

# 성능저하된 철근콘크리트구조물 폴리머시멘트계 보수용 단면복구재의 내구성 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Durability Evaluation of Polymer Cement  
Restoration Materials for Deteriorated Reinforced Concrete Structures

김 무 한\*

Kim, Moo-Han

김 재 환\*\*

Kim, Jae-Hwan

조 봉 석\*\*

Cho, Bong-Suk

박 종 호\*\*\*

Park, Jong-Ho

## Abstract

The duties of the restorative materials are to bear up against stress and to protect reinforcement corrosion. So the restorative materials are estimated by various kinds of strength, permeability and etc. But, in case of existing performance evaluation of restorative materials, because various deterioration factors are separately acted, the system of performance evaluation is different from that of combined deterioration of real structure and it is difficult to evaluate the exact performance of restorative materials. In this study, to evaluate performance of restorative materials, we compare their Korea standard properties in terms of compressive and bending strength and permeability of water and air with real durability for carbonation, salt damage and actual reinforcement corrosion like ratio of corrosion area, weight reduction and corrosion velocity of steel bar under environment of combined deterioration. The results showed that strength and permeability of restorative materials are similar but their resistance to carbonation, salt damage and actual reinforcement corrosion are very different.

## 요 지

콘크리트의 열화 및 철근부식에 대응하기 위하여 다양한 보수재료가 존재하나 이러한 보수재료를 평가하는 방법은 단순히 염해, 중성화 등의 단독열화만을 대상으로 하고 있어 여러 가지 열화인자가 복합적으로 작용하는 실제 환경과는 차이를 나타내게 된다. 따라서 본 연구에서는 폴리머시멘트계 보수용 단면복구재가 KS 기준을 만족하는지 확인한 후 복합열화 환경 하에서 염해, 중성화, 철근부식을 평가하였다. 실험결과 각각의 보수재료들은 KS 기준을 만족하였지만 내구성능은 상이하게 나타나 향후 이에 대한 고려가 필요할 것으로 사료된다.

**Keywords :** Restorative materials, Durability, Combined deterioration, Salt damage, Carbonation

**핵심 용어 :** 보수재료, 내구성, 복합열화, 염해, 중성화

\* 정회원, 충남대학교 건축공학과 교수, 공학박사

\*\* 학생회원, 충남대학교 대학원 건축공학과 박사과정

\*\*\* 학생회원, 충남대학교 대학원 건축공학과 석사과정

E-mail : kid009@chol.com 042-821-7731

•본 논문에 대한 토의를 2006년 2월 28일까지 학회로 보내 주시면 2006년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 1. 서 론

최근 염해, 중성화 등의 성능저하 요인에 의해 건축 및 토목구조물의 대부분을 차지하는 철근콘크리트구조물의 균열, 철근부식 및 구조내력저하 등 성능저하현상이 심각한 사회문제로 대두됨에 따라 성능저하된 철근콘크리트구조물의 내구성 회복에 관한 관심이 높아지고 있으며, 국내에서도 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 보수재료·공법이 개발되어 보수공사에 적용되고 있다.<sup>(1)(4)</sup>

이러한 보수재료 중 단면복구재는 피복콘크리트가 제거된 부위를 수복하는 재료로서, 모체콘크리트의 소요 응력을 부담할 수 있는 구조적 안전성, 모체콘크리트와의 일체성, 보강 철근의 부식을 방지할 수 있는 내구성 및 실용화를 위한 경제성 등 다양한 성능을 만족시킬 수 있어야 한다.

그러나 현재 KS F 4042에 규정된 단면복구재의 성능평가에 있어서는 단면복구재 자체의 기초물성에 관한 평가만이 규정되어 있을 뿐, 보수시공 후의 내구성에 관한 평가는 규정되어있지 않은 실정이다. 또한 내구성에 대한 사후성능 평가가 이루어지는 경우에도 다양한 열화요인을 독립적으로 평가함으로써 실제 구조물에 영향을 미치는 복합적인 열화환경을 재현하지

못하고 있는 실정이다.<sup>(2)</sup>

따라서 본 연구에서는 현재 국내의 보수공사현장에서 대표적으로 적용되고 있는 폴리머시멘트계 단면복구재를 대상으로 KS의 평가항목에 따라 기초물성을 측정하고, 철근콘크리트구조물이 위치한 실제 환경조건을 고려한 복합열화 환경조건하에서 복합열화축진실험에 의한 단면복구재의 내구성능을 검토한 후 이를 기초물성 측정 결과와 심도 있게 비교·분석함으로써, 향후 단면복구재의 성능평가 방법 및 품질관리기준 확립을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

성능저하 된 철근콘크리트구조물의 보수용 단면복구재의 기초물성 및 복합열화 환경하에서의 내구성능을 평가하기 위해 단면복구재로서 일반콘크리트, 폴리머시멘트모르타르 A, B, C의 3종과 비교용으로 일반콘크리트 1종을 선정하였으며, 본 연구의 실험계획은 Table 1에 나타난 바와 같다.

시리즈 I에서는 단면복구용 폴리머시멘트모르타르의 기초물성을 측정하기 위해 응결시간, 휨강도, 압축강도, 부착강도, 길이변화율 등의 강도특성, 흡수계수

Table 1 단면복구재의 기초물성 및 내구성능 평가를 위한 실험계획

시 리 즈	단면복구재 종류	W/M <sup>29</sup> (%)	측 정 항 목	측 정 재 령
I	· 폴리머시멘트모르타르 A (PA)	17	· 응결시간 (h:m)	-
	· 폴리머시멘트모르타르 B (PB)		· 압축강도 (MPa)	1 주
	· 폴리머시멘트모르타르 C (PC)		· 휨 강 도 (MPa) · 부착강도 (MPa) · 길이변화율 (%) · 흡수계수 (kg/m <sup>2</sup> hour <sup>0.5</sup> )	4 주 8 주
II	· 일 반 콘 크 리 트 <sup>1)</sup> (NC)	17	· 염화물이온 침투깊이 (mm)	10 Cycle <sup>3)</sup>
	· 폴리머시멘트모르타르 A (PA)		· 염화물이온 확산계수 (cm <sup>2</sup> /sec)	20 Cycle
	· 폴리머시멘트모르타르 B (PB)		· 중성화 깊이 (mm)	30 Cycle
	· 폴리머시멘트모르타르 C (PC)		· 중성화 속도계수 (cm/day <sup>0.5</sup> ) · 철근의 부식면적율 (%) · 철근의 중량감소율 (%) · 철근의 부식속도 (mg/cm <sup>2</sup> ·year)	40 Cycle

주 1) 일반콘크리트 : W/C = 60%, 단위수량 = 185kg/m<sup>3</sup>

주 3) 복합열화 챔버의 사이클 (1 Cycle = 2일 소요)

주 2) W/M : 총모르타르 중량에 대한 물의 중량백분율 (%)

Table 2 KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용  
폴리머시멘트 모르타르의 기초물성 기준

측정항목	요구성능	시험방법
길이변화율 (%)	±0.15 이내	KS F 2424
압축강도 (MPa)	20.0 이상	KS F 2476
휨강도 (MPa)	6.0 이상	KS F 2476
부착강도 (MPa)	1.0 이상	KS F 4042
흡수계수 (kg/m <sup>2</sup> hour <sup>0.5</sup> )	0.5 이하	KS F 2609

Table 3 복합열화요인 및 수준

열화요인	수준
중성화 (CO <sub>2</sub> )	· CO <sub>2</sub> 15% 촉진
염해 (NaCl)	· NaCl 3%의 염수 분무
습도 (RH)	· 30~60%의 범위로 변화
온도 (T)	· 20~60°C의 범위로 변화

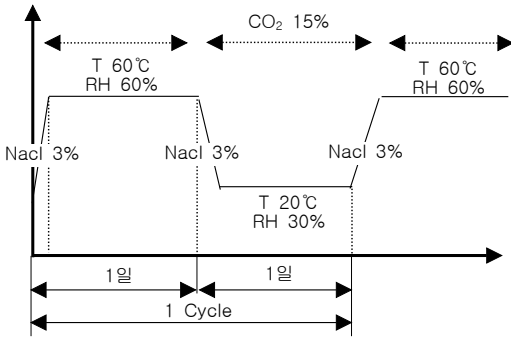


Fig. 1 염해 및 중성화를 중심으로한 복합열화환경의 촉진조건 및 사이클



Photo 1 복합열화챔버의 전경

및 투기계수를 각각의 재령에 측정하여 Table 2의 KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머시멘트 모르타르의 기초물성 기준과 비교·검토하였다.

시리즈 II에서는 염해 및 중성화를 중심으로 실제 철근콘크리트 구조물이 위치한 환경조건을 재현할 수 있도록 복합적인 열화인자들을 고려하여 단면복구재의

보수효과 및 내구성을 정량적으로 비교·평가하고자 하였으며, 이를 위해 염화물이온 침투깊이, 염화물이온 확산계수, 중성화깊이, 중성화 속도계수, 철근부식 면적율, 철근중량감소를 및 철근부식속도에 대하여 측정하였다. 또한, 본 실험에서의 복합열화 조건은 Table 3과 같은 수준으로 설정하였으며, 각 사이클에서는 Fig. 1과 같이 설정하였고, Photo 1은 본 실험에서 사용된 복합열화챔버의 전경을 나타낸 것이다.

## 2.2 사용재료 및 배합

본 실험에서 사용한 일반콘크리트는 국내 A사의 1종 보통포틀랜드시멘트, 잔골재는 비중 2.56의 인천산 제염사, 굵은골재는 비중 2.65, 최대치수 20mm의 퇴촌산 부순자갈을 사용하여 물시멘트비 60%, 단위수량 185kg/m<sup>3</sup>으로 배합하였다. 또한, 폴리머시멘트 모르타르는 분체형 폴리머, 섬유 및 혼화재 등이 공장에 혼합된 프리믹스형 제품을 사용하였으며, 각 제조사의 시방이 모두 W/M 17% 내외로 혼입하도록 제시되어 있어 동일한 W/M 비로 배합하였다.

## 2.3 시험체 제작 및 시험방법

시리즈 I에 있어서 폴리머모르타르 단면복구재의 기초물성을 평가하기 위해 KS F 4042에 준하여 각각의 시험체를 제작한 후 측정을 실시하였다.

또한, 시리즈 II에 있어서 복합열화환경하에서 단면복구재의 내구성을 검토하기 위해 Fig. 2와 같이 20×15×50mm의 콘크리트 각주형 몰드에 Ø19mm 원형철근을 피복두께 20mm로 매입하여 제작하였다. 또한, 본 연구에서는 양생 후 타설 밀면을 열화진행방향으로 설정하여 나머지 면은 열화인자에 의한 영향을 배제하기 위해 에폭시코팅을 실시하였다.

한편, 염화물이온 침투깊이는 시험체를 활렬하여 AgNO<sub>3</sub>용액을 분무한 후 변색된 부위까지의 5개소의 평균깊이로 산정하였다. 염화물이온 침투깊이를 측정하였다. 염화물이온 확산계수는 Browne, Crank 및 Laylor가 제시한 식(1)과 같은 염화물이온 확산 모델을 이용하여 산정하였다.

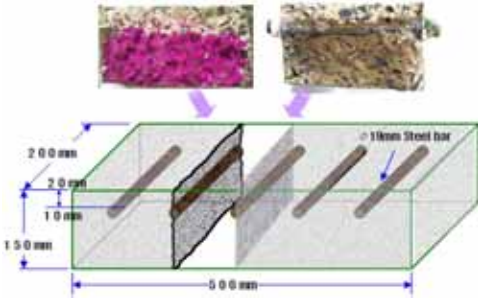


Fig. 2 복합열화 평가용 시험체의 형상

$$C(x, t) = C_0 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_e t}} \right) \right] \quad (1)$$

여기서, 초기조건 :  $0, x > 0, t = 0$

경계조건 :  $C_0, x = 0, t > 0$

$C_0$  : 표면에서의 염화물 이온농도 (%)

$C(x, t)$  : 시간  $t$  경과 후 깊이  $x$ 에서의 염화물 이온농도 (%)

또한, 중성화 깊이는 시험체를 할렬하여 1%의 페놀프탈레인 에탄올용액을 분무한 후 변색되지 않은 부위까지의 5개소의 평균 깊이로 산정하였다. 중성화 속도계수는 측정된 중성화 깊이를 바탕으로 식(2)의岸谷식에 의해 산출하였다.

$$C = A\sqrt{t} \quad (2)$$

여기서,  $C$  : 중성화 깊이 (cm)

$A$  : 중성화속도계수 ( $\text{cm}/\sqrt{\text{year}}$ )

$t$  : 재령 (year)

철근의 부식면적율은 철근의 부식발생부위를 트레이싱지로 스케치하여 식(3)을 이용하여 산출하였다.

$$Ar = \frac{Ac}{At} \times 100 \quad (3)$$

여기서,  $Ar$  : 철근의 부식면적율 (%)

$Ac$  : 철근의 부식면적 ( $\text{cm}^2$ )

$At$  : 철근의 전체면적 ( $\text{cm}^2$ )

한편, 철근의 중량감소율은 구연산암모늄 10% 수용액으로 녹을 제거한 후 식(4)를 이용하여 산출하였으며, 철근의 부식속도는 식(5)와 같이 중량감소량을 이용하여 산정하였다.

$$Wr = \frac{W_0 - Wc}{W_0} \times 100 \quad (4)$$

여기서,  $Wr$  : 철근의 중량감소율 (%)

$W_0$  : 시험전 철근의 중량 (g)

$Wc$  : 시험후 철근의 중량 (g)

$$Cs = \frac{Wr}{Wa \times T} \quad (5)$$

여기서,  $Cs$  : 철근의 부식속도 (mcy)

$Wr$  : 철근의 중량감소량 (g)

$Wa$  : 철근의 표면적 ( $\text{cm}^2$ )

$T$  : 시험기간 (year)

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 단면복구재의 기초물성 평가에 관한 검토 및 분석

##### 1) 응결시간 및 길이변화율

Fig. 3은 단면복구재 종류별 경과시간에 따른 관입저항치의 변화를 나타낸 것으로서, 초결 도달시간 및 종결 도달시간은 각각 2시간 42분~5시간 4분, 8시간 20분~8시간 48분의 수준으로 단면복구재의 종류와 관계없이 유사하게 나타났다.

Fig. 4는 단면복구재 종류별 재령에 따른 길이변화율을 나타낸 것으로 단면복구재의 길이변화율은 폴리머시멘트 모르타르 A와 B의 경우, 재령 초기에 수축이 발생한 이후 수축량이 점차 줄어들어 재령 11일 이후에는 길이변화가 거의 나타나지 않은 반면, C의 경우에는 초기재령에서 매우 큰 폭으로 팽창이 일어나 KS F 4042의 길이변화율 규준치인  $\pm 0.15\%$ 를 다소 벗어나는 것으로 나타났으나 11일 이후의 단면복구재의 길이변화율은 단면복구재 종류에 관계없이 3종 모두 KS의 범위를 만족시키는 것으로 나타났다.

##### 2) 휨, 압축 및 부착강도

Fig. 5~7은 재령에 따른 폴리머시멘트계 단면복구재의 휨, 압축 및 부착강도의 변화를 나타낸 것으로서, 각각 재령 4주에서 8.68~10.52 MPa, 58.29~64.52 MPa, 2.45~3.03 MPa로 모두 유사한 수

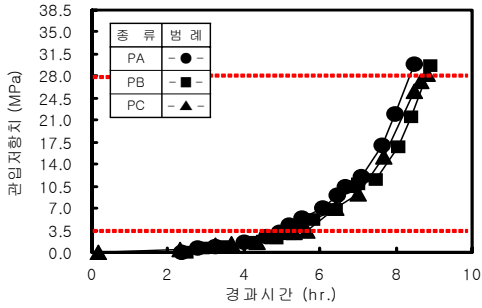


Fig. 3 단면복구재 종류별 경과시간에 따른 관입저항치

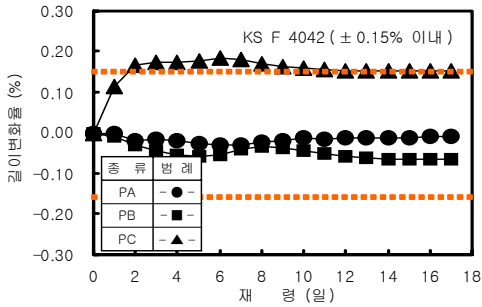


Fig. 4 단면복구재 종류별 재령에 따른 길이변화율

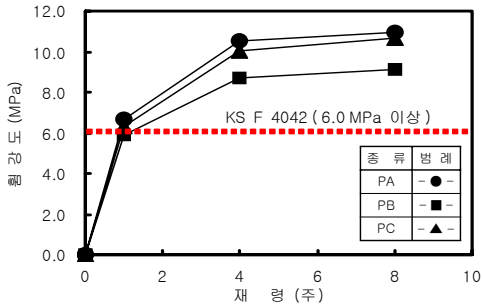


Fig. 5 단면복구재 종류별 재령에 따른 휨강도의 변화

준을 나타내었으며 KS F 4042에서 규정한 휨, 압축 및 부착강도의 요구성능을 크게 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

### 3) 흡수계수

Fig. 8은 단면복구재 종류별 흡수계수를 나타낸 것으로서, 흡수계수는 단면복구재 종류와 관계없이 재령이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 선정한 폴리머시멘트계 단면복구재의 경우 재령 4주에서  $0.0484 \sim 0.0492 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$ 의 유사한

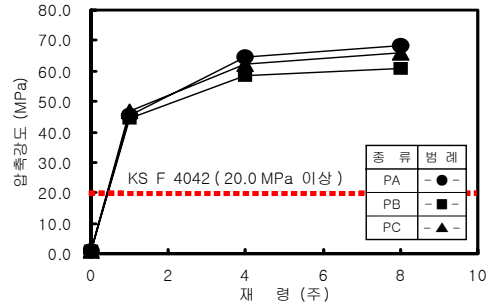


Fig. 6 단면복구재 종류별 재령에 따른 압축강도의 변화

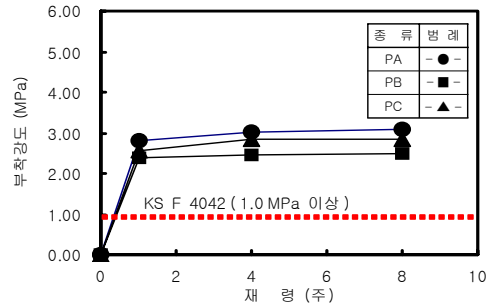


Fig. 7 단면복구재 종류별 재령에 따른 부착강도의 변화

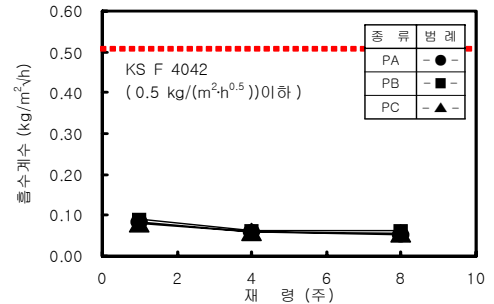


Fig. 8 단면복구재 종류별 재령에 따른 흡수계수의 변화

수준으로 KS F 4024 콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르에 규정된  $0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5})$  이하를 모두 만족시키는 것으로 나타났다.

### 3.2 단면복구재의 내구특성에 관한 검토 및 분석

#### 1) 염화물이온 침투깊이 및 염화물이온 확산계수

Table 5와 Fig. 9 및 10은 단면복구재 종류별 축진사이클에 따른 염화물이온 침투깊이 및 염화물이온

Table 5 단면복구재 종류에 따른 염화물이온 침투깊이

Cycle	종류	일반콘크리트	폴리머시멘트 모르타르 A	폴리머시멘트 모르타르 B	폴리머시멘트 모르타르 C
10					
20					
30					
40					

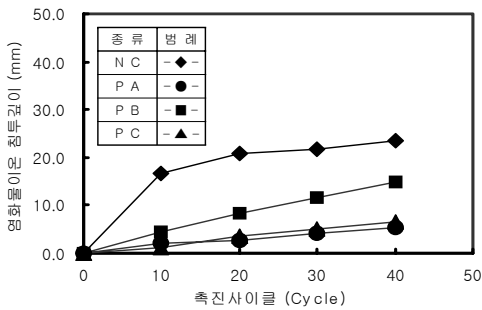


Fig. 9 단면복구재 종류별 축진사이클에 따른 염화물이온 침투깊이의 변화

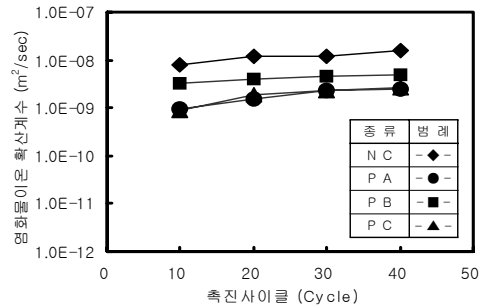


Fig. 10 단면복구재 종류별 축진사이클에 따른 염화물이온 확산계수의 변화

확산계수의 측정결과를 나타낸 것으로, 염화물이온 침투깊이는 단면복구재의 종류에 관계없이 축진사이클이 증가할수록 증가하고 있으며, 염화물이온 확산계수는 축진사이클이 증가할수록 증가하고 축진사이클이 경과할수록 증가폭이 저감되는 것으로 나타났다.

한편, 동일 축진사이클에서 단면복구재의 염화물이온 침투깊이 및 확산계수는 일반콘크리트에 비하여 매우 작게 나타나 우수한 염해저항성을 확인할 수 있었다. 그러나 본 연구에서 사용한 단면복구재의 기초물성 평가결과 모두 유사한 수준의 성능을 발휘하는 것으로 조사되었으나 염화물이온 침투깊이 및 확산계수는 다소 큰 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

## 2) 중성화깊이 및 중성화 속도계수

Table 6과 Fig. 11 및 12는 단면복구재 종류별 축진사이클에 따른 중성화깊이 및 중성화 속도계수의 측정결과를 나타낸 것으로, 중성화깊이는 축진사이클이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 한편 일반

콘크리트의 중성화깊이는 10사이클까지는 급격히 증가하고 있으나 이후의 증가폭은 매우 완만하게 나타났다. 또한, 단면복구재의 중성화깊이는 폴리머시멘트 모르타르 B를 제외하고는 모두 일반콘크리트에 비하여 매우 낮은 수준을 보이고 있으나 B의 경우 사이클의 증가와 함께 지속적으로 증가되어 40 사이클에서 일반콘크리트와 동일한 수준을 보이고 있다. 또한 중성화 속도계수는 일반콘크리트의 경우는 축진사이클이 증가할수록 감소하는 것으로 나타나 단면복구재의 경우 축진사이클이 증가할수록 증가하고 있으며, 일정한 값에 점차 수렴하는 것으로 나타났다. 이상과 같이 단면복구재의 경우 기초물성 평가결과는 단면복구재에 관계없이 모두 유사한 수준을 보이고 있으나 중성화깊이는 큰 차이가 나타났으며, 특히 단면복구재 B의 경우 40 사이클에서는 중성화깊이 및 속도계수가 일반콘크리트와 유사한 수준으로 나타났다.

## 3) 철근의 부식면적율, 중량감소율 및 부식속도

Table 6 단면복구재 종류에 따른 중성화 깊이

Cycle	종류	일반콘크리트	폴리머시멘트 모르타르 A	폴리머시멘트 모르타르 B	폴리머시멘트 모르타르 C
10					
20					
30					
40					

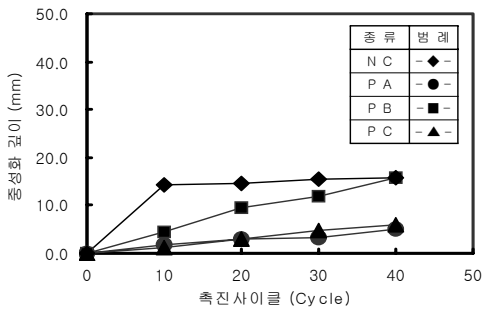


Fig. 11 단면복구재 종류별 축진사이클에 따른 중성화 깊이의 변화

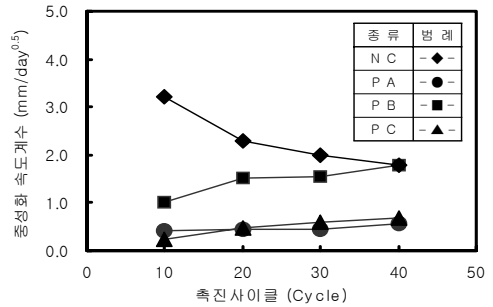


Fig. 12 단면복구재 종류별 축진사이클에 따른 중성화 속도계수의 변화

Table 7과 Fig. 13 ~ 15는 단면복구재 종류별 축진사이클에 따른 철근의 부식면적율, 중량감소율 및 부식속도 측정결과를 나타낸 것으로, 일반콘크리트의 경우는 축진사이클이 증가할수록 철근의 부식면적율 및 중량감소율은 증가하나 부식속도는 감소하는 것으로 나타났다. 단면복구재의 경우는 종류에 관계없이 철근의 부식면적율, 중량감소율 및 부식속도 모두 축진사이클이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.

한편, 폴리머시멘트모르타르의 기초물성은 유사한

수준임에도 불구하고 본 연구의 복합열화에 대한 철근의 부식저항성은 큰 차이를 보이고 있다. 특히, 단면복구재 B의 경우는 20 사이클 이후 철근부식면적율과 부식속도가 일반콘크리트에 비하여 높게 나타났으며, A의 경우는 부식깊이가 깊게 나타나 20 사이클 이후 중량감소율이 일반콘크리트에 비하여 높게 나타났다.

이상과 같이 현재 국내에서 성능저하된 RC구조물의 보수용 단면복구재로 대표적으로 사용되고 있는 폴리머시멘트모르타르의 기초물성 및 복합열화환경에서의

Table 7 단면복구재 종류에 따른 철근부식면적

Cycle	종류	일반콘크리트	폴리머시멘트 모르타르 A	폴리머시멘트 모르타르 B	폴리머시멘트 모르타르 C
10					
20					
30					
40					

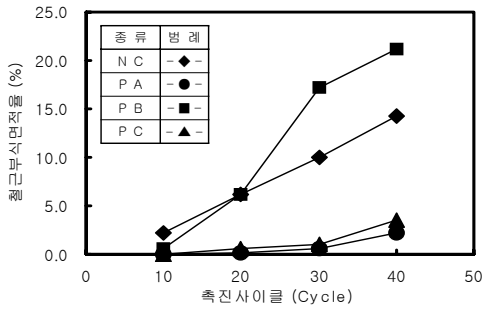


Fig. 13 축진사이클에 따른 철근부식면적율의 변화

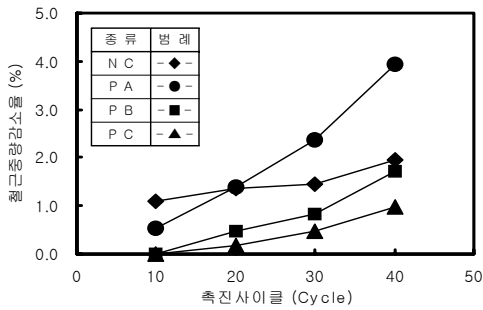


Fig. 14 축진사이클에 따른 철근중량감소율의 변화

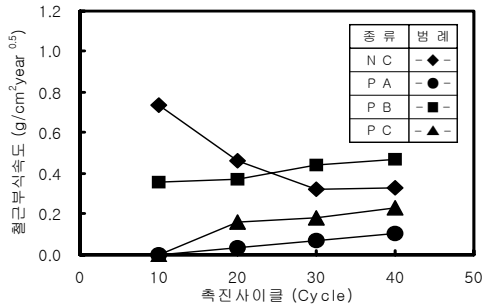


Fig. 15 축진사이클에 따른 철근부식속도의 변화

내구특성을 실험·실증적으로 분석한 결과 기초물성은 유사한 수준을 보이고 있으나 중성화 및 염해저항성과 철근의 부식특성은 크게 다른 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

성능저하된 철근콘크리트구조물 보수용 단면복구재의 기초물성 및 내구성 평가에 관한 실험적 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 국내에서 사용되는 철근콘크리트보수용 단면복구재

중 3종을 선정하여 단면복구재 자체의 기초물성을 평가한 결과, 길이변화율, 각종 강도 및 흡수계수 등 모든 항목이 KS규준을 만족시키는 것으로 나타났다.

2) 철근콘크리트구조물 보수용 단면복구재의 내구특성을 평가하기 위해 본 연구에서 선정한 조건에서의 복합염화 축진실험을 실시한 결과, 염화물이온 침투깊이 및 염화물이온 확산계수, 중성화깊이 및 중성화 속도계수, 철근의 부식면적율, 중량감소율 및 부식속도 등 내구특성이 단면복구재의 종류에 따라 큰 차이를 보이고 있어 시험방법의 유효성은 확인할 수 있었다.

3) 본 연구에서 사용한 단면복구용 폴리머시멘트모르타르의 경우 KS규준의 각종 기초물성은 종류에 관계없이 유사한 수준을 보이고 있으나 염해·중성화 저항성 및 철근부식특성 등의 내구성은 상당한 차이를 보이고 있어 향후 합리적인 보수설계 및 공사를 수행하기 위해서는 실제 염화조건을 재현할 수 있는 평가방법의 확립이 필요한 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년도 전력산업연구개발사업인 「복합염화에 의해 성능저하된 원전구조물의 보수재료·공법시스템 개발 (과제번호: R-2004-B-118)」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 김무한 외, 복합염화 환경하에서 표면피복종류 및 피복 두께에 따른 철근콘크리트의 부식특성, 한국건축시공학회논문집, 2004.3, pp. 119~126.
2. 한국건설교통기술평가원, 염해 및 중성화피해를 입은 콘크리트구조물의 내구성 회복을 위한 보수공법 시스템 개발 및 실용화 방안, 2003.
3. 김무한, 복합염화환경 하에서의 단면복구재의 철근부식 특성 평가에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 2004. 4, pp. 403~406.
4. 日本コンクリート工學協會, 複合劣化コンクリート構造物の 評價と維持管理計劃研究委員會, 2001. 5.
5. Kim, Moo-Han, Corrosion Properties of Reinforced Concrete under the Combined Deterioration Environments, The 7th Korea/Japan Joint Symposium on Building Material and Construction. 2004.8, pp. 41 ~ 48

(접수일자 : 2005년 2월 5일)