

## 미지의 세계를 여는, 극미량 과학

글\_명승은 한국과학기술연구원 책임연구원 swmyung@kist.re.kr

우 리 인간이 신이 창조한 우주로부터 물질을 발견하고 이를 이용하여 문명의 발전을 이룩하고, 생명의 연장을 실현해나간다는 것은 참으로 큰 기쁨이 아닐 수 없다. 인간의 시력은 너무도 미약하여 더 작은 세계를 보고 싶은 우리의 호기심을 만족시킬 수가 없어서 돋보기를 사용하고, 확대경을 만들고, 광학현미경을 만들고 나아가서 전자현미경을 만들어서 분자 또는 원자 수준의 크기까지 볼 수 있도록 노력하고 있다. 그 결과 우리가 그 동안 보지 못하고 느끼지 못했던 극미량의 세계로부터 노화를 억제하고 질병을 예방, 치료함으로써 인간의 수명을 연장시키기도 하고 좀더 안락한 생활을 영위하기 위한 과학기술의 발전이라는 말을 낳고 있다.

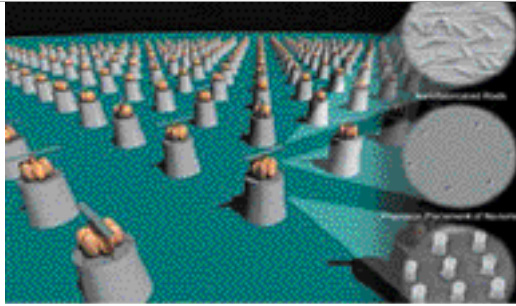
**적혈구만한 나노로봇, 몸 속에 투입해 손상세포 치료**

2000년대에 과학기술에서 화두가 되고 미래 각종산업의 원천기술이 될 극미량의 세계는 '나노(nano)'의 세계이다. 나노란 어떤 단위의 10억분의 1을 의미하며 나노미터(nm)는 수소원자 10개 정도를 일렬로 줄세운 길이이다. 나노기술(Nano technology)은 과학기술의 각 분야 즉, 물리, 화학, 생물, 공학, 수리, 응용광학 등 각 분야에 있어 새로운 패러다임의 전환을 일으키고 있으며 이에 대한 각 분야의 노력은 상상을 초월할 정도이며 국가 주도의 선점 전략과 노력을 기울이고 있다. 각국에서 각고의 노력을 기울이면서 국가 R&D예산의 상당부분을 투자하고 있는 극미량 신기술은 나노구조 물질, 나노전자, 광전자, 자성체, 의료, 생체분석, 나노스케일 환경학, 고효율 에너지 저장 매체, 산업용 마이크로 비행

체, 질병진단용 바이오센서, 나노 무인 무기체계 등으로서 너무도 광범위하고 심도있게 진행되고 있다. 원자나 분자의 집합체인 화합물들은 크기에 따라서 물질의 물리·화학적 성질이 달라지는데 이 성질을 이용한 기술이 나노재료 기술이다. 예로서 금(Au)은 일반적으로는 황금색이지만 20nm이하가 되면 빨간색으로 변하며, 물질이 작은 크기로 쪼개짐에 따라서도 표면적이 증가하는 등 물성이 변화하여 TiO<sub>2</sub>입자의 경우 살균력, 자가세척력, 김서림 방지효과 등이 나타나게 된다. 또한 전자적인 성질을 갖는 물질들은 수 나노미터 크기에서 자기적인 성질이 최대로 나타나게 된다.

의약분야에서, 기존에 개발되어 사용되고 있는 치료약물들은 혈류를 따라서 이리저리 흐르다 목표로 하는 세포를 만나면 그 목표물에 달라붙어서 약효를 발휘하고 떨어져 나오는 형태인데 경우에 따라서는 이 약물은 원하지 않는 곳에도 작용함으로써 부작용이라는 것을 일으키기 마련이었다. 이 약물치료가 불가할 경우에 메스를 사용하거나 레이저를 사용하고 있지만 이 또한 손상된 부위를 정확하게 찾기 힘들고 다른 부위를 손상시키지 않고 이들 부위만을 정확하게 치료한다는 것은 무척이나 힘든 일이다. 하지만 적혈구보다 조금 큰 나노로봇을 사용하여 이 로봇이 손상된 세포 부위만을 치료한 후 몸 밖으로 나온다면 얼마나 효율적이고 몸에 거부감이 없을까? 나노의약을 연구하는 학자들은 나노로봇이 상처부위까지 기어가서 감지하고, 진단하며, 치료시스템을 활성화시키는 극소형의 자치통제가 가능한 로봇을 구상하고 있다. 이러한 초소형 로봇을 작동하기 위해서

나노로봇을 움직이는  
바이오모터 시스템



는 작은 모터와 배터리가 필요하게 되는데 이러한 MEMS 소자들을 구동하는데 필수적인 나노배터리는 머리카락 굵기에 배터리를 60개나 채워 넣을 수 있을 정도로 작게 개발되고 있다.

또한, 신용카드 크기 정도의 판 위에 시료 전처리 장치와 센서를 장착하여 생체물질(혈액, 소변 등)로부터 질병의 진단을 실행할 수 있는 랩온어칩(Lab-on-a-Chip)을 분석화학, 생명공학자, 전자공학자들이 함께 달라붙어서 연구의 영역이 구분되지 않은 학제간(Interdisciplinary) 융합(Fusion) 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 Bio MEMS는 특정 질환에 대한 검사 및 특정 물질을 극미량의 시료에서 신속하게 검출하는 것을 가능케 함으로써 춘각을 다루는 환자와 의사가 검사결과를 기다리는 시간을 최소화할 수 있을 것이다. 이러한 분석기술은 저비용, 고효율, 초경량화, 고생산성, 최단시간에 극미량의 유전자를 진단하는 것을 목표로 DNA칩을 개발하는 것이다.

### 집적회로 기억밀도 100만Gb까지 전망

극미량의 세계에서, 정보기술은 인간의 복지 및 군사 기술에 있어 커다란 변화를 주고 있는데 이 기술의 영역은 소자(Devices), 아키텍처(Architecture), 저장매체(Storage) 분야이다. 소자 분야에서는 소자 요소들의 크기를 줄여 집적도를 높이는 것이 필수적인데, 1nm급 단전자 트랜지스터, 양자역학의 스핀이론을 이용한 전자 부품소자, 전도성 고분자들을 이용한 생체 복합소자, 탄소나노튜브를 이용한 반도체소자, 갭(gap) 효과를 이용한 화학전해 전극 스위치 등의 기술이 있으며 단백질의 접힘(folding) 현상을 이용하여 수십 나노미터 크기의 세

상에서 가장 작은 엔진을 만들었다는 최근 발표도 있다. 아키텍처 분야에서는 양자도트를 베이스로 한 새로운 방식의 계산 알고리즘, 수백억개 이상의 뉴런의 집합으로 이루어진 인간뇌의 구조를 응용한 인공지능시스템이 있다. 한편, 저장장치는 높은 저장밀도와 데이터전송이 중요시되는데 미래의 저장기술로는 원자단위의 조작성을 가능케 하여 저장밀도를 획기적으로 높이는 기술, 원자 조작 대신에 분자의 화학적 변화를 데이터 저장 요소로 하는 저장매체들을 구상하고 있다. 현재 상업적으로 이용되고 있는 집적 회로의 최고 밀도는 1cm<sup>2</sup> 당 3기가비트(Gb)이며, 최대 약 10Gb 수준까지 개발된 상태인데 원자 한 개를 기억매체로 사용할 경우 최고 100만Gb까지 기억밀도를 높일 수 있을 것으로 예측하고 있다. 인체의 신경과 뉴런과 같은 기능을 갖는 생체응용물질을 개발하여 인간의 인공장기로 이용하거나 생체와 기계를 연결하는 매체로 사용하여 궁극적으로는 인간을 대신할 수 있는 사이보그의 개발도 있을 수 있을 것이다. 섬유 기술의 경우 극미량의 세계에서는 서브마이크론이하 직경의 섬유를 개발하고 있는데 이는 마찰력을 최소화하고 경량화하여 운동선수들이 기록향상을 위해서 사용하고 있으며, 군인들의 경우에 군복과 배낭, 헬멧등의 무게를 최소화하고, 신개념 전투복을 사용할 경우 전투복의 색깔을 주변환경에 따라 카멜레온처럼 변화시킴으로써 다른 위장도구가 필요 없어지고, 물질의 이동을 조절하는 섬유의 개발로 화학전이나 생물화학전에서 화학무기 또는 생물학 무기의 신체유입을 통제할 수 있는 기능성 섬유의 개발도 가능할 것이다.

또한, 화장품에 극미량의 기술인 나노기술이 이용되면, 물리화학적으로 불안정한 생리활성물질을 분자수준에서 안정화시키고 생리활성물질만 선택적으로 피부에 흡수시킴으로써 효능을 극대화하고 부작용을 최소화할 수 있을 것이다. 즉 생리활성이 있는 유효성분을 나노입자에 포함시켜서 원하는 부위에 선택적으로 도달하게 함으로써 미백, 주름방지, 자외선 차단 등의 효과를 나타내는 고기능성 화장품을 개발하는데 이용될 수 있다.

환경분야에서는 생산 시설 및 자동차 등의 크기가 축

소되고, 에너지 소비량 등이 최소화되면, 2차적인 오염 발생을 극소화하고, 효과적인 수 있는 환경친화적인 기술이 발전될 수 있다.

또한, 오염물질에 대한 검출한계도 낮아짐에 따라 ppt(part per trillion) 또는 ppq(part per quadrillion) 농도 수준까지도 검출이 가능하여 환경이나 생명체에 대한 물질오염을 극소화하는 노력이 진행되고 있다. 아울러, 지금까지 과량의 용매를 사용함으로써 2차 환경오염을 발생하게 하였던 기존의 액체-액체 추출법(LLE), 액체-고체 추출법(LSE)이 유기용매의 사용을 극소화하는 SPME(solid phase microextraction), 새로운 개념의 MESI(membrane extraction with sorbent interface)법, LPME(liquid phase microextraction)법 등이 도입되어 효율성과 경제성까지도 높이고 있다. 또한, 측정장비로서 기체크로마토그래프(GC)도 신용카드 크기의 칩에서 구현되고, 질량분석기도 휴대폰 정도 크기로 개발 중에 있다. 이렇게 된다면, 70~80년대에 커다란 실험실을 차지하던 GC/MS, LC/MS가 현재에는 실험벤치 위에 올라와 있으며 몇 년 후에는 손바닥 위에서 작동되어 PDA에서 데이터를 처리하게 될 것이다.

### 수개월 전 복용한 금지약물도 검출

에너지분야에서는 가까운 시일내에 고갈이 예상되는 기존의 화석연료를 대체할 오존, 일산화탄소, 매연입자, 이산화질소, 황 등의 도시환경 오염의 주범을 없앨 수 있는 환경친화적인 대체에너지의 개발이 시급한데, 이의 돌파구로서 나노기술이 이용되고 있다. 차세대전지, 연료전지, 태양전지, 경량화된 재료를 이용하여 에너지를 절약하고, 환경오염절감, 재생 가능한 에너지의 개발로서 이의 해당 분야는 에너지의 저장, 전환, 제조공정의 개선 등이 있을 수 있다. 예를 들어, 나노구조를 가진 물질은 활성 표면적이 늘어남으로써 보다 더 효과적인 광흡수제로서의 역할을 하여 이를 이용한 태양전지는 훨씬 많은 양의 태양에너지를 생산할 수 있을 것이다. 에너지 저장분야에서는 나노튜브와 입자를 사용함으로써 저장효율을 높이는 노력을 하고 있는데 나노크기의



리튬이온 전극재료는 기존의 재료에 비해 10~100배 정도의 빠른 충전과 방전특성을 나타내고 있다.

생체시료나 환경물질 중에서의 극미량 분석의 예를 살펴보도록 하자. 필자가 관계하고 있는 도핑테스트(운동선수들의 약물검사)에서도뇨중에 포함된 약물 및 그 대사체를 검출해 내는데 더욱더 미량을 분석하는데 혼신의 노력을 하고 있다. 현재 국제올림픽위원회(IOC)와 세계반도핑기구(WADA)에서 매년 발표하고 있는 약물들은 대부분이 검출되기만 하면 양성(positive) 판정을 하고 있으며, 그나마 몇몇 금지된 약물들의 뇨중 최소 농도는 수 ppb(ng/mL) 수준으로 규정하고 있다. 이 정도의 농도를 쉽게 이해할 수 있도록 한다면 길이가 50m 이고 8레인이 있는 국제규격의 수영장에 차순가락으로 밀가루 1찻술을 풀어놓은 정도의 농도가 된다. 처음 우리나라에 도핑컨트롤센터가 설치되었던 1980년대 중반까지만 해도 한정된 소변의 양(5mL)을 가지고 이 정도의 농도를 검출하는 것은 무척 힘든 일이었지만 지금은 분석기술의 발달과 분석장비의 극미량분석이 가능하기 때문에 1~2개월 전에 복용했던 약물도 검출이 가능하게 되며, 모발 등 체모를 시료로 사용하게 될 경우 몇 개월 전에 복용했던 마약류나 근육강화제 등의 검출이 가능하게 될 전망이다. 이상에서 살펴본 바와 같이 극미량의 세계는 그 끝이 어디인지는 아무도 모른다. 극미량의 세계가 인간 문명발전에 기여하고 있다고는 하지만, 그 이면에는 또다시 어떠한 위협이 도사리고 있다는 사실도 주시하면서 발전시켜 나가야 할 것이다. ☞



글쓴이는 한국과학기술연구원 도핑컨트롤센터 책임연구원, 경기대 겸임교수, 고려대 객원교수, 국무총리실 규제개혁위원회 전문위원 역임, 한국분석과학회 총무간사 역임