

# 보수재료로서 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼입한 SAE 에멀전 기반 폴리머 시멘트 모르타르의 휨접착 및 인장접착 특성

## Properties of Adhesion in Flexure and Tension of Polymer Cement Mortar Using SAE Emulsion with Blast-Furnace and Fly Ash as a Repair Material

조 영 국\*

Jo, Young-Kug\*

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

### Abstract

This study is to evaluate the effect of admixtures such as blast-furnace slag and fly ash on adhesion in flexure and tension of polymer cement mortar(PCM) using SAE emulsion. The test specimens are prepared with five polymer-cement ratios and five admixture contents, and tested for flexural strength, adhesion in flexure, tensile strength and adhesion in tension. Based on the test results, no improvement of flexural strength and adhesion in flexure caused by admixtures in PCM can be indicated, but the tensile strength and adhesion in tension is improved due to mixing of the admixtures. In particular, the maximum of adhesion in tension of PCM with P/C 20% and BF content of 10% is 3.35MPa which is about 2.36 times higher than that of ordinary cement mortar, and 1.32 times that of PCM that does not contain any admixture. The average ratio of adhesion in tension to tensile strength of PCM was 48.7%. It is apparent that admixture contents of 5% or 10% could be proposed for improvement of tensile strength and adhesion in tension of PCM.

Keywords : polymer cement mortar, SAE, adhesion in flexure, tensile strength, adhesion in tension

## 1. 서 론

RC 구조물의 보수·보강재료로 사용하는 폴리머 시멘트 모르타르 (Polymer Cement Mortar: PCM 또는 Polymer-Modified Mortar: PMM)는 콘크리트-폴리머 복합체의 종류 중 하나로 같은 종류의 복합체인 폴리머 시멘트 콘크리트 (Polymer Cement Concrete: PCC, 또는 Polymer-Modified Concrete: PMC)의 형태 보다는 PCM 형태로 건설현

장에서 널리 사용된다[1-3]. 그 이유는 PCC가 보통 시멘트 콘크리트에 비해 역학적 성질 및 내구성 면에서 우수한 성질을 보유하고 있지만, 폴리머의 혼입에 따른 성능 개선 효과가 폴리머-시멘트비 (Polymer-cement ratio: P/C) 10% 이상의 높은 혼입율에서 크게 나타나기 때문에 전체적인 콘크리트의 코스트가 증가하기 때문이다[4,5]. 그러나 RC 구조물의 내구연한을 100년으로 보고 설계하는 현실에서 생애주기 비용, 즉 유지관리 비용 등을 저감시킬 수 있어 고내구성 콘크리트로서 RC 구조물에 사용이 확대되고 있다[6,7]. 일반적으로 PCM은 건설현장에서 바닥재 및 마감재료로 사용되고 있는데, 마감재료의 특성상 접착성능이 우수하여, 타일, 석재 및 점토제품 등의 탈락에 대한 안정성 등을 위하여 사용되고 있으며, RC 구조물의 보수재료로서는 단면복구 시스템에 설계되어 사용되고 있는 실정이

Received : August 2, 2019

Revision received : October 18, 2019

Accepted : November 26, 2019

\* Corresponding author: Jo, Young-Kug

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

2019 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

다. PCM 및 PCC에 혼입되는 폴리머의 형태로는 폴리머 입자가 분산되어 있는 폴리머 디스퍼션 (Polymer dispersion) 형태와 폴리머를 분말로 만들어 현장에서 물과 혼입하여 재유화시키는 재유화형 분말수지 (Redispersible polymer powder)로 크게 나눌 수 있다. 이들은 각각 장단점이 있으나 폴리머 입자와 시멘트 입자사이의 계면을 활성화시키는 계면활성제를 혼입하여 시멘트와의 혼화 적합성을 시험하여 만든 수성 폴리머 디스퍼션이 많이 사용되고 있다. 수성 폴리머 디스퍼션 속에 혼입되어 있는 폴리머의 성질에 따라 PCM 및 PCC의 물성이 달라질 수 있다. PCM에 대한 연구는 1964년 Ohama[8]를 비롯하여 전 세계적으로 활발한 연구가 진행되었는데, 특히 철근콘크리트 구조체의 보수보강시 피착체와 PCM과의 접착능이 가장 중요한 성질이기 때문에 이에 대한 신-구 구조체의 경계면에서의 접착성을 개선시키고자 노력하였다[9-11, 13]. 또한 현재 건설현장에서 시멘트 콘크리트의 역학적 성질 및 내구성능을 개선시키기 위하여 사용되고 있는 고로슬래그 (Blast Furnace Slag: BF) 및 플라이애쉬 (Fly Ash: FA)의 효과는 기존 연구자를 통하여 밝혀졌으며[14-16], 현재 건설현장에서 사용되고 있는 레미콘에는 이 혼화재료를 두 가지 또는 단독으로 혼입하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 휨강도, 휨접착강도, 인장강도 및 인장접착강도 시험을 통하여 신-구 모르타르의 접착성을 실험적으로 고찰하였으며, 여기에 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼입함에 따른 PCM 자체의 강도 개선 효과를 파악하여 RC 구조물의 보수보강재료로서 PCM의 적정 배합을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 사용재료

#### 2.1.1 결합제 및 잔골재

본 연구에서 사용한 시멘트는 KS L 5201 (포틀랜드 시멘트)의 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트 (비표면적 3,500cm<sup>2</sup>/g, 비중 3.15)를 사용하였으며, KS L 5210 (콘크리트용 고로슬래그 미분말)의 규정에 만족하는 고로슬래그 미분말 3종 (비표면적 4,320cm<sup>2</sup>/g, 밀도 2.90g/cm<sup>3</sup>)과, KS L 5405 (플라이애쉬) 규정을 만족시키는 플라이애쉬 2종 (비표면적 3,830cm<sup>2</sup>/g, 밀도 2.20g/cm<sup>3</sup>)을 사용하였다. 본 연구에 사용

된 혼화재에 대한 화학적 성분 및 물리적 성질은 Table 1에 나타냈다. 또한 잔골재로서는 시멘트 모르타르 강도시험용 주문진산 규사를 사용하였다.

Table 1. Chemical composition and physical properties of BF and FA

Binder	BF	FA	
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.90	2.20	
Fineness (cm <sup>2</sup> /g)	4,320	3,830	
Flow value ratio (%)	102	99	
Chemical composition	MgO	3.62	0.9
	SO <sub>3</sub>	2.53	0.7
	Cl	0.009	0.01
	ig-loss	1.0	0.9

Table 2. Properties of SAE dispersion

Type of polymer	Density (g/cm <sup>3</sup> , 20°C)	pH (20°C)	Viscosity (mPa · s, 20°C)	Solid content (%)
SAE	1.06	7.5	100	47.0

#### 2.1.2 시멘트 혼화용 폴리머

시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로서 현장에서 널리 사용되고 있는 수성 폴리머 디스퍼션으로 스티렌과 아크릴산 에스테르 공중합체 (Styrene/Acrylic Ester: SAE)를 사용하였으며 그 성질은 Table 2와 같다. SAE는 스티렌수지와 아크릴수지를 중합한 에스테르계 폴리머로서 폴리스티렌수지의 가공성, 내수성, 전기적성질을 유지하면서 아크릴수지의 기계적강도, 내열성, 내유성, 내후성 등을 개선시킨 에스테르계 폴리머이다. 수성 폴리머 디스퍼션의 폴리머 입자는 물속에서 고루 분산되어 있어야 하는데, 이러한 분산작용과 안정화를 위하여 혼입되는 것이 계면활성제이다. 이러한 계면활성제의 작용에 의해 폴리머 디스퍼션 속에 수많은 공기가 연행되는데[1], 이러한 마이크로 크기의 연행 공기포에 작용하여 효과적으로 공기량을 제어하기 위한 소포제로서 실리콘계 에멀전(VOC-free, 고형분 30%)을 폴리머 고형분에 대하여 1.0% 첨가하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 PCM 시험편 제작

Table 3과 같은 배합으로 KS F 2476 (폴리머 시멘트

모르타르의 시험방법)에 준하여 제작하였으며, P/C 0, 5, 10, 15 및 20%로 만든 PCM에 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 3, 5, 10, 15 및 20%를 시멘트와 대체하여 배합을 설계하였다.

1) 휨강도용 및 휨접착강도용 시험편

Figure 1과 같은 휨강도 시험편인 40×40×160mm의 빔 몰드에 PCM 및 보통시멘트 모르타르를 타설하여 만든 후, PCM은 2일 습윤양생 (20℃, 80% R.H), 5일 수중양생 (20℃) 및 21일 기중양생(20℃, 50% R.H)의 표준양생을 실시하였으며, 보통시멘트 모르타르의 경우는 1일 습윤양생 (20℃, 80% R.H), 27일 수중양생 (20℃)을 실시하였다. 본 연구에서 실시한 공시체의 양생은 보통시멘트 모르타르와 폴리머 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 강도발현을 위한 각각의 최적의 양생방법[1]을 활용한 것이다. 또한 휨접착강도용 시험편은 휨강도 시험편의 반쪽에 대한 접착력을 시험하기 위하여 휨강도시험편으로 제작한 보통시멘트 모르타르를 28일간 양생을 실시한 후, 반쪽을 절단하여 시험편에 넣고 Table 3의 배합으로 반쪽을 다시 PCM 및 보통시멘트 모르타르로 제작하여 전술한 방법에 따라 각각 양생을 실시하여 시험편으로 하였다.

Table 3. Mix proportions of SAE-modified mortars

Type of Mortar	Cement : Fine aggregate (by Weight)		Admixture content(%)		P/C (%)	W/C (%)	Air content (%)	Flow (mm)
	BF	FA	BF	FA				
Plain					0	70.0	7.3	167
SAE-Modified	1 : 3		3.5	3.5	5	45.0	12.0	168
			10	10	10	37.5	13.6	169
			15,20	15,20	15	32.5	10.4	170
					20	30.0	9.6	172

2) 인장강도용 및 인장접착강도용 시험편

Figure 1의 우편 시험편과 같은 크기의 인장강도용 시험편은 PCM 및 보통시멘트 모르타르로 제작한 후, 전술한 양생방법으로 양생을 하였으며, 인장접착강도용 시험편은 보통시멘트 모르타르로 인장강도용 시험편을 만들어 28일간 수중양생 (20℃)을 실시한 후, 시험편의 반쪽을 절단하여 다시 인장강도 시험용 몰드에 넣고 피착체로 하였으며, 전술한 휨접착강도 시험편과 같이 나머지 반쪽에 PCM 및

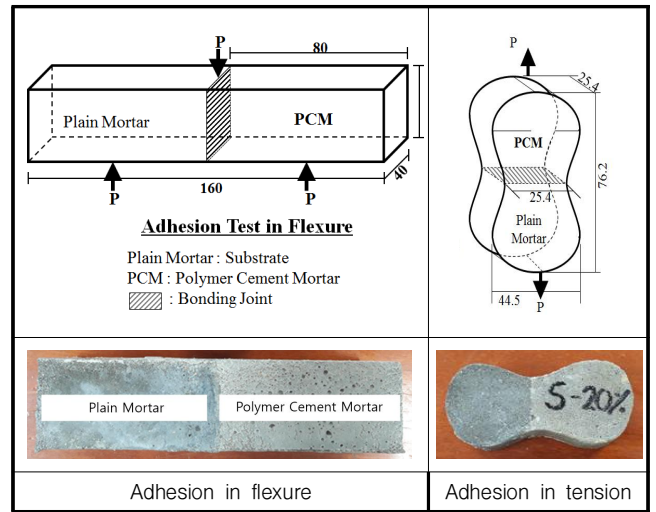


Figure 1. Specimens for adhesion in flexure and tension[16]

보통시멘트 모르타르를 접착체로 하여 타설하였다. 양생은 전술한 휨강도용 및 휨접착강도용 시험편과 동일하게 실시하였다.

2.2.2 폴리머 시멘트 모르타르의 강도 시험

소정의 양생을 마친 시험편에 대하여 휨강도 및 휨접착강도 시험은 KS F 2476 (폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법), 인장강도 및 인장접착강도는 KS L 5104 (수경성 시멘트 모르타르의 인장강도 시험방법)에 준하여 실시하였다. 모든 배합에 대하여 순수 인장강도와 휨강도에 대한 인장접착강도 및 휨접착강도비를 상대강도비로 평가하였다. 이는 보수보강시 RC 구조물의 피착체와 보수보강재료인 PCM 과의 접착성능을 평가하기 위한 것이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 혼화재를 혼입한 PCM의 휨강도

Figure 2는 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬의 혼입율에 따른 PCM의 휨강도를 나타내고 있다. 혼화재를 혼입하지 않은 보통시멘트 모르타르의 휨강도는 4.24 MPa를 나타냈는데, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 휨강도는 6.30 MPa~9.22MPa 범위로 보통시멘트 모르타르 보다 최대 약 2.18배의 아주 높은 휨강도를 나타냈다. 또한 보통시멘트 모르타르의 휨강도는 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬 혼입율 5%에서 각각 최대 6.35MPa와 5.06MPa를 나타

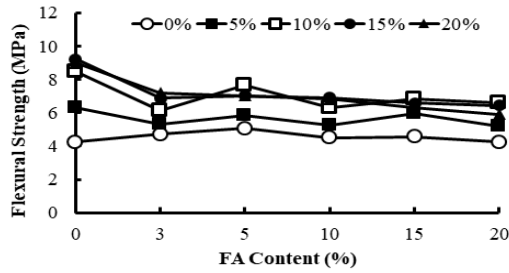
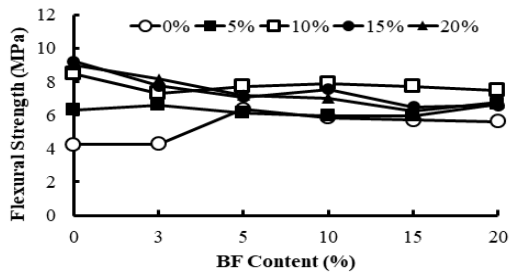


Figure 2. Flexural strength of PCM by admixtures

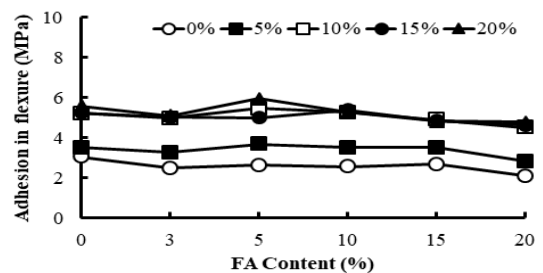
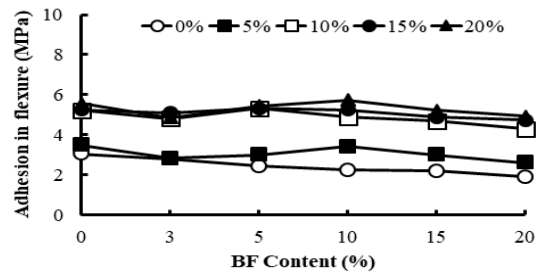


Figure 3. Adhesion in flexure of PCM

내, 낮은 혼입율에서 강도 발현에 기여함을 알 수 있었다. 혼화재를 혼입한 PCM의 휨강도는 P/C 5%와 일부 고로슬래그 미분말을 혼입한 것을 제외하면, 전반적으로 혼화재의 혼입율의 증가에 따라 약간씩 감소하는 경향을 보였으나, 보통시멘트 모르타르의 휨강도에 비해 모든 배합에서 높은 휨강도를 보였다. 또한 혼화재의 혼입율에 따른 PCM의 휨강도비 (혼화재 혼입 PCM 휨강도/혼화재 혼입하지 않은 PCM 휨강도)는 고로슬래그를 혼입한 경우, P/C 5%, 고로슬래그 미분말 혼입율 3%에서 104%로 최대치를 보였으나, 전반적인 PCM에서 69.2%~97.1% 범위의 강도를 나타냈으며, 플라이애쉬를 혼입한 경우에는 65.6% ~94.4% 범위에 있었다. 여기에서 알 수 있는 것은 순수 휨강도에 대한 혼화재의 혼입이 PCM 자체의 휨강도를 감소시키는 결과를 초래한 것으로 혼입율이 클수록 강도의 감소율도 증가하였다.

### 3.2 혼화재를 혼입한 PCM의 휨접착강도

Figure 3은 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬의 혼입율에 따른 PCM의 휨접착강도를 나타낸 것이다. 혼화재를 포함하지 않은 보통시멘트 모르타르의 휨접착강도는 3.05 MPa로 전술한 휨강도의 72% 수준이었으며, 전술한 휨강도와는 달리 혼화재의 혼입율의 증가에 따라 휨접착강도는 감소하였다. 한편, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 휨접착강도는 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 크게 증가하

여 P/C 20%에서 5.58MPa로 보통시멘트 모르타르의 1.83배 크게 나타났는데 이 수치는 P/C 20%의 순수 휨강도의 62%에 해당한다. 이러한 강도 증가현상은 PCM 자체에 존재하는 폴리머 필립이 신-구 모르타르의 경계면에서 접착제 역할을 한 것으로 볼 수 있으나, 혼화재를 혼입한 PCM의 휨접착강도에서 고로슬래그 미분말을 혼입한 경우 최대 +2.86% (P/C 20%, 혼입율 10%)에서 최저 -25.4% (P/C 5%, 혼입율 20%), 플라이애쉬를 혼입한 경우, 최대 +6.63% (P/C 20%, 혼입율 5%)에서 최소 -19.1% (P/C 5%, 혼입율 20%)의 강도개선 범위를 나타내 혼화재의 종류에 관계없이 혼화재의 혼입에 따라 휨접착강도가 증가하는 경향보다는 감소하는 경향의 결과가 많이 나타났다. 이는 낮은 P/C와 높은 혼화재 혼입율에서 보다 큰 강도 감소폭을 나타냈는데, 이러한 결과는 접착경계면에서 폴리머 필립에 의한 강한 접착력 발현에 혼화재의 혼입이 오히려 부정적인 영향을 끼친 결과로 볼 수 있다.

### 3.3 혼화재를 혼입한 PCM의 휨접착강도/휨강도비

Figure 4는 전술한 PCM의 휨강도와 휨접착강도의 상관관계를 분포도를 나타냈으며, Figure 5는 휨강도에 대한 휨접착강도비를 상대강도비로 표현하였다.

Figure 4에 나타난 바와 같이 휨강도와 휨접착강도의 상관관계 분포는 일정한 회귀분석식으로 표현할 수 있으나

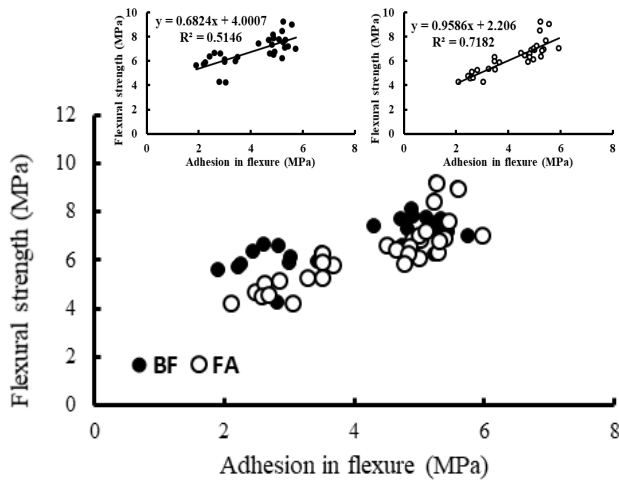


Figure 4. Relationship of Flexural strength and adhesion in tension of PCM by admixtures

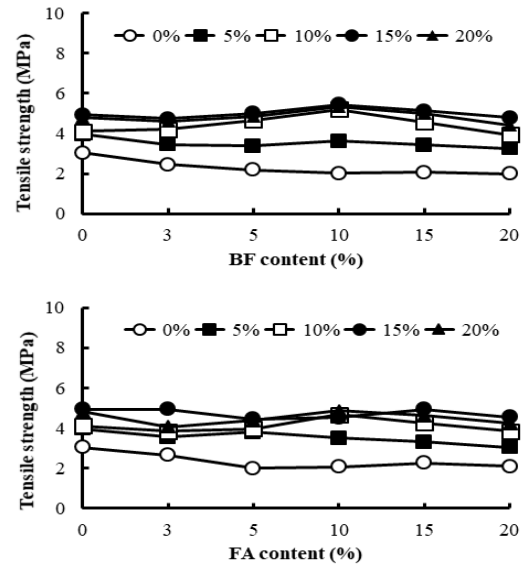


Figure 6. Tensile strength of PCM by admixtures

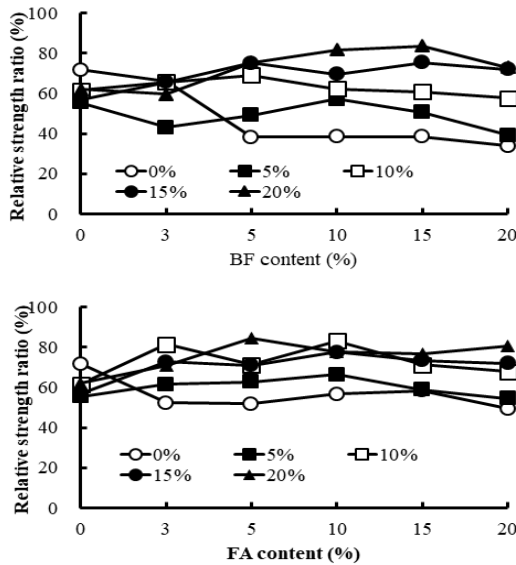


Figure 5. Ratio of adhesion in flexure to flexural strength of PCM

상관계수  $R^2$ 가 0.51, 0.71로 비교적 낮으나 휨강도가 크면 휨접착강도도 어느 정도 증가하는 경향을 읽을 수 있었다.

이러한 휨강도와 휨접착강도와의 강도비는 RC 구조물에 대한 PCM의 보수 후 강도회복율로 평가할 수 있는 기초적 자료이다. 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 순수 휨강도에 대한 휨접착강도의 상대강도비는 55.6%~62% 범위였으며, 고로슬래그를 혼입한 PCM의 경우, 최저 39.3% (P/C 5%, 고로슬래그 미분말 혼입율 20%)에서 최고 83.8%

(P/C 20%, 고로슬래그 미분말 혼입율 15%), 평균 60.4% 범위에 있었다. 또한 플라이애쉬를 혼입한 PCM의 상대강도비는 최저 58.8% (P/C 5%, 플라이애쉬 혼입율 15%)에서 최고 84.8% (P/C 20%, 플라이애쉬 혼입율 15%), 평균 67.3% 범위로 플라이애쉬가 고로슬래그를 혼입한 경우보다 약간 휨강도비가 높은 범위에 있었다. 본 상대강도비는 순수 휨강도가 큰 경우 휨접착강도의 상대강도비가 낮게 평가되기 때문에 이는 절대 강도와 구별되어야 한다.

### 3.4 혼화재를 혼입한 PCM의 인장강도

Figure 6은 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬의 혼입율에 따른 PCM의 인장강도를, Figure 7은 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 휨강도 대비 혼화재를 혼입한 각각의 PCM의 인장강도비를 나타내고 있다.

혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 인장강도는 폴리머 시멘트비의 증가에 따라 증가하여 P/C 15%에서 4.93MPa의 최대값을 나타냈는데 이는 보통시멘트 모르타르의 인장강도 3.03MPa 비해 약 1.63배에 달한다. 이러한 인장강도는 폴리머를 혼입한 PCM의 특성이 가장 잘 나타나는 성질중의 하나로 이러한 경향은 PCM 조직속에서 폴리머 필립이 3차원의 망상구조를 연속적이며 균일하게 형성하여 인성을 크게 개선시킨 결과이다.

혼화재를 혼입한 PCM의 인장강도는 고로슬래그를 혼입

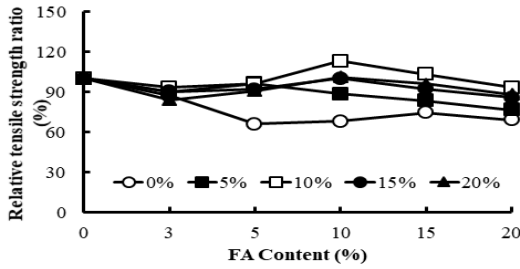
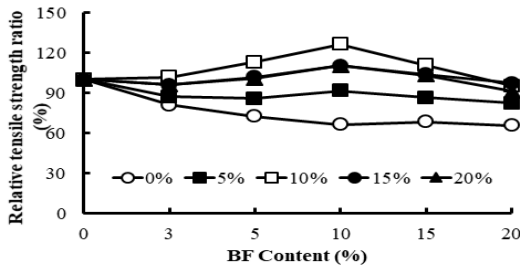


Figure 7. Relative tensile strength of PCM

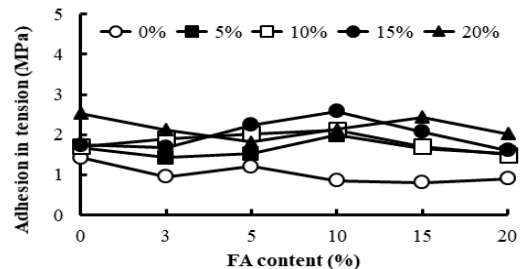
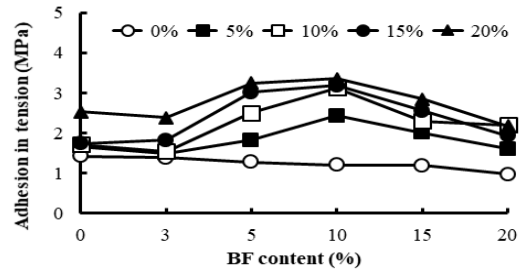


Figure 8. Adhesion in tension of PCM

한 경우, 폴리머 시멘트비에 상관없이 혼입율 10%에서 최대치 나타냈는데, P/C 15%에서 5.45MPa로 보통시멘트 모르타르의 약 1.80배, 혼화재를 혼입하지 않은 P/C 15%의 PCM에 비해 1.11배 높은 수치이며 P/C 5%를 제외하면 고로슬래그를 혼입함에 따른 인장강도의 개선효과를 발견할 수 있었다. 또한 플라이애쉬를 혼입한 PCM의 인장강도는 혼입율 10% 또는 15%에서 최대값을 나타냈는데, P/C 15%, 혼입율 15%에서의 최대값 4.93MPa는 혼화재를 혼입하지 않은 PCM과 같은 강도이며, 보통시멘트 모르타르의 인장강도에 배해서는 약 1.63배 큰 강도이다. Figure 7의 결과에서 혼화재를 혼입함에 따른 PCM의 강도 개선효과를 알 수 있었는데, P/C 10%, 고로슬래그 미분말 혼입율 10%의 인장강도는 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 인장강도 4.12MPa에 비해 126.5% 개선된 5.21MPa를 나타냈으며, P/C 10% 플라이애쉬 혼입율 15%에서 113.1%의 인장강도 개선효과를 나타냈다. 전술한 PCM의 휨강도 성상에서는 혼화재의 혼입에 따른 강도 개선 효과를 발견할 수 없었으나, 인장강도의 경우 혼화재를 혼입함에 따라 개선의 효과는 크지 않지만 일부 개선됨을 확인하였는데, 이는 PCM 내부에서의 혼화재에 의한 물리적 성질 개선과 3차원의 폴리머 필름에 의한 인성개선 효과가 휨강도 보다는 인장강도에서 효과적으로 나타난 것으로 폴리머 필름의 고유한 인성개선 효과와 더불어 내부조직을 치밀하게 만들 수 있는

혼화재와의 역할분담 결과라 사료된다.

### 3.5 혼화재를 혼입한 PCM의 인장접착강도

Figure 8은 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬의 혼입율에 따른 PCM의 인장접착강도를, Figure 9는 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 인장접착강도 대비 혼화재를 혼입한 각각의 PCM의 인장접착강도비를 나타내고 있다. 혼화재를 혼입하지 않은 보통시멘트 모르타르의 인장접착강도는 1.42 MPa로 전술한 인장강도의 47% 수준이었으며, 혼화재의 혼입율의 증가에 따라 인장접착강도는 크게 감소하였다. 한편, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 인장접착강도는 폴리머 시멘트비의 증가에 약간 증가하여 P/C 20%에서 2.53MPa로 보통시멘트 모르타르의 약 1.78배, 전술한 P/C 20%의 휨강도의 53%에 해당되는 값이다. 혼화재를 혼입한 PCM의 인장접착강도는 혼화재의 종류와 P/C에 상관없이 혼화재의 일정 혼입율에 따라 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 인장접착강도가 크게 개선됨을 알 수 있었다. 고로슬래그를 혼입한 경우, 혼입율 5%, 10% 및 15%에서 혼화재를 혼입하지 않은 PCM에 비해 인장접착강도가 개선되었는데, P/C 20%, 고로슬래그 미분말 혼입율 10%에서 최대 인장접착강도 3.35MPa은 보통시멘트 모르타르의 약 2.36배, 혼화재를 혼입하지 않은 P/C 20%, PCM의 약 1.32배의 높은 강도이다. 또한 플라이애쉬를 혼입한 경우, 혼입

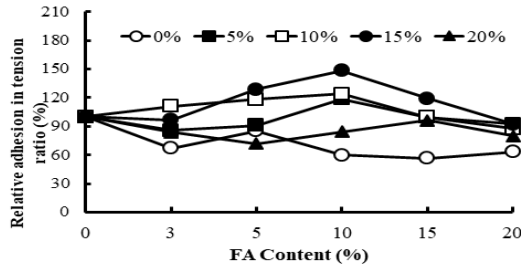
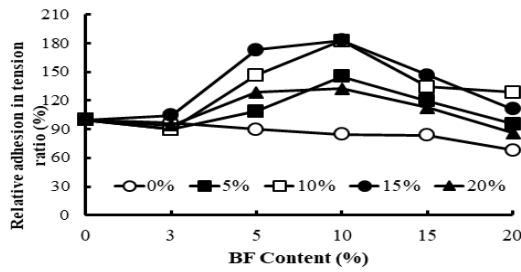


Figure 9. Relative adhesion in tension of PCM

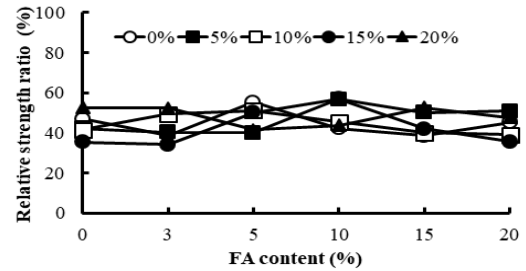
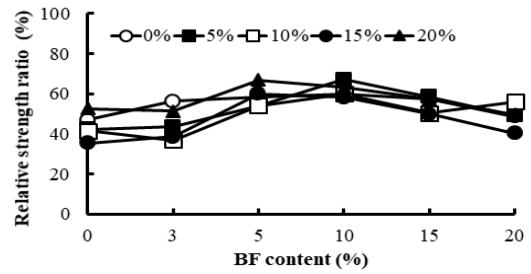


Figure 11. Ratio of adhesion in tension to tensile strength of PCM

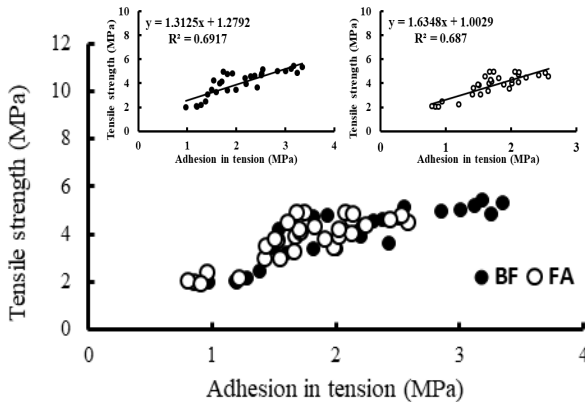


Figure 10. Relationship of flexural strength and adhesion in tension of PCM by admixtures

율의 증가에 따라 인장접착강도가 약간 상승하다가 P/C 15%, 혼입율 10%에서 2.58MPa의 최대 인장접착강도를 나타냈는데 이는 보통시멘트 모르타르의 1.82배, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 1.48배 큰 강도이다. 인장접착강도는 접착경계면의 신-구 모르타르 접착력에 의해 강도가 결정되기 때문에 PCM 내부 조직의 구성보다는 접착면의 폴리머에 의한 접착력 개선이 직접적으로 영향을 미친 것이다.

### 3.6 혼화재를 혼입한 PCM의 인장접착강도/인장강도비

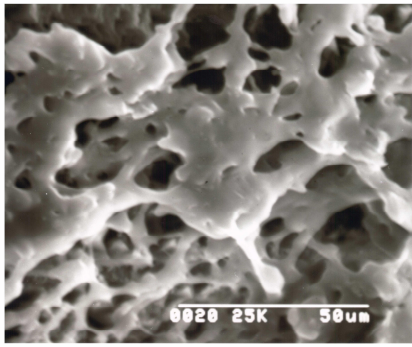
Figure 10은 전술한 PCM의 인장강도와 인장접착강도의 분포를 나타냈으며, Figure 11은 인장강도에 대한 인장접

착강도비를 상대강도비로 표현하였다.

Figure 10에서는 PCM의 인장접착강도와 인장강도의 분포 및 상관관계를 나타내고 있는데, 전술한 휨강도와 휨접착강도와의 관계와 마찬가지로 회귀분석에 의한 관계식( $R^2 = 0.69$ 과  $0.68$ )을 제시할 수 없으나 인장강도가 큰 PCM이 인장접착강도도 크게 나타났다. 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 상대강도비는 35.3%~52.5% 범위였으며, 고로슬래그를 혼입한 PCM의 경우 혼화재의 혼입율 5% 또는 10%에서 상대강도비가 최대치를 나타냈는데, 최저 36.7% (P/C 10%, 고로슬래그 미분말 혼입율 3%)에서 최고 83.8% (P/C 5%, 고로슬래그 미분말 혼입율 10%), 평균 52.1% 범위에 있었다. 또한 플라이애쉬를 혼입한 PCM의 상대강도비는 혼입율의 증가에 따라 큰 변화가 없었으며, 최저 34.1% (P/C 15%, 플라이애쉬 혼입율 3%)에서 최고 57.0% (P/C 15%, 플라이애쉬 혼입율 10%), 평균 45.3% 범위로 고로슬래그를 혼입한 경우가 플라이애쉬를 혼입한 경우 보다 약간 상대강도비가 높은 범위에 있었으나 이는 절대강도와는 구별된다.

본 연구에서 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼입함에 따라 PCM의 휨접착 및 인장접착 특성의 개선효과는 휨접착 특성 보다는 인장접착특성에서 보다 개선 효과를 나타냈는데, 이는 PCM 내부에 형성된 3차원의 폴리머 필름의





Polymer film(P/C 20%)

Figure 12. Polymer film in PCM (×1,000)(12)

Table 4. Strength increase ratio of PCM resulting from admixture content ratio

Type	P/C (%)	BF (%)	Con. Ratio (%)	FA (%)	Con. Ratio (%)
F	0	Min.+0.2 Max.+49.8	3 5	Min.+0.2 Max.+8.2	20 5
	5~20 Max. 5	Min.-30.8M ax.+5.4	15 20	Min.-34.4 Max.-5.6	20 15
A-f	0	Min.-37.8 Max. 0	20 0	Min.-31.1 Max. 0	20 0
	5~20 Max.20	Min.-17.6M ax.+2.9	20 10	Min.-19.6 Max.+6.63	20 5
T	0	Min.-34.3M ax. 0	20 0	Min.-34.0 Max. 0	20 0
	5~20 Max.10	Min.-17.7M ax.+26.5	20 10	Min.-23.3 Max.+13.1	20 3
A-t	0	Min.+1.0 Max.+1.4	20 0	Min.+0.80 Max.+1.42	15 0
	5~20 Max.10	Min.-13.8M ax.+82.8	20 10	Min.-28.1 Max.+48.3	20 10

Notes: F:Flexural strength(MPa), A-f:Adhesion in flexure(MPa), T:Tensile strength(MPa), A-t:Adhesion in tension(MPa), Con.Ratio:Content ratio of admixture

인성증가와 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬의 혼입에 따른 시멘트 모르타르 조직의 밀실성이 강도의 개선 효과라 볼 수 있다. Figure 12는 전자현미경으로 촬영한 PCM 속의 3차원 폴리머 필름 (재령 28일, SAE P/C 20%)을 나타내고 있는데, 이 폴리머 필름이 신-구 모르타르 경계면에서 접착성을 크게 개선시킨결과로 볼 수 있다.

### 3.7 혼화재를 혼입한 PCM의 강도에 영향을 미치는 최적배합 조건

본 연구에서 실시한 고로슬래그 미분말과 플라이애쉬를 혼입한 SAE 기반 폴리머 시멘트 모르타르의 휨강도, 휨접착강도, 인장강도 및 인장접착강도에 관한 강도 개선을 위한 혼화재의 혼입비와 최대강도를 위한 P/C를 Table 4에 나타내고 있다. 결과에서 알 수 있는 바와 같이, PCM의 휨 특성에 대한 혼화재의 혼입효과는 일부를 제외하고 거의 발견되지 않았으나, 인장 및 인장접착강도에서는 큰 효과를 나타냈는데, 본 연구에서 제시할 수 있는 최적배합조건으로 PCM의 P/C 10%~20% 범위에서 혼화재 혼입율 5%~10% 범위 이었다.

## 4. 결론

본 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) PCM의 휨강도는 보통시멘트 모르타르 보다 최대 2.18배 컸으며, P/C의 증가에 따라 혼화재의 혼입에 의한 휨강도의 감소폭이 컸는데, 고로슬래그의 경우 5.2% (P/C 5%)~30.8% (P/C 20%), 플라이애쉬를 혼입한 경우 17.5% (P/C 5%)~34.4% (P/C 20%)의 감소폭을 나타냈다.
- 2) PCM의 휨접착강도는 P/C 20%에서 최대치 5.58MPa로 보통시멘트 모르타르 보다 약 1.83배 컸으나, 전반적으로 휨접착강도/휨강도비는 평균 63.9%를 나타냈으며, 혼화재의 혼입효과는 거의 발견되지 않았다.
- 3) PCM의 인장강도는 P/C의 증가에 따라 높게 나타났으며 P/C 15%에서 4.93MPa로 보통시멘트 모르타르 3.03MPa의 약 1.63배 높게 나타났다. 또한 P/C 10%, 고로슬래그 미분말 혼입율 10%와 플라이애쉬 혼입율 15%에서 혼화재를 혼입하지 않은 P/C 10% PCM의 인장강도 보다 126.5%와 113.1% 각각 크게 나타났다.
- 4) PCM의 인장접착강도는 P/C 20%, 고로슬래그 미분말 혼입율 10%에서 최대 3.35MPa로 보통시멘트 모르타르의 약 2.36배, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 약 1.32배의 높은 강도를 나타냈으며 인장접착강도/인장강도비는 평균 48.7%를 나타냈다.
- 5) 보통시멘트에 폴리머가 혼입되면 폴리머 필름에 의한



3차원 망상구조와 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼입함으로써 내부 조직이 치밀해져 강도가 개선되는 효과가 있었다.

- 6) 본 연구에서 PCM에 고로슬래그 미분말 및 플라이 애쉬를 혼입하면 휨강도 특성 보다는 인장강도 특성에서 강도의 개선효과를 보였으며, P/C 10%~20%, 혼화재의 혼입율은 5% 또는 10% 범위를 제안할 수 있었다.

## 요 약

본 연구는 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 혼입한 SAE 에멀전 기반 폴리머 시멘트 모르타르의 휨과 인장특성에 대하여 실험하여 혼화재의 혼입효과를 평가하고자 하였다. PCM은 폴리머 시멘트비와 혼화재의 혼입율을 변화시켜 시험편을 제작하였으며, 휨강도, 휨접착강도, 인장강도 및 인장접착강도 시험을 실시하였다. 연구결과, 혼화재의 혼입에 따른 휨강도 및 휨접착강도 개선은 거의 발견되지 않았으나, 인장강도 및 인장접착강도에서는 혼화재의 혼입에 따른 강도개선 효과를 얻을 수 있었다. 특히 PCM의 인장접착강도는 P/C 20%, 고로슬래그 미분말 혼입율 10%에서 최대 3.35MPa로 보통시멘트 모르타르의 약 2.36배, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 약 1.32배의 높은 강도를 나타냈으며 인장접착강도/인장강도비는 평균 48.7%를 나타냈다. 본 연구를 통하여 PCM의 인장 및 인장접착강도 개선을 위해서는 혼화재 혼입율 5% 또는 10%를 제안할 수 있었다.

**키워드** : 폴리머 시멘트 모르타르, SAE, 휨접착강도, 인장강도, 인장접착강도

## Funding

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2015R1D1A1A01056813).

## ORCID

Young-Kug Jo, <https://orcid.org/0000-0002-0965-8007>

## References

1. Ohama Y. Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars. New Jersey: Noyes Publications; 1995. 225 p.
2. Pareek SN. Improvement in adhesion of polymeric repair and finish materials for reinforced concrete structures [Dissertation]. [koriyama (Japan)]: Nihon University; 1993. 183 p.
3. Ohama Y. Principle of latex modification and some typical properties of latex-modified concrete. ACI Material Journal. 1987 Nov;84(6):511-8. <https://doi.org/10.14359/2463>
4. 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>
5. 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.
6. 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>
7. Choi KK. Numerical investigation on cracking of bridge deck slabs with latex modified concrete overlays. Journal of the Korea concrete Institute. 2010 Feb;22(1):77-84. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2010.22.1.077>
8. Ohama Y, Ibe H, Mine H, Kato K. Cement mortars modified by SB latexes with variable bound styrene. Rubber Chemistry and Technology. 1964 Jul;37(3):758-69. <https://doi.org/10.5254/1.3540369>
9. Jo YK. Adhesion in tension of cement mortar to cement concrete substrates coated with polymer cement slurry. Journal of the Architectural Institute of Korea. 2009 Jun;25(6):123-30.
10. Y Ohama. Use of polymers for improvements in durability of reinforced concrete structures and their repairing works. Journal of the Adhesion Society of Japan. 1988 Aug;24(8):313-22.
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. Shanghai (China): International Academic Publishers; 1990. p. 562-8.
12. 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.2019.19.1.047>
13. 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>
14. 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>
15. Son BG, Lee HS, Lee YJ, Han DY. Fluidity performance evaluation of low viscosity typed superplasticizer for cement–based materials incorporating supplementary cementitious materials. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2019 Jun;19(3):219–28.  
<https://doi.org/10.5345/JKIBC.2019.19.3.219>
16. Ohama Y, Demura K, Nagao H, Ogi T. Adhesion of polymer–modified mortars to ordinary cement by different test methods. *Proceedings of an International Symposium by RILEM Technical Committee 52–Resin Adherence to Concrete and Laboratoire Central des Ponts et Chaussees*; 1986 Sep 16–19; Paris, France, London (England): Chapman and Hall; 1986. p. 719–29.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3454-3\\_67](https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3454-3_67)