

적용 전압 및 저항이 콘크리트의 염소이온 확산특성에 미치는 영향

Effect of Applied Voltage and Resistivity on the Characteristics of Chloride Ions Diffusion in Concrete

임 병 탁 [*]	배 수 호 ^{**}	정 영 수 ^{***}
Byoung-Tak Lim	Su-Ho Bae	Young-Soo Chung
김 진 영 [*]	심 은 철 [*]	하 재 담 ^{***}
Jin-Young Kim	Eun-Choul Sim	Jae-Dam Ha

ABSTRACT

There are various methods for the electrochemical techniques to estimate diffusion coefficient of chloride ions in concrete, such as ASTM C 1202 test method, Andrade's method, Dhir's method, Tang's method, and etc. In the case of estimating diffusion coefficient of chloride ions in concrete by using these methods, applied voltage and resistivity may exercise some influence on the characteristics of chloride ions diffusion. Thus, in this study, effect of applied voltage and resistivity on the characteristics of chloride ions diffusion in concrete were researched by applying voltage in 12V, 30V, and 60V, and by using resistivity in 0.2 Ω and 1.0 Ω , respectively. It can be concluded that diffusion coefficient of chloride ions are found to be increasing as the individual applied voltage and resistivity decrease, when water-cement ratio is constant.

1. 서 론

염소이온이 콘크리트 내로 침투하는 메커니즘은 주로 농도차에 의한 확산현상이 지배적이다. 그러나 염소이온의 확산을 평가하기 위하여 농도차에 의한 확산실험을 시행할 경우 장기간이 소요되기 때문에, 염소이온 확산계수를 단기간에 정량적으로 평가하기 위하여 전위차에 의한 전기적 이동현상을 고려한 전기화적 촉진시험법이 등장하였다.

콘크리트 내의 염소 이온 확산계수를 구하기 위한 전기화학적 촉진시험법에는 ASTM C 1202 test method, Andrade's method, Dhir's method 및 Tang's method 등이 있는데, 이들에 의해 염소이온

* 정희원, 안동대학교 토목환경공학과 석사과정

** 정희원, 안동대학교 토목환경공학과 조교수

*** 정희원, 중앙대학교 토목공학과 교수

**** 정희원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 책임연구원

확산계수를 구하기 위한 확산셀 구성시 적용 전압 및 사용 저항 등이 변수로 대두된다. 따라서 본 연구에서는 적용 전압을 12V, 30V 및 60V로 변화시키고 이들 각각에 대하여 사용 저항을 0.2Ω 및 1Ω으로 변화시키면서 Andrade 방법에 의해 확산계수를 구함으로써 적용 전압 및 저항이 콘크리트 내의 염소이온 확산특성에 미치는 영향을 규명하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 1과 같다.

(2) 골재

본 연구에 사용된 잔골재는 낙동강산(경북 안동시) 하천사, 굵은골재는 안동산(경북 안동시) 부순돌을 이용하였으며, 이들의 물리적 성질은 표 2 및 표 3과 같다.

(3) 고성능 감수제

본 연구에 사용된 화학혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 감수제(표준형, K사)로서 품질특성은 표 4와 같다.

표 1. 시멘트의 물리적 성질

시멘트 종 류	비중	용결시간 (min)		분말도 (cm ² /g)	압축강도 (kgf/cm ²)		
		초결	종결		f ₃	f ₇	f ₂₈
보 통 포틀랜드	3.12	150	330	3,465	194	245	308

표 2. 잔골재의 물리적 성질

시 료	항 목	비중	흡수율 (%)	단위용적 중 량 (t/m ³)	200번체 통과량 (%)	조립률

표 3. 굵은골재의 물리적 성질

시 료	항 목	굵은골재 최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	단위용적 중 량 (tf/m ³)	조립률	마모율 (%)

표 4. 고성능 감수제의 품질특성

비중	PH	고형분 (%)	표준사용량(%) (시멘트중량비)	주성분	비고
1.21	8	41	0.2~2.0	Sodium salt of a sulfonate naphthalene	액상

2.2 실험방법

(1) 공시체 제작

콘크리트의 염소이온 확산계수를 구하기 위한 확산셀 장치 구성시 적용 전압 및 저항이 염소이온 확산특성에 미치는 영향을 규명키 위하여 콘크리트 배합실험을 하였는데, 목표 슬럼프 및 공기량은 각각 15±2cm, 4.5±1.5%로 설정하여, 물-시멘트비 49.5%에 대해서 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)에 따라 콘크리트 공시체(Ø10×20 cm)를 제작하였다. 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과하여 물을 제거하고 시험 전까지 20±3℃의 온도로 습윤양생하였다. 표 5는 콘크리트의 배합표를 나타낸 것이다.

표 5. 콘크리트 배합표

G _{max} (mm)	Target slump (cm)	Target air content (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				Super-plasticizer (C×%)
					W	C	S	G	
25	15±2	4.5±1.5	49.5	44.2	175	354	767	986	0.8

(2) 압축강도 시험

염소이온 확산계수 시험에 사용된 콘크리트 공시체의 압축강도를 파악키 위하여 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 재령별 (7일, 28일)로 압축강도 시험을 하였다.

(3) 확산셀의 구성

전위차에 의해 염소이온의 이동을 촉진시키기 위하여 확산셀 장치를 구성하였는데, 실험변수로서 적용 전압(12V, 30V, 60V) 및 저항(0.2Ω, 1Ω)을 채택하였으며, 콘크리트 시편의 두께는 3cm로 하였고 음극셀은 0.5M의 NaCl 용액을, 양극셀은 0.1M의 NaOH 용액을 사용하였다.

(4) 염소이온 확산계수의 평가

염소이온 확산계수 추정 방법은 Berke, Dhir 및 Andrade's method 등 여러 가지 방법이 있으나, 이들 중 Andrade's method가 실제 조사된 해양환경하의 구조물의 염소이온 확산계수와 근접하므로¹⁾, 식(1)과 같은 Andrade's method 에 의하여 확산계수를 구하였다.

$$D = \frac{RT}{n F^2} \frac{i t_{cl}}{\Delta E} \frac{l}{A} \frac{1}{C_{cl} Z} \tag{1}$$

여기서, D : 확산계수 (m²/s), R : 기체상수, T : 절대온도 (K), i : 통과전류(A)
 t_{cl} : 수율, l : 시편의 두께, F : 페러데이 상수, ΔE : 적용전압 (V)
 A : 시편의 단면적 (m²), C_{cl} : 농도 (mol/m³), Z : 이온 전자가

3. 결과분석 및 고찰

3.1 압축강도

표 6은 염소이온 확산계수 시험에 사용된 콘크리트 공시체의 압축강도를 나타낸 것으로, 재령 7일 및 28일의 강도는 각각 286 kgf/cm², 362 kgf/cm²로 나타났다. 설계기준강도로 채택되는 재령 28일 강도는 변동계수를 고려하여 설계기준강도로 환산하면 약 300 kgf/cm²로 나타났다.

표 6. 콘크리트의 압축강도

W/C (%)	압축강도 (kgf/cm ²)		환산 설계기준강도 (kgf/cm ²)
	재령 7일	재령 28일	
49.5	286	362	300

3.2 적용전압이 염소이온 확산계수에 미치는 영향

콘크리트의 염소이온 확산계수를 단기간에 정량적으로 평가하기 위하여 전위차에 의한 전기적 이동현상을 고려한 전기화학적 촉진시험법을 사용하였는데, 전기화학적 촉진시험법에는 ASTM C 1202 test method, Andrade's method, Dhir's method 및 Tang's method 등 여러 가지 방법이 제안되고 있다. 이들 중 실제 조사된 염해환경하의 콘크리트 구조물의 염소이온 확산계수와 가장 잘 근접한 방법 중의 하나가 Andrade's method로 알려져 있는데¹⁾, 이 방법에 의해 염소이온 확산계수를 구할 경우 적용 전압 및 저항 등이 실험변수로 대두된다. 따라서 본 연구에서는 적용전압 및 저항 각각이 염소이온 확산계수에 미치는 영향을 규명키 위하여 전자는 12V, 30V 및 60V로, 후자는 0.2Ω 및 1.0Ω으로 변화시키면서 Andrade's method에 의한 염소이온 확산계수를 구하였다.

그림 1~2는 재령별로 적용전압에 따른 콘크리트의 염소이온 확산계수를 나타낸 것으로, 사용 저항에 관계없이 적용 전압이 작을수록 염소이온 확산계수는 커지는 것으로 나타났으나, 적용전압에 따른 염소이온 확산계수의 차는 재령이 증가할수록 작아지는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 콘크리트의 초·중기 재령의 경우 적용전압에 따른 염소이온 확산계수를 구하였는데, 금후 장기재령의 경우에도 적용전압에 따른 염소이온 확산계수를 분석하면 더욱 정밀한 자료가 얻어질 것으로 판단된다.

3.3 사용저항이 염소이온 확산계수에 미치는 영향

Andrade's method에 의한 염소이온 확산계수를 구할 경우 콘크리트 셀을 통과하는 전류를 파악하기 위해서 저항을 사용하는데, 관련 시험규정에 사용저항이 명시되어 있지 않으므로 시험자마다 다른 값의 저항을 사용하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 사용저항이 염소이온 확산계수에 미치는 영향을 규명키 위하여 사용저항을 0.2Ω 및 1.0Ω으로 변화시키면서 확산계수를 구하였다.

그림 3~4는 재령별로 사용저항에 따른 콘크리트의 염소이온 확산계수를 나타낸 것으로, 적용전압에 관계없이 사용저항이 작을수록 염소이온 확산계수는 커지는 것으로 나타났으며, 이 같은 경향은 재령과는 무관하게 일정하게 나타났다. 따라서 사용저항도 염소이온 확산계수에 다소 영향을 미치는 것으로 나타나, 염소이온 확산계수 시험시 저항 사용에도 주의가 요망되며, 금후 이에 관한 연구를 체계적으로 수행하여야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

- (1) 사용 저항에 관계없이 적용 전압이 작을수록 염소이온 확산계수는 커지는 것으로 나타났으나, 적용전압에 따른 염소이온 확산계수의 차는 재령이 증가할수록 작아지는 것으로 나타났다.
- (2) 적용전압에 관계없이 사용저항이 작을수록 염소이온 확산계수는 커지는 것으로 나타났으며, 이 같은 경향은 재령과는 무관하게 일정하게 나타났다. 따라서 사용저항도 염소이온 확산계수에 다소 영향을 미치는 것으로 나타나, 염소이온 확산계수 시험시 저항 사용에도 주의가 요망되며,

금후 이에 관한 연구를 체계적으로 수행하여야 할 것으로 판단된다.

(3) 본 연구에서는 Andrade's method에 의한 염소이온 확산계수를 구할 경우 적용 전압 및 저항이 확산계수에 미치는 영향을 분석한 것으로, 실험 장치의 제약 조건 등으로 다양한 물·시멘트 비 및 장기재령에 대한 염소이온 확산계수의 추정 등이 미비한 실정이다. 금후 이를 보완하여 이들에 관한 연구를 지속적으로 수행할 계획이다.

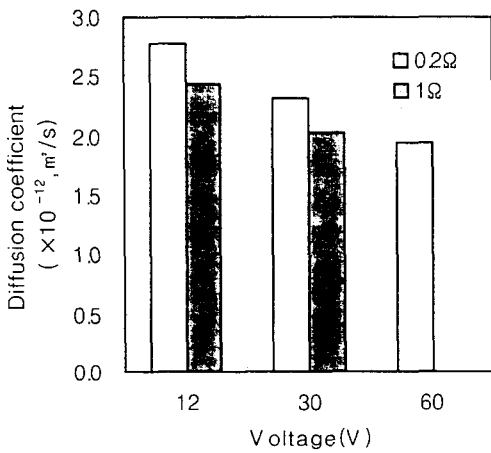


그림 1. 적용 전압과 확산계수의 관계 (재령 7일)

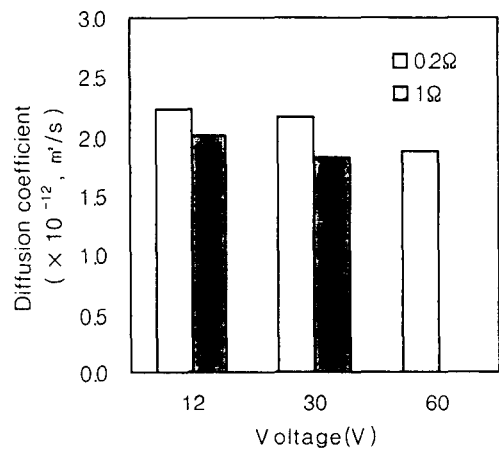


그림 2. 적용 전압과 확산계수의 관계 (재령 28일)

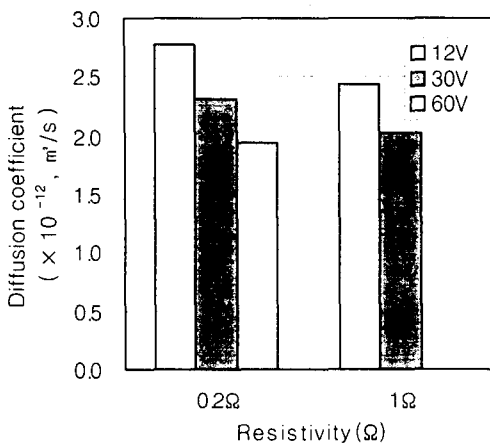


그림 3. 사용 저항과 확산계수의 관계 (재령 7일)

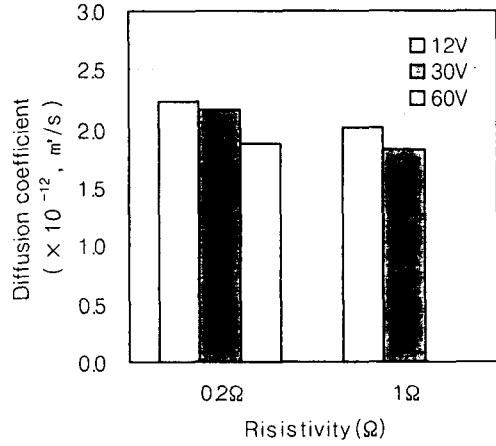


그림 4. 사용 저항과 확산계수의 관계 (재령 28일)

참고문헌

1. 문한영, 김홍삼, 문재흠, “전위차를 이용한 콘크리트 중의 염소이온 확산계수 추정방법,” 대한토목학회논문집, 제21권 제3-A호, 2001. 5, pp. 403~412.
2. 배수호 외 5인, “물-시멘트비 및 재령이 콘크리트 염소이온 확산 특성에 미치는 영향,” 한국콘크리트학회 봄학술발표회논문집, 제 14권 1호, 2002. 5, pp. 737~742.
3. 문한영 외 3인, “고로슬래그미분말 혼합 콘크리트의 염소이온 확산특성,” 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, 제13권 2호, 2001. 11, pp. 793~796.
4. C. Andrade, “Calculation of Chloride Diffusion Coefficients in Concrete from Ionic Migration Measurements,” Cement and Concrete Research, Vol. 23, 1993, pp. 724~742.
5. ASTM, “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration(C 1202),” pp. 616~621.