

친환경 무기질 고화재를 사용한 무시멘트 황토모르타르의 특성

Properties of Cementless Loess Mortar Using Eco-Friendly Hardening Agent

정용욱¹ · 김성현² · 이동규^{3*}Yong-Wook Jung¹ · Sung-Hyun Kim² · Dong-Gyu Lee^{3*}

(Received December 14, 2015 / Revised December 22, 2015 / Accepted December 25, 2015)

This study examined the fluidity and strength properties, water resistance, durability, and freeze-thaw of cementless loess mortar using an eco-friendly hardening agent. The experimental result indicates that 28 days compressive and flexural strength of the loess mortar was increased regardless of the weathered granite soil and loess mixture ratio as the replacement ratio of the hardening agent increases. The strengths were significantly increased until 14 days regardless of the hardening agent, while the effect on the strengths increment was relatively low after 14 days. Thus, the strength development of loess mortar concrete was found to be faster than that of the normal concrete. In addition, when the hardening agent of 10% was used, the average flexural strength was 1.7MPa which is insufficient compared to the 28-day flexural strength of 4.5MPa for the paving concrete. However, the flexural strengths of the loess mortar concrete using the hardening agents of 20% and 30% were 4.0MPa and 5.3MPa, respectively. Thus, the hardening agent need to be at least 20% so that the loess mortar can be used for paving concrete. The experiment for water resistance shows that the repeated absorption and dry reduced mass regardless of the mixing ratio of the loess. The maximum length change also decreased with increasing the substitution rate loess mixture ratio and the hardening agent. The result of the freeze-thaw resistance test indicates that the relative dynamic modulus of elasticity at 300 cycle freeze-thaw with the hardening agents of 20% and 30% were 75% and 79%, relatively. Thus, the hardening agent of at least 20% is required to obtain the relative dynamic modulus of elasticity of 60% for the loess mortar.

키워드 : 친환경, 고화재, 무시멘트, 황토모르타르**Keywords** : Eco-friendly, Hardening agent, Cementless, Loess mortar

1. 서론

최근 들어 세계적으로 친환경산업, 즉 이산화탄소 배출을 줄이기 위하여 화석연료를 사용하지 않는 저탄소 녹색 산업이 각광을 받고 있으며, 정부의 '저탄소 녹색성장' 기조와 맞물려 건설재료분야에서도 환경부하 저감을 위한 친환경 건설재료인 황토에 대한 수요가 증가하고 있다(Kwon et al. 2013; Choi et al. 2000; Hwang et al. 2007).

종래 대표적 건설재료인 시멘트는 생산과정에서 다량의 가스배

출과 사용 후 폐기물 발생 등 많은 환경문제를 유발시키고 있어, 친환경 건설재료인 황토를 이용하여 시멘트 사용량을 줄이거나 대체하기 위한 연구개발이 활발히 이루어져, 그 연구 성과를 바탕으로 자전거도로, 보도 등 황토를 활용한 도로포장이 증가하고 있는 추세이다(Lee et al. 2010; Jung et al. 2010).

그러나 건설재료로서 황토는 Fig. 1과 같이 재료자체의 낮은 압축강도로 인한 표면 패임 현상과 높은 흡수력에 의한 건조수축 증가로 균열발생 등의 문제점이 있다(Yang et al. 2007). 이를 해결하기 위하여 황토에 시멘트를 치환하거나 고화재를 이용한 연구가

* Corresponding author E-mail: scarlet2002@naver.com

¹계명대학교 첨단건설재료실험센터 조교수 (Department of COMTEC, Keimyung University, Daegu, 42601, Korea)²계명대학교 토목공학과 석사과정 (Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu, 42601, Korea)³충청대학교 공학기술연구원 선임연구원 (Department of CRIET, Chungcheong University, Cheongju, 28171, Korea)



Fig. 1. Crack and pothole of loess road

수행되고 있으나, 여전히 시멘트 사용량 감소에 따른 압축강도와 동결융해에 의한 내구성능 저하, 흡수·건조의 반복에 따른 내수성 저하와 같은 문제점을 가지고 있다(Kang et al, 2008). 또한, 황토의 강도발현을 위하여 시멘트 사용량을 높이거나, 생석회 등 시멘트 계열 고화재의 사용으로 알칼리수 용출과 같은 2차 환경오염의 위험성이 제기되고 있다(Lee et al, 2014).

이에 본 연구에서는 시멘트 계열 고화재가 아닌 알루미늄규산염(aluminosilicate)과 폴리아크릴산나트륨(sodium polyacrylate) 혼합물 등의 주요 성분으로 구성된 친환경 황토용 무기질 고화재를 사용하여 고화재 사용량에 따른 황토모르타르의 특성을 검토하였다. 이를 위하여 소요의 강도와 내구성능을 만족시킬 수 있는 마사토와 황토의 혼합비율에 대한 고화재 치환율을 10, 20, 30%로 변화시켜 재령에 따른 압축 및 휨강도 특성을 검토하였다. 또한, 흡수·건조 반복에 따른 내수성 및 동결융해 등의 내구성능 평가를 실시하였다.

2. 사용재료

본 연구는 친환경 무기질 고화재를 사용하여 시멘트를 사용하지 않는 황토모르타르의 역학 및 내구 특성 등을 검토한 것으로 사용재료는 다음과 같다.

2.1 결합재

황토의 가장 큰 단점은 강도발현을 충족시키기 위하여 높은 에너지를 소비하는 소성과정을 통한 소성황토를 사용하거나, 시멘트 및 화학재료 등을 사용하여야 한다는 것이다(Heo et al, 2014). 본 연구에서는 시멘트의 사용 없이 황토모르타르를 제조하고자 하였

으며, 이를 위하여 Z사의 분홍빛 분말형태인 알루미늄규산염(aluminosilicate)과 폴리아크릴산나트륨(sodium polyacrylate) 혼합물을 주성분으로 하는 친환경 무기질 고화재를 사용하였다.

2.2 황토

사용 황토는 경남 하동에서 생산되는 D사의 제품으로 화학적 성질은 Table 1과 같다.

2.3 마사토

마사토는 A급 질마사로서 잔골재 표건시험에 준하여 표면건조 포화상태로 제조하였다. 표면건조포화 상태로 제조된 마사토의 흡수율은 2.70%이었으며, 시료 중 5mm체 통과분을 사용하였다. 마사토의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.4 잔골재

잔골재는 흡수율 1.65%인 경북 고령산 천연 강모래로 표면건조 포화상태의 골재를 사용하였다. 사용 잔골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 1. Chemical composition of loess

Types	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	Other
Content(%)	42.5	4.05	36.6	0.69	16.16

Table 2. Physical characteristics of weathered granite soil

Classification		Weathered granite soil
Water absorption ratio(%)		2.70
Mechanical analysis	Coefficient of curvature(Cc)	2.17
	Coefficient of uniformity(Cu)	30.11
Density(g/cm ³)		2.65
Liquid limit		21.25
Compaction test	Optimum water content(%)	8.10
	Maximum dry density(g/cm ³)	2.04

Table 3. Physical characteristics of fine aggregate

Classification		Fine aggregate
Density(g/cm ³)		2.56
Water absorption ratio(%)		1.65
Fineness modulus(F.M.)		2.54
Stability(%)		3.4
Weight of unit volume(kg/m ³)		1,554

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구는 친환경 황토 고화재를 사용한 황토모르타르의 특성을 검토하기 위한 것으로 배합조건은 마사토:황토의 비율을 9:1, 8:2, 7:3으로 변화시킨 것과 잔골재 100%인 4종류에 고화재를 분체량에 10, 20, 30%로 치환사용 하였다. 또한 마사토와 황토비율 8:2시리즈의 경우 고화재 20%에서 황토사용률에 따른 내수성시험과 고화재 사용량에 따른 동결융해 시험을 실시하였다.

배합 조건별 황토모르타르의 흐름값, 압축강도 및 휨강도, 내수성, 동결융해 저항성 등의 제 특성을 검토하였다. 물-결합재비(W/B)를 결정하기 위하여 모르타르 플로 시험을 실시하였으며, 시험 결과 마사토와 황토 혼합의 경우와 잔골재 100%에 결합재를 10% 첨가하였을 경우에는 물-결합재비(W/B) 19%에서 플로 기준 범위 105±5%를 만족하였다. 그러나 잔골재 100%에 결합재 20%, 30% 첨가하였을 경우에는 플로 값이 기준범위를 초과해 물-결합재비(W/B)를 17%, 15%로 배합하였다. 실험계획을 바탕으로 한 황토모르타르의 배합표를 Table 4에 나타내었다.

3.2 실험방법

3.2.1 시험체의 제작 및 양생

황토모르타르 시험체의 제작은 KS L 5105에 준하여 전동 모르

타르 므서를 사용하였다. 전동 모르타르 므서기로 혼합된 시료는 흐름시험을 실시한 후, 각 배치마다 50×50×50mm 압축강도용, 40×40×160mm 휨강도용 및 내수성시험용, 76×101×412mm의 동결융해시험용 시험체를 제작하였으며, 양생은 거푸집 탈형시기 이전까지 비닐로 덮어 수분의 증발을 방지 시켰으며, 거푸집 탈형 후 기중양생을 실시하였다.

3.2.2 흐름시험

황토 모르타르의 반죽질기(consistency)를 결정하기 위하여 KS L 5105에 준하여 흐름시험을 실시하였다.

3.2.3 압축강도

압축강도의 측정은 KS L 5105에 준하여 시험기가 나타낸 최대 하중을 공시체 단면적으로 나누어 계산하였다.

3.2.4 휨강도

휨 강도의 측정은 KS L ISO 679에 준하여 실시하였으며, 휨강도용 시험체를 파괴에 이를 때까지 50±10N/s의 비율로 재하 한 후 파괴시의 하중(F_f)과 경간(l) 및 절개면의 변의 길이(b)를 이용하여 식 (1)로 휨강도 $R_f(N/mm^2)$ 를 계산하였다.

$$R_f = \frac{1.5F_f l}{b^3} \quad (1)$$

Table 4. Table of mix proportion

Series		Mixing volume(g)				Remark
		Granite soil	Loess	Hardening agent	Water	
G90L10	A10	8,100	900	900	1,881	W/B=19%
	A20-WR	8,100	900	1,800	2,052	
	A30	8,100	900	2,700	2,223	
G80L20	A10-FT	7,200	1,800	900	1,881	
	A20-WR-FT ¹⁾	7,200	1,800	1,800	2,052	
	A30-FT	7,200	1,800	2,700	2,223	
G70L30	A10	6,300	2,700	900	1,881	
	A20-WR-FT	6,300	2,700	1,800	2,052	
	A30	6,300	2,700	2,700	2,223	
S100	A10	9,000		900	1,881	
	A20-WR	9,000		1,800	1,836	
	A30	9,000		2,700	1,755	

주 1) G80 L20 A20 WR FT

3.2.5 내수성 시험

본 연구에서는 황토 모르타르의 내수성을 평가하기 위하여 KS F 2606에 준하여 흡수·건조의 반복에 의한 내수성 시험을 실시하였다. 평가항목으로는 반복흡수별 질량 변화, 길이 변화, 힘 강도 변화를 측정하였다.

시험 방법은 제조된 공시체를 20±2℃의 물 속에 항량이 될 때까지 담근 후, 꺼내어 젖은 천으로 표면에 부착한 물을 닦고 질량과 길이를 측정하였다. 측정이 종료된 공시체는 온도 60±2℃인 건조기에 넣고 항량이 될 때까지 건조한 후 실온이 될 때까지 냉각하여 질량과 길이변화를 측정하였다. 항량 흡수, 항량 건조를 1회수로 하여 10회까지 반복하여 황토모르타르의 내수성을 측정하였다. 질량 변화율(%)과 길이 변화율(%)은 식 (2)와 (3)으로 계산하여 큰 값을 채택하였다.

$$\frac{M_1 - M_x'}{M_0} \times 100 \quad \text{또는} \quad \frac{M_x - M_0}{M_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서,

M_0 : 시험 전의 시험편 질량(g)

M_1 : 1회째 항량 흡수시 시험편 질량(g)

M_x : 정해진 횟수(x)째 항량 흡수시 시험편 질량(g)

M_x' : 정해진 횟수(x)째 항량 건조시 시험편 질량(g)

$$\frac{L_1 - L_x'}{L_0} \times 100 \quad \text{또는} \quad \frac{L_x - L_0}{L_0} \times 100 \quad (3)$$

여기서,

L_0 : 시험 전의 시험편 길이(mm)

L_1 : 1회째 항량 흡수시 시험편 길이(mm)

L_x : 정해진 횟수(x)째 항량 흡수시 시험편 길이(mm)

L_x' : 정해진 횟수(x)째 항량 건조시 시험편 길이(mm)

3.2.6 동결융해 저항성 시험

동결융해의 급속 반복 사이클에 대한 황토 모르타르 공시체의 저항성을 구하기 위하여 KS F 2456에 준하여 동결융해 저항성 시험(방법 B)을 실시하였다. 상대동탄성계수와 내구성 지수 값은 식 (4)와 (5)를 이용하여 계산하였다.

$$P_c = \left(\frac{n_c^2}{n_o^2} \right) \times 100 \quad (4)$$

여기서,

P_c : 동결융해 C사이클 후의 상대 동 탄성 계수(%)

n_o : 동결융해 0사이클에서의 변형 진동의 1차 공명 진동수(Hz)

n_c : 동결융해 C사이클 후의 변형 진동의 1차 공명 진동수(Hz)

$$DF = \frac{PN}{M} \quad (5)$$

여기서,

DF : 시험용 공시체의 내구성 지수

P : N사이클에서의 상대 동 탄성 계수(%)

N : 상대 동 탄성 계수가 60%가 되는 사이클 수 또는 동결융해 노출이 끝나게 되는 순간의 사이클 수

M : 동결융해에의 노출이 끝날 때의 사이클 수

4. 실험결과 및 고찰

4.1 유동특성

Fig. 2는 마사토와 황토 혼합 및 전량 모래 사용시 고화재 치환율별 유동특성을 나타낸 것으로 황토 치환율과 고화재 치환율이 증가할수록 흐름 값이 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 목표 흐름 값 기준인 105±5%를 모두 만족하고 있는 것을 알 수 있다. Fig. 3은 고화재 치환율별 마사토와 황토의 비율 및 전량 모래사용시 황토 모르타르의 유동특성을 나타낸 것으로 고화재 치환율의 증가는 흐름값 기준인 105±5%범위 내에서 약 2%씩 증가시키는 것으로 나타났다.

4.2 압축강도 특성

친환경 고화재의 압축강도 특성을 평가하기 위하여 마사토와

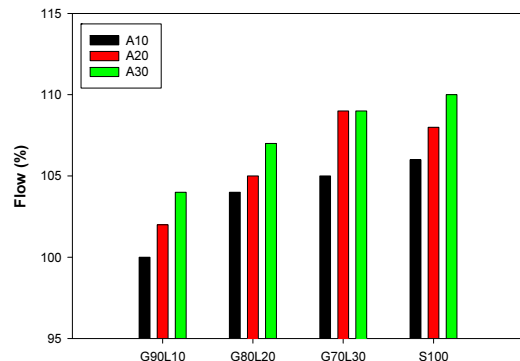


Fig. 2. The flow according to proportion of weathered granite soil and loess

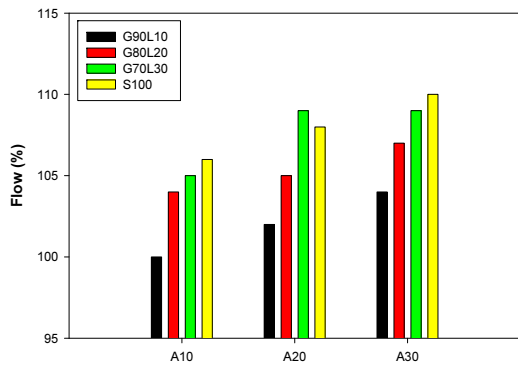


Fig. 3. The flow according to hardening agent amount

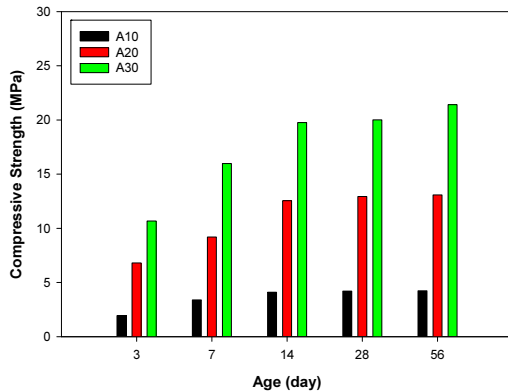
황토의 혼합비율과 전량 모래사용시 고화제 치환율을 10, 20, 30%로 변화시켜 재령 3일, 7일, 14일, 28일, 56일 압축강도를 측정하였다. Fig. 4에 마사토와 황토 비율과 전량 모래 사용에서 고화제 치환율을 10, 20, 30% 변화시켰을 때의 재령별 압축강도 특성을 나타내었다.

Fig. 4에서 마사토와 황토비율에 따른 황토모르타르의 압축강

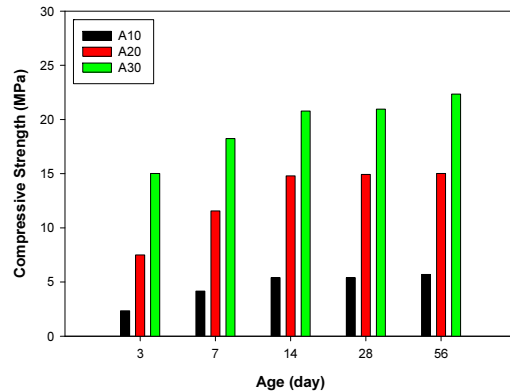
도는 큰 차이를 나타내지 않았으며, 황토모르타르의 재령 28일 압축강도는 마사토와 황토비율에 관계없이 고화제 치환율 10%에서 약 5MPa로 나타났으며, 고화제 첨가량 10% 증가시마다 압축강도를 약 8~10MPa씩 증가시키는 것으로 나타났다. 또한 재령별 압축강도는 고화제 치환율에 관계없이 재령 14일까지는 강도가 증가하였으나, 재령 14일, 28일, 56일에서는 고화제 치환율에 관계없이 비슷한 압축강도를 나타내어 재령 14일 이후 강도증진 효과는 커지 않는 것으로 나타났다.

반면, Fig. 4(d) 전량 모래사용의 경우 재령 28일 압축강도는 고화제 치환율 10%에서 1.7MPa, 20%에서 12.2MPa, 30%에서 24.5MPa로 나타나 고화제 첨가량 10% 증가시마다 약 11.4MPa의 압축강도를 증가시키는 것으로 나타나 황토사용시의 약 8MPa의 강도증진에 비해 약 3MPa정도 높은 강도증진율을 나타내었다. 또한 고화제 20%까지는 재령 7일 이후 강도증진율이 거의 없었으나, 고화제 30%에서는 재령 7일 이후에도 재령 56일까지 약 10%정도의 강도증진 효과를 나타내었다.

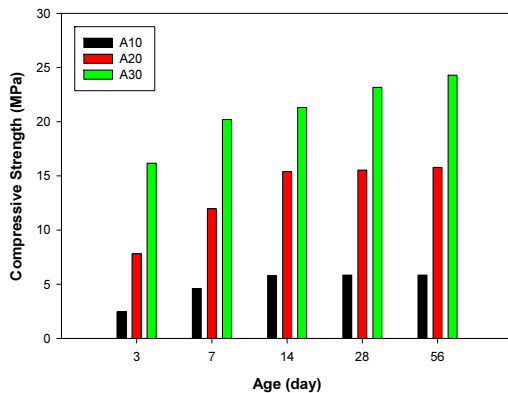
Fig. 5는 고화제 20% 사용시 마사토와 황토비율에 따른 재령별



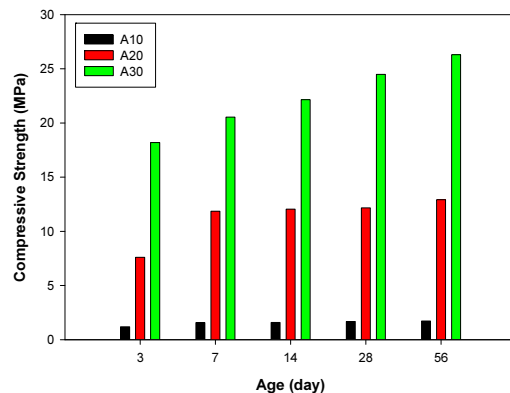
(a) G90L10



(b) G80L20



(c) G70L30



(d) S100

Fig. 4. The compressive strength according to hardening agent amount

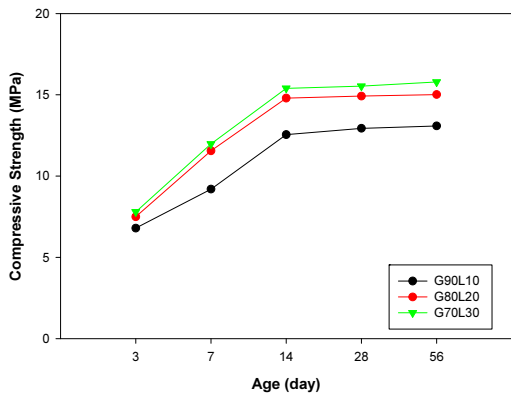


Fig. 5. The compressive strength according to proportion of weathered granite soil and loess

압축강도 특성을 나타낸 것으로 고화재 20%에서도 재령 3일에서 14일까지 압축강도의 증가량은 평균 6.9MPa로 급격히 증가하는 경향을 나타내었지만, 재령 14일부터 56일까지의 압축강도 증가량은 평균 0.4MPa로 강도 증진효과는 없는 것으로 나타났다. 또한

황토사용량에 따른 재령 28일 압축강도는 마사토와 황토비율 9:1의 경우 12.9MPa로 나타났으며, 마사토와 황토비율 8:2에서는 14.9MPa로 황토사용량이 10% 증가시 압축강도는 약 15% 증가된 반면 마사토와 황토비율 7:3에서는 15.4MPa로 마사토와 황토비율 8:2에 비해 압축강도 증가율은 3%로 낮게 나타나 압축강도 및 경제성을 고려한 황토의 최적사용량은 마사토의 20%가 좋을 것으로 판단된다.

4.3 휨강도 특성

Fig. 6에 마사토와 황토 비율 및 전량 모래 사용시 고화재 치환율을 10, 20, 30% 변화시켰을 때의 재령별 휨강도 특성을 나타내었다.

Fig. 6에서 마사토와 황토비율에 따른 황토모르타르의 휨강도는 큰 차이를 나타내지 않았으며, 황토모르타르의 재령 28일 휨강도는 마사토와 황토비율에 관계없이 고화재 치환율 10%에서 약 1.5MPa로 나타났으며, 고화재 첨가량 10% 증가시마다 휨강도를 약 2MPa씩 증가시키는 것으로 나타났다.

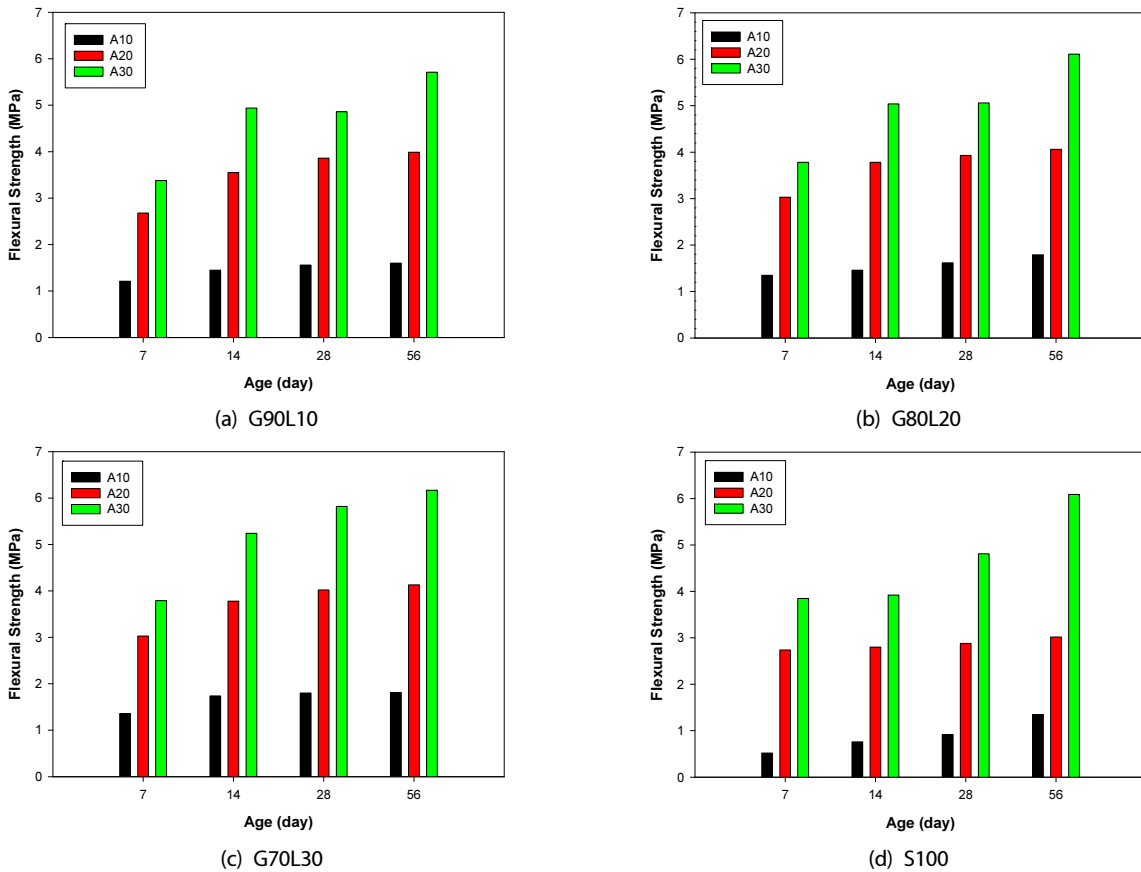


Fig. 6. The flexural strength according to hardening agent amount

현재 자전거도로에 대한 배합기준과 휨강도 기준은 정해져 있지 않은 상태이나, 포장용 콘크리트의 설계기준 휨강도는 재령 28일에서 4.5MPa 이상이다(Choi et al, 2012). Fig. 6에서 고화재 10%사용시 재령 28일 휨강도는 1.62MPa로 포장용 콘크리트 설계기준 휨강도의 4.5MPa에 많이 부족하였으나, 고화재 20% 사용시 약 4MPa, 고화재 30% 사용시 5.06MPa로 거의 근접하거나 높게 나타났다. 이와 같이 황토 자전거도로에 고화재 적용시 고화재 사용량은 최소 20% 이상은 되어야 할 것으로 판단된다. 반면, Fig. 6(d)의 전량 모래사용의 경우 재령 28일 휨강도는 고화재 치환율 10%에서 0.9MPa, 20%에서 2.9MPa, 30%에서 4.8MPa로 나타나 고화재 첨가량 10% 증가시마다 약 2.0MPa의 휨강도를 증가시키는 것으로 나타났다.

4.4 황토모르타르의 내수성

본 연구에서는 고화재를 사용한 황토 모르타르의 흡수·건조반복에 의한 내구 특성을 평가하기 위하여 KS F 2606 「건축용

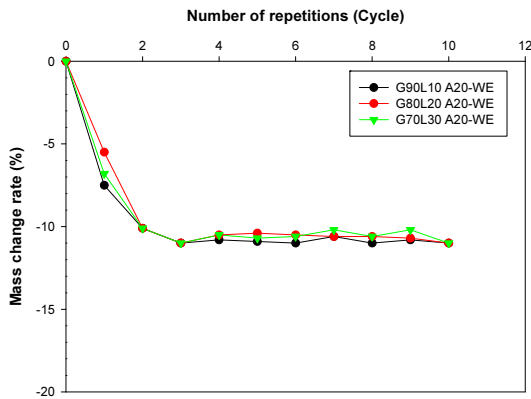


Fig. 7. Mass rate according to the number of repetitions

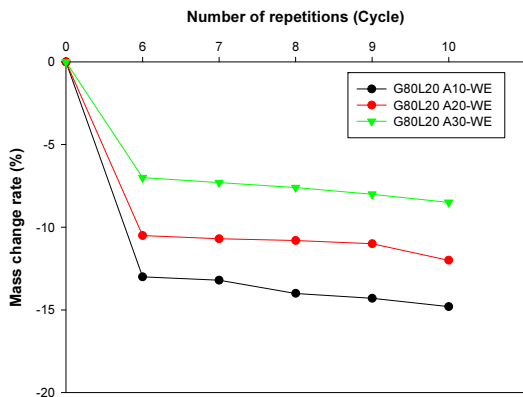


Fig. 8. Mass rate according to the number of repetitions(after 14 days air curing)

외벽 보드류의 내수성 시험방법」에 준하여 내수성 시험을 실시하였다. 황토 모르타르의 마사토와 황토의 혼합비율 및 고화재의 치환율을 변화시켜 흡수·건조 반복조건에 따른 질량변화와 길이변화 및 휨강도를 측정하였다. Fig. 7은 황토 고화재 사용률 20%에서 마사토와 황토비율에 따른 흡수·건조 반복횟수에 따른 질량변화율을 나타낸 것으로 마사토와 황토의 혼합비율에 관계없이 흡수·건조가 반복됨에 따라 질량이 감소하는 것을 나타내고 있다. 반복 횟수 2 사이클까지는 질량이 평균 10%로 급격히 감소하였으나 이후 반복횟수 10 사이클까지의 질량변화율은 약 0.8% 감소하는 것으로 나타났으며, 내수성 10 사이클 반복시험결과 마사토와 황토 혼합비율이 흡수·건조에 따른 질량변화율의 영향은 없는 것으로 나타났다.

Fig. 8에 마사토와 황토의 혼합비율 8:2 시험체를 14일 기중양생기간을 거쳐 일정 강도 발현 후 고화재 치환율 변화에 따른 내수성 실험 후의 질량변화율을 나타내었다.

Fig. 8에서 반복횟수 5 사이클까지 기중양생을 시킨 다음 6 사이클(재령 14일)부터 흡수·건조 조건을 반복하였을 때의 질량변화율은 고화재 치환율 10%에서 13.76%로 가장 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 20%에서 10.82%, 30%에서 7.46%로 고화재 치환율 10% 증가시마다 질량변화율은 약 3%씩 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 일정 강도 발현 후내수성 실험을 실시한 것으로 황토 모르타르의 결합재 역할을 하는 고화재의 혼입율이 높을수록 강도 발현이 높고, 공시체의 내부가 밀실하게 되므로 수분의 침투에 따른 질량변화가 적게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 9에 황토 고화재 20% 사용시 마사토와 황토 혼합비율 9:1, 8:2, 7:3에서 흡수·건조를 반복시켰을 때의 내수성 실험 후 황토모르타르의 최대길이변화율을 나타내었다.

Fig. 9에서 내수성 실험 후 황토모르타르의 최대길이변화율은

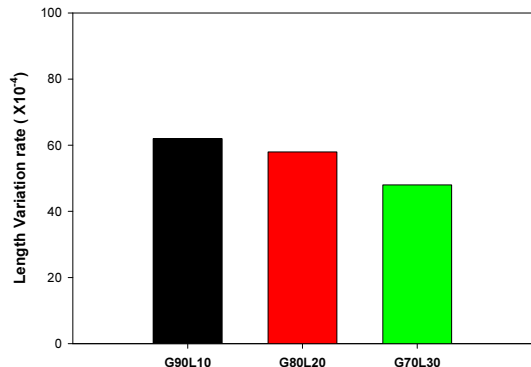


Fig. 9. The length variation according to proportion of weathered granite soil and loess

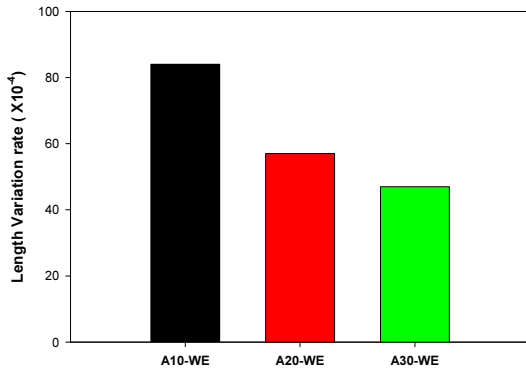


Fig. 10. The length variation rate according to hardening agent amount

마사토와 황토 혼합비율 9:1에서 60.99×10^{-4} 로 나타났으며, 8:2에서 57.64×10^{-4} , 혼합비율 7:3에서 47.54×10^{-4} 로 나타나 황토 혼합비율이 증가시마다 최대길이변화율은 감소하는 것으로 나타났다.

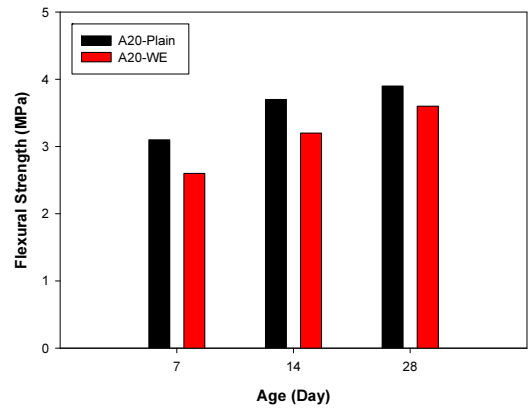
Fig. 10은 마사토와 황토 혼합비율 8:2에서 고화재 치환율에 따른 내수성 실험 후 황토모르타르의 최대길이변화율을 나타낸 것으로 최대 길이변화율은 고화재 10%에서 84.20×10^{-4} , 고화재 20%에서 57.64×10^{-4} , 고화재 30%에서 48.44×10^{-4} 로 나타나 고화재 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 질량 변화율과 마찬가지로 최대길이변화율도 황토 모르타르의 결합재 역할을 하는 고화재의 혼입율이 증가함에 따라 공시체의 내부가 밀실하게 되므로 수분의 침투에 따른 길이변화가 적게 나타난 것으로 판단할 수 있다.

Fig. 11에 마사토와 황토 혼합비율별 흡수·건조 조건을 반복시켰을 때 재령에 따른 힘 강도를 기중 건조시의 힘 강도 측정값과 비교하여 나타내었다.

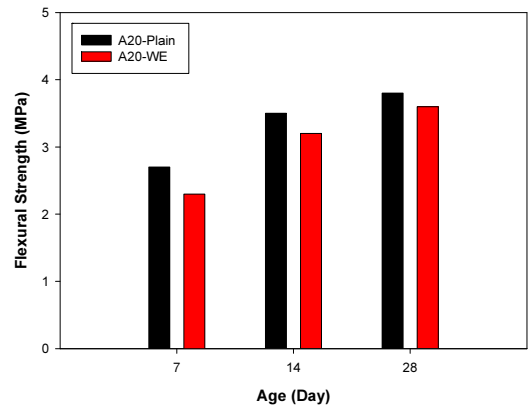
Fig. 11에서 황토 모르타르가 반복적으로 흡수·건조의 조건을 받게 되면 힘 강도는 마사토와 황토의 혼합비율에 관계없이 평균 0.4MPa 감소하는 것으로 나타났고, 재령 7일과 14일에서 평균 0.5MPa, 재령 28일에서 평균 0.2MPa 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 초기재령에서 황토 모르타르의 흡수·건조의 반복은 결합재 역할을 하는 고화재의 강도발현을 저하시키므로 흡수·건조의 반복 영향이 비교적 높게 나타난 것으로 소요의 강도 발현시점까지 흡수·건조의 반복을 받지 않도록 충분한 양생관리가 필요할 것으로 판단된다.

4.5 동결융해 저항성

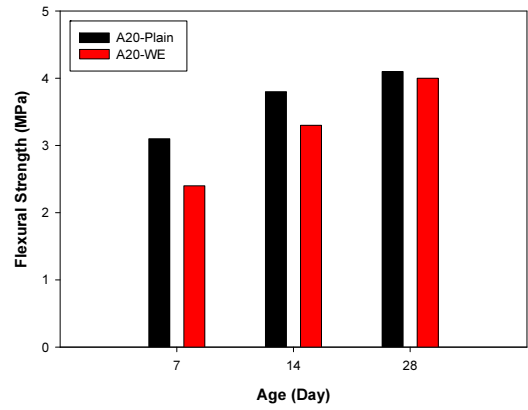
일반적으로 황토모르타르의 적용 현장은 대부분이 외기에 노출



(a) G90L10



(b) G80L20



(c) G70L30

Fig. 11. The flexural strength according to proportion of weathered granite soil and loess

된 환경으로 겨울철 수분침투 시 동결과 융해의 반복 작용으로 균열, 박리 및 표면 패임 현상 등이 많이 발생하게 되며, 이것은 황토 모르타르의 내구성능 저하의 주요 원인이 된다(Lee et al. 2013). 본 연구에서는 황토모르타르의 동결융해 저항성능을 검토하기 위하여 마사토와 황토 혼합비율 8:2에서 고화재 치환율 10%, 20%,

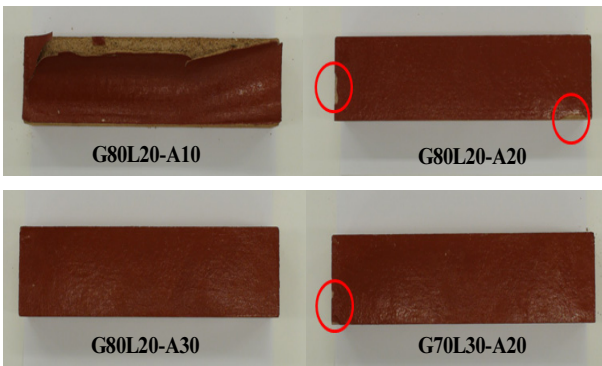


Fig. 12. The views of specimens after freezing and thawing

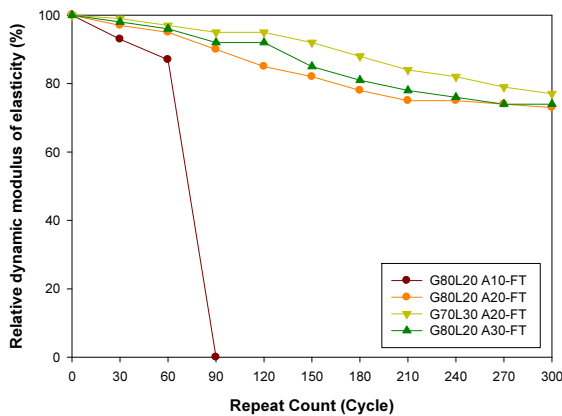


Fig. 13. The relative dynamic elastic modulus according to the repeated freezing and thawing

30%와 마사토와 황토비율 7:3에서 고화재 치환율 20%에서 동결융해 저항성 시험을 실시하였다. 시험은 반복횟수 30 사이클마다 변형 진동의 1차 공명 진동수를 측정하여 상대 동탄성 계수를 구하였으며, 외관 결함에 대해서 관측하였다.

Fig. 12는 동결융해 저항성 시험 공시체의 반복횟수에 따른 외관 결함 관측전경을 나타낸 것으로 마사토와 황토 혼합비율 8:2에서 고화재 10%를 치환한 공시체의 경우 반복횟수 90 사이클에서 표면 도색의 들뜸 현상과 조직 이완이 심각하여 시험을 종료하였다. 또한 마사토와 황토비율 8:2에서 고화재 치환율 20%와 마사토와 황토비율 7:3에서 고화재 치환율 20%는 반복횟수 300 사이클 종료 후 공시체의 모서리 부분에서 도색의 일부 들뜸 현상과 탈락 현상이 발견되었다. 반면 마사토와 황토비율 8:2에서 고화재 30% 사용 공시체는 동결융해 300 사이클 이후에도 균열이나 들뜸 현상 등의 외관 변화가 일어나지 않았다.

Fig. 13은 동결융해 저항성 시험 공시체의 동결융해 사이클에 따른 상대동탄성계수를 나타낸 것으로 마사토와 황토비율 8:2에

서 고화재 치환율 10%의 경우 동결융해 반복횟수 60 사이클에서 87%로 나타났으나, 90 사이클에서 공시체의 손상이 심각하여 측정을 종료하였다. 반면 고화재 치환율 20%에서는 동결융해 300 사이클에서도 상대동탄성계수가 75%로 나타났으며, 고화재 치환율 30%에서는 동결융해 300 사이클에서 상대동탄성계수가 79%로 나타났다. 이와 같이 황토모르타르의 상대동탄성계수 60% 이상을 만족시키기 위한 고화재 사용량은 20% 이상이 필요할 것으로 판단된다. 또한 마사토와 황토비율 7:3에서 고화재 치환율 20%의 경우에도 동결융해 300 사이클 상대동탄성계수가 76%로 나타났다.

5. 결론

본 연구는 친환경 황토용 무기질 고화재를 사용하여 황토모르타르의 특성을 검토한 것으로 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 황토모르타르의 재령 28일 압축 및 휨강도는 마사토와 황토 혼합비율에 관계없이 고화재 치환율이 증가할수록 증가하였고, 고화재 치환율에 관계없이 재령 14일까지의 강도증진효과는 크게 나타났으나 재령 14일 이후 강도증진 효과는 상대적으로 낮아 황토모르타르의 강도발현은 일반 콘크리트의 강도발현보다 빠른 것으로 나타났다.
2. 황토사용량에 따른 재령 28일 압축강도는 마사토와 황토비율 9:1의 경우 12.9MPa로 나타났으며, 마사토와 황토비율 8:2에서는 14.9MPa로 황토사용량이 10% 증가시 압축강도는 약 15% 증가된 반면 마사토와 황토비율 7:3에서는 15.4MPa로 마사토와 황토비율 8:2에 비해 압축강도 증가율은 3%로 낮게 나타나 압축강도 및 경제성을 고려한 황토의 최적사용량은 마사토의 20%가 좋을 것으로 판단된다.
3. 마사토와 황토 비율 8:2에서 고화재 치환율별 휨강도는 고화재 첨가량 10% 증가시마다 약 1.7MPa의 휨 강도를 증가시키는 것으로 나타났으며, 재령 56일 휨강도는 고화재 치환율 10%에서 1.8MPa, 20%에서 4.1MPa, 30%에서 6.1MPa로 나타났다.
4. 황토모르타르의 내수성 실험결과 마사토와 황토의 혼합비율에 관계없이 흡수·건조가 반복됨에 따라 질량이 감소하는 것을 나타냈으며, 반복횟수 2 사이클까지는 질량이 평균 10%로 급격히 감소하였으나 이후 반복횟수 10 사이클까지의 질량변화율은 약 0.8% 감소하는 것으로 나타났다.
5. 황토모르타르의 내수성 실험결과 재령 14일까지 기중양생을 시킨 다음 흡수·건조 조건을 반복하였을 때의 질량변화율은 고화

재 치환율 10%에서 13.76%로 가장 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 20%에서 10.82%, 30%에서 7.46%로 고화재 치환율 10% 증가시마다 질량변화율은 약 3%씩 감소하는 것으로 나타났다.

6. 내수성 실험결과 최대 길이변화율은 고화재 10%에서 84.20×10^{-4} , 고화재 20%에서 57.64×10^{-4} , 고화재 30%에서 48.44×10^{-4} 으로 나타나 고화재 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 이는 결합재 역할을 하는 고화재와 황토의 혼입율이 증가할수록 강도발현이 높고, 공시체의 내부가 밀실하게 되어 수분의 침투가 적은 것에 기인된 것으로 판단된다.
7. 마사토와 황토비율 8:2에서 고화재 치환율 10%의 경우 동결융해 반복횟수 60 사이클에서 87%로 나타났으나, 90 사이클에서 공시체의 손상이 심각하여 측정을 종료하였다. 반면 고화재 치환율 20%에서는 동결융해 300 사이클에서도 상대동탄성계수가 75%로 나타났으며, 고화재 치환율 30%에서는 79%로 나타났다.

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, W.H., Park, C.W., Jung, W.K., Kim, K.H. (2012). Fundamental properties of limestone powder added cement environment-friendly concrete for concrete pavement, *International Journal of Highway Engineering*, **14(4)**, 37–49 [in Korean].
- Heo, J.O., Lee, J.G., Hyung, W.G. (2014). Properties of non-sintered hwangtoh mortar using eco-friendly inorganic binding material, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **26(4)**, 499–506 [in Korean].
- Hwang, H.Z., Roh, T.H., Yang, J.H. (2007). A study on the proper mixing design of concrete with hwangtoh binder, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, **23(6)**, 73–80 [in Korean].
- Jung, Y.W., Lee, S.H., Jang, S.S., Yeo, I.D., Choi, J.O. (2010). Strength properties of loess mortar using eco-friendly loess binder, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **22(1)**, 287–288 [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].
- Kwon, Y.H., Kwon, Y.H., Lee, D.G. (2013). A study on the quality properties of alkali-activated cement free mortar using industrial by-products, *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, **1(1)**, 58–66 [in Korean].
- Lee, B.K., Kim, G.Y., Kim, R.H., Yoon, M.H., Lee, Y.W. (2014). Evaluation of properties on dry shrinkage of floor dry-mortar with alpha-hemihydrate gypsum, *Journal of the Architectural Institute*, **34(2)**, 663–664 [in Korean].
- Lee, S.H., Jung, Y.W., Jang, S.S., Yeo, I.D., Choi, J.O. (2010). Strength properties of loess mortar using eco-friendly loess binder, *Journal of the Korea Concrete Institute*, **22(1)**, 285–286 [in Korean].
- Lee, T.G., Lee, J.Y., Song, M.J., Kim, S.W. (2013). The comparison of thermal characteristics of new Han-ok floor heating for applying modern On-dol system, *KIEAE Journal*, **13(3)**, 61–69 [in Korean].
- Yang, K.H., Hwang, H.Z., Kim, S.Y., Song, J.K. (2007). Development of a cementless mortar using hwangtoh binder, *Building and Environment*, **42(10)**, 3717–3725 [in Korean].

친환경 무기질 고화재를 사용한 무시멘트 황토모르타르의 특성

본 연구에서는 친환경 무기질 고화재를 사용하여 무시멘트 황토모르타르의 유동성과 강도특성 및 내수성과 동결융해 등의 내구 특성을 검토하였다. 실험결과 황토모르타르의 재령 28일 압축 및 휨강도는 마사토와 황토 혼합비율에 관계없이 고화재 치환율이 증가할수록 증가하였고, 고화재 치환율에 관계없이 재령 14일까지의 강도증진효과는 크게 나타났으나 재령 14일 이후 강도증진 효과는 상대적으로 낮아 황토모르타르의 강도발현은 일반 콘크리트의 강도발현보다 빠른 것으로 나타났다. 또한, 고화재 10% 사용 시 평균 휨강도는 1.7MPa로 포장용 콘크리트의 재령 28일 휨강도 4.5MPa 이상을 만족시키지 못하였으나, 고화재 20%에서 약 4.0MPa, 고화재 30%에서 5.3MPa로 근접하거나 높게 나타나, 황토모르타르를 포장용 도로에 적용시 고화재 사용량은 최소 20% 이상 되어야 할 것으로 판단된다. 내수성 실험결과 흡수·건조의 반복은 황토의 혼합비율에 관계없이 질량을 감소시켰으며, 최대길이변화율은 황토 혼합비율과 고화재 치환율이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 동결융해 저항성 실험결과 동결융해 300 사이클에서 상대동탄성계수는 고화재 20%에서 75%, 고화재 30%에서 79%로 나타나, 황토모르타르의 상대동탄성계수 60% 이상을 만족시키기 위한 고화재 사용량은 20% 이상이 필요한 것으로 나타났다.