

# 전기화학적 기법을 이용한 콘크리트용 방청제의 성능평가

## Estimation of Corrosion Protection of Inhibitor for Concrete by Electrochemical Techniques

문 한 영\* 김 성 수\*\* 김 홍 삼\*\*\* 안 기 용\*\*\*\* 안 재 우\*\*  
Moon, Han-Young Kim, Seong-Soo Kim, Hong-Sam Ann, Ki-Yong Ann, Jae-Woo

### ABSTRACT

Recently it has become general to use the inhibitor with a view to protecting corrosion of rebars in concrete. So, it needs to study effect of protection and reasonable dosage of inhibitor to reduce corrosion of rebar in concrete containing chlorides.

In this study, we estimate the corrosion rate of rebar in mortar by Tafel extrapolation method, one of electrochemical techniques, and the reasonable dosage of inhibitor for different chlorides environments.

### 1. 서 론

최근 콘크리트용 양질의 하천골재가 점차 고갈되어 해사 사용이 급증하고 있을 뿐만 아니라 영종도의 신국제공항을 잇는 연육교, 서해안 고속도로 및 광안대교의 건설공사 등 해상 또는 해양환경하에 건설되는 콘크리트 구조물이 크게 증가함에 따라 콘크리트 구조물중의 철근부식을 억제하기 위한 대책의 하나로 방청제의 활용이 매우 보편화되고 있는 실정이다. 염화물 환경에 노출된 콘크리트 구조물의 철근부식 억제를 위하여 사용되는 방청제의 방청효과와 적정 사용량에 대한 검토가 필요하다고 사료된다. 그런데 KS F 2561 “철근콘크리트용 방청제”에서 제시하고 있는 “철근의 염수침지 시험”이나 “콘크리트 중의 철근부식 촉진시험”으로는 방청제의 사용에 의한 방식효과에 대한 정량적인 자료를 얻기 어려우며, 방청제의 종류에 따라서는 고온고압하에서 방청제의 성능이 급격히 떨어지는 문제점 때문에 방청제의 성능 평가를 위한 새로운 방법이 절실히 요망된다.

본 연구에서는 콘크리트용 방청제의 방청효과를 정량적으로 평가하기 위하여 모르타르시험체의 제조시 염화물 혼입량을 달리하고, 방청제의 사용량을 변화시킨 모르타르 시험체에 대하여 전기화학적 기법 중의 하나인 타펠외삽법을 이용하여 철근부식의 속도를 측정하여 방식효과를 평가하였으며, 염화물 혼입량에 따른 방청제의 효과 및 적정 사용량에 대하여 고찰하였다.

\* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수, 공학박사

\*\* 대진대학교 공과대학 토목공학과 교수, 공학박사

\*\*\* 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\*\* 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

- (1) 시멘트 : 비중이 3.15이며 비표면적이  $3,112\text{cm}^2/\text{g}$ 인 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.
- (2) 잔골재 : 비중이 2.60인 한강산 강모래를 사용하였다.
- (3) 방청제 : 아질산 계열을 주성분으로 하는 복합성분의 방청제로서 화학 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 방청제의 화학성분 및 물리적 성질

주성분	색상	비중	pH
$\text{Ca}(\text{NO}_2)_2$	연황색의 투명액체	$1.29 \pm 0.03$	8~11

- (4) 철근 : 직경 10mm의 원형철근을 한쪽 끝에 통전용 리드선을 납땜한 다음 양끝을 수축밴드와 고무줄을 이용하여 마운팅을 실시하였으며, 콘크리트 타설 직전 철근 표면을 No. 1000 샌드페이퍼로 연마한 후, 아세톤으로 깨끗이 닦아 사용하였다. 사용된 철근의 화학조성은 표 2와 같다.

표 2 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

### 2.2 실험방법 및 측정

- (1) 실험 조건 : 콘크리트  $1\text{m}^3$ 당의 염화물( $\text{Cl}^-$ )량이 0, 1.5, 3 및  $6\text{kg}/\text{m}^3$ 가 되도록 모르타르시험체의 제조시 NaCl을 혼입하고 이들 각각의 조건에 대해 방청제의 사용량을 달리한 것을 표 3에 나타내었다.

- (2) 모르타르의 배합 및 시험체의 제작 : 물-시멘트비 48.5%, 시멘트와 모래의 중량비가 1 : 2.45가 되도록 하였으며, PVC파이프를 이용하여 그림 1과 같이  $\phi 60 \times 100\text{mm}$ 의 원주형 모르타르 시험체 속에 한쪽 끝에 통전용 리드선을 연결한 후 양단면을 수축밴드 및 고무줄로 씌운 원형 강봉을 매입하여 제작하였다.

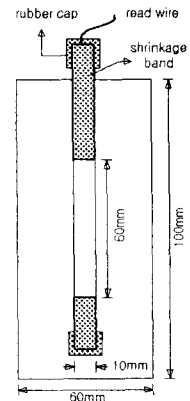


그림 1 시험체의 크기

표 3 실험 조건

$\text{Cl}^-$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Inhibitors ( $\text{l}/\text{m}^3$ )
0	0
1.5	0
3.0	0
	1.5
	3.0
6.0	6.0
	0
	3.0
	6.0
	12.0

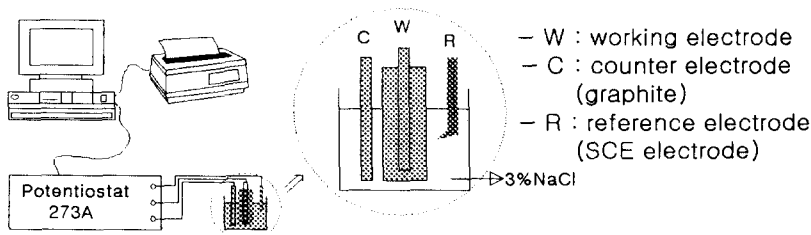


그림 2 모르타르 중의 철근부식 측정장치의 개요

(3) 근의 부식속도 측정 : 모르터 중의 철근부식 속도를 측정하기 위하여 그림 1과 같이 EG&G사의 M273기기를 이용하여 모르터 중의 철근을 양 및 음극으로 각각 250mV까지 0.167mV/s의 속도로 분극시켜 단위면적당 부식 전류밀도를 구하였으며, 아래와 같이 부식속도(corrosion rate)를 구하였다. 이때 사용된 참조전극은 포화카로멜전극(이하 SCE로 약함)이며 대극은 탄소봉이다.

$$\text{Corrosion Rate} = K \frac{a i_{\text{corr}}}{n D} (\mu\text{m}/\text{year})$$

a : 철의 원자량  $i_{\text{corr}}$  : 부식전류밀도  
 K : 3.27 n : 철의 당량 D : 철의 밀도

### 3. 실험 결과

방청제를 사용한 모르터 중의 철근부식억제 효과를 평가하기 위하여 전기화학적 평가기법 중의 하나인 타펠 외삽법에 의해 부식전위( $E_{\text{corr}}$ ) 및 부식전류밀도( $I_{\text{corr}}$ )를 구하고 부식전류밀도로부터 구한 부식속도( $\mu\text{m}/\text{year}$ )를 표 4에 정리하여 나타내었으며, 분극곡선상에서 외삽에 의해 부식전위 및 부식전류의 측정 예를 그림 3에 나타내었다.

표 4 타펠곡선으로부터 구한 철근의 전기화학적 측정 결과

$\text{Cl}^-$ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Inhibitors ( $\ell/\text{m}^3$ )	$E_{\text{corr}}$ (I=0)	$I_{\text{corr}}$ ( $\text{nA}/\text{cm}^2$ )	Corrosion rate ( $\mu\text{m}/\text{year}$ )
0	0	-218.7	35.33	0.410
1.5	0	-348.3	97.97	1.136
3.0	0	-446.2	120.49	1.398
	1.5	-288.8	95.81	1.111
	3.0	-436.0	56.11	0.651
6.0	6.0	-518.4	41.40	0.480
	0	-506.6	134.00	1.554
	3.0	-584.1	91.98	1.067
	6.0	-408.0	65.15	0.756
	12.0	-299.2	48.56	0.563

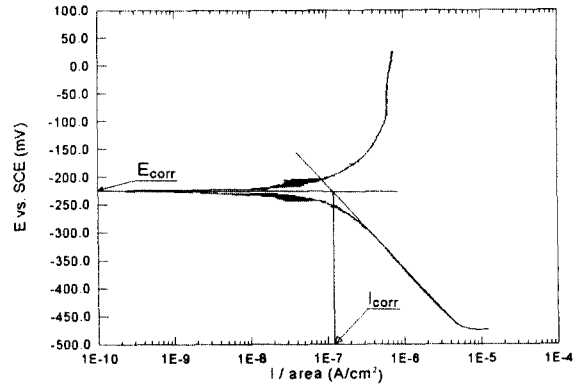


그림 3 타펠외삽에 의한 부식전위 및 전류의 측정

### 4. 실험결과에 대한 고찰

#### 4.1 염화물 혼입량에 따른 모르터중의 철근부식

염화물 혼입량에 대한 철근부식정도를 고찰하기 위해 염화물( $\text{Cl}^-$ )량을 0, 1.5, 3 및  $6\text{kg}/\text{m}^3$ 로 변화시켜 제작한 모르터 시험체 중의 철근의 분극곡선으로부터 구한 부식전위 및 부식속도를 정리한 것이 그림 4이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 염화물이 없는 모르터 중의 철근의 부식전위는 약  $-220\text{mV}$ (vs. SCE)이며 부식속도는  $0.410\mu\text{m}/\text{year}$ 로 작은 값을 나타내었으나 염화물

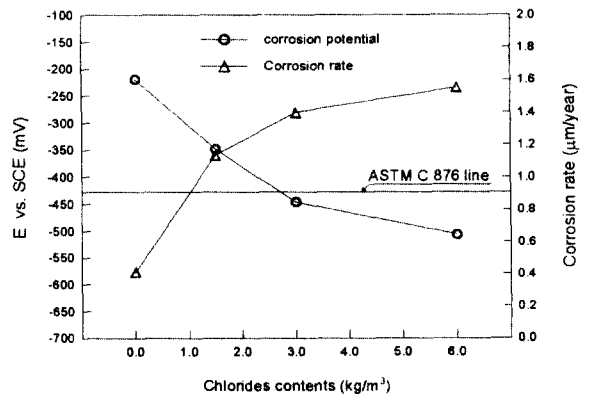


그림 4 염화물 혼입량과 부식전위 및 부식속도의 관계

혼입량이  $3\text{kg/m}^3$ 인 경우, 모르타시험체 중의 철근부식전위는 ASTM C 876 에 명시된 부식확률 90% 이상인 전위영역(SCE전극기준 :  $-424\text{mV}$  이하)으로 이동하였으며 이때의 부식속도는  $1.398\mu\text{m/year}$ 로 나타났다. 한편 염화물 혼입량이  $6\text{kg/m}^3$ 인 경우, 철근의 부식전위는 약  $-520\text{mV}$ 로 더욱 낮아졌으며, 이때의 부식속도는  $1.554\mu\text{m/year}$ 로 증가하였다.

#### 4.2 염화물 혼입량에 따른 방청제의 적정 사용량

염화물 혼입량을 달리한 콘크리트의 방청제의 적정 사용량을 알아보기 위한 연구의 방안으로 염화물 혼입량을 3 및  $6\text{kg/m}^3$ 에 대해 방청제 사용량을 4단계로 변화시켜 측정된 모르타 중의 철근부식 속도에 대한 결과를 정리한 것이 그림 5 및 6으로써 이들 그림에 의하면 방청제의 사용량과 철근부식 속도사이에는 선형상관관계가 있음을 알 수 있었다.

그림 5는 모르타시험체 제조시 염화물을  $3\text{kg/m}^3$  혼입 조건에서 방청제의 사용량을 1.5, 3 및  $6\text{l/m}^3$ 로 하였을 때의 철근의 부식속도로 방청제의 사용량을 증가시킬수록 철근의 부식속도는 감소하는 것을 알 수 있다. 한편 방청제를 혼합하여 염화물을 혼입하지 않은 경우의 철근 부식속도로 낮추기 위한 방청제의 적정 사용량은 약  $6\text{l/m}^3$  정도가 적정사용량임을 알 수 있었다.

한편 그림 6는 모르타시험체 제조시 염화물을  $6\text{kg/m}^3$  혼입한 조건인 경우에도 철근의 부식속도는 방청제의 사용량을 증가시킬수록 감소하는 것으로 나타났다. 또한 이 경우 방청제의 적정 사용량은 약  $13\text{l/m}^3$  정도 요구됨을 알 수 있었다.

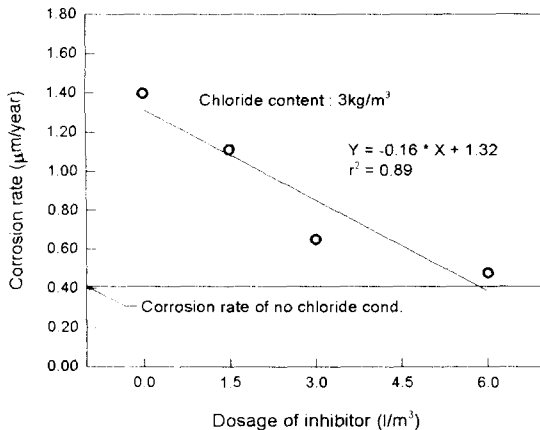


그림 5 방청제 혼입량과 철근의 부식속도(Cl :  $3\text{kg/m}^3$ )

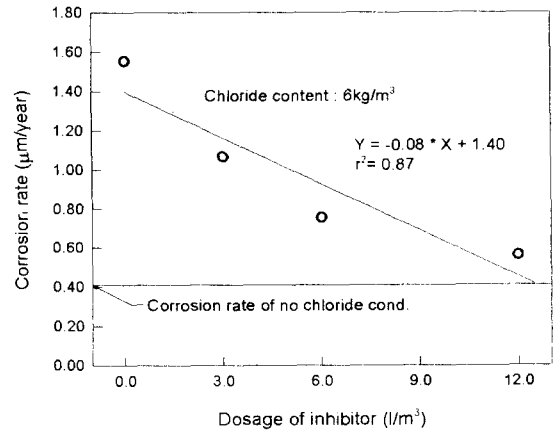


그림 6 방청제 혼입량과 철근의 부식속도(Cl :  $6\text{kg/m}^3$ )

## 5. 결 론

- (1) 타펠외삽법을 이용하여 모르타 중의 철근부식 속도를 정량화 할 수 있었으며, 염화물이 없는 모르타 중의 철근의 부식전위는 약  $-220\text{mV}$ (vs. SCE)이며 부식속도는  $0.410\mu\text{m/year}$ 로 계산되었으며, 염화물 혼입량이 증가할수록 전위는 낮아지고 철근의 부식속도는 증가함을 알 수 있었다.
- (2) 염화물 혼입량이  $3\text{kg/m}^3$ 인 조건에서 철근의 부식속도를 염화물이 없는 조건의 부식속도까지 낮추기 위한 방청제의 적정사용량은 약  $6\text{l/m}^3$  정도 요구되었으며, 한편 염화물 혼입량이  $6\text{kg/m}^3$ 인 조건의 경우 방청제의 적정 사용량은 약  $13\text{l/m}^3$  정도임을 알 수 있었다.