

나노소재의 제품적용 동향 및 시장 전망

글 _ 최영진
한국산업기술평가관리원

1. 서론

골프클럽에서 가전의 대표격인 디스플레이에 이르기 까지 나노소재를 적용하는 제품시장은 매우 다양하다. 현재 전자제품, 자동차, 가정/건물세정 분야의 시장의 성장이 가장 두드러지고 있으며, 식료품과 개인미용용품 분야의 시장이 점차 확대될 것으로 전망되고 있다. 가전 제품이나 생필품 분야에서 새로운 기능에 대한 수요증대로 인해 일반소비재에 적용되는 나노소재 시장은 2010년 17억불 규모에서 2015년까지 53억불 규모로 성장할 것으로 기대되고 있다. 현 단계에서 대부분의 응용제품은 나노입자를 벌크 소재나 표면에 첨가함으로써 발현되는 보다 우수한 기계적, 광학적, 전기적 특성을 제품에 부분적으로 적용하는데 초점을 맞추고 있다. 그러나 다

음 단계의 응용제품들은 이러한 한 두 가지 특성을 개선시키는데 머무르지 않고, 다기능화 및 스마트화된 나노소재를 적용할 것이다.

나노소재 시장의 성장을 견인하는 동력은 산업군에 따라 다양한 형태로 나타나지만, 고성능화, 저가격화, 친환경화라는 세가지 키워드에서는 동일하게 적용되고 있다. 본고에서는 주요 산업별로 시장에서 나노소재를 차용하게 되는 주요 동력에 대해 살펴보고, 이를 기반으로 2015년경의 나노소재 시장을 전망해보고자 한다.

2. 본론

2.1. 전자산업에 적용되는 나노소재 시장 전망

전자산업에서 나노기술을 차용하는 주된 동력은 전자 부품의 고기능화, 초소형화, 저가격화, 저전력소모, 유연화에 대응하기 위함이다.

더 빠르고 더 집적도가 높은 소자구현을 위해 반도체 산업에서는 유전체 박막 등에 이미 나노소재가 폭넓게 사용되고 있으며, 지속적인 반도체 소자의 스케일-다운에 대응하기 위해 탄소나노튜브 등과 같은 나노소재를 금속배선이나 트랜지스터의 채널소재로 활용하기 위한 시도가 진행되고 있다¹⁾. 또한 나노소재를 이용하여 기존의 플래시메모리 보다 우수한 기록/재생 특성을 갖는 저항메모리반도체와 같은 새로운 메모리소자들이 속속들이 개발되고 있다²⁾.

최근 나노소재 적용 연구가 가장 활발히 이뤄지고 있

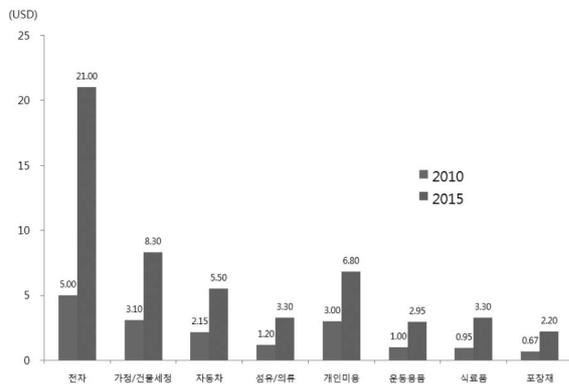


Fig. 1. 일반소비재에 적용되는 나노소재의 시장 전망²²⁾.

는 분야 중의 하나는 디스플레이분야이다. 디스플레이 구현에 있어 가장 기반이 되는 투명전극은 그동안 ITO (Indium-Tin-Oxide)가 독점적인 지위를 누려왔으나, 인듐 매장량의 한계 등으로 인해 이를 대체할 소재개발이 절실히 필요해졌고, 탄소나노튜브, 그래핀, ZnO 나노구조체와 같은 나노소재가 ITO를 대체하기 위해 개발되고 있다³⁾. 나노소재는 단순히 ITO를 대체할 수 있을 뿐 아니라 플라스틱과 같은 유연성 기판에도 적용가능하다는 점에서 차세대 플렉시블 디스플레이에 적용될 수 있다. 한편 대부분 나노소재로 이루어지는 OLED(Organic light-emitting diode)가 디스플레이 시장에 본격적으로 등장하고 있고, 고효율 양자점을 이용한 양자점 디스플레이의 개발도 활발히 이루어지고 있어⁴⁾, 디스플레이분야에서 나노소재 시장은 지속적으로 확대될 것으로 전망된다.

조명분야에서도 나노소재 적용이 활발히 연구되고 있다. 양자점 형광체를 이용하여 LED 광원의 연색성을 개선하고, 효율을 증대시키고자 하는 시도와 탄소나노튜브 전계방출원을 이용한 면광원 개발이 기업들을 중심으로 본격적으로 이루어지고 있다⁵⁾.

이 뿐 아니라 전자부품에서의 방열문제를 해결하거나, 대전방지, 전자파 차폐를 위해 다양한 나노소재가 상용화되고 있으며⁶⁾, 이에 힘입어 전자산업분야에 적용되는 나노소재 시장은 2010년 5억불 규모에서 2015년에 21억불 규모로 크게 성장할 것으로 기대되고 있다.

2.2. 가정건물세정 분야에 적용되는 나노소재 시장 전망

손쉬운 유지관리를 요구하는 소비자의 욕구에 대응하여, 기술혁신을 통해 시장점유를 증대시키고자 하는 다국적 브랜드 기업들의 연구개발 활동이 가정용품 분야에서 나노소재를 차용하고자 하는 주된 동력이 되고 있다.

은나노와 같은 기능성 나노입자를 함유한 코팅제는 욕조, 욕실타일, 변기 등에 적용되어 물때가 끼는 것을 방지하고, 소수성 처리를 통해 손쉽게 청소가 가능하게 한다. Unilever, Colorox와 같은 가정용 청소제를 판매하는 다국적 기업들은 자가세정 또는 화학세제 없이 물로만 청소가 되는 나노코팅기술에 대해 심각한 위협을 느끼고 있으며, 이를 대비하여 세균번식을 막는 은나노코팅기술⁷⁾

이나 TiO₂ 광촉매기술⁸⁾에 깊은 관심을 보이고 있다.

나노소재코팅기술은 물이나 기름에 의한 얼룩, 그을음, 이끼류의 번식과 같은 외부 환경요인으로부터 건축물의 표면을 보호하는데도 사용될 수 있어, 청소에 드는 비용을 크게 절감할 수 있다. 현재 고층 건물의 외벽 청소는 다량의 화학세제와 고압의 물을 사용하며, 많은 노동력이 필요한 반면 나노구조 TiO₂와 같은 광촉매를 건물 외벽에 코팅해주게 되면 TiO₂의 강력한 산화력으로 인해 벽에 붙은 오염물질이 광분해되고, TiO₂의 초친수 특성으로 말미암아 벽에 붙은 오염물질이 비와 같은 적은 양의 물로도 쉽게 씻겨 나가기 때문에 친환경, 저에너지, 저비용 건물 관리가 가능해진다. 이러한 기술은 단지 건물 관리에만 사용되는 것이 아니라 자동차본진 때문에 주기적인 청소가 필요한 터널에도 적용되어 터널 청소에 따른 교통체증 문제도 해결할 수 있다. 실제로 스웨덴에서는 Sodra Lanken 터널에 TiO₂ 나노코팅을 적용하고 있다⁹⁾. 또한 TiO₂의 강력한 광분해 특성은 공공장소의 청결을 유지하는데도 적극 활용되고 있다. 특히 병원과 같이 인체에 위험한 세균이 손쉽게 일반인들에게 노출될 수 있는 영역에서는 건물 내부에 TiO₂ 나노코팅을 적용함으로써 조류독감이나 SARS 감염을 막겠다는 시도가 행해지고 있다¹⁰⁾.

이러한 추세에 힘입어 가정용품/건물유지 분야에 적용되는 나노소재 시장은 2010년 3.1억불 규모에서 2015년 8.3억불 규모로 성장할 것으로 예측되고 있다.

2.3. 자동차산업에 적용되는 나노소재 시장 전망

자동차산업에서 나노소재를 차용하게 되는 주요 동력은 크게 개선된 성능에 대한 소비자의 욕구와 비용절감에 대한 생산자의 욕구, 그리고 강화되어 가는 환경규제라고 볼 수 있다.

나노복합재는 가벼우면서도 고내열성, 고강도의 특징을 갖기 때문에 폴리머 나노복합재를 중심으로 차량 본체 및 헤드라이트 커버 등에 적용되고 있다. 무게를 100kg 줄이면 연료소비를 5~10% 감축시킬 수 있으므로, 소비자의 욕구를 만족시킬 뿐 아니라 환경규제에도 선제적으로 대응할 수 있다.

그러나 무엇보다도 자동차 산업에서 가장 널리 적용되고 있는 나노기술은 나노코팅기술이라 할 수 있다¹¹⁾. 차량 옆 유리나 후면경의 적절한 반사율 유지를 위해 친수성 표면처리를 함으로써 태양빛이나 야간 운전시 후방의 강한 조명으로부터 눈부심 현상을 막을 수 있다. 나노구조의 탄화물(carbide), 질화물(nitride), 금속, 세라믹 등은 투명도를 유지하면서도 외부 흡집에 강하도록 만들어질 수 있어, 기계 세차 시에 차량에 흡집이 나는 것을 막아 줄 수 있다. 소수성(疏水性) 처리가 된 차 유리는 빗속에서도 가시성을 확보하게 할 수 있고, 소유성(疏油性) 처리가 된 차체는 오염물질이 달라붙는 것을 막아준다. 나노구조 TiO₂는 자외선이 조사될 때 광분해 특성을 가지고 있기 때문에 차량 내부 대쉬보드에 코팅함으로써 대쉬보드에 때가 묻는 것을 방지할 수 있다. 한편 나노크기의 그래핀 사이즈를 갖는 코팅기술은 내열특성과 열전도 특성이 우수하기 때문에 엔진에 적용되어 연료소모량을 크게 감소시킬 수 있다.

일반적인 고체 윤활제는 그래파이트, MoS₂, WS₂와 같은 층상구조를 갖는 화합물로서, 각각의 층은 서로 미끄러지면서 마찰을 최소화한다. 그러나 가장 외각층은 화학적으로 활성이 있기 때문에 시간이 지나면 서서히 분해되거나 부식되거나 금속표면에 달라붙게 된다. 반면 비활성인 외각층을 갖는 나노입자는 이러한 문제가 없기 때문에 보다 효과적인 윤활제로 사용이 가능하다²⁾.

자동차 생산자 입장에서 원가절감을 위해 나노소재를 가장 적극적으로 적용하고자 하는 분야는 촉매분야이다. 전통적으로 자동차에서 사용되는 촉매는 플라티늄, 팔라듐, 로듐과 같은 귀금속 촉매인데, 이러한 소재들은 값비싸고 매장량에 한계가 있기 때문에 이를 나노구조 촉매로 대체하려는 시도가 폭넓게 이루어지고 있다³⁾.

이러한 자동차 산업에 대한 나노소재기술의 적용은 미래의 일이 아니라 바로 우리의 현실에서 이루어지고 있다. Mercedes-Benz 사에서는 흡집에 잘 견디는 세라믹 나노코팅 기술을 차체에 적용하고 있으며, Volkswagen, BMW, 도요타, 스바루 사는 자동차 유리의 손쉬운 세정을 위해 산화물 기반의 코팅기술을 나노소재 전문기업들로부터 도입하고 있다. 2010년 자동차 산업의 불황으로

인해 자동차산업 분야에 대한 나노소재시장은 약간 감소하여 2.15억불 수준으로 추정되고 있으나, 2015년까지 5.5억불 규모로 성장할 것으로 예측되고 있다.

2.4. 섬유·의류산업에 적용되는 나노소재 시장 전망

섬유에 기능성을 부여하기 위한 전통적인 방법들은 세탁을 거치거나 오래 사용하게 되면 기능이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 반면 나노입자를 섬유에 코팅하게 되면 높은 표면적비와 표면에너지를 가지고 있기 때문에 섬유에 장시간 잘 부착되어 있을 수 있으며, 원 섬유의 촉감 등을 악화시키지 않는다.

나노소재를 섬유 및 의류산업에 적용해서 얻고자 하는 기능은 오염방지, 자외선 차단, 항균성, 내마멸 특성 등인데, 현재 얼룩방지 의류, 악취 안 나는 운동복, 의료용 항균섬유, 전도성 섬유, 방수 섬유 등의 개발이 활발히 이루어지고 있다.

항균특성을 위해서는 나노크기의 은이나 TiO₂, ZnO 등이 사용되는데 금속이온은 공기 중의 산소와 만나 산소를 활성화시키고, 이를 통해 유기물을 분해함으로써 살균특성을 갖는 것으로 알려져 있다. 특히 나노입자의 경우는 표면적비가 크기 때문에 항균특성이 크게 개선된다. 독일계 회사인 Percenta AG 사는 섬유용항균 나노스프레이를 시장에 출시하고 있다⁴⁾.

방수 기능은 섬유에 있어서 매우 중요한 기능 중의 하나이다. 흔히 연잎 효과라고 불리는 초소수성 현상을 흉내 내는 기술이 개발되고 있으며, 땀에 젖지 않고 얼룩이 묻지 않는 섬유나 자가세정 생활용품 또는 방수 옷 등에 적용되고 있다. Gap, Old Navy, Target, Smith and Nephew, Lee, Nike 등과 같은 많은 의류업체들이 나노소재 기반 방수/방오(防汚) 의류를 이미 시장에 출시하고 있다.

TiO₂, ZnO와 같은 나노구조 금속산화물은 섬유의 자외선 차단 효과를 증진시킨다. Pulcra Chemical 사는 ZnO 나노입자를 함유한 Belfasun이라는 제품을 출시하고 있으며⁵⁾, Geckoline Sportswear GmbH 사는 은나노 코팅이 된 자외선 차단 면제품을 출시하고 있다⁶⁾.

나노소재가 코팅된 섬유는 약물을 서서히 방출하는 기

능을 보일 수 있다. 관절염 치료용 장갑에 사용되는 항생제 투여 패치, 상처치료봉대 등은 이미 상용화되어 있다.

섬유의류산업에 적용되는 나노소재 시장은 2010년 1.2억불 수준이나 2015년에는 3.3억불 규모로 크게 확대될 전망이다.

2.5. 개인미용 분야에 적용되는 나노소재 시장 전망

개인미용 분야에서는 피부관리제의 효과성 개선 및 자외선 차단제의 기능성 향상요구로 인해 나노소재의 활용이 증가하고 있다. 특히 액적 크기가 50-100nm 내외가 되는 나노에멀전은 대체로 투명하고 촉감이 부드러우며 피부 흡수성이 높아 화장품에 폭넓게 사용되고 있다⁷⁾. 또한 항산화 특성이 우수한 플라넨을 함유한 고기능성 화장품이 몇 고급 브랜드에서 개발되고 있다.

일반적으로 자외선 차단제에 사용되는 TiO_2 나 ZnO 는 흰 색을 띠고 있으므로, 도포시 피부가 허옇게 보이는 단점을 가지고 있다. TiO_2 나 ZnO 를 나노크기화 하면 자외선 차단 특성은 그대로 유지하면서도 가시광선영역에서는 투명해지기 때문에 이러한 단점을 보완할 수 있다.

한편 수산화 인회석(hydroxyl apatite)과 단백질 분자의 생화합물을 치약에 도입하면 타액과 반응하여 치아 보호층으로 기능할 수 있는 나노구조 인산 칼슘 결정을 만들어 낼 수 있으며, 이러한 나노구조 인산칼슘은 넓은 비표면적으로 인해 치아 임플란트시에 뼈가 쉽게 달라붙을 수 있도록 도와준다⁸⁾.

이러한 개인미용 분야에서 적용되는 나노소재 시장은 2010년 3.0억불 규모에서 2015년 6.8억불 규모로 성장할 것으로 예측되고 있다.

2.6. 기타

식료품 분야에서 나노소재에 대한 수요는 식료품의 안전한 보관 및 유통에 관련된 것이다. 식료품 포장재는 단지 제품을 광고하는 수단에 머무르지 않고 제품의 향이나 형상을 최대한 오래 유지하는데 중요한 역할을 한다. 이미 식료품 포장업체에서는 플라스틱 맥주병에서 보는 바와 같이 나노복합재를 채용하고 있으며⁹⁾, 식료품의 신선도를 유지하기 위해 적정한 공기 투과율을 갖는 포장

재 등에도 활용의 범위를 넓혀가고 있다. 나아가 식료품의 산화를 막기 위해 산소를 능동적으로 제거하거나 부패를 막기 위해 미생물을 능동적으로 제거하는 포장재에 대한 연구개발이 이루어지고 있다. 또한 식료품의 유통과정에서 부패되는 정도를 모니터링하기 위한 센서기술에도 나노소재가 활용되고 있다. 식료품 분야에서 나노소재가 채용되는 또 다른 분야는 식료품 가공설비에 대한 항균코팅 기술이다. 살모넬라와 같은 식중독균이 식료품 가공설비를 통해 확산되는 것을 막기 위해 식료품 가공설비에 대한 항균코팅 기술을 적용하고 있다²⁰⁾. 이러한 식료품 분야에 적용되는 나노소재 시장은 2010년 0.95억불 규모에서 2015년 3.3억불 규모로 성장할 것으로 예측되고 있다.

포장재 분야에서 나노소재에 대한 수요는 정전방지, 전자기 차폐 등과 같이 특정 포장기능의 성능개선에 대한 요구와 위조품 식별 및 제품이력 추적관리와 같은 포장재의 신기능에 대한 요구에 기인한다. 반도체 칩과 같은 고가의 전자기기 부품 포장에 있어 투명하면서도 정전기가 발생하지 않는 나노복합재 기반 포장재가 시장에 이미 출시되어 있으며, 제품이력 관리를 위한 인쇄형 RFID 태그 제작에 나노소재가 사용되고 있다. 특히 포장재에 초저가로 RFID 태그를 인쇄하기 위해서는 저온에서 소결 가능하며 전기전도도가 높은 금속나노잉크 개발이 매우 중요하다. 나아가 전세계 유통제품의 7-10%에 달할 것으로 추정되고 있는 위조품 식별을 위해서 육안으로는 볼 수 없지만, 특정 방법을 통해 식별 가능한 나노태깅 기술이 개발되고 있다²¹⁾. 이러한 포장재 분야에서 적용되는 나노소재 시장은 2010년 0.67억불 규모에서 2015년 2.2억불 규모로 성장할 것으로 예측되고 있다.

운동용품 분야에서는 나노소재가 이미 폭넓게 사용되고 있다. 스키웍스, 테니스공, 골프공, 자전거 프레임, 테니스 라켓, 야구배트, 배드민턴 라켓, 하키 스틱 등에 탄소나노튜브나 나노클레이가 충전제로 이미 사용되고 있다. 최근 들어서는 나노소재를 이용하여 통풍은 잘 되면서 수분은 통과시키지 않는 기능성 운동복에 대한 시장이 형성되기 시작하고 있다. 운동용품 분야에 적용되는 나노소재 시장은 2010년 1.0억불 규모에서 2015년 2.95억

불 규모로 성장할 것으로 예측되고 있다.

3. 결론

나노융합산업은 나노기술을 기존 기술에 접목하여 기존제품을 개선·혁신(Nano-enabled)하거나 전혀 새로운 나노기능에 의존(Nano-dominated)하는 새로운 제품을 창출하는 산업으로서, 앞서 살펴 본 바와 같이 나노소재의 경우 이미 수익창출에 성공한 사업모델이 급격하게 증가하고 있으며, 향후 성장전망도 매우 밝다. 이에 따라 세계 각국의 나노융합기술개발 전략의 무게중심은 원천기술 획득에서 시장선점을 위한 산업화로 옮겨지고 있으며, 우리나라도 나노융합기술 조기사업화 시스템 구축을 통한 적극적인 대응이 필요한 시점이다. 이러한 세계적인 흐름에 발맞춰 지식경제부와 교육과학기술부가 공동으로 나노융합기술의 상용화 촉진을 기치로 내세운 “나노융합2020 사업”을 준비하고 있음은 매우 시의 적절한 대응이라 판단되며, 나노기술분야에 종사하는 모든 연구자들의 역량이 총 결집되어 당 사업이 성공적으로 추진될 수 있기를 희망한다.

참고문헌

1. D. K. Ferry, R. Akis, M. J. Gilbert, and A. Cummings, “Semiconductor Device Scaling: Physics, Transport, and The Role of Nanowires,” *International Journal of High Speed Electronics and Systems.*, **17** [3] 445-56 (2007).
2. M.-J. Lee, C. B. Lee, D. Lee, S. R. Lee, M. Chang, J. H. Hur, Y.-B. Kim, C.-J. Kim, D. H. Seo, S. Seo, U.-I. Chung, I.-K. Yoo, and K. Kim, “A Fast, High-Endurance and Scalable Non-Volatile Memory Device Made from Asymmetric Ta₂O_{5-x}/TaO_{2-x} Bilayer Structures,” *Nature Materials*, **10** 625-30 (2011).
3. D. S. Hecht, L. Hu, and G. Irvin, “Emerging Transparent Electrodes Based on Thin Films of Carbon Nanotubes, Graphene, and Metallic Nanostructures,” *Advanced Materials.*, **23** [13] 1482-513 (2011).
4. Quantum Dots Deliver Large-area Colour Display, <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/45249>
5. Quantum Dots Enhance LED Lighting, <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/optoelectronics/quantum-dots-enhance-led-lighting>
6. J. Markarian, “New Developments in Antistatic and Conductive Additives,” *Plastics Additives & Compounding.*, 22-25 (2008).
7. New Paint Technology Fights Bacteria and Fungal Growth with Nanoscale Silver, <http://www.nanovations.com.au/Press%20Release/Paint%20technology%22from%20Nanovations.pdf>
8. Photocatalyst Coatings, <http://www.mchnanosolutions.com/>
9. <http://www.nanogate.de/pdf/2009-06-03PMNanogateResultsStockholm.pdf>
10. C.J. Chung, H.I. Lin, H.K. Tsou, Z.Y. Shi, and J.L. He, “An antimicrobial TiO₂ Coating for Reducing Hospital-acquired Infection,” *J. Biomed Mater. Res. B Appl. Biomater.*, **85** [1] 220-24 (2008).
11. Nano for Car, <http://www.nanoprotect.co.uk/nano-for-car.html>
12. Nano Lubricants, <http://lowerfriction.com/product-page.php?categoryID=19>
13. New Nanocatalyst Could Improve Efficiency of Gasoline Production, <http://www.greencarcongress.com/2010/09/wong-20100921.html>
14. Percenta Nano Coatings Clean With Ease, http://www.nanonext.net/sitecmj/index.php?option=com_content&view=artiart&id=171&Itemid=323
15. Belfasun™: Fit for the sun, <http://www.pulcra-chemicals.com/business/textile-technology/functional-textiles/belfasun.html>
16. UV Cotton Textiles with Nano Silver Coating, <http://www.thesmarttime.com/dev/uv-protected-fabrics.htm>
17. O.S. Aubrun, J.T. Simonnet, and F. L'Alloret, “Nanoemulsions: A New Vehicle For Skincare Products,” *Advances in Colloid and Interface Science*, **108-109** 145-49 (2004).
18. Nanotechnology Dental Implants, <http://www.nanowerk.com/news/newsid=1904.php>
19. Multilayer Containers Featuring Nano-Nylon MXD6 Barrier Layers with Superior Performance and Clarity, http://www.nanocor.com/tech_papers/NOVAPACK03.pdf
20. G. Scrinis and K. Lyons, “The Emerging Nano-Corporate Paradigm: Nanotechnology and the Transformation of Nature, Food and Agri-Food Systems,” *International Journal of Sociology of Food*

- and Agriculture.*, **15** [2] 22-44 (2007).
21. Brand Protection through Nanotechnology, www.brandauthen.com/20081028%20Brand%20Protection%20through%20Nanotechnology
 22. “The World Market for Nanotechnology and Nanomaterials in Consumer Products,” pp 49-72 Future Markets, Inc, 2010.

◎◎ 최영진



- 1993년 서울대학교 물리학과 이학사
- 1995년 서울대학교 물리학과 이학석사
- 1999년 서울대학교 물리학과 이학박사
- 1999년-2005년 전자부품연구원 책임연구원
- 2005년-현재 명지대학교 물리학과/나노공학과 부교수
- 2011년-현재 한국산업기술평가관리원 나노융합 PD