

# 광물질 혼화제가 콘크리트의 염소이온 확산계수에 미치는 영향

## Influence of Mineral Admixtures on the Diffusion Coefficient for Chloride Ion in Concrete

배수호\* · 박재임\*\* · 이광명\*\*\* · 최 성\*\*\*\*

Bae, Su-Ho · Park, Jae-Im · Lee, Kwang-Myong · Choi, Sung

### Abstract

The qualitative factors influencing the ingress of chloride ion into concrete are water-binder (W/B) ratio, cement type, age, chloride ion concentration of given environment, wet and dry conditions, etc. Thus, an objective of this experimental research is to investigate the effects of cement types and environmental conditions on the chloride ion diffusion characteristics in concrete through the chloride ion diffusion test. For this purpose, the diffusion coefficients for chloride ion in concrete with three types of cement such as ordinary portland cement (OPC), binary blended cement (BBC), and ternary blended cement (TBC), were measured for the concrete specimens with W/B ratios of 32%, 38%, and 43%, respectively. The diffusion coefficients for chloride ion were also measured for the concrete specimens with W/B ratio of 43%, which were subjected to standard curing and field exposure conditions. It was observed from the test results that the resistance against chloride ion penetration increased with decreasing W/B ratio and those of BBC and TBC concretes were greater than that of OPC concrete. Therefore, it was revealed that the use of these cements containing mineral admixtures is required to extend the service life of RC structures exposed to chloride environment. On the other hand, it was noted that the resistance against chloride ion penetration of field exposure test specimens was slightly lower than that of standard curing test specimens due to the penetration of chloride ion under the irregular ambient temperature, splash of wave, and cycle of wet and dry.

**Keywords** : *diffusion coefficient for chloride ion, cement type, mineral admixture, water-binder ratio*

### 요 지

콘크리트 내의 염소이온 침투에 영향을 미치는 정성적인 주요 인자로는 물-결합재비, 시멘트 종류, 재령, 주위 환경의 염소이온 농도 및 건습조건 등이 있다. 이에 따라 이 연구에서는 염소이온 확산실험을 통해 시멘트 종류 및 환경조건이 염소이온 확산특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위하여 물-결합재비 32%, 38% 및 43%에 대해서 보통 포틀랜드 시멘트(OPC), 2성분계 시멘트(BBC) 및 3성분계 시멘트(TBC) 각각을 사용한 콘크리트의 확산계수를 측정하였으며, 또한 물-결합재비 43%에 대해서 표준양생 및 해양환경에 폭로된 콘크리트의 확산계수를 측정하였다. 그 결과, 염소이온 침투 저항성은 물-결합재비가 감소함에 따라 증가하고, 2성분계 및 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 침투 저항성이 OPC 콘크리트에 비하여 우수한 것으로 나타났다. 따라서, 염해환경에 노출된 철근콘크리트 구조물의 내구수명을 증진시키기 위하여 광물질 혼화제를 혼입한 2성분계 혹은 3성분계 시멘트의 사용이 요구된다. 한편, 현장 폭로 시편의 염소이온 침투 저항성은 일정하지 않은 대기온도 하에서 염소이온의 침투, 파랑 및 건습반복의 영향으로 표준양생 시편의 경우보다 다소 저하되는 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 염소이온 확산계수, 시멘트 종류, 광물질 혼화제, 물-결합재비

### 1. 서 론

염해환경에 노출된 철근콘크리트 구조물의 내구수명 예측을 위해서는 표면 염소이온 농도, 염소이온 확산계수 및 철근부식 임계 염소이온 농도 등이 주요 인자로 고려된다(DuraCrete, 2000; RILEM, 1996). 특히, 염소이온 확산계수는 철근콘크리트 구조물의 내구수명에 큰 영향을 미치는

데, 이전의 많은 연구로부터 콘크리트 내부로의 염소이온 확산은 상호의존적인 여러 변수들에 의해 지배되는 매우 복잡하고 시간의존적인 현상으로 보고된 바 있다(Bleszynski 등, 2002; Nokken 등, 2006). 콘크리트의 염소이온 확산에 영향을 미치는 정성적인 주요 인자로는 물-결합재비(W/B비), 주위 환경의 온도, 염소이온과 공존하는 양이온의 상관성, 노출조건, 양생온도, 시멘트 종류 및 플라이 애쉬(fly ash,

\*정회원 · 교신저자 · 안동대학교 토목공학과 교수 (E-mail : shbae@andong.ac.kr)

\*\*정회원 · 안동대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : con\_wodlal@hanmail.net)

\*\*\*정회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수 (E-mail : leekm79@skku.edu)

\*\*\*\*성균관대학교 건설환경시스템공학과 연구원 (E-mail : doujea@naver.com)

FA), 고로슬래그 미분말(ground granulated blast furnace slag, GGBFS), 실리카 폼(silica fume, SF)과 같은 광물질 혼화제의 사용 여부 등을 들 수 있다(김진철 등, 2001; 배수호 등, 2006; 송하원 등, 2005, 2008; Årskog 등, 2006; Sergul과 Gjörv, 2006; Breszynski 등, 2002). 콘크리트 내에 확산된 염소이온은 수화된 시멘트 매트릭스와 화학적 상관작용을 하는데, 광물질 혼화제는 포졸란 반응을 통해서 형성된 2차 C-S-H겔에 의해 콘크리트 내의 공극을 충전시킴으로써 보다 큰 공극의 용적을 감소시키는 공극 충전 효과를 일으키므로, 이것이 광물질 혼화제를 혼입한 콘크리트의 염소이온 침투 저항성이 개선되는 주요인으로 알려져 있다(Suryavanshi 등, 2002).

따라서 이 연구에서는 실험을 통하여 광물질 혼화제가 콘크리트의 염소이온 확산계수에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위하여 물-결합재비 32%, 38% 및 43%에 대해서 OPC, 광물질 혼화제가 혼입된 2성분계 시멘트(binary blended cement, BBC) 및 3성분계 시멘트(ternary blended cement, TBC)를 사용한 콘크리트 시편을 제작하여 염소이온 침투 저항성 시험에 대한 북유럽 규격인 NT BUILD 492(1999)에 따라 염소이온 확산계수를 재령별로 측정하였다. 또한, 철근 콘크리트 구조물이 위치한 주위 환경의 온도나 염소이온 농도 등이 염소이온 침투 저항성에 영향을 미치므로, 물-결합재비 43%에 대해서 표준양생과 해양 폭로 환경조건에 따른 염소이온 확산특성을 비교, 평가하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

시멘트는 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질은 Table 1과 같다. 잔골재는 경북 안동시에서 생산된 낙동강산 하천사, 굵은 골재는 안동산 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 Table 2 및 3과 같다. 2종류의 2성분계 시멘트(BBC1, BBC2) 및 2종류의 3성분계 시멘트(TBC1, TBC2)를 사용한 콘크리트를 제조하기 위하여 고로슬래그 미분말(GGBFS), 플라이 애쉬(FA) 및 실리카 폼(SF)을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 Table 4와 같다. 화학혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 AE감수제(표준형, K사)로서 품질특성은 Table 5와 같다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 시편 제작

콘크리트의 염소이온 확산계수에 미치는 광물질 혼화제의 영향을 평가하기 위한 콘크리트를 제조하기 위하여 Table 6과 같이 배합비를 정하였다. 물-결합재비 32%, 38% 및 43%에 대해서 목표 슬럼프 및 공기량을 각각 180±25 mm, 5.0±0.5%로 정하여 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공

Table 1. Physical properties of cement

Density (g/cm <sup>3</sup> )	Setting time (min)		Fineness (m <sup>2</sup> /kg)	Compressive strength (MPa)		
	Initial	Final		3 days	7 days	28 days
3.15	250	370	340	23.5	33.0	40.0

Table 2. Physical properties of fine aggregate

Specimen	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Weight of passing No. 200 sieve(%)	F.M.
River sand	2.60	1.47	1597	2.2	2.43

Table 3. Physical properties of coarse aggregate

Specimen	G <sub>max</sub> (mm)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	F.M.
Crushed rock	20	2.65	0.58	1648	7.27

Table 4. Physical properties of mineral admixtures

Specimens	Specific gravity	Fineness (m <sup>2</sup> /kg)
GGBFS	2.89	490
FA	2.23	375
SF	2.2	20,000

시체 제작 방법)에 따라 원주형 공시체(ø100×200 mm)를 제작하였다. 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 물드를 제거한 후 표준양생 공시체는 시험 전까지 20±3°C의 온도로 Fig. 1과 같이 습윤양생하였으며, 해양 폭로 공시체는 재령 14일까지 약 20°C의 실험실에서 기건양생 후 경북 영덕군 금곡리에 위치한 동해안의 비탈대에서 시험 전까지 Fig. 2와 같은 상태로 폭로시켰다. Table 7은 콘크리트의 수화 및 열화 특성에 영향을 미치는 콘크리트 시편의 환경 조건을 나타낸 것이다.

한편, 염소이온 확산실험에 사용된 콘크리트의 배합비에 따른 압축강도를 측정하기 위하여 압축강도 시험용 공시체를 추가로 제작한 후 이를 시험 전까지 전술한 방법으로 표준양생 및 해양환경에 폭로시켰다.

#### 2.2.2 확산셀의 구성 및 염소이온 확산계수의 평가

콘크리트 공시체를 측정재령(28, 91, 182, 273 및 365일)까지 Fig. 1 및 2와 같이 표준양생 및 해양환경에 폭로시킨 후 전기화학적 촉진실험법에 의해 염소이온 확산계수를 측정하였다. 전기화학적 촉진실험법에는 Andrade 방법, Dhir 방법, NT BUILD 492 방법(1999) 및 Zhang과 Gjörv의 방법 등이 있는데(문한영 등, 2001), 이들 중 북유럽에서 규격화되어 있는 NT BUILD 492 방법에 의하여 확산실험을 수행하였다. 이에 따라 콘크리트 시편의 두께는 50 mm로 하였으며, 음극셀은 10%의 NaCl 수용액을, 양극셀은 0.3M의 NaOH 수용액을 사용하였다(Fig. 3 및 4). 이와 같이

Table 5. Properties of superplasticizer

Type	Specific gravity	pH	Solid content (%)	Quantity (%) (by weight of cement)	Main component
Superplasticizer	1.21	8	41	0.2~2.0	Sodium salt of a sulfonate naphthalene

Table 6. Mix proportions of concrete

G <sub>max</sub> (mm)	W/B (%)	S/a (%)	Cement type	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )							SP (B×%)
				W	Binders				S	G	
					OPC	GG BFS	FA	SF			
20	32	42	OPC	160	500	0	0	0	691	966	1.10
			BBC1	160	350	150	0	0	687	959	0.85
			BBC2	160	250	250	0	0	684	955	0.85
			TBC1	160	200	200	100	0	707	910	1.55
20	38	47	OPC	164	432	0	0	0	795	907	1.00
			BBC1	164	302.4	129.6	0	0	791	902	0.80
			BBC2	164	216	216	0	0	788	899	0.80
			TBC1	164	172.8	172.8	86.4	0	779	899	1.25
20	43	47	OPC	165	388	0	0	0	811	925	1.00
			BBC2	165	194	194	0	0	805	918	0.80
			TBC1	165	155.2	155.2	77.6	0	798	910	1.03
			TBC2	165	194	174.6	0	19.4	802	915	1.23

Table 7. Exposure conditions of concrete

Specimens	Sodium chloride (NaCl, %)	Environmental temperature (°C)		
		Minimum of monthly mean	Maximum of monthly mean	Mean of monthly mean
Standard curing	0	20	20	20
Seashore exposure	3.4	9.1*	18.9*	13.6*

\*Results of coastal oceanographic observation of HUPO STATION

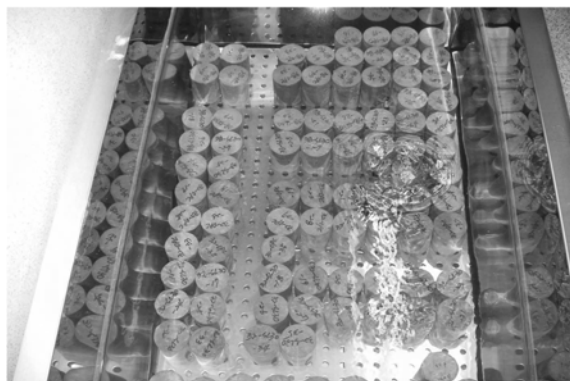


Fig. 1 Standard curing



Fig. 2 Seashore exposure

확산셀 장치를 구성한 후 전원공급장치를 이용하여 30V의 전압을 공급하였을 때 걸리는 전류와 확산셀 내부의 온도를 24시간 동안 측정하였다. 전기화학적 촉진실험이 끝난 후 콘 크리트 시편을 축방향으로 2개의 조각으로 할렬하여, 그 단면에 0.1N AgNO<sub>3</sub> 용액을 분무하여 평균 염소이온 침투깊이를 측정하였다. 측정된 결과를 근거로 다음 식에 의하여 염소이온 확산계수를 계산하였다.

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

여기서,

$$E = \frac{U-2}{L}, \quad \alpha = 2 \sqrt{\frac{RT}{zFE}} \cdot \text{erf}^{-1} \left( 1 - \frac{2c_d}{c_0} \right)$$

- D : 염소이온 확산계수 (m<sup>2</sup>/s)
- z : 이온의 원자가
- F : 패러데이 상수
- U : 양극과 음극 사이의 전압차(V)
- R : 기체상수
- T : 용액의 온도(K)
- L : 시편의 두께(m)
- x<sub>d</sub> : 염소이온의 침투깊이(m)
- t : 실험 지속시간(s)
- erf : error function
- C<sub>d</sub> : 비색법에 의한 반응 농도(N)
- C<sub>0</sub> : 음극셀의 염소이온 농도(2N)

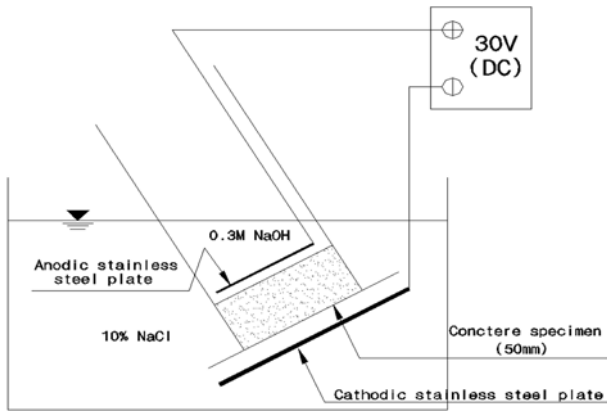


Fig. 3 Detail of migration set-up

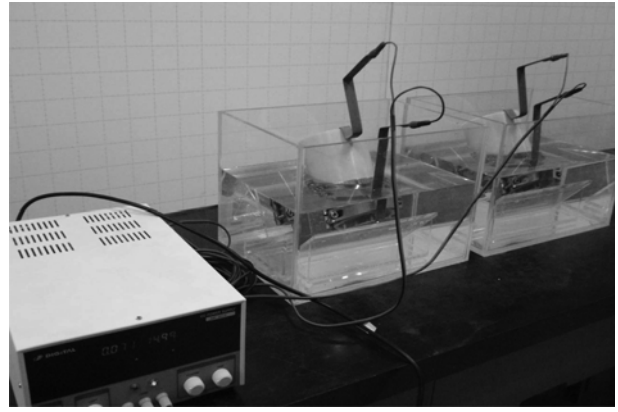


Fig. 4 Arrangement of migration set-up

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 압축강도

Fig. 5는 염소이온 확산계수 측정에 사용된 콘크리트의 물-결합재비별로 재령에 따른 콘크리트의 압축강도를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 물-결합재비 32% 및 38%의 경우, 초기 재령의 경우는 BBC1 및 OPC 콘크리트의 압축강도가 크게 나타났고, 장기 재령에서는 TBC1 및 BBC1 콘크리트의 압축강도가 커지는 것으로 나타났다. 물-결합재비 43%에 대해서 재령 7일의 경우 OPC 콘크리트의 압축강도가 가장 컸으나, 재령 28일 이후부터 TBC1을 혼입한 콘크리트의 압

축강도가 커지는 것으로 나타났다. 특히, 물-결합재비에 관계 없이 OPC, 고로슬래그 미분말 및 플라이 애쉬로 구성된 TBC1의 압축강도가 재령이 증가할수록 크게 증진되는 것으로 보아, 결합재 중 혼화재의 구성 비율이 압축강도에도 영향을 미치는 것을 알 수 있다. OPC 콘크리트에 대한 2성분계 및 3성분계 콘크리트의 압축강도 증진율은 물-결합재비별, 재령별로 다소의 차이는 있으나, 2성분계 콘크리트의 경우 약 10%, 3성분계 콘크리트인 TBC1의 경우 약 15% 정도인 것으로 나타났다. 그러나 3성분계 콘크리트인 TBC2의 압축강도는 OPC 콘크리트보다 약 10% 저하되어, 압축강도 측면에서는 TBC2 콘크리트가 다소 불리한 것으로 나타났다.

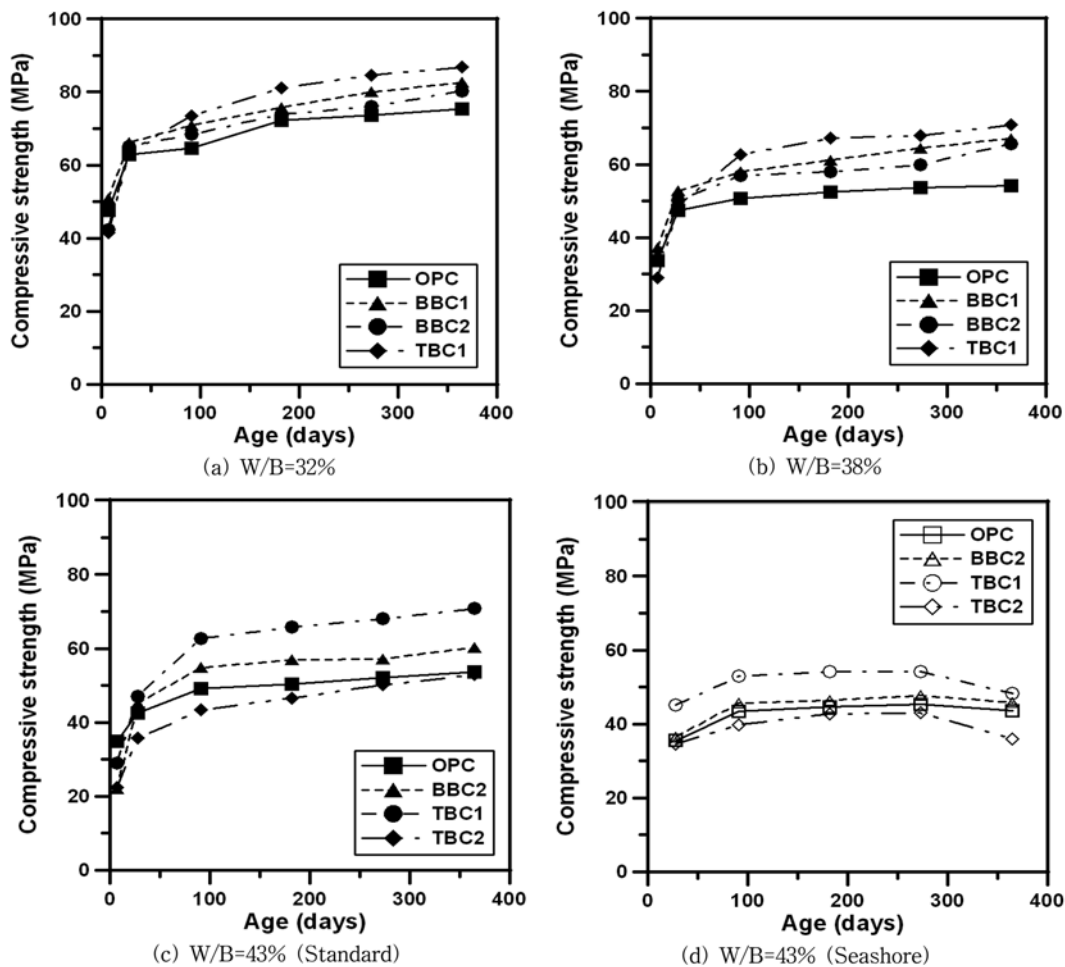


Fig. 5 Compressive strength of concrete

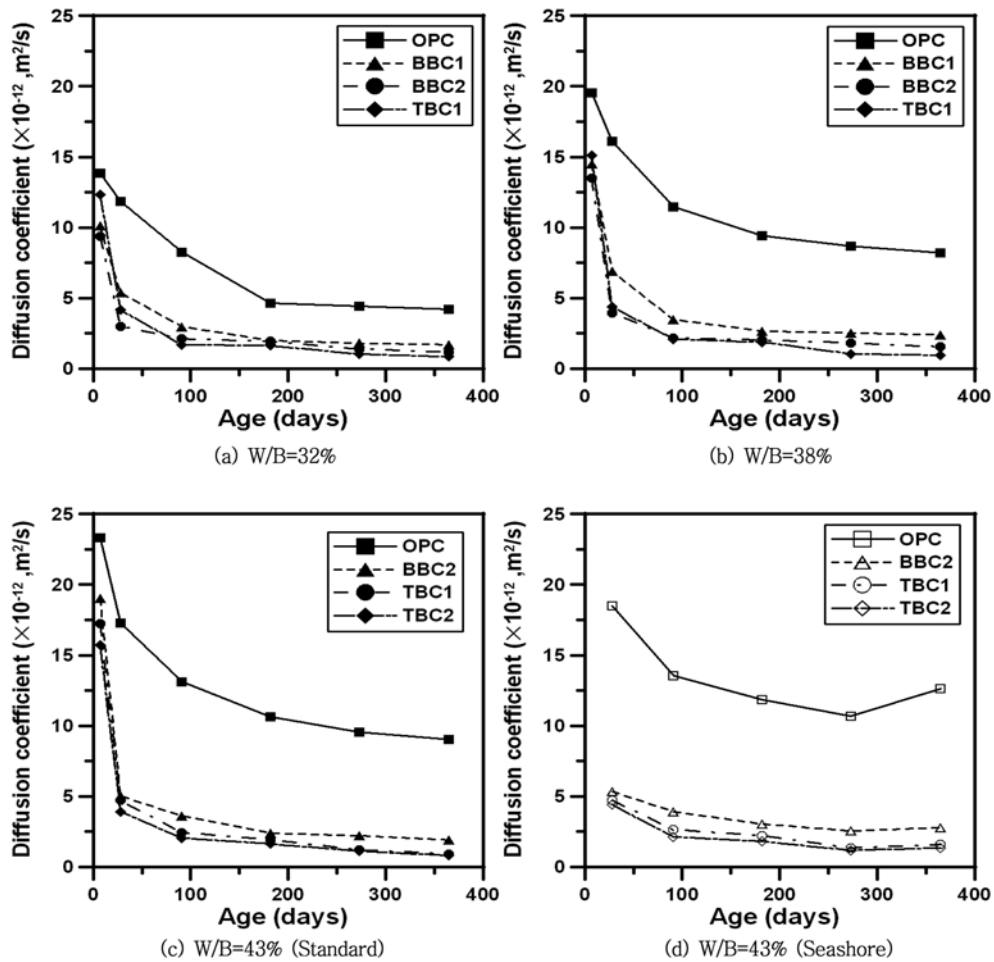


Fig. 6 Diffusion coefficient for chloride ion of concrete with three W/B ratios

한편, 환경조건에 따른 콘크리트의 압축강도를 나타내는 Fig. 5의 (c)와 (d)를 비교하여 보면 해양환경에서 양생한 콘크리트가 표준양생한 콘크리트보다 다소 저하되는 것으로 나타났는데, 이는 해양 콘크리트의 경우 Table 7과 같이 환경 온도가 일정하지 않고 염소이온 침투, 파랑 및 진습반복 등의 영향으로 콘크리트의 수화반응이 표준양생의 경우보다 불리하기 때문인 것으로 판단된다.

### 3.2 염소이온 확산계수에 미치는 혼화재의 영향

Fig. 6은 콘크리트의 물-결합제비별로 염소이온 확산 계수에 미치는 광물질 혼화재의 영향을 나타낸 것이다. 물-결합제비 32% 및 38%의 경우, 2성분계 시멘트를 사용한 콘크리트는 고로슬래그 미분말의 혼입을 및 재령이 증가할수록 확산계수는 작아지는 것으로 나타났다. 또한, 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 확산계수는 초기 재령의 경우 2성분계 시멘트를 사용한 경우보다 다소 크나, 재령 28일 이후부터 염소이온 확산계수가 크게 감소되어 염소이온 침투 저항성이 대폭 개선되는 것으로 나타났다. 물-결합제비 43%의 경우에도 32% 및 38%의 경우와 유사한 경향을 나타냈다.

한편, 콘크리트의 염소이온 확산계수는 염해환경에 대한 저항성을 나타내는 지표로서, 염소이온 확산계수가 작을수록 염해에 대한 저항성이 우수한 것을 나타낸다. 따라서 시멘트 종류별로 확산 특성을 평가한 결과 물-결합제비 32% 및 38%의 경우 염소이온 침투 저항성은 초기재령을 제외하면, TBC1 > BBC2 > BBC1 > OPC 순으로 나타났으며, 물-결합제

비 43%의 경우에는 재령에 관계없이 TBC2 > TBC1 > BBC2 > OPC 순으로 염소이온 침투 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 결론적으로, 실험에 사용된 시멘트 종류 중 염해 저항성이 가장 우수한 경우는 TBC1과 TBC2의 3성분계 시멘트로 나타나, 광물질 혼화재를 염해환경에 노출된 콘크리트 구조물에 적절히 활용함으로써 철근콘크리트 구조물의 내구성을 크게 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다. OPC 콘크리트에 대한 2성분계 및 3성분계 콘크리트의 염소이온 확산계수 감소율은 재령 28일까지는 2성분계 및 3성분계 콘크리트 모두 약 40%이고, 그 이후 장기 재령의 경우 2성분계 및 3성분계 콘크리트의 감소율은 각각 약 70% 및 80%로 나타났다.

### 3.3 염소이온 확산계수에 미치는 환경조건의 영향

Fig. 6의 (c)와 (d)는 물-결합제비 43%에 대해서 환경조건에 따른 염소이온 확산계수를 비교한 것으로, OPC 콘크리트의 경우 재령이 증가할수록 해양환경의 콘크리트가 표준양생 콘크리트보다 염소이온 확산계수가 다소 크게 나타나, 동일 배합의 경우 전자가 후자보다 염소이온 침투 저항성이 저하되는 것으로 나타났다. 이것은 해양환경의 콘크리트의 경우 Table 7과 같이 일정하지 않은 대기 온도 하에서 염소이온 침투, 파랑 및 진습반복 등의 영향을 받아 골재와 시멘트풀의 부착이 표준양생의 경우보다 취약하게 되기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 2성분계 및 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트는 재

Table 8. Diffusion characteristics of concrete

W/B(%)	Cement type	$(D_{28})$ ( $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )	$m$	$R^2$
32 (Standard)	OPC	11.84	0.30	0.92
	BBC1	5.39	0.49	0.99
	BBC2	3.01	0.34	0.94
	TBC1	4.16	0.61	0.98
38 (Standard)	OPC	16.13	0.28	0.98
	BBC1	6.92	0.48	0.98
	BBC2	3.93	0.35	0.93
	TBC1	4.40	0.57	0.98
43 (Standard)	OPC	17.29	0.26	0.99
	BBC2	5.02	0.34	0.95
	TBC1	4.71	0.56	0.98
	TBC2	3.91	0.54	0.98
43 (Seashore)	OPC	17.85	0.25	0.90
	BBC2	5.33	0.31	0.94
	TBC1	4.75	0.51	0.92
	TBC2	4.40	0.53	0.94

량이 증가하여도 염소이온 침투 저항성의 환경에 따른 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서, 해양환경 하에서는 OPC보다 광물질 혼화제를 사용한 시멘트가 내염해 특성이 보다 우수하고, 이들 중 내염해 특성이 가장 우수한 경우는 3성분계 시멘트(TBC)를 사용한 콘크리트로 나타났다.

### 3.4 염소이온 확산계수에 미치는 재령의 영향

콘크리트의 염소이온 확산계수에 미치는 재령의 영향을 파악하기 위하여 일반적으로 많이 사용되고 있는 다음 식을 이용하여 회귀분석을 수행하였다.

$$D(t) = D_{28} \left( \frac{28}{t} \right)^m \quad (2)$$

여기서,  $D_{28}$ 은 재령 28일에서의 염소이온 확산계수,  $t$ 는 재령(일),  $m$ 은 재령에 따른 염소이온 확산계수의 변화를 나타내는 재령계수이다.

Table 8에 W/B비 별로 시멘트 종류 및 환경조건에 따라 28일 염소이온 확산계수와 재령계수가 정리되어 있다. 표에 의하면 표준 양생한 콘크리트의 재령계수  $m$ 값은 W/B비 보다는 사용되는 시멘트 종류 즉, 광물질 혼화제의 사용 유무에 더 영향을 받는 것으로 나타났다. Table 8에서 기준이 되는 OPC의 경우  $m$ 값이 0.26~0.30이고, BBC는 혼화제의 혼입율에 따라 다르지만  $m$ 값이 0.34~0.49로 OPC에 비하여 큰 경향을 나타냈다. 이는 재령이 증가함에 따라 OPC의 염소이온 확산계수는 완만한 감소를 보이는 반면 BBC나 TBC의 경우 초기 염소이온 확산계수에 비하여 장기적으로는 감소율이 커지기 때문이다. 또한 고로슬래그의 혼입율이 큰 BBC2의  $m$ 값이 BBC1보다 작은 이유는 BBC2의 28일 확산계수가 더 작아서 상대적으로 감소율이 더 작아졌기 때문이다. 한편 W/B비에 관계없이 두 종류의 혼화제가 혼입된 TBC 콘크리트의  $m$ 값이 OPC 및 BBC와 비교하여 가장 큰 것으로 나타났는데, 이것은 두 종류의 혼화제를 적절히 사용

함으로써 광물질 혼화제의 염소이온 침투 저항성 메커니즘인 2차 형성된 C-S-H 겔에 의한 콘크리트 내의 공극 충전 효과가 크게 개선되었기 때문인 것으로 판단된다.

W/B비 43%의 경우  $D_{28}$ 은 해양 폭로 콘크리트와 표준양생 콘크리트가 거의 차이를 보이지 않았으나,  $m$ 값은 장기적으로 확산계수 감소율이 작은 해양 폭로 콘크리트가 다소 낮게 나타났다. 이는 3.3절에서 기술한 바와 같이 해양환경의 영향을 받았기 때문인 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

콘크리트의 염소이온 확산특성에 미치는 광물질 혼화제 및 양생 환경조건에 대한 실험연구로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 2성분계 시멘트를 사용한 콘크리트는 고로슬래그 미분말의 혼입율이 증가할수록 염소이온 확산계수가 감소하는 것으로 나타났으며, 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 확산 계수는 초기 재령의 경우 2성분계 시멘트를 사용한 경우보다 다소 크나, 재령이 증가할수록 확산계수가 크게 감소하여 염해저항성이 대폭 개선되는 것으로 나타났다.
- 해양환경에 폭로된 콘크리트가 표준양생 콘크리트보다 염소이온 확산계수가 다소 크게 나타나, 실제 해양환경에 접해있는 콘크리트 구조물의 내구수명 평가시 이를 고려하여야 할 것으로 판단된다.
- 고로슬래그, 플라이애쉬 및 실리카폼과 같은 광물질 혼화제를 혼입하면 장기적으로 콘크리트의 강도와 염해 저항성이 향상되므로 해양구조물용 콘크리트에 광물질 혼화제의 활용성이 증가될 것으로 기대된다. 또한, 콘크리트 구조물의 내구성 설계시 본 논문에서 제시한  $D_{28}$ 과  $m$ 값을 사용한다면 광물질 혼화제가 내구수명에 미치는 영향을 효과적으로 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부의 지원사업인 콘크리트코리아연구단의 “고성능·다가용 콘크리트의 개발 및 활용기술” 과제에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김진철, 문헌영, 팽우선(2001) 콘크리트 중의 축진 염소이온 확산에 영향을 미치는 인자, **대한토목학회 논문집**, 대한토목학회, 제21권 제6A호, pp. 895-904.
- 문헌영, 김홍삼, 문재흠(2001) 전위차를 이용한 콘크리트 중의 염소이온 확산계수 추정방법, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제21권 제3A호, pp. 403-412.
- 배수호, 이광명, 김지상, 정상화(2006) 콘크리트의 염소이온 확산 특성에 미치는 물-시멘트비 및 양생조건에 대한 영향, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제26권 제4A호, pp. 753-759.
- 송희원, 권성준, 변근주, 박친규(2005) 혼화제를 사용한 콘크리트의 배합특성을 고려한 염화물 확산 해석기법에 관한 연구, **대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제25권 제1A호, pp. 213-223.
- 송희원, 이창홍, 이근주, 김재환, 안기용(2008) 삼성분계 혼합콘크리트의 염화물 침투 저항성 및 내구성에 관한 고찰, **한국콘**

크리트학회논문집, 한국콘크리트학회, 제20권 제4호, pp. 439-449.

- Årskog, V., Sergul, O., Dahl, R., and GjØrv, O.E. (2006) Chloride Penetration into Silica Fume Concrete after 10 Years of Exposure in Aursundet Bridge. IABMAS, pp. 951-952.
- Bleszynski, R., Hooton, R.D., Thomas, M.D.A., and Rogers, C.A. (2002) Durability of Ternary Blended Concrete with Silica Fume and Blast-Furnace Slag : Laboratory and Outdoor Exposure Site Studies. ACI Materials Journal, Vol. 99, No. 5, pp. 499-508.
- DuraCrete Final Report (2000) DuraCrete Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures.
- Nokken, M., Body, A., Hooton, R.D., and Thomas, M.D.A. (2006) Time Dependent Diffusion in Concrete - Three Laboratory

- Studies, Cement and Concrete Research, Vol. 36, pp. 200-207.
- NT BUILD 492 (1999) Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments.
- RILEM (1996) Durability Design of Concrete Structures, Report of RILEM Technical Committee 130-CSL,
- Sergul, O. and GjØrv, O.E. (2006) Effect of Blast Furnace Slag on Chloride Penetration into Concrete Bridge, IABMAS, pp. 953-954.
- Suryavanshi, A.K., Swamy, R.N., and Cardew, G.E. (2002) Estimation of Diffusion Coefficients for Chloride Ion Penetration into Structural Concrete. ACI Materials Journal, Vol. 99, No. 5, pp. 441-449.

(접수일: 2008.11.24/심사일: 2009.1.28/심사완료일: 2009.5.22)