

폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 내굴곡성

Bend Resistance of Polymer Cement Slurry Coated Reinforcing bars

김 현 기* 김 민 호* 장 성 주** 김 완 기*** 소 양 섭****
Kim, Hyun-Ki Kim, Min-Ho Chang, Sung-Joo Kim, Wan-Ki Soh, Yang-Seob

ABSTRACT

The bend resistance of coated reinforcing bar is greatly influenced by adhesion strength of bar and coating materials and transformation of coating materials to the bar. Expecially, tearing state or a limited microscopic cracks are predicted on the inside and outside of bending angle because of adhesion strength and elongation is very different with types of polymer materials using bar coating, and these parts are accelerated corrosion as penetration of bar corrosion effects factor.

In this study, cement modified polymer are prepared four types and differ from polymer cement ratio of 50% and 100%, coating thickness of 250 μ m and 450 μ m, coating number, curing age of 3, 7, 14 and 28days, and then tested bend resistance as bending angle 90°, 135° and 180° for observe the microscopic damage effect according as bar bend.

From the test results, when is used cement modified polymer as coating materials of bar, St/BA is showed excellent bend resistance than a polyacrylic emulsion and SBR because of softness.

But it is to need attention because as coating parts are pressed down and tearing, also experimental study is proceeded to corrosion potential on the inside and outside of coated reinforcing bar.

1. 서 론

도장철근을 철근콘크리트 구조물에 적용하는데 있어서 철근 중간부 및 말단부의 구부림각은 각기 다르기 때문에 구부림 각도에 따른 내굴곡성의 검토가 필요하다. 도장철근의 내굴곡성은 철근과 도장재와의 접착성과 철근에 대한 도장재의 변형추종성에 의해 크게 좌우된다. 특히 철근 도장에 사용하는 고분자재료의 종류에 따라 접착성과 연신율이 현저하게 달라 구부림각의 안쪽에 찢김현상이나 국부 미세균열이 예상되어 그 부분에 철근부식영향 인자가 침투되어 부식을 촉진한다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에서 생산된 D13 철근에 4종류의 시멘트 혼화용 폴리머를 사용하여 폴리머 시멘트 비 50%, 100%로 도장두께를 250 μ m와 450 μ m로 도장하여 만든 도장철근을 사용하여 양생기간을 3, 7, 14, 28일로 달리하여 침지도장에 의해 제작한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근과 에폭시 도장철근에 대해 철근굴곡에 따른 국부손상효과를 관찰하기 위해 표준 갈고리 형태로 90°, 135°, 180°로 철근을 굴곡하여 내굴곡성 시험을 실시하였다. 특히 본 실험에서는 일반 건설현장의 실제적인 철근 구부림각을 고려하여, 실제 건설현장에서 실시하는 방법으로 단시간에 철근을 구부려서 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 내굴곡성을 검토하고자 하였다.

* 정희원, 전북대학교 대학원 석사과정

** 정희원, (주)삼호특수 대표이사, 전북대학교 대학원 박사과정

*** 정희원, 전북대학교 건축학부 강사, 공·박

**** 정희원, 전북대학교 건축학부 교수, 공업기술연구소

2. 사용재료

2.1. 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 국내산으로 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

2.2. 시멘트 혼화용 폴리머

시멘트 혼화용 폴리머 분산계는 스티렌·아크릴산 부틸(이하 St/BA라 약함) 및 아크릴(이하 PA라 약함) 에멀전과 스티렌·부타디엔 고무(이하 SBR이라 약함)를 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)	Total solids(%)
St/BA emulsion-1	1.04	7.5	2470	56
St/BA emulsion-2	1.04	6.8	146	56
PA emulsion	1.09	4.3	1997	50
SBR	1.01	7.8	82	49

2.3. 소포제

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

2.4. 철근

철근은 KS D 3504 [철근 콘크리트용 봉강] 에 따라 I사에서 생산한 D13철근을 사용하였다. 철근의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 2, 3과 같다.

에폭시 도장철근은 국내 H사의 D13철근으로 도장두께 250 μ m의 철근을 사용하였다.

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

	Mn	Cu	C	Si	Cr	S	P	Sn
D13	0.99	0.38	0.28	0.17	0.10	0.04	0.03	0.02

Table 3 Mechanical properties of reinforcing bars (wt, %)

	Tensile Strength (kg/mm ²)	Yield Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Bend test
D13	64.9	42.0	23.9	양호

3. 실험방법

철근은 가공시에 굽히게 되고 이때 굽힘면에 도막이 갈라지는 균열이 생기지 않도록 도막의 신축성이나 부착성이 충분하여야 한다.

본 연구에서 적용하는 규격은 한국산업규준 KS M 5250 [강관 및 철근용 에폭시 분체도료] 와 미국재료시험기준 ASTM A 775 [Epoxy-Coated Reinforcing Bars]³⁾로 규준보다 엄격한 일반건설현장의 실제적인 철근 구부리기를 고려하여 철근 굽곡 각도를 90°, 135°, 180° 로 하여 단시간에 철근을 구부려 시험을 실시하였다.

Table 4 Difference of Korea standard and ASTM standard

시험항목	규준	KS M 5250	ASTM A 775
내굴곡성		온도: 20 \pm 2℃ 방법: 굴곡성 시험기를 사용하여 120° 까지 굽힌다. 결과: 피막의 갈라짐, 벗겨짐이 없어야 한다.	온도: 24 \pm 2℃ 방법: 지름 150mm mandrel로써 일정한 속도로 90초 이내에 120° 로 굽힌다.

3.1. 공시체제작

4종류의 시멘트 혼화용 폴리머를 사용하여 폴리머 시멘트 비 50, 100%와 도장두께 250 μ m, 450 μ m로 하여 1coating 과 2coating을 실시하여 양생기간 3, 7, 14, 28일로 하여 각각의 양생기간에 대하여 각각 42개의 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근을 제작하였다.

Table 5 Mix Proportions

Type of slurry	Polymer-cement ratio (%)	Water-cement ratio (%)		Antifoamer (%)
		250 μ m	450 μ m	
St/BA-1-modified	50	47	39	2
	100	78	75	
St/BA-2-modified	50	51	49	2
	100	77	75	
PA-modified	50	96	83	2
	100	140	120	
SBR-modified	30	31		2
	40		42	

3.2. 도장두께

본 연구에서 사용한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 50cm 길이로 절단한 D13철근에 도장두께 250 μ m, 450 μ m를 목표로 도장한것으로, 도장두께별로 철근을 세 개씩 선별하여 도장두께를 측정하였다. 에폭시 도장철근의 경우 미국재료시험기준(ASTM)에는 하나의 철근에 대해 일정한 간격으로 15회 이상 측정하도록 규정되어 있다.²⁾ 측정된 결과 편차가 상당히 크게 나타났으며 측정부위 별로는 리브(rib) 바로위가 가장얇고, 마디와 마디사이가 가장 두꺼운 것으로 나타났다.

Table 6 Coating thickness of polymer cement slurry

Type of slurry	Polymer-cement ratio (%)	Coating thickness		
		1coating		2coating
		250 μ m	450 μ m	
St/BA-1-modified	50	215	400	425
	100	275	428	525
St/BA-2-modified	50	255	505	510
	100	270	500	530
PA-modified	50	310	497	615
	100	288	465	575
SBR-modified	30		390	
	40	190		360

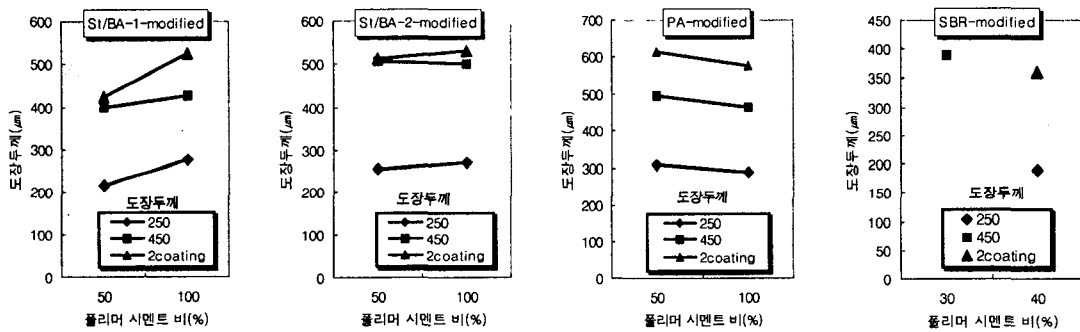


Fig.1 Coating thickness of polymer cement slurry coated reinforcing bars

3.3. 내굴곡성 시험

내굴곡성 시험을 위하여 폴리머 시멘트 비 50%, 100%와 도장두께 250 μ m, 450 μ m 그리고 coating 횟수를 1회 또는 2회로 분류하여 각각 시험체를 만들어 약재기가 2 7 14 28일에 따라 철근 굽곡에 따

른 국부손상 효과를 관찰하기 위해 철근을 90, 135, 180° 로 굴곡하여 시험을 실시하였다.

특히 KS에 규정된 내굴곡성보다 엄격한 일반건설현장의 실제적인 철근 굴곡을 고려하여 그 효과를 관찰하기 위해 실제 건설현장에서 사용하고 있는 간이 철근 굴곡기를 사용하여 단시간에 철근을 구부러 내굴곡성을 파악하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1. 3일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 내굴곡성

St/BA-1-modified를 사용한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 폴리머 시멘트 비 50%에서 굴곡각도 135° 와 180° 에서 도장철근의 바깥쪽에서 균열이 발생하였으나 대부분 양호한 도장상태를 보여주었다.

St/BA-2-modified를 사용한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 2coating을 실시한 도장철근에서만 도장상태가 양호하였으며, 모든 도장철근에서 구부림각의 바깥쪽에서는 도장의 들뜸과 균열이 발생하였고 안쪽에서는 도장의 눌림 현상이 발생하였다.

PA-modified를 사용한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 폴리머 시멘트 비 100%의 도장두께 450 μ m 과 2coating을 실시한 도장철근에서 양호한 상태를 보여주고 있다.

Table 7 Bending test results of polymer cement slurry coated reinforcing bars after 3days curing

Type of slurry	Polymer-cement ratio (%)	Bending angle									Remarks
		90°			135°			180°			
		250	450	2coating	250	450	2coating	250	450	2coating	
St/BA-1-modified	50	△	△	○	×	×	△	×	×	△	○: 상태양호 △: 도장들뜸, 미세균열 ×: 도장벗김, 균열
	100	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
St/BA-2-modified	50	×	△	○	×	×	△	×	×	△	
	100	×	×	○	×	×	○	×	×	○	
PA-modified	50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	100	△	○	○	×	△	○	×	△	△	
SBR-modified	30		×			×			×		
	40	×		×	×		×	×		×	

4.2. 7일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 내굴곡성

St/BA-1-modified의 경우 폴리머 시멘트 비 50%에서 도장두께와 coating 횟수에 관계없이 모든 굴곡각도에서 도장철근의 바깥쪽에서 균열이 발생하였으며, 폴리머 시멘트 비 100%에서는 도장두께 250 μ m를 제외하고는 도장상태가 매우 양호하였다.

St/BA-2-modified의 경우 폴리머 시멘트 비 50%에서는 굴곡각도 90° 를 제외하고는 모두 균열이 발생하였으며, 100%에서는 도장두께와 코팅횟수에 관계없이 도장상태가 양호하였으나 굴곡각도가 클수록 도장이 철근에서 들뜨는 현상이 발생하여 손으로 쉽게 떨어지는 현상이 발생하였다.

PA-modified의 경우 폴리머 시멘트 비 100%에서 굴곡각도 90° 와 135° 에서만 양호한 도장상태를 나타내었으며 나머지 부분에서는 도장두께와 코팅횟수, 굴곡각도에 상관없이 철근의 바깥쪽에서 도장의 균열이 발생하였다.

Table 8 Bending test results of polymer cement slurry coated reinforcing bars after 7days curing

Type of slurry	Polymer-cement ratio (%)	Bending angle									Remarks
		90°			135°			180°			
		250	450	2coating	250	450	2coating	250	450	2coating	
St/BA-1-modified	50	×	○	×	×	×	×	×	×	×	○: 상태양호 △: 도장들뜸, 미세균열 ×: 도장벗김, 균열
	100	○	○	○	×	○	○	×	○	○	
St/BA-2-modified	50	○	△	○	△	×	△	×	×	×	
	100	○	○	○	△	△	○	△	△	○	
PA-modified	50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	100	△	○	○	×	△	○	×	△	×	
SBR-modified	30		×			×			×		
	40	×		×	×		×	×		×	

4.3. 14일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 내굴곡성

St/BA-1-modified의 경우 폴리머 시멘트 비 50%에서는 2코팅을 제외하고 모두 균열이 발생하였으며, 100%에서는 구부러지는 안쪽과 바깥쪽 모두 양호한 도장 상태를 나타내었으나 바깥쪽 부분에서 약간의 들뜸과 굴곡기에 닿는 부분에 도장 손상이 발생하였다.

St/BA-2-modified의 경우 폴리머 시멘트 비 50%의 도장두께 250 μ m에서만 균열이 발생하였으나 전반적으로 도장상태는 양호하나 구부러지는 바깥쪽 부분에서 도장의 들뜸현상이 발생하여 손으로 쉽게 뜯어지는 현상이 발생하였다.

PA-modified의 경우 폴리머 시멘트 비 50%에서는 모든 도장철근에 균열이 발생하였으며, 100%에서는 450 μ m과 2coating의 도장철근에서 양호한 도장상태를 나타내었다.

Table 9 Bending test results of polymer cement slurry coated reinforcing bars after 14days curing

Type of slurry	Polymer-cement ratio (%)	Bending angle									Remarks
		90°			135°			180°			
		250	450	2coating	250	450	2coating	250	450	2coating	
St/BA-1-modified	50	x	x	○	x	x	x	x	x	x	○: 상태양호 △: 도장들뜸, 미세균열 x: 도장벗김, 균열
	100	○	○	○	△	○	○	△	○	○	
St/BA-2-modified	50	x	○	○	x	○	○	x	○	△	
	100	△	○	○	○	○	○	△	○	○	
PA-modified	50	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	100	△	○	○	x	○	○	x	○	○	
SBR-modified	30		x			x			x		
	40	x		x	x		x	x		x	

4.4. 28일 양생한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근의 내굴곡성

St/BA-modified를 사용한 경우 도장두께 250 μ m의 도장철근에서 구부림각도 90° 에서 바깥쪽부분에서 도장들뜸현상이 발견되었으며, St/BA-1-modified보다 St/BA-2-modified에서 도장들뜸현상이 많이 발생되었으나 도장상태는 양호하였다.

PA-modified를 사용한 경우 폴리머 시멘트 비 100%의 2coating을 실시한 도장철근을 제외하고는 모든 철근이 구부림각도에 따라서 균열이 발생하였다.

Table 10 Bending test results of polymer cement slurry coated reinforcing bars after 28days curing

Type of slurry	Polymer-cement ratio (%)	Bending angle									Remarks
		90°			135°			180°			
		250	450	2coating	250	450	2coating	250	450	2coating	
St/BA-1-modified	50	△	○	○	△	○	○	△	○	○	○: 상태양호 △: 도장들뜸, 미세균열 x: 도장벗김, 균열
	100	△	○	○	△	○	○	△	○	○	
St/BA-2-modified	50	△	○	○	△	○	○	△	○	○	
	100	△	○	○	△	○	○	△	○	○	
PA-modified	50	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	100	x	x	△	x	x	△	x	x	x	
SBR-modified	30		x			x			x		
	40	x		x	x		x	x		x	

4.5. 에폭시 도장철근의 내굴곡성

Epoxy 도장철근의 경우 90° 에서는 약간의 균열이 발생하였으나 135° 와 180° 에서 구부러지는 바깥쪽에서 모두 균열이 발생하였다.

Table 11 Bending test results of epoxy coated reinforcing bars

Type	Bending angle			Remarks
	90°	135°	180°	
Epoxy	△	x	x	○: 상태양호 △: 도장들뜸, 미세균열 x: 도장벗김, 균열

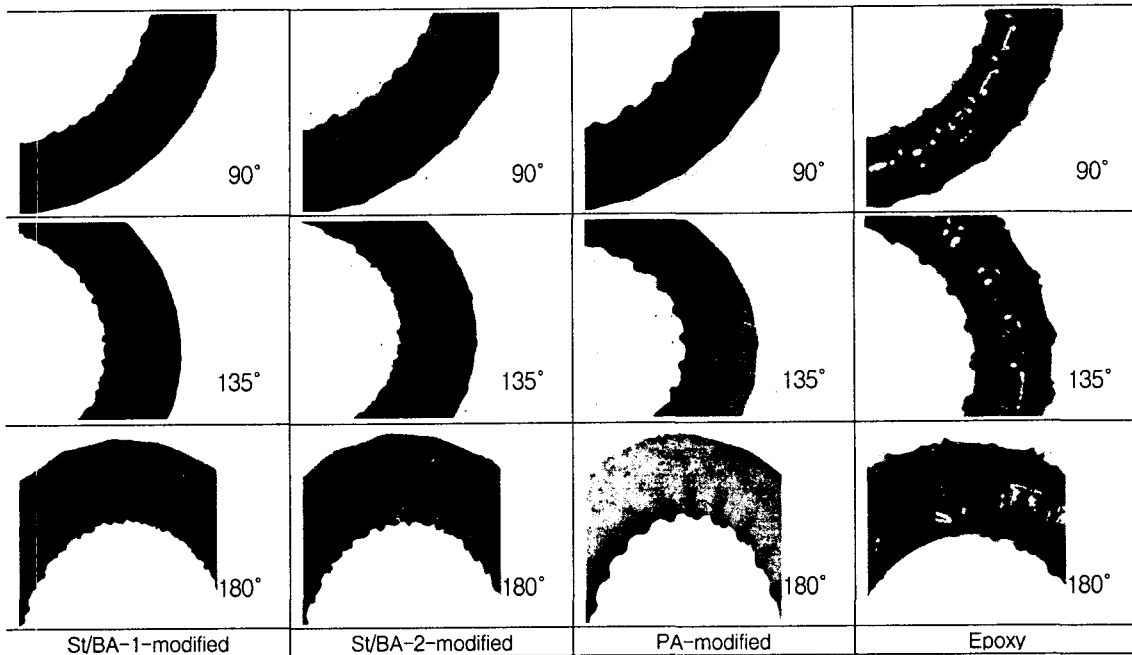


Fig. 2 Bend test results of polymer cement slurry coated reinforcing bars

5. 결 론

- 1) 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 폴리머 시멘트 비 50%보다 100%에서 우수한 내굴곡성을 나타내고 있다.
- 2) 도장 두께에 따른 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 도장두께 250 μ m와 450 μ m의 경우 도장두께 450 μ m에서 보다더 우수한 내굴곡성을 나타내고 있다.
- 3) 양생기간 3, 7, 14, 28일에 대한 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 7, 14일에서 보다 3일 양생한 도장철근의 내굴곡성이 우수하였으며, 28일 양생한 도장철근이 내굴곡성이 가장 우수하였다.
- 4) Coating횟수에 따른 폴리머 시멘트 슬러리 도장철근은 1coating과 2coating을 하였을 때, 2coating을 실시한 도장철근의 내굴곡성이 우수하였다.
- 5) 내굴곡성면에서 본 시멘트 혼화용 폴리머는 St/BA emulsion 중에서 특히, St/BA emulsion-1이 가장 우수하였으며, PA emulsion은 대체적으로 내굴곡성이 약했지만 P/C 100%의 2coating에서 우수한 부분이 나타났으며, SBR의 경우는 소요 도장두께가 나오지 않으며 내굴곡성도 매우 약하였다.
- 6) 시멘트 혼화용 폴리머를 철근의 도장재료로서 사용하였을 때, St/BA emulsion이 Acrylic emulsion, SBR과 에폭시 도장철근보다는 연성이 우수하여 내굴곡성은 우수하였지만 마찰부위에 도장이 눌리면서 찢기는 현상이 발생하여 이에 대한 주의가 필요하며, 또한, 구부러진 도장철근의 안쪽과 바깥쪽에 대한 내부식성을 평가할 수 있는 실험적 연구가 진행되어야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-3100-004-3)지원으로 수행되었으며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. KS M 5250 "강관 및 철근용 에폭시 수지 분체도료"
2. 오병환외 2명, "에폭시 도포철근의 내부식성능에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회지, 제4권4호, 1992.12.
3. 최완철외 3명, "에폭시 도막철근의 기계적 성능에 관한 실험적 연구", 콘크리트학회지, 제6권3호, 1994.6.