

가 가 .
GOVP1200617500

2005 Tech-Issue  Emerging S&T Report

나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

홍재민 · 이혁재

Tool 4669

머 리 말

21세기는 지식과 정보가 그 국가의 경쟁력을 좌우하는 지식 기반 산업사회로 나아가고 있으며, 최고가 아니면 살아남을 수 없는 무한경쟁시대가 되어가고 있습니다. 이러한 변화 속에서 각 국가에서는 미래 유망기술(Emerging Technology)을 선정하여 국가 역량을 집중함으로써 차세대 국가경쟁력을 확보하려는 여러 가지 노력을 기울이고 있습니다.

최근 우리나라에서도 미래 유망기술에 대한 관심이 어느 때보다도 증대되고 있는 가운데, 한국과학기술정보연구원에서는 과학계량학적인 방법으로 미래 국가 유망기술을 예측하기 위한 일련의 연구를 수행하고 있습니다.

본 보고서는 과학기술정보데이터베이스(SCIE)에서 최근 6년간 분야별 피인용도가 높은 핵심논문들을 가지고 정보계량학적인 분석을 행하여 선정된 핵심 유망 연구영역에 대해 관련 국내전문가들의 자문을 토대로 작성된 R&D 동향보고서입니다. 본 보고서가 관련 과학기술정보를 국내에 확산시키고, 미래 국가유망기술의 전략적 육성을 위한 연구개발 활동에 작으나마 도움이 되었으면 합니다.

마지막으로 본 보고서를 집필한 저자들의 노고에 감사드리며, 본고의 내용은 한국과학기술정보연구원의 공식의견이 아님을 밝혀둡니다.

2005년 12월

한국과학기술정보연구원

원 장 조 영 희

목 차

제1장 서 론	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 방법	2
제2장 기술의 개요	3
1. 기술에 대한 정의	3
2. 중요성, 개발배경 및 특성	4
가. Neutralization Emulsification process	5
나. 분산 축중합법에 의한 나노입자 제조	6
다. Supercritical Polymerization Process	7
라. Encapsulation processing	8
3. 현안문제	14
제3장 국내외 기술개발동향	15
1. 국내 기술개발 동향	15
가. 국내 연구개발동향	15
나. 국내 특허기술동향	16
다. 국내 정책동향	18
라. 국내 시장동향	20
2. 국외 기술개발 동향	22
가. 국내 연구개발동향	22
나. 국내 특허기술동향	23
다. 국내 정책동향	26
라. 국내 시장동향	30

ii

제4장 결론 및 제언 33

참고문헌 37

표 목차

〈표 3-1〉 나노 분말 관련 특허의 국별, 연도별 현황	17
〈표 3-2〉 ‘나노기술종합발전계획’의 투자정책	19
〈표 3-3〉 미국 정부부처의 나노기술 투자액	27
〈표 3-4〉 나노 입자 기술 분야 별 경쟁력 비교	30

그림 목차

〈그림 2-1〉 Neutralization Emulsification Process	5
〈그림 2-2〉 분산 축중합법에 의한 나노입자 제조	6
〈그림 2-3〉 Supercritical Polymerization Process	7
〈그림 2-4〉 Encapsulation Processing	8
〈그림 2-5〉 친수성 블록 공중합체에 의한 나노입자 조립체의 형성	10
〈그림 2-6〉 선형 콜라겐(collagen) 펩타이드에 의한 TiO ₂ , SnO ₂ 나노 입자 들의 자기조립체	11
〈그림 2-7〉 카본나노튜브 및 나노선의 표면 성질을 개질하여 나노입자들의 특별한 흡착법	12
〈그림 3-1〉 연구 그룹/기업체 요소기술	16
〈그림 3-2〉 주요국가별 발표 논문수 현황	22
〈그림 3-3〉 주요 연구기관별 발표 논문수 현황	23
〈그림 3-4〉 주요 교신저자별 발표 논문수 현황	23
〈그림 3-5〉 나노분말 관련 특허의 연도별 추이	24
〈그림 3-6〉 나노분말 관련 특허의 주요 출원인	25
〈그림 3-7〉 나노분말 관련 특허의 IPC 분포	26



제 1 장

서 론

1. 연구의 배경

- 21세기 지식기반사회에서 과학기술경쟁력은 국가경쟁력의 원천이며, 이에 세계 각국들은 미래의 경쟁에 살아남기 위해 핵심기술과제를 선정하여 연구개발에 박차를 가하고 있음.
- 우리나라 과학기술부도 2005년 6월 ‘미래국가유망기술위원회’를 구성하여 ‘과학기술예측조사(2005-2030)’ 결과(2005년 5월, 국가과학기술위원회 보고)에서 도출된 기술후보군을 바탕으로 『미래 국가유망기술 21』을 선정하여 발표한 바 있음.
- 또한 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서는 2005년 SCIE 논문데이터베이스를 이용한 정보계량학적 분석을 통해 『미래 유망연구영역 선정연구』를 시도하였으며, 본 보고서는 그 결과에 기초하여 최근 2~3년간 논문의 인용도가 급속히 높아지고 있는 유망 연구영역을 중심으로 기술논평 형식으로 풀이한 심층적 Expert Review임.

2 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

2. 연구의 방법

- 한국과학기술정보연구원에서는 SCIE 데이터베이스에 등록된 논문(1999~2005년 상반기까지 발표된 논문) 중에서, 각 연도 및 각 분야별(저널분류 22분야)로 피인용수가 상위 1%인 고인용 논문(HCP; Highly cited papers)을 추출하고 공인용분석(Co-citation analysis) 및 동시단어분석(Co-word analysis) 등의 과학계량학적 방법들과 전문가 평가(Expert evaluation)를 통해 '미래 유망연구영역'을 도출하였음.

- 상기 도출된 미래 유망연구영역 중에서 통계학적 방법으로 최근 논문의 인용도가 급격히 상승하는 연구영역을 과학기술 분야별로 추출하여 본 테크이슈 보고서의 주제로 삼았음.

- 본 보고서는 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망에 대하여 최근 많이 발표되고 있는 논문들을 종합하여 관련 분야 연구에 대한 기초 지식과 함께 세계적인 연구동향을 개괄적으로 살펴보고, 미래 핵심기술로 자리잡기 위한 연구개발 전략을 제시하였음.



기술의 개요

1. 기술에 대한 정의

○ 나노입자

- 입자의 크기가 수 nm에서 수백 nm 크기의 넓은 표면적을 가진 콜로이드 상의 불균일 분산 입자를 의미함.
- 나노입자는 바이오센서, 차세대 디스플레이의 형광체, 테라비트급 하드 드라이브, 태양전지, 나노 전자소자를 포함하는 다양한 분야의 기술이 상용화되기 위해 필요한 핵심 재료임.

○ 기능성 나노입자

- 원하는 목적에 맞는 적절한 입도크기 및 크기 분포를 가지면서 입자의 표면에 반응성 그룹, 리간드의 도입 또는 표면전하 밀도를 조절하여 반응성 및 레올로지 특성을 향상시킴.
- nm 단위 수준에서 입자의 물리/화학적 네트워크를 조절하여 미세도메인의 크기를 제어하여 합성된 고기능화된 나노입자
- 입자의 표면(Core)과 내부(Shell)간의 화학적 결합을 조절하여 고강도, 내구성, 내화학성 등을 부여한 나노입자

4 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

2. 중요성, 개발배경 및 특성

○ 나노입자의 중요성

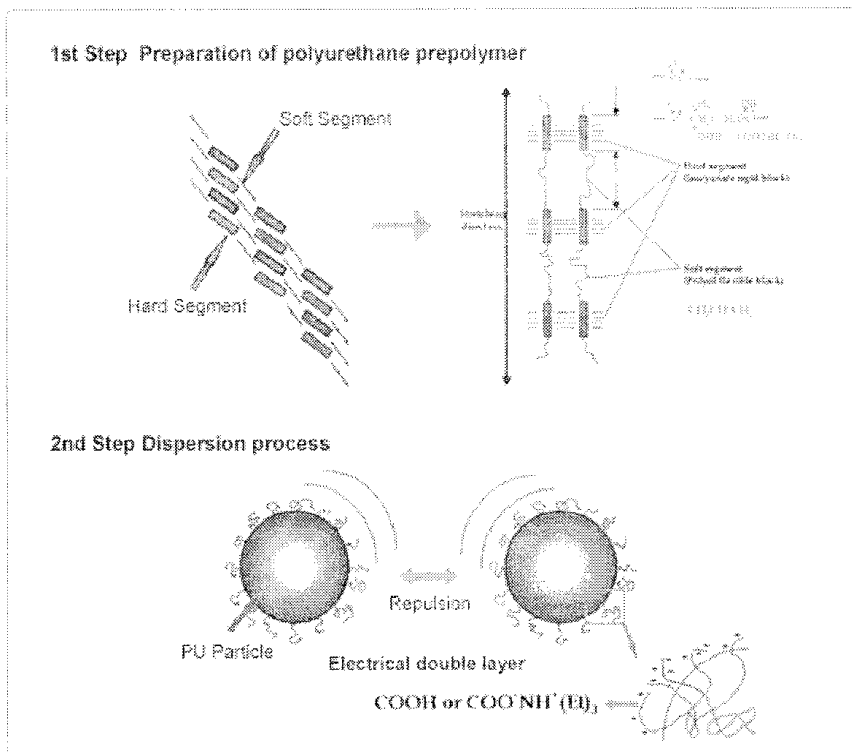
- 반도체나 금속 등의 나노미터 크기의 미립자는 큰 벌크 결정이나 작은 분자와는 다른 빛, 전기 및 자기 등의 독특한 물성을 나타내어 여러분야에서 차세대 기능성 재료로서 기대되고 있음.
- 반도체나 금속의 나노입자가 내는 독특한 물성이나 새로운 기능은 전자나 여기자가 좁은 나노 공간에 갇혀 있는 것의 효과에 의한.
- 기존의 마이크론 크기의 다결정 재료와 비교해 새롭고, 또한 탁월한 재료성질을 갖는 수십 nm 이하의 나노입자상 재료의 합성 및 응용에 관한 연구가 21세기를 선도하는 첨단재료과학의 연구분야로 관심을 모으고 있음.
- 거대한 표면적을 갖는 나노크기의 입자로 구성된 나노입자상 재료의 성질은 재료의 큰 부피를 차지하는 입계 및 계면의 성질에 절대적으로 의존함. 예로서 입자의 크기가 10 nm인 경우 약 40%에 달하는 재료의 부피를 계면 혹은 삼중점이 차지하게 됨.
- 나노입자재료의 예로서 초소성 세라믹이나, 고강도, 고인성 나노세라믹과 같은 구조재료 외에도 미세한 결정립을 갖는 단일자구의 결정이방성을 만족하는 자성재료 (초상자성 센서 및 자성유체 등)나 표면적의 극대화를 이용한 광촉매, 연료전지 및 가스센서와 전자 회로 등에 널리 이용되고 있음.^{1,2,3)}

○ 나노입자 제조 및 특성

- Nano particle 제조법

가. Neutralization Emulsification Process

<그림 2-1> Neutralization Emulsification Process



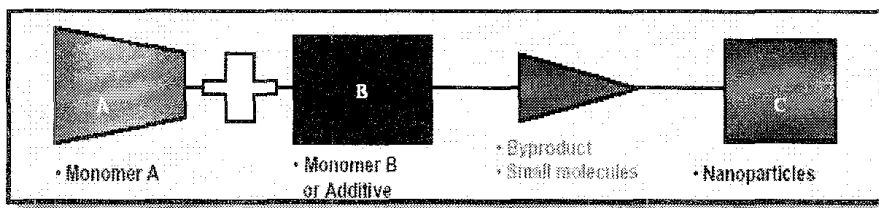
- 고분자에 이온화 될 수 있는 기능성 그룹(-COOH, -NH₂, -SO₃H)를 도입하여 유화제 없이 자가 유화 (Self-Emulsification)되는 방법
- 카르복실기등을 코팅용 고분자에 화학적으로 결합시킨 후, 자가 유화법에 의해 나노 입자를 합성

6 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

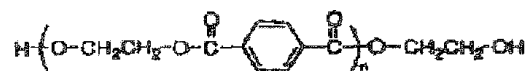
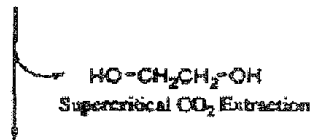
- 우레탄 분산입자 제조에 응용

나. 분산 축중합법에 의한 나노입자 제조

<그림 2-2> 분산 축중합법에 의한 나노입자 제조



- Byproduct : H₂O, Phenol, Alcohol etc.
- Small molecules : salt, cosolvent, unreacted monomer etc.

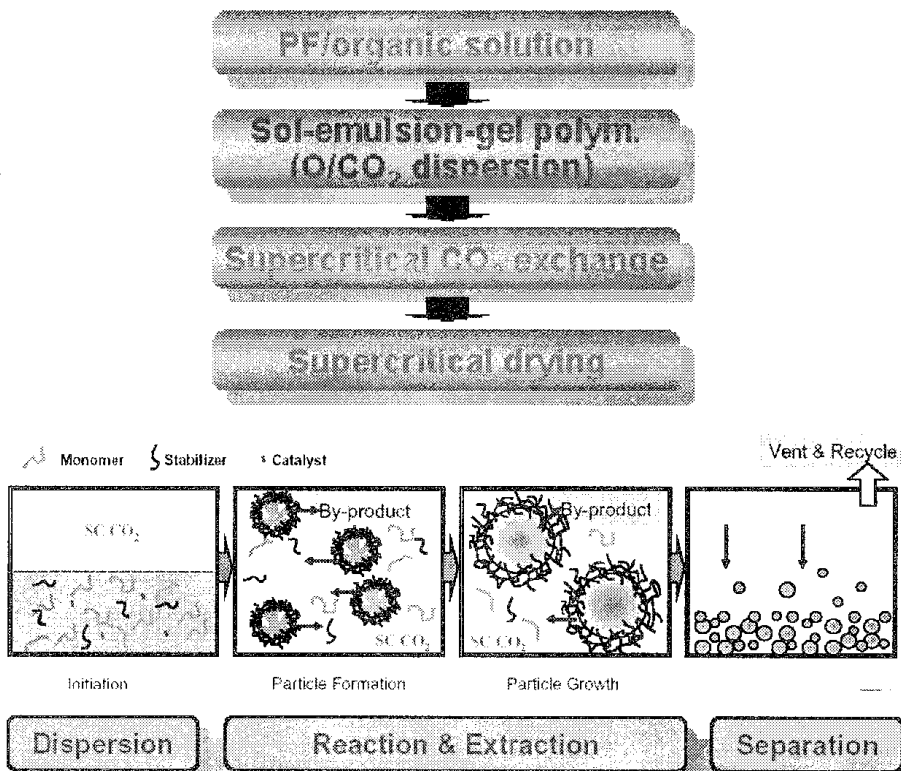


- Bulk 공정의 경우 반응 부산물 제거의 어려움이 있고, 반응온도 또한 매우 높음.
- 역반응에 의한 중합도 향상의 어려움.
- 반응속도 및 분자량 조절 어려움.
- 입자공정의 경우 각 분산상은 하나의 작은 반응기 역할을 함.

- 효과적인 부산물 제거 가능함.
- 반응속도 및 분자량 조절 용이하고 원하는 목적에 따라 설계가 용이함.

다. Supercritical Polymerization Process

<그림 2-3> Supercritical Polymerization Process



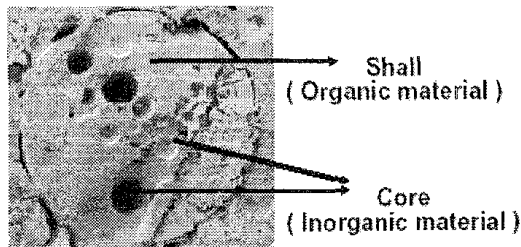
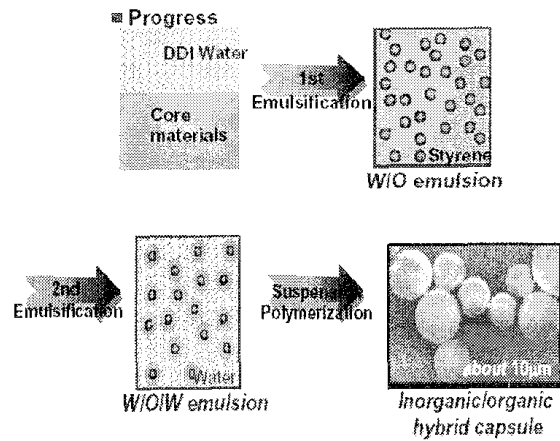
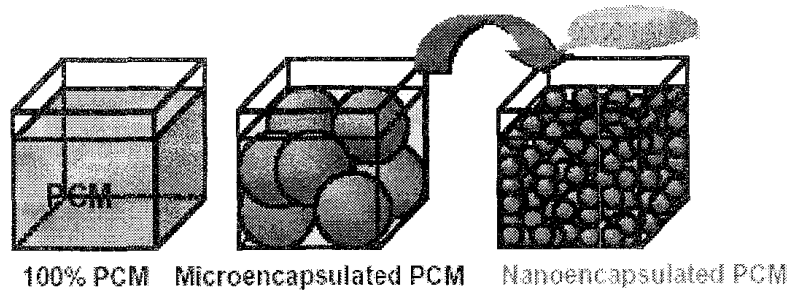
- Continuous phase- Dispersion
- Plasticizer- Viscosity Control
- Extraction- Removal of by-product
- Separation- Energy saving to evaporate

8 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

- CO₂ 초임계상태에서 Phenolic Furfural 고분자를 나노 입자 형태로 제조 가능
- 미세기공을 가지는 유기 에어로겔 합성에 응용

라. Encapsulation processing

<그림 2-4> Encapsulation Processing



Cross section of Polynuclear type capsule

- 외부환경으로부터 core material을 보호하기 위한 방법
- Inorganic/organic 하이브리드 시스템의 surface modification
- 제조 방법은 core material을 DDI water에 녹인후 styrene을 이용하여 emulsion 시키고 다시 water에서 emulsion과 polymerization하여 나노 파티클을 얻는 방법임

- Nano particle thin film 제조법

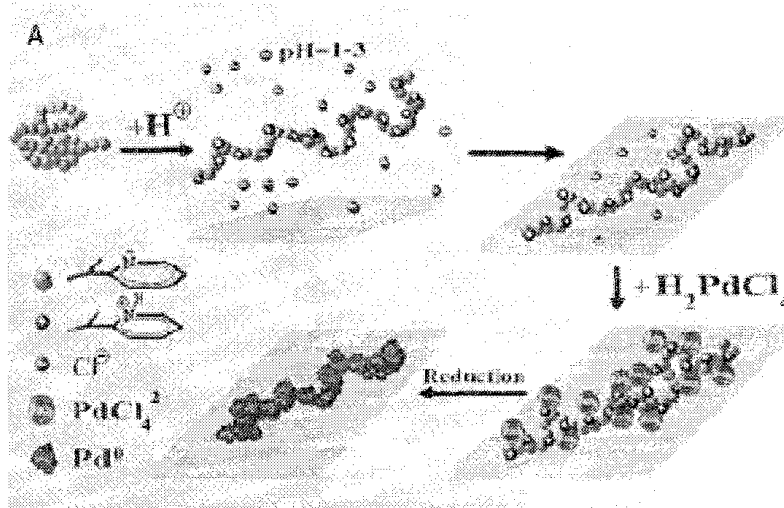
1-dimensional assemblies

- 선 형태의 템플레이트 (linear template) 이용 방법
 - 고분자 전해질, 바이오 분자, 무기계 나노선, 튜브, 기공, step-edge등이 주로 이용
 - 고분자 전해질 이용방법

용액 내에서 선 형태의 고분자 전해질은 반대 전하를 가지는 메탈이온의 흡착을 위해 지지체로 사용. 이온이 흡착된 고분자 전해질 템플레이트는 이온쌍 (ion pair)의 화학적 조합, 환원 반응에 의한 반도체-나노입자 조립체 또는 1차원 메탈로 전이됨. 양이온체인(PVP)이나 음이온(PdCl_4^{2-})에 의해서 형성되기도 하며, 친수성 블록 공중합체에 의한 나노입자 조립체 (CaCO_3^4 , CdWO_4^5 , BaCrO_4^6)를 형성시킬 수도 있음 <그림 2-5>

10 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

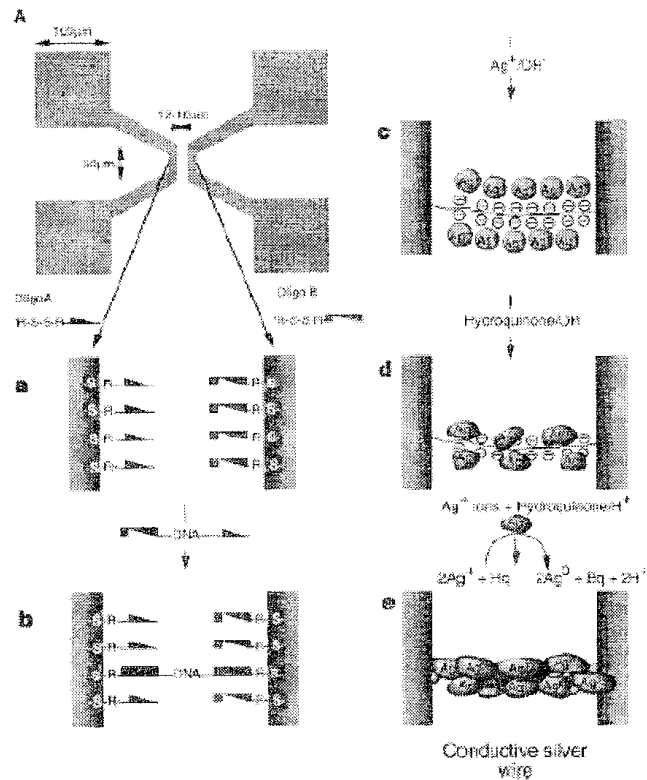
<그림 2-5> 친수성 블록 공중합체에 의한 나노입자 조립체의 형성



- 바이오 분자 이용방법

주로 DNA, 단백질 등이 사용되며, 보다 우수한 나노입자 조립체(Ag⁷, Pd⁸, Au⁹, Pt¹⁰, CdSe¹¹)를 얻을 수 있음.¹²⁾ 선택적인 조립화 능력, 구조제어가 용이하며, 우수한 지능을 보유할 수 있다는 장점이 있음. 피브린, 텍스트란, 콜라겐등이 나노입자 배열에 이용됨. 예를 들어, 펩타이드 나노섬유 위에 나선형의 Au, Pd 나노입자들의 배열 및 텍스트란(dextran) 템플레이트에 의한 메탈 옥사이드 나노입자 사슬¹³⁾, 선형 콜라겐(collagen) 펩타이드에 의한 TiO₂, SnO₂ 나노입자들의 자기조립체를 얻을 수 있음¹⁴⁾. <그림 2-6>

<그림 2-6> 선형 콜라겐(collagen) 펩타이드에 의한 TiO_2 , SnO_2 나노 입자들의 자기조립체



- 나노선, 나노튜브 이용 방법

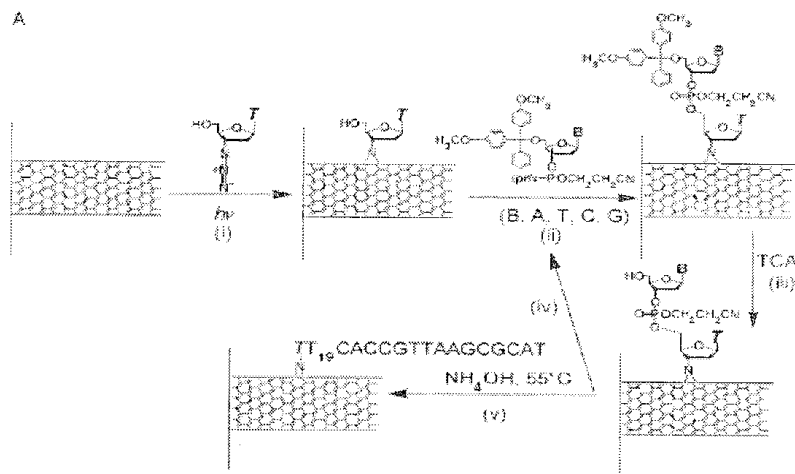
보다 단단하고 구조화된 매트릭스를 제공함. 나노선 및 속이 비어있는 카본나노튜브(carbon nanotube, CNT)의 표면과 내부에 나노입자들(Pd, 메탈 옥사이드, 메탈)의 조립화를 위한 템플레이트로 사용하며 주로 세가지 제조방법에 의함.

나노튜브와 나노선들의 표면위에 반도체 나노입자나 메탈을 화학적 또는 물리적인 기상증착법에 의해 제조. 카본나노튜브 또는 나노선 표면에 메탈 콤플렉스

12 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

(metal complex)의 졸-겔법에 의해 제조. 카본나노튜브 및 나노선의 표면 성질을 개질하여 나노입자들의 특별한 흡착법에 의해 수행 <그림 2-7>

<그림 2-7> 카본나노튜브 및 나노선의 표면 성질을 개질하여 나노입자들의 특별한 흡착법



- 무 템플레이트 조립화 방법 (Template-free self-assembly method)

- 마그네틱 쌍극자 모멘트 이용한 나노입자의 비등방성 사슬형성

Fe₂O₃ 나노입자, 박테리아 내의 사슬구조. 안정제의 강력한 전정기 또는 입체적 반발력 때문에 나노입자들 사이에 전기적 쌍극자 인력에 의해 제한이 따르는데, Tang 그룹은 상호 반발력을 감소시키는 방안을 연구하여 CdTe 나노입자 사슬을 얻음^{15,16)}

- 나노크리스탈의 오리엔테이션에 의해 자기조립화된

나노입자의 형성. AgNO_3 의 환원반응을 통한 Ag 나노입자 및 반도체형 ZnO 나노입자

- 불균일계 안정제의 분배가 중요한 역할

2성분계 이상의 나노입자는 구성된 각각의 다른 원소에 안정제의 흡착 정도가 다름. 예를 들어 trioctylphosphine oxide(TOPO) 안정제는 CdSe 나노입자에서 Se 보다는 Cd에 대해 더욱 강한 인력을 보여주며,¹⁷⁾ CdSe 나노입자의 표면위에서 Se 원자 위에 TOPO 안정제는 Cd 분자에서 덜 흡착되어짐으로써 높은 반응성을 제공함.¹⁸⁾

- 특성 및 응용

- 1차원 나노입자의 조립체는 단일 나노입자와는 달리 많은 중요한 성질을 가지고 있음.¹⁹⁾

광학적 성질 측면 : 잘 배열된 나노입자(Ag 또는 Au 나노입자) 사이에서 상호 인력은 사슬구조에 수직 및 수평 방향으로 빛의 진행 속도가 동일치 않아 흡수 스펙트럼에서 강한 이색성(strong dichroism)을 야기함.²⁰⁾ 나노입자사슬에서 진행되는 빛의 길이는 수백 나노미터로 웨이브 가이드를 위해서는 다소 짧은 거리임. 예를 들어 자기조립화에 의해 얻어진 CdTe 나노입자 사슬은 잘배열되지 않은 나노입자 사슬과 band-edge PL 피크를 비교했을 때 강한 전이를 보여주며, 그 나노입자들의 발광 수명 또한 감소시킴.

자기적 성질 측면 : 1차원적 마그네틱 나노입자 배열은 비등방성, 공동적 자기 성질을 보여줌. Co 나노입자

14 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

의 경우 자기장 내에서 증발 공정동안 고도로 방향화된 pyrolytic graphite(HOPG) 기저에 평행하게 사슬을 형성시킬 수 있음. 고도의 마그네틱 비등방성은 규칙적으로 잘 배열되지 못한 나노입자에서는 나타나지 않는 선형의 나노입자 조립체의 독특한 자기적 성질을 보여줌

전기적 성질 측면 : 전기전도도 측정으로부터 Ag나노입자 사슬은 비선형 특성을 가짐. 이는 전기회로의 응용에서 오히려 중요한 장점이 될 수 있기에 가스센서로 이용이 가능함.

3. 현안문제

- 아직까지 다음과 같은 여러 가지 문제점이 존재함.
 - 나노입자의 배열에 있어서의 정확성 미흡
 - 대량생산 및 제조의 어려움
 - 무템플레이트(Template-free Self-assembly methode) 제조의 경우 메커니즘이 밝혀지지 않음
- 하지만 입자간의 거리에 의존하는 전자, 광학적 디바이스와 전기통신, 센서분야에 중요하고 다성분계의 나노입자 사슬을 제조하는 환형 구조체 제조가 가능하다는 장점이 있음

제3장

국내외 기술개발동향

1. 국내 기술개발 동향

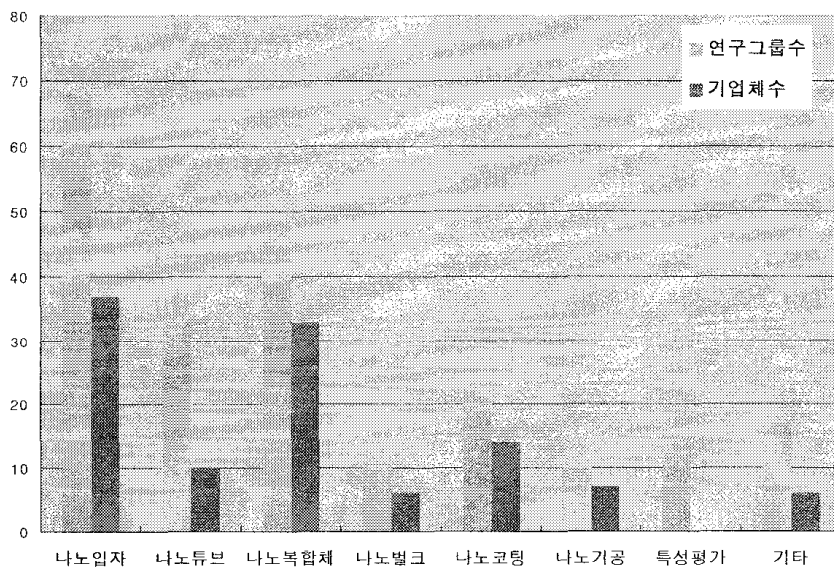
가. 국내 연구개발 동향

- 나노소재의 기술 분야를 나노입자(나노분말, 나노클러스터, 나노캡슐, 양자점), 나노튜브(나노튜브, 와이어, 플러렌, 화이버), 나노복합체(복합소재, 고분자), 나노벌크(나노구조재, 나노글래스, 비정질소재), 나노코팅, 나노기공, 특성평가(물성평가, 특성분석)로 분류하여 연구그룹과 기업체의 기술 분야를 조사 <그림 3-1>. 연구그룹이 주력하는 요소기술은 나노입자 (30%), 나노복합체 (21%), 나노튜브 (15%), 나노코팅 (9%) 순으로 나타났고, 기업체의 경우는 나노입자 (32%), 나노복합체 (29%), 나노코팅 (13%), 나노튜브 (9%) 등으로 국내의 요소기술은 연구그룹이나 기업체 모두 나노입자와 나노복합체 기술이 50% 이상을 점유. 그 다음으로 연구·개발되고 있는 요소기술은 연구그룹의 경우 나노튜브기술 연구에 집중
- 탄소나노 튜브 관련 외국과의 발표 논문건수를 비교해 보면 우리나라는 미국, 일본, 중국, 유럽에 이어 일곱

16 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

번제를 차지하여 상위그룹에 위치하나 미국, 일본에 비해 1/4 내지 1/6 정도의 수준에 머물고 있음. 기업체의 경우 나노코팅 기술이 3위를 차지함을 알 수 있고 나노벌크, 나노기공, 특성평가 분야는 각각 7% ~ 4% 정도로 다소 낮은 점유율을 보임²¹⁾

<그림 3-1> 연구 그룹/기업체 요소기술



나. 국내 특허기술 동향

- 출원된 국내 나노 입자 관련 특허기술 내용을 보면 국내의 나노기술 특허출원은 1998년 이전에는 미미하였으나 1999년부터 연평균 54.3%의 급격한 증가 추세를 보여 2005년 말 현재 868건이 출원됨. 특허출원 국가 별로 보면 국내기술은 전체의 74%에 해당하지만 대부분이 탄소나노튜브 합성 및 응용에 국한된 출원인 반

면, 외국기술은 복합재료, 나노소자, 나노다공성실리카, 나노입자, 나노분말자석 등 다양한 기술분야에서 출원된 것으로 나타남

- 이중 나노 입자와 관련된 특허는 2000년 이후 총 578건으로 출원국가별로는 2000년 이전에는 미국과 일본이 90%이상을 차지하였으나, 2000년 이후에는 국내 출원인이 60%이상으로 급격한 증가를 보이고 있음. The Thomson Corporation의 자회사인 Derwent Information에서 발표한 2002년도 자료에 의하면 (Nano Weekly 제8호 2002년 7월8일자 게재) 나노기술특허 출원국 별로 볼 때 일본의 NEC사가 전체 97건으로 제일 많고 상위 25위에 랭크된 출원인을 국가별로 보면 미국 11개, 일본 9개, 독일 3개, 프랑스 2개 순으로 미국과 일본이 출원인 전체의 80%를 차지. 나노분말의 경우를 살펴보면 미국, 일본, 유럽, 한국에 약 1,000여건의 나노분말소재 관련 특허가 출원되었음을 알 수 있고 매년 증가하여 왔음을 알 수 있으나 우리나라의 경우 매우 미미한 상태임 <표 3-1>.

<표 3-1> 나노 분말 관련 특허의 국별, 연도별 현황

연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005	계
한국	3	4	3	15	10	15	50
일본	5	16	20	31	21	18	342
미국	14	31	35	82	92	88	111
중국	1	3	15	12	0	0	31
유럽	5	11	16	12	0	0	44
계	28	65	89	152	123	121	578

자료출처: WIPS, 특허정보검색에 의함 2005.11.

18 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

- 우리나라에서의 특허출원 실적은 1999년까지 매년 1~2건의 출원에 머물고 있으며 2000년 3건, 2003년 15건, 2005년 15건 등 최근에 미소하게 증가. 그러나 전반적으로 나노분말과 관련한 특허활동은 선진국에 비하여 매우 저조한 상태이며 이 분야의 기술 경쟁력은 아직 걸음마 단계인 것으로 판단

다. 국내 정책 동향

- 우리나라의 경우 국내의 나노분말소재의 생산은 아직 걸음마 단계로서 2001년 국가과학기술예산의 약 1.5%인 703억원의 정부예산을 나노분야에 책정하였으며, 2002년도에는 2003년 4월 15일 발표된 정부의 “나노기술종합시행계획”에 의거 하여 각 부처의 사업예산으로 약 2,121억원을 책정하고 나노기술 종합발전계획에 따른 단계별 추진 전략을 마련하였으며, 2005년도 나노기술분야 예산은 지난해 보다 11.8% 증가한 총 2,772억원(연구개발 부문 1,704억원, 인프라구축 부문 928억원, 인력양성 부문 140억원)을 지원할 계획임. 부처별로는 과학기술부가 3개 관련 프론티어사업과 Fab 센터 구축 등을 중심으로 925억원을 투입하고, 산업자원부는 나노기술기반 산업화 기술개발, 나노기술집적센터구축사업 등에 845억원을 지원할 예정임. 정보통신부가 NT와 IT 융합기술 분야에 182억을 지원하며, 기타 보건복지부·환경부 등도 나노 연구개발에 참여하여 지원할 계획임. 과학기술부는 전 세계적으로 NT기술

제3장 국내외 기술개발동향 19

이 아직 초기단계에 불과해 선택과 집중을 통한 투자를 확대하고 기술개발에 전력투구하면 세계 최고의 기술력 확보도 가능할 것으로 판단하였으며, 우리나라도 세계 5대 나노기술 대국을 목표로 2001년 향후 10년간 집중적인 투자를 하는 나노기술종합발전계획을 발표하 바 있다. 또한 2005년 8월에는 나노기술소재분야를 미래국가유망기술 분야로 선정하는 등 국가적인 차원에서 나노기술개발을 추진하고 있음

- “나노기술종합발전계획”에 따르면 구체적으로 발전계획에서 도출된 110개 기술 가운데 전략적 필요성과 성장가능성 등을 고려해 30여개에 집중 투자키로 함. 반도체산업에서 중요한 나노전자소자 등 전략적 중요성이 큰 분야는 각 사업당 투자비가 500-1000억원에 달 함. 촉매용 소재 등 경쟁력 확보 필요분야는 사업당 150억-300억원, 고밀도 기록 등 기반강화 필요분야는 사업당 60억-150억원 정도가 투입될 예정임 <표 3-2>.

<표 3-2> ‘나노기술종합발전계획’의 투자정책

(단위: 억원)

	1단계(01~04)		2단계(05~07)		3단계(08~10)		계		
	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	계
연구개발	2,330	505	2,670	1,580	2,670	2,370	7,670	4,455	12,125
인력양성	355	-	205	-	215	-	835	-	835
Fab센터	736	318	327	126	267	116	1,330	560	1,890
계	3,421	823	3,262	1,706	3,152	2,486	9,835	5,015	14,850

20 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

라. 국내 시장 동향

- 정부정책이나 여러 가지 상황 하에서 나노기술은 아직 초기단계에 있고 나노구조나 나노조직의 상당부분이 규명되지 않고 있기 때문에 기술적 성숙에는 일정한 시간이 소요되며 현재 시점에서는 나노기술의 발전방향에 대한 전망이 확실하지는 않은 상황임. 따라서 나노기술이 산업화되기 위하여는 상당한 시간과 대규모의 인적, 물적 자원의 투자가 지속적으로 이루어져야 할 것임.
- 위에서 언급한 바와 같이 나노분말기술은 현재 초기단계로서 사업화 된 기술이 드물고 연구개발되어 사업화 되기까지 장기간이 걸리는 반면, 개발된 기술이 사업화 성공할 경우에 그 미치는 영향과 효과가 클 뿐 아니라 소수의 과점적 시장을 형성할 수 있고 그 규모 또한 크므로 각 국은 나노기술의 개발에 역점을 두고 투자를 쏟아 붓고 있음. 한편 전문가들은 나노기술을 활용한 산업이 형성되고 나노제품이 생산되는 시점을 향후 10년 내지 20년 후가 될 것으로 전망. 우리나라의 경우 아직은 나노분말소재의 경우 많은 신규 나노분말소재 관련회사들이 수출상담을 진행하고 있는 것으로 알려져 있으나 아직은 연구소납품 또는 샘플링단계 수준임. 또한 이미 일일이 열거할 수 없을 정도로 다양한 용도들이 나타나고 있고 부분적으로 시장이 형성되고는 있으나 아직은 과점적 시장의 초기단계이고 대부분 샘플 출시단계인 경우가 많아 분말소재의 다용

도성으로 인하여 현재로서는 국내시장의 점유율이나 수요규모가 일괄적으로 파악하기는 어려운 상태임.

- 앞에서 언급한 정부정책이나 여러 가지 상황하에서 나노기술은 아직 초기단계에 있고 나노구조나 나노조직의 상당부분에 규명되지 않고 있기 때문에 기술적 성숙에는 일정한 시간이 소요되며 현재 시점에서는 나노기술의 발전방향에 대한 전망이 확실하지는 않은 상황임. 정부의 정책에 발맞추어 최근에 미미하나마 나노분야의 발전 기미가 보이고 있으나 아직은 걸음마 단계라 할 수 있어 업체들의 실적을 통합적으로 파악하기는 아직 이룸. 다만 앞에서 언급한 응용분야별 및 소재별 세계전망에 따라 그리고 정부의 계획된 투자규모와 기술수준의 발전정도에 따라 향후를 예측 또는 전망하며 기술의 산업화에 대비하여야 할 것으로 판단됨.
- 나노분말소재의 경우 다른 형태의 나노소재에 비하여 시장진입이 빨리 이루어지고 있긴 하지만 몇몇 분말의 예, 즉 이전부터 사용되어 오던 실리카 나노분말, 탄소분말과 같이 많은 양의 수요를 갖고 있는 경우나 반도체 제조공정인 화학 기계적 연마공정(CMP)에 소요되는 많은 양의 슬러리용 나노분말을 제외하고는 아직까지 국내에 많은 생산량을 필요로 하는 나노분말은 거의 없는 것으로 파악됨. 또는 나노분말을 합성하는 공정들이 여전히 경제성을 확보하고 있지 못하고 있어 응용기술개발에 장애가 되고 있는 형편임.
- 나노분말은 매우 작고 가볍기 때문에 고밀도 충전은 대단히 어려운 반면 공간 내 확산은 잘되므로 공해요

22 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

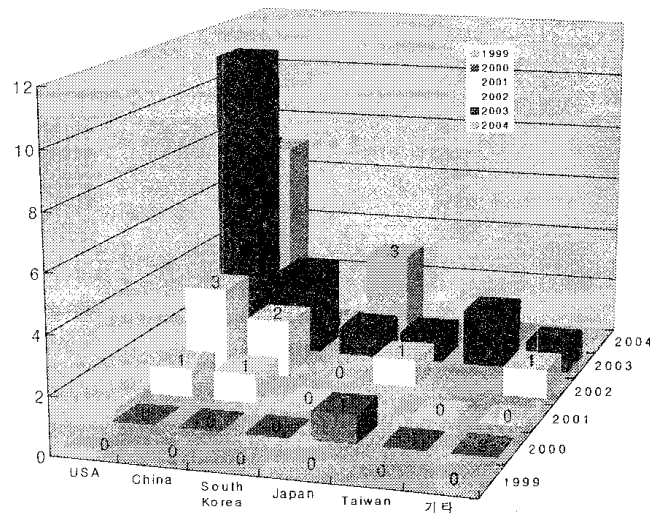
인으로 작용할 가능성이 높고 다른 작업부분에 대한 성분 오염의 가능성이 높다는 등의 문제점이 있어 대규모의 시장이 형성되기까지는 시간이 걸릴 것이라 예측됨.

2 국외 기술개발 동향

가. 국외 연구개발 동향

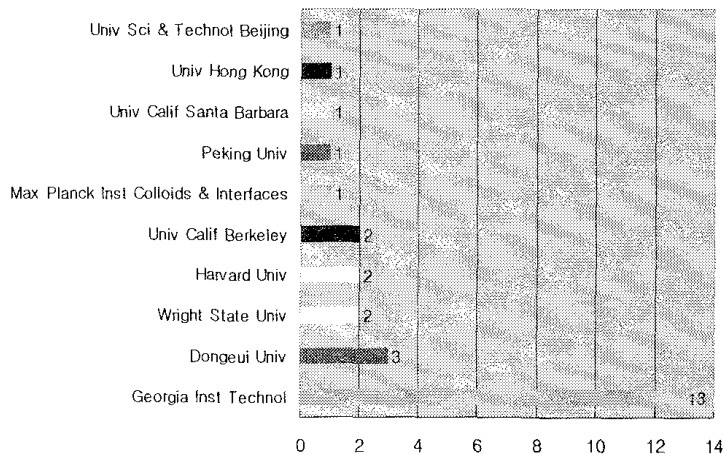
- 주요국가별 발표 논문수 현황²²⁾

<그림 3-2> 주요국가별 발표 논문수 현황



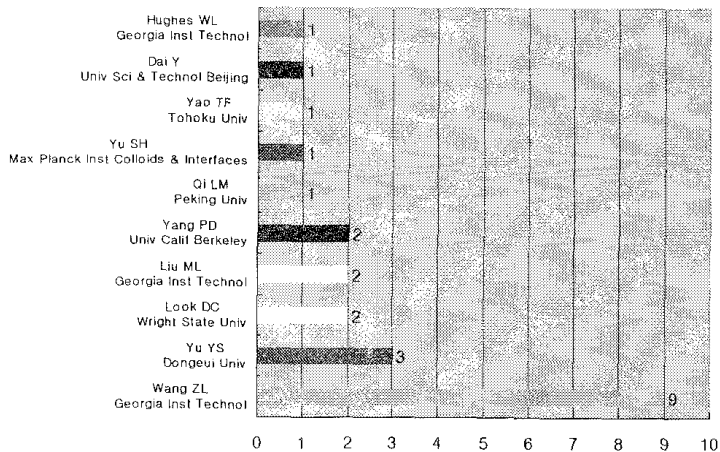
- 주요 연구기관별 발표 논문수 현황 (상위 10)

<그림 3-3> 주요 연구기관별 발표 논문수 현황



- 주요 교신저자별 발표 논문수 현황 (상위 10)

<그림 3-4> 주요 교신저자별 발표 논문수 현황



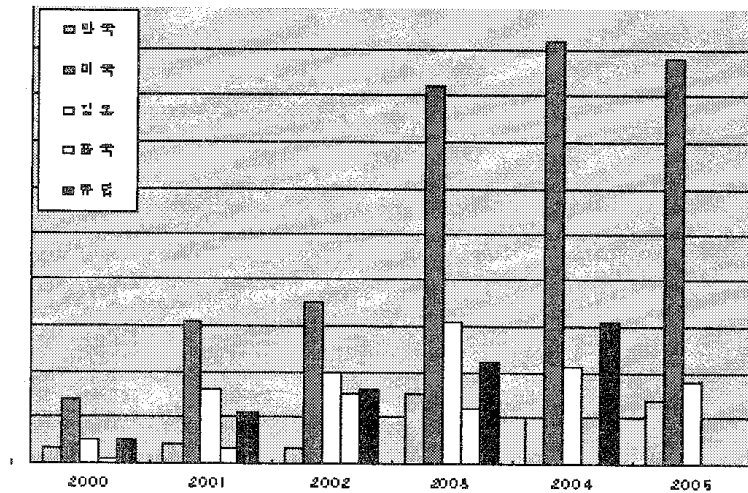
나. 국외 특허기술 동향

- 특허동향의 정보분석을 위해 특허전문검색사이트 (WIPS)에서 미국특허, 일본특허, 중국특허, 유럽특허

24 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

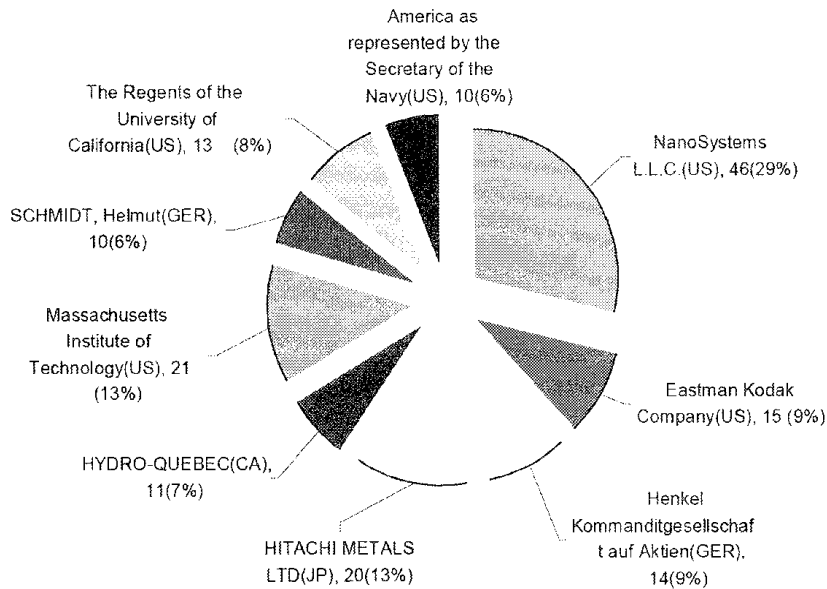
및 한국특허를 활용. 2000년을 기점으로 특허출원의 급격한 증가세를 보여주고 있음<그림 3-5>.

<그림 3-5> 나노분말 관련 특허의 연도별 추이



- 나노분말 관련 특허의 출원인 분포에서는 <그림 3-6>, NanoSystems(미국)가 49건으로 최다 출원인에 랭크되어 있으며, 뒤를 이어 MIT(미국), Hitach Metals(일본), Eastman Kodak(미국), Henkel사(독일), Univ. of California(미국), HydroQuebec(캐나다), Helmut Schmidt(독일), 미해군성(미국) 등의 순으로 특허를 많이 출원하고 있음. 세계 9위내에 미국이 5개사, 독일이 2개사, 일본 1개사, 캐나다 1개사로 이 분야에 있어 미국의 특허가 압도적인 우위를 차지하고 있음.²³⁾

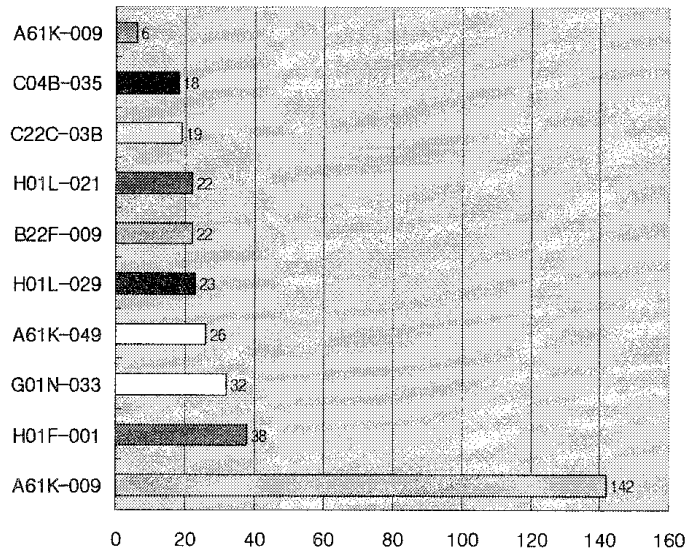
<그림 3-6> 나노분말 관련 특허의 주요 출원인



- 국제특허분류 (IPC) 별로는 <그림 3-7>, 화장품, 세제 분야인 A61K-009 분류가 142건으로 가장 많고, 그 다음이 자석, 자성체 분류(H01F-001), 물리학 분야의 재료의 조사분석분류(G01N-033), 생체내 시험제재(조영제 등) 분류(A61K-049), 전기소자분야의 정류, 증폭, 발진 분류(H01L-029), 금속분말의 현탁액 분류(B22F-009), 전기소자분야의 반도체 장치·장비 분류(H01L-021), 철합금 분류(C22C-038), 성형세라믹 제품 분류(C04B-035), 첨가제의 특징이 있는 의약품 제제 분류(A61K-047)의 순서임.

26 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

<그림 3-7> 나노분말 관련 특허의 IPC 분포

다. 국외 정책 동향²⁴⁾

- 미국 : 나노 기술이 정보통신, 바이오 기술과 더불어 21세기를 주도할 핵심기술로 판단하고 정부차원에서 체계적으로 대비하고 있으며, 일본, 독일과 같은 주요 국들도 미국과 같은 인식 하에 2000년부터 정부 주도로 본격적인 투자를 착수하여 새로운 성능을 가진 나노 소재의 개발이 가능하며, 이에 필요한 기술적 분야가 태동되고 있음을 확인하였고, 2001년도 국가 나노 기술 과제(National Nanotechnology Initiative : NNI) 착수하여 5개부분 구성된 (기초연구, 원대한 도전, 우수 센터 및 네트워크, 연구 인프라 구축, 사회적 연계 및 인력)으로 나누어 지원하고 있음. 바이오 기술(BT)과 함께 나노 기술(NT), 정보기술(IT)을 중점

지원하기로 하고 2001년에 4억 2천만 달러 투입. 나노 입자와 관련된 주요 연구 동향으로는 차세대 정보처리 기술 확보를 위한 나노 재료, 제조 공정 기술, 구조체 개발, 나노 크기(Nanoscale)이 광전자, 자기저장 기술을 산학연 공동으로 개발. 2004년도에는 정부부처의 투자액을 대거 증가시켰음. <표 3-3>

<표 3-3> 미국 정부부처의 나노기술 투자액

정부부처	2003	2004	증가율(%)
NSF	221	249	12.7
DOD	243	222	-8.3
DOE	133	197	48.1
DHHS/NIH	65	70	7.7
DOC	69	62	-10.1
NASA	33	31	-6.1
USDA	1	10	900
EPA	6	5	-16.7
DHS/TSA	2	2	0
DOJ	1	1	0
계	774	849	9.8

- 일본 : 21세기의 핵심 기술 분야 중에서 미국을 앞설 수 있는 유망 분야로 나노기술을 지목하고 2000년 12월 총리주재 과학기술회의에서 4대 집중 연구분야의 하나로서 나노 기술 선정 나노 융합물질 개발과 나노 단위 제조기술 기반 구축을 2001년 중점사업으로 지정하여 정부와 대기업이 나노 기술 분야 연구개발 주도하고 있으며, 일본 정부는 2001년 약 4억 달러를 나노 기술에 지원함. 히타치 중앙연구소와 NEC 기초 연구소의 경우 각각, 장기 연구의 25%, 50%를 나노 기술

28 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

에 투입하고 있으며, NTT 아쓰기 연구소, 후지쯔 양자 소자 연구소, SONY, 후지필름도 일정 부분을 나노 기술에 투자. 이들 회사들의 주요 기술 개발 분야는 초전도체, 나노-바이오 기술, 양자 연산 및 바이오 정보학, 단전자 트랜지스터(SET), 나노 리소그래피, CNT-FED, 양자정보기술 등이며, 일본이 추진하고 있는 나노 기술 중 강점 분야로는, 나노분석 및 조작용을 위한 주사탐침현미경(STM), 단전자소자와 같은 나노 전자공학, 탄소나노튜브, 나노구조체, 나노분말과 같은 나노소재, 연산 나노과학 등을 꼽을 수 있고, 몇몇의 나노 구조화된 제품을 생산하는 일본기업들은 이미 상당한 시장을 확보. 일본 경제산업성 산업과학기술환경국 야스유키 야기 국제협력과장은 일본 정부는 문부과학성과 경제산업성을 큰 축으로 NT정책을 실현하고 있으며 예산은 2001년 600억6000만엔, 2002년에는 750억엔, 2003년에는 1287억엔(보정예산 포함)으로 매년 큰 폭으로 증가. 이것은 미국이 2004년 나노기술연구 개발예산으로 의회에 요청한 예산(8억4700만 달러)보다 많음. 최근 발표된 문부과학성 자료에 의하면 나노 기술·재료분야 개발예산은 올해 10억 달러에 육박. “2001~2005년 제2기 과학기술기본계획 기간에 생명과학·정보통신·경과학·나노기술 등 4대전략추진 분야의 예산은 일본 과학기술 전체 예산의 37.9%에서 45.5%로 증가했다”고 밝힘.

- EU : 소재, 소자를 위한 원자 및 분자의 직접 제어로 나노 기술을 정의하고, EU내에서의 나노 기술 연구는

국가별 프로그램, 유럽 협력 네트워크, 대기업 등 다양한 방법으로 진행하고 있으며, 2000년 전체 유럽 정부가 나노기술에 투자한 규모는 1억 8,400만 달러, EU 단독으로는 2,900만 달러를 지원하였다. 독일은 에너지, 환경, 정보 및 건강 4대 분야에 연구개발 초점을 맞추고 있으며, 특히 나노 기술을 이용한 instrumentation에 주력하고 있으며, 특히 나노기술을 생물 특성(Animated Nature)을 가진 공정과 무생물 특성(Unanimated Nature)을 가진 공정으로 구별하여 생물특성을 가진 공정은 자기 구성 조직체, 성장하는 기능 단위 등을 이해하여 그 지식을 생명과학 연구 또는 새로운 소재 개발에 적용하는 것으로, 무생물 특성을 가진 공정은 작은 구조체 혹은 새로운 소재의 기초 요소를 계속해서 가공하여 나노미터 크기가 되도록 하는 것으로서, 전자공학, 광전자공학, 센서기술에 기여할 수 있을 것으로 보고 개발하고 있음. 프랑스의 CNRS(Centre National de la Recherche Scientifique)는 약 40개의 물리연구소, 20개의 화학연구소에 나노 입자 및 나노 구조화 소재에 관한 연구 프로그램을 진행하면서 나노 기술의 집중분야로는 분자전자공학, 밴드갭이 큰 반도체 및 나노자성, 촉매, 나노필터, 처방문제, 농화학, 인성이 큰 나노 콘크리트 등이 있음. 1998~2002년까지 2억유로를 나노 기술에 투자하기로 결정하였으며, 2002~2006년도에 2억2500만 유로를 EU예산으로 투자할 계획

- 나노 입자 기술의 국가별 경쟁력에 있어서는 미국과 일본이 가장 뛰어난 것으로 평가됨. (표. 4)에서 보듯

30 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

이 세계최고의 경쟁력을 지니고 있는 것을 평가되고 있으며, 유럽은 환경 및 에너지와 화학에서 경쟁력을 지니고 있는 것으로 판단. 미국과 유럽을 중심으로, 균일한 특성과 기능성을 가진 나노 입자 합성 공정과 배열 기술을 심화하여, 전자 디바이스, 광소자, 광학 소재 개발에 초점을 모으고 있음

<표 3-4> 나노 입자 기술 분야 별 경쟁력 비교

분야	1위	2위	3위
합성 및 조립	미국	유럽	일본
생물학적 연구 및 응용	미국/유럽	일본	-
분산 및 코팅	미국/유럽	일본	-
나노복합재료	일본	미국/유럽	-

자료: WTEC(World Technology Evaluation Center) 1998

라. 국외 시장 동향²⁵⁾

- 나노분말 시장의 응용분야는 크게 전자/광전자/자기응용, 바이오메디컬/의약/화장품 응용, 에너지/촉매/구조체 응용으로 나눌 수 있음. 전자/광전자/자기응용분야에는 화학·기계 연마, 전도성 코팅, 자성유체 시일, 자기기록매체, 다층세라믹 커패시터, 광섬유, 형광체, 양자 광소자, 태양전지 등이 있고, 바이오메디컬/의약/화장품 전달, MRI 조영제, 정형외과, 태양광차단제 등이 있으며 에너지/촉매/구조체응용분야에는 세라믹 박막, 연료전지, 광촉매, 분사제, 내마모 코팅, 구조세라믹, 용사코팅 등이 있음.
- 미국의 Nano Business Alliance의 전망에 의하면 나노

기술을 활용한 산업이 형성되고 나노제품이 생산되는 시점을 향후 10년 내지 20년 후가 될 것으로 전망하고 있음. 또한 나노기술은 반도체를 제외하고 NI-BT융합, 통신, 디스플레이, 데이터 저장장치, 에너지, 환경, 재료, 전자소자 등의 분야에서 2001년 460억달러, 2005년 2,250억달러, 2008년 7,000억달러, 2010년 1조달러, 2020년 20조달러 등 연평균 30%이상 증대될 것으로 전망됨.

- 일본 히타치 및 미국 NSF도 NT시장규모를 2010년경 1조 달러(\$)로 전망하고 있음. 현재 나노소재산업은 그 동안의 연구개발의 결과가 본격 출현되고 있으며, 세계적으로 100여개 이상의 기업이 나노구조재료의 개발과 생산에 관계하고 있음.

여 백



결론 및 제언

○ 사회, 경제적 파급효과

- 나노기술은 재료분야뿐만 아니라 전자, 광학, 에너지, 우주항공, 의학 등 거의 전 산업분야에서 응용이 가능하기 때문에 이로 인한 경제적 파급효과는 정확하게 추정할 수 없으나 막대한 규모임은 확실한 것으로 여겨짐. 특히 반도체, 전자, 자동차 등 우리나라의 국가 기간산업에 해당하여 국가 경쟁력을 제고시킬 수 있을 것으로 예상된다.
- 재료분야의 나노기술은 구체적인 응용에서의 필요성에 의해 이미 어느 정도는 활용되고 있는 기술임. 예를 들어 화장품이나 안료의 충전제, 초소성 재료, 고기능성의 다양한 코팅층 등에 사용가능함. 따라서 나노기술의 개발은 기존산업의 고도화에 기여할 것으로 기대됨.

○ 과학, 기술적 파급효과

- 나노기술은 새로운 현상의 규명을 위한 이론, 실험방법 및 장비를 요구하는 과학기술의 패러다임 변화를 요구하는 분야임. 나노 재료의 기반기술은 그 자체적

34 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

으로도 중요한 기술이며, 나노 디바이스 분야의 기반 기술로 응용될 수 있어 기술적으로 신산업 창출에 공헌할 전망이다.

○ 기술개발의 방향성, 시사점 및 제도적/정책적 제언

- 물질의 크기가 나노미터 단위가 되면 지금까지 알려진 거시적 성질과 다른 새로운 성질을 나타내는 것이 나노 소재의 특징임. 새로운 소재 개발에 전기를 마련한 나노미터 크기의 입자를 만드는 방법 및 크기 조절, 그리고 그 응용에 미래 과학과 인간 생활에 거는 기대가 무척 큼.
- 나노분말소재의 산업화는 그동안 꾸준히 진전되어 현재 세계적으로 100여개의 기업이 나노구조재료의 개발과 생산에 관계하고 있음. 미국의 경우 Nanophase Technologies Corporation, Nanotechnologies 등의 벤처기업들이 성장하고 있으며 우리나라에서도 석경 AT, 나노신소재(ANP)등 다수의 벤처기업들이 설립되어 있음. 몇몇 회사를 제외하고는 아직까지 상품화에 성공하지 못한 상태이며 전체적으로는 시장진입단계로 보아야 할 것임.
- 나노분말이 많은 가능성에도 불구하고 아직까지 크게 성공하지 못하고 있는 이유는 첫째로 경제적인 생산기술이 부족하기 때문이며, 둘째로 나노분말을 활용하는데 필요한 활용기술(주로 공정기술)의 미개발을 들 수 있음. 나노분말의 상업화를 가로막고 있는 기술적 장애들은 가까운 장래에 차례로 극복될 전망이다. 나노소

재는 분말 자체로서 뿐만 아니라 다양한 활용가능성을 갖고 있어서 기술전망은 대단히 밝다고 할 수 있음. 몇몇의 업체이긴 하지만 상업화에 성공하는 기업들이 나타나고 있으며 향후 상업화에 성공하는 기업들은 급격하게 늘어날 것임.

- 나노분말소재의 개발은 나노분말에서 끝나지 않고 후속되는 나노소재 공정개발에 직접 영향을 미치는 기초소재로서의 성격이 강하기 때문에 개발이 매우 중요한 분야임. 따라서 다양한 분야의 많은 전문가들이 나노분말과 관련된 기술개발에 관심을 가질 필요가 있으며 나노기술이 그렇듯이 학제간 융합연구의 특성을 충족시킬 수 있는 협력연구체제의 구축이 필요함.

여 백

참고문헌

1. A.P. Alivisatos, "Semiconductor Clusters, Nanocrystals, and Quantum Dots", *science*, 271, pp.933-937, 1996.
2. D. L. Feldheim, C. D. Keating, "Self-assembly of single electron transistors and related devices", *Chem. Soc. Rev.*, 27 (1), pp.1-12, 1998
3. J. H. Fendler, "Fendler", *Chem. Matter.*, 8(8), pp.1616-1624, 1996
4. H. Colfen, L. Qi, "A systematic examination of the morphogenesis of calcium carbonate in the presence of a double-hydrophilic block copolymer", *Chem. Eur. J.*, 7(1), pp.106-116, 2001
5. S. H. Yu, M. Antonietti, H. Colfen, M. Giersig, *Angew.*, "Synthesis of very thin 1D and 2D CdWO₄ nanoparticles with improved fluorescence behavior by polymer-controlled crystallization", *Chem. Int. Ed.*, 41(13), pp.2356-2360, 2002
6. S. H. Yu, H. Colfen, M. Antonietti, "The combination of colloid-controlled heterogeneous nucleation and polymer-controlled crystallization: Facile synthesis of separated, uniform high-aspect-ratio single-crystalline BaCrO₄ nanofibers", *Adv. Matter.*, 15(2), pp.133-136, 2003
7. E. Braun, Y. Eichen, U. Sivan, G. Ben Yoseph, "DNA-templated assembly and electrode attachment of a conducting silver wire", *Nature*, 391(6669), pp.775-778, 1998
8. J. Richter, R. Seidel, R. Kirsch, M. Mertig, W. Pompe, J. Plaschke, H. K. Schackert, "Nanoscale palladium metallization

38 나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

- of DNA”, *Adv. Mater.*, 12(7), pp. 507-510, 2000
9. A. Kumar, M. Pattarkine, M. Bhadbhade, A. B. Mandale, K. N. Galnesh, S. S. Datar, C. V. Dharmadhikari, M. Sastry, "Linear superclusters of colloidal gold particles by electrostatic assembly on DNA templates", *Adv. Mater.*, 13(5), pp.341-344, 2001
 10. W. E. Ford, O.Harnack, A. Yasuda, J. M. Wessels, "Platinated DNA as precursors to templated chains of metal nanoparticles", *Adv. Mater.*, 13(23), pp.1793-1797, 2001
 11. P. Alivisatos, "The use of nanocrystals in biological detection", *Nat. Biotechnol*, 22(1), pp.47-52, 2004
 12. Sun YG, Xia YN, "Shape-controlled synthesis of gold and silver nanoparticles", *SCIENCE*, 298(5601), pp.2176-2179, 2002
 13. D. Walsh, L. Arcelli, T. Ikoma, J. Tanaka, S. Mann, "Dextran templating for the synthesis of metallic and metal oxide sponges", *Nat. Mater.*, 2(6), pp.386-U5, 2003
 14. Y. Cao, Y. M. Zhou, Y. Shan, X. J. Huang, X. J. Xue, Z. H. Wu, "(Ti,Sn)O₂ Solid Solution Self-Aligned into Sandwich Array on Grafted Modification Collagen Matrix", *Adv. Mater.*, 16(14), pp.1189-1192. 2004
 15. Z. Tang, N. A. Kotov, M. Giersig, "Spontaneous organization of single CdTe nanoparticles into luminescent nanowires", *Science*, 297(5579), pp.237-240, 2002
 16. Z. Tang, B. Ozturk, Y. Wang, N. A. Kotov, "Simple preparation strategy and one-dimensional energy transfer in CdTe nanoparticle chains", *J. Phys. Chem. B*, 108(22), pp.6927-6931, 2004

17. Peng ZA, Peng XG, "Nearly monodisperse and shape- controlled CdSe nanocrystals via alternative routes: Nucleation and growth", *JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY*, 124(13), pp.3343-3353, 2002
18. Peng XG, Manna L, Yang WD, et al., "Shape control of CdSe nanocrystals", *NATURE*, 404(6773), pp.59-61, 2000
19. El-Sayed MA, "Some interesting properties of metals confined in time and nanometer space of different shapes", *ACCOUNTS OF CHEMICAL RESEARCH*, 34(4), pp.257-264, 2001
20. Jin RC, Cao YW, Mirkin CA, et al., "Photoinduced conversion of silver nanospheres to nanoprisms", *SCIENCE*, 294(5548), pp.1901- 1903, 2001
21. 나노소재기술개발 국내 연구그룹/기업체 현황, 과학기술부 21C 프론티어연구개발사업, 나노소재기술개발사업단
22. ISI Web of Knowledge, <http://portal01.isiknowledge.com/portal.cgi>
23. WIPS, 특허정보검색사이트, <http://www2.wips.co.kr/>
24. 나노산업분야별 시장 기술 예측보고서, 전략기술경영연구원, 2004.9
25. 나노입자 업계의 동향, 시장보고서, Business Communications Co., Inc, 2005.7

40

저자소개**홍재민**

- 공학박사
- 현, 한국과학기술연구원 책임연구원

이혁재

- 이학박사
- 진, 한국과학기술기획평가원 선임연구원
- 현, 한국과학기술정보연구원 선임연구원
- 저서: BT분야 국가연구개발 심층분석
및 평가 등

자문위원**김일두**

- 공학박사
- 현, 한국과학기술연구원 선임연구원

BBroo

홍재민 · 이혁재

나노입자의 개요와 기술동향 및 전망

2005년 12월 19일 인쇄

2005년 12월 23일 발행

발행처



서울특별시 동대문구 청량리동 206-9

☎ 130-742

전화 : 3299-6114

등록: 1991년 2월 12일 제5-258호

발행인

조영화

인쇄처

영신기획