

고강도콘크리트에서 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 인발부착특성

Pull-Out Bond Properties of Polymer Cement Coated Rebars in HSC

김민호* 김완기** 소양섭***
Kim, Min-Ho Kim, Wan-Ki Soh, Yang-Seob

ABSTRACT

Epoxy-coated re-bar was partly used to the structures and put to practical use, but were not economical and appeared to have defects such as the diminishing of long term bond strength between concrete. The study of polymer cement slurry coated re-bar was started in order to complement the defect of epoxy coated re-bar, and ever since the basic properties appeared to be excellent. But, study of bond properties embedded in concrete specimens was insufficient until now.

This study attempts to examine the possibility of improving the bond strength of polymer cement slurry coated re-bar between concrete specimens in accordance with ACI Code and KS Code through pull-out test of 150mm×150mm×150mm substrates with polymer cement slurry coated re-bar having polymer cement ratios of 50%, 75% and 100%, coating thickness 250 μ m, 450 μ m and with curing ages of 3, 7 and 28 days. High strength concrete was designed having a compressive strength of 500kgf/cm² as specified. Practical bond length ranges of 55 and 85mm were applied to each of specimen. The bond strength of polymer cement slurry coated re-bar using St/BA-1 and St/BA-2 was compared to that of plain re-bar.

The results of this study showed that the bond strength of 55mm bond length was much higher than that of 85mm bond length.

1. 서론

철근 콘크리트 구조물에서 철근과 콘크리트간의 부착력은 구조물의 안정성, 내구성, 사용성 측면에서 구조부재의 설계나 해석을 하는데 매우 중요하며 기본이 된다. 철근의 부식은 철근 콘크리트 구조물에 있어서 심각한 열화 현상을 유발할 수 있으며 최근들어 이로 인한 피해가 보고 되고 있다. 이와 같은 부식의 억제 방안으로서 철근에 수지를 도막하는 방법이 가장 적극적인 방안이라 할 수 있으나 수지도막에 따른 부착강도 저하가 우려되어 사용의 제약을 받고 있는 실정이다. 이에 국내에서는 예폭시 도장철근과 콘크리트의 부착거동에 대한 폭넓은 실험을 통해 실용화 단계에 이르렀으나 경제성이 떨어지며 콘크리트와의 부착강도 저하라는 단점으로 인하여 현재 일부 해안구조물이나 교량 등에서만 사용되고 있는 실정이다. 이러한 단점을 보완하기 위한 방안으로 콘크리트와의 친화성을 고려하여 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근에 대한 연구를 시작하였으며 기초적인 성능은 우수하였으나 콘크리트와의 부착거동에 대한 연구는 아직 미흡한 상태이다.

따라서, 본 연구에서는 인발부착실험(Pull-Out Test)을 통해 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 부착거동을 보다 정확하게 규명하며 각각의 변수에 따른 부착슬립과 부착응력의 관계를 도출하고자 하였다. 이에 폴리머의 종류, 도장두께, 철근의 부착길이를 중요 변수로 하여 포괄적인 실험을 수행하였다.

*정회원, 전북대학교 대학원 석사과정
**정회원, 협성대학교 도시·건축공학부 교수
***정회원, 전북대학교 건축·도시공학부 교수, 공업기술연구원

2. 사용재료

2.1. 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내D사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.2. 시멘트 혼화용 폴리머

시멘트 혼화용 폴리머 분산제는 스티렌·아크릴산 부틸(이하 St/BA라 약함) 에멀전을 사용하였으며 그 성질은 Table 1.과 같다.

Table 1 Properties of polymer dispersion for cement modifiers

Type of polymer	Specific gravity(20℃)	pH (20℃)	Viscosity (20℃, mPa·s)	Glass transition Point, (℃)	Average particle size(μm)	Total solids (%)
St/BA-1 emulsion	1.04	7.5	2470	-16.1	0.28	56
St/BA-2 emulsion	1.04	6.8	146	-32.8	0.25	56

2.3. 소포제

시멘트에 폴리머를 혼입할 때 연행되는 기포를 제거하기 위하여 수성 폴리머 분산제에 실리콘계 에멀전(고형분30%)을 폴리머 고형분 중량에 대하여 2% 첨가하였다.

2.4. 철근

철근은 KS D 3504 [철근 콘크리트용 봉강] 에 따라 I사에서 생산한 SD40으로서 D22철근을 사용하였다. 철근의 특성은 Table 2와 같다.

Table 2 Chemical components of reinforcing bars(wt, %)

	Yield Strength(kgf/cm ²)	Ultimate Strength(kgf/cm ²)	Modules of elasticity(kgf/cm ²)	Elongation(%)
D22	2378×10 ³	4,100	1,724	21.5

3. 실험방법

철근과 콘크리트와의 부착강도를 측정하기 위한 일반적인 실험방법으로서 ASTM 규준에 명시된 Pull-Out Test Method(ASTM C 234)나 이 시험방법을 수정한 Tensile Specimen 이라 불리는 시험방법이 있다. 본 실험의 부착시험 방법으로는 일단 인발시험법(Pull-Out Test)를 채택하였으며 인발부착거동(Pull Out Bond Behavior)을 규명하기 위해서 몇가지 주요한 영향인자를 실험변수로 채택하였다. 콘크리트의 압축강도는 500kgf/cm²로 고정하였으며 D22의 보통철근과 폴리머 시멘트 슬러리 도장 철근의 부착길이를 55mm, 85mm로 변화시켜 부착길이에 따른 부착강도의 특성을 고려하였다. 즉, 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근을 각각 제작하여 부착길이를 변화시켜 콘크리트에 매립시킨 후 Slip에 따른 평균부착응력을 도출한다.³⁾ 평균부착응력은 다음과 같다.

$$\tau = \frac{F}{\Sigma_0 \cdot L}$$

τ : 부착응력 (kgf/cm²)

F : 철근에 가해진 인장하중 (kgf/cm²)

Σ_0 : 철근의 원둘레 길이 (주장)(cm), L : 부착길이(cm)

3.1. 공시체제작

2종류의 시멘트 혼화용 폴리머를 사용하여 폴리머 시멘트 비 50%, 75%, 100%와 도장두께 250μm, 450μm로 하여 도장을 실시하였으며 양생기간 3, 7, 28일로 하여 각각의 양생기간에 따라 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근을 제작한 다음, 부착길이에 대해서는 부착응력이 균일하게 작용하고 철근이 항복하기 전에 부착파괴가 일어나도록 부착길이를 조절하여 제작하였다. 부착길이를 조절은 PVC관을 삽입하여 PVC관의 길이를 조절하여 부착길이를 조정하였으며 이를 150mm×150mm×150mm의 자체 제작한 몰드에 매립한 다음 콘크리트를 타설하여 공시체를 제작하여 28일 수증양생을 실시하였다.

Table 3 Mix proportions of polymer cement slurry

Type of slurry	polymer-cement ratio (P/C)	Water-cement ratio (%)		Antifoamer (%)
		250 μ m	450 μ m	
St/BA-1 emulsion	50	50	45	2
	75	64	63	2
	100	82	79	2
St/BA-2 emulsion	50	51	47	2
	75	61	59	2
	100	79	77	2

3.2 콘크리트 배합

콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 잔골재 비중은 2.54, 굵은 골재 비중은 2.53인 19mm이하의 쇄석을 사용하였으며, 콘크리트 배합 강도는 500kgf/cm²을 사용하였다. 콘크리트 배합표는 Table 4와 같고, 잔골재의 체가름곡선은 Fig. 1와 같다.

단위량(kg/m ³)				
W(kg)	C(kg)	S(kg)	G(kg)	유동화제(kg)
182	607	610	923	6

Table 4 콘크리트 배합

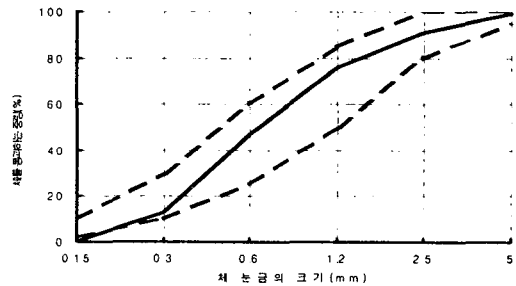


Fig 1 잔골재의 체가름 곡선

3.3. 도장두께

본 실험에서 사용한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 20cm 길이로 절단한 D22철근에 도장두께 250 μ m, 450 μ m를 목표로 도장한 것으로, 도장두께별로 철근을 3개씩 선별하여 하나의 철근에 대해 일정한 간격으로 15회 이상 도장두께를 측정하였다.

측정한 결과 편차가 상당히 크게 나타났으며 측정부위 별로는 리브(rib)바로 위가 가장 얇고, 마디와 마디사이가 가장 두꺼운 것으로 나타났다.

3.4. 인발부착 시험(Pull-Out Test)

인발부착 시험법으로 일단 인발시험법(Pull-Out Test)를 채택하여 Fig 3, Fig 4와 같이 만능 재료 시험기(UTM), Data logger(TDS-602)와 변위계를 장치하여 실험을 실시하였으며 하중을 50tf/cm², 하중의 재하속도는 0.2FS/min으로 일정하게 유지하여 보통철근과 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근에 대한 부착응력과 Slip을 측정하였다.

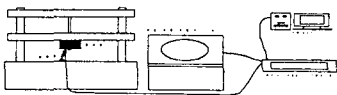


Fig.2 인발부착 시험 장치도

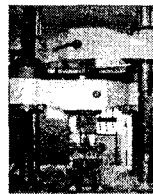


Fig.3 시편장치도



Fig.4 Data logger(TDS-602)

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 부착길이에 따른 부착응력의 분포

본 실험에서 보통철근과 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 인발부착실험에서 콘크리트의 파괴양상은 모두 함렬파괴 양상을 보이고 있으며 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 경우 철근과 콘크리트 사이의 도장재가 밀리거나 찢겨짐 현상을 보였으며 이는 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 도장재와 콘크리트 사이의 부착성과 도장재와 철근 사이의 부착성이 부착거동에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 부착길이에 따른 부착응력과 부착슬립의 관계는 Fig 6~8에서 보는 바와 같이 부착길이가 55mm인 경우가 부착길이 85mm인 경우보다 높은 부착응력을 보이고 있다. 이는 부착길이가 짧을 경우 국부부착응력(local bond stress)으로 취성파괴 양상을 보이는 것으로 판단된다.



Fig.5 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 파괴형상

4.2. 3일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 부착강도 특성

보통철근과 비교한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 St/BA-2 modified 한 도장철근이 St/BA-1 modified 한 도장철근보다 높은 부착강도를 보이고 있으며 특히 St/BA-2 modified 한 도장철근에서 부착길이가 55mm인 경우에 보통철근의 부착강도에 비하여 80%이상의 부착강도를 나타내었다. 또한, 부착길이가 길수록 부착슬립이 작아지는 경향을 보이고 있다. 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 도장두께에 따른 부착강도는 도장두께 450µm보다 250µm에서 높은 부착강도를 나타내고 있다.

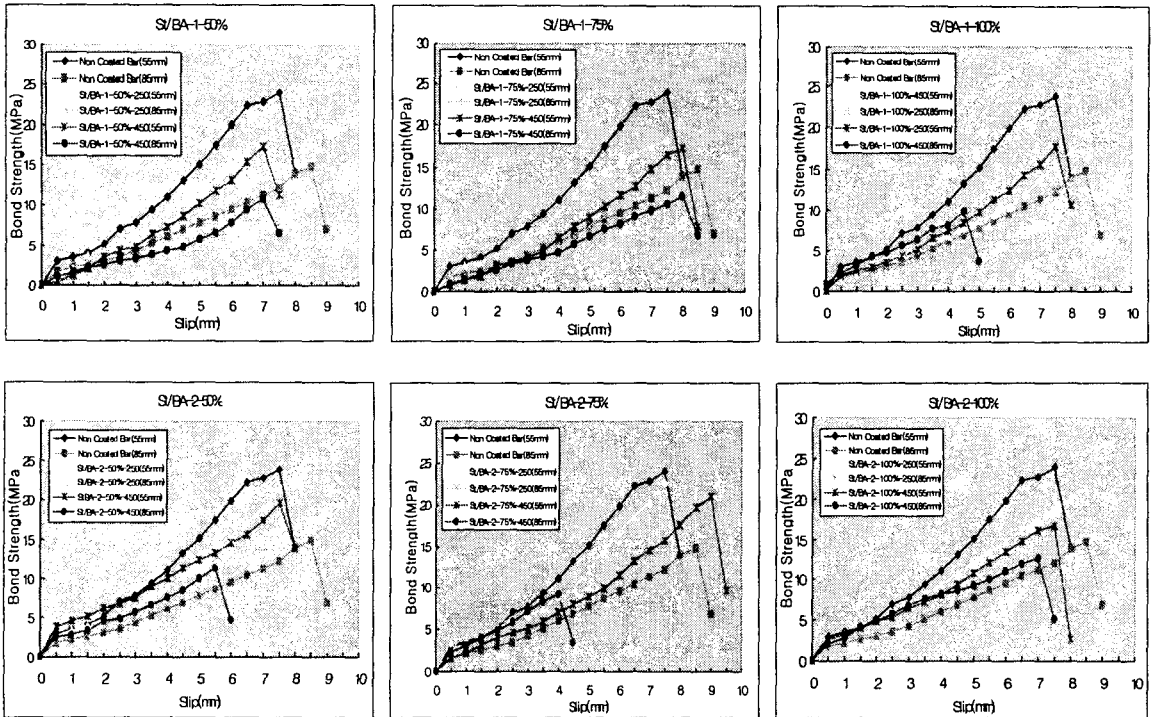


Fig 6 3일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 인발부착

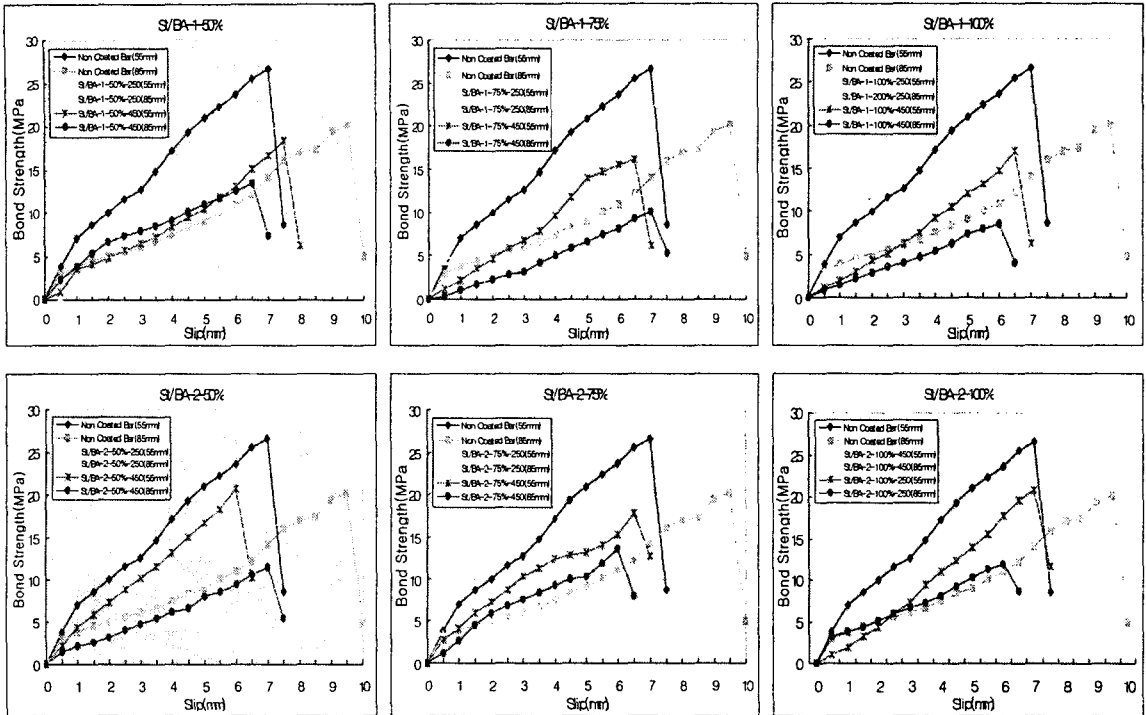


Fig 7 7일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 인발부착

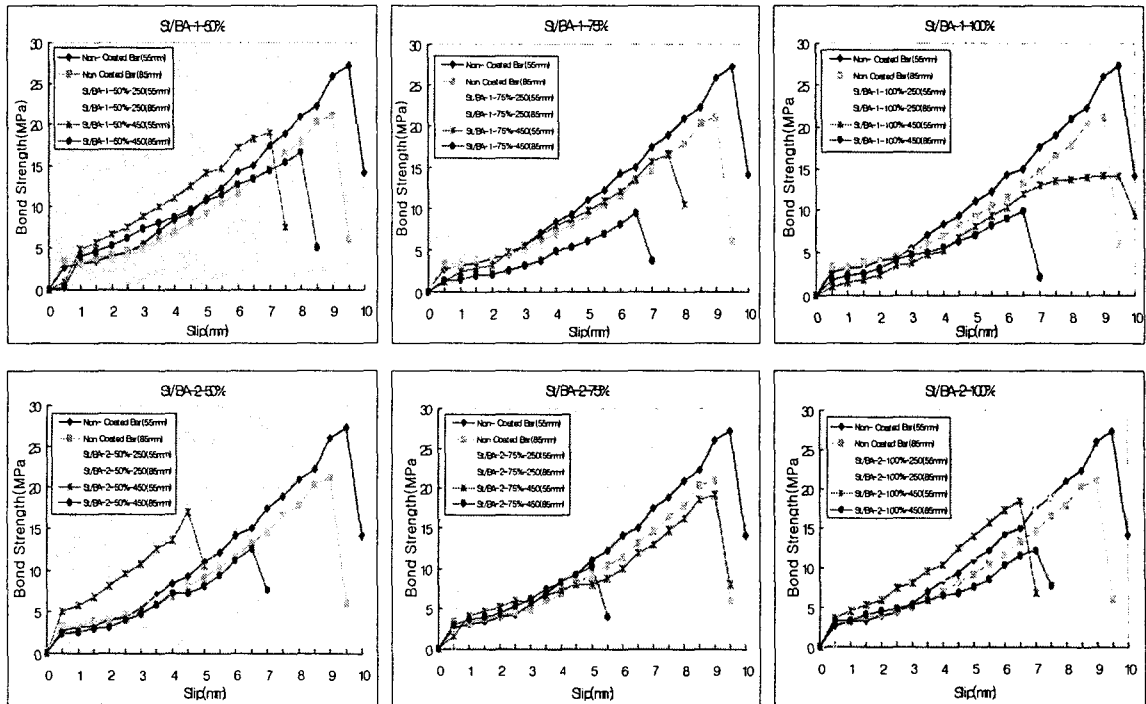


Fig.8. 28일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 인발부착

4.3. 7일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 부착강도 특성

7일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근에서는 St/BA-1 modified한 도장철근에서 폴리머 시멘트 비 50%, 도장두께 250 μ m, 부착길이 55mm에서 St/BA-2 modified한 도장철근보다 높은 부착강도를 나타내고 있다. St/BA-1 modified 도장철근에서 폴리머 시멘트 비(P/C)가 증가할수록 부착강도가 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 폴리머 시멘트 비가 증가할수록 물시멘트비가 증가함으로써 부착강도를 저해하는 요인으로 사료된다.

4.4. 28일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 부착강도 특성

양생기간이 증가할수록 보통 철근의 경우 점차 부착강도가 증가하는 경향을 보였으나 St/BA modified 한 도장철근의 경우에는 보통철근과 비교해 볼때 80%이하의 부착강도를 보이고 있으며 특히, 부착길이가 85mm인 경우에는 50%정도로 낮은 부착강도를 나타내고 있다. 폴리머 시멘트 비(P/C)에 따른 부착강도는 폴리머 시멘트 비가 높을수록 점차 부착강도가 낮아지는 경향을 보이고 있다.

5. 결 론

- 1) 인발부착실험시 콘크리트의 파괴양상은 모두 활렬파괴 양상을 보이고 있으며 이는 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 도장재와 콘크리트사이의 부착성과 도장재와 철근사이의의 부착성이 부착거동에 영향을 미치는 것으로 판단된다.
- 2) 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 부착길이에 따른 부착응력은 부착길이가 55mm인 경우가 부착길이 85mm인 경우보다 높은 부착응력을 보이고 있다. 이는 부착길이가 짧은 경우 국부부착응력(local bond stress)으로 취성파괴 양상을 보이는 것으로 판단된다.
- 3) St/BA-2 modified한 도장철근에서 부착길이가 55mm인 경우에서 80%이상의 부착강도를 나타내고 있으며 폴리머 시멘트비(P/C)가 증가할수록 부착강도가 감소하는 경향을 보이고 있다.
- 4) 양생기간이 증가할수록 보통철근의 부착강도는 점차 증가하는 경향을 보였으나 St/BA modified한 도장철근의 경우에는 보통철근과 비교할 때 80%이하의 부착강도를 보이고 있으며 특히, 부착길이가 85mm인 경우에는 50% 정도로 낮은 부착강도를 나타내고 있다.
- 5) 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 콘크리트와의 부착특성은 콘크리트의 압축강도의 변화와 철근의 직경에 따른 변화에 대하여 좀더 깊이 있는 실험을 통하여 보다 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-00358)지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. KS M 5250 “강관 및 철근용 에폭시 수지 분체도료.”
2. ASTM A775 “Standard Specification for Epoxy-Coated Reinforcing Steel Bars.”
3. 오병환, “철근콘크리트 부재의 뽐힘부착특성 연구”, 콘크리트학회지, 제4권3호, 1992.9.
4. 오병환외 2명, “에폭시 수지 도막 철근콘크리트의 부착특성 연구.”
5. 문한영외 3명, “콘크리트중 코팅철근의 부착응력에 대한 기초적 연구.”
6. 김현기외 4명, “콘크리트중의 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 인발부착 특성.”