

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2019.5.4.367

JCCT 2019-11-45

희생양극법을 적용한 철도 레일의 방식효과 모니터링 연구

A Study on Monitoring of Mitigation of Rail Corrosion using Sacrificial Anode Cathodic Protection Method

최정열*, 박종윤**, 이규용***, 정지승*

Jung-Youl Choi*, Jong-Yoon Park**, Kyu-Yong Lee***, Jee-Seung Chung*

요약 본 연구에서는 해양성 기후조건에 있는 철도 레일의 부식으로 인한 선로장애를 최소화하고 레일의 부식을 저감시키기 위한 방식대책으로써 희생양극법을 제시하고 방식효과를 실험적으로 입증하였다. 또한 제안된 희생양극을 현장에 시험부설하여 26개월 이상 장기 레일부식모니터링 및 현장적용성을 검토하고 레일부식의 효과를 입증하였다. 셀로판테이프법을 이용한 부식상태 모니터링 결과, 현장시험부설 후 약 26개월이 경과된 현 시점에서의 희생양극의 외관상태는 양호하며, 레일복부와 희생양극의 용접부 이상 및 기타 특이사항은 발견되지 않았으나, 희생양극을 설치하지 않은 개소에서는 녹의 진전이 빠르게 진행되었다. 또한 희생양극의 적정 설치간격은 1.0~1.5m까지가 상대적으로 가장 안정적인 부식피막을 형성하는 것으로 조사되었다. 약 26개월의 모니터링 결과, 희생양극의 설치 간격이 다소 넓더라도 해양성 기후조건에 있는 철도 레일의 전반적인 부식발생 수준을 안정화하는 데에 도움을 줄 수 있어 부식에 취약한 환경에 부설된 철도 레일에 적용이 가능할 것으로 분석되었다.

주요어 : 희생양극법, 부식, 레일, 녹, 모니터링

Abstract In this study, we proposed the sacrificial anode cathodic protection method as a countermeasure to reduce the corrosion of railway rails under oceanic climatic conditions and proved the anticorrosive effect experimentally. In addition, the proposed sacrificial anode cathodic protection method were tested on site to examine long-term rail corrosion monitoring and field applicability for more than 26 months and to prove the effectiveness of rail corrosion. As a result of monitoring the corrosion state using the cellophane tape method, the appearance of the applied sections with sacrificial anode cathodic protection method was good at the present time about 26 months after the field test laying, and no abnormalities and other abnormalities of the rail welded section and the rail web were found. Hence, in places where no sacrificial anodes were installed, rust progressed rapidly. In addition, the proper spacing of sacrificial anodes was found to form the most stable corrosion coating at 1.0 ~ 1.5m. After about 26 months of monitoring, the installation of sacrificial anodes could help stabilize the overall rail corrosion level, even if the spacing was somewhat wider.

Key words :Sacrificial anode cathodic protection method, Corrosion, Rail, Rust, Monitoring

1. 서론

현재 영종대교 교량상 강직결 레도구조에 부설된 레

일은 레일표면 관리상태가 양호함에도 불구하고 해수 및 해양성 기후조건에 의해 차륜-레일 접촉면을 제외한 대부분의 단면에서 상당한 수준의 부식이 진행되고

*정회원, 동양대학교 철도건설안전공학과, 교수 (제1저자)
**정회원, 공항철도(주) 시설처, 과장 (교신저자)
***정회원, 공항철도(주) 기술본부, 본부장 (참여저자)
접수일: 2019년 9월 4일, 수정완료일자: 2019년 9월 6일
게재확정일자: 2019년 9월 29일

Received: September 4, 2019 / Revised: September 6, 2019
Accepted: September 29, 2019
**Corresponding Author: andawin@arex.or.kr
Technical Division, Airport Railroad Co.,Ltd., Korea

녹층의 박리가 발생되고 있는 실정이다. 부식에 의한 레일의 손상은 레일마모, 표면요철, 파상마모 등과 같은 일반적인 레일의 손상과 달리 레일의 구조적인 건전성에 미치는 영향은 크지 않으나 부식되어 박리되는 녹층에 의한 전기절연문제가 발생되어 열차운행에 장애를 초래할 수 있다[1,2,4-6]. 따라서 선행연구[2]에서 제안된 희생양극(Al-anode)의 현장적용성을 확인하고 실제 부식환경에서의 부식저감효과를 실험적으로 입증하고자 현자 시험부설하여 약 26개월 동안의 레일부식모니터링을 수행하여 레일방식 효과를 입증하였다.

II. 희생양극 현장시험부설

본 연구에서는 희생양극(Al-anode) 현장시험부설 위치를 선정하기 위해 2016년 6월 30일 영종대교 현장조사를 시행하였다. 현장조사 결과를 바탕으로 녹이 가장 많이 발생한 구간을 희생양극 현장시험부설 위치로 선정하였다[2,4].

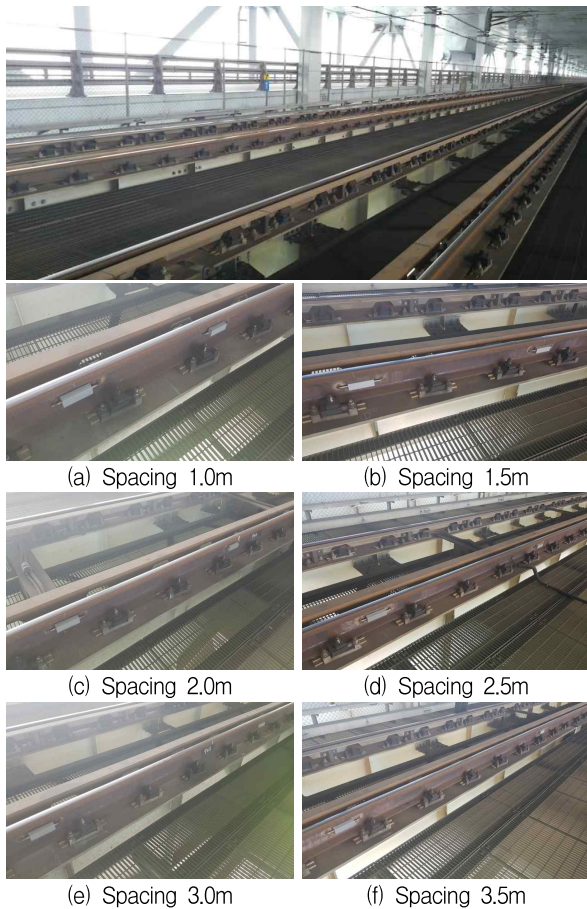


그림 1. 현장시험부설 모니터링 설치 조건별 전경
Figure 1. Photographs of tested section and installation cases of long-term monitoring

희생양극의 설치방법은 그림 1과 같이 레일북부에 용접으로 설치하였으며, 가드레일이 설치된 쪽을 제외한 편측으로 설치하였다. 희생양극의 설치조건은 그림 1(a)~(f)와 같이 희생양극의 설치간격에 따른 영향범위를 파악하기 위해 설치간격별로 총 6가지 설치조건(1m, 1.5m, 2.0m, 2.5m, 3.0m, 3.5m)로 구분하였다[2,5-10].

III. 전기·신호 인터페이스 검토

희생양극의 현장시험부설에 앞서 희생양극 설치에 따른 열차운행에 장애발생여부를 사전에 검토하고자 차량기지에 희생양극을 설치하여 전기·신호 인터페이스를 검토하였다. 또한 차량기지에서 수행한 전기·신호 인터페이스 검토 결과를 바탕으로 영종대교 현장에 시험부설 후 전기·신호 인터페이스를 재검토하여 전기·신호 측면에서 열차운행에 지장여부를 확인하였다.

그림 2(a)는 차량기지에서의 실시한 전기·신호 인터페이스 시험 전경을 나타낸다. 차량기지내 희생양극 설치에 따른 전기·신호 인터페이스 검토결과, 희생양극을 설치하여도 전기·신호 및 차량(운전)분야의 인터페이스에는 문제가 없는 것으로 분석되었다.

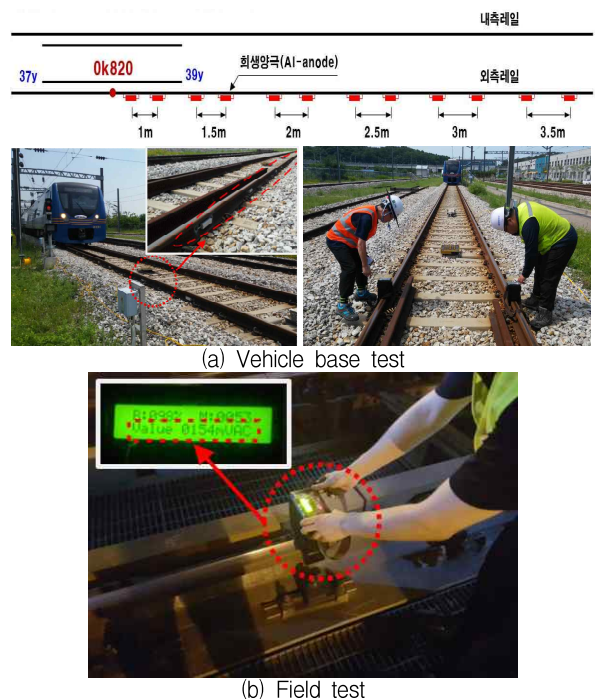


그림 2. 전기·신호인터페이스 시험 전경
Figure 2. Photographs of electric signal interface test

그림 2(b)는 영종대교 레일에 희생양극 설치 후 전기·신호인터페이스 시험전경 및 결과를 나타낸다. 차량기지 및 영종대교에서의 전기·신호 인터페이스 검토결과, 허용기준인 양단간 레일 불평형 60mA 이내로 측정되었으며, 설치 전, 후의 전기·신호에도 문제가 없는 수준으로 나타났다. 따라서 영종대교 교량상 강직결 레도 구조에 희생양극을 설치하여도 전기·신호 및 차량(운전)분야의 인터페이스에 문제가 없는 것으로 분석되어 희생양극법의 현장적용성을 실험적으로 입증하였다.

IV. 희생양극 현장 모니터링 결과

본 연구에서는 선행연구결과를 반영하여 육안점검에 의한 안정녹의 판정법을 표 1과 표 2와 같이 녹의 색조, 조밀도 및 색변화를 관찰하여 안정녹이 형성되고 있는가를 4단계로 평가하여 판정하고자 한다[3]. 또한 희생양극 설치에 따른 레일의 방식효과 입증을 위한 현장 모니터링 시 수행할 실험방법으로 셀로판 테이프법을 이용한 외관조사 기법을 적용하고자 한다. 셀로판 테이프법은 녹의 색조 및 조잡성을 바탕으로 녹의 상태를 0~3등급으로 구분하여 부식진행상태 및 수준을 평가할 수 있다[3]. 셀로판테이프법에 의한 평가방법은 그림 3과 같이 폭 24mm 이상의 셀로판테이프를 이용하여 테이프에 묻어 나오는 레일 강재 표면 녹입자의 크기와 양을 기준으로 안정녹의 형성여부를 간접적으로 평가하며 평가 예는 표 2와 같다[3].



그림 3. 셀로판테이프법을 이용한 부식상태 조사 전경
 Figure 3. Inspection of corrosion state by cellophane tape method

표 1. 강재표면 부식상태 외관조사 평가

Table 1. Visual inspection for steel surface corrosion state

Score	Evaluation of steel surface	
	By rust color	By rust density
3	Dark brown	Dense rust distribution overall
2	Brown~Dark brown	Thick rust mixed dense rust
1	Red~Brown	Thin rust mixed thick rust
0	Yellow~Red	Roughly rust distribution

표 2. 셀로판테이프법에 의한 부식상태 평가

Table 2. Evaluation of corrosion state by cellophane tape method

Score	State Description	Rust progress	
3	Stable rust is formed. Fine rust dispersed, dark brown color.	Texture : Uniform Size : Small Color : Dark brown	
2	Rust is being stabilized. Slightly larger particles of rust present in fine rust particles, dark brown color.	↑	Proceed to stable dust (No rust dropping)
1	Unstable rust layer is forming. Slightly thin rust particles are present in large particles, almost brown to reddish brown color.	↓	Proceed to unstable dust (Rust dropping)
0	Formation of unstable rust is in progress. Rust particles are coarse and easily peeled off, and a lot of red rust, dark brown color(initial state of unstable rust).	Texture : Not-Uniform Size : Large Color : Reddish brown	

희생양극 설치상태 점검결과, 현장시험부설 후 약 26개월이 경과된 시점에서의 희생양극의 외관상태는 그림 4와 같이 양호(단면손실 없음)하며, 레일복부와 희생양극의 용접부 이상 및 기타 특이사항은 발견되지 않았다.



(a) without Al-anode (b) with Al-anode
 그림 4. 희생양극 설치유무에 따른 부식상태 비교
 Figure 4. Comparisons corrosion state by Al-anode installation

셀로판테이프법을 이용한 녹의 부식상태 평가결과, 희생양극 설치구간의 경우 전반적으로 발생 녹의 형태가 가는 녹입자에 약간 큰 입자의 녹이 혼재하는 안정화 단계로 진행되고 있는 상태이거나 안정녹이 형성되고 있는 상태로 분석되었다[3]. 또한 희생양극의 설치간

격과 무관하게 전체적으로 레일의 부식상태가 안정적인 부식피막을 형성하는 것으로 조사되어 시료채취 시점(26개월 경과시점)에서의 부식진행 상태 및 방식효과는 긍정적인 것으로 판단된다. 염해에 노출된 레일의 경우, 부식표면에 습기가 있거나 불균등한 부식피막이 형성되는 것이 일반적이거나 희생양극을 설치한 영종대교 레일의 현재 상태는 녹의 두께를 평가하기 어려울 정도로 부식이 진행되지 않는 것으로 나타났다. 또한 비교적 일정하고 균일한 표면상태를 나타내는 것으로 미루어 볼 때 희생양극에 의해 부식피막 형성이 안정화 단계에 있는 것으로 분석되었다[3,11,12]. 반면 희생양극을 설치하지 않은 개소에서는 표 3과 같이 녹의 진전이 빠르게 진행되어 그라인딩한 위치에서 부식녹층의 경화단계(녹층의 두께 증가, 강재 표면(모재)과의 박리 초기단계)가 진행되고 것으로 나타났다. 또한 약간 가는 녹입자에 불균일한 큰 입자의 녹이 혼재하며, 색은 적갈색에 가깝게 나타나 불안정 녹층이 형성되어 가는 녹의상태(1)에서 녹입자가 크게 진행되어 조잡하여 박리되기 쉬운 암갈색(불안정녹의 초기상태)인 녹의상태(0)로 진전된 것을 확인할 수 있었다[3,9-12].

표 3. 희생양극 설치간격 및 시간경과에 따른 부식상태 변화 결과
Table 3. Corrosion state change result with spacing of Al-anode and time lapse

No.	spacing (m)	Duration (month)				
		7	10	13	16	26
1	Non-Anode					
2	1.0					
3	1.5					
4	2.0					
5	2.5					
6	3.0					
7	3.5					

V. 결 론

본 연구에서는 해양성 기후조건에 있는 철도 레일의 부식을 저감시키기 위한 방식대책으로써 희생양극법을 제시하고 전기신호인터페이스를 비롯한 방식효과를 실험적으로 입증하였다. 또한 제안된 희생양극(Al-anode)을 현장에 시험부설하여 26개월 이상 장기 레일부식 모니터링 및 현장적용성을 검토하고 레일방식 효과를 입증하였다.

약 26개월간의 모니터링 결과, 희생양극의 설치하는 설치간격이 다소 넓더라도 전반적인 레일의 부식수준을 안정화하는 데에 도움을 줄 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서 부식환경에 맞게 희생양극의 설치간격은 적절히 조정이 가능할 것으로 분석되었다. 단, 설치간격 1.0~1.5m의 경우, 다른 설치간격 보다 뚜렷한 방식효과를 나타내는 것으로 분석되었다. 따라서 희생양극의 적정 설치간격은 1.0~1.5m까지가 가장 적절한 것으로 분석되어 향후 희생양극의 현장적용 시 설치위치, 시공방법 및 설치수량 산출 등 실제 시공을 위한 가이드라인으로 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

본 연구에서 검토한 희생양극법을 이용한 레일 부식 저감 기술은 국내 최초로 시도된 레일방식 기술로서 약 26개월 동안의 현장모니터링 시험결과를 바탕으로 방식효과에 대한 적정성과 실효성을 입증하였다. 또한 전기철도에서 중요한 전기-신호분야 인터페이스 측면에서의 안정성을 입증함으로써 희생양극법은 충분한 현장 적용성을 확보하는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구의 대상구간인 영종대교 외에도 부식환경에 노출되어 있는 다양한 철도 레일에 적용이 가능할 것으로 판단되었다.

References

- [1] J.Y. Choi, H.S Gong, J.H Kim, H.S Kim, J.S Chung, "An Experimental Study on Causes Evaluation of Rail Corrugation for Concrete track(STEDEF) in Urban Transit", The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), Vol. 4, No. 4, p.413-418, November 30, 2018(10.17703/JCCT.2018.44.413)
- [2] J.Y. Choi, J.H. Kim, K.Y. Lee, Y.K. Kim, J.Y. Park, B.H. Song, J.W. Seol, "A Study on

- Mitigation of Rail Corrosion using Sacrificial Anode Cathodic Protection Method”, Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 32, No. 6, pp. 54–60, 2017(10.14346/JKOSOS.2017.32.6.54)
- [3] M.S Kang, “Structural Behavior analysis of the Servicing Weathering Steel Bridge According to The Unstable Rust Progress”, Master’s thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2003
- [4] Airport railroad, “Research for evaluation of track component damage and maintenance plan for direct fixation track of Yeongjong Grand Bridge”, Final report, 2015
- [5] S. J. Kim, “Apparatus on Corrosion Protection and Marine Corrosion of Ship”, The Korean Institute of Surface Engineering, Vol. 44, No. 3, pp. 105–116, 2011(10.5695/JKISE.2011.44.3.105)
- [6] H. S. Mun, S. K. Lee, H. J. Song, and Y. S. Chung, “Research of Steel Corrosion and Corrosion Protection System for Reinforcing Steels in Concrete Exposed to Chloride Environments”, 2001 Proceedings of the Korea Concrete Institute Autumn Conference, Vol. 13, No. 1, pp. 653–658, 2001
- [7] K. C. Ho and J. C. Chen, “Spectroelectrochemical Studies of Indium Hexacyanoferrate Electrodes Prepared by the Sacrificial Anode Method”, ECS, Journal of the Electrochemical Society, Vol. 145, No. 7, pp. 2334–2340, 1998
- [8] H. C. Yoo and H. K. Choi, “A Study on the Prevention of the Electric Corrosion by Leakage Current using the Life of Sacrificial Anode Method”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 24, No. 8, pp. 21–26, 2010(10.5207/JIEIE.2010.24.8.021)
- [9] M. H. Han, J. H. Hyeong, Y. C. Lim and H. S. Lee, “An Experimental Study on the Application of Cathodic Protection By Applying Zn–Al Metal Spray to an RC Structure”, Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol. 10, No. 5, pp. 21–29, 2010(10.5345/JKIC.2010.10.5.021)
- [10] K. J. Kim, J. A. Jeong and W. C. Lee, “Cathodic Protection Characteristics and Effective Length of Protection Current of Concrete Pile using Zn–mesh Sacrificial Anode”, 2008 Proceedings of the Korea Concrete Institute Autumn Conference, Vol. 20, No. 2, pp. 773–776, 2008
- [11] K. H. Kim, “A Study on Comparison of Performance Test Methods for Cathodic Protection Sacrificial Anode in Natural Seawater”, Korea Maritime and Ocean University, Master’s thesis, 2010
- [12] B. Panda, R. Balasubramaniam and G. Dwivedi, “On the Corrosion Behaviour of Novel High Carbon Rail Steels in Simulated Cyclic Wet–dry Salt Fog Conditions”, Corrosion Science, Vol. 50, No. 6, pp. 1684–1692, 2008