

해양 및 일반대기환경의 폭로실험에 의한 철근콘크리트구조물 보수재료·공법의 성능평가 및 철근의 부식특성에 관한 연구

A Study on the Corrosion Properties of Reinforcing bar and Performance Evaluation of Repair Material and Method for Reinforced Concrete Structure by Exposure Experiment under the Coastal and Normal Atmosphere Environment

남정수* 노경민* 신승봉* 김영선** 김규용*** 김무한****
Nam, Jeong-Soo Roh, Kyung-Min Shin, Seung-Bong Kim, Young-Sun Kim, Gyu-Yong Kim, Moo-Han

Abstract

In this study, for the establishment of the performance evaluation methods of repair material and method for reinforced concrete structure and the quality control standards of durability recovery method, the quantitative exposure data by exposure experiment under the coastal and normal atmosphere environment is accumulated and analyzed.

Investigating and evaluating the result of exposure experiment 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 inner chloride-ion and macro cell from the result of corrosion area and corrosion velocity.

Accordingly, it is considered that fundamental data on the performance evaluation and quality control standards of repair material and method could be presented through continuous exposure test in the future.

키워드 : 폭로실험, 철근콘크리트구조물, 보수재료·공법, 성능평가

Keywords : Exposure Experiment, Reinforce Concrete Structure, Repair Material and Method, Performance Evaluation

1. 서론

최근 국내에서는 염해 및 중성화 등의 성능저하요인에 의한 철근콘크리트구조물의 내구성 저하현상이 국가사회적인 문제로 크게 대두됨에 따라 국내에서도 철근콘크리트구조물의 보수재료 및 보수시공기술에 관한 다종다양한 재료와 공법이 이미 개발되어 특허 및 신기술로 인정되고 있다.¹⁾

그러나 보수재료·공법의 성능평가방법에 있어서는 아직 미비한 실정이다. KS에 각각의 보수재료에 대한 규준이 명시되어 있지만, 이는 보수재료 자체의 기초물성에 관한 평가만이 실시되고 있으며, 보수재료·공법 적용 후의 내구성 회복성능 등 보수효과의 정량적인 평가는 이루어지지 않고 있는 실정으로 현재 적용되고 있는 다양한 보수재료·공법의 평가시험 항목 및 요구성능 확립과 성능저하된 철근콘크리트구조물이 위치하고 있는 실제 환경조건에서의 보수효과에 관한 정량적 평가방법의 구축이 시급히 요구되고 있다.

또한, 성능저하 메커니즘 및 진행단계를 고려하지 않은 무분

별한 보수시공, 환경조건 및 시공조건을 고려하지 않은 간편일률적인 보수시공으로 인해 보수시공 후 보수부위의 요구성능을 만족시키지 못하고 있을 뿐만 아니라 오히려 재열화현상을 유발함으로써 추가적인 보수가 요구되어지기도 한다.^{1, 2)} 이와 같은 국내 상황에서 철근콘크리트구조물의 내구성 향상 및 장수명화를 위해서는 염해 및 중성화에 의해 성능저하된 철근콘크리트구조물의 실용적인 리허빌리테이션 시스템 개발에 있어서 성능저하된 철근콘크리트구조물에 대한 다종다양한 보수공법의 보수효과에 관한 평가방법 표준화 및 성능기준 등의 확립은 반드시 선행되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 국내 주요 보수시공업체의 보수재료·공법을 적용한 폭로시험체를 제작하여 해양환경 및 일반대기환경의 폭로실험에 의한 정량적 폭로실험 데이터를 확보함으로써 향후 성능저하된 철근콘크리트구조물의 보수재료·공법 성능평가 방법 및 품질평가기준의 확립을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

*** 충남대학교 건축공학과, 조교수·공학박사

**** 충남대학교 건축공학과, 교수·공학박사

표 1. 실험 계획

W/C (%)	요 인	실험 수준		측 정 항 목
0.60	폭 로 환 경	해양환경	일반대기환경	• 중성화 침투깊이 (mm) • 염화물이온 침투깊이 (mm) • 철근의 부식면적율 (%) • 철근의 부식속도 (mg/cm ² year)
	보수공법 종류	5개 회사 보수공법시스템		
	염화물(Cl) 함유량	0kg/m ³ , 2.4kg/m ³		
	철근 방청처리	유, 무		

2. 실험계획

2.1 해양 및 일반대기환경의 폭로실험계획

표 1은 해양 및 일반대기환경의 폭로실험에 의한 철근콘크리트구조물 보수재료·공법의 성능 및 철근의 부식특성을 평가하기 위한 실험계획으로서 폭로재령은 최종 폭로기간을 60개월로 설정하였으며 본 연구에서는 폭로재령 30개월 시험체의 파괴조사 결과를 토대로 검토 및 분석하였다.

표 2. 콘크리트의 배합

W/C (%)	목 표 슬럼프 (cm)	s/a (%)	단 위 수 량 (kg/m ³)	단 위 중 량 (kg/m ³)		
				시멘트	잔골재	굵은골재
60	18±1	48	185	310	830	931

표 3. 사용재료의 물리적 성질

재 료	물리적 성질
시멘트	1종 보통포틀랜드시멘트 밀도: 3.15g/cm ³ , 분말도: 3,230cm ² /g
잔골재	인천산 바다모래 밀도: 2.57g/cm ³ , F.M.: 2.85
굵은골재	퇴촌산 부순골재, 최대치수: 20mm 밀도: 2.65g/cm ³ , F.M.: 6.50
철 근	D13 이형철근

2.2 폭로시험체 제작방법 및 배합

폭로시험체는 그림 1에 나타난 바와 같이 철근콘크리트시험체에 발포스티롤을 매입하여 단면 결손부위를 상정하였다.

또한, 콘크리트내의 매립철근의 경우 건전부위로서 콘크리트내에 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 상정한 철근 III으로 총 3본의 철근을 설치하였으며, 본 폭로시험체의 모체콘크리트의 배합은 표 2에 나타난 바와 같으며, 사용한 재료는 표 3에 나타난 바와 같다.

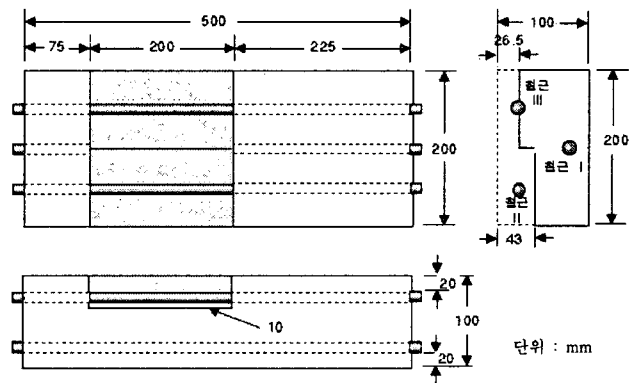


그림 1. 폭로시험체의 형상 및 치수

표 4. 보수재료·공법 시스템의 시공공정

보수공정 및 시공순서	보수재료·공법 시스템				
	A	B	C	D	E
1 바탕처리 및 철근 녹 제거	○	○	○	○	○
2 합 침 재 도 포		○	○	○	
3 철근 방 청 처 리	○	○	○	○	○
4 단 면 복 구	○	○	○	○	○
5 콘크리트 바탕조정	○				
6 표 면 피 복	○	○	○	○	○

2.3 보수재료·공법 시스템의 시공공정

본 폭로실험에 적용한 각 보수재료·공법의 보수공정은 각 회사의 제조·생산업체에 따라 표 4에서 보는바와 같이 일반화하여 정리할 수 있다.

2.4 폭로시험체의 평가방법

2.4.1 중성화 및 염화물이온 침투깊이

폭로재령 30개월에서 시험체의 철근면을 따라 UTM을 활용하여 할렬한 후, 측정방법으로서 중성화 깊이는 1% 페놀프탈레인 용액을 할렬면에 분무하여 적색으로 변색되지 않은 부위를 중성화침투깊이로 판단하여 측정하였으며, 염화물이온 침투

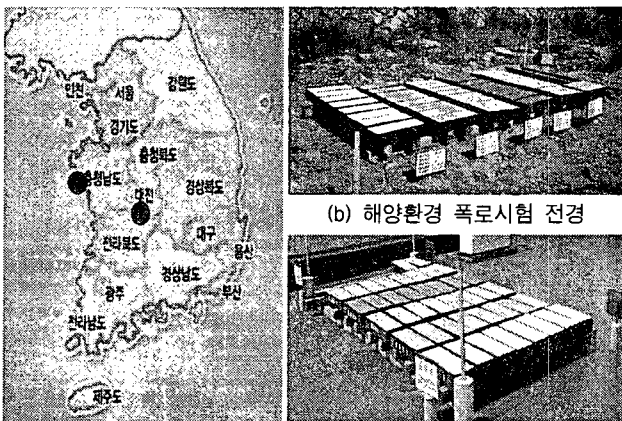


사진 1. 해양 및 일반대기환경의 폭로상황

폭로실험장소는 사진 1에 나타난 바와 같이 해양환경의 조건으로 연평균 -7.9~31.2℃와 습도 64.2~74.8%의 충청남도 태안군을 설정하였으며, 일반대기환경의 조건으로 연평균 온도 -7.7~32.1℃ 및 습도 57.4~84.3%의 본교 구조물 옥상을 설정하였다.

깊이는 0.1N AgNO₃ 용액을 시험체 할렬면에 분무하여 갈색으로 변색된 부위를 염화물이온 침투깊이로 측정하였다.

2.4.2 철근의 부식면적 및 부식속도

철근의 부식면적 측정방법은 시험체로부터 분리한 철근을 셀룰로지를 활용하여 표면의 부식면적을 스케치한 후 스캔을 실시하여 부식면적을 산정하였으며, 부식의 강도에 따라서는 구별하지 않았다. 철근의 부식속도는 철근을 먼저 10%구연산 암모늄 용액에 24시간 침지하여 철근의 부식을 제거한 후 철근의 초기질량과의 차로써 철근중량감소량을 구했으며, 다음 식 (1)을 활용하여 최종적으로 철근부식속도를 산출하였다.

$$C_p = \frac{W_r}{A_s \times T_p} \quad \text{식 (1)}$$

여기에
 서, C_p : 철근부식속도 (mg/cm²year)
 W_r : 철근 중량감소량 (mg)
 A_s : 철근 표면적 (cm²)
 T_p : 시험기간 (year)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 중성화 및 염화물이온 침투깊이

해양 및 일반대기환경 폭로 후 중성화 및 염화물이온 침투깊이 평가결과 해양 및 일반대기환경 모두 보수공법에 관계없이 5mm이하의 깊이로서 철근피복두께 20mm에 비해 현저히 낮게 나타나 중성화 및 염화물이온 침투는 철근의 부식요인이 될 가능성은 매우 낮을 것으로 판단된다. 그림 2는 보수공법에 따른 각 시험체의 보수부 및 모체콘크리트부(이하 모체부)의 평균 중성화 깊이를 나타낸 것으로서 공법에 관계없이 유사한 중성화 깊이를 나타내고 있으며, 보수부에 비해 모체부가 다소 큰 중성화 깊이를 나타내고 있다. 또한, 공법 D는 중성화 깊이가 나타나지 않고 있는데 이는 공법 D의 표면피복재가 다른 보수공법의 피복재에 비해 환경차단작용기능(차염, 차수작용)이 효과적이기 때문으로 판단된다. 한편, Plain의 경우 가장 큰 중성화 깊이를 나타내고 있는데, 이는 표면피복재의 유무에 따른 영향이 가장 클 것으로 판단된다.

그림 3은 보수공법에 따른 염화물이온 침투깊이를 나타낸 것으로서 일반대기환경의 모든 공법 시험체에서는 염화물이온 침투깊이가 나타나지 않았으며, 해양환경 시험체의 염화물이온 침투깊이는 중성화 깊이 시험결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 또한, 공법 D에 있어서도 염화물이온 침투깊이가 나타나지 않고 있으며, 이는 중성화 깊이에서 기술한 원인과 동일한 이유에서 나타난 결과로 판단된다.

3.3 철근의 부식특성

3.3.1 철근의 부식면적

표 5는 철근부식면적율을 산출하기 위해 측정한 철근의 사진과 철근부식면적의 일부분을 나타낸 것이며, 철근의 부식은

중성화 및 염화물이온의 침투가 철근의 피복두께 20mm에 비해 현저히 낮은 5mm이하로 나타나고 있어 폭로재령30개월까지는 중성화 및 염화물이온 침투를 철근의 부식요인으로 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 외부에 노출된 철근 양끝부분에 심한 부식이 발생하고 있어, 철근부식면적의 오차요인으로 작용하였다.

그림 4는 보수시공 상황을 상정한 철근의 위치에 따른 철근 부식면적율을 나타낸 것으로서 각 공법에 있어 총 4종류(초기 염화물 내재 유무, 철근방청처리 유·무)시험체의 철근별 부식면적율의 평균을 산출하여 나타내었다. Plain을 제외한 각 공법에 있어서 일반적으로 부식면적율은 철근Ⅲ>철근Ⅱ>철근Ⅰ의 순으로 나타났다. 이는 사진 2에 나타난 사례사진과 같이 철근의 단면을 손상시키는 부식이 대부분 보수부와 모체부의 경계에서 강하게 나타나는 것과, 기존 연구를 토대로서³⁾ 철근 부식은 모든 공법의 시험체에 있어서 경계부 균열에 의한 산소 및 수분의 침투 또한 고려할 수 있지만, 모체부의 콘크리트와 보수부의 단면복구재 사이에 발생하는 철근의 전위-pH도 차이 및 철근을 경계로 고르지 못한 성질이 존재하게 되어 발생하는 매크로셀 작용에 의한 부식이 가장 큰 요인으로 고려된다.

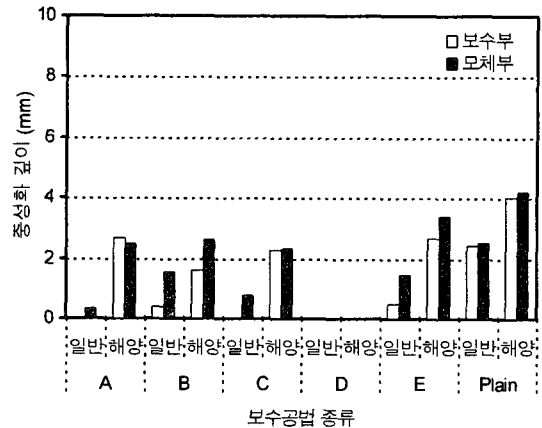


그림 2. 보수공법 종류에 따른 중성화 깊이

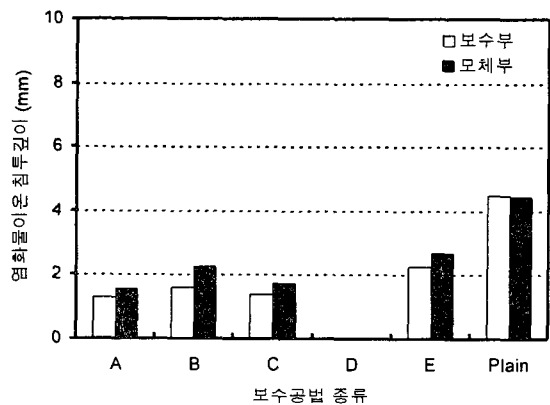


그림 3. 보수공법 종류에 따른 염화물이온 침투깊이(해양)

3.3.2 철근의 부식속도

그림 5는 해양 및 일반대기환경의 보수시공 상황을 고려한 철근위치에 따른 부식속도를 나타낸 것으로서 전반적으로 부

힘 데이터를 확보하여 검토 및 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

표 5. 철근사진 및 부식면적의 일부분 (공법 B)

구분	철근 위치	부식 면적율 (%)	철근의 사진 및 부식면적				
			모체부	경계부	보수부	경계부	모체부
일반 ^{주1)} , B ^{주2)} 무처리 ^{주3)} , 0kg/m ³ ^{주4)}	I	17.08					
해안 ^{주1)} , B ^{주2)} 무처리 ^{주3)} , 2.4kg/m ³ ^{주4)}	I	29.13					

주1) 폭로환경, 주2) 보수공법·재료, 주3) 철근방청처리 유·무, 주4) 초기 내재 염화물량

식속도는 0.03~0.19mg/cm²year의 다소 낮은 범위로 나타나고 있으며, 공법종류에 따라서는 공법 A, B가 다른 공법에 비해 다소 높은 부식속도를 나타내고 있다. 또한, 철근의 위치에 따라서는 철근부식면적의 분석결과와 동일하게 철근Ⅲ > 철근Ⅱ > 철근Ⅰ의 순으로 철근부식속도가 나타났다.

또한, 모든 공법에 있어서 해양환경 시험체가 일반대기환경 시험체에 비해 미미하게 높은 부식속도를 나타내고 있다. 또한, 기존 문헌을 참고하여 D13 철근에서 피복두께가 4cm인 경우 균열이 발생하는 시점을 약 5~10mg/cm²으로 가정할 때 공법 A, B의 철근Ⅱ,Ⅲ의 경우 34~69년에서 균열이 발생되

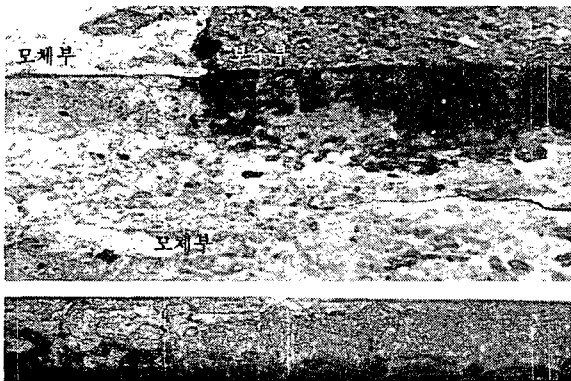


사진 2. 공법 C의 사례 (모체부, 보수부 및 경계부)

는 것으로 산출되며, 공법 C, D, E의 철근Ⅱ,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, 중성화 및 염화물이온이 철근위치까지 침투하지 않고 있어, 폭로재령이 증가함에 따라 균열발생 예측시점은 감소될 것으로 사료된다.

4. 결론

해양 및 일반대기환경의 폭로실험에 의한 정량적인 폭로실

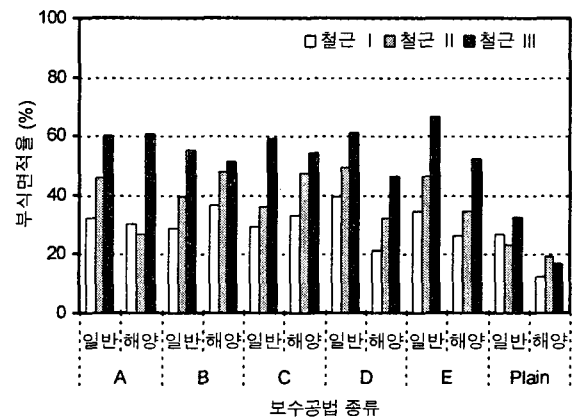


그림 4. 철근의 부식면적율

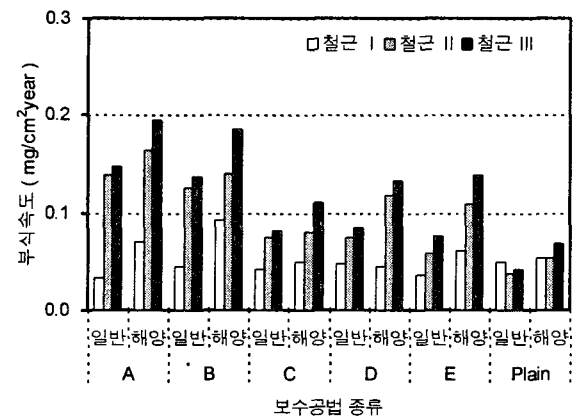


그림 5. 철근의 부식속도

- 1) 중성화 및 염화물이온 침투깊이는 공법에 관계없이 5mm 이하로 나타나 철근의 피복두께(20mm)를 고려할 때, 폭로재령 30개월에 있어서 중성화 및 염화물이온 침투에 의한 철근의 부식은 고려하기 힘들것으로 판단된다.
- 2) 철근의 위치에 따른 부식면적은 철근Ⅲ > 철근Ⅱ > 철근Ⅰ

로 나타났으며, 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.

- 3) 부식속도에 있어서는 공법에 관계없이 $0.2\text{mg}/\text{cm}^2\text{year}$ 이하로 나타나고 있으며, 폭로재령 30개월까지는 심각한 차이는 발생되지 않고 있으나, 일부 보수공법의 경우 미미하게 높은 부식속도를 나타내고 있으며, 기존연구에서 제시한 육안관찰결과와 다소 유사한 경향을 나타내고 있다.
- 4) 향후 폭로시험체의 지속적인 성능평가에 의해 정량적인 폭로실험 데이터를 확보함으로써 보수공법의 성능평가방법 및 품질관리기준 확립을 위한 기초자료를 제시할 수 있을것으로 판단된다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 염해 및 중성화 피해를 입은 콘크리트구조물의 내구성 회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안, 건설기술연구개발사업 연차보고서, 2003. 4
2. 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. 補修工法の補修効果評價試験(案), 1997, pp. 203~216
3. 이종득, 철근부식진단, 2001. 11, pp. 1~12