

콘크리트 구조물용 표면도장공법의 차염성능의 최적화에 대한 연구

Optimization of Surface Treatment System for Concrete Structures to Control Chloride Penetration

이 창 수* 성 재 덕** 윤 인 석***
Lee, Chang-Soo Sung, Jae-Duk Yoon, In-Seok

ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate performance on reducing the chloride diffusion of surface treatment systems with elapsed time, treatment thickness, treatment frequency, and the types of surface treatment - coating, penetrator, and both all.

Based on this paper, the guideline to applicate surface treatment systems will be established and comprehended how effective the resistance of chloride diffusion is. The selection of surface treatment materials and thickness to acquire service life of target will be possible. It is also expected to select optimum surface treatment system groups to resist chloride diffusion effectively and to estimate increased service life as the effect of durability enhancement.

1. 서 론

콘크리트의 표면은 염해환경으로부터 내부의 철근을 보호하는 방호벽이므로 콘크리트 구조물의 내구수명은 피복 콘크리트의 성능에 의하여 좌우된다. 그래서 선진외국에서는 피복 콘크리트의 성능을 증진시키는데 많은 노력을 기울여 왔으며 표면처리공법은 그 대표적인 방법이다. 특히, 해양성 환경에서의 해수는 콘크리트 내부로 확산되어 콘크리트 구조물의 내구성을 현저히 저하시키므로 차염성이 우수한 표면처리재료를 선정 및 적용해야 한다.

그래서 본 연구는 염화물 이온 농도차 확산셀을 구성하고 표면처리재료의 종류, 도장회수 및 도막 두께에 따라 염화물 이온 확산계수의 감소 효과를 검토하여 표면처리공법의 재료 선정 및 시공표준화를 얻는 것을 목적으로 하였다.

2. 연구개요

-
- * 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수
 - ** 정회원, 대림대학 건설환경정보과 교수
 - *** 정회원, 서울시립대학교 도시과학연구원 연구원

2.1 실험재료

(1) 표면처리재료

사용한 표면처리재료는 코팅계(CT)와 침투계 표면처리재료(PT)로서 코팅계 표면처리재료는 폴리머 개질 시멘트계로서 콘크리트와 동일한 성분인 칼슘-실리케이트 화합물이며, 침투성 표면처리재료는 T 사의 무색의 규산질계로서 pH 11~12, 비중 1.15 ± 2 인 물성을 갖는 발수제이다.

(2) 구체의 제작

구체는 시멘트와 잔골재의 중량비 1 : 2.45, 물-시멘트비 48.5%인 표준 모르타르로서 직경 10cm, 두께 0.5cm인 원형 디스크이다. 28일 동안 표준 양생된 모르타르의 표면을 샌드페이퍼로 연마한 후, Table 1의 조건으로 표면처리공법을 적용하였다. 완성된 시험체는 확산실험 초기에 모세관력 흡수작용 없이 순수 확산만 구동력이 되도록 확산셀을 구성하기 전까지 수중에 2일 동안 침지하였다.

Table 1 Application of surface treatment materials

Specimen	Treated No	Specimen thickness(mm)	※ Description of Specimen
Plain	0	5	<p style="text-align: center;">○ ○ - □</p> <p style="text-align: center;">↓ ↓</p> <p style="text-align: center;">Type of surface treatment No of Treatment</p>
CT-1*	1	5 + 2(coating) = 7	
PT-1**	1	5 + 0 = 5	
CT-2	2	5 + 2(coating) + 1(coating) = 8	
PT-2	2	5 + 0 + 0 = 5	
CT-PT-2	2	5 + 2(coating) + 0 = 7	

* Coating treatment : polymer modified cementitious coating

** Penetrant treatment : water repellent based on solvent silane

2.2 농도차 이온 확산 실험방법

Fig. 1의 농도차 이온 확산 실험으로 식 (1)로 확산계수를 구하였다. 여기서, A , V , ℓ , C 는 상수이며 시간에 따라 확산되어 투과된 이온의 농도그래프에서 직선의 기울기를 구하여 D 가 결정된다.

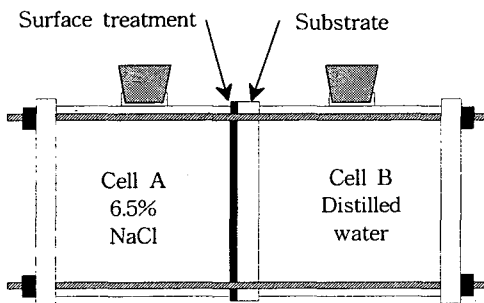


Fig. 1 Chloride diffusion cell setup

$$D_m = \frac{V \cdot \ell}{(C_A - C_B \cdot A)} \frac{dC_B}{dt} \quad (1)$$

여기서, D_m : 모르타르의 확산계수(cm^2/sec),

ΔQ_m : 침투가 일정한 시간 사이에 침투된 염화물량($\%/ \text{cm}^2$),

ℓ : 모르타르 디스크의 두께,

ΔC_n : Cell A와 B의 염화물 농도차,

Δt : 침투속도가 일정한 구간의 시간(sec)

3. 결과 및 고찰

모르타르 디스크의 두께에 따른 염화물 확산계수를 구하여 정리한 것이 Fig. 2로서 모르타르 두께가 작을

수록 염화물 확산계수는 다소 크게 나타났다. 그러나 농도차 확산셀 실험으로 구한 모르터 확산계수는 시험체의 두께에 대한 함수를 가지며 모르터 두께가 증가하여도 모르터 확산계수는 두께에 따라 일정한 비율로 감소하지는 않았다.

한편, Crank¹⁾가 제안된 확산 저항성(diffusion resistance, R_{diff})은 식 (2)로 정의되며 보통 모르터의 확산저항성을 Fig. 3에 나타내었다.

$$R_{diff} = \frac{L}{D} \quad (2)$$

여기서, L : 시험체의 두께, D : 확산계수이다.

동일 재료인 보통 모르터이기 때문에 확산저항성(R_{diff})이 같아야 하지만 실험결과는 상이하였다. 이는 수분에 따른 시멘트 수화반응이 지속되어 모르터 미세공극의 폐쇄효과로 이온확산 경로가 증가되었을 뿐만 아니라 이온의 이동이 시멘트 경화체에서 흡착되어 구속된 것에 기인된 결과인 것으로 판단된다. 특히, 5mm두께의 시험체는 확산저항성이 눈에 띄게 낮았는데 본 보통 모르터 시험체가 5mm두께에서 골재와 시멘트 경화체 간에 존재하는 경계영역에서 발생하는 삼출현상(percolation)에 의하여 염화물 침투가 다소 빠르게 진행된 것으로 사료된다.

다음으로 농도차 확산실험을 통하여 얻은 염화물 확산계수를 재령별로 구하여 보통모르터와 비교하여 보인 것이 Fig. 4로서 보통모르터에 비하여 표면처리공법을 적용한 모르터가 염화물 확산계수가 작음을 알 수 있다. 침투성 발수제의 경우 코팅계 표면처리된 것에 비하여 염화물 확산계수가 크게 나타났으며 도장회수가 증가함에도 염화물 확산계수의 감소는 경미하였다. 따라서, 발수제가 침투하여 구체내부에서 고화되어 치밀해진 표면에서 재차 표면처리공법의 적용은 염화물 침투 저항성을 향상시키지 못하는 것으로 사료된다. 그러나 코팅계 표면도장공법에서는 2중 도막으로 인한 멤브레인 효과 및 폴리머 필름의 재차 형성으로 염화물 확산계수를 감소시킬 수 있었다. 또한, 코팅계 2회 처리한 것과 코팅계 및 침투계를 병행한 시험체를 비교하면 코팅계를 2회 적용한 것이 염화물 확산계수가 더 낮게 나타났는데 이미 폴리머 개질계 코팅막의 형성으로 발수제의 침투가 거의 이루어지지 않았기 때문으로 생각된다. 따라서 코팅계와 침투계를 병행하여 적용하는 것보다는 코팅계를 2회 도막처리하는 것이 더 효과적인 것으로 판단된다. 전체 표면처리재료의 종류에 따른 염화물 확산계수에서도 코팅계를 2회 처리한 것이 염화물 확산계수가 가장 작게 나타났다.

한편, 코팅계 표면처리공법은 구체의 공극크기와 표면전하 및 용액내의 다른 이온과 같은 요인들에 의하여 영향을 받으므로 이온의 침투특성이 복잡한 멤브레인 특성을 갖는다. 본 연구에서는 멤브레인 도막의 차염효과를 규명하기 위하여 구체는 제외하고 표면처리재료 단독만의 염화물 확산계수를 식 (3)에 의하여 구하였으며 보통모르터와 도장회수 및 도막두께에 따른 결과를 Fig. 5에 보였다. 즉, 식 (3)으로 구한 염화물 확산계수는 표면처리 도막두께의 영향이 고려된 고유 물성치로서 Fig. 5에서 알 수 있듯이 표면처리재료는 보통 모르터에 비교하여 매우 염화물 확산계수가 작음을 알 수 있다. 그런데 2중으로 도막처리된 표면처리가 단일 도막처리한 동일재료보다 확산계수가 감소함을 알 수 있는데 이러한 이유는 폴리머 계열인 표면처리재료를 중도로 코팅한 양생 초기에 대기환경에서 유기질 폴리머와 시멘트 겔의 단일공유 매트릭스와 미세한 폴리머 필름이 형성되고, 추후 2중 도막코팅 후에 최종 상도부에 폴리머 필름이 재차 형성되었기 때문으로 사료된다.²⁾ 즉, 단일로 코팅한 것은 최종 상도부에 폴리머 필름이 단일 형성되었으나 2중으로 도막 코팅한 것은 중도 및 최종상도부에 폴리머 필름이 2회가 연속 형성되었기 때문에 염화물이온에 대한 차염 효과가 더욱 증진된 것으로 생각되며 향후 해수와 직접 접하는 주요 구조물은 2회 이상의 표면처리시공을 하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

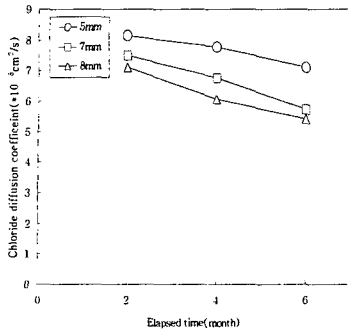


Fig. 2 Chloride diffusion coefficient of mortar disk with thickness

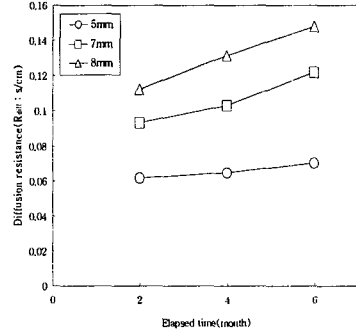


Fig. 3 Diffusion resistance of mortar with thickness

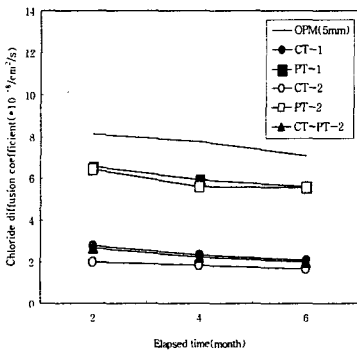


Fig. 4 Chloride diffusion coefficient with surface treatment type

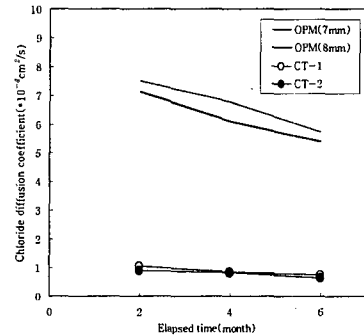


Fig. 5 Chloride diffusion coefficient for only surface treatment

$$D_c = \frac{L_c}{\left(\frac{L}{D_{comp}}\right) - \left(\frac{L_1}{D_1}\right)} \quad (3)$$

D_c : 표면처리재료 단독의 염화물 확산계수(cm^2/sec)

D_1 : 모르터 구체의 염화물 확산계수(cm^2/sec)

D_{comp} : 표면처리재료가 모르터에 도장된 복합체의 염화물 확산계수(cm^2/sec)

L_1 : 구체의 두께(cm)

L_c : 코팅 도막두께 혹은 침투성 표면처리재료의 침투깊이(cm)

6. 결 론

본 연구는 재료, 도장회수 및 도장두께를 선정하기 위한 표면처리공법의 표준화 확립에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 향후의 연구로 코팅계, 침투계, 실러계 등의 제품군에 따라 콘크리트 구조물의 염화물 침투를 가장 효과적으로 제어할 수 있는 표면처리재료의 제품군 선정 및 표면처리공법 적용에 따른 기대 내구수명 증진효과에 대한 검토가 수행될 계획이다.

참고문헌

1. Crank J., □□The Mathematics of Diffusion, □□Oxford University Press, London, 1964.
2. Ohama, Y., □□Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortar, □□Noyes Publications, 1995.