

# 현장 폭로실험에 의한 콘크리트 중 철근의 부식 임계 염화물량 평가

## Estimation of Critical Chloride Content for Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete by Field Exposure Experiment

유 경 근\*    배 수 호\*\*    박 재 임\*\*\*    이 광 명\*\*\*\*    김 지 상\*\*\*\*\*  
Yu, Kyung Geun    Bae, Su Ho    Park, Jae Im    Lee, Kwang Myong    Kim, Jee Sang

### ABSTRACT

To predict the service life of reinforced concrete structures exposed to chloride environment, quantitative measures of material properties such as the critical chloride content for corrosion in concrete and the diffusion coefficient of the chloride ions of concrete and the surface chloride content of concrete are essential. However, it should be noted that they are influenced by several factors such as concrete mix proportions, cement type, and environmental conditions, etc.

Thus, the purpose of this research is to estimate more actually the critical chloride content for corrosion of the reinforcing steel in concrete by field exposure experiment. For this purpose, the prism concrete test specimens were made for water-cement(W/C) ratios of 31%, 42%, 50%, and 70%, and then the field exposure experiment for them were conducted at Youngduk of the east coast for about 3 years. During the test, corrosion monitoring by half cell potential method was carried out to detect the time to initiation of corrosion for test specimens and its chloride content was evaluated by breaking the concrete test specimens when corrosion of the reinforcing steel in concrete was perceived. It was observed from the test results that the critical chloride content for corrosion of reinforcing steel in concrete would be dependent on W/C ratio and almost irrespective of concrete cover.

### 요 약

염해환경 하에 있는 철근 콘크리트 구조물의 내구수명을 평가하기 위해서는 콘크리트 중 철근의 부식 임계 염화물량, 콘크리트의 염소이온 확산계수 및 표면 염소이온량과 같은 재료의 정량적인 물성 파악이 필수적이고, 이들이 콘크리트의 내구수명 평가시 주요변수로 이용되고 있다. 그러나, 이들은 콘크리트 배합비, 시멘트 종류 및 환경 조건 등과 같은 여러 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

따라서, 본 연구에서는 콘크리트 중 철근의 부식 임계 염화물량을 보다 실제적으로 평가하기 위하여 물-시멘트비 31%, 42%, 50% 및 70%에 대해서 각주형 콘크리트를 제작한 다음, 이들에 대해서 동해안에 위치한 영덕에서 약 3년 동안 폭로 실험을 수행하였다. 실험이 진행되는 동안, 철근의 부식 개시 시기를 추정하기 위하여 시험체에 대해서 자연전위 측정에 의한 부식 모니터링을 수행하였고, 철근부식이 감지되었을 때 시험체를 파괴한 후 콘크리트 중 염화물량을 평가함으로써 보다 합리적이고 신뢰적인 임계 염화물량을 제시하였다. 결국, 콘크리트 중 철근의 부식 임계 염화물량은 W/C비에 의존하며, 콘크리트 피복두께와는 거의 무관한 것으로 나타났다.

\* 정회원, 안동대학교 토목공학과 석사과정  
\*\* 정회원, 안동대학교 토목공학과 교수  
\*\*\* 정회원, 안동대학교 토목공학과 박사과정  
\*\*\*\* 정회원, 성균관대학교 사회환경시스템공학과 교수  
\*\*\*\*\* 정회원, 서경대학교 토목공학과 조교수

## 1. 서론

콘크리트용 잔골재로서 미세척 해사를 사용한 콘크리트 구조물 또는 제설제의 사용이 빈번한 환경에 노출되거나 해양 환경에 위치한 콘크리트 구조물은 염해 환경 하에 노출되어 있다. 이 같은 염해 환경 하에 있는 철근 콘크리트 구조물의 내구성 설계 및 내구수명을 평가하기 위해서는 콘크리트 중 철근의 부식 임계 염화물량, 콘크리트의 염소이온 확산계수 및 표면 염소 이온량과 같은 재료의 정량적인 물성 파악이 필수적이고, 이들이 콘크리트의 내구수명 평가 시 주요 변수로 이용되고 있다. 그러나, 이들은 콘크리트 배합비, 시멘트 종류 및 환경 조건 등과 같은 여러 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

따라서, 본 연구에서는 콘크리트 중 철근의 부식 임계 염화물량을 평가하기 위하여 물-시멘트비 31%, 42%, 50% 및 70%에 대해서 각주형 콘크리트 시험체를 제작한 다음, 이들에 대해서 동해안에 위치한 영덕에서 약 3년 동안 폭로 실험을 수행하였다. 실험이 진행되는 동안, 철근의 부식 개시 시기를 추정하기 위하여 시험체에 대해서 자연전위 측정에 의한 부식 모니터링을 수행하였고, 철근부식이 감지되었을 때 시험체를 파괴한 후 콘크리트 중 염화물량을 평가함으로써 보다 합리적이고 신뢰적인 임계 염화물량을 제시하였다.

## 2. 실험 개요

### 2.1 사용 재료

시멘트는 비중이 3.12인 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고, 잔골재는 경북 안동시 낙동강산 하천사를 사용하였으며, 굵은 골재는 안동산 부순돌을 이용하였다. 화학혼화제는 고강도 및 유동화 콘크리트용으로 사용되고 있는 나프탈렌계의 고성능 AE감수제(표준형, K사)를 사용하였으며, 해양 폭로 시험체 제작을 위한 철근은 D19의 이형철근을 사용하였다.

### 2.2 실험 방법

#### 2.2.1 시험체 제작

해양 폭로 실험에 의한 부식 임계 염화물량을 평가하기 위하여 W/C비 31%, 42%, 50% 및 70%에 대해서 콘크리트 배합실험을 하였는데, 목표 슬럼프는 물-시멘트비에 따라 12±2 cm, 18±2 cm 및 21±2 cm로 설정하였으며, 목표 공기량은 4.0±1.5%로 설정하여, 각각의 물-시멘트비에 대해서 피복두께 1 cm, 2 cm 및 5 cm의 각주형 시험체를 제작하였다(표 1). 제작된 공시체는 성형 후 24시간 경과한 후 거푸집을 제거하였으며, 해양 폭로 실험을 수행하기 전인 재령 14일 동안 약 20°C의 실험실에서 기건 양생을 실시하였다.

한편, 해양 폭로 시험에 사용된 시험체의 콘크리트의 배합비에 따른 압축강도를 파악하기 위하여 KS F 2403(콘크리트의 압축 시험용 공시체 제작 방법)에 따라 압축 강도 시험용 공시체를 추가로 제작하였다.

표 1 Mix proportions of concrete

Specimen	W/C (%)	Target slump (cm)	Target air content (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				SP (C×%)
					W	C	S	G	
Prism	31	21±2	4.0±1.5	40	165	525	652	996	1.5
	42	18±2		43	166	400	744	1006	1.2
	50	18±2		48	167	336	855	944	1.2
	70	12±2		52	154	220	995	935	0.5

### 2.2.2 해양 폭로 실험

콘크리트 중 철근의 부식 임계 염화물량을 보다 실제적으로 평가하기 위하여 동해안에 위치한 영덕 앞바다에 철근을 배치한 콘크리트 시험체를 그림 1과 같이 폭로시켰으며, 철근부식 모니터링에 의해서 콘크리트 시험체 내의 철근의 부식이 시작될 때까지 폭로 실험을 수행하였다.

### 2.2.4 부식 임계 염화물량 평가

콘크리트 내의 철근부식 임계 염화물량을 평가하기 위하여 부식 모니터링에 의해서 철근 부식이 감지된 콘크리트 시편을 위, 아래로 할렬하여 부식된 철근 주위의 콘크리트에서 상, 하 부분의 모르타르를 부위별로 약 5g씩 채취하여 분말 시료를 조제한 후 이를 No. 100체(0.15 mm)로 쳐서 체를 통과한 시료를 염화물량 평가를 위한 시료로 준비하였다. 준비된 시료에 대해서 전위차법에 의해서 콘크리트 내의 염화물량을 평가하였다.



그림 1 Field exposure for prism test specimens

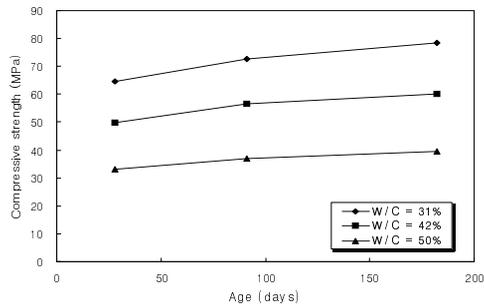


그림 2 Compressive strength of concrete

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 압축강도

그림 2는 해양 폭로 실험에 사용된 각주형 시험체의 W/C비에 따른 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 즉, 콘크리트의 W/C비가 감소하고 재령이 증가함에 따라 압축강도가 점진적으로 증가하는 것으로 나타나, 철근부식 촉진시험에 사용된 콘크리트의 품질은 양호한 것으로 나타났다.

### 3.2 철근부식 모니터링

해양 폭로 실험에 의한 콘크리트 시험체 내의 철근 부식 임계 염화물량 평가를 위하여 자연전위 측정에 의한 부식 모니터링을 수행하였다. 그림 3은 각주형 시험체의 자연전위 측정에 의한 부식 모니터링 결과를 나타낸 것으로, 기존의 문헌에 따라 자연전위가  $-350$  mV 이하가 되었을 때를 철근의 부식 개시 시기로 보면, 물-시멘트비가 작고 피복두께가 클수록 철근의 부식 개시 시기가 느려지는 것으로 나타나, 철근부식에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다.

### 3.3 임계 염화물량 평가

그림 4는 각주형 시험체에 대해서 주기적으로 철근 부식 모니터링을 수행함으로써 자연전위가 철근 부식 가능성이 90%이상으로 되는  $-350$  mV가 되었을 때, 시험체를 파괴 한 후 전위차법에 의한 염화물량을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 즉, 각주형 시험체의 철근 부식 임계 염화물량(전 염소이온량 기준)은  $2.93 \sim 3.97$  kg/m<sup>3</sup>으로 나타났고, 피복두께에 관계없이 물-시멘트비가 작을수록 커지는 것으로 나타나, 철근방식 수단의 하나로서 작은 물-시멘트비의 사용이 입증되었다.

한편, 콘크리트의 피복두께는 물-시멘트비에 관계없이 철근부식 개시 시기에는 영향을 미치나, 임계 염화물량에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

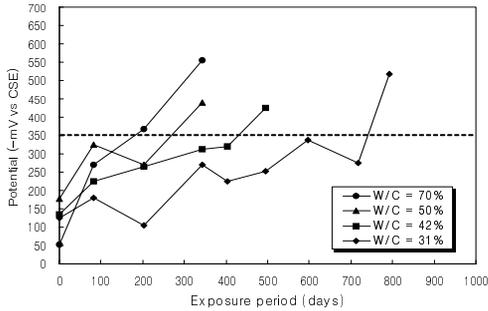


그림 3(a) Monitoring of test specimens  
(Cover depth = 1 cm)

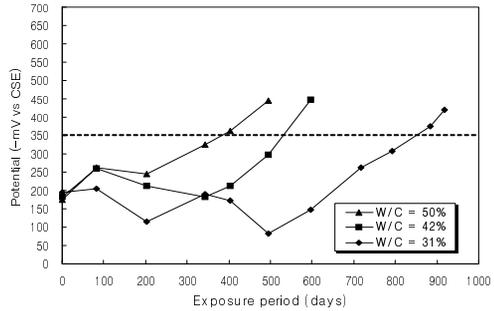


그림 3(b) Monitoring of test specimens  
(Cover depth = 2 cm)

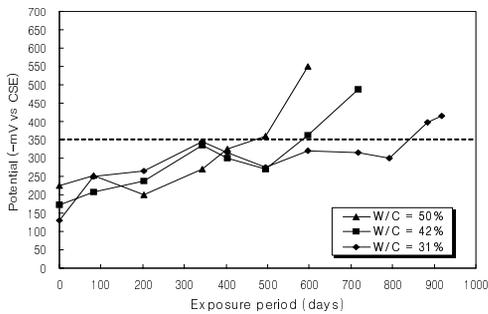


그림 3(c) Monitoring of test specimens  
(Cover depth = 5 cm)

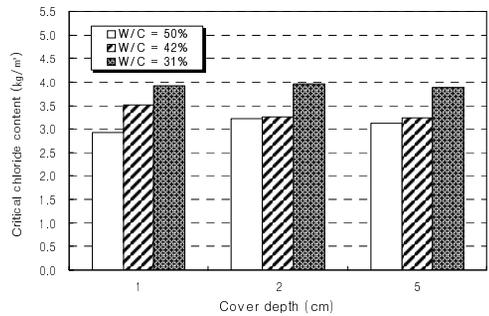


그림 4 Critical chloride content for corrosion in concrete

#### 4. 결론

1. 철근의 부식 개시 시기는 물-시멘트비가 작고 피복두께가 클수록 느려지는 것으로 나타나, 물-시멘트비가 작고 피복두께가 큰 경우가 철근부식에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다.
2. 현장 폭로 실험에 의한 각주형 시험체의 철근 부식 임계 염화물량(전 염소이온량 기준)은 2.93~3.97 kg/m<sup>3</sup>으로 나타났고, 피복두께에 관계없이 물-시멘트비가 작을수록 커지는 것으로 나타났다. 한편, 콘크리트의 피복두께는 물-시멘트비에 관계없이 철근부식 개시 시기에는 영향을 미치나, 임계 염화물량에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

#### 감사의 글

본 연구는 2007년 건설교통부의 지원사업인 교량설계핵심기술연구단의 ‘콘크리트 교량의 내구성 설계기술 개발’ 과제에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 배수호, 이광명, 김지상, 김영상, “부식촉진시험에 의한 콘크리트 중 철근의 부식 임계염화물량 평가”, 대한토목학회 논문집, 제27권, 5A호, 2007, pp. 771~776
2. Trejo, D. and Pillai, R.G., “Accelerated Chloride Threshold Testing: Part I -ASTM A 615 and A 706 Reinforcement”, ACI Materials Journal, Vol. 100, No. 6, 2003, pp. 519~527
3. ASTM C 1152, “Standrad Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete”, American Society for Testing and Materials, 1990, pp. 609~610