

## LMC(Latex Modified Concrete)의 염소이온 확산 특성 Evaluation of Diffusion Property of Latex Modified Concrete

박성기\*† · 원종필\*\* · 박찬기\*\*\*

Park, Sung Ki\*† · Won, Jong Pil\*\* · Park, Chan Gi\*\*\*

### Abstract

It is most serious problem which is various occurs from the agricultural concrete structure and off shore concrete structure the problem which it comes to think is deterioration of the concrete which is caused with the corrosion of the reinforcing steel which is caused by with permeation of the water and the sea water. Specially the off shore concrete structure has been deteriorated by the steel reinforcement corrosion. The latex modified concrete(LMC) was adds latex in the plain concrete as the latex has increase the durability of concrete. This study were accomplished to the estimate the diffusion coefficient of LMC, and the time dependent constants of diffusion. The average chloride diffusion coefficient was estimated. Also, the average chloride diffusion coefficient was compared with diffusion coefficient test results of 28 curing days. The test results indicated that the average chloride diffusion coefficient could closely estimate the test results of the diffusion coefficient test results of 28 curing days.

*Keywords*: Agricultural concrete structure, Average chloride diffusion coefficient, Diffusion coefficient, Latex modified concrete, Offshore concrete structure

### 1. 서 론

콘크리트 구조물은 동결-융해, 마모, 알칼리-골재 반응, 과도한 균열 발생이나 보강재 철근의 부식 등과 같은 원인에 의해 손상이 발생된다(NCHRP, 1979; Richard 등, 1994). 특히 방조제와 같은 농업용 콘

크리트 구조물 중 해안가에 위치한 해안 콘크리트 구조물과 수리구조물의 경우에 있어서 가장 큰 문제로 염분 및 수분 등의 침투에 따른 보강철근의 부식으로 인한 콘크리트 열화이다. 이와 같은 콘크리트의 열화에 대한 문제를 해결하기 위하여 고성능 및 고내구성 콘크리트가 개발되어 적극적으로 적용이 검토되고 있다. 농업용 콘크리트 구조물의 경우 폴리머 콘크리트, 라텍스 개질 콘크리트(Latex modified concrete: LMC), 섬유보강 콘크리트 등 다양한 연구가 진행되어 왔다(원종필 등, 2007; 성찬용 등, 2007). 본 연구에서는 수리 구조물과 방조제 등 해안 구조물과 같이 혹독한 환경에 노출되어 수밀성이 요구되는 구조물에 내구성능 향상을 위하여 적용할

\* (주) 승화이엔씨 기술연구소

\*\* 건국대학교 사회환경시스템공학과

\*\*\* 공주대학교 지역건설공학전공

† Corresponding author. Tel.: +82-2-2262-6392

Fax: +82-2-2277-7368

E-mail address: skpark@newsh.co.kr

2008년 1월 11일 투고

2008년 7월 15일 심사완료

2008년 7월 15일 게재확정

수 있는 LMC의 확산특성을 평가하였다. LMC가 가지는 가장 큰 특성 중의 하나로 콘크리트 내부의 공극구조를 개선함으로써 얻을 수 있는 투수저항성의 향상이라 할 수 있다(Kuhlmann, 1990). Ohama 등(1985)은 폴리머 개질 콘크리트의 염소이온 투수성에 대한 연구에서 기존 재료들에 비해 폴리머 개질 콘크리트의 경우 콘크리트 내부의 공극 구조 개선을 통해 염소이온의 침투에 대한 저항성이 뛰어나며, 이러한 특성이 염소이온이 철근까지 도달하는 시간을 지연시켜 철근의 부식이 도달하는 시점을 연장시킬 수 있다고 보고하였다. Maultzsch(1989)는 보수재료로 사용되어지는 폴리머 개질 시멘트 콘크리트의 내구특성 평가에서 기존 재료에 비해 폴리머 개질 콘크리트가 염소이온 등의 침투에 대한 저항성이 우수하다고 발표하였다. Okba 등(1997)은 촉진시킨 부식 Cell을 이용하여 일반 콘크리트와 LMC의 부식에 대한 저항성을 평가한 결과에서 LMC의 경우 일반 콘크리트에 비해 부식에 대한 저항성이 매우 높고, 높은 저항성은 염소이온의 침투로 인한 철근의 부식에 대하여 매우 효과적인 보호막을 형성할 수 있으며, 이러한 특성으로 인해 혹독한 환경에 건설되는 해안 구조물 및 수리구조물, 포장구조물 등의 콘크리트에 매우 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 보고하였다. 그러나 이와 같은 연구의 대부분은 LMC를 콘크리트 교량의 바닥판 콘크리트에 적용하기 위한 연구로 단위시멘트량과 라텍스 첨가비(시멘트 중량 대비 15%)를 고정된 상태에서 결합재 및 혼화제 사용에 따른 연구를 실시한 경우이다.

본 연구에서는 LMC를 수리구조물 및 해안 구조물에 적용하기 위하여 이와 같은 구조물의 열화에 가장 큰 영향을 미치는 염화물 확산특성을 평가하였다. 실험변수로는 라텍스가 LMC에 미치는 경제성 악화

의 문제를 고려하여 라텍스 첨가량, 단위시멘트량 및 물-시멘트 비를 적용하였으며 변수의 변화에 따른 확산계수를 측정하고, 평균 확산계수를 산정하여 실험결과와 비교하였다.

## II. 실험계획

### 1. 사용재료

시멘트는 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다. 굵은 골재는 최대치수 13mm의 쇄석골재를 사용하였고, 잔골재는 비중 2.53의 강모래를 사용하였으며, 사용된 골재의 물리적 특성은 Table 2와 같다. 라텍스는 SB 라텍스로 Styrene 모노머와 Butadiene 모노머 및 소포제 등의 첨가제가 혼합된 것을 사용하였으며 콘크리트의 내구성 증진을 위하여 별도의 화학혼화제를 사용하지 않고 라텍스만을 사용하였고, 실험에 사용된 라텍스의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

Table 2 Physical properties of aggregate

Type of aggregate	Maximum size (mm)	Density	Absorption (%)	Abrasion (%)	F.M
Coarse agg.	13	2.65	0.35	28.45	6.92
Fine agg.	-	2.53	0.67	-	2.99

Table 3 Physical properties of Latex

Concentration (%)	Specific gravity	pH	Surface tension (dyne/cm)	Particle size (A)	Viscosity (cps)
46.9	1.02	10.55	30.565	1793	44.33

Table 1 Physical and chemical properties of cement

Physical properties	Fineness modulus (cm <sup>2</sup> /g)	Density (g/mm <sup>3</sup> )	Stability (%)	Setting time (Min)		Compressive strength (MPa)		
				Initial	Final	3 days	7 days	28 days
	3,200	3.15	0.02	220	400	20	30	38
Chemical properties	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig.Loss	
	19.85	4.90	3.16	61.61	2.93	2.85	1.5	

Table 4 Mix proportions of LMC

Type of mix(W/C-LS/C-unit cement contents)	W/C (%)	LS/C (%)	S/a (%)	(kg/m <sup>3</sup> )				
				C	W	S	G	Latex
33-15-400	33	15	55	400	64	887	760	128
33-10-400		10			87	914	783	85
39-10-400	39	10			111	881	755	85
39-5-400		5			133	908	778	43
45-5-400	45	5			157	874	749	43
33-15-350	33	15			56	942	807	112
39-15-350	39	15		77	913	782	112	
39-10-350		10		97	937	803	74	
45-10-350	45	10		118	908	778	74	
39-15-300	39	15		66	972	833	96	
45-15-300	45	15		84	947	812	96	
45-10-300		10		101	968	829	64	

## 2. 배합설계

LMC의 염소이온 확산 특성을 평가하고자 단위시멘트량, 물-시멘트비 및 라텍스 첨가비를 배합인자로 27개의 배합을 실시하였다. 그 후 슬럼프 시험을 통하여 슬럼프의 범위가 8~22cm로 작업성에 큰 영향을 미치지 않고, 재료분리가 발생하지 않은 12 배합을 선정하였다. 본 연구에서는 선정된 12개 배합에 대하여 염소이온 확산 특성을 평가하였으며, 선정된 배합비는 Table 4와 같다.

## 3. 실험방법

### 가. 염화물 이온 확산계수 산정

LMC의 염화물 이온 확산특성을 평가하기 위하여 재령 7, 28, 56, 및 91일에서 급속 전기이동에 의한 확산 실험을 실시하였다. 급속 전기이동에 의한 염화물 이온의 확산 평가는 북유럽 실험기준인 NT Build 492에 준하여 실시하였다(NT Build 492, 1999). 실험에 필요한 시편은 지름 10cm, 높이 20cm의 원형 공시체를 제작한 후 공시체의 높이 중앙에서 5cm를 잘라낸 부분을 사용하였으며, 각 실험재령에서 전처리를 실시한 후 실험을 실시하였다. 전처리과정은 첫 번째로 절단된 시편을 3시간동안 1~5kPa의 압력으로 진공데시게이터에서 진공 상태를 유지시킨 후 두

번째로 3시간동안 진공상태를 유지시킨 후 진공데시게이터 내에 Ca(OH)<sub>2</sub>을 모든 시편이 잠기도록 채운 후 1시간동안 추가로 진공을 유지시켰다. 세 번째로 추가로 진공을 유지시킨 후 데시게이터의 뚜껑을 열어 공기가 접촉되도록 하여 18±2시간동안 방치한 후 표면의 물기를 제거하고 장치에 고정하였다. 이와 같은 전처리 과정을 마친 후 공시체는 영동시험장치에 설치하였다. 설치방법은 첫 번째로 고무관 속에 시편을 넣고 두 개의 스테인레스 스틸로된 씰로 겹에서 고정시킨 후 시편과 고무관이 만나는 부위에는 용액이 누수되는 것을 방지하기 위하여 위아래로 실리콘으로 주변을 처리하였다. 두 번째로 시편을 고정시킨 후 고무관 내부에는 0.3M NaOH 300ml를 채워 양극으로 사용될 수 있도록 스테인레스 스틸로 된 원형의 판을 삽입시킨 후, 마지막으로 시편이 고정된 고무관 전체를 시편하부에 플라스틱 받침을 갖도록 만든 장치위에 정치시키고, 12리터의 10% NaCl이 담긴 용기안에 담갔다. 실험준비가 완료된 후 외부에 전원공급 장치를 연결하여 전압을 가할 수 있도록 하여 실험을 실시하였다. 실험과정은, 첫 번째로 실험을 시작할 때 30V의 전압을 가하여 각 공시체를 통과하는 초기 전류를 측정한다. 다음, 두 번째로 측정된 초기 전류값으로부터 해당 공시체에 가해져야 할 전압을 Table 5에서 선택하여 전압을 조정

하였다. 세 번째로 측정된 초기 전압으로부터 적용해 야할 전압을 결정한 후 실험시편에 전압을 가하여 주어진 전압에서의 전류를 측정하였으며, 네 번째로 측정된 전류로부터 실험에 소요되는 시간을 결정한 후 실험을 시작할 때의 고무관 내부 용액의 온도를 측정하고, 다섯 번째로 실험소요시간동안 전압을 가한 후 실험이 완료될 때의 전류와 고무관 내부의 온도를 측정하여 기록 하였다. 마지막으로 실험이 완료된 후 시편을 고무관으로 분리하여 표면을 세척한 후 할렬하여 할렬된 표면에 0.1M AgNO<sub>3</sub>를 분무하여 은색으로 변색된 부분의 깊이를 측정하였으며, 변색된 깊이의 측정은 시편 양쪽 끝부분으로부터 1cm 정도는 제외하고 나머지 부분에서 총 7번 측정하여 평균을 사용하였다.

나. 실험결과로부터 확산계수 산정

급속 전기이동 실험의 결과로부터 확산계수를 구하는 방법은 Tang과 Nilsson(1992)의 모델을 이용하였다. Tang과 Nilsson(1992)은 전기장이 작용하는 계에서 고정화 반응을 고려하지 않고, Nernst-Planck 방정식으로부터 물질이동을 농도차에 의한 확산의 항과 전기이동에 따른 항의 합으로만 고려하

여 식(1)과 같이 나타내었다.

$$J = -D \frac{dC}{dx} - \frac{zF}{RT} \frac{E}{l} D \cdot C_1 \quad (1)$$

식(1)의 관계로부터 비정상상태 전기이동실험에 의한 확산계수 산정식을 유도할 수 있으며, 전기이동 실험으로부터 얻어진 결과는 염화물의 침투깊이로서 표현되는 확산계수는 겉보기 확산계수와 같은 개념의 확산계수로 볼 수 있기 때문에 식(2)를 이용하여 겉보기 확산계수를 산정하였다(Tang 등, 1992).

$$D_{nssm} = \frac{RT}{zFE} \frac{x_d - \alpha \sqrt{x_d}}{t} \quad (2)$$

여기서,  $E = \frac{U-L}{L}$

$$\alpha = 2 \sqrt{\frac{RT}{zFE}} \operatorname{erf}^{-1} \left( 1 - \frac{2c_d}{c_0} \right)$$

$D_{nssm}$  : 비정상상태의 영동확산계수(m<sup>2</sup>/s)

$z$  : 이온 원자가(염화물의 경우 Z=1)

$F$  : 패러데이상수 ( $F=9.648 \times 10^4 J/(V \cdot mol)$ )

Table 5 Applied voltage and test time with early electric current (NT Build 492, 1999)

Initial electric current at 30 voltage (mA)	Applied voltage (V)	Initial electric current at applied voltage (mA)	Test time (hours)
$I_0 < 5$	60	$I_0 < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_0 < 20$	48
$10 \leq I_0 < 15$	60	$20 \leq I_0 < 30$	24
$15 \leq I_0 < 20$	50	$25 \leq I_0 < 35$	24
$20 \leq I_0 < 30$	40	$25 \leq I_0 < 40$	24
$30 \leq I_0 < 40$	35	$35 \leq I_0 < 50$	24
$40 \leq I_0 < 60$	30	$40 \leq I_0 < 60$	24
$60 \leq I_0 < 90$	25	$50 \leq I_0 < 75$	24
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_0 < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_0 < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_0 < 120$	24
$360 \leq I_0$	10	$120 \leq I_0$	6

$U$  : 적용된 전압(V)

$R$  : 기체상수 ( $R=8.314J/(K \cdot mol)$ )

$T$  : 실험 시작과 끝날 때 측정된 셀 안의 온도 평균( $K$ )

$L$  : 시편의 두께(m)

$x_d$  : 평균 침투깊이(m)

$t$  : 실험에 소요된 시간(s)

$erf^{-1}$  : 오차함수의 역수

$c_0$  : 음극 용액의 염화물 농도( $c_0 \approx 2N$ )

$c_d$  : 질산은에 의해 색이 변화는 염화물 농도( $c_d \approx 0.07N$ )

위 식에서  $erf^{-1}\left(1 - \frac{2 \times 0.07}{2}\right) = 1.28$  이므로

위의 식(2)는 식(3)과 같이 간소화시킬 수 있다(Tang 등, 1992).

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} \left( x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(272 + T)Lx_d}{U - 2}} \right) \quad (3)$$

여기서,  $D_{nssm}$  : 비정상상태의 영동확산계수( $m^2/s$ )

$U$  : 적용된 전압(V)

$T$  : 실험 시작과 끝날 때 측정된 셀 안의 온도 평균( $K$ )

$L$  : 시편의 두께(m)

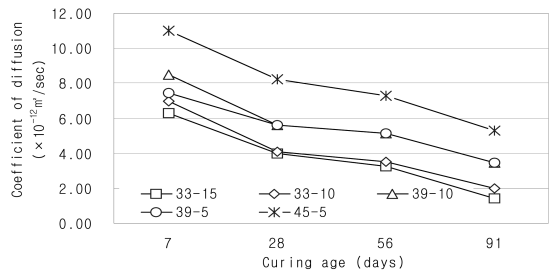
$x_d$  : 평균 침투깊이(m)

$t$  : 실험에 소요된 시간(s)

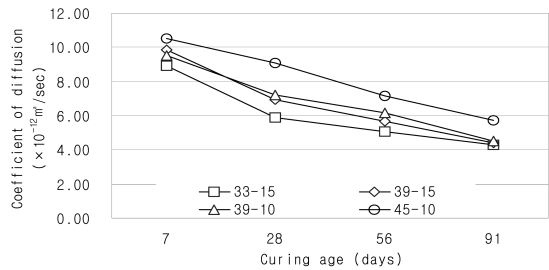
### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 단위시멘트량에 따른 확산계수 특성

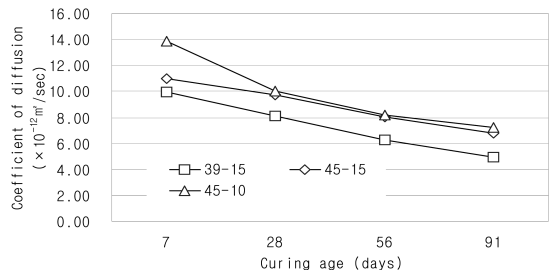
동일 단위시멘트량에서의 라텍스 첨가량 및 물-시멘트비의 변화에 따른 확산계수를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)와 같이 단위시멘트량이 400kg/m<sup>3</sup>인 배합에서는 라텍스 첨가량이 높을수록, 물-시멘트비



(a) Coefficient of diffusion of LMC at C=400kg/m<sup>3</sup>



(b) Coefficient of diffusion of LMC at C=350kg/m<sup>3</sup>



(c) Coefficient of diffusion of LMC at C=300kg/m<sup>3</sup>

**Fig. 1 Coefficient of diffusion of LMC with cement content**

가 낮을수록 확산계수가 낮게 나타나고 있다. 재령에 따른 확산계수의 변화특성에서는 재령이 증가함에 따라 확산계수가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 장기재령으로 갈수록 라텍스 입자들이 흡착된 시멘트 입자들의 수화반응이 완전하게 이루어져 내부 구조가 더욱 치밀하게 되기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 1(b)의 단위시멘트량이 350kg/m<sup>3</sup>인 배합에서는 400kg/m<sup>3</sup>인 배합보다 확산계수가 큰 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 LMC의 공극을 형성하는데 있어 라텍스의 영향이 매우 크기 때문이다. 일반적으로 단위시멘트량이 감소하면 첨가되는 라텍스의 양도 감소하기 때문에 라텍스로 인한

내부구조의 치밀화 효과가 작아지기 때문이다. 그러므로 단위시멘트량이 낮아졌지만 라텍스 첨가량이 높은 배합에서는 낮은 확산계수 값을 나타내었다. 단위시멘트량이 300kg/m<sup>3</sup>인 배합의 확산계수를 나타낸 Fig. 1(c)에서는 확산계수 값이 재령에 따라 크게 감소되는 것을 알 수 있다. 그러나 단위시멘트량이 350kg/m<sup>3</sup>보다는 확산계수가 크게 나타나고 있다. 이와 같은 결과로 보아 단위시멘트량의 감소는 라텍스량의 감소를 발생시켜 확산계수를 증가시키는 것을 알 수 있다. 또한 동일한 단위시멘트량에서는 라텍스 첨가량이 클수록 확산계수가 작아지며 이는 재령이 증가할수록 더 큰 효과를 나타냄을 알 수 있다.

### 2. 라텍스 첨가량에 따른 확산계수 특성

LMC의 확산계수는 라텍스의 첨가량에 따라 다르게 나타나고 있다. Fig. 2는 단위시멘트량 400kg/m<sup>3</sup>인 배합에서 동일-물시멘트비일 때 라텍스 첨가량이 다른 배합의 확산계수를 나타내고 있다. 물-시멘트비가 33%인 경우 확산계수는 라텍스 첨가량이 많을수록 낮은 값을 나타내고 있다. 이러한 특성은 물-시멘트비가 39%인 경우에서도 동일한 경향을 갖는 것으로 나타났다. 동일한 물-시멘트비에서 라텍스 첨가량 15%인 경우와 10%인 경우, 재령 증가에 따른 확산계수의 변화 경향을 보면, 라텍스 첨가량이 높은 경우에는 재령 증가에 따른 확산계수의 감소가 10%인 배합의 경우보다 크게 나타나고 있다. 물-시멘트비가 39%인 경우에도 동일한 경향을 나타내고 있는

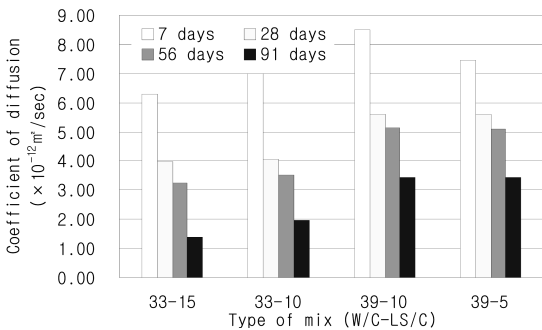


Fig. 2 Coefficient of diffusion of LMC with latex (C=400kg/m<sup>3</sup>)

데, 이는 라텍스 첨가량이 많을수록 콘크리트 내부에 형성되는 필름막이 두껍고, 이러한 필름막은 장기적으로 지속적으로 형성되기 때문에 재령이 증가함에 따라 LMC의 내부구조가 더욱 밀실하게 진행되기 때문인 것으로 보인다.

### 3. 물-시멘트비에 따른 확산계수 특성

Fig. 3은 단위시멘트량 350kg/m<sup>3</sup>인 배합에서 물-시멘트비가 동일할 때 라텍스 첨가량 차이에 따른 확산계수를 나타내고 있다. 동일 라텍스량에서 물-시멘트비에 따른 확산계수의 특성을 분석해 보면, 라텍스 첨가량 15%인 경우에는 33%인 경우와 39%인 경우의 확산계수 차이가 크게 나타나고 있다. 이러한 결과는 재령 초기의 수화에 의한 내부구조가 단위시멘트량이 적은 배합에서 더욱 촉진되어 보다 밀실한 구조를 먼저 형성하기 때문인 것으로 판단되지만 물-시멘트비가 39% 이상의 경우에는 배합에 투입되는 단위시멘트량이 많기 때문에 이러한 영향으로 변동이 심하게 나타나고 있다. 하지만 재령이 진행됨에 따라 확산계수는 유사한 경향으로 감소하는 것으로 나타났다. 단위시멘트량이 300kg/m<sup>3</sup>인 배합에서는 45%의 동일 물-시멘트비를 갖는 배합에서 라텍스 첨가량이 작은 배합의 경우가 초기 재령에서 라텍스 첨가량이 높은 배합보다 확산계수가 크게 나타나고 있다(Fig. 4). 동일 라텍스 첨가량을 갖는 배합을 비교해 보면 물-시멘트비가 낮은 배합이 보다 낮은 확산계수를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이는 물-시

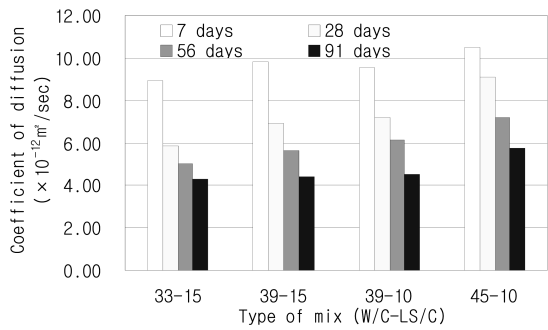


Fig. 3 Coefficient of diffusion of LMC with w/c (C=350kg/m<sup>3</sup>)

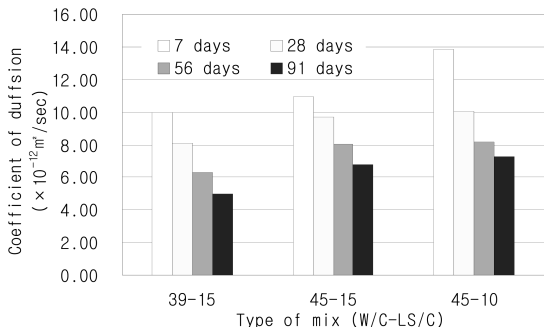


Fig. 4 Coefficient of diffusion of LMC with w/c and latex content (C=300kg/m³)

멘트비가 낮을수록 콘크리트 내부 구조가 밀실화되기 때문에 나타나는 결과이다.

#### 4. 재령에 따른 확산계수

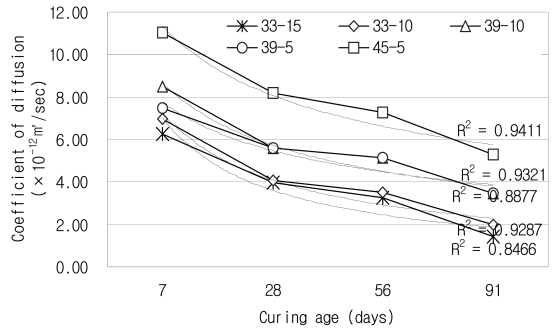
단위시멘트량과 물-시멘트비, 그리고 라텍스 첨가량을 다르게 하여 설계된 배합에 대한 확산계수 산정결과는 재령에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 시멘트가 물과 반응하여 수화물을 생성하기 때문에 콘크리트의 구성재료들 사이의 결합뿐 아니라 빈 공극을 채워 공극구조를 치밀하게 한다. 이러한 특성은 라텍스의 첨가로 인해 더욱 치밀해 지게 된다. Mongat 등(1994)은 장기간 해수에 노출된 콘크리트 구조물의 염화물 이온량을 분석하여 재령과 확산계수의 관계를 다음 식(4)와 같이 시간의존성으로 나타내었다.

$$D = At^{-B} \quad (4)$$

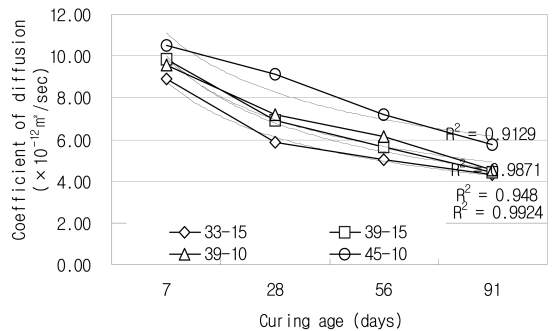
여기서,  $D$  : 콘크리트 중의 염소이온 확산계수( $m^2/s$ )  
 $A$ ,  $B$  : 실험상수

단위시멘트 함량 및 라텍스 첨가량, 그리고 물-시멘트비가 상이한 각각의 배합에서 재령에 따른 확산특성의 변화를 파악하기 위하여, 재령별로 측정된 확산계수 관계를 Fig. 5에 나타내었다. 단위시멘트량이 각기 다른 배합에 대한 재령별 확산계수 변화특성을 분석해 본 결과 기존 연구자들에 의한 결과와 동일하게 확산계수는 라텍스 첨가량과 물-시멘트비에 상

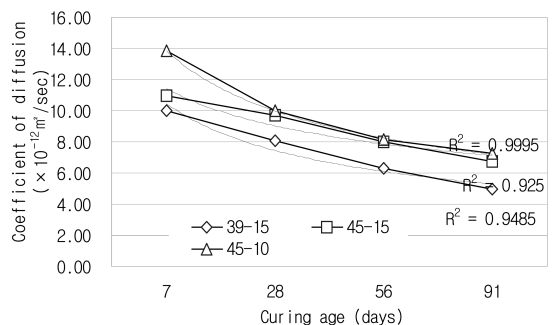
관없이 감소하는 특성을 나타내었으며, 멱함수로 표현을 가능하게 하였다. 또한 모든 경우에서 결정계수( $R^2$ )가 매우 높게 나타나 재령에 따라 콘크리트 내부의 구조가 치밀해짐으로서 염화물 이온 등의 확산이 억제된다는 것을 알 수 있다.



(a) Coefficient of diffusion with curing age (C=400kg/m³)



(b) Coefficient of diffusion with curing age (C=350kg/m³)



(c) Coefficient of diffusion with curing age (C=350kg/m³)

Fig. 5 Results of coefficient of diffusion with curing age

5. 확산계수의 시간의존 상수

시간에 따른 깊이별 염화물량 산정에 확산계수를 적용하기 위하여 각 배합별로 측정된 확산계수를 바탕으로 배합인자와의 관계식을 통해 LMC의 확산계수를 산정할 수 있는 관계식을 정립할 필요가 있다. 따라서 콘크리트 중의 염소이온 확산계수가 재령에 따라 변화하기 때문에 이러한 영향을 고려하기 위하여 평균확산계수 개념을 도입하였다. 염소이온 확산계수의 시간의존성을 고려할 경우 염화물 이온농도는 매개변수 ( $H$ )를 사용하여 표현될 수 있으며, 식(5)와 같이 나타낼 수 있다(Poulsen, 1994).

$$H = \overline{D_a} t = \int_0^t D_a(t) dt \quad (5)$$

여기서,  $\overline{D_a}$  : 확산계수  $D_a$ 의 시간  $t$ 까지의 평균 염소이온 확산계수( $m^2/s$ )로서 다음 식(6)으로부터 산정이 가능하다(Poulsen, 1994).

$$\overline{D_a} = \frac{1}{t} \int_0^t D_a(t) dt \quad (6)$$

일반적으로 확산계수의 시간의존성은 다음 식(7)과 식(8)로 나타낸다(Poulsen, 1994).

$$D_a(t) = D_{a,ref} f_t(t) \quad (7)$$

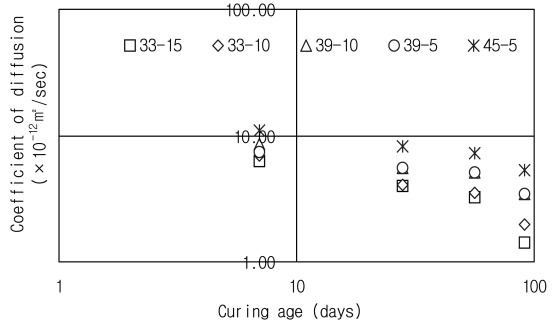
$$f_t(t) = \begin{cases} \left(\frac{t_{ref}}{t}\right)^m & (t < t_c) \\ \left(\frac{t_{ref}}{t_c}\right)^m = const. & (t \geq t_c) \end{cases} \quad (8)$$

여기서,  $D_{a,ref}$  : 기준시간  $t_{ref}$ 는 28일에서의 확산계수( $m^2/s$ )

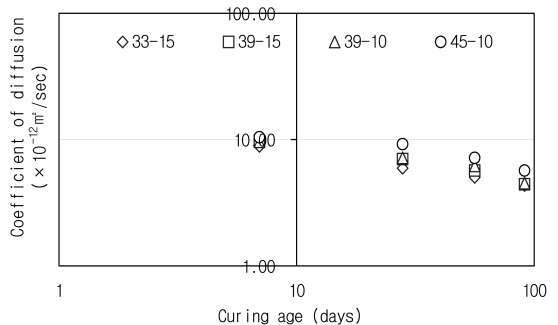
$m$  : 확산계수 시간의존성을 나타내는 경험상수 ( $0 \leq m < 1$ )

$t_c$  : 확산계수의 감소한계(일반적으로 25~30년)

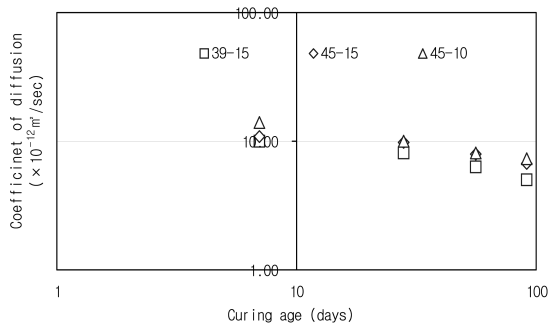
본 연구에서는 재령별 확산계수 산정결과로부터 시간의존성 경험상수( $m$ )을 산정하기 위하여 재령에 따른 확산계수결과가 멱함수의 관계로 표시되는 점을 고려하여 로그함수로 나타내어 회귀분석을 실시하였다. Fig. 6은 단위시멘트량별 재령에 따른 확산



(a) Log function of coefficient of diffusion (C=400kg/m³)



(b) Log function of coefficient of diffusion (C=350kg/m³)



(c) Log function of coefficient of diffusion (C=350kg/m³)

Fig. 6 Log function of coefficient of diffusion with curing age



**Table 6 Time-dependent constants of diffusion with mix type**

Type of mix (w/c - LS/c)	Unit cement contents (kg/m <sup>3</sup> )	Function of regression analysis	R-square (R <sup>2</sup> )	Time-dependent constants ( <i>m</i> )
33-15	400	$y = 18.96 \times x^{-0.50}$	0.824	0.50
33-10		$y = 17.38 \times x^{-0.44}$	0.917	0.44
39-10		$y = 16.24 \times x^{-0.31}$	0.924	0.31
39-5		$y = 13.11 \times x^{-0.26}$	0.870	0.26
45-5		$y = 18.98 \times x^{-0.26}$	0.927	0.26
33-15	350	$y = 15.28 \times x^{-0.28}$	0.966	0.28
39-15		$y = 18.13 \times x^{-0.30}$	0.978	0.30
39-10		$y = 16.78 \times x^{-0.27}$	0.932	0.27
45-10		$y = 17.23 \times x^{-0.22}$	0.866	0.22
39-15	300	$y = 17.50 \times x^{-0.26}$	0.927	0.26
45-15		$y = 16.29 \times x^{-0.18}$	0.900	0.18
45-10		$y = 22.89 \times x^{-0.25}$	0.997	0.25

**Table 7 Time dependant constant and average diffusion coefficient**

Type of mix (w/c - LS/c)	33-15	33-10	39-10	39-5	45-5	33-15	39-15	39-10	45-10	39-15	45-15	45-10
Diffusion coefficient at 28 curing age ( $\times 10^{-12}$ m <sup>2</sup> /s)	3.97	4.06	5.6	5.61	8.2	5.88	6.93	7.21	9.11	8.08	9.71	10.02
<i>m</i>	0.5	0.44	0.31	0.26	0.26	0.28	0.3	0.27	0.22	0.26	0.18	0.28
$\overline{D}_a$ ( $\times 10^{-12}$ m <sup>2</sup> /s)	0.40	0.52	1.28	1.61	2.35	1.54	1.65	1.97	3.14	2.31	4.04	2.62
$\overline{D}_a$ (cm <sup>2</sup> /yr)	0.13	0.17	0.40	0.51	0.74	0.48	0.52	0.62	0.99	0.73	1.28	0.83

계수의 로그함수를 나타낸 것이며, 회귀분석을 통해 얻어진 재령과 확산계수의 관계분석결과를 나타낸 것은 Table 6과 같다. 각 배합에 대한 시간의존상수는 단위시멘트량 400kg/m<sup>3</sup> 일 경우 0.26~0.50 사이로 나타났으며, 350kg/m<sup>3</sup> 일 때는 0.22~0.30, 그리고 300kg/m<sup>3</sup> 일 때는 0.18~0.26으로 나타났다. 단위시멘트량이 높을수록 시간의존상수 값의 변동이 다소 크게 나타났다.

**6. 염소이온 평균 확산계수 산정**

각 배합에 대해 계산된 시간의존상수를 적용하여

각 염화물 이온함량이나 철근부식의 개시시기 예측 등에 적용하기 위한 평균 확산계수를 산정하였다. 이와 함께 실험을 통해 얻어진 28일 확산계수를 이용하여 평균 확산계수와 비교분석하였다. 시간의존상수 (*m*)을 고려한 평균 확산계수는 다음 식(9)와 같이 나타낼 수 있다(Poulsen, 1994).

$$\overline{D}_a = \overline{D}_{a,ref} \left( \frac{t_{ref}}{t} \right)^m = \frac{D_{a,ref}}{1-m} \left( \frac{t_{ref}}{t} \right)^m \quad (9)$$

위 식(9)를 이용하여 산정된 배합별 평균 확산계수는 다음 Table 7과 같다.

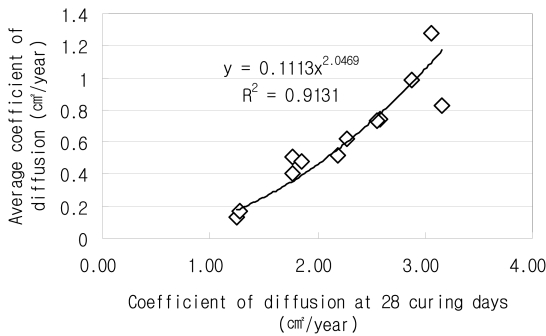


Fig. 7 Comparison between diffusion test results of 28 curing days and average coefficient of diffusion

Fig. 7은 28일 재령에서의 실험을 통한 확산계수와 평균 확산계수와와의 관계로 28일 확산계수와 평균 확산계수 사이에 매우 밀접한 상호연관성 있는 관계를 보여주고 있다. 즉, 재령 28일 확산계수측정시험을 통하여 평균 확산계수의 추정을 용이하게 할 수 있다는 것을 보여준다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 LMC를 수리구조물 및 해안 구조물에 적용하기 위하여 이와 같은 구조물의 열화에 가장 큰 영향을 미치는 염화물 확산특성을 NT Build 492을 이용하여 평가하였으며 시험결과로부터 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. LMC 배합의 확산계수는 전체적으로 최대 13.86  $m^2/s$ 에서 최소 1.43  $m^2/s$ 로 나타났다. 최대값은 단위시멘트량이 가장 적은 300kg/ $m^3$ 의 재령 7일에서 나타났으며, 최소값은 단위시멘트량이 가장 많은 400kg/ $m^3$ 의 재령 91일에서 나타났다. 이러한 결과로부터 LMC의 확산계수가 단위시멘트량, 물-시멘트비 및 재령에 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.
2. LMC의 확산계수는 단위시멘트량이 증가할수록 낮게 나타났다. 이러한 결과는 LMC의 공극을 형성하는데 있어 라텍스의 영향이 매우 크기 때문이다. 즉 단위시멘트량이 감소하면 첨가되는 라텍스

의 양도 감소하기 때문에 라텍스로 인한 내부구조의 치밀화 효과가 작아지기 때문이며, 단위시멘트량이 낮아졌지만 라텍스 첨가량이 높은 배합에서는 낮은 확산계수 값을 나타내었다.

3. LMC의 확산계수는 물-시멘트비가 낮을수록 라텍스 첨가량이 증가할수록 낮아지는 경향을 나타냈다. 이는 물-시멘트비가 낮은 경우 콘크리트의 내부를 보다 치밀하게 하며, 라텍스 첨가량의 증가는 콘크리트 내부의 필름을 형성하기 때문에 LMC의 내부구조가 더욱 밀실해지기 때문이다. 또한 모든 LMC 배합은 양생재령이 증가할수록 확산계수가 낮게 나타났다.
4. 확산계수 산정결과로부터 시간의존성 경험상수를 산정하였으며, 시간의존상수는 단위시멘트량 400kg/ $m^3$ 일 경우 0.26~0.50 사이로 나타났고, 350kg/ $m^3$ 일 때는 0.22~0.30, 300kg/ $m^3$ 일 때는 0.18~0.26으로 나타났다. 단위시멘트량이 높을수록 시간의존상수 값의 변동이 다소 크게 나타났다.
5. 콘크리트 중의 염소이온 확산계수가 재령에 따라 변화하기 때문에 계산된 시간의존상수를 적용하여 평균 확산계수를 산정하였다. 산정결과 재령 28일에서의 확산계수 실험을 통한 결과 평균확산계수가 밀접한 관계가 있음을 알았다.

#### References

1. Babaie, K., and N.M. Hawkins, 1987, NCHRP Report 297 : Evaluation of bridge deck protective strategies, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp. 80
2. Bishara, A.G., 1979, Latex modified concrete bridge deck overlays field performance analysis, Ohio Department of Transportation, Report No. FHWA/OH/79/004, pp. 96
3. Kuhlmann, L.A., 1981, Performance history of latex-modified concrete overlays, ACI Publication SP-69 : Application of Polymer Concrete, pp. 205-218

4. Kuhlmann, L.A., 1990, Experiments to evaluate factors effecting the permeability of portland cement mortar and concrete modified with styrene-butadiene Latex, Presented at the Research Session, ACI Annual Meeting, Toronto, Canada
5. Kim, Y-I. and C-Y. Sung, 2007, Strength and watertightness properties of EVA modified high strength concrete, KSAE, 49(1), pp. 45~54(in Korean)
6. Maultzsh, M., 1989, Studies on the durability of polymer modified cement concrete for the repair of concrete structures, Materials Engineering Journal, 1(1), pp. 77~84
7. Mangot, P.S. and B.T. Molloy, 1994, Prediction of free chloride concentration in concrete using routine inspection data, Magazine of Concrete Research, 46(169), pp. 279~287
8. NCHRP Synthesis of Highway Practice 57, 1979, Durability of concrete bridge decks, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., pp. 61
9. NT Build 492, 1999, Concrete, mortar and cement based repair materials: chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments, Approved 1999, 11, Nordtes
10. Ohama, Y., K. Notoya and M. Miyake, 1985, Chloride permeability of polymer-modified concrete, Transactions of the Japan Concrete Institute, 7, pp.165~172
11. Okba, S.H., A.S. El-Dieb and M.M. Reda, 1997, Evaluation of the corrosion resistance of latex modified concrete(LMC), Cement and Concrete Research, 27(6), pp. 861~868
12. Poulsen, E., 1993, On a model of chloride ingress into concrete having time-dependent diffusion coefficient, In Nordic Miniseminar-Chloride Transport in Concrete, Dept. of Building Materials, Chalmers University of Technology, Goteborg, Publication P-93: 1
13. Tang, L. and L.O. Nilsson, 1992, Chloride diffusivity in high strength concrete, Nordic Concrete Research, 11, pp. 162~170
14. Weyers, R.E., M.G. Fitch, E.P. Larsen and I.L. Al-Qadi, 1994, Concrete bridge protection and rehabilitation : chemical and physical techniques, strategic highway research program, National Research Council Washington D.C., pp. 7
15. Won, J-P., J-Y. Lee, C-G. Park, and S-G. Park, 2007, Optimum mix proportion of latex modified repair mortar for agricultural concrete structures, KSAE, 49(2), pp. 37~46(in Korean)