

# 시멘트계 방청도포재의 성능과 이의 활용에 관한 연구

신도철\* · 이종열 · 박정준 · 김종우

<쌍용양회(주) 중앙연구소>

## 1. 서 론

철근의 녹은 콘크리트 타설 후 콘크리트와 철근 계면간의 부착력을 저하시켜 철근 콘크리트 부재의 압축, 휨 거동에 따른 구조적인 문제를 발생시킬 우려가 있으며, 특히 지속적인 부식의 진행은 콘크리트의 박리와 균열을 야기시켜 구조물의 사용수명을 단축시키는 주요한 원인으로 작용하고 있다. 특히 근래에 들어와서는 산업의 발달에 따른 산성비, 대기오염, 골재자원 고갈에 따른 해사사용, 각 종 염해등에 의해 콘크리트 구조물의 중성화와 부식이 촉진되는 환경에 놓이게 되었다.

콘크리트 구조물의 열화와 이에 따른 철근의 부식이 구조물의 내구성을 저하시키는 주요한 요인으로 작용함에 따라 철근이나 강재의 부식방지에 대한 사회적인 관심이 증가되는 추세에 있다. 특히 건설현장에서 공사수행중에 장기간 철근이나 강재류의 방치에 따라 발생하는 녹의 방지와 구조물의 품질향상을 위해 방청에 대한 관심은 높이나, 현장사용에 적합한 방청재료에 대한 연구나 시방지침은 매우 부족한 실정이다. 현재 철근이나 철골 빔 등의 방청재료로는 에폭시나 광명단, 에나멜계와 같은 유기계 재료들이 주로 사용되고 있는데, 이들 유기계 도포재는 자체의 방청성은 우수하지만, 콘크리트와 이질재료 특성으로 인해 철근과의 부착성이 저하되어 예기치 않은 구조적인 문제를 발생시킬 우려가 있으며, 도막의 결함부위나 편홀등에서 부식이 집중적으로 일어난다는 연구보고도 있다.

최근에는 일본, 유럽을 중심으로 구조물의 보수분야에 사용되는 방청재료로 콘크리트와의 동질성, 부착성 측면 때문에 에폭시계에서 폴리머 시멘트계로 전환되고 있으나, 국내의 경우는 아

직 유기계를 주성분으로 하는 방청재료만이 일부 적용되고 있는 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 기존의 유기계 방청도포재와 최근 도입되기 시작하는 폴리머 시멘트계 방청도포재간의 성능 비교를 위해 도장 철근의 내염성과 일부 재료에 대한 콘크리트 부재의 휨 부착거동을 평가하여 향후 현장에서 활용을 위한 기초자료로 삼고자 하였다.

## 2. 방청도포재의 내염성 평가

### 2.1 사용재료

시험을 위해 사용된 방청도포재는 현재 현장의 철근이나 강재의 방청을 위해 주로 사용되고 있는 재료와 폴리머 시멘트를 응용한 시멘트계 방청도포재를 선정하여 비교하였다. (표1)

### 2.2 시험내용

방청재를 도포한 철근의 방청성을 조기에 평가하기 위하여, 고염수 분무 환경에서 공기(산소)를

#### 방청 도포재 내역

<표 1>

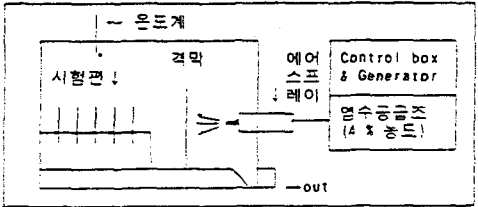
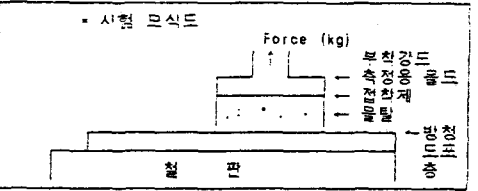
구 분	구 성 내 용	사 용 방 법
방청폴리머 시멘트계 (PC)	· 시멘트계 분말 · SBR latex · 혼화액	· 시멘트계 분말 1+ · 혼화액 0.7중량비 · 혼합 후 도포
시멘트 첨가제 (A)	· EVA계 접착액	· 일반 시멘트 1+ · 접착액 0.2+물0.7 · 중량비 혼합 후 도포
유기계 (C)	· 광물성 기름	· 원액도포
도료계 (S)	· 에나멜 도료계	· 원액도포
에폭시계 (EP)	· 에폭시	· 경화제 1+주제 4혼합 · 도포
Plain (P)		· 방청재 무도포 철근

지속적으로 공급하여 부식을 가속화 시키는 염수 분무 시험방법을 사용하였다. 시험 후 발생 녹의 성분 분석과 아울러 방청도포재간의 발청개소와 외관관찰 비교를 통해 상대평가를 하였다.

아울러 방청 도포재 도포철근과 콘크리트간의 부착특성을 모사하기 위해 강관에 방청재를 도포한 후 시멘트몰탈을 부착하여 건연식 인장 부착강도기로 도포재와 시멘트 몰탈간의 인장부착 특성을 간이적으로 평가하였다. 각 시험방법은 표 2와 같으며 부식시험에서는 지경 13mm 철근을 대상으로, 아세톤을 이용하여 표면의 유지성분과 이물질을 세척하고, 표면을 white metal 상태로 블라스팅 한 후 방청재를 도포하였다.

방청재료 시험평가 항목 및 방법

<표 2>

구 분	시 험 방 법	평 가 내 용
내염성 촉진시험 (염수분무 시험)	· 염수분무 시험장치 모식도 	· 발청개소 · 외관관찰
부착성	· 염수분무 방법: 1시간 중 30분은 염수분무, 30분은 건조하는 방법으로 연속시행  ① 철판 표면의 유지, 녹제거 ② 각 방청재료 도포 ③ Cement./Sand비=2.0, W/C=0.55로 제조된 몰탈을 방청재 도포층 위에 바름 →14, 28일간 양생·경화  	· 인장부착 강도

시험에 사용된 방청재료의 도포방법

<표 3>

구 분	사 용 방 법	도 포 방 법
방청 폴리머 시멘트계(PC)	· [방청용 시멘트 분말 100+전용 혼화액 70] →핸드믹서로 교반	· 방법:스프레이 도포 · 1차층 지축건조후 2차도포 →5일간 경화
시멘트 첨가재 (A)	· [보통 시멘트 100+접착제 20]+물(전체의 70%)→핸드믹서로 교환	
유지계 (C) 도료계 (S)	· 원액 사용	
에폭시계 (EP)	· 에폭시 주재 1+경화제 4중량비로 혼합	· 방법:붓도장 · 1차층 건조 후 2차도 도포 → 5일간 경화

방청제의 사용은 제조업체 지정 사용방법에 따라 시행하였으며 (표 3), 각 방청제를 도포한 철근은 항온항습실(온도 20±2℃), 습도 60%)에 5일간 방치하여 충분히 경화시킨 후, 각 시험을 실시하였다.

2.3 시험결과

1) 부식 촉진시험

염수분무 실험 420시간 경과 후의 방청도포 철근의 발청상태와 발청부위를 구분하여 사진 1과 표 4에 나타내었다.

내염성 측면에서 에폭시계와 폴리머 시멘트계가 양호하게 나타나고 있다. 에폭시계와 폴리머 시멘트계의 발청은 주로 도포층의 미세한 편홀발생 부위와 도포두께가 얇은 철근돌기(lug)에서 주로 발생되고 있다. 발청부분에서의 확산진행 정도는 에폭시계는 부착계면에서 부식에 의해 바

염수분무 실험 420 시간 후의 발청개소 측정결과

<표 4>

구 분	녹 발생 수(발생 녹의 직경별)		
	직경0~1mm	2~5mm	5mm이상
방청 폴리머 시멘트계(PC)	15	1	-
시멘트 첨가재(A)	13	14	6
유지계(C)	6	5	12
도료계(S))	전면적으로 확산		
에폭시계(EP)	11	3	-
Plain(P)	전면적으로 다량 발생		

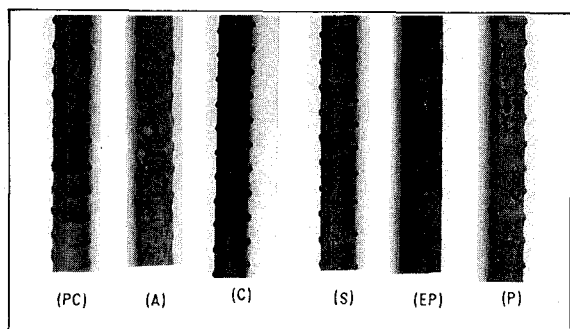


사진 1. 염수분무시험 420hr 경과후의 철근상태

탕조건이 습윤환경으로 전환됨에 따라 바탕면과의 부착성이 저하되고 국부적인 박리가 진행됨으로서 부식의 확산이 빨라지는 것이라고 생각된다.

유지계는 재령초기에는 발청현상이 지연되는 효과가 있으나, 시간경과에 따라 유지성분이 소실되어 발청이 급속하게 진행되고 있어, 장기간의 방청성 유지는 어려울 것으로 판단된다. 에나멜 도료계는 염수분무 시간경과에 따라 철근에 도포된 투명한 코팅층이 일어나며 전면적으로 부식이 확산 진행되는 결과를 나타내고 있으며, 시멘트에 접착제 성분을 첨가하여 사용하는 경우 방청성의 효과는 유지계나 에나멜 도료계보다 양호하나 장기적인 방청 효과는 크지 않는 것으로 나타나고 있다.

방청재를 무도포한 plain 철근은 전면적인 부식과 아울러 돌기부분의 마모가 심하게 나타났다. Plain 철근 표면에 다량으로 발생된 녹을 외부쪽(outer)과 내부의 부식이 발생되지 않은 면과 접해진 내부쪽(inner part)으로 구분하여 녹을 채취한 후 X-ray diffraction (XRD)으로 분석하여 그림 1에 나타내었다.

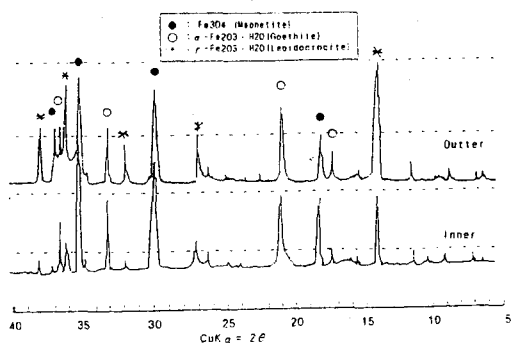


그림 1. 철근 발생녹 내·외부의 X-ray diffraction patterns

방청재와 시멘트 몰탈간의 인장 부착강도(n=4)

<표 5>

구 분	부착강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	과 단 상 태
방청 폴리머 시멘트계(PC)	5.6~6.4	· 방청재와 몰탈간 박리
시멘트 첨가재(A)	0.6~1.3	· 철판과 방청재간 박리
유지계(C)	0 (자연박리)	· 몰탈 부착 1일 후 자연박리
도료계(S)	0 (자연박리)	· 몰탈 부착 3일 후 자연박리
에폭시계(EP)	0.3~0.4	· 방청재와 몰탈간 박리
Plain(P)	0.7~0.9	-

철의 부식 진행기구와 조성성분은 매우 복잡한 양상을 띠고 있어 정확한 성분의 구분은 어렵지만 본 실험에서 나타난 결과에 의하면 (1)녹의 outer part 는  $\gamma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O(Lepidocrocite)와  $\sigma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O(Goethite)같은 철수화물과, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(Magnetite)가 주로 존재하며, 녹의 colour도 철수화물에 의한 황색, 담황색을 띠고 있다.

(2) Inner part는 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(Magnetite)로부터 전이된  $\sigma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O(Goethite)와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>(Magnetite)가 주로 존재하며  $\gamma$  Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O는 외부보다 소량 존재하고 있다.

이러한 현상은 내부가 외부보다 산소와의 접촉이 적기 때문이며 colour도 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>에 기인한 검은색, 흙갈색을 띠고 있다.

2) 방청재와 시멘트 몰탈간의 부착성

본 실험에서는 방청재와 콘크리트간의 부착성을 간접적으로 평가 할 목적으로 철판상에 각 방청재를 도포하여 경화시킨 후 몰탈을 부착하여 방청재와 시멘트 몰탈간의 부착특성을 비교하였다. 부착강도는 인장부착 강도기로 재령 14일 후 측정하여 표 5에 나타내었다.

유지계는 기름성분의 영향, 도료계는 투명한 비닐코팅층이 형성됨에 따라 몰탈과의 부착이 저해되고 몰탈 자체의 수축에 따라 2~3일 양생후에 몰탈과 방청재 계면간에 자연박리가 발생된다. 시멘트 첨가재는 부착시험 결과 본래철판이 그대로 드러나 있어 철판과 방청재간의 부착성이 떨어지는 것으로 나타나며, 에폭시 도포의 경우도 맨철판에 부착한 경우보다 부착성이 다소 저하되는 것으로 나타난다. 방청 폴리머 시멘트계

사용재료의 특성

<표 6>

구분	재료	특성
휨부재시험	콘크리트	배합강도: $\sigma_{ck} = 270 \text{ kg/cm}^2$
	철근	주철근: 2@D16, SD 30 스터랩: 6@D10, SD 30
동결융해시험	콘크리트	배합강도: $\sigma_{ck} = 210 \text{ kg/cm}^2$
	철근	철근: D22, SD 30

는 몰탈의 부착이 가장 양호하며 부착계면에 시멘트 성분이 방청제 계면과 결합한 상태로 남아 있는것을 확인 할 수 있다.

3. 방청제 도포철근 콘크리트의 휨 부착성능 및 내구성 평가

3.1 시험개요

방청도포 철근 콘크리트 부재의 휨 부착성능 평가를 위하여 방청성능이 양호한 에폭시계와 방청 폴리머 시멘트계를 선정하였으며 철골 빔의 방청도포로 주로 쓰이는 광명단도 비교 검토하였다. 아울러 콘크리트의 동결융해 반복에따른 콘크리트에 피복된 방청도포 철근의 내구성과 콘크리트와의 부착상태를 관찰하기 위하여 상기 방청도포재를 대상으로 150cycle의 동결융해 시험을 실시하였다. 이때 동결융해 침지용액은 담수와 5, 10% NaCl용액 3종류로하여 시험하였다.

3.2 사용재료

휨 부착거동 평가를 위한 실험체의 제작에 사용된 콘크리트는 현장조건과 동일하게 하기위하여 레미콘을 이용 타설하였으며, 동결융해 시험은 실험실 제조 콘크리트를 사용하였다. 사용된 콘크리트 및 철근의 제원은 표 6과 같다.

3.3 실험체 제작

본 실험에서는 각 방청도포 철근의 부착성능 평가를 위해 일반적인 휨부재와는달리 철근의 양 끝에 갈고리를 두지않고, 철근과 콘크리트 사이의 부착력과 이형철근의 기계적인 마찰력만으로 저항하도록 설계하였으므로, 부착이 약하다면 정착

휨 부착성 평가를 위한 실험체 제원

<표 7>

사용철근구분	실험체수	부재단면(cm)	평균도포두께( $\mu\text{m}$ )
폴리머 시멘트 도포철근	3	15×20×110	330
에폭시 도포철근	3	15×20×110	264
광명단 도포철근	3	15×20×110	250
일반철근(Plain)	3	15×20×110	-

부에서 철근이 이완되도록 유도하였다. 실험체의 주요제원과 상세도는 표 7, 그림 2와 같다.

동결융해 시험은 10×10×40cm 크기의 몰드 중앙에 각 방청도포 철근을 정착한 후 콘크리트로 몰딩하여 탈형한 후 28일간 수중에서 양생한 시편을 동결융해 시험기 속에서 시험하였다. 동결융해 시험은 150cycle(1 cycle: -20℃~+5℃, 6hr)을 목표로 하였으며, 각 시험 chamber 용액은 담수, 5, 10% NaCl 3 수준의 용액으로 하였다.

3.4 실험항목

콘크리트 부재의 휨 부착성능은 그림 2에서와 같이 상단에 2점 재하방식으로 실시하여, 보의 상단 중앙에서 콘크리트 변형율을, 하단 중앙에서 12.5cm 좌우로 떨어진 거리에서 철근의 변형율을 측정하였으며 하중에 따른 보의 전체거동을 파악하기 위하여 보 중앙의 변위를 측정하였다. 가압은 0.02 mm/sec의 속도로 하였으며 측정은

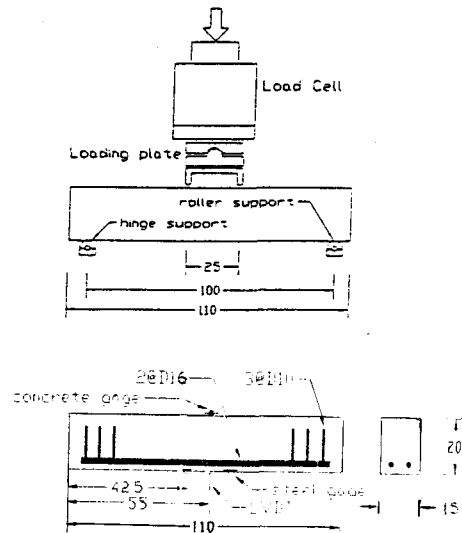


그림 2. 사용실험체 상세도 및 설치전경

2초마다 각각의 변위, 콘크리트 및 철근의 변형율을 자동으로 기록하였다.

동결융해 시험에 의한 내구성 시험은 150cycle 종료된 시편을 압축하중을 가해 파쇄하여, 내부 방청도장 철근의 도막 상태와 부식유무, 콘크리트와의 부착상태를 목시관찰 하였다.

### 3.5 시험결과

#### 1) 철근 콘크리트 보의 휨 부착성능

재하하중에 따른 철근 콘크리트보의 하중-변위 곡선과 콘크리트 및 철근의 변형률 관계를 그림 3과 4에 나타내었다.

재하하중에 따른 처짐곡선에서는 Plain 철근 및 방청 폴리머 시멘트계 도포재의 경우 12톤을 정점으로 다소 연성의 거동을 보이는데 반해 에폭시나 광명단은 부착 및 전단파괴로 인해 취성 거동을 보이고 있으며, 콘크리트 및 철근 변형률 곡선상에서는 Plain 철근 및 방청 폴리머 시멘트계 도포재의 경우 초기 탄성영역에서는 직선적으로 증가하다가 철근이 항복하는 위치에서 응력을 콘크리트가 받아 콘크리트 변형률만이 증가하여, 콘크리트도 더이상 하중을 지탱하지 못하면서 철근의 연화가 발생되는 것을 알 수 있다. 그러나 에폭시나 광명단은 단부에서 먼저 부착력 상실로 인한 전단파괴가 일어나기 때문에, 중앙부에서의 철근과 콘크리트의 변형률은 탄성영역내에서만 증가하다가 다시 감소되는 것을 알 수 있다. 한편 시험편의 파괴 후 해체한결과 유기계 도포재는 단부로부터 약 20mm 이상의 slip 현상을 발견 할 수 있었다.

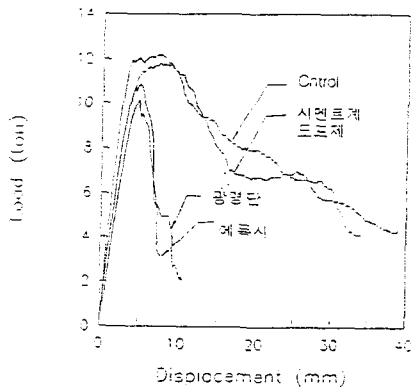


그림 3. 각 실험체의 하중-처짐 곡선

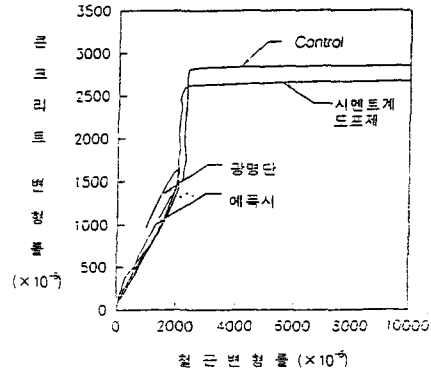


그림 4. 콘크리트-철근 변형률 곡선

#### 2) 동결융해 시험

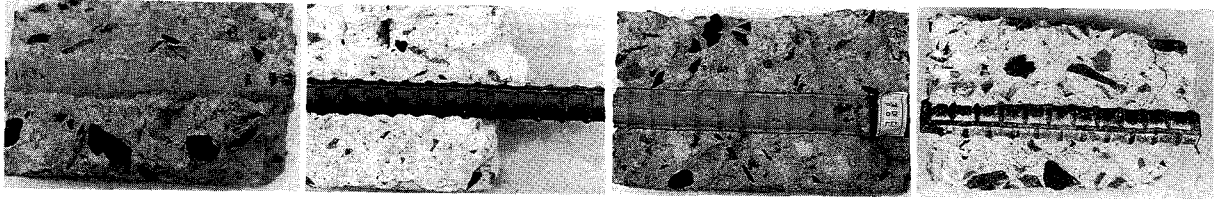
동결융해 150cycle 종료후 시편상태는 동결융해 반복에 따라 콘크리트 표면의 시멘트 분이 열화소실 되고 골재만 보이고 있다. 시험편을 다이아몬드 컷터로 10×10×15cm로 절단 한후 압축하중을 가해 시편을 파쇄 관찰한 결과를 표 8에 나타내었으며, 파쇄 후의 방청도포 철근 상태를 사진 2에 나타내었다.

동결융해 시험에 의한 방청도포 철근의 내구성과 콘크리트 내부에서의 계면 부착상태 시험결과 폴리머 시멘트계와 에폭시계는 동결융해에 따른 도막의 열화나 파손없이 양호한 상태로 있는데 반해, 광명단은 콘크리트의 알칼리 환경에서 도막이 열화 소실되고, 철근 주위의 콘크리트에 다량 묻어 있는 상태로 나타난다. 시험편의 파손상태는 폴리머 시멘트계의 경우 콘크리트와 동질 재료특성으로 인한 부착성이 양호하여 불규칙한 시험편의 파쇄현상을 보이는데 반해, 에폭시, 광명

#### 동결융해한 시편 내부의 철근상태 관찰결과

<표 8>

구 분	폴리머 시멘트계	에폭시계	광명단
방청도막 손상유무	양 호 (열화, 손상 없음)	양 호 (열화, 손상 없음)	불 량 (용해,소실)
발청현상	없음	없음	없음
파쇄상태	-도포철근 주위에 콘크리트 부착 -불규칙한 파쇄	철근을 중심으로 수직선상으로 파쇄	철근을 중심으로 수직선상으로 파쇄
철근,콘크리트 계면 부착상태	콘크리트 부착상태 양호	Nude 상태로 뽑힘	-Nude 상태로 뽑힘 -광명단 철화



(방청 폴리머 시멘트 도포철근)

(에폭시 도포철근)

(광명단 도포철근)

(Plain 철근)

사진 2. 동결융해(150 cycle)종료후의 콘크리트 내부 철근

단은 철근을 중심으로 수직형태로 파손되며 내수의 철근이 nude 상태로 분리되어 나오고 있다.

이러한 원인은 동결융해 반복에 따라 콘크리트의 수축과 팽창이 반복되어 질때, 폴리머 시멘트계의 경우 철근과 콘크리트가 일체화된 수축거동을 하는데 반해 유기계 도포재는 계면에서의 부착성 불량, 재료자체의 수축거동 차이, 도막의 열화(광명단)가 지속적으로 누적되어 콘크리트와 내수 도포철근간에 국부적인 박리가 발생되어 일어난다고 생각되며, 이러한 현상은 콘크리트 부재의 휨 부착거동 특성과 몰탈간의 인장부착 결과와도 잘 일치하고 있다.

#### 4. 결 론

건설현장에서 주로 사용되고 있는 유기계 방청재료와 최근 도입되기 시작하는 방청용 폴리머 시멘트계를 대상으로 기본적인 내염성능과 철근 콘크리트 적용을 위한 제반 물리적인 특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

1) 부식촉진 시험에 의한 각 방청재료의 내염특성은 에폭시계가 양호하며 방청 폴리머 시멘트계도 양호한 내염성을 나타내고 있으며, 부식의 확산 방지측면에서는 에폭시계 보다 유리한 것으로 나타난다.

2) 방청 폴리머 시멘트 도포철근의 콘크리트 부재 휨 부착특성은 하중-변위 곡선이나 콘크리트-철근 변형을 관계곡선상에서 볼때 Plain 철근 콘크리트와 거의 유사한 경향이며 전형적인 휨 부재거동을 보이고 있다.

3) 광명단과 에폭시 도포 철근은 콘크리트와 철근이 항복하기도 전에 변형율이 급격히 감소하였고, 시험체 양 단부로부터 약 20mm 이상 철근

이 slip되는 현상이 나타났다. 이러한 결과로 볼때 광명단이나 에폭시계와 같은 유기계는 부착성이 떨어지는 것을 알 수 있다.

4) 동결융해 시험에 의한 방청도포 철근의 내구성은 광명단을 제외하고는 모두 양호하였다. 압축하중에 의해 시험편을 파쇄한 결과 방청 폴리머 시멘트계는 콘크리트와 일체화된 상태를 보여주고 있는데 반해 에폭시와 광명단은 반복된 콘크리트의 수축, 팽창에 의해 철근과 콘크리트 계면간에 국부적인 박리가 발생되어 철근을 중심으로 수직상의 파쇄현상과 철근이 nude 상태로 뿔히는 결과를 보여주고 있다.

#### <참 고 문 헌>

1. James Warner "Selecting Repair Materials Concrete Construction, pp. 865~871 October, 1984
2. 松里 廣昭 "最近の補修・補強材料について" 콘크리트 工學, pp. 33~41 vol. 33, No 12, 1995. 12.
3. E.L.Kemp "Effect of Rust and Scale on the Bond Characteristic of deformed reinforcing Bars" pp. 743~755, ACI Journal, Sept. 1968
4. G.J.Ai-Sulaimani "Influence of Corrosion and Cacking in Bond Behavior and Strength of Reinforced Concrete Members" pp. 220~230, ACI Structural Journal, March 1990.
5. 최완철, "에폭시 도막철근 성능시험 연구" 한국 콘크리트 학회 논문집 제 6권 1호, 1994. 5
6. 이태규 외 "척근 방식을 위한 도포재의 종류에 따른 R.C 보의 휨 부착성능 평가" 한국 콘크리트 학회 논문집 제 7권 2호, 1995. 11