

# 광촉매(TiO<sub>2</sub>)와 UV의 광화학반응을 이용한 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 제거특성

이관호<sup>1\*</sup>, 박우진<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>국립공주대학교 건설환경공학부

## The Removal Properties of NO<sub>x</sub> with the Photocatalytic (TiO<sub>2</sub>) and UV Optical Science Reactions

Kwan-Ho Lee<sup>1\*</sup> and Woo-Jin Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Civil Engineering, Kongju National University

**요약** 본 대도시지역에서 자동차 배기가스에 의한 NO<sub>x</sub>(질소산화물) 오염은 심각하다. 현재 일부 선진국에서는 도로포장재, 도로측벽, 차음벽등에 광촉매(TiO<sub>2</sub>)를 포함하는 재료를 사용함으로써 대기정화 및 오염방지에 상당한 효과를 거두고 있다. 본 논문에서는 밀폐식 질소산화물(NO<sub>x</sub>)제거장치 및 아스팔트 시편을 제작하였고, 분말 광촉매와 액상 광촉매를 도포한 후 광촉매와 UV와의 광화학반응을 이용해 도로표면에 직접적으로 영향을 미치는 자동차 배기가스의 NO<sub>x</sub> 정화성능을 분석하였다. 분말 및 액상형 광촉매 이용시 질소산화물 저감이 가능함을 확인하였다.

**Abstract** The nitrogen oxidized substance(NO<sub>x</sub>) from cars in city is one of serious air-polution problems. In advanced country, the powder or the liquid photocatalytic for asphalt pavement and noise barrier have been used to reduce the air-polution. In this paper, the effect of photocatalytic on asphalt pavement has been evaluated, especially for UV optical science reactions analyzed NO<sub>x</sub> purification efficiencies of the automobile waste gas. Judging from the limited lab-scale test, the use of the powder or the liquid photocatalytic is one of alternatives to reduce the NO<sub>x</sub> from automobile.

**Key Words** : Powder photocatalytic, Liquid photocatalytic, NO<sub>x</sub>

### 1. 서론

대기오염의 원인은 경제성장으로 인한 자동차 및 공장의 증가, 운수교통의 활동, 일반 가정의 연료소비 등 사람들의 생활이나 활동에 따라 생기는 인위적인 것과 연료의 연소, 가열용융-소성 등의 열처리, 원자력을 이용한 핵에너지의 발생, 화학반응 및 물리적 공정 및 자동차-항공기 등의 이동오염원에서 발생되고 배출된다. 대기오염의 가장 주된 원인은 도로이용 오염원(2007, 국립환경과학원 대기오염물질 배출량 기준, 34.4%)으로 특히 NO<sub>x</sub>가 대도1. 시나 공장지대의 공해를 야기시키는 가스성분이 라는 것은 잘 알려져 있다. 특히, NO<sub>2</sub>가 위험한 성분으로서 대기중에 50ppm 정도 존재하면 생명체의 죽음을 초

래하는 것으로 알려져 있고, 0.05~0.2ppm 사이의 낮은 농도에서도 호흡기 장애를 일으킨다. 더욱이, 대기중의 낮은 농도에도 수분 및 탄화수소와 더불어 광화학반응으로 대도시의 가장 심각한 문제중의 하나인 Smog현상을 일으키는 것으로 NO<sub>2</sub>는 더 알려져 있다. 이러한 오염물질을 제거하기 위해 광촉매를 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 지금까지는 도로용 가드레일, 도로측벽, 차음벽 등에 광촉매가 포함된 재료를 사용함으로써 대기정화 및 오염방지 효과를 보고 있지만 오염발생원이 가장 근접한 도로표면에 광촉매를 도포한다면 더 큰 효과를 볼 수 있다.

본 연구는 광촉매를 이용한 도로이용 오염물질 제거를 목적으로 UV와 광촉매(TiO<sub>2</sub>)의 광화학반응에 영향을 미치

본 논문은 국토해양부 지역기술혁신사업의 환경친화적 연안역 개발 기술 연구단 연구과제로 수행되었음.

\*교신저자 : 이관호(kholee@kongju.ac.kr)

접수일 10년 07월 06일

수정일 10년 08월 11일

게재확정일 10년 09월 08일

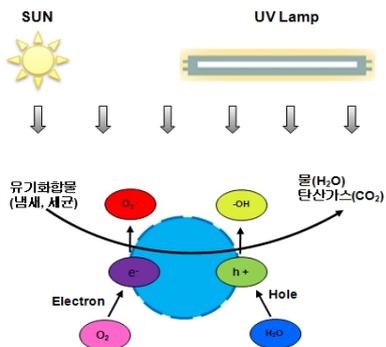
는 인자를 결정하고 질소산화물(NOx) 제거특성을 분석하고자 한다.

## 2. 광촉매의 정의

광(光)을 받으면 촉매 반응을 일으키는 물질이다. 광촉매로 사용할 수 있는 촉매로는 ZnO, CdS, WO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> 등이 있지만, ZnO는 이온을 발생하는 단점이 있으며, WO<sub>3</sub>는 특정물질에 대해서는 효율이 좋으나 사용할 수 있는 영역이 매우 제한적이다. 반면에 본 연구에서 사용된 TiO<sub>2</sub>는 자신이 빛을 받아도 변하지 않아 촉매의 피독현상이 없을 경우 반영구적으로 사용이 가능할 뿐만 아니라, TiO<sub>2</sub>의 band-gap energy에 해당하는 빛에너지(380nm 이하의 자외선)를 흡수했을때, 분자내에서 산화, 환원반응 및 친수성 반응이 동시에 가능한 고기능성의 광촉매로 VOCs 분해, 항균·살균, 탈취, 자정 작용(Self-Cleaning) 등의 기능을 나타낸다. 또한 내산성, 내알칼리성 등이 좋고, 식품첨가물에도 사용하고 있으며, 치약이나 안료, 섬유, 종이, 고무, 화장품 등 인체에 무해하기 때문에 각종 오염물질을 무해한 물질로 변화시켜주는 친환경적 소재이다.

### 2.1 광촉매(TiO<sub>2</sub>)의 유기물 산화분해

시험에 사용된 TiO<sub>2</sub> 즉, 티탄원자는 산소원자보다도 작고, 결정구조는 이산화티탄의 원자가 2개인 rutile구조와 원자가 4개인 anatase구조로 되어있으며 열적으로는 rutile이 안정하고, anatase를 900℃이상에서 가열하면 rutile로 변화한다. 입경은 20nm로부터 0.5 μm정도까지 커다란 것이 있다. 불산과 가열한 진한 황산 용융알칼리염 이외의 산, 알칼리, 물, 유기용매 등에 녹지 않으며 삼산화유황(SO<sub>3</sub>), 염소가스등의 반응성이 강한 가스에도 상온·상압에서는 반응하지 않는다[1-3].



[그림 1] TiO<sub>2</sub>의 산화분해 반응경로

그림 1과 같이 자외선(400nm)을 받으면 전자(Electron), 전공대(Electron Hole)가 형성되어 강한 산화력을 가진 하이드록시 라디칼(-OH)과 슈퍼 옥사이드를 생성한다. 이 하이드록시 라디칼과 슈퍼 옥사이드가 유기화합물을 산화 분해시켜 물과 탄산가스로 변화시킨다. 이런 원리로 공기중 오염물질을 산화 분해시켜 무해한 물과 탄산가스로 변화시키고 수중의 오염 물질인 유기화합물을 분해시켜 물과 탄산가스로 변화시키게 된다. TiO<sub>2</sub>의 반응 매커니즘은

#### I. Absorption of light by TiO<sub>2</sub> semiconductor



#### II. e<sup>-</sup>CB, h<sup>+</sup>VB surface diffusion

#### III. Main reaction

- positive hole reaction



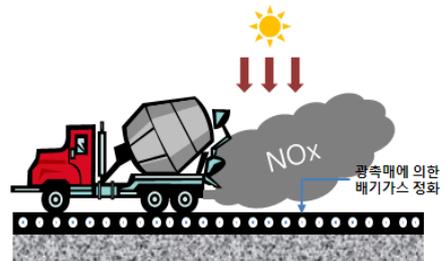
- electron reaction



## 3. 실험 계획

### 3.1 개요

본 연구는 자동차 배기가스에서 나오는 질소산화물(NOx)을 TiO<sub>2</sub>의 광학반응 원리를 이용해 흡수·제거하기 위하여 UV Lamp를 이용하여 실내실험을 실시하였으며 광촉매의 정화성능을 분석하여 도로포장면에서의 적용가능성 및 기본적인 인자, 변수를 계획하여 그 특성을 검토하고자 한다.



[그림 2] 광촉매 포장에 의한 대기정화

### 3.2 실험준비 및 장치 셋팅

광촉매의 질소산화물 정화 성능을 검증하기 위해 실험재료는 촉매의 종류를 분말과 액상으로 구분하였다. 분말 촉매는 TiO<sub>2</sub> (NT-22) 선정하였고 결정상은 anatase 형태를 갖고 있으며 입자크기는 20~30 nm, 비표면적은 100m<sup>2</sup>/g 이다. 액상 촉매는 (NTS-20-10)을 선정하였고

형태는 백색 콜로이드, 결정상은 anatase 형태를 갖고 있으며 입자크기는 10~30 nm, 고형분함량 4~10 %, pH 12~13의 특성을 갖고 있다. 사용된 UV Lamp는 2개를 사용하였고 FL20SBL 모델로 길이 58cm, 관경 2.8cm, 파장범위는 300~400 nm이며 최대 방출 피크는 352 nm이다. 촉매의 양은 분말 5g, 10g으로 변화시켰고, 액상은 100g으로 광분해 실험을 수행하였다. 준비된 재료는 그림 3~6에서 보여준다.



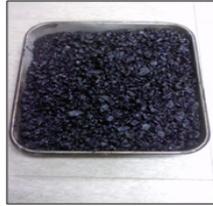
[그림 3] 분말 광촉매



[그림 4] 액상 광촉매

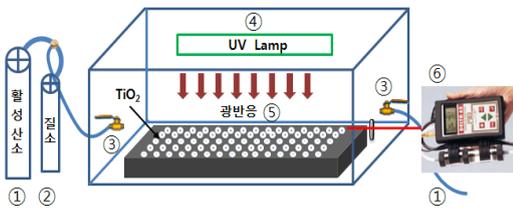


[그림 5] NOx, O<sub>2</sub>



[그림 6] 실험용 시편

실험 장치로는 그림 7과 같이 밀폐식 질소산화물 처리 장치를 고안·제작하여 NOx의 농도감소량을 측정하였다. 실험장치는 밀폐형 아크릴 용기(상자형) 내부에 광(光)효과를 위해 시료에 직접 조사되도록 UV Lamp를 설치하였고, 주입구와 출구를 통해 가스의 유입·유출량을 조절하기 위해 유압계와 밸브장치를 구성하였다.

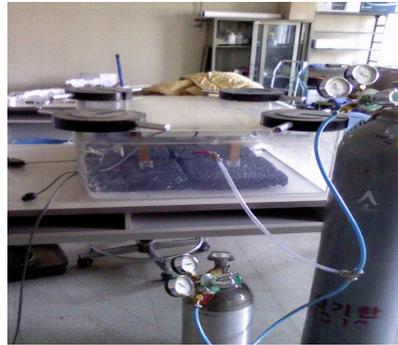


[그림 7] 밀폐식 질소산화물 실험장치 개요도

### 3.3 실험방법

본 연구에서는 태양에너지를 대체하여 UV Lamp를 고안하여 실시하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이 광촉매를 도포한 시료를 용기안에 넣고밸브를 열어 활성산소를 주입하여 아크릴 용기 안을 진공상태로 만든다. 다음으로 질소산화물을 주입하고 밸브를 닫는다. UV Lamp를 5분

정도 조사 후 1시간 단위로 질소가스량을 측정하였다. 사용된 계측기로는 Emission Monitoring System - MRU - Delta 65'3을 이용하였다. 준비가 완료된 실험장치를 그림 8에서 보여준다.



[그림 8] 실험장치 셋팅

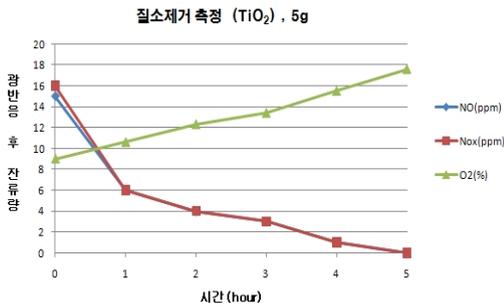
## 4. 실험 결과

### 4.1 분말 광촉매의 질소제거 특성

분말 광촉매 양을 5g, 10g으로 하였을 때 광학반응을 1시간 간격으로 측정하였다. 광촉매 양 5g의 경우 초기 NOx를 16 ppm으로 주입한 후 시간에 따른 질소제거량을 측정한 결과 광학반응 후 1시간이 지났을 때 초기 질소산화물량의 50% 가량 감소하였으며, 5시간이 지나자 잔류질소산화물은 zero가 되었다. 광촉매 양 10g의 경우 초기 NOx를 17 ppm까지 주입한 후 시간에 따른 질소제거량을 측정한 결과 5g과 유사하게 1시간이 지났을 때 50% 이상의 질소산화물이 제거되었으며 5시간이 지나자 잔류질소산화물은 zero가 되었다. 촉매양이 증가할수록 질소산화물의 제거 성능에 미치는 영향은 미소하다 것을 표 1, 표 2와 그림 9, 그림 10의 데이터를 보고 알 수 있다. 또한 분말 촉매양에 따른 반응을 살펴보면 10g보다 5g에서의 초기 질소제거량이 더 크게나온 것을 볼 때 적정 촉매양을 초과하면 오히려 제거효과가 감소한다는 것을 그림 11을 보고 알 수 있다.

[표 1] 질소제거 측정데이터, 촉매양 5g

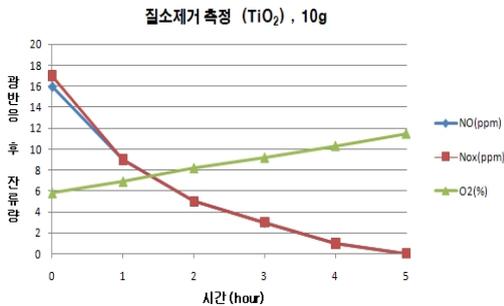
구분	Time Gas	0	1	2	3	4	5
		시간	시간	시간	시간	시간	시간
광학 반응 후	O <sub>2</sub> (%)	9	10.6	12.3	13.4	15.5	17.6
	NO (ppm)	15	6	4	3	1	0
	NOx (ppm)	16	6	4	3	1	0



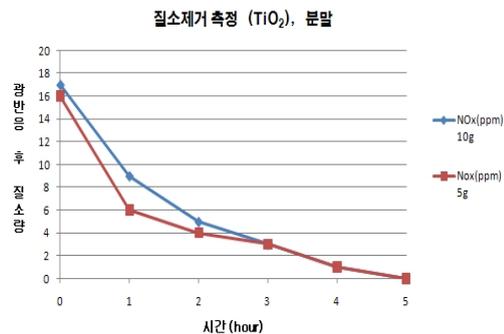
[그림 9] 시간에 따른 질소잔류량

[표 2] 질소제거 측정데이터, 촉매양 10g

구분	Gas	Time					
		0 시간	1 시간	2 시간	3 시간	4 시간	5 시간
광학 반응 후	O <sub>2</sub> (%)	5.8	6.9	8.2	9.2	10.3	11.5
	NO (ppm)	16	9	5	3	1	0
	NOx (ppm)	17	9	5	3	1	0



[그림 10] 시간에 따른 질소잔류량



[그림 11] 촉매양에 따른 질소제거 반응

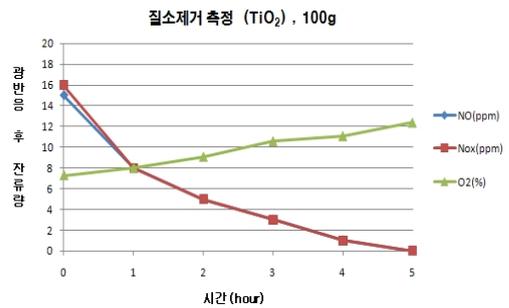
#### 4.2 액상 광촉매의 질소제거 특성

액상 광촉매 양을 100g으로 정하고 광학반응을 1시간 간격으로 측정하였다. 초기 NOx를 16 ppm으로 주입한

후 시간별 질소산화물 제거량은 분말 광촉매와 유사한 반응을 보였다. 1시간 경과 후 50% 가량 제거되었으며 5시간 후에 잔류질소산화물은 zero가 되었다. 이같은 결과를 표 3과 그림 12에서 보여준다.

[표 3] 액상 광촉매 질소제거 측정데이터

구분	Time Gas	0 시간	1 시간	2 시간	3 시간	4 시간	5 시간
		O <sub>2</sub> (%)	7.3	8	9.1	10.6	11.1
광학 반응 후	NO (ppm)	15	8	5	3	1	0
	NOx (ppm)	16	8	5	3	1	0



[그림 12] 시간에 따른 질소잔류량

## 6. 결론

도로위의 차량에서 배출되는 배기가스중 질산산화물 저감 효과를 분석하기 위하여 액상형 및 입상형 광촉매를 도로포장에 적용하였다. 제한한 종류의 실험이지만, 다음과 같은 의미있는 결과를 다음과 같이 도출하였다.

- 분말 광촉매 양을 5g, 10g으로 하였을 때 광학반응을 1시간 간격으로 측정된 결과, 광촉매 양 5g의 경우 초기 NOx를 16 ppm으로 주입한 후 1시간이 지났을 때 초기 질소산화물량의 50% 가량 감소하였으며, 5시간이 지나자 잔류질소산화물은 zero가 되었다.
- 초기 NOx를 16 ppm으로 주입한 후, 액상 광촉매 100g을 이용한 광학반응시 시간별 질소산화물 제거량은 분말 광촉매와 유사한 반응을 보였다. 1시간 경과 후 50% 가량 제거되었으며 5시간 후에 잔류질소산화물은 zero가 되었다.
- 분말형 및 액상형 광촉매의 사용량은 광학반응에

적정한 수준으로 유지되어야 질산산화물을 저감효과가 일정 수준이상으로 유지되었다.

### 참고문헌

- [1] 한양대학교 산학협력단, "NT를 이용한 고성능 콘크리트 및 경량콘크리 개발 연구 보고서", 건설교통부 R&D/A10-06, pp. 120, 2006.
- [2] 김광련, 이동범, 김화중, "이산화티탄 분말을 광촉매로 사용한 시멘트 모르타의 질산산화물 제거 특성", 한국콘크리트학회 2003년도 가을학술발표회, pp.671~674, 11월, 2003.
- [3] Bahnemann. D., Mechanistic studies of water detoxification in illuminated TiO<sub>2</sub> suspensions, Solar Energy Materials Vol. 24, p.564 ~583, 1991.

---

이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng., (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>  
도로공학 및 지반공학

---

박 우 진(Woo-Jin Park)

[준회원]



- 2009년 2월 : 국립공주대학교 건설환경공학부 (공학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 건설환경공학부 석사과정

<관심분야>  
도로공학 및 지반공학