

나노물질과 나노제품, 그리고 상용화 문제

○ **지준호** | 삼성전자(주) 생활가전사업부 책임연구원
junho.ji@samsung.com

1. 머리말

노벨상 수상자인 리처드 파인만이 1959년 강연에서 나노의 개념을 처음으로 언급한 이래로, 물리, 화학, 생물학, 의학, 전기전자, 기계 등 거의 모든 분야에서 나노에 대한 연구가 진행되어 왔다. 그렇지만, 실제로 나노기술의 연구가 본격적으로 진행된 것은 1980년대 초 주사현미경(STM: Scanning

Tunneling Microscope)과 원자현미경(ATM: Atomic Force Microscope)이 개발되어, 나노의 세계를 관찰할 수 있게 되면서라고 할 수 있다. 이제, 나노기술은 기술개발의 시기를 지나 상용화의 문턱을 넘어서고 있다. 그림 1은 나노기술을 이용한 다양한 소비제품을 보여주고 있다.

최근 전자소자, 화장품, 자동차, 의약품, 가전제품에 많은 나노물질이 사용되고 있고, 다양한 소비재

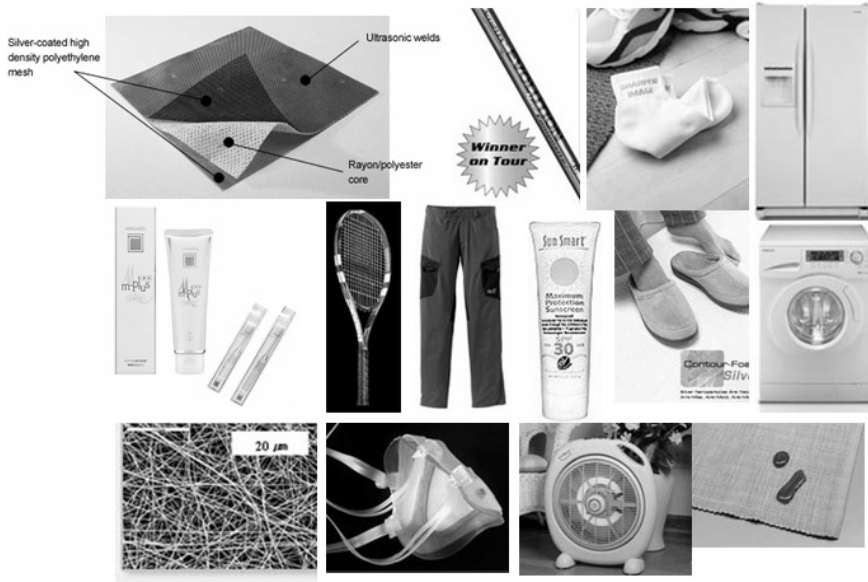


그림 1. 나노기술을 적용한 다양한 나노제품

들이 나노기술을 이용하여 성능을 획기적으로 향상 시킨 나노제품으로 홍보되고 있다. 나노제품은 시장에서 눈에 띄게 증가하고 있지만, 아직은 단순한 나노응용 제품이 대부분이다. 그렇지만, 학교나 기업의 연구실에서는 장기적인 로드맵을 바탕으로 더욱 더 혁신적이고 복잡한 제품, 공정, 응용기술을 개발하려는 노력이 활발하게 진행되고 있다.

스미스소니언(Smithsonian Institution)의 연구정책관련 산하기관인 우드로윌슨 국제학술센터(Woodrow Wilson International Center for Scholars)에서 지원하는 “떠오르는 나노기술 프로젝트 (Project on Emerging Nanotechnologies)”의 보고에서 2007년 5월까지 500 여 종의 소비재 나노제품이 등록되었고 지속적으로 증가하고 있다고 밝히고 있다. 나노룩스 리서치(Nano Lux Research)사의 최근 조사에 따르면 2014년까지 나노기술 관련 제품의 판매량이 2조 6천억 달러로 증가하고, 생산되는 모든 생산품의 약 15 %가 나노 기술을 이용한 제품이 될 것으로 예측한다. 이처럼 나노기술을 이용한 제품이 얼마나 사용되고 있는지 혹은 향후 얼마나 성장하게 될지 다양한 기관에서 예측 보고서가 만들어지고 있고, 나노기술을 접목한 제품은 기업의 광고의 수단으로 사용되기 때문에 소비자들에게 점점 더 익숙해지고 있다. 그렇지만, 아직까지 시장에서 나노로 불리는 제품이 몇 가지나 되는지 또는 어떤 제품을 나노기술을 적용한 제품이라고 규정할 지 명확하지 않다.

매력적인 기능이나 성능을 가진 나노제품이라도 사람의 건강, 보건이나 환경과 생태 등에 잠재된 영향을 미칠 수 있다면, 시장에서 제품이 확산되는데 걸림돌로 작용할 수 있다. 나노제품을 제조하는 공정이나 사용 중에 예기치 못한 노출 뿐 아니라 사용 수명을 다한 후 환경에 버려진 후의 문제에 대해서도 걱정의 목소리가 나오고 있다. 나노물질이 인간이나 동물 등 생명을 지닌 유기체에 미칠 수 있는 잠재적인 영향과 나노제품이 소각이나 매립 등에 의해 자연계의 공기, 물, 토양 등의 환경 시스템에

표 1. 나노제품의 분류

| 대분류 | 소분류 |
|-----------|---|
| 생활가전 | 세탁, 의류 주방가전 냉난방,공기조화 |
| 음식,음료 | 조리 보관,보존 음식 보충재(supplements) |
| 건강, 보건 | 개인건강용품 스포츠제품 의류 화장품 필터 선크림 |
| 아동제품 | 기본제품 장난감, 게임류 |
| 자동차 | 타이어 정비, 악세서리 외장 코팅 |
| 전자제품, 컴퓨터 | 카메라, 필름 비디오 오디오 |
| 이동통신, 통신류 | 컴퓨터 텔레비전 출력장치 |
| 가정용품 | 페인트 가구 청소용품 건축자재 사치품 |

미치는 영향은 아직 알려진 바가 거의 없다. 나노제품이 상용화의 문턱을 넘어서려면 나노기술이 건강, 안전, 환경에 미치는 영향을 밝힐 수 있는 연구가 중요하다.

본 논고에서는 나노기술을 이용한 다양한 제품 중에서 특히 생활 속에서 찾아볼 수 있는 나노기술이나 나노제품에 대해서 정리하였다. 먼저 소비재로 시장에 출현한 나노제품의 동향을 통계적 관점에서 살펴보고, 나노기술을 적용하여 시장에서

관심을 끌고 있는 나노제품을 분석하였다. 나노기술의 상용화에 걸림돌로 작용되고 있는 나노기술의 인체영향, 환경영향을 고찰하였고, 마지막으로 국내 은나노 연구를 예로 들어 나노제품의 상용화에 필요한 나노물질에 대한 안정성 연구의 방향을 제안하였다.

2. 나노기술과 제품화 동향

2.1 나노기술의 제품 동향

나노기술이나 나노물질, 나노제품은 일상생활에 어떤 모습으로 나타나고, 얼마나 보급되어 있을까? 우드로윌슨 국제학술센터에서 지원하는 “떠오르는 나노기술 프로젝트”는 나노기술을 이용한 소비재의 목록을 2006년 3월부터 조사하고 있다. 표1은 나노기술을 적용한 소비제품을 기능별로 분류한 분류표이다. 나노제품의 분류는 생활가전, 음식과 음료, 건강과 보건, 아동제품, 자동차, 전자제품과 컴퓨터, 이동통신과 통신관련, 가정용품으로 구분할 수 있다. 이와 같이 나노기술은 대부분의 소비재들에 접목되었고, 나노제품으로 시장에 존재한다.

그림 2에서 보이는 것처럼 2006년 3월부터 2007년 5월까지 14개월 동안 사이트에 등록된 나노기술을 사용한 소비자 제품의 수는 212개에서 475개로 선형적으로 증가하였다. 이를 분야별로 살펴보면 의류와 화장품류가 각각 77종과 75종 이었고, 침구류, 보석, 스포츠 용품, 영양 및 개인 용품 등이 뒤를 따르고 있다. 나노 기술을 도입한 제품을 생산하는 국가는 20개국이었으며, 이 중 미국, 일본, 유럽, 중국, 한국 등이 활발하게 제품개발을 진행하고 있다. 2007년 5월 미국은 나노기술을 사용한 제품 247종을 생산하여 전체의 52%를 차지했고, 동아시아는 2006년에 비해 58% 상승한 123개 품목을 생산했다.

제품에 사용된 나노물질의 종류에 따라 구분한 나노제품 등록 건수를 살펴보면 나노기술의 제품화의 동향을 파악할 수 있다. 그림 3과 같이 2006년 3월에는 카본을 성분으로 하는 플러렌이나 탄소나노튜브 류가 가장 많은 제품군을 이루었지만, 은을 재료로 하는 은나노 제품이 급속하게 증가하는 경향을 보였다. 이것은 제품에 은나노를 적용하는 것이 상대적으로 간단하고 항균, 살균 효과가 일반적으로 잘 알려져 있기 때문이다. 2007년 5월에는 전체 품목의 20%에 해당하는 95 종이 은을 소재로 하는

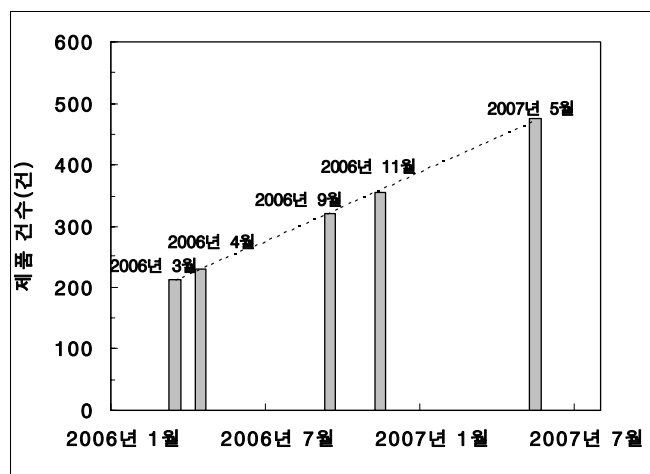


그림 2. 나노제품의 총등록 건수

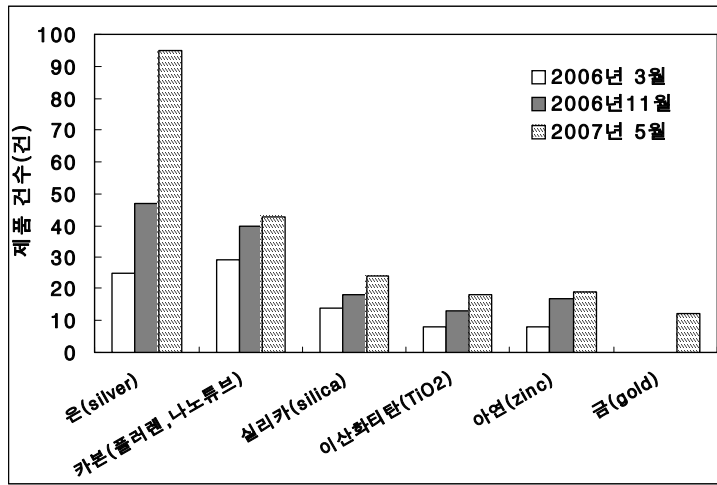


그림 3. 나노물질별 제품건수 등록 동향

나노 제품이었다.

2.2 나노기술의 제품 분석

현재 나노기술을 이용한 제품은 보통 나노 크기에서 발견되는 독특하고 새로운 특징을 이용한다. 2005년 유럽나노포럼의 “소비제품의 나노기술” 보고서에서는 나노기술의 특징을 세 가지로 구분하여 언급했다. 첫 번째로 표면 혹은 계면 효과를 이용한 기술이다. 즉, 동일한 부피의 재료를 나노 크기로 쪼개면 체적대비 표면적이 극대화되므로, 표면반응을 극대화할 수 있다. 두 번째는 양자역학효과를 이용한 기술로 나노소재의 광학적, 전기적, 자기적 특성을 이용한다. 하드디스크 등의 정보저장기에 적용된 기술을 예로 들 수 있다. 마지막으로 세 번째는 복잡한 구조를 나노 스케일에서 구현할 수 있는 특성이다. 이와 같이 복잡계의 구성이 가능하다는 점은 전자소자들의 고집적화를 구현함으로써, 초소형이면서도 뛰어난 성능의 제품을 가능할 수 있게 한다. 현재 많은 나노물질은 표면반응을 극대화시킬 수 있다는 점을 제품에 적용하였다. 항균성

코팅의 예와 같이 기존 소재에 나노입자를 첨가하여 새로운 기능을 갖는 재료를 만들어 내는 경우가 이에 해당한다. 또한 지문방지 코팅은 손가락의 지문이 접촉하더라도 금속재질의 표면에 광학적 굴절율을 변화시키지 않도록 피부의 지방성분과 비슷한 굴절율을 갖도록 손가락이 접촉하는 금속에 표면처리를 하였다. 마찬가지로, 발수성 코팅기술은 연꽃 잎 표면의 결정구조를 모사하여 나노입자를 표면에 코팅하였다. 이 외에 나노입자를 이용한 초친수성 코팅, 부식방지 코팅은 모두 이와 같이 나노물질의 표면반응 특성을 이용한 예이다. 또한 이산화규소(silicon dioxide)와 같은 나노입자는 스크래치와 같은 흠집을 방지하기 위한 코팅제로 사용 가능하고, 반사를 줄이기 위해서 제품 표면에 나노크기의 돌기를 만들거나 이산화규소와 이산화티탄을 교차배열하는 방법을 사용하기도 한다. 플래시메모리의 전자를 저장하기 위하여 두 개의 도체 사이에 터널링 효과를 이용하거나, 주위의 자기장에 따라 전기저항이 변화하는 특성을 이용한 GMR과 TMR 효과를 하드디스크 헤드에 적용한 것과 잘 분산된 나노입자가 독특한 색깔을 나타내는 것을 이용하여

형광나노입자를 제조한 것은 양자역학 효과를 적용한 예이다.

나노기술은 나노라는 원자 수준의 다양한 효과를 이용하여 상용화에 다가서고 있고, 좀 더 복잡하고 어려운 나노기술까지도 제품에 적용하려 시도하고 있다. 그렇지만, 현재까지 실생활 속에서 발견할 수 있는 나노기술은 단순한 단일 나노입자나 나노물질의 특성을 제품에 적용한 것이 대부분이다. 특히, 나노기술에 대한 소비자의 인식과 이해도가 높지 않은 현 상황에서는 기술의 난이도가 높지 않고, 기능을 쉽게 설명할 수 있는 나노물질이 제품에 적용되고 있다. 2003년부터 포브스/울페 나노테크놀로지 리포트(Forbes/ Wolfe Nanotechnology Report)는 시장에 출시된 소비제품 중 자체 심사를 거쳐 10대 나노제품을 선정하였다. 제품에 대한 나노기술 적용의 여부와 제조기술, 공정의 개선효과 등에 초점을 맞추어 심사하였다고 밝히고 있다. 표2는 2003년부터 2005년까지 선정된 10대 기술을 나타낸다. 2003년에는 스포츠용품 5건과 화장품이 2건 포함되었다. 2004년에는 화상 환자용 나노붕대나 군수용 살균제 등 의료용 제품이나 관절통 및 근육통 크림이나 치과용 접착제, 피부관리 용품 등 의료용품 건강 보건의 관련된 제품이 선정되었다. 2005년의 10대 제품

은 반도체 메모리에서부터 탄소나노튜브(CNT) 야구방망이, 공기청정기, 양말, 의류, 페인트 등 다양한 분야에서 골고루 나타났다. 10대 제품으로 선정된 제품군 중, 스포츠 용품은 경량화와 기계적 강도의 증가, 마찰 저항을 감소시키거나 수명을 증가시키는 데 도움을 주는 나노소재를 적용하였다는 특징을 갖는다. 탄소나노튜브를 적용한 테니스 라켓이나 야구 방망이, 배트민턴 라켓은 기계적 강도가 증가함에도 불구하고 무게가 가벼운 제품이다. 테니스 공은 공기의 투과율을 낮추어 수명을 증가시켰고, 골프공은 표면을 소수성으로 처리하여 비거리를 향상시키는 특성을 보인다고 제품을 홍보한다. 전자제품의 경우, 아이팟 나노와 같은 MP3 제품은 제품 자체의 특성보다는 제품의 핵심 부품인 플래시 메모리에 나노소자 기술이 적용된 예이다. 하드디스크에 적용된 고밀도 정보저장 기술은 실제로는 나노기술이지만, 소비제품의 측면에서는 나노제품이라는 인식이 크지 않은 제품이기도 하다.

공기청정관련 제품으로 2005년 10대 제품의 하나로 나노트윈 테크놀로지 사의 나노브리즈 공기청정기가 유일하게 선정되었다. 40nm 직경의 이산화티탄 광촉매과 자외선(ultraviolet) 램프를 사용한 제품이다. 기존에 잘 알려진 광촉매 기술을 사용하

표 2. 포브스/울페(Forbes/Wolfe) 선정 나노기술 적용 10대 제품

| 2003 | 2004 | 2005 |
|------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| 고성능 스키 왁스 | 발보온재 | 4GB NAND 플래시 메모리 |
| 통기성 방수 스키 자켓 | 세탁 가능한 침대 매트리스 | 나노기술을 이용한 체지방 파괴 (30nm 캡슐 액상 운반체) |
| 주름 방지, 얼룩 방지 섬유사 | 골프클럽, 골프 공 | 나노결정 혼입 초콜릿 향 껌 |
| 깊게 스며드는 크림 | 맞춤형 피부 관리 용품 | 풀러렌 화장품 크림 |
| OLED 디지털 카메라 | 화상 환자용 은 나노 붕대 (Dressing) | 스텔스 탄소나노튜브 야구 방망이 |
| 나노기술 DVD와 도서 | 군수용 살균제 | 나노 스타일 캐주얼 의류 |
| 기능성 선글라스 | 초소수성 스프레이 | 냄새 방지 나노 양말 |
| 나노결정 자외선 차단제 | 자동차 유리의 투명성 보호 처리제 | 나노가드 페인트 (NanoGuard Paint) |
| 테니스 공 | 관절통 및 근육통 크림 | 자기 세정 활성유리(광촉매 막 코팅) |
| 테니스 라켓 | 치과용 접착제 | 공기청정기 (UV광촉매 적용) |

였지만, 핵심부품은 형광튜브(fluorescent light tube)에 있는데, 형광등의 내부에는 A형 자외선과 약간의 청색광(blue light)을 발생시킬 수 있는 인광물질이 코팅되어있고 형광등의 외부에는 이산화티탄 나노입자가 유리섬유 망에 코팅되어 있다. 전원이 들어오면, 나노튜브(NanoTube)로 이름 지어진 일종의 형광등에서 UV선이 방출되어 이산화티탄 주위에 라디칼을 발생시키게 되고, 튜브표면을 지나가는 공기 중의 세균 및 유해가스 등 오염물질을 파괴시킬 수 있다고 주장한다.

많은 공기청정기 제품은 미세먼지를 효과적으로 제거할 수 있는 HEPA 필터에 의존하여 성능이 구현되고 있다. 그렇지만, 최근에는 나노기술을 접목한 기능들을 공기청정기에 적용하여 홍보하는 제품이 수가 증가하고 있다. 공기청정기는 먼지를 제거하는 과정에서 곰팡이나 박테리아 등이 제품의 내부에 부착되거나 필터가 미생물에 오염될 가능성이 높다. 이와 같은 미생물이 번식하게 되면, 공기청정기 자체에서 악취나 알레르겐 물질이 생성될 수 있기 때문에 이에 대한 대응을 나노기술로 해결하려는 시도가 진행되고 있다. 곰팡이나 박테리아 등의 미생물 등의 번식을 방지하기 위해 제품의 본체 플라스틱에 은나노 입자를 섞어서 사출하거나 먼지필터의 섬유 표면에 은나노 입자를 코팅하여 미생물의 2차 번식에 의한 오염을 막을 수 있도록 처리하고 있다. 나노섬유필터는 필터섬유의 직경을 수 백 혹은 수 십 나노미터까지 감소시킬 수 있기 때문에 상대적으로 공기가 통과할 수 있는 기공률을 증가시킬 수 있다. 입자제거효율은 유지하면서 압력강하를 획기적으로 감소시킬 수 있는 장점으로 제품에 적용될 경우 상대적으로 낮은 성능의 팬이나 펌프를 사용할 수 있어 제품의 재료비나 소음을 낮출 수 있다는 이점을 갖는다. 이산화티탄을 광촉매를 사용하여 유해가스 제거 기능을 사용한 공기청정기는 빛으로 사용하는 자외선을 가시광선의 청색광으로 대체하여 사용할 수 있도록 이산화티탄에 금속

을 섞어 제조한 나노입자를 사용하기도 한다. 또한 적극적인 공기청정 개념으로 나노입자 발생 방식인 정전분무를 이용하여 물분자를 나노액적으로 분무하는 기술을 제품에 적용하였다. 이 기술은 이온발생 유닛으로 구현되어 탈취나 공기 중 미생물을 제거하는 기능으로 공기청정기에 적용되었다. 최근에는 은나노 입자발생 장치를 초소형으로 구성하여 미생물로 2차오염이 될 수 있는 공간에 주기적으로 분사하는 항균장치의 개념이 제안되기도 하였다.

3. 나노기술의 상용화의 문제점

3.1 나노제품의 인체, 보건, 환경 영향

나노물질을 인간이 흡입하였을 경우 어떤 영향이 나타날까? 나노물질을 사용한 화장품을 피부에 바르는 경우 피부를 통과하여 인체 내로 흡수되고, 이처럼 인체로 흡수된 나노물질이 예기치 못한 영향을 줄 수 있지 않을까? 나노물질을 성분으로 사용된 약이나 음료, 혹은 건강 보조제를 복용하는 경우, 인체에 더 쉽게 흡수되거나 나노이기 때문에 인체 조직에 영향을 미칠수 있지는 않을까? 나노물질이 하수도를 통하여 생태계로 배출되었을 경우 환경에 영향을 줄 수 있지 않을까? 나노물질을 제품으로 만드는 공정에서 생성되는 나노입자가 대기중으로 방출되었을 때, 새로운 대기오염을 일으킬까? 나노제품이 수명을 다하여 매립이나 소각해야 할 때, 제품이 포함된 나노물질이 토양이나 대기로 얼마나 노출되고 어떤 영향을 미칠까? 나노물질로 만들어진 나노제품이 시장에 쏟아져 나올 경우, 예측되는 인체, 생태 노출에 대한 의문점은 한두 가지가 아니다.

많은 나노물질을 적용한 제품이 시장이 나타나고, 우리 생활에 밀접하게 영향을 미칠 것이라는 사실은 부정할 수 없다. 그렇지만, 이러한 나노물질에 대한 다양한 혜택에도 불구하고 현 단계에서는 제

품에 사용된 나노입자나 나노물질이 인체에 노출되었을 때의 문제점이 많은 연구자에 의해 지적되고 있다. 특히, 나노입자는 크기가 작아질수록 생물학적 활성을 지닐 가능성이 높고, 인체의 침투성과 이동성이 높아질 것으로 예상되고 있다. 뇌로 이동하기 위해 넘어가야 하는 혈관-대뇌 장벽(blood brain barrier)를 통과할 수 있다는 점은 대뇌 치료를 가능하게 한다는 장밋빛 희망을 제시하는 반면, 독성이 있는 나노입자의 경우 뇌로 침투할 수 있다는 가능성까지도 보여준다. 자외선 차단제에 쓰이는 나노 크기의 산화아연 입자는 기존의 마이크로미터 크기의 성분들과 같은 자외선 차단 기능이 있지만 더 투명하므로 쉽게 사용이 가능하지만, 나노 입자에 피부노출이 인체에 어떤 영향을 가져오는지 알려져 있는 것이 없다. 즉, 나노 입자가 소비자의 피부에 침투할지, 그로 인해 인체에 해가 될지 아무도 모른다는 점이다. 나노 의료에 응용되는 나노입자는 암과 같은 질병을 치료하는데 엄청난 혜택을 가져다 줄 수 있지만, 인체에 투입되는 나노입자의 위험성에 대해서는 실제 시장에 나오기 전에 엄격한 평가를 거쳐야 한다.

나노물질의 노출이 가장 먼저 문제가 되는 곳은 대학이나 연구소 등의 실험실이나 나노물질이 제품으로 만들어지는 공정이 이루어지는 작업장이다. 이들 공간은 나노물질이 고농도로 노출될 가능성이 있다. 작업장의 경우 나노제품의 상용화의 경우 노동자들의 안전성과 연관되어지므로, 작업장에서의 나노입자 노출과 영향 및 노출최소화를 위한 시스템이 구축되지 못하면, 상용화 자체의 걸림돌이 될 수 있다. 노출의 정도를 모니터링하고, 노출을 줄일 수 있는 작업 환경을 만들어주는 노력이 지속적으로 진행되어야 관련 연구원이나 노동자들에 대한 나노물질의 노출을 최소화할 수 있다. 특히, 작업장의 노출 데이터는 나노물질의 독성의 기준을 제시하는데 기초 데이터로 사용될 수 있으므로 나노제품의 상용화를 위해 기본적인 자료가 된다.

나노기술이 제품화되어 소비재로 사용된 후, 환경에 배출되었을 때, 제품에 사용된 나노물질이 환경에 노출된 후 어떻게 변할까? 배출된 나노제품이 혹은 제품에서 기인한 나노물질이 생태계나 환경의 유기체나 생명체에 영향을 미치지 않을까? 나노제품이 수명을 다하고 폐기되어야 할 때 환경 혹은 생태 시스템에 미치는 영향은 어떠한가? 나노제품에 사용된 나노물질의 환경영향은 소비자에게 직접적으로 영향을 미칠 수 있으므로, 이에 대한 객관적이고 균형적인 시각이 나노제품의 지속 성장에 반드시 필요하다. 먼저 나노 물질이 환경에 노출되었을 때 어디로 이동할지, 어떤 영향을 미칠지, 시간에 따라 나노물질이 어떻게 변할 것인지와 같은 의문이 아직 명확하지 않다. 나노 물질은 크기가 작고 가볍기 때문에 공기 중에 오래 남아 있을 수 있다. 이것은 나노물질이 장거리를 날아갈 수 있다는 것을 의미하고, 다른 나라로 갈 수 있고 또한 다른 기체와도 반응할 수 있다는 것을 의미한다. 물에 녹는 나노물질은 수중의 생물을 변형시키거나 분해할 가능성이 있고, 이것이 나노물질이기 때문에 더 큰 반응성을 가져올지 모른다. 매립이나 소각 과정으로 나노물질이 다시 토양이나 대기 생태계로 배출되어 인간이나 환경에 미치는 의혹은 앞으로 해결해야 할 부분이다.

실제로 이와 같은 의혹의 실제 영향이 극히 미미한 수준일 수도 있다. 그러나 현재까지 나노물질의 인체 혹은 환경 노출 데이터와 노출 경로와 노출 시나리오와 메커니즘, 인체/환경 영향에 대한 연구 결과가 부족한 실정이다. 나노기술의 무궁무진한 기술적인 잠재력은 현재까지 500여개의 소비재를 시중에 선보였지만, 나노제품의 상용화는 나노물질의 건강, 보건, 안전에 관한 의구심이라는 암초에 걸려 예상만큼 빠르게 성장하지 못하고 표류하고 있는 상태이다. 향후 나노제품의 시장 확대에 뜨거운 감자로 등장할 수밖에 없다.

3.2. 나노기술의 안전성 연구 및 표준화 동향

나노기술의 연구와 개발이 나노제품의 상용화로 진행되는 과정에서 표준화와 법규, 규제는 상용화를 촉진시키는 촉매제가 될 수 있고, 반면에 나노기술의 발목을 잡을 수도 있다. 특히, 나노물질의 안전성에 관련된 표준화 작업은 나노물질 규제의 기준으로 작용될 가능성이 높기 때문에 중요하다. 최근 나노물질 중 상용화의 문턱에 다다른 광촉매나 화장품의 재료로 사용되는 이산화티탄(TiO₂)이나 풀러렌과 탄소나노튜브(CNT)는 세포독성연구에서 독성의 가능성이 나타나고 있기 때문에, 상용화의 시점에서 측정이나 안정성에 대한 기준을 마련하려는 많은 노력이 진행되고 있다. 덩어리 물질은 안전한 물질로 인식되고 있는 은나노 제품에 대해서도, 나노 크기일 경우 인체영향에 대한 가능성에 의문이 제기되고 있다.

나노제품의 상용화를 진척시킬 수 있는 안전성과 표준화 관련 활동으로 국내의 은나노 입자의 연구를 예를 들 수 있다. 나노입자의 흡입독성평가를 위해 가장 중요한 기술은 제어 가능한 나노입자의 발생과 안정된 노출시스템이지만, 상대적으로 제어가 쉬운 구형의 입자인 은나노 입자에 대해서도 장기간 안정적으로 나노입자를 발생시킬 수 있는 방법이 없었다. 최근 흡입독성챔버에 36시간 이상 안정적으로 균일한 분포의 은나노입자를 발생시킬 수 있는 장치를 국내 연구로 개발하여, OECD 가이드라인에 준하여 28일과 90일 동안 은나노 입자의 반복노출 흡입독성시험을 수행하였다. 실험 결과를 분석하여 은나노 입자의 노출기준인 TLVs (Threshold Limit Values) 설정에 필요한 기초 자료를 마련하게 되면, 은나노 제품의 시장 확대에 걸림돌로 작용할 수 있는 흡입독성 문제에 대한 가이드라인을 제시할 수 있다. 또한 이 연구를 바탕으로 국제표준협회(ISO)의 나노기술커미티인 TC229의 세 번째 작업반(WG3)에 표준화 문건 2건을 제안,

채택되어 표준화 작업을 진행되고 있다. “흡입독성 시험에 사용가능한 은나노 입자 발생장치”와 “흡입독성 챔버에서의 은나노 입자 모니터링”은 우리나라가 제안한 국제 표준이다. 이와 같은 표준안은 나노안전성에 관련된 시험결과의 신뢰성을 높여줄 수 있지만, 다른 측면으로는 나노제품을 규제하는 도구로 표준안이 이용될 수 있다.

4. 맺음말

최근 많은 나노물질이 전자소자, 화장품, 자동차, 의약품, 가전제품에 사용되고 있고, 나노기술을 적용한 다양한 제품이 시장에 쏟아져 나오고 있다. 나노기술을 접목한 제품은 기업의 광고의 수단으로 마케팅의 최전방에서 사용되고 있기 때문에 시장에서 소비자들에게 점점 더 익숙해지고 있지만, 아직까지 시장에서 나노로 불리는 제품이 몇 가지나 되는지 또는 어떤 제품을 나노기술을 적용한 제품이라고 규정할 지는 아직 명확하지 않다. 이와 같이 나노기술은 상용화에 다가서고 있고, 좀 더 복잡하고 어려운 나노기술까지도 제품에 적용하려 시도하고 있지만, 아직까지 실생활 속에서 발견할 수 있는 나노기술은 단순한 나노입자나 나노물질을 제품에 적용한 것이 대부분이다.

특히, 나노기술이 인체, 보건, 환경 등에 영향을 미칠 수 있다는 의혹은 제품이 시장에서 확산되는데 주요한 걸림돌이 되고 있다. 실공간이나 제품이 사용되는 실제상황에서는 물리적, 화학적, 생물학적인 상호작용이 복잡하게 일어나기 때문에 나노제품의 건강, 보건, 환경 영향에 대한 연구는 진척이 느리다. 나노입자가 환경에 노출된 후 시간에 따라 어떻게 변화하는가의 문제와 나노기술이 인간이나 동물 등의 생명을 지닌 유기체에 어떠한 영향은 미칠지, 공기, 물, 토양 등의 환경 시스템에 미치는 영향이 문제가 될 수 있다고 예측되고 있다. 나노제품이 상용화의 문턱을 넘어서려면 이와 같은 나노기

술이 건강, 안전, 환경에 미치는 영향에 관한 기초 연구가 수행되어야 한다. 이런 자료를 근거로 신뢰성 있는 표준화 과정이 진행된다면, 기업은 소비자들이 쉽게 믿고 안전하게 사용할 수 있는 나노제품을 제공할 수 있을 것이다.

최근 대한민국은 나노안전성 분야 중 은나노 입자에 대한 흡입독성연구와 은나노 안전성에 관련된 국제 표준을 주도하고 있다. 그렇지만, 이와 같은 성과는 국가 주도의 치밀한 연구 로드맵에 의한 결과라기보다는 제품화를 진행하고자 하는 회사와 몇몇 연구기관의 다학제적인 연구의 결과이기 때문에 단기적인 연구 성과로 끝날 수 있다. 나노기술의 상용화를 위해서는 나노제품의 영향과 의혹을 풀어줄 수 있는 장기적인 연구기획이 필요하고, 높은 성능의 나노제품을 개발하는데 그치는 것이 아니라 나노제품의 인체영향, 환경영향에 대한 의혹을 풀 수 있도록 다양한 분야의 연구자들의 협력이 필요하다.

- 참고문헌 -

1. Project on Emerging Nanotechnologies of the Woodlow Willson International Center for Scholars, <http://www.nanotechproject.org/>
2. 나노넷, <http://www.nanonet.info/>
3. Maynard, A.D., Nanotechnology: A Research Strategy for Addressing Risk, Project on Emerging Nanotechnologies of the Woodlow Willson International Center for Scholars, July (2006).
4. Breggin, L.K. and Pendergrass, J., Where Does the Nano Go End-of-Life Regulation of Nanotechnologies, Project on Emerging Nanotechnologies of the Woodlow Willson International Center for Scholars, July (2007).
5. Jun Ho Ji, Jae Hee Jung, Il Je Yu and Sang Soo Kim, Long-Term Stability Characteristics of a Nanoparticle Generator for Inhalation Toxicity Study, *Inhalation Toxicology*, 19 (9), pp. 745-751. (2007).
6. Jun Ho Ji, Jae Hee Jung, Sang Soo Kim, Jin Uk Yoon, Jung Duck Park, Byung Sun Choi, Yong Hyun Chung, il Hoon Kwon, Jayoung Jeong, Beom Seok Han, Jae Hyeg Shin, Jae Hyuck Sung, Kyung Seuk Song, Il Je Yu, Twenty-eight-day inhalation toxicity study of silver nanoparticles in Sprague Dawley Rats, *Inhalation Toxicology*, 19 (9), pp. 857-871. (2007).
7. Jun Ho Ji, Gwi-Nam Bae, Sun-Wha Yoon, Jae Hee Jung, Hyung-Su Noh and Sang-Soo Kim, Evaluation of Silver Nanoparticle Generator Using a Small Ceramic Heater for Inactivation of *S. epidermidis* Bioaerosols, *Aerosol Science and Technology*, 41(8), pp. 786-793. (2007).