

단면수복재로 보수시공한 철근콘크리트내로의 염화물이온 침투에 관한 해석적 연구

Analytical Study on the Chloride Ion's Permeation of Reinforced Concrete Repaired by Patching Repair Material

윤선영* 신상현* 유병철** 이한승***
Sunyoung Yun Sangheon Shin Byungcheol Ryu Hanseung Lee

ABSTRACT

When the RC structure repaired by patching repair method, which method refills with patching repair material after removes degraded area, It is necessary to determine chloride ion's permeation from outside of the RC structure repaired by patching repair material. Therefore, in this study, damage from sea environment of structure was predicted, moreover, diffusion coefficient of concrete also determined to figure out rebar's corrosion and concentration of chloride ion. RCPT(Rapid Chloride Permeability Test) was used for ditermination of patching repair material's diffusion coefficient, also connection between material thickness and effect of chloride ion's permeation was examined in analytically. Results which derived by experimental test was used in FEM(Finite Element Method) and equation suggested by JSCE to predict concentration of chloride ion in different distance from surface.

요 약

구조물의 열화부위를 제거하고 단면수복재로 되메우는 단면수복공법의 합리적인 시공을 위해서는 외부로부터 침투되는 염화물이온에 대한 단면수복재 및 이를 시공한 철근콘크리트구조물의 염화물이온 침투예측의 선행이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 단면수복재 시공이후의 구조물의 염해상태를 예측하고, 염화물이온의 침투 및 그에 의한 철근부식을 예측하기위해 단면수복재를 시공한 콘크리트의 염화물이온 확산계수를 정확히 파악하고자 한다. 본 연구에서는 실제 염화물이온 급속침투실험(Rapid Chloride Permeability Test)를 통한 단면수복재의 염화물이온 확산계수를 실험적으로 산정하고 단면수복재의 두께가 염화물이온 확산에 미치는 영향 또한 수치적으로 규명하였다. 실험에서 도출된 콘크리트 및 단면수복재의 염화물이온 확산계수를 일본토목학회에서 제시한 식 및 유한요소해석(Finite Element Method)를 이용하여 단면수복재로 보수시공한 구조물의 위치별 염화물이온농도를 산출하였다.

* 정회원, 한양대학교 건축환경공학 대학원

** 정회원, 한국건설자재시험연구원 방수보수보강센터, 과장

*** 정회원, 한양대학교 건축학부 교수

1. 서론

구조물의 열화부위를 제거하고 단면수복재를 시공하는 단면수복공법의 합리적 시공을 위하여는 외부로부터 침투되는 염화물이온에 대한 단면수복재 및 이를 시공한 철근콘크리트구조물의 염화물이온 침투예측이 선행되어야 하나, 이에 대한 염화물이온 확산계수에 대한 연구는 부족한 것이 사실이다⁴⁾.

따라서 본 연구에서는 실제 염화물이온 급속 침투실험(Rapid Chloride Permeability Test)에 의하여 단면수복재의 염화물이온 확산계수(Ds)를 실험적으로 산정하였으며, 실험에서 도출된 콘크리트 및 단면수복재의 염화물이온 확산계수를 일본토목학회에서 제시한 확산식 및 유한요소해석(FEM) 통해 단면수복재를 시공한 콘크리트의 표면으로부터의 거리별 염분농도를 산출하였다.

2. 실험

2.1 실험개요 및 방법

본 연구에서는 염화물이온 확산계수를 단기간에 산정하기 위하여 Tang과 Nilson이 제안한 전기촉진 실험방법(Rapid Chloride Permeation Test)을 이용하여 염화물이온 확산계수를 단면수복재의 두께에 따라 실험적으로 산정하였다.

표 1. 염화물이온 침투실험 인자 및 수준

인 자	수 준		전압(V)	실험체명
	단면수복재(mm)	가압시간(시간)		
단면수복재두께	0	72	30	R-0-72
	10			R-10-72
	20			R-20-72
	50			R-50-72

0.3M의 NaOH수용액을 양극으로, 3%의 NaCl수용액을 음극으로 하여 72시간동안 30V의 전압을 실험체에 가하였다³⁾. 염화물이온의 침투 깊이는 실험 종료 후 실험편을 활렬하여 0.1N AgNO₃을 분무했을 때 변색된 부위를 버니어캘리퍼스를 사용하여 3회 측정하고 그에 따른 평균값을 취하였다.

또한 염화물 이온의 확산계수는 다음 식 1에 의해 산정하였다.

$$D = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (1)$$

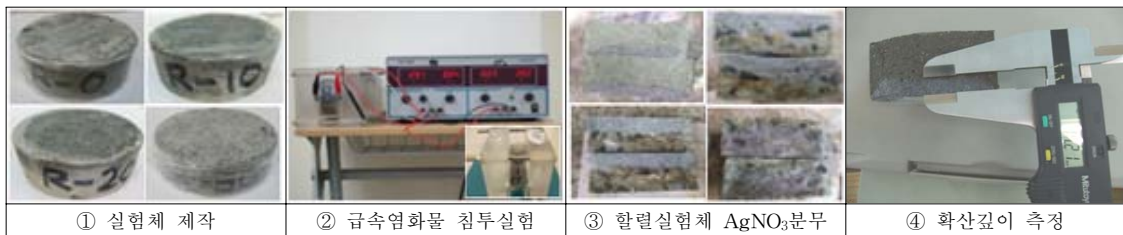


그림 1. 실험과정

2.2 실험결과

2.1에 제시된 RCPT에 의하여 시행된 실험의 결과는 표 2와 같다. 실험결과 콘크리트만으로 이루어진 실험체의 확산계수는 기존의 연구결과의 오차범위 내로 나타났으며, 단면수복재의 확산계수는 $0.44 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 로 콘크리트의 18.3%수준으로 평가되어 이 역시 기존에 국내에서 발표된 연구결과와 유사한 범위 내에서 나타났다. 단면수복재를 10mm시공한 실험체의 확산계수는 $1.45 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 로 단면수복재를 시공하지 않은 콘크리트 실험체보다 54.4%감소된 것으로 평가되었고, 20mm의 두께로 단면수복재를 시공한 실험체의 확산계수는 $1.02 \times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{sec}$ 로 67.9%감소된 것으로 평가되었다.

표 2. 확산계수 실험결과

실험체	시간(h)	확산계수(cm^2/sec)	침투깊이(mm)
R-0	72	3.18×10^{-8}	39.75
R-10		1.45×10^{-8}	24.75
R-20		1.02×10^{-8}	20.80
R-50		0.44×10^{-8}	14.98

3. 유한요소해석(Finite Element Method)

3.1 유한요소해석을 통한 염해 내구수명의 분석

단면수복재를 시공한 콘크리트구조물의 내구수명을 평가하기 위하여 Total-CPS프로그램을 사용하여 다음과 같은 수준의 해석모델을 작성하였다. 구조물에 기대하는 내구수명이 30, 50, 75, 100년일 때, 표면의 염화물이온농도를 $11\text{kg}/\text{m}^3$ 으로하고 단면수복재의 두께를 실험체와 동일하게 0mm부터 50mm 까지 다르게 설정하였을 때의 경우에 대하여 유한요소해석을 시행하였다. 이때의 확산계수는 실험에서 실제로 얻어진 값을 사용하였다.

3.2 유한요소해석 결과

그림 2부터 5까지는 유한요소해석의 결과로, 그 결과 인장근의 피복두께를 3cm일때 인장근의 매립 위치가 임계염화물이온량인 $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ 에 도달하는 시점은 단면수복재를 시공하지 않은 콘크리트(R-0)의 경우 16년, 단면수복재를 10mm시공한 경우(R-10) 49년, 20mm를 시공한 경우(R-20) 99년, 50mm를 시공한 경우에는 100년째에 표면으로부터 3cm위치의 염화물 이온농도가 $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 측정되었다.

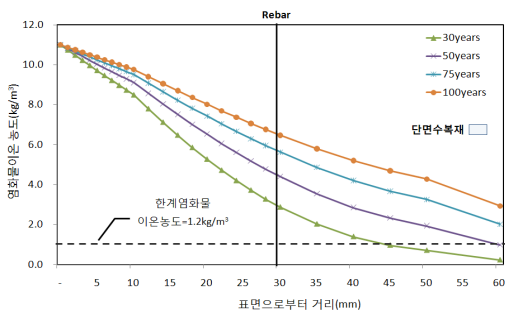


그림 2. 유한요소 해석결과(R=0mm)

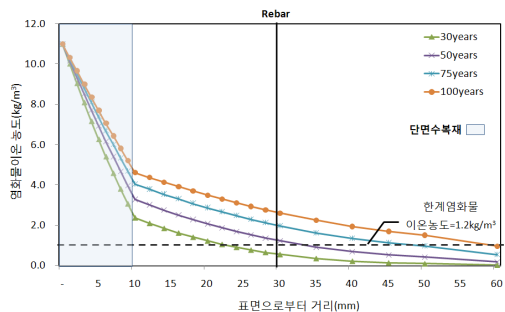


그림 3. 유한요소 해석결과(R=10mm)

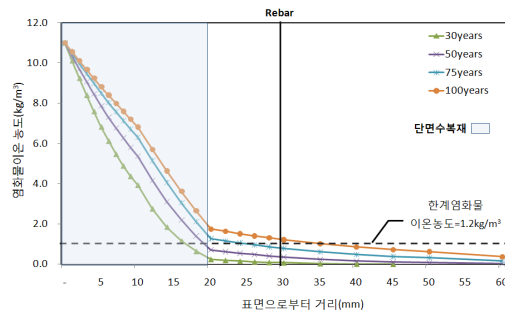


그림 4. 유한요소 해석결과(R=20mm)

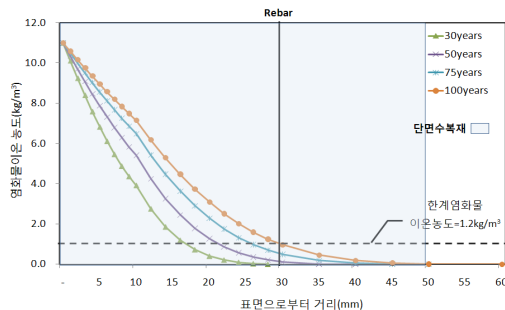


그림 5. 유한요소 해석결과(R=50mm)

3.4 해석결과의 분석

일본토목학회에서 제시한 식2에 의한 염화물이온의 침투예측과 FEM에 의해 얻어진 결과 중 각 연도별로 임계염화물량에 최근 접하는 곡선들을 비교해본 결과 비교하여 보았다(그림 6, 7). 그 결과

그래프의 거동은 두 방법 간에 유사한 형태로 나타났으나 일본토목학회에서 제시한 식에 의한 확산농도가 다소 높게 나타났다. 이와 같이 FEM의 결과와 공식에 의한 값이 다소 상이한 이유는 FEM프로그램 내에서는 콘크리트의 재령에 따라 확산계수가 감소하는 경향과 표면의 염화물이온 농도를 변수로 취급하는 반면에 공식에서는 이를 반영하지 않은 간편해이기 때문으로 사료된다.

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{x}{\sqrt{D_c}} + \frac{c_s}{\sqrt{D_s}} \right) \right) \right) + C(x,0) \quad (2)$$

- C(x,t): 표면으로부터 거리 x(mm)만큼 떨어진 위치에서 시간 t(년)의 염화물이온농도(kg/m³)
- c_s: 단면수복재의 두께(mm)
- D_s: 단면수복재의 염화물이온 확산계수(cm²/년)
- D_c: 콘크리트의 염화물이온 확산계수(cm²/년)
- C(x,0): 초기 염화물 함유량(kg/m³)

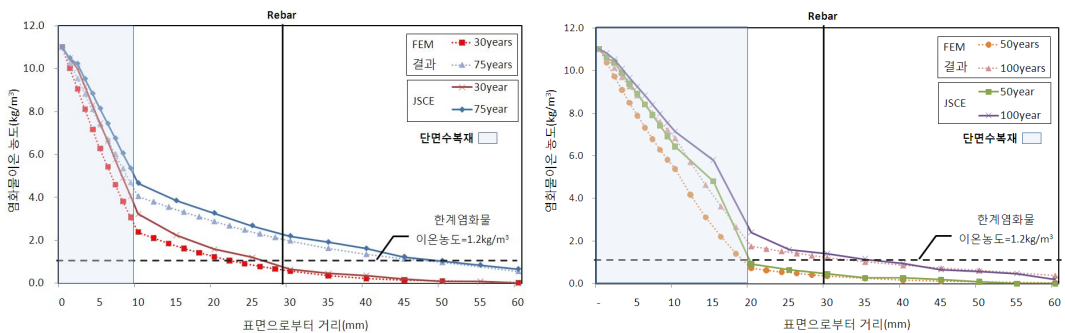


그림 6. 염화물이온 침투결과 비교

4. 결론

RCPT를 통하여 단면수복재의 염화물이온 확산계수를 측정하고 그 결과값으로 염화물이온량 침투 예측 및 FEM분석을 실행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 단면수복재인 폴리머모르타르시멘트의 염화물이온 확산계수는 $0.44 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 로 콘크리트의 확산계수와 비교하여 18.7%의 수준으로 염화물이온의 차단효과가 현저하다.
2. 구조물내에서의 염화물이온 확산을 예측하기위한 FEM과 일본토목학회에서 제시한 공식의 해를 비교한 결과 FEM의 예측값이 다소 작게 예측되었으며 이는 공식이 시간변화에 따른 확산계수의 감소를 고려하지 않은것에 기인하는 것으로 사료된다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터(R11-2005-056-04003)와 산업자원부 표준기술력 향상 사업(2007-000-0000-6365)의 지원에 의한 결과입니다.

참고문헌

1. 이우진, 김동석, 이한승(2005), 각종 표면마감재가 염소이온 확산 저항성에 미치는 영향 연구, 대한건축학회 창립60주년기념 학술발표대회 논문집, 제 25권 제1호; pp.341~344
2. 이한승, 이우진(2006), 鹽害環境下에서 表面마감재를 施工한 鐵筋 콘크리트 構造物의 耐久壽命 豫測, 대한건축학회 논문집, 제 22권 1호; pp. 119~126
3. Tang, L. and Nilsson, L. O.(1992), Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field, ACI Materials Journal, 89(1)
4. 日本土木學會(2005), 表面保護工法 設計施工指針(案); pp.113~114