

선로변 유지보수 작업자 사상사고 예방을 위한 무선을 이용한 안전설비의 개발

황종규, 조현정, 윤용기, 신승권
한국철도기술연구원 열차제어통신연구실

Development of Safety Facility for Trackside Worker Protection by RF Links

Hwang Jong-gyu, Jo Hyun-jeong, Yoon Yong-ki and Shin Seung-kwon
Korea Railroad Research Institute

Abstract - 철도의 선로변에서 선로나 신호설비의 유지보수 작업을 할 경우 감각 차단현상에 의해 작업 전후방 일정거리에 열차가 접근하고 있어도 열차를 인지하지 못하여 사상사고가 자주 발생하고 있다. 이러한 철도 선로변의 사상사고 저감을 위해 무선통신에 의한 안전설비를 설계 및 개발 하였다.

1. 서 론

철도 선로변에서 선로나 신호설비의 유지보수 작업을 할 경우에는 작업 전후방 일정거리에 유지보수작업자 이외에 안전경보자를 위치시켜 이들이 열차의 접근을 인식하면 깃발이나 무전기를 통해 유지보수 작업자에게 열차의 접근정보를 전달하는 방식을 사용하고 있다. 이처럼 작업자 전후방 일정거리에 있는 안전 경보자를 통한 열차접근의 경보를 하더라도 단조로운 유지보수 작업을 장시간 지속하면 유지보수자는 감각차단 현상이 발생하여 안전 경보자에 의한 경보신호를 인지 못하여 열차가 유지보수 작업장 인근까지 접근하여도 열차의 접근을 인식하지 못하여 열차와 충돌사고가 발생하는 사상사고가 자주 발생하고 있다.

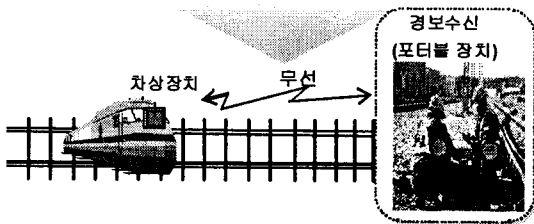
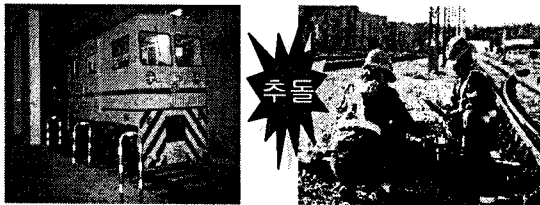


그림 1. 제안한 안전설비 개요

이러한 철도선로변 유지보수 작업자의 사상사고의 저감을 위해 열차에서 특정 신호를 무선으로 주기적으로 전송하고 선로변의 작업자가 가지고 있는 단말장치에서 차상으로 부터의 무선신호를 수신하여 작업자에서 진동, 소리, LED 등 다양한 경보신호를 제공하여 사고를 예방하는 안전설비를 제안한다. 즉, 전방의 일정거리 이내

열차가 접근하면 작업자의 안전설비가 접근열차를 인지하여 작업자에게 다양한 형태의 경보신호를 제공하여 열차와의 충돌 사고를 저감하고자 하는 설비이다. 그림 1은 앞에서 설명한 작업자 사상사고 저감을 위한 안전설비 개요를 나타낸 것이다.

본 제안에서는 차상장치와 포터블 장치를 양방향 통신이 되도록 하였다. 이는 열차의 운전자에게도 전방의 일정거리에 작업자의 작업유무를 확인할 수 있도록 정보를 제공하여 주의운전을 유도하기 위함이며, 차상장치에서의 경고신호는 LED와 경고음으로 표출될 수 있다.

이러한 무선통신 기반의 사상사고 저감을 위해 제안한 안전설비를 본 연구를 통해 설계 및 시제품을 제작하였고, 도시철도 구간에서 제안된 안전설비의 유효성 입증을 위한 현장시험이 수행되었다. 본 논문의 2장에서 제안한 안전설비의 구성 및 설계내용이 간략하게 설명되어 있고, 3장에서는 개발한 시제품의 현장시험 결과를 나타내었으며, 마지막으로 4장에서 결론을 설명한다.

2. 제안 안전설비의 설계

철도사고 원인의 대부분은 공중 및 유지보수자에 의한 사상사고로 분류되어진다. 즉, 철도사고의 대부분은 승객이나 작업자에 의한 사상사고이며 시스템에 의한 사고는 그 비율이 매우 미미하다. 이 중 승객들의 사상사고 저감을 위해서는 스크린도어가 도시철도의 거의 대부분의 역에 설치되었거나 진행 중에 있어 사상사고 저감에 있어서의 획기적인 역할을 하고 있다. 하지만 아직까지도 선로변의 작업자 보호를 위한 안전설비들에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

이러한 선로변 작업자의 사상사고 저감을 위해 그림 1과 같은 무선통신을 이용하여 경보신호를 양방향으로 전송하는 안전설비를 개발하였다. 개발한 안전설비는 차상장치와 작업자용 포터블 장치로 구성되어지며, 각각 전방의 진입열차 정보나 작업자의 정보를 다양한 경보신호로 출력하도록 하여 주의운전 및 안전지역으로 대피할 수 있도록 하여 사상사고를 저감하기 위한 안전설비이다.

그림 2는 제안한 안전설비의 시스템 구성도를 나타낸 것으로 차상장치와 작업자용 포터블 장치를 복합적으로 나타내었다. 이는 차상장치와 포터블 장치가 전원장치만 다르게 설계하였고 무선신호 송수신 부분이 동일하기 때문이다. 또한 경보신호의 처리는 Meggra 48이라는 마이크로프로세서의 소프트웨어에 의해 처리되도록 하였다. 그림의 위쪽 부분이 수신부이고 아래 부분이 송신부이며, CPU 우측 부분이 경보신호용 LED를 포함한 몇 개의 경보신호 출력 부분이고, 맨 아래 부분이 차상장치와 작업자용 포터블 장치를 각각 나타내고 있다. 차상장치의 전원은 전동차의 전원을 입력으로 사용하도록 하였으며, 작업자용 포터블 장치는 사용상의 효율성을 위해 상용 배터리를 활용하였다. 경보신호는 포터블 장치의 경

우 진동, 경보음, LED로 표출되도록 하였으며, 차상장치는 경보음과 LED에 의해 표출되도록 하였다.

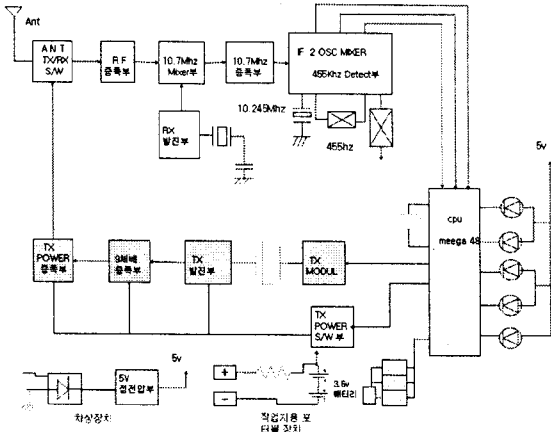


그림 2. 개발 안전설비 블록도

전방 열차의 접근거리에 따라 경보음의 펄스 간격을 조정하도록 하여 작업자나 운전자가 접근거리를 인식하고 효과적으로 대처할 수 있도록 하였으며, 신호수신레벨의 크기에 따른 접근거리 인식을 6단계로 구분하도록 설계 및 제작하였다.

표 1. 하드웨어 사양

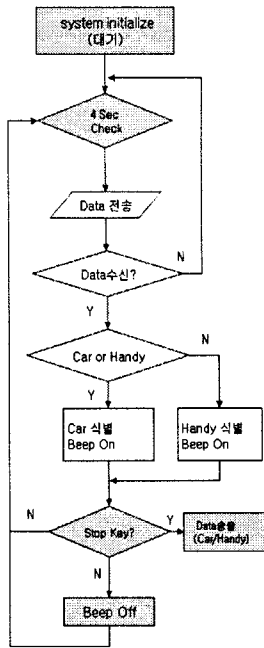
항목	차량용	작업자용
정격전압	DC 12V	3.6V
동작전압범위	DC 9V ~ DC 24V	3.6 ~ 4.5V
주파수대역	447 Mhz	447 Mhz
공중선전력	5 mW 이하	5 mW 이하
전파형식	F(G)1D/F(G)2D	F(G)1D/F(G)2D
주파수편차	±5kHz	± 5kHz
S/N Ratio	50 dBm	50 dBm
점유주파수대폭	8.5 kHz	8.5 kHz
Tx Deviation	5 kHz 이하	5 kHz 이하

표1은 개발한 시제품의 주요한 하드웨어 사양을 나타낸 것으로, 사용한 주파수 대역은 447 MHz 대역의 ISM 밴드 대역을 사용하였으며, 이에 따른 출력 3~5mW로 조정하여 약 200m의 무선신호 전달거리를 확보할 수 있도록 하였다.

그림 3은 개발한 차량용 및 작업자용 안전설비의 제어 소프트웨어 흐름도를 나타낸 것이다. 그림의 흐름도에서 "Stop Key"는 작업자가 경보음 신호를 인식하였을 경우 확인하는 버튼으로서 작업자가 접근 열차를 확인한 경우 지속적인 경보음이 들리지 않도록 하기 위한 기능이다. 이는 작업자가 접근열차를 확인하였음에도 지속적으로 경보음이 발생할 경우 작업자에게 경보음이 아닌 노이즈로 간주되므로 이를 피하기 위함이다. 하지만 "Stop Key"의 동작에 의해 경보음의 표출은 중단되지만 LED 나 진동신호는 지속적으로 표출되도록 개발하였다.

전방의 첫 번째 열차가 작업자에게 접근하면 작업자의 포터블 안전설비가 차상장치로부터의 신호를 수신하여 경보를 표출하게 되며, 작업자가 경보신호를 인식하게 되면 "Stop Key" 동작을 통해 경보음을 차단한다. 이 후에 연속적으로 다른 열차가 작업자에게로 접근하게 될 경우

차량용



작업자용

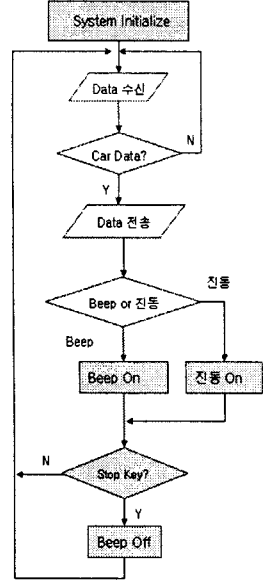
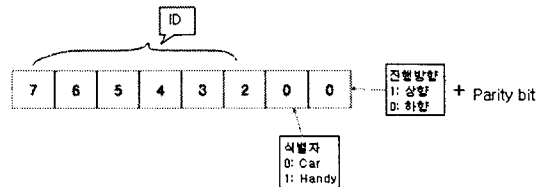
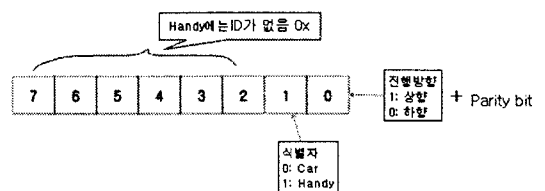


그림 3. 차량용/작업자용 안전설비 프로차트

첫 번째 열차의 접근 인식에 따른 "Stop Key" 동작에 상관없이 두 번째 열차 접근 정보를 알리는 경보음이 표출되어야 한다. 이를 위해 그림 4 1(a)와 같이 열차의 ID 정보를 같이 전송하도록 하였다. 그림의 전송프레임에서와 같이 64대의 열차 ID를 할당할 수 있으며, 이 이상의 열차 ID 할당이 필요할 경우 전송 프레임은 2바이트로 설정하면 가능하다. 또한, 이 프레임에서 확인되듯이 열차의 진행방향(상행 또는 하행) 정보를 추가하였다. 이는 열차의 진행 방향이 상행 또는 하행 두 가지 방향 밖에 없으므로 이를 전송프레임에 같이 전송함으로써 작업자에게 열차의 접근방향이 어느 쪽인지 표출(LED 켜리를 구분하여 표시)하도록 하였다. 그림 2 (b)는 작업자용 포터블 장치에서 차상장치로 전송하는 프레임 구조를 나타낸 것으로 (a)와는 달리 차상에서는 작업자의 구분이 필요없어 ID번호를 할당하지 않았다.



(a) 차상장치 포터블 장치 전송 프레임 구조



(b) 포터블장치 차상장치 전송 프레임 구조

그림 4. 차상제어장치 송신용 프레임 구조

3. 제작 및 현장시험

2장에서 설계한 내용을 바탕으로 본 연구를 통해 시제품을 제작 및 현장시험을 수행하였다. 제작한 시제품은 mockup 형태의 시제품으로서 무선신호 전달거리 및 경보신호 표출 등 제안 안전설비의 기능 및 성능확인을 목적으로 하였다. 따라서 개발 시제품의 케이스는 전용으로 제작된 것이 아닌 시장에서 구입 가능한 상용품을 활용하였다. 그림 5는 제작한 안전설비 시제품을 나타낸 것이다.



그림 5. 차량용 및 작업자용 시제품

차상장치 및 포터블 장치 모두 접근 거리에 따른 경보음의 세기가 다르도록 조절하였으며, 동시에 LED 컬러도 수신신호 세기가 클 경우 초록색, 약할 경우 빨간색을 표출하도록 하였으며, 또한 접근 방향에 따라서도 두 가지 다른 색으로 표출되도록 하였다.

그림 6은 본 연구를 통해 개발한 시제품의 성능검증을 위해 현장시험 중인 사진이다. 왼쪽 사진은 차량에 설치된 차상 안전설비이고, 오른쪽 사진은 선로변에서 차상장치로부터 무선신호를 수신하여 경보 LED를 표출하고 있는 사진을 나타내고 있다. 포터블 장치의 경보 LED에서 오른쪽 LED는 열차접근 신호를 수신하였음을 나타내는 것이고, 가운데 초록색의 LED는 열차의 접근방향을 나타낸다. 열차의 접근방향을 표시하는 가운데 LED는 열차접근 신호를 수신하면 계속 점등된 상태를 유지하지만, 오른쪽의 경보신호 LED는 일정 간격으로 점멸하도록 되어 있으며, 수신신호의 세기에 따라 점멸되는 시간이 경고음의 펄스간격과 동일하게 조정되도록 제작하였다.

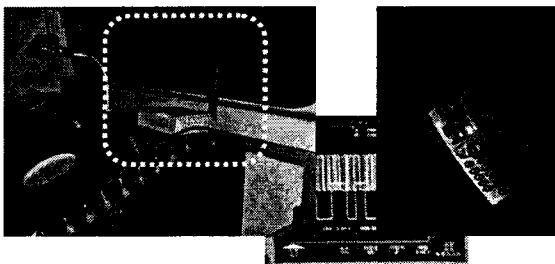
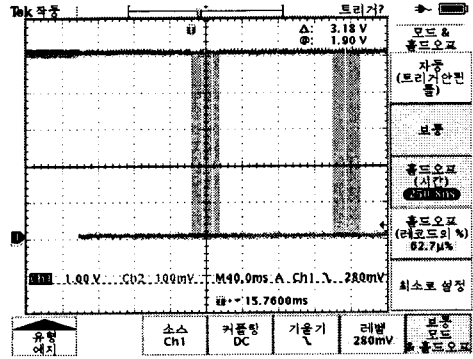


그림 6. 시제품 현장시험 사진

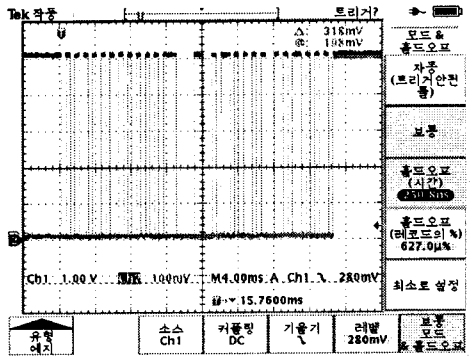
그림 7은 차상장치에서 출력되는 신호의 파형을 나타낸 것으로 (a)는 주기적으로 신호를 송신하고 있는 파형이며, (b)는 그림4와 같은 전송 프레임 송신하는 출력파형을 나타낸 것이다. 이러한 차상장치로부터의 출력 신호는 일정 거리 이내에 작업자용 포터블 장치가 수신할 경우 이 전송신호를 디코딩하여 다양한 경보신호를 출력

하게 된다.

현장시험은 도시철도 구간에서 야간에 모터카에 차상 제어장치를 설치하여 시험을 수행하였으며, 설계한 경보신호 출력 메커니즘이 정상적으로 동작됨을 확인하였다. 특히 매우 큰 곡선반경을 갖는 R 400 구간에서의 현장 시험을 수행한 결과 약 220m까지 차상제어장치의 출력 신호가 수신됨을 확인할 수 있었다. 220m의 전파전달 거리는 도시철도 운영기관에서 요구하는 가장 이상적인 거리로서 요구되는 성능을 만족함을 확인하였다.



(a) 주기적인 출력파형



(b) 출력신호

그림 7. 차상장치 출력신호

4. 결론

본 논문에서는 철도 선로변의 유지보수 작업자의 사상 사고 저감을 위한 안전설비의 개발 및 현장시험 결과를 설명하였다. 현재 개발품은 시제품 형태이며 제품화를 위한 보완제작 중에 있다. 향후 도시철도 현장에 적용될 경우 선로변 작업자의 사상사고 저감에 많은 기여가 예상된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 철도종합안전기술개발사업의 결과이며, 관계제우께 감사드립니다.

[참고 문헌]

- [1] 연구보고서, "철도종합안전기술개발사업 - 열차제어시스템 안전성능 향상 및 사고방지기술 개발" 한국철도기술연구원, 2008. 8.
- [2] "지하철 사상사고 처리실무", 서울특별시지하철공사, 2004.