Journal of the Korea Concrete Institute
Vol. 27, No. 6, pp. 633~640, December, 2015
http://dx.doi.org/10.4334/JKCI.2015.27.6.633

pISSN 1229-5515
eISSN 2234-2842

EVA와 초조강시멘트를 사용한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 부착강도에 관한 연구

형원길 [1] · **조영국** [2]*

[1] 영남대학교 건축학부 [2] 청운대학교 건축시스템공학과

A Study on the Bond Strength of Coated Rebar by Polymer Cement Slurry Made of EVA and Ultra High-Early Strength Cement

Won-gil Hyung[1] and Young-Kug Jo[2]*

[1]School of Architecture, Yeungnam University, Gyeongsan 38541, Rep. of Korea

[2]Dept. of Architectural Engineering, Chungwoon University, Incheon 22100, Rep. of Korea

ABSTRACT Polymer cement slurry (PCS) is made from organic polymer dispersion and cement has good adhesion to steel, waterproofness and acid resistance due to being of polymer films formed in cement slurry. The purpose of this study is to evaluate the bond strength of coated rebar by polymer cement slurry made of EVA and ultra high-early strength cement. The test pieces are prepared with EVA polymer dispersion and ultra high-early strength cement having four types of polymer-cement ratios, four types of coating thicknesses and four curing ages, and tested for the bond strength test. From the test results, in general, bond strength of PCS-coated rebar is better than that of uncoated rebar and epoxy-coated rebar. It is also high bond strength at curing ages of 7-day, and coating thicknesses of 75 μm and 100 μm. The maximum bond strength of PCS-coated rebar with ultra high-early strength cement and EVA at polymer-cement ratio of 80%, and coating thickness of 100 μm is about 1.32 and 1.38 times respectively, the strength of uncoated rebar and epoxy-coated rebar. It is apparent that the curing age, coating thickness, type of polymer and cement are very important factors to improve the bond strength of PCS-coated rebar to cement concrete. We can have basic information that PCS-coated rebar with polymer-cement ratio of 80% or 100% and coating thickness of 100 μm at curing age of 1-day can replace epoxy-coated rebar.

Keywords : polymer cement slurry, bond strength, polymer-cement ratio, coating thickness, curing age

1. 서 론

철근콘크리트 구조물은 각종 물리적·화학적인 환경에 노출되어 결국 철근부식에 의해 내구성의 저하를 초래할 수 있다. 또한 콘크리트 사용량이 증가하면서 부족한 골재가 바닷모래로 대체되고, 동절기 방동제로서 염화칼슘의 사용에 따른 염화물이온의 침투가 철근콘크리트 구조물의 성능을 저하시킬 수 있다. 따라서 철근콘크리트 구조물의 철근의 부식을 제어하기 위하여 많은 방법이 제시되어 왔는데, 그 대표적인 방법이 에폭시 도장철근의 사용이다.[1-4] 그러나 에폭시 도장철근은 운반 시 충격에 의한 박리와 박락, 도장하지 않은 철근에 비해 낮은 부착력, 현장가공 시 휨에 의한 찢겨짐, 도장과정에서 발생하는 폐유기물 발생 등의 문제점이 있으며 더욱이 무엇보다도 도장의 높은 기술력과 이에 따른 높은 코스트로 말미암아 사용성이 제약되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 강재를 대체하여 FRP 보강근의 사용에 대한 위원회의 가이드[5]가 제안되기도 하였으며, 또한 본 연구와 같은 방법의 무기물인 시멘트와 유기물인 폴리머 디스퍼션을 혼합하여 만든 폴리머 시멘트 슬러리(Polymer cement slurry; 이하 PCS라 칭함)를 이용하는 것이다.[6-13] PCS는 에폭시 도장재에 비해 인성이 커 90° 이상 휨굽힘이 가능하고, 강재와의 부착성이 크며, 특히 코스트면에서 에폭시 도장재의 1/3 수준이다. PCS를 철근의 도장재로 사용할 때, 250 ± 50 μm 이하의 얇은 도막이 깨지지 않고 철근표면에 피막을 형성하고 적절한 인성을 보유하기 위해서는 폴리머 시멘트비를 50% 이상으로 하는 것이 제안되었다.[10-12] 이러한 PCS는 부식을 일으킬 수 있는 염화물이온의 침투와 이산화탄소의 확산에 의한 중성화

*Corresponding author E-mail : ykjo@chungwoon.ac.kr
Received April 24, 2015, Revised July 20, 2015,
Accepted December 14, 2015

를 억제하는데, 이를 위해서는 높은 폴리머 시멘트비가 필요하다. PCS를 이용한 철근의 도장에 관한 연구로서 철근을 액상의 PCS에 침지시켜 바로 도장하는 방법과 스프레이를 이용하여 뿜칠하여 도장하는 방법이 있다. PCS의 철근에 대한 우수한 부착성과 휨굴곡에 대한 풍부한 인성, 그리고 PCS 부착강도에 영향을 미치는 도장재의 배합 등의 연구가 선행되었다.[6-13] 기존의 연구를 통하여 PCS 도장재의 성능을 개선시키기 위하여, 폴리머의 종류와 시멘트의 종류가 커다란 영향을 끼칠 수 있다는 것을 알 수 있었는데, 본 연구에서는 기존연구에서 사용한 St/BA도 우수한 부착성을 나타냈지만 PCS의 인성은 약간 작으나, 폴리머 필림 자체의 강성이 큰 EVA 폴리머 디스퍼션을 사용하였다. 도장 후 PCS 피막의 빠른 경화를 위하여 초조강시멘트를 사용하였다.

본 연구를 통하여 EVA를 사용한 PCS 도장철근의 시멘트 콘크리트속에서의 부착강도를 도장두께, 폴리머 시멘트비 및 도장재의 양생재령의 변화에 따른 영향성을 평가하였으며, 인발에 의한 도장철근의 시멘트 콘크리트 속에서의 응력과 슬립 거동을 관찰하였다. 비교를 위하여 도장하지 않은 보통철근과 에폭시 도장철근도 같은 방법으로 실험을 실시하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

EVA 폴리머 디스퍼션과 초조강시멘트를 사용하여 PCS를 제작할 때 Table 1과 같이 시멘트 중량에 대한 폴리머 고형분(폴리머 시멘트비, P/C)을 4종류로 변화시켰으며, 제작된 PCS를 철근에 도장할 때, 도장두께를 4종류로 하여 도장하였다. 여기에 PCS를 철근에 도장한 후 기중에 방치한 기간을 양생재령으로 하여, 1일, 7일, 14일 및 28일이 경과한 후, 시멘트 콘크리트 속에 도장철근을 매립하여 공시체를 각 종류별로 3개씩 제작하였다. 본 연구에서 EVA와 초조강시멘트로 만든 결합재로 도장한 도장철근이 도장두께, 폴리머 시멘트비 및 양생재령이 부착강도에 미치는 영향을 평가하였다. 본 연구의 실험요인 및 수준은 Table 1과 같다.

Table 1 Experiment factors in this study

Factor	Level	Variables	Total specimen number
Cement	Ultra-high early strength cement	1	192
Polymer	EVA	1	
Polymer-cement ratio(P/C, %)	50, 60, 80, 100	4	
Curing age(day)	1, 7, 14, 28	4	
Coating thickness(μm)	75, 100, 150, 250	4	
Specimens number	-	3	

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 PCS의 조기 강도를 확보하기 위하여 초조강시멘트를 사용하였다.

2.2.2 시멘트 혼화용 폴리머

본 실험에 사용한 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션은 기존의 연구를 통하여 부착성과 도장 후 도장재의 건조시간 등을 고려하여 선정된 에칠렌 초산 비닐(EVA)을 사용하였으며, 그 성질은 Table 2와 같다.

2.2.3 이형철근 및 골재

이형철근은 D19를 사용하였으며, 부착강도 시험용 공시체를 만들 때 사용한 시멘트 콘크리트용 굵은골재는 20 mm 이하 쇄석골재를, 잔골재는 2.5 mm 이하 강모래를 사용하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 PCS 제조 및 도장

PCS는 Table 3과 같은 배합으로 제조하였는데, 이때 폴리머 시멘트비는 50%, 60%, 80% 및 100%로 정하였으며, Fig. 1과 같은 도장기구를 이용하여 도장두께 75 μm와 100 μm는 ±15 μm, 도장두께 150 μm와 250 μm는 ±25 μm 범위내에서 정밀도를 확보하였다. 또한 도장두께 75 μm와 100 μm는 뿜칠도장으로 하였으며, 150 μm와 250 μm의 비교적 두꺼운 도장두께는 시공성을 위하여 침지도장을 실시하였다. 도장두께의 확보를 위하여 도장두께 측정게이지를 사용하였다.

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	1.07	4.8	1,588	48.5

Table 3 Mix proportions of PCS for 1 batch

Cement (g)	Type of polymer	Polymer (g)	P/C (%)	W/C (%)
200	EVA	100, 120, 160, 200	50, 60, 80, 100	50～100

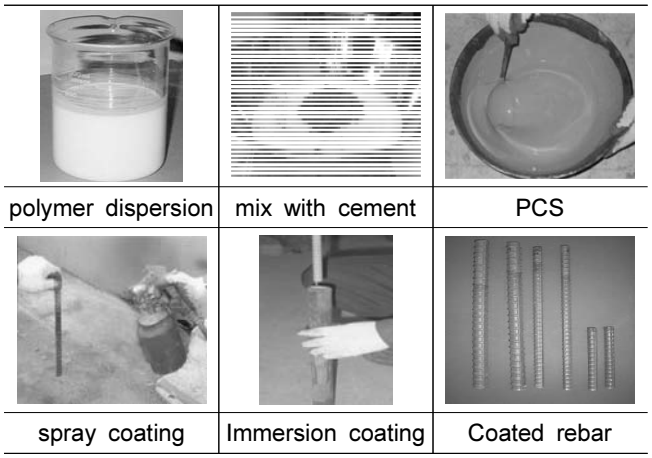

Fig. 1 Making of PCS and coating process

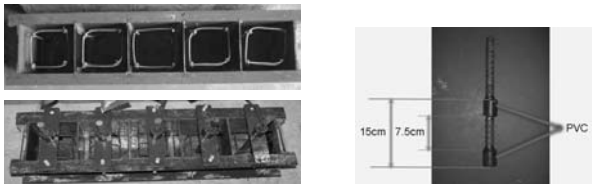

Fig. 2 Mold and specimen for bond strength

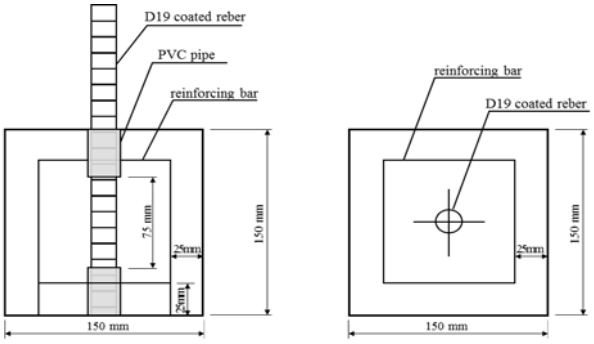

Fig. 3 Specimen size for bond strength

2.3.2 부착강도 시험용 공시체 제작

Fig. 2 및 Fig. 3과 같이 이형철근이 시멘트 콘크리트의 정 중앙에 위치하도록 고정할 수 있는 특수 제작한 형틀을 사용하였다. 또한 부착강도 시험시 도장철근과 시멘트 콘크리트와의 응력-슬립의 관계를 알아보기 위하여 형틀을 낮추어 이형철근의 하단이 시멘트 콘크리트 하단으로 나올 수 있도록 제작하였다. 도장철근의 순수 부착력을 알아보기 위하여 시멘트 콘크리트 매립부분인 15 cm 중, 철근 중앙부 7.5 cm만 시멘트 콘크리트와 부착할 수 있도록 매립부 양쪽에 철근을 PVC 파이프로 감쌌다. 그리고 철근의 인발에 의한 시멘트 콘크리트의 인장파괴를 제어하기 위하여 지름 3 mm 원형철근으로 정육면체 골격을 제작하여 시멘트 콘크리트 내부를 보강하였다. 공시체용 시멘트 콘크리트는 시멘트 400 kg, 잔골재 745 kg, 굵은골재 925 kg, 물 168 kg의 단위중량과, 잔골재율 45% 및 물시멘트비 42%로 배합한 목표 압축강도 27 MPa로 배합설계 하였다. 이후 건조양생(20 ± 2°C, R.H 50%)을 1일, 7일, 14일 및 28일간 실시한 도장철근을 시멘트 콘크리트 속에 매립하여 시험용 공시체를 제작하였다. 부착강도용 공시체는 제작 후, 20°C 수중에서 28일간 양생하였으며 비교를 위하여 도장하지 않은 보통철근과 에폭시철근 사용 공시체도 제작하였다.

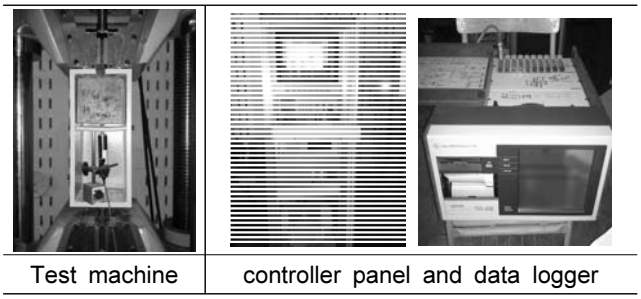

Fig. 4 Tester for bond strength

2.3.3 일단인발 부착강도 시험

소정의 양생을 마친 부착강도용 시멘트 콘크리트 공시체[14]를 Fig. 4와 같은 인스트론 만능시험기(200톤)를 이용하여, 하중의 재하속도는 0.5 mm/min으로 일정하게 유지하면서 하중의 증가에 따라 철근의 슬립은 철근 하단에 LVDT를 설치하여 데이터로그로 측정하였으며 부착강도는 인장하중을 철근의 둘레길이와 부착길이 곱의 합으로 나누어 산출하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PCS 도장두께에 따른 도장철근의 부착강도

본 연구에서 도장재의 도장두께 75 μm와 100 μm는 뿜칠에 의한 도장방법을, 150 μm와 250 μm의 두께의 도장철근은 침지에 의한 방법을 택하였는데, 뿜칠 도장방법으로 150 μm 이상의 두께를 도장하려면 침지방법보다 도장재의 손실이 많고 100 μm 이하의 1~2회의 뿜칠횟수에 비해 3~5회로 그 효율성이 크게 떨어진다. 그러나 침지방법을 선택하면, 150 μm 이상에서도 PCS의 배합을 적절히 조절한다면 1회의 침지로 도장두께를 확보할 수 있기 때문이다. 그러나 침지방법에 의한 철근과 도장재와의 부착성은 뿜칠에 의한 방법에서 약간 우수한 결과[9]를 얻었기 때문에 가능하면 뿜칠방법을 권장할 수 있다. 그러나 침지에 의한 방법에서도 보통철근(12.4 MPa)과 에폭시철근(11.9 MPa)에 비해 우수한 부착강도를 얻을 수 있었다.

Fig. 5는 PCS 도장 철근의 도장두께에 따른 부착강도를 나타내고 있다. 전반적으로 기존의 에폭시 도장철근과 마찬가지로 PCS 도장철근의 경우에도 부착강도는 PCS 도장재의 양생재령에 관계없이 도장두께가 두꺼울수록 약간 작아지는 경향을 보였는데, 도장두께 150 μm 이하에서 몇몇 PCS 배합을 제외하면, 전반적으로 PCS 도장철

근은 보통철근 및 에폭시 철근에 비해 부착강도가 크게 나타났으며, 100 μm 이하에서는 모든 PCS 도장철근이 우수한 부착강도를 나타내고 있다. 이러한 경향은 재령 1일

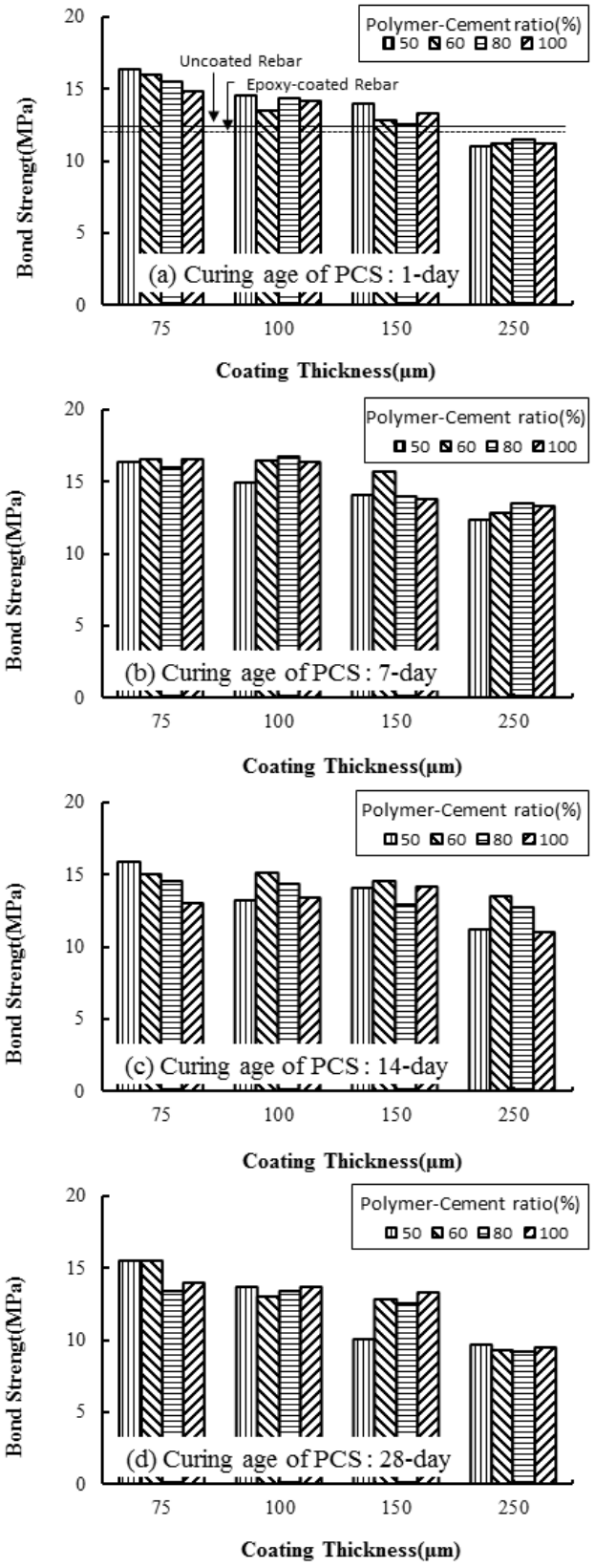

Fig. 5 Bond strength of PCS-coated rebar according to coating thickness

의 도장두께 75 μm에서 두드러졌는데, 보통철근과 에폭시 철근의 부착강도에 비해 각각 1.32 및 1.38배 크게 나타났다.

본 연구에서의 PCS 도장재는 시멘트 콘크리트의 탄성계수에 비해 약 1/10 정도 작기 때문에 부착력 향상에 기여하기 위해서는 가능한 한 도장두께가 얇아야 하는데, 너무 얇게 되면 도장철근의 원래의 목적인 방식성능이 떨어질 수 있기 때문이다. 따라서 구조적 측면과 내구성 측면을 고려하여 적절한 도장두께를 확보하는 것이 무엇보다도 중요하다. 본 연구의 결과와 기존 연구[6-13]결과를 종합해 보면, 도장두께로서 100 μm를 추천할 수 있는데 이는 보통철근과 에폭시 도장철근에 비해 높은 부착강도를 보유하고, 또한 현장에서 직접 뿜칠도장이 가능한 최대 두께에 해당되기 때문이다. 도장두께가 150 μm 이상이 되면 뿜칠방법에 의한 도장의 효율성이 떨어지기 때문이며 150 μm 이상이면 공장에서 침지에 의한 도장방법이 추천될 수 있기 때문이다. 에폭시철근의 경우도 도장두께가 두꺼울수록 부착강도가 낮아져 500 μm 정도가 되면 보통철근의 50%에 해당하는 부착강도를 나타내는데 실제 현장에서 사용되고 있는 에폭시 철근은 한국콘크리트학회의 에폭시 도막철근 콘크리트의 설계 및 시공지침과 ASTM에서 규정한 부착강도는 보통철근의 부착강도 대비 80%이상을 발현하도록 하고 있어 도장두께가 일반적으로 250 ± 50 μm 정도이다.

3.2 PCS 도장철근의 폴리머 시멘트비에 따른 부착강도

일반적으로 보수 보강재료로 널리 사용되고 있는 폴리머 디스퍼션을 시멘트 모르타르 및 콘크리트에 혼입하면 결합재인 시멘트의 성질을 개선하여 역학적 성질 및 내구성을 향상시킨다.[15] 이때 혼입되는 폴리머 디스퍼션의 양은 시멘트 중량에 비해 20% 이하를 제안하고 있다. 20% 이상이면 성능과 경제성면에서 벨런스를 이룰 수 없기 때문이다. 그러나 본 연구에서 사용되는 PCS는 철근에 도장하여 휨 가공성을 개선시킴과 동시에 철근과의 부착성을 향상시켜야 하기 때문에 풍부한 인성이 발현되도록 제조되어야 하는데 폴리머 시멘트비를 50% 이하로 하면 건조에 따른 피막에 균열이 발생하여 도장을 할 수 없게 된다. 그 경향은 도장두께가 얇으면 얇을수록 심한 결과를 초래한다. 따라서 경제성면에서는 폴리머 시멘트비가 낮아야 하나, 철근과의 부착력 향상, 현장에서 시공을 위한 내굴곡성, 그리고 부식저항성을 고려한다면 높은 폴리머 시멘트비가 요구된다.

Fig. 6은 PCS 도장재의 폴리머 시멘트비에 따른 도장철근의 부착강도를 나타내고 있다. 일반적으로 75 μm를 제외하면 폴리머 시멘트비의 변화에 따른 도장철근의 부착강도의 영향성을 확실히 구분할 수 없었으며, 150 μm 일부와 250 μm에서의 부착강도는 폴리머 시멘트비에 상

관없이 보통철근과 에폭시철근에 비해 약간 낮은 부착강도를 보였다. 본 연구에서 PCS 도장철근의 부착강도에 미치는 영향은 전술한 바와 같이 도장두께에 비해 폴리머 시멘트비의 변화에 따라서는 미미한 수준으로 나타났다.

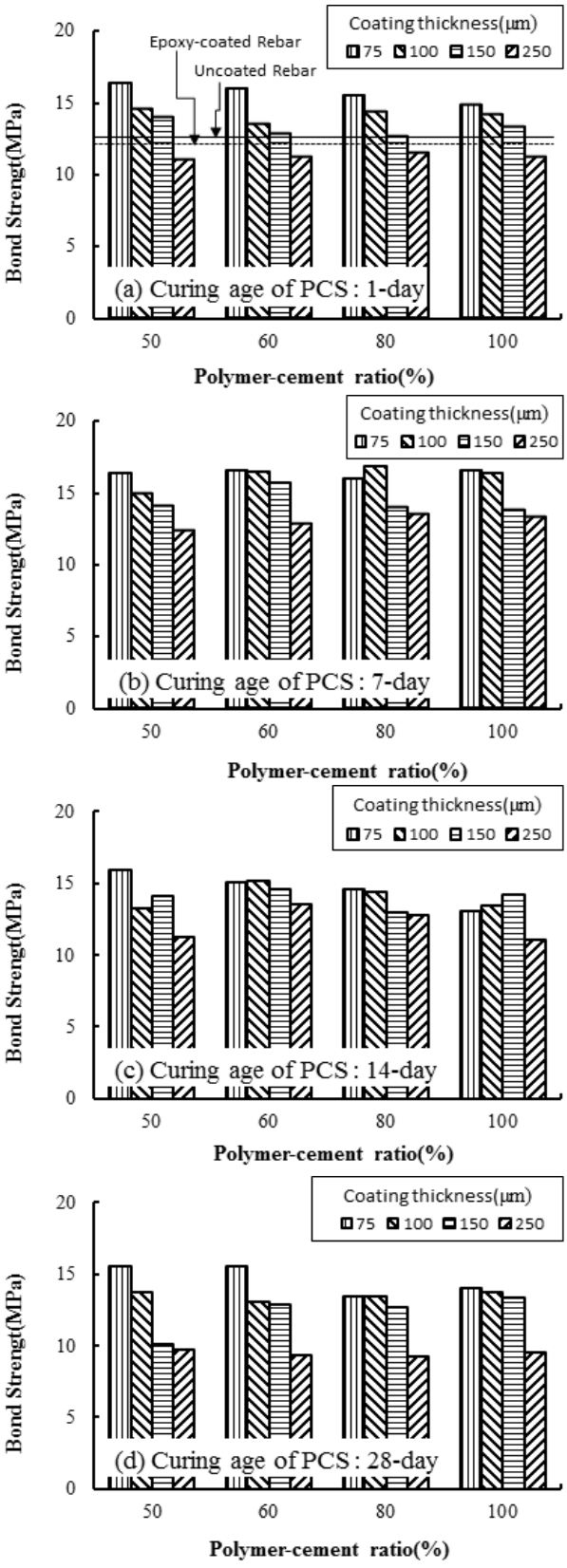

Fig. 6 Bond strength of PCS-coated rebar according to polymer-cement ratio

본 연구에서 나타난 폴리머 시멘트비의 결과와 PCS 도장철근의 기타 성능과의 밸런스를 고려하여 폴리머 시멘트비를 설명할 수 있다. 시멘트와 폴리머의 복합체인 PCS 제조에 있어서의 경제적인 배합조건은 전적으로 폴리머의 함유량에 좌우될 수 있다. 왜냐하면 PCS의 단가는 폴리머 디스퍼션이 95% 이상을 차지하기 때문이다. 그런데 본 연구결과에 의하면 폴리머 시멘트비의 증가에 따른 부착강도의 개선은 그다지 발견할 수 없었지만, 본 연구의 목표인 시멘트 콘크리트속에서의 PCS 도장철근의 부착강도 개선만을 위해서는 폴리머 시멘트비가 낮으면 낮을수록 경제적인 PCS 배합이라 할 수 있다. 그러나 기존의 연구를 통한 PCS 도장철근의 방식성과 현장 시공성(내굴곡성)을 고려해 본다면 폴리머 시멘트비가 높을수록 우수한 성질을 나타내므로 적절한 폴리머 시멘트비의 제안은 부착강도와 방식성능을 모두 고려하여 결정하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 이러한 결과로 오히려 폴리머 시멘트비는 80%에서 100%의 범위에서 활용되는 것이 타당할 것으로 사료된다.

3.3 PCS 도장재의 양생재령에 따른 도장철근의 부착강도

Fig. 7은 PCS 도장철근의 도장 후 양생재령에 따른 부착강도의 결과를 나타내고 있다. 일반적으로 폴리머 디스퍼션을 함유한 폴리머 시멘트 모르타르나 콘크리트의 경우에도 보통 시멘트 모르타르나 콘크리트와 마찬가지로 양생재령 28일에 역학적 성질이 우수하게 나타난다. 그러나 PCS와 같이 폴리머 시멘트비가 매우 높고 두께가 250 μm이하의 얇은 막을 형성하는 경우에는 전혀 성질이 달라질 수 있다. 본 연구에서는 PCS를 철근에 도장한 후, 도장재가 어느 정도의 양생기간을 거쳤을 경우 철근에 부착력을 개선시킬 수 있는지의 평가는 실제 건설현장에서 건설공기와 상관성이 매우 크므로 중요한 요인으로 평가될 수 있다. 또한 시멘트를 결합재로 하는 기타 재료는 수중양생에 따른 매트릭스의 강성을 개선시키지만 본 연구에 사용된 PCS는 시멘트의 결합재의 역할 보다는 폴리머 디스퍼션에 의해 생성되는 폴리머 필림의 성질에 PCS 자체 성질이 크게 좌우된다는 것이다. 따라서 PCS 제작 후 바로 철근에 도장한 후, 바로 건조과정을 통하여 매트리스 내부의 수분을 증발시키는 것이 PCS 도장재의 강성을 크게 하기 때문이다. 이러한 강성은 폴리머의 종류에 따라 크게 달라지는데 본 연구에서 사용한 EVA는 현재까지 현장에서 사용되고 있는 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션 중에서 가장 건조양생에 따른 강성이 크게 나타난 폴리머이다.

본 연구결과, PCS 도장철근의 부착강도는 도장두께에 따라 약간의 차이가 있으나 전반적으로 양생재령이 7일의 경우 가장 높은 부착강도를 나타냈으며 양생재령 28일의 경우, 오히려 부착강도가 작게 나타난 것으로 나타

났다. 이러한 결과는 기존의 시멘트계 매트릭스에서는 예상하지 못한 결과로 평가될 수 있으나, 이는 건조양생에 의한 얇은 도장재 피막의 수화반응과 철근과의 부착

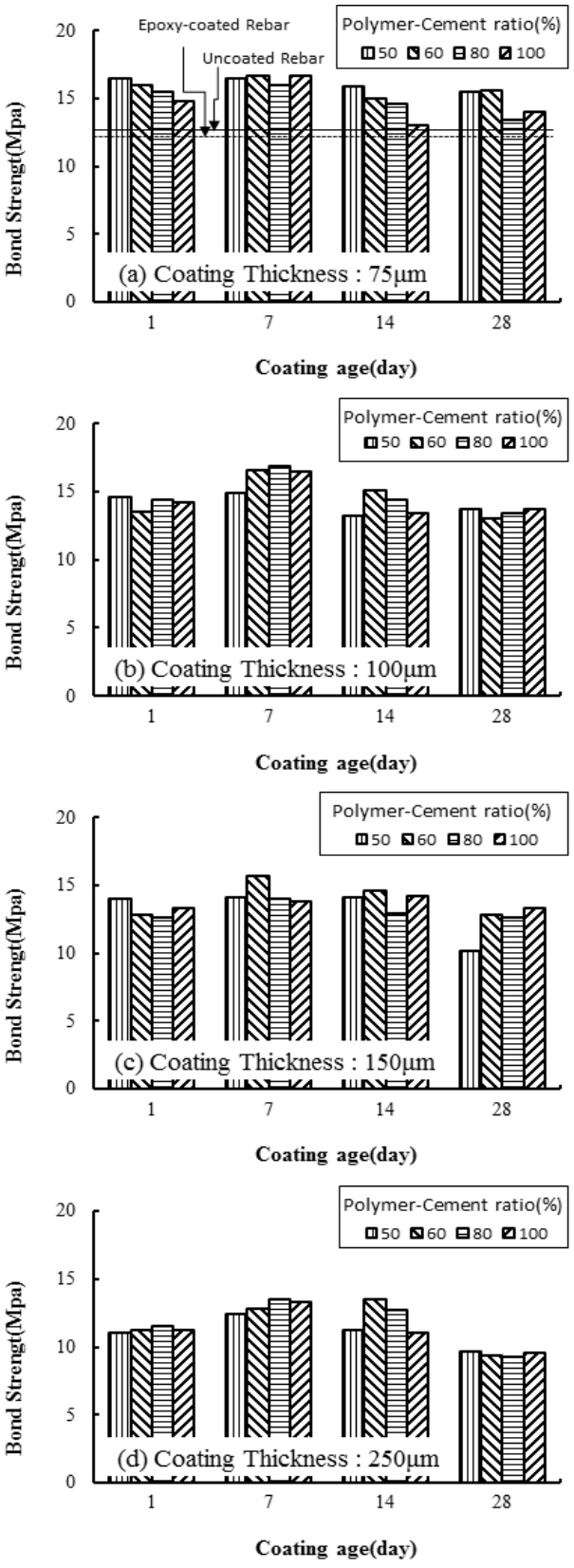

Fig. 7 Bond strength of PCS-coated rebar according to curing age

시 건조양생이 커다란 영향을 미쳤음을 알 수 있다. 기존의 연구 결과인 양생재령 3시간에 있어서의 PCS 도장철근의 부착강도가 7일, 1일, 3시간 순으로 크게 나타난 결과와 본 연구의 결과를 종합해 볼 때, PCS 도장재를 철근에 도장한 후, 시멘트는 PCS 내부에 함유된 물과 수화반응을 하면서 7일까지 굳어가는데 얇은 피막이지만 수분의 증발이 더디될 수 있도록 내부의 폴리머 필림이 보습효과를 발휘하면서 철근과의 부착력을 개선시키는 역할을 하였다고 볼 수 있다. 그 후 7일 이상이 경과하면 폴리머 필림 자체도 충분한 건조에 의해 강성을 확보하여 시멘트 콘크리트가 타설되어 다시 습윤상태가 되어도 한번 건조과정에서 경화된 폴리머 필림이 수분에 의해 강성이 떨어지지 않기 때문이다. 양생재령 14일과 28일의 경우에는 오히려 건조양생재령이 길어 시멘트 매트릭스와 폴리머에 의한 철근과의 부착계면에 건조수축에 의한 응력이 작용되어 철근과의 부착력을 떨어뜨리는 결과를 초래 한 것으로 추론할 수 있다.

PCS 도장철근의 도장재 양생재령에 따른 부착강도는 도장두께 250 μm의 PCS 도장철근을 제외하면, 대부분의 도장철근은 도장하지 않은 보통철근과 에폭시 철근에 비해 높은 부착강도를 나타내고 있어 실제 현장에서 적용할 때에는 양생조건보다는 도장두께에 의한 배합설계가 중요할 것으로 사료된다.

본 연구의 결과로부터 PCS 도장재를 철근에 도장한 후 28일까지의 양생조건에서도 도장두께를 조절한다면 도장하지 않은 보통 철근(12.4 MPa)과 에폭시 도장철근(11.9 MPa) 보다 우수한 부착강도를 나타내므로 양생조건이 크게 고려대상이 되지 않으나 실제 현장의 철근이 배근된 상태에서 뿜칠방법에 의해 도장이 가능하다면 양생재령이 짧을수록 시공성면에서 유리할 수 있기 때문이다.

3.4 CEB-FIP 모델식에 의한 PCS 도장철근의 부착강도 평가

Fig. 8은 EVA와 초조강시멘트를 사용하여 제작한 PCS 도장재로 도장한 철근의 부착강도의 분포결과를 직접인

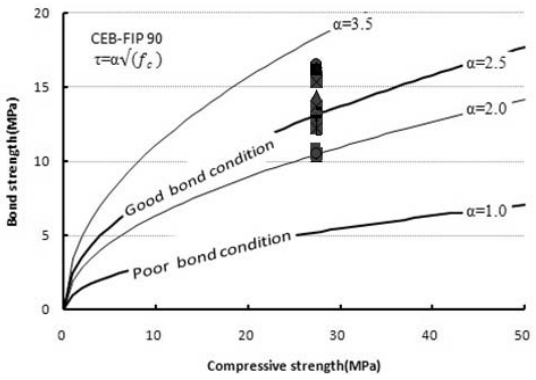

Fig. 8 Comparison between CEB-FIP criteria and bond strength of PCS-coated rebar

장을 받는 철근콘크리트 부재에서 콘크리트 인장강성효과를 나타내는 모델인 CEB-FIP 규준식[16]에 의해 비교한 것이다. 본 연구에서 사용된 시멘트 콘크리트의 압축강도는 270 MPa 한 종류만 사용하여 압축강도의 변화에 따른 성상은 확인할 수 없었으나, CEB-FIP 규준식에서 평가한 부착강도는 폴리머 종류, 도장두께 및 도장재 양생재령에 상관없이 PCS 도장 철근의 부착강도는 CEB-FIP의 양호한 부착강도를 상회하고 있으며, 거의 모든 콘크리트의 압축강도 함수 $2.0\sqrt{f_c}$와 $3.5\sqrt{f_c}$ 사이에 분포되고 있다. 이렇게 큰 부착강도 결과는 구조체에 PCS 도장철근이 에폭시철근을 대체할 수 있을 가능성을 제시한 것으로 판단할 수 있으며, 향후 구조체의 휨 실험에 의한 철근의 거동에 대한 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

3.5 PCS 도장철근의 부착응력-슬립 관계

Fig. 9는 대표적으로 PCS 도장재의 폴리머 시멘트비 100%에 있어서의 도장두께에 따른 부착응력과 슬립과의 관계를 나타낸 것이다. PCS 도장철근의 시멘트 콘크리트에 대한 부착응력과 슬립과의 관계를 보면, 도장두께가 비교적 얇은 75 μm와 100 μm에서는 도장하지 않은 보통철근과 에폭시 도장철근과 비슷한 기울기의 큰 부착강성을 나타내는 경향의 응력-슬립 관계를 보이나 도장두께가 두꺼운 150 μm와 250 μm에서는 모든 재령에서 낮은 응력에도 큰 슬립을 나타냈다. 그러나 이러한 큰 슬립에서도 PCS 도장철근은 도장하지 않은 보통철근 또는 에폭시 도장철근에 비해 오히려 부착강도가 동등 이상의 경우가 대부분이었다. 보통철근의 부착응력과 슬립과의 관계에서 슬립이 크면 그만큼 최종 파괴 부착응력이 작은 경우가 많은데 PCS 도장철근의 경우에는 큰 슬립에 비해 부착응력이 큰 것은 PCS 도장재가 철근 및 시멘트 콘크리트와의 부착성을 개선시킨 결과로 볼 수 있다. 부착강도 시험 후 시멘트 콘크리트 공시체의 파단면과 PCS 도장철근의 도장재 피막을 살펴보면, PCS 도장재의 피막의 찢겨짐이나 도장재의 밀림 현상은 거의 발견되지 않았는데, 이는 PCS 도장재가 철근 표면에서 큰 강성을 보인 결과로 생각할 수 있다.

본 연구에서 얻을 수 있었던 결과로서는 양생재령 14일과 28일에 비해 배합의 종류만 달리하면 양생재령 1일과 7일에서도 양호한 부착응력-슬립의 관계를 얻을 수 있어 실질적인 현장적용시 도장재령의 감소로 시공성을 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. 기존의 연구[10]와 마찬가지로 도장두께가 150 μm에서 250 μm로 점점 두꺼워짐에 따라 부착응력에 따른 슬립이 아주 크게 나타나, 너무 큰 슬립에 따른 부착응력이 현격하게 떨어지는 경향을 보였다. 또한 시멘트 종류에 따라서도 기존 연구[12]의 보통시멘트를 사용한 PCS에 비해 본 연구에서의 초조강시멘트를 사용한 PCS경우가 같은 조건에서 부착응력에 대한 슬립이 작고 부착응력도 크게 나타났는데 이는 재령 7일 이상에서의 PCS의 수화 및 PCS 속의 폴리머 필림에 따른 강성 증가 등에 기인한 것으로 볼 수 있다.

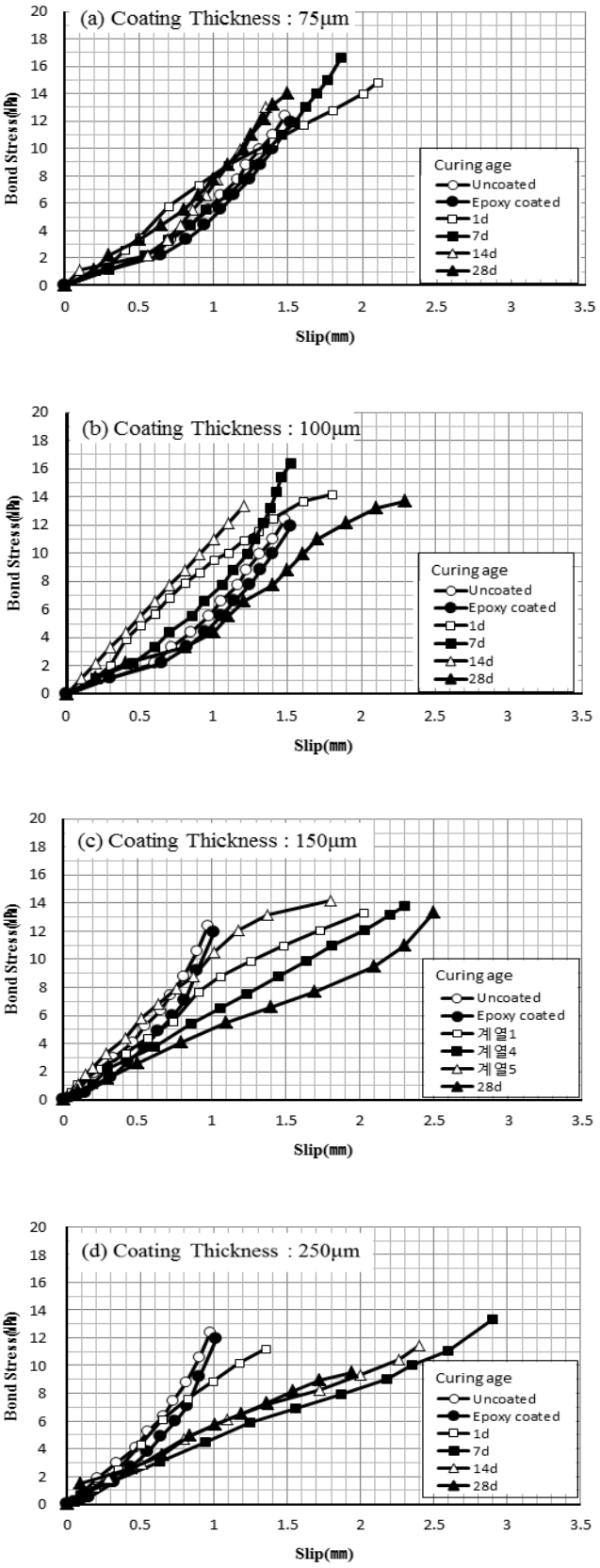

Fig. 9 Stress-slip curves of PCS with P/C 100%-coated rebar according to curing age

4. 결 론

본 연구는 EVA와 초조강시멘트를 사용한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 부착강도에 영향을 미치는 PCS의 배합에 대하여 평가하고자 하였다.

1) PCS 도장재의 부착강도는 양생재령과 도장두께에 따라 약간의 차이는 있으나 보통철근 및 에폭시 철근보다 컸으며, 에폭시 철근에 비해 최고 1.38배의 높은 부착강도를 나타냈다.
2) PCS 도장철근의 부착강도는 도장두께에 따라 약간의 차이는 있으나, 대표적 도장두께인 100 μm에서 양생재령 7일, 1일, 14일, 28일 순으로 높은 부착강도를 나타냈다.
3) PCS 도장철근의 부착강도는 양생재령에 따라 약간의 차이는 있으나, 도장두께 75 μm와 100 μm의 비교적 얇은 경우 높은 부착강도를 보였다.
4) PCS 도장두께가 두꺼울수록 부착응력에 따른 슬립이 크며 도장두께 100 μm 이하에서 보통철근 및 에폭시철근과 비슷한 응력에 대한 슬립 성상을 보였다.
5) 본 연구 결과, PCS 도장철근을 실제 현장에 적용하기 위한 배합으로 시멘트와 폴리머 종류에 상관없이 폴리머 시멘트비 80% 및 100%로 만든 PCS 도장재를 100 μm의 도장두께로 도장한 후 양생재령을 1일로 한 조건을 제안할 수 있다.

References

1. Choi, O. C., "Bond of epoxy-coated reinforcing bars", *Proceedings of 1990 AIK Autumn Annual Conference*, Vol.10, No.2, 1990, pp.539-542.
2. Yu, T. H., "An experimental study for the bond performance of the epoxy-coated reinforcement in marine concrete structures", Hanyang University, Master's thesis, 1996, pp.34-35.
3. Shin, Y., and Choi, O., "Bond Properties of Epoxy Coated Bars in High Strength Concrete", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.6, 1997, pp.209-214.
4. Oh, B. H., "An experimental study on corrosion resistance of epoxy coated reinforcements", *Journal of the Korea Concrete Institute*, No.4, 1992, pp.61-70.
5. ACI 440.1R-06, Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars, Farmington Hills (MI, USA), American Concrete Institute, 2006.
6. Jo, Y. K., "A study on the bond performance and anti-corrosion of polymer cement composites coated steel", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.22, No.8, 2006, pp.101-108.
7. Jo, Y. K., and Jeong, S. P., "A Study on the performance tests of polymer cement slurry-coated steels", *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, Vol.27, No.5A, 2007, pp.759-769.
8. Jo, Y. K., "Tensile Properties and Adhesion of Hybrid-Type Anti-Corrosion Polymer Cement Slurry", *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol.20, No.5, 2008, pp.635-642.
9. Jo, Y. K., "Adhesion and impact properties of polymer cement slurry-coated steel plate and deformed bar", *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol.26, No.5, 2010, pp.91-100.
10. Jo, Y. K., Park, D. Y., and Jang, G. S., "Effects of mix proportions and coating thickness on the bond strength of coated rebar by polymer cement slurry" *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol.27, No.6, 2011, pp.107-114.
11. Jo, Y. K., "Effects of early age and coating thickness of polymer cement slurry-coating material on the bond strength of rebar to cement concrete", *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol.28, No.10, 2012, pp.97-104.
12. Jo, Y. K., Jeong, S. H., and Kim, W. K., "Bond strength pf polymer cement slurry-coated rebar using EVA latex in cement concrete", *Advance materials Research*, Vol.687, 2013, pp.175-184.
13. Jo, Y. K., and Jeong, S. H., "Properties of coating materials effected on the bond strength of polymer-cement slurry coated rebar", *Journal of the Construction and Environment Research Institute*, Vol.9, No.1, 2014, pp.87-95.
14. RILEM 7-II-128.RC6: bond test for reinforcing steel. 1. Pull-out Test. *RILEM technical recommendations for the testing and use of construction materials*, 1994, pp.102-105.
15. Y. Ohama., "*HandBook of Polymer-Modified Concrete and Mortars*", Noyes Publications, New Jersey, U.S.A, 1995, p.225.
16. CEB-FIP, CEB-FIP model code 1990, Thomas Telford, Lausanne, 1992.

요 약 본 연구는 EVA와 초조강시멘트로 만든 폴리머 시멘트 슬러리(PCS)로 도장한 도장철근의 부착강도 개선에 영향을 미치는 PCS 도장재 배합에 관한 연구로 도장두께, 폴리머 시멘트비, 도장재의 양생재령을 변화시켜 배합을 설정하여 부착강도 시험을 실시하였다. 본 연구결과, PCS 도장철근의 부착강도는 거의 모든 배합에서 도장하지 않은 보통철근 및 에폭시철근에 비해 높은 부착강도를 나타냈는데 도장철근의 최대 부착강도는 보통철근에 비해 1.32배, 에폭시철근에 비해 1.38배 높게 나타났다. 도장두께는 대체로 얇은 도장두께인 75 μm와 100 μm에서 부착강도가 높게 나타났으며 폴리머 시멘트비에 따른 영향은 크게 나타나지 않았으나, 내구성면에서 폴리머 시멘트비를 80~100% 범위를 확보하는 것을 제안할 수 있었다. 또한 도장재의 양생재령에 있어서는 7일에서 가장 높은 부착강도를 나타냈으나, 재령 1일에 있어서도 보통철근과 에폭시철근에 비해 높은 부착강도를 보여 현장 시공성 측면에서 1일 재령을 제안 할 수 있었다.

핵심용어 : 폴리머 시멘트 슬러리, 부착강도, 폴리머 시멘트비, 도장두께, 양생재령