

나노바이오테크놀로지 (Nanobiotechnology)

(주)K2B

경제학박사 김 태 역



[목 차]

1. 서론

2. 나노바이오테크놀로지

- 1) 개요
- 2) 핵심 나노소재
- 3) 적용분야
- 4) 나노에멀션
- 5) 한국의 나노바이오테크놀로지

3. 나노바이오테크놀로지 시장

- 1) 지역별 시장 분석
- 2) 주요 국가별 연구지원 현황
- 3) 시장 동향 및 전망

4. 분야별 주요 기업 소개

- 1) 덴드리머(Dendrimer)
- 2) 나노입자(Nanoparticle)
- 3) 풀러린(Fullerene) 및 나노튜브(Nanotube)
- 4) 치료제(Therapeutics)
- 5) 약물 전달(Drug Delivery)
- 6) 조직 재생(Tissue Reconstruction)
- 7) 연구기관(Academic Research)
- 8) 기타

5. 나노바이오테크놀로지 제품

- 1) 기업별 제품
- 2) 주요 제품 현황
- 3) 임상단계 제품

참고문헌

1. 서론

일반인들에게 있어 극 미세 영역을 다루는 나노테크놀로지는 공상과학영화 수준의 이야기에 지나지 않을 수도 있다. 그러나 산업 현장의 연구원이나 기업가들에게 있어서 나노테크놀로지는 그 매력을 느끼기에 충분한 테마로 다가올 수 있다. 기술의 한계와 향후 미래 산업에 대한 해결책을 나노(Nano)의 미세한 세계에서 찾을 수 있기 때문이다.

최근 나노테크놀로지는 국내는 물론 미국, 일본, EU 등에서 국가적 차원의 지원 속에 다양한 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있으며, 특히 생명공학과의 학문적·기술적 융합을 통해 나노바이오테크놀로지(Nano-biotechnology) 분야에서도 연구 및 기술적용에 대한 노력이 두드러지고 있다.

나노바이오테크놀로지란 원자나 분자 단위에서 물성을 규명하고 조작하여 새로운 재료 및 소자를 개발하는 나노기술과 인간의 질병과 생명현상을 연구하고 그와 관련된 제품을 생산하는 바이오기술이 결합된 것이라고 할 수 있다. 이 나노바이오 기술은 그 학문적, 상업적, 사회문화적 중요성과 향후 기술의 발전 가능성에 대한 기대 때문에 세계 각국에서는 정부차원에서 그 연구개발 투자에 박차를 가하고 있으며, 미국의 경우 2001년에 'National Nanotechnology Initiative'를 수립하여 2015년까지 성취할 10대 나노기술 연구개발 목표를 설정하였는데, 이중 4가지가 나노바이오기술 (1. 암의 조기발견·진단·완치, 2. 나노급의 의약품 합성 및 전달 체계 확립, 3. 인공장기 등의 나노급 융합기술개발 4. 생체 적합형 물질 및 시스템 개발)에 관한 것이었다.

나노바이오기술이 본격적으로 연구 개발되기 시작한 지는 5 ~ 6년밖에 되지 않아 아직 초기단계에 있다고 할 수 있지만 세계 각국의 적극적인 연구비 투자에 힘입어 빠른 속도로 발전하고 있으며, 기존의 바이오기술과 접목하여 DNA칩, 단백질칩 등 진단 또는 생체물질 분석을 통한 신약개발, 임상병리학적 목적의 분석 시스템, 유전자(Gene)의 기능을 밝히기 위한 연구용칩 등의 활용이 가시화되고 있다. 기술개발 발전단계에 있어 일부는 이미 개념 정립단계를 벗어나 미국 및 일본의 대기업을 비롯한 많은 벤처기업들에 의하여 상용화가 진척되고 있으나 전반적으로는 아직 개념 정립단계에 있는 것으로 판단된다.

국내에서도 2000년대 들어 21세기 프론티어사업, 성장동력사업, NCRC(국가핵심연구센터)사업 등을 통해 나노바이오기술 개발을 적극 지원하고 있다. 나노바이오기술은 21세기 인류의 생활을 근본적으로 바꾸어 놓을 수 있는 꿈의 기술로서, 의학, 재료, 정보, 에너지, 농수산, 환경 등의 분야에서 경제적, 사회적으로 커다란 파급효과를 가져올 것으로 전망된다. 이러한 나노바이오기술의 발전은 물리, 화학, 의학, 전자공학, 재료공학 등 다양한 기초과학 및 공학의 융합에 의해서만 이루어질 수 있을 것이다.

본 보고서에서는 나노테크놀로지와 생명공학의 융합 나노바이오테크놀로지에 대한 개념과 특징들을 살펴보고, 현재 다양하게 활용되고 있는 나노바이오테크놀로지의 기술과 응용분야, 의료보건산업에서의 향후 발전방향과 과제를 짚어보고자 한다.

2. 나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology)

1) 개요

나노테크놀로지(Nanotechnology)란 나노(Nano) 미터($10^{-9}m$)의 극 미세 영역에서 물질을 제어함으로써 새로운 기능이나 시스템을 만드는 기술을 말한다. 여기서 말하는 나노(Nano) 미터의 영역은 머리카락 지름($100\mu m$)의 10만분의 1 수준으로 물질을 구성하는 원자, 분자 정도의 미세한 크기으로써 인간이 원자를 자유자재로 제어할 수 있다면 지금까지 존재했던 것과는 전혀 다른 새로운 물질과 기능을 만들어 낼 수 있는 것이다. 바로 이러한 가능성을 나노테크놀로지에서 찾을 수 있는 것이며, 이러한 나노테크놀로지를 통해 비즈니스 측면에서도 새로운 기회를 제공해 줄 것으로 기대되고 있다.

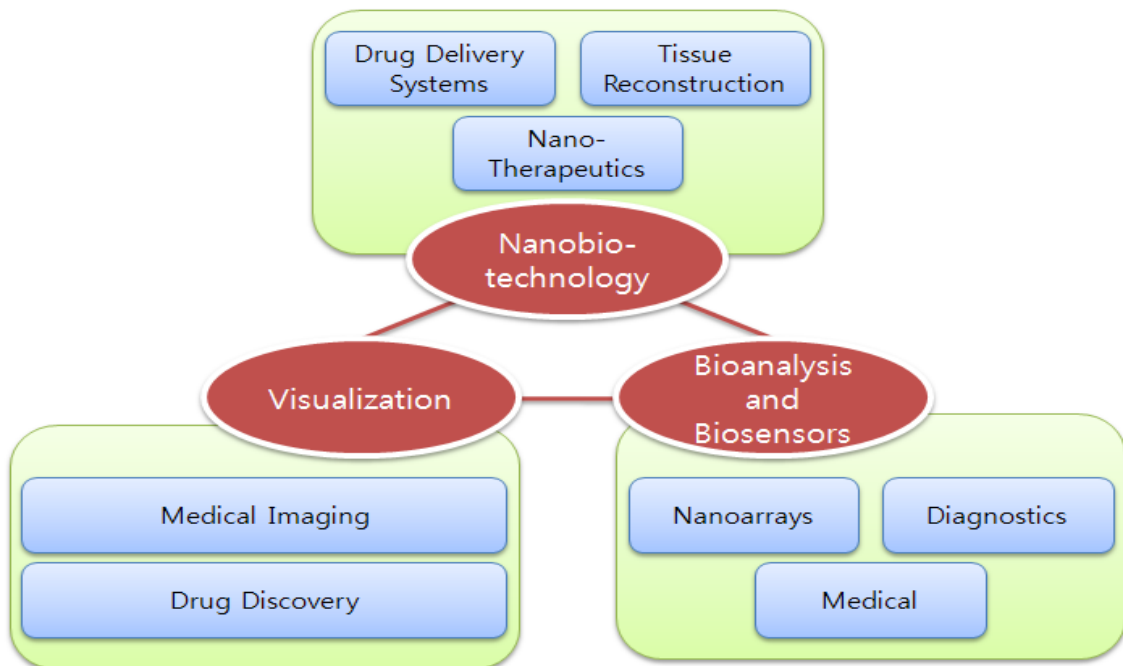
서두에서 언급한바 있듯이 나노(Nano)라는 것은 10억분의 1을 나타내는 단위로써 1 나노미터의 길이는 대략 작은 분자 1개의 크기와 대등한데, 이러한 작은 크기의 물질을 이용하여 인간이 원하는 방향으로 정렬하고, 원하는 장치 및 시스템을 구성하여 구동 또는 작동하도록 시도하는 것이 나노테크놀로지의 기본 개념이라고 할 수 있다. 다시 말해 나노테크놀로지는 분자 수준의 제어를 통해 유용한 물질을 생산 혹은 개발하고자 하는 노력의 일환이라고 표현할 수 있으며, 특히 이러한 나노테크놀로지 내에서도 그 대상물질이 바이오 시스템일 경우를 일반적으로 나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology)라고 정의할 수 있다. 살아있는 모든 생물체의

내부에서 발생하는 모든 대사 현상들은 나노 스케일(Nanoscale)의 생물학적 요소들에 의해 일어나는 현상들이기 때문에 생물체 자체를 나노바이오시스템이라고도 볼 수 있는 것이다. 이처럼 나노바이오테크놀로지의 범주는 유기물과 무기물 등의 재료 범주를 넘는 여러 소재와 바이오 물질을 이용하여 다양하고 복합적으로 개발되는 기술로서, 생명과학, 화학, 재료공학, 전자공학 및 화학공학 등의 공동 연구가 필수적인 특징을 가진다. 나노바이오테크놀로지와 관련하여 분자생물학, 생화학 등의 생물학 분야에서 많은 연구가 이루어지고는 있으나 나노 스케일의 장치와 재료의 생산 수준은 아직은 초보적인 단계라고 평가되고 있으며, 향후 발전 가능성이 무한한 분야로써 현실적으로 불가능하게 여겨졌던 기능의 구현이나 제품의 개발이 가져올 미래의 나노 관련 시장은 지금으로선 예상하기조차 어려울 정도의 큰 규모로 성장 할 수 있는 잠재력이 있다고 할 수 있다.

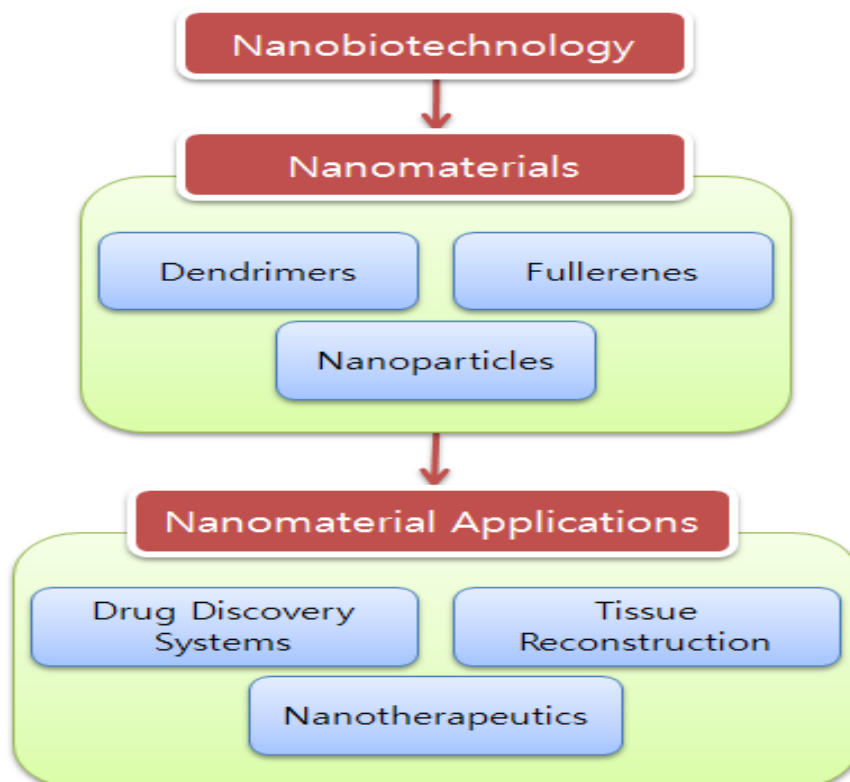
현재의 나노바이오테크놀로지 시장은 무기물을 이용하는 나노재료 단계에 있다고 할 수 있으며, 이러한 나노재료들은 ‘미세한 크기’ 라는 특성을 통해 기존의 재료들이 가졌던 구조적 강도 또는 용해도와 같은 물리적, 화학적 특성들의 범주에 이점을 더해줄 수 있다. 즉, 비활성(Inert), 무독성(Non-toxicity)과 같은 특징을 통해 면역반응을 유발하지 않음으로써 낮은 독성효과를 나타내거나 인체 내의 면역계를 피해 반응을 나타낼 수 있다는 것이다.

본 연구보고서에서 다루게 될 내용은 다음의 그림과 같이 나노바이오테크놀로지 분야에 적용되는 나노재료(Nanomaterials) 시장에 대한 내용과 함께 치료제, 약물 전달시스템, 조직재생공학 등 ‘나노바이오테크놀로지’ 분야에서 나노재료들이 어떻게 적용될 수 있는지를 살펴보고, 그에 대한 세계적인 시장 현황분석내용을 다루고자 하며, ‘Bioanalysis and Biosensor’ 분야는 본 보고서에서 제외되었다.

<Nanobiotechnology Market : Applications (World)>



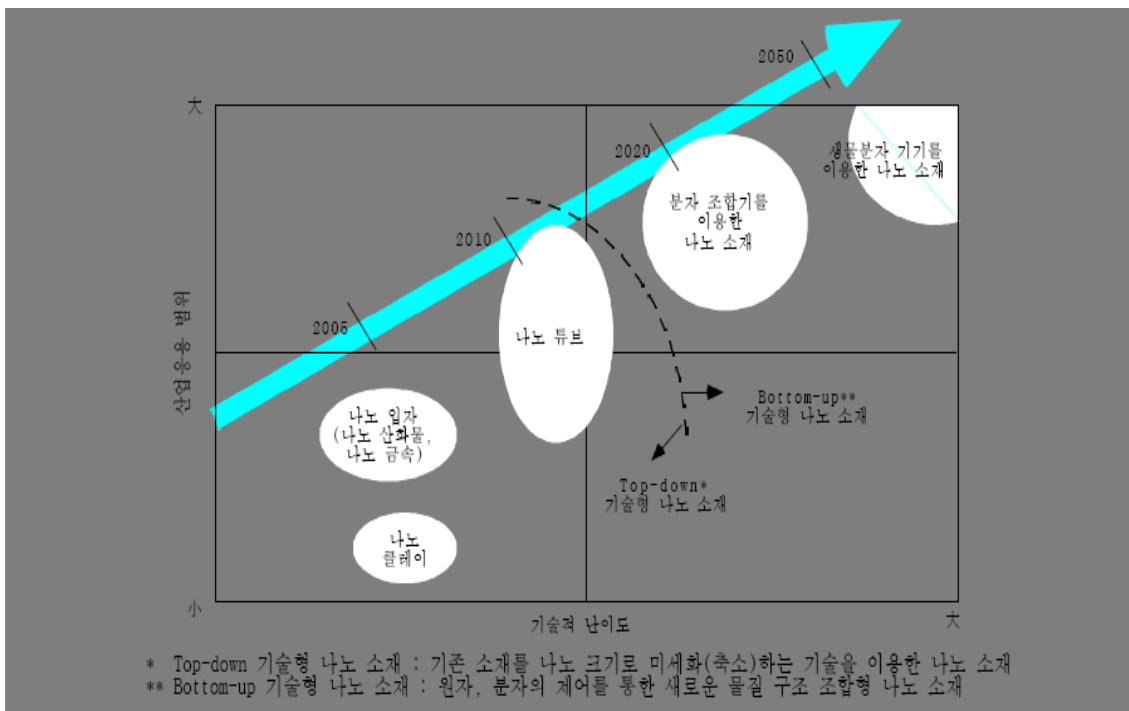
<Nanobiotechnology Market : Market Segmentation (World)>



2) 핵심 나노소재

향후 10년 내에는 나노 소재 분야에서 큰 변화가 일어날 것으로 예상되고 있다. 나노재료는 나노기술의 기초 연구 분야인 나노 공정, 나노 기기, 나노 측정 등의 분야에서 나온 성과와 접목됨으로써 큰 발전을 이루게 될 전망이다, 특히 나노재료 분야가 정보·전자 분야의 나노 기술과 융합되면 나노 기술과 관련한 보다 큰 시장이 형성될 것으로 기대 된다.

<나노재료의 단계별 발전 방향>



[출처 : LG 주간경제 2003, 57]

2020년 전후에는 나노 소재 기술이 기존의 마이크로미터로부터의 미세화 수준을 뛰어넘어 분자 조합 기계를 통해 전혀 새로운 성질의 소재를 구현해 내는 수준으로 발전할 전망이다. Bottom-Up 방식의 나노 재료 개발이 시작되는 이 시기에 이르러서는 혁신적 소재가 등장할 수도 있다. 위와 같은 발전 단계를 상정해 볼 때 앞으로 2~3년 간 나노 재료는 기존 소재의 범위를 크게 벗어나지 않는 상태에서 기능 향상을 추구하는 방향으로 나아갈 가능성이 크다. 따라서 당분간은 나노입자가 나노 재료 분야에서 가장 주목을 받을 것으로 예상되며, 이는 기존 재료로부터 기술적 접근이 비교적 쉽고 응용 범위가 넓기 때문으로 해석할 수 있다.

나노재료에 대한 연구는 기존 재료에서는 실현할 수 없었던 새로운 물성이나 기능을 얻는 데 목적이 있다. 이를 위해서는 크게 기존 재료를 나노 크기로 미세화하는 방법과 나노 크기의 새로운 물질 구조를 원자 단계로부터 조합하는 두 가지 방법을 이용 할 수 있다. 현재와 같은 초기단계에서는 미세화를 통한 나노재료 개발이 대부분을 차지하고 있다. 즉 기존 재료를 가지고 지름이나 두께를 나노미터화함으로써 새로운 물질 구조를 가진 나노재료를 개발해내는 것이 일반적인 방법이라 할 수 있다. 현재 미세화에 의해 얻어지는 나노재료는 특징적 구조에 따라 크게 세 유형으로 나누어 볼 수 있다. 나노 산화물, 나노금속을 포함한 나노미터 크기의 지름을 가진 구형 나노입자(이하 나노 입자), 두께가 나노미터 크기인 판상(板狀) 형태의 나노클레이, 나노미터의 지름을 가진 긴 관 형태의 탄소 나노튜브 등이다. 나노바이오테크놀로지에 있어 현재 시장의 초점은 생물학적 문제점과 현상들에 대한 나노재료들의 적용분야에 집중되어 있으며, 이와 관련되어 연구·사용되고 있는 재료들을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 나노입자(Nanoparticles)

나노 입자는 구형의 나노 크기 산화물이나 금속입자로서 입자의 크기가 작아지면서 생기는 비표면적(比表面積) 증가 효과나 침투 효과(또는 모세관 효과)를 이용해 새로운 응용분야를 만들어내고 있는 소재이다. 특히 전자기적(電磁氣的) 성질을 이용하는 전자 부품분야, 약물 흡수 성질을 이용하는 의약/화장품 분야, 그리고 광촉매나 연료 전지 분야 등에서 사용이 크게 증대될 것으로 기대된다.

'Du Pont' 社와 'Dow Chemical'社는 이러한 나노입자 분야에 크게 주목하여 최근 자외선 차단제, 촉매 등으로 널리 쓰이는 산화티타늄(TiO₂) 나노 파우더의 개발과 생산에 박차를 가하고 있기도 하다.

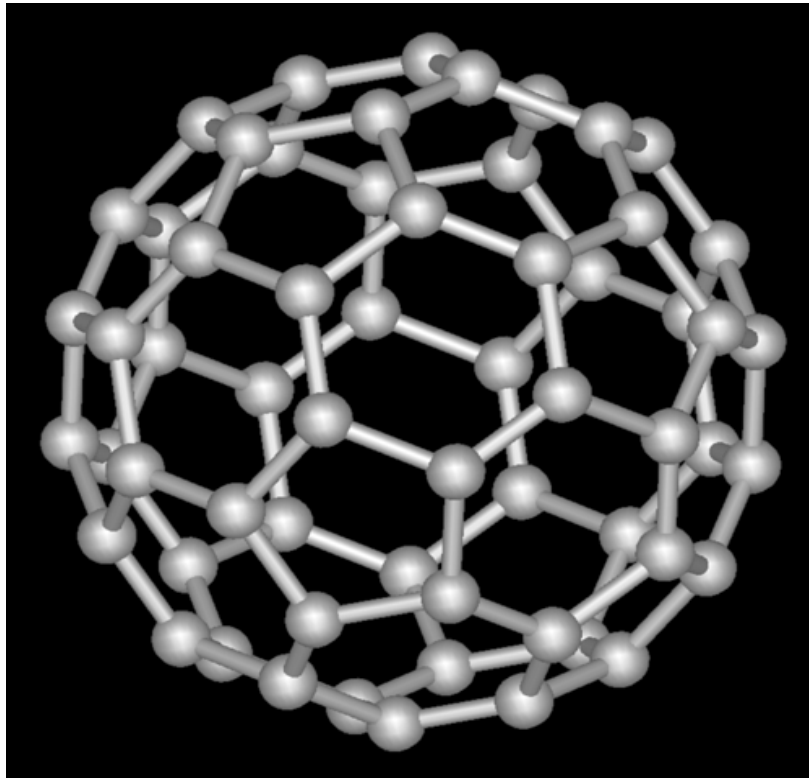
나노입자(Nanoparticle)는 직경 1 ~ 100nm 크기의 물질들로 나노테크놀로지의 기본적인 구성 단위물질이라고 할 수 있다. 나노입자는 보통 금(Gold), 산화주석(Tin oxide), 알부민(Albumin) 등의 중합물질(Polymeric materials)과 같은 불활성(Inert) 물질들을 이용해 만들 수 있는데, 이러한 수준의 입자들은 보다 직경이 큰 입자들에 비해 생물학적 시스템에 적용되었을 때 물리적, 화학적, 생물학적으로 뚜렷이 구분되는 특성 - 막(Membrane)을 통한 투과성(Permeability) 증대 효과, 광학적(Optical) 활성화 효과, 분자 수준에서의 응집(Aggregation)현상에 대한 조절 가능성 등 - 을 지니고 있다.

이러한 나노입자들은 나노셸(Nanoshell)을 만드는데 이용될 수 있다. 나노셸의 대표적인 예로써 중심부의 속이 비어있는 불활성 금속 구(Inert metal sphere) 형태를 말할 수 있는데, 실리카 유전체 중심부(Silical dielectric core)를 금(Gold)으로 둘러싸서 불활성(Inert) 캡슐(Capsule)을 형성함으로써 다양한 물질들을 채워 넣어 분자화물(Molecular cargo)으로써 이용할 수 있는 것이다.

(2) 플러린(Fullerenes (Buckyballs)) / 나노튜브(Nanotubes)

플러린(Fullerene)은 1985년에 Sir Harry Kroto, Dr. Richard E. Smalley, Dr. Robert F. Curl Jr. 연구진에 의해 발견되어 노벨상을 수상한 바 있으며, 탄소(Carbon) 원자 60개로 구성된 공 모양의 분자로 된 물질로 알려져 있다.

<Fullerene C₆₀ ball and stick created from a PDB using Piotr Rotkiewicz's iMol>



[출처 : <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fullerene-C60.png>]

탄소의 다른 동소체(Allotrope, 同素體)인 다이아몬드와 흑연은 탄소 원자들이 무한히 배열되어 있는 고체인데 반해 탄소의 3번째 동소체로 알려진 플러린은 유한한 분자으로써 분자식은 C₆₀이고, C₆₀은 20개의 6각형과 서로 접하지 않는 12개의 5각형으로 이루어진 축구공같이 생긴 분자로서 각 탄소는 이들의 꼭지점에 위치

하게 된다. C60을 이루는 60개의 탄소 원자는 모두 같은 환경에 놓여 있다는 것이 실험을 통해 밝혀진바 있으며 이로부터 C60은 3차원의 유클리드(Euclidean) 공간에 존재할 수 있는 가장 대칭성이 좋은 분자로 형성된 것이다. 서로 접하지 않는 12개의 5각형과 25개의 6각형으로 이루어진 C70도 발견된바 있으며, 32개 이상의 탄소 원자로 이루어진 탄소 덩어리 중 짝수개의 탄소로 이루어진 것들은 모두 특별히 안정하고 돔 형태의 구조를 이룬다는 사실도 밝혀진바 있는데, 이와 비슷한 돔(Dome) 구조를 설계한 미국의 건축가 버크민스터 풀러(R. Buckminster Fuller)의 이름을 따서 이들을 총칭하여 풀러린이라고 부르게 되었다.

풀러린에는 돔 형태의 버키 볼(Bucky ball, 풀러린의 애칭), 공이 아닌 튜브 모양의 버키 튜브, 등지 모양의 등지형 풀러린, 버키 볼에 추가된 탄소 원자로 인해 토끼의 귀같이 생긴 모양이 2개 달려 있는 버니 볼 등이 있다. 풀러린 중 특별히 안정한 것은 C60과 C70으로써, 이중 C60은 완전한 대칭성으로 인해 더욱 안정한 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 풀러린의 안정성은 화학이론으로 설명가능하며, 이로부터 C240, C540, C960 등과 같은 거대한 풀러린의 존재도 예측되고 있다.

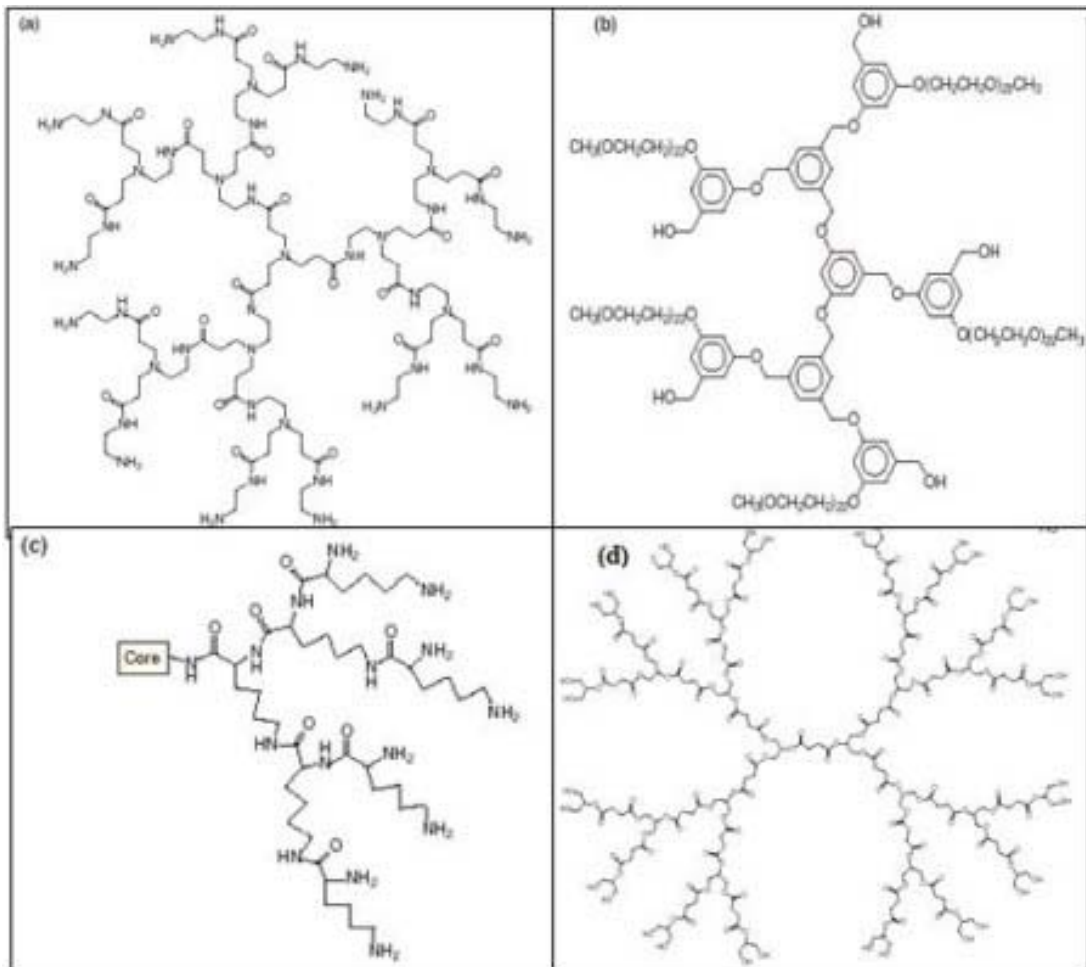
칼륨(Potassium, K)이나 루비듐(Rubidium, Rb) 같은 다른 금속 원자가 C60의 격자 사이에 들어가 이루어진 K3C60나 Rb3C60 같은 고체는 초전도성(Superconductivity)이 있으며, 엄청난 압력에도 견딜 수 있으므로 이상적인 로켓 연료의 주성분으로 사용될 수도 있으며, 버키 볼의 탄소 원자와 플루오르(Fluorine, F) 원자를 결합시켜 작은 테플론(Teflon) 공 형태로 만들어 품질이 우수한 윤활유나 볼 베어링을 만드는데 이용될 수도 있다.

또한 1991년에는 일본 전기(NEC: Nippon Electric Company)의 연구원인 Sumio Iijima 박사에 의해 풀러린으로 부터 탄소 나노튜브를 만드는 방법이 개발되어 Nature誌에 발표된 바 있는데, 풀러린을 공이 아닌 튜브 모양으로 하면 버키 튜브가 형성 되고, 이것은 탄소섬유보다 강한 특성을 보이기 때문에 극도로 얇은 버키 튜브는 칩을 연결하는 구리선을 대체함으로써 프로세서(Processor)의 개발을 앞당길 수 있는 역할을 할 수도 있다. 탄소 나노 튜브는 우수한 전기적 특성으로 인해 향후 첨단 전자소재로서의 발전 가능성을 인정받고 있는 나노 소재이기도 하다. 반도체나 디스플레이에 기술적용 가능성이 높아 많은 기업들이 응용연구를 진행 중에 있다. 현재 나노 관련 소재 특허 출원에서 가장 큰 비율의 증가를 보이는 나노 소재로서 향후 수년 내 다양한 용도로 산업화가 이루어질 전망이다.

(3) 덴드리머 (Dendrimers)

덴드리머는 중심에서부터 나뭇가지 모양의 일정한 단위구조가 반복적으로 뻗어나오는 고분자로서, 미국의 화학자 도널드 토말리아(Donald Tomalia)에 의해 1979년부터 4년여의 연구 끝에 합성에 성공하게 된 물질이며, 고분자가 자라는 모양이 마치 나뭇가지가 뻗어나가는 모양과 비슷하다 하여 덴드리머(Dendrimer, 그리스어로 나무를 뜻하는 Dendron에서 따온 말)라고 명명 되었다.

<Structures of Biocompatible Dendrimers that tested for Drug Delivery Applications>



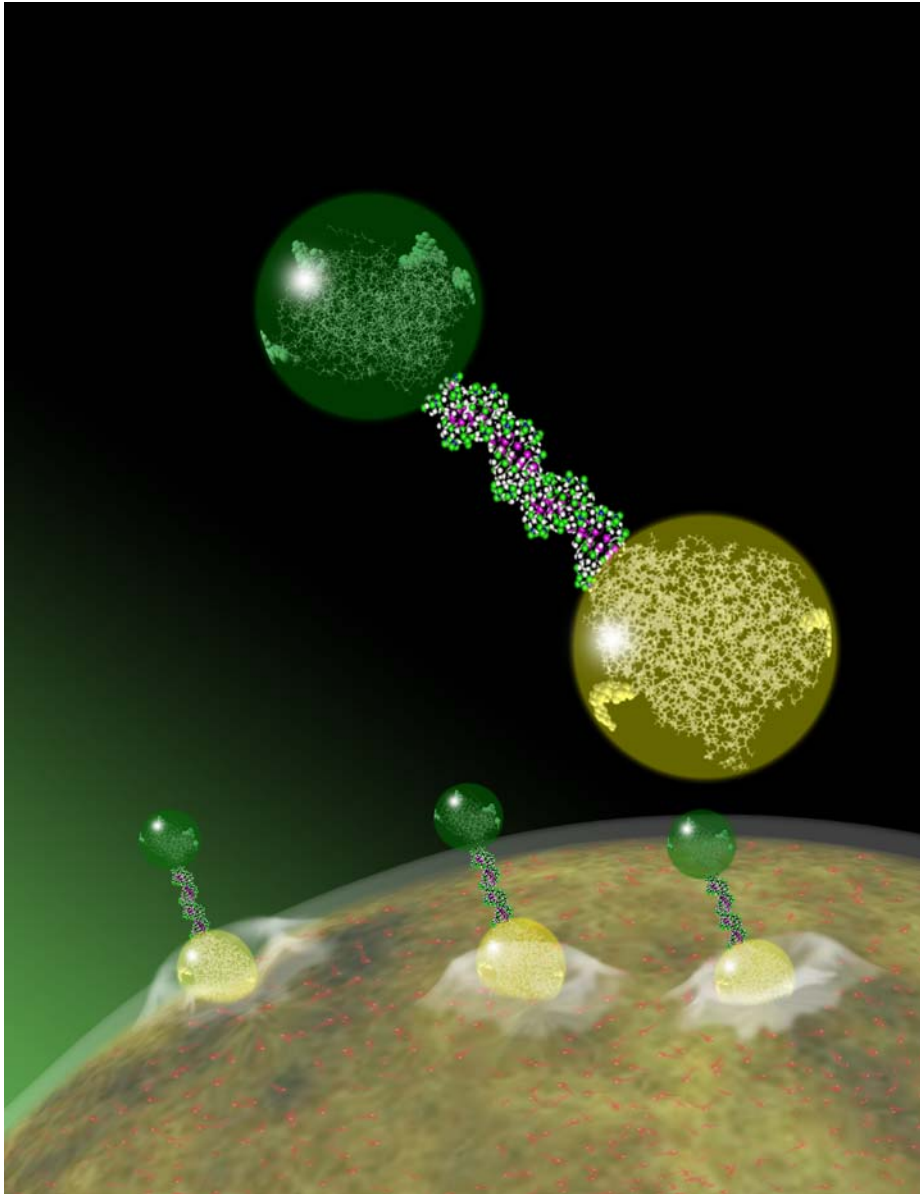
(a) PAMAM dendrimer. (b) Polyaryl ether dendrimer.

(c) Polylysine dendron. (d) Polyester dendrimer based on glycerol and succinic acid.

[출처 : Dendrimer; An Overview, M. C. Gohel, in Latest Reviews 2009 Vol. 7 Issue 3 Targeted drug delivery systems]

덴드리머는 중심이 비어있고 외부는 다양한 화학단위와 반응할 수 있는 반응기가 존재하는 특성으로 인해 주위의 건강한 조직을 손상시키지 않고도 원하는 의약품을 감염부위 또는 종양부위에 선택적으로 전달할 수 있어 유전적 결함, 질환을 위한 치료제 개발 분야에서 연구 및 사용되고 있다.

<Dendrimer complex docking on cellular folate receptors>



[출처 : www.umich.edu/news/index.html?Releases/2005/Jan05/bakerpic, Michigan Center for Biologic Nanotechnology]

덴드리머가 자라는 단계를 ‘세대(Generation)’라고 하는데, 일정하게 반복되는 단위구조가 추가될 때마다 한 세대가 증가하는 것으로 나타나며, 이러한 합성과정에서 폴리에틸렌(Polyethylene)이나 폴리프로필렌(Polypropylene)과 같은 고분자와는 달리 덴드리머는 분자량이나 표면 작용기(Functional group)를 완벽하게 조절할 수 있다는 장점을 가진다.

덴드리머는 나노입자와 나노캡슐을 이용한 약물 전달체와 같은 캐리어(Carrier) 분자로서 다양한 응용분야에서 사용되고 있으며, 광학적, 전기적 물성을 포함해 다양한 물리화학적 특성을 지니는 구조의 덴드리머를 합성할 수 있다는 점 때문에 유사한 소재들보다 다양하게 응용되고 있는 실정이다. 또한 덴드리머는 원자 단위로 정밀하게 합성할 수 있기 때문에 나노 스케일(Scale)의 구조나 복잡하고 정교한 기능을 지닌 소자(Device)의 필수적 구성요소가 될 것으로 전망되고 있다. 이 외에도 금속 이온의 제거제(Scavenger)의 역할뿐 아니라 한외여과(Ultrafiltration) 방법으로 여과가 가능할 정도의 크기를 지니고 있기 때문에 환경정화 분야에서도 다양하게 연구되고 있다.

3) 적용 분야

(1) 약물 전달(Drug Delivery)

약물전달시스템(Drug delivery system) 분야에 있어 나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology)는 다음과 같은 목표들을 위해 연구·개발 및 적용되고 있다.

- 약물 흡수율 증대
- 약물전달의 특이성(Specificity) 개선
- 치료제의 독성학적(Toxicological) 효과 감소

치료물질의 약리학적 효과를 보기위한 궁극적인 목표는 인체 내의 다른 기관 들에는 영향을 주지 않으면서 목표로 하는 질환 분위로 특정 양의 치료 물질을 정확히 전달하는데 있다고 할 수 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 대부분의 치료 약물의 경우 인체 전체를 통해 전달이 되고 있기 때문에 면역반응이 유발될 수 있으며, 또한 치료물질 자체가 지닐 수 있는 부작용 효과로 인해 독성(Toxicity) 효과도 발생할 가능성이 있다. 이로 인해 특히 혈액 내로 직접적인 주사(Injection) 방식을 통해 전달되어야만 하는 단백질 기반 치료제 분야에서 약물전달에 관한 시장(Market)이 최근 주목받는 분야로 떠오르고 있다.

전 세계 약물전달 관련 시장은 2001년 \$19 billion에서 2004년 \$40 billion 규모로 성장한바 있으며, 2011년까지 10%의 연평균 성장률(CAGR)이 전망되고 있다. 또한 버지니아(Virginia)에 소재한 산업 컨설팅 업체인 나노마켓(NanoMarkets)의 최근 보고서에 의하면, 나노기술 약물전달 시스템(Nanotechnology-enabled drug delivery systems)은 2012년 \$48 billion에 이를 것으로 예상한바 있으며, 전 세계 약물전달 제품과 서비스 시장은 2009년 \$670 billion를 초과할 것으로 예상하기도 하였다.

나노바이오테크놀로지는 약물의 캡슐화(Encapsulation) 및 타겟팅(Targeting), 면역반응 회피(Evasion) 및 전달 가속화(Acceleration) 등을 위한 분야에서 적용이 될 수 있다. 이 경우 재료로 사용되는 나노물질이 불활성화 될수록, 면역계(Immune system)를 자극하는 것을 피할 수 있으며, 면역반응을 억제하면서 활성화 된 약물 또는 전구체 물질을 담은 약물 전달체를 보호 할 수 있게 된다. 캡슐화 된 나노물질은 특정 세포군집으로의 타겟팅을 촉진하기 위해 단일클론항체(Monoclonal antibody)와 연결할 수 있다. 또한 나노 스케일(Nanoscale)의 물질은 보다 쉽게 세포막(Cell membrane)을 통과해 흡수될 수 있기 때문에 약물 전달의 속도 증가 및 효과를 증대시킬 수 있으며, 약물의 양(Quantity) 역시 매우 정교하게 조절 가능하고, 일정한 수준으로 전달할 수 있게 된다.

■ Nanoparticles in drug delivery

나노입자(Nanoparticle)와 나노셸(Nanoshell)은 타겟팅의 특이성을 높이기 위한 특정 단일클론항체와 함께 사용할 수 있다. 치료물질을 함유해 전달체로 이용되는 나노셸의 경우 레이저(Laser)를 이용해 온도를 높여 터뜨리는 방식으로 특정 세포군집에서 치료물질을 방출함으로써 치료에 대한 특이성을 높이는 방식을 이용하게 된다.

■ Dendrimers in drug delivery

덴드리머(Dendrimer)는 내부(Internal)에 존재하는 내부(Internal) 공간에 치료 물질을 캡슐화함으로써 방어적인 미세환경을 조성할 수 있으며, 이는 치료물질의 방출 속도를 조절할 수 있는 기능을 가지게 된다. 이를 통해 화학요법(Chemotherapy)과 같은 세포살상형(Cytotoxic) 치료에 있어 부작용을 감소시키는데 중요한 역할을 할 수 있다. 또한 여러 개의 기능적 말단(Functional end terminal)에 치료물질을 불임으로써 고밀도(High density)의 약물 이동 및 전달속도를 증가시킬 수 있다.

(2) 치료제(Therapeutics)

치료제를 위한 나노테크놀로지(Nanotechnology)는 현재 풀러린(Fullerene)과 나노입자(Nanoparticle)와 관련하여 집중적으로 연구·개발 및 적용이 되고 있다. 풀러린은 항산화효과(Anti-oxidant)의 특성을 가지고 있기 때문에 보통 알츠하이머 질환(Alzheimer's disease)과 같이 신경학적 징후(Indication)와 관련된 활성산소 질환(Oxidative disorder)에서 적합하게 이용이 가능할 수 있다.

또한 항체(Antibody)와 결합되어 있는 금속 나노입자의 굴절성질(Refractive property)은 표적치료(Targeted therapy)와 같은 방법에 이용될 수 있는데, 적외선(Infrared light) 또는 레이저(Laser)에 금속을 노출시킴으로써 나노입자 주위의 세포들을 파괴하는 방식을 통해 종양 제거(Tumor ablation)에 유용하게 이용될 수 있다. 이러한 개념은 최근 나노폭탄 또는 나노로봇이라는 명칭과 함께 나노분자기계(Nanoelectromechanical system, NEMS)라는 개념으로 등장하여 활발하게 연구가 진행되고 있는데 그 내용은 다음과 같이 설명할 수 있다.

일반적인 세포(Cell)의 크기는 $17\mu\text{m}$ 정도이고, 병원균이라 할 수 있는 박테리아(Bacteria)의 크기는 $1\mu\text{m}$ 정도로 일반적인 세포보다 더 작기 때문에 세포내로 침투하여 병원성 공격을 할 수 있게 된다. 에이즈(AIDS), 암세포의 바이러스(Virus)는 박테리아보다 더 작은 $0.1\mu\text{m}$ (100nm) 크기로 인해 일반적인 세포나 면역세포를 공격하여 치명적인 해를 가할 수 있게 된다. 현존하는 의학 기술은 항생제 또는 항암제를 사용하여 무한정으로 증식하는 바이러스들에 대해 증식 또는 성장을 억제시킬 수 있을 뿐 박멸할 수 없다는 것이 사실이다. 이러한 개념으로부터 나온 것이 기계를 이용하는 방법으로 박테리아 보다 더욱 작은 100nm 크기의 나노분자기계(NEMS)를 만들어 그 안에 항생제, 항암제, 또는 바이러스를 추적할 수 있는 센서를 넣어 혈관에 주사한 후 이 기계가 체내에서 병원균 또는 바이러스를 탐지해 정확히 표적 공격하여 병원균 내로 들어가 폭탄을 터뜨리듯이 병원균을 박멸한다는 것이다.

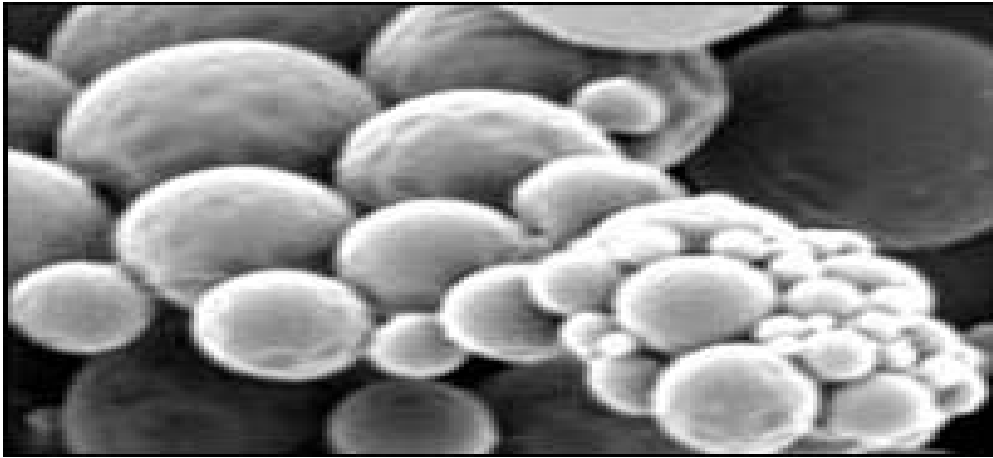
이러한 나노분자기계(NEMS)에 대한 개념이 등장한 이후 관련 연구는 최근 더욱 활발해지고 있으며, 본 보고서에서는 2005년 7월 28일자 'Nature'誌에 발표된 연구결과를 통해 치료제 분야에 있어서의 나노바이오테크놀로지 적용에 대한 연구 성과를 소개하고자 한다.

미국 MIT 연구진은 2005년 7월 28일자 'Nature'誌 발표를 통해 나노세포(Nanocell)로 암 세포(Cancer cell)를 타겟팅하는 기술을 소개하였는데, 이 내용은 'Temporal targeting of tumour cells and neovasculature with a nanoscale delivery system'의 논문(Vol.436, No.7050, pp.568-572)과 함께 'Cancer: One step at a time'이라는 편집자의 요약(Vol.436, No.7050, pp.468-469)으로 발표되었다.

논문에 따르면 MIT 연구진들이 개발한 기술은 크게 두 가지로, (1) 종양세포에 들어가 종양세포에 공급되는 혈관을 차단하고, (2) 항암제 성격의 독소를 방출하여 종양세포를 제거하는 방법이다. 이 기술은 이중 전략(Dual strategy)을 구사하는 고난이도의 기술이라는 점과 시간차(Temporal)로 이루어져야 한다는 점에서 의미를 가지며, 특히 혈관을 파괴하는 항혈관생성제제(Blood vessel-destroying anti-angiogenics)가 너무 오랜 시간동안 종양의 혈관을 차단할 경우 화학요법(Chemotherapy)이 어려워 질 수 있으며, 혈액공급망 차단 이후 종양 내부에서 HIF1- α 라는 저산소증(Hypoxia) 인자(Factor)들이 생성되어 더욱 많은 종양들이 타겟 부위로 몰려들어 화학요법에 내성이 생길 수 있다는 점에서 기술 개발의 어려움이 있었다고 밝히고 있다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 MIT 연구진들은 풍선(Balloon)과 같은 형태를 가진 핵(Nucleus)보다 큰 나노세포(Nanocell) 구조를 만들어 그 안에 또 하나의 핵 크기의 나노입자 구조를 갖춘 이중 나노세포 구조를 만들었다. 그리고 첫 번째 나노세포의 표면 외막(Outer membrane)에 종양 선택성(Selectivity)을 가지는 Pegylated-lipid 외피(Envelope)를 코팅(Coating)하여 종양에 대한 센서(Sensor) 역할을 부여한 후, 그 안에 항혈관생성제제(Blood vessel-destroying anti-angiogenics)를 삽입시키고, 체내 면역반응 감소를 위해 면역시스템이 감지 할 수 없는 화학처리를 하였다.

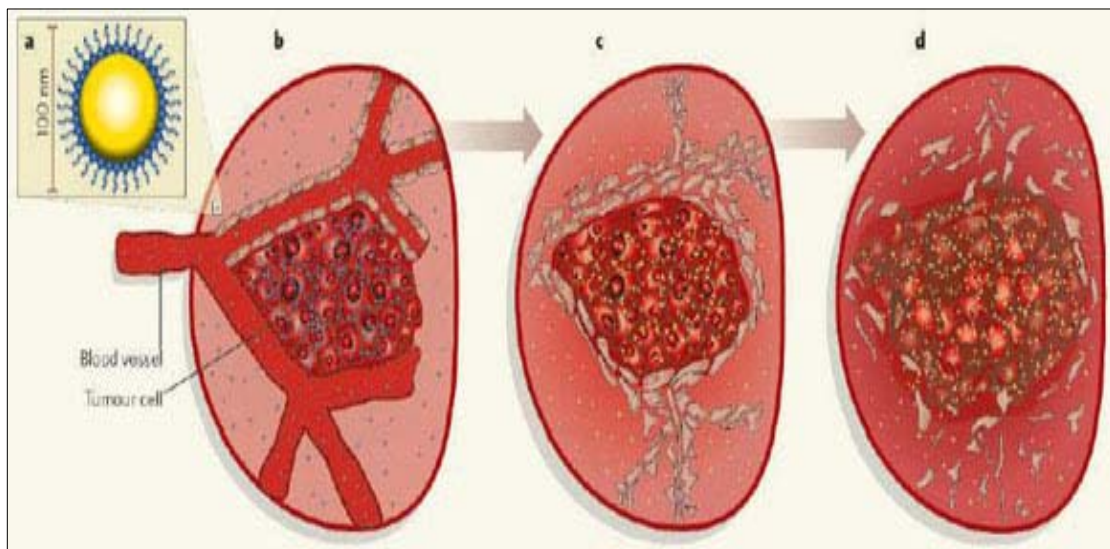
<Synthesis and characterization of a combretastatin - doxorubicin nanocell>



[출처 : Nature 436, 568-572(28 July 2005)]

이렇게 만들어진 나노세포들은 종양 혈관을 지나갈 수 있을 정도의 작은 크기로, 정상적인 혈관은 통과할 수 없으며, 일단 종양 안으로 침투할 경우 나노세포 표면 외막(Outer membrane)이 분해되어 항혈관생성제제(Blood vessel-destroying anti-angiogenics)를 방출하게 된다. 종양에 혈액을 공급하던 혈관들은 붕괴되고, 그 결과 두 번째 나노세포는 종양 안에 위치하게 되면서 이후 화학요법을 위한 항암제성 독소물질이 방출되어 종양을 제거하게 된다.

<Step-by-step in fighting cancer>



[출처 : Nature 436, 468-469(28 July 2005)]

- (a) 100nm 크기의 나노입자는 외부의 지방층(Blue)과 내부의 핵심 약물(Yellow)로 구성되어 있다.
- (b) 혈관으로 주사(Injection) 된 후 지방층(Blue)의 선택성(Selectivity)에 의해 나노세포는 종양조직으로 선택적으로 침투하고, 지방층(Blue)은 항혈관생성제제(Blood vessel-destroying anti-angiogenics)를 방출하여 혈관 내피세포(Endothelial cell)를 파괴시켜 혈관을 괴사시킨다.
- (c) 나노세포 내부의 두 번째 나노세포는 화학물질을 방출하여 종양세포를 괴사시킨다.

위 그림에서 보는 바와 같이 약물전달 종양 파괴 시스템은 혈관의 손실과 종양 세포의 괴사(Death)가 시간차에 의해 순차적으로 이루어지고 있음을 보여주고 있다.

쥐(Mouse)를 대상으로 한 동물실험 결과에 따르면 나노세포는 종양 안으로 침투하여 새로운 혈관생성(Angiogenesis)을 중단시켰으며, 주위의 다른 조직이나 세포에는 아무런 해를 입히지 않아 지금까지 개발된 어떤 항암제보다 효율적인 방법임이 입증되었다고 한다. 종양이 발생한 10마리 중 8마리는 나노세포 치료요법에 의해 65일 동안 생존하였으며, 대조군으로 설정되어 다른 항암제를 투여 받은 쥐들의 생존기간은 최대 30일, 항암제를 전혀 투여 받지 않은 쥐들의 생존 기간은 20일이었다고 한다.

또한 이번 실험 결과 나노세포는 폐암(Lung cancer)보다는 흑색종(Melanoma)에 더 효과가 있다는 사실이 밝혀졌으며, 이러한 사실은 서로 다른 종류의 암(Cancer)에 대해 다양한 치료법이 디자인 될 필요가 있음을 시사해 주고 있다고 할 수 있다. 그리고 본 연구 결과는 서로 다른 치료법의 디자인 뿐 아니라 치료법들의 통합(Integrative approach)에 대해서도 그 기초를 제공하는 기술로 평가를 받고 있으며, 영국 'Cancer Research UK'의 Henry Scowcroft 박사에 따르면 이번 동물모델 연구는 암세포 안에서 은밀하게 공격하는, 트로이의 목마(Trojan horse)와 같이 아주 전혀 새로운 나노입자 치료법으로써 실제 임상적용을 위해서는 보다 많은 시간의 연구·개발이 필요하겠지만 차세대의 환상적인 암치료법이 될 것이라는 평가를 받기도 하였다.

결론적으로 이 연구 결과는 ‘혈관네트워크를 활용한 암세포 파괴 나노세포 약물전달 시스템’이라고 할 수 있으며, 나노기술을 바탕으로 하는 지방층 센서와 종양의 혈관을 파괴하는 항혈관생성제제, 그리고 암세포를 괴사시킬 수 있는 항암제성 독소의 기술들이 융합된 결과라고 할 수 있다. 즉, BT를 기반으로 NT가 융합되는 미래 나노바이오테크놀로지의 전형적인 모습을 보여주는 결과인 것이다.

(3) 조직 재생(Tissue Reconstruction)

非탄소(Noncarbon) 중합 나노튜브(Polymeric nanotube)는 골 이식(Bone graft) 외부(Exterior) 부위, 티타늄으로 대체된 관절(Titanium replacement joint)의 非균질표면(Nonuniform surface)에서 조직 재생(Tissue regeneration)에 이용될 수 있다. 새로운 골 기질(Bone matrix)의 성장을 담당하는 조골세포(Osteoblast)는 이식 부위의 거친(Rough) 표면을 선호하는 것으로 알려져 있는데, 이를 통해 조직 접합(Adherence) 및 성장을 촉진하게 된다. 또한 나노튜브는 액상(Liquid) 형태로 주사하여(Injected) 응고(Solidify)되는 방식을 통해 골격(Scaffold)의 구조를 형성하여 인체 조직의 재생을 촉진하기도 한다.

4) 나노에멀션(Nanoemulsion)

나노에멀션(Nanoemulsion, 나노유탁액(乳濁液))은 기존의 약품을 10-9m 또는 그 이하의 크기로 도정(Milling)하여 만들어진 것을 의미한다. 이러한 기술을 통해 의약품의 표면적, 흡수, 효과 등을 개선할 수 있으나 기존 의약품의 크기를 감소시킨다고 해서 새로운 제품으로 취급되지는 않으며, 기존의 제품에 대한 분류와 규제과정이 그대로 적용되게 된다. 그러나 약품의 물리적 성질 변화로 인해 약효 또는 독성(Toxicity)이 변화될 수 있기 때문에 나노에멀션의 형태로 시장(Market)에 제품 출시되기 위해서는 반드시 임상적인 검증과정을 거쳐야 한다.

5) 한국의 나노바이오테크놀로지

한국의 나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology) 분야에서의 기술경쟁력은 선진국 대비 비교적 낮은 수준으로 보고되고 있다.

생명공학정책연구센터의 연구결과에 따르면 한국의 나노기술 수준은 2001년 세계 8위에서 2007년에는 미국, 일본, 독일에 이어 세계 4위 수준으로 평가받고 있으나, 기술의 원천성과 질적인 면에서는 선진국에 비해 크게 뒤져 있는 것으로 나오고 있다. 특히 바이오테크 분야의 경우 선진국과 비교해 기술경쟁력이 매우 낮은 수준에 머물고 있는 것으로 알려져 있으며, 거의 전 분야에서 1위를 달리고 있는 미국을 100이란 지수로 설정했을 때, 바이오테크는 한국이 53.3%, 인공 근육은 41.7%, 생체전달력에서는 51.6%, 바이오텔로미어는 68.3%, 약물전달 기술은 21.7% 수준에 머물고 있으며, 바이오텔로미어는 아직 비교대상 조차 안 되고 있는 것으로 보고되고 있다.

<주요 국가별 바이오테크 관련 기술수준 평가>

| 기술분야 | 국가별 상대기술력 | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------|-----|----|------|----|------|-----|------|----|------|----|------|
| | 1위 | | 2위 | | 3위 | | 4위 | | 5위 | | 기타 | |
| | 국가 | % | 국가 | % | 국가 | % | 국가 | % | 국가 | % | 국가 | % |
| 바이오테크칩 | 미국 | 100 | 독일 | 81.6 | 일본 | 80.0 | 프랑스 | 70.0 | 한국 | 53.3 | -- | -- |
| 바이오테크센서 | 미국 | 100 | 독일 | 88.3 | 일본 | 82.0 | 프랑스 | 71.5 | 영국 | 63.3 | -- | -- |
| 인공근육 | 미국 | 100 | 일본 | 70.0 | 중국 | 51.7 | 한국 | 41.7 | 독일 | 35.0 | -- | -- |
| 생체전달력 | 미국 | 100 | 유럽 | 84.1 | 일본 | 84.1 | 한국 | 51.6 | -- | -- | -- | -- |
| 바이오테크소재 | 미국 | 100 | 일본 | 83.0 | 독일 | 79.3 | 영국 | 78.0 | 한국 | 68.3 | -- | -- |
| 약물전달기술 | 미국 | 100 | 독일 | 53.3 | 일본 | 51.7 | 프랑스 | 35.0 | 한국 | 21.7 | -- | -- |
| 경쟁력평가(종합) | 미국 | 100 | 독일 | 75.1 | 일본 | 70.3 | 프랑스 | 65.2 | 영국 | 56.1 | 한국 | 48.3 |

[출처 : 한국과학기술정보연구원]

이처럼 기술력에 있어 큰 격차를 보이고 있는 원인으로는 전문 인력 등 관련 인프라의 부족이 가장 큰 원인으로 파악된다. 나노융합기술의 적용 범위가 매우 광범위하고, 기술 및 사업화 전망이 아직은 불투명하다는 이유로 인해 현재 시점에서 기업 차원의 직접적인 투자와 연구·개발은 매우 힘들 수 있다는 것이다. 그러나 이러한 기술적 격차에도 불구하고, 국제적 수준의 기술적 차이를 좁히기 위한 국내 연구가 활발히 진행되고 있기 때문에 향후 나노바이오테크놀로지 분야에서의 한국의 위상은 보다 긍정적으로 기대할 수 있으리라 전망된다.

나노바이오테크놀로지 분야에서 한국의 최근 연구결과를 살펴보면, 인체 치료용 나노소재 개발은 정부의 차세대 기술개발사업인 생체하이브리드 재료 및 응용 기술 개발 프로그램을 통해 진행되고 있다. 서울의대 재료공학부 연구팀은 다공성 수산화 아파타이트/콜라겐 복합체의 제조 및 평가연구를 수행 중에 있으며, 영남대 재료공학부 연구팀은 임플란트용 무기재료를 개발 중에 있다.

바이오센서용 나노소자 분야에서는 삼성전자가 마이크로 PCR 반응을 위한 미세 냉각장치 및 온도센서와 미세전극 기술을 이용한 소자를, LG는 생체물질의 고정화, 마이크로패터닝, 후막 및 박막 센서 제조 및 측정 기술 등을 확보해놓고 있는 것으로 알려져 있다.

주요 화장품업체 연구개발팀들은 피부 진피층까지 영양물질을 도달시키기 위해, 생리활성물질을 10~20nm 크기의 나노 입자에 담아 피부 속, 원하는 부위로 전달하는 획기적인 기술을 개발 중에 있는 것으로 알려져 있으며, 진단 의학 분야에서는 화순전남대학교병원 영상의학과 정용연 교수 연구팀과 광주과학기술연 전상용 연구팀이 2mm 크기의 암 종양을 찾아낼 수 있는 금 소재 고성능 나노 CT 조영제를 개발한 것으로 보고되고 있다. 이는 몸속에 조영제가 머무는 시간이 요오드의 5분보다 70배나 긴 6시간에 달하며, 제조과정도 단순해 경제성 측면에서 우수하다는 평가를 받고 있다. 경북대학교 화학교육과 이광필 교수 연구팀은 혈당 측정에 사용하는 스트립 센서에 반드시 필요한 효소를 사용하지 않고, 전기방사법을 이용해 혈당을 측정할 수 있는 나노 바이오센서용 기능성 나노섬유 멤브레인을 세계 최초로 개발하기도 하였다.

또한 본 보고서에서 앞서 언급한 MIT 연구진의 2005년 연구 결과와 같은 원리의 암세포(Cancer cell) 박멸 기술에 대해서도 국내 연구진들에 의해 기술 개발 사례들이 소개되고 있으며, 그 내용은 다음과 같다.

◆ 연세대 의료원 소화기 내과 송시영 교수팀 (2004년)

- 기계(IT)가 나노기술(NT) 만나 인간의 몸 속으로(BT) 들어오는, 암세포만 죽이는 항암치료 나노캡슐 개발, 나노캡슐에 자석 넣어 항암약물 투여 (2004년)
- 인체 내에서 다른 세포를 해치지 않고 암세포만을 죽이는 치료방법이 국내 의료진에 의해 개발됐다. 연세대학교 의료원 송시영 교수는 연세대 화학공학과 함승주, 설용건, 이강택 교수팀과 함께 자성을 띤 나노 약물 전달체를 개발했다. 이 방법은 자석을 이용해 인체의 특정 부위에 약물을 집중 투여 함으로써 약물 치료 효과를 극대화하는 치료법이다. 특히 약물이 치료부위가 아닌 다른 부분에 퍼졌을 때 부작용을 유발할 수 있는 암치료에 획기적인 치료법을 제시할 수 있을 것으로 전망된다.

◆ 연세대 이명수 교수 (2005년)

- 세포막에 구멍 뚫어 병원균 궤멸시키는 초소형 분자기계인 분자튜브 세계 최초 개발 - 초분자 튜브가 세균 세포막에 들러붙어 세균세포 내부물질이 외부로 빠져나가 병원균을 죽이는 차세대 항생제 개발의 원천기술 개발
- 2005년 4월 18일자 'Nature Materials誌' 온라인 및 2005년 5월호 (pp. 399-402)에 논문 게재

- 논문제목 : Supramolecular barrels from amphiphilic rigid-flexible macrocycles
- 저자 : Won-Young Yang, Jong-Hyun Ahn, Yong-Sik Yoo, Nam-Keun Oh and Myongsoo Lee
- 소속 : Center for Supramolecular Nano-Assembly and Department of Chemistry, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
- 디지털 정보 : doi:10.1038/nmat1373
- 영문요약 : Precise control of supramolecular objects requires the rational design of molecular components, because the information determining their specific assembly should be encoded in their molecular architecture. In this context, diverse self-assembling molecules including liquid crystals, dendrimers, block copolymers, hydrogen-bonded complexes and rigid macrocycles are being created as a means of manipulating supramolecular structure. Incorporation of a stiff rod-like building block into an amphiphilic molecular architecture leads to another class of self-assembling molecules. Aggregation of rod building blocks can generate various nanoscale objects including bundles, ribbons, tubules, and vesicles, depending on the molecular structure and/or the presence of a selective solvent. We present here an unusual example of supramolecular barrels in the solid and in aqueous solution, based on the self-assembly of amphiphilic rigid-flexible macrocycles driven by non-covalent interactions. Preliminary experiments show that these amphiphilic macrocycles are membrane-active. The amphiphilic macrocycles might thus lead to an excellent model system for exploring biological processes in supramolecular materials.

3. 나노바이오테크놀로지 시장

빠르게 발전하고 있는 나노 솔루션을 통해 제품의 출시 시기 단축, 제품수명의 주기 연장, 특허 보호 및 추가적인 수익원을 창출하는 능력이 기반이 되어 시장의 급속한 성장을 전망할 수 있다. 현재 새로운 나노기술 중심의 창업 업체들은 상당한 규모와 혁신적인 제품으로 약물 파이프라인(Drug Pipeline)을 구성하기 위해 보다 저렴한 가격과 보다 덜 위험한 방법을 통해 이 분야에 진출할 것으로 예측 할 수 있으며, 이러한 업체들은 대규모 Biotech 기업 및 제약기업들이 제공할 수 있는 막대한 자금과 기타 자원의 필요성으로 인해 결과적으로 나노바이오테크놀로지 시장은 향후 인수, 합병 그리고 제휴기회가 무한하게 증가할 것으로 전망된다.

1) 지역별 시장 분석

(1) 지역별 시장 규모

<Nanobiotechnology Market: Geographical Distribution (World)>

| Region | Geographical Distribution | |
|---------------|---------------------------|---------|
| | 2004(%) | 2011(%) |
| United States | 65 | 50 |
| Europe | 20 | 25 |
| Rest of World | 15 | 25 |

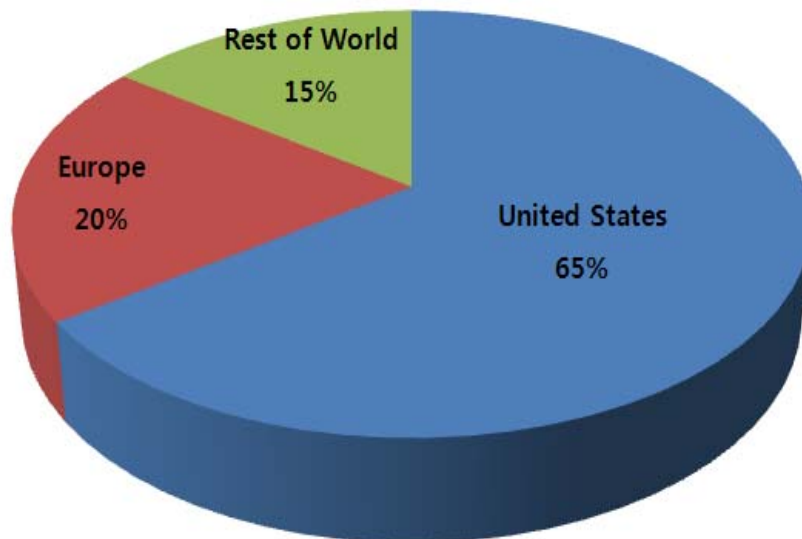
[출처 : Frost & Sullivan]

현재 나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology) 산업에서의 선두주자는 미국이라고 할 수 있는데, 이는 2001년 시행된 National Nanotechnology Initiative (NNI)를 통한 공적자금의 투자에 기인한 바가 크다고 할 수 있다. 그러나 현재 제약 산업과 바이오테크놀로지(Biotechnology) 산업을 아우르는 경향으로써 생산 및 연구비용 감소, 인적 자원(Human resource)에 대한 낮은 비용효과를 보기위한 인도(India), 중국(China)과 같은 지역으로의 아웃소싱(Outsourcing) 증가현상과 일본에서 진행되고 있는 나노재료(Nanomaterial) 생산 분야에서의 활발한 연구 활동 등의 점으로 미루어 볼 때 향후에는 극동(Far east)지역에서 나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology) 연구 분야의 성장세가 보다 두드러질 것으로 예상되고 있다.

즉, 위에서 언급한 두 가지 요인들은 2011년까지의 세계 성장률과 비교했을 때 미국과 유럽을 제외한 지역들에서 2배 이상의 성장 잠재력을 찾아볼 수 있다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

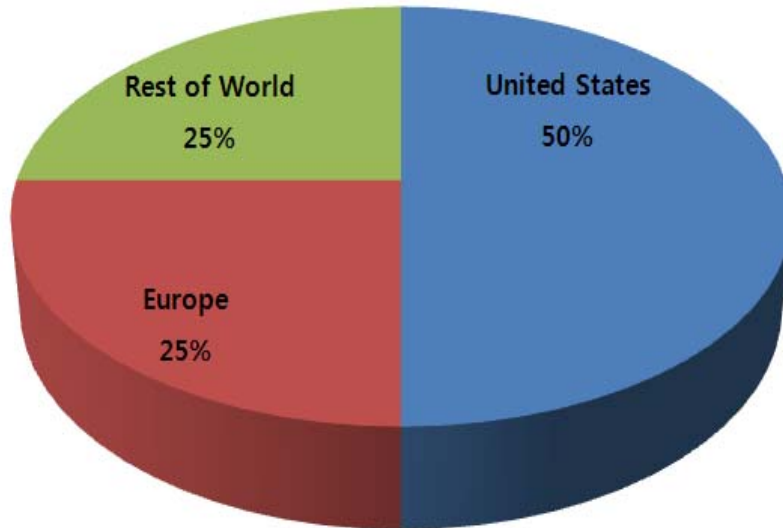
유럽 지역의 경우 주요 제약기업과 바이오테크놀로지기업들이 나노바이오테크놀로지 분야로 이동함에 따라 그 산업 성장세가 예상되고 있으나 미국 지역만큼 투자가 높지 않다는 점, 미국 및 유럽을 제외한 지역(특히 인도, 중국)만큼 아웃소싱 면에서 경제적 경쟁력이 높지 않다는 점 등으로 인해 유럽 지역에서의 나노바이오테크놀로지 분야 성장세는 비교적 느린 속도로 진행될 것으로 전망되고 있다.

<Nanobiotechnology Market: Geographical Distribution (World), 2004>



[출처 : Frost & Sullivan]

<Nanobiotechnology Market: Geographical Distribution (World), 2011>

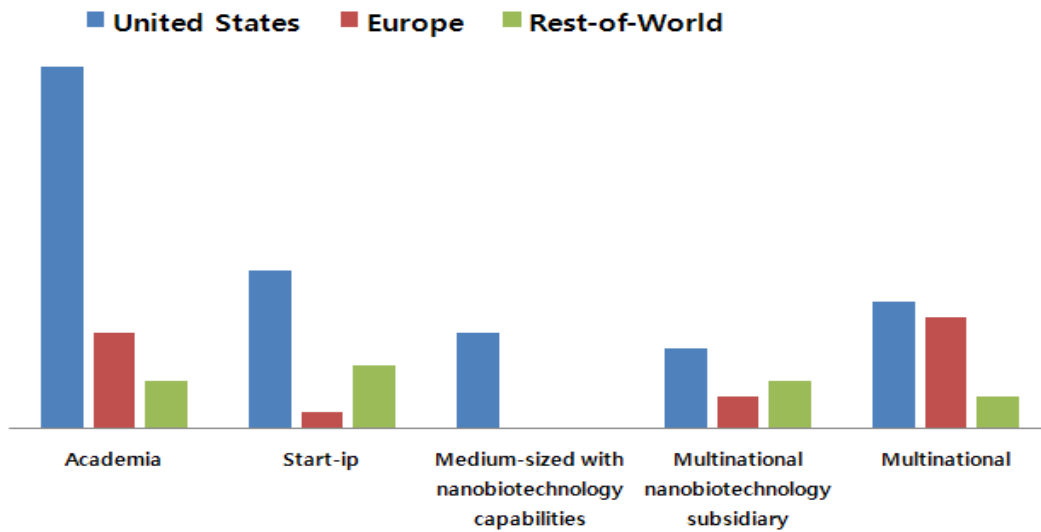


[출처 : Frost & Sullivan]

(2) 기업 형태에 따른 산업 분석

<Nanobiotechnology Market: Percent Distribution by Type of Organization (World), 2004>

| Type of Organization | The United States (%) | Europe (%) | Rest-of-World (%) |
|--|-----------------------|------------|-------------------|
| Academia | 28.75 | 7.50 | 3.75 |
| Start-up | 12.50 | 1.25 | 5.00 |
| Medium-sized with nanobiotechnology capabilities | 7.50 | -- | -- |
| Multinational nanobiotechnology subsidiary | 6.25 | 2.50 | 3.75 |
| Multinational | 10.00 | 8.75 | 2.50 |



[출처 : Frost & Sullivan]

미국의 경우 ‘the University of Michigan Centre for Biologic Nanotechnology’와 같은 기관 및 여러 학술적 연구 프로그램으로 인해 가장 큰 산업분류로써 학술적 연구 분야를 말할 수 있다. 최근에는 이러한 학술적 연구로부터 신생 기업들이 출현하고는 있으나 아직까지는 학문적 연구에 그 뿌리를 두고 연결되어 있기 때문에 나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology) 산업의 연구 및 혁신분야는 학술적 연구단계라고 할 수 있다.

유럽지역 역시 학술적 연구기관에 집중되어 있으나 ‘F-Hoffman la Roche’社와 같은 유럽 다국적기업들이 나노바이오테크놀로지 분야에 집중하고 있다는 점을 눈여겨 볼 수 있으며, 유럽지역에서의 기업 분포는 각 국가별 수준에 따라 가능한 공적자금의 규모에 크게 영향을 받고 있다고 할 수 있다.

<Nanobiotechnology Market: Industry Rankings by Country (Europe), 2004>

| Rank | Country |
|------|----------------|
| 1 | Germany |
| 2 | United Kingdom |
| 3 | France |
| 4 | Scandinavia |
| 5 | Switzerland |

Key: Scandinavia = Denmark, Finland, Norway and Sweden

[출처 : Frost & Sullivan]

미국과 유럽을 제외한 지역의 경우에는 일본이 나노바이오테크놀로지 분야에 집중적인 영향력을 발휘하고 있으며, 특히 'Mitsubishi Corporation'社は 나노 재료 생산과 관련한 자회사(Subsidiary)를 소유하고 미국과의 파트너십에 있어 강하게 연결되어 있는 것으로 알려지고 있다.

2) 주요 국가별 연구지원 현황

나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology) 산업에 있어 가장 큰 성장요인은 나노과학(Nanoscience)에 대한 공적자금(Public funding)의 투자 여부에 달려있다고 할 수 있으며, 2003년도 기준 세계 각 지역별 공적자금 투자지원 규모는 다음 표와 같다.

<Nanobiotechnology Market: Public Sector Funding (World), 2003>

| Region | Public Sector Funding (\$ Million) |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| Europe | 1,067 |
| The United States | 774 |
| Japan | 810 |
| Rest-of-World | 489 |
| Total World Public Sector Funding | 3,140 |

[출처 : Frost & Sullivan]

(1) 미국(United States)

미국의 나노바이오테크놀로지는 National Nanotechnology Initiative (NNI)의 한 부분으로 구성되어 있다. 2001년 처음 시작된 NNI 프로그램은 2004년에만 약 \$961 million 규모로 투자를 진행하였으며, 이를 통해 National Science Foundation (NSF)과 공동으로 8개의 Nanoscale Science and Engineering Centres (NSEC) 건립을 추진한 것으로 알려져 있다.

연방정부에 의한 기금이외에도 미국 각 주(州)별로 나노테크놀로지(Nanotechnology)를 위한 상당한 규모의 투자가 진행되고 있으며, 일리노이(Illinois)주(州)정부의 경우에는 2003년도에 'Argonne National Laboratory'에 'Centre for Nanoscale Materials' 건립을 위해 \$17 million 규모의 자금을 지원하기도 하였다. 'Centre for Nanoscale Materials'는 2005년도에 완공되었으며, 특히 나노탄소(Nanocarbon) 기술과 바이오무기물 인터페이스(Bioinorganic interface)에 집중되어 있는 것으로 알려져 있다.

2004년 12월초에는 향후 4년간 미국 나노기술 발전을 위해 \$3.7 billion 규모의 공적 기금을 추가 지원하는 것에 대한 미국 정부의 동의가 이루어지기도 하였다. 'National Cancer Institute (NCI)' 역시 암(Cancer) 분야에서의 나노테크놀로지(Nanotechnology) 연구를 위해 5년간 \$144 million 규모의 프로그램을 진행한바 있으며, 2005년 3월에는 'Centres of Cancer Nanotechnology Excellence (CCNEs)'를 통해 암(Cancer) 분야에서의 약물전달 및 치료제 개발을 위한 나노테크놀로지 연구를 지원한 바 있다.

(2) 유럽(Europe)

유럽 위원회(EU의 경제 통화 동맹)는 나노테크놀로지 연구·개발을 위해 2003년도에 \$350 million 규모의 자금을 지원한바 있으며, 2004년 2월에는 유럽 지역의 전문가와 나노바이오테크놀로지 분야의 지식융합을 위해 'Framework Protocol 6'라는 프로그램 하에 'Nano2life Network of Excellence (www.nano2life.org)'를 구축하기도 하였으며, 이를 통해 유럽 기업들의 협력관계를 형성하고, 연구기관과 신생기업들의 합병을 추진하여 미래 혁신을 위한 중점화된 구조를 만들어가는 것으로 알려져 있다.

<Nanobiotechnology Market: Public Sector Funding (Europe), 2003>

| Region | Public Sector Funding (\$ Million) |
|------------------------|------------------------------------|
| European Commission | 350 |
| Germany | 250 |
| France | 180 |
| United Kingdom | 130 |
| Italy | 60 |
| The Netherlands | 50 |
| Scandinavia | 32 |
| Benelux | 15 |
| Total European Funding | 1,067 |

Key: Scandinavia = Denmark, Finland, Norway and Sweden
Benelux = Belgium, Luxembourg and the Netherlands

[출처 : Frost & Sullivan]

‘Pan-European Forum for Nanotechnology (Nanoforum)’은 유럽에서의 나노테크놀로지 발전을 위한 포럼으로써 2004년 12월 창립되었으며, 영국의 ‘Institute of Nanotechnology’ 주도하에 독일의 ‘Association of Engineers (VDE)’, 프랑스의 ‘Atomic Energy Centre Laboratoire d’ Electronique de Technologie de l’Information (CEA-LETI)’, 스페인의 ‘CMP Científica S.L’, 덴마크의 ‘Nordic Nanotech’ 등이 참여하고 있다.

<Nanobiotechnology Market: Members of the European Nanoforum>

| Region | Organization | Website |
|--------------------|-----------------------------|---|
| Europe | European Nanoforum | http://www.nanoforum.org |
| The United Kingdom | Institute of Nanotechnology | http://www.nano.org.uk |
| Germany | VDI Technologiezentrum | http://www.vditz.de |
| France | Cea-Leti | http://www.minatec.com |
| Spain | CMP Científica | http://www.cmp-cientifica.com |
| Denmark | Nordic Nanotech | http://www.nanotech.dk |
| Netherlands | MalschTechnoValuation | http://www.malsch.demon.nl |

[출처 : Frost & Sullivan]

(3) 그 외 국가(Rest-of-World)

<Nanobiotechnology Market: Public Sector Funding (Rest-of-World), 2003>

| Region | Public Sector Funding (\$ Million) |
|-------------|------------------------------------|
| South Korea | 200 |
| Taiwan | 100 |
| China | 100 |
| Australia | 50 |
| Canada | 30 |
| Singapore | 9 |
| Total | 489 |

[출처 : Frost & Sullivan]

가. 캐나다(Canada)

'National Institute for Nanotechnology'를 비롯해 'Nano-Quebec' 프로그램을 진행하고 있다. 'Nano-Quebec' 프로그램은 퀘벡(Quebec) 주(州)정부의 나노테크놀로지 구상안(Initiative), 'Quebec National Institute for Scientific Research'내의 나노테크놀로지 실험실, 'Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC)' 산하의 나노 혁신 플랫폼 등으로 구성되어 있다.

나. 중국(People's Republic of China)

중국의 'People's Republic of China'는 2003년에서 2007년까지 나노테크놀로지 분야에 \$240 million 규모로 지원을 한 바 있다. 이를 통해 'National Nanotechnology Centre'를 건립하였으며, 다른 나노테크놀로지 센터와의 네트워크를 구축하는데 중점을 둔 것으로 알려져 있다.

다. 일본(Japan)

일본은 2003년 나노테크놀로지 분야에 미국보다 더 큰 규모의 \$810 million 금액을 지원한바 있으며, 지원 금액 중 90%는 일본 경제산업성(The Ministry of Economy Trade and Industry, METI)과 일본 문부과학성(The Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT)으로부터 지원

되었다. 나노테크놀로지 분야의 주요 협력기관으로는 ‘National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)’ 소속의 ‘Nanotechnology Research Institute (NRI)’가 있다.

라. 한국(Korea)

한국 정부는 2001년부터 2010년까지 10개년 계획을 통해 나노바이오테크놀로지 연구·개발을 위한 자금지원을 진행하고 있다. 이 계획은 3단계를 통해 진행이 되었으며, 2005년까지 주요 인프라(Infrastructure) 구축 및 인적 자원(Human resources) 발굴을 진행하였으며, 2005년 이후 나노테크놀로지 분야의 사업화를 목표로 하고 있고, 2010년까지 세계 선도국가로 발돋움하여 2025년에는 나노테크놀로지 분야에서 세계 7위권 내로 진입할 것을 목표로 하고 있다.

한국 정부는 이를 위한 핵심 기술을 선정하고, 10년에 걸쳐 \$2 billion 이상의 금액을 지원하고 있으며, 나노자성체(Nanomagnetic), 강유전체성 박막 프로세싱(Ferroelectric thin-film processing), 분자 전자기기(Molecular electronic device)를 위한 탄소 나노튜브(Carbon nanotube), 양자 도트(Quantum dots), 양자 컴퓨팅(Quantum computing), 나노리소그래피(Nanolithography), 단전자 트랜지스터(Single-electron transistor, SET), 표면 물리학(Surface physics)에 기반을 둔 탐침형 원자 현미경(Scanning probe microscope), 나노전기기계시스템(Nanoelectromechanical systems, MEMS) 등의 분야와 관련하여 정부 프로젝트 및 대학, 연구기관들이 참여하고 있다. 현재 나노바이오테크놀로지 분야에서 실제 적용이 이루어진 결과는 아직 없으나 향후 이러한 경향은 변화가능하리라 전망되고 있다.

2004년에는 한국 내의 각 지역별 산업을 발전시키기 위한 ‘국토종합개발계획’ 발표를 통해 충청도 지역을 바이오테크놀로지 산업 발전을 위한 중심지역으로, 경상도 지역을 나노테크놀로지 관련 산업의 기초기지로 설정한 바 있다. 2004년 2월에는 국립 서울대학교가 2006년까지 나노기기(Nanodevice) 및 재생에너지(Renewable energy)를 위한 연구·개발 실험시설 구축을 통해 60명의 교수진과 12개의 분야에서 매년 50명 이상의 박사과 200명 이상의 석사급 인력을 배출하는 것을 목표로 하기도 하였다.

마. 대만(Taiwan)

대만은 반도체(Semiconductor), 개인용 컴퓨터 및 기타 하이테크(High-tech) 분야에서 세계 정상급의 기술을 보유하고 있으며, 'Industrial Technology Research Institute (ITRI)'가 그 중심적인 역할을 수행하고 있다. 'ITRI'는 대만의 바이오테크놀로지 개발 가이드라인(Guideline)에 따라 유전자 기술을 위한 인프라를 구축한바 있으며, 제약산업에 있어서의 유전자 기술적용에 대한 개발 분야에서도 활발한 활동을 펼치고 있다. 나노바이오테크놀로지 분야에서의 연구는 In vivo 나노기기(Nanodevice), 나노센서(Nanosensor), 약물전달 및 분자 진단(Molecular diagnostics) 분야에서의 나노입자 기술적용 등을 중심으로 이루어지고 있다.

대만의 기술혁신과 국제적 경쟁력 확보를 목표로 'National Science Council (NSC)'은 나노테크놀로지 분야의 여러 연구·개발 프로그램을 진행하고 있으며, 2004년 Wu Maw-kuen 'NSC' 장관의 발표를 통해 21세기의 중요 분야로 나노테크놀로지를 선정하기도 하였다.

바. 호주(Australia)

호주 정부는 나노테크놀로지 분야의 지원을 위해 각 지방정부와 연합해 매년 A\$100 (US\$77) million 규모의 연구 지원 및 사업화 지원을 진행하고 있다.

호주는 의학 진단(Medical diagnostic) 및 치료제 시스템 분야의 연구·개발에 잠재적 역량을 보유하고 있는 것으로 평가되고 있으며, 특히 'Nanotechnology Victoria Ltd' 社가 위치해 있는 Victoria 지역은 'University of Melbourne'의 나노입자 캡슐화 시스템, 'Monash University'의 다기능성 중합체 입자(Multifunctional polymer particle), 형광 나노입자(Fluorescent nanoparticle) 합성 기술 등을 통해 나노테크놀로지 연구의 핵심지역으로 알려져 있다.

3) 시장 동향 및 전망

(1) 산업적 과제(Industry Challenges)

나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology) 시장은 아직 초기 단계이기 때문에 다음 표와 같은 내용들의 산업적 과제들을 파악하고 시장 성장을 위한 극복 수단을 찾는 것이 향후 과제로써 필요하다고 볼 수 있다.

<Nanobiotechnology Market: Industry Challenges (World), 2005-2011>

| Item | Challenge |
|------|--|
| 1 | Well developed competing technologies |
| 2 | Nanobiotechnology manufacturing cost |
| 3 | Lack of manufacturing standardisation |
| 4 | Lack of volumetric demand for nanobiotechnology materials |
| 5 | Lack of standardised nomenclature for manufactured nanoparticles |
| 6 | Potential safety issues and lack of safety legislation |
| 7 | Pressure from Non-Governmental Organisations(NGOs) for enhanced safety testing |
| 8 | Complex European registration process for new therapeutic products |

[출처 : Frost & Sullivan]

가. 기술 경쟁

나노바이오테크놀로지(Nanobiotechnology) 이외의 영역에서 경쟁적으로 발전되고 있는 기술들은 치료제, 약물전달, 조직 재생 등의 분야에서의 나노바이오테크놀로지 적용에 중요한 도전과제로 작용할 수 있다.

치료제의 경우 의학적으로 아직 정복되지 못한 질환에 있어 기존 의약품들의 발전, 그리고 기존의 치료법 역시 시장(Market) 마케팅 승인을 위한 임상시험 개발 과정에서 겪게 될 규제, 가이드라인, 관련 법(Law) 등이 이미 존재하고 있다는 점에서 나노바이오테크놀로지 적용과 직접적인 경쟁구도를 형성하고 있다고 할 수 있다.

약물전달 분야의 경우에는 경구(Oral) 투여방식을 비롯해 주사(Injection), 흡입(Inhalation) 등의 방식을 이용한 혁신적인 약물전달 방법들이 이미 개발되어 있다고 할 수 있으며, 직접적 경쟁 물질로는 리포솜(Liposome)을 이용한 약물 전달체 또는 리포솜 - 수화 인지질(Hydrated phospholipids)로부터 만들어진 미세크기의 캡슐들로 구성을 말할 수 있다. 리포솜의 구조는 포유동물 세포막(Mammalian cell membrane)막의 구조와 매우 유사하기 때문에 면역원성 반응(Immunogenic response)의 발생 가능성을 감소시켜주는 효과를 가질 수 있다. 특히 종양학(Oncology) 연구에 있어서 종양(Tumor)은 자체적인 유지를 위해 많은 양의 지질(Lipid)을 필요로 하는 특성을 가지고 있다. 따라서 리포솜은 종양에 보다 쉽게 흡수되어 대사과정을 거침으로써 약물 방출(Release) 반응을 시작할 수 있기 때문에 이러한 특성을 이용한 임상시험을 통해 여러 약물전달 시스템이 연구·개발되고 있고, 나노바이오테크놀로지 시스템보다 임상개발 면에서 보다 앞서있다고 할 수 있다.

단일클론항체(Monoclonal antibody) 역시 표적세포와의 특이성(Specificity)으로 인해 질환(Disease) 부위로 생물학적 물질을 운반할 수 있는 전달체로써 독립적으로 사용될 수 있다. 또한 치료 물질에 직접적인 붙임(Attachment)이 가능하기 때문에 나노 스케일(Nanoscale) 시스템으로 생산할 필요가 없다는 점도 경쟁요인으로 작용할 수 있다.

나. 제조 및 생산 비용

나노 스케일(Nanoscale)의 재료들은 무게(Weight)면에 있어서 금(Gold)보다 비용이 더 비쌀 수도 있으며, 높은 비용에 대한 여러 요인들은 다음과 같이 정리해 볼 수 있다.

- 나노재료(Nanomaterials)에 대한 요구가 아직 적은 상황에서 나노재료 생산을 위한 대규모의 자동화 시스템을 구축하는 것은 현재의 시장 상황에 적합하지 않을 수 있다.
- 나노재료의 생산에는 기술적인 어려움이 따를 수 있다.
- 나노재료 생산과정은 상당한 시간을 필요로 한다. 한 예로, 한 세대(Generation)의 덴드리머(Dendrimer)를 10개 생산하는데 약 6개월의 시간이 필요하다.

다. 표준화

현재 생산되고 있는 나노재료들의 상당수는 벤치탑(Benchtap) 수준에서 생산되고 있는 정도라고 말할 수 있다. 또한 현재 나노재료를 제공하고 있는 사람 또는 기업들의 경우 자신들만의 방법론과 장치(Apparatus)를 이용해 생산하고 있을 뿐 생산 시스템을 고려한 산업적 표준은 없는 실정이라고 할 수 있다. 이러한 생산방식 표준화의 부재는 신규 나노바이오테크놀로지 제품이 시장(Market)에 진입하는데 있어 규제 가이드라인을 구축하는데 어려움을 줄 수 있다.

라. 시장성

나노바이오테크놀로지는 물질의 크기를 가능한 작게 줄여 물질 자체에 특유의 특성을 부여하려는 산업적 특성을 가지고 있다. 대부분의 재료생산은 벤치탑(Benchtap) 수준에서 이루어지고 있으며, 대규모의 생산량에 대한 시장 요구 역시 아직까지는 부족한 수준이라고 할 수 있다. 그 예로써 덴드리머(Dendrimer)의 경우를 살펴보면, 생산 부문에 참여하고 있는 몇몇 기업들의 경우 전 세계적으로 존재하는 덴드리머의 재료로써 약 50파운드(Pound) 정도의 규모만을 언급하고 있으며, 더 이상 생산하기에는 시장적 요구가 불충분하다고 말하고 있다. 따라서 현재로써는 나노재료 분야를 보다 전략적인 분야로 설정하기 위해 필요한 대규모, 자동화 생산과 같은 잠재적 역량이 존재하지 않는 것이다.

마. 나노입자에 대한 공식적 분류체계

대부분의 나노재료들은 신규물질로써 존재하게 되는데, 현재 이러한 물질들에 대한 공식적인 명명법(Nomenclature)이 없는 상태로 인해 규제 및 안전성 가이드라인을 제정하는데 있어 문제점이 있다고 할 수 있다. 세계 각지에서 나노재료를 정의하고 분류화하는 방법론에 대한 연구가 이루어지고는 있으나 나노재료를 집합적으로(Collectively) 분류할 수가 없어 어려움을 겪고 있는 것이다.

특히 나노입자(Nanoparticle)의 경우 생산을 위한 기본 물질로써 금(Gold), 주석(Tin), 알부민(Albumin)과 같은 생물학적 산물 등의 여러 다양한 물질들이 사용되고 있는데, 이러한 물질들에 대한 기초적인 이해단계가 시작된 것도 최근의 일이라고 할 수 있다. 그러한 작업의 일환으로써 2004년 9월에 기술의 명명법과 분류법을 구축하기 위해 'American National Standards Institute Nanotechnology Standards Panel'이 설립되었으며, 유럽에서는 'British Standards Institution (BSI)'에 의해 나노테크놀로지에 대한 ISO 기술 활동 목적으로 'International Organization for Standardization (ISO)'에 제안이 이루어진바 있다.

마. 안전성

나노물질의 의학적 적용을 위해 세계 시장 진입에 있어 필요한 장기적인 약효 검증 및 안전성 검증체계를 구축하는 것에는 여전히 문제점을 내포하고 있다. 또한 나노물질은 관습적으로 크기보다는 화학적 구성성분이라는 인식아래 규제되어오고 있으며, 인체 건강에 대해 나노구조(Nanostructure)의 효과를 측정할 수 있는 적절한 방법(도구)을 찾을 수 없는 것도 문제점으로 여겨지고 있다.

사. 승인과정

의약품 등록을 위한 유럽의 승인과정은 느린 과정진행방식과 비용 측면에서 익히 그 명성이 알려져 있는데, 이는 미국의 경우처럼 FDA라는 하나의 국가시스템에 의해 운영되는 것이 아니라 국제적 차원의 'European Commission (EC)'과 각 국가별 수준에서 등록과정이 진행되는 것에 기인하고 있다. 그 예로, 미국에서의 검토 및 승인과정은 약 14개월이 소요되는데 비해, 유럽에서는 약 18개월까지 소요되는 것으로 알려져 있다.

(2) 시간적 단계에 따른 산업과제

<Nanobiotechnology Market: Impact of Top Ten Industry Challenges (World)>

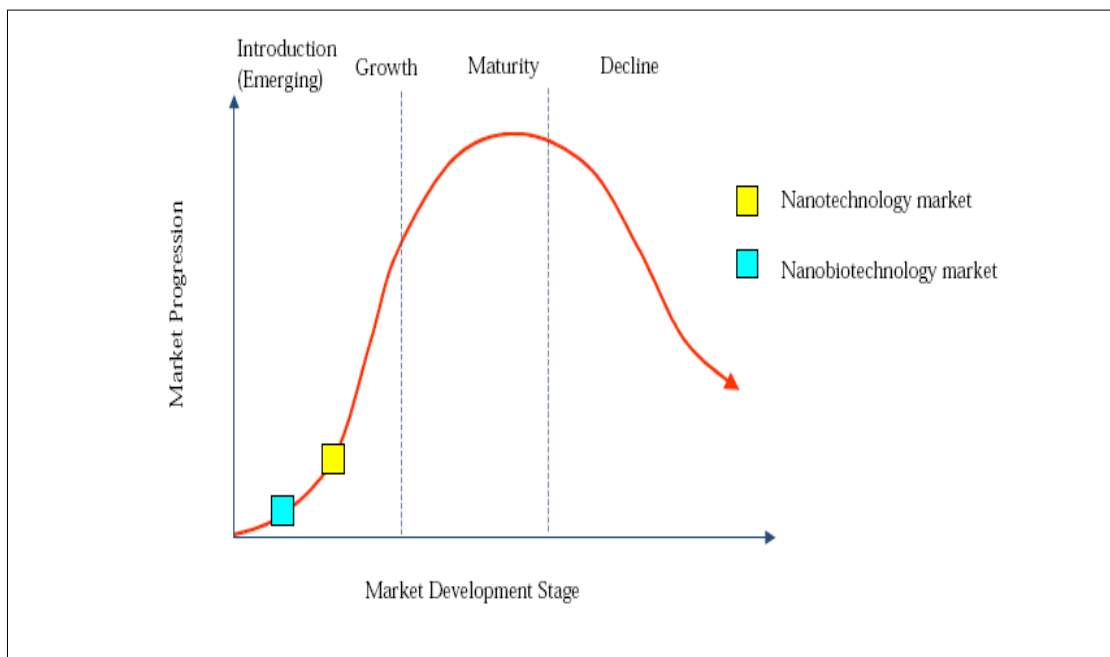
| Challenge | 1~2 Years | 3~4 Years | 5~7 Years |
|--|-----------|-----------|-----------|
| Nanobiotechnology manufacturing cost | High | High | High |
| Well developed competing technologies | Medium | High | High |
| Lack of manufacturing standardization | High | High | Medium |
| Lack of volumetric demand for nanobiotechnology materials | High | High | Medium |
| Lack of standardized nomenclature for manufactured nanoparticles | Medium | Medium | Medium |
| Potential safety issues and lack of safety legislation | Medium | Medium | Low |
| Complex European registration process for new therapeutic products | Medium | Low | Low |

[출처 : Frost & Sullivan]

(3) 나노테크놀로지 시장

아래의 그림에서 보는 바와 같이 나노바이오테크놀로지 시장(Nanobiotechnology market)은 나노테크놀로지(Nanotechnology) 영역보다 개발단계에 있어 보다 초기단계에 있다고 할 수 있다. 이러한 점은 대부분의 나노바이오테크놀로지 제품들이 아직은 연구단계 또는 일부 임상시험 진입단계에 머무르고 있는 결과로 인한 것으로 파악되고 있으나, 나노재료(Nanomaterials)와 같이 기존에 구축되어 있는 영역에 비해 향후에는 보다 빠른 속도로 성장할 것으로 전망되고 있다.

<Nanobiotechnology Market: Current Market Status (World)>



[출처 : Frost & Sullivan]

또한 아래의 표는 전체 나노테크놀로지 영역을 구성하는 각 시장별 상황을 보여주고 있는 내용으로 나노바이오테크놀로지 시장은 전체 나노테크놀로지 시장의 약 8%를 구성하고 있다.

<Nanobiotechnology Market: The Market as a Component of the Nanotechnology Market (World)>

| Nanotechnology Industry Focus | Percentage of Worldwide Industry |
|----------------------------------|----------------------------------|
| Hybrid materials | 34 |
| Information technology | 20 |
| Semiconductor | 17 |
| Micro-electro mechanical systems | 11 |
| Nanobiotechnology | 8 |
| Other | 10 |

[출처 : Frost & Sullivan]

(4) 나노바이오테크놀로지 시장 전망

<Nanobiotechnology Market: Revenue Forecasts (World), 2001-2011>

| Year | Revenues (\$ Million) | Revenue Growth Rate (%) |
|------|-----------------------|-------------------------|
| 2001 | 300.0 | -- |
| 2002 | 450.0 | 50.0 |
| 2003 | 600.0 | 33.3 |
| 2004 | 750.0 | 25.0 |
| 2005 | 853.8 | 13.8 |
| 2006 | 971.9 | 13.8 |
| 2007 | 1,116.7 | 14.9 |
| 2008 | 1,283.1 | 14.9 |
| 2009 | 1,501.6 | 17.0 |
| 2010 | 1,757.3 | 17.0 |
| 2011 | 2,056.5 | 17.0 |

Compound Annual Growth Rate (2004-2011) : 15.5%

[출처 : Frost & Sullivan]

나노바이오테크놀로지 시장의 2004년도 총 규모는 \$750 million, 이후에는 15.5%의 연평균성장률로 증가해 2011년에는 \$20,56.5 million 규모의 금액이 전망되고 있으며, 이러한 성장요인들로는 다음과 같은 사항들을 말할 수 있다.

- 나노바이오테크놀로지 분야에 지원되는 공적 자금의 수준이 높다는 점(특히 미국의 경우) - 학술분야의 연구·개발에 관한 노력에 대해 가속화 요인으로 작용
- 자금지원분야에 있어 신생 기업 또는 스핀오프(Spin-off)기업으로 초점이 맞춰지고 있는 현상 - 시장(Market)의 경쟁자 수에 대한 증가요인으로 작용
- 임상시험을 통과한 제품들의 시장진입현상 - 성장률의 증가요인으로 작용
- 현재 개발 중인 대다수 제품들의 적용분야는 시장의 요구에 의한 분야라는 점 - 이러한 점은 의학적인 관점에서의 필요(Needs)에 의한 분야는 아직까지는 불충분하다는 것을 의미. 특히 신경학적 질환과 암(Cancer) 등의 분야에서 높은 기술적 필요성을 보이고 있는 약물전달 분야가 두드러짐

위 내용의 전망치들은 다소 보수적으로 평가된바가 있기는 하나 2011년 이후 보다 많은 제품들이 각 기업들의 파이프라인(Pipeline)과 시장진입 시도에 등장할 것으로 예상되기 때문에 바이오테크놀로지 시장은 상당한 규모로 성장할 것을 전망할 수 있다. 또한 다른 기관들에서 추정된 전망치를 살펴보면, 'US National Science Foundation'의 경우 2015년에 나노테크놀로지 분야의 전체 규모를 \$1 trillion 이상으로 전망한바 있는데, 이는 나노 스케일(Nanoscale) 제품 자체 보다는 제품들 자체의 시장 가치를 고려해 계산한 점으로 인해 크게 신뢰를 가질 수 있는 수치로 보기는 힘들 수 있다.

4. 분야별 주요 기업 소개

1) 덴드리머(Dendrimer)

(1) Dendritic Nanotechnologies, Inc.

'Dendritic Nanotechnologies'社は 2001년도에 설립되어 현재 세계에서 가장 규모가 큰 덴드리머(Dendrimer) 공급자의 위치를 확보하고 있는 기업이다. 2005년 1월에는 '다우 케미컬(Dow Chemical)'社와 191개의 특허 포트폴리오(Portfolio)에 대한 라이선싱 계약을 체결한바 있으며, 'Sigma Aldrich, Inc.', 'Pfizer, Inc.'를 비롯한 여러 미국 연구기관과 협력관계를 구축하고 있다.

(2) Koninklijke DSM N.V. (Dutch State Mines)

네덜란드 헤를렌(Heerlen, The Netherlands)에 위치한 'DSM'社は 정제화학 제품(Fine chemical product) 및 덴드리머 생산기업으로 'Astramol' 제품으로 알려져 있는 고 순도(High purity)의 덴드리머를 1980년대부터 생산하고 있으며, 약물전달 및 DNA transfection 등의 의학적 적용분야에 적합한 것으로 알려져 있다.

(3) Dendritech, Inc.

미국 미주리(Missouri)주(州)에 위치한 'Dendritech'社は PANAM 덴드리머 생산에 특화된 기업으로 10에이커(Acre)의 생산부지에 250리터(Liter) 파일럿(Pilot) 규모를 통해 운영이 되고 있다. 'Dendritech'社の 제품들은 'Sigma Aldrich, Inc.'社를 통해 판매되고 있다.

(4) Tokyo Kasei Kogyo (TKK) Co., Ltd.

일본 동경(Tokyo)의 'TKK'社は 정제화학제품 서비스와 덴드리머 제품 합성을 위한 기본구성 물질을 공급하는 화학기업으로 알려져 있다.

2) 나노입자(Nanoparticle)

(1) Nanophase Technologies Corporation

'Nanophase'社は 미국 일리노이(Illinois)주(州)에 위치해 있으며, 정제되지 않은 상태의 고 순도(High purity) 금속성 나노입자(Metallic nanoparticle)에 대한 합성 및 생산에 특화된 기업이다. 나노입자 분야에서 나노바이오테크놀로지 상업화에 성공한 것으로 알려져 있는 선스크린(Sunscreen) 기술 적용을 위해 산화아연(Zinc oxide) 나노입자를 독일계 글로벌 종합 화학업체인 'BASF'社에 공급하는 유일한 공급업체이다.

(2) Capsulation NanoScience AG

독일 베를린(Berlin)에 위치한 'Capsulation'社は 'Max-Planck-Institute of Colloids and Interfaces'로부터 스핀오프(Spin-off)한 기업으로 치료물질의 캡슐화가 가능한 LBL-Intra 플랫폼(Platform)을 개발한 바 있다. 이 플랫폼 기술은 실리카(Silica) 나노입자로부터 만들어진 직경 약 500nm 크기의 실리카 나노셸(Nanoshell)을 이용하며, 'Bayer AG'社 및 'SCA Hygiene Products GmbH.'社와 협력관계를 구축하고 있다.

(3) AlnisBiosciences, Inc.

미국 캘리포니아(California)주(州)에 위치해 있는 'Alnis'社は 10nm 크기의 저중합 탄수화물(Oligomeric carbohydrate) 나노입자를 이용한 'NanoGel' 약물 전달 플랫폼을 개발하여 소유권을 가지고 있다. 이 플랫폼 기술은 현재 중앙 치료제의 표적을 향상과 부작용 감소를 위해 사용되고 있는 것으로 알려져 있으며, 이를 위해 잠재적 성공 가능성이 있는 제품을 파악해 임상단계의 제약기업들과 파트너십을 맺는 사업전략을 구사하고 있다.

3) 플러린(Fullerene) 및 나노튜브(Nanotube)

(1) Mitsubishi Corporation (Supporting Fullerene International Corporation and Frontier Carbon Corporation)

'Mitsubishi Corporation (동경(Tokyo), 일본)'社は 세계 2위의 플러린(Fullerene) 생산 기업인 'Fullerene International Corporation (아리조나(Arizona)주(州), 미국)'社를 비롯해 'Frontier Carbon Corporation (FCC) (동경(Tokyo), 일본)'社와 대규모의 파트너십을 형성하고 있으며, 'Fullerene International'社は 플러린 생산과정에 있어 보다 비용절감효과를 보기위한 연구에 초점을 맞추고 있다.

'FCC'社は 플러린 제조와 관련하여 'Nano-C, Inc.'社로부터 1세대 연소합성(Combustion synthesis) 플러린 제조기술을 라이선싱 한 바 있으며, 이 기술을 이용한 제조 시스템은 용매(Solvent) 분리 후 탄화수소(Hydrocarbon) 연료의 저압 연소(Low pressure combustion) 과정을 거치게 된다. 'FCC'社は 대규모, 대량의 플러린 생산을 위한 연구에 초점을 맞추고 있으며, 치료용 목적으로 의학적 사용이 가능한 등급의 플러린을 대량생산하는 연구도 진행 중인 것으로 알려져 있다.

(2) Nano-C, Inc.

미국 매사추세츠(Massachusetts)주(州)에 위치한 'Nano-C'社は 'FCC'社와의 1세대 연소합성(Combustion synthesis) 플러린 제조기술 라이선싱 이후 2세대 연소합성(Combustion synthesis) 플랫폼을 개발하였으며, 3차원 공간에서 높은 양의 탄화수소가 연소되면서 하위단계의 필요성과 연소물의 용매 제거에 대한 필요성을 제거시킨 특성을 지니고 있다. 이 시스템의 목적은 나노바이오테크놀로지 적용을 위한 고 순도의 플러린을 제조하고 제조 원가를 낮추는데 있다.

(3) Nanocyl SA

벨기에(Belgium)의 Sambreville 지역에 위치하고 있는 'Nanocyl'社は 'University of Namur'로부터 스핀오프(Spin-off) 형태로 설립된 회사로써 유럽 지역에서 나노튜브(Nanotube)를 제조할 수 있는 몇 안 되는 기업들 중 하나이다. 2005년 3월에는 미국 나노튜브 시장 진출을 위해 'Nanodynamics, Inc.'社와 협력관계를 구축한바 있다.

(4) Nanolab Systems Ltd

핀란드(Finland) Jyväskylä 지역에 위치하고 있는 'Nanolab Systems'社は 생물학적 적용을 위한 나노재료 생산에 집중하고 있는 기업이다. 2005년 1월에 산업적 규모의 탄소 나노튜브 생산능력을 갖추었으며, 벤처캐피탈 자금지원을 위해 'Jyväskylä Science Park'와 협력관계를 구축하고 있다.

4) 치료제(Therapeutics)

(1) C Sixty, Inc

미국 텍사스(Texas)주(州)에 위치한 'C Sixty'社は 나노바이오테크놀로지 치료제 분야의 선도 기업 중 하나로 플러린(Fullerene)의 항산화(Anti-oxidant) 특성 연구에 집중하고 있다. 플러린은 산화 스트레스(Oxidative stress)와 관련한 신경 퇴행성 질환(Neurodegenerative disease)의 치료에 잠재적 가능성이 있는 것으로 알려져 있으며, 두 가지의 제품군에서 전임상(Pre-clinical) 시험을 진행 중이다. 한 가지는 인체 면역결핍 바이러스(Human Immunodeficiency Virus, HIV)의 치료 목적을 위한 플러린 연구로써 동물실험 결과 성공적인 결과를 나타내어 FDA에 플러린의 HIV 적용을 위한 임상 1상 시험 승인을 신청한 상태이다. 두 번째는 신경학적 이상(Disorder) 질환의 하나인 루게릭(Lou Gehrig) 질환의 치료를 위한 것으로 플러린의 치료적 적용을 위한 연구를 진행하고 있다.

'C Sixty'社에는 플러린의 발견 공로로 노벨상을 수상한바 있는 Richard Smalley 박사가 연구자문위원으로 참여하고 있으며, 2003년 10월에는 골다공증(Osteoporosis) 및 암(Cancer) 치료를 위한 신규 치료제 개발을 위해 'Merck & Co, Inc.'社와 연구 계약을 체결한바 있다.

(2) Starpharma Party Ltd

호주(Australia) 멜버른(Melbourne)에 위치한 'Starpharma'社は FDA를 통해 치료제에 기반 한 덴드리머의 임상시험 진입에 성공한 세계 최초의 기업이라고 할 수 있다. 'VivaGel' 제품은 AIDS 예방을 위한 국부(Topical) 살균제(Microbicide)로써 임상 1상 단계에 진입해 있으며, 이 외에도 성접촉을 통해 감염될 수 있는 질환들(Sexually transmitted diseases)에 대해 여러 연구가 진행되고 있는 것으로 알려져 있다. 2005년 1월에는 'Starpharma'社, 'Dendritic NanoTechnologies, Inc.'社, 'Dow Chemical Company'社가 덴드리머 기반 제품과 관련하여 세계에서 가장 규모가 큰 특허 포트폴리오(Patent portfolio)에 대해 공동 협력관계를 구축하기도 하였다.

(3) Nanobio Corporation

미국 미시건(Michigan)주(州)에 위치한 'Nanobio Corporation'社は 나노에멀션(Nanoemulsion, 나노유탁액(乳濁液)) 분야 연구·개발에 집중하고 있는 기업으로 'NanoStat system'이라는 기술 플랫폼을 통해 세균 성장을 저해할 수 있는 나노에멀션을 연구·개발 중이며, 이 플랫폼에 기반 해 전임상 및 임상 단계의 6개 제품을 개발 중인 것으로 알려져 있다. 이 기업은 'University of Michigan Centre for Biologic Nanotechnology'로부터 스핀오프(Spin-off) 형태로 설립된 기업으로써 대학과의 강한 학술적 연구관계가 특징이라고 할 수 있다. 또한 최근에는 암(Cancer) 치료제의 전달 시스템을 위한 덴드리머의 이용방법 개발을 위해 'NanoCure Corporation'社라는 신생 기업을 스핀오프 형태로 추가 설립하기도 하였다.

5) 약물 전달(Drug Delivery)

(1) Elan Pharmaceuticals

'Elan'社は 미국 펜실베이니아(Pennsylvania)주(州)에 위치해 있으며, 'NanoCrystal' 기술 플랫폼 개발을 통해 기존의 치료 의약품 제조과정인 'Nanomilliong reformulation system'에서 약물의 용해도(Solubility)와 유효성(Availability)을 개선하려는 연구·개발을 진행 중이다. 이 기술 플랫폼은 'Merck & Co'社の 'Emend' 제품과 'Wyeth Pharmaceuticals Inc.'社の 'Rapamune' 제품에 적용되어 성공적인 사업화 결과를 낳았으며, 최근에는 'Johnson & Johnson, Inc.'社와 'F. Hoffman-La Roche'社들도 약물의 용해도 증가를 위해 'Elan'社の 'NanoCrystal' 기술을 라이선스 체결한 바 있다.

(2) American Pharmaceutical Partners (APP), Inc.

미국 캘리포니아(California)주(州)에 위치한 ‘APP’社は 2005년 2월 US FDA로부터 ‘Abraxane (paclitaxel)’ 제품에 대한 시장승인을 받은 바 있다. 이 제품은 전이성 유방암(Metastatic breast cancer) 치료를 위해 단백질 의약품과 관련한 알부민 나노입자(Albumin nanoparticle) 제품으로 시장에 진출한 첫 번째 나노입자 의약품이라고 할 수 있으며, ‘APP’社の 자회사인 ‘Abraxis Oncology, Inc.’社를 통해 개발되었다. 이 제품은 기존에 다른 형태의 약물들이 접근할 수 없었던 인체 내 부분들에 접근이 가능하며, 면역반응을 일으키지 않는 알부민 성분으로 인해 잠재적 부작용에 대한 효과를 감소시켰다는 장점을 가지고 있다.

(3) Flamel Technologies, Inc.

프랑스(France) Venissieux 지역에 위치한 ‘Flamel’社は 폴리-아미노산 (Poly-amino acid) 나노입자 전달 시스템을 구성할 수 있는 ‘Medusa encapsulation’ 플랫폼을 개발한 기업으로, 이 시스템을 이용해 현재 5개의 치료제를 연구·개발 중인 것으로 알려져 있다. 개발 단계가 가장 진행된 제품으로 ‘Basulin’ 제품을 들 수 있는데, 이 제품은 제1형 당뇨병(Type I diabetes) 치료를 위한 제품으로 임상 2상 단계를 진행하고 있으며, 이 외에도 신장암(Renal cancer) 치료를 위한 ‘IL-2 XL (native insulin)’ (임상 1상/2상), B형 및 C형 간염 치료를 위한 ‘IFN alpha-2b XL (interferon alpha-2b)’ (임상 1상/2상) 등의 제품이 있다.

6) 조직 재생(Tissue Reconstruction)

(1) Angstrom Medica, Inc.

‘Angstrom’社は 미국 매사추세츠(Massachusetts)주(州)에 위치해 있으며, 칼슘(Calcium) 및 인(Phosphate) 나노입자를 이용해 ‘NanOss’로 알려져 있는 Nanocrystalline 구조를 생산하는 합성 골격(Synthetic bone)에 대한 공학적 기술에 특화되어 있는 기업이다. 이 기술을 통해 골 이식(Bone graft)을 위한 자연 상태의 뼈(Bone)와 유사한 구조를 만들어내고, 동종이식(Allografts) 또는 합성 골격구조에 대한 필요성을 대체할 수 있는 구조를 생산하는 것이 주요 목표라고 할 수 있다. ‘NanOss’는 기존에 사용되고 있는 인공골격 구조물의 조직 거부 반응을 감소시키기 위한 코팅(Coating) 물질로도 사용이 가능하다.

(2) Orthovita, Inc.

‘Orthovita’社は 미국 펜실베이니아(Pennsylvania)주(州)에 위치해 있는 바이오재료(Biomaterials) 기업으로 인간의 뼈와 유사한 나노입자들로 구성된 재료의 연구·개발에 집중되어 있다. 다공성의 이러한 물질들은 면역거부반응을 감소시키고, 치료시간을 증대시켜주며, 뼈의 내부적인 성장을 증가시켜주는 특징을 가지고 있다. 인산칼슘(Calcium phosphate) 골격 제품인 ‘Vitoss’의 경우 미국 및 호주(Australia), 유럽에서 시장 판매 승인을 받은 바 있으며, 골다공증골절(Osteoporotic fractures) 치료 및 척추수술(Spine surgery)에 주되게 사용되고 있다. 또 다른 제품으로써 ‘Cortoss’는 인체의 피질골(Cortical bone)과 유사하게 디자인된 제품으로, 미국에서 임상시험 진입을 위한 연구단계를 진행 중인 것으로 알려져 있다.

(3) PSiVida, Ltd.

영국 정부의 연구기관인 ‘Qinetiq’과 파트너십 관계를 구축하고 있는 ‘PSiVida’社は 호주 Perth 지역에 위치하고 있으며, ‘BioSilicon’이라는 다공성 나노구조 실리콘에 대해 특허를 소유하고 있다. 이 나노물질은 약물전달에 있어 주요하게 사용될 수 있는 것으로, 2004년 12월에는 세계 5위권 내의 제약기업들과 이 물질의 기능개발을 위한 연구협력관계를 구축하기도 하였다. ‘BioSilicon’은 인공골격 구조에 대해서도 잠재적 가능성을 가지고 있다고 알려져 있으며, 연구 단계에서의 성과이기는 하지만 조골세포(Osteoblasts) 성장 및 뼈의 석회화(Mineralization) 촉진에 효과가 있는 것으로 보고되기도 하였다.

7) 연구기관(Academic Research)

(1) Rice University Centre for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN) and the International Council on Nanotechnology (ICON)

미국 텍사스(Texas)주(州)에 위치한 ‘CBEN’은 치료용 나노바이오테크놀로지 분야에서 활발한 연구 활동 프로젝트를 진행하고 있으며, 특히 암(Cancer) 치료를 위한 금 나노셸(Gold nanoshell)의 이용에 대한 연구가 활발한 것으로 알려져 있다. 약물 투약(Administaion) 후 적외선(Infrared light)을 통해 열(Heat)을 가해줄 경우 동물실험 모델에서 종양제거에 대한 긍정적인 결과가 나온 것으로 보고되어 있으며, 이 기술은 ‘Nanospectra Biosciences, Inc.’에 라이선싱 계약된 것으로 알려져 있다.

‘CBEN’은 또한 플러린(Fullerene) 연구에서도 중요한 결과를 내고 있다. 박테리아(Bacteria) 감염에 대해 마지막 방어선으로 알려져 있는 ‘Conjugate vancomycin’ 프로젝트를 플러린 분자와 관련하여 진행 중인 것으로 알려져 있는데, 반코마이신(Vancomycin)에 내성을 가지는 미생물들이 점차 늘어나 치료가 어려워지고 있는 상황에서 이러한 연구 프로젝트는 필수적이라 할 수 있다. 또한 골다공증(Osteoporosis) 치료약물의 전달체계에 있어 플러린 사용에 관한 연구를 진행 중인데, 현재 사용되고 있는 약물들의 경우 흡수율과 독성 부작용의 문제점이 있어 플러린을 전달 물질로 사용하려는 연구가 진행 중이다.

‘CBEN’은 ‘International Council on Nanotechnology (ICON)’의 주체 기능을 하고 있으며, 기업투자 유치 및 FDA의 안전성에 대한 연구 자료를 발표하는 역할도 수행하고 있다. ‘ICON’은 2004년 12월에 설립되었으며, 신규 나노구조물질에 대한 규제안을 개발하는데 있어 중심적인 역할을 하고 있다.

(2) Michigan State University Centre for Biologic Nanotechnology (CBN)

‘CBN’은 나노바이오테크놀로지 개발·적용 및 사업화를 위한 여러 분야에서 활동을 하고 있으며, 기존의 암세포(Cancer cell)를 표적으로 하는 치료제에 대해 덴드리머 기반 약물전달 시스템에 대한 프로젝트를 진행 중이다. 이 프로젝트는 ‘National Cancer Institute’로부터 위임을 받아 암(Cancer)과 관련하여 탁솔(Taxol) 물질에 대해 5세대의 덴드리머를 사용하는 내용을 포함하고 있다.

‘CBN’은 ‘Nanobio Corporation’社를 스핀오프 기업형태로 설립한 바 있으며, 이를 통해 ‘Nanocure, Inc.’社 역시 설립하였고, ‘CBN’으로부터 덴드리머 기술에 대한 라이선스 계약을 체결하여 덴드리머 암 전달 제품의 사업화에 대한 연구·개발을 추진 중인 것으로 알려져 있다.

(3) Institute of Bioengineering and Nanotechnology, Singapore

이 연구기관은 싱가포르 A*STAR(the Agency for Science, Technology and Research) 산하의 기관으로써 공학적 기술과 바이오테크놀로지간의 공동 연구 및 사업화를 위한 인터페이스 구축에 초점을 맞추고 있다. 골 형성(Bone reconstruction) 및 ex-situ 조직 재생(Tissue regeneration)을 위한 나노골격(Nano-scaffolds) 개발에 관한 프로젝트를 중심으로 수행하고 있으며, ‘National University Hospital’ 및 ‘Nanyang Technological University’와

함께 나노재료의 3차원 골 리모델링(Bone remodelling)에 대한 연구 프로젝트를 진행 중이기도 하다. 이 연구 프로젝트는 조골세포(Osteoblasts)의 유도(Induction), 성장 및 증식(Proliferation)을 촉진하기 위한 나노골격의 형성에 대한 내용을 포함하고 있다.

8) 기타

(1) Nanospectra Biosciences, Inc.

미국 텍사스(Texas)주(州)에 위치하고 있는 ‘Nanospectra’社は 중앙 특이 항체(Tumor specific antibody)가 부착되어 있는 실리카(Silica) 중심부위의 금 나노셸(Gold Nanoshell)에 대해 연구·개발을 진행 중이며, ‘Rice University’로부터 기술이전계약을 체결한 바 있다. 생쥐(Mice)에서의 동물실험 결과는 성공적인 것으로 보고된 바 있으며, 2006년 이후에는 Mesthelioma의 치료를 위한 임상시험 진입을 준비 중인 것으로 알려지고 있다.

(2) Triton Biosciences, Inc.

미국 매사추세츠(Massachusetts)주(州)에 위치하고 있는 ‘Triton’社は 암(Cancer) 치료를 위한 나노입자(Nanoparticle) 연구에 집중하고 있는 기업으로 종양세포(Tumor cell)에 특이적인 항체(Antibody)로 코팅(Coating)되어 있는 철(iron) 나노입자를 이용해 연구를 진행 중이다. 나노입자는 자기장(Magnetic field) 변화를 통해 열을 가함으로써 종양을 제거할 수 있으며, 동물실험 모델에서 성공적인 결과를 얻은 후 2006년 이후 임상시험 진입을 위한 준비를 하고 있는 것으로 알려져 있다.

(3) Do-Coop Technologies, Ltd.

이스라엘(ISrael)의 Or-Yehuda 지역에 위치하고 있는 ‘Do-Coop’社は 네오워터 플랫폼(Neowater platform)에 대해 연구·개발을 통해 소유권을 가지고 있으며, 이 플랫폼은 세포내의 수분(Intracellular water) 환경을 모방한 수화 나노입자(Hydrated nanoparticle)의 안정된 시스템으로 구성되어 있다. 네오워터의 계면활성제 특성은 세포막(Cellular membrane)을 통한 siRNA, 항생제(Antibiotics), 약물 등의 안전한 침투성을 가능하게 해주는 역할을 하며, 기존의 세포주(Cell line) 기반 개발 방식에서 벗어나 직접적인 1차세포를 통한 In vitro, In vivo 약물 개발 방식을 통해 신약 개발의 시간을 줄이고자 노력하고 있다. ‘Do-Coop’社は 2005년 이후 네오워터 파트너십 프로그램을 통해 혁신적인 기술 적용을 위한 협력 파트너를 찾고 있는 것으로 알려져 있다.

(4) Novavax, Inc.

미국 펜실베이니아(Pennsylvania)주(州)에 위치하고 있는 'Novavax'社は 약물 전달을 위한 기름(Oil)과 물(Water)의 나노에멀션(Nanoemulsion) 연구·개발에 집중하고 있는 바이오제약 기업으로써 2003년 10월에는 'Estrasorb' 제품을 통해 폐경기(Menopausal)의 에스트로젠(Estrogen) 대치요법에서 국부적 적용을 위한 FDA 승인을 받은바 있다. 또한 'Androsorb'이라는 제품을 통해 여성 테스토스테론(Testosterone) 치료요법을 임상 1상 시험 단계에서 개발 중인 것으로 알려져 있다.

(5) iMedd, Inc.

미국 캘리포니아(California)주(州)에 위치하고 있는 'iMedd'社は 'Nanogate system'을 연구·개발 중인 기업이다. 이 시스템은 100nm 이하 크기의 치료 단백질 전달을 촉진하기 위해 실리콘 나노포어 막(Silicon nanopore membrane)을 이용한 전달 방법으로써 약물의 반복투여에 대한 필요성을 없애고, 보다 정교화 된 약물전달 체계를 촉진하기 위해 연속적인 방출(Release) 시스템 개발을 목표로 하고 있다.

이 시스템은 현재 나노 스케일(Nanoscale) 기술을 이용한 피하(Subcutaneous) 약물전달 제품으로써는 유일하고, 최초의 제품이라고 할 수 있으나 아직은 연구 단계에서 진행 중인 것으로 알려져 있으며, 또한 고상에서의 체내 온도(Body temperature in solid phase)에서 안정한 상태로 단백질을 유지시키기 위한 방법을 연구·개발 중이다.

5. 나노바이오테크놀로지 제품

1) 기업별 제품

| Company | Material | Summary | Website | Headquarters |
|-------------------------------------|--------------|--|--------------------------------|---|
| Materials Manufacturer | | | | |
| Dendrichem | Dendrimer | Dendrimer material specialist | www.dendrichem.com | Ramonville St Agne, France |
| Dendritech, Inc | Dendrimer | Dendrimer material specialist | www.dendritech.com | Midland, Missouri, United States |
| Dendritic Nanotechnologies, Inc | Dendrimer | Dendrimer material specialist | www.dnanotech.com | Mount Pleasant, Missouri, United States |
| Koninklijke DSM N.V | Dendrimer | Dendrimer material specialist | www.dsm.com | Heerlen, The Netherlands |
| Sigma Aldrich Company | Dendrimer | Dendrimer material supplier | www.sigmaaldrich.com | St Louis, Missouri, United States |
| Tokyo Kasei Kogyo (TKK) | Dendrimer | Dendrimer material specialist | www.tokyokasei.co.jp | Tokyo, Japan |
| Frontier Carbon Corporation | Fullerene | Fullerene material specialist | www.fcarbon.com | Tokyo, Japan |
| Fullerene International Corporation | Fullerene | Fullerene material specialist | www.fullereneinternational.com | Tuscon, Arizona, United States |
| Nano-C, Inc | Fullerene | Fullerene material specialist | www.nano-c.com | Westwood, Massachusetts, United States |
| Alnis Biosciences, Inc | Nanoparticle | Nanogel polymeric drug delivery platform | www.alnis.com | Emeryville, California, United States |
| Carbon Nanotechnologies, Inc | Nanotube | Nanotube material specialist | www.cnanotech.com | Houston, Texas, United States |

| Company | Material | Summary | Website | Headquarters |
|---|--------------|--|--------------------------|---------------------------------|
| Materials Manufacturer | | | | |
| BioNano International Singapore Pte. Ltd | Nanotube | Nanotube material specialist | www.bionano.com.sg | Singapore |
| Nanocyl S.A | Nanotube | Nanotube material specialist | www.nanocyl.com | Sambreville, Belgium |
| Nanolab Systems Ltd | Nanotube | Nanotube material specialist | www.nanolabsystems.com | Jyväskylä, Finland |
| Rosseter Holdings Ltd | Nanotube | Nanotube material specialist | www.enanoscience.com | Limassol, Cyprus |
| Therapeutics | | | | |
| Starpharma Pty Ltd | Dendrimer | Vivagel for the prevention of AIDs in clinical trials | www.starpharma.com | Melbourne, Australia |
| C Sixty Inc | Fullerene | Fullerene therapeutics for AIDs and Lou Gehring's disease in preclinical and clinical trials | www.csixty.com | Houston, Texas, United States |
| National Taiwan University | Fullerene | Fullerenes in preclinical testing for the treatment of atherosclerosis | www.ntu.edu.tw | Taipei, Taiwan |
| Nanobio Corporation (same people as Nanocure) | Nanoemulsion | Antimicrobial nanoemulsions in clinical trials | www.nanobio.com | Ann Arbor, Michigan |
| Nanospectra Biosciences | Nanoparticle | Gold nanoshells for cancer treatment in preclinical development | www.nanospectra.com | Houston, Texas, United States |
| Nanotherapeutics, Inc | Nanoparticle | Markets nanocosmetic products | www.nanotherapeutics.com | Alachua, Florida, United States |

| Company | Material | Summary | Website | Headquarters |
|--|--------------|---|-------------------------------|---|
| Therapeutics | | | | |
| Triton Biosystems, Inc | Nanoparticle | Iron nanoshells for cancer treatment in preclinical development | www.tritonbiosystems.com | Chelmsford, Massachusetts, United States |
| Rice University Centre for Biologic and Environmental Nanotechnology | Various | Gold nanoparticles for cancer treatment, fullerenes in drug delivery | www.cohesion.rice.edu | Houston, Texas, United States |
| Drug Delivery | | | | |
| Nanocure Inc | Dendrimer | Cancer drug delivery system | www.nanocure.com | University of Michigan, Ohio, United States |
| University of Michigan–Centre for Biologic Nanotechnology | Dendrimer | Dendrimer drug targeting system for cancer therapeutics | www.nano.med.umich.edu | Ann Arbor, Michigan |
| Luna Innovations Inc | Fullerene | Fullerenes for cancer targeting in preclinical development | www.lunainnovations.com | Blacksburg, Virginia |
| Eiffel Technologies Ltd | Nanoemulsion | Gas dispersal nanoemulsifying system | www.eiffeltechnologies.com.au | North Ryde, New South Wales, Australia |
| Elan Pharmaceuticals, Inc | Nanoemulsion | Markets NanoCrystal Technology for drug delivery | www.elan.com | Collegeville, Pennsylvania, United States |
| F. Hoffman La Roche | Nanoemulsion | Partners with Elan Pharmaceuticals concerning Nanocrystal Technology | www.roche.com | Basel, Switzerland |
| Kereos, Inc | Nanoemulsion | Targetted nanoemulsion for delivery of cancer therapeutics in preclinical development | www.kereos.com | Saint Louis, Missouri |

| Company | Material | Summary | Website | Headquarters |
|---------------------------------------|--------------|--|---------------------------|---|
| Drug Delivery | | | | |
| Merck & Co, Inc | Nanoemulsion | Partners with Elan Pharmaceuticals concerning Nanocrystal Technology, markets Emend | www.merck.com | Whitehouse Station, New Jersey |
| Novavax Inc | Nanoemulsion | Markets Estrasorb topical nanoparticle hormone replacement therapy | www.novavax.com | Malvern, Pennsylvania |
| Wyeth Pharmaceuticals Inc | Nanoemulsion | Partners with Elan Pharmaceuticals concerning Nanocrystal Technology, markets Rapamune | www.wyeth.com | Collegeville, Pennsylvania, United States |
| American Pharmaceutical Partners, Inc | Nanoparticle | Markets Abraxane, nanoparticle cancer therapeutic | www.abraxisoncolony.com | Los Angeles, California, United States |
| Biosante Pharmaceuticals Inc | Nanoparticle | Calcium phosphate nanoparticles (CAP) for protein drug delivery in clinical trials | www.biosantepharm.com | Lincoln, Illinois, United States |
| Capsulation NanoScience AG | Nanoparticle | Polymeric nanoparticle platform for custom drug encapsulation | www.capsulation.com | Berlin, Germany |
| Do-Coop Technologies Ltd | Nanoparticle | Water based nanoparticles for the enhancement of fullerene drug delivery | www.docoop.com | Or Yehuda, Israel |
| Flamel Technologies, Inc | Nanoparticle | Markets Medusa System for drug delivery | www.flameltechnologies.fr | Venissieux, France |

| Company | Material | Summary | Website | Headquarters |
|------------------------------------|--------------|---|------------------------|---|
| Drug Delivery | | | | |
| iMEDD, Inc | Nanoparticle | Nanomembranes for controlled drug delivery in development | www.imeddinc.com | Columbus, Ohio, United States |
| Nanobiotix, Inc | Nanoparticle | Magnetic nanoparticles for targetting cancer in preclinical development | www.nanobiotix.com | Laberge, France |
| Nanocarrier Co, Ltd | Nanoparticle | Polymeric nanoparticles for drug delivery | www.nanocarrier.co.jp | Chiba, Japan |
| University of Melbourne, Australia | Nanoparticle | Researching laser activated nanoparticles for cancer therapy | www.unimelb.edu.au | Melbourne, Australia |
| Skyepharma Plc | Various | Markets a range of drug delivery systems, including nanoemulsions | www.skyepharma.com | Piccadilly, London |
| Tissue Reconstruction | | | | |
| 3DM Inc | Nanotube | Nanoscale puramatrix for tissue regeneration in development | www.puramatrix.com | Cambridge, Massachusetts, United States |
| Angstrom Medica, Inc | Nanotube | Biomimetic nanostructured material in development | www.angstrommedica.com | Woburn, Massachusetts, United States |
| PSiVida Ltd | Nanotube | Biosilicon for tissue regeneration in development | www.psivida.com.au | Perth, Australia |

2) 주요 제품 현황

| Product | Sector | Material | Disease Indication | Technology Summary | Company |
|-----------|---------------|--------------|---|--|--|
| Abraxane | Drug delivery | Nanoparticle | Breast cancer | Albumin nanoparticles | American Pharmaceutical Partners, Inc |
| Rapamune | Drug delivery | Nanoemulsion | Immunosuppressant | Nanocrystal Technology (Elan Pharmaceuticals, Inc) | Wyeth Pharmaceuticals, Inc |
| Emend | Drug delivery | Nanoemulsion | Chemotherapy induced nausea | Nanocrystal Technology (Elan Pharmaceuticals, Inc) | Merck & Co, Inc |
| Estrasorb | Therapeutic | Nanoemulsion | Estrogen replacement therapy | Oil and water nanoemulsion | Novavax, Inc |
| Silcryst | Wound care | Nanoparticle | Topical burn treatment | Nanocrystal silver particles | Nucryst Pharmaceuticals Corp |
| Optisol | Cosmetic | Nanoparticle | Ultra violet (UV) protection in sun block | Topically applied cosmetic involving titanium dioxide nanoparticles | Oxonica, Ltd (supplier to Boots Ltd from April 2005) |
| Leunesse | Cosmetic | Nanoparticle | Skin revitalisation and anti-ageing | Topically applied cosmetic (note: nanoparticles are 400nm in diameter) | Nanotherapeutics, Inc |
| Plenitude | Cosmetic | Nanoparticle | Skin revitalisation and anti-ageing | Polymeric nanoshell containing vitamin A (note: nanoshell are 400nm in diameter) | L' Oreal |
| Z Cote | Cosmetic | Nanoparticle | Ultra violet (UV) protection in sun block | Topically applied cosmetic involving zinc nanoparticles | BASF AG |

3) 임상단계 제품

| Product | Sector | Material | Disease Indication | Stage of Development | Company |
|---------------------|---------------|--------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|
| NB-001 nanoemulsion | Therapeutic | Nanoemulsion | Herpes labialis treatment | Phase II clinical | Nanobio Corporation |
| Basulin | Drug delivery | Nanoemulsion | Type I diabetes | Phase II clinical | Flamel Technologies, Inc |
| Vivagel | Therapeutic | Dendrimer | AIDS | Phase I clinical | Starpharma Party Ltd |
| Androsorb | Therapeutic | Nanoemulsion | Low testosterone in women | Phase I clinical | Novavax, Inc |
| NB-004 nanoemulsion | Therapeutic | Nanoemulsion | Genital herpes treatment | Phase I clinical | Nanobio Corporation |
| NB-005 nanoemulsion | Therapeutic | Nanoemulsion | Herpes zoster treatment | Phase I clinical | Nanobio Corporation |
| IFN alpha-2b XL | Drug delivery | Nanoemulsion | Renal Cancer | Phase I clinical | Flamel Technologies, Inc |
| IL-2 XL | Drug delivery | Nanoemulsion | Hepatitis B and C | Phase I clinical | Flamel Technologies, Inc |
| NB-002 nanoemulsion | Therapeutic | Nanoemulsion | Onychomycosis treatment | Phase I clinical | Nanobio Corporation |

| Product | Sector | Material | Disease Indication | Stage of Development | Company |
|----------------------------------|---------------|--------------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| NB-003 nanoemulsion | Therapeutic | Nanoemulsion | Vaginitis treatment | Preclinical | Nanobio Corporation |
| NB-006 nanoemulsion | Therapeutic | Nanoemulsion | Viral respiratory infection treatment | Preclinical | Nanobio Corporation |
| Antioxidant | Therapeutic | Fullerene | Atherosclerosis | Preclinical | National Taiwan University |
| EPO XL | Drug delivery | Nanoemulsion | Anemia | Preclinical | Flamel Technologies, Inc |
| hGH XL | Drug delivery | Nanoemulsion | Growth hormone deficiency | Preclinical | Flamel Technologies, Inc |
| Antioxidant | Therapeutic | Fullerene | HIV | Preclinical | C Sixty, Inc |
| Antioxidant | Therapeutic | Fullerene | Lou Gehrig' 's Disease | Preclinical | C Sixty, Inc |
| Gold nanoshell | Drug delivery | Nanoparticle | Multiple | Research, clinical in 2006 | Triton Biosciences |
| Iron nanoparticle | Drug delivery | Nanoparticle | Multiple | Research, clinical in 2006 | Nanospectra Biosciences |
| Dendrimeric drug delivery system | Drug delivery | Dendrimer | Cancer | Research phase | University of Michigan |

[참고문헌]

1. A Jain PharmaBiotech Report, NanoBio Technology Analysis, November, 2007.
2. David Mooney, Cancer : One step at a time, Nature 436, 468-469 (28 July 2005)
3. Frost & Sullivan, World Nanobiotechnology Markets, May, 2005.
4. Fullerene, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fullerene-C60.png>
5. M. C. Gohel, Parikh.R.K, Dendrimer : An Overview, 2009 Vol. 7 Issue 3 Targeted drug delivery systems
6. Michigan Center for Biologic Nanotechnology, Dendrimer, www.umich.edu/news/index.html?Releases/2005/Jan05/bakerpic
7. Shiladitya Sengupta, David Eavarone, Ishan Capila, Ganlin Zhao, Nicki Watson, Tanyel Kiziltepe & Ram Sasisekharan, Temporal targeting of tumour cells and neovasculature with a nanoscale delivery system, Nature 436, 568-572 (28 July 2005)
8. Won-Young Yang, Jong-Hyun Ahn, Yong-Sik Yoo, Nam-Keun Oh and Myongsoo Lee, Supramolecular barrels from amphiphilic rigid-flexible macrocycles, Nature Materials 4, 399-402 (17 April 2005)
9. LG 주간경제, 소재 산업의 패러다임을 변화시키는 나노기술, 2003, 57.
10. 한국과학기술정보연구원, 나노-바이오 융합기술, 2007.