

폴리머 디스퍼전과 시멘트로 만든 균열보수용 폴리머 시멘트 복합체의 기초적 성질

조영국^{1*}

Basic Properties of Polymer Cement Composites with Polymer Dispersions and Cement for Crack Repair

Young-Kug Jo^{1*}

Abstract: The aim of this study was to produce polymer cement composites (PCCs) composed of polymer dispersion and cement as crack repair materials for RC structures, and to investigate their fundamental properties. The test mixtures for the study were based on EVA and SAE polymer dispersions, and the water-cement ratio was determined while varying the polymer-cement ratio(P/C) in four different levels (20%, 60%, 80%, and 100%) to achieve the desired viscosity of PCCs considering their fillability as crack repair materials. Additionally, silica fume was incorporated into P/C 80% and 100% specimens to enhance their stiffness. The basic properties of PCCs as crack repair materials, such as viscosity, flowability, fillability, tensile strength, elongation, and modulus of elasticity, were examined. The results showed that P/C depending on the type of polymer significantly affected the viscosity and flowability, and appropriate w/c ratios were needed to achieve the desired viscosity for the mixture design with consideration of fillability as crack repair materials for RC structures. All designed mixtures in this study exhibited excellent fillability. The tensile strength and elongation of PCCs satisfied the KS regulation for cement- polymer modified waterproofing coatings. The incorporation of silica fume improved the tensile strength and modulus of elasticity of PCCs. Depending on the type of polymer, mixtures using SAE showed better fundamental properties as crack repair materials for RC structures compared to those using EVA. In conclusion, SAE-based P/C 80% or 100% with the addition of up to 30% silica fume can be recommended as suitable mixtures for crack repair of RC structures.

Keywords: Polymer cement composites, Polymer-cement ratio, Fillability, Tensile strength, Elongation, Modulus of elasticity

1. 서 론

RC 구조물의 균열에 대한 보수재료와 보수방법에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며 현장에서 다양한 환경에 따라 적용되고 있는 방법도 다양하다(Choi et al., 2014). 다양한 보수 방법 중에서 가장 널리 상용화되고 있는 것이 에폭시 수지에 의한 균열 보수보강이다(Lee et al., 2018; Kim et al., 2018). 에폭시 수지를 균열에 주입하면 짧은 시간에 경화하고 피착체인 RC 구조체와의 접착성이 우수하다는 장점을 이용한 것이다. 그러나 균열 보수를 장기적인 관점에서 볼 때, 에폭시 수지를 사용한 경우 균열부위의 지속적인 부하에 의한 변형 추종성이 상당히 낮고 시멘트 콘크리트에 비해 열팽창계수가 커 균열속에 충전된 에폭시 수지와 시멘트 경화체의 탈락현상으로 균열보수효과가 저하하게 된다(Shin et al., 2007).

한편, 수성 폴리머 디스퍼전과 시멘트의 복합체인 폴리머 시멘트 복합체(Polymer Cement Composites : 이하 PCCs)는 시멘트의 성질을 개선시키기 위하여 만든 폴리머 입자를 물속에 분산시킨 에멀전 형태의 폴리머 디스퍼전을 시멘트와 적절한 배합조건으로 혼합하여 만든다(Ohama, 1995; Sajay et al., 1993; Jo, 2009). 시멘트의 수화과정과 폴리머 입자의 응집 현상에 의한 폴리머 필름의 형성이 동시에 이루어 지면서 내부 조직에 3차원 폴리머 필름 망상구조가 시멘트 수화물 입자를 둘러싸는 구조적 개선이 이루어져 PCCs의 물리적 성질 및 내구성이 개선된다(Ohama, 1995). PCCs는 폴리머 시멘트 콘크리트, 폴리머 시멘트 모르타르 및 폴리머 시멘트 페이스트 형태로 구분될 수 있으며, 본 연구와 같이 범용의 폴리머 시멘트 페이스트와 재료구성은 같으나 유동성이 아주 크고 높은 폴리머 시멘트비와 물시멘트로 제조하여 아주 묽은 반죽의 형태를 폴리머 시멘트 슬러리(Polymer cement slurry; PCS)라 불린다(Jo et al., 2022). RC 구조물의 균열을 보수하기 위한 폴리머 시멘트 슬러리 형태로 만들기 위해서는 배합조건에서 물시멘트비를 40% 이상 혼합하여야 하며 미세한 균열에 충전되어 접착성을 향상시키기 위해서는 40% 이상의 높은 폴리머

¹정회원, 청운대학교 건축공학과, 공학박사, 교신저자

*Corresponding author: ykjo@chungwoon.ac.kr

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

•본 논문에 대한 토의를 2023년 11월 30일까지 학회에 보내주시면 2023년 12월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

시멘트비가 필요하다(Jo et al., 2022). 이러한 PCCs가 기존에 사용되고 있는 에폭시 수지나 우레탄 수지와 비교하여 장점은 코스트가 낮고 제조가 간편하며, 피착체에 접착성능이 우수하고(Sajay,1993; Jo, 2008), 또한 건조수축이 작고, 열적 변형이 적으며 탄성이 우수하여 구조적 거동에 유동적으로 작용하고 밀실한 균열충전으로 방수효과가 뛰어나다는 것이다.(Jo, 2009).

본 연구에서는 RC 구조물의 균열 특성에 따른 보수재료로서 무기물인 시멘트에 유기물인 폴리머를 혼입한 PCCs의 균열 보수용 최적배합을 도출하기 위해서 점도, 유동성(플로), 충전성 및 피막의 인장강도 시험에 따른 신장률과 탄성계수 등 기초적 성질을 파악하고자 하였다.

2. 실험계획

본 연구는 Table 1과 같은 실험수준이며 PCCs 제작은 폴리머 시멘트비(Polymer- cement ratio ; P/C)를 40, 60, 80 및

Table 1 Various factors for experiment

Factor	Level	Variable
Cement type	Ordinary Portland Cement(OPC)	1
Polymer type	EVA, SAE	2
Admixtures	Silica Fume(SF)	1
Polymer-cement ratio, P/C(%)	40, 60, 80, 100	4
Water-cement ratio, W/C(%)	40, 60, 80, 100, 140, 160, 200	7
Admixture content(%)	10, 20, 30	3
Curing age(day)	28	1

Table 2 Properties of polymer dispersions

Type of polymer	Density (g/cm ³ , 20°C)	pH (20°C)	Viscosity (mPa · s, 20°C)	Solid content (%)
EVA	1.08	4.8	1,570	55.8
SAE	1.10	7.3	112	50.0

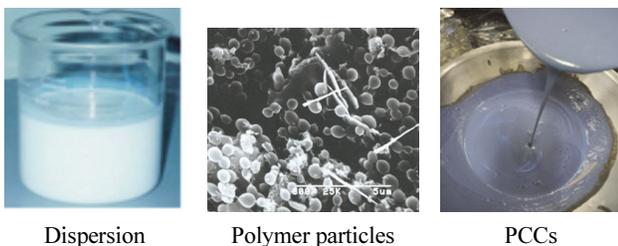


Fig. 1 Polymer and PCCS

100%로 변화시켰으며, 목표 점도를 얻기 위하여 물시멘트비를 40~200% 범위에서 조정하였다. 균열 충전성을 위하여 목표로 한 점도를 맞추기 위하여 높은 물시멘트 배합은 폴리머에 의한 인성은 증가되어 신장율이 크게 커지나, 반면 PCCs 자체의 강성이 작아져 낮은 인장강도를 얻을 수 있어 이를 개선시키기 위하여 실리카폼도 폴리머 종류 및 폴리머 시멘트비에 따라 시멘트 중량에 최대 30%까지 혼입하였다.

2.1 사용재료

2.1.1 결합제

본 연구에서 사용한 결합제는 보통시멘트와 혼화재료로서 고강도 콘크리트 혼화용으로 널리 사용되고 있는 실리카폼(비표면적 160,000cm²/g, 밀도 2.23g/cm³)을 사용하였다.

2.1.2 시멘트 혼화용 폴리머

본 연구에 사용된 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼전은 현장에서 보수·보강 및 방수재료로 널리 사용되고 있는 EVA (Ethylene-vinyl acetate)와 SAE (Styrene-vinyl acrylic ester)에멀전을 사용하였으며 그 성질은 Table 2와 같다. 또한 Fig. 1은 폴리머 디스퍼전의 외형과 시멘트에 혼입한 직후의 EVA 입자를 보여주고 있다. 또한 시멘트에 폴리머를 혼입할 때 진행되는 기포를 제어하기 위하여 실리케네 에멀전(고형분 30%)을 폴리머 고형분의 중량에 대하여 1.0%를 첨가하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 PCCs 배합 및 제작

PCCs는 Table 3과 같은 배합으로 시멘트에 대한 폴리머 디

Table 3 Mix proportions of PCCs

Mix. No.	Polymer Type	P/B (%)	W/C (%)	SF (%)	Viscosity (mPa·s)	Flow (mm)
1-1		40	140		366.4	130
1-2	EVA	60	140	0	376.0	144
1-3		80	160		324.0	135
1-4		100	200		475.5	148
2-1	SAE	40	40	0	152.0	192
2-2		60	60		99.2	215
2-3		80	80		81.6	214
2-4		100	100		68.8	212
3-1	EVA*	80	160	10	168.0	168
3-2		100	200	10	252.0	158
4-1	SAE	80	80	20	491.2	176
4-2		100	100	30	378.4	183

EVA* : adding 0.2% AE-water reducing agent

스퍼전 고형분 비율(폴리머 시멘트비, P/C)은 40, 60, 80 및 100%로 변경하여 배합을 설계하였으며, EVA를 사용한 경우 PCCs의 점도가 커 물시멘트비를 140~200%까지 높여 조정하였다. 또한 EVA에 실리카폼으로 혼입할 경우 유동성 저하로 AE 감수제를 시멘트 중량에 대하여 0.2% 혼입하였다. 그러나 SAE를 사용한 경우, Table 1의 고형분 50%에서 알 수 있는 바와 같이 동시에 50%의 수량을 함유한 의미이므로 P/C가 결정되면 자동적으로 물시멘트비가 결정되었다. PCCs는 시멘트, 폴리머 및 실리카폼을 용기에 넣고 1분간 손비빔으로 고르게 섞은 후, 2분간 고속 믹서 날을 이용하여 작은 덩어리도 없을 정도로 고르게 혼합하여 PCCs를 슬러리화 하였다. PCCs를 RC 구조물의 미세한 균열에 충전시킬 수 있는 점도와 유동성을 확보하고 우수한 접착성과 방수성을 확보할 수 있는 높은 폴리머 시멘트비인 40%~100% 범위에서 배합을 설계하였다. 또한 PCCs의 피막 형성에서 강성을 높이고자 실리카폼을 폴리머 종류와 폴리머 시멘트비에 따라 적절한 점도가 될 수 있도록 혼입비율을 달리하여 첨가하였는데 균열 주입에 지장이 없는 정도인 500 mPa·s 이하에서 점도를 조정하였다.

2.2.2 PCCs의 점도와 플로 측정

각종 배합에 따라 제작된 PCCs를 Fig. 2와 같은 브룩필드 점도계를 사용하여 점도를 측정하였으며, PCCs의 플로는 임의적 방법으로 지름 4cm, 높이 6cm 인 원통형 PVC 파이프에 PCCs를 채운 후 수직으로 들어 올려 옆으로 흐른 상태에서 가장 넓게 퍼진 부분과 그와 직교하는 부분을 측정하여 그 평균 값을 플로로 정하였다.

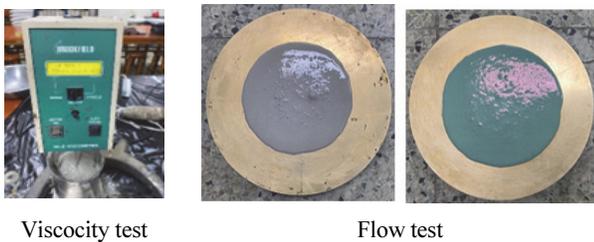


Fig. 2 Viscosity and flow test

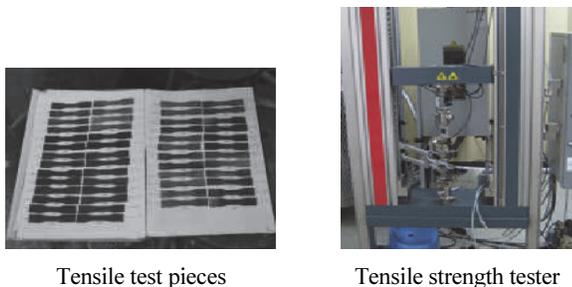


Fig. 3 Tensile strength test

2.2.3 PCCs의 충전성 시험

RC 구조물의 균열을 보수하기 위해서는 무엇보다도 충전성이 중요한데 폴리머 종류 및 P/C에 따른 충전성능을 2장의 아크릴판 0.3mm 틈에서 10ml 주사기를 사용하여 PCCs를 주입하여 충전된 면적과 상태를 육안으로 확인하였다.

2.2.4 PCCs의 인장강도 시험

PCCs의 인장강도, 신장률 및 탄성계수를 알아보기 위한 시험편은 KS F 4919(시멘트 혼입 폴리머계 방수재)의 인장성능 시험 방법에 따라 Table 2의 PCCs 종류에 따른 시험체의 두께 1.5 mm와 KS M 6518 (가황고무 물리 시험방법, 인장시험)에 규정된 아령 1호형 크기로 제작하여 인장강도 시험을 Fig. 3과 같은 만능시험기를 사용하여 실시하였다. 파단시의 신장률과 최종 파괴 응력의 1/4 지점에서의 응력과 변형과의 관계로부터 탄성계수를 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PCCs 배합에 따른 점도와 유동성

3.1.1 PCCs의 배합에 따른 점도

Fig. 4는 폴리머 종류 및 P/C에 따른 PCCs의 점도변화를 나타내고 있다. PCCs의 배합설계시 RC 구조물의 균열보수에서 충전성에 영향을 미치는 요인이 점도인데 일반적으로 시멘트계 재료는 점도를 낮추기 위해서는 가수하는 방법이 가장 쉬운 방법이나 가수함에 따라 블리딩 현상이 커 균열보수재로 사용하기가 어렵다. 그러나 PCCs의 점도는 폴리머 종류에 따라 크게 달라지는데 실험에 사용한 EVA 자체의 점도는 Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 1,570 mPa·s로 SAE 112 mPa·s에 비하면 매우 높은 점도이다. 본 연구에서는 RC 구조물의 0.3mm 이하의 균열보수를 위하여 최대 점도를 500 mPa·s 이하로 설정하고 배합설계를 하였는데, EVA의 경우 낮은 물시멘트비에서는 점성이 너무 커 P/C, 즉 시멘트 중량에 대한 폴리머의 첨가량이 높아질수록 고유의 폴리머 점도가 높아져 P/C에 증가에 따라 물시멘트비를 140% ~ 200%로 변화를 주

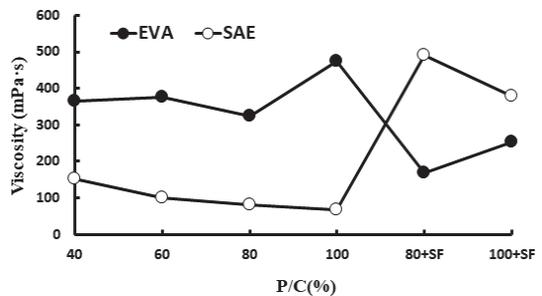


Fig. 4 Viscosity of PCCs

어 점도를 조정하여 배합설계를 하였다. 이러한 가수는 실질적으로 접착력과 강성을 저하시킬 수 있을 것으로 추측되지만 균열보수재로서 일단 미세한 균열에 충전이 되어야 하기 때문에 점도를 낮추는 방법이 유효하다. 또한, 이러한 PCCs의 강성을 개선시키기 위하여 실리카폼을 혼입하였는데 EVA의 경우 높은 물시멘트비에서도 실리카폼을 10% 혼입하면 점도가 너무 높아 배합이 불가능하여 여기에 AE제를 시멘트 중량에 0.2% 혼입함에 따라 점도를 크게 낮출 수 있었다. 반면 SAE의 경우, 물에 분산된 폴리머의 점성이 낮고 생산된 고형분량이 50%의 의미는 50%는 가수 되어 있다는 의미이므로 시멘트와 혼입하여도 P/C 40%에서 최대 152.0 mPa·s의 상대적으로 낮은 점도를 나타냈으며 여기에 실리카폼의 혼입을 30%까지 높여도 500 mPa·s 이하의 점도를 확보하였다. SAE는 원래 폴리머 디스퍼전 자체의 점도가 낮아 PCCs를 제작할 경우 P/C의 증가에 따라 점도가 낮아졌는데 이는 시멘트를 혼입함에 따른 점도 증가보다 오히려 폴리머 입자의 불배어링 효과로 인하여 유동성이 증가하여 결국 점도를 낮춘 결과로 나타났다. 물론 점도가 낮으면 RC 구조물의 균열보수에 충전효과가 뛰어나지만 보수재 자체의 재료분리가 일어나지 않는 범위에서 조정하여 PCCs를 제조하였다.

3.1.2 PCCs의 배합에 따른 유동성

Fig. 5는 PCCs의 유동성 시험을 임의의 시험방법에 의해 플로시험으로 측정된 결과인데 이는 폴리머 종류와 P/C에 따른 PCCs의 상대적 유동성을 평가하는 것이지 절대값의 수치가 어떠한 의미를 내포하는 것은 아니다. 다만 본 연구의 기초시험에서 주사기에 의한 균열 충전성 시험시 플로가 100mm 이상은 되어야 균열 보수에 적합한 유동성으로 판단되었다.

본 연구에서는 PCCs 배합설계시 P/C 보다는 폴리머 종류, 그리고 실리카폼의 혼입 유무에 따라 차이가 있었으며, 130mm ~ 215mm 범위에서 플로가 결정되었다. PCCs의 유동성은 전술한 점도와 연관성이 크다는 것을 알 수 있었으며, EVA에 비해 SAE를 혼입한 경우가 유동성이 큰 것으로 나타났으며, 실리카폼의 혼입에 따라 각각 폴리머를 사용한 경우 유동성이 낮아

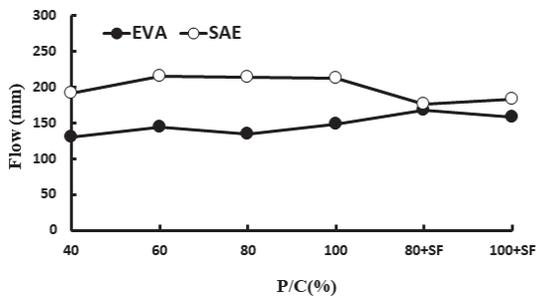


Fig. 5 Flow of PCCs

진 것을 알 수 있었다. 유동성은 PCCs의 균열 폭 및 깊이에 따른 충전성에 큰 영향을 미칠 것으로 판단되며, 물리적 성질에 영향을 주지 않는 범위에서 혼화제를 적절하게 사용하여 유동성을 향상시키는 방법이 주요한데 유동성은 증가시키고 동시에 재료분리가 일어나지 않는 범위에서 물과 혼화제의 적절한 혼입이 중요하다. 즉, 폴리머 디스퍼전은 생산시 거의 50% 정도가 물이고 나머지는 폴리머 고형분으로 구성되어 있기 때문에 SAE 경우는 폴리머 디스퍼전 자체의 혼입된 물 이외는 사용하지 않았음에도 유동성이 크게 나타났다. 그러나 폴리머 특성상 저점도인 SAE 경우 재료분리가 쉽게 일어날 수 있는 배합이므로 이를 적절하게 조정해야 한다.

3.1.3 PCCs의 충전성 시험

Figs. 6~9에는 0.3mm 틸의 아크릴판에 10ml 주사기를 사용하여 PCCs의 충전성 시험을 실시한 결과로 EVA를 사용한 경우 폴리머 시멘트비에 상관없이 모두 저면까지 충전되었으며, PCCs의 충전상태를 보면 물과 시멘트의 재료 분리현상을 관찰할 수 없었다. 또한 PCCs의 강성을 개선시키고자 실리카폼을 혼입한 경우에도 모든 배합에서 충전성이 우수하게 나타났으며 약간 점도가 큰 P/C 40%도 균열을 충전시키기에는 문제가 없었다. 한편 SAE를 혼입한 PCCs의 경우도 모든 배합에서 충전성이 우수하게 나타났는데 주사기의 압력으로 아크릴판 틸사이를 200mm 이상 충전되었다. P/C 40%의 경우 충전 후 윗부분에 약간의 재료분리 현상이 관찰되었으며 여기에 실리카폼을 혼입한 경우에도 충전성에는 문제가 없었으나 점도의 증가로 실리카폼을 혼입한 경우에 비해서는 충전저항이 관찰되었다. 본 연구의 결과는 0.3mm 균열에 대한 충전성

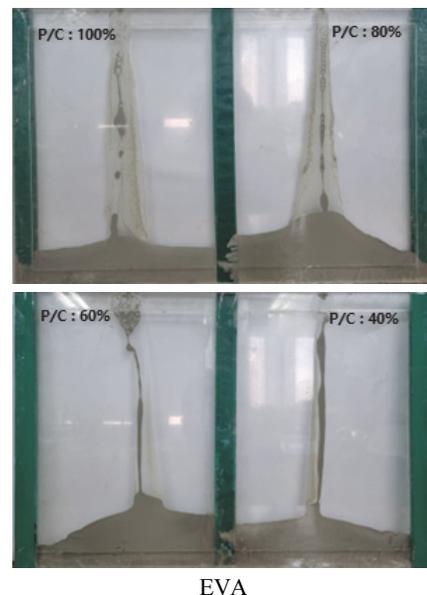
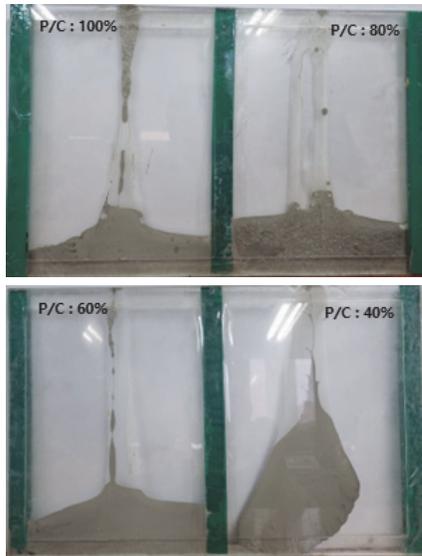


Fig. 6 Filling condition of PCCs with EVA

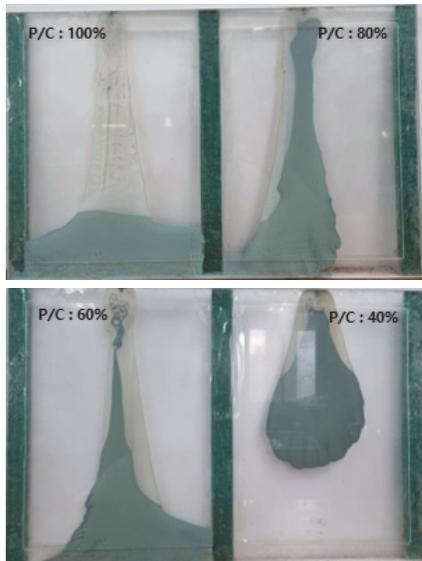
시험평가로써 0.3mm 이하의 균열에도 충분히 충전성을 확보할 것으로 추측되나 향후 이에 대한 연구가 진행되어 미세균열에 대한 특이변수 등을 고려한 보수방법도 강구되어야 할 것이다.

Fig. 10은 본 연구의 기초자료로 지름 150mm 두께 40mm인 투수시험용 공시체를 만들어 시험편의 중앙에 균열을 발생시켜 균열깊이 측정기로 깊이를 확인한 후 실리카폼 10%와 EVA 80%로 제작한 PCCs를 균열에 주사기로 충전하였다. 충전 후 투수시험을 실시하여 균열에 의한 투수량이 증가하지 않은 것을 확인하였으며, PCCs의 균열 충전성을 확인하기 위



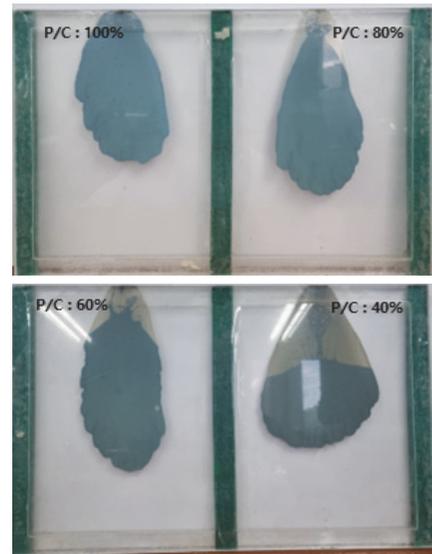
EVA + SF

Fig. 7 Filling condition of PCCs with EVA and silica fume



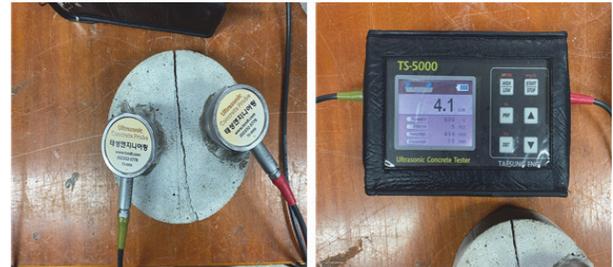
SAE

Fig. 8 Filling condition of PCCs with SAE



SAE + SF

Fig. 9 Filling condition of PCCs with SAE and silica fume



Crack depth measurement



Repaired specimen



Water permeability tester



Filled PCCs in Crack

Fig. 10 Filling properties of PCCs with EVA in crack

하여 시험편을 절단하여 균열을 육안으로 확인 한 결과 PCCs 가 균열에 균일하게 충전된 모습을 관찰할 수 있었다.

3.1.4 PCCs의 인장강도

Fig. 11은 P/C와 종류에 따른 PCCs 피막의 인장강도 실험 결과를 나타내고 있다. EVA를 사용한 PCCs의 인장강도는 P/C의 증가에 따라 상승하는 경향을 보였으며 P/C 80%에서 최대값을 보였다. 또한, 실리카폼 10%를 혼입함에 따라 P/C 80%에서 16.2%, P/C 100%에서 20.9% 인장강도가 상승하였다. 또한 SAE를 사용한 PCCs의 인장강도는 EVA와 마찬가지로 P/C의 증가에 따라 커졌으며 P/C 80%에서 최대값을 보였으며 실리카폼의 혼입에 따른 인장강도가 비교적 크게 개선되었다. 또한, 폴리머 종류에 따라서는 SAE를 사용한 경우가 EVA를 사용한 경우에 비해 모든 배합조건에서 약 1.52배 ~ 1.89배의 높은 인장강도를 나타냈는데 이처럼 SAE가 EVA보다 인장강도가 크게 나타난 것은 원래의 폴리머 자체의 인장강도 차이보다 RC 구조물의 균열에 충전될 수 있는 유동성을 얻기 위한 배합설계에서 EVA의 경우는 기본적으로 가수를 많이 한 배합이기 때문으로 볼 수 있다. 본 연구에서 두 종류의 폴리머 디스퍼전을 사용한 모든 배합에서의 PCCs의 인장강도는 시멘트 혼입 폴리머계 방수재 KS 규정(KS F 4919, 2018)의 인장성능 중 인장강도 1.0 N/mm² 이상을 모두 만족하였다.

본 연구의 PCCs의 피막 강성은 폴리머 디스퍼전 속에 함유된 폴리머 입자가 대기중에서 증발되는 수분의 감소와 더불어 응집되어 폴리머 필름이 형성되고 또한 얼마나 지속적으로 건조과정이 진행되는가에 따라 강성이 달라질 수 있다. 따라서 실제 현장에서 RC 구조물의 균열부위의 건조환경은 이와 약간 다를 수 있기 때문에 PCCs 충전시 이러한 부분도 고려하여야 할 것이다. 이처럼 PCCs를 RC 구조물의 균열 보수재로 사용할 때 균열부위의 거동에 따른 보수재의 접착성과 인장강도는 중요한 요소이다(Choi, 2014; Sanjai, 1993). 균열 부위에 외력이 발생하면 PCCs의 보수재는 일차적으로 콘크

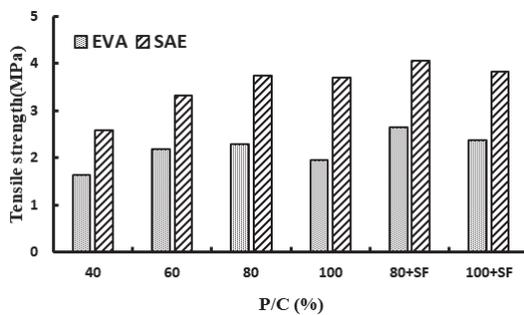


Fig. 11 Tensile strengths of PCCs according to types of polymer and P/C

리트와의 접착성에 의해 거동하고 거동이 커지면 보수재 자체의 인장력이 보수재의 파괴를 막아주면서 그 다음으로 탄성적인 성질의 지표인 신장률에 의해 응력 변형을 추종하면서 보수재로서 역할을 다할 수 있기 때문이다. 이러한 점에서 PCCs는 기존의 보수재와 비교해 RC 구조체의 주성분인 시멘트계 재료로서 상당한 탄성을 가지고 접착성이 우수하다는 것이며 또한, 에폭시 및 폴리우레탄 수지와 같이 온도와 열에 대한 민감성이 상당히 낮다는 장점을 갖고 있다.

3.1.5 인장시험에 의한 PCCs의 신장률

Fig. 12는 P/C와 종류에 따른 PCCs 피막의 인장강도 시험에 따른 신장률을 나타내고 있다. 보통 수성 폴리머 디스퍼전을 사용하여 시멘트 성질을 개선시키기 위하여 혼입한 폴리머 시멘트 복합체, 즉 폴리머 시멘트 모르타르 또는 콘크리트는 시멘트에 대한 혼입율, 즉 P/C를 최대 20% 이하에서 배합 설계 되고 있어 내부에 형성된 폴리머 필름에 의한 물리적 성질인 신장률보다는 인장강도와 휨강도의 영향이 중요하다. 본 연구에서의 폴리머 시멘트 슬러리 형태의 PCCs는 폴리머 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 비해 폴리머의 함유량이 아주 높기 때문에 전적으로 폴리머의 함유량에 의해 물리적 성질이 더욱더 크게 영향을 받는다. PCCs의 피막은 폴리머 종류에 상관없이 P/C의 증가에 따라 신장률이 커졌으며, P/C 40%에 비해 P/C 100%의 신장률이 EVA를 사용한 경우 약 1.69배, SAE를 사용한 경우 1.31배 크게 나타났다. 또한, 폴리머 종류에 따라서는 모든 P/C에서 SAE를 사용한 PCCs가 EVA를 사용한 PCCs보다 신장률이 약간 크게 나타났으나 P/C 40%를 제외하면 거의 1.0 ~ 6.0% 범위였다. 그러나 실리카폼을 혼입한 P/C 80%와 100%에서는 폴리머 종류에 상관없이 실리카폼을 혼입하지 않은 PCCs에 비해 신장률이 약간 작게 나타났는데 EVA를 사용한 경우, 각각 약 9.10%, 1.51%, SAE를 혼입한 경우 각각 약 8.08% 및 6.38% 작게 나타났다. 이러한 현상은 실리카폼의 미세한 입자가 시멘트 수화물의 공극을 채워 치밀한 구조를 형성하여 강성을 개선시킨 결과로 볼 수 있다.

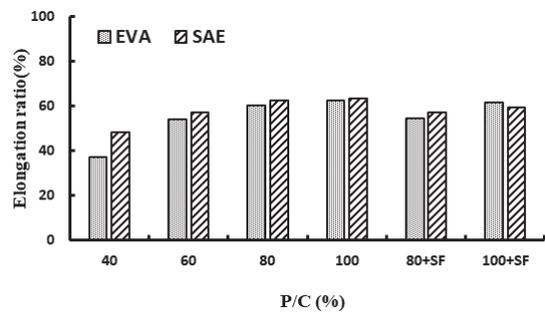


Fig. 12 Elongation ratio of PCCs according to types of polymer and P/C

결과적으로 실리카폼을 혼입함으로써 PCCs의 인장강도를 개선시키고 동시에 신장률이 약간 저감되었는데 신장률 역시 P/C 40%를 제외하면 시멘트 혼입 폴리머계 방수재의 KS 규격(KS F 4919, 2018)의 인장성능 중 신장률 50% 이상을 모두 만족하였기 때문에 실리카폼을 혼입하는 것이 물리적 성질을 개선시키는데 큰 효과가 있는 것으로 판단되었다.

3.1.6 인장시험에 의한 PCCs의 탄성계수

Fig. 13은 P/C와 폴리머 종류에 따른 PCCs 피막의 인장강도 실시 후 응력과 변형과의 관계에서 최대응력 1/4 지점에서의 탄성계수를 측정된 결과를 나타내고 있다. 일반적으로 수성 폴리머 디스퍼전이 시멘트 복합체인 폴리머 시멘트 모르타르 또는 콘크리트에 혼입되어 사용될 때 전술한 바와 같이 성능과 코스트 측면에서 20% 이하를 사용하기 때문에 상대적으로 탄성계수가 작은 폴리머 디스퍼전을 혼입하여도 구조적 특성에서 크게 단점으로 작용하지 않고 오히려 시멘트 복합체의 인성을 증가시키는 역할을 하였다(Ohama, 1995). 그러나 PCCs는 혼입되는 폴리머의 양이 많아 폴리머의 탄성계수가 PCCs에 큰 영향을 미칠 수 있다. Fig. 13의 실험결과에서 알 수 있는 바와 같이 P/C의 증가에 따라 폴리머의 종류에 상관없이 탄성계수가 크게 작아지는 경향을 보였는데, P/C 100%에서는 P/C 40%에 비해 5.24배 및 2.87배 각각 작아졌다. 또한 실리카폼을 혼입한 경우는 혼입하지 않은 경우에 비해 P/C 80%에서 1.26배 및 1.30배, P/C 100%에서 1.35배 및 1.20배 각각 크게 나타났다. 폴리머 종류에 따른 PCCs의 탄성계수는 SAE를 사용한 경우가 EVA를 사용한 경우에 비해 최소 1.61배에서 최대 2.95배 높은 탄성계수를 나타냈다. 이처럼 SAE를 사용한 경우가 EVA를 사용한 경우보다 PCCs의 탄성계수가 높게 나타난 것은 전술한 인장강도가 SAE가 EVA 보다 큰 반면 신장률은 거의 비슷한 결과를 얻었기 때문이다. 또한, 기존 연구(Jo et al., 2022)에서 접착강도 측면에서도 SAE를 사용한 PCCs의 경우가 다른 폴리머에 비해 우수한 성능을 보인 결과와 더불어 전술한 결과를 종합해 보면 EVA

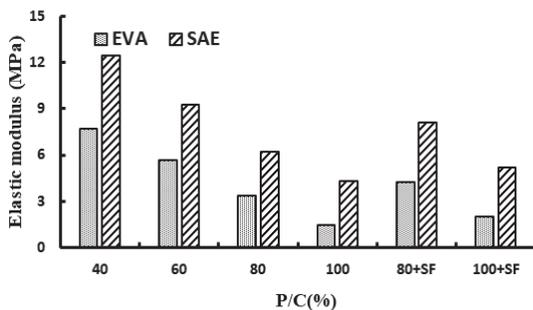


Fig. 13 Elastic modulus of PCCs according to types of polymer and P/C

를 사용한 경우보다 SAE를 사용한 경우에 인장강도와 신장률이 우수하고 탄성계수가 커 RC 구조물의 균열보수에 적합한 것으로 평가되었다.

4. 결론

본 연구는 폴리머 디스퍼전과 시멘트로 만든 RC 구조물 균열보수용 PCCs의 최적 배합을 도출하기 위해 기초적 성질을 실험적으로 파악하고자 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) RC 구조물 균열 보수용 PCCs의 배합 조성은 점도 500 mPa·s를 목표로 하여 폴리머 자체의 점도가 큰 EVA의 경우 물시멘트비 200%까지 가수를 하였으나 SAE의 경우에는 폴리머 디스퍼전 자체에 함유된 수량만으로 배합을 결정할 수 있었다.
- (2) SAE 사용 PCCs의 점도는 P/C의 상승에 따라 점도가 낮아졌으나 실리카폼의 혼입에 따라 약 5.50배 ~ 6.02배 급격히 높아져 최대 491.2 mPa·s를 나타냈으며 실리카폼을 최대 30%까지 혼입할 수 있는 배합을 얻었다.
- (3) EVA 사용 PCCs의 점도는 SAE와는 달리 P/C를 높일수록 가수를 하여야 하였으며 최대 물시멘트비 200%에서 배합을 얻을 수 있었다. 또한, 실리카폼을 혼입한 경우 AE 감수제를 혼입하여야 PCCs를 제작할 수 있었다.
- (4) PCCs의 인장강도는 P/C의 증가에 따라 상승하여 P/C 80%에서 최대값을 보였으며, 실리카폼을 혼입함에 따라 EVA의 경우 16.2%와 20.9%, SAE 경우 8.6% 및 3.0% 각각 높게 나타났다.
- (5) 폴리머 종류에 따른 PCCs의 인장강도는 SAE를 사용한 경우가 EVA를 사용한 경우에 비해 모든 배합조건에서 약 1.52배~1.89배 높게 나타났는데 이는 폴리머 자체의 성질보다는 균열 충전을 위한 많은 가수가 원인으로 볼 수 있다.
- (6) PCCs의 신장률은 폴리머 종류에 상관없이 P/C의 증가에 따라 신장률이 컸으며, P/C 40%에 비해 P/C 100%의 신장률이 EVA를 사용한 경우 약 1.69배, SAE를 사용한 경우 1.31배 크게 나타났다.
- (7) PCCs의 탄성계수는 P/C의 증가에 따라 폴리머의 종류에 상관없이 큰 폭으로 작아지는 경향을 보였는데, P/C 100%는 P/C 40%에 비해 5.24배 및 2.87배 각각 작아졌으나 실리카폼을 혼입한 경우는 P/C 80%에서 1.26배 및 1.30배, P/C 100%에서는 1.35배 및 1.20배 각각 크게 나타났다.
- (8) 본 연구에서 두 종류의 폴리머 디스퍼전을 사용한 P/C 40%를 제외한 모든 배합에서의 KS F 4919(시멘트 혼입 폴리머계 방수재)에서 규정한 인장성능 중 인장강도

1.0 N/mm² 이상, 신장률 50%을 모두 만족한 배합을 설계할 수 있었다.

(9) 본 연구에 이어 향후 균열 폭 및 깊이에 따른 완전한 충전성을 고려한 PCCs의 적절한 점도 범위와 충전 후 방수성 및 내투수성, 접착강도와 PCCs의 균열 거동 추종성 등을 고려한 최적배합을 설정해 나아가야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No.2021 R1F1A1046181)로 이에 감사드립니다.

References

1. Choi, S. J., Choi, J. W., and Kwon, S. J. (2014), Study on Cracking Causes and Patterns in Median Barrier and Guardrail Concrete in RC Bridge, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 18(5), 19-26 (in Korean).
2. Lee, C. H., Kim, T. S., and Song, H. W. (2009), Corrosion Resistance of Blended Concrete and Its Application to Crack Healing, *Journal of Korea Concrete Institute*, 21(6), 689-96 (in Korean).
3. Kim, E. Y., and Sho, K. H. (2018), The Physical Properties of Port type Crack Injection Method Using Latex Elastic Storage Tube, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 22(2), 68-75 (in Korean).
4. Shin, H. C., Tanaka, K., and Kim, Y. K. (2007), Durability Design

of Crack Repairment in Concrete Structures, *Magazine of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 24(4), 38-43 (in Korean).

5. Ohama, Y. (1995), Handbook of polymer-modified concrete and mortars, Properties and Process Technology, Noyes Publications, New Jersey, USA, 225p.
6. Sanjay, N., Ohama, Y., and Demura, K. (1993), Evaluation Method for Adhesion Test Results of Bonded Mortars to Concrete Substrates by Square Optimization Method, *ACI Materials Journal*, 92(4), 355-360.
7. 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 (in Korean).
8. Jo, Y. K., Hong, D. W., Kwon, W. C. and Kim, W. K. (2022), A Study on the Adhesion Properties of Polymer-Cement Composites for Repairing Cracks in RC Structures, *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 22(1), 23-34 (in Korean).
9. Sanjay, N., (1993), Improvement in adhesion of polymeric repair and finish materials for reinforced concrete structures, PhD thesis, Koriyama, Japan, Nihon University, 80-106.
10. Jo, Y. K. (2008), Bond Strength and Corrosion Resistance of Coated Reinforcing Bar Using Hybrid-Type Polymer Cement Slurry, *Journal of Korea Institute Building Construction*, 8(3), 93-99 (in Korean).
11. Jo, Y. K. (2009), A Study on the Water Permeability and Drying Shrinkage of Polymer Cement Composites. *Journal of Korea Institute Building Construction*, 9(5), 71-77 (in Korean).
12. KS F 4919. (2018), Cement-polymer modified waterproof coatings, Korean Agency for Technology and Standards.

Received : 08/15/2023

Revised : 10/01/2023

Accepted : 10/06/2023

요 지 : 본 연구는 RC 구조물의 균열보수를 위한 보수재로서 폴리머 디스퍼전과 시멘트만으로 구성된 폴리머 시멘트 복합체 (polymer cement Composites ; PCCs)를 제작하여 실험적으로 기초물성을 파악하고자 하였다. 연구를 위한 시험배합은 EVA 및 SAE 폴리머 디스퍼전을 기반으로 보수재의 충전성을 고려하여 폴리머 시멘트비율 4가지(20, 60, 80 및 100%)로 변환시키면서 물시멘트비를 정해 PCCs의 점도를 결정하였다. 또한 PCCs의 강성을 개선시키기 위하여 P/C 80%와 100%에 실리카폼을 혼입한 시험편도 제작하였다. PCCs의 균열보수용으로서의 점도, 유동성, 충전성, 인장강도, 신장률 및 탄성계수 등 기초적 물성을 실험하였다. 연구결과, 폴리머의 종류에 따라 P/C는 점도와 유동성에 큰 영향을 미쳤으며 RC 구조물의 균열보수용으로서 충전성을 고려한 적절한 점도를 갖춘 배합설계를 위해 상당한 가수가 필요하였다. 본 연구에서 설계한 모든 배합은 충전성이 우수하였으며, PCCs의 인장강도와 신장률은 시멘트 혼입 폴리머계 방수재에 대한 KS 규정을 만족하였다. 또한 실리카폼을 혼입함으로써 PCCs의 인장강도와 탄성계수가 개선되었으며, 폴리머 종류에 따라서는 SAE를 사용한 경우가 EVA를 사용한 경우에 비해 RC 구조물 균열 보수재로서 우수한 기초적인 물성을 나타냈다. 본 연구결과를 종합하면, RC 구조물의 균열보수용으로 SAE를 사용한 P/C 80% 또는 100%와 실리카폼 30%까지 혼입한 배합을 적절한 배합으로 제안할 수 있었다.

핵심용어 : 폴리머 시멘트 복합체, 폴리머 시멘트비, 충전성, 인장강도, 신장률, 탄성계수
