

폴리머 디스퍼전 SBR과 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 사용한 폴리머 시멘트 모르타르의 기초적 성질에 관한 연구

A Study on the Basic Properties of Polymer Cement Mortar Using SBR Latex with Blast-Furnace and Fly Ash

김 완 기¹

조 영 국^{2*}

Kim, Wan-Ki¹

Jo, Young-Kug^{2*}

Professor, Department of Architectural Engineering, Hyupsung University, hwaseong, 18330, Korea ¹

Professor, Department of Architectural Engineering, Chungwoon University, Incheon, 22100, Korea ²

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the improvement of flow, compressive and flexural strengths of polymer cement mortar(PCM) using SBR latex mixed with blast-furnace slag and fly ash. The test specimens were prepared with SBR polymer dispersion, two types of admixture (blast-furnace slag and fly ash), five polymer-cement ratios (P/C; 0, 5, 10, 15 and 20%), and six admixture contents (0, 3, 5, 10, 15 and 20%), plain cement mortar was also made for comparison. From the test results, the flow of PCM was significantly improved compared to ordinary cement mortar, but the flow was slightly reduced when mixed with blast-furnace slag, and the flow was similar to PCM when mixed with fly ash. In addition, the compressive strength of PCM mixed with admixtures was significantly improved, but the flexural strength did not improve except for some mortars. It can be stated that the optimum mix proportions of PCM using SBR with admixture contents 10 to 15% and P/C 10% for the compressive strength improvement, and P/C 20% for flexural strength improvement are recommended respectively in this study.

Keywords : polymer cement mortar, blast-furnace slag, fly ash, polymer-cement ratio, admixture content

1. 서 론

콘크리트-폴리머 복합체는 건설재료로 사용된지 약 60여 년이 지났으며 건설현장에서는 이제 필수 불가결한 재료로 사용되고 있다. 그러나 실제 건설현장에서는 콘크리트-폴리머 복합체의 여러 용도 중에서 철근콘크리트 구조물의 보수보강재료로 사용되고 있는 폴리머 시멘트 모르타르(Polymer Cement Mortar ; PCM) 및 콘크리트(Polymer Cement Concrete ; PCC)를 일반 시멘트 모르

타르 및 콘크리트에 하나의 혼화재를 혼입하여 사용한다는 정도로 인식되고 있다. 이러한 PCM 또는 PCC에 대한 연구는 보통 시멘트 콘크리트와 같은 무기재료의 단점인 취성을 개선하고 높은 접착성을 부여할 수 없는지 그리고 약품에 대한 저항성을 높일 수 없는지에 대해 끊임없는 연구 [1-3]가 진행되었다. 그 결과로서 현재 사용되고 있는 폴리머 에멀전과 재유화형 분말수지가 개발되고 이러한 폴리머는 코스트의 문제로 주로 PCM 형태로 사용되고 있으나, 일부 특수한 용도에서 PCC 형태로 점점 사용량이 증가하고 있다[4-6]. 이는 폴리머 혼입에 의한 코스트 증가보다 주요부재의 생애주기 유지관리 비용을 고려하면 유리하기 때문에 LMC(라텍스 개질 콘크리트) 교면 포장공법[4,5] 등 대규모 도로공사에 사용되었으며 2009년 인천대교 교면 포장 재료로 사용된 예도 있다. 한편, PCM 및 PCC가 각종 물리적 성질 및 내구성을 향상시키지만 시공 공정에서

Received : October 31, 2020

Revision received : January 4, 2021

Accepted : January 22, 2021

* Corresponding author: Jo, Young-Kug

[Tel: 82-32-770-8172, E-mail: ykjo@chungwoon.ac.kr]

©2021 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

용도에 따라 어떤 폴리머를 얼마의 양으로 사용하여야 하며, 성질을 극대화하기 위하여 최적의 양생방법은 무엇인지 등에 따른 연구는 계속되고 있다[7-11]. 또한 PCM은 성능과 코스트를 감안하여 폴리머 혼입량을 시멘트 중량에 대해 5-30% 범위가 제안되고 있다[2,12,13]. 이러한 PCM은 여러 물리적 성질 중에서 특히 휨인성과 인장특성이 내부에 생성된 폴리머 필립에 의해 월등히 개선되나, 폴리머의 혼입량이 증가할수록 압축성능은 감소하는 경향을 보이는데 이것은 탄성계수가 1/10 밖에 되지 않는 폴리머의 특성 때문이다. 이러한 PCM의 내부조직을 치밀하게 할 수 있는 방법으로 현재 건설현장에서 시멘트 혼화재료로 널리 사용되고 있는 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시의 혼입을 고려할 수 있다. 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시를 시멘트 콘크리트에 혼입하여 사용하는 것은 기존의 많은 연구[7,14-16]를 통하여 그 성능이 이미 밝혀졌기 때문에 PCM에 혼입하는 것에 대한 문제점은 없을 것으로 판단된다. 한편 현재까지 PCM이 폴리머 단독으로 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 성질을 개선하였다면, 본 연구에서는 고로슬래그 미분말과 플라이 애시를 PCM에 혼입하여 적정 폴리머 시멘트비와 혼화재 혼입률에 따른 플로 변화 및 공기량 제어 가능성을 먼저 확보하였다. 그 후 압축강도 및 휨강도의 특성을 보통 시멘트 모르타르와 고로슬래그 미분말 및 플라이 애시 혼입 시멘트 모르타르와 비교 평가하여 실제 현장에서 사용할 수 있는 혼화재 혼입 PCM의 최적배합을 제시하고자 하였다.

2. 실험계획

폴리머 디스퍼전은 1 μ m 이하 폴리머 미립자가 수중에 균일하게 분산된 라텍스를 총칭하는 의미이다. 본 연구에서 사용한 폴리머인 스티렌 부다지엔 고무(Styrene- Butadiene Rubber, SBR) 라텍스는 현재 국내에서 가장 많이 사용되는 시멘트 혼화용 폴리머인데 시멘트 콘크리트의 인성 개선뿐만 아니라 다양한 물성들도 우수하다고 알려져 있다[2,3,8-10]. PCM은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여, Table 1과 같은 실험수준으로 시멘트와 잔골재를 중량배합비로 1:3, 폴리머 시멘트비 (Polymer-cement ratio ; P/C)를 0, 5, 10, 15 및 20%로 변화시켰다. 기존 PCM의 일정한 시공성을 위하여 플로치가 170 \pm 5mm가 되도록 물시멘트비 (Water-cement ratio, W/C)를 조정하였고

여기에 고로슬래그 미분말(Blast Furnace Slag ; BF) 및 플라이 애시(Fly Ash ; FA)를 시멘트 중량으로 0, 3, 5, 10, 15 및 20%를 각각 혼입하여 플로, 압축강도 및 휨강도 시험을 실시하였다.

Table 1. Experimental plan

Factor	Level	Variable
Cement type	Ordinary Portland cement	1
Polymer type	SBR	1
Polymer-cement ratio,P/C(%)	0, 5, 10, 15, 20	5
Admixture	BF, FA	2
Admixture content(%)	0, 3, 5, 10, 15, 20	6
Test item	Flow, Air content, Compressive strength, Flexural strength	4

2.1 사용재료

2.1.1 결합재 및 잔골재

시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 혼화재는 콘크리트 혼화용으로 널리 사용되고 있는 BF와 FA를 사용하였으며, 결합재의 물리 및 화학적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Physical and chemical properties of materials

Material	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)	SiO ₂ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	CaO (%)	Ig. loss(%)
OPC	3.15	3,200	20.5	2.90	2.10	63.3	1.95
BF	2.90	4,300	29.3	3.6	2.5	46.2	2.35
FA	2.20	3,830	54.9	0.9	0.5	4.1	0,90

2.1.2 시멘트 혼화용 폴리머

본 연구에 사용한 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼전은 현장에서 보수보강 및 방수재료로 널리 사용되고 있는 SBR수성 폴리머 디스퍼전을 사용하였으며 그 성질은 Table 3과 같다. 또한, 시멘트에 폴리머를 혼입할 때 연행되는 기포를 제어하기 위해 실리콘계 에멀전(고형분 30%)을 폴리머 고형분 중량에 대하여 1.0%를 첨가하였다.

Table 3. Properties of polymer dispersion

Type of polymer	Density (g/cm ³ , 20 $^{\circ}$ C)	pH (20 $^{\circ}$ C)	Viscosity (mPa · s, 20 $^{\circ}$ C)	Solid content (%)
SBR	1.02	9.2	60	48.5

2.2 실험방법

2.2.1 PCM의 공시체 제작

PCM은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 따라 Table 4와 같은 배합으로 계획하였다.

Table 4. Mix proportions of SBR-cement mortars

P/C (%)	BF (%)	FA (%)	W/C (%)	Flow (mm)	Air content(%)
0	0		70.0	167	7.3
	3			167	10.8
	5			179	10.4
	10	0		189	10.3
	15			193	10.1
	20			194	9.8
		3		187	8.9
		5		187	9.6
		10		180	8.0
		15		184	7.7
		20		177	7.8
	5	0			45.0
3			163	-	
5			161	-	
10		0	153	10.4(18)	
15			157	-	
20			157	-	
		3	148	-	
		5	158	-	
		10	170	11.8(14)	
		15	166	-	
		20	166	-	
10		0		42.5	
	3		156		-
	5		157		-
	10	0	154		12.4(19)
	15		153		-
	20		152		-
		3	152		-
		5	163		-
		10	164		11.6(20)
		15	167		-
		20	166		-
	15	0			42.0
3			165	-	
5			158	-	
10		0	166	15.0(19.5)	
15			168	-	
20			164	-	
		3	160	-	
		5	165	-	
		10	161	14.0(21)	
		15	164	-	
		20	167	-	
20		0		41.5	
	3		162		-
	5		165		-
	10	0	157		14.0(19.8)
	15		160		-
	20		158		-
		3	165		-
		5	169		-
		10	170		13.0(19)
		15	170		-
		20	164		-

()은 소포제를 혼입하지 않은 공기량임

시멘트에 대한 폴리머 디스퍼전 고형분 비율(폴리머 시멘트비, Polymer- cement ratio, P/C)은 0%(BF 및 FA 만으로 만든 PCM), 5%, 10%, 15% 및 20%로 변경하여 배합을 설계하였으며, 각 PCM 배합에 혼화재료로서 BF 및 FA를 시멘트 중량에 대하여 0%, 3%, 5%, 10%, 15% 및 20% 각각 혼입하였다. 또한 균일한 시공성을 유지하기 위해 PCM을 포함한 모든 시험편의 플로가 170±5mm가 되도록 W/C를 조정하였다. 휨강도 시험편(40x40x160mm)은 표준양생인 2일 습윤양생 (20℃, 90% R.H.), 5일 수중양생 (20℃±2) 및 21일 기중양생 (20℃±2, 60%±10 R.H.)을 실시하였으며, 압축강도용 시험은 휨강도 시험(중양 재하방법) 후 발생하는 절편 시험편을 사용하였다.

2.2.2 PCM의 플로 및 공기량 측정

PCM의 플로시험은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 강도 시험방법), 공기량 측정시험은 KS F 2421 (압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법)에 준하여 실시하였다. 본 연구에서 폴리머에 BF와 FA의 혼입에 따른 공기량의 경향을 파악하고자 혼화재 혼입률 0%와 10%에서만 측정하였다.

2.2.3 PCM의 휨 및 압축강도시험

소정의 양생을 마친 시험편에 대하여 KS L ISO 697 (시멘트의 강도 시험 방법)에 준하여 휨강도 및 압축강도 시험을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 혼입한 PCM의 플로 및 공기량

Figure 1은 혼화재를 혼입하지 않은 보통 시멘트 모르타르의 플로 목표치 170±5mm를 결정하기 위한 예비시험 결과로, W/C 65%에서 플로가 151mm를 보여 11% 적었으며 W/C 70%에서 167mm로 목표치를 달성하였다. 여기에 약간의 가수에 따라 W/C 71.3%에서 188mm로 10.7% 증가를, W/C 72.5%에서 193mm를 나타내 13.5%의 플로 증가를 보였으나 이렇게 큰 플로에서는 수분과 잔골재와의 분리현상이 일어난다. 물시멘트비 70%로 만든 보통 시멘트 모르타르에 BF와 FA를 혼입한 후 플로를 측정한 결과를 Figure 2에 나타냈다. 현장에서 사용시 일반적으로 보통 시멘트 모르

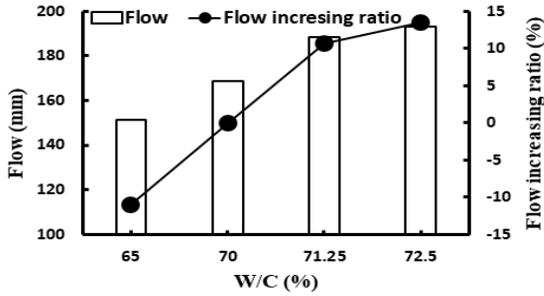


Figure 1. Flow of plain cement mortar according to W/C

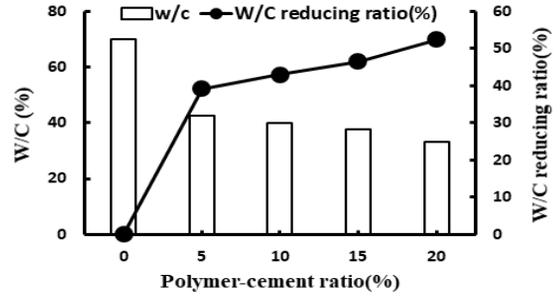


Figure 3. W/C and W/C reducing ratio of PCM for target flow of 170 ± 5 mm

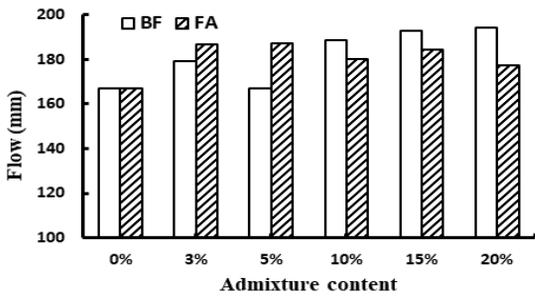


Figure 2. Flow of plain cement mortar according to BF and FA content

타르에 혼화재를 혼입하여 목표 플로 170 ± 5 mm가 되도록 물시멘트비를 조정한다. 본 연구에서는 같은 물시멘트비에 따른 유동성 향상 정도와 압축강도와 휨강도 특성을 알아보고 자 플로 170 ± 5 mm인 베이스 보통 시멘트 모르타르에 혼화재 혼입률의 변화에 따른 플로의 변화를 먼저 평가하였다. Figure 2에서 알 수 있는 바와 같이 혼화재를 혼입하지 않은 보통 시멘트 모르타르 플로에 비해 혼입률이 낮은 5%까지는 고로슬래그 혼입한 경우가, 혼입률 10% 이상에서는 플라이애시를 혼입한 경우가 플로 개선효과가 크게 나타났다. 이러한 혼화재 종류에 따른 플로 개선 정도는 실제 현장에서 혼화재 혼입율을 결정하는 데 중요한 요인이 될 수 있다. 특히 BF 혼입률 20%의 보통 시멘트 모르타르 플로는 194 mm로 혼화재를 혼입하지 않은 보통 시멘트 모르타르 보다 16.2%나 증가하였다. 이러한 플로 증가와 같은 유동성 개선은 시멘트 모르타르의 물시멘트비를 낮추어 오히려 강도 증진을 유도할 수 있다.

Figure 3은 PCM의 플로 목표치 170 ± 5 mm를 달성하기 위한 W/C 소요량을 나타낸 것으로 전술한 보통 시멘트 모르타르의 W/C 70%에 비해 P/C 5%에서 42.5%를 나타내 39.2%의 감수효과를 보였으며 P/C 10%에서 P/C 20%까지

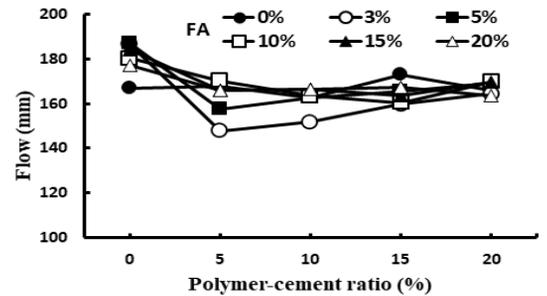
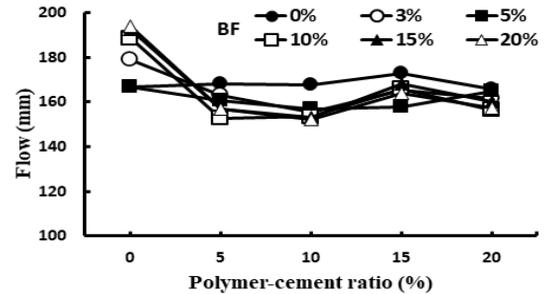


Figure 4. Flow of PCM with BF and FA

42.9%, 46.4% 및 52.4%의 감수효과를 각각 나타냈다. 이렇게 SBR을 혼입한 PCM의 유동성이 개선된 것은 폴리머 디스퍼전 속에 혼입된 둥근 폴리머 입자와 폴리머 속에 함유된 계면활성제에 의해 다량의 기포가 유입되었기 때문이다.

Figure 4는 플로 170 ± 5 mm인 베이스 PCM에 BF와 FA를 혼입함에 따른 플로 변화를 나타낸 것이다. 전반적으로 PCM의 플로는 혼화재를 혼입함에 따라 전술한 보통 시멘트 모르타르와는 전혀 다른 경향을 보였는데 BF를 혼입한 PCM의 플로는 보통 시멘트 모르타르에 비해 비교적 크게 감소하였으며, P/C 및 혼화재 혼입률에 따라 차이는 있으나, 전반적으로 BF를 혼입량의 증가에 따라 P/C 10%까지 감소하다가 P/C 15% 및 20%에서 약간 증가하는 경향을 보였다. 그 결과 P/C 10%의 BF 20%에서 최저 플로인 152 mm를 나타내 혼화재를 혼입하지 않은 PCM에 비해 약 9.1% 감소하였다. 플

로 기준치인 $170 \pm 5 \text{mm}$ 의 범위를 거의 만족하는 결과를 나타낸 P/C 15%에서의 BF 혼입을 제외하면 거의 모든 배합에서 BF를 혼입하지 않은 PCM보다 낮은 플로를 나타냈다. 또한 FA를 혼입한 PCM의 플로는 BF와 마찬가지로 보통 시멘트 모르타르에 비해 플로가 크게 감소하였으나 일부를 제외하면 BF를 혼입한 경우에 비해 약 5-10mm 높은 플로를 나타냈다. FA를 혼입한 PCM의 플로는 혼입률 3%를 제외하면 거의 모든 배합에서 $170 \pm 5 \text{mm}$ 의 범위를 나타내 FA 혼입에 따른 플로 감소는 거의 발견되지 않았다. 이와 같이 유동성면에서는 고로슬래그보다 플라이애시가 우수하게 나타났는데, 본 연구에 사용된 BF와 FA는 시멘트와 혼합하는데 어떠한 계면상의 문제점도 없어 특별한 계면활성제를 사용하지 않았다. 그러나 본래 시멘트와의 혼합 적합성을 위하여 시멘트 입자 사이에서 폴리머 입자가 서로 엉겨 붙음이 없이 골고루 분산될 수 있도록 첨가되는 폴리머의 계면활성제가 BF 및 FA와 혼합시 계면 활성의 정도가 분명히 차이가 나는 것으로 생각할 수 있다.

Figure 5는 BF와 FA를 보통 시멘트 모르타르에 혼입함에 따른 공기량을, Figure 6은 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 소포제를 혼입하지 않은 경우와 1.0% 소포제를 혼입한 경우의 공기량을 나타내고 있다. 또한, Figure 7은 BF와 FA를 10% 혼입한 PCM의 공기량 측정 결과를 나타내고 있다. 보통 시멘트 모르타르의 공기량은 BF를 혼입한 경우 9.8-10.8% 범위로 혼화재를 혼입하지 않은 경우인 7.3%에 비해 최대 약 48% 증가하였으며, FA를 혼입한 경우의 공기량은 7.7-9.6% 범위로 최대 약 32% 높은 공기량을 나타내 BF를 혼입한 경우보다는 1-2% 감소하였다. 또한, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 공기량은 소포제를 혼입하지 않은 경우 17-21%로 높게 나타났는데 이러한 높은 공기량을 제어하기 위해서 반드시 소포제를 폴리머 고형분에 대한 중량비로 0.5%-1.5% 정도 혼입한다. 물론 소포제 화학성분에 따라 혼입률이 조절되는데 본 연구에서는 1.0%를 혼입하여 공기량을 10.4-15% 범위에서 제어하였지만 보통 시멘트 모르타르 처럼 낮게 제어할 수 없는 것이 폴리머 디스퍼전을 혼입한 PCM의 특성이기도 하다. 이러한 높은 공기량은 유동성을 향상시켜 공기량에 의한 강도 저하보다는 물시멘트비의 현격한 저하를 유도해 결과적으로 강도증진의 효과로 나타내는 것이다. 물론 PCM의 휨강도 및 인장강도의 인성 개선은 내부에 형성된 3차원적인 폴리머 필름에 의한 영향이 더 큰 것이고 접착 강도 개선은 폴리머 고유의 접착력이 다른 부재와의 경계에서

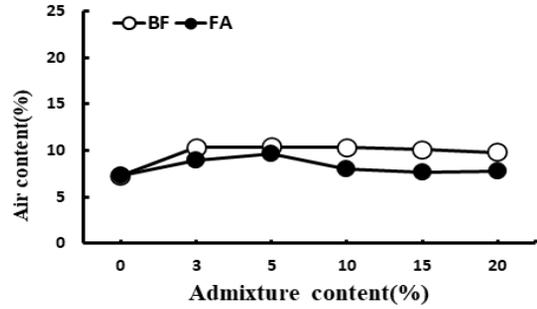


Figure 5. Air content of plain cement mortar with BF and FA

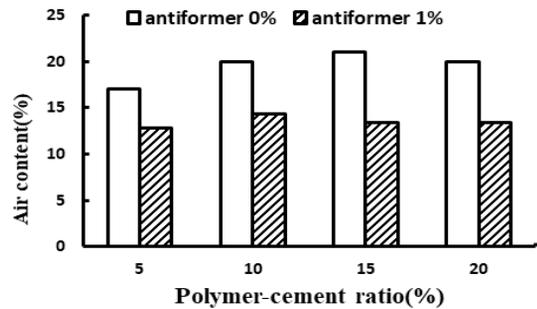


Figure 6. Air content of PCM with or without antiformer

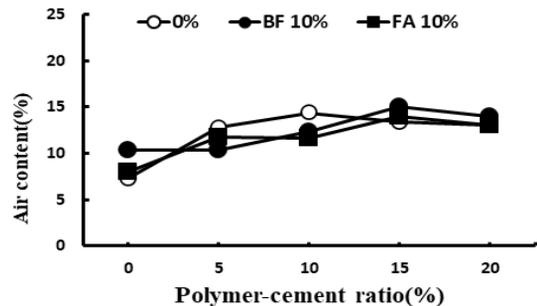


Figure 7. Air content of PCM with BF and FA

수화와 함께 발견되기 때문이다[9,10]. 한편, Figure 7과 같이 혼화재를 혼입하지 않은 PCM과 PCM에 BF와 FA 10%를 혼입한 경우, P/C 5%와 P/C 10%에서는 혼화재를 혼입하지 않은 경우에서 공기량이 크게 나타났으며, P/C 15% 이상에서는 BF와 FA를 혼입한 경우가 약간 높은 공기량을 보였다. 또한 BF를 혼입한 경우보다 FA를 혼입한 경우에 약간 낮은 공기량을 보였으나 그 정도의 차이는 거의 없었다. 이와 같이 PCM은 일정한 플로를 목표로 할 때, 물시멘트비가 감소되더라도 불구하고 공기량이 증가하는 것은 기존의 보통 시멘트 모르타르와는 다른 경향을 나타낸 것이다. 이는 폴리머를 혼입함에 따른 특별한 계면활성제의 작용으로 인한 것이며 물시멘

트비 저감과 폴리머 필립에 의한 복합적인 작용이 PCM의 내구성을 향상시키는 역할을 하는 것이다.

3.2 BF 및 FA 혼입 PCM의 압축강도와 상대압축강도비

Figure 8은 보통 시멘트 모르타르의 압축강도에 대한 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 상대압축강도비를 나타내고 있다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이, PCM의 상대압축강도비가 P/C 5%에서 P/C 20%까지 127%, 162%, 143% 및 148%를 나타내 상당히 높은 압축강도를 나타냈다. 이는 PCM의 경우 목표 플로를 위한 물시멘트비가 전술한 바와 같이 최대 52.4%까지 감소하였기 때문에 PCM 강도에 영향을 미치는 공기량에 의한 강도 저감을 훨씬 능가하는 수준에서 강도 개선을 보였기 때문이다.

Figure 9는 BF와 FA 혼입량에 따른 PCM의 압축강도를 나타내고 있다. BF를 혼입한 PCM의 압축강도는 P/C 5%, 10%, 15% 및 20%에서 BF 혼입률이 각각 20%, 10%, 5% 및 20%에서 최대 압축강도를 나타냈는데 이는 혼화재를 포함하지 않은 PCM의 강도보다 높은 강도를 나타냈다. 또한, P/C 10%, BF 혼입률 10%에서 최대 압축강도 46.30 MPa를 나타냈는데 이는 보통 시멘트 모르타르의 1.75배, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 P/C 10%의 압축강도보다 7.9% 높은 강도이다. 한편, BF 혼입률에 따른 차이는 있었으나 BF 혼입량의 증가에 따른 압축강도의 발현은 P/C 10%에서 가장 높은 값을 보였으며, P/C 15% 및 P/C 20%에서는 전반적으로 약간 감소하는 경향을 보였다. 또한 FA를 혼입한 PCM의 압축강도는 P/C 5%에서 P/C 20%까지 FA 혼입률이 5%, 10%, 15% 및 20%에서 각각 최대 압축강도를 나타냈으며, P/C 10%, FA 혼입률 10%에서 최대 압축강도 45.10MPa를 나타냈는데 이는 보통 시멘트 모르타르의 약 1.7배이고 혼화재를 혼입하지 않은 PCM 10%의 압축강도에 비해 5.1% 개선된 값이다.

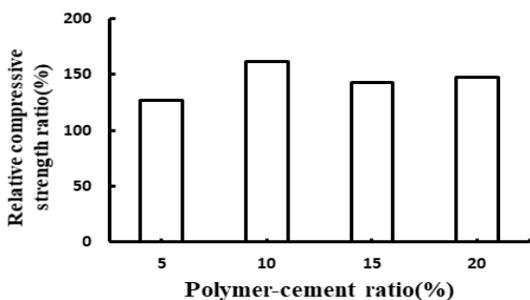


Figure 8. Relative compressive strength of PCM to plain cement mortar

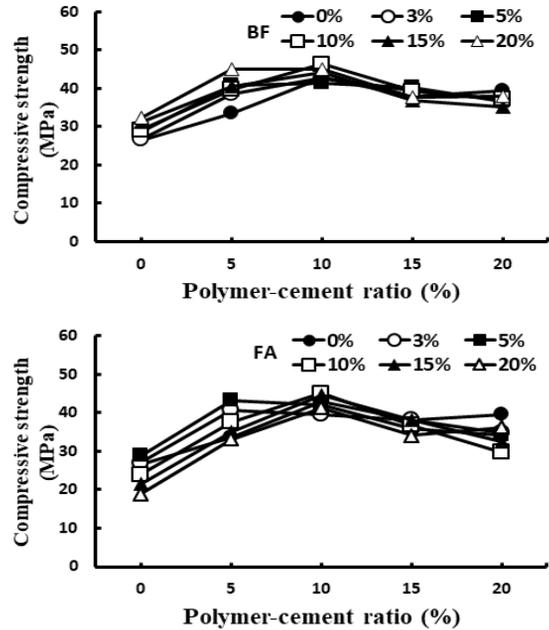


Figure 9. Compressive strength of PCM with BF and FA

FA를 혼입한 PCM의 압축강도는 전반적으로 P/C 10%에서 높은 강도를 보였으며 전술한 BF 혼입 PCM의 강도 경향과 마찬가지로 P/C 15% 및 P/C 20%에서는 약간 감소하는 경향을 보였다.

Figure 10은 BF와 FA를 혼입한 PCM의 상대압축강도비로써 혼화재 혼입량에 따라 압축강도가 혼화재를 혼입하지 않은 PCM에 비해 얼마나 개선 효과를 보였는지에 대한 비율을 나타낸 것이다. BF를 혼입한 PCM의 경우, 거의 많은 배합에서 강도 개선의 결과를 보였는데, P/C 5% 경우 115%(혼입량 3%)-134%(혼입량 20%)로 모든 혼입량에서 강도 개선 효과를 나타냈다. 또한 P/C 10%에서 96.3% (혼입량 5%)-108%(혼입량 10%) 범위를, P/C 15%에서 97%(혼입률 15%)-106%(혼입률 5%) 범위를, 그리고 P/C 20%에서 89%(혼입률 15%)-94%(혼입률 3%와 10%) 범위의 상대압축강도비를 나타냈다. 결과적으로 P/C 5%에서 BF 혼입에 따른 강도 개선 효과가 가장 크게 나타났는데 혼화재를 혼입하지 않은 P/C 5%의 압축강도보다 134%(혼입률 20%) 개선된 값이다. 그러나 이 값이 BF를 혼입한 전체 배합에서 가장 높은 강도라는 의미가 아니며 BF 혼입에 의한 강도 개선 정도가 크다는 의미이다. 또한 FA를 혼입한 보통 시멘트 모르타르의 경우는 전술한 BF를 혼입한 경우와는 달리 혼입량의 증가에 따라 상대압축강도비가 큰 폭으로 작아지는 결과를 보였는데 이는 보통 시멘트 모르타르의 강도 개선에는 BF가 FA보다

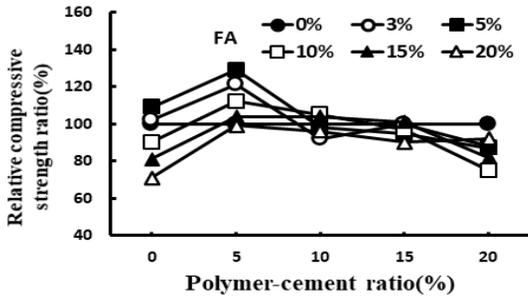
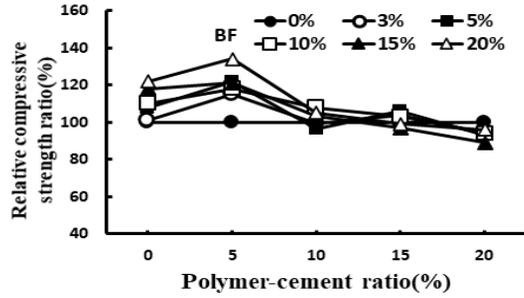


Figure 10. Relative compressive strength ratio of PCM with BF and FA to admixture content 0%

효과가 있다는 것을 나타내는 것이다. FA를 혼입한 PCM의 경우에도 P/C 20%를 제외하면 거의 많은 배합에서 상대압축강도비가 100%를 상회하는 것을 알 수 있었으나, P/C 5% 경우 99%(혼입률 20%)-129%(혼입률 5%) 범위를 제외하면 P/C 10%에서는 92%(혼입률 3%)-105%(혼입률 10%) 범위를, P/C 15%에서는 90%(혼입률 20%)-101%(혼입률 15%) 범위를, 그리고 P/C 20%에서는 75%(혼입률 10%)-92%(혼입률 20%) 범위로 비교적 낮은 상대압축강도비를 나타냈다. 전반적으로 BF를 혼입한 경우에 비해 FA를 혼입한 PCM의 상대압축강도비가 약 5-10% 범위로 비교적 작게 나타났다. 본 연구에서는 BF와 FA를 PCM에 혼입하여 강도를 개선하고자 할 때는 가능한 한 P/C가 낮은 5%-10%에서 효과가 크게 나타났으며 높은 P/C에서는 압축강도 개선 효과가 거의 보이지 않았다. 이는 혼화재를 혼입하지 않은 기본 PCM의 압축강도가 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 물시멘트비의 커다란 감소로 인하여 기본 강도가 컸기 때문으로 볼 수 있다.

3.3 BF 및 FA 혼입 PCM의 휨강도와 상대휨강도비

Figure 11은 보통 시멘트 모르타르의 휨강도에 대한 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 상대휨강도비를 나타내고 있다. PCM의 상대휨강도비는 전술한 압축강도와 비슷한 경향을 나타냈는데 P/C 5%에서 P/C 20%까지 173%, 207%, 246% 및 230%를 나타내 상대압축강도비 보다 46-103% 높

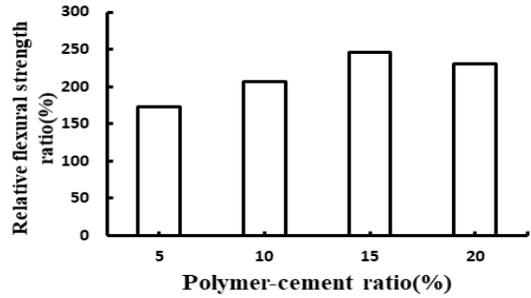


Figure 11. Relative flexural strength ratio of PCM to plain cement mortar

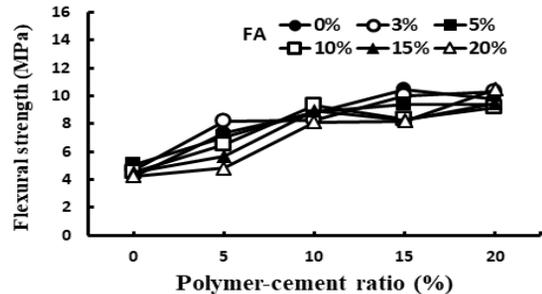
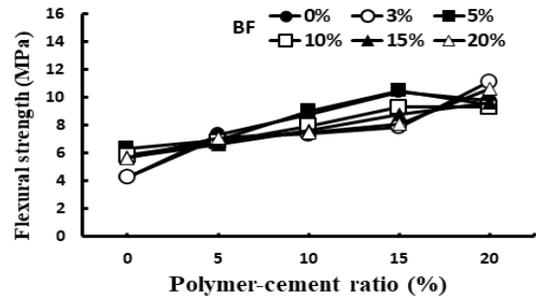


Figure 12. Flexural strength of PCM with BF and FA

게 나타났다. 이 결과의 의미는 혼화재를 혼입하지 않은 PCM 속에서 형성된 3차원 망상구조의 폴리머 필름이 시멘트 수화물과의 화학적 결합과 시멘트 수화물을 둘러싸아 물리적 성질을 개선시킨 것으로 볼 수 있으며 이는 전술한 압축강도보다 폴리머 필름에 의한 휨보강 효과가 크게 발현된 것으로 볼 수 있다.

Figure 12는 BF와 FA 혼입량에 따른 PCM의 휨강도를 나타내고 있다. BF를 혼입한 PCM의 휨강도는 P/C 5%에서 P/C 20%까지 BF 혼입률이 각각 0%, 5%, 5% 및 3%에서 최대 휨강도를 나타내 비교적 혼입 비율이 작은 경우에서 휨강도가 높게 발현되었다. 전술한 압축강도의 경우에는 혼화재 혼입에 따른 강도 개선 효과가 P/C가 낮은 5% 및 10%에서 크게 나타났으나 휨강도의 경우에는 비교적 높은 P/C 20%에

서 강도 개선 효과가 나타났다. 또한 BF를 혼입한 PCM의 최대 휨강도는 P/C 20%, BF 혼입률 3%에서 11.15MPa를 나타냈는데 이는 보통 시멘트 모르타르의 2.63배, BF를 포함하지 않은 PCM의 휨강도보다 약 15% 개선된 값이다. 한편, FA를 혼입한 PCM의 휨강도는 P/C 5%에서 P/C 20%까지 FA 혼입률이 각각 5%, 10%, 0% 및 20%에서 최대 휨강도를 나타냈으며, P/C 20%, FA 혼입률 20%에서 최대 휨강도인 10.48MPa은 보통 시멘트 모르타르의 약 1.5배이고 FA를 혼입하지 않은 PCM의 P/C 20% 휨강도보다 8.01% 개선된 값이다. 이 값은 전술한 BF를 혼입한 경우에 비해 낮아 휨강도의 개선 효과는 FA보다 BF를 혼입한 경우가 효과적이라 것을 알 수 있었다.

Figure 13은 BF와 FA를 혼입한 PCM의 상대휨강도비로, 혼화재 혼입에 따른 강도와 혼화재를 혼입하지 않은 PCM에 대한 강도비를 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이, 보통 시멘트 모르타르의 BF 혼입에 따른 휨강도는 101%(혼입률 3%)-150%(혼입률 5%) 범위로 모든 배합에서 보통 시멘트 모르타르보다 높은 휨강도 개선을 보였다. 또한 BF를 혼입한 PCM의 경우에는 P/C 5% 경우 90%(혼입량 15%)-97%(혼입량 20%)로 모든 혼입량에서 강도 개선을 거의 보이지 않았으며, P/C 10%에서는 85%(혼입량 20%)-103%(혼입량 5%) 범위를 보여 혼입량 5%에서만 약간의 강도개선을 나타냈다. 또한 P/C 15%에서는 78%(혼입률 20%)-101%(혼입률 5%) 범위로 혼입률 5%에서만 1% 정도의 강도 개선이, 그리고 P/C 20%에서는 96%(혼입률 10%)-115%(혼입률 3%) 범위로 혼입률 3%와 20%에서 약간의 강도 개선을 보였으나 나머지 혼입률 5%-15%에서는 97%, 96% 및 99%로 혼화재를 혼입하지 않은 P/C 20%와 거의 비슷한 값을 나타냈다. 또한 FA를 혼입한 보통 시멘트 모르타르의 경우도 전술한 BF를 혼입한 경우와 마찬가지로 상대휨강도비는 100%(혼입률 20%)-119%(혼입률 5%) 범위를 나타내 전 배합에서 휨강도 개선 효과를 나타냈는데 그 정도는 BF를 혼입한 경우에 비해 약간 작게 나타났다. 한편, FA를 혼입한 PCM의 상대휨강도비는 P/C 5% 경우, 66%(혼입률 20%)-112%(혼입률 3%) 범위로 혼입률 3%를 제외하면 모두 혼화재를 혼입하지 않은 P/C 5%의 휨강도보다 낮게 나타났다. 또한 P/C 10%에서는 93%(혼입량 20%)-106%(혼입량 10%) 범위를, P/C 15%에서는 79%(혼입률 15% 및 20%)-96%(혼입률 3%) 범위로 모든 배합에서 낮게 나타났으며 P/C 20%에서는 94%(혼입률 10%)-108%(혼입률 20%) 범위의 상대휨강도비를 나

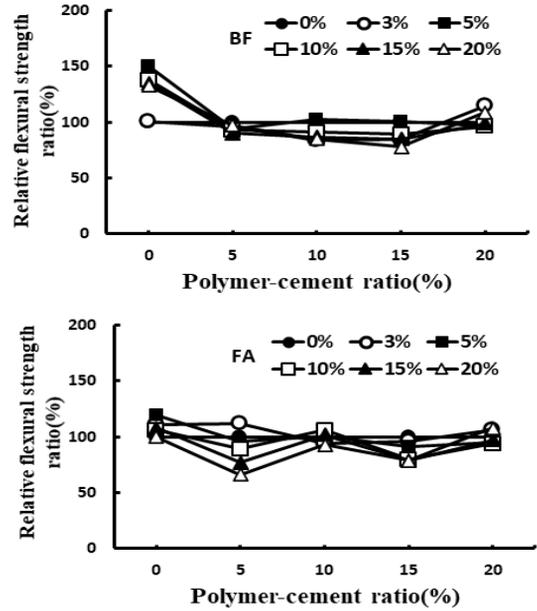


Figure 13. Relative flexural strength ratio of PCM with BF and FA to admixture content 0%

타냈다. 여기에서 최대 상대휨강도비는 P/C 5%, FA 혼입률 3%에서 112%이었는데 전술한 압축강도와 마찬가지로 BF를 혼입한 경우에 비해 FA를 혼입한 PCM의 상대휨강도비가 전반적으로 약간 작게 나타났으며, 강도의 저감을 나타내는 최저 상대휨강도비의 값도 크게 낮아진 경향을 보였다.

본 연구의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 BF와 FA를 PCM에 혼입하여 압축강도와 휨강도를 개선시키기 위해서는 다양한 배합조건에서 정도의 차이가 발생하므로 실제 현장에서 사용시 폴리머 시멘트비와 혼화재의 혼입률 조합을 적절히 선택하여야 한다.

4. 결 론

본 연구는 SBR을 사용한 PCM의 성능 개선을 위하여 BF와 FA를 혼입하여 유동성 및 역학적 성질을 평가한 것으로 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) PCM의 플로 목표치 $170 \pm 5\text{mm}$ 에 대한 W/C는 보통 시멘트 모르타르에 비해 P/C의 증가에 따라 39.2%-52.4%의 범위로 크게 감소하였으며, BF 및 FA를 혼입한 경우 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 플로와 비슷하거나 약간 낮게 나타났다.
- 2) PCM의 압축강도는 BF와 FA를 혼입함에 따라 최대 압축강도는 보통 시멘트 모르타르 보다 1.75배 및 1.70배,

그리고 혼화재를 혼입하지 않은 PCM 보다도 1.08배 및 1.05배 각각 개선되어 혼화재에 의해 강도개선에 효과가 있었음을 알 수 있었다.

- 3) BF 혼입 PCM의 상대압축강도비는 115%-134%범위로 모든 혼입량에서 강도 개선을 보였으며 FA를 혼입한 PCM의 경우에도 P/C 20%를 제외하면 거의 모든 배합에서 상대압축강도비가 100%를 상회하여 혼화재 종류에 관계없이 압축강도 개선효과를 얻을 수 있었다.
- 4) BF와 FA 혼입 PCM의 휨강도는 압축강도와 달리 일부 P/C 20%를 제외하면, 모든 배합에서 혼화재를 혼입하지 않은 PCM 보다 약간 낮은 휨강도를 나타내 혼화재 혼입에 따른 뚜렷한 강도 개선 효과가 나타나지 않았다.
- 5) BF 혼입 PCM의 상대휨강도비는 78%-115%의 범위였으며, FA를 혼입한 경우 78%-112%의 범위로 폴리머 시멘트비와 혼화재의 혼입률에 따라 큰 영향을 받았다.
- 6) 본 연구결과, PCM에 BF와 FA를 혼입함에 따라 압축강도 개선 효과는 크게 발휘되었으나, 휨강도의 개선 효과는 일부 P/C에 한정되어 나타나, 현장 적용시 용도에 맞는 적절한 배합을 선택하여야 할 것이다.

요 약

본 연구는 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 혼입한 PCM의 플로, 압축강도 및 휨강도 개선 정도를 평가하고자 하였다. 실험을 위한 공시체는 SBR 폴리머 디스퍼전, 혼화재로 2종류, P/C 5가지 (0, 5, 10, 15 및 20%), 혼화재 혼입률 6가지 (0, 3, 5, 10, 15 및 20%)로 변화시켜 PCM을 제작하였으며, 비교를 위하여 보통 시멘트 모르타르도 제작하였다. 본 연구결과, PCM의 플로는 보통 시멘트 모르타르에 비해 크게 개선되었으나, 고로슬래그를 혼입한 경우 플로가 약간 저하하였으며, 플라이애시를 혼입한 경우에는 PCM과 비슷한 경향을 보였다. 또한 혼화재를 혼입한 PCM의 압축강도는 상당히 개선되었으나, 휨강도는 일부를 제외하면 개선효과가 거의 나타나지 않았다. 본 연구에서 BF와 FA 혼입률 10%-15%의 SBR를 사용한 PCM의 압축강도 개선에는 P/C 10%, 휨강도의 개선을 위해서는 P/C 20%를 각각 최적 배합으로 제안할 수 있었다.

키워드 : 폴리머 시멘트 모르타르, 고로슬래그, 플라이애시, 폴리머 시멘트비, 혼화재 혼입률

Funding

This research was supported by the Academic Research Fund of Chungwoon University in 2020.

ORCID

Wan-KiKim, <http://orcid/0000-0002-0445-3547>

Young-KugJo, <http://orcid/0000-0002-0965-8007>

Reference

1. Ohama Y, Ibe H, Mine H, Kato K. Cement mortars modified by SB latexes with variable bound styrene. *Rubber Chemistry and Technology*. 1964 Feb;37(3):758-69.
2. Ohama Y. *Handbook of polymer-modified concrete and mortars*. Noyes Publications. New Jersey (U.S.A); 1995. 225 p.
3. Jo YK. Basic properties of polymer cement mortar with EVA emulsion and admixtures. *Journal of the Korea Institute for Structural maintenance and Inspection*. 2019 Nov;23(6):53-60. <https://doi.org/10.11112/JKSMI.2019.23.6.53>
4. Kim MJ, Shin GO, Joo NC, Lee GJ, Jeong JP. Vibration properties of concrete overlays using RS-LMC. *Journal of the Korea concrete Institute*. 2016 Oct;28(5):571-9. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2016.28.5.571>
5. Choi KK. Numerical investigation on cracking of bridge deck slabs with latex modified concrete overlays. *Journal of the Korea concrete Institute*. 2010 Jan;22(1):77-84. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2010.22.1.077>
6. Piotrowski T, Prochon P, Capuana A. Mechanical properties of polymer cement-fiber-reinforced concrete (PC-FRC). *Proceedings of the 16th International Congress on Polymers in Concrete*; 2018 Apr 29-May 1; Washington DC (USA). *International Congress on Polymers in Concrete*; 2018. p. 227-34.
7. Jo YK, Kim WK. Investigation of physical properties and self healing of hardener-free epoxy-modified mortars with GGBFS. *Journal of the institute for structural maintenance and inspection*. 2020 Feb;24(1):80-7. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2020.24.1.80>
8. Pareek SN. Improvement in adhesion of polymeric repair and finish materials for reinforced concrete structures [phD thesis]. [koriyama (Japan)]: Nihon University. 1993. p. 80-106.
9. Ohama Y. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified concrete. *ACI Material Journal*. 1987 Feb;84(6):511-8.
10. Jo YK. A study on the improvement of adhesion in tension and

- flexure of polymer cement mortar depending on various test methods. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2019 Feb;19(1):47-57. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2019.19.047>
11. Sawaide M. Improved construction joint work of early-age concrete by polymer-emulsion treatments. *Proceedings of the 6th International Congress on Polymers in Concrete*; 1990 Sep 8-11; Shanghai (China). *International Congress on Polymers in Concrete*; 1990. p. 562-8.
 12. Ohama Y. Study on properties and mix proportioning of polymer-modified mortars for buildings. *Report of the Building Research Institute*. 1973 Oct;65:100-4.
 13. Jo YK. Properties of polymer cement mortars under combined cures. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2006 Oct;18(5):667-75. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2006.18.5.667>
 14. Yoon YS, Cho SJ, Kwon SJ. Prediction equation for chloride diffusion in concrete containing GGBFS based on 2-Year cured results. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 2019 Mar;23(2): 1-9. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2019.23.2.1>
 15. Garbacz A, Sokolowska JJ. Concrete-like polymer composites with fly ashes-comparative study. *Construction and Building Materials*. 2013 Jan;38:689-99. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.052>
 16. Jo YK. Tensile and adhesion properties of polymer cement mortar with EVA emulsion, blast-furnace slag and fly ash as a repair material. *Journal of the Architectural Institute of Korea, Structure & Construction*. 2019 Nov; 35(11):147-54. https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2019.35.11.147