

이산화티탄(TiO₂) 분말을 광촉매로 사용한 시멘트 모르터의 질소산화물(NO_x) 제거 특성

The Properties of NO_x Removal in Cement Mortar With TiO₂ Powder as Photocatalyst

김 광 련* 이 동 범* 김 화 중**
Kim, Kwang-Ryeon Lee, Dong-Bum Kim, Wha-Jung

Abstract

Generally, TiO₂ powders absorb ultraviolet rays and make oxidation/reduction reactions on its surface. Hydroxide radical(OH), a product of photocatalyst reactions, has so strong oxidation/reduction electric potential that it can oxidize noxious gas like NO_x. In this study, TiO₂ was substituted for cement to investigate the purifying degree of NO_x. Rutile and anatase types of TiO₂ were used as photocatalyst. The sun rays and the ultraviolet were used as a light source. Anatase type TiO₂ was better than rutile type in purifying performance. The sunray showed the best purifying performance among the light sources. 3% substitution of TiO₂ with the sunray was enough to purify NO_x efficiently.

1. 서론

오늘날의 경제성장은 인구의 도시집중화를 불러일으켰으며 이에 의한 밀집화로 인해, 도시내의 대기환경은 갈수록 악화되고 있으며 특히 그 중에서도 자동차 배기가스 등에 의한 질소산화물(이하 NO_x)에 대한오염도는 현재 심각한 상태에 이르러 있다. NO_x는 호흡기관의 질병을 일으키고, 광화학 스모그와 산성비의 원인이 되기 때문에, NO_x를 제거하기 위한 환경개선방안은 현시점에서 가히 시급하다고 볼 수 있다. 최근 국내의 특히 일본에서 주도적으로 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 많이 이루어지고 있는데 그 예 중의 하나가 광촉매 반응의 원리를 이용한 방법이라 할 수 있다. 광촉매는 부가적인 에너지 소비 없이 태양광 등과 같은 빛에너지의 이용만으로 다양한 오염물질을 분해할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 광촉매 반응의 원리는 유해가스 제거, 항균, 살균 등에 적용가능한데, 광촉매 반응의 효과를 콘크리트 제품에 적용하게 되면, 알칼리성인 시멘트계 재료가 산성가스인 NO_x에 대해서 친화성이 크고, 다공질막을 얻을 수 있는 특징으로 인해 NO_x를 제거하는데 효율적일 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 NO_x를 제거할 수 있는 환경친화 기술로서 광촉매 기술을 소개하고, NO_x를 콘크리트 제품에 적용할 목적으로 시멘트 모르터에 광촉매 분말을 혼합시켜 유해가스인 NO_x의 제거 가능성을 검토하고자 한다.

* 정회원, 경북대학교 건축공학과 석사과정

** 정회원, 경북대학교 건축공학과 교수

2. 광촉매의 개요

광촉매란 촉매의 일종으로서 빛이 있어야만 촉매작용을 일으킬수 있는 물질을 말한다. 광촉매 역할을 가진 물질로는 TiO_2 (anatase), TiO_2 (rutile), ZnO, CdS, SnO_2 , WO_3 등이 있는데, 가장 많이 이용되는 광촉매 물질은 이산화티탄(Titanium Dioxide : TiO_2)으로 자신이 빛을 받아도 그 기능이 변하지 않고 반영구적으로 사용이 가능하다. 이산화티탄은 파장 400nm 이하의 빛을 흡수함으로써 내부전자와 정공이 생긴다. 이것이 표면에 확산되어 표면 흡착물질과 산화, 환원반응을 일으키는 것이 광촉매 반응의 원리이다.

3. 실험개요 및 방법

3.1 사용재료

본 실험에서 시멘트는 S社 보통 포틀랜드 시멘트가 사용되었으며, 잔골재는 경북 해평산 강모래(비중; 2.6 FM:2.8)가 사용되었다. 광촉매 반응을 유도하기 위해 사용한 광촉매 재료는 분말형태의 이산화티탄(Titanium Dioxide : TiO_2)이 사용되었는데, 아나타제(Anatase)형과 루틸(Rutile)형의 2가지 타입이 사용되었다. 아나타제형 이산화티탄은 시험시약으로 판매되는 국내 D화학의 산화티타늄이 사용되었고, 루틸형 이산화티탄은 백색안료로 시판되고 있는 미국 Dupont社의 Ti-Pure제품을 사용하였으며, 제조업체에서 제공된 물성표는 표 1 과 같다. 모르터의 유동성을 조절하기 위해 폴리칼본산계 혼화제가 사용되었다.

표 1. 광촉매 이산화티탄의 물성

종류	분자식	분자량	색상	물리적 상태	끓는점	용융점	비중	물용해도
아나타제	TiO_2	79.90	백색	결정체	2,500~3,000℃	1,825~1,850℃	3.84~4.26	불용성

종류	물리적상태	TiO_2 wt%	Alumina wt%	비중	Color, CIE L	입경 μm	PH	물용해도
루틸	결정체	96	3.1	4.0	99.3	0.34	7.3	불용성

표 2. 실험 계획

실험인자	광촉매의 종류	광촉매치환율	광원의 종류	W/C	모르터배합
실험수준	아나타제,루틸형이산화티탄	0,1,3,6%	자외선램프(UV)	40%,45%	C:S=1:3

3.2 실험계획

본 연구의 주된 실험목적은 이산화티탄의 종류 및 W/C%를 달리한 모르터 시험체의 질소산화물(NO_x) 제거성능을 확인하는 것이다. 실험인자 및 수준은 표 2에 나타내었다.

3.3 실험방법

3.3.1 배합 및 시험체 제작

시멘트 모르터의 혼합은 시멘트와 잔골재를 1분간 건비빔한 후 이산화티탄 분말을 투입하여 1분간 혼합하였다. 그리고, 물과 혼화제를 투입한 후 3분간 혼합하여 시멘트 모르터의 혼합을 완료하였다.

시험체 제작은 힘강도 공시체로 4cm×4cm×16cm로 제작하였으며 시험후의 파편을 압축강도 공시체

로 이용하였다. 양생은 강도시험체의 경우 28일간 수중양생, 질소산화물(NOx) 제거용 시험시편의 경우 7일간 수중양생하였다.

3.3.2 질소산화물(NOx) 제거 성능 시험

모르터 시험체의 질소산화물(NOx) 제거 성능 시험은 대기중 공기의 흐름상태와 유사한 상황이 되도록 하기 위해 '공기흐름장치'를 자체로 제작하여 시험하였다. 시험장치 내부에 모르터 시험체를 넣고 질소가스가 시험장치내에 골고루 흐르도록 한 후, 시험장치내에 농도 3~5ppm의 질소가스를 투입시켜 공기주입장치를 통해서 분출된 공기와 15분간 혼합되도록 하였다. 자외선(UV)램프를 작동시켜 15분 간격으로 일본 GasTech社의 가스검지관을 사용하여 질소산화물(NOx)의 농도를 측정하였다.

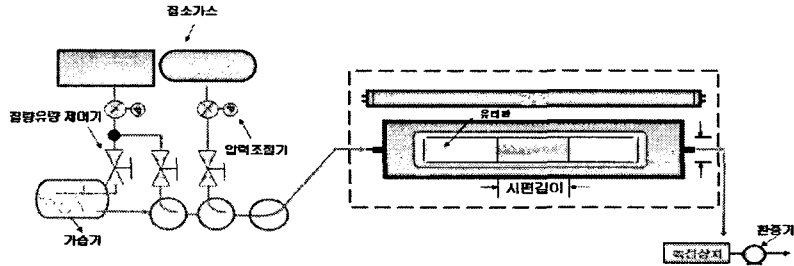


그림 3 흐름시험장치의 구성

4. 실험결과 및 고찰

4.1 압축강도 및 휨강도

표 3. W/C 40% 모르터의 강도시험결과

TiO ₂ 종류	강도 구분	TiO ₂ 치환율에 따른 강도결과 (kgf/cm ²)			
		0%	1%	3%	6%
Anatase	압축강도	345	332	323	315
	휨강도	55.3	51.4	51.7	48.7
Rutile	압축강도	342	345	325	326
	휨강도	54.3	53.9	49.3	47.1

표 4. W/C 45% 모르터의 강도시험결과

TiO ₂ 종류	강도 구분	TiO ₂ 치환율에 따른 강도결과 (kgf/cm ²)			
		0%	1%	3%	6%
Anatase	압축강도	336	313	284	305
	휨강도	46.2	46.3	52.4	54.4
Rutile	압축강도	336	333	337	322
	휨강도	46.2	48.8	51.9	44.5

4.2 모르터의 질소산화물(NOx) 제거 성능

그림 2, 3은 W/C 40%일때의 이산화탄(루틸형, 아나타제형) 광촉매를 0, 1, 3, 6% 사용한 시멘트 모르터의 NOx 제거시험결과를 나타낸 것이며, 광원으로 UV램프(자외선)를 사용한 경우이다. 결과를 보면 광촉매를 사용하지 않은 경우(0% 치환)에는 NOx의 제거율이 거의 없음을 볼 수 있다. 그러나 이산화탄(루틸형) 광촉매를 1%, 3%, 6% 사용한 시험체의 경우에는 시간이 경과함에 따라 NOx 제거율이 증가하였으며, 이산화탄(루틸형) 사용량이 1%보다는 3% 약간 높은 제거율을 보였다. 본 실험의 결과에 의해 광촉매 반응에 의한 공기정화가 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

그림 4, 5는 W/C 45%일때의 이산화탄(루틸형, 아나타제형) 광촉매를 0, 1, 3, 6% 사용한 시멘트 모르터의 NOx 제거시험결과를 나타낸 것이며, 광원으로 UV램프(자외선)를 사용하였다. 이산화탄(루틸형) 광촉매를 사용하여 NOx를 제거 시험을 한 결과, W/C 40%와 비슷한 결과를 가지는 것으로 나타났다.

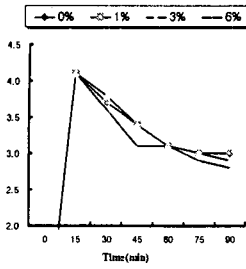


그림 4 아나타제형 (40%)

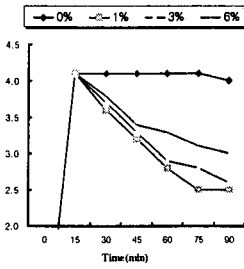


그림 5 루틸형 (40%)

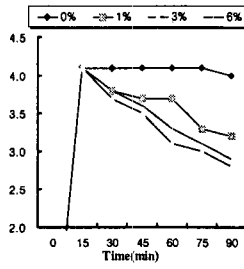


그림 6 아나타제형 (45%)

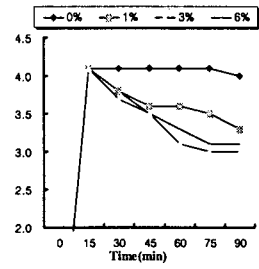


그림 7 루틸형 (45%)

5. 결론

NOx 등의 유해가스를 정화할 수 있는 기능을 콘크리트에 부여할 목적으로, 이산화티탄(TiO₂)에 의한 광촉매 반응을 이용해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 이산화티탄(TiO₂)을 시멘트의 일부로 치환한 시멘트 모르타의 강도시험 결과, 압축강도는 이산화티탄의 치환율이 높아질수록 최고 15%의 강도저하를 보였고, 휨강도는 대체적으로 플레인(plain) 모르타에 비해 강도저하를 보이지 않았다. 시험체의 NOx 제거 시험결과에서 W/C비의 비율을 달리한 경우에 NOx 제거성능은 큰 차이를 보이지 않았고, 3%이내의 치환율에서 제거성능이 높았던 결과를 고려해보면, 이산화티탄의 사용에 따른 콘크리트 제품의 강도저하현상은 발생되지 않을 것으로 판단된다.
- (2) 이산화티탄의 치환율에 따른 NOx 제거성능은 치환율이 높아질수록 제거효율이 향상되었으며, 이산화티탄의 종류에 상관없이 20~30%정도 제거율을 보이고 있다. 따라서, 소량의 이산화티탄을 사용해도 NOx를 제거할 수 있는 것으로 나타났다.
- (3) 이산화티탄의 종류에 따라서는 기존 문헌의 연구결과¹⁾²⁾처럼 아나타제형 이산화티탄이 루틸형보다 약간 우수한 것으로 나타났으나, 최고 12%이내의 차이로서 현저한 차이를 보이지는 않았다.

이상과 같이 질소산화물(NOx) 등 유해가스를 정화할 수 있는 콘크리트 제품을 이산화티탄(TiO₂)의 사용에 의해 제조할 수 있음을 확인하였으며, 자동차 배기가스가 배출되는 공간에 많이 사용되는 보도블록, 투수콘크리트, 외벽패널 등에 이를 적용할 경우 유해가스에 의한 대기오염을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 박영서 외 2인, "광촉매의 국내외 산업동향 및 업체별 사업화 추진전략" 한국과학기술정보연구원, 2001.2.
2. 김영도, "광촉매의 세계", 대영사, 2000.6.
3. 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.
4. 玉正 元治, "窒素酸化物(NOx)を吸収するコンクリート", 콘크리트工学, Vol.36, NO.1 ISSN 0387-1061, p p33~36, 1998.1.
5. 玉井 元治 외, "NOx를 흡착하는 人工ゼオライト를 이용한 吸音性 콘크리트", 建設用原材料, Vol.7, No 1, pp 33~38, 1997.
6. 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, pp 32~37, 1998.12.
7. 양진외, "광촉매를 이용한 건축, 토목재료의 개발 현황", 한국콘크리트학회지 제 13권 2호, pp 46~50, 2001.3.
8. 남인식, "고정원에서의 NOx 제거", 화학공업과 기술, 제6권 제2호, 1988.
9. 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.