

# 아초산계 방청제 도포에 의한 철근 부식 보수 시스템 공법 개발

## The Development of Repair System for RC Members with Damaged by Rebar Corrosion Using Inhibitor with High Nitrite Content

이 한 승\*    나 정 일\*\*    박 순 만\*\*\*  
Lee, Han Seung    Na, Jung Il    Park, Sun Man

### ABSTRACT

The purpose of this study is to develop the repair system for RC members with damaged by rebar corrosion using new corrosion inhibitor which was high nitrite content. In the experiments, the acceleration corrosion test of rebar was conducted using the specimen which was applied by various repair system. As a result, it was confirmed that the new repair system without concrete patching had high anti-corrosion property compared with other repair systems and was very effective as a spray type corrosion inhibitor in concrete containing chloride (0.1% of NaCl).

### 1. 서 론

RC구조물의 중성화 및 염해에 의하여 철근이 부식한 경우, 보수 설계 전에 중성화 깊이 및 염소이온 농도를 정확히 파악하는 것이 중요하며, 철근부식 보수효과를 높이기 위해서는 정확한 진단을 통하여 열화원인에 따른 열화정도를 고려한 적절한 보수 시스템 공법이 필요하다<sup>1)</sup>. 일반적으로 철근이 부식한 경우는 부식된 철근까지 콘크리트를 걷어내고 콘크리트 표면에 방청제 함침, 철근 부식부 방청처리, 단면 수복제에 의한 단면수복 공정을 실시하는 것이 일반적이다<sup>2)</sup>. 그러나, 철근부식 현상은 없으나 중성화가 철근위치까지 진전되었고 해사 사용 및 비래 염분에 의하여 콘크리트 내부에 염소이온이 규정치 이상 함유되어 있는 경우, 철근위치까지 오염된 콘크리트 표면을 전부 걷어내는 보수공법은 막대한 경비가 들기 때문에 철근 위치까지 알카리 회복제 또는 방청제를 도포 침투시켜 철근주위에 방청환경을 조성하는 것이 유효하다고 판단된다<sup>3)</sup>. 특히, 기존 철근콘크리트 구조물의 철근부식 발생 현황을 조사한 결과에 의하면, 철근부식은 피복두께가 부족한 경우에 많이 발생하기 때문에<sup>4)</sup> 도포형 알카리 회복제 또는 방청제는 피복두께가 얇은 철근 방청효과에 매우 유효하다고 판단된다.

본 연구에서는 이와 같은 관점에서 새롭게 개발한 아초산계 방청 복합 알카리 회복제, 방청 모르터 및 방청 단면수복제를 이용하여 도포형 방청 복합 알카리 회복제에 의한 철근 부식 억제 효과, 철근 부식에 의하여 콘크리트가 탈락한 부분의 단면수복에 의한 철근 부식 보수 효과, 보수부와 콘크리트 경계부의 부식발생 현상을 실험적으로 파악하였다.

\* 정회원 한양대학교 초대형구조 시스템 연구센터 연구 조교수, 공박

\*\* 정회원 (주) 상영 엔지니어링, 기술 이사

\*\*\* 정회원 (주) 양지 엔지니어링, 대표 이사

## 2. 도포형 아초산계 방청제의 방청 메카니즘

일반적으로, 콘크리트 중의 철근은 높은 알칼리성 때문에 철근표면에 부동태 피막이 형성되어 철근부식을 방지한다. 이 부동태 피막( $Fe_2O_3$ )은 알칼리성의 환경 하에서는 강한 결합으로 안정하지만, 중성화나 염화물 이온 존재 하에서는 불안정하게 되어 용해한다. 그러나, 아초산염 중의 아초산 이온( $NO_2^-$ )이 철근 부식에 의하여 발생한 제일철 이온( $Fe^{2+}$ )과 반응함으로써 아노드부에서  $Fe^{2+}$ 의 이동이 저해되어  $Fe_2O_3$ 로서 철 표면에 침전하고 부동태 피막을 형성하므로 그 결과 철근 부식반응이 억제된다. 그 반응은 그림 1 및 식 (1)과 같다.

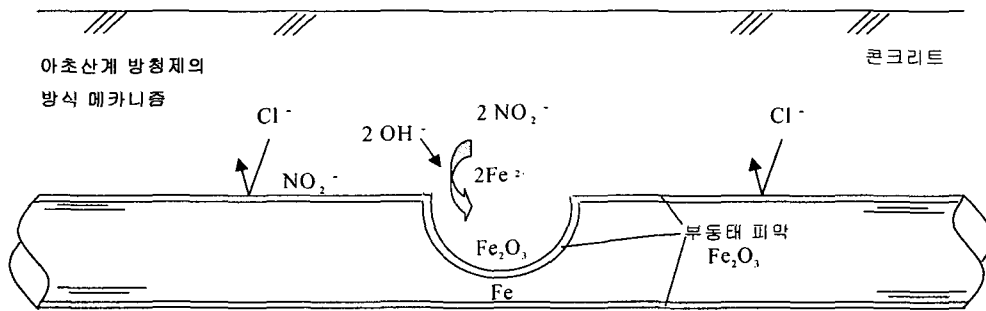
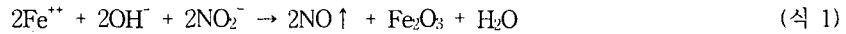


그림 1 아초산계 방청제의 방청 메카니즘<sup>5)</sup>

한편, 철근의 부동태 피막 파괴 및 재생은 염화물 이온과 아초산 이온의 경합관계에 지배되며, 콘크리트중의 몰비( $NO_2^-/Cl^-$ )가 0.8이상이면 충분한 방청효과를 나타낸다. 따라서, 방청 복합 알칼리 회복제 내의  $NO_2^-$ 는 철근부식 억제반응을 신속하게 진행시키고  $Fe_2O_3$ 피막 조성에 의해 아노드부를 폐쇄시키며 이에 따라  $NO_2^-$ 의 소비는 정지시킨다. 또한,  $NO_2^-$ 는 금속철, 제2철이온( $Fe^{3+}$ ) 및 산화제2철( $Fe_2O_3$ )과는 반응하지 않고 산화제1철( $FeO$ ) 및 제일철이온( $Fe^{2+}$ )하고만 반응하여 산화질소 및 철의 표면에 침착한 수산화제2철( $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ )을 생성하고 부식영역에서의  $Fe^{2+}$ 의 유출보다도  $NO_2^-$ 에 의한  $Fe^{2+}$ 의 산화의 쪽이 빨라  $Fe^{2+}$ 의 산화를 통하여 아노드부에서의  $Fe^{2+}$ 의 유출을 막는 것이 가능하여 철 표면의 부동태화를 신속히 완성시켜 철근의 부식을 억제하게 된다.

## 3. 실험 개요

표 1에 방청제를 이용한 철근 부식 보수 시스템 공법의 실험계획 및 실험 결과를 나타낸다. 실험에 서는 신 공법인 철근 부식 보수 시스템 공법과 E사(국내), R사(일본), S사(미국)의 공법을 함께 실험 하여 철근 방식성능 차이를 파악하였다. 또한, 철근부식 촉진을 위하여 콘크리트내에는 모래 절건 중 량의 0.0%, 0.04%, 0.1%, 0.3%로 NaCl을 첨가하였다. 표 2에는 콘크리트의 배합표 및 압축강도 시험 결과를 나타낸다. 또한, 그림 2에 실험체의 형상을 나타낸다. 시험체는 100x80x400mm로서 철근 부식에 의한 콘크리트 보수부를 상정한 충전보수부를 설치하였으며, 직경 10mm의 원형철근을 피복두께가 10mm가 되도록 2개 배근 하였다. 충전 보수부는 각 보수 시스템 공법에 맞추어 시공하였으며 도포 보수부에는 방청제를 함침 시킨 후 표면 피복제를 시공하고 탄성 마감도재로 마감하였다. 보수 시스템을 시공한 실험체는 6면 중 5면(보수 시스템 시공 부위 제외)을 에폭시 수지로 밀봉하였다. 준

비된 시험체는 온도 80℃, RH=95%에서 1일, 온도 80℃, RH=40%에서 1일 총 2일을 1Cycle로 하여 15Cycle 부식 촉진 시험을 실시하였다. 그림 3에는 철근 부식 면적을 측정위치를 나타낸다. 부식촉진 시험후 철근을 콘크리트 내에서 꺼낸 뒤 전체의 철근 부식부분을 스케치 한 후 스캐닝하고 (1) 도포 보수부 (2) 경계부 (3) 충전 보수부 (4) 경계부로 철근의 부식 면적율을 화상 처리기로 산출하였다.

표 1 철근 부식 보수 시스템 공법의 실험계획 및 실험 결과

| 번호 | 기호   | 공법명                        | NaCl 함유량 | 부식 면적율(%)  |         |           |         |
|----|------|----------------------------|----------|------------|---------|-----------|---------|
|    |      |                            |          | 도포 보수부 (1) | 경계부 (2) | 충진 보수부(3) | 경계부 (4) |
| 1  | 12-1 | E사<br>(국내)                 | 0.0%     | 2.3        | 7.8     | 0.0       | 40.0    |
| 2  | 12-2 |                            | 0.0%     | 3.7        | 8.4     | 0.0       | 28.5    |
| 3  | 14-1 |                            | 0.04%    | 14.1       | 30.5    | 0.0       | 47.4    |
| 4  | 14-2 |                            | 0.04%    | 11.6       | 46.8    | 0.0       | 42.3    |
| 5  | 16-1 | 도포량<br>400g/m <sup>2</sup> | 0.1%     | 29.2       | 20.8    | 0.0       | 32.5    |
| 6  | 16-2 |                            | 0.1%     | 23.8       | 19.9    | 0.0       | 36.8    |
| 7  | 18-1 |                            | 0.3%     | 94.1       | 44.1    | 0.0       | 44.1    |
| 8  | 18-2 |                            | 0.3%     | 98.3       | 46.8    | 0.0       | 44.4    |
| 9  | 22-1 | R사<br>(일본)                 | 0.0%     | 0.0        | 9.4     | 2.3       | 0.0     |
| 10 | 22-2 |                            | 0.0%     | 0.0        | 0.0     | 0.0       | 0.0     |
| 11 | 24-1 |                            | 0.04%    | 0.0        | 13.8    | 0.0       | 28.1    |
| 12 | 24-2 |                            | 0.04%    | 7.9        | 27.3    | 0.0       | 0.0     |
| 13 | 26-1 | 도포량<br>400g/m <sup>2</sup> | 0.1%     | 19.0       | 12.7    | 0.0       | 13.9    |
| 14 | 26-2 |                            | 0.1%     | 18.7       | 10.4    | 0.0       | 17.9    |
| 15 | 28-1 |                            | 0.3%     | 91.7       | 40.7    | 0.0       | 47.8    |
| 16 | 28-2 |                            | 0.3%     | 83.5       | 39.3    | 1.7       | 42.6    |
| 17 | 32-1 | 개발 공법                      | 0.0%     | 1.3        | 3.3     | 0.0       | 0.0     |
| 18 | 32-2 |                            | 0.0%     | 1.1        | 0.0     | 0.0       | 0.0     |
| 19 | 34-1 |                            | 0.04%    | 0.0        | 14.2    | 0.0       | 9.6     |
| 20 | 34-2 |                            | 0.04%    | 1.1        | 9.8     | 0.0       | 12.3    |
| 21 | 36-1 | 도포량<br>800g/m <sup>2</sup> | 0.1%     | 3.5        | 3.1     | 0.0       | 10.8    |
| 22 | 36-2 |                            | 0.1%     | 3.5        | 8.2     | 0.0       | 27.1    |
| 23 | 38-1 |                            | 0.3%     | 25.0       | 27.0    | 0.0       | 31.0    |
| 24 | 38-2 |                            | 0.3%     | 22.0       | 23.0    | 2.6       | 30.1    |
| 25 | 42-1 | S사<br>(미국)                 | 0.0%     | 3.2        | 28.2    | 1.1       | 44.0    |
| 26 | 42-2 |                            | 0.0%     | 0.0        | 3.5     | 0.0       | 36.7    |
| 27 | 44-1 |                            | 0.04%    | 16.6       | 76.1    | 26.0      | 51.9    |
| 28 | 44-2 |                            | 0.04%    | 11.8       | 47.8    | 16.7      | 47.2    |
| 29 | 46-1 | 도포량<br>400g/m <sup>2</sup> | 0.1%     | 79.1       | 38.7    | 1.3       | 71.4    |
| 30 | 46-2 |                            | 0.1%     | 80.8       | 56.5    | 7.9       | 69.1    |
| 31 | 48-1 |                            | 0.3%     | 89.2       | 27.7    | 0.0       | 53.9    |
| 32 | 48-2 |                            | 0.3%     | 98.6       | 55.8    | 0.0       | 61.0    |

표 2 콘크리트 배합표 및 압축강도 시험결과

| W/C (%) | s/a (%) | Slump (cm) | Air (%) | 단위 용적 중량 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |      | 28일 압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------|------------|---------|-------------------------------|-----|-----|-----|------|---------------------------------|
|         |         |            |         | W                             | C   | S   | G   | AD   |                                 |
| 65      | 49.0    | 15.0       | 5.0     | 176                           | 288 | 925 | 903 | 0.72 | 210                             |

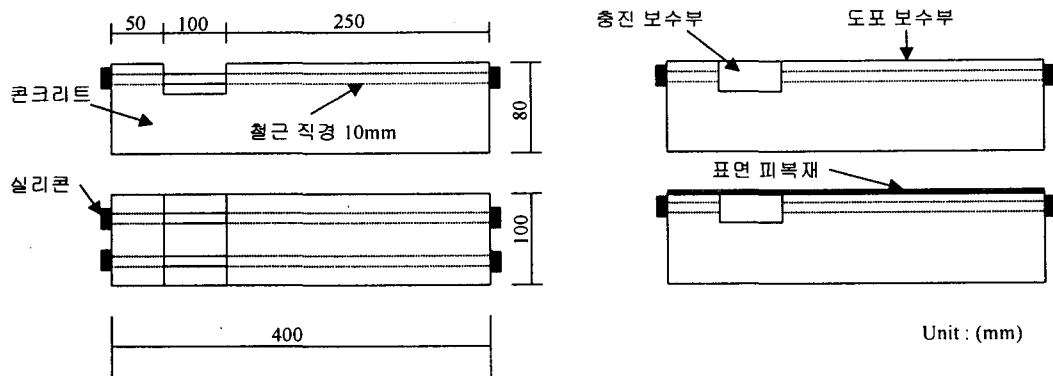


그림 2 실험체의 형상 및 크기

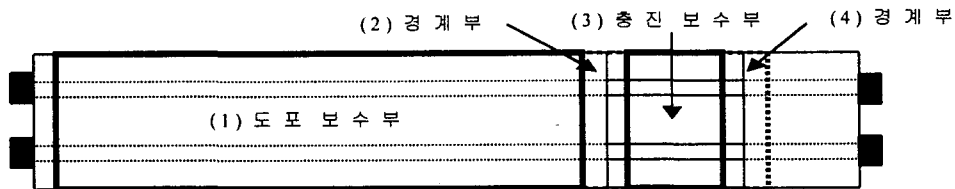


그림 3 철근 부식 면적율 측정 위치

#### 4. 실험 결과 및 분석고찰

그림 4 ~ 그림 7에 철근 부식 보수 시스템 공법 별 부식 면적율을 (1) 도포 보수부 (2) 경계부 (3) 충전 보수부 (4) 경계부 별로 나타낸다. 도포 보수부에 있어서는 염분이 혼입된 시험체의 경우 대부분 부식이 발생되고 있으나 본 공법의 경우 염분 함유량 0.1% 까지는 거의 부식이 없고 다른 공법보다 1/5 ~ 1/25의 적은 부식면적율을 보이고 있어 방청 복합 알카리 회복제 도포에 의한 철근 방청 성능이 매우 우수한 것으로 나타나 콘크리트에 0.1% 정도의 염분이 함유되어 있는 경우 콘크리트를 제거하지 않고 간단하게 철근 부식 억제를 할 수 있는 것이 실험적으로 확인되었다. 그러나, 염분이 0.3% 함유된 경우, 다른 공법과 비교하여 신공법은 철근 부식 억제효과는 매우 우수하나 철근 부식을 완전히 억제하는 것은 어렵기 때문에 금후 고농도 염분을 함유한 콘크리트의 방청공법에 대한 연구가 시스템적으로 이루어져야 한다고 판단된다. 한편 도포 보수부와 충전 보수부 경계부에서 일부 철근 부식이 발생하였으나 이는 염분을 혼입한 시험체 양생시에 경계부에서 발생한 것으로 판단되며, 경계부 방청성능은 본 공법의 경우가 가장 크게 나타났다. 충전보수부에 있어서는 단면 수복재에 염분이 없고, 철근에 방청제를 도포하므로 철근 부식은 거의 나타나지 않았으나 S사의 경우 방청 모르터 및 단면수복재가 시스템 적으로 갖추어지지 않아 다른 공법보다 약간의 철근 부식이 발생하였다. 그림 8~그림 11에 보수 부위별 각 공법의 철근 부식 면적율을 나타낸다. 전체적으로 충전 보수부에는 철근부식이 발생되지 않았으나 도포 보수부에는 본 공법을 제외한 다른 공법에서는 철근부식이 발생하였다. 또한, 경계부에서는 모든 공법에서 철근 부식이 나타나 현장 시공시 팻칭을 실시할 경우 실제 철근 부식부 보다 넓게 팻칭하여 보수할 필요가 있다고 판단된다.

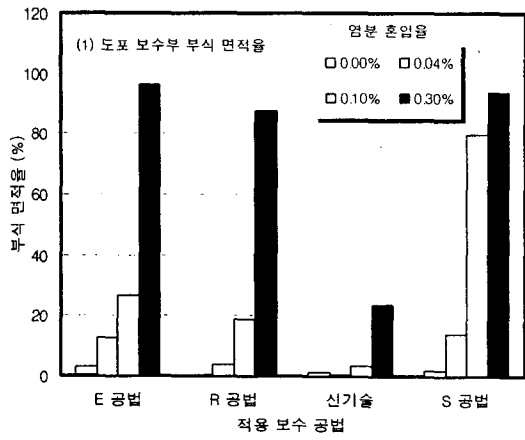


그림 4 보수 공법별 도포 보수부 부식면적율

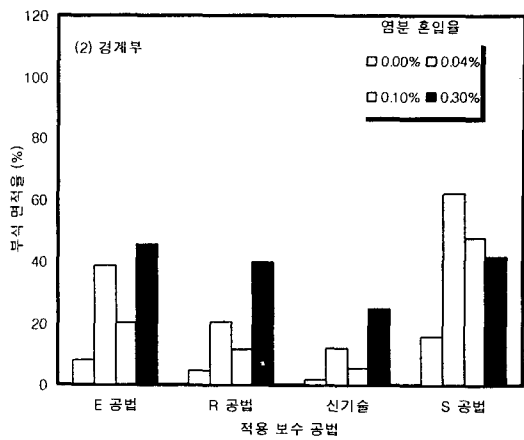


그림 5 보수 공법별 경계부 부식면적율

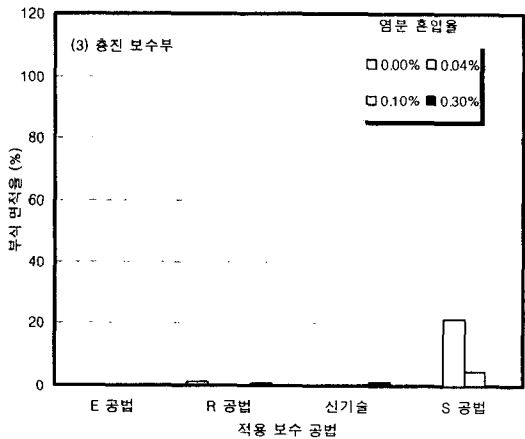


그림 6 보수 공법별 충전 보수부 부식면적율

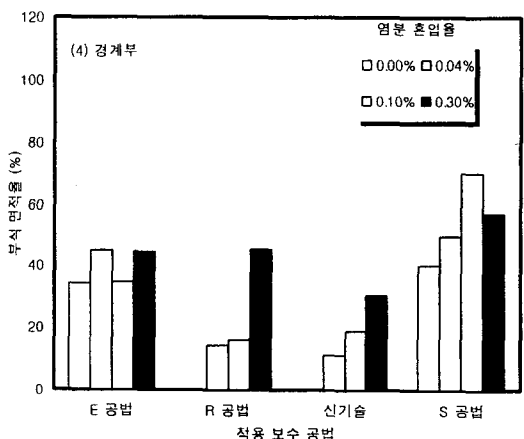


그림 7 보수 공법별 경계부 부식면적율

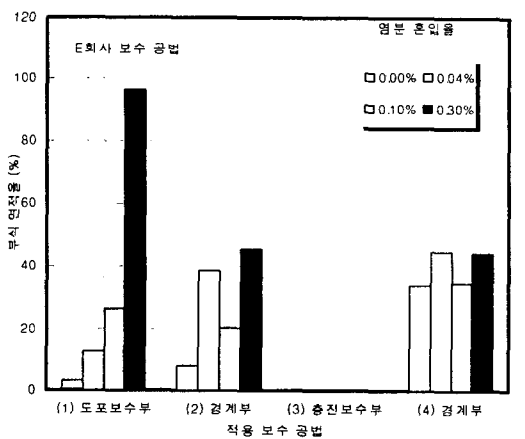


그림 8 보수 부위별 부식면적율 (E 사)

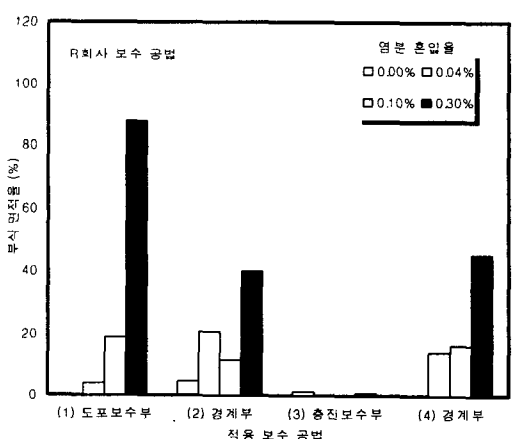


그림 9 보수 부위별 부식면적율 (R 사)

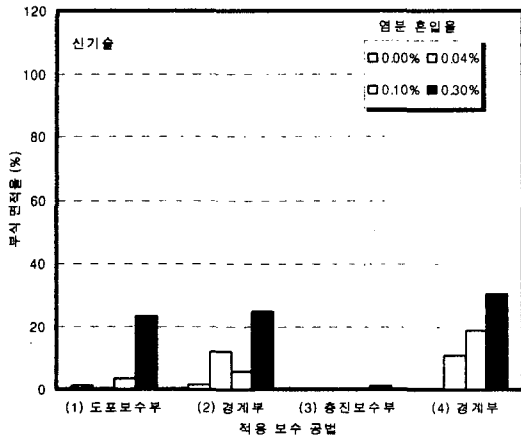


그림 10 보수 부위별 부식면적율 (본 공법)

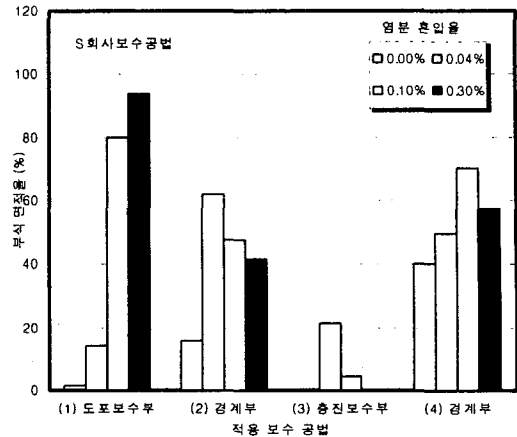


그림 11 보수 부위별 부식면적율 (S 사)

## 5. 결론

신 개발된 아초산계 방청 복합 알카리 회복제, 방청 모르터 및 방청 단면수복제를 이용한 철근 부식 억제 효과 및 보수 시스템 공법을 실험적으로 검토한 결과, 본 개발 공법은 타 유사 공법과 비교하여 매우 우수한 보수효과를 가지고 있는 것을 확인 할 수 있었으며, 염분 함유량 0.1% 정도까지는 아초산계 도포형 방청제를 철근 위치까지 침투시켜 철근 주위를 방청환경으로 조성하는 것에 의하여 염해에 의하여 오염된 콘크리트를 제거하지 않고 간편하게 철근 부식을 억제 할 수 있는 것을 알 수 있었다.

## 감사의 글

본 논문은 2001년도 한국 과학재단 지정 한양대학교 STRESS의 연구비 지원에 의한 성과이며, 실험에 도움을 주신 (주) KMB 및 고려산업개발 (주) 기술연구부 여러분에게 감사의 말씀을 올립니다.

## 참고문헌

1. 日本建築學會, “鐵筋콘크리트 造建築物의 耐久性 調査・診斷・及び 補修 指針(案)”, 1997. 4
2. 日本콘크리트 工學協會, “콘크리트 構造物의 補修 工法 研究 委員會 報告書 (I)”, 1992. 10
3. 日産化學工業(株), “방청제 浸透 機能 をもった 모르탈”, 防食管理, Vol. 33, No. 10, 1989
4. 建築物 耐久性 向上 技術 普及 委員會 編, “鐵筋콘크리트 造建築物의 耐久 設計・施工 指針・同 解説,, (財) 國土 開發 技術 센터
5. 笠井 芳夫, “セメント・콘크리트 用 混和 材料”, 방청제 의 作用,
6. 쌍용-오노다 리프리트 보수 시스템 공법 기술자료 및 카탈로그
7. 아사노 리후레쉬 보수 시스템 공법 기술자료 및 카탈로그
8. 미쯔비시 CF 르네모르 보수 시스템 공법 기술자료 및 카탈로그
9. 고니시 R.S 보수 시스템 공법 기술자료 및 카탈로그
10. 李 翰承, “특집-철근 콘크리트 구조물의 염해대책(I), 콘크리트내 염화물 함유량과 철근 부식과의 관계”, 구조물 진단 학회지, Vol. 4, No.3, 2000. 7