

EVA 에멀전과 혼화재를 사용한 폴리머 시멘트 모르타르의 기초적 성질

조영국^{1*}

Basic Properties of Polymer Cement Mortar with EVA Emulsion and Admixtures

Young-Kug Jo^{1*}

Abstract: The purpose of this study is to evaluate the degree of improvement in strengths by mixing blast-furnace slag and fly ash in polymer cement mortar(PCM). The test specimens are prepared with EVA polymer dispersion, two types of Admixtures (blast-furnace slag and fly ash), five kinds of polymer-cement ratios (0, 5, 10, 15 and 20%), and six kinds of admixtures (0, 3, 5, 10, 15 and 20%). Plain cement mortar is also made for comparison. From the test results, the flowing of PCM is greatly improved with the mixing of the admixtures, and strengths of PCM compared to ordinary cement mortar are also improved due to a decrease in water cement ratio. In addition, the strength characteristics of PCM by admixtures are greatly improved in flexural strength with fly ash compared to other strengths. It is apparent that the optimum mix proportions with polymer-cement ratio of 10% or more, admixture contents 5 to 10% of fly ash for flexural strength improvement of EVA-cement mortar are recommended in this study.

Keywords: Polymer cement mortar, Polymer-cement ratio, Compressive strength, Flexural strength, Adhesion in flexure

1. 서 론

RC 구조물의 보수보강 재료로 널리 사용되고 있는 콘크리트-폴리머 복합체에는 고분자 입자를 수중에 분산시켜 만든 수성 폴리머 디스퍼션을 시멘트 결합재의 성질 개선재로 사용한 폴리머 시멘트 콘크리트 또는 모르타르 (Polymer- Modified Concrete or Mortar ; PMC or PMM, Polymer Cement Concrete or Mortar ; PCC or PCM), 결합재 자체를 고분자로 대체시킨 폴리머 콘크리트 또는 모르타르(Polymer Concrete or Mortar ; PC or PM), 그리고 시멘트 콘크리트 구조체 및 제품의 표면에 일정한 두께로 고분자를 함침시키는 폴리머 함침 콘크리트 또는 모르타르(Polymer Impregnated Concrete or Mortar)로 구분 할 수 있다(Ohama, 1978; Murata and Kobayashi, 1967). 그 중에서 일반적으로 RC 구조물의 보수보강재료는 PCC 또는 PCM을 지칭한다(Ohama, 1998).

한편 PCC 또는 PCM은 일반 시멘트 콘크리트 및 모르타르에 비해 물리적 성질 및 내구성이 크게 개선된다는 사실은 많은 기존의 연구를 통해서 알 수 있다(Piotrowski et al., 2018; Ohama, 1995). 특히 수성 폴리머 디스퍼션을 사용하여 만든 PCC 또는 PCM은 일반 시멘트 콘크리트에 비해 휨강도, 인장

강도, 접착강도, 마모성 등 역학적 성질 및 동결융해 저항성, 염화물이온 침투 저항성, 탄산화저항성, 내약품성 등 내구성이 우수하다(Ohama, 1995; Jo, 2009; Sawaide, 1990; Jo et al., 1994; Heede, 2017). 그러나 PCC로 구조물의 주요 재료로서 사용하기에는 고분자의 높은 코스트로 말미암아 경제성에 제한이 되었으나, 최근에는 사용되는 부재의 중요성과 생애주기의 유지관리 비용 등을 고려하여 LMC(Latex Modified Concrete) 교면 포장공법(Kim et al., 2016; Choi, 2010)으로 대규모 도로공사에 사용되고 있으며, 2009년 인천대교의 교면 포장에 사용된 것을 예로 들 수 있다. 또한 시멘트 콘크리트의 역학적 성질 및 내구성능을 개선시키기 위하여 현재 가장 널리 사용되고 있는 혼화재료는 단연 고로슬래그 및 플라이애쉬다. 고로슬래그 및 플라이애쉬를 시멘트 콘크리트에 혼입하여 사용하는 것은 기존 많은 연구자의 연구(Yoon et al., 2019; Garbacz and Sokolowska, 2012)를 통하여 그 성능이 밝혀졌으며, 현재 건설현장에서의 레미콘에는 두 재료를 사용하지 않는 배합이 없을 정도이다.

본 연구에서는 상술한 PCC가 아니라 보수재료로 널리 사용되고 있는 PCM에 대한 연구로서, 시멘트 콘크리트에 혼입하여 그 성질을 크게 개선시킬 수 있는 고로슬래그 및 플라이애쉬를 혼입하여 폴리머와 혼화재료와의 성질 개선 효과를 알아보기 위하여 실험을 실시하였다. 본 연구에서는 건설현장에서 널리 사용되고 있는 폴리머의 종류 중에서 보수보강재료로서 갖추어야 할 성질 중, 피착체와의 접착강도가 우수한 EVA 폴리머 디스퍼션(Ohama, 1995)과 고로슬래그 및 플라이애쉬

¹정회원, 청운대학교 건축공학과, 공학박사, 교신저자

*Corresponding author: ykjo@chungwoon.ac.kr

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

•본 논문에 대한 토의를 2019년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2020년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

의 혼입량을 달리하면서 폴리머의 혼입량(폴리머-시멘트비), 혼화재의 혼입량에 따른 시공성, 압축강도, 휨강도 및 휨접착 강도에 대하여 실험적으로 고찰하였다.

2. 실험계획

본 연구에서 제작하여 만든 RC 구조체의 보수용 폴리머 시멘트 모르타르는 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. 기준 PCM의 일정한 시공성을 위하여 플로우치 170±5mm가 되도록 물시멘트비 W/C)를 조정하였으며, 여기에 고로슬래그(Blast Furnace Slag; BF) 및 플라이애쉬(Fly Ash; FA)를 시멘트 중량으로 0, 3, 5, 10, 15 및 20%를 각각 혼입하여 시험을 실시하였다.

Table 1 Various factors for experiment

Factor	Level	Variable
Cement type	Ordinary portland cement(OPC)	1
Polymer type	EVA	1
Admixtures	BF, FA	2
Polymer-cement ratio, P/C(%)	0, 5, 10, 15, 20	5
Admixture content(%)	3, 5, 10, 15, 20	5
Curing age(day)	28	1

2.1 사용재료

2.1.1 결합재 및 표준사

본 연구에서 사용한 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드 시멘트와 혼화재료로서 현장에서 콘크리트 혼화용으로 널리 사용되고 있는 고로슬래그(3종, 비표면적 4,320cm²/g, 밀도 2.90g/cm³) 및 플라이애쉬(2종, 비표면적 3,830cm²/g, 밀도 2.20 g/cm³)를 사용하였으며, 잔골재로서는 시멘트 모르타르 강도시험용 주문진산 규사를 사용하였다.

2.1.2 시멘트 혼화용 폴리머

본 실험에 사용된 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션은 현장에서 보수보강 및 방수재료로 널리 사용되고 있는 EVA (Ethylene-vinyl acetate) 에멀전을 사용하였다. Fig. 1은 시멘트에 혼입한 직후의 EVA 입자를 보여주고 있으며, 그 성질은 Table 2와 같다. 또한 시멘트에 폴리머를 혼입할 때 진행되는 기포를 제어하기 위하여 실리콘계 에멀전(고형분 30%)을 폴리머 고형분의 중량에 대하여 1.0%를 첨가하였다.

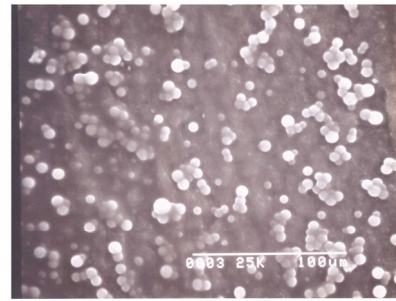


Fig. 1 EVA particles (x2,000)

Table 2 Properties of EVA emulsion

Type of polymer	Density (g/CM ³ , 20°C)	pH (20°C)	Viscosity (mPa·s, 20°C)	Solid content (%)
EVA	1.05	4.7	1,660	56.0

2.2 실험방법

2.2.1 폴리머 시멘트 모르타르 공시체 제작

폴리머 시멘트 모르타르는 KS F 2476(폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 따라 Table 3과 같은 배합으로 시멘트에 대한 폴리머 디스퍼션 고형분 비율(폴리머 시멘트비, P/C)은 0, 5, 10, 15 및 20%로 변경하여 배합을 설계하였으며, 각 폴리머 시멘트 모르타르 배합에 혼화재료로서 고로슬래그 및 플라이애쉬를 시멘트 중량에 대하여 3, 5, 10, 15 및 20% 혼입하였다. 모든 강도시험용 시험편은 각 배합에 대하여 3개씩 제작하여 실험을 실시하였다. 또한 균일한 시공성을 유지하기 위하여 기본 폴리머 시멘트 모르타르(혼화제 미첨가)는 플로우가 170±5mm가 되도록 물시멘트비를 조정하였다.

1) 휨강도 및 압축강도 시험편

휨강도 시험편은 40×40×160mm 빔 몰드를 사용하여 제작하였으며, 표준양생인 2일 습윤양생 (20°C, 80% R.H.), 5일 수중양생 (20°C) 및 21일 기중양생 (20°C, 50% R.H.)을 실시하였으며, 압축강도용 시험편은 휨강도 시험(중앙점 재하방법) 후, 발생하는 반쪽 시험편 6개를 사용하였다.

2) 휨접착강도용 시험편

휨접착강도 시험체는 Fig. 2와 같이 휨강도용 40×40×160mm의 빔 몰드에 보통시멘트 모르타르를 제작, 1일 습윤양생(20°C, 80% R.H.) 및 27일간 수중양생(20°C)을 거친 후, PCM을 보수재료로서 사용시 피착체와의 접착력을 평가하기 위하여(Ohama 1995) 시험편의 반절을 절단하여 다시 몰드에 넣어 나머지 반절을 PCM으로 타설하여 28일간 전술한 방법과 동일하게 양생을 실시하여 시험편으로 하였다.

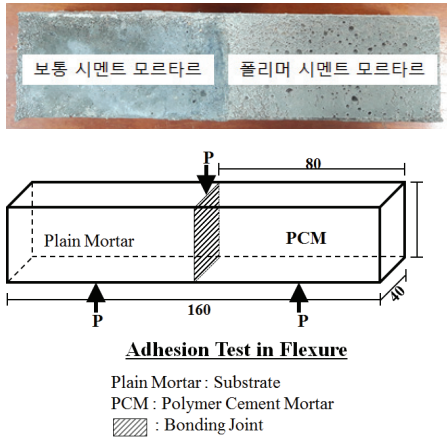


Fig. 2 Specimen for adhesion in flexure

2.2.2 PCM의 휨 및 압축강도 시험

소정의 양생을 마친 시험편에 대하여 KS F 2476(폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 준하여 휨강도시험은 지간 10cm의 중앙점 재하법에 의하여 시험한 후, 다음(식 1)과 같이 휨강도를 산출하였다.

$$f_b = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

여기서, f_b 는 휨강도(MPa), P는 하중(N), L은 지간길이(mm), b는 파괴단면의 너비(mm), h는 파괴단면의 높이(mm)이다.

또한 휨강도 시험후 절편 6개에 대하여 4×4cm 가압판을 사용하여 압축강도를 실시하였다.

2.2.3 PCM의 휨접착강도 시험

소정의 양생을 마친 Fig. 2와 같은 시험편에 대하여 전술한 휨강도 시험방법과 동일하게 시험을 실시하여 휨접착강도를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PCM의 물시멘트비, 공기량 및 플로우

건설현장에서 PCM을 보수·보강재료 및 마감재료로 사용할 때, PCM의 유동성은 Fig. 1과 같이 폴리머 디스퍼션 속에 함유된 둥글둥글한 폴리머 입자의 불-베어링 효과에 의해 보통 시멘트 모르타르에 비해 훨씬 적은 물시멘트비로 같은 수준의 유동성(플로우)을 확보할 수 있다.

Fig. 3은 PCM이 목표 플로우값 170±5mm를 만족하기 위하여 필요한 W/C와 P/C 변화에 따른 W/C 저감율을 나타내고

Table 3 Mix proportions of EVA-cement mortars

P/C (%)	BF (%)	FA (%)	W/C (%)	Flow (mm)	Air content(%)	
0	0		70.0	166.8	7.3	
	3			166.9	10.8	
	5			179.1	10.4	
	10	0		188.7	10.3	
	15			192.7	10.1	
	20			194.1	9.8	
	5			3	186.8	8.9
				5	187.1	9.6
		0		10	180.3	8.0
				15	184.2	7.7
				20	177.2	7.8
		10		0		42.5
3			165.9	-		
5			172.2	-		
10	0		174.0	13.0		
15			164.1	-		
20			162.6	-		
15			3	184.8	-	
			5	176.7	-	
	0		10	172.0	15.5	
			15	175.9	-	
			20	177.2	-	
	20		0		41.5	
3			165.0	-		
5			168.1	-		
10		0	170.6	17.0		
15			173.8	-		
20			166.4	-		
25			3	172.7		-
			5	171.8		-
		0	10	174.5		18.0
			15	173.7		-
			20	171.7		-
		30	0			42.0
3			163.9	-		
5			161.1	-		
10	0		167.6	12.2		
15			175.1	-		
20			165.1	-		
35			3	181.4	-	
			5	180.3	-	
	0		10	180.5	16.0	
			15	180.4	-	
			20	177.9	-	
	40		0		41.5	
3			178.0	-		
5			180.5	-		
10		0	183.2	14.2		
15			177.1	-		
20			170.3	-		
45			3	179.5		-
			5	182.9		-
		0	10	180.6		19.7
			15	179.3		-
			20	182.3		-

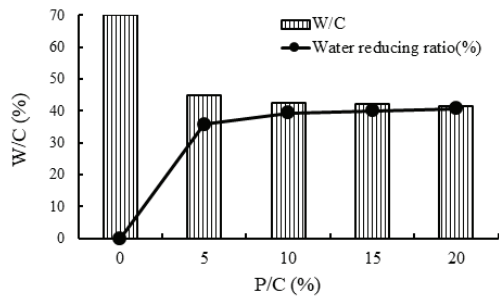


Fig. 3 W/C of PCM for target flow of 170±5mm

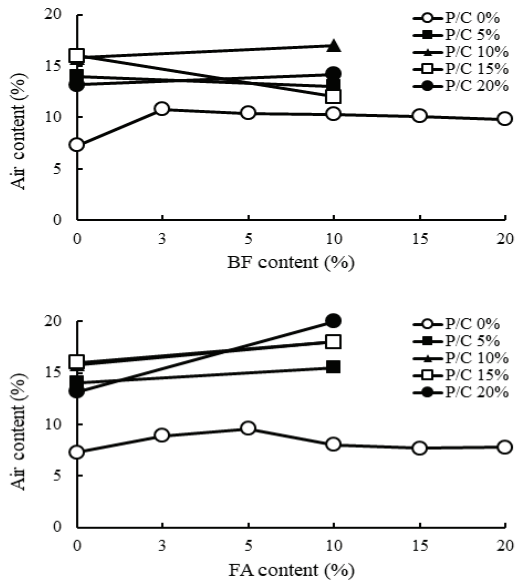


Fig. 4 Air content of PCM by admixtures

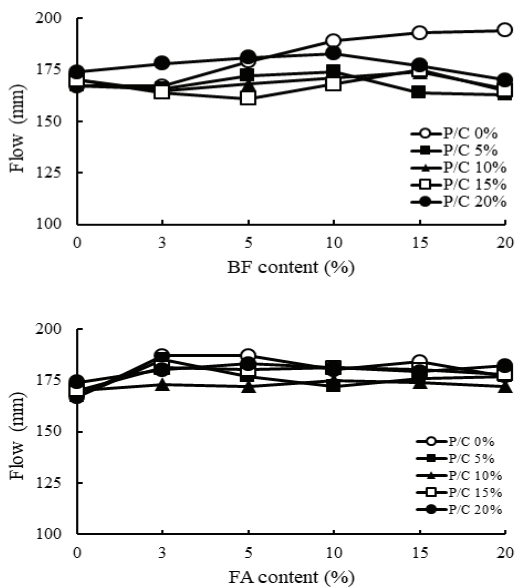


Fig. 5 Flow of PCM by admixtures

있다. 보통시멘트 모르타르의 W/C가 70%로 다소 높게 나타난 반면, PCM의 경우, W/C가 41.5%-45.0% 범위로 나타났으며, P/C의 증가에 따라 약간의 감소현상을 보였다. 보통시멘트 모르타르에 비해 PCM의 W/C 저감율은 35.7%-40.7%로 크게 나타났는데 이렇게 낮은 물시멘트에 의해 PCM은 블리딩 및 건조수축 등 물리적 현상에 대해 저항성이 큰 것으로 알려져 있다(Ohama, 1995).

Fig. 4는 PCM 및 보통시멘트 모르타르의 고로슬래그 및 플라이애쉬의 혼입에 따른 공기량의 변화를 나타내고 있다. PCM의 경우, 고분자의 혼입에 따른 공기량이 대폭 증가하기 때문에 시멘트와 혼화전 폴리머 디스퍼션에 실리콘계 소포제를 혼입한다. PCM의 경우, 소포제를 혼입함에도 보통시멘트 모르타르 공기량 7.3% 보다 큰 공기량을 나타냈으며, 보통시멘트의 경우에는 혼화제를 혼입함에 따라 약간 증가하는 경향을 보였다. 또한 PCM의 경우, 혼화제 혼입을 10%에 대한 공기량을 측정하였는데, 혼화제의 혼입에 따라 고로슬래그의 경우에는 거의 변화가 없었으나, 플라이애쉬를 혼입한 경우에는 약간 증가하는 경향을 보였다.

Fig. 5는 혼화제를 혼입한 PCM 및 보통시멘트 모르타르의 플로우를 나타내고 있다. 보통시멘트 모르타르의 경우 고로슬래그를 혼입함에 따라 167mm의 플로우가 점점 증가되어 최대 194mm(고로슬래그 혼입을 20%)를 나타냈으며, 플라이애쉬를 혼입한 경우에도 고로슬래그에 비해 증가는 적었지만 최대 187mm를 나타내 혼화제의 혼입에 따른 유동성은 개선되었다. 그러나 PCM의 경우 플라이 애쉬를 혼입한 경우가 고로슬래그를 혼입한 경우에 비해 약간 플로우가 개선되었지만 보통시멘트 모르타르에 비해서 플로우 개선의 정도가 작은 이유는 EVA 제조시 시멘트와 혼화가 잘 되도록 계면활성제를 혼입하는데, 이는 시멘트 이외의 혼화제에 대해서는 효과가 작기 때문으로 볼 수 있다.

Fig. 6은 혼화제를 혼입하지 않은 PCM의 압축강도를 나타내고 있다. P/C 0%인 보통시멘트 모르타르의 압축강도는 26.5 MPa인 반면, PCM의 압축강도는 31.0 - 37.3 MPa 범위로 보통시멘트 모르타르에 비해 1.17 - 1.41배 크게 나타났다. 이는 PCM의 경우 탄성계수가 1/10 정도인 고분자의 혼입에 따라 압축강도가 작아질 수 있으나 같은 유동성을 위한 물시멘트비가 전술한 바와 같이 크게 감소되어 압축강도의 상승효과를 유도한 결과로 볼 수 있다.

Fig. 7은 PCM 및 보통시멘트 모르타르의 혼화제의 혼입율의 변화에 따른 압축강도를, Fig. 8은 혼화제를 혼입하지 않은 PCM의 압축강도 대비 혼화제를 혼입한 PCM 각각의 압축강도비를 나타내고 있다. 보통시멘트 모르타르의 혼화제를 혼입하지 않은 경우, 압축강도 26.5 MPa에 비해 고로슬래그 혼입율의 변화에 따라서는 혼입율 20%까지 약간 증가하나,

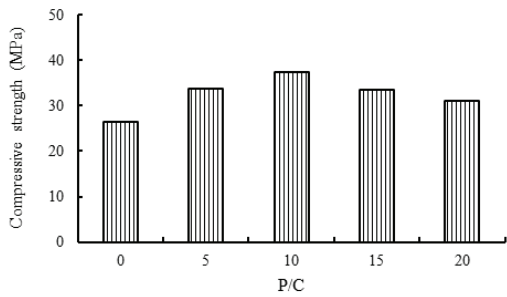


Fig. 6 Compressive strength of PCM without admixtures

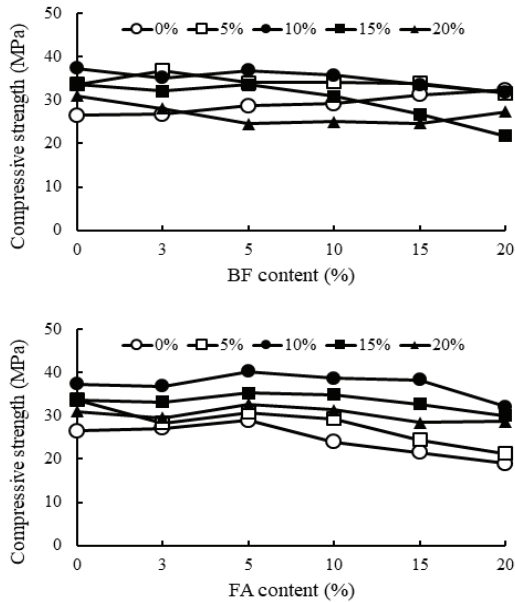


Fig. 7 Compressive strength of PCM by admixtures

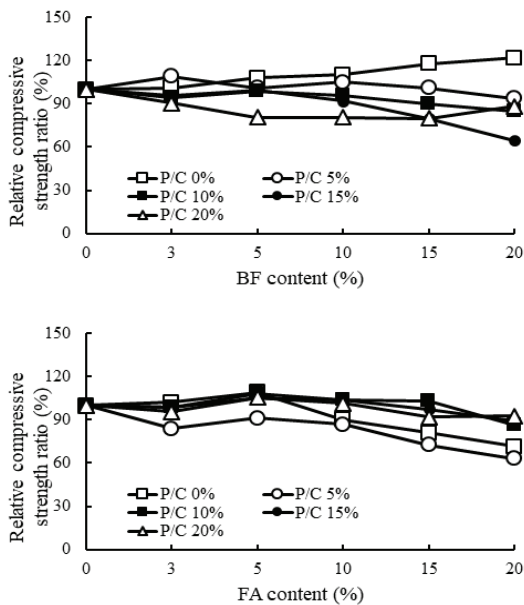


Fig. 8 Relative compressive strength of PCM

플라이애쉬를 혼입한 경우에는 혼입율 5%에서 최대강도 28.9MPa를 나타내고 점점 작아지는 경향을 보였다. 혼화재의 혼입율의 변화에 따른 PCM의 압축강도 개선효과는 P/C 5%에서 혼입율 3%에서 15%까지 최대 9% 정도 높게 나타났으나, 플라이애쉬를 혼입한 경우에는 모든 혼입율에서 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 압축강도의 63.2% - 91.1%의 범위를 나타냈다. P/C 10%에서 P/C 20%의 PCM 압축강도는 모든 혼화재의 혼입율에서 플라이애쉬를 혼입한 경우가 고로슬래그를 혼입한 경우에 비해 높은 압축강도를 나타냈으며, 전반적으로 혼화재의 혼입율 5%에서 최대 강도를 나타내고 있다. PCM은 3차원의 폴리머 필름으로 시멘트 수화물 공극을 채워줌과 동시에 수화물의 표면을 둘러싸아 역학적이며 내구적인 조직형성에 도움이 될 수 있다. 고로슬래그 및 플라이애쉬를 혼입함으로써 두 재료의 포졸란반응에 따른 장기강도의 개선, 고분자의 혼입으로 공기량 증가에 따른 강도저하, 물시멘트비의 감소에 따른 강도개선 등의 복합적인 작용에 의해 궁극적으로 고로슬래그 및 플라이애쉬를 10% 이하로 첨가할 경우 약간 강도의 개선을 도모할 수 있었다. 물론 PCM은 기본적으로 압축강도를 개선시키고자 하는 것이 목적이 아니라 폴리머 필름에 의한 휨강도, 접착강도, 방수성, 내약품성, 동결융해저항성 등 물리적 및 내구성 개선을 위함이다(Ohama, 1995).

Fig. 9는 혼화재를 혼입하지 않은 PCM 및 보통시멘트 모르타르의 휨강도를, Fig. 10은 혼화재의 혼입율에 따른 PCM의 휨강도를, 그리고 Fig. 11은 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 휨강도 대비 혼화재를 혼입한 각각 PCM의 휨강도비를 나타내고 있다. 본 연구에서 휨시험에 의한 접착강도를 평가하기 위하여 절단되지 않은 순수 휨강도를 먼저 파악하고자 하였다. 본 연구결과, 혼화재를 혼입하지 않은 보통시멘트 모르타르의 휨강도는 4.24 MPa를 나타냈으며, 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 휨강도는 4.91MPa-8.25MPa 범위로 보통시멘트 모르타르 보다 최대 약 1.95배의 높은 휨강도를 나타냈다. 또한 혼화재를 혼입한 경우, 고로슬래그를 혼입한 PCM의 최대 휨강도는 P/C 15%, 고로슬래그 혼입율 5%에서 9.5 MPa의 휨강도를 나타내, 이는 고로슬래그 혼입율 0%의 7.73 MPa에 비해 1.23배, 보통시멘트 모르타르 4.24 MPa에 비해 2.24배 높은 강도이다. 또한 혼화재의 혼입율에 따른 PCM의 휨강도는 일부 모르타르를 제외하고 혼화재의 혼입율 5% 또는 10%에서 최대 휨강도를 나타내는 경향을 보였으나, 고로슬래그를 혼입한 경우, P/C 10%에서 64.2%-93.1%의 상대 휨강도를, P/C 20%에서 70.3%-93.3%의 상대 휨강도를 나타내 휨강도의 개선이 나타나지 않았다. 그러나 플라이애쉬를 혼입한 PCM의 휨강도는 일부를 제외하고 거의 모든 혼입율에서 혼화재를 혼입하지 않은 PCM에 비해 휨강도가 높게 나타났으며, 상대 휨강도비는 P/C 15%, 플라이애쉬 혼입율 15%에서 130.7%의 최대 상

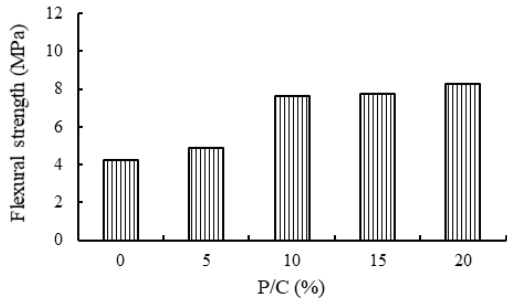


Fig.9 Flexural strength of PCM without admixtures

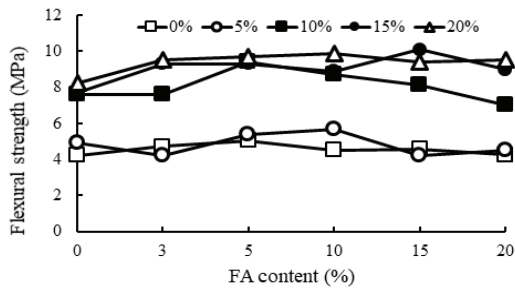
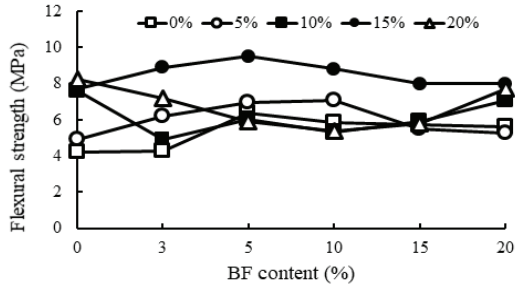


Fig. 10 Flexural strength of PCM by admixtures

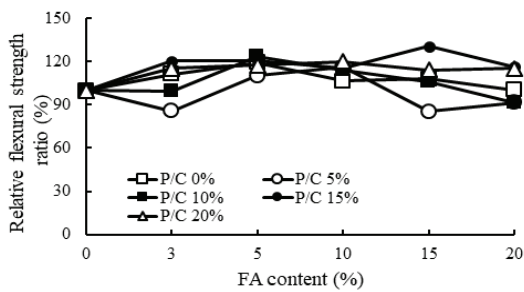
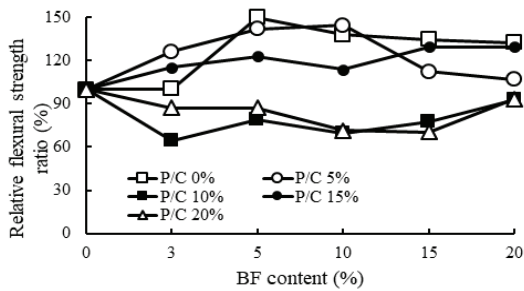
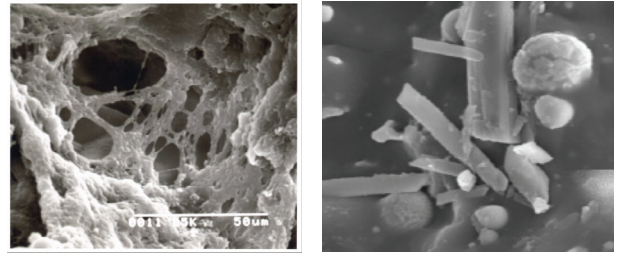


Fig. 11 Relative flexural strength of PCM



Polymer film(P/C 20%)

Fly ash in PCM

Fig. 12 Polymer film and fly ash in PCM ($\times 1,000$)(Jo, 2008)

대 휨강도를 나타내고 있다. 또한 혼화제의 종류에 따라서는 PCM의 휨강도는 P/C 5%에서는 고로슬래그를 혼입한 경우가 높게 나타났으나, 그 외의 P/C 10%, P/C 15% 및 P/C 20%에서 플라이애쉬를 혼입한 경우가 높은 휨강도를 나타냈다. 이러한 휨강도 개선은 Fig. 12와 같은 PCM 내부에 형성된 3차원의 폴리머 필름의 인성증가에 의한 강도 개선효과와 고로슬래그 및 플라이애쉬의 혼입에 따라 시멘트 모르타르 조직이 더욱더 밀실하게 된 결과라 볼 수 있다.

Fig. 13은 혼화제를 혼입하지 않은 PCM 및 보통시멘트 모르타르의 휨접착강도를, Fig. 14는 혼화제의 혼입율에 따른 PCM의 휨접착강도를, 그리고 Fig. 15는 혼화제를 혼입하지 않은 PCM의 휨접착강도에 대한 혼화제를 혼입한 각각 PCM의 휨접착 상대강도비를 나타내고 있다. 혼화제를 혼입하지 않은 PCM의 휨접착강도는 P/C 10% 이상에서 크게 강도가 개선되었는데 보통시멘트 모르타르(P/C 0%) 휨접착강도 3.05MPa에 비해 1.16-1.95배의 높은 휨접착강도를 나타냈다. 이 결과에서 RC 구조물의 보수재료로서 PCM의 사용가능성을 확인할 수 있었다. PCM의 휨접착강도는 거의 모든 배합조건에서 혼화제의 혼입율을 증가에 따라 휨접착강도는 약간 저하하는 경향을 보였다. 따라서 PCM의 휨접착강도의 개선에는 고로슬래그 및 플라이애쉬의 혼입에 따른 개선효과는 거의 없으므로 나타났으나 모든 배합에서 보통시멘트 모르타르에 비하면 큰 휨접착강도를 나타냈다. 전반적으로 휨접착강도 시험 후, 파괴성상은 파괴면이 피착체와 접착체의 접착면과 일치하였으며 PCM 종류에 따라 약간의 차이가 있으나 대부분 접착면에서 접착체인 PCM 부분의 일부 모르타르가 피착체에 남아 있는 응집파괴와 접착체와 피착체 경계면에서의 파괴성상이 복합적으로 나타났다.

Fig. 16은 PCM의 휨접착강도와 휨강도의 상대강도비를 나타내고 있는데, 이를 휨 부재에 대한 보수후 강도회복율로 표현할 수 있다. 고로슬래그를 혼입한 PCM의 경우 상대 강도비가 고로슬래그 혼입율 0%에서 67.3%-96.3%, 5%에서, 38.3-67.6%, 10%에서 40.3-66.3% 범위였으며, 최대 상대강도비는 P/C 20%, 고로슬래그 5%에서 67.6% 정도였다. 또한 플라이애쉬를 혼입한 경우, PCM의 상대 휨접착강도비는 P/C 5%, 플라

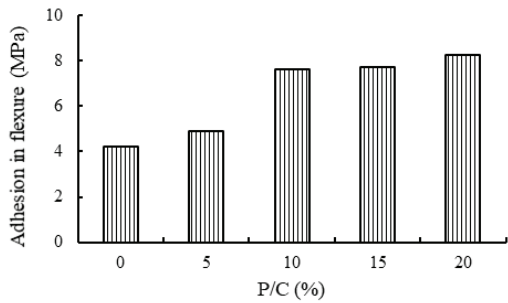


Fig.13 Adhesion in flexure of PCM without admixtures

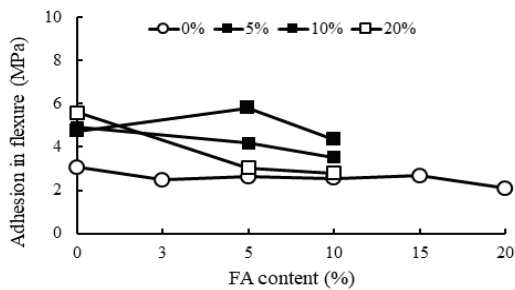
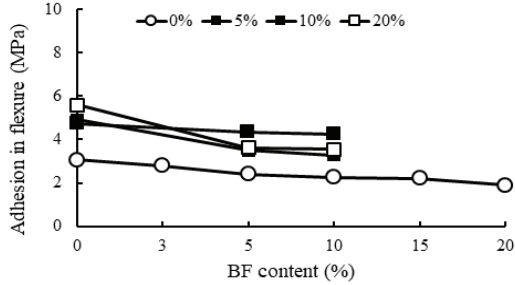


Fig.14 Adhesion in flexure of PCM by admixtures

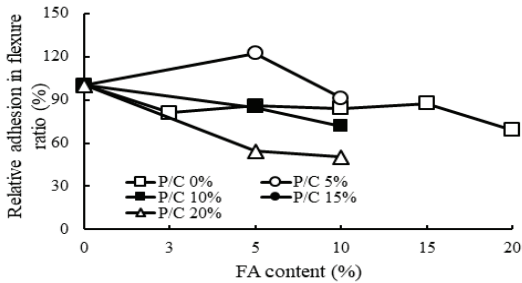
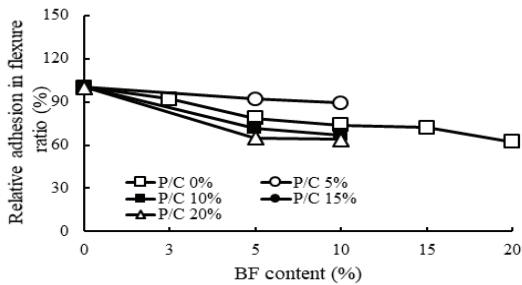


Fig.15 Relative adhesion in flexure of PCM

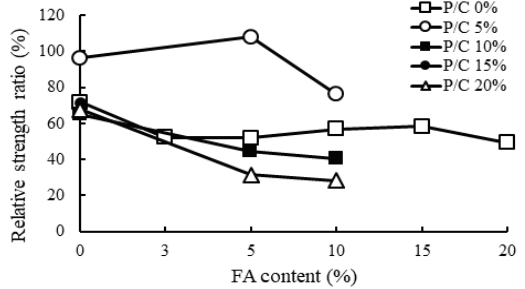
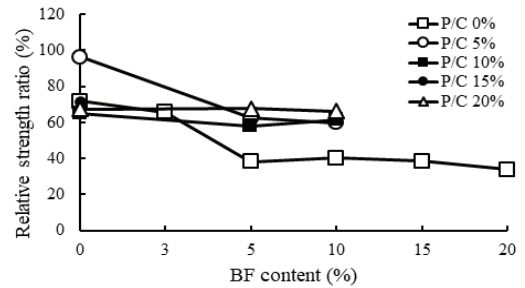


Fig.16 Relative adhesion in flexure to flexural strength of PCM

이애쉬 혼입을 5%에서의 상대 휨접착강도비 108%를 제외하면, 거의 모든 배합에서 28.3%~76.2% 범위로 휨강도 대비 낮은 강도를 나타냈으나, 이 모든 PCM의 휨접착강도는 보통시멘트 모르타르의 휨접착강도 3.05 MPa보다는 큰 강도이다.

4. 결론

본 연구는 PCM에 고로슬래그 및 플라이애쉬를 혼입하여 RC 구조물의 보수재료로서의 기초적인 강도를 실험하여 평가하고자 하였으며, 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 보통시멘트 모르타르의 목표 플로우값 170 ± 5 mm를 위해서는 W/C가 70%로 나타난 반면, PCM의 경우, 41.5%~45.0% 범위로 나타났으며, PCM의 W/C 저감율은 35.7%~40.7%로 크게 나타났다.
- 2) PCM의 압축강도는 모든 혼화재의 혼입율에서 플라이애쉬를 혼입한 경우가 고로슬래그를 혼입한 경우에 비해 높은 압축강도를 나타냈으며, 전반적으로 혼화재의 혼입율 5%에서 최대 강도를 나타냈다.
- 3) 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 휨강도는 4.91MPa~8.25MPa 범위로 보통시멘트 모르타르 보다 최대 약 1.95배의 높은 휨강도를 나타냈다.
- 4) 고로슬래그를 혼입한 PCM의 최대 휨강도는 P/C 5%, 혼입율 10%에서 7.1MPa로 이는 혼화재를 혼입하지 않은 휨강도의 4.91 MPa에 비해 1.45배, 보통시멘트 모르타르

- 4.24 MPa에 비해 1.68배 높은 강도를 나타냈다.
- 5) 혼화재를 혼입하지 않은 PCM의 휨접착강도는 P/C의 증가에 따라 크게 나타났는데 보통시멘트 모르타르의 3.05MPa에 비해 1.16-1.95배 높게 나타났다.
 - 6) 휨강도에 대한 휨접착강도의 상대강도비는 고로슬래그를 혼입한 PCM의 경우, P/C 20%, 혼입율 5%에서 최대값 67.6% 정도였으며, 플라이애쉬를 혼입한 경우, 28.3%-76.2% 범위의 상대강도비를 나타냈는데 이 모든 PCM의 휨접착강도는 보통시멘트 모르타르의 3.05 MPa 보다 큰 강도이다.
 - 7) 본 연구결과, PCM에 고로슬래그 및 플라이애쉬를 혼입함에 따라 휨강도, 압축강도, 휨접착강도 순으로 효과를 발휘하였으며, 혼화제의 적정 혼입율은 5%-10% 범위가 유효한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2019년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. Ohama, Y. (1978), Development of concrete-polymer materials in Japan, *Proceedings of the Second International Congress, on Polymer in Concrete*, The University of Texas at Austin, Austin, USA, 121-137.
2. Murata, J., and Kobayashi, K. (1967), Water-resistance and ant-corrosive treatments of concrete with resin impregnation, *Cement and Concrete*, 250, 17-22.
3. Ohama, Y. (1998), Use of polymers for improvements in durability of reinforced concrete structures and their repairing works, *Journal of Adhesion Society Japan*, 24(8), 313-322.

4. Piotrowski, T., Prochon, P., and Capuana, A. (2018), Mechanical properties of polymer cement-fiber-reinforced concrete (PC-FRC): comparison based on experimental studies, *Proceedings of the 16th International Congress on Polymers in Concrete*, Washington DC, USA, 227-234.
5. Ohama Y. (1995), *Handbook of polymer-modified concrete and mortars, Properties and Process Technology*, Noyes Publications, New Jersey, USA, 11-16, 45-148.
6. Jo, Y.K. (2009), Adhesion in tension of cement mortar to cement concrete substrates coated with polymer cement slurry, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 25(6), 123-130.
7. Sawaide, M. (1990), Improved construction joint work of early-age concrete by polymer-emulsion treatments, *Proceedings of the 6th International Congress on Polymers in Concrete*, Shanghai, China, 562-568.
8. Heede, V.D. (2017), Screening of different encapsulated polymer-based healing agent for chloride exposed self-healing concrete using chloride migration tests, *Proceedings of International conference on non-traditional cement and concrete*, Brno, 1-7.
9. Kim, M.J., Shin, G.O., Joo, N.C., Lee, G.J., and Jeong, J.P. (2016), Vibration properties of concrete overlays using RS-LMC, *Journal of the Korea concrete Institute*, 28(5), 571-579.
10. Choi, K.K. (2010), Numerical investigation on cracking of bridge deck slabs with latex modified concrete overlays, 22(1), 77-84.
11. Yoon, Y.S., Cho, S.J., and Kwon, S.J. (2019), 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*, 23(2), 1-9.
12. Garbacz, A., and Sokolowska, J.J. (2012), Concrete-like polymer composites with fly ashes-Comparative study, *Construction Building Materials*, 38, 689-699.
13. Jo, Y.K. (2008), basic properties of hybrid-tyoe polymer cement slurry for the anti-corrosion of steel, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 24(9), 89-96.
14. KS F 2476, Standard test method for polymer-modified cement mortar, Korean Agency for Technology and Standards, 2017.

Received : 07/22/2019

Revised : 08/06/2019

Accepted : 08/20/2019

요 지 : 이산화탄소 농도가 높은 도심지의 경우 탄산화로 인한 철근부식이 발생하기 쉬우며 이는 콘크리트 구조물의 내구수명을 감소시킨다. 콘크리트 구조물의 경우 다양한 구속조건을 가지며 항상 외부의 재하하중을 받고 있다. 도입된 응력수준은 이산화탄소와 같은 유해인자의 확산을 변화시키며 탄산화 깊이의 변동성을 야기한다. 본 연구에서는 응력재하수준에 따른 탄산화 변동성을 정량화하였으며, 이를 이용하여 탄산화 예측식을 도출하였다. 내구성 설계인자인 피복두께, 이산화탄소 확산계수, 탄산화 반응 수화물, 그리고 외부 이산화탄소 농도를 확률 변수로 정의하였으며, MCS을 통하여 영향인자의 변동성에 따른 내구수명을 도출하였다. 또한 응력수준에 따라 변화하는 내구수명을 도출하였으며, 이를 결정론적인 방법의 결과와 비교하였다. 피복두께 및 내부 수화물 생성이 내구수명 변동성에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 응력수준을 고려한 내구수명평가는 유지관리 우선순위 설정에 합리적으로 적용할 수 있다.

핵심용어 : 탄산화, 내구수명, 확률론적 방법, 설계인자