

광물질 혼화재가 콘크리트의 염화물 확산계수에 미치는 영향

Effect of Mineral Admixture on Coefficient of Chloride Diffusion in Concrete

김 명 유^{*} 양 은 익^{**} 민 석 홍^{***} 심 상 배^{****} 최 중 철^{*} 이 광 교^{*}
Kim, Myung yu Yang, Eun Ik Min, Seok Hong Sim, Sang Bae Choi, Joong Chul Lee, Kwang Gyo

ABSTRACT

When concrete structures are exposed under marine condition for a long time, the steel in concrete is corroded due to the ingress of chlorides in the sea water. Because the damages of corrosion resulting from the chloride ion are very serious, many research have been performed.

In this study, it was experimentally investigated that the mechanical and diffusion characteristics of concrete substituted with ordinary portland cement, silica fume and blast furnace slag to investigate the chloride ingress characteristics with concrete quality. Chloride diffusion coefficients in concrete shows increasing tendency as w/c ratio increase. Also test results indicate that blend of admixture become lower chloride diffusion coefficients in concrete as compared with normal concrete.

1. 서론

철근 콘크리트 구조물이 해양 환경에서 장기간 노출되면 해수에 포함되어 있는 염화물과 산소, 물에 의해 콘크리트 내부의 매립철근이 부식하게 된다. 염화물과 산소, 물은 주로 확산을 통하여 콘크리트 내부로 침투하게 되는데, 확산은 주로 콘크리트의 미세 공극을 통하여 이루어진다. 많은 연구를 통하여 광물질 혼화재의 혼입은 콘크리트의 내부공극을 수밀하게 하는 것으로 밝혀져 왔다. 이에 본 연구에서는 보통 콘크리트에 대한 연구에 이어 물/시멘트비(w/c) 및 혼화재 대체율의 변화에 따른 콘크리트의 염화물 침투 특성을 살펴보았다. 또한, 총염화물과 자유염화물에 의한 확산계수 상관관계를 살펴보고, 변색구간에서의 염화물농도도 평가해 보았다.

2. 실험 개요

2.1. 사용재료 및 배합

본 실험에서 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 S사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 굵은 골재는 입곡리 부근의 최대 골재 치수 25mm 쇠석골재를 사용하였으며, 잔골재는 연곡 하천의 자연사로 실험하였다.

* 강릉대 토목공학과 석사과정
*** 강릉대 금속재료공학과 교수

** 강릉대 토목공학과 교수
**** 한국 토지공사 과장

혼화제의 혼입에 따른 염화물 확산계수의 변화를 살펴보고자 시험체 배합에 있어 고로슬래그, 실리카흙과 같은 광물질 혼화제를 혼입하였다. 실험에 사용된 골재의 물리적 특성과 혼화제의 화학적 특성은 Table 1과 Table 2, Table 3와 같다. 실험배합표는 Table 4와 같다. 슬럼프는 12±2cm, 공기량은 5±1%를 목표로 배합하였다. 혼화제는 시멘트의 내할로 혼입하였으며, 고로슬래그의 경우는 대체율 30%와 60%, 실리카흙은 대체율 5%, 10%로 실험하였다.

2.2 실험 변수

보통 콘크리트 물성과 시험법에 따른 콘크리트 염화물 확산계수의 변화에 대한 연구가 먼저 선행되었으며, 본 연구에서는 선행된 연구에 혼화제의 혼입에 따른 콘크리트의 역학적 특성과 염화물 특성을 알아보고자 물-시멘트비와 혼화제의 종류와 대체율을 실험 변수로 두어 실험하였다. 실험 변수에 관련된 사항을 정리하면 Table 5와 같다.

2.3. 실험 및 측정 평가 방법

본 연구에서는 농도차에 의한 확산을 이용하여 염화물을 침투 실험하였다. 실험에 사용된 시험체는 NordTest NTBuild 443에 따라 Ø10×10 cm 콘크리트 시험체를 사용하였으며, 시험체는 양면 염화물 침투를 목적으로 측면은 에폭시 도포하여 염화물의 침투를 방지하였다. 한편, 해수 침투 실험에 의한 염화물 침투 평가는 재령에 따른 침투 깊이 변화 측정법(A법)과 염화물 농도 프로파일 측정법(B법)의 2가지 방법으로 실시하였다.

Table 1 Physical properties of aggregate

Item Type	Specific Gravity	Absorption (%)	F.M.
Sand	2.63	0.87	2.95
Gravel	2.74	0.62	6.53

Table 2 Physical properties and chemical composition of blast furnace slag

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)
21.8	5.8	3.56	60.6	3.54
SO ₃ (%)	Ig.loss (%)	specific gravity	specific surface area(cm ² /g)	
2.6	1.0	3.14	3.422	

Table 3 Physical properties and chemical composition of silica fume

SiO ₂ (%)	H ₂ O (%)	LOI (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)
97	0.6	1.0	0.2	0.3	0.3
HgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	C (%)	SO ₃ (%)	Cl (%)
0.2	0.5	0.1	0.7	0.1	0.05

Table 4 Mix proportions of concrete

specimen	w/c (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m ³)				SP (%)	AE (%)
			C	W	S	G		
OPC	50	45	345	168	789	1003	1	
OPC	60	49.5	292	175	819	1006		
SF05	50	45	328	168	786	999	17	1
SF10	50	45	311	168	783	996	35	1
SF05	60	49.5	273	172	891	951	14	
SF10	60	49.5	258	172	889	948	29	
BS30	50	45	241	168	786	999	104	1
BS60	50	45	138	168	782	995	207	1
BS30	60	49.5	201	172	891	950	86	
BS60	60	49.5	115	172	888	947	172	

Table 5 Test variables

Item	Content	Detail
W/C ratio	Chloride diffusion coefficient	50, 60%
Admixture		Silica fume, Blast furnace slag

3. 실험 결과 및 분석

3.1. 혼화제를 혼입한 콘크리트의 역학적 특성

광물질 혼화제를 첨가한 콘크리트의 역학적 특성을 정리하면 Fig 1과 같다. 결과에 따르면, 보통콘크리트와 마찬가지로 광물질 혼화제 콘크리트의 역학특성은 w/c 비의 영향을 크게 받았다. 특히, 실리

카흠을 대체한 콘크리트의 초기강도는 일반 포틀랜드 콘크리트 보다 크게 나타났으며, 대체율이 증가할수록 장기재령에서 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 실리카흠의 입자가 미립자 분말이며, 포졸란 반응에 의해 골재와 결합재간의 부착력을 증가시키는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 또한, 고로슬래그 미분말을 대체한 콘크리트의 초기강도는 보통 콘크리트보다 작고, 대체율이 증가할수록 압축강도는 감소하는 것으로 나타났으며, 초기재령에서는 강도 발현율이 낮은 반면 장기재령에서는 강도 발현율이 증가되는 것으로 나타났다.

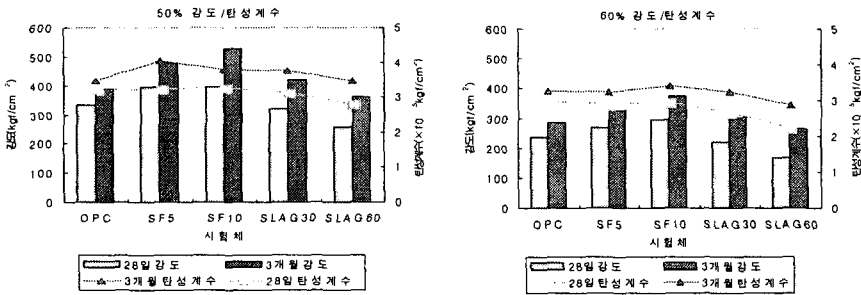


Fig 1 Modulus of elasticity and compression strength with blend of admixture

3.2 혼화제 혼입 콘크리트의 확산계수 비교

본 연구에서는 혼화제의 종류와 혼입율, w/c비에 따른 확산계수 변화를 살펴보았다. 실리카흠이나 슬래그를 대체하였을 경우, w/c 50, 60%에 대해 대체량이 증가함에 따라 겉보기 확산계수가 감소하는 동일한 경향을 보인다. 특히, w/c 비가 높은 저강도 콘크리트의 경우에 팽활질 혼화제 사용에 따른 확산 계수의 감소 정도가 크게 나타났다. 이러한 결과는 혼화제 혼입이 콘크리트의 공극구조를 수밀하게 함으로써 공극을 통한 염화물의 확산을 막기 때문인 것으로 사료된다. 농도 프로파일에 의한 확산계수에 있어서도 겉보기 확산계수와 비슷한 경향을 보인다.

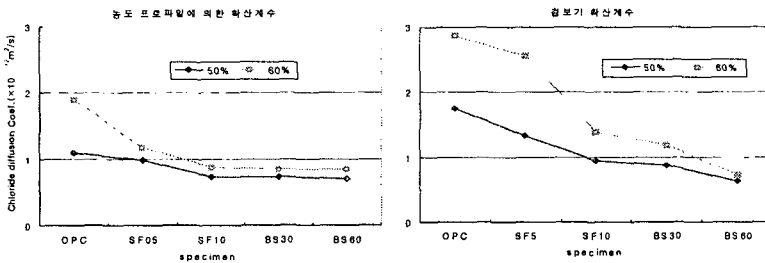


Fig 2 Coefficient of chloride diffusion with blend of admixture

3.3 재령에 따른 확산 계수 변화

Fig 3은 실리카흠 5% 경우에 대한 재령에 따른 확산 계수 변화의 결과이다. 재령이 증가함에 따라 확산계수가 감소하는 것으로 나타났으며, 슬래그 대체의 경우도 같은 경향을 보인다. 이는 재령이 증가함에 따라 콘크리트 내부의 공극이 수밀해지기 때문인 것으로 판단된다. 60%가 50%에 비해 약간 더 큰 변화율을 보인다.

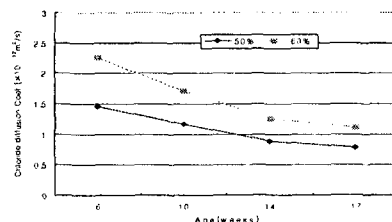


Fig 3. Diffusion Coef. variance with ages

3.4. D_T 와 D_F 의 상관관계

본 연구에서는 자유염화물과 총염화물에 의해 얻어진 확산계수(D_F , D_T) 결과에 기초하여 두 확산계수 간의 상관 관계를 파악하여 보았다. Fig 3은 그 결과를 나타내며, 왼쪽 그림은 겉보기 확산계수이고, 오른쪽은 농도 프로파일에 의한 확산계수를 이용하여 얻어진 상관관계를 나타낸다. Xinying Lu 등의 연구결과에 따르면 그들은 D_T 가 D_F 보다 2.8배 정도 크다고 보고하고 있다. 그러나, 본 연구 결과는 총염화물에 의한 확산계수가 자유 염화물에 의한 확산계수와 거의 비슷한 수준을 나타낸다. 이러한 차이는 Xinying Lu 등의 경우 표면농도를 배제하고, 3mm 깊이의 농도부터 확산계수를 평가하였기 때문인 것으로 판단되며, 이에 대한 연구가 좀 더 필요할 것으로 판단된다.

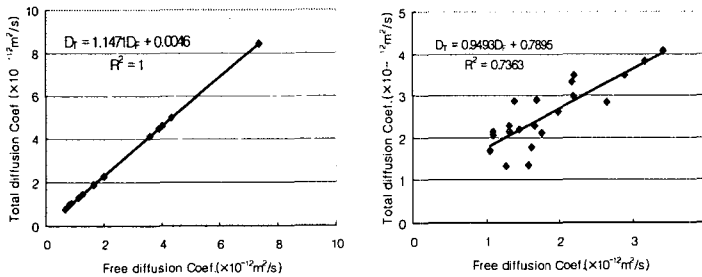


Fig 4 Relationship between D_T and D_F

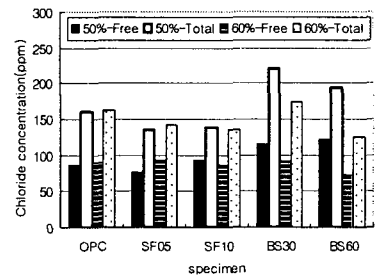


Fig 5 Chloride concentration on colored parts

3.5. 변색 구간에서의 염화물 농도

Otsuki의 연구에 의하면 0.1N $AgNO_3$ 용액을 분무하였을 경우, 자유염화물 양이 W/C비에 상관없이 0.15%로 일정하다고 보고하였는데, 본 연구 결과에서도 w/c비와 혼화제의 혼입에 따라 변색구간에서의 자유 염화물양(F)에 있어서는 커다란 차이가 없으며, F/T의 비율은 50%~60%의 값을 가지므로 나타났다.

4. 결론

- (1) 콘크리트의 W/C비는 염화물 확산계수에 영향을 미치며, W/C비가 증가할수록 확산계수도 커지는 경향을 보이며, 슬래그미분말등의 광물질 혼화제를 사용할 경우, OPC에 비해 염화물 침투에 크게 저항하는 것으로 나타났다.
- (2) 총염화물에 의한 확산계수가 자유 염화물에 의한 확산계수와 거의 비슷한 수준인 것으로 파악되었고, w/c비와 혼화제의 혼입에 따라 변색구간에서의 자유 염화물양에 있어서는 커다란 차이가 없는 것으로 파악되었다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 한국학술 진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-003-D00371)

참고 문헌

1. ASTM C 1218/1218M "Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete", Annual Book of ASTM Standards, 1999.
2. ASTM C 114, "Standard Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement", Annual Book of ASTM Standards, 2000.
3. 오병환외, "콘크리트 구조물의 염화물 확산거동 및 침투해석", KCI위원회 보고서, 2001.
4. Xinying Lu, "Relationship between the free and total chloride diffusivity in concrete", CCR, 2002.