

# 생활 주거 환경과 시멘트·콘크리트

최 상 흘      김태현      정해문  
 <한양대학교>   <(주)디오>   <한국도로공사 도로교통기술원>

## 1. 머리말

시멘트가 발명되고 콘크리트의 출현은 인류사회에 많은 변화를 가져왔다. 도로, 교량, 항만 시설 등은 물론 우리 주거환경에서 시멘트·콘크리트는 그 성능을 과시하였으며, 인류 복지를 위한 기반 조성에 매우 중요한 역할을 수행했음은 물론, 다기능화를 이룩하여 가장 경제적이면서도 안전한 건설재료로서 타의 추종을 불허하는 위치를 굳건히 다져왔다. 아마도 앞으로 이를 대체할 재료가 출현하기 힘들 것이라는 것이 우리 시멘트인들의 공통된 견해라고 본다.

그런데, 이런 발전 뒤에는 문제점도 뒤따르고 있었다. 최근, 언론 보도 매체에 시멘트·콘크리트에 관련된 문제 제기도 있었다. 예를 들면, (1) 부실시공이나 불량재료 사용에 따른 재해 문제 (2) 시멘트 재료에 공해물질의 혼입 문제 (3) 시멘트·콘크리트 구조물에서의 실내 공기질 등 건강 위협 문제 등을 들 수 있다. 이런 보도를 접하면서, 우리 시멘트인 들로서는 지금까지 고도 성장의 추세 속에서 차질 없는 생산·공급에만, 또 품질 향상과 제품의 특성화에만 노력하고, 유효 활용과 안전 사용에 대한 홍보는 소홀하지 않았나 하는 자책감이 드는 것은 사실이다.

전자의 경우, 규정대로 공사하고 규정된 재료를 사용하면 막을 수 있는 문제로 사람의 도덕성 문제이다.

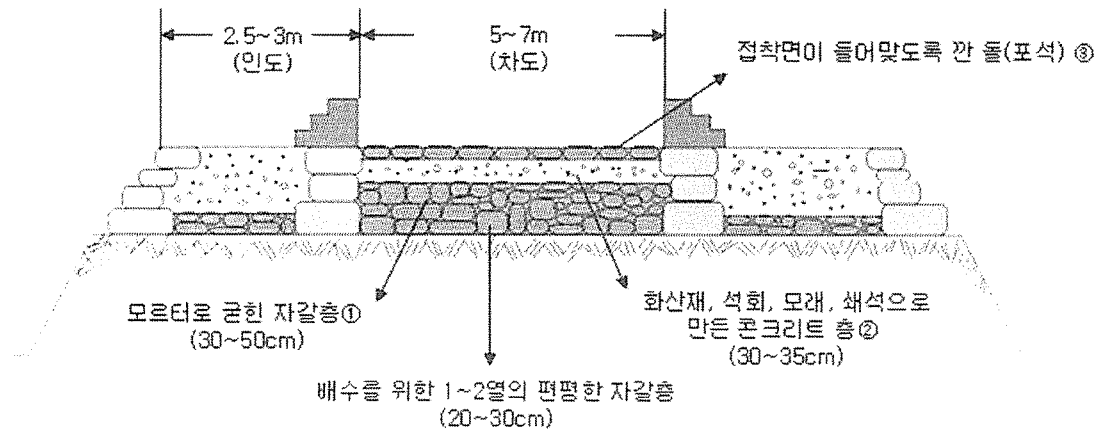
여기에서는 인류 문화 발전에서의 시멘트·콘크리트의 기여에 대하여 살펴보고, 최근 거론되고 있는 우리 생활 주거 환경에서의 문제점에 대하여, 그 실체를 분석하고 해소책을 생각해 보고자 한다.

## 2. 콘크리트 발전사에 기록될 시멘트·콘크리트 구조물의 예

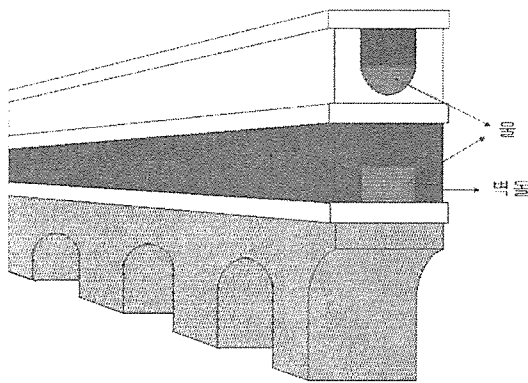
### 2.1 원시 콘크리트 - 로마 가도와 수도<sup>1,2)</sup> -

기원전 3세기부터 서기 2세기까지 건설된 로마 가도(街道)는 아피아 가도 (Via Appia)를 시작으로, 간선도로 80,000 km, 지선도로까지 합치면 150,000 km 에 이른다. “모든 길은 로마로 통한다” 고 하지만, 모든 길은 로마에서 시작되었다. 로마 가도는 군용 도로로 건설되었으나, 일반인도 이용하였으며, 우편물 배달에도 활용되었다. 이 도로의 건설 (그림 1)에는 화산재, 석회, 모래, 쇄석으로 된 콘크리트가 사용되었다<sup>2)</sup>. 즉, 최하층은 모르터로 굳힌 자갈층①이고, 그 위에 화산재, 석회, 모래, 쇄석으로 된 콘크리트층②을 두었으며, 최상층③에는 접합면이 딱 들어맞도록 자른 두껍고 편평한 돌(鋪石)을 빈틈없이 깔았다. 현대의 포장으로 보면, ①층이 노반(路盤)이고 ②층이 기층(基層)이며 ③층이 표층(表層)이다.

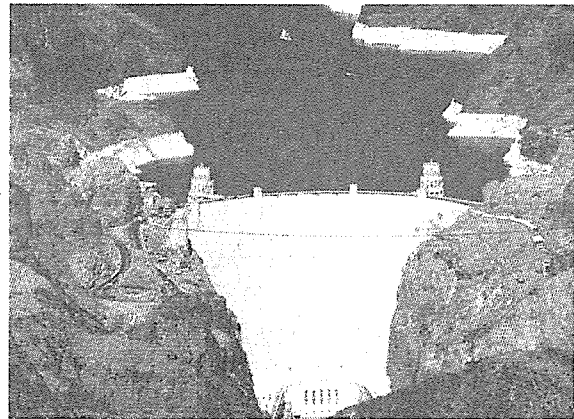
가도와 함께 수도(水道)도 건설되었다 (그림 2). 아피아 수도 (Aqua Appia)를 비롯한 11개 루트의 수도가 건설되었다. 로마는 물이 부족한 것은 아니었다. 자연에만 의존하지 않고 인공적으로 안정된 양질의 물 공급체계의 확립을 위한 것이었다. 수원지는 로마보다 높은 곳에 있고, 자연흐름에 의하여 물을 끌었기 때문에 적당한 기울기를 갖도록, 수도교(水道橋)와 터널을 이용하여 수로(水路)를 만들었다. 따라서 도수로(導水路)에는 모르터가 사용되었고, 수도교에는 콘



<그림 1> 로마가도의 포장 구조



<그림 2> 수도교의 단면 구조



<그림 3> 후버댐 전경

콘크리트가 사용되었다. 또, 도수로는 2층, 3층으로 된 것도 있어 수원(水源)에 따른, 수질이 다른 물을 따로 배수할 수 있게 하였다.

**2.2 거대(巨大) 콘크리트 - 후버 댐 (Hoover Dam, 옛 이름은 Boulder Dam)<sup>2)</sup> -**

높이 221 m, 길이 411 m, 총 저수량 367 억톤의 후버 댐 (그림 3) 이 건설되었을 때(1930~1936), 이 거대한 콘크리트 덩어리가 어떻게 만들어졌을까에 전 세계의 시선이 집중 되었다.

이 중력댐의 건설에서 가장 문제된 점은 수화열의 발생이었다. 이 수화열을 어떻게 극복할 것인가. 그러나 이 댐은 수화열 문제를 잘 극복하고, 예정보다도 빨리 완성되었다. 여기에는 우수

한 기술진의 공로가 크다. 즉, 기술진은 (1) 쿨링 기술의 개발, (2) 저발열 시멘트의 개발, (3) 시공 기계의 개발 등을 이룩하여 이 공사를 가능케 하였다.

**3. 생활 주거 환경과 시멘트 · 콘크리트**

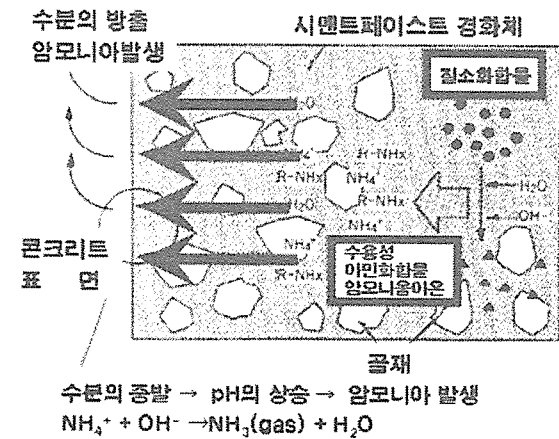
**3.1 실내 공기질**

우리는 일상 생활의 대부분을 실내 공간에서 보내고 있다. 따라서 양호한 실내 공기질(Indoor Air Quality)을 유지하는 것은 건강하고 안전하게 생활하기 위한 주요 요소이다.

최근 고층 건물 주거 공간의 증가와 함께, 실내 공간의 고 기밀화와, 화학 물질을 방산하는 내장재 사용의 증가, 환기량 부족 등으로 실내 공기질의 문제가 자주 화두에 오르고 있다.

실내 공기를 오염시키는 인자중 시멘트·콘크리트와 관련이 있는 것부터 살펴 보자.

먼저, 암모니아의 발생이다. 콘크리트에서 발생하는 암모니아의 농도는 100~200 ppb 정도로, 사람이 인지하는 농도 (1 ppm) 보다 훨씬 적어 보통 사람은 느끼지 못하므로 문제가 되지 않으나, 박물관의 문화재나 미술관 그림 등의 보관, 또는 반도체와 같은 첨단재료를 취급하는 곳에서는 문제가 발생한다.



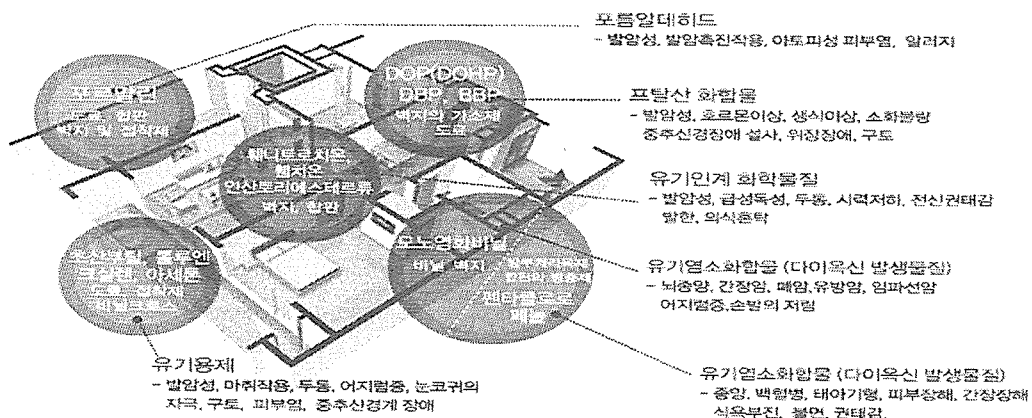
<그림 4> 콘크리트로부터 암모니아 발생 메카니즘 모식도<sup>3)</sup>

<그림 4>에 콘크리트로부터 암모니아가 발생하는 메카니즘을 모식도로 나타내었다. 암모니아는 질소화합물이 수화시 발생하는 알칼리에 의하여 가수분해 되어 수용성 아민화합물이나 암모늄 이온이 발생하고, 이것이 표면으로 이동, 표면에서 수분은 증발하고 pH가 높아져, 아민화합물이 분해되어 암모니아로 변화하여 대기중으로 방출된다고 알려져 있다<sup>3)</sup>. 함수량이 많으면 발생량도 증가한다. 원인물질로는 시멘트 구성재료(산업 폐부산물 등) 및 골재표면의 부착물, 첨가물 등이다.

대책으로는 암모니아 유발성분을 갖는 물질의 혼입을 적게 하고, 골재를 전처리하는 것 등을 들 수 있다. 또, 암모니아가 포함되지 않은 무암모니아 시멘트의 개발도 요망된다. 콘크리트에서는 활성 실리카, 알루미늄 성분을 첨가하여 알칼리 성분을 낮추는 방법 등이 있다. 물론 사용 전 충분한 환기와, 적절한 환기 시설을 갖추는 것도 한 방법이다.

다음으로, 곰팡이의 발생을 들 수 있는데, 시멘트 자체에서는 곰팡이가 발생하지 않으나, 시멘트 먼지 등이 콘크리트에 생기는 결로수를 흡수, 영양원이 되어 발생한다.

한편 새집 증후군 현상에도 관심이 높아지고 있다. 흔히 sick house 문제라고도 하는 이것은 집을 새로 짓거나 개·보수 하였을 때, 눈이 따갑고, 목이 아프며, 두통, 아토피성 피부염, 천식 등이 나타나는 현상이다. <그림 5>에 새집 증



<그림 5> 새집 증후군을 유발하는 유발 물질 및 증상

후군을 일으키는 원인물질 및 나타나는 증상들을 보여주고 있다. 대부분이 시멘트계 재료는 아니고, 마감재로 사용되는 유기계 제품에서 발생하는 것을 알 수 있다. 이에 대한 대책으로는 역시 환기로 저감시킬 수 있겠으나, 포름알데히드나 기타 휘발성 유기화합물의 저감을 목표로 한 무기계 전자재(내장재)의 사용이 중요하다고 할 수 있다. 따라서 앞으로 개발되는 새로운 개념의 전자재(내장재)는 친환경적 기능을 갖는 것이어야 한다.

### 3.2 시멘트·콘크리트와 스트레스

현대인의 도시 생활 중에서의 스트레스는 <표 1>과 같이, 화학적인 것, 전자적인 것, 그리고 시멘트·콘크리트에서 오는 것으로 대별하기도 한다.

이 중 시멘트·콘크리트에서 오는 스트레스에

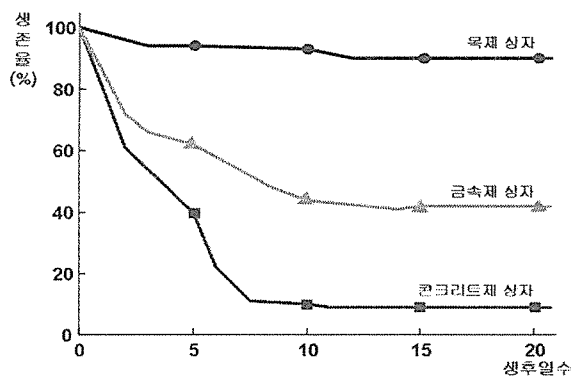
대한 동물 실험 결과를 보자<sup>4)</sup>. <그림 6>은 일본 시즈오카 대학에서 행한 콘크리트 환경 하에서의 스트레스를 실험용 쥐로 실험한 한 예이다. 실험에는 콘크리트로 만든 상자, 금속으로 만든 상자, 나무로 만든 상자의 세 종류의 상자를 준비하고, 그 속에 각각 실험용 쥐를 넣고, 같은 환경(온도, 습도 등)하에서 쥐의 생태를 관찰한 것으로, 쥐의 생존율은 콘크리트 상자의 것은 7%, 금속 상자의 것은 41%, 나무 상자의 것은 85% 였다. 이와 같은 결과는 콘크리트에서 발생한 냉복사에 의하여 사망률이 높은 것으로 여겨지고 있다.

사람의 경우도 콘크리트 마감 주거의 경우가 목재로 내장 마감한 주거의 경우 보다 건강 면에서 열악하다는 보고도 있다.

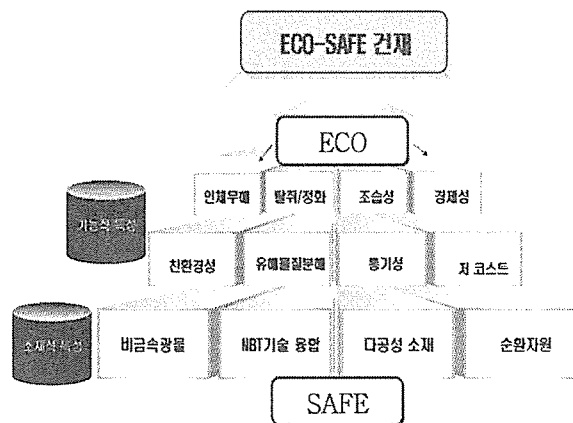
그러나, 이와 같은 콘크리트 스트레스에 대한 대책으로는 실내 주거 환경을 콘크리트로 그대로 노출시키지 않고, 목재로 내장 하든가, 새로

<표 1> 도시생활에서 오는 스트레스와 그 대책

스트레스	원인	특징	대책
케미칼	화학물질 노출	새집증후군 화학물질과민증	· 천연소재사용 · 탈취 촉매 응용기술
전자파	각종 전자제품	열작용(뇌세포파괴) 비열작용(발암작용) 자극작용	· 전자파 차단제품 사용 (의류, 매트, 전자제품)
시멘트·콘크리트	냉복사 중금속(크롬)	장기간 지속 중독증(수명단축)	· 냉복사 저감 건재의 활용 · 목조 주택으로의 전환



<그림 6> 새끼쥐생존율과 발암곡선 비교<sup>4)</sup>  
(기간 : 4월~7월, 평균온도 25℃)



<그림 7> Eco-Safe 건재의 개요와 특성

운 친환경 무기계 건재(내장재)를 개발하여 내장함으로써 해결할 수 있다<sup>4)</sup>.

## 4. 친환경 시멘트계 건자재의 개발 동향

### 4.1 친환경 시멘트

#### (1) 광촉매 시멘트

광촉매란 일정한 파장의 빛에너지를 받게 되면 활성화되어 자신은 반응에 참여하지 않으면서 광반응을 촉진시켜주는 역할을 하는 물질을 말하며, 대기정화, 수질정화, 실내 공기질 개선, 항균, 방오 특성이 우수하여 광범위하게 응용되는 나노소재이다. 이러한 광촉매물질을 시멘트에 적용한 것이 광촉매 시멘트이다. 광촉매 시멘트<sup>5)</sup>는 시멘트계의 광촉매 도장재로서 NOx 등의 배기가스 분해를 필요로 하는 용도로 사용된다.

광촉매 시멘트는<sup>5)</sup> 광 활성도를 높인 나노 크기의 광촉매 이산화티탄(아나타제 형)분말과 이 활성을 저해하지 않고 반 영구적으로 유지할 수 있도록 한 특수 시멘트 및 작업성을 고려한 특수 혼화제로 구성되어 있다. 이 시멘트를 사용하여 Photo-Road 공법으로 시공하여 자동차 배기가스로 발생한 질소 산화물을 처리한 결과가 일본에서 보고되었으며<sup>6)</sup>, 이와 같은 연구는 유럽에서도 행하여지고 있다.

#### (2) 무(無) 암모니아 시멘트

앞서 3.1 에서 기술한 바와 같이 시멘트·콘크리트 구조물에서의 암모니아 가스의 발생과 관련하여, 암모니아의 발생을 적게 하거나 무(無) 암모니아 시멘트도 관심사이다<sup>3)</sup>.

무 암모니아 시멘트는 기본적으로는 질소 화합물을 함유하지 않는 원료를 사용하고, 또 클링커 생성 과정에서 공기 중의 질소와 시멘트 원료와의 반응에 의한 질화물의 생성을 억제하기 위하여 소성 온도를 낮추는 것이 요망된다. 이런 조건을 만족 하는 것으로 가능성이 있는 것으로는 빌라이트, 칼슘설펜알루미늄에이트, 석고 등으

로 이루어진 시멘트를 들 수 있다.

### 4.2 친환경 시멘트계 건재 — ECO-SAFE 건재<sup>7)</sup> —

ECO-SAFE 건재의 개념은 <그림 7>과 같다. 즉 친환경소재이면서 건재가 사람의 건강을 추구해야 한다. 기능적 측면에서는 다공성 소재의 통기성을 활용하여 건재의 조습기능을 부고, 또한 실내 유해가스의 탈취와 공기정화를 위해 유해화학물질을 흡착 또는 분해하는 효과가 있는 환경촉매기술을 접목할 수 있다. 이처럼 ECO-SAFE 건재는 기술적으로는 천연 소재화하는 BT와 탈취, 항균성능의 NT 기술의 융합기술로서 고부가가치화 한 신제품이다.

시멘트를 이용한 ECO-SAFE 건재의 예를 들어보자.

#### (1) 시멘트 벽 바름제

벽 바름제는 수성페인트와 달리 결합재, 골재, 무기질계 분체 및 섬유 재료를 주원료로 하여, 주로 건축물의 내외벽을 스프레이, 롤러, 흡손 등으로 시공하는 두께 1~3mm 정도의 요철 모양으로 마무리하는 것을 말한다. 따라서 일반 수성 페인트와 달리 무늬 흡손 등 다양한 도장 방법으로 여러 가지 무늬를 연출하는 마감제이다. 벽 바름제의 결합제로 사용되는 것은 크게 시멘트계, 석회계, 석고계, 점토계, 합성수지계로 구분되지만, 친환경성과 난연성, 조습성, 기계적 특성면에서 시멘트계가 가장 일반적이다. 주로 구조토, 화산재 등의 다공성 원료와 천연소재로 구성된 내장용 친환경 벽 바름제가 개발되고 있다.

시멘트계 벽 바름제는 크게 결합재, 골재, 무기질계 분체, 착색제, 혼화제, 섬유 재료 등을 혼합 분산 한 것이다. 벽 바름제는 도막의 마감 두께가 일반 수성 페인트와 다르므로 두꺼운 도막에서도 크랙이 발생하지 않도록 알맞은 골재 및 섬유 재료를 사용하는 것이 중요하고, 적절한 채질안료의 선택과 배합조건도 매우 중요하다. 채질안료는 넓은 입도 분포를 갖는 것이 바람직하다. 시멘트계 벽 바름제는 분체형이므로, 혼합수

량을 계량하여 현장에서 슬러리믹서 혹은 핸드믹서로 균질혼합을 하여야 하며, 시멘트 벽 바름재는 항균, 유해가스의 탈취력을 보완하기 위해 가시광 응답형 광촉매 분말을 벽 바름재 총중량 대비 0.1~5wt% 외삽 첨가하여 벽 바름재 표면에 부착된 세균 및 곰팡이 등의 살균과 유해 물질의 탈취기능을 개선시킬 수 있다.

## (2) 뿔칠용 입상암면 마감재

뿔칠용 입상암면 마감재란 암면섬유를 스폰지 상태로 특수 가공하여 만든 입상암면에 시멘트, 플라스틱, 메틸셀룰로즈의 증점제를 첨가하여 제조되는 분말형의 제품이다. 암면을 입상화하였으므로 시멘트의 첨가량에 따라 표면밀도가 다르고 다양한 형태의 질감을 표현할 수 있다. 우리나라에서는 뿔칠용 마감재라면 철골조의 내화시간을 유지시켜주는 내화피복재가 대표적이지만, 일본의 경우는 단열재, 흡음재, 마감재, 내장용 조습 건재 등으로 다양하게 사용되고 있다. 기존의 뿔칠 내화피복재와는 달리 의장성, 기능성, 친환경성을 개선한 신제품이다. 불연성, 내화성, 단열성, 결로 방지특성, 조습성, 흡음성의 기능성이 매우 우수한 뿔칠용 습식건재로, 철골의 내화피복재용 뿐만 아니라 욕실, 풀등의 조습재, RC 조의 습식뿔칠 단열재가 주 용도이다.

## (3) 조습용 건재

조습용 건재란 주로 보드형태로 만들어 지는데 벽재나 천정재로 사용되면서 다공성 구조를 가지며 물리화학적 흡착과 분해기능, 불연성, 조습성을 가진 건재를 말한다. 소재에 따라 목질계, 토질계, 석질계로 구분 할 수 있는데 제조방법에 따라, 원료조건에 따라 그리고 다공성 소재의 기공분포에 따라 다른 형태의 다양한 제품을 제조 할 수 있다. 특히 시멘트를 원료로 하는 조습건재는 목모시멘트판, 규산칼슘판 등을 들 수 있다.

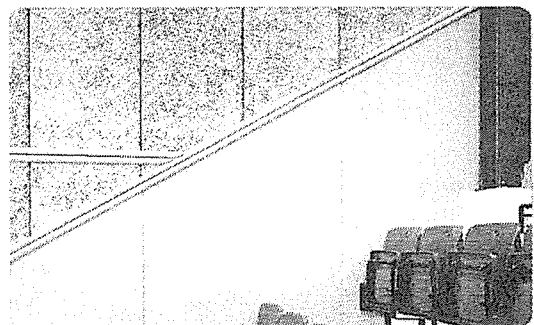
### (가) 목모 시멘트 판(wood wool board)

목모 시멘트판은 시멘트와 목질입자를 결합

하여 다양한 형태로 제조한 시멘트제품으로, 목재의 경량성과 단열성이라는 장점과 시멘트의 난연성 부여한 제품이다. 원료로 사용되는 목질입자의 크기와 형상에 따라 용도가 다르다. 목모시멘트판은 목모를 원료로 하여 시멘트와 결합시킨 다공성 저밀도판으로 건축물의 음향용 천정판에 사용된다. 목모의 크기는 섬유방향으로 30~50 cm, 폭 1~5 cm, 두께 0.3~0.5 mm 정도가 적당하다. 목모 시멘트판은 시멘트를 목재무게의 약 1/4~1/3 정도 넣고, 2kg/cm<sup>2</sup> 정도 가압하여 제조한다. 목모 시멘트판의 밀도는 0.32~0.40 g/cm<sup>3</sup> 으로서 난연성과 단열성을 갖는다. 목모시멘트판으로 만든 흡음판은 암면, 유리면과 같은 섬유질계 흡음재에 비해 단열성은 떨어지지만 내수성, 조습성, 의장성이 우수하고 특히 중저음역대에서 흡음효과가 우수한 특징을 가지고 있다. 목모 시멘트판은 안료를 첨가하는 방법과 표면 도장 방법을 실시하여 기능성 내장마감재로서도 활용이 기대된다.



<그림 8> 시멘트계 벽 바름재의 시공사례



<그림 9> 목모시멘트판의 적용사례

(나) ALC 보드형 조습 내장재

규석, 생석회, 시멘트를 주원료로 하여 제조된 무기계 조습 내장재이다. 사용원료의 99% 이상이 ALC 판의 제조공정에서 생겨난 스크랩(scrap)이므로 순환자원이다. ALC 스크랩을 분체로 프레스하고 여기에 이산화 탄소를 100% 충전시킨 후 고온고압 양생하면 원료로부터 생겨난 탄산 칼슘이 점착제 역할을 하게 되어 경화하게 된다. 이 과정에서 제품중량의 약 20%에 해당하는 이산화탄소가 고정된다. 이 보드는 5 nm 이상의 미세공극이 무수히 많아 조습 작용, 포름알데히드의 흡착, 탈취 등의 효과를 나타낸다.

4.3 광촉매 응용 제품

광촉매는 분말 또는 졸의 형태로 실내공기질의 공기정화를 요구하는 전자재나 생활용품, 공업용 제품 등에 응용되기도 하고, 수질정화, 대기정화용 소재로 활용되기도 하며, 항균, 항곰팡이성 소재로 활용되기도 한다. 특히 곰팡이는 실내에서는 외기와 접하는 결로현상이 빈번한 곳에서 결로수에 의해 상대습도가 높아지게 되면 발생이 쉬워지는데, 포자에 의해 이동하면서 아토피, 천식의 직접적인 원인이 되고, 외벽에서는 곰팡이가 도막과 구체의 열화원인이 된다. 곰팡이가 발생된 면에서 광촉매는 곰팡이의 번식을 강력히 억제하는 역할을 하므로 내부 뿐 만 아니라 외벽의 청결에 까지 활용이 기대된다.

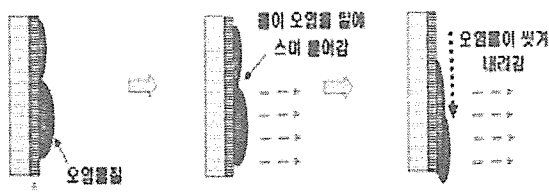
광촉매의 응용분야중의 하나가 초 친수성이다 (그림 10). 통상 외벽표면은 발수성 때문에 빗물은 오염의 원인이 된다. 외벽의 오염을 저감시키기 위해 광촉매가 포함된 도료가 개발되었다. 도료면 위에 빗물이 닿으면 도료면과의 접촉각이 매우 낮아져 자정(Self-cleaning)기능을 발휘하게 된다. 이러한 초 친수 효과는 외벽용 도료뿐 아니라 외장타일, 유리, 도료표지판, 방음벽 등에도 널리 이용되고 있다<sup>8)</sup>.

5. 맺음말

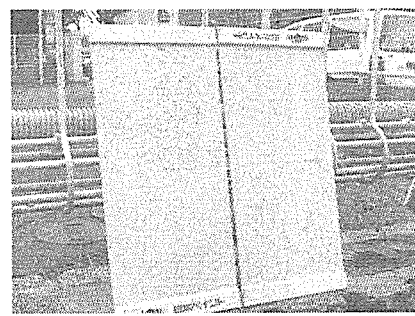
인간은 삶의 질을 높이기 위하여 쾌적한 생활 환경을 추구하고 있다. 최근, 각종 공해에 대한 관심이 높아지면서 화학 물질 과민증, 새집 증후 증 등 새로운 공해 요소도 등장하여 인류의 건강을 위협하고 있으며, 이런 위협을 유발하는 원인 중에는 시멘트·콘크리트에서의 문제점도 거론되기도 하고, 건축 내장재가 지적되기도 한다.

우리는 이들 실상을 검토하고, 대책을 강구하고, 자재와 성능 시험을 표준화하고, 홍보하고, 한편 Green concrete, Green construction을 지향하는 자연 친화적 시멘트계 전자재를 개발, 보급에 힘써야 하겠다.

시멘트·콘크리트는 살아있는 건재이다. 호흡하며, 물을 마시고 수화·경화 하고 있다. 건강하게 길러서(양생), 튼튼하게 키우고(경화), 쓸모 있게(적재적소) 활용하면 시멘트·콘크리트보다 더 좋은 건재는 아직 없다.



(a) 광촉매 초친수 기구



(b) 적용사례

<그림 10> 광촉매의 초친수 기구 및 적용사례

### < 참고 문헌 >

1. 시오노 나나미 저 “로마인 이야기 (10) 모든 길은 로마로 통한다” 한길사 (2005)
2. 小林一輔 저, “コンクリート 文明誌” 岩波書店 (2005)
3. I. Tanaka, et.al. “Influence and Suppression of Ammonia Gas Emissions from Concrete”, Cement & Concrete, Japan, No. 640. Jan. pp.8-15 (2000)
4. 船瀬俊介 著, “コンクリート住宅は9年早死にする”, 株式會社リヨン社. (2002)
5. M. Isimori, “Photocatalyst cement” J. Soc. Inorg. Mater. Japan. 11. 460 (2004)
6. M. Isimori, “Photo-Road with the Function to Remove Car Exhaustion Gas by Optical Catalyst” Cement & Concrete, Japan, No.639, May,18, (2000)
7. 김태현, 김병곤, “시멘트를 이용한 ECO-SAFE 건재의 신기술” 세라미스트, 투고중 (2006)
8. H. Nagaishi, “Interior and Exterior Construction Materials using Photocatalyst” Ceramics, Japan, 40, No. 7, 542 (2005)