

나노기술의 산업화 현황과 미래

박재민

머리말

사람 머리카락 굵기의 1만분 1 크기, 사람 손톱이 1초 동안 자라는 길이, 과연 이 크기를 가늠할 수 있을까? 바로 이것이 나노기술의 세계이며, 현재 이 미세한 기술에 첨단, 주력, 제조산업 등은 미래의 혁신 열쇠로 나노기술을 주목하고 채택하고 있다. 나노기술은 물질을 원자·분자 단위에서 조작하고 기존에 없던 새로운 물질을 만들 수 있는 것이다. 기존 제품보다 수십 배 강하면서도 가벼운 강철, 에너지 소모가 거의 없는 IT·전자제품, 기존 보다 수백 배 더 많은 정보를 담을 수 있는 메모리 칩 제조가 가능해진다. 즉, 나노기술은 ‘궁국의 제조기술이며, 이를 통해 우리 인류는 급진적 풍요를 맛보게 될 것이다(Eric Drexler).’라고 예측하고 있다.

나노기술은 이제 15년에 불과한 신기술이며 새로운 소재, 공정, 장비 등 기존 사업화 가치사슬과 접목이 쉽지 않은 측면이 있어 기대하는 것보다 느리게 사업화가 진행되고 있다. 이미 성숙된 기술, 발달된 산업, 시장을 장악하고 있는 기업이 존재하는 기존 기술들과 다를 수밖에 없는 것이다. 고객에게 원하는 바, 즉 수요를 충분히 충족시켜 주어야 하고 원하는 가격, 성능, 안전성 등 복합적으로 얽혀 있는 요인들을 해결해야만 나노제품이 시장에 나올 수 있고 기존 제품과 유사한 용도, 성능, 디자인 등이 있는 제품이라면 기존 제품과의 경쟁에서 살아남아야 사업화가 가능한 것이다.

나노기술만으로 곧바로 시장을 창출할 수 있는 경우가 많지 않으므로 나노기술을 시장 창출로 연결하려는 다양한 노력들이 시도되고 있다. 반사 방지, 긁힘 방지, 자외



[Fig. 1] 자동차, 모바일 Phone에 적용되는 나노기술 및 제품



<저자 약력>

박재민 팀장은 현재 나노융합산업연구조합(nanokorea.net)의 사업화지원팀에서 근무(2007~)하고 있고 나노소재의 융합 제품화 기술개발과 나노기업 우수제품의 수요연계를 통한 상용화 촉진지원(나노제품 T2B 촉진), 인적자원개발 등의 업무를 수행하고 있다. (ntrapark@nanokorea.net)

선 차단, 결로 방지, 방수, 발열 등 필요한 대체 가능한 기술을 갖고 있기 때문에 이를 적용하여 다양한 산업용 제품에 적용되어 나노융합제품이 출시되고 있다.

국내 나노융합산업 생산은 총138조6,939억원(15.6월 산업부 통계)으로 제조업 생산의 9.3%를 차지하고 있다. 물론 대기업과 전자·반도체가 8~90%이상으로 특정부분에 대한 의존도가 높다. 중소·중견기업이 90% 이상을 차지하고 있으며, 기술적인 면에서 대면적 그래핀 합성 등 일부 분야에서는 세계 최고 수준의 원천기술을 확보하고 있다. 또한 나노플래시 메모리소자, 상온 탄소나노튜브 합성기술 등 30개 이상의 세계 최고 실용화 기술을 확보하고 있다.

NT(Nano Technology) 시장이 점차 가속화되고 있는 분야는 아직 일부이긴 하지만 최근 수요기업들이 관심을 갖고 적용하고 있는 몇가지 기술·제품에 대해 기술해 보고자 한다. 골격을 갖춘 가치사슬이 가시화되기 시작한 결과물들이며, 기술을 넘어 상용화 제품으로 출시가 되고 있는 나노융합제품에 대해 살펴보고자 한다.

1. 기능성 필름 제품

가. 은나노와이어(Ag nano-wire) 필름

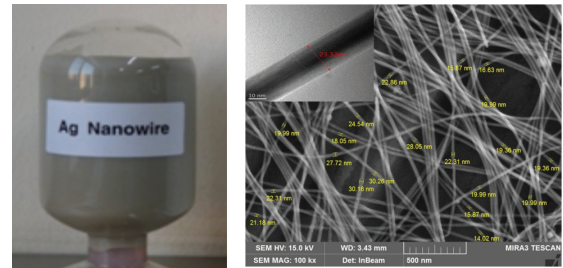
최근 플렉서블(Flexible) 디스플레이가 각광을 받고 있다. 커브드(Curved), 깨지지 않고(Unbreakable), 구부릴 수 있으며(Bendable), 접을 수 있는(Foldable), 그리고 돌돌 말거나 잡아 당길 수 있는(Rollable, Stretchable) 디스플레이 제품이다. 21C 생활환경에서 다양하게 전개될 플렉시블 디스플레이 기술로 은나노와이어는 플렉시블 소자에서 ITO를 대체할 유일한 투명전극 필름소재로 주목받고 있다.

은나노와이어 소재를 길이와 굵기 형상을 제어할 수 있는 기술을 확보하고 있으며, 합성시 우수한 Uniformity를 갖는다. 낮은 Haze, 강한 내구성 등의 특징으로 구부리거나 휘는 플렉시블 디스플레이에 필수적인 소재이다. 가격이 비싼 이유도 있었고 원천기술을 가진 C社 코팅액 제품에 의존하는 등 특히 회피가 걸림돌로 작용하고 있었으나 최근 제조방법 관련 방어특허를 출원함으로써 상용화 속도가 빨라지고 있다.

은나노와이어를 다양한 용제(Water, IPA, Ethanol, EG)에 분산하여, Diameter 20~25 nm, length 25~30



[Fig. 2] IT 전자제품, 자동차 등 플렉서블 디스플레이 요구분야



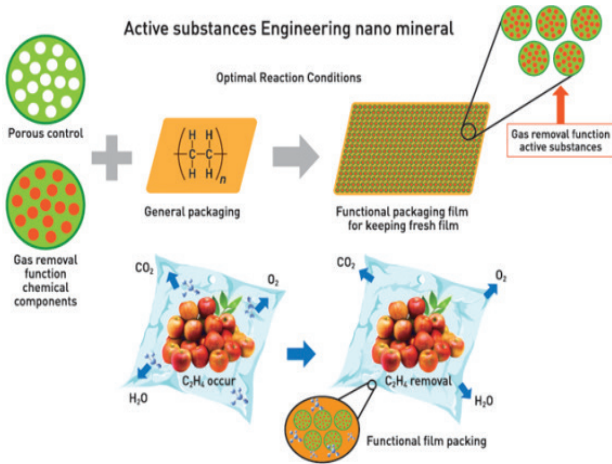
[Fig. 3] Ag nanowire를 용제에 분산한 코팅액 및 SEM & TEM image

[Table.1] 투명전도성필름(TCF) 사양 및 장점 비교

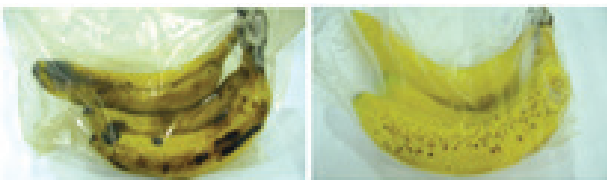
유연투명전극	투명도/면저항	장점
CNT	86~88 / 300~400Ω/sq	낮은 제조원가, 대면적 적용 유리
Graphene	87~88 / 300~400Ω/sq	초박막, 초평활 평면
Ag nano-wire	87~89 / 30~200Ω/sq	고투과율, 저저항, 습식에칭
Metal mesh	85 / ~200Ω/sq	저저항, 습식에칭

μm, Purity 99.5%까지 적용이 가능하다.

은나노와이어는 스마트폰, 테블릿, PC 등에 탑재되는 터치 패널에 적용이 가능하며, 자동차용 TSP, Smart window, Heating film, OLED, EMI차폐, 플렉시블 전극소재, 인쇄전자 등에 확장 적용이 가능하다. 은나노와이어를 이용한 Wet coating 방식의 적용으로 3~4천원/



[Fig. 4] 나노산화물의 포장재 내 기체 포집 및 배리어 기능



[Fig. 5] (右)나노 기능성 필름의 신선도 유지 비교(7일 경과)

m² 수준의 가격으로 투명전극 제조가 가능해졌다.

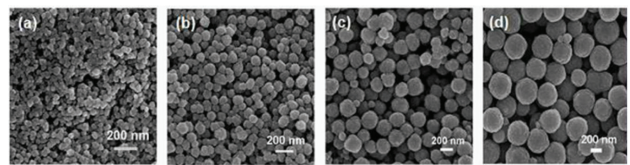
나. 나노산화물 농식품용 포장필름

음식재료를 담는 포장팩으로, 진공이나 장기보존이 필요한 제품을 담을 수 있는 식품용 포장재 제조에 나노소재가 적용되고 있다. 나노층상물질(나노산화물)의 층간삽입-그래프팅-박리화 개념을 이용하여 유도되는 유기하이브리드 코팅물질을 이용한 습식 코팅방법을 통하여 고성능 배리어 필름이 개발되어 상용화되고 있다. 성광석, 일라이트, 제올라이트 등 기체를 흡착 배출하는 천연 물질을 수 나노사이즈로 분쇄하여 포장지 조제 시 혼입 조절하는 방식을 이용하면 포장 내부의 기체(에틸렌, 산소, 이산화탄소, 습도 등) 조성을 농산물 품질유지에 적합한 농도로 유지하는 기능성 포장재 필름이다.

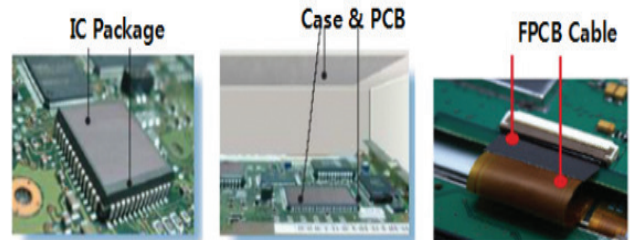
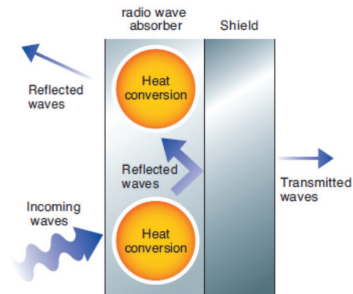
포장재에 적용된 무기물은 균일한 다공성과 높은 표면적을 가지고 있으며, 기체 투과도를 개선하여 포장재 내부의 공기와 외부 공기를 원활하게 해준다. 또한 유해가스의 흡착으로 변색을 방지하고 부패균의 발생과 수분 증발을 억제하여 농산물을 신선하고 오래 보관 할 수 있다.



[Fig. 6] 수열합성법을 이용한 자성 페라이트 소재 제조방법



[Fig. 7] 수열합성 조건에 따른 입도제어 (입도에 따른 전자파 흡수 대역 제어)



[Fig. 8] Conductive Metal Shield + Magnetic EMI Absorption(2차 반사파 억제)개념 및 응용부품

과일, 채소에서 발생하는 호르몬인 에틸렌은 부패와 노화를 촉진시키는 역할을 하는데 기능성 필름이 에틸렌, 이산화황 등의 유해가스를 흡착, 배출하는 기능을 한다. 또한 필름 내부에 함유되어 있는 다공성 무기물들에 의해 산소와 수분의 투과도를 향상시켜 통기성을 기존 필름보다 2배 이상 높여줄 수가 있다.



다. 전자파 차폐(EMI) 필름

전자파 차폐에 대한 대응소재의 메가트렌드를 보면 IT/자동차산업에서 전자장치의 다기능화, 경박단소화로 고밀도 실장 및 동작주파수가 고주파(1~10GHz)대역으로 증가하고 있다. 이로 인해 전자파 간섭, 노이즈에 따른 오작동과 신호품질의 저하가 야기되고 있다. 미래의 트렌드는 단순차폐가 아닌 기존보다 경량/극박/광대역 전자파 흡수소재·필름이 필수적이다.

전자파 흡수 소재로 현재 각광 받고 있는 산화물 자성 재료인 페라이트(Ferrite)를 균일한 입도 제어가 가능한 수열합성법을 적용한 새로운 공정기술을 통해 생산하고, 생산된 페라이트는 테이프 캐스팅(Tape Casting) 공정을 통해 전자파 흡수 필름(시트)로 제조되어 상용화 되고 있다.

페라이트는 산화물 자성재료로 자성 완화(Magnetization Relaxation) 특성을 활용한 전자파 흡수체이다. 상자성 페라이트(Paramagnetic Ferrite)는 일반적으로 스핀넬(Spinel) 구조를 갖는 이온화합물로서 산화철(Fe 전구체)을 주성분으로 하여 다양한 금속화합물과의 결합으로 형성된다. 수열합성 조건에 따른 입도제어 및 균일도를 조정하여 페라이트 입도에 따른 전자파 흡수 대역의 변화를 조정 할 수 있다.

전자부품들이 고집적되어 있는 스마트폰, 태블릿PC, 노트북 등과 같은 전자기기들은 부품들 간의 전자파 간섭을 억제할 수 있는 전자파 흡수-차폐용 연성 필름을 요구하고 있어 향후 소재의 수요와 시장이 급성장 할 것으로 예측하고 있다.

2. 나노면상발열 제품

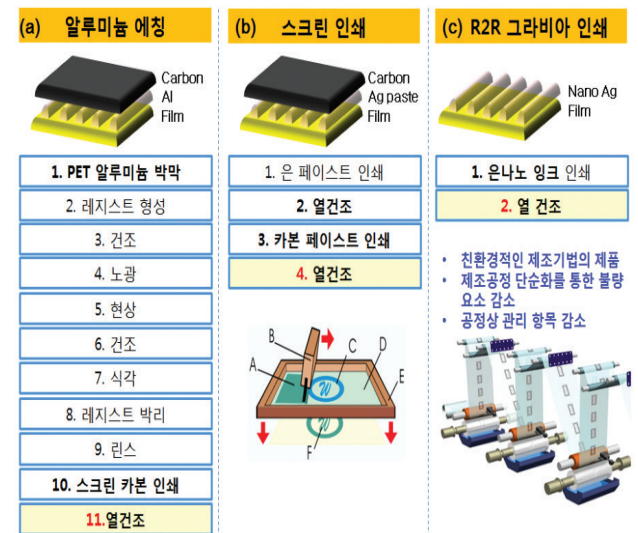
가. 실버나노페이스트 면상발열제품

최근 전기발열을 요하는 시장이 급성장함에 따라 주거/상업/농업/레저/헬스케어/차량용 등에서 기능과 공간적인 측면에서 면상발열체 요구가 증가하고 있다. 기존 전기를 전원으로 하여 열선을 대체할 수 있는 필름 타입의 면상발열체 기술이 활발히 진행 중이며, 곡면에 적용이 유리하고 전선 대비 저전력 구동이 가능, 면 전체를 발열하는 효율성, 제품 가격 경쟁력이 확보되어 시장을 대체할 수 있는 이점이 있다.

실버페이스트 면상발열제품(필름)은 기존 에칭 호일 히터, 카본 발열체, 열선발열 방법에 있어서 한계 기술을 극

[Table.2] 소재별 발열체 개발 현황

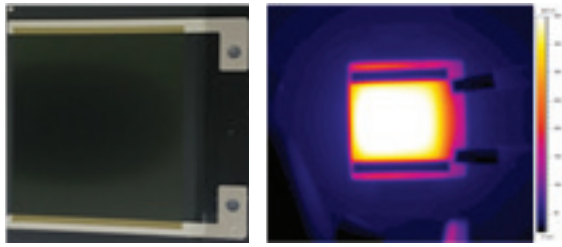
에칭 호일 발열체	카본블랙 발열체	실리콘 발열체	실버나노 면상발열체
알루미늄	카본블랙 + 은페이스트	니크롬선, 철크롬선	은 나노 잉크
			



[Fig. 9] 실버나노페이스트 면상발열체 제조공정의 단순화

복하기 위해 개발되어 상용화되고 있다.

요구되는 특성은 수중동작이 가능하고 300도 이상의 내열 특성을 지니며, 면상 히터 장점인 넓은 발열 밀도, 단위 면적당 저전력 구동, 롤투롤 그라비아 인쇄방식을 적용한 대량생산, 인쇄전자 장점인 제조공정 단순화를 통해 시장에서 요구가 충족된 균일한 필름 발열체를 제조 할 수 있다. 현 발열체는 잉크에 포함된 고분자 바인더의 내열 특성이 사용온도 150도 이상 구현하기 어렵고, 바인더 함량이 30%이상 포함되어 단위면적당 일정한 저항이 형성되기 위해 많은 도체의 함량이 필요하게 된다. 이를 극복하기 위해 고분자 함량을 최소화하고 대량생산이 가능한 롤투롤 그라비아 인쇄에 적합하고 기저에 5B 이상의 강력한 접착력을 가진 실버나노페이스트(잉크)가 개발되어 상용화가 진행되고 있다.



[Fig. 10] ITO 산화물이 강화 유리에 코팅된 투명면상발열체

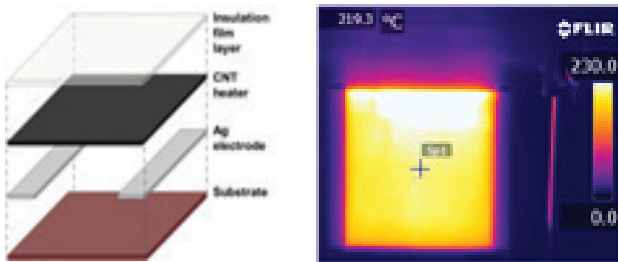
나. 산화물 나노입자 면상발열체

산화물 나노입자 기반 면상발열체 기술은 고온에서 카본계 발열체에 비해 박막의 안정성 및 고온에서 안정성을 확보하여 기존 면상발열체에 비해 높은 온도에서 활용이 가능하다.

산화물을 이용한 면상발열체는 400도 절연 모재(Substrate)위에 전원 인가를 위한 전극물질을 Screen printing 방식으로 코팅한 후 열처리하여 제작한다. 이후 습기, 화학물질로부터 발열층을 보호하기 위해 SiO₂ 등의 무기물을 보호막으로 형성한다. 이 발열체는 전면발열을 함으로써 기존 열선이나 할로겐 램프로 간접 발열시키는 기존 히터에 비해 효율이 우수한 특성을 가진다. 금속산화물 투명 전도막은 최근 태양전지, 평판 표시 장치, 감광소자 등의 투명 전극으로 많이 이용되고 있으며, 가시광선에서 광학적 투과율이 최소 85% 이상, 면저항 500Ω/sq, 비저항이 1 X 10⁻⁴Ω · cm의 값을 나타내야 하며 현재 주로 채용되고 있는 기술은 증착법이나 스퍼터링법에 의한 제조된 ITO(Indium Tin Oxide) 필름이 사용되고 있다.

다. 나노탄소소재 면상발열체

발열원이 나노탄소소재인 CNT 면상발열체는 CNT(Carbon nanotube), CNP(Carbon nanoplate)를 혼합



[Fig. 11] 탄소소재 면상발열체 구조 및 발열체 온도 측정

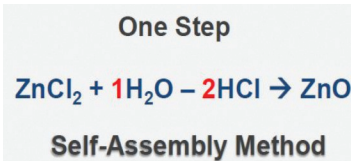
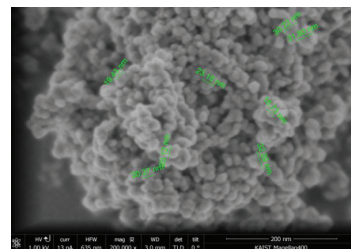
적용하여 입자의 분산 및 균일도 개선을 통해 기존 CNT 면상발열체의 단점을 보완한 기술이다. 발열 조성물의 저항 조절을 통해 온도 200도 이하 범위까지 발열 온도 조절이 가능하며, 유기 복합재 바인더 및 고내구성 코팅 조성물 적용을 통한 고온 안정성 면상발열체 기술이며, 액상 코팅 방식으로 대량 생산이 가능하다. 기술특징은 DC 12V 이하의 낮은 전압으로 200도 이상 발열이 가능한 저전압, 고전력 구동이 가능하다. 또한 폴리이미드(PI), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 에폭시 기반 등의 플라스틱 기판, 세라믹, 운모 등 다양한 기재(Substrate)에 5B(ASTM D3359, Cross-cut test) 이상의 접착력을 가진다. 스크린, R2R 그라비아, 콤마코팅 등의 제조공정을 이용하여 인쇄가 가능하여 다양한 형태의 제품 개발이 가능하다.

3. 나노항균 제품

가. 나노산화아연(ZnO)

나노산화아연은 인체에 안정적인 항균력, 중세부터 이어져 오는 자외선 차단능력, 일반 무기금속류와 동일하게 고분자 수지의 열전도성을 개선시키는 능력, 고분자 화합물과 결합되어 산소, 이산화탄소, 질소 및 습기의 투과도를 현저하게 낮추는 기체 차단성 효과 등을 이용해 산업용 및 일상 생활용품에 접목하여 상용화되고 있다.

코팅하지 않은 산화아연(ZnO)을 플라스틱에 함침시켜 산화아연 고유의 물성을 구현하는 신기술로 웨어러블 디바이스, 냉장고 등의 플라스틱(PP, PET, ABS, PC,



[Fig. 12] 수 nm급의 균일한 산화아연 제조방법

[Table.3] 각종 균주에 대응하는 산화아연 항균성 테스트

균주 / nZO(Nano Particle, 0.5%)	치사율(%)		
	30분	1시간	4시간
황색포도상구균	99.5	99.9	99.9
대장균	99.6	99.9	99.9
녹농균	94.7	99.9	99.9
효모균	99.7	999.9	99.9
곰팡이	86.1	96.5	99.9

TPEE 등)에 사출, 압출, T-Die 등 다양한 방법으로 적용 가능하다. 유기, 천연 항균제품 대비 우수한 물성으로 황변, 항균 지속성, 인체 안전성, 열적 안정성 등을 지닌다.

산화아연 함유 섬유소재 제조로 항균, 자외선 차단, 소취 기능을 갖는 기능성 섬유를 제작하는 기술도 상용화되었다. Meltblown, Staple fiber 외 폴리에스터 원사에 분산하는 방법으로 기능성 항균 소재화가 가능하다.

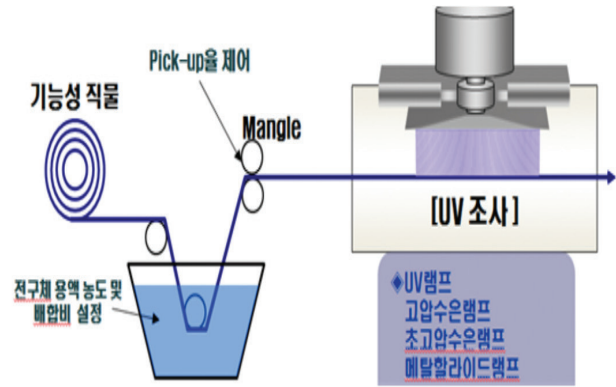
산화아연 분산액은 다양한 코팅 바인더와 상용성이 고려된 나노 분산액을 통해 항균/항곰팡이, 광열화 억제, 냄새분해 효과가 구현되는 코팅이 가능하다. 또한 폴리에스터, PP 등에 산화아연 함유 섬유소재 제조로 세계 최초로 항균 필터를 국내에서 개발하였으며 우수한 항균력이 지속되며, 황변현상과 이취문제가 없다.

나. 이산화티타늄(TiO₂) + 은(Ag)

항균성과 자외선 차단기능을 가지는 나노크기의 이산화티타늄(TiO₂) 입자의 물성제어 기술과 이 나노소재를 이용한 PET/이산화티타늄 섬유소재의 개발을 통해 MRSA 및 양성/음성균에 대한 항균성을 가지는 다양한 섬유제품이 상용화되고 있다.

이 공정은 고분자/나노 TiO₂ chip의 제조, 다형단면을 가지는 폴리에스테르 섬유소재의 제조, 다형단면을 이용한 제직, 직물에 은나노 입자를 부착하기 위한 광증착 기술을 활용하여 제품 개발에 성공하였다. 특히, 다형단면사의 특성을 활용함으로써 항균성능 뿐만 아니라 부가적으로 청량감이나 쾌적한 성능을 부여하도록 하며, 황색포도상구균, 폐렴간균, MRSA 등의 균주에 대해 항균성이 반영구적으로 지속되는 항균제품을 개발 완성하였다.

금속 미립자인 은(Ag) 나노입자를 섬유상에 분산시켜 항균기능을 부여한 것이다. TiO₂가 2wt.% 이상 고농도



[Fig. 13] TiO₂가 함유된 섬유에 은나노입자를 광증착

로 첨가된 다형단면사 섬유소재를 금, 은, 백금 전구체 용액에 침지시킨 후 자외선을 조사하여 TiO₂가 광활성이 일어나 은나노입자가 TiO₂에 광증착되는 기술로 다형단면 섬유상에 광증착에 의한 은 나노입자를 부착하여 세탁 내구성에도 항균력을 99.9% 유지 할 수 있다.

맺음말

나노기술이 가진 잠재성을 감안하면 현재 나노기술의 산업화는 시작에 불과하다고 말할 수 있다. 나노기술이 산업화되고 있는 형태를 보면 나노소재 혹은 나노구조체가 갖고 있는 가장 기본적인 특성을 기존 사업이 수용할 수 있는 수준에서 산업화되고 있는 것이다. 기존 제품에 나노기술을 적용하여 성능을 개선하는 경우는 시장 창출이 비교적 용이한 편이며, 이때 가장 큰 이슈는 성능 향상에도 불구하고 가격은 현재 수준 혹은 그 이하여야 하며 제품의 제조공정에 큰 변화를 줄 필요가 없어 기존 공정을 대부분 그대로 사용할 수 있어야 상용화가 가속화 될 것이라고 생각한다. 현재 빠르게 성장하고 있는 NT 시장은 더욱 성장이 가속되고 영향을 받는 산업 영역으로 더욱 확대될 것이다. 즉, 나노기술을 기반으로 하는 새로운 융합산업들이 가시화될 것이다. 더불어 나노기술이 사업화 되었을 때 나타나는 파급효과는 대단히 크지만 기존 제품과의 경쟁에서 살아남는데 필요한 제조비용, 새로운 시장을 여는데 필요한 고객 창출, 나노물질에 대한 대중의 부정적인 인식 등 풀어야 할 숙제도 만만치 않다. 갈수록 빈번해지고 있는 특허 분쟁 역시 사업화 성공을 위해 반드시 넘어야 할 산이다.