

대기정화 광촉매블록 개발에 관한 기초적 연구

A basic study on development of photocatalytic block to purify polluted air

김현우* 정봉원* 박준영* 최영준** 김화중***
Kim, Hyun Woo Jung, Bong Won Park, Jun Young Choi, Young Jun Kim, Wha Jung

ABSTRACT

This study is to investigate application to the load packing or block with photocatalytic which has the characteristics absorption and removal for NOx, which is mainly generated from plant or car, which can be resolved by actions of light. Therefore a basic study was carried out to maximize the photocatalytic block for elimination of NOx.

1. 서론

근래들어 산업활동의 결실로서 눈부신 경제성장을 이루었지만, 그 이면에는 환경오염이라는 문제가 사회전반에 걸쳐 대두되기 시작하였다. 이러한 문제점 중의 하나로서 유해가스에 의한 대기오염을 예로 들 수 있다. 이러한 영향은 공장에서의 매연, 자동차 배기가스등이 주 오염원이라고 할 수 있다. 이들 오염원 중에서도 질소산화물(NOx)에 의한 대기오염이 상당한 비중을 차지하고 있다. 질소산화물(NOx)은 호흡기계통의 질환을 유발시킬 뿐만 아니라 광화학 스모그나 산성비의 원인 물질이 되고 있다. 한편, 이러한 질소산화물(NOx)의 배출은 교통량이 많은 도심 지역에서의 영향이 가장 크다고 할 수 있다.

만약, 유기오염물질을 분해하는 성질을 지닌 광촉매를 도로 포장재이나 블록에 적용하면, 도시의 풍부한 일조량에 의해 높은 농도의 대기 오염 가스를 처리하는 데 도움이 될 뿐만 아니라, 특별한 설치장소가 필요하지 않기 때문에 질소 산화물(NOx)의 제거에 대한 기여도도 높을 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 특성을 살리기 위하여 대기 중의 질소산화물(NOx)을 흡착제거하는 콘크리트 블록을 개발하고자 연구를 진행하게 되었다.

* 정회원, 경북대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 경북대학교 건축공학과 박사수료

*** 정회원, 경북대학교 건축공학과 교수

2. 광촉매 반응에 의한 대기정화 원리

2.1 광촉매 물질

광촉매는 빛(광)이 닿으면 반응이 촉진되어 촉매작용을 하는 물질로서 이산화티탄(TiO₂)이 가장 많이 이용되고 있다. 이산화티탄(TiO₂)은 대기와 물에 들어있는 유기오염물질을 인체에 무해한 물질로 산화분해시키며, 산, 염기, 유기용매에 침식되지 않는 화학적인 안정성을 가지는 동시에 다른 광촉매와는 달리 중독성이 없고, 발암성 물질도 포함되어 있지 않은 것으로 알려져 있어 우수한 광촉매 물질로 많이 이용되고 있다.

2.2 광촉매(TiO₂)반응의 원리

여러 가지 광촉매 중에서 이산화 티탄(TiO₂)은 반도체이고, 자외선(400nm)에서 반응하고, 전자는 가전자대에서 전도대로 이동한다. 이 경우 Band gap이 약 3eV 이다. 즉, TiO₂ 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⁻ 등과 반응해 활성산소가 생성된다. TiO₂ 를 활성화하기 위해선 400nm 이하의 파장의 광이 필요하다. 태양광에는 자외선(400nm 이하)이 4~5%, 가시광선(400~800nm)이 45%, 적외선(800nm 이상)이 약 50%가 포함되어 있으므로 연 중 태양광에 의한 광촉매 반응을 기대할 수 있다.

이러한 반응에 의해 생성된 질소산화물(NOx)은 정화재료 중에 축적되었다가 비에 의해 용출되어 제거 된다. 이산화티탄(TiO₂)은 고정된 바인더에 의해 유기물로 되고, 광촉매 반응에 의해 바인더도 산화, 노화된다. 그러나 시멘트를 사용해 이산화티탄(TiO₂)를 고정 할 경우, 광촉매 반응에 의한 시멘트의 산화가 일어나지 않고, 경화체는 다공질 구조로 빛과 질소산화물(NOx)이 표면에 접촉하는 면이 증가 함으로 광촉매 효과가 향상된다.

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(TiO₂)을 사용하였으며, 국내 D사 아나타제형, H사 아나타제형의 이산화티탄과 미국 D사의 루틸형 이산화티탄을 사용하였다. 사용된 광촉매 및 혼화제의 물성은 표 1, 2, 3, 4와 같다.

표 1. 국내 D사 광촉매의 화학적 조성 및 물리적 특성(아나타제형)

색상	TiO ₂ (%)	냄새	맛	끓는점	용융점	pH	비중	물용해도
흰색	79.90	무취	무미	4532-5432	3317-3362 F	7.0~8.0	3.84-4.26	불용성

표 2. 국내 H사 광촉매의 화학적 조성 및 물리적 특성(아나타제형)

TiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	H ₂ O (%)	Residue (325mesh)(%)	Whiteness (%)	Oil Absorption (cc/100g)	Particle Size(μ)	Hiding Power (cm ² /g)	Matter Soluble in Water(%)	pH
93.00	0.008	0.40	0.025	96.50	25.00	0.25 - 0.35	150	0.7	7.0 - 8.0

표 3. 국외 D사 광촉매의 화학조성 및 물리적 특성(루틸형)

색상	TiO ₂ (%)	냄새	맛	pH	비중	325mesh잔류율	비중
흰색	95	무취	무미	7.0~8.0	4.0	0.02%이하	2.2

표 4. 실리카 흙의 화학적 조성

성분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O
조성비(%)	90.16	0.77	1.72	1.36	0.32	1.25

실험에 사용된 광촉매 시료의 SEM사진과 광촉매와 혼화재를 혼합하여 1000℃에서 4시간 소성한 시료의 SEM사진은 아래의 그림1과 같다.

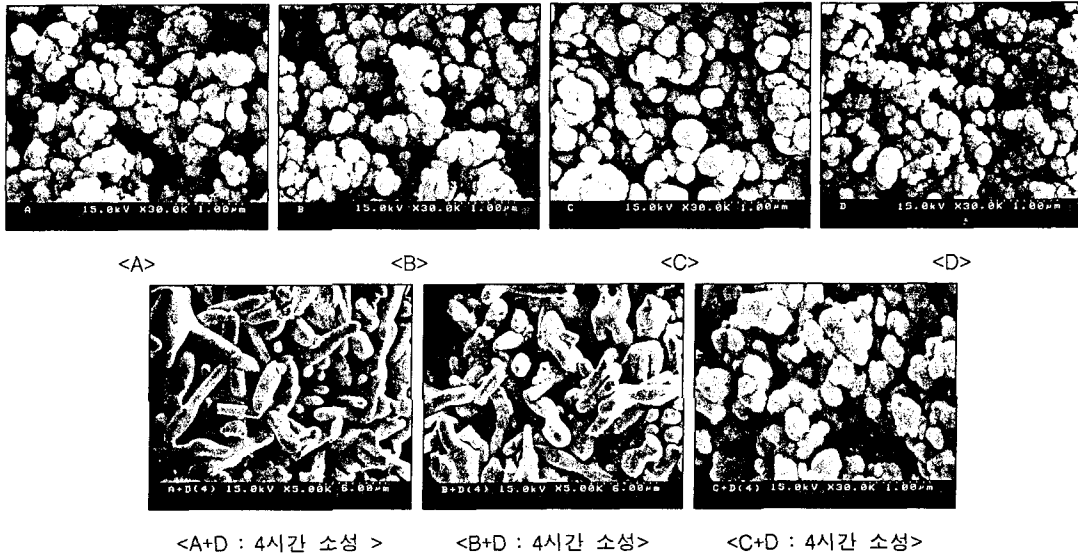


그림 1. 각 시료의 SEM 사진

3.2 실험계획

실험계획에 있어서 주요 변수는 광촉매(TiO₂)의 종류 및 혼화재로 설정하였다. 인터로킹 블록은 O-Type(208mm×138mm×70mm)을 기본 시험체 선정하고, 그 규격은 KS F 4419 에 따랐다. 유색층의 두께는 8mm 이상으로 하고 시멘트 중량에 대하여 광촉매를 3%로 치환하였으며 이는 광촉매 양에 따른 NO_x 제거 효과에 대한 기초 실험 결과에 따른 것이다.(그림 2)

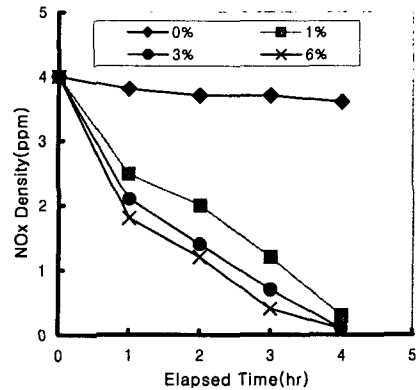


그림 2. 시멘트 페이스트 패널의 광촉매 치환 실험결과(기존연구)

3.3 실험장치 및 실험

3.3.1 질소산화물(NOx) 정화시험 장치

본 연구를 위해 그림 3과 같은 밀폐식 질소산화물 처리장치를 고안·제작하여 NO_x의 농도감소량을 측정하였다. 실험장치는 밀폐형 스테인레스 용기(상자형)내부에 광촉매반응을 유도하기 위해 UV램프를 설치하였고, 가스의 유입량을 조절하기 위해 유압계와 밸브장치를 구성하였다.(그림3)

3.3.2 실험 배합 및 시험체 제작

유색층은 시멘트와 골재를 1분간 건비빔한 후 이산화탄을 투입하여 1분간 건비빔 하였다. 그리고, 물을 투입하여 3분간 혼합하는 것으로 모르타의 혼합을 완료하였다. 질소가스의 제거성능 시험을 위한 시험체는 O-Type(208mm×138mm×70mm)인터로킹 블록을 제작하였고, 60mm 두께로 배면층을 제작하고 10mm 두께로 광촉매를 혼입한 유색층을 만들어 진동 프레스로 일체성형 시켰다. 광촉매와 혼화재를 7:3의 비율로 혼합하고 1000℃에서 각각 4시간, 8시간 소성 한다. 시험체 제작의 배합표는 표 5, 6과 같다.

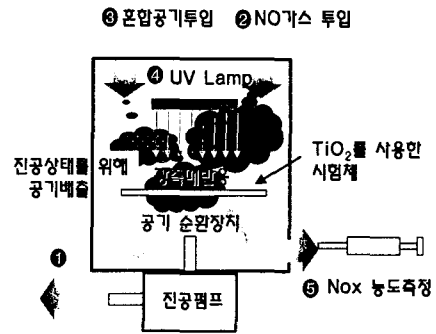


그림 3. NOx제거 시험장치의 개요도

표 5. 배면층 배합표

W/C (%)	단위 분체량 (kg)	고로슬래그 (Bxwt%)	혼화제 (Bxwt%)	공기량 (%)
30	400	20	0.5	20

표 6. 유색층 배합표

W/C (%)	단위 분체량 (kg)	광촉매 (Bx첨가%)	안료 (Bx첨가%)	공기량 (%)
30	350	3	6	20

4. 실험결과 고찰

4.1 질소산화물(NOx)의 제거 성능

아나타제형, 루틸형의 광촉매와 실리카 흡을 혼합한 광촉매와 이것을 1000℃에서 4시간, 8시간 소성하여 만든 광촉매를 사용하여 제작한 인터로킹 블록의 질소산화물(NOx) 제거 실험 결과는 다음의 표 7과 같다.

물성이 다른 광촉매 A, B, C를 사용한 시험체에 자외선 램프를 조사한 A, B, C 시험체 모두 질소산화물(NOx)의 감소가 일어났으며, 특히 A시험체에서 보다 큰 감소현상을 나타내었다(그림 4).

먼저, A-Type의 측정결과 광촉매 A를 사용하여 만든 인터로킹 블록은 초기치 4ppm으로 시작하여 4시간 경과 후 3.6ppm이 감소한 0.5ppm을 나타내었고, 실리카 흡과 단순 혼합하여 만든 A+B시험체에서는 0.4ppm으로 미소한 변화를 보였지만, 제거효과의 성능 향상에는 변화를 보이지 않았다. 이것을 4시간동안 소성한 A+B(4)의 시험체에서는 0.7ppm으로 그 효과가 다소 감소하였으며, 8시간 소성한 시험체에서도 0.7ppm으로 같은 현상이 나타났다. 이는 아나타제형의 광촉매가 소성과정에서 1000℃의 높은 열에 의해 그 결정구조가 루틸형으로 변화되어 나타나는 현상으로 사료된다. 그러나, 결정의 변화에도 불구하고 제거 성능에는 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고, B-Type에서는 시험체별로 반응의 차이를 보이지 않았으며, C-type의 시험체에서는 C와 C+D의 시험체에서는 제거성능의 차이가 없었지만, C+D(4)는 초기치에서 4시간이 경과한후 1.0ppm, C+D(8)의 시험체에서는 1.1ppm으로 C의 0.8ppm에 비해 다소 성능이 감소하는 경향을 나타냈다. 일반적으로 광촉매의 효과가 아나타제형이 루틸형보다 좋다고 알려져 있지만, 그림 4에

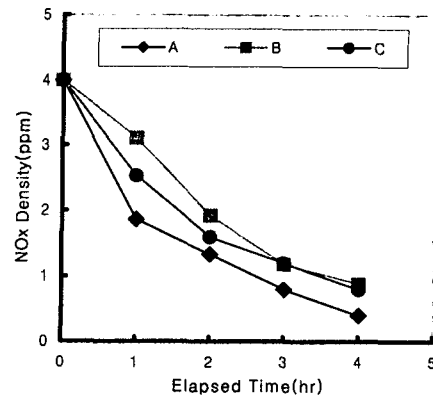


그림 4. NOx제거성능-광촉매A,B,C

표 7. 광촉매의 질소산화물(NOx) 제거 실험 결과표

실험변수		질소산화물(NOx) 농도 (ppm)											
광원 종류	종류 경과시간	A	B	C	A+D	B+D	C+D	A+D (4)	B+D (4)	C+D (4)	A+D (8)	B+D (8)	C+D (8)
		자외선램프 (UVLamp)	초기치	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
1시간	1.9		3.1	2.5	1.9	2.9	2.9	2.2	2.8	2.4	1.9	2.7	3.1
2시간	1.3		1.9	1.6	1.1	1.5	1.4	1.4	2.0	1.8	1.3	2.2	1.8
3시간	0.8		1.2	1.2	0.7	1.0	0.9	0.9	1.4	1.2	0.9	1.5	1.3
4시간	0.5		0.9	0.8	0.4	0.8	0.8	0.7	1.0	1.0	0.7	0.9	1.1

A:국내D사 TiO₂-아나타제형 B:국내H사 TiO₂-아나타제형 C:국외D사 TiO₂-루틸형 D: 실리카 흡

나타난 것과 같이 B의 아나타제형 광촉매와 C의 루틸형 광촉매의 NOx제거 성능은 거의 차이를 보이지 않았다. 광촉매의 활성화 크기는 결정구조뿐만 아니라 광촉매 자체를 구성하고 있는 분말의 화학적 조성이나 물리적 특성의 종류에 따라 상이한 결과를 나타낼수 있다고 사료된다. 결과표에 나타난 광촉매 반응에 의한 질소산화물(NOx) 제거성능의 경시적인 변화를 다음의 그림5~10에 나타내었다.

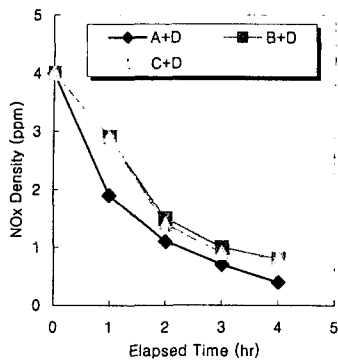


그림 5. 광촉매+실리카흡

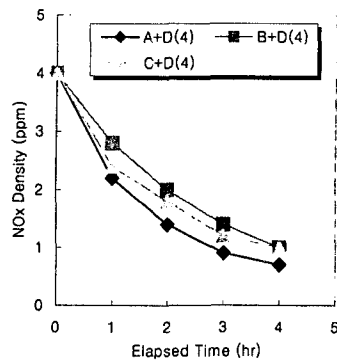


그림 6. 광촉매+실리카흡(4)

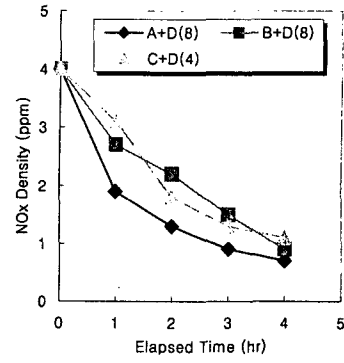


그림 7. 광촉매+실리카흡(8)

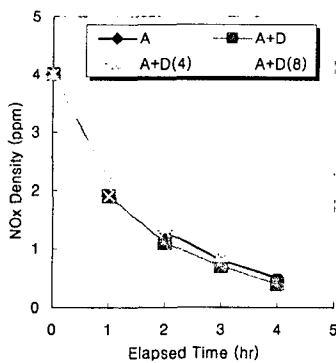


그림 8. A-Type 광촉매

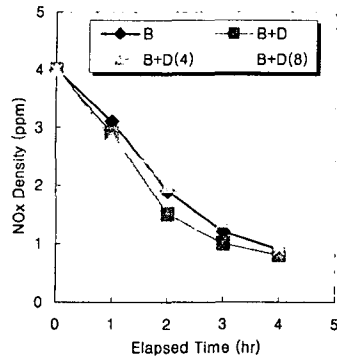


그림 9. B-Type 광촉매

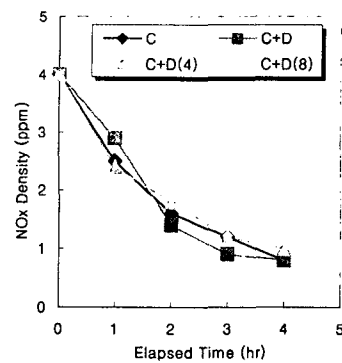


그림 10. C-Type 광촉매

5. 결론

광촉매 반응을 이용하여 질소산화물을 제거하는 광촉매블록을 개발할 목적으로 이산화티탄(TiO_2) 광촉매와 혼화제를 시멘트 중량의 일부로 치환하여 실험을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 3종류의 이산화티탄 광촉매와 실리카흙의 혼화제를 치환하여 블록의 유색층에 혼입하여 제작한 광촉매블록에 UV램프를 조사(照射)한 결과, Type별로 NO_x 제거성의 상이한 결과를 나타내었으며, 높은 온도의 소성에 따른 이산화티탄(TiO_2)의 결정구조 변화도 NO_x 제거 성능에 다소간의 영향을 미쳤음을 알 수 있었다.

2) A, B, C Type의 광촉매에 혼화제(실리카흙)를 혼합하여 소성등에 의한 처리에 따라 NO_x 제거 성능의 차이를 나타냄으로써, 다른 여러종류의 혼화제와 혼합하여 그 결과를 비교해보는 것도 지속적인 연구에 많은 도움을 줄 것으로 사료된다.

본실험 결과를 조합해 볼 때, 이산화 티탄 광촉매(TiO_2)를 도입한 인터로킹 블록을 사용하여 대기 중의 질소가스 등의 유해가스를 효과적으로 정화 할 수 있다고 사료되며, 앞으로 새로운 광촉매와 자재 개발과 실용화를 위한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 藤嶋 昭, “酸化チタン光触媒の新しい流れ”, 環境管理, Vol.32, No.8, 1996
2. 村田 義彦 “環境に 貢献する 舗装ブロックの 開発”, セメント・コンクリート, No.622, Dec. 1998
3. 村田 義彦 “光触媒お 利用した 大気浄化 コンクリート 製品”, 建築設備と 配管工事 98. 6. 37
4. 玉正 元治 “窒素酸化物(NO_x)を吸収するコンクリート”, 콘크리트工学, Vol.36, NO.1 ISSN 0387-1061, 1998/1
5. 김 영도 譯 “ 광촉매의 세계 ” 대영사, 2000/6
6. 高廷旻 “Zeolite 또는 맥반석이 혼합된 TiO_2 의 광촉매 효과” 성균관 대학교 석사 학위 논문, 1997/11