

## 신축 RC구조물의 陰極防蝕 시스템

### Cathodic Protection Systems for New RC Structures



이 성 로\*

구조물의 설계수명 기간동안 다양한 환경조건에서 그 기능을 충분히 발휘하기 위해 RC구조물의 내구성이 중요시되고 있다. 철근 콘크리트구조물에서 철근의 부식은 구조물의 내구성 저하를 가져오는 가장 직접적 요인인 바, 최근 들어 海砂의 사용으로 인한 철근부식 문제가 제기되면서 부식방지 방법에 대한 관심이 커지고 있다. 부식방지 방법에는 여러가지가 있으나 대부분이 수동적 방법으로서 防蝕효과가 뛰어나지 못한 반면, 전위제어에 의한 전기적 방법인 陰極防蝕 방법이 신 재료의 개발에 힘입어 장기간에 걸쳐 뛰어난 防蝕효과가 있다고 알려져 있다. 차제에 본 기고에서는 티타늄 신 소재를 사용한 陰極防蝕 시스템에 대해 기술한 Miki Funahashi의 “Cathodic Protection Systems for New RC Structures”(Concrete International, July 1995)을 번역 소개하고자 한다.

#### 1. 서 론

많은 건축주(owner)들이 부식환경에서의 RC 구조물을 유지함에 있어서, 철근부식으로 인한 비용부담이 대단히 많아지게 된다. 원래 RC구조물

의 陰極防蝕 시스템은 철근부식이 발생한 기존의 콘크리트 구조물에 대해 개발되었다. 1970년대 후반에 미 연방도로국(Federal Highway Administration)은 여러종류의 부식방지 방법에 대한 심도있는 시험을 수행하였다. 연방도로국은 시험 결과로부터 陰極防蝕이 콘크리트의 염화물 오염수준에 관계없이 황성의 부식을 중지시킬 유일한 방법이며 이 방법이 미 교통부(U.S. Department of Transportation)에 상당한 경제적 이득을 가져다 줄 것이라고 공식적으로 보고하였다.

한편, 부식환경에 노출되는 신축 RC구조물에 대한 다양한 부식방지 방법이 개발되어 왔는데 몇 가지 예를 들면 :

- 철근의 피복두께를 증가시키는 방법
- 밀실한 콘크리트를 사용하는 방법
- 밀봉재를 침투시키는 방법
- 에폭시도마 철근을 사용하는 방법
- 방수막을 콘크리트에 씌우는 방법
- 부식방지제를 혼입하는 방법이 있다.

위에서 언급한 방법들은 수동적인 부식방지 방법으로 불리워진다. 각 방법에서 부식방지에 유효한 기간은 노출조건, 부식방지 시스템의 효율, 유지관리의 정도를 포함하는 여러 요소에 따라 결정된다. 위의 방법 이외에 능동적 방법인 陰極防蝕

\* 정회원, 목포대학교 토목공학과 조교수

방법이 최근에 여러 곳의 RC구조 신축현장에서 철근의 부식을 방지하기 위해 사용되었다. 신축 구조물에 대한 陰極防蝕 방법의 적용은 주로 긴 수명의 陽極(anode) 개발에 의해 향상되었다.

陽極은 철근에 부식방지 전류를 흐르게 하는 금속제품인데, NACE International에서 출판된 시험결과에 근거하면, 활성 티타늄으로 만든 스트립 메쉬(strip mesh) 형태의 陽極의 수명이 최근들어 RC구조물의 설계수명으로 사용하는 75년을 초과한다. 신축 콘크리트 구조물에 대한 陰極防蝕 방법의 주요 장점은 다음과 같다.

- 부식방지 유효기간이 노출조건에 관계없다.
- 구조물 수명기간동안 콘크리트에 염화물 오염수준이 누적되어도 구조물 성능에 영향이 없다.
- 설계시 보통의 콘크리트를 부식에 대한 특별한 고려없이 사용할 수 있다.
- 콘크리트에 균열이 발생하더라도 철근의 부식을 방지할 수 있다.
- 철근에 대해 소정의 철근덮개가 필요하지 않으므로 건조수축균열의 가능성이 적다.

따라서 陰極防蝕 방법이 사용된다면 구조물의 성능은 그 수명기간동안 철근의 부식과는 무관하게 된다. 다음은 신축 구조물 또는 교체 구조물에 적용되었던 陰極防蝕 시스템 설치에 대한 예이다.

## 2. 陰極防蝕 시스템 설치에 대한 예

### 2.1 세계무역센터 주차장

1993년 2월 세계무역센터의 폭발사고로 인하여 지하의 주차장 바닥이 파괴되었는데 복구과정에서 제빙염과 주차장 천정에 설치된 주행시스템(transit system)에 의해 발생하기 쉬운 迷走電流(stray)로부터 부식을 방지하기 위해 티타늄 스트립 메쉬 陽極을 이용한 陰極防蝕 시스템이 새로운 주차장 바닥, 램프, 그리고 램프벽에 설치되었다.

티타늄 스트립 메쉬 陽極은 귀금속혼합 산화 촉매를 입힌 고순도의 티타늄으로 되어 있어 陽極반응시 염소가스 대신에 산소를 발생시킨다. 스트립 메쉬는 폭 64mm 두께 3.2mm이며(그림 1), 다이

아몬드형의 메쉬크기는 64mm, 16mm이고 陽極의 무게는 4.4kg/100m 이다. 陽極의 메쉬 스트랜드와 다이아몬드는 비교적 견고하여 상당한 크기의 인장, 휨, 작업하중을 견딜 수 있으므로 파손으로 인해 전류가 흐르지 않을 위험은 없다.

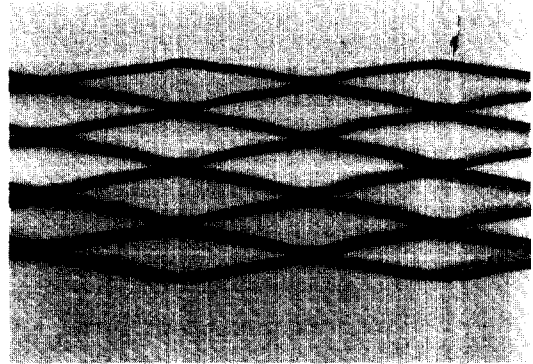


Fig. 1 Titanium strip anode.

陽極시스템은 주차장 바닥의 상, 하부 철근을 배근한 후 설치되었다. 그림 2는 플라스틱 지지대에 의해 고정시킨(그림 3 참조) 陽極 스트립 메쉬의 배치를 보여주는데 중심간격이 0.3m이다. 陽極 스트립 메쉬를 설치한 후, 여러개의 티타늄으로 된 폭 13mm, 두께 1.3mm의 전류 배전기로 점용접에 의해 서로 연결시킴으로써 陽極에 야금학적으로 접합되게 하였다(그림 4).

티타늄 스트립 메쉬 陽極을 바닥슬래브의 상, 하부 철근망 사이에 위치시킴으로써 상, 하부 철근망의 철근을 防蝕시켰다. 철근망 사이에 陽極을 설치함으로써 콘크리트를 일체로 타설할 수 있었고 陽極을 묻기 위해 콘크리트 덧씌우기를 할 필요가 없도록 하였다.

램프슬래브와 램프벽의 하단 60cm 부위에도 陰極防蝕 시스템을 설치하였다. 벽체에서의 설치방법은 작은 철근간격과 철근의 최소덮개 때문에 다소 상이하였다. 이러한 시스템에 대해서는 플라스틱 타이 랫으로 철근에 고정시킨 플라스틱 메쉬 스페이서위에 스트립 메쉬 陽極을 지지시켰고, 전류 배전기는 바닥판 슬래브의 陽極 스트립에서와 같은 방법으로 陽極 스트립 각각에 점용접하였다(그림 5).

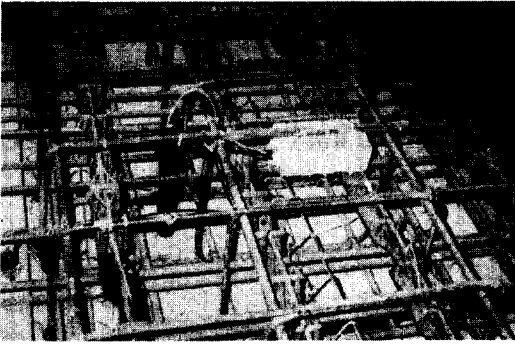


Fig. 2 Anode system was installed between the top and bottom reinforcing steel mats.

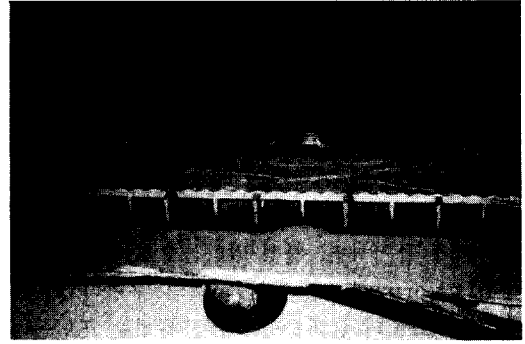


Fig. 3 Plastic support for strip mesh anode.

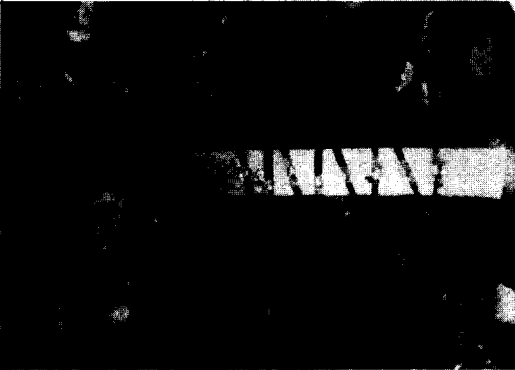


Fig. 4 Titanium current distributor providing metallurgical bonding to the anode.



Fig. 5 The current distributor was spot welded to each anode strip.

램프슬래브의 陽極 설치는 얇은 슬래브 두께와 상,하부 철근망의 작은 철근간격때문에 바닥판 슬래브의 경우와 달랐다. 또한 철근망 사이에 철근이 가로지르는 구조부재가 많이 있다. 슬래브를

지지하는 보 위에 陽極 스트립을 설치하기 위해 특별한 절연계획이 세워졌다. 이러한 조밀지역을 통과하는 陽極에는 샌드위치 형상의 비전도 매쉬를 이용하여 고정시켰다(그림 6). 陽極 스트립은 바닥판에서와 유사한 플라스틱 지지대로 상,하부 철근망 사이의 중간위치에 위치시켰다.

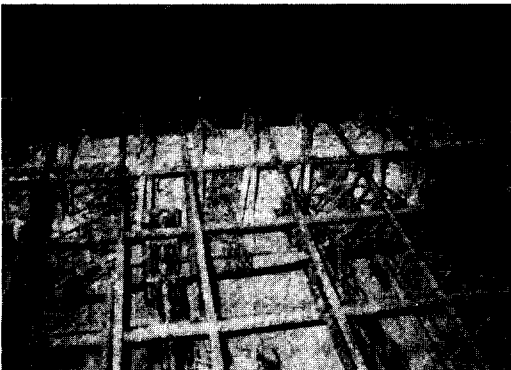


Fig. 6 Non-conductive meshes were attached to the anode in a sandwich configuration.

## 2.2 아랍에미레이트의 건물

1층의 대부분이 해수에 잠기고 2, 3층은 해풍에 노출되어 있는 3층 궁전의 RC 구조요소의 부식을 방지하기 위해 두가지 형태의 陰極防蝕 시스템이 설계 및 설치되었다. 벽체는 36개의 프리캐스트 RC 패널로 되어 있다(그림 7). 건물의 잠긴 부분(1층)에 통상적인 지하수 陰極防蝕 시스템이 설계, 설치되었고, 해풍에 노출되어 있는 2, 3층의 벽체 및 바닥판, 계단 그리고 기둥에는 티타늄 스

트립메쉬 陰極防蝕 시스템이 설계, 설치되었다.

티타늄 스트립메쉬 陽極은 RC 패널 제작시 콘크리트 타설전에 설치되었다. 각 패널은 넓이 3.6m, 높이 4m로 상,하부 철근망을 배근하였다. 陽極은 철근으로부터 陽極을 절연시키기 위해 플라스틱 클립과 플라스틱 메쉬스페이서로 패널의 바깥쪽 철근에 고정시켰다(그림 8). 陽極은 0.3m 간격으로 설치하였고 두개의 티타늄 배전기를 점용점에 의해 연결하였다. 배전기는 陰極 보호 전류를 발생시킨다. 그림 9와 10은 각각 陽極시스템의 현장설치와 프리캐스트 콘크리트벽체의 설치모습을 보여준다. 티타늄 스트립메쉬 陽極은 계단, 기둥에도 콘크리트 타설전에 유사하게 설치되었다.



Fig. 9 Field installation of the anode system.

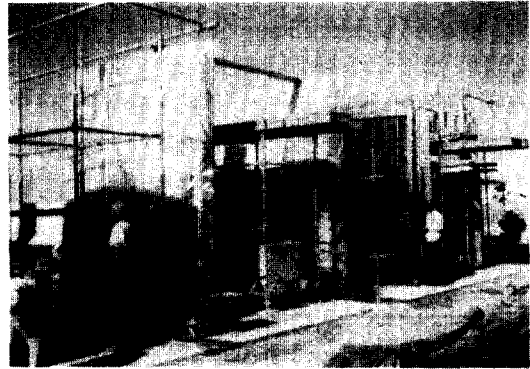


Fig. 10 The precast walls with the cathodic protection system.

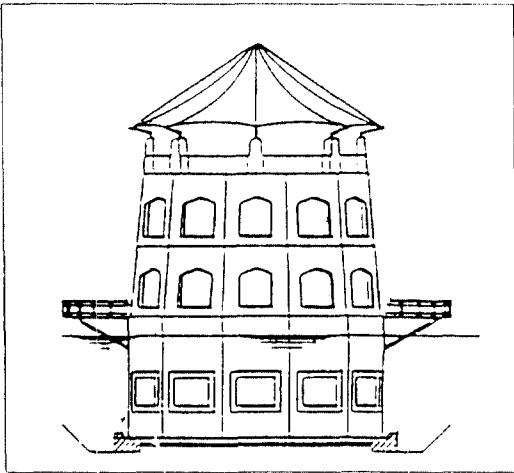


Fig. 7 Palace elevation. The building consists of precast reinforced concrete panels.

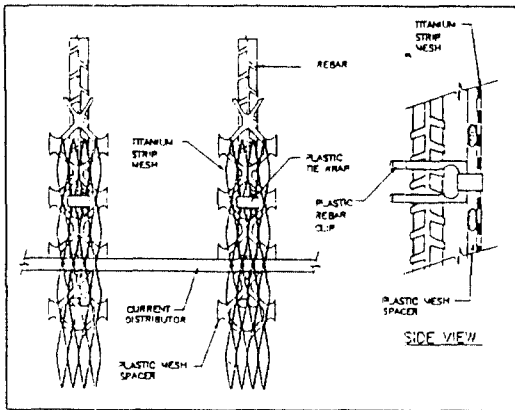


Fig. 8 The anodes were fixed to the reinforcing bars using plastic rebar clips and plastic mesh spacers.

### 2.3 Diego Garcia의 콘크리트 파일

인도양의 적도에서 5도 남쪽에 위치해 있는 Diego Garcia의 U.S. Navy pier는 철근에 심각한 부식이 발생하였다. 부식에 대해 저항하도록 주의 깊게 설계되었었지만 기둥의 철근콘크리트부재 전체가 염분으로 인해 열화가 발생하였다. 특히, 저조위(low-tide line)위에서 부터 파일의 상부까지 - 대략, 길이로 2.4m에서 3.0m - 강재파이프를 감싸고 있는 콘크리트 자켓(jacket)의 거의 모두가 균열이 발생하였다. 철근과 강재파이프에 대한 철근덮개(concrete cover)는 각각 75mm, 150mm

정도인데 염화물 집중도 분석(chloride concentration analysis)에 의하면 해수의 염화물이 10여 년에 걸쳐 콘크리트에 둘러싸인 강재파이프까지 도달한 것으로 보이며, 철근의 단면적이 상당히 감소하여 모든 철근과 콘크리트는 교체되어야 한다고 결정되었다.

교체 파일의 부식을 방지하기 위하여 티타늄 陽極 陰極 防蝕 시스템이 설계되었다. 새로운 철근을 배근한 후 플라스틱 케이בל 스트랩(plastic cable strap)을 사용하여 티타늄 陽極 메쉬를 철근의 바깥쪽에 고정시킬 것이며(그림 11), 절연을 위해 陽極 설치 전에 陽極과 철근사이에서 플라스틱 메쉬 스페이서를 설치할 것이다.


陰極防蝕 시스템을 설치한 후, 거꾸집에 콘크리트를 타설함으로써 파일을 再築하였다. 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트의 물-시멘트비는 0.4이며, 철근의 덮개는 75mm 정도이다. 콘크리트에 균열이 발생하지 않는다면 75mm 정도의 철근덮개에 의해 이러한 환경에서의 부식 발생을 15년에서 20년 정도 지연시킬 것으로 보인다 - Fick의 확산법칙에 근거하여 -. 따라서 陰極防蝕 시스템이 설치후 10년동안 작동한다면 파일의 철근은 구조물 수명기간동안 부식하지 않을 것이다.

### 3. 결 론

긴 수명의 陽極 개발로 인해 陰極防蝕 시스템을 이용하여 구조물 수명기간 동안 신축 구조물이나 교체 구조물의 철근 부식을 방지할 수 있다. 앞에서 언급한 프로젝트에서 陰極 防蝕 시스템은 설치하기 쉬우며 부식에 대해 설계시 특별한 고려가 필요없다.

신축 RC구조물에서의 陰極防蝕 시스템은 철근의 장기간 부식방지에 대한 가장 효과적인 기술이다. 이 시스템의 설치는 쉬우며 유지비용이 적다. 陰極防蝕 방법은 수동적인 부식방지방법이 아니며 구조물의 수명기간동안 콘크리트의 상태에 관계없이 철근의 부식을 능동적으로 방지하는 방법이다.

### 참 고 문 헌

1. Jackson, D. R., "Cathodic Protection for Reinforced Concrete Bridge Decks," Federal Highway Administration Report, FHWA DP-34-2, October 1982.
2. Bridge Deck Rehabilitation - A 1981 Perspective prepared by the Office of Research, FHWA December 1982, Bridge Seminar.
3. Memorandum, Federal Highway Administration, "FHWA Position on Cathodic Protection Systems," 1982. 

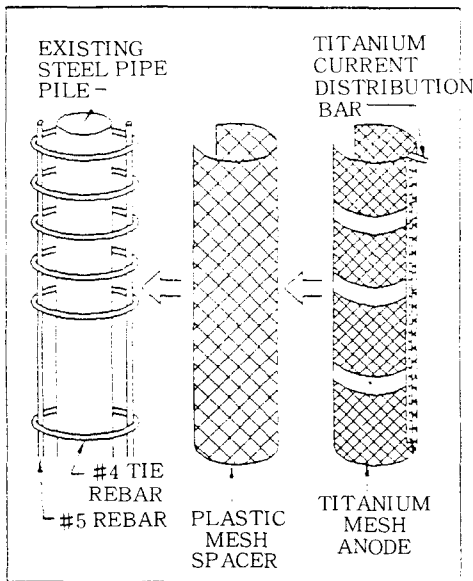


Fig. 11 Cathodic protection system for the concrete piles at Diego Garcia.