

# 장기폭로실험에 의한 철근콘크리트 보수재료공법 시스템의 열화특성 평가에 관한 연구

## A Study on the Evaluation of Deterioration Properties of Reinforced Concrete Applied Repair Material and Method System by Long Term Exposure Experiment

최형길\*    신관수\*    신승봉\*    나철성\*\*    김규용\*\*\*    김무한\*\*\*\*  
 Choi, Hyeong-Gil    Shin, Kwan-Soo    Shin, Seung-Bong    Na, Chul-Sung    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 54 months of exposure age under the coastal and normal atmosphere environment, Micro crack, swelling and spalling of surface coating material, crack of repair boundary parts and the great potential difference between repair part and non-repair part were somewhat generated.

And the result shown that exposure specimen of coastal environment had lower electrode potential than exposure specimen of normal atmosphere environment.

키워드 : 보수재료-공법 시스템, 장기폭로실험, 외관등급, 철근자연전위

Keywords : Repair material and method system, Long term exposure experiment, External grade, Reinforcing Electrode Potential

## 1. 서론

최근 국내에서는 염해 및 중성화 등의 성능 저하 요인에 의한 철근콘크리트 구조물의 내구성 저하 현상이 사회적인 문제가 되어 이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 보수재료 및 공법이 개발되어 적용되고 있다.

그러나 보수재료 및 공법의 선정에 필요한 규격과 표준 등이 명확하게 확립되고 있지 않는 상황에서 환경조건과 시공조건 등을 고려하지 않은 천편일률적인 보수시공으로 인해 재열화현상이 유발되는 경우도 있다.

본 연구에서는 국내의 보수재료·공법의 성능 평가 방법 및 품질관리 기준의 확립에 필요한 기초 자료를 얻기 위해 우리나라에서 폭넓게 적용되고 있는 5개사의 보수 공법 시스템을 적용한 폭로 시험체를 제작하고, 54개월간 해안 및 일반 대기환경 하에서 폭로시킨 후, 외관등급평가 및 철근의 자연 전위 등을 정량적으로 검토·분석하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 폭로실험 계획

본 연구의 실험 요인 및 수준은 표 1에 나타낸 것처럼 W/C 60%의 폭로 시험체를 제작하고, 해안 및 일반대기환경에서 54개월간 폭로시킨 후, 외관등급평가, 사진촬영 및 철근의 자연 전위 등을 측정하였다.

### 2.2 콘크리트의 배합 및 사용재료

모체 콘크리트의 배합 및 사용재료의 물리적 성질은 표 2 및 3에 나타낸 바와 같다. 철근은 D13mm의 이형철근을 사용하였으며, 콘크리트의 염화물 혼입량을 조절하기 위해 순도99%의 NaCl을 사용하였다.

표 1. 실험계획

W/C	요인	수준	측정항목
0.60	폭로환경	해안 및 반대기환경	- 외관 관찰(외관 등급평가, 사진)
	보수공법의 종류	5 종류	
	염화물혼입량	0.0, 2.4kg/m <sup>3</sup>	- 철근의 자연전위 측정
	방청제 처리	처리, 무처리	

표 2. 콘크리트의 배합

W/C	슬럼프 (cm)	S/a (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )		
				시멘트	잔골재	굵은골재
0.60	18 ± 1	48	186	310	830	931

\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

\*\* 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\*\* 충남대학교 건축공학과, 조교수·공학박사

\*\*\*\* 충남대학교 건축공학과, 교수·공학박사

표 3. 사용재료의 물리적 성질

사용재료	물리적 성질
시멘트	보통포틀랜드 시멘트(밀도: 3.15g/cm <sup>3</sup> )
잔골재	해사 (입경: 5mm, 밀도: 2.57g/cm <sup>3</sup> , F.M.: 2.85)
굵은골재	쇄석 (입경: 20mm, 밀도: 2.65g/cm <sup>3</sup> , F.M.: 6.50)
철근	D13 이형철근
NaCl	순도 99%

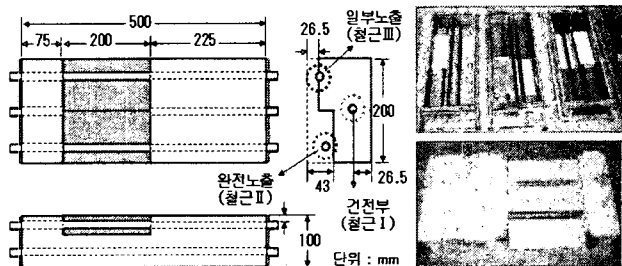


그림 1. 시험체의 개요 및 치수 사진 1. 시험체의 형상

표 4. 보수공법 시스템의 보수공정

보수공정	보수공법의 종류				
	A	B	C	D	E
1. 녹제거 및 바탕처리	○	○	○	○	○
2. 합침재의 도포	○	○	○	○	○
3. 철근의 방청처리	○	○	○	○	○
4. 단면복구	○	○	○	○	○
5. 바탕조정	○				
6. 표면피복처리	○	○	○	○	○

주) ○ : 적용된 보수공정

### 2.3 폭로시험체의 제작 및 보수공법시스템의 시공방법

폭로 시험체의 형상 및 치수는 그림 1 및 사진 1에 나타난 바와 같이 보수 부위는 발포 스티롤을 매설하고 단면 결손 부위를 설정하였다. 또한 콘크리트 내에 매설된 철근은 건전부위로서 완전히 매입된 철근 I, 철근전체가 노출된 철근 II 및 철근의 일부가 노출된 철근 III로 설정하였으며 보수 공법 시스템의 보수 공정 개요는 표 4에 나타난 바와 같다.

### 2.4 폭로 상황 및 평가항목

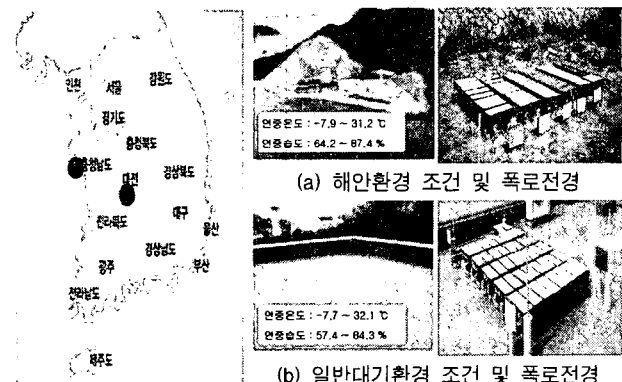


그림 2. 폭로시험장 위치 사진 2. 폭로시험장 위치 및 전경

본 연구의 폭로시험장은 그림 2 및 사진 2에 나타난 바와 같이 해안환경 폭로시험장의 경우 해안으로부터 100m 정도 떨어져 지고 비래 염분의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 곳을 선

정하였으며, 일반대기환경 폭로시험장은 내륙에 위치한 충남대학교 건물의 옥상으로 설정하였다.

폭로 시험체의 평가는 재령 54개월까지 폭로 전, 폭로 중, 폭로 후로 구분하여 평가하였으며, 폭로중의 각 성능평가항목에 대한 평가등급은 기존의 연구를 참고하여 표 5에 나타난 바와 같이 구분하였다. 또한 그림 3에 나타난 측정 방법에 준하여 철근의 자연전위를 비교평가하고 표면 피복재 및 단면복구재에 대하여 외관관찰에 의한 등급평가를 실시하였다.

표 5. 측정항목의 평가등급

측정항목	평가등급			
	1	2	3	4
표면	백화	인지안됨	약간보임	잘보임
	오염	완전제거 가능	약간잔류	잔류
	부품음	직경 3mm 이하	직경 3 ~ 10mm	직경 10 ~ 50mm
	균열	없음	전체면적의 5%	전체면적의 5 ~ 20%
콘크리트 단면	균열	0.2mm 이하	0.2 ~ 0.5mm	0.5 ~ 1.0mm
	박락	직경 3mm 이하	직경 3 ~ 10mm	직경 10 ~ 50mm
복구재	균열	5cm <sup>2</sup> 이하	5 ~ 25cm <sup>2</sup>	25 ~ 100cm <sup>2</sup>
	박락	5cm <sup>2</sup> 이하	5 ~ 25cm <sup>2</sup>	25 ~ 100cm <sup>2</sup>
철근	녹유출	인지안됨	약간보임	잘보임
현저함	현저함	현저하게 잔류	직경 50mm 이상	전체면적의 20% 이상

참고 : 일본콘크리트공학회, 콘크리트 구조물의 보수 공법 연구 위원회(III), 1996

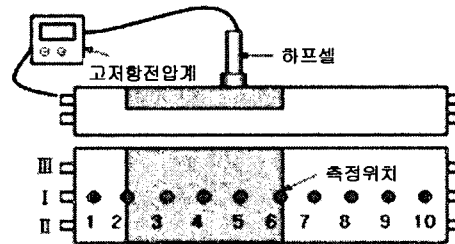


그림 3. 철근의 자연전위 측정방법의 개요

### 3. 실험 결과의 검토 및 분석

#### 3.1 폭로전의 초기 평가 결과 검토 및 분석

폭로전 보수재료의 재령별 압축강도, 휨강도 및 부착강도를 평가한 결과 표 6에 나타난 것과 같이 모든 보수재료에 있어 KS F 4042 「콘크리트 보수용 폴리머 시멘트 모르타르」의 품질 기준치를 만족 하였다.

#### 3.2 폭로중의 정기 평가 결과 검토 및 분석

##### 3.2.1 외관 관찰에 의한 성능 평가 결과

해안 및 일반대기환경에서 폭로 중 시험체의 외관 관찰 결과 제조사별 보수공법 시스템에 관계없이 폭로 재령 54개월 까지 사진 3에 나타난 바와 같은 일부 보수공법 시스템에 있어 표면 피복재의 미세균열, 부품음, 박리 및 단면복구재의 균열이 다소 발생했지만 철근이 녹스는 등의 급격한 성능 저하 현상은 보이지 않았다.

표 6. 압축강도, 휨강도 및 부착강도의 측정결과

보수공법 시스템	압축강도 (MPa)			휨강도 (MPa)			부착강도 (MPa)		
	재령 (일)			재령 (일)			재령 (일)		
	7	14	28	7	14	28	7	14	28
A	18.1	39.8	43.2	9.3	9.9	12.0	3.1	2.9	3.5
B	25.6	60.5	58.9	8.2	7.1	9.5	1.0	1.9	1.7
C	41.1	43.8	49.7	6.9	9.0	9.9	2.3	2.4	2.4
D	52.3	56.8	58.3	12.1	13.6	14.1	3.4	3.5	3.7
E	34.7	41.2	43.8	7.3	7.9	9.3	1.6	1.9	2.0

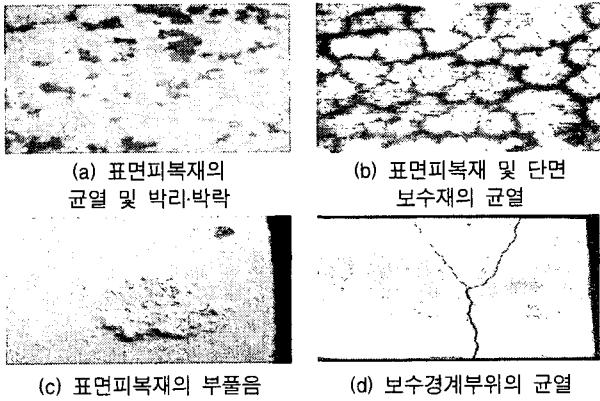


사진 3. 폭로시험체의 성능저하 현상

폭로중 재령에 따른 표면 피복재의 외관관찰 등급 평가 결과는 그림 4에 나타낸 바와 같다. 보수 공법 D, E의 경우 폭로 재령 54개월까지 표면 피복재의 미세균열은 보이지 않았으나 보수공법 A는 해안환경 시험체의 경우 6개월부터 4등급으로 평가되었으며 일반대기환경에서 폭로시킨 시험체는 30개월부터 4등급으로 평가되었다. 또한 보수공법 B의 경우 해안 및 일반대기환경에서 6개월부터 3등급으로 평가되었으며 보수공법 C의 경우 해안환경에서 18개월, 일반대기환경에서는 30개월부터 2등급으로 평가되었다.

일반적으로 일반대기환경보다 해안환경에서 표면피복재의 성능저하현상이 다소 관찰되었으나 현저한 경향은 보이지 않았다. 그림 5는 폭로 재령 54개월에서의 보수공법의 종류에 따

른 표면피복재의 각종열화 등급을 나타낸 것으로 보수공법 A, C의 경우에는 백화, 오염, 박리 등의 성능저하현상이 현저하게 나타났다.

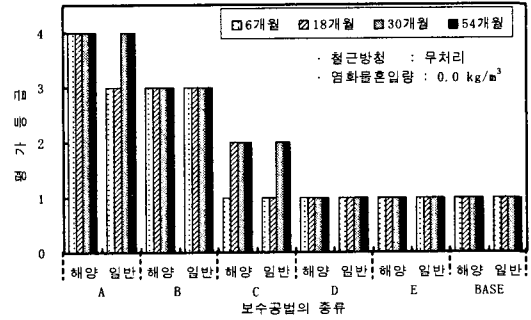


그림 4. 폭로재령에 의한 표면피복재의 균열 등급 평가

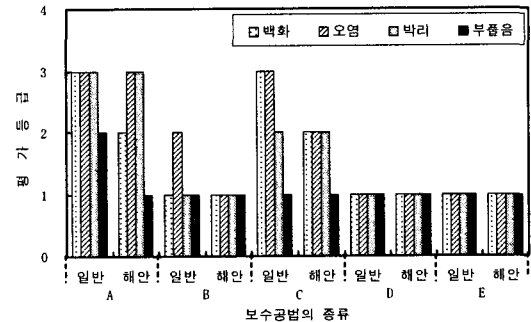


그림 5. 보수공법의 종류에 따른 표면피복재의 각종열화등급(54개월)

### 3.2.2 자연전위에 의한 성능 평가 결과

그림 6은 보수공법의 종류에 따른 자연전위 측정 결과를 나타낸 것으로 폭로 재령 24개월에 비해 54개월의 경우가 자연전위값이 전반적으로 낮게 평가 되었다. 보수공법의 종류에 있어서는 보수공법 A, D의 경우가 다소 낮게 나타났지만 모든 시험체의 자연전위값이 -350mV 이상으로 나타나 ASTM의 기준에 의해 철근의 부식 발생 확률은 거의 없는 것으로 판단되었

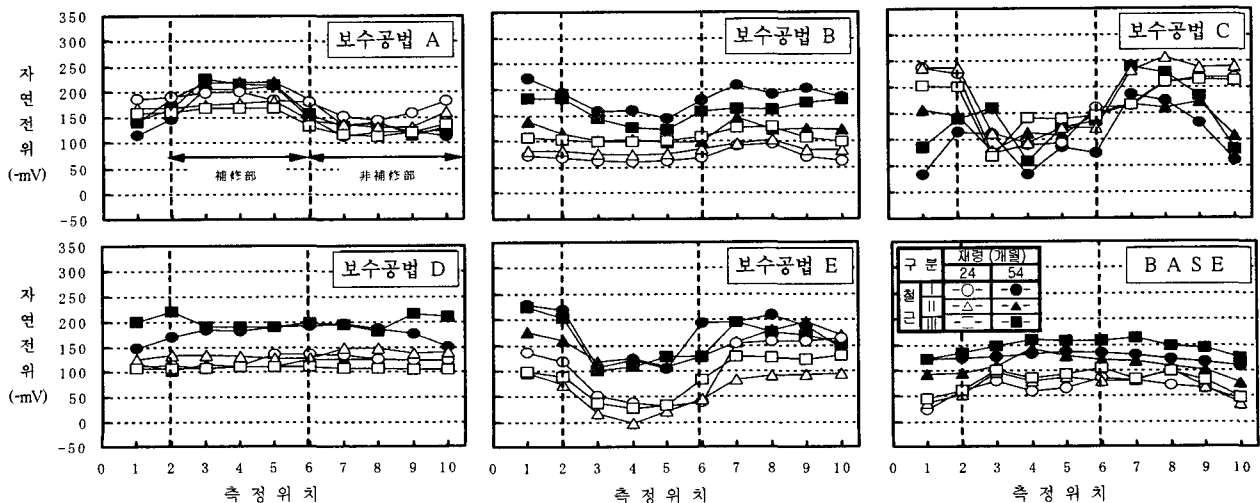


그림 6. 보수공법 종류에 의한 철근의 자연전위 측정결과(일반대기환경, 방청처리無, 염화물혼입량 0.0kg/m<sup>3</sup>)

다. 한편 동질의 콘크리트로 구성되어 있는 Base와 D시험체를 제외한 대부분의 시험체에서 콘크리트의 비보수부와 각각 단면복구재의 보수부 사이에 철근의 자연전위값의 차이가 발생 하는 것으로 나타났다.

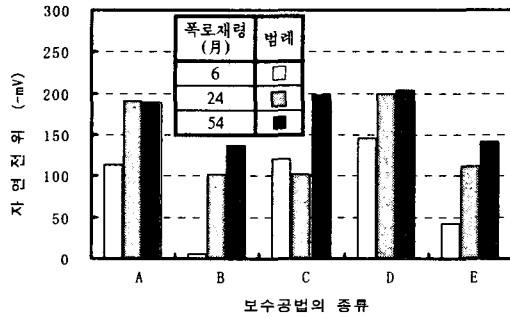


그림 7. 폭로재령에 의한 보수부의 자연전위 (일반대기환경, 방청처리 有, 염화물혼입량 0.0kg/m³)

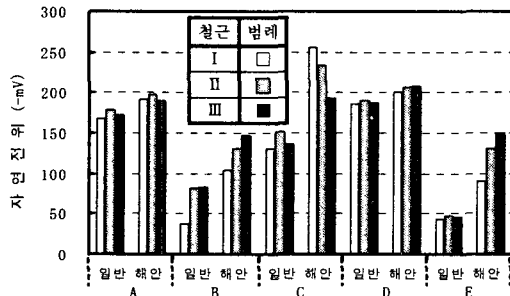


그림 8. 폭로환경에 의한 자연전위 (54개월, 방청처리 無, 염화물혼입량 2.4kg/m³)

그림 7은 폭로 재령에 의한 보수부의 자연전위의 평균값을 나타낸 것으로 보수공법의 종류에 의한 자연전위값은 보수공법 B 및 E의 경우가 다른 보수 공법과 비교하여 높게 평가 되었다. 또한 폭로재령의 경과와 함께 자연전위값은 전반적으로 다소 낮아지는 경향을 보이고 있다.

그림 8은 폭로환경에 의한 철근 I, II, III 자연전위의 평균값을 나타낸 것으로 전반적으로 해안 환경에서 폭로된 시험체가 일반대기환경의 시험체보다 자연전위치가 다소 낮게 나타났다. 염화물혼입량에 의한 철근의 자연전위는 그림 9에 나타낸 바와 같이 표면균열과 박리현상이 현저하게 발생한 A공법을 제외하면 염화물이 2.4kg/m³ 혼입된 시험체가 염화물을 넣지 않는 시험체보다 자연전위값이 낮게 나타났다.

그림 10은 방청처리 유무에 의한 보수부의 자연전위 측정결과를 나타낸 것으로 전반적으로 방청처리를 실시한 시험체에 있어 상대적으로 자연전위값이 높게 평가되어 보수성능의 효과를 분명히 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

장기폭로환경하에서 보수공법시스템의 종류에 따른 철근콘크리트의 열화특성 및 철근의 자연전위를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

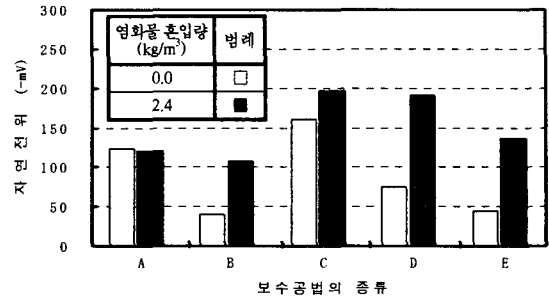


그림 9. 염화물 혼입량에 의한 자연전위 (철근III, 54개월, 일반대기환경, 방청처리 無)

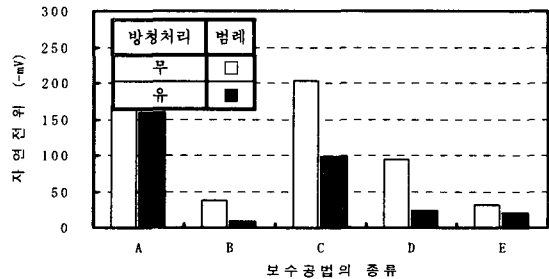


그림 10. 방청처리 유무에 의한 보수부의 자연전위 (54개월, 일반대기환경, 염화물혼입량 0.0kg/m³)

- 1) 각각의 품질기준에 맞는 보수재료를 사용하여 보수공법 시스템을 적용하고 해안 및 일반대기환경에서 54개월간 폭로실험을 실시한 후 외관 등급 및 자연전위값을 평가한 결과 보수공법 시스템의 종류별로 다양한 보수 성능의 저하 현상이 나타났다.
- 2) 일반대기환경과 비교하여 해안환경의 경우가 보수재료의 성능저하에 미치는 영향이 상대적으로 크게 나타나 보수공법 시스템 적용시 구조물이 위치한 환경 조건을 고려하고 보수시공을 해야 할 것으로 사료된다.
- 3) 콘크리트의 비보수부와 각각의 단면복구재의 보수부 사이에 철근자연전위값의 차이가 보였으며 이질적인 보수재료로 보수, 시공된 콘크리트 구조물의 보수 경계면으로의 자연전위차가 나타났다.
- 4) 장기폭로실험에 의하여 보수공법시스템이 적용된 철근콘크리트의 시험체에 대한 외관등급 및 철근의 자연전위 등을 정량적으로 평가·분석하고 보수재료·공법의 성능평가 방법 및 품질관리 기준의 확립에 필요한 기초 자료가 될 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

1. 염해 및 중성화 피해를 입은 콘크리트구조물의 내구성 회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안, 건설기술연구개발사업 연차보고서, 2004. 4
2. 김무한 외, 내구성을 고려한 표면 피복재의 성능 평가에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 추계학술 발표대회 논문집, 2003. 10, pp. 467~470
3. 日本建築学会, 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