

콘크리트 중 겔보기 염소이온 확산계수 추정을 위한 비색법의 적용

Application of Colorimetric Method for Evaluation of Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Concrete

문 한 영^{*} · 김 홍 삼^{**} · 최 두 선^{***} · 오 세 민^{****}

Moon, Han Young · Kim, Hong Sam · Choi, Doo Sun · Oh, Se Min

Abstract

Chloride diffusivity is one of the important properties of concrete affecting the durability of a structure. The diffusivity for porous materials is determined conventionally by immersion in a solution. However, this method is complicate and time-consuming, often requiring months or years to obtain results. Thus, the application of colorimetric method to estimate the apparent diffusivity of chloride ion was verified in this study. The result reveals that the apparent diffusivity of chloride ion can be predicted to use colorimetric method. Additionally the colorimetric method is capable to predict the profile of chloride ion.

Keywords : colorimetric method, chloride diffusion coefficient, regression analysis

1. 서론

최근 철근콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 고조되면서, 이와 관련된 연구가 국내·외적으로 활발히 진행되고 있다. 콘크리트의 내구성의 성능저하 요인으로는 동결융해의 반복 작용, 알칼리-골재반응, 콘크리트의 중성화, 각종 유해이온에 의한 화학적 침식 및 염소이온의 침투·확산에 의한 철근부식 등을 들 수 있다. 특히, 염해환경에서는 염소이온과 같은 유해이온이 외부로부터 콘크리트 중으로 침투, 확산하여 철근을 부식시킴으로써 구조물의 내구성을 크게 저하시키기 때문에 구조물의 내구성 평가 또는 설계시 중요한 고려사항이 된다. 그러므로 콘크리트 중의 염소이온 확산계수의 추정은 내구성 설계 또는 평가의 중요한 인자이며, 일반적으로 콘크리트 중의 염소이온 확산계수를 추정하는 방법은 Fick의 제1법칙으로부터 유도되는 정상상태(steady state)에서의 확산계수 평가방법과 Fick의 제2법칙으로부터 유도되는 비정상상태(non-steady state)에서의 확산계수 평가방법이 있다.

비정상상태의 확산계수의 평가는 콘크리트 공시체를 일정농도의 용액 또는 염화물환경에 노출시킨 후 깊이별로 염소이온의 농도를 측정하여 Fick의 제2법칙의 해를 이용하여 구한다. 이 방법은 깊이별로 시료를 채취하여 적정에 의하여 프로파일을 구하는 번거로운 작업이다. 따라서, 본 연구에서는 적정에 의하여 프로파일을 구하지 않고 질산은 용액을 콘크리트 할렬면에 분사하여 염소이온 침투깊이로부터 겔보기 확산계수의 추정방법의 적용성을 고찰하였다.

* 한양대학교 공과대학 토목공학과, 교수 (E-mail: moon77@hanyang.ac.kr)
** 대전대학교 이공대학 토목공학과, 초빙교수 (E-mail: winner@ihanvang.ac.kr)
*** 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 (E-mail: quarks@ihanvang.ac.kr)
**** 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정 (E-mail: flownet@ihanvang.ac.kr)

2. 실험개요

2.1. 사용재료

(1) 시멘트 : 시멘트로는 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 본 연구에 사용된 시멘트의 화학성분 및 물리적 특성은 표 1과 같다.

표 1 시멘트 및 광물질 혼화제의 화학 성분 및 물리적 특성

Chemical composition(%)							Physical properties	
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
21.96	5.27	3.44	63.41	2.13	1.96	0.79	3.16	3,214

(2) 골재 : 잔골재로는 비중 2.58, 조립률 2.9인 세척사를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 25mm인 부순골재를 사용하였다.

(3) 화학혼화제 : 콘크리트의 단위수량 저감과 연행공기를 발생시키기 위하여 나프탈렌계 고성능감수제와 AE제를 사용하였다.

2.2. 시험방법

(1) 콘크리트의 배합 및 압축강도의 측정

슬럼프 15±1.5cm, 공기량 4.5±1.0%를 목표로 물-결합재비를 37%로 하였으며, 재령 7, 28 및 91일 압축강도를 측정하였다. 콘크리트의 배합 및 압축강도는 표 3과 같다.

표 3 콘크리트의 배합 및 압축강도

W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m ³)				AdmixtureC×%		Compressive strength(kgf/cm ²)		
		W	C	S	G	SP	AE	7d	28d	91d
37	45	168	454	767	952	1.0	0.017	435	490	554

(2) 염소이온 침투깊이 및 깊이별 염소이온양의 평가

원주형 콘크리트 공시체를 재령 28일 동안 수중양생 후, 1 방향의 염소이온 침투를 위하여 측면 및 밀면을 코팅하여 3.5% NaCl 용액에 침지하였다. 시험편은 침지재령 1, 3, 6 및 9개월에서 쪼개어 표면에 0.1N의 AgNO₃ 용액을 분무하였다. 공시체 표면에 분무된 시약은 염소이온과 반응하여 은색의 AgCl을 침전시키며 염소이온이 없는 부위에서는 갈색으로 변한다. 따라서 표면에서부터 은색으로 변하는 지점까지의 깊이를 염소이온의 침투깊이로 간주하였다. 한편, 침지재령 6개월에서 AgNO₃ 용액을 이용한 전위차 적정으로 염소이온 프로파일을 구하고 식(1)에 나타낸 바와 같이 Fick의 제 2법칙에 의하여 염소이온 확산계수를 회귀 분석에 의하여 구하였다.

$$\frac{C}{C_0} = [1 - \text{erf} (\frac{x}{\sqrt{4Dt}})] \dots \dots \dots (1)$$

여기서, C : 거리 x 및 시간 t 에서의 농도, D : 확산계수, C_0 : $x = 0$ 에서의 농도, $\text{erf}()$: 오차함수

(3) 염소이온 침투깊이에 의한 겉보기 염소이온 확산계수의 평가

재령 28일 까지 수중 양생된 콘크리트 시험체를 일 방향의 염소이온 침투만을 허용하기 위하여 코팅한 후 3.5% NaCl 용액에 침지하였다. 소정의 재령에서 콘크리트 시험체를 꺼내어 할렬한 후 0.1N의 AgNO₃ 용액을 분사하여 침투깊이를 측정하고 깊이별로 전위차 적정에 의하여 염소이온 프로파일을 구하였다. 이때 염소이온 프로파일로부터 식(1)을 회귀분석하여 겉보기 확산계수를 구하였다.

그림 1에서와 같이 염소이온의 침투깊이와 프로파일로부터 표면염화물량과 질산은에 의한 콘크리트의 변색농도와의 관계를 구할 수 있다.

만일 질산은에 의한 변색농도가 일정하다면, 각각의 재령에서 염소이온의 침투깊이로부터 겉보기 확산계수 및 염소이온 프로파일을 구할 수 있다.

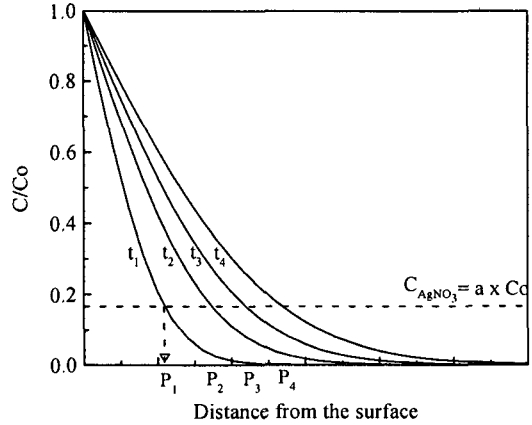


그림 1 비색법에 의한 겉보기 염소이온 확산계수의 평가

3. 실험결과 및 고찰

질산은 용액에 의한 콘크리트 중의 염소이온 침투깊이를 3.5% NaCl 용액에 침지한 재령별로 정리한 것이 그림 2이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 염소이온 침투 깊이는 시간에 따라 증가함을 알 수 있으며, 이러한 경향을 지수함수의 형태(결정계수: 0.988)로 가정하였다. 한편, 염소이온의 침투깊이로부터 염소이온 농도프로파일의 예측가능성을 알아보기 위하여 그림 1에서와 같이 질산은 용액에 의한 염소이온의 변색농도와 표면염화물량의 관계를 구하고 침지 재령별 염소이온 침투깊이에 도달하는 겉보기 확산계수를 구하여 염소이온 프로파일을 예측하였다. 이들의 예측결과와 깊이별로 분말시료를 채취하여 질산은 용액으로부터 직접 적정하여 구한 염소이온 프로파일을 비교한 것이 그림 3이다.

이들 그림에서 알 수 있듯이 질산은 용액의 분사에 의한 비색법으로부터 추정된 염소이온 프로파일과 적정에 의한 깊이별 염소이온 농도는 잘 일치하는 것으로 나타났다.

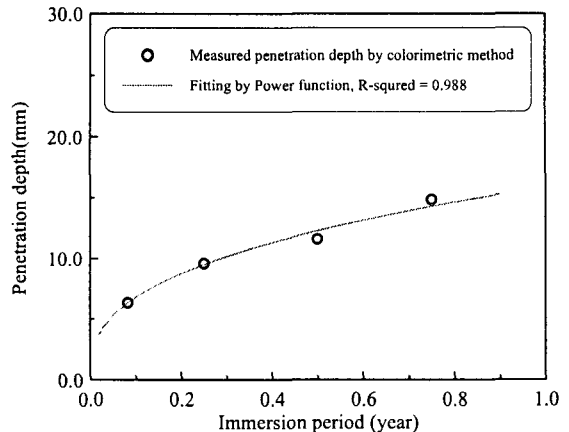


그림 2 침지 재령별 염소이온의 침투 깊이

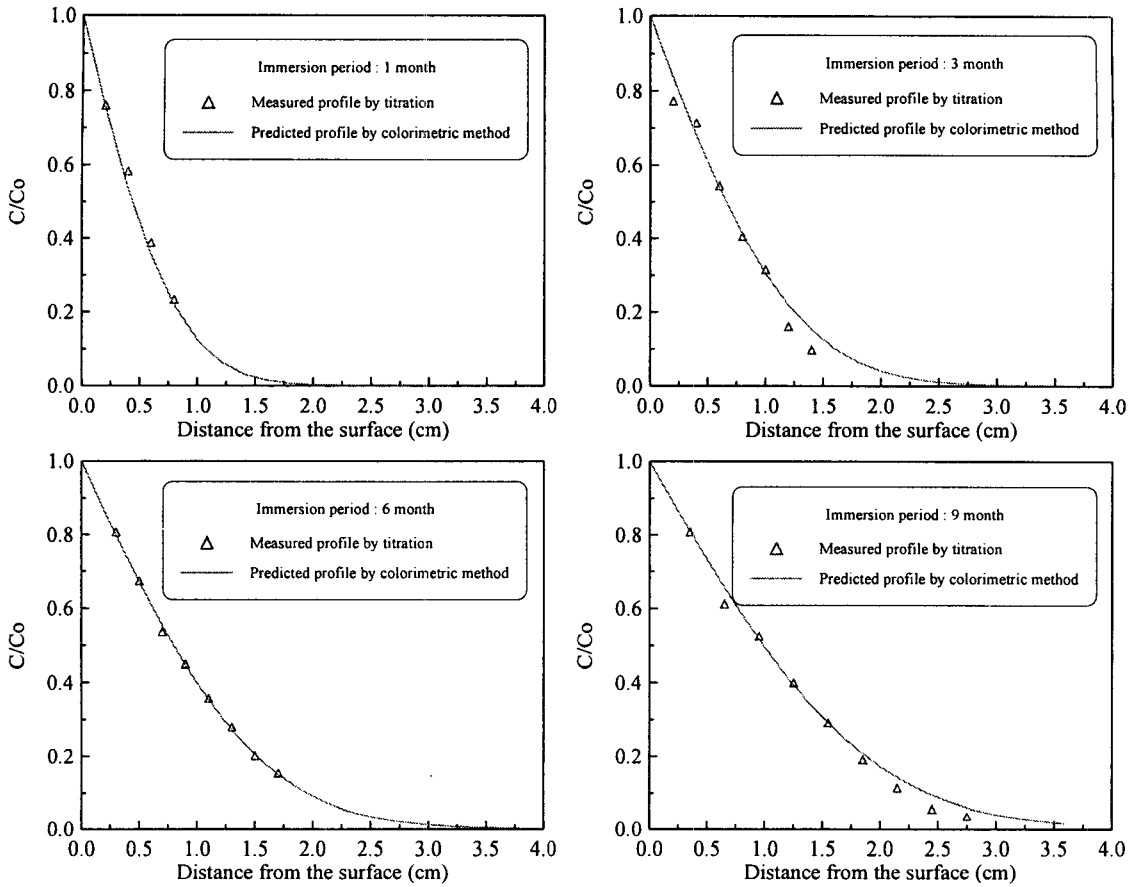


그림 3 깊이별 염소이온 프로파일과 염소이온 침투깊이에 의한 염소이온 프로파일의 비교

4. 결 론

일반적으로 농도차에 의한 비정상 상태에서 콘크리트 중의 염소이온 확산계수를 평가하기 위해서는 깊이 별로 시료를 채취하여 적정 또는 기타의 방법으로 깊이별 염소이온 농도를 구하고 이를 토대로 회귀분석에 의하여 겉보기 확산계수를 구하지만 이들의 방법은 매우 번거롭고 복잡하다. 따라서 간단히 비색법을 이용하여 염소이온의 겉보기 확산계수를 추정할 수 있는 방법의 적용성을 알아본 결과 염소이온 프로파일을 비교적 정확하게 예측할 수 있었으며, 이들의 결과로부터 겉보기 염소이온 확산계수를 간단하게 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. L. Tang and L. O. Nilsson, "Rapid Determination of the Chloride Diffusivity in Concrete by Applying an Electrical Field," ACI Materials Journal, Vol.89, No.1, 1992.
2. N. S. Berks and M. C. Hicks, "Predicting Chloride Profiles in Concrete," Corrosion, 1994.