

무선통신기반 열차제어시스템 상호운영성 연구

Investigation of Radio Communications-based Train Control System with Interoperability

최준영 · 박재영*

June-Young Choi · Jae-Young Park

Abstract This paper analyzes the hazard related to train control, the functional requirements for atrain control system(TCS) and the automatic train protection(ATP) functional allocation that ensures the interoperability of a radio communications-based TCS. In addition, the interoperability can be obtained using wireless communications technology standards and standardized functional allocations of TCS performed on the wayside and onboard. Using this information, an integrated operating system for a rail network can be constructed. The functional allocations of TCS that support interoperability, require hazard analysis of TCS and definition of the system requirements. The hazard factors for a TCS are confirmed through setting the train safety space control and train speed limit excess. Furthermore, this paper determines the impact of the hazard factors on the TCS and, defines the functional requirements for the TCS subsystems and the ATP wayside and onboard functional allocations.

Keywords : Interoperability, Casual factors, Hazard analysis, Radio communications, TCS

초 록 본 연구는 무선통신기반 열차제어시스템의 상호운영성(interoperability)을 확보하기 위하여 열차제어와 관련된 위험원 분석, 열차제어시스템의 기능요구사항 설정 및 차상과 지상ATP(Automatic Train Protection)장치의 기능배치를 포함하고 있다. 개방형 무선통신기술을 활용하고, 지상과 차상에서 수행되는 열차제어시스템의 기능 배치를 표준화하여 상호운영성을 확보할 수 있으며, 이를 통하여 철도망의 통합운영체계를 구축할 수 있다. 상호운영성을 지원하는 열차제어시스템의 기능을 지상과 차상에 배치하기 위해서는 위험원 분석과 시스템 요구사항 정의를 필요로 한다. 열차제어시스템의 위험원으로 열차안전간격제어와 열차제한속도초과를 설정하여 위험원 요인을 확인하였다. 또한 위험원 요인이 열차제어시스템에 미치는 영향을 확인하고 열차제어시스템의 하부 장치의 기능요구사항과 ATP의 지상기능과 차상기능 배치를 정의하였다.

주요어 : 상호운영성, 위험원 요인, 위험원 분석, 무선통신, 열차제어시스템

1. 서 론

열차제어시스템은 안전한 열차운전을 보장하고 열차운영 효율을 높이는 중요한 설비이며, 표준화된 무선통신방식인 무선 LAN(IEEE 802.11) 또는 GSM(Global System for Mobile communications)과 같은 이동통신방식을 적용하여 지상신호 설비에서만 수행하던 중요한 기능을 차상신호설비에서도 담당하고 있다. 열차제어시스템의 ATP는 열차위치결정, 열차 이동권한설정, ATP 프로파일작성, 열차속도감시, 열차출입 문연동 등 중요한 기능을 수행하여 선형열차와 후속열차간 안전간격을 제어하여 열차추돌사고가 발생하지 않도록 S/W로 구성된 핵심장치이다. 열차제어시스템이 컴퓨터 및 소프트웨어로 구성되면서 열차에 몇 가지 기능을 배치하였으나, 무선통신기술을 적용하면서 차상에도 중요한 기능을 배치하

였다[1]. Table 1에서 확인할 수 있듯이 차상 ATP에서 중요한 기능을 대부분 처리하고 있지만, 열차이동권한결정과 열차속도제한 등 열차운행과 관련된 중요한 기능은 지상 ATP에서도 수행한다[2].

효율적인 철도를 운영하기 위해서는 여객 또는 화물의 이동성에 맞추어 수송용량을 탄력적으로 조정하는 것이 요구되며, 이를 위해서는 단일화된 운영개념과 철도운영의 높은 안전성이 필요하다. 도시철도는 CBTC(Communication Based Train Control) 시스템을, 간선철도는 ETCS(European Train Control System)를 사용하여 단일화된 철도운영체계를 구축하고, 지상장치와 차상장치간 상호운영성을 구현하고 있다 [3]. 프랑스 파리의 RATP(Regie Autonome des Transports Parisiens)가 추진중인 OCTYS(Open Control of Trains, Interchangeable & Integrated System) CBTC 프로젝트처럼 철도 운영기관이 단독으로 추진하고 있는데[4], 타 운영기관과의 노선을 연계하는 과정에서 상호운영성에 문제가 발생될 수 있다.

개방형 무선통신기술을 사용하는 열차제어시스템의 상호

*Corresponding author.
Tel.: +82-42-629-6733, E-mail : pjy7717@paran.com
©The Korean Society for Railway 2014
<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2014.17.1.35>

Table 1 ATP function allocation

ATP functions	Functional allocation		
	Wayside	Onboard	Wayside or onboard
Train length determination		○	
Train location determination		○	
Limit of movement protection determination			○
Target point determination			○
Infrastructure speed limits			○
Train speed limits			○
Train braking profile determination		○	
ATP profile determination		○	
Actual train speed determination		○	
Actual train direction determination		○	
Actual train speed supervise		○	
Actual train direction supervise		○	
Train door control interlock		○	

운영성은 차상장치와 지상장치에 배치되는 기능에 의해서 결정된다. 또한 지상에서 수행하는 기능과 차상에서 수행하는 기능에 대한 위험원 분석과 표준화가 요구된다.

사고(incident)는 어떠한 원인에 의해서 불규칙하게 발생하여 사망, 사상 또는 경제적 손실을 초래한다. 위험원(hazard)이란 사고를 초래할 수 있는 시스템 및 시스템인터페이스 상태를 말하여 시스템 경계(system boundary)에 위치한다. 따라서 위험원을 확인하기 위해서는 시스템의 경계를 확실하게 정의하여야 한다. 운용중인 시스템은 발생한 위험원을 완화할 수 있지만 사고의 발생은 막을 수 없다. 사고를 초래하는 잠재적인 이벤트의 결과를 사고결과(incident sequence)라 한다. 일반적으로 사고결과는 장비고장과 인간의 취급과 같은 다양한 이벤트 유형을 포함하며, 시스템 내부와 외부의 여러 가지 방지대책(barriers)이 동시에 실패하는 경우에 발생한다. 위험원의 원인이 될 수 있는 시스템 내부의 요인을 원인요인(casual factors)이라 하며 위험원과 구별하여야 한다[5].

본 논문에서는 국내 열차제어시스템 표준화를 목표로 수행중인 KRTCS(Korean Radio based Train Control System) 프로젝트[6]에서 안전기능을 담당하는 ATP를 대상으로 위험원 요인 분석, 위험원 요인이 열차제어시스템의 기능과 데이터에 미치는 영향, 브레인스토밍을 통한 기능배치를 기술할 것이며, 대불선에서 진행되고 있는 상호운영성 검증을 통해서 기능배치가 적절했음을 보여주고자 한다.

2. 열차제어시스템 위험원 분석

열차제어시스템은 무인자동운전, 자동운전, 수동운전에서 공통으로 발생하는 열차사고를 방호하기 위해서 Table 2와

Table 2 Hazard classifications for automation levels

Automation level	Common hazards	Particular hazards
Driverless operation	- Train route control - Train safety separation - Train limited speed control	- Train auto departure - Train state monitoring - Train speed regulation - Door open/close control
Automated operation	- Train route control - Train safety separation - Train speed control	- Train speed regulation - Door open/close control
Non automated operation	- Train route control - Train safety separation - Train speed control	-

같이 위험원을 확인하고 이를 제거하거나 저감하기 위한 방안을 적용하여야 한다.

자동운전과 무인자동운전에서 발생 가능한 열차사고를 방호하기 위해서 열차제어시스템은 열차 가감속제어 및 열차 출입문 개폐제어에서 장애가 발생하지 않도록 위험원을 확인하고 이에 대한 저감방안 또는 제거방안을 반영하여야 한다. 무인운전에서 발생할 수 있는 열차사고를 방호하기 위해서 열차제어시스템은 열차자동출발제어, 열차상태감시에서 장애가 발생하지 않도록 위험원을 확인하고 이에 대한 저감대책 또는 제거대책을 마련하고 사용하여야 한다.

2.1 열차의 안전한 이동에 대한 위험원 분석

열차제어시스템은 열차의 안전한 주행을 보장하기 위해서 선행열차와 후속열차의 사이에 안전간격(safety distance)을 보장하고, 선로선형(곡선반경, 구배, 교량, 터널 등)과 열차 성능(최고속도, 제동성능, 열차길이 등)에 맞추어 구간별 열차제한속도를 설정한다. 열차제어시스템은 열차의 안전한 이동을 보장하지만, 장치의 장애 또는 사람의 취급 등 여러 원인에 의해서 안전필수 기능에 장애가 발생할 수 있다. Fig. 1과 같이 열차가 안전간격을 확보하지 못하거나 구간별 열차제한속도를 초과하는 것은 “운영요원(운전자 또는 승무원)

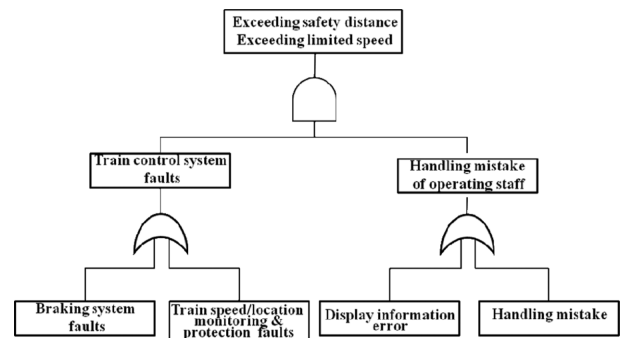


Fig. 1 FTA for the safety space excess and exceeding the speed limit

의 취급오류”와 “열차제어시스템 장애”에 의해서 발생된다 [7]. Figs. 1, 2, 3을 포함한 FTA(Fault Tree Analysis)는 KRCS 프로젝트에 참여중인 3개 컨소시엄(5개사 참여)의 엔지니어와의 기술협의를 ETCS의 SRS(System Requirements Specification)자료 검토를 통해서 작성되었다.

2.1.1 운영요원의 취급오류에 의한 위험원 분석

운전자가 열차운전 중에 오류를 일으키는 원인은 Fig. 2와 같이 운전자의 “취급오류”와 운전자에게 현시되는 정보의 오류가 있다. 운전자의 취급오류는 의도한 경우와 의도하지 않은 경우가 있다. 운전자가 임의로 판단하여 현시되는 열차제한속도 또는 목표거리를 무시하고 과속으로 주행하거나 목표지점을 초과하여 주행하여 작업자 사상사고, 탈선사고 또는 충돌사고를 유발할 수 있다. 따라서 열차제어시스템은 수동운전모드, 기지운전모드와 같이 시스템이 활성화된 경우, 운전자의 열차속도제어상태와 목표지점까지의 안전거리확보상태를 감시하고 열차가 위험한 상황에 도달하기 전에 운전자경보 또는 제동(상용제동, 비상제동)과 같은 필요한 안전조치를 취하여 “취급오류”에 대한 열차방호를 수행하여야 한다. 운전자에 대한 “현시정보오류”는 MMI(Man-Machine Interface)가 동작하지 않거나 정보현시에 지연시간이 있는 “MMI 동작오류”, MMI가 열차속도, 목표지점까지의 거리, 열차운전모드를 실제와 달리 현시하는 “MMI 현시 오류” 및 MMI가 오류정보를 현시하는 “MMI 기능오류”가 있다. “MMI 동작오류”와 “MMI 현시 오류”의 경우 열차제어시스템은 열차속도제어와 목표지점까지의 안전거리확보를 감시하고 열차가 위험한 상황에 도달하기 전에 필요한 조치를 하여 열차를 방호하여야 한다. “MMI 기능오류”는 MMI로 입력되는 정보에 오류가 있어서 운전자에게 잘못된 정보를 현시하는 것으로서 운전자가 열차의 안전을 보장하여야 하며, 열차제어시스템이 보장할 수 없다.

MMI를 포함한 열차제어시스템의 입력정보중 반드시 확인해야 하는 것은 실제의 열차속도보다 낮은 열차속도값이 입력되는 경우와 목표속도/목표지점이 적절하지 않게 연산된 정보(speed profile)가 입력되는 경우이다.

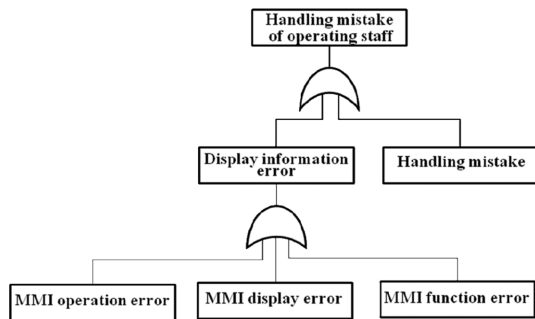


Fig. 2 FTA for handling errors of the operation personnel

2.1.2 열차제어시스템 장애에 대한 위험원 분석

열차제어시스템 장애는 Fig. 3과 같이 열차제어시스템이 열차속도와 열차위치를 감시하고 방호하는 과정에서 발생되

는 “열차속도/위치 감시 및 방호 장애”와 열차제동기능의 오류와 열차인터페이스 오류로 인하여 발생하는 “제동제어장애”가 있다. “제동제어장애”는 “제동제어기능의 장애”와 “열차인터페이스 장애”로 분류할 수 있다. “열차인터페이스 장애”의 경우, 적절한 시점에 상용제동과 비상제동이 체결되지 않는 경우와 적절한 시점에 상용제동과 비상제동이 해제되는 않는 경우이다. 열차제어시스템의 “열차속도/위치 감시 및 방호 장애”는 “열차속도감시 장애”, “열차이동방호 장애” 및 “열차주행감시 장애”가 있다. “열차속도감시 장애”는 실시간으로 열차의 속도를 감시하는 기능이 적절하지 않는 경우와 동적 속도프로파일의 생성이 적절하지 않는 경우로 분류할 수 있다. “열차이동방호 장애”는 열차정차 감시기능의 장애, 열차 rollback 감시기능의 장애, 열차의 역방향주행 시 기능 장애, 열차후진거리 감시장애로 분류할 수 있다.

열차제어시스템은 열차위치와 열차속도를 감시하고 방호하기 위해서 열차이동권한 MA(Movement Authority)를 설정하며, 열차는 유효한 이동권한을 수신했을 때만 이동이 가능하다. 본 논문에서 열차제어시스템은 지상에서 이동권한을 생성하고 이를 차상으로 전송한다. 무선으로 전송되는 열차이동권한이 갖는 정보는 열차번호(ID), 이동권한까지의 거리, 이동권한의 기준위치로 사용되는 지상자 ID 등을 포함한다.

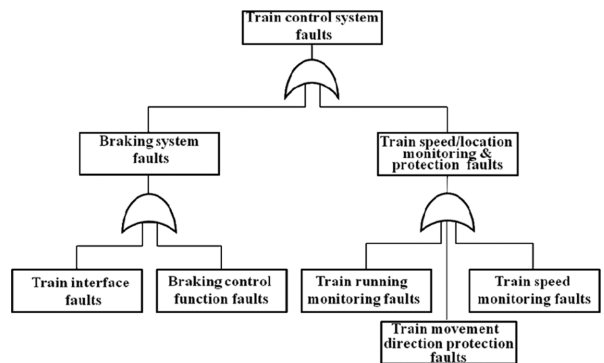


Fig. 3 FTA of the train control system failures

열차이동권한생성은 쇄정진로에 있는 열차 ID를 확인하고, 확인된 각 열차에 대한 이동권한을 설정하는 열차간격관리 과정으로 이루어진다. 첫 번째 단계인 열차 ID 확인은 해당 열차가 주행할 쇄정진로정보를 지상ATP가 사용할 수 있는 진로정보로 변환(좌표변환), 열차 ID의 확인, 쇄정진로를 주행하고 있는 열차편성수확인, 열차정보 확인, 쇄정진로 진입이 허가된 열차목록 작성, 쇄정진로와 열차 ID를 2단계로 전송하는 과정을 수행한다. 두 번째 단계인 열차간격관리는 열차이동권한을 갱신하는 경우와 열차이동권한을 지속하는 경우로 구분한다.

열차이동권한설정에는 “열차제어시스템 장애”와 “운영요원의 취급오류”에 절대적 영향을 주는 요인이며, 열차이동권한 설정에 장애를 초래할 수 있는 주요 사항으로서 다음을 고려할 수 있다.

- 1) 열차 실속도보다 낮게 열차속도가 연산되는 경우
- 2) 이동권한의 기준위치가 되는 지상자의 위치가 명확하지 않은 경우
- 3) 열차진로설정이 적절하지 않은 경우
- 4) 설정된 MA를 단축하는 것이 적절하지 않은 경우
- 5) 열차주행감시가 적절하지 않은 경우
- 6) 열차운전모드가 명확하지 않은 경우
- 7) 비상제동위치가 명확하지 않은 경우
- 8) 이동권한설정용 데이터가 적절하지 않은 경우

2.2 위험원이 열차제어시스템에 주는 영향

열차사고를 발생시키는 열차제어시스템의 위험원 “안전간격초과/제한속도초과”의 요인(원인)인 “취급오류”, “현시정보오류”, “열차속도/위치 감시 및 방호 장애” 및 “제동제어장애”를 대상으로 FTA(Fault Tree Analysis)방법을 적용하여 분석한 결과 독립적인 요인(원인)을 갖는 것이 아니고 공통의 요인(원인)을 갖는다는 것과 요인이 주는 영향도 확인하였다.

1) 데이터처리과정에서의 위험원 요인과 영향
 엔지니어링 단계에서 확인해야 할 위험원의 요인(원인)과 이것이 본 논문의 대상인 열차제어시스템에 미치는 영향은 Table 3과 같다.

Table 3 Hazard factors and impacts on the data processing

Base event	Affected TCS(train control system) function or data
Incorrect transponder message - Incorrect provision of linking data	Transponder data - Linking data
Incorrect control mode of operation Incorrect provision of data (MA, System data, Track description, linking data)	Radio data - MA data, Linking data from trackside
Incorrect train properties	Fixed Train Data - Maximum train speed - Train length data TCS ID

2) 외부장치와의 인터페이스 위험원 요인과 영향
 본 논문이 대상으로 하는 열차제어시스템과 연계되는 외부장치와의 인터페이스에서 확인해야 할 위험원의 요인(원인)과 이것이 열차제어시스템에 미치는 영향을 Table 4와 같이 기술할 수 있다.

3) 운영요원의 취급과정에서의 위험원 요인과 영향
 운영요원의 취급에서 확인해야 할 위험원의 요인(원인)과 이것이 열차제어시스템에 미치는 영향 중 일부 내용을 Table 5와 같이 기술할 수 있다.

4) 열차제어시스템 내부 기능장애의 위험원 요인과 영향
 열차제어시스템이 수행하는 내부 기능장애로 인하여 위험원의 요인(원인)이 될 수 있는 기본적인 항목과 이것이 열

Table 4 Hazard factors and impacts on the interface with external devices

Base event	Affected TCS function or data
Incorrect route information - Incorrect provision of data (MA, System data, Track description, linking data) - Incorrect control mode of operation	Route information linked to MA data, system data, linking data
Other sources of incorrect data - Incorrect train properties	Fixed train data - Maximum train speed - Train length data - Axle load data - Train category data
Failure to command EM(external system) - Incorrect provision and revocation of emergency messages	Provision of emergency messages

Table 5 Hazard factors and impacts on the operating personnel in the handling process

Base event	Affected TCS function or data
Driver exceeds safe speed/distance	Safe speed and distance as known by TCS
Incorrect train data(driver input)	Train data - Category - Length - Deceleration rate - Maximum permitted speed - Train running number
False command or acknowledgement of DMI	Current mode of operation Safe speed and distance as known by TCS
False presentation(e.g. mode, distance)	Information to driver
Falsification of driver's data input - Incorrect driver input - Incorrect train data - Incorrect additional data	Train data
Frozen MMI display	Information to driver

차제어시스템에 미치는 영향 중 일부 내용을 Table 6과 같이 기술할 수 있다.

이상 기술된 위험원의 요인(원인)외에 속도센서, 제동장치와의 인터페이스, 시설물과의 인터페이스, 지상자와의 인터페이스, 무선통신망과의 인터페이스 등이 열차제어시스템에 주는 영향을 분석하였다.

Table 6 Hazard factors and impacts on the internal function of the train control system (TCS)

Base event	Affected TCS function or data
Transponder linking consistency checking failure	Linking reaction
Radio sequencing checking failure(Radio transmission data consistency failure)	Provision of data to onboard(MA etc)
Emergency message acknowledgement failure - Failure to receive emergency message	Emergency stop failure
Speed calculation underestimates train speed	Determination of speed/location
Incorrect traction/braking model - Incorrect release speed - Unsafe dynamic speed profile	Dynamic speed profile
Failure of backward distance monitoring - Failure to protect against undesired movements	Protection against undesired movements
Failure of reverse movement protection	Protection against undesired movements
Incorrect determination of current mode	Current mode of operation standstill protection
Wrong acceptance of MA	Provision of data to onboard

3. 열차제어시스템 요구기능

3.1 위험원이 열차제어시스템에 주는 영향

지금까지 철도사고를 유발할 수 있는 열차제어시스템의 위험원을 정의하고, 위험원을 유발하는 원천적인 요인(원인)과 그것이 열차제어시스템에 미치는 영향을 확인하였으며, 다음 과정으로 위험원분석을 수행하여 시스템요구사항서에 포함될 시스템 요구기능을 작성한다. 시스템요구사항서 작성 단계에서 일반적으로 수행해야 하는 내용[6]은 Table 7과 같다.

본 논문에서는 위험원 분석을 토대로 열차제어시스템이 지원해야 할 기능요구사항을 기술하였다. 또한 열차제어시스템의 기능사항은 상호운영성을 보장하여야 하므로 열차제어시스템 지상장치가 수행하는 기능, 차상장치가 수행하는 기능 및 프로토콜을 정의하였다. 특히 도시철도용을 대상으로

Table 7 Work performed at the preparation stage of (system requirements specification(SRS))

Categories	Related tasks	Note
General phase	- Undertake requirements analysis - Specify environment - Define system demonstration and acceptance criteria - Establish validation plan - Implement change control procedure and etc.	
RAM phase	- Specify system RAM requirements - Define RAM acceptance criteria - Define system functional structure - Establish RAM program and etc.	
Safety phase	- Specify system safety requirements - Define safety acceptance criteria - Define safety related functional requirements - Establish safety management and etc.	

한 열차제어시스템은 Fig. 4와 같이 지상장치(wayside)와 차상장치(onboard)로 구성되며, 양방향 연속통신을 지원하는 무선통신장치(DNS)를 사용한다. 본 논문의 열차제어시스템은 KRTCS을 대상으로 하고 있으며[8], 상호운영성을 확보하기 위해서 3개 컨소시엄이 ATP 지상장치와 차상장치를 각각 I[set]씩을 제작하여 대불선(선로길이 12km)과 시험열차(1편성)에 설치하였다.

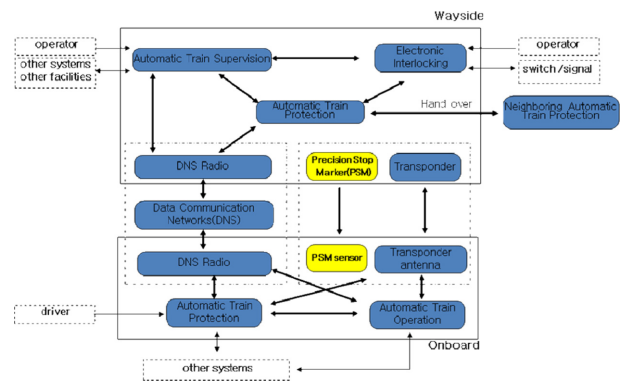


Fig. 4 Configuration of train control system

철도사고를 발생시키는 위험원 분석결과를 토대로 열차제어시스템이 반드시 수행하여야 할 기능요구사항중 ATP의 기능을 Table 8과 같이 정의하였으며, 이 과정에서 IEEE 1474.1, ETCS의 SRS 등을 활용하였다. 위험원 분석결과와 직접적인 관련을 갖는 기능요구사항은 ATP와 EI(Electronic Interlocking)에서 처리하도록 하였고, 간접적인 관련을 갖는 기능요구사항은 ATS(Automatic Train Supervision)와 ATO(Automatic Train Operation)에서 처리하도록 하였다.

열차제어시스템의 각 장치가 수행하여야 할 기능요구사항을 Table 8과 같이 정의하였고, ATP가 수행해야 할 기능을 level 1과 level 2로 분류하였고, 지상 ATP와 차상 ATP가 수

Table 8 Functional requirements for the sub-devices of the train control system

Subsystem	Basic functions	
	Level 1	Level 2
ATP	Ensure safe movements of trains	Ensure safe separation of trains -Initialize trains location -Determine location of trains -Determine limits of safer trains separation
		Ensure safe speed -Determine actual train speed -Determine maximum authorized speeds
		Authorize train movement -Determine movement authority limit -Determine train protection profile : static speed profile : dynamic speed profile : safe braking model
		Supervise train movement -Supervise safe train speed -Supervise train rollaway -Supervise emergency brake requests by staff
	Operate a train	Change driving modes (train operation mode change)
		Change the driving direction(traffic direction reversal interlocks)
	Supervise passenger transfer	Control doors -Command train doors opening -Command train doors closing
		Ensure safe starting conditions -Verify safety related conditions -Verify operational conditions -Authorize station departure
	Supervise track	Prevent collision with obstacles
		Prevent collision with person on tracks

행해야 할 기능을 Table 9와 같이 배치하였다. T는 ATP 차상장치가 수행해야 할 기능이며, W는 ATP 지상장치가 수행해야 할 기능을 나타낸다.

ATP 기능배치는 KRTCS에 참여한 5개사의 엔지니어를 포함한 다수의 전문가가 참여하여 위험원이 열차제어시스템에 미치는 영향을 분석하는 과정을 거쳤다. 이 결과 ATP 지상장치는 열차의 위치를 결정하는 기능, 열차이동권한을 결정하는 기능 및 열차의 정적속도프로파일을 결정하는 기능 등 열차제어시스템의 제어영역 내에 있는 모든 열차의 위치추적과 모든 열차의 이동권한 등으로 기능이 제한되었으며, 이외에 열차 1편성을 직간접적으로 제어하고 관리하는 기능은 ATP 차상장치로 배치하였다. 각 기능에 대한 위험원 분석과 조치방안에 대한 안전성평가를 진행하고 있다.

대불선에서 3종류의 모델 장비간 상호운용성 점검계획은 정확성과 효율성을 확보하기 위해서 A 모델의 ATP 지상장치를 기준장치를 선정한 후 시작하였다. A 모델의 ATP 지상장치를 기준으로 B 모델과 C 모델의 ATP 차상장치의 상

호운용성을 점검하였다. 다시 B 모델과 C 모델의 ATP 차상장치는 C 모델과 B 모델의 ATP 지상장치와의 상호운용성을 점검하였다. 마지막으로 B 모델과 C 모델의 ATP 지상장치는 A 모델의 ATP 차상장치와의 상호운용성을 점검하였다. 열차제어시스템의 상호운용성 점검계획에 맞추어 진행하였으며, ATP 기능배치에 위험사항이 없는 것으로 확인되었다. 상호운용성점검은 하루 평균 80km(정차역수 3개소, 역간평균거리 1.2km)를 주행하면서 열차등록/열차삭제, 수동운전단계, 자동운전단계 및 무인운전단계로 진행되었다.

수동운전단계에서는 이동권한생성, 정적속도프로파일생성, 동적속도프로파일생성, 출입문제어, 방호구간설정, 비상제동명령 등이 동작하는 것을 확인하였다. 자동운전단계에서는 열차출발명령, 열차방향전환, 방호구간설정, 비상제동명령, 역통과, 자동주행 등이 동작하는 것을 확인하였다. 무인운전단계에서는 방호구간설정, 비상제동명령, 스케줄운전 등이 동작하는 것을 확인하였다. Fig. 5(a)는 대불선에서 수행중인 상호운용성 점검중 선행열차와 후속열차간에 이동권한을 정

Table 9 Functional allocations for the TCS ATP devices

Basic functions		Function allocation
Level 1	Level 2	
Train operation management	Train operation driving mode change	T(train)
	Traffic direction reversal interlocks	T
	Traffic direction reversal command	W(wayside)
	Authorize station departure (safe related conditions)	T
	Authorize station departure (operational conditions)	T
	Command station departure	T
	Authorize departure between stations	T
Train location determination	Train location initialization	T
	Train length determination	T
	Train location calculation	T
	Train location determination(of all trains)	W
	Parted train detection(train integrity)	T
	Protection of train with loss of the TCS train location report	W
Limit of movement protection and target point determination	Limit of movement protection determination	W
	Target point determination	T
ATP profile determination	Permanent infrastructure speed limits	W
	Permanent train speed limits	W
	Permanent infrastructure data base	W
	Temporary infrastructure speed limits	W
	Temporary train Speed Limits	W
	Train speed limits determination	W
	Static speed profile determination	W
	Dynamic speed	T
Authorized speed determination	Authorized speed determination	T
Actual train speed/travel direction determination	Train speed determination	T
	Zero speed state determination	T
	TCS train travel direction determination	T
Train-born ATP user interface	TCS train-borne ATP display	T



(a) MA generation between two trains



(b) Target point determination

Fig. 5 Demonstration of train separation using the Daebul line

상적으로 생성하는 것을 보여주고 있다. Fig. 5(b)는 선형열차가 정차한 상태에서 후속열차가 최소안전간격 45m으로 접근한 것을 보여주고 있다.

상호운영성을 단계별로 점검한 결과 열차제어시스템 기능요구사항에 대한 모호성이 일부 확인되었고, 특히 프로토콜에 포함되는 변수값 정의에 대한 이해가 상이한 부분이 있는 것을 확인하였다. 이에 열차제어시스템의 기능요구사항을 구체화하고, 프로토콜 작성지침을 명확히 하여 단계별로 재 점검을 시행한 결과 Table 8의 ATP 기능요구사항을 모두 만족하는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

무선통신기반 열차제어시스템은 연속적인 양방향 무선통신기술을 사용하여 열차운전의 안전성이 향상되는 것을 기대할 수 있다. 또한 무선랜 또는 LTE(Long Term Evolution)와 같은 개방형 표준무선통신기술을 활용하고, 지상과 차상에서 수행되는 열차제어시스템의 기능배치를 표준화할 경우 상호운영성을 확보할 수 있으며, 이를 통하여 철도망의 통합운영체계를 구축할 수 있다. 상호운영성을 지원하는 열차제어시스템의 기능배치는 시스템요구사항과 배치된 기능의 위험원 분석을 필요로 한다. 본 논문에서는 열차안전간격제어와 열차제한속도초과를 위험원으로 설정하고 위험원을 발생시키는 위험원 요인과 이러한 요인이 열차제어시스템에 주는 영향을 분석하였다.

열차안전간격제어와 열차제한속도초과를 유발하는 위험원 요인을 도출하기 위해서 FTA 분석을 사용했으며, 70여개가 넘는 위험원 요인을 확인하였다. 또한 열차의 안전한 이동을 최종적으로 방호하는 이동권한 장애와 관련된 위험원 요인도 확인하였다. 이러한 위험원 요인은 데이터처리과정, 외부장치와의 인터페이스, 운영요원의 취급, 속도센서, 열차제어시스템 내부 기능, 제동장치와의 인터페이스, 시설물과의 인터페이스, 지상자와의 인터페이스 및 무선통신망과의 인터페이스 등에 포함되는 것을 확인하였다. 열차제어시스템에 영향을 주는 위험원 요인이 열차제어시스템의 기능에 미치는 영향을 분석하여 열차제어시스템의 하부장치인 ATS, ATP 및 ATO에서 수행해야 할 요구사항을 정의하였으며, 특히 ATP의 경우, 지상장치와 차상장치에서 수행할 기능을 정의하여 상호운영성을 지원할 수 있도록 하였다.

3종류의 모델을 이용한 ATP 지상장치와 ATP 차상장치간 상호운영성 점검에서 기능배치에 문제가 없는 것을 확인하

고 있으며, 차상과 지상에 배치된 ATP 기능별 위험분석에 대한 평가도 완료될 예정이다. 이를 통하여 위험원이 허용 수준으로 제어되는 것을 확인할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 일반철도 및 고속철도의 열차운행안전성 향상 연구에도 확장되어 적용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] IEEE 1474.1 (2004) IEEE Standard for Communications Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements, *the Institute of Electrical and Electronic Engineers(IEEE)*, pp.6.
- [2] Y.-K. Yoon, S.-C. Oh, J.-Y. Choi, J.-Y. Park, H.-W. Yang (2012) Development of ATP Train Separation Control Simulator for Radio-based Train Control System, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(1), pp. 29-36.
- [3] Achieved at www.uic.org/cdrom/2008/11_wccr2008/pdf/O.3.3.5.1.pdf
- [4] Achieved at www.yumpu.com/en/document/view/17902622/octys-cbtc-project
- [5] Rail Safety and Standards Board (2007) Engineering Safety Management(The Yellow Book) Volume 2 Guidance Issue 4, *the Rail Safety and Standards Board*, pp. 8.
- [6] Achieved at www.krtcs.re.kr/main/
- [7] IEC 62278 (2002) Railway applications - Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety(RAMS), *International Electrical Commission*, pp. 59.
- [8] S.-C. Oh, Y.-K. Yoon, Y.-K. Kim (2011) System specification of ATP for Standard system of KRTCS, *Autumn conference of the Korea society for railway, Jeju island of Korea*, pp. 255-260.

접수일(2013년 7월 2일), 수정일(2013년 11월 30일),
게재확정일(2013년 12월 3일)

June-young Choi : chjy60@korea.kr

Railway Technology & Safety Division, MOLIT, #11, Doum-ro 6, Sejong Special Self-governing City, 339-012, Korea

Jae-young Park : pjy7717@paran.com

Railway System Engineering, Woo-song University, 171, Dongdaeyeon-ro, Donggu, Daejeon Metropolitan City, 300-715, Korea