

혼합재 치환율에 따른 모르타르의 염소이온 확산 특성

Characteristic of Chloride Ion Diffusion in Mortar According to the Substitution Ratios of the Additive

양승규 [*]	정연식 ^{**}	이웅종 ^{***}	유재상 ^{****}	이종열 ^{*****}
Seung-Kyu Yang	Youn-Sik Chung	Woong-Jong Lee	Jae-Sang Ryu	Jong-Ryul Lee

ABSTRACT

Chloride ions have a tendency to penetrate into concrete and proceed the corrosion by depassivating rebar surface. Thus the deteriorated concrete is subject to experience severe degrading of durability under marine environment.

Physical properties of mortar, such as, compressive strength and penetration depth of chloride ion were investigated. And to investigate the effect of containing SG, FA in mortar, the diffusion coefficient of chloride was measured through an electro - migration test.

The diffusion coefficient of chloride was decreased with the increase of replacement ratio of SG compared with plain specimen.

1. 서론

최근, 서해안 고속도로 상의 서해대교, 영종도 신공항을 연결하는 영종대교 등과 같이 해양환경 하에 대형 콘크리트 구조물이 건설되면서 내해수성 시멘트 및 콘크리트에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 콘크리트는 우수한 내구성과 조형성으로 인하여 각종 토목·건축구조물의 기본재료로 이용되고 있으나, 해양환경하에 건설되는 콘크리트 구조물의 경우에는 해수 중에 용존하는 염소이온, 황산이온 및 마그네슘이온과 같은 유해이온의 침투와 이에 따른 반응생성물 및 철근부식에 의해 성능이 저하되어 공용연한이 크게 단축된다.

따라서, 본 연구에서는 해수 중에 용존하는 유해이온의 침투·확산을 최소화할 수 있는 시멘트 및 콘크리트를 개발하기 위한 기초실험으로 시멘트, 광물질 혼화재 종류 및 치환율별 모르타르 시편을 제작하여 염소이온확산시험을 행하였고, 이로부터 얻어진 통과전류로 염소이온 확산계수를 평가하였다.

일반적으로 모르타르 또는 콘크리트 내부로 물질이 이동하는 메커니즘은 농도차에 의한 확산, 압력차에 의한 투과, 모세관 장력에 의한 흡수 등으로 구분되며, 특히 염소이온이 모르타르 또는 콘크리트 중으

* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원

** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 선임연구원, 공학박사

*** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 주임연구원, 공학박사

**** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장, 공학박사

***** 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장

로 이동하는 메커니즘은 주로 확산현상으로 설명할 수 있다. 그러나 농도차에 의한 염소이온의 확산을 평가하기 위해서는 수개월에서 수년이 소요되는 단점이 있기 때문에 근년에 와서 전위차에 의한 전기적 이동현상을 이용한 전기화학적 촉진시험법이 많이 활용되고 있으며, 본 연구에서도 이 방법을 적용하여 염소이온 투과저항성을 평가하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

결합재는 포틀랜드시멘트로 1종(이하 OPC) 및 4종시멘트(이하 LHC)를, 혼화재로 플라이애쉬(이하 FA) 및 고로슬래그 미분말(이하 SG)을 사용하였으며, 모래는 주문진산 표준사를 사용하였다. 각 결합재의 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 결합재별 화학성분 및 물리적 성질

항 목 결합재	화학성분(%)						물리적 성질	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	R ₂ O	Specific gravity	Blaine(cm ² /g)
1종(OPC)	21.0	5.9	3.2	62.5	2.1	0.78	3.15	3,200
4종(LHC)	25.3	3.1	3.6	62.5	2.3	0.51	3.22	3,500
플라이애쉬(FA)	62.4	23.6	6.1	3.9	0.4	1.5	2.28	4,500
고로슬래그미분말(SG)	33.3	15.3	0.4	42.1	2.1	0.7	2.96	4,300

2.2 실험변수

실험변수는 OPC 및 LHC에 FA와 SG를 치환하는 것으로 설정하였으며, 시멘트 대비 각각의 치환율은 FA를 0, 10, 20%, SG를 0, 20, 40, 60%로 치환하여 시편을 제작하였으며, 추가로 OPC와 SG, FA를 일정한 비율로 혼합한 3성분계시멘트(이하 OSFC)도 고려하였다.

표 2 시멘트 및 혼화재 치환율에 따른 시험체명

시험명	치환율(%)			
	OPC	LHC	SG	FA
OPC	100	-	-	-
OPC-SG20	80	-	20	-
OPC-SG40	60	-	40	-
OPC-SG60	40	-	60	-
OPC-FA10	90	-	-	10
OPC-FA20	80	-	-	20
OSFC	40	-	40	20
LHC	-	100	-	-
LHC-SG20	-	80	20	-
LHC-SG40	-	60	40	-
LHC-SG60	-	40	60	-
LHC-FA10	-	90	-	10
LHC-FA20	-	80	-	20

2.3 시편제작 및 측정

시편은 각 배합비별로 KSL 5105 "수경성 시멘트 모르타르의 압축강도시험 방법"에 의거 결합재: 모래 = 1 : 2.45, W/B = 48.5 % 조건으로 5×5×5cm의 압축강도용 시편과 Φ10×20cm의 염소이온 투과시험용 시편을 제작하였으며, 재령 3, 7, 28, 56, 91에서의 압축강도를, 재령 28, 91일에서의 염소이온확산시험에 의한 확산계수 및 침투깊이를 측정하였다.

2.4 실험방법

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.

전위차에 의한 촉진시험 후 모르타르에 침투되어 있는 염소이온의 침투깊이를 측정하기 위하여 시험 후 시편을 쪼개어 표면에 표면에 0.1N의 AgNO₃ 용액을 분부하여 모르타르의 음극측 표면에서부터 은색으로 변하는 지점까지를 측정하였다.

모르타르 중 염소이온의 확산계수는 확산셀을 흐르는 전체 전류 중 염소이온의 기여 정도를 반영하기 위하여 수율(transference number)의 개념을 도입하였으며, 다음의 식으로부터 확산계수(D)를 구하였다.

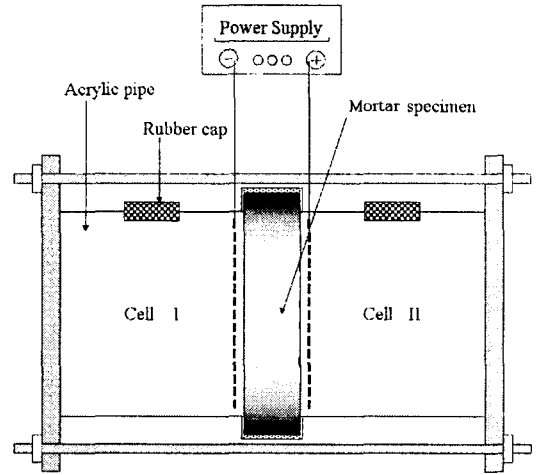


그림 1 확산셀의 구성

$$D = \frac{RTit_{cl}}{nF^2\Delta E} \frac{l}{A} \frac{1}{C_{cl}Z}$$

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

3. 결과 및 고찰

3.1 모르타르의 압축강도 특성

그림 2와 그림 3은 OPC와 LHC에 혼합재를 치환한 모르타르의 압축강도를 기준시편(OPC 및 LHC 단독) 대비 비율로 나타낸 것이다. OPC에 혼합재를 치환한 경우, 재령 28일 이후부터는 기준시편에 비하여 다소 높은 압축강도를 나타냈다. 그러나, LHC의 경우, 재령 91일 이후부터 기준시편 이상의 강도발현을 보이고 있으며, 이로부터 충분한 양생기간의 확보가 중요하다고 판단된다.

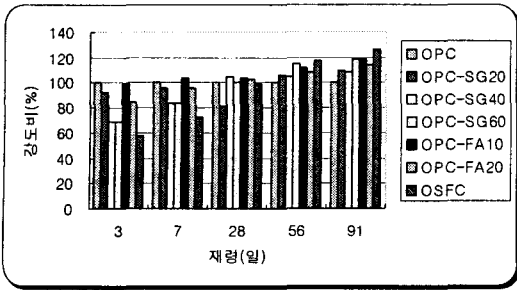


그림 2 OPC+혼합재에 따른 강도비

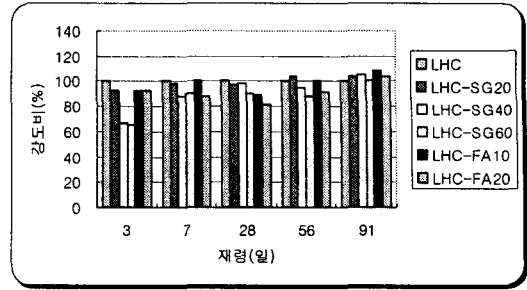


그림 3 LHC+혼합재에 따른 강도비

3.2 시멘트 종류별 확산계수

시멘트 종류에 따른 염소이온 확산계수 평가결과를 그림 4에 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 시멘트 종류(포틀랜드계 시멘트)에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났다. 다만, 혼합계시멘트인 OSFC의 경우가 포틀랜드계 시멘트 대비 탁월한 염소이온 확산 저항 특성을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

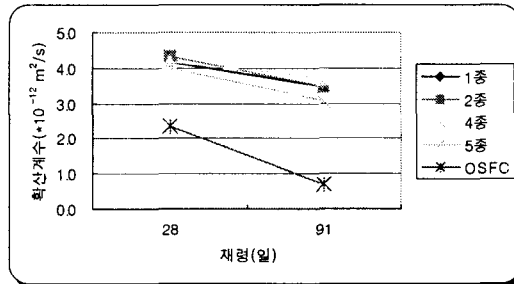


그림 4 시멘트 종류에 따른 확산계수

3.3 혼합재 치환율에 따른 확산계수

혼합재 종류 및 치환율에 따른 염소이온 투과시험 결과, OPC 및 LHC 모두 모든 재령에서 슬래그 치환율이 증가하면서 침투저항성이 크게 개선되는 것을 확인할 수 있으며, 플라이애쉬의 첨가효과는 재령 28일까지는 거의 없는 것으로 나타났다.

따라서, 내해수성 시멘트의 품질설계 방향으로 우수한 내염특성을 부여하기 위해서는 포틀랜드계 시멘트 단독으로는 한계가 있으며, 광물질 혼합재로써 고로슬래그 미분말을 적절히 사용하는 것이 필수적이라는 것을 확인할 수 있으며, 적정 첨가량은 슬래그의 재료특성 및 기타 시멘트의 기초특성을 감안하면 40% 전후가 합당할 것으로 판단된다.

그러나, 해양환경 하에 건설되는 구조물의 경우, 대부분이 대형 구조물인 점을 고려할 때, 시멘트 수화열에 의한 온도균열을 방지하기 위해서는 재료의 단열온도상승특성을 감안한 내해수성 시멘트 및 콘크리트의 품질설계가 필요하다 판단된다.

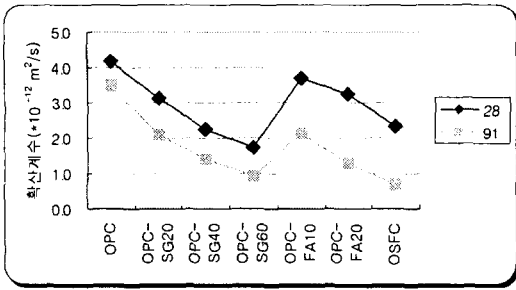


그림 5 OPC+혼합재에 따른 확산계수

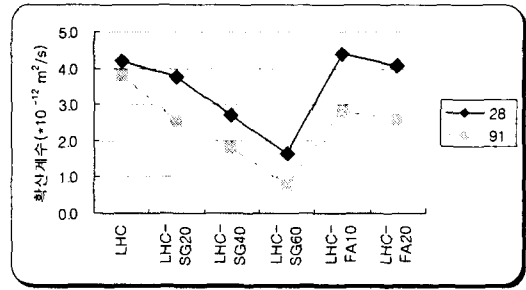


그림 6 LHC+혼합재에 따른 확산계수

3.4 염소이온 확산계수와 침투깊이와의 관계

시멘트 및 혼합재 첨가율에 따른 염소이온 확산계수와 침투깊이와의 관계를 그림 7에 나타내었다. 이 그림에서 모르타르 시편의 확산계수가 커지면서 염소이온 침투깊이가 직선적으로 증가하는 매우 좋은 상관관계($R = 0.95$)를 얻을 수 있었다. 이 결과는 해수침적 모르타르(자연상태)의 염소이온 침투깊이와도 잘 일치하고 있다.

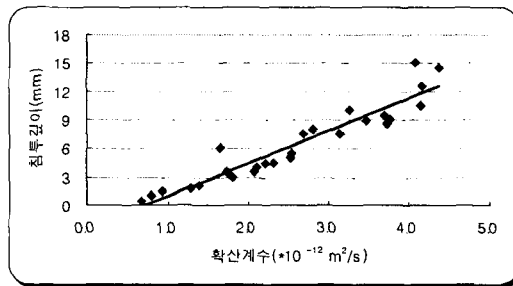


그림 7 염소이온 확산계수와 침투깊이와의 관계

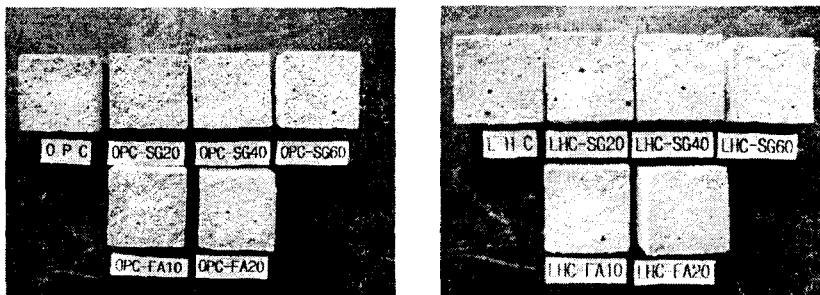


그림 8 해수침적 모르타르(재령 28일)의 염소이온 침투깊이(2개월)

4. 결론

본 연구에서는 내해수성 시멘트 및 콘크리트를 개발하기 위한 기초실험으로 시멘트, 광물질 혼화재 종류에 따른 염소이온확산시험에 의한 확산계수 및 침투깊이를 검토하였으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) OPC 및 LHC에 혼합재를 치환한 경우, 일정수준 이상의 압축강도 발현을 위해서는 충분한 양생기간의 확보가 필수적이라 판단된다.
- (2) 시멘트 종류(포틀랜드계 시멘트)에 따른 염소이온 확산계수는 거의 유사한 값을 보였다.
- (3) 내해수성 시멘트의 품질설계 방향으로 우수한 내염특성을 부여하기 위해서는 포틀랜드계 시멘트 단독으로는 한계가 있으며, 혼화재로써 고로슬래그 미분말 또는 플라이애쉬를 적절히 사용하는 것이 바람직하다 판단된다.
- (4) 해양구조물이 대부분 대형 구조물인 점을 감안하면 재료의 단열온도상승특성을 고려한 품질설계가 필요하다 사료된다.
- (5) 염소이온 확산계수와 침투깊이와의 관계는 $R = 0.95$ 정도로 매우 좋은 상관관계를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업 부품·소재 공동기술개발사업 “해양구조물용 시멘트 및 콘크리트 개발”과 관련한 연구를 수행함으로써 얻어진 결과의 일부이며, 저자들은 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Andrade, C., "Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements", *Cement and Concrete Research*, Vol. 23, 1993, pp. 724~742.
2. 문한영, 김홍삼, 김진철, 최두선, “고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 염소이온 확산특성”, *한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집*, vol 13, No 2, pp. 793~796.
3. 문계흠, “콘크리트 중의 염소이온 확산계수 추정을 위한 촉진시험법 연구”, *한양대학교 토목공학과 석사학위논문*, 2월, 2000, pp. 20~38.
4. 김홍삼, “전기화학적 기법에 의한 콘크리트 중의 염소이온 확산평가 및 철근부식 개시시기 예측”, *한양대학교 토목공학과 박사학위논문*, 2월, 2001, pp. 57~116.
5. 이종열, 김동석, 김홍삼, “해양콘크리트 구조물의 염해와 내염특성 평가기술”, *건자재*, 4월, 2002, pp. 64~81.