

철도신호시스템의 역사 및 동향분석

History of Railway Signal System and Trend Analysis

장승민*†, 박준형*, 양진송*, 류경수*, 박정수**

Seung Min Jang*†, Jun Hyoung Park*, Jin Song Yang*, Kyung Su Ryu*, Jung Soo Park**

초 록 철도신호시스템은 대규모 인원수송, 고속운행 등의 특성을 가진 철도의 안전운행과 선로 이용률을 증대시키는 핵심요소이다. 철도신호시스템은 초기 수신호 방식에서 통표 및 완목식 신호 방식을 거쳐 전기를 이용한 연동장치인 ATS, ATC, ATO와 무선통신기술을 기반으로 하는 CBTC로 발전되면서 무인운전이 가능하게 되었다. 또한 철도신호시스템은 열차가 위급한 상황에 직면하지 않도록 지속적인 감시 및 제어를 수행하고 있으며, 높은 신뢰도를 가진 Fail-safe 원칙을 기반으로 하고 있다. 본 연구는 국내철도신호의 역사 및 동향, 철도선진국의 신호시스템을 분석하여 신호시스템 발전에 따른 운전방식의 변화와 철도신호의 표준화 및 정책방향을 제시하고자 한다.

주요어 : 철도신호시스템, 무인운전, 폐색방식, 안전성, ETCS

1. 서 론

철도운행에서 근본적으로 요구하는 사항은 신속하고 효율적인 운행과 안전성이다. 열차가 저속이고 운행의 빈도가 낮을 때에는 사고에 관련된 시스템이나 규칙의 필요성이 적었으나, 경제가 발전함에 따라 교통수요가 증가하고 노선 당 열차 수가 늘어나면서 사고를 예방하기 위한 시스템의 도입이 필요하게 되었다. 철도신호시스템은 철도운행의 안전 확보와 수송능력 향상을 위해 시행되었고 발전해 왔으며 그 결과 안전성과 효율성을 동시에 충족시켰고 열차 사고 발생을 예방하고, 많은 열차를 투입하여 운행함으로 신속성과 수송능력이 증강하였다. 철도신호시스템은 고속화, 고밀도화에 기술을 집중하여 운용효율을 높이고자 여러 형태로 변형되고 발전하였다. 본 연구는 현재에 오기까지 변화되고 발전한 철도신호시스템의 역사 및 동

향의 철도신호시스템을 알아보고 국내 철도신호의 표준화 및 정책방향을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 철도신호시스템의 역사

철도신호시스템의 최초의 형태는 말을 타고 열차에 선행하여 달리는 기마수가 신호 깃발을 들어 이상 유무를 알려주는 방식 또는 역과 철도 사이에서 사람이 직접 수신호를 하여 신호를 보내는 방식이었다. 이후 열차의 속도가 빨라지고 운행 횟수가 증가함에 따라 생기는 사고 및 불편에 의해 완목식 신호기 및 통표폐색방식, 기계식 연동장치 등을 사용하였다. 1872년 윌리엄 로빈슨의 웨도회로의 개발은 철도신호에 큰 영향을 미쳤다. 웨도회로를 이용해 폐색구간에 신호기를 설치하여 열차에 자동적으로 운전조건을 지시하도록 하는 자동폐색신호기가 등장하였고, 계전연동장치 및 지상신호기가 개발되었다. 하지만 날씨 등의 요인으로 신호기를 확인하지 못하는 경우가 생김으로써 ATS나 ATC 등의 자동으로 열차의 안전성을 확보하는 장치가

† 교신저자: 동양대학교 J.S. 철도교통연구실 (kungsuu@hanmail.net)

* 동양대학교 J.S. 철도교통연구실

** 동양대학교 J.S. 철도교통연구실 지도교수
향을 분석하여 운전방식의 변화와 철도선진

등장하게 되었다. 다음 Table 1은 철도신호 시스템의 변화과정을 나타내고 있다.

Table 1 The variation of railway signal system

신호시스템	동작원리
수신호	사람이 깃발을 이용하여 열차의 진/출입 가능 여부를 현시
통표방식	수신호가 불가능한 거리에서 통표를 이용하여 열차를 제어
완목신 신호기	기계식 신호기로 완목의 위치에 의한 운전조건 지시
ATS	전자장치에 의한 열차 자동정지
ATC	전자장치(주파수) 열차 자동제어
ATO	열차 자동운전(무인운전 가능)
CBTC	무선통신기반 완전자동 무인운전

2.2 철도신호시스템의 발전과정

신호시스템은 신호 인식에 장애가 발생하거나 확인이 불가능한 경우를 차단하기 위해 자동으로 정지를 하거나 속도를 조절하고 보호해주는 등의 형태로 다양하게 발전하였다.

2.2.1 ATS (Automatic Train Stop)

먼저 ATS는 차상장치과 지상장치로 구성되어 있으며 열차 하부에 설비되어 있는 차상장치가 지상에 설치된 장치를 통과할 때 폐색구간 통과 속도정보를 감응하여 작동한다. 지상장치가 적신호임에도 불구하고 운전자가 확인할 수 없거나 고장 시 ATS는 벨과 경보 등으로 주의를 주어 정상적인 운전취급을 하도록 하고 운전자가 정지조작을 취해야 하지만 경보음과 신호를 줘에도 불구하고 일정 시간 내 운전자가 조치를 실행하지 않는 경우 열차를 자동적으로 제동한다. ATS에 의한 열차 안전운행 조건은 정확한 설비의 작동과 정상적인 기능유지가 필수조건이다. 따라서 신호기 앞에서 정지할 수 있는 정확한 확인 제동을 통해 다른 열차에 지장을 주지 않도록 설비의 점검과 확인에 주의를 기울여야 한다. ATS 운전제어곡선은 Fig.1과 같다.

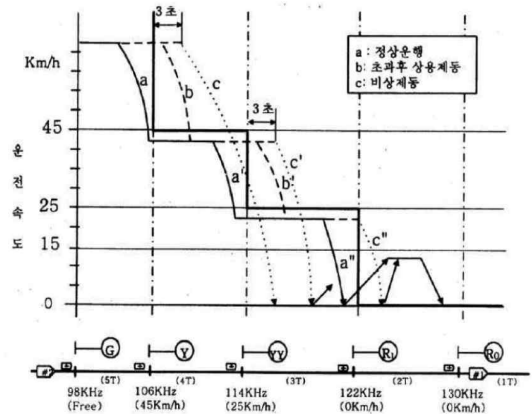


Fig. 1 ATS-Operational controlling graph

2.2.2 ATC (Automatic Train Control)

열차 자동 제어장치인 ATC는 열차의 운전석에 설치되어 지상 레일에 설치된 궤도회로부터 송신된 운전정보를 수신 해독하여 열차 운행에 지장을 주는 궤도의 지장물, 전방 운행 차량 등으로부터 열차를 보호한다. 또한 운전자의 부주의나 착오에도 불구하고 열차를 안전하게 감속, 정지하여 사고를 철저히 방지할 수 있는 장치이다. ATC는 ATS와 다르게 연속제어방식을 이용해 폐색구간을 운전하는 중 어느 지점에서든 차상신호를 수신함으로써 전방궤도 변화에 더욱 민감하게 반응하고, 레일로부터 속도명령을 수신받아 과속으로 운행 시 속도를 자동으로 감속하게 한다. ATC의 차상장치는 궤도회로를 통해 끊임없이 정보를 전한다는 우위성으로 신뢰성을 높일 수 있다. ATC 운전제어곡선은 Fig.2과 같다.

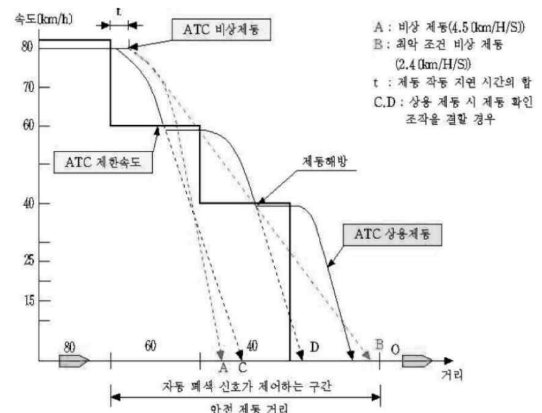


Fig. 2 ATC-Operational controlling graph

2.2.3 ATP (Automatic Train Protection)

열차의 제어기능이 컴퓨터화되고 소프트웨어로 구현되며 제어 위치가 지상에서 차상으

로 옮겨지면서 열차 속도제어의 효율성이 높아졌는데 이 시스템이 바로 ATP이다. ATP는 지상 신호기가 차내로 옮겨져 신호기가 표시하는 속도대로 열차가 주행하며 열차 간 간격 조정, 열차의 속도 결정 및 관리 등을 차상 내 장치에 의해 열차가 스스로 판단하여 자동으로 폐색구간을 계속해서 확보하는 장치이다. ATC가 지상 장치에서만 송신이 가능한 단방향 통신방식이라면 ATP는 지상과 차상이 쌍방향으로 통신하는 양방향 통신방식이다. 즉 열차에서 지상으로 확인번호, 주행방향, 속도 등의 정보를 송신하면, 지상 장치에서 이동 권한 및 열차 제한속도 등을 전송하는 것이다. 이를 통해 열차 간 운행 속도를 상호 교환하여 후속 열차는 선행 열차의 위치를 송신 받아 자동으로 감속 및 제동하여 최소 제동 거리를 확보하고 열차 보호를 실행한다.

2.2.4 ATO (Automatic Train Operation)

ATO는 열차 자동 운전장치로 지상장치와 신호제어장치 간에 상호작용을 통해, 열차가 정거장에서 출발하여 다음 정거장에 도착할 때까지 가속 및 감속, 출입문 제어, 정위치 정차 등의 열차운행 중 수동으로 해왔던 기능들을 자동으로 수행할 수 있는 장치이다. 자동운행 중 ATC에 의해 속도제한 명령을 받을 경우 감속하게 되지만 제한이 해제되면 다시 가속하게 되는 등 열차의 운전을 기관사가 아닌 기계가 대신한다. ATO 시스템으로 안전하고 정확한 운행을 통한 여객 서비스가 향상되며 무인운전이 가능해짐으로 인해 기관사의 임무가 줄어들고 인력이 절감되고 있다.

2.2.5 CBTC(Communication Based Train Control)

기존의 ATS, ATC는 고정폐색방식을 기반으로 구성된 시스템이라면 CBTC는 폐색구간이 열차의 이동에 따라 함께 움직이는 이동폐색방식으로 구성된 시스템이다. 또한 지상과 차상 간의 인터페이스를 무선으로 사용하여 정보를 송신하며 궤도회로를 사용하지 않아 지상에 설치하는 신호 설비를 줄일 수 있다.

CBTC는 기존의 신호시스템보다 더욱 정밀하게 열차 위치를 파악하며 ATP, ATO, ATS의 기능을 모두 구현한 시스템으로 무인운전이 가능하다. 다음 Fig.3은 CBTC 시스템의 구성 형태이다.



Fig. 3 CBTC System

2.3 이동폐색방식과 고정폐색방식

CBTC에서 사용되는 이동폐색방식(Moving Block System)은 모든 열차의 전파를 이용하여 자신의 주행위치를 신호기계실을 통해 후속열차에게 전달하고 후속열차는 전방의 궤도회로 낙하조건과 관계없이 선행열차에 근접하여 주행한다. 이로 인해 최소운전시격이 기존의 방식에 비해 더욱 줄어들어 선로이용률이 증가하게 된다. ATS, ATC 등에서 사용하는 기존의 운전방식, 즉 고정폐색방식은 속도코드 식(Fixed Signaling)과 차상제어연산방식(Distance-To-Go)으로 나뉘게 된다. 속도코드 식이란 감속 및 제동을 지상에서 수신된 고정속도코드에 의해 열차를 제어하는 방식으로 열차속도, 위치, 종별에 관계없이 수신된 속도코드와 실제 열차속도를 비교하여 필요시 비상제동을 하는 방식이다. 차상제어연산방식은 선행열차에 대한 정보를 지상장치를 통해 후속열차의 차상장치에 송신하여 제동곡선이 생성되고 이를 통해 후속열차를 제어하는 방식이다. 열차는 속도거리계와 레이더속도계를 이용하여 측정된 자료와 열차 내의 자료를 비교하며 보다 정확한 위치를 검지하여 열차가 정지한다. 다음 Table 2와 Fig.4, Fig.5는 이동폐색방식과 고정폐색방식의 비교를 한눈에 보여주고 있다.

Table 2 Comparison of moving-block system and fixed-block system

구분	이동폐색	고정폐색
운전시각 조정여부	선행열차의 위치를 후행열차가 항상 검지하여 차상에서 제동거리 및 가 감속 여부를 자동 계산하므로 수요급증에 따른 운전사각 대응이 용이함	폐색분할 방식에 의하여 최소운전시각을 최초 설계 시 결정하므로 최소운전시각 이하로의 운전이 불가능하고 수송 수요의 급증에도 대응하기 어려움
속도명령 전송방식	열차에 설치된 차상 컴퓨터를 통해 선행 열차와의 안전거리를 계산하고 선로 제한속도에 근거해 최적의 운행속도를 제한하게 됨	지상의 폐색분할과 선행열차의 점유구간을 기준으로 후속 열차에 속도패턴에 따른 제한속도 명령을 전송하는 방식
최소 운전시각	약 60~90 초	약 2~3 분
열차 간 간격조정	안전제동거리계산에 의한 열차운행으로 간격 최소화 가능	폐색구간 이상으로 제한하므로 2 폐색구간의 거리손실 발생
시스템 시공	선로변 운전설비의 단순화로 현장설비 축소 및 인터페이스 단순	선로변 운전설비 시설과다로 현장, 실내설비 간 인터페이스 복잡
실용화 단계	경전철에 적용하면서 운영중에 있음	국내외 다양한 시스템에 널리 사용되는 방식으로 안전 입증

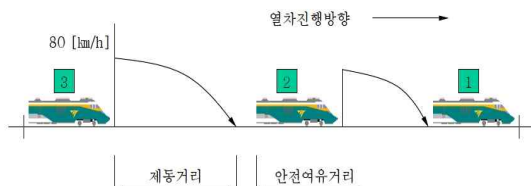


Fig. 4 Moving-block system

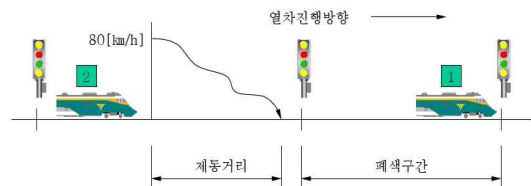


Fig. 5 Fixed-block system

2.3 신호시스템 발전에 따른 운전방식의 변화

앞서 말한 바와 같이 철도신호시스템이 발전함에 따라 열차운전방식도 함께 변화되었다. ATS, ATC는 지상신호와 무전신호에 따라 차량의 운전 및 관련된 동작을 수동으로 제어하고, ATO 장치가 개발되면서 자동으로 속도를 제어하며 자동운전이 가능해졌다. 이에 승무원은 출입문을 조작하고 출발조작 등 간단한 취급만 하면 열차를 운전할 수 있게 되었다. 자동운전이 가능해지면서 CBTC는 차량의 운전 및 운행에 필요한 모든 제어를 종합 관제실에서 관리하며 차상 장치 및 열차제어 장치를 유기적으로 결합하며 무인운전을 가능하게 만들었다.

2.4 국내외 철도신호시스템

2.4.1 유럽 열차제어시스템

(ETCS : European Train Control System)

유럽은 1990년부터 각국의 다른 열차 제어 시스템을 통합하여 국가 간 상호 운영하기 위하여 상호호환성을 높이며 ETCS를 개발 및 설치 운용 중이다. ETCS는 유럽 각 국가를 통과하는 고속철도 및 간선철도에 적용하고 있으며, 크게 3단계(Level 1, Level 2, Level 3)의 적용 기술로 구분할 수 있다. 다음 Table 3은 ETCS Level1의 특성이다.

Table 3 The characteristic of the ETCS Level

Level	특징
1	<ul style="list-style-type: none"> 열차 정보전송과 위치 검지를 위한 Balise 사용 기존의 궤도회로를 이용하여 선로점유 및 열차의 검지 확인 폐색방식을 활용한 열차 간 안전거리 확보
2	<ul style="list-style-type: none"> GSM-R 을 이용하여 지상제어설비와 차상제어설비의 양방향 통신 열차 위치확인 목적으로 Balise 사용 연속적으로 열차의 안전속도(제한속도)를 감시 열차의 검지를 확인하기 위한 설비 사용 폐색방식을 활용한 열차 간 안전거리 확보
3	<ul style="list-style-type: none"> Level 3 은 Level 2 와 비교하여 다음과 같은 차이점이 있음 차상신호장치의 열차위치정보 및 열차의 검지를 토대로 선로점유 상태 파악

· 지상제어설비에서 열차 간 안전거리 제어(가상 블록, 이동폐색)

Level 1은 아래 Fig.6와 같이 선로변에 열차 정보전송과 위치 검지를 위해 발리스와 신호기를 설치한다. 이 장치들은 ATP시스템과 같은 불연속 정보를 주어 열차의 속도제어를 위해 궤도에서 차량으로 일정한 시간에 따라 계속 이동 권한과 정보를 전송한다.

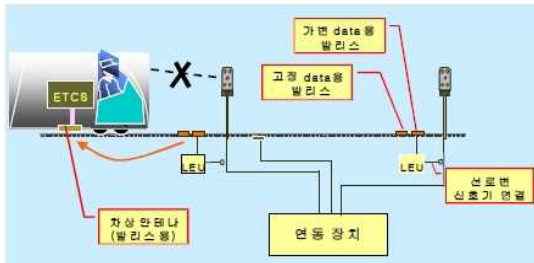


Fig. 6 Operating principle of ETCS Level 1

Level 2는 아래 Fig.7와 같이 지상장치와 차상장치의 연속적인 양방향 무선통신과 열차의 유무를 알려주는 불연속적인 정보전송을 통해 열차의 속도를 제어할 수 있다. 이것은 Level 1과 달리 발리스와 신호기가 아닌 GSM-R(국내 LTE-R) 무선 전송방식으로 열차의 속도를 제어하는 것이다.

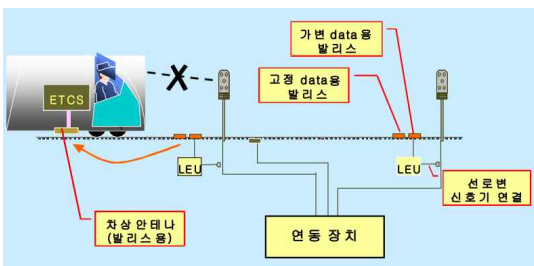


Fig. 7 Operating principle of ETCS Level 2

Level 3은 완전한 ATC 기능을 갖추면서, 연속적인 속도제어를 실행한다. Level 3의 가장 큰 특징은 Level 1과 Level 2는 고정폐색 방식을 사용하지만 Level 3은 이동폐색방식은 사용한다. 따라서 신호시스템이 모두 무선방식에 의해 구현되면서 기존선 및 고속선에 운행에 있어 가장 최적의 안전성을 제공해주며 최소 비용으로 운영 및 유지보수를

실행할 수 있다. 아래 Fig.8는 ETCS Level 3의 동작원리이다.

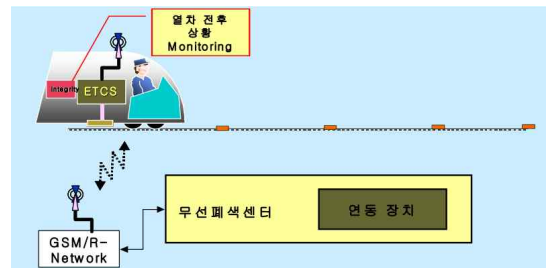


Fig. 8 Operating principle of ETCS Level 3

2.4.2 중국 고속철 열차제어시스템(CTCS : Chinese Train Control System)

중국의 고속철도 열차제어시스템은 초기에는 중국 고유의 열차제어시스템이 아닌 국외 열차제어시스템을 도입하여 운행하였다. 그러나 최근에 CTCS라는 중국 고유의 열차제어시스템을 개발하고 마련하였으며 순차적으로 CTCS의 적용을 확대해 나아가고 있다. 중국의 열차제어시스템인 CTCS는 유럽의 ETCS를 체계적으로 분석하고 검토하며 현재 적용하고 있는 열차제어시스템, 향후 적용 예정인 열차제어시스템 및 중국 철도망에 적용하기 위한 GSM-R시스템을 고려하여 적용 레벨을 ETCS와 유사하게 Level 0에서 Level 4로 분류하였다. CTCS와 ETCS의 차이점은 ETCS에서는 Level 0을 ETCS가 설비가 설치되지 않은 것으로 보지만 CTCS는 Level 0과 Level 1로 분류하였다. 이는 유럽은 대부분 여러 가지의 차상 신호체계로 열차를 운행 하지만 중국은 현재 신호등에 의한 지상 신호체계와 차상 신호체계를 함께 적용하여 운행하기에 이를 분리하기 위해 지상 신호체계를 Level 0으로, 차상 신호체계를 Level 1로 분류하였다. 또한 ETCS Level 1은 열차를 검지하는 궤도회로와 열차운행에 관한 사항은 주로 발리스를 이용하나 중국의 CTCS Level 2는 열차 검지와 정보전송은 궤도회로에서 하고, 발리스는 단지 선로변 환경 정보만을 전송한다. 그리고 CTCS Level 3와 Level 4는 각각 ETCS Level 2와 Level 3와 동일한 개념이다. 아래의 Table 4은 CTCS와 ETCS Level을 비교해 보았다.

Table 4 Comparison of CTCS and ETCS Level

CTCS		ETCS	
Level 0	궤도회로 (열차검지) + 지상신호	Level 0	궤도회로 또는 차측계수기 (열차검지) + 차상신호 (or 지상신호)
Level 1	기존 궤도회로 + 차상신호		
Level 2	궤도회로 (열차운행정보) + 발리스 (선로변 정보) + 고정폐색	Level 1	궤도회로 또는 차측계수기 (열차검지) + 발리스 (열차운행정보 및 선로변 정보) + 고정폐색
Level 3	궤도회로 (열차검지) + 발리스 (선로변 정보) + GSM-R (열차이동권한) + 고정폐색	Level 2	궤도회로 또는 차측계수기 (열차검지) + 발리스 (열차운행정보 및 선로변 정보) + GSM-R (열차이동권한) + 고정 폐색
Level 4	발리스 (선로변 정보) + GSM-R + 이동폐색	Level 3	발리스 (선로변 정보) + GSM-R + 이동폐색

2.5 철도신호의 정책방향

일반 및 고속선에서는 미국을 제외한 거의 모든 나라가 ETCS의 표준사양을 채택하여 하나가 되어 가고 있다. 국내에서는 2004년 이후 프랑스로부터의 기술이전을 통해 가장 진보된 자동열차제어시스템의 기술을 습득하였다. 또한 지하철에는 한국형 무선통신 기반 열차제어시스템인 KRTCS1(KRTCS : Korean Radio Based Train Control System)을 개발하여 상용화 되었으며 한국철도표준규격으로 제정되었다. 일반선 및 고속선에는 KRTCS2가 국제표준방식인 ETCS 레벨2를 기준으로 연구중으로 호남고속선에서 시험 중에 있다. 국내의 발달된 IT 및 통신기술은 열차운행 관제설비와 같은 부분에서 선진국과 동등한 기술을 축적하였으며, 선로변에 설치되는 많은

단품 개념의 기술개발은 선진국에 근접한 기술을 확보하였지만, 이는 단지 운영, 유지보수에 필요한 단편적이고 소모적인 부품 개념의 기술이 대부분이었다. 즉 아직까지도 우리나라 철도신호는 운행의 핵심인 간격제어 및 속도제어에 대한 신뢰성의 문제를 지니고 있으며 안전성, 운영 효율성의 문제로 인해 해외기술을 도입하는 추세다. 해외기술의 유입은 국내시장의 축소로 이어지고, 이는 개발투자자들의 국내기술에 대한 투자가 감퇴되며, 투자의 감소가 국내 기술력의 성장을 저지하고 다시 선진국의 기술을 도입하는 문제가 문제를 불러오는 상황에 놓여있다. 이런 것들을 해결하기 위해서 먼저 개발투자자들의 적극적인 지지로 국내철도 신호산업의 경쟁력을 키워 나가야 한다. 이후 국내철도 산업이 발전하면서 시장의 규모가 늘어나게 되면 국내철도시장에서는 안전성 및 효율성을 강화할 수 있는 기술을 연구하고 개발하며 해외기술과 맞설 수 있는, 더 나아가서 앞서는 기술을 가져야 한다. 따라서 향후 연구과제는 일반 및 고속선 그리고 지하철에서 상호 운영할 수 있는 시스템에 대한 해결책을 모색해야 하며, 일반 및 고속선에서 무인 자동운전 ATO의 개발과 모든 역사에서 복잡하게 얽혀있는 각종 철도신호시스템에 대한 표준화가 필요하다.

3. 결 론

3.1 새로운 기술을 접목시킨 철도신호 시스템의 개발

21세기의 철도는 빠른 속도, 안전성, 대량수송성, 친환경성을 바탕으로 일상생활 속에 없어서는 안 될 교통수단으로 발전해왔으며, 앞서 언급한 바와 같이 철도신호시스템은 열차운행에 있어 필수적인 요소이다. 국내의 철도신호시스템은 수신호에서부터 이동폐색 방식까지 발전했으나 주로 해외의 철도신호시스템을 들여와 사용했다. 때문에 우리나라도 철도신호시스템을 독자적으로 연구 및 개발하여 사용할 필요가 있다. 우리는 현재 4차 산업혁명이라는 새로운 시대에 직면하고 있으며, 4차산업 혁명에 철도신호시스템에

직접적으로 접목시킬 수 있는 주요 기술은 IoT(사물인터넷), 5G(5세대 이동통신), AI(인공지능)으로 추릴 수 있다. 일반 및 고속선 그리고 지하철에서 상호 운영할 수 있는 시스템을 IoT를 기반으로 새로운 철도신호를 만들고 5G기술로 빠른 속도로 신호를 처리하고 AI로 과거의 신호자료와 여러 가지 경우의 수를 딥러닝 하여 정확하고 안전한 철도 시스템을 만드는 연구가 필요하다. 이러한 철도신호시스템을 만들어 국내를 넘어 IT강국으로서 해외 철도시장 신호분야의 최고가 될 수 있을 것이다.

3.2 남북의 철도신호시스템 통일화와 유라시아 철도 대비

최근 남북의 문화교류 성사, 남북정상회담 개최가 확정되면서 통일의 시대를 맞아 새로운 도약의 기회를 맞이하고 있다. 앞으로 통일이 될 한반도를 위해서 현재 낙후되어있는 북한 철도시설을 전반적으로 재정비하고 우리나라의 최신식 철도시스템 적용이 필요하다. 또한 남북한과 유라시아 대륙에 속해있는 나라들의 철도신호시스템의 표준화도 필요하다. 이러한 전반적인 철도인프라가 구축되어 향후 대한민국은 유라시아 철도의 시발점 또는 종착점이 되어 활발한 국제 교류와 국가 경제에 큰 도움이 될 것이다.

참고문헌

- [1] Y. S. PARK (2018), The political directions of Korean Railway Signal, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport
- [2] J. S. Park, S. O. Lee (2012), Comparative study of regulation block system among operating companies according to signaling railway system, Railway Journal of the Korean Society for Railway, 16(2), pp. 45-50.
- [3] G. H. Hwang, G. Y. Lee, Y. H. Kim, G. S. Lee (2017), Standardization Study of Conventional and High speed railway Signaling System, Spring Conference Journal of the Korean Society for Railway, pp.516-521
- [4] G. S. Lee (2017), The development and standardization of Railway Signal, Railway Journal of the Korean Society for Railway, 20(4), pp. 33-38.
- [5] Y. H. Kho (2015), Development and understanding of the train controlling system, Railway Journal of the Korean Society for Railway, 18(3), pp.39-41
- [6] S. G. Kim, J. W. Cho (2013), Introduction of Unmanned Operation and Improvement Direction According to the change of the Urban Railway signal system, Spring Conference Journal of the Korean Society for Railway, pp.1458-1465
- [7] B. S. Han, J. Y. Pakr, J. H. Choi (2017), Railway Signal, Dongil, Seoul, pp. 385-387
- [8] D. S. Kim (2010), A Study on the technical trend of overseas High Speed Railway and the developmental direction of Korean High-speed Railway, Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, pp. 157-161
- [9] J. S. Lee, H. S. Jo (2011), A Study on The improvement of urban railway signal system and operational efficiency, Korean Society of Transportation, pp. 19
- [10] H. S. Yun, G. J. Jeon, D. I. Sung, K. S. Lee, et al. (2017), Train Control System International Standardization Trends & Globalization of KRTCS for Conventional/High speed railway, Spring Conference Journal of the Korean Society for Railway, pp.21-27
- [11] G. Y. Song, J. S. Choi, S. Y. Heo (2012), Types and functions of block-system, Korea Rail Network Authority, pp.8