

## 무선기반 전차선로의 해빙 감지시스템 구현

김주욱<sup>1</sup>, 나경민<sup>1,2</sup>, 박 영<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> 한국철도기술연구원 스마트전기신호본부

<sup>2</sup> 과학기술연합대학교대학원 교통시스템공학과

<sup>3</sup> 한밭대학교 전기시스템공학과

### An Implementation of Wireless Based Sensing System for Catenary Deicing

Joo-Uk Kim<sup>1</sup>, Kyung-Min Na<sup>1,2</sup>, and Young Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Smart Electrical & Signaling Division, Korea Railroad Research Institute, Uiwang 16105, Korea

<sup>2</sup> Department of Transportation Engineering, University of Science & Technology, Daejeon 34113, Korea

<sup>3</sup> Department of Electrical System Engineering, Hanbat National University, Daejeon 34158, Korea

(Received September 3, 2019; Revised September 30, 2019; Accepted October 4, 2019)

**Abstract:** Overhead contact systems (OCS) consist of contact and messenger wires, in which the contact wire supplies electric energy to the railway vehicle by contacting a pantograph. However, this mechanical contact is interrupted during frosts or temperatures below 0°C in the winter. In these conditions, railway vehicle accidents can occur during operation because of the low energy efficiency that results from the increase in the arcing between the contact wire and pantograph. Therefore, the detection of frost or freezing temperatures is necessary to maintain the stable operation of these trains. In this study, we proposed the development of a frost or freezing condition monitoring system on the OCSs that utilizes wireless communication.

**Keywords:** Deicing of catenary system, Frost, Pantograph, Electric railway

### 1. 서론

전기기관차는 전기에너지를 철도차량에 공급하여 동력 에너지로 활용되기 때문에 디젤기관차와 달리 에너지 효율과 운영속도가 높아 활용성이 증가되고 있다 [1,2]. 특히 화물운송을 위한 디젤기관차의 철도시스템에서 전철화율의 증가와 에너지 효율 향상을 위해 전기기관차로 교체되고 있다 [3]. 전기에너지를 차량에 공급하는 다양한 방법 중 가공전차선은 경제성과 속도 향상을 위해 설치비율이 가장 높으며 가공전차선과 조

가선으로 구성된다 [4,5]. 전차선은 팬터그래프와 직접 접촉하여 전기에너지를 전달하며 터널, 교량에 설치되며 설치환경과 대기온도 변화에 영향을 받지 않고 안정적인 성능을 유지해야 한다 [6-8]. 그러나 동절기의 전차선은 철도차량 운행 이전에 결빙이 발생되므로 팬터그래프와 전차선 간의 기계적 비 접촉되면서 아크가 발생되며 에너지 효율이 급격히 떨어질 수 있으며 이에 따른 안전운행 대책이 필요하다 [9]. 전차선의 서리는 전차선로의 온도가 0°C 이하에서 발생되며 혹한기의 경우 결빙이 발생되어 철도차량 운행 전 해빙시스템이 사용되고 있다 [10]. 전차선로 해빙시스템은 전철 변전소에서 별도의 부하와 회로를 구성하여 전류를 이용한 전차선의 온도 상승으로 서리 또는 결빙상태의 전차선을 해빙한다 [11]. 전차선은 구리 또는 구리 합금으로 구성되어 온도 외에 다양한 환경요소를 검출하

✉ Young Park; [ypark@hanbat.ac.kr](mailto:ypark@hanbat.ac.kr)

Copyright ©2019 KIEEME. All rights reserved.  
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

여야 정확한 서리감지가 가능하다. 서리감지 시스템은 전차선 주변에 설치되어야 하므로 무선기반의 시스템이 필요하다. 본 논문에서는 무선기반의 전차선로 해빙 시스템용 서리감지 장치를 구현하였다. 서리감지 장치는 임베디드 시스템을 이용하여 구성하였으며 실시간으로 정보검출이 가능하도록 소프트웨어를 개발하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 전차선로 서리감지 시스템 구현

전기철도 전차선로의 서리감지는 환경온도 0°C에서 발생하는 이슬점인 노점과 유사하며 습도, 풍속, 온도와 연계되어 있다. 따라서 전차선의 서리감지를 위한 외부 조건은 전차선 온도가 노점 온도보다 낮을 때, 전차선 온도가 0°C 이하인 경우와 풍속이 3 m/s 미만일 때 나타나는 것으로 보고되고 있으며 세부 수식과 서리감지를 위한 조건은 이전 논문에서 보고된 바 있다 [11]. 본 논문에서는 이전 논문에서 발표된 서리감지시스템의 알고리즘 이외에 무선기반 임베디드 하드웨어를 구성하여 사용자 중심의 운영이 가능하도록 구현하였다. 그림 1에 전차선로 서리감지 시스템의 구성도를 나타내었다. 그림 1에서와 같이 서리감지 시스템은 전차선의 온도, 대기온도, 상대습도, 압력, 풍속을 검출하도록 센서를 구현하였다. 각 센서는 리눅스 기반 실시간 임베디드 시스템으로 시리얼 통신으로 입력되도록 구성하였고 이때 계측, 저장, 분석과 통신 기능까지 가능하도록 하였다. 본 논문에서 개발한 서리감지 시스템은 리눅스 기반 NI Real-Time OS가 설치된 시스템이며 FPGA (field programmable gate array)가 내장되어 있고 자체적으로 컨트롤러를 보유하고 있으므로 별도의 구동부 없이 독립적으로 작동할 수 있다. 그림 2에 전차선로 서리감지 시스템을 나타내었다. 그림 2에서와 같이 서리감지를 위한 센서는 시리얼 통신으로 임

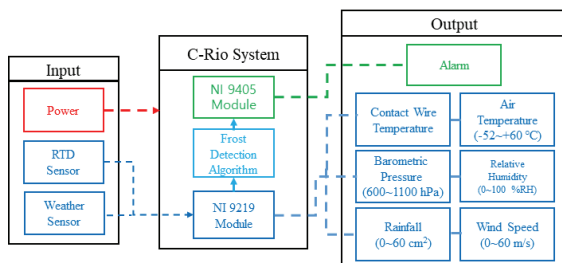


Fig. 1. The sketch of the deicing sensing system.

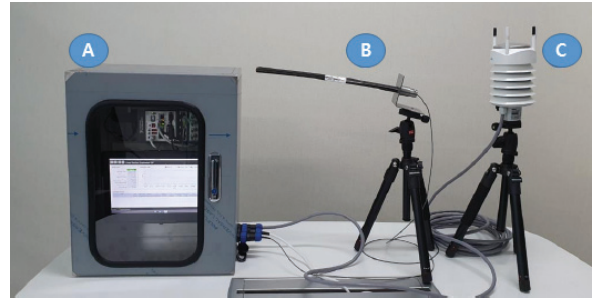


Fig. 2. Picture of sensing system for catenary deicing. (a) Monitoring system, (b) frost sensor, and (c) temperature sensor for contact wire.

베디드 시스템과 연계되며 측정된 결과는 LTE (long term evolution) 라우터를 통해 전송과 11.6 inch 모니터를 통해 검측 결과가 나타나도록 구성하였다.

### 2.2 전차선로 서리감지 모니터링 알고리즘 구현

전차선은 활선상태로 25 kV의 전압이 가압되기 때문에 전차선 온도를 측정하기 위해서는 별도의 절연을 하거나 무선기반의 모니터링 장치가 이용되고 있다 [12]. 따라서 전차선로 서리감지센서는 전차선의 온도 변화를 그림 3과 같이 전차선로 지지물에 설치하여 전차선의 온도를 감지하며 이때 전류로 인한 온도 상승효과는 감지하지 못한다 [6]. 그러나 본 논문은 전차선의 서리를 검출하기 위한 시스템을 개발하므로 전차선 전류 변화에 따른 온도에는 영향을 받지 않는다. 특히 전차선의 서리는 열차 운행 종료 이후 단전상태에서 발생되며 그림 3과 같이 전차선과 동일한 온도체를 전차선 주위에서 PT100, IEC751 CLASS1/3B급 RTD (resistance temperature detectors)를 이용하여 측정되도록 구성하였다. 노점 온도 검출을 위한 계산식은 식 (1)과 같이 나타내었다 [11].

$$T_{df} = \frac{T_n}{\frac{m}{\log\left(\frac{P_w}{A}\right)} - 1} \quad (1)$$

식 (1)에서  $T_{df}$ 는 노점 온도,  $T_n$ 은 노점 관계 상수,  $P_w$ 는 수증기압,  $A$ 는 절대습도,  $m$ 은 상수이며 서리감지를 위한 순서도를 그림 4와 같이 나타내었다 [6]. 여기서,  $T_{df}$ 는 식 (1)에서 연산된 노점온도이며  $T_A$ 는 대기온도,  $T_c$ 는 전차선 온도,  $V_w$ 는 풍속으로 검측 파라미터를 나타내었다. 서리감지를 위한 조건 파라미터는

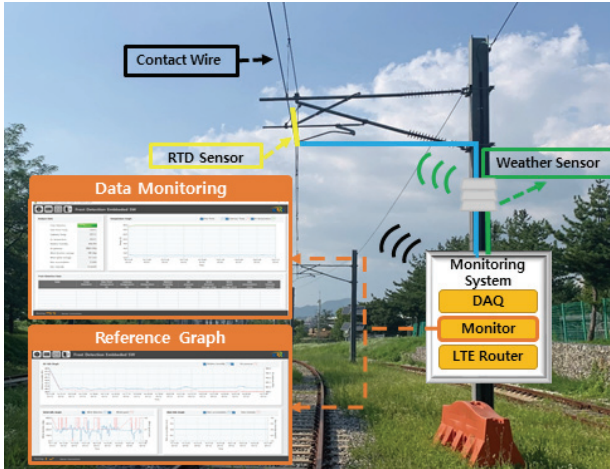


Fig. 3. Picture of monitoring system for catenary frost or freezing.

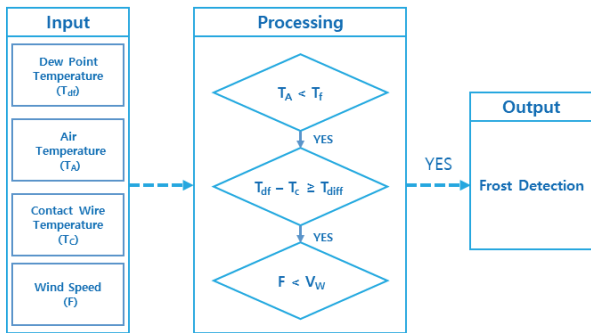


Fig. 4. Flow chart for calculation of frost detection on contact wire of catenary system.

서리온도인  $T_f$ , 대기온도와 전차선 온도 차이인  $T_{diff}$ , 서리풍속인  $F$ 로 나타내었다. 서리감지를 위해서는 노점온도 계산 이후에 전차선의 온도, 대기온도, 노점온도를 비교하여 그림 4의 조건이 모두 일치하면 알람이 발생되도록 구성하였다.

### 2.3 전차선로 서리감지 모니터링 프로그램 구현

그림 5에 전차선로 서리감지를 위한 모니터링 프로그램을 나타내었다. 서리감지를 위한 모니터링 프로그램은 서버와의 통신과 알고리즘의 설정을 포함하여 현재의 온도, 습도, 풍속, 압력, 전차선의 온도 등을 실시간으로 나타내는 분석화면과 시간에 대한 데이터 변화값을 나타내는 그래프 분석이 가능하도록 나타내었다. 시간에 대한 데이터 분석은 초 또는 분 단위로 서리 발생 조건이 발생할 때 전차선의 해빙을 위한 전류



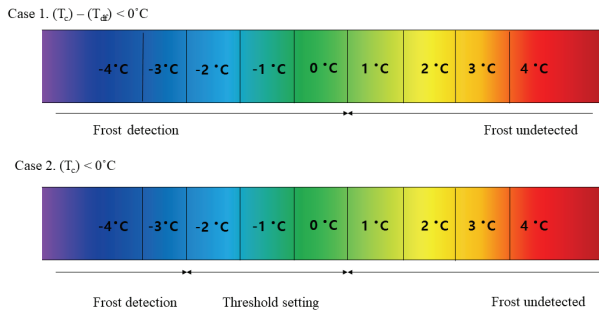
Fig. 5. The frost monitoring program of catenary system (a) analysis panel and (b) reference graph panel.

를 운영하도록 사용자 판단을 위한 것이다. 전차선 해빙시스템은 전차선의 저항값과 부하를 이용하여 전류를 발생시켜 온도를 상승하기 때문에 급격히 온도가 급격히 증가될 수 있다. 전차선의 급격한 온도 변화는 온도에 따른 전차선의 신축량에 영향을 주어 장력조정 장치의 한계값이 나타낼 수 있으므로 시간에 따른 온도 변화를 분석할 필요가 있다. 특히 본 논문에서 제안한 서리감지 모니터링 프로그램은 오차를 줄이기 위해 1시간당 1분에서 60분까지 연속알람 또는 평균값을 나타내도록 하였으며 이때 풍속조건값이 3 m/s 초과일 때 알람값이 나타내도록 하였다 [6].

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 전차선로 서리감지 결과

그림 6에 전차선 온도에 따른 서리감지 결과를 나타내었다. 서리감지는 그림 4와 같이 대기온도를 분석하여 노점온도를 확인 후 RTD로부터 전차선 온도를 검측하고 서리 조건과 비교하였다. 이를 통하여 그림 6과 같이 전차선 온도와 노점온도의 차이가  $0^{\circ}\text{C}$  이하, 전차선 온도만  $0^{\circ}\text{C}$  이하인 경우의 서리감지를 나타내었다. 서리감지 설정값은 검출기의 오차 또는 온도의



**Fig. 6.** Picture of result in frost detection as a temperature of contact wire.

변화량에 따라 알람값의 설정을 사용자가 변경하도록 구성하였다. 또한 전차선 온도가  $0.5^\circ\text{C}$  이하이고 노점과 전차선 온도 차이가  $2^\circ\text{C}$  이하 시 서리를 감지하지 않도록 별도의 알고리즘을 포함하였다.

#### 4. 결론

본 논문은 동절기 전차선로 해빙을 위한 서리감지 시스템을 나타내었다. 서리감지 시스템은 임베디드 하드웨어를 이용하여 구성하고 실시간으로 정보 검출이 가능하도록 소프트웨어를 개발하였다. 본 논문에서 제안한 검측센서와 임베디드 시스템은 전차선과 동일 재료의 온도 변화를 RTD를 이용하여 검측하고 대기의 온도 변화, 풍속과 노점 온도를 상호 비교하여 서리감지 알람이 발생하도록 구성하였고 관련 알고리즘을 나타내었다. 서리감지를 위한 모니터링 프로그램은 대기 온도, 습도, 풍속, 압력, 전차선 온도를 실시간으로 나타내는 분석화면과 시간에 대한 데이터 변화를 나타내는 그래프 분석 패널로 나타내어 시간에 따른 서리 발생 값을 사용자가 판단하여 전차선에 해빙전류를 가압하기 위한 데이터로 활용하도록 하였다. 본 논문에서 제안한 서리감지 모니터링 프로그램은 오차를 줄이기 위해 1시간당 1분에서 60분까지 연속알람 또는 평균값을 나타내도록 하였으며 알고리즘의 시뮬레이션 결과에서 서리감지가 가능하였으나 향후 추가적인 현장시험과 온도 변화 시험이 필요하며 이를 통해 상용화될 것으로 기대된다.

#### ORCID

Young Park

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

#### 감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

#### REFERENCES

- [1] H. J. Jeon, M. S. Park and D. M. Park, *Proc. Fall conference of the Korean Society for railway* (The Korean Society For Railway, Korea, 2002) p. 214.
- [2] S. D. Park, S. C. Kim, S. W. Byun, M. S. Seo, S. J. Bae, and K. D. Jang, *Journal of Korean Society for Urban Railway*, **5**, 1045 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.24284/JKO SUR.2017.12.5.4.1045>]
- [3] H. S. Kim, K. T. Kim, Y. J. Kwon, and Y. G. Bang, *Proc. Fall conference of the Korean Society for railway* (The Korean Society For Railway, Korea, 2012) p. 1251.
- [4] Y. Park, K. Lee, S. Y. Park, J. Y. Park, and W. S. Choi, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **64**, 1406 (2015). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2015.64.9.1406>]
- [5] C. B. Park, B. S. Lee, and H. W. Lee, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **61**, 777 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2012.61.5.777>]
- [6] Y. Park, C. M. Park, K. W. Lee, and S. Y. Kwon, *Trans. Korean. Inst. Elect. Eng.*, **61**, 1732 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2012.61.11.1732>]
- [7] H. Jung and Y. Park, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **32**, 263 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2019.32.4.263>]
- [8] 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). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2011.24.6.497>]
- [9] K. M. Na, Y. Park, K. Lee, Y. H. Cho, S. Y. Kwon, and C. Park, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **66**, 727 (2017). [DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2017.66.4.727>]
- [10] H. Jung, S. Kwon, and Y. Park, *JKSR*, **9**, 237 (2006).
- [11] B. H. Ko, Y. Park, H. S. Jung, S. Y. Kwon, and H. J. Park, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **20**, 1004 (2007). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2007.20.11.1004>]
- [12] H. K. Na, Y. Park, Y. H. Cho, K. W. Lee, H. J. Park, S. Y. Oh, and J. T. Song, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **20**, 281 (2007). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2007.20.3.281>]