

고온에서의 폴리머 시멘트 모르타르의 연소특성에 관한 연구

Burn-up Characteristics of Polymer-Modified Cement Mortar Used for Building Repair

김 형 준* 노구치 타카후미**
Kim, Hyung-Jun Noguchi, Takahumi

Abstract

Repair and strengthening is necessary to extend the service life of existing buildings. Polymer-modified cement mortar (PCM) has been extensively used as a high performance material particularly for finishing and repairing works in concrete building because of its excellent adhesion, waterproofing, resistance to chemical attack, and workability. As PCM contains organic polymer, it is necessary to clarify its properties at high temperature under fire, on which sufficient data are not available. This paper evaluated the burn-up characteristics of polymer-modified cement mortar with cone calorimeter test, non-combustibility test and flammability test with experimental parameters such as the types of polymer, unit-polymer content, polymer-cement ratio and thickness of the specimen.

키 워 드 : 폴리머 시멘트 모르타르, 발열성 시험, 불연성 시험, 총발열량, 단위 폴리머량, 시험체 두께
Keywords : polymer-modified cement mortar, non-combustibility test, flammability test, total heat release, unit-polymer content, thickness of the specimen

1. 서 론

폴리머 시멘트 모르타르는 접착성, 치밀성, 내약품성, 시공성 등이 우수한 재료로 건축·토목 구조물의 보수용 재료로서 넓게 사용되고 있다. 그러나, 혼입된 폴리머는 유기계재료로 유기물을 포함, 화재시나 고온에서의 성상에 대해 파악한 후에 적절히 사용할 필요가 있다. 본 연구에서는 폴리머 시멘트 모르타르의 연소특성을 평가하는데 중요한 발열성 시험, 불연성 시험에 관한 실험을 실시했다. 폴리머의 종류, 단위 폴리머량, 물시멘트비를 변화시킨 폴리머 시멘트 모르타르의 발열성 시험 및 불연성 시험의 결과에 대해 검토하고, 폴리머의 종류, 양에 관한 수준뿐만 아니라, 조합 조건으로서 단위 폴리머량과 폴리머 시멘트비(이하P/C) 및 시험체의 두께가 각각 다른 시험체를 제작, 발열성 시험 및 착화성 시험을 실시하였다.

2. 폴리머 시멘트 모르타르의 연소특성 평가에 관한 실험적 검토

2.1 사용 재료 및 조합

시멘트는 JIS R 5210에 규정되어 있는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용했다. 세골재는 오오이가와산 모래(조립률:2.97, 표진 비중: 2.63 g/cm³, 흡수율: 1.81%)를 사용했다. 시멘트 혼화용 폴리머는 JIS A 6203에 규정되어 있는 에틸렌 초산비닐 공중합수지 (EVA), Vinylacetate-vinylversatate (VVA), 폴리아크릴산 에스테르 공중합 수지(PAE) 및 스티렌 부타디엔 라텍스 (SBR)를 사용했다. 또한 재유화형 분말수지에는, 분말수지에 대해 소포제가 1% 첨가되었다. 폴리머 디스퍼전에는 전고형분에 대해 소포제가 1 % 첨가되었다. 표1은 시멘트 혼화용 폴리머의 성질을 나타내고 있다. 폴리머 시멘트 모르타르 조합의 수준 및 모르타르 플로우 값을 표2에 나타내고 있다. 시멘트 모래비(질량비)는 모든 수준에서 1:3으로 하고 폴리머의 종류, 폴리머량, 물시멘트비를 변화시킨 60조합으로 했다. 폴리머 시멘트 모르타르 조합은 일반적으로 결합재인 시멘트에 대한 폴리머량의 비 (P/C)로 표현되지만 본 연구는 열적특성을 검토하기 위한 것이므로 폴리머의 절대량은 문제가 있다고 판단, 조합에 사용된 폴리머량은 상대량인 P/C조합이 아닌, 단위 용적당 질량 (kg/m³)으로 표시하고, 본 실험의 조합에 있어서 단위 폴리머량 10 kg /m³는 절대량과 P/C의 관계로부터, 폴리머 시멘트비는 약 2 %에 해당한다.

* 경북대학교 건축토목공학부 연구원, 공학박사
** 동경대학교 공학계연구과 건축학전공, 준교수, 공학박사

2.2 시험체

발열성 시험의 시험체의 형상 및 치수는 (100 × 100 × 10) mm의 평판으로 하고, 불연성 시험의 시험체 형상 및 치수는 지름 44 mm, 높이 50 mm의 원통형으로 했다. 또한, 착화성 시험의 시험체는 (100 × 100 × 400) mm으로 성형한 후, 4주간 수증양생 (20℃) 후, 치수(100 × 100 × 10) mm, (100 × 100 × 30)mm 및 (100 × 100 × 50)mm으로 절단하고 기증양생을 실시했다. 그 후, 20 ℃, 60 % R.H의 환경에서 적어도 63일간 기증양생을 실시했다. 시험 실시전의 전처리 과정으로 60℃의 건조기 안에서 3일간 건조한 후, 데시게이터 안에서 실온이 될 때까지 천천히 냉각시켰다. 시험 실시 전의 각 시험체의 함수율은 발열성 시험과 착화성 시험에서는 (0.5~2.0) %, 불연성 시험에서는 (2.0~4.0) %의 범위 안에 있다. 시험체 개수는 발열성 시험과 착화성 시험에서는 각각 2개, 불연성 시험은 3개의 시험체를 사용했다.

표 1. 폴리머의 재료적 특성

Type of polymer	Volatile Portion (%)	Particle diameter* (%)	Acid value (mgKOH/mg)	Apparent density (g/ml)
EVA	2.0 이하	2.0 이하	2.0 이하	0.50±0.10
VVA	2.0 이하	2.0 이하	2.0 이하	0.53±0.10
PAE	2.0 이하	2.0 이하	2.0 이하	0.50±0.10
Polymer dispersion	Solid ratio (%)	pH (20℃)	Viscosity (mPa·s)	Density (g/ml)
SBR	44.6	8.0~9.0	500~1500	1.0

*:Residue mass ratio passing 300μ m sieve

2.3 시험 방법

발열성 시험은 ISO 5660-1(Cone Calorimeter Standard Test Method)의 기준에 따라 실시하고 원추형 전기히터에서 복사가열을 하면서 동시에 전기스파크를 착화원으로 해서 발열량 및 발열속도를 산소 소비법에 의해 측정했다. 불연성 시험은 ISO 1182(Reaction to fire tests for products: Non-combustibility test)에 준거해 실시하고, 노 내의 온도 및 시험체의 질량 감소량을 측정했다. 일반적으로 발열성 시험에서 불연 재료로서의 요건은 다음과 같다.

- 1) 가열 개시 후 20분간의 총발열량이 8 MJ/m²을 초과하지 않을 것
- 2) 최대발열속도가 10초이상 지속해서 200 kW/m²을 초과하지 않을 것
- 3) 방화(防火)상 유해한 표면까지 관통하는 균열 및 구멍이 생기지 않을 것

표 2. 폴리머 시멘트 모르타르의 물성치

Type of polymer	Polymer content kg/m ³	W/C 45%	Mortar flow (mm)			W/C 60%	
			W/C 50%				
			10mm	30mm	50mm		
Non*	0	113	150	159	159	195	
	10	118	166			215	
	20	128	180	158	158	213	
	30	140	183			225	
	EVA	40	138	190			215
		50	153	160	182	182	193
		75		169			
100		148	168	172	172	198	
VVA	10		185				
	20	145	185			213	
	30		190				
	40		185				
	50		195				
	100		180				
	10		183				
SBR	20	155	180	180	180	228	
	30		195				
	40		197				
	50		223	223	223		
	75		-				
	100		-	-	-		
	10		190				
PAE	20		177				
	30		191				
	40		193				
	50		190				
	75		203				
	100		208				

*: Without polymer addition

Blank means no parameter.

Hyphen means that measurement was impossible.

2.4 시험 결과

2.4.1 발열성 시험

육안관찰에 의한 시험체의 연소 현상은 다음과 같다. 시험체의 연소는, 모든 SBR 모르타르 및 단위 폴리머량 40 kg/m³의 EVA 모르타르에서 발생했다. 착화는 단위 폴리머량 40 kg/m³이상의 SBR모르타르 및 단위 폴리머량 100 kg/m³의 EVA모르타르에서 발생했다. 단위 폴리머량 100 kg/m³의 VVA모르타르에서는 폭발이 발생했다. 이와 같은 결과로부터 폴리머 시멘트 모르타르가 가열되는 경우, 폴리머의 종류, 단위 폴리머량 및 물시멘트비에 의해 연기발생량 및 착화, 폭발성의 유무가 다르게 나타났다. 또한, 폴리머의 함유량에 관계없이 폭발을 일으킨 시험체를 제외한 모든 수준의 시험체에서 어떤까지 관통하는 균열이나 구멍 등은 확인되지 않았다. 폴리머 시멘트 모르타르의 가열 개시 후 20분간의 총발열량을 그림1에 표시했다.¹ EVA모르타르 및 VVA모르타르는 단위 폴리머량의 증가와 함께 총발열량이 직선적으로 증

가하고, 물시멘트비 차이에 의한 현저한 변화는 보이지 않았다. SBR모르타르는 착화가 발생하는 단위 폴리머량 40 kg/m³이상의 경우에서 총발열량이 증가하고, 단위 폴리머량 40 kg/m³의 수준에서 불연재료의 기준인 8 MJ/m²을 초과, 이후 폴리머량에 대해 비례적인 관계가 성립된다. 최대발열속도는 총발열량의 결과와 거의 일치하는 경향을 보이고 있다. 모든 시험체에서 최대발열속도는 200 kW/m²를 초과하지 않았다. SBR은 약 200 °C에서 스티렌과 부타디엔 라텍스로 분해되고, 360 °C부근에서 열분해되어 기화가 시작된다. 가열 5분 정도에서 표층부의 온도는 기화될 때 폴리머의 용융 온도 초과, 열분해 가스가 공기 중의 산소와 반응하고, 시험체의 착화에 의해 산소를 소비하는 것으로부터 발열량 및 발열속도가 급증한 것이라고 사료된다.

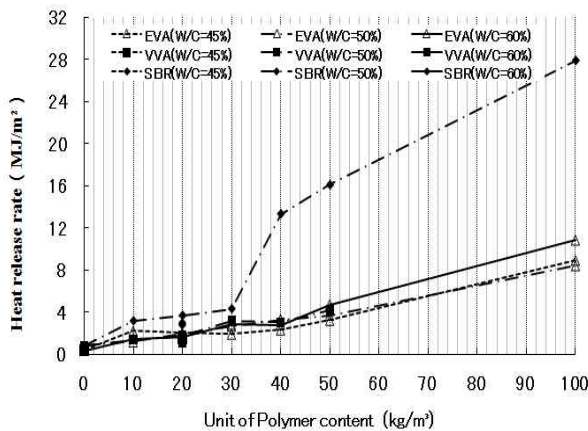


그림 1. 폴리머 시멘트 모르타르의 총발열량

2.4.2 불연성 시험

육안 관찰에 의한 시험결과를 표3에 나타냈다. 폭발이 발생한 시험체에서는 대략 80~180초 사이에서 폭발이 발생했으며, 폴리머의 함유량이 많을수록 폭발이 초기에 발생하는 경향을 보였다. 그림2는 단위 폴리머량과 노 내 온도변화의 관계를 나타냈다.² 노 내 온도변화는 시험 개시 후 30분간의 노 내의 최고온도와 시험 종료전의 1분간의 평균온도의 차로 나타내고 있다. 단위 폴리머량 50 kg/m³이하의 EVA모르타르의 온도변화는 20 °C이하를 나타내고, 100 kg/m³의 수준은 물시멘트비에 관계없이 50 °C이상의 온도변화를 나타내고 있다.

단위 폴리머량 30 kg/m³이상의 VVA모르타르 및 단위 폴리머량 20 kg/m³이상의 SBR모르타르에서는 온도변화가 20 °C를 초과했다. 또한, 단위 폴리머량의 증가와 함께 온도변화는 직선적으로 증가하지만, 100 kg/m³의 VVA모르타르 및 SBR모르타르의 수준에서는 50 kg/m³의 수준보다 조금 증가한 경향을 보인다. 또한 폭발이 발생하지 않은 각각의 폴리머 시멘트 모르타르의 가열 후 질량을 측정했다.

표 3. 시험체의 폭발 및 착화

State	poly mer	Unit polymer content in PCM (kg/m ³)						
		0	10	20	30	40	50	100
Spalling	EVA					△	△	○
	VVA				△	△		○
	SBR						△	○
Ignition and smoke	EVA							○
	VVA						○	○
	SBR			△	○	○	○	○

○: Generation at all specimens
△: Generation at part of specimens

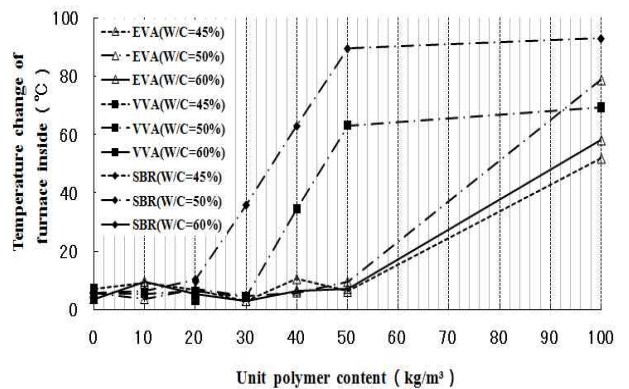


그림 2. 단위 폴리머량과 노 내 온도변화의 관계

그림3은 폴리머량과 가열 후의 질량감소율의 관계를 나타내고 있다. 단위 폴리머량의 증가와 함께 질량 변화율은 직선적으로 증가한다. 또한, 폴리머의 종류, 단위 폴리머량 및 물시멘트비에 관계없이 폴리머 시멘트 모르타르의 질량 변화율은 모든 수준에서 30 %이하를 나타냈다. 폴리머 시멘트 모르타르의 질량감소는, 시험체 중의 자유수, 시멘트 경화체 중의 결합수의 일부, 폴리머의 열분해에 의한 감소분으로 판단된다. 시험 전의 공시체 함수율은, 공시체마다 차이가 있지만 폴리머의 증량에 따른 질량감소의 증분은 거의 폴리머의 열분해에 의한 감소분이라고 추정된다. 단위 폴리머량 10 kg/m³는 공시체 전체의 질량의 약 (0.4~0.5) %에 상당하는 것으로 고려한 경우, SBR모르타르의 질량감소율의 증분은 거의 단위 폴리머량의 증분에 상당하고, VVA모르타르의 경우 폴리머의 증분은 절반 정도가 질량감소로 나타내어지고 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 불연성 시험에서도 폴리머 종류에 따라 분해의 차이가 있고, 특히 SBR모르타르의 경우 내부의 폴리머 연소가 가장 빠른 경향을 보이고 있는 것으로 관찰되었다.

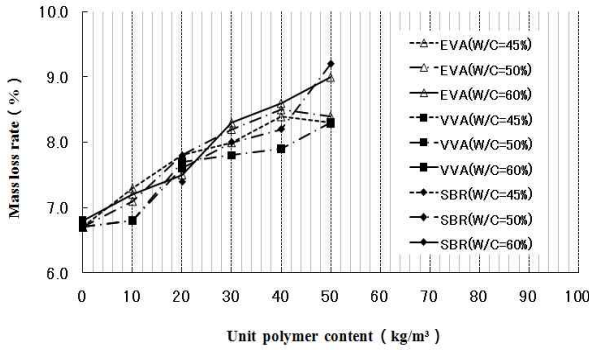


그림 3. 단위 폴리머량과 질량감소율의 관계

2.4.3 연소 특성 평가(조합조건 및 시험체 두께)

그림4는 PAE의 조합수준을 추가해 단위 폴리머량과 총발열량의 관계를 나타내고 있다.³ 착화는 단위 폴리머량 40 kg/m³이상의 PAE모르타르 및 단위 폴리머량 (20, 50, 100) kg/m³의 SBR 모르타르 수준에서 발생했다. 또한 단위 폴리머량 100 kg/m³의 EVA모르타르에서는 폭발이 발생했다. 폭발 수준 이외에서는 이 면까지 관통하는 균열 및 구멍은 확인되지 않았다. 또한 총발열량 및 최대발열속도의 결과로부터 본 실험 범위에서 불연재료로 판단되는 것은 단위 폴리머량 75 kg/m³이하의 EVA모르타르, 40 kg/m³이하의 PAE모르타르, 30 kg/m³이하의 SBR모르타르이다. 단위 폴리머량과 총발열량의 관계를 본 경우, PAE모르타르 및 SBR모르타르에서 양자의 관계는 착화의 유무에 의해 각각 단위 폴리머량에 대해 비례관계를 나타낸다. 착화 유무는 폴리머 함유량이 증가할수록 착화가 용이한 경향을 보이지만, SBR모르타르와 같이 폴리머량이 증가해서도 착화하지 않는 경우도 있기 때문에 안전적 측면의 평가로서는 착화하는 것을 상정한 후 평가할 필요가 있다.

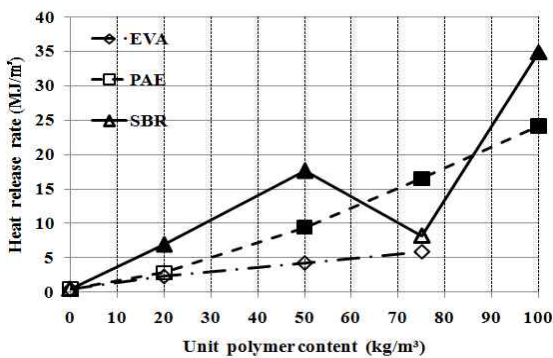


그림 4. PCM의 단위 폴리머량과 총발열량의 관계

그림5는 두께가 다른 EVA의 단위 폴리머량 20kg/m³의 시험체의 표면과 이면의 시간에 따른 온도 변화를 나타냈다. 두께 10 mm의 시험체는 가열 개시 직전부터 다른 시험체와 비교해 표면온도가 급격히 상승하고, 이면온도도 높게 상승해 전 시험체가 고온으로 되었다. 이것은 지속적인 가열로 인해 시험체 내부에 열이

축적되는 것에 의한 것으로 추측된다.

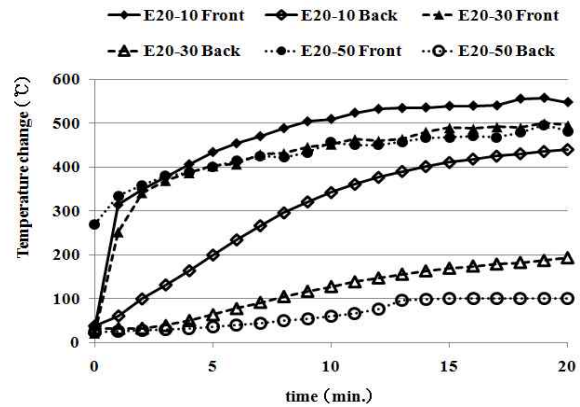


그림 5. 시험체 두께별 표면과 이면의 온도

3. 결론

폴리머 시멘트 모르타르의 발열량 및 발열속도는 물시멘트비의 변화에 의존하지 않고 단위 폴리머량의 증가에 크게 의존한다. 또한, 폴리머 시멘트 모르타르의 불연성은, 사용하는 폴리머의 종류, 단위 폴리머량에 의해 다르며, 본 연구의 범위에서는 폴리머 시멘트 모르타르의 불연성은 SBR<VVA<EVA의 순으로 높은 결과를 보였다. 발열성 시험에서는 시험체의 두께가 얇을수록 발열량은 크게 증가하는 경향을 보이며, 이것은 시험체의 온도상승에 의한 것으로 사료되며, 10mm의 두께를 가진 시험체가 안전적 측면을 고려한 평가에 타당하다고 사료된다.

참고 문헌

1. Hamasaki hitoshi et al., "Study on the Characteristics and Thermal Conductivity of Polymer-Modified Cement Mortar -Part 1 Result of the Cone Calorimeter Test", Annual Conference of Architectural Institute of Japan, Sept. A-2 pp.159~160, 2008
2. H.J Kim et al., "Study on the Characteristics and Thermal Conductivity of Polymer-Modified Cement Mortar - Part 2 Result of the Noncombustibility Test", Annual Conference of Architectural Institute of Japan, Sept. A-2 pp.161~162, 2008
3. Hamasaki Hitoshi et al., "Study on Heat Release Properties of Polymer-Modified Cement Mortar - Part 1 Effect of the Unit Polymer Weight and Mixed Design", Annual Conference of Architectural Institute of Japan, Aug. A-1 pp 435~436, 2009