

활성 황토를 혼입한 모르타르 기반 경계석의 내구성능 평가

The Evaluation of Durability Performance in Mortar Curbs Containing Activated Hwangtoh

권성준¹ · 김혁중² · 윤용식^{3*}

Seung-Jun Kwon¹ · Hyeok-Jung Kim² · Yong-Sik Yoon^{3*}

(Received November 3, 2020 / Revised December 7, 2020 / Accepted December 8, 2020)

Hwangtoh is the rich resource that accounts for about 15.0% of the domestic soil, and can be used as the admixture of concrete with Pozzolan characteristics if activated by rapidly freezing after burning with high temperature. In this study, the mortar curbs containing active hwangtoh were produced, based on the mixture for the mortar curbs sold on the market. The substitution rate of active hwangtoh were considered 10.0% and 25.0%, and the test items were selected to compressive and flexural strength tests, freezing/thawing resistance tests, accelerated carbonation tests, and accelerated chloride diffusion tests. In the results of the mechanical performance, it was showed that the highest strength was evaluated in OPC mixture, and the increase in strength was small by the increase of age, which was believed to be due to the fact that most of the strength in each mixture was created in three days of steam curing. The results of the freezing/thawing tests for 28 aged days showed the reduction rate of compressive strength was 85.0% or higher for all specimen, meeting the criteria presented. The accelerated carbonation tests were carried out on the specimen at 28 days of age, and the results showed that the mortar with active hwangtoh had lower carbonation resistance performance than mortar with OPC. The passed charge of each mixture was assessed in accordance with ASTM C 1202 on 28 and 91 aged days. The OPC mixture had “Low” rate and the mortar with active hwangtoh had “Moderate” rate. So it was thought that the mortar with active hwangtoh had appropriate resistance performance for chloride attack.

키워드 : 활성 황토, 동결융해, 탄산화 속도계수, 통과 전하량

Keywords : Active hwangtoh, Freezing/thawing, Carbonation velocity coefficient, Passed charge

1. 서론

RC(Reinforced Concrete) 구조물은 뛰어난 경제성 및 공학적 성능을 갖고 있으나(Metha and Monteiro 2009), 열화 환경에 장 시간 노출되는 경우, 구조물의 구조적, 내구적 성능이 저하하게 된다. RC 구조물이 열화 되게 되면 구조적 문제 외에도 피복콘크리트의 박락 및 녹물의 유출과 같이 미관이 훼손되어 이용자들의 불안감을 조성한다(Oh et al, 2016; Yoon et al, 2018). 이러한 문제를 해결하고자 다양한 연구가 진행되어왔는데 고로슬래그(GGBFS: Ground Granulated Blast Furnace Slag), 플라이애시

(FA: Fly Ash)등과 같은 혼화재료를 콘크리트의 혼입하여 사용하는 방법이 효과적으로 알려져 있다(Yang et al, 2018; Yoon and Kwon 2019). 이 경우 시멘트의 사용량을 줄임으로서 지구 온난화를 일부 해결할 수 있는데, 포틀랜드 시멘트의 제조 시 전체 연간 CO₂ 발생량 중 약 7.0%에 해당하는 이산화탄소가 발생하기 때문이다(Metha and Monteiro 2009; Kwon et al, 2014). 이 외에도 콘크리트 구조물의 생산단계, 운송단계, 사용단계, 해체단계 및 재활용 단계를 포함하는 콘크리트 구조물의 전 과정에서 발생하는 CO₂량에 대한 연구 등 다 방면으로 환경문제를 해결하기 위해 노력중이다(Kwon 2017; Hwang et al, 2019).

* Corresponding author E-mail: humbleyys@gmail.com

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

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

³한남대학교 건설시스템공학과 박사과정 (Department of Civil and Environmental Engineering, Hannam University, Daejeon, 34430, Korea)

Copyright © 2020 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

최근 들어 황토를 혼화재료로 사용하고자는 시도가 이루어지고 있다. 황토는 국내 토양의 약 15.0% 정도를 차지할 정도로 매장량이 풍부할 뿐만 아니라 우수한 원적외선 방사율, 탈취율, 습도 조절 능력의 강점을 가진 친환경적인 재료이다. 황토는 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃를 주성분으로 구성되어있기 때문에 자연 포졸란의 특성을 갖고 있다(Choi et al, 2001). 하지만 천연 황토를 그대로 사용할 경우 큰 건조수축과 낮은 강도발현으로 인해 건설재료로 활용하는데 문제가 있다. 그러나 천연 황토를 550~1100℃의 고온 소성 후 급하여 제조되는 활성 황토는 SiO₂, Al₂O₃가 활성화되어 시멘트의 Ca(OH)₂와 포졸란 반응을 일으킴으로서 이러한 단점을 보완하는 것으로 알려져 있다(Choi et al, 2000; Kang et al, 2008). 또한 황토를 활성 시킨다하더라도 기존의 황토의 장점 역시 유지되는 것으로 알려져 있다(Go et al, 2009). 기존의 연구에 따르면 활성 황토를 사용한 콘크리트의 경우 포졸란 반응으로 공극이 밀실해짐과 동시에 황산과 염산에 대한 강한 내화학성의 강점을 나타내는 것으로 알려져 있다(Hwang et al, 2008). 뿐만 아니라 OPC 콘크리트 대비 낮은 압축 강도에도 불구하고 높은 극한하중과 연성능력을 가지고 있다(Kim et al, 2008). 그러나 이러한 활성 황토를 혼입한 콘크리트 및 모르타르 기반 2차제품의 내구성능에 대한 연구 결과는 미비한 실정이다(Lee et al, 2010; Hwang et al, 2008). 적절한 내구성능의 확보되지 않는 경우 구조물의 미관에 손상일 입힐 뿐만 아니라 해당 건설자재의 성능 저하를 일으켜 큰 사회적 경제적 손실을 야기할 수 있다(Yoon et al, 2018).

따라서 본 연구에서는 시중에서 활발히 사용되고 있는 모르타르 기반 경계석 배합을 기반으로 2수준의 활성 황토 치환율(10.0%, 25.0%)을 적용하였다. 경계석의 역학적, 내구적 성능 관련 기준을 검토한 결과, 경계석에 활성 황토를 혼입 하는 경우, 다른 도로 구조물에 활성 황토를 혼입하는 것보다 용이할 것으로 판단되어 경계석 배합을 대상으로 평가를 수행하였다. 시험 항목으로는 압축 및 휨강도 시험, 동결융해 시험, 촉진 탄산화 시험, 촉진 염화물 확산 시험을 설정하여 활성 황토의 혼입으로 인해 발생하는 내구성능 거동의 변화를 정량적으로 분석하였다.

2. 사용재료 및 배합

2.1 사용 재료의 물리적, 화학적 특성

본 연구에서는 경계석 시편을 제작하기 위해 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 활성 황토를 결합재로서 사용하였다. 황토의 경우, 천연 황토를 약 800℃에서 소성시켜 활성 상태로 사용하였다. 또한 잔

Table 1. Physical properties of cement and active hwangtoh

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
Active hwangtoh	2.50	3,300					

Table 2. Chemical composition of 2 types of binder

(%)	OPC	Active hwangtoh
SiO ₂	21.9	43.0
Al ₂ O ₃	4.8	35.9
Fe ₂ O ₃	3.4	10.8
CaO	62.6	7.2
K ₂ O	-	0.8
MgO	2.6	1.6
etc.	4.7	1.7

Table 3. Physical properties of stone flour

Type	Density	Absorption ratio(%)	F.M.
Stone flour	2.6	1.33	3.06

골재로서 표준사와 석분을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 활성 황토의 물리적 특성을 Table 1에 화학적 특성을 Table 2에 나타내었다. 그리고 배합에 사용한 석분의 물리적 특성을 Table 3에 나타내었다.

XRF 분석을 통하여 시멘트와 활성 황토의 화학 조성 분석을 수행하였다. 활성 황토의 주요 성분은 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ 등으로 나타났으며, 이는 포졸란 혼합물과 유사한 조성을 구성하고 있는 것으로 사료된다.

2.2 활성 황토 혼입 모르타르 경계석 배합 및 제작 방법

2.2.1 활성 황토 혼입 경계석 제작을 위한 모르타르 배합

경계석 배합에 사용되는 활성 황토 및 기타 사용재료의 물성을 고려한 후 Pilot test를 수행하여 최종 활성 황토 치환율을 결정하였다. 아래의 Table 4에 본 연구에서 사용한 경계석 제작용 모르타르 배합을 나타내었다. 활성 황토는 시멘트의 중량비로 치환 혼입하였으며 치환율로서 10.0% 및 25.0% 총 2 수준을 고려하였다.

Table 4. Mixing design for mortar containing active hwangtoh

Types	W/B	Unit weight(kg/m ³)				
		Water	Cement	HW	Sand	Stone flour
OPC	0.3	140.0	465	-	1163.0	465
HW10	0.3	140.0	418.5	46.5	1155.0	461.8
HW25	0.3	140.0	348.75	116.25	1145.0	457.8

HW : Active hwangtoh

2.2.2 활성 황토 혼입 경계석 시편 제작 방법

Table 4와 같은 배합을 기반으로 KS F 4006의 보차도 경계블록 b형에 해당하는 경계석 시편을 제작하였다. 전용 제작 장비를 통해 진동 압밀 및 증기 양생 과정을 거쳐 제작을 완료하였다. 제작된 경계석 시편을 3일간 증기 양생 시킨 후 목표 재령일 까지 수중 양생시켰다. 경계석 시편의 제작 전경을 Fig. 10에 KS F 4006에 준한 경계석 시편의 제원을 Fig. 2에 나타내었다.



Fig. 1. The photo for production of mortar curbs

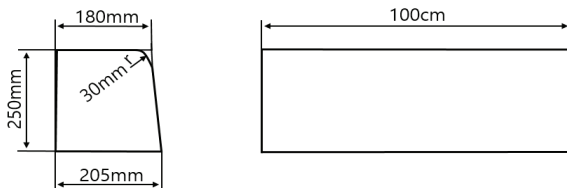


Fig. 2. The mimetic diagram for mortar curbs

3. 활성 황토 혼입 경계석 시편의 역학적, 내구적 성능 평가 방법

3.1 압축강도 및 휨 강도 평가 방법

경계석 시편의 압축강도 평가에 관한 기준이 현재 국내에 표준되어있지 않으므로 KS F 4006, SPS-KCIC0001-0703, KS F 2405를 참고하여 평가하였다. 압축강도 평가를 위해 시편을 100



(a) Compressive strength test



(b) Flexural strength test

Fig. 3. The photos for compressive and flexural strength tests

X 100 X 100mm 형상으로 커팅 하였으며 목표 재령일은 3, 7, 28, 91일로 설정하였다. 휨 강도 평가 역시 목표 재령일은 압축 강도 시험과 동일하게 설정하였으며, KS F 4006에 준하여 중앙 점 재하 방법으로 수행하였다. 압축 강도 및 휨 강도 시험 전경을 Fig. 3에 나타내었다.

3.2 동결융해 저항성능 평가 방법

동결융해 저항성 실험은 KS F 2456의 b 방법(기중 급속 동결 후 수중 융해 시험방법)에 따라 진행하였다. 공시체 중심부의 온도를 원칙으로 3시간 동안 4℃에서 -18℃로 동결한 뒤 -18℃에서 4℃로 융해하는 것을 1 Cycle로 하여 100 Cycle 동안 동결융해 시험을 수행한 후 각 시편의 압축 강도를 측정하였다. 0 Cycle에서 평가된 강도와 비교를 통해 강도 저하율을 산출한 후 고찰하였다. 아래의 Fig. 4에서 동결융해 저항성 시험 진행 모습을 나타내었다.



Fig. 4. The photos for freezing/thawing resistance performance test

3.3 촉진 탄산화 시험 방법

촉진 탄산화 시험을 수행하기 위해 경계석 시편에서 코어시편을 채취하였다. 채취한 코어 시편을 두께 50mm로 커팅한 후 이산화탄소의 1방향 침투를 유도하기 위해 침투면을 제외한 나머지 면을 에폭시로 코팅하였다. 그 후 온도(20 ± 2°C) 및 상대 습도(60 ± 5%)의 환경이 유지되는 항온 항습실에 8주간 존치시켜 전처리 과정을 완료하였다. KS F 2584에 따라 온도 20°C, 상대습도 60%, CO₂ 농도 5% 조건의 촉진 탄산화 챔버에 재령 28일의 시편을 4주 및 13주 동안 존치시켰다. 목표 존치 기간 이후, 1% 농도의 페놀프탈레인 용액을 이용해 변색되지 않은 영역을 탄산화 침투 깊이로 하여 측정하였다. Fig. 5에 촉진 탄산화 시험 전경을 나타내었다.



Fig. 5. The photos of accelerated carbonation test

3.4 촉진 염화물 확산 시험 방법

3 수준의 모르타르 배합 기반 경계석 시편의 염화물 확산 저항 성능을 평가하고자 ASTM C 1202에 준하여 통과 전하량을 도출하였다. 목표 재령일은 28일로 설정되었으며, 3.3절과 마찬가지로 경계석 시편에서 코어를 채취한 후 50mm 두께로 시편을 커팅하였다. 이 후 측면에 에폭시를 도포하였으며, 해당 디스크 시편을 대상으로 Cell I(- 극)에는 3%의 염화나트륨(NaCl) 수용액을 Cell II(+ 극)에는 0.3M의 수산화나트륨(NaOH) 수용액을 적용하여 6시간 동안 60V의 전압을 인가하였다. 통과 전하량을 30분 간격으로 측정 후 식 (1)을 활용하여 통과 전하량을 도출하였다(ASTM C 1202 2005). Fig. 6에서는 통과 전하량 평가 전경을 나타내고 있다.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

여기서, Q 는 총 통과 전하량(Coulomb)을 나타내고 있으며, I_x 는 x 분에서 측정된 전류값(A)을 나타낸다.

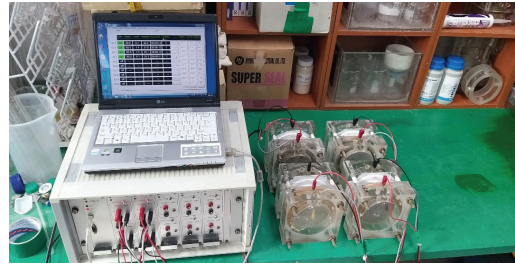


Fig. 6. The photo for accelerated chloride diffusion test

Table 5. Evaluation standard for chloride resistance by ASTM C 1202

Total passed charge(Coulomb)	Chloride ions permeability
> 4,000	High
2,000~4,000	Moderate
1,000~2,000	Low
100~1,000	Very low
< 100	Negligible

4. 활성 황토 혼입 경계석 시편의 역학적, 내구적 성능 평가 결과

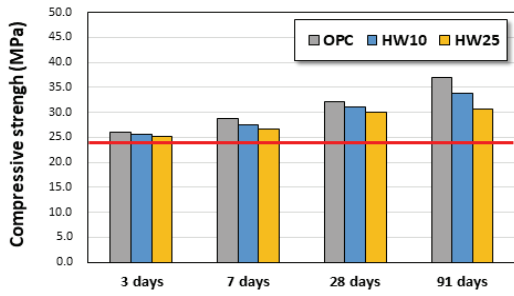
4.1 압축 강도 및 휨 강도 평가 결과

2 수준의 활성 황토 혼입율을 고려한 경계석 시편의 압축 강도 및 휨 강도를 재령 3일, 7일, 28, 91일에 평가한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

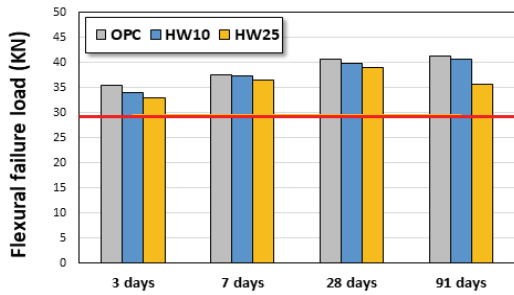
활성 황토의 치환율이 상승할수록 압축 및 휨 강도가 저하하는 경향이 나타났다. 또한 모든 재령일의 압축 강도는 협회 기준 (SPS-KKIC0001-0703)인 24MPa를 상회하는 결과를, 휨 강도는 KS F 4006에서 규정하는 값인 29.5kN을 상회하는 결과를 나타내었다.

재령일이 증가에 따른 강도 상승은 비교적 적은 값이 나타났는데, 이는 3일간 증기 양생을 수행하였기 때문에 이 기간에 대부분의 강도 발현이 완료되었기 때문으로 보인다. 재령 3일 기준 재령 91일의 강도 증진율은 압축 강도의 경우 OPC 배합에서 142.3%, HW10 배합에서 132.4%, HW25 배합에서 121.8%로 나타났으며, 휨 강도의 경우 OPC 배합에서 116.9%, HW10 배합에서 119.2%, HW25 배합에서 107.9%로 나타났다. OPC 배합에서 가장 높은 강도 증진율이 나타났으며 활성 황토 혼입율의 증가에 따라 강도 증진은 낮게 나타났다.

또한 OPC 배합의 압축 강도 기준으로 각 배합의 압축강도를



(a) Compressive strength test



(b) Flexural strength test

Fig. 7. The results of strength test

평가하면 HW10 배합의 경우 91.6~98.5%, HW25 배합의 경우 83.0~96.9%의 값을 나타내었다. 휨 강도의 경우, HW 10 배합에서 96.2~98.1%, HW25 배합에서 86~97.6%의 결과가 나타났다. 또한 재령 91일의 HW25 배합의 휨 강도 시험 결과가 이전 재령인 28일의 결과 보다 낮게 평가되었는데 이는 시험 오차로 판단된다.

4.2 동결융해 저항성능 평가 결과

KS F 2456에 준하여 재령 28일의 모르타르 경계석 시편을 대상으로 동결융해 시험을 수행한 후 강도 저하율을 평가하였으며 그 결과를 아래의 Table 6 및 Fig. 8에 나타내었다.

협회 기준인 SPS-KCIC0001-0703에 따르면 100 cycle 이후의 압축 강도가 0 cycle 값의 85.0% 이상이면 성능을 충족하는

Table 6. The result of Freezing/thawing test

Types	Compressive strength(MPa)	
	0 Cycle	100 Cycle
OPC	32.1	28.6
HW10	30.6	27.1
HW25	30.0	26.1

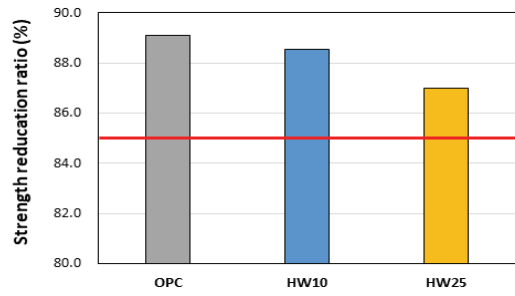


Fig. 8. The results of freezing/thawing test

것으로 판단하는데, 모든 배합에서 이 기준을 충족하였다. 활성 황토 혼입율이 증가할수록 강도 저하가 큰 폭으로 나타났으나 그 차이는 주목할 만한 수준은 아니라고 판단된다. OPC 배합과 HW10 배합간의 저감율 차이는 0.53%, HW 10 배합과 HW25 배합간의 저감율 차이는 1.56%로 나타났다.

4.3 촉진 탄산화 저항 성능 평가 결과

KS F 2596에 따라 각 시편의 탄산화 저항성능을 평가하였다. 재령 28일의 시편을 기준으로 4주 및 13주간 촉진 탄산화 시험을 수행한 후 촉진탄산화 깊이를 \sqrt{t} 법에 따라 회귀 분석하여 촉진탄산화 속도계수를 산출하였다. 촉진 탄산화 깊이 평가 결과를 Fig. 9에 촉진 탄산화 속도계수 평가 결과를 Fig. 10에 촉진 탄산화 속도계수 비교를 Fig. 11에 나타내었다.

활성 황토 혼입율이 증가할수록 탄산화 깊이가 증가하는 경향을 나타냈으며 OPC 배합을 기준으로 HW10 배합의 경우 106.7~117.2%, HW25 배합의 경우 111.5~122.9%의 침투 깊이를 나타내었다. 시험 기간 28일 대비 91일에서의 침투 깊이 증가율을 평가하면 OPC 배합의 경우 242.5%, HW10 배합의 경우 220.9%, HW25 배합의 경우 220.0%로 나타나 활성 황토 혼입 배합간의 차이는 미미하였다.

본 연구에서는 KS F 2596에 따라 \sqrt{t} 법에 준하여 탄산화 속도계수를 산출하였다. 모든 배합의 속도계수 평가 결과 2.32~2.63 mm/week^{0.5}의 범위를 나타내었다. OPC 배합의 속도계수를 기준으로 HW10 배합에서는 108.68%, HW25 배합에서는 113.6%의 속도계수가 평가되어 활성 황토를 혼입함으로써 탄산화 저항성능이 다소 감소하였다. 그러나 활성 황토 혼입 배합과 OPC 배합간의 속도계수 차이가 최대 0.32mm/week^{0.5}로 평가되어 그 차이가 크지 않아 활성 황토를 혼입한 배합의 탄산화 성능 저하는 주목할 만한 수준은 아니라고 사료된다.

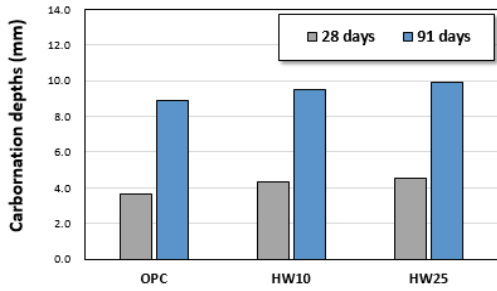


Fig. 9. The results of accelerated carbonation test

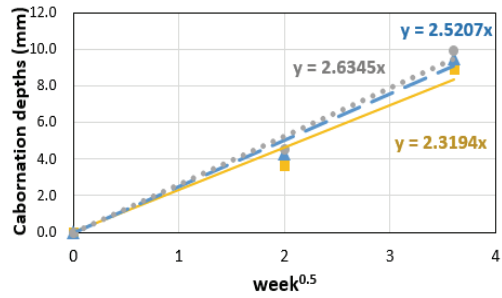


Fig. 10. The results of regression analysis for carbonation velocity coefficient

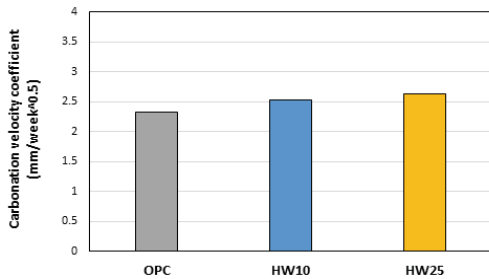


Fig. 11. The results of accelerated carbonation velocity coefficient

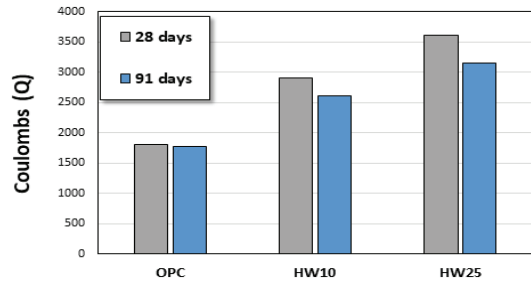


Fig. 12. The result of passed charge

4.4 촉진 염화물 확산 성능 평가 결과

ASTM C 1202에 따라 각 배합의 통과 전하량을 재령 28일에 평가한 결과를 Fig. 12에 나타내었다.

ASTM C 1202의 평가 기준에 따르면 OPC 배합의 경우 “Low” 등급을, HW10 배합 및 HW25 배합의 경우 “Moderate” 등급에 속하게 되어 모든 배합에서 적절한 염해 내구성을 갖는 것으로 판단된다. 특히 OPC 배합에서는 활성 황토 혼입 배합 대비 뛰어난 염해 저항능이 평가되었으며 재령 28일 및 재령 91일 간의 통과 전하량 차이가 적게(98.4%) 나타났다. HW10 배합에서는 재령 28일 대비 91일에서 90.0%, HW25 배합에서 87.3%의 통과 전하량 값을 나타내었으며 활성 황토의 포졸란 특성으로 인해 활성 황토 혼입 배합에서 재령일이 증가에 따른 통과 전하량의 감소가 비교적 높게 나타난 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 시중의 경계석 제작에 사용되고 있는 모르타르 배합을 대상으로 활성 황토를 치환 혼입하여 적용하였다. 2 수준의 활성 황토 치환율(10.0%, 25.0%)을 적용하여 각 배합의 역학적 성능 및 내구성을 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 역학적 성능 평가 결과, OPC 배합에서 가장 높은 압축 및 휨 강도가 평가 되었다. 재령의 증가에 따른 강도 상승은 비교적 적은 값이 나타났는데, 이는 3일간의 증기 양생 기간 동안 대부분의 강도발현이 완료되었기 때문으로 사료된다. 재령 3일 기준 재령 91일의 압축 강도 증진율을 평가하면 OPC 배합에서 142.3%, HW10 배합에서 132.4%, HW25 배합에서 121.8%로 활성 황토가 혼입되지 않은 OPC 배합에서 가장 높은 강도 증진율이 나타났다. 또한 모든 배합의 압축 및 휨 강도는 해당 기준 한계 값을 상회하여 경계석 제품에 적용할 수 있는 조건을 만족하였다.
2. 3 수준의 모르타르 배합의 동결융해 저항 성능을 평가한 결과, 100 Cycle 이후의 압축 강도가 0 Cycle 값의 85.0% 이상으로 제시된 성능 기준을 충족하였다. 활성 황토 혼입율이 증가함에 따라 동결융해에 의한 강도 저하가 나타났으나, 그 수준은 주목할 만한 정도가 아니라고 판단된다.
3. 각 배합의 탄산화 저항 성능 평가를 위해 재령 28일의 모르타르 경계석 시편을 대상으로 4주 및 13주간 촉진 탄산화 챔버에 거치하였다. 활성 황토 혼입율이 증가함에 따라 탄산화 깊이가 증가하는 경향을 나타내었으며 OPC 배합을 기준으로 HW10 배합의 경우 106.7~117.2%, HW25 배합의 경우

- 111.5~122.9%의 침투 깊이를 나타내었다. 또한 \sqrt{t} 법에 따라 침투 깊이를 회귀 분석하여 속도계수를 산출하였는데, OPC 배합의 속도계수를 기준으로 HW10 배합에서는 108.7%, HW25 배합에서는 113.6%의 속도계수가 평가 되었다. 활성 황토를 혼입함으로써 탄산화 저항 성능이 다소 감소하였다.
4. 재령 28일의 시편을 대상으로 ASTM C 1202에 따라 각 배합의 통과 전하량을 평가 하였으며 OPC 배합의 경우 “Low” 등급을, HW10 배합 및 HW25 배합의 경우 “Moderate” 등급을 나타내었기 때문에 모든 배합에서 적절한 염해 내구성능을 갖는 것으로 평가되었다. 재령 28일 대비 91일에 통과 전하량 값은 OPC 배합에서 98.4%, HW10 배합에서 90.0%, HW25 배합에서 87.3%의 값을 나타내었다. 활성 황토의 포졸란 특성으로 인해 재령일이 증가에 따른 통과 전하량의 감소가 OPC 배합 대비 비교적 높게 나타난 것으로 사료된다.
 5. 활성 황토를 결합재로 사용하여 경계석 시편을 제작하는 경우, 큰 수준의 공학적, 내구적 성능 저하 없이 관련 기준을 충족시킬 수 있을 것으로 보인다. 그러나 도로 경계석은 겨울철에 일반적으로 제설제에 의한 염해와 온도 저하에 의한 동결융해 조건을 동시에 받는 복합열화 조건에 놓이기 때문에 이에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

Conflicts of interest

None.

감사의 글

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

References

- 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].
- 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.
- Hwang, H.Z., Roh, T.H., Kim, J.I. (2008). Characteristics of strength and durability of hwangto–concrete according to its mixing condition, *KIEAE Journal*, **8(5)**, 55–60 [in Korean].
- Hwang, S.H., Yoon, Y.S., Kwon, S.J. (2019). Carbonation behavior of GGBFS concrete considering loading conditions and cold joint, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **31(4)**, 365–373 [in Korean].
- Kang, S.S., Lee, S.L., Hwang, H.Z., Cho, M.C. (2008). Hydration heat and shrinkage of concrete using hwangtoh binder, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **20(5)**, 549–555 [in Korean].
- Kim, S.B., Yi, N.H., Kim, H.Y., Phan, D.H., Kim, J.H. (2008). “Flexural behavior of reinforced concrete beams mixed with hwang-toh,” *Proceedings of the Korea Concrete Institute Conference*, Korea Concrete Institute, Seoul, Korea, 281–284 [in Korean].
- Kwon, S.J. (2017). Probability-based LCCO₂ evaluation for underground structure with repairing timings exposed to carbonation, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **5(3)**, 239–246 [in Korean].
- 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].
- Lee, N.K., Park, H.G., Hwang, H.Z. (2010). Shear and bond strength of activated hwangtoh concrete beam, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **22(5)**, 685–694 [in Korean].
- Metha, P.K., Monteiro, P.M. (2009). *Concrete–Structure, Properties, and Materials*, 2nd Edition, Prentice Hall, New–Jersey, 113–178.
- Oh, K.S., Moon, J.M., Park, K.T., Kwon, S.J. (2016). Evaluation of load capacity reduction in RC beam with corroded FRP hybrid bar and steel, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **20(2)**, 10–17 [In Korean].
- 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(2018)**, 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 Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, **23(6)**,

18–25 [in Korean].

Yoon, Y.S., Ryu, H.S., Lim, H.S., Koh, K.T., Kim, J.S., Kwon, S.J. (2018). Effect of grout conditions and tendon location on corrosion pattern in PS tendon in grout, *Construction and Building Materials*, **186(2018)**, 1005–1015.

활성 황토를 혼입한 모르타르 기반 경계석의 내구성능 평가

황토는 국내 토양의 약 15.0%를 차지하는 풍부한 자원이며, 고온소성 후 급랭하여 활성화시키면 포졸란 특성을 갖는 콘크리트 결합재로서 사용할 수 있다. 본 연구에서는 시중에서 판매되는 경계석 배합을 기반으로 하여 활성 황토 혼입 모르타르 경계석 시편을 제작하였다. 활성 황토의 혼입율은 10.0% 및 25.0%를 고려하였으며, 시험 항목으로는 압축 및 휨 강도 시험, 동결융해 저항 성능 평가, 촉진 탄산화 시험, 촉진 염화물 확산 시험을 설정하였다. 역학적 성능 평가 결과 OPC 배합에서 가장 높은 강도가 평가되었으며, 재령일의 증가에 따른 강도 증가가 적게 나타났는데 이는 3일간 증기 양생을 통해 대부분의 강도가 발휘되었기 때문으로 사료된다. 재령 28일에 해당하는 시편을 대상으로 동결융해 저항성능 평가 결과, 모든 배합에서 85.0% 이상의 강도 저하율을 나타내어 제시된 기준에 만족하였다. 촉진 탄산화 시험은 재령 28일 시편을 대상으로 수행되었으며 활성 황토 혼입 배합에서 OPC 배합 대비 다소 저하된 탄산화 저항성능을 나타내었다. 재령 28일 및 91일에 ASTM C 1202에 준하여 각 배합의 통과 전하량을 평가하였다. OPC 배합의 경우 “Low” 등급을, 활성 황토 혼입 배합의 경우 “Moderate” 등급을 나타내어 활성 황토 혼입 배합에서도 적절한 염해 저항성능을 나타내는 것으로 보인다.