

호남고속철도 기존선 구간의 지상신호시스템 고속화 설계시공 및 검증 Construction and verification of ATP system high-speed design for existing of Honam high-speed line

유향복*[†], 최태수*, 전광주*, 양표욱*, 박준우*, 김학현*

Hyang-Bok Ryoo*[†], Tae-Su Choi*, Kwang-Joo Jeon*, Pyo-Wook Yang, Joon-Woo Park*, Hak-Hyun Kim*

초 록 호남고속철도의 경제적인 건설을 위하여 전체 77.6km 중 광주송정~고막원간 26.4km의 기존선을 고속화하는 방안으로 기본계획이 변경되었다. 이 구간은 이미 ATP 열차제어시스템이 설치되어 운영되는 노선으로 모든 열차가 160km/h로 운행되고 있다. 사업의 효과 극대화를 위하여 기존선 구간의 속도향상 필요성이 대두되었고 우리나라 최초로 운행선에서 ATP 시스템을 230km/h로 고속화하는 사업이 추진되었다. 본 논문에서는 기존선 구간에서 열차제어시스템을 고속화 한 설계시공 사례와 본 시스템의 안전성을 입증하는 시설물검증시험을 알아보고 향후 다른 노선에서 고속화하는 사업에 활용 요건을 제시하고자 한다.

주요어 : 열차제어시스템, 열차자동방호장치, 차상신호방식

1. 배경

열차제어시스템(ATP)의 고속화 개량은 철도의 고속·고밀도 운영을 대비하여 호남고속철도 2단계(광주송정~고막원)의 열차 운전 체계를 차상신호방식(ATP : Automatic Train Protection)으로 구축함으로써 열차의 안전 및 운행 효율을 향상시키고 개량 및 유지보수 비용을 절감하여 철도 경영개선 및 향후 국가적인 철도기술 인프라의 확충을 도모하고자 하는 배경이 있다.

본 논문의 범위는 호남고속철도 2단계 광주송정~고막원간에 대하여 ERIMS/ETCS Level 1 ATP시스템 지상설비를 구축한 사례이다. 사업구간의 열차운행 효율을 높이기 위해 ERIMS/ETCS Level 1을 기초로 시스템 설계, 소프트웨어(텔레그램 포함), 실시설계 검증, 제작, 납품, 설치, 시공, 시험 및 시운전, 유지보수 지원과 교육훈련 등을 포함한 시스템을 설치하였다.

열차제어시스템 지상설비는 철도운영자가 운행하는 열차제어시스템 차상설비가 탑재된 열차와 상호운전(Interoperability)이 가능하도록 구축하였다. 이 사업은 우리나라에서 최초로 기존 160km/h인 ATP 구간을 5현시 자동폐쇄제어장치와 연계된 시스템으로 구축하여 광주송정~고막원간 26.4km를 230km/h로 속도를 향상시키는 사례이다.[1] 이 사업을 계기로 향후 기존선 구간의 ATP 방식에서 증속하는 시스템으로 개량시 필요한 기술적 요건 및 시설물검증시험의 방법들을 제시하고자 한다.

2. 열차제어시스템(ATP) 고속화 설계

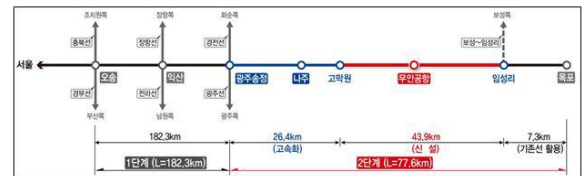
2.1 ATP 고속화 설계

[†] 교신저자: 한국철도시설공단 호남본부 (ryoohb@kr.or.kr)

* 한국철도시설공단 호남본부

2.1.1 사업약도

호남고속철도 2단계 사업은 광주송정~임성리간 77.6km 중 [그림1]과 같이 광주송정~고막원간 26.4km를 230km/h로 고속화하는 사업이다.

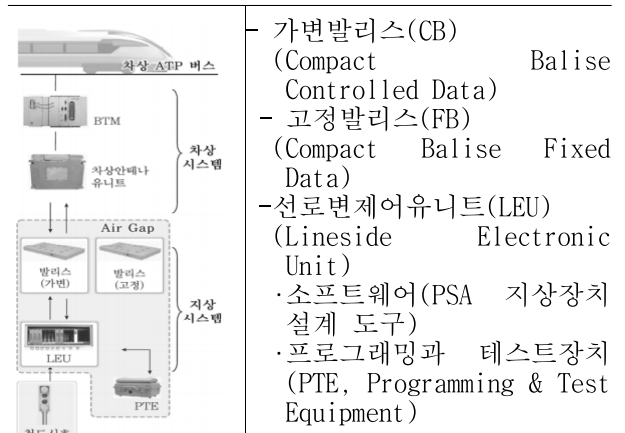


[그림 1. 광주송정~고막원 고속화 사업구간 약도]

2.1.2 고속화구간 ATP 설계

1) 시스템의 범위 및 구성

ERIMS/ETCS SRS 2.3.0d Class 1에 따라 구현하는 열차제어시스템(ATP)은 차상시스템과 지상시스템으로 구분된다. 열차제어시스템의 범위는 열차제어시스템(ATP)의 지상시스템이며[그림2], 지상장치와 소프트웨어, 프로그래밍 및 테스트 장비로 구성된다.

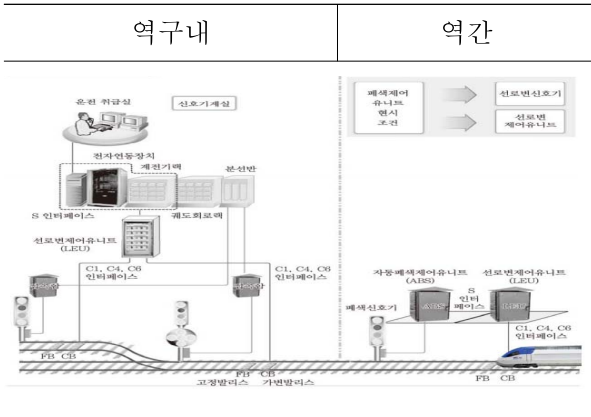


[그림 2. 지상 열차제어시스템]

2) 지상설비 시스템의 성능 및 기능

ERTMS/ETCS의 차상신호(ATP) 지상시스템인 선로 변제어유니트(LEU)와 발리스(CB, FB)는 국내 여러 노선에 설치되어 안전성과 신뢰성을 검증 받은 시스템이다. 광주송정~고막원간 설치된 시스템은 ERTMS/ETCS SRS 2.3.0d Class 1규격에 완전히 만족하며 특히 발리스는 호환성 및 각종 규격 시험(CEDEX Test)을 거쳐 상업운행 구간에서 검증되었다.

지상장비 엔지니어링 프로세서(AWEP) 활동을 통해 구축된 지상설비 데이터를 지상장치에 프로그래밍하고 차상장치와 인터페이스 함으로써 ATP 시스템이 구현된다. 지상 장치에서의 기능은 신호기의 정보 감시, 속도제한 감시, 건널목 관련 감시, 경보장치 감시, 보조 메시지 감시를 구현하며, 이러한 기능에서 생성되는 정보를 차상장치와 인터페이스 한다.



[그림 3. 현장 시스템 구성도]

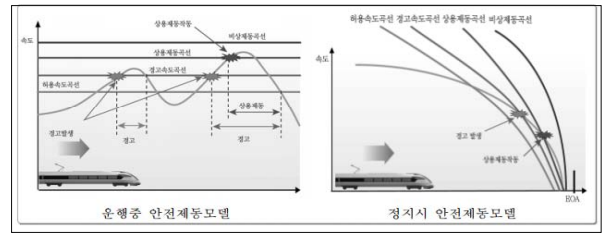
시스템은 [그림3]과 같이 역구내와 역간으로 구분되어 설비가 설치된다.

3) 안전제동모듈의 적용

안전 제동 모듈이란 열차가 선로 조건이나 입력된 열차 정보에 의하여 안전에 위배된 상황 발생 시 안전하게 열차의 속도를 자동으로 제어하는 것이다.

열차제어시스템(ATP)은 선로의 발리스에서 수신된 정적속도프로파일(SSP), 구배 프로파일(GP) 등과 입력된 열차 정보로부터 열차 안전 운행의 기준이 되는 동적속도프로파일(DSP)을 계산하고, 이로부터 4개의 속도 프로파일을 생성한다. 열차제어시스템(ATP)은 이러한 속도선도와 타코미터에서 측정된 열차 속도를 실시간으로 비교하면서 필요한 안전조치를 자동으로 실행하는 안전제동모듈을 구현한다.

열차 운행 중 열차제어시스템(ATP)은 안전제동모듈을 적용한다. 즉, 열차운행 속도와 4개의 속도프로파일을 실시간으로 비교하며 운행된다. 비교 결과 허용속도를 초과 할 경우 기관사에게 경고, 상용제동, 비상제동을 순차적으로 적용한다. 이러한 안전제동 모듈을 적용함으로써 열차자동제어기능으로 안전한 열차의 운행을 보장한다.[그림 4]



[그림 4. 안전제동모듈]

4) 시스템 특성

-선로변제어유니트(LEU)

선로변제어유니트(LEU)는 신호입력보드인 디지털 입력보드(6)와 발리스의 정보전송을 위한 발리스 드라이버보드(4), 시스템에 전원을 공급하는 전원보드(1), 그리고 LEU기능 및 고장을 감시하는 LEU감시보드(1)로 구성되며, 확장성, 유지보수성, 구성의 유연성에 대한 특징이 있다.

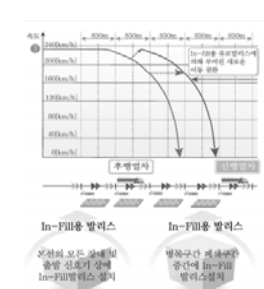
-발리스

- 축소형(Compact Type)으로 휴대가 편리하고, 짐 목에 설치하기가 편리
- 선로변 제어장치와 연결하기 위한 케이블을 내장하고 서로 다른 설치 현장 조건에 대응하기 위해 12개의 설치용 구멍을 가지고 있어 설치 및 유지보수의 편리성 제공
- ERTMS/ETCS 발리스 규격 표준의 기초가 되므로 향후 시스템을 업그레이드(ERTMS/ETCS 2&3)시 우수한 호환성 제공
- 높은 응동 특성을 갖고 있으므로 향후 열차속도를 500 km/h까지 향상 가능

5) 하드웨어 구성

열차 운행의 안전성 확보를 위하여 운행선에서의 시스템 구축에 적합한 최적의 설계와 시공을 하였다.

- 안전측 동작(Fail-Safe) 설계 : 장비의 이상으로 이상 데이터가 차상컴퓨터로 전달되어 착오를 일으키지 않도록 하는 Fail-Safe 적용
- 텔레그램 분할 생성 및 전송 설계 : 텔레그램 전송 영역을 4개로 분할, 생성 및 전송하여 SIL 4의 신뢰성과 안전성 확보
- 선로용량 극대화를 위한 최적 설계



[그림5. In-Fill 발리스 설치개요도]

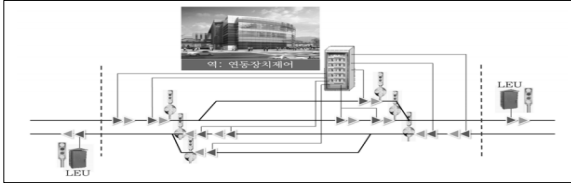
- 외부장치 최소변경을 보장하는 유연한 인터페이스 구성을 위하여 LEU의 신호입력보드와 발리스 드라이버 보드의 모듈화 설계로 다양한 장소에 설치 가능(역구내 및 폐색구간 설치에 최적화), 발리스와 LEU 간 장거리(3Km) 설치 가능으로 LEU의 역구내 집중설치
- 전자파 간섭 및 전기손실 최소화 : 전자파적합

성(EMC) 시험 통한 전자파에 대한 내구성 및 영향성 검증, 저전압 설계제품(LEU) 적용으로 주변장치 전력소비 극소화

6) 소프트웨어 구성

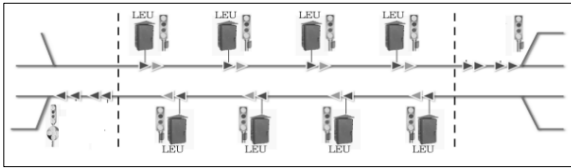
지상 엔지니어링 전문 도구를 통한 안전한 데이터 설계를 위하여 AWEP 프로세스 모델을 적용하였다.

- ERTMS/ETCS Level 1을 위한 Work-Flow 방식 구성형상 엔지니어링 보장
- 지상 엔지니어링 과정에서 효율성/신뢰성을 보장하는 소프트웨어 도구(INFRA, PSA)과 설치/시험/보수용 도구(PTE) 지원
- 선로의 지상장치 구성



[그림6. 역 구내 LEU 통합구성도]

역 구내 LEU의 통합구성은 역 구내 선로에 발리스만 설치하고 LEU는 역의 신호기계실에 통합 설치하여 분산 구성에 비해 설치 비용 및 유지 보수 비용을 최소화 하도록 설치하였다.[그림 6]

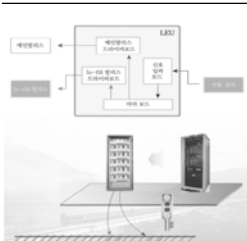


[그림7. 역간 LEU 통합구성도]

폐색 구간의 발리스, 신호기, LEU는 선로변에 위치하고, 각각의 LEU에서 각각의 발리스를 제어한다.

-열차제어시스템(ATP)의 논리적 구성은 역 및 선로에 설치하는 지상장치 소프트웨어들로 구성된다.

7) 네트워크 구성

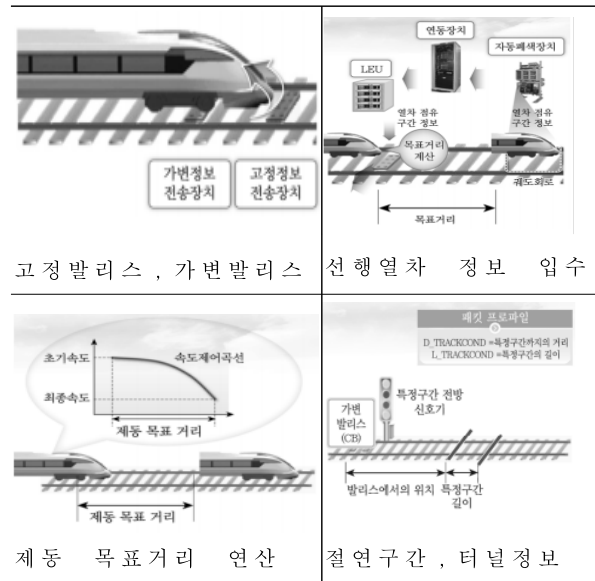


차상신호(ATP) 시스템의 네트워크 구성은역 및 선로에 구현되는 지상 장치들의 네트워크로 구성되어 있다. 지상장치들간은 LEU를 중심으로 연동장치에서 열차 운행정보를 받아 발리스로 전송한다

[그림8. 네트워크 구성]

8) 운전정보 처리

-발리스는 고정발리스와 가변발리스로 구성되며, 고정적인 정보는 지리적 정보, 전차선 절연구간 등으로 구성된다. 시간에 따라 변하지 않는 불변정보는 고정발리스(FB)를 통해 차상장치로 전송되며 고정발리스에 해당 ERTMS 텔레그램을 프로그래밍하면 열차 운행시 차상 안테나 유니트에서 이를 수신하여 선로방향정보를 계산한다



[그림9. 운전정보 처리도]

-선행열차 정보 수신 및 차상에서 이동권한 부여하며 기존 자동폐색제어장치가 열차가 선로상의 궤도회로를 통과할 때 열차 점유 구간 정보를 검지한다. 열차 점유 정보는 연동장치를 통해 신호기 정보로 전환하고 신호기 정보는 선로변제어유니트의 신호방식을 통해 신호 현시의 조건에 따라 구성된 가변정보 텔레그램을 가변발리스(CB)로 전송한다.

가변발리스로부터 차상장치는 선행 열차 점유구간 및 이동권한(허용된 거리, 속도) 정보를 수신하여 운행속도를 계산하고 운전자에게 MMI표시장치를 통해 현시하는 방식으로 운행하게 된다.

-선행열차와 후행열차간 운행

Distance To Go 개념 및 운전거리 차상 계산은 기존 신호시스템과 다르게 차상신호(ATP) 시스템은 차상거리연산 방식(Distance To Go)으로 운행한다. Distance To Go는 열차와 선로의 정보를 바탕으로 제동목표거리를 계산하여 속도제어곡선을 제공하며 이를 바탕으로 열차 운행속도가 향상되고 선행 열차와 후속 열차간의 열차 운행간격을 단축하게 되며 선로용량을 확대하는 개선 효과가 있다.

-절연구간 및 터널정보의 처리는 신호기용 발리스에 절연구간 및 터널정보가 포함된 텔레그램을 설치한다. 열차는 해당 정보를 수신하여 열차제어에 필요한 정보로 사용한다

9) 환경 요구조건의 상호간선 배제

전자파 적합성(EMC)란 주위 환경 및 기기에 대해 전자파 장애를 일으키지 않고, 주위의 전자파 환경에서도 안전하게 작동할 수 있는 장치의 능력으로 정의되며, 전자파 장애방지기준(EMI)와 전자파 내성기준(EMS)으로 이루어져 있다. 본 구간에 설치한 시스템의 전자파 적합성(EMC)은 CENELEC 표준의 EN50121을 충족시키며, 국내에서 제작된 설비들도 국제규격의 시험 및 인증을 거쳐 검증된 설비들이다.

2.2 성능검증 방법

철도시설의 성능검증은 건설중에 자체적으로 시행하는 것과 종합시험운행 중 시설물검증시험에서 시행하는 방법이 있다.

1) 정적시험

정적시험은 ATP 시스템이 완전하게 설치된 상태에서 PTE-2000 장비를 지상 발리스의 상부에 거치하여 CRC(Cyclic Redundancy Check)값을 측정하여 정상 여부를 검증한다.



[그림10. 정적시험 구성도]

2) 동적시험

동적시험은 ATP 차상설비가 장착된 동력차를 운행하면서 지상 발리스에서 전송하는 속도값을 차상 MMI에서 정상적으로 표시하는지를 검증한다. 이 시험과정은 열차가 진행중인 전방 궤도의 단락 위치에 따라 MMI에 진행속도를 현시하게 된다.

3) 최고운행속도시험

광주송정~고막원간 최고운행속도를 230km/h로 설계하였으므로 KTX가 지상 발리스의 전송 속도에 따라 최고속도까지 운행하고 구간내 선로정보에 따른 제한속도로 발리스의 전송속도에 따라 운행하는 것을 검증한다.

4) 서행발리스 시험

본 구간은 운행선으로서 주간에는 160km/h의 영업운전을 하고, 야간에는 230km/h의 증속시험을 하여야 하는 조건으로 지상 발리스의 텔레그램 수정이 빈번하게 발생하게 된다. 그러나 이러한 시험 조건은 많은 인력과 비용의 낭비 및 시험기간 내 매일 진행되는 텔레그램 수정으로 열차안전운행에 위험요인이 발생할 수 있다. 그래서 광주송정~고막원간에 상/하선 4개소에 서행발리스를 설치하여 주간 영업시간에는 160km/h까지만 MMI에 속도를 표시하도록 하였다.

2.3 성능검증 결과

광주송정~고막원 구간의 ATP 열차제어시스템은 자체적으로 정적시험과 동적시험을 시행하여 설계시 목표값의 현시를 확인하였고, 시설물성능 검증시험에서는 증속 전 서행발리스의 기능을 검증하였고 이후 각종 차량의 운행으로 증속 과정에서의 성능을 검증하였다

1) 서행발리스 시험

증속시험 전 서행발리스의 기능 검증을 우선 시행하였고, 정상 동작상태를 확인하였다.

-광주송정~나주간 하선 186k403, 200k803, 상선 200k815

-고막원~함평간 상선 213k999

-광주송정~고막원 속도제한 160km/h 이하, 사용 개시(2019.03.19,05:10 ~ 고속화 개통전)

2) 정적시험

북송정~함평간 신호기 74기, LEU 50개, 발리스 274개(CB137, FB137)의 설비에 대하여 발리스로부터 송신되는 ATP 메시지가 설계값에 적합함을 검증하였다.

3) 동적시험

광주송정~고막원간 전체 진로에 대하여 ATP 차상설비가 장착된 디젤기관차를 이용 속도코드에 대하여 검증하고 폐색신호기의 신호현시와 일치하여 표시함을 확인하였다.

4 최고운행속도시험

시설물검증시험에서는 ATP기능시험 중 서행발리스 동작시험 및 신호 계열시험(정방향, 역방향)과 ATP의 기능시험(발리스 링킹, 현시별 적합성, 지리적 정보 적합성)을 시행하였으며, 전구간 적합함을 확인하였다. 각 시험은 정방향과 역방향으로 분리하여 시험이 진행되었고 모든 조건은 적합하였다.

- 기간 : 2019. 3.19~ 4.19

- 항목

·ATP기능(링킹, 동적, MMI확인, 이동권한, 정지목표 확인 및 정지)

·선로 정보에 의한 최고속도, 곡선제한속도, 분기속도

·터널경보장치, 절연구간

3. 결론

국내에서 처음으로 추진된 ATP 열차제어시스템 구간의 증속을 위한 시스템 개량이 위에서 알아본 바와 같이 기존선에 최적화 된 설계와 시공으로 성공적인 성능검증까지 완료하였다. 향후 기존선 구간에서의 설계와 성능검증 방법에 활용되어 안전한 철도시설을 구축하는데 기여하리라 판단한다.

참고문헌

- [1] 한국철도시설공단(2017), 호남고속철도 2단계 광주송정~고막원간 열차제어시스템(ATP) 제조 설치 시스템 설계서
- [2] 한국철도시설공단(2012), KR S 01010 신호제어 설비 계획
- [3] 한국철도시설공단(2016) KR S 01030 신호제어설비 일반조건
- [4] 한국철도시설공단(2018) KR S 07040 열차자동방호장치(ATP)
- [5] 한국철도시설공단(2017) KR SD S 07040 열차자동방호장치(ATP)
- [6] 한국철도시설공단(2014) KRS-SG-0067-14-R 지상신호제어설비 시험방법
- [7] 한국철도시설공단(2017) A-4001-R1 ATP지상장치
- [8] 한국철도시설공단(2019) 호남고속2단계 광주송정~고막원 종합시험운행시행계획(방침)