

# 국제 블록포장 심포지엄

The International Block Pavement Symposium

일 시 \_ 2019년 6월 20일(목) 15:00 - 17:00

Thursday June 20, 2019 / 15:00 - 17:00

장 소 \_ 서울시청 다목적홀(8층)

Multipurpose Hall, Seoul City Hall 8F

주최·주관 \_ 서울특별시  
SEOUL METROPOLITAN GOVERNMENT

후원 \_ (사)한국블록협회  
Korea Block Association

주 제 \_ 미세먼지 저감 기술인 광촉매 활용 콘크리트 블록 도입 방안



# 국제 블록포장 심포지엄

The International Block Pavement Symposium

일 시 \_ 2019년 6월 20일(목) 15:00 - 17:00

Thursday June 20, 2019 / 15:00 - 17:00

장 소 \_ 서울시청 다목적홀(8층)

Multipurpose Hall, Seoul City Hall 8F

주최+주관 \_ 서울특별시 후원 \_ 서울국제블록협회

주 제 \_ 미세먼지 저감 기술인 광촉매 활용 콘크리트 블록 도입 방안





시간	내용	발표자
14:40~15:00(20')	주요 참석자 간담회	장소 : 간담회장2(8층)
15:00~15:05(05')	심포지엄 개회	사회자
15:05~15:10(05')	주요 참석자 소개	사회자
15:10~15:20(10')	개회사 / 축사	서울특별시 도시교통실장 (사) 한국블록협회장
15:20~15:25(05')	진행 안내	사회자
15:25~15:35(10')	사진 촬영	주요내빈, 발표자, 패널 등
15:35~16:05(30')	주제 발표	연구자료 발표(국외1, 국내1) · 광촉매연구소(일본) Kato Shigekazu 대표 · 전남대학교 화학공학부 김종호 교수
16:05~16:55(50')	토론회	총6명 · 광촉매연구소(일본) Kato Shigekazu 대표 · 전남대학교 화학공학부 김종호 교수 · 중앙대학교 조운호(좌장) 교수 · 한국건설기술연구원 곽종원 본부장 · 지이티피씨 손동기 연구소장 · 서울연구원 최유진 연구위원
16:55~17:00(5')	행사 종료	사회자

# 강연자 및 패널



## 강연자

성명	국적	발표자	발표제목
Kato Shigekazu	일본	광촉매연구소 대표	광촉매 성능 및 그 적용
김 종 호	한국	전남대학교 화학공학부 교수	광촉매 보도블록의 질소산화물 제거 성능

## 패널

연번	이름	소속	비고
1	조 윤 호 (좌장)	중앙대학교 / 교수	전문가
2	곽 종 원	한국건설기술연구원 / 본부장	연구기관
3	손 동 기	지이티피씨 / 연구소장	블록 제조사
4	최 유 진	서울연구원 / 연구위원	환경전문가



## 주제 : 미세먼지 저감 기술인 광촉매 활용 콘크리트 블록 도입 방안

1. Kato Shigekazu / 일본(JPN) ..... 06  
『광촉매 성능 및 그 적용』  
Photocatalyst performance and its application
2. 김 종 호 / 한국(KOR) ..... 24  
『광촉매 보도블록의 질소산화물 제거 성능』

1

—

**Kato Shigekazu**

일본(JPN)

『광촉매 성능 및 그 적용』

Photocatalyst performance  
and its application

—





2019 Pavement block Expo in Seoul

# Photocatalyst Performance and its Applications

株式会社 光触媒研究所

 **PhotoCatalytic Materials Inc.**

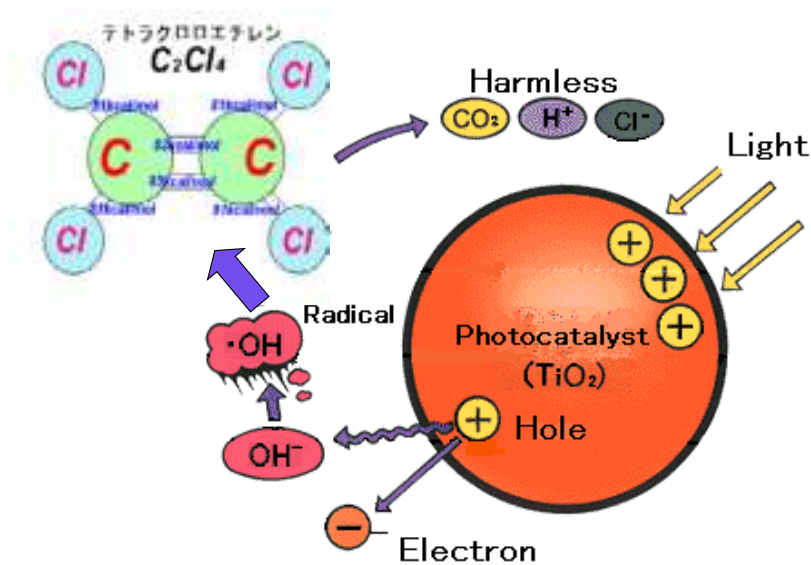


Shigekazu KATO  
Vice chairman of International Committee  
**Photocatalysis Industrial Association Japan**

*Photocatalytic Materials*



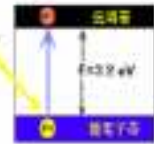
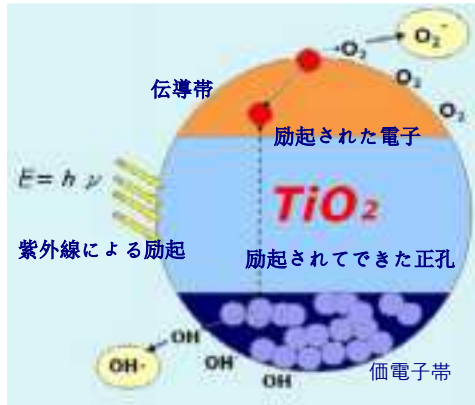
## Principle Outline of the Photocatalytic Reaction



*Photocatalytic Materials*



# Theoretical Understanding of Photocatalyst Reaction



$$E = h\nu$$

E: Energy  
 h: planck's constant  
 ν: frequency  
 c: Light speed  
 λ: Wave Length

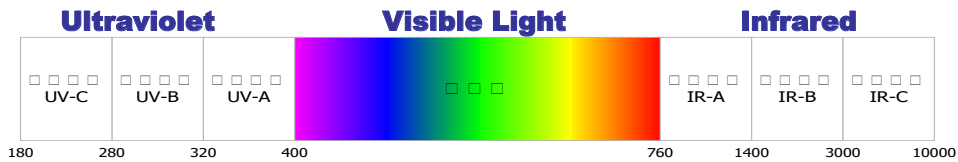
$$\nu = c / \lambda$$

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

$$E = 3.2 \text{ eV}$$

$$\lambda = 380 \text{ nm}$$



Photocatalytic Materials



# Applicable Field as Top 5

- ① **Odor VOC Removal**
- ② **Anti-bacterial**
- ③ **Water Remediation**
- ④ **Self-cleaning**
- ⑤ **Atmosphere Cleaning (NOx)**



Photocatalytic Materials





*VOC and adherent odor removal*

## **Odor VOC Removal**

*Photocatalytic Materials*



## **Odor VOC Removal**

- ① Adherent Odor removal
- ② VOC Decomposition  
(Sick-house Syndrome)

■ Acetaldehyde	ISO22197-2
■ Toluene	ISO22197-3
■ Formaldehyde	ISO22197-4
■ Methylmercaptan	ISO22197-5

*Photocatalytic Materials*



# Application for the Interior Wall Board

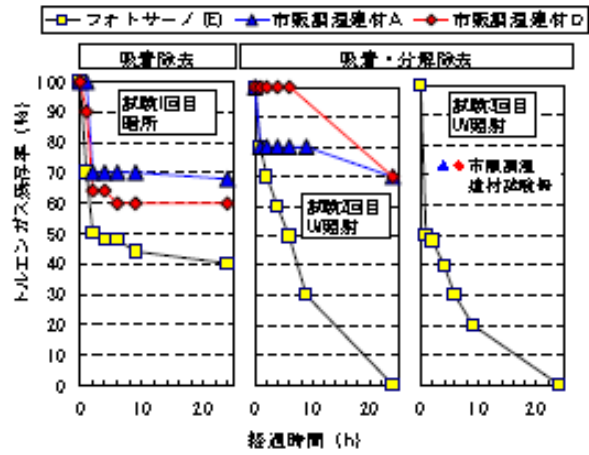


Fig. 6 トルエンガスの除去性能  
Performance of Toluene Gas Elimination

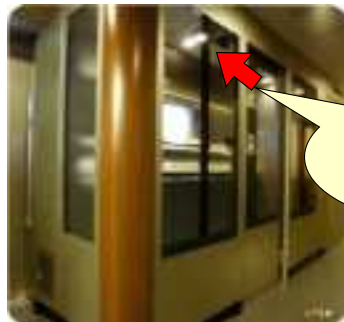
Photocatalytic Materials



# Japan Rail Shinkansen N700



Smoking Room



Photocatalyst Deodorizer



a/s

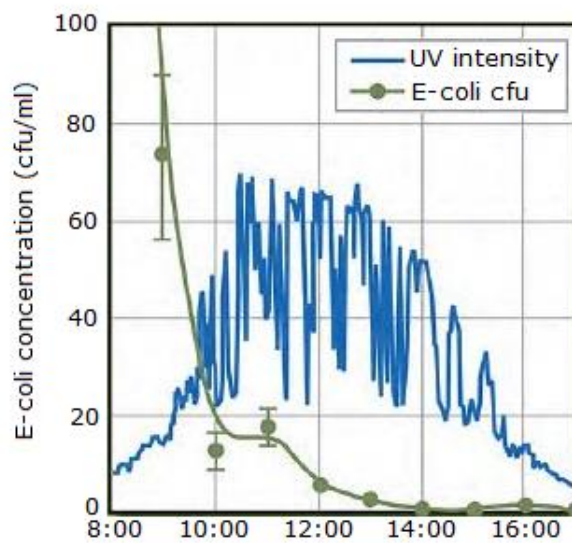


*E-coli decontamination from the well water*  
**Water Remediation**

*Photocatalytic Materials*



**Photocatalyst Solid Flake  
Solar Water Remediation**



*Photocatalytic Materials*



## ***Anti-bacteria principle and the application***

# **Anti-bacterial**

*Photocatalytic Materials*



## **Anti-bacterial Effect**

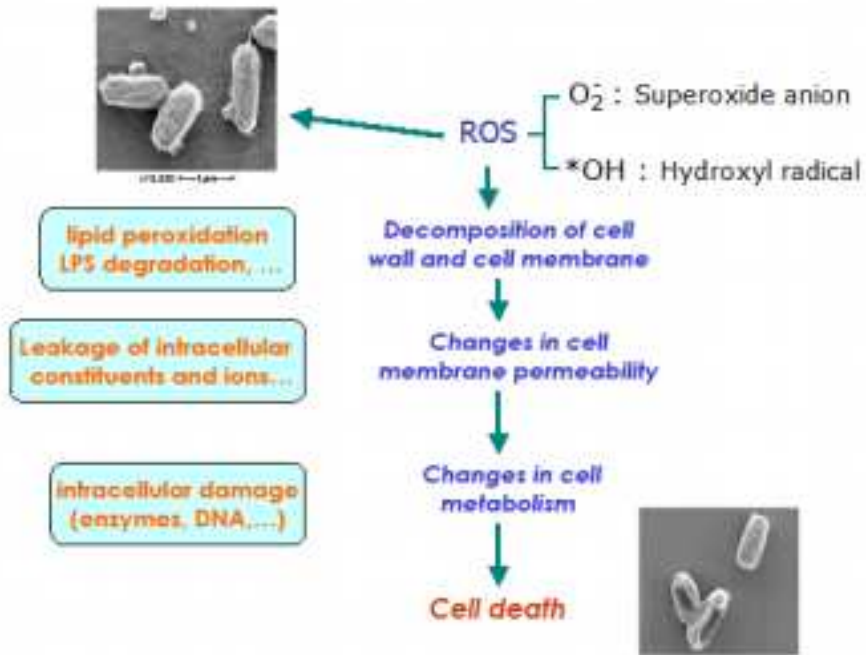


Test Piece	Conditions	0 Hour	6 Hours	24 Hours
Control (No coating)	No light	$2.5 \times 10^5$	$1.9 \times 10^5$	$6.3 \times 10^3$
Control (No coating)	Fluorescent light	$2.5 \times 10^5$	$1.2 \times 10^4$	$6.0 \times 10^2$
TiO <sub>2</sub> Thin Film coated	No light	$2.5 \times 10^5$	$3.0 \times 10^3$	$1.0 \times 10^3$
TiO <sub>2</sub> Thin Film coated	Fluorescent light	$2.5 \times 10^5$	< 10	< 10

*Photocatalytic Materials*



## Bacteria Oxidation Process



*Photocatalytic Materials*



## Milk Factory Ceiling Coating for Anti-mold



Difference in 3 months after Coating

*Photocatalytic Materials*



## Applications Japan (1)



高層ビルや住宅の窓ガラス、外壁



駅などのテント屋根



体育館などのドーム屋根



道路の防音壁

*Photocatalytic Materials*



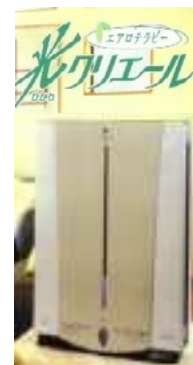
## Applications Japan (2)



N700系新幹線の喫煙ブース



車のサイドミラー



家庭用空気清浄機



高速道路のランプカバー



*Photocatalytic Materials*



## Shanghai EXPO Japan Pavilion



*Photocatalytic Materials*



## Football Stadium (USA)



**Dallas Cowboys Stadium  
(Texas)**





# China



High Rise Apartment Buildings

China National Grand Theater



CHINA NATIONAL GRAND THEATER / THE ADAL FACTO  
www.adalfacto.com



# Germany



Tower Cottbus Cottbus, Germany 2010

*Photocatalytic Materials*





## France



Pompidou Centre Metz, France 2010



*Photocatalytic Materials*



## Netherland



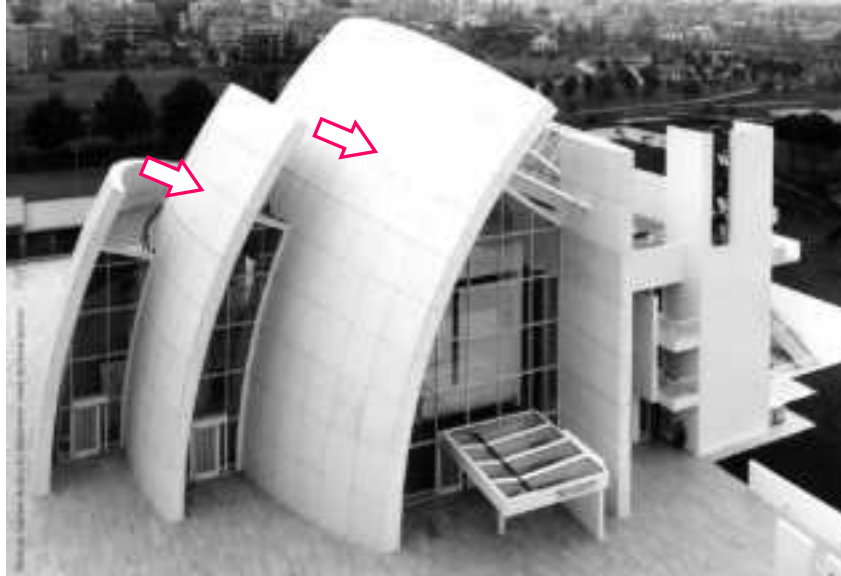
<Hypermarket>

Albert Heijn XL Amsterdam, Netherland 2010

*Photocatalytic Materials*



# Italy



*Photocatalytic Materials*



# Egypt





## Building Glass



Courtesy by Japan Sheet Glass Co.

*Photocatalytic Materials*



## Stone Facade



三交津駅前ビル 2010

*Photocatalytic Materials*



## Tile Facade



町田市役所 2011



*Photocatalytic Materials*



## Other Building Materials

### Tile facade



洗淨作業以前



施工後  
6年経過



### Aluminum facade

*Photocatalytic Materials*



## Glass Facade (Thailand)



*Photocatalytic Materials*



## UK City Bus Application (1)

- During winter time, the road in the UK becomes muddy, due to the snow.
- In order to maintain its appearance, the city bus must be cleaned everyday with numerous amount of the water and the detergent.
- Photocatalyst coated bus body panel is not soiled by the mud, by the self-cleaning performance.
- It was confirmed that the bus body maintained its shines and cleanness by photocatalytic effect, during half a year of the winter.



*Photocatalytic Materials*



## UK City Bus Application (2)

After 6 Months Running



*Photocatalytic Materials*



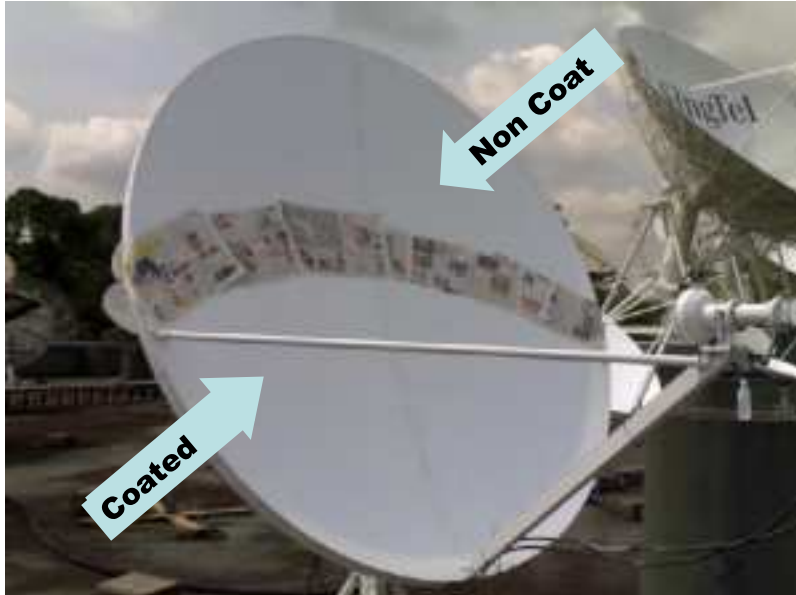
## Satellite Parabola Dish (1)



*Photocatalytic Materials*



## Satellite Parabola Dish (2)



*Photocatalytic Materials*



## Satellite Parabola Dish (3)

1 Year after Coating



*Photocatalytic Materials*



## Satellite Parabola Dish (4)



*Photocatalytic Materials*



*NO<sub>x</sub> removal tests*

## Atmosphere Cleaning NO<sub>x</sub>

*Photocatalytic Materials*





# Atmosphere Cleaning

## NOx reduction experiment

Conducted by the Ministry of Road & construction JAPAN



#302 National road Nagoya city

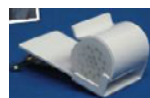
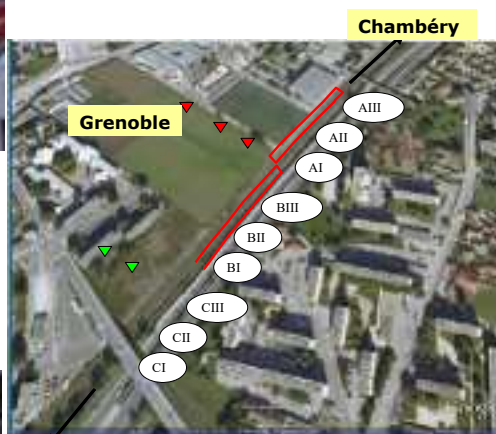
*Photocatalytic Materials*



# NOx Reduction in situ Test:

## Sound Proof Walls of Rocade Sud, France

Global Market for Photocatalysis JAPAN 2009 / P. KALUZYNY



*Photocatalytic Materials*



# NOx Depollution Field Test in Italy



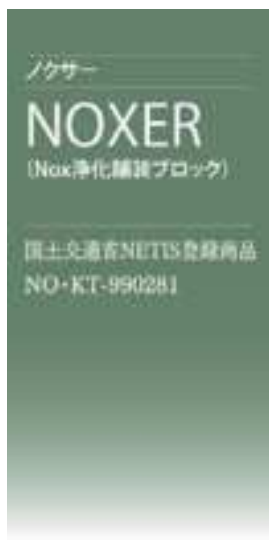
Borgo Palazzo street, Bergamo city (Nov. 2006)

Test results showed a pollution decrease between 30% and 40%. If we consider 500 mt. long street, with a traffic of 400 cars/hour, with TX ARIA® products along both sides, the benefits from the pollution decrease are comparable to a traffic reduction of 150 cars/hour

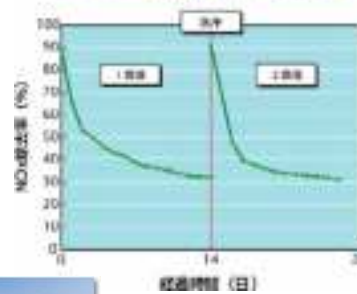
*Photocatalytic Materials*



# Photocatalyst Pavement Block "NOXER"



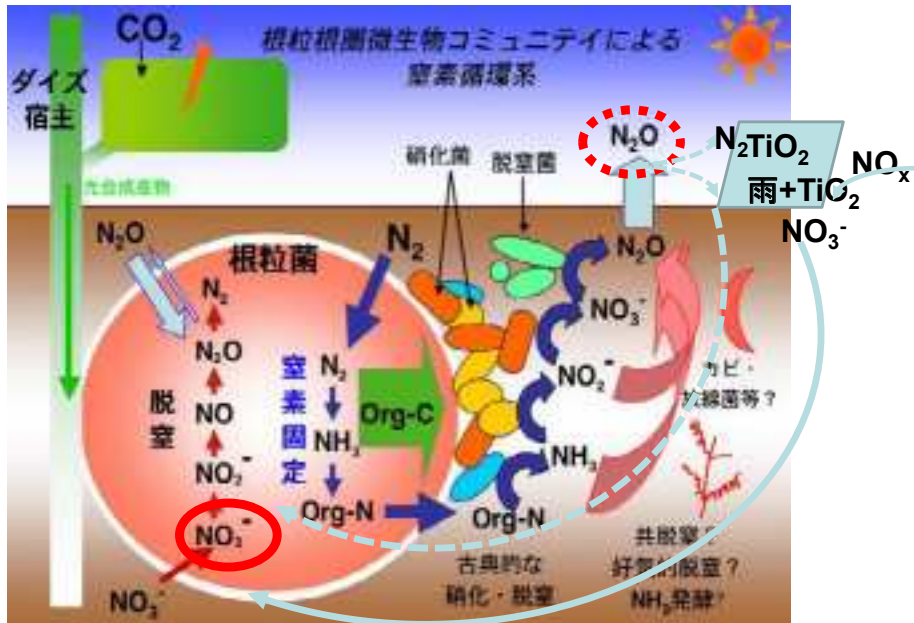
④ NOx除去性能の回復性



*Photocatalytic Materials*



# NO<sub>3</sub><sup>-</sup> Utilization in the Soil

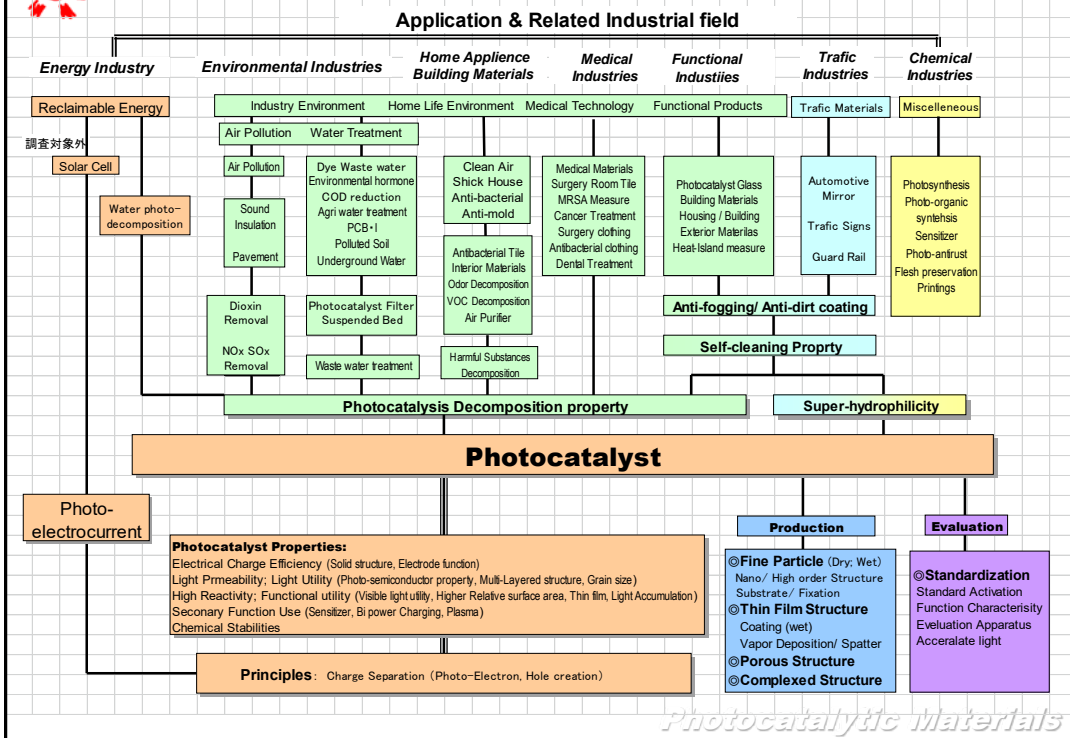


<http://www.ige.tohoku.ac.jp/chiken/research/researchs/4-1.htm>

Photocatalytic Materials



# Overlook of Photocatalyst Industries



Photocatalytic Materials



## From the History We Learn

Production cost for  $\text{TiO}_2$

Photocatalyst grade > White pigment grade



Pricing affects the application

High production cost = Less consumption



Slows down the application development

Price limits the larger application utilization

*Photocatalytic Materials*



## Cautions



- Low price  $\text{TiO}_2$  for large consumption
- Low price competitions in adaptions



- Fight with forgeries & poor performance
- Criteria determination for performance



- Testing standards and the test center
- Certification systems to classify

*Photocatalytic Materials*



## TiO<sub>2</sub> Expectations

Construction budget affordable products

- Construction materials require large amount with low pricing for budget

Certified performance adapted by the global standard

- Construction for the public requires the quality, the performance certified

*Photocatalytic Materials*

2

—

김종호  
한국(KOR)

『광촉매 보도블록의 질소산화물 제거 성능』

—



## 광촉매 보도블록의 질소산화물 제거 성능

전남대학교 화학공학부

김 종 호

## 목 차

- 1 질소산화물 저감 기술 개발 필요성
- 2 질소산화물 저감 광촉매 적용 사례
- 3 광촉매의 질소산화물 저감 성능 평가
- 4 광촉매 적용 시 검토 사항
- 5 맺음말

## 미세먼지 및 오존 예보

### <미세먼지 예보>

PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> , 일)		중음 (0-15)	보통 (16-35)	나쁨 (36-75)	매우 나쁨 (76 이상)
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> , 일)		중음 (0-30)	보통 (31-80)	나쁨 (81-150)	매우 나쁨 (151 이상)
행동 요령	민감군 (어린이, 노인, 폐 또는 심장 질환자)		실외 활동에 제한은 없으나 몸 상태에 따라 유의하여 활동	무리한 실외 활동 제한, 천식 환자는 실외 활동 시 흡입기 자주 사용 필요	가급적 실내 활동만 하고 실외 활동 시 의사와 상의
	일반인			장시간 무리한 실외활동 제한	장시간 무리한 실외활동 제한, 기침이나 목에 통증이 있으면 실외활동 자제

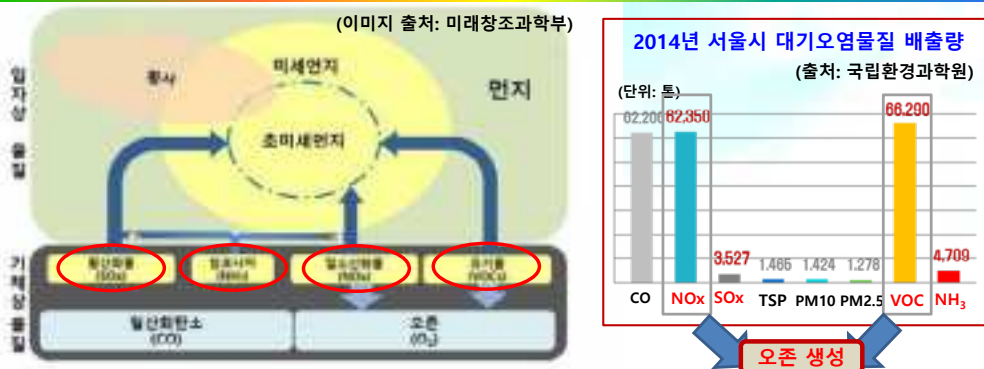
**주의보:** 기상조건 등을 고려하여 해당지역 대기자동측정소 PM<sub>2.5</sub> (PM<sub>10</sub>) 시간평균농도가 75 µg/m<sup>3</sup> (150) 이상 2시간 지속  
**경보:** 기상조건 등을 고려하여 해당지역 대기자동측정소 PM<sub>2.5</sub> (PM<sub>10</sub>) 시간평균농도가 150 µg/m<sup>3</sup> (300) 이상 2시간 지속

### <오존 예보>

예보 구간	중음	보통	나쁨	매우 나쁨
예측 농도 (ppm, 일)	0~0.030	0.031~0.090	0.091~0.150	0.151 이상

**주의보:** 기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존 농도가 0.12 ppm 이상인 때  
**경보:** 기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존 농도가 0.3 ppm 이상인 때  
**중대경보:** 기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존 농도가 0.5 ppm 이상인 때

## 초미세먼지 및 오존 생성 원리



- ▶ 서울의 질소산화물 및 초미세먼지의 농도는 세계 주요 도시 보다 1.2배~3.5배 높음.
- ▶ 수도권 권의 경우, 초미세먼지 발생량의 약 2/3 정도가 질소산화물에서 생성된다는 보고도 있음.
- ▶ 질소산화물은 VOCs와 함께 대기 중에서 자외선에 의해 광화학스모그를 유발하며, 이 때 다량으로 생성되는 오존 등은 우리 건강에 심각한 영향을 미침.
- ▶ 초미세먼지와 오존 생성의 주요 원인물질인 질소산화물 (NOx) 저감 대책이 필요함.
- ▶ 국내의 질소산화물 저감 대책은 노후 화력발전소 가동 중단이나 디젤차량의 운행 제한 정도임.

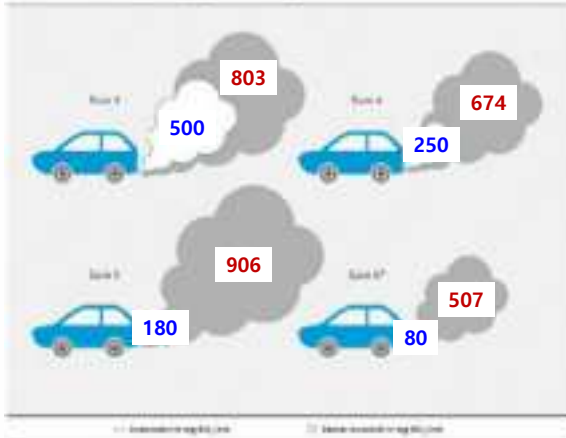


## 질소산화물 배출 규제만으로는 공기질 개선 효과 미비

### ▶ 독일연방환경청 조사 결과

측정 물질: NOx (mg/km)

Durchschnittliche reale Abgasemissionen von Diesel-Pkw verschiedener Schadstoffklassen im Vergleich zu deren Grenzwerten  
Gesamtteil über alle Straßenkategorien und Temperaturen



기준	시행년도	규제농도	실제농도
EURO 3	2000	500	803
EURO 4	2005	250	674
EURO 5	2009	180	906
EURO 6	2014	80	507

▶ 유럽에서 디젤차량에 대한 배출가스 기준을 지속적으로 크게 높였지만 대기 중 질소산화물 저감에는 큰 효과가 없었음.



▶ 유럽에서 대기 중 질소산화물 저감 대책으로 **광촉매 기술 적용**을 검토하게 됨.

\*vor Einführung von Real Driving Emissions, RDE  
Queller HBEFA 3.3(24.04.2017)

## 질소산화물 저감을 위한 유럽의 광촉매 기술 적용

### <2008/50/EC 유럽 공기질 향상 훈령>

- ▶ 2008년 3월 실시의 공기질 개선 관련 2008/50/EC 훈령 채택
- ▶ 도시지역의 NO<sub>2</sub> 농도를 40 µg/m<sup>3</sup> 이하로 유지 권고
- ▶ 유럽 27개국, 권고사항 이행을 위해 국가별 환경규제법령 제정
- ▶ 2010년까지 참여 국가에서 훈령을 이행하기 위한 방안 구축에 **광촉매 기술 도입** 적극 검토



독일의 광촉매 연구프로젝트

광촉매 블록 적용

일반 블록 적용



광촉매 보도블록 적용 효과



Borogo Palazzo Street, Bergamo

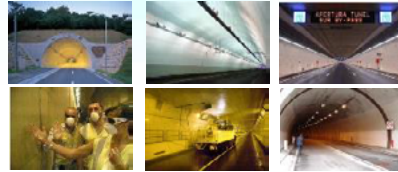


Misericordia Church, Rome (2001년)  
(Smog-Eating Building)

이탈리아 이탈세멘티 홈페이지 및 KBS 특파원 현장보고 (밀라노시, 스모그와의 전쟁) 참조

## 유럽 중심 광촉매 적용 사례

- ▶ 도로/터널/ 보도블록/건물 등에 광촉매 적용
- ▶ 광촉매 적용 목적은 셀프클리닝 효과로 건물 미관 유지, 질소산화물 등 대기오염물질 제거 등



## 광촉매 보도블록 적용 외국 사례

<미국 Chicago 광촉매 보도블록>



<독일 광촉매 보도블록 (Airclean사)>



<스페인 광촉매 보도블록 (Breinco사)>

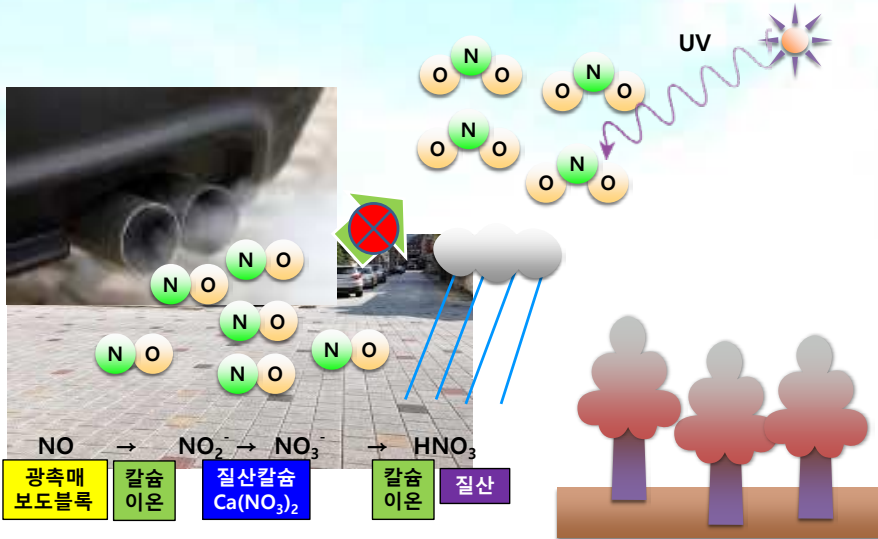


<일본 Chigasaki 광촉매 보도블록>



광촉매 보도블록의 질소산화물 제거 원리는?

### 광촉매 보도블록의 질소산화물 제거 원리



광촉매에 의한 NO 산화 → 칼슘(시멘트)과 반응, 보도블록 표면 고정 → 질산은 빗물에 의해 세척 → 토양에서 처리\*

\*<http://www.ige.tohoku.ac.jp/chiken/research/researchs/4-1.htm>

### 광촉매 보도블록 제조 방법



## 광촉매에 의한 질소산화물 저감 관련 문헌

- ▶ 광촉매 적용 질소산화물 제거 관련 연도별 발간 논문 수 (Science Direct June 2017)

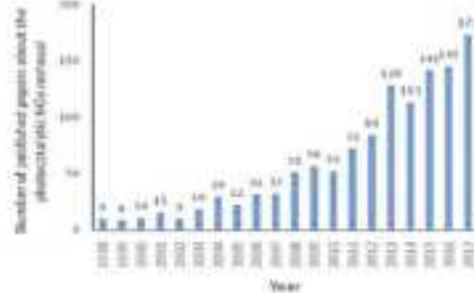


Fig. 2. Number of published papers per year, in the Period of the photocatalytic NO<sub>x</sub> removal (Science Direct June 2017).

- ▶ 광촉매 옥외 질소산화물 제거 성능 평가 관련 일본 보고서

大阪府の報告書 (環境保全対策機構)

<https://www.erca.go.jp/yobou/taiki/research/h16.html>

東京都 大塚橋交差点

<http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/content/000005986.pdf>

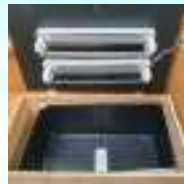
東京都 板橋区

[http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/reports/01/jice\\_rpt032.pdf](http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/reports/01/jice_rpt032.pdf)

## 광촉매 보도블록의 NO 제거 성능 평가시험 (ISO22197-1)



시편 제조  
(50mm x 100mm x 10mm)



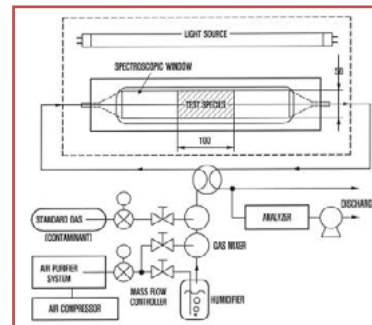
시편 표면 유기물 제거



시편 표면 세척



시편 건조



- UV lamp: SANKYO DENKI (blacklight blue), 352 nm, 10 W
- NO<sub>x</sub> analyzer: CASELLA, CM2041 NO<sub>x</sub>

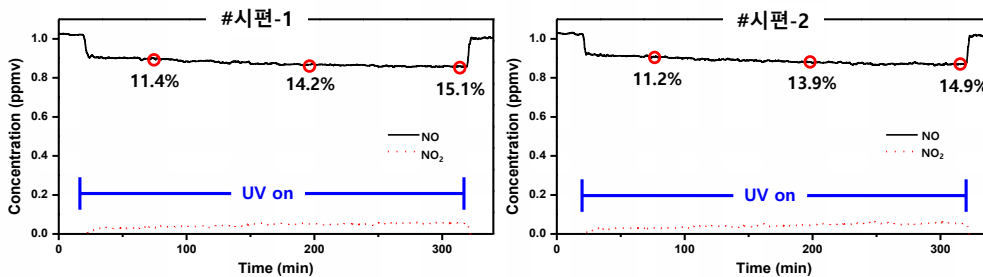
## NO 제거 성능 시험 조건 및 결과

▶ NO 제거 광촉매 성능 시험 방법

- By-pass 상태에서 30분 NO가스를 흘리면서 시스템 안정화 및 1 ppm NO 농도 확인
- UV 램프를 조사하지 않은 상태에서 시편에 30분 동안 NO 가스 흡착
- UV (10 W/m<sup>2</sup>) 램프 조사 조건에서 5시간 동안 NO 가스 제거 거동 조사
- 시험 완료 후 UV 램프를 조사하지 않은 상태에서 30분 NO 가스 탈착

▶ 시험 조건 (ISO 22197-1)

Sample	NO Conc. (ppmv)	Air Stream (L/min)	UV Intensity (W/m <sup>2</sup> )	Temperature (°C)	Rel. Humidity (%)
#시편-1	1.012	3	10	23~24	50
#시편-2	1.022	3	10	23~24	50



## NO 제거 성능 시험 결과 정리

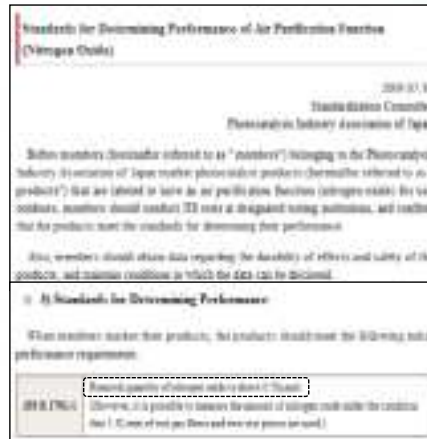
샘플	#시편-1			#시편-2			평균 NO 제거 성능	
	NO 전체량 (μmol)	NO 제거량 (μmol)	NO 제거율 (%)	NO 전체량 (μmol)	NO 제거량 (μmol)	NO 제거율 (%)	NO 제거량 (μmol)	NO 제거율 (%)
결과	37.87	5.08	13.4	38.24	4.94	12.9	5.01	13.2

▶ NO 제거 시험 결과


- 표의 NO 전체량은 5시간 반응에 사용한 NO 가스 총량, NO 제거량은 5시간 시편 (50 cm<sup>2</sup>)에서 제거된 NO 양, NO 제거율은 5시간 제거된 NO 평균 값을 정리함.

▶ NO 제거 용도로 광촉매 제품의 성능 기준 (일본)


- 일본광촉매협회에서 정하고 있는 NO 제거용 광촉매 건축자재의 성능 기준 0.5 μmol 보다 크게 높으며, (<https://www.piaj.gr.jp/roller/en/entry/20090121>) 이 기준은 광촉매 제품으로서 최소한의 성능 기준임. (국내 기준은 아직 정해져 있지 않음.)




## 질소산화물 저감 광촉매 성능 옥외 측정 해외 사례




**유럽, PICDA**



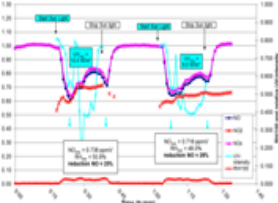
**이탈리아**



**이탈리아**



**네덜란드**



**이탈리아**

- ▶ PICDA: 엔진 가동으로 질소산화물 공급, 컨테이너 벽체로 유로 구성 공간에서 측정
- ▶ 네덜란드: 방음벽에 광촉매 적용, pH 변화 모니터링 (일본에서도 비슷한 분석 시도)
- ▶ 이탈리아: 보도블록에 광촉매 적용, 도로면에서 질소산화물 농도 변화 측정

## 질소산화물 저감 광촉매 성능 옥외 측정 결과 (유럽)

▶ 광촉매 적용 도로시설물의 질소산화물 저감 효과



- 장소: Bergamo, Italy
- 시공: 500m, 7,000m<sup>2</sup>
- 차량 통행량: 150대/h
- NOx 감소량: 35%



- 장소: Canyon, France
- 시공: 18m, 3,690m<sup>2</sup>
- 차량 통행량: 200대/h
- NOx 감소량: 35%



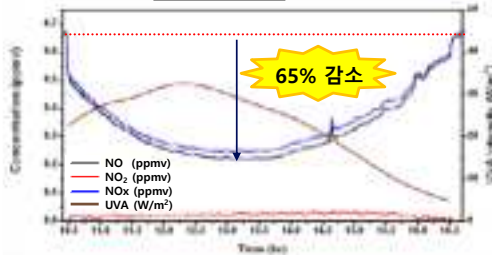
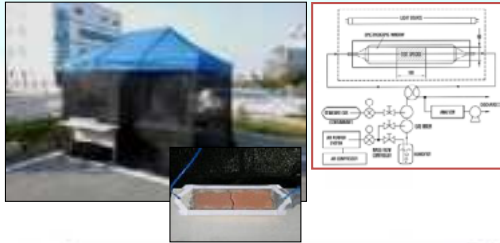
- 장소: Vanves, Italy
- 시공: 300m, 6,000m<sup>2</sup>
- 차량 통행량: 540대/h
- NOx 감소량: 30%



- 장소: Brussels, Belgium
- 시공 5개월 후: 최대 54% 제거 성능 유지

## 질소산화물 저감 광촉매 성능 옥외 측정 결과 (국내)

### ▶ 광촉매 5% 적용 보도블록의 NO 제거 성능



- 초기 농도(0.67 ppmv) 대비 최대 65%, 평균 52% NO 제거
- UVA 광량이 제일 강한 12시 - 14시에 NO 제거율 최대

### ▶ 광촉매 보도블록 성능평가 장비

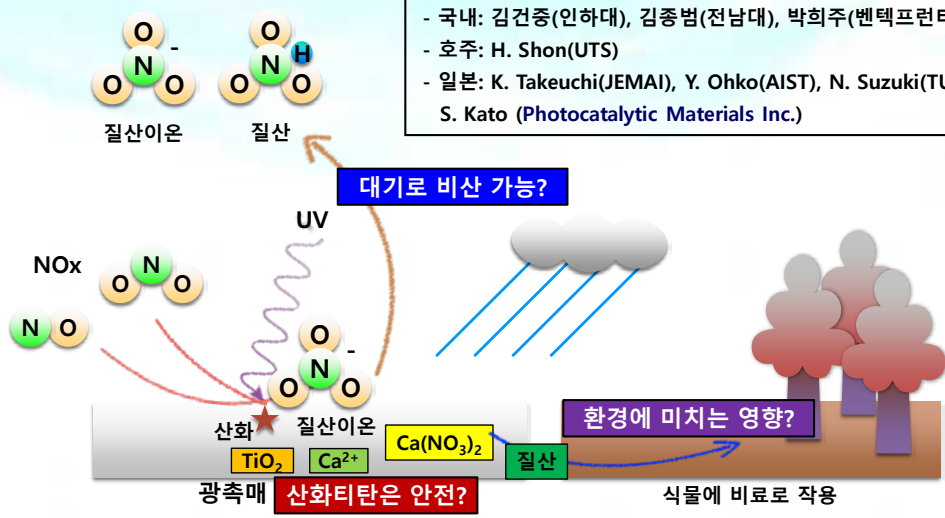


**성능평가 시험 조건**

NO 농도: 약 1.0 ppmv  
 NO 유량: 5 L/min  
 상대습도: 50%

## 광촉매 보도블록으로 질소산화물 제거 시 검토 사항

- ▶ 검토에 협조해주신 국내외 연구자
- 국내: 김건중(인하대), 김종범(전남대), 박희주(벵텍프런티어)
  - 호주: H. Shon(UTS)
  - 일본: K. Takeuchi(JEMAI), Y. Ohko(AIST), N. Suzuki(TUS), S. Kato (Photocatalytic Materials Inc.)



광촉매에 의한 NO 산화 → 칼슘(시멘트)과 반응, 보도블록 표면 고정 → 질산은 빗물에 의해 세척 → 토양에서 처리

## 산화티탄이란?

- ▶ 티탄은 지각 구성 원소 중 10번째로 풍부한 물질임.
- ▶ 산화티탄은 결정 중 굴절률이 최대로 빛 산란 능력이 커서 물질을 불투명하게 함.
- ▶ 산화티탄은 **세계적으로 1년에 700만톤 이상** 사용되고 있음.

### ▶ 일반 산업용 산화티탄

- 대부분 루타일형
- 입자크기는 100-300 nm
- **화장품, 화학섬유, 고무, 치약, 초콜릿 등에 첨가: 인체 무해**

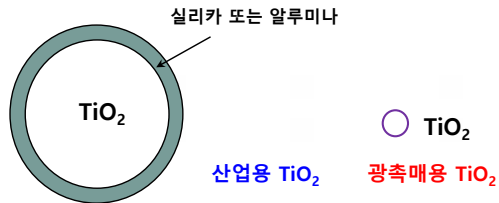
### ▶ 자외선 차단제

- 자외선 흡수 **화학물질**은 알레르기 유발 및 해양 생태계 파괴 문제점
- 세계적으로 자외선 산란 **무기계 물질인 산화티탄** 사용 권장

### ▶ 광촉매용 산화티탄

- 대부분 아나타제형
- 입자크기는 20-30 nm 정도
- 빛을 받기 쉽도록 넓은 표면적
- 적은 결정 결함

➡ **나노 입자 산화티탄의 안전성은?**



## 나노 입자 산화티탄의 안전성

일본신에너지산업기술종합개발기구(NEDO) 연구 프로젝트 결과 보고서

- ▶ NEDO의 나노 물질에 대한 리스크 평가 프로젝트
  - 프로젝트명: 나노 입자 특성 평가 기법 연구 개발
  - 기간: 2006년 6월 - 2011년 2월
  - 내용: **TiO<sub>2</sub> 산화티탄, 실리카, 산화니켈** 등 **나노 물질에 대한 위해성 평가** (유해성 및 노출 평가)
- ▶ 나노 입자 산화티탄의 안전성 관련 결론
  - **고농도 나노 입자 산화티탄**을 노출시키면 폐종양이 확인되었는데 이 현상은 실리카 등 나노 입자를 동일 조건에서 노출한 경우에도 관찰되어 산화티탄의 영향이라기 보다는 나노 입자 그 자체에 의한 것으로 판단함.
  - 나노 입자 산화티탄을 **일반 농도 조건으로 노출**시킨 쥐의 경우에는 폐종양 등 어떤 문제점도 없었음.
  - 장기간 진행한 여러 연구 그룹의 실험 결과, 산화티탄 입자의 영향은 **실리카나 산화니켈 입자 보다 미약한 것으로 확인**되어 나노 입자라 하더라도 산화티탄의 안전성은 매우 높다고 결론내림.
- ▶ 환경 정책도 유해성(Hazard) 관리에서 **위해성(Risk = Hazard x Exposure)** 관리로 전환이 필요함.
- ▶ 국내에서도 2018 건설기술연구사업 미세먼지 저감 연구단(연구책임자 곽종원)에 참여하는 전문가관(재)한국화학융합시험연구원에서 산화티탄 광촉매의 안전성 검증을 진행 중에 있음.

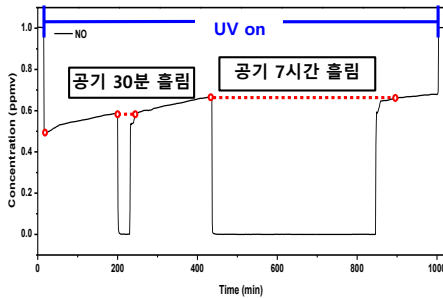


## 광촉매로 질소산화물 제거 시 생성물의 대기로 비산 가능성

### 질소화합물의 물리화학적 성질에 대한 검토

- ▶ 광촉매로 질소산화물 제거 시 광촉매 표면에 생성된 질산(HNO<sub>3</sub>) 및 질산이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) 등 질소화합물의 대기로 비산 가능성에 대한 고찰
- 질산의 증기압은 20 °C에서 6.4 kPa이지만 이는 진한 질산 용액 상태의 값이므로 광촉매 표면에 생성되는 최대 수십 mg/L 농도 조건에서 **질산의 증기압은 수 천분의 일**이 되므로 **증발 가능성은 희박함**.
- 특히 광촉매 보도블록에서는 **콘크리트의 알칼리 성분(Ca 등)에 의해 중화(이온결합)된 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 상태로 존재하기 때문에 전혀 비산하지 않는 것으로 보아도 무방함**.

### ISO시험장비로 질소화합물의 탈착 가능성 검토



- ▶ NO 제거 성능 ISO시험장비로 질소화합물 등 생성물의 탈착 가능성에 대한 검토
- ISO 성능시험 도중 시편에 공기만을 7시간 동안 흘려도 **광촉매 성능이 회복되지 않는 것으로** 생성된 질소화합물 중 탈착되는 양은 매우 적다고 추정할 수 있음.
- 또한 공기만 흘려주는 동안 반응기에서 배출가스를 증류수로 포집하여 질소화합물 양을 분석하였지만 **UV off 상태 시험 결과와 큰 차이는 관찰되지 않음**.

## 광촉매로 제거된 질소화합물의 환경에 미치는 영향



자료: 국립환경과학원

- ▶ **결론:** 서울시의 질소산화물 및 황산화물의 30%를 광촉매로 제거하더라도 한강 수질에는 영향없음.
- ▶ 산출 근거
- 2013년 서울지역 **NOx 및 SOx 배출량의 30%를 광촉매로 제거**한다면 NOx는 약 53톤/일, SOx는 약 4.7톤/일에 해당함.
- **하천에 질산성 질소 배출 기준 함량은 NO<sub>3</sub>-N 10 mg/L이므로 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로는 44 mg/L에 해당함**.
- 광촉매 보도블록을 적용하여 NOx 및 SOx 제거 후 생성되는 질산이나 황산을 배출 기준에 맞게 하천으로 배출하기 위해서는 약 132톤의 물이 필요함.
- 한강의 하루 유량은 최소 4,069천 톤, 최대 664,263천 톤이므로 최소 유량의 경우에도 **배출 기준 보다 약 3만 배 이상 한강 유량이 많으므로 환경에는 전혀 영향이 없다고 할 수 있음**.
- ▶ 일본JEMAI의 K. Takeuchi박사에 의하면 동일한 내용을 동경 등 일본 도시에서도 검토한 적이 있으며, 광촉매를 적용하여도 **도심 하천 수질에는 전혀 영향이 없다고 결론내렸다고 함**.

## 서울시에 광촉매 보도블록 적용 기대 효과



- ❖ 서울 면적: 605 km<sup>2</sup>
- ❖ 보도: 10 km<sup>2</sup>
- ❖ 주차장: 76 km<sup>2</sup>
- ❖ 도시공원: 114 km<sup>2</sup>
- ❖ 광장: 2 km<sup>2</sup>
- ❖ 방음벽: 170 km

2018년 건설기술연구사업 미세먼지 저감 연구단 보고서 참조

- ▶ 서울시의 보도블록 1 km<sup>2</sup>을 광촉매 블록으로 교체하면?
  - 교체 예상 비용: 약 350억원 (참고: 미세먼지로 인한 연간 사회적 비용 부담 1조 3천억원 추정)
  - 질소산화물 예상 저감량: 0.1 ton/km<sup>2</sup>-day (실내 및 옥외시험결과, 옥외 빛 세기 등 고려하여 계산)
- ▶ 광촉매 보도블록 1 km<sup>2</sup> 적용 시 예상 기대 효과
  - 하루 운행 가솔린자동차 11만 2천대의 NOx 배출량 저감 효과  
(주행거리 28.7 km/day, NOx 배출 허용기준 0.031 g/km)
  - 하루 운행 디젤자동차 5천 4백대의 NOx 배출량 저감 효과  
(주행거리 52.6 km/day, NOx 배출 허용기준 0.35 g/km)
  - 소나무 4백 30만 그루 또는 능수버들나무 7백 80만 그루 식목 효과

## 광촉매 보도블록 적용 기대 효과

- ▶ 광촉매 기술 적용 특징
  - 태양광과 빗물만을 이용하므로 환경친화적 기술
  - 초미세먼지 생성 원인물질인 기체상 대기오염물질 (NOx, SOx, VOCs, NH<sub>3</sub> 등)을 동시 제거 가능
  - 항균 및 항바이러스 효과
  - 광촉매 성능은 반영구적으로 건축자재 수명 동안 효과 지속
- ▶ 광촉매 보도블록을 적용하면 초미세먼지 주요 원인물질인 질소산화물 저감이 가능함.
- ▶ 질소산화물 이외의 초미세먼지 생성 원인물질인 황산화물, VOCs, 암모니아 등의 저감도 가능할까?
  - 황산화물 및 암모니아는 광촉매 표면에서 질소산화물과 동일한 메커니즘으로 제거 가능함.
  - 디젤자동차 배기가스에는 질소산화물 이외에도 PM<sub>2.5</sub>인 용해성 유기물질 (Soluble Organic Fraction, SOF)이 최대 60% 포함되어 있으며 SOF는 광촉매로 분해 가능함.
  - 일본JEMAI의 K. Takeuchi박사에 의하면 일본에서 조사한 PM<sub>2.5</sub> 성분은 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 등이 50%, 유기물 성분이 평균 15% 정도이며, 이들 성분은 광촉매 적용 건설자재에 흡착시켜 제거 가능한 것으로 보고되어 있다고 함.

## 질소산화물 저감 광촉매 기술 발표를 마무리하면서



- ▶ 여러 논문 및 보고서 내용을 종합하면 광촉매 적용으로 대기 중 질소산화물의 15-35% 저감이 가능함. 현재 서울 도심의 NO<sub>2</sub> 농도를 15% 저감한다면 국내 기준을 만족할 수 있으며, 35%까지 저감한다면 WHO 기준에 근접할 수 있으리라 예상됨.
- ▶ 질소산화물에서 생성되는 미세먼지도 상당량 저감 가능하므로 광촉매 적용은 대기질 개선에 매우 효과적이라 할 수 있음.
- ▶ 광촉매의 특징을 고려한 질소산화물 제거 성능이 우수한 건설자재 개발 및 도시의 넓은 범위에 적용하는 방안 등에 대한 체계적인 검토가 요구됨.
- ▶ 광촉매 적용 효과 검증 및 의문점 해결을 위한 광촉매 관련 국내외 연구기관 및 연구자의 건설적인 협력체제를 구축하는 것도 필요함.

대한민국 공기질 개선에 최선을 다하겠습니다

