

선로내 작업 안전성을 높이기 위한 방호시스템 기술 개발

Development of protection system to improve the safety of work on the track

조봉관 최규형** 강성구***
B. K. Cho G. H. Choi S. G. Kang

Abstract

It is necessary to have a maintenance of track and its equipment for safety and the railroad transportation. In the paper, we examine the safety problems, protection and composition of protection system for safety within the track which RTRI developed. The protection system consists of a mobile business tool carried by each worker, a terminal of the protection system temporarily installed in the maintenance car, a connector attached to the signalling system and a central administrative device installed at the control center. Each machine is used independently to detect positions of workers and maintenance cars. Each machine can correctly grasp the geometrical relations with other workers cars and other objects in the track conditions based on the state information exchanged between the machines by the control protocol, the track occupancy monitor information broadcast by the central administrative device and the line information. The protection system executes its function based on this basic structure.

1. 서론

안전하며 안정된 철도수송을 유지하기 위해서는 선로와 설비의 보수작업이 필수불가결하다. 이들 보수작업에서는 선로내 작업과 보수차 등 선로를 점유하면서 열차의 충돌과 추돌을 방지하는 자동신호에 해당하는 설비가 없기 때문에 사고근절이 곤란한 상황이다.

보수작업의 안전에 관한 첫 번째 문제는 기한내 작업에서 열차감시원, 선로폐쇄공사 및 보수차 사용에 따른 역무원 등 관여하는 인간의 인위적인 실수로 인한 대피지연과 열차진입의 위험성이다. 두 번째 문제는 궤도회로에서 검지할 수 없는 보수차가 신호보안장치의 통제없이 자유롭게 이동하기 때문에 운전자의 실수에 의한 보수차간 충돌·충돌과 작업원 접촉사고, 더욱이 분기기 활차와 건널목에서 자동차와 충돌 등 실제로 여러 가지 사고의 위험이 남아있다.

본 고에서는 일본 철도종합연구소에서 선로내 작업 안전성을 높이기 위해 개발한 방호시스템의 구성, 방호기능 및 안전성 문제에 대해 검토하였다.

* 한국철도기술연구원, 철도신호통신연구팀, 주임연구원

** 한국철도기술연구원, 철도신호통신연구팀, 수석연구원

*** 서울지하철건설본부 설비부 신호팀장/서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 정회원

2. 방호시스템의 요건

개발중인 방호시스템은 열차대 보수차, 열차대 작업원, 보수차대 보수차, 보수차대 작업원의 충돌 및 접촉사고를 방지하기 위한 경보와 제어를 수행하며 대상의 검지방범, 경보와 제어 방법이 중요한 요건으로 검토되고 있다.

2.1 기존 시스템으로부터 요건 추출

- (1) 이전의 열차접근경보장치는 사용 개시할 때에 작업장소로부터 떨어진 장소로 가설이 필요하는 등 작업효율상의 이유로 이용되지 않는 것이 과제가 되었다. 사용개시할 경우에는 특별한 작업의 필요가 없는 것 경보동작의 확인이 불필요하며 즉시 사용할 수 있을 것 또한, 이동작업에서도 이용이 용이할 것이 중요하다.
- (2) 열차검지에서는 무엇보다도 확실성이 요구된다. 궤도회로 등 신호보안장치의 재선정보 이용이 가장 신뢰할 수 있다.
- (3) 접근경보는 경보기능을 구비한 기기를 작업원 개개인에게 휴대하게 하고 직접 전달함으로써 경보를 의식하지 못하는 문제이외에 야간소음의 해결책으로서도 유효하다.
- (4) 작업원으로부터 역무원을 통하지 않고 선로폐쇄절차를 직접 실시하는 것 또는 보수차로부터 분기기 전환제어를 수행하는 것이 중요하다.
- (5) 보수차간의 충돌, 충돌방지 및 분기기 오진입방지에는 열차의 ATS와 ATC에 해당하는 기능을 구비하는 것이 효과적이다.

2.2 본 시스템에서 새로운 요건

보수작업 전반을 대상으로 종합적인 방호기능의 확립을 목표로 하는 본 시스템에서는 기존 시스템에서는 없는 다음과 같은 새로운 요건이 발생한다.

- (1) 열차검지뿐만 아닌 보수차 검지, 작업원 검지에도 확실성이 요구된다.
- (2) 보수차간에서 뿐만 아니라 열차, 작업원과의 관계에서도 인간의 개입을 필요로 하지 않는 ATS, ATC에 해당하는 기능이 요구된다. 또한, 작업원의 대피에 따른 열차, 보수차의 통과를 허용할 필요가 있다.
- (3) 작업원에 의한 선로폐쇄절차와 같이 보수차 사용절차를 보수차로부터 직접 수행하고 이것과 연동하여 보수차 재선구간으로 열차진입을 억제하는 것이 바람직하다.
- (4) 종래의 시스템과 가장 큰 차이는 (2)를 만족시키기 위해 열차 감시원을 생략할 수 있다는 것 즉, 작업원 측면에서는 몸에 지니고 있으면 차량접촉으로부터 보호하는 최후의 방호기능을 목표로 하기 때문에 시스템의 Failsafe성이 요구된다. 따라서, 다소 비용이 소요되는 것은 기능추가가 용이한 구성을 선택하여 비용대 성능비가 높은 종합적인 시스템으로 발전시킴으로서 보완하는 것이 바람직하다.

3. 시스템 구조와 방호기능

3.1 시스템 구조

3.1.1 시스템을 구성하는 기기

작업원용 휴대정보기기는 위치검지기능, 무선통신기능을 구비한 휴대 정보단말로 선로폐쇄가 가능한 작업신청, 보수차를 포함한 실시간 운행상황표시, 열차 및 보수차의 접근경보, 통화, 정보참

조 등 보수작업을 지원하고, 보수차 운전대의 정보단말은 작업원용 휴대정보기기와 동등한 기능을 가지는 이동형 운전대 정보단말을 보수차에 설치하여, 선로폐쇄와 연동한 보수차 사용절차, 작업원 위치를 포함한 실시간 작업상황 표시, 다른 보수차를 포함한 주변 운행상황표시, 작업에 따른 지장개소와 차량접촉의 우려가 있는 작업원과 다른 보수차 및 열차와의 충돌 위험성 운전자로의 경보, 정보참조를 가능하게 한다. 통화기능은 보수차의 운전자가 지상작업원과 같이 휴대정보기기를 몸에 부착한 것을 전제로 하면 필요가 없다. 운전대 정보단말은 운전자에게 경보뿐만 아니라 자동제어가 가능하게 보수차의 제동계통과 접속하는 것이 바람직하다. 그리고, 신호보안장치에 병설하는 접속장치는 열차재선정보는 신호보안장치로부터 얻을 수 있기 때문에 기존의 신호보안장치에 접속할 수 있는 장치를 병설하며 긴급시에 열차를 정지시키기 위해 신호보안장치를 제어한다. 마지막으로 시스템을 구성하는 모든 기기상태를 파악하는 중앙관리장치를 지령 등에 배치한다. 작업원의 존재와 보수차의 재선상태를 파악하기 위해 선로내로 들어오는 작업원과 본선으로 진입하는 보수차의 등록관리를 실시한다.

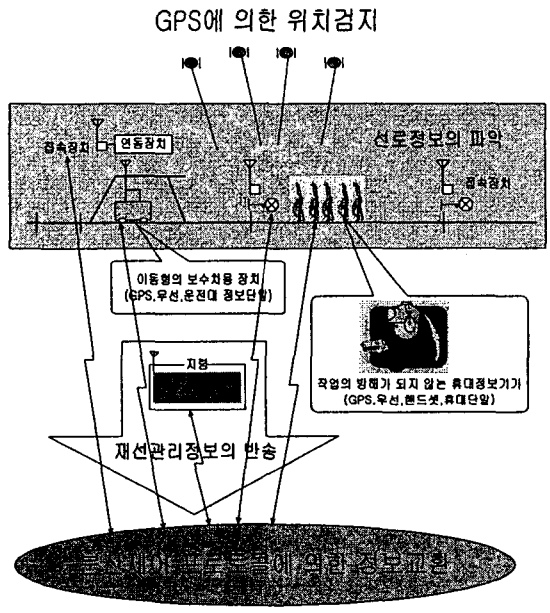


그림 1 방호시스템 전체 구성

3.1.2 GPS에 의한 위치 검지

작업원 자신이나 보수차 자신의 위치검지는 절대위치를 검출해야하기 때문에 GPS(Global Positioning System)를 이용한다.

3.1.3 선로 프로파일 정보

각 기기는 노선지도에 다른 사람을 맵핑함으로서 다른 사람과 위치관계를 파악한다. 본 시스템의 디지털 지도에 해당하는 선로 프로파일 정보는 신호보안설비를 기술한 배선약도에 위도경도정보

를 할당, 침부함으로서 신호보안장치가 검출하는 열차재선위치와 GPS에 의해 검출하는 보수차 재선위치, 작업원 위치를 일원적으로 취급할 수 있다. 방호기능 실현의 전제로서 선로상의 2점의 상대적 거리와 작업원의 선로중심으로부터 이격거리를 파악할 필요가 있으며 이는 곡선도 고려하여 배선에 적당히 포함시킨 위도경도정보와 배선링크의 탐색에 의해 기하학적으로 구해진다. 따라서, 방호기능만 본다면 거리파악을 위해서는 키로정을 필요로 하지 않는 방식으로 되어 있다.

3.1.4 분산제어 프로토콜과 무선통신

각 기기는 IP 기반의 분산제어프로토콜에 의해 메시지 교환을 실시한다. 분산제어프로토콜에서는 각 기기가 자율적으로 상태정보를 멀티캐스트 송신하고 또한, 이들을 선택 수신하여 제어에 이용한다. 시스템 구성에 따라서는 종래의 일대일 통신보다도 정보전송량이 증대하지만 확장성이 높은 시스템을 구축할 수 있다. 방호기능을 실현하는 것은 최대 제동거리 등을 고려하여 각 기기로부터 3km 이내 범위에 존재하는 이동체를 포함하는 타 기기와의 메시지 교환이 가능한 멀티캐스트그룹을 설정할 필요가 있다. 또한, 이동체와의 통신수단으로서는 보수차의 최고 속도까지의 이동속도에 대응할 수 있는 무선통신시스템이 필요하다.

3.2 방호기능

(1) 작업 방호

미리 등록된 작업구간을 방호하는 기능으로 작업중의 작업구간 종사자에 대해 열차와 보수차의 접근경보를 실시하고 작업책임자의 대피완료통지가 도달하지 않으면 접속장치는 기존의 신호보안장치를 제어해서 열차를 정지시키고 보수차에 대해서는 운전자에게 제동준비를 명령한다. 작업이 열차나 보수차의 통과에 지장을 주는 것이면 각각 열차방호, 보수차 방호와 같은 의미이다.

(2) 작업원 방호

각각의 작업원을 열차와 보수차로부터 방호하는 기능으로 작업원의 재선위치가 접근해 오는 열차와 보수차에 지장을 주는 상황에서 개별적으로 접근경보를 실시하고 작업방호와 같이 작업원의 응답이 도달하지 않으면 열차를 정지시키고 보수차에 대해서는 운전자에게 제동준비를 명령한다.

(3) 보수차 방호

선행보수차와의 충돌, 대보수차와의 충돌을 피하기 위해서 운전대 정보단말에서 운전자에게 경보하고 제동준비를 명령한다. 또한, 열차접근에 대해서 기존의 신호보안장치를 제어하고 보수차 재선구간으로 열차진입을 막는다. 그리고, 보수차 사용절차에 의해 가해지는 선로폐쇄와는 별개의 운전대 정보단말과 접속장치간의 정보교환에 근거한 제2의 열차진입방지절차이며 열차방호와 같은 의미이다. 이상의 각 방호기능을 기능별로 다른 사람과의 관계에 관해서 정리하면 표1과 같이 된다. 또한, 각 방호기능의 실현을 위해 필요한 이동체의 위치 정확도를 표1에 표시한다.

표 1 이동체에 필요한 위치 정확도

	대작업원	대보수차	대열차
작업원의 위치		전후 수 m	←
		좌우 수십 cm	←
보수차의 위치	전후 수 m	←	전후 수십 m
	선로 식별 요	←	←
열차의 위치	레도회로 단위	구내 진로	

4. 안전성에 관한 검토

4.1 분산제어 프로토콜과 안전측 제어

본 시스템은 성능과 확장성이 높은 고도의 정보제어를 가능하게 하는 분산제어시스템이다. 방호기능은 이러한 방송형 전송프로토콜을 이용한 기본구조상에 동작하는 일부 기능뿐이지만 메시지가 수신되지 않는 다른 사람의 존재를 인식할 수 없는 경우의 위험성을 허용할 수 없다.

예를 들면 기기고장에 따른 상태정보를 송신하지 않거나 IP 기반의 정보전송계에 의한 필터링 오류를 위한 특정기기의 상태정보가 한번도 전송되지 않는 경우에 기기의 존재를 인식할 수 없게 된다. 작업시에 선로내에 들어오면서 이동하는 작업원과 보수차에서 그러한 우려가 있다. 한편, 통신상대가 지상에 상설하는 접속장치가 되는 열차에 관해서는 선로프로필 정보와의 조합에 의해 이상을 발견할 수 있기 때문에 문제가 되지 않는다. 작업원과 보수차에 관해서도 동일한 사양이 요구된다. 때문에 선로내 작업과 보수차 사용 등록관리와 모든 기기의 상태관리를 실시하는 중앙관리장치가 재선관리정보를 멀티캐스트 송신하는 기능(그림 1)을 맡으며 각 기기는 재선관리정보와의 조합에 의해 다른 기기로부터의 메시지 수신을 점검한다. 중앙관리장치는 모든 기기의 상태정보를 수신할 수 없으면 재선관리정보를 송신하지 않고 각 기기는 일정 시간내에 재선관리정보를 수신할 수 없으면 이상으로 판단함으로써 분산제어프로토콜의 장점을 잃지 않으면서 정보전달에 관한 Fail-safe한 경보와 방호를 가능하게 한다.

4.2 GPS의 안전성

본 시스템에서는 작업원과 보수차의 절대위치를 검출할 필요가 있기 때문에 GPS를 주체적으로 사용한다. 방호기능은 철도분야에서도 안전성이 중요하기 때문에 본 시스템에서 위치검지기능은 GPS의 고장에 의해 잘못된 위치정보나 수신환경 등을 요인으로 하는 허용할 수 없는 오차를 포함한 위치정보를 최대한의 확률로 배제하여야 한다. 전제조건으로 방호기능은 상정된 위치정도가 유지되지 않았는지 위치가 불명확한 상황을 인식하고 경보와 방호를 유지하는 등의 안전측 제어가 가능하게 된다.

그러나, GPS 표준 측위서비스에서는 완전성(제공하는 정보에 오류가 없는 것을 보증하는 능력)이 불충분하기 때문에 GPS를 보충하여 시스템의 요건을 만족시켜야 한다. 때문에, 위치검지기능에서 보강절차로서 다음의 2가지 경우에 대해 추가적인 연구개발이 필요하다.

- 고정도 시각동기라는 GPS의 장점을 이용하고 이기종의 용장성 GPS 수신기의 출력동기 검사, 위치정보비교, 연속모니터링 등에 의한 버그대책을 포함한 완전성과 정도의 향상을 도모하는 위치검지처리
- 보완센서나 노선프로필 정보를 조합한 상호보완, 조합에 의한 완전성과 유효성 향상을 도모하는 위치검지처리

4.3 고안전기기의 소형, 경량화, 저전력화

본 시스템은 보안장치를 목표로 하고 있기 때문에 기기고장, 회선장해시의 경보, 방호하는 사양을 구비한 Fail-safe 시스템을 요구하고 있다. 때문에, 각 기기에는 Fail-safe 컴퓨터를 비롯하여 고안전기술을 적용할 필요가 있다. 경보나 고장시의 표시방법을 포함하여 기본적으로는 기존의 기술을 적용하면 좋지만 작업원용 휴대정보단말로의 적용을 염두해 둔 소형, 경량화, 저전력화 등이 과제이다.

5. 본 시스템의 장점

- (1) 보수작업 전반에서 작업원, 보수차, 열차간의 안전을 확보할 수 있다. 트롤리나 궤도용 모든 차량으로의 대응도 가능하다.
- (2) 선로내의 작업이나 순회 등, 선로내에 진입하는 모든 업무에서 작업원 개인에게 직접 정보 및 방호가능하기 때문에 안전성이 크게 향상된다.
- (3) 고안전 기기의 채용에 의해 감시원 대신으로 사용할 수 있다.
- (4) 역구내에서 연동장치로부터 얻어진 재선정보나 진로에 근거하여 불필요한 경보를 울리지 않기 때문에 작업효율이 향상된다.
- (5) 작업책임자는 모든 작업원 위치를 파악할 수 있다.
- (6) 지령에서 관할범위의 작업상황, 보수차 운전상황, 열차운행상황을 파악할 수 있다.
- (7) 시스템의 구성에서 다양한 기능을 용이하게 부가할 수 있으며 보수작업에서 종합적인 시스템으로의 발전이 가능하다. 예를 들어 다음과 같은 기능을 용이하게 부가할 수 있을 것이다.
 - 작업원 : 작업원 내비게이션, 연선작업의 통신, 통화기능, 설비관리정보 등으로 액세스
 - 보수차 : 건널목제어, 보수차 진로제어, 대보수차 방호, 보수차 내비게이션
 - 지령 : 진보상황 파악, 보수차 운행관리, 지령음성의 일제관리
- (8) 정보의 취득만 있으면 정보전송계의 부하가 걸리지 않기 때문에 역무원에게 휴대단말을 보급, 열차운행상황을 제공하는 등 적용범위를 보수작업이외로 확대할 수 있다.
- (9) 본 시스템은 CARAT과 같은 열차제어시스템의 기술을 보수차와 작업원에게 적용하고 접속장치에 의해 기존 신호보안장치와 인터페이스를 취함으로써 열차를 대상에 포함하고 있다. 따라서, CARAT과 같은 열차제어시스템이 적용되는 선구에서는 인터페이스가 불필요하고 열차제어시스템에 일체화되는 것으로 고려되어 장래성이 높다.

6. 맺음말

본 논문은 일본 철도총연에서 선로내 작업 안전성을 높이기 위해 개발한 방호시스템의 구성, 방호기능 및 안전성 문제에 대해 검토하였다.

국내에서도 신설노선의 신호설비 구축, 기존 신호설비 개량 및 기타 선로작업 등에 안전사고 방지를 위한 여러 방호시스템 고려하고 있으며 점차적으로 기능향상을 도모하고 있어 방호시스템 구축, 설계에 참고가 되리라 판단된다. 일본 철도총합연구소에서는 향후, GPS를 주체적으로 사용하는 위치검지의 완전성 산출에 매진함과 동시에 정도와 신뢰성을 높인 위치검지 처리장치의 개발, 실험시스템의 구축을 진행하고 현장시험을 실시하여 기능사양의 타당성을 검증하고 최종적으로는 방호시스템의 사양을 제시할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 黒澤良史, 川見豊顯 : 新幹線保守作業安全システムの導入, 鐵道と電氣技術, Vol.12, No.8, pp.10-14, 2001. 8
- [2] 福原克己 : 保守用車における労働災害防止, 鐵道と電氣技術, Vol.11, No.6, pp.26-30, 2000.6