

# 에폭시 도막 철근의 기계적 성능에 관한 실험적 연구

## Performance Tests of Epoxy-coated Reinforcing Bars : Mechanical Properties

최완철\*

김채훈\*\*

신영수\*\*\*

홍기섭\*\*\*\*

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

### 요 약

국내 사용을 위하여 시험 생산된 에폭시 도막 철근에 대하여 운반, 가공시에 요구되는 기계적인 성능을 중심으로 품질을 시험 평가하고 시공 지침을 제안하기 위하여 기초적 자료를 축적하고자 하였다. 시험결과 에폭시 도막의 부착성능과 내마모성은 규격의 요구조건을 만족시키는 결과를 보이고 있다. 내굴곡성능도 규격의 기준은 만족시키고 있으나 도막이 두꺼울수록 내굴곡성이 약해지며 특히, 가공시 굽힘 각도는 120°를 초과하지 않아야 할 것으로 판단되었다. 또한 저온에서 굴곡시 상당수의 도막 균열을 나타내어 저온에서의 가공에 대하여 제한이 확인되었다. 충격에 대한 저항성능은 규격은 만족되고 있으나 다소 약함을 보이고 있어 가공 운반시 주의가 요구될 것으로 판단된다. 국내에서 시험 생산된 에폭시 도막의 성능 시험 결과, 규격에서 요구되는 기계적인 성능을 대체로 만족하였다.

### Abstract

Test results to evaluate the mechanical properties of epoxy-coated reinforcing bars are described. Tests include adhesion, impact, bend, and abrasion test of epoxy coating to reinforcing steel, specified in relevant KS and ASTM standards. Three nominal thicknesses of epoxy coating, 120 $\mu$ m, 220 $\mu$ m, 300 $\mu$ m are used.

The results show good adhesion and abrasion resistance satisfying the requirements. The results also show fairly good bendability. However, the thicker the coating, the weaker the adhesion is. Impact resistance is in the tolerable range, but it is recommended that careful treatments are required during handling of epoxy-coated bars. From the results, epoxy-coated bars, with a coating thickness ranging from 150 $\mu$ m to 300 $\mu$ m, should well perform for fabrication in field construction.

**Keywords :** bendability, coating thickness, epoxy-coated reinforcing bars, KS and ASTM standards, mechanical properties, performance test

\* 정회원, 숭실대 건축공학과 부교수  
\*\* 정회원, 현대건설  
\*\*\* 정회원, 단구조 연구소 실장  
\*\*\*\* 정회원, 홍익대 건축학과 조교수

• 본 논문에 대한 토의를 1994년 8월 30일까지 학회로 보내 주시면 1994년 10월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

# 1. 서 론

## 1.1 연구의 배경과 목적

해안 또는 해양구조물, 교량, 폐수처리장, 화학 공장 등, 열악한 환경에 노출되는 철근콘크리트 구조물은 철근부식으로 인하여 내구성이 크게 저하되고 있다. 최근 국내에서는 염분을 포함하고 있는 해사의 무분별한 사용이 철근의 부식을 촉진시키고 콘크리트 구조물의 내구성에 심각한 문제를 제기시키고 있다.<sup>(1,2,8)</sup> 이러한 내구성 문제에 대처하기 위한 여러가지 방법 중에서 철근에 에폭시 수지를 도막하는 방법이 기술력을 필요로 하지만 철근과의 접착성, 내부식성 등이 우수하고, 시공성이 양호하여 국외에서는 널리 사용되고 있다.<sup>(4)</sup>

최근 국내에서도 에폭시 도막철근의 실용화를 위해 국부 손상시 내부식성에 대해 연구된바 있으나<sup>(3)</sup> 실제 현장 적용을 위해서는 에폭시 도막 철근의 생산, 시공에 필요한 여러가지 성능에 대한 연구가 요구된다. 또한, 현재 국내의 연구는 에폭시 도막 철근의 활용화를 위한 시작단계이므로 계속적으로 부식성능을 포함하여 부착길이 등 세부적 사항에 대한 연구가 절실하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 국내에서 시험 생산된 에폭시 도막철근에 대하여 기계적 성능을 중심으로 품질을 평가하고자 한다. 에폭시 도막 철근의 도막두께에 따른 성능 즉, 현장 가공, 운반, 배근시 발생할 수 있는 휨, 마모, 충격, 에폭시와 철근의 부착등의 기계적 성능에 대해 시험, 분석하여 기초적 자료를 축적하는데 있다. 특히 이들 기계적 성능에 대한 에폭시 도막 두께의 영향을 시험, 분석하여 생산시 도막두께에 대한 제안을 하고자 한다.

## 1.2 연구 내용과 범위

에폭시 도막은 기본적으로 부식방지 성능이 있어야 함은 물론, 취급 및 시공과정에서의 손상을 최소화하기 위해 견고하여야 하며 신축성이 있어야 하고 이에 따라 요구되는 성능이 확인되어야 한

다. 본 연구는 국내에서 에폭시 수지 도료를 정전분체 도장 방식으로 도막하여 생산된 에폭시 도막 철근의 기계적 성능을 시험, 분석하여 국내에서의 에폭시 도막 철근의 적용성에 대해 연구한다.

본 연구에서 적용하는 규격은 한국산업규격 KS M 5250 “강관 및 철근용 에폭시 분체도료”<sup>(5)</sup>와 미국 재료시험기준 ASTM A 775-88a “Epoxy-Coated Reinforcing Bars”<sup>(7)</sup>로 한국기준을 중심으로 실험하고 미국재료시험기준으로 보완하여 적용한다.

# 2. 재 료

## 2.1 철근

에폭시 도막할 철근은 I사에서 생산한 D19를 사용하였으며 그 화학성분 및 기계적 성질은 표 1, 표 2 와 같다.

철근의 품질에 따라 도막된 철근의 성능에 직접적인 영향을 미치게 됨으로 철근의 성분 및 기계적 성능을 검토해야 한다. 특히 도막할 철근의 굴곡성능이 양호하지 못한 경우 도막의 성능이 우수하여도 도막 철근의 내굴곡성 시험에서 결함이 나타나기 쉽다.

Table 1 Chemical components of reinforcing bars (wt, %)

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

Table 2 Mechanical properties of reinforcing bars (wt, %)

Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Yield strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Bend test
65.2	40.0	23.3	good

## 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%

2.3 도막두께

에폭시 도막의 두께는 부식의 방지를 위하여 최소한의 두께를 가져야하고 반면에 에폭시 도막의 낮은 강성, 콘크리트와의 부착력 감소로 인하여 최대두께가 제한되어 ASTM A 775에서는 5-12mils(0.13-0.30mm)로 되어 있다<sup>(6)</sup>. 그러나, KS M 5250 에서는 도막두께에 대한 측정법이 규정되어 있지 않고 적정 도막두께 범위에 대해서도 명시되어 있지 않다. 따라서 도막두께에 대한 시험결과가 중요하며 시공지침을 마련하는데 필요하다.

본 연구에서는 도막 두께 120 $\mu$ m, 220 $\mu$ m, 300 $\mu$ m를 목표로 도막한 에폭시 도막 철근을 시험하였다. 적정 도막 두께를 판단하기 위해 목표 두께별로 철근을 세개씩 선별하여 도막 두께를 측정하였다. 미국 재료 시험 기준에는 철근당 일정한 간격으로 15회 이상 측정하도록 되어있으나, 본 실험에서는 길이110cm 철근에 대하여 마디와 마디사이, 마디 바로 위, 리브 바로 위를 각각 20군데씩, 모두 60군데를 측정하여 각각의 20개 값에서 최대, 최소, 평균과 표준편차를 구하고, 다시 하나의

Table 3 Coating thickness targeting 120 $\mu$ m (unit :  $\mu$ m)

Sample No.	1			2			3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
measured point									
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. deviat.	26	25	18	19	18	10	38	48	16
average	112			130			165		
stand. deviat.	34			38			53		

- ① : between lugs and lugs
- ② : top of lugs
- ③ : top of ribs

Table 4 Coating thickness targeting 220 $\mu$ m (unit :  $\mu$ m)

Sample No.	1			2			3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
measured point									
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. deviat.	36	35	36	29	33	21	32	37	60
average	168			211			220		
stand. deviat.	40			35			51		

Table 5 Coating thickness targeting 300 $\mu$ m (unit :  $\mu$ m)

Sample No.	1			2			3		
	①	②	③	①	②	③	①	②	③
measured point									
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. deviat.	48	36	55	53	48	36	49	34	33
average	258			303			318		
stand. deviat.	60			81			98		

철근에서 측정된 값 모두 즉 60개의 값에서 평균과 표준편차를 구하였다.(표 3,4,5) 일례로 도막두께 220 $\mu$ m 목표로 만든 철근 중에서 3번째 시험체의 측정 결과, 평균은 220 $\mu$ m 표준편차는 51 $\mu$ m이며 실제값은 160부터 330 $\mu$ m의 범위에 있다.

측정 결과 도막두께가 고르지 못하고 두께의 편차가 상당히 큰것으로 나타났으며 부위별로는 리브 바로 위가 가장 얇고, 마디 바로 위가 가장 두꺼웠다. 국내제품의 도막두께의 분포가 미국 3M사에서 생산된 에폭시 도막철근 측정치와의 비교가 표 6에서 보여지고 있다. 도막두께 220 $\mu$ m 목표로 한 3번째 시험체에서 마디와 마디사이에서 측

**Table 6 Coating thickness comparison of domestic to 3M products**

(unit :  $\mu\text{m}$ )

	measured points	average thick	stand. deviat.	max. thick.	min. thick.
domestic products	20	208	32	270	160
3M* products	72	244	23	317	193

\* 3M : produced in U.S.A

정된 값이 비교되었으며, 그 결과에서 보듯이 편차는 대체로 서로 비슷한 것으로 나타나고 있다.

### 3. 시험 방법 및 시험 결과 분석

#### 3.1 부착성 시험

한국기준의 시험방법에 따라 22℃에서 시험편을 양면이 깎인 예리한 칼날로 가로, 세로 각각 6개의 줄을 1mm 간격으로 그어 25개의 구획을 만들고, 그 위에 포장용 폴리프로필렌 점착 테이프 1종을 붙인 후 급격히 떼어낸 다음 도막 상태를 조사하였다. 규격에는 2mm 간격으로 긁고, 포장용 셀로판 테이프를 사용하지 않았으나 본 연구에서는 이보다 엄격한 조건에서 시험하였다. 도막두께의 측정은 하나의 시험당 6곳을 측정하였다.

시험결과 도막상태는 극히 양호하였으며, 도막의 두께에 관계없이 시험조건을 충분히 만족하여 철근과의 부착성능이 우수한 것으로 관찰되었다.

**Table 7 Adhesion test**

coating thickness ( $\mu\text{m}$ )			coating after test
max.	min.	average	
168	149	159	good
322	217	252	good
456	322	395	good

#### 3.2 내충격성 시험

에폭시 도막은 운반, 가공, 현장조립 과정에서 충격으로 부터 손상을 받기 쉽고 이에 대한 검사가 엄격하다. 본 시험에서는 예상되는 충격에 대

한 도막의 상태가 견딜 수 있는지 여부를 시험, 평가 한다. 'KS M 5326'에 의해 Dupont식 충격 변형 시험기를 사용하되 추의 무게는 500g, 추의 낙하 높이는 500mm, 충격용 펀치의 반지름은 6.4mm로 하였다. 한국규격에는 도막두께가 350 $\mu\text{m}$  - 450 $\mu\text{m}$ 인 강판에 시험하게 되어있으며, 미국 재료 시험 규격에서는 에폭시 도막 철근 마디사이에 시행하도록 규정되어 있다. 규격은 충격부 주위에 균열이나 손상이 발생하지 않는 것을 합격기준으로 정하고 있다. 본 연구에서는 도막 철근에 적용하여 시험하였다. 허용충격량을 알기 위하여 판통되었을 때 추의 무게와 낙하높이를 조사한다. 시험 온도는 실내온도인 23℃로 하였다.

표 8의 시험 결과에서 보듯이 도막 두께 300 $\mu\text{m}$ 인 경우 규격에 규정된 충격량에는 견디나 도막 두께가 120 $\mu\text{m}$ 이나 220 $\mu\text{m}$ 인 경우에는 규격에 규정된 충격량 500g×500mm = 250g-m 를 견디지 못하고 다소 손상을 나타내었다. 도막이 대체로 충격에 약하며, 도막이 두꺼울수록 충격에 강했다. 이러한 결과로부터 도막두께가 얇은 에폭시 철근의 운반 및 취급시 주의가 요구됨이 확인되었다. 또한 보다 엄격한 조건을 시험하기 위하여 규

**Table 8 Impact test (500g×500mm)**

coating thickness ( $\mu\text{m}$ )	coating after test
120 ± 20	coating punched with 2mm diameter
220 ± 20	coating punched with 1mm diameter
300 ± 20	coating pressed

**Table 9 Impact test (falling weight : 1kg)**

coating thickness ( $\mu\text{m}$ )	impact	coating after test
220 ± 20	1kg×400mm	coating punched with 2mm diameter
220 ± 20	1kg×450mm	coating punched with 3mm diameter
300 ± 20	1kg×400mm	coating punched with 2mm diameter
300 ± 20	1kg×450mm	coating punched with 2mm diameter

정 이상 충격시 시험결과는 표 9에 나타내고 있다. 충격량이 1.6배에 대해 모든 시험편에서 손상이 보여지고 있으며 충격에 대해 충분치 못함을 나타내고 있다.

### 3.3 내굴곡성 시험

철근은 가공시에 굽히게 되고 이때 굽힘면에 도막이 갈라지는 균열이 생기지 않도록 도막의 신축성이나 부착성이 충분하여야 한다. 기존의 연구결과<sup>(9)</sup> 도막이 두꺼울수록 도막 균열 발생율이 높아지는 것으로 관찰되었다. 규격에서는 육안으로 관찰할 수 있는 균열이나 벗겨짐이 발생하지 않음을 합격기준으로 정하고 있다.

본시험에서는 실내온도 23℃에서 굴곡성 시험기를 사용하여 시험편의 양쪽에 균일한 힘을 가하면서 시험편의 굽힘각이 120°와 135°에 도달될 때까지 서서히 굽힌다. 이 때 굴림대의 반지름은 시험편의 지름 19mm의 3배인 57mm 이하로 규정하고 있는데 본 시험에서 사용하는 굴림대의 반지름은 47mm로 하였다. 또한, 동절기 혹은 한냉지 공사시 현장 가공 가능성 및 허용 여부를 알기 위하여 -7℃의 저온에서 6시간동안 냉장한 철근을 꺼내어 바로 90°와 120°까지 굽혀 시험하였다.

굽힘시험결과 굴곡으로 인하여 도막의 결함으로 마디를 따라 일부 시험편에서 미세한 균열이 나타나고 있다. 육안으로 균열의 갯수와 전체 균열의 길이를 계산하여 도막의 손상상태를 판단하였다. 시험 결과 표 10에서 보는 바와 같이 120°굴곡시 도막은 대체적으로 양호한 편이었다. 평균도막두께가 103μm로 극히 얇은 한 시험편에서 갈라짐이 많이 생겼는데 이는 도막두께의 하한치를 초과한 것으로 판단된다.

표 11에서와 같이 135° 굴곡시에는 도막의 균열이 다소 많이 나타나고 있다. 목표 도막두께 120μm와 300μm 철근에서 주로 균열이 생겼으며 도막이 얇을수록 갈라짐이 더 많이 발생하였다. 이 결과로부터 철근의 굽힘가공시에 굽힘각도는 120°를 초과하지 않아야 할 것이다. -7℃의 저온 냉장한 시험편의 시험결과 90°, 120°굴곡 시험체 모두 표 12와 13에서 보는 바와 같이 상당량의 균열을 보이

고 있다. 이 결과로 볼때 예폭시 도막 철근은 저온에서의 현장가공은 제한하는 것이 바람직하다.

Table 10 120° bend test at 23℃

coating thickness (μm)				coating after test	
max.	min.	aver.	stand. devia.	number of crack	total crack length(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

Table 11 135° bend test at 23℃

coating thickness (μm)				coating after test	
max.	min.	aver.	stand. devia.	number of crack	total crack length(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

Table 12 90° bend test at -7℃

coating thickness (μm)				coating after test	
max.	min.	aver.	stand. devia.	number of crack	total crack length(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

Table 13 120° bend test at -7℃

coating thickness (μm)				coating after test	
max.	min.	aver.	stand. devia.	number of crack	total crack length(mm)
250	80	163	50	5	10
290	100	183	61	6	12
370	145	245	60	5	9
440	145	282	73	12	23
530	260	375	61	21	75
620	190	425	133	8	41

그림 1과 2는 상온 및 저온에서 도막두께에 따른 굴곡시의 도막 균열 상태를 보여 주고 있다. 결과에서 보듯이 도막이 너무 얇거나 두꺼움에 따라 균열발생 가능성이 높아지고 있다. 이러한 현상은 상온, 저온(-7℃) 및 굴곡각도 90°, 120°, 130°에

서 모두 나타나고 있다. 따라서, 에폭시 도막철근은 150~300μm의 도막두께를 적정범위로 하며 굽힘가공의 최대굽힘 각도는 120°로 하는 것이 좋다.

### 3.4 내마모성 시험

에폭시 도막의 마모성 시험은 ASTM A 775에 따라 도막된 강관을 CS-10F wheel과 1kg 하중으로 이루어진 taber 내마모성 시험기로 측정하였다. 측정방법은 100°회전시켰을 때 중량손실을 측정한다. 시험 온도는 22℃로 10개소를 측정하였다.

표 14의 시험결과에서 보듯이 평균 손실무게는 기준값 100mg보다 훨씬 적은 4.2mg으로 나타나 시험체의 내마모성은 우수한것으로 판단 되었다.

Table 14 Abrasion resistance test

coating thickness(μm)			weight before test(g)	weight after test(g)	weight loss(mg)
max.	min.	aver.			
65	75	70	60.4385	60.4332	5.3
70	80	75	60.3111	60.3050	6.1
70	80	75	62.3271	62.3209	6.2
70	85	78	59.7115	59.7063	5.2
80	85	84	60.0845	60.0816	2.9
80	95	89	60.5959	60.5889	7.0
85	105	96	60.1306	60.1242	6.4
55	200	129	62.0522	62.0507	1.5
120	200	168	63.4969	63.4960	0.9
310	500	418	65.3890	65.3886	0.4

average of weight loss : 4.2 mg

stand. deviation of weight loss : 2.4 mg

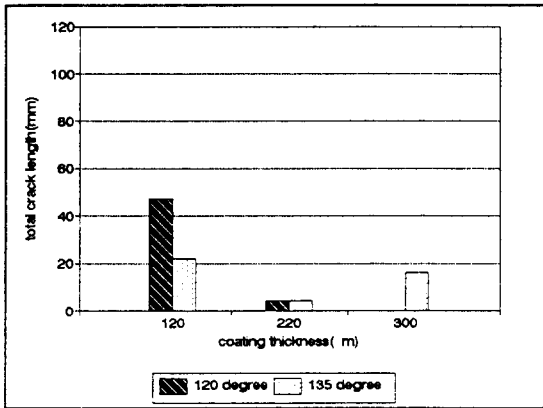


Fig. 1 Coating after bend test at 23℃

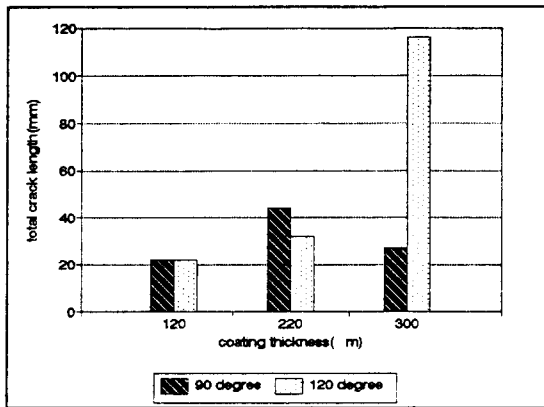


Fig. 2 Coating after bend test at -7℃

## 4. 결 론

에폭시 도막 철근에 대하여 규격에 규정된 여러 가지 기계적 성능시험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 에폭시 도막 두께는 편차가 큰 것으로 나타났다. 특히 마디로 인하여 부위별로 도막 두께의 차이가 크다.

2) 부착성, 내마모성은 우수한 것으로 평가되었다.

3) 내충격성은 만족시키나 다소 약함을 보이고 있어 운반 가공시에 주의가 요구된다. 도막두께가 두꺼울수록 내충격성이 나아진다.

4) 내굴곡성 시험에서 상온 120°굴곡시 규격의 기준은 만족되고 있다. 그러나, 135°굴곡시 도막두께 120 $\mu$ m와 300 $\mu$ m 철근에서 도막의 균열이 다소 많이 나타나고 있다. 이 결과 에폭시 도막 철근의 가공시 굽힘각도는 120°를 초과하지 않아야 할 것이다. 저온(-7℃)에서는 90°, 120° 굴곡 시험체 모두 도막에 균열이 상당량 발생하며 이 결과로 도막철근은 저온에서의 가공은 제한하여야 할 것이다.

5) 도막이 너무 얇거나 두꺼움에 따라 굴곡시 균열 발생 가능성이 높아진다. 따라서 에폭시 도막철근의 적정 도막두께를 150~300 $\mu$ m 범위로 제안한다.

6) 국내에서 시험생산된 에폭시 도막철근의 운반, 가공을 포함 시공성을 조사하기 위하여 성능을 시험한 결과, 규격에서 요구하는 기계적 성능을 대체로 만족하였다.

### 감사의 글

본 연구는 1993년도 한국과학재단의 핵심전문연구과제 연구비 지원으로부터, 또한 인천제철과 고려화학으로부터 재료 및 기술 지원하에 이루어졌음을 밝히고 이에 감사의 뜻을 표합니다.

### 참 고 문 헌

1. 김 문한 외, 서울대학교 공학연구소, “해사활용 기

술연구(Ⅱ)”, 1992, 10, 406pp.

2. 변근주, 염분이 콘크리트의 제성질에 미치는 영향 한국레미콘공업협회, 1991, 3, 87pp.
3. 오병환, 엄주용, 권지훈, “에폭시 도포철근의 내부식성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회, 논문집, 제 4권4호, 1992, 12, pp161-170.
4. 최완철, “에폭시 피막된 철근의 부착에 관한 최근 연구”, 대한건축학회 학술발표 논문집, 1990, 10, pp.539-542.
5. KS M 5250 “강관 및 철근용 에폭시 수지 분체 도료”, 1987
6. ASTM A 775 / A 775M-88a(1988). “Standard Test Method for Epoxy-coated Reinforcing Steel Bars”, 1988
7. ASTM G 14 “Standard Test Methods for Impact Resistance of Pipeline Coatings(Falling Weight Test)” 1988.
8. Kim, M.H., Yoon, J.H., Choi, O.C., Hyun, C. T., and Juang, J.D., “Protection against Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete from the Use of Sea Sand”, Proceedings 17th Concrete and Structures, Singapore, 1992, 8
9. Kobayashi K., Takewaka K., “Experimental Studies on Epoxy Coated Reinforcing Steel for Corrosion Protection”, International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.6, No.2, 1984, 5, pp.99-116.

(접수일자 : 1993. 3. 29)