

# 철도 선로변 유지보수자 사상사고 방지를 위한 안전설비의 개발



조 현 정  
한국철도기술연구원 선임연구원  
hijo@kriire.kr



황 중 규  
한국철도기술연구원 책임연구원  
jghwang@kriire.kr

## 1. 개요

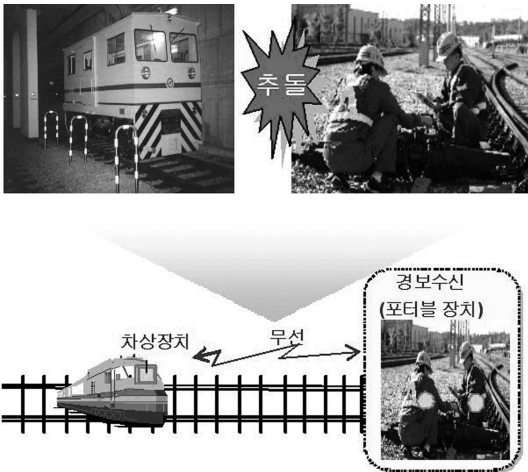
최근 국내의 철도사고 현황 분석 결과에 의하면 철도사고의 발생건수 기준으로 약 50% 정도가 철도사상사고로 기록되고 있으며, 등가사망자지수로 환산(사망 1명 = 중상자 10명 = 경상자 200명) 하였을 경우 사상사고에 의한 등가사망자지수가 전체 철도사고 등가사망지수의 94%를 차지하고 있다[1]. 전체 철도사고 등가사망지수의 90% 이상을 차지하는 사상사고 중 철도교통 사상사고가 약 87%를 차지하는 것으로 분석되는 등 철도교통 사상사고를 예방 및 저감하기 위한 많은 대책들이 필요한 실정이다[2-3]. 철도사고의 대부분을 차지하는 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 유지보수자인

선로변의 작업자 보호를 위한 안전설비들에 대한 연구는 거의 이루어지고 있지 않다.

이에 따라 본 논문에서는 철도교통 사상사고의 사고 대상자가 직원에 해당하는 철도 선로변 유지보수자의 사상 사고 방지를 위한 대책으로 개발한 안전설비에 대해 소개하고자 한다. 현재는 이러한 철도 선로변 유지보수자들의 안전사고 예방을 위해 선로변에 작업이 수행 될 경우, 작업지역 전후방에 경보등과 경보 깃발을 든 안전요원이 동행하여 열차의 접근 정보를 깃발이나 무전기를 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.

## II. 유지보수자 사상사고 저감 안전설비의 설계

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[4]. 다음 그림 1은 이러한 사상사고를 저감하기 위해 본 논문에서 제안한 철도 선로변 철도교통 사상사고 예방을 위한 안전설비의 개요를 나타낸 것이다.



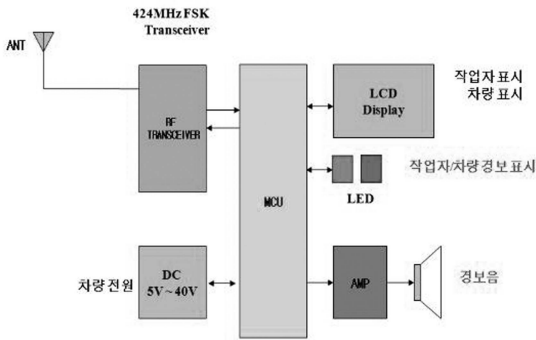
〈그림 1〉 제안한 안전설비 개요

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 운전을 하도록 유도하는 안전설비이다. 즉, 열차에 설치하는 차상장치와 작업자가 휴대하는 단말장치가 양방향 통신이 되도록 하였으며, 열차의 운전자에게도 전방의 일정거리에 작업자의 작업유무를 확인할 수 있도록 정보를 제공하여 주의운전을 유도하기 위함이며, 차상장치에서의 경고신호는 LED와 경고음으로 표출되도록 하였다. 이처럼 무선통신을 이용하여 경보신호를 양방향

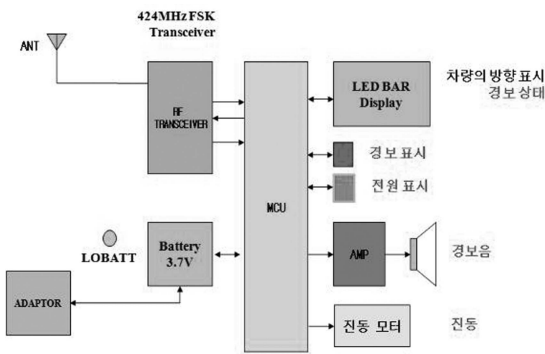
으로 전송하는 안전설비는 열차의 운전실에 설치되는 차상 안전설비와 작업자가 휴대하는 작업자용 안전설비로 구성되어지며, 각각 전방의 진입열차 정보나 작업자의 정보를 다양한 경보신호로 출력하도록 하여 주의운전 및 안전지역으로 대피할 수 있도록 하여 철도교통 사상사고를 예방 및 저감할 수 있도록 하였다.

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. 다음 그림 2(a)는 안전설비의 차상장치의 구성을 나타낸 것으로서 RF 신호를 주기적으로 송신하고 또한 수신하기 위한 RF 모듈, 주기적인 RF 신호의 발생 및 경보신호의 동작메커니즘을 처리하는 MCU 모듈, 빛에 의한 경보신호 출력을 위한 LED 모듈, 정보 표시를 위한 LCD 모듈, 소리에 의한 경보신호 출력을 위한 AMP와 스피커 부분, 그리고 차량으로부터 전원을 입력받기 위한 전원 모듈로 구성되어진다.

전원 모듈은 다양한 차량의 전원을 입력받을 수 있도록 5V에서 40V까지 입력받을 수 있도록 하였다. 본 장치에서 사용한 무선신호 주파수 대역은 ISM 대역인 424 MHz로 하였다. LED에 의한 경보신호는 전방에 작업자가 있는지 또는 전방에 또 다른 모터카가 있는지에 따라 각각 다른 컬러로 표시되도록 하였다. 경보음은 운전자가 조절이 가능하도록 하였고, LCD 패널에는 접근한 작업자 안전설비나 다른 차량 안전설비의 고유 번호가 표시되도록 하였다. 만약 접근구간 이내에 여러 대의 장치로부터 무선신호를 피드백 받을 경우, 무선신호가 피드백 된 순서로



〈그림 2〉 (a)차상용 안전설비의 구성도



〈그림 2〉 (b)작업자용 안전설비의 구성도

순차적으로 각각 안전설비의 ID 번호가 표출되도록 하였다. 차량용 설비와 작업자용 설비의 무선신호 출력은 ISM 대역이고 또한 전파 도달거리가 도시철도에 적합하도록 250~300m 정도가 되도록 10mW 이내로 조정하였다.

그림 2(b)는 작업자용 안전설비의 구성을 나타낸 것으로 기본적인 구성은 그림 2(a)의 차상용 안전설비와 동일하지만 경고신호의 출력부분과 전원부분에서 차이점이 있다. 작업자용 안전설비의 경고신호는 차상용과는 달리 LED와 소리에 의한 경고신호 이외에 진동에 의한 경고신호를 추가하여 작업자에게 경고신호 전달기능을 향상시켰다. 따라서 작업자용 안전설비에는 진동 모터 부분이 추가되었으며, 또한 LED 경보는 모터카의 접근방향을 표시하는 LED와 일반고휘도 LED 두 가지로 구성하였다. 전원 부분은 차상용 안전설비는 모터카 차내의 전원을 직접 사용하지만 작업자용의 경우 휴대용이므로 배터리를 사용하여 외부에서 충전하여 사용할 수 있도록 하였고, 배터

차상용 단말기	주파수	424Mhz
	출력	10mW 이내
	수신감도	-110dbm
	안테나	외장형 안테나 (150mm)
	입력 전압	12V~40V
작업자용 단말기	배터리	차량용 전원
	크기	190mm×130mm×50mm
	주파수	424Mhz
	출력	10mW 이내
	수신감도	-110dbm
작업자용 단말기	안테나	외장형 안테나 (50mm)
	입력 전압	3.3~4.2V
	배터리	축전지 (충전형)
	크기	50mm×90mm×25mm

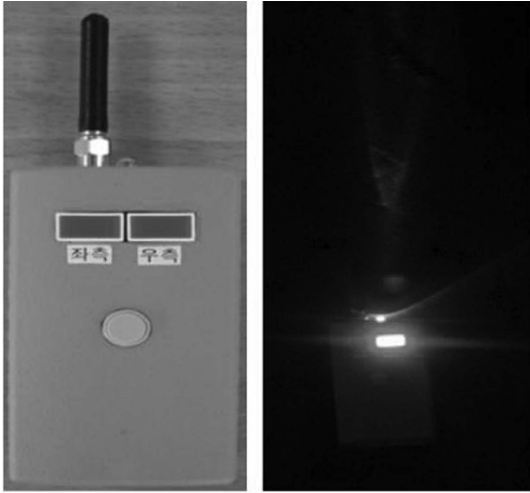
〈그림 3〉 차상용 및 작업자용 안전설비의 주요 구성

리의 충전이 3시간이하일 경우 'LOBATT' LED의경보등이 동작되도록 하였다. 또한 작업자가 휴대하기 편리하도록 작업자 허리에 부착하거나 목에 걸 수 있는 구조로 하였다. 그림 3은 앞에서 설명한 작업자용 안전설비와 차상용 안전설비의 주요한 사양을 정리한 것이다.

### III. 안전설비의 제작 및 현장시험 결과

앞 절에서 설계한 내용을 바탕으로 제안한 안전설비를 제작하고, 철도운영 현장인 도시철도 구간에서 제작한 안전설비의 적용성 검증을 위한 시험을 수행하였다. 다음 그림 4는 본 논문에서 개발한 시제품의 작업자용 안전설비이며, 그림 5는 차량용 안전설비의 사진이다. 각각 오른쪽 사진은 경고신호가 표출되었을 경우의 사진으로, 작업자용의 경우 붉은 색 LED와 파란색의 고휘도 LED가 동작되어 작업자 본인뿐 아니라 인접하고 있는 작업자가 경고신호를 확인할 수 있도록 하였다.

작업자용 안전설비의 경우 작업자가 휴대하기 편한 구조로 설계 되었으며, 작업자의 허리에 부착할 수 있는 구조로 되어 있다. 또한 작업자용 안전설비의 전원은 8시간 정도의 사용시간을 가지는 고용량 충전 배터리를 사용하여 작업자가 편리하게 사용할 수 있도록 하였다. 그림 5의 차량용 안전설비의 경우 경보음의 소리를 조절할 수 있는 구조로 되어 있으며, LCD 표시 Panel을 통해 접근하는



〈그림 4〉 작업자용 안전설비 제작결과



〈그림 5〉 차상용 안전설비 제작결과

작업자 안전설비의 고유번호를 표시하도록 하였다. 또한 차량의 전원을 사용하며, 별도의 전원 스위치를 설계하지 않음으로 인해 차량운행 중에는 반드시 본 안전설비의 전원이 인가되도록 하였다. 즉, 운전자에 의해 임의로 본 설비의 전원을 차단하지 못하는 구조로 설계하였다. LED 경보의 경우 접근하는 다른 차량인지와 작업자인지를 확인하여 다른 컬러 LED(붉은색, 초록색)를 사용하여 차량인지 작업자인지 구분할 수 있도록 하였다.

또한 제작한 안전설비의 시제품 성능시험을 위해 서울 메트로의 운영구간 선로에서 몇 번의 현장시험을 수행하였으며, 현장시험에서는 차상장치에서의 주기적인 RF 신호에 대해 작업자용 안전설비가 정상적으로 수신하여 진동, 부저 및 LED 형태의 경보음을 표출하는 지와 모드 전환 스위치나 열차의 진행 방향이 정상적으로 표출되는지 등의 기능시험을 수행하였다. 최종 차상설비와 작업자용 설비와의 전파전달거리는 현장시험을 통해 약 230~270

m 정도로 측정되었으며, 이러한 전파전달 거리는 본 안전설비의 요구사항을 충족하고 있음을 확인하였다.

시험현장은 지하구간, 지상구간, 플랫폼 구간 등 다양한 현장조건에 따라 수행되었으며, 특히 전파전달거리 및 성능시험을 위해 곡선반경이 150R인 구간에서 시험을 수행하였다. 그림 6은 차상설비 및 작업자 안전설비의 현장 시험 사진을 나타낸 것으로, 작업자 안전설비 시험사진에서와 같이 다양한 철도 운영환경에서 시험을 수행하였다. 지하구간에서 현장시험 결과 지상에서 시험한 경보표출 메커니즘이 충분히 표출되고 정상적으로 동작하는 최소 전파전달 거리는 약 230m 정도로 측정되었다. 230m 정도의 전파전달 거리는 도시철도 운영기관에서 요구하는 가장 이상적인 거리로서, 최종적으로 개발한 시제품의 전파전달 거리가 요구되는 성능을 만족함을 현장시험을 통해 확인하였다.



〈그림 6〉 현장시험 사진

#### IV. 개발한 안전설비에 대한 다른 형태로의 활용

본 절의 안전모 안전설비 시제품은 앞 절에서 설명한 바와 활용 목적이 같은 선로변 유지보수 작업자가 접근하

는 열차를 인식하지 못하여 열차와 충돌하는 사상사고 저감을 위한 안전설비이다. 이는 앞 절에서와 같이 접근하는 열차에서 주기적으로 무선신호를 전송하고 작업자의 안전설비가 이를 수신하여 작업자에게 열차접근 경보를 알려주는 송수신측의 메커니즘은 동일하지만, 작업자용 안전설비의 형태가 골전도 스피커를 이용한 안전모라는 것이 다른 점이다. 즉, 앞 절에서 기 개발한 송수신측 구성을 이용하면서, 작업자용 안전설비의 형태만을 유지보수자가 착용하는 안전모로 제작함으로써 본 논문에서 제안한 안전설비의 여러 다른 형태로의 활용 가능성을 보여주고 있다.

특히 일반적인 경보표출 방법이 아닌 선로변 유지보수 작업자의 안전모에 부착된 골전도 스피커를 통해 작업자에게 열차의 접근경보를 알려 안전하게 대피할 수 있도록 하는 안전설비이다. 물론 유지보수 작업자의 안전모에서 차량으로 작업자의 위치를 전송하여 열차 운전자도 작업자의 위치를 확인할 수 있는 양방향 무선통신 링크에 의한 사상사고 저감을 위한 안전설비임은 앞 절의 안전설비 기본 동작과 동일하다. 본 절에의 안전모에 부착하여 사용하고 있는 골전도 스피커는 두개골의 진동을 통해 소리를 듣는 특징을 갖고 있으며, 이러한 원리를 이용한 골전도 스피커가 이미 상용화되어 있어 활용성을 증명하기가 어렵지 않았다. 이러한 골전도 스피커는 귀 주위에 부착만 되면 스피커 기능을 지닐 수 있으므로 헤드셋이 귀를 덮지 않아도 다른 소리를 청취하는데 전혀 방해가 없다, 또한,

장시간 착용에도 청각에 전혀 무리가 없으며, 어떠한 소음 환경에서도 열차접근 경보음의 인지가 가능하다는 큰 이점을 보여준다.

따라서 기존의 일반 안전헬멧을 이용하여 수신기와 골전도 스피커를 연결하는 골전도 안전헬멧을 구현하였다. 앞서 설명한 바와 같이 안전설비의 기능 및 동작 메커니즘은 앞 절에서 제안한 무선을 이용한 안전설비와 동일하며, 단지 열차접근 정보를 표출하는 방식이 골전도 스피커를 이용하는 안전모라는 차이점이 가진다. 제작한 안전모 시제품은 앞 절에서 제안한 안전설비와 동일하게 차량용과 작업자용 설비로 구분되며, 골전도 진동자를 이용한 스피커는 그림 7과 같다. 이러한 골전도 스피커는 안전모의 턱걸이줄에 고정되어 부착하였으며 골전도 스피커를 통해 경보음을 수신하므로, 작업자의 귀가 덮이지 않아 주변의 소리와 차량에서 송신하는 신호음을 동시에 들을 수 있어 위험요소를 즉각 인지하여 대피할 수 있다. 제작한 골전도 방식의 안전모를 부착하고 있는 모든 작업자와 차량은 실



〈그림 8〉 골전도 방식의 철도 안전모 착용 사진



〈그림 7〉 골전도 진동자 스피커 시제품



〈그림 9〉 안전모 시제품 제작결과

시간으로 통신을 하여 일정거리 내에 들어오면 차량이나 사람이 있으면 경보음을 골전도 및 LED 동작을 통해 작업자가 즉시 확인하고 파악할 수 있다.

차량용 설비는 작업자의 위치를 추적하면서 계속 신호를 보내며, 작업자의 안전모에 부착된 수신기가 감지되면서 동시에 차량용 설비에 경보음과 LED로 경보신호를 출력한다. 안전모에 부착된 골전도 수신기는 우선순위로 차량에서 송신되는 무선신호를 수신하며 작업자의 안전모에서 골전도 스피커를 통하여 자동으로 3단계의 무선신호로서 작업 중에 차량이 오고 있음을 인식할 수 있다. 개발한 골전도 스피커 안전모 시제품의 무선신호는 448.75 Mhz 대역이며, 5mW의 출력을 사용하였다. 아래 그림 8과 9는 제안하는 안전설비를 골전도 스피커를 이용한 안전모 형태로 제작한 최종 시제품의 결과를 보여주는 사진이다.

## V. 결론

최근 철도 사고의 대부분을 차지하고 있는 것이 철도교통 사상사고이므로 이를 예방할 수 있는 대책이 꾸준히 요구되고 있다. 본 논문에서는 사고 대상자가 직원에 해당하는 철도 선로변 유지보수자의 사상사고 방지를 위한 대책으로서 개발한 안전설비에 대한 설계 및 제작, 현장시험을 통한 적용성, 안전모라는 또 다른 형태로의 구현을 통한 활용성 검증 등의 내용을 기술하였다. 제안하는 안전설비는 경보신호를 차상과 작업자간 양방향으로 전송하며, 열차의 운전실에 설치되는 차상 안전설비와 작업자가 휴대하는 작업자용 안전설비로 구성되어진다. 각각의 안전설

비는 전방의 진입열차 정보나 작업자의 정보를 다양한 경보신호로 출력하며, 주의운전 및 안전지역으로 대피할 수 있도록 하여 철도교통 사상사고를 예방 및 저감할 수 있다.

또한, 개발한 안전설비의 유효성 입증을 위해 실제 운영 구간인 도시철도 터널 내에서 현장시험을 수행하였으며, 시험 결과 작업자의 사상사고 저감을 위한 안전설비로서의 요구사항을 충분히 만족하여 적용성을 검증하였다. 이 외에도 제안하는 안전설비 기술을 사용하여 골전도 스피커를 이용한 안전모 형태로 제작한 시제품을 보여줌으로써 본 안전설비 기술의 여러 형태로의 활용 가능성을 확인하였다. 이와 같이 우수한 성능과 높은 활용 가능성을 지니는 철도 선로변 유지보수자 사상사고 방지를 위한 안전설비는 향후 철도교통 사상사고를 예방 및 저감하는데 많은 기여를 할 것으로 예상된다.

## 참고문헌

- [1] 한국철도기술연구원, "열차제어시스템 안전성능 평가 및 사고방지기술 개발", 연구보고서, 2008.
- [2] 박찬우, 왕종배, 조연욱, "철도사상사고 위험도 평가를 위한 사고 시나리오 모델 개발에 관한 연구", 한국안전학회논문지 제24권 제3호, pp.79-87, 2009.
- [3] Rail Safety and Standard Board, "Profile of Safety Risk on the UK Mainline Railway", Issue 5, 2006.
- [4] "지하철 사상사고 처리실무", 서울특별시지하철공사, 2004.