

Research Paper

RC 구조물의 균열 보수용 폴리머 시멘트 복합체의 접착특성에 관한 연구

A Study on the Adhesion Properties of Polymer-Cement Composites for Repairing Cracks in RC Structures

조영국^{1*} · 홍대원² · 권우찬² · 김완기³

Jo, Young-Kug^{1*} · Hong, Dae-Won² · Kwon, Woo-Chan² · Kim, Wan-Ki³

¹Professor, Department of Architectural Engineering, Chungwoon University, 113, Sukgol-ro, Incheon, 22100, Korea

²Undergraduate Student, Department of Architectural Engineering, Chungwoon University, 113, Sukgol-ro, Incheon, 22100, Korea

³Professor, Department of Architectural Engineering, Hyupsung University, 72, Choerubaek-ro, Hwaseong, 18330, Korea

*Corresponding author

Jo, Young-Kug

Tel : 82-32-770-8172

E-mail : ykjo@chungwoon.ac.kr

Received : December 11, 2021

Revised : February 7, 2022

Accepted : February 9, 2022

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the adhesion properties of polymer cement composites for crack repair of an RC structure. Polymer cement composites are manufactured from cement, three types of polymers and silica fume, and the mixture is designed by adjusting the water cement ratio and AE reducing agent so that the viscosity target of the polymer cement composites is 700mPa·s or less. According to the test results, the Type-A adhesion in tension of the polymer cement composite exceeded the adhesion standard of 1.0MPa of the polymer finishing material, and furthermore, depending on the type of polymer, the adhesion in tension was highest for SAE, followed in descending order by EVA, and SBR. In addition, the adhesion in tension of Type-B is up to 1/4.5 lower than that of Type-A, but the incorporation of silica fume shows a significant improvement in terms of adhesion in tension. Based on this study, the basic mixing design of the polymer cement composites required for viscosity and adhesive performance required for crack repair of the RC structure was completed. It could be proposed as an optimal mixing design under conditions for intermixing polymer type EVA, SAE, and P/C 80%-100%.

Keywords : polymer cement composites, viscosity, flow, polymer-cement ratio, silica fume

1. 서론

RC 구조물의 균열은 균열의 위치, 길이, 폭 및 균열 패턴에 따라 구조적 안정성 및 내구성 면에서 그 영향성의 크기가 달라질 수 있다[1]. 일반적으로 경화한 콘크리트 구조체의 균열을 보수하기 위한 여러 재료가 개발되고 사용되고 있지만, 주사기를 이용한 2액형 에폭시 수지 충전 방법과 미리 경화제와 주제를 혼합 후 주사하는 방식의 보수 방법이 널리 사용되고 있다[2,3]. 2액형 주입 에폭시의 경우에는 균열 부위에 두재료가 충전되어 스스로 혼합되는 과정에서 경화되는 데 이때 미경화 에폭시가 존재하며, 미리 혼합한 경우에는 경화시간의 조정 등의 사용성이 현장에서 불리하게 작용한다. 또한, 균열 부위를 에폭시로 충전하면 시멘트 콘크리트와 에폭시 수지의 열팽창계수가 달라 장기간 시간이 흐르면 시멘트 콘크리트 계면과 에폭시 수지가 분리되어 보수의 효과가 현격하게 저하될 수 있다.

한편 폴리머 시멘트 복합체(Polymer Cement Composites : 이하 PCCs)는 폴리머 시멘트 콘크리트, 폴리머 시멘트 모르타르 및 폴리머 시멘트 페이스트 형태로 만들 수 있으며, 폴리머가 시멘트 경화체의 여러 특성을 개선해 구조적 성질 및 내구성



을 개선하게 된다[4-6]. 여기에 혼입되는 폴리머는 액상 형태의 폴리머 에멀전과 분말 형태의 재유화형 분말수지로 크게 구분된다. 우리나라 현장에서는 폴리머 에멀전 상태로 널리 사용되며 프리믹스 폴리머 시스템에서는 재유화형 분말 수지가 사용되고 있다[7]. 이러한 폴리머 입자들이 물에 분산되어 시멘트와 혼입되는 과정에서 시멘트의 수화물 생성과 폴리머 입자들의 수분 증발에 의한 응집현상으로 시멘트 수화물 표면에 3차원적인 폴리머 필름이 둘러 쌓게 되어 구조적 성질 및 내구성을 개선하게 된다[4]. 이러한 성질을 이용하여 기존의 폴리머 함유량 보다 훨씬 높은 폴리머 시멘트비 100%까지의 새로운 개념의 RC 구조체의 균열 보수용 PCCs를 개발하고자 하였다. 높은 폴리머 시멘트비를 사용하는 경우 보수재의 방수성[8], 접착성과 인성을 크게 개선하여 기존의 에폭시 수지에 의한 보수의 단점을 개선할 수 있을 것으로 사료된다. 즉 폴리머 시멘트 슬러리 형태로 만들어 균열에 충전시키면 폴리머의 우수한 접착성 및 인성에 의해 RC 구조체 균열의 변형에도 대응할 수 있을 것으로 판단된다. PCCs를 75 μ m~250 μ m 두께로 철근에 피막을 형성하여 내부식성을 평가한 기존 연구[9]를 기반으로, 두께 1mm에서 5mm 범위의 RC 구조체의 균열 보수용 PCCs의 적용성을 접착특성으로 평가하는 것은 의미가 있을 것으로 판단된다. PCCs 종류인 폴리머 시멘트 모르타르 및 폴리머 시멘트 페이스트의 기존 연구를 기초로 하여 폴리머 특성을 이용하고자 현장에서 널리 사용되고 있는 폴리머 디스퍼션 3종류를 이용하여 각종 폴리머 시멘트비의 변화와 실리카흙의 혼입에 따른 RC 구조체의 균열 보수용 PCCs의 배합을 설계하였다. 실제 주사기에 의한 균열 보수시 미세한 균열의 보수 가능성을 평가하고자 각 배합에 따른 점도와 유동성을 측정하였으며 기중에서의 두께별 PCCs 경화체의 형성 상태도 확인하였다. 피착체에 대한 접착성에 관한 기존 연구[10,11]에서 여러 가지 방법을 제시하고 있으나 본 연구에서는 수직 당김 인장방법에 의한 인장접착강도 측정 방법과 시멘트 모르타르의 인장강도 시험 방법을 통한 PCCs의 인장접착강도를 평가하는 방법을 선택하였다.

2. 실험계획

2.1 사용재료

2.1.1 결합재

시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(밀도 3.15g/cm³, 분말도 3,200cm²/g)를 사용하였으며, 혼화재는 콘크리트 혼화용으로 널리 사용되고 있는 실리카흙(밀도 2.23g/cm³ 분말도 310,000cm²/g)을 사용하였다.

2.1.2 시멘트 혼화용 폴리머

본 연구에서 사용한 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼전은 현장에서 마감재료, 보수보강 및 방수재료로 널리 사용되고 있는 SBR(Styrene-butadiene Rubber), EVA(Ethylene-Vinyl Acetate) 및 SAE(Styrene-Vinyl Acrylic Ester)의 수성 폴리머 디스퍼전을 사용하였고 그 성질은 Table 1과 같다. 또한, EVA의 경우 점도가 커 유동성을 증가시키기 위하여 고성능 AE 감수제를 시멘트 중량의 0.2% 혼입하였다.

Table 1. Properties of polymer dispersion

Type of polymer	Density(g/cm ³ , 20°C)	pH(20°C)	Viscosity(mPa·s, 20°C)	Solid content(%)
SBR	1.02	9.2	60	48.5
EVA	1.05	4.7	1,588	56.0
SAE	1.06	7.5	100	47.0

2.2 실험방법

2.2.1 PCCs 제작

PCCs는 폴리머, 시멘트 및 실리카흙을 Table 2와 같은 배합비로 3종류의 폴리머 디스퍼션과 시멘트를 용기에 넣고 1분간 손비빔으로 잘 섞은 후, 2분간 고속 믹서 날을 이용하여 전혀 덩어리가 없을 정도로 혼합하여 PCCs를 슬러리화 하였다. 본 배합의 목표는 PCCs를 제작하여 미세한 균열에 충전시킬 수 있는 점도와 유동성을 확보하고 우수한 접착성과 방수성을 확보할 수 있는 높은 폴리머 시멘트비인 40%~100% 범위에서 배합을 설계하였다. 낮은 폴리머 점도를 갖고 있는 SBR과 SAE 경우에는 배합결정이 쉬우나 점도가 높은 EVA 경우에는 가수하지 않으면 적절한 점도와 유동성을 얻지 못하기 때문에 물결합재비를 200%까지 높여 배합을 조정하였다. 또한 PCCs의 피막 형성에서 강성을 높이고자 실리카흙을 폴리머 종류와 폴리머 시멘트비에 따라 적절한 점도가 될 수 있도록 혼입비율을 달리하여 첨가하였는데 본 연구에서 목표로 한 점도는 주사기를 이용한 PCCs의 주입에 지장이 없는 정도인 700MPa·s 이하가 되도록 조정하였다.

Table 2. Mix proportions of PCCs

Mix. No.	Type of PCCs	P/B(%)	W/C(%)	SF(%)	Viscosity(mPa·s)	Flow(cm)
1-1	SBR	40	40	0	620.0	18.0
1-2		60	60		346.4	19.3
1-3		80	80		252.8	20.8
1-4		100	100		205.6	21.5
2-1	EVA	40	140	0	366.4	13.0
2-2		60	140		376.0	14.4
2-3		80	160		324.0	13.5
2-4		100	200		579.2	14.8
3-1	SAE	40	40	0	152.0	19.2
3-2		60	60		99.2	21.5
3-3		80	80		81.6	21.4
3-4		100	100		68.8	21.2
4-1	SBR	40	40	5	653.6	16.3
4-2		60	60	10	491.2	18.8
4-3		80	80	20	430.4	17.3
4-4		100	100	20	278.4	18.0
5-1	EVA*	40	120	10	303.2	15.3
5-2		60	120	10	402.4	15.3
5-3		80	160	10	268.0	15.8
5-4		100	200	10	252.0	16.8
6-1	SAE	40	120	5	477.6	17.5
6-2		60	120	10	412.0	16.5
6-3		80	160	20	334.4	17.6
6-4		100	200	30	276.0	18.3

EVA* : adding 0.2% AE-water reducing agent

2.2.2 PCCs의 점도와 플로 측정

각종 배합에 따라 제작된 PCCs를 브룩필드 점도계를 사용하여 점도를 측정하였으며 PCCs의 유동성은 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 평균값을 플로로 정하였다.

2.2.3 PCCs의 피막 형성 상태 관찰

Table 2의 배합중 SBR, EVA 및 SAE의 실리카흙을 혼입하지 않은 모든 배합과 피막의 강성을 개선시키고자 P/C 80%와 100%에 실리카흙을 혼입한 경우의 PCCs 피막 형성 상태를 확인하기 위하여 아크릴로 만든 폭 2.5cm, 길이 12cm, 두께 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 및 5.0mm의 형틀에 피막을 형성시켜 20±2°C, 50±5%R.H.기중에서 28일간 양생을 실시하였다. 양생 후, 정확한 피막의 뒤틀림이나 표면의 균열 발생 정도를 확인하여 피막의 양호 정도를 3단계로 평가하였다.

2.2.4 PCCs의 인장접착강도

Figure 1과 같이 PCCs의 인장접착용 공시체는 Type A와 Type B로 구분하여 제작하였다. Type A 공시체 제작은 먼저 120×160×40mm인 몰드에 시멘트와 잔골재 비율이 1:3 인 보통 시멘트 모르타르를 타설하여 28일간 20±2°C 수중에서 28일간 양생을 실시하여 피착체인 베이스 모르타르로 하였다. 그 후 베이스 모르타르 위에 두께 1.5mm~2.0mm로 PCCs를 도포하여 피막을 형성시킨 후, 20±2°C, 50±5%R.H. 기중에서 28일간 양생을 실시하고 4×4cm 크기로 PCCs 피막 부분을 절단하였다. PCCs 절단 부위에 인장용 철물 지그를 에폭시 접착제로 접착한 후 KS F 2476(폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법)에 의하여 PCCs의 인장접착강도시험을 실시하였다. 한편, Type-B의 인장접착강도용 공시체는 인장강도용 몰드에 1:3 인 보통 시멘트 모르타르를 타설하여 28일간 20±2°C 수중에서 양생을 실시한 후, 절반을 절단하였다. 두 절단면 간격이 1.5mm~2.0mm가 되도록 비닐테이프로 고정한 후 10ml 주사기로 간극을 PCCs로 주입한 후 28일간 온도 20±2°C, 습도 50±5%R.H 기중에서 양생을 실시하였다. 소정의 양생이 끝난 후 인장강도 시험기를 사용하여 KS L 5104(수경성 시멘트 모르타르의 인장강도 시험방법)에 따라 PCCs의 인장접착강도 시험을 실시하여 파괴하중을 접착단면적으로 나누어 강도를 구하였다.

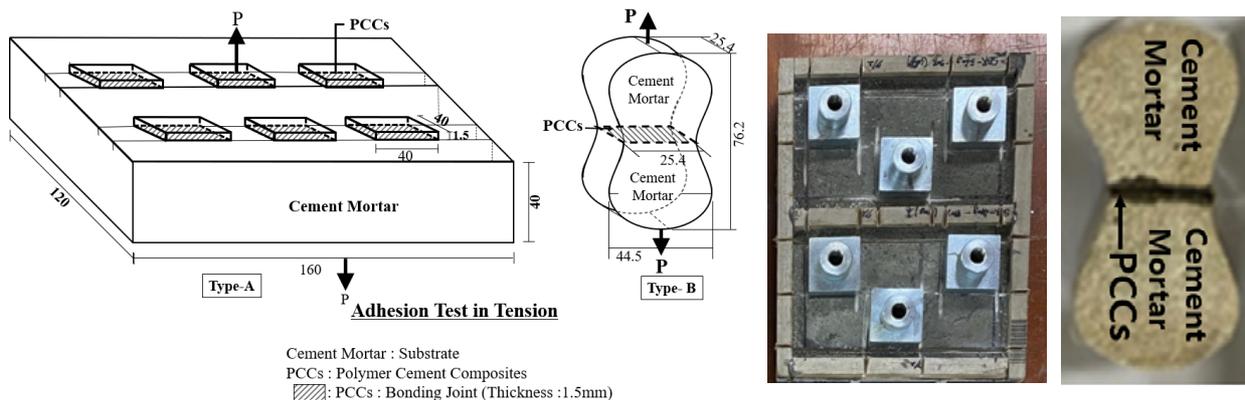


Figure 1. Specimens for adhesion in tension

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PCCs의 피막 형성 상태 관찰

Figure 2는 PCCs의 폴리머 종류에 따라 대표적인 피막두께 1mm와 2mm 피막 형성 상태를 보여 주고 있으며 Table 3은 PCCs 피막 형성 상태를 3단계로 평가하여 정리한 것이다. 본 연구에서는 PCCs 피막형성 과정을 촉진하기 위하여 온도 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도 $50\pm 5\% \text{R.H}$ 대기중에서 방치하여 피막 형성을 살펴본 결과, 보통 3~5일 정도에서 피막이 완벽하게 형성되는 것으로 나타났다. 특히 SBR의 경우, 1mm 두께에서 P/C와 관계없이 모든 배합에서 뒤틀림과 심한 균열이 발생하였으며 1.5mm에서 P/C 40%와 60%에서만 균열이 발생하지 않았다. 또한 2.0mm 이상의 비교적 두꺼운 피막은 모든 배합에서 심한 균열이 발생하였고 실리카흙을 혼입한 경우에도 피막의 균열은 심하게 발생하였다. 이처럼 다른 폴리머에 비하여 SBR을

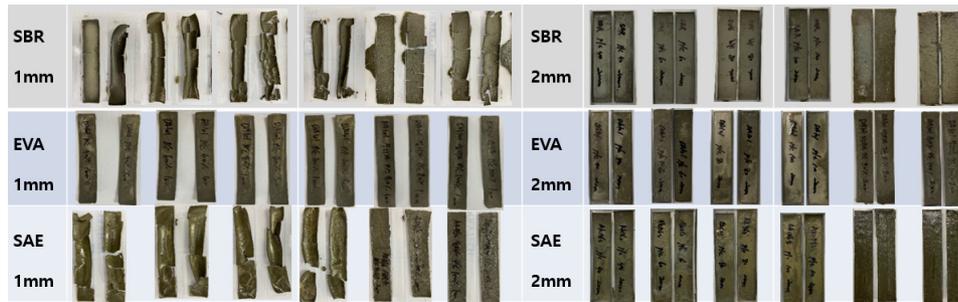


Figure 2. PCCs films foaming

Table 3. Evaluation of PCCs films foaming

PCCs	P/C(%)	1mm	1.5mm	2mm	3mm	5mm
SBR	40	X	O	△	△	△
	60	X	O	△	△	X
	80	X	△	X	△	X
	100	X	△	X	X	X
	80+SF	X	X	X	X	X
	100+SF	X	X	X	X	X
EVA	40	O	O	O	O	O
	60	O	O	O	O	O
	80	O	O	O	O	O
	100	O	O	O	O	O
	80+SF	O	O	O	O	O
	100+SF	O	O	O	O	O
SAE	40	X	O	O	O	O
	60	X	O	O	O	O
	80	X	O	O	O	O
	100	X	O	O	O	O
	80+SF	O	O	O	O	O
	100+SF	O	O	O	O	O

O: None cracks, △: a slight cracks, X: sever cracks

이루는 성분중에서 폴리머 피막의 강성을 개선시키는 스티렌 성분의 함유량이 높기 때문으로 설명되어지며, 본 연구의 인장접착강도 Type-A와 같이 베이스 모르타르 위에 타설하는 경우에는 모든 배합에서 균열이 발생하지 않았으며, 또한 Type-B와 같은 실험에서도 실제 1.5~2.0mm 간극을 10ml 주사기를 사용하여 PCCs를 충전한 후 피막을 실패 본 결과 모든 피막에서 균열 발생이 없이 피막을 형성한 것으로 보아, 본 피막형성 과정의 건조양생과는 달리 베이스 모르타르가 구속하는 상태에서는 PCCs 피막의 균열이 발생하지 않은 것을 확인하였다. 한편 EVA를 사용한 PCCs는 모든 배합에서 균열이 발생하지 않고 피막을 형성하였으며, 배합조건에서 점성을 저하시키기 위한 물결합재비가 200%가 되어도 균열은 발생하지 않았다. 또한 SAE를 사용하여 만든 PCCs의 피막의 경우, 피막 두께 1.0mm의 얇은 두께를 제외하고는 모든 배합에서 전혀 균열이 발생하지 않았는데 1mm 두께의 배합 또한 실제 실험에서는 균열이 발생하지 않고 피막을 형성하였다. 이처럼 폴리머 종류, 피막 두께, P/C, 양생 조건 및 피착체의 구속조건이 PCCs 피막의 형성에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

3.2 PCCs의 점도 및 플로

Figure 3은 PCCs의 실리카흙 혼입 유무에 따른 점도를 나타낸 것이며, Figure 4는 PCCs의 플로 시험 후의 상태를 보여주고 있다. 또한, Figure 5는 PCCs의 실리카흙 혼입 유무에 따른 플로의 결과치를 보여주고 있다. 상대적으로 폴리머 디스퍼전 원재료의 점도가 낮은 SBR과 SAE의 경우에는 시멘트를 혼입한 PCCs의 점도는 P/C의 증가에 따라 낮아졌는데 이는 폴리머 입자의 불베어링 효과에 의해서 유동성이 증가한 것으로 볼 수 있다. 그러나 EVA의 경우에는 가수하지 않으면 목표 점도인 700MPa·s 이하를 얻을 수 없었는데 P/C 100% 경우에는 점성이 너무 커 물결합재비가 200% 미만에서는 목표 점도를 얻을 수 없었다. 물론 이렇게 가수하여도 PCCs의 재료분리가 일어나지 않은 범위에서 조정하였다. 또한, PCCs의 강성을 개선하고자 실리카흙을 혼입하였는데, 폴리머 종류에 따라 점도가 크게 달라져 실리카흙을 혼입할 수 있는 범위를 30% 이하로 하여 전체배합에 일괄적으로 혼입하지 않고 점도의 변화를 평가하면서 혼입량을 조정하였다. 예를 들어 SBR P/C 40%의 경우 점도가 커 실리카흙을 5% 이상 혼입할 수 없었으며, P/C 100%의 경우에는 폴리머에 의한 유동성이 커 실리카흙을 20% 까지도 혼입할 수 있었다. 또한 SBR로 만든 PCCs의 점도는 P/C의 증가에 따라 낮아져 플로 또한 약간 증가하는 현상을 보였으나 EVA로 만든 PCCs의 경우에는 점도와 플로는 큰 상관성이 없었다. 또한, PCCs에 실리카흙을 혼입하면 상대적으로 점도가 약간 증가하고 플로도 감소하는 경향을 보였는데 SAE의 점도 증가가 다른 폴리머에 비해 크게 나타났다. 본 연구와 같이 일반적인 폴리머의 성질상 P/C의 증가에 따라 점도가 낮아지고 플로는 감소하는 것이 일반적인 현상이나 EVA 경우에는 약간 차별적인 결과를 얻었다.

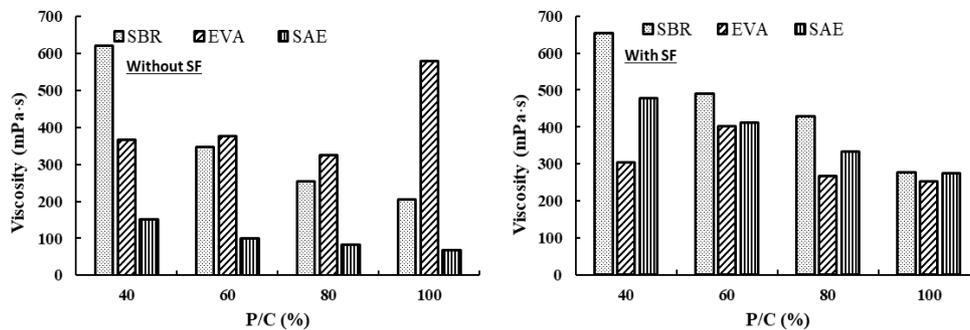


Figure 3. Viscosity of PCCs with and without SF

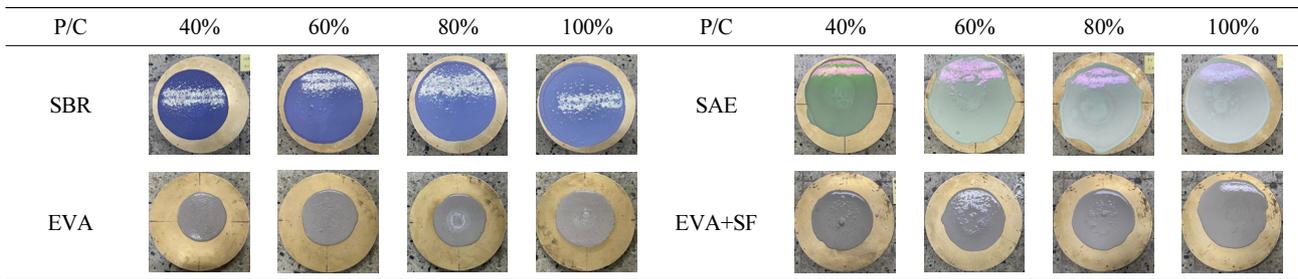


Figure 4. Flow of PCCs

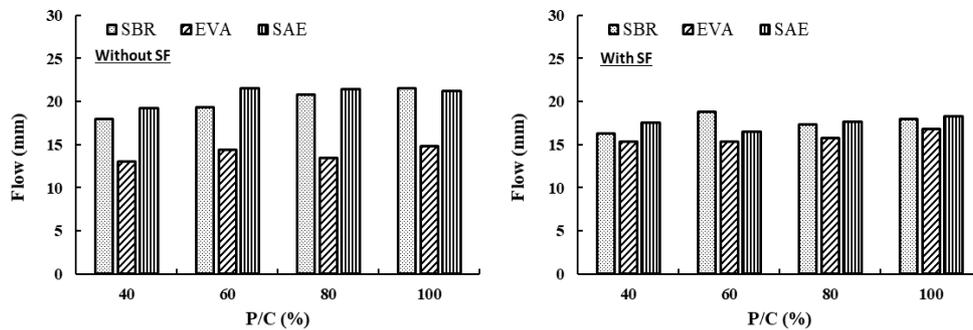


Figure 5. Flow of PCCs with and without SF

3.3 PCCs 피막의 Type-A 인장접착강도

Type-A 시험은 피착체와 접착체사이의 접착성을 측정하는 일반적 방법이다. 이러한 피착체와 접착체의 접착성을 개선 시키는 것은 RC 구조체의 균열 보수에 가장 필수적인 요소이다. 따라서 접착성을 개선시킬 때 현장에서 가장 많이 사용되고 있는 것이 시멘트에 폴리머를 혼입하는 방법이다. 현재까지 피착체와 접착체 사이의 계면의 접착성 개선 처리방법에 대한 연구가 많이 진행되었는데, 가장 널리 사용되는 처리방법은 보통 시멘트 모르타르 또는 콘크리트 위에 보수용 폴리머 시멘트 모르타르를 타설하는 방법[4,6], 보통 시멘트 모르타르 또는 콘크리트 피착체 위에 바로 폴리머 디스퍼션을 도포한 후 다시 그 위에 보통 시멘트 모르타르를 타설하는 방법[5], 보통 시멘트 모르타르 또는 콘크리트 피착체 위에 폴리머 시멘트 페이스트를 일정한 두께로 도포한 후 그 위에 보통 시멘트 모르타르를 타설하는 방법이 있다.

Figure 6은 PCCs의 Type-A 인장접착강도 시험결과를 나타내고 있다. RC 구조물의 균열 보수용으로 사용되는 PCCs의 기본적인 접착 성상을 파악하고자 한 것으로 피막두께 1.5mm~2mm 정도를 목표로 하였다. PCCs의 폴리머 종류에 따른 인장접착강도는 SBR을 사용한 경우 0.94MPa~1.44MPa, EVA를 사용한 경우 1.02MPa~1.99MPa, SAE를 사용한 경우 1.01MPa~2.13MPa 범위에서 발현하였으며, 폴리머 종류에 따라서는 P/C에 따라 약간의 차이는 있으나, SAE, EVA, SBR 순으로 높은 인장접착강도를 나타냈다. 또한, 각 폴리머별 P/C 증가에 따른 인장접착강도는 P/C 60% 또는 80%에서 최대값을 나타냈다. PCCs에 의한 RC 구조체의 균열보수시 PCCs가 갖추어야 할 기본 물성중에서 기존 시멘트 콘크리트와 접착력이 가장 중요하고, 균열부위에 지속적인 구조체 변형에 의해서 응력이 발생할 때 우수한 접착력과 풍부한 인성으로 변형에 대한 추종력이 있어야 하며, 보수 부위를 통하여 외부로부터 수분이나 가스등의 침입을 차단할 수 있도록 방수성도 고려되어야 할 사항이다[4]. 일반적인 콘크리트-폴리머 복합체는 P/C 증가와 방수성은 상대적으로 비례적인 관계를 갖고 있기 때문에 높은 P/C 배합에서 약간의 인장접착강도가 저하되더라도 균열보수 환경에 따라 방수성을 우선하여 고려할 측면도 있다[4,8]. 본 연구에서의 거의 모든 배합의 인장접착강도는 KS M 6010(수성도료)에서 요구되는 0.5MPa, 건축용 타일 시공에

서 요구하는 0.39MPa 및 KS F 4042(콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르)에서 제시한 1.0MPa를 상회하고 있다. 기존의 연구에서 본 연구와 같은 종류의 폴리머를 사용한 1cm 두께의 폴리머 시멘트 모르타르의 인장접착강도가 약 1.40MPa~2.50MPa 범위[4,6]였는데, 아주 얇은 1.5mm~2.0mm 두께의 PCCs가 경화과정에서 균열을 발생시키지 않고 폴리머 시멘트 모르타르와 비슷한 인장접착강도를 발현한 것은 최대 P/C가 5배 정도 높아 피착체와의 접착계면에서 폴리머 필름의 우수한 접착성과 건조과정에서의 수축에 의한 응력을 폴리머의 풍부한 인성으로 흡수하여 미세한 균열이 발생하지 않은 결과로 볼 수 있다. 한편, 기존 연구와 같이 P/C 20~30% 범위의 폴리머 시멘트 모르타르 인장접착강도 발현이 폴리머 종류 및 P/C에 따라 일정한 경향을 보였으나[4], 본 연구 결과와 같이 폴리머 종류 및 P/C에 따라 인장접착강도 발현에 일관성이 결여된 결과를 얻은 것은 아주 높은 P/C와 PCCs 설계시 균열 충전성을 위한 점도를 중심으로 배합설계를 해, 폴리머 종류 및 P/C 별 배합 조건이 각기 다르기 때문으로 추측할 수 있다.

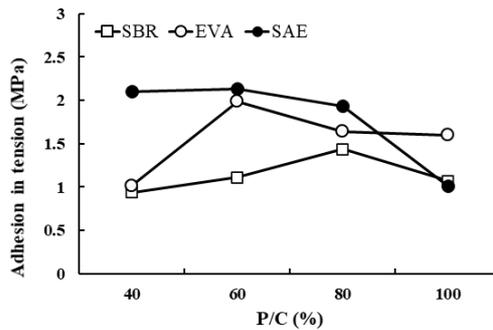


Figure 6. Type-A adhesion in tension of PCCs without SF

Figure 7은 PCCs에 실리카흙을 혼입한 경우의 인장접착강도를 나타내고 있다. 보통 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 실리카흙을 필러로서 혼입하면 조직이 치밀하게 되어 고강도화는 물론 장기 내구성을 개선할 수 있다는 연구는 많으나 폴리머 시멘트 복합체 자체에 실리카흙을 혼입하는 연구는 적으며 실리카흙을 혼입함으로써 폴리머 복합체의 역학적 성질이 개선된다고 보고되고 있다[12]. SBR을 사용한 PCCs는 실리카흙을 혼입함으로써 인장접착강도가 개선되었는데 P/C 40%에서 2.04배, P/C 60%에서 1.58배, P/C 80%에서 1.31배, 그리고 P/C 100%에서 1.07배를 나타내 P/C가 낮을수록 개선의 정도는 컸다. 또한, EVA를 사용한 경우에는 P/C의 변화에 따라 약 1.02배~2.02배 높게 나타났으며, SBR과 마찬가지로 낮은 P/C에서 개선의 정도가 높았다. 그러나 SAE를 사용한 경우에는 실리카흙을 사용하지 않은 경우 다른 폴리머에 비해 우수한 인장접착강도를 나타냈는데 여기에 실리카흙을 혼입한 경우에는 실리카흙을 혼입하지 않은 경우에 비해 0.76배~1.49배로, P/C 100%를 제외하면 인장접착강도의 개선을 발견할 수 없었다. 본 실험의 결과에서 실리카흙을 혼입하지 않은 경우와 혼입한 경우를 비교할 때, 폴리머 종류 및 P/C 증가에 따른 인장접착강도 개선 효과가 일관성 있게 나타나지 않았으며, 특히 SAE를 사용한 경우, 실리카흙을 혼입한 경우 오히려 강도가 저하하는 경향을 보였다. 이는 전술한 바와 같이 Table 2의 배합설계와 같이 폴리머 종류 및 P/C에 따른 배합조건이 모두 다르기 때문으로 배합별 비교가 전반적으로 이루어지기가 곤란한 점이 있다. SBR의 경우 P/C 80%에 실리카흙 20%를 혼입한 경우가 가장 큰 인장접착강도를 나타냈기 때문에 이를 최적배합으로 평가할 수 있다. 또한, EVA의 경우 다른 폴리머에 비해 혼입된 W/B가 2배 이상 크지만 인장접착강도는 다른 폴리머에 비해 큰 것은 폴리머 자체의 접착성이 우수하기 때문으로 판단 할 수 있으며 P/C 60%와 실리카흙 10%의 조합이 우수한 배합으로 볼 수 있다. 반면, SAE의 경우 오히려 실리카흙을 혼입하지 않은 경우가 높은 인장접착강도 특성을 보였는데, 다른 폴리머와는 달리 실리카흙을 혼입한 경우 일정한 점도를 위한 배합설계에서 2배이상의 W/B로 인장접착강도가 개선되지 못한 것으로 판단된다.

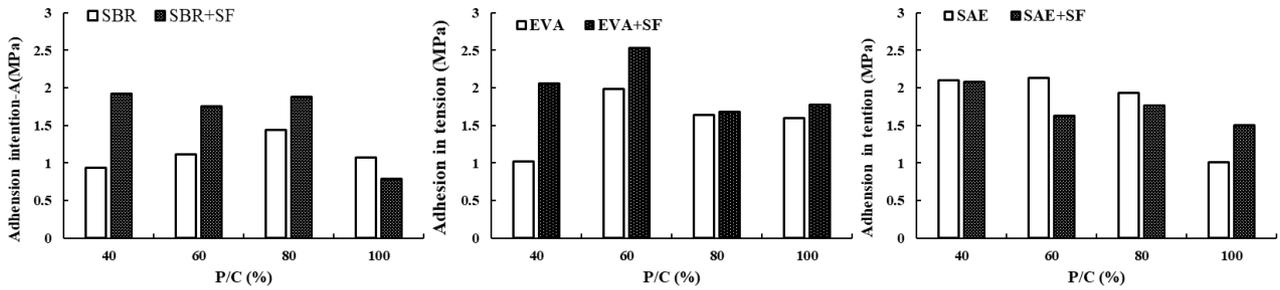


Figure 7. Type-A adhesion in tension comparison between with and without SF

3.4 PCCs 피막의 Type-B 인장접착강도

전술한 Type-A의 인장접착강도는 피착체인 베이스 모르타르의 1면 접착에 의한 결과라면, Type-B의 방법은 RC 구조물의 균열보수 방법과 같이 균열에 PCCs를 주사기로 충전한 후 2면 인장접착강도를 측정하는 것으로 그 결과를 Figure 8에 나타냈다. 실리카흙을 혼입하지 않은 PCCs의 인장접착강도는 폴리머 종류에 따라 약간 차이는 있으나 P/C 60%에서 최대값을 나타냈으며 P/C 80%와 100%에서는 약간 감소하였다. 폴리머 종류에 따라서는 전술한 Type-A의 인장접착강도와 마찬가지로 SAE, EVA, SBR 순으로 높게 나타났는데, SBR을 사용한 경우 PCCs의 인장접착강도는 0.21MPa~0.40MPa, EVA를 사용한 경우 0.38MPa~0.8MPa, 그리고 SAE를 사용한 경우 0.58MPa~0.75MPa 범위를 나타냈다. 이와 같은 인장접착강도는 전술한 Type-A의 인장접착강도에 비해 SBR의 경우 2.78배~4.50배, SAE의 경우 1.29배~4.32배, SAE 경우 1.74배~3.04배 낮게 나타났다. 기존연구[11]에서의 인장접착강도는 오히려 Type-B의 방법에 의한 인장접착강도가 전반적으로 Type-A보다 크게 나타났는데, 이는 본 연구와는 다른 방식의 보통시멘트 모르타르 피착체와 폴리머 시멘트 모르타르 접착체의 1면 접착방법이기 때문으로 볼 수 있다. 본 연구의 인장접착방법은 보통시멘트 모르타르 사이의 PCCs 접착체로서 양쪽 모르타르를 접착하는 2면 접착방식과 PCCs 피막을 형성하는 피착체의 형태와 양생 조건이 다르기 때문에 Type-A에 비해 Type-B의 인장접착강도가 작게 발현된 것으로 설명할 수 있다.

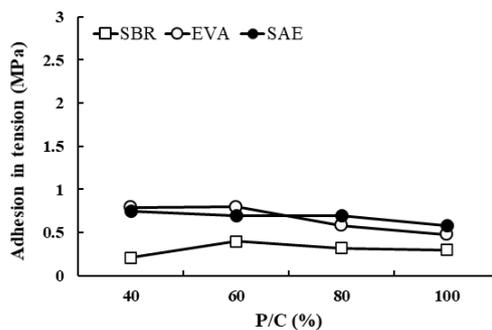


Figure 8. Type-B adhesion in tension of PCCs without SF

한편, Figure 9와 같이 PCCs에 실리카흙을 혼입한 Type-B의 인장접착강도 결과를 살펴보면, 실리카흙을 혼입하지 않은 경우에 비해 모든 배합에서 상당한 강도 개선효과를 보였다. 실리카흙을 혼입함에 따른 인장접착강도는 폴리머 종류에 따라 약간 차이가 있으며, SBR과 EVA를 사용한 경우, P/C의 증가에 따라 개선의 정도가 약간 감소하는 경향을 보였으나, SAE의 경우 P/C의 증가에 따라 커지는 경향을 보였다. 또한, 실리카흙의 혼입에 따른 강도 개선효과는 실리카흙을 혼입하

지 않은 경우에 비해 SBR의 경우 1.65배~6.57배, EVA의 경우 1.16배~2.18배, SAE의 경우 1.60배~3.81배 높게 나타나 실리카흙의 혼입에 따른 Type-B 인장접착강도의 개선 효과는 뚜렷하게 나타난 것을 알 수 있었다. 특히 SAE를 사용한 경우, 다른 폴리머에 비해 P/C가 높은 80%와 100%의 인장접착강도에서 높게 나타났는데, 이러한 경향은 Type-A의 실리카흙 혼입 효과와 상이한 결과인데, SAE로 만든 동일한 PCCs가 Type-A에서 양생조건과 W/B의 차이로 피착체와의 접착성에 영향이 미쳤다면, Type-B의 또 다른 양생조건에서 PCCs의 수화반응과 폴리머 필름 형성과정에 실리카흙의 강도 발현 역할 차이로 볼 수 있다. 그러나 이러한 경향이 다른 폴리머와 달리 SAE에서만 발생한 것은 실리카흙 혼입 유무에 따라 점도가 4배 이상 차이가 나는 배합의 영향으로 추측할 수 있다.

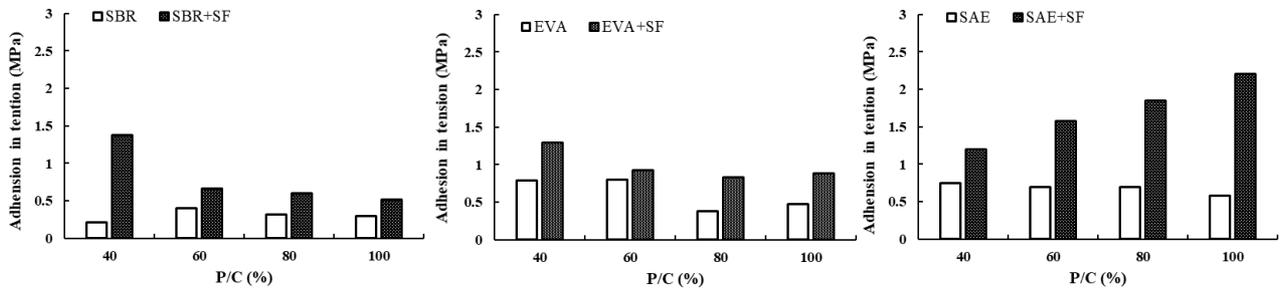


Figure 9. Type-B Adhesion in tension comparison between with and without SF

Figure 10은 폴리머 종류, P/C 혼입량 및 실리카흙 혼입 유무에 따른 Type-A 인장접착강도와 Type-B의 인장접착강도의 발현정도를 종합한 것이다. PCCs의 인장접착강도 분포는 실리카흙 혼입 Type-A, 실리카흙을 혼입하지 않은 Type-B, 실리카흙 혼입 Type-B, 실리카흙을 혼입하지 않은 Type-B 순으로 높게 나타났다. PCCs의 인장접착강도는 실리카흙을 혼입하지 않은 Type-A와 Type-B와의 강도 차이에 비해 실리카 흙을 혼입한 Type-A와 Type-B의 인장접착강도 차이가 작게 나타나 Type에 관계없이 실리카흙을 혼입함으로써 PCCs의 인장접착강도의 개선효과는 확인할 수 있었다. 또한, Type-B의 인장접착강도가 Type-A의 인장접착강도 보다 훨씬 낮은 강도를 나타냈으나, 실리카흙을 혼입함에 따라 실리카흙을 혼입하지 않은 Type-A 인장접착강도 수준에 이르는 결과를 얻었다.

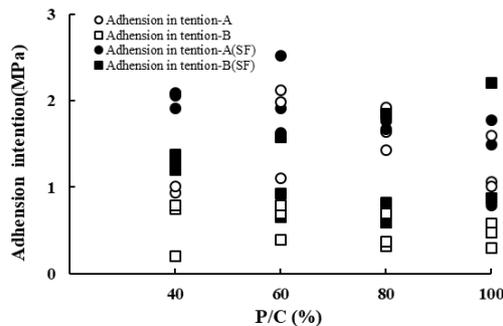


Figure 10. Relationship between adhesion in tension and P/C of PCC

4. 결론

RC 구조물의 균열 보수용 폴리머 시멘트 복합체의 접착특성에 관한 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) PCCs의 높은 유동성은 원재료인 폴리머의 점도에 큰 영향을 받았으며, 특히 EVA의 경우에는 가수를 하지 않으면 점도와 유동성을 확보할 수 없었다.
- 2) PCCs의 Type-A 인장접착강도는 0.94MPa~2.13MPa 범위로 거의 모든 배합에서 폴리머계 마감재료의 접착강도 기준인 1.0MPa를 상회하였으며 폴리머 종류에 따라서는 SAE, EVA, SBR 순으로 높은 강도를 나타냈다.
- 3) PCCs의 Type-A 인장접착강도는 폴리머 종류에 관계없이 P/C에 큰 영향을 받아 전반적으로 P/C 60% 또는 80%에서 최대값을 나타냈으며 실리카흙을 혼입함에 따라 폴리머 종류에 따라 약간의 차이가 있으나 최대 2.0배까지 인장접착강도가 개선되었다.
- 4) PCCs의 Type-B의 인장접착강도는 Type-A의 인장접착강도의 최대 1/4.5 수준의 강도를 나타냈으며, 폴리머 종류에 따라서는 전술한 Type-A의 인장접착강도와 마찬가지로 SAE, EVA, SBR 순으로 높게 나타났다.
- 5) PCCs의 Type-B의 인장접착강도의 개선은 실리카흙의 혼입함에 따라 현격하게 개선되었는데 균열보수에 필요한 P/C 80%와 100%에서 SBR의 경우 약 1.80배, EVA의 경우 약 2.0배 및 SAE의 경우 약 3.0배 정도로 높게 나타났다.
- 6) 본 연구에서 RC 구조물의 균열보수에 필요한 PCCs 배합은 EVA와 SAE, P/C 80%~100% 범위, 그리고 실리카 흙을 혼입하는 조건에서 최적 배합설계가 가능함을 확인하였다.

요약

본 연구의 목적은 RC 구조물의 균열 보수에 폴리머 시멘트 복합체의 접착성능을 평가하기 위함이다. 폴리머 시멘트 복합체는 시멘트, 폴리머와 실리카흙으로 제조하였으며, 점도가 700mPa·s 이하가 되도록 물시멘트비와 AE 감수제의 혼입량을 조정하였다. 연구결과, Type-A 인장접착강도는 폴리머계 마감 재료의 접착기준인 1.0MPa를 상회하였으며, 폴리머 종류에 따라 SAE, EVA, SBR 순으로 높은 인장접착강도를 나타냈다. 또한 Type-B의 인장접착강도는 Type-A에 비해 최대 1/4.5의 낮은 강도를 나타냈으나 실리카흙의 혼입에 따른 상당한 강도개선 효과를 보였다. RC 구조물의 균열 보수에 필요한 점도와 접착성능을 위해 EVA와 SAE의 폴리머 시멘트비 80%~100% 범위에서 일정량의 실리카 흙을 혼입하는 조건을 최적배합설계로 제안할 수 있었다.

키워드 : 폴리머 시멘트 복합체, 점도, 플로, 폴리머 시멘트비, 실리카흙

Funding

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government (MSIT)(No.2021R1F1A1046181) and academic research fund of Chungwoon University in 2021.

ORCID

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

Dae-Won Hong,  <http://orcid/0000-0002-2110-8112>

Woo-Chan Kwon,  <http://orcid/0000-0001-5515-6983>

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

Reference

1. Choi SJ, Choi JW, Kwon SJ. 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*. 2014 Sep;18(5):19-26. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2014.18.5.019>
2. Lee CH, Kim TS, Song HW. Corrosion resistance of blended concrete and its application to crack healing. *Journal of Korea Concrete Institute*. 2009 Dec;21(6):689-96. <https://doi.org/10.4334/JKCI.2009.21.6.689>
3. Kim EY, Sho KH. The physical properties of port type crack injection method using latex elastic storage tube. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 2018 Mar;22(2):68-75. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2018.22.2.068>
4. Ohama Y. *Handbook of polymer-modified concrete and mortars*. New Jersey (U.S.A): Noyes Publications; 1995. 225 p.
5. 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.
6. 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>
7. Lee KI, Yoon HS, Yang KH. Compressive and adhesive strengths of mortars using re-emulsification type polymer and ultra-rapid-hardening cement. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2018 Aug;18(4):329-35. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2018.18.4.329>
8. Jo YK. A study on the water permeability and drying shrinkage of polymer cement composites. *Journal of Korea Institute Building Construction*. 2009 Oct;9(5):71-7. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2009.9.5.071>
9. Jo YK. Bond strength and corrosion resistance of coated reinforcing bar using hybrid-type polymer cement slurry. *Journal of Korea Institute Building Construction*. 2008 Jun;8(3):93-9. <https://doi.org/10.5345/JKIC.2008.8.3.093>
10. Sanjay N, Ohama Y, Demura K. Evaluation method for adhesion test results of bonded mortars to concrete substrates by square optimization method. *ACI Materials Journal*. 1993 Jul-Aug;92(4):355-60.
11. Ohama Y, Demura K, Nagao H, Ogi T. Adhesion of polymer-modified mortars to ordinary cement mortar by different test methods. *Adhesion between Polymers and Concrete*. 1986 Sep:719-29. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3454-3_67
12. Liu Z, Zang Y. Enhanced mechanical and thermal properties of SBR composites by introducing graphene oxide nanosheets decorated with silica particles. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2017 Nov;102:236-42. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.08.005>