

# 해양환경 중 Zn-mesh를 적용한 콘크리트 슬랩의 음극방식 특성

## Cathodic Protection of Reinforced Concrete Slab with Zn-Mesh in Marine Environment

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

### ABSTRACT

Marine bridges are readily deteriorated due to the exposure to marine environment. The concrete deterioration occurred by corrosion of steel in concrete is mainly relevant to chloride in seawater. Chloride ions penetrate through porous concrete, and then reach to the reinforcing steel, and finally corroded them. The corrosion by-products(rusts) increase the volume as much as 6 to 10 times of origin steel. this creates expanding pressure and tensile stress, which cause the structures cracking and spalling. Sometimes the rebar corrosion is accelerated, and then collapsed catastrophically. In order to prevent corrosion damage, it is important to understand well regarding the reason of concrete corrosion, the quantification of its damage, and protection method/system to stop or to mitigate the corrosion. In this study, slab specimens were fabricated to evaluate the effect of cathodic protection which was simulated to marine bridges, and/or port structures. Zn-mesh sacrificial anode has been applied as a cathodic protection system and accelerated test conditions, i.e. temperature and salt concentration have been used in this study.

### 요 약

해상교량은 바다에 노출되기 때문에 많은 경우 본래의 설계수명을 다하지 못하고 조기에 열화된다. 이러한 콘크리트 열화는 다공성인 콘크리트 내부에 염분이 침투함으로써 철근부식을 야기하고, 부식된 철근은 보통 6~10배까지 부피가 팽창하면서 콘크리트에 균열을 일으키고 결국 탈락(박리)으로 이어진다. 이와 같은 철근부식과 균열발생의 가속화는 구조물의 심각한 손상과 궁극적으로 붕괴까지 이어질 수 있다. 따라서 이러한 피해를 막기 위해서는 콘크리트 내 철근부식의 정확한 이해가 필요하며, 부식발생의 정량화에 의한 예측은 물론 적절한 방지법을 적용해야 한다. 음극방식법은 비교적 최근에 개발된 철근콘크리트 구조물의 방지법 중 하나이며 요즘에도 해외 여러 나라에서 이에 대한 방지시스템 연구가 활발하다.

본 연구에서는 해상교량이나 항만부두 구조물의 상판부에 대한 예비실험 성격으로 슬랩 시험편(40cm \* 30cm \* 18cm)을 채택하였다. 시험환경은 15% 염분과 온도 40°C의 가속화된 해양환경이었으며, 시험 기간 동안 주기적인 건습 반복을 실시하였다. 방지시험편은 음극방식 기술의 하나인 Zn-mesh에 의한 희생양극식을 채택하였다. 연구내용으로는 음극방식에 의한 방지성능을 관찰하였으며 신설구조물과 보수구조물에 대한 방지 효과를 비교하였다.

\*정희원, 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수

\*\*정희원, 한국해양대학교 운항훈련원 조교수

\*\*\*정희원, (주)콘크리닉 기술연구소 소장

## 1. 서론

3면이 바다로 둘러싸인 우리나라의 해안은 무수한 섬들이 분포되어 있고 이러한 다도해의 주요 섬들은 해상 교량의 건축으로 육지와 잇달아 연결되어 있다. 근래에 들어 통행시간을 단축시키기 위해 서,남해안을 중심으로 전국적으로 해상교량이 급증하고 있다. 해상교량은 물류수송에 따른 통행시간 단축은 물론 도서지방의 아름다운 경관에 의한 관광자원으로도 활용될 수 있기 때문에 건설 사업으로서 앞으로도 계속 증가될 전망이다.

그러나 이와 같은 해상교량은 바다에 노출되어 있기 때문에 원래의 설계수명을 유지하기 어렵다는 데에 있다. 철근 콘크리트는 다공성이기 때문에 바다에 노출될 경우 염분에 의해 내구연한을 지키지 못하고 조기에 열화된다. 즉, 염분이 콘크리트 내로 침투하여 철근을 부식시키고, 부식된 철근은 6~10배까지 부피가 증가되면서 팽압과 인장력을 일으키게 된다. 따라서 콘크리트에 균열이 발생하게 되고, 이것이 발전하여 탈락(박리)현상이 일어나게 되며, 결국 철근부식을 가속화시켜 구조물의 안전을 위협하게 된다. 이러한 염분의 침투에 의한 부식을 막기 위한 방안으로는 밀실한 콘크리트를 사용하거나, 피복두께를 증가시켜 유해성분의 침투율을 낮추기도 하지만, 설계와 현장 시공상의 문제 또는 공사현장의 작업성 등 여러 가지 요인으로 결국 철근의 궁극적인 보호는 어려워져 부식에 이르게 되는 것이다. 해상교량의 균열과 파괴의 주원인은 철근의 부식으로부터 야기되기 때문에 단순한 보수 보강공법으로는 문제를 해결하기 어려우며, 음극방식과 같이 공격적 부식 제어 방법이 필요하다. 콘크리트구조물의 방식은 오랜 동안 연구되어 왔으며 분야에 따라 상당한 가이드라인이 제시되어 있기도 하다. 그러나 여러 가지 많은 인자들에 의해 방식의 효과가 크게 달라질 수 있으며, 경제성을 고려해야 하기 때문에 장기적인 최적의 방식법을 개발하기 위해서는 많은 연구와 실험데이터가 요구된다.

본 연구에서는 해양 환경에 노출된 해상교량이나 부두 상판부에 해당하는 슬랩의 방식과 관련된 자료를 확보하기 위한 예비실험으로 40cm\*30cm\*18cm의 슬랩형 시험편을 제작하여 부식 및 방식특성을 연구하였다. 음극방식 설비로는 fiberglass panel에 Zn-mesh를 장착하여 Zn의 갈바닉 효과에 의해 철근을 방식하였다. 여기에서 fiberglass panel은 산소, 파도, 수분, 염분 등의 외부의 부식인자에 대한 물리적인 장벽으로서 방식작용을 할 뿐만 아니라, 비교적 큰 강도에도 견딜 수 있는 보강기능까지를 시험하였다. 본 연구를 통하여 보수개념으로의 음극방식을 적용하는 음극방식(cathodic protection)보다 신설구조물에 미리 음극방식을 적용하는 음극예방(cathodic prevention)이 더 방식효과가 양호함을 확인 할 수 있었다.

## 2. 실험 방법

슬랩 시험편은 시험편 상부 열에 두 개의 철근이 있고 하부 열에 4개의 철근을 배치한 직육면체 구조이며 상부 1개의 철근과 하부 두 개의 철근이 대응되도록 하였다. 시험편의 크기는 40cm×30cm×18cm이었으며, 여기에 사용된 주 철근의 크기는 KS 규격 D16이었다. 그리고 철근의 양단인 몰탈부 맨 끝에는 열수축튜브를 사용하여 밀봉하였다. 이것은 몰탈과 철근이 만나는 끝단에 발생할 수 있는 의도하지 않은 부식으로 인한 측정오차를 막기 위한 것으로, 시험편 내부의 철근은 순수하게 몰탈에 노출된 부분만 측정되도록 하였다. 슬랩시험편의 일부는 상부를 보수한 후 음극방식을 적용하는 시험편을 시뮬레이션 할 목적으로 시편 상부에 부식가속용 철근을 설치하였다. 상부 열 주 철근과 수직으로 소형 철근 5개를 중앙부에 설치하고 상부 철근과 전기적으로 연결하여 같은 양극(부식 전극)이 되도록 하였다. 그리고 시험편의 상부에는 수조를 설치하였으며, 15 wt% 염수를 시험용액으로 사용하였다. 이 시험용액은 자연해수(염분 약 3%)에 12%의 소금을 첨가하여 조성하였으며, 시험 중 부식을 더욱 촉진하기 위하여 40°C의 고온 환경에서 일주일 간격으로 건습(wet-dry)을 반복하였다. 슬랩(Slab) 시험편 중 음극예방(cathodic prevention, SV) 시험편은 부식가속철근에 의한 촉진시험 없이 시험초기부터 Zn-mesh에 의해 음극방식한 시험편이며, 비교시험용(control, SC) 시험편은 기본 시험편에 음극방식 없이 15% 해수 용기만을 부착하여 제작하였다. 콘크리트 배합시 사용된 재료와 배

합비율은 표 1과 같다. 굵은 골재의 최대치수는 시험편의 철근 간격을 고려하여 직경 9.5mm이하로 하였다.

표 1 콘크리트 시험편 물성

Gmax	slump	air	W/C	S/a	단위량(kg)			
					W	C	S	G <sub>A</sub>
9.5mm	10cm	5%	51%	53.27%	210	411	845	752.4

※ 배합강도: 210kgf/cm<sup>2</sup>, G<sub>max</sub>(최대골재치수), G<sub>A</sub>(굵은 골재), S(잔골재), 굵은골재 비중: 2.64, 잔골재 비중 : 2.60

### 3. 실험 결과

#### 3.1. 방식 전위(protection potential)

그림 3은 슬랩 시험편에 대한 시간에 따른 평균전위 측정결과이다. 시험 초기 CP를 적용하기 전(260일경)까지 다소 측정전위의 변동에도 불구하고 비교적 수평적으로 전위값이 변화하였다. 그러나 CP적용 후에는 두 종류의 시험체에 대한 전위변화가 뚜렷한 차이를 보였다. ST(No-CP)와 SC 시험편의 자연전위는 -100 ~ -200mV 범위에서 비교적 일정한 전위상태를 유지한 반면, CP를 적용한 ST 시험편의 경우 250일이 경과하면서 음극분극에 의해 -300mV로 부터 -900mV까지 전위가 저하하였으며, 그 후 그 방식전위 상태를 유지하였다. 따라서 전위측정으로 음극방식은 양호하게 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

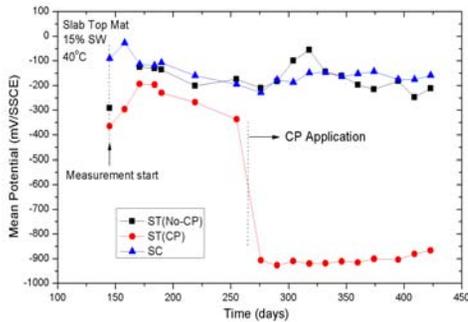


그림 3 슬랩 상부 철근의 평균 전위 변화

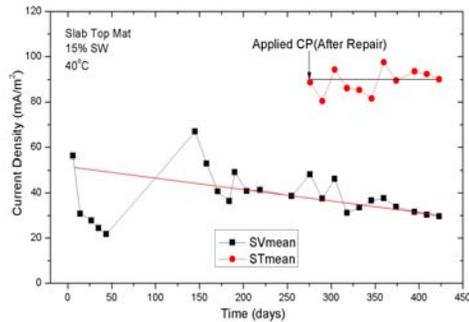


그림 4 슬랩 상부 철근의 음극방식 평균전류밀도 변화

#### 3.2. 방식 전류밀도(protection current density)

그림 4는 시험편의 상부 철근에서 측정된 음극방식(CP) 평균전류밀도를 도시한 것이다. 시험초기부터 음극예방(SV)시험편은 시간이 지나면서 전류밀도가 계속하여 감소하는 경향이였으며, 이와 달리 부식보수 후 CP를 적용한 ST시험편은 전류밀도가 SV보다 월등히 크면서도 일정하였다. 이들 시험편에 대한 상부철근의 평균치는 그림 5에 표시한 바와 같이 SV가 38.9mA/m<sup>2</sup>, ST가 89.0mA/m<sup>2</sup>로 ST가 SV의 두 배 이상이었다. 이러한 차이는 파일시험편과 비교해서도 큰 차이로 음극방식용 Zn-mesh와 피방식체인 철근 면적의 비가 다르기 때문으로 생각되며, 또한 부분적으로 수중에 잠겨있는 파일과 전체가 수중에 있는 슬랩의 환경적 차이에도 기인한 것으로 사료된다. 따라서 앞에서 언급한 바와 같이 염분침투가 적어 콘크리트내 부동태를 유지하고 있는 철근의 음극예방(CV)은 이미 염분침투에 의해 콘크리트 내에서 상당한 부식이 진행되고 있는 철근의 음극방식(CT)보다 현저히 적은 방식전류밀도를 필요로 한다는 것을 알 수 있다.

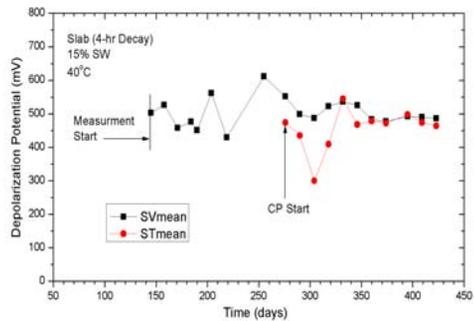
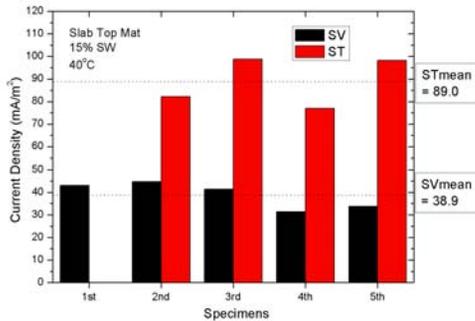


그림 5 SV/ST 시험편 상부 철근의 방식전류밀도      그림 6 SV/ST 시험편의 평균 depolarization 전위변화

### 3.3. 100mV 분극 기준(100mV depolarization criteria)

그림 6은 SV 및 ST 시험편들에 대한 개별 4hr-depolarization(decay) potential 전위 변화이다. 일부 범위를 벗어나는 데이터를 제외하고는 시간에 따른 decay 전위가 비교적 안정된 범위에 있음을 알 수 있었다. SV 및 ST 시험편에 대한 보다 정확한 decay 전위변화를 알기 위해 각각의 시험편을 시간에 대한 평균값을 산출하여 비교하였다. SV의 경우 400~600mV 전위 범위내에서 수평으로 변화하고 있었으며 음극방식 적용 후 측정된 ST 시험편의 경우도 초기의 변동 후 거의 수평으로 안정되었다. 여기서 슬랩 시험편의 decay potential값(약 500mV 정도)이 상대적으로 높았는데 그 이유는 시편의 형상, 크기, 해수 침지 면적과 방법의 차이, 시편 시험의 방향(해수공급), 피복두께, 건설반복 기간의 상이 등이 원인이었던 것으로 사료된다. 이들 다양한 인자들에 대한 정확한 원인구명을 위해서는 더욱 폭 넓은 연구가 필요한데 여기에서 다행스럽게도 아주 광범위한 연구까지 할 필요가 없는 것은 이러한 여러 가지 환경조건의 차이에도 불구하고 음극방식 범위에 있었으며 전체 방식이 충분히 가능하다는 것이다.

## 4. 결론

1. Zn-mesh에 의한 희생양극식 음극방식은 해양환경에서 콘크리트구조물의 철근 부식을 방지하는 매우 효과적인 방식시스템임을 확인하였다.
2. 신설구조물 초기부터 방식하는 음극예방(CV)법은 구조물의 파손 후 보수 방식하는 음극방식(CP)보다 방식효율이 월등히 우수하였다.
3. 본 실험에 사용된 음극방식 시스템의 외부 FRP jacket은 함수율을 증가시킴으로써 방식전류밀도의 흐름을 향상시키는 탁월한 기능이 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

1. R. Weyder, "Corrosion of Steel in Reinforced Concrete Structure", COST 521, pp. 63, 2002.
2. ASTM C876, Annual Book of ASTM Standards. 1994.
3. NACE Standard, RP0290, Standard Recommend Practice for Impressed Current Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures, 2000.
4. NACE Standard, RP0100, "Cathodic Protection of Prestressed Concrete Cylinder Pipelines, 2000.
5. D. A. Jones, "Principles and Prevention of Corrosion", Maxwell Machillan International Editions, pp. 5~50, 1992.
6. K. R. Larsen, "Jackets Wrap Bridge Piles with Cathodic Protection", MP, 30~33, Jan. 2008.