



Nano InSight

2019 AUTUMN VOL. 23

| 인터뷰 |

나노기술의 상용화로 글로벌 소재부품 시장을 선도할 것

| 칼럼 |

반도체 소재 경쟁력과 나노기술의 미래

| 이슈 앤 이슈 |

데이터기반 소재 개발의 과거, 현재 그리고 미래

| 특 집 |

나노·미래소재 원천기술개발사업 첫 삽을 떼며

| 에세이 |

'강함' 뛰어넘는 '부드러움'의 비결

| 나노기관 소개 |

나노융합기술원 설립 15년, 나노융합기술의 거점이 되다!



New Paradigm Nano Technology

창조적 사고와 끊임없는 도전으로
대한민국 나노기술의 위상을 높이겠습니다.



NATIONAL NANOTECHNOLOGY POLICY CENTER
www.nnpc.re.kr

CONTENTS

2019_Autumn_vol.23

Nano Message

인터뷰 _ 04

나노기술의 상용화로 글로벌 소재부품 시장을 선도할 것
: 송용설 (아모그린텍 대표이사)

Nano Story

칼럼 _ 06

반도체 소재 경쟁력과 나노기술의 미래
: 이병훈 (GIST 신소재공학부 교수)

이슈 앤 이슈 _ 10

데이터 기반 소재 개발의 과거, 현재 그리고 미래
: 장현주 (한국화학연구원 화학데이터기반연구센터 센터장)

특 집 _ 18

나노·미래소재 원천기술개발사업 첫 삽을 떼며
: 최영진 (세종대학교 나노신소재공학과 교수)

Nano Future

뉴스 _ 24

에세이 _ 27

'강함' 뛰어넘는 '부드러움'의 비결
: 김청한 (과학칼럼니스트)

나노기관 소개 _ 30

나노융합기술원 설립 15년, 나노융합기술의 거점이 되다!
: 강민재 (포스텍 나노융합기술원 미래전력소재물론허브센터 센터장)

캘린더 _ 34

06

18

27

Cover Story

나노·미래소재 원천기술개발사업
첫 삽을 떼며



발행일 2019년 10월 11일(통권 제23호)

발행처 국가나노기술정책센터

주소 (51508) 경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동 66번지)

Tel 055-280-3147 | Homepage www.nnpc.re.kr | E-mail yjinj@kims.re.kr

디자인·제작 (주)승림디자인 Tel. 02-2271-2581

나노기술의 상용화로 글로벌 소재부품 시장을 선도할 것



송용설 아모그린텍 대표이사

한 첨단 소재 및 부품 전문 기업이 있다. 이 기업은 2004년 설립돼 올해 코스닥에 상장됐으며 나노기술에 관한 1,100여 건에 달하는 국내외 특허를 출원 및 등록하고 있다. 또한 4차 산업혁명을 선도하기 위해 나노소재를 활용한 전기차(EV), 5세대 통신(5G), 에너지 저장 시스템(ESS), 차세대 IT 분야의 부품을 연구·개발하고 있다. 뛰어난 기술력과 함께 이를 상용화하려는 전방위적 노력을 다하고 있는 이 기업은 바로 아모그린텍이다. 아모그린텍의 송용설 대표이사를 만나 우리 미래를 바꿀 나노기술 상용화의 현재와 미래에 대해 들어봤다.

Q. 먼저 송용설 대표의 간략한 이력과 나노기술 분야에 종사하게 된 계기가 궁금합니다.

제 전공은 금속공학입니다. 세상에 꼭 필요한 금속소재를 연구·개발하는 분야이죠. 그렇다보니 박사과정 동안 제 연구가 실제로 시장에 나와 널리 사용되어 사람들의 삶의 질을 바꾸는 모습을 보고 싶었습니다. 이런 생각이 자연스럽게 저를 기업으로 오게 만든 것 같습니다. 처음에는 아모그린텍의 모회사인 아모텍에 입사하였고 나노소재가 미래 산업에서 매우 중요해질 것이라는 신념으로 아모그린텍으로 옮겨 나노소재의 개발 및 사업화를 추진하며 오늘에 이르렀습니다. 아모그린텍은 혁신적인 기술개발을 통해 고객이 필요로 하는 나노소재를 상용화하고자 합니다.

Q. 아모그린텍의 주력 제품과 자랑할 만한 상용화 성과를 소개해주시기 바랍니다.

현재 아모그린텍은 나노자성소재, 나노멤브레인, 나노방열소재 같은 나노소재의 연구·개발을 기반으로 IT와 모바일, 전기차, 신재생에너지, 환경 산업에 필요한 핵심 재료를 생산하고 있습니다. 자랑할 만한 상용화 성과로는 물질을 선택적으로 투과하는 나노멤브레인 소재와 나노방열 신소재로 모바일 기기의 방수 문제와 방열 문제를 해결하는 제품을 내놓은 것입니다. 또한 전기차의 에너지효율 및 노이즈대책용 나노자성부품, 증강현실(AR)기기나 헤드셋처럼 곡면기기에 적용되는 고용량의 플렉서블 배터리, 기지국용 에너지 저장 장치(ESS) 등 4차 산업혁명 시대를 주도하기 위한 나노 소재 및 부품을 생산하고 있습니다.

Q. 사물인터넷, 빅데이터, 인공지능 등 4차 산업혁명 시대에 나노기술과 나노소재에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있습니다. 아모그린텍은 이에 어떻게 대응하고 계신지요?

4차 산업혁명 시대를 맞아 나노기술과 나노소재의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않습니다. 그러나 나노소재 개발 및 사업화는 그 자체로 오랜 시간이 소요되는 어려운 일입니다. 이에 따라 아모그린텍은 경쟁력 있는 소재 및 부품 기술을 확보할 뿐만 아니라 변화에 빠르게 대응하기 위해 주요 업체들과 네트워크를 구축하는데 많은 노력을 기울이고 있습니다.

이에 그치지 않고 글로벌 경쟁력을 확보하기 위해 5G통신, 전기차, 에너지, 환경 분야에 지속적으로 연구·개발 투자를 진행하고 있습니다. 현재 보유한 특허만 1,100건에 달하며 2014~2018년, 최근 5년간 262건의 국제특허를 출원하여 중소기업 중에서 가장 많은 특허 출원을 하고 있습니다. 마지막으로 아모그린텍이 무엇보다 중요하게 생각하는 곳은 시장, 즉 고객의 니즈입니다. 아모그린텍은 항상 고객이 어떤 걸 필요로 하는가를 파악하고자 회사 내부 및 외부기관과 협력을 다하고 있습니다.

Q. 한국을 넘어 글로벌 산업 현장에서 현재 나노기술 및 소재의 트렌드는 무엇인가요?

사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능 등으로 특징되는 4차 산업혁명 시대는 기술을 통해 초연결, 초고령화나 환경오염 및 안전과 같은 현실적인 문제를 해결해나가고자 합니다. 이에 따라 미래 산업에 필요한 나노소재는 더욱 다양하고 복잡해지고 있어 금속, 세라믹, 고분자 같은 기존 소재의 특성과 융합해 신소재를 만드는 것이 점점 더 중요해지고 있습니다. 또한 가볍고 얇고 잘 휘어지는 소재, 대용량의 데이터를 초고속으로 처리하는 소재 및 부품도 그 수요가 날로 증가하고 있습니다. 결론적으로 각각의 나노소재가 자닌 장점을 융합해 효율을 극대화한 나노소재가 세계



시장의 주요 흐름입니다. 아모그린텍도 이러한 요구에 대응하기 위해 다양한 나노소재를 융·복합화하는 데 많은 자원을 투자하고 있습니다.

Q. 나노기술 발전과 관련 산업 육성을 위해 필요한 제도와 정책이 있다면 무엇이라고 생각하십니까?

앞서도 말했듯이 나노기술과 나노소재의 발전 및 상용화는 오랜 시간, 지속적인 연구가 필요한 분야입니다. 따라서 장인정신을 가진 엔지니어가 끊임없이 배출될 수 있어야 하며 상용화를 위해 기술 간, 산업 간의 융합과 수요 연계가 잘 이루어지는 공급사슬망을 구축해야 합니다. 이를 위해서는 장기적으로 연구할 수 있는 연구시스템, 그리고 각 분야의 전문가들이 효과적으로 협력할 수 있는 제도적 장치가 필요하다고 봅니다. 또한 공급사슬망에서 공급자가 수요를 예측하여 규격을 결정하는 공급자 중심의 수요 연계보다 수요자의 필요를 적극 반영하는 수요자 중심의 수요 연계가 이뤄져야 한다고 생각합니다. 국내 나노기업들의 연구개발 수준과 경쟁력은 매우 우수합니다. 나노기업이 가진 원천기술을 상용화할 수 있는 정책적 노력이 뒷받침된다면 한국이 미래 산업을 주도할 수 있을 것입니다.



Q. 끝으로 아모그린텍의 장기적 계획과 미래 포부에 대해서 말씀 부탁드립니다.

아모그린텍은 미래 먹거리를 위한 연구·개발을 오랫동안 진행해 왔으며 순차적으로 연구개발 제품들을 양산화하고 있습니다. 앞으로 이러한 연구·개발 제품들의 양산화 및 생산량 증설 투자가 이루어질 것이며 이에 그치지 않고 다음 먹거리를 위한 연구·개발을 계속할 것입니다. 미래 산업에서 최종 원재료의 기반이 되는 나노소재 및 부품의 중요성은 더욱 증대될 것입니다. 따라서 아모그린텍이 보유한 나노기술을 통해 미래 산업을 선도하며 대한민국을 대표하는 글로벌 소재부품 전문기업이 되기 위해 노력할 것입니다. 마지막으로 그동안 아모그린텍이 정부와 대학, 출연연구소, 기업들과의 협력을 통해 받은 도움을 잊지 않고 나날이 나노기술의 상용화를 위해 전심전력을 다하겠습니다. 감사합니다. Nano Insight

반도체 소재 경쟁력과 나노기술의 미래



상상력은 그동안 인류에게 획기적인 미래를 선물해왔다. 상상하고 그 상상을 실현시키려는 수많은 과학자들의 힘은 생활의 편리함은 물론이고 세계인과 동시에 소통하며, 우주를 여행하는 시대를 열었다. 하지만 그 한계도 분명히 알아야 기술을 성공시키고 발전시킬 수 있다. 반도체 관련 연구도 마찬가지다. 아직 실현되지 않은 다양한 반도체 기능에 대한 자유로운 상상에서 출발하여 새로운 나노소재를 설계하고, 실제로 만들어내는 연구를 병행한다면 반도체 기술과 나노기술이 함께 발전해나가는 방법이 될 것이다.



이병훈
GIST 신소재공학부 교수

반도체 소재 연구와의 인연

대학원에서 실리콘소자를 연구하는 학생을 우스갯소리로 '어둠의 자식들'이라 불렀던 시절이 있다. 실리콘을 다공성구조로 만들거나 결정구조를 왜곡해서 빛이 나오게 만들 수 있다는 것을 몰랐던 시절의 농담인데, 그만큼 반도체소자에서 소재순환주의를 강조하는 농담이기도 하다.

필자는 박사과정 학생시절, 당시 주로 연구되던 고유전 절연막 후보물질(STO, BTO, TiO₂ 등)을 포기하고, ZrO₂와 HfO₂를 연구하자는 지도교수의 결정에 반발해 한 달 정도를 도망가기도 했다.

평생 들어본 사람이 거의 없을 '해프늄'과 관련된 해프닝이다. 하지만 결국 현재는 해프늄 산화막이 고유전 절연막의 표준이 되고, 반도체 핵심 물질로 사용되고 있다. 이러한 일들을 떠올리면 "Never say never"라는 말이 가진 무게를 되새기지 않을 수 없다. 하지만 이는 동시에 어떤 연구든 무조건 가능하다는 생각을 경계해야 한다는 의미도 가지고 있다.

해프늄 산화막 연구로 박사학위를 받고 IBM에 입사해 65nm 집적기술연구팀 리더가 되었을 때의 일이다. 필자는 기술 성숙도 상 65nm기술에 고유전 절연막을 적용하는 것은 너무 이르다는 주장으로 회사 내 다른 연구팀과 논쟁을 벌였다. 65nm기술에 고유전 절연막을 적용하지 않는 것으로 결론이 났고 그 결정이 적절했던 것으로 평가받지만, 논쟁 초기에는 고유전 절연막을 빠르게 적용하고 싶어 하는 연구자들로부터 많은 항의를 받기도 했다.

집적기술팀의 리더로 IBM 연구소에서 개발된 신기술을 집적공정에 사용할 지의 여부를 판단하다보면, 연구자들이 지나친 낙관과 앞선 의욕으로 단기 성과에만 집중하는 경우를 볼 수 있었다.

이때 실제 기술적용 시점에 맞춰 긴 호흡으로 차분히 연구했다라면 제때 성공할 수 있는 연구를 오히려 지연시키는 사례도 발생한다. 그래서 "Never say never"의 도전정신과 함께 꼭 필요한 것이 기술의 현재 수준 및 활용 시점에 대한 냉철한 판단이다. 이 둘이 함께 할 때 어려운 연구를 지치지 않고 해낼 수 있다.



나노기술의 현재 위치

이러한 맥락에서 미래의 반도체 기술에 꼭 필요한 기술임에도, 반도체 산업계에서 부정적인 평가를 받는 나노기술의 현재 위치를 돌아볼 수 있다. 나노기술 연구자들이 반도체 기술의 발전방향과 신기술 적용시점에 대한 정확한 이해 없이 연구의 필요성을 설명하다보니, 반도체 산업계의 입장에서 당장 적용하기 불가능한 기술에 대한 과장이라는 판단을 내리는 악순환이 반복된다.

예를 들어 나노소재 분야에서는 새로운 나노소재를 이용해 실리콘 소자를 대체하겠다는 목표를 연구 동기로 자주 제시하는 데 반해, 반도체 소자 전문가로서는 이에 공감할 수 없다. 그 대신 실리콘 소자로 구현할 수 없는 새로운 기능을 생각해보고, 새로운 나노소재를 이용한 기능 달성을 연구의 동기로 제시한다면 훨씬 더 폭넓은 공감을 얻을 수 있을 것이라 생각한다.

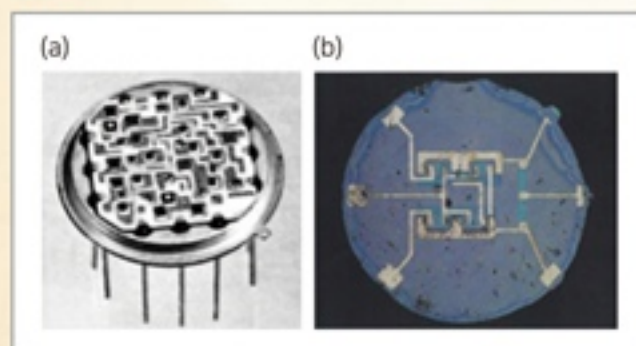
새로운 관점 설정에 도움이 될 수 있도록, 반도체 연구의 향후 추세를 간단히 요약해보면 다음과 같다. 우선 반도체 소자 기술이 3nm, 1nm 수준으로 발전하면서 무어의 법칙이 지속된다는 관점이 존재한다. 실제로 삼성과 TSMC는 5nm기술을 누가 먼저 개발하는 지를 두고 경쟁하는 상황이며, 3nm 개발 계획도 발표했다. 이런 계획을 보면 반도체 소자의 크기가 계속 작아진다고 생각하기 쉽다. 그렇지만 5nm나 3nm라는 이름은 소자 미세화의 척도가 아니라 셀(Cell) 디자인과 아키텍처를 통해 시스템 레벨에서의 성능 개선, 칩 크기 축소 정도를 표시하는 상징적인 표현에 불과하다. 5nm 기술에 사용되는 반도체 소자의 크기는 이전세대보다 오히려 더 커지는 경우도 있다.



한편 미세화의 한계를 넘어 시스템 성능을 개선하는 방법으로, 한 개 칩에 여러 칩을 집적하는 복합칩 제조기술인 '이기종 통합(Heterogenous Integration, HI) 기술'이 다음 세대의 주력으로 제시되고 있다. HI 기술은 현재 미국이 중점 추진 중으로, 로드맵 수립에 이어 2017년부터 HI 집적설계 자동화기술 대형 연구과제 등이 진행되고 있다. 지금까지 팹리스 기업 경쟁력의 핵심이었던 설계 IP는 표준화하여 단위칩 제조기업이 담당하고, 복합칩 기반의 시스템 성능 향상기술을 개발하자는 미국의 R&D 전략은 메모리 기술을 다른 나라에 넘기고, 설계 IP 기반의 시스템 반도체 중심으로 산업을 재편했던 90년대 미국의 반도체 산업 전략을 떠올리게 한다.

그러나 HI 기술은 1950년대에도 존재했다. <그림1>과 같이 단위소자를 하나의 칩 패키지에 올려놓고 연결하여 하나의 단위소자처럼 작동하게 하는 방식이 초기의 반도체 기술이다. 이를 넘어 하나의 기판 위에서 여러 개의 소자를 동시에 만드는 방식이 바로 오늘날의 반도체 기술을 있게 한 Fairchild사(Rovert Noyce)의 집적회로기술 특허다(집적회로 특허로 노벨상을 받은 것은 Texas Instrument 사(Jack Kilby)이지만, Kilby 특허는 실제 작동하지 않는 것으로 밝혀졌다. 소송 끝에 집적회로의 최초특허는 Fairchild사가 갖게 되었다. 노벨상은 살아있는 사람에게만 줄 수 있기 때문에 안타깝게도 Robert Noyce는 노벨상을 받지 못했다).

[그림 1] (a) 1950년대의 집적 소자 칩, (b) 최초의 Integrated circuit



에는 하나의 불량칩 때문에 전체 칩 기능이 떨어지므로 상용화될 수 없다는 의견이 많았다. 같은 논리로 M3D 기술에 대해 더 많은 반대의견이 제시되고 있는 상황이며, 두 번째 연산소자층을 만드는 기술 또한 성숙되지 않은 단계다보니 장밋빛 전망은 이르다는 의견이 다수이다.

기존 반도체 기술의 한계시점이 임박한 반면 대안기술의 성숙도가 낮은 상황은 산업계의 선행연구 위험을 크게 증가시켜 연구를 위축시키고 있다. 이 때문에 반도체 경쟁국에서는 대안기술의 개발 및 검증을 위해 대규모 국책연구를

그렇다면 여러 칩을 하나의 칩 위에 만들 수 있게 하는 집적칩 기술은 어디까지 개발되어 있을까. 여러 칩을 하나의 칩 위에 올려놓고 구멍을 뚫어 연결하는 방식을 Through Silicon Via(TSV)라고 하는데, 이 방식은 미세소자를 연결하는 데 적합하지 않다. 때문에 하나의 칩 위에 또 하나의 연산소자층을 연속적으로 만드는 Monolithic 3D(M3D) 집적기술이 제안되고 있다. 지금은 TSV 기술이 보편화되어 있지만, 초창기

진행 중이며, 이 대안기술은 각국의 산업수준, 현황에 따라 기술의 성격이 달라진다.

미국이 인공지능 플랫폼 등에 적용될 수 있는 HI칩 설계기술로 미래발전 전략을 선택했다면, 우리나라는 반도체 제조기술의 경쟁력을 강화하기 위해 M3D와 같은 새로운 제조기술을 선점하여 기술 차별성을 확보하는 것이 효율적 방법이라고 생각한다. 그리고 M3D 집적기술의 차별성을 확보하는 데 기여할 수 있는 결정적 요소가 바로 나노소재 기술이다.

앞으로의 과제와 전망

지금까지의 M3D연구는 실리콘 칩 위에 또 다른 실리콘 소자층이나 화합물반도체 소자층을 만드는 방식을 중심으로 진행되고 있다. 과거의 사례와 비교해보면 이런 접근방법은 고유전 절연막 연구 시작단계에서 BTOna TiO₂를 연구하던 것과 같이 익숙한 방식으로 접근하는 보수적인 방법이다. 그러나 기존의 고유전 절연막 후보소재를 버리고, 새로운 HfO₂로 신기술개발에 성공할 수 있었던 사례처럼 발상의 전환을 해본다면, 가장 이상적인 M3D 공정을 위해 필요한 소재가 무엇인지로부터 출발하는 새로운 연구 전략을 생각해볼 수 있을 것이다.

즉, 미세화된 실리콘 소자층위에 꼭 미세화된 소자층을 쌓을 필요는 없다. 새로운 기능을 발휘할 수 있는 소자층이 오히려 유리할 수 있다. 아주 낮은 전압에서 매우 높은 on-off비를 만들어낼 수 있는 소재, 저온공정이 가능하면서도 매우 높은 전하이동도를 구현할 수 있는 소재, 전자 외의 다른 방법으로 정보를 순차 전달할 수 있는 소재, 정보를 전달하기도 하고 저장하기도 하는 신경세포 같은 소재 등 여러 가지 신소재를 상상해볼 수 있다.



연구 방법에서도 새로운 시도가 이뤄지고 있다. 신소재를 만들고 물성연구를 통해 응용분야를 찾아가는 전통적인 연구방법과 달리, 최근에는 계산과학으로 필요한 기능을 상상하고, 그런 기능을 만족시킬 수 있는 소재를 디자인하는 연구도 시도되고 있다. 이동전하기가 스타트렉과 같은 SF 영화로부터 영감을 받아 개발되었다는 것은 유명한 일화다. 마찬가지로 아직 실현되지 않은 다양한 반도체 기능에 대한 자유로운 상상에서 출발하여 새로운 나노소재를 설계하고, 실제로 만들어내는 연구를 한다면 반도체 기술과 나노기술이 함께 발전해나가는 좋은 방법이 될 것이다. 실리콘 기판으로부터 해방된 소자기술이 어떤 길을 가게 될지는 나노기술을 연구하는 연구자들의 상상력에 달려있다. *Nano Insight*



데이터 기반 소재 개발의 과거, 현재 그리고 미래



데이터 기반 연구의 선제 조건은 좋은 데이터의 확보이다. 그러나 높은 부가가치를 담고 있는 데이터는 지식 자산으로서 대부분 비공개인 상태인 게 현실이다. 데이터 기반의 소재 개발을 실질적으로 수행하기 위한 최적의 조건과 현재 개발 중인 데이터 기반 연구 플랫폼을 소개한다.



장현주
한국화학연구원
화학데이터기반연구센터
센터장

들어가는 말

4차 산업혁명의 핵심은 '빅데이터'와 '인공지능'이라 할 수 있으며, 4차 산업혁명 시대 연구 개발의 새로운 패러다임은 '데이터 기반의 연구'라 할 수 있다. 그러나 이러한 데이터 기반 연구의 중요성이 전 세계적으로 강조되기 전, 의학·바이오 분야에서는 '생명정보학(Bioinformatics)', '화학정보학(Chemoinformatics)'으로 대표되는 데이터 기반의 연구가 1990년대부터 활발히 이루어져 왔다. 특히 1990년에 시작되어 공식적으로 13년간 진행된 대규모 국제 공동연구인 '인간 게놈 프로젝트(Human Genome Project)'는 인간의 DNA를 이해하고, 이를 활용하는 연구에 빅데이터를 제공하여 이 분야의 빅데이터 기반 연구를 활성화시키는 데 큰 역할을 해왔다.

소재 분야에도 이와 같은 빅데이터 대표 연구가 존재한다. 2011년 미국 정부 주도의 'Materials Genome Initiatives(MGI)' 프로젝트를 시작으로, 계산과학 기반의 소재물성 빅데이터라 할 수 있는 'Materials Project(MP)' 등의 데이터베이스가 공개되었다.

본고에서는 소재분야에서의 빅데이터 및 데이터 기반 연구에 대한 동향을 소개하고, 데이터 기반 소재 개발 연구를 위한 연구 플랫폼의 예로서, 한국화학연구원에서 개발하고 있는 열전소재 연구 플랫폼을 소개하고자 한다.

소재 물성 빅데이터

소재물성 데이터베이스의 기원은 1978년부터 논문 등에 보고된 결정구조를 데이터베이스화하여 유료로 제공하고 있는 '무기결정구조 데이터(Inorganic Crystal Structure Database, ICSD)'이다. 이를 통해 현재 실험적으로 검증된 16만 종 이상의 무기결정구조를 제공하고 있다. 최근에는 미국 MGI 프로젝트를 시작으로 계산과학 기반의 소재물성 데이터베이스들이 구축·공개되었고, 유럽의 NOMAD(The Novel Materials Discovery)는 제일원리 계산 기반의 소재물성 데이터 공유·활용 플랫폼을 제공하고 있다. 일본에서는 NIMS 연구소를 중심으로 20년 이상 다양한 분야의 데이터를 수집하여 제공하고 있다. 이 가운데 NOMAD를 중심으로 데이터에 대한 FAIR(Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable) 정책 제시, 계산과학 기반의 물성데이터 공유 및 활용 연구가 강조되고 있는 상황이다[1]. 현재 무료로 데이터를 제공하는 여러 공개 사이트들에 대한 정보를 <표1>에 정리해 보았다.



표 1 소재 빅데이터 사이트 리스트

Repository	Site Address	Host Institute	Materials	계산(Comp.) vs. 실험(Exp.)
Materials Project	http://materialsproject.org/	MIT	inorganic compounds	Comp.
AFLOWLIB(Automatic -Flow for Materials Deiscovery)	http://www.aflowlib.org/	Duke Univ.	inorganic compounds	Comp.
OQMD(Open Quantum Materials Database)	http://www.oqmd.org/	Northwestern Univ.	inorganic compounds	Comp.
Computational Materials Repository(CMR)	https://wiki.fysik.dtu.dk/cmr/	Denmark Technical University	inorganic compounds	Comp.
Electronic Structure Projects(ESP)	http://gurka.fysik.uu.se/ESP/	Sweden	inorganic compounds	Comp.
Carnegie Mellon's Alloy Database	http://alloy.phys.cmu.edu/	Carnegie Mellon Univ.	alloys	Comp.
NOMAD(Novel Materials Discovery)	https://nomad-coe.eu/	Germany	inorganic compounds	Comp.
Hypothetical Metal-Organic Frameworks Database	http://hmo.f.northwestern.edu/hc/crystals.php	Northwestern Univ.	MOFs	Comp.
MatNavi NIMS Materials Database	http://mits.nims.go.jp/index_en.html	NIMS, Japan	polymers, inorganic compounds	Comp. & Exp.
HTeM DB(High Throughput Experimental Materials Database)	https://hitem.nrel.gov/#/about	NREL, USA	thin film properties	Exp.

소재 분야에서 유독 계산과학 기반의 데이터베이스들이 공개되고 있는 것은 2000년대 들어 컴퓨터 하드웨어 및 병렬컴퓨팅 기술 등의 개발에 힘입어, 제일원리를 통한 고속 대량 스크리닝(High-throughput Computational Screening)이 가능하게 되면서, 이를 통해 생산되는 데이터의 공유 및 재활용에 대한 연구자들의 공감대가 형성되었기 때문이다. 현재 계산기반 데이터베이스의 경우, 데이터를 다운받아 활용할 수 있는 API(Application Programming Interface)들을 제공하며, 데이터를 재가공하여 활용할 수 있는 프로그램들을 공개하고 있다. 이 중 대표적인 프로그램은 Materials Project에서 제공하는 Pymatgen이며[2], 그 외에도 다양한 프로그램들이 GitHub, GitLab 등의 프로그램 공유 개발 사이트를 통해 공유되고 있다.

데이터 기반의 연구

데이터 기반의 연구는 데이터에 머신러닝 등 인공지능 기술을 적용하여 새로운 소재 개발, 소재 특성 예측 설계 등을 진행하는 새로운 소재 연구라 정의할 수 있다. 데이터 기반의 연구를 위해서는 다음의 세 가지 요소가 필수적이다. [1] 빅데이터, [2] 인공지능 알고리즘, [3] 도메인 지식이다.

소재 물질 빅데이터는 바이오처럼 수백만 개 이상의 데이터를 가진 분야에 비하면 데이터의 크기가 작은 편이다. ICSD 구조에서 출발한 Materials Project의 무기소재는 약 12만 개, 가상조성에 기반한 나노다공성 소재(Nano-porous Material)은 약 53만 개의 데이터를 공개하고 있다. 일견 적은 양으로 보이지만 인공지능을 활용할 수 있는 수준이라면 빅데이터라 분류할 수 있다.

소재분야의 빅데이터의 경우, 무료로 공개되어 있어 자유롭게 사용할 수 있는 데이터 대부분이 계산 기반의 데이터이며, 실험 데이터의 경우에는 매우 제한적으로 접근 가능하다. 미국 NREL 연구소에서 제공하는 HTEM DB(High Throughput Experimental Materials Database)의 무기 박막 소재 특성 데이터베이스 정도가 쉽게 다운받아 활용할 수 있는 사례다[3].

인공지능 알고리즘의 경우 머신러닝, 딥러닝을 포함하는 인공지능 기술이 마케팅, 의료 영상 분석 등에서 성공적으로 사용되고 있다. 데이터에서 상관관계를 학습하여 물성을 예측하는 머신러닝 알고리즘은 크게 지도학습(Supervised Learning)과 비지도학습(Unsupervised Learning)으로 나누어 분류하는데, 데이터의 특성상 input에 의해 output이 결정되는 경우에는 지도학습을 사용한다. 지도학습의 대표적 사례가 기보물을 학습하여 바둑을 두었던 1세대 알파고 알고리즘에 적용된 학습방법이다. 한편 input만 주어지고 output이 따로 제공되지 않은 경우에는 주로 비지도학습 방법을 사용한다. 수많은 의료 영상 자료를 비교하여 이상을 가진 영상을 찾아내는 작업 등에 주로 사용되는 방법이다. 소재분야에서는 대부분 조성과 원자구조에 의해 물성이 결정된다. 소재 빅데이터의 경우, 주로 조성과 구조(input)에 의한 물성(output)을 제공하고 있어, 지도학습이 많이 쓰이고 있다. <그림 1>에서는 지도학습의 다양한 머신러닝 알고리즘을 활용하여 이중 페로브스카이트 산화물(Double

Perovskite Oxide)의 밴드갭 데이터를 학습하고 밴드갭을 예측하는 결과를 보여준다[4].

인공지능 분야에서는 타 분야 전문가들이 인공지능을 쉽게 활용할 수 있는 다양한 프레임워크가 무료 제공되고 있다. 데이터만 있다면 인공지능 활용이 손쉬워지고 있는 환경이 조성된 것이다. <표 2>에 서처럼 최근에는 화학분야, 소재분야에 특화된 머신러닝 도구(tool)가 제공되는 사이트들도 생기고 있다.

표 2 머신러닝을 활용할 수 있는 공개 플랫폼[5]

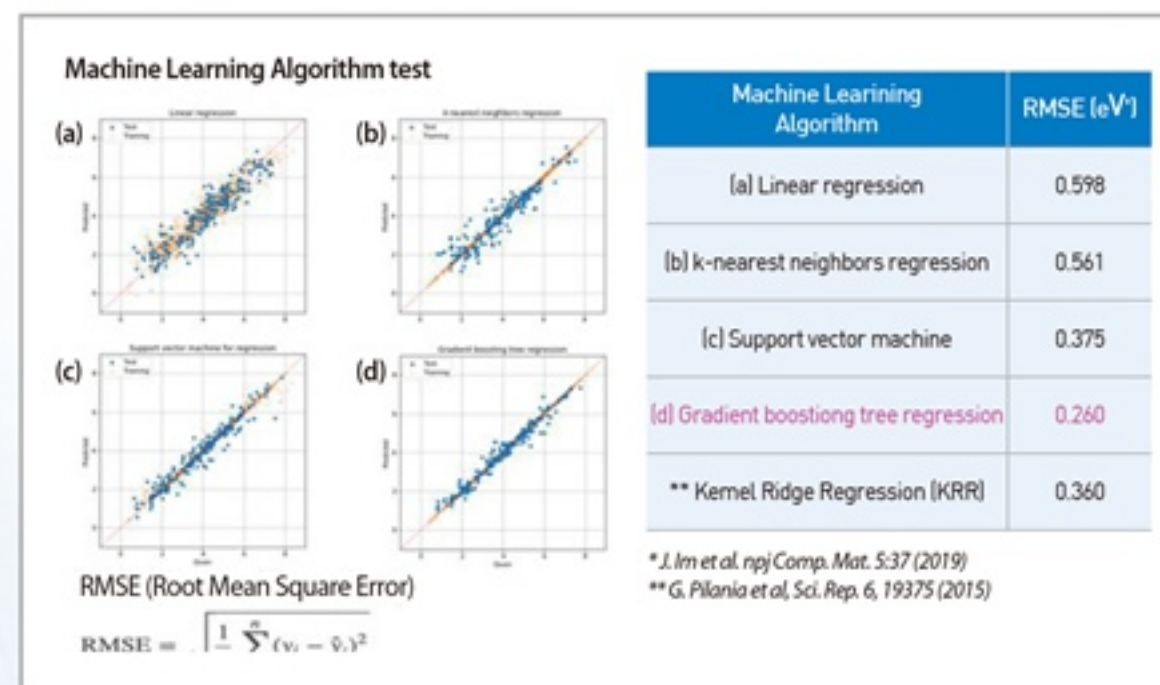
General-purpose machine-learning frameworks		
Caret	Package for machine learning in R	https://topepo.github.io/caret
Deeplearning4j	Distributed deep learning for Java	https://deeplearning4j.org
H2O.ai	Machine-learning platform written in Java that can be imported as a Python or R library	https://h2o.ai
Keras	High-level neural-network API written in Python	https://keras.io
Mlpack	Scalable machine-learning library written in C++	https://mlpack.org
Scikit-learn	Machine-learning and data-mining member of the scikit family of toolboxes built around the SciPy Python library	http://scikit-learn.org
Weka	Collection of machine-learning algorithms and tasks written in Java	https://cs.waikato.ac.nz/ml/weka
Machine-learning tools for molecules and materials		
Amp	Package to facilitate machine learning for atomistic calculations	https://bitbucket.org/andrewpeterson/amp
ANI	Neural-network potentials for organic molecules with Python interface	https://github.com/isayev/ASE_ANI
COMBO	Python library with emphasis on scalability and efficiency	https://github.com/tsudalab/combo
DeepChem	Python library for deep learning of chemical systems	https://deepchem.io
GAP	Gaussian approximation potentials	http://libatoms.org/Home/Software
MatMiner	Python library for assisting machine learning in materials science	https://hackingmaterials.github.io/matminer
NOMAD	Collection of tools to explore correlations in materials datasets	https://analytics-toolkit.nomad-coe.eu
PROPhet	Code to integrate machine-learning techniques with quantum-chemistry approaches	https://github.com/bikloost/PROPhet
TensorMol	Neural-network chemistry package	https://github.com/jparkhill/TensorMol





한편 데이터에 인공지능 알고리즘을 적용하기 위해서는 데이터의 특징을 대표할 수 있는 속성(Feature)의 선택 및 활용이 매우 중요하다. 이러한 속성의 선택은 데이터에 대한 전문지식을 바탕으로 이루어질 수 있으며, 인공지능의 예측 정확성은 속성의 선택 및 활용에 매우 민감하다. 따라서 데이터의 속성을 이해하는 그 분야의 전문지식인 도메인 지식은 인공지능 활용 성공의 중요한 열쇠이다. 따라서 데이터 기반의 연구에 성공하기 위해서는 좋은 데이터의 확보, 적절한 인공지능 알고리즘의 선택, 도메인 지식에 기반한 속성 선택의 3가지 요소를 최적화하는 연구가 필요하다.

[그림 1] Double Perovskite Oxide 데이터를 활용한 밴드갭 예측의 머신러닝 알고리즘 테스트[4]



데이터 기반 연구 플랫폼

<표1>에서처럼 다양한 계산기반의 소재물성 빅데이터가 공개되면서 최근 5년간 이러한 공개 데이터를 활용하는 다양한 연구가 활발히 진행되었다[5]. 공개데이터의 대부분은 ICSD 구조의 보고된 소재, 또는 가상 조성 소재에 대한 계산된 소재물성(밴드갭, 형상에너지, 밴드구조 등) 데이터를 제공하고 있다. 이러한 계산된 소재물성 데이터는 주로 순수 단결정(Pristine Single Crystal) 구조의 물성에 대한 것으로 이를 실제 복잡한 소재 개발의 물성 예측에 직접 활용하기에는 한계가 있다.

따라서 특정한 응용분야 소재 개발을 위해서는 이러한 응용분야에 특화된 데이터 기반 연구 플랫폼의 구축이 필요하다. 그 한 사례로 현재 필자의 연구팀이 개발 중인 열전소재 데이터 연구 플랫폼 'TEXplorer: Thermoelectric materials Explorer'를 소개하고자 한다. 현재 개발 중인 열전소재 연구 플랫폼은 웹 기반으로 열전소재 개발 과정에서의 실험, 계산 연구데이터를 수집하고 공유 활용할 수 있는 장을 제공하고자 한다. 이 플랫폼을 통해 수집된 데이터에 인공지능을 활용하는 데이터 기반 연구로 새로운 열전소재를 개발하는 것이 목표이다. 웹 기반 열전소재 연구 플랫폼을 통해 열전소재 개발의 전 주기 실험데이터를 수집하고, 이에 대응하는 제일원리 계산기반 고속 대량 스크리닝에서 생성된 계산 데이터를 함께 모으고자 한다. 공통 목표를 가진 실험, 계산 데이터를 하나의 플랫폼에 저장하여 서로 공유할 수 있게 하며, 수집된 데이터는 API를 통해 다운 받아 이에 머신러닝을 적용할 수 있도록 설계했다(<그림2> 참조).

현재 SnSe, Bi₂Te₃를 기반으로 다양한 도핑과 합금을 통해 조합화학적 고체상반응(Solid State Reaction)방법으로 샘플을 합성하고, 열전 특성을 측정하고 있다. 측정 장비에서 나온 데이터는 파일 형태로 TEXplorer 웹페이지 상에서 끌어놓기(Drag and Drop) 방식으로 저장한다. 샘플의 합성 방법은 정형화된 파일로 만들어 업로드하거나 웹페이지 상에서 입력이 가능하게 하였다. <표3>에서는 플랫폼에 업로드하는 실험데이터를 자세히 확인할 수 있다.

표 3 수집하는 실험 데이터

합성조건 입력	composition	Synthesis method, Synthesis temp(K) Synthesis time(h), Cooling method, Annealing(Y/N), Annealing temp(K), Annealing time(h), SPS temp(K) SPS temp raising rate(K/min), SPS time(min)
PF(Power Factor) 측정 장비 데이터	composition, temperature	Direction, Carrier concentration(1/cm ³) Electrical conductivity & Seebeck coefficient w.r.t Temp
TC(Thermal Conductivity) 측정 장비 데이터	composition, temperature	Direction, Density, Heat capacity(Y/N) Thermal diffusivity & Thermal conductivity(calculated) w.r.t Temp
XRD 측정 장비 데이터	composition, Degree (2-theta)	Intensity(a.u.)

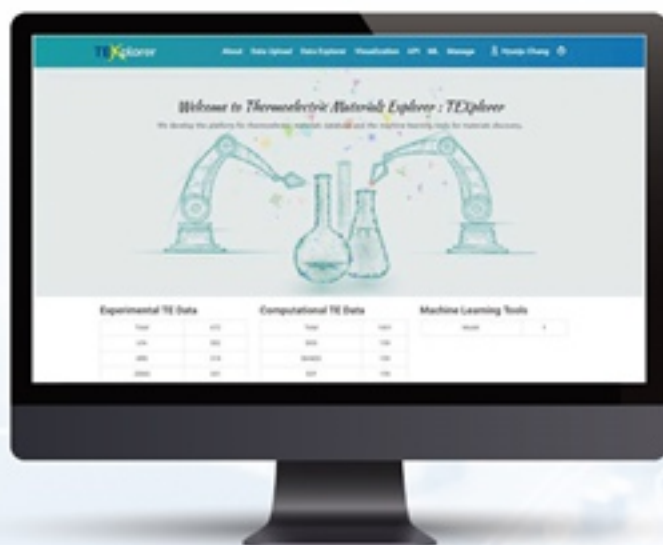
계산데이터로는 현재 SnSe 기반 53종의 도핑원소에 대한 고속 대량 스크리닝 제원리 계산 결과를 수집하였다. 계산에서의 도핑은 도핑원소의 Sn 원자 치환형, Se 원자 치환형, 중간 (Interstitial) 위치형의 3가지 경우의 도핑을 고려하였으며, 3%의 도핑의 경우를 우선적으로 계산하였다. 계산으로부터는 다음과 같은 계산 물성을 데이터베이스화하였다.



1. Configuration[최적화된 도핑 구조], 2. Concentration[현재 3% doping 고정], 3. 밴드갭(Band gap), 4. Deep level 유무, 5. 원자가띠의 가장 높은 에너지 값[Energy level of the highest valence band], 6. 원자가띠의 유효 질량[Effective mass of the highest valence band], 7. 전도띠의 가장 낮은 에너지값 [Energy level of the lowest conduction band], 8. 전도띠의 유효질량[Effective mass of the lowest conduction band]

이렇게 수집된 실험데이터, 계산데이터는 시각화를 통해 쉽게 공유 가능하다. 현재 실험데이터와 계산데이터를 함께 활용하는 머신러닝 연구를 진행 중이며, 이는 차후 발표할 예정이다. 연구팀은 TExplorer를 지속적인 수정, 보전을 통해 연구데이터를 수집하고 공유하며, 인공지능에 활용하는 연구 플랫폼으로 발전시켜 나갈 예정이다. TExplorer 개발은 현재 한국화학연구원의 화학데이터기반 연구센터, 서울대 화학생물공학부의 정인 교수 실험실, 국가수리과학연구소의 현운경 박사 그룹이 함께 참여하는 공동연구로 진행하고 있다.

[그림 2] TExplorer' 열전소재 연구 플랫폼 홈페이지



결론 및 제언

데이터 기반 연구의 선제 조건은 좋은 데이터의 확보이다. 그리고 최근 공개되어 있는 데이터를 활용하여 인공지능 알고리즘을 적용한 성공 사례들이 발표되고 있다. 이는 인공지능을 활용하는 데이터 기반의 연구가 소재 분야에서도 성공적으로 적용될 수 있는 가능성을 확인하고 있다.

하지만 이러한 공개 데이터의 활용은 1차적인 스크리닝의 도구로 유용하게 사용될 수 있을 뿐 한계를 가지고 있다. 높은 부가가치를 담고 있는 데이터는 지식재산으로서 비공개인 상태가 대부분이다. 데이터 기반의 소재 개발을 실질적으로 수행하여 소재 개발의 시간을 단축하고자 한다면, 응용분야에 따른 소재 데이터의 수집 및 활용이 필수적이다. 이러한 데이터의 확장을 위해 공동 목표를 가진 연구 그룹 간의 데이터 공유가 좋은 방안이 될 수 있다. 현재 개발 중인 데이터 기반 연구 플랫폼 TExplorer가 이러한 공동 연구를 가능하게 하는 플랫폼의 원형이 될 수 있기를 기대해 본다. Nano Insight



참고문헌

- [1] "NOMAD: The FAIR concept for big data-driven materials science", Claudia Draxl and Matthias Scheffler, MRS BULLETIN, vol. 43, 676(2018)
- [2] Pymatgen(Python Materials Genomics) <https://pymatgen.org/>
- [3] "An open experimental database for exploring inorganic materials", A. Zakutayev et al, SCIENTIFIC DATA(2018) 5:180053
- [4] "Identifying Pb-free perovskites for solar cells by machine learning", Jino Im et al., npj Computational Materials(2019) 5:37
- [5] "Machine learning for molecular and materials science", K. T. Butler et al., Nature(2018) vol. 559, 26

나노·미래소재 원천기술개발사업 첫 삼을 때며

정부의 본격적인 나노분야 투자가 시작된 2001년 이래 선진국 대비 25%에 머물던 기술수준은 2016년 83.1% 수준까지 도달하는 비약적인 성장을 이루었다. 이러한 발전 방향을 지속적으로 이끌어 가기 위한 과제와 미래 비전을 과학기술정보통신부의 신규 R&D 프로그램을 통해 살펴보았다.



최영진
서울대학교
나노신소재공학과 교수

사업추진 배경

정부의 나노분야 투자가 시작된 2001년 이래 정부의 투자는 주로 나노·소재기술개발사업(과학기술정보통신부), 나노융합2020사업(과학기술정보통신부+산업통상자원부), 나노융합핵심기술개발사업(산업통상자원부)의 추진을 통해 이루어졌다. 나노·소재분야의 비약적 기술수준 향상은 기초원천기술 개발, 기술사업화, 기업 주도의 개발연구 등 전주기적 체계 구축에 힘입은 바가 크다.

2004년 나노/바이오연구개발사업으로 시작되었던 나노·소재기술개발사업은 해당분야 원천기술 개발을 목적으로 하는 유일한 사업이다. 본 사업을 통해 논문 및 특허 생산성 측면에서 우수한 성과를 거두었으며, 관련 인프라 구축, 국가 어젠다에 대한 신속한 대응, 전문 인력 양성 등 다방면의 영역에서 성공적인 결과를 도출했다. 그러나 사업성과의 활용 면에서 몇 가지 문제점이 지적되었다. 개발된 기술의 직접 상용화 및 기술사업화, 특허의 대형 기술이전 등이 미흡하다는 평가와 더불어, 사업이 2019년 일몰사업으로 지정됨에 따라 환경변화를 반영한 신

규 후속사업의 발굴이 필요해졌다. 특히 우리나라의 나노분야 전체 논문 대비 피인용 상위 1% 논문 비중은 1.4%이다. 이는 나노기술 강소국인 싱가포르의 4.2%, 양적 순위 1위인 중국의 1.9%에 비해 낮게 나타나고 있어 양적 성과에 비해 질적 성과가 미흡한 실정이다. 특허의 경우도 인용도 지수 및 영향력 지수 순위 14위, 특허 시장력 순위 18위로 출원 수 순위 3위 대비 질적 성과가 매우 부족한 상태이다. 그러나 연구 성과의 기술사업화 연계를 확대하기 위해서는 논문과 특허의 질적 수준을 향상시키기 위한 노력이 반드시 필요하다.

한편, 우리나라는 GDP 중 제조업이 차지하는 비중이 28% 수준으로 OECD 평균인 17%를 크게 상회하고 있으나, 부가가치 증가율은 지속적으로 하락하여 제조업의 경쟁력이 저하되고 있다. 국내 주력산업이 후발 산업국과의 기술 초격차를 유지할 수 있도록 나노기술 기반의 혁신적 기술 돌파구 마련이 필요한 시점이다. 또한 제 4차 산업혁명의 도래에 따라 산업구조의 급격한 변화 또한 예상되는 상황이다. 이러한 환경에 선제적으로 대응하기 위해서는 초고속, 초대용량, 초저전력소모, 신기능 등을 갖춘 하드웨어의 경쟁력 확보가 관건이다. 나노기술은 이에 대한 솔루션을 제공할 수 있을 것으로 기대되고 있으며, 뿐만 아니라 지속가능한 에너지 생태계 조성 및 환경오염 저감/제거, 질병의 조기 진단·치료에 핵심적인 역할을 할 것으로 기대되고 있다. 건강하고 안전한 삶에 대한 사회적 관심의 증대에 부응하는 방향이다.

과학기술정보통신부에서는 여러 가지 사회·경제적 환경 변화에 한 발 앞서 대응하고자 기존 나노·소재기술개발사업의 높은 연구생산성은 유지하되 낮은 기술사업화 성과를 극복할 수 있는 신규 연구개발사업의 필요성을 절감하였다. 이에 '나노·미래소재원천기술개발사업' 추진을 결정하였으며, 2018년 3월부터 나노기술연구협의회를 중심으로 50여 명의 나노·소재기술전문가가 참여하여

'나노·미래소재원천기술개발사업'을 기획했다. 그 결과 예비타당성조사를 거쳐 금년 8월에 사업시행이 최종 확정되었다.

주요 사업 내용

'나노·미래소재원천기술개발사업'은 '미래혁신 성장을 준비하는 나노·미래소재원천기술 개발'을 비전으로 하여 '글로벌 나노·미래소재원천기술 20건 이상 확보'를 목표로 삼고 있다. 사업 수립 초기, 글로벌 나노·미래소재원천기술은 'JCR 상위 5% 논문, 스마트 AA 등급 이상'의 특허로 구성된 기술 포트폴리오에 대해 과제 종료 3년 이내 기술이전이 완료된 기술'을 목표로 하였으나, 예비타당성조사 과정에서 너무 과도한 목표라는 지적을 받았다. 이에 '스마트 AA 등급 이상의 특허를 중심으로 JCR 상위 5% 논문 또는 과제 종료 3년 이내 1억 원 이상의 기술이전 성과가 있는 기술'로 재정의하게 되었다.

본 사업은 나노·소재 분야의 기초연구성과 기반 원천기술 확보를 통해 기초연구와 기술사업화를 연결하는 '허리' 역할을 목표로 한다. 이에 반드시 기술준비도(TRL) 3 이상의 기초연구성과가 확보된 기술을 중심으로 지원하며, 기술사업화 프로그램 연계를 위해 연구개발 종료 시 TRL 5 이상을 목표로 하고 있다. 또한 기술개발 및 산업 적용 속도가 빠른 나노·소재기술분야의 특성을 고려하여, 지속적으로 산출되는 기초연구성과와 급변하는 기술수요를 접목하는 형태를 띠고 있다. 사업 구성에 있어서는 국가적 어젠다에 대응하는 Middle-up 방식, 연구자 창의성과 산업계 기술수요를 매치한 Bottom-up 방식을 혼용하고 있다.



그림 1 사업의 비전 및 목표



또한 대상기술의 기술수준 및 산업경쟁력을 고려한 모델화 기법의 투자전략을 제시하였다. 예를 들어 기술수준과 산업 경쟁력이 모두 높은 기술은 산업기술 R&D 영역으로 판단하여 산업통상자원부에서 기술개발을 담당하고, 기술수준과 산업경쟁력이 모두 낮은 기술은 기초연구가 더 필요한 영역으로 판단하여 과학기술정보통신부 개인기초연구 프로그램에서 담당하는 것이다. 그리고 기술수준은 높지만 산업적으로 미성숙한 기술과 기술수준은 낮지만 배후산업의 산업경쟁력이 높은 기술을 본 사업의 지원 대상 영역으로 설정하였다. 나노·미래소재원천기술사업의 과제별 유형은 다음과 같다.

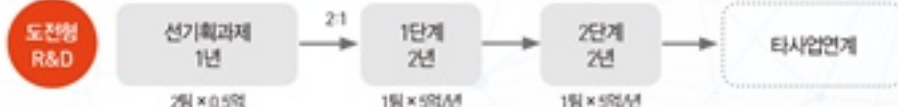
우선 '선도형 과제'를 통해 기술수준은 높지만 산업적으로 미성숙한 기술에 대해 연구자들이 명확한 타깃을 설정하고 해결방안을 제시하도록 했다. 기술수준은 낮지만 배후산업의 산업경쟁력이 높은 기술은 창의성 경쟁을 통해 단시간 내 기술수준을 제고할 수 있는 '경쟁형 과제'로 유형화 했다. 한편 기술수준이 낮고 산업경쟁력도 낮은 편이지만 기술 개발을 통해 현저한 기술적 돌파가 가능한 경우 경쟁형 내에 '도전형'의 개념으로 일정 예산을 배분하도록 하였으며, 산업경쟁력은 다소 미흡하나 기술수준이 어느 정도 확보되어 추가 연구를 통해 사업화 병목기술을 해소할 수 있는 경우 선도형 내에 '멤버십형'의 개념을 두어 기업이 연구개발에 참여하도록 하였다. 그러나 멤버십형은 예비 타당성조사 결과 본 사업보다는 산업통상자원부 사업으로 추진하는 것이 타당하다는 결론이 도출되어 본 사업에서는 최종적으로 제외되었다.

선도형 과제와 경쟁형 과제 모두 5년간 연 10억 원 내외의 연구개발예산이 지원된다는 점은 동일하지만, 경쟁형의 경우 1단계(2년)에서는 복수의 연구진에 각 5억 원/년 내외의 연구비가 지원되며, 2단계 통합연구를 수행한다는 점에서 차이가 있다. 특히 경쟁형 과제의 경우 단계 평가를 통해 경쟁 연구단 연구진과의 통합

연구를 허용할 뿐 아니라, 우수 연구자의 신규진입도 허용하도록 한 점이 기존의 연구개발지원체계와 크게 구분된다. 경쟁형 내 도전형 과제의 경우에는 연구주제 당 2개 팀이 1년간의 선기획(0.5억/팀)을 진행한 후, 한 팀을 최종 선정하여 4년 동안 연 5억 원 내외를 지원하고자 한다. 다음의 표에 사업유형별 특징을 정리하였다.



표 1 나노·미래소재원천기술사업 과제 유형별 특징

과제추진방식	특징
선도형	▶ 어젠다 중심의 수요조사를 기반으로 하여, 전문가 집단의 사전기획을 통해 연구 주제를 설정하고 공모 ▶ 복수의 세부과제로 구성하고, 단계평가 시 총괄-세부별 병행평가를 추진하여 세부과제 탈락 및 신규 팀 진입을 허용 
경쟁형	▶ 다수의 해결방안이 존재하는 경우, 복수 자원을 통한 최선책 탐색(복수의 연구방법에 대한 복수 연구자의 과제수행을 허용) ▶ 단계평가를 통해 최선의 방식을 선정하여 해당 과제수행자가 연구를 지속하되, 우수 연구자팀의 중간진입을 허용 
[도전형]	▶ 연구개발의 창의성과 수요기술의 변동성을 반영한 Bottom-up형 중규모 학제 간 집단과제지향하는 목적이나 응용분야가 분명한 기술 중 성공가능성이 매우 낮으나 그 파급효과가 클 것으로 예상되는 과제를 대상 ▶ 연구자가 자율적으로 주제를 제시하는 요역서 평가를 실시하여, 제안자의 부담을 완화 

본 사업의 기획단계에서는 제3기 국가나노기술지도(18.06) 및 미래소재 원천기술 확보전략(18.04) 등 기존 나노·소재 분야 정책기조와의 연계성을 고려한 '20대 우선추진 예시 기술테마'를 선정했다. 주요 환경변화를 대표하는 4대 메가트렌드로 新 IoT, 그린에너지, 건강 100세, 공공 및 안전을 설정했다. 이어 국가나노기술지도 내 70개 핵심나노기술과 미래소재 원천기술 확보전략 내 30대 미래소재기술의 내용과 부합하면서 4대 메가트렌드에 요구되는 코어기술 20개를 선정하였다. 또한 이 20대 우선추진 예시 기술테마에 따라 기술수요조사를 거친 451건의 기술제안을 분류한 후, 테마 하위별로 분류된 기술제안을 포함한 '67개 우선추진 예시연구주제'로 제시하였다.

본 사업은 지속적으로 산출되는 기초연구성과와 급변하는 기술수요를 접목할 수 있는 프로그램 형태의 사업을 지향하고 있기 때문에 기획단계에서 제시된 '우선추진 예시연구주제'는 사업 기획 단계에서 제안할 수 있는 '예시'의 의미 이상을 갖지는 않으며, 실제 지원 대상 연구주제는 매년 상세기획 과정을 거쳐 결정될 것이다.

표 2 20대 우선추진 예시 기술테마

연번	우선추진 예시 기술테마	신 IoT	그린에너지	건강100세	공공안전
1	IoT용 저전력 나노소자	●	①	◆	■
2	초고속통신 나노 소자 및 소재 기술	●	○	■	①
3	Exa 스케일 인지 연산소자용 나노소재	●	○	○	■
4	유연신축 나노 소재 및 소자	●	■	◆	①
5	고효율, 고색순도, 고해상도 발광 나노소재 및 소자	●	○	■	■
6	소형 독립구동 로봇용 나노소자 및 소재 기술	●	■	◆	◆
7	나노 소재·구조 기반 차세대 수광소자 기술	◆	●	◆	◆
8	고기능성 에너지 변환 저장 나노·소재 기술	◆	●	①	◆
9	발전 및 모빌리티용 연료전지 성능 향상을 위한 나노·소재 기술	①	●	○	◆
10	미소 에너지 하베스팅용 나노·소재 기술	◆	●	①	◆
11	청정 에너지원 생산 나노·소재 기술	■	●	○	◆
12	헬스케어용 나노센서	◆	○	●	◆
13	동시진단치료 나노소재 및 소자	■	■	●	◆
14	미용 및 생활가전 적용 기능성 나노소재	■	○	●	①
15	생활환경 감시 IoT 연동 나노센서	◆	①	●	◆
16	친환경 기능성 나노·소재 기술	○	◆	●	◆
17	방사선 차폐/흡수 나노·소재 기술	○	○	◆	●
18	지진재난 대비를 위한 나노·소재 기술	①	①	■	●
19	수질/대기환경 개선을 위한 나노·소재 기술	■	①	◆	●
20	나노·소재원천기술개발 전략연구 및 공통핵심 기술	◆	◆	◆	●

※ 관련도: ● 높음 ◆ 약간 높음 ① 보통 ■ 약간 낮음 ○ 낮음

본 사업의 총사업비 규모는 선행사업인 나노·소재기술개발사업의 성과분석을 바탕으로 설계되었다. 선행사업 분석 결과 예산 투입량에 비례하여 성과의 양은 증가하나 성과의 질적 수준은 일정규모 수준으로 포화되는 양상을 보이고 있다. 이에 따라 적정 예산 규모를 연 375억 원 규모로 설계하였는데, 선행사업인 나노·소재기술개발사업의 계속과제가 2024년까지 존속하고 있기 때문에 사업 초기에는 비교적 적은 예산이 배정되었지만 2024년부터 본격적인 예산 투입



이 이루어질 예정이다. 첫째인 2020년에 지원되는 과제들은 2024년 말에 종료되며, 그로부터 3년 이내에 건당 1억 원 이상의 기술이전이 이루어져야 글로벌 원천기술로 인정받는다. 이에 2027년 말경 본 사업의 유효성을 검증받을 수 있을 것이다. 따라서 2027년에 마지막 신규과제를 선정함과 동시에 본 사업의 유효성 검증을 바탕으로, 신규 후속사업 기획을 재설시할 예정이다. 이를 감안하여 본 사업의 사업기간은 2031년까지로 하였으며, 당초 사업기획 시에는 멤버십 형을 포함하여 총 4,496억 원의 정부출연 투자계획을 수립했으나 예비타당성조사 결과 멤버십형이 배제되면서 사업비는 총 4,004억 원으로 결정되었다.

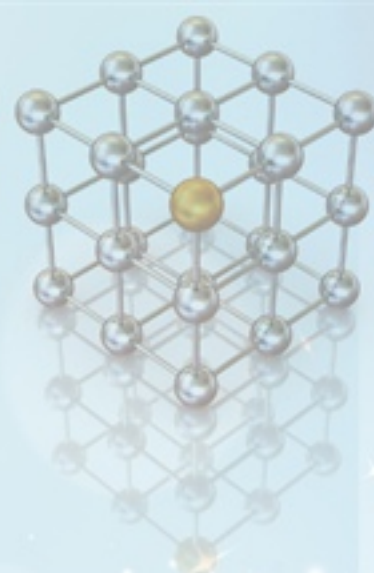
표 3 연도별/유형별 정부투자계획(안)

유형	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	합계
선도형	30	120	180	190	200	200	210	220	210	200	170	70	2,000
경쟁형	12	78	161	207	247	261	257	251	205	165	115	45	2,004
[도전형]	[2]	[18]	[51]	[57]	[67]	[71]	[57]	[61]	[55]	[45]	[15]	[5]	[504]
합계	42	198	341	397	447	461	467	471	415	365	285	115	4,004

결론 및 미래 과제

예비타당성조사를 받은 대부분의 사업들은 조사결과를 통해 인정된 정부의 투자계획 그대로 집행되는 경우가 거의 없었다. 예비타당성조사 결과는 해당 사업에 대한 정부 투자의 가치 인정에 가깝다. 따라서 실제 사업 예산을 확보하는 것은 또 다른 문제이다. 최근 일본과의 무역 분쟁으로 인해 소재분야에 대한 정부 투자가 급격히 증가하고 있으며 본 사업도 이에 대한 수혜가 예상되는 바, 사업 초기에는 충분한 예산 지원이 기대된다. 그러나 본 사업이 당초 기획 의도대로 '나노·소재 분야의 기초연구성과 기반 원천기술 확보를 통해 기초연구와 기술사업화를 연결하는 허리'로서의 역할을 제대로 해내지 못한다면 정부의 지속적인 지원을 이끌어내기 어려울 것이다. 생업인 연구활동을 잠시 뒤로 하고 1년이 넘도록 나노·소재분야 R&D의 새로운 이정표를 세우기 위해 고생한 수많은 나노전문가들의 헌신적인 노력이 헛되지 않도록, 나노소사이터티의 모든 연구자들이 다함께 힘을 모아 본 사업을 키워나가길 희망해본다. *Nano Insight*





NANO NEWS

01

나노코리아 2019 개최

국내의 나노기술인과 나노융합기업의 교류·협력의 장, '나노코리아 2019'가 7월 3일부터 3일간 경기도 컨텍스에서 역대 최대 규모로 개최됐다. 올해로 17회를 맞이한 '나노코리아'는 과학기술정보통신부와 산업통상자원부가 공동 주최하고, 나노기술연구협의회의와 나노융합산업연구조합이 주관한다.

나노코리아는 최신 나노분야 연구 성과와 다양한 첨단 응용제품을 선보이는 국제행사로 세계 3대 나노행사로 자리매김하고 있다. '나노코리아 2019'는 개최식을 시작으로 'LG전자 소재·생산기술원' 홍순국 사장과 미국 드렉셀 대학교 유리 고고치(Yury Gogotsi) 교수의 기조 강연, 최신 나노기술 연구 성과를 공유하는 국제심포지엄과 다양한 나노융합 첨단 제품을 선보이는 나노융합전시회 등 다양한 행사들이 진행되었다.

먼저 나노 관련 국내외의 주요 인사 200여명이 한자리에 모이는 개최식에는 공동주최 부처인 과학기술정보통신부의 문미옥 제1차관, 산업통상자원부의 황수성 산업정책국장, 신용현 의원 등이 참석하였으며, 박광온 의원과 홍일표 의원은 영상메시지를 통하여 '나노코리아 2019' 개최를 축하했다.

'나노코리아 2019' 개최식에서는 국내 나노기술 연구혁신과 나노융합 산업 발전에 기여한 연구자 및 기업인에 대한 포상도 진행되었다. 광신호전달 과정의 공간·시간적 대칭성을 극복한 나노광소자 설계 및 구현 기술을 개발한 송석호 한양대 교수와 '30nm이하 나노소자 측정'이 가능한 반도체 인라인용 3D 원자현미경을 출품한 [주]파라시스템스가 각각 연구혁신과 산업기술 분야의 국무총리상을 수상하고, 그 밖에

과학기술정보통신부 장관상(5점), 산업통상자원부 장관상(5점) 등도 수여되었다.

국제 심포지엄에서는 "미래를 여는 나노소재(Nanomaterials, the Building Block for the Future)"를 주제로 나노기술 전문가 151명의 초청 강연을 포함해 24개국에서 총 1,101편의 연구성과가 발표됐다. 생명과학, 에너지 저장 등 유망 분야 나노소재 기술의 현재와 미래를 조망하는 주제 강연과 함께 나노전자소자, 나노공정 및 측정 등 12개 주요 나노기술분야 전문 심포지엄도 운영되었다. '과학과 예술', '나노종이발전기 제작' 등 일반인과 청소년이 무료로 참여하는 퍼블릭 세션도 운영됐으며, 특히 과학교사들이 직접 실험에 참여하는 '과학교사 워크숍'도 진행되었다. 심포지엄 기간 중에는 차세대 나노기술인을 대상으로 나노기술 개발 및 응용을 위한 청신한 아이디어를 공모하는 '나노 영재선지2019'의 본선 진출작 시상 및 발표도 이루어졌다.

나노융합전시회는 삼성전자, LG전자, LG화학, LG디스플레이 등 국내 주요 기업과 미국, 중국, 일본 등 12개국 436개 기업(기관)이 총 650개 부스에서 나노기술은 물론, 레이저, 첨단세라믹, 스마트센서 등 6개 분야의 나노 기반 첨단융합기술과 응용제품을 전시했다. 나노기술 분야에서는 모바일, 사물인터넷(IoT)기기 등 전자제품의 고기능 및 경박단소화로 인해 산업계에서 수요가 높아지고 있는 '나노신소재, 전자파차폐/방열, 나노인쇄전자' 등 3대 분야의 관련 기술과 응용제품이 집중적으로 소개됐다.

한편 전시장 내 설치되는 오픈 강연장에서는 '5G사대를 위한 나노소재 솔루션'을 주제로 LG전자 등 7개 기업이 참여하여 5세대(5G) 무선

02

과학기술정보통신부, 2020년 소재·부품·장비 기초·원천 R&D 두 배로 확대

일본 수출규제 등 글로벌 소재전략무기화에 대응하여 중·장기적 관점의 소재·부품·장비 기초·원천 연구개발 예산이 대폭 확대된다. 정부는 일본의 반도체 핵심 소재 등 수출 규제 발표(19.7.4.) 이후, 관계부처 합동으로 「대외의존형 산업구조 탈피를 위한 소재·부품 경쟁력 강화 대책」과 「핵심 원천기술 자립역량 강화를 위한 소재·부품·장비 연구개발 종합대책」을 마련하여 연이어 발표한 바 있다.

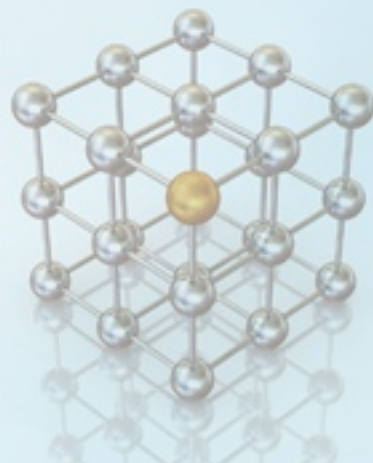
전략물품 등에 대해 단계적으로 공급 안정성을 확보하는 한편, 소재·부품·장비 산업 전반의 경쟁력 강화를 위해 수요·공급 기업의 건전한 협력 모델을 구축하고, 핵심기술의 자립역량 강화를 위한 연구개발 투자를 확대한다는 것이 주요 골자이다.

과학기술정보통신부는 이에 발맞추어 소재·부품·장비 기초·원천 R&D를 강화하기 위하여 ① 투자규모 대폭 확대, ② 투자 효율 제고를 위한 R&D 추진방식 혁신과 부처 간 칸막이 해소, ③ 개방·공유 협력의 R&D 인프라 확충 등을 본격 추진할 계획이다. 관련 계획은 다음과 같다.

▶ 소재·부품·장비 기초·원천 R&D 투자 2배 확대

우선 약 1,600억원 규모의 소재·부품·장비 기초·원천 R&D 사업이 내년에는 약 3,000억원 규모로 확대될 예정이다. '20년 소재·부품 등에 특화된 기초연구실 60여개를 지정, 반도체·디스플레이 등 주력 산업의 핵심소재 기술 자립을 위한 연구 자립 확대와 기초기술 확보를 지원이 추진된다. 핵심 원천기술 확보를 위해서는 '20~'32년 총 4,004억 규모의 나노·미래소재 원천기술 개발사업을 새로이 추진하여 기초연구 성과를 사업화로 연결하는 한편, 기존 25개 미래소재디스커버리 연구단 외에 해외 의존도가 높은 소재의 혁신적 대체소재 원천특허 확보를 위한 연구단을 신규로 3개 추가 선정할 계획이다.

아울러 [가칭]소재혁신 선도 프로젝트(20년 326억원)로 대학과 출연연 등이 보유한 원천기술과 기업 수요를 융합하는 소재혁신 플랫폼을 구축해 고질적인 문제점으로 지적되어 온 기초·원천연구와 개발·사업화 연구의 간극도 해소해 나갈 계획이다. 그동안 미래소재 중심으로 추진된 기초 원천 R&D 투자도 주력산업 분야의 기술자립이 시급한 소재, 선제적 위기 대응 소재 등으로 대상이 다양화된다.



이를 위해 산·학·연 전문가 의견수렴 등을 거쳐 국가적으로 기술력 확보가 시급한 100여개의 전략품목 개발 핵심기술, 근본적인 대체가 필요한 30여개의 필수 요소기술을 도출한 바 있으며, 투자의 시급성과 기술개발의 파급성 등을 고려하여 기술개발 착수를 지원해 나갈 예정이다. 또한 방사광 가속기 기반의 반도체 검사용 극자외선(EUV) 광원 및 검사장비 개발(20년 115억원)과 고도의 측정 및 분석을 위한 연구장비의 국산화 기술개발(20년 73억원)도 추진할 계획이다.

▶ 기초·원천 R&D 투자효율 제고를 위한 R&D 수행방식 혁신

한편 기초·원천 R&D 투자효율 제고를 위한 R&D 수행방식을 혁신한다. 산·학·연의 과도한 과제 수주 경쟁을 완화하고, 연구개발 주체 간 역할 분담과 연계성을 더욱 강화하기 위한 노력이다. 기존 공공연구기관(11개) 중심으로 운영되어온 소재 연구기관 협의회(19.3월-)를 확대 개편하여 [가칭]소재혁신 전략본부 출범(20년초 예정), 산·학·연 간 협업체질을 강화하고, 대학·출연기업의 역할분담과 협력의 다양한 성공모델 창출을 본격 지원한다. 대폭 확대된 기초·원천 R&D사업들이 최적의 사업추진 방식을 통해 수행되도록 관련 기술 수준과 산업 성숙도 등에 따라 차별화된 지원방식도 본격 적용된다. 기술수준에 비해 산업 성숙도가 미흡한 소재는 관련 기업과 연구단이 함께 명확한 기술목표를 설정해 '기술 선도형 연구개발' 수행을 추진하고, 관련 산업 경쟁력에 비해 기술수준이 낮은 소재 분야는 '경쟁형 연구개발' 방식을 통해 조기에 기술 수준의 향상을 도모할 계획이다. 기술수준과 산업경쟁력이 낮은 미개척 분야에 대해서는 연구자의 창의성이 극대화되도록 '도전형 연구개발' 방식을 도입할 계획이다. 과학기술정보통신부 내 기초연구와 원천기술 개발 간 연계는 물론, 과학기술정보통신부와 산업통상자원부의 소재 연구 '이어달리기'를 강화할 계획으로, 대학·출연원 원천기술 개발성과의 기업 주도 후속연구 지원(이어달리기), 상용화 과정에서 도출된 공백분야에 대해 원천기술 개발 수요 대응(역[逆] 이어달리기), 기초·원천 R&D와 응용·개발 R&D의 동시 추진(함께달리기) 등 다양한 협업 모델을 발굴, 지원해 나갈 예정이다.

▶ 개방·공유·협력의 연구개발 인프라 확충

소재·부품 연구개발 주체 간의 정보 개방과 공유를 활성화하고, 첨단 연구 인프라를 바탕으로 한 유기적 협업 연구개발 지원을 위해서는 올해부터 향후 5년간 약 1,700억원이 신규로 투자된다. 먼저 소재·부품 연구개발 과정에서 개별 연구자들이 축적한 다양한 연구데이터를 수집·공유·활용하는 소재연구 데이터 플랫폼을 구축(20~25, 450억원)하여 연구개발의 소요기간을 획기적으로 단축하고, 다양한 연구 성과의 연계와 융합도 촉진할 계획이다. 아울러 반도체 소재·부품 연구자와 중소기업 등이 실제 반도체 공정과 유사한 환경에서 연구결과와 시제품을 실증할 수 있도록 12" 반도체 공공 테스트 베드 구축(19~22, 450억원)을 지원하는 한편, 시스템 반도체 설계 중소기업(랩리스) 지원을 위한 MPW(Multi-Project-Wafer, 웨이퍼 1장에 여러 종류 칩을 제작하여 성능을 검증) 공정 지원체계 마련(19~22, 450억원)을 위해서도 투자가 대폭 강화된다. 과학기술정보통신부는 기존 소재 원천기술의 완성도 제고를 통한 조기성과 창출과 시급한 반도체 소재·부품 테스트베드 구축을 위해 올해 추경예산을 편성(241억원*, 8.2. 국회확정)하여 추진 중으로, 9월중 연구단 및 시설 장비 구축기관 선정을 마무리할 계획이다. 또한 소재·부품·장비 기초·원천 R&D 사업의 현장 이해도를 제고하기 위해 매주 "찾아가는 현장 설명회"를 개최하는 한편, 연구관리 전문기관의 소재·부품·장비 분야 연구관리 전문인력(PM)을 현재 PM 1명, RB 33명에서 PM 2명, RB 50명 등으로 대폭 확대하여, 내실 있는 사업관리 체계 보강도 병행 추진할 계획이다.

2019. 09. 19. 과학기술정보통신부

'강함' 뛰어넘는 '부드러움'의 비결

소프트 로봇 이끄는 나노 기술



로봇은 딱딱하다. 태권 브이, 옵티머스 프라임 등 잘 알려진 대부분의 로봇들은 특유의 고(高)강성을 바탕으로 악당을 물리치고, 위험에 처한 사람들을 구한다.

실제 우리 주변에서 쓰이는 로봇 역시 마찬가지다. 산업용 로봇, 우주를 탐구하는 탐사 로봇, 재난 현장에서 활동하는 구조용 로봇 등은 모두 딱딱한 재질을 가지고 있다. 철과 같은 금속이나 강화 플라스틱으로 프레임을 짜기 때문이다. 그런데 이러한 단단함이 때론 단점이 되기도 한다. 관절의 가동 범위 때문에 행동의 제약을 받기에, 변수가 많은 환경에 취약하다는 점이다. 부드럽거나 연약한 물체를 다루는 데도 한계가 있다. 때문에 '부드러움이 강함을 이긴다'는 말처럼 부드러움으로 기존 로봇의 한계점을 뛰어넘는 새로운 패러다임의 로봇이 최근 각광받고 있다.



김 청 한
과학칼럼니스트

동물 모사한 소프트 로봇, 기존 로봇 한계점 극복

소프트 로봇(Soft Robot)은 기존 로봇의 전체 혹은 일부를 유연하고 신축성 있는 구조로 대체한 신개념 로봇이다. 일반적으로 물고기, 곤충 등의 생물이 가진 구조나 움직임을 모방하여 제작하기 때문에 생체모방(Biomimetics) 로봇이라고도 불린다.

이들 로봇은 유연한 움직임이 가능하기에 비정형(Unstructured) 환경에서 안정적으로 작동할 수 있고, 부서지기 쉬운 물체를 다루는 데에도 좀 더 유용하다. 갑작스럽게 발생할 수 있는 사람과의 충돌 시에도 특유의 부드러움으로 안전을 보장해 준다. 때문에 구조 현장, 생태 탐사, 의료 등 다양한 분야에 서그 활용 가치가 갈수록 높아지고 있다.

물론 이러한 소프트 로봇을 구현하기는 쉽지 않다. 생체역학 및 모사기술, 소프트 소재 및 제작 공정을 개발해야 하고, 환경 변화에 대응 가능한 전자 기기를 설계해야 하는 등 수많은 기반 기술이 필요하기 때문이다.



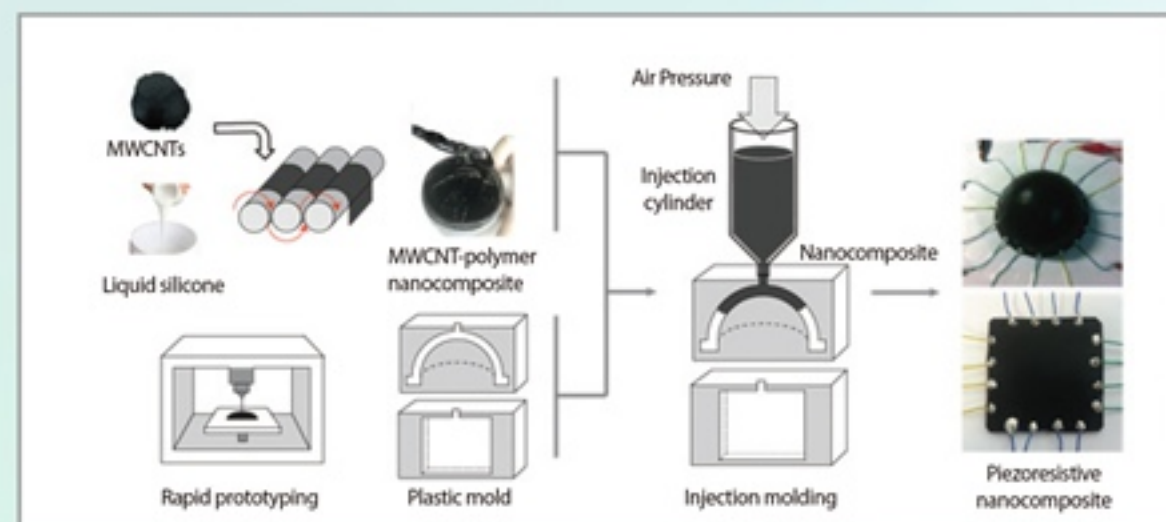
ROBOTS

그중 하나가 제이다. 소프트 로봇은 부드러운 움직임을 구현한다는 장점이 있지만, 반대 급부로 로봇의 관절처럼 특정 부위를 정밀하게 움직이는 것이 쉽지 않다는 단점을 가지고 있다.

이에 나노기술을 활용해 해당 문제를 해결하려는 연구가 한창이다. 최근 미국 노스캐롤라이나주립대(NCSU) 연구진들은 자성(磁性)을 갖춘 나노입자를 유체 고분자 소재에 일정하게 배치하는 기술을 개발했다.

연구진은 물질의 방향에 따라 자기적 성질이 달라지는 자기 이방성(Magnetic Anisotropy)이라는 현상에 주목했다. 이를 활용하여 자성 나노입자들이 서로 체인을 이루도록 만들고 반응성을 획기적으로 높였다. 반응성이 높기에 원격으로도 손쉽게 자장의 방향, 강도 등을 조절할 수 있다는 것이 연구진의 설명이다.

【그림 1】 실리콘과 탄소나노튜브(CNT)를 이용해 복합재를 만드는 과정. 망치로 내려치는 수준의 강한 충격도 견딜 수 있다. (출처: KAIST)

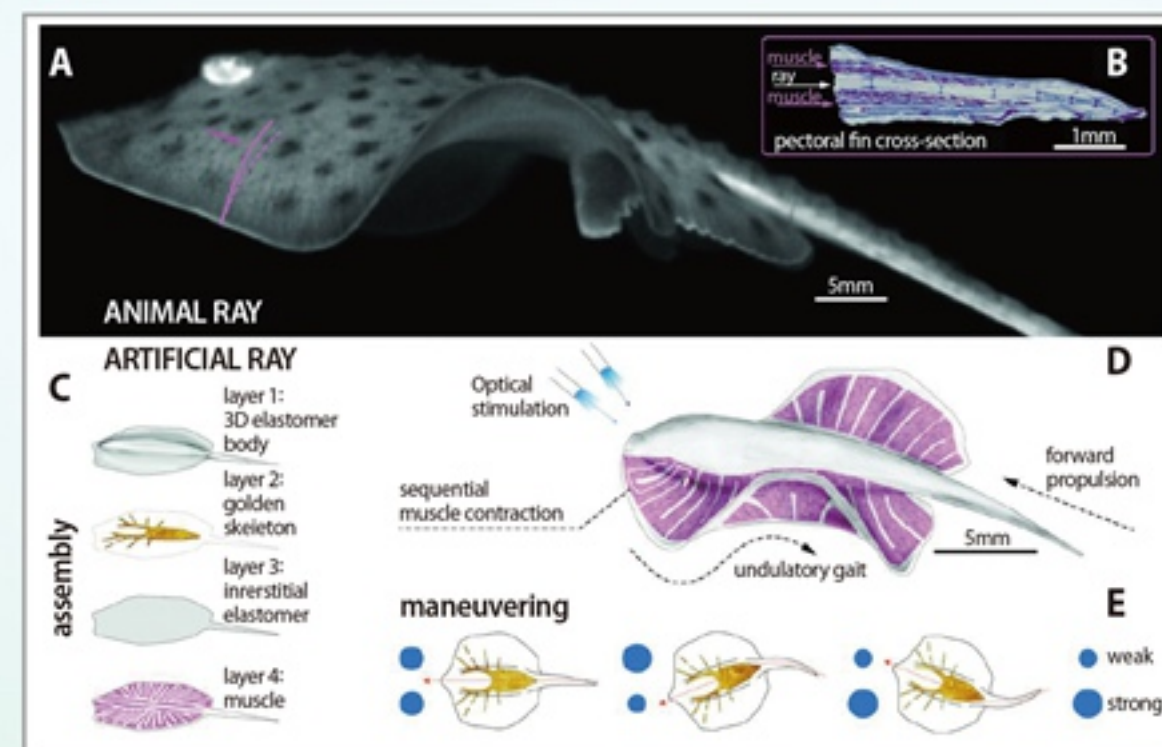


실제 생물과 같은 움직임과 감각 구현

소프트 로봇의 가장 큰 목표는 실제 생물과 같은 정교한 움직임을 재현하는 것이다. 때문에 많은 연구자들이 실제 생체조직과 기계장치를 결합한 바이오 하이브리드 로봇 개발에 나서고 있다. 그 대표적인 성과가 서강대-하버드대 공동 연구진이 개발한 가오리 바이오 로봇이다. 기존의 로봇은 움직이기 위한 동력을 주로 전기 에너지로 충당해 왔다. 하지만 공동 연구진이 개발한 이 로봇은 빛의 자극으로 움직이기에 동력 공급이라는 어려움을 손쉽게 해결할 수 있다. 어떻게 이런 일이 가능할까. 연구진은 마이크로·나노 기술을 활용해 제작한 초소형 구조체와 유전자 조작으로 만들어진 광반응 세포 조직을 결합해 실제 가오리와 유사한 움직임을 보이는 소프트 로봇을 만들었다. 해당 연구는 세계적인 학술지 사이언스(Science) 표지에 실리는 등 전 세계 연구자들의 주목을 받았다.



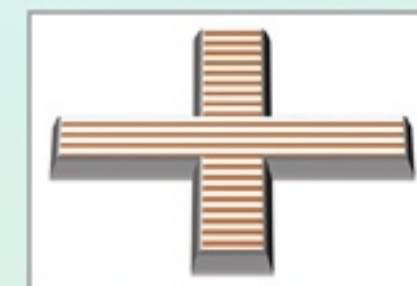
【그림 2】 서강대-하버드대 공동 연구팀이 개발한 가오리 바이오 로봇. 빛에 반응해 움직이며 실제 가오리와 유사한 움직임을 보여준다. (출처: 사이언스)



실제 생물의 피부처럼 외부의 자극을 감지하는 전자피부 역시 소프트 로봇 구현에 빼놓을 수 없는 기술이다. 여기에 효소·항체·DNA 등 다양한 생물 분자를 활용해 특정 분자를 감지하는 나노바이오 센서 기술을 결합한다면 그 활용성은 더욱 커진다. 특히 활용이 기대되는 분야는 의료이다. 혈당, 암 세포, 콜레스테롤 등과 같은 생체물질을 즉각적으로 인식할 수 있어 이를 활용한 연구가 한창이다. 식품에 포함된 잔류농약, 중금속 등 각종 유해물질들을 검출하거나 환경오염을 감지하는 데에도 유용하게 쓰일 수 있다.

이밖에도 은 나노와이어 네트워크를 활용해 자유롭게 움직이면서도 색 변화까지 가능한 소프트 액추에이터(구동장치), 실리콘-탄소나노튜브(CNT) 복합재를 바탕으로 제작된 충격 흡수 로봇 피부 등 다양한 나노기술들이 소프트 로봇에 활용되고 있다. 나노기술을 통해 자유로운 움직임을 얻은 소프트 로봇의 또 다른 활약을 기대해본다. **Nano Insight**

【그림 3】 자기 이방성을 이용해 구축한 자성 나노입자 체인의 모습 (출처: Sumeet Mishra)



나노융합기술원 설립 15년, 나노융합기술의 거점이 되다!



강민재
포스텍 나노융합기술원
미래전력소자물캣센터
센터장

나노융합기술원은 정부의 선도적인 투자로 자리 잡은 기관으로 올해로 설립 15주년을 맞이하였다. 그동안 국내 굴지의 대기업부터 아주 작은 벤처기업까지, 새로운 기술을 개발하고 사업화에 성공할 수 있도록 최선을 다해 지원해왔으며, 이제 나노융합기술원은 본연의 목표와 더불어 '2030년 세계 TOP 10 나노기술연구, 산업화의 거점'이라는 새로운 목표를 향해 나아가고자 한다.

정부의 선도적인 투자로 설립

포스텍 나노융합기술원은 우리나라 나노기술 발전과 기업의 혁신성장을 위해 수립된 '나노기술촉진법'과 '나노기술중합발전계획'에 따라 2004년 '나노기술집적센터 구축사업'으로 설립되었다. 산·학·연·관 컨소시엄으로 첨단장비와 시설을 마련하고 나노소재·재료의 응용분야 연구, 연구결과의 사업화, 첨단장비 활용지원, 전문 인력의 양성 등을 추진하고 있으며, 정부의 선도적인 투자로 자리 잡은 기관으로 올해 설립 15주년을 맞이하였다.

소재·부품기술 중심의 인프라로 성장

2004년 설립을 시작으로, 나노융합기술원은 나노인프라로서의 역할을 충실히 수행하기 위해 전체 공정라인과 분석 장비를 중심으로 장비를 구축했다. 동시에, 새로운 기술에 대응하기 위한 유니크(Unique) 기술을 확보하고자 노력했다. 반도체·OLED-측정분석 등의 첨단장비를 포스텍 캠퍼스 내 클린룸에 설치하는 등 첨단 고가의 장비를 연구자들이 쉽게 활용할 수 있도록 해 연구개발 및 기술사업화 등을 추진하는 데 편리한 환경을 제공해왔다.



최근 일본과의 첨단기술 분야 소재/부품 관련 이슈가 대두되면서 나노인프라 등의 연구지원기관에 대한 역할과 활용이 재검토되고 있다. 연구자와 기업의 연구기반으로써 보다 효과적으로 활동을 추진해나가기 위한 역량 강화가 필요한 시점이다. 이에 나노융합기술원은 자체적으로 중소기업의 기술사업화, 인프라 시설 확장, SiC 전력반도체 등 새로운 플래그십 테크놀로지 발굴을 위해 노력하고 있다. 부족한 장비의 수증 추진, 미래 전문인력 양성 추진 등 다방면의 개선 활동도 함께 추진 중이며, 그 세부 내용은 다음과 같다.

우선 신기술을 개발하기 위해 2017년부터 과학기술정보통신부 해외우수기관유치사업으로 독일의 프라운호퍼 IISB 연구소와 한·독 SiC 전력반도체 국제공동연구 프로젝트를 수행하고 있다. R&D센터인 '미래전력소자물캣센터'를 설립하여 전력반도체 기술 분야 정부 R&D에 참여하고 있으며, 일괄공정 기술 확보를 위한 기술거점으로 활용하고 있다. 또한 글로벌 기술선도 및 중소기업 기술개발 지원을 목표로 현재 SiC MOSFET 실용화 R&D를 수행하고 있으며, 4~6" SiC 웨이퍼 레벨 일괄공정 개발을 지원하고 있다.

나노인프라 활용 기업 지원사업

나노융합기술원에는 현재 12개 기업이 입주해 있다. 기술원은 입주 기업과 기술개발 및 사업화 촉진을 위한 협력을 적극 추진 중이다. 공동R&D 진행뿐만 아니라 나노융합산업 핵심기술 개발 지원 및 제품 양산 테스트로 사업화를 촉진 중이다.

인프라 활용을 희망하는 기업을 지원하기 위해 중소기업 바우처, 일괄제조공정 지원사업 등의 지원 프로그램을 운영하여 기업의 부담을 최소화하고 있으며, 기술사업화 지원 프로그램으로 국가 나노인프라의 설립 목적인 '지역 나노융합산업 육성 및 발전'을 도모하고 있다.

더불어 나노융합기술원은 최근 새로운 도약을 위해 지자체 지원으로 '첨단기술사업화센터' 구축을 진행하고 있다. 나노융합기술원의 인프라를 활용하고자 희망하는 기업은 증가하고 있으나 인프라의 양적 확대는 한계에 도달한 상태를 개선하고자 하는 노력이다. 또한 경상북도와 포항시의 적극적인 지원으로 기업의 나노분야 테스트베드 역할을 할 신규 FAB과 기업 입주공간 확보를 목표로 하고 있다. '첨단기술사업화센터'는 융·복합 R&BD 클러스터를 구축하고, 기업지원에 필요한 H/W, 펌 시설에 기반한 입주공간 등을 제공하고자 한다. 첨단기술 상용화와 기술사업화를 효



과적으로 추진할 수 있는 현장을 마련하여, 첨단 제조 활동을 지원하는 데 그 목적이 있다. 해당 센터는 2019년 9월말에 착공하여 2020년 말 완공을 목표로 하고 있으며, 첨단 분야 기업 약 30개 업체의 입주를 바라보고 있다. 본 센터를 통해 기술사업화를 위한 환경을 앞선 지원이 가능할 것으로 기대된다.

미래의 나노융합 인재양성

나노융합기술원은 나노인프라를 교육의 장으로도 활용하고 있다. 즉 나노기술의 미래를 위하여 4차 산업혁명을 이끌 새로운 나노 전문 인력양성사업을 진행 중이다. 특성화고 고교생부터 대학원, 재직자, 일반인 등을 대상으로 다양한 교육 커리큘럼을 제공하여, 교육생들이 관련 연구를 수행하고 기업 활동을 원활히

해나갈 수 있도록 지원한다. 또한, 4차 산업혁명 역의 핵심인 창의융합 메이커 인재육성을 목표로 메이커 스페이스 사업의 하나인 '포스텍 메이커 캠퍼스'를 운영하고 있다. 나노융합기술원 내 우수한 인프라를 활용하여 과학문화 성과를 확산하고 창의 인재를 양성함으로써, 이 인재들이 지역 내 첨단기업에서 활약할 수 있도록 돕는다. 이러한 활동이 지역사회와 경제발전의 신 성장 동력으로 자리 잡기를 기대하고 있다.

새로운 도약, 미래의 비전과 목표

나노융합기술원은 국가 나노인프라의 역할을 15년째 수행하고 있다. 그동안 국내 굴지의 대기업부터 아주 작은 벤처기업



까지, 새로운 먹거리 기술을 개발하고 사업화에 성공할 수 있도록 최선을 다해 지원해왔다. 이제 나노융합기술원은 본연의 목표와 더불어 '2030년 세계 TOP 10 나노기술연구, 산업화의 거점'이라는 새로운 목표를 향해 나아가고자 한다. 이를 통해 국내 나노기술의 발전을 위한 노력을 지속적으로 추진하고자 한다.

치열해지는 기술경쟁과 국가 간 분쟁으로 인해 우리나라 소재·장비 국산화가 가장 큰 이슈로 부각되는 가운데, 새로운 기술력의 확보는 필수적이다. 현재 중소기업이나 벤처기업에서는

자체기술 개발 혹은 개발된 기술의 테스트를 가장 많이 요구하고 있는 실정이다. 이에 나노융합기술원을 포함한 많은 인프라의 고민은 테스트베드의 고도화 문제에 직면해있다. 나노융합기술원은 지난 15년간 그 임무를 잘 수행해 왔지만, 장비의 노후화 최신 기술 대응 신규장비 도입·막대한 운영비·첨단장비 유지보수비 등의 다소 복잡한 문제를 안고 있다.

작은 바람으로는 첨단 인프라의 고도화를 통한 새로운 임무가 주어지기를 기대하면서, 산·학·연 R&D지원, 첨단기술 사업화 지원으로 소재·장비의 국산화를 보다 적극적으로 추진하고자 한다. 또한 과학기술인력 양성, 국내외 우수 연구기관과의 인적·물적 교류를 통한 부가가치 창출을 통해 대학과 사회에 이바지하는 연구거점이자 지원기관으로서 역할을 잘 수행할 수 있도록 노력할 계획이다.

모든 구성원과 함께 설립 15주년을 맞이하면서, 나노융합기술원은 나노기술사업화의 글로벌 리더로서, 세계 TOP 10의 나노인프라로 성장을 향하여 노력할 것을 약속해 본다. *Nano Insight*

VISION 세계 TOP 수준의 나노 인프라 / 연구거점

나노융합기술 연구지원

나노융합기술 연구 개발 지원
차세대 나노 선행기술 개발
나노플랫폼 기술 개발

나노전문기술 인력양성 교육

나노융합분야 교육 실시
나노 전문가 과정 개설
산업체 전문인력 나노기술 교육

나노융합산업 기업지원

나노기술 비즈니스 모델 개발
나노융합R&D 추진
나노기술 마케팅 시스템 출현

나노융합기술 토달솔루션 개발

나노 선행공정 개발 및 확보
나노기술 글로벌 협력사업 추진
기술개발 / 연구지원 토달서비스 구축

One-Stop
Service &
Support



Fab 1

- 면적 : 21,289m² (지상 6층)
- 시설 : 클린룸, R&D동, 사업화지원시설
- 클린룸 : 2,372m² (class 1~1000)
- POSTECH-Fraunhofer IISB 연구소

Fab 2 (2020년 완공예정)

- 면적 : 7,435m² (지하 1층~지상 4층)
- 시설 : 클린룸, R&D동, 사업화지원시설
- 클린룸 : 1,518m² (class 10~1000)

October

November

December

NANO CALENDAR

- 1 10. 3 ~ 4  Khazar University
Nanotech Eurasia 2019
- 2 10. 7 ~ 10  America Society for Testing and Materials(ASM)
4th ASTM Symposium on Structural Integrity of Additive Manufactured Materials and Parts
- 3 10. 9 ~ 10  Xmark Media Ltd
Graphene Expo 2019
- 4 10. 10 ~ 13  Iran Nanotechnology Initiative Council(INIC)
The 12th International Nanotechnology Festival and Exhibition (IRAN NANO 2019)
- 5 10. 14 ~ 16  ZEIZZ
9th International Conference on Nanotechnology and Materials Science (Nanotek-2019)
- 6 10. 23 ~ 25  Chinese Society of Micro-Nanotechnology (CSMNT)
CHInano 2019 Conference & Expo
- 7 10. 23 ~ 25  SECTOR
NanoMedicine International Conference and Exhibition 2019

October

November

December

NANO CALENDAR

- 8 10. 27 ~ 30  IEEE NANO
14th IEEE Nanotechnology Materials and Devices Conference(IEEE NMDC 2019)
- 9 10. 31 ~ 11. 4  International Association of Advanced Materials(IAAM)
Asian Advanced Materials congress
- 10 11. 14  The International Institute for Nanotechnology (IIN)
2019 IIN Symposium
- 11 11. 20 ~ 21  IDTechEx
Graphene & 2D Materials USA 2019
- 12 12. 8 ~ 13  International Association of Advanced Materials(IAAM)
American Advanced Materials Congress
- 13 12. 10 ~ 13  STEMM Ltd
Smart Nanomaterials 2019: Advances, Innovation and Applications
- 14 12. 18 ~ 20  Delhi Technological University
International Conference on Atomic, Molecular, Optical & Nano Physics with Applications(CAMNP 2019)

Nano InSight