

틸팅열차 ATP 차상장치의 시운전시험 분석

백종현^{1*}

¹한국철도기술연구원

Analysis of Trial Test for ATP On-board Equipment of Tilting Train

Baek Jong Hyen^{1*}

¹Korea Railroad Research Institute,

요약 본 논문에서는 틸팅열차의 안전성 확보 및 운행효율 향상을 위해 “한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술개발” 연구과제의 한 분야로 추진된 ATP 차상장치의 시운전시험에 대한 내용 및 결과를 제시하고 있다. 기존선의 속도 향상과 KTX 비수혜지역의 여객 서비스 향상을 위해 틸팅열차를 개발하였으며 개발된 틸팅열차의 신뢰성 평가를 위해 기존에 사용되고 있는 ATS 장치에 의한 12만 km 주행 시운전 시험을 진행하였다. KTX가 운행되지 않는 지역인 중앙선 및 충북선을 비롯한 6개 기존 노선을 200km/h 이상으로 고속화하기로 하였으며, 이에 따라 열차제어시스템은 기존의 ATS 장치에서 ATP 장치로 개량하여야 한다. 따라서 틸팅열차에도 ATP 차상장치를 설치하여 운행 적합성을 확인하여야 하기 때문에 경부선 및 호남선 ATP 구축사업에 사용된 것과 동일한 ATP 차상장치를 틸팅열차에 설치하여 시운전 시험을 수행하였으며 설치된 ATP 차상장치의 기능 및 성능이 틸팅열차의 운행에 적합함을 확인하였다.

Abstract In this paper we describe contents and results on running test for ATP on-board equipment, which has propelled as one of the research projects, so called, "Reliability assessment and operation technology development for Korean-type tilting trains" in order to ensure the safety and operation efficiency of tilting trains. We developed tilting trains for the speed-up of conventional lines and for the passenger service improvement where the KTX is not available. And we made progress the operation trial test in the 120,000 km distance with the use of ATS equipment, used in existing lines, for the purpose of the reliability assessment of the developed tilting trains. We decided to accelerate the speed for more than 200km/h with respect to the 6 existing lines including Jungang-line and Chungbuk-line where KTX has not operated. According to this decision, Train control system is to be changed from ATS to ATP. We should have installed an ATP on-board unit in tilting trains and verified the operational suitability, therefore we installed the same ATP on-board unit on tilting trains as that used in the ATP construction project on Gyeongbu-line and Honam-line, and verified that the function and performance of the installed ATP on-board unit conformed to the tilting trains operation.

Key Words : ATS(Automatic Train Stop), ATP(Automatic Train Protection), Tilting Train, Trial Test

1. 서론

국내 기존선의 속도향상 및 고속철도 비수혜지역의 편리성 향상을 위한 목적으로 2001년부터 틸팅열차 개발 사업을 추진하였으며, 틸팅열차는 2007년 제작이 완료되

어, 실용성을 입증하기 위하여 현재까지 12만 km 주행 시운전 시험을 달성하였다[1].

틸팅열차의 제작 시에 기존의 자동열차정지장치(ATS)만을 장착하여 차량의 성능 확인을 위한 시험 및 시운전을 우선적으로 추진한 후, 차상신호(ATP) 장치 구축사업

본 논문은 국토해양부 “한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술개발” 연구과제로 수행되었음.

*교신저자: 백종현(jhbaek@krrri.re.kr)

접수일 10년 08월 04일

수정일 (1차 10년 08월 31일, 2차 10년 09월 10일)

게재확정일 10년 10월 15일

에 적용된 Bombardier Transport사의 ETCS ATP 장치에 대한 성능 시험이 우선 설치 구간 시험에서 완료되면 동일한 장치를 틸팅열차에 적용하기로 하였다[1].

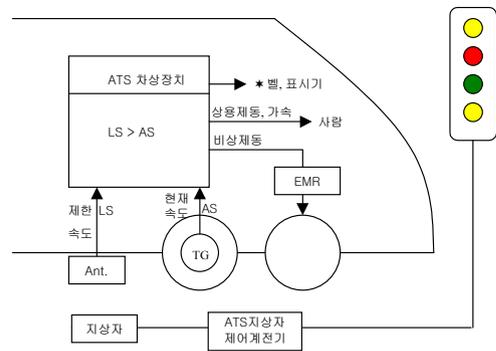
이는 ETCS ATP 장치가 틸팅열차에 설치되어도 ETCS ATP 장치 성능 시험이 종결되지 않음에 따라 틸팅 열차의 성능 시험 및 시운전에 관련된 연구를 원활히 추진할 수 없기 때문에 ATS 장치에 의한 차량의 성능 시험이 선행되어야 했기 때문이었다. 그러나 틸팅열차에 설치된 ATS 장치는 기본적으로 160km/h 이하의 속도에서만 유용하며, 그 이상의 속도에서는 현실적으로 사용이 어렵기 때문에 틸팅열차의 목표속도인 180km/h 이상을 위해서는 적합하지 않다. 이러한 사유로 인하여 차상신호시스템 구축사업에 적용된 것과 동일한 ATP 장치를 도입하여 틸팅열차에 설치하였으며 설치시험을 완료하였다[1]. 본 논문에서는 설치시험 이후에 ATP 지상설비가 설치된 호남선에서 시운전시험을 수행한 시험결과를 제시하고 있다.

2. 기존 ATS 시스템 기술

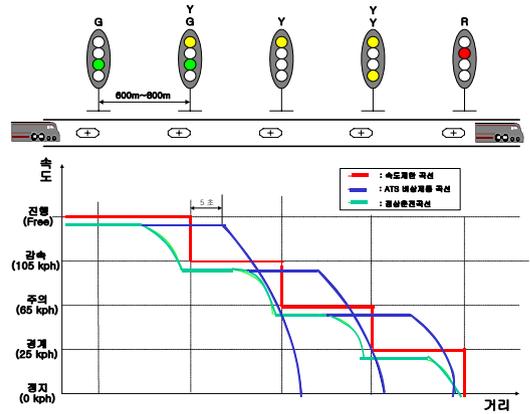
ATS 시스템의 주요 원리는 기존의 선로변 신호 체계의 문제점이 주어질 때 벨 또는 경보 등으로 기관사에게 주의를 환기시켜 정상적인 열차 운영을 하도록 하며 만약 기관사가 일정 시간동안 제동 조작을 하지 않으면 강제적으로 제동을 인가하여 열차를 안전하게 정지시키는 역할을 한다. 따라서 열차의 안전 운영을 확보하기 위해서는 정확한 ATS 설비의 정상적인 기능 유지가 필수 조건으로 주어진다. ATS 장치는 선로에 설치된 지상자를 열차가 통과할 때 지상자는 관련 폐색 구간의 통과 속도 정보를 차량으로 전송한다. 그림 1의 정보전송도와 같이 열차는 기관차 하부에 설치되어 있는 차상 안테나가 응답함으로써 지상에서 송신된 정보를 수신한다. 수신된 정보는 ATS 차상장치에 의해 기관사에게 통보되거나 제동 체결 명령을 인가한다. 이러한 ATS 시스템은 1969년 경부선 구간에 처음 설치된 이후 1988년에 경부선 5현시 차상속도조사식으로 개량하여 사용하고 있으며 신호현시에 따른 속도제어곡선은 그림 2와 같다[1, 2].

ATS 시스템에 있어서 안전 및 신뢰성의 가장 큰 문제점으로 고려되는 사항 중의 하나인 주파수 간섭 현상은 타 시스템과의 공용시에 매우 심각하다. ATS 시스템의 주파수 변환은 아날로그 방식에 의해 지상에서 차상으로 정보를 전송함에 따라 현재 사용하고 있는 주파수에 근접한 타 주파수의 유입 시에는 오동작을 유발하는 확률이 매우 크다. 또한 160km/h 이상의 속도로 운행하는 열

차에 대한 지상-차상 응답은 신뢰성이 확보되지 않았다. 특히 ATS 시스템의 정보는 단지 과속도에 따른 열차 운영을 제한하기 위한 속도 정보만을 취급한다. 따라서 임시 속도제한, 유지보수 등의 특수한 선로변 조건이 발생할 경우, 신호 시스템에 의한 직접적인 프로그램이 불가능하여 비정상 상황에 대한 정보 및 통제는 지상에서 기관사에게 직접 통보해야 하기 때문에 이 경우 기관사의 판단에 따른 대응 방안이 절대적으로 열차 운영을 좌우하게 된다[1].



[그림 1] ATS 시스템의 정보전송도



[그림 2] ATS 시스템의 속도제어곡선

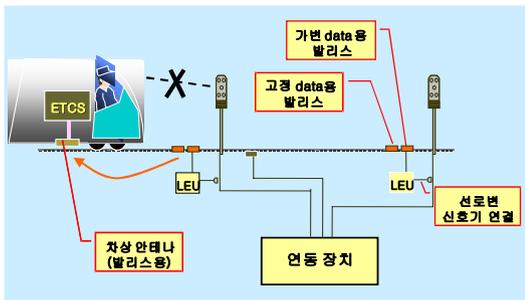
이러한 문제점들을 해소하기 위해 국내에서는 ATP 시스템에 의한 Distance to go 기능을 갖는 차상신호방식으로 개량사업을 추진하였으며, 호남선의 경우에는 영업운전을 시작하였다[1-5].

3. ATP 시스템 기술

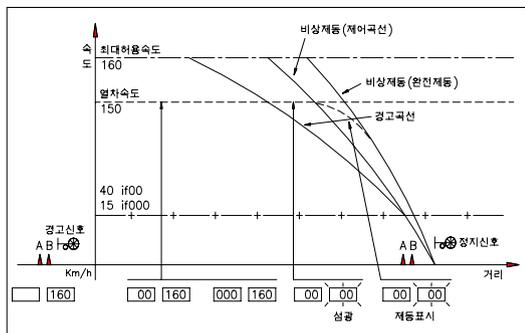
차상신호방식과 지상신호방식의 가장 큰 차이점은 지

상신호 현시 확인의 어려움에 대한 문제점이 차상신호방식을 사용할 경우에는 해결됨은 물론 속도 제어에 대한 안전성이 제공된다는 점이다. 국내에서 추진되고 있는 ETCS 레벨 1에 의한 ATP 구축사업은 ATS 시스템의 고장 발생 우려에 관한 문제점을 일시에 해소할 수 있으며 철도신호설비의 안전성과 신뢰성을 크게 향상시키고, 열차의 안전 운영을 보장함으로써 여객과 화물을 편안하고 신속하게 수송하여 대국민 서비스 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대되며 그림 3과 같이 설치된다[1-3, 5, 6].

이러한 차상신호방식에서는 Distance to go 기능을 사용한다. 이는 그림 4와 같이 제동 목표 거리를 차상컴퓨터에서 자동 계산하여 운행 속도를 제공하며, 현존하는 지상장치의 많은 개량 없이도 차상신호시스템에서 지상정보를 이용하여 열차속도의 향상을 실행할 수 있다[1, 7].



[그림 3] ETCS 레벨 1 ATP 시스템



[그림 4] ATP 시스템의 속도제어곡선

4. 틸팅열차 ATP 차상장치의 시운전시험

틸팅열차에 설치된 ATP 차상장치의 시운전시험은 형식시험, 현장시험 및 주행시운전시험의 3 가지로 구분하여 호남선에서 시행되었다.

4.1 틸팅열차 ATP 차상장치의 형식시험

ATP 차상장치의 형식시험은 해당열차의 최초 개조 또는 설치 차량에 대해 시행하는 것으로서 ATP 차상장치가 의도된 환경, 다시 말해 특정한 열차 형식에서 저속/고속 운행 중 만족스럽게 작동함을 확인하기 위함이다. 표 1에서 보여주고 있는 형식시험 항목들은 ATP와 열차간의 동적인 상호작용을 확인하기 위한 목적을 가지며, 상호작용은 제동시스템 및 주행기록계의 특성과 더불어 전자파적합성을 포함하고 있다. 또한 형식시험에 대한 결과는 표 1과 같이 미실시한 제동 관련 시험을 제외한 모든 시험 항목에 대해서 적합함을 확인하였다.

[표 1] 형식시험 항목 및 결과

시험규격 : TTX-ATPT-004		
시험장소 : 익산~함평 상하선		
열차번호	시험항목	시험결과
틸팅열차 MCP 1, 2	[TT001] 파워온 시험1	적합
	[TT002] 제동시험 1	적합
	[TT003] 제동시험 2	적합
	[TT004] 제동시험 3	적합
	[TT005] 제동시험 4	적합
	[TT006] 최대가속시험	적합
	[TT007] SB 무결성 시험	적합
	[TT008] 정지신호시 ATP 제동시험	적합
	[TT009] 비상제동시험	적합
	[TT010] SB 감속시험	미실시
	[TT011] EB 감속시험	미실시
	[TT012] 발리스 전송시험 1	적합
	[TT013] 발리스 전송시험 2	적합
	[TT014] 판토티그래프 시험	적합
	[TT015] 고전원 스위치 시험	적합
	[TT016] 난방, 조명 및 환기시험	적합
	[TT017] 절연 구간 시험	적합

표 1의 시험항목 중 SB(Service Brake) 감속시험과 EB(Emergency Brake) 감속시험은 틸팅열차의 SB 감속도와 EB 감속도를 측정하여 ATP 차상장치의 데이터로 활용하기 위한 시험으로서 틸팅열차의 SB 감속도와 EB 감속도가 제공되었기 때문에 시험을 실시하지 않았다.

4.2 틸팅열차 ATP 차상장치의 현장시험

ATP 차상장치의 현장시험은 ATP 차상장치의 기능 및 성능이 적합하게 구현되는지 확인하기 위한 시험으로서 시험 결과는 표 2와 같이 퇴행 이동 보호 시험과 장애검출 시험을 제외한 모든 시험 항목에서 적합함을 확인하였다.

[표 2] 현장시험 항목 및 결과

시험규격 : TTX-ATPT-005		
시험장소 : 익산~함평 상하선		
열차번호	시험항목	시험결과
틸팅열차 MCP 1, 2	SiteTS_ATP-001 최고속도 감시, 비장착모드	적합
	SiteTS_ATP-002 책임모드에서 완전모드로 전이	적합
	SiteTS_ATP-003 정지(R) 신호 통과, 안전 모드	적합
	SiteTS_ATP-004 최고속도 감시, 안전 모드	적합
	SiteTS_ATP-005 퇴행 이동 보호, 책임 모드	미실시
	SiteTS_ATP-006 최고속도 감시, 입환(SH)모드	적합
	SiteTS_ATP-007 완해 속도 감시, 안전모드	적합
	SiteTS_ATP-008 완전모드에서 트립 모드를 거쳐 트립후 모드로 전이	적합
	SiteTS_ATP-009 레벨전이, Level 1에서 Level STM으로 진입	적합
	SiteTS_ATP-010 레벨전이, Level STM에서 Level 1으로 진입	적합
	SiteTS_ATP-011 열차진행 미승인에 따른 제동시험	적합
	SiteTS_ATP-012 장애검출시험	미실시
	SiteTS_ATP-013 최고속도 180km/h 발리스 응동 확인시험	적합
	SiteTS_ATP-014 틸팅운행 곡선구간 통과 시험	적합
	SiteTS_RU_JRU 자료기록장치 기록 내용 확인	적합

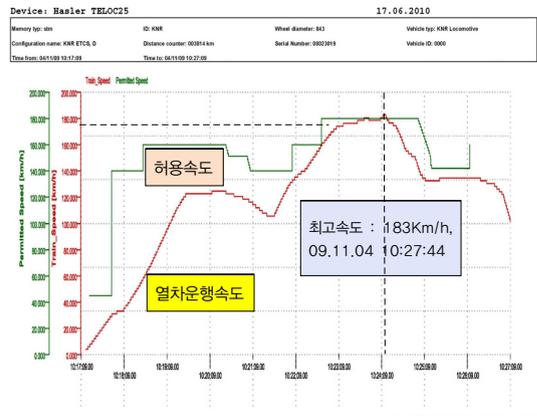
표 2의 현장시험 항목 중 SiteTS_ATP-005 책임 모드에서의 퇴행 이동 보호 시험은 틸팅열차의 특성이 전진과 후진만 가능한 구조로 되어 있어 시험이 성립되지 않기 때문에 미실시하였으며, SiteTS_ATP-012 장애검출시험은 틸팅열차의 시운전시험이 호남선 본선에서 이루어지기 때문에 영업운전을 하고 있는 다른 열차에 지장을 주지 않기 위해서 시험을 할 수 없었다.

SiteTS_ATP-009 레벨전이, Level 1에서 Level STM으로 진입과 SiteTS_ATP-010 레벨전이, Level STM에서 Level 1으로 진입의 레벨전이 시험은 경부선과 호남선이 분기되는 대전조차장에서 서대전의 레벨전이 구역에서 실시하였으며 시험 결과는 그림 5의 운전자 화면과 같이 적합하게 수행되었다.



[그림 5] 레벨전이 시험 운전자 화면

SiteTS_ATP-013 최고속도 180km/h 발리스 응동 확인 시험은 160km/h로 제한되어 있는 호남선의 선로제한속도를 나주~고막원 구간의 선로제한속도를 180km/h로 변경 후 ATP Level 1 모드에서 왕복 4회 시험하였으며 그림 6의 자료기록장치 데이터로 알 수 있듯이 183km/h 까지 적합하게 운행되는 것이 확인되었다.



[그림 6] 최고속도시험 자료기록장치 데이터

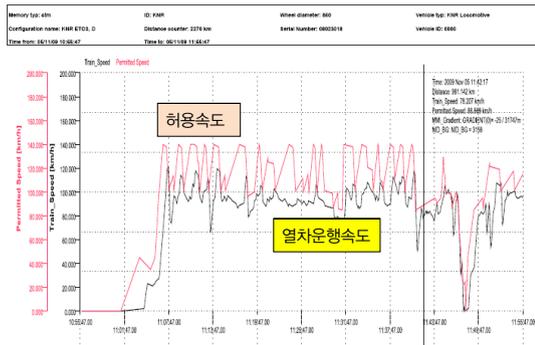
4.3 틸팅열차 ATP 차상장치의 주행시운전시험

ATP 차상장치의 현장시험을 통해 기능 및 성능이 확인되면, 지상 ATP 장치와의 인터페이스를 위한 주행 시운전 시험을 하여야 하며 표 3에서 보여주듯이 Level 1 선로제한속도 시험, Level 1 시운전 시험 및 Level STM 시운전 시험의 3 가지시험 결과는 그림 7의 주행기록 데이터와 같이 적합함을 확인하였다.

또한 표 4에서 보여주듯이 주행시운전시험 중간에 지상 ATP 장치 장애에 의해 5건의 표시고장이 현시되었으나, 본 논문에서 제시하고 있는 ATP 차상장치에 의한 장애가 아니기 때문에 경부·호남선 ATP 구축사업의 지상 유지보수팀에 장애 발생 및 원인을 통보하여 적합한 조치가 이루어지도록 하였다.

[표 3] 주행시운전시험 항목 및 결과

시험규격 : TTX-ATPT-006		
시험장소 : 서대전~함평 상하선		
열차번호	시험항목	시험결과
틸팅열차 MCP 1, 2	시운전-Level 1 선로제한속도 운행시험	적합
	시운전-Level 1모드	적합
	시운전-Level STM모드	적합



[그림 7] 익산~서대전 Level 1 시운전시험 데이터

[표 4] 주행시운전시험 중 발생한 장애

발리스 ID	신호기	MMI 표시내역	원 인	고장분류
3118	두계2RC(하)	LEU고장	건널목 철거	표시고장
3132	두계2RC(상)	LEU고장	건널목 철거	표시고장
3581	부용~김제 (상10)	지상장치 고장	임시로 발리스 철거	표시고장
3674	신대인~정읍 4DN	LEU고장	NFB OFF	표시고장
31	신태RC(하)	LEU고장	CBC 접촉불량	표시고장

6. 결론

ATP 차상장치를 틸팅열차에 설치하고 설치검사 및 설치시험을 통과하면 기능 및 성능이 적합하게 구현되는지 확인하기 위한 시운전시험을 하여야 한다. 시운전시험은 현장시험과 주행시운전시험으로 구분하여 시행되며, 최초 제작차량이나 개조차량인 경우에는 형식시험을 추가로 시행하여야 한다.

본 논문에서는 틸팅열차 최초 차량에 대해 ATP 차상장치를 설치하였기 때문에 시운전시험은 형식시험, 현장 시험 및 주행시운전시험의 3 가지 시험으로 구분하여 ATP 차상장치를 구성하는 부품들의 개별적인 기능 및 인터페이스 성능 시험이 진행되어 적합함을 확인하였다. 틸팅열차에 설치된 ATP 차상장치의 시운전시험에 대한 여러 시험 항목들은 ATP 구축사업에 적용된 시험과 동일하지만, 틸팅열차의 최고영업운행속도가 180km/h라는 점과 곡선부 통과시 틸팅 기능을 수행하는 특수성을 고려하여 현장시험에 Site TS_ATP_013 최고속도 180km/h 발리스 응동 확인시험과 SiteTS_ATP_014 틸팅운행 곡선 구간 통과 시험의 두 가지 항목을 추가하여 시험하였다.

시운전시험결과 모든 세부시험항목에 대해 어떠한 차상장치 하드웨어 및 소프트웨어 장애로 인한 오류사항이 발생하지 않았으며, ATP 차상장치의 기본적인 성능인 Level 1 운용모드(ATP모드) 및 Level STM 운용모드(STM모드) 운행에 필요한 요구기능이 구현되어 있음을 확인하였다.

이러한 시운전시험을 통과하였더라도 열차운행의 안전을 책임지는 ATP 차상장치는 신뢰성을 충분히 확보하여야 하기 때문에 앞으로도 지속적으로 ATP 차상장치에 의한 틸팅열차 시운전시험을 수행하여 ATP 차상장치에 의한 틸팅열차 시운전 주행 결과 및 시운전 주행 결과에 따른 ATP 차상장치의 신뢰도를 평가할 계획이다.

참고문헌

- [1] 백종현, “ATP 차상장치의 틸팅열차 설치 및 설치시험 분석” 한국산학기술학회논문지 제11권 제7호. pp.2534-2540, 2010.
- [2] 백종현, 이창구, “기존선 속도 향상을 위한 발리스를 이용하는 열차간격제어 기술에 대한 연구” 한국산학기술학회논문지 제10권 제2호. pp.256-263, 2009.
- [3] 김용규, 백종현, 박재영, “궤도회로의 유지보수 효율화를 위한 동조 유닛 특성 분석” 한국산학기술학회 논문지 제10권 제12호. pp.3594-3599, 2009.

- [4] 김용규, 백중현, “기존선 속도향상을 위한 신호보안체계 최적구축방안 연구” 한국철도기술연구원 철도기술연구개발사업(국토해양부) 최종연구보고서, 2007.
- [5] “철도신호용어편람” 철도청, 한국철도신호기술협회 용어편람. pp.210-211.
- [6] Y.G. Kim, "유럽 철도망 통합을 위한 ERTMS 프로젝트 추진 현황" Korea railroad research institute. 2001.5
- [7] 한성호, 백중현외, “한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술 개발” 한국철도기술연구원 미래교통기술개발사업(한국건설교통기술평가원) 2차년도 보고서, 2009.

백 중 현(Jong-Hyen Back)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사
- 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사
- 2009년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

<관심분야>

현대제어, 지능형시스템, 시스템엔지니어링