

## 염소이온의 확산계수와 콘크리트의 기초물성과의 관계

## Relationship between Chloride Diffusivity and the Fundamental Properties of Concrete

최두선\* · 최재진\*\*

Choi, Doo Sun · Choi, Jae Jin

## Abstract

Marine concrete structure is exposed to salt injury and deteriorated by steel corrosion due to chloride ions diffusion. It, therefore, is very important to estimate the chloride diffusivity in concrete. In this paper the compressive strength and permeable pore volume of concrete are measured and the diffusion coefficient and penetration depth of chloride ions in concrete were investigated to estimate the chloride diffusivity efficiently. To correlate these results each other, regression analysis was done. The results showed a good linear relation between chloride diffusivity and the fundamental properties of concrete and the chloride diffusivity of concrete with water-cement ratios of 40%~60% were about  $2.5\sim 6.6 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ .

**Key word** : Accelerated test, diffusion, Compressive strength, Permeable pore volume, Regression analysis

## 요 지

해양환경 하에 건설되는 콘크리트구조물은 다양한 염해 환경에 노출되어 있으며, 이중 염소이온의 침투 및 확산으로 인한 콘크리트 중의 철근부식과 화학적 침식 등은 콘크리트구조물의 주요 성능저하 요인으로 지적되고 있다. 따라서 해수 중의 염소이온의 침투 및 확산 메커니즘을 효율적으로 평가하기 위하여 전기화학적 촉진시험으로부터 염소이온의 확산계수를 추정하였다. 또한 콘크리트의 압축강도, 투수공극량 및 염소이온의 침투깊이 등과 염소이온의 확산계수와 상관관계를 분석하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 본 연구의 시험결과에 의하면, 물-시멘트비 40~60%의 범위에서 보통콘크리트의 염소이온 확산계수는  $2.5\sim 6.6 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$  정도였으며, 염소이온의 확산계수와 콘크리트의 물성과의 상관관계는 선형의 상관관계가 있었다.

**핵심용어** : 촉진시험법, 염소이온 확산계수, 압축강도, 투수공극량, 회귀분석

## 1. 서 론

최근 들어 장대교량과 같은 많은 국가기반시설이 해양환경에서 건설됨에 따라 콘크리트구조물의 구조적 성능뿐만 아니라 장기적인 내구성에 대한 관심이 증가하고 있다. 콘크리트구조물의 내구성에 영향을 미치는 요인으로는 여러 가지가 있지만, 특히 해양 환경에 건설되는 콘크리트구조물의 경우에는 염소이온의 침투 및 확산에 의한 철근부식이 내구성 저하에 가장 큰 원인이 되고 있다. 이러한 현상은 한랭지와 같은 특수한 환경조건에서 동결융해와의 상승작용 및 건조(乾濕)의 반복작용 등을 받게 되면 훨씬 더 빠른 속도로 콘크리트의 내구성을 저하시킨다.

콘크리트 중의 염소이온 확산특성을 평가하기 위한 최근의 연구는 주로 전위차를 이용하여 이온의 이동을 전기적으로 촉진시켜 전기화학적 이론으로 해석하려는 시도에 초점이 맞춰져 있다. 대표적인 전기화학적 촉진시험방법으로는 Whiting 등(1989)의 연구에 기초한 “급속 염화물 이온 침투 저항성 시험방법(ASTM C 1202 및 AASHTO T 277)” 및 이들의

시험방법과 염수 침지시험 결과를 비교하여 염소이온 확산계수를 추정하여 제안한 Berke 등(1994)의 경험식이 있다. 또한, Dhir 등(1990)은 확산셀을 구성하여 전위차에 의한 농도 증가율로부터 Fick의 확산 제1법칙을 적용하여 확산계수를 추정하였으며, Andrade 등(1993)은 전해질 용액에 적용된 전기장에 의하여 흐르는 전체 전류 중 고려하고자 하는 이온이 전체 전류에 기여하는 정도를 나타내는 수율(transference number)의 개념을 도입하여 염소이온의 확산계수를 산정하는 방법을 제안하였다. 또 Zhang과 GjØrv(1994)는 이온의 이동도(mobility)를 확산계수의 함수로 표현한 Einstein 방정식으로부터 확산계수를 계산하는 모델을 제시하였으며, Tang (1996)은 농도차 확산과 전위차에 의한 전기이동을 동시에 고려한 해석모델을 제안하고 수치해석의 결과로부터 비색법에 의한 염소이온의 침투깊이를 측정하여 염소이온의 확산계수를 추정하고자 하였다.

본 연구에서는 위의 여러 시험방법 중 Tang의 방법에 의하여 염소이온의 침투깊이를, Andrade가 제안한 시험방법에 의하여 촉진 염소이온의 확산계수를 추정하고 염소이온 확산

\* (주)다산글로벌컨설팅 이사 (E-mail: doosun.choi@gmail.com)

\*\* 정회원 · 공주대학교 건설환경공학부 교수 (교신저자)

계수와 압축강도 및 투수공극량 등의 콘크리트의 기초물성과의 상관관계를 분석, 고찰하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용재료

#### 1) 시멘트

보통포틀랜드시멘트(Normal Portland Cement, NPC)를 사용하였으며, 본 연구에서 사용된 시멘트의 화학 성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

#### 2) 골재

잔골재는 조립률 2.65, 밀도  $2.59 \text{ g/cm}^3$ 인 강모래를, 굵은 골재는 최대치수 25 mm, 밀도  $2.62 \text{ g/cm}^3$ 인 부순골재를 사용하였으며, 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

#### 3) 화학혼화제

콘크리트의 단위수량 저감과 연행공기를 발생시키기 위하여 밀도  $1.09 \pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 인 액상의 리그닌계 AE감수제 표 준형을 사용하였다.

### 2.2 콘크리트의 배합

콘크리트 배합은 보통포틀랜드시멘트를 사용하여 물-시멘트 비를 40%, 45%, 50% 및 60%의 4단계로 변화시켰다. 단위수량은  $187 \text{ kg/m}^3$ 로 고정하고, 목표 공기량  $4.5 \pm 1.5\%$ 를 얻기 위하여 AE감수제를 시멘트 질량에 대하여 0.15% 사용하였다. 본 연구에서 사용된 4종류의 콘크리트 배합을 정리한 것이 표 3이다.

### 2.3 실험 방법

#### 1) 압축강도

콘크리트의 압축강도는  $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ 의 원주형 공시체를 제조한 후,  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 수중 양생하여 재령 7일, 28일, 56일 및 91일의 압축강도를 KS F 2405에 준하여 측정하였다.

#### 2) 투수공극량 및 공극의 크기 분포

콘크리트의 투수공극량은 ASTM C 642 규준에 준하여 종류별로 시험체 3개를 채취하여, 재령 7일, 28일, 91일 및 365일에 측정하였다.

또한 시멘트 경화체중의 공극량 및 공극의 크기 분포를 수은 압력 429 MPa, 접촉각  $130^\circ$  조건으로 재령 28일, 물-시멘트 비 40% 및 50%인 콘크리트를 대상으로 수은압입법(Mercury Intrusion Porosimetry, MIP)에 의하여 측정하였다.

#### 3) 촉진시험 방법 및 조건

전술한 전기화학적 촉진시험 방법들은 연구자마다 서로 상이하므로 본 연구에서는 콘크리트 중의 염소이온의 침투깊이 및 확산계수를 구하기 위하여 그림 1과 같이 확산셀 장치를 구성하였다. 전해질 용액으로는 음극셀(Cell I)에 0.5M의 염화나트륨(NaCl) 수용액을, 양극셀(Cell II)에 포화 수산화칼슘(sat.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) 수용액을 사용하였으며 각각의 시험조건을 표 4에 정리하였다.

#### (1) 염소이온의 침투 깊이

시험편 두께 50 mm인 콘크리트에 8시간 동안 전위차를 가

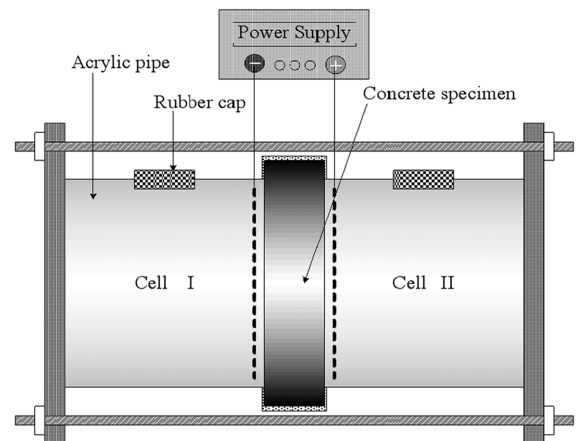


그림 1. 확산셀의 상세도

표 1. 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

	Chemical composition(%)							Physical properties	
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig.loss	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (/g)
NPC	60.1	21.95	6.59	2.81	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112

표 2. 골재의 물리적 성질

	G <sub>max</sub> (mm)	Density(g/cm <sup>3</sup> )	Absorption(%)	F.M.
Fine aggregate	-	2.59	0.80	2.65
Coarse aggregate	25	2.62	0.78	-

표 3. 콘크리트의 배합

	G <sub>max</sub> (mm)	Slump (mm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )			
						W	C	S	G
NPC40	25	125	3.3	40	41	187	467	655	958
NPC45	25	136	3.8	45	42	187	416	689	967
NPC50	25	146	4.5	50	43	187	374	720	970
NPC60	25	155	4.7	60	45	187	312	777	964

표 4. 촉진시험 조건

	Electrolyte		Applied voltage (V/m)	Thickness (mm)	Testing time (hour)
	Cathode	Anode			
Penetration depth test	0.5M NaCl	Sat. Ca(OH) <sub>2</sub>	600	50	8
Diffusion test	"	"	333	30	12

한 후 시험편을 쪼개어 표면에 0.1N 질산(AgNO<sub>3</sub>) 용액을 분무하였다. 시험편 표면에 분무된 시약은 염소이온과 반응하여 흰색의 염화은(AgCl)을 침전시키며 염소이온이 없는 부위에서는 갈색으로 변한다. 콘크리트의 음극측 표면에서부터 은색으로 변하는 지점까지를 JIS A 6203(1996)에 의하여 염소이온의 침투깊이로 하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 각각 20개소를 측정하여 평균값을 염소이온의 침투깊이로 하였다.

(2) 염소이온의 확산계수 추정

여러 가지 전기화학적 촉진시험방법 중 물리적인 의미로는 Tang의 모델이 가장 이상적임에도 불구하고 실제 추정된 확산계수는 10배 이상 크다는 점과 Andrade 모델식의 확산계수 평가방법이 시험편을 통과하는 전류의 흐름이 일정한 구간에서 수율(transference number)을 고려하여 확산계수를 추정할 수 있다는 점에 착안하여 비정상상태 조건에서의 확산계수를 추정하였다.

즉, 그림 1과 같이 확산셀을 구성하고 12시간 동안 333V/m의 전위차를 가하여 염소이온의 이동을 촉진시키면서 30분마다 데이터로거(TDS-303)를 이용하여 통과 전류를 측정한다. 전류의 흐름이 일정해지는 구간에서의 통과전류로부터 Andrade의 확산계수 산정식인 아래의 식 (1)로부터 비정상상태의 확산계수를 추정한다.

$$D = \frac{RT}{nF^2} \cdot \frac{i_{Cl} \cdot l}{\Delta E \cdot A \cdot C_{Cl} \cdot z} \quad (1)$$

여기서,  $t_{Cl}$ : 염소이온의 수율,  $i$ : 통과 전류(A),  $C_{Cl}$ : 염소이온의 농도(mol/l),  $l$ : 시편두께(m),  $E$ : 전기장(V),  $Z$ : 이온 전자가,  $A$ : 시험편의 단면적(cm<sup>2</sup>)

또한 25°C에서 포화 수산화칼슘 수용액의 농도는 1.53 × 10<sup>-2</sup>mol/l이므로, 본 연구의 실험조건으로부터 구한 염소이온의 수율(transference number)은 이론적으로 다음과 같다.

$$\text{음극셀: } \lambda_{Cl^-}^o = 76.34, \lambda_{Na^+}^o = 50.1(\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{eq}^{-1})$$

$$\text{양극셀: } \lambda_{Cl^{2+}}^o = 119.0, \lambda_{OH^-}^o = 198.5(\text{ohm}^{-1} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{eq}^{-1})$$

$$\text{염소이온의 수율: } t_{Cl} = \frac{z_{Cl} C_{Cl} \lambda_{Cl}}{\sum_i z_i C_i \lambda_i} = 0.5234$$

여기서,  $\lambda_i$ : 전도도,  $z_i$ : 이온 전자가,  $C_i$ : 농도(mol/l)

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 콘크리트의 기초물성

1) 압축강도

물-시멘트비 40%, 45%, 50% 및 60%의 보통 콘크리트의

압축강도를 재령 7일, 28일, 56일 및 91일에서 측정한 결과를 정리하여 나타낸 것이 표 5 및 그림 2이다.

재령에 따라 콘크리트의 압축강도는 증가하나 재령 28일 이후 장기재령으로 갈수록 그 증가폭이 감소함을 알 수 있다.

2) 투수공극량 및 공극크기 분포

ASTM C 642에 준하여 재령 7일, 28일, 91일 및 365일에 콘크리트의 투수공극량을 측정하였다. 또한 콘크리트 중의 공극크기 분포를 알아보기 위하여 재령 28일, 물-시멘트비 40% 및 50%의 콘크리트를 대상으로 공극량 및 공극크기 분포를 수은압입법으로 측정하였다. 이들의 실험 결과를 정리하여 나타낸 것이 표 6이다.

물-시멘트비에 따른 콘크리트의 투수공극량은 재령별로 나타낸 그림 3에서 콘크리트의 투수공극량은 재령이 증가할수록 급격히 감소함을 알 수 있다. 보통포틀랜드시멘트는 수화에 의해 그 체적이 2배 이상 팽창한다. 따라서 재령이 증가할수록 시멘트의 수화에 의해 생성된 Ca(OH)<sub>2</sub>와 C-S-H 같은 수화생성물이 시멘트 입자간의 공간을 채워 콘크리트의 조직구조가 치밀해졌기 때문이라 생각된다.

시멘트 경화체의 공극은 물이 차지하였던 공극과 혼합시 공기가 연행되어 발생되는 기포로 분류된다. 물이 차지하였던 공극은 시멘트 수화물에 의하여 그 크기가 계속 감소하며 일반적으로 켈공극과 모세관공극으로 분류할 수 있다.

표 5. 콘크리트의 압축강도

	Compressive strength(MPa)			
	7 days	28 days	56 days	91 days
NPC40	36.08	45.20	47.38	48.70
NPC45	31.45	38.61	41.42	43.18
NPC50	27.71	35.31	36.89	37.58
NPC60	20.20	27.18	30.25	33.51

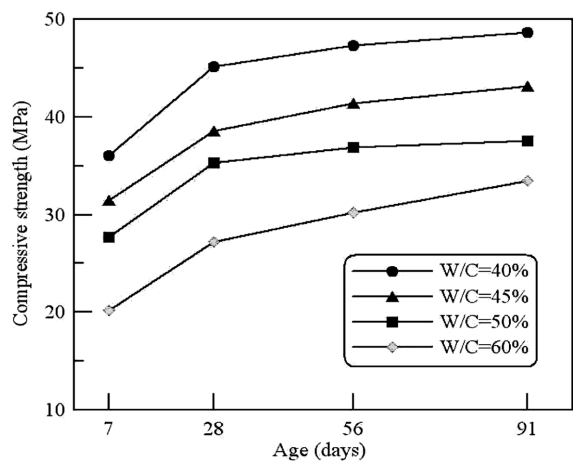


그림 2. 콘크리트의 재령별 압축강도

표 6. 콘크리트의 투수공극량 및 공극크기 분포

	Permeable pore volume(%)				Pore size distribution							
	ASTM C 642				Mercury intrusion porosimetry(28 days)							
	7 days	28 days	91 days	365 days	Total (ml/g)	Ave. dia. (nm)	< 0.005 (μm)	0.005-0.05 (μm)	0.05~0.1 (μm)	0.1~1.0 (μm)	> 1.0 (μm)	
NPC40	9.57	8.03	7.85	7.68	0.0806	11.50	0.0135	0.0462	0.0037	0.0128	0.0044	
NPC45	9.82	8.76	8.51	8.22	-	-	-	-	-	-	-	
NPC50	10.86	9.14	8.98	8.79	0.0877	12.13	0.0150	0.0467	0.0064	0.0148	0.0048	
NPC60	12.43	11.00	10.37	9.97	-	-	-	-	-	-	-	

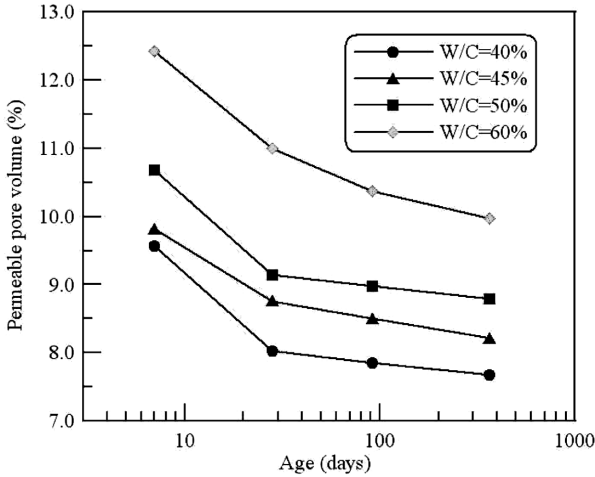


그림 3. 콘크리트의 재령별 투수공극량(ASTM C642)

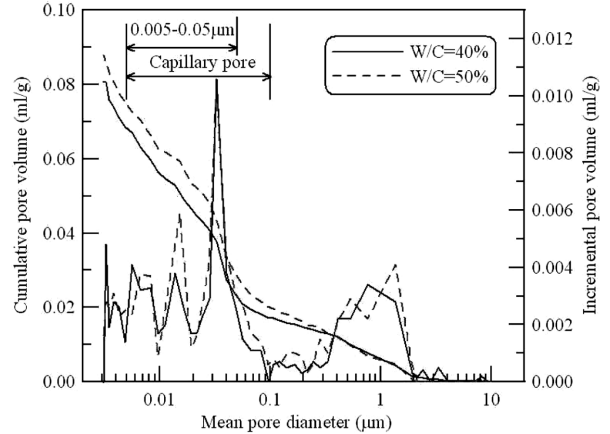


그림 4. 공극크기 분포 및 누적공극량(재령 28일, MIP)

겔공극과 모세관공극의 크기에 대해서는 여러 가지 견해가 있다. Metha(1993)는 콘크리트의 공극 크기에 따라 0.005 μm 이하를 겔공극, 0.005~0.1 μm의 공극을 모세관공극, Moon 등(2006)은 0.003 μm 이하를 겔공극, 0.003~10 μm를 모세관공극으로 분류하였으며, 이러한 모세관공극은 콘크리트의 제물성인 강도, 이온의 침투 등에 영향을 미친다고 보고하였다.

콘크리트의 공극 크기 분포와 공극량과의 관계를 나타낸 그림 4로부터 보통 콘크리트의 공극 크기 분포는 0.005~0.05 μm 사이의 공극량이 가장 많이 분포하고 있으며, 특정 공극 크기가 존재함을 알 수 있다. 또한 공극 측정 결과로부터 보통 콘크리트의 평균 공극직경은 물-시멘트비 40% 및 50%에서 각각 11.50 nm 및 12.13 nm 정도였다.

3) 염소이온의 침투깊이 및 확산계수

4종류 콘크리트를 대상으로 전위차를 이용하여 염소이온의 침투깊이 및 확산계수를 재령 28일, 56일 및 120일에서 측정하였으며, 측정결과를 정리하여 나타낸 것이 표 7이다.

콘크리트 중의 염소이온 침투깊이를 물-시멘트비별로 나타낸 것이 그림 5이며, 이 그림으로부터 물-시멘트비에 따라

다소 차이가 있으나 재령이 증가함에 따라 침투깊이가 감소함을 알 수 있다.

문헌상에 보고된 포틀랜드시멘트 콘크리트의 염소이온 확산계수는 연구자마다 다양하지만, 보통  $(1\sim 10) \times 10^{-12} m^2/s$ 의 범위이다. Mackechnie와 Alexander(1997)는 실구조물에 대하여 확산계수를  $(1.1\sim 4.2) \times 10^{-12} m^2/s$  정도로 보고하였으며, 大野信明 등(1982)은 물-결합재비가 36~60%의 범위에 있는 잔교(棧橋)에 대한 조사결과로부터 확산계수를  $(1.39\sim 3.9) \times 10^{-12} m^2/s$  정도로 보고하였다.

본 연구에서의 염소이온의 확산계수는  $(2.56\sim 6.65) \times 10^{-12} m^2/s$ 로 장기간 염해 환경에 노출된 실구조물의 확산계수보다는 다소 크게 나타났다.

물-시멘트비가 상이한 콘크리트의 재령에 따른 확산특성을 파악하기 위하여 비정상상태에서 추정된 염소이온의 확산계수를 정리하여 나타낸 것이 그림 6이다.

물-시멘트비에 상관없이 염소이온의 확산계수는 시간이 지남에 따라 감소하는 특성을 나타내었으며, 회귀분석 결과 식 (2)와 같은 멱함수 형태로 염소이온의 확산계수를 표현할 수 있다. 이러한 현상은 재령의 경과에 따라 수화조직이 치밀해져 공극의 연결성이 감소되고 굴곡도가 증가되어 염소이온의

표 7. 염소이온의 침투깊이 및 확산계수

	Penetration depth(mm)			Diffusion coefficient( $\times 10^{-12}, m^2/s$ )		
	28 days	56 days	120 days	28 days	56 days	120 days
NPC40	11.59	10.62	6.98	4.05	3.40	2.56
NPC45	13.97	13.18	9.78	4.20	3.77	3.25
NPC50	19.02	15.96	12.86	4.92	3.97	3.42
NPC60	24.77	23.78	19.99	6.55	5.25	4.38

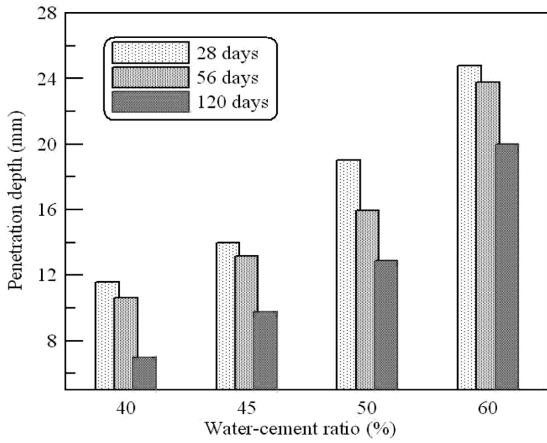


그림 5. 염소이온의 침투깊이

침투 및 확산을 억제하였다는 것을 의미하며, Mangat 등 (1994) 및 Tumidajski 등(1995)의 연구자의 보고와도 유사한 결과이다.

$$D = A \cdot t^{-B} \quad (2)$$

여기서, A, B는 실험상수이며 물-시멘트비별로 정리하여 나타낸 것이 표 8이다.

### 3.2 염소이온의 확산계수와 콘크리트의 기초물성과의 관계

#### 1) 압축강도와 확산계수

시멘트 조성광물의 차이가 수화도와 직접적인 관련을 맺으며, 이는 압축강도뿐만 아니라 염소이온의 확산계수에도 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다. 또한 각종 시방서에서 콘크리트의 내구성 향상 방안으로써 물-시멘트비의 저감을 권장하고 있으며, 사회적으로는 고강도콘크리트의 사용은 내구성을 크게 향상시키는 것으로 알려져 있다.

그림 7은 콘크리트의 압축강도와 염소이온의 확산계수와의 관계를 정리한 것이다.

이 그림에서 실선은 재령 28일 및 56일에서의 압축강도와 확산계수와의 관계를 각각 나타낸 그림으로 선형 회귀분석 결과 결정계수가 0.89로 분석되었다. 또한 점선은 측정된 전

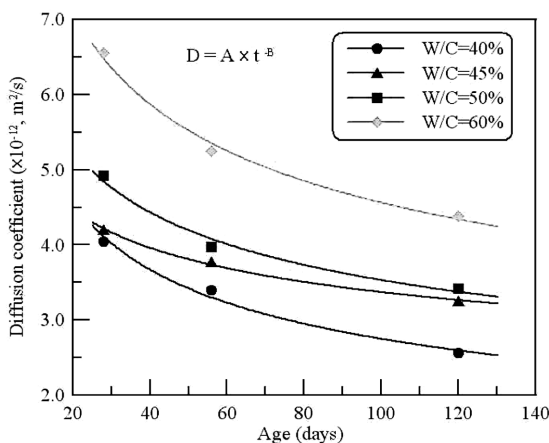


그림 6. 재령별 염소이온의 확산계수

표 8. 실험상수 및 결정계수

W/C(%)	A	B	R <sup>2</sup>
40	11.772	-0.316	0.988
45	7.607	-0.177	0.995
50	11.080	-0.248	0.982
60	16.246	-0.276	0.993

재령의 값을 나타낸 것으로 결정계수가 0.82로 선형의 상관성이 있었으며 압축강도가 증가할수록 염소이온의 확산계수는 감소함을 알 수 있다.

보통포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트의 경우 압축강도가 증가함에 따라 염소이온의 확산계수가 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 이러한 결과로부터 해양콘크리트 구조물의 염소이온 침투 저항성을 증가시키기 위해서는 압축강도를 향상시키는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 그러나 고강도 콘크리트를 사용하면 단위시멘트량이 증가하므로 수화열에 의한 균열발생의 위험이 증가하여 다른 내구성 저하요인이 대두될 수 있기 때문에 주의가 필요하다.

#### 2) 투수공극량과 확산계수

콘크리트 중의 투수공극량은 이온의 침투성과 매우 깊은 관련이 있기 때문에, 재령 28일 콘크리트에 대하여 콘크리트의 투수공극량과 염소이온의 확산계수와의 상관관계를 알아보기 위하여 직선회귀 분석을 실시하여 나타낸 것이 그림 8이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 콘크리트의 공극량과 확산계수 사이에는 결정계수 0.97로 공극량이 증가할수록 확산계수가 증가하는 매우 좋은 선형의 상관관계가 있음을 알 수 있다.

#### 3) 염소이온의 침투깊이와 확산계수

전기화학적 촉진실험으로부터 구한 염소이온의 침투깊이와 확산계수와의 상관관계를 각 재령별로 나타낸 것이 그림 9이다.

이 그림에서 실선은 각 재령에서 측정된 값이며, 점선은 전 재령에서의 상관관계를 나타낸 것이다. 각 재령에서 결정계수는 모두 0.95 이상인 반면, 전 재령에서의 회귀분석 결과는 결정계수 0.87이었다. 물-시멘트비 40%~60% 범위에서 염소이온의 확산계수(Y, m<sup>2</sup>/s)는 침투깊이(X, mm)로부터 추

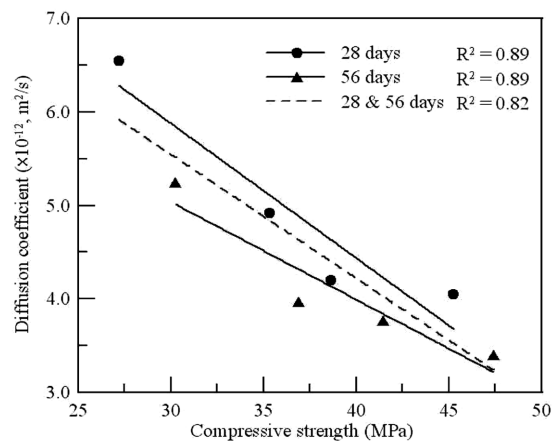


그림 7. 콘크리트의 압축강도와 염소이온 확산계수

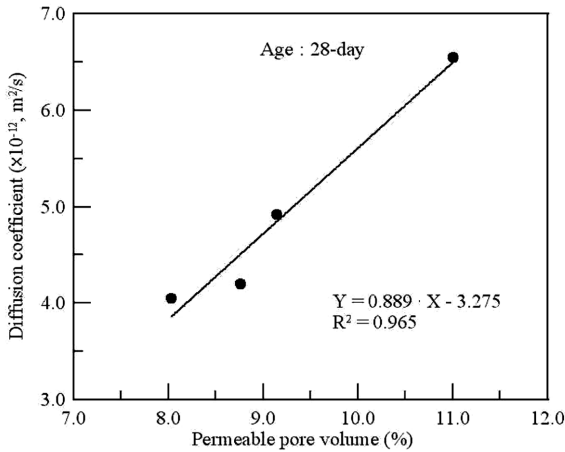


그림 8. 콘크리트의 투수공극량과 염소이온의 확산계수

정이 가능하며, 추정식은 아래 식 (3)과 같다.

$$Y = 0.175 \cdot X + 1.489$$

#### 4. 결 론

콘크리트의 기초 물성과 염소이온의 침투깊이 및 확산계수에 대하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘크리트의 투수공극량은 시간이 지남에 따라 시멘트의 수화에 의하여 매우 빠르게 감소함을 알 수 있었으며, MIP의 분석결과 주로 이온의 침투가 가능한 0.005~0.05  $\mu\text{m}$ 의 모세관공극 영역에 가장 많이 분포하고 있으며, 평균 공극직경은 물-시멘트비 40% 및 50%에서 각각 11.50 nm 및 12.13 nm 정도였다.
- 2) 회귀분석 결과 염소이온의 침투깊이와 확산계수는 재령이 증가함에 따라 멱함수 형태로 감소하는 경향을 나타내었으며, 이는 재령이 증가함에 따라 시멘트 수화조각이 치밀해져 유해이온의 이동통로 및 경로인 모세관공극의 연결성이 감소하고 굴곡도가 증가했기 때문으로 판단된다.
- 3) 염소이온의 확산계수와 콘크리트의 기초물성과의 상관관계 분석으로부터 검토대상의 모든 경우에 결정계수가

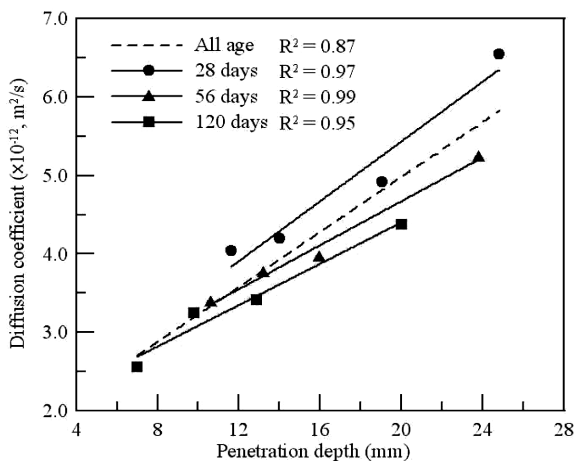


그림 9. 콘크리트의 염소이온 침투깊이와 확산계수

0.82 이상으로 좋은 상관관계를 나타내었으며 특히, 염소이온의 침투깊이와 확산계수 사이에는 결정계수 0.87로 매우 좋은 상관성이 있었다.

- 4) 따라서 콘크리트구조물의 설계수명 및 내구연한 등을 평가하기 위한 염소이온의 확산계수는 단시간의 전위차 촉진시험으로부터 구한 염소이온의 침투깊이로부터 추정하는 것이 가능하다고 판단된다.

#### 참고문헌

- 大即信明(1982) 海洋還境下におけるコンクリートの鹽分含有量, *セメント・コンクリート*, No.421. pp. 39~46.
- JIS A 6203(1996) *セメント混和用ポリマーディスパージョン及び再乳化形粉末樹脂* 8.12 塩化物イオン浸透深さ.
- ASSHTO T 277(1993) *Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride*
- ASTM C 1202(1991) *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration*
- ASTM C 642(1997) *Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete*
- Andrade, C.(1993) Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration measurements, *Cement and Concrete Research*, Vol. 23, pp.724~742.
- Berke, N.S., Hicks, M.C.(1994) Predicting Chloride Profiles in Concrete, *Corrosion*, March, pp.234~239.
- Dhir, R.K., Uones, M.R., Ahmed, H.E.H., Seneviratne, A.M.G. (1990) Rapid Estimation of Chloride Diffusion Coefficient in Concrete, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 42, No. 152, pp.177~185.
- Mackechnie, J. R. and Alexander, M. G.(1997) Exposure of Concrete in Different Marine Environments, *Journal of Materials in Civil Engineering*, pp. 41~44.
- Mangat, P.S., Molloy, B.T.(1994) Prediction of Long Term Chloride Concentration in Concrete, *Materials and Structures*, Vol. 27, pp.338~346.
- Metha, P.K.(1993), *Concrete; Structure, Properties, and Materials*, 2nd Ed. Prentice Hall.
- Moon, H.Y., Kim, H.S., Choi, D.S.(2006) Relationship Between Average Pore Diameter and Chloride Diffusivity in Various Concretes, *Construction and Building Materials*, Vol. 20, No. 9, pp.725~732.
- Tang, L.(1996) Electrically Accelerated Methods for Determining Chloride Diffusivity in Concrete-Current Development, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 48, No. 176, pp.173~179.
- Tumidajski, P.J., Chan, G.W., Feldman, R.F., Strathdee, G.(1995) Boltzmann-Manato Analysis of Chloride Diffusion, *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, pp.1556~1566
- Whiting(1981) *Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete*, Report No. FHWA/RD-81/119.
- Zhang, T., Gjörv, O.E.(1994) An Electrochemical Method for Accelerated Testing of Chloride Diffusivity in Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 24, No. 8, pp.1534~1548.

© 논문접수일 : 09년 1월 5일  
 © 심사의뢰일 : 09년 1월 13일  
 © 심사완료일 : 09년 2월 16일