

# 광촉매 종류 및 혼입률에 따른 효율적 광촉매 콘크리트의 제조 방법에 관한 연구

박기준<sup>1</sup>, 박정준<sup>2\*</sup>, 곽종원, 김성욱<sup>3</sup>

## Research on the Efficient Manufacturing Method of Photocatalyst Concrete according to the Type and Mixing Ratio of Photocatalyst

Gi-Joon Park<sup>1</sup>, Jung-Jun Park<sup>2\*</sup>, Jong-Won Kwak, Sung-Wook Kim<sup>3</sup>

**Abstract:** In this study, we evaluated the mechanical properties and nitrogen oxides removal characteristics according to the type and incorporation rate of the photocatalyst and investigated the method of separated placement for the production of economical and efficient photocatalyst concrete. As a result, when the photocatalyst incorporation rate was 5%, the highest compressive strength and elastic modulus were measured. As a result of evaluating the nitrogen oxides removal performance by the photocatalytic reaction, as the photocatalyst incorporation rate increased, the nitrogen oxide removal rate increased. At this time, the nitrogen oxides removal performance of photocatalyst P-25 was better than the NP-A. In consideration of economic efficiency, we have provided a method of separated placement for casting a constant thickness of concrete surface with photocatalyst concrete and evaluated the integrated performance at this time. As a result, it appears to be equal to or higher than mechanical performance and durability performance as compared with Plain, and it is judged that the integrated behavior is satisfied.

**Keywords:** Photocatalyst, Photocatalyst concrete, Nitrogen oxides, Separated placement, Air pollution

### 1. 서 론

산업의 급속한 성장에 따른 경제발전 과정에서 공장 매연과 황산화물, 자동차의 배출가스 등에 의한 대기오염이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 최근 들어 이러한 환경 문제를 해결하기 위한 관심은 전 세계의 공통적인 관심사로 부상하고 있다(Jung et al., 2010; Kim et al., 2014). 최근 2012년 세계보건기구(WHO, World Health Organization)가 공개한 ‘2012년 실내외 대기오염으로 인한 질병 부담’ 보고서에서 대기오염에 따른 건강 피해가 실제보다 크게 저평가 되고 있다고 발표하였다. 자동차 등의 이동오염원과 발전설비와 같은 고정원에서 배출되는 질소산화물은 유해한 대기오염물질이며, 특히 서울과 같은 대도시 지역에서는 자동차 배기가스에 의한 질소산화물 오염이 심각한 상황이다. 질소산화물은 호흡기 질환, 심장질환, 폐암 등의 질병의 원인이 되고 산성비와 광화학 스모그의 원인으로 오존층을 파괴하는 가스성분이다(Kim, 2000). 일반적으로 일

산화탄소, 이산화황, 총먼지 같은 1차 오염물질은 배출원의 배출량감소에 정비례하여 감소하므로 관리가 수월하지만 미세먼지, 오존, 이산화질소와 같은 2차 대기오염물질들은 생성이 복잡하여 가능하면 발생지에서 집중 저감시키는 것이 중요하다. 대기오염의 주범인 질소산화물의 경우 Fig. 1과 같이 산화티탄(TiO<sub>2</sub>)의 광촉매(Photocatalyst) 작용을 활용하면 분해가 가능한 것으로 알려져 있다(Beeldens, 2006; Monica and Andrew, 2013).

광촉매 기술을 콘크리트 포장 도로 또는 다리, 옹벽 등 도로 구조물에 도입할 경우 자동차에서 배출되는 유해가스를 직접적으로 흡착 및 제거하여 대기오염 방지에 상당히 효과적이다(Kim et al., 2014). 이는 도로구조물의 경우 빛과 직접적인 노출을 하는 면적이 상당히 크기 때문에 광촉매의 효율을 더욱 극대화 할 수 있는 조건이 된다. 이에 국외에서는 광촉매를 시멘트의 일부로 혼합하여 광촉매 콘크리트를 만들어 적용하고 있다

<sup>1</sup>정희원, 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 전임연구원

<sup>2</sup>정희원, 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 수석연구원

<sup>3</sup>정희원, 한국건설기술연구원 인프라안전연구본부 선임연구위원

\*Corresponding author: jjpark@kict.re.kr

Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT), Goyang-Si, 10223, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

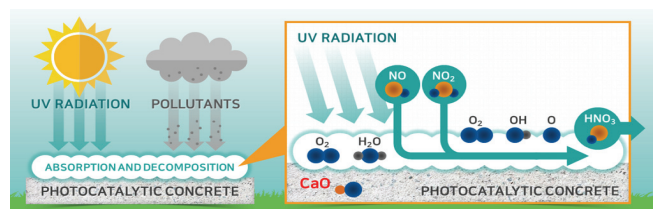


Fig. 1 Photocatalytic nitrogen oxides removal reaction

(Nazari and Riahi, 2011). 그러나 국내의 경우, 광촉매를 콘크리트나 모르타르, 콘크리트 블록 등에 도포하지 살포하는 코팅방법이 주를 이루고 있다(Kim et al., 2014). 이는 광촉매 소재 자체가 고가이기 때문에 시멘트의 일부로 대체하여 사용하기에는 상승되는 콘크리트 제조비용의 부담이 크기 때문이다. 또한 빛과 광촉매의 접촉 부분에서 질소산화물 분해 효과가 발현되므로 콘크리트 전체에 고가의 광촉매를 혼입한다면 효율면에서 불리하기 때문에 코팅하여 사용한 것으로 판단된다. 그러나 콘크리트 도로나 보도블럭, 바닥판과 같이 사람들의 반복활동에 노출된 곳은 타이어나 도보에 의해 마찰이 발생하며 광촉매 코팅 부분의 손상이 발생할 수 있다. 따라서 광촉매를 콘크리트에 혼입하는 것이 코팅보다 장기적인 측면에서 효과적일 수 있다. 이에 본 연구에서는 효율적인 광촉매 콘크리트의 제조 및 적용을 위하여 광촉매 종류 및 혼입률에 따른 콘크리트의 역학적 특성과 질소산화물 제거 성능 평가를 실시하였다. 또한 비교적 고가의 재료인 광촉매를 콘크리트 포장 도로, 도로구조물 등에 보다 경제적이고 효율성 있게 적용하기 위하여 콘크리트의 표면 일부를 광촉매 콘크리트로 분할 타설하는 방안을 검토하였고 이를 위해 두 콘크리트간의 일체거동 여부를 검증하고자 역학적 성능 및 동결융해 평가를 실시하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 시멘트 및 골재

시멘트는 1종 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며 굵은 골재는 최대치수 25 mm, 밀도 2.63 g/cm<sup>3</sup>인 쇄석을 사용하였고 잔골재는 밀도 2.67 g/cm<sup>3</sup>, 강모래를 사용하였다. 시멘트의 물리·화학적 성질 및 골재의 물리적 성질은 Tables 1, 2와 같다.

**Table 1** Physical & Chemical properties of Cement

Item	Surface Area (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Ig.loss (%)	Chemical composition (%)				
				SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
Cement	3,413	3.15	1.40	21.01	6.40	3.12	61.33	3.02

**Table 2** Physical properties of aggregate

Item	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M	Unit Weight (t/m <sup>3</sup> )
Sand	2.67	1.83	2.60	1,422
Gravel	2.63	0.63	6.87	1,429

### 2.1.2 혼화제

콘크리트의 소요 유동성과 공기량을 확보하기 위해 액상형 폴리칼본산계(고형성분 20%) 고성능 감수제와 AE를 각각 적정량 사용하였다.

### 2.1.3 광촉매

광촉매는 기존 상용제품 중 가장 성능이 우수하고 범용적으로 사용하는 P-25와 국내제품 중 NP-A를 사용하였다. P-25의 결정구조는 아나타제와 루타일이 7:3 비율로 구성되어있고 비표면적이 54.9 m<sup>2</sup>/g인 반면 NP-A의 결정구조는 아나타제이며 66.5 m<sup>2</sup>/g의 비표면적을 나타낸다.

**Table 3** Physical properties of TiO<sub>2</sub>

Item	Crystal phase	Average particle size (nm)	Specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Purity (TiO <sub>2</sub> )
P-25	Rutile / Anatase	25.2	54.9	0.18	99%
NP-A	Anatase	26.6	66.5	0.45	99%

## 2.2 배합 및 실험방법

### 2.2.1 배합

배합은 Table 4에 나타난 바와 같이 Plain을 기준으로 광촉매 2종류(P-25, NP-A)와 광촉매 혼입률(시멘트 대비 0, 3, 5, 7%) 이 물성에 미치는 영향을 확인할 수 있도록 구성하였다. 목표 슬럼프(130±20 mm) 및 공기량(5±2%)를 얻기 위해 고성능 감수제 첨가량을 조절하였으며, 모든 배합은 100리터 용량의 속도조절이 가능한 트윈샤프트형 콘크리트 믹서를 이용하였다. 광촉매 콘크리트의 혼합은 먼저 시멘트 및 잔골재, 결합재, 광

**Table 4** Mix proportion

Item		Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				SP	AE	Pt
		W	C	S	G			
Plain		177	390	924.0	768.3	1.950	0.195	0
Pt 3%	P-25	177	378.3	912.7	759.0	2.857	0.195	11.7
	NP-A	177	378.3	912.7	759.0	2.857	0.195	11.7
Pt 5%	P-25	177	370.5	905.2	752.7	3.571	0.195	19.5
	NP-A	177	370.5	905.2	752.7	3.571	0.195	19.5
Pt 7%	P-25	177	362.7	897.7	746.5	4.286	0.195	27.3
	NP-A	177	362.7	897.7	746.5	4.286	0.195	27.3

여기서, W는 배합수, C는 시멘트, S는 잔골재, G는 굵은골재, SP는 고성능감수제, AE는 공기연행제, Pt는 광촉매 이다, 한편, Pt 3에서 Pt는 광촉매, 숫자는 혼입율을 나타낸다.

축매를 투입하고 10분간 건비빔을 저속(20 rpm)으로 실시하였다. 건비빔 후 배합수 및 고성능감수제를 넣고 광축매 콘크리트의 유동이 시작될 때까지 저속(20 rpm)으로 비빈 후, 유동이 시작되면 고속(40 rpm)으로 2분간 비비고, 굵은골재를 투입하여 고속(40 rpm)으로 2분간, 저속(20 rpm)으로 2분간 비빔한 뒤 배출함으로써 광축매 콘크리트의 제조를 완료하였다.

### 2.2.2 실험방법

#### (1) 압축강도 및 탄성계수

광축매 콘크리트의 역학적 특성을 확인하기 위하여 KS F 2438를 따라 Fig. 1과 같이 압축강도 및 탄성계수를 측정하였다. 시험체는 지름이 100 mm이고 높이가 200 mm인 원주형 공시체를 사용하였으며, 장비는 300 ton급 용량의 UTM(Universal testing machine)을 사용하였다. 공시체에 3개의 LVDT(Linear variable differential transformer)를 부착하여 하중재하와 동시에 변형률을 측정할 수 있도록 하였다. 시험은 각 재령(7일, 28일)에 따라 3개의 공시체의 평균값을 사용하였다.



Fig. 1 Test of compressive strength and elastic modulus

#### (2) 건조수축 시험

광축매 콘크리트의 내구성 평가를 위해 KS F 2424에 제시된 절차에 따라 건조수축 시험을 수행하였다. 시험체는 100×100×400 mm의 각주형 공시체이며, 변형률 측정을 위해 사용한 매립 게이지는 양단 플랜지형 게이지이다. 재령 1일부터 71일까지의 변형률을 데이터로거를 사용하여 측정하였으며, 배합에 따라 3개씩 제작하여 측정된 값의 평균값을 사용하였다.

#### (3) 동결융해 시험

광축매 콘크리트의 내구성 평가를 위해 KS F 2456에 준하여 동결융해 시험을 수행하였다. 100×100×400 mm의 각주형 공시체를 사용하여 기중 급속 동결 후 수중융해 방식의 동결

융해시험을 실시하였다. 총 300 cycle에서 종료하였고 매 30 사이클에서 아래의 Eqs(1)과 (2)에 따라 상대동탄성계수 및 내구성 지수를 산정하였다.

$$P_c = \left(\frac{n_c}{n_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

여기서,  $P_c$ 는 동결융해 C사이클 후의 상대동탄성계수(%),  $n_0$ 는 동결융해 0사이클에서의 변형진동의 1차 공명 진동수(Hz),  $n_c$ 는 동결융해 C사이클 후의 변형진동의 1차 공명 진동수(Hz)이다.

$$DF = \frac{PN}{M} \quad (2)$$

여기서,  $DF$ 는 시험용 공시체의 내구성 지수,  $P$ 는  $N$  cycle에서의 상대동탄성계수(%),  $N$ 는 상대동탄성계수가 60%가 되는 cycle 수 또는 동결융해에의 노출이 끝나게 되는 순간의 cycle 수,  $M$ 은 동결융해의 노출이 끝날 때의 cycle 수이다.

#### (4) 질소산화물 제거 성능

광축매 콘크리트의 대기정화 특성을 평가하기 위해 KS L ISO 22197-1에 의거하여 Fig. 2에 나타난 질소산화물 제거 성능평가를 실시하였다. 질소산화물 제거 성능평가에 사용된 시험체의 치수는 폭 50 mm, 높이 10 mm, 길이 100 mm이다. 시험규격상 시험체 높이가 10 mm이므로 굵은골재 영향을 배제하기 위해 5 mm 체를 이용하여 제조된 광축매 콘크리트에서 굵은 골재를 제거하고 모르타르 조건으로 제작하였다. 제작된 시험체는 먼저 5시간 동안 UV 조명(10 W/m<sup>2</sup>)을 비춰 주어 잔여 유기물을 분해시켰다. 이후 2시간 동안 탈이온수에 시편을 담근 다음 꺼내어 80℃에서 건조시켰다. 질소산화물 제거 성능 평가 시스템 장비를 이용하여 30분 동안 빛이 들어 오지 않은 암흑 상태에서 질소가스를 흡착시킨 후 산화질소(NO)와 이산화질소(NO<sub>2</sub>)의 부피분율을 측정하였다. 산화질소가스가 흐르고 있는 상태에서 UV 조명(10 W/m<sup>2</sup>)을 5시간 이상 비춰주며 산화질소와 이산화질소의 부피분율을 평가하였다. 질소산화물 제거 성능평가를 위해 각 배합별 3개의 시험체를 평가하였으며, 이를 평균값으로 나타내었다.

Table 5 Conditions of NO removal test

NO conc. (ppmv)	Air stream (L/min)	UV intensity (W/m <sup>2</sup> )	Temperature (°C)	Rel. humidity (%)
1	3	10	25±2	50

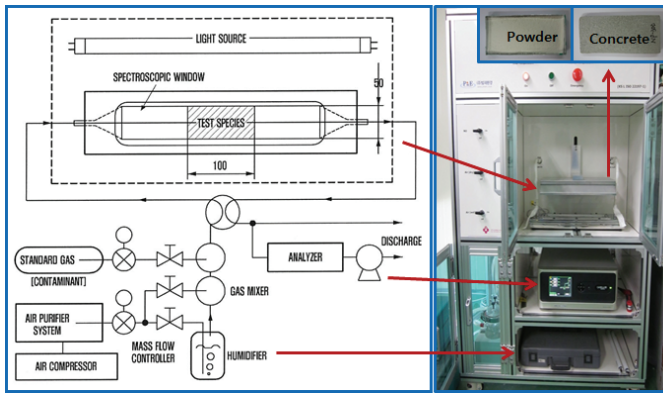


Fig. 2 Test of NO removal

(5) 일체화 거동 평가를 위한 시험체 제작

광촉매 콘크리트의 경제적 제조방법의 일환으로 광촉매 콘크리트를 모체 콘크리트의 표면부위에 20 mm 높이로 분할 타설하여 일체화거동 여부를 평가하고자 하였다. 모체콘크리트와 광촉매 콘크리트는 Table 4에서의 Plain 콘크리트와 광촉매 2종류(P-25, NP-A)을 각 5%씩 혼합한 콘크리트를 적용하였다. 시험체는 Plain으로 구성된 모체콘크리트를 제작한 후 경화가 시작되기전 광촉매 콘크리트를 상부에 2 cm씩 분할 타설하는 형식으로 제작하였고 동일한 슬럼프를 유지하도록 하여 타설하였다. 이때 시험체는 CT5로 표기하였으며, P-25와 NP-A를 구분하였다.



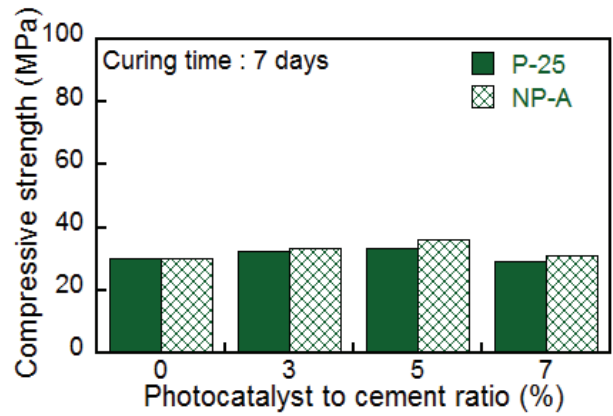
Fig. 3 Concept of separated casting on the photocatalyst concrete

### 3. 실험결과

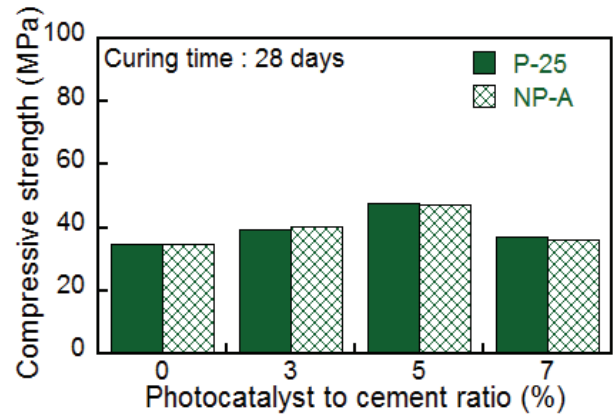
#### 3.1 광촉매 혼입에 따른 콘크리트 특성

##### 3.1.1 압축강도

광촉매 종류 및 혼입률에 따른 광촉매 콘크리트의 채령별 압축강도를 Fig. 4에 나타내었다. 광촉매 종류와 관계없이 광촉매를 5% 혼입한 경우 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 채령 28일에서 광촉매 P-25와 NP-A의 혼입률이 5%일 때 가장 높은 압축강도가 측정되었으며 이때의 압축강도는 약 47.5 MPa로 광촉매가 포함되지 않은 Plain보다 압축강도가 약 36% 증가한 것으로 나타났다. 이는 광촉매와 시멘트계 재료



(a) 7 days



(b) 28 days

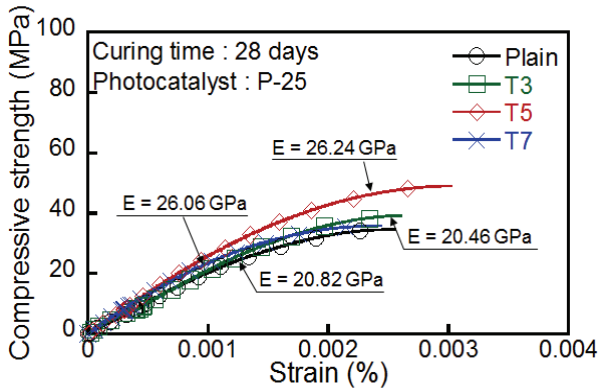
Fig. 4 Test results of compressive strength

들간에 입자크기의 차이로 인한 필러효과가 발생하여 압축강도가 증가한 것으로 판단된다(Ali and Shadi, 2011; Lee et al., 2008). 광촉매 혼입률이 7%일 때 압축강도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 나노크기를 갖는 광촉매의 혼입률이 높아짐에 따라 광촉매의 사용량이 증가하여 콘크리트내의 광촉매의 분산이 원활하지 못하기 때문인 것으로 판단되고 사용된 광촉매 종류에 대한 압축강도의 영향은 없는 것으로 판단된다.

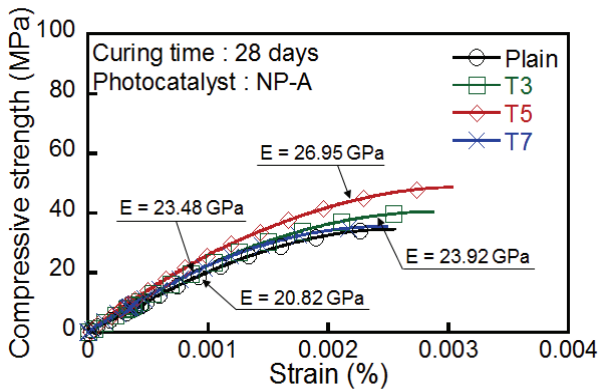
##### 3.1.2 탄성계수

광촉매 종류 및 혼입률에 따른 광촉매 콘크리트의 탄성계수를 Fig. 5에 나타내었다. 탄성계수 또한 압축강도와 유사한 경향을 나타내었는데, 광촉매 혼입에 따른 압축강도 증가에 따라 콘크리트의 탄성계수도 증가하는 경향을 나타내었다. 광촉매 NP-A의 혼입률이 5%일 때 탄성계수가 가장 높은 26.95 GPa로 Plain보다 약 29% 증가하였다.





(a) P-25



(b) NP-A

Fig. 5 Test results of elastic modulus

### 3.1.3 건조수축 및 동결융해

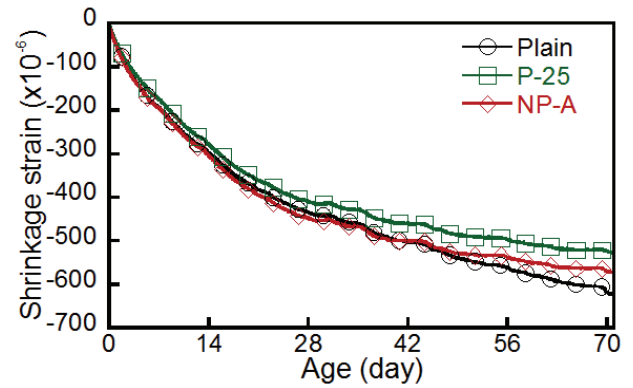
#### (1) 건조수축

광촉매 종류에 따라 광촉매 5% 혼입한 콘크리트의 건조수축 측정 결과를 Fig. 6(a)에 나타내었다. 광촉매를 혼입할 경우, 초기 건조수축량은 Plain과 차이를 보이지 않지만 재령이 증가함에 따라 광촉매 혼입 콘크리트의 건조수축량은 감소하였다. 재령 71일에서 광촉매 P-25가 5% 혼입될 경우 건조수축량은 Plain을 기준으로 보았을 때 약 15% 감소하였으며, 광촉매 NP-A가 5% 혼입될 경우 Plain보다 약 8% 감소하였다.

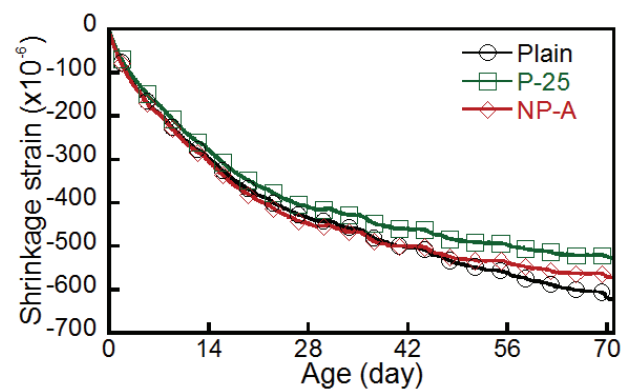
일반적으로 광촉매 사용시 작은 크기의 광촉매 입자가 매트릭스 내 필러 역할을 수행하여 전체 공극 분포는 감소한다고 보고되었다(Nazari and Riahi, 2011). 본 연구에서도 이러한 이유로 광촉매 콘크리트의 건조수축량이 감소한 것으로 판단된다.

#### (2) 동결융해

광촉매 종류에 따라 광촉매 5% 혼입한 콘크리트의 동결융해 시험 결과를 Fig. 6(b)에 나타내었다. 광촉매 혼입이 동결융해에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 확인되었다. 200 cycle까지는 배합간 큰 차이가 없으며, 300 cycle 이후에 상대동탄성계수



(a) Test results of drying shrinkage



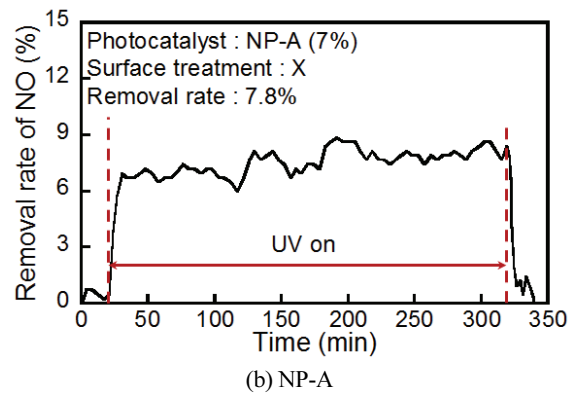
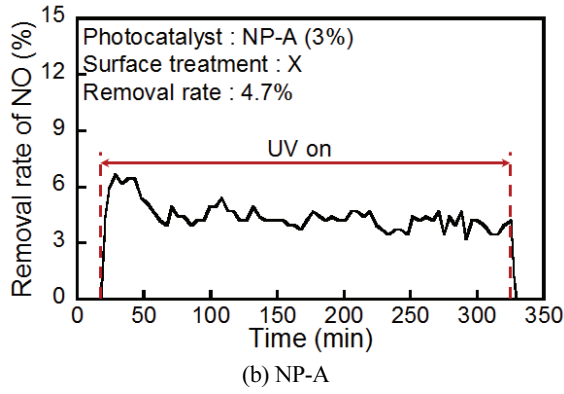
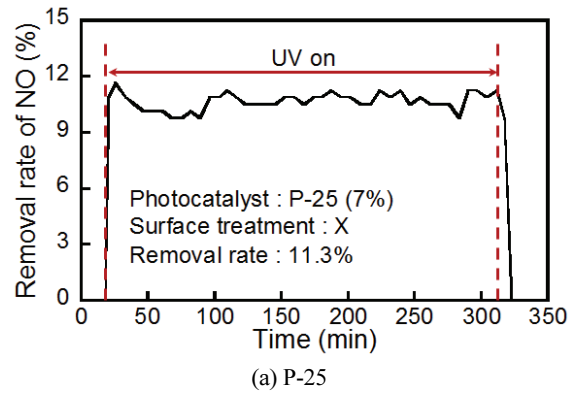
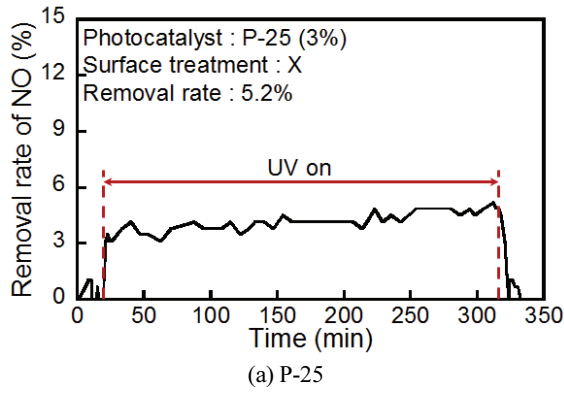
(a) Test results of drying shrinkage

Fig. 6 Test results of durability

를 비교해볼 경우 P-25가 Plain에 비해 약 4% 감소하였고, NP-A는 Plain과 거의 동일하게 나타났다. 광촉매를 혼입한 모든 콘크리트에서 Plain과의 비교할 때 상대동탄성계수 및 무게변화는 큰 차이는 보이지 않았다. 따라서 4% 이상의 공기연행이 된 콘크리트의 경우 내동해성이 우수한 것으로 나타났으며 향후 도로구조물 등에 광촉매 콘크리트를 제작할 경우 4% 이상의 공기연행이 필요할 것으로 판단된다. 광촉매의 종류가 동결융해에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타내었다.

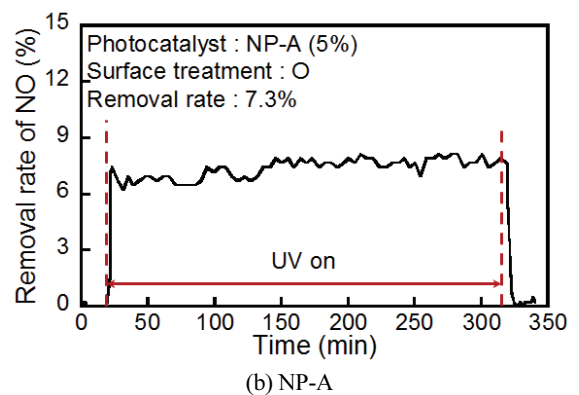
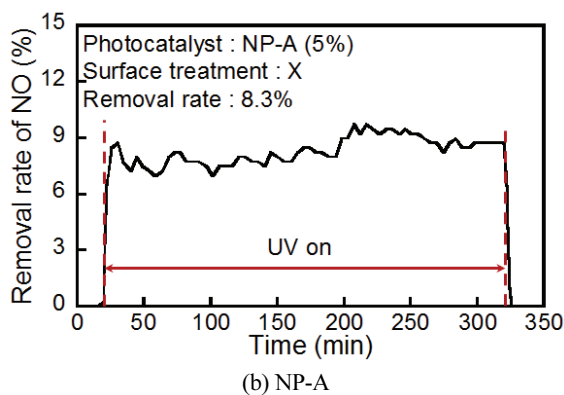
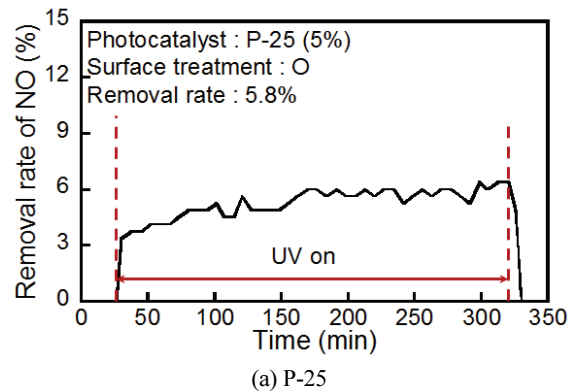
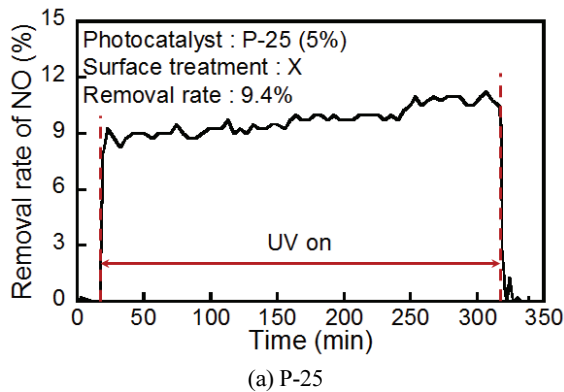
### 3.2 광촉매 혼입에 따른 질소산화물 제거 특성

광촉매 종류 및 혼입률에 따른 광촉매 콘크리트의 질소산화물 제거 성능평가 결과를 Fig. 7~10에 나타내었다. 광촉매 혼입률이 3%에서 7%로 증가함에 따라 질소산화물 제거율이 증가하는 것을 확인하였다. P-25의 경우 광촉매 혼입률이 7%일 때 전체 부피에 대한 질소산화물 제거율은 11.3%로 나타났고 혼입률이 3%일 때보다 약 6% 이상 증가하였다. NP-A의 경우 광촉매 혼입률이 7%일 때 질소산화물 제거율은 7.8%를 나타내며 혼입률이 3%인 경우보다 약 3% 이상 증가하였다. 위 결과에 따라 광촉매 종류 중 NP-A보다 P-25의 질소산화물 제거성능이 조금 높게 측정되었다.



**Fig. 7** Test result of nitrogen oxides removal performance by photocatalyst incorporation rate 3%

**Fig. 9** Test result of nitrogen oxides removal performance by photocatalyst incorporation rate 7%



**Fig. 8** Test result of nitrogen oxides removal performance by photocatalyst incorporation rate 5%

**Fig. 10** Test result of nitrogen oxide removal performance by surface treatment

이러한 성능차이의 원인은 Fig. 9에 나타난 것과 같이 표면처리를 실시한 질소산화물 제거성능 평가를 통해 확인할 수 있다. 브러시를 시험체 표면을 각 50회 문지른 것을 표면처리 시험체로 정의하고 질소산화물 제거성능 평가를 실시하였다. 실험결과 광촉매 NP-A를 5%를 혼입한 시험체에서 표면처리 유무에 따른 질소산화물 제거 성능을 비교 검토한 결과, 표면처리를 한 경우 질소산화물 제거율 7.3%에 비해 표면처리를 하지 않은 경우에 8.3%의 질소산화물 제거율을 나타내 1% 감소하였다. 그러나 광촉매 P-25 5%를 혼입한 시험체에서 표면처리 유무에 따른 질소산화물 제거성능은 처리 전 9.4%에서 처리 후 5.8%로 3.6%의 감소율을 나타내었다. 이는 광촉매 P-25를 콘크리트에 혼입할 경우 광촉매의 입자가 NP-A에 비해 비중이 낮아 콘크리트 표면 상부로 많이 분포하는 것으로 나타났다. 그러나 표면처리후에는 P-25의 질소산화물 제거율은 오히려 NP-A보다 1.5% 낮은 5.8%의 제거율을 나타내었다. 따라서 사람이나 차량이 지나다니는 경우와 같이 표면마모가 발생할 경우에는 P-25는 NP-A에 비해 질소산화물 제거능력이 급격히 감소한다는 것을 알 수 있었다. 향후 광촉매 콘크리트를 제작할 경우 이러한 특성을 고려하여 광촉매를 선택하여 사용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

한편, 일본 광촉매 협회는 질소산화물 제거량이  $0.5 \mu\text{mol}/5\text{h}$  이상인 경우 광촉매 제품으로 인증해주고 있는데 이 값은 질소산화물 제거율 1.34%와 동일한 값이다. 이 연구에서 광촉매 최소 혼입율인 3%인 경우에도, 질소산화물 4.7% 제거율 (NP-A)로 일본 광촉매 제품 인증기준의 약 3.5배 이상을 확보하는 것으로 나타났다.

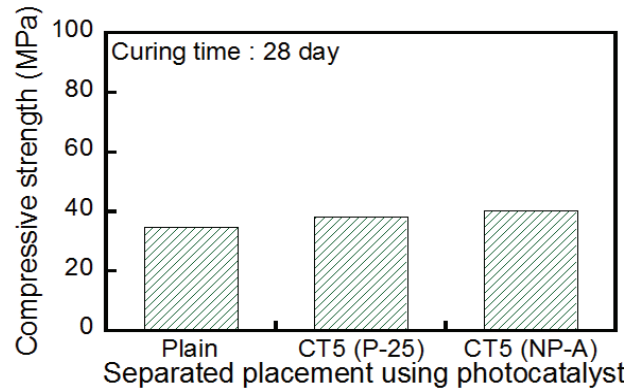
### 3.3 분할 타설에 따른 일체화 거동 평가

#### 3.3.1 압축강도 및 탄성계수

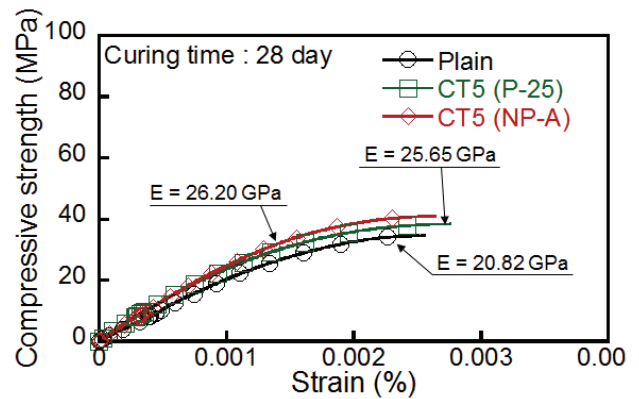
광촉매 콘크리트의 일체화에 따른 역학적 특성 평가를 위해 압축강도와 탄성계수 측정결과를 Fig. 10에 나타내었다. 재령 28일에서 분할 타설된 광촉매 콘크리트의 압축강도는 재령이 28일에서 종류와 상관없이 Plain에 비해 동등이상의 압축강도를 나타내었다. 한편, 광촉매를 혼입하지 않은 Plain에 비해 광촉매 콘크리트를 분할 타설한 경우도 탄성계수가 다소 증가한 것으로 나타내는 등 분할 타설을 하더라도 기존의 모체콘크리트 부분과 광촉매 콘크리트와의 일체화 거동을 나타낸 것으로 판단된다.

#### 3.3.2 동결융해

분할 타설된 광촉매 콘크리트의 일체화 거동여부를 판단하기 위해 동결융해실험을 실시하고 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Plain과 분할 타설된 광촉매 콘크리트의 상대동탄성계수 변화는 거의 동일한 경향을 나타내어 일체화 거동을 하



(a) Test results of compressive strength



(b) Test results of elastic modulus

Fig. 11 Test results of compressive strength and elastic modulus of photocatalyst concrete by separated placement

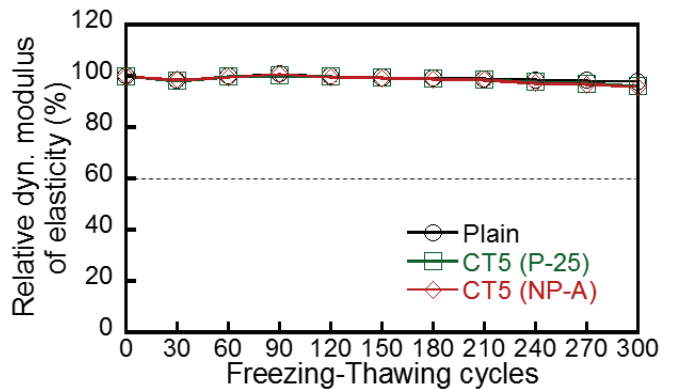


Fig. 12 Test results of relative dynamic modulus of elasticity of photocatalyst concrete by separated placement

는 것으로 판단된다.

따라서 광촉매 콘크리트를 콘크리트 포장 및 도로구조물 등에 적극적으로 사용하기 위하여 일정 두께높이로 광촉매 콘크리트를 상부에 분할 타설하는 방법을 사용한다면 보다 경제적이고 효율적인 광촉매 콘크리트 제작이 가능할 것으로 판단된다. 향후 분할 타설 시간 간격에 따른 영향, 분할 타설

적정높이 등에 대한 후속 연구가 필요하며 콘크리트내 광촉매의 원활한 분산과 표면부위로의 광촉매를 집중적으로 유도할 수 있는 기술 확보가 필요하다.

## 4. 결 론

본 연구에서 광촉매 종류 및 혼입율에 따른 역학적 특성 및 질소산화물 제거 특성을 평가하였고, 보다 경제적이고 효율적인 광촉매 콘크리트 제조를 위해 분할 타설하는 방법에 대해 검토하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 28일 압축강도가 약 30 MPa를 나타내는 Plain 콘크리트에 P-25와 NP-A 광촉매를 혼합하는 경우 일정 혼입율까지는 압축강도와 탄성계수가 증가하는 것으로 나타났다. 광촉매 혼입률이 5%일 때 가장 높은 압축강도와 탄성계수가 측정되었다. 이러한 이유는 광촉매와 시멘트계 재료들간에 입자크기의 차이로 인한 필러효과가 발생하여 압축강도가 증가한 것으로 판단된다. 따라서 광촉매를 적정비율로 혼입할 경우 콘크리트의 역학적 성능을 개선하는 것으로 나타났다.
- 2) 이 연구에서 광촉매 반응에 의한 질소산화물 제거 성능평가(KS L ISO 22197-1) 결과 광촉매 혼입률이 증가함에 따라 질소산화물 제거율이 증가하는 것으로 나타났다. P-25의 경우 광촉매 혼입률이 7%일 때 전체 부피에 대한 질소산화물 제거율은 11.3%로 나타났고 혼입률이 3%일 때보다 약 6% 이상 증가하였다. NP-A의 경우 광촉매 혼입률이 7%일 때 질소산화물 제거율은 7.8%를 나타내며 혼입률이 3%인 경우보다 약 3% 이상 증가하였다. 위 결과에 따라 광촉매 종류 중 NP-A보다 P-25의 질소산화물 제거성능이 다소 높은 것으로 평가 되었다.
- 3) 이 연구에서는 광촉매 콘크리트를 적용할 때 경제성을 고려하여 본래 시공하려는 콘크리트 표면부분 위에 일정 두께로 광촉매 콘크리트를 동시에 타설하는 분할 타설 방안을 제안하고 일체화 거동을 평가하였다. 분할 타설된 시험체가 Plain에 비해 압축강도, 탄성계수 등 역학적 성능과 동결융해실험 300 cycle이 지난시점에서의 상대동탄성 계수 모두 동등이상으로 나타나 일체화 거동을 하는 것으로 판단된다. 따라서 콘크리트 포장 및 도로구조물 등에 보다 경제적인 방법으로 사용가능할 것으로 판단된다. 적극적으로 사용하기 위한 방안으로 일체화 시공 기술을 개발하여 경제적인 시공이 가능하도록 제안하였다.
- 4) 따라서 이 연구에서는 기존 고품질의 광촉매에 비해서

성능이 유사하면서도 50% 가격이 절감된 저비용 고효율 광촉매를 적용하여 질소산화물에 의한 대기오염 정화율을 50% 이상 저감시킬 수 있는 광촉매 콘크리트 기술을 구현하였다. 또한 이 광촉매 콘크리트를 콘크리트 포장 및 도로구조물 등에 적극적으로 사용하기 위한 방안으로 일체화 시공 기술을 개발하여 경제적인 시공이 가능하도록 제안하였다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 18SCIP-B149189-01).

## References

1. Ali, N., Shadi, R. (2011), TiO<sub>2</sub> nanoparticles effects on physical, thermal and mechanical properties of self compacting concrete with ground granulated blast furnace slag as binder, *Journal of Energy and Buildings*, 43, 995-1002.
2. Beeldens, A. (2006), An environmental friendly solution for air purification and self-cleaning effect : the application of TiO<sub>2</sub> as photocatalyst in concrete, Proceedings of Transport Research Arena Europe-TRA, Goöteborg, Sweden.
3. Jung, J. H., Kim, S. H., and Lee, G. H. (2010), Photocatalyst cement concrete research trend and method of utilization, *International Journal of Highway Engineering*, Korea Road Association, 12(2), 25-34.
4. Kim, H. J. (2000), Research on development of cement materials for removing nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), *Journal of Cement*, Korea Cement Association, 153, 50-54.
5. Kim, Y. K., Hong, S. J., Lee, K. B., and Lee, S. W. (2014), Evaluation of NO<sub>x</sub> Removal Efficiency of Photocatalytic Concrete for Road Structure, *International Journal of Highway Engineering*, Korea Road Association, 16(5), 49-58.
6. Lee, S. T., Hoontom R. D., Jung, H. S., Park, D. H., and Choi, C. S. (2008), Effect of limestone filler on the deterioration of mortars and pastes exposed to sulfate solutions at ambient temperature, *Cement and Concrete Research*, 38(1), 68-76.
7. Monica, J. H., and Andrew, T. H. (2013), Nanotechnology innovations for the construction industry, *Progress in Materials Science*, 58, 1056-1102.
8. Nazari, A., and Riahi, S. (2011), The Effects of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles on Flexural Dam-age of Self-compacting Concrete, *International Journal of Damage Mechanics*, 20(7), 1049-1072.

Received : 01/24/2019

Revised : 03/02/2019

Accepted : 03/03/2019



---

**요 지** : 본 연구에서 광촉매 종류 및 혼입율에 따른 역학적 특성 및 질소산화물 제거 특성을 평가하였고 보다 경제적이고 효율적인 광촉매 콘크리트 제조를 위해 분할 타설하는 방법에 대해 검토하였다. 그 결과 광촉매 혼입률이 5%일 때 가장 높은 압축강도와 탄성계수가 측정되었다. 광촉매 반응에 의한 질소산화물 제거 성능평가 결과 광촉매 혼입률이 증가함에 따라 질소산화물 제거율이 증가하였다. 이때 광촉매 P-25의 질소산화물 제거성능은 NP-A보다 우수하였다. 경제성을 고려하여 콘크리트 표면의 일정 두께를 광촉매 콘크리트로 타설하는 분할 타설 방안을 제안하였고, 이때의 일체화 성능을 평가하였다. 그 결과 역학적 성능 및 내구성능이 Plain에 비해 동등 이상으로 나타나 일체화 거동을 만족하는 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 광촉매, 광촉매 콘크리트, 질소산화물, 분할 타설, 대기오염

---