

콘크리트의 염소이온 확산특성에 미치는 시멘트 종류의 영향

Influence of Cement Type on the Diffusion Characteristics of Chloride Ion in Concrete

박재임^{*} 배수호^{**} 이광명^{***} 김지상^{****} 차수원^{*****}
Park, Jae Im Bae, Su Ho Lee, Kwang Myong Kim, Jee Sang Cha, Soo Won

ABSTRACT

To predict service life of concrete structures exposed to chloride attack, surface chloride concentration, diffusion coefficient of chloride ion, and chloride corrosion threshold value in concrete, are used as important factors. of these, as the diffusion coefficient of chloride ion for concrete is strongly influenced by concrete quality and environmental conditions of structures and may significantly change the service life of structures, it is considered as the most important factor for service life prediction. The qualitative factors affecting the penetration and diffusion of chloride ion into concrete are water-binder(W/B) ratio, age, cement type and constituents, chloride ion concentration of given environment, wet and dry conditions, etc. In this paper the influence of cement type on the diffusion characteristics of chloride ion in concrete was investigated through the chloride ion diffusion test. For this purpose, the diffusion characteristics in concrete with cement type such as ordinary portland cement(OPC), binary blended cement(BBC), and ternary blended cement(TBC) were estimated for the concrete with W/B ratios of 32% and 38%, respectively. It was observed from the test that the diffusion characteristics of BBC containing OPC and ground granulated blast-furnace slag was found to be most excellent of the cement type used in this study.

1. 서론

염해환경하에 있는 철근 콘크리트 구조물의 내구수명을 예측하기 위하여 콘크리트의 염소이온 확산계수, 표면 염소이온량 및 임계 염화물량 등이 주요 인자로 사용된다. 이들 중 염소이온 확산계수는 콘크리트의 물-시멘트비, 재령, 시멘트 종류 및 구성 성분, 양생조건, 주변 환경의 염소이온량 및 건설 등에 많은 영향을 받으며, 이에 따라 콘크리트 구조물의 내구수명이 크게 달라지기 때문에 염소이온 확산계수는 내구수명을 예측하는 데 매우 중요한 인자로 평가되고 있다. 따라서 본 연구에서는

* 정회원, 안동대학교 토목공학과 석사과정

** 정회원, 안동대학교 토목공학과 부교수

*** 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수

**** 정회원, 서경대학교 토목공학과 조교수

***** 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 조교수

콘크리트의 염소이온 확산특성에 미치는 주요 인자로서 시멘트 종류를 채택하였는데, 그 종류로서 보통 포틀랜드 시멘트(OPC), 2성분계 시멘트(OPC+고로슬래그 미분말) 및 3성분계 시멘트(저발열 시멘트+고로슬래그 미분말+플라이애쉬)를 선정하여 이들을 사용한 콘크리트가 염소이온 확산특성에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 위하여 전위차를 이용한 전기화학적 촉진시험법으로서 북유럽에서 규격화되어 있는 NT BUILD 492(Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments) 방법에 의하여 물-결합재비 32% 및 38% 각각에 대해서 시멘트 종류에 따른 확산특성을 재령별로 평가하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 비중이 3.14인 S사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재 및 굵은골재는 각각 낙동강산(경북 안동시) 하천사 및 안동산 부순돌을 이용하였다. 2성분계 시멘트(BBC)를 사용한 콘크리트를 제조하기 위하여 비중이 2.89, 분말도가 4,893 cm²/g인 고로슬래그 미분말을 이용하였고, 수화열 저감 및 염소이온 침투저항성 증대를 위하여 저발열 시멘트, 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬로 구성된 비중이 2.88인 3성분계 시멘트(TBC)를 사용하였다. 혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 폴리카르본산계의 고성능 AE감수제(표준형, S사)를 사용하였다.

2.2 실험방법

(1) 공시체 제작

염소이온 확산특성에 미치는 시멘트 종류의 영향을 평가하기 위하여 표 1과 같이 콘크리트 배합실험을 하였는데, 목표 슬럼프는 18±2.5 cm, 목표 공기량은 5.0±0.5%로 설정하여, 물-결합재비 32% 및 38% 각각에 대해서 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 따라 원주형 공시체(Φ10×20 cm)를 제작하였다. 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 물드를 제거한 후 시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생 하였다.

한편, 염소이온 확산실험에 사용된 콘크리트의 배합비에 따른 압축강도를 파악하기 위하여 압축강도 시험용 공시체를 추가로 제작한 후 시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다.

(2) 확산셀의 구성 및 염소이온 확산계수의 평가

표 1과 같이 제작된 콘크리트 공시체에 대해 측정재령(7일, 28일)까지 표준양생을 실시한 후 전기화학적 촉진시험법으로 북유럽에서 규격화 되어 있는 NT BUILD 492 방법에 의하여 확산실험을 수행하였는데, 콘크리트 시편의 두께는 50 mm로 하였으며, 음극셀은 10%의 NaCl 수용액을, 양극셀은 0.3M의 NaOH 수용액을 사용하였다. 이 같이 확산셀 장치를 구성한 후 전원공급장치를 이용하여 30V의 전압을 공급하였을 때 0.2Ω의 저항에 걸리는 전류와 확산셀 내부의 온도를 24시간 동안 측정하였다. 측정된 결과를 근거로 식 (1)에 의하여 염소이온 확산계수를 추정하였다.

G _{max}	물-결합재비	시멘트 종류	목 표 슬럼프 (cm)	목 표 공기량 (%)	잔골재율 (%)	단위량 (kg/m ³)				SP (B×%)	
						결합재		잔골재	굵은골재		
						시멘트	혼화재				
20	32	OPC	18±2.5	5.0±0.5	42	160	500	0	691	966	1.10
		BBC				160	350	150	687	959	0.85
		BBC				160	250	250	684	955	0.85
		TBC				160	500	0	707	910	1.55
20	38	OPC	18±2.5	5.0±0.5	47	164	432	0	795	907	1.00
		BBC				164	302.4	129.6	791	902	0.80
		BBC				164	216	216	788	899	0.80
		TBC				164	432	0	779	889	1.25

표 1. 콘크리트 배합표

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

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

- | | |
|---|--------------------------------|
| D : 염소이온 확산계수(m^2/s) | z : 이온의 원자가(염소이온의 경우 $z=1$) |
| F : 패러데이 상수($9.648 \times 10^4 \text{ J/V} \cdot \text{mol}$) | U : 양극과 음극 사이의 전압차(V) |
| R : 기체상수($8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$) | T : 용액의 온도(K) |
| L : 시편의 두께(m) | x_d : 염소이온의 침투깊이(m) |
| t : 실험 지속시간(s) | erf : error function |
| c_d : 비색법에 의한 반응 농도(N) | c_0 : 음극셀의 염소이온 농도(2N) |

3. 결과분석 및 고찰

3.1 압축강도

그림 1 및 2는 시멘트 종류에 따른 염소이온 확산특성을 평가하기 위하여 사용된 콘크리트의 물-결합재비별 재령 7일 및 28일의 압축강도를 나타낸 것으로, 시멘트 종류에 관계없이 재령이 증가함에 따라 압축강도가 크게 증진되어 본 연구에 사용된 콘크리트의 품질은 양호한 것으로 나타났다. 한편, 콘크리트의 압축강도 측면에서는 OPC에 고로슬래그 미분말을 시멘트 중량비로 30% 혼입한 BBC의 경우가 가장 우수한 것으로 나타났다.

3.2 염소이온 확산특성에 미치는 시멘트 종류의 영향

그림 3 및 4는 콘크리트의 물-결합재비별로 염소이온 확산특성에 미치는 시멘트 종류의 영향을 나타낸 것으로, 물-결합재비가 38%인 경우 2성분계 시멘트를 사용한 콘크리트는 고로슬래그 미분말의 혼입율 및 재령이 증가할수록 확산계수는 작아지는 것으로 나타나, 고로슬래그 미분말은 확산특성 개선에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 확산특성은 대체적으로 OPC 콘크리트의 경우보다 작아지며, 재령 7일보다 재령 28일에서 확산특성이 크게 개선되는 것으로 나타났다. 이것은 본 연구에 사용된 3성분계 시멘트의 구성 성분 중 저발열 시멘트의 수화 지연성에 기인한 것으로 판단된다.

한편, 물-결합재비가 32%인 경우 2성분계 및 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 확산특성은 대체적으로 OPC의 경우보다 개선되며, 2성분계 시멘트를 사용한 콘크리트는 재령에 관계없이 확산특성이 개선되며, 3성분 시멘트를 사용한 콘크리트의 확산특성은 재령 7일보다는 재령 28일의 경우가 보다 개선되는 것으로 나타났다.

3.3 시멘트 종류별 염해 저항성 평가

콘크리트의 염소이온 확산특성은 염해환경에 대한 저항성을 나타내는 지표로서, 염소이온 확산계수가 작을수록 염해에 대한 저항성이 우수한 것을 나타낸다. 본 연구에서 시멘트 종류별로 확산특성을 평가한 결과 물-결합재비에 관계없이 고로슬래그 미분말 50% 혼입한 BBC, 고로슬래그 미분말 30% 혼입한 BBC, TBC 및 OPC 순으로 작게 나타났다(그림 3 및 4). 따라서 본 연구에 사용된 시멘트 종류 중 염해 저항성이 가장 우수한 경우는 고로슬래그 미분말을 50% 혼입한 BBC로 나타났다.

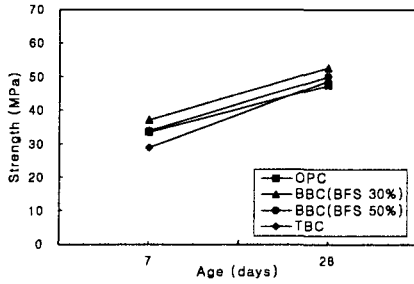


그림 1. 콘크리트의 압축강도
(물-결합재비 38%)

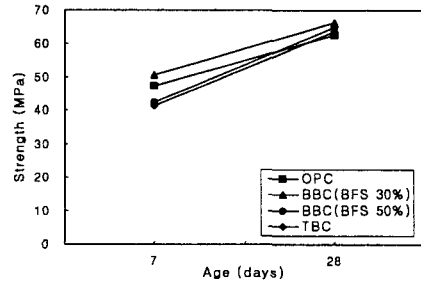


그림 2. 콘크리트의 압축강도
(물-결합재비 32%)

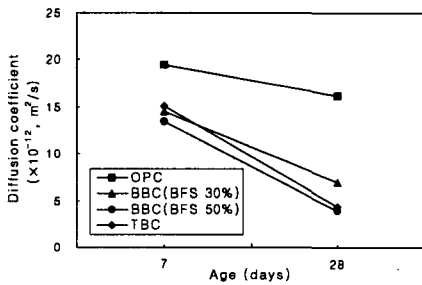


그림 3. 시멘트 종류에 따른 염소이온 확산계수
(물-결합재비 38%)

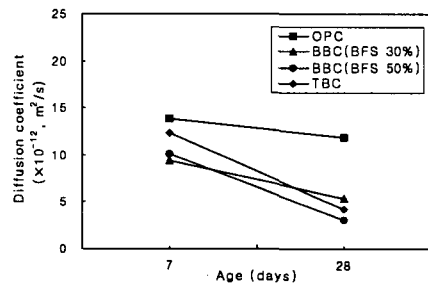


그림 4. 시멘트 종류에 따른 염소이온 확산계수
(물-결합재비 32%)

4. 결론

- 1) 물-결합재비가 32% 및 38%인 경우 2성분계 시멘트를 사용한 콘크리트는 고로슬래그 미분말의 혼입을 및 재령이 증가할수록 확산계수는 작아지는 것으로 나타나, 고로슬래그 미분말은 확산특성 개선에 매우 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 확산특성은 대체적으로 OPC 콘크리트의 경우보다 작아지며, 재령 7일보다 재령 28일에서 확산특성이 크게 개선되는 것으로 나타났는데, 이것은 본 연구에 사용된 3성분계 시멘트의 구성 성분 중 저발열 시멘트의 수화 지연성에 기인한 것으로 판단된다.
- 2) 시멘트 종류에 따른 확산특성은 물-결합재비에 관계없이 고로슬래그 미분말 50% 혼입한 BBC, 고로슬래그 미분말 30% 혼입한 BBC, TBC 및 OPC 순으로 작게 나타나, 본 연구에 사용된 시멘트 종류 중 염해 저항성이 가장 우수한 경우는 고로슬래그 미분말을 50% 혼입한 BBC로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 건설교통부의 지원사업인 콘크리트코리아연구단의 “고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술” 과제에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 배수호, 이광명, 김지상, 정상화, “콘크리트의 염소이온 확산특성에 미치는 물-시멘비 및 양생조건 의 영향”, 대한토목학회논문집, 제 26권, 제 4-A호, 2006, pp. 753~759.
2. NT BUILD 492, Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials, “Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments, 1999, Nordtest”