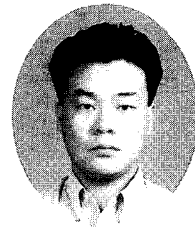


광촉매를 이용한 건축, 토목 재료의 개발 현황

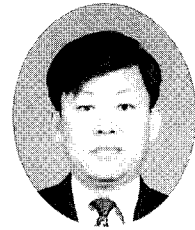
- Development Status of Construction Materials Using Photocatalyst -



양 진*



하상욱**



이종열***

1. 머리말

최근 선진국을 중심으로 시멘트, 콘크리트에 다양한 기능을 부여하려는 시도가 많이 이루어지고 있으며, 광촉매를 이용하는 방법도 그 대표적인 것 중 하나라 할 수 있다. 광촉매란 태양광 등의 빛을 받아 강한 산화작용 등을 일으킴으로써 각종 물질을 분해하는 물질로 산화티타늄(TiO₂)이 그 대표적인 물질이라 할 수 있다. 따라서 이러한 광촉매를 각종 재료에 적용할 경우 수질 및 대기 오염물질의 제거, 살균, 탈취뿐만 아니라 표면이 더러워지지 않고 깨끗하게 유지될 수 있는 자기정화(Self-Cleaning) 등이 가능하다. 더욱이 최근에 TiO₂의 초친수성(Super-Hydrophilicity)이라는 성질이 중점적으로 연구되면서 이를 이용하여 김서림 방지(Anti-Fogging) 기능 및 자기정화 기능을 갖춘 다양한 용도의 제품이 시판되고 있는 상황이다.

건축, 토목구조물의 경우도 그 표면에 광촉매를 적용할 경우 살균, 탈취뿐만 아

니라 그 외관이 깨끗하게 유지되고 아울러 NOx(질소산화물) 및 SOx(황산화물)을 비롯한 각종 대기 오염물질을 제거할 수 있어 이를 응용한 제품이 다양하게 시판되고 있다.

본 고에서는 이러한 광촉매를 이용하여 개발되고 있는 다양한 제품 중 주로 건축, 토목용 재료에의 적용을 중심으로 하여 개발 현황과 그 향후 과제 등을 기술하고자 한다.

2. 광촉매의 원리

광촉매로 주로 쓰이는 TiO₂의 경우 예전부터 도료, 화장품, 합성수지, 제지 및 콘덴서 등에 광범위하게 사용되어온 재료로, TiO₂를 도료로 사용할 경우 시간이 경과함에 따라 도료의 수지가 분해되어 열화되는 현상이 발견되었으며 이를 초킹(Choking)현상이라 한다. 이 초킹현상은 TiO₂가 자외선을 비롯한 빛을 받을 때 다른 물질을 분해시킬 수 있음을 의미하며, 도료에서는 이러한 현상을 방지하기 위하여 TiO₂의 표면을 실리카를 비롯한 다른 물질로 코팅함으로써 열화 문제를 해결하

여 왔다. 그러나 1972년 일본의 후지시마(Fujishima)와 혼다(Honda)가 TiO₂ 광촉매를 이용하여 물을 수소와 산소로 분해할 수 있음을 보고한 이후 이러한 광촉매 효과를 활용하고자 하는 시도가 활발히 이루어져 왔다. 초기에는 광촉매 반응에 의해 발생한 수소를 이용하여 무한대의 에너지를 얻고자 하는 연구가 주로 진행되었으나 최근 광촉매의 다양한 기능이 알려지면서 이보다는 주로 수질, 대기의 정화나 탈취 등 환경분야에의 적용 및 자기정화기능을 이용하려는 시도가 활발히 전개되고 있다.

광촉매는 주로 반도체물질로 광촉매의 원리를 이해하기 위해서는 우선 고체물질의 구조 및 성질을 설명할 때 사용하는 에너지 밴드(Energy Band) 개념을 도입할 필요가 있다. <그림 1>은 금속을 비롯한 전도체, 반도체 그리고 절연체 등 각종 재료에서 절대 0도 때의 에너지 밴드를 도식적으로 나타낸 그림이다. 그림에서 가전자대(Valence Band: VB)는 에너지 밴드 중 전자에 의해 일부 또는 전부가 점유된 가장 높은 에너지 밴드를 나타내는 것이고, 전도대(Conduction Band: CB)는 전자에 의해 점유되지 않은 가장 낮은 에너지 밴드를 나타낸다.

* 정회원, 쌍용양회 중앙연구소 콘크리트연구실 책임연구원

** 정회원, 쌍용양회 중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

*** 정회원, 쌍용양회 중앙연구소 콘크리트연구실 실장

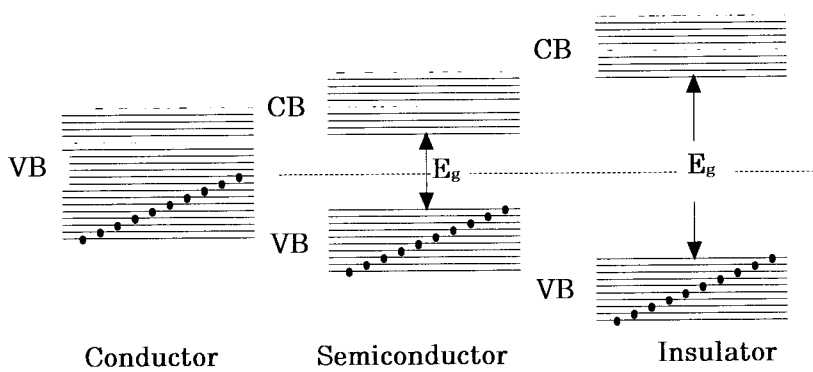


그림 1. 0 K의 온도에서 각 재료들의 에너지 밴드 구조 모식도

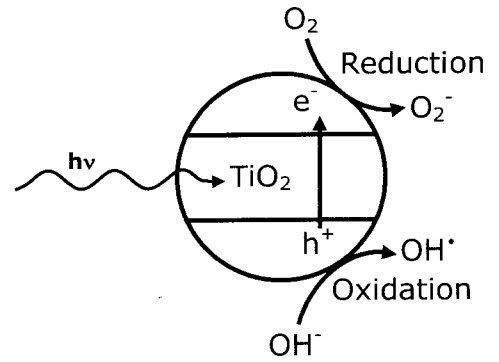


그림 2. 광촉매 반응의 원리를 나타낸 모식도

또한 가전자대의 가장 높은 에너지 경계와 전도대의 가장 낮은 에너지 경계의 차를 밴드 갭 에너지(Band Gap Energy: E_g)라 한다.

금속의 경우 가전자대의 일부를 전자가 점유하고 있으며 반도체와 절연체는 가전자대의 전부를 전자가 점유하고 있으나 절연체의 경우 그 밴드 갭 에너지가 반도체에 비해 매우 커서 아주 많은 양의 에너지(빛이나 온도 등)가 가해지지 않는 한 가전자대의 전자가 전도대로 여기할 수 없다.

그러나 반도체의 경우 어느 정도의 에너지를 갖는 빛이 조사되면 그 밴드 갭 에너지 이상의 에너지를 갖는 빛은 흡수되어 가전자대의 전자를 전도대로 여기시키며, 그 결과 전도대에는 전자가 그리고 가전자대에는 정공(Hole)이 생성되게 된다.

TiO_2 와 같이 비교적 밴드 갭 에너지가 큰 물질($E_g \approx 3 \text{ eV}$)의 경우 그 에너지에 해당하는 파장의 빛은 약 400nm이다.

즉 $E = h\nu = (hc)/\lambda$ (여기서 E: Photon Energy, h: Plank 상수($4.13 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$), ν : 주파수, C: 빛의 속도($3 \times 10^8 \text{ m/s}$), λ : 파장)에서 TiO_2 의 밴드 갭 에너지를 대입하면 그 파장은 약 400nm, 즉 자외선영역보다 그 파장이 적은 빛이 입사시 전자가 여기될 수 있음을 알 수 있다.

한편 전도체의 경우도 빛을 흡수하여 전자가 여기되나 부분적으로 채워진 가전자대나 서로 겹쳐진 에너지 밴드(Extended Energy Band)를 갖고 있기 때문에 에너지준위가 연속적이 되고 따라서 여기된 전자는 즉시 정공과 재결합하게

되며 이 때 발생된 에너지는 다시 빛으로 방출되거나 격자진동(Lattice Vibration)의 열에너지로 변환된다. 그러나 반도체의 경우 적당한 에너지 밴드 갭이 존재하기 때문에 상대적으로 전자와 정공의 빠른 재결합을 막아 전자와 정공의 일부는 재결합을 피해 표면으로 이동할 수 있을 만큼 충분히 긴 수명(Lifetime)을 가지게 된다. 이들 전자, 정공은 광촉매의 표면에 흡착된 적절한 전자주개(Electron Donor) 분자나 전자받개(Electron Acceptor) 분자가 존재할 경우 전자전이, 즉 산화와 환원을 일으키게 된다.

〈그림 2〉는 이러한 광촉매의 대표적인 반응기구를 나타낸 것으로 광촉매가 빛을 받을 경우 생성된 전자와 정공이 표면에 흡착된 산소나 물과 반응하여 슈퍼옥사이드(O_2^-)나 OH 라디칼(OH^\cdot)을 생성하는 기구를 보여주고 있다. 이와 같이 발생된 OH 라디칼 등의 많은 반응종은 강한 산화력을 가지고 있어 대부분의 유기 화합물을 이산화탄소와 물로 분해할 수 있기 때문에 이를 이용하여 항균, 탈취뿐만 아니라 매연, 휘발성 유기화합물(VOC; Volatile Organic Compounds), 다이옥신의 제거 등 다양한 분야에의 응용이 가능하다. 또한 이를 이용하여 수질정화가 가능할 뿐 아니라 대기 중의 SOx, NOx 등 유해물질도 황산이나 질산으로 산화시켜 제거할 수 있다.

더욱이 TiO_2 의 경우 초친수성(Super-Hydrophilicity)이라는 기능을 가지고 있는데 이는 물이 TiO_2 와 접촉시 물이 물방

울 형태로 존재하지 않고 TiO_2 표면에 쉽게 퍼지는 성질이라 할 수 있다. TiO_2 의 초친수성 기능은 엄밀한 의미에서는 양친매성(Amphiphilicity)이라는 표현이 정확하다 할 수 있는데 이의 반응기구는 앞서 언급한 산화환원 반응과는 다른 것으로 이해되고 있다. 즉 초기에는 TiO_2 표면에 부착된 소수성의 유기물질이 분해됨으로써 TiO_2 가 친수성을 나타낸다고 이해하였으나 최근에는 TiO_2 표면의 구조변화에 의해 이를 설명하고 있다. 즉 자외선 등의 광이 조사시 발생한 전자는 Ti^{4+} 이온을 Ti^{3+} 이온으로 환원시키며($e + Ti^{4+} \rightarrow Ti^{3+}$), 정공은 광촉매 표면에 존재하는 산소(Bridging Site Oxygen)과 반응하여 산소 결함(Oxygen Vacancy)을 형성한다 [$2h + O(O)^{2-} \rightarrow V(O) + \frac{1}{2}O_2 \uparrow$]. 이와 같이 생성된 산소결함에 대기중의 OH 및 H_2O 성분이 흡착되어 이 부분은 친수성을 나타내고 표면의 다른 부분(결합이 발생하지 않은 부분)은 친유성(Oleophilicity)을 나타내어 결과적으로 양친매성을 나타낸다. 〈그림 3〉은 이러한 초친수성의 원리를 도식적으로 나타낸 것이다. 이 때 생성된 친수성 및 친유성 부분의 크기는 약 30-80 nm로 물방울 및 기름방울의 크기가 이보다 훨씬 크기 때문에 젖음각(Wetting Angle)이 적어질 경우 물이나 기름이 전체 표면에 쉽게 퍼지는 현상이 발생하게 된다. 따라서 이러한 현상을 이용시 거울이나 유리에 김서림 방지(Anti-Fogging) 기능을 부여할 수 있을 뿐만 아니라, 흡착된 OH 및 H_2O 성분이

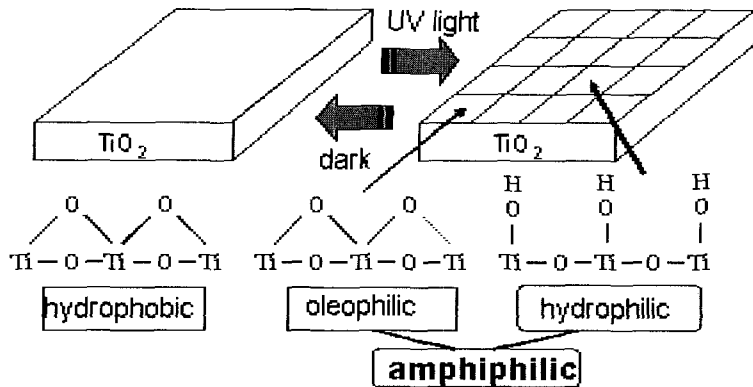


그림 3. 초친수성의 원리를 나타낸 모식도



그림 4. 광촉매의 초친수성을 자동차 거울에 적용한 예

광촉매 표면과 오염물질 사이에 존재함으로써 표면에 부착되는 유기물질이 보다 용이하게 제거될 수 있어 앞서 언급한 산화기능과 더불어 자기정화가 보다 용이하게 발생하게 된다. <그림 4>는 자동차의 거울 표면에 광촉매의 초친수성을 적용한 결과를 나타낸 것으로 거울의 왼쪽은 물방울이 맺히는 반면 광촉매를 적용한 오른쪽은 물방울이 맺히지 않는 결과를 보여주고 있다.

3. 광촉매를 이용한 건축, 토목 재료의 개발 현황

광촉매는 위에서 언급한 원리를 이용하여 이미 다양한 상품이 시판되거나 개발되고 있는데 이러한 광촉매의 각종 응용분야를 <표 1>에 나타내었다. 한편 광촉매의 시장은 아직 체계적으로 조사된 바는 없으나 향후 세계적으로 2조 5천억엔(미국 1조엔, 유럽, 일본, 아시아 각 5천억엔)으

로 추정되고 있다. 그러나 광촉매를 이용한 응용기술은 아직 선진국에서도 시장 진입 초기 단계이기 때문에 그 시장이 본격적으로 활성화되지는 못한 실정이라고 할 수 있다.

한편 위의 다양한 응용분야 중 특히 광촉매를 적용한 건축, 토목재료의 시장은 매우 클 것으로 전망되고 있으며 따라서 이에 대한 연구개발 및 적용이 매우 활발한데 이를 살펴보면 다음과 같다.

먼저 건축용 재료의 경우 항균, 탈취용 타일이나 위생도기 등이 이미 시판되고 있으며 병원, 목욕탕 등에 적용하여 우수한 효과를 나타내고 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 최근에는 주택에서의 욕실, 화장실이나 주방 등에서의 적용을 목표로 한 제품도 출하되고 있는데 이와 같은 제품은 형광등 아래에서도 1 시간에 99% 이상의 대장균을 사멸시키는 강한 항균력을 가지고 있을 뿐만 아니라 주방 등에 적용시

를 때 등을 제거할 수 있어 새로운 재료로 각광을 받고 있다. 더욱이 최근에는 산화티타늄 광촉매 위에 다시 은이나 동 등의 항균성 금속을 담지하여 광이 있을 경우뿐만 아니라 광이 없는 어두운 상태에서도 항균효과를 발휘하도록 한 제품도 출시되고 있다. 이러한 재료로는 세라믹만이 이용되는 것이 아니라 강재나 알루미늄 위에 광촉매를 도포한 제품도 개발되어 주택 및 빌딩용 고세정성 외벽재로 판매되고 있다.

또한 건축용 재료로 많이 개발되고 있는 것은 기존 건축물에의 적용이다. 이러한 재료는 주로 도료나 시멘트 등의 형태로 제공되어 기존 시멘트, 콘크리트 구조물 위에 롤이나 붓 또는 스프레이 등으로 간단히 시공할 수 있도록 되어 있는데, 이 제품을 적용할 경우 건축물의 외관이 깨끗하게 유지될 뿐 아니라 각종 대기오염물질을 제거할 수 있는 장점이 있다.

표 1. 광촉매의 응용 분야

구 분	응 용 분 야
건 축 용	빌딩/주택용 내외장 건축재, 패널, 타일, 위생도기
토 목 용	도로 포장재, 도로 포장용 블록, 흡음판, 차음벽, 중앙분리대, 터널 내벽, 옹벽, 도로 반사경
도 장 용	내/외장용 페인트, 자동차 외장용 페인트, 항균/방취용 도료(병원, 주방 등)
조명기구	가로등, 신호등, 터널용 조명기구, 조명기구용 커버, 형광등
자동차용	사이드 미러, 자동차 도장, 배기 후처리 장치, 전조등 커버, 냉장차
환 경 용	정수/폐수 처리, 대기오염물질(NOx, SOx, VOC, 다이옥신 등) 제거, 방조타일(저수탱크), 항균타일, 골프장 농약제거/토양개량용, 놀이터용 모래, 광붕괴용 플라스틱
전자제품	공기청정기, 에어컨, 냉장고용 악취제거, 프린터 오존제거, 육조 살균장치, 컴퓨터 디스플레이
가정용/기타	벽지, 커튼, 항균/소취용 스프레이, 부엌 설비, 광촉매 코팅제품(도자기, 유리제품, 수족관, 유리창, 안경, 고글), 쇼윈도우, 텐트, 도로 표시판, 간판, 온실 유리, 비닐 하우스, 의류

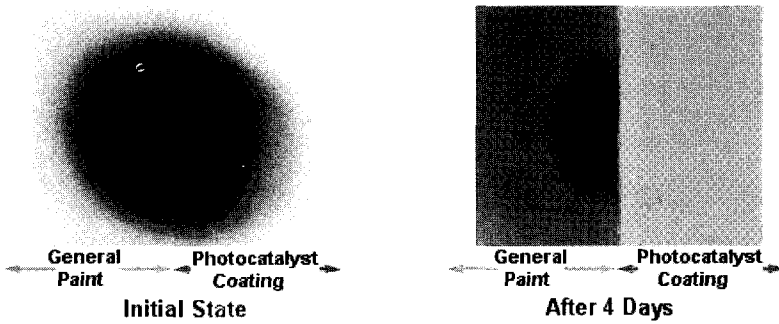


그림 5. 건축 외장재에 일반 도료 및 광촉매 코팅시 초기 상태와 4일 경과 (하루는 강우) 후의 상태(매연 등을 표면에 부착 후 시험)



그림 6. 광촉매를 건축 외장재에 적용한 예

이 제품은 광촉매에 무기도료 또는 시멘트를 혼합하여 제조되거나 유기도료와 혼합하여 제조되는데 유기도료와 혼합하는 광촉매가 유기물자체를 분해하기 때문에 이를 억제 또는 제거하기 위한 기술이 요구되어진다.

〈그림 5〉는 건축 외장재에 일반 도료와 광촉매를 각각 코팅하여 배기가스를 표면에 부착한 후의 모습과 4일 경과 후의 모습을 나타낸 것이다. 4 일 중 3 일은 태양광에 그리고 1 일은 강우 상태였으며 실험결과 광촉매 코팅시는 자기정화가 일어나 그 표면이 깨끗함을 알 수 있다. 또한 〈그림 6〉은 광촉매를 적용한 건축 외장재를 나타낸 것으로 역시 광촉매를 시공한 부분은 자기정화가 되어 미시공 부분에 비해 깨끗함을 알 수 있다. 광촉매는 비단 건축 외장재뿐 아니라 기존 내장재에도 적용되고 있는데 이 경우 앞서 언급한 각종 효과 외에 담뱃진 제거 및 요즘 문제되고 있는 sick house 증후군의 예방을 목표로 하고 있다. sick house 증후군이란 각종 전자재에서 발생하는 화학물질 즉 포름알데히드(formaldehyde)를 비롯한 각종 휘발성 유기화합물이 건강에 악영향을 끼치는 현상으로 이를 제거하기 위한 방법 중 하나로 광촉매가 적용되고 있다.

그 외 토목이나 도로 관련 재료로서 많이 적용되고 있는 것이 광촉매 블록이나 도로포장재 또는 흡음/차음벽, 옹벽 등이다. 〈그림 7〉은 차량의 배기가스에서 나오는 주요 오염물질인 NOx를 제거할 수 있는 도로포장용 콘크리트 블록 및 이를 적용한 도로를 나타낸 것이다. 이러한 블록

의 경우 블록 표면의 콘크리트에 TiO₂를 혼합한 후 프레스 성형하여 제조한 것으로 이를 적용시 대기중의 NOx를 80%까지 제거할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 광촉매를 시멘트 등과 혼합하여 제조된 광촉매 시멘트를 이용하여 도로 포장을 함으로써 차량에서 배기가스가 발생하자마자 제거할 수 있는 도로가 이미 시험 시공된 바 있다. 이러한 도로는 다공성 콘크리트 표면에 광촉매 시멘트를 분무, 코팅하여 시공하였는데 이 경우 자동차의 유해 배기가스를 제거할 수 있을 뿐만 아니라 배수성도 우수하고 주행시 발생하는 소음도 흡수하는 다양한 특성을 가지고 있다.

또한 광촉매를 경량골재, 산업폐기물(하수오니, 제강 슬래그) 등을 이용하여 제조한 흡음재에 적용하여 흡음과 동시에 자기정화 및 유해 배기가스를 제거할 수 있는 제품이 개발되어 현재 방음벽, 도로 옹벽 또는 터널 주변에 적용하고 있으며 중앙분리대, 가드레일 등에도 광촉매가 적용되고 있다. 〈그림 8〉은 이 중 광촉매를 도로 옹벽에 적용한 예를 나타낸 것이다. 한편 터널이나 지하주차장 등 대기 오염이 심한 지역에 광촉매를 적용하여 그 오염도를 저감시키는 연구개발도 활발히 진행되어 현재 시험시공 중인 것으로 알려져 있다.

이와 같이 건축, 토목용 재료로서 가장 많이 사용되는 시멘트, 콘크리트 위에 광촉매를 적용할 경우 다른 재료에 비해 많은 장점이 있다. 즉 시멘트, 콘크리트의 경우 그 자체가 무기물질이기 때문에 광촉매에 의해 분해될 우려가 없고 또한 다공성구조이므로 광촉매를 도포시 많은 표면

적을 가지게 할 수 있어 분해효율을 높일 수 있다. 아울러 시멘트가 알칼리성이기 때문에 NOx나 SOx의 분해시 발생하는 질산이나 황산의 중성화가 용이하다는 장점도 있기 때문에 이러한 건축, 토목용 재료에 광촉매를 적용하여 새로운 기능을 부여하려는 시도가 매우 활발히 이루어지고 있는 상황이다.

4. 향후 과제

현재 건축, 토목재료에 광촉매를 적용하려는 연구개발이 많이 시도되고 있지만 이를 보다 활성화시키기 위해서는 앞으로도 많은 과제가 남아 있으며, 이는 광촉매 자체의 성능개선 및 이의 고정화 기술의 개선이란 2개 과제로 대별된다고 할 수 있다.

현재 주로 사용되는 산화티타늄 광촉매의 경우 앞서 언급한 바와 같이 태양광 중 일부인 자외선 파장 이하를 가진 빛만 사용할 수 있고 가시광선(1.8-3.1 eV)은 사용할 수 없어 광촉매에 사용되어질 수 있는 태양에너지 양은 전체의 4-5%에 불과하다. 또한 광촉매에 흡수된 에너지도 다시 전자와 정공의 재결합(Electron-Hole Recombination)에 사용되는 등 에너지손실이 커서 광촉매 반응의 효율이 수 퍼센트에 불과하다는 점도 광촉매의 단점이라 할 수 있다. 따라서 가시광선 등 태양에너지를 최대한 이용할 수 있는 광촉매의 개발과 전자와 정공의 재결합을 방지하여 에너지 손실을 줄이기 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

우선 가시광선을 이용하기 위한 방법으

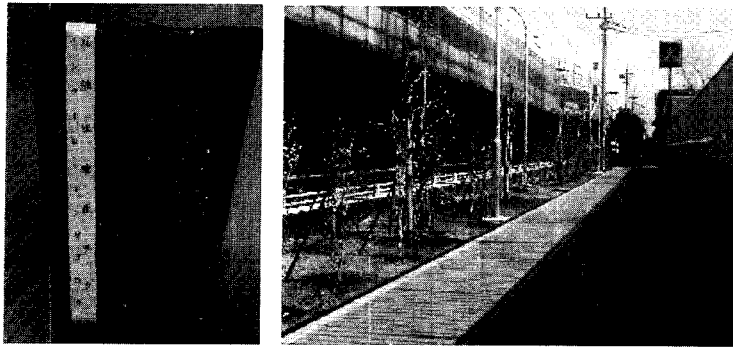


그림 7. NOx 제거용 콘크리트 블록 및 이의 시공 예



그림 8. 광촉매를 도로 옹벽에 적용한 예

로 복합반도체의 제조와 광감응체(Photo-sensitizer)를 이용하는 방법이 많이 연구되어지고 있다. 이 중 복합반도체의 대표적인 예로 CdS-TiO₂ 계를 들 수 있는데 CdS의 밴드 갭 에너지는 2.5 eV로 TiO₂보다 작아 TiO₂의 전자를 여기시킬 수 없는 광에너지도 CdS의 전자는 여기시킬 수 있으므로 보다 많은 가시광선의 에너지를 이용할 수 있다. 이 경우 CdS에서 여기된 전자는 에너지 사면을 따라 TiO₂의 전도대로 이동하게 되며 이러한 반응은 전하의 분리 효과도 증가시켜 결과적으로 반응효율도 향상시키는 것으로 알려져 있다. 광감응체를 이용하는 방법은 태양광을 잘 흡수하는 광감응체를 광촉매 표면에 물리적, 화학적으로 흡착시키는 것으로, 이 경우 광감응체가 빛을 받은 후 여기된 전자가 광촉매로 이동함으로써 반응효율이 증가되는 것으로 알려져 있다.

다음으로 전자-정공 재결합을 방지하기 위하여 사용되는 방법으로 광촉매의 표면 중 일부에 Pt 등의 금속을 도금하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이 경우 전자-정공쌍이 생성된 후 전자가 금속으로 이동함으로써 재결합이 지연되며 정공은 자유롭게 광촉매 표면으로 이동하여 산화반응에 참여하게 됨으로써 효율이 증가되어진다.

한편 앞서 언급한 바와 같이 광촉매의 고정화기술 개발도 실용적인 측면에서 매우 중요하다 할 수 있는데 이는 광촉매가 통상 각종 지지체의 표면에 도포되어 사용되어지기 때문이다. 여기서 고정화란 이미

제조된 광촉매 분말을 바인더와 함께 지지체 표면에 부착시키거나 졸 등을 이용하여 표면에 직접 코팅을 하는 것을 의미한다. 이 경우 지지체와의 접착성을 향상시키고 또한 바인더 내에 광촉매가 들어가 있지 않고 표면에 돌출되어 가능한 한 많은 광을 흡수하며 아울러 오염물질과 많은 면적에서 접촉을 하도록 하는 것이 핵심기술이라 할 수 있다. 고정화방법의 종류는 매우 다양하다 할 수 있으나 통상적으로 티타늄 알콕사이드의 가수분해 및 축중합반응을 이용한 sol-gel 법 및 분말상의 광촉매 분말을 실리카 졸을 비롯한 각종 바인더와 혼합하여 지지체에 코팅하는 방법이 많이 사용되어진다. 아울러 최근에는 시멘트 등의 재료를 바인더로 사용하려는 연구개발도 활발한데 이 경우 그 가격이 저렴할 뿐만 아니라 지지체와의 특성이 유사하여 많은 장점이 있는 것으로 보고되고 있다.

5. 맺음말

광촉매의 원리 그리고 광촉매를 이용한 건축, 토목재료의 개발현황 및 그 향후 과제에 대하여 간단히 기술하였다. 광촉매의 경우 최근 들어 연구개발이 활발히 진행되면서 다양한 상품이 출시되고 있으나 전체적으로 볼 때 광촉매 관련 시장은 아직 태동기라 할 수 있다. 그러나 광촉매의 다양한 특성을 고려시 향후 그 시장은 매우 커질 것으로 판단되며 특히 그 시장의 많은 부분을 건축, 토목재료가 차지하리라 예상된다.

특히 광촉매의 자기정화 기능 및 대기정화 기능 그리고 항균, 탈취 기능은 쾌적한 환경을 추구하고자 하는 현대인의 요구사항과 잘 일치되어 향후 이러한 기능이 적용된 많은 건축, 토목재료가 출현할 것으로 판단된다. 국내의 경우 이러한 건축, 토목재료에의 광촉매의 적용은 매우 미흡한 실정이라 할 수 있는데 보다 체계적인 연구개발이 추진된다면 선진국과의 기술격차가 크지 않은 것으로 판단되기 때문에 충분히 그 기술을 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 아울러 이러한 고기능성 및 환경 친화적인 건축, 토목구조물의 적용시 기존의 시멘트 등에 대한 일부 부정적인 이미지를 탈피할 수 있을 뿐만 아니라 그 시장도 보다 확대되리라 예상된다. □

참고문헌

1. A. Fujishima and K. Honda, Nature, 238, 37 (1972).
2. K. Takeuchi, S.Murasawa and T. Ibusuki, "광촉매의 세계", 대영사 (2000).
3. R. Wang, K. Hashimoto, A. Fujishima, M. Chikuni, E. Kojima, A. Kitamura, M. Shimohigoshi and T. Watanabe, Adv. Mater., 10(2), 135-138 (1998).
4. M. Miyauchi, A. Nakajima, A. Fujishima, K. Hashimoto and T. Watanabe, Chem. Mater., 12 (1), 3-5 (2000).
5. 최원용, 기계와 재료, 11(3), 117-130 (1999).
6. TOTO homepage, <http://www.toto.co.jp>.