

## 도장이 필요없는 내후성강 박스거더 상부 플랜지외부면 방식제 주입을 통한 방식공법 연구

송 창 영<sup>†</sup>

중앙대학교 건설대학원 겸임교수, (재)한국재난안전기술원 이사장  
(2014년 7월 30일 접수, 2014년 8월 26일 수정, 2014년 8월 28일 채택)

## The study on the protection method from corrosion by the sealant injection on the unpainted weathering steel top flange outer surface of box girder

Chang-young. Song<sup>†</sup>

Korea Disaster Safety Technology Institute, 67, Yeouinaru-ro, Yeongdeungpo-gu, Seoul, 150-923, Korea  
(Received July 30, 2013; Revised August 26, 2014; Accepted August 28, 2014)

In corrosion-sensitive area of existing unpainted weathering steel bridge with closed box girder structure, there are some serious local corrosion problems because of rain water or dew water which can not be solved by conventional maintenance method. These problems must be technically controlled because of the influence on the safety of bridge. This study is the first stage of developing the economic corrosion control manual for these local corrosion problems. Through the injecting experiment of tar sealant into the crevice of mock-up equipment, it was proofed that the corrosive sealant can be useful to corrosion control at crevice of corrosion sensitive area.

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

### 1. 서 론

국내에선 전체 강 교량의 약 80% 이상이 밀폐 박스 거더형 교량으로 건설되어 있고, 무도장 내후성 강 교량 건설에서도 기존의 일반 도장 교량과 같은 방식과 구조로 건설하였다. 그러나 밀폐 박스거더형 교량은 구조적으로 부식취약부에서 체수(滯水)와 결로에 의해 국부 부식이 발생하며 교량의 내구 수명 단축에 큰 영향을 미치고 있다.

철근콘크리트 구조의 교량 바닥판이 반복되는 진동에 의해 부분적으로 균열이 발생할 때 빗물이 유입되어 박스 거더 상부 플랜지의 외부면에 체수 되어 철판을 부식시킨다. 더욱 체수 중에 제설제로 사용되는 염화칼슘이 포함된 우수가 체수할 때는 철판의 부식속도는 크게 증가하게 된다. 상부 플랜지의 체수는 구조적으로 박스 거더간 splice 연결부 틈새를 통해 하부 플랜지까지 유입되는데 이때 splice 연결부의 틈새 내부에선 이중금속 부식전지와 산소농도전지 형성

으로 상대적 양극부에서는 심한 양극반응 전지부식이 발생하게 된다. 또한, 박스 거더 하부 플랜지에서는 splice 연결부를 통해 유입되는 우수와 결로의 영향으로 용접부에서 전위차에 따른 전지부식이 발생하게 된다.

이상과 같이 밀폐 박스 거더형 교량의 체수와 결로에 의한 국부부식 문제는 강교량 건설 역사가 오래된 선진국들이 여러 가지 장점이 많은 밀폐 박스거더형 교량 건설을 기피하는 이유로 분석된다. 그리고 구조적으로 결로가 형성되는 가운데 전기화학적 재료 설계에서 소양극(볼트)-대음극(구조재) 전지 구조가 되도록 설계 시에는 건설 후 짧은 기간에 양극부에서 극심한 전지 부식으로 교량 안전에 영향을 미치는 국부부식이 발생할 수 가 있다.

본 연구에서는 국내의 기존 강교량에서 발생하고 있는 구조적 부식 취약부의 국부부식 문제를 분석하여 현재 건설되어진 무도장 내후성 강교량의 부식 취약부 중 상부플랜지 외부면의 방식을 경제적으로 유지·보수할 수 있는 방식 대책을 마련하고 무도장 교량의 방식 설계 지침을 보완 개선하고자 한다.

<sup>†</sup> Corresponding author: anchon1004@hanmail.net

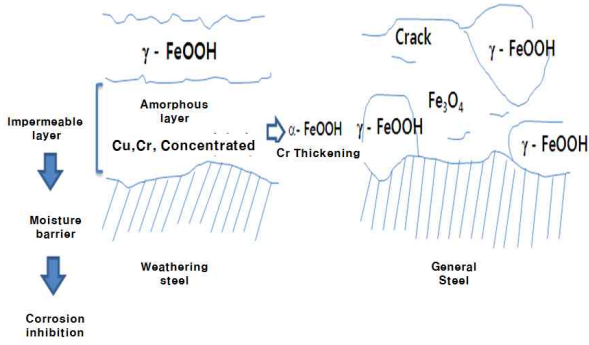


Fig. 1. Schematic drawing of weathering steel rust section.<sup>5)</sup>

## 2. 연구 방법

본 연구는 구조적으로 결로 및 체수가 발생하는 밀폐 박스 거더형 교량의 부식취약부가 부동태 피막(passivation film) 형성불가로 계속적으로 부식이 진행되는 문제를 분석하여 그간 국내에서 건설한 기존의 무도장 내후성강 교량의 부식취약부에 대한 경제적인 방식관리 지침을 개발하는 연구이기 때문에 연구방법은 다음과 같다. 먼저 같은 구조의 도장교량에 대한 전문부식진단 자료를 전기화학적으로 분석하여 부식 메카니즘을 검토한 다음 박스거더 상부 플랜지 외부면 방식을 위해 연구한다. 그 뒤 신기술인 상부플랜지 외부면 방식기술을 Mock-up를 통해 실험 분석하여 실용성 및 실현가능성을 검토한다. 이 연구는 현재 진행중인 국토교통부 과제 “도장이 없는 내후성강교량 박스거더 내부 최적방식기술 및 유지관리 지침(안)개발”을 통해 진행한다.<sup>5)</sup>

## 3. 무도장 내후성강 박스거더내 부식 특성

무도장 내후성강은 합금성분인 Cr, Cu, Ni, Si 등의 영향으로 건, 습이 반복되는 대기중에는 5~10년 정도에서 합금성분의 부동태 피막(passivation film) 형성으로 부식진행이 억제된다. 아래 그림은 내후성강과 일반강의 녹단면도 그림이다.<sup>5)</sup>

아래 식은 내후성강의 녹 생성 반응식이다.

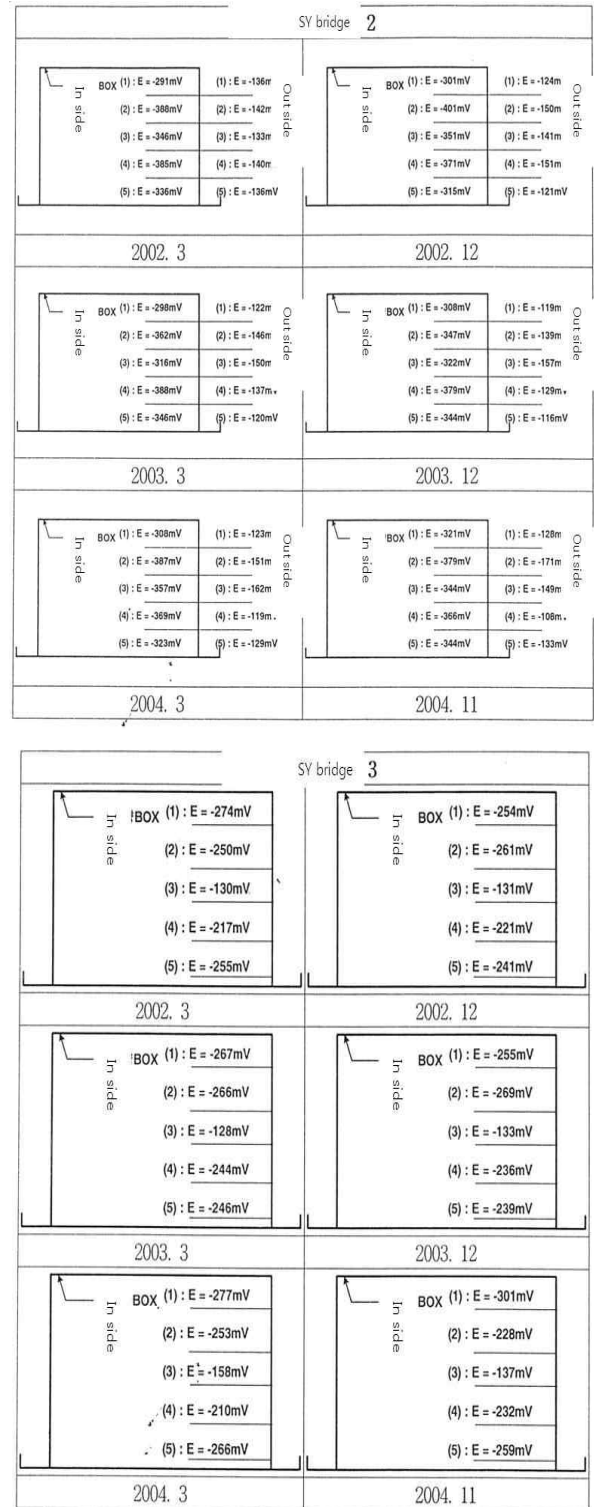
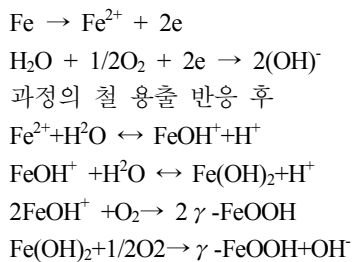


Fig. 2. The potential variation at bolt connection of box girder inner surface (“SY” bridge).

그러나 우리나라와 같이 여름철에 고습도가 계속 유지되거나 체수가 발생하여 부동태 피막을 파괴하는 경우에는

부동태 형성이 어렵기 때문에 무도장 교량 건설 역사가 오래 된 나라들은 설계 규정에서 여러 가지 문제를 고려하여 건설 제한 사항으로 두고 있다.

Fig. 2는 건설 후 5년차인 무도장 교량 SY교량에서 박스 거더 내, 외부면에 대해 고저항 전위차계에 의한 전위측정으로 부동태 피막형성 상태를 조사한 결과와 측정 시기별 전위변화를 나타낸 것이다.

Fig. 2의 전위측정결과 및 전위변화에서와 같이 박스거더 외부면은 부동태 피막이 90%이상 형성되고 있는데 반해, 내부면에서는 결로의 영향으로 부동태 피막형성이 거의 이루어지고 있지 않다. 그리고 박스거더간 Splice 볼트 연결부에서는 박스거더와 볼트의 금속 종류가 다른 곳에서는 부분적으로 전지부식도 감지되고 있다.

여기서 부동태 피막형성 기준전위는 현재까지 발표된 자료가 없는 가운데 2003년 강구조학회에서 기존의 무도장 교량에 대한 부식진단 결과 보고서에서 부동태 피막전위 측정 자료를 근거로 잠정적으로 규정한 -100mV CSE를 기준으로 한다.

#### 4. 박스거더 상부 플랜지 외부면의 부식 특성

기존 밀폐 박스거더형 교량의 박스거더 상부 플랜지 외부면은 그림 3의 A에서와 같이 교량바닥판의 콘크리트 슬래브와 직접 접촉하는 것과 B와 같이 30~40mm 정도의 간격을 두고 사이에 스티로폼을 채우는 구조로 나눌 수 있다.

1990년대 중반까지는 대체로 Fig. 3의 B와 같이 간격을 두는 구조로 건설하는 사례가 많았고, 그 이후로는 A와 같은 접촉구조로 건설하고 있는 추세이다.

Fig. 3의 B와 같이 박스거더 상부플랜지와 바닥이 접촉하지 않는 구조에선 교량의 바닥판이 진동으로 균열 발생 시 유입되는 우수가 틈 사이에 채수되면서 부식시키게 된다. 특히 제설제를 적용하는 교량에선 염화물의 영향까지 포함된 부식 문제까지 발생할 수 있다. 건설 후 10년차인 도장교량 Y대교에 대한 부식진단에서 부분적으로 차이는 있었지만, 상부 플랜지의 두께 감소가 20~50%까지 측정되었다는 것은 대기 중의 평균 부식속도인 0.01mm/year의 약 200~500배 이상의 빠른 부식속도로 부식이 진행되고 있다는 것을 나타낸다. 이는 바닥판을 통해 유입되는 우수의 영향으로 분석할 수 있지만 틈새에 채우는 스티로폼과 제설제로 사용하는 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>)의 영향도 작용한 결과로 분석된다. 즉, 틈새에서 산소농도점지부식과 염화칼슘에 의한 염화물 부식의 영향으로 추정된다.

#### 5. 박스거더 상부 플랜지 외부면의 방식기술

이러한 박스거더 상부 플랜지 외부면에 부식이 발생하는

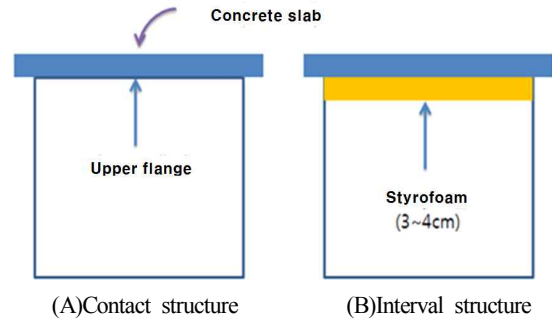


Fig. 3. The construction of concrete slab and upper flange of the existing closed box girder type steel bridges.

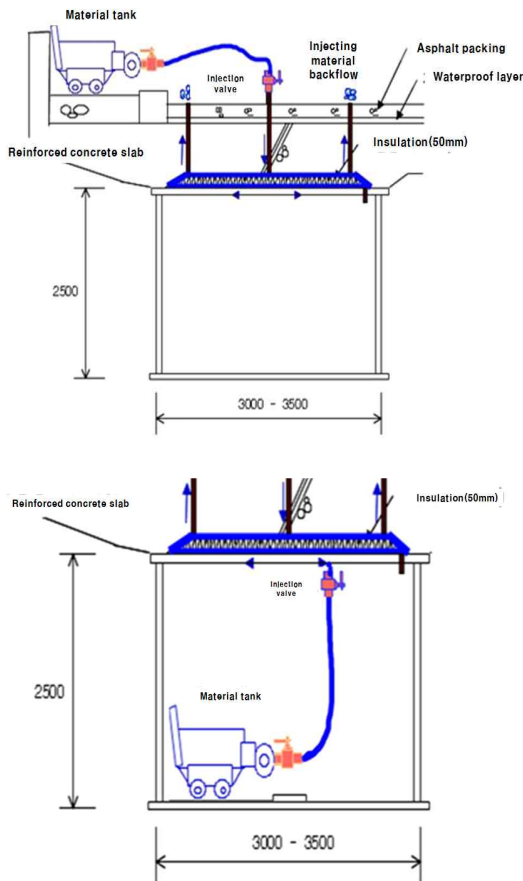
Table 1. The results of thickness measurement at the box girder upper flange of “SY” and “P” bridge which are constructed with weathering steel

Bridges	point	Drawing thickness (mm)	Thickness Measurement (mm)	Variation (mm)
Y Bridges	2G1	18	16.77	1.23
	3G2	18	16.77	1.23
	4G1	12	10.96	1.04
	5G2	12	11.08	0.92
	6G3	18	16.81	1.19
	7G3	12	10.89	1.11
	8G3	12	10.88	1.12
	39G3	16	14.42	1.58
	41G3	10	9.25	0.75
	42G1	10	9.37	0.63
P Overpass	1-G3	18	16.80	1.20
	2-G3	12	11.32	0.68
	6-G1	16	14.81	1.19
	7-G1	20	18.50	1.50
	8-G1	24	23.15	0.85

원인 누수가 발생 했을 때 기존의 보수공법은 아스콘 및 방수층을 걷어내어 새로운 방수층을 형성하지만 이는 교통의 흐름을 장기적으로 방해하여 교통체증을 유발하고 있으며, 사용가능한 아스콘을 폐기처리하기 때문에 비용이 가중되는 결과를 낳고 있다. 그러므로 교량 상판 누수보수를 할 수 있는 대안으로서 상판을 천공하여 방수재 및 방식재를 주입하여 누수로 인하여 발생된 교량 상판의 녹을 제거하고 방수처리까지 함으로써 교량의 내구수명을 늘리고 건설폐

**Table 2. Benefits of the upper surface of the upper flange type technologies**

Dision	Content
Budget savings	Only possible way to excel without perforations to tear off the tops economy
Shorten the construction period	It is possible to minimize the loss of traffic is relatively simple, the method to be
Corrosion inhibition	The effect is enhanced because of the way it turned my way upstairs directly between the asphalt and asphalt waterproof layer



**Fig. 4.** Upper flange construction method.

자재의 발생을 줄여 환경적인 공사가 되고, 공사기간의 단축 및 비용 절감 효과를 얻을 수 있는 방식기술이라고 판단된다. Fig. 3은 상부플랜지 외부면 방식기술의 시공도 이다.

다음 그림은 박스거더 상부 플랜지 외부면 방식기술의 두 가지 방법에 대한 것이다.

상부플랜지 상면 방식기술의 시공 순서는 아래와 같다.

- ① 주입구 및 토출구 천공
  - 강박스 상부 플랜지 철판에 방식 및 실링제용 구멍을 적당한 간격으로 천공하고 구멍 내부에 방식에 주입 공간을 만든다.
- ② 실링제 주입 및 토출구 확인
  - 실링제 주입 시 토출구에서의 실링제 용출을 통해 주입 상태를 확인하며 작업한다.
- ③ 플러깅
  - 주입이 완료되면 토출구 및 주입구를 차량 통행에 차질 없이 하기 위해 플러깅 작업을 하여 완료 한다.

이처럼 간단한 시공방법으로 통해 Table 2와 같은 장점을 가지는 상부플랜지 외부면 방식을 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 6. 박스거더 상부 플랜지 외부면의 방식기술 실험 및 분석

4.5장에서 언급한 상부 플랜지 외부면의 방식기술에 대해 서술한 바와 같이 이러한 신공법의 성능 및 실구조물예의 적용성을 평가하기 위하여 실제의 교량상판을 상정한 크기 및 구조로 시험체(Bridge Sample, 이하 BS로 약술)를 제작하여 보수재의 주입성능(주입속도, 주입범위, 주입성상 등)을 측정하고자 한다.

그에 따라 예시가 될 수 있는 건설 된지 10년차인 도장교량 Y대교를 선정하고 Y 대교를 모델로 한 Mock-up 장치에서 신공법으로 실험 및 분석 하였다.

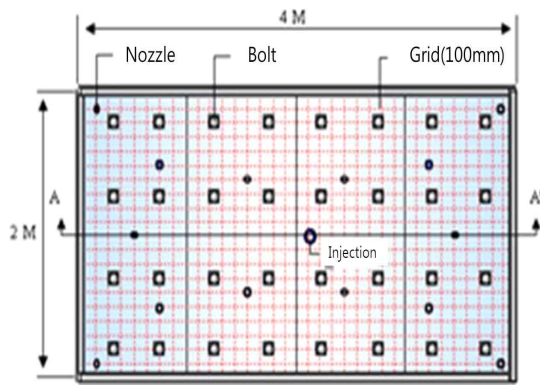
### (1) Mock-up 제작

- 상부철판과 아크릴판을 지지하는 받침대 설치
- 상부에 철판(4m X 2m)을 올리고 가장자리는 실링처리
- 스티로폼을 철판위에 올리고, 실링제 주입시 유실을 방지하기 위해 지점토로 전면 실링
- 가압아크릴판은 확산범위 측정을 위해 100mm 간격으로 Grid 표시
- 가압볼트는 500mm간격으로 천공하여 고무와셔, 철판와셔를 적용

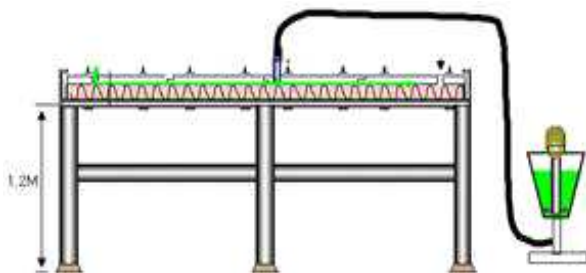
### (2) 실링제 주입실험

실링제 주입공법의 신뢰성을 확인하기 위해 실제 조건보다 가혹한 조건으로 실시하였다. 즉, 바닥판과 박스거더 상부 플랜지간 틈을 실제 상황에 비해 10% 이하로 조정하여 가혹조건에 하에서 실시하였다

Table 3은 실링제 주입실험에서 주요제원을 Fig. 7은 주



(A) Plane



(B) Sectional

Fig. 5. Bridge Sample.



Fig. 6. Mock up of Y bridge.

Table 3. The specification of sealant injection experiments

Power	330V	Volume	70 ℓ
Drive	2.2 kW	Total Length	1,000 mm
RPM	35 ~ 160 RPM *	Total Width	750 mm
Trans Pressure	13 ~ 20 bar *	Total Height	1,550 mm
Trance Distance	15 ~20 m *	Total Weight	156 kg
Discharge volume	3 ~ 20 ℓ/min *		



Fig. 7. Sealant injection equipment.

Table 4. The injection length and area with sealant injection time

Injection Time (min)	Length (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Remark
0	0	0.00	Redail spread
1	0.40	0.50	Redail spread
2	0.70	1.54	Redail spread
5	1.05	3.46	Redail spread
10	1.30	5.31	Redail spread
20	1.60	6.40	Line spread
30	1.80	7.20	Line spread
40	1.90	7.60	Line spread
50	1.95	7.80	Line spread
60	2.00	8.00	Line spread

입장치를 나타낸다.

① 실링제 주입성능 시험 방법

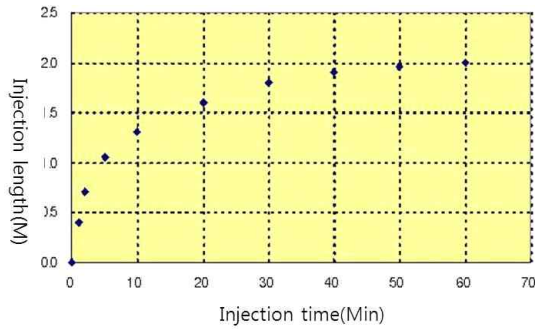
Fig. 7은 Table 3의 제원에 따른 Mock up 장치에서 실링제를 주입하는 시험절차를 나타낸다.

실험온도는 상온(20℃ 전후)에서 실시하였고, 주입압력은 조절이 가능하지만 Table 2에서와 같이 일반적으로 채택 가능한 범위에서 실시하였다.

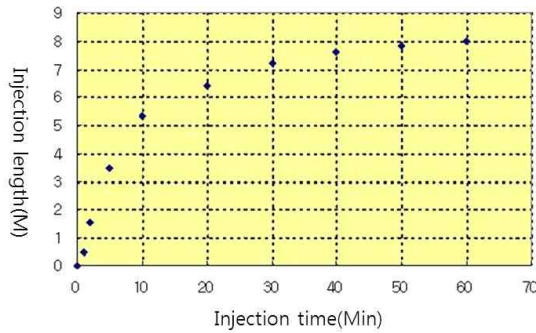
② 실링제 주입성능 분석

Table 4는 실링제 주입시간에 따른 주입길이와 면적을 측정 한 결과고, Fig. 7,8주입시간과 주입길이 간의 관계, 주입시간과 주입면적간의 관계를 나타낸 것이다.

Table 4와 Fig. 8,9에서 나타낸 바와 같이 실제 교량의 박스거더 상부플랜지와 동일한 조건의 장방향 Mock up을 제작하고, 틈의 간격은 10%이하의 가혹조건으로 실시한 실링제 주입실험 등을 통해 다음의 소결론을 얻을 수 있다.



**Fig. 8.** The relationship between injection time and injection range.



**Fig. 9.** The relationship between injection time and injection area.

- 점도가 타르계 실링제보다 낮은 수용성 부식억제제(녹 전환제)의 주입은 실용성이 증명된다.
- 실제상황에 비해 가혹한 조건에서 실링제 주입 실험결과와는 실제 교량에서 실링제 주입이 가능하다는 것이 증명된다.

## 7. 결론

이상의 밀폐 박스거더 교량의 부식특성, 부식진단 사례 및 박스거더 상부 플랜지 외부면 틈새에 대한 타르계 실링제 주입실험을 통해 다음의 결론을 도출할 수 있다.

- (1) 박스거더 상부플랜지 외부면 틈새에는 부식억제제 주입과 실링제 주입이 가능하며 상부에서나 박스 거더 내부에서의 주입 가능성을 확인 하였다.
- (2) 실링제 주입으로 상부 플랜지에 친금속성, 내식성 실링제를 통해 수분의 접촉을 차단하여 부식을 방지 및 방식 효과를 볼 수 있다.

## 감사의 글

이 연구는 국토교통부 지원 사업으로 ‘도장이 없는 내후성강교량 박스거더 내부 최적 방지기술 및 유지관리지침(안)개발’의 연구 지원으로 수행되었기에 감사드립니다.

## References

1. E. H. Lee, Corrosion and Corrosion Protection manual of Korea p.220 (1998).
2. E. H. Lee, A study of Anti-corrosion Method for Unpainted Wethering steel Bridge.
3. E. H. Lee, Anti-corrosion Manual for Unpainted Wethering steel bridge, p. 190 Construction (GOV.) (2005).
4. KICAT & E. H. Lee, Stop! Bridge breakdown, Gas explosion, Soil contamination, p.46 (2005).
5. Kicat, The principal of Corrosion and Corrosion protection, p.24 (2000).
6. Weathering steel box girder bridges inside the best way technology and maintenance instructions unmarked draft development plan the first year annual earnings, p. 39 (2013).