

기존 고속선에서 고속열차 최고속도시험을 위한 신호분야검토

이재호*, 신덕호*, 이강미*
한국철도기술연구원*

A Review on signaling Control system for new high speed train test at the existing high speed line

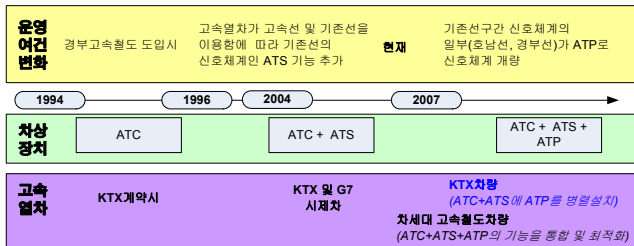
Jae-Ho Lee*, Ducko Shin*, Kang-Mi Lee*
Korean Railroad Research Institute*

Abstract - 차세대 한국형 고속열차는 분산형 시스템으로 최고속도 400km/h, 운행속도 350km/h를 목표로 개발중에 있다. 차세대 고속열차의 신호시스템은 기존선의 자동열차정지(ATC, Automatic Train Stop) 및 자동열차보호(ATP, Automatic Train Protection)와 고속선의 자동열차제어(ATC, Automatic Train Control) 신호방식을 모두 사용하는 ATP+ATS+ATC 형태의 차상장치가 개발 설치될 예정이다. 따라서 이러한 장치의 개발과 연계하여 차세대 한국형 고속열차는 기존 경부고속선에서 시험주행을 할 예정이다. 따라서 기존 경부고속선에서 차세대 고속열차의 최고 속도시험을 위한 신호분야의 방안을 검토하고자 한다. 본 논문에서는 3가지의 방안을 제시하여 적합성과 운영효율성을 고려하여 최적의 방안을 도출하는 방식으로 전개할 예정이다.

1. 서 론

한국의 차세대 한국형 고속열차(HEMU-400X)개발은 국토해양부 주관으로 영업속도 350km/h급(시험최고속도 400km/h)열차개발을 위해 2005년부터 기획되어 2007년 차세대고속철도기술개발사업으로 시작되었다[1].

차세대 고속열차가 운행하는 구간의 신호체계는 자동열차정지장치(ATC, Automatic Train Stop), 자동열차제어장치(ATC, Automatic Train Control), 차상신호장치(ATP, Automatic Train Protection)가 설치된 고속선과 기존선을 모두 포함한다. ATS는 과거 기존선의 거의 모든 구간에 설치되어 있으며 최근 ATP로 개량사업이 추진되고 있으며, ATC는 현재 광명-동대구 구간의 고속선 1단계 신호방식이며, 동대구-부산구간 2단계에도 동일한 열차제어시스템이 설치될 계획이다[2]. 고속열차와 관련된 국내 열차제어시스템의 변화과정은 그림1과 같다.



〈그림 1〉 고속열차의 열차제어시스템 진화 개요도

따라서, 차세대 한국형 고속열차는 ATP구간, ATC구간, ATS구간을 모두 운행할 수 있도록 개발되고 있으며, 본 논문에서는 3종의 신호방식을 모두 수용하는 ATP+ATC+ATS 통합형 열차제어시스템의 개발현황 및 최고속도 400km/h의 시험을 기존 고속선에서 실시하기 위한 방안을 제안한다.

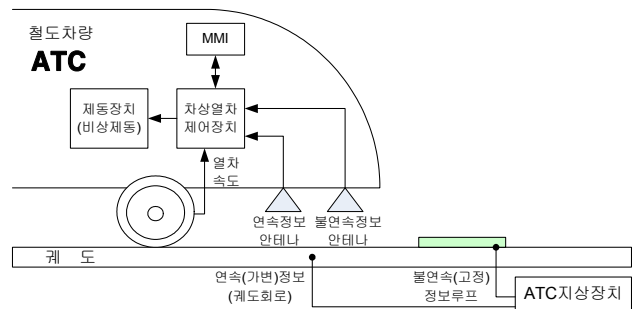
2. 본 론

2.1 차세대 한국형 고속열차 신호시스템 개발현황

국내 고속선에 설치된 ATC는 Ansaldo(Ex-CSEE)의 TVM 모델로써 그림2와 같이 구성된다. 그림2에서 ATC는 지리적정보(구배, 터널, 교량 등), 기후정보, 차축과열, 절체구간 등의 정보와 약 1.5km간격으로 분할된 폐색에서 선행열차 위치에 따른 제한속도정보를 지상에서 차상으로 전송한다.

ATC차상장치는 지상으로부터의 연속정보와 불연속정보를 통해 수신된 다음, 진입구간 제한속도정보와 열차운행속도를 계산하여 제동커브를

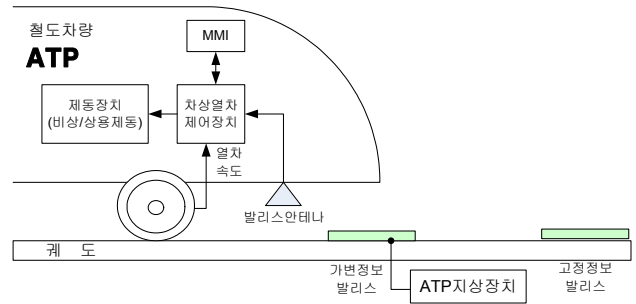
산출하고 열차의 과속발생시 비상제동을 개입시켜 열차안전을 확보한다.



〈그림 2〉 ATC장치 개념도

ATP(Level 1)장치는 기존 ATS장치의 단점인 무응동 검지불능 등의 안전확보와 열차운영효율을 목적으로 도입되었으며, 그림3과 같이 폐색구간내 제한속도에 대한 과속방지를 위한 ATS장치와는 달리 지리적 정보에 따른 제한속도와 선행열차 위치에 따른 이동권한을 지상에서 차상으로 발리스를 통해 전송한다.

ATP차상장치는 자상의 가변정보발리스와 고정정보발리스에 의해 수신된 정정속도프로파일관련 정보와 동적속도프로파일관련 정보에 따라 열차의 제동패턴을 생성하고, 제한속도 초과여부에 따라 상용제동 및 비상제동을 개입시켜 열차안전을 확보한다.



〈그림 3〉 ATP장치 개념도

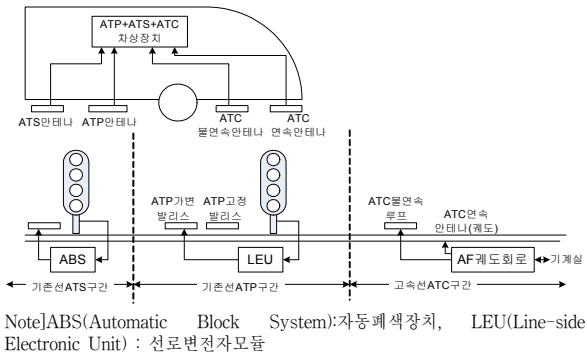
이상에서 기술한 바와 같이 ATS, ATC, ATP장치는 모두 열차를 과속으로부터 안전하게 보호하기 위하여 지상과 차상의 송수신방법, 정보의 내용, 제동간섭 등의 장치특성에 따라 분석하면 표1과 같다.

〈표 1〉 ATS, ATC, ATP장치의 기술적 비교분석

열차제어 방식	정보전송방법		정보내용		제동간섭	연산내용
	고정	가변	고정	가변		
ATS	지상자		제한속도		비상제동	현재속도와 제한속도 비교(수동)
ATC	케도(연속)	루프(불연속)	구배, 터널 등	제한속도	비상제동	현재속도와 제한속도 비교
ATP	발리스(불연속)	발리스(불연속)	구배, 터널 등	이동권한	비상/상용 제동	속도프로파일을 생성하여 현재속도와 비교

주의) ATP장치는 국내 설치된 사양인 ERTMS/ETCS Level 1 기준

따라서 ATP, ATC, ATS지상장치 구간을 모두 운행하기 위한 차세대 한국형 고속열차 차상신호시스템의 개념은 그림4와 같이 구성되어야 한다.



〈그림 4〉 차세대 한국형 고속열차 차상신호시스템

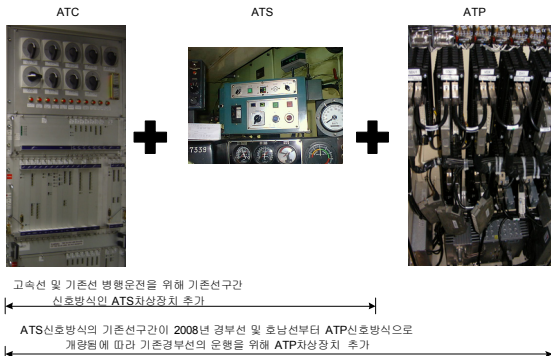
현재 KTX차량은 그림4와 같이 ATP, ATC, ATS구간을 모두 운행하도록 개조가 진행되고 있으며, 15호차에 대해서는 그림5와 같이 3종의 차상신호시스템이 설치되어 시운전까지 완료된 상태이다.



〈그림 5〉 KTX에 설치된 ATS/ATC/ATP장치 예

그림6은 KTX의 열차제어시스템 설치이력을 표현한 것이다. 1994년 초기 고속열차는 고속선에서만 운영되므로 차상신호시스템은 ATC차상장치만으로 설계되었다. 하지만 2004년 1단계 개통시 광명-동대구의 고속선을 제외한 서울-광명 및 동대구-부산 구간의 기존선 구간을 운영하기 위해 기존선의 신호방식인 ATS차상장치를 추가하게 되었다.

또한, 2004년부터 2008년 개통을 목표로 경부선 및 호남선을 포함한 기존구간에서 ATS시스템을 ATP시스템으로 개량하기 위한 사업이 시작되었다. 운행구간의 신호현상상태에 따른 제한속도만을 제공하는 ATS장치에 비하여 ERTMS/ETCS Level 1을 만족하는 ATP장치로의 개량은 진행되고 있다. 이 장치는 제한속도를 산출하는 정적 및 동적 속도프로파일을 입력받아 차상장치에서 열차의 특성을 고려하여 제공곡선을 생성하고, 속도프로파일의 초과가 발생하면 초과된 속도에 대한 열차정지위치를 역산하여 상용제동 또는 비상제동을 구분하여 개입하게 되었다. 따라서 신호시스템의 기능규모만을 기준으로 하면 ATC시스템에 규모가 작은 ATS장치를 추가한 후 가장 규모가 큰 ATP장치를 추가한 형태로써 열차방호를 목적으로 하는 3종의 신호시스템을 병렬로 설치하여 운행구간에 따라 절체하여 사용하고 있다.



〈그림 6〉 KTX 차상신호시스템의 설치 이력

KTX차량의 경우에는 영업운전에 지장을 최소화 하면서 차상신호시스템을 개량하기 위해 3종의 차상신호장치를 병렬로 설치하였으나, 이러한 중복설치는 차상신호시스템의 비용뿐만 아니라 중복으로 설치된 하드웨어의 수량이 증가함에 따라 고장률이 높아져 서비스에 지장을 주는 고장발생이 빈번하게 되고, 유지보수가 용이하지 않은 문제점을 발생하게 된다.

차세대 한국형 고속열차 신호시스템은 기존 KTX차량의 차상신호시스템의 문제점을 파악하여 하드웨어 및 소프트웨어적으로 최적화된 ATP+ATC+ATS장치의 통합시스템을 개발하는 것이다.

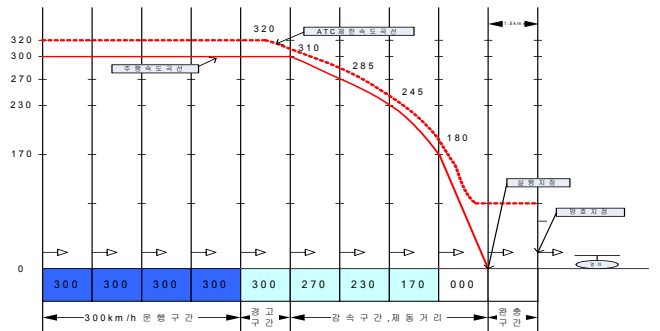
국외의 사례를 살펴보면 우리의 상황과 아주 유사한 내용을 발견할 수 있다. 유럽에서는 국가간 철도망의 효율적인 운영을 위해 신호시스템의 통합에 대한 의견이 개진되어 1990년대 중반에 ERTMS/ETCS라는 이름으로 시스템의 개발이 이루어지고 있으며, 또한 고속철도의 기존선 통과를 위해 프랑스에서는 TVM과 ERTMS/ETCS의 병행운전에 대한 연구 및 실험이 이루어지고 있다.[3,4]

2.2 최고속도시험

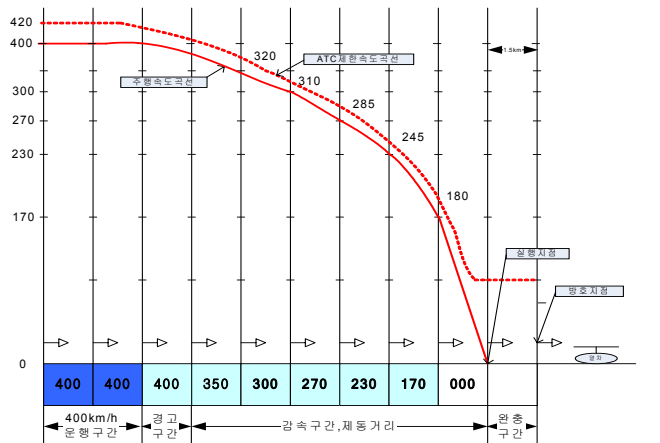
차세대 한국형 고속열차의 최고속도시험에 대한 신호분야의 시험목적은 그림7의 고속열차 차상장치 기능 중 400km/h 제한속도에 대한 기관사의 속도초과시 비상제동에 의해 열차를 과속으로부터 보호하는 ATC차상장치의 기능을 검증하는 것이다. 따라서 최고속도시험의 대상은 ATC 차상장치기능 중 제한속도 400km/h에 대한 방호를 범위로 한다.

2.2.1 최고속도시험 방안1

시험대상 ATC장치의 기능은 기존 고속선의 기능요구사항과 동일하므로 제한속도에 대한 제동패턴을 차상장치에서 생성하여 열차를 과속으로부터 보호해야 한다. 그림7은 최고속도 300km/h로 설정되어 있는 기존 고속선의 열차방호 패턴이며[5], 그림7은 400km/h 증속시험에 대한 가상의 열차방호 패턴이다.



〈그림 7〉 기존 고속선 ATC장치 신호방식(최고제한속도 300km/h)



[Note] 속도코드 350 및 400설정은 열차성능을 고려하지 않은 임의의 분할임.

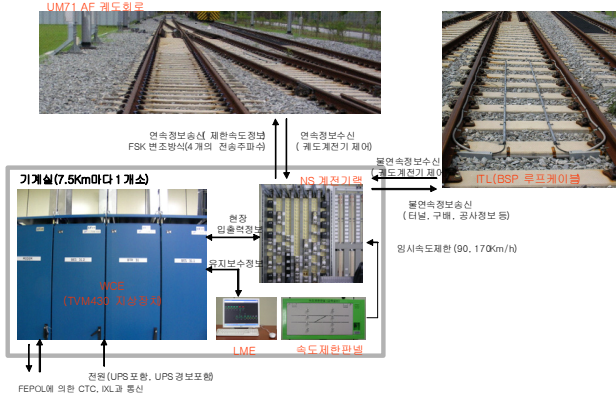
〈그림 8〉 시험을 위한 ATC장치 신호방식(최고제한속도 400km/h)

따라서, 최고속도시험을 통해 차세대 한국형 고속열차 ATC차상장치 기능을 검증하기 위해서는 그림8과 같이 ATC지상장치의 제한속도 연동패턴을 변경해야 하므로, 그림9와 같이 구성된 고속선 ATC지상장치의 레도회로별 속도코드생성 소프트웨어를 수정해야 한다.

ATC지상장치의 속도코드생성 소프트웨어의 수정은 그림9 WCE 소프트웨어를 제한속도 400km/h까지 확장되도록 변경하는 작업이다. WCE는 최대 6개의 레도회로를 운영할 수 있는 PC랙이 설치된 BES랙과 최

대 12대의 PC랙을 제어하는 BTR랙으로 구성된다. 따라서 기존 궤도회로의 최대제한속도 300km/h 코드를 400km/h까지 확장하기 위해 PC랙의 CSN카드의 소프트웨어를 수정해야 하며, 열차위치에 따른 제한속도의 연동을 수정하기 위해 BTR랙의 CUC, CCE카드의 소프트웨어가 수정되어야 한다.

WCE의 소프트웨어 수정은 기술적 구현가능성이 용이하지 않고, 소프트웨어 수정 후 기존 고속차량 ATC차상장치를 다시 시험하여 검증해야 하는 문제점이 발생한다.



〈그림 9〉 고속선 ATC지상장치 구성도

2.2.2 최고속도시험 방안2

기존 고속선의 지상인프라의 변경없이 즉, ATC지상장치의 제한속도를 변경하지 않고 제한속도 300km/h이상의 속도코드에 대해서는 ATC차상장치가 열차방호기능을 억제하도록 임시로 ATS+ATC+ATP차상장치의 소프트웨어를 수정하여 최고속도시험을 실시할 수 있다. 이러한 시험방안은 한국형 고속철도 350km/h 최고속도시험에서 이미 실시된 방법이다.

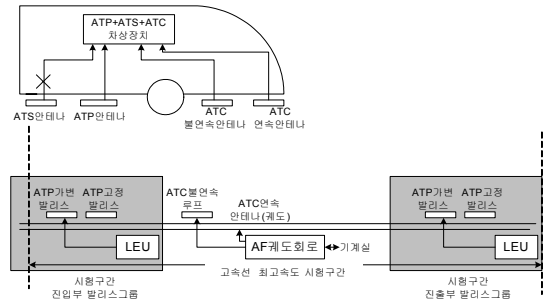
시험방안 2의 문제점은 400km/h의 최고속도시험동안 차세대 한국형 고속열차가 무신호상태가 되어 영업선에서 300km/h급의 기존 고속열차와 병행운전하는 경우에 선행열차와의 안전거리확보 및 선로이상열차의 안전한 제동이 용이하지 않다는 점이다. 또한, 임시로 방호기능을 억제하므로 차세대 고속열차의 ATP+ATS+ATC차상장치의 완전한 기능검증이 되지 않는다.

2.2.3 최고속도시험 방안3

시험방안 3은 시험방안 2와 동일하게 차상장치의 소프트웨어를 수정하여 시험을 실시하지만 최고속도 400km/h의 시험구간을 정의하여 일정구간에서만 제한속도 300km/h코드에 대한 방호를 억제하여 선행열차(영업선에서 시험을 하는 경우)와의 충돌을 억제하고, 제한속도 300km/h 미만에 대해서는 방호기능을 활성화하여 진행방향 선로이상 및 선행열차 비상제동에 대한 열차충돌 및 탈선확률을 안전한 수준으로 억제하는 방안이다. 또한, 제한속도코드에 대한 제한속도초과의 임시허용외에도 ATS+ATC+ATP차상장치가 최고속도 시험구간의 진입과 진출을 인식해야하는 기술문제가 발생할 수 있으며, 이러한 기술적 문제의 해결을 위해 지상에서 차상으로 전송하는 최고속도 시험구간 진출입 정보를 ATP지상장치를 활용하여 구현하는 방안을 그림10과 같이 제시한다.

ATS+ATC+ATP차상장치는 장치의 오동작 방지를 위해 그림10의 ATS안테나 입력차단과 같이 열차의 운행구간 신호방식에 대한 안테나만 입력을 허용하는 구조로 되어있다. 즉 고속선 ATC장치구간을 운영하는 경우 ATS장치와 ATP장치의 안테나는 입력이 억제되는 것이 정상상태이다. 하지만 차세대 한국형 고속열차의 최고속도시험을 위해 그림10과 같이 시험구간의 진출입부에 ATP지상장치를 설치하여 차세대 한국형 고속열차가 시험구간에서만 제한속도 300km/h에 대한 열차방호기능을 억제하면 차세대 고속열차의 최고속도시험이 가능해지며, 최고속도구간을 통과하는 기존의 고속열차는 고속선 진입부터 진출까지 ATP차상안테나 수신기능이 억제되므로 기존 고속열차의 영업에 지장을 주지 않는다.

또한 시험구간의 진출입부에 설치되는 발리스그룹을 기존선 ATP구간에 설치된 Bombardier사의 EBI Link 2000을 사용하면 해당 제품이 500km/h속도까지 정보전송이 검증되었으므로 기술적 구현가능성도 매우 높다.



〈그림 10〉 최고속도 시험을 위한 신호시스템 구성도

3. 결 론

현재까지의 차세대 한국형 고속열차 최고속도시험을 위한 신호분야 검토는 표2와 같이 3가지 시험방안을 제시하고 각 방안의 실시를 위한 선행작업과 검토결과를 도출하였다. 도출된 검토결과를 바탕으로 세부실행방안을 연구 중에 있으며, 기 도출된 방안 외에도 국외자료의 수집 및 분석을 통해 다방면의 시험시나리오를 개발하고 있다.

〈표 1〉 차세대 고속열차 최고속도시험을 위한 신호분야 검토결과

순번	시험방안	선행작업	검토결과
방안1	ATC지상장치에서 수신되는 제한속도를 400km/h 열차 운행에 맞도록 수정하여 시험.	고속선 지상WCE의 소프트웨어를 제한속도 400km/h에 맞도록 수정하여 교체. 차상ATC장치는 변경된 지상ATC연속정보(제한속도)의 400km/h까지의 속도코드 입력 가능하도록 수정.	차세대 고속열차ATC기능의 완전한 검증이 가능하지만, 고속선 지상WCE의 소프트웨어를 수정하는 것은 기존선과 2단계구간 모두 용이하지 않음.
방안2	ATC차상장치를 400km/h의 속도로 운행 가능하도록 수정하여 고속선 임의구간에서 시험.	ATC차상장치를 ATC지상장치의 제한속도 300km/h 이상에서는 방호하지 않도록 처리.	영업선열차와 시험열차가 병행운전을 하는 경우 시험열차가 300km/h 제한속도에 대한 방호가 불가하므로 선행열차에 대한 안전확보가 용이하지 않음.
방안3	ATC차상장치를 400km/h의 속도로 운행 가능하도록 수정하여 고속선 특정구간에서 시험.	미리 정의된 특정구간에서만 고속차량 운행시 ATC차상장치의 제한속도 300km/h 이상 방호기능을 억제.	특정구간에서만 제한속도 300km/h에 대한 방호를 억제하는 시험방법으로 가장 현실적이지만, 시험차량의 차상ATC장치가 특정구간을 인식하기 위한 별도의 설비 또는 절차가 요구됨.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국철도기술연구원, "차세대고속철도 기술개발사업(최고속도 400km 고속열차개발) 기획보고서, 2006. 5.
- [2] 김용규외, "고속선 열차제어시스템 성능 및 안전성 향상 방안", 한국철도기술. Vol.9, 2006.
- [3] Integrating ETCS Level 2 with TVM430 on TGV Est, Railway Gazette International, March 2006.
- [4] Guy Bouchard, Francois BINET, Sylvain LE DOARE, "L'exploitation et la conduite d'une ligne mixte TVM/RETMS", Revue Generale des Chemins de Fer, 2004.
- [5] 한국철도기술연구원, "고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발 최종연구보고서, 2007.