

철근콘크리트 구조물에 Zn-Al 금속용사 전기방식 공법의 적용성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Application of Cathodic Protection By Applying Zn-Al Metal Spray to an RC Structure

한 만 해¹ 유 조 형² 임 영 철³ 이 한 승^{2*}

Han, Man-Hae¹ Yoo, Jo-Hyeong² Lim, Young-Chul³ Lee, Han-Seung^{2*}

Weathering Center, Korea Conformity Laboratories, Gunpo, 435-010, Korea¹

School of Architecture & Architectural Engineering, Hanyang University(ERICA Campus), Sangrok-Gu, Ansan, 426-791, Korea²

Department of Architectural Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongsan, 712-702, Korea³

Abstract

Cathodic Protection has been introduced as a method of protecting metals under the ground or sea from corrosion. Since 1970, it has been applied to reinforced concrete structures as a corrosion protection method. After 1990, it became used around the world, and its usability has been well confirmed. But this method has some problems in terms of construction and economy. To solve these problems, a Cathodic Protection Method using a highly-durable metal spray was developed. First, the specimen was covered with anodic materials (Zn, Al) by using metal spray. The corrosion protection performance was confirmed by measuring the corrosion current of the specimen. Through the experiment, it is possible to confirm that the Cathodic Protection Method using a high metal spray provides effective protection against corrosion to reinforced concrete structures.

Keywords : Metal spray, Cathodic protection, Corrosion current density

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트 구조물에 있어서 내부 보강철근의 부식은 콘크리트 내부의 팽창압의 발생에 의한 콘크리트 균열로 이어져 구조물 전체의 내구성 저하의 가장 큰 요인 중의 하나로 인식되어 왔다. 이에 따라 콘크리트 구조물 내 철근의 방식 공법으로서 가장 기본적인 방법인 부식부 콘크리트 패칭공법을 비롯하여 에폭시 피복 철근 이용, 콘크리트 내 방청제 주입 등의 공

법이 개발되어 이용되어 왔다. 하지만 이러한 선행 공법들은 염화물과 같은 부식 요인이 철근에 접촉하지 못하도록 하는 방어적인 입장의 공법이기 때문에 방식 수명이나 재보수 측면에서 많은 한계성을 보여 왔다. 이에 따라 최근에는 철근 부식 요인을 완전히 차단할 수 있는 전기방식 공법을 이용한 철근의 방식공법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[1] 이중 희생양극 방식을 이용한 전기방식 공법은 강구조물의 방식 공법으로 처음 도입되어 사용되다가 최근에는 콘크리트 구조물의 철근방식에도 점차 적용 범위를 넓혀가고 있는데,[2] 이러한 전기방식 공법에서 가장 중요한 것 중 하나가 희생양극이 되는 양극재의 설치방법이다. 기존의 양극재 형성 방식은 콘크리트 내부 삽입형이나 판 부착형태가 대부분이었지만, 이는 시공성이나 경제성 면에서 많은 문제점이 발견되어 다른 양극재 형성 방식이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 양극재 형성 방식으로서 시공성 및 경제성 면에서 유리한 상온 금속용사 시스템을 채택하여 Zn-Al 금속

Received : June 24, 2010

Revision received : July 18, 2010

Accepted : July 25, 2010

* Corresponding author : Lee, Han-Seung

[Tel: 82-2-1234-5678, E-mail: ercleehs@hanyang.ac.kr]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

용사 전기방식 공법을 개발하고 이 공법의 철근콘크리트 구조물 내 방식효과를 정량적으로 평가하기 위하여 부식 촉진실험을 진행하였고, 이러한 정량적 평가요소를 통하여 향후 공법 적용에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

기존의 콘크리트 구조물에서 적용된 전기방식에 의한 철근의 부식 억제 방법은 희생양극을 판 형태나 삽입형으로 설치하기 때문에 주기적인 교체가 필요함은 물론 교체 시 많은 비용이 소요되고 시공방법도 어렵다. 따라서 본 연구에서는 그에 대한 새로운 공법으로서 Zn-Al 금속용사 전기방식 공법을 제시하고 콘크리트 내 철근부식에 대한 전기화학적 실험을 통하여 그 방식효과에 대하여 증명하고자 하였다. 강구조물의 경우는 선행연구에서 방식효과가 충분히 입증되었고,[3] 이미 현장 적용 사례가 많이 있기 때문에 이를 토대로 철근콘크리트 구조물 내에서의 통전성과 여러 가지 영향요인에 대한 검토가 필요하다. 따라서 이러한 여러 가지 영향요인을 변수로 하여 실험을 실시하여 Zn-Al 금속용사 전기방식 공법의 철근 콘크리트 구조물에 대한 적용성 평가를 하고자 하였다. Figure 1 은 본 연구의 흐름도를 나타내었다.

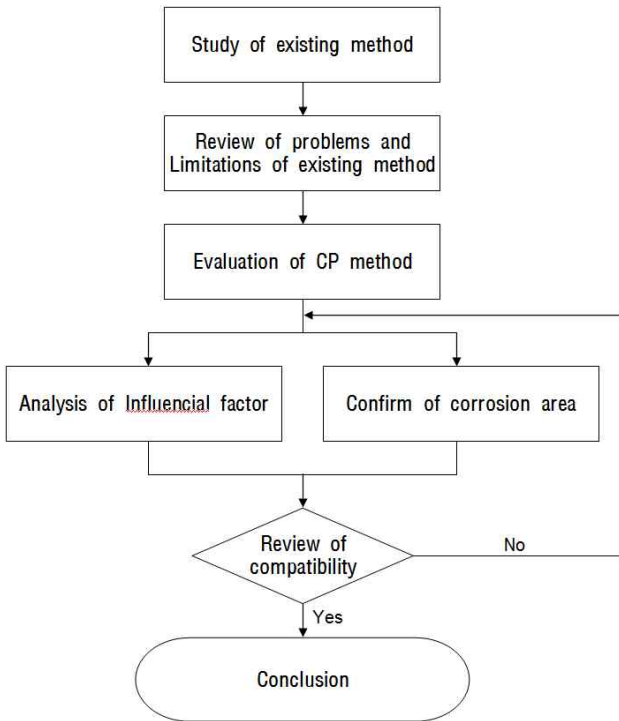


Figure 1. Flow of study

2. 기존연구의 고찰

2.1 희생양극 방식공법의 메커니즘

희생양극법은 유전양극법 또는 갈바닉 방식법이라고도 부르며, 피방식체(철근)보다 이온화 경향이 큰 금속을 연결하여 희생적으로 부식시킴으로써 피방식체를 보호하는 자연적인 방식법이다.[1] Figure 2는 희생양극법의 개요도이다. 콘크리트 표면에 설치된 희생양극을 단순히 철근과 연결해 놓음으로써 두 금속간의 전위차에 의해 전류가 자연스럽게 흐르면서 전자가 철근에 공급된다. Figure 3은 희생양극식 전기방식의 분극도이다. 희생양극이 없을 때는 철근이 B점에서 양극분극되어 C점에 이르게 되고 철근표면의 국부적 음극에서 음극분극에 의해 A점에서 C점에 이르러 철근의 부식전위($E_{corr, Fe}$)와 부식전류밀도($I_{corr, Fe}$)를 형성한다. 희생양극(Zn)을 설치하게 되면, Zn양극표면은 E점에서 양극분극되어 D점에 이르게 되고, C점이었던 부식전위는 D점까지 낮아지면서 Zn 표면에서는 강한 부식전류($I_{corr, Zn}$)가 흐르는 반면, 철 표면에서는 C점에서 B점으로 복귀되어 부식전류가 감소하면서 방식된다.

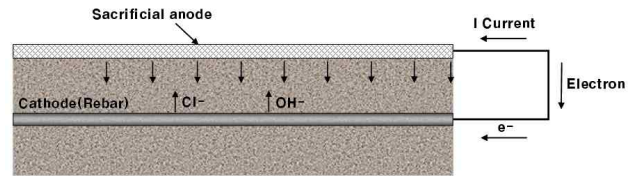


Figure 2. Fundamental of Cathodic protection

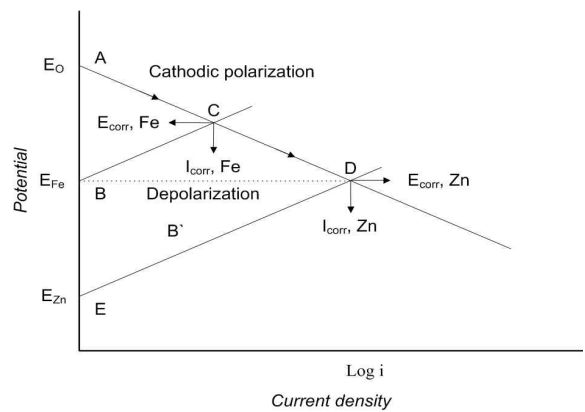


Figure 3. Cathodic polarization

2.2 기존 희생양극 전기방식의 문제점 및 개선방향

전기방식 공법은 전류 공급 방식에 따라 강제적으로 전류를 공급하는 외부전원방식과 양극재의 희생을 통해 전류를 공급하는 희생양극방식으로 나누어 볼 수 있는데, 이 중 외부전원

방식의 경우 방식전류를 외부 장치로부터 강제로 공급하기 위하여 복잡한 장치와 배선 작업을 수행해야하는 어려움이 있다. 반면에 희생양극방식은 외부전원 방식에서의 복잡한 배선을 간소화 하는 것과 동시에 과방식의 위험을 극소화 할 수 있는 특징을 가지고 있다. 하지만 대기 중의 콘크리트에 이 공법을 적용하기 위해서는 양극재를 콘크리트와 확실하게 밀착시키는 것이 매우 중요한데, 이 작업은 결코 쉽지 않다. 이 밀착성이 불충분한 경우에는 충분한 방식전류가 철근에 공급될 수 없을 뿐 아니라, 부착면의 열화를 유발하여 공법의 수명을 급격하게 저하시키는 문제가 발생할 수 있다.[4] 라서 이러한 밀착성을 충분히 확보할 수 있는 공법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있는데, 그 중 양극재의 재료가 되는 금속을 고온고압으로 용융분사시켜 콘크리트 표면에 정착시키는 금속용사 전기방식 공법은 콘크리트와 양극재 간의 밀착성을 충분히 확보시킬 수 있는 공법으로서 매우 효과적이다.[5] 또한 구조체의 형태가 복잡하거나 일반적인 방법으로 양극재 시공이 난해한 경우에 금속용사 기법을 이용하면 쉽게 양극재를 설치할 수 있으며, 설치에 걸리는 시간도 대폭 단축시켜 경제성 면에서도 유리하다. Figure 4는 금속용사 기법의 모식도를 나타낸다.[6]

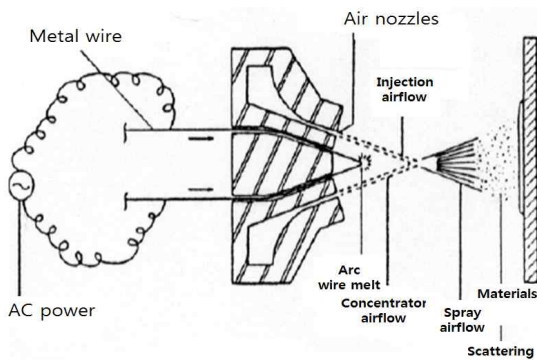


Figure 4. A schematic of Zn-Al metal spray method

2.3 금속용사 전기방식의 자연전위 분석기준

전기방식 기준은 지중 또는 해중 전기방식 분야에서 먼저 제안되었으나 국제적으로 아직도 통일된 기준이 정립되어 있지 못한 실정이다. 여러 국가에서 채택하고 있는 방식기준으로는 100mV 분극, 300mV 전위강하, 그리고 E-Log I 등이 있는데, 본 연구에서는 측정시간 제약의 문제로 300mV 분극 기준을 채택하여 측정하였다.[1]

1) 100mV 분극기준

100mV 분극(100mV polarization/decay)기준은 NACE (미국부식협회) 등 국제적으로 가장 폭넓게 인정되고 있으며, 피방식체(철근) 전위를 100mV이상 음극 분극 시키는 방법이

다.[7] 이때 음극 분극(cathodic polarization) 전위는 콘크리트나 외부 환경적 저항에 의한 전위변화(IRc drop)를 제외한 순수 분극 전위변화가 100mV이상 되어야 하는데, 그것은 Figure 5에서와 같이 전기방식 공급전원을 일시적으로 차단하는 Instant-off 시험을 통해 측정한다. 즉, 방식전류 공급 상태에서 전원을 차단하면 순간적으로 전위가 상승하는데, 전원차단 초기(5초 이내)에 전위는 급상승하며, 그 후 서서히 둔화된다. 여기에서 초기 전위의 급상승은 콘크리트 자체의 저항으로 인한 전위강하(IRc drop)값이며, 그 후 서서히 일어나는 전위변화가 전기방식으로 음극분극되었던 철근표면이 원래의 자연부식상태로 회복되는 복극(depolarization)부분이다. 따라서 전체 전위변화(ΔE)로부터 초기 전위강하(IRc drop)을 뺀 값이 순수한 전기방식으로 분극되었던 전위(IRp)값이며 이것이 100mV이상일 때 적정 방식이라 판단된다.

$$IR_p = \Delta E - IR_c$$

이 Instant-off 시험에서 전원차단 후 복극 전위의 측정은 일정시간(12시간, 24시간)동안 측정하는데, 최근에는 시험의 편의를 위해 측정시간을 단축한 4시간 기준을 많이 적용하고 있다. 그리고 콘크리트의 염화물량, 함수율, 통기성, 온도 등에 따라 전기방식에 필요한 분극전위값이 변한다. Table 1은 염화물량에 따라 달라지는 전기방식 분극전위이다.

Table 1. Polarized potential of cathodic protection according to concentration of Cl-

| concentration of Cl ⁻ (kg/m ³) | Polarized potential of cathodic protection(mV) |
|---|--|
| < 0.6 | 0 |
| 0.6 ~ 1.2 | 60 |
| 1.2 ~ 3.6 | 80 |
| 3.6 ~ 6.0 | 100 |
| 6.0 ~ 12.0 | 150 |

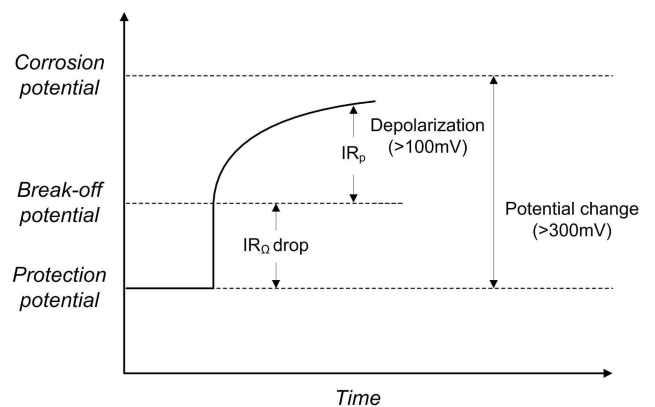


Figure 5. Cathodic protection standard of Instant-off test

2) 300mV 전위변이 기준

앞의 100mV 분극기준은 전위장치의 차단 후 상당시간(최소 4시간)동안 전위의 변화를 측정해야 하는 불편이 있다. 그래서 단순한 전위 측정만으로 전기방식 상태를 관장할 수 있는 기준이 300mV 전위변위 기준이며 Figure 5와 같이 측정된 자연전위가 철근의 자연 부식전위보다 -300mV 이하가 되면 방식상태로 판정한다.[8] 전위만 측정하기 때문에 멀티미터와 기준전극이 있으면 충분하며, 측정시간도 장시간 기다릴 필요가 없고, 전위차단(100mV 분극기준)과 같은 복잡한 절차도 없다. 그러나 이 기준은 단순히 전위만으로 방식상태를 판단하기 때문에 콘크리트 환경변화에 따라 다른 해석을 할 수 있다. 즉, 측정된 전위상으로 미방식 상태 일지라도 산소가 부족한 환경에서 부식이 발생하지 않을 수 있으며, 반대로 전위상 방식상태에 있을지라도 국부부식이 발생할 수 있다. 그러나 이러한 오류의 가능성에도 불구하고 편리함 때문에 정밀진단이 아닌 일반 구조물의 방식조사에 많이 이용되고 있다.

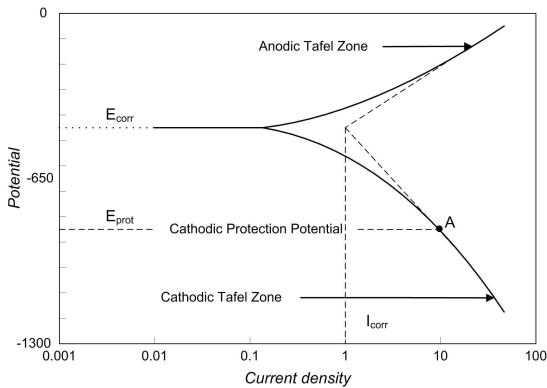


Figure 6. Cathodic protection standard of E-Log I

3) E-Log I 기준

E-log I 기준은 Figure 6과 같은 분극곡선으로부터 얻어진다. 철근의 음극분극(cathodic polarization)곡선은 자연 부식 전위로부터 전위가 저하하면서 분극되어 전류도 증가하는데 일정 전위에 이르면 곡선적 변화로부터 선형으로 변하는 변곡점이 있다. 이 A점 이하 직선적 변화구간은 발견자의 이름을 붙여 tafel구간 이라 부르는데 이 A점에서는 전위를 최소 전기방식기준으로 판정한다.[9] A점의 전위는 IR drop(에러) 없는 순수한 분극전위이며 이때의 가로축에 표시되는 전류밀도(Log 좌표)는 방식에 필요한 최소전류밀도가 된다. 이 방법 또한 이론적 원리에 기초한 것이 아닌 오랜 경험에 의해 정해진 기준이며, 음극분극시험만으로 전기방식 전위와 전류를 알 수 있는 장점이 있으나, 직선적인 tafel구간이 뚜렷하지 않은 경우 판정의 어려움이 있으므로, Instant-off시험방법이 개발된 이후로는 점차 사용빈도가 줄어들고 있다.

2.4 금속용사 전기방식의 방식전류밀도 분석기준

전기방식설계를 위해 적정 방식전류밀도 값을 결정하는 것은 매우 중요하다. 방식전류밀도(A/m²)에 방식면적을 곱하면 전체 방식전류(A)가 계산되며 이것에 의해 전위장치의 크기, 개수, 양극의 종류 등 전체 시스템에 대한 구체적인 항목들이 결정된다.[1] 따라서 전기방식 설계 중 방식전류밀도의 결정은 가장 중요한 설계 과정이라 할 수 있다. 그러나 국제적으로 아직까지 방식 전류밀도 값은 정립되어 있지 못한 실정인데, 그 이유는 주위 환경(염화물, 알칼리도 등)에 따라 크게 영향을 받기 때문이다. 문헌상 철근의 대표적인 방식 전류밀도 값은 10~20mA/m² 범위이다.

3. Zn-Al 금속용사 전기방식 실험

3.1 실험개요

Zn-Al 금속용사 전기방식 공법의 방식효과 및 영향요인을 분석하기 위하여 피복두께, 양극재형태, 염분혼입량 등을 변수로 하여 실험체를 제작하고 염수침지 및 건조 반복 부식촉진 실험을 실시하였다. 본 실험은 전기방식 공법에 금속용사 시스템을 도입한 Zn-Al 금속용사 전기방식 공법의 철근콘크리트 구조물 내 방식효과를 정량적으로 확인하고 차후 본 공법의 실구조물 적용 시 고려될 수 있는 기초자료를 도출해 내는 데에 목적이 있다. 현재 Zn-Al 금속용사 전기방식 공법은 현재 강구조물의 방식 공법에 있어서 매우 공격적이고 효과적인 공법으로 인정되어 널리 사용 중인 공법이다. 따라서 철근콘크리트 구조물 내에서의 적용성을 실험을 통해 확인할 수 있다면 콘크리트 내부의 철근 방식에 대한 효과적인 공법으로 사용될 수 있을 것이다.

3.2 사용재료

Table 2는 본 실험에 사용된 콘크리트의 배합표를 나타낸다. 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물시멘트비를 60%로 하고 Cl⁻이온을 0, 1.2, 2.4kg/m³ 포함하여 부식 촉진 환경을 조성하였다.

Table 2. Proportions of concrete mixture

| W/C (%) | S/a (%) | W (kg/m ³) | C (kg/m ³) | S (kg/m ³) | G (kg/m ³) | Cl ⁻ (kg/m ³) |
|---------|---------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| 60 | 47.0 | 198 | 330 | 834 | 972 | 0 |
| | | | | | | 1.2 |
| | | | | | | 2.4 |

3.3 실험체 형상 및 제작방법

실험체 형상은 Figure 7과 같이 100×100×180mm 크기

를 기준으로 하였으며 실험변수는 피복두께, 양극재 형태, 염분혼입량 등으로 하였고, 측정항목은 자연전위, 부식전류밀도, 부식면적율 등으로 하였다. 피복두께는 10cm, 20cm, 40cm로 하였고, 양극재의 형태는 무처리, 금속판, 금속용사 실시로 하였으며, 염분혼입량은 0, 1.2, 2.4kg/m³로 달리 하였다. Table 3는 실험체 종류를 나타낸다.

Table 3. Specimen categories

| Specimens | Cover depth | Cathode materials | Quantity of Cl ⁻ |
|-----------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| N10 | 10cm | - | 1.2 kg/m ³ |
| MS10 | 10cm | Metal spray | 1.2 kg/m ³ |
| MS20 | 20cm | Metal spray | 1.2 kg/m ³ |
| MP20 | 20cm | Metal plate | 1.2 kg/m ³ |
| MS40-C0 | 40cm | Metal spray | 0 kg/m ³ |
| MS40-C1 | 40cm | Metal spray | 1.2 kg/m ³ |
| MS40-C2 | 40cm | Metal spray | 2.4 kg/m ³ |



Figure 7. Specimen shape

3.4 부식촉진 실험방법 및 측정방법

부식촉진은 염수침지 2일, 건조 2일을 1 Cycle로 하여 습윤, 건조 반복 촉진방법을 이용하였다. 총 48일간 12 cycle에 걸쳐 자연전위 및 부식전류밀도를 측정 하였으며, 부식촉진 실험 진행간 6 cycle과 12 cycle 경과 시 N10 실험체와 MS10 실험체를 각각 파괴하여 부식면적율을 측정하였다. 자연전위 측정기기로는 SRI-CM-2기기를, 부식전류밀도 측정기기로는 고저항 디지털 멀티미터를 이용하였다. Figure 8은 자연전위와 부식전류밀도의 측정 모습이다.



Figure 8. Half-cell potential & Corrosion current density measurement

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 피복두께 및 양극재 종류의 영향

Figure 9는 양극재의 종류가 알루미늄 판으로 되어있는 MP20실험체와 금속용사가 실시된 MS20과의 결과비교 그래프이다. 그림에서와 같이 금속용사 전기방식 공법이 적용된 MS20실험체의 경우가 금속판 형태의 MP20실험체보다 전반적으로 높은 방식전류밀도를 확보함으로써, 금속용사 전기방식 공법이 철근 방식 공법으로서의 충분한 효과를 발휘할 수 있을 것으로 보인다. Figure 10은 피복두께에 따른 방식전류밀도의 변화를 나타낸다. 피복두께가 가장 작은 MS10 실험체의 경우가 전체적으로 가장 높은 방식전류밀도를 보였다. 이는 MS10실험체의 피복두께가 작기 때문에 방식전류의 흐름에 대한 콘크리트의 저항이 상대적으로 낮은 것에 기인한 결과로 보인다.

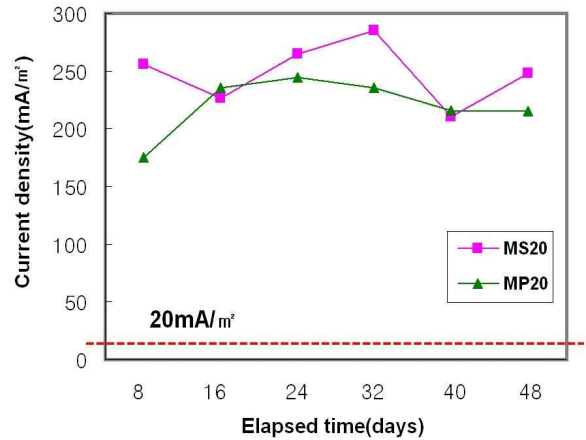


Figure 9. Difference of current density between metal spray and metal plate

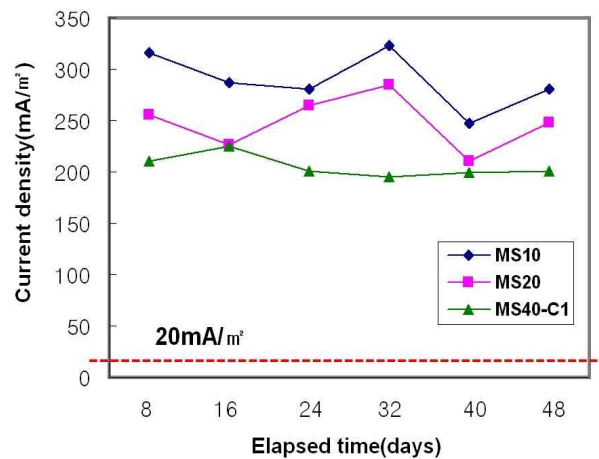


Figure 10. Current density according to cover depth

Table 4. Current density of corrosion cycles

| Specimen | Cover depth (cm) | Cathode materials | Quantity of Cl ⁻ (kg/m ³) | Current density of corrosion cycles(mA/m ²) | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------|-------------------|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| N10 | 10 | - | 1.2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| MS10 | 10 | Metal spray | 1.2 | 311.5 | 316.1 | 296.5 | 286.7 | 281.1 | 280.7 | 299.4 | 323.2 | 301.2 | 247.4 | 259.7 | 280.9 |
| MS20 | 20 | Metal spray | 1.2 | 251.7 | 255.8 | 244.5 | 226.4 | 238.4 | 264.6 | 277.3 | 284.8 | 266.9 | 210.1 | 232.4 | 247.8 |
| MP20 | 20 | Metal plate | 1.2 | 166.4 | 175.1 | 202.4 | 235.6 | 239.6 | 244.5 | 241.4 | 235.2 | 223.7 | 215.8 | 215.7 | 215.1 |
| MS40-C0 | 40 | Metal spray | 0 | 169.5 | 175.1 | 199.4 | 235.6 | 213.7 | 198.5 | 187.5 | 183.2 | 199.6 | 223.4 | 222.4 | 225.4 |
| MS40-C1 | 40 | Metal spray | 1.2 | 209.5 | 210.5 | 212.9 | 224.7 | 219.8 | 210.7 | 206.2 | 195.4 | 204.1 | 239.4 | 238.6 | 235.4 |
| MS40-C2 | 40 | Metal spray | 2.4 | 199.5 | 201.3 | 219.5 | 239.5 | 244.9 | 266.2 | 268.7 | 270.7 | 273.5 | 278.6 | 291.4 | 305.4 |

Table 5. Half-cell potential at 6 cycles

| Specimen | Cover depth (cm) | Cathode materials | Quantity of Cl ⁻ (kg/m ³) | Half-cell potential (mV) ▪ measurement time (s) | | | | | | | | | | | |
|----------|------------------|-------------------|--|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 |
| MS10 | 10 | Metal spray | 1.2 | -506.9 | -468.2 | -522.2 | -359.1 | -527.7 | -385.4 | -415.5 | -221.1 | -351.4 | -122.1 | -292.5 | -125.3 |
| MS20 | 20 | Metal spray | 1.2 | -379.6 | -253.9 | -209.2 | -218.7 | -256.9 | -188.8 | -238.4 | -171.6 | -137.6 | -214.8 | -166.1 | -37.3 |
| MS40-C0 | 40 | Metal spray | 0 | -412.9 | -356.3 | -349.9 | -208.8 | -370.2 | -293.7 | -269.1 | -154.9 | -177.7 | -54.2 | -168.3 | -43.4 |
| MS40-C1 | 40 | Metal spray | 1.2 | -391.8 | -212.6 | -328.5 | -261.4 | -389.3 | -164.7 | -136.9 | -201.5 | -98.8 | -37.2 | -162.5 | -22.2 |
| MS40-C2 | 40 | Metal spray | 2.4 | -382.9 | -316.3 | -299.9 | -268.8 | -340.2 | -323.7 | -219.1 | -134.9 | -166.7 | -69.4 | -159.3 | -41.4 |

또한 일반적으로 전기방식에서 요구하는 유효방식 전류량인 20mA/m²에도 전체적으로 상회하는 값을 보이고 있으므로 충분한 방식효과가 있다고 볼 수 있다. 전기방식공법은 콘크리트의 피복두께가 작을수록 저항이 줄어들기 때문에 전류가 수월하게 흐르고 적용성이 좋아진다. 하지만 이러한 경우에는 양극재 정착시에 콘크리트 피복부가 손상될 수 있는 등의 어려움이 있다. 반면에 금속용사 전기방식 공법을 사용할 경우, 이렇게 양극재 설치가 어려운 피복두께가 작은 구조체의 경우에도 손쉽게 적용이 가능하다.

4.2 염분혼입량에 따른 방식전류밀도

Figure 11은 콘크리트 내 염분혼입량에 따른 방식전류밀도의 변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 염분혼입량이 가장 많은 MS40-C2의 경우가 가장 높은 방식전류밀도를 보이고 있다. 이는 염분혼입량이 많아질수록 콘크리트 내부 철근의 부식속도는 빨라지게 되고 이에 필요한 방식전류의 양이 많아지게 되기 때문에 나타난 결과로 보여진다. 마찬가지로 이유로 MS40-C0와 MS40-C1의 경우는 순차적으로 그림과 같은 결과를 나타내고 있다. 금속용사 전기방식 공법이 해양구조물과 같은 염해의 위험이 있는 구조물의 경우에 좀 더 강력한 효과를 보일 수 있다는 가능성을 제시해 주는 결과이다. 또한 아래 실험체의 경우에도 유효방식 전류량 (20mA/m²)에 모두 상회하는 값을 보이고 있다.

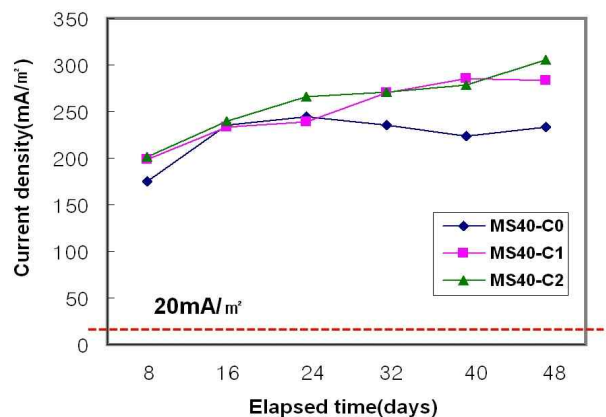


Figure 11. Current density according to quantity of Cl⁻ ion

4.3 습윤상태와 건조상태에서의 방식전류밀도

Figure 12, 13, 14는 각각 MS10, MS20, MS40-2의 습윤 및 건조 상태에서의 방식전류밀도를 비교한 그래프이다. 세 가지 실험체의 데이터를 분석해보면, 전반적으로 습윤 상태에서의 방식전류밀도가 건조 상태보다 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이는 금속용사 전기방식 공법의 수중 구조물에 대한 적용 가능성에 대한 가능성을 제시해 주는 사항이다. Zn-Al 금속용사 전기방식공법은 부식생성물이 매우 적고, 아연이나 알루미늄 단일금속 양극재에 비하여 내구성이 매우 좋기 때문에, 해양 침수 구조물이나 주수간만의 차이가 있는 해양교량 등과 같은 극한 환경에서의 적용 효과가 매우 좋을 것으로 기대된다.

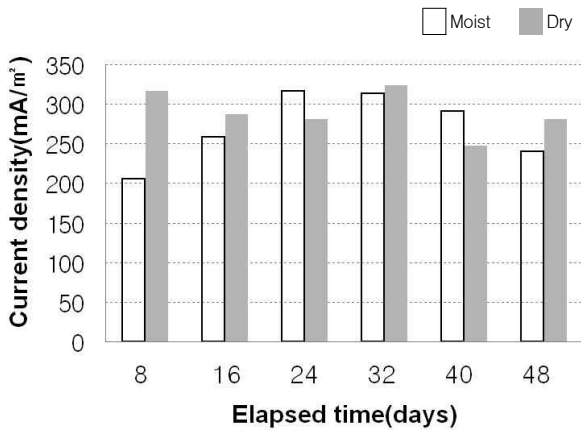


Figure 12. Current density according to moisture and dry condition(MS10)

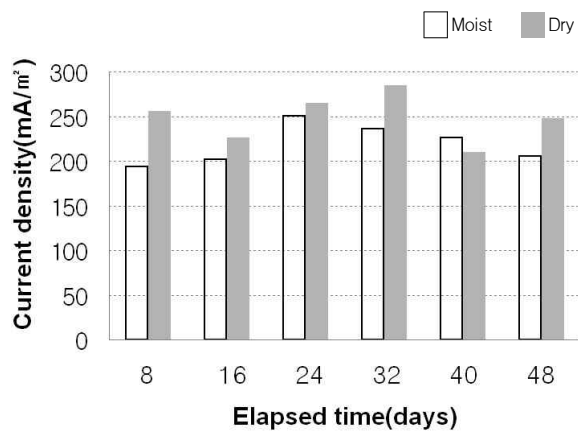


Figure 13. Current density according to moisture and dry condition(MS20)

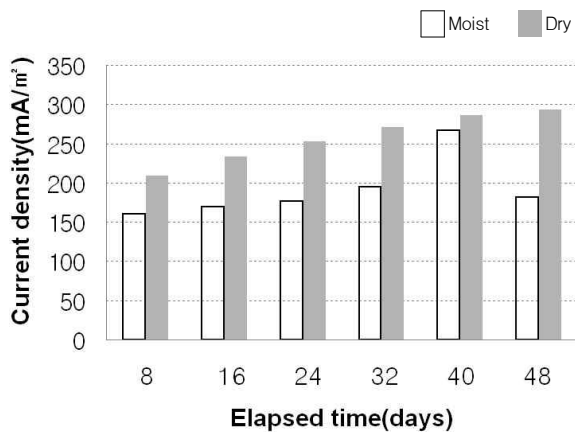


Figure 14. Current density according to moisture and dry condition(MS40-C2)

4.4 자연전위 측정결과

Figure 15는 300mV 분극기준에 의한 Instant-off 실험을 통하여 자연전위를 20초 간격으로 총 240초간 측정된 결과

이다. 전류를 끊고 초반에는 각 실험체 간의 전위 차이를 보이다가 약 4분 경과 후에는 비슷한 접점을 찾아가는 모습을 보였다. 300mV 분극기준에 따르면 방식 적용시 전위 값과 전류 차단시 전위 값, 즉 복극(depolarization)량이 300mV 이상일 경우 방식상태로 판정한다. Figure 16에서 보는 바와 같이 4개의 실험체 모두 복극량이 300mV 이상의 값을 나타내는 것을 확인할 수 있으므로 금속용사 전기방식 공법이 충분히 방식 효과를 보이고 있다고 볼 수 있다.

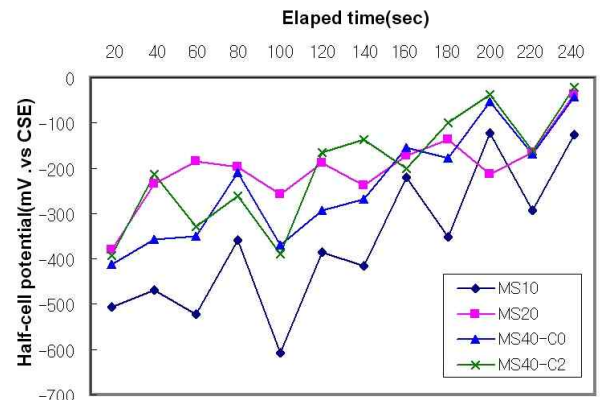


Figure 15. Half-cell potential at 6 cycles

4.5 부식면적을

Zn-Al 금속용사 전기방식 공법의 방식 효과를 증명하기 위하여 기준이 되는 실험체인 N10과 MS10 실험체를 총 48일 12 cycle 중 6 cycle과 12 cycle 경과 시에 각각 파괴하여 부식면적을 측정하였다. Figure 16, 17은 N10과 MS10의 6 cycle 경과 시 부식면적율과 12 cycle 경과 시 부식면적율을 각각 나타낸다.

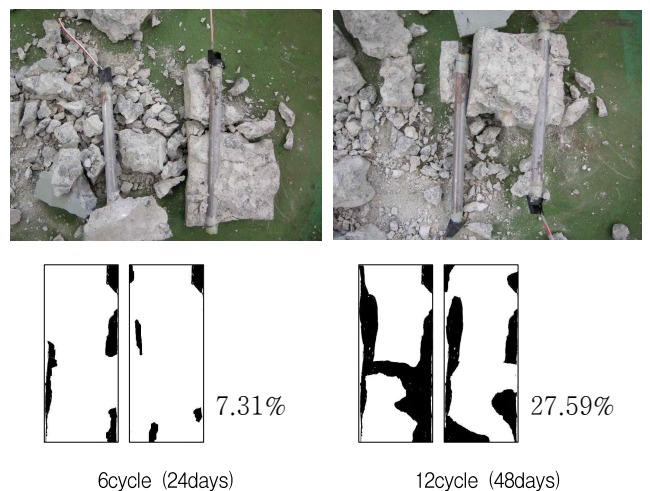


Figure 16. Corrosion area rates (N10)

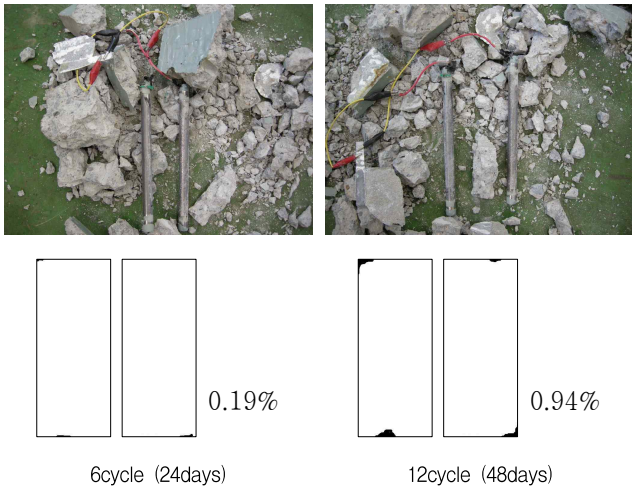


Figure 17. Corrosion area rates (MS10)

무처리 실험체인 N10의 경우 6 cycle에는 7.31%, 12 cycle에는 27.59%의 부식면적율을 보였고, 금속용사 처리가 된 실험체인 MS10의 경우 6 cycle에는 0.19%, 12 cycle에는 0.94%의 부식면적율을 보였다. 실험결과를 통해 Zn-Al 금속용사 전기방식 공법을 통한 부식 억제 성능을 가지적으로 확인할 수 있었다. MS10 실험체의 경우에 완전 방식이 되지 않은 이유는 실험체의 양쪽 단부의 에폭시 실링 처리 시에 시공 불량으로 생긴 틈으로 염분 및 수분이 침투하여 생긴 결과로 생각된다.

6. 결 론

Zn-Al 금속용사 전기방식 공법의 철근 콘크리트 구조물 적용성에 관한 영향요인을 분석하기 위하여 여러 변수를 고려한 실험체를 제작하고 부식촉진 실험을 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 금속용사 전기방식 공법을 적용한 실험체의 경우 모두 유효 방식 전류량인 $20\text{mA}/\text{m}^2$ 를 상회하는 값을 보여 충분한 방식효과를 보이는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 피복두께가 작은 실험체의 경우가 부식가능성이 더 크고, 따라서 방식전류밀도가 더 크게 측정이 되었다. 일반적으로 전기방식의 경우 콘크리트의 피복두께가 작을수록 저항이 줄어들기 때문에 전류가 수월하게 흐르기 때문에 적용성이 좋아지지만, 양극재 설치시 어려움이 있다. 반면에 금속용사 전기방식 공법은 양극재 설치가 어려운 피복두께가 작은 구조체의 경우에 손쉽게 적용이 가능할 것으로 보인다.
- 3) 염분 혼입량이 큰 실험체의 경우가 적은 실험체의 경우

보다 큰 방식전류밀도를 보였다. 이를 통해 금속용사 전기방식 공법이 염해에 크게 노출되어있는 해양구조물과 같은 형태의 구조물의 철근 방식에 효과적인 공법임을 확인할 수 있었다.

- 4) 습윤상태의 방식전류밀도가 건조상태에서의 경우보다 전체적으로 크게 나타났다. 이는 습윤상태에서의 통전성이 건조상태보다 더 좋다는 것을 의미하며 금속용사 전기방식 공법이 수중 구조물이나 조수간만의 차이가 있는 해양교량 등에 유리한 공법으로서 적용될 수 있는 가능성을 제시한다고 볼 수 있다.
- 5) 실제 부식면적율 검토에 있어서 Zn-Al 금속용사 전기방식 공법을 적용한 MS10실험체의 경우가 무처리 실험체인 N10실험체보다 월등하게 적은 부식면적율을 보여 본 공법의 방식 성능을 가지적으로 확인할 수 있었다.

요 약

희생양극방식은 지하구조물이나 해양환경하에서 구조물의 방식공법으로 소개되어지고 있다. 1970년대 이후, 희생양극방식이 철근콘크리트 구조물에 적용되어지고 있다. 희생양극방식은 전세계적으로 1990년대 이후 그 유효성을 검증되었다. 그러나, 희생양극방식은 시공적이나 경제적인 약간의 문제점을 가지고 있다. 그 문제점을 해결하기 위하여 고 내구성 금속을 용사시키는 희생양극방식이 개발되었다. 양극재(아연, 알루미늄)를 금속용사로 도포하여 실험체를 제작한 후, 실험체의 부식전류를 측정하여 양극재의 방식성능을 확인하였다. 실험결과 철근 콘크리트 구조물을 대상으로 금속용사를 이용한 희생양극방식이 우수한 방식성능을 가지는 것을 알 수 있었다.

키워드 : 금속용사, 희생양극방식, 부식전류밀도

Acknowledgement

This work was supported by Sustainable Building Research Center Hanyang University which was supported the SRC/ERC program of MEST (R11-2005-056-04003) and the center for Concrete Korea

References

1. Kim KJ, Lee MH, Moon KM, Principle and application of cathodic protection for concrete structure. Magazine

-
- of the Korea Concrete Institute 2009;18(5):22-33
2. Paul C, Cathodic protection of steel in concrete, London U. K., E & Fn Spon; 1998
 3. Kang CS, Prediction on the anti-corrosion life of steel applying Zn-Al thermal metal spray method by the electrochemical experiment [MS dissertation]. Hanyang University; 2006
 4. Cheong HM, An TS, Kim HS, Han BK, Current state and prospect of electrochemical techniques for protection of steel corrosion in concrete. Magazine of the Korea Concrete Institute 2009;18(5):16-21
 5. Kim SS, Kim HS, Kim JP, Effect of the protection for rebars by embeded sacrificial anode in concrete. Journal of the Korea Concrete Institute 2001;13(2):1207-1212
 6. Lee HS, Development for finishing method of concrete structures applying metal spraying system. Journal of the Korea Concrete Institute 2001;13(2):1225-1228
 7. Huet B, L'hostis V, Santarini G, Feron D, Idrissi H, Steel corrosion in concrete: Determinist modeling of cathodic reaction as a function of water saturation degree. Corrosion science 2007;49(4):1918-1932
 8. Bennet J, Turk T, Criteria for the cathodic protection of reinforced concrete bridge elements. SHRP-S-359, SHRP, US 1994;3-14
 9. Jung SH, Lee MS, Experimental study on the corrosion protection properties and anticorrosive life of the Zn/Al metal spray method according to the contents ratio of Zn and Al. Journal of the architectural institute of Korea 2003;19(10):59-66
 10. Rebar Corrosion Inspection. Ilkwang;1996
 11. Jones DA, Principle and prevention of corrosion. DongHwa Technology Publishing Co.:1999
 12. Cathodic protection of reinforced concrete bridge elements. A state-of-the-art report:1993