

# 희생양극재의 매입에 의한 콘크리트 중의 전기방식 효과

## Effects of the Protection for Rebars by Embedded Sacrificial Anode in Concrete

김 성 수\*

김 홍 삼\*\*

김 종 필\*\*\*

Kim, Seong Soo

Kim, Hong Sam

Kim, Jong Pil

---

### ABSTRACT

Reinforced concrete has defects in durability due to carbonation, freezing and thawing, and penetration of chloride ions with elapse of time in spite of super structure. Especially steel corrosion in concrete due to penetration of chloride ions has result in a severe decline in service life. The principal purpose of this study is to estimate effects of sacrificial anode cathodic system, one of the electrochemical methods in order to control of steel corrosion in concrete. There are chloride content in concrete in cracked and non cracked specimen with cathodic protection. To investigate the effect of sacrificial anode cathodic protection, potential-decay with current density, corrosion ratio, etc. are measured. We have the excellent effect for control steel corrosion adaption sacrificial anode cathodic system.

---

### 1. 서론

최근 영종도 신공항을 잇는 영종대교, 부산의 광안대교 및 서해안 고속도로상의 서해대교등 대규모의 콘크리트 구조물이 바다 속이나 바다에 연한 해양환경하에 건설되므로써 염해 방지대책에 대한 관심이 매우 높아지고 있는 실정이다. 철근콘크리트는 철강재와 더불어 건설재료 가운데 가장 널리 이용되어지는 구조재료로써 내구성이 우수하여 반영구적인 구조물로 이용되고 있으나, 근래에 들어 여러 가지 열화원인들에 의해 철근콘크리트 구조물의 내구성에 문제가 보고되고 있어 철근콘크리트의 내구성에 대한 많은 연구가 진행되고 있는 상황이다.

특히, 콘크리트중의 염화물이온은 강재표면의 부동태피막을 파괴하여 철근의 부식반응을 진행시켜 수산화제1철, 2철을 만들어 녹을 발생시킨다. 결과적으로 콘크리트 내부의 철근 부식 생성물의 용적이 철 자체의 용적보다 수배로 팽창함에 따라 거대한 인장응력이 콘크리트의 응력을 초과할 때 균열발생은 필연적이며, 이러한 균열은 콘크리트 내부에서부터 점차적으로 콘크리트 표면까지 진전되어 박리현상을 일으켜 콘크리트 구조물의 내구성저하를 초래한다.

---

\* 정회원, 대전대학교 토목공학과 조교수

\*\* 정회원, 한양대학교 산업과학연구소 연구원

\*\*\* 정회원, 대전대학교 토목공학과 석사과정

한편, 국내에서는 최근에 철근콘크리트 구조물의 내구성에 철근의 부식이 크게 영향을 미치고 있다는 사실이 점차 크게 인식되고 있으나, 철근의 전기방식에 대한 연구, 문헌 및 자료가 극히 드문 실정이며, 그 기술도 최근 도입되어 시공실적 또한 미비한 실정이다.

본 연구에서는 콘크리트 중의 철근부식 방지를 위하여 자기 희생적 아연체를 희생양극으로 응용한 전기방식의 효과를 고찰하기 위하여 철근을 매입한 콘크리트 시험체를 제작하여 부식촉진 시험을 실시하였다. 또한 전기방식법의 효과를 검증하기 위하여 철근의 부식면적 및 전류밀도를 측정하여 고찰함으로써 방식효과에 대한 기초 및 평가자료를 얻고자 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1 사용재료

#### (1) 시멘트

비중이 3.15인 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질을 표 1에 나타내었다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

| Chemical composition (%) |                                |                                |      |      |                 | Ig, loss (%) | Specific gravity | Blaine (cm <sup>2</sup> /g) |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|--------------|------------------|-----------------------------|
| SiO <sub>2</sub>         | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | SO <sub>3</sub> |              |                  |                             |
| 21.95                    | 6.59                           | 2.81                           | 60.1 | 3.32 | 2.11            | 2.58         | 3.15             | 3,112                       |

#### (2) 골재

잔골재는 비중 2.56인 강사를 사용하였으며, 굵은 골재는 최대치수 13mm, 비중 2.55인 쇠석을 사용하였다. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

| Items Types | Gmax (mm) | Specific gravity | Absorption (%) | Abrasion ratio (%) | F.M  | Unit weight (kg/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|-----------|------------------|----------------|--------------------|------|----------------------------------|
| Fine agg.   | -         | 2.56             | 0.92           | -                  | 2.32 | 1,475                            |
| Coarse agg. | 13        | 2.55             | 0.70           | 28.9               | 6.87 | 1,741                            |

#### (3) 철근

직경 13mm의 원형철근을 한쪽 끝에 통전용 리드선을 납땀한 후 양끝을 수축밴드로 고무캡을 이용하여 마운팅처리 하였으며, 콘크리트 타설 직전 철근 표면을 No. 1000 샌드페이퍼로 연마한 후, 아세톤으로 깨끗이 닦아 사용하였다. 사용된 철근의 화학조성은 표 3과 같다.

표 3 철근의 화학조성 (% Fe제외)

| 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 |

#### (4) 희생양극재료

콘크리트와의 통전성을 확보하기 위하여 희생양극으로 사용된 아연합금 외부에 고알칼리성 시멘트계

모르타르로 성형한 H사의 희생양극재료(Galvashild XP. 이하, 희생양극으로약함)를 사용하였다.

## 2.2 콘크리트의 제작 및 배합

150×250×500mm 크기의 콘크리트 시험체에 표면에서부터 30mm 깊이에 직경 13mm의 원형철근을 묻었으며, 철근에 방식 전류를 공급해 줄 자기 희생양극을 철근에 고정한 후, 그 위에 콘크리트를 타설하였다. 시험체 제작광경을 그림 1에 나타내었다.

시험체 제작을 위한 콘크리트 배합은 물-시멘트비 50% 및 단위시멘트량 350kg/m<sup>3</sup>으로 하였으며 표 4와 같다. 시험체의 제작 조건은 표 5와 같이 염분의 혼입량을 시멘트 중량비 0, 1.5, 3%로 달리하였으며, 균열의 유무 및 철근의 단면적비에 대한 희생양극의 매입 갯수를 달리하였다. 철근의 부식을 촉진시키기 위해서 공시체 윗면에 틀을 만들고 그 속에 3%의 NaCl용액을 3일간 침지하고, 4일간 건조시키는 것을 1사이클로하였다.

표 4 콘크리트 배합

| G <sub>max</sub><br>(mm) | Slump<br>(cm) | Air<br>(%) | W/C<br>(%) | S/a<br>(%) | Unit weight (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |
|--------------------------|---------------|------------|------------|------------|----------------------------------|-----|-----|-----|
|                          |               |            |            |            | W                                | C   | S   | G   |
| 13                       | 15±2          | 2.5        | 50         | 43         | 175                              | 350 | 739 | 979 |

## 2.3 실험방법

### 1) 전류밀도 측정

작용전극은 철근에, 카운터전극은 희생양극에 그리고 참조전극은 포화황산동전극을 이용하여 GECOR 6로 방식전류를 차단하체 2~3일간 안정을 시킨 후 사이클별로 그림 2와 같이 측정하였으며, 콘크리트 중의 철근의 부식속도 판정기준을 표 6에 나타내었다.

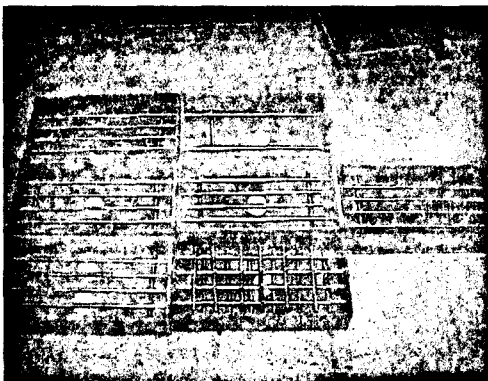


그림 1 시험체 제작광경

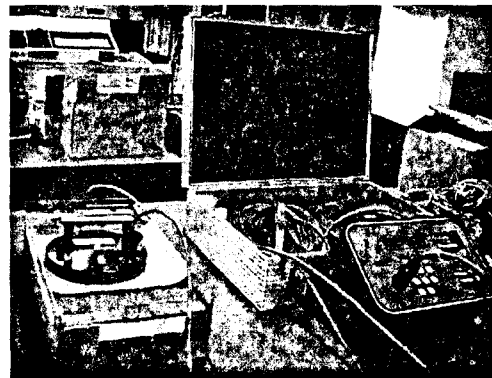


그림 2 자연전위 및 부식속도 측정

### 2) 부식면적율

모든 공시체를 재령 28일 이후부터 Salt ponding을 실시하여 18사이클 동안 부식촉진실험을 한 후 콘크리트 중의 철근을 꺼내어 철근표면에 나타난 공식 부분과 붉은 녹 및 검은 녹의 발생부분을 부식

된 부분으로 정의하고 철근의 부식면적율을 구하였다.

표 5 시험체 제작 조건

| 염분혼입량(%) | 균열유무 | 희생양극의 갯수 | 기호명          |
|----------|------|----------|--------------|
| -        | 무    | 1개       | No crack-1xp |
| -        | 유    | 1개       | crack-1xp    |
|          |      | 2개       | crack-2xp    |
| 1.5      | 무    | 1개       | 1.5NaCl-1xp  |
|          |      | 2개       | 1.5NaCl-2xp  |
|          |      | 3개       | 1.5NaCl-3xp  |
| 3.0      | 무    | 1개       | 3NaCl-1xp    |
|          |      | 2개       | 3NaCl-2xp    |

표 6 전류 밀도에 의한 부식 평가기준

| I <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> ) | 평 가              |
|---|------------------|
| 0.2 이하                                  | 부식이 진행되지 않는 상태   |
| 0.2 ~ 0.5                               | 부식의 진행이 아주 약한 상태 |
| 0.5 ~ 1.0                               | 부식 속도가 중간 정도     |
| 1.0 이상                                  | 부식 속도가 아주 빠른 상태  |

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 철근의 전류밀도

콘크리트 중의 부식현상은 전기화학적으로 일어나고 진행되며, 구조물의 내부의 철근부식이 염분 등의 유해한 요소로부터 발생, 진행되는 현상에 대해서는 메커니즘에 언급한 바 있다. 주지하고 있는 바와 같이 철근 부식은 부식이 발생된 지역(anode)으로부터 전자가 상대적으로 안정한 부분(cathode)으로 흐르는 전류를 측정하여 부식정도를 측정하는 방법이 부식전류 측정법이다.

콘크리트 중의 철근에 전기방식을 적용하여 방식효과를 알아보기 위하여 전원공급을 차단시킨 후 24~48시간 동안 방식전류를 안정시킨 후 18사이클까지의 철근 부식 전류밀도 값을 그림 3에서 그림 6에 정리하여 나타내었다. 그림 3은 염분 혼입이 없고 균열의 유·무에 따른 결과로써 균열이 있고 방식을 하지 않은 경우는 2사이클에서 활성화영역 1μA/cm<sup>2</sup>을 넘었으나, 방식을 실시한 경우는 7사이클에서 활성화영역을 넘고 있다. 또한, 균열이 없는 경우는 무방식의 경우는 16사이클에서 활성화 영역을 넘지만 방식을 한 경우는 0.2~0.5μA/cm<sup>2</sup>의 값으로 대체적으로 안정적인 값을 나타내고 있다.

한편, 염분 혼입량의 변화에 따른 전기방식효과를 알아보기 위해서 희생양극을 1개 사용하고 염분량을 각각 변화시켜 부식촉진 시험을 실시하여 측정된 결과는 그림 4로써 염분을 혼입한 경우 염분을 혼입하지 않은 경우 보다 매우 빠른 부식속도를 나타내고 있다. 이는 염화물 환경에서는 철근의 자연전위와 마찬가지로 부식이 초기재령에서부터 일어남을 알 수 있다.

그림 5 및 6는 1.5% 및 3%의 염분을 혼입한 경우로써 모두 염분을 혼입하지 않은 경우보다 빠른 부식속도를 나타내고 있으며, 희생양극의 갯수가 증가할수록 방식의 효과가 다소 크게 나타났으며, 방식을 하지 않은 경우에 비해 철근의 부식이 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있었다.

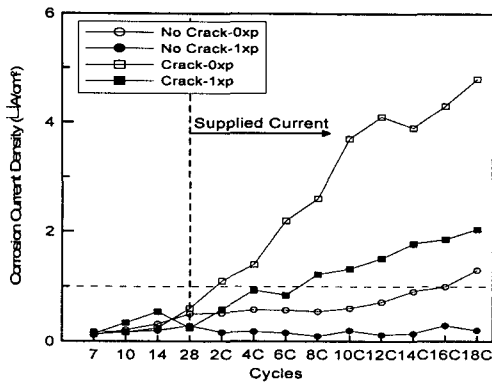


그림 3 콘크리트 중의 철근의 전류밀도

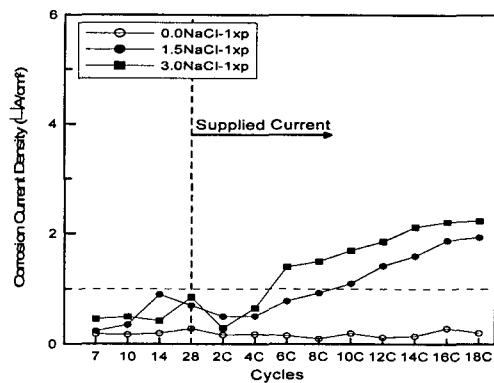


그림 4 콘크리트 중의 철근의 전류밀도

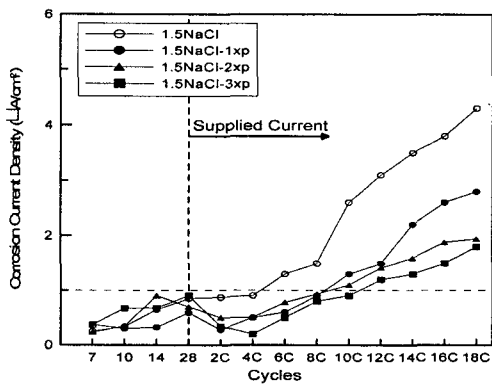


그림 5 콘크리트 중의 철근의 전류밀도

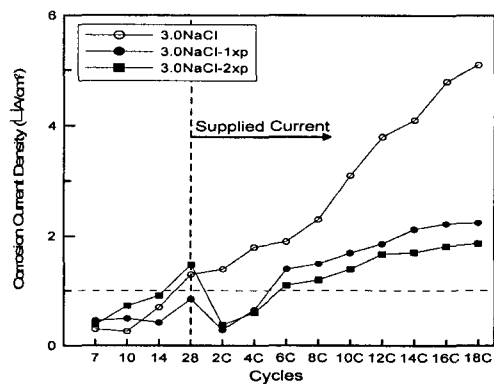


그림 6 콘크리트 중의 철근의 전류밀도

### 3.2 부식면적율

희생양극을 이용한 콘크리트 시험체를 부식촉진시험을 완료한 후 시험체 중의 철근을 꺼내어 부식면적율을 측정 한 결과를 그림 7 및 그림 8에 나타내었다. 그림 7에서 알 수 있듯이 균열이 있고 무방식인 경우에 철근에 붉은 녹 및 검은 녹이 약 26%정도 발생하였으나, 전기방식을 실시한 경우에는 철근의 표면에 공식(孔蝕)만 약 10%정도 발생되었음을 알 수 있었다.

또한 균열이 없는 경우에는 부식발생이 현저히 감소하였으며 전기방식을 실시한 철근에서는 거의 부식이 발생되지 않았다. 한편, 희생양극재료의 갯수에 따라서도 희생양극의 갯수가 증가할수록 부식면적율이 감소하는 경향을 나타내었다. 그림 8은 콘크리트 배합시 1.5% 및 3.0%의 염분을 함유한 시험체로써 방식을 하지 않은 경우는 각각 29% 및 35%로서 전체 부식중 거의 붉은 녹 및 검은 녹이 발생하였으나 방식을 실시한 경우에는 거의 공식만 발생되었으며 전체 부식면적도 10% 정도로 전기방식을 실시하지 않은 것에 비해 현저히 감소됨을 확인할 수 있었다.

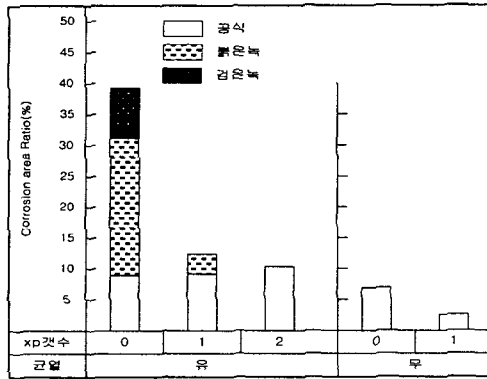


그림 7 철근의 부식면적율

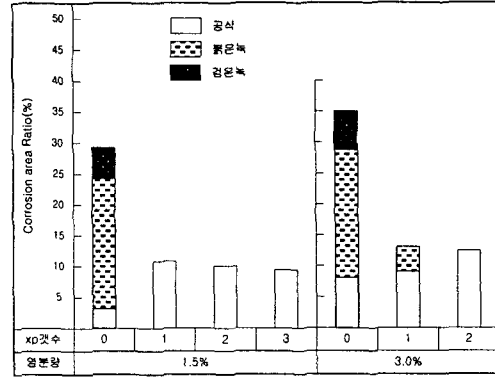


그림 8 철근의 부식면적율

#### 4. 결론

- (1) 염분 혼입이 없고 균열의 유·무에 따른 결과 균열이 있고 방식을 하지 않은 경우는 2사이클에서 활성태영역  $1\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 을 넘었으며, 방식을 실시한 경우는 7사이클에서 활성태영역을 넘어 부식이 진행되고 있음을 알 수 있었다. 또한, 균열이 없는 경우는 무방식의 경우는 16사이클에서 활성태 영역을 넘지만 방식을 한 경우는  $0.2\sim 0.5\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 의 값으로 대체적으로 안정적인 값을 나타내었다.
- (2) 희생양극의 갯수가 증가할수록 방식의 효과가 다소 크게 나타났으며, 방식을 하지 않은 경우에 비해 철근의 부식이 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있었다.
- (3) 부식면적율을 측정된 결과 균열이 있고 무방식인 경우에 철근에 붉은 녹 및 검은 녹이 약 26%정도 발생하였으나, 전기방식을 실시한 경우에는 철근의 표면에 공식(孔蝕)만 약 10%정도 발생되었음을 알 수 있었다.
- (4) 콘크리트 배합시 1.5% 및 3.0%의 염분을 함유한 시험체의 부식면적율은 방식을 하지 않은 경우 각각 29% 및 35%로서 전체 부식중 거의 붉은 녹 및 검은 녹이 발생하였으나 방식을 실시한 경우에는 거의 공식만 발생되었으며 전체 부식면적도 10% 정도로 전기방식을 실시하지 않은 것에 비해 현저히 감소됨을 확인할 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 김성수 "해양환경하에 방치한 콘크리트의 열화 및 철근의 부식, 방식에 대한 연구", 한양대학교 대학원 토목공학과 박사학위 논문, 1994.
2. British Standard 7361 Part 1:1991, "Cathodic Protection", p49-p53
3. Kenneth Co. Clear, "Growth and Evolution of Bridge Deck Cathodic Protection.", 1984