

에폭시 도막 철근의 내부식 성능에 관한 실험적 연구

Performance Tests of Epoxy-coated Reinforcing Bars : Corrosion Protection Properties

신영수*

홍기섭**

최완철***

Shin, Young Soo Hong, Ki Suop Choi, Oan Chul

요 약

콘크리트내 철근의 부식을 방지하여 내구성을 증대시키기 위해 국내에서 시험 생산한 에폭시도막 철근의 내부식성능을 실험, 평가하였다. 본 연구에서는 국내 산업규격(KS)과 미국재료시험기준 시험결과로부터 에폭시도막 철근의 내약품성능, 염화물 투과성은 양호하였다. 염수분무 시험과 음극 도막시험 결과, 도막되지 않은 철근에 비하여 에폭시도막 철근의 내부식성능은 우수하였다. 그러나, 에폭시도막 철근표면의 결함부에서 부식이 발생되었으며 도막두께 200 μ m 미만의 시험체에서 부식발생률이 높았다. 4mm 정도의 부분에폭시 도막손상은 전체적인 부식에 영향을 미치지 않았다. 도막의 결함이 생기지 않도록 에폭시도막 과정에서 철근의 표면처리에 주의가 특별히 필요하다.

Abstract

Epoxy coated bars protecting reinforcing bars from corrosion and enhancing durability of reinforced concrete structures are tested to evaluate corrosion protection properties. Tests are performed based on the relevant standards of KS and ASTM, such as chemical resistance, salt water spray, salt crock test and chloride permeability test with the main variable of the coating thickness.

Test results show good chemical protection property and chloride permeability. The results of the salt water spray and the salt crock test show that epoxy coating well protects the reinforcing bars from corrosion, comparing to the black bars without epoxy coating. However, several spots on the coated bars are rusted at the pinholes or on the bars with coating thickness less than 200 μ m. Special cautions are required in the process of blast cleaning when applying the fusion-bonded epoxy coating.

Keywords : chemical protection properties, concrete structures, corrosion, epoxy-coated reinforcing bars, salt water spray test, salt crock test,

* 정회원, 한국조연연구소 연구실장, 공박
** 정회원, 홍익대 건축학과 조교수, 공박
*** 정회원, 숭실대 건축공학과 부교수, 공박

• 본 논문에 대한 토의를 1995년 2월 28일까지 학회로 보내
주시면 1995년 4월호에 토의회담을 게재하겠습니다.

1. 서 론

철근콘크리트 구조물이 해안시설, 해양구조물, 교량, 폐수 처리시설, 화학공장 등의 구조체로 사용되는 경우에는 철근 부식으로 인해 구조물의 내구성과 사용성이 일반적인 구조물과 비교하여 크게 저하된다. 즉, 콘크리트 내부의 염소 이온 Cl^- 이 일정 농도를 초과하면, 콘크리트의 중성화가 발생하지 않은 경우에도 보호막이 파괴되어 철근의 부식이 촉진된다. 또한, 구조체에 사용된 해사와 동절기 염화칼슘 등 제설제는 철근의 부식을 촉진하는 요소로 구조체의 내구성, 사용성, 구조 성능 측면에서 문제를 일으킬 가능성이 높다.

이러한 철근의 부식문제를 해결하기 위해 여러 방법이 제시되고 있으나 그 중에서 철근에 에폭시 수지를 도막하는 방법은 높은 기술력이 필요하지만 철근과의 접착성과 내부식성이 우수하고, 시공이 편리하여 외국에서는 널리 사용되고 있다.^(3,8) 우리나라에서는 에폭시도막 철근의 성능에 대하여 초보적인 연구단계에 있고⁽¹⁾ 도막의 기계적인 성능⁽²⁾, 내부식성능에 관한 연구 결과⁽³⁾가 일부 제시되고 있으나 국내 적용을 위해서는 다양한 연구가 요구되며, 특히 국내 산업규격과 최근에 발간된 에폭시도막 철근콘크리트의 설계 및 시공지침⁽⁶⁾에서 제시한 내부식성능 시험법에 의한 시험결과가 기본적으로 필요하다.

본 연구에서는 우리나라에서 생산된 철근에 에폭시 수지 도료를 정전분체도장 방식으로 도막하여 만든 에폭시 도막철근을 사용하여 내화학적 등 에폭시 도막철근의 내부식 성능을 한국 산업규격에 따라 평가하고 적용성을 연구하고자 한다. 에폭시도막 철근에 대해 실험을 실시하여 도막두께에 따른 내부식성능을 평가하고, 에폭시도막의 기술적 문제를 검토하며, 도막 도중 혹은 시공중 발생할 수 있는 국부손상에 따른 내부식성능에 대한 영향을 조사한다.

본 연구에서 적용하는 규격은 한국기준 KS M 5250 “강관 및 철근용 에폭시 분체도료”⁽⁵⁾와 미국재료시험기준 ASTM A 775-88a “Epoxy-Coated Reinforcing Bars”⁽⁷⁾로 한국기준을 중심으로 하고 미국 재료시험 기준으로 보완한다. 한

국기준 KS M 5250에 규정된 품질시험 항목 중에서 내약품성, 염수분무, 음극도막박리 시험과, 미국재료시험기준 ASTM A 775-88a의 염화불 투과성 시험을 실시하여 에폭시도막 철근의 내부식 성능을 평가한다.

2. 실 험

2.1 재료

철근 : 에폭시도막 철근은 1사에서 생산한 D13 사용하였다. 그 화학성분 및 기계적 성질은 각각 표 1, 표 2와 같다.

Table 1 Components of reinforcing bars(by weight,%)

	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 2 Mechanical properties of reinforcing bars

	tensile strength (kg/mm ²)	yield strength (kg/mm ²)	elongation (%)	bend test
D13	64.9	42.0	23.9	good

에폭시 도막 도료 :

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

2.2 도막 과정

에폭시 분체도료의 도막은 K사에서 정전 분체 도장법에 의하여 시행하였으며 피막하는 과정은 다음과 같이 요약된다.

- 1) 철근표면의 기름, 페인트등의 이물질 및 거친부위를 모래를 분사하여 깨끗이 제거한다. 산화피막이 생기기 전에 다음과정을 바로 진행한다.
- 2) 철근을 약 250℃로 30분 이상 예열한다.
- 3) 철근과 에폭시 분체도료를 90KV 정도의 전압을 걸어 각각(+), (-)로 대전시킨 후 에폭시 분체도료를 철근에 분사하여 도막한다.

4) 도막된 철근을 상온에서 서서히 냉각시킨다.

2.3 도막 두께

에폭시도막의 두께는 부식의 방지를 위하여 최소한의 두께를 가져야 하고, 반면에 에폭시도막의 낮은 강성, 콘크리트와의 부착력 감소⁽³⁾로 인하여 최대 두께가 제한되어 ASTM A 775에서는 5-12 mils(0.13-0.30mm)로 되어 있다. 그러나 KS M 5250에서는 도막두께에 대한 측정법과 도막두께 범위가 명시되어 있지 않으며, 따라서 부식성능이 확보되는 범위의 도막두께에 대한 시험자료가 중요하다.

본 연구에서는 도막두께 120 μ m, 220 μ m, 300 μ m를 목표로 도막한 110cm 길이 철근을 세개씩 선별하여 도막두께를 측정하였다. 미국 재료 시험기준에는 하나의 철근에 대해 일정한 간격으로 15회 이상 측정하도록 규정되어 있으나, 본 실험에서는 마디와 마디사이, 마디 바로 위, 리브 바로 위를 각각 20개소씩, 모두 60개소를 측정하였다. 각각의 20개 값에서 최대, 최소, 평균과 표준편차를 구하고, 다시 하나의 철근에서 측정된 값 모두 즉 60개의 값에서 평균과 표준편차를 구하였다.

측정한 결과 편차가 상당히 크게 나타났으며 측정부위별로는 리브 바로 위가 가장 얇고, 마디와 마디사이가 가장 두꺼운 것으로 나타났다. 각각의 도막두께에 대하여 정리한 결과가 표 3, 4, 5이다.

2.4 시험 방법

2.4.1 내약품성 시험

내약품성 시험을 위하여 3 Mole의 CaCl₂, NaOH 용액과 Ca(OH)₂ 포화용액에 시험편을 침지하였다. 한 용액당 3 종류의 도막두께 별로 각각 3개씩의 철근을 선별하여 그 3개중 2개는 보기에 결함이 없도록 하고, 1개는 칼로 도막을 긁어 직경 4mm 홈을 만들어 국부손상에 따른 부식정도를 시험하였다. 시험온도는 23 $^{\circ}$ C로 하여 30일간 침지시킨 후 꺼내어 도막상태를 조사한다. 시험결과 도막이 약해지거나 부푸는지, 도막의 부착력이 약해지거나 구멍이 커지는지, 또한 일부러 홈을 낸

Table 3 Coating thickness targeting 120 μ m

(unit: μ m)

Sample No.	1			2			3		
measured point	①	②	③	①	②	③	①	②	③
max. thick.	180	190	150	180	210	120	250	290	140
min. thick.	70	100	60	95	110	65	120	130	80
average	115	142	81	151	174	101	174	208	115
stand.deviation	26	25	18	19	18	10	38	48	16
average	112			130			165		
stand.deviation	34			38			53		

① : between adjacent lugs

② : lug

③ : rib

Table 4 Coating thickness targeting 220 μ m

(unit: μ m)

Sample No.	1			2			3		
measured point	①	②	③	①	②	③	①	②	③
max. thick.	210	250	230	250	210	120	270	330	300
min. thick.	100	190	90	95	110	65	160	200	110
average	157	194	155	185	236	212	208	255	197
stand.deviation	36	35	36	29	33	21	32	37	60
average	168			211			220		
stand.deviation	40			35			51		

Table 5 Coating thickness targeting 300 μ m

(unit: μ m)

Sample No.	1			2			3		
measured point	①	②	③	①	②	③	①	②	③
max. thick.	350	390	330	420	470	330	440	440	290
min. thick.	170	180	130	250	290	160	230	330	150
average	259	311	210	307	357	242	358	403	195
stand.deviation	48	36	55	53	48	36	49	34	33
average	258			303			318		
stand.deviation	60			81			98		

부분에 손상이 커지는지를 관찰한다.

2.4.2 염수 분무 시험

한국기준 'KS D 9502'에 따라 염용액을 분무하여 부식을 촉진시켜 30일과 60일 동안의 시험결과를 조사하였다. 시험장치로 'salt water spray chamber'를 사용하고(사진 1), 폭로대에서 시험편은 수평으로 하였다. 시험용 염용액은 NaCl 5% 용액을 사용하였으며, 폭로대 온도는 35 $^{\circ}$ C를 유지하였다. 도막두께에 따른 영향을 평가하기 위하여 3가지 도막두께별로 3개의 시험체를 측정 조사하였다. 또한 손상부의 부식영향을 측정하기 위하여

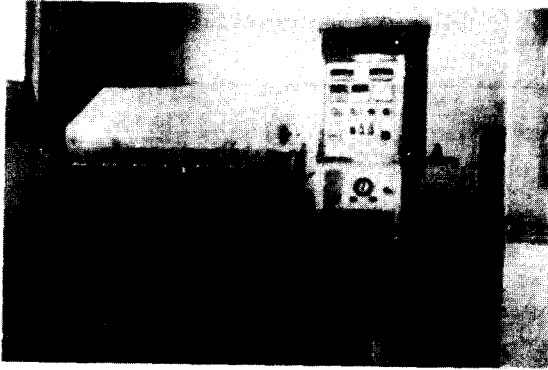


Photo 1 Salt Water Spray Chamber

직경 4mm 흠을 갖는 시험체를 만들어 비교실험 하였다.

2.4.3 음극 도막박리 시험

음극 도막박리 시험은 강재에 대한 도막의 부착력과 도막 자체의 일체성에 대한 전기적, 전기화학적 응력의 영향을 평가하는 가속한 부식촉진 시험법이다. 음극과 양극을 에폭시도막 철근으로 연결하고, 전해액은 7% NaCl 수용액으로 하여 2V의 전압을 부하하여 실험하였으며 시험 온도는 23℃로 하였다.(사진 2) 도막두께에 따른 영향을 평가하기 위하여 도막두께별로 8벌의 시험체, 총 16개의 시험체를 측정 조사하였다.

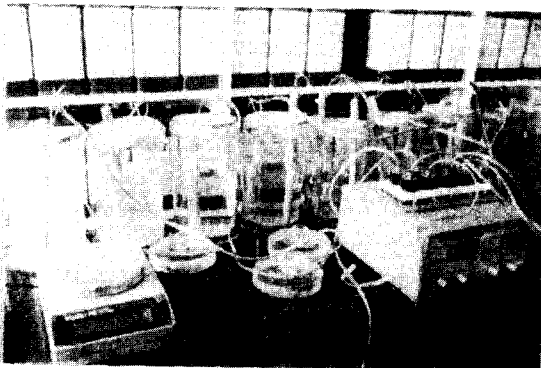


Photo 2 Salt Crock Test

2.4.4 염화물 투과 시험

염화물 투과 시험은 FHWA-RD-74-18에 따르며, 시험용 에폭시도막을 만드는 방법으로 먼저

teflon을 열풍 oven에 180℃로 15분간 예열한 후 그 위에 분체 정전도장한다. 그 다음 240℃로 1분간 후소부하고, 상온에 방치하거나 찬물에 담그면 teflon에서 에폭시 막이 이형된다. 그 막두께는 0.03mm 와 0.07mm 사이가 되어야 한다.

증류수 115ml와 3 Mole의 NaCl 175ml를 유리관에 각각 넣고, 그 중간에 2.54×2.54 cm의 구멍을 낸 유리 판을 끼운다. 에폭시 막을 통과한 염소이온의 45일간 누적된 농도를 ion chromatograph로 측정하여 0.0001 Mole(3.55 ppm) 이하이어야 한다. 본 시험에서는 'Dionex AI-450'을 사용하였다. 규격의 시험온도인 24±2℃를 준수하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 내약품성 시험

내약품성 30일간의 시험결과, 에폭시도막 철근의 내약품성능은 도막의 두께에 관계없이 모두 양호한 것으로 나타났다. 표 6, 7, 8, 9에서 보듯이 NaOH, Ca(OH)₂ 등의 알칼리성의 환경에서는 도막두께에 상관없이 부식이 발생하지 않았다. 염용액인 CaCl₂ 용액에서도 도막철근에 부식은 보이지 않았다.(표 10) 다만, 표 11에서 보듯이 흠을 발생시켜 도막이 없는 부분에서 부식이 발생하였

Table 6 Test Results of Immersed Coated Bars without pinholes in a 3M aqueous solution of NaOH

coating thickness(μm)				damage of coating
max.	min.	avg.	stan.dev.	
210	60	119	43	No rust or blister spot is visible to the unaided eye.
250	60	122	58	
350	100	176	67	
490	110	242	104	
390	170	283	59	
550	170	304	98	

Table 7 Test Results of Immersed Coated Bars with 4mm pinholes in a 3M aqueous solution of NaOH

coating thickness(μm)				damage of coating
max.	min.	avg.	stan.dev.	
90	60	103	36	No rust or blister is visible to the unaided eye.
520	110	246	106	
640	190	356	139	

으나, 다른 부위로 진행되지는 않았다. 부식이 없었던 이유는 시험편이 용액에 완전 침수되어 공기가 공급되지 못했던 것으로 추정된다.

Table 8 Test Results of Immersed Coated Bars without 4mm pinholes in a 3M aqueous solution of $\text{Ca}(\text{OH})_2$

coating thickness(μm)				damage of coating
max.	min.	avg.	stan.dev.	
230	85	139	40	No rust or blister is visible to the unaided eye.
330	60	158	76	
400	60	175	96	
380	80	214	97	
310	120	226	57	
490	80	291	130	

Table 9 Test Results of Immersed Coated Bars with 4mm pinholes in a solution saturated with $\text{Ca}(\text{OH})_2$

coating thickness(μm)				damage of coating
max.	min.	avg.	stan.dev.	
190	60	125	39	No rust or blister is visible to the unaided eye.
430	100	224	102	
370	110	231	76	

Table 10 Test Results of Immersed Coated Bars without pinholes in a 3M aqueous solution of CaCl_2

coating thickness(μm)				damage of coating after 30days
max.	min.	avg.	stan.dev.	
180	60	116	33	No rust or blister is visible to the unaided eye.
310	70	143	65	
310	130	201	51	
350	100	214	85	
440	210	337	76	
570	240	342	90	

Table 11 Test Results of Immersed Coated Bars with 4mm pinholes in a 3M aqueous solution of CaCl_2

coating thickness(μm)				damage of coating after 30days
max.	min.	avg.	stan.dev.	
170	80	113	25	Rusted around 4mm pinholes No rust or blister is visible to the unaided eye except above.
370	100	184	77	
400	210	307	67	

3.2 염수분무시험

염수분무시험에서 30일과 60일이 경과한 후 부식상태를 조사한 결과, 도막되지 않은 철근은 전면이 부식이 되었으며, 예폭시도막 철근도 부분적으로 녹이 발생하였다. 이러한 부식부위는 도막중 육안불감식구멍(holiday)에서 주로 발생되었으며(사진 3) 도막도께가 적은 즉, $200\mu\text{m}$ 미만의 시험체에서 많이 발생하였다(표 12). 특히 결함이 있었던 부분에서 크게 부식이 발생하였으며 이들 결함은 철근 표면의 일부 돌출부위로 추정되었다.(사진 4) 따라서 예폭시도막 이전에 표면의 전처리 과정에 주의를 요한다.

표 13에서 보듯이 흠을 가진 시험체는 흠이 없는 시험체와 부식정도는 유사하며 4mm 정도의 도막손상은 전체적으로 부식정도에 영향을 주지 않는 것으로 관찰되었다.

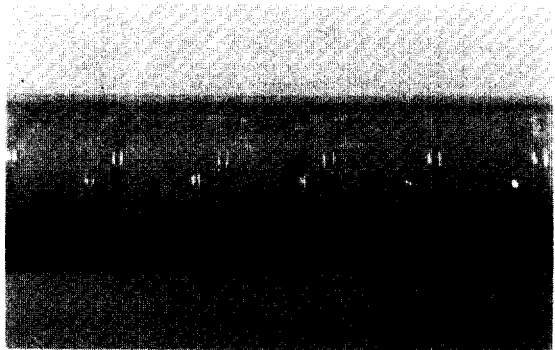


Photo 3 Typical Rust Spot on Holidays from Salt Spray Test

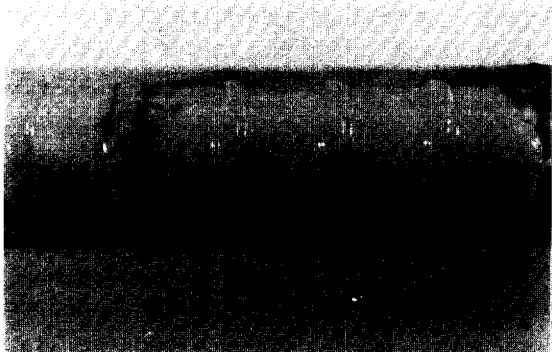


Photo 4 Rust Spot on Coating Defect from Salt Spray Test

Table 12 Salt Water Spray Test Results of Coated Bars without pinholes

coating thickness(μm)				No. of rust or blister spot	
max.	min.	avg.	stan.dev.	after 30 days	after 60 days
200	75	130	42	0	10
190	90	132	29	2	2
210	80	142	36	2	13
240	90	167	45	14	18
340	80	169	72	3	6
380	120	220	80	2	2
470	130	253	96	4	13
490	120	256	100	0	0
490	160	266	79	2	2

Table 13 Salt Water Spray Test Results of Coated Bars with 4mm pinholes

coating thickness(μm)				No. of rust or blister spot except pinholes	
max.	min.	avg.	stan.dev.	after 30 days	after 60 days
240	90	137	46	4	14
350	75	157	68	11	20
230	115	174	37	0	1
270	105	174	56	10	22
370	90	187	74	0	6
290	120	191	52	0	3
290	90	193	55	0	4
340	120	198	59	2	9
320	140	226	57	0	5

3.3 음극 도막박리 실험

음극 도막박리 시험은 가혹한 부식촉진 시험으로 30일 시험결과, 도막을 하지 않은 철근은 철근 전체의 부식은 물론 표면이 부식되어 부풀어 오르는 극심한 부식 상태를 보이고 있다. 예폭시도막 철근은 상대적으로 부식정도가 극히 적으나 부분적으로 부식을 보이고 있다. 염수분무 시험과 유사하게 시험한 결과, 부식부위는 도막중 육안불감식구멍(holiday)에서 주로 발생되었으며 도막두께가 얇거나 적은 즉, 150 μm 이하의 시험체에서 많이 발생하였다(표 13). 특히 일부 시험체에서 도막이 부풀어 오르고 그 부분에 부식이 진행되는 현상을 보이고 있다.(사진 5) 이는 도막이 극히 얇거나 적은 철근에 대한 도막의 부착성능이 미흡하였던 것으로 판단된다. 도막을 분체도장하는 과정에서 부착력 확보에 대한 주의가 특별히 요망된다.

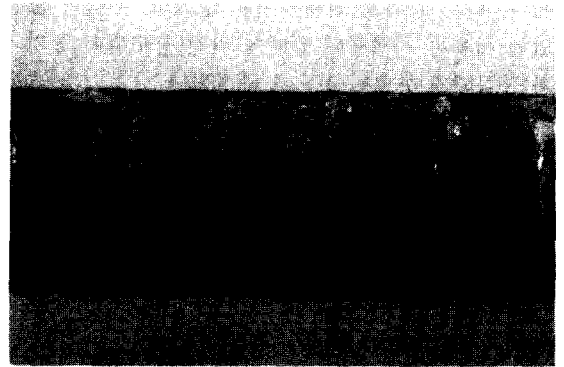


Photo 5 Swelled Spots from Salt Crock Test

Table 14 Salt Crock Test Results

Sample No	coating thickness(μm)				damage of coating
	max.	min.	avg.	stan.dev.	
1	180	55	96	35	40 spots swelled
	440	85	203	98	10 spots rusted
2	320	70	145	79	30 spots rusted
	230	100	150	42	5-6 spots rusted or swelled
3	270	100	159	52	good
	370	85	191	79	2-3 spots rusted
4	250	100	161	50	20 spots swelled
	370	80	183	86	2-3 spots rusted
5	350	90	209	82	3-4 spots rusted
	420	120	264	80	2-3 spots rusted
6	320	160	252	68	good
	150	170	264	74	2-3 spots rusted
7	340	140	266	71	good
	380	160	239	62	5-6 spots rusted
8	420	120	257	86	2-3 spots rusted
	420	100	262	90	4-5 spots rusted

3.4 염화물 투과성 시험

예폭시도막을 통과한 염소 이온의 45일간 누적된 농도는 3 가지 도막두께 시험체에서 모두 3.55 ppm(0.0001 Mole) 이하로 규격을 만족하였다.(표 15)

Table 15 Chloride Permeability Test Results

coating thickness(μm)	chloride ions permeating through films after 45 days(ppm)
59	0.59
67	0.57
70	0.62

4. 결 론

에폭시도막 철근에 대하여 내부식성능에 관한 여러가지 시험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 내약품성 시험결과, 에폭시도막 철근의 내약품성능은 양호하였다.

2. 염수분무 시험결과, 도막되지 않은 철근에 비하여 에폭시도막 철근의 내부식성능은 우수하였다. 에폭시도막 철근표면의 결함부에서 부식이 발생되었으며 도막두께 200 μm 미만의 시험체에서 부식발생률이 높았다. 4mm 정도의 부분 에폭시도막손상은 전체적으로 부식에 영향을 미치지 않았다.

3. 음극 도막박리 시험결과, 도막되지 않은 철근에 비하여 에폭시도막 철근의 내부식성능은 우수하였다. 에폭시도막 두께 150 μm 이하의 시험체에서 도막이 부풀거나 부식발생률이 높았다.

4. 염화물 투과성 시험결과, 에폭시도막을 통해 투과된 염화이온의 45일간 누적된 농도가 3.55 ppm 이하로 양호하였다.

5. 도막의 결함이 생기지 않도록 에폭시도막 과정에서 철근의 표면처리에 주의가 필요하다.

이상에서 KS 규격의 내부식성능 시험은 에폭시도막 철근자체의 내부식성능 평가법으로 제한성을 갖는 바, 콘크리트에 묻힌 에폭시도막 철근 콘크리트의 시험법이 보완되어야 할 것이며 이에 의한 시험 연구결과가 필요하다고 하겠다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 한국과학재단의 핵심전문 연구과제 연구비 지원으로부터, 또한 인천제철과 고려화학으로부터 재료 및 기술지원하에 이루어졌음을 밝히고 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 김문환외, 서울대 공학연구소, “해사활용 기술연구”, 1992.10, pp.406.
2. 오병환, 엄주용, 권지훈, “에폭시도막 철근의 내부식성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 1992.12, pp.161-170
3. 최완철, “에폭시 피막된 철근의 부착에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표논문집, 1990.10, pp. 539-542
4. 최완철, 김재훈, 신영수, 홍기섭, “에폭시도막 철근의 기계적 성능에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 1994.8, pp.173-179
5. KS M 5250, “강관 및 철근용 에폭시 수지 분체도료”, 1987
7. 한국콘크리트학회, “에폭시도막 철근콘크리트의 설계 및 시공지침” 1994.2, pp.194
8. ASTM A 775 / A 775M-88a(1988), “Standard Test Method for Epoxy-coated Reinforcing Steel Bars”, 1988
9. Kobayashi K., Takewaka K., “Experimental Studies on Epoxy Coated Reinforcing Steel for Corrosion Protection”, International Journal of Cement Composites and Light Weight Concrete, Vol.6, No.2, 1984.5, pp.99-116

(접수일자 : 1994. 9. 10)