

## Nano-Technology and Future Medicine

이 언

가천의대 길병원 신경외과

### 나노메디신이란 ?

- ▶ 나노기술을 기반으로 분자수준에서 설계 및 제조된 제제, 디바이스 등을 사용하여 질병을 예방, 진단, 치료하는 것이다.
- ▶ 나노(nano)는 그리스어로 "난쟁이"라는 뜻으로  $10^{-9}$ 을 의미한다.
- ▶ 1 nm는  $10^{-9}$ m를 나타내며 나노기술은 1-100 nm 정도의 크기의 물질을 다루는 기술을 말한다.

## 역 사

- ▷ 1959년 미국 캘리포니아 공대에서 개최한 미국 물리학회에서 물리학자인 리처드 파인만(Richard Phillips Feynman)이 “바닥에는 풍부한 공간이 있다(There's plenty of room at the bottom)”라는 제목으로 발표한 강연에서 기원.
- ▷ 파인만은 브리태니커 백과사전의 전체 내용을 조그만 핀머리에 기록하는 방법, 생물 또는 무생물의 크기를 획기적으로 축소하는 방법 등 소형화의 개념을 제시하였다. 하지만 당시에 이는 공상과학에 불과하다고 생각했다.
- ▷ 1983년 스위스에서 주사터널링 현미경(STM)이 개발되면서 나노 기술은 더 이상 공상과학에 그치지 않고 현실로 다가왔다.
- ▷ 주사터널링 현미경, 원자반발 현미경(AFM), 근접장 투과 현미경(SNOM)이 개발되면서 나노 구조나 단일분자의 특성을 관찰하고, 이들을 조작하는 것을 실현할 수 있게 되었다.
- ▷ 미국은 2003년 나노기술개발법(21st Century Nanotechnology Research and Development Act)를 제정하여 나노기술을 연구기반을 조성하였다.

## 역 사

- ▷ 우리나라도 나노기술의 체계적인 육성과 발전을 위하여 2002년 나노기술 개발촉진법을 제정하여 나노기술 연구를 지원하고 있다.
- ▷ 미국의 경우 2015년까지 성취할 10대 나노기술 연구개발 목표를 설정하였는데, 이 중 4가지가 나노메디신관련 기술일 정도로 나노메디신에 많은 관심을 기울이고 있다.

## 나노기술의 정의

- ▷ 나노(nano)라는 용어는 고대 그리스어의 '난쟁이'라는 의미의 '나노스(nanos)'에서 유래된 말
- ▷ 10억분의 1을 나타내는 국제단위계(SI)의 접두어로서, 1960년 개최된 제11회 국제도량형총회(General Conference on Weights and Measures, CGPM)에서 채택되었다.
- ▷ 1 나노미터는 10억분의 1미터를 나타내는데, 인간의 머리카락 굵기는 약 80,000 나노미터이고, 적혈구는 약 7,000 나노미터인 것과 비교하면 상당히 작은 단위이다.

## 미국 NNI 나노기술 3대 조건

1. 약 1-100나노미터 길이 범위 내의 원자, 분자, 초분자 수준에서의 연구와 기술 개발
2. 미소한 크기로 인해 발현되는 새로운 성질과 기능을 갖는 소자나 시스템의 제조와 이용
3. 원자 수준에서의 조작과 제어 능력

- ▷ 일본의 경우 2001년 수립된 나노기술재료분야 추진 전략에서 나노기술을 '나노미터 수준의 원자, 분자를 조작·제어하고 나노크기의 물질 등을 이용해서 새로운 기능, 뛰어난 특성을 이끌어 내는 기술의 총칭'이라고 나타냈다.
- ▷ 영국은 마이크로 기술과 나노기술이라는 용어를 통합하여 사용하는 경향을 보이고 있다. 2003년 7월 영국 과학기술청은 향후 6년간 9,000만 파운드를 투자하는 마이크로나노 기술 제조 전략(Micro and Nanotechnology Manufacturing Initiative)을 발표하였다.

나노기술의 정의		
국가		내 용
한국	2001 나노기술 종합 발전계획	나노크기 수준에서 분석, 조작하고 이를 제어할 수 있는 과학과 기술
	2006~2015 나노 기술 종합발전 계획	물질을 나노미터 크기의 범주에서 조작·분석하고 이를 제어함으로써 새롭거나 개선된 물리적·화학적·생물학적 소재·소자 또는 시스템을 창출하는 과학기술
	나노기술개발 촉진법	1) 물질을 나노미터 크기의 범주에서 조작·분석하고 이를 제어함으로써 새롭거나 개선된 물리적·화학적·생물학적 특성을 나타 내는 소재·소자 또는 시스템 (이하"소재등"이라 한다)을 만들어 내는 과학기술 2) 소재 등을 나노미터 크기의 범주에서 미세하게 가공하는 과학기술
미국	21세기 나노기술 연구 개발법	본질적으로 새로운 분자조직, 특성, 기능을 가지는 소재, 소자, 시스템을 만들어낼 목적으로 원자, 분자, 초 분자 수준에서의 이해와 측정, 조작, 제도가 가능하도록 하는 과학과 기술
	2009 국가나노기술 이 니셔티브수정법	본질적으로 새로운 특성이나 기능을 가지는 소재, 소자, 시스템을 만들어낼 목적으로 나노스케일에서의 이해, 측정, 조작, 제도가 가능하도록 하는 과학과 기술
	NNI	특정 현상의 새로운 적용이 가능한 약 1-100 나노미터 범주에서 물질을 조작하고 이해하는 기술
영국	하원 과학기술위원회 나노기술조사보고서	- 나노기술은 0.1-100 nm 수준의 극미의 물질을 조작하는데 이용되는 기술과 공정 - 나노과학(nanoscience)은 원자·분자 수준에서 조립과 조작에 관한 연구 - 나노기술(nanotechnology)은 나노과학을 제품과 공정 개발에 응용하는 것
일본	나노기술재료 분야 추진 전략	나노미터 수준의 원자, 분자를 조작·제어하고 나노크기의 물질 등을 이용해서 새로운 기능, 뛰어난 특성을 이끌어 내는 기술의 총칭

나노기술 연구분야	
분야	내 용
전자/통신	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 낮은 전력소모, 저생산비용을 갖고 백만 배 이상의 성능을 갖는 나노구조의 마이크로프로세서 소자</li> <li>- 10배 이상의 대역폭과 높은 전달속도를 갖는 통신시스템</li> <li>- 현재보다 수천 배 크고 크기는 작은 대용량 정보저장장치</li> <li>- 대용량 정보를 수집 처리하는 집적화된 나노센서 시스템</li> <li>- 정보저장, 메모리 반도체, 포켓사이즈 슈퍼로봇</li> </ul>
재료/제조	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기계 가공하지 않고 정확한 모양을 갖는 나노구조 금속 및 세라피</li> <li>- 분자단위에서 설계된 고강도의 소재, 고성능의 촉매</li> <li>- 뛰어난 색감을 갖는 나노입자를 이용한 인쇄</li> <li>- 나노크기를 측정할 수 있는 새로운 표준</li> <li>- 절삭공구나 전기적, 화학적, 구조적 응용을 위한 나노코팅</li> </ul>
의료	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 진단학과 치료학의 혁명을 가능케 하는 빠르고 효과적인 염기서열분석</li> <li>- 원격진료 및 생체이식소자를 이용한 효과적이고 저렴한 보건치료</li> <li>- 나노구조물을 통한 새로운 약물전달 시스템</li> <li>- 내구성 및 생체친화력이 있는 인공기관</li> <li>- 인체의 질병을 진단, 예방할 수 있는 나노센싱 시스템</li> </ul>
생명공학	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하이브리드 시스템의 합성피부, 유전자 분석/조작</li> <li>- 분자공학으로 제작된 생화학적으로 분해 가능한 화학물질</li> <li>- 분실물의 유전자 개선</li> <li>- 동물에의 유전자와 약물공급</li> <li>- 나노배열 기반 분석기술을 이용한 DNA분석</li> </ul>
환경/에너지	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 배터리, 청정연료의 광합성, 양자태양전지</li> <li>- 나노미터 크기의 다공질 촉매제</li> <li>- 크미세 오염물질을 제거할 수 있는 다공질 물질</li> <li>- 자동차산업에서 금속을 대체할 나노 입자 강화 폴리머</li> <li>- 무기물질, 폴리머의 나노입자를 이용한 내마모성, 친환경성 타이머</li> </ul>
국방	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 무기체계의 변화(소형, 고속, 장거리 이동)</li> <li>- 무인 원격무기(무인 잠수함, 무인 전투기, 원격센서시스템)</li> <li>- 은폐(stealth)무기</li> </ul>
항공우주	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저전력, 항방사능을 갖는 고성능 컴퓨터</li> <li>- 마이크로 우주선을 위한 나노기기</li> <li>- 나노구조 센서, 나노전자공학을 이용한 항공전자공학</li> <li>- 내열, 내마모성을 갖는 나노코팅</li> </ul>

## 나노기술의 특성

- ▷ 나노기술에서 나노미터의 크기란 단순히 작다는 의미가 아니라, 물질의 근본을 이루고 있는 원자나 분자 수준에서 제어와 조작을 의미한다.
- ▷ 원자나 분자를 원하는 대로 조작하는 것이 가능해진다는 것은 자연계에 존재하지 않는 물질이라 할지라도 필요한 용도에 맞는 성질을 가진 물질을 합성하는 것, 그리고 원자와 분자 수준의 구조물을 원하는 형태로 제작, 가공하고 조절하는 것이 가능해진다는 의미이다.
- ▷ 접근 방식은 두 가지가 있는데, 하나는 기존 전통기술의 연장선에 있는 탑다운(top-down) 방식과 다른 하나는 자기조립(self-assembly) 등의 원자 수준의 직접적인 제어를 통해 접근하는 바텀업 (bottom-up)방식이다.

## 나노기술의 문제점

- ▷ 안전성 문제
- ▷ 기술의 사회적 수용 가능성 문제
- ▷ 나노물질에 대한 이해를 바탕으로 인체의 원리를 탐구하여 진단과 치료기술을 개발하는 나노메디신의 경우에 나노기술의 위험성을 어떻게 통제하고, 이를 사회적으로 수용하는가는 다른 나노기술 영역보다도 훨씬 중요한 문제가 될 것이다.

## 나노메디신에 대한 관심과 전망

- ▷ 유전자 조작, 생체센서, 진단 및 치료 장치, 약물전달시스템의 개발 등을 목적으로 하는 나노바이오기술은 분자 수준에서 생명현상을 이해하고, 질병의 진단 및 치료에 도움을 줄 것으로 기대된다.
- ▷ 나노메디신에 대한 전망은 낙관적이다.

## 나노메디신 기술의 분류

- ▷ 진단기술과 치료 기술로 분류할 수 있다.
- ▷ 치료용 나노메디신은 약물의 효능을 증진시키거나 부작용을 경감시키고 부가 가치를 창출하기 위하여 나노 기술을 접목시켜 개발된 의약품의 의미함
- ▷ 진단용 나노의약품은 질병을 조기에 발견하거나 정확하게 진단하기 위하여 나노기술을 이용해 개발한 의약품을 포함한다.
- ▷ 진단기술에는 다시 나노바이오센서 기술, 나노바이오칩 기술, 나노 분석 기술, 나노이미징 기술이 포함되며 치료 기술은 체내에 삽입하거나, 체내에서 운용될 수 있게 하는 임플란트, 생체재료 기술과 약물전달 기술이 포함됨

구분	2006~2008	2009~2011	2012~2014	2015~2017	2018~2020
Global Trend	■ 조기진단, 질병 예측			■ 맞춤형 의료	■ 난치병 극복
Milestone (씨앗사업)	나노 조영제 바이오물질 검지제 나노바이오칩	질병감지 현미경 질병유발인자 검지 검지 시스템	조기진단 질병예측 초소형 진단기기	개인특성별 조기진단 기술 동시다중 검지 휴대용, 현장상시 진단기기	나노바이오진단시스템
핵심기술	요소 기술				
나노구조 재료/바이오 이미징 기술	분석 기술 ■ 질환 조기진단용 나노조영제 기술 - 난치병 조영제 개발 → 인체 안정성 구현 → 난치병 이미징	분석 기술 ■ 질환 조기진단용 나노조영제 기술 - 난치병 조영제 개발 → 인체 안정성 구현 → 난치병 이미징	분석 기술 ■ 질환 조기진단용 나노조영제 기술 - 난치병 조영제 개발 → 인체 안정성 구현 → 난치병 이미징	분석 기술 ■ 개인특성별 조기진단 이미징 기술 - 개인 맞춤형 조영제 개발 → 이미징 및 의료진단 해석	분석 기술 ■ 개인특성별 조기진단 이미징 기술 - 개인 맞춤형 조영제 개발 → 이미징 및 의료진단 해석
나노구조 재료/바이오 검지 기술	시스템 기술 ■ 질환 조기진단용 조영제 시스템 기술 - 조기진단 구현 → 고속고해상도 이미징 hardware	시스템 기술 ■ 질환 조기진단용 조영제 시스템 기술 - 조기진단 구현 → 고속고해상도 이미징 hardware	시스템 기술 ■ 질환 조기진단용 조영제 시스템 기술 - 조기진단 구현 → 고속고해상도 이미징 hardware	시스템 기술 ■ 압력 이미징 시스템 - 3차원 형상을 위한 시스템 → 의료진단 해석	시스템 기술 ■ 압력 이미징 시스템 - 3차원 형상을 위한 시스템 → 의료진단 해석
나노구조 재료/바이오 검지 기술	분석 기술 ■ 질병 검지를 위한 나노구조체 기술 - 검지용 나노입자, 선, 면 기술 → 단일 분자 신호의 해석	분석 기술 ■ 질병 검지를 위한 나노구조체 기술 - 검지용 나노입자, 선, 면 기술 → 단일 분자 신호의 해석	분석 기술 ■ 질병 검지를 위한 나노구조체 기술 - 검지용 나노입자, 선, 면 기술 → 단일 분자 신호의 해석	분석 기술 ■ 동시다중 검지 - 동시다중 및 개인별 특성 분자 검지를 통한 질병진단	분석 기술 ■ 동시다중 검지 - 동시다중 및 개인별 특성 분자 검지를 통한 질병진단
나노구조 재료/바이오 검지 기술	시스템 기술 ■ 질병유발인자 검지 시스템 구현 기술 - 생체 단분자 검/진/자기신호 고정밀 계측 소자 → 단분자 검출 시스템 신호 제어 → 단분자 검출 시스템	시스템 기술 ■ 질병유발인자 검지 시스템 구현 기술 - 생체 단분자 검/진/자기신호 고정밀 계측 소자 → 단분자 검출 시스템 신호 제어 → 단분자 검출 시스템	시스템 기술 ■ 질병유발인자 검지 시스템 구현 기술 - 생체 단분자 검/진/자기신호 고정밀 계측 소자 → 단분자 검출 시스템 신호 제어 → 단분자 검출 시스템	시스템 기술 ■ 동시다중 검지 - 동시다중 및 개인별 특성 분자 검지를 통한 질병진단	시스템 기술 ■ 동시다중 검지 - 동시다중 및 개인별 특성 분자 검지를 통한 질병진단
나노바이오칩 기술	분석 기술 ■ 대량분석용 DNA, 단백질, 세포 칩 - 대용량 나노바이오칩 구현 → 고정밀 고감도 칩 분석	분석 기술 ■ 대량분석용 DNA, 단백질, 세포 칩 - 대용량 나노바이오칩 구현 → 고정밀 고감도 칩 분석	분석 기술 ■ 대량분석용 DNA, 단백질, 세포 칩 - 대용량 나노바이오칩 구현 → 고정밀 고감도 칩 분석	분석 기술 ■ 개인 맞춤형 분석용 DNA, 단백질, 세포 칩 - 고감도 고정밀 칩 → 개인별 특성 규명 - HTS 및 HCS 활용 → 신약개발 응용	분석 기술 ■ 개인 맞춤형 분석용 DNA, 단백질, 세포 칩 - 고감도 고정밀 칩 → 개인별 특성 규명 - HTS 및 HCS 활용 → 신약개발 응용
나노바이오칩 기술	시스템 기술 ■ 저가 고감도 나노바이오칩 구현 기술 - 단순소재 및 공정을 채택한 나노바이오칩 생산 플랫폼 기술	시스템 기술 ■ 저가 고감도 나노바이오칩 구현 기술 - 단순소재 및 공정을 채택한 나노바이오칩 생산 플랫폼 기술	시스템 기술 ■ 저가 고감도 나노바이오칩 구현 기술 - 단순소재 및 공정을 채택한 나노바이오칩 생산 플랫폼 기술	시스템 기술 ■ 저가격 소형 개인맞춤형 나노바이오칩 생산기술 및 표준화	시스템 기술 ■ 저가격 소형 개인맞춤형 나노바이오칩 생산기술 및 표준화
나노바이오칩 및 분리 시스템 기술	분석 기술 ■ 단일 생체 분자 검지 및 분리 기술 - 나노 유체 수송, 분리, 정제, 반응 기술 → 시스템 미세제어 → 저가 고감도 초정밀 검지 시스템	분석 기술 ■ 단일 생체 분자 검지 및 분리 기술 - 나노 유체 수송, 분리, 정제, 반응 기술 → 시스템 미세제어 → 저가 고감도 초정밀 검지 시스템	분석 기술 ■ 단일 생체 분자 검지 및 분리 기술 - 나노 유체 수송, 분리, 정제, 반응 기술 → 시스템 미세제어 → 저가 고감도 초정밀 검지 시스템	분석 기술 ■ 단일 생체 분자 검지 및 분리 기술 - 나노 유체 수송, 분리, 정제, 반응 기술 → 시스템 미세제어 → 저가 고감도 초정밀 검지 시스템	분석 기술 ■ 단일 생체 분자 검지 및 분리 기술 - 나노 유체 수송, 분리, 정제, 반응 기술 → 시스템 미세제어 → 저가 고감도 초정밀 검지 시스템
나노바이오칩 및 분리 시스템 기술	시스템 기술 ■ 초소형 검지 및 분리 시스템 구현 - 시스템 요소기술 구현 → 통합검지/분리 시스템의 소형화	시스템 기술 ■ 초소형 검지 및 분리 시스템 구현 - 시스템 요소기술 구현 → 통합검지/분리 시스템의 소형화	시스템 기술 ■ 초소형 검지 및 분리 시스템 구현 - 시스템 요소기술 구현 → 통합검지/분리 시스템의 소형화	시스템 기술 ■ 휴대용, 현장상시 진단기기 - 의료현장 적용, 소비자 활용 진단기기	시스템 기술 ■ 휴대용, 현장상시 진단기기 - 의료현장 적용, 소비자 활용 진단기기

구분		2006~2008	2009~2011	2012~2014	2015~2017	2018~2020
Global Trend		■ 가능성 나노구조체 개발 ▪ 나노구조체를 이용한 약물 전달 기술, 세포/조직공학 및 임플란트 기술 개발			■ 세가지 기반기술의 실용화 및 병합을 통한 나노치료기술 구축	■ 인간수명 연장 및 삶의 질 향상
Milestone (씨앗사업)		나노입자 합성	나노구조체용 약물전달	독성 및 비용 최소화	나노약물전달 최적화 작업	세가지 기술에 기반을 둔 통합 나노치료시스템 구축
		나노구조체 합성	나노구조체 세포 assay	세포 및 조직 기술	실제 인체에 적용	
핵심기술		나노물질 합성	생체 나노융합체 개발	의료기, 인공지능기 개발	인체에 적용, 최적화 작업	
나노 약물 전달 기술	분석 기술	■ 약물전달용 vesicle의 합성 및 분석 - 다양한 기능성 vesicle 합성 → 합성된 vesicle 분석 → Vesicle의 특정한 세포로의 전달 및 세포 내에서의 기능 분석			■ 약물전달용 기능성 나노물질 합성 및 분석 - 다양한 약-나노 융합물질 합성 → 합성된 융합 나노물질의 여러 가지 특성 분석 → 융합 나노물질의 특정한 세포로의 전달 및 세포 내에서의 기능 분석	
	제어 기술	■ 약물전달 효율의 극대화와 독성 및 비용의 최소화 - 나노약물전달기술을 통한 약물전달효율의 극대화 → 효율은 유지하면서 독성 및 비용의 최소화				
나노구조체를 이용한 치료기술	분석 기술	■ 나노구조체를 이용한 선택적 (암)세포 제거 기술-기능성 나노구조체 합성 → 나노구조체의 물리 화학적 특성 분석 → 세포에 적용 후 기능 분석			■ 손상된 세포/조직 복구 기술 나노물질-생체물질 융합 → 인체에 적용 후 회복도 및 독성 분석	
	제어 기술	■ 나노환경을 이용한 세포 및 조직 생장 - 2D 또는 3D 나노구조/패턴 형성 → 나노구조/패턴상에서의 세포생장의 조절				
나노바이오 임플란트 기술	조절 기술	■ 생체적합 초미세 의료기 - 초미세 나노구조물과 생체물질의 융합 → 이러한 융합 구조물을 조절할 수 있는 device를 이용한 초미세 초정밀 의료기 개발				
	시스템 기술	■ 나노스케일 인공지능 - 펩타이드나 무기 나노물질 등을 이용 자기조립 구조체 형성 → 이러한 구조체를 이용하여 인공지능을 형성하는 기술 개발 → 인체에 적용 (신체 융화 정도 및 독성)			■ 나노스케일 인공지능기 - 나노물질을 기반으로 한 융합구조체 개발 → 손상된 장기의 일부에 인공 나노구조체 적용	

## 결론

- ▷ 나노메디신은 의학과 관련 분야에 많은 변화를 가져올 것이다.
- ▷ 나노메디신은 조기진단, 실시간 진단, 신속하고 정확한 진단을 함으로써 예방의학의 발전에 기여할 것이고, 질병의 치료 가능성을 높일 것이다.
- ▷ 동시에 다양한 사회적, 윤리적 문제들을 발생시킬 것이다.
- ▷ 나노메디신의 개발과 연구는 아직 초기단계이지만 활발히 진행되고 있다.
- ▷ 나노메디신이 가져올 사회적, 윤리적 영향 연구를 바탕으로 연구가 진행되어야 할 것이다.