

# 저비용 고성능 광촉매를 활용한 콘크리트 수성 이형박리제의 개발

박종필, 황병일, 유병현, 이동규\*  
동남기업(주) 중앙연구소

## Water based Release agent for Concrete using Low Cost Photocatalyst Materials

Jong-Pil Park, Byoung-Il Hwang, Byung-Hyun Yoo, Dong-gyu Lee\*  
Research & Development Center, Dongnam

**요약** 최근 미세먼지와 배기가스의 증가로 실내의 공기질을 악화시켜 대기정화 목적으로 광촉매를 활용한 연구가 진행되고 있다. 현재 일부 국가에서는 도로포장재, 도로측벽, 차음벽등에 광촉매를 포함하는 재료를 사용함으로써 대기정화 및 오염방지에 상당한 효과를 거두고 있다. 하지만 미세한 입경을 갖는 광촉매의 경우 분산이 원활하지 않으면, 일관성 있는 질소산화물(NO) 제거 특성발현에 대한 결과물을 얻기가 어려운 문제점이 있다. 이에 본 연구에서는 폐수슬러지에서 제조된 저비용 고성능 광촉매(GST)의 혼합 및 분산방안을 검토하고, NO 제거 성능을 최종 평가하여 저비용 광촉매를 활용한 수성 콘크리트 이형박리제를 개발하고자 한다. 광촉매 적용을 위한 분산방안을 검토하기 위해 분산된 시료를 4주간 옥외폭로하여 분리유무를 통한 안정성 평가한 결과, 분산형 증점제 사용량 20 %에서 층분리 없이 장기안정성이 우수하였다. NO 제거율 특성 결과 GST는 Plain 대비 200 % 이상의 광촉매 효과를 나타내었다. GST의 성능을 증가시키기 위해서는 나노사이즈의 광촉매의 분산성 향상 및 사용량 증가가 필요할 것으로 사료된다. 또한, GST를 노출콘크리트, 교량 및 터널등에 사용하게되면 광촉매의 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

**Abstract** Air quality is deteriorating due to the increase in fine dust and exhaust gas. To solve this problem, research using photocatalysts is being conducted for atmospheric purification. Currently, some countries are having a significant effect on air purification and pollution prevention by using materials that contain photocatalysts for road pavement, road side walls, and sound insulation walls. However, photocatalysts have very small particle sizes and are not easily dispersed, making it difficult to obtain a consistent nitrogen oxide (NO) removal rate. Therefore, this study investigated the mixing and dispersion plan of low-cost, high-performance photocatalyst (GST) prepared in wastewater sludge. It also evaluated the NO removal performance to develop an aqueous concrete release agent including the low-cost photocatalyst. The long-term stability was excellent without layer separation when the amount of dispersion thickener used was 20%. As a result of the NO removal rate characteristic, GST showed a photocatalytic effect of more than 200% compared to plain. In order to increase the performance of the GST release agent, it is necessary to improve the dispersibility of the GST in the release agent and increase the amount of the nano-sized photocatalyst. In addition, it is expected that the NO removal efficiency will be increased if the GST release agent is used for road structures and exposed concrete.

**Keywords** : Fine Particulate Matter, Photocatalyst, Concrete, Dispersibility, Release Agent

---

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원(과제번호 21SCIP-B160286-04)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

\*Corresponding Author : Dong-Gyu Lee(Dongnam)

email: dglee@dongnamad.co.kr

Received September 6, 2021

Revised October 19, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

## 1. 서론

산업의 성장 과정에서 발생하는 공장 매연과 노후된 경유 차량은 미세먼지와 배기가스를 증대시키는 주된 대기오염 물질이다. 대기오염 물질은 서울과 같은 대도시 지역안에 고밀도로 밀폐된 빌딩 사무실과 공동주택 주거 공간의 실내·외 공기질을 심각하게 악화시키고 있다. 이러한 미세먼지와 배기가스는 인체의 호흡기 및 심혈관질 환등에 악영향을 미치고 있는 상황이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 Fig. 1과 같이 광촉매인 이산화 티탄( $TiO_2$ )의 실용화를 위하여 다양한 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있고, 가장 대표적인 분야는 대기정화 목적으로 사용되어 지고 있다[1].

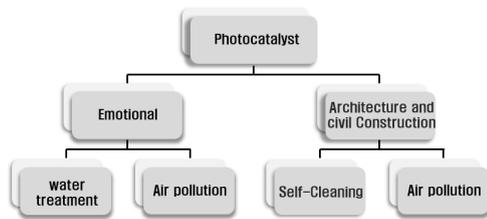


Fig. 1. Usage of photocatalyst( $TiO_2$ )

광촉매인 이산화 티탄( $TiO_2$ )은 빛을 에너지원으로 산화 또는 환원반응과 같은 촉매반응을 빠르게 하여 각종 세균 및 오염물질을 분해시켜주는 물질을 의미한다. Fig. 2는 광촉매의 메카니즘으로 이산화 티탄에 빛을 가하면 전자가 들뜬상태가 되고 정공이 형성된다. 이렇게 생성된 환원력이 강한 전자와 산화력이 강한 홀은 산소와 반응하여 활성산소를 만들어 물 분해를 시작으로 이산화탄소까지 분해할 수 있는 특성을 나타낸다[2].

해외 상용화된 이산화티탄(P-25)은 kg당 6만원으로 높은 단가로 인해 비용 증가가 발생된다. 반면 최근 국내에서 수중의 오염물질을 처리하기 위해  $TiCl_4$ 를 응집제로 사용하고 있으며, 생성된 슬러지를 인발하여 건조 및 소성과정을 거치면 이산화티탄으로 재활용이 가능하다. 따라서 해외 상용화된 광촉매(P-25)에 비해 약 6배 정도 저렴하게 생산이 가능하여 저비용 광촉매(GST)를 이용한 연구가 진행되고 있다[3,4].

일본의 경우 광촉매 콘크리트 블록 포장을 시공하여 주행 중인 자동차에 의하여 배출되는  $NO_x$ 의 15%를 분해하여 공기의 질이 80% 이상 향상되는 것으로 예측하였다. 유럽 벨기에의 경우에도 광촉매 블록포장을 시공

하였으며, 1년이 지난 후 대기 오염이 약 20% 감소한 것으로 보고되고 있다[5].

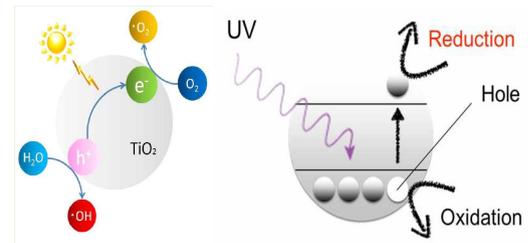


Fig. 2. Mechanisms of photocatalyst( $TiO_2$ )

현재 국내 건축 및 토목분야에서 광촉매를 모르타르나 콘크리트의 주재료인 시멘트 일부를 대체하여 사용하는 연구가 시작되고 있으나, 고가의 광촉매로 인해 콘크리트 제조비용의 부담이 크기 때문에 보다 경제적이고 효율성을 높이기 위해 콘크리트 표면 일부를 광촉매 콘크리트로 분할 타설하는 방안이 검토되고 있다[6,7]. 실내 건축 자재에서는 표면에 광촉매를 코팅하여 공기를 정화하는 시키는 기술이 시도되고 있으나, UV조사를 위한 램프가 반드시 필요하며, 추가적인 비용이 발생하기 때문에 실용화하기 어려운 상황이다[8]. 반면 콘크리트 구조물인 고가도로, 교량, 용벽, 노출콘크리트등 콘크리트 표면이 외기로 노출되어 상대적으로 빛의 접촉부분이 많다. 따라서 콘크리트 표면에 광촉매를 포함한 이형제를 사용하여 콘크리트의 표면에 광촉매 입자를 입히게 된다면 대도시 도로변 미세먼지를 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 판단된다.

선행연구에서는 광촉매를 이형박리제에 분산시키기 위해 호모게나이저 및 초음파 분산기를 적용하였지만, 광촉매 물질은 미세한 나노입자로 입자간에 응집력이 매우 높아 분산형 증점제를 20% 적용하여 안정성을 확보하였다. 광촉매가 분산된 유성 박리제를 거푸집에 도포시켜 탈형한 시편의 NO 제거를 확인한 결과, 광촉매를 도포하지 않은 Plain 대비 200%의 광촉매 효과를 나타낸 것을 확인하였다[9].

콘크리트 이형박리제는 크게 유성과 수성 제품으로 구분되어 지는데, 최근 환경 및 작업 안전성 개선을 목적으로 수성 박리제 사용을 권장하고 있다. 따라서 광촉매를 활용한 수성 이형박리제까지 개발하게 된다면 경제적이고, 폭넓게 활용이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 폐수처리공정에서 발생하는 응집제를 포함한 슬러지에서 재활용된 저비용 광촉매의 혼합 및

분산 방안을 검토하고, 질소산화물 제거 성능을 최종 평가하여 저비용 광촉매를 활용한 콘크리트의 수성 이형박리제를 개발하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

저비용 광촉매를 활용한 콘크리트용 수성 박리제의 성능평가 및 개발을 위한 실험 계획은 Table 1과 같다.

나노물질인 저비용 광촉매와 수성 박리제와의 분산성 확인 및 개선 방안을 검토하고, NO 제거 성능을 검토하기 위하여 3단계로 실험을 계획하였다.

Series I 은 나노물질인 저비용 광촉매와 수성 박리제 제품인 A, B의 분산성을 확인하기 위한 실험으로 수성 이형박리제에 저비용 광촉매 분말을 7.5 % 넣고, 일반적으로 액상물질을 분산시키기 위해 사용되는 High speed homogenizer 교반기를 사용하여 층분리 및 침전 정도를 확인하였다.

Series II에서는 저비용 광촉매와 수성 이형박리제의 분산성능을 개선시키기 위하여 분산형 증점제 5, 10 및 20 %를 이형박리제 대비 치환하여 일액화시킨 후 저비용 광촉매를 분산시켰다. 분산된 광촉매를 가만히 정치시

켜 놓고 2주와 4주차에 각 샘플의 안정성을 검토하였다.

Series III는 국외에서 상용화된 광촉매 P-25와 저비용 GST의 비교실험으로 수성 박리제에 분산형 증점제를 20 % 치환하여 일액화시킨 후 거푸집에 도포하여 탈형 시편의 접착강도, 면상태 및 NO 제거 성능을 평가하였다.

### 2.2 실험방법

나노물질인 저비용 광촉매의 분산성 확인을 위하여 수성 이형박리제에 광촉매를 7.5 % 치환하였고, 교반기인 High speed homogenizer 를 30분 동안 충분히 교반시킨 후 투명한 샘플병에 담아 즉시, 12hr, 24hr 동안 정치시켜 층분리 및 침전 정도를 비교 확인하였다.

저비용 광촉매와 수성 이형박리제 적용시 안정성 및 분산 확보가 어려워 층분리 및 침전 정도를 개선하기 위하여 분산형 증점제를 적용하였다. 분산형 증점제를 5, 10 및 20 %로 치환하여 교반시킨 후 저비용 광촉매를 7.5 % 분산시켜 정치시켰다. 정치된 샘플을 즉시, 2주, 4주차에 안정성 테스트를 진행하였다.

저비용 광촉매와 수성 이형박리제와의 안정성을 확보한 후 시험규격 ISO 22197-1(2016)의 조건에서 NO 제거 성능평가를 확인하였다.

NO 제거 성능평가를 위해 Fig. 3과 같이 우레탄 거푸집 안에 저비용 광촉매 이형박리제를 도포한 후 모르타르를 타설하여 시편을 제작하였다. 시편의 크기는 100 mm × 50 mm × 10 mm(가로 × 세로 × 높이)이고, 시멘트 : 모래 : 배합수 = 1 : 2.8 : 0.5 비율로 NO 제거 성능평가를 위한 모르타르 시험체를 배합하였다.

Fig. 4는 장치모식도와 챔버로 제작된 시험체는 증류수에 2시간 담근 후 건조하여 최소 16시간 동안 10 W/m<sup>2</sup> 이상의 UV 램프를 조사하여 유기물을 분해시켜 반응기에 장착 후 유량 3 L/min, 상대습도 50%(25℃ 기준), 1 ppm의 NO 가스를 bypass 상태로 흘려주어 가스 농도를 안정시킨다. UV광을 조사하지 않은 상태에서 반응기에 30분 동안 NO가스를 흘려보내주며, 시험품에서의 NOx 분피분을 변화를 측정 후 가스흐름을 유지한 상태에서 시험편에 10 W/m<sup>2</sup>의 UV광을 조사하고 5시간 동안 산화질소와 이산화질소의 부피분을 측정한다. Table 2는 NO제거 측정에 사용한 장비로 시험기 장비명, 제조사, 모델번호를 나타낸 것이다.

Fig. 5는 부착강도를 측정하는 장비로 광촉매가 혼입된 이형박리제는 다량의 고형분 함유로 인해 콘크리트 이형제 본연의 성능이 저하될 우려가 있어 KS F 4715 조건에 의거하여 성능을 확인하였다.

Table 1. Experiment plan for dispersion machine comparison

Experimental Factors		Variations
Series I	Release agent	· Water based release agent A · Water based release agent B
	TiO <sub>2</sub> type	· GST
	TiO <sub>2</sub> Content(%)	· 7.5
	Dispersion machine	· High speed homogenizer
	Stability(outdoor)	· 12hr    · 1day
Series II	Release agent	· Water based release agent B
	TiO <sub>2</sub> type	· GST
	Stabilising agent	· 5, 10, 20
	TiO <sub>2</sub> Content(%)	· 7.5
	Dispersion machine	· High speed homogenizer
Series III	Stability(outdoor)	· 2 weeks    · 4 weeks
	Release agent	· Water based release agent B
	TiO <sub>2</sub> type	· P-25    · GST
	Stabilising agent	· 20
	TiO <sub>2</sub> Content(%)	· 7.5
	Dispersion machine	· High speed homogenizer
Measurement item	· Adhesion strength · NO removal rate · NOx removal rate	

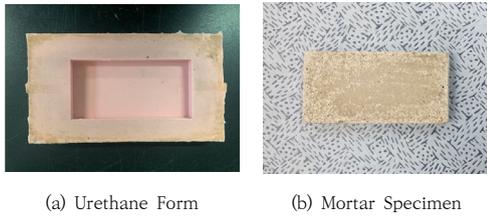


Fig. 3. Cement mortar specimen

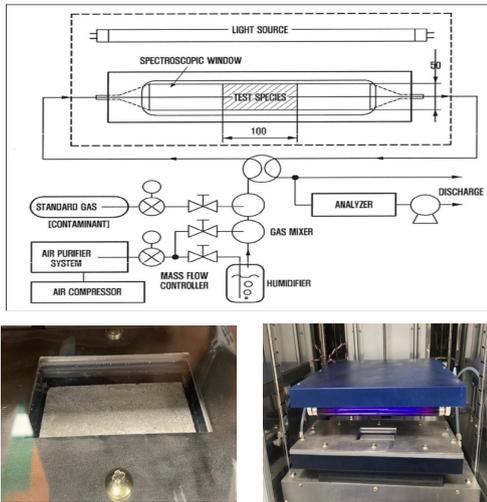


Fig. 4. Test of NO removal

Table 2. Test machine of NO removal

Experimental Factors Variations	Fabricant	Model
Photocatalytic NO removal efficiency tester	KNT	-
UV meter	HAMAMATUS PHOTONICS K. K	H9958-01
NOx Analyzer	T-API	T200



Fig. 5. Adhesion strength

### 2.3 사용재료

Fig. 6은 국내업체에서 제조한 페수 슬러지에서 재활용된 저비용 광촉매 GST로 아나타제 결정구조이고, 해외 범용적으로 사용하는 P-25는 아나타제와 루타일 7:3 비율로 구성되어 있으며, 물리적 특성은 Table 3과 같다.

이형박리제로 사용된 제품은 유성제품으로 주성분 및 물리적 특은 Table 4와 같고, 저비용 광촉매와 이형박리제의 안정성을 높이기 위해 사용한 분산형 증점제는 Table 5와 같이 Gum류계로 액상형을 사용하였다.



Fig. 6. TiO<sub>2</sub> type

Table 3. Properties materials of TiO<sub>2</sub>

Material	Purity (TiO <sub>2</sub> )	Apparent Density	particle size	Color
P-25	99%	0.14g/cm <sup>3</sup>	10~20nm	White
GST	99%	0.33g/cm <sup>3</sup>	12nm	White

Table 4. Form oil of materials

Material	Main component	Apparent Density	Color
Water based agent A	Mineral Water	0.86g/cm <sup>3</sup>	White
Water based agent B	Mineral Water	0.85g/cm <sup>3</sup>	White

Table 5. Stabilising agent of materials

Material	Viscosity(MPa.s)	Color
Gum Thickener	5,000~8,000	White

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 저비용 고성능 광촉매의 분산 검토

Fig. 7은 저비용 광촉매와 수성 이형박리제 제품인 A, B를 각각 High speed homogenizer로 혼합하여 정치시킨 후 경과시간에 따른 안정성을 평가한 결과이다.

수성 이형박리제 제품인 A, B 모두 교반이 끝난 즉시 안정적인 상태를 보였지만, 시간이 경과함에 따라 나노물질인 저비용 광촉매의 침전이 관찰되었다. 이는 미세한 나노물질인 광촉매의 입자간 응집력이 높아 수성 이형박리제와 혼합시 침전되는 것으로 판단된다. 수성 이형박리제 제품 A, B 모두 침전현상을 보였지만, 제품 B의 경우 12시간 이후 침전을 보여 A보다 침전이 서서히 진행되는 것을 확인하였다. 따라서 선행 실험했던 유성 이형박리제와 동일하게 수성 이형박리제에서도 층분리 및 침전 현상이 발생되어 광촉매의 침전을 방지하기 위해 분산형 증점제가 필요한 것으로 판단되었다.

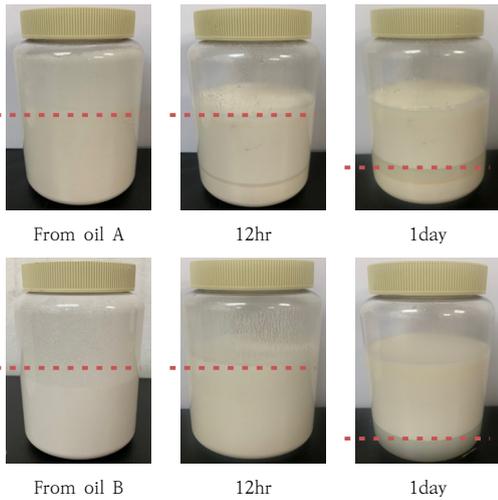


Fig. 7. Stability test result

Fig. 8~9는 광촉매 분말의 침전을 방지하기 위하여 수성 이형박리제에 분산형 증점제를 5, 10 및 20 %를 치환하여 혼합한 후 광촉매를 분산시켜 장기안정성 및 침전율을 평가한 결과이다.

분산형 증점제 사용시 분리현상이 완화되는 경향을 보였는데, 이는 나노입자인 광촉매의 분산성 향상과 점성의 증가로 인해 침전을 방지하는 효과를 보인 것으로 판단되며, 분산형 증점제 치환량이 증가수록 장기 안정성에 우수한 것으로 나타났다.

분산형 증점제 5 %와 10 %를 치환한 샘플 모두 2주차부터 광촉매 분말이 서서히 가라앉아 10~12 %의 침전율을 보였고, 4주차에서는 30~60 %의 침전율로 완전한 층분리를 나타내었다. 분산형 증점제 5 %는 층분리 현상을 소폭 완화시키지만 그 효과는 미미하였고, 10 %부터 침전속도가 느리게 진행되었다. 분산형 증점제 20 % 치환한 샘플에서 2주부터 4주까지 침전현상 없이 매

우 안정적인 상태를 보여, 분산형 증점제 20 % 치환이 적정 사용량으로 판단된다.

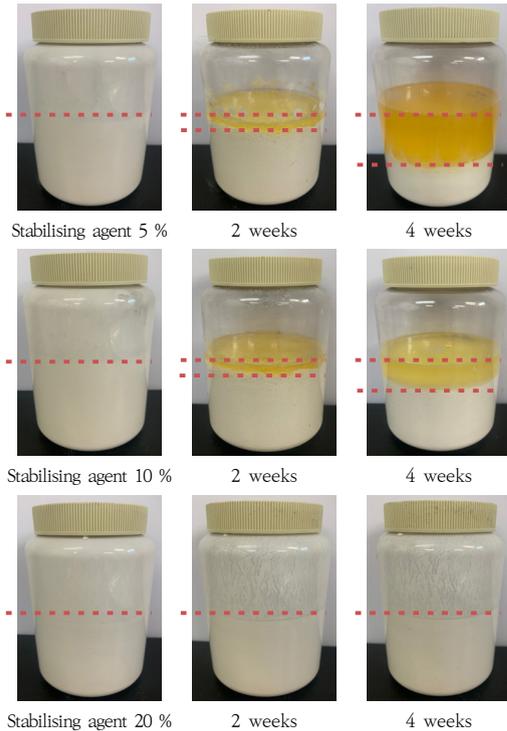


Fig. 8. Stability test result

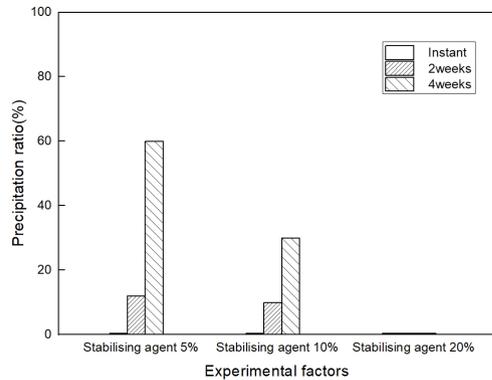


Fig. 9. Precipitation test result

Fig. 10~11은 저비용 광촉매에 분산형 증점제를 혼합시켜 이형박리제의 접착강도와 콘크리트 면상태를 평가한 결과이다. Plain과 각각의 광촉매 모두 기준 접착강도 범위내에 만족하는 것으로 나타났고, 그 차이는 미미한 정도의 수준인 것으로 확인되었다. 광촉매를 혼합한 시편

의 경우 백색 나노입자인 광촉매의 영향으로 Plain 대비 육안상 약간의 밝은색을 나타내었지만 그 차이는 크지 않았고, 콘크리트 탈형 표면상태도 양호하였다. 저비용 광촉매를 수성 이형박리제로 사용시 탈형 및 면상태에 영향을 주지 않아 다양한 구조체에 현장 적용이 가능할 것으로 판단된다.



Fig. 10. Concrete surfacem

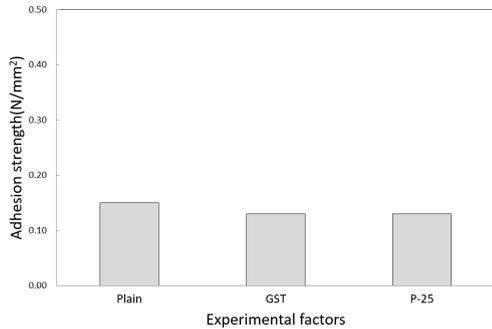


Fig. 11. Adhesion strength test result

### 3.2 저비용 고성능 광촉매의 NO 제거 성능 평가

Table 5는 저비용 광촉매를 혼합시킨 수성 박리제를 거푸집에 도포하여 시편을 제작하여 측정기로 NO 제거율 및 NO 제거율을 측정한 결과이다. NO 및 NO<sub>x</sub> 제거율은 5시간 동안 광촉매 반응으로 제거된 NO 및 NO<sub>x</sub>의 평균 부피분율이다.

광촉매를 도포한 시편인 GST의 NO제거율은 평균 1.35 %로 Plain 대비 200 %의 우수한 효과를 나타내었는데, 이는 저비용 광촉매의 산화작용으로 질소산화물 제거에 효과를 보인 것으로 판단된다. 광촉매 종류에 따라서 질소산화물 제거 차이를 보였는데, 해외의 상용화된 P-25의 NO 제거율은 평균 2.40 %로 GST 대비 1.5배 이상의 높은 성능을 나타내었다. 이는 광촉매 분말의 결정구조, 비중 및 입자사이의 차이로 상대적으로 입자사이 크기가 작은 P-25가 많이 분포되어 NO 제거 성능에 효과를 보인 것으로 판단된다. 또한, GST는 아나타제 결정

구조인 반면 P-25는 아나타제와 루타일 7:3 비율로 구성되어 Fermi level 차이로 인해 전하의 재결합이 감소하여 이러한 경향을 보인 것으로 사료된다[7]. 동등 이상의 성능을 확보하기 위해서는 GST 사용량 증가가 필요한데, P-25 대비 6배의 낮은 제조단가를 보여 단가상승에 의한 문제는 없을 것으로 사료된다.

한편, 일본 광촉매 협회는 질소산화물 제거량이 0.5 μmol/5h이상인 경우 광촉매 제품으로 인증해주고 있는데, 이 값은 NO 제거율 1.34 %와 동일한 값이다. GST의 경우에도 질소산화물 제거율 평균값이 1.35 %로 광촉매의 효과를 보여 일본 광촉매 제품 인증기준에 만족하는 것으로 나타났다[6].

따라서 선행 실험에서 진행했던 저비용 광촉매를 활용한 유성 이형박리제와 본 실험에서 진행한 수성 이형박리제 모두 Plain 대비 200 %의 NO 제거율 성능을 나타내어 보다 폭 넓게 적용이 가능할 것으로 예상된다. 추후 본 연구에서 검토한 저비용 수성 이형박리제 사용에 따른 미세구조, 내구특성, 시공성 및 경제성이 검토되어야 할 것으로 판단된다.

Table 5. NO removal rate for various specimens

Experimental Factors Variations		NO removal rate (%)	NO <sub>x</sub> removal rate (%)
1	Plain-1	<0.5	<0.5
2	Plain-2	<0.5	<0.5
3	GST-1	1.4	1.1
4	GST-2	1.3	1.0
5	P25-1	2.5	2.1
6	P25-2	2.3	1.9

## 5. 결론

선행연구를 통해 나노사이즈의 광촉매를 유성 이형박리제에 사용하여 콘크리트 표면에 적용하였을 경우 질소산화물 제거에 효과를 보여 수성 이형박리제에 저비용 광촉매의 혼합량 및 분산방안을 검토하고, 질소산화물 제거 성능을 최종 평가하여 보다 폭넓게 활용하고자 콘크리트 이형박리제 사용 가능성을 확인하였는데, 그 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 광촉매 분산을 위하여 High speed homogenizer로 혼합하여 정지시킨 후 분리유무를 통한 안정성

- 을 평가한 결과, 안정화시킨 후 12시간부터 층분리 현상을 보여 안정성이 크게 떨어지는 경향을 보였다.
- 2) 저비용 광촉매의 분산성 향상 및 안정성을 높이기 위해 분산형 증점제 적용한 결과, 사용량 20 %에서 층분리 없이 장기안정성에 우수한 결과를 보였다.
  - 3) 분산형 증점제 20 %를 저비용 광촉매 이형박리제에 적용한 경우 접착강도 및 표면상태가 양호하여 박리성능에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.
  - 4) GST는 1.35 %의 NO 제거율을 보여 Plain 대비 200 % 이상의 광촉매 효과를 나타내었고, 상용화된 P-25 보다 2배의 낮은 성능을 확인하였다. 이는 광촉매 분말의 결정구조, 비중 및 입자사이즈의 차이로 상대적으로 입자사이즈가 작은 P-25가 많이 분포되어 NO 제거 성능에 효과를 보인 것으로 판단된다. 하지만 GST는 P-25 대비 6배의 낮은 단가로 사용량 증가에 따른 경제성 문제는 크지 않을 것으로 사료된다. 선행 실험에서 진행한 유성 이형박리제와 본 실험에서 확인한 수성 이형박리제까지 광촉매 효과가 검토되어 보다 폭 넓게 광촉매를 활용한 이형박리제 사용이 가능할 것으로 사료된다.

## References

- [1] S. W. An, J. W. Jang, J. W. Park, The Korean Society of Industrial and Engineering Chemistry, 2016, pp25~32  
<https://www.cheric.org/PDF/PIC/PC19/PC19-5-0025.pdf>
- [2] J. Lasek, Y. H. Yu, J. C. A. Wu, "Removal of NOx by photocatalytic processes", Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews, Vol.14, pp29-52, 2013  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2012.08.002>
- [3] I. K. Rhee, J. H. Kim, J. H. Kim, Y. S. Roh, "Sensitivity of NOx Removal on Recycled TiO2 in Cement Mortar", Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, Vol.4, NO. 4, pp388-395, DEC. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.14190/JRCR.2016.4.4.388>
- [4] J. H. Gong, J. C. Joo, J. K. Kim, "Preparation and Characteristic Evaluation of Low-Cost TiO2 Photocatalyst", Journal of Korean Society of Environmental Engineers, Vol.41, NO. 4, pp196-203, 2019.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4491/KSEE.2019.41.4.196>
- [5] Y. K. Kim, S. J. Hong, K. B. Lee, and S. W. Lee, "Evaluation of NOx Removal Efficiency of

Photocatalytic Concrete for Road Structure", International Journal of Highway Engineering, Vol.16 NO.5, pp49-58, OCT. 2014.

DOI: <https://doi.org/10.7855/IJHE.2014.16.5.049>

- [6] G. J. Park, J. J. Park, J. W. Kwark, S. W. Kim, "Research on the Efficient Manufacturing Method of Photocatalyst Concrete according to the Type and Mixing Ratio of Photocatalyst", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.23, NO.4, pp69-77, July. 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.11112/jksmi.2019.23.4.69>
- [7] J. H. Seo, H. N. Yoon, S. H. Kim, S. J. Bae, D. I. Jang, T. G. Kil, S. M. Park, H. K. Lee, "An Overview on the Physicochemical Properties and Photocatalytic Pollutant Removal Performances of TiO2-incorporated Cementitious Composites", Journal of the Composites Research, Vol.33, NO. 2, pp68-75, 2020.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.7234/composres.2020.33.2.068>
- [8] Y. W. Song, M. Y. Kim, M. Y. Kim, J. C. Park, "Mock-up test on NOx concentration of photocatalytic paint and UV lamps", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.31, NO.9, pp411-419, 2019.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2019.31.9.411>
- [9] J. P. Park, B. I. Hwang, B. H. Yoo, D. G. Lee, "Concrete Release agent using Low Cost High Performance Photocatalyst Materials", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.21, NO. 11, pp610-616, NOV, 2020.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.11.610>

박 종 필(Jong-Pil Park)

[정회원]



- 2013년 2월 : 국립한밭대학교 건축공학과 졸업 (석사)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 동남기업 (주) 중앙연구소 선임연구원

<관심분야>

건설재료, 콘크리트

황 병 일(Byoung-Il Hwang)

[정회원]



- 2018년 8월 ~ 2019년 9월 : JNT INC 연구원
- 2019년 2월 : 우석대학교 건설공학과 (공학석사)
- 2019년 10월 ~ 현재 : 동남기업(주) 주임연구원

<관심분야>

건설재료, 콘크리트

---

유 병 현(Byung-Hyun Yoo)

[정회원]



- 2010년 2월 : 아주대학교 건설시스템공학과 (학사)
- 2012년 8월 : 아주대학교 토목공학과 (석사수료)
- 2012년 11월 ~ 현재 : 동남기업(주) 중앙연구소 선임연구원

<관심분야>

건설재료, 콘크리트

---

이 동 규(Dong-Gyu Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 청주대학교 건축공학과 (공학박사)
- 2010년 2월 ~ 2014년 8월 : 동남기업 중앙연구소 선임연구원
- 2014년 8월 ~ 2016년 3월 : 충청대학교 공학기술연구원 선임연구원
- 2016년 4월 ~ 현재 : 동남기업(주) 중앙연구소 책임연구원/연구팀장

<관심분야>

콘크리트, 건축재료 및 시공