

# 콘크리트 내부염소이온에 의한 철근의 부식특성에 관한 연구

## A Study on the Corrosion Characteristics of Steel Reinforcements Induced by Internal Chlorides in Concrete

오 병 환\*      장 승 엽\*\*      신 용 석\*\*\*      차 수 원\*\*      김 광 수\*\*  
Oh, Byung Hwan      Jang, Seung Yup      Shin, Yong Suk      Cha, Soo Won      Kim, Kwang Soo

### ABSTRACT

The corrosion of steel reinforcements in concrete is of much concern in recent years. The mechanism of corrosion, however, is not clear yet.

This study is focused on the corrosion of steel induced by internal chlorides in concrete at early ages. To examine the critical concentration of steel, half-cell potential, chemical composition of expressed pore solutions of mortars and rate of corrosion area were observed with respect to additions of chlorides, types of binders, water-binders ratio.

#### 1. 서론

콘크리트의 내구성에 있어 철근의 부식문제는 매우 중요한 위치를 차지한다. 특히, 염소이온에 의해 발생하는 부식은 해사 사용의 증대, 해양구조물 건설의 증가와 더불어 날로 그 중요성이 커지고 있다. 염소이온에 의한 부식 메카니즘은 현재에도 많은 연구가 진행되고 있으나, 명확한 규명이 이루어지지 않고 있다. 그 중에서도 부식을 유발하는 염소이온의 부식임계농도(critical concentration)를 밝히는 것은 부식발생시점을 예측하고, 콘크리트의 허용 염분량을 결정하는데 있어 매우 중요한 문제라 할 수 있다.

본 연구는 염소이온을 함유한 콘크리트의 부식발생특성을 고찰하여 내부 염소이온의 부식임계농도를 규명하는 데 목적을 두고 있으며, 이를 위해 혼입된 염소이온의 양을 주변수로 하고 각 시험체의 철근 중량손실율과 경과시간에 따른 반쪽전지 전위(half-cell potential)를 측정하여 내부에 묻힌 철근의 부식상태를 관찰하였다. 또, 염소이온의 고정화 현상에 의해 결합재의 성분, 배합특성 및 세공용액(pore solution)의 성분 등에 따라 직접적으로 부식을 유발하는 자유염소이온의 양이 크게 달라지기 때문에 결합재의 종류, 물-결합재비에 따라 7가지의 배합으로 나누어 실험을 수행하였으며, 각 시험체의 세공용액의 성분을 관찰하기 위한 방법으로 세공용액 압착추출법(pore solution expression method)을 적용하여 각 변수의 자유염소이온(Cl<sup>-</sup>)농도와 OH<sup>-</sup>이온 농도를 분석하였다. 이러한 결과를 토대로 내부 염소이온의 작용으로 인한 철근의 부동태의 변화 및 경과시간에 따른 부식발생특성과 염소이온농도에 따른 염소이온의 고정화 상태를 분석하고, 결합재와 세공용액의 성분에 따라 달라지는 내부 염소이온

\* 정회원. 서울대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 서울대학교 토목공학과 대학원 박사과정

\*\*\* 서울대학교 토목공학과 대학원 석사과정

의 부식임계농도를 분석, 고찰하였다.

## 2. 실험개요

본 연구에서는 염분의 함량, 시멘트의 화학조성, 혼화재의 종류, 물-시멘트비 등에 따른 콘크리트의 부식특성 실험을 통해 콘크리트 내 세공용액의 성분과 철근의 부식상태를 관찰하여 콘크리트 내에서의 염소이온의 구속특성 및 각 영향인자와 염소이온 부식임계농도와의 관계를 규명하고자 한다.

### (1) 실험변수

본 실험의 실험변수와 배합조건은 표1과 표2에 나타내었다. 부식임계농도를 파악하기 위해 각국의 염분허용기준을 고려하여 염분함량을 0.0~2.0%범위까지 8가지 나누었다. 배합종류는 결합재의 성분때 따른 부식특성을 파악하기 위해 시멘트 종류, 물-시멘트비, 혼화재(플라이애쉬,슬래그)의 혼입량 등에 따라 7가지의 배합을 선정하였다.

표1. 실험변수 및 수준

실험변수	수 준	비 고
염분함량	0.0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 0.12%, 0.16%, 2.0%	시멘트 중량비
배합종류	LI, NI, HI, NV, NIFA15, NIFA30, NISlag30	표2 참조

표2. 배합종류 및 배합조건

배합종류	물-결합재비	시멘트종류	혼화재
LI	0.55	1종	-
NI	0.45	1종	-
HI	0.35	1종	-
NV	0.45	5종	-
NIFA15	0.45	1종	Fly Ash 15%
NIFA30	0.45	1종	Fly Ash 30%
NISlag30	0.45	1종	Slag 30%

### (2) 시험체의 제작 및 실험방법

각 실험변수에 대해 그림1과 같이 직경 13mm의 철근을 매설한 각주형의 시험체를 제작하였다. 제작된 시험체를 20±2℃의 온도와 95±5%의 상대습도에서 양생하면서 재령 30일까지의 자연전위를 3일 간격으로 측정하였고, 재령 30일 후에 세공용액을 추출하여 자유염소이온(Cl<sup>-</sup>)농도와 OH<sup>-</sup>이온 및 철근의 부식면적율을 측정하였다.

#### 1) 반쪽전지 전위 측정

반쪽전지 전위의 측정은 ASTM C 876에 따랐다.

#### 2) 세공용액의 추출 및 분석

세공용액의 추출은 Barneyback, Diamond 등의 연구자들에 의해 고안된 세공용액 추출장치를 사용하여

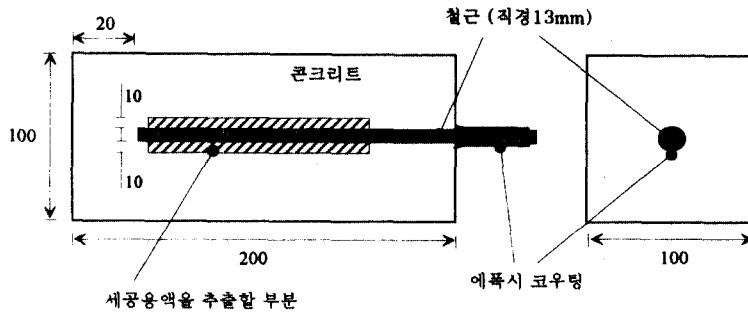


그림1. 부식특성실험 시험체 (단위: mm)

여 수행하였고, 추출된 새공용액으로부터 자유염소이온과 수산화이온의 농도를 측정하였다. 기존 연구 결과에 따르면 내부 자유염소이온의 농도는 배합 후에 수화가 진행됨에 따라 급격히 감소하는데 대략 10일정도 후에는 평형상태에 이르게 된다. 따라서, 본 실험에서 재령 30일 후에 측정되는 자유염소이온의 농도는 평형상태의 농도라 가정한다.

### 3. 실험결과 분석 및 고찰

각 배합변수에 대해 재령초기에 반쪽전지 전위가 증가하는 경향을 보이고 이후 변화가 다소 나타난다. 이는 수화가 진행됨에 따라 부동태화가 형성되어가는 현상을 반영하는 것으로 보인다.

30일 양생기간동안의 평균 반쪽전지 전위를 염소이온 첨가량에 대해 나타내면, 염소이온의 첨가량이 많을수록 대부분 낮은 농도에서는 비슷한 값을 보이다가 일정 농도에서 거의 직선에 가깝게 전위가 감소함을 알 수 있다.  $-0.35V$ (vs CSE)에서 부식의 확률이 90% 이상이 되므로 이 부근에서의 염소이온 첨가량이 임계부식농도일 가능성이 높다. 물-시멘트비에 따라서는 차이가 거의 없다(그림2). 즉, 시멘트 중량에 대해 일정한 농도에서는 유사한 부식특성을 나타내고 있다. 결합재 종류별로는  $C_3A$  함량이 가장 적은 5종배합이 가장 낮은 전위를 나타내고, 상대적으로 1종시멘트가 가장 높은 전위를 나타낸다.

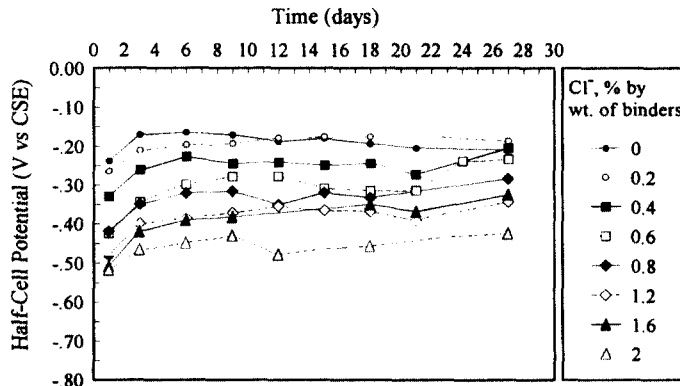


그림2. 재령에 따른 반쪽전지 전위의 변화 (OPC, w/c=0.45)

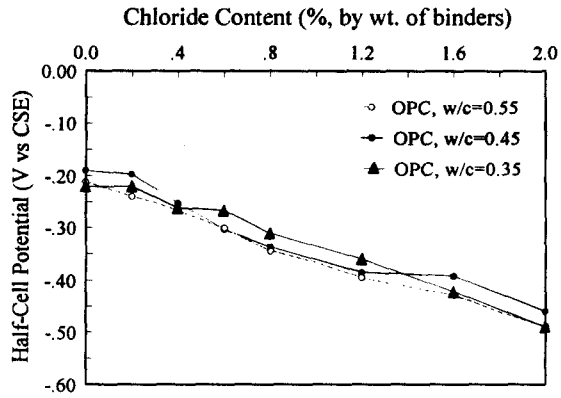


그림3. 염소이온 첨가량에 따른 30일 평균 반쪽전지 전위의 변화  
; (a) 물-시멘트비에 따른 영향

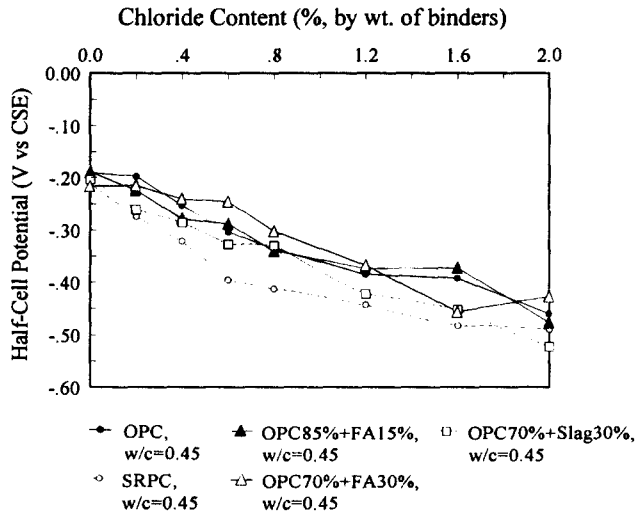


그림3. 염소이온 첨가량에 따른 30일 평균 반쪽전지 전위의 변화  
; (b) 결합재의 종류에 따른 영향

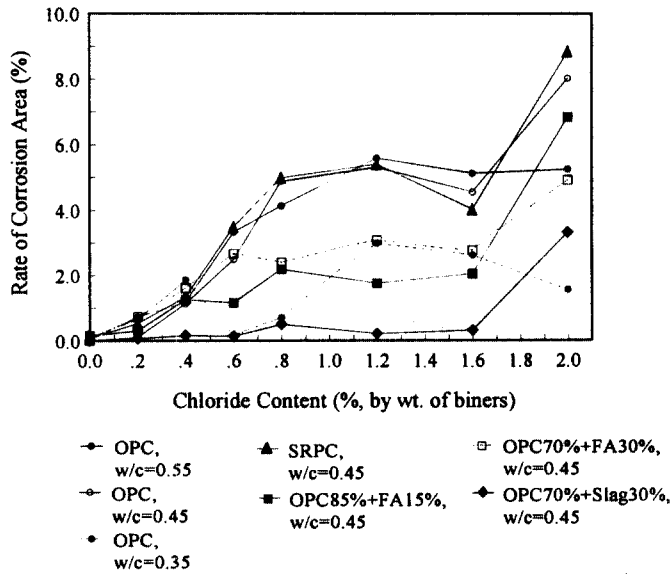


그림4. 염소이온 첨가량과 부식면적율

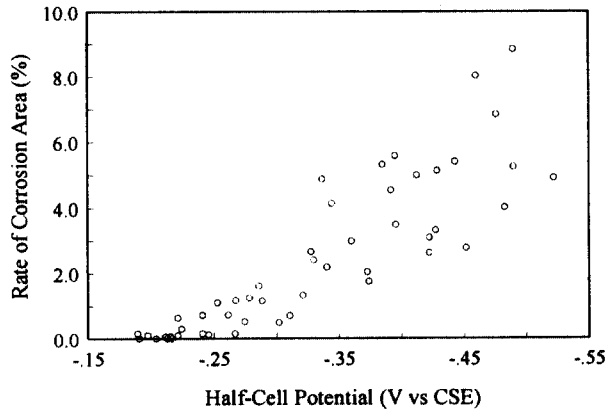


그림5. 반쪽전지 전위와 부식면적율 관계

표3. 배합별 임계 염소이온 첨가량 추정치

LI	NI	HI	NV	NIFA15	NIFA30	NISlag30
1.0	1.1	1.1	0.6	1.1	0.8	1.2

염소이온 첨가량에 대한 각 배합변수의 부식면적율은 다소 큰 변화를 나타내고 있기 때문에(그림4) 결합재 종류나 물-시멘트비에 따른 영향을 일관성있게 나타내지 못한다. 그러나, 반쪽전지 전위에 대한 부식면적율의 관계를 살펴보면(그림5), -0.35V의 전위에서 부식면적율이 상당히 증가함을 알 수 있다. 따라서, 반쪽전지 전위값이 -0.35V에서 부식이 발생한다고 가정해보면, 임계 염소이온 첨가량은 표 1과 같이 추정된다. 이 값이 정확한 부식임계농도라 할 수는 없지만, 현재 진행중인 세공용액의 분석

이 이루어진다면, 보다 신뢰할 만한 분석이 이루어 질 것으로 기대된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 혼입된 염소이온의 양에 따른 철근의 부식특성을 반쪽전지 전위와 철근의 부식면적을 통해 관찰하였으며, 현재까지의 실험결과를 종합하면, 염소이온의 첨가량에 따라 반쪽전지 전위가 직선에 가깝게 변화하며, 이로부터 개략적으로 추정되는 임계 염소이온 첨가량은 결합재의 종류(시멘트의 성분, 포졸란 재료), 물-시멘트비에 따라 대략 0.6~1.2까지 변화를 나타내었다. 세공용액의 분석을 통해 염소이온의 구속도와 OH<sup>-</sup>이온의 농도 등에 따른 영향 등을 추가로 분석하여 내부염소이온에 의한 임계부식농도에 대해 고찰하고자 한다.

#### 참 고 문 헌

1. J.Kdroff, H.K.Hilsdorf, "Performance Criteria for Concrete Durability," Rilem report 12, E & FN Spon, Rilem, London, 1995.
2. J.P.Broomfield, "Corrosion of Steel in Concrete : Understanding, Investigation and Repair," E & FN Spon, 1997.
3. Rasheeduzzafar, S.S.Al-Saadoun, and A.S.Al-Gahtani, "Reinforcement Corrosion- Resisting Characteristics of Silica Fume Blended-Cement Concrete," ACI Materials Journal, July-August, 1992, pp.337-344.
4. Rasheeduzzafar, S.E.Hussain, S.S.Al-Saadoun, "Effect of Tricalcium Aluminate Content of Cement on Chloride Binding and Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete," ACI Materials Journal, January-February, 1992, pp.312.
5. S.E.Hussain, A.S.Al-Gahtani, Rasheeduzzafar, "Chloride Threshold for Corrosion of Reinforcement in Concrete," ACI Materials Journal, November-December, 1996, pp. 534-538.
6. C.L.Page, P.Lambert, P.R.W.Vassie, "Investigations of Reinforcement Corrosion. 1. The Pore Electrode Phase in Chloride-Contaminated Concrete," Materials and Structures, Rilem, Paris, v24, 1991,pp.243-252.
7. P.Lambert, C.L.Page, "Investigations of Reinforcement Corrosion. 2. Electrochemical Monitoring of Steel in Chloride-Contaminated Concrete," Materials and Structures, Rilem, Paris, v.24, 1991, pp.351-358.
8. R.S.Barneyback, S.Diamond, "Expression and Analysis of Pore Fluids From Hardened Pastes and Mortars," Cement and Concrete Research, 1981, Vol.11, pp. 279-285.