

# 아연 메쉬 희생양극을 이용한 콘크리트 파일의 음극방식 특성 및 방식전류 유효거리

## Cathodic Protection Characteristics and Effective Length of Protection Current of Concrete Pile using Zn-mesh Sacrificial Anode

김 기 준\* 정 진 아\*\* 이 우 철\*\*\*  
Ki-Joon, Kim Jin-A, Jeong Woo-Cheol, Lee

### ABSTRACT

The corrosion of steel in concrete is significant in marine environment. Marine bridges are readily deteriorated due to the exposure to marine environment. Salt damage is one of the most detrimental causes to concrete bridges and port structures. Especially, the splash and tidal zones around water line are comparatively important in terms of safety and life-time point of view. During the last several decades, cathodic protection (cp) has been commonly accepted as an effective technique for corrosion control in concrete structures. Zn-mesh sacrificial anode has been recently developed and started to apply to the bridge column cp in marine condition. The detailed parameters regarding Zn-mesh cp technique, however, have not well understood. This study is to investigate how much Zn-mesh cp influences along the concrete column at elevated temperature. About 100cm column specimens with eight of 10cm segment rebars have been used to measure the variation of cp potential with the distance from Zn-mesh anode at both 10°C and 40°C in natural seawater. The cp potential change and current diminishment along the column specimens have been discussed for the optimum design of cp by Zn-mesh sacrificial anode

### 요 약

해양환경에서 철근 콘크리트의 부식은 매우 심하며, 염해는 콘크리트 교량과 항만 구조물의 부식을 일으키는 주요 요인 중 하나이다. 특히 비말대 및 간만대의 수면 부분은 구조물의 안전과 수명의 관점에서 볼 때 매우 중요하다. 지난 수십 년간 토목, 건축분야에서 콘크리트구조물 부식을 억제하기 위한 방식법 중 음극방식(cathodic protection, CP)은 많은 발전을 이룩하였으며 이제 보편화되는 추세에 있다. 최근 해양환경에서 콘크리트구조물의 음극방식을 위해 아연 메쉬 희생양극법이 개발 소개되었으나 아직까지도 이에 대한 구체적 내용이 잘 알려지지 않은 상태이다. 따라서 본 연구에서는 아연 메쉬 음극방식이 환경인자에 따라 콘크리트교각에 어떤 영향을 미치는지에 대하여 조사하였다. 아연 메쉬와 철근의 거리에 따라 음극방식 효과를 측정하기 위하여 약 100cm의 파일 시험편에 10cm 세그먼트 철근 8개를 설치하였으며, 아연 메쉬 희생양극에 의한 음극방식의 설계에 관련된 정보를 얻고자 파일 시험편의 높이에 따른 음극방식 전위의 변화와 전류의 감소치를 측정하였다.

\* 정희원, 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수  
\*\* 정희원, 한국해양대학교 운항훈련원 조교수  
\*\*\* 정희원, (주)콘크리닉 기술연구소 소장

## 1. 서론

해양환경에서 철근콘크리트의 부식은 콘크리트 구조물의 내구성에 큰 영향을 미친다. 해수 중 비말대 및 간만대의 수면부위는 부식의 주요 인자인 산소와 수분이 풍부하기 때문에 부식성이 매우 높은 부분 중 하나이며, 교량이나 항만시설은 물론 해양 구조물에 있어서도 가장 취약한 부분이다.

음극방식은 19세기 초에 소개된 이후로 지중분야, 및 해양환경에서 강 구조물의 부식 방식을 억제하는 기술로 사용되어 왔으며 이제는 검증된 방식법의 하나가 되었다. 콘크리트 분야에서의 음극방식 기술은 지난 20년 동안 괄목할 만한 발전이 있었으며 국내에도 최근 소개되어 적용이 시작되고 있다. 그러나 아직도 불균질인 콘크리트에 음극방식법을 적용하는데는 해결해야 할 많은 기술적인 문제들이 남아있는 실정이다.

일반적으로 음극방식 기술은 외부전원법과 희생양극법의 크게 두 종류로 분류된다. 이 두 방법 중 해안 부근의 전원장치 등 시설이나 유지보수 관리의 어려움이 있는 콘크리트 구조물의 음극방식에는 상대적으로 설치가 간단하면서 비용이 적은 희생양극법이 선호되고 있다. 해수 중 콘크리트구조물의 희생양극식 음극방식용 양극으로는 아연이 주로 사용되며, 특히 해양 환경에서 심각한 부식 문제가 발생되고 있는 수면 부근, 즉 콘크리트 교량의 교각에 주로 적용되고 있다. 희생양극식 음극방식 시스템은 설치 후 작동을 개시하면 방식전류는 아연양극으로부터 해수 및 콘크리트를 통해서 철근에 유입된다. 콘크리트 내에서의 방식 전위 및 전류는 콘크리트의 저항, 온도 등과 같은 여러 가지 환경적인 요인에 의해 영향을 받게 된다. 콘크리트 저항은 해수나 염분의 침투율과 관계가 있고 온도는 계절에 따른 날씨와 관계가 있다. 아연 양극을 사용한 콘크리트 교각의 수중부에서부터 수면부, 수상부, 대기부에 이르는 음극방식 전위 및 전류의 분포에 관하여는 잘 알려져 있지 않으며, 온도에 의한 영향도 잘 구명되어 있지 못한 실정이다. 본 연구에서는 아연 메쉬 희생양극을 이용하여 방식하는 교각에 대하여 음극방식 전위 및 전류에 관하여 수평 및 수직 교각 시험편 내부의 긴 하나의 철근과 여러 개의 세그먼트(segment) 철근을 이용하여 전위 및 전류의 분포를 연구하였다. 실험조건은 온도 10℃ 및 40℃ 및 해수에 완전 침지, 부분 침지한 상태였으며, 해수면 부근 교량의 교각 및 부두 보(beam) 구조를 시뮬레이션 하였고, 단기간 실험실 실험을 수행하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시험편

콘크리트 교각 및 교량이나 항만 구조물의 보를 시뮬레이션하기 위해 시험편 및 측정단자는 그림 1과 같이 고안하였다. 시험편의 크기는 100cm×5cm×5cm이었으며, 철근은 직경 10mm의 장 철근 하나를 세로로 설치하고 그것과 나란히 길이 10cm 8개의 세그먼트를 2cm 간격으로 배치하였다. 음극방식용 양극으로는 상업용으로 사용되는 아연 메쉬 양극을 15cm×5cm 크기로 절단하여 각각의 시험편 한쪽 끝부분에 매입하였다.



그림 1 시험편 및 측정 단자



그림 2 시험편의 전위측정

실험환경조건은 표 1과 같으며 대기상태의 비교시험편을 제외하고는 모두 자연 해수에 노출시켰다. 수평시험편은 완전침지 또는 부분침지 상태에서 측정하였고, 수직 시험편은 밑면에서 40cm 높이까지 침지하여 시험하였다. 자연해수를 시험용액으로 사용하였으며 시험초에는 매주 해수를 교환하였

고, 후기에는 2-4주마다 해수를 교환하였다.

표 1 실험환경조건별 시험편의 종류

Spec. ID	Environment	Immersion	Test Direction	Temperature
P-1	Air	N/A	Horizontal	40°C
P-2	SW	Full	Horizontal	40°C
P-3	SW	Top Surface	Horizontal	10°C
P-4	SW	Top Surface	Horizontal	40°C
P-5	SW	Bottom 40cm	Vertical	10°C
P-6	SW	Bottom 40cm	Vertical	40°C

## 2.2 실험 방법

전위 모니터링은 그림 2와 같이 Fluke multimeter와 염화은 기준전극(SSCE)을 사용하였으며, 실험 중 일정 시기에 방식전류와 음극방식 상태 조사를 위한 4시간 복극시험(depolarization test)을 실시하였다. 복극시험과 전류 측정에는 ZRA(zero resistance ammeter)의 기능을 갖춘 Gamry 전기화학적 측정 장치를 이용하였다. 이때 전류측정을 위한 shunt로 1 ohm 저항을 사용하였다. 전체적인 전기화학 실험은 ASTM과 NACE 규정에 기준하여 진행하였다.

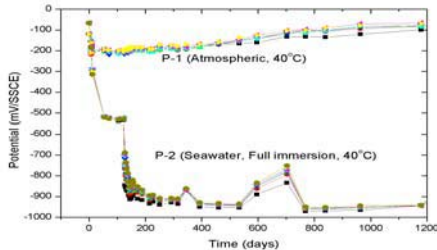


그림 3 P-1 & P-2 시험편 8개 세그먼트의 전위거동

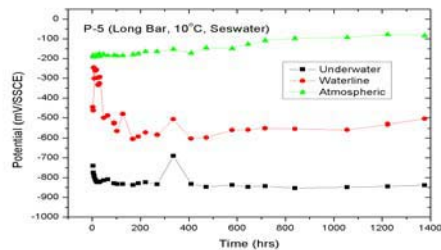


그림 4 P-5 시험편 내부 장 철근의 전위거동

## 3. 실험 결과

그림 3은 40°C 온도에서 대기부(P-1)와 자연해수 중 완전 침지(P-2)상태에서 음극방식한 시험편의 전위변화이다. 대기부의 전위는 -200mV/SSCE 부근까지 약 100mV 이상 감소하다가 점차적으로 회복하였다. 반면에 P-2시험편의 전위는 약 200일 동안에 -950mV/SSCE까지 음분극되었다. 이것은 희생양극에 의한 음극방식은 대기환경과 같이 비저항이 높은 곳에서는 방식전류의 흐름이 원활치 않으나, 해수중에서는 충분한 방식전류 공급이 가능함을 나타내는 것이다. 여기에서 아연양극과 철근 세그먼트와의 거리에 따른 방식전위의 차이는 거의 없는 것을 알 수 있었다. 수직시험편에 대해 전위에 미치는 해수침투의 영향은 P-5 시험편의 장 철근에 대해 측정결과에서 해수 침투가 원활할수록 방식전위가 저하하는 경향을 뚜렷이 확인할 수 있다.

그림 5는 같은 P-5시험편에 대해 장 철근과 세그먼트 철근의 전위를 비교한 것이다. 같은 조건에서 장 철근에 의한 측정결과와 세그먼트에 의한 결과가 잘 일치됨을 알 수 있었다. 그리고 아연양극과 가장 가까운 S1-S3 3개의 세그먼트는 가장 방식효과가 좋은 낮은 전위를 나타낸 반면, 이후 세그먼트 전위는 설치 높이에 따라 전위가 상승하였으며, 앞선 그림 4의 높이별 세 영역의 변화(수중부:S1-S3, 수선부:S4-S5, 대기부:S6-S8)와 잘 일치하였다. 이는 확인한 바와 같이 음극방식 전위가 수면상 파일의 높이에 따라 해수 침투 차이로 콘크리트의 전도성에 큰 영향을 준다는 것을 의미한다.

음극방식 효과에 대한 온도의 영향을 비교하기 위하여 아연양극의 음극방식 전류와 전위를 그림 6과 7에 비교하였다. 실험초기 불안정한 전류변화 후에 온도에 따른 방식전류는 10°C에서는 1mA, 40°C

에서는 3mA로 일반적인 전기화학적 반응과 같이 높은 온도에서 반응 전류가 증가하는 경향이 확인되었다. 그림 8에 파일 높이에 대한 복극 전위값을 나타내었다.

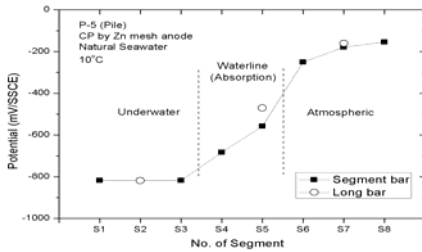


그림 5 P-5 시험편 세그먼트와 장 철근의 전위비교

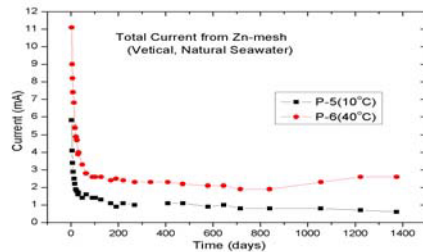


그림 6 온도에 대한 아연 메쉬 양극의 전체전류량

수중부(S1-S3)의 복극전위값은 10°C에서 약 50mV, 40°C에서 225mV로 4배이상 차이가 있었으며 수면부(S4-S5)에서 급격하게 감소되어 결국 대기부에서 거의 같은 낮은 복극전위를 나타냈다. 이것은 음극방식에 의한 분극은 온도와 해수의 침투율에 큰 영향을 받으며 비저항이 높은 곳에서는 전류값이 낮아 온도에 의한 차이도 나타나지 않음을 보여주는 것이다.

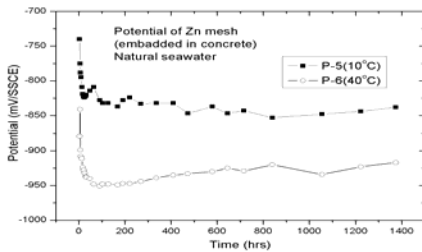


그림 7 온도에 대한 아연 메쉬 양극의 전위

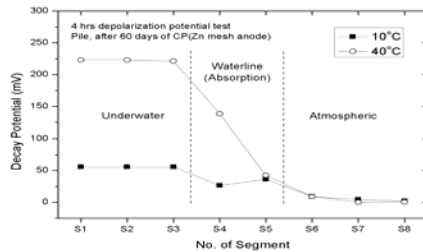


그림 8 음극방식 60일 후 측정된 4시간 복극전위

#### 4. 결론

1. 수평 보-형 시험편에서 음극방식 전위는 해수중에서 충분한 분극으로 방식기준에 도달하였으나, 대기에 노출된 시험편은 콘크리트의 높은 비저항으로 인해 음극전위가 충분하지 않았다.
2. 해수 중 콘크리트 파일의 방식전류는 온도가 높을수록 방식효과가 좋았으며 10°C보다 40°C에서 약 3배정도였다.
3. 40°C 수중부의 4시간 복극 전위는 10°C보다 4배정도 높아 충분한 음극분극 전위를 보였으며, 높이가 높아져 대기부로 갈수록 비저항 증가로 인하여 그 차이는 감소하였다.
4. 종합적으로 콘크리트 내부의 아연 메쉬 희생양극에 의한 음극방식은 수중부에서, 그리고 높은 온도조건에서 충분한 방식효과가 있었으며, 간판대 및 비말대에서 비교적 양호하였으나, 대기부에서는 방식효과가 떨어졌고 온도에 의한 영향도 적음을 확인하였다.

#### 참고문헌

1. R. Weydert, Corrosion of Steel in Reinforced Concrete Structures, COST 521, p.63 (2002)
2. P.M. Chess, Cathodic Protection of Steel in Concrete, E & FN SPON, p.37, p.111 (1998)
3. J.P. Broomfield, Corrosion of Steel in Concrete, 2nd ed., Taylor & Francis, p.140 (2007)
4. F.J. Presuel-Moreno, S.C. Kranc and A.A. Saues, Corrosion, Vol. 61, No. 6, p.548 (2005)
5. W.H. Hartt, Corrosion, Vol. 58, No. 6, p. 513 (2002)
6. L. Bertolini, M. Gastaldi, M.P. Pedefferri, and E. Redaelli, Corrosion Science, Vol. 44, p. 1497 (2002)