

## 친환경 무시멘트 황토결합재의 적용가능성에 관한 연구

## A study on possibility of application of non-cement Hwang-to binder for Environment-friendly

황 혜 주\*  
Hwang, Hey Zoo

강 남 이\*\*  
Kang, Nam Yi

## Abstract

Due to the recent environmental problems, lots of studies on the solutions to reduce the environmental pollutions are on the way. In the field of construction, concrete that we are currently consuming approximately 1 ton each year is the most common and cheap building material. We must cut down on this preoccupied use of this material and develop an alternative material as recommended by the late environmental standards. In this regard, this study propose the 'yellow soil' as the main substance that composes the final state, 'yellow soil concrete'. This study also aims to analyze the physical and chemical performances of this concrete mixed with the yellow soil by comparing it with the cement and assesses the possibility of its application to the cement.

The results of the experiment shows that, assuming the solidity of the cement concrete to be around 210kg/cm<sup>2</sup> (20.58MPa), the solidity of the yellow soil combined material may be around 45%~55% in terms of the range of W/B use, 200 to 400 in the per unit fission amount and less than 2% in the addition proportion of admixing agents.

But the scope of the optimal concoction amount of the yellow soil concrete should better be limited as following, 40% to 50% in W/B, 300 to 400 in the per unit fission amount and less than 2% in the addition of admixing agents.

키워드 : 황토콘크리트, 압축강도, 결합재

Keywords : hwang-to concrete, compressive strength, binder

## 1. 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

우리가 생활에 사용하고 있는 재화는 대부분 필요에 의해 자연을 이용하여 개발한 것이다. 이러한 재화의 생산은 인간의 삶을 편리하고 윤택하게 하였지만 한편으로 환경문제를 일으키는 원인이 되었다. 이러한 환경문제의 발생으로 여러 분야에게 환경오염의 발생을 저감할 수 있는 방안에 대해 많은 연구를 진행 중이다. 건축 분야에서도 재료생산, 건축시공, 유지관리, 폐기에 이르는 모든 과정에서 다량의 에너지를 소비하고 있으며 이로 인한 갖가지 환경문제를 유발하고 있다. 특히 건설자재 생산에서 발생하는 이산화탄소량은 전체의 약 13% 정도로 큰 비중을 차지하고 있다.

한편 우리가 연간 1인당 1ton 정도 사용하고 있는 콘크리트는 건축재료 중 가장 싸고 일반적인 재료이다. 이러한 콘크리트는 시멘트를 주 결합재로 사용하고 있지만 시멘트는 생산시 다량의 에너지를 소비하며 이산화탄소

를 발생시킨다. 근래에 환경규약들에 의하면 이렇게 생산되는 시멘트는 소비를 줄여나가야 되며 이를 대체할 수 있는 재료의 개발이 필요로 하게 된다. 이로 인해 친환경 건축에 대한 새로운 대안으로 비소성 시멘트에 대한 연구가 진행되어지고 있으며, 본 연구는 이러한 시멘트의 사용량을 저감할 수 있는 방안으로 황토를 주 결합재로 하는 황토 콘크리트의 개발에 대한 연구이다.

본 연구는 시멘트의 대안으로서 제안된 황토결합재의 물리적, 화학적 성능을 시멘트와 비교분석하여 황토 결합재의 콘크리트 적용에 있어서 그 가능성을 검토하는 것을 목적으로 한다.

## 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 시멘트의 생산에서 발생하는 많은 양의 에너지 소비, 그로 인해 발생하는 다량의 이산화탄소 등으로 인해 발생하는 환경문제를 저감할 수 있는 방안으로 황토결합재를 제시하고, 시멘트와의 물리·화학적 특성을 비교 분석한 다음 W/B, 단위결합재량, 혼화제 첨가량에 따른 콘크리트의 물리적 특성을 측정하고 황토결합재의 사용 가능성을 검토한다.

\* 주저자, 목포대학교 건축학과 부교수

\*\* 교신저자, 목포대학교 건축학과 박사과정 (21ckny@hanmail.net)

2. 예비적 고찰

2.1 최근 시멘트 생산 경향

포틀랜드 시멘트의 제조에 사용되는 주원료는 석회석, 점토, 규석, 철광석이며, 이러한 원료를 1,450°C 전후의 고온에서 소성하여 시멘트클링커를 만들고 응결조절을 위한 석고를 첨가하고 미분쇄하여 시멘트를 만들게 된다. 이러한 시멘트의 생산방법은 1990년대 후반에 시멘트 설비가 폐기물처리에 적합한 설비로 부각되면서 폐기물을 시멘트 원료 및 연료로 활용하는 연구가 진행되었으며, 1999년부터 환경보전 차원에서 산업폐기물의 재자원화와 쓰레기 소각이라는 것을 해결하기 위해 시멘트 사일로가 이용되었으며 시멘트의 원료와 연료의 일부가 산업폐기물로 대체되어 제조 되었다. 시멘트의 부원료, 보조연료의 대체현황은 <표 1>에서 보는 바와 같으며 그 사용량은 해마다 증가하는 추세이다.<sup>1)</sup> 이러한 부원료와 보조연료의 사용이 시멘트의 성능에는 문제가 없으나 시멘트의 성질에는 영향이 있는 것으로 나타났다. 한국양회공업연구협회가 요업기술원에 의뢰하여 이러한 부원료와 보조연료를 사용한 국내의 시멘트 제조사 10곳을 대상으로 6가크롬의 함량을 조사한 결과 대부분의 회사들이 기준치를 초과하는 수치를 나타내었다.<sup>2)</sup> 또한 산업폐기물 중에는 크롬뿐만 아니라 구리, 납, 수은 등의 각종 중금속이 높은 수치로 존재한다.<sup>3)</sup> 이러한 중금속을 함유한 산업폐기물이 시멘트의 재료로 사용되었을 경우 시멘트 안에 중금속이 높게 잔류하게 될 것이다. 한편, 시멘트 공장에서의 산업폐기물 사용은 외국에도 이루어지고 있으나, 외국 시멘트 회사의 경우 시멘트 제조 공정의 기술력, 특히 환경에 관련된 기술이 우리나라에 비해 우수한 것으로 나타났다.<sup>4)</sup>

표 1. 시멘트 부원료, 보조연료 대체 현황

구분	주원료 및 주연료	대체물질 (폐기물)	주요 발생처
원료	석회석	-	-
	점토질 원료	석탄회	화력발전소 열병합발전소
		무기성오니	정수장 등
		소각회	산업계 소각로 등
	규산질 원료	폐유물사, 폐연마재	금속 및 자동차 산업
철질원료	광재(슬래그)	제철소 등	
연료	유연탄	페타이어	자동차 정비업체
		폐합성수지 /고무	타이어 생산공장 수지/고무 생산 공장
응결지연제	천연석고	탈황석고	발전소 등 탈황 공정

1) 환경부, 시멘트 소성로의 재활용 현황, 2006.9  
 2) 한국양회공업협회, 시멘트 중금속 함량조사 연구(요업기술원), 2006.5  
 3) 폐기물 유형에 따른 소각재의 중금속 용출특성 연구, 충남보건환경연구원, 2005  
 4) 무기 폐기물의 시멘트 원료화 기술(한국지질자원연구원, 쌍용양회 기술연구소, 서울대학교 재료공학부)

2.2 시멘트 사용 저감을 위한 혼화재료의 대체 사용

시멘트로부터 발생하는 환경부하를 저감하기 위한 대안으로 시멘트의 일부를 치환하여 사용량을 줄이기 위한 연구가 진행되고 있다. 대표적인 재료로는 고로슬래그, 플라이애시, 실리카 흙 등의 재료를 들 수 있으며, 이들 재료는 산업부산물로서 시멘트 대체 효과 이외에도 산업부산물을 처리하는 효과, 콘크리트의 성능 향상, 경제적 이익을 높일 수 있는 장점이 있다. 또한 화산재, 규산백토류, 구조토, 황토 등의 천연포졸란 재료에 대한 연구도 진행되고 있다.

2.3 무시멘트 결합재에 대한 연구

시멘트를 대체에 대한 연구 중 최근에는 콘크리트 및 모르타르의 사용에 있어서 시멘트를 100% 대체할 수 있는 재료에 대한 연구가 여러 사람에 의해 이루어지고 있다. 그중 황토를 사용한 모르타르, 콘크리트의 개발에 대한 연구도 차츰 증가하고 있다. 이러한 황토를 사용한 결합재는 기존의 결합재인 시멘트를 전혀 첨가하지 않으며, 유기수지를 사용하지 않고, 높은 온도로 소성·가공하지 않는 재료로 많은 관심을 받고 있다. 또한 황토는 옛날 흙집에서 생활하던 우리들과 친숙한 재료이며 여러 가지 장점을 가지고 있어 더욱 각광을 받고 있다.

3. 황토결합재의 물리·화학적 분석

3.1 분석계획

본 연구의 재료인 황토결합재와 기존의 결합재인 시멘트와의 물리·화학적 특성을 분석하기 위해 <표 2>와 같은 항목을 측정하였다.

표 2. 분석 항목

구분	분석 항목
물리적분석	비중, 분말도, 입도분석, 응결경화실험
화학적분석	EDAX, SEM

3.2 분석방법

- 1) 비중측정은 KS L 5110 기준에 의거하여 측정하였다.
- 2) 입도분석은 레이저입도분석기 [ Laser Particle Size Analyzer ]를 이용하여 측정하였다.
- 3) 응결경화실험은 KS L 5108 기준에 의거하여 측정하였다.
- 4) SEM(Scanning Electron Microscope) 측정은 시료의 응결, 경화 그리고 재령에 따른 시료의 표면을 관찰하였다.
- 5) EDAX(Energy Dispersive X-ray Analysis) 분석은 시료의 화학성분을 분석하기 위해 전자현미경에서 발생하는 특정 X-Ray를 검출하여 시료의 구성원소 및 구성원소의 양을 측정하였다. 측정 부위는 3곳을 선택하여 평균값으로 하였다.

3.3 분석 대상 재료

1) 황토결합재

본 연구에서 사용한 황토결합재는 국내의 흙제품 전문

생산업체인 C사의 제품으로 소성하지 않은 황토와 산업 부산물을 혼합하여 만든 결합재를 사용하였다.

2) 시멘트

본 연구에서 비교분석의 기준이 되는 시멘트 결합재에 사용된 재료로 국내의 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

3.4 분석 결과 및 고찰

1) 비중 측정

비중 측정 결과 <표 3>와 같이 시멘트에 비해 약 0.27 낮은 것으로 나타났으며 분말도 측정 결과 황토결합재가 시멘트에 비해 높은 것으로 나타났다. 이는 황토의 결정 형이 다공질이기 때문에 높은 분말도에 비해 비중이 낮은 것으로 판단된다.

표 3. 비중측정 결과

구 분	황토결합재	시멘트
비중	2.82	3.15
분말도	3,800	3,303

2) 입도분석 결과

입도분석 결과 황토결합재는 기존의 결합재인 시멘트에 비해 미세한 입자들이 많이 포함된 것으로 나타났으며 이는 시멘트 입자에 비해 황토결합재의 분말도가 높기 때문인 것으로 판단된다. 또한 콘크리트 배합시 유동성 확보를 위해 필요한 단위수량이 시멘트에 비해 높게 요구될 것으로 사료된다.

표 4. 입도분석 결과

입자크기(μm)	0.1	0.5	2	10	23.6	50	100	200	300	400	500
시멘트	0.06	8.1	13.0	32.5	59.7	87.5	97.8	98.2	99.3	99.9	100
황토결합재	0.15	7.71	17.0	44.7	72.1	90.4	97.7	100	100	100	100

3) 응결·경화실험

실험 결과 <표 5>에 나타난 것처럼 황토결합재는 시멘트에 비해 초결과 종결 시간이 조금 더 빠르게 진행되었으며 초결의 경우 약 40분, 종결의 경우 약 90분의 빠르게 진행된 것으로 나타났다. 이는 분말도가 높을수록 물과 접촉하는 비표면적이 커져 반응속도가 빨라지고 응결 시간이 짧아지는 것으로 판단된다.

표 5. 응결·경화실험

구 분	시멘트	황토결합재	응결시간 차이
초결(분)	255	209	- 46
종결(분)	452	369	- 83

4) EDAX

실험결과 황토결합재의 화학성분은 <그림 1>과 같은 결과를 나타내었다. 주요 화학 성분은 SiO<sub>2</sub>, CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 전체의 90% 이상을 차지하고 있으며 MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 기타 성분이 소량 함유되어 있다. 황토결합재를 다른 결

합재들과 비교해 본 결과 화학성분은 <표 6>과 같이 나타났다. 포틀랜드 시멘트와 비교했을 때 CaO의 함량이 25%이상 낮으며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>의 함량은 약 10%정도 많이 함유하고 있는 것으로 나타났다. 또한 산업부산물을 이용한 혼합시멘트(고로시멘트, 실리카시멘트, 플라이애시 시멘트)와 비교하였을 경우 CaO의 함량은 약 20% 적으며, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량은 15%정도 많은 것으로 나타났다. 또한 알루미늄시멘트와 비교하였을 경우 CaO의 함량은 오히려 35% 높으며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량은 약 40%정도 낮게 나타났다. 또한 황토결합재는 다른 모든 시멘트보다 MgO의 함량이 약 3~5% 정도 많은 것으로 나타났다.

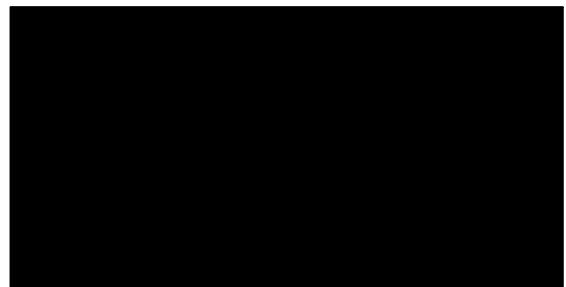


그림 1. 황토결합재의 화학성분

표 6. 화학성분 비교 (단위 : %)

구 분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	기타
황토결합재(wt)	37.87	18.55	1.28	37.03	5.26	
포틀랜드 시멘트	27.2	5.4	2.7	62.0	2.7	
고로시멘트(A종)	24.0	7.4	2.3	57.9	2.9	5.5
실리카 시멘트	20.1	4.3	2.8	59.7	1.2	11.9
플라이애쉬 시멘트(A종)	21.1	5.3	2.9	59.9	1.1	9.7
알루미나시멘트(B종)	5	55	2	38	-	

4. 황토결합재를 이용한 콘크리트 실험

본 연구는 황토결합재를 사용한 콘크리트(이후 황토콘크리트로 칭함)의 적정배합을 도출하기 위한 실험으로 적정 W/B, 혼화제첨가량, 단위 결합재량의 결정 등 3부분으로 나누어 실험을 실시하였다. 1차 실험에서는 적정 W/B를 찾기 위해 단위 결합재량(300)과 혼화제(1.5%)를 고정하고 W/B를 45%, 50%, 55%, 60%, 65%의 5수준으로 하여 실험을 실시하였다. 이를 바탕으로 2차 실험에서는 적정 혼화제 첨가량을 알아보기 위한 실험으로 단위 결합재량(300)과 단위 수량(50%)을 고정시키고 혼화제 첨가량을 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3% 이상 7수준으로 실험을 실시하였다. 3차 실험에서는 적정 단위 결합재량을 찾기 위한 실험으로 단위 수량 (50%), 혼화제 첨가량(1.5%)로 고정시킨 다음 단위 결합재량을 200, 300, 400, 500, 600, 700의 6수준으로 하여 실험을 실시하였다. 황토콘크리트의 특성을 파악하기 위해 실시한 배합표는 <표 7>과 같으며, 슬럼프, 공기량, 건조수축, 압축강도실험 (재령 3일, 재령 7일, 재령 28일)을 실시하였다.

표 7. 황토결합재를 이용한 콘크리트 배합표 (단위량(kg/m<sup>3</sup>))

실험기호	W/B (%)	s/a (%)	단위 수량	단위결합 재량	잔골재	굵은 골재	혼화제
W/B-45%	45	45	135	300	866	970	1.5%
W/B-50%	50	45	150	300	848	950	1.5%
W/B-55%	55	45	165	300	830	930	1.5%
W/B-60%	60	45	180	300	812	910	1.5%
W/B-65%	65	45	195	300	794	890	1.5%
A-0%	50	45	150	300	848	950	0%
A-0.5%	50	45	150	300	848	950	0.5%
A-1%	50	45	150	300	848	950	1%
A-1.5%	50	45	150	300	848	950	1.5%
A-2%	50	45	150	300	848	950	2%
A-2.5%	50	45	150	300	848	950	2.5%
A-3%	50	45	150	300	848	950	3%
HB-200	50	45	100	72	359	4397	1.5%
HB-300	50	45	150	108	320	392	1.5%
HB-400	50	45	200	144	282	344	1.5%
HB-500	50	45	250	180	243	2971	1.5%
HB-600	50	45	300	216	204	250	1.5%
HB-700	50	45	350	252	166	203	1.5%

4.1 실험재료

1) 황토결합재

본 연구에서 사용한 황토결합재는 국내의 흙자재 전문 생산업체인 C사의 제품으로 소성하지 않은 천연의 미분말 황토와 산업부산물을 혼합하여 만든 결합재로서 고강도로 사용하기 위해 개발한 분말형태의 재료이며 그 물리적·화학적 성질은 <표 8>과 같다.

표 8. 황토결합재의 물리·화학적 성질

비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	강열감량 (Wt%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	중결	3일	7일	28일
2.82	3,800	1.02	209	369	20	25.2	30.4

2) 골재

본 연구에서 사용된 잔골재는 서해바다에서 채취된 골재를 사용하였고 굵은 골재는 전남 무안군 청계면에서 채석된 쇄석을 사용하였으며 그 물리적 성질은 <표 9>와 같다.

표 9. 골재의 물리적 성질

구분	최대치수	비중	조립율	흡수율
굵은골재	25mm	2.42	6.48	1.65
잔골재	5mm	2.64	2.94	2.66

3) 혼화재료

본 연구에서 사용된 혼화제는 국내 D사의 Polycarbonate계 고성능 AE감수제를 사용하였으며 그 물리적·화학적 성질은 <표 10>과 같다.

표 10. 고성능 AE감수제의 물리적·화학적 성질

비중(20℃)	pH	알칼리량	염화물량	형태	표준사용량
1.04±0.05	2.0~4.0	0.02%이하	0.02%이하	액상	0.2~2.8%

4.2 실험 방법

1) 골재의 최밀충진 실험

골재의 최밀충진 실험은 콘크리트의 잔골재율(S/A)를 결정하기 위해 골재가 최밀충진 하기 위한 잔골재율과 굵은 골재의 가장 적합한 혼합비율을 산정하기 위한 것으로 KS F 2505 골재의 단위용적질량 및 실적률 시험방법에 의거하여 실시한다.

2) 슬럼프실험은 KS F 2402 기준에 의거하여 측정한다.

3) 공기량측정은 KS F 2449기준에 의거하여 측정 한다.

4) 콘크리트 압축강도 측정은 KS F 2405에 의거하여 재령별로 3, 7, 28일 강도를 측정하였다.

5) 건조수축은 150×150×550의 몰드에 W.S.G (WFLM 60-11)를 매립하여 데이터 측정·저장 기기인 TDS303을 이용하여 배합 직후부터 20분 간격으로 재령 28일까지 측정하였다.

4.3 실험결과

1) 골재의 최밀충진 실험

본 실험에 앞서 배합의 최밀충진을 위한 적정 잔골재율을 결정하기 위해 잔골재율 40~50%까지 10가지 수준으로 하여 실험을 실시하였다. 실험 결과 잔골재율 45%일 때가 가장 높은 질량을 나타냈으며 이때 굵은 골재와 잔골재가 가장 적합한 비율로 혼합되어 공극을 최소화하고 밀실하게 충전된 것으로 판단된다. 이에 콘크리트 배합 실험에 적용하였다.

입도 분석 실험 결과 실험에 사용될 잔골재와 굵은 골재 모두 표준입도범위를 벗어나지 않는 적정 입도를 확보한 것으로 나타났다.

표 11. 골재의 최밀충진 실험 결과

구분	s/a	단위용적(ℓ)		단위중량(kg)		시료질량
		S	G	S	G	
1	40%	6.7	10	17.6	24.2	27.76
2	41%	6.9	10	18.3	24.2	27.82
3	42%	7.2	10	19.1	24.2	27.82
4	43%	7.5	10	19.9	24.2	27.86
5	44%	7.9	10	20.7	24.2	27.94
6	45%	8.2	10	21.6	24.2	28.04
7	46%	8.5	10	22.5	24.2	27.98
8	47%	8.9	10	23.4	24.2	27.92
9	48%	9.2	10	24.4	24.2	28.00
10	49%	9.6	10	25.4	24.2	27.88
11	50%	10	10	26.4	24.2	27.78

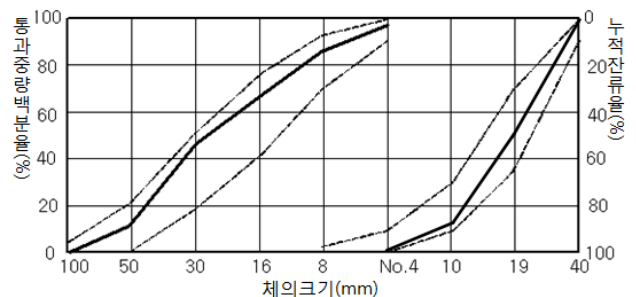


그림 2. 골재의 입도 분석 실험 결과

2) 슬럼프, 공기량 측정 결과

W/B, 혼화제의 첨가량이 증가함에 따라 슬럼프가 증가하는 경향을 보이며 특히 W/B 55%. 혼화제의 첨가량이 2.5%를 기준으로 슬럼프가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 적정 W/B가 50~55%, 혼화제의 첨가량이 1.5~2.5% 사이에 있다는 것을 알 수 있다. 단위 분체량이 증가함에 따라 슬럼프는 증가하는 것으로 나타났으며 이는 단위 분체량의 증가에 따라 물량의 증가와 골재의 감소로 인해 나타나는 것으로 사료된다. 분체량이 500 이상일 경우 재료분리 현상이 나타났으며 W/B, 혼화제 첨가량에 따른 검토가 필요할 것으로 판단된다.

W/B에 따른 공기량의 변화는 일반적인 시멘트콘크리트와는 반대되는 양상을 보인다. 시멘트 콘크리트의 경우 일정량의 AE제를 사용한 경우 일반적으로 공기량은 W/B가 클수록, 슬럼프가 클수록 많게 된다. 그러나 황토콘크리트의 경우 W/B, 슬럼프가 커짐에 따라 공기량은 감소하는 경향을 보였다. 황토콘크리트의 경우 AE혼화제의 첨가량을 증가했을 때 공기량이 증가하는 경향은 보이나 전체적으로 공기량이 낮게 나타났다. 이는 황토결합재에 첨가된 산업부산물에 의한 것으로 판단된다. 일반적으로 산업부산물(플라이애시, 고로슬래그)의 경우 동일 공기량을 얻기 위해서는 많은 양의 AE제가 필요로 하게 되기 때문으로 판단된다. 황토콘크리트의 단위 분체량이 증가함에 따라 AE제의 첨가량은 증가하게 되어 연행공기의 발생량은 증가하나 공기량은 감소하는 것으로 나타났다.

표 12. 콘크리트의 슬럼프, 공기량 및 단위용적중량

실험기호	슬럼프(cm)	공기량(%)
W/B-45%	2.0	1.7
W/B-50%	6.5	2.2
W/B-55%	18.5	0.6
W/B-60%	20.5	0.4
W/B-65%	22.5	0.0
A-0%	0.0	0.2
A-0.5%	0.5	1.6
A-1%	3.0	1.0
A-1.5%	6.8	1.5
A-2%	14.5	1.9
A-2.5%	재료분리	-
A-3%	재료분리	-
HB-200	0.0	9.0
HB-300	2.5	1.4
HB-400	24	0.6
HB-500	재료분리	-
HB-600	재료분리	-
HB-700	재료분리	-

3) 건조수축

황토 결합재를 이용한 콘크리트의 건조수축은 반응 초기 팽창이 발생하며 이후 재령이 경과함에 따라 수축이 진행되는 것으로 나타났다. 이는 초기 수화반응 결과 결합재 내부의 화학반응에 의해 팽창성 물질이 발생하는 것으로 판단되며 이로 인해 초기에 팽창이 일어나며 초기 반응이 종료된 후부터는 안정화 되면서 수축이 발생하는 것으로 사료된다. 황토콘크리트 역시 시멘트콘크리트

트와 마찬가지로 W/B의 첨가량이 증가함에 따라 건조수축이 크게 발생하는 것으로 나타났다. 황토콘크리트의 경우 초기 팽창은 W/B가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며 모든 시험체에서  $150 \times 10^{-6}$  이상 발생하였고, 후기의 안정기에 들어서면서 본래의 체적과 비슷한 수준으로 수축하는 것으로 나타났다. 혼화제의 첨가량이 증가함에 따라 배합초기의 팽창률이 낮게 나타났으며 안정화 단계의 건조수축은 1%를 기점으로 증가에서 감소하는 경향으로 나타났다. 단위 결합재량에 따른 건조수축 변화는 결합재량이 증가함에 따라 초기의 팽창 및 후기의 건조수축이 크게 나타났다. 단위 결합재가 300일 경우 초기 팽창은 약  $100 \times 10^{-6}$  이 발생했으며 수축은 약  $150 \times 10^{-6}$  이 발생했다. 하지만 단위 결합재가 400일 경우 초기 팽창은 약 2.6배 증가했으며 수축은 약 1.3배 증가한 것으로 나타났다. 단위 결합재가 200일 경우에는 슬럼프 값이 "0"으로 유동성이 매우 좋지 않음으로 인하여 정상적인 실험이 이루어 지지 않는 것으로 판단된다.

표 13. 재령별 건조수축변화

실험기호	재령별 건조수축변화(μm)						
	재령 1일	재령 2일	재령 3일	재령 5일	재령 7일	재령 14일	재령 28일
W/B-45%	70	148	87	34	20	-27	-1
W/B-50%	83	124	66	12	-7	-94	-100
W/B-55%	86	189	140	77	46	-13	-14
W/B-60%	79	186	151	97	62	2	11
W/B-65%	74	181	165	119	87	28	14
A-0%	145	437	416	395	382	329	305
A-0.5%	90	245	199	174	149	88	103
A-1%	71	189	126	95	51	-5	-7
A-1.5%	47	156	87	56	32	-18	-16
A-2%	20	137	64	33	11	-36	-34
A-2.5%	41	56	1	-27	-34	-84	-98
HB-200	18	164	167	201	156	227	240
HB-300	16	47	34	-10	-36	-72	-75
HB-400	23	265	247	157	127	77	66

4) 압축강도

황토결합재를 이용한 콘크리트의 W/B, 혼화제 첨가량, 단위 결합재량의 변화에 따른 압축강도는 <표 14>와 같이 나타났다. 레미콘에 사용되는 시멘트 콘크리트에 있어서 보통강도의 경우  $210 \text{kg/cm}^2 (20.58 \text{MPa})$ 를 기준으로 하여 사용하며 황토콘크리트 또한  $210 \text{kg/cm}^2 (20.58 \text{MPa})$ 를 기준으로 하여 그 이상의 강도를 발현하는 배합을 가능배합으로 판단한다.

W/B가 증가함에 따라 강도는 저하되는 경향을 나타내고 있다. 이는 배합에 필요한 결합수 이상의 잉여수가 양생시 증발에 따른 빈공극의 발생으로 인하여 강도가 저하되는 것으로 사료된다. 동일조건하에서 황토콘크리트의 사용은 W/B 55%이상에서는 일반레미콘의 보통강도인  $210 \text{kg/cm}^2 (20.58 \text{MPa})$ 에 못 미치는 낮은 강도 발현을 나타내 사용을 지양해야 될 것으로 사료된다. 혼화제의 첨가량이 증가함에 따라 2%까지는 강도가 증가하나 그 이상 첨가시 강도가 저하되는 경향을 보이고 있다. 이는 혼화

제의 첨가량이 증가함에 따라 AE제의 영향으로 연행공기가 증가되어 유동성이 증가되나 이로 인해 황토페이스트와 골재사이의 접촉력이 약화되어 강도가 저하되는 것으로 사료된다. 또한 2.5% 이상의 혼화제를 첨가할 경우 재료분리 현상으로 인한 문제가 발생할 것으로 판단된다. 단위결합재량이 증가할 경우 콘크리트의 압축강도 또한 증가하는 경향을 보인다. 본 실험에서는 W/B와 혼화제 첨가량을 고정하고 단위 결합재량을 증가시키는 실험을 실시하였으며 그 결과 단위결합재량의 증가에 따른 압축강도의 변화는 단위결합재량이 300일 경우 가장 높은 강도를 나타냈으며 그 이상 첨가시 강도가 저하되는 것으로 나타났다. 하지만 단위 결합재 400일 경우에도 보통강도에 비해 높은 강도 발현을 한 것으로 판단된다.

표 14. 재령별 압축강도

실험기호	재령별 압축강도(MPa)			강도발현률(%) 재령 28일 기준	
	3일	7일	28일	3일	7일
W/B-45%	15.66	19.26	23.45	0.67	0.82
W/B-50%	14.28	18.37	22.21	0.64	0.83
W/B-55%	13	16.65	20.7	0.63	0.80
W/B-60%	11.37	15.19	18.85	0.60	0.81
W/B-65%	9.95	13.86	16.35	0.61	0.85
A-0%	13.93	16.05	20.26	0.68	0.79
A-0.5%	13.48	16.97	20.09	0.68	0.84
A-1%	14.41	18.03	21.01	0.68	0.86
A-1.5%	14.18	18.12	21.61	0.66	0.84
A-2%	15.31	20	23.4	0.67	0.85
A-2.5%	12.18	15.61	20.47	0.60	0.76
HB-200	9.67	11.04	13.91	0.70	0.79
HB-300	16.95	20.71	25.39	0.67	0.82
HB-400	15.36	18.81	22.83	0.67	0.82
HB-500	11.47	12.98	16.92	0.68	0.77

5) 압축강도와 슬럼프의 관계

재령 28일 압축강도와 슬럼프의 관계를 살펴보면 W/B가 증가할 경우 슬럼프와 강도는 반대의 양상을 나타내며 동일 조건에서 소요 기준 강도 이상 발현과 워커빌리티를 만족시키는 적정 W/B는 55%인 것으로 나타났다. 혼화제 첨가량의 경우 슬럼프와 강도는 비례 관계를 나타냈으며 동일 조건에서 혼화제 첨가량이 2%일 경우 강

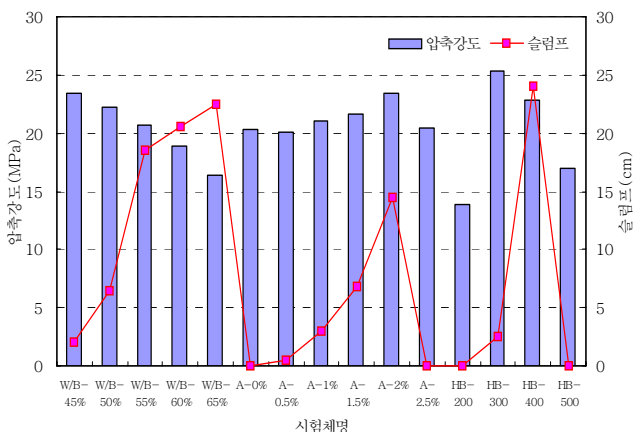


그림 3. 압축강도와 슬럼프 관계

도 및 워커빌리티를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 단위 분체량의 경우 분체량 300에서의 강도는 25MPa이상이므로 우수하나 소요의 워커빌리티를 확보하지 못하는 것으로 나타났으며 분체량 400의 경우 강도는 만족하나 재료분리의 가능성을 보이는 것으로 사료된다.

5. 결론

본 실험에서는 황토결합재의 물리·화학적 특성을 분석하고, 이를 사용한 콘크리트 적용 실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 황토결합재와 시멘트를 비교분석한 결과 황토결합재의 입자가 시멘트에 비해 작으며 비중이 낮고 분말도는 높게 나타났다. 화학성분은 CaO의 함량이 25%이상 낮으며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>의 함량은 약 10%정도 많이 함유하고 있는 것으로 나타났다.
- 2) 황토콘크리트의 슬럼프는 단위 수량, 혼화제 첨가량, 단위 결합재량이 증가함에 따라 슬럼프가 증가하는 경향을 보였으며 공기량은 2.2%이하로 대부분 일반 시멘트 콘크리트에 비해 낮은 결과를 나타냈다. 건조수축은 양생 초기에 팽창이 발생하나 초기 반응이 종료된 후부터는 안정화 되면서 수축이 발생하는 것으로 사료된다.
- 3) 압축강도 측정 결과 W/B 55%이하, 혼화제 첨가량 2%이하, 단위결합재량 300~400에서 보통콘크리트강도 210kg/cm<sup>2</sup>(20.58MPa) 이상의 강도발현을 나타냈으며, 적용 가능한 것으로 판단된다.
- 4) 본 연구 결과 황토콘크리트의 적용 가능 범위는 W/B의 경우 45~50%, 단위 분체량의 경우 300~400, 혼화제의 첨가량 2% 미만으로 한다.

본 연구는 황토결합재의 콘크리트 적용 가능성에 대한 것으로서 실험 결과 210kg/cm<sup>2</sup>(20.58MPa) 이상의 압축강도 발현으로 사용 가능성을 확인하였으며, 향후 강도 이외의 동결융해, 내화학적, 내수성, 내마모성, 부착력 등의 실험이 추가적으로 진행 되어야 될 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 국립문화재연구소 전통건축기술개발 연구사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. 최신콘크리트공학, (2001), 기문당, 한국콘크리트학회
2. 콘크리트혼화재료. (1997), 기문당
3. 황혜주, (1997), 고령도의 활성화 방법 및 활성 고령도를 혼입한 모르타르와 콘크리트에 대한 연구, 서울대 대학원 박사논문
4. 양근혁외 3인, (2006), 황토결합재를 사용한 무시멘트 모르타르의 배합특성에 따른 압축강도 및 건조수축 거동
5. 이종열, (2003), 21세기 건설산업에서 시멘트 산업의 발전방향-건설산업 경쟁력 강화와 콘크리트 품질 향상, 대한건축학회 국제세미나