

# 도장재의 양생재령과 도장두께가 PCS 도장철근과 시멘트 콘크리트와의 부착강도에 미치는 영향

## The Effects of Curing Age and Thickness of Coating Material on the Bond Strength of PCS-Coated Rebar to Cement Concrete

조 영 국\*

Jo, Young-Kug\*

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

### Abstract

The purpose of this study is to evaluate the effect of curing age and thickness of coating material on the bond strength of polymer cement slurry(PCS)-coated rebar that can replace epoxy-coated rebar. The test specimens were prepared with two types of cement, two types of polymer dispersion as St/BA and EVA, two polymer-cement ratios, two coating thicknesses and three curing ages, and tested for bond strength test to cement concrete. The flexural behavior of RC beam that is made by optimum conditions such as polymer-cement ratio of 80%, coating thickness of 100 $\mu$ m and curing age of 7 days of PCS recommended from the bond strength test is also conducted. From the test results, The maximum bond strength of PCS-coated rebar at curing age of 7-day and coating thickness of 100 $\mu$ m was about 1.52 and 1.58 times respectively, the strength of plain and epoxy-coated rebar. The ultimate loads of RC beam using PCS-coated rebar were range of 81.1% to 102.3% of that of plain rebar, and 98.4% to 124.1% of that of epoxy-coated rebar. It is apparent that PCS-coated rebar with EVA, curing age at 7-day and 100 $\mu$ m can replace epoxy-coated rebar in construction field.

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

### 1. 서 론

해양 철근콘크리트 구조물의 방식을 위하여 에폭시 철근은 널리 사용되고 있다[1,2]. 그러나 에폭시 도장철근은 특수 도장환경이 필요하고, 현장 운반시 충격에 의한 박리와 박락, 보통철근에 비해 낮은 부착력, 현장가공시 힘에 의한 찢겨짐 등의 단점 뿐만아니라 도장시 유기폐기물 발생 문제가 있으며, 무엇보다도 우수한 도장 기술력과 이에 따른 코스트의 증가로 말미암아 그 사용성이 상당히 제약을 받고

있다[1,2]. 이러한 문제점을 해결하고 방식성이 높은 철근으로서 FRP 보강근에 대한 위원회 가이드가 제안되었으며[3], 십여 년간 본 연구와 같이 강재와의 접착성이 우수한 유기물인 폴리머를 무기물인 시멘트와 혼합한 새로운 도장재인 폴리머 시멘트 슬러리(Polymer Cement Slurry : PCS)를 개발하고자 하는 연구가 진행되었다. 기존의 연구에서, 이형철근에 도장 할 접착력이 우수한 폴리머 디스퍼션을 평가하기 위하여 현장에서 널리 사용되고 있는 여러종류의 폴리머 디스퍼션의 접착성능 시험을 실시하여 EVA, St/BA 및 PA의 순으로 그 우수성을 평가하였으며[4], 시멘트 중량에 대한 폴리머 고형분의 비율인 폴리머-시멘트비는 50% 이상에서 철근에 도장이 가능한 피막이 형성되었다[5]. 이렇게 PCS 도장재로 도장한 이형철근에 대하여 각종 부식촉진시험을 실시하여 폴리머 시멘트비의 영향보다 이형철근에 도장하는 도장두께가 내부식성에 큰 영향을 미치는 것을 파악

Received : April 5, 2017

Revision received : May 26, 2017

Accepted : June 12, 2017

\* Corresponding author: Jo, Young-Kug

[Tel: 82-32-770-8172, E-mail: ykjo@chungwoon.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

할 수 있었으며[6,7], PCS 도장재 제작 시, 사용되는 시멘트 종류에 대한 영향을 알아보기 위하여, 보통시멘트, 초조강시멘트, 초속경시멘트, 백색시멘트 및 고분말시멘트를 사용하여 도장재의 강성과 접착성에 대하여 평가하였다[8,9]. PCS 도장재의 배합조건에 따른 도장철근과 시멘트 콘크리트와의 부착강도에 영향을 미치는 도장하는 방법, 즉 뿔칠방법과 침지방법의 적합성과 피착 시멘트 콘크리트의 압축강도의 변화에 따른 부착강도의 영향을 평가하였다[6]. 또한 PCS 도장재의 배합에서, 폴리머 시멘트비가 최소 50% 이상에서 도장재의 피막이 균열을 발생시키지 않고 인성을 보유하면서 이형철근 표면에 접착될 수 있으며, 피막 자체의 강성은 폴리머 시멘트비가 클수록 작아지나 철근과의 접착성은 개선되기 때문에 접착성능과 경제성을 고려한 적절한 폴리머 시멘트비가 요구된다[10,11].

본 연구에서는 현재까지의 일련의 연구결과를 종합하여, PCS 도장철근의 일단 인발시험에 의한 부착강도 시험과 철근콘크리트 보를 제작하여 힘 거동 시험을 실시하여 시멘트 콘크리트와 PCS 도장철근과의 부착성을 평가하여 실제 현장에 사용될 수 있는 PCS 도장재의 최적배합을 제안하고자 하였다. 비교를 위하여 도장하지 않은 보통철근과 에폭시 도장철근을 사용한 경우도 같은 방법으로 실험을 실시하였다.

## 2. 실험계획

### 2.1 실험계획

Table 1과 같이 시멘트 2종류, 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션 2종류 및 폴리머 시멘트비 2종류로 변화시켜 PCS 도장재를 만든 후, 도장두께를 2종류로 하여 이형철근에 뿔칠방법으로 도장하였다. 도장된 PCS 도장철근을 기중(20±2℃)에서 재령 1일 및 7일간 양생하여 시험용 도장철근으로 하였으며 소정의 양생을 마친 PCS 도장철근을 압축강도 27MPa의 시멘트 콘크리트 속에 매립하여 부착강도 시험 공시체를 제작하였다. 본 연구에서는 기존의 연구를 기초로 하여 시멘트 종류, 폴리머 종류 및 폴리머 시멘트비의 변화 요인 보다는 조기 양생재령 1일과 7일에서의 영향을 파악하기 위하여 PCS 도장철근의 부착강도를 28일간 양생한 경우와 비교하였으며, PCS 도장철근의 도장두께는 에폭시 도장철근의 두께와 같은 250µm로 제작한 경우와 비교하여 100µm로 얇게 한 경우 부착강도에 미치는 영향을 평가하고자 하였다. 또한 폴리머 시멘트비 50%와 80%, 도장두께

Table 1. Various factors for experiment

Factor	Level	Variable
Cement type	Ordinary portland cement(OPC)	2
	Super-high early strength cement(SHESC)	
Polymer type	St/BA, EVA	2
P/C(%)	50%, 80%	2
Curing age of PCS	1day, 7days	2
Coating thickness	100µm, 250µm	2

100µm, 양생재령 7일인 PCS 도장철근을 사용한 철근콘크리트 보를 만들어 힘 응력에 대한 최대파괴하중을 비교함으로써, 간접적으로 시멘트 콘크리트와 PCS 도장철근과의 부착성능을 파악하여 실제 현장에서 사용가능한지를 평가하고자 하였다. 본 연구의 실험요인 및 수준은 Table 1과 같다.

## 2.2 사용재료

### 2.2.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(Ordinary portland cement)와 PCS 도장재의 조기강도를 높이기 위하여 초조강시멘트(Super-high early strength cement)를 사용하였다.

### 2.2.2 시멘트 혼화용 폴리머

본 실험에 사용한 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션은 스티렌-부틸 아크릴산 공중합체(St/BA)와 에칠렌 초산 비닐(EVA)를 사용하였으며 그 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Properties of polymer dispersion

Type	Density (g/cm <sup>3</sup> , 20℃)	pH (20℃)	Viscosity (mPa · s, 20℃)	Solid content (%)
St/BA	1.04	8.5	574	56.0
EVA	1.07	4.8	1,588	47.5

### 2.2.3 이형철근 및 골재

일단 인발 부착강도 시험용 이형철근은 D19를, 철근콘크리트 보에 사용된 철근은 D16 및 D19를 사용하였다. 또한 시멘트 콘크리트용 굵은골재는 20mm 이하 쇄석골재를, 잔골재는 2.5mm 이하 강모래를 사용하였다.

Table 3. Basic mix proportions for PCS of 1 batch

Cement (g)	Polymer type	Polymer (g)	P/C (%)	W/C (%)
200	St/BA EVA	100, 160	50, 80	100



Figure 1. Making of PCS-coated rebar<sup>11)</sup>

## 2.3 실험방법

### 2.3.1 PCS 제조 및 도장

PCS는 2종류의 폴리머를 사용하여 Table 3과 같은 배합으로 제조하였다. 또한 폴리머 시멘트비는 기존의 실험결과를 기초로 하여 50% 및 80%로 정하였으며, 배합에 있어 EVA 배합의 경우에는 점성이 커 일정량의 첨가수가 혼입되었다. Figure 1과 같은 재료로 도장두께  $100\mu\text{m} \pm 25\mu\text{m}$ 는 뿔칠도장을 실시하였으며,  $250\mu\text{m} \pm 50\mu\text{m}$ 는 뿔칠에 의한 도장두께 확보가 비효율적이어서 침지방법으로 도장하였으며 도장두께를 정확히 확보하기 위하여 도장두께 측정계기지를 사용하였다. 또한 도장두께  $250\mu\text{m}$ 의 PCS 도장철근은 1일 양생재령으로 도장재가 충분히 경화되지 않아 실험에서 제외하였다.

### 2.3.2 부착강도 시험용 공시체 제작 및 시험

Figure 2 및 Figure 3과 같이 이형철근이 시멘트 콘크리트의 정 중앙에 위치하도록 고정할 수 있는 특수 제작한 형틀을 사용하였다. 또한 도장철근의 순수 부착력을 알아보기 위하여 시멘트 콘크리트 매립부분인 15cm 중, 도장철근 중앙부 7.5cm만 시멘트 콘크리트와 부착할 수 있도록 매립부 양쪽에 도장철근을 PVC 파이프로 감쌌다. 시멘트 콘크리트의 일부 약한 인장력을 보강하기 위하여 지름 3mm 철근 정육면체 골격을 제작하여 시멘트 콘크리트 내부를 보강하였다. PCS 도장재로 도장한 도장철근은 기중에서 1일 및 7일간 기중양생( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , R.H 50%)을 실시한 후, 시멘트 콘크리트(압축강도 27MPa)에 매립하여 시험용 공시체를 제작하였다. 부착강도용 공시체는 제작 후,  $20^\circ\text{C}$  수중에서



Figure 2. Mold and specimen for bond strength<sup>11)</sup>

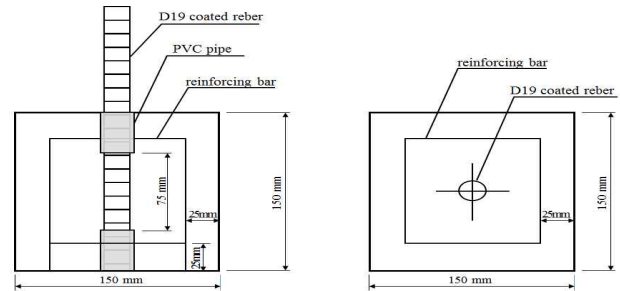


Figure 3. Specimen size for bond strength<sup>11)</sup>

28일간 양생하였으며 비교를 위하여 도장하지 않은 보통철근과 에폭시철근도 사용하여 공시체를 제작하였다.

### 2.3.3 일단인발 부착강도 시험

소정의 양생이 끝난 부착강도용 시멘트 콘크리트 공시체를 Figure 4와 같이 만능시험기를 이용하여 일단인발시험을 실시하였다. 본 연구에서 실시한 일단인발 부착강도 시험은 KS 기준이 없으나, 연구에서 얻고자 하는 것이 절대값의 부착강도가 아니라 에폭시 도장철근 및 도장하지 않은 보통철근과의 부착강도를 단순 비교하기 위한 것으로 RILEM 7-II-128(1994)[12]에서 제안하고 있는 철근의 콘크리트에 대한 인발시험을 위한 평가 방법으로 실시하였으며, 현재까지 많은 연구자들이 본 실험방법으로 실험을 실시하고 있다.



Test machine

Controller panel and data logger

Figure 4. Tester for bond strength<sup>11)</sup>

### 2.3.4 PCS 도장철근 사용 철근콘크리트 보의 휨 응력

#### 1) 시험체 제작

PCS 도장철근의 부착강도 시험 후, PCS 도장철근이 도장하지 않은 보통철근에 비해 우수한 부착강도를 나타내는 결과에 따라 실제 보를 제작하여 휨 응력에 따른 최종파괴하중을 평가하고자 하였다. Figure 5와 같은 크기(높이 300mm, 폭 200mm, 길이 2,200mm)의 보를 Figure 6과 같은 제작과정을 통하여 시험체를 제작하였다. 이때, 도장철근의 도장두께는  $100 \pm 15 \mu\text{m}$  두께로 뽑칠 코팅하여 기중에서 7일간 건조 양생시켰다. 그 후 거푸집에 철근을 설치하고 압축강도 24.0MPa 시멘트 콘크리트를 타설하여 28일간 양생한 후에 시험체로 하였다.

Table 4. Mix proportions of PCS for RC beam

Polymer	Cement	P/C (%)	Curing age(d)	W/C (%)	Coating Thickness ( $\mu\text{m}$ )
St/BA, EVA	OPC, SHESC	80	7	100	$100 \pm 25$

#### 2) 실험방법

소정의 양생을 실시한 PCS 도장철근을 사용한 철근콘크리트 보를 Figure 7과 같이 중앙재하 하중가력장치를 사용하여 휨거동 시험을 실시하였다. 부재의 처짐을 측정하기 위하여 부재 중앙부 하단과 보를 4등분한 우측(Center와 Right)에 2개의 변위계(LVDT)를 설치하여 휨 응력에 따른 처짐을 측정하였다. 비교를 위하여 도장하지 않은 보통철근과 에폭시 철근을 사용하여 만든 철근콘크리트 보도 같은 방법으로 실험을 실시하였다.

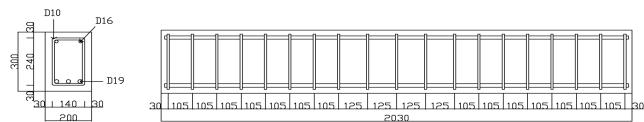


Figure 5. Dimension of test specimen



Figure 6. Making process of RC beam using PCS-coated rebar



Figure 7. Flexural behavior testing of RC beam

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 양생재령에 따른 PCS 도장철근의 부착강도

Figure 8은 양생재령에 따른 PCS 도장철근의 시멘트 콘크리트와의 부착강도를 나타내고 있다. 시멘트의 종류 및 폴리머의 종류에 관계없이 대부분의 PCS 도장철근의 부착강도는 도장하지 않은 보통철근(12.4MPa)과 에폭시 도장철근(11.9MPa)보다 우수한 부착강도를 나타냈는데, 초조강시멘트와 St/BA로 만든  $100 \mu\text{m}$  도장두께로 도장한 후, 7일간 기중양생 한 도장철근이 보통철근의 1.52배, 에폭시 도장철근의 1.58배 높게 나타났다. PCS 도장재가 시멘트 복합체이기 때문에 도장재의 강성을 증가시키기 위하여 도장재의 양생을 필히 28일로 하여야 하는 것으로 생각할 수 있으나, 실제 건설현장의 철근콘크리트 구조물에 적용하기 위해서는 양생재령을 짧게 하는 것이 공정상 중요하기 때문에 양생재령을 7일과 1일로 하여 부착강도 시험을 실시하였다. PCS 도장철근의 부착강도는 시멘트의 종류, 폴리머 디스퍼션의 종류 및 폴리머 시멘트비에 관계없이 양생재령 7일에서 가장 높은 부착강도를 나타냈다. 이는 PCS 도장재와 이형철근의 접촉면의 접촉성에 영향을 받은 것으로 볼 수 있다. PCS 도장재는 시멘트와 수화에 따른 강도발현과 동시에 폴리머 디스퍼션도 PCS 복합체의 내부 수분의 소모와 증발로 인하여 3차원 망상구조가 PCS 복합체 조직을 강화시키면서 상당한 인성을 개선시킨다는 것을 알 수 있다[13]. 본 연구와 같이 도장 두께가  $100 \mu\text{m}$ 와  $250 \mu\text{m}$ 로 얇은 경우, 28일까지의 비교적 긴 양생재령에서 폴리머 필름의 건조과정을 통하여 PCS 복합체의 강성이 7일 보다 개선되었다고 생각할 수 있으나, 비교적 얇은 피막이라 건조기간에 따른 도장재와 이형철근의 이질적인 선폽창계수에 의해 접촉성이 오히려 약간 저하된 것으로 생각할 수 있다.

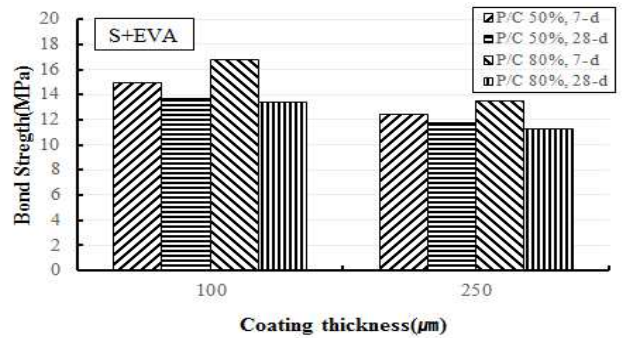
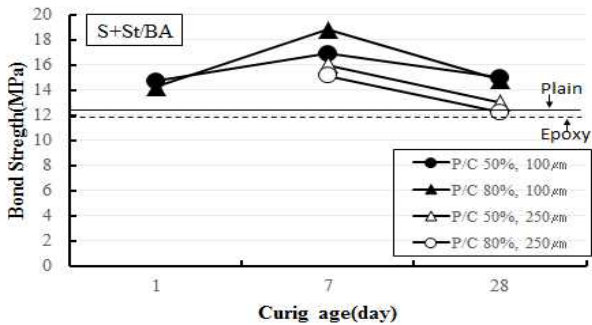
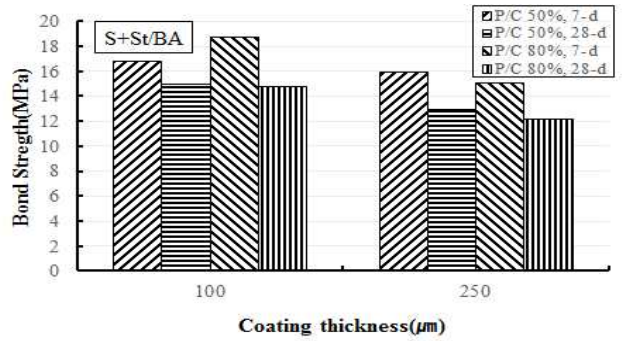
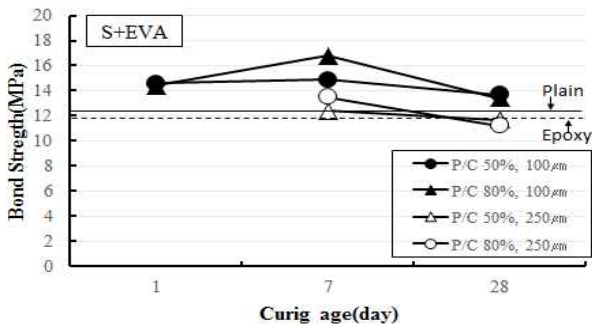
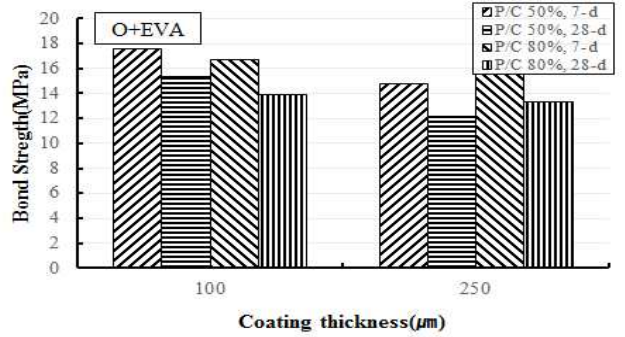
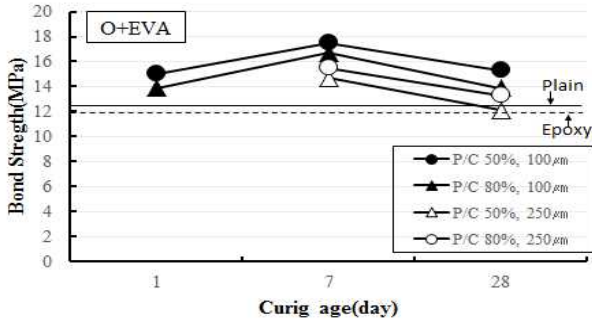
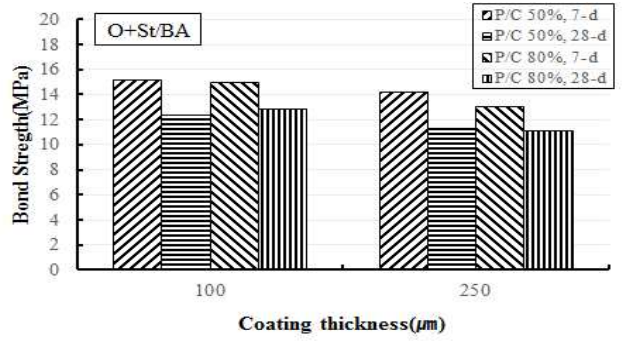
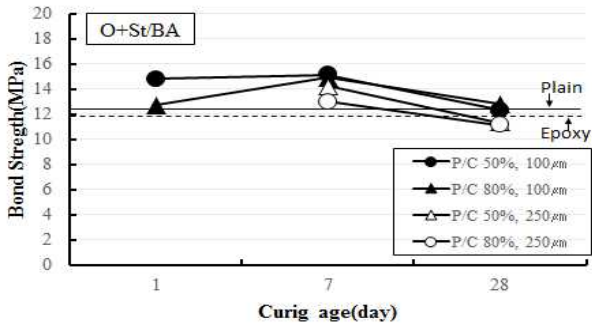


Figure 8. Bond strength of PCS-coated rebar according to curing age

Figure 9. Bond strength of PCS-coated rebar according to coating thickness

본 연구에서 초조강시멘트를 사용한 경우가 보통시멘트보다 최대 부착강도가 약간 높게 나타난 이유도 조기에 PCS 도장재의 강성을 증대시킨 후, 폴리머에 의한 인성 및 이형 철근과의 접착성 개선이 유리하게 작용한 결과라 볼 수 있다.

또한 양생재령 1일에 있어서의 PCS 도장철근의 부착강도는 보통철근 및 에폭시 도장철근 보다 모든 조건에서 큰 부착강도를 나타냈지만, 양생재령 7일에 비해 약간 낮은 이유는 PCS 도장재가 충분히 강성을 나타낼 수 있는 충분한 양생재

령의 부족으로 볼 수 있어 100 $\mu\text{m}$ 처럼 비교적 얇은 경우가 250 $\mu\text{m}$  보다는 높은 부착강도를 나타냈다. 본 연구를 통하여 PCS 도장재의 양생재령 1일에서도 현장에 적용할 수 있는 높은 부착강도를 나타냈지만, 보다 최적의 부착강도를 얻기 위해서는 7일정도의 양생재령이 필요하다.

#### 4.2 도장두께에 따른 PCS 도장철근의 부착강도

Figure 9는 도장두께에 따른 PCS 도장철근의 시멘트 콘크리트와의 부착강도를 나타내고 있다.

PCS 도장두께는 도장철근의 부착강도에 크게 영향을 미치는 요인이다. 보통철근의 내부식성을 위하여 해양구조물의 철근콘크리트구조물에서 널리 사용되고 있는 에폭시 도장철근은 피복두께가  $250 \pm 50 \mu\text{m}$ 인데, 이보다 도장두께가 두꺼우면 시멘트 콘크리트와의 부착성이 50% 이상 현격하게 떨어지기 때문에 최소한의 피막두께를 유지하는 것이다[2]. 본 연구의 일련의 과정에서도 에폭시 도장철근과 같은 두께의 PCS 도장철근도 에폭시 도장철근 못지않게 우수한 부착강도를 나타내고 있으나, 에폭시 도막에 비해 탄성계수가 낮은 PCS 도장재의 강성을 확보하기 위해서는 도장두께를 얇게 할 필요가 있으나, 에폭시 도장철근과 마찬가지로 내부식성을 확보하기 위해서는 적절한 도장두께가 요구된다. 따라서 기존의 PCS 도장철근의 내부식성 시험[6,7]에서 도장두께 100 $\mu\text{m}$ 까지는 충분히 내부식성이 가능할 것으로 보아 도장두께 250 $\mu\text{m}$ 와 비교하여 부착강도 개선 정도를 파악하고자 하였다. PCS 도장철근의 도장두께에 따른 부착강도는 시멘트의 종류, 폴리머의 종류 및 폴리머 시멘트비에 관계없이 모든 조건에서 도장두께 100 $\mu\text{m}$ 경우가 250 $\mu\text{m}$ 에 비해 1.05배~1.26배 높게 나타났다. 시멘트 종류에 따라서는 초조강시멘트를 사용한 PCS 도장철근의 경우가 보통시멘트를 사용한 경우에 비해 약간 높은 부착강도를 나타냈다.

기존의 연구[5,6,7,8]에서, 도장두께 75 $\mu\text{m}$ 인 경우, PCS 도장철근의 부착강도가 100 $\mu\text{m}$ 인 경우보다 약간 개선된 결과를 얻을 수 있었으나 실제 현장에서 도장철근으로 구조체에 사용될 경우, 역학적 성질은 만족할 수 있지만 내식성을 위해서는 도장두께가 100 $\mu\text{m}$  이상은 되어야 할 것으로 생각한다. 물론 시멘트 콘크리트 2차 제품과 같이 비구조체의 경우에는 역학적 성능 보다는 내부식성을 고려하기 때문에 100 $\mu\text{m}$  보다 두꺼운 도장두께가 필요할 것으로 본다.

본 연구 결과와 같이 도장두께 250 $\mu\text{m}$ 에서 100 $\mu\text{m}$ 로 얇게 할 경우, 보다 더 에폭시 도장철근에 비해 우수한 부착강도

를 얻을 수 있어 PCS 도장철근을 실제 해양구조물의 철근콘크리트구조물에 사용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

#### 4.3 PCS 도장재의 폴리머 시멘트비에 따른 부착강도

PCS 도장재인 폴리머 시멘트 복합체의 성질에 가장영향을 미치는 재료가 폴리머 디스퍼션이다. 폴리머 디스퍼션은 시멘트에 혼입하여 시멘트의 성질을 개선시키기 때문에 시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션으로 불린다. 이러한 폴리머 디스퍼션은 시멘트 구조체의 매트릭스 안에서 3차원의 망상구조의 골격을 형성하여 역학적 성질 및 내구성을 크게 개선한다[13]. 이러한 영향은 시멘트 콘크리트 및 모르타르 보다 시멘트 슬러리(페이스트)로 사용되는 경우 크게 작용한다고 볼 수 있다. 본 연구에서와 같이 PCS 도장재를 철근에 도장할 때, 시멘트 보다 단가가 매우 큰 폴리머 디스퍼션을 사용하기 때문에 폴리머 시멘트비를 작게 하는 것이 경제적이라 할 수 있다. 그러나 시멘트와 같은 무기물을 직접 철근에 도장하면 건조와 함께 균열이 발생하여 도장이 불가능하기 때문에 폴리머 디스퍼션에 의한 인성을 보강시키는 것이다. 도장두께 250 $\mu\text{m}$ 의 아주 얇은 도장재를 개발한 것은 본 연구의 일련의 성과이기도 하며, 최적의 폴리머 시멘트비를 얻기 위한 연구가 진행되었다. 폴리머의 종류에 따라 다르지만 폴리머 시멘트비가 50% 이상이어야 피막에 균열이 생기지 않으며, 본 연구에서 사용된 St/BA와 EVA는 많은 폴리머 종류 중에서 성능과 경제성면에서 선택된 폴리머 디스퍼션이다. 그러나 도로 포장용 시멘트 콘크리트에 혼입하여 사용되는 SBR과 같은 폴리머 디스퍼션은 폴리머 시멘트비 100%에서도 균열이 발생하여 사용할 수 없는 경우도 있다.

Figure 10은 폴리머 시멘트비에 따른 PCS 도장철근의 시멘트 콘크리트와의 부착강도를 나타내고 있다.

전술한 양생재령에 따른 PCS 도장철근의 부착강도는 7일에서 가장 우수했는데, 이때, 초조강시멘트를 사용한 경우 폴리머 종류에 관계없이 도장두께 100 $\mu\text{m}$ 에서 폴리머 시멘트비 80%의 경우가 50%에 비해 1.12배 큰 부착강도를 나타냈으나, 보통시멘트의 경우 0.97배로 약간 낮게 나타났다. 양생재령 28일의 경우에는 모든 배합에서 폴리머 시멘트비 80% 경우가 오히려 낮은 부착강도를 나타냈다. PCS 도장철근의 부착강도는 폴리머 시멘트비의 변화에 따른 영향보다는 전술한 도장두께에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있었으며, 폴리머 시멘트비가 증가할수록 PCS 복합체의 내부식성이 우수하나 폴리머 시멘트비가 80% 정도이면 충분한 도장

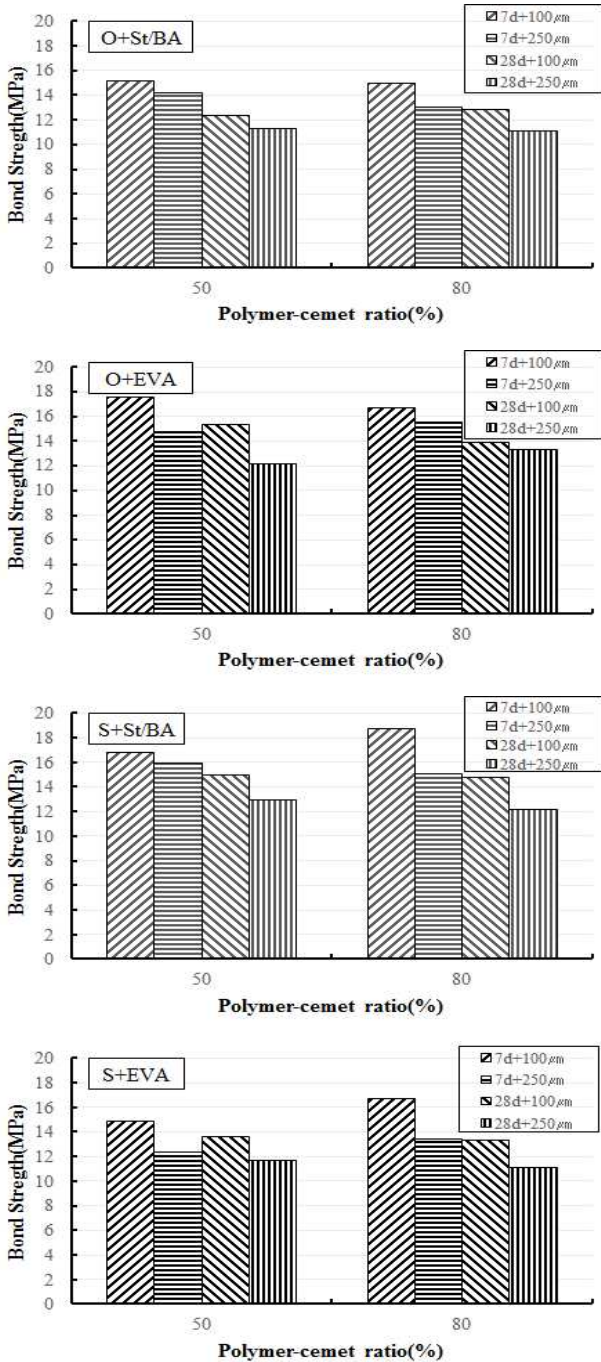


Figure 10. Bond strength of PCS-coated rebar according to polymer-cement ratio

피막을 형성할 수 있기 때문에 경제성을 고려한다면 폴리머 시멘트비 100%보다는 유리한 조건이라 할 수 있다.

#### 4.4 PCS 도장철근을 사용한 RC 보의 파괴하중-처짐

전술한 PCS 도장철근의 부착강도는 많은 배합조건에 따

Table 5. The results of flexural behavior of RC beam using rebar at curing age of 7days

Type of Polymer	Type of Cement	Ultimate Load (kN)	Ratio of Ultimate Load to Plain (%)
Plain	-	234.9	100
St/BA	OPC	210.9	89.8
	SHESC	210.2	89.5
EVA	Ordinary	240.4	102.3
	SHESC	190.5	81.1
Epoxy	-	193.7	82.5

라 영향을 받으나, 특히 도장하지 않은 보통철근과 에폭시 도장철근 보다 큰 부착강도를 나타내어, 본 실측값을 보완하여 평가하기 위하여 실제 규모의 철근 콘크리트 보를 제작하여 PCS 도장철근과 시멘트 콘크리트와의 부착성을 실증실험을 통하여 평가하고자 하였다. Table 5는 보통 포틀랜드 시멘트(OPC) 및 초조강시멘트(SHESC)와 폴리머 디스퍼션 St/BA와 EVA를 혼입하고, 폴리머 시멘트비를 80%로 하여 만든 PCS 도장재를 도장두께 100µm로, 7일간 양생한 PCS 도장철근을 사용하여 만든 철근콘크리트 보에 대한 휨 응력 시험 결과를 나타내고 있다. PCS 도장철근을 사용한 철근콘크리트 보의 최대 파괴하중은 190.5kN~240.4kN 범위였으며, 도장하지 않은 보통철근의 최대 파괴하중은 234.9kN, 에폭시 도장철근의 최대 파괴하중은 193.7kN로 나타났다. PCS 도장철근의 경우, 보통철근의 최대 파괴하중의 81.1%~102.3% 범위였으며, 에폭시 도장철근의 최대 파괴하중의 98.4%~124.1% 범위였다. 특히 보통시멘트와 EVA를 사용한 경우의 최대 파괴하중은 오히려 보통철근의 1.02배, 에폭시 도장철근의 1.24배 높았다. 전술한 PCS 도장철근의 부착강도 시험에서는 PCS 도장철근이 보통철근 및 에폭시 도장철근 보다 거의 모든 배합에서 우수한 부착강도를 나타냈으나 실제 보 실험에서는 거의 보통철근보다 낮은 휨 응력에 대한 파괴하중을 나타냈다. 그러나 에폭시 도장철근에 비하면 높은 파괴하중을 나타냈다. Figure 11은 철근콘크리트 보의 휨 응력에 대한 처짐을 나타내고 있다. 모든 보가 하중을 받으면 거의 하중과 처짐이 비례적으로 증가하다가 최대 파괴하중에서 항복을 일으키며 파괴되었는데 보통철근은 최대 파괴하중을 나타낸 후에도 상당히 철근에 의한 연성적 파괴를 일으킨 반면, St/BA를 사용한 경우에는 이러한 파괴현상을 거의 발견할 수 없었다. 그러나 EVA를 사용한 경우에는 최대 파괴하중 후에도 상당한 연성적 파괴를 보였는데, 최대 파괴하중이

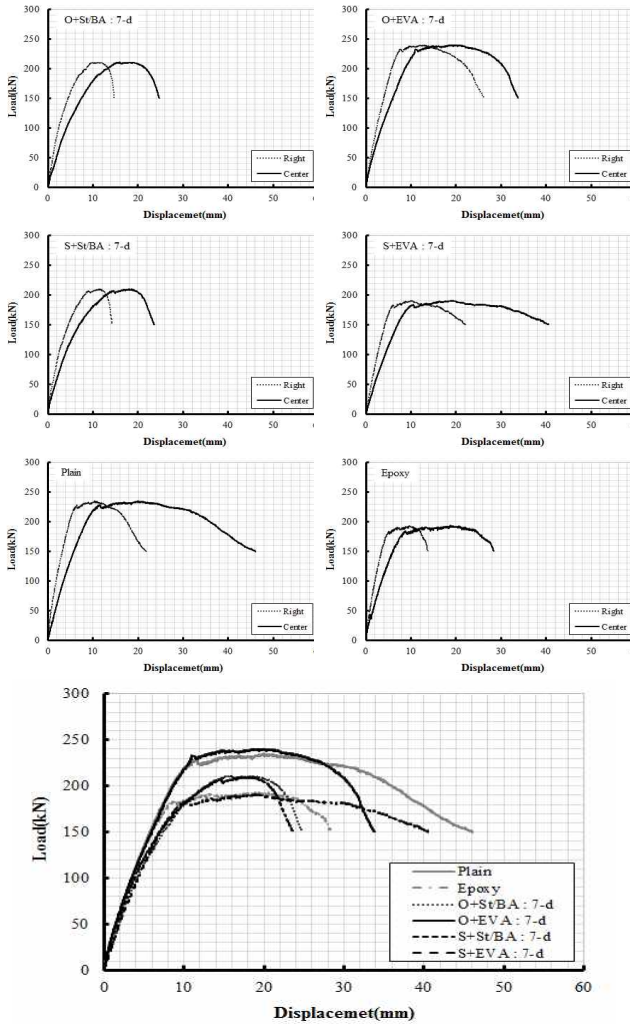


Figure 11. Load and displacement of RC beam at center

보통철근 보다 높았던 보통시멘트와 EVA를 사용한 PCS 도장철근의 경우, 보통철근과 비교되는 연성 파괴현상을 보였으며 에폭시 도장철근에 비해서는 훨씬 큰 파괴에너지를 보유한 것을 알 수 있었다. 본 연구결과, 거의 모든 조건에서 부착강도 시험과 철근콘크리트 보 실험에서 PCS 도장철근이 에폭시 도장철근에 비해 우수한 결과를 얻을 수 있어 실제 건설현장에서 PCS 도장철근을 사용할 수 있는 가능성을 확인하는 중요한 기초자료를 얻을 수 있었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 해양구조물에 널리 사용되고 있는 에폭시 도장철근의 단점을 보완하고 성능과 경제성만을 고려한 도

장철근을 개발하고자하는 일련의 연구로서, PCS 도장철근의 일단인발 부착강도 평가결과, 최적의 4개 배합조건으로 실제 철근콘크리트 보를 제작하여 휨 응력에 대한 거동을 평가하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) PCS 도장철근의 부착강도는 양생재령과 도장두께에 따라 약간의 차이는 있으나 보통철근 및 에폭시 도장철근 보다 높았으며, 각각 최대 1.52배 및 1.58배 높게 나타났다.
- 2) PCS 도장철근의 도장두께에 따른 부착강도는 시멘트의 종류, 폴리머의 종류 및 폴리머 시멘트비에 관계없이 모든 조건에서 도장두께 100 $\mu$ m 경우가 250 $\mu$ m에 비해 1.05배~1.26배 높게 나타났다.
- 3) 시멘트 종류에 따라서는 초조강시멘트를 사용한 PCS 도장철근의 경우가 보통시멘트를 사용한 경우에 비해 약간 높은 부착강도를 나타냈으나, 보에 대한 휨 응력 시험에서는 보통시멘트가 약간 우수하게 나타났다.
- 4) PCS 도장철근을 사용한 철근콘크리트 보의 최대 파괴하중은 190.5kN~240.4kN 범위로, 보통철근의 최대 파괴하중의 81.1%~102.3%였으며, 에폭시 도장철근의 최대 파괴하중의 98.4%~124.1% 이었다.
- 5) 본 연구결과, 폴리머 종류 EVA, 폴리머 시멘트비 80%, 도장두께 100 $\mu$ m 및 양생재령 7일의 조건에서 만든 PCS 도장철근은 실제 철근콘크리트 구조물의 도장철근으로 활용할 수 있는 기초적인 자료를 얻을 수 있었다.

### 요 약

본 연구는 시멘트 종류, 폴리머 종류, 폴리머 시멘트비, 도장두께를 변화시켜 만든 PCS 도장철근의 시멘트 콘크리트에 대한 부착강도 시험을 실시하여 PCS 도장철근의 부착강도에 영향을 미치는 양생재령과 도장두께에 대하여 평가하고자 하였다. 또한 부착강도 시험결과로 얻어진 최적배합으로 만든 PCS 도장철근을 사용하여 철근콘크리트 보를 제작하여 휨 응력 시험을 실시하여 간접적으로 부착성을 평가하였다. 시험결과, PCS 도장철근의 부착강도는 양생재령 7일과 도장두께 100 $\mu$ m에서 최대치를 나타냈는데, 이는 보통철근의 1.52배 및 에폭시 도장철근의 1.58배였다. 또한



PCS 도장철근을 사용한 철근콘크리트 보의 최대 파괴하중은 보통철근의 최대 파괴하중의 81.1%~102.3% 범위였으며, 에폭시 도장철근의 최대 파괴하중의 98.4%~124.1% 범위로 나타났다. 본 연구결과, 도장두께 100 $\mu$ m, 폴리머 종류 EVA, 폴리머 시멘트비 80%, 양생재령 7일 조건으로 만든 PCS 도장철근은 실제 건설현장의 철근콘크리트 구조물의 도장철근으로 활용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

**키워드** : 폴리머 시멘트 슬러리, 양생재령, 도장두께, 폴리머 시멘트비, 부착강도

## Acknowledgement

This research was supported by a Research Grant from Chungwoon University in the Research Year of 2014 and Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (2015R1D1A1A01056813).

## References

1. Choi OC, Bond of epoxy coated reinforcing bars, Proceedings of Architectural Institute of Korea; 1990 Oct. 20; Incheon, Korea, Seoul(Korea): Architectural Institute of Korea; 1990, p. 530-42.
2. Yu TH, A study on the epoxy-coated reinforcement bar performance in marine concrete structures [master's thesis]. [Seoul (Korea)]: Hanyang University; 1996. 42 p.
3. ACI 440.1R-06, Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars, Farmington Hills (MI, USA), American Concrete Institute, 2006.
4. Jo YK, Adhesion and impact properties of polymer cement slurry-coated steel plate and deformed bar, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2010;26(5):91-100.
5. Jo YK, Park DY, Jang GS, Effects of mix proportions and coating thickness on the bond strength of coated rebar by polymer cement slurry, Journal of Architectural Institute of Korea, 2011;27(6):107-14.
6. Jo YK, A study on the bond performance and anti-corrosion of polymer cement composites coated steel, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2006;22(8):101-08.
7. Jo YK, Tensile properties and adhesion of hybrid-type anti-corrosion polymer cement slurry, Journal of Korea Concrete Institute, 2008;20(5):635-42.
8. Jo YK, Jeong SP, A study on the performance tests of polymer cement slurry-coated steels, Journal of Korean Society of Civil Engineers, 2007;27(5A):759-69.
9. Kim WK, Song H, Jo YK, Mix proportions of cement-polymer composites for improvement in adhesion as coating materials for steel, Journal of the construction and environment research Institute, 2014;19(2):114-23.
10. Jo YK, Jeong SH, Kim WK, Bond strength of polymer cement slurry-coated rebar using EVA latex in cement concrete, Advance materials Research, 2013;687:175-84.
11. Jo YK, Jeong SH, Properties of coating materials effected on the bond strength of polymer-cement slurry coated rebar, Journal of the Construction and Environment Research Institute, 2014;9(1):87-95.
12. 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;.102-5.
13. Yoshihiko O, HandBook of Polymer-Modified Concrete and Mortars, New Jersey U.S.A: Noyes Publications; 1995, 225 p.