

전도성 광촉매를 이용한 콘크리트 블록의 대기중 질소산화물 저감에 관한 연구

Improvement of Nitrogen Oxide Removal of Concrete Sidewalk Block Using by Conductive Photocatalyst

배근국^{1,2} · 조인숙³ · 안용식^{4*}Geun-Guk Bae^{1,2} · In-Sook Cho³ · Yong-Sik Ahn^{4*}

(Received November 8, 2023 / Revised November 24, 2023 / Accepted December 8, 2023)

The use of TiO₂ photocatalyst in the production of concrete blocks for the purpose of nitrogen oxide reduction is an issue of controversy due to the conflicting evidence on its effectiveness. Efforts have been made to reduce the level of nitrogen oxides in the environment by using of titanium dioxide (TiO₂). This study examined the effect of incorporating activated carbon into concrete blocks on the reduction of nitrogen oxides released into the atmosphere and the durability of the blocks. The efficiency of photocatalyst was enhanced through the addition of a surrounding conductive substance. The addition of activated carbon resulted in a significant increase in the electrical conductivity of photocatalytic blocks and improved durability. The cement mixture using 5 % TiO₂ and 15 % activated carbon exhibited the optimal mixing ratio for the purpose of nitrogen oxide removal. The effect of the addition of conductive carbon to the photocatalytic blocks was discussed with the results of conductivity, flexural and compressive strength and nitrogen oxide removal test. The relationship between the addition of conductive carbon to the photocatalytic blocks and its resulting effects have been studied by several tests, including conductivity, flexural and compressive strength, and nitrogen oxide removal.

키워드 : 질소산화물 제거율, 전도성 콘크리트, 광촉매, 광전류**Keywords** : Nitrogen oxide removal, Conductive concrete, Photocatalyst, Photocurrent

1. 서론

광촉매의 질소산화물 제거작용은 TiO₂ 광촉매가 태양광의 자외선과 반응하여 광산화 분해작용으로 유기물이 제거되며(질소산화물, 황산화물) 이를 통하여 미세먼지 저감 및 오존(O₃) 증가 억제효과가 있다(Song et al, 2020). 더욱이 최근에는 가시광 영역에서도 광촉매가 활성화될 수 있게 하는 방안을 찾기 위해 비금속 이온을 도핑하는 등 다양한 연구가 진행되고 있다(Lee and Lee 2018). TiO₂ 광촉매에 자외선을 조사하면 가전자대의 전자가 전도대로 전이되는데 가전자대에서 전자가 전이되고 남은 빈자리인 정공이 오염물과 반응에 참여하기도 하고 전도대로 올라간 전자가 오염물과 반응하기도 한다. 이러한 가전자대의 정공과 전도대의 전자는 통상적으로 즉시 재결합하여 원래 상태로 돌아가려고 한다. 그러

나 광촉매 주변에 전도성 물질이 존재할 때 가전자대의 정공과 전도대의 전자가 재결합하는 것을 최대한 지연시켜 주고 오염물과 분해 반응에 참여하게 되어서 궁극적으로 광촉매의 활성이 향상되는 결과를 나타낸다(Jang and Cha 2014). 공기정화 효과를 위한 광촉매 적용 연구는 다양하게 수행되고 있다. 이러한 연구들은 UV 자외선에 의한 광분해 효과를 통해 콘크리트 2차 제품인 보도블록, 옹벽블록 및 건축물 외벽의 도로 및 페인트 제품에 적용되고 있다(Kim et al, 2020). 콘크리트 구조물의 수명을 연장하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며 교량이 있는 환경, 시공성, 경제성 등을 평가하여 적절한 공법을 선정해야 한다. 콘크리트 구조물이 갖추어야 할 중요 특성 중 염해 내구성과 동결융해 내구성을 들 수 있다. 염해 내구성을 평가하기 위해 염소이온 확산계수를 측정하게 되는데 일반적으로 북유럽의 규격인 NT BUILD 492 시험방법을

* Corresponding author E-mail: ysahn@pknu.ac.kr

¹부산지방중소벤처기업청 성장지원과 주무관 (Growth Support Division, Busan Resonal SMEs and Stratups office, Busan, 46754, Korea)²국립부경대학교 재료공학과 박사과정 (Department of Materials Science & Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea)³셰카이나머티리얼즈 대표 (Shekinahmaterials, Busan, 48059, Korea)⁴국립부경대학교 재료공학과 교수 (Department of Materials Science & Engineering, Pukyong National University, Busan, 48513, Korea)

Copyright © 2023 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

많이 사용하고 있다(Bae et al. 2017). 콘크리트 블록의 동결융해 내구성에 관한 기준은 KS F 4419에 제시되지 않지만 KS F 2456 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법 중 B 방법을 참고하여 100사이클까지 동결과 융해를 반복한 후 힘 강도를 측정하는 방법이 있다(Lee et al. 2016). 본 연구에서는 보차도용 콘크리트 블록의 미세먼지 저감을 위하여 기존의 광촉매만 첨가하여 사용되던 콘크리트에서 전도성 재료인 활성탄소를 첨가하여 광촉매의 기능이 더욱 효과적으로 작용할 수 있도록 시도하였다. 이에 따라 활성탄소의 첨가량을 다르게 한 모르타르 시험편과 시멘트 블록 시험편을 가지고 미세먼지 원인물질인 질소산화물 제거율 시험과 전기전도도시험을 실시하였으며 시험편의 질소산화물 제거율 시험에서 나타난 실험결과와 광전류 시험을 비교분석 하였다. 또한 활성탄소가 첨가된 제품이 블록의 내구성에 미치는 영향을 조사하기 위해 압축강도, 흡수율 및 동결융해시험도 병행하여 수행하였다.

2. 시험방법

2.1 보차도용 콘크리트 블록의 시험편 제조

본 연구에서 사용된 콘크리트 보도블록 샘플들은 국내 D사에서 제작되었다. 블록 샘플의 메인층(concrete layer)은 두께 50~52 mm 이고 시멘트, 모래, 석분, 자갈, 슬래그로 구성되며, 표면층(surface layer)은 8~10 mm 두께로 시멘트, 규사, 광촉매, 활성탄소로 구성된 2단 구조로 제조되었으며, 광촉매와 활성탄소의 배합비는 사전 연구결과(Bae et al. 2017)를 바탕으로 표면층 시멘트 기준 5%, 15%로 구성하였다. Table 1에서는 제작된 일반 콘크리트 블록(ordinary concrete block, OCB)과 TiO₂광촉매가 첨가된 광촉매 콘크리트 블록(PCB), 활성탄소와 TiO₂광촉매가 첨가된 전도성 광촉매 콘크리트 블록(conductive photocatalyst concrete block, CPCB)의 메인층과 표면층의 배합비를 나타내고 있다. 표에서 G1은 모래(sand), G2는 직경 8 mm 이하의 석분(stone dust), G3은 직경 13 mm 이하의 자갈(gravel), S는 슬래그(slag), G4, G5는 각각 16~20 mesh 및 20~30 mesh의 규사모래(silica sand),



Fig. 1. The specimens of concrete sidewalk blocks

C/M은 안료(coloring material)를 나타낸다. 또한 TiO₂는 광촉매이고 AC는 활성탄소(activated carbon)를 나타낸다. 배합된 혼합체는 Fig. 1과 같은 블록 시험장치를 이용하여 정사각형의 200 × 200 × 60 mm 규격 샘플로 제조되었다.

2.2 휨강도, 흡수율, 동결융해(100cycle) 후의 휨강도 및 FE-SEM 분석

일반 블록과 전도성 광촉매 적용 콘크리트 보도블록 샘플의 휨강도 및 흡수율 성능은 KS F 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록에 준하여 실시하였으며, 블록의 휨강도, 흡수율 및 동결융해 성능 기준은 Table 2와 같이 규정하고 있다. KS F 4419에 준하여 제작된 시험편을 압축시험기에서 0.16 MPa/s 속도로 재하하여 콘크리트 휨강도(Flexural strength, FS)를 계산하였다.

$$FS = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

여기서, P는 시험기가 나타낸 최대 파괴 하중(N), l은 지점 간 거리(mm), b는 지점 간에 직각 방향의 평균 너비(mm) 이고, d는 블록의 평균 두께(mm)이다.

콘크리트 보도블록의 흡수율(Absorption rate, AR) 시험을 위해 휨강도 시험이 끝난 후 1개의 시료에서 2개의 시험편을 취하여 측정하였으며 KS F 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록에 준하여 다음 식을 이용하여 흡수율을 계산하였다.

$$AR(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100$$

Table 1. Mix proportions of ordinary concrete block (OCB), PCB and conductive photocatalyst concrete block (CPCB) samples

Type	Concrete layer (Kg%)					Surface layer (Kg%)					
	Cement	G1	G2	G3	S	Cement	G4	G5	C/M	TiO ₂	AC
OCB	430/22	650/34	600/31	100/5	150/8	120/19	255/41	175/28	70/12	0	0
PCB	430/22	650/34	600/31	100/5	150/8	120/19	430/69	0	64/11	6/1	0
CPCB	430/22	650/34	600/31	100/5	150/8	120/19	430/69	0	46/8	6/1	18/3

여기서 m_0 는 시험체의 표건 질량(g) 즉 20 ± 5 °C 물에 침수 후 측정무게이고, m_t 은 시험체의 절건 질량(g) 즉 105 ± 5 °C 건조기에서 건조한 후의 무게이다.

동결융해(100cycle) 후의 휨강도(FS) 시험은 KS F 2456 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법 중 B 방법을 참고하여 전도성 광촉매 콘크리트 보도블록 시험체를 제조한 뒤 6시간 60 °C 증기양생 후 28일간 기건양생하였으며 동결과 융해를 100 사이클 반복한 후 휨강도를 측정하였다.

Table 2. Performance of flexural strength and absorption rate

Flexural strength (FS)	Absorption rate (%)		Flexural strength of rapid freezing and thawing
	Individual	Average	
> 5.0 MPa	< 10.0	< 7.0	> FS × 80 %

2.3 황성탄소 첨가량에 따른 압축강도와 전기전도도

압축강도 시험은 KS L ISO 679에 따라 시험하였으며, KS L 5201 물리 성능의 1종 규정에 따르면 28일 동안 수중양생한 시험편의 압축강도 기준은 42.5 MPa 이상으로 되어있다. Table 3은 시험에 사용된 OM(ordinary mortar), CM(conductive mortar)에서 각 모르타르 시험편의 황성탄소 배합량을 나타내고 있다.

수분이 없는 상태에서 시험편의 비저항을 측정하기 위해 7일 동안 수중 양생한 시험체를 건조로에서 100 °C, 24시간 건조하였으며 단면 전체에 균일하게 전기전도가 이루어지도록 측정단면에 불순물을 제거하고 건조된 시험체에 구리판을 밀착하여 Potentiostat 장비를 사용하여 2전극법으로 연결한 후 일정하게 0.001 V를 인가하여 측정되는 전류값을 측정하여 시험체의 비저항을 계산하였다. 광촉매에 작용하는 자외선의 영향을 관찰하기 위해 앞의 경우와 같이 2전극법으로 연결한 후 4 V를 일정하게 인가하여 나타나는 전류값을 측정하였다.

Table 3. Composition of mortars (weight/g)

Types	Cement	Water	Standard sand	Activated carbon	TiO ₂
OM	450	225	1350	0	22.5
CM10	450	235	1350	45	22.5
CM15	450	250	1350	67.5	22.5
CM20	450	285	1350	90	22.5
CM25	450	315	1350	112.5	22.5
CM30	450	335	1350	135	22.5
CM32	450	342	1350	144	22.5

2.4 질소산화물 제거율 시험 및 광전류 시험

전도성광촉매 콘크리트 보도블록의 NO_x 제거 성능을 평가하기 위해 ISO 22197-1(2007) 규정을 준수하여 콘크리트 보도블록의 NO_x 제거 평가 시스템을 구축하였으며 Fig. 2에 질소산화물 측정 챔버(800 × 600 × 800)를 나타내고 있다.

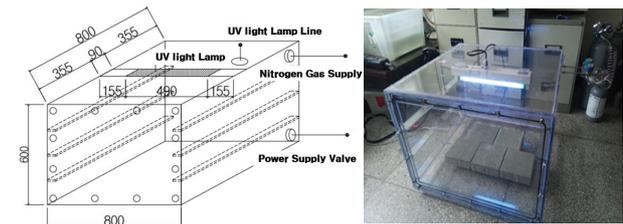


Fig. 2. Schematic image of nitrogen oxide analyzing equipment

위 그림의 챔버는 아크릴을 이용해 밀폐식으로 제작하였고, 측정 시에는 콘크리트 보도블록 시험편 5개를 챔버 내부에 두고 상단에 고정되어 있는 UV(자외선) - A type(Philips Actinic BL TL - D 15W) 램프에서 UV를 조사하면서 NO_x 농도변화를 측정하였으며 측정장비는 KIGAZ 210(제조사: KIMO)를 사용하였다. 질소산화물 제거율 측정 시험편은 3가지를 사용하였으며 Table 1에 따른 일반 콘크리트 블록(OCB), 광촉매 콘크리트 블록(PCB), 황성탄소가 첨가된 전도성 광촉매 콘크리트 블록(CPCB)이었다. PCB의 경우, 황성탄소만 첨가되지 않았다.

광촉매 및 전도성 광촉매 시험편의 자외선 조사 유무에 따른 측정 전류치의 차이를 UV로 인해 발생한 광전류로 계산하여 질소산화물 제거율과 광전류 사이의 상관관계를 비교 분석하였다. 세부적인 시험방법으로 동일한 종류의 시험편 5개를 챔버 내 배치한 후 산화질소 0.1 bar, 5 ppm농도로 유지한 후 측정된 농도를 X_0 로 정하고 이 후 30분 동안 농도변화가 없이 일정하게 유지될 때 UV 광을 조사하여 감소한 산화질소 농도 측정값을 X_1 으로 표시하였다. UV 광을 조사한 상태에서 TiO₂ 광촉매에 의한 NO 가스 흡착량은 $X_0 - X_1$ 차이값으로 나타낼 수 있으며 최대 120분 동안 측정하며 산화질소 농도가 0 ppm이 되면 120분 전이라도 시험을 종료한다. 시험이 종료되면 다음 식에 따라 NO_x 제거율을 계산한다.

$$\eta_{NO_x} = \frac{NO\text{제거농도}}{NO\text{공급농도}} = \frac{X_0 - X_1}{X_0} \times 100$$

여기서 η_{NO_x} 는 NO_x 제거율, X_0 는 산화질소 공급농도(측정값),

$X_0 - X_t$ 값은 제거된 산화질소농도(측정값)을 나타낸다.

모르타르 시험편은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 표준에 의거하여 40 × 40 × 160 mm 으로 제조하였으며 광전류 시험은 Fig. 3에서와 같이 WPG100ex Potentiostat 전기화학장비를 사용하여 정전압 4 V를 3분 동안 공급하여 측정되는 전류를 측정하였다.

모르타르 시험편에 활성탄소와 광촉매를 첨가한 페인트로 코팅한 CM 시험편과 CM15 전도성 광촉매 모르타르 시험편과 광촉매 5 %만 첨가한 광촉매 시험편의 자외선 조사 유무에 따라 측정되는 광전류의 변화량을 측정하였다. 이를 통하여 UV광에 의해 발생하는 광전류의 측정치와 질소산화물 제거율의 상관관계를 비교 분석하였다.

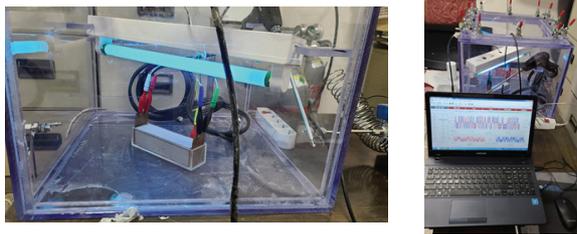


Fig. 3. Equipment for photocurrent test

3. 시험결과 및 고찰

3.1 질소산화물 제거율 시험

질소산화물 제거시험을 위해 직접 제작한 챔버 내 블록 시험편을 배치한 후 산화질소 0.1 bar, 5 ppm농도로 일정하게 유지한 후 측정된 농도를 X_0 로 설정하였다. 이 후 30분 동안 농도변화가 없이 일정하게 유지될 때 UV광을 조사하여 감소한 산화질소 농도 측정값을 X_t 로 나타내며 NO 가스 흡착량은 $X_0 - X_t$ 차이값으로 질소산화물 제거율을 계산하였다.

일반 콘크리트 블록(OCB)과 광촉매 콘크리트(PCB) 및 전도성 광촉매 콘크리트 블록(CPCB) 3가지 시험편의 질소산화물 농도변화를 Fig. 4에 나타내고 있다. 그림에서 보면 OCB에서는 시간이 지나도 질소산화물이 전혀 제거되지 않았으나, PCB와 CPCB는 유지시간이 지남에 따라 질소산화물이 제거되고 있으며, CPCB의 경우 PCB보다 질소산화물 제거율이 뚜렷이 높은 것으로 나타났다. 특히 유지시간 120분 이후에는 CPCB의 질소산화물 제거율이 PCB에 비해 2.5배 정도 높은 것으로 나타났다. 전도성 광촉매 시험편(CPCB)의 질소산화물 제거율이 높게 나타난 것은 전도성 재료인 활성탄소의 영향에 의해 TiO_2 광분해로 인한 광전류가 많이 발생하였기 때문이라고 생각된다.

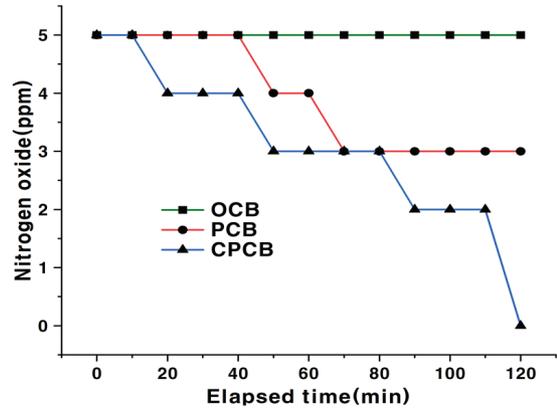


Fig. 4. The change of nitrogen oxide for OCB, PCB and CPCB according to the elapsed time in chamber

3.2 활성탄소 첨가량에 따른 압축강도와 전기전도도

이전의 연구(Bae et al. 2017)에 따르면 모르타르 시험편에 활성탄소 첨가량이 0 %에서 40 % 증가함에 따라 7일 압축강도가 48 MPa에서 31 MPa로 감소하였으며, 반대로 전기전도도는 증가하였다. 즉 활성탄소의 첨가량이 증가하면 광촉매 TiO_2 의 활동도를 높이지면서 전기전도도가 증가하지만, 압축강도가 감소하는 부정적인 영향을 나타내었다.

본 연구에서는 이전의 연구(Bae et al. 2017)와 다르게 KS L ISO 679에 따른 압축강도 시험방법 및 KS L 5201의 28일 압축강도 성능기준을 적용하여 Fig. 5에 결과를 나타내고 있다. 활성탄소 첨가량이 10~32 % 범위에서 증가함에 따라 압축강도는 42.5 MPa에서 33.1 MPa로 감소하고 전기전도도는 0.128×10^{-2} (S/m)에서 1.88×10^{-2} (S/m)로 증가하였으며, 이는 이전의 연구결과(Bae et al. 2017)와 동일한 경향을 나타내고 있다.

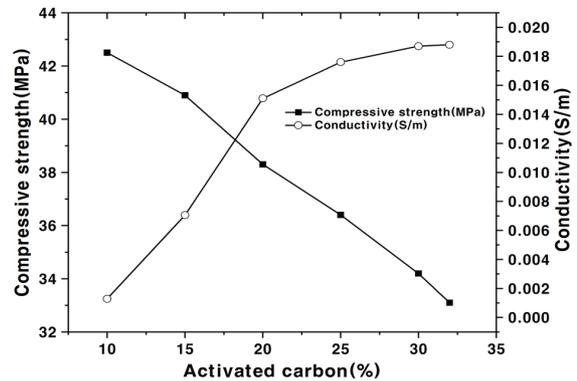
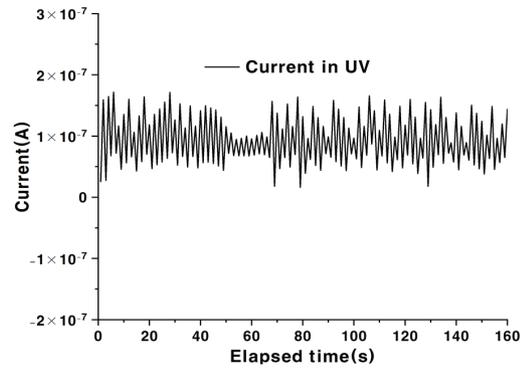


Fig. 5. Compression strength and conductivity according to the activated carbon

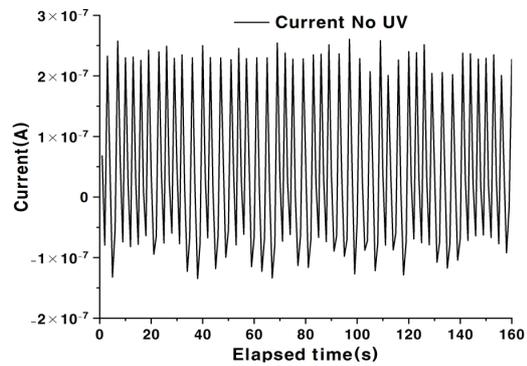
3.3 자외선(UV) 조사에 따른 광전류

질소산화물 제거율 시험결과에서 전도성 광촉매 블록의 경우, 광촉매 블록보다 제거율이 뚜렷이 우수한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 분석하기 위해 OM 모르타르 시험편에 K사의 일반 수성 페인트 기준, TiO₂ 5 %, 활성탄소 15 % 첨가한 페인트를 시험편에 칠한 후 건조하여 광전류 시험(Fig. 3)을 수행하였으며 Fig. 6에서 자외선 조사유무에 따라 측정된 광전류 실험결과를 나타내고 있다. 동일한 모르타르 시험편에 UV를 조사한 조건과 하지 않은 조건에서 4 V 전압을 3분 동안 공급하여 전류값을 측정하였으며, 그림을 보면 UV가 조사된 시편의 전류값이 조사되지 않은 시편에 비해 전반적으로 높으며, UV에 의한 광전류 발생 때문에 전류값에서의 큰 분산도를 나타내고 있다. 자외선을 조사하지 않은 상태에서 측정된 전류값의 평균은 4.10×10^{-8} (A) 이었으며 자외선을 조사한 상태에서 측정된 전류의 평균값은 9.24×10^{-8} (A)이었다. 즉 자외선에 의해 TiO₂ 광분해가 발생하였고 이로 인하여 전류가 많이 발생한 것으로 판단된다. 기존의 이론에 따르면(Wang et al, 2011) TiO₂ nanotube array에 탄소를 혼입한 TNA-G 시험편의 경우, 전하분리(charge separation)가 향상되며 헬름홀츠 전기 이중층 효과로 정전용량이 향상되어 photoelectric catalytic(PEC) activity가 향상된다고 하였다. 플라즈마 용사공정을 이용하여 TiO₂ 분말에 전이금속을 첨가한 TiO₂ 용사피막의 광전류가 3.0×10^{-6} A로 나타났으며(Ko et al, 2011) 질소산화물 제거율과 발생한 광전류 측정치는 양의 상관관계를 나타내며 Table 4에서 보면 활성탄소가 첨가된 CPCB 시험편에서 질소산화물 제거율이 5ppm, 발생한 광전류가 4.6×10^{-6} A로 나타났으며 이는 PCB 시험편의 질소산화물 제거율(2ppm)과 광전류 발생량(3.31×10^{-8})에 비해 월등히 높은 것을 알 수 있다.

Fig. 7에서는 TiO₂ 5 %, 활성탄소 15 % 첨가한 페인트를 표면에 칠한 모르타르 시험편, Table 4의 활성탄소와 광촉매가 첨가된 CM15 모르타르 시험편과 활성탄소가 첨가되지 않은 광촉매 모르타르 시험편의 자외선 조사유무에 따른 히스토그램을 나타내고 있으며, 자외선 조사 시, 광전류 발생으로 그래프가 오른쪽으로 이동하였으며 CM15 의 전도성 광촉매 모르타르 시험편의 광전류 발생량이 광촉매 모르타르 시험편보다 높게 나타났다. 이러한 결과는 앞선 연구와 같이 광촉매와 활성탄소의 공동효과(synergetic effect)로 전하분리(charge separation)와 photoelectric catalytic (PEC) activity가 향상된 결과로 생각된다.



(a) Photocurrent under UV irradiation



(b) Photocurrent without UV irradiation

Fig. 6. Results of photocurrent in UV and No UV for mortar painted conductive photocatalyst

Table 4. Removal of nitrogen oxide and photo current in two types

Type of block	Removal of nitrogen oxide (ppm)	Current (A)
Photocatalyst block	2 ppm	3.31×10^{-8} A ⁽¹⁾
	Non UV	-1.31×10^{-8} A
	UV	2.0×10^{-8} A
Conductive photocatalyst block	5 ppm	4.6×10^{-6} A ⁽²⁾
	Non UV	8.162×10^{-4} A
	UV	8.208×10^{-4} A

3.4 휨강도, 흡수율, 동결융해(100Cycle) 후의 휨강도 시험 및 FE-SEM 분석

Table 1에 나타난 보도블록의 배합표에 따라 일반블록과 표면층 시멘트 기준, TiO₂ 광촉매 5 %, 활성탄소 15 %를 적용한 전도성 광촉매 보도블록 제품의 휨강도와 흡수율 시험결과를 Fig. 8에 나타내고 있다. Fig. 8에서 보면 전도성 광촉매 콘크리트(CPCB)의 경우, 압축강도는 평균 6.98 MPa, 흡수율은 4.40 %로 일반 콘크리트(OCB)의 압축강도 8.87 MPa, 흡수율 3.30 %인 것과 비교해볼

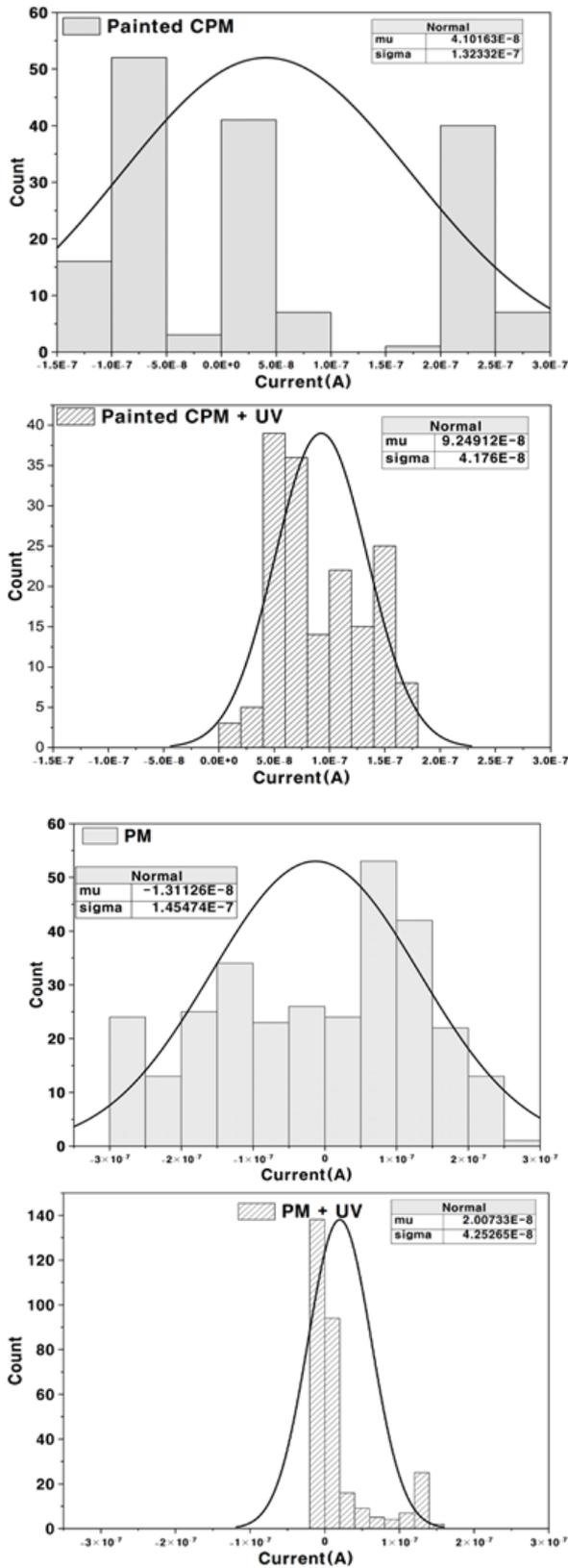


Fig. 7. Photocurrent for painted CPM, PM and CPM

때 압축강도는 작으며 흡수율은 높았다. 이는 활성탄소 첨가의 영향으로 볼 수 있으며 활성탄소의 증가에 따라 시멘트 바인더의 첨가비율이 상대적으로 감소하게 되며 미세세공이 잘 발달한 다공질 활성탄소의 영향으로 공극직경이 큰 간헐 공기가 많이 생성되기 때문인 것으로 사료된다. KS F 4419 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록의 휨강도 기준은 5 MPa 이상으로 규정하고 있으며, 흡수율 기준은 개개의 흡수율은 10% 이하, 평균 7% 이하로 규정하고 있다. 따라서 활성탄소가 첨가된 CPCB의 휨강도는 OCB에 비해 낮지만 기준치 보다는 높고 또한 흡수율과 평균 흡수율도 모두 기준을 만족하고 있다. 동결융해(100cycle)후 휨강도 시험결과는 평균 6.36 MPa로 나타났으며 이는 동결융해 전 휨강도 시험결과에 비해 8.8% 감소하였지만 성능기준에 따른 동결융해 후 80% 휨강도(MPa) 보다 높다. 따라서 전도성 광촉매 콘크리트의 휨강도 및 흡수율은 모두 기준치 이상을 만족하였다. CNTs를 함유한 전도성 모르타르를 가지고 수행한 연구(Lee et al. 2021)에 따르면 CNTs의 혼입에 따라 동결융해에 대한 저항성이 개선된다고 하였으며, 이는 활성탄소 혼입에 따라 생성된 공극에 의한 수분 동결시 발생하는 팽창압의 완충작용 때문에 동결융해에 대한 저항성이

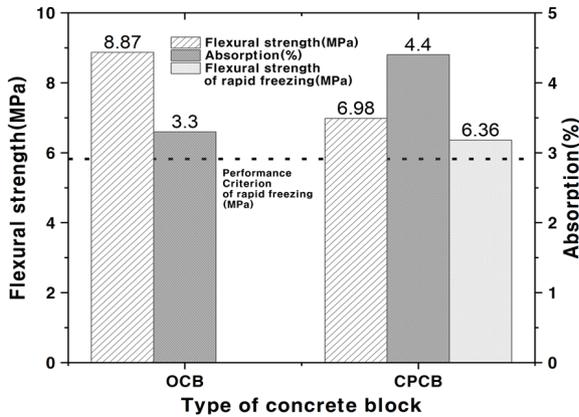


Fig. 8. Comparison of flexural strength, absorption and flexural strength of rapid freezing for OCB, CPCB

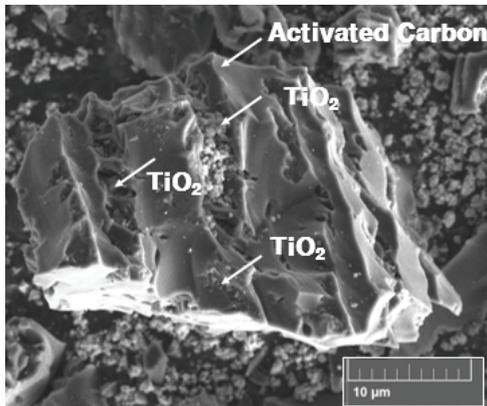


Fig. 9. SEM image of TiO₂ and activated carbon

증가한다고 하였다. 주사전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과를 Fig. 9에 나타내고 있으며 그림에서 보면 중심에 있는 조대한 활성 탄소 입자 주위에 많은 미세한 TiO₂ 광촉매 분말입자가 흡착되어 있는 것을 확인할 수 있다. 즉 활성탄소가 첨가된 콘크리트 블록(CPCB)의 경우 일반 콘크리트(OCB)에 비해 질소산화물의 제거효과가 우수하게 나타났기 때문에 내구성 시험을 위해 휨강도 및 동결융해 후 휨강도를 시험한 결과 CPCB가 OCB에 비해 다소 낮은 결과값을 나타내었으나 기준치 이상을 만족하기 때문에 실제 필드에 적용하기에 적합하다고 판단된다.

4. 결론

전도성 광촉매(TiO₂)를 이용한 콘크리트 블록의 질소산화물 저감에 관한 연구결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 일반블록과 비교하여 표면층 시멘트 기준, TiO₂ 광촉매 5 %, 활성탄소 15 %를 적용한 전도성 광촉매 보도블록 샘플의 휨강도와 흡수율 시험결과 압축강도는 21.3 % 감소하며 흡수율은 33.3 % 증가하는 결과를 나타내었다.
2. 동결융해(100cycle) 후 휨강도 시험결과는 동결융해 전 휨강도 시험결과에 비해 8.8 % 감소한 결과로 나타나며 성능기준에 따른 동결융해 후 80 % 휨강도 성능기준보다 우수한 결과이다.
3. 활성탄소 첨가량이 10~32 % 범위에서 증가함에 따라 28일 압축강도는 42.5 MPa에서 33.1 MPa로 감소하며 전기전도도는 향상되는 결과를 나타내었다.
4. 일반 블록(OCB)에서는 질소산화물이 전혀 제거되지 않았으며, 전도성 광촉매 콘크리트 블록(CPCB)의 경우 광촉매 콘크리트 블록(PCB)보다 질소산화물 제거율이 뚜렷이 향상되는 것으로 나타났다. CPCB 시험편의 질소산화물 제거율이 높게 나타난 것은 활성탄소를 함유함으로써 전기전도도가 향상되어 TiO₂ 광분해로 인한 광전류가 많이 발생한 영향으로 판단된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2023년)에 의해 연구되었습니다.

References

Jung, Y.W., Lee, S.H., Choi, J.O. (2015). Characteristics of concrete sidewalk block manufactured using stone powder sludge and photocatalytic agent, Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society, **16(6)**, 4237-4244 [in Korean].
 Jung, Y.W., Lee, S.H., Choi, J.O. (2015). Characteristics of concrete sidewalk block manufactured using stone powder sludge and photocatalytic agent, Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society, **16(6)**, 4237-4244 [in Korean].
 Bae, G.G., Bae, G.W., Ahn, Y.S. (2017). Improvement of seawater corrosion resistance of concrete reinforcing steel using by conductive photocatalyst, Journal of the Korean Recycled

- Construction Resources Institute, **5(2)**, 152–159 [in Korean].
- Damm, C., Israel, G. (2007). Photoelectric properties and photocatalytic activity of silver-coated titanium dioxides, *Dyes and Pigments*, **75(3)**, 612–618.
- Jang, H.T., Cha, W.S. (2014). Study of the photodegradation properties of toluene using photocatalysts modified by metal matter, *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, **15(11)**, 6952–6957 [in Korean].
- Jung, Y.W., Chang, C.H., Kim, J.K. (2019). Manufacture and characteristics of concrete sidewalk blocks using photocatalyst agent, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **7(4)**, 423–430 [in Korean].
- Jung, Y.W., Lee, S.H., Choi, J.O. (2015). Characteristics of concrete sidewalk block manufactured using stone powder sludge and photocatalytic agent, *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*, **16(6)**, 4237–4244 [in Korean].
- Kim, M.Y., Kim, H.G., Park, J.C. (2020). Field experimental analysis of NOx removal efficiency of photocatalytic exterior materials reducing PM2.5, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, **32(12)**, 585–592 [in Korean].
- Kim, Y.K., Hong, S.J., Lee, K.B., Lee, S.W. (2014). Evaluation of NOx removal efficiency of photocatalytic concrete for road structure, *International Journal of Highway Engineering*, **16(5)**, 49–58 [in Korean].
- Ko, B.C., Ko, Y.B., Park, K.J. (2011). Photocurrent characteristics of plasma sprayed TiO₂ composite coatings according to additive transition metal, *Journal of Surface Science and Engineering*, **44(3)**, 89–94 [in Korean].
- Lee, B.D., Choi, Y.S., Kim, Y.G., Choi, J.S., Kim, I.S. (2016). A study on the durability improvement of highway-subsidary concrete structure exposed to deicing salt and freeze-thaw, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **20(4)**, 128–135 [in Korean].
- Lee, G.C., Seo, S.Y., Yun, H.D., Hong, S.W., Kim, Y.M. (2021). Effect of CNTs incorporation on the freeze-thaw resistance of conductive cement mortar, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, **33(4)**, 335–342 [in Korean].
- Lee, H.S. (2005). The environmental problem and environmental friendly method involving concrete, *Magazine of the Korea Concrete Institute*, **17(4)**, 8–10 [in Korean].
- Lee, S.H., Lee, C.Y., (2018). Visible light induced photocatalytic activity of N-doped TiO₂, *Applied Chemistry for Engineering*, **29(3)**, 298–302 [in Korean].
- Lee, S.T., Hooton, R.D., Jung, H.S., Park, D.H., 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.
- Min, H.S., Lee, J.K. (2008). Photoelectrochemical Degradation of Perchlorate Ions by TiO₂, *Korean Journal of Materials Research*, **18(8)**, 432–437 [in Korean].
- Park, G.J., Park, J.J., Kwak, J.W., Kim, S.W. (2019). 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*, **23(4)**, 69–77 [in Korean].
- Shin, D.Y., Kim, K.N. (2008). Evaluation of self-cleaning property by measuring brightness of TiO₂ coating ceramic tile under outdoor exposure test, *Journal of the Korean Ceramic Society*, **45(6)**, 345–349 [in Korean].
- Song, M.Y., Yun, S.J., Chun, H.J., Lee, J.Y. (2020). Evaluation of NOx removal efficiency of photocatalyst under ambient air conditions, *Report No.2020-SR-07*, Seoul Institute of Technology, **20(07)**, 8–127 [in Korean].
- Wang, Y., Lin, J., Zong, R., He, J., Zhu, Y. (2011). Enhanced photoelectric catalytic degradation of methylene blue via TiO₂ nanotube arrays hybridized with graphite-like carbon, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, **349(1-2)**, 13–19.

전도성 광촉매를 이용한 콘크리트 블록의 대기중 질소산화물 저감에 관한 연구

본 연구에서는 전도성 재료를 혼입한 광촉매 보도블록을 제조하여 질소산화물 제거율에 미치는 영향을 살펴보고 내구성이 향상된 블록을 제조하고자 하였다. 광촉매와 전도성 재료인 활성탄소를 혼입시 광촉매 효율이 향상되었으며 전도성 광촉매 콘크리트 블록의 경우 광촉매 콘크리트 블록보다 질소산화물 제거율이 2.5배 정도 향상되었다. 전도성 광촉매 시험편의 질소산화물 제거율이 높게 나타난 것은 전도성 재료인 활성탄소의 영향으로 TiO₂ 광분해로 인한 광전류가 많이 발생한 영향으로 볼 수 있으며 광촉매 시험편과 전도성 광촉매 시험편의 질소산화물 제거율 실험결과와 광전류 시험결과를 비교 분석하였다.