

# 친환경 재료기술

글 \_ 신민철 II 산업기술시험원 재료평가팀  
mcshin@ktl.re.kr

## 1. 서 론

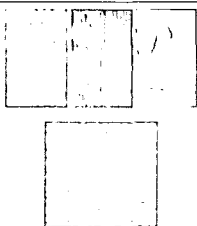
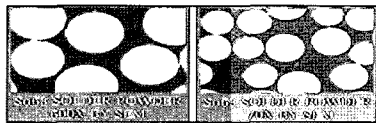

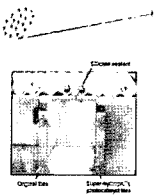
빠른 속도로 발전하는 첨단 재료는 무엇보다도 사회가 첨단 재료를 필요로 해야 하는 사회 종속적인 측면이 강하며 이렇게 해서 탄생된 첨단 재료들이 새로운 시대를 개척함으로써 사회의 요구에 응하면서 계속적으로 진보하여 왔음은 역사적으로 명확하다. 공업적으로 유용하게 쓰이고 있는 첨단 재료들은 사회가 진보하는 데 따라서 변하고 있음을 볼 때 첨단 재료는 무엇보다 학문적으로 유망하며, 동시에 향후에 사회가 이러한 첨단 재료를 필요로 해야 한다는 두 가지 요건을 우선적으로 고려해야 한다. 특히 최근에 와서는 이러한 첨단 재료의 제조 및 사용에 있어서 환경에 주는 영향을 폭넓고 면밀하게 고려하지 않을 수 없다.

모든 재료는 천연자원을 이용해 만들고 자원은 에너지를 사용하여 쓸 수 있도록 개발하기 때문에 만약에 에너지가 결핍되면 재료 개발은 어렵게 되고 에너지원이 고갈되면 재료 제조가 불가능하게 될 것이다. 현재 일본은

연간 약 20억 톤의 자원을 이용하여 에너지나 재료를 얻고 있으며, 국내에서도 광물자원의 수요 다양화 및 질적 요구는 지속적으로 증가하고 있으나, 국내 기술의 부족으로 인하여 단순 가공에 의한 저가용으로 대부분 활용되고 있으며, 고부가가치 제품은 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다.

특히, 환경관련 법규 강화 및 소비자들의 환경오염에 대한 관심증대로 인하여 환경 친화적 신소재에 대한 수요가 증가되고 있으나, 국내의 경우 광물자원을 기반으로 한 친환경 소재 제조기술 및 환경 개선/복원기술이 부족하고 효능이 검증되지 않은 환경 제품들이 시중에 범람함으로써 친환경 소재에 대한 부정적 인식 팽배한 실정으로 친환경 원료·소재의 개발 및 신뢰성 확보가 시급한 실정이다. 따라서 국내 연구소 및 기업을 중심으로 다양한 친환경 소재 관련 연구가 진행되고 있으며 특히, 에너지관리공단에서는 중대형 자원기술개발사업으로 ‘비금속 광물을 이용한 친환경 무기소재 원료 개발’ 사업을 진행하여 하이브리드 기능성 환경-나노소재원료, 친

Table 1. 친환경 무기소재 응용분야

구분	사전오염 예방		오염물질 제거	
	실내공기질 개선	전기·전자	대기	수질
응용 분야	무기 페인트, 건축용 페널, 천연 벽지 등	Pb-free solder, Pb-free sensor, Pb-free paste, Cr-free coating solution, Non-브롬계 난연제 등	세라믹 필터, 촉매 담체, 흡착제 등	세라믹 분리막, 광촉매, 응집제 등
				

환경 벽지 및 바닥재, 고기능성 세라믹 분말소재, 친환경 건축용 목모시멘트, 토양환경 보존용 무기소재 등을 개발하고 있다. 본고에서는 이 사업과 관련하여 국내·외에서 연구/개발되고 있는 친환경 재료기술에 대하여 일부 소개하고자 한다.

## 2. 국내·외 기술 및 시장 동향

친환경 재료기술과 관련해서는 일본, 독일, 미국 등이 선도기술을 보유하고 있으며 대표적인 친환경 소재 제조 기업으로는 일본의 Sakai Chem., 에바라, 독일의 Siemens, 미국의 Corning 등을 들 수 있다. 특히 일본의 경우 소재 광물연구, 소재원료 개발 기술에서 우위를 나타내고 있

어 원료소재 산업의 세계 1위를 차지하고 있으나, 우리나라의 경우 부품·소재 산업에 대한 연구를 지속적으로 수행함으로써 반도체, PDP 등 전자재료 분야 등에서는 소재 가공 및 부품화 기술 등은 세계수준에 근접한 기술을 보유하고 있지만 친환경 고부가가치 재료기술은 선진국과 비교하여 약 5~10년의 기술력 차이가 있다고 예상된다.

국가별/연도별 특허 출원(등록)동향을 보면 90년대 초반부터 친환경 재료와 관련한 특허 출원이 증가하기 시작하였으며, 일본이 전체 특허 중 약 55%를 차지하고 있고 최근 들어 우리나라의 특허출원 비중이 증가하고 있다. 기능별 특허출원 동향을 보면 환경기능소재, 분리/반응용 및 담체 소재가 대부분을 차지하고 있으며, 각 기술별로 분석해보면 관련 제조공정에 관련한 특허가 주를 이루고 있다. 최근들어 신기능성 소재 및 기능성 건축재료의 특허출원 비중이 증가하고 있는 추세이다.

친환경 재료 관련 시장규모 및 전망을 보면 국내·외 환경규제 강화와 환경오염문제에 대한 관심증대로 인하여 지속적인 성장을 이루고 있으며 최근 실내공기질 개선에 대한 관심증대로 건축내장재 및 오염물질 제거와 관련한 친환경 재료 분야를 중심으로 수요가 증대되어 2015년에는 국내시장규모가 약 100억불에 이를 것으로 예상되고 있다.

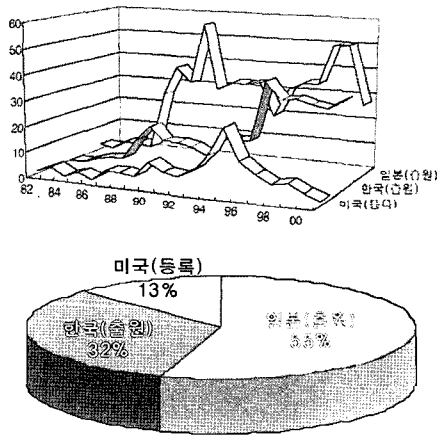


Fig. 1. 친환경 소재 연도별 특허 출원(등록) 동향<sup>1)</sup>

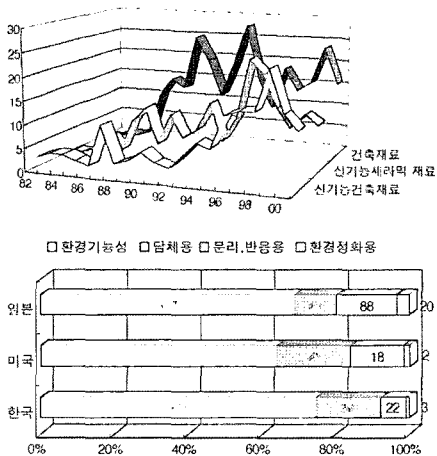


Fig. 2. 국가별/기술분류별 특허출원(등록) 동향

Table 2. 친환경 원료소재 분야 시장규모 (단위 : 억불)

년도	2005	2007	2010	2015
세계시장	1,400	1,450	1,600	2,000
국내시장	55	60	75	100

## 3. 친환경 재료

### 3.1 세라믹 필터

촉매처리 세라믹필터는 먼지여과와 촉매 기능을 동시에 수행할 수 있는 다공성 세라믹 지지체와 먼지 여과층 및 촉매를 결합시킨 구조물이라 할 수 있다. 촉매기능은 각종 유해가스와 반응하여 이를 제거할 수 있는 촉매를 다공성 지지체에 부착시켜 얻어지며, 먼지여과는 지지체 표면에 형성된 여과층의 미세기공에 의한 물리적 제거기

구에 의해 이루어질 수 있다.

환경·에너지 소재로 사용되는 필터는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 그 자체로서 환경 소재로 이용되기보다는 표면처리 및 코팅 등의 공정을 거쳐 사용된다. Fig. 3은 고온가스 정화용 세라믹필터의 모식도로 기공률이 50~60% 되는 지지체 표면에 미세한 입자로 얇은 막을 형성시킴으로써 필터를 통과하는 가스에 포함되어 있는 입자상 물질(PM, Particulate Matter)을 제거하는 기능을 부여하게 된다.

현재 연구되고 있는 필터는 주로 alumina, cordierite, mullite 등의 산화물 원료가 사용되고 있으며, disk type, candle type, multi-hole type 등 다양한 형태의 소재가 연구되고 있다. 또한 그 적용 범위는 폐수 정화용 필터, 수질 정화용 분리막, 광촉매 회수용 분리막 등의 수질분야와 집진용 필터, 유해가스 처리용 필터, 자동차용 세라믹 필터, 에어컨용 불순물 제거용 필터, 식품가공 공정용 필터 등으로 매우 광범위한 분야에 사용될 수 있다.

세라믹 필터는 원료의 형태에 따라 세라믹 입자를 결합한 입자형 필터(granule type filter)와 세라믹섬유를 결합한 섬유형 필터(fiber type filter)로 분류할 수 있다. 입자형 필터는 원료 종류에 따라 산화물계(mullite, alumina, cordierite, aluminum-silicate)와 비산화물계(silicon carbide) 필터로 분류할 수 있다.

필터 제조 시 중요한 것 중의 하나가 기공 특성을 조절하는 것이다. 기공특성이라고 하면 기공률과 기공크기를 들 수 있으며, 이들 기공특성에 의하여 필터의 가장 중요한 특성 중의 하나인 압력손실이 조절된다. 일반적으로 기공률과 기공크기가 감소하면 여과효율은 증가하지만 압력손실이 증가하고, 반대로 기공률과 기공크기가 증가하면 압력손실은 감소하지만 여과효율이 감소하게 된다. 따라서 여과효율은 높이면서 동시에 압력손실을 낮출 수 있는 최적의 기공률과 기공크기 제어를 위한 연구가 필수적이라 할 수 있다. 필터의 압력손실이 높아지면 배기가스의 역류를 유발하여 여과특성을 저하시키며, 자동차 등에 사용 시 엔진의 출력저하 또는 연료소비율의 증가로 연결되어 바람직하지 않은 결과를 초래할 수 있기 때문에 가능한 낮은 압력손실을 유지하는 것이 매우 중요하다.

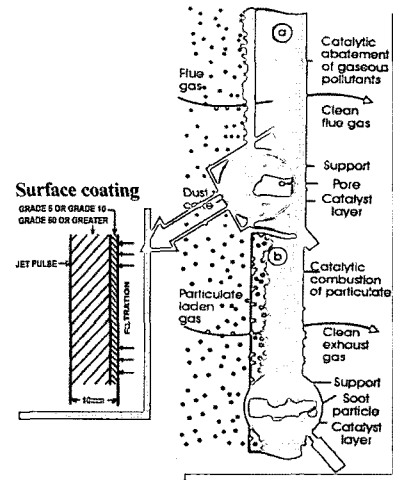


Fig. 3. 세라믹 필터의 여과 기구.

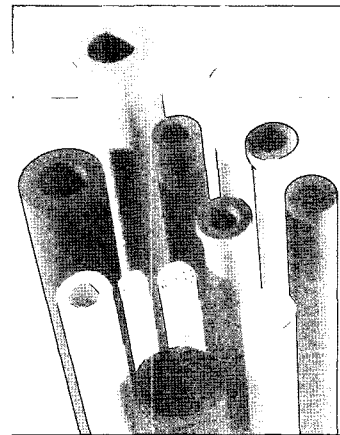


Fig. 4. 대기 및 수질 정화용 세라믹 필터.

### 3.2 친환경 건자재

친환경 건자재에는 친환경 시멘트, 폐기물의 재활용, 방사성 및 산업폐기물의 고화처리재, 기능성 코팅재 및 콘크리트 등 여러 가지 분야로 응용이 시도되고 있다. 친환경 시멘트는 Green cement, Eco cement, Natural cement 등이 있는데 Green cement는 환경부하율 50% 감축과 시멘트 톤당 500kg의 자원재활용을 목표로 실용화가 추진 중에 있는 친환경적인 차세대 시멘트이다. 즉 시멘트 공장에서 발생하는 환경부하와 소각로에서 폐기물의 처리 시 발생하는 환경부하를 시멘트 공장에서 동시연소하여 감축하자는 개념이다. Eco cement는 도시 쓰레기 소각재, 하수 오니 등의 폐기물 약 45-50% 정도에 석회석 등의

천연원료 55-55%를 보충하여 1350°C 정도의 고온에서 소성한 클링커에 석고를 첨가한 시멘트이다. 이것은 일본의 태평양 시멘트사에서 개발한 기술이며 현재 실용플랜트가 가동 중에 있다. Natural cement는 시멘트에 악영향을 주는 성분의 영향을 중화시켜서 고알카리 석회석을 시멘트 원료로 활용할 수 있도록 하는 시멘트로서 석회석 자원의 획기적인 활용방안을 제시할 수 있는 시멘트이다.

재활용 소재에서는 건설폐기물 중 철근 및 골재가 일부 재활용되고 있으며, 폐수지, 폐유리 등은 재활용 방안이 연구되고 있지만, 경제성이 없어 실용화되고 있지 못하고 있고, 기타 폐기물에서 유가 금속의 회수방법이 연구되고 있다. 또한 선진국에서는 기능성 시멘트를 이용하여 저·중준위 방사성의 차폐 및 산업폐기물의 고화처리 방법을 연구 중에 있으며, 이는 사회적으로 문제화 되고 있는 방사선 폐기물 및 산업폐기물의 안정처리에 기여할 것으로 전망된다. 이밖에 환경친화형 기능성 코팅재료로는 무기도료, 원적외선 도료가 일부 실용화 되고 있고, 기능성 콘크리트로 대기 중 NOx 제거용 광촉매 콘크리트, 전자파 차폐용 콘크리트, 식재용 등 다공성 콘크리트, 하수도 관거용 방균 콘크리트 등이 개발·적용되고 있다.

### 3.3 폐유리 재활용 타일

국내 유리병 생산업체는 자동제병과 수동제병 공장으로 나뉘어져 있으나, 90% 이상이 자동제병공장에서 생산되고 있으며, 국내 자동제병 공장에서 연간 생산하는 양으로서 1994년 이후 50% 이상이 음료병에 해당된다. 발생된 유리병 중 주류병, 청량음료병 등의 보증금병은 93.5%(98년도 기준)가 역루트로 회수되어 재사용되고 있다. 또한 일회용병은 지자체 등에서 수거한 유리병을 민간수집상의 가공(선별, 파쇄)을 통해 제병공장에서 원료로 재자원화 하고 있으나 재활용율이 저조하고 대부분 타 용도 개발이 아닌 유리병 원료로 사용되고 있어 고부가가치 제품으로 재자원화 할 수 있는 기술개발이 시급하다.

일반 자기질타일과 폐유리 재활용 타일의 원료 배합과 화학조성을 비교해보면 일반 자기질타일에는 골격이 되는 규석(비가소성원료), 성형성을 부여하는 점토(가소성원료), 소결재로서의 역할을 하는 장식(매용원료)의 3요

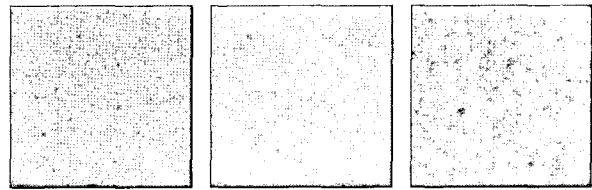


Fig. 5. 폐유리 재활용 타일.

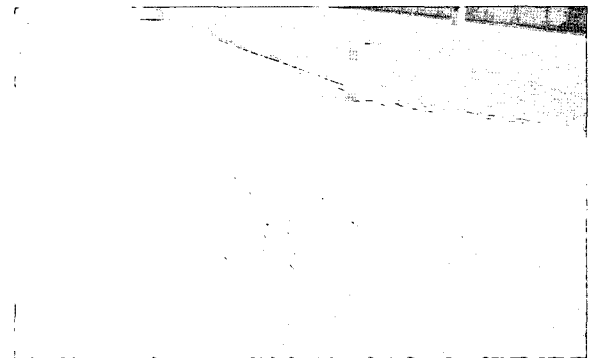


Fig. 6. 폐유리 재활용 타일 포장 사례.

Table 3. 광촉매 응용 분야 (기능별)

구분		응용분야
항균, 살균, 방취		병원, 화장실, 부엌 등 세균의 영향이 예상되는 곳에 적용
유기물 분해	Easy Cleaning	터널전등, 터널벽, 욕실, 주방용품, 가구, 컴퓨터 모니터 등
	Self Cleaning by Rain Fall	유리창, 사시, 타일, 천장, 도로 표지판, 전등, 차음벽, 굴절 유리판, 강관, 알루미늄 패널, 벽돌, 유리막, 안내 표지판, 진열장 유리, 외장유리, 태양전지 상판 유리, 헤드라이트, 플라스틱/유리 그린 하우스 등
초친수성	Anti-Fogging	도로 거울, 욕실 거울, 장식장 유리, 창내벽, 헬멧, 광학렌즈, 에어컨 열교환기, 고전압 케이블, 자동차 사이드 미러, 백미러, 오토바이 앞유리 등
기타	특수용도	수질·해양 오염물질 분해, 토지 오염물 분해
물분해	물분해	수소와 산소 분해에 의한 클린 에너지 생성

소가 필수적이다. 장식은 고온에서 용융해서 점착성이 있는 액체가 되어 성형체와 입자사이에 충만하여 큰입자를 안고, 작은 입자를 녹여 넣어서 냉각하면, 고형화하고 입자와 입자를 확고하게 결합시키는 역할을 한다. 반면, 폐유리 재자원화 타일에서는 유리가 골격이 됨과 동시에 소결재로서의 역할을 한다. 유리 재활용 타일은 유리병 혼합 과유리를 주원료로 이용(약 70% 이상)하여, 고갈화와 자연파괴가 염려되는 천연도자기질 점토원료의 사용을 억제할 수 있는 친환경적 타일이며, 흡수성, 미끄러짐 저항, 내약품성, 동결융해성 등 물성이 우수하고, 동시에

Table 4. 광촉매 응용 분야 (산업별)

분야	용도	목적
생활용품	위생도기, 조리기구, 화장품, 냉장고, 공기 청정기, 청소기, 에어컨, 놀이기구	항균, 탈취, 오염방지, NOx 제거, 공기정화
의료용품	항균타일, 의료기구, 무좀약, 암 치료제, 건강음료	항균, 건강보조
주택설비	부엌설비 부재, 욕실설비 부재, 유리 내·외장 타일, 벽지, 바닥재	항균, 탈취, 오염방지, NOx 제거
점포설비	내은사인, 간판	오염방지
도로설비	터널 조명 기구, 도로 표지판, 방음벽, 다리난간가드레일, 도로 반사경	NOx 제거, 오염방지, 호흡 방지
자동차 용품	차량도장, 전조등, 커버, 장유리, 사이드 미러, 냉동·냉장차	오염방지, 항균, 탈취, 호흡 방지
대기정화	NOx, Dioxin, VOC 제거, 디젤엔진 배기가스	정화처리, 오염방지
수질정화	하수, 지하수, 폐수, 침출수, 기름띠, 수영장, 수족관, 어항	정화처리, 탈취, 오염방지

경관재료로서 미장성도 함께 가지고 있다. 또한 종래 1,350°C의 소성온도를 900~1,000°C까지로 낮출 수 있어 에너지자원의 절약과 CO<sub>2</sub> 배출량의 26% 저감이 가능하다. 이와 같은 폐유리 재활용 타일은 공원, 보도, 광장 등의 포장재, 실내의 바닥면, 실외벽 등에 사용이 가능하다.

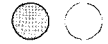
### 3.4 광촉매

광촉매 기술은 21세기 각광받는 기술 중의 하나로 처리 후 불필요한 유해물질이 발생하지 않으며, 안전하여 환경분야에 폭넓게 활용될 것으로 크게 기대되며, 향후 고성능 광촉매의 개발 및 광촉매의 다양한 용도 개발이 이루어짐에 따라 향후 거대한 시장으로 성장할 것이 예측된다. 광촉매를 응용할 수 있는 분야는 무궁무진하다. 지구의 대기 및 수질 오염에 대해 특별한 에너지를 가하지 않고 빛만으로 오염물질을 분해시킬 수 있는 유해 유기물의 광분해와 대기 오염물질의 광산화, 환원, 각종 병원균의 내성증가로 위협 받고 있는 위생 문제에 있어서도 광촉매의 살균, 항균 작용이 문제를 간단히 해결해 줄 수 있어 여러 분야에서 응용될 수 있다. 또한 물을 광분해 시켜 수소와 산소를 생산함으로써 차세대 에너지와 환경문제를 동시에 해결할 수 있다는 점에서 많은 주목을 받고 있으며 기타 다양한 분야에서 획기적인 수요 증대를 가져올 것으로 예상된다. 광촉매의 응용 분야는 크게 기능별과 산업별로 구분하여 볼 수 있으며 기능별과 산업별 응용 분야를 Table 3과 4에 나타냈다.

광촉매 제조방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데 첫째 광촉매용 산화티탄 분말 제조방법은 안료용 산화티탄과 거의 동일한 제법을 사용한다. 단 광촉매용 산화티탄은 입자 크기가 미세하기 때문에 특수한 가수분해 처

리를 하고 있으며 미립자 산화티탄을 제조하기 위한 전용 방법도 있다. 안료용 산화티탄의 제법으로는 염소법이 황산법보다도 효율, 환경 등의 측면에서 우수한 것으로 알려지고 있다. 일본 이외의 생산업체들은 염소법으로 제조하고 있지만 염소법의 Plant가 고가이기 때문에 Ishihara Sangyo(石原産業)을 제외한 대부분의 일본 업체들은 오래 전부터 사용하여 오던 황산법 설비를 그대로 사용하고 있다. 또한 황산법은 미세입자를 제조하는데 용이하기 때문에 광촉매용 산화티탄은 주로 황산법으로 제조하고 있다. 들제, 코팅액 도료의 제조방법은 다음과 같다. 광촉매 대부분은 코팅액 또는 도료(塗料)로 도포하여 사용하고 있으며 이때 사용되는 Primer는 기재를 광촉매의 산화력으로부터 보호하고 광촉매의 부착력을 향상시키기 위하여 사용된다. 산화티탄 광촉매로만 도포하게 되면 강도가 약하고 분리되기 쉬워서 보편적으로 실리카와 같은 바인더를 혼합하여 접착력을 높이고 광촉매의 안정화와 박리의 방지를 위해 가열한다. 일본기업인 TAO는 大手化學과 공동으로 Primer 없이 코팅할 도재에 직접 도포할 수 있는 기술을 개발하였다. 코팅액 도료의 제조방법에는 분말에 바인더를 혼합하고 용액에 분산시키는 방법과 티탄화합물로부터 분체를 거치지 않고 산화티탄 용액을 제조하는 방법 등 두 가지가 있다. 최근의 산화티탄 제조 기술은 염소법과 황산법이 아닌 용액법과 기상법 등의 다양한 방법에 의해 제조하는 연구가 진행되고 있으며 용액법에는 Sol-gel법, 기상법에는 PVD와 CVD법이 있다. 이러한 방법은 산화티탄을 제조하는 방법으로도 이용할 수 있으며 또한 표면에 코팅할 수 있는 기법으로도 이용 가능하다.

광촉매 응용 기술현황은 산화 분해력을 이용한 기술과



물과 기름의 친수성 제어 기술로 분류할 수 있다. 최근 산화 분해기술을 비롯하여 광여기 친수화, 양친매, 광여기 소수화, 초발수재 등 표면의 유성을 제어하는 기술과 제품개발이 진행되고 있다. 그러나 현재까지 개발된 재료나 공법만으로는 해결해야할 문제점이 산적해 있는 바, 이의 해소를 위한 보다 적극적인 지원과 정책방향 결정이 절실한 실정이다.

#### 4. 요약

최근 환경오염 문제 및 자원고갈 문제가 심각하게 대두되고 있으며 국가 간의 에너지 및 자원 분쟁이 일어나고 있는 실정으로 국내에서도 환경규제 강화 및 자원절약 및 고부가가치화에 대한 관심이 집중되고 있다. 이에 따라 친환경 소재에 대한 기술개발도 절실히 요구되고 있다. 이를 위해서 정부에서 환경 규제뿐만 아니라 다양한 정책지원이 이루어지고 산·학·연 기관에서 공동연구 등을 통해 보다 다양한 친환경 재료 기술을 개발하고 부존자원의 고부가가치화를 이룬다면 친환경 재료분야의 장래는 밝다고 할 수 있다.

#### 참고문헌

1. 특허정보 분석보고서 [파인세라믹스], 특허청, 2003.
2. 나노분말소재, 한국과학기술정보연구원, 2002.
3. 광촉매 기술 및 연구개발 동향, 한국과학기술정보연구원, 2003.
4. 친환경 전자재, 재료연구정보센터.
5. Y. Sawada et al., "Evaluation on Fundamental Properties of filter Materials a High Temperature," *High Temperature Gas Cleaning*, Volume II, pp.393-404. 1999.
6. 이희수, "폐유리 재활용 기술" 월간 재활용, 자원재활용연구소, 2004.

#### ◎◎ 신민철



- 2005년 서울시립대학교 환경공학과(석사)
- 현재 산업기술시험원 기계소재본부 재료평가팀 선임연구원