

# 에폭시 도막철근의 성능 실험연구

## Performance Tests of Epoxy-Coated Reinforcing Bars

최 완철\* 김 채훈\*\* 신 영수\*\*\* 홍 기섭\*\*\*\* 홍 영균\*\*\*\*\* 정 일영\*\*\*\*\*

Choi, Oan Chul Kim, Chae Hoon Shin, Young Soo Hong, Gi Suop Hong, Young Kyun Chung, Il Young

### ABSTRACT

Test results to evaluate the mechanical properties of epoxy-coated bars and corrosion protection characteristics of epoxy coating on the bars are described.

The results show good adhesion and abrasion resistance satisfying the requirements in relevant standards. The test results also show that for a coating thickness ranging from 150 $\mu$ m to 300 $\mu$ m, satisfactory results are obtained regarding bendability. Cautions shall be required when bending epoxy-coated bars at a high bending degree and at a low temperature. The results of accelerated corrosion tests show good corrosion resistance. However, surface defects from the steel itself and insufficient blast-clean process form weak points resulting blistering or disbonding of the coating. The use of epoxy-coated bars is expected to help protect corrosion of reinforcement and extend the service life of reinforced concrete structures.

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

해안 또는 해양 구조물, 교량, 폐수 처리장, 화학 공장 등 열악한 환경에 노출되는 철근 콘크리트 구조물은 철근 부식으로 인해 사용성과 내구성이 크게 저하된다.

콘크리트내 철근의 부식 문제를 해결하기 위해 여러가지 방법이 제시되고 있으나 철근에 에폭시 수지를 도막하는 방법은 높은 기술력을 필요로 하지 않는 접착성과 내부식성이

우수하고, 시공이 편리함으로, 외국에서는 많이 사용되고 있다.

최근에 국내에서도 에폭시 도막 철근의 실용화를 위해 부분적인 손상시 내부식성에 대하여 연구한바 있으나 실제 현장적용을 위해서 필요한 여러가지 성능에 대하여는 연구가 대체로 시작단계이므로 지속적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 국내에서 시험 생산된 에폭시 도막 철근에 대하여 규정된 시험항목을 적용 그 성능을 시험, 분석하여 설계와 시방서를 위한 기초적 자료로 활용하고자 한다.

본 연구의 궁극적으로 기대되는 효과는 내구성 저하를 일으키기 쉬운 환경에 노출되는 철근콘크리트 구조물에 에폭시 도막 철근을 활용하여 구조물의 사용수명을 연장하고 유지관리비의 절감은 물론 자원 절약에 이바지하고자 한다.

\* 숭실대 건축공학과 부교수

\*\* 현대 건설

\*\*\* 단구조 연구소 실장

\*\*\*\* 홍익대 건축학과 조교수

\*\*\*\*\* KOPEC 연구원

\*\*\*\*\* 서울대 건축학과 교수

## 1.2 연구 내용

본 연구에서는 국내에서 에폭시 수지 도료를 정전 분체 도장 방식으로 철근에 도막하여 생산한 에폭시 도막 철근을 사용하여 시험한다.

에폭시 도막은 기본적인 내부식성이 있어야 함은 물론, 취급 및 시공과정에서의 손상을 줄이기 위해 견고하고 신축성이 있어야 하며, 이에 따라 요구되는 성능이 확인 되어야 한다. 본 연구에서 적용하는 규격은 한국산업규격 KS M 5250 “강관 및 철근용 에폭시 분체도료” 와 미국 재료시험규격 ASTM A 775-88a “Epoxy-Coated Reinforcing Bars”로 한국기준을 중심으로 하고 미국 재료시험규격으로 보완하여 적용한다.

## 2. 재료

### 2.1 철 근

에폭시 도막한 철근은 I사에서 생산한 D19을 사용하였으며 그 화학성분 및 기계적 성질은 표 1, 표 2 와 같다.

표 1. 철근의 화학성분

(중량백분율, weight %)

	Mn	Cu	C	Si	Cr	S	P	Sn
D19	1.15	0.64	0.21	0.22	0.18	0.05	0.05	0.02

표 2. 철근의 기계적 성질

	인장강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	항복강도 (kg/mm <sup>2</sup> )	연신율(%)	굴곡 시험 결과
D19	65.2	40.0	22.3	양호

### 2.2 에폭시 도막 도료

에폭시 도막 도료의 성분은 다음과 같다.

Bisphenol A-based Epoxy Resin	66 %
안료 (SiO <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> )	25 - 27 %
Phenolic Curing Agent	7 %
첨가제	1 ± 0.5 %

### 2.3 도막두께

에폭시 도막의 두께는 부식의 방지를 위하여 최소한의 두께를 가져야 하고, 반면에 에폭시 도막의 낮은 강성, 콘크리트와의 부착력 감소로 인하여 최대두께가 제한되고 있다. 본 연구에서는 철근을 110cm, 도막두께 120μm, 220μm, 300μm를 각각 목표로 도막한 에폭시 도막 철근을 시험하였다. 각각의 도막두께당 길이 110cm의 철근을 셋씩 선별하여 도막두께를 측정하였다. ASTM 규격에는 하나의 철근당 일정한 간격으로 15회 이상 측정하도록 되어 있으나, 본 실험에서는 마디와 마디사이, 마디 바로 위, 리브 바로 위를 각각 20군데씩, 모두 60군데를 측정하였다. 각각의 20개 값에서 최대, 최소, 평균과 표준편차를 구하고, 다시 하나의 철근에서 측정한 값 모두 즉 60개의 값에서 평균과 표준편차를 구하였다.

표 3. 피막 두께 120μm를 목표로 만든 철근의 피막 두께 (단위: μm)

표본 번호	1			2			3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
측정 위치									
최대 두께	180	190	150	180	210	120	250	290	140
최소 두께	70	100	60	95	110	65	120	130	80
피막 두께	115	142	81	151	174	101	174	208	115
표준 편차	26	25	18	19	18	10	38	48	16
피막 두께	112			130			165		
표준 편차	34			38			53		

① : 마디(lug)와 마디사이

② : 마디 바로 위

③ : 리브 바로 위

측정한 결과 도막두께가 고르지 못하며 그 편차가 상당히 큰 것으로 나타났다. 그리고, 측정부위별로는 리브 바로 위가 가장 얇고, 마디 바로 위가 가장 두꺼운 것으로 나타났다. 대표적으로 도막두께 120 $\mu$ m를 목표로 한 철근의 도막두께에 대한 편차를 표 3에서 나타내었다.

### 3. 기계적 성능 시험

#### 3.1 부착성 시험

KS 규격에 따라 22℃에서 시험편을 양면이 깎인 예리한 칼날로 가로, 세로 각각 6개의 줄을 1mm 간격으로 그어 25개의 구획을 만들고, 그 위에 'KS A 1514'에서 규정하는 포장용 폴리프로필렌 점착 테이프 1종을 붙인 후 급격히 떼어낸 다음 도막 상태를 조사하였다. 규격에는 2mm 간격으로 긁고, 'KS A 1528'에서 규정하는 포장용 셀로판 테이프를 사용하게 되어있으나 본 시험에서는 이보다 엄격한 조건에서 시험하였다. 도막두께의 측정은 하나의 시편당 6곳을 측정하였다.

시험결과 도막상태는 극히 양호하였으며, 이는 규격을 만족함은 물론이고 아주 엄격한 조건에서 시험하였으므로, 철근과의 부착성이 우수한 것으로 관찰되었다.

표 4. 부착성 시험 결과

피막 두께 ( $\mu$ m)			피막 상태
최대	최소	평균	
168	149	159	양호
322	217	252	양호
456	322	395	양호

#### 3.2 내충격성 시험

본 시험으로써 공장에서 현장까지 운반할 때, 또는 현장에서 취급시에 예상되는 충격에 대한 도막철근의 견딜 수 있는 정도를 알 수

있다. 'KS M 5326'에 따라 Dupont식 충격 변형 시험기를 사용하되 추의 무게는 500g, 추의 낙하 높이는 500mm, 충격용 punch의 반지름은 6.4mm로 하였다. 규격에는 도막두께가 350 $\mu$ m - 450 $\mu$ m 인 강판에 시험하게 되어있으

표 5. 500g × 500mm 충격시 시험 결과

피막두께 ( $\mu$ m)	피막 상태
120 ± 20	피막이 punch에 밀려 밑의 철근이 직경 2mm 정도 보임
220 ± 20	1mm정도 피막이 찍혀
300 ± 20	피막이 눌림

나, 본 시험에서는 여러가지 도막두께의 철근에 대하여 시험하였다. 허용충격량을 알기 위하여 관통되었을때 추의 무게와 낙하높이를 조사한다. 시험 온도는 23℃로 하였다.

시험 결과 도막두께가 120 $\mu$ m이나 220 $\mu$ m인 경우에는 규격에 규정된 충격량 500g × 500mm = 250 g-m 에 대체로 견딘다. 도막두께 300 $\mu$ m 인 경우 규격에 규정된 충격량에는 견디나 1.6배인 1kg × 400mm = 400 g-m 의 충격량에는 갈라졌다. 1.6배의 충격에 시험편은 손상을 보이며, 도막이 두꺼울수록 충격에 강했다.

#### 3.3 내굴곡성 시험

철근은 가공시 굽히게 되고 이때 굽힘면에 도막이 갈라지지 않도록 신축성이나 부착성이 충분하여야 한다. 본 연구에서는 온도 23℃에서 굴곡성 시험기를 사용하여 시험편의 양쪽에 균일한 힘을 가하면서 시험편의 굽힘이 120° 와 135° 에 도달될 때까지 서서히 굽힌다. 이 때 굴림대의 반지름은 47mm로 한다. 규격에는 굴림대의 반지름은 시험편의 지름 19mm × 3 = 57mm 이하로 규정되어 있다.

또한, 동절기 혹은 한냉지 공사시 현장가공 허용여부를 알기위하여 -7℃의 저온에서 6시간동안 냉장한 철근을 꺼내어 바로 90도까지 굽혀 본다. 도막두께는 마디와 마디 사이를

10곳, 마디 위를 10곳, 리브위를 10곳, 모두 30곳을 측정하였다. 굴곡으로 인하여 도막의 결함으로 마디를 따라 미세한 균열이 나타나고 있다. 육안으로 균열의 갯수와 전체 균열의 길이를 계산하여 도막의 손상상태를 판단하였다.

표 6. 상온에서 120° 굴곡시 시험 결과

피막 두께 (μm)				피막 상태	
최대	최소	평균	표준편차	crack 수	전체 crack 길이(mm)
150	60	103	27	9	47
210	85	142	35	0	0
290	100	178	58	0	0
250	130	185	35	0	0
260	150	201	31	0	0
300	140	209	42	2	4
370	130	260	63	0	0
470	200	302	66	0	0
440	150	311	101	0	0

표 7. 상온에서 135° 굴곡시 시험 결과

피막 두께 (μm)				피막 상태	
최대	최소	평균	표준편차	crack 수	전체 crack 길이(mm)
190	65	117	36	0	0
190	70	122	38	4	10
210	90	151	37	4	12
250	80	152	44	0	0
320	170	221	35	0	0
330	110	230	57	2	4
390	180	255	58	0	0
440	160	304	93	6	11
440	170	326	94	2	5

시험결과 표 6에서와 같이 상온에서 120° 굴곡시 대체적으로 부풀거나 갈라짐이 생기지 않고 양호한 편이다. 한 시편에서 갈라짐이 많이 생겼는데 이는 도막 도포하는 과정에서 철근이 overbaking 또는 underbaking된 탓으로 생각된다.

표 8. -7℃의 저온에서 90° 굴곡시 결과

피막 두께 (μm)				피막 상태	
최대	최소	평균	표준편차	crack 수	전체 crack 길이(mm)
210	70	136	43	0	0
250	85	162	44	8	22
290	70	185	74	16	42
310	75	205	80	2	2
440	260	350	50	5	11
640	105	427	157	4	16

표 7에서 보듯이 상온에서 135° 굴곡시 전체 균열이 증가 되었다. 목표도막두께 120μm 와 300μm 철근에서 주로 갈라짐이 생겼다.

표 8에서 볼 수 있듯이 -7℃의 저온에서는 한 시편을 제외하고는 모두 갈라짐이 생겼다. 이 결과로 볼때 에폭시 도막철근은 저온에서의 현장 가공은 제한하는 것이 바람직하다.

### 3.4 내마모성 시험

에폭시 도막의 마모성 시험은 도막한 강판을 CS-10F wheel과 1kg 하중으로 이루어진 taber 내마모성 시험기로 측정하였다.

시험결과 손실무게가 규정에 정한 100mg 값보다 훨씬 적은 4.2mg으로 나타나 시험체의 내마모성은 우수한 것으로 판단되었다.

## 4. 내부식성 시험

### 4.1 내약품성 시험

각각의 도막두께에서 9개씩의 철근을 선별하여 마디와 마디사이를 5곳, 마디 위를 5곳, 리브 위를 4곳, 모두 14곳의 도막두께를 측정하였다. 3 Mole의 CaCl<sub>2</sub>, NaOH 용액과 Ca(OH)<sub>2</sub> 포화용액에 각각 3개씩 넣는데, 그 3개중 2개는 보기에 결함이 없도록 하고, 1개는 칼로 도막을 긁어 직경 4mm 홈을 만들었다. 시험온도는 23℃로 하여 30일간 침지시킨 후 꺼내어 도막상태를 조사한다.

시험결과는 양호하다고 판단된다. 알칼리성

의 환경에서는 도막에 상관없이 거의 부식이 일어나지 않았고, 방동제인  $\text{CaCl}_2$  용액에서는 도막이 손상된 흠이 있는 부분에서 부식이 일어났다. 도막두께는 영향을 미치지 않았다.

#### 4.2 염수 분무 시험

시험용 염용액은  $\text{NaCl}$  5% 용액을 사용하였으며, 폭로대 온도는  $35^\circ\text{C}$ 를 유지하였다. 시험장치는 'salt water spray chamber'를 사용하였고, 폭로대의 시험편의 각도는 수평으로 유지하였다. 시험편은 도막철근을 그대로 사용하였고, 시험전에 세척이나 다른 처리를 하지 않았다. 도막두께를 측정하여 도막의 두께 영향을 조사하였다.

일부 시험편에는 손상부의 부식진행을 측정하기 위하여 칼로 도막을 긁어 직경 4mm 흠을 만들었다.

30일이 지난후 도막상태를 조사한 결과 녹슨 부분이 여러 군데 보였으며, 특히 도막에 결함이 있던 부분은 크게 녹이 슬어 있었다. 흠을 낸 부분은 모두 녹이 슬어있었다.

#### 4.3 음극 도막 박리 시험

철에 대한 도막의 부착과 도막 자체의 일체성에 대한 전기적, 전기화학적 응력의 영향을 평가한다. 전해액은 7%  $\text{NaCl}$  수용액으로 하였고, 음극과 양극을 도막 철근으로 하고 2V의 전압을 부하하였다.

30일이 지난 후 도막 상태를 조사한다. 시험 결과 도막두께가  $200\mu\text{m}$  이하인 경우 많은 결함이 발견되었으며, 도막이 두꺼울수록 적게 부식되었다.

#### 5. 결론

에폭시 도막 철근에 대하여 규격에 규정된 여러가지 시험을 수행한 결과, 결론은 다음과 같이 요약될 수 있다.

1. 부착성, 내화학적, 내마모성은 우수하다고 판단된다.

2. 내충격성은 만족시키나 다소 약함을 보이고 있어 운반 가공시 주의가 요구된다.
3. 내굴곡성은 상온에서  $120^\circ$  굴곡시 규격의 기준을 만족되고 있으나  $135^\circ$  굴곡시 내굴곡성이 약해지는 것으로 관찰되었다.  $-7^\circ\text{C}$ 의 저온에서는 내굴곡성이 극히 저하되었다.
4. 염수분무 시험이나 음극 도막 박리 시험의 결과, 결함부분에 부식이 상당량 관찰되었으며 이로 미루어볼 때 에폭시 도막 철근 제품의 생산시 주의가 요망된다.
5. 국내에서 시험생산된 에폭시 도막 철근의 성능을 시험한 결과 규격에서 요구하는 성능을 대체로 만족하여 실용이 가능한 것으로 평가 되었다.

---

#### 감사의 글

본 연구는 1993년도 한국과학재단의 핵심전문 연구과제 연구비 지원으로부터, 또한 인천제철과 고려화학으로부터 재료 및 기술 지원 하에 이루어 졌음을 밝히고 이에 감사의 뜻을 포함합니다.

#### 참고 문헌

- 1) 변 근주, 염분이 콘크리트의 제성질에 미치는 영향, 한국레미콘공업협회, 1991, 3
- 2) 서울대학교 공학연구소, "해사활용기술연구(I)", 1991.10
- 3) 서울대학교 공학연구소, "해사활용기술연구(II)", 1992.10
- 4) KS M 5250 "강관 및 철근용 에폭시 수지 분체 도료"
- 5) 최 완철, 에폭시 도막된 철 근의 부착에 관한 최근연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 1990.10.
- 6) ASTM. (1988). "Standard Test Method for Epoxy-coated Reinforcing Steel Bars," (ASTM A 775/A775M-88a) 1989 Annual Book for ASTM Standard, Vol.1.04, Philadelphia, PA, PP. 548-552.