

전기철도 전차선로 지지애자의 염해지역 열화특성 사례 연구

정호성¹, 박 영² 

¹ 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부

² 한밭대학교 전기시스템공학과

A Case Study of Degradation Characteristics for Rod-Insulator on Catenary System in Electric Railway

Hosung Jung¹ and Young Park²

¹ Smart Electrical & Signaling Division, Korea Railroad Research Institute, Uiwang 16105, Korea

² Department of Electrical System Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea

(Received May 1, 2019; Revised May 21, 2019; Accepted June 4, 2019)

Abstract: In the Airport Railroad, the Yeongjong Bridge has a length of 4,420 m and connects Yeongjong Island with the mainland of Incheon City. The bridge is a two-level structure, consisting of a six-lane road at the upper level and a combination of a road and railroad at the lower level. The environmental conditions for the electric railway come mainly from the salt injury area and a heavy industry zone, and the maintenance cycles are determined differently depending on these conditions. This study analyzed the deterioration characteristics of long rod insulators produced with a movable ceramic bracket and polymer materials in the Yeongjong Bridge section of the Airport Railway operating in the salt injury area according to the material characteristics. Comparison of the corona measurements when the insulators were cleaned at the same time showed that the polymer insulator had a higher insulation performance than the ceramic insulator.

Keywords: Catenary system, Rod-insulator, Electric railway

1. 서론

전기철도의 지속적인 증가로 2023년에는 전 세계 철도의 연장이 2013년 대비 37% 가량 증가할 것으로 예상되고 있다 [1]. 전기철도는 다양한 부품과 기술의 조합으로 철도차량에 에너지를 전달하기 위한 설비는 일반적으로 전철설비와 전력설비로 구분된다 [2]. 전철 설비는 철도차량과 기계적으로 접촉되어 전기에너지를

공급하게 되므로 안정적인 절연성과 기계적 특성이 요구된다 [3]. 전차선은 팬터그래프 접촉에 의해 압상되며 과도한 진동으로 인해 피로가 누적되어 파단 사고가 발생할 수 있다 [4]. 가동브래킷은 전차선을 현수하기 위하여 설치하는 지지물로 절연을 위해 장간애자를 이용하며 팬터그래프에 의한 충격하중이 전차선에 영향을 있다고 보고된 바 있다 [5]. 공항철도에서 영종대교는 영종도와 인천 육지부를 연결하는 4,420 m의 교량으로 상부구조는 6차선의 도로이나 하층부는 도로와 철도 병용인 2층 구조이다 [6]. 이와 같이 공항철도 영종대교 구간은 지역적 특성에 의해 염해지역의 환경에서 운행되고 있다. 전기철도의 환경조건은 염해지역과 중공업지대로 구분되어 운행되며 이에 따른 유지보수주기를 산정하고 있다 [7]. 영종대교 구간은 가동브

✉ Young Park; ypark@hanbat.ac.kr

래킷에 자기제 장간애자를 사용하므로 부식, 코로나 등 전기적·기계적 문제가 발생될 수 있다 [8]. 따라서 염해에 의한 장간애자의 안전한 유지 관리를 위해 상태 진단을 수행할 필요가 있다. 본 논문에서는 염해지역 환경에서 운행되고 있는 공항철도 영종대교 구간의 가동브래킷 장간애자를 분석하였다. 특히 공항철도 영종대교에 설치된 장간애자에 대한 상태진단을 실시하였고 이에 따른 건전성 평가를 수행하였다. 본 논문에서는 해양에 설치된 철도시스템의 부품의 신뢰성 검증방법을 현장시험을 통해 검증함으로써 철도 부품의 개량과 유지보수 규칙에 활용될 것으로 기대된다.

2. 실험 방법

공항철도의 영종대교 구간의 전차선로 시스템은 염해지역 환경에서 운행되고 있다. 영종대교 구간의 운행 최고속도는 100 km/h로 전차선의 높이는 5,000 mm이며 가고는 710 mm이다 [9]. 가동브래킷은 아연도금 강관제가 사용되고 있으며 애자의 경우 세척력을 고려하여 자기제 장간애자가 적용되었다. 자기제 애자는 일반적으로 고분자제 애자에 비해 세척력이 우수한 것으로 알려져 있으나 영종대교 구간은 해상구간이기 때문에 해안으로부터의 거리로 오손등급을 구분하는 기존 염해지역의 최대 기준인 C등급 3.5 km과 D등급 1 km 이내의 기준에 따라 최고오손 등급이다 [10]. 현재 영종대교 구간의 애자는 6개월마다 세척을 하고 있으나 애자의 열화특성을 분석하여 유지보수의 적정성을 판단할 필요가 있다. 특히 최근 개발되어 활용 중인 절연거리를 늘린 고분자제 애자와의 상호 비교를 통해 개량 가능성을 타진할 필요가 있다. 본 논문에서는 영종대교 구간에 설치된 자기제 애자와 고분자제 애자에 대한 열화특성을 상호 비교 하였다. 표 1에 영종대교에 적용된 자기제 애자와 고분자제 애자를 나타내었다. 전기철도에서는 유지 관리를 위해 5단계의 평가기준에 따라 등급화하여 판정하고 있다. 특히 평가등급이 낮을 경우 즉시 교체까지 가능하도록 하여 관리하고 있다. 전기시스템의 전철설비는 동일한 평가등급 체계를 갖고 있으나 평가를 위한 세부기준은 각 부품별로 가중치를 달리하여 관리되고 있다 [11]. 표 2에 전기철도 애자류의 성능평가를 위한 세부기준을 나타내었다 [11].

표 2와 같이 각 세부 항목별 가중치의 합은 100으로 규정화하고 평가점수를 산출하고 각 부품의 평가등급을 판단할 수 있다. 본 논문에서 나타난 전차선로용

Table 1. Physical properties of long rod insulator in the catenary system on the Yeongjong Grand Bridge [12].

	Ceramic insulator	Polymer insulator
Surface leakage length [mm]	1,250	1,250
Mechanical load [kg · m]	3,600	6,000
Specific weight [kg]	22	7
Dry flashover [kV]	200	230
Wet flashover [kV]	150	180
Low-frequency impulse voltage [r.m.s kV]	25	25
Fitting diameter [Ø]	135~162	135~162

Table 2. Weights for each classification for performance evaluation of insulators as catenary system.

Parameters	Ranking	Parameters	Ranking
Physics_based degradation of insulation	30	Frequency of train	5
Physics_based failure	10	Downtime and failure rate	10
Timeline	15	Product discontinued	5
Environmental constraints	15	Maintenance frequency	10

애자의 경우 자기제와 고분자제 모두 열화와 절연 특성이외의 가중치는 유사하며 이 중 장간애자의 열화에 대한 성능을 고찰하였다. 이를 위해 성능평가 항목에 규정된 코로나, 열화상을 각각 평가하여 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

영종대교 전차선로용 장간애자의 활선상태 진단을 위해 적외선, 자외선 영상과 초음파 코로나를 진단하였다. 측정은 날씨의 따른 절연상태를 고려하기 위해 우천 시 습도 98%에서 자외선 카메라를 이용하여 검출하였다. 최소 방전 전하량 감지는 8 m 이내에서 1.5~2 pC이며 초점거리는 최소 3 m 이상이다 [12]. 시험은 영종대교 구간 내의 전차선로용 장간애자에 대해 이루어졌으며 자기제 애자와 절연성능 비교를 위해 고분자제 장간애자를 별도로 설치하여 상호 비교시험을 수행하였다. 고분자제 장간애자의 경우 한국철도표준규격에 따라 설치하여 기존 설치된 자기제 애자와 비교하였다 [12]. 코로나 측정 시 애자의 설치높이를 기준으로 하여 10 m

Table 3. Corona risk results for long rod insulator as a function of material.

	Ceramic insulator		Polymer insulator
	Up line	Down line	Down line
1	3,770	138	31
2	2,151	1,863	34
3	1,832	727	-
4	1,437	12	-
5	4,342	1,207	-
6	143	433	-
7	-	65	-
8	-	136	-

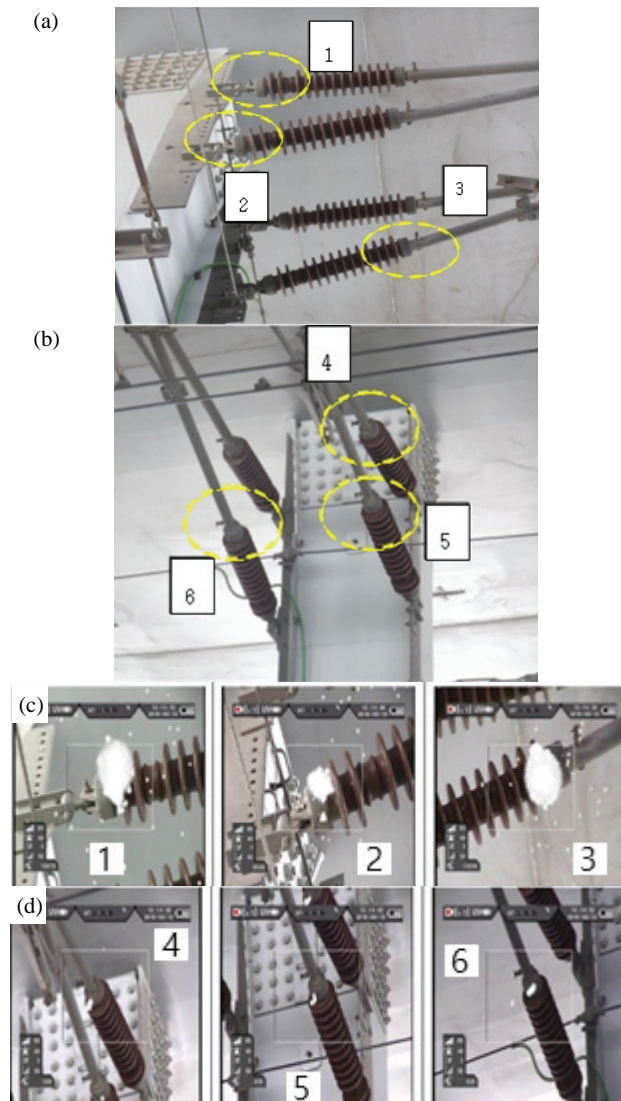


Fig. 1. Result of ceramic and polymer insulator on catenary system, (a) up line, (b) down line, (c) point of ultraviolet ray at up line, and (d) point of ultraviolet ray at down line.

이내에서 배율을 조정하여 측정하였고 측정 시 온도는 11°C며 습도는 98%였다. 표 3에서와 같이 고분자제 장간애자의 코로나의 분당 발생빈도는 최대 34를 나타내었으나 대부분의 고분자제 애자에서는 발생하지 않았다. 그러나 자기제 애자의 경우 코로나 발생빈도는 최대 4,342로 나타냈으며 영종대교 하층부는 터널과 유사구조로 자연적인 염분 제거가 되지 않아 나타난 것으로 사료된다. 일반적으로 코로나 발생빈도가 1,000 초과 5,000 미만의 경우 주의를 나타내므로 자기제 애자의 경우 주기적인 검사가 필요한 것으로 사료된다 [11,12]. 그림 1에 자외선 발생빈도가 높은 자기제 애자의 코로나 측정 결과를 나타내었다. 그림 1과 같이 장간애자의 접속 부 근처에서 자외선이 발생하는 것을 볼 수 있으며 이는 영종대교와 같은 터널형 구조는 자연적인 염분제거가 이루어지지 않았고 측정 당시의 습도조건이 높아 발생하는 현상으로 사료된다. 그림 2에 적외선 열화상 측정을 통한 온도 편차 발생을 나타내었다. 그림 2에서와 같이 코로나 발생부위에 온도편차가 발생된 것으로 보이며 이는 코로나 측정값과 일치한다.

표 3은 장간애자의 코로나 발생 결과이며 자기제 애

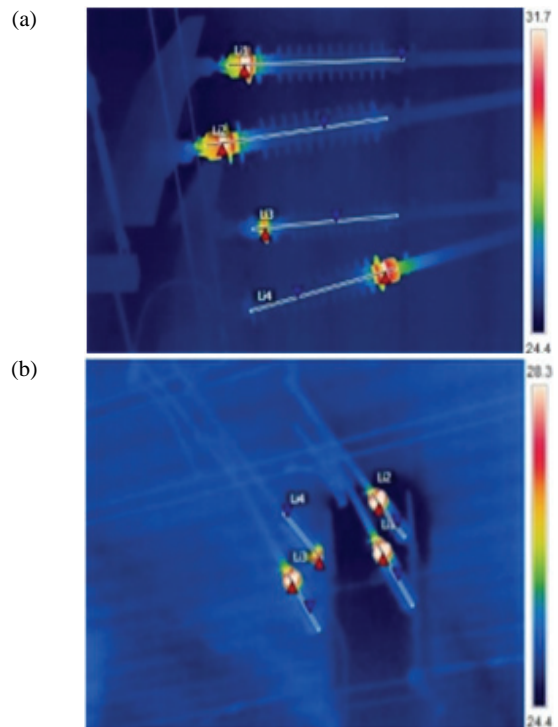


Fig. 2. Result of infrared ray on catenary system, (a) up line and (b) down line.

자에서 상대적으로 많이 나타내었다. 자기제 애자는 상선에서 총 13,675번 코로나를 나타내었으며 최대 4,342번 확인하였다. 하선에서는 총 4,581번 코로나가 발생하였으며 최대 1,863번 나타내었다. 코로나는 선에서 총 8개의 지점에서 나타났으며 상선보다 상대적으로 많은 지점에서 발생하였다. 고분자제 애자의 코로나는 상선에서는 나타나지 않았으며 하선의 2개 지점에서 총 65번 발생하였다. 상선의 애자는 하선보다 비, 안개에 의한 습기로 인해 애자 표면의 절연성능이 저하되어 코로나가 많이 발생하는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서 분석한 영종대교 구간의 가동브래킷용 장간애자는 자기제 애자의 표면누설거리가 1,250 mm이다. 최근 국내의 경우 1,480 mm의 고분자제 장간애자가 보고되고 있다. 그러나 일반적으로 자기제 애자의 경우 청소가 간편하여 오손지역에 사용되고 있다. 본 논문에서는 동일 시간에 청소된 자기제 애자와 고분자제 애자와의 비교를 수행한 결과 표면누설거리가 높은 고분자제 애자가 일정 시간 이후에 높은 절연성능을 나타내었다. 열화상 검측 결과도 애자의 코로나 발생구간에서 7°C의 온도차가 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 염해지역의 경우 유지보수를 위해 애자의 청소주기 산정보다는 절연거리가 높은 애자를 사용하는 것이 효과적인 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원의 주요사업 연구비 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] J. T. Oh, S. Hwang, and S. Pyo, *J. Korean Soc. Railw.*, **19**, 785 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.7782/JKSR.2016.19.6.785>]
- [2] Y. Park, H. S. Jung, C. M. Park, and S. H. Jang, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **60**, 1788 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2011.60.9.1788>]
- [3] S. Y. Oh, Y. Park, Y. H. Cho, K. W. Lee, and J. T. Song, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **24**, 497 (2011).
- [4] Y. Park, K. Lee, C. Park, and S. Y. Kwon, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **62**, 886 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.6.886>]
- [5] K. Lee, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **62**, 1820 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.12.1820>]
- [6] Web-page: New Airport Hiway, <https://www.hiway21.com/> (2014).
- [7] H. Kim, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **62**, 1177 (2013). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2013.62.8.1177>]
- [8] Y. S. Cho, G. S. Song, Y. S. Choi, and T. S. Park, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **60**, 588 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2011.60.3.588>]
- [9] B. K. Ron, and Y. B. Kim, *Spring Conference & Processing* (the Korean Society for Railway, Changwon, Korea, 2010) p. 80.
- [10] B. Y. Yu and C. O. Kim, *J. Korean Soc. Saf.*, **26**, 26 (2011). [DOI: <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2011.26.2.026>]
- [11] EPRI, *Guide to Corona and Arcing Inspection of Overhead Transmission Lines*, EPRI Report 1001910, 2002.
- [12] KRS PW 0014-18, *Long Pod Insulator (Polymer type T-m)*, Korean Railway Standard, 2018.

ORCID

Young Park

<https://orcid.org/0000-0002-9825-0424>