

표면도장공법에 의한 균열부 콘크리트의 염소이온 침투제어 특성

The Effect of Surface Treatment Systems on Chloride Penetration in Cracked Concrete

채 규 봉* 윤 인 석** 이 창 수***
Chae Gyu-Bong Yoon In-Seok Lee Chang-Soo

Abstract

For well-constructed concrete, its service life is a long term and it has an enough durability performance. However, for cracked concrete, it is clear that cracks should be preferential channel for the penetration of aggressive substance such as chloride ions according to author's previous researches. In order to enhance the lifetime of cracked concrete, critical issues in the performance of the concrete is the risk of chloride-induced corrosion. Even though crack width can be reduced due to the high reinforcement ratio, the question is to which extend these cracks may jeopardize the durability of cracked concrete. If the size of crack is small, surface treatment system can be considered as one of the best options to extend the service life of concrete structures exposed to marine environment simply in terms of cost effectiveness versus durability performance.

Thus, it should be decided to undertake an experimental study on the effect of different types of surface treatment system, which are expected to seal the concrete and the cracks to chloride-induced corrosion in particular. In this study, it is examined the effect of surfaced treated systems on chloride penetration through microcracks. Single surface treatments of penetrant or coating and double application were considered as an experimental variation. RCM (Rapid Chloride Migration) testing is accomplished to visualize chloride penetration via cracks.

요 약

건전하게 시공된 콘크리트는 충분한 내구성으로 장기수명을 갖는 것으로 알려졌다. 그러나 대다수의 콘크리트 표면에 존재하는 균열은 염소이온의 침투에 대한 빠른 침투 통로가 되어 내구성을 저하시키는 것은 분명하다. 균열이 발생한 콘크리트의 수명을 연장하기 위한 중요한 사항은 염소이온으로 인한 부식의 위험성을 재고하는 것이다. 균열폭은 높은 철근비로 감소시킬 수 있으나, 실질적으로 균열이 발생한 콘크리트의 내구성 저하이다. 이처럼 균열폭이 작은 경우, 표면도장공법은 균열이 발생한 콘크리트의 내구성을 간단히 향상시킬 수 있는 하나의 방안으로 고려될 수 있다.

따라서, 다양한 표면도장공법이 균열이 발생한 콘크리트를 실링할 수 있는지에 대한 검토가 필요하다. 본 연구는 이와 같이 표면도포공법이 미세균열을 통한 염소이온 침투에 미치는 영향을 실험적 측면에서 고찰하고자 하였다. 실험변수로 침투제와 도포제의 단일 적용과 복합적용이 실험변수로 고려되었으며, 급속 염소이온 침투 실험을 통하여 균열대비 염소이온 침투깊이를 검토하였다.

* 정회원, 효광엔지니어링 대표이사

** 정회원, 인덕대학 건설정보과 전임강사

*** 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

1. 서 론

콘크리트의 표면도장공법은 균열내부의 치료를 할 수 없다는 것과 균열이 성장하면 그 움직임을 추정하기 어려운 결점이 있음에도 불구하고, 균열폭이 미세한 범주에서 간단히 균열보수 효과를 얻을 수 있기 때문에 현장에서 보편적으로 사용하고 있는 방법이다. 그러나, 미세균열의 실링을 목적으로 적용하는 표면도장공법의 유효성은 실험 방법적인 측면에서 어려움이 있다.

본 연구는 미세균열이 발생한 콘크리트를 대상으로 침투제와 도막제를 적용한 후, 균열을 통한 염소이온의 침투를 제어할 수 있는지 검토하기 위한 실험적 연구이다. 본 연구는 두가지 목적을 갖는다. 첫째는, 미세균열이 존재하는 콘크리트의 표면처리공법이 미세균열을 통한 염소이온의 침투를 제어할 수 있는지 검토하는 것이다. 둘째는, 표면처리공법을 적용시, 염소이온의 침투를 제어할 수 있는 균열폭을 고찰하는 것이다. 이 균열폭은 표면처리공법의 재료적 특성 및 시공조건에 의존하지만, 본 연구의 실험적 범위 내에서 표면도장공법이 유효한 균열폭의 범위를 고찰하고자 한다.

2. 실험방법

(1) 표면도장공법의 재료: 본 연구에서 사용된 표면도장재료는 H 사의 제품인 도막제(CT)와 침투제 재료(PT)가 사용되었다. 표면도장재료를 적용하기 위한 구체 콘크리트는 Table 1 과 같이 보통 포틀랜드 시멘트를 사용되었으며, 물-시멘트비가 50 % 인 150 × 150 × 150 mm 크기의 큐빅형 콘크리트 시험체가 제작되었다. 시험체는 타설 후 2 일동안 표준양생이 취해지고, 이후 재령 28 일까지 기중 양생되었다. 콘크리트의 균질성을 확보하기 위하여 직경 100 mm 의 코어링 머신으로 중앙 부위를 천공한 후, 콘크리트 표면은 커팅머신으로 제거한 후, 두께 55mm 의 원형 디스크 시험편이 얻어졌다. 타설 방향별 일정하게 중앙상부에 5 × 5 mm 크기의 노치(Notch)를 만든 후, 노치 양측으로 2 장의 강판이 부착되었다.

(2) 균열제어 및 표면도장재료의 도포: 콘크리트 시험편 양쪽 측면에는 균열개구 변위 (Crack Mouth Opening Displacement, CMOD)를 제어하기 위하여 LVDT 가 설치되었다. 하중 제어기로 부착된 강판에 인장응력을 가하였으며 균열도입후, 하중을 제거하면 균열단합 현상이 고려된 유효 CMOD 를 구하였다. 균열이 도입된 후, 커팅머신으로 노치를 제거하면 최종적인 콘크리트 시편의 크기는 직경 100 mm, 두께 50 mm 가 된다. 균열도입 및 노치의 제거후, 콘크리트 표면에 표면도장재료가 적용되었다. 이때 도포방법은 붓을 이용하되, 표면도장재료 및 적용방법에 따라, Fig. 1 과 같이 실험변수화 하였다. 먼저, 침투제(P)와 코팅제(C) 각각에 대하여 적용한 경우와 침투제를 적용 후 1 주일후 제차 코팅제를 복합 적용한 경우(PC)로 구분된다. 침투제의 침투깊이는 비균열된 콘크리트 배합에 도포하고 1 주일후 콘크리트를 할렬하여 파단면에 물을 살포하여 발수성을 갖는 경계면까지의 깊이를 측정하였고 그값은 3.3mm 으로 측정되었다. Fig. 2 는 콘크리트 표면에 코팅재료의 적용 후, 경화된 코팅재료의 두께를 광학 현미경 DM RX 로 측정한 사진으로서 평균적으로 약 70um 의 도막두께가 형성되었음을 알 수 있다.

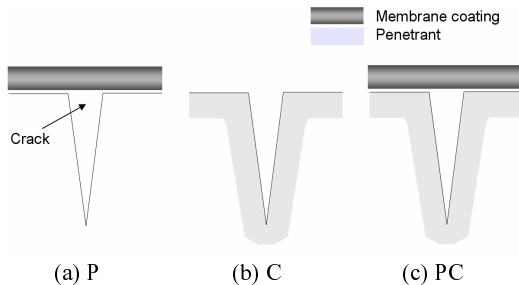


Fig. 1 Working condition of surface treatment system

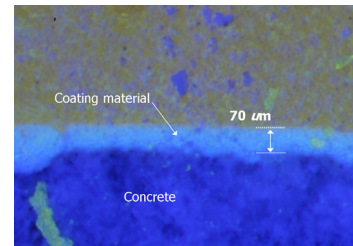


Fig. 2 Thickness of surface coating materials on concrete

Table 1 Mixing proportion of concrete

28days strength (MPa)	Slump (mm)	G_{max} (mm)	w/c	Unit weight (kg/ m ³)			
				Water	Cement	Sand	Gravel
28.5	150±10	16	0.50	185	370	720	1021

(3) 염소이온 침투실험: 균열이 도입후 표면도장재료로 도포된 콘크리트로 급속 염소이온 침투 실험인 RCM (Rapid Chloride Migration) 실험을 수행하였다[11]. 시험 전, 시험편은 1 kPa ~ 5 kPa의 압력을 갖는 진공 챔버에 5분 동안 보관된 후, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 포화용액에 침지되었다. 다시 진공챔버에서 1시간 동안 보관된 후, 18시간 동안 제차 진공챔버에서 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 포화 용액에 침지되었다.

RCM 실험을 수행하기 위하여 시험편의 양극부에 0.3 N NaOH 용액, 음극부에는 2 N NaCl 용액으로 확산셀을 구성하였다. 통전성을 확인한 후, 15 ~ 20 V의 전압이 확산셀에 인가되었으며, 시험편의 온도 및 인가전류가 지속적으로 측정되었다. 실험종료 후, Fig. 4와 같이 시험편을 2회 할렬 인장시켰으며, 할렬된 시험편 (b)에 0.1 M AgNO_3 용액을 살포하여 한 시험체당 두 단면의 염소이온 프로파일을 얻었다. 버니어 캘리퍼스를 이용하여 표면으로부터 염소이온의 침투깊이를 0.1 mm 단위까지 엄밀 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 침투제로 도포된 콘크리트의 염소이온 확산계수를 보인 것이다. 전 구간의 균열폭에서 균열부의 염소이온 확산계수는 비균열부 보다 높게 측정되었다. 이는 CMOD 0.02 mm의 작은 균열에도 균열을 통하여 염소이온 침투가 꾸준히 이루어지고 있는 것으로 추정할 수 있다.

Fig. 4는 균열부 염소확산계수와 비균열부 염소이온 확산계수의 비율인 상대 확산계수(D_r / D_0)를 보인 것으로 균열폭이 커짐에 따라 꾸준히 상대 확산계수도 상승하지만, 전 구간에서 1.0 이상의 비율을 초과하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 도막제로 도포된 콘크리트의 염소이온 확산계수를 보이고 있다. 0.06 mm 이하의 균열폭에서 염소이온 확산계수는 일정하되, Fig. 5의 침투제가 도포된 콘크리트의 염소이온 확산계수보다 낮은 추이를 보였다. 따라서, 도막제는 침투제보다 방호 메커니즘이 우수한 것으로 생각된다. 특히, 0.06 mm까지의 균열폭까지 염소이온 확산계수는 일정하였으나, 이를 초과하면서 급격하게 염소이온 확산계수가 상승하는 결과를 보였다. 그런데, 도막제의 도포공법이 균열 개구부를 통한 염소이온의 침투를 제어할 수 있는 균열폭의 한계는 도막재료의 재료적 특성, 도막회수 및 도막두께 등에 의존하기 때문에 모든 도막재료에 적용하기에는 어려움이 있다고 생각된다. 따라서, 보편적으로 0.20 mm의 균열폭에서 표면도장공법이 유효한 것으로 알려져 있으나, 균열을 통한 염소이온의 침투를 제어하기 위한 목적의 표면도장공법은 그 유효성이 매우 작은 것으로 생각된다.

Fig. 6은 표면도막된 콘크리트의 상대확산계수로서 추이가 뚜렷하지는 않으나, 0.06 mm까지는 1.0의 비율값을 갖으나, 그 이상에서 뚜렷하게 상승하는 경향을 확인할 수 있다.

균열이 발생한 콘크리트의 경우, 균열폭이 지극히 작은 미세균열일 경우, 침투제를 일차적으로 도포하면 균열벽간의 간극을 채울 수 있으며, 도포제를 콘크리트 표면에 제차 적용하면 멤브레인 도막 형성으로 균열개구로 인한 염소이온의 유입을 보다 효과적으로 제어할 수 있다고 판단된다. 그래서, 침투제와 도막제를 병용하여 염소이온 침투의 차단성을 실험하여 결과를 보인 것이 Fig. 7이다. 또한, Fig. 8은 침투제와 도막제의 복수사용에 따른 상대확산계수로서 그 추이는 상당히 뚜렷한 경향을 확인할 수 있다. 즉, 0.08 mm까지는 약 1.0의 상대 확산계수값을 갖으나, 그 이상에서 급격히 상승하는 추이를 확인할 수 있다. 균열을 통한 염소이온의 침투를 제어하기 위해서는 침투제를 이용하는 것은 적절치 않으며, 도막제 혹은 침투제 및 도막제와의 병행사용이 중요할 것으로 생각된다.

이상과 같이, 표면도장에 의한 콘크리트의 균열개구를 통한 염소이온 침투의 제어를 살펴보았다. 일본 콘크리트공학 협회[2]에서 균열폭의 변동이 작을 경우, 균열폭 0.2 mm 이하의 조건에서, 방수성능을 유지하기 위하여 표면도장공법을 권장하였다. 또한, 국내 콘크리트 보수 보강 시방서[3]에서는 0.2mm 이하의 균열폭 조건에서 표면도장공법의 차염효과를 긍정적으로 기대할 수 있으며, 0.2~1.0mm의 균열폭까지는 다소간의 기대가 가능한 것으로 제안하였다. 그러나 본 연구결과에서는 침투제에서는 그 효과를 기대하기 어려우나 멤브레인 도막을 형성할 경우, 염소이온 침투의 제어효과를 다소 기대할 수 있는 것으로 생각된다. 멤브레인 도막에서 0.06mm 이하의 균열폭 조건에서 염소이온 침투의 제어가 가능한 것으로 나타났는데, 이 임계균열폭은 표면도장공법의 재료성능, 도장재료의 염소이온 확산계수, 도막두께 및 도막회수 등에 의존하는 것으로 생각된다.

향후, 본 연구를 필두로 다양한 재료특성을 갖는 표면도장재료에 적용하여, 균열의 활동성, 균열폭, 도장조건 등에 따라 균열을 통한 염소이온 침투의 거동을 분석하는데 방대한 데이터를 축적, 검증 및 보완이 필요할 것으로 생각된다.

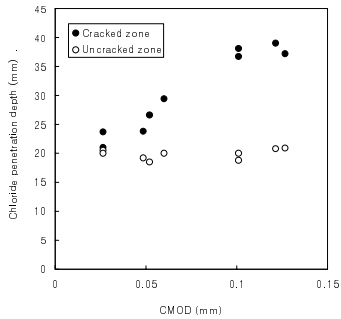


Fig. 3 Chloride diffusion coefficient for PT treated concrete

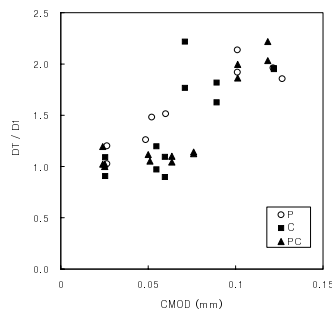


Fig. 4 Relative chloride diffusion coefficient for PT treated concrete

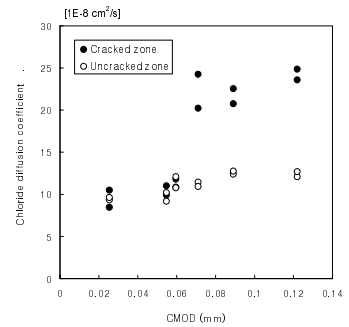


Fig. 5 Chloride diffusion coefficient for CT treated concrete

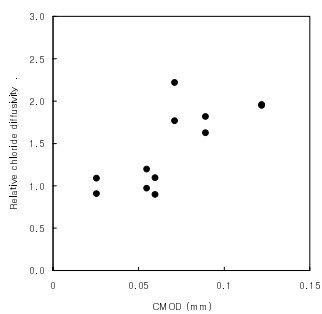


Fig. 6 Relative chloride diffusion coefficient for CT treated concrete

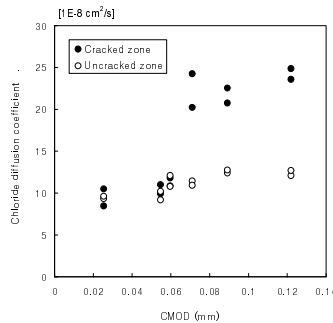


Fig. 7 Chloride diffusion coefficient for PCT treated concrete

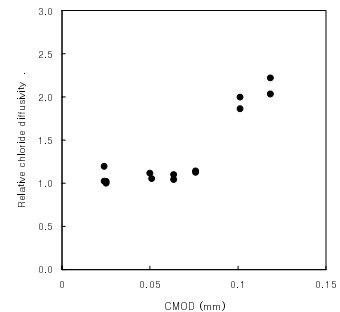


Fig. 8 Relative chloride diffusion coefficient for PCT treated concrete

4. 결 론

(1) 균열을 통한 염소이온의 침투제어 가능성을 RCM 실험에 의하여 효과적으로 균열에 의한 염소이온의 침투를 분석할 수 있었으며 표면도장공법의 종류에 따른 검토가 가능하였다.

(2) 침투제를 도포한 콘크리트의 염소이온 확산계수는 균열폭 0.02 mm의 미세균열에서도 상승하는 추이를 보였다. 따라서 침투제만으로 균열개구를 통한 염소이온의 유입의 제어는 불가능하였다.

(3) 도막제는 균열개구로 유입되는 염소이온을 균열폭 0.06 mm 내외, 침투제와 도막제의 혼합적용을 하면 0.08 mm의 균열폭내에서 제어가 가능하였다.

(4) 기존의 문헌에서 미세균열의 실링 목적으로 표면도장공법을 적용할 수 있는 0.2 mm 이하의 균열폭 한계는 제고될 여지가 있는 것으로 사료된다. 단, 급속 촉진실험에 의한 균열개구를 통한 염소이온의 유입 실험결과와 검증을 위하여 다양한 도막재료 및 두께를 변수로 한 실험과 장기 내구성능 실험결과가 추가로 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Nolan, E., Basheer, P.A.M., and Long, A.E., "Effects of Three Durability Enhancing Products on Some Physical Properties of Near Surface Concrete," *Construction and Building Materials*, Vol.9, No.5, pp.267-272, 1995.
2. 콘크리트의ひび割れ調査, 補修補強設計-2003, 社団法人 日本コンクリート工學協會, 2003.
3. 한국시설안전기술공단, "콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수보강 전문시방서," 건설교통부, pp.6.8-6.8, 1999.
4. 윤인석, "미세균열이 콘크리트의 염소이온 침투에 미치는 영향 I - 현상학적 모델," 한국콘크리트학회 논문집, 제19권, 1호, pp.57-65, 2007.
5. 윤인석, "미세균열이 콘크리트의 염소이온 침투에 미치는 영향 II - 임계균열폭의 고찰," 한국콘크리트학회 논문집, 제19권, 6호, pp.707-715, 2007.