

# EVA, EVCL 분말수지와 플라이애시를 혼입한 시멘트 모르타르의 고온특성

## High Temperature Properties of Cement Mortar Using EVA, EVCL Redispersible Polymer Powder and Fly Ash

송 훈<sup>1\*</sup> · 신현옥<sup>2</sup>Hun Song<sup>1\*</sup> · Hyeonuk Shin<sup>2</sup>

(Received November 26, 2018 / Revised December 18, 2018 / Accepted December 18, 2018)

3D printing technology of construction field can be divided into structural materials, interior and exterior finishing materials, and is mainly done by extruding and adapting. Particularly when it is applied as an exterior materials, it is mainly applied to an unstructured exterior materials and high accuracy is required. The exterior materials can be used as a cement composite materials, it is suitable also for a additive type manufacturing, and the role of a redispersible polymer powder is important. But, high temperatures, redispersible polymer cement base material beget dehydration and micro crack of cement matrix. In this research, we developed a EVA, EVCL redispersible polymer cement base material applicable as a 3D printing exterior materials, confirmed density and strength characteristics for application as an exterior materials, a flame retardancy test for improving the fire resistance of buildings and confirmed its possibility. From the test result, developed EVCL redispersible polymer cement mortar showed good stability in high temperatures. These high temperature stability is caused by the ethylene-vinyl chloride binding. Thus, this result indicates that it is possible to fire resistant 3D printing interior and exterior finishing materials.

**키워드** : 3D 프린팅, 재유화형 분말수지, 폴리머 시멘트 모르타르, 내화, 고온

**Keywords** : 3D Printing, Redispersible polymer powder, Polymer cement mortar, Fire resistance, High temperature

### 1. 서론

최근 건축물에서 비정형 건축물이나 곡면 노출콘크리트를 적용하는 경우 단가의 상승이나 다양한 생산공정 등으로 인한 비효율성이 급증한다. 이러한 건축물에서의 비효율성을 극복하기 위한 방안으로 3D 프린팅을 적용하여 기존의 생산방식과 융·복합하여 새로운 부가가치를 창출하고자 하는 일련의 노력들이 시도되고 있다. 건축물에서의 3D 프린팅의 이용은 구조재 및 비구조재로 구분할 수 있고, 비구조재의 적용은 건축물의 내·외장 패널이나 조형물 등이 주를 이룬다. 사용되는 재료는 크게 바인더에 따라 폴리머계와 시멘트계 재료로 구분할 수 있고, 이중 시멘트계 재료의 이용은 직접 재료와 바인더를 잉크젯 프린터와 같은 형식으로 분사하거나 노즐을 통해 연속적으로 적층하여 제조하는 방식을 취하게 된다. 재료를 바인더와 같이 분사하여 제조하는 방식은 정밀도가 높은

출력물의 제작이 가능하고 연속적으로 적층하여 제조하는 방식은 기성 건축자재의 사용 없이 시멘트 모르타르의 경화속도를 조절하여 전통적인 건축방식을 융합하여 제조한다(KICT 2016). 따라서 적층방식을 사용하여 출력물을 제작하는 경우는 기존의 시멘트 모르타르의 특성을 개선하기 위한 재료의 혼입이 필수적이다. 시멘트는 물과 반응하여 에트린자이트와 규산칼슘수화물을 생성하는 수경성 재료이다. 또한, 미반응 간극물질과 석고 등이 에트린자이트와 반응하여 모노설페이트 수화물을 생성하여 강도를 발현한다. 이러한 수경성 재료인 시멘트를 기본 결합재로 사용하는 모르타르 및 콘크리트는 가격이 저렴하고 압축강도, 내구성이 우수하여 건설재료로 널리 사용된다. 전술한 것과 같이 시멘트 모르타르는 수분의 증발에 의해 수축이 크며 내약품성이 낮기 때문에 이를 개선하거나 경화속도나 시공성, 접착성의 개선을 위해 유기계인 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션을 사용하여 성능을 개선한다.

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

<sup>1</sup>한국세라믹기술원 에너지환경소재본부 책임연구원 (Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Jinju, 52851, Korea)

<sup>2</sup>한국세라믹기술원 에너지환경소재본부 연구원 (Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Jinju, 52851, Korea)

Copyright © 2018 by Korean Recycled Construction Resources Institute

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

**Table 1. High temperature property in cement based materials and EVA, EVCL**

Temperature	Temperature effects on chemical composition
30~100℃	- Expulsion of evaporable water from cement paste
100~600℃	- EVA, EVCL : Decomposition of 200~300℃ - Calcium hydroxide : Ca(OH) <sub>2</sub> : CH Decomposition of 450~500℃, Ca(OH) <sub>2</sub> → CaO + H <sub>2</sub> O

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션을 혼입한 시멘트 모르타르는 플래시 상태에서 폴리머 입자, 연행공기, 계면활성제 등의 친수 콜로이드적 성질에 의해 워커빌리티 및 재료의 분리저항성 등이 개선된다. 또한 시멘트 수화물과 폴리머필름이 상호 형성됨에 따라 인장강도와 취성이 개선되며 우수한 접착성, 기밀성, 내약품성 등의 성능을 보여 방수나 보수용 재료로 사용된다. 시멘트 혼화용 폴리머로는 수성 폴리머, 수용성 폴리머 등이 주로 사용되지만 최근에는 사용편리성이 우수한 에틸렌비닐아세테이트(Ethylene-vinyl acetate, 이하 EVA)계 재유화형 분말수지가 널리 사용된다(Kim 2006).

시멘트 모르타르는 화재와 같은 높은 온도에서는 시멘트 수화물의 물리·화학적 탈수가 발생하여 성능이 저하하지만 재유화형 분말수지를 혼입한 경우에는 그 경향성이 더 크다. 이는 재유화형 분말수지가 시멘트 공극 사이에 폴리머필름을 형성하여 공극을 충전하여 내구성이 향상되지만 기본적으로 유기계이므로 고온에서는 열분해하기 때문이며 고온에서의 특성은 Table 1과 같다. 내·외장패널이나 조형물 등의 적층방식 3D 프린팅을 위한 재유화형 분말수지의 사용은 필수적이지만 단점을 극복하기 위하여 재유화형 분말수지의 개질을 통해 내화성능을 개선하고 하는 연구가 진행되고 있다(Kim 2012).

본 연구에서는 적층방식 3D 프린팅 적용을 위해 시멘트, 플라이애시, EVA 및 에틸렌비닐염화물(Ethylene-vinyl chloride, 이하 EVCL) 재유화형 분말수지의 혼입률을 달리하여 고온에서의 특성을 검토하여 혼입에 따른 유효성 여부의 검토 및 기초자료를 제공하고자 한다.

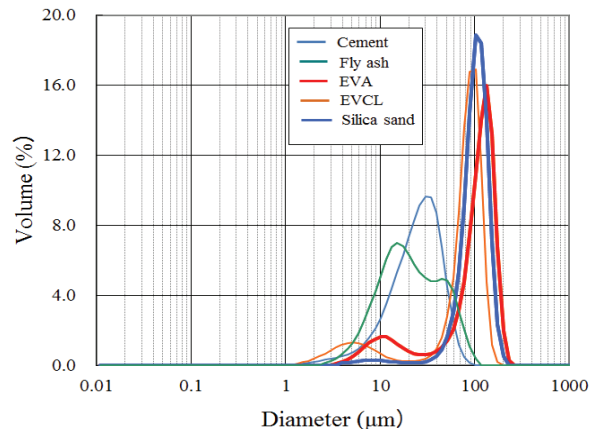
## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 S사의 보통포틀랜드시멘트이고 혼합재료는 N사의 플라이애시를 사용하였고 골재는 규사 8호사를 사용하였다. 플라이애시는 시멘트 대체의 혼화재로 사용되며 주성분이 실리카(SiO<sub>2</sub>)와 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)로 포졸란 반응으로 밀실한

**Table 2. Raw materials of polymer cement mortar**

Cement	Ordinary portland cement Particle size : 20 $\mu$ m	Redispersible polymer powder	EVA (Ethylene-vinyl acetate) Average particle size : 130 $\mu$ m
Fly ash	Average particle size : 40 $\mu$ m		EVCL (Ethylene-vinyl chloride) Average particle size : 130 $\mu$ m
Silica sand	Average particle size : 100 $\mu$ m Density : 2.6g/cm <sup>3</sup>		



**Fig. 1. Diameter of raw materials**

구조를 형성하고 경량성 및 내화특성이 우수하다. 파우더 형태의 재유화형 분말수지는 W사의 EVA와 EVCL을 사용하였다. EVCL의 경우 에틸렌에 비닐염화물이 결합되어 EVA에 비해 난연특성이 있는 것으로 알려져 있다. 사용재료는 Table 2와 같고 직경분포는 Fig. 1과 같다.

### 2.2 시험체의 제작

EVA 및 EVCL 재유화형 분말수지를 사용한 시멘트 모르타르의 배합표는 Table 3과 같다. 시멘트, 규사의 배합은 중량비로 1:1이며 플라이애시는 시멘트의 10%를 치환하였다. 물시멘트비는 실험을 통해 가장 유효하다고 판단된 45%로 고정하였고 재유화형 분말수지의 혼입률은 시멘트 중량의 1, 3, 5 및 10%이다.

시험체 제작은 혼합용적 5.7L의 강제식 믹서를 이용하였고, 재료투입은 재료의 균질성을 위하여 선 비빔을 실시하였고 KS L ISO 679에 의거하여 제조하였다. 제조된 시험체는 강재형틀을 이용하여 KS L 5105에 의거하여 50×50×50mm로 제작하였다. 제작된 시험체는 항온항습 챔버를 이용하여 온도 23±2℃, RH 95% 이상의 조건에서 표준양생을 실시하였다.

Table 3. Mix proportions of EVA, EVCL polymer cement mortars

	Water/binder (%)	Binder(by weight)		Silica sand (by weight)	Redispersible polymer powder content(cement*%)		Flow (mm)	Compressive strength (28days, N/mm <sup>2</sup> )
		Cement	Fly ash		EVA	EVCL		
Plain					-	-	179	49.7
CEFM45-1	45	0.9	0.1	1.0	1		189	37.8
CEFM45-3					3		190	37.5
CEFM45-5					5		192	35.9
CEFM45-10					10		195	34.6
CEFM45-C1						1	193	47.0
CEFM45-C3						3	197	42.0
CEFM45-C5						5	198	38.3
CEFM45-C10						10	204	34.1

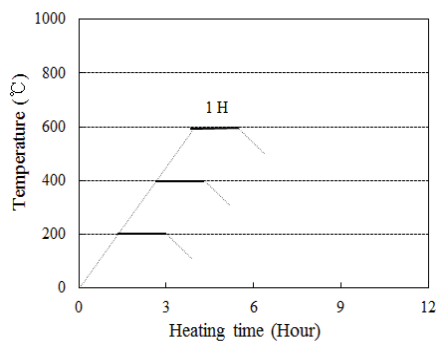


Fig. 2. Heating condition of polymer cement mortar

## 2.3 실험방법 및 평가

고온시의 재료특성 평가는 상온과 고온에서 1시간 동안 가열한 후 상온으로 되돌린 후 밀도와 압축강도를 측정하였다.

EVA 및 EVCL 재유화형 분말수지의 고온특성을 파악하기 위한 가열곡선을 Fig. 2에 나타내었다. 가열은 프로그램이 가능한 전기로를 이용하였고, 가열온도는 200°C, 400°C, 600°C이다. 승온 속도는 분당 5~10°C로 1시간 이내에 다음 온도단계에 도달할 수 있도록 하였다.

미세구조의 측정은 28일 양생한 후 다이아몬드 커터를 이용하여 5mm의 입방체로 절단하여 전기로를 이용하여 각각의 가열온도에서 1시간 가열한 후 상온으로 냉각하였고, 공극률 및 세공구조의 측정은 포로시미터를 이용하여 측정하였다.

난연성능의 측정은 KS F ISO 5660-1의 콘칼로리미터법에 의거하여 실시하였다. 일반적으로 시멘트 모르타르는 불연재료이지만 재유화형 분말수지를 혼입하는 경우 폴리머의 열분해에 의해 중량이 감소하고 열특성이 다르게 나타난다. 콘칼로리미터는 산소 1kg 소비되면 약  $13.1 \times 10^3$  MJ의 열이 방출되는 원리를 이용한다. 콘칼로리미터의 복사강도는 열효율이 가장 높고 일반적으로 사용

하는 복사강도이므로 본 시험에서도  $50\text{kW/m}^2$  복사강도를 유지하였고 준불연재료의 성능판정의 기준이 되는 시간인 10분을 가열하였다(ISO 5660-1 1993).

난연성능 시험은 100×100mm 크기의 시험편을 온도  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도  $50 \pm 5\%$ 로 항량이 되도록 유지한 후 3회 실시하였다. 또한, 최대열방출률, 총방출열량 및 질량감소율을 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 고온시의 밀도변화

EVA와 EVCL 재유화형 분말수지를 혼입한 시험체의 밀도변화는 Fig. 3과 같다. EVA와 EVCL 재유화형 분말수지를 혼입한 시험체는 가열온도가 상승함에 따라 밀도는 감소하는 경향을 보였다. 시멘트 모르타르는 고온에 노출될수록 결합수의 탈수와 신축에 의한 균열이 발생하고 시간의 경과에 따라 균열이 진행된다. 또한 EVA와 EVCL 분말수지를 혼입한 경우 시멘트 모르타르 내부에 폴리머필름이 균일하게 생성되지만 고온에 노출되는 경우 EVA와 EVCL이 열분해하므로 밀도는 감소하게 된다. 상온에서 Plain 시험체의 밀도는 약  $2.01\text{g/cm}^3$ 이었다. EVA를 1, 3, 5 및 10% 혼입한 시험체의 밀도는 약 1.98, 1.91, 1.88 및  $1.83\text{g/cm}^3$ 이었고 분말수지의 혼입률이 증가할수록 밀도는 감소하는 경향을 보였다. EVCL을 혼입한 시험체의 경우 약 1.81, 1.84, 1.85 및  $1.86\text{g/cm}^3$  이었고 혼입률에 상관없이 거의 유사한 값을 보였다. EVA와 EVCL 분말수지를 혼입하는 경우 밀도가 감소하는 경향을 보였고 이는 분말수지의 혼입에 따른 공기의 연행에 따른 것으로 폴리머 시멘트 모르타르에서 보이는 일반적인 경향이다. 시험체의 밀도는 가열온도가 상승할수록 감소하는 경향을 보였다. 100~200°C 전후에서 시험체의 내부의 수분의 증발에 의해 밀도변화가 크게 나타났다.

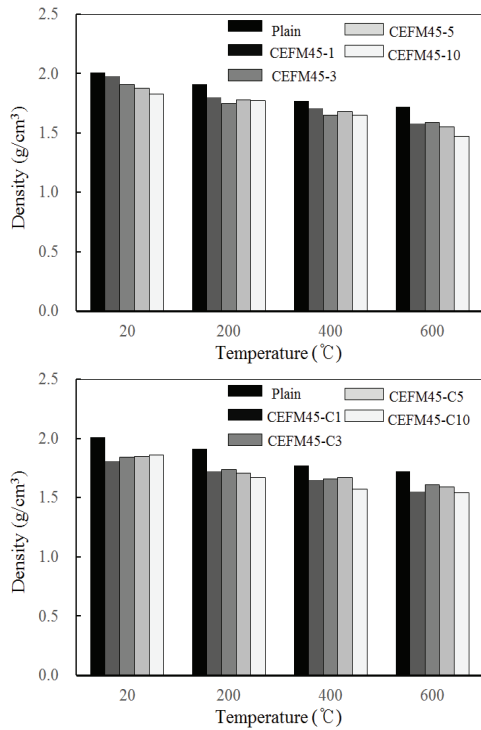


Fig. 3. Density vs. temperature of EVA, EVCL polymer cement mortars

또한 200°C 이상의 온도에서도 밀도가 감소하였고 이는 시멘트 수화물과 EVA 및 EVCL의 열분해에 의한 결과이다.

EVA 및 EVCL 시험체는 600°C에서 약 13~20%의 밀도감소를 보였고 혼입률에 상관없이 유사한 경향을 보였다. 또한 EVA의 경우 약 15~20%, EVCL의 경우 약 13~17%의 밀도감소를 보여 EVCL의 경우가 약간 고온에서 유리한 것을 확인할 수 있었으나 그 차는 크지 않았다. 이는 전술한 것과 같이 에틸렌에 비닐콜로라이드 모노머가 결합한 구조에 기인하는 결과이며 약간의 난연성 향상을 기대할 수 있다. 또한 고온 가열에 따라 시험체 표면에서 내부로 이어지는 균열이 발생하였으나 형태를 유지하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 고온시의 강도변화

EVA와 EVCL 재유화형 분말수지를 혼입한 시험체의 고온에서의 압축강도 및 상대압축강도의 변화를 Fig. 4, 5에 나타내었다. 상온에서 Plain 시험체의 28일 압축강도는 49.7N/mm<sup>2</sup> 이었다. EVA를 1, 3, 5 및 10% 혼입한 시험체의 강도는 약 37.8, 37.5, 35.9 및 34.6N/mm<sup>2</sup> 이며 EVA 혼입에 따라 압축강도는 감소하였다. EVCL을 혼입한 시험체의 압축강도는 약 47.0, 46.8, 38.3 및 34.1

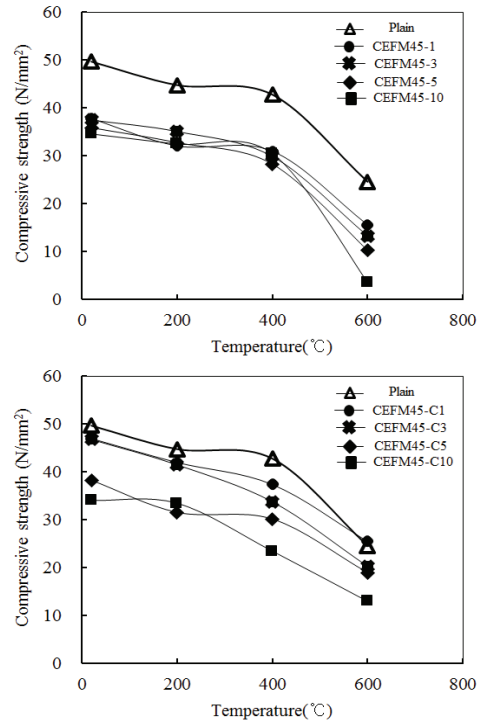


Fig. 4. Compressive strength vs. temperature of EVA, EVCL polymer cement mortars

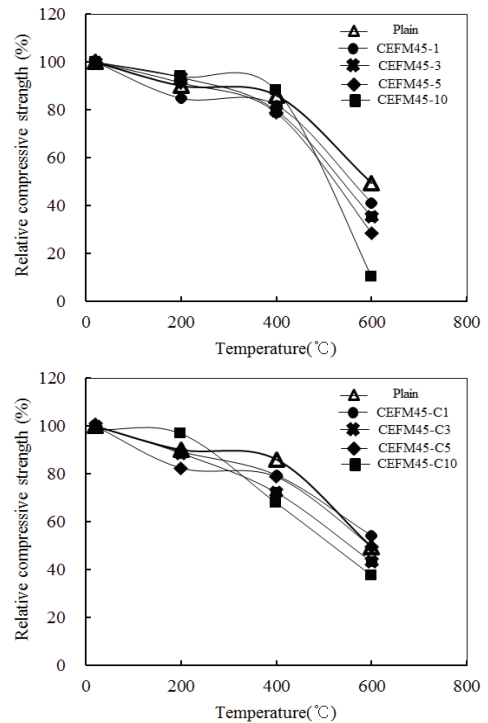


Fig. 5. Relative compressive strength vs. temperature of EVA, EVCL polymer cement mortars

N/mm<sup>2</sup>이다. 1~3% 혼입률 범위에서는 EVA보다 크고, 5~10% 혼입률 범위에서는 유사한 경향을 보였다. EVA와 EVCL 시험체 모두 가열온도가 증가할수록 압축강도는 감소하였다. 또한 가열온도의 증가에 따라 압축강도는 점진적으로 감소하는 경향을 보였고, 특히 400°C 전후에서 강도의 감소가 크게 나타났다. 이는 EVA와 EVCL의 열분해에 따른 강도감소의 결과이며 EVA보다는 EVCL을 혼입한 시멘트 모르타르의 경우 강도저하가 작게 나타났다.

또한, 재유화형 분말수지의 혼입률에 상관없이 동일한 경향을 보였다. EVA를 혼입한 경우 200°C 이하의 영역에서는 혼입률에 상관없이 거의 유사하나 400~600°C 범위에서는 강도감소가 크다. 또한 EVCL을 혼입한 시험체의 경우 온도가 증가할수록 강도가 감소되는 경향은 동일하지만 강도감소가 작아 EVCL이 EVA보다 고온에서 안정성이 높은 것으로 나타났다. 하지만 고온에서의 강도감소는 plain에 비해 차이가 크므로 사용시 혼입률의 조정 등

이 필요하다.

### 3.3 고온시의 공극구조

EVA와 EVCL 재유화형 분말수지를 혼입한 시험체의 가열온도와 누적공극률과의 관계를 Fig. 6에 나타내었다. 상온에서 Plain 시험체의 공극률은 12.7%이며 EVA를 1, 3, 5 및 10% 혼입한 시험체의 공극률은 약 14.2, 15.0, 16.7 및 17.2%이다. 또한 EVCL을 혼입한 시험체의 공극률은 약 19.2, 18.8, 15.6 및 15.2%이다. EVA를 혼입한 경우 분말수지 혼입률의 증가에 따라 공극률도 증가하는 경향을 보였고, EVCL의 경우 Plain 시험체보다 공극은 증가하였으나 혼입률에 따른 뚜렷한 상관성은 보이지 않았다.

상온에서의 Plain, EVA 및 EVCL 시험체의 0.01 $\mu$ m이하의 공극은 전체 부피의 약 3% 정도를 차지하나 가열온도가 증가할수록 0.01 $\mu$ m이하의 공극이 감소하는 경향을 보였다. 또한 600°C로 가열

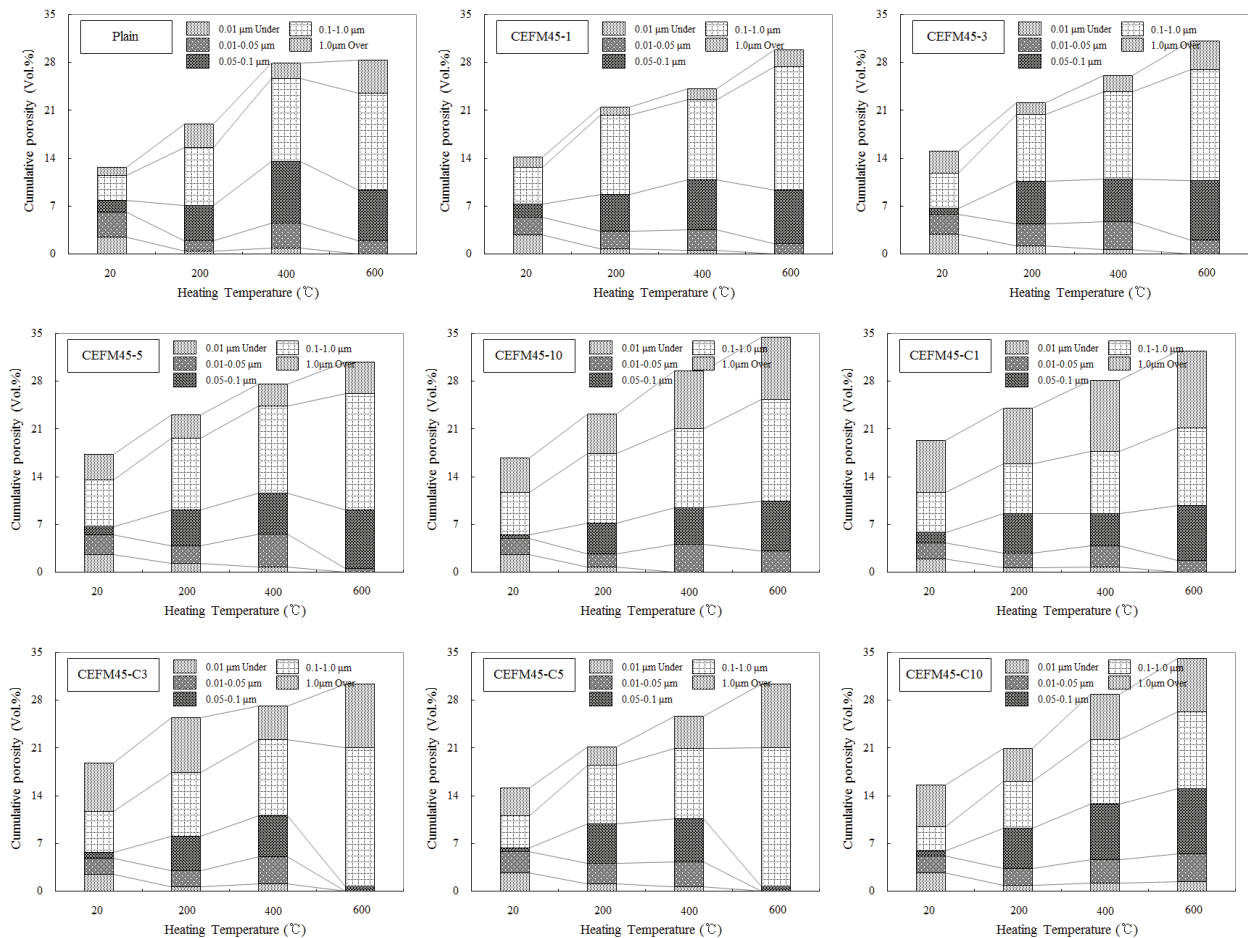


Fig. 6. Cumulative porosity vs. temperature of EVA, EVCL polymer cement mortars

한 일부 시험체의 경우 0.01 $\mu\text{m}$ 이하의 공극이 거의 발견되지 않았다. 이와 같은 결과는 시멘트의 C-S-H상의 분해와 수화물의 수분이 탈수하면서 발생하며 고온에 노출된 시멘트 경화체의 일반적인 경향으로 보고된다(Song 2006).

1 $\mu\text{m}$  이상의 공극은 가열온도가 증가함에 따라 공극도 증가하였고, EVA, EVCL의 혼입에 상관없이 가열온도에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이는 폴리머 시멘트 모르타르 내부의 미세균열과 수화물의 탈수에 의한 결과이다. 시멘트 모르타르는 약 100 $^{\circ}\text{C}$ 에서 수분의 증발에 의해 탈수되며 신축한다. 시멘트 구성성분 중 C-S-H 수화물 및 수산화칼슘의 경우 0.5~2 $\mu\text{m}$ 의 크기이므로 가열에 의한 탈수가 발생할 수 있는 공극에서의 변동이 크게 나타난다. 수산화칼슘이 열분해되어 탈수되는 온도는 약 450~500 $^{\circ}\text{C}$ 이므로 이 영역 온도범위의 변동은 현저하다(Song 2006).

EVA와 EVCL 분말수지를 혼입한 시험체는 공극률도 증가하지만 Plain 시험체보다 고온에서의 공극률 증가도 크다. 분말수지의 혼입에 따라 공기가 연행되어 Plain 보다 공극률이 높고, 또한 시멘트와 골재사이의 공극이나 모세관공극에 폴리머 필름이 충전되어 있지만 고온에 의해 EVA나 EVCL의 필름이 열분해하기 때문에 고온에서 공극률의 증가가 커진다. 가열온도의 상승의 따른 공극률의 변화는 EVA나 EVCL 혼입 유무에 상관없이 온도의 상승에 따라 공극률은 증가한다.

시험체의 공극률 증가는 사용재료나 배합조건에 따른 특성에 따라 조금은 다르지만 가열온도의 증가와 함께 누적공극률도 증가하는 것이 일반적이다. 시멘트 수화물의 공극률은 분말수지에 따라 영향을 받지만 수화정도나 물시멘트비에 따라 다른 체적비율을 구성하며 분말수지의 혼입으로 인한 연행된 공극에 따라 공극률도 증가하게 된다. 물시멘트비가 작은 경우는 모세관수와 공극률도 작다. 경화된 시멘트페이스트의 경우, 고체부분의 약 60~70% 정도가 C-S-H 수화물이며 약 20~30% 정도가 수산화칼슘이다. 전체 체적비율에서 모세관수는 물시멘트비에 따라 다르지만 겔 수까지 증발하는 경우 거의 유사한 체적비율을 유지하므로 공극률의 증가범위도 유사하다. 그러므로 가열온도에 따른 공극률의 증가도 물시멘트비나 시멘트 모르타르의 종류에 상관없이 유사한 경향을 보인다(Song 2006).

### 3.4 난연성 시험

EVA 및 EVCL을 혼입한 시멘트 모르타르의 콘칼로리미터에 의한 실험값을 Table 4에 나타내었다. 기본적으로 시멘트 모르타르는 불에 타지 않는 불연재료이므로 열방출값이 거의 없다. 하지만

Table 4. The results of cone calorimeter test

Sample	Plain	CEFM45-1	CEFM45-3	CEFM45-5	CEFM45-10	CEFM45-C1	CEFM45-C3	CEFM45-C5	CEFM45-C10
Total heat release (MJ/m <sup>2</sup> )	0.0	0.1	0.2	0.6	0.8	0.0	0.2	0.3	0.4
Mean heat release rate (kW/m <sup>2</sup> )	0.0	0.17	0.30	1.07	1.34	0.0	0.26	0.49	0.63
Peak heat release rate (kW/m <sup>2</sup> )	0.0	1.25	1.55	3.77	5.01	0.0	0.80	1.67	2.48
Total smoke production (m <sup>3</sup> )	9.4	9.1	7.0	9.9	8.2	10.1	11.2	10.8	7.3
Mass loss (g)	22.9	22.1	21.1	18.4	21.0	17.9	16.9	23.5	22.0

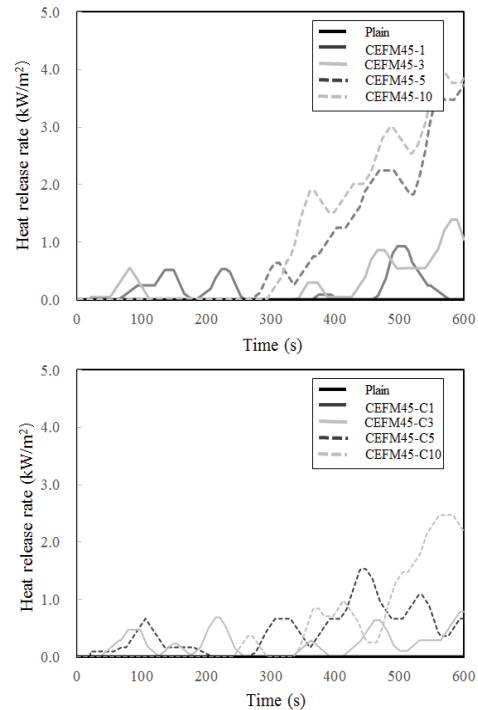


Fig. 7. Heat release rate of EVA, EVCL polymer cement mortars

EVA와 EVCL 분말수지를 시멘트 모르타르에 혼입하는 경우 앞 절에서 전술한 바와 같이 열에 의해 열분해하기 때문에 중량이 감소한다. 정온 고온실험의 경우 시험체를 200 $^{\circ}\text{C}$ , 400 $^{\circ}\text{C}$  및 600 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 1시간을 유지하기 때문에 중량의 감소가 크지만 콘칼로리미터와 같이 10분 동안 정해진 시간동안 50kW/m<sup>2</sup> 복사강도를 유지하는 경우 중량감소는 거의 유사하며 열방출율은 다르게 나타난다.

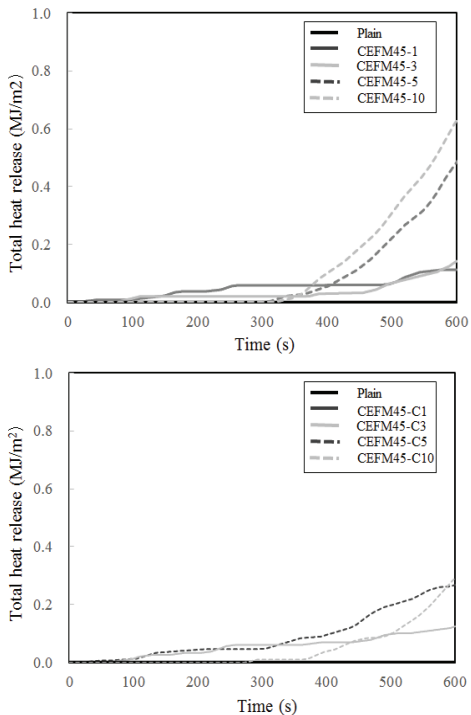


Fig. 8. Total heat release rate of EVA, EVCL polymer cement mortars

EVA, EVCL 분말수지를 혼입한 시험체의 콘칼로리미터에 의한 열방출율을 Fig. 7에 총방출열량을 Fig. 8에 나타내었다. 열방출율은 시험체의 표면적당 발생하는 순간적인 열량의 크기로 시험체가 착화되어 소모하는 산소의 양을 정량하여 재료의 연소시 발생하는 열량을 나타낸다. EVA 및 EVCL 분말수지를 혼입한 시멘트 모르타르는 분말수지의 혼입률이 증가할수록 열방출율 및 총방출열량이 증가하는 경향을 보였다. Plain 시험체의 경우 거의 열방출율 및 총방출열량이 없었고, 분말수지의 혼입률이 증가할수록 열방출율 및 총방출열량도 증가하는 경향을 보였다. EVA 보다는 EVCL을 혼입한 시험체의 경우가 작게 나타났으며 이는 전술한 것과 같이 EVCL이 EVA보다 난연성이 높은 것에 기인한다.

#### 4. 결론

EVA, EVCL 분말수지를 혼입한 시멘트 모르타르의 고온특성으로부터 예측되는 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 1) EVA, EVCL 분말수지 혼입에 따라 시멘트 모르타르는 연행된 공기에 의해 특성이 개질되고 가열온도의 증가에 따라 밀도 및 압축강도는 감소하며, 공극률 및 열방출율 등의 변화량이 커진다.
- 2) EVA, EVCL 분말수지를 혼입한 시험체는 100~300℃, 450~500℃ 범위에서 변화가 크게 나타났는데 이는 수분의 증발 및 EVA, EVCL의 열분해, 수산화칼슘의 열분해에 의한 것이다.
- 3) EVA보다는 EVCL을 혼입한 시험체가 유리하였고 약간의 내화성능의 개선을 보였지만 고온의 영향을 받아 변화의 폭이 크므로 적절한 배합 및 사용조건의 선정이 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토교통기술개발 도시건축연구사업 “소형 건축물 비정형 부재 대상 3D 프린팅 설계, 재료 및 장비 개발”의 연구결과 의 일부입니다.

#### References

ISO 5660-1. (1993). Reaction to Fire, Part 1. Rate of Heat Release from Building Products (Cone Calorimeter), Geneva.

KICT. (2016). Development of Innovative Design, Material and Equipment for 3D Printing Small Buildings/Freeform Members [in Korean].

Kim, W.K. (2006). Strength and adhesion properties of polymer-modified mortars using redispersible powders and polymer dispersions, *Journal of Architectural Institute of Korea*, **22(4)**, 119-126 [in Korean].

Kim, H.J., Noguchi, T. (2012). “Burn-up characteristics of polymer-modified cement mortar used for building repair,” *Proceedings of the Korea Institute of Building Construction*, **12(1)**, 295-298 [in Korean].

Song, H., Lee, J.C., Lee, S.H. (2006). Correlation between variation of pore structure and heating temperatures of high strength concrete, *Journal of Architectural Institute of Korea*, **22(9)**, 91-98 [in Korean].

#### EVA, EVCL 분말수지와 플라이애시를 혼입한 시멘트 모르타르의 고온특성

건축물에서의 3D 프린팅은 구조재 및 비구조재로의 적용으로 구분되며, 비구조재는 내·외장 패널이나 조형물로의 적용 등이 주를 이룬다. 연속적으로 적층하여 제조하는 3D 프린팅 방식은 시멘트 모르타르의 경화속도나 특성을 개질하며 이를 위한 재료의 혼입과 경화속도나 시공성, 접착성의 개선을 위한 시멘트 혼화용 폴리머의 사용이 필수적이다. 본 연구는 적층방식 3D 프린팅 적용을 위해 시멘트, 플라이애시, EVA 및 EVCL 분말수지의 혼입률을 달리하여 고온에서의 특성을 검토하였고 혼입에 따른 유효성 여부를 확인하였다. 실험결과, EVA 및 EVCL 분말수지에 혼입에 따라 시멘트 모르타르는 연행된 공기에 의해 특성이 개질되었고 EVA보다는 EVCL을 혼입한 시험체가 고온에서 유리하였다.