

한국형 고속전철의 신호제어시스템

* 이종우, 신덕호, 황종규 / 한국철도기술연구원 전기신호연구본부

서론

산업화와 인구의 도시집중현상이 진전됨에 따라 도시간의 여객의 고속화와 대량 수송화 및 환경공해의 문제를 해결하고자 쾌적성과 저공해성을 갖는 대중교통수단으로 철도의 고속화를 추진하여 왔다.

이러한 상황에 발맞추어 우리나라에서도 서울-부산 간에 300km/h의 고속철도의 대역사를 추진하게 되었다. 따라서 이러한 철도기술을 완전히 습득하여 우리의 기술로 시스템의 국산화 개발에 기여하고자 본 연구의 필요성이 시작되었다.

고속철도의 신호제어 설비는 신속한 인적·물적 수송시스템의 구축을 위하여 열차운전의 안전성과 운행효율을 증대시키기 설비를 말하며, 열차의 진행가부를 지시하는 신호기, 분기기에서 열차의 진행방향을 제어해 주는 선로전환기, 신호기와 선로전환기 상호간을 연계시켜 안전한 경우에만 동작하게 하는 연동장치(Interlocking), 일정한 간격 내에 1개의 열차만을 동작하게 하는 폐색구간, 제어구간내의 전 열차를 일괄 감시하며 운전보안시설을 원격 제어하는 열차집중제어장치(CTC : Centralized Traffic Control System)와 지상에서 수신한 차상신호에 의하여 열차를 자동 제어하는 열차자동제어장치(ATC : Automatic Train Control System) 및 안전설비 등으로 분류할 수 있다.

철도는 일반 도로교통과는 달리 고정된 레일로 형성된 선로 상에서 차량이 운행됨으로서 규칙의 중대함은

물론이고 차량의 안전성을 보장하고 운행효율을 증대시키는 측면에서 신호시스템의 필요성은 상당히 중요하다. 열차의 신호시스템은 자동열차제어장치, 전자연동장치, 열차집중제어장치 및 신호송수신장치 등의 여러 장치들이 서로 유기적으로 연결되어 효과적으로 통합된 시스템이다.

고속전철에 쓰이는 이러한 신호설비는 우리가 추구하고자하는 새로운 한국형 신호제어시스템으로서 350km/h 이상의 고속운전 조건하에서 사용되어야 하므로 고도의 정보통신장치, 컴퓨터, 제어기술 등을 요소기술들로 구현되는 복합 시스템 기술이며, 각 요소기술과 Fail-Safe 및 Fault-Tolerant 시스템 구현 기술개발을 통하여 철도가 지닌 안전, 정확, 신속이라는 장점을 확보하여야 한다.

고속전철이 도입된 프랑스, 독일, 일본은 모두가 일찍부터 컴퓨터에 의한 감시·제어시스템을 개발하여 다방면으로 활용한 국가들이다. 항공산업, 군사장비, 대규모 플랜트 제어시스템 등 신뢰도가 요구되는 시스템의 개발 경험이 축적된 상태에서 외부 도움 없이 독자적으로 시스템을 설계 및 개발할 능력을 갖추고 있으며, 대규모 수송의 필요성과 서비스 확충차원에서 점진적으로 장기간의 연구·개발의 결과로 각 국가의 상황에 적절하게 개발된 시스템의 형태가 있다. 따라서 선진 외국의 경우 기 개발된 시스템의 기능개선이 계속될 전망이며, 기존 철도시스템에서 사용되었던 기술의 답습보다는 최근 급속한 진전을 하고 있는 전

자·통신 기술을 이용한 새로운 방식의 시스템 개발을 추진하고 있는 상황이다.

국내에서 고속철도에 대한 기술은 이제 시작 단계에 있고 철도 및 지하철에 설치된 신호설비도 대부분이 외국의 업체에 의하여 이루어졌으며, 국내 신호업체가 이러한 기술을 어느 정도 소화하여 독자적으로 설치하려는 단계에 와 있다.

신호제어 시스템 구성

신호제어시스템의 기본기능

고속전철의 신호제어시스템은 신속한 물적, 인적 수송시스템의 구축을 위하여 그림1과 같이 열차운전의 안전성과 운행효율을 증대시키기 위한 시스템으로 구

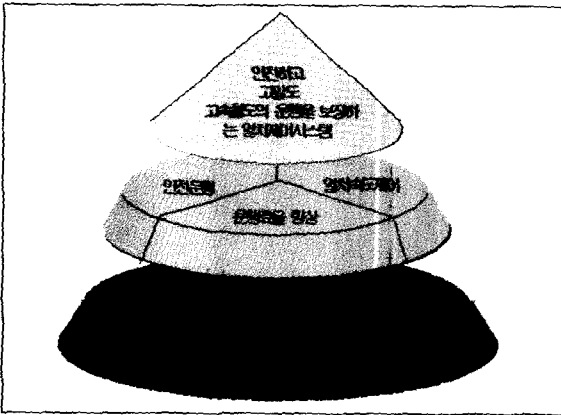


그림 1 신호제어시스템 개요

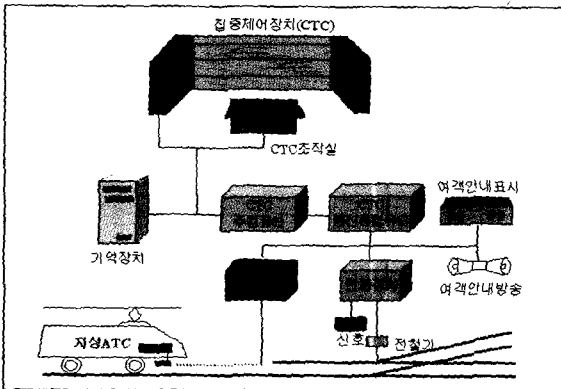


그림 2 요소구성성분에 따른 구성

성되어야 한다. 이를 위하여, 열차제어시스템은 운행효율을 향상시키고 열차의 안전운행 및 열차시스템의 유지보수를 담당하는 열차집중제어장치(CTC : Centralized Traffic Control), 열차의 속도제어, 열차간 안전거리 확보 및 궤도상의 열차 유무 검지 등을 수행하는 자동열차제어장치(ATC : Automatic Train Control), 그리고 열차진로의 설정 및 열차의 안전운행을 최종적으로 책임지는 전자연동장치(IXL : Interlocking)등으로 크게 구분된다.

즉, 신호제어시스템은 열차간의 안전거리 확보 및 속도제어를 수행하는 자동열차제어장치와 전자연동장치에 의한 안전운행을 보장하고 열차운행을 효율적으로 수행할 수 있는 열차집중제어장치로 구축되어야 한다. 이들 각 시스템들의 주요 기능은 다음과 같다. 신호제어시스템은 안전, 속도, 유지보수 및 열차운용과 직결되며, 이에 따른 열차제어시스템 각각의 요소에 대한 대략적인 특징은 상세도는 그림 2와 같이 표현된다.

- 열차집중제어장치
 - 열차 스케줄링 작성 및 관리기능
 - 열차 운전정리 기능
 - 열차운행표시 기능
 - 운영 및 유지보수 기능
 - 신호기능
- 자동열차제어장치
 - 운행정보의 생성 및 전송(연속, 불연속)
 - 운행정보의 표시 및 속도제어
 - 열차유무 검지
 - 선로주변 각종 환경검지 기능
 - 유지보수 기능
- 전자연동장치
 - 진로명령처리 및 현장장치 제어
 - 선로변 신호장치 감시
 - 유지보수 기능

신호제어시스템의 기술동향

현재의 신호제어시스템은 통신기술 및 컴퓨터의 발달과 함께 철도연관 신호들이 모두 전자화 되어가고



있고, 속도제어방식은 운전효율의 향상측면으로 발달해 가고 있으며, 이에 따른 시스템의 안전동작과 신뢰성기술의 확보가 절대적으로 필요하게 된다. 따라서 앞으로의 열차제어시스템은 다음과 같은 방향으로 진행될 전망이다.

- 전자연동장치 구현에 의한 정확한 계산과 신속한 처리 실현
- 그래픽 디자인도구에 의한 설계, 제작, 설치, 시험의 일체화

- 지상설비의 통합화
- 차상 지상간 양방향 정보전송 체제를 갖는 다정보 전송 시스템
- 차상 운행패턴의 무한속도 제어화
- 시스템 구성품의 모듈화
- 열차제어기술의 안전성, 신뢰성이론에 의한 시스템구현
- H/W와 S/W의 Fault-Tolerance 설계기법에 의한 Fail-safe구현

표 1 신호제어시스템의 변천에 따른 특징

기존 방식	기술발전방향	특징
계전기 로직	전자식	빠른 처리속도, 넓은 처리범위, 로직구현의 용이성, fail-safe, fault-tolerant 기술 확립이 필요함
지상센터중심제어	지상, 차상간 협조제어	양방향 통신체제 요구됨
다단속도제어	무한속도제어	인접구간 상태정보 및 선형열차정보 증가의 필요성, 처리속도개선의 필요성
속도중심제어 (절대안전거리확보)	거리정보중심 제어	열차상호안전거리확보
고정폐색제어	이동폐색제어	운전시각 단축, 처리속도 개선, 정보량 증가
Speed step 신호체계	Distance to go 신호체계	운전시각단축

표 2 신호제어시스템의 비교

	스웨덴	기존경부선	KTX	개발시스템
열차집중 제어장치	TMS	CTC	CTC	CTC Fault tolerant
연동장치	전자연동장치	계전연동장치	3중계분산형	2중계분산형
제어설비	ATP (지상정보전송)	ATS (점제어식)	ATC (300km/h)	ATC (350km/h)
속도제어	자동감시장치 (ATP)	자동폐색장치 (ABS)	자동제어장치	자동제어장치
지상설비	발리스	지상자	AF 궤도회로	AF 궤도회로
열차검지	DC Bias 궤도회로	DC Bias 궤도회로	AF 궤도회로	AF 궤도회로
차상설비	속도패턴작성	단순속도표시	속도패턴작성	속도패턴작성
신호체계	차상신호 (Distance to go)	지상신호 (Speed step)	차상신호 (Distance to go)	차상신호 (Distance to go)
전송방향	양방향 (지상→차상)	단방향 (지상→차상)	단방향 (지상→차상)	단방향 (지상→차상)
정보전송	불연속정보	불연속정보	연속정보, 불연속정보	연속정보, 불연속정보
전송주파수	Khz 대역(AF)	Khz 대역	Khz 대역	Khz 대역
전송특성	잡음영향 작음	잡음영향 큼	잡음영향 큼	잡음영향
유지보수성	적음	적음	많음	많음

표 3 단계별 기술개발 목표 및 범위

구 분	제1단계(1996 ~ 1998)	제2단계(1999 ~ 2002)
기술개발목표	- 신호제어시스템 상세사양 개념설계 및 작성 - 신호제어시스템 통합 시뮬레이터 상세설계	- 신호시스템 통합을 위한 시뮬레이터 제작 - 시뮬레이터를 이용한 신호 시스템 시험 및 평가
기술개발범위	- CTC, IXL, ATC 개별사양 결정 - 통합 시뮬레이터 상세설계	- 통합시뮬레이터를 이용한 시험 및 평가 - 경부고속철도 신호시스템과의 호환성 검증

한국형 고속전철 신호제어시스템 개발 현황

신호제어시스템의 개발개요

한국형 고속전철 신호제어 시스템은 먼저 고속철도 운용에 필요한 유지보수 기술확보의 필요성과 신호 시스템 요소 기술확보의 필요성에 입각하여 추진되어 왔다. 즉 전자는 신호 시스템 운용에 필요한 국내기술 확보라는 점으로, 후자는 고속철도시스템 연구에 의한 고성능, 고효율의 신호시스템 기술 확보로 유추된다. 따라서 이러한 요구에 따라 한국형 고속전철 신호제어 시스템은 궁극적으로 350km/h급 고속철도시스템 운용기술 및 고속철도 신호시스템의 신기술 확보라는 견지에서 기존 고속철도시스템(KTX)과 호환성을 갖는 350km/h급 한국형 신호제어 시스템의 개발 및 열차제어 시스템 시험용 시뮬레이터의 개발, 성능시험을 할 수 있는 시험평가방법의 개발을 최종목표로 하고 있다.

개발방향

신뢰성, 가용성, 유지보수성 및 안전성 등에 입각하여 경부고속전철 시스템과의 호환성을 고려하면서 한국형 고속철도용 신호시스템 개발을 목표로 하여 다음과 같은 요구조건을 만족하도록 개발하였다. 자동제어 장치 및 전자연동장치의 일반구성논리는 바이탈 시스템으로의 설계하고 충분히 검증된 시스템 사용하며, 신호제어시스템 주요 부분의 구성은 고정밀도의 안정성과 신뢰성을 갖춘 다중계(Redundancy)로 설계하였다. 장치별 위험확률은 치명적인 고장일 경우 MTBF > 5000년, 그리고 임계 고장일 경우 MTBF > 200년으로 규정하며 고장과 연관된 구성논리는 Fault-Tolerant 및 고장검지 수준을 최대화하고 열차진동에 의해 발생 가

능한 오동작, 고장 등을 충분히 고려하여 설계해야 하며 최대 수송 시 발생 가능한 고장 또는 장애의 정도를 고려하여 설계하였다. 또한 유지보수에 연관된 신호제어시스템 전반구성논리는 효과적인 정비 및 유지보수를 위해 장비의 모듈화로 설계하도록 구상해야하며 자가진단장치의 보유 및 이에 따른 연관 정보의 유지보

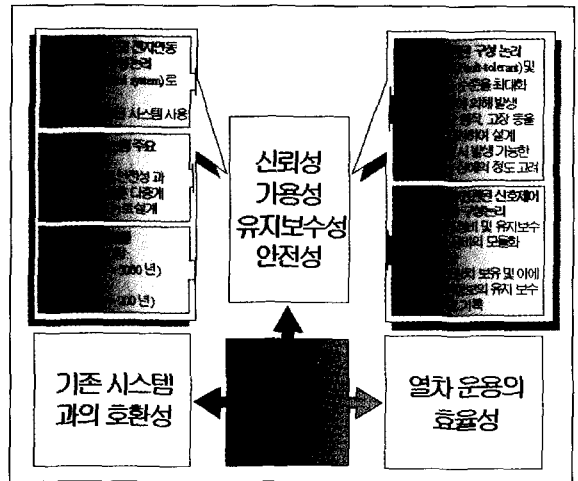


그림 3 신호제어시스템 개발방향

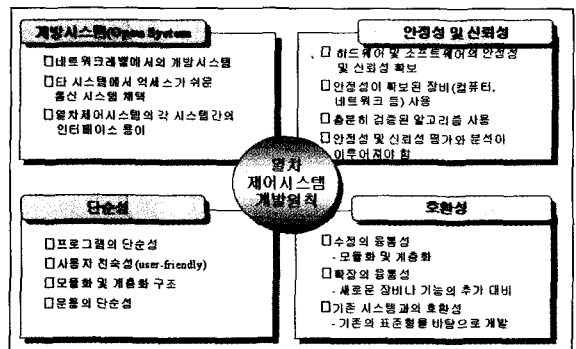


그림 4 신호제어시스템의 개발원칙

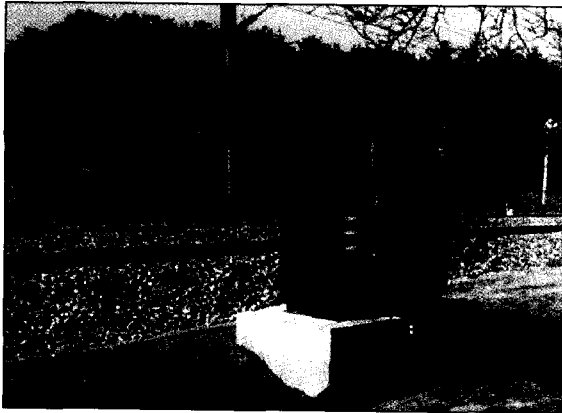


그림 5 전자연동장치 현장안정화시험

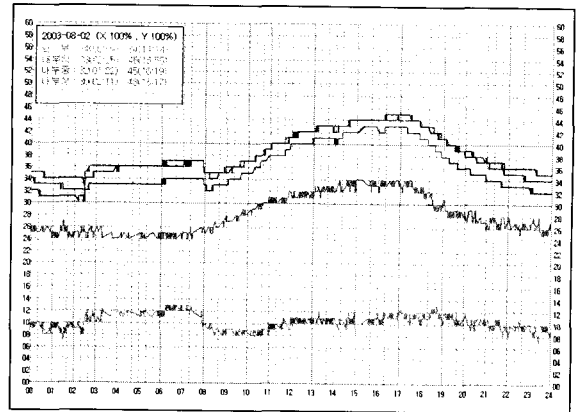


그림 6 현장시험온도기록

수 전송 및 기록을 처리하도록 하였다.

시스템 개발은 첫 번째로 네트워크 레벨에서의 개방 시스템의 도입 즉 타 시스템에서 액세스가 쉬운 통신 시스템의 채택 및 열차제어시스템의 각부시스템간 인터페이스를 용이하게 할 수 있도록 하였다. 두 번째로 안전성 및 신뢰성에 있어서는 하드웨어 및 소프트웨어의 안전성 및 신뢰성 확보, 안전성이 확보된 장비(컴퓨터, 네트워크)의 사용, 충분히 검증된 알고리즘의 사용 그리고 안전성 및 신뢰성에 대한 평가와 분석이 병행하였다. 세 번째로 단순성에 대해서는 프로그램의 단순화, 사용자 친숙성(User friendly), 모듈화 및 계층화 구조에 의한 시스템 구성 그리고 운용이 단순하도록 하였다. 마지막으로 호환성에 있어서는 모듈화 및 계층화 구조 확장의 융통성, 새로운 장비 및 기능 추가 시 기존장비와의 호환성 등을 고려해야 할 것이다.

시험평가 및 현장시운전

한국형 고속전철 전자연동장치와 자동열차제어장치는 이론적인 기능의 검증과 안전성 및 신뢰성의 예측 뿐만이 아니라, 환경 및 기능에 대하여 공장시험을 통해 검증하였다.

상용품 수준의 기능 및 환경시험을 완료한 전자연동장치와 자동열차제어장치 시제품은 시스템의 안정화 및 환경적 요소에 대한 검증을 위해 현장안정화시험을 수행 중에 있다. 전자연동장치는 철도청 전철화 구간인 태백선 청령포역에 그림5와 같이 설치되어 5개월간의 입력시험 및 시스템의 검증을 완료한 후에 2003년 09월 28일 부로 사용 개시되어 현재까지 하루 평균 약 50편성의 여객 및 화물열차의 진로를 제어하며 시운전을 실시 중에 있다. 그림6은 현장안정화시험 기간에 수집된 실외장치인 현장제어모듈의 기기온도를 기록한

표 4 시험선의 290km/h 주행시험의 ATC 동작정보

궤도 번호	ATC 수신 정보					ATC 상태		
	전송 주파수	속도코드	거리코드	구배	불연속(ITL)정보	열차속도	제한속도	제어
TC2218A	2400	93	37	3		~234	315(300)	정상
TC2226B	3120	93	48	2		~243	315(300)	정상
TC2226A	2400	93	27	2	XETU(in)	~249	315(300)	정상
TC2230B	3120	93	47	2	STANDBY	~256	315(300)	정상
TC2230A	2400	93	24	2	EXTU(out)	~260	315(300)	정상
TC2236B	3120	93	42	4		~266	315(300)	정상

것으로 기기내부 온도가 최대 47 까지 올라간 상태에서 정상동작을 확인하였다. 또한 입력측에는 낙뢰계수기를 설치하여 지락에 의한 기기의 정상동작 감시도 수행하고 있다. 현장시험이 시작된 2003년 05월부터 현재까지 환경으로 인한 영향에 정상동작을 수행하고 있다.

자동열차제어장치는 한국형으로 제작된 350km/h급의 열차에 제어장치로써 현재까지 수행된 모든 300km/h급 시험에서 KTX 고속구간의 ATC지상장치로부터의 신호를 정상적으로 수신하여 열차를 안전하게 제어하고 있다. 표4는 2003년 07월 19일 수행된 천안에서 시목까지의 시험선 구간에서 290km/h의 고속주행시에 정상적으로 지상 ATC정보를 받아서 처리한 기록이다.

결 론

G7(선도기술개발사업) 고속전철기술개발사업의 일환으로 추진된 고속철도 열차제어시스템 기술개발은 상용화 수준의 열차제어장치와 전자연동장치의 개발 완료 및 안정화를 통해 350km/h급 열차제어시스템 운용기술습득 및 국산화라는 과제의 목표를 충실히 수행하고 있다. 또한 개발된 자동열차제어장치와 전자연동장치는 현재 고속선과 기존선의 혼용사용을 위한 기존 열차의 ATC 차상장치와 철도청 기존선 구간의 전자연동장치를 위한 차세대 분산설치형 전자연동장치로 사용이 검토되고 있다.

따라서 본 개발을 통해 얻어진 고속열차제어시스템의 검증 및 상용화를 위하여 시스템의 성능 및 안전성을 검증하고 향상시키기 위해하여 시스템의 안정화 및 신뢰성, 안전성, 가용성, 유지보수성 향상을 위한 기술의 연구가 계속되고 있다.