

# 질소산화물(NOx)을 흡착·제거하는 건축재료의 개발에 관한 실험 연구

## An Experimental Study on Development of Building Materials with Absorbable and Eliminary NOx.

박준영<sup>\*</sup>      김현우<sup>\*</sup>      정봉원<sup>\*</sup>      최영준<sup>\*\*</sup>      김화중<sup>\*\*\*</sup>  
Park, Jun Young      Kim, Hyun Woo      Jung, Bong Won      Choi, Young Jun      Kim, Wha Jung

### ABSTRACT

In general, TiO<sub>2</sub> photocatalysts have the strong oxidizing power under intense UV light irradiation. The strong oxidizing power of TiO<sub>2</sub> photocatalysts are able to purify polluted air. Therefore, we intend to develop building materials with absorbable and eliminary NOx. In this study we used two types of TiO<sub>2</sub> photocatalysts which are widely used as photocatalysts. As a result, we conclude that building material using TiO<sub>2</sub> photocatalysts are able to purify polluted air.

### 1. 서론

산업용 보일러나 발전설비와 같은 고정원과 자동차, 선박등의 이동원에서 배출되는 질소산화물(NOx)은 대기중에 존재하는 탄화수소 유도체들과 반응하여 광화학스모그(Photochemical Smog)를 유발하거나 산성비의 원인이 되는 유해 대기오염물질이다. 또한 최근 10년간 지속적인 자동차 운행대수의 급격한 증가는 배출가스의 발생을 급격하게 증가시키고 있어 도시 대기오염의 주원인을 차지하고 있다. 따라서, 이러한 NOx에 의한 대기오염을 극복할 수 있는 방안이 사회적으로 요구되고 있는 실정이다.

NOx에 의한 대기오염을 정화할 수 있는 방법으로는 광촉매작용을 이용한 NOx의 고정화 및 무해화를 들 수 있으며, 광촉매가 태양에너지와 반응하여 질소산화물(NOx), 유기염소 화합물 등에 의한 대기나 실내의 오염물질을 산화하여 제거하는 원리를 이용한 것이다. 이러한 원리를 건축재료에 도입한다면 자동차에서 배출되는 유해가스를 바로 흡수·제거함으로써 도시의 대기오염방지에 상당히 효과적일 것이라고 판단된다. 현재 일부 선진국에서는 도로포장재, 도로측벽, 차음벽등에 광촉매를 포함하는 재료를 사용함으로써 대기정화 및 오염방지에 상당한 효과를 거두고 있으며, 이에 관한 연구도

\* 정희원, 경북대학교 건축공학과 석사과정  
\*\* 정희원, 경북대학교 건축공학과 박사과정  
\*\*\* 정희원, 경북대학교 건축공학과 교수

활발히 진행되고 있다. 따라서, 본 연구는 NO<sub>x</sub>에 의한 대기오염을 정화할 수 있는 건축재료를 개발하기 위한 기초단계로서 광촉매 종류 및 광원조건이 다른 모르타 패널을 대상으로, 광촉매에 의한 질소 가스의 제거 가능성을 평가해보고자 한다.

## 2. 광촉매 반응에 의한 대기정화 원리

### 2.1 광촉매 물질

화학반응이 일어나기 위해서는 어떠한 에너지가 필요하며, 광(열)이 닿으면 반응이 촉진되어 촉매작용을 하는 물질이 광촉매이다. 가장 많이 이용되는 광촉매 물질로는 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>)으로, 광촉매적 성질을 활용하여 대기와 물에 들어있는 유기오염물질을 인체에 무해한 물질로 산화분해시켜 주며, 광촉매는 산, 염기, 유기용매에 침식되지 않는 화학적인 안정성을 가지는 동시에 여러 가지 실험을 통하여 다른 광촉매와는 달리 중독성이 없고, 발암성 물질도 포함되어 있지 않은 것으로 알려져 있어 우수한 광촉매 물질로 많이 이용되고 있다. 그 예로는 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>), 루테튬트리스비필리틸(Ru2+), ZnO, ZrO<sub>2</sub>, CdS 등이 있다.

### 2.2 광촉매(TiO<sub>2</sub>)반응의 원리

여러 가지 광촉매 중에서 TiO<sub>2</sub>의 경우 Band gap이 약 3eV로서, 태양광의 파장으로 볼 때 400nm 이하의 자외선에 해당한다. 즉, TiO<sub>2</sub>에 자외선을 쬐이면 전자의 이동이 일어난다는 뜻이다. (Band gap에 해당되는 에너지를 가진 빛이 닿으면 가전자대의 전자가 전도대로 올라감)발생된 전자와 정공은 주변의 산소나 수소 혹은 OH<sup>-</sup> 등과 여러 가지 반응을 하게 된다.

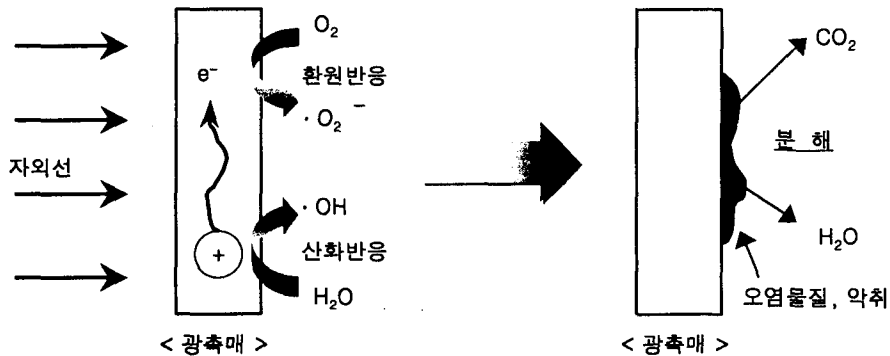


그림 1. 광촉매반응의 원리

## 3. 실험개요 및 방법

### 3.1 사용재료

실험에 사용된 시멘트는 S사 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 경북 해평산 강모래(비중; 2.6 FM:2.8)를 사용하였다. 광화학 반응을 유도하기 위해 사용한 광촉매로는 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>)

을 사용하였으며, 국내 D사 아나타제형 이산화티탄과 미국 D사의 루틸형 이산화티탄을 사용하였다. 사용된 광촉매의 물성은 표 1, 2와 같다.

표 1. 아나타제형 이산화티탄의 물성

색상	물리적 상태	냄새	맛	끓는점	용융점	PH	비중	물용해도
흰색	결정체	무취	무미	4532-5432 F (2500-3000 C)	3317-3362 F (1825-1850 C)	7.0~8.0	3.84-4.26	불용성

표 2. 루틸형 이산화티탄의 물성

색상	물리적 상태	냄새	맛	PH	비중	325 mesh 잔류율
흰색	결정체	무취	무미	7.0~8.0	4.0	0.02%이하

### 3.2 실험계획

실험계획에 있어서 주요 변수는 광촉매(TiO<sub>2</sub>)의 종류 및 치환율, 광원의 종류로 설정하였다. 시험체 모르타의 배합비는 물시멘트비(W/C%) 45%, 시멘트:모래=1:3으로 설정하였으며, 시멘트 중량에 대하여 광촉매를 0~12%로 치환하였다. 그리고, 모르타의 유동성을 160±20cm로 맞추기 위하여 고성능감수제를 분체중량에 대하여 0.1~0.5%정도 사용하였다. 실험계획은 표 3과 같다.

표 3. 실험 계획

실험인자	실험 변수
광촉매(TiO <sub>2</sub> ) 종류	아나타제, 루틸형
광촉매 치환율(wt%)	0, 1, 3, 6, 9, 12%
광원의 종류	UV램프, 형광등, 태양광
W/C : 45% C : S = 1 : 3	

### 3.3 공시체 제작 및 시험방법

#### 3.3.1 배합 및 시험체 제작

모르타의 혼합은 우선, 시멘트와 골재를 1분간 건비빔한 후 이산화티탄을 투입하여 1분간 건비빔하였다. 그리고, 물을 투입하여 3분간 혼합하는 것으로 모르타의 혼합을 완료하였다.

시험체 제작은 휨강도 공시체는 4×4×16cm로 제작하고 압축강도는 휨강도 시험후 파편을 이용하였다. 질소가스의 제거성능 시험을 위한 시험체는 40×40×1cm로 제작하였고, 수중에서 7일간 양생후 시험을 행하였다.

#### 3.3.2 강도시험

휨강도 시험은 중앙점 재하방법으로 행하였으며, 압축강도시험은 휨강도시험후 파편을 이용하여 4×4cm의 면적에 하중을 재하시켜 시험을 행하였다.

#### 3.3.3 질소가스 정화시험

본 연구를 위해 그림 1과 같은 밀폐식 질소산화물 처리장치를 고안·제작하여 NO<sub>x</sub>의 농도감소량을 측정하였다. 실험장치는 밀폐형 스테인레스 용기(상자형)내부에 광촉매반응을 유도하기 위해 UV램프를 설치하였고, 가스의 유입량을 조절하기 위해 유압계와 밸브장치를 구성하였다. 광원의 차이에 따른

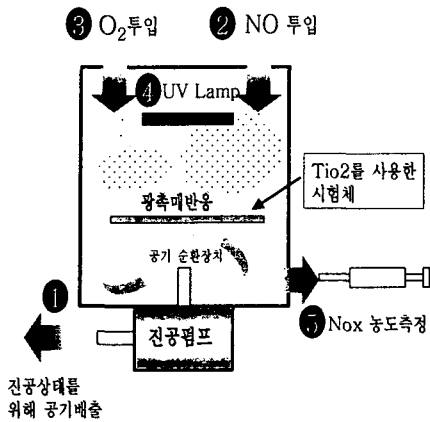


그림 1 밀폐식 질소산화물 시험장치 개요도

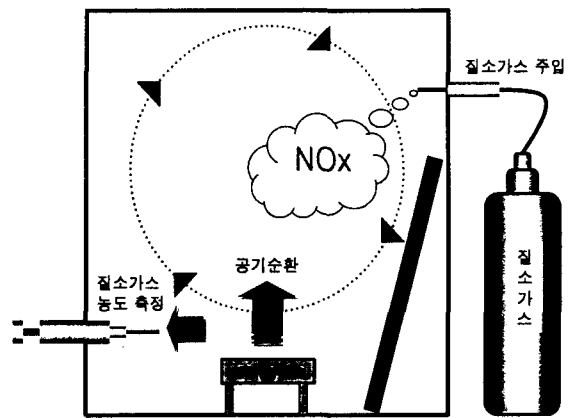


그림 2 태양광을 이용한 질소가스제거 시험개요도

광촉매 반응의 차이를 실험하기 위해 동일한 밀폐식 질소산화물 시험장치내의 UV램프대신 형광등 램프를 장착하여 실험하였으며, 태양광에 의한 시험은 그림 2과 같은 장치를 사용하여 시험하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

이산화탄 광촉매를 사용한 시험체의 실험변수에 따른 시험결과를 표 4에 나타내었다.

##### 4.1 압축강도 및 휨강도

이산화티탄( $TiO_2$ ) 광촉매를 사용한 모르타 시험체의 압축강도 및 휨강도의 결과 그래프는 그림 3과

표 4. 질소가스 시험 결과

실험 변수		시험체 종류							
광원의 종류	TiO <sub>2</sub> 치환율 경과시간	아나타제형 패널				루틸형 패널			
		0%	1%	3%	6%	0%	1%	3%	6%
자외선 램프 (UV Lamp)	초기치	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	1시간	3.8	2.5	2.1	1.8	3.8	2.5	2.2	2.2
	2시간	3.7	2.0	1.4	1.2	3.7	2.1	1.6	1.3
	3시간	3.7	1.2	0.7	0.4	3.7	1.3	0.8	0.6
	4시간	3.6	0.3	0.1↓	0.1↓	3.6	0.7	0.3	0.2
	5시간	3.5	-	-	-	3.5	0.4	0.1↓	0.1↓
형광등	초기치	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
	1시간	3.9	3.3	3.2	2.8	3.9	3.4	3.2	2.8
	2시간	3.9	2.7	2.5	2.1	3.9	2.9	2.6	2.2
	3시간	3.8	2.2	2.0	1.6	3.8	2.4	2.3	1.9
	4시간	3.7	1.9	1.6	1.3	3.7	2.0	2.1	1.4
	5시간	3.7	1.7	1.4	1.0	3.7	1.7	1.7	1.2
태양광	초기치	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	1시간	4.7	0.9	0.6	0.5	4.7	1.1	1.1	0.6
	2시간	4.4	0.4	0.1↓	0.1↓	4.4	0.1↓	0.1↓	0.1↓
	3시간	4.3	-	-	-	4.3	-	-	-

같다. 압축강도의 경우 전반적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 아나타제형의 감소폭이 9~30%로 루틸형에 비해 큰 것으로 나타났다. 휨강도는 압축강도의 결과와는 달리 변화가 거의 없는 것으로 나타났으며, 루틸형이 아나타제형보다 약간 우수한 경향이였다.

#### 4.2 질소가스(NOx)의 제거 성능

아나타제형 및 루틸형을 혼합한 모르터 패널을 대상으로 소정의 농도로 조절한 질소가스를 투입한 경우, 이들 가스의 흡착제거성능을 경시적으로 나타내면 그림 4, 5와 같다.

광촉매를 사용하지 않은 패널은 질소가스 농도의 초기값 4ppm에서 시간이 경과함에 따라 서서히 줄어들어 5시간뒤에는 0.5ppm감소한 3.5ppm을 보이고 있는데, 이는 질소가스가 제거된 것이 아니라 모르터패널 자체에 흡착되어 농도가 약간 줄어든 것으로 볼 수 있다. 그러나, 광촉매를 사용한 패널의 경우 초기값 4ppm에서 1시간뒤에는 1.8~2.5ppm으로 감소되다가 4~5시간뒤에는 0.3ppm이하로 줄어드는 결과를 보여 광촉매에 의해 질소가스가 제거되었음을 보여주고 있다. 광촉매 종류의 차이에 따른 성능은 아타나제형이 루틸형보다 약간 우수한 것으로 나타났으며, 아나타제형의 경우에는 시멘트 중량의 1%정도만 사용해도 5시간뒤에는 질소가스를 완전히 제거하는 결과를 보였다.

광원의 차이에 따른 질소가스의 제거성능을 살펴보면 태양광을 조사(照射)한 모르터 패널이 가장 우수한 제거성능을 보이고 있으며, 질소가스 투입 1시간만에 78%~90%의 제거성능을 보이고 있다. 형광등을 조사(照射)한 모르터 패널의 경우에는 다른 광원과는 달리 질소가스농도의 감소폭이 완만한 경향이이며 질소가스 투입 5시간뒤의 질소가스 제거성능은 58%~75%정도로 형광등도 질소가스의 제거성능이 있는 것으로 나타났다.

#### 5. 결론

광촉매 반응을 이용하여 질소가스 제거를 제거하는 건축재료를 개발할 목적으로 이산화티탄(TiO<sub>2</sub>) 광촉매를 시멘트 중량의 일부로 치환한 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 모르터 시험체의 압축강도는 전반적으로 감소하는 경향을 보였고, 휨강도는 큰 변화를 보이지 않았다. 그리고, 루틸형 이산화티탄이 아나타제형보다 강도발현성이 약간 우수한 것으로 나타났다.

2) 모르터 패널의 질소가스 제거성능은 UV램프를 조사(照射)한 경우, 아나타제형, 루틸형 모두 1시간만에 약 38%~55%정도의 제거성능을 보였으며, 4~5시간만에 질소가스의 농도를 0.1ppm이하로 감소시키는 우수한 결과를 보였다. 광원의 차이에 따라서는 태양광을 조사(照射)한 경우, 1시간만에 질소가스를 78%~90% 정도로 감소시키는 결과를 나타내어 가장 우수한 것으로 나타났다.

3) 이상과 같이 이산화티탄 광촉매와 시멘트재료를 이용한 건축재료가 질소가스 등의 유해가스를 정화할 수 있다는 것을 확인하였고, 광촉매반응은 콘크리트 표면에서 일어나기 때문에 광촉매 반응을 극대화할 수 있는 방안 및 이를 다양한 건축재료에 적용하기 위한 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

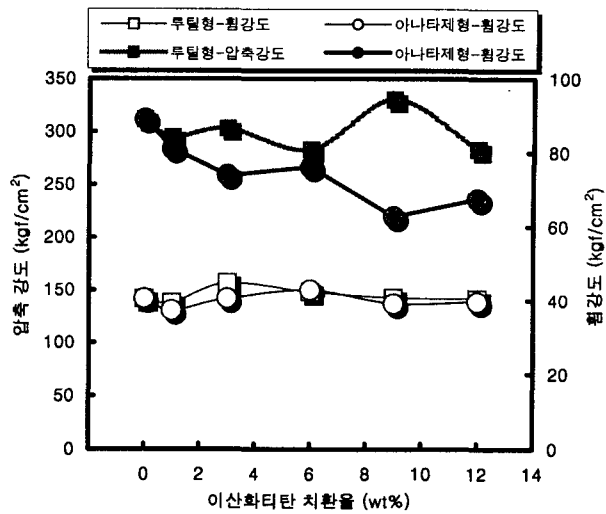


그림 3. 압축강도, 휨강도 시험결과

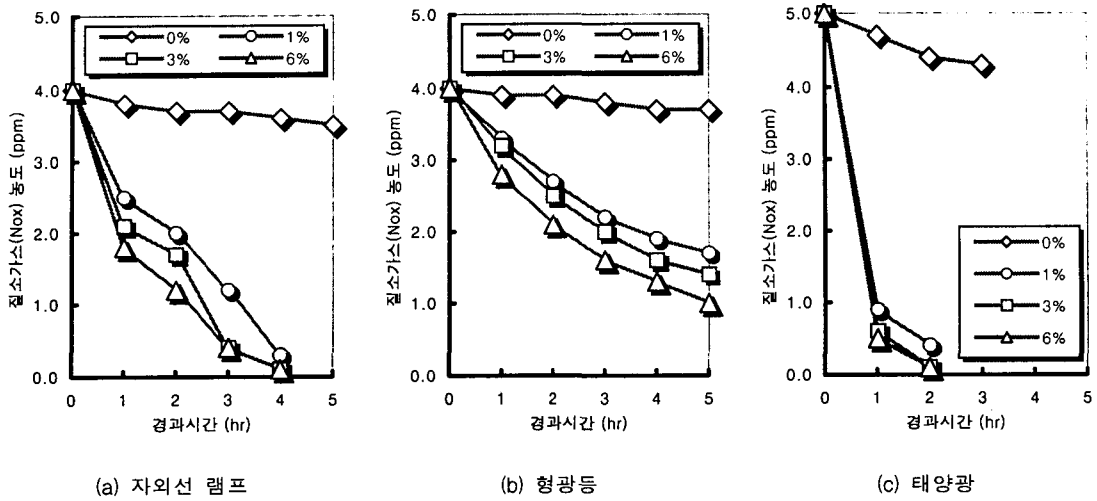


그림 4. 광원의 차이에 따른 아나타제형 광촉매 치환율-질소가스 농도

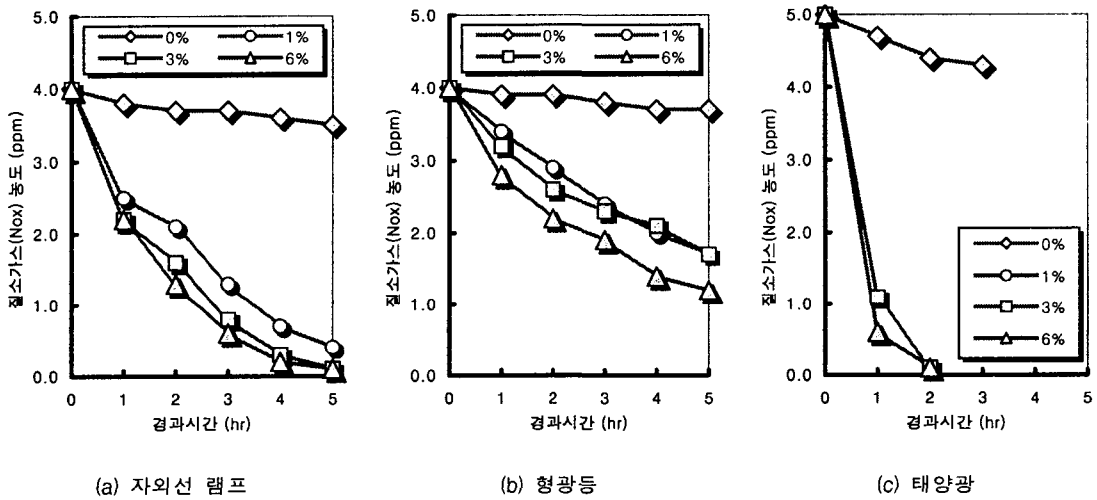


그림 5. 광원의 차이에 따른 루틸형 광촉매 치환율-질소가스 농도

참고문헌

1. 石森 正樹, “光觸媒セメントで自動車排ガスを処理”, セメント・コンクリート, No.639, pp18~23, 2000/5
2. 玉正 元治, “窒素酸化物(NOx)を吸収するコンクリート”, 콘크리트공학, Vol.36, NO.1 ISSN 0387-1061 36, 1998/1
3. 남인식, “고정원에서의 NOx 제거”, 화학공업과 기술, 제6권 제2호, 1988
4. 藤嶋 昭, “酸化チタン光觸媒の新しい流れ”, 環境管理, Vol.32, No.8, 1996
5. 김영도, “광촉매의 세계”, 대영사, 2000