

천연 결합재를 사용한 황토경화체의 물성에 대한 연구

Physical Properties of the Hardened Loess Using Natural Binding Materials

김진석¹⁾ 오영훈^{2)*}
Kim, Jin Seok Oh, Young Hun

Abstract

In this study, hardened loess bodies, which did not compose of cement or any chemical binder, were made and tested to evaluate the physical properties such as slump, air content, and compressive strength. Addition of a natural binding material to mixture of loess and lime showed better performance in physical properties. However a lime among natural binding materials is considered as a superior binder to improve the properties of the hardened bodies. According to the experimental results, mixing proportion with 45% of W/B ratio, 285kg/m³ of water content, and 60% lime substitution ratio was recommended to acquire the good performance of physical properties for the hardened loess bodies.

Keywords : Loess, Lime, Natural binder, Hardened body, Physical property

1. 서론

1.1 연구의 목적

포틀랜드시멘트가 처음 발명된 후 건축분야의 기하학적 발전의 원동력이 된 시멘트 콘크리트는 결합재와 모래, 자갈 등의 골재를 물과 혼합하여 만드는 것으로서 결합재로는 대부분 시멘트를 사용하였다. 시멘트콘크리트는 현대 건축에 큰 발전을 이루어 놓은 건축재료이긴 하지만 생산과정에서 많은 에너지가 필요하고 자연으로 다시금 돌아가는 순환 능력이 없어 문제점으로 지적되어 Cement zero concrete, Cement free concrete 등의 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편 흙은 아주 오래전부터 우리의 건축 활동에서 일반적으로 사용되어온 친환경 건축재료이다. 하지만 강도와 내구성이 약하여 과거 건축물에서 흙의 사용은 저층 주거 구조물에 국한되어 사용되었다. 최근에는 흙 중에서도 황토의 친환경적인 장점을 살리고 강도와 내구성을 보완하여 현대적 건축재료로서 이용하려는 시도가 있으며 일부 건축현장에 적용되기도 하였다. 또한 마감재 뿐만 아니라 구조재로 적용하기 위한 연구가 계속적으로 진행되어지

고 있다. 흙의 한 종류인 황토를 분말화하고 여기에 석회 등의 무기질 물질을 첨가하여 황토의 포졸란 반응을 유도함으로써 강한 반응성을 일으키는 황토결합재를 개발한 것이 대표적인 예이다. 이는 기존의 결합재인 시멘트처럼 소성하지 않았으며, 합성수지 접착제 등을 첨가하지 않은 재료로써 압축강도는 기존의 시멘트를 대체할 수 있을 정도의 결합력을 나타낸다.

본 연구에서는 황토를 건축 구조재 또는 마감재로서 사용하기 위하여 시멘트나 유기계 접착제를 첨가하지 않고 황토결합재를 사용한 황토경화체를 제작하고, 다양한 배합조건에 따른 강도와 물성을 평가하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

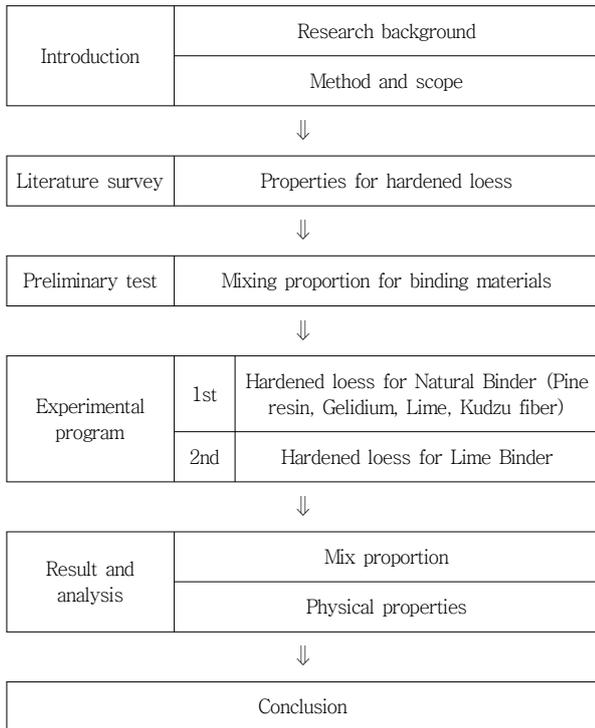
황토결합재를 사용한 황토경화체는 기존의 황토콘크리트의 배합조건에 따른 물성변화를 참고하여 1차 실험을 실시한 후 황토경화체를 만들기 위한 적정 배합비를 도출하였다. 전체적인 연구의 방법과 절차는 Table 1에 나타난 바와 같이 예비시험을 통하여 단위수량과 단위결합재의 적정성을 검토하고, 1차 실험과 2차 실험을 수행하면서 다양한 배합조건에 대한 황토경화체의 물성과 강도성

1) 학생회원, 서울과학기술대학교 대학원 석사과정
2) 정회원, 건양대학교 의료건축디자인공학과 부교수, 교신저자

* Corresponding author : youngoh@konyang.ac.kr 041-730-5615

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 8월 31일까지 학회보 보내주시면 2012년 9월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Flow Chart of Research Program



상을 분석하였다.

2. 기존연구의 고찰

2.1 시멘트 무첨가 황토결합재의 연구

시멘트의 대안으로서 제안된 황토결합재의 물리적, 화학적 성능을 시멘트와 비교분석하여 황토 결합재의 콘크리트 적용에 있어서 그 가능성을 검토하는 것을 목적으로 하며, 시멘트와의 물리·화학적 특성을 비교 분석한 다음 W/B, 단위결합재량, 혼화제 첨가량에 따른 콘크리트의 물리적 특성을 측정하고 황토결합재의 사용가능성을 검토하였다. 연구결과의 주요사항은 다음과 같다.

- 1) 황토결합재와 시멘트를 비교분석한 결과 황토결합재의 입자가 시멘트에 비해 작으며 비중이 낮고 분말도는 높게 나타났다. 화학성분은 CaO의 함량이 25% 이상 낮으며 Al₂O₃ SiO₂의 함량은 약 10% 정도 많이 함유하고 있다.
- 2) 황토콘크리트의 슬럼프는 단위수량, 혼화제 첨가량, 단위결합재량이 증가함에 따라 슬럼프가 증가하는 경향을 보였으며, 공기량은 2.2% 이하로 대부분 일반 시멘트 콘크리트에 비해 낮은 결과를 나타냈다.

Table 2 Compressive Strength

Specimen	Compressive strength(MPa)			f _c / f _{c(28 day)} (%)	
	3 day	7 day	28 day	3 day	7 day
W/B-45%	15.7	19.3	23.5	67	82
W/B-50%	14.3	18.4	22.2	64	83
W/B-55%	13.0	16.7	20.7	63	80
W/B-60%	11.4	15.2	18.9	60	81
W/B-65%	9.9	13.9	16.4	61	85
A-0%	13.9	16.1	20.3	68	79
A-0.5%	13.5	16.9	20.1	68	84
A-1.0%	14.4	18.0	21.0	68	86
A-1.5%	14.2	18.1	21.6	66	84
A-2.0%	15.3	20.0	23.4	67	85
A-2.5%	12.8	15.6	20.5	60	76
HB-200	9.7	11.0	13.9	70	79
HB-300	16.9	20.7	25.4	67	82
HB-400	15.4	18.8	22.8	67	82
HB-500	11.5	12.9	16.9	68	77

건조수축은 양생 초기에 팽창이 발생하나 초기 반응이 종료된 후 부터는 안정화 되면서 수축이 발생하는 것으로 평가하였다.

- 3) 압축강도 측정결과 W/B 55% 이하, 혼화제 첨가량 2%이하, 단위결합재량 300~400kg/m³에서 보통 콘크리트강도 210kg/cm³(20.6MPa) 이상의 강도 발현을 나타냈으며, 구조용으로 사용 가능한 것으로 판단된다.
- 4) 황토콘크리트의 적용가능 범위는 W/B의 경우 45~50%, 단위분체량 300~400kg/m³의 경우 혼화제의 첨가량은 2% 미만이 적당한 것으로 나타났다.

황토결합재의 압축강도가 210kg/cm³(20.6MPa) 이상의 압축강도 발현으로 사용 가능성을 확인하였고, 향후 강도 이외의 동결융해, 내화학적, 내수성, 내마모성, 부착력 등의 실험이 추가적으로 진행되어야 한다고 제안하고 있다.

2.2 황토 콘크리트의 연구

황토콘크리트의 적정배합을 도출하고, 내구성 실험을 통하여 황토콘크리트와 시멘트콘크리트를 비교·분석하였다. 1차 실험에서는 시멘트콘크리트 배합비에 황토콘크리트 배합을 적용하여 혼화제는 2%, 잔골재율은 45%로 고정하고, 단위분체량은 300, 400, 500kg/m³을 적용하여

Table 3 Compressive Strength

Specimen	Binder (kg/m ³)	W/B (%)	Compressive strength (MPa)				
			3day	7day	28day	56day	91day
HC1	300	45	13.9	18.8	24.2	27.5	28.8
HC2		50	10.6	15.8	20.4	21.0	22.2
HC3		55	10.4	11.9	14.8	15.9	19.2
HC4	400	35	18.2	24.6	30.1	32.9	35.0
HC5		40	13.7	17.6	23.1	25.9	28.3
HC6		45	12.0	14.6	21.1	22.9	23.9
HC7	500	25	23.1	28.9	33.4	36.3	39.9
HC8		30	10.8	15.2	18.3	21.2	22.5
HC9		35	11.8	14.7	18.4	21.3	21.2

단위분체량에 따라 단위수량을 달리하여 황토콘크리트의 적정 배합조건에 따른 강도성상을 분석하고, 2차 실험에서는 1차 실험에서 유동성과 강도를 확보한 배합의 황토콘크리트와 시멘트콘크리트를 비교·분석하여 현장에서의 시공 가능성을 평가하였다.

황토결합재를 이용한 황토콘크리트의 주요 실험결과는 다음과 같다.

- 1) 황토콘크리트의 단위분체량이 증가함에 따라 슬럼프 값이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 단위분체량의 증가에 따라 물량의 증가와 골재의 감소로 인해 나타나는 것으로 평가하였다.
- 2) 황토콘크리트는 단위결합재 400kg/m³와 혼화제 2%에서 압축강도가 대체적으로 높게 발현되었으며 가장 높은 압축강도는 39MPa로 구조용으로 적용 가능한 것으로 나타났다. 향후 강도와 유동성을 확보하기 위해서는 혼화제 첨가량에 따른 기초적 특성을 연구할 필요가 있다.
- 3) 황토콘크리트는 시멘트콘크리트보다 황산, 염산에 대한 저항성이 높은 것으로 보아 해양구조물과 화학공장등에 그 활용도가 높을 것으로 예상되며, 이와 관련된 실험이 추가적으로 진행되어야 한다고 평가된다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험 개요

본 실험은 황토결합재의 적정배합을 찾기 위하여 1차 실험(석회복합체+황토)과 2차 실험(석회복합체+황토+모래)으로 구분하여, 총 2차에 걸쳐 진행하였다. 기존 연

구결과를 참고하여 1차 실험의 경우 석회첨가율을 35%, 37%, 40%로 적용하였다. 2차 실험의 경우 단위수량을 200kg/m³, 285kg/m³, 석회첨가율을 60%, 50%, 40%로 적용하였다.

3.2 실험 재료

3.2.1 황토

전북 고창지역의 황토를 사용했으며, 물리적인 성질은 Table 4에서 보여주고 있다.

3.2.2 석회

석회는 생석회를 사용했으며, 물리적인 성질은 Table 5에서 보여주고 있다.

3.2.3 모래

표건 상태의 해사를 사용하였으며, 물리적인 성질은 Table 6에서 보여주고 있다.

Table 4 Properties for Loess

	Specific gravity	Chemical composition (%)					
		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O
황토	2.54	0.86	57.4	30.31	6.78	0.86	3.36



Fig. 1 Binding Materials for Loess

Table 5 Properties for Lime

	Specific gravity	Chemical composition (%)					
		CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃
Lime	3.37	89.48	3.87	1.52	1.27	2.53	1.03

Table 6 Properties for Sand

Max. size (mm)	Specific gravity	Fineness modulus	Absorptivity (%)	Ratio of absolute volume (%)	Unit volume weight (kg/m ³)
5	2.6	2.47	0.22	57.7	1.5

Table 7 Properties for Gravel

Max. size (mm)	Specific gravity	Fineness modulus	Absorptivity (%)	Ratio of absolute volume (%)	Unit volume weight (kg/m ³)
5	2.6	2.47	0.22	57.7	1.5

3.2.4 자갈

표준 상태의 자갈을 사용하였으며, 물리적인 성질은 Table 7에서 보여주고 있다.

3.3 실험계획

본 연구는 황토결합재를 사용한 경화체 제작을 통해 시멘트콘크리트를 대체할 수 있는 적정배합을 도출하기 위한 실험으로 적정한 황토와 석회의 비율, 단위수량의 적정량, 결합재량의 첨가 등으로 나누어 실험을 실시하였다. 1차 실험의 경우 강도증가와 갈라짐을 억제하는 효과가 있는 소나무 껍질 및 칩 섬유를 사용하고 황토의 점착력을 증진시키기 위한 목적으로 우뭇가사리를 첨가한 적정 배합을 도출하기 위하여 석회첨가율(35%, 37%, 40%)과 천연재료 결합재량(소나무껍질 : 칩섬유 = 2:1)을 변수로 실험을 실시하였다. 1차 실험의 배합표는 Table 8에 나타나 있다.

2차 실험에서는 1차 실험결과 분석을 바탕으로 W/B(40%, 45%)와 s/a(45%)를 고정시키고, 석회의 첨가율(60%, 50%, 40%)과 단위수량(200 kg/m³, 285 kg/m³)을 변화하면서 실험하였다. 2차 실험의 배합표는 Table 9에 나타나 있다.

3.4 실험 방법

성능실험은 KS에 규정된 방법에 의거하여 행하였으며, 각각 성능실험별 관련 규격은 다음과 같다.

3.4.1 황토결합체의 공시체 제작

KSF 2403에 의거하여 150×300mm 실린더 몰드에 3층으로 나누어 채우고, 각 층을 다짐봉으로 25회를 다진

Table 8 Mixing Proportion in the 1st Experimentation

HL-W/B-Lime*	s/a (%)	W (kg)	Unit Weight (kg/m ³)					
			Lo	Li	P	K	S	G
HL-45-35	45	170	200	132	30	15	733	895
HL-45-37	40	170	204	140	23	11	635	952
HL-50-40	40	200	175	146	22	11	627	940

* HL=황토경화체, W/B = 물결합재비, Lime= 석회첨가율

Table 9 Mixing Proportion in the 2nd Experimentation

HL-W/B-Lime	s/a (%)	W (kg)	Unit Weight (kg/m ³)			
			Lo	Li	S	G
HL-40-60	45	200	200	300	704	861
HL-40-50	45	200	250	250	698	854
HL-40-40	45	200	300	200	589	847
HL-45-60	45	285	253	380	553	676
HL-45-50	45	285	317	317	546	667
HL-45-40	45	285	380	253	538	658

다. 다지기가 끝나면 고무망치로 몰드 옆면을 가볍게 두드려 다짐봉에 의해 생긴 구멍이 없어지도록 하고 공시체 윗부분을 평면으로 마무리 하였다.

3.4.2 슬럼프 실험

KS F2402에 의거하여 슬럼프 콘에 혼합 완료된 황토 콘크리트를 채우고 콘을 들어 올린 후 침하하는 높이를 측정하는 것으로 수밀평판을 수평으로 놓고 슬럼프 콘을 평판 중앙에 놓은 후 콘 안에 황토결합재를 1/3이 되게 채운 후 다짐막대로 25회 다지고 위의 작업을 2회 반복한 후 윗면을 고르고 슬럼프 콘을 들어 올려 측정하였다.

3.4.3 공기량 실험

KSF 2421에 의거하여 공기량 측정장치에 혼합 완료된 황토결합재를 3층으로 나누어 채우고 각 층을 다짐막대를 원형으로 고르게 분포시키며 각 층을 25회씩 다진다. 고무망치로 용기의 측면을 다짐막대에 의한 빈틈을 막고 맨 위층은 자로 표면을 긁어내어 용기의 상면과 일치시켜 건식으로 공기량을 측정하였다.

3.4.4 압축강도 실험

KSF 2405에 의거하여 황토결합체는 150×300mm 실린더 몰드로 성형하여 기건 양생하여 재령 1일에 탈형하고 재령 28일까지 양생을 실시하면서 경화체를 형성하면 압축강도 측정기를 이용하여 최대하중을 주어 압축강도

를 7, 14, 28일 각각 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 1차 실험

1차 실험에서는 3가지로 그룹화된 배합설계를 적용하여 실험을 실시하였다. 1차 실험의 경우 황토와 석회의 결합에 천연재료인 소나무껍질가루, 칩 섬유, 우뭇가사리를 첨가할 경우 황토경화체의 물성을 파악하기 위한 실험으로 진행되었다. 실험결과, 물리적인 성질의 증가는 있었으나, 물성값은 정량적으로 증가된 수치가 미비한 것으로 나타났다. 1차 실험의 압축강도 시험결과와 파괴상황은 Table 10과 Fig. 2~Fig. 3에서 각각 보여주고 있다. 실험결과에 의하면 35% 이하의 석회치환율은 황토를 충분히 경화시키지 못하는 것으로 나타났다.

Table 10 Compressive Strength of 1st Experiment (MPa)

HL-W/B-Lime	at 7 day	at 14 day	at 28 day
HL-45-35	unmeasurable	unmeasurable	unmeasurable
HL-45-37	1.3	2.0	3.5
HL-50-40	2.5	3.8	4.7



Fig. 2 Specimen of 1st Experimentation

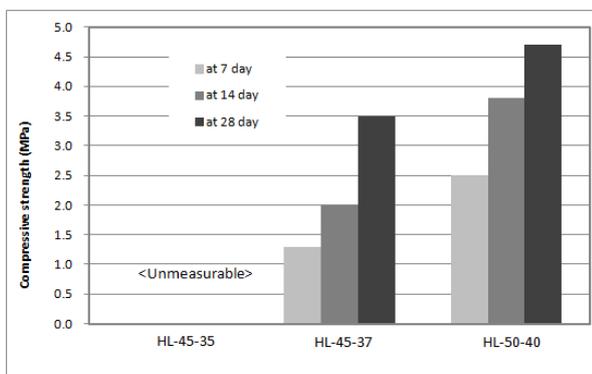


Fig. 3 Compressive Strength of 1st Experimentation

4.2 2차 실험

4.2.1 압축강도

석회를 황토결합재로 사용한 황토경화체의 압축강도는 W/B, 단위결합재량, 단위수량에 따라 다른 특성을 보여주고 있으며, 각각의 압축강도 시험결과는 Table 11에 정리하여 나타내었다.

W/B가 증가함에 따라 강도가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 배합시 단위수량이 적을 경우에는 배합이 제대로 되지 않아서 강도 측정이 불가능하고, 단위수량이 많을 경우에는 재료분리 현상이 나타났다.

황토경화체는 W/B=45%(단위수량=285kg)이며, 석회의 첨가율 60%일 경우 12.3MPa의 압축강도를 나타내며, 가장 우수한 강도특성을 보여주었다.

Table 11 Compressive Strength of 2nd Experiment (MPa)

HL-W/B-Lime	Unit water quantity (kg/m ³)	Lime content (%)	Compressive strength	Mean
			(MPa)	
HL-40-60	200	60	9.8	9.4
			8.9	
			9.6	
HL-40-50	200	50	9.1	8.8
			8.4	
			8.8	
HL-40-40	200	40	7.5	7.2
			6.9	
			7.3	
HL-45-60	285	60	11.8	12.3
			12.6	
			12.5	
HL-45-50	285	50	12.2	11.8
			11.4	
			10.8	
HL-45-40	285	40	10.8	10.3
			9.8	
			10.2	



Fig. 4 Failure for Hardened Loess Specimen

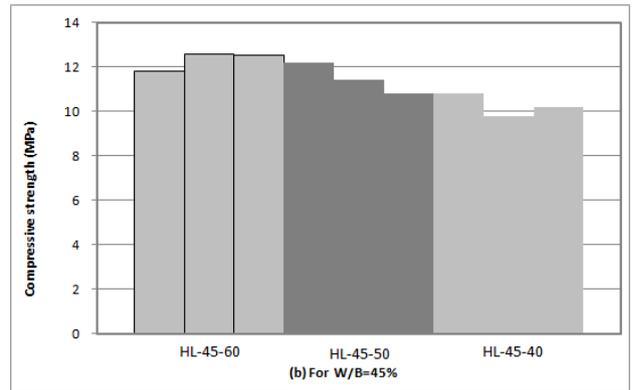
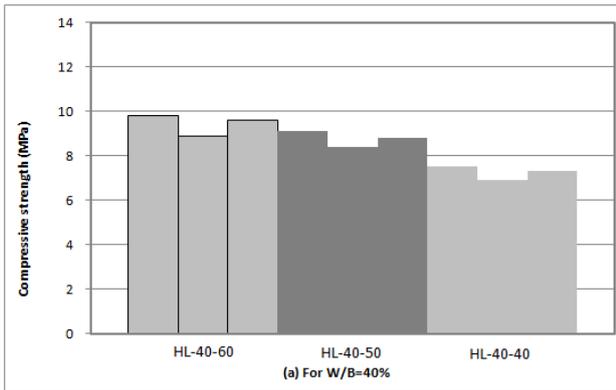


Fig. 5 Compressive Strength at the 28-day Age

4.2.2 슬럼프 분석결과

슬럼프의 경우 석회의 첨가율이 적을 경우와 단위수량의 증가함에 따라 슬럼프가 증가하는 경향을 보였다.

W/B가 증가 되고 단위수량이 많을수록 슬럼프가 증가하는 경향을 보이며, 특히 석회첨가율 40%일 때 슬럼프가 가장 크게 나타났다. 이는 단위분체량의 증가에 따라 물량의 증가와 골재의 감소로 인해 나타나는 것으로 사료된다.

4.2.3 공기량 값 분석결과

황토경화체의 공기량 측정결과는 일반 시멘트콘크리트

와 비슷한 경향을 나타나는 현상을 보였다. 시멘트 콘크리트의 경우 공기량은 W/B, 슬럼프가 클수록 많이 나타나는 현상을 보인다. 황토경화체의 경우에도 W/B가 클수록 많이 나타나며, 석회의 첨가율이 적을수록 공기량이 증가하는 경향을 보였다.

배합별 측정 결과 석회의 첨가율이 40%일때, W/B의 비율이 45%일때, 공기량 측정값이 크게 나타났다. 석회의 첨가율이 높아질수록 공기량은 감소하면서 밀실한 결합이 이루어지기 때문이라고 판단된다. 또한 W/B의 비율

Table 12 Slump of 2nd Experiment (mm)

HL-W/B-Lime	Unit water quantity (kg/m ³)	Lime content (%)	Slump (mm)
HL-40-60	200	60	10
			15
			10
HL-40-50	200	50	15
			20
			15
HL-40-40	200	40	30
			20
			20
HL-45-60	285	60	50
			60
HL-45-50	285	50	55
			60
			70
HL-45-40	285	40	80
			85
			75

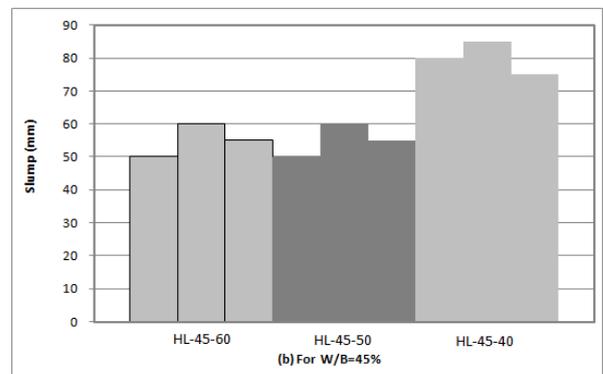
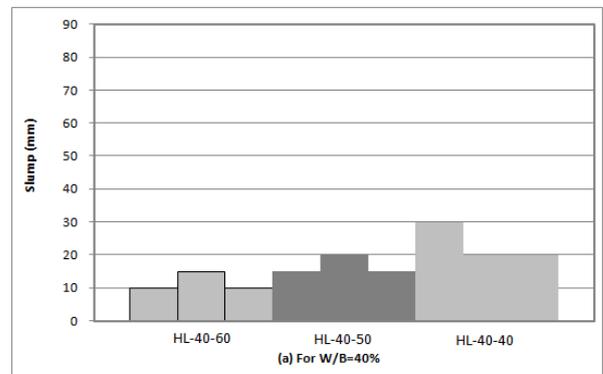


Fig. 6 Slump with Different Mix Proportion

Table 13 Air Content of 2nd Experiment (%)

HL-W/B-Lime	W/B (%)	Lime content (%)	Air content (%)
HL-40-60	40	60	1.5
			1.0
			1.0
HL-40-50	40	50	1.7
			1.7
			2.1
HL-40-40	40	40	2.5
			2.0
			2.0
HL-45-60	45	60	1.8
			1.8
			2.0
HL-45-50	45	50	2.0
			2.4
			2.4
HL-45-40	45	40	3.0
			3.2
			2.8

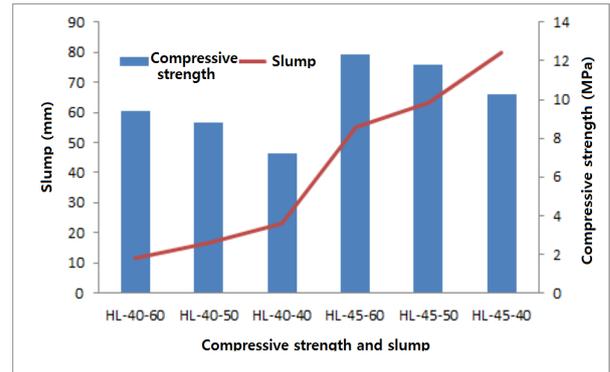


Fig. 8 Relation of Compressive Strength and Slump

4.2.4 압축강도와 슬럼프의 관계

재령 28일 압축강도와 슬럼프의 관계를 살펴보면 W/B가 증가할 경우와 단위수량이 증가할 경우에는 슬럼프와 강도가 증가하는 경향을 보였지만, 석회의 첨가율은 낮을수록 슬럼프값이 높게 나타나고, 압축강도가 증가하는 현상을 볼 수 있다. 따라서 워커빌리티를 고려할 때 W/B 45%이면서 석회치환율 50%, 단위수량 285kg/m³의 경우에 압축강도와 슬럼프를 양호하게 만들 수 있는 배합조건으로 평가된다.

5. 결론

본 실험에서는 황토에 시멘트나 유기화학제품을 첨가하지 않은 친환경적 황토결합체를 사용하여 황토경화체 실험체를 제작하고, 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 황토와 석회의 결합체에 천연재료를 첨가하여 실험을 실시한 결과 사용한 모든 재료의 경우 물리적 성능의 증가가 있기는 하지만 그 증가분이 미비하며, 소나무껍질가루의 경우 많은 단위수량을 필요로 하며, 칩섬유의 경우 약 30mm의 길이로 사용할 경우 황토의 결속과 경화에 유리한 결과를 보여주었다.
- (2) 황토와 석회의 첨가율에 따른 압축강도를 시멘트 콘크리트와 비교한 결과 W/B 45%일 때, 단위수량 285kg/m³인 경우 및 석회의 첨가율이 60%로 가장 큰 압축강도 12.3MPa의 발현이 가능하였다.
- (3) 황토경화체의 슬럼프는 단위수량, 석회의 첨가량이 변화함에 따라 증가 또는 감소하는 경향을 보였다.

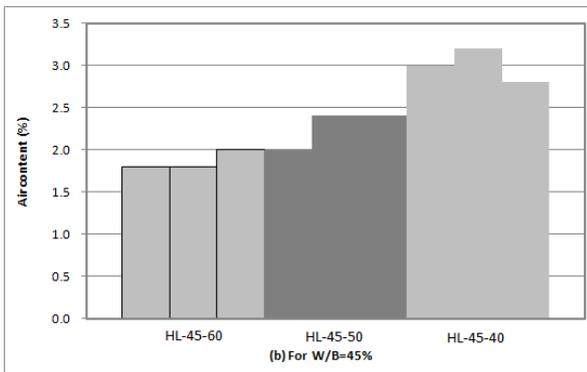
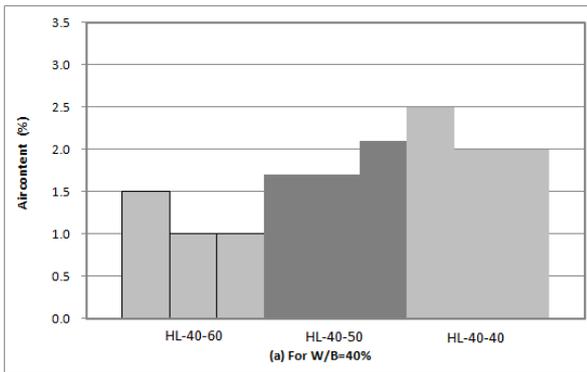


Fig. 7 Air Content with Different Mix Proportion

이 높을수록 공기량이 증가하긴 하지만 그 차이는 미비한 것으로 평가되었다.

다. 측정결과 슬럼프의 경우 W/B 45%일때, 단위수량이 285kg/m³인 경우가 가장 크며, 석회의 첨가율이 작을 때인 40%가 슬럼프가 가장 크게 나타나는 경향을 보였다. 이는 단위분체량의 증가에 따라 물량의 증가와 골재의 감소로 인해 나타나는 것으로 사료된다.

- (4) 황토경화체 공기량의 경우에는 최대 3.2% 이하의 수치로 측정되었으며, 일반 시멘트콘크리트에 비해 낮은 경향을 보여주었다. 석회첨가율이 40%일 때, W/B의 비율이 45%일 때, 공기량 측정값이 높게 나왔다. 이는 석회의 첨가율이 높아질수록 공기량은 감소하면서 밀실한 결합이 이루어지기 때문이라고 판단된다.
- (5) 본 연구의 결과에 의하면, 황토경화체는 W/B 45%, 단위수량 285kg/m³, 석회첨가율 60%일 때 상대적으로 우수한 물성을 나타내고 있다.

감사의 글

본 논문은 2011년도 건양대학교 공학혁신센터의 캡스톤 디자인 연구지원 사업에 의한 것이며, 이에 감사드립니다.

(접수일자 : 2012년 4월 11일)
(수정일자 : 2012년 5월 16일)
(심사완료일자 : 2012년 5월 21일)

요 지

본 연구에서는 황토에 시멘트나 유기계 접착제를 첨가하지 않은 천연재료 황토결합체를 사용하여 황토경화체를 제작하고, 배합조건에 따른 강도성상을 평가하였다. 황토와 석회의 결합체에 천연재료를 첨가할 경우 사용한 천연재료는 모두 물리적 성능을 개선하는 효과가 있었다. 천연재료 중에서 석회는 황토경화체의 물성을 증가시키는데 가장 큰 영향을 미치고 있다. 황토경화체의 물리적 특성은 적용한 배합비 중에서 W/B 45%, 단위수량 285kg/m³, 석회첨가율 60%일 때 가장 우수하게 나타나고 있다.

핵심 용어 : 황토, 석회, 천연재료, 경화체, 물성