

내후성강재의 철도용 강교량 적용기술

Application of Weathering Steels for Railway Bridges

조광일*[†], 성택룡*, 박용명**, 권오혁***, 안기성***

Kwang-Il Cho*[†], Taek-Ryong Seong*, Yong Myung Park**, Oh-Hyuk Kwon***, Ki-Sung An***

Abstract Steel bridges usually applied for long-span railway bridges require repainting during those service life. To save the costs of repainting, weathering steels have been used for bridges since 1960s in the United States and Japan. Also, weathering steels have been having a priority when steels are considered as main material of bridges. On the other hand, there are few weathering steel bridges in Korea. In order to expand the application of weathering steels, the high-strength weathering steels HSB 500W and 600W were developed newly and those performances were evaluated. It was found that about 5% of the initial construction cost and about 30% of LCC for 100 years are reduced when the hybrid weathering steel bridge is applied.

Keywords : Weathering steel, Railway bridge, Steel bridge, Maintenance, Life-cycle cost

초 록 장시간 철도교에는 강교의 적용이 필수적이거나 재도장이 필요한 단점을 가지고 있어, 재도장이 불필요한 내후성강이 강교에 적용되었다. 미국과 일본에서는 1960년대부터 강교량에 내후성강을 사용해왔고 현재에는 강교 적용 시 내후성강을 우선적으로 고려하고 있다. 반면, 국내에서는 1992년에 내후성강을 교량에 최초 적용한 후 도로교 약 30개소에 적용하였으나 철도교에는 적용사례가 없다. 이에 국내 교량 건설환경에 적합한 고강도 내후성강재로 HSB500W 및 HSB600W가 개발되었으며, 이의 사용을 위한 용접재료 및 이용기술이 개발되었다. 연구 결과, 내후성강 거더는 교량 적용에 필요한 성능을 모두 갖추었으며, 초기 제작비 약 5%, 100년 생애주기비용 약 30%를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

주요어 : 내후성강, 철도교, 강교량, 유지관리, 생애주기비용

1. 서 론

교량에 적용되는 강재는 시간이 흐름에 따라 부식이 발생하는 결점을 지니고 있지만, 콘크리트에 비해 강도, 인성, 연성 등 기계적 성질이 우수하다. 부식은 오랜 시간 동안 서서히 진행되나 두께를 감소시켜 결국 강도저하를 초래할 수 있으므로 일반 강교량은 건설 시 도장을 시행하고 공용 중에는 재도장을 실시한다. 그러나 재도장은 주기적으로 실시하여야 하므로 공용 중 많은 비용이 필요하다. 이러한 강교량의 단점을 극복하기 위해 미국과 일본에서는 1960년대부터 현재까지 철도교 및 도로교에 내후성강재를 교량에 사용해 오고 있으며 강교량에서 내후성강재가 우선적으로 고려된다. 그 외에도 캐나다 및 유럽 등에서도 내후성강재가 널리 사용되는 반면, 국내에서는 1992년에 내후성강을 처음 적용한 후 국도 및 고속도로 약 30개의 교량에 내후성강인 SMA490W 등의 강재가 적용되었으나

† 교신저자: 포스코 철강솔루션마케팅실 구조연구그룹 (kcho@posco.com)

* 포스코 철강솔루션마케팅실 구조연구그룹

** 부산대학교 토목공학과

*** 한국철도시설공단 KR연구원 기술연구처

철도교에는 아직 적용사례가 없다.

이에 초기 제작비 및 유지관리비용을 절감할 수 있고 국내 교량 건설환경에 적합한 고강도 HSB500W 및 HSB600W 강재가 개발되어 KS[1] 및 철도교 및 도로교용 설계기준[2, 3]에 반영되었으며, 사용자가 내후성강을 불편 없이 사용할 수 있도록 내후성강 전용 용접재료 또한 개발되었고 저강도와 고강도의 내후성강재를 혼용(HSB 500W 및 HSB600W 하이브리드 설계)할 수 있도록 대책과제를 통하여 여러 가지 성능을 검증하였다. 또한, 적용 시 초기 제작비와 100년 생애주기비용을 산정하여 내후성강 적용 시 경제성을 평가하였다.

2. 내후성강의 특징 및 현황

2.1 내후성강 개요

내후성강은 부식 저항력을 높이기 위하여 일반 강재에 소량의 Cu, Cr, Ni 등의 원소를 첨가한 합금강이다. 내후성강은 대기에 노출되면 초기에는 일반 강재와 유사하게 녹이 발생하지만 시간이 경과하면 강재 표면에 치밀한 녹층이 형성되며 이 녹층이 강재 표면을 보호하게 되어 이후의 부식이 억제됨으로써 부식속도가 일반 강재에 비해 매우 낮은 특징을 갖는 강재이다.

내후성강은 대기 노출 시 초기에는 주황색으로 변하였다가 이후에는 밝은 갈색으로 변한다. 다시 수년이 경과하면 색상은 서서히 짙은 갈색으로 변화하면서 녹안정화가 이루어진다. 녹안정화란 내후성강이 대기부식에 대해 보호적인 상태로 진행된다는 것을 뜻한다. 실험에 의하면 무도장 내후성강에서 녹안정화가 거의 완료되기까지는 보통 1~5년이 걸리지만, 부재 위치와 적용 환경 여건에 따라 길게는 10년 이상의 장기간이 소요되는 경우도 있다. 녹안정화 단계의 색상 변화 과정은 그림 1과 같다.

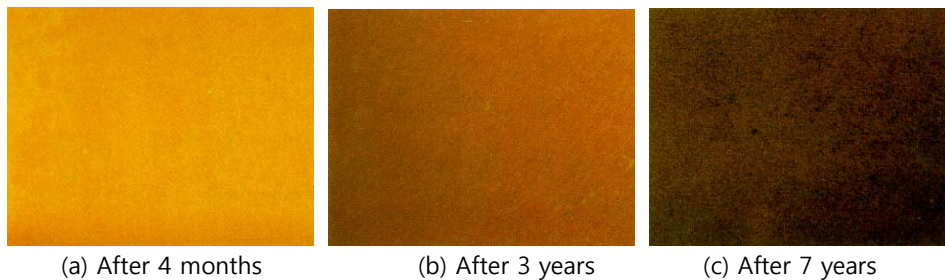


Fig. 1 Stable Rust-Like Appearance on Weathering Steel Surface

2.2 내후성강 적용 현황

내후성강에 관한 연구는 미국에서 20세기 초부터 시작되었다. 방대한 폭로시험이 실시되어 이 결과를 토대로 1933년에 초기의 내후성강이 시판되었다. 당초는 안정된 녹색상을 의장적으로 활용할 목적으로 건축물의 외장재로 사용되었다. 그림 2(a)는 1977년에 완성된 New River George교이며, 이는 지간 518m의 상로식 아치교이다. 일본에서 교량에 내후성강이 사용되기 시작한 것은 1960년 이후이다. 일본 고속철(신칸센) 교량의 중거더 상부 플랜지의 침목 밀을 방청하기 위한 목적으로 도장과 병용하여 사용되었다. 본격적인 무도장 교량은 1967년에 가설되었다. 그 후 1968년에는 용접성을 고려한 내후성강재의 JIS 규격이 제정되어 이 무렵부터 교량에 적용하기 위한 시도가 본격적으로 이루어졌다. 일본에서 전체 강교 중 내후성강교의 비율은 계속적으로 증가하였고 최근 신설 강교량의 20~30%에 내후성강이 적용되고 있다.

국내에서는 1987년 내후성강을 개발한 이후로, 1992년 내후성강 적용 무도장 교량을 최초 적용하였고 현재까지 약 30개의 교량에 적용되어 약 15,000톤 가량 사용된 것으로 알려져 있으며, 고강도 내후성강으로는 인장강도가 800MPa인 HSB800W까지 개발되었다. 특히 무도장 내후성강교량은 초기도장 및 재도장이 불필요하므로 공용기간 비용 절감, 초기 제

작비용 절감, 제작 및 가설 기간 단축이 가능하며 보다 양호한 유지관리성, 환경친화성, 안정성을 추가로 확보할 수 있어 국내에서도 내후성강 적용확대가 필요하다. 그림 2에는 국내의 내후성강교량의 예를 나타내었다.



(a) New River George Bridge (U.S.A.) (b) Matsubara Railway Bridge (Japan) (c) Yang-su Bridge (Korea)

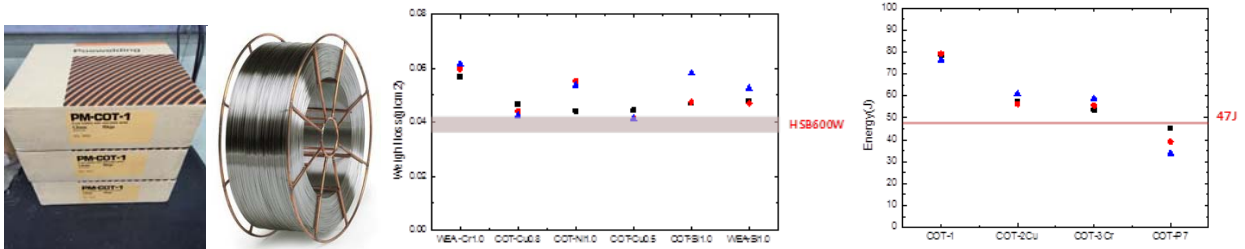
Fig. 2 Examples of Weathering Steel Bridges

3. 내후성강의 교량 적용기술

3.1 내후성강용 용접재료

내후성강을 교량에 적용하기 위해서는 우선 내후성을 가지는 별도의 용접재료가 필수적이다. 또한 강교량의 효율성을 극대화하기 위해 플랜지와 웹에 서로 강도가 다른 강재를 혼용하여 사용(하이브리드 거더)할 수 있으며 이를 위해 HSB500W 및 HSB600W의 혼용용접이 가능한 용접재료가 개발되었다.

개발된 내후성강 전용 용접재료는 내후성강 모재 동등 이상의 내후성, 강도, 인성을 가지도록 6종의 후보재료가 설계되었으며 그림 3과 같이 여러가지 성능을 확인하여 가장 성능이 좋은 3종을 상용제품으로 확정하였다. 내후성강 전용 용접재료는 현재 상용생산이 완료되어 즉시 현장에서 사용할 수 있는 상태이다.



(a) Welding Materials

(b) Results of Tensile Test and CVN Test

Fig. 3 Development of Weld Materials for Weathering Steeles

3.2 용접시공시험 및 피로시험

3.1과 같이 개발된 용접재료를 사용하여 내후성강을 혼용용접한 다양한 용접시편을 제작하여 여러가지 성능을 확인하였다. 여기에서는 용접시공시험 항목인 인장, 충격, 굽힘, 마크로, 경도 시험 등이 수행되었고 모든 항목에서 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.

또한, 용접부는 피로성능 확보가 중요하므로 두께 20mm 및 30mm 피로시편을 제작하여 3~4가지 응력범위에서 총 18개의 피로실험을 수행하였다. 실험 결과, 그림 4와 같이 맞대기 용접에 해당하는 C등급 이상의 피로성능을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이상의 검증과정을 통해 내후성강은 강교에 즉시 사용할 수 있는 기초적인 성능을 모두 확보하였다고 할 수 있다.

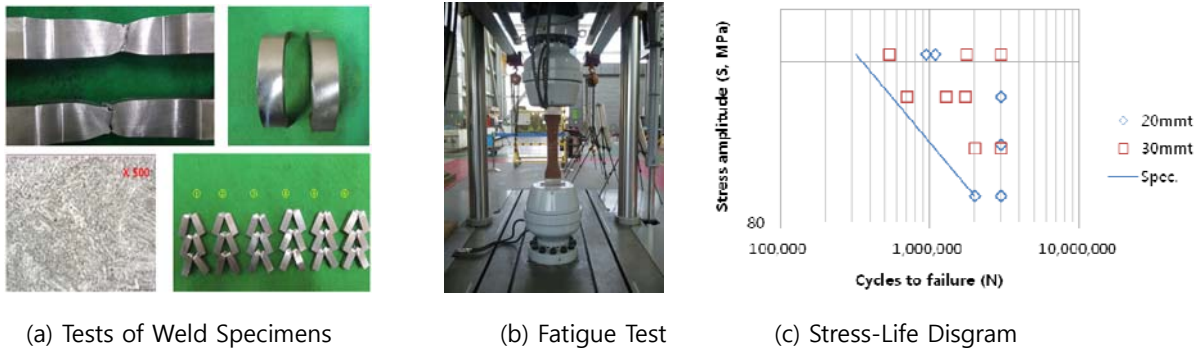


Fig. 4 Various Tests of Weld Joints

3.3 내후성강 거더 극한강도 평가

소형 시편 수준의 검증을 모두 마친 후에는 그림 5와 같이 대형 부재 수준의 검증을 수행하였다. 내후성강을 사용하여 그림 5(a)와 같이 길이 약 9m의 하이브리드 거더 시편을 총 15개 제작하였으며, 이를 통해 휨, 전단, 휨-전단 상호작용 거동을 분석하였다. 실험에 앞서 그림 5(b)와 같이 유한요소해석을 수행하였으며 그림 5(c)와 같이 실험 및 해석 결과를 서로 비교하였다. 실험과 해석 결과는 일치하였으며, 내후성강 하이브리드 거더는 설계 강도 대비 약 1.2~1.3배 높은 극한강도를 가지고 있는 것으로 나타났다. 현재 내후성강 하이브리드 거더의 피로수명을 평가하기 위해 길이 약 10m의 거더를 제작하여 실험을 진행하고 있다.

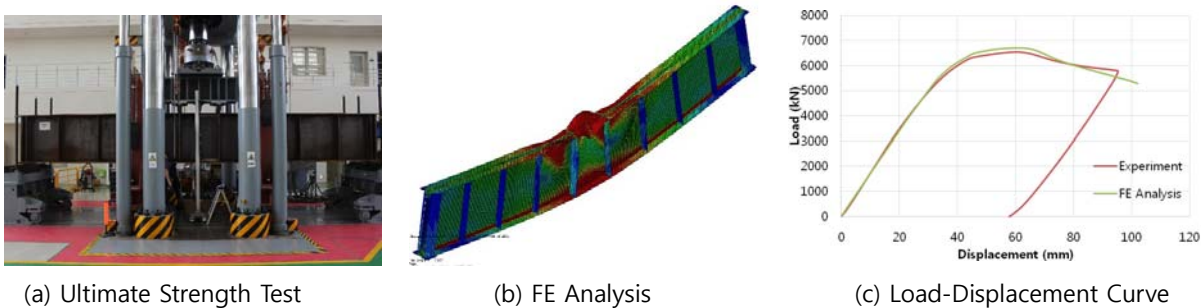


Fig. 5 Ultimate Strength Test and Analysis of Weathering Steel Girder (Hybrid)

3.4 내후성강교량의 경제성 분석

내후성강교량의 경제성을 파악하기 위해 기존에 설계된 철도교량과 동일한 규모로 내후성강 하이브리드 교량을 재설계하여 강중, 초기제작비, 100년 LCC(Life-Cycle Cost)를 분석하였다. 이에 에 사용된 교량은 지간장 45m, 폭 2.2m의 강박스거더교(철도교)로서 기존에는 SM520B 강재를 사용하였다. 대상교량의 강박스거더를 내후성강을 사용하여 재설계하였으며, HSB500W는 웹에 적용하고 HSB600W는 상하부 플랜지에 각각 적용하였다. 두 교량은 동일한 안전율을 가지도록 설계되었으며 각 부재의 두께 외의 제원은 변화시키지 않았다. 분석 결과, 단순히 일반 강교의 소재를 내후성강으로 바꾸었을 경우, 초기제작비는 3%, 100년 LCC는 약 33% 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 경제성을 극대화시키기 위해 하이브리드 설계를 하였을 경우에는 초기제작비와 100년 LCC가 각각 10% 및 35% 감소되는 것으로 나타났다.

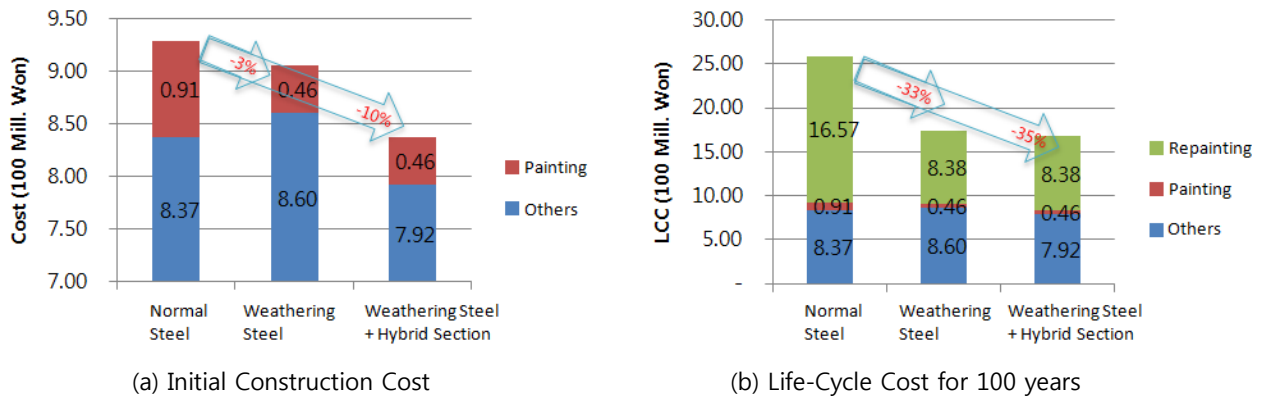


Fig. 5 Cost Comparison of Railway Bridges (Normal Steel vs. Weathering Steel)

3. 결론

내후성강은 초기도장 및 재도장이 불필요하고 향후 재활용이 가능하므로 철도교 등의 대형 구조물에 사용될 수 있는 가장 친환경적인 재료 중 하나이다. 본 연구에서는 이러한 장점을 가진 내후성강의 적용 확대를 위해 용접재료 개발 및 다양한 성능을 검증하였으며 추가적으로 초기제작비 및 LCC를 절감할 수 있음을 확인하였다. 향후 해외와 같이 내후성강이 철도교 및 여러 건설현장에 사용될 수 있도록 현재 내후성강 교량 적용 지침이 작성 중이며 이를 통해 사용자가 편리하게 내후성강을 사용할 수 있게 할 예정이다.

참고문헌

- [1] 국가기술표준원 (2009) KS 교량 구조용 압연 강재 KS D 3868: 2009.
- [2] 국토교통부 (2015) 철도설계기준 (노반편).
- [3] 국토교통부 (2012) 도로교설계기준 (한계상태설계법).

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원 (13건설기술A01)에 의해 수행되었습니다. 이에 깊이 감사합니다.