의 제조가 가능해졌다”며 “다양한 분야로 상용화될 수 있는 가능성을 열었다”고 자평했다.

연구 결과는 자연과학분야의 세계적인 권위지인 ‘네이처 커뮤니케이션스(Nature Communications)’에 게재됐다. 연구 성과를 포함한 ‘고품질 그래핀 대량생산 기술’은 지역 중견업체인 덕양(주)에 이전돼 양산이 준비되고 있다.

## ■ 끔찍한 경험 후 찾아오는 ‘패닉’...이유 찾아내

외상 후 스트레스 장애(PTSD)를 겪는 동물들이 악한 공포 자극에도 과도한 공포 반응을 보이는 원인을 국내 연구진이 처음으로 밝혀냈다. 김정훈 포스텍 교수 연구팀은 뇌 편도체 내 억제성 신경회로의 역할과 공포 기억의 발현 메커니즘을 연구한 결과 이 같은 사실을 발견했다.

이 연구 결과는 신경과학 학술지인 ‘뉴런’(Neuron) 온라인판 2015년 9월 24일자에 실렸다. 대뇌의 편도체는 공포로 말미암은 반응 행동 및 공포와 관련된 자극을 학습하는 데 필수적인 역할을 한다.

공포 기억은 이 편도체 내부의 신경회로에 저장되는데 억제성 신경세포군이 이 회로를 조절해 공포의 강약을 조절한다. 그러나 이 억제성 신경세포군은 크기가 너무 작아 연구가 어려웠고 그 역할이나 조절 메커니즘이 알려지지 않았다.

연구팀은 악한 공포를 학습시킨 실험용 쥐(마우스)의 억제성 세포군에서는 장기 시냅스 저하가 쉽게 일어난다는 점에 착안했다.

장기 시냅스 저하는 신경세포들의 연결 부위인 시냅스의 신호 전달 세기가 지속적으로 약해지는 현상으로, 이처럼 시냅스의 신호 세기가 변화하는 특성을 시냅스 가소성이라고 부른다. 악한 공포 자극이 반복되면 이에 대한 반응이 점점 무뎠해진다. 것이다.

그런데 연구팀이 실험용 쥐에서 시냅스 가소성을 광유전학적 자극으로 제거하자 쥐가 악한 공포 자극에도 과도한 공포 반응을 나타냈다.

연구팀은 또 외상 후 스트레스 장애를 겪는 쥐 또는 도파민 D4 수용체의 발현을 억제하는 약물을 주입한 쥐 역시 악한 공포 학습을 해도 강한 공포 반응을 일으킨다는 사실을 발견했다. 즉 도파민 D4 수용체가 있어도 장기 시냅스 저하가 일어난다는 것이다.

김정훈 교수는 “악한 공포를 반복적으로 학습하면 도파민 수용체가 활성화돼 장기 시냅스 저하가 일어나면서 강한 공포 행동이 나오지 못하도록 한다”며 “그러나 외상 후 스트레스 장애를 앓거나 도파민 수용체가 제 역할을 못하면 과도한 공포 반응을 보이게 된다는 사실을 새롭게 밝혀냈다”고 말했다.

도파민 D4 수용체가 편도체 내 억제성 신경세포의 시냅스 가소성을 활성화하는 기능을 한다는 사실을 발견한 것이다.

김 교수는 “외상 후 스트레스 장애를 겪는 동물이 보이는 과도한 공포 기억의 발현 원인을 이번에 규명했다”며 “앞으로 공포 기억과 관련돼 있을 것으로 생각되는 신경질환 치료 연구에 새로운 타겟을 제시했다”고 평가했다.