

# 전기화학적 및 해수 건습반복 방법에 의한 콘크리트 내의 임계 염화물량 평가

## Estimation of Chloride Corrosion Threshold Value in Concrete by Using Electrochemical and Cyclic Wet and Dry Seawater Method

배 수 호\*      이 광 명\*\*      정 영 수\*\*\*      김 지 상\*\*\*\*  
Bae, Su Ho    Lee, Kwang Myong    Chung, Young Soo    Kim, Jee Sang

### ABSTRACT

It should be noted that the critical chloride threshold level is not considered to be a unique value for all conditions. This value is dependent on concrete mixture proportions, cement type and constituents, presence of admixtures, environmental factors, steel reinforcement surface conditions, and other factors. In this study, the accelerated corrosion test for reinforcing steel was conducted by electrochemical and cyclic wet and dry seawater method, respectively and during the test, corrosion monitoring by half cell potential method was carried out to estimate the chloride corrosion threshold value when corrosion for reinforcing steel in concrete was perceived. For this purpose, lollypop and right hexahedron test specimens were made for 31.4%, 41.5% and 49.7% of w/c, respectively and then the accelerated corrosion test for reinforcing steel was executed.

It was observed from the test that the time to initiation of corrosion was found to be different with water-cement ratio and accelerated corrosion test method, respectively and the chloride corrosion threshold value was found to range from 0.91 to 1.43 kg/m<sup>3</sup>.

### 1. 서론

콘크리트용 잔골재로서 바다모래를 사용한 철근 콘크리트 구조물, 제설제를 사용한 교량구조물 및 해양환경에 위치한 철근 콘크리트 구조물은 이들 주변의 염분이 직·간접으로 콘크리트 속에 침투되어 그것이 허용치를 초과하면 철근 부식 및 콘크리트 균열을 유발하는 등 염해를 일으킨다. 이 같은 염해환경하에 있는 철근 콘크리트 구조물의 내구수명을 평가하기 위해서는 콘크리트의 표면 염화물량, 철근 부식을 일으키는 임계 염화물량 및 염소이온 확산계수 등을 파악하여야 하므로, 이들이 콘크리트의 내구수명 평가시 주요변수로 이용되고 있다. 이들 변수 중 임계 염화물량은 연구자마다 상이하여

\* 정회원, 안동대학교 토목공학과 부교수

\*\* 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수

\*\*\* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

\*\*\*\* 정회원, 서경대학교 토목공학과 조교수

현재까지도 정립되어 있지 않아 이에 대한 값이 관련 규격이나 기준에 다소의 차이가 있는 실정이다.

그러나 염해환경하에 있는 철근 콘크리트 구조물의 내구수명 평가시 임계 염화물량은 매우 중요하고, 그 값에 따라 콘크리트의 내구수명이 크게 달라지기 때문에, 이에 대한 연구가 시급한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 철근 부식을 촉진시킴으로써 콘크리트의 물-시멘트비 및 촉진시험 방법에 따라 단기간에 임계 염화물량을 평가하기 위하여 Lollypop 시험체와 장방체 시험체를 제작하여 해수 순환에 의한 건습환경을 조성하였다. 또한, 철근부식이 발생하는 임계 염화물량을 합리적으로 평가하기 위하여 각 시험체에 대해서 자연전위 측정에 의한 철근부식 모니터링을 실시함으로써 철근부식이 감지되었을 때 시험체를 파괴하여 임계 염화물량을 평가하였다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트는 비중이 3.15인 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 잔골재 및 굵은골재는 각각 낙동강산(경북 안동시) 하천사 및 안동산 부순돌을 이용하였으며, 혼화제는 고강도 및 유통화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 AE감수제(표준형, K사)를 사용하였다. 콘크리트 내의 철근부식 촉진시험을 위한 철근은 D13 및 D19의 이형철근을 사용하였으며, 실제 해수환경과 유사한 조건을 조성하여 콘크리트 내의 철근부식 촉진시험을 수행하기 위하여 ASTM D 1141(Specification for Substitute Ocean Water)에 따라 인공해수를 조성하였다.

### 2.2 실험방법

#### (1) 시험체 제작

콘크리트의 물-시멘트비 및 철근부식 촉진시험 방법에 따라 임계 염화물량을 평가하기 위하여 콘크리트 배합실험을 하였는데, 목표 슬럼프는  $18\pm 2\text{cm}$  및  $21\pm 2\text{cm}$ , 목표 공기량은  $4.0\pm 1.5\%$ 로 설정하여, 물-시멘트비 31.4%, 41.5% 및 49.7% 각각에 대해서 Lollypop 시험체와 염분함량에 따른 장방체 시험체를 제작하였다. 제작된 시험체는 성형 후 24시간 경과하여 거푸집을 제거하였으며, 시험체의 수분 증발을 방지하기 위하여 부식촉진시험 시작 전인 재령 14일까지 비닐로 덮어 습윤양생하였다.

#### (2) 실험방법

콘크리트 내의 임계 염화물량을 단기간에 정량적으로 평가하기 위하여 철근부식 촉진환경을 조성하였는데, Lollypop 시험체는 해수 중 1일, 건조 1일을 1 사이클로 하여 4.0V의 부식전류를 가하였으며, 장방체 시험체는 해수 중 3일, 건조 3일을 1 사이클로 건습반복 환경을 조성하였다.

콘크리트 내의 철근부식이 시작되었을 때 철근 주위의 염화물량을 측정함으로써 합리적인 임계 염화물량을 평가하기 위하여 철근부식 촉진시험이 진행되는 동안 각 시험체에 대해서 자연전위 측정에 의한 모니터링을 실시하였다. 이에 따라 철근부식이 감지되었을 때 시험체를 파괴하여 임계 염화물량을 도출하였다. 콘크리트 내의 염화물량 측정은 ASTM C 1152(Test Methods for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete)를 참고하여 동일 시료에 대해서 전위차 측정법과 질산은 측정법에 의한 염분량 분석결과를 비교한 결과 이들 값이 잘 일치하였으므로, 본 연구에서는 전위차 측정법에 의하여 염화물량을 평가하였다.

## 3. 결과분석 및 고찰

### 3.1 철근부식 모니터링

그림 1은 Lollypop 시험체의 자연전위 측정에 의한 철근부식 모니터링 결과를 나타낸 것으로, 자연전위가  $-350$  mV 이하로 되는 철근부식 개시 시기는 물-시멘트비에 따라 다른 것으로 나타났는데, 즉 물-시멘트비 49.7%, 41.5% 및 31.4% 각각의 경우 그것은 촉진재령 37일, 41일 및 48일로 나타났다.

한편, 장방체 시험체는 Lollypop 시험체와 같이 부식전류를 공급하지 않고 해수 순환에 의한 건습 반복만으로 부식환경을 조성하였는데, 이 경우의 철근부식 개시 시기도 물-시멘트비에 따라 다른 것으로 나타났다. 즉, 물-시멘트비가 49.7%인 시험체의 자연전위는 콘크리트 내의 염분함량에 관계없이  $-350$  mV 이하로, 전 시험체가 부식발생이 있는 것으로 나타났으며, 물-시멘트비가 41.5%인 경우는 염분함량이 가장 높은 시험체( $1.2$  kg/m<sup>3</sup>)만 철근부식 발생이 있는 것으로 나타났고, 물-시멘트비가 31.4%인 경우는 부식발생이 없는 것으로 나타났다(그림 2). 그러나 부식발생이 없는 시험체도 촉진재령의 증가와 함께 자연전위가 감소함으로써 점차적으로 부식발생이 이루어질 것으로 추정된다.

### 3.2 임계 염화물량 평가

Lollypop 시험체는 철근부식 촉진시험이 이루어지는 동안 주기적으로 철근부식 모니터링을 수행하여 철근부식 가능성이 90% 이상으로 되는 자연전위인  $-350$  mV 이하가 되었을 때 시험체를 파괴한 후 전위차 적정법에 의한 염화물량을 평가하였는데, 그것의 임계 염화물량은  $0.91 \sim 1.27$  kg/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

한편, 장방체 시험체의 철근부식 속도는 Lollypop 시험체의 경우보다 느려서 철근 부식면적이 그것보다 작으므로, 자연전위가  $-350 \sim -400$  mV 이하가 되었을 때를 철근의 부식 개시 시기로 보고 현재까지의 자연전위가 이 범위 이하인 콘크리트 시험체 내의 염화물량을 평가하였는데, 그것의 임계 염화물량은  $0.96 \sim 1.43$  kg/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

따라서 콘크리트 내의 철근부식을 일으키는 임계 염화물량은 전기화학적 촉진시험보다 해수 순환에 의한 건습반복 촉진시험이 다소 크게 평가되는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

1) Lollypop 시험체의 자연전위 측정에 의한 철근부식 모니터링 결과, 철근부식 개시 시기는 물-시멘트비에 따라 다른 것으로 나타났는데, 즉 물-시멘트비 49.7%, 41.5% 및 31.4% 각각의 경우 그것은 촉진재령 37일, 41일 및 48일로 나타났다. 따라서 철근부식에 대한 저항성은 기존의 이론과 같이 물-시멘트비가 작을수록 철근부식에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

한편, 부식전류를 공급하지 않고 해수 순환에 의한 건습반복만으로 부식환경을 조성한 장방체 시험체의 경우, 물-시멘트비가 49.7%인 시험체의 자연전위는 콘크리트 내의 염분함량에 관계없이  $-350$  mV 이하로, 전 시험체가 부식발생이 있는 것으로 나타났으며, 물-시멘트비가 41.5%인 경우는 염분함량이 가장 높은 시험체( $1.2$  kg/m<sup>3</sup>)만 철근부식 발생이 있는 것으로 나타났고, 물-시멘트비가 31.4%인 경우는 부식발생이 없는 것으로 나타났다.

2) Lollypop 시험체의 경우, 자연전위가  $-350$  mV 이하가 되었을 때를 철근의 부식 개시 시기로 보면, 본 연구에 사용된 시험체의 임계 염화물량은  $0.91 \sim 1.27$  kg/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

한편, 장방체 시험체의 경우, 자연전위가  $-350 \sim -400$  mV 이하가 되었을 때를 철근의 부식 개시 시기로 보고 현재까지의 자연전위가 이 범위 이하인 콘크리트 시험체 내의 염화물량을 평가하였는데, 그것의 임계 염화물량은  $0.96 \sim 1.43$  kg/m<sup>3</sup>으로 나타났다.

### 감사의 글

본 연구는 2005년 건설교통부의 지원사업인 교량설계핵심기술연구단의 ‘콘크리트 교량의 내구성 설계기술 개발’ 과제에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. David Trejo and Radhakrishna G. Pillai(2003) Accelerated Chloride Threshold Testing: Part I -ASTM A 615 and A 706 Reinforcement, ACI Materials Journal, Vol. 100, No. 6, pp. 519-527.
2. Syed Ehtesham Hussain, Ahmad S. Al-Gahtani, and Rasheeduzzafar(1996) Chloride Threshold for Corrosion of Reinforcement in Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 94, No. 6, pp. 534-538.

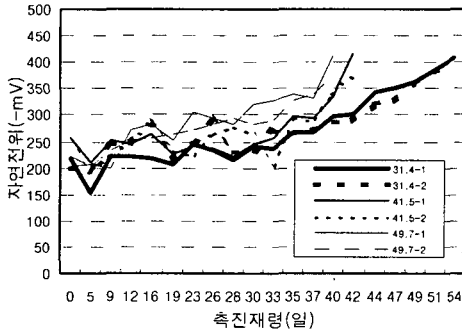


그림 1. Lollipop 시험체의 모니터링 결과

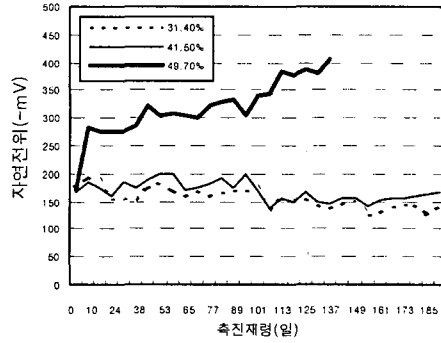


그림 2(a). 장방체 시험체의 모니터링 결과  
(Cl<sup>-</sup> = 0.3kg/m<sup>3</sup>)

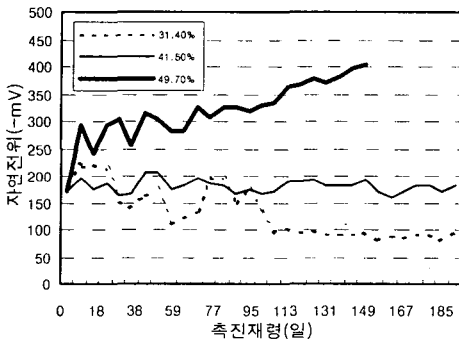


그림 2(b). 장방체 시험체의 모니터링 결과  
(Cl<sup>-</sup> = 0.6kg/m<sup>3</sup>)

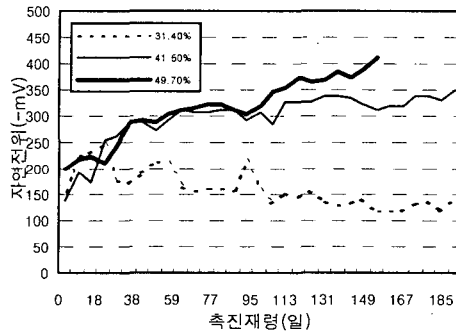


그림 2(c). 장방체 시험체의 모니터링 결과  
(Cl<sup>-</sup> = 0.9kg/m<sup>3</sup>)

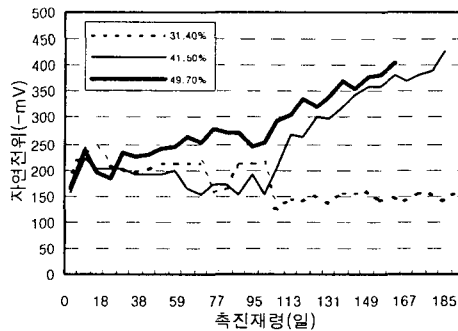


그림 2(d). 장방체 시험체의 모니터링 결과  
(Cl<sup>-</sup> = 1.2kg/m<sup>3</sup>)