

철도 배전선로 무전원·무선 안전감시 테스트베드 개발 및 실증

이용돈, 신원재, 음호민, 정의석

한국전자통신연구원

edlee@etri.re.kr, thunder9001@etri.re.kr, hmeum@etri.re.kr, esjung@etri.re.kr

Development and verification of self-powered and wireless safety monitoring testbed for railway distribution lines

Eungdon Lee, Won-Jae Shin, Homin Eum, Eui Suk Jung

Electronics Telecommunications Research Institute

요약

본 논문에서는 철도 배전선로 환경에 적합한 저전력의 IoT 센서와 LoRa 통신 기술을 이용하여 철도 배전선로 케이블의 장애를 줄이기 위해 케이블의 상태를 실시간 모니터링하고 진단하기 위한 테스트베드를 개발하고, 이를 실증하기 위한 센싱 데이터 포맷, 시스템 운영 규칙 및 센싱 데이터 수신 현황에 대해 기술하였다.

I. 서론

철도 배전선로란 철도 역사, 통신설비, 신호설비, 터널 등에 전력을 공급하기 위해 철도 전력설비인 수전소로부터 전기실, 배전소까지 철로를 따라 연결되는 6,600V, 22kV, 22.9kV의 전선로를 일컫는다[1]. 철도 배전선로 케이블 절연불량에 의한 장애가 철도 전력분야 장애의 대부분을 차지하고 있으며 이러한 문제점을 해결하기 위해 배전선로 케이블의 부분방전 신호를 검출 및 전송하고 이를 실시간 모니터링 및 진단하기 위한 기술 개발이 진행되어 왔다[1-3].

본 논문에서는 IoT 센서를 구동할 220V의 상시 전원이 없는 무전원 환경과 철로를 따라 연결된 철도 배전선로 특성상 선형의 무선 센서망 구성을 고려하여 II장에서는 철도 배전선로 안전감시 테스트베드를 개발하기 위한 테스트베드 구성, 안전감시 센서 및 시스템, 통합관리 시스템에 대해 간략하게 설명하고, III장에서는 개발된 테스트베드를 실증하기 위한 센싱 데이터 포맷과 안전감시 시스템 운영 규칙에 대해 상세히 설명하고 이러한 운영 규칙에 따라 검출 및 전송되어 통합관리 시스템에 저장된 센싱 데이터 수신 현황을 보여준다. 마지막으로 IV장에서는 향후 연구개발 방향을 제시하고 결론을 맺는다.

II. 철도 배전선로 안전감시 테스트베드 개발

2.1. 철도 배전선로 안전감시 테스트베드 구성

철도 배전선로 안전감시 테스트베드는 그림 1과 같이 구성된다.

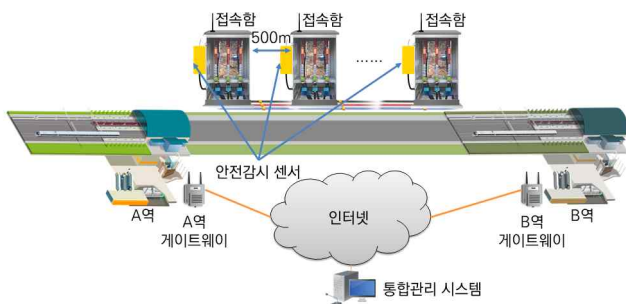


그림 1. 철도 배전선로 안전감시 테스트베드 구성도

3상의 배전선로 케이블은 약 500m 간격으로 떨어진 접속함을 통해 연결되며, 이러한 접속함마다 저전력의 안전감시 센서를 설치하여 부분방전, 온도, 부하전류 등의 센싱 데이터를 검출, 무선 센서망을 통해 각 역에 설치된 게이트웨이로 전송, 인터넷을 거쳐 통합관리 시스템으로 전달함으로써 배전선로 케이블의 상태를 실시간으로 모니터링하게 된다.

2.2. 안전감시 센서 및 시스템

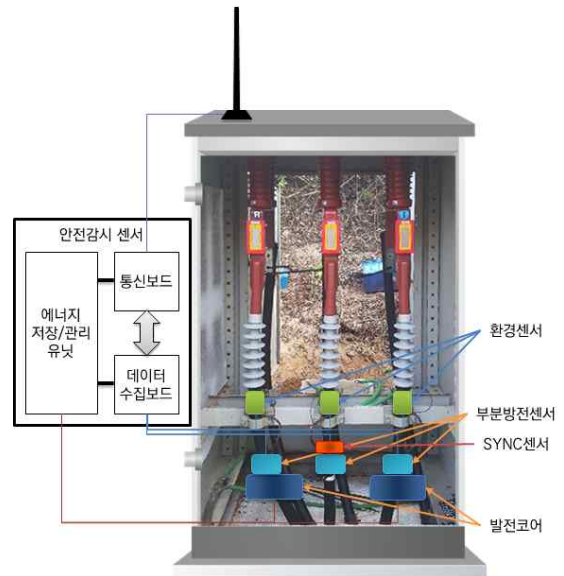


그림 2. 안전감시 센서 설치 형상

저전력 안전감시 센서는 그림 2와 같이 접속함 내외부에 설치된다. 전력 모듈은 발전코어와 에너지 저장/관리 유닛으로 구성되어 배전선로 케이블의 부하전류로부터 유도전류를 이용하여 에너지를 하베스팅하고 저장 및 관리한다. 센서모듈은 부분방전센서, 환경센서, SYNC센서와 데이터 수집모듈로 구성되어 배전선로 케이블의 부분방전, 온도, 부하전류를 검출하고 신호처리하여 센싱 데이터를 생성한 후 통신모듈로 전달한다. 통신모

들은 통신보드와 안테나로 구성되어 전력모듈의 데이터 수집보드로부터 받은 센싱 데이터를 LoRa(Long Range) 통신방식으로 무선 센서망을 통해 게이트웨이로 전송한다.

2.3. 통합관리 시스템

통합관리 시스템은 게이트웨이로부터 센싱 데이터를 전달받아 실시간으로 모니터링하고 AI 기반으로 배전선로 케이블의 상태를 진단한다.

III. 철도 배전선로 안전감시 테스트베드 실증

3.1. 센싱 데이터 포맷

센싱 데이터는 부분방전, 온도, 부하전류를 시간당 1분간 검출하고 신호 처리되어 그림 3과 같이 80바이트의 헤더와 50,400바이트(3,600사이클)의 부분방전 데이터로 구성된다. 각각의 파라미터는 다음과 같이 정의된다.

헤더 (80)						
Date str(8)	Time str(8)	SensorID str(8)	Booth Code str(11)	No.1/2 Byte	1/2차 Byte	
"20240423"	"10500000"	"H1000001"	"M0000000000"	1	1	
CH별 케이블 부하전류 Float32x3	CH별 케이블 온도 Float32x3	Cycle UInt16	Value Byte	User Defined Byte	센싱 전 CAP 전압 Float32	센싱 후 CAP 전압 Float32
12	12	2	1	8	4	4
0x00..00x3	0x00..00x3	3600	2		0x00..00	0x00..00

부분방전 데이터 (50,400)						
Cycle #1		...		Cycle #3600		
Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte	Byte
[0x0000, 0x00, 0x00], [0x00, 0x00], [0x00, 0x00], ...	[0x0000, 0x00, 0x00], [0x00, 0x00], [0x00, 0x00], ...	[0x0000, 0x00, 0x00], [0x00, 0x00], [0x00, 0x00], ...	[0x0000, 0x00, 0x00], [0x00, 0x00], [0x00, 0x00], ...	[0x0000, 0x00, 0x00], [0x00, 0x00], [0x00, 0x00], ...	[0x0000, 0x00, 0x00], [0x00, 0x00], [0x00, 0x00], ...	[0x0000, 0x00, 0x00], [0x00, 0x00], [0x00, 0x00], ...
PC	PP	PM	PP	PM	PP	PM
CH1		CH2		CH3		

PC: Pulse Cycle
PP: Pulse Phase
PM: Pulse Max

그림 3. 센싱 데이터 포맷

Date: 수집일자, Time: 수집시간, Sensor ID: 안전감시 센서 ID
Booth Code: 접속함 Code, No.1/2: 안전감시 센서 연결 선로 번호
1/2차: 안전감시 센서 연결 선로 차측
CH별 부하전류: A/B/C상 부하전류 값
CH별 케이블 온도: A/B/C상 온도 값
Cycle: 검출 사이클 수, Value Count: 사이클 당 데이터 샘플수
센싱 전/후 CAP 전압: 센싱 전/후 전력모듈 커패시터 전압

3.2. 안전감시 시스템 운영 규칙

철도 배전선로 안전감시 시스템이 저전력 기반으로 동작하기 위한 운영 규칙은 다음과 같다. 안전감시 센서 간 시간 동기화를 위해 게이트웨이는 매 시간마다 타임스탬프를 발생하여 안전감시 센서로 순서대로 전달하고 각각의 안전감시 센서의 통신 모듈은 타임스탬프를 수신하여 센서모듈로 전달한다. 센서모듈은 매 시간마다 타임스탬프를 받아 자체 타이머를 갱신한 후 잔여 전력량이 충분할 경우, 부분방전, 온도, 부하전류를 1분간 검출 및 센싱 데이터를 생성하고 통신모듈에 전달한다. 통신모듈은 잔여 전력량이 충분할 경우, 자체 센서모듈에서 전달한 센싱 데이터를 64바이트의 LoRa 패킷으로 분할하여 무선 센서망으로 전송하거나 인접한 안전감시 센서로부터 수신한 LoRa 패킷을 무선 센서망으로 포워딩시킨다.

3.3. 센싱 데이터 수신 현황

표 1은 2024년 4월 10일자 통합관리 시스템에 저장된 센싱 데이터 수신 현황을 나타낸 것이다. 표 1에서 보이듯 대량의 센싱 데이터가 작은 패킷으로 분할되어 선형의 무선 센서망을 통해 센서-by-센서로 홉핑 방식으

로 게이트웨이로 전송되고 전송 중 한 패킷이라도 손실되면 센싱 데이터 전체를 폐기하기 때문에 게이트웨이 가까운 접속함(1번, 6번)일수록 센싱 데이터가 더 많이 수신됨을 알 수 있다. 그림 4는 접속함6의 4월 10일 13시에 검출된 A/B/C상의 부분방전 신호 형상을 나타낸 것이다.

표 1. 센싱 데이터 수신 현황(수신일자: 2024년 4월 10일)

시간	접속함1	접속함2	접속함3	접속함4	접속함5	접속함6
0	○		○			○
1	○	○	○		○	○
2	○	○	○		○	○
3	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○		○	○
6	○	○	○	○	○	○
7	○	○	○			
8	○	○			○	○
9	○	○	○			○
10	○	○	○	○	○	○
11					○	○
12	○	○	○			○
13	○	○	○		○	○
14	○	○	○			○
15	○	○	○			○
16	○	○	○		○	○
17	○	○	○	○		○
18	○	○	○			○
19	○	○	○		○	○
20	○	○	○		○	○
21	○	○	○		○	○
22	○	○	○	○		○
23	○	○	○		○	○

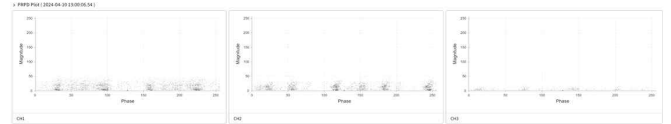


그림 4. 부분방전 신호 모니터링 현황(접속함6 4월 10일 13시)

IV. 결론

본 논문에서는 철도 배전선로 케이블의 장애를 줄이기 위해 케이블의 상태를 실시간 모니터링하고 진단하기 위한 테스트베드 개발과 실증 현황을 살펴 보았다. 향후에는 현황 결과에 나타난 문제점을 해결하기 위한 센싱 데이터 수신 성공률을 높이는 방안 연구와 센싱 데이터를 암호화하는 모듈 개발이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(국토교통부)의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2021-KA164547, 철도시설물 전력설비 배전선로에 대한 무전원·무선 안전감시 기술 개발)

참고 문헌

- [1] 이용돈, 음호민, 신원재, 정의석, "철도 배전선로 케이블 모니터링을 위한 저전력 IoT 센서 운영 시나리오," 전자 정보 통신 학술 대회(CEIC), 2023년 12월, pp. 1-4(PS2-12)
- [2] 공계준, 이성호, "철도 배전선로 환경에서의 부분방전 신호검출 및 진단에 관한 연구", 2021년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2021.
- [3] 공지선, 서인진, 이한별, "IoT기반 맨홀 상시 진단시스템 개발," 2021년도 대한전기학회 전기물성·응용부문화 추계학술대회 논문집, 2021년 10월, pp. 236-237