

# 콘크리트 중의 철근부식 방지를 위한 외부전원법의 적용

## The Application of Impressed Current System for the Corrosion Control of Reinforcing Steel in Concrete

문한영\*  
Moon, Han Young

김성수\*\*  
Kim, Seong Soo

김홍삼\*\*\*  
Kim, Hong Sam

---

### Abstract

Recently the interest in the reinforcing steel corrosion due to the use of sea-sand and deicing salt, marine environment and carbonation in RC structures is increasing, therefore the studies on the corrosion control of reinforcing steel in concrete are vigorously proceeding.

In this study, from the viewpoint of electrochemical process of steel corrosion in concrete we applied the impressed current system among the cathodic protections to reinforcing steel in concrete and ascertained the protection effect by half-cell potential, corrosion rate, and depolarization test.

---

### 1. 서론

철근콘크리트 구조물은 인장력에 약한 콘크리트 속에 철근을 넣어 일체거동을 전제로 하는 복합재료로서 널리 사용되는 구조용 재료이다. 그러나 콘크리트의 중성화와 철근이 용빙제나, 염분이 포함된 해사의 사용 및 해수비말, 해수 중의 염분으로 인한 염해를 받을 경우 콘크리트 중의 철근은 부식하게 되고, 부식이 계속 진행됨에 따라서 부식으로 인한 녹의 체적팽창압에 의해 콘크리트 덮개의 균열 및 박리나 탈락이 수반되며, 심한 경우 구조물은 붕괴에 이르게 된다. 따라서 콘크리트 중의 철근의 부식 방지에 대한 관심은 날로 증가하고 있으며, 이에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 외국에서는 콘크리트 중의 철근부식을 방지하기 위한 대책의 일환으로 철근의 부식이 전기화학적인 반응이라는 점에 착안하여 전기방식에 기초를 둔 연구성과가 많은 반면, 국내의 경우에는 이와 관련한 연구나 사용

---

\* 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 대전대학교 이공대학 토목공학과 전임강사

\*\*\* 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과

실적이 드문 것 같다.

본 연구에서는 외부전원을 이용하여 콘크리트 중의 철근에 방식전류를 공급하는 전기방식법의 적용에 따른 철근의 자연전위, 복극량 확인 및 부식속도 등의 실험을 통하여 고찰하였다.

## 2. 전기방식의 원리

전기방식은 크게 2가지로 구별되며 외부전원에 의해 방식전류를 공급하는 외부전원법과 종류가 다른 금속간의 전위차를 이용하여 방식전류를 공급하는 유전양극법(희생양극법)으로 나뉜다. 그러나 이들의 차이는 방식에 필요한 전류를 공급하는 방법에 차이가 있을 뿐 그 원리는 근본적으로 같고 이는 그림 1에 나타낸 Pourbaix의 전위-pH도에 의해 설명된다.

◎ Cl = 355ppm 을 포함한 용액중의 철

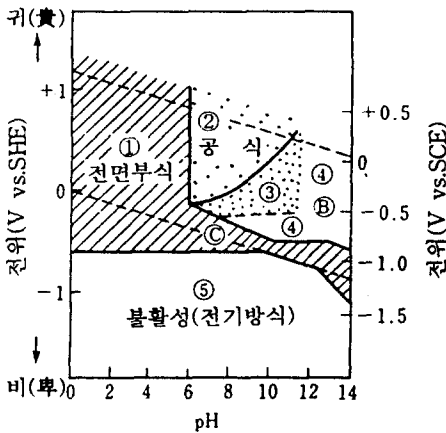


그림 1 Pourbaix의 전위-pH도

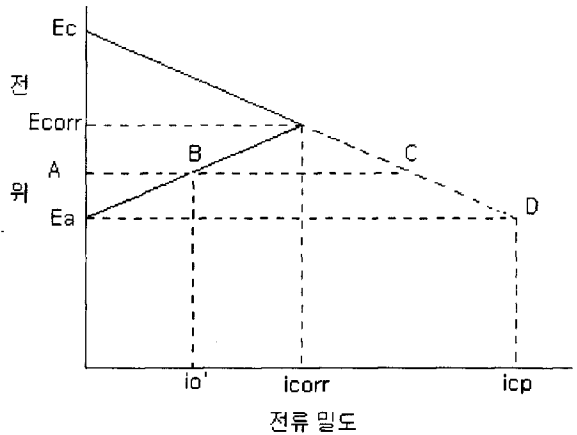


그림 2 전기방식의 원리

그림 1에서 부식을 방지하는 방법으로는 환경을 더욱 알카리 측으로 변화시키거나 철의 전위를 강제적으로 비(卑)방향으로 변화시켜 ④의 부동태영역 혹은 ⑤의 불활성영역으로 이동시키는 방법이 있으며, ⑤의 영역으로 전위를 인위적으로 이동시켜 부식을 막는 것이 소위 전기방식이라 불리우는 음극 방식법(cathodic protection)이다. 이를 위해 콘크리트의 표면에 양극재료를 부착하고, 이 양극재료 부터 철근에 방식전류를 공급하여 그림 2와 같이 철근에 형성된 국부전지의 캐소드(cathode)전위를 아노드(anode)의 평형전위까지 분극시키면 철근의 부식반응(산화반응)이 정지되고, 전기방식이 이루어진다. 즉, 외부에서 공급한 방식전류에 의해 아노드와 캐소드의 전위가 동등해지면 더 이상 부식전류가 흐르지 않게 됨으로써 철 이온이 용출하지 않게 된다. 외부로부터 전류를 받지 않는 자연부식의 경우에는 전위가 낮아지면 낮아질수록 부식하는 경향이 있지만, 외부에서 전류를 공급하는 전기방식과 같은 경우에는 전위가 낮게 되는 방향으로 전류를 공급해줄 필요가 있다. 따라서 전기방식하에서 콘크리트 중의 철근의 전위가 낮으면 낮을수록 방식(防蝕)된다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

- (1) 시멘트 : 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다.
- (2) 골재 : 굵은골재는 최대치수 13mm의 쇄석, 골재는 한강산 모래를 사용하였다.
- (3) 철근 : 직경 13mm 원형철근의 표면을 사포로 연마하고 아세톤으로 닦은 후, 한쪽 끝에 통전용 리드선을 연결하고 양단면을 에폭시로 코팅하였다.
- (4) 혼화제 : 소정의 공기량을 확보하기 위해 AE제를 사용하였다.
- (5) 양극재료 : 방식전류를 공급할 양극재료로는 ASTM 265의 Titanium Gr.1에 규정된 고순도 티타늄에 루테튬(Ru) 등의 백금계 금속산화물을 경화 코팅한 메쉬를 사용하였으며, 메쉬의 구조 및 크기는 그림 3과 같다.

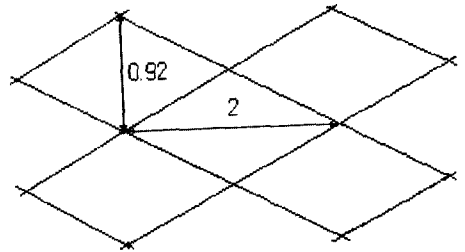


그림 3 티타늄 메쉬의 제원(inch)

### 2.2 공시체의 제작 및 방식전류의 공급

#### (1) 공시체의 제작

150×250×500mm 크기의 콘크리트 시험체의 표면에서부터 30mm 깊이에 직경 13mm 원형철근을 그림 4와 같이 묻었다. 철근으로부터 20mm 위의 위치에 전류를 공급해 줄 양극재인 티타늄 메쉬를 고정한 후, 그 위에 다시 10mm 두께로 콘크리트를 타설하였으며, 이때 사용한 콘크리트의 배합은 표 1과 같다.

실험조건은 콘크리트 중에 다량의 염분을 함유한 경우와 균열이 존재하는 경우의 전기방식의 효과를 알아보기 위하여 표 2에 나타난 것과 같이 콘크리트 혼합시 NaCl을 각각 0, 10.5 kg(콘크리트

표 1 콘크리트의 배합표

G <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )				
					W	C	S	G	AE제
13	10±1	4.5	55	45	183	350	752	933	0.67

표 2 실험조건

NaCl (kg/m <sup>3</sup> )	균열	방식	철근의 표면적 (cm <sup>2</sup> )
0	무	-	816.8
	유	-	816.8
	무	○	816.8
	유	○	816.8
10.5	무	-	408.4
	유	-	816.8
	무	○	816.8
	유	○	816.8

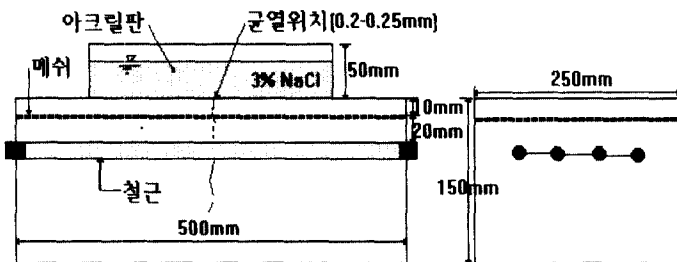


그림 4 시험체의 형상

1m<sup>2</sup>당) 혼합하였으며, 재령 28일까지 수중양생을 실시한 후 하중을 재하하여 인위적인 균열을 만든 시험체에 외부전원에 의한 전기방식을 적용하였다. 또한 철근의 부식을 촉진시키기 위해 시험체 윗면에 아크릴판으로 틀을 설치하여, 그 속에 3% NaCl 용액을 3일간 공급하고 용액을 제거한 다음 4일간 대기에 노출시켜 건조시키는 과정을 1사이클로 하는 salt-ponding을 실시하였다.

(2) 방식전류의 공급

정전압 직류전원 공급장치를 이용하여 외부에서 전원을 공급하고, 각 시험체에 가변저항기를 회로에 연결하여 전류를 조절할 수 있도록 하였으며, 각각의 시험체에 흐르는 전류를 확인하기 위하여 전류계를 직렬로 연결하였다. 전기방식의 회로도도 그림 5와 같다.

2.3 실험방법

(1) 콘크리트 중의 철근의 자연전위측정

ASTM C 876에 규정된 포화 황산동전극(CSE)과 입력저항이 큰 전압계(100M $\Omega$ 이상)인 MC MILLER사의 LC-4를 사용하였다.

(2) 부식속도의 측정

갈바노스태트(galvanostat)를 이용하여 음분극을 시키기 위해 콘크리트 중의 철근에 전류를 흘려 보내고 이때의 전극전위의 변화량을 종축에, 그리고 전류밀도(current density)는 log를 취하여 횡축에 나타내고, 타펠 외삽법(Tafel Extrapolation Method)에 의해 부식속도(부식전류밀도)를 계산하였다. 이때 포화 황산동전극을 참조전극(reference electrode)으로, 티타늄 매쉬를 대극(counter electrode)으로 사용하였다.

(3) 복극량의 측정

복극량의 측정은 전극표면으로부터 철근사이에 존재하는 콘크리트의 저항에 의한 전압강하를 제외시키기 위해 전원공급을 차단한 직후의 전위(instant-off 전위)와 차단 후 4, 10, 24시간 후의 전위를 측정하였으며 복극량은 instant-off 전위와 4시간 후 전위의 차로 계산하였다.

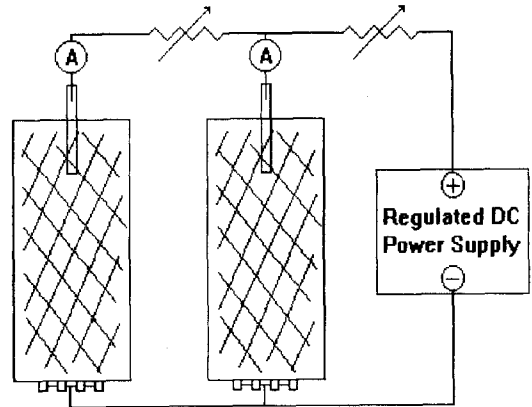


그림 5 전기방식의 회로도

3. 실험결과 및 고찰

3.1 철근의 자연전위값에 의한 전기방식효과

3%의 NaCl 용액으로 12개월 동안 건습반복 촉진(salt-ponding)을 실시한 후 철근의 자연전위를 측정된 결과와 외부전원법을 적용한 시험체 중의 철근의 자연전위를 그림 6에 나타내었다. 여기에서 외부전원법을 적용한 시험체는 전원을 차단한 후 10시간에서의 전위를 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 외부전원에 의해 방식전류를 공급하지 않고 3%의 NaCl 용액으로 건습반복에 의해 부식을 촉진시킨 시험체에 묻힌 철근의 자연전위는 -403~-676mV의 값을 나타내고 있어 철근의 부식이 활발

히 진행되고 있지만, 균열이 없는 시험체에 외부전원에 의한 전기방식을 적용한 경우는 -260~-320mV로 나타나 외부로부터 방식전류를 공급받는 동안 부식이 억제되고 있음을 알 수 있다.

### 3.2 콘크리트 중의 철근부식 속도의 추정

타펠외삽법(Tafel Extrapolation Method)에 의한 부식속도의 측정은 1930년경에 Wagner와 Traud가 혼합전위이론을 증명하기 위해서 사용한 이후 널리 보급되었으며, Wagner-Traud방법이라 일컬어지기도 한다. 이 방법은 음분극 및 양분극의 측정에서 얻어진 자료를 이용하며, 음분극이 양분극보다 쉽기 때문에 주로 음분극을 이용한다.

정전류 분극곡선에 의해 구한 철근의 부식속도를 표 3에 나타내었다. 이 표에서 알 수 있듯이 인위적으로 만들어진 균열에 의해 직접 3% NaCl 용액에 노출된 철근의 부식 전류밀도는 각각 8.3과 10.1mA/m<sup>2</sup>이지만, 외부전원에 의해 방식전류를 공급받아 부식이 억제된 시험체 중의 철근의 부식 전류밀도는 3.2mA/m<sup>2</sup>와 4.2mA/m<sup>2</sup>로서 전기방식에 따른 철근부식의 억제 효과를 확인할 수 있었다.

### 3.3 복극량 및 전류밀도에 대한 고찰

외부전원법에 의해 양극재인 티타늄 메쉬전극을 사용하여 10개월간 전기방식을 적용한 시점에서 각각의 조건별로 시험체에 공급된 전류밀도와 시간에 따른 복극량의 측정결과를 표 4에 나타내었다. 미국 NACE(National Association of Corrosion Engineering)는 대기 중 콘크리트 구조물 중의 철근에 대한 방식기준으로써 전원 차단 직후 부터 4시간까지의 복극량이 100~150mV 정도이면 만족할 만한 방식효과를 얻을 수 있다고 추천하고 있다.

본 연구에서는 염분을 포함하지 않는 경우는 5.8 ~ 8.4mA/m<sup>2</sup>의 방식전류밀도로 151 ~ 303mV

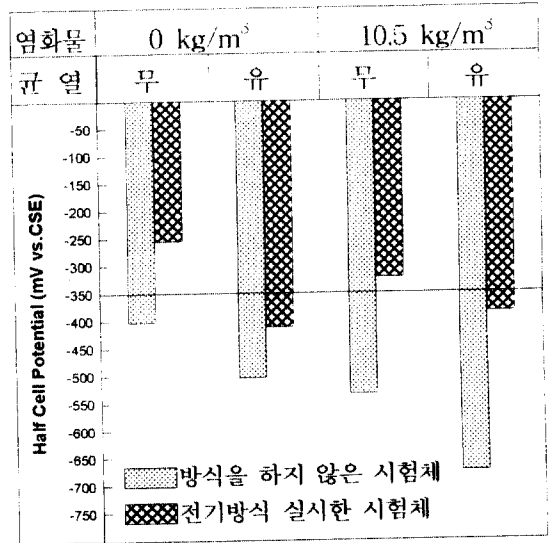


그림 6 콘크리트 중의 철근의 자연전위

표 3 콘크리트 중의 철근의 부식속도

NaCl (kg/m <sup>3</sup> )	균열	방식	부식전류밀도 (mA/m <sup>2</sup> )
0	무	-	0.6
		○	2.2
	유	-	8.3
		○	3.2
10.5	무	-	1.4
		○	3.0
	유	-	10.1
		○	4.2

표 4 전기방식을 적용한 시험체의 전류밀도와 복극량(통전 10개월)

NaCl (kg/m <sup>3</sup> )	균열	전압 (V)	방식 전류밀도 (mA/m <sup>2</sup> )	Half-cell Potential (mV vs.CSE)					복극량 (mV)
				On전위	Instant-off 전위	4시간 후전위	10시간 후전위	24시간 후전위	
0	무	0.52	5.8	-593	-577	-268	-257	-244	309
	유	0.61	8.4	-587	-582	-422	-415	-421	160
10.5	무	0.58	9.1	-586	-562	-321	-325	-327	241
	유	0.64	13.1	-598	-570	-386	-390	-394	184

의 복극량을 얻었으며 10.5kg/m<sup>3</sup>의 NaCl을 포함한 경우는 9.1 ~ 13.1mA/m<sup>2</sup>의 방식전류밀도로 187 ~ 243mV의 복극량을 얻어 방식기준을 만족하고 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

콘크리트 중의 철근부식 방지를 위해 외부전원법을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 외부전원법을 적용한 콘크리트 시험체 중의 철근의 자연전위는 전기방식을 하지 않은 시험체에 비해 89~289mV(vs.CSE) 정도의 높은 값을 나타내어 방식전류가 공급되는 동안 부식이 억제됨을 알 수 있었다.
- 2) 철근의 부식전류밀도는 방식을 실시하지 않고 균열이 없는 시험체 중의 경우 0.6 ~ 1.4mA/m<sup>2</sup> 이고 균열이 있는 시험체의 경우 8.3 ~ 10.1mA/m<sup>2</sup>이었으며, 전기방식을 실시한 시험체는 2.2 ~ 4.2mA/m<sup>2</sup>로 작은 값을 나타내어 방식효과가 인정되었다.
- 3) 방식전류를 5.8 ~ 13.1mA/m<sup>2</sup>로 공급하여 151 ~ 303mV의 복극량을 얻었으며, 염화물에 노출되거나 균열이 있는 시험체와 같은 조건하에서도 외부전원법에 의한 전기방식이 유효하다고 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. Mars G. Fontana, 'Corrosion Engineering, 3th', 1987
2. Einar Mattsson, 'Basic Corrosion Technology for Scientists and Engineers', 1989
3. 日本建設省土木研究所, 'コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書', 1988