

# 콘크리트 종류별 겉보기 염소이온 확산특성 평가

## Evaluation of Apparent Chloride Diffusivity of Types of Concretes

문 한 영\* 김 홍 삼\*\* 최 두 선\*\*\* 이 승 훈\*\*\*\* 손 유 신\*\*\*\*\*

Moon, Han Young Kim, Hong Sam Choi, Doo Sun Lee, Seung Hoon Shon, Yu Shin

### ABSTRACT

This paper investigated the apparent chloride diffusivity of various concretes. Ten mixtures of concrete were initially prepared and tested to estimate diffusion property. The penetration depth and concentration of chloride ion were examined at the same water-binder ratio. The binders were composed of normal portland cement, fly ash, ground granulated blast-furnace slag, and silica fume.

From the results, it was concluded that using the mineral admixtures had a filling effect on the pore structure of cements matrix due to those pozzolanic reaction with the hydrates of cement, which increases the tortuosity of pore and makes large pore finer. And diffusivity of chloride is following: NPC100 > F10N90 > F30N70 > F20N80 > F20S05 > G30N70 > F10S05 > G30S05 > G30F15 > G50N50.

### 1. 서 론

최근 철근콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 고조되면서, 이와 관련된 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다. 콘크리트의 내구성 성능저하 요인으로는 동결융해의 반복 작용, 알칼리-골재반응, 콘크리트의 중성화, 각종 유해이온에 의한 화학적 침식 및 염소이온의 침투·확산에 의한 철근부식 등을 들 수 있다. 특히, 우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 있을 뿐만 아니라 인구에 비해 국토면적이 좁은 특수한 상황에 놓여 있기 때문에 해안매립에 의한 영토확장이나 해상도시, 해상공항, 도서를 잇는 교량 및 항만건설 등과 같은 해양개발의 필요성이 증대되고 있다. 해양환경과 같은 염해지역에 건설되는 콘크리트 구조물의 조기 성능저하는 국가경제에 막대한 손실을 끼치게 된다. 즉, 신설 구조물의 건설비용이 막대하며 보수, 보강이나 우회도로의 건설 및 유지관리 등에 상당한 비용이 소요되는 것은 주지의 사실이다.

따라서, 본 연구는 염해환경에 유리한 고내구성 콘크리트를 제조하기 위하여 보통 포틀랜드시멘트에 플라이애시, 고로슬래그미분말, 실리카폼 등의 광물질 혼화재를 혼합한 콘크리트를 대상으로 겉보기 염소이온 확산특성을 평가하고자 하였다. 콘크리트 중의 염소이온 확산특성의 평가결과는 해양환경 하의 콘크리트 구조물의 내구성 설계에 기초자료가 될 것으로 생각된다.

\* 한양대학교 공과대학 토목공학과, 교수(moon77@hanyang.ac.kr)

\*\* 한양대학교 산업과학연구소, 선임연구원(winner@ihanyang.ac.kr)

\*\*\* 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정(quarks@ihanyang.ac.kr)

\*\*\*\* 삼성물산 건설부문 기술연구소, 수석연구원

\*\*\*\*\* 삼성물산 건설부문 기술연구소, 전임연구원

## 2. 실험개요

### 2.1. 사용재료

(1) 시멘트 및 광물질 혼화재 : 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(Normal portland cement, NPC)를 사용하였으며, 광물질 혼화재로서 고로슬래그미분말(GGBF, G), 플라이애쉬(FA, F) 및 실리카푼(SF, S)을 사용하였다. 본 연구에 사용된 시멘트 및 광물질 혼화재의 화학성분 및 물리적 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1 시멘트 및 광물질 혼화재의 화학 성분 및 물리적 특성

Items Types	Chemical composition(%)							Physical 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>	lg. loss	Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
NPC	21.96	5.27	3.44	63.41	2.13	1.96	0.79	3.16	3,214
GGBF	32.74	13.23	0.41	44.14	5.62	1.84	0.2	2.89	4,340
FA	55.66	27.76	7.04	2.70	1.14	0.49	4.3	2.19	3,621
SF	93.3	0.5	1.21	0.27	1.03	0.02	1.1	2.21	190.620

### (2) 골재 및 화학혼화재

잔골재로는 비중 2.58, 조립률 2.9인 세척사를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 25mm인 부순골재를 사용하였다. 한편, 콘크리트의 단위수량 저감과 연행공기를 발생시키기 위하여 나프탈렌계 고성능감수제와 AE제를 각각 사용하였다.

### 2.2. 시험방법

#### (1) 콘크리트의 배합 및 압축강도의 측정

슬럼프 15±1.5cm, 공기량 4.5±1.0%를 목표로 물-결합재비를 42%로 하였으며, 콘크리트의 배합은 표 3에 나타내었다.

표 3 콘크리트의 배합표

Names of Mix.	Items W/cm (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )						cm×%		
			W	Cementitious Materials				S	G	Admixture	
				C	GGBS	FA	SF			SP	AE
NPC100	42	45	168	400	-	-	-	787	976	0.90	0.0150
G30N70				280	120	-	-	783	972	0.75	0.0130
G50N50				200	200	-	-	780	969	0.70	0.0135
F10N90				360	-	40	-	780	969	0.90	0.0210
F20N80				320	-	80	-	774	961	0.85	0.0250
F30N70				280	-	120	-	768	953	0.75	0.0150
F10S05				340	-	40	20	777	965	0.90	0.0210
F20S05				300	-	80	20	771	957	0.85	0.0250
G30S05				260	120	-	20	765	949	0.75	0.0150
G35F15				200	140	60	-	773	959	0.65	0.0140

(2) 산가용성(Acid-Soluble) 염소이온의 적정

콘크리트를 미분쇄한 시료를 대상으로 AASHTO T 260에 따라 질산은 용액을 이용한 전위차 적정법으로 산가용성 염소이온량을 측정하였다. 이 방법은 기지의 질산은(AgNO<sub>3</sub>)표준용액을 소량씩 첨가하면서 이때 조합전극의 전위를 기록하고 당량점으로부터 식 (1)과 같이 시료의 염소이온 농도를 계산한다.

$$Cl^- = \frac{3.545 (N V)}{W} \dots \dots \dots (1)$$

여기서, Cl<sup>-</sup>: 미분쇄된 콘크리트 분말시료 중의 염소이온 농도(%), N: 질산은(AgNO<sub>3</sub>) 표준용액의 노르말 농도(N), V: 종말점에서의 표준용액 사용량(ml), W: 미분쇄된 콘크리트 분말시료의 중량(g)

(3) 결보기 염소이온 확산계수의 평가

원주형 콘크리트 공시체를 재령 28일 동안 수중양생 후, 1방향의 염소이온 침투를 위하여 측면 및 밑면을 코팅하여 3.5% NaCl 용액에 침지하였다. 시험편은 침지재령 6개월에서 깊이별로 잘라내어 AgNO<sub>3</sub> 용액을 이용한 전위차 적정으로 염소이온 프로파일을 구하고 식(2)에 나타난 바와 같이 Fick의 제 2법칙에 의하여 염소이온 확산계수를 회귀분석에 의하여 구하였다.

$$\frac{C}{C_0} = [ 1 - erf(\frac{x}{\sqrt{4Dt}}) ] \dots \dots \dots (2)$$

여기서, C: 거리 x 및 시간 t에서의 농도, D: 확산계수, C<sub>0</sub>: x = 0에서의 농도, erf(): 오차함수

3. 실험결과 및 고찰

6개월간 3.5% NaCl 용액에 침지한 콘크리트 공시체로부터 질산은 적정법에 의하여 구한 염소이온 프로파일을 배합별로 정리하여 나타낸 것이 그림 1~3이다.

그림 1은 보통 포틀랜드시멘트에 고로슬래그미분말을 30 및 50% 혼합한 콘크리트 배합으로서 치환율이 증가할수록 염소이온의 침투가 상대적으로 적은 것으로 나타났다.

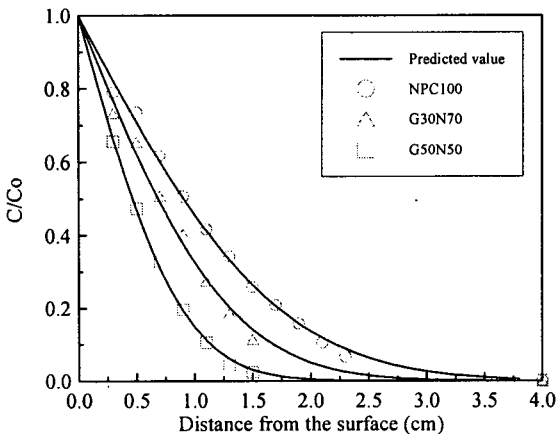


그림 1 슬래그미분말 혼입 콘크리트의 염소이온 프로파일

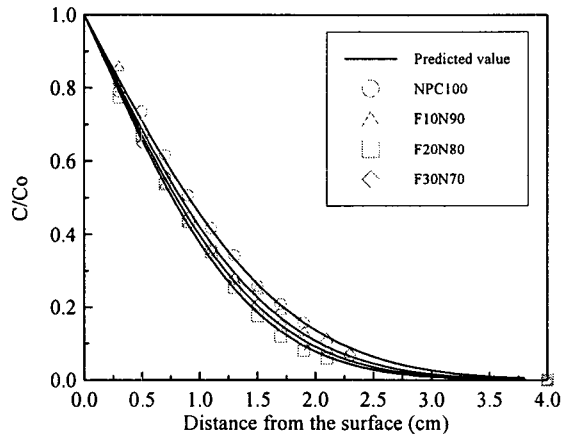


그림 2 플라이애쉬 혼입 콘크리트의 염소이온 프로파일

반면, 그림 2는 보통 포틀랜드시멘트에 플라이애쉬를 각각 10, 20 및 30% 치환한 콘크리트의 염소이온 프로파일을 정리한 것으로, 플라이애쉬를 혼합한 경우 기준 배합에 비하여 염소이온 침투를 억제하는 효과는 있으나 치환율이 증가할수록 억제효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 플라이애쉬의 치환율이 증가할수록 초기 수화 속도가 낮아 침투 초기에 염소이온이 많이 침투한 탓으로 생각된다. 한편, 그림 3은 삼성분계 콘크리트로 플라이애쉬와 실리카폼을 혼합한 경우와 슬래그미분말에 플라이애쉬 또는 실리카폼을 혼입한 경우의 염소이온 프로파일을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 염소이온의 침투를 억제하는데는 슬래그미분말을 혼입한 경우가 효과가 있음을 알 수 있다.

6개월 간의 염수침지 시험 후, 염소이온 프로파일로부터 구한 콘크리트 종류별 겉보기 확산계수를 비교한 결과를 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 광물질 혼화재의 혼합으로 염소이온의 겉보기 확산계수를 줄일 수 있었으며, 확산계수의 저감 효과는 고로슬래그미분말을 50% 치환한 경우가 가장 컸으며, NPC 콘크리트의 약 25% 수준으로 가장 작은 것으로 나타났다. 겉보기 염소이온 확산계수의 크기는 NPC100 > F10N90 > F30N70 > F20N80 > F20S05 > G30N70 > F10S05 > G30S05 > G30F15 > G50N50 의 순으로 나타났다.

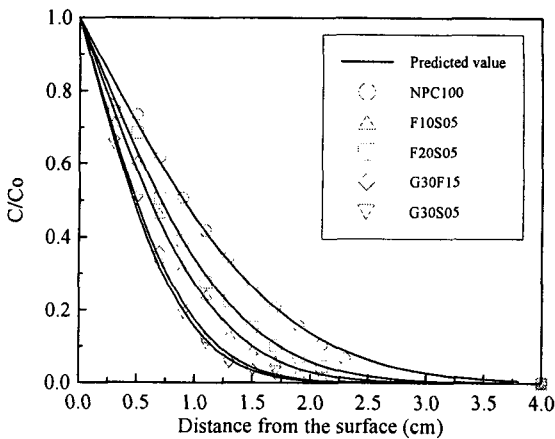


그림 3 삼성분계 콘크리트의 염소이온 프로파일

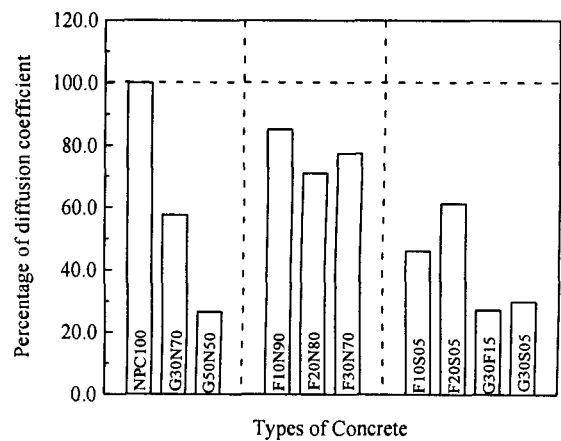


그림 4 콘크리트 종류별 겉보기 염소이온 확산계수의 비교

#### 4. 결 론

6개월간 3.5% NaCl 용액에 침지한 콘크리트 공시체로부터 질산은 적정법에 의하여 구한 염소이온 프로파일로부터 겉보기 확산계수의 추정결과를 비교한 결과 광물질 혼화재의 혼합으로 염소이온의 겉보기 확산계수를 줄일 수 있었으며, 확산계수의 저감 효과는 고로슬래그미분말을 50% 치환한 경우가 가장 컸으며, 고로슬래그미분말 30%에 플라이애쉬 15% 또는 실리카폼 5%를 혼합한 경우가 유사한 결과를 나타내었다.

#### 참고문헌

1. N. S. Berks and M. C. Hicks, "Predicting Chloride Profiles in Concrete," Corrosion, 1994.