

## 천연섬유와 석회복합체의 모르터 강도 성상에 관한 연구

## Strength Characteristics of Mortar with Lime Composites and Natural Fiber

황 혜 주<sup>\*</sup>                      김 태 훈<sup>\*\*</sup>                      양 준 혁<sup>\*\*\*</sup>  
Hwang, Hey Zoo              Kim, Tae Hoon              Yang, Jun Hyuk

## Abstract

The objective of this study was to investigate the strength characteristics of mortar with lime composites using natural fiber or superplasticizer. Lime composites consist of lime and pozzolan materials. Flow according to adding natural fiber decreased and mortar proportion added cellulose fiber showed a higher strength characteristics than other natural fiber. but compressive and shear strength in use of superplasticizer is not effective largely. In addition, lime composites, as an environment-friendly material, may help reduce CO<sub>2</sub>, and save the energy. also this materials can be recycled in environmental aspects. afterwards, further in-depth studies will be necessary for cracks and durability with respect to its wide different applications, in applying it as a construction material.

키워드 : 석회 복합체, 천연섬유, 친환경재료

Keywords : Lime Composites, Natural Fiber, Environmentally friendly Materials

## 1. 서 론

## 1.1 연구배경 및 목적

최근 기후변화협약과 환경규제에 대한 강화에 의해 친환경적이며 에너지 절약형의 소재 개발이 절실한 상황이고 전세계적으로 관련된 연구가 활발히 진행되고 실용화가 진행되고 있다. 특히, 건축분야에서는 재료의 생산과 사용 및 폐기에 있어서 매우 다양하게 환경에 영향을 미치기 때문에 정부에서도 이와 관련한 녹색기술에 대한 연구 개발에 대해 범정부 차원으로 실행전략을 수립하고 있다. 특히 인간의 거주공간을 보다 쾌적하도록 하고 자연환경에 폐해를 줄이기 위한 필요성보다 문제점을 해결하기 위한 방안이 제시되어야 할 것으로 보인다. 이에 건설자재의 생산에서부터 에너지 소비를 줄이고 친환경 건축자재를 개발하도록 하며, 사용된 자재를 재사용, 재활용 할 수 있는 다양한 노력이 필요하다.

우리나라에서 전통적으로 사용된 건축재료 중에 하나로 석회이라는 소재는 순환재료로서 천연의 석회석을 주원료로 하여 분쇄, 소성, 수화공정을 거쳐 제조되고 주로 제강, 시멘트용으로 사용되어져 왔으며 국내의 매장량이 150억톤에 이르지만 고품위 자원 부족 및 석회 제조 기술 낙후로 인해 수요의 90% 이상을 저부가가치 용도로

이용하고 있다. 다행히 최근에 와서는 독일, 일본 등 선진국을 중심으로 활발히 연구가 진행되고 있다. 석회의 이용은 전통적으로 주거에 적용되어온 회반죽을 대표로 들 수 있으며 회반죽은 소석회에 식물성 섬유나 흙을 개어 만드는 것으로 포르말린 등의 방출이 전혀 없으며 실내 공기 오염의 방지에도 효과가 있다고 알려져 있다.<sup>1)</sup>

이에 본 연구는 국내에 다량 매장되어 있는 석회를 이용하여 환경저감형 재료기술을 개발하기 위한 목적으로 석회의 강도적 특성을 증진시키기 위해 포졸란 재료를 첨가한 석회복합체에 천연섬유를 혼입하여 압축강도와 인장강도의 성상을 분석하여 석회를 다양하게 이용할 수 있도록 적용가능성에 관한 연구의 기초자료로 활용하고자 하는 것이 그 주된 목적이다.

## 1.2 연구범위

본 연구에서는 석회복합체와 천연섬유를 종류별로 첨가하여 강도성상에 관하여 연구하고자 하는 것으로 국내의 생산업체인 C사의 석회 복합체를 사용하였다. 1차실험으로 섬유의 종류 및 첨가비율별 실험으로 식물성 섬유인 S사의 황마와 아마, O사의 셀룰로오스, 광물성 섬유인 세피올라이트를 사용하여 실험을 실시하였다. 석회복합체와 섬유를 첨가하여 플로우 200±10mm를 기준으로 하여 W/B의 적정비율을 선정하였다. 2차 실험에서는 1차실험에서 가장 높은 강도를 보여준 섬유를 선택하여 섬유비율별 및

\* 목포대학교 건축학과 부교수(zederro@korea.com)

\*\* 교신저자, 목포대학교 건축학과 조교수(edge1014@empal.com)

\*\*\* (주)지플러스 연구원(yjhzzang@hotmail.com)

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 보존 복원기술 개발연구(R&D)사업의 일환으로 이루어졌으며, 이에 감사드린다.

1) 황대주의, 친환경성 석회도료의 개발 및 특성연구, 한국세라믹학회, vol 46, pp.47, 2009

고성능 감수제를 각각 첨가하여 압축강도와 인장강도의 성상을 측정하여 건축자재로의 가능성을 알아보고자 하였다.

## 2. 문헌고찰

### 2.1 석회복합체

석회를 베이스로 한 모르터는 예로부터 많이 사용되었고 20세기 기간 동안에는 포틀랜드 시멘트의 빠른 발전과 다양한 적용으로 인해 석회의 사용이 사라졌다. 그러나 친환경에 대한 관심이 증대되면서 석회를 이용하고자 하는 노력이 진행이 되었고 많은 연구를 통해 점도나 기공성 및 물비율처럼 다양한 조건에 관한 연구가 진행되고 있다. 일반적으로 석회를 건축재료로 사용할 경우에는 주로 생석회와 소석회형이 사용되며 이들 석회에 물과 모래를 혼합·교반시켜 석회 모르터화 함으로써 경화시켜 사용하였다. 석회는 주로 소석회형의 석회가 공기중의 탄산가스로 인해 탄산석회로 되어 경화하는 것으로 수중에서는 경화하지 않는 기경성 재료이며 경화가 표면에서부터 일어나 내부로 진행되기 때문에 경화가 매우 느린 특성을 가지고 있다.<sup>2)</sup> 또한 석회를 이용한 회반죽은 공기중의 이산화탄소를 흡수하여 경화하는 것으로 건조 경화시에 수축이 커서 갈라지거나 부서지기 쉽다는 단점이 있다. 현재 국내에 이루어지는 석회에 관한 실험은 크게 시멘트계와 비시멘트계의 두 가지 형태의 연구가 진행되고 있다. 비시멘트계에서는 석회계의 알칼리 자극제와 황토를 이용한 결합재 및 규산나트륨의 불유리계의 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서 사용되는 석회복합체는 비시멘트계로써 CO<sub>2</sub> 저감을 위한 것으로 국내 C업체에서 생산되는 생산품으로 수지를 전혀 첨가하지 않고 포졸란 재료를 첨가하여 기존의 석회의 단점을 보강한 재료로써 환경오염물질을 줄일 수 있을 것으로 보여진다.

### 2.2 섬유의 특징<sup>3)</sup>

천연섬유는 세계 여러 지역에서 풍부하게 생산되고 합성섬유와 같이 섬유 제조과정에서 고도의 기술이 요구되지 않으므로 소요되는 에너지도 거의 없고 비용도 거의 들지 않기 때문에 천연섬유를 이용하여 품질도 좋고 낮은 코스트의 건자재를 제조할 수 있다. 또한, 천연섬유보강 콘크리트는 종래 섬유보강 콘크리트와 동일한 균열구속효과 및 역학적 거동을 나타내는 장점을 가지고 있다. 이를 적용할 수 있는 천연섬유는 크게 동물성 섬유와 식물성 섬유로 분류할 수 있다.

#### 1) 식물성 섬유

식물성 섬유는 식물의 어느 부분, 예를 들어 잎이나 줄기, 열매 등에서 얻을 수 있는 식물이 생산 주체가 되는 섬유이다. 면, 마 등을 들 수 있으며 구성요소는 셀룰로

오스로서 일반적으로 200~300정도의 글루코스 단위가 섬유축 방향으로 배열된 것이다. 흡습성이 좋고 가공성도 우수하여 산업혁명 이후 특히, 방직을 기계화 시키면서 널리 보급된 섬유이다. 셀룰로오스계 섬유는 비중이 크고 신도, 탄성이 비교적 작다. 그리고 섬유자체가 비교적 크기 때문에 견과 같은 우아한 감성을 나타내지 않으나 마찰에 강하고 250℃부근까지의 열에 적당하게 흡습한다. 그리고 습윤강도가 건조시의 강도보다 크다는 등의 특징을 가지고 있다. 한편 내산성은 조금 약하지만 내알카리성은 강하기 때문에 현재에 실용적으로 가장 많이 사용되는 섬유중의 하나이고, 무엇보다도 현존하는 섬유 중 가장 환경친화적이며 인체에 무해하기 때문에 그 사용범위가 가장 넓게 분포하고 있다.

#### 2) 동물성 섬유

동물성 섬유는 누에실크(worm silk)와 거미실크(spider silk), 양모(wool)와 같이 동물이 그 생산 주체가 되는 것으로 탄성률과 기계적 특성이 우수하여 응용분야 및 그 잠재성이 매우 클 것으로 기대되고 있다. 그러나 생산량 및 단가가 식물성 섬유에 비해 수급에 어려운 단점이 있다. 대부분은 그 분자구조 중에 CONH기를 갖는 폴리아미드계 섬유로서 양모, 견 등이 그 대표적인 예이다. 동물성 섬유의 구조는 그리신 알라닌 로이신 세린 시스틴 등 아미노산의 축합체로서 구성되어있다. 양모는 예로 들면 알칼리에 약하고 인장강도나 내마모성이 약하다는 것, 각종 섬유 중에서도 가장 흡습성이 큰 반면 습윤강도가 크게 저하하는 등의 특성이 있다.

#### 3) 광물성 섬유

대표적인 광물성 섬유는 석면이다. 유연성 내열성이 있고 화학적으로 불활성이기 때문에 보온재 혹은 내화재료 등에 사용되고 있다.

이상의 섬유의 구분과 종류를 정리하면 다음과 같다.

표 1. 섬유의 종류

구분	종류	
	식물질 섬유	짚섬유
종자모 섬유		면, 폭
인피섬유		황마, 아마, 대마, 선헴프, 저마
동물질 섬유	엽맥섬유	마닐라마. 사이잘마, 뉴질랜드마
	과실섬유	야자
	수모섬유	양모, 램양모, 카멜모, 캐시미어, 라마모, 모헤아, 비큐나모
광물질 섬유	견섬유	가잠견, 야잠견
	인공섬유	탄소섬유, 유리섬유, 아라미드섬유
	천연섬유	세피올라이트

## 3. 석회복합체 모르터 실험

### 3.1 실험계획

본 연구는 석회를 베이스로 한 복합재료로써 압축강도와 인장강도의 성상을 분석하기 위해 섬유를 종류별, 첨가비

2) 서신석외, 수경성석회 모르타르의 재료적 특성에 관한 기초연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2005

3) 최재균, 식물섬유를 이용한 직물의 공간 활용에 관한 연구, 서울시립대 대학원, 2005

율별로 혼합하여 섬유를 첨가한 경우 석회복합체의 강도적 특성을 알아보고자 한다.

1) 1차 실험

석회복합체와 셀룰로오스, 세피올라이트, 황마, 아마의 섬유를 첨가한 실험으로 KS L 5111(시험용 플로우 테이블)에 의거하여 유동성에 대비 강도성상을 관찰하기 위해서 플로우 값을 200±10mm를 기준으로 실시하였으며 첨가율은 각각 석회복합체 대비 1, 2, 3%의 치환을 적용하였다.

표 2. 실험인자 및 수준

실험인자	수준수	수준
천연섬유종류	4	셀룰로오스(C), 아마(F), 세피올라이트(S), 황마(J)
석회복합체 대비 섬유혼입량(%)	3	1, 2, 3

2) 2차 실험

1차 실험을 결과를 바탕으로 하여 압축강도와 인장강도가 높은 배합을 선택하여 셀룰로오스 섬유 첨가량과 혼화제를 비율별로 첨가하여 목표 플로우 200±10mm를 기준으로 적정 물비율로 혼합한 후 압축강도와 인장강도를 재령 3, 7, 28, 56일로 측정하였다.

표 3. 실험인자 및 수준

실험인자	수준수	수준
섬유혼입량	5	0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5(%)
혼화제혼입량	5	0.5, 1, 1.5, 2, 3(%)

3.2 실험재료

1) 석회복합체

본 실험에서 사용한 석회복합체는 국내 C회사에서 제조된 결합재로써 비중은 2.74이고 분말도는 5969cm<sup>2</sup>/g이며, 강열감량은 2.5%로 나타났다.

표 4. 석회복합체의 XRF

구분	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	LOI
함량(%)	26.10	13.31	45.51	6.13	6.71	2.24

2) 모래

본 실험에 사용된 모래는 주문진산 표준모래를 사용하였다.

3) 혼화제

본 실험에 사용된 혼화제는 고성능 감수제로서 그 특성은 다음과 같다.

표 5. 혼화제의 물리적 특성

구성분	밀도	pH	색상	형태	표준사용량
PC계	1.05	6.38	흑갈색	액상	시멘트*0.15%

4) 셀룰로오스

본 실험에 사용된 셀룰로오스는 분말형으로 특성은 다음과 같다.

표 6. 셀룰로오스의 특성

구성분	비중	유효직경(micron)	인장강도(MPa)	탄성계수(Gpa)	pH
천연셀룰로오스	1.5	15	500~700	5.8~8.0	6.8

5) 황마와 아마

본 실험에 사용된 황마는 전마과(Tileaceae)로 구분되며 황갈색을 띠고 있으며 외관은 다발의 형상으로 이루어져 있으며 단면은 중심부에 루멘을 갖고 있는 5~6각형의 모양을 이루고 있다. 직경은 보통 70µm정도로서 0.01~0.05mm 두께로 치수 안정성 및 강도에 효율적이다. 황마와 아마는 S사의 수입산 섬유를 사용하였다.

표 7. 섬유의 물리적 특성

구분	길이	직경	흡수율	강도	탄성(GPa)	광택
황마	0.5~2.0	60~70	6	3	32	백황색
아마	0.3~0.9	40~250	6~8	4~6	2	백색

6) 세피올라이트

해포석이라고도 하는 세피올라이트는 규성화산암, 변성암을 구성하는 조암광물로서 섬유상 형태와 특이한 채널 구조형상인 점토광물<sup>4)</sup>로서 높은 흡착성능, 촉매성, 유동성 등의 특성을 지니고 있으며 섬유 간극간의 수분을 유지할 수 있는 공간을 확보하고 있으므로 점착력이 우수하여 무기계 증점제로 구분될 정도로 우수한 물 흡수력과 유희성을 가지고 있으며 외관이 석면 중의 크리스토일과 유사한 형태를 가지며 천연광물에서 추출한다는 공통점을 가지고 있다. 단사정계에 속하는 광물로서 화학성분은 다음과 같다.

표 8. 세피올라이트의 화학성분

구분	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
함량(%)	3.71	24.16	13.44	6.11	50.42	2.16

3.3 실험방법

1) 시험체 제작 및 양생방법

모르터 실험은 KS L 5109(수경성 시멘트 반죽 및 모르터의 기계적 혼합방법)에 의거하여 혼합하였고 양생온도는 18~22℃, 습도는 60~80%로 실시하였다.

2) 압축강도 시험

본 실험은 각 시험체를 표준양생을 통하여 KS L 5105에 의거하여 50×50×50(mm)의 공시체를 제작하였으며 재령 3, 7, 28, 56일에 압축강도를 측정하였다.

3) 휨강도 시험

휨강도 측정은 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 의거하여 40×40×160(mm)의 공시체를 제작하였으며 재령 3, 7, 28, 56일에 휨강도를 측정하였다.

4) 황진연, 울산 사문석광산에서 산출하는 세피올라이트의 광물학적 연구, 한국광물학회지 제4권제2호, pp.108~118,1991

4. 실험결과

4.1 섬유종류, 첨가비율에 따른 모르터 실험

일반적으로 모르터의 유동성은 플레인 배합의 경우 몰바인더 비율이 31.7%인 반면 섬유가 첨가된 배합은 4~17% 범위로 몰바인더 비율의 차이가 났으며 섬유첨가량이 많아질수록 몰바인더 비율은 높아졌다. 이처럼 섬유가 첨가된 경우 몰바인더 비율이 높아지는 이유는 배합과정에서 섬유의 파이버 불현상과 섬유자체의 긴 형상으로 인해 플레인에 비해 높은 몰비율을 갖는 것으로 판단되었다. 석회복합체와 섬유의 첨가비율에 따른 압축강도 측정결과, 재령 3, 7, 28일 강도에서는 석회복합체에 섬유를 첨가하였을 때 압축강도가 플레인 배합에 비해서 대체적으로 저하되는 것을 알 수 있었고 셀룰로오스 1%만 혼입한 경우 플레인 배합보다 높게 발현되었다. 그러나 재령 56일의 경우 플레인 배합이 섬유를 첨가한 배합보다 가장 높은 압축강도 발현을 하였다. 특히, 셀룰로오스를 첨가한 배합에서 재령 56일의 압축강도는 다소 저하되는 경향을 알 수 있었다. 이는 모르터 제작시 또는 강도 측정시 오차가 있는 것으로 판단되었으며 섬유를 첨가한 경우 재령에 따라 강도가 대체적으로 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 섬유의 첨가비율이 높아질수록 강도는 저하되는 것을 알 수 있었으며 세피올라이트를 첨가한 배합은 재령 28일까지 섬유비율을 증가할수록 강도가 증진되었다. 세피올라이트는 마그네슘-규산염계 무기질 섬유로서 석회복합체와의 반응에 의해 수화물이 생성된 것으로 여겨지며 이 수화물에 의해 강도발현이 되는 것으로 보여진다. 다만 장기강도 저하는 혼합시 섬유분산의 불량이나 조직의 치밀도가 플레인에 비해 저하 등의 원인으로 여겨졌으며 추후, SEM이나 XRD 등의 분석을 통해 반응에 의한 생성물 등의 원인을 분석하는 것이 좋을 것으로 여겨졌다. 섬유종류별 압축강도는 셀룰로오스를 첨가한 배합이 기타 배합보다 더 높은 강도 발현을 한 것으로 나타났으며 황마를 첨가한 경우 강도발현이 가장 저조하였다. 인장강도 측정결과 플레인 배합은 재령 7일 이후 강도 증

진의 변화가 높게 나타나지 않았으며, 셀룰로오스를 첨가한 경우 재령 3일의 인장강도는 플레인 배합보다 높게 나타났으며 재령 7일까지는 섬유첨가 비율이 증가함에 따라 강도도 높게 측정되었다. 특히, 셀룰로오스를 첨가한 경우 기타 섬유를 첨가한 경우와 비교하여 인장강도가 높게 측정되었으며 압축강도의 측정 분석과 같이 황마를 첨가한 경우 휨강도는 높게 측정되지 않았다. 위 데이터 분석으로 보았을 때 인장강도를 증진하기 위해 섬유를 혼입할 경우 셀룰로오스와 세피올라이트를 사용하는 것이 장기적으로 가장 적절한 것으로 나타났으며 아마섬유를 첨가한 경우 1%, 3%를 첨가한 경우 휨강도에 미세한 영향을 미치는 것으로 보였다. 이에 인장강도를 증진시키기 위해서는 4가지 섬유 중 셀룰로오스 섬유가 가장 적합한 것으로 나타났다.

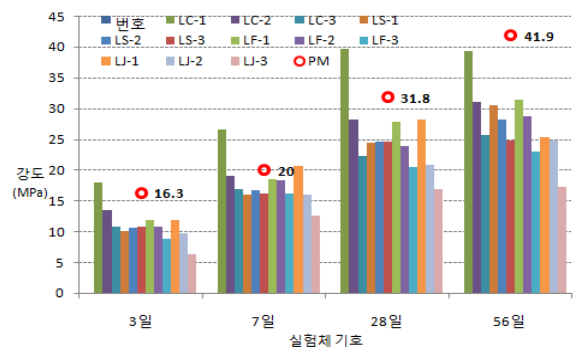


그림 1. 섬유종류 및 첨가 비율에 따른 모르터 압축강도

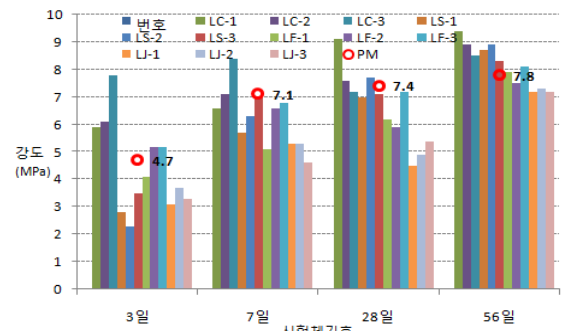


그림 2. 섬유종류 및 첨가 비율에 따른 모르터 인장강도

표 9. 섬유종류/첨가비율별 강도결과

시험체 번호	배합			재령별 강도(MPa)							
	황토결합재(g)	섬유(g)	물(%)	3일		7일		28일		56일	
				압축	휨	압축	휨	압축	휨	압축	휨
PM	6000	0	31.7	16.3	4.7	20.0	7.1	31.8	7.4	41.9	7.8
LC-1	6000	60	36	18.0	5.9	26.6	6.6	39.6	9.1	39.2	9.4
LC-2	6000	120	38	13.5	6.1	19.0	7.1	28.2	7.6	31.1	8.9
LC-3	6000	180	47.6	10.8	7.8	16.9	8.4	22.2	7.2	25.7	8.5
LS-1	6000	60	40	10.0	2.8	16.0	5.7	24.3	7.0	30.5	8.7
LS-2	6000	120	44	10.5	2.3	16.7	6.3	24.6	7.7	28.2	8.9
LS-3	6000	180	45	10.7	3.5	16.2	7.0	24.5	7.1	24.8	8.3
LF-1	6000	60	42	11.8	4.1	18.4	5.1	27.8	6.2	31.4	7.9
LF-2	6000	120	40	10.8	5.2	18.2	6.6	23.8	5.9	28.6	7.5
LF-3	6000	180	45	8.8	5.2	16.1	6.8	20.4	7.2	23.0	8.1
LJ-1	6000	60	38.6	11.8	3.1	20.7	5.3	28.2	4.5	25.3	7.2
LJ-2	6000	120	41.6	9.6	3.7	16.0	5.3	20.8	4.9	24.8	7.3
LJ-3	6000	180	48.5	6.3	3.3	12.5	4.6	16.9	5.4	17.2	7.2

※ L:석회복합체, C:셀룰로오스, S:세피올라이트, F:아마, J:황마, 숫자 : 섬유첨가비율

4.2 셀룰로오스와 혼화제 첨가비율에 따른 모르터 실험

2차 실험에서는 1차 실험 결과를 기본으로 하여 장기 강도에서 셀룰로오스 섬유 1%를 첨가한 경우 가장 높은 인장강도 발현을 한 것으로 나타났기 때문에 그에 대한 세부적인 섬유첨가비율을 알아보고자 셀룰로오스섬유를 0.3%의 비율로 첨가비율을 증진하여 혼합을 하였으며 고성능 감수제의 첨가비율이 석회복합체의 강도성장에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보았다. 그 결과 물바인더 비율은 플레인 배합과 비교하여 높게 첨가되지 않았으며 셀룰로오스 섬유를 1.5% 첨가하는 동안 물바인더 비율은 3%로 비교적 적게 첨가되었다. 또한 고성능감수제의 첨가비율이 높아질수록 물바인더 비율은 감소하였으며 감소폭도 점차 줄어들었다. 압축강도는 재령 3, 7, 28일의 경우 플레인 배합에 비해 강도는 높게 측정되었으며 장기강도인 재령 56일의 경우 0.6, 0.9, 1.2 %를 첨가한 경우 플레인 배합에 비해 높게 발현되었다. 이는 1차 실험과 다른 결과를 나타내었으며 원인으로 혼합시 물바인더 비율이 감소하였고 그로 인해 포졸란 생성물의 조직이 치밀해져서 강도에 영향을 미친 것으로 여겨졌다. 고성능 감수제를 첨가한 경우 강도는 플레인 배합보다 높게 측정되었으며 재령 28일까지는 큰 차이를 보여주었다. 장기 재령인 56일의 경우 고성능 감수제를 0.5% 첨가한 경우 플레인 배합에 비해 낮게 측정되었다. 인장강도 측정의 결과 셀룰로오스 섬유를 첨가한 경우 초기재령인 3일의 경우 플레인 배합에 비해 높게 측정되었으나 재령 7일부

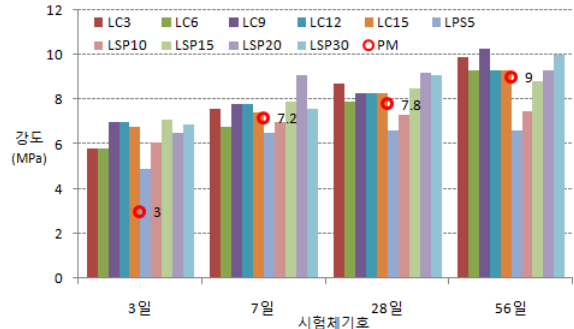


그림 4. 셀룰로오스와 감수제 첨가비에 따른 인장강도

터는 강도차이가 감소하였으며 재령 56일의 압축강도는 셀룰로오스를 0.9% 첨가한 경우 플레인 배합에 비해 높게 측정되었다. 고성능감수제의 경우 초기재령에는 플레인 배합에 비해 강도가 월등히 높게 발현되었으나 장기 재령으로 갈수록 강도는 플레인 배합과 비교하여 크게 발현되지 않았다. 이는 고성능감수제가 석회복합체의 초기반응에 영향을 준 것으로 판단되며 사용에 대한 주의가 요구되는 것으로 여겨졌다.

4.3 기타섬유 콘크리트와 천연섬유첨가에 따른 강도 특성 비교

강섬유를 2~2.5% 첨가한 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트에 비해 비슷하거나 작아지지만 휨강도는 대략 2배 정도의 강도 증진이 일어나는 것으로 나타났다. 유리섬유의 경우 2%를 첨가한 경우의 압축강도는 거의 개선이 없었으며 휨강도는 10%이상 개선되는 것으로 나타났다. 비닐론 섬유를 보강한 콘크리트의 휨강도는 2배에 가까운 강도발현을 하는 것으로 나타났다. 셀룰로오스 섬유를 첨가한 경우 섬유의 양이 1%이내의 첨가량에 따라 재령 56일 압축강도는 30%의 개선을 보였으며 휨강도의 경우 최대 10%정도의 개선을 보여주었다. 강섬유, 유리섬유, 비닐론 섬유의 타섬유보다 셀룰로오스섬유는 압축강도측면에서는 개선되었으며 휨강도는 유리섬유를 2% 첨가한 경우와 비슷하고 강섬유나 비닐로 섬유를 2% 첨가한 경우보다 강도증진이 떨어지는 것으로 나타났다. 현장

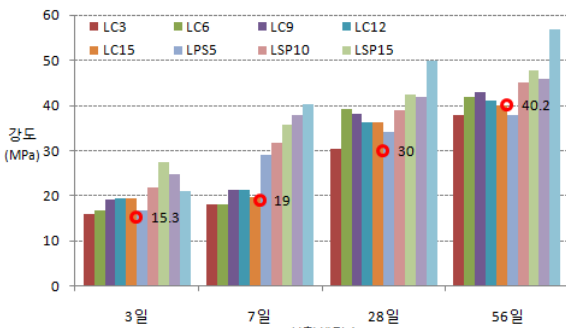


그림 3. 셀룰로오스와 감수제 첨가비에 따른 압축강도

표 10. 셀룰로오스와 혼화제 첨가 비율별 강도결과

구분	배합표					강도(MPa)							
						3일		7일		28일		56일	
	황토결합재 (g)	섬유 (g)	모래 (g)	혼화제 (%)	물바인더 (%)	압축	휨	압축	휨	압축	휨	압축	휨
PM	8000	0	0	0	35	15.3	3.0	19.0	7.2	30.0	7.8	40.2	9.0
LC3	8000	24	0	0	35	16.0	5.8	18.0	7.6	30.4	8.7	37.8	9.9
LC6	8000	48	0	0	36	16.8	5.8	18.0	6.8	39.2	7.9	42.0	9.3
LC9	8000	72	0	0	35	19.3	7.0	21.4	7.8	38.2	8.3	43.0	10.3
LC12	8000	96	0	0	36	19.5	7.0	21.4	7.8	36.3	8.3	41.1	9.3
LC15	8000	120	0	0	38	19.5	6.8	19.6	7.4	36.3	8.3	40.1	9.3
LSP5	8000	72	0	40	35	16.8	4.9	29.0	6.5	34.1	6.6	37.8	6.6
LSP10	8000	72	0	80	30	22.0	6.1	31.7	7.0	38.9	7.3	45.0	7.5
LSP15	8000	72	0	120	28	27.4	7.1	35.7	7.9	42.4	8.5	47.7	8.8
LSP20	8000	72	0	160	25	24.9	6.5	37.8	9.1	41.8	9.2	46.0	9.3
LSP30	8000	72	0	240	23	21.2	6.9	40.4	7.6	49.9	9.1	56.9	10.0

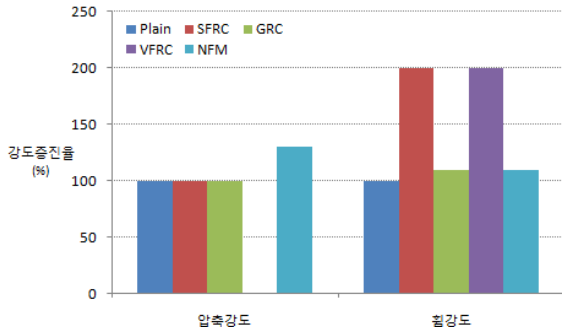


그림 5. 섬유첨가에 따른 강도성장 비교

활발히 사용되는 타섬유에 비해 셀룰로오스는 강도발현은 다소 떨어지나 압축강도면에서 증진을 보여주고 있어서 추후, 다양한 용도로 개발 가능할 것으로 보여진다.

### 5. 결론

본 연구에서는 천연섬유와 석회복합체의 강도성장 관련 실험으로 천연섬유인 아마, 황마와 목질계인 셀룰로오스 및 광물인 세피올라이트를 이용하여 첨가비율에 따른 강도발현 효과를 알아보고 가장 높은 발현을 한 셀룰로오스와 고성능 혼화제의 첨가비율에 따른 강도 발현 특성에 관한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 섬유첨가비율별 압축강도 실험결과, 섬유의 종류와 혼입비율에 따라 석회복합체의 압축강도는 큰 강도발현을 하지 못하였다. 셀룰로오스 섬유 1%를 첨가한 경우에 각각 다른 섬유와 첨가비율 보다 가장 높은 강도발현을 한 것을 알 수 있었으며 섬유첨가량이 증가할수록 압축강도는 작아진다는 것을 알 수 있었다. 이는 플로우에 따른 적정 물바인더 비율로 인해 각각의 섬유와 석회복합체의 포졸란 반응에 의해 강도발현이 높게 발현된 것으로 보여진다.

2) 섬유첨가비율별 인장강도 실험결과, 섬유의 종류와 혼입비율에 따른 석회복합체와의 인장강도 성장은 셀룰로오스 섬유가 다른 섬유보다 높게 발현되었으며 양생기간이 지나감에 따라 플레인 배합보다 높게 측정되었다. 세피올라이트와 아마를 첨가한 경우에는 대체적으로 인장강도의 효과가 있었다. 그러나 황마의 경우에는 인장강도 발현이 저조한 것을 알 수 있었다. 이는 각 섬유의 표면에 요철 또는 hook 등에 의한 부착강도의 영향 때문으로 여겨지며 황마의 경우 다른 섬유와 달리 강도저하의 원인 규명에 대한 실험이 진행되어야 할 것으로 보여진다.

3) 셀룰로오스와 고성능감수제를 첨가한 압축강도 실험결과, 셀룰로오스 섬유 0.6~1.2%를 첨가하였을 때 압축강도가 플레인 배합보다 높게 발현을 한 것을 알 수 있었으며 고성능 감수제를 첨가한 경우에는 첨가비율이

높아짐에 따라 압축강도가 증가하였으며 초기재령의 강도발현이 더 잘되는 것을 알 수 있었다. 셀룰로오스의 적정 분포 및 첨가량에 따른 현상으로 보여지며 이에 대한 섬유와 석회복합체의 매트릭스에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 여겨진다.

4) 2차 실험 인장강도 실험결과, 셀룰로오스 섬유의 첨가량이 0.9%를 첨가한 경우 가장 높은 인장강도 발현을 한 것을 알 수 있었으며 고성능 감수제를 첨가한 경우에는 압축강도와 비슷하게 첨가비율에 따라 인장강도가 증진된 것을 알 수 있었으나 장기강도에서는 플레인 배합보다 낮게 측정되었으며 이는 고성능감수제 첨가시 주의가 요구되었다. 플로우를 고정시킨 상태에서의 섬유의 적정 첨가비는 0.9%로 나타났고 이는 석회복합체와 셀룰로오스 섬유 매트릭스와의 부착성과의 관계가 큰 것으로 보여지며 이에 대한 심도깊은 연구가 진행되어야 할 것으로 보여진다.

위 실험을 통해 순환재료인 석회를 이용한 석회복합체의 경우 인장강도 증진을 위해 천연섬유를 첨가할 경우 셀룰로오스 섬유가 가장 적절한 것으로 보여지며 기존의 섬유를 첨가한 시멘트의 경우 압축강도의 경우 비슷하거나 낮아지는데 비해 본 실험에 적용된 석회 복합체의 경우에는 플로우를 고정시킨 상태이기 때문에 각각의 유동성에 적합한 강도의 적정 배합이 나타난 것으로 보여진다. 향후 건축재료로서 적용하기 위해 균열 및 내구성 등의 심도깊은 보완 연구를 진행한다면 건설용 재료로서 다양한 사용이 가능할 것으로 여겨졌다.

### 참고문헌

1. 친환경 건축재료의 현황 및 활성화 방안 연구, 한국과학기술단체총연합회, 대한건축학회, 2007
2. 중점녹색기술 개발과 상용화 전략, 녹색성장위원회 외, 2009
3. 다기능성 석회제품 제조기술 개발, 산업자원부, 2007
4. 황혜주, 황토결합체의 기초물성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 v.24 n.1, 2008
5. Marianne Le Troëdec, Influence of various chemical treatments on the interactions between hemp fibres and a lime matrix, Journal of the European Ceramic Society 29, 2009
6. Younoussa Millogo, Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks, Construction and Building Materials 22, 2008
7. Ioannis Karatasios, Sulphate resistance of lime-based barium mortars, Cement & Concrete Composites, 2008
8. Elif Ug̃urlu, The use of brick - lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings, Construction and Building Materials, 2009

투고(접수)일자: 2009년 11월 13일

심사일자: 2009년 11월 16일

게재확정일자: 2010년 12월 13일