

밀폐 박스거더형 무도장 내후성강 교량의 부식취약부에 대한 방식대책 연구(II)

송창영^{1,†} · 이의호¹ · 이제현¹ · 박현출² · 최재석² · 노영태²

¹(재)한국재난안전기술원 방식연구소, 서울시 영등포구 여의나루로 67

²한국건설생활환경시험연구원, 서울시 서초구 남부순환로 319길 7

(2013년 1월 17일 접수, 2013년 08월 29일 수정, 2013년 08월 29일 채택)

The anti-corrosion study on the corrosion-sensitive areas of unpainted weathering steel bridges with closed box girder(II)

Chang-young.Song^{1,†}, Eui-Ho.Lee¹, Jea-Hyun.Lee¹, Hyun-chul.Park², Jae-suk.Choi², and Young-tae.Noh²

¹Korea Disaster Safety Technology Institute, 67, Yeouinaru-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 150-923, Korea

²Korea Conformity Laboratories, 7, Nambusunhwan-ro 319-gil, Seocho-gu, Seoul, 137-707, Korea

(Received January 17, 2013; Revised August 28, 2013; Accepted August 29, 2013)

This study is the second stage of developing the corrosion control technical manual about unpainted weathering steel bridge with closed box girder structures.

This paper contains selection of corrosive sealant to apply into crevice of upper flange, injecting test of sealant at mock-up equipment with various condition, evaluation of experiment result.

Through the experiment of injection of sealants into crevice of mock-up equipment, it is proved that the tar sealant injecting corrosion control method is useful to protect corrosion at box girder upper flange corroded by remaning rain water with calcium chloride.

Keywords : unpainted weathering steel, splice connection part, electrochemical corrosion, corrosion sensitive area, multi-function sealant

1. 서 론

본 연구는 무도장교량 건설역사가 짧은 가운데 그간 국내에서 무도장교량을 결로구조인 밀폐형 박스거더형 교량으로 건설하면서 구조적으로 체수부, 결로부 및 볼트 연결부등과 같은 부식취약부에 대해 일체 방식처리를 하지 않아 부식이 심하게 발생하며 안전수명에 단축되고 있는 시점에서 부식문제를 경제적으로 해결하는 방법을 찾는 연구과제다.

연구(I)에서는 밀폐 박스거더 교량 부식취약부의 부식메커니즘을 분석하여 방식대책의 방향을 제시함과 동시에 실제 도장교량 박스거더 상부플랜지에서의 체수에 의한 부식문제를 기존의 보수공법인 바닥판 철거 및 중방식도장 공법을 대신하는 새공법으로서 개발한 체수공간에 수용성 부식억제제 주입 후 타르계 실링제를 주입하는 공법에 대한 적용성을 검증하기 위해 실제교량의 Mock up 장치를 이용

하여 분석 하였다.

본 연구(II)에서는 연구(I)에서 검증한 신공법의 방식성과 경제성 향상을 위한 연구의 일환으로 실험(I)에서 적용했던 부식억제제와 타르계 실링제의 방식 기능 실험을 실시하고, 실험결과에 따른 품질상의 개선을 연구한다. 즉, 적용 가능한 기존의 수용성 부식억제제 가운데 무도장 교량에 적합한 친환경성, 고기능 부식억제제 개발과 발포 및 기화성 부식억제 기능을 첨가한 다기능 실링제 개발의 기초자료를 확보하는 연구이다. 연구(I)에서는 실제 교량에 비해 가혹한 조건으로 제작한 Mock up 장치에서 목표로 하는 방식제 주입 실험결과를 얻음으로써 본 연구가 기존의 보수공법인 바닥판 철거 후 중방식도장하는 공법을 대신할 수 있는 공법으로서의 적용성 검증은 되었지만, 방식기능과 경제성 향상에 미칠 영향에 대해서는 적용되는 방식제의 방식 기능에 대한 검증실험과 분석이 요구된다.

본 연구는 무도장 내후성 강교량의 기술적 및 경제적 유지관리기술개발에서 필연적으로 거쳐야 하는 방식제의 기능

† Corresponding author: anchon1004@hanmail.net

시험을 실시하고 결과를 분석한다.

2. 연구방법

본 연구는 국내의 기존 무도장 내후성장 교량의 부식취약부에 대한 경제적인 방식관리 지침개발의 두 번째 단계로서, 부식취약부에 적용할 기존의 방식재 가운데 무도장내후성장재에 적용할 수 있는 타르계 실링제와 무기계 부식억제제에 대한 방식기능 및 환경평가가 연구이다.

따라서 밀폐형 박스거더 구조의 부식특성에 따른 방식대책을 검토하고, 적용할 방식재의 방식기능을 분석한다.

- ① 무기 부식억제제의 적용 조건에 따른 방식 기능 시험
 - 부식억제제의 종류별 방식기능 시험
 - 부식억제제의 농도별 방식기능 시험
- ② 타르계 방식제와 중방식 도장 시편에 대한 가속 부식시험에 의한 방식 성능 비교 분석

2.1 밀폐형 박스거더 강교량에서 구조적 부식취약부의 부식 메커니즘분석

기존의 무도장 밀폐형 박스거더 교량에서 교량 바닥판과 박스거더간의 결합은 Fig. 1에서와 같이 틈새구조로 하고, 틈새에는 연구(I)의 Fig. 7(B)에서와 같이 스티로폼을 채우는 방식으로 건설되었다.⁴⁾

Fig. 1과 같은 구조의 교량에서 철근 콘크리트 바닥판은 통과하는 차량으로 인해 반복되는 진동으로 부분적인 균열이 발생할 수가 있는데, 이때 방수막이 손상시에는 균열부를 통해서 우수가 유입, 박스거더 상부 플랜지에 체수가 발생하여 철판을 부식시키게 된다.^{1),2)}

그리고 국내의 기존 강교량들은 겨울철에 제설제로서 염화칼슘을 적용하기 때문에 우수 유입시 염화물이 함께 유입되어 다음과 같은 부식문제가 발생하고 있다.

- ① 제설제에 의한 염화물 부식
- ② 스티로폼과 철판간에 산소농담전지부식

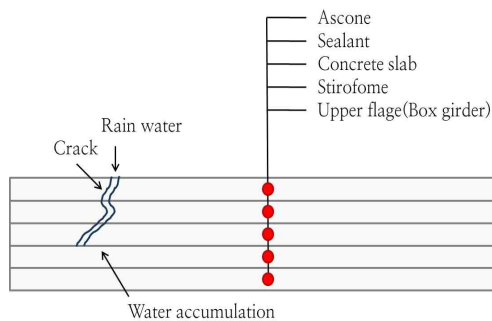
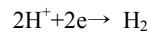
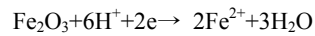
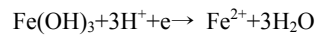
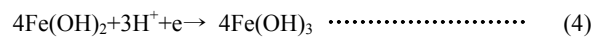
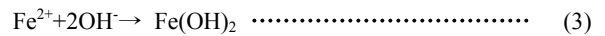
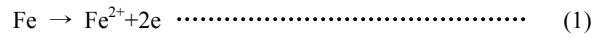


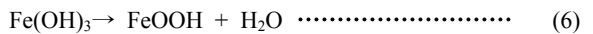
Fig. 1. The joint construction between bridge floor and box girder flange of box-girder type steel bridge which is built with weathering steel.

- ③ 박스거더간 Splice 연결부에서 이중금속 부식전지 및 산소농담전지부식

또한 대기중의 공해물질 가운데 SO₂, NO₂, CO₂등이 유입되는 우수에 포함될 때 이들에 의한 산 부식도 발생할 수 있다. 이상과 같은 우수에 의한 부식반응은 산화와 환원 반응으로서 다음과 같다.



상기 수산화 철은 탈수시 FeO, Fe₃O₄ 및 Fe₂O₃가 형성 표면에서 녹으로 썩이고, 또 가수, 탈수의 중간 상태인 철 수산화물이 생성될 수 있다.



또한 FeOOH는 α형, β형, γ형의 결정질과, 비 결정형으로 구분되기도 한다.

2.2 방식대책 분석

철의 부식은 상대적으로 전위차가 발생하고, 음, 양극간에 회로가 구성될 때 상대적 양극부에서 산화반응이 발생하는 전지부식이기 때문에 방식이론에서 전지구성을 방지하는 방법이 중요한 이론이다. 즉 전지의 회로를 구성하는 수분의 접촉을 차단하는 방법이다.^{1),2),5)}

그리고 전지부식은 산화와 환원이 동시에 일어나는 반응이기 때문에 환원 반응을 억제하는 방법, 즉 식(2)에서와 같이 수분이 접하는 상태에선 수분 중의 산소를 제거하는 방법도 또한 중요한 방식 이론이다. 그리고 철의 부식특성을 나타낸 부식도에서와 같이 철의 표면전위를 높이던가, 환경성분의 pH를 높여서 산화물이 부동태 피막 (passivation film)을 형성토록 하는 방법과 전자를 공급하여 표면을 음분극 (cathodic polarization)시켜 안정화하는 방식이론.

방식이론들 가운데 수분의 접촉을 막아 부식전지의 회로 구성을 차단하는 방법과 부식억제제의 음분극 이론을 이용한 방식법을 연구하고, 이에 따른 방식재의 방식기능을 비교 시험을 통해 분석하여 방식대책을 검토한다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 수용성 부식억제제의 방식 기능 분석 실험

철의 부식을 억제하는 부식억제제에는 유, 무기의 다양한 부식억제제가 있다. 그러나 본 연구에서는 방식대상의 특성을 고려하여 친환경성, 수용성 부식억제제인 규산계 무기 부식억제제를 적용하고, 주입량은 부식억제제의 방식시험 결과를 기준으로 적용한다.⁶⁾

(1) 실험내용

시편의 규격은 Fig. 2와 같이 강판 규격시편으로 하고, 시험은 Table 1에서와 같이 포타슘 실리케이트계 (potassium silicate), 리튬 실리케이트계(Lithium silicate) 부식억제제 그리고 상기 두 가지 부식억제제를 각 50%씩 혼합한 혼합부식억제제를 각 1,000ppm, 2,000ppm 수용액을 이용하고 시편에 대한 방식기능 시험은 Fig. 3에서와 같이 증류수와 포화 염수 중에서 침지시험으로 실시하고, 비교실험으로는 부식억제제를 첨가하지 않은 증류수와 포화염수 중에서 동일시편으로 실시하여 결과를 비교했다.

그리고 Table 2는 적용한 부식억제제에 대한 환경오염 시험 결과다. 본 시험에서 환경오염요인은 검출 되지 않았다.

Table 1. Types of inhibitor and experiment conditions

classification	Distilled water + Inhibitor		Salt water + Inhibitor	
	1,000ppm	2,000ppm	1,000ppm	2,000ppm
Potassium silicate	11,12	13,14	15,16	17,18
Lithium silicate	19,20	21,22	23,24	25,26
Potassium + Lithium silicate	27,28	29,30	31,32	33,34
Non Inhibitor	35,36	37,38	39,40	41,42

※ 시편은 각 2개씩 침지 후 10일, 30일째 부식상태평가

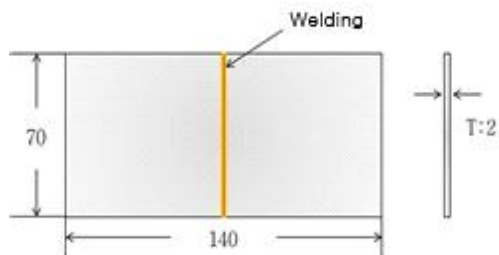


Fig. 2. The specification of specimen.



Fig. 3. Dipping corrosion tests in inhibitor solutions.

Table 2. Test results of environment tests for the inhibitors

Test Item	Unit	Test result	Test Method
Pb	mg/kg	Non (allowance 5)	[KS M 0032:2009]
As		Non (allowance 1)	
Cd		Non (allowance 0.02)	
Cr		Non (allowance 5)	
Cu		Non (allowance 5)	
Ni		Non (allowance 1)	
Zn		Non (allowance 5)	
Hg		Non (allowance 0.02)	

(2) 시험결과 분석

Fig. 4는 침지 720시간에 시편표면에서의 부식상태를 나타낸다.

그리고 Table 3은 한국건설환경시험연구원에서 시험하여 침지 720시간에서 시편의 부식상태를 비교 분석한 결과다. 부식억제제는 potassium. Lithium- silicate계 모두 증류수 및 포화염수 중에서 부식억제제를 적용하지 않은 시편에서 부식발생 면적에 대비 95%이상의 방식율을 나타내고 있다.

이에 비해 부식억제제를 적용하지 않은 시편에서는 모든 부식이 진행되고 있다. 그리고 측정 10일과 30일에서 부식억제제 적용 시편의 부식율에서 차이가 나타나지 않는 것은 부식억제제가 탄소강 철재시편의 표면을 안정화 시키게 되면 계속적으로 방식기능을 유지한다는 것을 뜻한다.

이상과 같이 부식억제제의 방식시험결과에서 다음사항이 입증되고 있다.

규산계 부식억제제는 환경오염의 요소를 포함하고 있지 않다.

그리고 Potassium 및 Lithium silicate 부식억제제는 1,000ppm 이상 적용 시 담수 및 포화염수에서 철의 표면을 안정화 시켜 95%이상의 방식율을 나타내고 있다.



Fig. 4. The surface states of specimen after 720 hours corrosion tests.

Table 3. The results of corrosion control ratio measurements for the inhibitor

Test Condition	10 Days		30 Days		results
	Distilled water	Salt water	Distilld water	Salt water	
Potassium silicate (1,000ppm)	98% over	95% over	98% over	95% over	a/c
Potassium silicate (2,000ppm)	98% over	97% over	97% over	95% over	a/c
Lithium silicate (1,000ppm)	98% over	98% over	97% over	95% over	a/c
Lithium silicate (2,000ppm)	99% over	98% over	98% over	97% over	a/c
Potassium + Lithium silicate (1,000ppm)	98% over	98% over	98% over	97% over	a/c
Potassium + Lithium silicate (2,000ppm)	99% over	99% over	98% over	98% over	a/c
Non Inhibitor	0.5%	0.0%	0.1%	0.0%	c

3.2 타르계 실링제의 방식기능 실험 및 분석

타르계 실링제는 탄화수소로서 절연성이 높고, 친금속성이기 때문에 철 표면에 적용 시 철의 표면에서 수분을 분리시켜 부식을 억제하는 기능이 있다.

연구 (I) 에서 적용한 타르계 실링제에 대해 방식기능을 분석하여 무도장 교량에서의 적용성 과 방식성, 그리고 경제성을 분석하기 위해 방식 기능 시험은 중방식도장 시편과의 비교실험으로 실시했다. 본 실링제의 적용성은 연구 (I) 에서 입증되었기 때문에 실링제의 부식억제기능의 검증은 본 연구결과와 경제성을 결정하는 주요요 인이 된다.

(1) 시편제작

Fig. 5, 6은 중방식도장 시편과 타르계 실링 도포시편의 규격이다. 그리고 Fig. 7, 8은 Fig. 9, 10과와 같이 방식처리한 시편을 나타낸다.

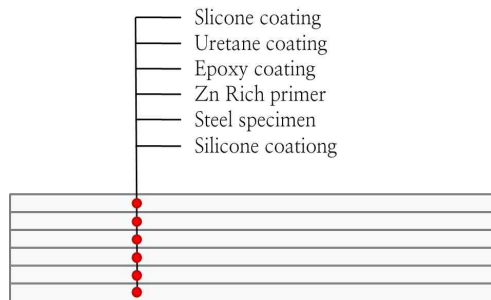


Fig. 5. The specimen of heavy anti-corrosion painting systems.

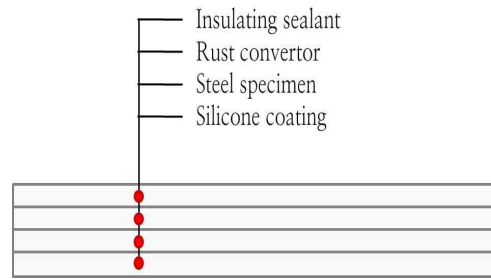


Fig. 6. The specimen of tar sealants coated.

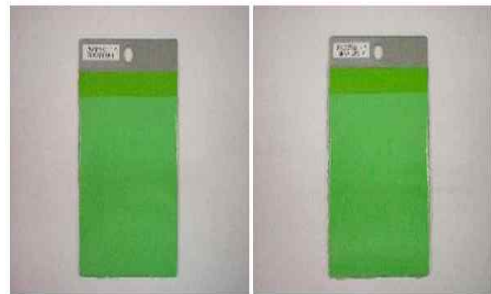


Fig. 7. The painted specimen by heavy paint coating systems.



Fig. 8. Specimen of tar sealants coated.

(2) 부식실험

부식실험은 동일조건에서 Fig. 9, Fig. 10에서와 같은 가속전류시험으로서 DC전류 0.2암페어로서 15시간 실시하고, 방식재의 손상과 시편의 부식상태를 비교했다.

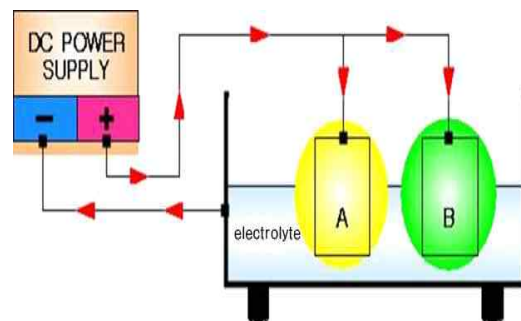


Fig. 9. Schemetic of accelerating current tests.

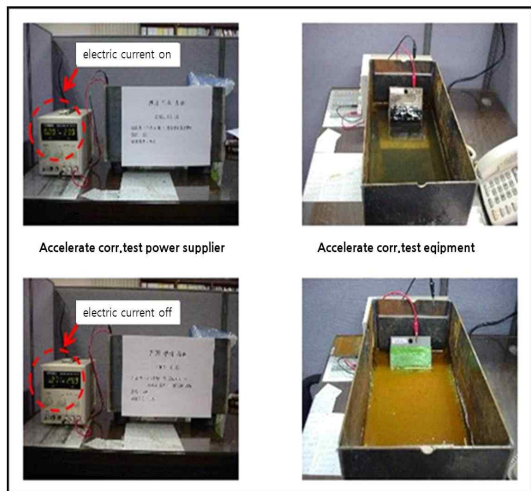


Fig. 10. Accelerating current corrosion test equipments.

(3) 시험결과 분석

Fig. 11과 Fig. 12는 가속시험 후 중방식 도장시편과 실링제 도포시편의 표면상태와, 철판의 부식상태를 나타낸다.

Fig. 11, 12에서 나타낸 바와 같이 실링제 도포시편에선 실링제의 고절연성에 의해 피막손상과 시편부식이 중방식 도장 시편에 비해 상대적으로 낮게 나타나고 있다.

본 실험을 통해 적용한 타르계 실링제는 탄화수소로서 철판에서의 접착력이 우수한 가운데 절연기능도 중방식 도장 시편에 비해 떨어지지 않는 것으로 분석된다.

4. 결론

기존의 밀폐 박스거더형 무도장 내후성 강교량의 박스거더 상부플랜지 외부면에서 염화칼슘을 함유한 빗물의 체수에 의해 발생하는 부식문제를 개선하기 위한 목적으로 실시한 동일 구조의 도장교량과 무도장 교량의 정밀 부식 진단에 의한 비교분석 그리고 실제 교량을 모델로 제작한 Mock up 장치에서 실시한 방식재의 주입 및 방식기능 시험을 통해 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 밀폐 박스거더형 교량은 구조적으로 박스거더 상부 플랜지와 교량 바닥판간 틈새에 빗물이 유입되어 체수가 발생하며, 체수에 제설제인 염화칼슘이 포함시 부식율은 일반강재 부식율에 비해 10~50배의 속도로 부식이 가속되는 것으로 관찰된다.
- 2) 일반도장 교량에서 박스거더 상부 플랜지의 도장 시스템은 수명이 5년정도로 분석된다.
- 3) 친 환경성 규산 계 부식억제제는 상온 및 수중에서 방식율이 약90~95%로 측정된다.



Fig. 11. The painted specimen by heavy paint coating systems.



Fig. 12. Specimen of tar sealant casted.

- 4) 타르계 실링제의 방식기능 평가에서, 중방식도장 시편과 동일조건 정전류 가속 부식시험결과 타르계 실링제 적용시편에서 방식성능이 상대적으로 우수한 것으로 측정되었다.
- 5) 연구 (1), (2)를 통해 협소공간에 방식재 주입성 시험과 적용한 방식재의 방식기능 시험결과를 종합할 때 박스거더 상부 플랜지 외부면의 부식은 방식기능의 부식억제제와 실링제 주입 시 효과적으로 개선할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 국토해양부 지원 사업으로 2012년에 선정된 건설기술혁신사업의 연구 지원으로 수행되었기에 감사드립니다.

참고문헌

1. E. H. Lee, Corrosion and Corrosion Protection manual of Korea, DongHwa Technoigy p. 220 (1998).
2. E. H. Lee, Anti-corrosion Manual for Unpainted Wethering steel bridge, Kicem p. 190 Construction (GOV.) (2005).
3. KICAT & E. H. Lee, Stop! Bridge breakdown, Gas explosion, soil contamination p. 46 (2005).
4. KICAT, The principal of Corrosion and Corrosion protection p. 24 (2000).