

## 메틸렌블루 용액을 이용한 광촉매 혼입 모르타르의 방오성능 평가

# Self-Cleaning of Mortar Mixed with Photocatalyst by Using Methylene Blue Solution

양인환<sup>1\*</sup> · 박지훈<sup>2</sup> · 박희웅<sup>3</sup> · 정희원<sup>3</sup>

In-Hwan Yang<sup>1\*</sup> · Ji-Hun Park<sup>2</sup> · Hee-Woong Park<sup>3</sup> · Hoe-Won Jung<sup>3</sup>

(Received August 19, 2020 / Revised September 8, 2020 / Accepted September 8, 2020)

An experimental study to investigate the effect of self-cleaning of mortar mixed with photocatalyst was performed out in this study. Test parameters included the photocatalyst content and surface roughness of the specimens. The experimental mortar specimens were manufactured by mixing a photocatalyst by cement weight of 2.5%, 5.0%, 7.5% and 10.0%. In addition, the surface roughness was categorized into three cases. They included flat surface condition, little surface roughness (medium roughness), and high surface roughness. After mortar specimens were cured for 28 days, they were illuminated by an ultraviolet lamp for 24 hours and immersed in a methylene blue conditioning solution for 12 hours. Thereafter, an ultraviolet (UV) lamp was illuminated on the specimens for 48 hours in an experimental chamber and then the color change of methylene blue solution was measured by using a spectrophotometer over illuminating time of UV lamp. The color change of methylene blue tended to increase as photocatalyst contents increased. Test results meant that photocatalyst was effective for self-cleaning in mortar. However, the color change of the methylene blue solution did not show a noticeable tendency at different surface roughness conditions. It might be due to the uneven photocatalyst distribution on the surface of mortar specimens.

**키워드** : 광촉매, 모르타르, 방오성능, 조도, 메틸렌 블루 용액

**Keywords** : Photocatalyst, Mortar, Self-cleaning, Roughness, Methylene blue solution

## 1. 서론

최근 전 세계적으로 산업 도시화가 빠르게 진행됨에 따라 미세먼지 및 대기 오염물질의 증가가 가속화되는 실정이다. 이러한 가속화로 인해 대기오염 문제는 매년 사회적 문제로 대두되고 있으며, 미세먼지 및 대기 오염물질을 제거하기 위한 연구 중 광촉매 반응을 이용한 기법이 효과적인 것으로 알려져 있다(Folli et al. 2012; Hüsken et al. 2009). 광촉매의 대표적인 물질로 이산화 타이타늄(TiO<sub>2</sub>)이 알려져 있으며, 광촉매와 대표적인 대기오염 원인 물질인 질소산화물(NOx), 황산화물(SOx) 등이 자외선과 반응하여 오염물질의 원인을 제거하는데 효과를 가지고 있다(Yang et al. 2018).

다양한 광촉매 물질 중 이산화 타이타늄의 장점은 내구성, 내마모성이 뛰어나 경제적이며 염소나 오존보다 뛰어난 살균력을 가지고 있다(Bengtsson and Castellote 2014). 또한 환경에 부정적인 영향을 주지 않는 물질이기 때문에 폐기 시 2차적인 공해에 대한 우려도 없다. 이에 따라 해외뿐만 아니라 국내에서도 광촉매를 이용한 공기청정기, 에어컨 필터, 정수기 필터, 의류관리기 등 생활 활용품에 대한 적용도 증가하고 있는 실정이다(Nath et al. 2014).

한편, 큰 면적이 외부의 대기와 맞닿아 있는 건축 구조물과 시설물에 광촉매를 이용한 오염제거 기법을 적용한다면, 현재 대기오염을 줄일 수 있는 방안으로서 환경문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다(Guo and Poon 2013). 특히, 사람의 손이 잘 닿지 않는 고층 구조물이나 접근이 힘든 시설물에 광촉매를 적용한다면, 별

\* Corresponding author E-mail: [ihyang@kunsan.ac.kr](mailto:ihyang@kunsan.ac.kr)

<sup>1</sup>군산대학교 토목공학과 교수 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk, 54150, Korea)

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

<sup>3</sup>군산대학교 토목공학과 석사과정 (Department of Civil Engineering, Kunsan National University, Jeonbuk, 54150, Korea)

도의 오염물질 제거시설 없이도 효율적으로 오염물질을 제거하여 효율적으로 시설물 유지관리를 할 수 있을 것으로 예상된다 (Faraldos et al, 2015). 일부 해외국가에서는 건축물 외장재, 건물 외벽, 터널, 보도블록, 건물 유리 등의 외부 오염물질 제거를 위해 시설물을 계획하고 시공할 때 광촉매를 적용하는 사례가 증가하고 있다(Macphee and Folli 2016).

하지만 우리나라에서는 광촉매를 이용한 건축물과 시설물의 오염물질 제거에 기술개발 연구는 아직 미비한 상황이다. 특히, 대기 와 직접 접촉하고 있는 콘크리트 구조물 또는 시설물에 광촉매를 적용하였을 때 대기 오염물질에 제거에 대한 정량적 분석에 관한 연구는 거의 없는 실정이다.

따라서, 자외선 조건에서 광촉매 혼입 콘크리트의 광촉매 반응으로 발현되는 광촉매의 오염물질 제거성능을 정량적으로 평가하기 위한 실험기법의 확립과 이 기법을 적용한 오염물질 제거성능에 대한 실질적인 연구가 절실한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 광촉매를 혼입한 모르타르의 대기오염물질 제거성능 중 방오성능(self-cleaning)을 파악하고자 하였다 (Guo et al, 2017). 우선 광촉매를 혼입한 모르타르의 물리 특성을 파악하였고, 메틸렌 블루 용액을 이용하여 광촉매를 혼입한 모르타르의 오염물질 제거성능 평가를 수행하였다(Park et al, 2019).

광촉매 혼입 모르타르 시편이 자외선에 노출되었을 때 메틸렌 블루 용액의 색상 변화량을 분광측색계(photospectrometer)를 이용하여 측정하고 색상변화를 정량적으로 평가하였다. 자외선 노출 시간은 48시간으로 설정하였으며, 48시간 동안 메틸렌 블루 용액의 색상 변화 즉, 광촉매의 방오성능을 평가하였다.

## 2. 광촉매 혼입 모르타르 배합

### 2.1 재료 및 배합

방오성능 평가실험을 위한 모르타르 시편 제조를 위해 1종 보통 포틀랜드시멘트(OPC)와 잔골재를 사용하였다(Jimenez-Relinque



(a) Standard sand



(b) OPC



(c) TiO<sub>2</sub> Powder

Fig. 1. Materials used

et al, 2015). 잔골재는 재료 변동성에 의한 영향을 배제하고 일정한 물성을 확보하기 위하여 시멘트의 강도 시험 방법(KS L ISO 679:2006)의 기준을 맞춘 표준사를 사용하였다. Fig. 1에 시편 제조에 사용한 표준사, OPC 및 광촉매를 나타내었다.

광촉매는 국내에서 생산되고 있는 분말 형태의 NP-400 제품을 사용하였다. NP-400 제품의 결정은 아타나제 구조이며 입자 크기는 20~30nm로 균일한 입자 분포를 갖는다(Folli et al, 2009). 또한, 사용 광촉매는 60~70m<sup>2</sup>/g의 비표면적을 가지고 있다(Ruot et al, 2009).

Table 1. Mix proportion

| Mixture | W/C | Cement               | Fine aggregate       | Water                | Photocatalyst<br>(Wt %×cement) |
|---------|-----|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|
|         |     | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kg/m <sup>3</sup> ) | (kg/m <sup>3</sup> )           |
| T00     | 0.5 | 315                  | 630                  | 1,260                | 0.0                            |
| T25     | 0.5 | 315                  | 630                  | 1,260                | 2.5                            |
| T50     | 0.5 | 315                  | 630                  | 1,260                | 5.0                            |
| T75     | 0.5 | 315                  | 630                  | 1,260                | 7.5                            |
| T100    | 0.5 | 315                  | 630                  | 1,260                | 10.0                           |

시편 제작을 위한 모르타르 단위배합을 Table 1에 나타내었다. 모든 배합의 물-시멘트 비는 0.5로 일정하게 유지하였으며, 배합 수 : 시멘트 : 잔골재 = 0.5 : 1.0 : 2.0의 비율로 설정하여 배합을 수행하였다(KS L 5109:2017). 또한 목표 플로우를 200mm로 설정하고 배합설계를 하여 모르타르의 비빔 작업성을 확보하였다.

모르타르를 제조한 후 거푸집에 타설하였다. 재령 3일에 거푸집을 탈형하였으며, 이후 재령 28일까지 수조에서 수중 양생을 실시하였다. 수조의 온도는 20±4℃로 유지하였다.

## 2.2 모르타르 시편 제작

시편이 크기는 50×100×10mm 크기의 박판형 시편으로 제작하였으며, 이를 Fig. 2에 나타내었다.

광촉매의 방오성능 평가를 위한 실험 변수로서 광촉매 혼입량과 모르타르 시편의 표면 조도를 고려하였다(Shen et al, 2015). 광촉매 혼입량에 따른 방오성능을 평가하기 위하여 광촉매 혼입량을 시멘트 중량대비 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5% 및 10%로 설정하여 광촉매 혼입량에 따른 방오성능을 분석하였다(Fig. 3).

또한, 모르타르 표면 조도(roughness)에 따른 광촉매의 방오성

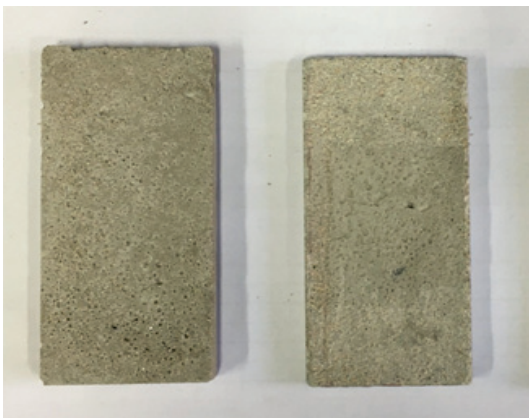
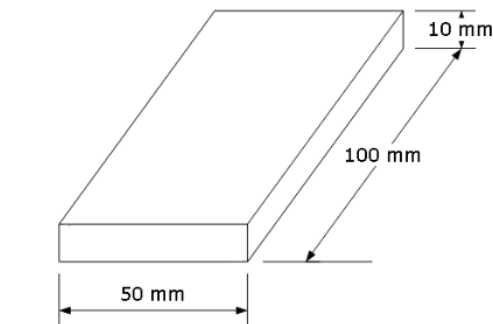
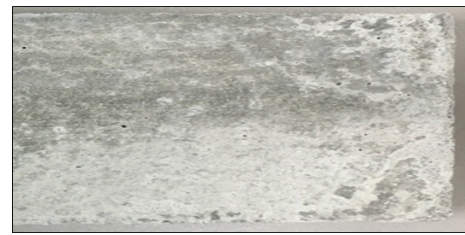
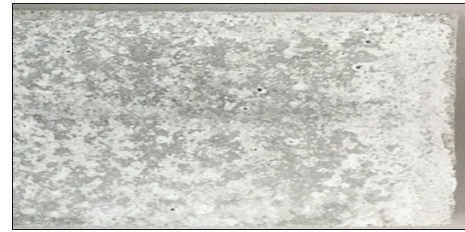


Fig. 2. Dimensions of mortar specimens



(a) Photocatalyst content = 2.5%



(b) Photocatalyst content = 5.0%



(c) Photocatalyst content = 10.0%

Fig. 3. Specimens at different photocatalyst contents

능을 평가하기 위하여 타설 종료 후, 광촉매 혼입 모르타르 시편에 서로 다른 3가지 형태의 표면 조도를 설정하였다. 조도는 모르타르 시편 표면에 스크래치(scratch) 형태로 도입하였으며, 조도가 없는 경우, 스크래치를 90° 방향으로 도입하여 표면 조도를 구성한 경우(중간 조도) 및 스크래치를 45° 방향으로 도입하여 표면 조도를 구성한 경우(거친 조도)이다.

## 3. 방오성능평가(self-cleaning) 실험

파인 세라믹스-수용액에서의 메틸렌 블루 분해법에 의한 표면의 광촉매 활성 시험법(ISO L 10678:2012)의 기준에 따른 실험을 수행하여 광촉매 혼입 모르타르의 방오성능을 분석하였다. 이 기준에 따르면, 광촉매가 함유된 모르타르 실험 시편에 메틸렌 블루 수용액을 접한 후 수용액에 자외선을 쬐어 시편 표면에서의 광촉매 활성 정도를 평가할 수 있다. 즉, 광촉매를 혼입한 모르타르 시편을 자외선램프를 이용하여 시편 표면에서의 광촉매 활성에 따른 유기물질을 분해하는 성능을 파악할 수 있다.

메틸렌 블루 수용액은 빛에 의해서는 직접적으로 염료의 광분해가 발생하지 않으나, 자외선을 받는 조건에서는 메틸렌 블루 수용액이 광촉매가 활성화된 시편 표면과 접촉하여 분해되는 특성을 가지고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 자외선 조건에서 메틸렌 블루 수용액이 분해되어 색이 변하는 값을 측정함으로써, 자외선을 받는 조건에서 광촉매 혼입 모르타르 시편의 반응하는 정도 즉, 광촉매 혼입 모르타르의 방오성능을 분석하고자 하였다.

광촉매 혼입 모르타르의 방오성능 실험을 수행하기 위해서는 두 단계의 전처리(pre-treatment) 과정이 필요하다. 먼저 수중양생이 끝난 모르타르 시편을 챔버에 배치한 후, 320~400nm (UV-A type)의 파장을 갖는 자외선을 모르타르 시편 표면에서  $(10 \pm 0.5) \text{ W/m}^2$ 의 세기를 갖도록 24시간 동안 조사한다(Fig. 4(a)). 이후 1차 전처리를 끝낸 모르타르 시편을  $(20 \pm 1) \mu\text{mol/L}$ 의 농도를 갖는 메틸렌 블루 용액(일명, 컨디셔닝 용액, conditioning solution)에 12시간 동안 암실 조건에서 침지하여 메틸렌 블루 용액을 모르타르 시편에 흡착시킨다(Fig. 4(b)).

모든 전처리가 끝난 모르타르 박판 시편 표면에 40mm의 직경을 가진 원주형 PVC 파이프를 부착하여 메틸렌 블루 수용액을 담을 수 있는 공간을 형성하였다. ISO L 10678은 시편 표면과 메틸렌 블루 수용액의 접촉 반응면적이  $100 \sim 1,500 \text{ mm}^2$ 을 권장하고 있다. 본 연구에서는 원주형 PVC 파이프의 직경 40mm에 대응해

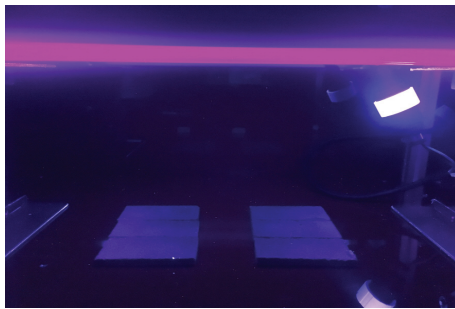
서 반응면적이 약  $1,250 \text{ mm}^2$ 이 되도록 실험조건을 설정하였다.

$(10 \pm 1) \mu\text{mol/L}$  농도의 메틸렌 블루 시험용액을  $(35 \pm 0.3) \text{ mL}$  만큼 원주형 PVC 파이프에 담고, 자외선램프가 장착된 챔버에 거치한 후 자외선을 조사하였다(Fig. 5).

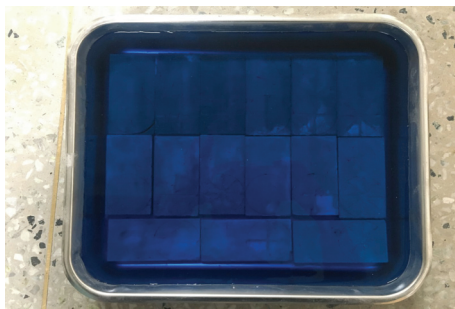
자외선 조사 실험을 위해 챔버를 이용하며, 챔버는 외부에서 들어오는 빛을 차단할 수 있는 암실 조건을 갖추었다. 챔버 내부에 320~400nm 파장 범위를 가지는 자외선램프(UV-A type)를 챔버 상부에 설치하여 챔버 내부 시편이 자외선을 받도록 하였다. 자외선램프로부터 시편이 받는 광원의 세기는  $(10 \pm 0.5) \text{ W/m}^2$ 로 유지하도록 하였으며, 광원의 세기는 UV 광원 측정계(UV light meter)를 이용하여 측정하였다.

본 연구에서는 분광 측색계를 사용하여 메틸렌 블루 용액의 색 상변화를 정량적으로 측정하였다. 메틸렌 블루 수용액의 색 변화를 측정할 때 동일한 용기에 동일한 양의 메틸렌 블루 수용액을 담아 측정해야 하며, 서로 다른 메틸렌 블루 수용액들이 섞이지 않도록 주의해야 한다(Fig. 6).

국제조명위원회(Commission Internationale de l'Eclairage, CIE)에서 제정한 색을 수치로 표현하는 방법인 Lab 표색계를 이용하여 메틸렌 블루 수용액의 색을 정량화하여 수치로 표현하였다. 본 실험에서는 광촉매 혼입 모르타르의 방오성능을 평가하기 위하여 식(1)을 이용하여 메틸렌 블루 수용액의 색 변화율을 산정하였다.



(a) UV lighting on the specimens



(b) Immersion in Methylene blue solution

Fig. 4. Pre-treatment of specimens

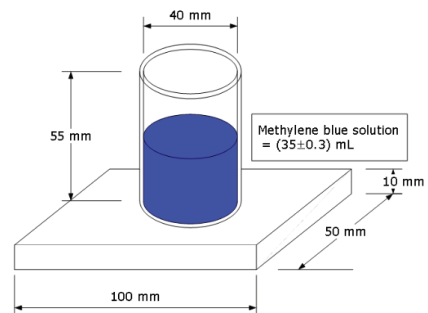
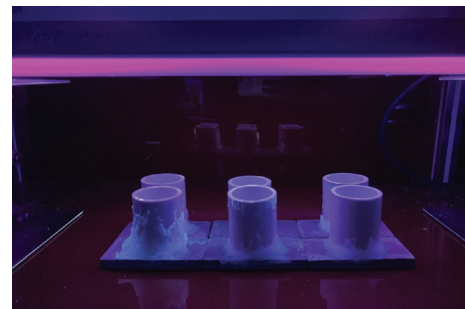


Fig. 5. Methylene blue solution



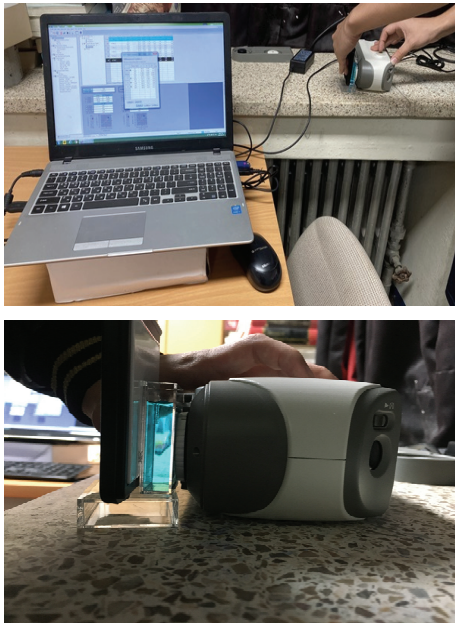


Fig. 6. Photo-spectrometer

$$\text{색상변화} = \frac{a_0 - a_t}{a_0} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

여기서,  $a_0$  : 메틸렌 블루 수용액의 초기 색도 값

$a_t$  : t 시간 후 메틸렌 블루 수용액의 색도 값

자외선을 48시간 동안 조사하면서 용액의 색상변화를 측정하였다. 초기 3시간 동안은 30분 간격으로, 이후 10시간은 1시간 간격으로, 이후 4시간 간격으로 메틸렌 블루 용액의 색상변화를 측정하였다. 메틸렌 블루 수용액의 색 변화를 육안 관찰 및 분광측색계를 이용한 색상변화의 정량적 수치 분석을 통해 시간에 따른 광촉매 활성화 반응을 평가하였다.

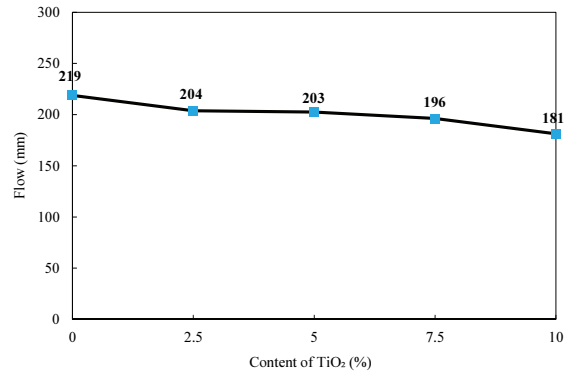


Fig. 7. Flow test results

## 4. 실험 결과

### 4.1 플로우

배합이 완료된 모르타르를 수경성 시멘트 시험용 플로 테이블 (KS L 5111:2017) 규정의 기준을 맞춘 플로우 테이블을 사용하여 수경성 시멘트 모르타르의 압축 강도 시험 방법(KS L 5105:2007)의 기준에 따라 광촉매를 혼입한 모르타르의 플로우를 측정하였다.

플로우 측정 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 광촉매 혼입률 0%, 2.5% 및 5%에서의 평균 측정 플로우는 각각 219mm, 204mm 및 203mm 이며, 평균 플로우는 200mm를 넘는 값을 보유했다. 반면에, 광촉매 혼입률 7.5% 및 10%에서의 평균 플로우는 각각 196mm, 181mm를 값을 나타내었다. 실험 결과는 광촉매 혼입률이 증가함에 따라서 플로우는 감소하는 경향을 나타낸다. 광촉매 혼입률에 따른 플로우 변화 그래프를 나타내었다.

### 4.2 광촉매 혼입량에 따른 방오성능

UV조사 조건에서의 광촉매 반응에 따른 메틸렌 블루 수용액의 색 변화를 시간에 따라 측정하였다. UV를 조사한 직후 부터 광촉

Table 2. Net color change of specimens

| Surface roughness | 24 hours               |       |       |       | 48 hours               |       |       |       |
|-------------------|------------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|
|                   | Photocatalyst contents |       |       |       | Photocatalyst contents |       |       |       |
|                   | 2.5%                   | 5.0%  | 7.5%  | 10.0% | 2.5%                   | 5.0%  | 7.5%  | 10.0% |
| Level 1 (None)    | 11.19                  | 9.69  | 17.49 | 8.95  | 22.98                  | 26.71 | 37.90 | 23.19 |
| Level 2 (Fine)    | 16.54                  | 6.17  | 19.32 | 20.47 | 32.41                  | 26.17 | 47.19 | 58.78 |
| Level 3 (Rough)   | 21.56                  | 15.05 | 25.49 | 25.63 | 30.64                  | 30.44 | 41.49 | 46.10 |

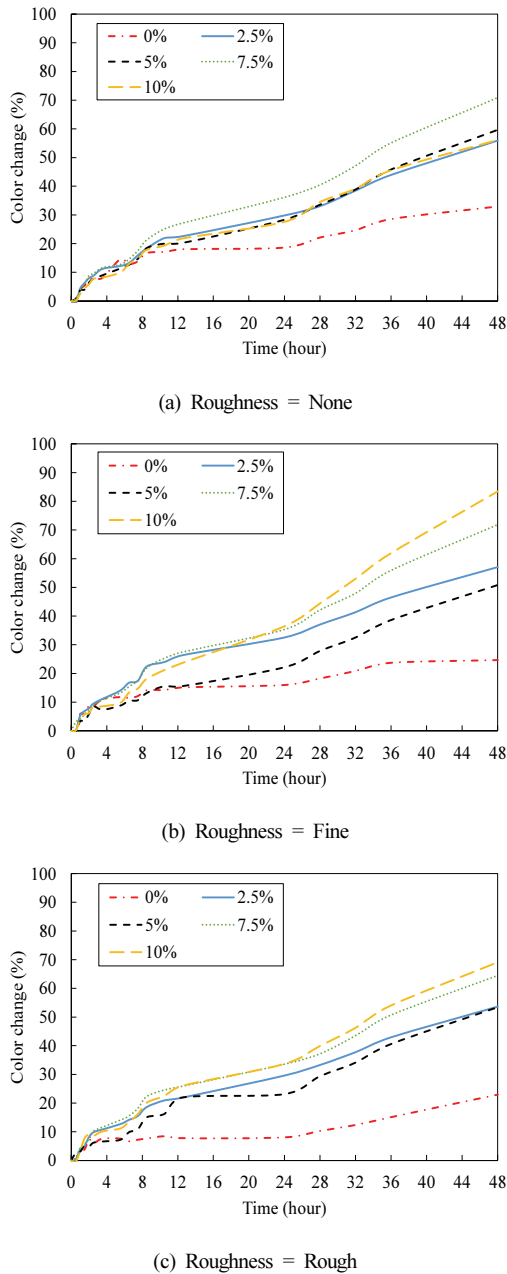


Fig. 8. Color change at different photocatalyst contents

매 반응에 의한 메틸렌 블루 수용액의 색 변화가 발생하였으며, 시간이 지남에 따라 색 변화율은 증가하는 경향을 나타내었다.

동일한 표면 조도 조건에서 광촉매 혼입률에 따른 메틸렌 블루 수용액의 색 변화 측정 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 또한, 자외선 조사 후 24시간과 48시간이 경과 했을 때, 각 시편의 광촉매 혼입률에 따른 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화량 측정 결과를 Table 2에 나타내었다. 표에서의 순수 색 변화량은 광촉매를 혼입

한 각 시편의 색 변화량(메틸렌 블루 용액의 자연 색 변화+광촉매에 의한 색 변화)에서 광촉매를 혼입하지 않은 시편이 색 변화량(메틸렌 블루의 자연 색 변화)을 뺀 결과를 의미한다.

표면 조도가 없는 경우(조도= None), 광촉매 혼입률이 증가함에 따라 광촉매 반응에 의한 메틸렌 블루 수용액의 색 변화율은 증가하였다. 자외선을 24시간 조사하였을 때 광촉매 혼입률이 2.5%, 5.0%, 7.5% 및 10.0%인 시편의 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율은 각각 11.19%, 9.69%, 17.49% 및 8.95% 이고, 자외선을 48시간 조사하였을 때 해당 시편의 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율 각각 22.98%, 26.71%, 37.90% 및 23.19%이다. 광촉매 혼입률이 7.5%일 때 가장 큰 색 변화율을 나타내는 반면에, 광촉매 혼입률이 10%일 때, 가장 적은 색 변화율을 나타내었다. 이는 광촉매 함유량이 클지라도 반응 표면적에 분포하는 광촉매 분말의 분산이 다소 미흡하여 발생한 현상이라고 판단된다. 광촉매 혼입률이 증가함에 따라 모르타르 플로우가 감소하였으며, 이에 따라 모르타르 교반 시에 광촉매 분말의 분산도가 감소한 것으로 판단된다. 추가적으로 광촉매 혼입 모르타르의 미세구조 분석을 실시하여 시편 표면에서의 광촉매 분말의 분산도 분석이 필요하다고 판단된다.

또한 광촉매 혼입률이 2.5%, 5.0%, 7.5% 및 10.0%일 때, 자외선 조사 48시간 경과 후의 순수 색 변화율에서 24시간 경과 후의 순수 색 변화율을 뺀 차이(=증분량)는 각각 11.79%, 17.02%, 20.41% 및 14.24%이다. 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율, 즉 광촉매 반응 정도는 자외선 조사 시간 경과에 따라 거의 일정한 비율로 나타나지 않는다는 것을 의미한다.

표면 조도가 Fine인 경우, 광촉매 혼입률이 증가함에 따라 광촉매 반응에 의한 메틸렌 블루 수용액의 색 변화율은 증가하였다. 자외선을 24시간 조사하였을 때 광촉매 혼입률이 2.5%, 5.0%, 7.5% 및 10.0%인 시편의 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율은 각각 16.54%, 6.17%, 19.32% 및 20.47% 이고, 자외선을 48시간 조사하였을 때 해당 시편의 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율 각각 32.41%, 26.17%, 47.19% 및 58.78%이다. 광촉매 혼입률이 10%일 때 가장 큰 메틸렌 블루 용액의 색 변화율을 나타낸다.

광촉매 혼입률이 2.5%, 5.0%, 7.5% 및 10.0%일 때, 자외선 조사 48시간 경과 후의 순수 색 변화율에서 24시간 경과 후의 순수 색 변화율을 뺀 차이(=증분량)는 각각 15.87%, 20.0%, 27.87% 및 38.31%이다. 초기 24시간 동안 광촉매 혼입률이 5.0%일 때, 광촉매 반응이 가장 작은 값을 나타내었지만, 24시간 이후에 광촉매 혼입률이 증가함에 따라 메틸렌 블루 순수 색 변화량도 증가하므로, 이는 광촉매 반응이 증가하는 것으로 판단된다.

표면 조도가 Rough인 경우, 광촉매 혼입률이 증가함에 따라 광촉매 반응에 의한 메틸렌 블루 수용액의 색 변화율은 증가하였다. 자외선을 24시간 조사하였을 때 광촉매 혼입률이 2.5%, 5.0%, 7.5% 및 10.0%인 시편의 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율은 각각 21.56%, 15.05%, 25.49% 및 25.63% 이고, 자외선을 48시간 조사하였을 때 해당 시편의 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율 각각 30.64%, 30.44%, 41.49% 및 46.10%이다. 광촉매 혼입률이 10%일 때 가장 큰 메틸렌 블루 용액의 색 변화율을 나타낸다.

광촉매 혼입률이 2.5%, 5.0%, 7.5% 및 10.0%일 때, 자외선 조사 48시간 경과 후의 순수 색 변화율에서 24시간 경과 후의 순수 색 변화율을 뺀 차이(=증분량)는 각각 9.09%, 15.39%, 16.0% 및 20.47%이다. 실험 결과는 자외선 조사 24시간 이후 동안 광촉매 혼입량이 증가함에 따라 메틸렌 블루 순수 색 변화량도 증가하며, 이는 광촉매 반응이 증가하는 것을 나타낸다.

### 4.3 표면 조도에 따른 방오성능

광촉매 혼입률이 일정할 때 표면 조도에 따른 메틸렌 블루 수용액의 색 변화 측정 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 또한, 자외선 조사 후 24시간과 48시간이 경과 했을 때, 각 시편의 광촉매 혼입량에 따른 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화량 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 표에서의 순수 색 변화량은 광촉매를 혼입한 각 시편의 색 변화량(메틸렌 블루 용액의 자연 색 변화+광촉매에 의한 색 변화)에서 광촉매를 혼입하지 않은 시편이 색 변화량(메틸렌 블루의 자연 색 변화)을 뺀 결과를 의미한다.

광촉매 혼입률이 5.0%일 때, 표면 조도가 없는 시편, 조도가 작은 시편 및 조도가 큰 시편의 자외선 조사 후 24시간 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율은 각각 9.69%, 6.17% 및 15.05%이고, 자외선을 48시간 조사한 후의 순수 색 변화율은 각각 26.71%, 26.17% 및 30.44%이다. 광촉매 혼입 모르타르 시편이 자외선 노출되는 초기와 후기 모두 조도가 큰 시편(Rough 시편)에서 가장 큰 색 변화율을 나타냈다. 한편, 자외선 노출 48시간 경과 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화량과 자외선 노출 24시간 경과 후 메틸

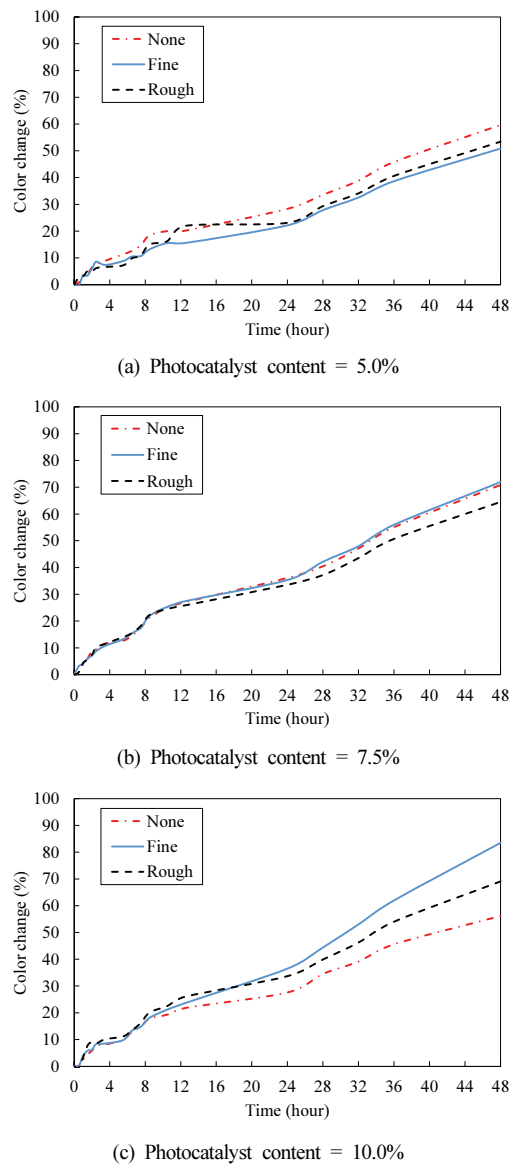


Fig. 9. Color change at different surface roughness

렌 블루 수용액의 순수 색 변화량의 차를 비교할 때, 표면 조도에 따른 각 시편의 메틸렌 블루 용액 색 변화율은 각각 17.02%, 20.0%

Table 3. Net color change of specimen at different surface roughness

| Photocatalyst content | Surface roughness |       |       |          |       |       |
|-----------------------|-------------------|-------|-------|----------|-------|-------|
|                       | 24 hours          |       |       | 48 hours |       |       |
|                       | None              | Fine  | Rough | None     | Fine  | Rough |
| 2.5%                  | 11.19             | 16.54 | 21.56 | 22.98    | 32.41 | 30.64 |
| 5.0%                  | 9.69              | 6.17  | 15.05 | 26.71    | 26.17 | 30.44 |
| 7.5%                  | 17.49             | 19.32 | 25.49 | 37.90    | 47.19 | 41.49 |
| 10.0%                 | 8.95              | 20.47 | 25.63 | 23.19    | 58.78 | 46.10 |

및 15.39%로서 조도가 작은 시편의 메틸렌 블루 용액 색 변화율이 더 큰 경향을 나타내었다.

광촉매 혼입률이 7.5%일 때, 표면 조도가 없는 시편, 조도가 작은 시편 및 조도가 큰 시편의 자외선 조사 24시간 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율은 각각 17.49%, 19.32% 및 25.49% 이고, 자외선을 48시간 조사한 후의 순수 색 변화율은 각각 37.90%, 47.19% 및 41.49%이다. 실험 결과 자외선 조사 전반 24시간 이내의 초기 단계에서는 조도가 큰 시편의 색 변화율이 가장 크지만, 시간이 지남에 따라 후반 24시간 동안 조도가 작은 시편의 메틸렌 블루 순수 색 변화율이 더 큰 것으로 나타났다. 한편, 자외선 노출 48시간 경과 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화량과 자외선 노출 24시간 경과 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화량의 차를 비교할 때, 표면 조도에 따른 각 시편의 메틸렌 블루 용액 색 변화율은 각각 20.41%, 27.87% 및 16.0%로 조도가 작은 시편의 메틸렌 블루 용액 색 변화율이 더 큰 경향을 나타내었다.

광촉매 혼입률이 10.0%일 때, 표면 조도가 없는 시편, 조도가 작은 시편 및 조도가 큰 시편의 자외선 조사 24시간 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율은 각각 8.95%, 20.47% 및 25.63% 이고, 자외선을 48시간 조사한 후의 순수 색 변화율은 각각 23.19%, 58.78% 및 46.10%이다. 광촉매 혼입 모르타르 시편이 자외선 노출되는 초기 24시간 이내의 경우 조도가 큰 시편에서 가장 큰 변화율을 나타내었지만, 시간이 지나 자외선 노출 48시간 경과 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율은 조도가 없는 시편이 가장 큰 변화율이 더 큰 것으로 나타났다. 한편, 자외선 노출 48시간 경과 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화량과 자외선 노출 24시간 경과 후 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화량의 차를 비교할 때, 표면 조도에 따른 각 시편의 메틸렌 블루 용액 순수 변화율은 각각 14.24%, 38.31% 및 20.47%로 조도가 작은 시편의 메틸렌 블루 용액 색 변화율이 더 큰 경향을 나타내었다.

표면 조도가 증가할수록 메틸렌 블루 수용액의 반응 표면적이 넓어져 메틸렌 블루 수용액의 색 변화율이 증가할 것이라고 기대하였지만, 본 실험 결과에 의하면 표면 조도에 따른 메틸렌 블루 수용액의 색 변화율이 전반적으로 뚜렷한 경향을 나타내지 않는다. 따라서, 추후 실험에서는 표면 조도를 좀 더 정량적으로 설정하는 방안에 대하여 강구하고, 더불어 광촉매 분말의 분산도와 광촉매 반응이 상관성 분석을 도출할 필요가 있다고 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 메틸렌 블루 용액을 이용한 색상변화를 통하여

광촉매를 혼입한 모르타르에 자외선 노출 조건에서의 방오성능 평가실험을 수행하였으며, 실험으로부터 도출한 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 광촉매 혼입량이 증가함에 따라 모르타르 플로우는 감소하는 경향을 나타낸다. 이러한 광촉매 혼입량에 따른 플로우 감소는 모르타르 교반시 광촉매 분말의 분산도에 영향을 주었을 것으로 판단된다.
- 2) 조도가 다른 시편의 자외선 조사 48시간 일 때 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율은 조도가 없고 광촉매 혼입률이 7.5%일 때, 조도가 작고 광촉매 혼입률이 10.0%일 때, 조도가 크고 광촉매 혼입률이 10.0%일 때, 메틸렌 블루 수용액의 순수 색 변화율이 가장 큰 경향을 나타냈다. 이는 광촉매 반응은 시편 표면에서만 발생하기 때문에 광촉매의 혼입량이 증가할수록 색 변화율은 비례하지 않는다는 것을 나타낸다.
- 3) 모르타르 표면의 조도가 증가할수록 메틸렌 블루 수용액의 색 변화 차이는 전반적으로 뚜렷한 결과를 나타내지 않는다. 이는 광촉매의 표면 조도가 커질수록, 즉 자외선과 광촉매 반응이 일어나는 시편 표면의 접촉 면적이 증가할수록 광촉매의 오염물질 제거성능이 향상될 것이라 예상했지만, 표면의 광촉매 분포가 일정하지 않기 때문이라고 판단된다.
- 4) 광촉매에 오염물질과 자외선이 만나 반응을 하게 되면 방오 성능을 나타낸다. 이러한 광촉매를 이용하여 건축 구조물이나 시설물에 적용한다면 외부 오염물질을 효율적으로 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

## Conflict of Interest

None.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 19SCIP-B146251-02).

## References

Bengtsson, N., Castellote, M. (2014). Heterogeneous photocatalysis on construction materials: effect of catalyst properties on the efficiency for degrading NOx and self cleaning, *Materiales de*



- Construcción, **64(314)**, 13.
- Faraldos, M., Kropp, R., Anderson, M.A., Sobolev, K. (2015). Photocatalytic hydrophobic concrete coatings to combat air pollution, *Catalysis Today*, **259**, 228–236.
- Folli, A., Jakobsen, U.H., Guerrini, G.L., Macphee, D.E. (2009). Rhodamine B discolouration on TiO<sub>2</sub> in the cement environment: a look at fundamental aspects of the self-cleaning effect in concretes, *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, **12(1)**, 126–133.
- Folli, A., Pade, C., Hansen, T.B., Marco, T.D., Macphee, D.E. (2012). TiO<sub>2</sub> photocatalysis in cementitious systems: insights into self-cleaning and depollution chemistry, *Cement and Concrete Research*, **42**, 539–548.
- Guo, M.Z., Ling, T.C., Poon, C.S. (2017). Photocatalytic NO<sub>x</sub> degradation of concrete surface layers intermixed and spray-coated with Nano-TiO<sub>2</sub>: influence of experimental factors, *Cement and Concrete Composites*, **83**, 279–289.
- Guo, M.Z., Poon, C.S. (2013). Photocatalytic NO removal of concrete surface layers intermixed with TiO<sub>2</sub>, *building and environment*, **70**, 102–109.
- Hüsken, G., Hunger, M., Brouwers, H.J.H. (2009). Experimental study of photocatalytic concrete products for air purification, *Building and Environment*, **44**, 2463–2474.
- Jimenez-Relinque, E., Rodriguez-Garcia, 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.
- KS L 5105 (2007). Testing Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, Korea Industrial Standards [in Korean].
- KS L 5109 (2017). Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency, Korea Industrial Standards [in Korean].
- KS L 5111 (2017). Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, Korea Industrial Standards [in Korean].
- KS L ISO 10678 (2012). Fine Ceramics(Advanced Ceramics, Advanced Technical Ceramics) – Determination of Photocatalytic Activity of Surface in an Aqueous Medium by Degradation of Methylene Blue, Korea Industrial Standards [in Korean].
- KS L ISO 679 (2006). Methods of Testing Cements – Determination of Strength, Korea Industrial Standards [in Korean].
- Macphee, D.E., Folli, A. (2016). Photocatalytic concretes – the interface between photocatalysis and cement chemistry, *Cement and Concrete Research*, **85**, 48–54.
- Nath, R.K., Zain, M.F.M., Kadhum, A.A.H., Kaish, A.B.M.A. (2014). An investigation of LiNbO<sub>3</sub> photocatalyst coating on concrete surface for improving indoor air quality, *Construction and Building Materials*, **54**, 348–353.
- 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].
- Ruot, B., Plassais, A., Olive, F., Guillot, L., Bonafous, L. (2009). TiO<sub>2</sub>-containing cement pastes and mortars: measurements of the photocatalytic efficiency using a rhodamine B-based colourimetric test, *Solar Energy*, **83**, 1794–1801.
- Shen, W., Zhang, C., Li, Q., Zhang, W., Cao, L., Ye, J. (2015). Preparation of titanium dioxide nano particle modified photocatalytic self-cleaning concrete, *Journal of Cleaner Production*, **87**, 762–765.
- Yang, L., Hakki, A., Wang, F., Macphee, D.E. (2018). Photocatalyst efficiencies in concrete technology: the effect of photocatalyst placement, *Applied Catalysis B: Environmental*, **222**, 200–208.

### 메틸렌블루 용액을 이용한 광촉매 혼입 모르타르의 방오성능 평가

본 연구에서는 광촉매를 혼입한 모르타르의 방오성능을 평가하기 위해 메틸렌 블루를 이용한 실험 연구를 수행하였다. 실험 시편은 시멘트 중량대비 2.5%, 5.0%, 7.5% 및 10.0%의 광촉매를 혼입하여 모르타르 시편을 제작하였고, 시편 표면에 스크래치 형태로 조도를 설정하였다. 표면 조도는 3가지로 조도가 없는 경우, 조도가 작은 경우(중간 조도), 조도가 큰 경우(거친 조도)로 설정하였다. 모르타르 시편 제작 후 24시간 동안 자외선램프 조사와 12시간 동안 메틸렌 블루 컨디셔닝 용액에 침지 하는 전처리 과정을 진행하였다. 실험챔버에 전처리가 완료된 모르타르 시편을 배치 후 48시간 동안 자외선램프를 조사하였고 시간에 따라 메틸렌 블루 수용액의 색 변화를 분광측색계를 이용하여 측정하였다. 광촉매의 혼입량이 증가할수록 메틸렌 블루 색 변화는 증가하는 경향을 나타내며 이는 방오성능이 증가하는 것을 의미한다. 반면에 표면조도가 증가할수록 메틸렌 블루 용액의 색 변화는 뚜렷한 경향은 나타내지 않으며 표면의 광촉매 분포가 일정하지 않기 때문이다.