

광촉매를 코팅한 모르타르의 미세먼지 저감 성능 연구

A Study on The Air Pollution Reduction Performance of Mortar Coated with Photocatalyst

이승진¹ · 전민기¹ · 정승태² · 양인환^{3*}

Seung-Jin Lee¹ · Min-Ki Jeon¹ · Seung-Tae Jeong² · In-Hwan Yang^{3*}

(Received January 30, 2024 / Revised March 3, 2024 / Accepted March 4, 2024)

In this paper, the performance of air pollution reduction by coating the photocatalyst solution on the mortar surface was analyzed to ensure the possibility of applying the photocatalyst to structures with a large specific surface area. The photocatalytic concentrations of the coating solution were set to 1.5 % and 3.0 %, and the types of binders were considered as experimental variables, such as ultra-high performance concrete (UHPC), ordinary portland cement (OPC), and blast furnace slag. As the photocatalyst concentration increases, the air pollution reduction performance increases. In addition, as a result of the air pollution reduction performance, the NO_x concentration reduction rate was the highest for UHPC, and the air pollution reduction performance increased as the blast furnace slag was replaced. Therefore, the amount of TiO₂ remaining on the surface varies depending on the density of the tissue due to the difference in particles caused by the difference in the amount of TiO₂ remaining on the surface.

키워드 : 광촉매 코팅, 모르타르, 미세먼지, NO_x, 미세구조

Keywords : Photocatalytic coatings, Mortar, Air pollution, NO_x, Microstructure

1. 서론

전세계적으로 기술의 가속화로 인해 화석연료 사용 증대로 인해 대기 오염물질 발생이 문제가 되고 있다. 그중 미세먼지는 사업장 연소, 자동차 연료 연소 등 특정 배출원에서 직접 발생하기도 하지만 황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x) 등의 전구물질이 대기 중의 특정 조건에서 반응하여 2차 생산된다(Sikkema et al. 2015).

미세먼지 원인물질(NO_x, SO_x 등)은 인간한테는 천식과 같은 호흡기계의 질병을 악화시킬 뿐만 아니라 폐 기능 저하 등 건강에 악화를 초래하게 되며, 미세먼지는 산성비의 주요원인으로 건축물에 퇴적되어 조각된 유적물이나 건물 등에 부식을 일으키게 되어 문제가 되고 있다(Quagliarini et al. 2012; Ballari et al. 2011).

도시 환경에서의 대기오염물질을 저감을 위한 연구가 활발하게 진행 중이다. 그중 빛을 받으면 촉매반응을 하는 물질로 유해물질

과 화학물질을 분해하는 광촉매 연구가 다양하게 진행되고 있다. 그중 미래의 산업용으로 지속가능성이 우수한 광촉매 물질인 이산화티탄(TiO₂)을 다양한 용도에 적용하는 연구가 필요한 실정이다. 이산화티탄(TiO₂)은 자외선(UV, ultraviolet) 영역의 빛과 접촉하면 산화-환원 반응으로 유기물을 분해 일으켜 표면에 자기정화(Hashimoto et al. 2005)와 대기오염물질을 제거 등 우수한 성능을 가지고 있다(Sugrañez et al. 2013). 또한, 이산화티탄은 산업폐수에서의 유기물 제거에 의한 정화성과 친수성 성질을 통해 표면에 오염물질의 유지보수에 효과적이다(Marzouk et al. 2021).

광촉매를 콘크리트 구조물의 적용하는 여러 가지 연구가 진행 중이다. 토목 분야에서도 자기정화 성능과 미세먼지 원인물질(NO_x) 저감에 논의가 이루어지고 있다(Karapati et al. 2014; Yousefi et al. 2013; Jimenez-Relinque et al. 2015; Park et al. 2020). 토목 구조물 특성상 표면적이 크고, 대기와 태양광에 노출

* Corresponding author E-mail: ihyang@kunsan.ac.kr

¹군산대학교 토목공학과 석사과정 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk, 54150, Korea)

²군산대학교 토목공학과 박사과정 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk, 54150, Korea)

³군산대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk, 54150, Korea)

되는 조건으로 광촉매가 반응하기에 적합한 조건에 부합하여 최근 에 초고성능 콘크리트(UHPC)와 시멘트등 다양한 재료의 콘크리트 구조물에 광촉매를 적용하는 연구가 진행 중이다(Fontana et al. 2016; Yang et al. 2020; Si et al. 2021).

발표된 연구에서 Lucas et al.(2013)에서는 광촉매를 혼입한 콘크리트에서 액체상의 광촉매를 배합수에 혼합하여 다양한 바인더(시멘트, 석고등)의 광촉매 콘크리트를 제작하여 미세먼지 저감 성능을 평가하고, 광촉매 혼입에 따른 미세구조의 변화를 연구하였다. 이러한 광촉매 혼입 콘크리트는 표면의 풍화가 일어나도 내부의 광촉매에 성능에 영향이 적다는 장점이 있지만, Sagrañes et al.(2013)에서 광촉매의 증가량과 추가되는 배합수의 양에 의한 콘크리트의 미세구조에 영향으로 불규칙한 공극의 분포에 부정적 영향을 미친다고 나타났다. 공극이 증가하면 공극 안으로 광촉매 용액이 침투하게 되어 표면에 남아있는 TiO₂의 양이 적어지게 된다. 이로 인해, 광반응을 일으키는 양이 적어져 최종적으로 미세먼지 저감능력이 감소하게 되는 것으로 판단된다

Fiore et al.(2013)의 연구에서는 광촉매를 구조물의 표면에 코팅을 통해 표면의 오염물질 제거성능뿐 아니라 구조물의 표면에 광촉매 코팅을 통해 외부 수분 침투 저하로 인해 부식이 감소하여 구조물의 강도에 긍정적인 영향이 나타났다. Faraldos et al.(2016)의 연구에서 콘크리트에 다양한 농도의 광촉매 용액을 코팅하여 미세먼지 저감 실험을 진행하였다. 광촉매 물질의 농도가 많을수록 미세먼지 저감 성능이 증가하였다. 광촉매의 입자크기와 습도가 작을수록 미세먼지 저감 성능이 더 높았다. 이를 통해 NO_x 저감 실험에서 환경 설정에 적절한 범위를 신중하게 선택해야 한다는 것을 알 수 있다.

따라서 본 연구에서 모르타르(모재) 표면에 이산화티탄(TiO₂) 광촉매 용액 농도 1.5 %, 3.0 % 두 가지 종류로 Dip coating 기법을 이용하여 코팅하였으며, UV조사 하에 광촉매 농도, 모르타르 종류에 따른 미세먼지 저감 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 미세먼지 저감 성능은 NO_x 농도변화를 바탕으로 평가하였다. 또한, 모르타르 표면을 SEM-EDS 분석과 elemental mapping 분석 결과를 토대로 미세구조 분석을 통해 광촉매 용액을 분산도를 분석하였다.

2. 실험계획

2.1 모르타르 배합 및 시편 제작

미세먼지 저감성능 모르타르 제조를 위한 배합표를 Table 1에 나타내었고, 모르타르 배합은 바인더에 따라 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용한 배합, 보통포틀랜드시멘트를 고로슬래그로 치환

한 배합 및 UHPC를 사용한 배합으로 구분하였다. 보통포틀랜드시멘트와 고로슬래그를 바인더로 사용하는 배합의 물-바인더 비는 0.4 설정하였으며, 보통포틀랜드시멘트를 바인더로 사용한 배합에서 바인더 : 배합수 : 잔골재 = 1 : 0.4 : 2.0를 적용하였다. 또한, 고로슬래그를 포함한 배합의 경우, 보통포틀랜드시멘트를 고로슬래그로 40%로 치환하였다. 잔골재는 연구에서 실험의 변수를 줄이고 동일한 물성을 확보하기 위하여 KS L ISO 679(2006)의 기준에 맞춘 표준사를 사용하였다.

UHPC 배합은 공급사의 권장 배합비를 사용하였으며, 물 : UHPC = 0.11 : 1.0로 배합을 진행하였다. UHPC는 프리믹스 형태로 사용하므로 추가로 바인더와 잔골재를 혼입하지 않았다.

Table 1. Mixing proportions

Mixture	w/b	Unit weight (kg/m ³)				
		Water	OPC	Blast furnace slag	UHPC	Sand
OPC	0.4	269	673	-	-	1,345
GS40	0.4	269	404	269	-	1,345
UHPC	0.11	220	-	-	2,000	-

미세먼지 저감 성능 실험을 위해 50×100×10 mm 크기의 시편을 제작하였다. 이후 시편을 온도 20 °C, 습도 95 % 조건의 항온항습기에서 재령 28일까지 양생하였다(Fig. 1).

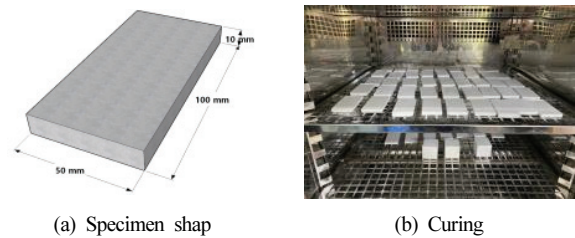


Fig. 1. Specimen preparation methods

2.2 광촉매 용액 및 코팅 기법

코팅 용도의 광촉매는 액상형 용액으로서 B사에서 공급한 광촉매(TiO₂) 용액을 사용하였으며, 광촉매 코팅 용액은 1.5 %와 3.0 %의 두 가지 농도를 사용하였다.

광촉매 용액을 코팅하는 기법을 Fig. 2에 나타내었다. 이산화티탄 광촉매 용액을 재령 28일 모르타르의 표면에 딥 코팅(Dip coating)기법을 이용하여 코팅하였다.

Fig. 3와 같이 모르타르 시편당 침지 용기에 50 ml의 광촉매

코팅 용액을 준비하였으며, 모르타르 시편의 표면까지 잠기게 한 후 10분 동안 침지하였다. 또한, 광촉매를 코팅한 모르타르 시편을 40 °C에서 12시간 동안 건조를 진행하여 코팅을 마쳤다. 광촉매 용액에 장시간 침지하여 코팅을 진행하면 건조 시 모르타르 표면의 코팅면이 균열이 발생하여 광촉매(TiO₂)가 골고루 코팅되지 않는 점을 고려하여 모르타르 시편 표면(100×50 mm)에 광촉매 입자가 충분히 부착되는 것을 확보하기 위해 딥 코팅(Dip coating) 시간을 10분으로 설정하였다. 광촉매 코팅을 3시간 이상 진행 할 경우, 광촉매 용액이 모르타르 표면에 덩어리로 남게되어 이를 건조시키면 표면에 코팅되지않고 박리현상이 나타난다. 또한, 광촉매 코팅 환경에서의 변수를 줄이기 위해 건조기를 이용하여 일정한 조건에서 같은 시간에 코팅을 실시하였다.

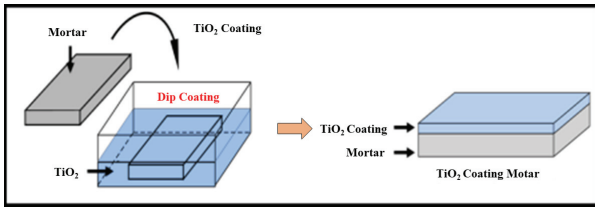


Fig. 2. Photocatalytic coating design (dip coating)



(a) Dip coating (b) Specimen drying

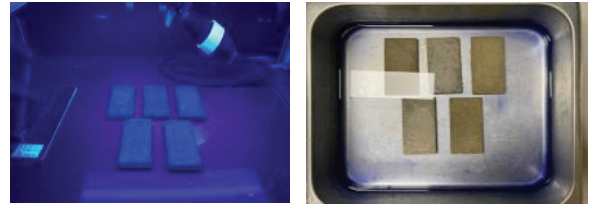
Fig. 3. Photocatalytic suspension coating

3. 미세먼지 저감 성능 평가

3.1 미세먼지 저감 성능 실험 방법

모르타르 표면에 광촉매 코팅을 통해 미세먼지 저감 성능을 평가하기 위해 KS L ISO 22197-1:2016(파인 세라믹스-반도체 광촉매 재료의 공기 정화 성능 측정 방법-제1부: 산화질소 제거)을 참고하여 진행하였다. KS L ISO 22197은 광촉매 코팅을 한 모르타르를 질소산화물(NO_x)에 노출시킨 후 자외선(UV, ultraviolet) 조사하면서 공기의 NO_x 농도변화를 측정하여 미세먼지 저감 성능을 평가하는 방법이다.

NO_x 농도 저감 성능 실험 전에 1차 전처리와 2차 전처리 과정을 진행하였다(Fig. 4). 1차 전처리 과정은 시편의 표면에 유기물을 분해하기 위해 UV를 최소 10 W/m² 이상의 세기로 24시간 동안 쬐어주었으며, 그 후, 시편 표면에 분해된 유기물을 완벽하게 씻어내어 실험 진행시 나타나는 불완전 요소들을 제거하기 위해 탈이온수(증류수)에 시편을 2시간 동안 침지 후 상온에서 24시간 건조하는 2차 전처리 과정을 실시하였다.



(a) First precondition (b) Second precondition

Fig. 4. Preconditioning process

전처리를 수행한 시편을 이용하여 광촉매 표면 코팅에 의한 질소산화물(NO_x) 저감 실험을 진행하였다(Fig. 5). 모르타르 종류에 따른 표면의 광촉매 반응에 따른 저감 성능을 평가하기 위해 환경적 변수를 일정하게 유지하였다. 질소반응기(NO_x flow controller)를 통해 투입되는 NO_x의 습도를 50±5 %로 일정하게 유지하였으며, 300~400 nm(UV-A type)의 파장과 10±0.5 W/m²의 세기를 갖는 자외선램프를 이용하여 자외선을 시편에 조사(照射)한다.

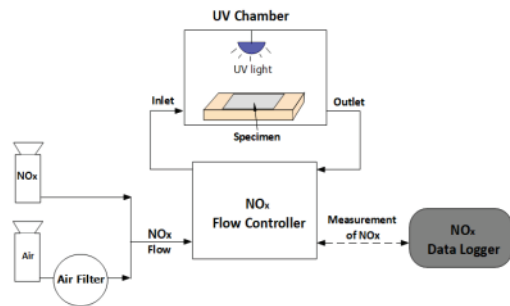


Fig. 5. Performance test for air pollution reduction

UV 챔버에 질소산화물(NO_x)을 유입하여 광촉매 코팅 모르타르 시편의 표면에 통과시켜 미세먼지 저감 성능을 분석하였다. UV를 조사하기 전에 UV챔버에 투입되는 질소산화물(NO_x)의 농도를 1 ppm으로 일정하게 유지하고, 실험 진행하는 동안 질소산화물(NO_x)을 일정하게 투입하였다. 실험은 총 180분 동안 진행되며,

실험 시작 후와 실험 종료 전 각각 30분 동안 UV를 조사하지 않으며, 나머지 120분 동안 UV를 조사하였다.

데이터 로거(Data logger)를 이용하여 UV 챔버 내의 광촉매 코팅 시편의 광반응에 의해 저감되는 NO_x 농도변화를 실시간으로 측정하며, UV조사 전후 광촉매 활성에 의한 NO, NO₂, NO_x 농도의 변화를 비교 분석하였다.

$$NO_x \text{ 농도변화} = \frac{NO_{x0} - NO_{xt}}{NO_{x0}} \times 100(\%) \quad (1)$$

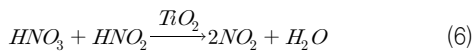
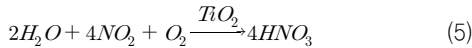
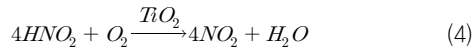
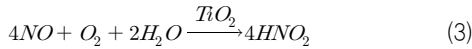
여기서, NO_{x0}: 초기 공급 NO_x 농도 (ppm)

NO_{xt}: t 시간 후 배출되는 NO_x 농도 (ppm)

식 1을 이용하여 NO_x 농도의 변화를 통해 미세먼지 저감 성능을 분석하였다.

3.2 NO_x 저감 실험에 화학적 반응 메커니즘

$$[NO_x]_t = [NO]_t + [NO_2]_t \quad (2)$$



식 2에 NO_x는 NO와 NO₂를 포함한 것이다. 식 3와 4의 화학식에 나오듯이 초기 일산화질소(NO), 산소(O₂), 수분(H₂O) 및 TiO₂의 광반응에 의해 화학적 반응이 일어나며, 이는 NO의 농도를 저감시킨다. 식 5에 4NO₂가 수분(H₂O)과 반응에 의해 4HNO₃가 표면에 흡착되어 식 3과 4에 반응이 일어나지 못하도록 하여 NO의 농도가 일정시간 급격하게 감소하다가 일정하게 유지하게 된다. 식 2에서 생성된 HNO₂와 식 5에 생성된 HNO₃의 일부가 식 6에 화학반응에

의해서 소량의 이산화질소(NO₂)가 생성되며, 식 7에 일산화질소(NO)와 산소(O₂)의 화학적 반응에 의해 NO₂를 생성하여 일산화질소(NO)의 농도가 급격하게 감소함에 따라 이산화질소(NO₂)의 농도가 다소 올라가게 된다. 하지만 최종적으로 NO_x(=NO+NO₂)의 농도는 감소하게 된다.

3.3 미세먼지 저감 성능 실험 결과

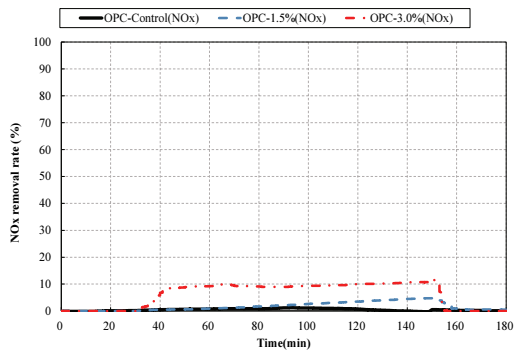
Fig. 6(a)에는 광촉매 코팅을 적용하지 않은 시편 1.5 % 및 3.0 %의 농도로 각각 코팅한 OPC 시편의 NO_x 농도 저감률의 실험결과를 나타내었다. 광촉매 농도가 1.5 % 및 3.0 %인 OPC-1.5 및 OPC-3.0 시편의 NO_x 농도 저감률은 각각 4.75 % 및 12.05 %로 나타났다. 광촉매 농도 3.0 %(OPC-3.0)를 코팅한 시편은 광촉매 농도 1.5 %로 코팅한 시편(OPC-1.5)에 비해 UV조사 후 광반응에 의해 NO_x 저감률이 증가하였으며, 그 차는 8.7 %이다. 이는 광촉매 농도가 증가함에 따라 미세먼지 저감 성능이 증가한다는 것을 의미한다.

Fig. 6(b)에는 광촉매 코팅을 적용하지 않은 시편 1.5 % 및 3.0 %의 농도로 각각 코팅한 GS40 시편의 NO_x 농도 저감률의 실험결과를 나타내었다. 광촉매 농도가 1.5% 및 3.0%인 GS40-1.5 및 GS40-3.0의 NO_x 농도 저감률은 각각 17.78 % 및 23.17 %로 나타났다. 공통적으로 광촉매를 코팅하지 않은 시편(GS40-Control)과 비교하여 광촉매 농도 3.0 %(GS40-3.0)의 NO_x 농도변화가 가장 크게 나타났다. 이는 광촉매 농도가 증가할수록 광반응에 의한 미세먼지 저감 성능이 증가를 의미한다.

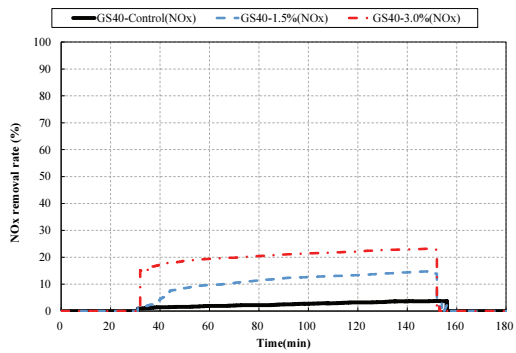
Fig 6(c)에는 광촉매 코팅을 적용하지 않은 시편(Control), 1.5 % 및 3.0 %의 농도로 각각 코팅한 UHPC 시편의 NO_x 농도 저감률의 실험결과를 나타내었다. 광촉매 농도가 1.5 % 및 3.0 %인 UHPC-1.5 및 UHPC-3.0 시편의 NO_x 농도 저감률은 각각 20.72 % 및 25.36 %로 나타났다. 실험결과 서로 다른 광촉매 농도(1.5 %와 3.0 %)에 따른 총 NO_x의 저감률의 차이가 나타났으며, 그 차이는 약 4.64 %이다. 이는 모르타르 표면에 광촉매 코팅 농도가 증가할수록 미세먼지 저감 성능이 증가함을 의미한다.

Fig. 7(a)에 광촉매 농도 1.5 %를 코팅한 UHPC, OPC 및 GS40 시편의 시간이 경과에 따라 NO_x 농도 저감률을 나타내었다. 세 모르타르 시편 공통적으로 초기에 NO_x 농도 저감률이 급격하게 증가하는 경향이 나타났으며, 시간에 경과에 따라 표면의 TiO₂의 차이로 인해 NO_x 농도 저감률의 차이는 나타났지만 일정시간 경과 후 저감률이 유지되는 경향이 나타났다.

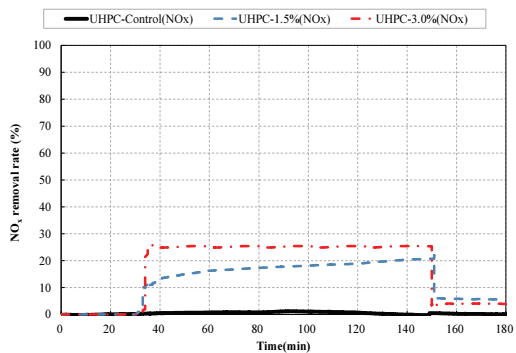
세 모르타르 시편의 NO_x 저감률은 각각 20.72 %, 4.75 %, 및 14.78 %로 나타났다. UV조사 2시간 후 UHPC 모르타르의 NO_x 저



(a) OPC



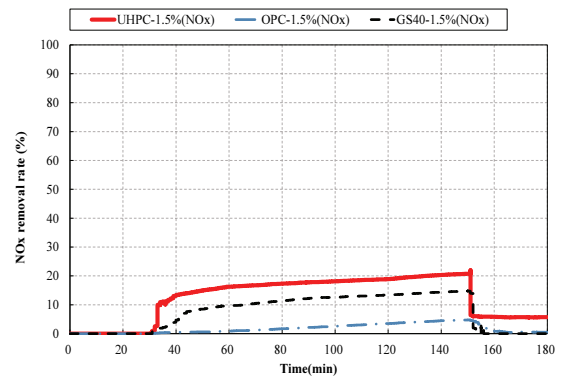
(b) GS40



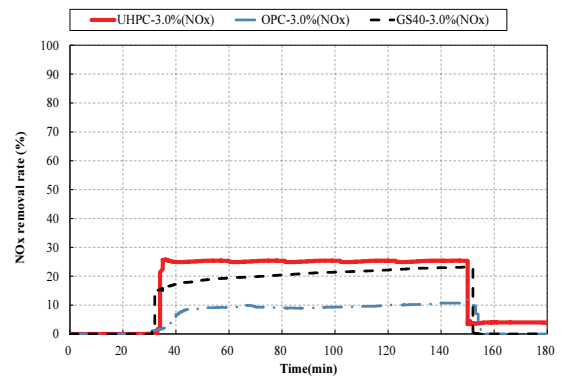
(c) UHPC

Fig. 6. Effect of photocatalytic suspension concentration

감률은 20.72 %로 가장 크게 나타났으며, OPC 모르타르의 NO_x 저감률이 4.75 %로 가장 작게 나타났다. 즉, UHPC의 NO_x 농도 저감률이 OPC의 NO_x 농도 저감률보다 크게 나타났으며, 그 차이는 15.97 %이다. 이는 모르타르의 공극률 차이로 인한 모르타르 표면에 광촉매가 분포 정도에 따라 UV와의 광반응 차이로 인해 NO_x 농도 저감 성능의 차이가 나타났으며, 미세먼지 저감 성능에도 영향을 미친것으로 판단된다.



(a) Photocatalytic concentration = 1.5 %



(b) Photocatalytic concentration = 3.0 %

Fig. 7. Comparison of NO_x removal rate

Fig. 7(b)에 광촉매 농도 3.0 %를 코팅한 UHPC, OPC 및 GS40 시편의 NO_x 농도 저감률을 나타내었다. 세 모르타르 시편 공통적으로 초기에 NO_x 농도 저감률이 급격하게 증가하는 경향이 나타났으며, 시간에 경과에 따라 표면의 TiO₂의 차이로 인해 NO_x 농도 저감률의 차이는 나타났지만 일정시간 경과후 저감률이 유지되는 경향이 나타났다. 세 모르타르 시편의 NO_x 저감률은 각각 25.36 %, 12.05 % 및 23.17 %로 나타났다. UV조사 2시간 후, UHPC는 NO_x 저감률 25.36 %로 가장 크게 나타났으며, 하지만, OPC는 NO_x 저감률이 12.05 %로 가장 낮게 나타났다. 이는 UHPC가 OPC에 비해 광반응이 더 활발하게 일으킴을 의미한다. 또한, 실제로 외장재에 광촉매 용액으로 코팅할 때, UHPC 모르타르 재료의 사용이 다른 모르타르 재료보다 더 큰 미세먼지 저감 성능을 기대할 수 있다.

4. 미세구조 분석(SEM)

광반응은 모르타르 표면에 광촉매 코팅에 의한 TiO₂ 분포 특성

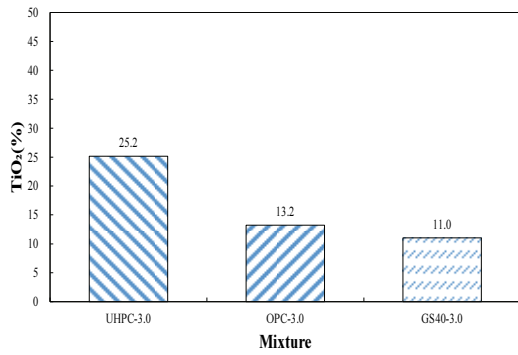


Fig. 8. Surface photocatalytic coating TiO₂ components according to mortar specimens (EDS analysis)

에 영향을 받으며, 이는 미세먼지 저감 성능의 차이를 나타낸다. 따라서 광촉매를 코팅한 모르타르 시편 표면에 SEM-EDS 분석을 통하여 TiO₂의 성분량과 표면의 코팅 상태를 Elemental Mapping

을 통한 비교 및 분석을 진행하였다.

각 광촉매 용액 농도 3.0 %를 코팅한 모르타르 시편 표면에 1~3개의 위치에 선정하여 각 위치에서의 TiO₂ 성분량 및 평균값을 조사하였으며, Fig. 8에 조사 결과를 나타내었다. 모르타르 UHPC, OPC 및 GS40의 광촉매 농도에 따른 TiO₂ 성분량은 각각 25.18 %, 13.22 % 및 11.03 %로 나타났다. UHPC 모르타르가 TiO₂ 성분량이 25.18 %로 가장 크며, GS40 모르타르가 11.03 %로 가장 낮게 나타났다. 이는 모르타르 표면의 공극과 미세구조에 따라 광촉매를 코팅시 모르타르 표면에 남아있는 TiO₂ 성분량 차이로 광반응에 의한 미세먼지 저감 성능에 영향을 미친 것으로 판단한다.

광촉매 용액에 딥코팅 기법으로 코팅한 모르타르 표면에 TiO₂가 고르게 코팅되었는지 여부와 표면의 TiO₂의 양을 확인하기 위해 SEM과 Elemental Mapping의 실험을 진행하였다. Fig. 9은 UHPC, OPC 및 GS40 모재(모르타르) 시편의 SEM과 Elemental Mapping

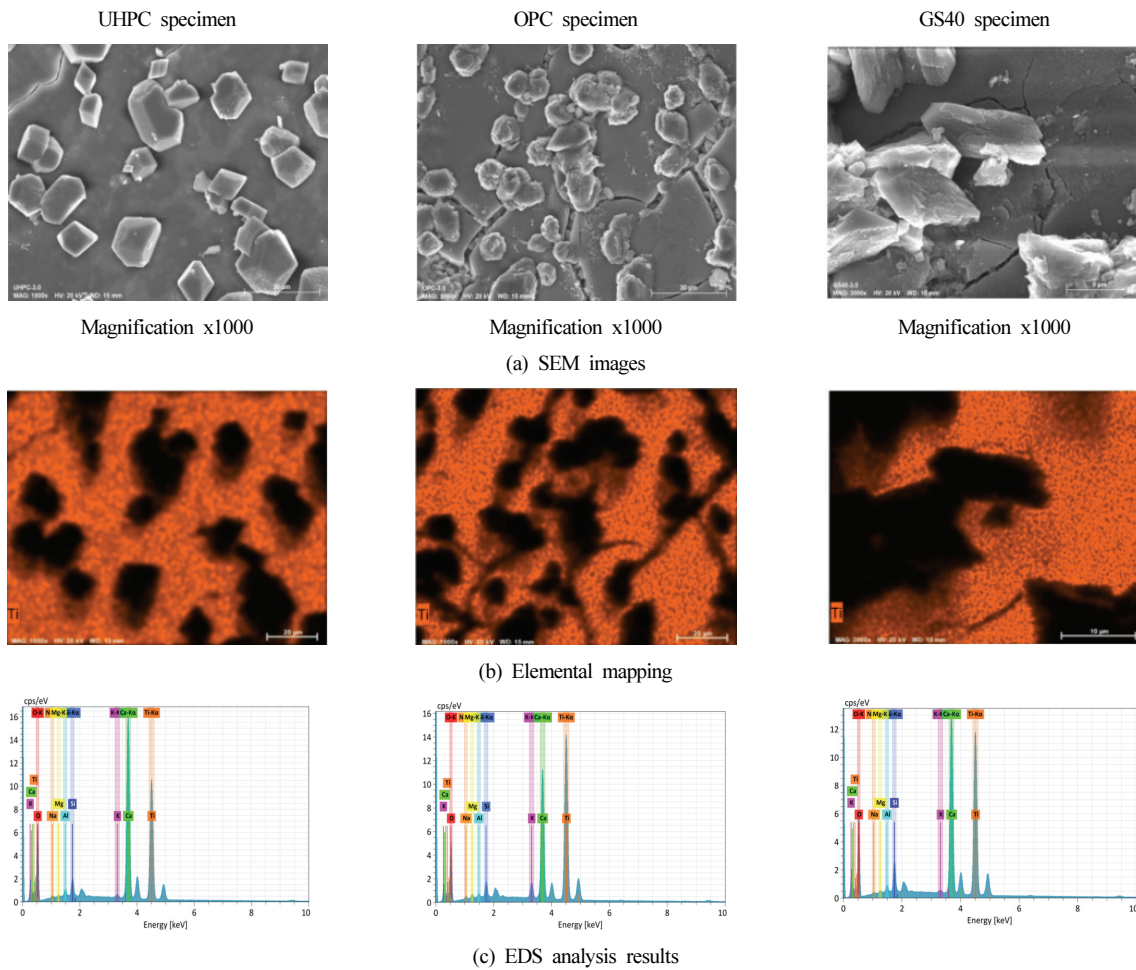


Fig. 9. Analysis results of SEM-EDS and elemental mapping

이미지를 나타내었다. 공통적으로 UHPC, OPC 및 GS40 모르타르 표면에 광촉매 용액이 골고루 분포되도록 코팅된 것으로 나타났다.

UHPC 시편 표면이 SEM 이미지와 Elemental Mapping 이미지에서 비교적 가장 균열이 적게 광촉매 용액이 코팅되었으나, OPC 시편 표면에 광촉매 코팅에 균열이 나타났으며, 균열 사이 공간에는 광촉매 물질(Ti)이 아닌 모르타르 표면이 돌출되었다. GS40 시편 표면에 SEM 이미지에서 균열이 나타났지만, OPC 시편에 비해 균열 발생은 적게 나타났다.

이러한 실험 결과 동일한 광촉매 농도 3.0 %로 모재(모르타르)에 코팅했지만, 각각의 모재의 표면에 공극과 코팅 균열에 의한 광반응 면적의 차이가 발생하여 미세먼지 저감 성능에 영향을 미침을 의미한다. 실제로 비교적 코팅 균열이 적은 UHPC 시편의 미세먼지 저감 성능이 높게 나타나며, 모르타르 시편의 광반응으로 인한 성능은 모재 표면의 공극 및 비표적 등에 영향을 받는다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 광촉매 용액을 모르타르 시편에 코팅하여 UV조사 조건에서 NO_x 농도변화 실험을 통해 미세먼지 저감 성능을 평가하였으며, 실험연구의 주요 결론은 다음과 같다.

1. 광촉매 농도 1.5 %를 코팅한 UHPC, OPC 및 GS40 시편의 NO_x 농도 저감률을 비교하였다. 세 모르타르 시편의 NO_x 저감률은 각각 20.72 %, 4.75 % 및 14.78 %로 나타났다. 이는 UHPC가 NO_x 저감률이 가장 크게 나타났으며, 실제로 외장재에 광촉매 농도 1.5 %로 코팅할 때, UHPC 모르타르 재료의 사용이 다른 모르타르 재료보다 더 큰 미세먼지 저감 성능을 기대할 수 있다.
2. 광촉매 농도 3.0 %를 코팅한 UHPC, OPC 및 GS40 시편의 NO_x 농도 저감률을 비교하였다. 세 모르타르 시편의 NO_x 저감률은 각각 25.36 %, 12.05 % 및 23.17 %로 나타났다. 이는 모르타르의 공극률 차이로 인한 모르타르 표면에 광촉매가 분포 정도에 따라 UV와의 광반응 차이로 인해 NO_x 농도 저감 성능의 차이가 나타났으며, 미세먼지 저감 성능에도 영향을 미친것으로 판단된다.
3. 전체 모르타르 공통적으로 광촉매 농도 1.5 %에서 3.0 %로 증가하였을 때, NO_x 저감률은 증가하였다. 이는 광촉매 농도가 증가할수록 모르타르 표면의 TiO₂ 성분량의 차이로 인해 미세먼지 원인물질(NO, NO₂ 및 NO_x) 농도의 감소 즉, 미세먼

지 저감 성능이 증가한 것으로 판단된다.

4. Elemental mapping 이미지 분석결과 광촉매 농도로 코팅한 UHPC, OPC 및 GS40 모르타르 표면에 광촉매 코팅이 전반적으로 균등하게 분포되는 것으로 나타났으며, SEM-EDS 분석결과 모르타르 표면의 TiO₂ 성분량은 UHPC, GS40, OPC 순으로 크게 나타났다. 이는 모르타르에 공극과 내부구조의 치밀함의 정도에 따라 표면에 남아있는 TiO₂ 성분량의 차이가 나타났을 것으로 판단된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(No. 2021R111A3059986).

References

- Ballari, M.M., Yu, Q.L., Brouwers, H.J.H. (2011). Experimental study of the NO and NO₂ degradation by photocatalytically active concrete, *Catalysis Today*, **161(1)**, 175–180.
- Faraldos, M., Kropp, R., Anderson, M.A., Sobolev, K. (2016). Photocatalytic hydrophobic concrete coatings to combat air pollution, *Catalysis Today*, **259**, 228–236.
- Fontana, P., Miccoli, L., Kocadag, R., Silva, N., Qvaeschning, D., Kreft, O., Cederqvist, C. (2016). Composite UHPC façade elements with functional surfaces, *HiPerMat*, **2016**, 9–11.
- Fiore, A., Marano, G.C., Monaco, P., Morbi, A. (2013). Preliminary experimental study on the effects of surface-applied photocatalytic products on the durability of reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, **48**, 137–143.
- Hashimoto, K., Irie, H., Fujishima, A. (2005). TiO₂ photocatalysis: a historical overview and future prospects, *Japanese Journal of Applied Physics*, **44(12R)**, 8269–8285.
- Jimenez-Relinque, E., Rodriguez-García, J.R., Castillo, A., Castellote, M. (2015). Characteristics and efficiency of photocatalytic cementitious materials: type of binder, roughness and microstructure, *Cement and Concrete Research*, **71**, 124–131.
- Karapati, S., Giannakopoulou, T., Todorova, N., Boukos, N., Antiohos, S., Papageorgiou, D., Chaniotakis, E., Dimotikali, D.,

- Trapalis, C. (2014). TiO₂ functionalization for efficient NO_x removal in photoactive cement, *Applied Surface Science*, **319**, 29–36.
- Lucas, S.S., Ferreira, V.M., De Aguiar, J.B. (2013). Incorporation of titanium dioxide nanoparticles in mortars—Influence of microstructure in the hardened state properties and photocatalytic activity, *Cement and Concrete Research*, **43**, 112–120.
- Marzouk, S.S., Naddeo, V., Banat, F., Hasan, S.W. (2021). Preparation of TiO₂/SiO₂ ceramic membranes via dip coating for the treatment of produced water, *Chemosphere*, **273**, 129684.
- Park, H.W., Park, J.H., Yang, I.H. (2020). Estimation of the pollution removal performance of concrete containing photocatalyst, *Proceeding of the Korea Concrete Institute*, **32(1)**, 331–332.
- Quagliarini, E., Bondioli, F., Goffredo, G.B., Cordoni, C., Munafò, P. (2012). Self-cleaning and de-polluting stone surfaces: TiO₂ nanoparticles for limestone, *Construction and Building Materials*, **37**, 51–57.
- Si, H., Zhou, M., Fang, Y., He, J., Yang, L., Wang, F. (2021). Photocatalytic concrete for NO_x degradation: Influence factors and durability, *Construction and Building Materials*, **298**, 123835.
- Sidodikromo, E.P., Chen, Z., Habib, M. (2019). Review of the cement-based composite ultra-high-performance concrete (UHPC), *The Open Civil Engineering Journal*, **13(1)**.
- Sikkema, J.K., Ong, S.K., Alleman, J.E. (2015). Photocatalytic concrete pavements: Laboratory investigation of NO oxidation rate under varied environmental conditions, *Construction and Building Materials*, **100**, 305–314.
- Sugrañez, R., Álvarez, J.I., Cruz-Yusta, M., Mármol, I., Morales, J., Vila, J., Sánchez, L. (2013). Enhanced photocatalytic degradation of NO_x gases by regulating the microstructure of mortar cement modified with titanium dioxide, *Building and Environment*, **69**, 55–63.
- Yang, I.H., Park, H.W., Jeon, H.J. (2020). Experimental study on the self-cleaning of photocatalyst concrete surface, *Proceedings of the Korean Recycled Construction Resources Institute 2020 Fall Conference*, 19–20.
- Yousefi, A., Allahverdi, A., Hejazi, P. (2013). Effective dispersion of nano-TiO₂ powder for enhancement of photocatalytic properties in cement mixes, *Construction and Building Materials*, **41**, 224–230.

광촉매를 코팅한 모르타르의 미세먼지 저감 성능 연구

본 연구에서는 광촉매를 비표면적이 큰 구조물에 적용 가능성을 확보하기 위하여 광촉매 용액을 모르타르 표면에 코팅을 통한 미세먼지 저감성능을 분석하였다. 코팅 용액의 광촉매 농도는 1.5 %와 3.0 %로 설정하였으며, 바인더의 종류는 초고성능 콘크리트(UHPC), 보통포틀랜드시멘트(OPC), 고로슬래그(blast furnace slag)를 실험변수로 고려하였다. 전체 모르타르가 공통적으로 광촉매 농도가 증가할수록 NO_x 농도 저감률이 증가하였으며, 이는 광촉매 농도가 증가할수록 미세먼지 저감 성능이 증가하는 것을 나타낸다. 또한, 미세먼지 저감 성능 결과 NO_x 농도 저감률이 UHPC가 가장 크게 나타났으며, 고로슬래그로 치환할수록 미세먼지 저감 성능이 크게 나타났다. 이는 바인더의 입자의 차이로 인해 내부조직의 치밀함에 따라 표면에 남아있는 TiO₂ 성분량 차이로 인해 미세먼지 저감 성능에 영향을 미쳤다고 판단된다.