

염화물 혼입 콘크리트 중의 철근부식 임계 염화물량

Threshold Chloride Contents of Steel Corrosion in Concrete Containing Chloride

문 한 영* 김 성 수** 김 홍 삼*** 이 승 태**** 김 은 호*****
Moon, Han Young Kim, Seong Soo Kim, Hong Sam Lee, Seung Tae Kim, Eun Ho

ABSTRACT

Recently, increasement of usage contents of sea sand in constructing concrete structures due to insufficiency of high quality river sand, led to many studies for steel corrosion and control methods on it in concrete. But, domestic studies for threshold chloride contents of steel corrosion are not so many as those of foreign states.

In this study, the electrochemical test such as half cell potential measurement and linear polarization method to estimate the corrosion of steel in concrete mixed with several levels chloride contents was performed, thereby, pre-mixed chloride contents were compared with results measured quantitatively for steel corrosion. And, based on these data, a trial to determine threshold chloride contents of steel corrosion was made.

1. 서론

최근 서해대교, 광안대교 등 해양환경하에 건설되는 대형 콘크리트 구조물이 증가하고 콘크리트용 하천모래가 품귀현상을 나타냄에 따라 해사 사용이 급증하고 있어 콘크리트 구조물중의 철근부식 및 이를 억제하기 위한 연구가 진행되고 있다. 그렇지만 국내에서는 염화물에 의한 철근부식 임계 염화물량에 관한 연구성과가 미진한 반면, 외국의 경우 많은 연구성과에도 불구하고 연구결과마다 임계 염화물량이 상이하여 철근부식의 평가와 철근콘크리트 구조물의 내구성 설계 및 유지관리가 어려움이 있다. 콘크리트 중의 염화물이온량에 대한 시방서에 의하면 해사 사용시 0.04%이내, 믹싱시 콘크리트 중의 천 염화물이온량은 $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 으로 규정하고 있다. 콘크리트 구조물이 해양환경하 또는 음빙제 살포 등에 의해 염화물이 침투 확산되어 염화물량이 일정량 이상일 경우 철근은 부식하게 되므로 콘크리트 중의 철근에 부식이 발생하기 시작하는 임계 염화물량의 평가가 요망된다.

본 연구에서는 믹싱시 염화물을 미리 혼입하여 철근의 부식을 촉진시켰으며, 자연전위 및 선형분극법으로부터 구한 부식전류밀도 등 전기화학적인 기법을 이용하여 철근부식을 측정하여 고찰하였으며, 이를 토대로 철근부식을 일으키는 임계 염화물량의 평가를 시도하였다.

*정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수/ **정회원, 대전대학교 이공대학 토목공학과 교수
정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료/ *정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정
*****정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

2. 실험개요

2.1 사용재료 및 콘크리트의 배합

(1) 시멘트 : 시멘트는 국내 S사의 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질을 표 1에 나타내었다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
20.2	5.8	3.0	63.3	3.4	2.1	1.2	3.15	3,120

(2) 골재 : 잔골재는 비중 2.6, 흡수율 1.2%인 한강산 강모래를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 13mm, 비중 2.63, 흡수율 0.8%인 부순돌을 사용하였다.

(3) 콘크리트의 배합 및 혼입 염화물량 : 물-시멘트비가 50%이며, 단위시멘트량이 374kg/m³인 배합으로써, 콘크리트 중의 철근부식을 촉진하기 위하여 믹싱시 시멘트 중량에 대해서 염소이온 농도로 환산하여 단계별로 염화물(Cl이온 중량비)을 혼입하였다. 한편, 배합수로부터의 염화물 혼입을 배제하기 위하여 증류수를 사용하였으며, 본 실험에 사용한 배합표는 표 2와 같다.

표 2 콘크리트 배합

Slump (cm)	Air (%)	S/a (%)	W/C (%)	Unit weight(kg/m ³)			
				C	W	S	G
14.6	5.5	43	50	374	187	703	973

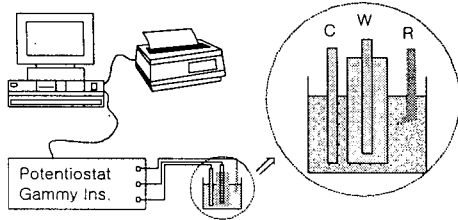
(4) 철근 : 직경 10mm의 원형철근을 한쪽 끝에 통전용 리드선으로 납땜한 후 양끝을 수축밴드와 고무캡을 이용하여 마운팅처리 하였으며, 콘크리트 타설 직전 철근 표면을 No. 1000 샌드페이퍼로 연마한 후, 아세톤으로 깨끗이 닦아서 사용하였다. 사용된 철근의 화학조성은 표 3과 같다.

표 3 철근의 화학조성(%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn
0.24	0.26	0.95	0.016	0.008	0.03	0.04	0.01	0.02	0.0005

(5) 공시체의 제작 및 철근부식의 평가방법

콘크리트 중 철근에 대한 전기화학적 평가를 위하여 분극저항법을 적용하였다. 대극으로는 탄소봉, 기준전극으로는 칼로멜 전극(SCE)을 사용하였으며 이를 포화황산동 전극(CSE) 전위로 환산하여 함께 나타내었다. 분극저항법에 의한 철근부식속도 측정의 개요를 그림 1 및 2에 나타내었다.



- W : working electrode -
- C : counter electrode (graphite)
- R : reference electrode (SCE electrode)

그림 1 콘크리트 중의 철근부식 속도측정의 개요

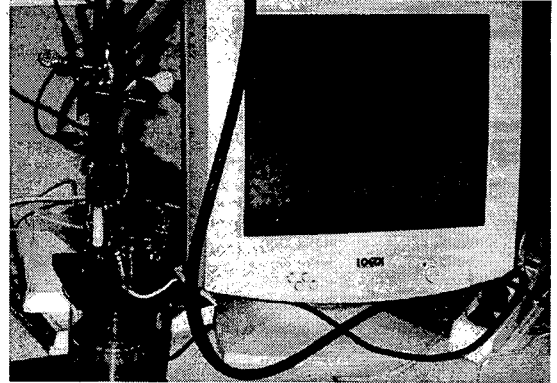


그림 2 전기화학적 방법에 의한 철근의 부식속도 측정

3. 콘크리트 중의 철근부식 및 임계 염화물량에 대한 고찰

염화물을 시멘트 중량에 대하여 단계별로 치환하여 제조한 콘크리트 시험편중의 철근에 대하여 초기재령에서 측정된 콘크리트 중 철근의 자연전위와 부식전류밀도의 관계를 그림 3에 정리하여 나타내었다. 이 그림에서 전위의 절대값이 커질수록 급격히 부식전류밀도가 증가함을 알 수 있다. 또한, ASTM C 876에 의거하여 90% 이상 부식될 확률의 영역인 $-350\text{mV}(\text{vs. CSE})$ 이하로 되는 부식전류밀도는 약 $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 정도에 해당함을 알 수 있다.

한편, 콘크리트 중의 부식전류밀도를 토대로 임계염화물량을 결정하기 위하여 염화물 혼입량과 부식전류밀도의 관계를 나타낸 것이 그림 4이다. 이 그림에서 시멘트 중량대비 0.4% 이상에서 $0.2\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 이상의 값을 나타내고 있다. 그러나 콘크리트 중 철근의 자연전위와 부식속도(부식전류밀도)는 시간의 경과와 노출환경에 따라 변하게 된다. 따라서 이에 대한 검토가 요망되며 보다 장기간의 데이터 축적이 필요하다고 생각된다.

문헌에 따르면, 콘크리트 중의 염소이온에 의한 철근부식의 활성화는 염소이온이 임계치 이상일 때만 발생하며 이 임계치를 철근의 부식임계농도(critical chloride concentration)라 한다. 또한, 이 농도는 주어진 콘크리트의 종류나 노출환경에 대해 일정한 값이 아니라 많은 변수에 따라 달라진다고 보고되고 있다.

Hausmann¹⁾ 등 pH값을 알고 있는 알칼리 용액에 철근을 침지한 실험결과로부터 $\text{Cl}^-/\text{OH}^- \approx 0.6$ 정도인 것으로 보고하였다. 또한, 콘크리트 중에 매설된 철근의 경우는 철근 주위에 인접해 있는 시멘트 수화물의 보호작용

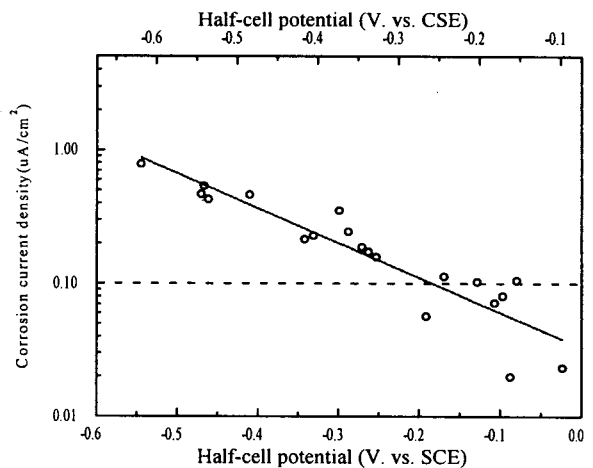


그림 3 콘크리트 중 철근의 자연전위와 부식전류밀도

으로 인해 이보다 더 큰 값을 가진다는 연구결과도 보고되었다.

Lambert와 Page²⁾ 등은 실제 콘크리트 속에 매설된 철근의 활성화 경향을 전기화학적 방법으로 관찰하여 Cl^-/OH^- 가 3이상일 때 부식정도가 급격히 증가한다는 결과를 보고한 바 있다.

그러나, 실구조물에서 이러한 세공용액의 농도를 정확히 결정하기가 곤란하므로 가용성 염화물량 또는 전 염화물량으로 나타내는 것이 보다 합리적이라 생각되며, 기존의 연구결과³⁾를 콘크리트 중의 전 염화물량으로 나타낸 것이 표 4이다.

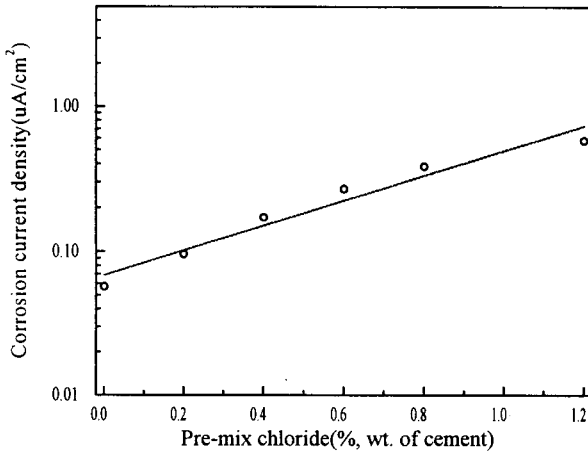


그림 4 염화물 혼입량과 부식전류밀도(평균값)

표 4 콘크리트 중의 철근부식 임계염화물량

연구자	항목 발표 년도	철근부식 임계 염화물량	
		kg/m ³	ppm in concrete
Lewis	62	0.7	300
Hausmann	67	0.2~2.8	75~1175
Berman	72	0.77	325
Clear & Hay	73	0.6~0.9	250~370
Stratfull	75	0.66	286
Cady	78	0.6~1.3	250~500
Browne	80	1.33	572
Pfeifer	86	0.5	230~380

4. 결 론

콘크리트를 제조할 때 미리 염화물을 혼입하여 철근의 부식을 촉진시킨 후 전기화학적 기법을 이용하여 콘크리트 중의 철근부식의 정도를 평가한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 콘크리트 중의 염화물 혼입량이 증가할수록 전위의 절대값이 커지며, 부식전류밀도는 급격히 증가함을 알 수 있다. 또한, ASTM C 876에 의거하여 90% 이상 부식될 확률의 영역인 $-350mV$ (vs. CSE)이하로 되는 부식전류밀도는 약 $0.2\mu A/cm^2$ 정도임을 알 수 있다.
- (2) 콘크리트 중의 임계 염화물량은 세공용액의 농도, 시멘트 종류 및 콘크리트의 노출환경에 따라 달라질 수 있으므로 이에 대한 검토가 요망되며 보다 장기간의 데이터 축적이 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

1. D. A. Hausmann, "Steel Corrosion in Concrete. How Does It Occur?". J Mater Prot, p.19~23, 1967.
2. P. Lambert, C. L. Page, P. R. W. Vassie, "Investigation of Reinforcement Corrosion. Electrochemical Monitoring of Steel in Chloride Contaminated Concrete", Mater Struct V.24, p.351~358, 1991.
3. M. Funahashi, "Predicting Corrosion-free Service Life of a Concrete Structure in a Chloride Environment", ACI Materials Journal, V.87, No.6, p.581~587, 1990.