

# 마 섬유 혼입에 따른 고밀도 섬유 시멘트 복합체의 불연 특성 연구

## A Study on the Non-combustible Properties of High-density Fiber Cement Composites Mixed with Hemp Fibers

장경필<sup>1\*</sup> · 송태협<sup>2</sup>Kyong-Pil Jang<sup>1\*</sup> · Tae-Hyeob Song<sup>2</sup>

(Received September 15, 2022 / Revised September 26, 2022 / Accepted September 28, 2022)

The function of reinforcing fibers used in building materials is to maintain resistance to bending loads and to function for cracking caused by drying shrinkage. High-density fiber-cement composites are mainly used for linear plates and are used to increase bending resistance. Therefore, tensile properties, bonding strength with cement hydrate, alkali resistance, and the like are required. Recently, as the non-combustible performance has been strengthened, a function to minimize the occurrence of sparks during high-temperature heating has been added. Therefore, the use of organic fibers is limited. In this study, a study was conducted to replace polypropylene used as reinforcing fiber with hemp fiber with excellent heat resistance. Hemp fibers have excellent heat resistance, good affinity with cement, and excellent alkali resistance. Based on the total volume of polypropylene fibers used in the existing formulation, the non-combustible performance was compared and evaluated by using hemp fibers instead of the polypropylene fibers, and basic physical properties such as flexural strength were tested. As a result of conducting a non-combustibility and physical property test using hemp fibers with a fiber length of 7 mm using 2 % and 3 % by weight, it was found that there is no remaining time of the flame, and the flexural strength can be secured at 95 % level of the existing polypropylene fiber.

**키워드** : 시멘트 복합체, 불연성, 압출성형, 보강섬유, 마 섬유

**Keywords** : Cement composite, Non-combustibility, Extrusion molding, Reinforcement fiber, Hemp fiber

### 1. 서론

고밀도 압출성형 시멘트 복합패널은 시멘트를 주원료로 하며, 최적 수화 반응 조건 형성을 위하여 90 % 이상의 SiO<sub>2</sub>를 함유한 규석분을 충전재로 사용한다(Taylor 1964). 외벽재 등 휨 부재로 사용되는 제품의 특성에 따라 보강섬유를 사용하여 휨성능을 확보한다.

시멘트 압출성형 패널은 주로 외장재로 사용되고 있으며, 재료 구성의 특성상 열에 대한 저항력이 우수하다. 다만, 제조과정에서 내부의 공극을 완전하게 제거한 진공성형을 실시하기 때문에 화재 등 외부 온도 상승에 따라 폭열이 발생하여 내화성능이 상실되는 우려도 있다(Song et al. 2011a; 2011b). 한편, 보강섬유는 내열 온

도가 160~170 °C 범위의 폴리프로필렌(Polypropylene, 이하 PP) 섬유를 주 보강섬유로 사용하고, 700 °C 이상의 내열성을 가지는 펄프를 사용하고 있다. 그러나 호주 AS1530.1의 시험 방법에 따른 화염 지속 시간 평가에서 성능이 충족하지 못하는 것으로 나타났으며, 이는 보강섬유가 주요 원인인 것으로 보고되었다. 시멘트를 주성분으로 하는 고밀도 무기질 결정체에서 온도상승에 따른 화염 지속이 이루어지는 주요 원인은 보강재료로 사용하는 섬유의 가스화가 원인으로 판단되었다. 온도가 상승하면서 섬유가 열화되고, 열화된 부위로 가스가 전이되어 표면에 화염이 발생하는 것으로 분석되었다(Song and Jang 2021).

최근 국내·외적으로 건축물 외장재의 화재 확산에 따른 대규모 화재 사건이 다수 발생함에 따라 건축물 외장재의 화재 안전

\* Corresponding author E-mail: [kyongpiljang@kict.re.kr](mailto:kyongpiljang@kict.re.kr)

<sup>1</sup>한국건설기술연구원 건축연구본부 박사후연구원 (Department of Building Research, KICT, Gyeonggi-do, 10223, Korea)

<sup>2</sup>한국건설기술연구원 건축연구본부 선임연구원 (Department of Building Research, KICT, Gyeonggi-do, 10223, Korea)

관련 기준 및 사용 관리가 강화되고 있다. 특히 화재 시 화재 확산의 우려가 있는 부분에 대한 건축자재 성능 확인 부분 등이 강화되고 있다. 최근의 대형 화재는 건축 외장재 연소에 따른 화재 확산이 확대되는 구조를 보임에 따라 이에 대한 관리의 필요성이 증가하고 있다. 건축물의 에너지 효율성 증대를 위하여 단열 효율이 좋은 외단열 시스템을 구축하고, 이에 따라 외장 마감재 또는 외장 마감재 안쪽의 백업재를 유기단열재로 사용한 시공이 증가하고 있다. 호주의 AS 1530.1 등의 시험 방법은 기존의 불연성능 평가를 위한 시험 방법에서 확산의 위험성을 근본적으로 차단하기 위한 완전 불연자재 성능평가를 위한 시험 방법이다. 이 시험 방법은 무기성 불연재료를 이용한 건축자재라 할지라도 소재 내에 유기성 원료가 혼합될 경우 화재 확산에 대한 우려, 즉, 화재로부터 완전하게 안전한 자재가 될 수 없다는 전제를 가지고 있다.

본 연구에서는 시멘트 및 규석분과 같은 무기 원료가 대부분으로 구성된 압출성형 패널의 지속 화염 시간 발생의 원인을 규명하고 이를 보완하기 위하여 연소성이 낮은 천연섬유를 대체하여 사용함으로써 섬유의 열화에 의한 표면의 불꽃 발생이 적은 최적 조성물을 도출하고자 하였다.

## 2. 이론적 배경

고밀도 무기질 복합체에 사용하는 보강섬유는 크게 천연 섬유와 인조섬유로 구분할 수 있으며, Table 10에서와 같이 천연섬유는 펄프, 마섬유, 석면 등이 있다. 인조섬유는 크게 유기계 섬유인 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리비닐 알콜 섬유가 있으며, 무기계 섬유는 내알칼리성 유리섬유, 암면 섬유 등이 있다. Fig. 1은 주요 섬유들의 형상을 주사전자현미경(SEM)을 통해 촬영한 것이다. 보강섬유는 휨강도의 확보, 균열의 방지, 생산 과정에서의 보형성

Table 1. Types of reinforcing fibers

	Division	Kinds
Natural fiber	Organic	Pulp
		Hemp
	Inorganic	Asbestos
Artificial fiber	Organic	Polyethylene
		Polypropylene
		Polyvinyl alcohol
	Inorganic	ARG
		PAN (HT, HM)
		PITCH (HT, HM)
		Rock wool

유지 등 다양한 기능과 역할을 한다. 시멘트 무기계 복합체에 사용되는 섬유는 경제성을 고려하여 폴리에틸렌 섬유나 펄프의 부산물을 재활용하고 있다.

시멘트 복합체에서 사용하는 섬유는 시멘트와의 친화력, 시멘트 판의 취성을 보완할 수 있는 성질, 강알칼리에 침식이 되지 않는 성질, 충격 저항성, 곰팡이 등이 발생하지 않는 습기 저항성, 내열성, 분산성, 압출성 등이 확보되어야 하고(Park et al, 2012), 무엇보다 가격 경쟁력을 가지고 있어야 한다. Table 2(Min 1998)는 시멘트 압출성형 공정에서 사용가능한 섬유의 특성을 등급화하여 분류한 것으로, 무석면화 이후 가장 많이 사용하고 있는 폴리프로필렌 섬유는 알칼리 저항성이나 분산성에서는 좋은 특성을 보이나 인성의 개선, 열적 특성 개선에는 좋지 않은 영향을 미친다.

대체 섬유로 사용하는 유리섬유는 강알칼리 부식 저항력을 높이기 위하여 내알칼리성 유리섬유를 사용하고 있으나 알칼리에 대한 저항력이 약하고, 충격 저항력이 낮으며, 압출 단계에서 섬유가 끊어지는 현상이 나타난다. 이런 경우 생산 단계에서는 보형성

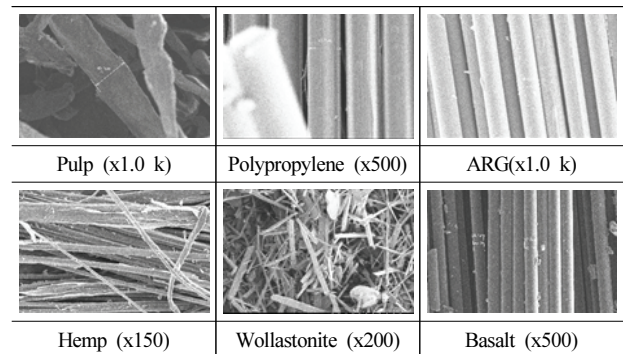


Fig. 1. Shape of fibers

Table 2. Fiber-specific properties in cement composites (Min 1998)

	PP	ARG	PVA	PULP	HEMP	ASBESTOS
Alkali resistance	A	B	A	A	A	AA
High modulus	C	AA	A	B	A	AA
Cement Reactivity	A	A	A	A	A	AA
Impact resistance	A	B	A	A	A	A
Dispersibility	A	A	B	B	A	AA
Moisture resistance	A	A	A	B	A	A
Heat resistance	C	A	C	B	A	AA
Extrudability	B	B	B	A	A	A
Price competitiveness	B	B	C	A	AA	AA

Fair AA > A > B > C Not Fair

에 대한 문제가 있으며, 양생 직후에는 휨강도가 저하되고, 장기적으로 섬유유는 섬유의 성능이 저하되어 내구성에 대한 문제가 발생할 수 있다. 마 섬유는 섬유의 생산 단계에서 이물질이 함유되어 시멘트 복합체의 표면 얼룩 등의 문제점이 해결되어야 사용성이 있을 것으로 판단되며, 펄프는 흡수력이 높기 때문에 사용량을 높이면 제품 전체의 흡수율이 높아지는 문제가 있다.

본 연구에서는 Table 2의 섬유들이 시멘트 복합체 내에서 작용하는 섬유별 특성을 분석하여 압출성형 시멘트 공정에서 적합하고 내열성이 우수한 섬유로 마 섬유를 선정하여 시료를 제작하였다. 마 섬유의 경우 원재료 및 생산 공정에 따라 각기 다른 특성을 나타내지만, 본 연구에서는 압출공정에서 생산성에 영향을 미치는 요인과 내열성이 향상될 수 있는 요인을 고려하고자 하였으며, 기존에 사용하는 폴리프로필렌 섬유에 비하여 높은 내열성을 고려하여 선정하였다.

폴리프로필렌 섬유와 마 섬유의 특성은 Table 3과 같다.

### 3. 실험계획 및 방법

#### 3.1 실험계획

본 연구에서는 시멘트 압출성형 복합체에서 사용하고 있는 폴리프로필렌 섬유를 부분적으로 대체하여 시험체를 제작하여 섬유 시멘트 복합체의 내열 특성을 확인하고자 하였다. 시멘트 압출성형 공정에서 섬유를 대체하는 것은 단순히 섬유량만을 대체하는 것이 아니라 주원료인 결합재와 혼합 재료도 부분적으로 변경이 필요하다. Table 3에서와 같이 기존에 사용하는 폴리프로필렌 섬유는 낮은 밀도와 낮은 인장 강도를 가지고 있으나, 마 섬유는 상대적으로 높은 밀도와 높은 인장력을 가지고 있다. 따라서 사용하는 섬유의 질량비는 마 섬유의 비율이 2배 이상 높아진다. 다만, 전체 배합 내에서 섬유의 전체 부피를 고려하여 섬유량을 도출하

Table 3. Properties of P.P and HEMP

	P.P.	HEMP
Density (g/cm <sup>3</sup> )	0.91	2.78
Diameter (μm)	18 - 20	14 - 16
Length (mm)	6	9
Aspect ratio	355	490, 860
Tensile strength (kgf/cm <sup>2</sup> )	77.5	2,500
elastic modulus (kgf/mm <sup>2</sup> )	480	7,200
Elongation at rupture (%)	26.1	3.6
Melting point (°C)	163	840~1000

기 때문에 결합재의 사용량, 증점제의 함량, 혼수량에 차이가 발생한다.

시멘트 복합체의 온도 가열 조건에서 불연성에 영향을 줄 수 있는 요인들의 사용량을 변화하여 배합을 조성하였다.

일반적인 압출성형 공정의 1차 양생 온도는 Fig. 2와 같이 최고 온도를 65 °C 정도로 하여 전양생, 상승, 유지, 하강의 단계를 거치고 있으며, 급격한 열충격에 의한 제품의 변형을 방지하기 위하여 승온 온도는 20 °C/hr 이내에서 실시한다. 2차 고온고압 양생의 경우 압력을 10 kgf/cm<sup>2</sup>으로 유지하는데, 이때 온도는 178 °C이다. 이러한 온도와 압력 조건하에서 수열반응이 촉진되어 강도 및 치수 안정성 등에 긍정적인 영향을 미치는 토버모라이트 (Tobermorite) 수화물의 생성이 활발해진다(Jang 1998).

#### 3.2 사용재료

본 실험에서 사용한 결합재는 시멘트, 플라이애시, 슬래그 미분말을 사용했으며, 화학적 특성은 Table 4에 나타내었다. 마 섬유의 사용에 따라 소재 유희성에 대한 보안을 위하여 점도가 다소 높은 HPMC계 증점제를 사용하였다. HPMC 증점제의 물리적 특성은 Table 5에 나타내었다.

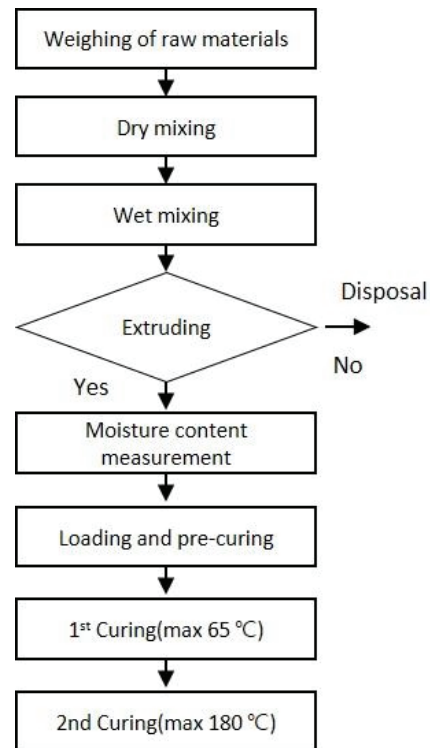


Fig. 2. Cement composite extrusion process

Table 4. Properties of cement & silica materials

	Properties of contents (%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	So <sub>3</sub>	MgO	ig loss
Cement	22.21	5.35	3.21	63.93	0.54	2.10	1.626	0.80
FA	59.65	30.21	3.97	3.26	-	0.63	1.48	0.80
SP	35.08	14.92	0.32	42.26	-	0.11	6.41	0.9

Table 5. Properties of HPMC

Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	True specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosity (cps)	Viscosity measurement conditions
0.4	1.26~1.31	80,000	2 % Water solution, 20 °C RV type 20 rpm

### 3.3 실험 방법

#### 3.3.1 배합의 결정

시멘트 섬유 복합체를 이용한 2차 제품 제조는 짧은 시간에 강도 및 치수 안정성을 확보하기 위하여 앞서 기술한 바와 같이 1, 2차 스팀을 이용한 상압 및 고온 고압 증기양생을 실시한다. 수열 합성에서 규산칼슘 수화물인 토버모라이트(Tobermorite)의 생성에 의한 안정적 구조를 확보하기 위하여 C/S 물비를 0.6~0.65 범위로 조정하여 결합제 및 필러의 비율을 결정하였으며, 섬유는 복합체 내의 섬유의 체적의 비율에 따라 사용량을 결정하였다(Kim 2011; Kadashevich et al. 2005).

각기 밀도가 다른 섬유를 질량 비율로 치환하면 시멘트 복합체 내에 섬유량 체적이 변경되어 휨강도 등의 물리적 특성과 압출 단계에서의 보형성 등에도 많은 차이가 발생할 수 있다.

본 실험에서 사용한 배합표를 Table 6에 나타내었다. 질량비로 100 % 적용하여 계량을 실시하지만 체적 내 동일한 섬유량을 확보

Table 6. Properties of Cement & Silica materials

	Mixed ratio (weight %)							
	Binder	Silica sand	FA	SP	PP	PULP	HEMP	mc
F0	50	48	0	0	1	0.5	0	0.50
F1	40	40	18	0	1	0.5	0	0.50
F2	40	40	0	18	1	0.5	0	0.50
F3	50	46.3	0	0	1	0.25	1.5	0.53
F4	50	44.6	0	0	1	0	2.5	0.55
F5	50	46.8	0	0	0.5	0.5	2.0	0.53
F6	50	45.6	0	0	0	0.5	3.0	0.55
F7	50	42.2	0	0	0	0	5.0	0.60

하기 위하여 밀도를 고려한 부피비를 적용하였다. 질량비를 적용할 경우 기준 배합의 섬유비는 1.5 %에 불과하지만 부피비를 적용하면 약 5.0 %의 부피를 점유하는 것을 알 수 있다.

#### 3.3.2 시료의 성형

일반적인 압출성형방식은 투입재료가 소성 상태에 있을 때 금형(dies)을 통해서 압출성형 하는 방식이다. 이 방법은 보통 내화 벽돌, 하수관, 중공 타일, 기능성 세라믹 및 전기절연체 등을 생산할 때 사용하며, 건축재료로는 박판 흡음재, 문틀, 각종 새시류 등의 선형부재를 연속적으로 생산할 때 이용된다.

본 실험에서는 불연성능 측정을 위하여 압출공정에서 소재를 진공압출 성형한 후 이 시료를 직경 45 mm, 높이 50 mm의 원형 공시체를 가압 성형하여 시료를 완성하였다(Fig. 3). 당초 압출공정 없이 건식과 습식 혼합 후 시료를 성형하였으나, 섬유가 표면으로 돌출되어 불연성 측정에 장애 요인으로 나타나, 현장 제품과 동일한 조건에서 성형을 하기 위하여 압출기를 통과한 시료를 가지고 성형을 실시하였다.

#### 3.3.3 양생

양생 단계는 전양생, 1차 상압 증기양생, 2차 고온·고압 증기양생 공정으로 하였다. 전 양생은 실험실 온도 조건인 25 °C에서 실시하였으며 1차 양생 최고온도는 65 °C, 2차 양생 최고온도는 160 °C에서 실시하였다. 고밀도 섬유시멘트 복합체의 고온·고압 양생을 통하여 규산칼슘 수화물 중 토버모라이트(Tobermorite) 수화물을 생성하여 제품의 안정화를 획득할 수 있다. 1차 양생만 실시할 경우 규산칼슘 수화물에서 생성되는 수산화칼슘을 비롯한 칼슘

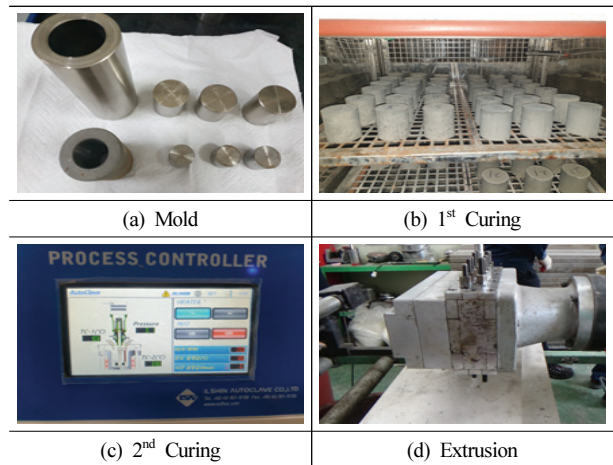


Fig. 3. Specimen forming process

실리케이트 수화물의 생성이 예상되고, 오토클레이브를 이용한 2차 양생에서는 장스팬 패널의 강성 유지를 위한 수화물인 침상 구조의 토버모라이트(Tobermorite)의 수화물 생성을 예상하였다. 2차 양생 온도를 200 °C 이상으로 하여 조노트라이트(Xonotlite) 수화물을 생성할 경우 불연성이 개선될 수 있으나 현장 생산 공정 적용성을 고려하여 현재의 2차 양생 조건으로 실험을 진행하였다.

### 3.4 불연성 측정 방법

불연성 측정은 호주 AS 1530.1(Methods for fire tests on building materials, components and structures, Part 1: Combustibility test for materials)에 따라 진행하였다. 이 시험은 KS F ISO 1182(건축재료의 불연성 시험방법)와 비교했을 때, 모든 시험 방법이 동일하지만, 성능 비교 단계에서 시험체 내부 온도 평가 항목이 추가되어 있다. 즉, KS F ISO 1182 시험 방법에서는 지속 화염을 측정하지 않지만, 호주 시험 방법에서는 Table 7 및 Fig. 4와 같이 화염 지속 시간을 평가한다. 화염 지속 시간 측정 방법은 시험체 정중앙에 직경 2 mm, 깊이 25 mm 홈을 가공한 후 20분 동안 가열 시 홈의 중앙부로 화염 발생 여부를 판단하고, 만약 그 화염 지속 시간이 5초를 초과하면 성능을 충족하지 못한 것으로 판정한다.

Table 7. Non-combustible performance criteria

		KSF ISO 1182	AS 1530.1
Temperature change	Surface	< 20 K	< 50 °C
	Inside	-	< 50 °C
Mass change rate		< 30 %	-
Continuous flame		-	< 5 sec

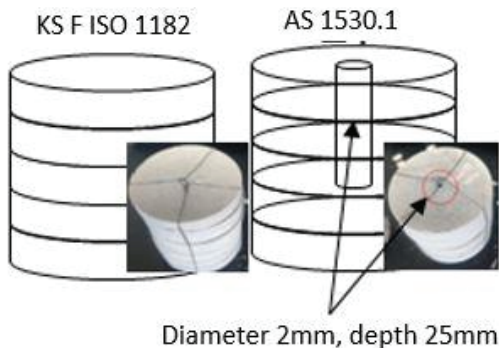


Fig. 4. Comparison of shape

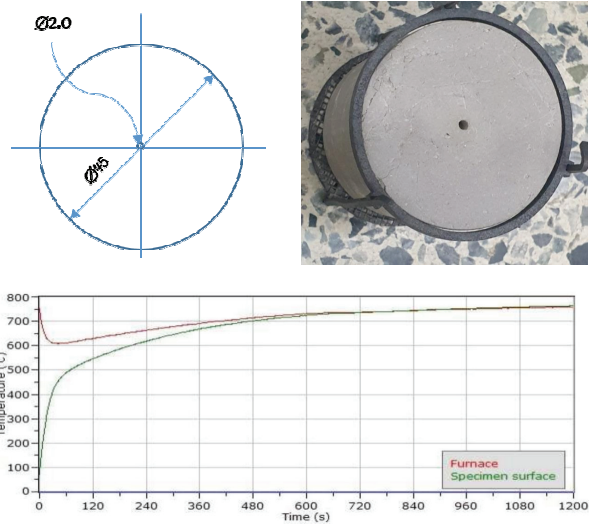


Fig. 5. Non-combustible performance sample preparation and temperature heating curve

무기질 원료를 주원료로 한 시멘트 섬유 복합체의 불연성 평가는 화염 지속 시간만을 기준으로 평가하고자 하였다. 화염 지속 시간의 평가는 성형이 완료된  $\phi$  45 mm × 높이 50 mm 시험체에 Fig. 5와 같이 중앙부에  $\phi$  2 mm × 깊이 25 mm의 원형 공간을 밀링머신을 이용하여 정확하게 가공하여 단계별 가열 시 불꽃의 발생 여부를 확인하였다. 불연성능의 평가는 1,200초 동안 최대 온도 730 °C까지 가열한다.

### 4. 불연성능 평가 및 분석

Fig. 6은 AS1530.1의 시험 방법에 따른 지속 화염 시간을 측정 한 것으로 상단의 기존 배합은 최초 6분 23초에 불꽃이 발생하기 시작하여 113초가 경과한 8분16초까지 지속적으로 불꽃이 존재하는 것으로 나타났다. 동일 시간대 폴리프로필렌을 사용하지 않은 배합의 경우 화염 발생은 전혀 나타나지 않았다. Table 8에서와 같이 폴리프로필렌의 함유량에 따라 화염 불꽃 시간이 결정됨을 알 수 있다. 펄프의 사용에 따른 화염 지속 시간은 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. F6 배합의 경우 펄프를 0.5 % 사용하였음에도 불구하고 불꽃 화염이 발생하지 않았다. 따라서 압출성형 제품의 취성 개선을 위해서는 펄프를 일정 비율 사용하고 주 보강섬유로 마 섬유를 사용하는 것이 내열성을 개선하는데 가장 효과적인 것으로 사료 된다.

배합 F0부터 F4까지는 폴리프로필렌섬유를 1 % 질량으로 포함한 배합이며, 여기에 펄프와 마 섬유의 비율을 조정하여 적용하였

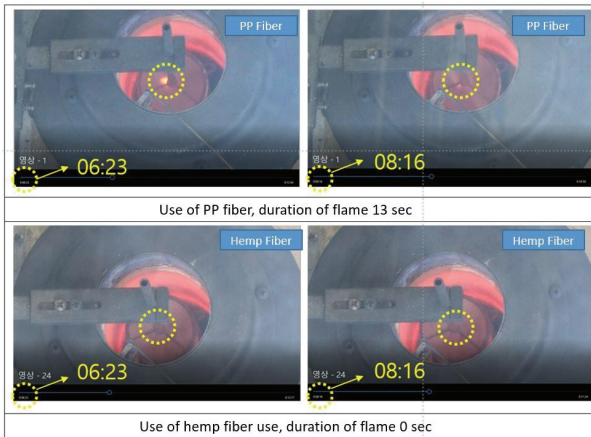


Fig. 6. Non-combustible performance measurement

Table 8. Test results of AS 1530.1

Mix No.	Fire time (sec)	Weight loss (%)
F0	89	26.6
F1	86	30.3
F2	113	30.0
F3	92	29.5
F4	72	29.7
F5	27	27.9
F6	0	26.2
F7	0	25.3

다. F5 배합은 폴리프로필렌 함유량을 절반으로 낮춘 배합이고, F6과 F7 배합은 폴리프로필렌 섬유를 전혀 사용하지 않은 배합이다. 폴리프로필렌 섬유를 1% 함유한 배합인 F0에서 F4까지는 최소 72초에서 최대 113초까지 화염이 지속되는 것으로 나타났으며, 폴리프로필렌의 양을 절반으로 줄인 F5 배합의 경우 화염 시간은 30~37% 정도 줄어드는 것을 알 수 있다. 폴리프로필렌 섬유를 전혀 사용하지 않은 F6, F7 배합은 불꽃이 전혀 발생하지 않았다. 질량 감소율의 경우 섬유가 완전히 가스화하여 불꽃으로 연소된 폴리프로필렌 배합은 질량 감소율이 29.7~30.3%까지 나타났으나, 가스화가 이루어지지 않은 펄프 및 마 섬유 배합은 질량 감소율이 상대적으로 낮은 25.3~27.9% 수준으로 나타났다.

이상과 같이 AS1530.1 시험 방법에 의한 불연 성능 측정 결과 폴리프로필렌을 함유한 시험체는 고밀도 압출성형 시멘트 복합체라 할지라도 화염이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 이는 연소과정에서 섬유의 가스화 및 섬유 자리가 연소 이동 경로를 제공하여 불꽃 지속 시간이 길어지는 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 마 섬유 혼입에 따른 고밀도 시멘트 복합체의 불연특성을 비교하고자 하였다. 기존의 폴리프로필렌 섬유를 대체하여 마 섬유를 사용한 배합으로 시편을 제작하였으며, AS 1530.1 시험 방법으로 불연특성 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 폴리프로필렌 섬유를 전체 질량의 1% 사용한 배합은 시멘트 복합체의 밀도가 1.8 g/cm<sup>3</sup>의 고밀도 무기질 복합체라 할지라도 AS 1530.1에 의한 성능 측정을 실시한 결과 전체 20분간의 가열 시간 중 약 6분 23초부터 8분 16초까지 113초 동안 화염 지속 시간이 있는 것으로 나타났다. 펄프와 마 섬유를 혼합하여 적용한 배합에서도 화염 지속 시간이 27초로 나타나 폴리프로필렌의 섬유량이 화염 지속 시간에 절대적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다.
2. 마 섬유를 폴리프로필렌 섬유량과 같은 체적으로 혼합하고, 폴리프로필렌 섬유를 전혀 사용하지 않을 경우 화염 발생은 없었으나, 비율을 조정하여 폴리프로필렌 섬유를 0.5% 배합할 경우 화염 발생이 있는 것으로 나타났다. 따라서, AS 1530.1의 성능 기준을 충족하는 불연 섬유시멘트 복합체 제조를 위해서는 보강섬유로 폴리프로필렌 섬유의 사용이 어려울 것으로 판단된다.
3. 압출성형 공정은 섬유의 보강성능 이외에 압출성, 보형성, 내구성 등이 요구됨에 따라 이를 충족할 수 있는 섬유의 사용이 요구된다. 본 연구를 통해 검토한 결과 마 섬유는 압출성형 공정에 적합한 섬유로 판단된다. 다만, 사용화를 위해서는 섬유의 균질한 품질 확보가 필요할 것으로 사료 된다.

## Conflicts of interest

None.

## 감사의 글

본 연구는 한국건설기술연구원 “선진화 국가 수출 경쟁력 확보를 위한 압출성형 패널 내열성 향상 기술개발(과제번호 20220147-001)”에 의해 수행되었습니다.

## References

- Jang, B.K. (1998). Cement Materials Science, Chonnam National University Press [in Korean].
- Kim, Y.H. (2011). Strength characteristics according to the mixed CaO/SiO<sub>2</sub> ratio to autoclaved aerated concrete(AAC) used on the exterior panel in buildings, Journal of The Korean Digital Architecture • Interior Association, **11(3)**, 35–52 [in Korean].
- Kadashevich, I., Schneider, H.J., Stoyan, D. (2005). Statistical modeling of the geometrical structure of the system of artificial air pores in autoclaved aerated concrete, Cement and Concrete Research, **35(8)**, 1495–1502.
- Min, B.R. (1998). Development of eco-friendly asbestos-free building materials practical technology, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Research Report [in Korean].
- Park, J.S., Song, T.H., Jeon, C.S. (2012). A study on the physical characteristic changes of high density cement complex using crushed stone powder from quarry, Journal of Korea Society of Waste Management, **29(8)**, 751–759 [in Korean].
- Song, T.H., Par, J.S., Lee, S.H. (2011a). An experimental study on the fire-resistant performance of eco-friendly extruding concrete panel, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **27(12)**, 123–130 [In Korean].
- Song, T.H., Lee, S.H., Kim, Y.H. (2011b). Changes in physical properties depending on curing conditions of extruded cement mixture with crushed stone powder, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **27(8)**, 97–104 [in Korean].
- Song, T.H., Jang, K.P. (2021). A study on improving the non-combustible properties of high-density fiber cement composites, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **9(4)**, 521–528 [In Korean].
- Taylor, H.F.W. (1964). Hydration of Portland Cement, Cement Chemistry.

### 마 섬유 혼입에 따른 고밀도 섬유 시멘트 복합체의 불연 특성 연구

건축자재에서 사용되는 보강 섬유의 기능은 휨하중에 대한 저항력 유지, 건조 수축에 의한 균열 방지 기능 등을 목적으로 하고 있다. 고밀도 섬유 시멘트 복합체는 주로 선형의 판재에 사용되는 것으로 휨 저항력을 높이기 위하여 사용한다. 따라서, 인장성, 시멘트 수화물과의 결합력, 내알칼리성 등이 요구된다. 최근 불연성능 기준이 강화되어 고온 가열 시 불꽃 발생을 최소화해야 하는 기능이 추가되었다. 따라서 유기 섬유의 사용이 제한되고 있다.

본 연구에서는 보강 섬유로 사용하는 폴리프로필렌 섬유를 내열성이 우수한 마 섬유로 대체하여 사용하는 연구를 수행하였다. 마 섬유는 내열성이 우수하고 시멘트와의 친화력이 좋으며 알칼리 저항력 또한 우수하다. 기존의 배합에서 사용하는 폴리프로필렌 섬유의 부피 총량을 기준으로 마 섬유를 대체하여 사용하여 불연성능을 비교 평가하였으며, 휨강도 등 기본 물리적 특성 시험을 진행하였다. 길이 7 mm의 마 섬유를 질량비 2 %, 3 %를 사용하여 불연 및 물리적 특성 시험을 수행한 결과 불꽃의 잔존 시간은 전혀 없는 것으로 나타났으며, 휨강도는 기존 폴리프로필렌 섬유의 95 % 수준까지 확보가 가능한 것으로 확인되었다.