

석회복합체와 흙을 이용한 흙벽체 재료 개발에 관한 기초적 연구

An Fundamental Study on the Earth Wall Material Development by using of Lime Composition and Earth

황 혜 주* 강 남 이**
Hwang, Hey zoo Kang, Nam Yi

Abstract

Lime was the solidifier mostly used at the fields of construction and civil works in the past. however, the development of Portland cement remarkably reduced the use of it. Recently as the concernment on circumstances gets higher, lime wined attention again as an eco-friendly material and was used at earth-using construction. This study examined the physical and chemical capacity of lime complexes with lime capacity improved, and performed fundamental study on the way to concretize by mixing it with earth. As a result, lime complex pressure strength was lower than cement pressure strength but it showed the possibility that its strength was improved by W/B control. The measurement of XRD after paste formation confirmed a compound generated by the reaction of Ca²⁺ion and Si, Al, and Fe from pozzolan reaction. A earth wall experiment by using lime complexes and earth showed that the higher, WB or the lower the quantity of unit combined materials, the lower the pressure strength was. The maximum pressure strength was maximum 11MPa when the quantity of unit combined materials was 450. It is because the composed earth particles had a high content of micro powder less than silt, so a lot of combination are demanded to secure fluidity. As a result of peptization experiment, after hardening, the material was not dissolved, which informed of the possibility of use as an outer subsidiary material. If the material is hardened by mold formation method, natural hardening crack appears. Cast expresses smart surface quality and enables to design for multiple purpose. The result shows the possibility of construction of low-story structures by using earth wall made of lime complexes and earth.

키워드 : 석회복합체, 흙벽체, 압축강도, 질감, 해교성

Keywords : lime composition, earth wall, compressive strength, texture, peptization

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

석회는 포틀랜드시멘트가 개발되기 이전 건축 및 토목 분야에서 가장 많이 활용되었던 고화제였다. 이는 동서양에서 발견되는 많은 흔적들에서 쉽게 알 수 있는 사실이다. 그러나 1800년대 개발된 포틀랜드시멘트의 높은 성능에 의해 그 사용은 점차 줄어들었으며 건축분야에서는 그 사용이 현저히 줄어들게 되었다. 하지만 토목분야에서는 지반 개량의 용도로 꾸준히 사용되고 있으며 석회의 성능을 개선한 석회복합체가 개발되어 그 사용이 확대되고 있다. 석회의 활용은 친환경건축으로서 주목받고 있는 흙건축 (자연 상태의 흙을 소재로 한 건축)에서는 흙이

물에 풀리는 단점을 개선하기 위해 석회를 활용하여 흙이 화학적인 안정화가 이루어지도록 한다. 하지만 석회의 활용은 주로 건식공법에 활용되고 있으며 습식공법에는 그 적용성이 낮다. 그 이유는 습식공법의 경우 석회를 첨가하여도 물량이 많은 소성이나 액상상태의 배합은 양생 시간이 길고 초기강도가 낮기 때문이다. 석회를 대신해 일부에서는 시멘트를 사용하고 있다. 시멘트의 경우 석회에 비해 강도는 높게 나타나지만 생산시 많은 에너지의 소비와 이로 인한 온난화가스의 발생 등의 이유로 그 사용량을 줄여가는 추세이므로 사용을 지양하고 있다. 또한 흙건축에서 흙을 사용할 때 최밀층전을 위한 입도 조정을 하게 되며 일반적으로 대지에서 발생한 흙은 배출되게 된다. 하지만 이러한 흙을 활용할 수 있다면 비용을 절감할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 흙건축 건설현장에서 발생하는 일반 흙을 안정화하여 압축강도를 개선한 건축 벽체 재료로 활용하기 위한 방법의 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

* 국립목포대학교 건축학과 교수, 공학박사(zederro@korea.com)

** 교신저자, 국립목포대학교 건축학과 박사수료

(21ckny@hanmail.net)

본 연구는 산업자원부와 한국 산업 기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 국내에 풍부하게 매장된 자원인 흙을 건축재료로 활용하기 위한 방안으로써 석회의 성능을 개선한 석회복합체를 활용하고자 한다. 흙과 석회복합체를 혼합하여 흙을 고화시키고 강도를 증진시켜 건축공사에 활용하고자 한다.

고화제로서 석회복합체의 물리·화학적 특성을 황토결합재 및 시멘트와 비교 검토한 다음 이를 흙과 혼합하는 실험을 실시하고자 한다. 석회복합체의 첨가량은 단위결합재량 250, 350, 450의 세가지 수준으로 하였으며 각각의 단위결합재량에 W/B를 2~3가지 수준으로 하여 실험을 실시하였다. 반죽의 유동성에 따라 유동성이 낮은 경우에는 다짐을 실시하여 흙다짐 공법에서와 같이 표면에 다짐결을 형성하도록 한다. 유동성이 높은 경우에는 흙타설 공법에서와 같이 매끈한 표면이 나타나도록 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 석회의 이용 현황¹⁾

현재 석회는 금속, 화학, 건축, 토목, 농업, 환경, 식품 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 건축에서는 도장재료, ALC, 보온재로써 사용된다. 소석회를 물과 혼합하여 벽에 바르는 도장재료는 미관이 수려하고 습기조절 능력이 우수하며, 장기적인 내구성이 뛰어난 장점을 가지고 있다. 생석회는 경량발포콘크리트의 생산에 사용되어 수열반응에 의해 CaO-SiO계 반응물을 합성, 성형하여 보온재를 만들게 된다. 이 보온재는 다공질이어서 가볍고 보온성이 높으며 내화도가 높은 특성을 가진다.

토목재료로서 석회는 연약지반의 개량, 기초기반의 개량 및 성토제 등 개량 토질안정제로써 생석회나 소석회가 사용된다. 최근에는 수쇄슬래그, 시멘트 등을 석회와 혼합하여 기능성을 키운 토질안정제가 사용되고 있다.

환경분야에서는 SO₂가스와 SO₃ 가스를 발생하는 산업분야에서 탈황의 용도로 석회가 사용되어지고 있으며 이때 석고가 부산물로 만들어지게 된다. 쓰레기 소각에서 발생하는 염화수소의 탈염제로서도 사용되어지고 각종 폐수의 중화 및 중금속 제거에도 석회가 사용되어지고 있다. 또한 산성비의 대책으로 강이나 호수에 석회를 뿌려 중화하는데 사용되어지고 있다.

2.2 석회에 의한 흙의 개량 원리²⁾

건설공사에서 지반의 강도 및 지내력 강화를 위하여 고화제를 사용하게 된다. 이러한 지반 개량용 고화제는 크게 시멘트와 석회가 있다. 석회계 고화제는 석회계와 석회복합계 고화제가 있으며 토양의 종류 및 함수비에 따라 사용을 달리하게 된다.

석회에 의한 흙의 안정화는 다음의 다섯 단계로 진행

된다. 첫째, 석회의 수화반응으로 생석회와 물의 반응에 의해 발생하는 열에 의해 흙의 함수비가 저하되고 온도 상승에 의해 고화 반응은 촉진된다. 둘째, 이온교환 반응에 의해 소석회에 있는 칼슘이온과 흙입자의 Na⁺, K²⁺ 이온과 이온교환반응을 일으켜 흙입자가 응집하기 쉬운 대전상태로 변화한다. 셋째, 에트린가이트의 생성에 의해 흙의 물입자와 물이 고정되고 체적은 약간 증가한다. 넷째, 포졸란 반응에 의해 실리카, 알루미나와 물이 소석회와 반응하면서 경화반응이 일어나게 된다. 다섯째, 소석회의 탄산화 반응에 의해 흙의 장기강도가 증진된다.

표 1. 석회에 의한 흙의 개량 원리

구 분	화학반응식
수화반응	CaO+H ₂ O→Ca(OH) ₂ +63.5KJ·mol ⁻¹
이온교환반응	Ca(OH) ₂ +H ₂ O→Ca ²⁺ +2OH ⁻
에트린가이트 생성	3Ca(OH) ₂ +Al ₂ O ₃ +3CaSO ₄ +29H ₂ O→3CaO·Al ₂ O ₃ ·3CaSO ₄ ·32H ₂ O
포졸란반응	Ca(OH) ₂ +SiO ₂ +nH ₂ O→CaO·SiO ₂ ·nH ₂ O
	Ca(OH) ₂ +Al ₂ O ₃ +nH ₂ O→CaO·Al ₂ O ₃ ·nH ₂ O
탄산화반응	Ca(OH) ₂ +CO ₂ →CaCO ₃ +H ₂ O

2.3 황토콘크리트³⁾

국내 황토를 건축재료로 활용하기 위한 연구는 1990년대 말부터 꾸준히 연구되어지고 있다. 황토콘크리트는 이러한 연구의 일환으로 기존 콘크리트의 결합재인 시멘트를 황토결합재로 대체하여 콘크리트를 제조한 것이다. 기존의 시멘트콘크리트에 비해 강도는 다소 낮게 나타났으나 일부 연구에서는 구조재로서 사용하기 위한 기준 강도를 초과하여 나타나기도 하였다. 현재는 건축구조재로 사용하기 위한 구조 연구가 꾸준히 진행되어지고 있다.



그림 1. 황토콘크리트 시공 건물

국내에서는 황토콘크리트를 사용하여 지상 1층 규모의 건축물에 철근콘크리트 구조로 기초, 벽체, 슬라브를 시공하기도 하였다.(그림 1) 최근에는 국내 A시멘트제조업체에서 황토를 활성화한 황토시멘트를 개발하여 화제가 되기도 하였다.

1) 이구중, 석회의 이용현황과 새로운 용도, 한국석회석가공업협동조합, 석회 v.7 n.2, p.54~64, 2002
 2) 가하이 석회공업(주), 이구중 역, 석회 및 석회복합계 고화제에 의한 지반 개량, 한국석회석 가공업협동조합, 석회, v.13 n.2 p.61~65 2008

3) 황해주, 흙건축, 도서출판 씨아이알, p.202~205, 2008

2.4 흙다짐공법⁴⁾

흙건축 공법 중 일체식 공법으로 분류되어 커다란 벽체를 이음매 없이 세우는 공법이다. 하나의 벽체를 만들 때 이음매가 발생하지 않으며 다짐에 의한 자연스러운 결이 발생하기 때문에 사람들에게 좋은 이미지를 주어 선호도가 높은 공법이다. 벽체의 두께는 보통 40cm 정도로 두꺼운 편인데 이는 흙다짐을 내력벽으로 사용하기 위한 최소한의 두께이며, 벽체가 높아질 경우 벽체는 더 두꺼워 질수도 있다. 그러나 최근에는 벽체를 15cm 내외에 하여 실내 이미지 월 등으로 활용하는 사례도 있다.

흙다짐 공법에서 흙의 상태는 매우 중요하다. 첫째로 흙의 입도는 다짐 벽의 강도, 균열 발생, 표면의 견고성, 내구성 등 많은 부분에 영향을 미치므로 흙의 선정 및 배합시 입도 기준에 맞게 하여야 한다. 둘째로 흙의 함수 상태는 작업성과 내구성에 많은 영향을 미친다. 함수량이 많은 경우 다짐이 어려우며 탈형시 거푸집에 부착되어 면이 떨어지기도하며 양생시 균열의 발생원이 된다. 함수량이 너무 적은 경우 흙입자 간의 결합력이 저하되어 거푸집 탈형시 부스러지게 된다. 셋째로 흙의 강도를 보강하기 위해 석회나 시멘트 등의 고화제를 첨가하여 물에 대한 내성을 키우며 강도를 증진 시킨다.

흙다짐 공법은 흙을 일정한 틀에 넣고 다지기 때문에 높은 측압이 발생하게 된다. 그러므로 이러한 측압에 대해 벽체의 변형을 최소화하기 위한 거푸집의 제작이 중요하다. 그래서 목재나 철재 거푸집을 사용할 경우 벽면 판 이외에 판재나 파이프를 측면에 다수 보강해야 한다. 이러한 이유로 조립시 많은 시간이 소요된다. 또한 시공이 완료된 시점에 다른 공정의 진행중에 파손이 일어나지 않도록 상당히 주의를 기울여야 한다.



그림 2. 흙다짐 적용 건축물

3. 석회복합체의 물성 분석 실험

3.1 실험개요

황토를 안정화하여 구조재로 사용하기 위해 고화제로서 석회복합체의 사용을 검토하는 기초 연구로서 현재 고화

4) 황혜주, 흙건축, 도서출판 씨아이알, p.193~201, 2008

제로 사용 중인 시멘트와 황토결합재를 석회복합체와 비교분석 하였다. 석회복합체의 물리적 특성 및 압축강도, XRD, SEM 사진을 비교 분석 하였다.

3.2 실험재료

1) 석회복합체(LC)

석회복합체는 석회를 베이스로 하는 포졸란 반응을 일으키며, 강도발현에 기여하는 무기질 재료를 첨가한 것으로 화학적 특성은 표 2와 같다.

표 2. 석회복합체의 화학적 특성

구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	LOI
합량	26.10	13.31	45.51	6.13	6.71	2.24

2) 황토결합재(HB)

황토결합재는 C사의 황토결합재를 사용하였다. 황토와 무기질 재료를 적정배합 혼합한 것으로 포졸란 반응에 의한 결합력을 발현한다. 화학적 특성은 표 3과 같다.

표 3. 황토결합재의 화학적 특성

구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
합량	37.87	18.55	37.03	5.26	1.28

3.3 실험방법

실험체의 측정은 결합재로 사용하기 위한 석회복합체의 기초 물성을 기존의 결합재와 비교 검토 하였으며, 압축강도는 KS L 5105에 의거하여 측정하였다. SEM은 재령 7일에 측정하여 반응에 의한 초기 생성물을 확인하였다. XRD는 재령 28일에 측정하여 결합재와 흙의 반응 생성물을 확인하였다.

3.4 실험결과

1) 기초물성

석회복합체의 기초물성 실험 결과 석회복합체는 시멘트에 비해 높은 분말도를 나타냈으며, KS 기준 보다 약 2배 높게 나타났다. 이는 비표면적이 매우 큰 것으로 배합시 동일 상태의 시멘트반죽에 비해 높은 W/B가 요구될 것으로 판단된다.

응결시간은 초결이 5시간 50분으로 시멘트에 비해 반응 속도가 느린 것으로 나타났다. 이런 경우 배합 후 작업시간을 길게 확보할 수 있는 장점을 갖는다. 초결에서 종결까지의 시간은 약 3시간으로 시멘트와 비슷하게 나타났다.

강열감량의 경우 석회복합체는 KS 기준을 만족하였으나 황토결합재의 경우 3.6으로 기준을 초과되게 나타났다.

표 4. 결합재 물성 비교

구분	LC	HB	시멘트(S사)	ks 1종
분말도(cm ² /g)	5,969	5,880	3200±300	2800이상
응결시간	초결(h)	5:50	8:20	3:40±50분
	종결(h)	8:20	13:20	6:40±1시간
강열감량(%)	2.5	3.6	1.5±0.5	3.0이하
비중(g/cm ³)	2.74	2.7	3.14	

2) 압축강도

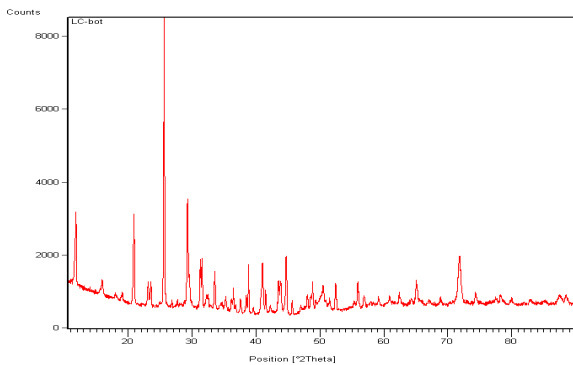
한국산업표준(KS)에 제시된 보통포틀랜드시멘트의 규정에 따르면 결합재로서 시멘트의 경우 재령 3일:12.5MPa, 7일 22.5MPa, 28일 42.5MPa이상의 강도를 요구하고 있다. 하지만 석회복합체의 경우 KS 기준에 못미치는 수준으로 나타났다. 재령 3일의 경우 9.9MPa로 KS와 크게 차이를 나타내지 않았으나 재령 7일, 28일의 경우에는 기준에 비해 50% 이하의 성능을 나타내었다.

표 5. 결합재의 압축강도 특성

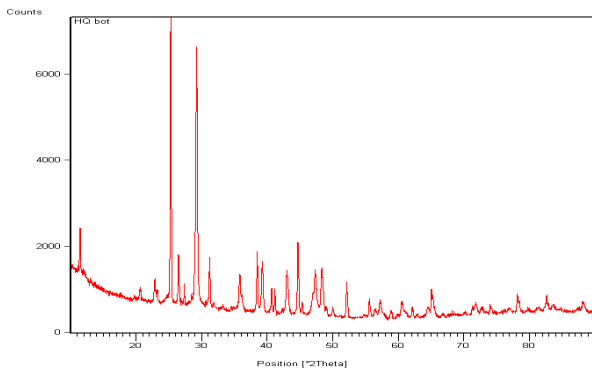
구분	LC	HB	C(S사)	ks 1종	
압축강도 (N/mm ²)	3일	9.9	7.9	20±2	12.5이상
	7일	11.2	9.1	30±3	22.5이상
	28일	19.3	14.9	38±3	42.5이상

3) XRD 측정

석회복합체와 황토결합재를 각각 페이스트로 만들어 재령 28일 이후 XRD를 측정하였다. 석회복합체 측정 결과 석회의 Ca²⁺ 이온이 반응하여 다양한 화합물을 생성한 것을 알 수 있었다. 주요 결합 원소는 Si, Al 이었으며 석회와의 포졸란 반응에 의해 생성된 것으로 판단된다. 황토결합재의 경우도 석회와 무기질 재료의 포졸란 반응으로 인해 Ca²⁺ 이온과 Si, Al Fe 등이 반응한 화합물이 생성된 것으로 나타났다.



a. LC XRD 촬영

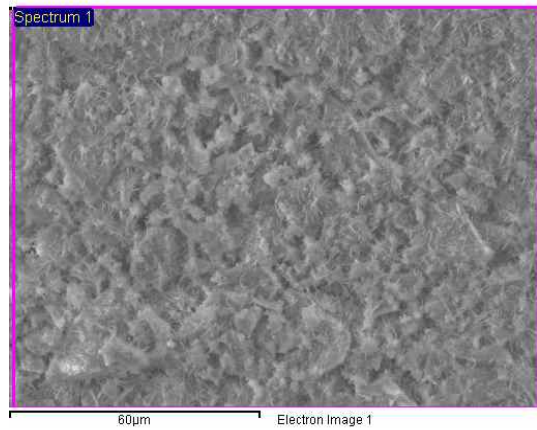


b. HB XRD 촬영

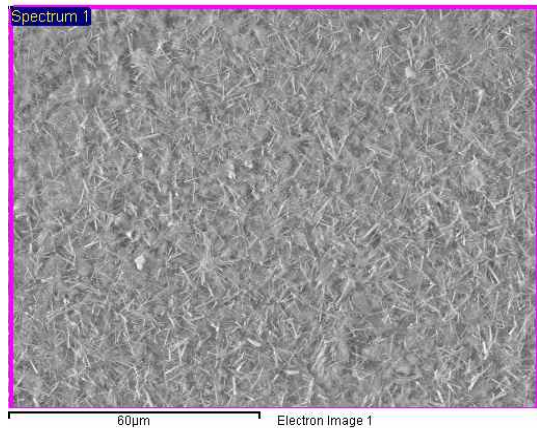
그림 3. XRD 측정 사진

4) SEM 측정 결과(배율 확인)

SEM 측정 결과 재령 7일 석회복합체는 침상구조가 일부 포함된 결정을 형성하였으며 황토결합재의 침상구조에 비해 촘촘한 구조를 나타낸 것으로 나타났다. 이는 석회복합체의 강도발현 반응에서 침상구조의 에트링가이트의 생성 반응과 포졸란 반응이 일어나 침상구조와 함께 안정된 결정을 형성한 것으로 사료된다.



a. LC의 SEM 사진



b. HB의 SEM 사진

그림 4. 재령 7일 SEM 측정 사진

4. 석회복합체를 활용한 흙벽체 실험

4.1 실험 배합

실험은 크게 유동성을 작게 한 다짐흙벽체와 유동성을 크게 한 타설흙벽체로 구분하여 실험을 실시하였다. 다짐 흙벽체의 경우 기존의 흙다짐 공법에서 나타난 표면 질감을 살릴 수 있는 공법으로의 적용을 실험 했으며, 타설 공법의 경우 일반적인 건축물 시공시 사용된 시멘트콘크리트처럼 유동성을 키워 일체화된 단일 벽체를 목표로 실험을 실시하였다. 실험 인자로는 단위결합재량(kg/m³)을 250, 350, 450의 3가지 수준으로 하였으며 W/B는 반죽질기를 고려하여 단위결합재량 250은 2가지 수준, 단위결합재량 350, 450은 3가지 수준으로 하였고 혼화제는 1 수준으로 하여 실험을 실시하였다. 측정은 공기량, 슬럼프, 압축강도, 쪼갬인장강도, 표면 질감 등의 부분을 실시하였다.

표 6. 흙벽체 적용 실험 인자 및 수준

성형 방법	실험인자	실험수준		측정항목
		단위결합재량 (kg/m ³)	W/B(%)	
다짐	반죽질기에 맞게 조정	250	350,450	공기량, 슬럼프, 압축강도, 쪼갬인장강도, 표면질감
		2수준	3수준	
타설	혼화제(%)	2%		

4.2 실험재료

석회복합체를 사용한 흙벽체를 배합하기 위해 본연구에서 실험 분석한 석회복합체를 사용하였으며 골재로 사용된 흙은 전남 무안산 황토를 8mm체로 체가름하여 사용하였으며 물리·화학적 성질은 표2와 같다. 황토의 입도는 그림 5와 같으며 기존의 잔골재인 잔골재의 표준입도와 비교해보면 매우 작은 입자들로 구성되어 있으며 시멘트콘크리트에서 사용이 제한된 0.15mm 이하의 미립분이 70%이상 포함되어 있는 특성이 있다. 황토의 경우 이러한 미립분이 많이 함유되어 있기 때문에 배합시 많은 물을 흡수하게 되어 양생 후 균열의 발생가능성이 크다. 그래서 본 실험에서는 고성능감수제를 사용하여 배합수량을 줄였으며 사용된 고성능감수제의 물리적 특성은 표 5와 같다.

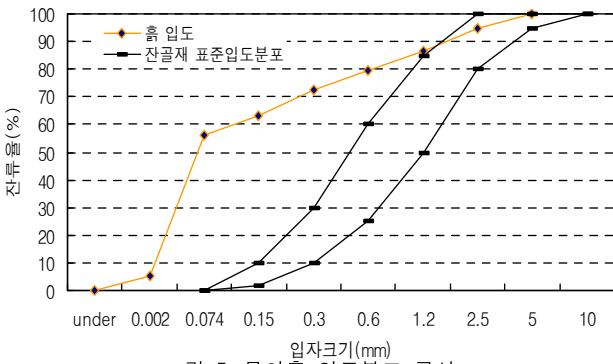


그림 5. 무안흙 입도분포 곡선

표 7. 무안흙의 물리·화학적 성질

함수율(%)		비중	공극률(%)			단위용적중량(kg/l)
2.66		2.49	50.90			1.123
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	LOI
43.26	13.23	5.86	8.41	6.5	2.15	18.16

표 8. 고성능 감수제의 물리적 성질

혼화제의 종류	유형	색상	주성분	독성	PH	비중
나프탈렌계	액상	암갈색	Copolymer	무	8-10	1.05±0.02

4.3 실험 방법

몰드의 성형 방법은 유동성의 정도에 따라 다짐과 타설의 방법을 사용하였다. 유동성이 낮은 배합의 경우 몰드 성형 시 일반적인 방법으로는 공극이 많이 발생하므로 흙다짐공법에서와 같이 에어컴프레셔와 램머를 사용

표 9. 석회복합체를 이용한 흙벽체 배합표

구분	용적배합(ℓ)	단위량(kg/m ³)	W/B (%)	단위수량	단위결합재량	흙	공기량	혼화제
RH1	용적배합(ℓ)	300	120	300	91	579	30	2%
	단위량(kg/m ³)				250	1441		
RH2	용적배합(ℓ)	325	130	325	91	554	30	2%
	단위량(kg/m ³)				250	1379		
RH3	용적배합(ℓ)	280	80	280	128	562	30	2%
	단위량(kg/m ³)				350	1400		
RH4	용적배합(ℓ)	315	90	315	128	527	30	2%
	단위량(kg/m ³)				350	1313		
RH5	용적배합(ℓ)	350	100	350	128	492	30	2%
	단위량(kg/m ³)				350	1226		
RH6	용적배합(ℓ)	270	60	270	164	536	30	2%
	단위량(kg/m ³)				450	1334		
RH7	용적배합(ℓ)	315	70	315	164	491	30	2%
	단위량(kg/m ³)				450	1222		
RH8	용적배합(ℓ)	360	80	360	164	446	30	2%
	단위량(kg/m ³)				450	1110		
LS1	용적배합(ℓ)	475	190	475	91	404	30	2%
	단위량(kg/m ³)				250	1005		
LS2	용적배합(ℓ)	500	200	500	91	379	30	2%
	단위량(kg/m ³)				250	943		
LS3	용적배합(ℓ)	455	130	455	128	387	30	2%
	단위량(kg/m ³)				350	964		
LS4	용적배합(ℓ)	490	140	490	128	352	30	2%
	단위량(kg/m ³)				350	877		
LS5	용적배합(ℓ)	525	150	525	128	317	30	2%
	단위량(kg/m ³)				350	790		
LS6	용적배합(ℓ)	450	100	450	164	356	30	2%
	단위량(kg/m ³)				450	886		
LS7	용적배합(ℓ)	495	110	495	164	311	30	2%
	단위량(kg/m ³)				450	774		
LS8	용적배합(ℓ)	540	120	540	164	266	30	2%
	단위량(kg/m ³)				450	662		

하였다. M-18 램머를 사용하여 0.5Mpa의 힘으로 10초 동안 다짐하였다. 다짐의 경우 다짐결의 상부에 비해 하부가 낮은 강도를 가지며 이러한 다짐결이 여러 개 중첩되어 나타나기 때문에 3개의 단으로 나누어 다졌다. 또한 다짐 1결 부어넣기 높이가 20cm일 때 가장 높은 것으로 나타나⁵⁾ 실험시 다짐 높이는 하단 3cm, 중앙 12cm, 상단 5cm로 3부분으로 하였다. 유동성이 좋은 배합의 경우 일반적인 시멘트콘크리트와 같이 KS F 2425 실험실에서 콘크리트 시료를 만드는 방법에 의거 시험체를 성형하였다. 양생은 2m×2m×1.8m의 공간에 온도 23±2℃, 습도

5) 윤석우, 황토결합재를 이용한 흙다짐공법의 고성능화 및 현장 적용성, 목포대학교대학원, 2009

70±2%를 유지하여 실시하였다.

시험체의 측정방법은 KS F 2402 슬럼프 시험 방법에 의해 유동성을 측정하였으며 KS F 2449 균치 얇은 콘크리트의 용적에 의한 공기량 시험방법에 의거 건식방법으로 공기량을 측정하였다. KS F 2405 콘크리트 압축강도 시험방법에 의거 압축강도를 측정하였으며 KS F 2423 콘크리트 쪼갬 인장강도 시험 방법에 의거 인장강도를 측정하였다. 석회복합체와 흙을 사용한 콘크리트의 물에 대한 저항성을 평가하기 위해 재령 28일 양생이 완료된 시험체를 24시간 물에 담구어 시험체의 변형을 평가하는 방법으로 해교성 실험을 실시하였다. 이외에 다짐과 타설 방법에 의해 성형된 시험체의 표면 질감을 비교 검토 하였다.

4.4 흙을 골재로 사용한 흙벽체 실험 결과

1) 유동성 및 공기량 측정결과

실험결과 다짐흙벽체의 경우 슬럼프는 모두 0으로 나타났으며 이는 유동성이 좋을 경우 다짐결이 없이 일체화된 표면을 나타내기 때문에 다짐흙벽체의 표면 질감에 다짐결을 나타내기 위해 반죽질기를 조정한 결과이다. 타설흙벽체의 경우 소요의 슬럼프를 얻기 위한 W/B는 100%이상으로 나타났다. 이는 골재로 사용한 흙이 일반 골재와는 다르게 0.15mm 이하 미립분의 함유량이 많기 때문이며, 결합재로 사용된 석회복합체의 분말도가 높기 때문이다. 두가지 요소는 비표면적이 크기 때문에 유동성 확보를 위해서는 다량의 물을 필요로 하게 된다.

타설흙벽체의 경우 공기량 측정 결과 석회복합체의 첨가량이 증가함에 따라 공기량이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 결합재의 첨가량이 증가하면서 밀실한 결합이 이루어지기 때문으로 판단된다.

표 10. 타설흙벽체의 슬럼프 및 공기량측정 결과

구분	LS1	LS2	LS3	LS4	LS5	LS6	LS7	LS8
슬럼프	0	4.5	0	8.4	23.2	0	12.7	25.5
공기량	8	5	7	6.3	5.5	5.5	4	1.15

2) 압축강도 측정결과

다짐흙벽체의 압축강도 측정 결과 W/B에 따른 강도의 영향이 큰 것으로 나타났다. 단위결합재량이 250일 경우 W/B가 120인 RH1에 비해 W/B가 130인 RH2가 높은 강도 발현을 했다. RH1이 강도가 낮은 이유는 석회와 흙이 혼합되어 강도 발현하는 포졸란 반응에 필요한 결합수를 확보하지 못한 것으로 인해 강도 발현이 적은 것으로 판단된다. 이러한 현상은 단위결합재량이 450인 RH6에서도 볼 수 있다. 그러나 RH7과 RH8을 비교해 볼 경우 물량이 필요 이상으로 많을 경우 잉여수의 증가로 양생 과정 중 증발에 의해 잉여수가 빠져나가 빈 공극이 발생하여 강도가 작아지는 것으로 판단된다. 재령 1일의 초기강도에서 단위결합재량이 350이상일 경우 대부분 2MPa이상의 강도 발현을 하는 것으로 나타났다. 재령 91일의 장기강도 발현은 모든 배합에서 꾸준한 증가를 보였으며 단

위결합재량 350의 경우 증진율이 가장 높게 나타났다.

단위결합재량이 증가함에 따라 강도는 증가하는 것으로 나타났으며 단위결합재 첨가량이 낮은 250의 경우 재령 초기 강도가 대체적으로 낮게 나타났다.

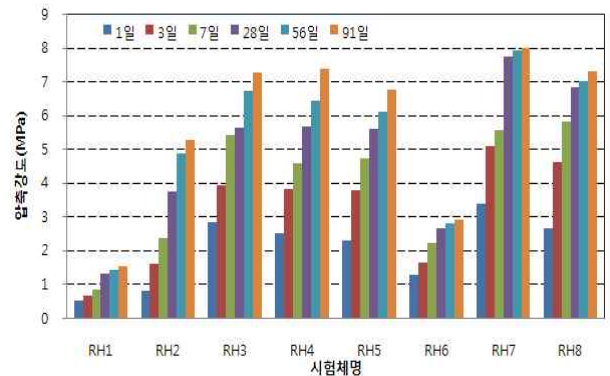


그림 6. 다짐흙벽체의 압축강도 측정 결과

타설흙벽체의 경우 다짐흙벽체에 비해 단위결합재량 250, 450의 경우 높은 강도를 나타냈고, 350의 경우는 비슷한 강도 발현을 나타냈다. 타설흙벽체는 단위결합재가 증가할수록 W/B에 의한 강도의 영향이 크게 나타났다. 이는 주요 골재인 흙이 미세입자를 많이 포함하고 있기 때문에 유동성이 좋을 경우 미반응 잉여수의 증가로 인해 발생하는 공극에 의해 강도가 저하되는 것으로 판단 된다.

재령 초기의 강도는 물량이 적은 다짐흙벽체가 대체적으로 높게 나타났으며, 28일 이후 장기재령은 W/B가 낮은 다짐 흙벽체가 타설흙벽체에 비해 압축강도 증진율이 높은 것으로 나타났다. 이는 유동성확보를 위해 다량 첨가한 물이 양생 후 공극으로 남게 되어 장기강도증진이 크지 않은 것으로 판단된다.

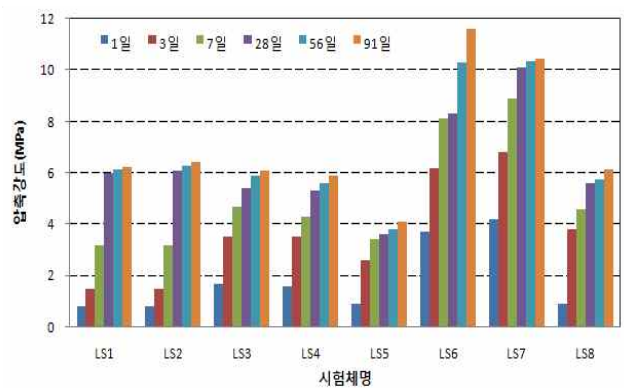


그림 7. 타설흙벽체의 재령별 압축강도

3) 쪼갬인장강도 측정결과

흙벽체의 인장강도 측정 결과 표 14와 같이 나타났다. 일반적으로 시멘트콘크리트의 경우 압축강도의 1/8~1/13 정도로 매우 작게 나타난다. 다짐흙벽체의 경우 압축강도의 1/4.7~1/5.9 정도로 나타났으며 타설흙벽체의 경우 1/5.4~1/9.5 정도로 나타났다. 다짐흙벽체의 경우 W/B를

낮추어 유동성을 낮게하여 외력을 가하여 다짐으로 해서 타설흙벽체에 비해 상대적으로 밀실한 흙벽체를 만든 것으로 판단되며 이로 인해 압축강도 대비 인장강도가 타설흙벽체에 비해 높게 나타난 것으로 판단된다.

표 11. 재령 28일 압축·인장강도 비교

구분	다짐흙벽체 재령 28일 강도 (MPa)		구분	타설흙벽체 재령 28일 강도 (MPa)	
	압축강도	인장강도		압축강도	인장강도
RH1	1.291	0.26	LS1	6.00	0.67
RH2	3.737	0.53	LS2	6.10	0.71
RH3	5.609	1.09	LS3	5.40	1.00
RH4	5.665	1.04	LS4	5.30	0.89
RH5	5.571	1.18	LS5	3.60	0.68
RH6	2.633	0.56	LS6	8.30	1.11
RH7	7.724	1.32	LS7	10.10	1.25
RH8	6.807	1.40	LS8	5.60	0.82

4) 해교성 실험

실험결과 석회복합체와 흙을 사용한 다짐과 타설 흙벽체 모두 물에 풀리지 않았다. 이는 포졸란 반응에 의해 흙 입자가 반응하여 물에 풀리지 않게 되기 때문이다. 흙건축의 여러 가지 공법을 사용할 때 가장 중요하게 생각되는 물에 대한 저항성을 확보하게 된 것으로 이를 활용할 경우 흙의 활용이 크게 증진될 것으로 사료된다.

5) 표면 질감

다짐흙벽체의 경우 자연스러운 흙다짐결을 형성하기 위해 유동성이 낮은 배합을 램머로 다졌다. 다짐결과 다짐부의 상단은 램머의 힘을 크게 받아 밀하게 충진되어 매끈한 질감을 나타냈다. 하지만 하단부는 램머의 힘이 상대적으로 낮게 전달되어 엉성한 질감을 나타냈다. 이렇게 상단과 하단의 표면질감 차에 의해 다짐결을 형성하였다. 타설흙벽체의 경우 유동성이 높으므로 일반적인 시멘트콘크리트의 비슷한 방법으로 성형했으며 표면은 매끈하게 나타났다.



그림 a. 다짐흙벽체



그림 b. 타설흙벽체

그림 8. 흙벽체의 표면 질감

5. 결론

전통적으로 사용되어온 석회를 개량한 석회복합체와

건설 현장에서 흔히 구할 수 있는 흙을 활용한 흙벽체의 개발을 위한 기초 연구로서 진행된 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 석회복합체의 경우 시멘트에 비해 낮은 압축강도를 나타냈으나 포졸란반응에 의해 Ca와 Si, Al 이온간의 반응성물질을 생성했으며, 반응 후 안정된 결정을 생성하는 것으로 나타났다.

2) 석회복합체와 흙을 혼합한 흙벽체는 흙입자가 갖는 다량의 미세한 입자로 인하여 소요의 유동성을 확보하기 위해서는 기존의 시멘트콘크리트에 비해 높은 W/B를 요구하게 된다.

3) 단위결합재량이 증가함에 따라 강도는 증가하는 것으로 나타났으나 흙의 미립분, 석회복합체의 높은 분말도에 의해 W/B에 따른 강도 변화가 크게 나타났다.

4) 다짐흙벽체의 경우 단위결합재량 350, 450에서, 타설흙벽체의 경우 단위결합재량 450에서 초기 재령 및 장기 재령에서 흙벽체에 적용가능한 높은 강도가 나타났다.

5) 쪼갬인장강도 측정 결과 다짐흙벽체의 경우 압축강도의 1/4.7~1/5.9 정도로 나타났으며 타설흙벽체의 경우 1/5.4~1/9.5 정도로 나타났다

6) 해교성 실험 결과 다짐·타설 흙벽체 모두 물에 풀리지 않는 내해교성을 갖는 것으로 나타나 외벽재료로서도 활용 가능할 것으로 판단된다.

7) 표면 질감의 경우 다짐흙벽체는 자연스러운 다짐결이 나타났고 타설흙벽체의 경우는 매끈한 표면을 나타냈다. 이는 흙벽체의 용도에 따라 다양한 질감의 표현이 가능하여 다양한 사용이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 한국콘크리트학회, 최신콘크리트 공학, 기문당, 2001
2. 한국석회석공업조합, 한국 석회석가공업협동조합 삼십년사, 2003
3. 황혜주, 홍건축, 씨아이알, 2008
4. 정일영, 최신 콘크리트 재료 공학, 기문당, 2004
5. 문희수, 점토광물학, 민음사, 1996
6. 황혜주 외, 황토의 반응메커니즘에 관한 연구, 대한건축학회, 1997
7. 양근혁 외, 황토결합제를 사용한 무시멘트 모르타의 배합특성에 따른 압축강도 및 건조수축 거동, 대한건축학회논문집, 2006
8. 황혜주 외, 황토콘크리트의 배합조건에 따른 강도성상 및 내구성, 한국생태환경건축학회, 2008
9. 황혜주 외, 흙다짐 적용을 위한 흙의 선정 및 입도조건에 관한 연구, 한국생태환경건축학회, 2009
10. 윤석우 외, 황토결합제를 이용한 흙다짐공법의 역학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국생태환경건축학회, 2009

투고(접수)일자: 2010년 5월 18일

심사일자: 2010년 5월 19일

게재확정일자: 2010년 8월 31일