

Properties of Polymer Cementitious Matrix for Strengthening Structures Damaged by Natural Disasters

Kwang Kyun Moon[#], Ki-Nam Hong⁺, Sugyu Lee

School of Civil Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

Abstract

In this study, mechanical properties of a polymer cementitious matrix (PCM) on fly ash, shrinkage reducing agent, and EVA polymer were evaluated and its optimum mixing level was determined to strengthen structures damaged by natural disasters. A total of 19 PCM mixtures were divided into the series I and II to evaluate the effects of fly ash, shrinkage reducing agent, and the amount of EVA polymer, respectively. Results showed that the PCM containing fly ash and shrinkage reducing agent together satisfied the required flow, setting time, compressive strength, and dry shrinkage. However, the bonding strength of 1.0 MPa did not satisfy the requirement. The bonding strength was thus improved by increasing the amount of EVA polymer in series II by 2-8%, resulting in 0.81-1.65 MPa. Therefore, it is found that a mix of 10% of fly ash, 1% of shrinkage reducing agent, and 4% of EVA polymer was determined as the optimum mixing level of the PCM.

Key words: natural disasters, polymer cementitious matrix, fly ash, shrinkage reducing agent, EVA, polymer

1. 서론

국내·외 토목 및 건축 구조물은 대부분 철근콘크리트 구조물로 설계 및 시공되어 왔으며, 현재까지도 가장 경제적이고, 안정적인 재료로 사용되고 있다. 이러한, 철근콘크리트 구조물은 27MPa의 일반적인 조건으로 설계하여도 약 65년 이상 성능을 유지할 수 있는 반영구적인 수명을 장점으로 가지고 있으며, 콘크리트 및 철근의 역학 성능이 향상될수록 구조물의 사용수명은

점점 증가된다.

하지만, 이러한 반영구적이고 경제적인 철근콘크리트 구조물도 최근 국내에서 경주지진이나 포항지진과 같은 자연재해로 인해 많은 피해를 받고 있다. 손상된 콘크리트 구조물은 환경 문제나 비용 문제로 인해 재건설 보다는 보수·보강하는 것에 초점이 맞추어지고 있는 실정이다.

최근 내력이 저하된 구조물을 보수·보강하기 위해 가장 많이 사용되고 있는 재료는 에폭시(Epoxy)이다.

[#] The 1st author: Kwang Kyun Moon, Tel. +82-43-261-2378, Fax. +82-43-261-2377, e-mail. moon8607@nate.com

^{*} Co-author: Sugyu Lee, Tel. +82-43-261-2378, Fax. +82-43-261-2377, e-mail. sugyulee@chungbuk.ac.kr

⁺ Corresponding author: Ki-Nam Hong, Tel. +82-43-261-2378, Fax. +82-43-261-2377, e-mail. hong@chungbuk.ac.kr

에폭시는 균열 틈을 보수하기 위해 주입식 공법으로 사용되거나, 구조물에 내력을 증대시키기 위한 보강공법인 FRP보강공법의 부착재료로 사용되고 있다(Hong, et. al., 2003; Hong, et. al., 2008; Ju, et. al., 2016). 에폭시의 대표적인 장점으로는 빠른 경화 특성과 높은 부착 특성, 빠른 시공성이 있다. 그러나 에폭시는 주재와 경화제를 혼용하여 사용해야 하고, 혼용량에 따라 경화 및 부착특성의 차이가 크게 발생된다. 또한, 낮은 온도와 습윤환경 조건에서 사용이 어려우며, 낮은 유리전이온도로 인해 내화성능도 상당히 낮다. 그리고 콘크리트 모체와 에폭시는 서로 신장율과 열팽창계수의 차이가 크기 때문에 극한하중이나 응력 집중 시 콘크리트 계면이나 단부에서 에폭시가 박리되는 현상이 발생한다(Gonzalez-Libreros, et. al., 2017; Jung, et. al., 2016).

이러한 에폭시가 가진 보강용 재료로서 단점을 보완하기 위해 최근에는 구조물 보강용 재료로 시멘트계 매트릭스를 제조하여 FRCM(Fabric Reinforced Cementitious Matrix)공법 등으로 사용되고 있다(Jun, et. al., 2016; Ko, 2015). 구조물 보강용 시멘트계 매트릭스에 사용되는 혼합재료에는 플라이애쉬, 고로슬래그, 라텍스, Ethylene Vinyl Acetate (EVA) 등이 있다(Hwang, et. al., 1994; Hong, et. al., 2006). 주요 평가항목으로는 응결시간, 부착강도, 길이변화, 압축강도 등이 있다(Medeiros, et. al., 2009; Song, et. al., 2007). 이러한 성능 확보를 위해 여러 가지 혼화재를 이용한 구조물 보강용 시멘트계 매트릭스에 관한 연구가 이루어지고 있지만, 단일 특성에 대한 평가를 하는 연구가 주를 이루고 있고, 다양한 특성을 복합적으로 평가하고, 최적 배합비를 도출하는 연구 등은 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 플라이애쉬, 수축저감제, EVA 폴리머와 같은 다양한 혼화재를 사용하고, 첨가량

에 따른 구조물 보강용 폴리머 시멘트계 매트릭스의 재료적 특성들을 복합적으로 평가하였으며, 실험결과를 토대로 보강용 폴리머 시멘트계 매트릭스의 최적배합비를 도출하였다.

II. 실험 계획 및 방법

1. 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 국내 S사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트이며, 밀도와 분말도는 각각 3.15g/cm^3 , $3,520\text{cm}^2/\text{g}$ 이다. 플라이애쉬(Fly ash, FA)는 국내에서 생산된 F등급을 사용하였으며, 밀도 및 분말도는 각각 2.15g/cm^3 , $4,520\text{cm}^2/\text{g}$ 이다. 시멘트와 플라이애쉬의 화학적 조성은 <Table 1>에 나타내었다. 잔골재는 국내 N사의 실리카샌드를 사용하였으며, 3호사(1.70~2.36mm, 10%), 5호사(0.42~0.85 mm, 27%), 6호사(0.22~0.42mm, 63%)를 혼합하여 사용하였다. 실리카샌드의 밀도 및 흡수율은 각각 2.60g/cm^3 , 0.6%를 나타내었으며, 화학적 조성은 <Table 1>에 정리하였다. 감수제는 나프탈렌계 분말타입을 사용하였으며, 수축저감제(Shrinkage reducing agent, SR)는 글리콜에테르계를 사용하였

Table 1. Chemical properties of raw material

	OPC(%)	Fly ash(%)		Silica sand(%)
SiO ₂	21.74	58.62	SiO ₂	96.9
Al ₂ O ₃	5.00	23.74	CaO	0.11
Fe ₂ O ₃	3.17	7.43	Fe ₂ O ₃	0.34
CaO	62.79	3.27	MgO	0.03
MgO	2.97	0.84	Al ₂ O ₃	1.44
SO ₃	1.67	0.53		
loss on ignition	1.47	3.21		

※ Source: Type I ordinary portland cement of S-manufacturer in Korea

Table 2. Physical properties of chemical admixtures

	Water reducing agents	Shrinkage reducing agent	Polymer
Ingredient	Naphthalene	Glycol ether	Ethylene vinyl acetate
Type	Broun powder	White liquid	White powder
Density	$0.70 \pm 0.05(\text{g/cm}^3)$	$0.95 \pm 0.1(\text{g/cm}^3)$	$0.60 \pm 0.1(\text{g/cm}^3)$

※ Source: Silca sand of N-manufacturer in Korea

다. 그리고 폴리머는 EVA 분말을 사용하였다. 감수제, 수축저감제, 폴리머의 물리적 특성은 <Table 2>에 나타내었다.

2. 배합방법

폴리머 시멘트계 매트릭스의 배합은 <Table 3>에 나타내었으며, 총 19개의 배합을 변수로 설정하였다. 폴리머 시멘트계 매트릭스의 최적배합을 선정하기 위해 플라이애쉬 혼입률과 수축저감제 첨가량 그리고 EVA 첨가량을 변수로 유동성 및 응결 특성, 압축강도 실험, 건조수축 실험, 부착강도 실험을 실시하였으며, 목표 성능에 대한 만족 여부에 따라 최적배합을 산정하였다. 사용재료의 사용량 선정은 플라이애쉬 혼입률을 5~30%으로 선정하였다(Hong, *et. al.*, 2006; Oh, *et. al.*, 1991). 수축저감제 첨가량은 제조사의 권장 사용량인 2%이내로 설정하였다. 그리고 부착성능을 향상시키기 위해 EVA 폴리머를 2~8%까지 첨가하였다.

시멘트계 매트릭스 제조는 KS F 2476에 명시된 모르타르 믹서로 배합하였다. 배합순서는 먼저 물과 수축저감제를 제외한 분말타입의 재료인 시멘트, 플라이애쉬, 감수제, 실리카샌드를 믹서에 투입하여 30초 동안 건비빔을 실시하였으며, 이 후 배합수와 수축저감제를 투입하여 1분 30초 동안 비빔을 실시하였다.

본 연구의 목표 성능은 현재 스위스에서 다수의 현장에 적용되어 그 성능이 검증된 S사의 시멘트계 매트릭스를 참고하여 설정하였다. 물-결합재비는 13%로 설정하였으며, 유동특성은 160±10mm로 설정하였다. 응결 특성은 상온보다 온도가 낮을수록 보강 효과가 감소하는 모르타르의 특성을 보수적으로 반영한 시멘트계 매트릭스의 타설온도(5℃)를 고려하여 플라이애쉬 사용 시 초결이 10시간 이내 종결이 20시간 이내로 설정하였다(Paik, *et. al.*, 2002). 압축강도는 35MPa이상으로 설정하였으며, 건조수축은 -0.04% 이내, 부착강도는 1.0MPa 이상으로 각각 설정하였다.

Table 3. Mixing design

Series	Specimen	W (total×%)	Binder		S (B×%)	AD1* (B×%)	AD2** (B×%)	AD3*** (B×%)
			C (B×%)	FA (B×%)				
I	F5SR0	13	95	5	200	0.40	1.0	0
	F5SR1							
	F5SR2							
	F7SR0		93	7	200			
	F7SR1							
	F7SR2							
	F10SR0		90	10	200			
	F10SR1							
	F10SR2							
	F20SR0		80	20	200			
	F20SR1							
	F20SR2							
	F30SR0		70	30	200			
	F30SR1							
F30SR2								
II	F10SR1E2	13	90	10	200	0.40	1.0	2.0
	F10SR1E4							4.0
	F10SR1E6							6.0
	F10SR1E8							8.0

※ Source : *Super plasticizer, **Shrinkage Reducing Agent, ***EVA Polymer powder

3. 실험 및 평가방법

폴리머 시멘트계 매트릭스의 유동성 평가는 KS F 2476에 의거하여 실험을 실시하였으며, 측정값은 최대 직경과 직교하는 직경의 평균값을 사용하였다.

응결실험은 KS F 2436기준에 따라 실험을 실시하였으며, $\phi 150 \times 150$ mm몰드에 실험체를 타설하고 온도 $20 \pm 5^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$ 의 항온항습실에서 실험체를 보관한 뒤 1시간 간격으로 데이터를 측정하였다. 이 후 측정된 데이터를 사용하여 선형 회귀분석을 실시하였으며, 초결 및 종결 값을 결정하였다.

압축강도 실험은 KS L 5105를 기준하여 $50 \times 50 \times 50$ mm 실험체를 타설하였으며, 기건 양생을 위해 온도 $20 \pm 5^\circ\text{C}$, 습도 $60 \pm 5\%$ 항온항습실에 실험체를 보관하였다. 그리고 재령 7일, 28일에 200t용량의 UTM을 사용하여 압축강도를 측정하였다. 측정값은 각 실험변수 별 3개씩 측정한 후 평균값을 사용하였다.

건조수축 길이변화율은 KS F 2424의 콘택트-변형률계지를 사용하여 실험을 실시하였으며, 측정은 $160 \times 40 \times 40$ mm몰드를 사용하였다. 모르타르 경화 후 100mm간격으로 볼계지를 부착하여, 측정 1주에는 1일에 한 번씩 측정하였으며, 측정 1주 후부터 91일까지는 1주에 한 번씩 측정하였다.

부착강도 실험은 KS F 2762에 따라 실험을 실시하였으며, 50 ± 5 MPa의 콘크리트 모체판을 사용하여 부착강도 실험체를 제작하였다. 이 후 코어 천공기를 사용하여 실험체 당 5개씩 천공한 후 부착강도를 측정하였다. 측정값은 변수 별 5개의 평균값을 사용하여 각각 산출하였다.

폴리머 시멘트계 매트릭스에 대한 최적배합 산정의 경우 Series I에서는 플라이애쉬 혼입량 및 수축저감제 첨가량에 따른 유동성 및 응결특성, 역학 특성을 평가하여, 목표성능에 충족하는지 여부를 확인하였다. Series II에서는 Series I에서 충족하지 못한 부착성능을 보완하기 위해 EVA분말을 첨가하였으며(AI-Salloum, *et. al.*, 2012), Series I과 동일한 실험을 실시하여 EVA 폴리머를 첨가량에 따른 영향을 비교·분석하였다. 마지막으로 각각의 실험결과를 통해 폴리머 시멘트계 매트릭스의 최적배합비를 도출하였다.

III. 실험결과 및 분석

1. Series I에 대한 실험결과

1) 유동성 실험결과

<Figure 2>에 플라이애쉬 혼입량 및 수축저감제 첨

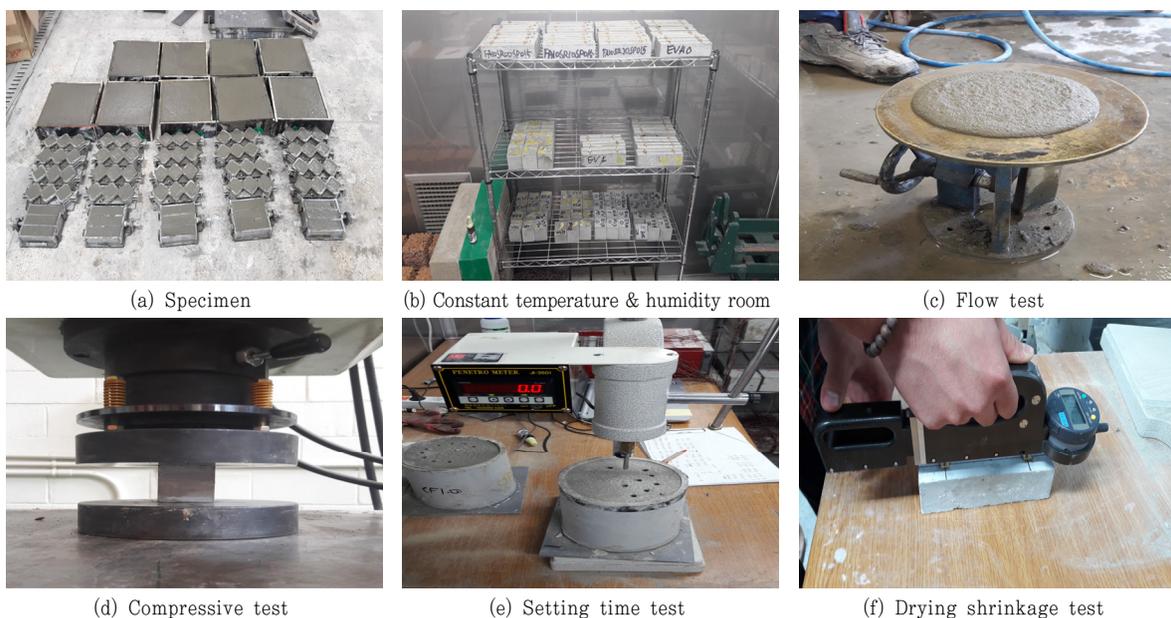


Figure 1. Type of tests and specimens

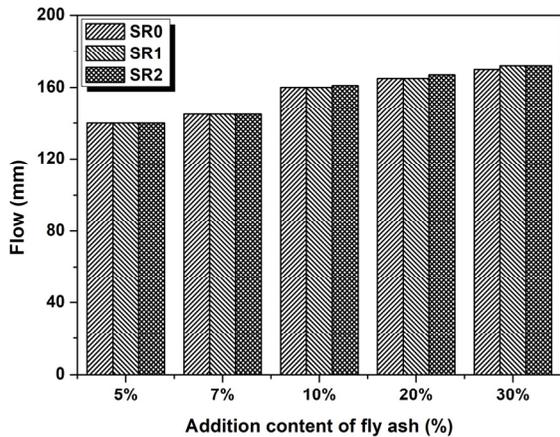


Figure 2. Results of mortar flow

가량에 따른 유동성 실험결과를 나타내었다.

플라이애쉬 혼입률이 5~30%까지 증가할수록 약 5mm 씩 유동성이 증가하는 경향을 나타내었으며, 플라이애쉬 혼입률이 10%이상부터 목표 플로우인 160±10mm 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 이는 수많은 연구 논문에서 나타난 것과 같이 플라이애쉬가 가지는 볼베어링 효과로 인해 나타난 결과로 사료된다(Hong, et. al., 2006; Kim, et. al., 2016).

또한, 플라이애쉬와 수축 저감제를 동시에 첨가한 모르타르의 유동성 실험결과, 전반적으로 수축저감제가 첨가되었을 경우 각 배합마다 유동성이 최대 2mm로 미미하게 증가하는 경향을 보였으며, 대부분 플라이애쉬에 대한 영향이 크게 미치는 것으로 나타났다. 플라이애쉬 혼입률 10~20%에 수축저감제를 첨가하여도 목표

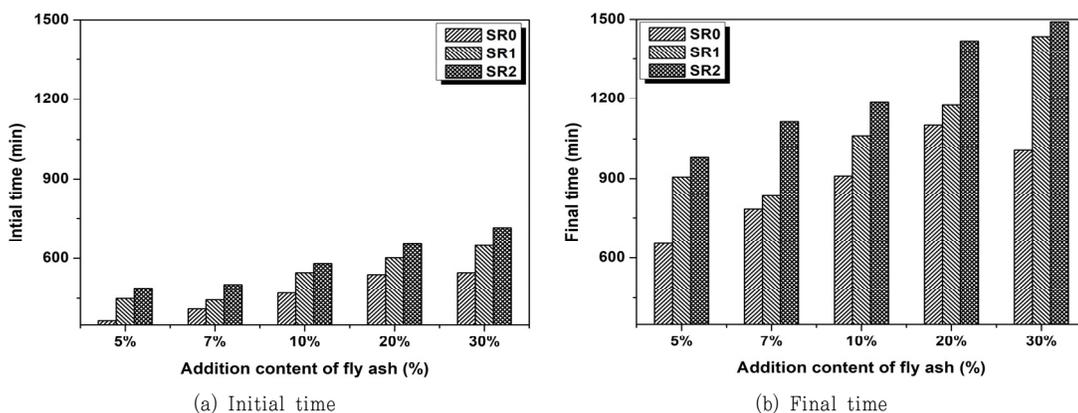
기준을 만족하는 것으로 나타났지만, F30SR1, F30SR2의 경우 목표 기준보다 플로우가 증가된 것을 확인할 수 있었다.

2) 응결 실험결과

〈Figure 3〉에 플라이애쉬 혼입량 및 수축저감제 첨가량에 따른 응결 실험결과를 각각 나타내었다.

플라이애쉬 혼입률이 5%, 7%, 10%, 20%, 30%로 증가할수록 초결은 각각 366분, 410분, 470분, 539분, 546분으로 응결이 지연되는 경향을 나타내었으며, 종결도 653분, 783분, 910분, 1102분, 1007분으로 초결과 마찬가지로 응결이 지연되는 경향을 보였다. 플라이애쉬 함량이 증가할수록 응결이 지연되는 이유는 결합재 내에 플라이애쉬 입자가 미수화하여 수화발현 속도가 지연된 것으로 사료되며, 기존 플라이애쉬를 혼입한 모르타르 연구보다 응결 속도가 지연된 이유는 타설 시 평균온도가 약 5℃ 조건에서 실험을 실시하였기 때문에 응결 시간이 크게 지연된 것으로 판단된다(Al-Salloum, et. al., 2012).

플라이애쉬 및 수축저감제를 동시에 첨가한 실험결과에서는 각각의 플라이애쉬 배합에 수축저감제 첨가량이 1~2%로 증가할수록 플라이애쉬만 첨가하였을 때보다 응결이 더욱 더 지연되는 것을 확인하였다. 각 배합마다 응결 지연 시간은 초결의 경우 1~3시간 이내로 발생하였으며, 종결의 경우 최소 51분에서 8시간 이내



※ Source: Experimental data assessed by authors of this paper

Figure 3. Results of setting time

로 차이가 크게 발생하는 것을 확인하였다. 이 중 플라이애쉬 혼입률이 가장 높은 F30SR2가 가장 높은 지연 시간을 보였으며, 대부분의 결과로부터 응결시간은 플라이애쉬의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

실험결과를 통해 목표 기준인 초결 10시간 이내 종결 20시간 이내 기준을 만족하는 배합은 플라이애쉬 혼입률이 5%, 7%, 10% 인 배합에서 모두 기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 각 배합마다 수축저감제가 첨가된 배합 역시 기준을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

3) 압축강도 실험결과

〈Figure 4〉에 플라이애쉬 혼입량 및 수축저감제 첨가량에 따른 압축강도 실험결과를 나타내었다.

〈Figure 4 (a)〉에 플라이애쉬 첨가량이 증가하였을 때 압축강도 실험결과를 나타내었다. 실험결과 플라이애쉬 혼입률이 5%, 7%, 10% 까지 재령 7일, 28일 모두 유사한 압축강도를 보였으며, 압축강도는 최대 약 44MPa까지 발휘되었다. 그러나 플라이애쉬 혼입률이 20%, 30%까지 증가되었을 경우에는 압축강도가 감소하는 경향을 나타내었다. 특히, 플라이애쉬 혼입률이 30%인 경우 압축강도가 최대 36%까지 감소되는 것으로 나타났다.

실험결과를 통해 플라이애쉬 혼입률은 목표 기준인 35MPa의 기준을 만족하는 혼입량으로 10%가 한계인 것으로 나타났다. 실험결과에서 플라이애쉬 혼입률

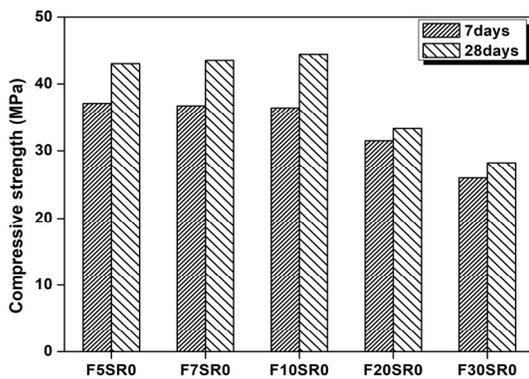
10%전후로 강도 편차가 크게 발생하는 이유는 10%이전의 혼입률은 모르타르의 공극을 채우는 채움재 역할을 하였기 때문에 압축강도가 증가한 것으로 판단되며 (Song, *et. al.*, 2006), 10%초과 이후에는 미수화된 플라이애쉬 입자가 증가함으로써 압축강도가 감소되는 것으로 판단된다.

〈Figure 4 (b)〉에 플라이애쉬 및 수축저감제를 동시에 첨가하였을 때의 압축강도 실험결과를 나타내었다. 실험결과 플라이애쉬 혼입률 5~30%까지 수축저감제가 첨가되었을 경우 압축강도가 감소하는 경향을 보였으며, 혼입률이 증가할수록 강도는 더욱 더 감소되는 경향을 나타내었다. 재령 7일의 압축강도의 감소는 모든 배합에서 약 1~2MPa로 미미하게 나타났지만, 재령 28일에서는 최대 5MPa까지 압축강도가 감소하는 경향을 보였다. 수축저감제가 포함된 배합에서도 플라이애쉬만 첨가된 배합과 마찬가지로 플라이애쉬 혼입률 10%이내, 수축저감제 2%까지는 목표 성능을 만족하는 것으로 나타났다.

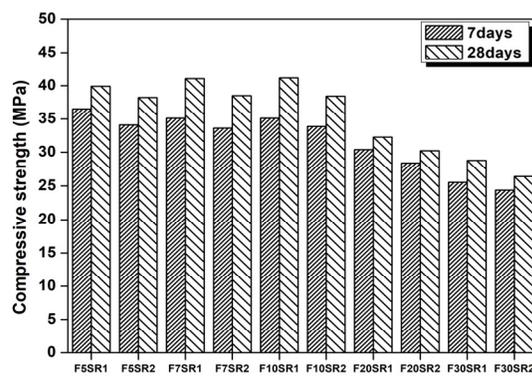
4) 부착강도 실험결과

〈Figure 5〉에 플라이애쉬 혼입량 및 수축저감제 첨가량에 따른 부착강도 실험결과를 나타내었다.

플라이애쉬만 첨가된 부착강도 실험결과 플라이애쉬 혼입률 5~30%까지 0.6~0.78MPa의 부착강도를 나타내었으며, 플라이애쉬 혼입률이 증가할수록 부착강



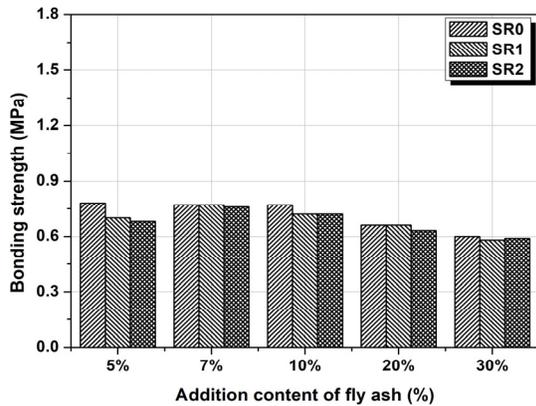
(a) Fly ash



(b) Fly ash and shrinkage reducing agent

※ Source: Experimental data assessed by authors of this paper

Figure 4. Result of compressive strength



※ Source: Experimental data assessed by authors of this paper

Figure 5. Results of bonding strength

도는 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 플라이애쉬와 수축저감제를 동시에 첨가한 경우에도 플라이애쉬만 첨가한 부착강도와 큰 차이를 보이지 않았으며, 강도는 0.59~0.77MPa범위로 목표 기준인 1.0MPa를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

부착강도가 목표 기준을 만족하지 못하는 이유는 플라이애쉬의 입자가 미분말이기 때문에 부착계면에서 미수화된 플라이애쉬 입자로 인해 응력이 작게 발생되어 부착강도가 감소된 것으로 판단된다.

5) 건조수축 실험결과

〈Figure 6〉에 플라이애쉬 혼입량 및 수축저감제 첨가량에 따른 건조수축 결과를 나타내었다.

플라이애쉬만 첨가된 모르타르의 건조수축률을 비교한 결과 플라이애쉬 혼입률이 5~30%까지 각각 -0.014%, -0.094%, -0.071%, -0.048%, -0.045%를 나타내었

으며, 플라이애쉬 혼입률이 증가할수록 건조수축률은 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고 건조수축률의 경향은 재령 28일전까지 급격히 변화하다가 28일 이후부터 91일까지 건조수축률의 변화가 미미하게 발생하는 경향을 보였다.

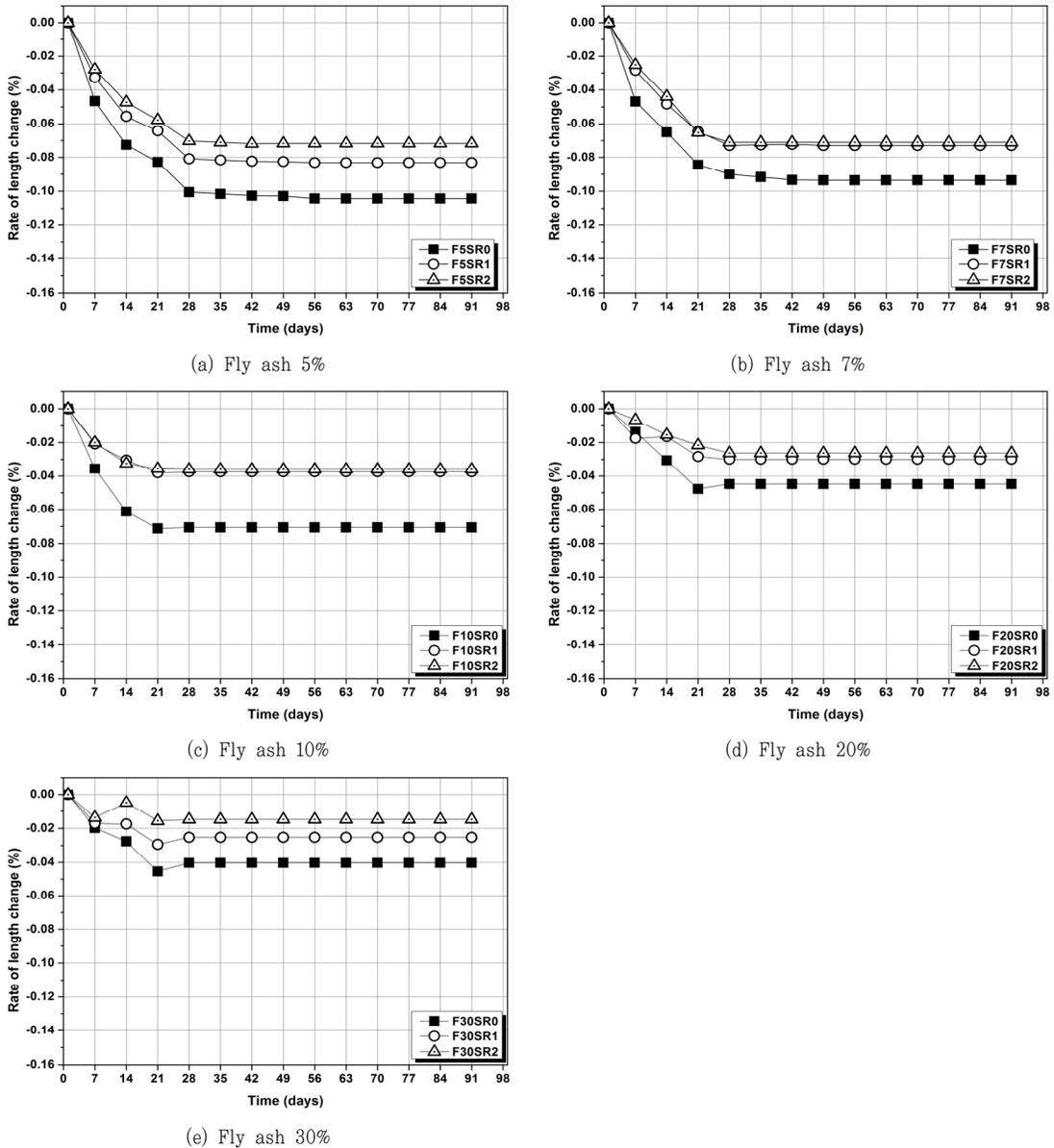
플라이애쉬 및 수축저감제를 동시에 첨가하였을 경우 〈Figure 5〉에 나타난 것과 같이 각 플라이애쉬 배합에 수축저감제 첨가량을 증가시킬 때마다 건조수축률이 감소하는 경향을 보였다. 특히, 플라이애쉬 혼입률 10%에 수축저감제를 1%, 2% 첨가한 배합인 F10SR1, R10SR2에서 건조수축률이 각각 -0.038%, -0.036%로 나타났으며, 목표 기준인 -0.04% 이내를 만족하는 것으로 나타났다. 이후 플라이애쉬 첨가량 20%, 30% 모두 수축저감제가 첨가될수록 수축률이 적게 나타나는 것을 확인하였으며, F30SR2의 경우 건조수축률이 -0.015%로 가장 적은 건조수축률을 보였다.

글리콜계 수축저감제 첨가 시 건조수축을 감소시키는 원인은 간극수의 표면장력을 낮추는 성질 때문인 것으로 보고되고 있다(Koh, *et. al.*, 2006; Park, *et. al.*, 2015). 그래서 수축저감제 첨가 시 플라이애쉬만 혼입된 배합보다 건조수축률이 적게 나타난 것으로 판단된다. 전반적으로 수축저감제가 첨가된 모르타르 건조수축률의 경우 플라이애쉬만 첨가하였을 때보다 재령 28일전 건조수축률에 대한 곡선의 기울기가 완만한 경향을 볼 수 있었으며, 수축저감제 첨가량이 증가할수록 건조수축률은 -0.002 ~ -0.01% 범위내로 대부분의 실험체에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 건조수축률에

Table 4. Result of mechanical properties according to adding EVA

Series	Specimen	Flow (mm)	Setting time		Compressive strength		Shrinkage ratio	Bonding strength
			Initial time (min)	Final time (min)	7 days (MPa)	28 days (MPa)		
II	F10SR1E2	160	392	876	32.0	42.7	-0.034	0.81
	F10SR1E4	162	407	939	26.3	41.9	-0.027	1.32
	F10SR1E6	165	415	985	25.1	41.1	-0.024	1.58
	F10SR1E8	168	457	999	22.1	39.4	-0.020	1.65

※ Source: Experimental data assessed by authors of this paper



※ Source: Experimental data assessed by authors of this paper
 Figure 6. Results of drying shrinkage

대한 실험결과를 살펴보면 플라이애쉬 혼입률은 최소 10%이상 첨가해야하며, 수축저감제는 1%가 적정한 것으로 나타났다.

2. Series II에 대한 실험결과

구조물 보강용 모르타르를 개발하기 위해 Series I에서는 플라이애쉬와 수축저감제를 동시에 첨가하여 목표 성능을 만족하는지 여부를 평가하였다. 실험결과 플라이애쉬 혼입률은 10%, 수축저감제 혼입률은 1%가 최적배합으로 나타났다. 그러나 부착강도 실험에서 기준

인 1.0MPa를 만족하지 못하였기 때문에 부착성능을 향상시키기 위해 EVA 폴리머를 첨가하였으며, 첨가된 폴리머에 대한 플로우, 응결, 압축강도, 건조수축, 부착강도에 대해 역학 특성에 변화 여부를 평가하였다.

Series I 실험결과를 바탕으로 Series II에서는 플라이애쉬 10%에 수축저감제 1%를 고정시킨 후 폴리머를 2~8%까지 첨가했을 때의 영향을 평가하였다.

먼저 유동성 실험결과 EVA 폴리머 함량이 증가할수록 플로우는 증가하는 경향을 나타내었으며, F10SR1E8이 168mm로 가장 크게 나타났다. F10SR1E2~F10SR1E8가

지 플로우 목표 성능인 160 ± 10 mm 기준을 모두 만족하였으며, EVA 폴리머 함량이 증가하였어도 유동성은 목표 기준에 부합하는 것으로 나타났다. EVA 폴리머 첨가 시 유동성이 증가되는 이유는 일반적으로 PAE, EVA, SBR 등과 같은 폴리머를 사용할 경우 연행공기량이 증가하는 것으로 보고되고 있다(Hong, *et. al.*, 2008). 따라서 EVA 폴리머가 첨가된 시멘트계 매트릭스의 경우도 이와 같은 이유로 유동성이 향상된 것으로 판단된다.

응결 특성에서는 F10SR1과 비교하였을 때 EVA 폴리머 함량이 증가할수록 초결 및 종결이 모두 빨라지는 것으로 확인 하였으며, F10SR1 대비 초결은 89~154분, 종결은 63~186분이 빨라지는 것으로 나타났다. EVA 폴리머를 첨가하였을 때 목표 기준인 초결 10시간 이내 종결 20시간 이내 기준을 만족하였다. F10SR1보다 EVA 폴리머 첨가 시 초결 및 종결이 빨라지는 원인은 ACI 548에 따르면, 시멘트 수화 시 폴리머가 공극 사이에 막을 형성하여 정량에 폴리머 사용 시 응결이 촉진되는 것으로 보고되고 있다. 그러나 폴리머 함량이 증가할 경우에는 EVA 폴리머가 수화반응을 저하시켜 응결을 지연시킨다(Koh, *et. al.*, 2006). 실험결과에서도 나타나듯이 EVA 폴리머 첨가량이 증가할수록 지연되는 것을 확인할 수 있었다.

압축강도 실험결과는 EVA 폴리머 함량이 증가할수록 재령 7일과 28일 모두 압축강도가 감소하는 경향을 보였지만, 재령 28일에서 F10SR1E2와 F10SR1E4가 F10SR1E6과 유사한 강도발현을 보였다. EVA 폴리머를 첨가하였을 때 재령 7일을 제외하고는 재령 28일에 압축강도에 큰 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 재령 7일에 EVA 폴리머 함량이 증가할수록 강도 편차가 크게 나타나는 원인은 EVA 폴리머가 시멘트와의 수화반응을 지연시켜 재령 초기의 압축강도가 감소된 것으로 판단되며, 응결 실험결과가 이를 뒷받침해 주고 있다.

건조수축 실험결과에서는 앞선 Series I보다 EVA 폴리머 함량이 증가할수록 건조수축률은 감소하는 경향을 나타내었으며, 그 범위는 $-0.020\% \sim -0.034\%$ 로 수축이 매우 적게 발생하는 것을 확인하였다. 실험결과를

통해 수축저감제와 폴리머 첨가 시 건조수축이 더욱더 적게 발생하는 원인은 수축저감제와 폴리머가 시멘트 수화 시 세공용적과 수분 증발을 감소시키며, 연속된 폴리머 필름 망상구조 형성으로 인해 수분증발이 방지되어 건조수축 저감에 기여한 것으로 판단된다(Medeiros, *et. al.*, 2009).

부착강도 실험결과는 EVA 폴리머 함량이 증가할수록 부착강도가 증가하였으며, F10SR1E4부터 F10SR1E8까지 부착강도가 1.32~1.65MPa로 보강용 모르타르 부착강도 기준인 1.0MPa를 만족하는 것으로 나타났다. EVA 폴리머 함량이 증가할수록 부착강도가 향상되는 원인은 폴리머 입자의 응집에 따라 함량이 많아질수록 접착성이 개선되었기 때문에 부착강도가 증가한 것으로 판단된다.

Series II에 대한 종합적으로 실험결과를 평가하였을 때 폴리머 시멘트계 매트릭스에 대한 최적배합은 플라이애쉬 혼입률 10%, 수축저감제 첨가량 1%, EVA 폴리머 첨가량 4%가 실험을 통해 최적배합임을 알 수 있었다.

IV. 결론

본 연구에서는 플라이애쉬, 수축저감제, 폴리머 혼화제 첨가에 따른 폴리머 시멘트계 매트릭스의 플로우, 응결, 압축강도, 건조수축, 부착강도 특성을 실험을 통해 평가하였으며, 실험결과 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 유동성 실험결과 목표 기준인 160 ± 10 mm 기준을 플라이애쉬 혼입률 10%이상부터 만족하는 것으로 나타났으며, EVA 폴리머의 첨가량이 증가할수록 유동성은 더욱 더 증가하는 경향을 나타내었다.
- 2) 응결 실험결과 플라이애쉬와 수축저감제가 첨가된 모르타르는 혼입률이 증가할수록 초결 및 종결이 지연되는 것으로 나타났지만, EVA 폴리머가 첨가될수록 응결은 63~186분정도 빨라지는 것으로 나타났다. 하지만 시공성 및 경제성을 고려하여, 20시간 이상의 필요응결 시간에 대한 보완이 필요하다고 판단된다.

- 3) 압축강도 실험결과, 플라이애쉬 혼입률이 10%이하까지 압축강도가 증가하는 경향을 보였지만, 수축저감제를 첨가할수록 약 13%정도 강도가 감소되는 경향을 나타내었다. 그러나 플라이애쉬와 수축저감제량을 고정시켜두고 EVA 폴리머를 4%까지 첨가한 압축실험체는 강도저하를 보이지 않았으며, 목표 성능을 만족하는 것으로 나타났다.
- 4) 건조수축 실험결과 플라이애쉬 혼입률 및 수축저감제 첨가량이 증가할수록 31~49% 정도의 건조수축률 저감효과를 보이는 것으로 나타났으며, EVA 폴리머 첨가량이 증가할수록 최대 -0.02%까지 건조수축이 감소되는 것을 나타내었다. 이는 폴리머가 시멘트 수화 시 세공용적과 수분증발을 감소시키며, 연속적으로 망상구조를 형성함으로써 수분 증발이 지연됨으로 건조수축 저감효과가 나타난 것으로 판단된다.
- 5) 부착강도 실험결과 Series I에서 도출된 F10SR1을 기준으로 폴리머 첨가량을 증가시킨 결과 폴리머 첨가량 4%가 1.3MPa를 나타냄으로써 기준을 만족하였으며, 폴리머 입자의 응집에 따라 접착성이 개선되어 첨가량이 증가할수록 부착강도가 향상된 것으로 판단된다.
- 6) 실험결과를 통해 플라이애쉬 10%, 수축저감제 1%, EVA 폴리머 4%가 시멘트 매트릭스 최적배합으로 적합하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(115171#)에 의해 수행되었습니다.

References

- Al-Salloum, Yousef A., Hussein M. Elsanadedy, Saleh H. Alsayed, and Rizwan A. Iqbal. 2012. Experimental and Numerical Study for the Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Textile Reinforced Mortar. *Journal of Composites for Construction*. 16(1): 74-90.
- Gonzalez-Libreros, J. H., C. Sabau, L. H. Sneed, C. Pellegrino, and G. Sas. 2017. State of Research on Shear Strengthening of RC Beams with FRCM Composites. *Journal of the Construction and Building Materials*. 149: 444-458.
- Hong, Chang Woo, Won Kyong Jeong, Kyong Jin Kim, and Kyong Ku Yun. 2006. Basic Properties of Latex-Modified Concrete Using Fly-ash. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 26(1): 205-211.
- Hong, Geon Ho and Yeong Soo Shin. 2004. Applicability of Epoxy Injection Method to Cracked RC Beams Considering Pre-Loading Conditions. *Journal of Korea Concrete Institute*. 16(1): 88-93.
- Hong, Geon Ho. 2008. Construction Method Improvement of the FRP-plate Strengthening Method using the Velcro. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection*. 12(6): 225-232.
- Hwang, Eui Hwan, Taek Sung Hwang, and Yoshihiko Ohama. 1994. The Strength and Durability of Polymer: Cement Mortars. *Applied Chemistry for Engineering*. 5(5): 786-794.
- Ju, Hyun Jin, Sun Jin Han, Hae Chang Cho, Deuck Hang Lee, and Kang Su Kim. 2016. Flexural Performance of Slabs Strengthened by Fiber-Reinforced Polymer Sheet with Hydrophilic Epoxy. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 28(1): 85-94.
- Jun, Zhang, Wang Qing, and Wang Zhenbo. 2016. Optimizing Design of High Strength Cement Matrix with Supplementary Cementitious Materials. *Journal of the Construction and Building Materials*. 120: 123-136.
- Jung, Kyu San, Ki Nam Hong, Snag Hoon Han, Jae Kyu Park, and Jae Hyun Kim. 2015. Prediction of Flexural Capacity of RC Beams Strengthened in Flexure with FRP Fabric and Cementitious Matrix. *International Journal of Polymer Science*. 2015: 1-11.
- Kim, Joo Hyung, Byoung Sun Park, Sang Hwa Jung, and Young Cheol Choi. 2016. Effect of Properties of Fly-ashes on the Characteristics of Fly-ash Mortars. *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*. 4(4): 439-445.
- Ko, Man Chun. 2015. Mechanical Characteristics of FRCM Mortar

- for Strengthening RC Structures. Master's Thesis. Chungbuk National University.
- Koh, Kyung Taek, Jung Jun Park, Gum Sung Ryu, and Su Tae Kang. 2006. Shrinkage Properties of High Performance Concrete Used Expansive Additive and Shrinkage Reducing Agent. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 26(4): 787-794.
- Medeiros, M. H. F., P. Helene, and S. Selmo. 2009. Influence of EVA and Acrylate Polymers on Some Mechanical Properties of Cementitious Repair Mortars. *Journal of the Construction and Building Materials*. 23(7): 2527-2533.
- Oh, Byung Hwan and Chae Koon Koh. 1991. A Study on the Strength and Mechanical Characteristics of Normal and High Strength Fly-Ash Concrete. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 3(2): 87-95.
- Paik, Min Su, Young Do Lee, and Sang Jin Jung. 2002. The Study on the Strength Properties of High Volume Fly-Ash Concrete. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2(4): 169-176.
- Park, Jong Pil and Yong Wook Jung. 2015. Fundamental Properties on the Development of High Performance Shrinkage Reducing Agent for Concrete. *Journal of Korea Academia-Industrial cooperation Society*. 16(6): 4298-4307.
- Song, Hyung Soo, Chin Yong Lee, and Chang Shik Min. 2006. Effects of Polymer in Properties of Pre mixed Type Mortar for Concrete Repair. *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 10(4): 153-159.
- Song, Hyung Soo, Chin Yong Lee, and Chang Shik Min. 2007. Effects of Admixtures in Properties of Polymer Cement Mortar for Concrete Repair. *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 11(1): 85-94.
- 사용한 고성능 콘크리트의 수축 특성. 대한토목학회. 26(4): 787-794.
- 고만춘. 2015. 철근콘크리트 구조물 보강을 위한 FRCM 모르타르의 역학적 특성. 석사학위논문. 충북대학교.
- 김주형, 박병선, 정상화, 최영철. 2016. 플라이애시 종류에 따른 플라이애시 모르타르의 특성에 대한 연구. 한국건설순환자원학회. 4(4) 439-445.
- 박종필, 정용욱. 2015. 콘크리트용 고성능 수축저감제 개발에 대한 기초적 특성. 한국산화기술학회. 16(6): 4298-4307.
- 백민수, 이영도, 정상진. 2002. 플라이애시를 다량 치환한 콘크리트의 강도특성에 관한 연구. 한국건축시공학회. 2(4): 169-176.
- 송형수, 이진용, 민창식. 2006. 폴리머가 프리믹스 타입의 보수용 모르타르의 성질에 미치는 영향. 한국구조물진단유지관리공학회. 10(4): 153-159.
- 송형수, 이진용, 민창식. 2007. 혼화재료가 보수용 폴리머 시멘트 모르타르의 성질에 미치는 영향. 한국구조물진단유지관리공학회. 11(1): 85-94.
- 오병환, 고재균. 1991. 플라이애시 콘크리트의 강도 및 역학적 특성에 관한 연구. 콘크리트학회. 3(2): 87-95.
- 주현진, 한선진, 조해창, 이득행, 김강수. 2016. 친수성 에폭시를 사용하여 FRP 시트로 보강된 슬래브의 휨거동 평가. 콘크리트학회. 28(1): 85-94.
- 홍건호, 신영수. 2004. 재하상태를 고려한 RC 보의 에폭시 주입 보수공법의 적용성 평가. 콘크리트학회. 16(1): 88-93.
- 홍건호. 2008. 벨크로를 이용한 FRP 플레이트 보강공법의 시공공법 개선. 한국구조물진단유지관리공학회. 12(6): 225-232.
- 홍창우, 정원경, 김경진, 윤경구. 2006. 플라이애시를 이용한 라텍스 개질 콘크리트의 기초물성 연구. 대한토목학회. 26(1A): 205-211.
- 황의환, 황택성, 대빈가연. 1994. 폴리머-시멘트 모르타르의 강도와 내구성. 한국공업화학학회. 5(5): 786-794.

Korean References Translated from the English

고경택, 박정준, 류금성, 강수태. 2006. 팽창제와 수축저감제를

Received: Jan. 23, 2018 / Revised: Feb. 22, 2018 / Accepted: Mar. 3, 2018

자연재해로 손상된 구조물을 보강하기 위한 폴리머 시멘트 매트릭스의 특성

국문초록 본 연구에서는 자연재해로부터 손상된 철근콘크리트 구조물 보강을 위해 플라이애쉬 혼입량, 수축저감제 첨가량, EVA 폴리머의 첨가량에 따른 역학특성을 평가하였으며, 폴리머 시멘트계 매트릭스의 최적배합비를 산정하였다. 실험을 통해 총 19개의 폴리머 시멘트 매트릭스 배합을 평가하였으며, Series 1과 2로 나누어 플라이애쉬와 수축저감제에 대한 영향, EVA 폴리머의 첨가량에 따른 영향을 각각 평가하였다. 실험결과 플라이애쉬와 수축저감제를 동시에 첨가한 폴리머 시멘트계 매트릭스는 플로우, 응결, 압축강도, 건조수축 실험에 대해 목표성능을 만족하였지만, 부착강도 실험결과에서 1.0MPa 이하로 목표 성능을 만족하지 못하였다. 이에 Series 2에서는 EVA 폴리머를 2~8%까지 첨가하여 부착강도를 향상시켰으며, 실험결과 0.81~1.65MPa로 목표성능을 만족하였다. 따라서, 실험결과를 통해 플라이애쉬 10%, 수축저감제 1%, EVA 폴리머 4%가 폴리머 시멘트계 매트릭스의 최적배합으로 산정되었다.

주제어 : 자연재해, 폴리머 시멘트계 매트릭스, 플라이애쉬, 수축저감제, 에틸렌비닐아세테이트, 폴리머

Profiles **Kwang Kyun Moon** : He has been get the bachelor degree of civil engineering from HanYang university in Korea. He earned his Master's degree in civil engineering department at the Chungbuk National University. I am particularly interested in the mortar for repair(moon8607@nate.com).

Ki-Nam Hong : He has been received his Ph.D. in Department of Civil Engineering from Tohoku University in Japan. He works for a Professor in the Department of Civil Engineering at the Chungbuk National University. There are main paper "Mechanical properties and carbonation resistance of water-soluble sulfur concrete(2014)", "Prediction of flexural capacity of RC beams strengthened in flexure with FRP fabric and cementitious matrix(2015)", "Evaluation of stability in reinforced earth retaining wall by vehicle collision(2010). I am particularly interested in the earthquake resistant design, seismic retrofit, structure analysis(hong@chungbuk.ac.kr).

Sugyu Lee : He received his Bachelor's degree in Department of Civil Engineering from Chungbuk National University, Republic of Korea in 2011, Master's degree in structural engineering from Bucknell University, USA in 2011, and a Ph.D. in structural engineering from the University of Texas at Arlington, USA in 2017. His research areas are development of construction material and retrofitting of structures and infrastructures(sugyulee@chungbuk.ac.kr).