

무기계 혼화재료를 혼입한 모르타르 시편의 광촉매 처리를 고려한 NO_x 저감 성능 NO_x Reduction Performance in Cement Mortar with TiO₂ Treatment and Mineral Admixture

윤용식¹ · 김혁중² · 박장현³ · 권성준^{4*}

Yong-Sik Yoon¹ · Hyeok-Jung Kim² · Jang-Hyun Park³ · Seung-Jun Kwon^{4*}

(Received October 30, 2020 / Revised November 12, 2020 / Accepted November 18, 2020)

In this study, the mechanical properties, absorption, and reduction performance of NO_x in the mortar containing mineral admixture like zeolite and active hwangtoh were evaluated. Zeolite and active hwangtoh were used as binder, and zeolite and active hwangtoh were substituted for cement. The substitution ratio of two types of mineral admixtures was considered as 20 and 30% respectively. As a result of evaluating the compressive strength and flexural strength of each mortar specimen, the highest strength in the plain mixture was evaluated. As the substitution ratio of zeolite and active hwangtoh increased, the compressive and flexural strength decreased. In addition, the difference of compressive and flexural strength between active hwangtoh and zeolite mixing was evaluated to be insignificant. To evaluate the absorption rate, the mixture was designed to lower the W/B ratio of the existing mixture and set the substitution ratio of active hwangtoh and zeolite at 25%. The highest absorption ratio in the mortar with zeolite was evaluated, and the difference in absorption ratio between the remaining two mortar mixtures was small. The assessment of reduction performance of NO_x considering the application of photocatalyst showed a clearly decreasing reduction behavior, even if they were the same mortar mixture. Zeolite and active hwangtoh also showed a higher NO_x reduction than the Plain mixture, because of their porosity properties. In the case of active hwangtoh, the absorption ratio was lower than that of zeolite mixture, but the reduction of NO_x performance was better than the result of zeolite mixture.

키워드 : 제올라이트, 활성 황토, 흡수율, 광촉매, 질소산화물

Keywords : Zeolite, Active hwangtoh, Absorption rate, Photocatalyst, NO_x

1. 서론

2018년 파리 기후 변화 협약(Paris Climate Change Accord)이 발표된 이후 국내외로 대기오염에 대한 관심이 증가하고 있으며, 이를 해결하고자 토목 및 건축 분야에서도 많은 노력을 기울이고 있다(Kwon and Wang 2019; Kim et al. 2019). 시멘트 기반 건설재료인 콘크리트는 재료의 생산 및 운송 시스템이 체계적으로 구축된 건설재료 중 하나로서 전 세계적으로 매해 55억 톤이 사용되고

있는 것으로 추정된다(Metha and Monteiro 2009). 시멘트 기반 건설재료의 경우 경제성을 확보하고 있으나, 일반적으로 사용되는 포틀랜드 시멘트의 제조 시 전체 연간 발생 CO₂ 량 중 7%가 발생하는 것으로 알려져 지구 온난화의 주원인으로 지목되고 있다(Metha and Monteiro 2009; Park and Lim 2015; Kwon et al. 2014). 따라서 건설 분야에서는 시멘트의 사용량을 줄이기 위한 다양한 연구가 진행되어왔으며, 그 중에서도 고로슬래그(GGBFS: Ground Granulated Blast Furnace Slag), 플라이애시(FA: Fly

* Corresponding author E-mail: jjuni98@hannam.ac.kr

¹한남대학교 건설시스템공학과 박사과정 (Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)

²한경대학교 산학협력단 석좌교수 (Industry Academic Cooperation Foundation, Hankyong National University, Anseong, 17579, Korea)

³한경대학교 한국미래융합기술연구원 연구교수 (Korea Institute of Future Convergence Technology, Hankyong National University, Anseong, 17579, Korea)

⁴한남대학교 토목환경공학과 교수 (Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)

Ash) 등과 같은 산업 부산물을 콘크리트 대체자원으로 사용하는 것이 효과적으로 알려져 있다(Yoon and Kwon 2019; Yang et al. 2018).

최근 들어 친환경 건설자재에 대한 관심이 증가하고 있는데, 그중에서도 황토는 우리나라 전통 건축에 사용되어 온 전통 건축 재료로써, 자연 포졸란의 특성을 갖고 있다(Choi et al. 2000; Frias et al. 2000). 황토는 수축, 균열 및 강도 저감 현상과 같은 단점으로 인하여 폭 넓게 사용되지 못하였지만, 생황토를 850°C에서 소성시킨 후 급냉 시켜 활성 시키는 경우 이러한 단점이 보완되는 것으로 알려져 있다(Choi et al. 2001). 활성 황토는 SiO₂, Al₂O₃가 활성화되어 Ca(OH)₂와 포졸란 반응을 일으켜 3CaO · 2SiO₂ · 3H₂O (C-S-H)상 및 2CaO · Al₂O₃ · SiO₂ · 8H₂O (C-A-S-H)상의 결정을 생성한다. 이러한 반응을 통해 강도가 발전되며 일반 황토의 특성인 축열성 및 탈취 효과 역시 유지되는 것으로 알려져 있다(Go et al. 2009).

제올라이트는 SiO₄와 AlO₄ 사면체가 산소 원자를 서로 공유하면서 결합되어 삼차원적인 그물 구조를 이루고 있는 알루미늄-실리케이트 광물로서 다공성의 성질을 갖고 있어 뛰어난 흡착능을 나타내기 때문에 다양한 분야에 적용이 가능하다(Colin et al. 2001). 특히 제올라이트는 광물 중에서 가장 뛰어난 양이온 교환능을 가지고 있어 쉽게 양이온에 의해 교환이 가능하며 교환된 양이온의 크기와 위치에 따라 다양한 특성을 나타낸다(Colelia 1996; Eedem et al. 2004; Cabrera et al. 2005). 또한 제올라이트는 포졸란 반응의 특성을 갖는 것으로 확인되어 시멘트의 대체자원으로서 활용이 가능한 천연자원이다(Choi 1998; Cho et al. 2012).

최근 들어 광촉매 처리 건설자재에 대한 관심이 증가하고 있는데, 표면에 도포한 광촉매는 태양광이나 형광등의 자외선을 받으면 태양전지의 원리처럼 음(-)전기를 가진 전자와 양(+)전기를 가진 정공(h⁺)을 형성한다. 발생된 정공(h⁺)은 강력한 산화작용을 하는 수산화물(OH-Radical)을 형성하여 살균용 염소나 오존보다도 강력한 산화력을 갖게 된다(Benoit-Marquie et al. 2000; Pi 2005; Sano et al. 2004). 이러한 반응을 통하여 광촉매 코팅된 콘크리트 및 모르타르 건설 자재는 유기화합물의 분해와 자기 세정(Self-Clearing)의 성능을 갖게 된다(Benoit-Marquie et al. 2000; Sano et al. 2004; Yamaguchi 2004).

본 연구에서는 2가지 종류의 무기계 혼화재료(제올라이트, 황토)를 시멘트의 대체재로 사용한 모르타르 배합을 수행하였다. 해당 배합을 대상으로 압축 및 휨 강도(재령 3, 7, 28일), 흡수율(재령 28일) 및 NOx 저감 성능 평가(재령 28일)를 수행하였으며 그 결과를 정량적으로 분석하였다. 또한 NOx 저감 성능 평가 시에는 광촉

매 침지 조건을 고려하여 광촉매 코팅 유/무가 NOx 저감 성능에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 사용재료 및 배합

2.1 사용 재료의 물리적, 화학적 특성

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내 H사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 황토는 천연 황토를 약 850°C에서 소성시켜 활성 상태로 사용하였다. 또한 잔골재로는 표준사를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 1종 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 특성을 Table 1에, 활성 황토 및 제올라이트의 물리적, 화학적 특성을 Table 2, Table 3에 나타내었다.

모르타르 배합에 사용된 제올라이트와 활성 황토의 비표면적은 3,000cm²/g, 3,300cm²/g으로 OPC(Ordinary Portland Cement)와 비슷한 수준이지만, 밀도의 경우 각 1.92g/cm³, 2.50g/cm³으로 OPC 대비 약간 낮은 값을 나타내었다.

제올라이트와 활성 황토를 대상으로 XRF 분석을 통하여 화학 조성 분석을 실시한 결과, 제올라이트와 활성 황토의 주요 성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등으로 나타났다. 이는 포졸란 혼합물과 유사한 조성을 구성하고 있는 것으로 판단된다. 두 무기계 혼화재료의 경우, 주요 성분은 같으나, 함량에서의 큰 차이를 나타내고 있다.

Table 1. Physical properties of cement

Type	Density	Blaine (cm ² /g)	Setting time (h : m)		Compressive strength (MPa)		
			initial	final	3d	7d	28d
OPC	3.15	3,000	3:20	5:50	12.5	22.5	42.5

Table 2. Physical properties of zeolites and active hwangtoh

Type	Density(g/cm ³)	Blaine(cm ² /g)
Zeolites	1.92	3,000
Active hwangtoh	2.50	3,300

Table 3. Chemical composition of used 3 types of binder

(%)	Cement	Zeolites	Active hwangtoh
SiO ₂	21.9	68.9	43.0
Al ₂ O ₃	4.8	16.4	35.9
Fe ₂ O ₃	3.4	5.3	10.8
CaO	62.6	2.6	7.2
K ₂ O	-	3.7	0.8
MgO	2.6	1.0	1.6
etc.	4.7	2.1	1.7

2.2 무기계 혼화재료 혼입 모르타르 배합 및 방법

시멘트를 제올라이트 및 활성 황토로 치환하여 모르타르 배합을 수행하였다. 각 무기계 혼화재료 별로 20%, 30%의 치환율을 고려하여 Plain 배합을 포함한 총 5가지 배합 설계를 수행하였다. 해당 모르타르 배합표를 Table 4에 나타내었으며 타설이 완료된 시편의 전경을 Fig. 1에 나타내었다.

Table 4. Mixing design of mortar

Types	W/B	Unit weight(kg/cm ³)				
		water	Cement	ZEO	HW	Sand
Plain	0.5	225	450	-	-	1,350
ZEO20			360	90	-	
ZEO30			315	135	-	
HW20			360	-	90	
HW30			315	-	135	

ZEO : Zeolite

HW : Active hwangtoh



Fig. 1. The photos for placing the mortar containing mineral admixture in molds

3. 무기계 혼화재료 혼입 모르타르 시편의 광촉매 처리 및 NOx 저감 성능 평가 방법

3.1 압축강도 및 휨 강도 평가 방법

압축 강도 시험 및 휨 강도 시험은 40 × 40 × 160mm 크기의



(a) Flexural test

(b) Compressive test

Fig. 2. The photos for flexural and compressive strength tests

모르타르 시편체를 제작하여 KS L ISO 679에 준하여 수행하였다. 목표 재령일은 재령 3일, 7일, 28일로 설정하였으며, 아래의 Fig. 2에 강도 시험 전경을 나타내었다.

3.2 흡수율 평가 방법

실제 도로변 2차 제품에 사용되는 모르타르 배합에 무기계 혼화재료 치환 혼입을 적용하는 경우 발생하는 흡수율 변화 거동을 평가하고자 흡수율 시험은 Table 5와 같은 3가지 배합을 대상으로 수행되었다. 아래 배합표에서 배합명 다음에 표시된 “*”는 흡수율 시험 대상 배합을 의미한다. 또한 이 배합들은 다른 시험에 사용한 배합 보다 물-결합재 비를 낮추었으며 활성 황토 및 제올라이트의 혼입률을 25%로 설정하였다.

Table 5. Mixing design of mortar for absorption tests

Types	W/B	Unit weight(kg/cm ³)				
		water	Cement	ZEO	HW	Sand
Plain*	0.3	140	465	-	-	1163
ZEO*			348.75	116.25	-	1120
HW*			-	-	116.25	1145

ZEO : Zeolite

HW : Active hwangtoh

28일 양생이 완료된 40 × 40 × 160mm 제원의 모르타르 시편을 대상으로 흡수율 시험을 수행하였으며, 모르타르의 흡수율의 경우 국내 시험 규정이 없기 때문에 기존의 문헌을 참고하여 아래와 같이 시험하였다(Bentz et al, 2002). 실험방법은 아래와 같다.

- 각 시편을 96시간 동안 수중 침지시킨 후 표면의 수분을 제거하여 표면 건조 포화 상태의 중량을 측정한다.
- 표면 건조 포화 상태의 중량을 측정 수행한 후 100°C로 설정된 건조로에 96시간동안 거치시켜 내부의 수분을 증발시킨다.
- 아래와 같은 식에 측정된 표면 건조 포화 상태의 중량 및 절대 건조 상태의 중량을 입력하여 각 배합의 흡수율을 산정한다.

$$Absorption\ rate\ (\%) = \frac{W_{sat} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100 \quad (1)$$

여기서, W_{sat} 는 표면 건조 포화 상태의 시편의 중량(g), W_{dry} 는 절대 건조 상태의 시편의 중량(g)을 나타낸다.

3.3 광촉매 코팅 및 NOx 저감 성능 평가 방법

3.3.1 모르타르 시편 대상 광촉매 처리 방법

각 모르타르 배합의 NOx 저감 성능을 평가하기 위해 재령 28일의 모르타르 시편을 40 X 40 X 40mm의 크기로 절단한 후 증류수로 세척하였다. 이 후 증류수에 24시간동안 침지시켰으며, 침지를 완료한 후 40℃ 조건에서 24시간 동안 건조시켰다. 건조 후 TiO₂ 용액에 각 시편을 5분간 완전히 침지시킨 다음 다시 24시간 동안 40℃에서 건조시켜 광촉매를 모르타르 시편의 표면에 코팅하였다. 본 연구에서 사용한 광촉매 용액은 액상형 광촉매로서 광촉매 1액형 생산기술(특허 제 10-1487758호 ‘1액형 광촉매 코팅 및 조성물 및 그 제조 방법’)을 기반으로 생산되었다. 본 연구에서 사용한 액상형 광촉매 용액의 표면 코팅 메커니즘을 아래의 Fig. 3에 나타내었다. 또한 사용 광촉매 용액의 물리적 특성을 아래의 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Physical properties of photocatalyst

Item	Specific surface area (m ² /g)	Total pore volume (cm ³ /g)	Average pore size (nm)
Photocatalyst	103	0.255	6.33

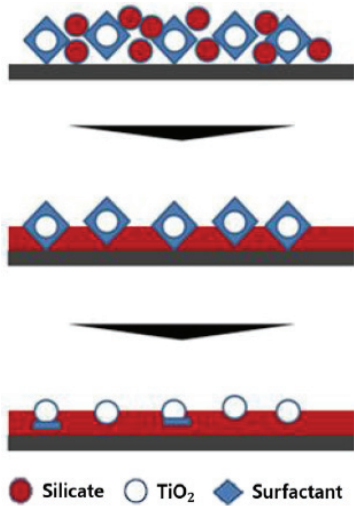


Fig. 3. The mechanism for application of photocatalyst to surface

3.3.2 광촉매 코팅 모르타르 시편의 NOx 저감 시험 방법

각 배합의 NOx 저감 성능 평가는 증류수를 이용하여 발생시킨 Air와, Standard gas를 혼합한 혼합가스를 이용하여 수행하였으며, Standard gas(NO)와 Air를 1:50의 비율로 혼합하여 사용하였

다. 혼합가스의 NO농도는 1ppm으로 유지하였으며, 공급유량은 3,000ml/min으로 유지하였다. 또한 3,000ml/min의 유량을 유지하기 위해 Air의 유량을 2,940ml/min, Gas 유량을 60ml/min으로 고정하여 혼합 공급하다. 가스 공급 직후 총 60분 동안 실험을 진행하였으며, 초기 10분 동안은 UV를 조사하지 않고, 챔버를 통과하여 배출되는 NO gas의 농도를 측정하였다. 이후 챔버 내부의 UV를 조사하면서 50분간 배출되는 NO gas의 농도를 측정하였다. 광촉매 코팅을 고려한 NOx 저감 시험의 개요를 아래 Fig. 4에 나타내었다.

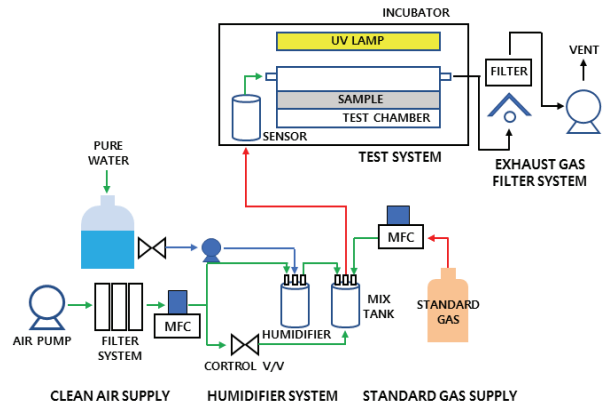


Fig. 4. The mechanism for the NOx reduction test

4. 광촉매 처리 유무를 고려한 모르타르 시편의 NOx 저감 성능 평가 결과

4.1 압축강도 및 휨강도 평가 결과

KS L ISO 679에 준하여 재령 3일, 7일, 28일에 활성 황토 및 제올라이트를 적용한 모르타르 시편의 휨 강도 및 압축강도 평가 결과를 아래의 Fig. 5에 나타내었다.

무기계 혼화재료가 치환 혼입되지 않은 Plain 배합에서 가장 높은 압축 및 휨강도가 평가되었으며, 제올라이트 및 활성 황토 치환율이 증가함에 따라 강도가 낮게 나타났다. 무기계 혼화재료가 포졸란 특성을 갖고 있지만, 본 시험은 재령 28일까지 평가하였기에 포졸란 반응이 발현되지 못하여 Plain 배합의 강도가 가장 높은 것으로 보인다. 또한 같은 치환율을 갖는 제올라이트와 활성 황토 혼입 배합 간에 강도 차이는 크게 평가되지 않았다. 초기재령 일일 3일 기준 최종 재령일인 28일의 압축 강도 증진율을 평가하면 Plain 배합의 경우 212.5%, ZEO 20 배합의 경우 221.9%, ZEO 30 배합의 경우 215.0%, HW 20 배합의 경우 210.4%, HW 30 배합

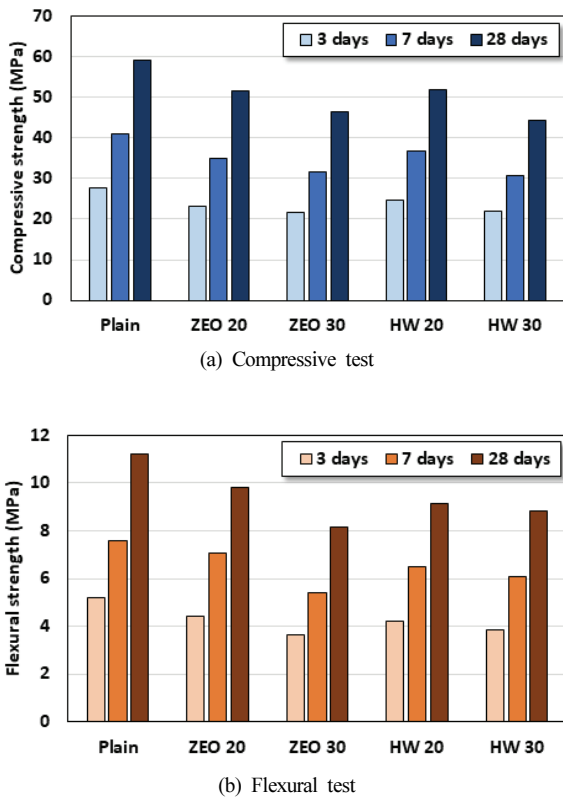


Fig. 5. The results of compressive and flexural strength in mortar with 2 types of mineral admixture

의 경우 203.3%로 제올라이트 치환 혼입 배합에서 가장 높은 증진율이 나타났다. 또한 각 배합의 경도를 Plain 배합의 강도를 기준으로 평가해 보면 ZEO 20 배합의 경우 83.8~87.5%, ZEO 30 배합의 경우, 77.9~78.9%, HW 20 배합의 경우 88.8~87.9%, HW 30 배합의 경우 74.4~78.8%의 값을 나타내었다.

힘 강도 역시 압축 강도와 비슷한 거동을 나타내었으며, 모든 배합의 힘 강도는 압축강도 대비 16.8~20.3%의 값을 나타내었다. 재령 7일 기준 재령 28일에서의 힘 강도 증진율은 Plain 배합의 경우 215.2%, ZEO 20 배합의 경우 222.1%, ZEO 30 배합의 경우 224.2%, HW 20 배합의 경우 216.3%, HW 30 배합의 경우 230.5%로 나타났다. 또한 Plain 배합 대비 각 배합의 강도는 ZEO 20 배합의 경우 85.0~93.5%, ZEO 30 배합의 경우, 69.9~72.8%, HW 20 배합의 경우 81.2~85.7%, HW 30 배합의 경우 73.7~80.6%의 값을 나타내었다.

4.2 흡수율 평가 결과

무기계 혼화재료의 혼입에 따른 흡수율 거동을 평가하기 위해

설계한 3가지 배합을 기반으로 흡수율 시험을 수행하였으며, 그 결과를 아래의 Fig. 6에 나타내었다.

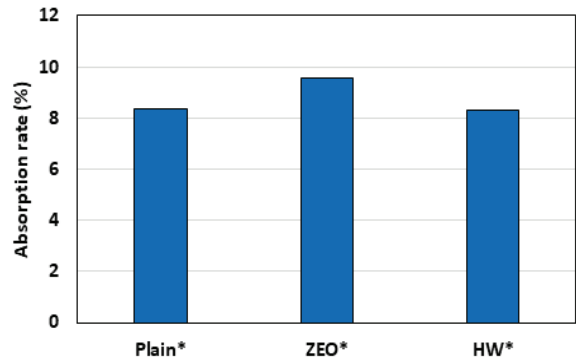


Fig. 6. The results of absorption rate in mortar with 2 types of mineral admixture

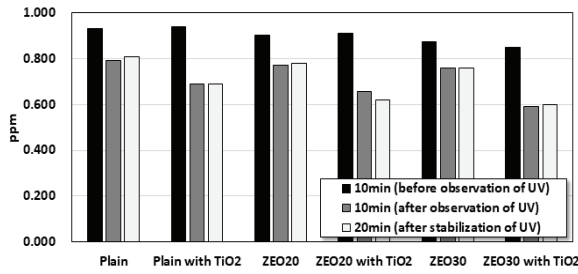
3가지 모르타르 배합의 흡수율을 평가한 결과, 제올라이트 혼입 배합에서 가장 높은 흡수율이 나타났으며 일반 Plain* 배합 및 HW*배합에서는 비슷한 수준의 흡수율이 나타났다.

ZEO* 배합에서는 나머지 2개 배합 대비 약 114.3~114.5%의 흡수율을 나타내었다. 제올라이트의 다공성 특성 및 양이온 교환능으로 인해 높은 흡수율이 나타난 것으로 보인다.

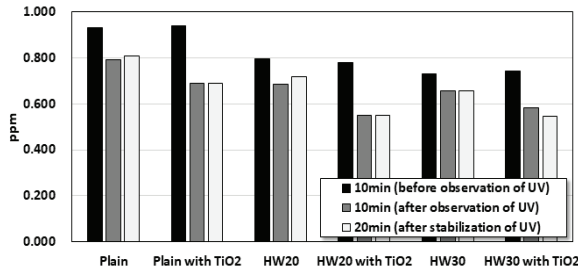
4.3 무기계 혼화재료 혼입 모르타르 시편의 NOx 저감 성능 평가 결과

재령 28일에 해당하는 제올라이트 및 활성 황토를 혼입한 모르타르 시편의 NOx 저감 성능을 평가한 결과를 아래의 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 배합명만 기재된 경우는 무처리 시편으로서 실험 전 증류수 침지 후 40°C 조건에서 24시간 건조한 시편을 의미한다. 배합 명 뒤 “with TiO₂”가 기재된 시편은 광촉매 처리 시편으로서 실험 전 증류수 침지 및 40°C 조건 24시간 건조 후 광촉매 5분 침지 후 다시 24시간 건조가 수행된 경우를 의미한다. 예를 들어 “Plain”은 Plain 광촉매 처리가 되지 않은 Plain 배합 시편을, “Plain with TiO₂”는 광촉매 처리가 수행된 Plain 배합 시편을 의미한다.

광촉매를 모르타르 시편에 코팅함으로써 뚜렷한 NOx 저감성을 확인할 수 있었다. 초기 10분 동안에는 NOx가 다소 증가하는 경우도 있었으나 그 이후로는 뚜렷하게 감소하였다. 또한 광촉매를 처리하지 않은 경우 UV 안정화 이후 NOx의 농도가 대체로 소폭 상승하지만, 광촉매 코팅이 수행된 시편의 경우 UV 안정화 이



(a) Plain, ZEO20, ZEO30 mixtures



(b) Plain, HW20, HW30 mixtures

Fig. 7. The results of performance for NOx reduction in mortar with 2 types of mineral admixture

후 UV 농도가 전 수준을 유지하거나 감소하는 경향을 나타내었다. 광촉매 코팅으로 인해 발생된 OH 라디칼이 안정화가 되면서 안정적인 분해능을 나타낸 것으로 보인다.

광촉매 처리 유무에 상관없이 Plain 배합에서 가장 높은 NOx 농도가 나타났다. 기존의 연구 결과에 따르면 황토 및 제올라이트를 혼입한 모르타르 시편은 다공성 재료의 특성을 갖기 때문에 Plain 배합 대비 높은 저감능을 나타낸 것으로 사료된다. 제올라이트 및 활성 황토를 혼입한 배합의 Plain 배합 대비 NOx 농도를 평가한 결과, ZEO 20 배합은 97.0~97.1%, ZEO 30 배합은 90.5~93.8%, HW 20 배합은 82.9~85.5%, HW 30 배합은 78.6~79.2%를 나타내었다. 일반적으로 흡수율이 높은 경우 내부 공극이 확보되어 높은 NOx 저감 성능을 기대할 수 있다. 제올라이트 혼입 배합의 경우 Plain 배합 대비 높은 흡수율을 갖기 때문에 Plain 배합을 기준으로 개선된 NOx 저감 성능을 나타내었으나, 활성 황토 혼입 배합의 경우 흡수율은 Plain 배합과 비슷한 수준이었으나 NOx 저감 성능은 가장 우수한 결과를 나타내었다.

또한 각 배합의 초기 10분의 NOx 농도를 기준으로 최종 평가 시의 ppm의 감소율을 나타내면 아래의 Fig. 8과 같다.

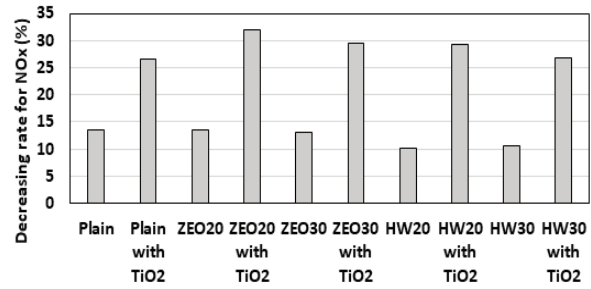


Fig. 8. The decreasing ratio of NOx concentration considering test period

초기 측정치 대비 최종 측정치의 감소율은 Plain 배합과 제올라이트 혼입 배합에서는 비슷한 수준으로 나타났으며, 활성 황토 배합에서 다소 낮은 값을 나타내었다. 또한 광촉매 코팅이 처리된 경우 더 높은 NOx 감소율이 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 무기계 혼화재인 제올라이트 및 활성 황토를 모르타르 배합의 결합재로서 사용하였으며, 총 5가지 모르타르 배합을 대상으로 역학적 특성 및 광촉매 용액의 코팅을 고려한 NOx 저감 성능을 평가하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 역학적 성능 평가 결과, Plain 배합에서 가장 높은 압축 및 휨 강도가 평가 되었다. 무기계혼화재료 혼입 배합의 경우, 종류와 상관없이 치환율의 증가에 따라 강도가 감소되었다. 재령 3일 기준 재령 28일의 압축강도 증진율을 평가하면 Plain 배합의 경우 212.5%, ZEO 20 배합의 경우 221.9%, ZEO 30 배합의 경우 215.0%, HW 20 배합의 경우 210.4%, HW 30 배합의 경우 203.3%로 제올라이트 치환 혼입 배합에서 가장 높은 증진율이 나타났다.
2. 흡수율 평가를 위해 물-결합재 비를 낮추고 제올라이트 및 활성 황토의 혼입율을 25%로 설정한 배합을 수행하였다. 흡수율 평가 결과 제올라이트 혼입 배합에서 가장 높은 흡수율이 나타났으며, Plain 배합과 활성 황토 혼입 배합은 비슷한 수준의 흡수율을 나타내었다. 제올라이트 혼입 배합의 흡수율은 Plain 배합 대비 약 114.3~114.5%로 평가되었다.
3. 광촉매 처리 유무를 고려한 모르타르 시편의 NOx 저감 성능을 평가한 결과, 모든 배합에서 광촉매 코팅을 수행한 경우 뚜렷한 NOx 농도 감소가 나타났다. 자외선에 노출된 광촉매

코팅에 의해 표면에서 발생한 OH 라디칼이 활발한 반응을 일으킨 것으로 판단된다. 광촉매 처리 유무에 상관없이 Plain 배합이 다른 배합들 보다 높은 NO_x 농도를 나타내었으며 이는 무기계 혼화재료의 혼입으로 인해 모르타르 시편이 다공질의 특성을 갖게 되었기 때문으로 사료된다. 또한 활성 황토 혼입 배합의 경우 흡수율은 Plain 배합과 비슷한 수준이었으나 NO_x 저감능은 가장 우수한 결과를 나타내었다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었으며(과제번호 19POQW-B152342-01) 이에 감사드립니다.

References

- Benoit-Marquie, F., Wilkenhoner, U., Simon, V. (2000). VOC photodegradation at the gas–solid interface of a TiO₂ photocatalyst, *Photochemistry and Photobiology*, **132(3)**, 225–232.
- Bentz, D.P., Eheln, M.A., Ferraris, C.F., Wimpigler, J.A. (2002). Service Life Prediction Based on Sorptivity for Highway Concrete Exposed to Sulfate Attack and Freeze–Thaw Conditions, National Institute of Standard and Technology, McLean, USA.
- Cabrera, C., Gabaldon, C., Marzel, P. (2005). Technical note sorption characteristics of heavy metal ions by a natural zeolite, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **80**, 477–481.
- Cho, B.W., Choi, J.S. (2012). An experimental study on the fundamental properties of zeolite concrete, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **16(1)**, 1–8 [in Korean].
- Choi, H.Y., Hwang, H.Z., Kim, M.H., Kim, M.H. (2000). A study on the development of hwangtoh admixture for the application of cement mortar, *Journal of the Architectural Institute of Korea – Structure & Construction*, **16(6)**, 95–102 [in Korean].
- Choi, H.Y., Kim, M.H., Kim, M.H., Hwang, H.Z., Choi, S.W. (2001). Experimental study on the properties of concrete by the kinds of admixture and the replacement ratios of activated hwangtoh, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **13(2)**, 123–129 [in Korean].
- Choi, J.J. (1998). A study on the properties of concrete using zeolite, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **10(5)**, 205–216 [in Korean].
- Colelia, C. (1996). Ion exchange equilibria in zeolite minerals, *Mineralium Deposita*, **31**, 554–562.
- Colin, A.F., Jeremy, L.B., Lau, Y.L. (2001). Solid–state NMR detection, characterization, and quantification of the multiple aluminum environments in US–Y catalysts by 27Al MAS and MQMAS experiments at very high field, *Journal of the American Chemical Society*, **123**, 5285–5291.
- Edem, E., Karapinar, N., Donat, R. (2004). The removal of heavy metal cations by natural zeolites, *Journal of Colloid and Interface Science*, **280**, 309–314.
- Frias, M., De Rojas, M.S., Cabrera, J. (2000). The effect that the pozzolanic reaction of metakaolin has on the heat evolution in metakaolin–cement mortars, *Cement and Concrete Research*, **30(2)**, 209–216.
- Go, S.S., Lee, H.C., Lee, J.Y., Kim, J.K., Chung, C.W. (2009). Experimental investigation of mortars using activated Hwangtoh, *Construction and Building Materials*, **23(3)**, 1438–1445.
- Kim, H.J., Yoon, Y.S., Yang, K.H., Kwon, S.J. (2019). Durability and purification performance of concrete impregnated with silicate and sprayed with photocatalytic TiO₂, *Construction and Building Materials*, **199**, 106–114.
- Kwon, S.J., Wang, X.Y. (2019). Optimization of the mixture design of Low–CO₂ high–strength concrete containing silica fume, *Advances in Civil Engineering*, **8(3)**, 1–9.
- Kwon, S.O., Bae, S.H., Lee, H.J., Jung, S.H. (2014). Characteristics for reinforcement corrosion and chloride ion diffusion of high volume fly ash concrete, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **2(1)**, 34–39 [in Korean].
- Metha, P.K., Monteiro, P.M. (2009). *Concrete–Structure, Properties, and Materials*, 2nd Edition, Prentice Hall, New–Jersey, 113–178.
- Park, K.C., Lim, N.G. (2015). Chloride penetration of concrete mixed with high volume fly ash and blast furnace slag, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **19(1)**, 90–99 [in Korean].
- Pi, U.H. (2005). Study of Behavior of Strength and Clean of Air Condition Using Photocatalyst(TiO₂) for Concrete, Master’s Thesis, Gyeongbuk National University [in Korean].
- Sano, T., Negishi, N., Takeuchi, K., Matsuzawa, S. (2004). Degradation of toluene and acetaldehyde with Pt–loaded TiO₂

- catalyst and parabolic trough concentrator, Association for Applied Solar Energy, **77(5)**, 543–552.
- Yamaguchi, S. (2004), Decomposition of gaseous volatile organic chloride compounds, Journal of Environmental Hi-Technology, **12(2)**, 32–38.
- Yang, H.M., Lee, H.S., Yang, K.H., Ismail, M.A., Kwon, S.J. (2018), Time and cold joint effect on chloride diffusion in concrete containing GGBFS under various loading conditions, Construction and Building Materials, **167**, 739–748.
- Yoon, Y.S., Kwon, S.J. (2019). Evaluation of apparent chloride diffusion coefficient and surface chloride contents of FA concrete exposed splash zone considering crack width, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **23(6)**, 18–28 [in Korean].

무기계 혼화재료를 혼입한 모르타르 시편의 광촉매 처리를 고려한 NOx 저감 성능

본 연구에서는 무기계 혼화재료인 제올라이트 및 활성 황토를 혼입한 모르타르의 역학적 특성, 흡수율, NOx 저감 성능을 평가하였다. 제올라이트 및 활성 황토는 결합재로서 시멘트의 대체재로 사용되었으며 치환율은 각 20, 30%로 설정하였다. 각 배합의 압축강도 및 휨강도를 평가한 결과, Plain 배합에서 가장 높은 강도가 평가되었다. 제올라이트 및 활성 황토의 혼입율이 증가할수록 강도가 낮아지는 경향이 나타났다. 또한 활성 황토와 제올라이트 혼입 배합간의 강도 차이는 미미한 수준으로 나타났다. 흡수율을 평가하기 위해 기존의 배합의 물-결합재 비를 낮추고 활성 황토 및 제올라이트의 치환율을 25%로 설정한 배합을 설계하였다. 제올라이트 혼입 배합에서 가장 높은 흡수율이 평가되었으며, 나머지 두 배합 간에 흡수율의 차이는 매우 적었다. 광촉매 코팅의 유무를 고려한 NOx 저감 성능을 평가한 결과, 동일 배합이라 하더라도 광촉매를 코팅함에 따라 뚜렷한 NOx 농도 저감이 나타났다. 또한 제올라이트 및 활성 황토는 다공성 성질을 갖기 때문에 Plain 배합 보다 높은 NOx 감소 성능을 나타내었다. 활성 황토 배합의 경우 흡수율은 제올라이트 배합보다 낮은 값을 나타내었지만, 제올라이트 혼입 배합보다 뛰어난 NOx 저감 성능이 나타났다.