

고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 염소이온 확산특성

Characteristic of Chloride Ion Diffusion in Concrete Containing GGBF

문 한 영* 김 홍 삼** 김 진 철*** 최 두 선****
Moon, Han Young Kim, Hong Sam Kim, Jin Cheol Choi, Doo Sun

ABSTRACT

Physical properties of concrete, Such as, compressive strength, permeable pore and penetration depth of chloride ion were investigated. And to investigate the effect of containing GGBF in concrete, the diffusion coefficient of chloride was measured through an electro-migration test. The diffusion coefficient of chloride was decreased with increase of replacement ratios of GGBF when compared to OPC. Relation coefficients between physical properties of concrete and diffusion coefficient of chloride were more than 0.9.

1. 서 론

최근 서해안 고속도로 상의 서해대교, 영종도 신공항을 연결하는 영종대교 등과 같은 대형 해양 콘크리트 구조물이 건설되면서 철근콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 연구 및 대책이 활발히 진행되고 있는 실정이다. 특히 해양환경하에 건설되는 콘크리트 구조물의 경우 해수 중에 포함된 염소이온, 황산이온 및 마그네슘이온과 같은 각종 유해이온의 침투·확산으로 인하여 콘크리트 중의 철근부식과 이에 따른 구조물의 수명예측을 위해서는 유해 이온의 침투·확산에 대한 평가가 절실히 요망되는 시기이다.

일반적으로 콘크리트 내부로 물질이 이동하는 메커니즘을 분류해 보면 (1) 농도차에 의한 확산(diffusion), (2) 압력차에 의한 투과(permeation), (3) 모세관 장력에 의한 흡수(capillary suction) 등으로 구분되며, 특히 염소이온이 콘크리트 중으로 이동하는 메커니즘을 주로 확산현상으로 설명할 수 있다.¹⁾ 그러나 농도차에 의한 염소이온의 확산평가하기 위해서는 수개월에서 수년이 걸리는 단점이 있기 때문에 근년에 와서 전위차에 의한 전기적 이동(migration) 현상을 이용한 전기화학적 촉진시험법이 많이 활용되고 있다.

본 연구에서는 보통포틀랜드시멘트 및 고로슬래그미분말을 각각 40 및 60% 혼합하여 제조한 콘크리트에 염소이온의 이동을 전기적으로 촉진시켰으며, 염소이온의 확산계수는 확산셀을 통과하는 총 통과전류 중 염소이온의 기여정도를 반영하기 위하여 수율(transference number)의 개념을 적용하였다. 또한 콘크리트의 압축강도와 투수 공극량을 측정하여 염소이온의 확산특성에 대하여 고찰하였다.

2. 실험개요

- * 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
- ** 정회원, 한양대학교 산업과학연구소 선임연구원
- *** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원
- **** 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

2.1. 사용재료

(1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC) 및 고로슬래그미분말(이하 GGBF)을 40 및 60% 혼합(이하 S4C 및 S6C)한 3 종류의 시멘트를 사용하였으며, 시멘트 및 고로슬래그미분말의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 및 고로슬래그미분말의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	Chemical composition(%)							Physical properties	
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Ig.loss	Specific gravity	Blaine(cm ² /g)
OPC	60.1	21.95	6.59	2.81	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
GGBF	41.7	33.5	14.5	0.67	5.38	2.7	0.09	2.92	4,450

(2) 골재 : 잔골재는 비중 2.58, 흡수율 0.80%, 조립률 2.65인 강모래를 사용하였으며, 굵은 골재는 경기도 광주 퇴촌산으로 최대치수 25mm, 비중 2.62, 흡수율 0.78%인 부순돌을 사용하였다.

2.2. 콘크리트 배합

공기량 4.5±1.5%를 목표로 AE감수제를 시멘트 중량의 0.15%로, 단위수량 187kg/m³으로 고정하였으며 물-시멘트비 40, 45, 50 및 60%의 4단계로 변화시킨 12종류의 콘크리트의 배합은 표 2와 같다.

2.3. 실험방법

(1) 콘크리트의 압축강도 : 콘크리트의 압축강도는 Ø10×20cm의 원주형 공시체로 제작하여 재령 28까지 수중양생한 후 KS F 2405에 의하여 측정하였다.

(2) 콘크리트의 투수 공극 측정 : ASTM C 642 Standard test method for density, absorption and voids in hardened concrete 에 의하여 콘크리트의 투수 공극을 측정하였다.

(3) 확산셀의 구성 : 전위차로써 염소이온의 이동을 촉진하기 위하여 그림 1과 같이 확산셀 장치를 구성하였다. 음극셀(Cell I)은 0.5M의 염화나트륨(NaCl)용액을, 양극셀(Cell II)은 포화 수산화칼슘(sat. Ca(OH)₂)용액을 사용하였다.

(4) 콘크리트의 염소이온 침투깊이 : 촉진시험 후 시편을 쪼개어 표면에 0.1N의 AgNO₃ 용액을 분무하여 콘크리트의 음극측 표면에서부터 은색으로 변하는 지점까지를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다.

(5) 염소이온 확산계수의 평가 : 콘크리트 중 염소이온의 확산계수는 확산셀을 흐르는 전체 전류중 염소이온의 기여 정도를 반영하기 위하여 수율(transference number)의 개념을 도입하였으며 식 (1)로부터 확산계수(D)를 구하였다.²⁾

$$D = \frac{RTi_{cl}}{nF^2\Delta E} \frac{l}{A} \frac{1}{C_{cl}Z} \quad (1)$$

여기서, D : 확산계수(m²/s), R : 기체상수, T : 절대온도(K), l : 시편의 두께,
 F : 패러데이 상수, ΔE : 적용 전압(V), A : 시편의 단면적(m²), Z : 이온 전자가
 C_{cl} : 농도(mol/m³)

표 2 콘크리트 배합표

Type	G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				
				W	C	S	G	GGBF
OPC	25	40	41	187	467	655	958	-
		45	42	187	416	689	967	-
		50	43	187	374	720	970	-
		60	45	187	312	777	964	-
S4C	25	40	41	187	280	651	951	187
		45	42	187	250	685	960	166
		50	43	187	224	716	964	150
		60	45	187	187	773	960	125
S6C	25	40	41	187	187	648	947	280
		45	42	187	166	683	957	250
		50	43	187	150	714	961	224
		60	45	187	125	771	957	187

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 콘크리트의 압축강도와 투수 공극

고로슬래그미분말 혼합 콘크리트 두 종류 및 보통 콘크리트의 압축강도와 투수 공극과의 관계를 나타낸 것이 그림 2이다. 이 그림에서 콘크리트의 압축강도가 증가할수록 투수 공극이 직선적으로 감소하는 매우 좋은 상관관계가 있으며, 고로슬래그미분말의 혼합률 40 및 60%에서 각각 5~10% 및 12~18% 정도로 보통 콘크리트보다 투수 공극이 감소하였다. 이는 고로슬래그미분말의 잠재수경성에 의하여 생성된 수화물이 콘크리트의 큰 공극을 메워 상대적으로 작은 공극이 증가하였기 때문이다.

3.2. 콘크리트의 투수 공극과 염소이온 침투깊이

콘크리트의 투수 공극과 염소이온의 침투깊이와의 관계를 정리한 것이 그림 3으로써, 세 종류의 콘크리트 모두 상관계수가 모두 0.90 이상의 선형관계로서 투수 공극이 증가할수록 염소이온의 침투깊이도 증가함을 알 수 있다.

재령 28일 콘크리트 시편의 전위차를 이용하여 구한 염소이온의 확산계수와 콘크리트의 투수 공극 및 염소이온의 침투깊이와의 관계를 정리한 것이 그림 4이다. 이 그림에서 콘크리트의 염소이온 확산계수와 투수 공극 사이에는 고로슬래그미분말 혼합 유무에 따라 크게 상이함을 알 수 있었다. 한편, 염소이온의 확산계수와 침투깊이 사이에는 확산계수가 커질수록 침투깊이도 증가하는 상관관계를 나타내었으며 상관계수는 0.90 이상의 좋은 선형관계임을 알 수 있었다.

3.3. 고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 염소이온 확산계수

물-시멘트비별 보통 콘크리트의 염소이온 확산계수 100에 대한 고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 염소이온 확산계수를 상대비로 정리한 것이 그림 5이다. 이 그림에서 고로슬래그미분말 혼합률 40%에서 물-시멘트비에 관계없이 확산계수가 약 35% 감소하였으나, 혼합률 60%에서는 물-시멘트비에 따라 50~60% 정도 감소함을 알 수 있었다. 고로슬래그미분말을 혼합함으로써 염소이온의 확산계수가 크게 감소하는 이유는 고로슬래그미분말의 잠재수경성으로 인하여 콘크리트의 조직구조가 치밀해졌기 때문이라 생각된다. 다시 말해서 시멘트 수화생성물 중에서 구조가 취약하고 용출이 비교적 쉽게 일어나 콘크리트를 다공성 구조로 만드는 Ca(OH)_2 가 고로슬래그미분말에 의해 C-S-H 또는 C-A-H와 같은 수화물로 바뀌므로써 치밀한 미세구조를 형성하였기 때문으로 생각된다.

4. 결 론

- (1) 콘크리트의 압축강도와 투수 공극 및 투수 공극과 염소이온 침투깊이 사이에는 각각 0.90 이상의 상관성이 있었으며, 고로슬래그미분말의 혼합량이 증가할수록 콘크리트의 투수 공극은 감소하였다.
- (2) 보통 콘크리트와 고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 염소이온 확산계수를 비교해보면 고로슬래그미분말의 혼합량 40%에서 약 35%, 60%에서 50 ~ 60% 정도 감소되는 좋은 결과를 나타내었다.
- (3) 고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트보다 컸으며, 투수 공극, 염소이온의 침투깊이 및 염소이온의 확산계수는 보통 콘크리트보다 오히려 작은 좋은 결과를 나타내었다.

참고 문헌

1. Hilsdorf, H. K., Kropp, J., Performance Criteria for Concrete Durability, RILEM Report 12, JE & FN Spon, London, 1995, pp.4~11
2. Andrade, C., "Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements", Cement and Concrete Research, Vol. 23, 1993, pp.724~742

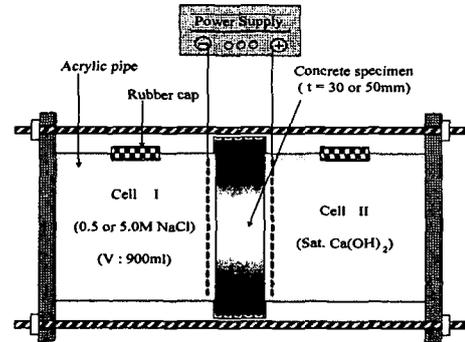


그림 1 확산셀의 구성

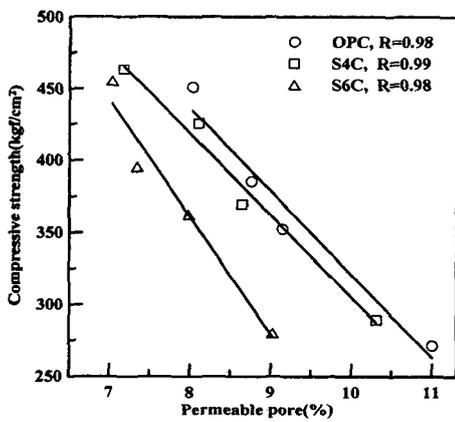


그림 2 콘크리트의 압축강도와 투수 공극과의 관계

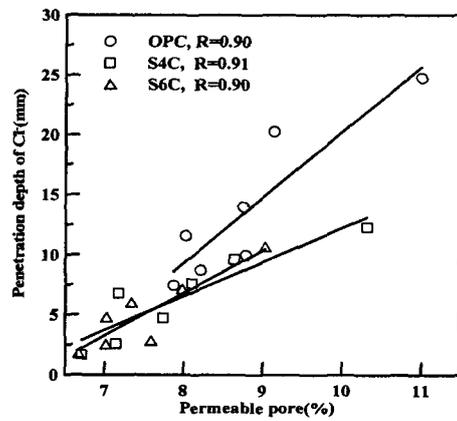


그림 3 콘크리트의 투수 공극과 염소이온의 침투깊이와의 관계

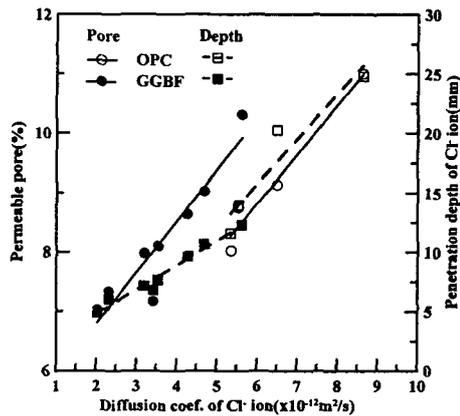


그림 4 염소이온의 확산계수와 투수 공극 및 염소이온의 침투깊이와의 관계

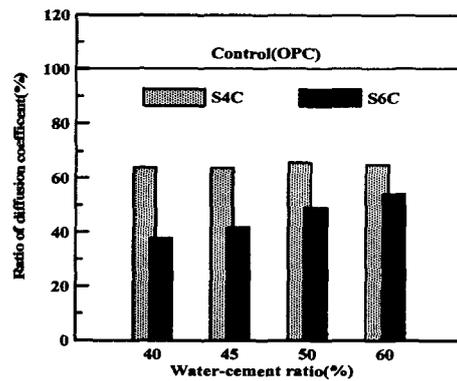


그림 5 물-시멘트비별 콘크리트의 염소이온 확산계수비(OPC=100)