

표면도장공법을 적용한 미세균열 콘크리트의 염소이온 침투 제어 특성

Examination for Controlling Chloride Penetration of Concrete through Micro-Cracks with Surface Treatment System

윤인석* · 채규봉**

Yoon, In-Seok · Chae, Gyu-Bong

Abstract

For well-constructed concrete, its service life is a long period and it has an enough durability performance. For cracked concrete, however, it is clear that cracks should be a preferential channel for the penetration of aggressive substance such as chloride ions according to author's previous researches. Even though crack width can be reduced due to the high reinforcement ratio, the question is to which extent 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 to deal with 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 such as penetrant, coating, and their combination on chloride penetration through microcracks. Experimental results showed that penetrant can't cure cracks. However, coating and combined treatment can prohibit chloride penetration through cracks upto 0.06 mm, 0.08 mm, respectively.

Keywords : chlorides penetration, microcrack, surface treatment system, penetrant, coating

요 지

건전하게 설계·시공된 콘크리트는 충분한 내구성 및 장기수명을 갖는 것으로 알려졌다. 그러나 저자의 기존 연구에 의하면 콘크리트 표면에 존재하는 균열은 염소이온의 침투에 대한 빠른 침투 통로가 되어 내구성능을 저하시킬 수 있는 것으로 나타났다. 균열을 제어하기 위하여 설계적 측면에서 높은 철근비로 균열폭을 감소시킬수는 있으나, 이러한 균열이 실질적으로 내구성을 저하시키는 데에 따른 검토 및 내구성 향상을 유도할 수 있는 방법이 필요하다. 표면도장공법은 균열폭이 작은 경우에 균열을 실링하여 염소이온 침투를 차단하는데 가장 간단한 방법중의 하나로 간주될 수 있다. 그래서 본 연구는 표면도장공법으로 미세균열의 개구를 통한 염소이온 침투를 제어할 수 있는지를 고찰하였다. 실험변수로 침투제와 도포제의 단일 적용과 복합적용이 실험변수로 고려되었으며, 급속 염소이온 침투 실험을 통하여 균열대비 염소이온 침투깊이를 검토하였다. 실험결과에 의하면 침투제는 균열 실링효과를 기대할 수 없었으나, 도막제는 0.06 mm, 침투제와 도막제를 혼합사용하면 0.08 mm이내의 균열폭에서 염소이온 침투를 제어할 수 있었다.

핵심용어 : 염소이온 침투, 미세균열, 표면 도장공법, 침투제, 도포제

1. 서 론

균열이 없고 건전하게 설계·시공된 콘크리트는 충분한 수밀성을 가지므로, 외기의 유해물질로부터 내부에 매입된 철근을 충분히 보호할 수 있다. 그러나, 공용 중인 대다수의 콘크리트 구조물에는 작용하중에 의한 응력, 구속된 조건에서의 건조수축이나 온도변화에 의한 응력, 부등침하 및 기타 재료 및 시공상의 이유로 균열이 다소 존재한다. 이러한 미

세균열은 염소이온의 침투를 용이하게 하여 콘크리트의 내구성을 심각히 저하시킬 수 있음을 이미 저자의 기존 연구에서 논의된 바 있다(윤인석 a, 2007; 윤인석 b, 2007). 따라서, 미세 균열이 발생한 콘크리트의 내구성 확보를 위한 방안이 필요한데, 현재까지 균열에 대한 보수공법으로는 에폭시계 수지 혹은 폴리머 계열의 재료를 주입 및 충전하거나, 균열폭이 작을 경우는 표면도장공법을 적용하는 것이 대표적인 방법이다(Concrete Society, 1992). 주입 및 충전공

*정회원 · 교신저자 · 인덕대학 건설정보과 전임강사 (E-mail : isyoon@induk.ac.kr)
**정회원 · 서울시립대학교 토목공학과

법은 균열합침에 따른 장기 내구성 확보에 대한 연구가 이미 외국에서 연구된 바 있다. 그러나, 균열의 실링을 목적으로 하는 표면도장공법은 방수, 미관 및 내구성 향상을 위하여 건설현장에서 시공하고 있는 방법임에도 불구하고, 이에 대한 재료의 선정, 적용한계에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다(Nolan, 1995; Sunny, 2000). 다만, ACI Committee 224(2002)는 미세한 균열의 실링을 위한 표면도장재료로서 우레탄, 에폭시, 폴리에스터 및 아크릴계 재료 등을 추천하고 있다.

한편, 표면도장공법은 균열내부의 치료를 할 수 없을 뿐더러 균열이 성장하면 그 움직임을 추종하기 어려운 결점이 있음에도 불구하고, 미세한 균열폭 범주 내에서 간단히 균열 보수 효과를 얻을 수 있기 때문에 현장에서 손쉽게 이용하고 있다. 그러나, 표면 도장공법으로 미세균열의 실링에 대한 유효성을 검토하는데는 실험 방법적인 측면에서 어려움이 존재한다. 첫째는, 표면도장공법의 차염효과를 구명하는데 적절한 실험방법으로서 농도차 확산실험이 알려져 있으나, 이를 미세균열이 도입된 콘크리트에 적용시, 시험편의 두께가 균열길이 이상이 되어야 하기 때문에 두꺼운 시험편으로 제작되어야 하고 이는 장기간의 확산실험을 초래한다(Buenfeld, 1998). 둘째로는, 균열이 존재하는 콘크리트의 자기치료(self-healing)를 배제한 확산실험이 실질적으로 어렵다. 즉, 농도차 확산실험 및 염소이온 침지실험에서 균열부 콘크리트에서 자기치료 현상이 발생하기 때문에 표면도장재료의 균열개구를 통한 염소이온의 차단효과를 엄격히 실험하기 어렵다. 이러한 이유로 실험적 방법에 의하여 본 연구의 주제를 검토하기에는 많은 어려움이 존재하였고, 이는 연구결과의 부족을 초래하였다. 따라서, 실구조물에 타당성을 갖고 적절한 재료 및 시공방법을 선정 및 적용하는데 한계가 있는 실정이다.

그래서 본 연구는 미세균열이 발생한 콘크리트를 대상으로 침투제와 도막제를 적용한 후, 균열을 통한 염소이온의 침투를 제어할 수 있는지를 검토하기 위한 실험적 연구이다. 본 연구는 균열이 발생한 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 핵심기술개발의 일환으로서 표면 도장공법의 염소이온 제어 효과의 효율성을 고찰하고자 하였다. 본 연구는 두가지 목적을 갖는다. 첫째는, 미세균열이 존재하는 콘크리트의 표면도장공법이 미세균열을 통한 염소이온 침투의 제어 가능성을 실험적 연구결과를 통하여 검토하는 것이다. 둘째는, 표면도장공법을 적용시, 염소이온의 침투를 제어할 수 있는 균열폭을 고찰하는 것이다. 이 균열폭은 표면도장공법의 재료적 특성 및 시공조건에 의존하지만, 본 연구의 실험적 범위 내에서 표면도장공법이 유효한 균열폭의 범위를 고찰하고자 하였다.

실험방법적인 측면에서, 균열 자기치료를 배제하기 위하여 빠른 시간내에 균열이 발생한 콘크리트의 염소이온 침투의 시각적 특성 및 확산계수를 얻고자 급속 염소이온 확산실험인 RCM(Rapid Chloride Migration)을 행하여 염소이온 침투 특성을 고찰하였다. 이 실험방법은 시험편의 두께 50 mm 이하의 범주에서 균열길이를 다양하게 할 수 있는 장점이 있다.

본 연구결과는 균열이 발생한 콘크리트에서 내구성 측면에

서 균열폭의 한계를 결정하고, 균열실링의 목적으로 표면도장공법을 적용하였을 때 차염성에 대한 유효성을 기대할 수 있는 균열폭의 한계를 검토하는데 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험 프로그램

2.1 표면 도장공법의 특성 및 이용재료

콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 표면도장공법은 크게 도막제, 실러제, 침투제 등으로 구분된다(Kay, 1992). Fig. 1과 같이 도막제는 콘크리트 표면에 두께를 갖는 밀실한 멤브레인 도막을 형성하며 에폭시 및 폴리머계 재료가 대표적으로서 부착강도의 유효성에 따라서 성능이 차이를 보인다. 침투제는 표면에 여타의 도막형성이 없이 구체에 침투하여 고화 및 함침 작용을 한다. 또한, 실러제는 콘크리트에 침투하고 표면에 미세한 도막을 형성하여 코팅제와 침투제의 양쪽 특성을 갖는다. 침투제 및 실러제 표면도장공법의 적용은 미국 SHRP(1993)에서 실란 혹은 실록산 계열을 내구수명 증진을 위하여 권장하고 있는 대표적 방안으로서 성능이 침투깊이에 의존하는데 이는 공극, 공극크기 분포, 공극연결성, 수분량 등의 구체 물성과 유관되고 때로는 구체 공극벽의 전기화학적 성질 및 공극수의 성분에 영향을 받는다. 본 연구에서 사용된 표면도장재료는 H사의 제품인 도막제(Coating, CT)와 침투제 재료(Penetrant, PT)가 사용되었으며 각각의 기초물성은 Table 1, Table 2와 같다.

표면도장재료를 적용하기 위한 구체 콘크리트는 Table 3과 같이 보통 포트랜드 시멘트를 사용되었으며, 물-시멘트비 50% 인 150×150×150 mm 크기의 큐빅형 콘크리트 시험체

Table 1. Material properties of Penetrant (PT)

Items	Value
Main ingredient	Silane
Turbidity	below 1.0
Ratio of water sorptivity (KSF 4930)	0.05
Color	Colorless
pH	8.3
Type	Liquid

Table 2. Material properties of Coating material (CT)

Items	Value
Main ingredient	Polymer
Bonding strength (Mpa)	2.12
Color	Light grey
Type	powder + water

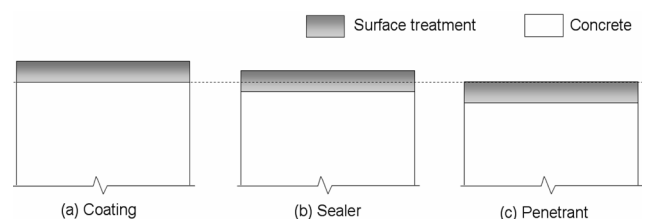


Fig. 1 Type of surface treatment systems

Table 3. 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

가 제작되었다. 시험체는 타설 후 2일동안 표준양생이 취해지고, 이후 재령 28일까지 기중 양생되었다. 콘크리트의 균질성을 확보하기 위하여 직경 100 mm의 코어링 머신으로 중앙 부위를 천공한 후, 콘크리트 표면은 커팅머신으로 제거하여 두께 55 mm의 원형 디스크 시험편이 얻어졌다. 타설 방향별 일정하게 중앙상부에 5×5 mm크기의 노치(Notch)를 만든 후, 노치 양측으로 2장의 강판이 부착되었다.

2.2 콘크리트의 균열 제어 및 표면도장재료의 도포

시험편의 양쪽 측면에는 균열개구 변위(Crack Mouth Opening Displacement, CMOD)를 제어하기 위하여 LVDT

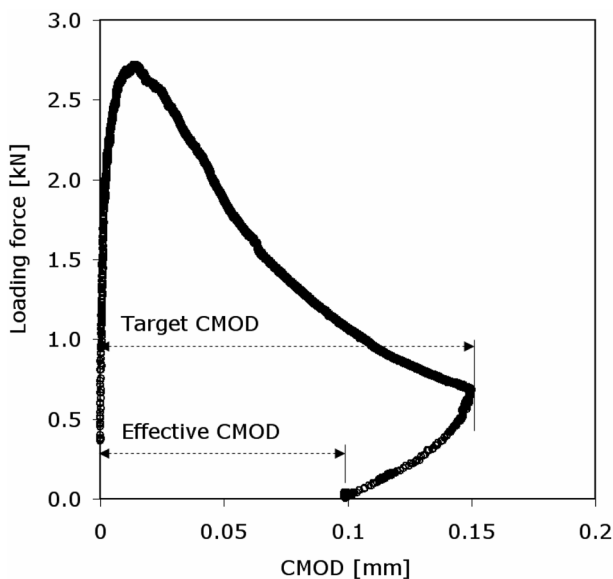


Fig. 2 Getting effective CMOD from the relationship between loading force and target CMOD

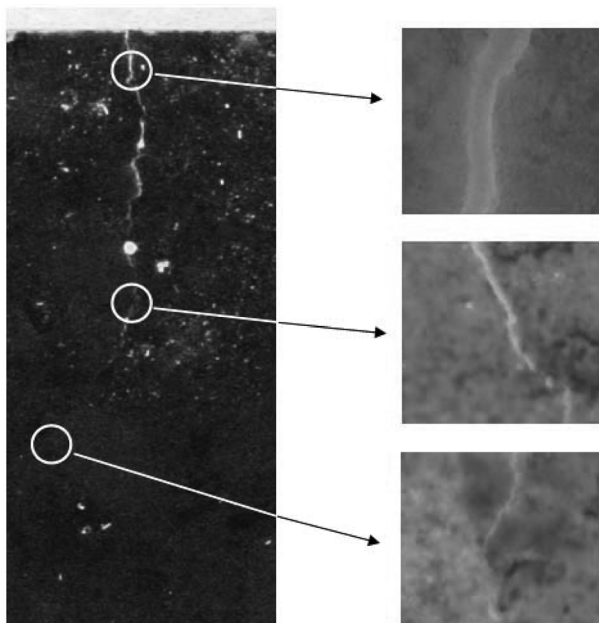


Fig. 3 Investigation of crack depth

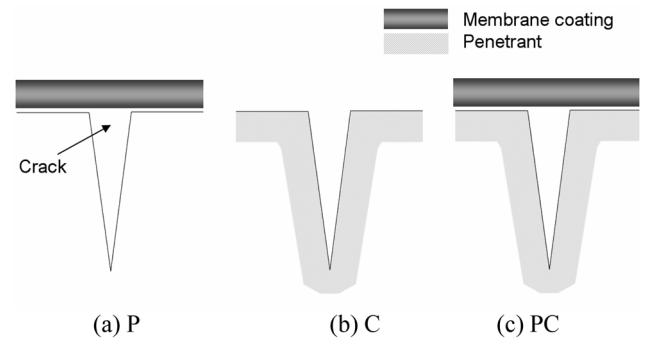


Fig. 4 Working condition of surface treatment system

가 설치되었다. 미세하중 제어기로 부착된 강판에 인장응력을 가하였으며, 측정시간, 하중크기 및 CMOD 등이 컴퓨터 상에서 기록된다. 균열도입후, 하중을 제거하면 탄성회복에 의하여 균열단합 현상이 반영된 유효 CMOD를 구할 수 있으며 이하 본 실험결과를 통해 얻은 CMOD는 이 유효 CMOD를 의미한다(Fig. 2). 또한, 균열길이는 Fig. 3과 같이 균열을 추종하면서 측정하였다.

균열의 도입 후, 커팅머신으로 노치를 제거하면 최종적인 콘크리트 시험편의 크기는 직경 100 mm, 두께 50 mm가 된다.

다음으로 균열이 존재하는 콘크리트 표면에 표면도장재료를 도포하였다. 이때 실험변수로 표면도장재료 및 적용범위에 따라 Fig. 4와 같이 침투재(PT), 도막재(CT) 각각을 도포한 경우와 침투재를 도포한 후 1주일 후 재차 도막재를 복합 도포한 경우(PCT)로 나누어 진다. 침투재의 침투깊이는 비균열된 콘크리트에 도포하고 1주일 후, 콘크리트를 할렬하여 파단면에 물을 살포하여 발수성을 갖는 경계면까지의 깊이를 측정하였다. 이때 침투 깊이는 3.3 mm으로 측정되었다. Fig. 5는 도막재를 도포된 콘크리트를 광학 현미경을 이용하여 촬영한 사진으로서 평균적으로 70 μm의 도막 두께가 형성되었음을 알 수 있다.

2.3 염소이온의 침투 실험

균열이 도입후 표면도장재료로 도포된 콘크리트로 급속 염소이온 침투 실험인 RCM(Rapid Chloride Migration)실험을 수행하였다(NT Build 492). 시험 전, 시험편은 1 kPa~5 kPa의 압력을 갖는 진공 챔버에 5분 동안 보관하여 절대압력을 감소시켰다. 이후, 3시간 진공챔버에 재차 보관한 후, 18시간 동안 재차 진공챔버에서 Ca(OH)₂ 포화 용액에 침지하여 전처리과정이 종료된다.

RCM 실험을 수행하기 위하여 시험편의 양극부에 0.3 N NaOH 용액, 음극부에는 2 N NaCl용액으로 확산셀을 구성하였다. 통전성을 확인한 후, 15~20 V의 전압이 확산셀에 인가되었으며, 시험편의 온도 및 인가전류가 지속적으로 측정되었다. 실험종료 후, 시험편을 2회 할렬 인장시켰으며, 할렬된 시험편에 0.1 M AgNO₃ 용액을 살포하여 한시험체당 두 단면의 염소이온 프로파일을 얻었다. 버니어 캘리퍼스를

Table 4. Experimental results

	Crack scale (mm)				Cl penetration depth (mm)		Cl diffusion coefficient ($\times 10^{-8} \text{cm}^2/\text{s}$)	
	Target W_c	CMOD	W_a	d_2	d_1	d_T	D_1	D_T
PT	0.05	0.026	0.029	20.2	20.5	21	13.9	14.2
	0.05	0.026	0.031	19.5	20.0	23.7	13.5	16.2
	0.10	0.049	0.048	29.7	19.2	23.8	12.9	16.3
	0.10	0.060	0.029	30.2	20.0	29.4	13.5	20.4
	0.10	0.052	0.042	28.3	18.5	26.6	12.4	18.4
	0.15	0.101	0.057	35.3	18.8	38.1	12.6	27.0
	0.15	0.101	0.061	38.9	20.0	36.7	13.5	25.9
	0.20	0.121	0.051	47.1	20.8	39.0	14.1	27.6
	0.20	0.127	0.064	40.0	20.9	37.2	14.2	26.3
CT	0.05	0.025	0.022	16.2	14.3	13.1	9.3	8.5
	0.05	0.025	0.020	11.2	14.7	15.9	9.6	10.5
	0.10	0.055	0.0362	30.0	15.5	15.1	10.2	9.9
	0.10	0.055	0.040	31.6	14.1	16.6	9.2	11.0
	0.10	0.060	0.043	over 50	18.1	16.4	12.1	10.9
	0.10	0.060	0.058	25.7	16.3	17.7	10.8	11.8
	0.15	0.089	0.040	35.2	18.5	32.2	12.4	22.5
	0.15	0.089	0.046	33.8	19.0	29.8	12.8	20.7
	0.15	0.071	0.058	37.0	17.2	29.1	11.4	20.2
	0.15	0.071	0.071	35.5	16.5	34.5	10.9	24.3
	0.20	0.122	0.090	over 50	18.1	33.6	12.1	23.6
	0.20	0.122	0.110	over 50	18.9	35.3	12.7	24.9
PCT	0.05	0.025	0.023	18.5	14.8	15.1	9.7	9.9
	0.05	0.025	0.027	19.6	15.2	15.2	10.0	10.0
	0.05	0.024	0.018	21.2	14.5	14.8	9.5	9.7
	0.05	0.024	0.020	20.0	13.2	15.5	8.5	10.2
	0.10	0.064	0.019	40.4	15.5	16.9	10.2	11.2
	0.10	0.064	0.039	35.5	15.5	16.1	10.2	10.6
	0.10	0.051	0.045	32.8	14.5	15.2	9.5	10.0
	0.10	0.051	0.032	28.8	15.2	16.8	10.0	11.2
	0.15	0.076	0.051	40.5	16.4	18.5	10.9	12.4
	0.15	0.076	0.062	42.5	17.5	19.5	11.7	13.1
	0.20	0.118	0.070	47.7	15.2	29.2	10.0	20.3
	0.20	0.118	0.063	over 50	16.5	34.5	10.9	24.3
	0.20	0.101	0.081	over 50	17.5	33.2	11.7	23.3
0.20	0.101	0.072	48.5	17.0	30.2	11.3	21.0	

Notation

 W_c : crack width W_a : apparent crack width (measured by microscope) d_1 : chloride penetration depth at non-cracked zone d_2 : crack depth d_T : chloride penetration depth at cracked zone D_1 : chloride diffusion coefficient at non-cracked zone D_T : chloride diffusion coefficient at cracked zone

이용하여 표면으로부터 염소이온의 침투깊이를 0.1 mm 단
위까지 엄밀 측정하였다.

RCM 실험의 종료 후, 콘크리트의 염소이온 프로파일은
Fig. 6과 같다. 여기서, 비균열부에서 콘크리트의 염소이온

침투깊이를 d_1 , 균열깊이는 d_2 , 균열부의 최대 염소이온 침투
깊이는 d_T 가 각각 측정되었다. 비균열 부위에서는 등간격마
다 얻은 6회의 침투 깊이에 대한 평균값(d_1)과 균열부위에서
1회 측정된 침투 깊이 (d_T)를 토대로 다음 식에 의하여 염

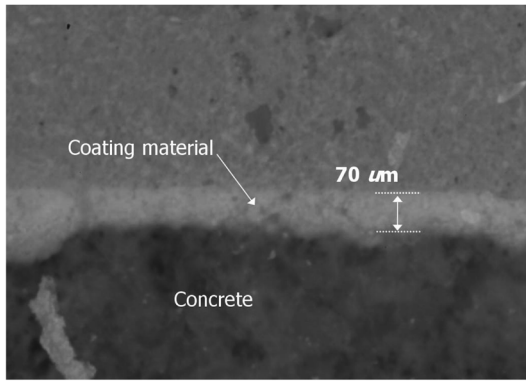


Fig. 5 Thickness of coating material on surface concrete

소이온 확산계수(D)가 추정되었다. 이때, 염소이온 확산계수는 2가지 값이 얻어졌는데, 즉 비균열부에서 얻은 침투깊이(d_1)를 식 (1)에 대입하여 얻은 비균열부 염소이온 확산계수(D_1)와 균열부에서 얻은 침투깊이(d_T)에 의한 균열부 염소이온 확산계수(D_T)이다.

$$D = \frac{RTx_d - \alpha\sqrt{x_d}}{zFE} \quad (1)$$

여기서, $E = \frac{U-2}{L}$,

$$\alpha = 2\sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2C_d}{C_o}\right)$$

- z : 이온가(염소이온의 경우 1),
- F : Faraday 상수(=9.648×10⁴ J/(V·Mol)),
- U : 인가전압(V),
- R : 가스상스(=8.314 J/(K·Mol)),
- T : 절대온도(K),
- L : 시편의 두께(m),
- x_d : 침투된 평균깊이(m),
- t : 시험시간(sec),
- erf^{-1} : 오차역함수,
- C_d : 침투깊이에서 염소이온의 농도(= 0.07 N),
- C_o : 음극셀 내 염소이온의 농도(= 2 N) 이다.

2.4 균열의 관찰

RCM 실험의 종료후, 시험편을 진공펌프가 설치된 챔버 내에서 3시간 동안 진공시킨 후, 형광성 에폭시를 주입하여 콘크리트 내의 균열을 완전 함침시켰다. 함침된 시험편은 1일간 공기 중에 경화시킨 후, 각 횡 단면별로 콘크리트의 균열상태를 관찰하기 위하여 2 mm 두께로 커팅되었다. UV(Ultra Violet) 라인이 설치된, L 사의 마이크로 광학 현미경 DM RXP을 이용하여 40배 확대하여 균열을 관찰하였다. 광학현미경 상에서 균열 사진을 촬영하고 이미지 파일로 변환시킨 후, 화소를 이용한 디지털 화상기법으로 균열폭과 균열 길이가 측정되었다. 이상의 실험결과를 정리하여 Table 4에 정리하였다.

3. 실험결과와 고찰

3.1 침투재에 의한 균열의 제어

RCM 실험을 위하여 콘크리트 시험편에 도입된 균열폭을

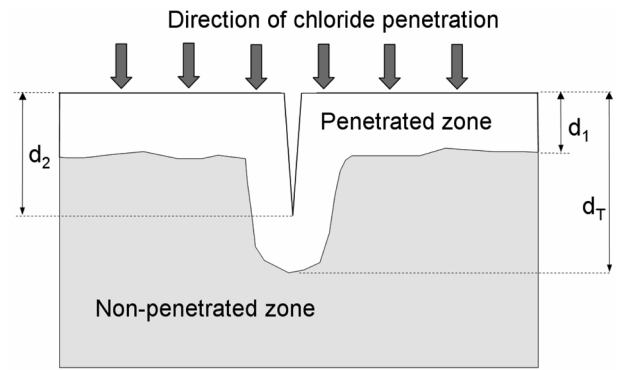


Fig. 6 Chloride profile of cracked concrete after RCM testing

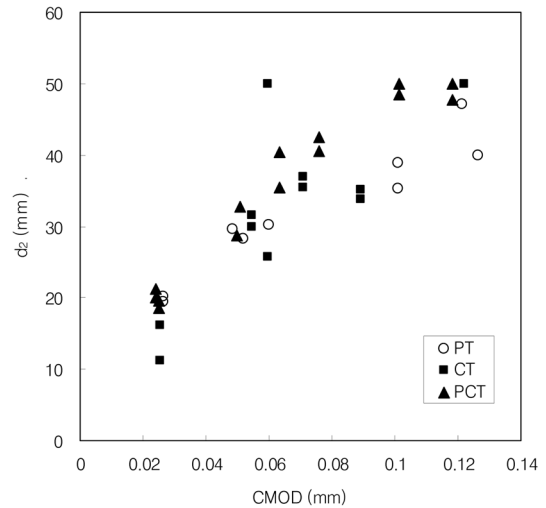
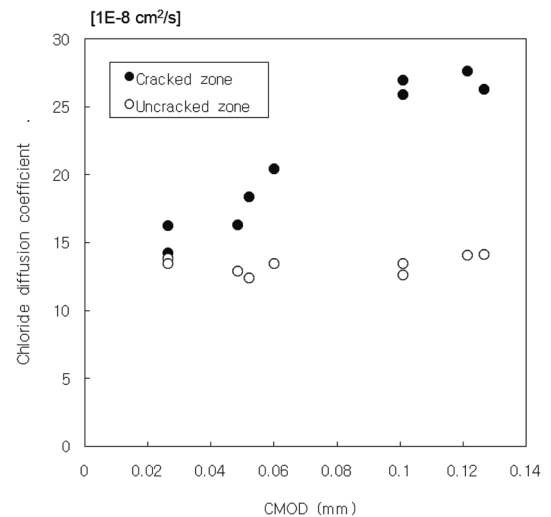


Fig. 7 Scope of CMOD and crack depth d_2 at cracked samples



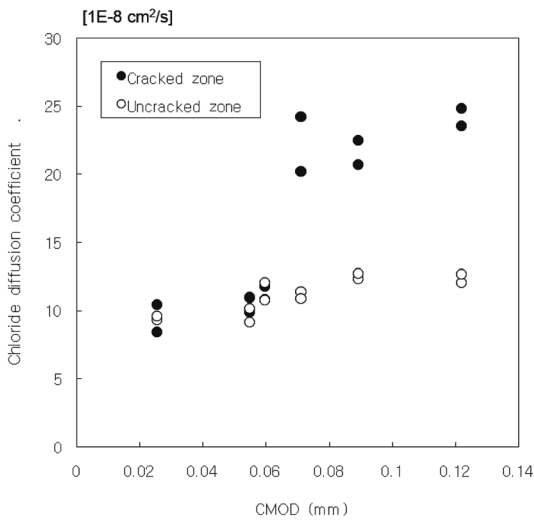


Fig. 9 Chloride diffusion coefficient for CT treated concrete

침투가 꾸준히 이루어지고 있음을 알 수 있다. 따라서, 침투 재료로는 0.024 mm의 작은 CMOD 균열폭도 균열치료 효과를 기대할 수 없을 것으로 생각된다.

3.2 도막재에 의한 균열의 제어

Fig. 9는 콘크리트 표면에 도막재를 도포한 시험체의 염소이온 확산계수를 보인 것이다. 균열유무와 관계없이 도막재로 도포한 콘크리트의 염소이온 확산계수가 Fig. 7의 침투재 적용한 콘크리트의 염소이온 확산계수보다 전반적으로 낮은 추이를 보였다. 그런데, 균열부의 염소이온 확산계수는 0.06 mm 이하의 균열폭에서 일정하였지만, 이 이상을 초과하면 뚜렷히 상승하는 추이를 보였다. 그리고, 0.06 mm 이내에서는 균열부와 비균열부에서 측정된 염소이온 확산계수가 대등소이었다. 따라서, 도막재를 사용하면 균열 개구부 0.06 mm 이내까지는 염소이온 침투를 차단할 수 있을 것으로 예상되어, 침투재보다 균열 실링효과가 우수한 것으로 생각된다. 그러나, 표면도막공법이 균열 개구부를 통한 염소이온의 침투를 제어할 수 있는 균열폭의 한계는 도막재료의 재료적 특성, 도막회수 및 도막두께 등에 의존하기 때문에 모든 도장재료에 적용하기에는 어려움이 있다고 생각되며, 다만 본 연구의 실험적 범주내의 검토 결과이다. 따라서, 보편적으로 0.20 mm의 균열폭에서 표면도장공법이 유효한 것으로 알려져 있으나, 균열을 통한 염소이온의 침투를 제어하기 위한 목적의 표면도장공법은 유효성이 매우 작은 것으로 생각된다.

3.3 침투재 및 도막재의 병용에 의한 균열의 제어

균열이 발생한 콘크리트의 경우, 균열폭이 지극히 작은 미세균열일 경우, 침투재를 일차적으로 도포하면 균열벽간의 간극을 채울 수 있으며, 도포재를 콘크리트 표면에 재차 적용하면 멤브레인 도막 형성으로 균열개구로 인한 염소이온의 유입을 보다 효과적으로 제어할 수 있다고 판단된다. 그래서, 침투재와 도막재를 병용하여 염소이온 침투의 차단성을 실험하여 결과를 보인 것이 Fig. 10이다. CMOD 값에 따른 염소이온 확산계수의 변동 추이는 상당히 뚜렷한 경향을 확인할 수 있다. 즉, 0.08 mm 이내에서는 약 1.0의 상대 확산계수값을 갖으나, 그 이상에서 급격히 상승하는 추이를 확인할 수 있다.

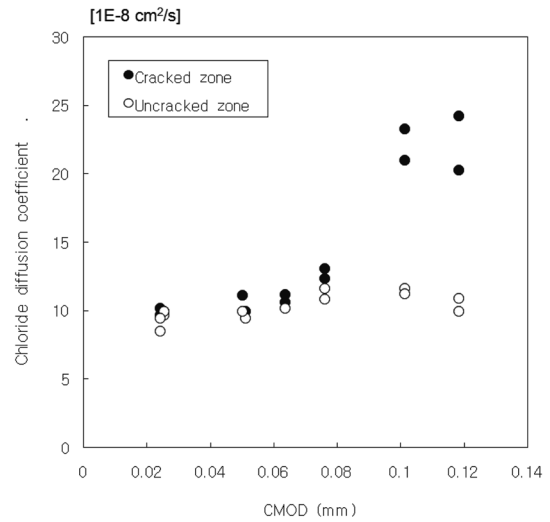


Fig. 10 Chloride diffusion coefficient for PCT treated concrete

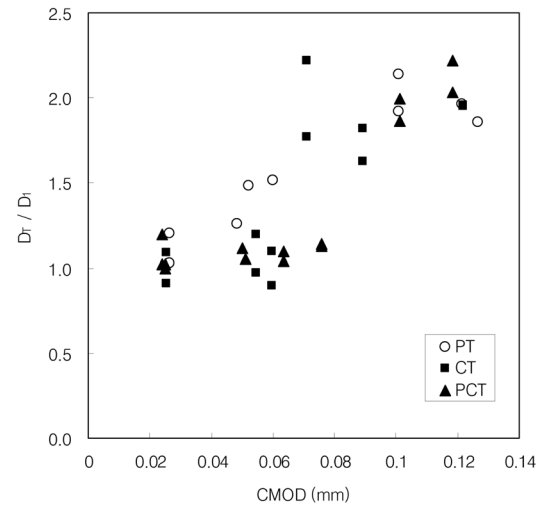
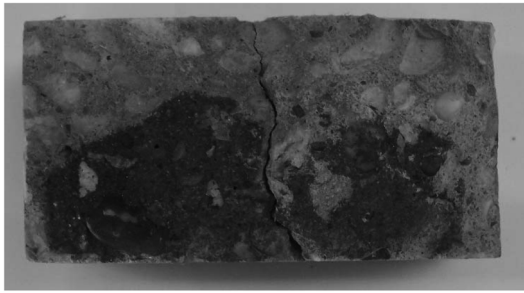


Fig. 11 Relative chloride diffusion coefficient for PT treated concrete

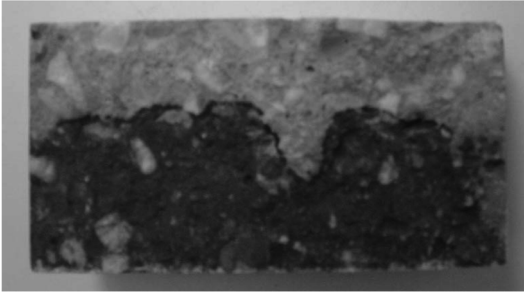
이상의 결과를 토대로 도포재의 종류에 따라 균열부의 염소이온 확산계수 대비 균열부의 확산계수 비율인 상대 확산계수(D_r/D_i)를 구하여 나타낸 결과가 Fig. 11이다. 침투재(PT)는 CMOD가 증가함에 따라 선형으로 뚜렷히 상승하지만, 도막재(CT)와 병행사용한 것(PCT)은 0.06 mm CMOD 내에서 약 1.0의 값으로 일정하다가 점차 상승하는 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 목표 균열폭 0.15 mm인 시험편의 염소이온 프로파일을 보인 것이다. 침투재 만으로는 균열을 통한 염소이온의 침투의 제어가 불가능하였고, 도막재만을 사용한 경우보다 염소이온 침투를 더욱 효과적으로 제어할 수 있음을 시각적으로 확인할 수 있다. 균열폭까지 염소이온 확산계수가 일정하였으나 0.10 mm를 초과하면서 균열을 통한 염소이온 침투가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 따라서, 균열을 통한 염소이온의 침투를 제어하기 위해서는 침투재를 이용하는 것은 적절치 않으며, 도막재 혹은 침투재 및 도막재와의 병행사용이 중요할 것으로 생각된다.

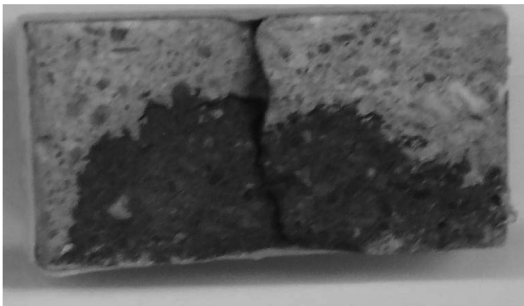
이상과 같이, 표면도장에 의한 콘크리트의 균열폭을 통한 염소이온 침투의 제어를 살펴보았다. 일본 콘크리트공학 협회(2003)에서는 균열폭의 변동이 작을 경우, 방수성능을 유지하기 위한 목적으로 균열폭 0.20 mm이하의 조건에서 표



(a) PT



(b) CT



(c) PCT

Fig. 12 Chloride profile of concrete treated with various surface treatments at targeted crack width 0.15 mm

면도장공법을 적용할 수 있다고 제안되었다. 또한, 우리나라의 콘크리트 보수 보강 시방서(1999)에서는 0.02 mm이하의 균열폭 조건에서 표면도장공법의 차염효과를 긍정적으로 기대할 수 있으며, 0.20~1.0 mm의 균열폭까지는 다소간의 기대가 가능한 것으로 제시된 바 있다. 그러나 본 연구결과에서는 침투재에서는 균열치료 효과를 기대하기 어려우나 멤브레인 도막을 형성할 경우, 염소이온 침투의 제어효과를 다소 기대할 수 있는 것으로 생각된다. 멤브레인 도막에서 0.06 mm 이하의 균열폭 조건에서 염소이온 침투의 제어가 가능한 것으로 나타났는데, 이 임계균열폭은 표면도장공법의 재료성능, 도장재료의 염소이온 확산계수, 도막두께 및 도막 회수 등에 의존하는 것으로 생각된다.

본 연구는 균열이 정지된 경우에 한하여 행한 실험적 결과로서, 균열의 진전이 지속될 경우에 추종성에 대한 검토가 추가로 필요하며, 향후, 다양한 재료특성을 갖는 표면도장재료에 적용하여, 균열폭, 도포조건 등에 따라 균열을 통한 염소이온 침투의 거동을 분석하는데 방대한 데이터를 축적, 검증 및 보완이 필요할 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구는 미세균열의 개구 를 통한 염소이온의 침투 차

단을 위하여 표면도장공법을 적용시, 균열개구를 통한 염소이온 침투 제어를 최적화할 수 있는 방안을 모색하기 위한 실험적 연구이다. 균열을 통한 염소이온의 침투제어 가능성을 RCM실험에 의하여 효과적으로 균열에 의한 염소이온의 침투를 분석할 수 있었으며, 표면도장공법의 종류에 따른 검토가 가능하였다.

균열폭 0.02 mm를 갖는 콘크리트에서 침투재가 도포되었음에도 염소이온 확산계수는 상승하는 추이를 보였다. 따라서 침투재만으로는 균열개구를 통한 염소이온의 침투 제어는 불가능한 것으로 생각된다. 그러나, 도막재는 균열개구로 유입되는 염소이온을 균열폭 0.06 mm 내외까지 차단할 수 있었으며, 침투재와 도막재를 혼합적용하면 0.08 mm의 균열폭까지 차염효과를 얻을 수 있었다. 따라서, 기존의 문헌에서 미세균열의 실링 목적으로 적용할 수 있는 표면도장공법의 균열폭 한계인 0.20 mm는 재고되어야 한다. 단, 급속 촉진실험에 의한 균열개구를 통한 염소이온의 침투 실험결과를 검증하기 위하여 다양한 도막재료 및 두께를 변수로 한 장기 내구성능 실험결과가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 윤인석(2007a) 미세균열이 콘크리트의 염소이온 침투에 미치는 영향 I-현상학적 모델, **한국콘크리트학회논문집**, 한국콘크리트학회, 제19권, 1호, pp. 57-65.
- 윤인석(2007b) 미세균열이 콘크리트의 염소이온 침투에 미치는 영향 II-임계균열폭의 고찰, **한국콘크리트학회 논문집**, 한국콘크리트학회, 제19권, 6호, pp. 707-715.
- 한국시설안전기술공단(1999) **콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수 보강 전문시방서**, 건설교통부, pp. 6.8-6.8.
- 社団法人 日本コンクリート工學協會(2003) **コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強設計-2003**.
- ACI Committee 224, Causes, Evaluation and Repair of Cracks in Concrete Structures, *ACI Manual of Concrete Practice*, Detroit, USA.
- Buenfeld, N.R. and Zhang, J.-Z. (1998) Chloride diffusion through surface treated mortar, *Cement and Concrete Research*, Vol. 28, No. 5, pp. 665-674.
- Concrete Society (1992) Non-structural cracks in concrete, concrete society technical Report No. 22, *Concrete Repair Manual*, 2nd Edition, Vol. 1, ACI, BRE, Concrete Society, International Concrete Repair Institute, UK
- Ibrahim, M., Al-Gahtani, A.S., Maslehuddin, M., and Daknil F.H. (1999) Use of surface treatment materials to improve concrete durability, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 11, No. 1, pp. 36-41.
- Kay, T. (1992) *Assessment and Renovation of Concrete Structures*, Longman Scientific and Technical, Essex.
- Nolan, E., Basheer, P.A.M., and Long, A.E. (1995) 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.
- NT Build 492, Concrete, Mortar and Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiment, Finland.
- SHRP (1993), *Concrete Bridge Protection, Repair, and Rehabilitation Relative to Reinforcement Corrosion: A Methods Application Manual*, SHRP-S-360, Washington, pp. 48-64.
- Sunny, O.N, and James, D. (2000) A practical approach to in-situ evaluation of surface-treated structures, *Construction and Building Materials*, Vol. 15, pp. 199-212.

(접수일: 2008.1.15/심사일: 2008.3.30/심사완료일: 2008.7.4)