

선로변 작업자 철도교통 사상사고 예방을 위한 안전설비 개발

Development of Safety Equipment for Protection of Trackside Personnel Maintaining Using Radio Frequency Equipment

황종규[†] · 조현정* · 윤용기* · 김용규* · 장영준** · 고영환**

Jong-gyu Hwang · Hyun-jeong Jo · Yong-ki Yoon · Yong-kyu Kim · Yeong-jun Jang · Yeong-hwoang Ko

Abstract Personnel maintaining or repairing the railway tracks or signaling device around tracks may experience the sensory disorder when they do routine works for many hours and they may not recognize the approaching train, leading to train accidents. In order to prevent such train accidents that may occur because railway track workers are unable to recognize the approaching train, a safety-equipment is developed to make the approaching train send radio signals. We developed the new alarm equipment for protection of trackside maintenance workers using radio frequency signals.

Keywords : Accident of death and injury, Safety alarm equipment, Trackside personnel maintaining

요 지 철도의 선로변에서 선로나 신호설비의 유지보수 작업을 장기간 수행할 경우 감각차단 현상에 의해 작업 후방에 열차가 접근하고 있어도 작업자가 열차를 인지하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 작업자는 접근하는 열차와 접촉사고가 발생하여 사상사고가 자주 발생하게 된다. 이러한 철도선로변 유지보수 작업자의 사상사고의 저감을 위해 열차에서 특정 신호를 무선으로 주기적으로 전송하고 선로변의 작업자가 휴대하고 있는 단말장치에서 차상으로 부터의 무선신호를 수신하여 작업자에서 진동, 소리, LED 등 다양한 경보신호를 제공하여 사고를 예방하는 안전설비를 제안하였으며, 이를 바탕으로 안전경보장치를 개발하였고, 현장시험을 통해 그 적용성을 확인하였다.

주 요 어 : 철도교통 사상사고, 안전 경보설비, 선로변 유지보수 작업자

1. 서 론

철도의 선로변에서 선로나 신호제어설비의 유지보수 작업을 수행할 경우에는, 열차가 작업자 가까이 접근하더라도 단조로운 작업을 장시간 지속하면 유지보수 작업자는 작업에 열중하기 때문에 차량이 접근하는 것을 인지하지 못하는 감각차단 현상이 발생하여 접근하는 열차와 접촉하는 철도교통 사상사고가 자주 발생한다[1].

현재는 이러한 안전사고 예방을 위해 선로변에 작업이 수행 될 경우 작업지역 전후방에 경보등과 경보 깃발을 든 안전요원이 동행하여 열차의 접근 정보를 깃발이나 무전기

를 통해 유지보수 작업자에게 열차의 접근정보를 전달하는 방식을 사용하고 있다. 본 논문에서는 이러한 철도선로변 유지보수 작업자의 철도교통 사상사고의 저감을 위해 접근하는 열차에서 임의의 무선신호를 전송하고, 선로변에서 이 신호를 수신하여 작업자에게 다양한 형태로 열차의 접근정보를 경보할 수 무선통신을 이용한 안전설비를 제안하였다.

그림 1은 본 논문에서 제안한 철도선로변 철도교통 사상 사고 예방을 위한 안전설비의 개요를 나타낸 것으로, 전방의 일정거리 이내에 열차가 접근하면 작업자의 안전설비가 접근열차를 인지하여 작업자에게 다양한 형태의 경보음을 제공하여 대피할 수 있도록 하고, 반대로 열차에서도 전방에 작업자의 존재유무를 확인할 수 있도록 하여 주의 운전 을 하도록 유도하는 안전설비이다. 즉, 본 연구에서는 열차에 설치하는 차상장치와 작업자가 휴대하는 단말장치가 양 방향 통신이 되도록 하였다. 이는 열차의 운전자에게도 전

[†] 책임지자 : 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원
E-mail : jghwang@krii.re.kr

TEL : (031)460-5438 FAX : (031)460-5449

* 정회원, 한국철도기술연구원, 열차제어통신연구실

** 정회원, 서울메트로, 제1기술사업소

방의 일정거리에 작업자의 작업유무를 확인할 수 있도록 정보를 제공하여 주의운전을 유도하기 위함이며, 차상장치에서의 경고신호는 LED와 경고음으로 표출되도록 하였다.

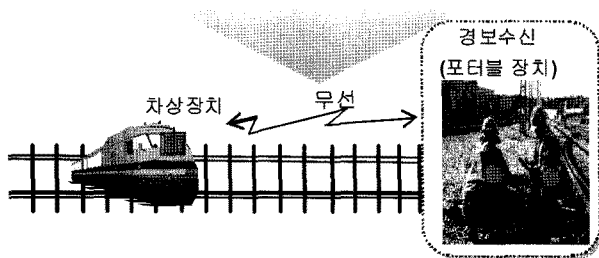
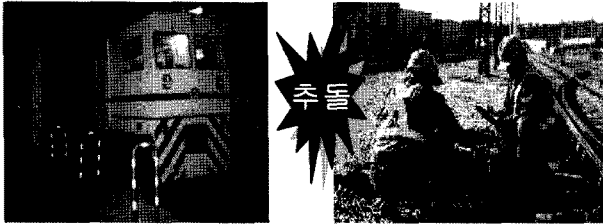


그림 1. 제안한 안전설비 개요

이러한 무선통신 기반의 철도교통 사상사고 저감을 위해 제안한 안전설비를 본 연구를 통해 설계 및 시제품을 제작하였고, 도시철도 구간에서 제안된 안전설비의 유효성 입증을 위한 현장시험이 수행되었다. 본 논문의 2장에서는 철도교통 사상사고의 정의 및 국내에서의 사고발생 현황, 3장에서는 제안한 안전설비의 구성 및 주요 기능을 설명하고, 4장에서는 제안 안전설비의 시제품 개발 및 현장시험 결과를 나타내었으며, 마지막으로 5장에서 결론을 설명한다.

2. 철도교통 사상사고 정의 및 국내 현황

국내의 최근 몇 년간의 현황을 분석한 결과[2]에 의하면 철도사고의 발생건수 기준으로 약 50% 정도가 철도사상사고로 기록되고 있으며, 등가사망자지수로 환산(사망 1명 = 중상자 10명 = 경상자 200명)[3]하였을 경우 사상사고에 의한 등가사망자지수가 전체 철도사고 등가사망지수의 94%를 차지하는 것으로 알려지고 있다.

이러한 철도 사상사고는 철도교통 사상사고와 철도안전 사상사고로 구성된다. 철도교통 사상사고는 철도차량에 의해 여객, 승무원, 작업자 등에게 사상사고가 발생하는 사고를 말하며, 철도안전 사상사고는 철도차량과의 직접적인 충돌이나 접촉 없이 철도의 시설물 등에 의해 여객, 승무원, 작업자 등에 사상이 발생하는 사고를 의미한다. 즉, 철도안전 사상사고는 전도, 실족, 감전, 끼임 등의 사고들이 이에

해당된다. 전체 철도사고 등가사망지수의 90% 이상을 차지하는 사상사고 중 철도교통 사상사고가 약 87%를 차지하는 것으로 분석되고[4] 있는 등 철도교통 사상사고를 예방 및 저감하기 위한 많은 대책들이 연구되고 있다[5,6].

앞에서 설명한 바와 같이 철도사고의 대부분을 차지하는 철도교통 사상사고의 대상자 중 공중사상사고의 경우 국내 도시철도의 거의 대부분의 역사에 스크린도어가 설치되었거나 진행 중에 있어 사상사고 저감에 있어서의 획기적인 역할을 하고 있다. 하지만 아직까지도 사상사고의 대상자가 직원인 선로변의 작업자 보호를 위한 안전설비에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

이에 따라 본 연구에서는 철도교통 사상사고의 사고 대상자가 직원에 해당하는 철도선로변 작업자의 보호를 위한 대책기술에 해당된다. 본 논문에서 제안한 안전설비는 이처럼 철도사고의 대부분을 차지하는 철도교통 사상사고의 저감을 위한 부분이다.

3. 작업자 사상사고 저감 안전설비

2장에서 설명한 선로변 작업자의 사상사고 저감을 위해 그림 1과 같은 무선통신을 이용하여 경보신호를 양방향으로 전송하는 안전설비는 열차의 운전실에 설치되는 차상 안전설비와 작업자가 휴대하는 작업자용 안전설비로 구성되어지며, 각각 전방의 진입열차 정보나 작업자의 정보를 다양한 경보신호로 출력하도록 하여 주의운전 및 안전지역으로 대피할 수 있도록 하여 철도교통 사상사고를 예방 및 저감할 수 있도록 하였다.

개발한 안전설비의 기본 메커니즘은 차량에서 특정 주파수대의 신호를 주기적으로 전송하고, 전방 일정거리 이내의 선로변 작업자가 가지고 있는 안전장치에서 차량으로부터 오는 주기적인 신호를 수신하여 부저, LED, 진동 등으로 경보신호를 전달하도록 하는 구조로 되어있다. 작업자가 가지고 있는 안전설비로부터 열차접근에 대한 경보신호 작업자가 인지하게 되면, 작업자는 안전구역으로 대피하게 되고 또한 경보음은 차단할 수 있도록 하였다. 반대로 차상에서도 전방의 작업자가 있는지 유무를 확인할 수 있도록 양방향 통신이 가능하도록 개발하였다.

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 Megga 48이라는 마이크로프로세서의 소프트웨어에 의해 처리되도록 하였다. 그림의 위쪽 부분이 수신부이고 아래 부분이 송신부이며, CPU 우측 부분이 경보

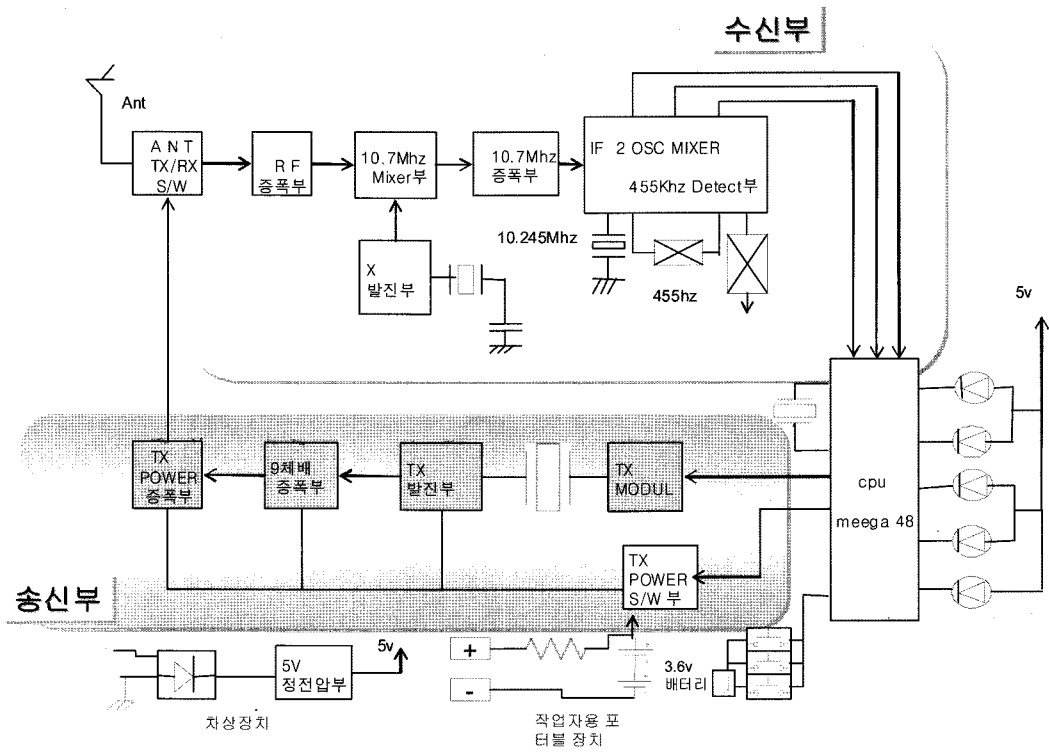


그림 2. 개발 안전설비 블록도

신호용 LED를 포함한 몇 개의 경고신호 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. 경고신호는 포터블 장치의 경우 진동, 경보음, LED로 표출되도록 하였으며, 차상장치는 경보음과 LED에 의해 표출되도록 하였다.

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

표 1. 하드웨어 사양

항목	차량용	작업자 용
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

표 1은 본 연구를 통해 개발한 차상 및 작업자용 안전설비를 위한 무선신호의 주요 사양을 나타낸 것이다. 전원의 경우 작업자용 설비는 사용 건전지의 활용이 가능하도록 하였으며, 차량용의 경우는 모터카에서 출력되는 DC 전원을 입력으로 활용하였다. 사용 무선주파수 대역은 447MHz 대의 ISM 대역을 활용하였으며 약 8.5kHz의 대역폭으로 설계하였다. 차량 및 작업자용 설비의 무선신호 출력은 ISM 대역이고 또한 전파 도달거리가 도시철도에 적합하도록 200m 정도가 되도록 3~5mW 정도로 조정하였다.

그림 3은 개발한 차량용 및 작업자용 안전설비의 제어 소프트웨어 흐름도를 나타낸 것이다. 그림의 흐름도의 작업자용에서 “Stop Key”는 작업자가 경보음 신호를 인식하였을 경우 확인하는 버튼으로서 작업자가 접근 열차를 확인한 경우 지속적인 경고음이 들리지 않도록 하기 위한 기능이다. 이는 작업자가 접근열차를 확인하였음에도 지속적으로 경고음이 발생할 경우 작업자에게 경고음이 아닌 노이즈로 간주되므로 이를 피하기 위함이다. 하지만 “Stop Key”의 동작에 의해 경고음의 표출은 중단되지만 LED나 진동신호는 지속적으로 표출되도록 개발하였다. 차량용의 “Stop Key”도 작업자용과 마찬가지로 동일한 기능을 갖도록 추가되었다.

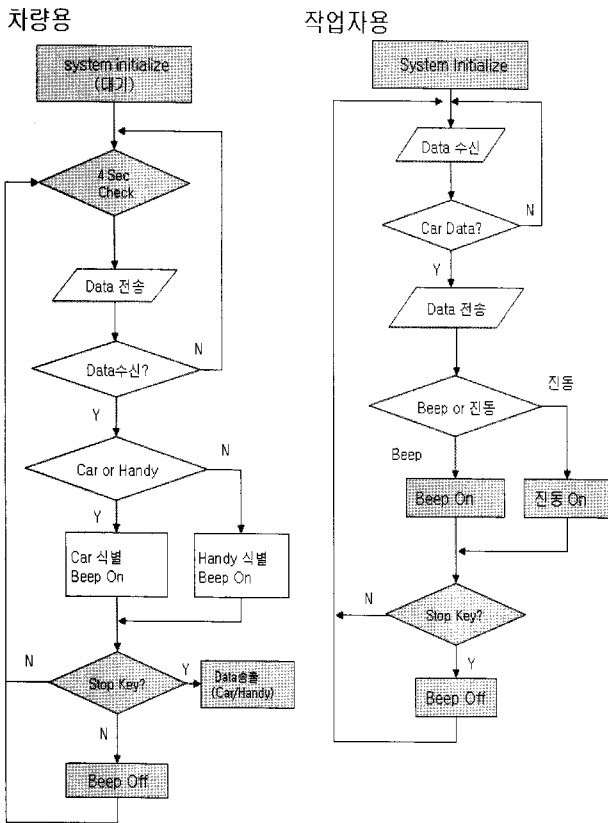
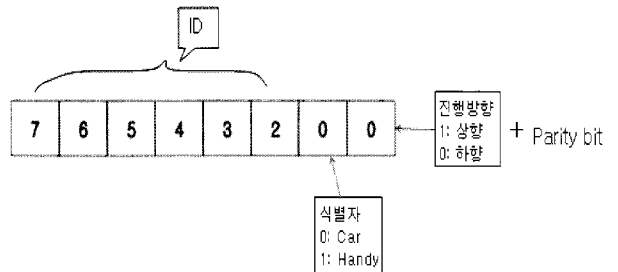


그림 3. 차량용/작업자용 안전설비 프로차트

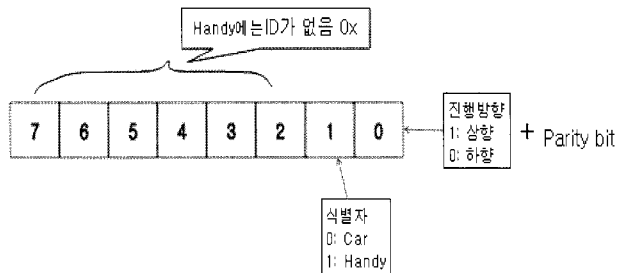
그리고 그림의 차량용에서 “Car or Handy”는 차량용 안전설비가 수신한 신호가 전방의 다른 열차에서 온 신호인지 전방의 작업자에게서 온 신호인지를 구분하기 위한 부분이다. 차량용 안전설비는 전방으로부터 신호를 수신 받아 프로토콜을 해석하여 작업자용으로부터 수신된 신호인지 다른 차량으로부터의 신호인지를 구분하여 각각 다른 부저음을 표출하도록 하여, 운전자에게 전방에 작업자 또는 차량의 존재 유무 정보를 전달하여 안전운전을 위한 행동을 할 수 있도록 하였다. 즉, 본 개발 안전설비는 작업자용 안전설비와 차량용 안전설비와의 양방향 통신뿐만 아니라 서로 다른 차량용 안전설비들과도 서로 통신을 하여 열차들간의 접근정보도 인지할 수 있도록 하였다. 그림 3에서와 같이 작업자용 안전설비의 경고신호는 LED 신호를 기본으로 하고 진동 또는 부저음을 선택적으로 표출할 수 있도록 하였으며, 차량용의 경우 진동에 의한 정보는 의미 없으므로 LED와 부저음만을 표출할 수 있도록 하였다. 특히, 차량용의 부저음의 경우 차량의 별도의 전원을 추가로 사용하여 별도의 스피커를 통해 경고음을 표출시키도록 하였으며, 출력음의 레벨을 조절할 수 있도록 하였다.

전방의 첫 번째 열차가 작업자에게 접근하면 작업자의 포터블 안전설비가 차상장치로부터의 신호를 수신하여 경

보를 표출하게 되고, 작업자가 경고신호를 인식하게 되면 “Stop Key” 동작을 통해 경고음을 차단한다. 이후에 연속적으로 다른 열차가 작업자에게로 접근하게 될 경우 첫 번째 열차의 접근 인식에 따른 “Stop Key” 동작에 상관없이 두 번째 열차 접근 정보를 알리는 경고음이 표출되어야 한다. 이를 위해 그림 4(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 프레임을 2바이트로 설정하면 가능하다. 또한, 이 프레임에서 확인되듯이 열차의 진행방향(상행 또는 하행) 정보를 추가하였다. 이는 열차의 진행 방향이 상행 또는 하행 두 가지 방향밖에 없으므로 이를 전송프레임에 같이 전송함으로써 작업자에게 열차의 접근방향이 어느 쪽인지 표출(LED 컬러를 구분하여 표시)하도록 하였다. 그림 4(b)는 작업자용 포터블 장치에서 차상장치로 전송하는 프레임 구조를 나타낸 것으로 (a)와는 달리 차상에서는 작업자의 구분이 필요 없어 ID번호를 할당하지 않았다.



(a) 차상장치 ⇒ 포터블 장치 전송 프레임 구조



(b) 포터블장치 ⇒ 차상장치 전송 프레임 구조

그림 4. 차상제어장치 송신용 프레임 구조

앞에서 설명한 바와 같이 차상용과 작업자용 안전설비는 전원 스위치, 모드전환 스위치 등 몇 개의 조작 스위치를 가지고 있으며, 각 스위치들의 기능을 표 2와 같이 정리하였다. 전원 스위치의 경우 차량용 안전설비의 경우 차량의 전원이 투입될 경우 주기적으로 계속해서 전방으로 무선신호를 송신하고 운전자가 임의로 출력신호를 OFF할 수 없도록 차량용은 전원 스위치를 별도로 추가하지 않았다. 작업자용 Mode 스위치는 부저, LED, 진동과 같은 경고신호

출력 형태를 선택하는 스위치로서 기본적으로 부저와 LED는 동시에 되도록 하였으며, 모드 스위치를 동작시키면 LED와 진동으로 경보신호가 표출되도록 하였다. Stop 스위치는 작업자가 열차의 접근을 인식하면 부저음을 차단할 수 있도록 하기 위해 추가된 스위치이다. 이 스위치를 동작시킬 경우 현재 접근열차로부터의 무선신호는 수신하더라도 부저음이 표출되지 않지만 다른 접근하는 차량으로부터 새로운 무선신호를 수신할 경우 부저음이 다시 동작되는 메커니즘이며, 차량용 안전설비도 동일한 기능을 갖는 스위치로 구성하였다

표 2. 개발 시제품의 스위치 기능

기능	설명	내용	비고
전원 스위치	전원 공급 스위치	On/Off	차량용은 없음
Mode S/W	동작 선택 스위치	Buzzer/LED /진동	작업자용
Stop S/W	부저기능 정지	다른 차량 출현 시에는 동작	
방향스위치	방향표시 스위치	차량의 진행방향 Setting	차량용 용

4. 안전설비 제작 및 시험결과

3장에서 설명한 내용을 바탕으로 시제품을 제작하고 철도운영 현장에서 시험을 수행하였다. 1차 시제품은 Mockup 형태의 시제품을 제작하여 무선신호 전달거리 및 경보신호 표출 등 제안 안전설비의 기능 및 성능확인을 목적으로 하였다. 따라서 개발 시제품의 케이스는 전용으로 제작된 것이 아닌 상용품을 활용하였다. 그림 5는 제작한 안전설비 시제품을 나타낸 것으로 차상장치 및 작업자용 설비 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.

개발한 시제품의 성능검증을 위해 도시철도 터널 구간에서 현장시험을 수행하였으며, 현장시험에서는 도시철도의 유지보수 작업을 위한 모터카에 차상 안전설비를 설치하여 개발한 안전설비의 성능을 확인하였다. 시험 장소는 본 개발 안전설비의 적용대상인 도시철도 지하구간의 선로현장으로, 전파전달거리 및 성능시험을 위해 곡선반경이 큰 구간에서 시험을 수행하였다.

그림 5는 개발한 시제품의 도시철도 터널구간의 현장시험 사진으로, 왼쪽이 제작한 차상 안전설비이고 오른쪽이

작업자용 안전설비이다. 차상 안전설비에서 장치에서의 주기적인 무선신호가 송신되고, 작업자용 안전설비가 이 신호를 수신하여 진동, 부저 및 LED 등 다양한 형태의 경보신호를 표출하는 지와 모드전환 스위치나 열차의 진행 방향이 정상적으로 표출되는지 등의 성능시험을 수행하였다. 작업자용 안전설비의 경보 LED에서 오른쪽 LED는 열차 접근 신호를 수신하였음을 나타내는 것이고, 가운데 초록색의 LED는 열차의 접근방향을 나타낸다. 열차의 접근방향을 표시하는 가운데 LED는 열차접근 신호를 수신하면 계속 점등된 상태를 유지하지만, 오른쪽 쪽의 경보신호 LED는 일정 간격으로 점멸하도록 되어 있으며, 수신신호의 세기에 따라 점멸되는 시간이 경고음의 펄스간격과 동일하게 조정되도록 제작하였다. 또한 수신 무선신호 레벨의 검지를 통해 작업자와 접근하는 열차와의 거리에 따른 경보음의 점멸주기가 3단계로 조절되도록 하여 작업자가 열차의 접근거리를 상대적으로 인식할 수 있도록 하였다.

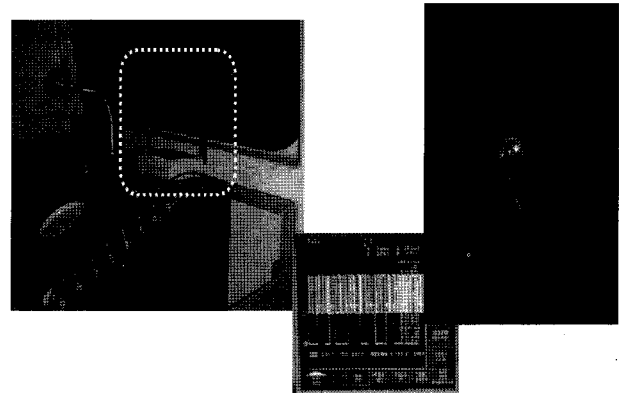


그림 5. 시제품 현장시험 사진

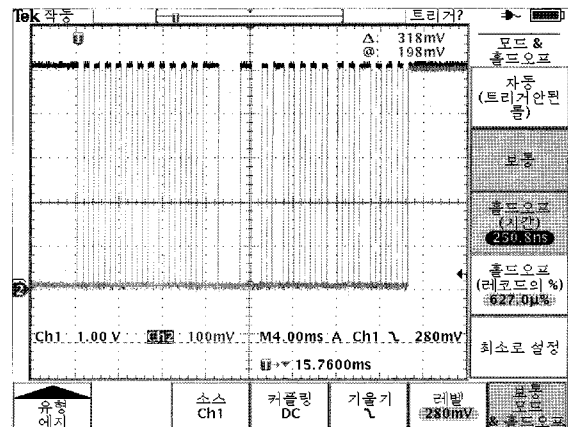


그림 6. 차상 안전설비 출력신호

그림 6은 차상장치에서 출력되는 신호의 파형을 나타낸 것으로 사진과 같은 전송 프레임에 갖는 출력신호를 주기

적으로 송신하고 파형을 나타낸 것이다. 이러한 차상장치로부터의 출력 신호는 일정 거리 이내에 작업자용 포터블 장치가 수신할 경우 이 전송신호를 디코딩하여 다양한 경보신호를 출력하게 된다.

또한 차상설비와 작업자용 설비와의 전파전달거리는 야외에서 약 250m 정도로 측정되었다. 야외에서의 이러한 측정거리는 도시철도의 지하구간에서는 터널이 전파의 도파관 역할을 하여 약 330m 정도의 전파 도달거리를 갖는 것으로 현장시험을 통해 확인되었다. 300m 정도의 전파전달 거리는 도시철도 운영기관에서 요구하는 가장 이상적인 거리로서, 시제품의 전파전달 거리가 요구되는 성능을 만족함을 1차 현장시험을 통해 확인하였다.

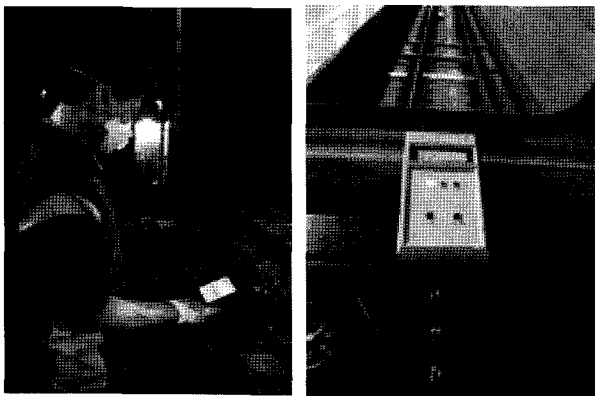


그림 7. 개선 시제품의 현장시험 사진

이러한 1차 현장시험 결과를 바탕으로 전파전달 거리, 차상과 작업자 안전설비간 양방향 통신 성능, 경보신호 동작 메커니즘에 대한 성능을 확인하였으며, 실제 차상에 설치를 위한 전원모듈 보완, 차상 안전설비의 경보음 향상 등의 일부 의견을 반영하여 2차 시제품을 제작하여 현장시험을 수행하였다. 그림 7은 이러한 2차 현장시험을 수행한 사진을 나타낸 것으로 1차 현장시험의 개선사항을 모두 만족함을 확인하였다.

5. 결론

철도사고 중 많은 부분을 차지하는 철도 선로변 유지보

수 작업자의 철도교통 사상사고의 저감을 위해 본 논문에서는 접근하는 열차에서 임의의 무선통신 신호를 전송하고, 선로변 안전설비는 이 신호를 수신하여 작업자에게 다양한 형태로 열차의 접근정보를 경보할 무선통신을 이용한 안전설비를 제안하였고, 제안한 안전설비의 주요한 개발내용 및 개발 시제품에 의한 현장시험 결과를 나타내었다. 개발 안전설비의 도시철도 터널 내의 현장시험 결과 작업자의 사상사고 저감을 위한 안전설비로서의 적용성을 확인하였다. 향후 본 논문의 결과는 철도 선로변 작업자의 철도교통 사상사고를 예방 및 저감하는데 많은 기여가 예상된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통평가원에서 위탁시행한 철도종합안전기술개발사업(열차안전 C03)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 서울특별시지하철공사(2004), “지하철 사상사고 처리실무.”
2. J.G. Hwang, H.J. Jo and Y.K. Kim(2009), “Alarm Equipment for Protection of Trackside maintenance Workers Using Bone Conduction Speaker,” ITC-CSCC 2009.
3. 한국철도기술연구원(2008), “열차제어시스템 안전성능 평가 및 사고방지기술 개발,” 연구보고서.
4. 박찬우, 왕종배, 조연옥(2009), “철도사상사고 위험도 평가를 위한 사고 시나리오 모델 개발에 관한 연구,” 한국안전학회논문집 제24권 제3호, pp.79-87.
5. Rail Safety and Standard Board(2006), “Profile of Safety Risk on the UK Mainline Railway,” Issue 5.
6. 박찬우, 왕종배, 김민수, 최돈범, 박상록(2009), “철도 사상사고 위험도 평가 모델 개발에 관한 연구,” 한국철도학회 논문집, 제12권 제2호, pp. 190-198.

접수일(2009년 7월 20일), 수정일(2009년 8월 12일),
게재확정일(2009년 8월 19일)