

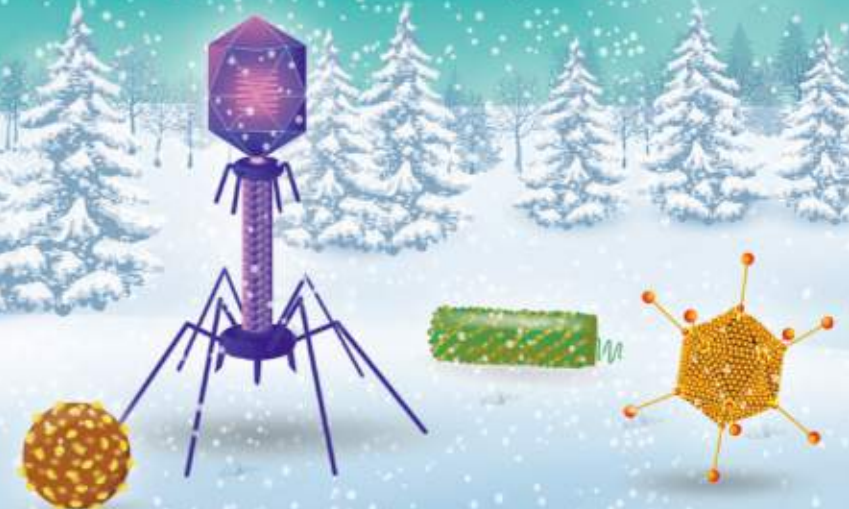


# Nano InSight

2015 WINTER VOL. 10

**특집**

식품안전을 위한 나노바이오센서  
IoT 적용 환경 나노센서 연구동향과 향후 전망



# New Paradigm Nano Technology

창조적 사고와 끊임없는 도전으로  
대한민국 나노기술의 위상을 높이겠습니다.



NATIONAL NANOTECHNOLOGY POLICY CENTER  
[www.nnpc.re.kr](http://www.nnpc.re.kr)



# CONTENTS

2015\_Winter\_vol.10



## Nano Message



## Nano Story



## Nano Future

### 인터뷰 \_ 04

나노기술 산업화의 지름길 '공백기술을 채워라!'

: 김선재 (한국연구재단 나노-소재단 단장 / 세종대학교 나노신소재공학과 교수)

### 칼럼 \_ 06

패션구현 기능형 나노 섬유

: 김주용 (숭실대 유기신소재-파이버공학과 교수)

### 이슈 앤 이슈 \_ 10

대한민국 나노기술 연구개발정책의 역사와 성과

: 최영진 (세종대 나노신소재공학과 교수)

### 특 집 \_ 14

식품안전을 위한 나노바이오센서

: 맹진수 (한국식품연구원 바이오공정연구단장)

IoT 적용 환경 나노센서 연구동향과 향후 전망

: 유 란 (연세대학교 신소재공학과 박사 과정생)

: 이유영 (연세대학교 신소재공학과 교수)

### 뉴스 \_ 25

### 에세이 \_ 28

나노카본, 최고의 활을 만들기 위한 첫 단추

: 박경래 (원앤원(주) 대표)

### 나노기관 소개 \_ 30

파동에너지 극한제어연구단

### 캘린더 \_ 33

06



10



14



### Cover Story

식품안전을 위한 나노바이오센서  
IoT 적용 환경 나노센서 연구동향과 향후 전망



발행일 2015년 12월 28일(통권 제10호) | 발행인 김재신

편집위원 강상규, 김학수, 김훈기, 박종구, 이조원, 장연진(가나다 순)

발행처 국가나노기술정책센터

주소 02456 서울특별시 동대문구 회기로 66 한국과학기술정보연구원 내

Tel 02-3299-6256 | Homepage www.nnpc.re.kr | E-mail npnc@kisti.re.kr

디자인 제작 슬림디앤씨 Tel. 02-2271-2581



# 나노기술 산업화의 지름길 '공백기술을 채우라!'

백 개의 조각으로 이뤄진 직소퍼즐에서 99개의 조각을 맞추는 것은 별 의미가 없다. 마지막 한 조각까지 완벽하게 맞춰야만 완성작으로 인정받는다. 나노기술도 마찬가지다. 나노생태계의 어느 한 부분에라도 공백이 존재하면 산업화에 브레이크가 걸리고, 국가발전의 성장동력 역할도 하기 어려워진다. 한국연구재단 나노·소재단 김선재 단장(세종대학교 나노신소재공학과 교수)은 바로 이 공백기술을 찾아 탄탄하게 키움으로써 나노생태계가 완성될 수 있도록 노력하고 있다.



김선재  
한국연구재단 나노·소재단 단장 (세종대학교 나노신소재공학과 교수)

## Q1. 한국연구재단 나노·소재단장을 맡아 가장 집중하고 있는 부분은 무엇인가요?

나노·소재단은 나노기술과 소재 분야 국책연구사업을 기획하고 관리·지원하는 조직입니다. 지난 2014년 단장을 맡은 이후로, 저는 관리·지원 보다 '산업화 기획' 쪽에 더 무게중심을 두고 있습니다. 그중에서도 특히 나노생태계 전체에서 공백으로 남아있는 곳, 즉 공백기술(미개발 기술)을 찾아내 집중 지원하는 기획에 주력하고 있습니다.

대표적인 나노소재인 그래핀(graphene)을 예로 들어보겠습니다. 그래핀의 기술력은 우리나라가 세계 1위, 2위를 다투지만, 산업화에는 좀체 성공하지 못하고 있습니다.

도대체 이유가 무엇인지 찾아봤더니, 원소재 양산기술의 부족이 가

장 큰 문제였습니다. 원소재-중간재-응용제품으로 이어지는 나노 산업 가치사슬에서 가장 중요한 원소재 부분에 큰 구멍이 나 있었던 것이죠. 양산을 못하니 해외에서 원소재를 사와야만 하고, 결국 가격경쟁력이 떨어져 산업화에 실패할 수밖에 없었던 겁니다. 나노·소재단은 이러한 공백기술을 찾아낸 뒤, 그 부분을 집중 지원해 공백을 채우고 궁극적으로는 나노생태계가 건강하게 자생할 수 있는 기반을 다지는 것에 초점을 맞추고 있습니다.

우리나라의 나노기술 수준은 이미 세계 4위권입니다. 군데군데 조금씩 나 있는 공백만 잘 채운다면 얼마든지 세계 2위권의 나노강국으로 우뚝 설 수 있을 것입니다. 이를 위해 저희는 나노·소재 관련 7개의 주요 공백기술을 찾아내 육성하는 사업과 세상에 없는 신소재 개발을 목표로 하는 '창의소재 디스커버리 사업' 등을 추진하고 있습니다.





**Q2. 사업화 마인드가 매우 확고하신 것 같습니다. 이유는 무엇입니까?**

석·박사과정을 밟을 때부터 시작해 한국원자력연구원과 세종대학교 교수를 거치면서 지금껏 금속공학·태양전자·연료전자·이차전지 등 에너지 발생·저장장치 관련 연구를 주로 해왔습니다. 세종대학교에서는 연구처장과 산학협력단장을 동시에 맡기도 했구요. 연구 분야가 국가경제와 직접적으로 연관되는 '에너지'인 데다, 산학협력에까지 관여하다 보니 자연스럽게 '기술 사업화'에 깊은 관심을 갖게 됐습니다.

원래부터 사업화에 대한 의지가 강하기도 했지만, 창조경제가 국가의 핵심 정책기조로 떠오르면서 저의 의지가 잘 발휘된 부분도 있는 것 같습니다. 연구자 입장에서 바라보면, 창조경제란 'R&D의 결과를 꽃피우는 것'을 의미합니다. 기술이전과 사업화 등을 통해 R&D 결과를 꽃피워 국가발전에 실질적인 기여를 하는 열매로 만드는 것이죠. 창조경제 기조 덕분에 나노·소재단장으로서 제가 하고 싶었던 일들이 훨씬 수월하게 추진되고 있다고 생각합니다.

**Q3. '제4기 나노기술종합발전계획' 수립과정에 자문위원으로 참여하고 계십니다. 앞으로 제4기 계획은 어떻게 추진 될 것으로 보십니까?**

나노기술종합발전계획은 나노기술개발촉진법을 근거로 한 국가나노기술 육성·발전 계획안입니다. 지난 2001년부터 5년 단위로 추진되고 있는데요. 제1기부터 제3기까지의 나노기술종합발전계획이 기초·원천 기술개발과 전문인력 양성 중심으로 추진됐다면, 제4기(2016~2025)는 사업화 촉진과 나노생태계 활성화에 초점에 맞춰져 있다고 보시면 될 것 같습니다. 구체적으로, 나노기술 연구성과를 산업계의 수요와 연결해 조기 상용화함으로써 산업화에 가속도를 붙이고, 이 과정에서 기업의 부담을 줄여 성과를 극대화하는 방침입니다.

이번 제4기 계획에는 나노기술 수준이 무르익어 이제 산업화를 통한 실질적인 부가가치 창출 단계로 도약할 때가 됐다는 정부의 결단이 깔려있습니다. 이를 통해, 2020년에는 세계 2대 나노기술 강국에 입성한다는 목표도 세웠습니다.

**Q4. 국가 나노기술 발전을 위한 발전적인 제언을 부탁드립니다.**

행사나 모임에서 인사말을 할 때 "살아있는 R&D를 하자. 그렇게 해서 10년 뒤의 기술 패러다임을 바꾸고, 신시장을 창출하자."는 얘기를 자주 합니다. 연구를 위한 연구가 아니라 국가 과학기술과 경제발전에 실질적인 도움이 되는, 또 국가 미래를 바꿀 수 있는 혁신적인 연구를 하자는 뜻입니다. 나노기술은 가능성이 무궁무진합니다. 10년 뒤에 국가의 미래를 충분히 바꿀 수 있어요. 그렇기 때문에 지금부터라도 10년 뒤의 신시장을 내다보고 연구에 임해야 한다고 생각합니다. 또 미들 업다운(Middle up-down) 방식의 정책 결정이 필요하다고 봅니다. 그동안 대부분의 국책연구사업은 정부차원에서 정책방향을 정해 연구현장에 내려 보내는 탑다운(Top-down) 방식이었습니다. 그러다 보니 연구현장을 정확히 이해하지 못하거나, R&D 패러다임 변화를 제때에 반영하지 못하는 경우가 적지 않았습니다. 그렇다고 연구현장의 의견을 중심으로 하는 보텀업(Bottom-Up) 방식으로만 R&D를 추진하면, 특정 분야에 연구자가 몰리는 등 국가 전체의 R&D 균형이 틀어질 가능성이 큼니다. 이런 문제를 해결하는 것이 미들 업다운 방식입니다. 현장 연구자의 의견과 빅데이터 분석 등을 통해 연구테마를 추진 뒤 정책결정자에게 보텀업 하면, 정부차원에서 이것을 국책연구과제로 만들어 다시 탑다운 형태로 연구현장에 뿌리는 방식이지요. 나노 분야 연구는 매우 빠르게 진보하는 데다, 기존에 없던 창조적인 테마가 대부분입니다. 그런 만큼 정책결정·수행 방법도 새로워야 한다고 생각합니다. *Nano Insight*

# 패션구현 기능형 나노 섬유



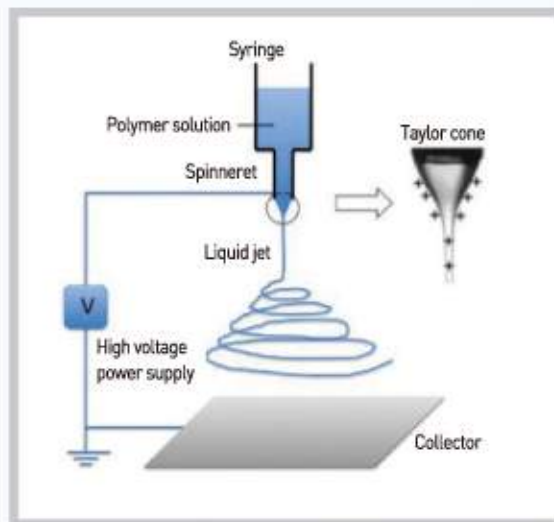
김주용  
승실대 유기신소재  
파이버 공학과 교수

## 배경

**나노섬유** 제조 공정중 대표적인 것은 전기방사(electro-spinning)이다. 용액상의 도프(dope)를 제조한 후, 방사와 동시에 전압을 인가하여 쪼개짐(splitting)과 인장(elongation)에 의하여 세섬화된 얇은 부직포(non-woven)를 제조하는 공정이다. 이때 제조된 부직포는 적층된 섬유 간의 접착력이 미흡하여 마찰 박리 현상이 일어나고 섬유 교차점에서의 결합력이 작아 잘 늘어지지 않으며, 노즐의 불균일 분사에 의한 핀홀 결점이 빈번히 발생하여 상업화에 걸림돌이 되고 있다. 이러한 이유로 나노섬유는 공기 정화 필터용 여재 등 일

부 분야에서만 제품화가 이루어져왔다. 또한 의류패션 제품용 제품에 필수적인 라미네이팅-접착, 변부 재단, 스프레딩 등 복합 패브릭 공정상의 난이도가 매우 높아 공정 기술 확보가 어려운 상황이 지속되고 있어, 전 세계적으로 소수의 회사만이 투습방수용 복합 섬유 제조에 성공하여 지속적으로 품질 향상에 주력하고 있다.

한편 광섬유나 전도성 나노 소재 기술에 기반한 ICT융합 패션제품 개념은 1990년대 후반에서 2000년대 초반 등장하기 시작하여 지능형 의류, 웨어러블 테크놀로지, 차세대 의류 등으로 일컬어지다 2015년 현재는 스마트 섬유 패션으로 통칭되고 있다. 초기 등장한 스마트 의류들은 생체정보감응 의류, 발광 의류, 에너지 하베스팅 의류, 체온조절 의류 등으로 분류되어 학계와 산업계의 조명을 받아 왔으나, 10여년이 흐른 현재에도 상용화에 성공한 스마트 패션제품들은 매우 적은 상황이다.



An electro-spinning system



나노소재기술 기반 스마트 의류제품의 연구개발 및 상용화 사례



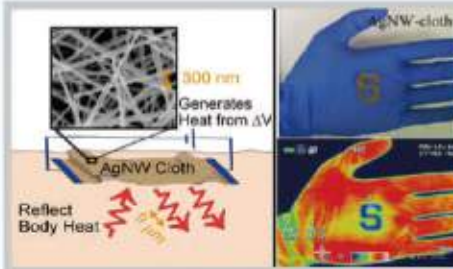
A. [생체정보감응 의류] OM signal 심박수 모니터링 셔츠  
<https://www.omsignal.com/>



B. [LED 발광 의류] 야간 사이클링 안전을 위해 빛을 내는 사이클 재킷 <http://www.goose.london/projects/illum/>




C. [에너지 하베스팅 의류] 미 육군복 에너지 수확 의류 실험: Bionic Power's Knee Harvester and MC-10's photovoltaic, Solar Panel Harvester during an energy harvesting technology



D. [체온조절 의류] Nanowire 코팅된 clothing의 보온 효과 [Nano Letter 2015, 15(1), 365-371]

## 분류

나노섬유는 용도 및 특성에 따라 IT, 에너지, 라이프(생활제품)용의 소재 및 제품으로 나뉜다. 단 시간 내에 패션제품 아이템으로 응용가능하며, 필수적으로 개발되어야 하는 소재 및 제품으로써, 파급 효과가 매우 큰 분야이다.

분류	기술	소재	제품
IT 패브릭	전극섬유 (전도체) 유전섬유 (절연체) 센서섬유 (감응체) 압전섬유 (압전체)	• 표면 저항( $\Omega/\square$ )이 매우 낮은 섬유 (각종 신호전달선, 캐패시터, 인덕터 등 섬유 소재/소재)	터치패브릭 패션 제품 핸드폰 터치 스크린과 같이 터치를 인식하는 패브릭 소재 및 패션 응용제품 
		• 저 유전상수 및 고 유전상수 섬유(PCB, 동축케이블 등 저손실 신호전달용 섬유 소재/소재)	
		• 압력, 터치, 열, 수분, 광, 전파, 움직임 등에 감응하는 섬유 (psi) [소프트스위치, 소프트 센서, 패브릭 안테나 등 섬유 소재/소재]	
		• 압력에 반응하여 전류를 발생하는 섬유 ( $\text{mA}/\text{kgf}\cdot\text{cm}^2$ ) [무전원 압력 센싱이 가능한 섬유 소재/소재]	



분류	기술	소재	제품
에너지 패브릭 (Energy-Nano)	발열섬유 냉각섬유 보온섬유 동적동기섬유 에너지변환섬유 에너지저장섬유	·흡습 및 광 발열 복합 패브릭 (oC/min)	입전 및 전자기 유도 복합 에너지 에너지 변환효율 10%의 복합 에너지 하베스팅 패브릭 소재 및 패션
		·2.5 D 방열 구조 하이브리드 패브릭 (oC/min)	
		·다공성 구조를 갖는 체열 반사형 공기 함유 복합 기능 패브릭 (do)	
		·신장률에 비례하여 급격하게 동기성이 증가하는 투습방수패브릭 (mm/cm-%)	
		·광전, 입전, 열전 등 에너지 변환에 의한 발전 섬유 복합 소재/소재 (%)	
		·슈퍼캐패시터형 에너지 저장 섬유 복합 소재/소재 ( $\mu$ F)	
라이프 패브릭 (Life-nano)	방오섬유 소취섬유 방균섬유 여과섬유 피부케어섬유	·액체/고체가 부착되기 힘든 섬유(접촉각)	나노두께 코팅 방오 발수 패션 제품 500 나노(0.5 $\mu$ m) 이하 코팅 두께의 방오-발수 패브릭 소재 및 패션 응용 제품 개발
		·냄새 제거 섬유 (소취등급)	
		·주요 균에 대한 항균, 멸균성 섬유 (주요균 제거율 %)	
		·오염 외기를 정화하는 섬유 (여과효율 %)	
		·인체활성물질 섬유(임상통계 c%)	

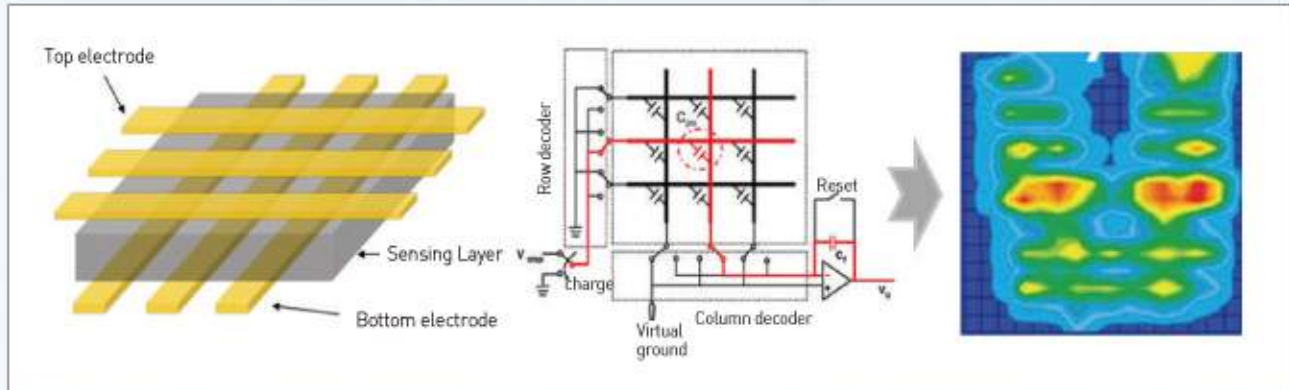


현재 가장 시장 규모가 큰 것은 아웃도어 스포츠레저용 패션의류제품군이다. 발열·발열·체온반사 및 광발열이 가능한 열 관리형(thermo management, TM) 나노섬유, 제습·가습·방습 및 습도 조절이 가능한 습도 관리형(moisture management, MM) 나노섬유, 체온·심전도·근전도·뇌파·의복압·스트레스 지수에 반응하는 생체정보감응(bio responsive, BR)형 나노섬유 등 세 가지 용도로 분류할 수 있다. 이를 자세히 살펴보면 다음과 같다.

첫째, TM형 나노섬유는 인체를 외부로부터 열·생리적으로 보호해주는 기본적인 기능을 구현하기 위한 소재이다. 다량의 공기층 구조, 인체 발한 시 수증기 성분과 결합하는 흡습 발열, 체열을 인체 내부로 반사시켜 온도를 유지하는 반사층 구조, 외부 광원을 흡수하여 발열하는 흡광 발열 등을 이용한 보온 나노 섬유이다.

둘째, MM형 나노섬유는 수분과 결합과 탈리(elimination)를 가역적으로 반복할 수 있는 나노섬유로서, 인체에 습기가 많은 경우에는 제습, 반대의 경우에는 가습 역할을 함으로써 인체를 쾌적한 상태로 유지할 수 있는 개념의 쾌적 나노섬유이다.





Nanofiber pressure sensor system

셋째, BR형 나노섬유는 현재 전 세계적인 메가트렌드인 웨어러블 디바이스와 웨어를 같이 하는 분야로 NT와 IT가 결합되어 큰 규모의 부가 가치를 창출할 수 있는 섬유이다. 인체로부터 얻을 수 있는 다양한 정보들을 활용하여 건강상태를 모니터링하거나, 근력·심폐지구력 등 체력을 측정하고, 보안을 위한 제스처 및 개인 인식이 가능하다. 인식미용과 보건용으로 응용할 수 있는 다기능 융복합 나노섬유이다.

특히 최근 신체에 부착하여 컴퓨팅이 가능한 웨어러블 디바이스는 포스트 스마트폰 시대에 들어 차세대 성장 동력으로 부상하였다. 인간·사물·기기 등 연결 대상과 범위가 기하급수적으로 확장되는 초연결 사회 도래로 사용자를 네트워크와 항상 연결시키는 웨어러블 디바이스에 대한 수요가 확대됨에 따라 착용 및 패션 구현을 위한 유연한 인체 적합성이 향상된 나노섬유 제조 기술 개발 역시 점점 중요해지고 있다.

## 맺음말

전기 방사에 의해 제조되는 나노섬유의 경우, 재료의 다양성과 폭넓은 응용 가능성에도 불구하고 산업화가 더디게 진행되는 상황이다. 균일 양산화와 생산성, 용매 회수 기술 등 사업화의 장

벽이 높고 수많은 변수가 존재하기 때문이다. 나노섬유의 이용도를 높이기 위해서는 나노섬유 단독 제품 생산의 한계, 물리·화학적 복합화 과정에서 발생하는 기존 소재와의 경쟁적 관계를 극복해야 할 필요가 있다.

현재 국가전략사업이며, 향후 새로운 수익창출 분야로 인식되는 웨어러블 전자소재 개발과 연계하여 전기적 성능의 제어가 가능한 유연한 나노섬유, 직물의 개발은 매우 중요한 사항이다. 터치, 압력, 3D 터치 등 인터페이스 특성을 부여한 나노 섬유 디바이스의 개발 역시 패션과 접목하여 산업적 수요를 창출할 수 있는 품목으로 주목받고 있다. 다만 이를 산업화 하기 위해서는 고방수성, 고통기성, 초경량성을 갖는 패적한 나노섬유 적층구조의 비직조형 3차원 구조를 갖는 나노패브릭의 실용화가 필요하다. 기존 소재와 융복합화를 통해 나노섬유가 가진 장점을 최대한 살려 기존 소재를 대체해야 하는 것이다.

궁극적으로는 신규 시장을 창출하기 위하여 나노섬유의 종류와 물성의 다변화, 고객이 요구하는 빛 제어, 발열, 향균, 소취, 감지 등의 다기능을 부여하고, 기존 원단과의 라미네이팅 기술 및 디자인, 봉제 등 전후방 관련 산업 간의 긴밀한 협업이 요구된다. 이를 통하여 현재 답보 상태에 있는 나노섬유의 제품화가 단시간내에 가능할 것으로 전망된다. [Nano InSight](#)



# 대한민국 나노기술 연구 개발정책의 역사와 성과

## 성장통을 겪으면서 열다섯 소년이 되다



최영진 세종대 나노신소재공학과 교수



"My budget supports a major new national nanotechnology initiative worth \$500 million... Just imagine, materials with 10 times the strength of steel and only a fraction of the weight; shrinking all the information at the Library of Congress into a device the size of a sugar cube; detecting cancerous tumors that are only a few cells in size. Some of these research goals will take 20 or more years to achieve. But that is why there is such a critical role for the federal government."

위 내용은 미국의 빌 클린턴 대통령이 2000년 1월 캘리포니아 공과대학에서 행한 국가 나노기술개발계획(National Nanotechnology Initiative, NNI) 발표 연설의 일부로, 세계 각국이 앞 다퉈 나노기술 연구개발 프로그램을 추진하게 된 시발점이 되었다. 우리나라는 다른 나라들에 비해 상대적으로 빠른 시기였던 2001년 범부처 공동으로 제1기 나노기술종합발전계획을 수립하고, 나노기술 연구개발을 촉진하려는 노력을 시작했다. 계획 수립 당시 국내 나노기술 연구개발 능력은 미국 대비 25% 수준에 머물러 있었고, 나노관련 정부연구개발 예산은 과학기술부 312억 원, 산업자원부 25억 원, 정보통신부 121억 원 등 총 450억 원/년 규모에 불과했다.

**제1기 계획**에서는 국내 나노기술 연구 인프라가 부족하다는 공감대를 바탕으로 나노맵 구축을 최우선 과제로 삼았고, 연구개발 분야에서는 과학기술부를 중심으로 나노기술관련 3대 프론티어사업<sup>1)</sup>(테라급나노소자기술개발사업, 나노소재기술개발사업, 나

<sup>1)</sup> 연구비 규모는 년 100억 원 정도이며, 사업기간은 10년에 달하는 대형 국가 연구개발 사업임.



노메카트로닉스기술개발사업이 추진되었다. 목표지향적인 사업단 형태의 프론티어 사업 이외에도 당시 과학기술부에서는 나노기초연구기반을 강화하고 신산업창출 및 관련 제품 개발을 위해 향후 실용화 가능성이 큰 나노핵심기술과 미래 원천기술을 집중 개발하고자 하는 목적으로 나노핵심기반기술개발사업을 2002년도부터 추진하였다.

제1기 계획에서 인프라 구축을 최우선으로 삼은 점은 당시 열악한 국내 나노기술장비 인프라를 고려한 시의적절한 정책적 판단이었으나, 당초 나노랩 1개소를 시범적으로 구축하고 나노기술발전추이에 따라 이를 확대하겠다는 계획(2005년 이후 특화 펌 2개소 설치)이 여러 가지 상황논리에 빠져 과학기술부 2개 펌(나노종합펌, 나노소지특화펌), 산업자원부 4개 펌(나노기술집적센터-포항, 전북, 광주, 나노부품실용화센터)의 동시다발적 구축으로 변경된 점은 전체적인 예산 투입의 불균형을 초래했을 뿐 아니라 인프라에 대한 과잉-중복투자라는 평가를 받게 되었다. 물론 짧은 시간 내에 인프라에 대한 집약적 투자를 통해 전세계에서 유례를 찾기 힘들 정도의 정부주도 우수 인프라를 갖춘 점은 긍정적이나, 주로 반도체 소자 제작 관련 장비를 중심으로 구성되어 있어 나노기술연구개발자의 다양한 기술적 수요를 충족하지 못하고 있다는 점과 한정된 국내 수요 대비 공급과잉으로 인해 각 인프라 기관들이 재정적으로 자립하기 어려운 상황에 직면하고 있다는 점은 향후 우리 정부가 풀어야 할 문제로 대두되고 있다.

나노기술종합발전계획이 본격 추진되기 직전인 2001년에는 1,052억 원의 정부 R&D 자금이 나노기술육성에 투자되었는데, 이 투자액은 2002년에 두 배 규모인 2,121억 원으로 증가하였으며, 매년 꾸준히 성장하여 2005년에는 2,676억 원에 이르게 되었다. 이러한 육성정책에 힘입어 당 기간 동안 우리나라의 나노기술 수준은 비약적으로 성장하였으며, 그 결과 기술력이 미국 대비 66% 수준에 달하게 되었다. 특히 SCI 논문의 경우는 세계 8위 수준에서 5위 수준으로 도약했으며, 미국 등록 특허건수 역시 세계 5위권에 들어서게 되었다. 또한 나노기술연구인력은 2001년 천명 내외에서 2004년 3,900여 명으로 4배가 증가했으며, 대학의 나노관련 학과는 2001년 3개에서 33개로 11배가 증가하는 등 우리나라의 나노기술 연구개발 역량이 급속도로 성장하였다. 또한 제도적인 측면에서는 나노기술개발촉진법(02년 12월) 및 나노기술개발촉진법시행령(03년 6월) 제정으로 나노기술육성을 위한 제도적 뒷받침이 공고히 이루어졌다.

**2006년 수립된 제2기 나노기술종합발전계획**에서는 1기 계획에서 수립된 여러 정책들을 안정화하는 것을 주된 골자로 하여, 1기 계획을 수정·보완하는 차원에서 계획이 수립되었다. 1기 계획에서는 2010년까지 선진 5대국 기술경쟁력을 확보하는 것을 비전으로 삼고, 세계 최고기술 10개 이상을 확보하고, 2010년 경 나노활용 IT 분야에서 30%의 시장점유(3,000억 불)를 목표로 한 반면, 2기 계획에서는 2015년까지 선진 3대국 기술경쟁력을 확보하는 것을 비전으로 삼고, 세계 최고수준 실용화 기술 30개 이상 확보, 2014년 경 세계 나노관련 시장 20%의 점유(5,000억 불) 등을 목표로 설정하였다.







제1기

제2기

1기 계획에서 추진된 인프라 구축사업이나 연구개발사업이 모두 중장기 프로그램들이어서 2기 계획에서는 특별히 새롭게 추진하는 프로그램은 거의 없었다. 특히 1기 계획에서 구축이 시작된 인프라의 경우 2기 계획기간동안 구축을 완료할 예정이었으므로, 새로운 인프라 구축보다는 구축 중인 인프라의 운영 활성화 및 인프라 간 역할분담에 관한 정책적 제안이 주를 이루었다. 그 결과 10년에는 교육과학기술부와 지식경제부가 동등으로 “국가나노인프라 활성화 방안”을 수립하여 구축이 완료된 나노인프라 간 연계를 통한 운영 활성화를 도모하였다.

연구개발 분야에 있어서도 새로운 프로그램은 만들어지지 않았으나, 2004년 과학기술혁신본부 출범과 함께 과학기술부 연구개발 사업이 대거 산업자원부로 이관됨에 따라 2005년부터 실용화 가능성이 큰 나노핵심기술은 산업자원부의 중장기 연구개발 사업인 차세대 신기술개발사업의 일부로 흡수되었고 나머지는 나노원천기술개발사업으로 재편되었다.

당 사업은 2009년 바이오분야와 함께 미래기반기술개발사업(나노분야)으로 재편되었다가, 2011년부터 나노-소재기술개발 사업으로 독립 편제되어 현재까지 이르고 있다. 나노기술 연구개발 정부투자의 또 다른 축인 산업통상자원부(舊 산업자원부, 지식경제부)에서는 1999년에 시작된 차세대 신기술개발사업<sup>2)</sup>에서 일부 나노기술 관련 연구개발 프로그램을 추진했으나, 본격적으로 나노기술연구개발 육성에 나선 것은 제2기 계획 동안인 2007년 산업분야별로 전략기술개발사업을 시행하면서부터라고 볼 수 있다. 당 사업은 기존에 차세대 신기술개발사업으로 진행되던 나노기술 관련연구개발 사업들을 흡수하면서 동시에 산업별 전략기술지원단을 기반으로 나노기술 분야에 특화된 연구개발 과제들을 발굴하기 시작했다. 2009년 지식경제부의 출범과 더불어 전략기술개발 사업은 산업원천기술개발사업으로 개편되었고, 2011년에는 산업융합원천기술개발사업으로 개편됨과 동시에 PD<sup>3)</sup>제도를 도입함

으로써 나노기술 연구개발의 전략성을 한층 강화하게 되었다. 당 사업은 현재는 산업융합기술산업핵심기술개발사업으로 이름을 바꿔 추진되고 있다.

2기 계획(06년~10년) 동안에는 1조 3,000억 원 정도의 정부연구개발투자가 이루어졌으며, 그 결과 2008년 기준 미국대비 75% 수준의 기술력을 확보함으로써 세계 4위권에 도약하는 쾌거를 이루어냈다. SCI 논문은 세계 4위권, 미국등록특허는 세계 3위권에 도달했으며, 나노기업 수도 2009년 184개에 이를 정도로 나노기술의 상용화가 가시권 안에 들어오기 시작했다. 나노기술연구인력은 2009년 5,400여 명으로 증가했으며, 대학의 나노관련 학과 역시 43개로 꾸준히 증가하였다. 2기 계획기간을 거치면서 나노기술의 산업적 가시성에 대한 사회적 관심이 폭발적으로 증가하게 되었고, 그 결과 교육과학기술부와 지식경제부에서는 2009년 공동으로 “나노융합산업발전전략”을 수립하게 되었으며, 나노기술에 대한 사회적 수용성을 높이기 위해 환경부 주도의 “나노물질안전관리 중장기 추진계획(2009년)”, 지식경제부 주도의 “나노제품 안전성종합계획 중장기 추진계획(2010년)” 등이 잇달아 수립되었다. 특히 “나노융합산업발전전략”에서는 기초원천기술의 발굴부터 상용화까지 기술개발의 전주기를 지원하는 프로그램 추진을 제안했으며, 이는 2012년 출범한 나노융합2020 사업의 모태가 되었다.

**제3기 나노기술종합발전계획**은 2010년 12월에 확정되었는데, 세계 일류 나노강국 건설을 비전으로 하여 미국대비 나노기술 수준을 90% 수준까지 끌어올리고, 산업적 파급효과가 높은 나노융합원천기술 30개 이상을 확보하는 것을 목표로 설정하였다. 특기할만한 점은 나노기술 연구개발의 사회적·윤리적 책무성을 강화하기 위해 정부의 나노기술 연구개발비의 일정부분을 나노EHS(Environment, Health and Safety)에 투자하도록 가이드 했다는 점이다.

2) 연구비 규모는 평균 년 20억 정도이며, 당시 산업자원부의 연구개발 사업으로는 파격적으로 10년의 사업기간이 주어짐.

3) Program Director의 약자로, 산업통상자원부의 각 산업별 연구개발사업을 총괄·기획하는 역할을 함.





제1기 계획에서 추진했던 나노인프라 구축사업이 모두 종료되었으며, 21세기 프론티어 사업 등 주요 대규모 연구개발사업이 모두 종료됨에 따라 3기 계획에서는 새로운 프로그램 추진이 필요한 상황이 되었으나, 구체적으로 어떠한 프로그램을 추진할 것인지는 명확히 제시되지 않았다. 그나마 2009년 교육과학기술부와 지식경제부가 공동으로 발표한 “나노융합산업발전전략”에 담겨있던 “기초원천기술의 발굴부터 상용화까지 기술개발의 전주기를 지원하는 프로그램” 추진에 대한 내용이 반영되었으며, 이를 근거로 하여 2년간의 예비타당성 조사사업을 거쳐 2012년 나노융합2020 사업단<sup>4)</sup>이 출범하게 되었다. 무엇보다도 3기 계획을 통해서도 나노안전관리에 대한 정책적 지원이 활발하게 이루어져, 나노안전성 기술지원센터 등 관련 인프라 구축 및 연구개발 사업에 대한 투자가 크게 증가했다.

3기 계획 동안에는 기존 대규모 사업들이 종료되고, 규모 있는 프로그램이 새롭게 만들어지지 않았음에도 불구하고 통계상 정부투자액은 크게 증가한 것으로 나타나, 나노기술분야의 투자효율성에 대한 의문이 증대하고 있다. 이는 2013년부터 R&D 투자액 통계가 특정분야에 대한 사전기획 투자액 기준에서 연구자가 국가과학기술정보서비스(NTIS)에 입력한 분야 기준으로 변경됨에 따라 기획단계가 없는 기초분야 R&D 투자액이 각 기술분야(6T: NT, IT, BT, ET, CT, ST) 투자액으로 포함되었기 때문이며, 실제로 NT는 6T 중 CT 다음으로 가장 적은 예산이 투입되고 있는 형편이다.<sup>5)</sup> 그럼에도 불구하고 기술력은 꾸준히 상승하여 2014년 기준 미국대비 80% 수준의 기술력을 확보하였으며, SCI 논문 세계 4위권, 미국등록특허 세계 3위권을 유지하고 있다. 또한 나노기술 연구인력은 2014년 8,548명으로 증가했으며, 대학의 나노관련 학과 역시 234개로 대폭 증가하였다. 특히 나노기술의 산업화 진전에 따라 나노기업 수는 2013년 541개로 2009년 대비 3배로 증가했다.

**지난 15년 간 3회에 걸친** 나노기술종합발전계획 수립을 통해 정부는 나노기술육성에 꾸준한 지원을 아끼지 않았으며, 그 결과로 우리나라는 명실상부하게 미국, 일본, 독일에 이어 4대 나노강국의 반열에 올라섰다. 여기에는 제1기 계획 수립 때부터 나노기술종합발전계획을 중심으로 범부처적인 협력이 있었기에 가능한 일이었다고 생각한다. 그러나 한 가지 아쉬운 점은 계획 수립 뿐 아니라 계획대로 실제 정책이 수행되고 있는지를 모니터링하고, 정책이 힘 있게 추진될 수 있도록 가이드 할 수 있는 컨트롤타워가 없다는 점이다. 1기 계획 당시에는 국가과학기술위원회 산하에 나노기술전문위원회가 설치되었고, 2기 계획 당시에는 2006년 과학기술혁신본부 산하에 나노기술조정위원회가 설치되었으나 실질적인 조정기능은 하지 못했으며, 그나마 2008년 정부조직 개편에 따라 폐지된 상태이다. 이러한 강력한 컨트롤타워의 부재는 나노기술 육성을 위한 새로운 정부의 투자 프로그램 도출에 있어 강력한 지도력을 발휘할 수 없고, 그 결과 정책의 집중도를 떨어뜨릴 수밖에 없다고 생각한다. 우리나라의 나노기술은 이제 유아기를 지나서 15살 청소년기에 접어들고 있다고 볼 수 있다. 아기가 커나갈 때, 유아기에는 부모의 섬세한 보살핌이 중요하지만, 소년의 시기가 있을 때는 독립해서 세상으로 나갈 준비를 착실히 할 수 있도록 흔들림 없는 지도와 지원이 필요하다. 우리나라의 나노기술은 현재 나노산업이라는 청년으로 성장하기 위한 성장통을 겪고 있다. 정부는 부모의 마음으로 나노가 성장하는 시간을 인내할 줄 알아야 할 것이며, 올바른 길로 갈 수 있도록 강력한 리더십을 가지고 물심양면으로 지원을 아끼지 말아야 할 것이다. 이런 점에서 빌 클린턴 대통령의 연설 마지막 부분을 다시 한 번 반추해 본다. **Nano Insight**

“Some of these research goals will take 20 or more years to achieve. But that is why there is such a critical role for the federal government.”

4) 나노융합2020사업은 나노 원천기술의 연구성과를 상용화하여 조기에 신시장 신산업을 창출하는 나노융합기술 상용화 R&BD사업으로, 2012년부터 2020년까지 총사업비가 5,130억 원(국비 4,322억 원, 민간 80억 원)이 투입되는 것으로 설계됨.

5) 2014년 6T별 투자비중은 IT 18.4%, BT 18.2%, ET 15.1%, ST 4.7%, NT 4.5%, CT 0.9%[2014년도 국가연구개발사업 조사 분석 보고서, KISTEP]





## 7대 중점추진 영역 Thrust Areas for Nanoindustry 4.0

1. 탈평면 인쇄형 3D 나노전자: 2.5D 프린팅
2. 탈귀금속 촉매용 나노소재
3. 탈희유원소 산업용 나노소재
4. 패션구현 기능성 나노섬유/나노패브릭
5. 저에너지 소모형 수처리 시스템
6. 식품안전을 위한 나노센서
7. IoT 적용 환경 나노센서

# 2015년 나노기술 육성 정책

### 세계 2위 나노 상용국 건설을 위한 7대 중점기술 개발 추진

"2015년 미래창조과학부와 산업통상자원부는  
대통령 업무 보고에서 나노산업육성방안을 발표"

현재 미국, EU, 일본 등 주요 선진국들은 나노기술을 산업 선도의 중심축이자 핵심기반기술 (Key Enabling Technology)로 다루면서 연구개발 플랫폼 육성, 상용화 촉진 등을 전개하고 있다. 이렇듯 갈수록 치열해지고 있는 나노기술 개발 경쟁의 상황에서 미래창조과학부와 산업통상자원부는 2015년 2월, '나노산업 강국'으로의 도약을 위해 7대 중점추진 기술 개발, 공정 과정 개선, 나노안전성 확보 등을 골자로 하는 나노산업육성방안을 박근혜 대통령에게 보고했다. 특히 3위, 논문 4위(2014년 기준)를 점하는 등 '나노기술 우수국'에 머물고 있는 현재보다 한 단계 더 나아가 3조불 규모의 나노기술 세계시장에서 매출 2위를 달성한다는 목표이다.

이와 같은 목표 달성을 위한 전략안 가운데 나노기술 연구개발의 첨단화 및 경쟁력 강화를 위한 7대 중점추진 영역이 선정되었다. 현재 공백으로 남아 있으나 기술개발부터 상용화까지의 연구개발 전 과정을 효율적·효과적으로 추진할 경우 나노기술 발전과 연구개발 결과 활용의 효용을 극대화할 수 있을 것으로 기대되는 영역이다. 이에 7대 기술의 현황과 기술개발 방향에 대해 3회에 걸쳐 소개하고자 한다.





명진수  
한국식품연구원  
바이오공정연구단장

## “ 식품안전을 위한 나노바이오센서

신속검출을 위한 미생물 검출프로브 기반  
첨단 바이오센서 기술

”

### 식품·환경에서의 판데믹 감염 사고는 신속 대응 전략이 필요



**2011년** 유럽에서 항생제 내성 슈퍼박테리아인 장출혈성 대장균(EHEC - E. coli O104:H4)에 의한 판데믹(Pandemic) 규모의 감염 사고가 발생하여 5조 원의 경제적 손실을 입게 되었으며, 6월, 한 달 동안 독일 등 16개국(유럽 13개국)에서 4,000여 명이 감염되고 독일에서만 51명의 사망 환자 발생으로 인한 직접 경제손실이 3조 원을 상회하였다. 병원균의 발생과 확산에 수입 채소가 그 원인으로 지목받게 됨에 따라 유럽 채소농가에 발생한 손실은 매주 약 4,500억 원으로 추산되었으며 이로 인하여 이들 국가 간의 채소수출입에 관련된 무역 분쟁이 발생하여 세계 경제에까지 막대한 경제손실을 초래하게 되었다.



이와 같이 식중독균이나 감염병 세균이 급속히 창궐하는 판데믹이나 또는 이와 유사한 상황으로 볼 수 있는 세균전이 발생하는 경우, 가장 시급하고 중요한 것은 그 병원균이 어떤 종류인지를 신속하게 동정(Identification)하고 그 종류에 따라 대처할 수 있는 방안 역시 신속하게 구축하여야 하는 것이다. 위와 같은 상황처럼 미지의 세균이 원인 병원균일 때를 대비하기 위하여, 미리 구축된 라이브러리를 기반으로 한 pyrolysis-MS 기술 그리고 이미 제작되어 있는 검출 프로브나 PCR 등에 의한 바이오센서 시스템으로 신속하게 동정하는 연구가 기존에 시도되었으나 아직까지는 이렇게 시급을 요하는 상황에 효과적으로 대응할 수 있는 수준에 이르지 못하고 기술적 한계가 있음이 인정되고 있는 실정이다.

이러한 판데믹 감염 사고나 세균전과 같은 긴박한 감염 확산 상황에서 감염병 미생물에 대한 신속 진단과 위치 기반 확인 네트워크 구축으로 효율적 대응을 가능하게 하는 IoT용 나노바이오센서 기술의 개발을 추진해야 한다는 제안이 나오고 있는 이유다.

## 식품안전용 바이오센서 시장

Frost & Sullivan 보고서에 의하면 바이오센서 시장은 2012년 95억 불에서 2018년 100억 불로 성장할 것으로 예측되고 있고 Markets & Markets 시장분석 보고서에 따르면 식품안전검사 시장은 2012년 93억 불에서 2018년 140억 불로 지속적 성장이 예상되고 있다. 이 중 식품과 환경모니터링 응용은 전체 시장의 11% 정도를 차지하며, 연 성장률은 가장 높다. 그러나 국내 바이오센서 산업은 질병진단 바이오센서가 주를 이루고 있으며, 식품·환경 바이오센서는 상대적으로 산업이 활성화되어 있지 않은 상태이다. 감염병을 비롯한 질병 진단용 IoT 기반 바이오센서는 국민의 건강과 안전을 위해서 중요한 위치를 점하게 될 것이며 미래 중요한 산업원동력이 될 것으로 예측되고 있다.



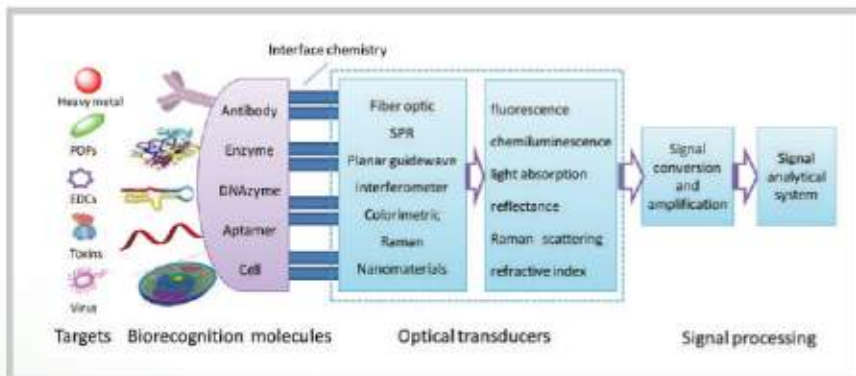
## 식품·환경을 위한 바이오센서의 구성

근래에 들어 나노기술과 생물분석기술의 급속한 발전에 따라 식품안전은 첨단 생물공학기술의 활발한 응용 분야가 되면서 식품의 위해오염물질을 신속하고 정확하게 검출하기 위한 다양한 바이오센서가 개발되고 있다. 일반적으로 바이오센서는 시료에 존재하는 목표 물질을 특이적으로 잡아내는 생물학적 인식요소(Biorecognition Element)와 이것으로부터 목표물질에 대한 정량적 측정이 가능한 신호로 변환시키는 변환요소(Transducing Element)로 구성되어 있다. 이로부터 바이오센서는 생물학적 인식 방식에 따라 핵산/DNA, 면역(Immuno), 효소기반(Enzyme-based) 및 미생물(Microbial) 센서 등으로 나눌 수 있고, 변환 방식에 따라서는 광학(Optical), 압전(Piezo-electric), 열분석(Calorimetric) 및 전기화학(Electrochemical) 센서로 분류할 수 있다. 그리고 식품안전센서가 주로 검출하고자 하는 표적 물질은 식품위해 병원균, 세균성이나 진균성 독소, 항생제, 제초제 및 중금속 등이다. 여기서는 이 중에서도 생물학적 인식요소에 적용할 수 있는 박테리오파지를

검출 프로브(Detection Probe)로 활용하는 첨단 미생물 센서에 대한 연구사례를 살펴보려고 한다.

## 박테리오파지를 이용한 검출 프로브 기반 바이오센서

박테리오파지(Bacteriophage)는 숙주 세균에 특이적으로 감염하는 능력을 가진 바이러스인데, 감염 후 30분 이내에 세균 한 마리당 1,000개 정도의 박









식품·환경 위해물질 검출용 바이오센서의 구성도(Long, F. et al. Sensors 13:13928, 2013)



이러스가 증식되어 나오면서 숙주를 용해시키는 능력을 보유한 세균의 천적이라 할 수 있으며, 지구상의 물 1 mL 당 약 5,000만에서 1억 개가 존재하여 가장 많은 숫자와 종류를 갖고 있는 유기체이다. 현재 출시된 항생제에 내성을 갖는 다제내성세균 즉, 슈퍼박테리아의 출현으로 항생제를 대체하는 방법이 모색되고 있는데, 대안으로서 자연계에서 세균의 천적인 이 박테리오파지를 이용하여 감염병 세균을 제어하는 파지 요법(Phage Therapy)이 주목받고 있다. 그와 동시에 최근, 박테리오파지가 갖고 있는 세균에 대한 숙주 특이성과 단순한 증식 방법에 착안하여 병원성 세균을 신속하게 검출하는 검출 프로브로서 활용하는 연구가 국내외에서 시작되고 있다. 아래의 표에서 보는 바와 같이 기존의 바이오센서와 비교하여 프로브를 제작하는 기간, 편리성, 비용 그리고 센서의 특이성, 선택성이 우수하다고 평가되고 있다.

식품위해미생물의 검출 방법과 프로브에 따른 비교

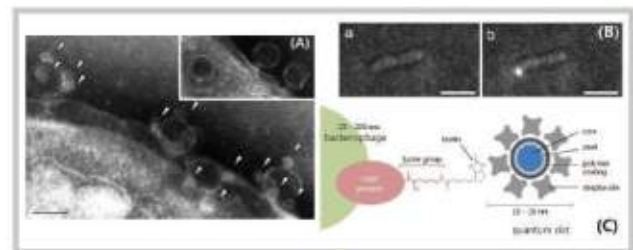
	Speed	Sensitivity	Selectivity	Simplicity	Cost
Selective Media 	-	+	-	-	+++
PCR 	++	++	+++	+	++
Antibody 	+++	+++	+	++	+
Microarray 	+	++	+++	+	-
Aptamer 	+++	+++	+++	+++	++
Bacteriophage 	++++	++++	++++	++	+++

++++ : excellent    +++ : very good    ++ : good    + : fair    - : poor

## 박테리오파지 기반 나노바이오센서의 최근 연구 동향

2006년 미 국립보건원에서 박테리오파지를 유전자 변환으로 검출용 프로브화하고 Quantum Dot을 결합하여 숙주 세균인 대장균을 1시간 내에 102 cfu/mL의 민감도로 현장에서 검출이 가능하였

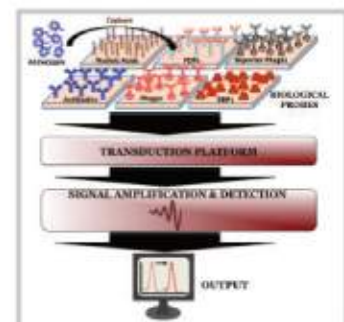
다는 연구 결과를 미국립과학원회보인 PNAS에 발표하였고 이것이 박테리오파지를 검출용으로 이용한 최초의 연구 보고가 되었다. 이후 박테리오파지의 유용성에 인정한 연구자들이 이를 나노바이오센서로 적용하는 연구를 시작하게 되었으며 근래에 이르러 여러 종류의 박테리오파지들을 리포터 파지 시스템으로 프로브 세트를 구성한 식품감염성 병원균의 검출을 위한 바이오센서에 대한 연구가 시작되고 있다.



(A) 대장균에 부착된 박테리오파지와 QD(화살표), (B) QD에 의한 형광 관측(Edgar et al., PNAS 103:4841, 2006), (C) Quantum dot 부착 박테리오파지의 구성도

최근 박테리오파지를 이용하여 스마트폰이나 나노기술에 시범적으로 적용하여 검출 프로브나 변환 요소로 개발한 연구가 보고되고 있다. 2012년 미국 버클리대학의 한국인 과학자팀은 대장균을 숙주로 하는 M13이라는 박테리오파지의 표면단백질을 이용하여 스마트폰의 작동이 가능한 동력을 생산하는 압전소자(Piezoelectric Element)를 제작한 연구사례를 보고한 바 있다. 이는 EU국가가 전자제품에 환경오염 물질이 포함되면 그에 대한 세금을 부과하는 규정을 제정함에 따라 기존 압전소자에 사용되는 Ni나 Cd을 대체할 수 있는 생분해성 생물고분자인 박테리오파지 표면단백질을 사용하여 친환경 압전소자로 개발하는 데 의미가 있다.

2014년에 이 연구팀은 동일한 박테리오파지 표면단백질을 이용하여 특정 위해성분의 농도에 따라 색깔



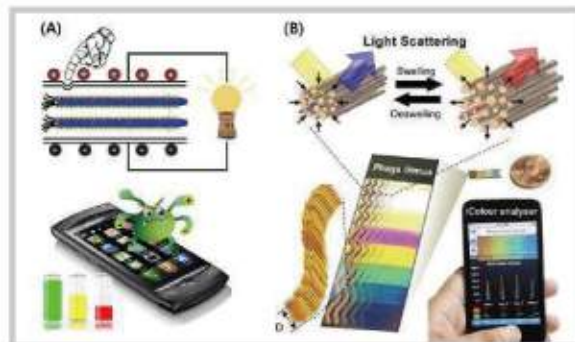
박테리오파지 기반 검출시스템의 구성도 (Singh A., et al., Sensors 13:1763, 2013)

의 변화로 정량 검출이 가능하고 스마트폰에 장착할 수 있는 'Phage Litmus'라는 시스템과 앱을 개발한 연구 결과를 보고하였다. 또한 최근 국내에서도 이 박테리오파지 표면단백질을 이용하여 빛에 정량적으로 감응하는 나노튜브를 제작한 사례가 보고되었다. 이와 같이 박테리오파지는 바이오센서와 나노기술에 적용할 수 있는 첨단 소재로 주목받고 있다.

## 식품·환경용 나노바이오센서에서 박테리오파지 적용의 의미

미지의 병원균에 의한 판데믹 감염 사고나 세균전이 발생하였을 상황에서 이러한 박테리오파지를 기반으로 한 나노바이오센서 검출시스템을 이용하는 경우, 먼저 동정이 이루어지지 않은 상태에서도 원인 세균에 대하여 특이적으로 결합하고 용해시키는 바이러스를 찾아내는 검출 프로브로 생산하는 것이 가능하고 이 박테리오파지를 대량 제조하여 원인 병원균을 제어할 수 있다. 이것은 기존의 항체나 입타머 기반 검출시스템에 비해 짧은 시간에 소규모의 제조 공정으로 구축이 가능한 장점이 있어 이러한 판데믹이나 세균전에 대응하는 가장 효율적 방법이 될 수 있다고 본다.

식중독세균 등 감염병세균에 대한 IoT용 나노바이오센서의 역할의 하나는, 판데믹이나 세균전이 시작되면서 공기 중에 병원성 세균이 입자 형태로 부유 확산되는 경우, 즉시 어떤 세균인지를 확인한 정보와, 어느 방향으로 얼마의 속도로 확산되는지에 대한 위치 기반 이동 정보를 센서들끼리 교환하고 분석하여 대응이 가능한 조기 경보를 알려주는 것이라 할 수 있다. 이러한 역할을 수행하는 데 가장 중요한 것은 위해 요인의 조기 인지와 조기 대응인데 이를 순서대로 언급하면, [1] 감염병 세균들에 대한 모든 박테리오파지들을 혼합한 1차 광범위 검출 프로브에서 시그널이 나오면 우선 경보시스템을 가동하고, [2] 2차 특이적 검출 프로브를 거쳐 세균을 확인하여 대처 방안에 대한 정보를 즉시 제공하며, [3] 검출에 반응한 박테리오파지를 기반으로 제어용 제제를 생산하는 단계로 진행하게 된다. 이러한 과정을 수행하는 데에 검출 프로브로서 다른 것들과 비교하였을 때 박테리오파지가 가장 적합하다고 볼 수 있다.



박테리오파지 표면단백질을 이용하여 개발한 스마트폰 압전소재(A)와 유해물질 검출시스템과 스마트폰 앱 'Phage Litmus'(B) [Seung-Wuk Lee, et al., Nat. Nanotechnol. 7:351, 2012 (A), Nat. Commun. 5:3043, 2014 (B)]

국내 생명공학기술의 역량은 세계 선도적으로 여러 식중독세균에 각각 특이성을 갖는 박테리오파지를 확보하는 데 활용할 수 있는 기술 수준을 확보하고 있다. 또한 국내 나노기술에서 센서 응용 기술 그리고 IoT 기반기술 또한 세계 첨단 수준이라 볼 수 있다. 따라서 박테리오파지를 검출 프로브로 이용하는 검출시스템 제작에 충분히 가능한 역량을 보유하고 있다. 이들 연구기술을 융합하는 정책적 지원으로 신속검출을 위한 IoT용 나노바이오센서 시스템 구축이 가능하며 산업화를 위한 지원이 있으면 관련 분야의 글로벌 시장을 개척할 수 있고 선도적 나노바이오 기술을 활용하여 국민의 건강과 안전을 확보할 수 있을 것이다. [Nano Insight](#)





# IoT 적용 환경 나노센서 연구동향과 향후 전망



## IoT 기술의 세계 동향과 전망



유 란  
연세대학교 신소재공학과  
박사과정생

**사물인터넷**(Internet of Things, IoT)은 현실 세계의 사물들을 네트워크로 연결하여 P2P(People-to-people), P2M(People-to-machine), M2M(Machine-to-machine) 방식으로 언제 어디서나 상호 간의 소통이 가능한 기술이다. 따라서 IoT의 구성요소에는 사용자가 존재하는 모든 사물이 대상으로 포함되어 시간과 장소에 상관없이 항상 모니터링과 관리가 가능한 것이 특징이다.



이우영  
연세대학교 신소재공학과  
교수

IoT 환경이 확대되면서 스포츠나 헬스케어, 홈케어 제품 등 다양한 관련 시장이 등장하고 있다. 예컨대, 대표적으로 Fitbit社(미국)는 스포츠용품 업체인 나이키의 운동 모니터링용 웨어러블 스마트기기 'NIKE + Flueband'에 수면 및 식습관 정보 관리 기능이 추가된 'Fitbit Flex'를 출시했다. 또한 HapiLabs社(홍콩)는 음식물 섭취 습관 파악이 가능한 지능형 포크 'HaPIfork'를 출시하여 효과적인 다이어트나 비만 관리가 가능하도록 하고 있다. 국내 LG전자에서는 '스마트 씹규 센서(SmartThinQ™ Sensor)'를 출시했다. 스마트 씹규는 지름 약 4cm 원형의 탈부착이 가능한 디바이스로 진동 외 4가지 센서가 내장되어 있어 세탁기, 냉장고, 에어컨 등 기존에 사용하던 가전제품에 부착하면 스마트폰으로 관리 및 원격 제어가 가능하다. 이러한 혁신적인 IoT 제품들로 인하여 미래 인류의 삶에 거대한 변화를 가져올 것으로 예측되고 있다.

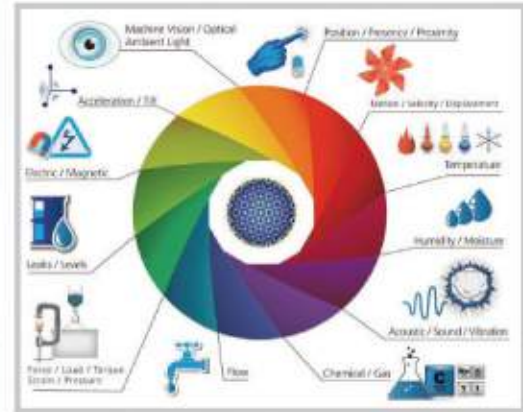
IoT는 스마트 홈/가전, 웨어러블, 스마트카, 생활밀착형, 스마트에너지, 환경모니터링 등으로 구분되며 그 시장은 폭발적으로 성장하여 2017년에는 그 규모가 약 7조 3,000억 달러에 이를 것으로 전망된다. 이에 각국 정부 역시 IoT 산업 육성을 위한 정책 및 R&D 투자를 지원하고 있다. 미국의 경우, '파괴적인 혁신 기술' 중 하나로 IoT를 선정하였으며, EU('IoT의 역동적이고 신뢰도 높은 발전을 위한 정책 옵션', 2013)와 중국('사물망 12-5 발전계획'), 일본('i-Japan', 2015) 역시 IoT 분야에 대규모 지원을 하고 있다<sup>[1]</sup>.



IoT 개념도

[1] 성공 다가온 미래 이제는 IoT, 2014, 한국정보화진흥원

국내에서는 미래창조과학부가 2014년 '사물 인터넷 기본 계획'을 발표한 데 이어 총 11개의 '사물인터넷 시범사업'을 선정함으로써 IoT 시대에 대한 본격적인 대비를 시작하였다. 본 사업은 기존 범용 RFID(Radio-Frequency Identification)를 넘어 특수 RFID 적용과 RFID 기반 응용서비스에 초점을 맞춘 것이 특징이며, 특히 IoT 환경 분야로는 '유해가스 감지 RFID를 통해 가스 누출 시 경보를 관리자에게 자동으로 통보하고 119 등 유관기관에 사고 정보 중계'가 선정되었다. 특히 IoT 핵심센서 분야에 총 500억 원을 투자하였으며, 이와 별도로 산업통상자원부에서도 첨단 스마트 센서 육성사업 등을 추진함으로써 2015년부터 향후 6년간 1,508억 원의 예산 투입이 확정되었다.



IoT 센서의 종류

다양한 IoT 관련 분야 중에서도 IoT 센서 분야가 주목받는 이유는 센서의 활용도가 매우 높아 대부분의 산업 분야에 활용할 수 있기 때문이다. IoT 센서 분야는 전체 IoT 산업 매출의 30% 이상을 차지할 것으로 예상되며 세계 스마트센서 시장은 2012년 90억 달러에서 2019년 216억 달러 규모로 성장할 전망이다<sup>[2]</sup>.

IoT 센서에는 환경 센서, 압력센서, 모션 트래킹 센서, 심박-산소 측정센서, 음성센서 등 다양한 종류가 있으며 그중에서도 환경 센서는 인체에 영향을 미칠 수 있는 주변 환경 변화를 측정함으로써 발생 가능한 피해를 예방하거나 유사 시 피해 규모를 최소화하는 역할을 한다. 환경 센서는 측정 대상에 따라 공기 중의 오염원을 측정하는 센서와 수질의 오염원을 측정하는 센서, 그 밖에 토양이나 폐기물 등의 오염을 측정하는 센서 등으로 구분할 수 있다. 본고에서는 이 중 대기환경 모니터링 및 유해물 검지에 관한 나노센서의 최신 연구동향 및 미래 전망에 초점을 두어 기술하였다.

## IoT 환경 센서의 핵심 기술

IoT 적용 센서의 핵심 기술로는 실제 환경 감지 및 분석이 진행되는 센싱 기술, 분산된 IoT 요소들을 상호 연결시켜주는 네트워킹 기술, 결과에 대해 사용자가 효율적으로 접근이 가능하도록 하는 인터페이스 기술이 있다. 이 중 네트워킹 기술이나 인터페이스 기술은 현재 기술 수준으로도 수요자의 편의에 맞춘 시스템 개발이 가능하지만, 센싱 기술 개발 측면에서 국내 기술 수준은 선진국 대비 60% 이하의 취약한 경쟁력을 보인다. 또한 국내 센서 수요의 80% 이상을 수입에 의존하는 현 상황은 국내 기술의 IoT용 환경 센서가 자리 잡는 데 큰 방해 요인으로 작용한다<sup>[3]</sup>. 센서의 성능 여부는 감지 대상 가스를 민감하고(Sensitivity), 신속하게(Speed) 감지해야 하며 주변 환경이나 다른 가스에 대해 선택성이 있어야 하고(Selectivity), 그 성능이 안정적이어야(Stability) 한다. 최근에는 IoT 적용성이 요구됨에 따라 소형화(Small) 조건이 추가되어 센서에 요구되는 성능은 5S가 주요 이슈이다.

가스 센서는 그 방법에 따라 가스 누출 시 빛의 흡수 변화를 측정하는 광학적 방식과 검지물질의 전기적 신호의 변화를 이용하는 방식이 있다. 대표적인 광학적 방식 센서로는 특정 가스의 적외선 광 흡수량을 측정하는 비분산적외선(Non-Dispersive Infra-Red, NDIR) 방식

[2] Transparency Market Research, 2014

[3] 센서산업과 주요 유망센서 시장 및 기술동향, 2015, ETRI, Issue Report



이 있다. 하지만 이 방식은 정확도와 선택성에 있어 우수한 특성을 보이거나 방법의 특성상 빛의 경로를 조절해야 하므로 소형화가 어렵고 고가라는 단점을 갖고 있다. 검지물질을 이용하는 방식으로는 대표적으로 반도체식 가스센서와 가스에 따른 연소열을 측정하는 접촉 연소식 가스센서, 전해질을 통한 전기적 특성 변화를 관찰하는 전기화학적 가스센서, 가스 흡·탈착에 따라 주파수의 변화를 측정하는 센서 등이 있다. 이러한 방식은 광학 방식에 비하여 상대적으로 저가이며 소형화가 가능하다는 장점을 가진다<sup>[4]</sup>.

IoT 센서의 성능 및 활용가치는 센서의 정확성과 연관되며 이는 다시 센서 소재의 성능과 결부되므로 최근 성능 향상을 목표로 나노소재 를 중심으로 한 센서 연구가 활발히 진행되고 있다. 나노센서는 기존의 센서들과 활용 분야는 유사하나 고감도, 고선택성, 초소형화를 위해 개발되고 있는 센서 형태로 수~수백 nm 단위의 크기를 가지는 나노 물질 기반의 센서를 의미한다. 나노센서의 경우, 구조체의 화학적·물리적 변화를 통해(구조 변화, 촉매나 화학반응기 합성) 소재를 최적화함으로써 검지 물질의 부피 대 표면적을 극대화하여 물리적·화 학적으로 반응하는 면적을 넓히고 주 운반자 농도를 조절하여 가스에 대한 반응성과 속도를 극대화시킨다. 이러한 장 점으로 인하여 IoT 센서 분야에서 주목받고 있는 나노센서는 유·무기 재료를 이용하여 나노입자, 나노선 등의 다양한 구조로 개발된다. 또한 최근에는 전기적 성질이 우수한 그래핀과 같은 판상 구조의 2D(2 Dimensional) 재료를 기반으로 하는 다양한 나노센서들이 개발되고 있다.

## 대기오염 모니터링을 위한 IoT 나노센서

**대기오염의** 원인은 자동차에서 배출되는 불완전 연소 가스부터 발전소나 플랜트에서 배출되는 유해가스에 이르기까지 매우 다양하며 대표적인 오염 물질로는 온실효과를 유발하는 이산화 탄소(CO<sub>2</sub>), 자동차에서 배출되어 유해한 영향을 미치는 일산화탄소(CO), NOx, SOx 등이 있다. 이들은 모두 직·간접적으로 건강을 위협하는 물질이므로 유출 시, 정확하고 신속하게 검지해야 할 뿐만 아니라 일상생활에서 예방차원의 지속적인 모니터링이 필요하다.

주변에서 찾아볼 수 있는 가스센서는 자동차의 흡·배기 가스센서, 가정이나 빌딩의 이산화탄소 배출 센서, 가스 유출 감지 센서, 도시의 유해가스 농도 센서 등이 있지만<sup>[5]</sup> 현재 시스템의 대부분은 가스 유출 발생 시, 정보 송신과 경보의 성격만을 가진다. 또한 낮은 정확성과 높은 최저 검지 농도로 인하여 IoT 적용 가스 센서에서 요구되는 미세한 실내 공기 질 변화 모니터링에 요구되는 성능에 부합하기 어렵다. 그러므로 후대가 용이하면서도 짧은 시간에 적은 양의 대기오염을 실시간으로 감지 및 모니터링하여 사무실이나 가정에서 사용자들이 이를 파악하고 대처할 수 있도록 하는 IoT용 환경 센서의 개발 및 성능 향상이 매우 시급하다. IoT 환경에서는 가스 센서와 사용자가 긴밀하게 네트워킹으로 연결되어 있으므로 유사 시 센서로부터의 정보수신 후 사용자가 상황에 대처하는 일방적 의사소통이 아닌, 상호 간 커뮤니케이션이 가능한 양방향·실시간 모니터링 및 관리가 가능해짐으로써 예방적 성격이 확대되는 장점이 있다.



[4] Journal of the KSME 2014, 54(10), 35-38

[5] LGERI 리포트, 2014.05



## 대기오염 모니터링 IoT 나노센서 상용화 개발 동향

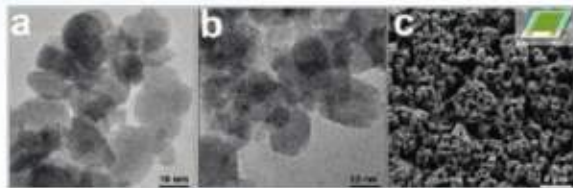
현재 개발되어 있는 IoT 환경센서 중 Bosch社(미국)의 'BME 680'는 실내 공기에서 발생할 수 있는 휘발성 유기물을 검지할 수 있는 센서가 내장되어 있다<sup>[6]</sup>. 센서가 가스를 검지하면 통신 인터페이스를 통해 정보를 사용자에게 전달하고 사용자는 수신된 정보를 확인하여 연동된 프로그램을 통해 실내 공기 질을 조절할 수 있다. Orvibo社(불가리아)의 'Kepler'는 실내 환경에서 발생하는 일산화탄소를 검출하는 스마트센서로 가스 검출 후 정보를 모바일 앱을 통해 사용자에게 전달한다<sup>[7]</sup>. VTT 기술 연구센터(핀란드)는 스마트폰에 부착 가능한 소형 일산화탄소 센서를 개발했다<sup>[8]</sup>. 제품을 스마트폰에 연결하면 일산화탄소 가스 유출 시, 특정 파장에서 빛 흡수를 검지하여 모바일 앱을 통해 유출된 가스의 농도를 표시한다. 이러한 센서는 실내 공기 질 관리 뿐 아니라 헬스 케어 분야에도 활용가능하다.



일산화탄소 검지용 스마트센서

## 대기오염 모니터링 IoT 나노센서 연구 개발 동향

일상생활에서 가장 많이 접할 수 있는 유해가스 중 하나인 일산화탄소는 인체에 유입 시, 원활한 산소 공급을 방해함으로써 두통 및 구토를 유발하고 심하게는 중독에 따른 사망에까지 이르게 할 수 있다. 스위스 ETH Zurich (취리히 공대) Pratsinis 교수팀은 안정성이 우수한 텅스텐

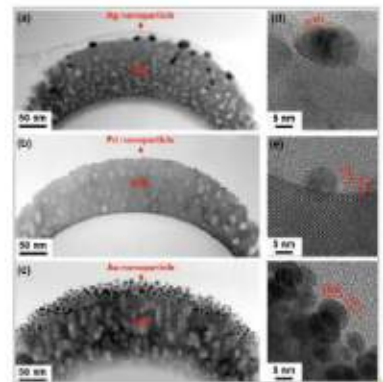


일산화탄소 검지용 텅스텐옥사이드 나노입자

옥사이드( $WO_3$ ) 나노구조체 기반의 가스센서를 제작하고 실리콘을 도핑하여 전기전도도를 향상시킴으로써 일산화탄소에 대한 민감도와 최저검지 농도를 향상시켰다<sup>[9]</sup>. 이스라엘 테크니온 공대 Haick 교수팀은 직경 5 nm 크기의 금 나노입자를 화학적으로 기능화하여 다양한 종류의 금 나노입자 기반 센서를 어레이로 제작하여 전자코 형태로 개발하였다. 이를 80%의 상대습도 하에서 2 ppm 이하의 일산화탄소 가스 노출 시, 30초 이내에 약

0.8의 반응성(초기저항 대비 저항변화율)을 보이며 민감하게 검지하였다. 이 연구는 전자코의 개발을 통해 IoT 환경 센서로서의 높은 적용성을 보인다는 점에 의미가 있다<sup>[10]</sup>.

고려대 이종훈 교수팀은 산화니켈(NiO)을 첨가한 다공성 산화주석( $SnO_2$ ) 입자를 합성하여 센서를 제작하였으며 일산화탄소 노출 시, 25%의 습도 하에서 반응성은 2.8이고 약 1.6초의 반응속도를 보인다<sup>[11]</sup>. 촉매기능과 수분제거 기능을 가진 산화니켈의 도입을 통해 가스 센서의 동작 안정성과 장기적 사용 가능성을 향상시켰다는 데 의미가 있다. 이산화질소는 자동차 배기가스로 많이 배출되며 인체에 유해한 독성을 가지고 있다. 서울대 장호원 교수팀은 나노이글루(Nano-igloos) 모양의 텅스텐옥사이드( $WO_3$ ) 구조를 제작하였으며<sup>[12]</sup> 그 위에 다양한 촉매(Ag, Au, Pd)를 증착하여 이산화질소( $NO_2$ )에 대한 성능을 확인하였다. 촉매에 따라 이산화질소에 대한 반응성에 차이를 보이며 금 촉매를 사용하였을 경우 이산화질소에 대한 반응성이 가장 높음을 확인하였다.



이산화질소 검지용 나노 이글루 구조체 기반 센서

[6] <http://www.bosch-press.com/tbwebdb/bosch-usa/en-US/Presstext.cfm?id=654>

[7] <http://www.orvibo.bg>

[8] <http://www.vttresearch.com/>

[9] M. Righettoni et al., Analytica Chemistry, 2010, 82, 3581-3587

[10] G. Peng et al., Nature Nanotechnology 4, 2009, 669-673

[11] H.-R. Kim et al., Advanced Functional Materials Vol. 21, Issue 23, 2011, 4456-4463

[12] Y.-S. Shim et al., Sensors and Actuators B: Chemical, 198, 2014, 294-301



## 유해가스 모니터링을 위한 IoT 나노센서

**대기오염이나** 실내 공기 질 관리 측면 외에도 가스센서가 가장 많이 적용될 수 환경은 유해가스가 배출되는 플랜트이다. 국내에서도 화학물질 유통량이 증가함에 따라 화학사고 발생 건수도 증가하는 경향을 보이며 구미 불산 유출사고(2012), 삼성전자 불산 유출사고(2013), 빙그레 암모니아 유출사고(2014) 등 유해가스로 인한 사고가 빈번히 발생하여 최근 20년간 1,487건의 유해화학물질 사고를 비롯한 연 평균 74건의 사고가 발생하였다.



VOCs 검지용 케임브리지 CMOS 센서

환경부는 화학물질에 의한 사고를 예방하고 이에 따른 인적·물적 피해를 감소시키고자 사고대비용 질 69종을 고시하였으며(2011. 05) 대표적으로는 포름알데히드, 메탄올, 벤젠 등의 VOCs 계열과 포

스겐, 이황화탄소, 염산, 불산 등의 가스가 있다. 이러한 유해화학가스 유출은 즉각적·직접적으로 근로자나 인근 주민에게 영향을 미친다는 점에서 사회적으로 심각성을 인식하는 것이 중요하며 모든 작업장에서는 이를 숙지하고 안전설비를 갖추는 것을 의무화하고 있다. 따라서 유해가스 유출 시에는 신속하고 정확한 검지를 통해 산업단지로부터 주민과 유관기관으로의 고지를 거쳐 주변의 유해가스와 인체 위해성에 대한 종합적인 정보를 제공하여 신속한 대응 관리 체계를 확립하는 것이 중요하다.

### 근로자의 안전을 위한 국내외 IoT 나노센서 개발 동향

플랜트에서 사용되고 있는 유해화학가스 검지 센서는 주로 고정형의 정밀한 센서 장비로 중앙관리 시스템과 연동되어 있어 관리자의 제어가 가능하다. 그러나 시설의 안전 및 사고 방지를 목적으로 작업장 내에 고정되어 있어 작업장 내·외부에서 이동하며 근무하는 근로자의

안전이 우선시되지 않는 경향을 보인다. 그러므로 근로자 중심의 IoT 용 휴대형 유해물질 검지센서 개발을 통해 사고 시 중앙제어 시스템으로부터의 경보보다 직접적이고 신속한 정보수신 및 대처가 가능하도록 해야 한다.

Sierra Monitor社(미국)에서는 공장에서 제품 생산 시 발생하는 다양한 유해가스를 지속적으로 모니터링하여 조기경보가 가능한 IoT 유해센서 시스템을 개발하였다<sup>[13]</sup>. 이 시스템은 가연성 가스나 메탄, 이산화탄소, 염화수소 등 화재나 폭발의 위험성이 있고 인체에 매우 유해한 가스들을 모니터링한다. 또한 전기화학적, 광학적 방법의 가스센서와 중앙 제어 시스템, 빌딩 관리시스템 등으로 구성되어 관리자가 통제할 수 있도록 한다. 그러나 위에서 언급했듯이 휴대용 IoT 환경 센서의 개발을 통해 근로자의 안전을 중점적으로 확보할 필요가 있다. 이러한 수요에 발맞추어 Cambridge CMOS Sensors社(영국)에서는 귀금속이 도핑된 SnO<sub>2</sub> 나노물질을 사용하여 VOCs를 선별적으로 검지하는 유해 가스 검지 센서인 CCS801 multi-gas sensor 출시하였다(2014)<sup>[14]</sup>. 이 센서는 2×2 센서 어레이로 구성되어 있으며 핸드폰에 접속해 사용가능하다. 또한 Sensly社(미국)는 전기화학적 방식 기반 센서를 통해 벤젠, 알콜, 일산화질소, 포름알데히드, 톨루엔 등 다양한 가스를 검지하고 모바일 기기에 유출 정보를 전달함으로써 사용자가 필요한 조치를 취할 수 있다<sup>[15]</sup>. 국내에서는 한국전자통신연구원(ETRI)과 아이렉스넷社가 협업을 통해 개발한 IoT 환경 센서 'iThings'가 있다. iThings는 초소형 저전력 복합센서 모듈로써 작업자의 유니폼에 착용 가능한 웨어러블 형태의 유해가스를 검지하는 제품으로 상용화를 위한 개발 중에 있다<sup>[16]</sup>.

### 유해가스 모니터링 IoT 나노센서 연구 개발동향

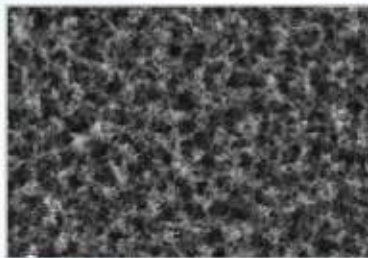
미국 국토안보부(DHS)에서는 스마트폰에 유해 화학물질 탐지기능을 탑재하는 기술을 개발 중이다. 반도체성 금속산화물이나 탄소나노튜브를 기반으로 한 본 센서는 스마트폰이 공기 중의 화학물질을 탐지하면 인근 공공기관에 정보를 자동 전송하고 공공기관에서는 테러 또는 위험 화학물질로 판명 후 인근지역 사람들의 휴대폰에 경보를

[13] <http://www.sierramonitor.com>

[14] <http://ccmoss.com/>

[16] <http://www.newstap.co.kr/news/articleView.html?idxno=29735>





포름알데히드 검지를 위한  $\text{In}_4\text{Sn}_3\text{O}_{12}$  나노구조

송출하는 IoT 형 센서로 염소( $\text{Cl}_2$ ) 등의 유해가스 탐지가 가능하다. 독일 튀빙겐 대학의 Weimar 교수 팀은 높은 단결정 특성을 보이는  $\text{In}_4\text{Sn}_3\text{O}_{12}$  나노구조체에 주석(Sn)의 비율을 조절한 소재를 합성하여 수십 ppb 단위 농도의 포름알데히드를 민감하게 검출하는 연구결과를 발표하였다<sup>[17]</sup>. 본 센서는 현재 판매되고 있는 Figaro社の 제품과 비교하여 우수한 선택성을 보인다. 중국 화중 과학기술대학(Huazhong Univ.) Di Chen 교수팀은 산화주석을 nano-spike 형태로 합성하여 사고대비물질 69종 중 하나인 메탄올에 대한 성능을 확인하였다<sup>[18]</sup>. 그 결과, 1 ppm의 메탄올까지 10초 이내의 빠른 반응속도로 검지하였으며 벌크 형태의 산화주석에 비하여 향상된 성능임을 확인하였다. 아세트알데히드는 VOCs 계열 가스 중 하나이며 미량의 농도라도 장시간 노출 시 인체에 유해한 영향을 미치게 된다. 본 연구팀은 직경 20~30nm 크기의 알루미늄이 도핑된 산화아연 나노입자를 제조하여 10 ppm 농도의 아세트알데히드 노출 시, 약 135배의 저항변화와 11초의 반응속도를 보이며 우수한 반응성을 보임을 확인하였다. 본 연구는 매우 간단한 방법으로 알루미늄이 도핑된 재료를 제조하여 휘발성 유기물 가스에 대한 검지 성능을 향상시켰다는 데 의미가 있다.

## 나노소재를 이용한 IoT 나노센서의 성장 가능성

나노소재 기반의 환경 센서는 고감도, 빠른 반응성, 소형화가 가능한 장점 덕분에 미세한 변화를 탐지해야 하는 IoT 시스템에 적용하기 어려운 기존 센서 및 분석 장비를 대체하는 데 필수적이다. 나노 센서는 이러한 장점에도 불구하고 구현의 고난이도와 낮은 선택성 문제로 인하여 활용이 제한되어 왔으나 최근 첨단 소재 기술부터 신호 분석

기술에 이르기까지 활발한 연구를 통해 점차 성능이 향상되고 있다. 센서의 성능을 향상시키기 위해 벌크소재로부터 시작된 연구는 기술의 발전에 따라 2차원 또는 1차원 구조의 고감도 나노소재 연구로 이어지고 있다. 특히 나노 구조체를 기능화하여 민감도와 반응속도를 향상시키기 위한 많은 연구가 진행 중이다. 나노센서 기술은 비록 상용화까지 많은 진보가 필요하지만 현재까지 소재 개발 분야에서 많은 학문적 성과를 거두었으며 앞으로도 성능 향상의 잠재성이 높아 활발한 연구가 진행 중이다. 그러나 센서의 잠재성과 별도로 나노센서를 IoT에 적용하기 위해서는 나노센서 어레이의 검지 신호를 분석하는 기술과 센서가 탑재된 시스템 간의 무선 연결을 통한 신호전송 기술, 사용자가 획득한 데이터를 유용하게 사용할 수 있는 인터페이스가 필요하므로 통합형 센서 시스템 구현과 관련된 연구 또한 지속적인 지원이 필요할 것으로 예상된다.

나노소재를 이용한 IoT 환경 센서의 개발은 미래의 대기오염 문제 해결 및 유해물질의 피해 예방을 위하여 필수불가결하다. 이는 대기오염을 방지하여 국민적 삶의 질을 향상시키고 유해물질에 따른 국민의 불안감을 해소하는 데 매우 중요하다. 또한 센서 수요의 80%를 수입에 의존하고 있는 현 국내 상황을 타개하기 위해 국내 기술을 기반으로 하는 IoT 환경 센서의 개발은 필수적이며 이를 통해 내수시장을 확보함과 동시에, 기하급수적으로 성장할 것으로 예상되는 국제적 IoT 시장에서의 우선적 지위를 확보할 것으로 예상된다. 이 밖에도 IoT 환경 센서 기술은 식품의 신선도를 유지하는 식자재 유통물류분야, 교량붕괴 감지 등의 방재재해분야, 탄저균 등의 바이오 테러를 감지하는 군사 분야, 산업현장의 유해가스를 감지하는 산업분야, 특히 신체 상태를 간단한 방법으로 진단할 수 있는 의료분야나 헬스케어 등 다양한 용도로 활용 가능하므로 국가적 차원의 정책과 지원이 절실히 요구되는 핵심 기술이라 할 수 있다. **Nano Insight**



[17] J. A. Kemmler et al., Sensors and Actuators B: Chemical, 161, 2012, 740-747

[18] J. Xu et al., Journal of Material Chemistry 2011, 21, 19086



# NANO NEWS

01

## 미래부-산업부, 나노기술 사업화 성과보고회 개최

미래창조과학부와 산업통상자원부는 10월 27일 '2015 나노융합2020 사업 성과보고회'를 개최하였다. 산·학·연 관계자 100여명이 참석한 가운데, 나노융합2020사업단이 2012년부터 3년 간 추진한 사업성과 및 우수사례를 발표하고, 성과물을 전시했다. 나노융합2020사업은 미래부와 산업부가 공동으로 기존 나노기술(NT-IT/NT-ET 융합)의 우수성과를 조기 상용화 하고자 지원하는 R&BD 사업이다. 2013년부터 61개 기업이 참여하여 47개 과제가 추진되었고, 현재까지 12개 과제가 사업화에 성공하여, 현재 약 818억원의 매출이 발생하였다.

주요 사업화 성과로는 ㈜크루셀텍의 기존방식보다 신뢰도가 높고 인식 속도가 빠른 지문인식모듈\*, 세계 최초로 상용화 된 엔젯㈜의 중대형 투명전극 제조용 프린팅·코팅 설비, ㈜에코메트론의 키트형 가짜석유 식별 센서 등이 있다. 이중 ㈜크루셀텍의 지문인식모듈은 2014년 말 화웨이, 오포 등을 시작으로 구글, LG전자, 마이크로소프트 등의 글로벌 스마트폰·PC 업체에 공급되어 현재까지 537억원의 매출을 달성하였다. ㈜크루셀텍은 이러한 성공을 기반으로 결제 솔루션에 탑재되어 지문인식 등을 통한 생체인증결제 가능한 바이오페이(BioPay) 솔루션 부문으로 사업 영역을 확대하고 있다.

한편 이번 행사에서는 부대행사로써 사회적 이슈 해결(에코메트론, 센서테크, 한스이엔지), 삶의 질 향상(큐시스, 석경에이티, 한일, 티앤비나노 일렉, 코오롱), 성장동력 창출(크루셀텍, 서남, 엔젯, 지디) 3개 분야에서 성과물이 전시되었다.

나노융합2020사업은 사업화 현장이 필요로 하는 기술자문, 특허전략 컨설팅 및 민간 투·융자 금융 연계 등을 통해 사업화 성공률을 제고하고자 노력하고 있다. [재]나노융합2020사업단 박종구 단장은 "나노기술과 같은 새로운 기술의 사업화는 쉽지 않지만, 시장수요-사업화능력-기술을 잘 연결한다면 성공 가능성은 충분히 있다. 현재 나노융합2020사업은 그런 가능성을 보여주고 있는 중이다."라고 밝혔다.

2015.10.28\_ 미래창조과학부



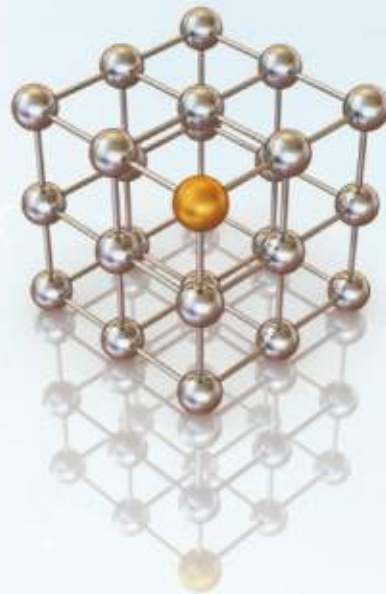
# NANO NEWS

02

## 나노기술종합원-미 드렉셀 나노재료연구소, 공동연구센터 개소

나노종합기술원과 드렉셀은 11월 4일 미국 드렉셀 대학은 '나노기술 공동연구센터'를 개소한다고 밝혔다. 이번에 개소된 나노기술공동연구센터는 실리콘 나노구조, 2차원 세라믹 신소재 등의 고성능 나노소재 구조제어기술을 통해 나노에너지, 나노바이오 분야에서 세계 최고 수준의 응용원천기술 및 상용화 기술을 개발하고자 한다. 이차원 신물질 MXenes을 실리콘 웨이퍼 (Si wafer) 공정과 결합시킨 초소형 수퍼 배터리를 개발하여 에너지 저장 및 소형 센서 등 소형 소자용 전원으로 활용하거나, 염기서열을 해석할 수 있는 나노기공 단일분자 감지소자를 개발하여 유전자 검사 속도 단축, 질병 원인파악 및 치료 등에 활용할 계획이다.

또한, 나노기술공동연구센터 개소를 계기로 한국과학기술원(KAIST)은 드렉셀 대학에서 운영하고 있는 미국 최대 규모 산학협동 학생 인턴프로그램(Cooperative



Education Program)의 산·학 공동연구와 인턴십 기회를 제공받게 되었다. 미래부 최영해 국제협력관은, "나노기술공동연구센터는 나노종합기술원의 첨단 인프라 기반 플랫폼기술과 드렉셀 대학의 핵심기초원천 기술을 활용한 공동연구센터로서, 나노구조체가 사용되는 다양한 응용기술 개발과 상용화 기반연구가 활발하게 추진될 것이다."라고 밝혔다.

더불어 이재영 나노종합기술원장은 환영사에서 "나노종합기술원에서 개발한 나노구조소재 가공 플랫폼기술과 드렉셀 대학의 나노소재 제어기술을 병합하여 보다 심화된 기술개발 및 나노소재, 소자분야 상용화기술을 모두 확보하기 위해 최선의 노력을 다할 것"이라고 센터운영에 관한 의지를 피력했다.

2015.11.04 \_ 미래창조과학부



## 03

### 정부, 제4기 나노기술종합발전계획(안) 공청회 개최

미래창조과학부 등 10개 부처·청은 나노기술촉진법에 따른 나노기술의 체계적인 육성·발전을 위한 기본시책으로 「제4기 나노기술종합발전계획(’16~’25년)안」에 대한 공청회를 11월 18일(수)에 개최하였다.

「제4기 나노기술종합발전계획(안)」은 제1기 나노기술 종합발전계획이 수립된 2001년부터 15년 간 축적된 나노기술 역량을 바탕으로 하며, 나노산업 성장 및 국내 주력산업의 경쟁력 강화를 위한 산업화 전략과 함께 미래 나노산업 성장을 위한 연구개발(R&D) 전략을 담고 있다.

본 계획(안)에서는 나노기술 연구 성과를 산업계의 수요와 연결하여 조기 상용화하는 등 성숙도 높은 기술영역의 산업화를 통해 기업성장을 견인하고자 한다. 산업화 지원 측면에서는 나노기업, 수요기업 등 나노산업 주체 간 연계를 강화하는 생태계 활성화 정책과 사업화 과정에서 중소기업의 부담을 감소하는 지원체계를 제시하였다. 이와 함께 나노기술 역량확보를 위하여 나노산업의 지속적인 성장을 촉진할 미래 키워드 기술의 선제적 개발, 핵심연구인력 및 현장 전문인력 양성 등의 과제를 제시하였다.

미래창조과학부는 동 계획(안)에 대한 각계의 의견을 수렴하고 산업통상자원부 등 관계부처와 협력하여 「제4기 나노기술종합발전계획(’16~’25년)」을 수립할 예정이다.

2015.11.18 \_ 미래창조과학부

## 04

### 미래부·산업부, 그래핀 수요기업 협의체 발족식 개최

미래창조과학부와 산업통상자원부는 그래핀 기술의 조기 상용화와 세계 시장 선점을 위해 ‘그래핀 수요기업 협의체 발족식’을 11월 26일 더케이서울호텔에서 개최했다. 그래핀은 10여년 이상 연구투자가 지속적으로 이뤄져 오면서 세계 최고수준의 기술력을 확보한 상태로 휴대용 디스플레이·이차전지 등의 충분한 수요기반을 가지고 있어 우리 주도의 신시장 창출이 가능한 분야로 전망된다.

이에 따라 두 부처는 원소재 생산, 측정·규격화, 응용제품의 전주기 통합·연계 R&D지원을 주요 내용으로 하는 ‘그래핀 사업화 촉진 기술 로드맵’을 지난 4월 수립한 바 있다. 이번 협의체 발족식은 이 로드맵에 따라 개최된 행사이다. 민간 협업을 통해 원소재 제조, 품질관리, 응용제품 개발 등 기업수요에 부합하는 기술이 개발될 수 있도록 촉진하기 위한 활동의 일환으로 이루어졌다.

그래핀 수요기업 협의체 발족식에서는 그래핀 기술 발전 및 시장상황과 그래핀 소재·부품 개발사업 추진현황에 대한 기업 발표가 이루어졌으며, 그래핀 소재·부품 개발 기업과 이를 최종제품에 활용하고자 하는 수요기업의 의견을 수렴하였다.

2015.11.26 \_ 미래창조과학부



# 나노카본, 최고의 활을 만들기 위한 첫 단추



박경래  
원앤원(주) 대표

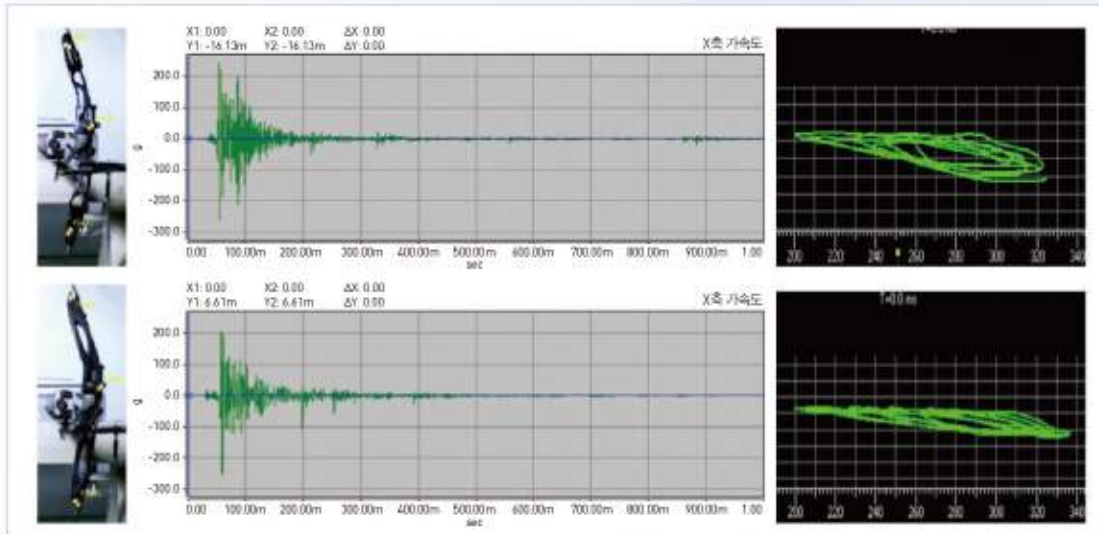
모든 제품이 그러하듯이, 최고의 스포츠 용품을 만들기 위해서는 그 성능을 뒷받침 해줄 수 있는 최적의 기능을 구현하는 소재의 개발이 필수적이다. 활에 있어서도 아처들의 경기력, 즉 기록 향상의 이면에는 활 성능의 발전이 뒷받침되며 함께 발전해 왔다. 활은 전 세계 다양한 지역, 즉 특수한 기후 환경에서 사용되기 때문에 더욱 소재의 중요성이 강조되고 있다. 영하 20℃가 넘는 추운 지방에서부터 40℃에 이르는 무더운 기온의 환경에서 다양한 파운드와 드로우랭스에 대하여 수십만 번에 해당하는 가혹한 슈팅에 견뎌야 한다. 이런 이유 때문에 활에 있어서 원소재의 개발은 좋은 활을 만들기 위해서 필수적인 매우 중요한 첫 단계라고 할 수 있다.

“나노카본”이란 카본나노튜브(CNT)를 수지에 분산하여 제조하는 Prepreg를 말한다. 이 나노카본은 일반 카본에 비하여 아주 우수한 물리적 특성을 나타내는데, 그 굵기 및 길이, 형태 그리고 표면처리 방법 등에 따라 종류가 다양하며, CNT를 분산하는 방법 및 함량 등에 따라 다양한 결과의 물성을 얻을 수 있다. 원앤원은 오랜 기간 동안 자체적인 연구를 통하여 좋은 활을 만들기 위해서 필요한 최적의 물성을 나타내는 나노카본 프리프레그를 자체 개발하였으며, 이렇게 나노카본을 이용하여 개발된 활에 최적화된 고품질의 프리프레그 소재는 첫째, 높은 강도 물성, 둘째, 충격 흡수 및 진동감쇄성, 셋째, 내구성 향상 등에 탁월한 성능을 보이며 활의 기능을 한층 높여주게 되었다.





활에서 슈팅 순간의 충격과 진동은 활의 불량운동에 직접적인 영향을 주게 된다. 충격이 크면 불량운동이 발생하게 되어 이치의 집중력을 방해함으로써 경기력을 떨어뜨리게 될 뿐만 아니라 효과적인 에너지 전달을 방해해 화살의 스피드 및 정확성이 떨어지게 된다. 또한 슈팅 후 남은 진동은 선수들에게 피로감을 주며, 감각적인 부분에 영향을 끼친다. 때문에 진동의 감쇄는 집중력 및 슈팅감각의 상승으로 이어져 경기력 향상에 도움을 주게 된다.



충격흡수 및 진동감쇄 효과와 안정적인 현(String)의 움직임

나노 기술을 이용하여 카본의 장점을 극대화함으로써 활에 최적화된 소재로 제조되는 원엔원의 활은 기존의 알루미늄은 물론이고 일반 카본소재의 활보다 탁월한 충격흡수 및 진동감쇄 성능을 발현하여 더욱 안정감이 있으며 불량운동이 줄어들어 정확성이 증가되었다. 그간 100년의 역사를 자랑하는 대표적인 활 제조 회사인 HOYT사의 알루미늄 활을 사용해오던 미국의 유명 국가대표 선수인 카투나 (Khatuna Lorig)는 최근 원엔원의 나노카본 활로 교체하여 사용하고 있다.

기존에 사용하던 알루미늄 핸들이나 일반 카본 핸들 보다 훨씬 진동이 적고 안정감이 있으며, 집중력이 증가되어 기록 향상에도 큰 도움이 되고 있다.

나노카본을 적용하여 더욱 향상된 품질 및 기능으로 제조되는 원엔원의 활은 그 성능을 인정 받아 생산량의 95% 이상을 전 세계 90여 국에 수출을 하고 있으며, 앞으로도 더욱 좋은 활을 만들기 위한 끊임없는 노력으로 전 세계 아처들의 기록 향상에 이바지 할 것이다. **Nano Insight**



Nano Max 활을 점검하고 있는 미국의 카투나(Khatuna Lorig)선수

# 파동에너지 극한제어연구단



## 파동에너지극한제어연구단이란?

파동에너지극한제어연구단은 미래창조과학부 글로벌프런티어사업의 열 번째 연구단으로 2014년 8월에 출범하였으며, 2023년까지 총 9년간 매년 약 100~130억 원의 연구비를 지원받을 예정이다. 본 연구단의 목표는 파장보다 작은 인공구조물을 창의적으로 설계 제조하여, 파동에너지를 극한까지 제어할 수 있는 극한물성시스템을 구현하고, 기계-ICT-에너지-바이오(의료) 융합화를 통한 실용화로 6T(NT, IT, ET, BT, CT, ST) 신산업을 창출하는 것이다. 이러한 목표를 위해 연구단은 극한물성시스템 플랫폼기술(대면적 제조 및 측정, 6T 응용기술) 개발에 집중하는 출연연구원 중심의 제1 핵심과제, 그리고 파동의 특성에 따라 특화된 원천기술을 개발하는 전자기 파동에너지 제어기술의 제2 핵심과제, 역학 파동에너지 제어기술의 제3 핵심과제로 구성되어 있으며, 그 아래 14개의 세부과제로 추진되고 있다.

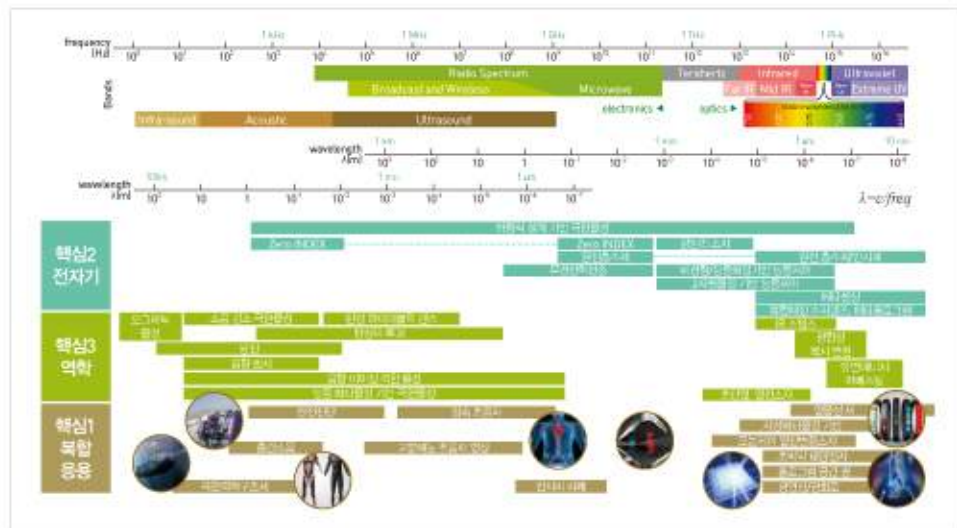
현재 약 101명의 박사, 교수급 연구원과 대학원생 198명이 연구에 참여하고 있으며, 기관별로는 7개의 출연연(KIMM, ETRI, NNFC, KIMS, KIER, KRISS, KIST)과 15개의 대학(서울대, KAIST, 연세대, 고려대, 이화여대, 아주대, 경북대, UNIST, 서울시립대, 한양대, 숭실대, GIST, 전남대, 세종대, DGIST)이 참여하고 있다.





극한물성 시스템을 이용한 파동제어기술 소개

극한물성시스템 기반의 파동제어기술은 그 중요도로 인해 전 세계적으로 큰 주목을 받고 있으며 다수의 연구 그룹이 연구력을 집중하여 기술선점을 위해 노력 중이다. 이 기술은 2003년, Science 지에서 과학발전의 10대 기술 중 하나로 소개되었으며, 이어 2010년에는 '21세기 중대 과학적 성취 10'에 극한물성시스템을 물리학 부분의 최대 연구 성과로 선정한 바 있다. 이외에도 MIT Technology Review(2007)는 '10대 유망 미래기술'로 선정한 바 있다. 파급효과에 있어서는 현재 시장 규모가 129억 달러 규모의 초음파 진단 시장, 20억 달러 규모의 방진소재 시장, 360억 달러 규모의 조명 및 태양 전지 시장, 154억 달러 규모의 의료용 이미징 시장 등에서 극한물성시스템을 이용한 지속적인 시장 성장과 신제품 창출이 가능할 것으로 전망되며, 2022년에는 1,554억 달러 규모의 연관 시장이 형성될 것으로 전망하고 있다.<sup>[1]</sup>



파동에너지 극한제어연구단의 목표 및 전략

이러한 기술적 변화에 대응하기 위해 본 연구단은 국가과학기술의 토대를 다지고 미래성장동력을 확보하기 위한 기초연구부터 응용연구까지 포괄적으로 아우르고 있다. 즉, 극한물성시스템의 이론정립부터 실용화를 위한 응용기술 개발까지 전 주기 연구를 체계적으로 수행하고자 산학연의 최고 연구진을 구성하여 원천기술 확보(1단계, 2년) → 실용화 플랫폼 구축(2단계, 3년) → 실용화 촉진(3단계, 4년)을 통한 산업지향 원천기술 및 실용화기술을 개발할 계획이다. 현재, 전 세계적으로 극한물성시스템에 대한 연구는 주로 극한물성시스템의 기초연구에 집중되어 있으며, 전자기와 역학 파동 모두에 대해 원천부터 응용과 제조까지를 모두 아우르는 광범위한 연구 그룹은 아직 전무한 실정이다. 이 점에 주목하여 본 사업단은 전자기 및 역학 극한물성 시스템을 포함하는 통합극한물성 시스템 핵심기술개발과 실용화를 위한 3차원 공정, 대면적화, 광대역, 저손실, 다기능 구현 기술 및 이를 위한 다학제 간 융합연구 수행 등 선진연구기관과 차별화된 전략을 추진하고 있으며, 미래사회의 핵심 소재가 될 극한물성시스템 기술에 대해 국제적으로 선도적인 입지를 구축하고자 한다.

[1] Energy Harvesting and Storage for Electronic Devices(IDTechEx, 2009), Metamaterials: Technologies and Global Markets (BCC Research, 2012), Ultrasonics: Global markets and technology(BCC Research, 2008)



### 현재까지의 주요 성과

파동에너지극한제어연구단에서 개발하고 있는 극한물성시스템을 통해 구현하고자 하는 새로운 파동제어 특성은 회절한계 극복, 무한 집속·투과, 완전 흡수·차단·무반사(스텔스), 음 굴절률, 초고 굴절률 등이며 이러한 획기적인 파동제어기술을 이용하여 고해상도 레이더, 열상카메라 야간투시경에 대한 스텔스, 광대역 흡수체를 이용한 박막태양전지, 마이크로파 안테나, 비침습적 의료영상기 등 다양한 분야와 융합하여 기존 기술의 한계를 뛰어넘고자 한다. 구체적인 성과로는 생체조직과 같이 복잡한 매질 내부 깊은 곳 물체의 이미지를 고해상도로 획득할 수 있는 '초고심도 이미징 기술(Nature Photonics)', 기존 26.5 kHz 대역의 좁은 주파수 범위를 43 kHz로 65 % 증가시킨 '탄성 메타물질 최적화 기술(Structural and Multidisciplinary Optimization)', 인공구조물을 활용하여 음파를 10배까지 증폭시켜 송신하거나 수신할 수 있는 '무전원 음향신호 증폭기술(Scientific Reports)'등을 1차년도 연구의 대표성과로 도출하였다.

파동에너지극한제어연구단은 인공구조물을 이용한 극한물성시스템 기술 분야에서 전자기 및 역학 파동에너지 제어 원천기술과 이를 실용적인 응용 분야에 적용할 수 있는 플랫폼 기술을 개발하고 6T(NT, IT, ET, BT, CT, ST)기술과 융합함으로써 주거, 국방체계, 의료, 안전, 보안, 운송 등 폭넓은 산업분야에서 우리나라의 기술 역량을 혁신하는 데에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 파동에너지제어 및 극한물성시스템 분야에서 세계 최초·최고의 원천기술을 개발함으로써 세계적인 기술 흐름을 주도할 수 있으며, 우리나라의 주력 산업 분야에 극한물성시스템 기반의 와해성 신기술을 보급함으로써 산업 경쟁력 향상과 신산업 창출에도 기여할 것으로 기대하고 있다. 연구단에서 개발된 기술은 기계융합 분야에서 고신뢰 안전진단시스템, 스텔스 국방체계, 쾌적 아파트, 운송시스템·원자력 우주 적용 방진·단열 소재, 재난방지시스템 등의 구체적인 응용 분야에 활용될 것으로 전망된다. ICT 융합 분야에서는 스마트 안테나, 3D 홀로그래픽 디스플레이, 전자파 차폐·흡수체 기술, 무인운송시스템·로봇, 고속 광연산·판단시스템, 에너지 융합 분야에서는 초고효율 태양에너지 활용시스템, 열전소자기반 고성능 열관리시스템, 파력발전시스템, 바이오 및 의료 분야에서는 초고해상도 의료진단/치료시스템에 직접적인 파급효과를 지닐 것으로 기대되고 있다. [Nano Insight](#)



### 향후 기대효과 및 활용방안

#### 참고문헌

박남규, 이학주 "메타물질 개요와 파동에너지 극한제어 연구단 소개", 「물리학과 첨단기술, 2015」




January

February

March

# NANO CALENDAR

1

1.8   
첨단 신소재 개발과 응용 분석 세미나

아이티컨퍼런스

2

1.21~22   
나노 융합 컨퍼런스 2016


나노기술연구협의회

3

1.24~28   
IEEE International Conference on Micro Electro  
Mechanical Systems (MEMS)

Institute of Electrical and  
Electronics Engineers(IEEE)

4

1.24~29   
2nd Sustainable Nanotechnology School

SUN, MODENA COST and  
ECONANOSORB

5

1.25~28   
IMAC

Society for Experimental  
Mechanics (SEM)

6

1.27~29   
NANO TECH 2016

Nano Tech Executive  
Committee



January

February

March

# NANO CALENDAR


7

2.9~11 

Kuwait International Nanotechnology Conference & Expo

Dr. Ali Bumajdad


8

2.13~18 

SPIE Green Photonics

International Society for  
Optics and Photonics(SPIE)


9

2.21~23 

International Symposium on Field-Programmable Gate  
Arrays

ACM/SIGDA, University of  
Illinois


10

2.28~3.2 

7th International Conference on Tribology in  
Manufacturing Processes (ICTMP)

International Research  
Group of Tribology in  
Manufacturing 외

11

3.20~24 

SPIE Smart Structures/NDE

International Society for  
Optics and Photonics(SPIE)



# 나노기술이 만들어가는 새로운 세상!

NNPC는 명실상부한 나노정책 전문연구기관으로 나노기술정보의 가치를  
극대화하여 우리나라 나노기술 발전을 위한 정책 및 전략을 개발하는 Think-Tank  
역할을 하는 기관으로 발전하도록 노력하겠습니다.



NATIONAL NANOTECHNOLOGY POLICY CENTER  
[www.nnpc.re.kr](http://www.nnpc.re.kr)

# Nano INSight