

# FEM 해석을 통한 표면마감재 시공 RC 구조물의 내구성 평가

## Evaluation of the Durability at RC Structure with Surface Finishing Materials using FEM Analysis.

이성민\*      이한승\*\*      김동석\*\*\*      이우진\*\*\*\*  
Lee, Seong Min   Lee, Han Seoung   Kim, Dong Seok   Lee, Woo Jin

### ABSTRACT

Chloride ion diffusion is the most important thing of occurring deterioration in RC structure. So it is important to decide the precise chloride ion diffusion coefficient in order to predict the durability life in RC structure. The purpose of this study is to analyze the established data, which are restricted by chloride diffusion coefficient, and to calculate chloride ion diffusion coefficient using RCPT test. To examine the prediction of the concrete structure durability by an FEM analysis and the chloride diffusion coefficient as a variable. Each surface finishing materials were effective on the increment of chloride penetration resistance, but showed a little different effect depending on the type of surface finishing material.

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 설계·시공 및 환경조건에 의해 일정 기간이 지나게 되면 성능저하가 가속되어 더 이상 구조물로서의 기능을 발휘하지 못하게 되는데 이러한 성능저하 현상 중 염화물에 의한 염해가 대표적이다. 건축구조물은 토목 구조물과 달리 구조물의 외벽이 노출 콘크리트상태가 아닌 표면마감재가 시공되어 있으므로 표면마감재가 염소이온의 침투를 억제하여 염해의 진행이 늦춰질 것으로 예상된다. 따라서 염소이온의 침투에 대한 마감재의 확산특성을 연구하는 것이 중요하나 이에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서는 표면마감재를 시공한 철근 콘크리트 구조물을 대상으로 표면마감재의 염소이온 침투 저항성을 급속 염화물 침투실험으로 평가하였다. 또한 실험에서 얻어진 콘크리트와 마감재료의 염소이온 확산계수를 이용하여 FEM 해석에 의한 염해 내구수명을 해석함으로써 표면 마감재가 시공된 철근 콘크리트 구조물의 내구성 향상에 관한 기초 자료를 제공하고자 한다.

### 2. 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 철근콘크리트 구조물의 염해에 의한 내구성 저하를 예측하기 위하여 각종 마감재

\*정회원, 한양대학교 대학원 건축환경공학과, 석사과정

\*\*정회원, 한양대학교 공학대학 건축학부 조교수, 공학박사

\*\*\*정회원, 한양대학교 대학원 건축환경공학과, 박사과정, (주)대우건설기술연구소 과장

\*\*\*\*정회원, 日本 東京大學 大學院 建築學專攻, 研究生

의 시공 유무에 따른 염소이온 확산계수를 급속염화물침투시험을 통하여 산정하였다. 또한, 실험에서 얻어진 염소이온 확산계수를 이용하여 유한요소해석법을 통해 염해에 관한 내구수명예측을 실시하였고, 시간경과에 따른 철근위치의 염소이온 농도를 산정함으로써 염해환경하의 철근콘크리트 구조물의 염해수명을 예측하였다.

### 3. 실험 및 실험 개요

#### 3.1 실험 개요

본 실험에서는 염소이온 확산계수를 단기간에 산정하기 위하여 Tang과 Nilson이 제안한 실험방법(RCPT)을 이용하여 염소이온 확산계수를 마감재의 종류에 따라 실험적으로 산정하였다.

#### 3.2 실험 인자

표 2는 실험의 인자 및 수준에 따른 콘크리트 배합표이다. 마감재를 변화시키며 실험하는 것이 목적이므로 배합에서의 변화는 두지 않았다. 또한 양생 재령은 확산계수의 변화가 거의 없는 42일에서 실험체를 제작하여 확산특성을 평가하였다.

표 1. 실험 인자

마감재의 종류	수성 페인트	레미탈	단면 수복재	발수재	표면 피복재	본타일
공통사항						
염소이온 침투 실험기간 : 24h, 공기량 : 4.5±1.5%, slump : 15cm, 설계기준강도 : 21Mpa						

표 2. 콘크리트 배합표

W/C (%)	S/a (%)	단위 중량 (kg/m³)				
		W	C	S	G	AD
55.6	50.5	181	326	895	890	1.63

표 3. 시멘트의 특성

분류	비중	응결시간		분말도 (cm²/g)	압축강도(Mpa)		
		초결(hr)	종결(hr)		f <sub>7</sub>	f <sub>14</sub>	f <sub>28</sub>
내용	3.15	4.1	6.2	3,400	15.2	20.7	2.58

표 4. 골재의 특성

골재 종류	입경 (mm)	절건비 중	흡수율 (%)	단위용적 중량 (kg/m³)	실적율 (%)	조립율 (F.M)
잔골재	5	2.57	0.04	1,580	-	2.89
굵은골재	25	2.63	0.81	1,520	57.8	7.08

실험체의 제작은 KS F 2711 규격에 따라 수중양생을 실시한  $\phi$  10×20cm 원주형 공시체를 50mm 두께로 절단한 후, 실험기간 동안 수분의 증발을 방지하기 위하여 랩을 사용하여 원주면을 보호하였다. 염소이온 확산실험은 Tang과 Nilson이 제안한 전기촉진실험방법을 참조하여 0.3M의 NaOH수용액을 양극으로, 3%의 NaCl 수용액을 음극으로 하여 30V의 전압을 가하였다. 염소이온의 침투깊이는 실험이 종료한 후 실험편을 할렬하여 0.1N AgNO<sub>3</sub>를 분무 하였을 때 변색되는 부위를 버니어캘리퍼스를 사용하여 측정하였다. 측정된 결과를 바탕으로 식 (1)을 이용하여 염화물 확산계수를 산출하였다.

$$D_c = \frac{RTL}{zFU} \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad \text{식 (1)}$$

F : 페레데이 상수 (96,481.04 J/Vmol)    L : 시편의 두께 (m)  
 U : 양극과 음극 사이의 전압차 (V)    x<sub>d</sub> : 염소이온의 침투깊이 (m)  
 R : 기체상수 (8,314 J/Kmol)    t : 실험 지속시간  
 T : 용액의 온도 (K)    erf : error function

#### 3.3 염소이온 확산계수 분석 및 고찰

단면 수복재와 레미탈은  $\phi$  10×20cm 원주형 공시체를 제작 후 10mm를 부착시킨 후 실험하였다.

그림 1은 마감재별 확산계수의 비교를 나타낸다. 마감을 하지 않은 콘크리트를 기준으로 마감재만의 확산계수를 산정한 비교한 그래프이다. 분석 결과 무마감 콘크리트<수성페인트<레미탈<발수재<단면수복재<표면피복재<본타일 순으로 염소이온에 대한 저항성이 좋은 것으로 확인 되었다.

표5. 실험 결과

마감종류	마감 두께 (mm)	관계 상수( $\alpha$ )	확산계수 ( $\times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec)	마감재만의 확산계수 ( $\times 10^{-8}$ cm <sup>2</sup> /sec)	침투 깊이 (mm)
무마감	0	1	6.802	0	18
발수재	0.1	0.205	5.897	1.210	12.2
수성페인트	0.2	0.736	6.734	4.956	15.3
본타일	0.5	0.214	1.828	0.391	4.6
표면 피복재	1	0.131	3.545	0.466	5.2
단면 수복재	10	0.196	5.340	1.044	7.3
레미탈	10	0.606	6.222	3.770	14.1

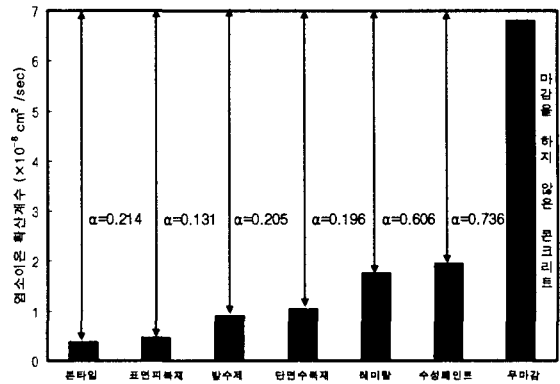


그림1. 마감재의 확산계수의 비교

#### 4. FEM 해석을 이용한 염해 내구수명 예측

##### 4.1 FEM 해석 개요

본 연구에서 사용한 염소이온 침투해석을 위한 FEM 해석모델은 콘크리트 표면의 염분농도를 고정 시키고, 1차원 모델의 수평방향으로의 염소이온 확산만을 고려하였다. 또한, 염소이온 확산계수는 본 연구에서 조사한 국내 연구 자료를 사용하였으며, 경과 년수에 따라 철근위치의 염소이온 농도를 산정 하였다.

##### 4.2 표면 마감재에 따른 염소이온 침투 해석

표 5에서 산정된 마감재만의 염소이온 확산계수를 이용하여 그림 2와 같이 임계 염화물 이온 농도 1.2kg/m<sup>3</sup>에서의 철근 콘크리트 구조물의 염해에 관한 내구수명을 FEM을 통해 30, 50, 75, 100년으로 각 마감재에 따라 해석하였다. 염소이온의 침투에 대한 저항성이 좋은 마감재의 경우 예측초기 그래프의 경사가 가파른 것을 알 수 있다. 이것은 마감재의 확산계수가 콘크리트의 확산계수에 비해 작기 때문에 발생하는 현상으로 해석된다. 해석 결과 마감을 하지 않은 콘크리트에서 도출한 염소이온 확산계수와 염소이온의 침투 저항성이 가장 좋은 본타일에서 도출된 염소이온의 확산계수를 이용하여 염해에 관한 내구수명을 예측한 결과 마감을 하지 않은 콘크리트로 시공한 구조물의 경우 약 32년의 내구수명을 가지는 반면에 본타일을 표면마감재로 사용한 구조물의 경우 약 52년의 내구수명을 가지는 것으로 예측되었다.

#### 5. 결론

표면마감재를 시공한 철근 콘크리트 구조물을 대상으로 표면마감재의 염소이온 침투 저항성을 급속 염화물 침투실험으로 평가하고, 실험에서 얻어진 콘크리트와 마감재료의 염소이온 확산계수를 이용하여 FEM 해석에 의한 염해내구수명을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 급속 염화물 이온 침투 실험을 통해 표면 마감재를 시공한 콘크리트의 염소이온 확산계수를 산정한 결과, 표면마감재는 콘크리트보다 염소이온 확산계수가 작아 염소이온 침투 억제에 효과적인 것을

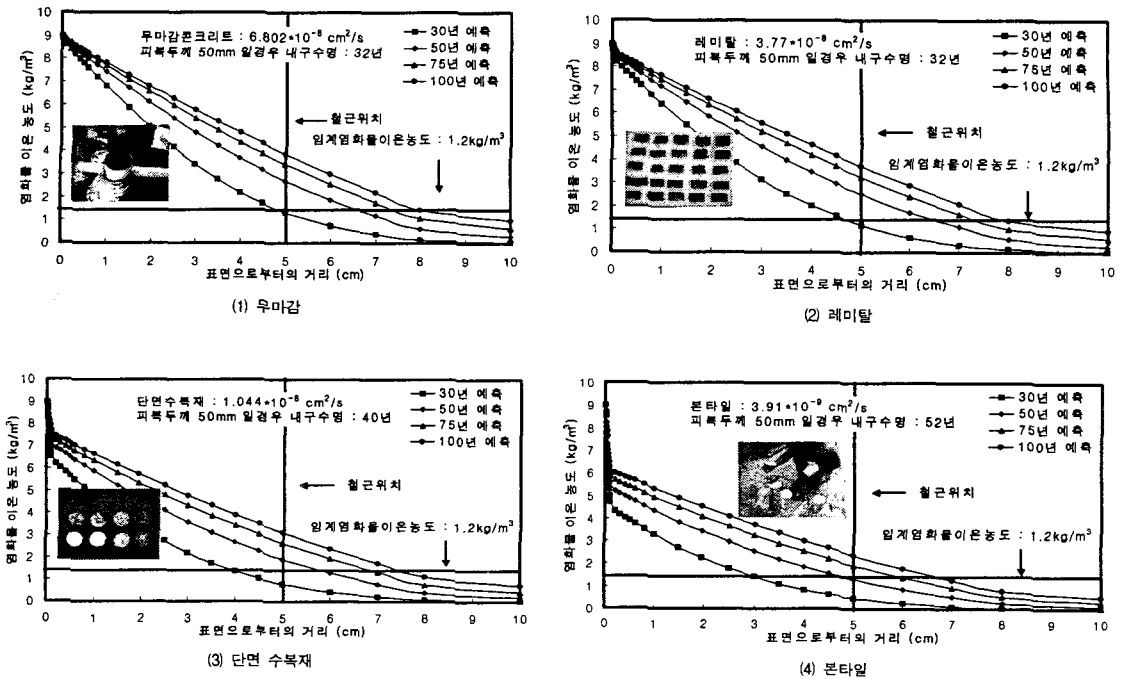


그림2. FEM 해석 결과

정량적으로 파악할 수 있었으며, 본 연구 범위에서는 표면마감재의 확산계수  $D_s = \alpha \times D_c$  ( $\alpha$ : 관계상수)의 식으로 산정할 수 있다.

- 2) 표면마감재를 시공한 철근 콘크리트의 염해내구수명은 표면마감재의 염소이온 확산계수 ( $D_s$ )와 콘크리트의 염소이온 확산계수 ( $D_c$ )를 각각 FEM 해석에 적용함으로써 예측가능하다고 판단된다.
- 3) 급후, 표면마감재를 시공한 경우의 염소이온 침투 해석결과를 검증하기 위하여 실제 건축물에서 채취한 실험체 및 표면마감재를 시공한 콘크리트 실험체의 장기침지실험이 수행되어야 한다고 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업 지원으로 수행되었음 (# R11-2005-056-04003-0)

#### 참고문헌

1. 이우진, 염해환경하에서 표면마감재를 시공한 철근 콘크리트 구조물의 내구수명 예측, 한양대학교 대학원 건축공학과 석사학위 논문, 2006
2. 阿部道彦·榎田佳寛·田中 齊·柳 啓·和泉意登志·友澤史紀:콘크리트의促進中性化試験方法の評價に関する研究、日本建築學會構造系論文報告集, 第409, pp.1~10, 1990, 3.
3. 日本建築學會, “高耐久成鐵筋コンクリート造設計施工指針(案)·同解説”, pp86-88, 183-184.