

무도장 내후성 강교량의 Box Girder 내부볼트 연결부에 대한 외부전원식 전기방식효과에 관한 연구

A study on the effect of the external electric type corrosion resistance for the bolt connection in weathering steel box girders.

박용걸* 김원태** 백찬호*** 최정열****
Park, Yong-Gul Kim, Hun-Tae Baek, Chan Ho Choi Jung Youl

ABSTRACT

This paper considers corrosion problems in the bolt connection of weathering steel box girder bridge using the external electric type corrosion resistance method which resisted to local corrosion in coated steel surface with contacted air. The weathering steel was created a rust itself in the passive state, but a coated box girder type was easily dew form could be made galvanic cell that accelerated corrosion, so that it was ruled by protection coat with some paint. Therefore, it needed that can be applied the external electric type corrosion resistance method in coated surface. As a result of the test of polarization amount had measured that the weathering steel was higher currents than the general steel by about 5-10%. Therefore, an external electric type corrosion resistance method can be used to protect local corrosion in the coated bolt connection of weathering steel box girders effectively.

1. 서 론

최근에는 교량이나 열해지역 탱크, 철탑 또는 철재 시설물 등 대기 중에 노출된 구조물의 표면 방식용으로 강구조물의 음극방식(cathodic protection)이 개발되어 적용되고 있다. 이러한 음극방식은 방식 대상에 미량의 방식전류를 공급하여 표면의 전위를 낮추어 방식하는 기술인데 방식효과가 탁월하여 앞으로 널리 적용될 전망이다. 본 연구는 국내 무도장 내후성 강교량 중 Steel Box Girder 내부의 볼트 연결부 부식문제 해결을 위한 음극방식의 적용성을 검토해 보았으며 본 연구에서는 무도장 내후성강에 대해 기존의 일반교량에 적용되는 음극방식 기술을 이용 분극특성을 분석함으로써 기존 무도장 교량의 Box Girder 내부 볼트연결부 도장면에 적용할 수 있는 방식전류와 양극 배치 방법을 찾고자 한다.

2. 전기방식 시스템의 이론적 해석

2.1 음극방식 system의 방식이론

도장계의 표면에 형성되는 수막(Water film)을 회로로 하여 도장 결함부나 틈새에 방식전류를 공급하여 음극 방식하는 외부 전원식 음극방식 시스템이다. 따라서 방식효과는 수막의 형성상태와 수막의 비전도도와와의 함수관계에 있다.

* 서울산업대학교 철도철도대학원 교수, 정회원

** 서울산업대학교 석사, 일반회원

*** 서울산업대학교 석사과정, 학생회원

**** 서울산업대학교 석사과정, 학생회원

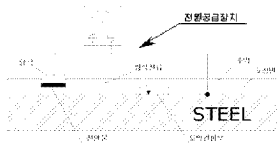
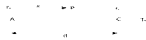


그림 1. 도장계의 표면에 형성되는 수막(water Film) 회로

1) 수막의 저항치 계산법



상기그림에서 A의 측면으로부터 방출하는 전류 I는 전류밀도를 J로 했을 때

$$i = \int JdS \cos \theta = 2\pi r_a t_w J \quad J = \frac{i}{2\pi r_a t_w}$$

전장을 E, 매질의 비저항을 σ 로 하면 $E = \sigma J$ 이므로 $E = \frac{i\sigma}{2\pi r_a t_w}$

A로부터 거리 x만큼 떨어진 p 점의 A 및 C에 의한 전장 E_a, E_c 는

$$E_a = \frac{i\sigma}{2\pi x t_w}, \quad E_c = \frac{i\sigma}{2\pi(d-x)t_w}, \quad p\text{점의 전장 } E\text{는}$$

$$E = E_a + E_c = \frac{i\sigma}{(2\pi t_w)[1/x + 1/(d-x)]}$$

p점의 전위 V_p 는 $V_p = \int E dx = \frac{i\sigma}{(2\pi t_w) \ln[x/(d-x)]} + const.$

$x = d/2$ 점의 전위를 0이라 하면 $const. = 0$ 가 되어 A 및 C의 전위는

$$V_a = \frac{i\sigma}{(2\pi t_w) \ln[r_a/(d-r_a)a]}, \quad V_c = \frac{i\sigma}{(2\pi t_w) \ln[(d-r_c)/r_c]}$$

따라서, 양극간의 전위차 V 및 저항 R은

$$V = V_c - V_a = \frac{i\sigma}{(2\pi t_w) \ln[(d-r_a)(d-r_c)r_a r_c]}$$

$$R = V/i = \frac{\sigma}{(2\pi t_w) \ln[(d-r_a)(d-r_c)r_a r_c]}$$

2) 전류분포 계산법



그림 2. 복수의 음극이 있는 경우 (봉가회로 Rc는 음극의 분극저항)

상기그림에서

$$R_{DC} = R_c(R_4 + R_c) / R_4 + 2R_c, \quad R_{CI} = R_c(R_3 + R_{DC}) / R_3 + R_{DC} + R_c$$

$$R_{BI} = R_c(R_2 + R_{CI}) / R_2 + R_{CI} + R_c, \quad R_{AK} = R_1 + R_{BI}$$

R_c, R_1, R_2, R_3, R_4 는 기 알고 있으므로 A~K간에 걸리는 전압이 결정되면 B~J, C~H, D~G, E~F의 저항 R_c 에 흐르는 전류 즉, a, b, c, d의 음극에 흐르는 전류를 구할 수 있다.

2.3.3 전기방식 system의 개요

교류100V/200V에 연결된 유니트에서 직류 12V로 변환되어 대기가 건조하면 작동하지 않고 상대습도 60~70%경도로 양극에 습기 혹은 물기가 많으면 작동을 개시하여 양극으로부터 전류를 공급하는 양극의 산화반응에 의해서 생성된 전자는 유니트를 통해 음극부의 도장강판의 결함부에 도착하게 되며 이 과정에서 발생하는 전자의 생성반응은 다음과 같다.



결함부에 도착된 전자는 대기 중의 산소와 불과의 작용에 의해서 환원반응을 일으키게 되어 철판의 부식반응($\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$)은 억제 된다.

3. 실험 및 분석



그림 3. 시험편 설치 전경

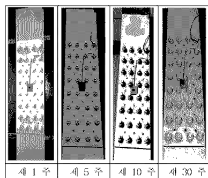


그림 4. 부도장 손상시편 가속시험 전경

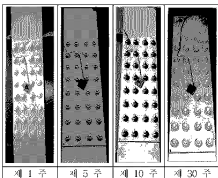


그림 5. 일반강재 부손상시편 가속시험 전경

3.1 각 부위별 갈바닉 전류의 시간적 변화

1) 각 부위별 침지시간에 따른 갈바닉 전류변화

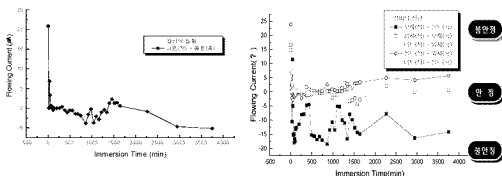


그림 6. 각 부위별 갈바닉 전류의 시간적 변화

2) 해수에서의 각 부위별 부식전위의 시간적 변화

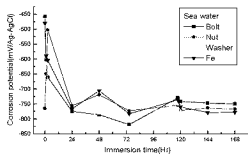


그림 7. 해수 중 각 부위별 부식전위의 시간적 변화

4) 방식전위 측정시험 : 양극간의 거리와 흠집 규모와의 관계

각각의 시편에 대해 방식거리 측정을 위해 손상개소의 크기와 거리에 따른 실제 방식상태를 관찰한다.

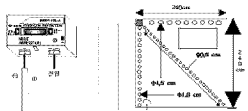










그림 8. 양극 취부 상태와 흠집상태 보식도

Ex) 1.5cm 흡집

1) 직경 1.5cm 흡집 손상부에서 일반 강제에선 40cm에서 녹물이 흘러내린 흔적이 나타났고 무도장 강제에선 90cm에서 붉은 녹이 나타났으나 180cm에서도 90cm에서 녹이 비슷하게 나타나 전기방식의 효과가 무도장 교량에서 다소 양호한 결과를 나타내었다.

2) 직경 1.0cm 흡집 손상부에서는 일반 강제에서 방식거리가 약간 짧게 나타났으나, 그 차이가 크지 않았으며, 직경 0.5cm 흡집 손상부에서는 두 시편에서 전기방식의 효과가 양호하게 나타났으나 무도장 강제가 상대적으로 효과적인 것으로 분석된다.

일반 강제				
	실험 초기			
		10cm	40cm	180cm
양극과 거리(실험 20주 후)				
무도장 강제				
	실험 초기			
		10cm	90cm	180cm
양극과 거리(실험 20주 후)				

3.2 실험분석결과

무손상시편 가속실험결과(열수분무시험) 1~10주 시험에선 볼트 연결부 틈새에서 붉은색의 산화 흔적이 나타났으나 도막손상이나 발청은 없었으나 30주 경과 후에는 철녹이 볼트 주변에서 부분적으로 나타나기 시작하였으며, 도막의 색상 변화도 약간 나타났으나, 도막의 들뜸현상이나 변질의 징후는 나타나지 않았다. 손상시편 가속실험의 경우에는 무손상시편과는 다르게 1주, 5주에선 부식 징후가 나타나지 않았으나 10주 경과 후 모든 손상부에서 부분 발청이 되기 시작하고 30주에선 녹층이 형성되며 도막 손상으로 이어졌다. 이는 수분 존재 시 도막부와 도막 파손부 간에 부식전지가 형성되어 상대적 양극부인 손상부가 집중적으로 부식되는 현상으로 분석된다. 그러나 초기부식이 발생하지 않는 것은 하도로 도장한 정크리치게 프라이머(무기질 아연말 도포제)의 희생 양극 작용 때문이나 손상부 경계면의 아연성분이 소모된 다음에는 방식전류를 공급할 수가 없어 부식이 발생된 것으로 분석된다.

또한 무손상 시편 전기방식 실험의 경우는 일반강제 및 무도장 강제 시편 공회 실험기간 동안 도막 표면에서 부식반응이 나타나지 않았다. 그리고 도장면의 표면전위는 부방식에 비해 약 100mv 정도 낮은 전위를 나타내었다. 손상시편 전기방식 실험은 양극과의 거리, 손상개소와 손상 규모 그리고 표면 전해질 종류에 따라 변화한다. 본 실험에선 무도장 강제의 도장면에서의 방식 효과를 분석하기 때문에 일반강제와의 상대 평가를 통해 방식 시스템의 적용성을 평가하였다. 실험결과 일반 강제 시편과 무도장 강제 시편에서 유사한 방식 효과를 나타내는 것이 확인 되었다.

4. 결 론

일반 강제교량의 도장면에 적용하고 있는 전기방식기술을 무도장 내후성 강교량의 볼트 연결부 도장면에 적용 시의 방식효과를 분석하기 위해 일반강제 시편과 무도장강제 시편에 대한 실내 실험과 현장 적용시험을 실시하여 나타난 결과를 비교 분석하여 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 손상된 도장면에 대한 전기방식의 효과는 손상개소와 불용성 양극 간의 거리, 손상 규모, 표면의 저항에 따라 변화하나 무도장 강제 시편에서의 방식효과가 일반강제에 비해 상대적으로 우수한 것으로 분석 되었다.
- 2) 도장의 종류, 결연성, 도막 상부의 전해질에 따라 소요 방식전류의 크기가 결정되므로 도장면

에 대해 전기방식법을 적용할 시에는 현장조사 후 조정해야 할 것이다.

3) 비도장면에 대한 전기방식은 방식거리가 짧아(10~20cm) 도장면의 전기방식에 비해 비효율적인 것으로 나타났다.

4) 무도장 강교량의 볼트연결부에 고절연성인 증방식 도장을 할 경우 비 도장면과의 전위차가 일반 강교량에 비해 크기 때문에 볼트연결부 내부면의 방식을 위해서는 외부전원식 전기방식 적용이 바람직하다. 또한 본 시스템을 무도장 강교량의 볼트연결부 도장면에 적용 시험한 결과 일반 교량의 경우보다 상대적으로 우수한 방식성능을 나타낸다.

5) 부도장 강제 도장면에 대한 전기방식법 적용에서는 일반강재에 적용하는 방식기준을 적용한 이 바람직하다.

5. 참고문헌

1. 中 川 : 電氣防蝕法の 實際, 地人書館, 199~247 (1967)
2. 田大烈 : 최신철용 방식공학, 동화기술. (1995)
3. 한국건설방식기술연구소 : 방식기술편람, 건설교통부. (1998)
4. NACE : CORROSION CONTROL ON STEEL, FIXED OFFSHORE PLATFORMS ASSOCIATION WITH PETROLEUM PRODUCTION.
5. BRITISH STANDARDS INSTRUCTION (U. K) : CODE OF PRACTICE FOR CATHODIC PROTECTION.
6. MIL-HDBIC-1004 (U. S) : ELECTRICAL ENGINEERING CATHODIC PROTEC.
7. 文繼萬 : 실용전기화학, 효성출판사 (1999)