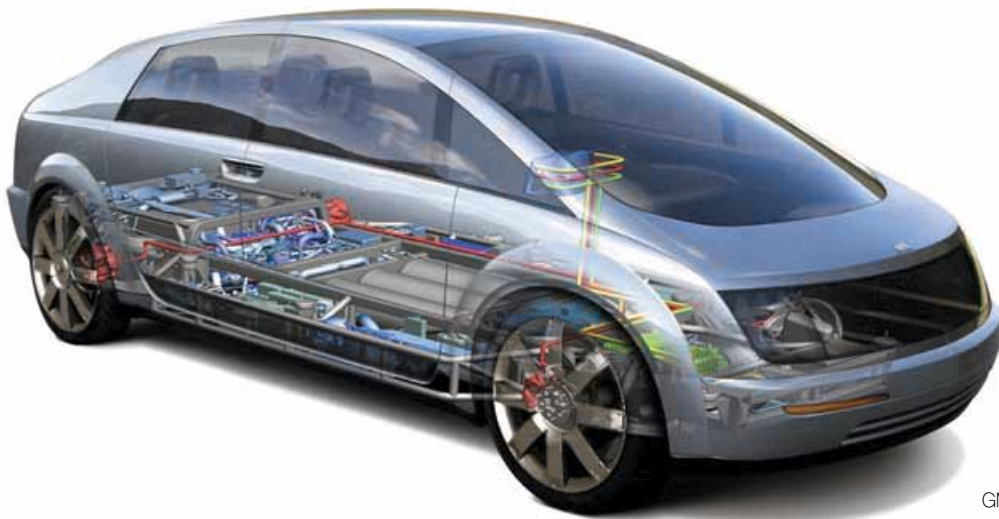


6

미래의 자동차와 나노기술

# ‘무공해 엔진’ 자동차 나온다

글\_ 남기석 전북대 환경화학공학부 교수 nahmks@chonbuk.ac.kr



GM 연료전지 자동차

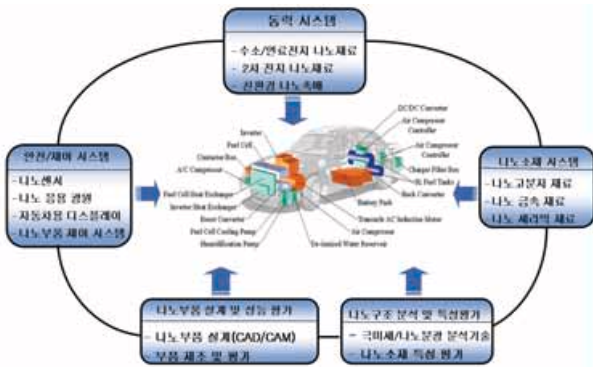
자동차는 현대인들에게 없어서는 안 될 필수품으로 자리를 잡고 있다. 그러나 자동차 증가로 지구 환경오염 및 에너지 공급의 문제가 심각하게 대두되고 있는 실정이며, 그 정도도 매년 증가할 것으로 예측된다. 현재 선진 각국에서는 환경규제를 강화하고 있는데 1970년대에는 대기·토양의 오염 등 환경문제가 제기되었으나, 1990년대에는 지구온난화 문제가 제기되면서 마침내 1997년에는 지구 온난화 방지를 위해 교토의정서가 채택되었고, 각국은 환경 분담금의 압력을 받기 시작하였다.

차세대 자동차의 개발 초점은 내연기관의 개선뿐만 아니라 단기적으로 확보 가능한 환경 대책기술과 중·단기적인 청정 대체연료 차량 및 하이브리드 전기자동차(HEV), 장기적인 관점에서 환경 및 에너지문제를 동시에 극복할 수 있는 수소·연료전지 자동차(FCEV) 등으로 나누어 개발이 진행되고 있다. 또한 이런 동력원의 변화는 차량의 경량화를 요구하게 되어,

차량의 경량화와 안전성을 위한 재료 개발도 함께 진행되고 있다. 현재는 기술의 한계로 아직까지는 완전 무공해 자동차의 대량생산이 실현되지 않고 있으나, 종래의 자동차 기술에 나노기술을 융합시킴으로써 종래 기술의 혁신을 도모하여 멀지 않은 장래에 경제적인 차세대 자동차 생산을 가능하게 할 것으로 전문가들은 예측하고 있다.

### 수소·연료전지 자동차 출현 눈앞에

나노기술은 동력 시스템, 차체 시스템, 안전·제어 시스템 등 자동차의 모든 부품에 적용해 현시점에서 해결하지 못하고 있는 기술을 극복하여 21C의 신개념의 자동차를 생산하는 기틀을 마련할 수 있을 것이다. 차세대 자동차의 동력원으로 사용될 것으로 예측되는 수소·연료전지는 수소와 산소를 연료로 하여 전기 에너지를 생산하고 부산물로 물이 배출되어 자체적으로 유해한 가스가 거의 배출되지 않는 동력시스템이다.

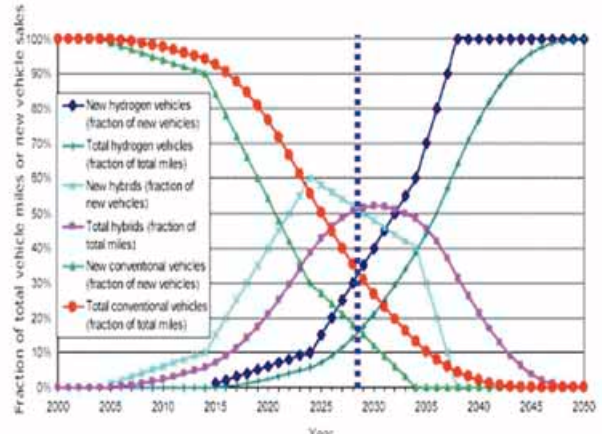


자동차·나노융합기술 요소기술 분야

전문가들의 예측에 따르면 앞으로는 현재 사용되는 내연기관을 동력원으로 사용하는 자동차는 점점 사라지고 수소를 원료로 사용하는 수소·연료전지 자동차의 생산량이 증가하며, 2030년경부터 그 시장이 급격히 증가하여 2050년경에는 모든 자동차가 동력원을 전기로 사용하는 시대가 오리라 예측하고 있다.

이러한 이유에서 세계 각국은 경제성 있는 수소·연료전지의 개발에 야심차게 뛰어 들고 있다. 미국의 경우, 2003년 부시 미국대통령이 에너지 과학정책 기조연설에서 수소·연료전지 개발의 중요성을 역설하고 이 기술 개발에 12억 달러를 투자하겠다고 선언하면서 활발한 연구개발이 이루어지고 있다. 일본의 경우, 2002년 고이즈미 총리가 수소·연료전지를 조만간 실용화하겠다고 선언하였다. 하지만 수소·연료전지 상용화를 위해서는 아직 여러 가지 핵심기술이 해결되어야 한다. 연료전지의 효율을 높일 수 있는 나노전극, 나노촉매, 나노MEA 재료 개발과 함께, 연료로 사용되는 수소를 고밀도로 저장할 수 있는 재료개발이 실용화면에서 매우 중요한 기술이다.

수소와 산소가 반응할 때 발생하는 전기를 자동차 동력원으로 이용하는 연료전지는 무공해성, 높은 에너지 효율 때문에 차세대 청정자동차 동력원 후보로 거론되고 있다. 연료전지는 기존의 내연기관과는 달리 소음이 거의 없으면서도 효율이 매우 높고 대기오염의 원인물질인 NOx와 SOx, 부유분진 등의 배출량이 거의 없는 특징을 가지고 있다. 또한 CO<sub>2</sub> 배출을 배제할 수 있어서 온실가스 문제 해결책으로도 관심을 모으고



자동차시장의 변화예측

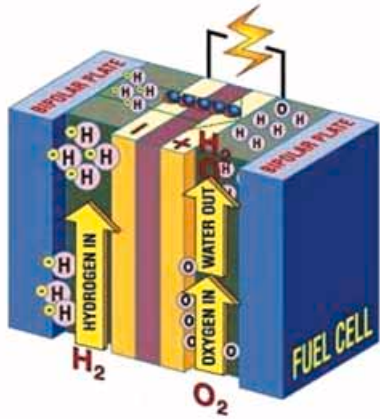
있다.

연료전지는 촉매, 전극, 이온 전도막으로 구성되어 있는데 한쪽 전극에는 수소분자를 전자와 수소이온으로 분리하기 위한 촉매가 있고, 반대쪽 전극에는 수소이온과 공기 중의 산소를 반응시켜 물을 생산하기 위한 반응촉매가 부착되어 있다. 양 전극은 막으로 분리되어 있는데, 이 막을 수소이온이 통과한다. 촉매는 이러한 반응을 가능한 효율적으로 일어나도록 해야 하는데, 이 때 촉매 입자의 크기를 나노 크기로 분산시킴으로써 촉매반응을 더욱 효율적으로 일어나게 할 수 있어 연료전지의 효율을 향상시킬 수 있다.

또한 전극에서는 수소이온, 수소가스, 수증기 등이 빨리 이동할 수 있도록 나노 크기의 유로가 있어야 한다. 전극 사이의 막은 전자를 통과시키지 않으나 수소이온을 잘 통과시키는 특성이 요구되기 때문에 0.1~1 nm 크기의 분자 혹은 이온의 이동을 위해 막 재료를 나노 크기에서 구조 제어를 할 수 있는 연구가 활발히 진행중이다.

### 탄소나노튜브 내부공간에 수소 저장

그러나 이처럼 연료전지개발과 함께 이루어져야 할 분야는 안전하게 수소를 저장할 수 있는 기술 개발이다. 현재 수소는 대부분 고압기체상태로 저장된다. 제한된 체적의 용기에 다량의 수소를 채우기 위해서는 압력을 가하여 15~20 MPa의 고압수소가스로 저장되고 있다. 고압수소저장용 실린더는 12~15 MPa 압력으로 40L와 47L인 용기를 사용하므로 약









연료전지 구조

5~7 m<sup>3</sup>을 저장하게 되며, 이 용기의 총중량은 약 55kg이 된다. 이 때문에 다른 연료에 비해 체적 및 질량당 에너지 밀도가 작다.

수소를 극저온으로 액화시키면 상압의 기체수소에 비해 체적이 1/800로 줄게 할 수 있지만, 액화공정에서 많은 전력이 필요하고, 또한 액체수소는 증발이 잘 되며 단열성이 높은 특수용기에만 저장할 수 있으므로 저장과 이용에 많은 비용이 소요된다. 따라서 에너지의 손실을 최소화하기 위해서는 체적당 많은 양의 수소저장방법을 개발할 필요가 있다. 수소저장방법 중 현재 연구가 활발히 진행되고 있는 분야는 탄소나노튜브 등 나노물질에 수소를 저장하는 방법이다. 최근에 탄소나노튜브에 수소가 저장될 수 있다는 사실이 밝혀지면서 현재 많은 연구들이 경쟁적으로 진행되고 있다. 탄소나노튜브는 수소분자를 저장할 수 있는 기다란 나노채널과 높은 비표면적으로 인해 좋은 수소 저장체로 기대되고 있다.

단일벽 탄소나노튜브는 직경이 0.7~3nm, 다중벽 탄소나노튜브는 수nm~수십nm 정도이며 길이가 수십 μm 정도로 긴 파이프와 같은 구조를 갖는다. 수소분자는 탄소나노튜브의 외부보다 내부 공간에서 더욱 안정된 상태를 가지는 것으로 나타났으며, 이러한 개개의 탄소나노튜브는 수소를 저장시키는 통과 같은 역할을 할 수 있다. 탄소나노튜브의 수소저장은 1997년 미국 IBM사가 처음 시도하였고 최근 전기자동차의 상용화 문제로 미국 DOE(Department of Energy)가 전략적인 연구 계획을 수립한 분야이다. DOE의 전략적인 수소저장 계획에 의

Technology	Focus	Disadvantage
Compressed Hydrogen Gas Storage	10,000psi(700bar) (12 wt%) 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 높은 압력 필요</li> <li>• 저장용기의 무게 증가</li> <li>• 상온에서 누출에 따른 위험성</li> <li>• 장치비의 고가</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cylindrical tanks</li> <li>• Quasi-conformable tanks</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고순도의 수소 필요</li> <li>• 액화온도의 극저온으로 인한 초저온 용기 필요</li> <li>• 낮은 경제성</li> </ul>
Liquid Hydrogen Storage		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수송비의 고가</li> <li>• 낮은 경제성</li> <li>• 높은 중량</li> </ul>
Metal Hydrides		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술수준 낮음</li> </ul>
Carbon Nanotubes/ Nanomaterials		
Chemical Hydrides		

대표적인 수소저장기술 비교

하면 6.5 wt%(63 kgH<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)의 수소저장능력을 가지면 충분히 상업적 가치가 있는 것으로 평가되어, 수소 저장량 6.5 wt%은 DOE의 수소저장계획의 목표치가 되었다.

탄소나노튜브에 수소를 저장할 수 있다는 사실이 알려지면서 최근 전세계적으로 수소저장에 관한 많은 실험들이 진행되고 있고, 동시에 이론적 계산 및 컴퓨터 모사실험 또한 많은 연구결과들이 발표되고 있다. 수소저장을 위해 탄소나노튜브 뿐만 아니라 다른 물질의 나노재료들을 합성하고 많은 양의 수소를 저장하기 위한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다.

차체의 경량화는 에너지 소모를 줄이는 중요한 요인이 되기도 하지만, 환경오염의 배출을 줄이는 중요한 인자이기도 하다. 동력원이 전기로 변하면서 차량의 경량화는 더욱 중요한 기술로 요구되며, 중국적으로 현재의 차량 중량의 1/2로 감소시키려는 노력이 기울여지고 있다.

### 나노복합재료 이용해 차 중량 반으로

그럼 지금부터 차량 경량화를 위해 나노기술이 이용될 수 있는 분야를 알아보기로 하자. 우리가 타고 다니는 자동차는 금속과 고분자로 이루어져 있다. 안정성과 에너지를 적게 사용하기 위해서는 차체에 사용되는 재료를 보다 강한 강도를 가지면서도 경량화를 해야 한다. 그러기 위해서 나노기술을 이용한 나노재료를 사용함으로써 이러한 목표를 달성할 수 있다. 이 분야의 개발이 많이 진행되고 있고 상품화되어 있는 것은 나노복합(nanocomposite) 재료를 이용한 제품들이다.



고분자/clay 나노복합재료



경량 플라스틱유리



정성유 보강 고분자 복합재료



플라스틱 연료시스템



In-tank식 나노첨유 복합 연료필터



경축배 담지 공기 정정용 에어필터



나노고분자재료의 응용

나노복합재료는 클레이 등과 같은 무기물을 수지 중에서 나노스케일의 크기로 박리하여 분산시켜 만든 것으로, 분산 기술은 박리가 되지 않게 하는 기술 등이 핵심이다. 나노복합재료는 범용 수지의 낮은 기계적 물성을 엔지니어링 플라스틱 수준으로 올릴 수 있으며, 또한 우수한 치수안정성, 내스크래치성 향상, 뛰어난 내열성 및 난연성, 그리고 재활용성이 우수한 특성이 있어 미국이나 일본 등 선진국에서 연구가 매우 활발하다.

나노복합재료의 특성을 알아보면 기존 복합재료는 탈크 등의 무기 첨가제가 약 20~30% 첨가되는 반면, 나노복합재료는 약 3~5% 정도 첨가만으로도 강도 등의 기계적인 특성뿐만 아니라 열변형 온도 등의 열적 특성 및 치수안정성 등의 우수한 특성을 갖게 된다. 또한 첨가제의 양이 적어지므로 기존 제품에 비해 약 30% 정도의 경량화를 이룰 수 있는 장점이 있다.

현재 선진국에서는 자동차에 나노복합재료를 적용하기 위해 많은 투자와 연구가 진행되고 있다. 미국의 경우, 나노기술 연구를 위해 미국 에너지부 산하 기초에너지 과학국에 나노과학기술그룹을 만들었으며, 10개의 세부 연구 분야별로 현재까지의 연구 결과를 요약 정리한 후, 해결하지 못한 이슈들과 미래의 연구 방향을 모색하였다. 일본에서는 나노재료에 관한 연구가 대학, 연구소 등에서 활발히 진행중이며, 도요타 자동차는 UBE와 공동연구를 통해 최초로 나일론/clay 나노복합재료를 개발하였다.

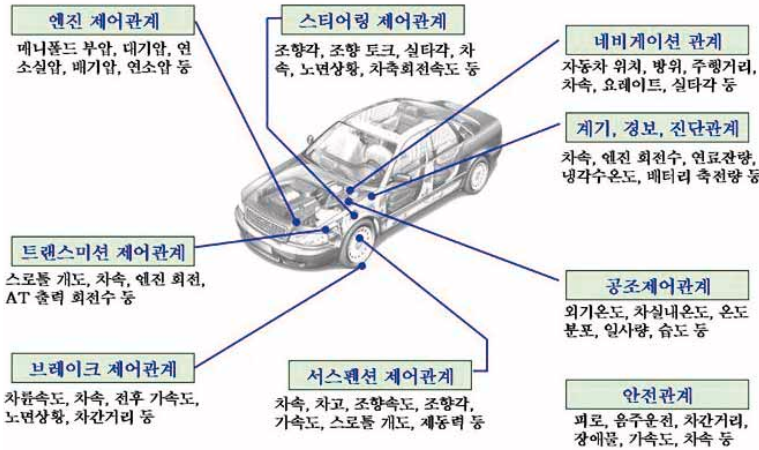
또한 유럽에서는 유럽공동체에서 공동으로 수행되고 있는

나노첨유소재의 응용

나노소재 연구를 유럽 과학재단과 나노재료 유럽컨소시엄이 수행하고 있다. 다우케미컬은 보고서를 통해 나노복합재료를 자동차에 적용할 경우 경량화에 의해 연료의 경우 연간 총생산되는 자동차 수명의 연한까지 약 15억ℓ 이상 절감할 수 있으며, 그에 따른 CO<sub>2</sub> 발생량이 50억kg 이상 줄어들 것이라고 발표한 것을 보아도 나노복합재료를 자동차와 융합시켜 새로운 소재를 개발할 경우 많은 이익을 얻을 수 있다.

나노복합재료를 이용하여 개발된 자동차 외장품의 경우, 미국의 GM사는 몬텔 노스 아메리카사와 공동 연구를 통해 올레틴 탄성체/점토 나노복합재료 소재를 개발하여 자동차 외판인 도어 외판과 리어쿼터패널에 사용하였다. 나노복합재료를 사용함으로써 30%의 경량화를 가져왔으며, 도장부문에서도 우수한 특성을 보였다. 이 제품은 기존의 제품 제조 장치를 사용하였을 뿐 다른 설비투자가 필요하지 않았다. 또한 GM사는 나노복합재료를 이용하여 자동차 부품 중 하나인 스텝 어시스트를 개발하여 실차에 적용하였다. 스텝 어시스트는 차에 탑승할 때 사람이 딛고 오르는데 사용되는 부품으로서 외부에 노출되어 고온이나 저온에서 좋은 특성을 보여야 하며 강한 강성이 요구되는 부품이다. GM사에서 개발한 스텝 어시스트는 20%의 경량화와 함께 1000~1200MPa의 강성과 저온에서 우수한 특성을 보였다.

나노복합재료는 자동차 외장품 뿐만 아니라 엔진관련 부품에도 응용할 수 있다. 이미 일본의 도요타 자동차는 나일론을 이용한 나노복합재료에 관한 연구를 수행하였으며 나일론/점



자동차 제어시스템 및 필요 센서종류

토 나노복합소재용 자동차 엔진 타이밍벨트 커버를 기존의 유리섬유를 대체하여 적용하였다. 뿐만 아니라 자동차 엔진커버, 연료호스 등 다양한 분야에 응용되고 있다.

### 자동차 안전·제어시스템 '스마트 나노센서'

국제환경규제에 따라 청정연료개발뿐만 아니라 자동차 배기가스 및 여러 가지 필터소재 개발의 중요성이 부각되고 있다. 현재 필터소재로 개발된 나노섬유는 환경오염의 주된 요인인 배출가스의 유해성분을 제거하는 필터로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 엔진오일 필터, 연료필터 및 다양한 고성능 필터로 사용할 수 있다. 나노섬유를 자동차 엔진 필터로 사용하게 되면 비표면적이 극대화되어 현재 사용하고 있는 필터효율성이 70%인데 반해 나노섬유를 사용하게 되면 99.99% 이상으로 필터링 효율을 올릴 수 있다. 그러므로 나노소재 필터는 환경오염을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 차체 내부 환경을 쾌적하게 유지할 수 있는 재료로 고부가가치 차량 개발에서 핵심기술로 여겨지고 있다.

미래형 자동차는 자동차소재뿐만 아니라 전자장치 부품개발이 함께 이루어져야 한다. 첨단 자동차 안전·제어 시스템은 사람이 자동차를 운전할 때 행하는 모든 과정을 자동화하는 것으로서 운전자의 부담을 줄여주며 안전성과 효율성을 크게 높여줄 수 있다. 적외선 감지기를 통한 현재 위치감지, 레이저 카메라를 이용한 장애물 감지, 목표 속도 설정 및 진로 결정 등 자동차 제어 시스템은 미래형 자동차 시장에서 요구하는 필수

적인 요건이다. 최첨단 제어 시스템부품을 개발하기 위해서는 부품의 크기를 줄이고, 정보 처리속도를 빠르게 함으로써 이루어질 수 있다. 나노기술을 on-chip 기술과 융합하여 제조되는 스마트 나노센서는 고속, 고기능, 소형화, 경량화, 자가진단 기능, 고부가가치화, 저가 제어 시스템으로 미래형 자동차가 갖추어야 할 핵심기술이다. 나노센서 기술은 종래의 반도체 제조공정에 나노공정을 융합함으로써 성취될 수 있는 기술로 현재 많은 연구자들이 활발히 연구하고 있다.

한편 현대인들이 자동차내에서 많은 시간을 보내게 됨으로써 사람들은 자동차에서 즐길 수 있는 요구가 증가하고 있다. 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 방법으로 카시어터 등 차량에 디스플레이를 장착함으로써 운전자와 동승자들이 지루한 시간을 즐길 수 있는 공간을 제공할 수 있다. 또한 원하는 위치를 쉽게 찾아갈 수 있도록 도와주는 네비게이션이 급속도로 발전하면서 위치를 표시하는 디스플레이 개발이 활발히 진행되고 있다. 따라서 이러한 요구를 충족시키기 위한 고효율 및 고해상도의 디스플레이 개발을 위해서는 나노기술과 디스플레이 산업의 융합이 필요하다. 나노튜브 또는 나노선 등 나노 광소재 개발을 통해 디스플레이에 적용하게 되면 전력소비가 적고 고해상도의 디스플레이를 제작할 수 있을 뿐만 아니라 디스플레이의 부피를 줄일 수 있다. 또한 나노 광소재 개발은 자동차 전장용 광원으로 다기능 디스플레이 역할을 하며, 자동차 내부의 쾌적함과 안락함을 주는 장치로 자동차의 고급화를 위해 필수적으로 개발해내야 할 기술이다.



자동차 전장용 나노 OLED와 나노 FED 광원



나노 OLED 디스플레이와 나노 FED 디스플레이

**‘자기회복재료’가 생물세포처럼 스스로 치료**

지금까지 나노기술을 자동차 기술과 융합하여 활발히 진행되고 상품화된 기술에 대해 이야기하였다. 하지만 자동차에 나노기술의 응용은 여기에서 끝나지 않는다. 생물의 세포처럼 대사반응, 산소호흡, 영양분 흡수, 배설물 배출을 하면서 재료에 생긴 상처를 치료하는 자기회복재료가 있다. 최근 연구에서 산소를 영양분으로 연소시켜 얻은 에너지로 상처나 피로를 회복하는 재료가 개발되었다. 자동차에서 요구되는 것 중 하나는 어떠한 기상 조건에서도 작동되어야 한다는 것이다. 자기회복재료는 먼저 차체 외부의 산성비에 의해 가수분해가 발생한다. 하지만 자기회복재료를 이용한다면 가수분해가 일어난 부분이 치유되어 산성비를 걱정하지 않아도 된다. 또한 빛에 의한 자동차 외부의 노화나 엔진 열에 의해 엔진 커버의 노화를 자기회복재료를 이용함으로써 노화 방지를 극복하거나 시간을 연장시킬 수 있다.

또한 차체의 대부분을 차지하고 있는 철에 나노크기를 갖는 금속을 분산하여 보다 얇은 두께를 가지며 강한 강판강도를 갖는 재료에 만들 수 있다. 자동차의 경량화를 위해 나노복합재료를 이용할 수 있지만 철로 만든 차체 대부분이 자동차의 무게를 차지하고 있다. 따라서 자동차를 경량화하여 연비를 증

가시키고 환경오염을 감소시키기 위해서는 보다 가볍고 강도가 높은 금속을 개발하는 것이다. 일반적으로 자동차 경량화를 위해서는 강판의 두께를 얇게 하는 것이 효과적이지만 강판을 얇게 하면 쉽게 부서진다. 그러나 나노기술을 이용한다면 얇으면서도 강한 강도를 갖는 강판을 만들 수 있다.

일본의 JFE홀딩스사는 직경 3mm의 금속입자를 혼합한 고강력 강판의 양산을 개시하였다. 일반적으로 차체에 사용되는 강판은 1mm<sup>2</sup>의 단면적에 체중 45~60kg의 사람을 지지할 수 있지만 JFE홀딩스사에서 개발된 나노 하이텐 강판은 기존의 강판보다 2배 가까운 1mm<sup>2</sup>당 80kg의 인장강도를 갖는다. 개발된 하이텐 강판을 자동차에 적용한다면 보다 가벼우면서도 안전한 자동차를 만들 수 있다.

지금까지 기술한 것과 같이 나노기술은 자동차의 한 부분에서 뿐 아니라 전분야에서 응용될 수 있다. 현재 많은 투자와 개발을 수행하고 있으니 가까운 미래에는 나노기술이 융합된 자동차를 타고 다닐 수 있게 될 것이다. **ED**



글쓴이는 서울대에서 박사학위를 받았다. 미국 퍼듀대 방문교수를 지냈으며, 전북 나노기술집적센터 소장, 나노기술협의회 이사를 겸임하고 있다.