

온도변화에 따른 폴리머 시멘트 모르타르의 잔존압축강도 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Residual Compressive Strength of PCM Depending on Temperature Variations

서 동 구^{1*} 구 인 혁¹ 윤 응 기¹ 김 봉 찬¹ 김 형 준² 권 영 진¹

Seo, Dong-Goo^{1*} Koo, In-Hyuk¹ Yoon, Ung-Gi¹ Kim, Bong-Chan¹ Kim, Hyung-Jun² Kwon, Young-Jin¹
Department of Fire and Protection Engineering, Hoseo University, Baebang-Eup, Asan, 336-795, Korea ¹
Korea Conformity Laboratories, Seocho-Gu, Seoul, 153-803, Korea ²

Abstract

The Purpose of this study was to establish the basic data on the mechanical properties of PCM in the high temperature range. To this end, an experiment was conducted on the characteristics of the residual compressive strength by temperature (100, 200, 400 and 600°C) with a fixed temperature heating. An after heating test was performed to investigate the properties after fire damage. The result showed that the residual compressive strength of PCM had a tendency to decrease, regardless of the type of polymer. It was also found that when the contents were low, the residual compressive strength started to greatly decrease from the high temperature range of 400°C, and that the specimen containing PAE showed a steeper slope than the specimen containing EVA. However, since little studies have been conducted on the mechanical properties of PCM with the high temperature, it is considered that, in addition to this study, basic studies must be preceded, including studies on the repairing methods.

Keywords : polymer cement mortar, residual compressive strength, fire-damaged RC structure

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 건축구조물은 초고층 및 대형화 경향을 보이고, 또한 터널구조물의 장대화 등 RC구조물의 화재위험성은 종래의 구조물보다 위험성이 증대되는 시점이다. 매년 건축구조물에서 발생하는 약 32,000건의 화재 중 철근콘크리트(RC) 구조물의 화재비율은 약 50%에 이르고 있다[1]. 이러한 RC 구조물의 건설동향에 따라 국내에서는 내화안전성에 대하

여 폭발억제대책 및 내화안전설계방안에 대해 관련연구 및 기준마련 등이 이루어지고 있다[2,3,4].

한편, RC구조물이 화재피해를 입은 경우 맹목적인 철거 보다는 화재 발생 후 정량적인 화재조사와 구조물 진단을 통한 재사용여부·보강필요성 등의 구조물안전성평가의 중요성이 부각되고 있다[5]. 이는 신축공사를 하는 경우보다 경제적인 효과가 증대되기 때문에 화재피해 입은 RC구조물의 정량적인 안전진단을 통한 면밀한 검토는 반드시 필요할 것으로 판단된다. 이와 같이 화재피해 및 열화된 RC구조물에 있어서는 표면피복공법, 균열주입공법, 단면수복공법 등으로 보수를 실시[6]하고, 보수재료로서 폴리머 시멘트 모르타르(PCM)가 대부분 사용되고 있다. PCM은 보통 시멘트 모르타르에 비해 접착성, 치밀성, 내약품성, 시공성 등이 우수하기 때문에 보수·보강에 있어서는 불가결한 재료로서 인식되고 있다[7,8].

Received : June 15, 2015

Revision received : July 21, 2015

Accepted : September 21, 2015

* Corresponding author : Seo, Dong-Goo

[Tel: 82-41-540-5497, E-mail: eastnine777@naver.com]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

이에 따라 국제표준화기구(ISO/TC71/SC7)에서는 화재피해를 입은 RC구조물에 기준마련 등에 관한 신규작업 항목제안(New Work Item Proposal)회의가 진행된바 있고[9], 국내의 연구로는 섬유혼입을 통한 내화보수 모르타르의 개발 등이 이루어지고 있다[10,11]. 국내의 연구는 내화안전성을 확보한 보수 모르타르의 재료개발 등은 이루어지고 있으나, 기초적인 역학적특성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. Eurocode[11] 및 AIJ[12] 등에서는 온도별 폴리머 함유량에 따른 잔존압축강도, 정탄성계수, 부착강도 등의 역학적 특성에 대해 연구가 진행되어 지침 등으로 마련 되어 있다.

따라서 온도별 PCM의 역학적 특성을 반드시 확인할 필요가 있기 때문에 본 연구에서는 온도별 폴리머종류 및 함유량에 따른 PCM의 역학적특성 중 잔존압축강도 특성에 대하여 실험적으로 분석하고, 국외기준 등과의 비교를 통해 기초적인 데이터를 확보하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 온도별 폴리머종류 및 함유량에 따른 잔존 압축강도비에 대하여 고찰하였다. PCM재료의 역학적특성은 잔존압축강도, 정적탄성계수, 부착강도 등 다양한 특성이 존재하지만 화재시 RC구조물의 내력저하를 중점으로 잔존압축강도비에 대한 결과만을 고찰한다. 또한 고온환경에서 실험은 화재 발생 당시의 상황을 모사한 열간(during heating)시험과 화재 후 보수에 필요한 기초데이터 축적을 위한 냉간(after heating)시험으로 진행되고 있으나, 본 연구는 화재피해를 입은 콘크리트의 보수보강재료의 사용여부에 따른 화재시 온도별 평가를 위해 냉간시험을 선택하여 진행하였다.

2. 실험조건 및 방법

2.1 실험조건

본 실험은 온도별 노출된 PCM의 잔존압축강도를 측정하는 것으로서 시험체의 배합 및 예열로에서의 가열온도를 실험조건으로서 Table 1에 나타내었다. 이와 같은 조건하에 잔존압축강도에 대하여 실험을 실시하여 그 결과를 비교·고찰하였다. 또한 가열방법 및 가열시간에 대한 교정(calibration)실험을 통해 실험방법 및 타당성에 대해 검토하였다.

Table 1. Condition of tests

Kind of Polymer	Polymer Content Amount (%)	Heating Temperature (°C)	W/B (%)	Specimens Size (mm)
Plain	0	20	40	Ø50×100
EVA	5	100		
	10	200		
PAE	5	400		
	10	600		

2.2 실험체

2.2.1 사용재료 및 배합

시멘트는 KS L 5201(제1종) 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 2.5mm 이하의 건조모래를 사용하였다. Table 2는 시멘트 혼화용 폴리머의 특성값을 나타낸 것으로서, 시멘트 혼화용 폴리머는 Ethylene Vinyl Acetate (EVA), Poly Acrylic Ester(PAE)를 사용하였고, W/B를 40%로 설계하고, 폴리머의 량을 질량비로 치환하여 배합하였다.

Table 2. Characteristic of polymers

Characteristics	Redispersible Polymer Power	Value
Volatile Matter (%)	EVA, PAE	≤ 2.0
Particle Size (%) (≤300µm)	EVA, PAE	≤ 2
Acid Value (mgKOH/mg)	EVA, PAE	≤ 2.0
Apparent Density (g/ml)	EVA, PAE	0.50±0.10

2.2.2 시험체의 형상 및 양생

잔존압축강도를 측정하기 위하여 시험체는 예열로 안에서 열전달을 용이하게 하기 위해 Ø50×100mm 의 원통형 시험체로 제작하였다. 시험체의 양생은 3일간 습윤양생 후, 28일간 수증양생하였으며, 수증양생이 끝난 후 4주간 기건양생(20°C, 60 R.H.)을 실시하였다. 총 양생기간이 끝난 후 가열시험 실시 전까지 함수율을 3%이하로 조절하기 위해 건조기에서 60°C로 시험체를 건조시켰다.

함수율 조절은 PCM의 재료적 특성에 의한 폭렬 및 폴리머 자체의 성상을 파악하기 위해 시험전 전처리 과정에서 절대건조 상태로 만들어 가열실험을 실시하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 목표가열조건을 위한 교정시험

예열로의 내부에 위치한 시험체별 폴리머 종류 및 함유량

에 따라 시험체 내부로 전달되는 열이 다르게 분포될 수 있기 때문에 교정시험(Calibration test)을 실시한다. 본 실험은 정온열전달에 의한 PCM의 잔존압축강도를 측정하는 것을 목적으로 반드시 시험체 내부의 세부적인 평가가 필요하다.

열간시험의 경우 가열하에 재하를 가하는 방법을 사용하는 연구[13] 및 가열 후 즉시 압축강도측정을 하는 방법 [14]등으로 구분되며, 실험방법의 복잡한 순서 및 한계성을 갖는다. 하지만 본 실험은 냉간시험을 목적으로 화재피해 이후의 PCM의 압축강도 저하를 분석하는 것으로서, 정온 열전달에 대한 역학적 특성만을 다룬다.

Figure 1은 시험체 내부의 열전대위치 및 교정시험을 실시한 사진을 나타낸 것이다. 시험체의 목표가열온도는 100, 200, 400, 600℃로 설정하고, 온도상승속도는 10 0℃/h 로 목표가열온도에 도달 후 2시간 동안 가열온도를 유지시키는 것을 목적으로 하였다. 열전대는 K형 열전대를 설치하였으며, 시험체의 중심에 위치하도록 타설하였다. 또한 예열로 내부에서 시험체표면의 온도를 측정하여 표면과 중심부의 온도차에 대한 영향을 검토하였다. 교정시험한 시험체는 Plain과 폴리머 종류별로 함유량 10%의 시험체를 검토하였다.

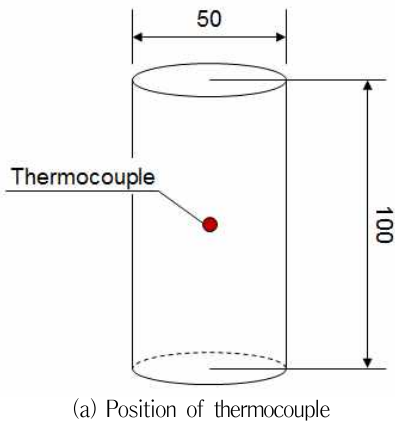


Figure 1. Thermocouple position and calibration test

Figure 2는 100℃수준 가열시의 PCM 표면과 중심과의 온도차를 나타낸 것으로서, 30분 단위로 비교한 것이다. 표면과 중심의 온도차는 10℃ 이내 범위로 나타났으며, Figure 3과 같이 가열 90분 후 부터 목표수준인 100℃에서 유지되는 결과를 얻을 수 있었다. 또한 Kim et al.[14]의 연구를 살펴보면 1시간 온도상승 후 목표수준온도가 2시간 이 경과될 경우에 시험체가 안정된다고 보고된 바 있다.

따라서 본 실험에서는 Figure 4와 같이 가열조건을 설정하여, 폴리머 종류 및 함유량에 따른 시험체의 각 목표수준 온도로서 실험을 실시하였다. 또한 각각의 시험체는 각 온도수준마다 3개의 시험체를 동시에 가열하였다.

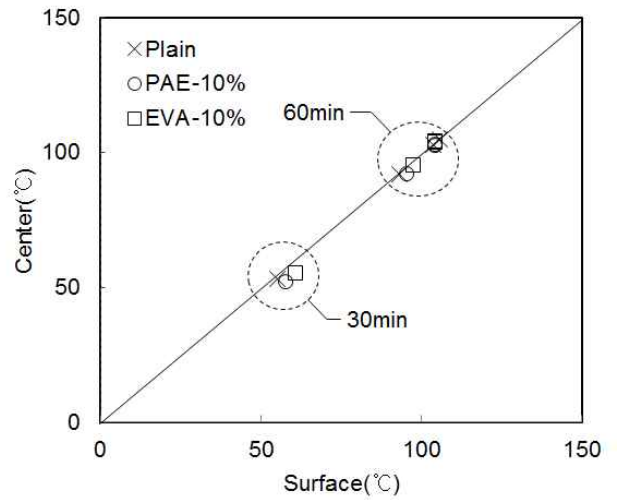


Figure 2. Results of temperature measurement (surface/center)

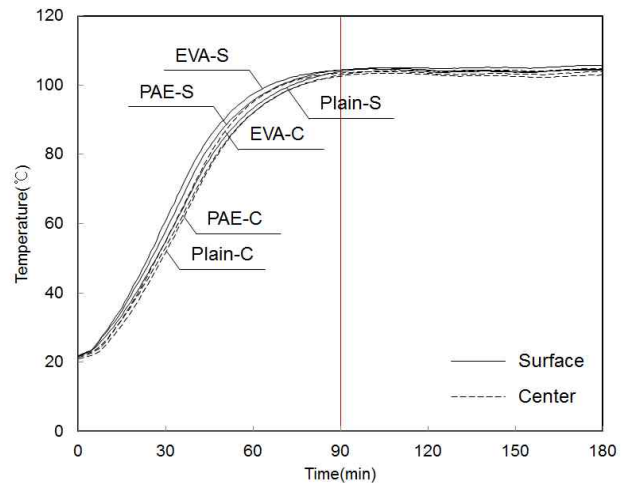


Figure 3. Result of calibration test

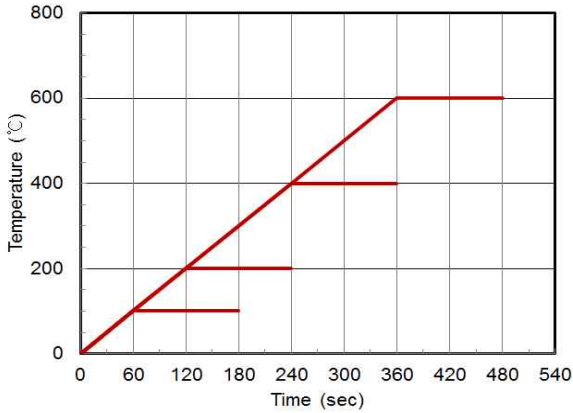


Figure 4. Conditions of desired temperature

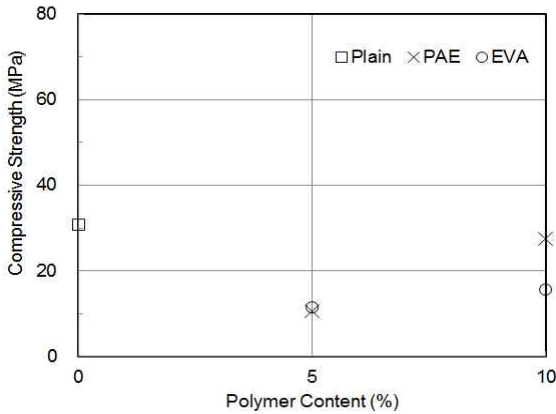


Figure 5. Results of compressive strength by polymer content

2.3.2 잔존압축강도

압축강도시험은(100ton, UTM test) KS F 2426(주립 모르타르의 압축강도 시험방법)에 의거하여 진행하였으며, 냉간시험을 수행하기 위해 각 온도수준마다 3개의 시험에 대한 결과를 분석하였다. 각각의 시험체는 가열종료 후 예열로 내부에서 1일간 서서히 냉각시켜 압축강도를 측정했다. 압축강도의 결과는 상온(20°C)의 결과를 기준으로 온도 영역별 잔존압축강도비를 계산하여 비교분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 상온에서 폴리머 종류 및 함유량에 따른 압축강도

Figure 5는 상온에서 잔존압축강도 측정결과를 나타낸다. 측정결과, Plain의 경우가 30.8 MPa로 가장 높게 측정되었으며, 폴리머 함유량이 5%일 때 낮아지고, 함유량이

10%가 되면 다시 높아지는 경향을 나타냈다. 이는 Bae et al.[15]의 연구에서 나타낸 바와 같이 폴리머 시멘트 비가 커질수록 자체강도를 가지고 있지 않은 폴리머 필름의 형성률이 높아지고 폴리머 필름이 시멘트 수화물과 골재간의 접착력을 방해하기 때문인 것으로 판단된다.

3.2 온도별 PCM의 압축강도 측정결과

Figure 6은 온도별 폴리머 함유량에 따른 압축강도비를 나타낸 것이다. 일반적으로 냉간시험을 수행한 압축강도에 대한 문헌[13,14]을 살펴보면, 100°C 및 200°C영역에서는 상온과 거의 유사하거나 조금 증가한 것을 알 수 있다. 이는 시험체의 수분의 증발에 의한 폴리머의 접착성 증가로 기인할 수 있는 결과이며, 폴리머 함유량에 따라 함유량이 적을수록 400°C의 고온부터 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 유기물은 500°C이하에서 용융하기 때문에 400°C 이상의 고온영역에서는 압축강도를 좌우하는 것은 시멘트 모르타르의 수화물의 영향일 가능성이 높다고 판단된다.

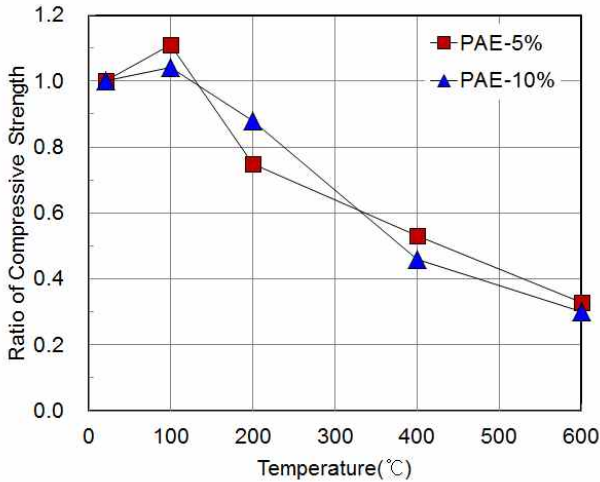
폴리머 함유량이 일정한 경우 폴리머의 종류에 따라 강도차가 나타난다. PAE계 폴리머가 함유된 시험체가 EVA가 함유된 시험체보다 압축강도비 감소가 두드러지며, 이는 아크릴계 유기물이 초산비닐계 유기물보다 산소와 반응하여 연소되기 쉬운 결과로 판단된다. 이로 인해 시험체 내부공극이 증가하여 응력을 부담하는 부분이 적어진 것으로 사료된다.

특히 현재 현장에서 배합되는 PCM의 폴리머 함유량은 5~10% 사이인 것을 감안한다면, 폴리머 함유량이 많을수록 고온에서의 압축강도는 크게 감소함을 알 수 있다.

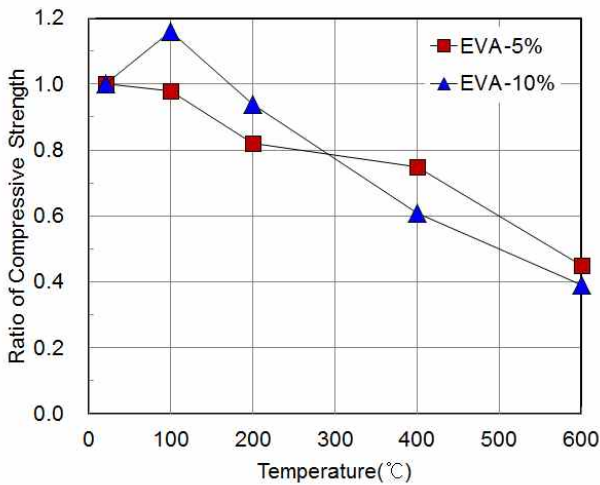
3.3 가열온도에 따른 압축강도특성 고찰

3.3.1 가열온도에 따른 PCM종류별 압축강도특성

Figure 7은 폴리머 종류에 따라 Plain과 비교한 것으로 폴리머 함유량에 따라 종류와 관계없이 압축강도가 감소하는 결과가 나타났다. 일반적으로 무기계의 콘크리트의 경우 설계강도와 관계없이 100°C에서 강도저하가 나타나며, 가열온도 200°C에서 강도 상승 후, 300°C 부터 강도가 저하되는 경향을 보이고 있다[16]. 반면, 유기계의 PCM의 경우, 잔존압축강도비가 급격히 저하되는 결과가 나타났으며, PAE 및 EVA는 가열온도 600°C에서 약 40%까지 강도저하가 나타났다.



(a) PAE polymer content



(b) EVA polymer content

Figure 6. Ratio of compressive strength by polymer content and kind

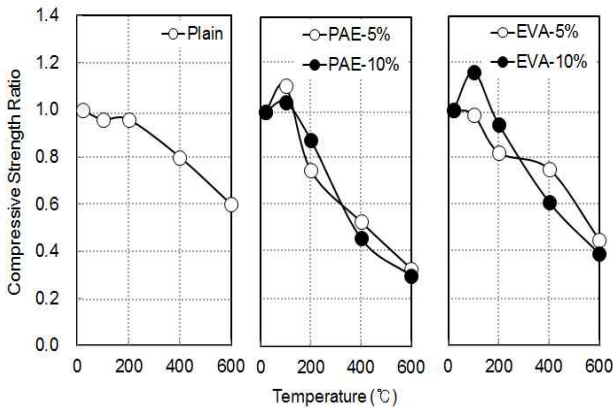


Figure 7. Results of compressive strength ratio

3.3.2 기존 문헌결과와의 비교

PCM에 대한 고온에 따른 역학적특성에 관한 연구는 미흡한 상황이며, 콘크리트에 대한 연구가 대부분 이루고 있다. 콘크리트의 열간 및 냉간시험에 대한 Eurocode[11] 및 AIJ[12]에서 조사한 결과를 살펴보면, Table 3과 같다.

Table 3. Ratio of compressive strength (AIJ, eurocode)[11,12]

Concrete Temperature T_i, T_r (°C)	During heating		After heating (AIJ, $\kappa_{cr}(T_r)$)
	Eurocode	AIJ ($\kappa_c(T)$)	
20	1	1.00	1.00
100	0.95	0.80	0.94
200	0.90	$0.334 \times W/B + 0.764$	0.87
300	0.85	$0.364 \times W/B + 0.711$	0.80
400	0.75	$0.451 \times W/B + 0.561$	0.64
500	0.60	$0.385 \times W/B + 0.411$	0.48
600	0.45	$0.471 \times W/B + 0.200$	0.32
700	0.30	$0.436 \times W/B + 0.114$	0.16
800	0.15	0.15	0

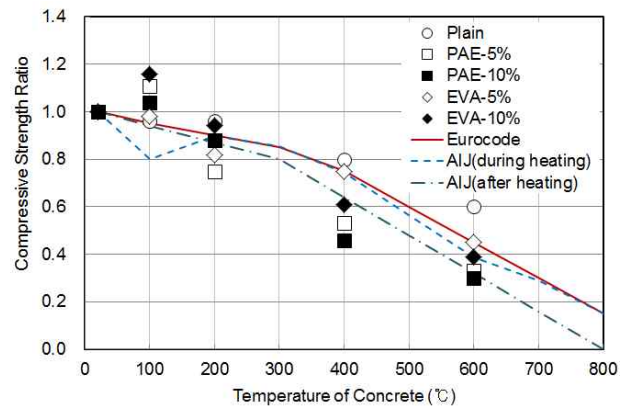


Figure 8. Comparison results of compressive strength ratio

콘크리트의 압축강도는 일반적으로 100°C에서 크게 저감되는 경향이 나타나며, 300°C부터 기울기가 급속하게 저감되는 것을 알 수 있다. PCM에 있어서는 100°C의 경우 전술한 바와 같이 압축강도가 상승되는 경향이 있으며, 200°C부터 강도의 기울기가 비교적 크다. Figure 8에 기존의 연구와의 비교결과를 나타낸다.

폴리머의 혼입에 따른 결과는 고온영역에서 압축강도특성에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. ISO834 곡선 등을 통한 가열곡선에 따른 PCM의 압축강도의 저감에 대한 연구는 비교적 많은 편이지만, 정온가열영역에서의 압축강도의 특성은 기초적인 데이터 구축에 주요한 사례로 판단된다. RC구조물의 내화설계 및 안전진단을 위해서는 반드시

이러한 정온분석을 통한 기초적인 자료를 통해 이루어져야 할 것으로 판단된다.

4. 결론 및 향후 연구방향

폴리머의 종류 및 함유량은 고온영역에서 잔존압축강도 감소에 큰 영향을 미친다. 일반적인 예상으로 가능하지만, 각 온도영역에서의 감소정도가 어느 정도인지에 대한 연구는 상당히 미흡한 수준이다. 본 연구는 이러한 측면에서 PCM의 고온영역에서의 기초적인 압축강도비에 대한 자료를 고찰할 수 있었다. 이에 대한 구체적인 내용에 대하여 다음과 같이 설명할 수 있다.

- 1) 고온영역에서 PCM의 잔존압축강도 특성은 폴리머의 종류와 관계없이 감소하는 경향이 나타났다. 폴리머는 함유량에 따라 다르게 분포되며, 상온일 경우 함유량이 5%일 때 보다 10%일 때 압축강도가 증가하는 경향을 보였다. 또한 폴리머의 함유량이 많을수록 400℃의 고온영역 부터 크게 감소하는 경향을 보였다.
- 2) 폴리머 함유량이 일정한 경우, 즉 폴리머 종류가 다른 경우에는 PAE계 폴리머가 함유된 시험체가 EVA가 함유된 시험체보다 압축강도 감소의 기울기가 크게 나타났다. 이는 적은 감소율의 차이지만 아크릴계 유기물이 초산비닐계 유기물보다 산소와 반응하여 연소되기 쉬운 원인으로 내부공극이 증가하여 응력을 부담하는 부분이 적어진 것으로 판단된다.

이러한 결과와 더불어 PCM은 유기계로서, 연소특성에 대한 연구가 필요하며, 더욱이 현재는 구조물의 내력감소를 충분히 견딜 수 있는 강도를 가진 대체물이나 부속첨가물들이 개발되고 있지만, 기본적인 배합비에서부터 정온가열 온도, 가열방법, 시험방법의 정립 등이 필요하다. 이에 대한 내용을 면밀히 파악하기 위해서는 표준화 작업이 병행되어야 할 것으로 판단되며, 현재 시험방법 조차 제시된 것이 없어 향후 어떤 방법을 적용해 보수할 것인지에 대한 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 고온영역에 있어서 PCM의 역학특성의 기초적인 자료를 구축하는 것을 목적으로, 정온가열에 따른 온도별(100, 200, 400, 600℃) 잔존압축강도 특성에 대하여 실험하였다.

화재피해 이후의 특성을 살펴보기 위해 냉간시험을 실시하였으며 그 결과, PCM의 잔존압축강도는 폴리머의 종류에 관계없이 모두 감소하는 경향이 나타났다. 또한 함유량이 많을수록 400℃의 고온영역부터 크게 감소하는 특성을 보였으며, PAE가 함유된 시험체가 EVA가 함유된 시험체보다 압축강도 기울기가 크게 나타나는 것을 확인하였다. 하지만 현재 PCM의 고온에 따른 역학적특성에 관한 연구는 상당히 미흡하기 때문에 본 연구와 더불어 보수방법 등에 대한 기초적인 연구가 반드시 선행되어야 할 것으로 판단된다.

키워드 : 폴리머 시멘트 모르타르, 잔존압축강도, 화재피해 철근콘크리트 구조물

Acknowledgement

This work was supported by the Technology Innovation Program (10042384) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MI, Korea).

References

1. National Fire Data System, Fire Statistics, Ministry of Public Safety and Security, 2015.
2. Lee JY, Kim JH, Han BC, Park SG, Kwon YJ, A Study on the Anti-Spalling Performance of High-Strength Concrete Members by covered Engineered Cementitious Composite, Journal of Korean Institute of Fire Sci.&Eng. 2008 Nov;22(4):85-94.
3. Lee MH, Analysis of the Contribution and Spalling Control Characteristics of Fire-resistance Strengthening Parameters of High Strength Concrete, Journal of Architectural Institute of Korea, 2008 Nov;24(11):109-18.
4. Shin SW et al, Structural Fire Safety Design for High Strength Concrete, 1st rev, Architectural Institute of Korea, Republic of Korea: 2008, 220 p.
5. Korea Concrete Institute, Fire Resistance of Reinforced Concrete Structures, Republic of Korea: Kimoonddang Co, 2005, 160 p.
6. Park DC, Performance Prediction System of Repair Materials and Repair Methods Applied to Deteriorated Reinforced Concrete Building, Land & Housing Institute, 2008 Dec:3
7. Ohama Y, Shiroishida K, Properties of Polymer-Modified

-
- Mortars Using Powdered Emulsions, American Concrete Institute, Special Publication Vol.89, 1985 Dec; 313–22.
8. ACI Committee 548, Guide for the Use of Polymers in Concrete, American Concrete Institute, ACI 548, 1R–97, 1997 Sept. ; p. 1–4.
 9. Kwon YJ, Seo DG, Kim DE, Koo IH, Yoon UG. The Standardized Approach for Maintenance Methods of Concrete Structures Caused by Fire. In: Japan Association for Fire Science and Engineering, 2015 Conference, 2015 May 16 –May 17; Japan; 2015. p. 130–131.
 10. Kim JH, Lim SC, Kim JH, Kwon YJ. An Experimental Study on the Durability and Load Carrying Capacity of RC Structure Repair System Using FR–ECC, Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 2012 Mar;16(2):75–86.
 11. Eurocode 4, Design of Composite Steel and Concrete Structures, Draft for Part 1–2: Structural Fire Design, CEN/TC250/SC4 N56, prENV, EU;1994, 1082 p.
 12. Architectural Institute of Japan, Guide Book for Fire Resistive Performance of Structural Materials, Japan: 2004, 260 p.
 13. Matsudo M, Nishida H, Ohtsuka T, Hirashima T, ABE T. Mechanical Properties of High Strength Concrete at High Temperatures: Fire Performance of High Strength Concrete(Part1), J. Struct, Constr. Eng., Architectural Institute of Japan, 2008 Feb;73(624):341–7.
 14. Kim HJ, Hamasaki H, Noguchi T, Nagai H. Mechanical Characteristics of Polymer–Modified Cement Mortar using Preheating Furnace Exposed to High Temperature, Japan Concrete Institute, 2010 ;32(1):1631–6.
 15. Bae SC, Han DY. A Study on the Strength Properties of Polymer Modified Mortars, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Conference 2010(1); 2010 Dec 25–26; Republic of Korea: AIK; 2010. p. 271–4.
 16. Kang YW. Evaluation on the Residual Mechanical Properties of Normal and Light–weight Concrete with Design Loading and Elevated Temperature, Chungnam National University, Degree of Doctor, 2013 Feb;24–29.
 17. Ohama Y. Handbook of Polymer–Modified Concrete and Mortars; Properties and Process Technology, Noyes Publication, 1995:125–30.
 18. Kang YH, Kang CH, Choi HG, Shin HJ, Kim WJ. Compressive Properties of Ultra High Strength Concrete Exposed to High Temperature, Journal of the Korea Concrete Institute, 2014 Jun;26(3):377–84.