



## 장기폭로실험에 의한 철근콘크리트 구조물의 보수재료 · 공법 성능평가

김무한<sup>1)</sup> · 김규용<sup>1)</sup> · 조봉석<sup>1)</sup> · 김영덕<sup>1)</sup> · 김영선<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>충남대학교 건축공학과

### Performance Evaluation of Repair Material and Method for Reinforced Concrete Structure by Long Term Exposure Experiment

Moo-Han Kim<sup>1)</sup>, Gyu-Yong Kim<sup>1)</sup>, Bong-Suk Cho<sup>1)</sup>, Young-Duck Kim<sup>1)</sup>, and Young-Sun Kim<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Taejeon 305-742, Korea

**ABSTRACT** In this study, for the establishment of the performance evaluation methods and the quality control standards of durability recovery method, the quantitative exposure data by long term exposure test under the coast and normal atmosphere is accumulated and analyzed. Investigating and evaluating the result of exposure test during 30 months of exposure age under the coastal and normal atmosphere environment, carbonation depth and chloride-ion penetration depth very little penetrated than cover depth. It seems reasonable to conclude that main cause of Corrosion of reinforcing bar are chloride-ion and macro cell from the result of corrosion area and corrosion velocity. Therefore, it is considered to be applied as the fundamental data on the performance evaluation and quality control standards of repair material and method through continuous exposure test in the future.

**Keywords** long-term exposure experiment, reinforced concrete structure, repair material and method, performance evaluation

#### 1. 서 론

최근 국내에서는 건설구조재료의 대부분을 차지하고 있는 콘크리트 구조물의 내구성 저하 현상에 대한 문제점이 크게 부각됨에 따라, 성능저하 된 콘크리트 구조물의 내구성 회복을 위한 내구성 향상 기술개발에 대한 관심이 국가 · 사회적으로 급격히 증가되고 있다<sup>1-2)</sup>.

이에 따라 국내에서는 철근콘크리트 구조물의 보수재료 및 보수 시공 기술에 관한 다종다양한 재료와 공법이 이미 개발되어 특허 및 신기술 등으로 인증되어 활용되고 있지만, 이러한 보수재료 · 공법의 성능 평가 방법에 있어서는 아직 미비한 실정이다. KS에 각각의 보수재료에 대한 규준이 Table 1과 같이 명시되어 있지만, 이는 보수재료 자체의 기초 물성에 관한 평가가 주를 이루어 실시되고 있으며, 보수재료 · 공법 적용 후의 내구성 회복성능 등 보수 효과의 정량적인 평가는 이루어지지 않고 있는 실정으로 현재 적용되고 있는 다양한 보수재료 · 공법의 평가 시험 항목 및 요구성능 확립과 성능저하된 철근콘크리트 구조물이 위치하고 있는 실제 환경 조건에서의 보수효과에 관한 정량적 평가 방법의 구축이 시급히 요구되고 있다<sup>1-2,7)</sup>.

이에 본 연구에서는 최근 국내에서 주로 활용되고 있는 보수재료 · 공법을 적용한 폭로시험체를 제작한 후, 해양환경 및 일반대기환경 하에서 장기폭로실험을 실시하여 탄산화 깊이, 염화물이온 침투깊이, 철근의 부식 특성 등 정량적 폭로실험 데이터를 확보함으로써 향후 성능 저하된 철근콘크리트 구조물의 보수재료 · 공법 성능 평가 방법 및 품질관리 기준 확립을 위한 기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

#### 2. 실험 계획 및 방법

##### 2.1 해양 및 일반 대기환경의 폭로실험 계획

해양 및 일반 대기환경 하에서 장기폭로실험에 의한 정량적 폭로실험 데이터베이스 구축을 위한 본 연구의 실험요인 및 수준은 Table 2와 같이 설정하였다. 또한 본 장기폭로실험에 적용되는 보수공법 시스템의 주요 재료인 단면복구재료의 주성분은 Table 3에서 나타낸 바와 같다. 또한, 본 실험에서 사용한 보수공법은 Fig. 1에 나타낸 시스템을 기본으로 적용하였다.

한편, 본 장기폭로실험에 있어서 폭로재령은 최종 폭로 시기를 60개월로 설정하였고, 폭로시험체의 비파괴 조사를 실시하는 재령은 폭로 후 6, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60개월, 파괴에 의한 조사를 실시하는 재령은 30, 60

\*Corresponding author E-mail : kellery@cnu.ac.kr  
Received May 15, 2006, Accepted November 30, 2006  
©2007 by Korea Concrete Institute

**Table 1** KS standard for repair material

KS no.	Title
KS F 4042	Polymer modified cement mortar for maintenance in concrete structure
KS F 4043	Epoxy resin mortar for restoration in concrete structure
KS F 4923	Epoxy adhesives for repairing in concrete structure
KS F 4716	Cement filling compound for surface preparation
KS F 4918	Cement mixed siliceous powder waterproof coatings
KS F 4920	Liquid-applied compounds for waterproofing membrane coating of exterior wall
KS F 4921	Epoxy resin paints for waterproof and anticorrosion of concrete structures
KS F 4922	Polyurea resin waterproofing membrane coating
KS F 4923	Epoxy adhesives for repairing in concrete structure

개월로 설정하였으며, 본 논문에서는 이 중 폭로재령 30개월에서의 파괴 조사 결과 범위를 중심으로 검토 및 분석하였다.

### 2.2 해양 및 일반 대기환경 폭로시험장

해양 및 일반 대기환경 폭로시험 장소로서는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 연평균  $-6.1\sim 29.6^{\circ}\text{C}$ 와 습도 69.6~83.9%의 환경을 나타내는 충청남도 태안군의 해안가로서 연평균 비례 염분량이  $0.3\text{ mdd}(\text{mgNaCl}/\text{dm}^2/\text{day})$  이상으로 비교적 비례 염분의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 장소를 해양환경으로 선정하였으며, 일반 대기환경으로서 연평균 온도  $-6.3\sim 30.2^{\circ}\text{C}$  및 습도 61.6~80.1%의 대전광역시에 위치한 충남대학교 구조물 옥상(5층)으로서 비례 염분 및 대기오염에 대한 영향이 비교적 적은 장소를 폭로시험장으로 설정하였다<sup>3,4)</sup>.

### 2.3 폭로시험체의 제작 방법

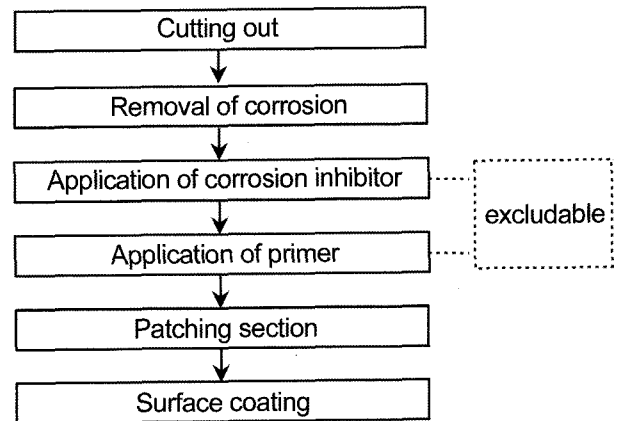
본 장기폭로시험에서 각각의 보수재료·공법을 적용하기 위한 모체 콘크리트 시험체의 형상 및 치수는 Fig. 3과 같이 발포스티롤을 매입하여 보수부위로서 일부분의 단면 결손부위를 상정하였다. 또한, 기존 연구를 참고하여<sup>5,7)</sup> 콘크리트 내의 매립 철근의 경우 건전 부위로서 콘크리트 내에 완전히 매입되도록 설정한 철근 I, 보수재료·공법 적용시 철근전체가 노출되도록 콘크리트를 떨어낸 경우를 상정한 철근 II, 보수재료·공법 적용시 철근이 전부 노출되지 않도록 콘크리트를 떨어내는 경우를

**Table 2** Experimental factors and levels

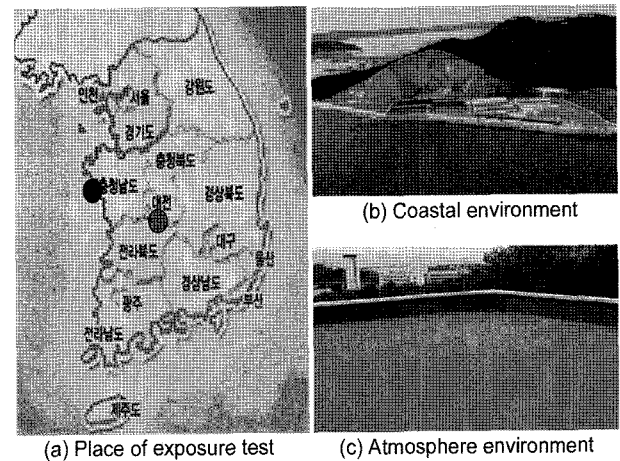
W/C (%)	Factors	Levels	Measuring Items
0.60	Exposure environment	Coastal and normal atmosphere	Carbonation depth (mm)
	Types of repair system	5 types	Chloride ion penetration depth (mm)
	Contents of chloride ion	0, 2.4 $\text{kg}/\text{m}^3$	Contents of chloride ion (%)
	Corrosion inhibitor	Application, none	Corrosion area ratio of reinforcing bar (%) Corrosion velocity of reinforcing bar ( $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{year}$ )

**Table 3** Main ingredients of section recovery material

Method	Main ingredients of repair material
A	Acrylic polymer mortar mixed garnet
B	Adhesion polymer mortar
C	Polymer mortar
D	Inorganic section recovery material
E	Cement mortar + polymer mortar(spray type)



**Fig. 1** The progress of repair method system



**Fig. 2** Exposure experiment station

상정한 철근 III으로 총 3분의 철근을 설치하는 것으로 설정하였다.

한편, 철근의 피복두께는 20 mm로서 한가지 조건으로 설정하고, 철근을 전면 노출시킨 부위의 배간격은 10 mm로 설정하였으며, 콘크리트의 타설은 전면 건전부 방향에서 타설하는 것으로 계획하였다.

또한, 본 장기폭로시험에서 모체 콘크리트 시험체의 제작에 사용한 재료는 Table 4에 나타낸 바와 같으며, 모체 콘크리트의 배합은 Table 5에서 보는 바와 같다.

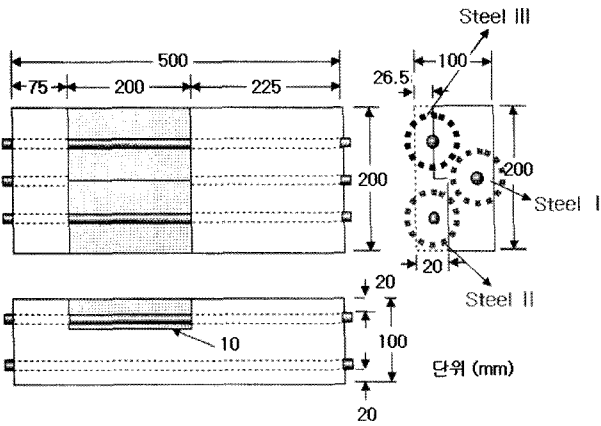


Fig. 3 Shape and dimension of exposure specimen

## 2.4 보수재료 · 공법 개요

본 폭로실험에 적용한 각 보수재료 · 공법의 보수공정은 각 회사의 제조 · 생산업체에 따라 각 공정의 처리기간에 있어 다소 차이는 있지만 Table 6에서 보는 바와 같이 정리할 수 있다. 또한, 보수재료 · 공법의 적용은 각 제조 · 시방서에 준하여 실시하였으며, 보수재료 · 공법의 종류에 따라 다소 차이는 있으나, 본 연구에서는 바탕처리 및 철근 녹제거, 함침재 도포, 철근방청처리, 단면복구, 콘크리트 바탕조정 및 표면피복처리 공정을 대

Table 4 Physical properties of used materials

Material	Physical properties
Cement	O.P.C. (Density : 3.15 kg/cm <sup>3</sup> )
Fine agg.	Sea sand (Density : 2.57 kg/cm <sup>3</sup> , F.M. : 2.85)
Coarse agg.	Crushed stone (Size : 20 mm, Density: 2.65 kg/cm <sup>3</sup> , F.M. : 6.50)
Re-bar	D13 deformed reinforcing bar
NaCl	Purity 99%, 1st class reagent

Table 5 Mix proportion of concrete

W/C (%)	Target slump (cm)	S/a (%)	Unit water contents (kg/m <sup>3</sup> )	Unit contents (kg/m <sup>3</sup> )		
				Cement	Fine agg.	Coarse agg.
60	18±1	48	185	310	830	931

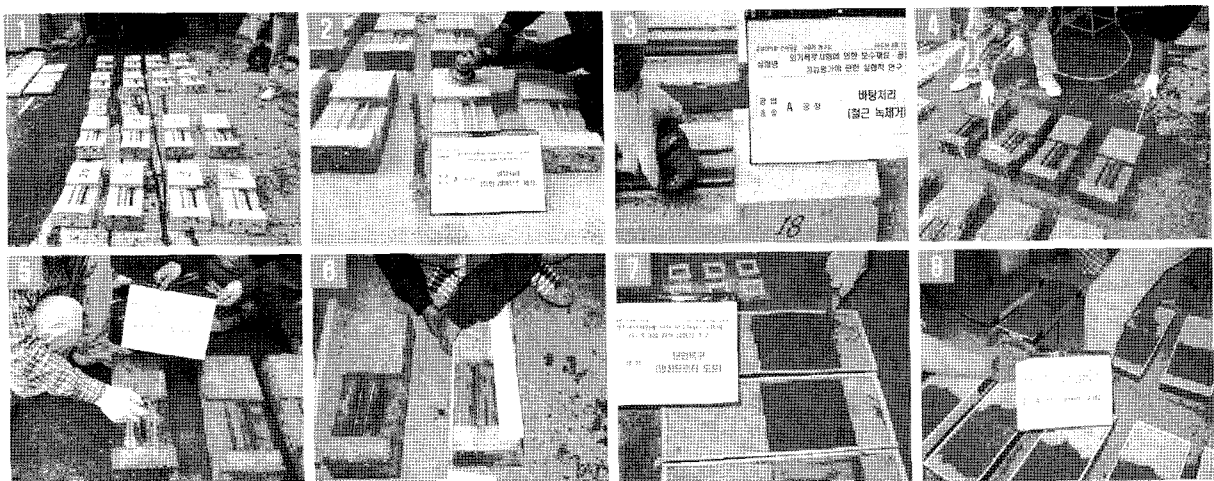


Fig. 4 Repair construction situation of repair material and method systems

표적인 보수공정으로 고려하여 실시하였으며, Fig. 4는 보수시공 상황을 나타내었다.

또한, 각 보수재료의 기초 물성은 Table 7에서 나타낸 바와 같이 보수재료의 강도 특성을 파악하기 위해 압축강도, 휨강도 및 부착강도를 측정하였으며, 모두 JIS A 6203<sup>9)</sup> 「시멘트 혼화용 폴리머 디스퍼션 및 재유화형 미분말 수지」에서 제안하고 있는 압축강도 20 MPa, 휨강도 5.98 MPa 및 부착강도 0.98 MPa 이상을 만족하는 것으로 나타났다.

## 2.5 폭로시험체의 평가 방법

### 2.5.1 탄산화 및 염화물이온 침투 깊이

폭로재령 30개월에서 파괴 조사를 위해 Fig. 3과 같이 시험체의 철근면을 따라 UTM을 활용하여 할렬하였고, 측정방법으로서 탄산화 깊이는 1% 페놀프탈레인 용액을 할렬면에 분무하여 적색으로 변색되지 않은 부위를 탄산화되었다고 판단하여 버니어캘리퍼스로 측정하였다. 염화물이온 침투 깊이는 0.1N AgNO<sub>3</sub> 용액을 시험체 할렬면에 분무하여 갈색으로 변색된 부위를 염화물이온 침투 깊이로 측정하였다.

Table 6 Process of repair material and method systems

Repair process	Types of repair system				
	A	B	C	D	E
1 Removal of corrosion	○	○	○	○	○
2 Application of impregnation material		○	○	○	
3 Application of corrosion inhibitor	○	○	○	○	○
4 Restoration of section	○				
5 Fresh exposed surface of concrete	○				
6 Surface coating	○	○	○	○	○

**Table 7** Physical properties of repair material

Method	Compressive strength (MPa)			Flexural strength (MPa)			Bond strength (MPa)		
	7d	14d	28d	7d	14d	28d	7d	14d	28d
A	17.75	39.02	42.35	9.12	9.71	11.76	3.04	2.84	3.43
B	25.10	59.31	57.75	8.04	6.96	9.31	0.98	0.88	0.88
C	40.29	42.94	48.73	6.76	8.82	9.71	2.25	2.35	2.35
D	51.27	55.69	57.16	11.86	13.33	13.82	3.33	3.43	3.63
E	34.02	40.39	42.94	7.16	7.75	9.12	1.57	1.86	1.96

**2.5.2 염화물량**

염화물량 측정은 시험체 할렬 후 콘크리트 연마기를 이용하여 시험체의 침투면으로부터 5 mm 깊이별로 채취한 콘크리트 시료를 분쇄하여 KS F 2713 「콘크리트 및 콘크리트 재료의 염화물 분석 시험 방법」에 제시한 방법에 준하여 실시하였다.

**2.5.3 철근의 부식면적 및 부식속도**

철근의 부식면적 측정 방법으로는 시험체로부터 분리한 철근을 셀룰로지를 활용하여 표면의 부식면적을 스케치한 후 스캔을 실시하여 부식면적의 넓이를 산정하였으며, 부식의 강도에 따라서는 구별하지 않았다. 철근의 부식속도는 철근을 먼저 10% 구연산암모늄 용액에 24시간 침지하여 철근의 부식을 제거한 후 철근의 초기 질량과의 차로서 철근 중량 감소량을 구했으며, 다음 식 (1)을 활용하여 최종적으로 철근 부식 속도를 산출하였다.

$$C_v = \frac{W_r}{A_s \times T_p} \quad (1)$$

여기에서,  $C_v$ : 철근 부식 속도 ( $mg/cm^2 \cdot year$ )

$W_r$ : 철근 중량 감소량 (mg)

$A_s$ : 철근 표면적 ( $cm^2$ )

$T_p$ : 시험기간 (year)

**2.6 해양 및 일반 대기환경 폭로 상황**

해양 및 일반 대기환경에서의 폭로 상황을 나타낸 Fig. 5에서 보는 바와 같이 폭로시험체는 우수 및 일조 등의 환경적 요인에 의한 영향을 크게 받도록 하기 위하여 보수공법을 시공한 면이 상면(상면 이외의 면은 예폭시 도포)이 되도록 설치하였으며, 각형 목재를 사용하여 시험체의 하면이 직접 폭로시험장 바닥에 닿지 않고 약 200 mm의 간격을 유지하도록 설치하였다. 또한 각각의 폭로시험체는 설치된 위치에 따라 차이가 없는 동일 조건인 것으로 가정하여 폭로기간 중 시험체 배치위치의 회전은 고려하지 않는 것으로 하였다.

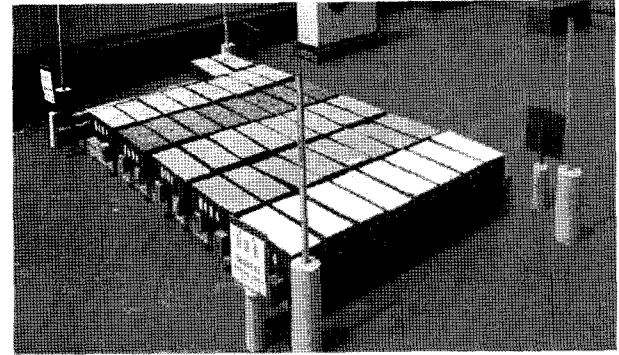
**3. 실험 결과 검토 및 분석**

**3.1 탄산화 및 염화물이온 침투 깊이**

해양 및 일반 대기환경 폭로 후 탄산화 및 염화물이온



(a) Coastal environment



(b) Normal atmosphere environment

**Fig. 5** Exposure situation

침투깊이 평가 결과 일반대기환경 및 해양환경 모두 보수공법에 관계없이 5 mm이하의 깊이로 철근 피복 두께 20 mm에 비해 현저이 낮게 나타나 본 연구의 폭로재령 30개월까지의 범위에서는 탄산화 및 염화물이온 침투는 철근의 부식에 영향을 주기 어려울 것으로 판단된다.

Fig. 6은 보수공법에 따른 각 시험체의 보수부 및 모체 콘크리트 부의 평균 탄산화 깊이를 나타낸 것으로서 공법에 관계없이 유사한 탄산화 깊이를 나타내고 있으며, 보수부에 비해 모체부가 다소 큰 탄산화 깊이를 나타내고 있다. 또한, 공법 D는 탄산화 깊이가 나타나지 않고 있는데 이는 공법 D의 표면피복재가 다른 보수공법의 피복재에 비해 환경 차단 작용 기능(특히 차염, 차수 작용)이 효과적이기 때문으로 판단된다. 한편, Plain의 경우 가장 큰 탄산화 깊이를 나타내고 있는데, 보수공법을 실시한 시험체의 경우 열화를 받는 상면 전체에 공법에 따라 실시한 피복재 또는 코팅재의 영향에 의한 결과로 판단된다.

Fig. 7는 보수공법에 따른 염화물이온 침투 깊이를 나타낸 것으로서 일반 대기환경하의 모든 공법 시험체에서는 염화물이온 침투 깊이가 나타나지 않았으며, 해양환경 시험체의 염화물이온 침투 깊이 데이터는 탄산화 깊이 시험결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 또한, D공법에 있어서는 탄산화 깊이와 같이 염화물이온 침투 깊이가 나타나지 않고 있으며, 이는 탄산화 깊이에서 기술한 원인과 동일한 이유에서 나타난 결과로 판단된다.

**3.2 염화물량**

폭로재령 30개월에서 염화물이온 침투가 발생한 해양

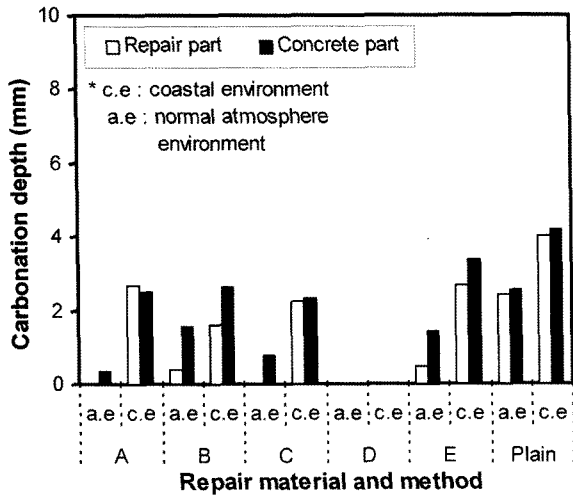


Fig. 6 Carbonation depth

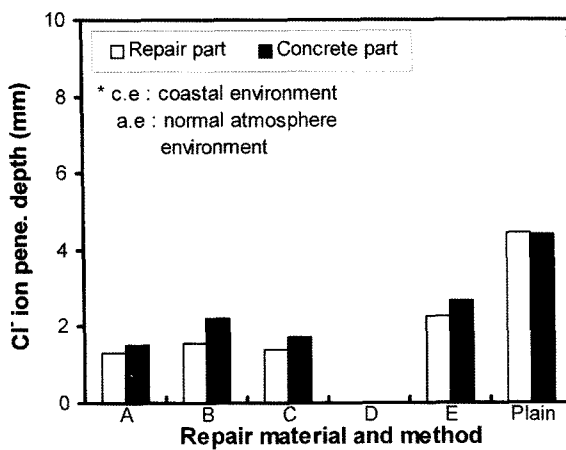


Fig. 7 Chloride ion penetration depth

환경 시험체의 염화물량은 초기  $2.4 \text{ kg/m}^3$  염화물을 내재한 시험체의 경우 표면으로부터 침투깊이에 관계없이  $0.08\sim 0.11 \text{ wt\%}$ 의 염화물량을 나타내고 있으며, 이는  $1.92\sim 2.64 \text{ kg/m}^3$ 로 환산된다. 또한, 초기염화물을 내재하지 않은 시험체의 경우 공법에 관계없이 침투표면과 5 mm 깊이에 있어서만  $0.02\sim 0.001 \text{ wt\%}$ ( $0.48\sim 0.024 \text{ kg/m}^3$ )의 염화물량을 나타냈으며, 표면으로부터 5 mm이상의 깊이에 있어서는 염화물량이 나타나지 않았다.

이는 폭로재령 30개월에 있어서 염화물이온의 침투가 미미하기 때문에 침투 깊이에 따른 염화물량의 특별한 경향은 나타나지 않고 있어, 염화물이온 확산예측을 이용한 실제 철근콘크리트 구조물의 비교평가를 위해서는 차후, 더욱 장기정인 폭로 실험에 의한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 3.3 철근의 부식 특성

#### 3.3.1 철근의 부식 면적

Table 8은 철근 부식 면적률을 산출하기 위해 측정된 철근의 사진과 철근 부식 면적의 일부분을 나타낸 것이며, 철근의 부식은 앞서 「3.1 탄산화 및 염화물이온 침투 깊이」에서 기술한 바와 같이 탄산화 및 염화물이온의 침투가 철근의 피복두께 20 mm에 비해 현저히 낮은 5 mm이하로 나타나고 있어 폭로재령 30개월까지는 탄산화 및 염화물이온의 침투를 철근의 부식 요인으로 고려하기는 어려우며, 철근의 부식은 전반적으로 초기에 내재한 염화물량 및 다음에 기술하는 원인들로 고려된다. 또한, 실리콘재 및 테입을 이용하여 시험체 외부로 노출된 철근부분을 보호하려 하였지만, 모든 시험체에서 외

Table 8 Corrosion area and condition photograph of reinforcing bar (B method)

Environment method	corr. inhibitor	chloride ion	Bar no.	Corrosion area ratio (%)	Corrosion area and condition photograph of reinforcing bar					
					Part of concrete	Part of boundary	Part of repair	Part of boundary	Part of concrete	
a.e*	none	$0 \text{ kg/m}^3$	I	17.08						
			II	39.86						
			III	40.77						
c.e*	B	none	$2.4 \text{ kg/m}^3$	I	29.13					
				II	48.95					
				III	55.71					

\*a.e: normal atmosphere environment, c.e: coastal environment

부에 노출된 철근 양끝부분에 심한 부식이 발생하고 있어, 철근 부식 면적의 오차 요인으로 작용하였다.

Fig. 8는 보수시공 상황을 상징한 철근의 위치에 따른 철근 부식 면적률을 나타낸 것으로서 각 공법에 있어 총 4종류(초기염화물 내재 유·무, 철근방청처리 유·무) 시험체의 철근별 부식 면적률의 평균을 산출하여 나타내었다. Plain을 제외한 각 공법에 있어서 일반적으로 부식 면적률은 철근 III > 철근 II > 철근 I의 순으로 나타났다. 이는 Fig. 9에 나타낸 사진과 같이 철근의 단면을 손상시키는 부식이 대부분 보수부와 모체부를 경계로 강하게 나타나는 점과, 기존 연구를 토대로<sup>5-8,11)</sup> 모체부와 보수부의 단면복구재 사이에 발생하는 철근의 전위, pH도 차이 및 철근을 경계로 고르지 못한 상태가 존재하게 되어 발생하는 매크로셀 작용에 의한 부식이 가장 큰 요인으로 고려된다.

Fig. 10은 초기 염화물량의 내재 유·무에 따른 철근의 부식 면적률로서, 각 공법의 초기내재염화물 유·무에 따른 시험체 철근 II의 부식 면적률을 평균 환산하여 나타내었다. 폭로재령 30개월까지는 공법의 종류에 있어서 특별한 경향은 보이지 않으며, 초기내재 염화물 유·무에 있어서 일반 대기 및 해양환경에 관계없이 초기 염

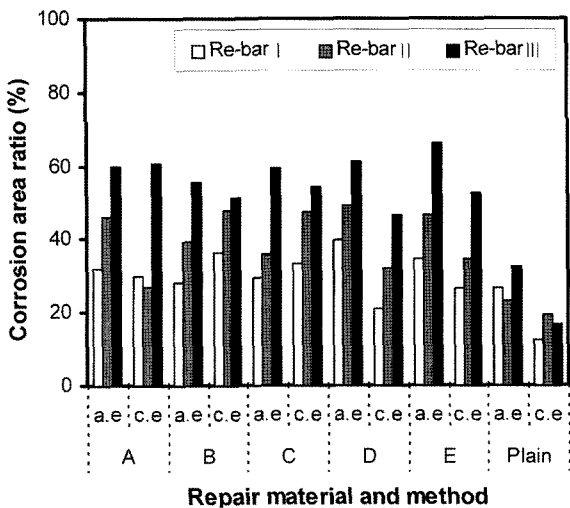


Fig. 8 Corrosion area ratio with position of bar

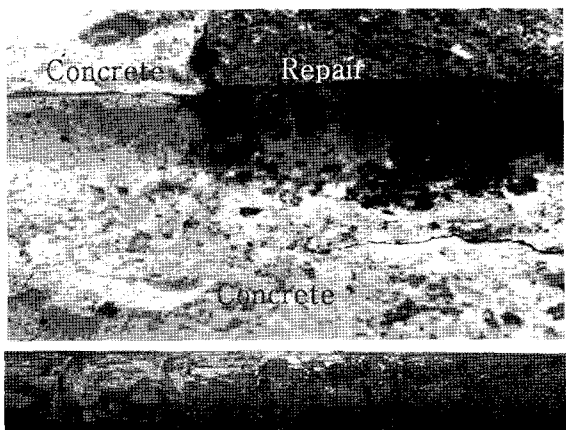


Fig. 9 Specimen and bar of C method

화물 2.4 kg/m<sup>3</sup>을 투입한 시험체가 전반적으로 다소 높은 부식 면적률을 나타내고 있다. 이는 알칼리도와 염화물농도에 의한것으로 Cl<sup>-</sup>와 OH<sup>-</sup>의 농도비에 따른 부식 요인으로서 공법에 관계없이 전반적으로 초기에 염화물을 내재한 시험체가 염화물을 내재하지 않은 시험체 보다 높은 부식 면적률을 나타낸 것으로 판단된다.

### 3.3.2 철근의 부식 속도

Fig. 11은 보수시공 상황을 고려한 철근 위치에 따른 부식 속도를 나타낸 것으로서 전반적으로 부식 속도는 0.03 ~ 0.19 mg/cm<sup>2</sup>year의 다소 낮은 범위로 나타나고 있으며, 공법종류에 따라서는 공법 A, B가 다른 공법에 비해 다소 높은 부식 속도를 나타내고 있다. 또한, 철근의 위치에 따라서는 철근 부식 면적의 분석 결과와 동일하게 철근 III > 철근 II > 철근 I의 순으로 철근 부식 속도가 나타났다.

Fig. 12은 초기내재 염화물량 유·무에 따른 철근 부식 속도를 나타낸 것으로서 폭로재령 30개월 까지는 초기 염화물량 내재에 따라서 큰 차이는 나타나지 않고 있

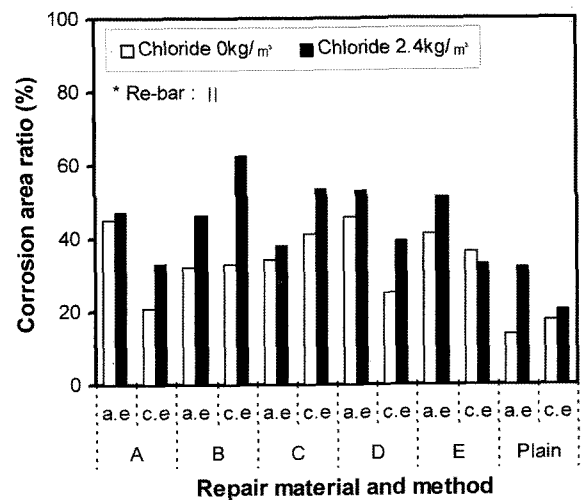


Fig. 10 Corrosion area ratio with chloride ion

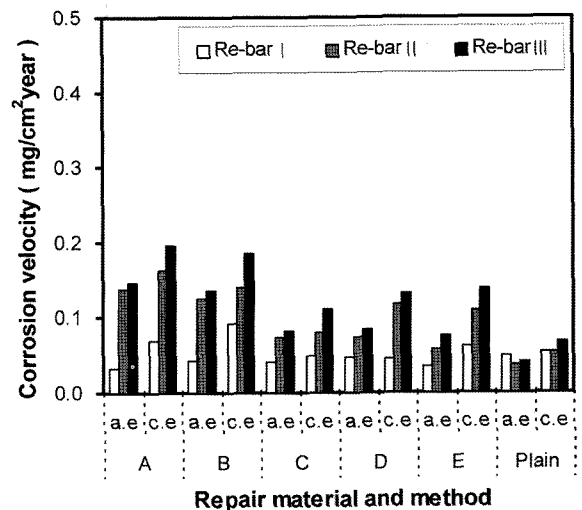


Fig. 11 Corrosion velocity with position of bar

으며, 염화물을 내재한 시험체가 약 0.01~0.04 mg/cm<sup>2</sup>year 사이로 부식속도가 높게 나타나고 있다. 이는 초기에 투입한 염화물량을 고려할 때 아주 미미한 차이로 판단되며, 염화물이온이 시멘트 수화에 따른 고정화로 철근에 영향을 줄 수 있는 자유 염화물의 양이 감소했기 때문으로 추측된다<sup>7)</sup>.

Fig. 13는 일반대기 및 해양환경하 시험체의 부식 속도를 비교한 것으로서 방청처리 무, 염화물량 0 kg/m<sup>3</sup>의 시험체를 나타낸 것이다. 모든 공법에 있어서 해양 환경 시험체가 일반 대기환경 시험체에 비해 미미하게 높은 부식속도를 나타내고 있다. 또한, 기존 문헌을 참고하여<sup>12,13)</sup> D13 mm인 철근에서 피복두께가 40 mm인 경우 균열이 발생하는 시점을 약 5~10 mg/cm<sup>2</sup>으로 가정할 때 공법 A, B의 철근 II, III의 경우 34~69년에서 균열이 발생하는 것으로 산출되며, 공법 C, D, E의 철근 II, III의 경우 약 67~135년 사이에서 균열이 발생하는 것으로 산출된다. 이는 폭로재령 30개월에 있어서 산출한 데이터이며, 아직까지 시험체의 내구성에 큰 영향을 줄 수 있는 균열, 탄산화 및 염화물이온이 철근 위치까지 침투하지 않고 있어, 폭로재령이 증가함에 따라 균열 발생 예측 시점은

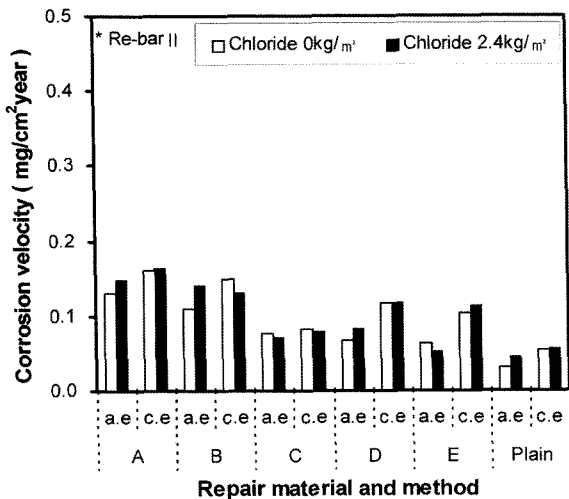


Fig. 12 Corrosion velocity with chloride ion

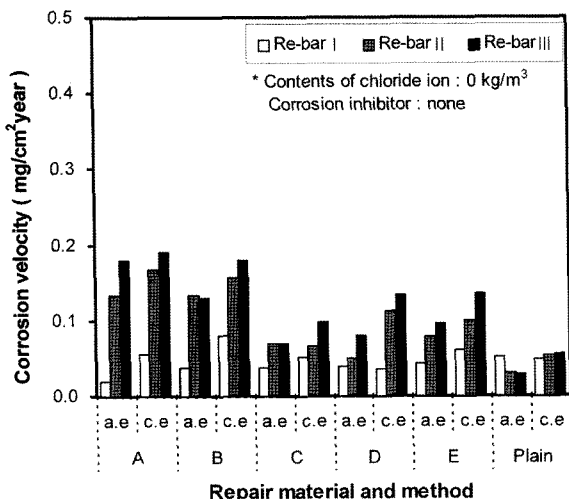


Fig. 13 Corrosion velocity of bar with environment

감소될 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

최근 국내에서 활용되고 있는 보수재료 공법을 적용한 폭로시험체를 제작한 후, 해양환경 및 일반 대기환경 하에서 장기폭로실험에 의한 정량적 폭로실험 데이터를 확보하여 검토 및 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 탄산화 및 염화물이온 침투 깊이는 공법에 관계없이 5 mm이하로 나타나 철근의 피복두께(20 mm)를 고려할 때, 폭로재령 30개월 범위에 있어서 탄산화 및 염화물이온 침투에 의한 철근의 부식은 고려하기 힘들며, 이는 공법의 과정중 표면피복 및 코팅에 의한 환경 차단 작용 기능(차염, 차수작용)에 의한 결과로 판단된다.
- 2) 염화물량은 폭로재령 30개월에 있어서 표면에만 한정되어 나타나고 있어, 더욱 장기적인 연구가 필요하며, 염화물을 내재한 시험체의 경우, 초기에 투입한 염화물량과 유사한 염화물량을 그대로 내재하고 있어, 콘크리트 제조시 투입되는 재료의 염화물량은 주의해야 할 문제로 판단된다.
- 3) 일반 대기 및 해양환경 시험체의 철근 부식 면적 및 부식 속도는 전반적으로 해양환경에 폭로된 시험체가 높게 나타나고 있다. 폭로재령 30개월까지는 염해 및 탄산화에 의한 결과로 판단하기 어려우며, 기후와 복합적인 열화에 의한 것으로 추측된다.
- 4) 철근의 위치에 따른 부식면적은 철근 III > 철근 II > 철근 I로 나타났으며, 이는 모체부의 콘크리트와 보수부의 단면복구재에 의해 발생하는 철근의 전위-pH도차이 및 철근을 경계로 고르지 못한 성질이 존재하게 되어 발생하는 매크로셀 작용에 의한 부식이 가장 큰 원인으로 판단된다.
- 5) 부식 속도에 있어서는 공법에 관계없이 0.2 mg/cm<sup>2</sup>year이하로 나타나고 있으며, 폭로재령 30개월까지는 심각한 차이는 발생되지 않고 있다.
- 6) 향후 폭로시험체의 지속적인 성능 평가에 의해 정량적인 폭로실험 데이터를 확보함으로써 보수공법의 성능 평가 방법 및 품질관리기준 확립을 위한 기초자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 전력산업 연구개발사업(R-2004-B-118) 「복합열화에 의해 성능저하된 원전구조물의 보수재료·시스템 개발」 시스템 개발에 관한 일련의 연구 결과로, 이에 관계자 여러분께 심심한 감사를 드립니다.

논문에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받았으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, “염해 및 탄산화 피해를 입은 콘크리트 구조물의 내구성 회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안”, 건설기술연구개발사업 연차보고서, 2003. 4, pp.555~723.
2. 김무한, 조봉석, 김영덕, 윤종기, 김재환, 김용로, “표면 피복종류에 따른 복합열화환경하의 철근콘크리트 부식 특성에 관한 실험적 연구”, 한국콘크리트학회 가을학술 발표회 논문집, 15권 2호, 2003. 11, pp.86~89.
3. 기상청, <http://www.kma.go.kr>, 기후통계자료.
4. 정해문, 유환구, 류종현, 안태송, 김수만, 오병환, “해양 환경에 위치한 국내 고속도로 교량의 비래염분량 측정 결과”, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 14권 1호, 2002. 5, pp.743~748.
5. 日本建築學會, 高耐久性鐵筋コンクリートの設計施工指針(案)・同解説, 日本建築學會, 1991, pp.179~184.
6. 이종득, 철근부식진단, 도서출판 일광, 2001. 11, pp.1~12.
7. 日本コンクリート工學協會, 콘크리트構造物の補修工法研究委員會報告書(Ⅲ)-補修工法の性能評價のための暴露實驗-, 1996. 10, pp.1~44.
8. 日本建築學會, 鐵筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説-付2.補修工法の補修效果評價試驗(案), 1997, pp.203~216.
9. JIS A 6203, セメント混和用ポリマーディスパージョン及び再乳化形粉末樹脂, JIS, Japan, 1996.
10. Jiyeang Zhang, et al, “Corrosion of Concrete Reinforcement and Electrochemical Factors in Concrete Patch Repair”, *Canadian Journal of Civil*, Vol.33, pp.785~793.
11. C. Andrade, C. Alonso, and J. Sar, “Corrosion rate evolution on concrete structures exposed to the atmosphere”, *Cement & Concrete Composites*, 2002, pp.55~64.
12. 須田久美子, S. Misra, et al., “腐食ひびわれ發生限界量に関する解釋的檢討”, 콘크리트工學年次論文報告集, Vol.14, No.1, 1992, pp.751~756.
13. 武若耕司ほか, “コンクリート中の鐵筋腐食がRC部材の力學的性狀に及ぼす影響”, 第6回コンクリート工學年次講演會論文集, 1984.

**요약** 본 연구에서는 최근 국내에서 신기술 등으로 인증되어 활용되고 있는 보수재료·공법을 적용한 폭로시험체를 제작한 후, 해양환경 및 일반 대기환경 하에서 장기폭로실험에 의한 정량적 폭로실험 데이터를 확보함으로써 향후 성능저하된 철근콘크리트 구조물의 보수재료·공법 성능평가 방법 및 품질관리기준 확립을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다. 해양 및 일반 대기환경 하에서 폭로재령 30개월까지 폭로실험을 실시한 결과 탄산화 및 염화물이온 침투 깊이는 피복두께에 비해 매우 적게 침투하였으며, 철근의 부식 면적과 부식 속도 결과를 토대로 폭로재령 30개월까지 철근 부식의 주된 원인은 내재 염화물량 및 매크로셀에 의한 부식이 가장 큰 원인으로 판단된다. 향후 폭로시험체의 지속적인 평가를 통하여 정량적인 폭로실험 데이터를 확보함으로써 보수재료·공법 성능 평가 방법 및 품질 관리 기준 확립을 위한 기초 자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 장기폭로실험, 철근콘크리트 구조물, 보수재료·공법, 성능평가