

KR S-07050

Rev.4, 5. December 2012

통신기반열차제어장치(CBTC)

2012. 12. 5



한국철도시설공단

[illegible]

목 차

1. 용어의 정의	1
2. 통신기반 열차제어장치	1
2.1 통신기반 열차제어장치 전송 정보	1
2.2 통신기반 열차제어장치 주파수 할당	2
해설 1. 통신기반 열차제어장치	3
1. 개요	3
2. CBTC 시스템 주요기능	4
3. CBTC의 기본개념	4
3.1 기본개념	4
3.2 CBTC 시스템의 기능	5
3.3 CBTC에 적용되는 기술	5
3.4 CBTC의 일반적 구성	12
4. CBTC 시스템의 종류 및 구성	13
4.1 CBTC 시스템 종류 및 구성	13
해설 2. 해외시스템 비교	54
1. 회사별 CBTC관련 생산품	54
2. 통신을 이용한 열차제어시스템 검토	56
3. 해외 CBTC	58
4. CBTC 시스템의 장·단점 분석	58
4.1 개요	58
4.2 CBTC 시스템의 장점	58
4.3 CBTC 시스템의 단점	60
4.4 CBTC 장·단점 분석	61
4.5 기존 도시철도와의 비교	62
5. CBTC 구축에 따른 고려사항 검토의견	63
5.1 인터페이스 고려사항	63
5.2 장비별 고려사항	64



해설 3. 도시철도 신호시스템 표준화 사업	66
1. 개요	66
2. 시스템 방식별 특성 검토	66
2.1 시스템 원리 및 안전, 신뢰성	66
2.2 시스템 기능 및 효과 측면	67
2.3 시스템 구축 사항	67
2.4 시스템 운영의 편리성 측면	69
2.5 시스템 비용 및 사례 측면	70
RECORD HISTORY	71

1. 용어의 정의

통신기반 열차제어장치(CBTC : Communication Based Train Control) : 통신을 이용한 열차제어 장치로서 신뢰성 높은 차내 및 지상신호제어설비가 사용되고 지상의 중앙제어센터에 설치된 컴퓨터가 각 열차의 위치와 속도를 연속적으로 확인하여 선행열차 위치와 속도제한 지점까지의 거리를 열차로 전송하고, 차내의 컴퓨터가 열차성능에 맞는 최적의 속도제어를 하는 것으로 지상과 차내간의 데이터 전송에 무선을 사용하는 것

2. 통신기반 열차제어장치

- (1) 통신기반 열차제어장치는 이동폐색방식을 원칙으로 한다.
- (2) 지상~차내 간 실시간 양방향 통신이 가능하여 열차제어, 열차감시, 차량고장 등 상황 발생 시 원격제어가 가능해야 한다.
- (3) 실시간 열차위치를 검지하여야 한다.
- (4) 안전성과 신뢰성이 입증되어야 한다.
- (5) Vital(주요)장치는 다중계로 구성하여야 한다.
- (6) 관제실에서 통합감시 및 제어방식으로 하며, 차량기지의 감시기능을 포함한다.
- (7) 스케줄에 의한 입출고, 유치, 주박 등 일련의 배차관리 업무를 자동화 하여야 한다.
- (8) 구간 운행속도는 선행열차와의 안전한 여유거리에 의해 결정되는 방식으로 하며, 구간 최고속도는 선로의 구배, 분기, 곡선, 정거장, 기타 선로상 제한속도 범위를 초과하지 않는 범위 내에서 결정하여야 한다.

2.2 통신기반 열차제어장치 전송 정보

2.2.1 지상→차내 전송 정보

- (1) 선행열차 위치정보, 제한속도, 운전방향, 행선지, 목표거리
- (2) 열차번호, 운전시간, 다음 역 정차시간, 출입문 정보
- (3) 경계속도, 선로제한 정보
- (4) 지정운전모드, 이동권한
- (5) 모드전환
- (6) setup
- (7) 출입문 제어정보
- (8) 임시속도제한 정보
- (9) Key-up, Down 정보
- (10) Reset 정보
- (11) 분기기, 연동장치 정보



(12) 승객안내 정보

(13) 불연속 정보를 포함한 기타 정보 등

2.2.2 차내→지상 전송 정보

(1) 열차번호, 행선지

(2) 편성정보

(3) 운전모드, 운행모드

(4) 정위치 정차 정보

(5) 출입문 정보

(6) 속도“Zero” 정보

(7) 이동권한

(8) 차량고장 정보, 차량상태 정보

(9) 현재 운행상황 정보(운행방향, 속도, 시간, 현재위치)

(10) 지상제어의 응답

2.3 통신기반 열차제어장치 주파수 할당

열차제어장치에 사용하는 주파수는 계약자가 지정하며, 지정된 주파수는 VVVF 차량, 변전소, 전차선 귀환전류 등의 주변에서 발생하는 유도전압 또는 어떤 종류의 간섭파로부터 보호되도록 하여야 한다.

해설 1. 통신기반 열차제어장치

1. 개 요

CBTC는 정보전송을 위한 통신링크를 제공할 뿐 아니라 움직이는 열차의 위치를 측정할 수 있는 시스템이다. 기존의 위치결정 시스템보다 더욱 정확하게 이동열차의 실시간 위치를 찾아내어 더욱 많은 정보량을 신뢰성 있게 전송할 수 있다는 것이 본 시스템의 장점이다. 따라서 열차는 제어실까지 자세한 상태정보를 전송할 수 있으며 제어실은 열차로 자세한 명령정보를 전송할 수 있다. 또한 열차 간 간격을 최소로 유지할 수 있어 운행효율을 높일 수 있다. 또한 CBTC 시스템은 기능에 따라 단순통신장비만을 제공하는 경우와 통신장비와 그에 따른 제어기능 까지 전송하는 경우가 있으며 또 제어기능을 포함하여도 집중형 제어형식과 분산형 제어형식으로 구성할 수 있다. 이는 제공되는 장비의 사양 또는 구매자의 의도에 따라 크게 다를 수 있다.

CBTC 시스템의 기술적 방식은 크게 두 가지가 있으며, 한 가지는 열차의 위치검지 방법으로 태그(Tag), 유도루프(Induction Loop) 와 차내센서(Onboard Sensors), GPS, 라디오(Radio) 등의 4가지가 있고 또 다른 기술은 열차와의 통신방식으로 차내와 지상 또는 기계실간의 통신방식이며, 이는 발리스, 유도루프(Inductive Loop), 누설 도파관(Leaky Waveguide), GSM-R, 확산 스펙트럼 무선(Spread Spectrum Radio) 등을 들 수 있다. <그림 1>은 CBTC 시스템 구성의 한 예인데, 분산된 제어구조와 확산 스펙트럼 통신기술(Spread Spectrum)을 사용한 형태로써, 제어센터는 여러 개의 제어실을 관리하여 제어실은 제어영역내의 모든 시스템(지상 시스템, 차내 시스템)의 안정성을 책임진다. 인접한 제어영역들은 열차가 제어영역에 들어가거나 떠나는 것을 허락하기 위해 일련의 교환 작업을 수행한다. 적절하게 배치된 선로변시스템은 다른 선로변시스템과 통신을 하기 위해서 확산 스펙트럼 무선장비와 안테나를 포함하고 있다. 차량시스템은 열차 내에 설치되어 있으며 이것도 확산 스펙트럼 무선장비와 안테나를 포함하고 있다.

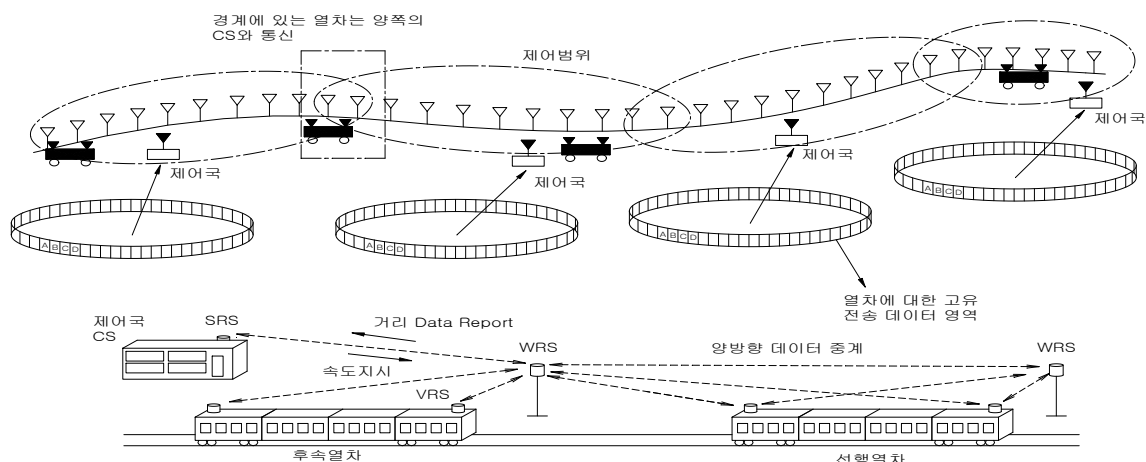


그림 1. CBTC 시스템 기본구성도



2. CBTC 시스템 주요기능

- (1) 위험상황 발생방지
- (2) 자동무인운전
- (3) 교통수요 변화에 대응하고 열차 운행 스케줄 최적화
- (4) 스케줄 및 서비스 통지
- (5) 임시속도제한에 대해 항시 감시구현
- (6) 추가 하드웨어 없이 양방향 운전가능
- (7) 열차에 대한 중앙집중 모니터링가능
- (8) 진로에 대해 연속적인 열차확인
- (9) 시스템 측면에서의 “열차의 역정차 유지” 특징
- (10) 스케줄조정 및 관련열차 감시기능가능

3. CBTC의 기본개념

3.1 기본개념

통신을 이용한 열차제어 시스템은 신뢰성 높은 차내 및 현장설비가 사용되고 지상의 중앙제어센터에 설치된 컴퓨터가 각 열차의 위치와 속도를 주기적으로 수립하여 선행 열차 위치와 속도제한 지점까지의 거리를 열차로 전송하고, 차내의 컴퓨터가 열차성능에 맞는 최적의 속도제어를 하는 것으로 지상과 차내간의 데이터 전송에 무선을 사용하는 것이다.

3.1.1 CBTC 용어는 <표 1>과 같다.

표 1. 통신을 이용한 열차제어시스템 명칭

명 칭	원 어	지 역
CBTC	Communication Based Train Control System	미 국
TBTC	Telecommunication Based Train Control System	일 본
RBTC	Radio Based Train Control System	유 럽
AATC	Advanced Automatic Train Control System	미 국
CARAT	Computer And Radio Added Train Control System	일 본

3.1.2 CBTC 시스템들은 공통적으로 다음의 3가지 사항을 가지고 있다.

표 2. CBTC 시스템들의 공통점

구 분	내 용
열차와 정보전송 방식	궤도회로방식을 사용하지 않는 무선주파수통신의 여러 종류
열차위치 결정방법	궤도회로 방식보다 더 정밀한 방법
안전성 유지	열차의 안전한 속도와 정확한 작동을 유지하기 위하여 컴퓨터로 열차위치 동작정보를 처리

3.2 CBTC 시스템의 기능

3.2.1 열차 위치결정 기능

열차의 위치를 결정하기 위한 주요장치는 시스템에 따라 열차에 설치되거나 현장의 선로에 설치되며 대부분의 CBTC 시스템들은 타코메타 또는 내부센서와 같은 차내 장치에 연결시키는 방법을 사용하며 열차위치결정을 위하여 트랜스폰더와 같은 지상 보조 장비를 한 가지 더 사용한다. 또한 위치데이터는 CBTC 시스템의 차내장치 또는 중앙처리 시스템에 수용된 선로 데이터베이스에 따라 결정된다.

3.2.2 열차의 속도제어 및 감시기능

CBTC 시스템은 열차가 가지고 있는 권한의 한계를 초과하지 않고 이동할 속도를 계산해야 하고, 그 속도를 수용하는 열차 움직임을 감시한다. 일반적으로 열차감시와 제어의 기능들은 차내장치와 사령실 사이에 설치된다. CBTC 시스템은 열차의 운용(만약, 무선운송시스템이라면) 또는 운전자가 지시를 따르지 않을 때 열차(만약, 제동이 적용된다면)에 교정한 측정치를 제어한다.

3.2.3 열차와의 정보통신기능

CBTC 시스템은 차내장치에서 제어시스템으로부터 다른 열차의 위치에 관한 데이터 또는 현재의 권한의 제한과 같은 정보를 통신해야 한다. 추가적으로 각 현장과 사령설비에서 차내장치로 열차의 각 위치, 속도, 제동특성과 같은 열차에 관한 정보를 통신한다. 많은 CBTC 시스템들에서 무선통신기술은 열차와 현장설비들 간의 통신들을 이어 주며, 많은 CBTC 시스템들에서 데이터는 궤도에 설치된 유도루프를 통하여 전송되며, 차내안테나와 통신한다.

3.2.4 장치 간 인터페이스 기능

운전자에게 운전신호, 숫자현시, 경고음 등을 사용하여 정보와 명령을 표시해야 한다. 이것은 일반적으로 하나 또는 더 많은 출력장치들로 연결되는 차내 컴퓨터의 기능이며, 여러 가지 기술들은 이러한 기능들의 수행에 사용되고, 각 현장 또는 차내 처리에 대한 두드러진 차이점들을 여러 방법들을 통하여 통합할 수 있다.

3.3 CBTC에 적용되는 기술

3.3.1 열차위치검지 방식

CBTC 시스템에서 열차위치를 결정할 때 사용되는 일반적인 기술은 발리스, 차내 센서와 결합하여 사용되는 유도루프 및 위성위치확인 시스템(GPS)이며, 또 한가지 시스템은 확산 스펙트럼 무선에 기반을 둔 삼각망(Triangulation) 기법을 사용한다.

(1) 발리스를 이용한 방법

위성중계기의 태그 또는 비콘으로도 알려진 발리스는 짧은 거리에 걸쳐 데이터를 전송하기 위해 제작된 소형 무선주파수장치이다.



이 발리스 장치들은 레일 자동차 및 인터모달(intermodal) 컨테이너를 추적하는 것
에서부터, 빌딩에 대한 액세스, 자동요금징수시설에서 요금징수에 이르기까지 CBTC
시스템 이상의 많은 응용장치에서 사용되고 있다. 열차제어용 응용장치로 적용된 발
리스는 노반의 선로사이나 선로의 측면에 설치된다. 열차하부에 부착되어 있는 발리
스용 안테나는 열차가 발리스를 통과할 때, 데이터를 수신하여 차내에 송신한다. 각
발리스는 경로상의 고유위치와 관련되기 때문에, 내장시스템이 어느 발리스를 통과
하고 있는지를 알게되면, 열차가 통과할 때 그 열차가 어디에 위치하고 있는지도 알
게 된다.

ETCS 규격에 설명되어 있는 유로발리스는 수동장치인데, 즉, 전원공급장치가 없으며
열차가 통과할 때 차내의 안테나로부터 신호주파수를 수신할 때까지는 대기상태에
있게 된다. 이러한 에너지 흐름으로 유로발리스는 데이터를 전송하고 열차로부터
데이터를 수신할 수 있게 된다. 내장시스템은 27.115MHz로 발리스에서 데이터를
전송하며, 발리스는 열차로 3.9 MHz로 데이터를 전송한다. 데이터 속도는
565Kb/sec이다. 최대 500 km/h(311mph) 속도로 달리고 있는 열차에 대하여,
이 시스템은 열차의 안테나가 위성중계기를 통과할 때 최대 1,023 비트 데이터의
메시지를 전송할 수 있다. Adtranz Signalling은 이전의 발리스 기반 열차제어시스템과
비교하여, 이것이 Ebicab 열차제어시스템에서 사용되는 발리스보다 100 배 더 양호한
성능을 나타낸다고 한다.

자신의 성능을 수행하는 것 이외에도, 발리스는 주행거리계 및 타코메타와 같은
차내시스템에서 얻어지는 위치확인 데이터를 보완할 수 있다. 예를들어, NYCT가
CBTC를 구축하기 위해 작성 및 전개한 문서에서, 데이터전송 등을 담당하는 조작자는
300-1,000 피트마다 발리스를 장착할 것이라고 예상했다. 이 태그에서 수집된 데이터는
차축 타코메타에서 구한 위치확인 데이터에서의 누적 에러를 정정하기 위해 사용된다.
NYCT는 하나의 시스템지역에서 다른 지역으로 또는 하나의 궤도에서 다른 궤도로
열차가 경계를 넘어갈 때 열차위치를 확인하기 위해 태그를 사용할 것을 계획했다.
발리스의 한가지 장점은 위치 확인을 위해 사용되는 데이터뿐 만 아니라 열차와
현장사이의 다른 데이터도 전송할 수 있다는 점이다. 이것은 ETCS 레벨 1 시스템에서
사용되는 기법이다. 발리스의 주요한 단점은 궤도상에 위치되기 때문에, 정상적인 마모
및 파손, 파괴, 또는 궤도 유지보수 과정 중의 파손이나 위치 이동과 같은 다른 궤도
요소들과 동일한 위험에 취약하다는 것이다.

(2) 유도루프(Induction Loop)와 차내 센서(Onboard Sensor)를 이용한 방법

유도루프시스템에서, 초반에 설치된 와이어의 루프는 안테나 역할을 하며, 데이터를
열차에 설치된 안테나에 전송한다. 루프는 주로 열차~현장 통신매체의 역할을 하면서,
열차의 위치를 결정하는 데 도움을 주도록 사용될 수 있다.

CBTC 시스템에서, 루프는 약 80 피트 마다 서로 엇갈리는 구조로 내장 시스템이 이 교차지점을 검출하게 되면, 발리스를 통과하고 있는 열차와 거의 유사하게 그 위치를 결정한다. Seltrac 기술을 기초로 한 샌프란시스코의 Muni 사의 선행열차제어시스템(ATCS)은 계속하여 열차의 위치를 감시하기 위해 내장 타코메타와 가속도계를 사용하여, 절대위치(recalibration)를 제공하기 위해 82피트마다 루프를 교차토록 하여 사용되고 있다.

Thales사는 1980년대 중반부터 운용중인 Seltrac 시스템을 보유하고 있으며 NYCT의 유도루프는 대략 20피트의 위치확인 분석을 제공하고 폐색 내의 열차 존재를 단순히 검출하는 궤도회로에 근거하는 시스템에 대한 주요 개선점이 되고 있다. 그러나 유도루프는 궤도회로나 노반에 설치된 다른 장비와 동일한 종류의 파손위험에 노출된다.

(3) GPS(Global Position System)를 이용한 방법

"유도 미사일"을 유도하는 것에서부터 주말 여행자들이 여행을 하게 하는 것까지 많은 응용장치에서 사용되는 것으로 잘 알려진 바와 같이, 위성 위치확인 시스템(GPS)은 미국 국방성이 소유하고 있는 24개의 위성집단에 의존한다. 위치를 계산하기 위해, 위성 위치확인 시스템 수신기는 적어도 3개의 위성으로부터 신호를 받아야 한다. 각 위성으로부터 수신기에 도달하는 신호가 걸리는 시간을 비교하여, 수신기는 지구 상에서 대상의 위치를 계산할 수 있다. 열차제어시스템에서, 레일시스템 상에서 열차의 위치를 결정하기 위한 지리적 좌표는 열차의 데이터베이스와 관련된다.

미국 군대는 민간용도에 대해 위성위치확인 시스템 서비스의 질을 약간 저하시키기 때문에("선택적 가용도"로 알려짐), 이 서비스를 상업용으로 사용하는 사람들은 100 m (약 300피트) 내에서만 정확성을 예상할 수 있다. 좀 더 정확한 위치를 원하는 사용자들은 차동 위성위치확인 시스템(DGPS)을 사용하여 자신의 위성위치확인 시스템 신호의 성능을 개선할 수 있다. 이 기술은 이동하는 자동차에서 구한 위치를 센터에서 결정된 위치와 비교한다. 그렇게 하여, 시스템은 이동수신기에서 오차정도를 계산하여 필요한 정정을 할 수 있으며, DGPS를 통해 구한 위치는 10m 이상의 거리이내까지 정확할 수 있다.

열차 제어에서 위성 네비게이션을 사용하는 것에 대한 한 가지 주요 장점은 이 장비가 궤도 위가 아닌 열차에 설치되어 장비가 파손되는 것을 감소시키며 하드웨어를 유지보수 및 교체하는 것을 더 쉽게 해준다는 점이다. 그러나, GPS는 대부분의 도시 환경에서는 좋은 선택이 아니다. 내장수신기가 위치를 확인하기 위해 적어도 3개의 위성을 수신해야 하기 때문에, 이 기술은 높은 빌딩들이 하늘의 시야를 가리는 장소에서는 간헐적으로 작동하며 터널이나 지하 메트로 시스템에서는 전혀 작동하지 않는다.



(4) 라디오 랭킹(Radio Ranging)을 이용한 방법

샌프란시스코의 Bay Area Rapid Transit(BART)에 설치된 고도자동 열차제어시스템(AATCS)으로 본 연구의 대상이 되는 CBTC 시스템과는 다른 위치확인 방법을 사용한다. AATCS에 대한 기술은 원래 Hughes Aircraft (현재 Raytheon)사와 Morrison Knudsen사의 합작으로, 주요한 재정지원은 미국 연방 정부에 의해 BART용으로 개발되었다. 첫번째 개발 및 시험 단계 이후에, 프로젝트 참여자들은 신호시스템 공급회사들이 추가의 작업을 해야할 필요성이 있다고 결정하였다. 결과적으로, Harmon 사는 Raytheon사로부터 AATCS 기술을 사용허가 받아서 주 계약자가 되었다.

AATCS의 위치확인 구성요소는 확장위치 보고시스템(EPLRS)이라고 불리며, 그 기술은 원래 전투시 응용하기 위해 미국 국방성에서 사용하기 위해 개발되었다. AATCS를 위해 데이터통신을 제공하는 동일한 현장 확산스펙트럼 무선망에 근거하여, EPLRS는 내장시스템과 여러 개의 현장 라디오 사이에 전달되는 데이터 전송 시간에 걸리는 시간을 측정하고 비교하여 위치를 결정한다. 이 시스템은 0.5초마다 각 열차의 위치, 속도 및 방향을 측정한다.

BART에 따라, AATCS 프로젝트는 정부자원과 자신의 예산에서 재정지원으로 대략 8,300만 달러, 프로젝트에 참여하는 공급업자들로부터 1500만 달러를 받았다. 이 금액 중 얼마나 많은 금액이 특별히 위치확인 기술에 지출되었는지를 계산하는 것은 아마도 불가능하며, 그 이유는 그것이 통신시스템과 본질적으로 관련되기 때문이다. 명백하게, 이것은 값비싼 프로젝트이며, 많은 비용이 필요한 이유는 공급업자들이 BART용으로 이 시스템을 주문 개발한 것에 기인한다. 마찬가지로 명백한 것은, 일반 트랜짓 운용회사들은 연방 정부 기관이 관대하게 동의하지 않으면, 그러한 고가의 계획을 수행할 수 없다. 반면에, 다른 트랜짓 운용회사들이 유사한 시스템을 설치하기를 희망하는 경우, 그 기술개발 비용을 감당하지 못할 것이다.

3.3.2 주요통신 방식

CBTC 시스템을 전통적인 열차제어시스템과 구별짓게 하는 것 중 한 가지는 CBTC 시스템이 현장제어시스템과 열차에 내장된 시스템 사이에 정보를 전달하기 위해 궤도회로를 사용하지 않는다는 사실이다. 파손에 대한 취약성 이외에도, 궤도회로는 특별한 또 다른 단점이 있다. 그 첫째 이유로, 전통적인 열차제어시스템은 근본적으로 단방향 통신기술이다. 궤도회로가 현장에 전달하는 열차에 관한 한 가지 정보는 열차(또는 회로를 연결하는 또 다른 장애물)가 블록 내의 어딘가에 존재한다는 사실이다.

다른 방향에서, 궤도회로는 현재 블록의 끝까지의 거리와 같은 데이터와, 열차가 그 다음 블록에 존재하는지에 대한 데이터를 전송하고 할 수 있고, 이 데이터들은 내장시스템이 안전속도와 제동거리를 계산하여 자동열차보호(ATP) 기능을 제공하기 위해 사용될 수 있다. 이 데이터들은 또한 기관실내 신호에 대한 신호양상을 나타내는 코드를 전송하기 위해 사용될 수 있다.

CBTC 시스템 개발자들은 궤도회로보다 더 효과적이며 더 융통성 있는 통신 전송 라인을 병합하기 위해 노력하고 있다. 가장 흔하게 사용되는 기술로는 발리스, 유도 루프, 누설 도파관 및 몇몇 종류의 무선망기술이 있다.

(1) 발리스를 이용한 방법

현장과 열차사이에 통신용 주요 전송로로 발리스를 사용하는 대부분의CBTC 시스템은 ETCS 레벨 1 시스템이다. 이러한 시스템은 현장신호를 읽어들이어 사용하는 기존의 열차제어시스템을 능가하는 안전시스템이다. 발리스가 차내신호 시스템에 전송하는 데이터는 발리스가 연결된 신호에 의해 전달되는 정보를 복사된다. 이것을 열차의 위치나 속도와 같은 다른 알려진 정보와 결합하여, 차내신호 시스템은 열차가 신호 지시를 따르고 있는지를 결정하고 그렇지 않으면, 브레이크를 적용한다.

이러한 방식으로 발리스를 사용하는 것에 대한 한 가지 인지되고 있는 단점은 발리스가 열차와 간헐적(비연속적)으로 통신을 한다는 것이며, 열차 안테나는 발리스를 통과할 때만 발리스로부터 데이터를 수집할 수 있다는 점이다. 열차가 발리스 사이에 있는 동안 다른 상태의 신호양상이 변하면, 차내신호 시스템은 이 정보를 즉각 수신할 수 없다. 이것은 앞선 신호가 소거된 후에 기관사가 열차를 계속하여 느리게 운전하는 것과 같이 비효율성을 초래할 수 있다. 이러한 사태를 막기 위해, 시스템은 발리스 사이에 연속적 또는 비연속적 전송을 제공하기 위해 인필(infill) 장치를 사용할 수 있다. ETCS 규격은 발리스 사이에 신호를 열차로 전송하기 위해 확산 스펙트럼 변조를 사용하여 열차베드에 설치된 누설 동축케이블인 유로루프(Euroloop)를 포함한다. 이 장치는 유로발리스와 동일한 안테나를 사용하며, 장비가 중복 설치되는 필요성을 제거한다. 비엔나~부다페스트 ETCS 레벨1 시험 구간의 헝가리 측에서, 헝가리 국영철도회사인 Magyar Allamvasutak(MAV)는 인필(infill)을 위해 75Hz 궤도 회로와 기존 자동열차보호시스템을 사용하고 있다.

(2) 유도루프(Inductive Loop)를 이용한 방법

유도루프는 적어도 1980년대 중반부터 CBTC 시스템에서 사용되고 있다. 예를 들어, Thales사는 이동폐색 Seltrac 시스템의 초기 버전에서 이 유도루프를 사용하고 있다. Matra사는 고정폐색 CBTC 시스템의 일부에서 루프를 통해 통신을 사용하고 있다.

유도루프방식은 위에서 언급한 바와 같이 최대 1200 bit/sec의 비교적 낮은 대역폭을 제공하며, 파손에 취약하다.



루프가 CBTC 시장에서 인지도가 높다고는 해도, 철도운용회사와 공급회사 모두 무선기반 통신시스템을 이동할 것으로 보이기 때문에, 루프의 장기적인 미래가 보장 받게 될 것으로는 보이지 않으며, 이 방식은 ETCS에서도 역할을 하지 못한다. NYCT는 적어도 북미 도시 교통에서, CBTC에 대한 사실상의 표준을 설정할 것으로 예상되는 CBTC 시스템에 유도 루프방식에 대한 기술을 고려하지 않았다. NYCT의 필요성에 대응하여, 루프기반 Seltrac 시스템으로 상당한 성공을 거둔 것으로 보이는 Thales사는 확산 스펙트럼 무선버전을 개발하여 사용하고 있다.

(3) 누설 도파관(Leaky Waveguide)를 이용한 방법

도파관은 무선주파수신호의 흐름을 전송시키기 위해 사용하는 장치이다. 이 장치는 예를 들어 속이 빈 금속 튜브, 동축케이블 또는 광섬유케이블이 될 수 있다. 누설 도파관은 길이를 따라 한 쪽에 슬롯이 있어서 RF 신호가 슬롯을 통과할 때, 신호는 한 방향으로 누설된다. 인필 통신을 위해 ETCS 규격에 따라 정의된 "유로루프"는 확산 스펙트럼 신호를 전송하는 누설 동축케이블로 구성된다. 싱가포르 북동부지방 철도를 위해 Singapore Mass Rapid Transit (MRT)에 Alstom이 공급하고 있는 Sacem 시스템 버전은 궤도의 한쪽을 따라 이어지는 속이 빈 직사각형 알루미늄 성형물을 통해 확산 스펙트럼 신호를 전송한다. 유로루프가 보조통신매개체로 설계된 반면, 싱가포르의 누설 도파관은 현장과 차내시스템 사이에 양방향으로 데이터를 전송하는 주요 수단이다.

(4) GSM-R(Global System for Mobile Communications-Railroads)를 이용한 방법

이동통신 세계화시스템(GSM)은 유럽전기통신표준위원회(ETSI)에 의해 개발된 디지털 무선통신을 위한 표준이다. 이 표준에 근거하는 최초의 상업용 서비스는 1991년도에 유럽에서 시작되었으며 현재 전세계적으로 200개 국 이상에서 제공되고 있다.

GSM-R은 철도에 사용할 목적으로 최적화된 GSM 버전이며 공공 GSM 서비스에 의해 사용되고 있는 대역 바로 아래의 900 MHz 범위에서 그 주파수 대역을 점유하고 있다. GSM의 특수버전은 유럽의 철도가 철도통신 필요성이 점점 늘어나고 있는데 대하여 더 많은 스펙트럼을 필요로 하고, 철도통신시스템이 국경을 넘어서 상호동작할 수 있도록 공통대역을 원했기 때문에 생겨나게 되었다. 2년 간의 연구 끝에, Union Internationale des Chemins de Fer (UIC-국제 철도 연합)에서 결성한 그룹인 유럽통합철도 무선고도망(Eirene) 규격팀은 1993년에 GSM 기술을 철도통신요구에 가장 적합한 것으로 선정하였다. 1994년에 시작하여, Eirene 그룹은 레일에 대한 GSM 서비스를 위한 규격을 개발하기 위한 프로젝트를 수행하였다. ETCS 표준을 개발하기 위한 프로젝트와 함께 ERTMS 계획을 구성하고 있다.

공공 GSM과 비교하여, GSM-R 표준은 더 짧은 통신설정시간을 명시하고 있으며 통신경로를 설정할 때 성공하기 위한 요건에서 더 정확하다. 이 표준은 또한 시스템을 통해 전달되는 메시지의 프라이버시를 보장하기 위해 암호화 방식을 제공한다.

GSM-R은 ETCS 및 다양한 다른 응용장치를 위한 음성 및 데이터 전송 모두를 제공하도록 설계되며 철도가 하나의 플랫폼 상에서 모든 무선통신을 결합하도록 해준다. 열차제어와 함께, ETCS 데이터 전송에 대해 가능한 응용으로는 원격 열차진단, 화물추적, 운용과 관련이 없는 근거리 및 광역 응용장치, 일정정보 및 티켓발매와 같은 여객정보를 포함한다.

GSM 기술은 최대 9,600 bit/sec의 데이터전송을 제공한다. 다른 무선 매체와 같이, GSM-R은 현장의 궤도회로장치를 필요로 하지 않는다는 장점을 제공한다. 또한, 널리 승인된 표준(30개국 이상의 유럽철도들이 GSM-R을 구현하기 위한 계획에 서명했다.)에 기반을 두기 때문에, 국경을 넘어서 상호 동작성을 제공하는 목표를 달성하게 될 것이다. 그렇게 많은 철도들이 그 기술을 사용하기로 계약했다는 사실은 많은 GSM-R 장비 제작자들이 자신들의 사업을 위해 경쟁하고 가격이 하락된 시장을 형성하게 한다.

(5) 확산스펙트럼무선(Spread Spectrum Radio)을 이용한 방법

확산스펙트럼무선 기술은 원래 군용으로 개발되었으며, 확산스펙트럼 전송은 끼어들기나 전파방해가 어렵기 때문에 군용에서는 높이 평가되었다. 확산스펙트럼은 주파수 호핑(frequency hopping)이나 직접 시퀀스라는 두 가지 방법을 사용하여 무선송신에 일반적인 것보다 더 넓은 대역폭으로 신호를 확산한다. 주파수 호핑시스템에서, 송신기는 자기 자신 또는 다른 종단에서 디코더에 의한 패턴에 따라, 규칙적인 간격으로 송신주파수를 변경한다. 직접 시퀀스 시스템에서, 송신기는 자신이 실제로 송신할 필요가 있는 각 비트 대신에 명백하게 랜덤인 데이터비트 패턴을 송신한다. 그 패턴을 알고 있는 수신기는 암호화된 메시지를 다시 원래의 형태로 변환할 수 있다. 두 가지 방법 중에서, 직접 시퀀스가 더 자주 사용된다.

확산 스펙트럼은 군용으로 개발되었음에도 불구하고, 현재 많은 일반 응용에서 사용되고 있다. 그 용도로는 무선 근거리망(LAN)에서 사무실 컴퓨터를 연결하는 것과, 데이터를 보관소에 있는 휴대용 스캐너로부터 전송하는 것을 들 수 있다. 그 인기에 대한 한 가지 이유로는 여러 국가에서 허가 없이 사용되도록 승인된 주파수 대역에서 동작한다는 점이다.

철도응용을 위해 영업중인 확산 스펙트럼 무선시스템의 한 가지 예는 Safetran Systems 사의 S3/Link 제품이다. Safetran 사의 문서에 따르면, 이 시스템은 15,600 bit/sec, 21,200 bit/sec 또는 62,400 bit/sec로 데이터전송을 제공한다. 일반적으로, 확산 스펙트럼 기술은 최대 약 2Mb/sec의 데이터속도를 제공하며, 보통 900MHz나 2.4GHz 대역에서 동작한다.



3.4 CBTC의 일반적 구성

CBTC 시스템의 종류는 여러 가지가 있으며, <그림 2>는 무궤도방식이고 <그림 3>은 가상궤도회로를 보유한 방식의 CBTC 일반구성도이다.

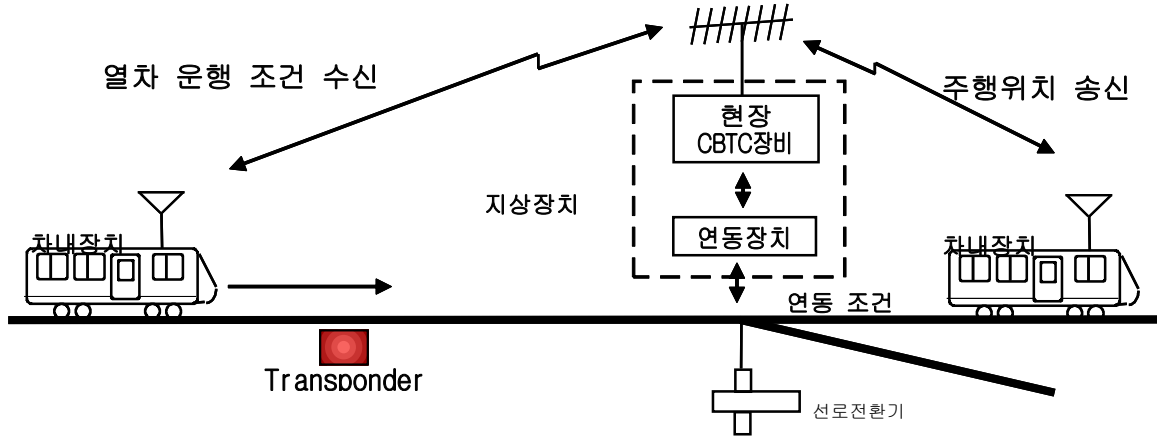


그림 2. 무궤도방식 또는 보조적 궤도회로방식

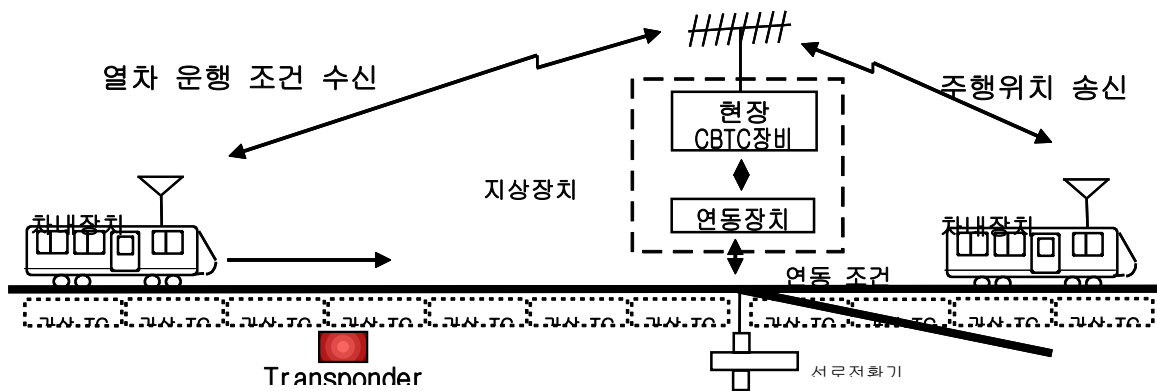


그림 3. 가상궤도회로를 보유한 방식

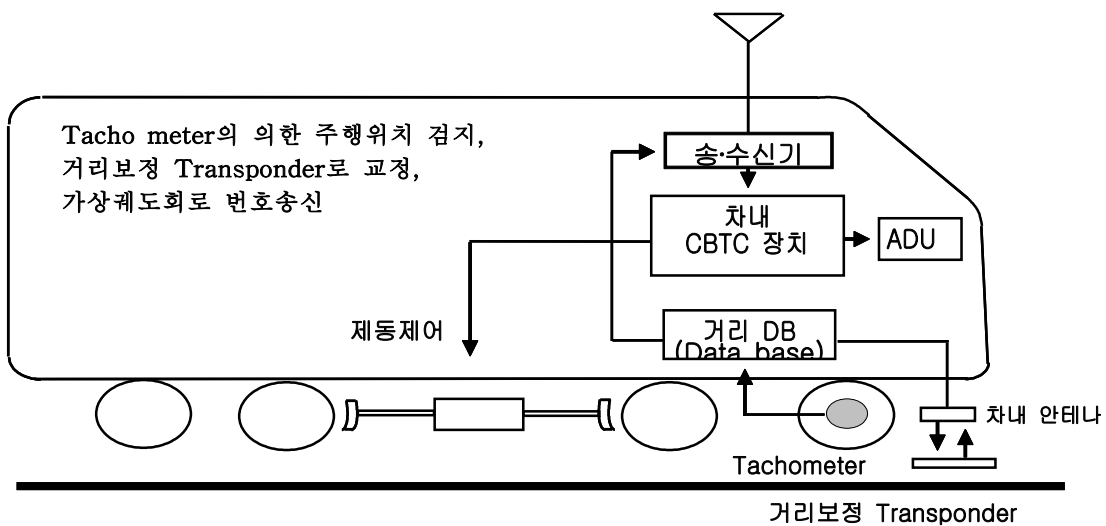


그림 4. 차내장치

<그림 4>와 같이 차내와 현장 및 기계실간의 통신장비를 주축으로 하여 제어장치, 연산장치, 거리보정장치, 보수자장치 등의 설비들로 구성되어 있으며 하부조직은 크게 4개로 구성되어 있으며 그 구성의 예는 다음과 같다.

표 3. CBTC 장치의 구성

Maintenance Level	<ul style="list-style-type: none"> • LDP • Train Control Computer • CDTS • TCC • MSC 	<ul style="list-style-type: none"> • RBC(Radio Block Center) • Central Radio Dispatch • Network • Router
Wayside Level	<ul style="list-style-type: none"> • LDTS • 연동장치 • ATC장치 	<ul style="list-style-type: none"> • Local Control Computer • Movement Authority Unit • 전원장치
Field Level	<ul style="list-style-type: none"> • 신호기 • 전기선로전환기 • 궤도회로 • Transponder 	<ul style="list-style-type: none"> • Radio Box • 안테나 • Router
Onboard Level	<ul style="list-style-type: none"> • Radio • Cab Signal Computer • CBTC 장치 	<ul style="list-style-type: none"> • Aspect Display Unit • Transponder 안테나 • Tachometers

4. CBTC 시스템의 종류 및 구성

4.1 CBTC 시스템 종류 및 구성

열차운행을 고속화 및 고밀도화한 현대 철도운영의 최대목표는 열차운행의 제어방법과 그 안전성이다. 이것의 기본은 신호시스템이며 이를 위하여 여러 가지 방식의 신호시스템이 개발 및 사용되거나 시험설치 중에 있다. 그 중 무선을 이용한 열차제어 시스템은 지상의 중앙제어센터에 설치된 컴퓨터가 각 열차의 위치와 속도를 주기적으로 수집하여 선행열차위치와 속도제한지점까지의 거리를 열차로 전송하고, 차내의 컴퓨터가 열차성능에 맞는 최적의 속도제어를 하는 것으로 지상과 차내간의 데이터 전송에 무선을 사용하는 것이다.

4.1.1 ITC 시스템

(1) 개요

1994년부터 Harmon Industries Company가 개발을 추진해온 ITCS (Incremental Train Control System)은 이미 1980년부터 개발을 진행한 ATCS의 불충분한 열차제어 기능을 확충한 것으로 이 시스템은 미국의 AMTRAK 여객열차의 고속화를 위해 개발되고 있다.



(2) 목적

디트로이트와 시카고간을 운행하는 AMTRAK 여객열차의 현재 운행시간이 5시간 35분이 소요되어 운송능력의 저조함을 보이고 있는 문제점을 해결하기 위해 ITCS의 기술을 개발 적용하여 현재의 운행시간보다 약 2시간 30분 단축할 목적으로 개발 추진되고 있다.

(3) 시스템의 구성

ITCS의 특징은 첫째로 이미 설치된 ATP의 신호설비를 활용하고 여객열차의 고속 신호만을 ITCS로 차내 신호화하며, 둘째로 열차위치검지를 GPS를 이용한다. <그림5>는 ITCS의 데이터 흐름을 나타낸다. 지상에는 WIU서버를 거점에 두고 분산제어방식으로 고속열차에 대한 건널목의 정시간 제어도 하고 있다.

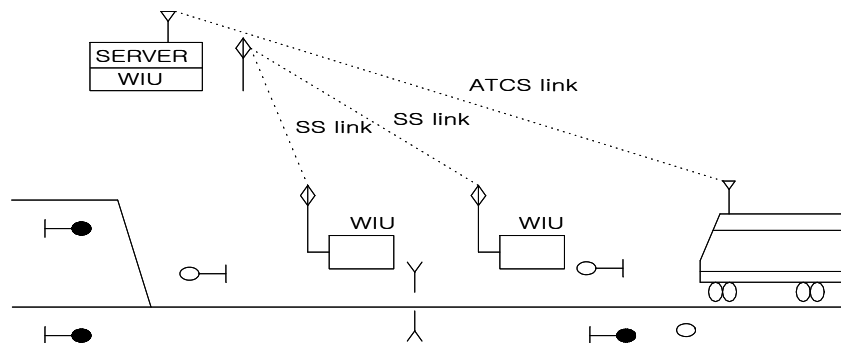


그림 5. ITCS 데이터 흐름도

(4) 안전성

Harmon에서 개발 추진하는 ITCS는 그 기술의 원리를 ERLRS(Enhanced Position Location Reporting System)에 두고 있으므로 AATC의 안전성과 비슷하다 할 수 있다.

(5) 무선통신방식

지상과 열차간에 무선으로 전송하는 정보는 900MHz의 ATCS 링크를 사용하고 있다.

(6) 위치결정방식

열차위치검지는 GPS(Global Position System)을 활용하고 있다.

4.1.2 SELTRAC 시스템

(1) 개 요

SelTrac S40은 Thales사에서 연구개발 되어오던 SelTrac 시스템의 일부로써 무선 통신 기반을 기초로 하여 개발되었으며 SelTrac 시스템은 샌프란시스코, 캘리포니아, 런던 등에서 시험 과정을 거친 시스템이다.

(2) 목 적

철도 건설의 막대한 초기투자비를 줄이고 운용비를 저렴하게 하는 경제적 효과와 정확한 역 정차 기능, 융통성 있는 운용 및 지속적인 열차의 위치검지 기능을 보다 안정적으로 운용하기 위하여 개발되었다.

(3) 시스템의 구성

- ① SelTrac S40 시스템은 다양한 시스템 기능과 신속하고 장애회복 기법을 제공하여 교통시스템(Transit System) 운용자의 융통성과 안전을 보장하고 SelTrac S40 시스템은 전자동무선 ATC(Automatic Train Control) 시스템으로, 열차이동의 안전제어기능과 안전한 열차간 이격기능을 제공하여 다음과 같은 ATC 기능을 완벽하게 지원한다.
 - 가. 자동열차운전(Automatic Train Operation)
 - 나. 자동열차보호(Automatic Train Protection)
 - 다. 자동열차감시(Automatic Train Supervision)
- ② SelTrac S40 시스템은 열차이동을 자동제어하며, 열차의 안전을 유지하여 분산형 전자동장치(Distributed Electronic Interlockings)와 중앙집중식 열차감시기능(Centralized Supervision)을 하나의 “논리블록시스템(Logic Block System)”으로 운용한다.
- ③ ATP는 열차의 안전한 이동기능을 관장하는 서브시스템이며, 이 시스템은 열차 이동간 충돌, 예상치 않은 출입문 개방 등으로 인한 승객사고, 부적절한 선로전환기 작동/설정 또는 열차의 허용속도/지령속도 초과 등으로 인한 후방과 전방 및 측방 충돌을 방지한다.
- ④ 이 ATP 서브시스템은 다음과 같은 기능들을 제공한다.
 - 가. 연속적인 전방향 열차위치 감지 : 지상과 차내장치간 Vital 통신 정보에 의하여 시스템 전역에 걸쳐 모든 열차의 연속적인 위치감지 기능을 제공
 - 나. 안전한 열차이격 : “로직블록(Logic Block)” 길이에 준하여 필요한 최소한의안전 정차거리를 유지합니다. 모든 블록 길이는 속도제한(Civil Speed Limitations)과 차량 특성에 따라 계산
 - 다. 선로전환기 쉐정(Switch Deadlocking) : 열차가 OS(Over the Switch) 블록을 이동중일 때 선로전환기가 움직이지 못하도록 쉐정하며, 선로전환기가 전환(align) 및 쉐정처리 된 것으로 확인되지않고는 선로전환기 위치로 열차가 진입하지 못하도록 하기 위해 선로전환기 쉐정기능을 제공
 - 라. 루트배열 및 쉐정(Aligning, Locking Routes) : 열차루트가 분리 또는 통합되는 지점에서 루트를 배열, 쉐정하여 열차를 감시
 - 마. 열차의 속도제한 : 안전운전과 속도제한 규정에 준하여 열차속도를 제한
 - 바. 열차운행방향 감시 : 시스템 전역에 걸쳐 열차운행방향을 감시
 - 사. 열차의 후진(Rollback) 감시
 - 라. 열차 출입문 통제 : 안전연동(Safety Interlock) 기능을 제공
 - 마. 열차의 무결성 감지 : 각종 비정상 작동사례 및 열차회선감시 기능을 제공

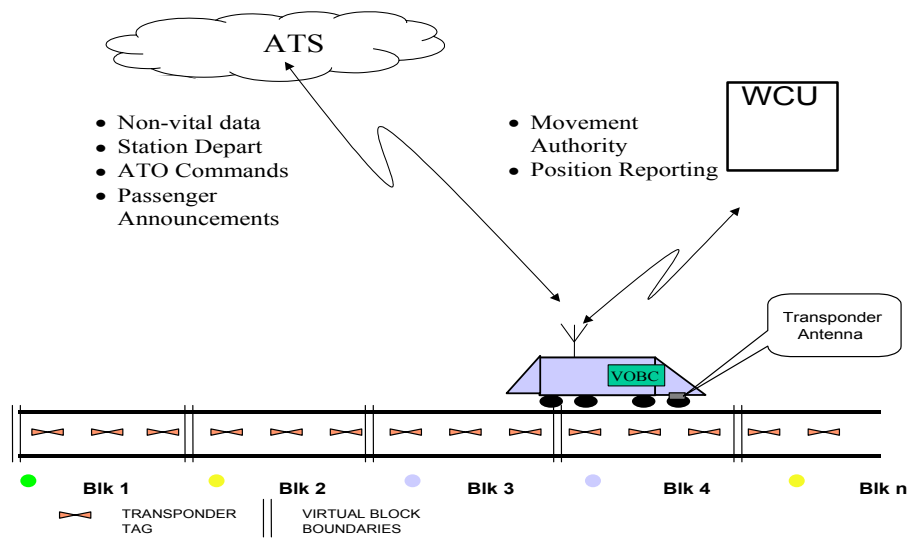


그림 6. 지상무선통신

- ⑤ ATO는 속도조절, 프로그램에 따른 정차, 열차출입문제, 성능 레벨규정 등 Non-Vital 기능들을 수행한다. ATO 명령은 항상 ATP 서브시스템의 감시 규제를 받는다.
- ⑥ ATO 서브시스템은
 - 가. ATP 서브시스템에서 부여하는 제한속도 범위 내에서 열차속도 제한명령을 제공한다. 운전정책 기준에 맞추어 양질의 승차감을 보장
 - 다. 정류장 정차 시간을 관장
 - 라. 차내 승객정보 시스템을 관장
- ⑦ ATS 서브시스템은
 - 가. 열차위치와 모든 ATC 구성요소들의 운용상태를 감시하고 현시
 - 나. 열차시격을 관장
 - 다. Man-Machine 인터페이스를 구성
 - 라. 열차의 경로를 자동지정
 - 마. 열차의 종착지/차선 할당기준에 따라 선로전환기 이동과 열차반복운전(Reversal)을 요청
 - 바. 시스템 연착 또는 중앙제어실 사령원의 명령(Central Operator Commands)에 따라 정차(Dwell), 속도 등 시스템운용 파라미터들을 수정
 - 사. 통신 서브시스템들과 인터페이스
 - 아. 관리내용 보고를 위한 데이터를 수집
 - 자. 승강장과 차내에 있는 승객정보시스템(Passenger Information System)과 인터페이스
 - 차. SCADA, 실시간 클럭시스템(Real Time Clock Systems) 및 중앙제어실 사령원(Central Operator)에게 정보를 제공하는데 필요한 기타 서브시스템들과 인터페이스
- ⑧ SelTrac S40은 다수의 동일한 빌딩 블록들로 구성되어, 확장이 용이한 융통성 있는 시스템 아키텍처 기반을 제공한다.

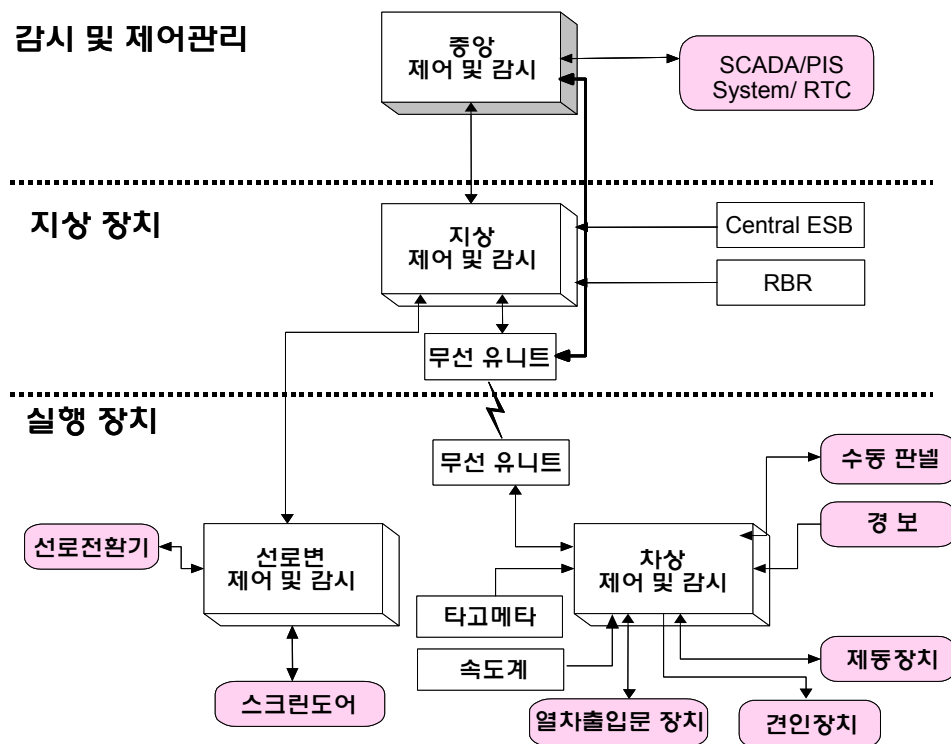


그림 7. Seltrac 기능블럭도

(4) 안전성

SelTrac S40 시스템은 전-이중화 방식을 채택하여 장치 한 개가 장애를 일으켜도 전체적인 서비스 중단이 일어나지 않도록 설계되었다. 중앙제어실, 네트워크, 통신장치, 지상 ATP, 차내 시스템들은 모두 이와 같은 이중화 방식으로 설계되었다.

본 시스템의 RAM(Reliability, Availability, Maintainability)은 다음과 같은 기본 원칙들을 바탕으로 한 것이다.

- ① 단일 장치에 장애가 발생한 경우, (서비스 중단 없이) 정상적인 작동
- ② 다수 장치에 장애가 발생한 경우, 기능 저하는 있으나 정상작동
- ③ 사령원 콘솔의 원격메시지와 장애장비의 가시경보 등을 이용한 손쉬운 장애감지 및 식별
- ④ 모듈화 구성 및 표준화, 호환성 등을 바탕으로 유지보수 시간절감

Thales에서는 필수적인 모든 시스템과 서브시스템에 대해 이중화 구성방식을 채택하고 있다. 따라서 장애가 발생할 경우, 병렬 운용되는 예비장치를 이용해 정상 동작할 수 있게 하며 서비스에 영향을 미치지 않는다. 이와 같은 방식을 통해 시스템의 가용성을 크게 높일 수 있다.

예비장치를 이용한 순조로운 절체가 이루어질 수 있도록 시스템을 설정하며, 이중화 장치 모두에 장애가 발생할 경우, 즉시 보고되어 서비스 중단 없이 즉시 유지보수가 이루어질 수 있게 한다.



이벤트/경보 메시지 및 에러 코드 등을 이용하여 시스템 및 서브시스템 장애시 간편한 진단이 이루어질 수 있도록 하며, 이 이벤트/경보 메시지 및 에러코드들은 중앙제어실에서 수신하여 장애 시스템을 파악함으로써 현장에서의 장애 복구시간을 줄여준다. 아울러, 정보/경보 메시지의 우선순위를 메시지 색상으로 구분하여 중앙제어실 내 경보메시지 함에 표시한다. 메시지 종류에 따라 가칭 경보를 동반하는 경우도 있다.

(5) 무선통신방식

열차와 지상장치 사이의 통신에 확산스펙트럼 주파수호핑무선(Spread Spectrum Frequency Hopping Radios)를 사용한다.

(6) 위치결정방식

열차 위치는 다음 입력정보를 이용하여 결정한다.

- ① TI(Transponder Interrogation)을 이용하여 절대적인 위치 결정
- ② 두 개의 회전속도계에서 제공하는 위치 정보

열차가 트랜스폰더가 설치되어 있는 선로를 지날 때마다 TI 유닛에서 트랜스폰더 ID를 수신하게 된다. 이 정보는 직렬로 이 TI 유닛을 통해 ATP로 전송되어 처리하게 된다. ATP는 수신한 ID가 트랜스폰더 순서와 최근 수신 후 이동거리 면에서 정확한지를 확인한다. 그런 다음 확인된 트랜스폰더 ID와 관련한 선로위치는 저장된 테이블에서 검색하게 된다.

(7) 실용화 계획

현재 Thales사에서는 SelTrac S40을 설치 운용한다고 하며 SelTrac S40을 설치하여 운용중인 곳은 다음과 같다.

- ① 잭슨빌 스카이웨이(Jacksonville Skyway)
- ② 뉴욕국제공항(Newyork International Airport)
- ③ 탬파국제공항(Tampa International Airport)
- ④ 플로리다 월트 디즈니 월드(Walt Disney World Florida)

SelTrac S40 무선솔루션은 현재 솔루션 개발이 완료되어 상용 서비스 중이다.

- ⑤ 라스베가스 모노레일(Las Vegas Monorail)
- ⑥ 페니 베이 라인(Penny's Bay Line) (홍콩 MTRC)

4.1.3 AATC(BART) 시스템

(1) 개요

AATC 시스템은 Advanced Automatic Train Control의 약어로 1992년부터 미국의 BART(Bay Area Rapid Transit : 샌프란시스코만 지역고속철도)와 휴즈항공사(Hughes Aircraft Company)에서 개발을 진행하고 있는 무선에 의한 열차제어시스템이다.

AATC 시스템은 걸프전에서 그 위력을 실증한 EPLRS(Enhanced Position Location Reporting System : 고도위치표정검지시스템)를 열차추적과 열차제어에 이용하려고 하는 것이다. EPLRS는 군사에서의 전체 부대, 차량, 항공기의 위치를 3차원으로 자동적으로 추적하고 지령관에게 보고하는 시스템이다.

(2) 개발의 목적

① 시격 단축

샌프란시스코만 지역 고속철도(BART)는 연장 115km, 34개 역의 노선을 42편성의 열차(차량 수 590량)가 피크시 150초 간격으로 운전하고 있는 전자동식의 무인운전이다. 그럼에도 불구하고 수송수요는 넘치고 1998년까지 운전시격을 80초로 단축해야만 한다. 신호설비의 개량에 따라서 이것이 가능하면 현재의 선로조건으로 수송력이 거의 배가되므로 궤도증설 공사를 우선 늦출 수 있다.

② 군사기술 응용

현재 영업중의 설비는 무절연 궤도회로를 이용한 고정폐색방식으로 폐색구간마다 목표속도를 부여하여 열차를 감속시킨다. 운전시격을 단축하기 위해 단순히 궤도회로를 세분화하면 1폐색당 3만 달러라는 고액의 투자가 필요할 뿐만 아니라 설비의 증가에 따른 시스템의 신뢰성 저하의 문제가 있다. 또한 선로변 작업시에 현재 운용 중인 설비의 사용이 불가능해 열차운행을 할 수 없다는 점도 고려하여야 한다. 그러나 저비용으로 궤도회로내의 열차위치를 세밀하게 추적할 수 있다면 이러한 문제는 없다. 그래서 BART는 휴즈(Hughes)사의 EPLRS를 이용하여 연속적으로 열차위치를 검출하는 최신형 열차제어시스템(AATC)으로 변경하는 것을 계획하였다. EPLRS의 원형인 PLRS는 방위용으로 개발된 것으로 확산 스펙트럼의 무선네트워크에 의해 거리를 측정하는 시스템이고 걸프전에서 사용실적이 있다.

③ 현 기술 중첩

AATC 시스템은 기존설비를 최대한으로 이용하고 여기에 EPLRS 열차위치탐지 기능과 지령시스템 등을 추가 중첩해서 대폭적으로 시격을 단축하는 것을 가장 특징으로 하고 있다. 또 다른 특징은 전체의 제어 인텔리전스를 역에 설치하고, 열차는 역의 지령대로 움직인다. 이 방식을 데이터 통신의 기능이 신속하면서 확실하다는 것을 전제로 하고 지상에서 전체 열차의 가·감속 상황을 상세하게 파악하여 전력계통의 피크 부하를 경감하거나 전력회생 효율을 높이기 위해 개입한다. 또 차내 인텔리전스의 방식과 같이 대량의 지상 데이터를 차내에 탑재하여 귀찮은 갱신관리를 할 필요가 없다.

(3) 시스템 구성

AATC 시스템의 열차검지는 각 열차의 선두와 후미에 탑재한 차내무선기와 선로변에 설치한 지상무선기간의 무선주파수의 전달시간을 측정하여 결정한다.



AATC의 시스템 구성은 <그림 8>과 같고, AATC 시스템은 기타 시스템과는 다른 다음의 특징을 가지고 있다.

첫 번째 이 시스템은 지상·역 인텔리전스 시스템이다. 이 때문에 선로의 배선 변경시에 전체·차내장치의 데이터를 변경할 필요가 없고, 운전전력의 절감을 꾀한다.

두 번째는 고정폐색 ATC에 오버랩(overlap)하여 실용화 할 수 있다. <그림 9>에 AATC의 오버레이 구성도를 표시한다.

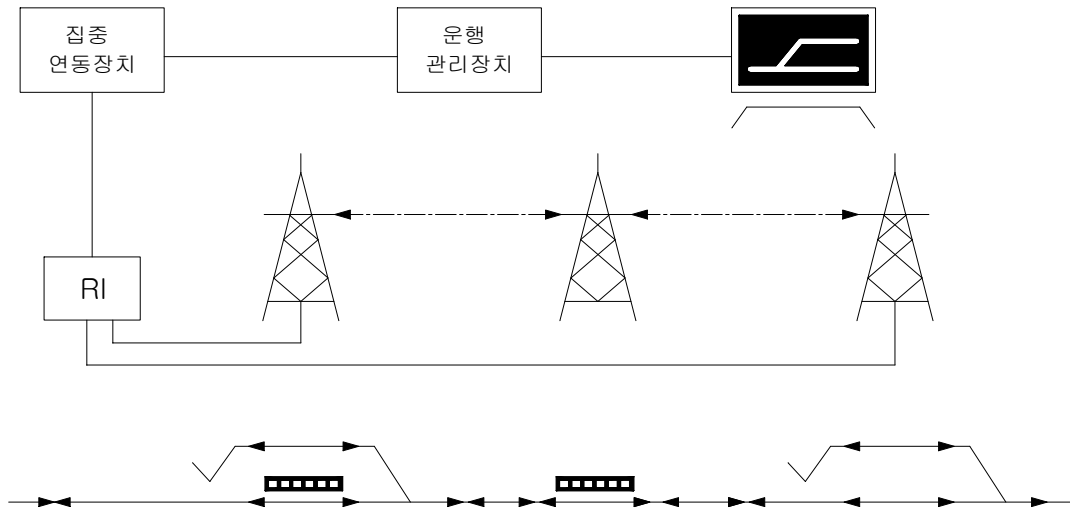


그림 8. AATC의 시스템 구성도

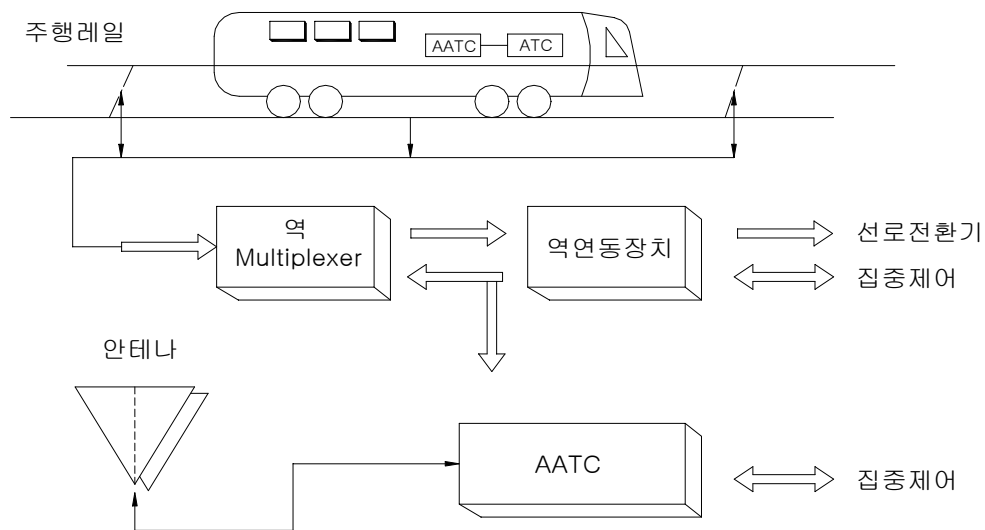


그림 9. AATC의 오버레이(Overlay) 구성도

세 번째 특징은 시스템 회복의 용이성이다. 일반 시스템에서는 특정지점에 설치된 지상자(Beacon)을 열차가 통과하지 않으면 열차위치를 파악할 수 없으나, AATC 시스템은 전체 무선이 통신을 개시한 직후에 전체 열차의 위치를 정지시키고 추적을 개시할 수 있다.

(4) 안전성

① 검증된 기술

군사시스템으로서 개발된 EPLRS라는 무선에 의한 위치검지 시스템을 활용하여 “열차추적 및 제어시스템”에 적용하려고 하는 것으로 그 안전성은 이미 군사기술로서 증명되어 있다.

② 중첩사용가능

공사 중에 기존의 설비에는 어떠한 작업을 하지 않고 그때까지 같은 상태로 가동할 수 있으므로 열차운행은 전혀 업무중단 없이 계속할 수 있다. 이것은 운전시스템의 성능을 향상할 때에 매우 큰 의미를 가진다. 또한 기존 시스템은 이전의 상태 그대로 남겨 놓기 때문에 그 동작은 계속되고, 새로운 시스템의 신뢰성이 흔들리지 않을 때까지 새로운 AATC 설비로의 백업으로서의 역할을 한다. AATC의 신뢰성이 실증된 후, 역의 다중장치를 철거할 수 있다.

(5) 무선통신방식

각 편성열차의 선두차량 및 후미차량에 확산 스펙트럼 무선기가 탑재된다. 이것에 의해 확장통신이 행해진다. 각 제어역은 양쪽 끝에 1대씩 모두 2대의 무선기를 설치한다. 무선기는 효과를 높이기 위해 궤도를 따라서 일정하게(계획적으로) 설치된다. 이 때문에 각 열차에 탑재된 전단무선기(front radio) 및 후단무선기(rear radio) 각각은 현장에 설치된 2대의 지상무선기 사이를 통신하는 무선주파수 권내에 있게 된다. 즉, 두 안테나 사이에 항상 놓이게 된다. 또한 궤도상의 지상위치(track side location)는 현장의 각 지상무선기가 상선 및 하선의 작은 것 2개의 무선기와 통신하도록 하였다. 무선통신은 확산 스펙트럼 방식의 2.4~2.485GHz대를 사용한 무선 통신이다.

(6) 위치결정방식

군사기술의 EPLRS(무선에 의한 위치검지 시스템)을 응용한 시스템이고 위치검지는 선로변의 1/4~1 마일마다 무선기지국을 설치하고 확산 스펙트럼 무선에 의한 각 열차의 선두 및 후미의 이동무선국과 교신을 하고, 지상의 무선기지국이 각 이동기지국으로부터 수신한 전파의 전달시간 지연을 검출하는 것에 의해 각 이동기지국 즉, 열차의 전후부 위치의 검지를 한다.

위치검지정확도는 통상 6피트 이내이며, 칼만필터(kalman filter) 등을 적용함으로써 최종적으로는 3피트 이내의 정확도가 기대된다. 그 때문에 각 기지국 및 이동기지국은 동작의 기준이 되는 클럭(clock) 정밀도를 수십 나노 초(nano second)의 정밀도를 가질 필요가 있으며, GPS에 의해 클럭(clock) 동기화 기지국 상호간의 동기조정 등의 방법이 이용된다.



(7) 실용화의 계획

현재 BART, GM, NIPPON Signal의 주도하에 샌프란시스코만 지역고속철도에서 시설 완료 후 시험을 시행하고 있으나 그 시행시기는 명확하지 않다.

4.1.4 ATCS 시스템

(1) 개요

선진열차제어시스템(ATCS : Advanced Train Control System)은 북미대륙 즉, 미국, 캐나다의 철도협회를 중심으로 MAKER 100개회사가 참여하여 통일된 규격을 제정한 것이다. 1980년대 전반부터 개발을 진행한 것으로 아메리카 대륙의 넓은 지역에서 사용하게 될 열차제어시스템이다.

(2) 목적

최대편성의 화물열차를 이용하여 장거리를 대량 수송할 경우 동력비가 전체 비용에서 차지하는 비율은 대단히 높다. 따라서 중앙의 컴퓨터가 다수의 열차와 밀접하게 정보를 교환하여 각 기관차의 운전제어를 최적화하여 열차의 불필요한 가속과 감속을 피함으로써 동력비를 크게 저감할 수 있다면, 화물수송을 중심으로한 철도경영에서 이것은 상당히 매력적이다. 기관차의 최적운전에 의해 동력비의 절감을 통한 비용절감 목적이다.

선로변에 열차의 위치검지를 보장하는 “무전원 트랜스폰더”만을 설치하고, 지금까지 사용해 왔던 궤도회로와 신호설비를 철거하여 지상설비에 필요한 보수비를 종래보다 크게 감소시킬 수 있다.

(3) 시스템의 구성

ATCS는 다음에 표시하는 4계층의 시스템 레벨을 제공하고, 레벨 업(Level-up)을 위해 각 레벨간의 호환을 도모하고 있다. 어느 레벨을 선택하고, 어떤 기술로 실현할 것인가는 각 철도회사의 판단에 맡기고 있다.

① 레벨 10 : 지령원과 열차간의 음성을 이용한 단순한 무선시스템

중앙의 안전컴퓨터를 중심으로 지령의 중복방지, 작업 중 선로로의 진입금지 등을 한다.

② 레벨 20 : 데이터 링크와 차내표시 시스템

열차로 전송되는 에러의 제거, 비상시의 경보 등을 실시한다.

③ 레벨 30 : 전체 열차의 위치확인 시스템과 자동추적 시스템

열차의 속도감시, 정차지령의 무시방지 등을 실시한다.

④ 레벨 40 : CTC 기능이 있는 선진시스템

컴퓨터를 이용한 열차의 운행지령, 열차제어, 연료절약 등을 실시하고 레일의 파손검지 기능을 포함.

<그림 10>은 ATCS 차내장치의 개념도를 표시한다. 열차위치검지는 차륜의 회전수 계측에 의한 것이 많고 GPS 위성을 이용하는 시스템도 있다.

지상~차내의 정보전송에는 900MHz대의 무선이 사용되고 있지만 통신위성 이용하는 방법도 실험하고 있다.

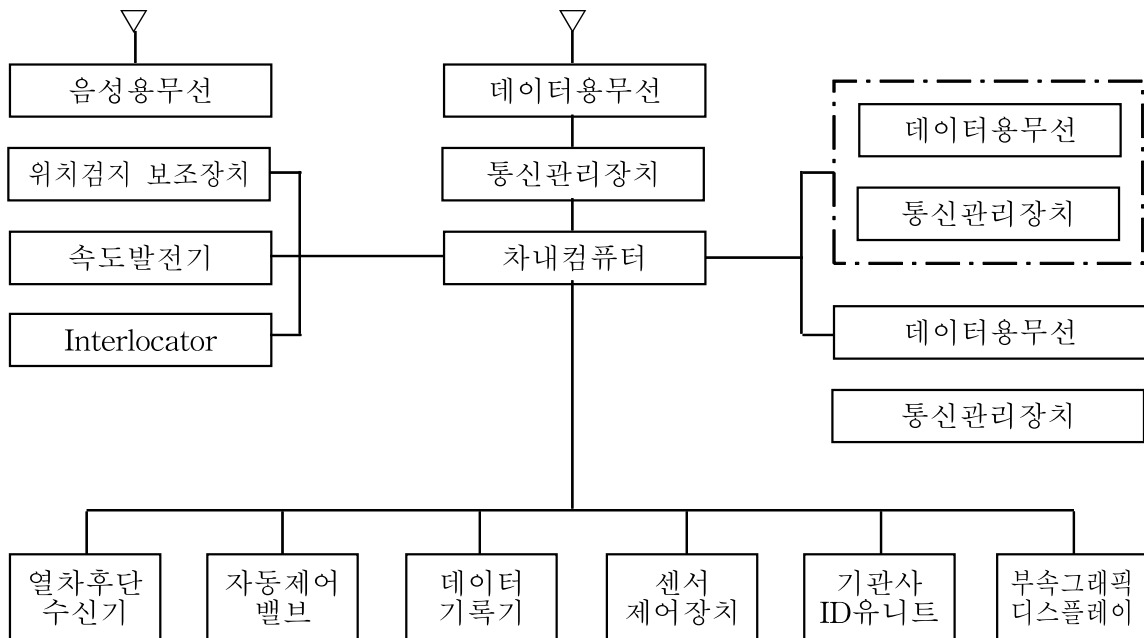
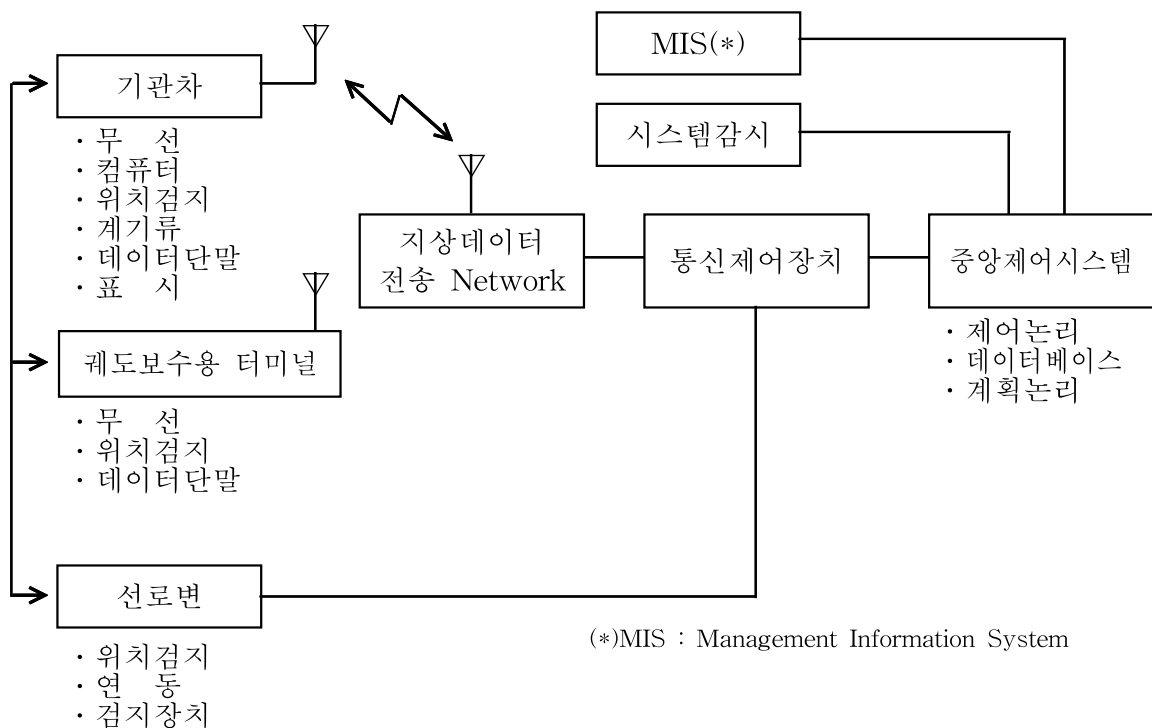


그림 10. ATCS 차내장치의 개념도



(*)MIS : Management Information System

그림 11. ATCS 시스템 구성



(4) 안전성

ATCS는 몇 개의 레벨을 가지고 있다. 중앙의 안전 컴퓨터로 구성된 레벨 10 시스템은 지령의 중복을 규제하고, 지령원이 운행의 허가를 부여하는 선로내에 안전을 보호받아야 하는 작업원 등이 있는 경우에는 그 구간 내에 열차운전을 허가하는 것을 방지한다.

이 시스템에 데이터 링크와 차내디스플레이를 추가한 레벨 20 시스템은 허가과 지시의 전달에서 공시 발생하는 에러를 실질적으로 배제하여 어떤 열차가 비상제동을 취급하여야 하는 경우에는 바로 앞에서 경보를 낼 수 있게 되어 있다.

열차위치확인시스템에 의해 열차를 자동적으로 추적할 수 있는 레벨 30 시스템은 전체 기능을 발휘시킬 수 있고, 운전사가 정차지시를 무시할 수 있는 가능성을 실질적으로 방지한다.

레벨 40 시스템은 궤도에 레일의 고유한 이체성을 검사하기 위하여 안전성을 부가하고 있다.

(5) 무선통신방식

ATCS의 무선방식은 900MHz대의 6대역파를 전용으로 사용하고 전송속도는 4800bps이다. ATCS의 무선은 주로 관리상의 목적으로 이용될 예정이다. 대부분의 관리업무는 Track Warrant Control(전산기이론을 가지고 검토된 음성통신) 이외의 것에 대한 필요성을 아직 느끼지 못했기 때문에 열차제어장치에 무선을 이용하려는 관심은 거의 없었다. 이와 같이 무선데이터를 사용하여 몇 km 떨어진 위치에서 운전허가(Moving Authorities)를 명령하는 것은 미국뿐이다.

ATCS 무선통신 시스템은 센타, 지상제어소 및 열차간의 디지털 데이터버스를 제공하기 위해 설계된 것이다. 그것은 센타를 중심으로 하여 하나의 “스타”형 네트워크로 설계되어 있다. 통신프로토콜은 각 무선이 효율적으로 임무를 수행하기 위해 설계되고 있고 또한, 북미에서는 전국적으로 임무를 수행하기 위하여 6조의 주파수가 설치되어 있다.

이러한, 철도환경에는 중간신호, 축상과 열검지기, AEI리더, 건널목 감시장치 등 다수의 장치가 존재하고 그들의 상호간 및 사무소에 통하는 데이터버스가 필요하다 이들 개소의 각각에 무선을 설치하는 것은 돈이 들고 무선통신의 부하를 증대시킨다. Safetran사는 ATCS 데이터 통신시스템에서 이들의 단점을 보완하기 위해 확산 스펙트럼 무선을 개발 중에 있다. 종래의 무선과 달리 확산 스펙트럼 무선은 단일의 주파수가 아닌 범용의 주파수밴드를 이용하였다. 출력은 1와트이지만 최장 10마일까지의 데이터 링크가 가능하다. 가장 좋은 점은 FCC(연방통신위원회)의 면허가 불필요하고 간섭 그 외의 무선신호에 대하여 거의 면역이라는 점이다.

확산 스펙트럼 무선개발의 역사는 1940년대로 그 이용은 최근까지 거의 기밀성이 높은 군사용 통신에 한정되어 있었다. 지금은 반도체 기술과 기밀성이 크게 해제되어 앞으로의 신호시스템으로서 큰 가능성이 있다.

(6) 위치결정방식

중앙시스템은 각 열차의 차내시스템이 검지한 위치와 속도를 무선전송회선을 통하여 수신한다. 각 열차는 절대위치를 트랜스폰더에 의해 검지하고 그 사이의 위치속도는 차륜회전수계측에 의해 주행거리를 산출하여 구하는 외에 일부 시스템에서는 GPS를 이용하여 직접 검지하는 것도 있다. 또한, 포인트제어에 의한 분기부 차량 접촉한계 확인은 종래의 궤도회로에 의한 열차검지방식이 그대로 사용된다. 차내에서 위치 및 속도의 검지정도에 관한 내용은 표현되지 않았지만 시스템의 목적이 기관차와 화차의 운용효율의 향상, 에너지절감 운전, 역간 폐색제어의 안전성 향상이라는 측면에서 살펴보면 그다지 높은 정확도는 요구되지 않는 것으로 생각된다.

(7) 실용화 계획

당초의 기대에 반하여 소프트웨어 개발 등에 많은 자금을 필요로 하여 실용화가 늦어지고 있다.

화차의 추적과 거기에 근거한 능률적인 차량운용계획 등, 기관사를 포함한 서비스 향상을 꾀하는 시스템은 UP(Union Pacific)철도, CN철도 등으로 이동하고 있고, 승무원의 네비게이션에 의한 절전운전과 무선이용의 열차제어 등 높은 레벨의 시스템은 현장시험 또는 한정된 선구에서만 실용화되고 있는 실정이며, 전면적인 실용화에는 아직 많은 과제를 내포하고 있다.

4.1.5 SACEM 시스템

(1) 개요

초기의 개발품 구성은 열차점유와 궤도의 상태를 연속적으로 궤도에서 열차로 무선송신하고, 차내장치에서 속도의 제어와 감시를 하는 것에 기초하고 있다.

따라서, SACEM은 무선방식으로 열차를 제어하는 시스템으로서, 성능을 개선하는 것이 용이하다.

SACEM 방식은 연속적인 열차위치 추적정보를 전파 채널로써 열차로 보내고 이 정보에 의한 차내거리연산제어(Distance to go) 방식으로 운전을 한다.

(2) 목적

SACEM은 디지털기술을 이용하여 ATC 시스템을 발전시켜 수송수요가 과다한 선구에 적용하도록 개발된 시스템이다.

이 집약형으로 개량이 계속되어 신설노선이나 또는 기존의 노선으로서, 안전도를 높이고, 부분적이거나 또는 전면적으로 무인운전방식으로 개량하려는 노선에 적용된다.



SACEM 열차자동제어장치는 GEC ALSTOM에 의하여 설계 계획되고, 파리교통 공단(RATP)의 밀접한 협조로 통근전용선인 RER A선에 설치되었다.

이 호선에 SACEM이 시설되면서 운전시격을 2분 30초에서 2분으로 단축하고 있다. (열차길이 220m, 정차시간 50초)

(3) 시스템의 구성

SACEM은 다음과 같은 3가지 하부구조로 이루어진다.

① 궤도측 장치

궤도측 장치들은 지역 구분에 의하여 선로변에 설치되며, 정거장에 설치된 SACEM 섹터장치에 연결되며, SACEM 섹터장치들은 다음의 기능을 수행하는 Vital 전송장치이다.

가. 연동장치와의 바이탈(Vital) 인터페이스

연동장치의 각 조건상태 또는 열차검지장치의 열차유무정보 수집으로 계전기접점 또는 전자연동장치 조건을 직접 입력하는 직렬통신방식을 사용한다.

나. 컴퓨터 유닛(Unit)

연동조건과 궤도의 상태를 조합한 정보 생산

다. 열차와의 양방향 통신

조합된 결과의 데이터를 열차로 송신

라. 각 섹터 장치간의 인터페이스

직렬연결을 통하여 다음 기능을 수행

열차자동감시장치(Automatic Train Supervision system, ATS)의 제어, 유지보수, 운행열차의 번호의 정보 인터페이스로 열차의 연속이동 추적

② 차내장치

차내장치의 주 기능은 지상의 섹터로부터 수신한 데이터와 열차의 특성에 의한 제어곡선을 연산하는 것으로서 주 Processing Unit, MMI장치, TWC 구성과 기능은 다음과 같다.

가. 주 프로세싱 유닛(Processing Unit)

마이크로프로세서 보드(Microprocessor Board), 마이크로프로세서(Microprocessor)를 감시하는 콘트롤 보드(Control Board), 바이탈 입출력 보드(Vital I/O Board)

나. MMI

운전자와의 인터페이스장치로서 운전대에 설치, 차내신호, 열차상태 등을 표시한다.

다. TWC 수신 모뎀(Modem)

TWC(Train to Wayside Communication) 시스템의 픽업 코일(Pick-up Coil) 또는 라디오 모뎀(Radio Modem)으로서 다음 정보를 송·수신한다.

라. 열차의 위치정보 (AI 열차가 자신의 위치 정보송신)

마. 유지보수에 관한 정보

바. 지상신호 소등요청

③ TWC(Train to Wayside Communication System)

열차와 지상장치간 통신에서 3가지 조건이 적용된다.

가. 연속통신(지상에서 열차로의 송신)

열차 안전운전에 필요한 바이탈(Vital) 조건(선로조건, 연동조건, 전방열차위치 등)의 송신과 ATO 논바이탈(Non-Vital) 데이터를 디지털 메시지로 열차에 송신하며, 송신방식은 레일을 이용, 루프케이블을 한쪽 레일에 부설하는 방법, 누설동축케이블의 사용, 마이크로웨이브를 사용한다.

나. 주기통신(지상에서 열차로의 단속적인 송신)

레일측에 초기화용과 이동용의 두 종류 지상자(Beacon)를 설치, 바이탈 데이터를 처리한다.

다. 초기화용 : SACEM의 시작 지점과 종료지점을 열차로 송신

라. 이동용 : 거리 보정용, 정거장 정위치정차용으로 사용

마. 반 연속 또는 연속송신(열차에서 지상으로의 송신)

레일의 이용, 루프케이블을 한쪽 레일에 부설하는 방법, 누설동축케이블의 사용, 마이크로웨이브를 사용하며 송신내용은

바. 열차 자신의 주행위치

사. 지상 신호기의 현시 취소

아. 정거장 스크린도어, 열차 출입문 개·폐의 취급 등 Vital 데이터

자. 열차 보수(고장)정보, 열차의 운행정보 등의 논바이탈 데이터를 송신한다.

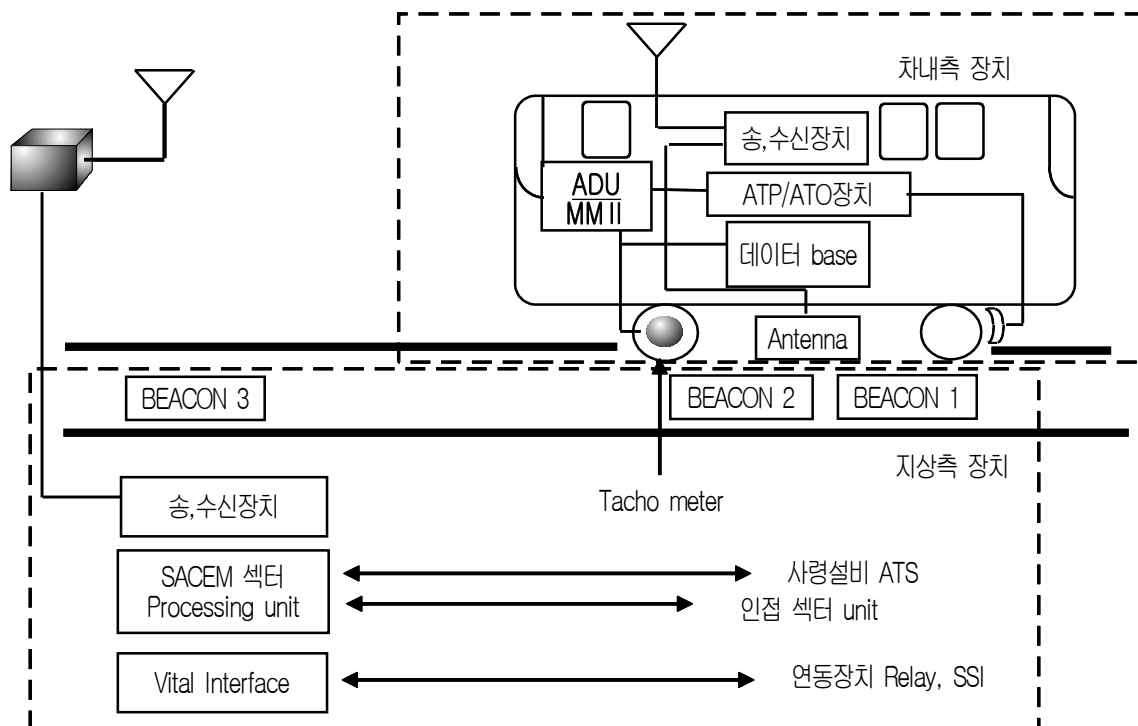


그림 12. SACEM의 구성도



(4) 안전성

SACEM은 “차내거리연산제어(Distance to go)방식”을 기초로 하고 있다.

① 연속송신과 연속속도 제어의 기능

- 가. 궤도로부터 열차로 연속적인 데이터 전송을 한다.(열차 궤도점유변화, 선로조건 등)
- 나. 차내의 컴퓨터의 연속적 속도제어(속도초과, 방호와 열차간 안전거리의 보장)
- 다. 차내장치와 지상장치간 실시간 정보통신(신호의 상태, 임시제한속도 등) 및 현재의 상태 연산(속도, 위치, 제동을 등)
- 라. ATO 정차지점에 대한 제동을 프로파일(Profile) 작성
- 마. ATP에 의해 안전정보의 유지(속도/거리 곡선의 수정)

(5) 무선통신방식

통신기술은 전파의 전송 스펙트럼(Spectrum), 누설유도선, 전파안내방식 등을 응용함.

(6) 위치결정방식

위치결정은 궤도회로 또는 차륜검지기를 사용하는 재래식 방식과 능동적인 방식으로 열차자신에 의한 위치검지

(7) 실용화계획

1987년 파리의 RER A선에서 소개된 후, 멕시코시와 홍콩, 샌디애고, 칠레에서 ATO장치로 사용되었다.

4.1.6 CARAT 시스템

(1) 개요

일본에서 개발중인 마이크로컴퓨터를 탑재한 열차를 지상에서 무선으로 제어하는 차세대 열차운전제어시스템(CARAT : Computer And Radio Aided Train control system)에 대한 것이다.

철도는 대량, 고속수송의 주요분야로 발전해 왔다. 그러나 일본의 철도수송분야의 발전은 1965년대 후반을 경계로 일시적으로 정체되었다. 그 원인으로는 산업구조의 변화와 대항하는 수송기관의 정비, 생활수준의 향상에 따른 요구의 변화, 인건비의 상승으로 인한 수송비용의 증가 등을 꼽을 수 있다.

철도가 앞으로도 발전을 지속하기 위해서는 주위의 여러 환경적 변화에 적합한 서비스를 제공해야만 한다. 이러한 요청을 열차제어 측면에서 보면 서비스의 향상, 보수성의 개선, 안전성의 향상 면에서 검토될 수 있다. 즉, 행선지와 정차역, 차내 설비가 각각 다른 열차들을 수요에 따라서 수시로 적은 비용으로 운행하는 정책개발을 통해 서비스의 향상이 필요하며, 작업환경이 좋지 않은 보수작업과 야간작업을 줄이는 등의 보수성을 개선하고, 건널목, 역구내, 한산한 선구 등에서 안전작업 수준향상이 추구되어야 한다.

열차의 운전제어 면에서 종래의 시스템을 보면 제어의 기본이 되는 열차의 검지와 제어속도가 고정적이어서, 다양한 가·감속 성능의 열차를 고밀도로 운전하기에는 적당하지 않는 방식으로 되어있다. 그리고 제어기기의 대부분을 선로변에 설치해야 하므로 건설비용 절감과 보수성 개선의 취지와는 맞지 않는다. 이제까지는 신호의 다현시화와 ATS의 개량 등 개별적인 대책으로 대처해 왔지만 각각의 개량에는 한계를 보이기 시작했으며, 새로운 방식을 채용해서 각종 요구를 일거에 해결할 필요가 있었다.

이러한 현재의 시스템이 갖고 있는 구조적인 문제점은 이전부터 인식되어져 왔고 무선과 컴퓨터를 이용하는 새로운 방식의 연구가 1960년대 중반에 시도되었지만 기초실험의 단계에 그쳤다. 그 이유는 당시의 수송환경뿐만 아니라 기술적으로 무선전송의 신뢰성과 품질이 충분하지 못하였으며, 차내에 탑재할 수 있는 소형의 저가형 컴퓨터가 존재하지 않았기 때문이다. 그러나 1980년대 후반에 도입된 마이크로 컴퓨터 기술이 급속하게 발전하였으며, 무선통신에서도 위성의 이용, 자동차 전화의 개발 등 성능개선 기술이 크게 진전되어 이전에 구상한 방식과는 다른 접근으로 새로운 열차제어시스템을 실현할 가능성이 높아졌다. 이러한 연구의 배경을 정리하면 아래와 같다.

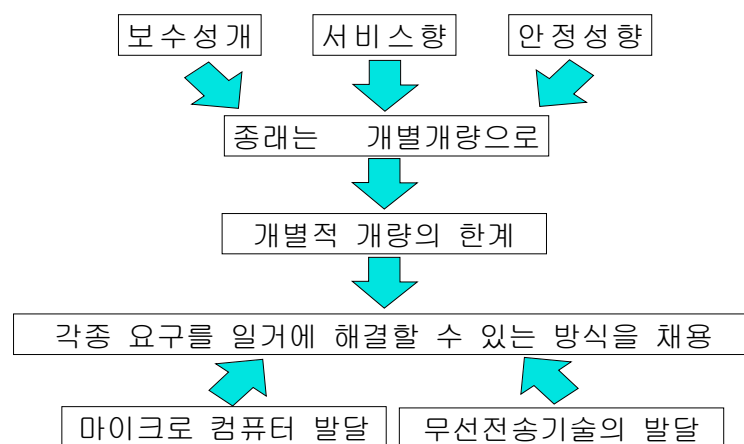


그림 13. 연구의 배경

(2) 개발의 목적

일본의 철도종합기술연구소는 저 비용으로 고성능의 운전제어시스템을 개발하는 것을 목표로 하였다. 지방교통노선에서 신간선까지 현재의 설비에 머물지 않고, 공통의 기본개념으로 제어하는 것이 특징이며, 운전밀도가 서로 다를 뿐 아니라 설비가 다른 것은 정보용량과 목표신뢰도를 서로 다르게 할 뿐이다.

속도향상과 시격 단축을 피하면 신호설비의 개수가 필요하고, 궤도회로의 증설 등에 많은 비용이 들어갈 뿐만 아니라 시스템으로서 본질적인 부적합한 점들이 자주 나타나고 있다. 재래선의 경우는 건널목 제어에도 크게 관계한다.



CARAT는 종래의 속도신호로부터 탈피하여 차내에 제어 주체를 갖추고 소의 거리 연산제어(Distance to Go) 방식으로 하여 이러한 문제에 대처할 수 있다. 서로 다른 성능의 차량이 동일노선을 주행해도 각각이 최적의 제동곡선에 따라 감속제어를 하는 것이 가능하다.

차내에 제어의 주체를 두고, 열차자신의 위치검지와 제한속도에 따른 최적의 운전 속도를 제어하므로 지상설비는 기존 방식보다 소규모로 구성할 수 있다. 이것은 건설비 절감뿐만 아니라 보수비 절감에도 크게 기여한다. 또한, 노동환경이 나쁜 선로 내 보수작업을 줄이는 방향이다.

(3) 시스템의 구성

CARAT은 지금까지 서술한 열차제어기술의 발전배경과 사고방식에 따라 개발된 시스템이다. 즉, CARAT은 열차운전의 고속/고밀도 운전에 유연하고 경제적으로 대응 할 목적으로 연구개발 및 실용화하고 있는 차세대 열차제어 시스템이다. 지상에 남은 기능은 폐색제어와 선로전환기 제어 및 경보제어의 일부로 하고 다른 기능을 차내에서 시행한다. 지상과 차내간의 전송은 무선을 이용하고 차내에서 검출한 위치와 속도정보를 근거로 지상에서는 폐색과 선로전환기 제어를 실행한다.

<그림 14>는 기기의 개념적 구성을 표시한 것이며, 제어장치는 지상, 차내 모두 마이크로 컴퓨터이다.

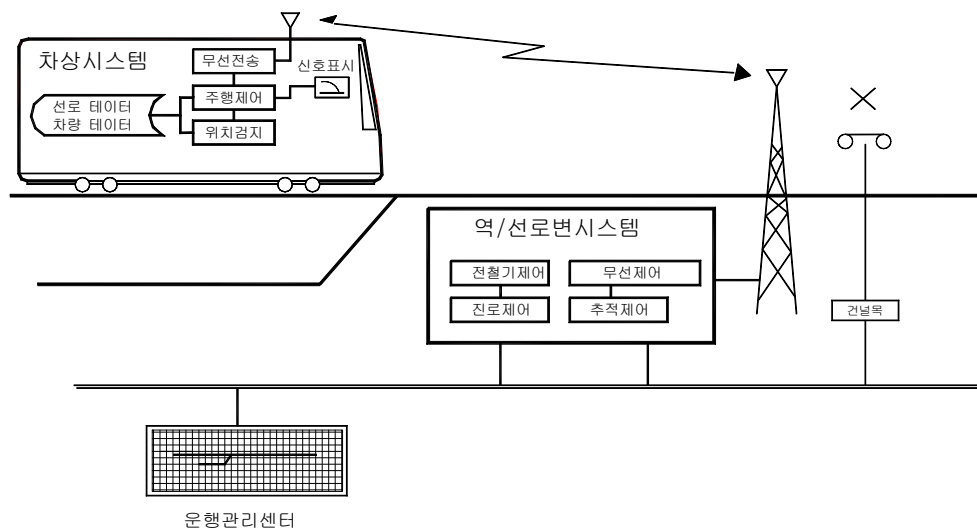


그림 14. CARAT 지상과 차내시스템의 구성

이 시스템의 발상은 철도기술연구 시설의 그룹연구(1984년)에서 시작되어 약 2년간에 걸쳐 차내 기능과 무선의 전송방식과 품질에 관해 검토시험을 거쳐 시스템의 구상이 굳어지고, 1988년부터 본격적인 연구에 착수하였다. 연구의 주목적은 시스템 성립의 핵심인 기술의 개발과 제어논리의 확립하며, 연구의 기본 진행과정은 <그림 15>에 표시하였다.

기초시험은 실내시험이 중심이지만 무선전송과 위치검지에 관해서는 재래선 등을 사용한 현지시험도 병행하였다.

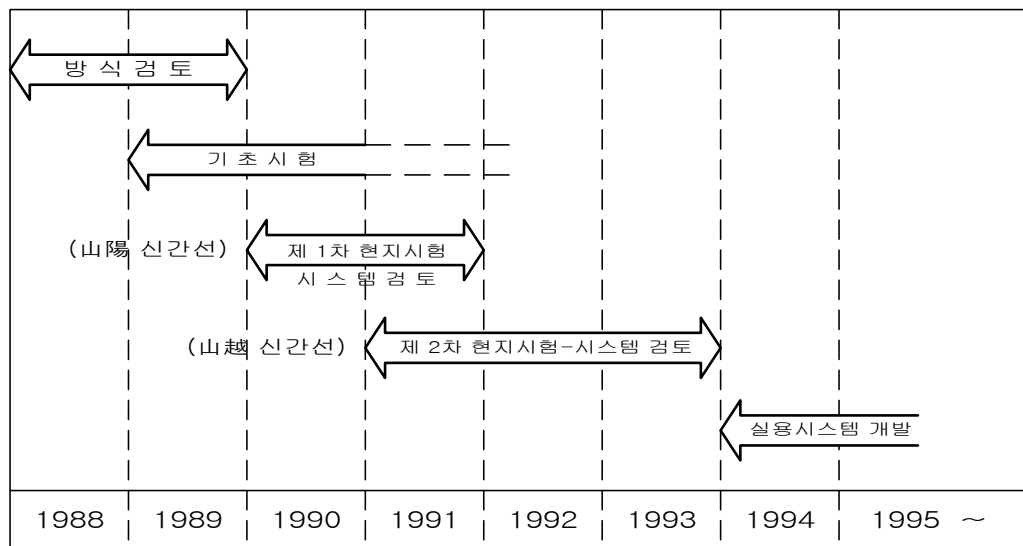


그림 15. CARAT 개발과정

제1차 현지시험은 산요(山陽)신간선의 도쿠야마(徳山)부근 약6km의 구간에서 LCS를 가설해서 실시하고 위치검지는 산요(山陽)신간선 전선에 걸쳐 데이터를 얻었다. 제2차 실험시스템 요메스(上越)신간선의 니이가다-나가오카간 60km의 긴 구간에서 수행하였으며 무선은 기존 LCX를 사용하고 JR의 동일본과 공동으로 하고 있다. 기초연구의 최종년도인 1993년은 이중화 등으로 장치의 신뢰성, 내구성, 복수열차의 제어, 제동장치와의 인터페이스 확인 등을 수행하였으며, 1995년도에는 CARAT 시스템 연구개발의 최종적인 성능평가를 하고 실용화를 위해서 현재 실용시스템 개발에 주력하고 있다.

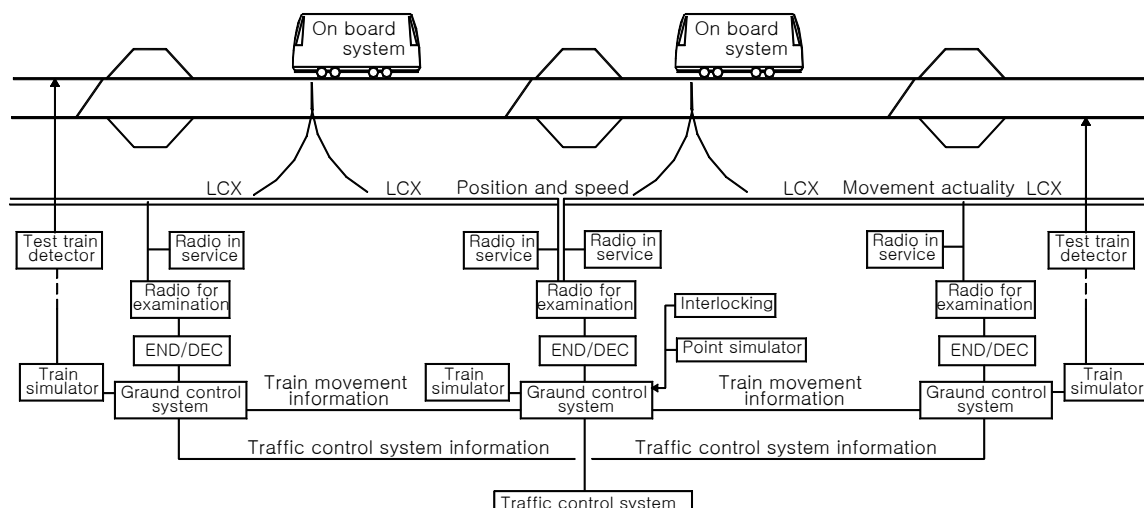


그림 16. 2차 실험시스템의 구성도



CARAT 시스템은 운전시스템 전체로의 발전을 의미하지만 당면 개발대상은 기반이 되는 보안제어이며 이들의 구성은 다음과 같다.

① 차내위치검지

열차가 차내에서 주행위치를 연속적으로 검출하는 것으로 시스템의 중요한 기능이다. 검출위치는 주행제어를 통해 무선으로 지상의 추적제어에 1~3초 정도의 주기로 전송된다. 현재 개발중인 방식은 궤간에 설치한 지상자로 절대위치를 검출하고, 지상자간의 위치를 차륜의 회전수에서 거리를 환산하여 구하는 방법이다. 기구가 단순하고 경제적인 방식이지만 과제는 차륜이 미끄러질(공회전과 활주)때에 정밀도가 좋은 거리 보정에 관한 정보이다. 지상자간의 주행거리 검출의 다른 방식으로는 가속도 센서와 Gyro에 의한 관성방식, 전파속도계(도플러 레이더), 광속도계 등이 있다 그리고 GPS위성을 사용하면 절대위치를 직접 검출할 수 있다. 현재는 가격과 정밀도 면에서 차륜회전방식이 가장 우위를 차지하지만 미끄럼의 보정과 시스템 기동시의 초기위치검출로서 다른 방식과의 하이브리드 구성도 검토하고 있다.

보안제어에서 검출위치의 오차는 안전성을 위협하는 문제이다. 이것에 관해서는 미끄럼 검출을 확실하게 하고 열차의 가속 또는 감속조건을 사용해서 안전측으로 처리하는 방식을 채용하고 있다. 차륜의 미끄럼이 많이 발생해도 열차간격의 여유가 통상보다 크게 되는 일은 있어도 충돌 등의 위험에 이르지 않는다.

② 열차추적제어

차내에서 송신된 각 열차의 위치, 속도정보와 포인트제어의 상태에서 열차의 안전주행구간을 결정하는 폐색제어(열차간격제어)를 한다. 폐색구간의 경계는 열차후부 또는 포인트위치이고, 폐색방식은 이동폐색으로 분류할 수 있다. 또, 선행열차의 속도정보를 이용한 상대속도식 이동폐색으로도 가능하다. 열차에 대해 제어지령은 통상 폐색구간의 경계에서 실시하지만 임시적인 속도제한은 동일형식으로 지시할 수 있게 위치와 속도로 부여하는데 이를 속도제한점이라 한다. 제어지령은 위치정보와 같은 주기로 열차에 송신된다.

③ 포인트(선로전환기) 제어

차내로부터 위치속도정보와 진로제어로부터 진로요구를 근거로 포인트를 전환 제어한다. 종래의 연동논리와는 차이는 진로와 포인트의 해정조건에 열차의 속도와 제동거리를 사용하는 것과 동일 진로내에 복수열차의 진입을 허용하는 것으로 운전효율과 안전성이 높아진다. 또 포인트의 해제지점 등 엄밀하게 열차위치가 필요한 장소에는 지상자를 설치하고 있다.

④ 주행제어

지상의 추적제어로부터 수신한 속도제한점을 근거로 안전을 확보하기 위해 속도곡선을 작성하고, 속도초과 시에는 제동지령을 송신하여 보안속도제어를 한다.

안전속도의 계산에는 차내에서 가진 선로의 구배와 속도제한 등의 선로데이터와 제동성능에 관계되는 차량데이터를 사용한다. 종래의 방식과 비교하여 차량성능에 맞는 연속적인 보안속도가 되므로 이동폐색의 도입과 함께 다양한 열차가 혼재하는 선구에서도 고밀도의 운전이 가능하다. 신호방식으로는 차내신호방식의 수동운전을 기본으로 한다. 단, 장치에 주행속도 제어기능을 추가하여 자동운전으로 이동할 수 있는 구성을 개발하고 있다.

⑤ 경보제어

현재는 건널목제어를 중심으로 실험을 진행하고 있다. 그 특징은 경보개시 시기를 열차속도로부터 계산하는 것과 건널목 측에 장애를 검지한 경우에 열차가 건널목 바로 앞에서 긴급히 정지할 수 있는 것이다.

⑥ 지상과 차내간의 전송

지상과 차내간의 교신에는 무선을 사용한다. 종류로는 LCX와 공중파의 양자를 시험하고 있지만 일정한 전송성능을 타당한 가격으로 얻을 수 있으면 된다.

해외에서 사용실적이 있는 유도무선과 앞으로의 이용을 기대할 수 있는 밀리파 무선 등도 후보로서 고려된다. 교신의 제어는 응답시간의 변동을 줄이기 위해 지상에서 폴링(Polling) 방식을 채용하고 있다. 폴링주기는 최소 운전시격과 열차속도 등의 운전조건과 안전감시의 한계시간에서 정해지고 통산은 1~3초로 가정하고 있지만 한산한 선구에서는 보다 긴 시간을 허용할 수 있다.

무선의 전송품질은 비트 에러율 10⁻⁴이하이면 된다고 보고 오류제어로서는 디버시티와 FEC(Forward Error Correcting)를 채용하면 소요품질을 확보할 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 전송오류의 최종적인 배제는 제어장치의 부호체크로 하고 확인하지 못한 오류를 안전상 충분히 낮추는 것이 가능하다.

(4) 안전성

차내의 주행제어, 지상의 추적제어(이동폐색), 선로전환기 제어(연동)를 행하는 하드웨어의 안전성도 중요하다. 이러한 서브시스템의 기능과 처리량을 고려하여 32bit의 안전측 동작(fail-safe) 컴퓨터를 개발하였다. 이 컴퓨터의 구조는 이미 많은 실적이 있는 버스동기식 2중계방식을 채용하고 있다.

소프트웨어의 안전성도 매우 중요한 과제이다. 이제까지의 보안장치에서 채택한 안전측 동작(fail-safe) 소프트웨어의 개념을 답습하는 것과 원자력이나 군사항공우주산업에서 채택하고 있는 검증·검사에 의거한 안전성 확보의 고려방안을 참고하여 보안제어에 상응한 소프트웨어를 개발하였다.

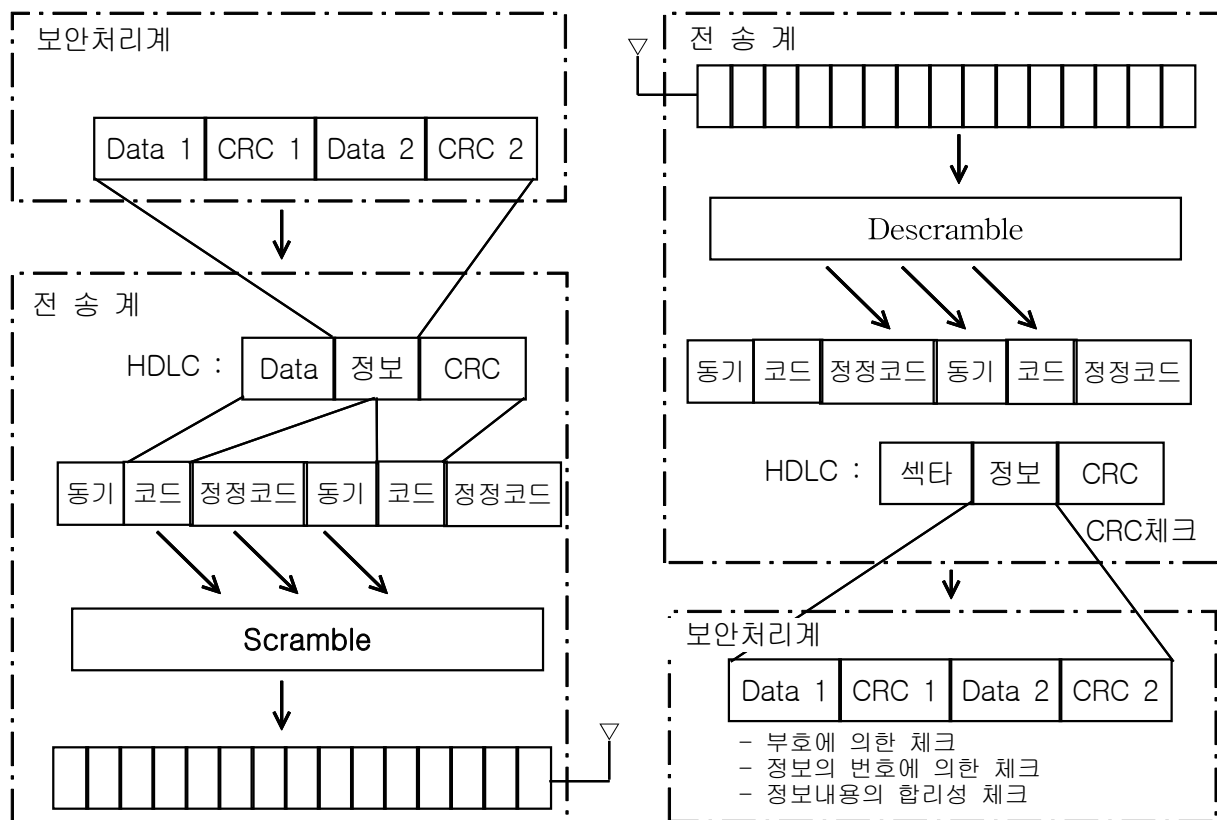


그림 17. 무선이용에 있어서 안전성 확보의 개념

(5) 무선통신방식

디지털 무선은 400MHz의 열차무선, LCX, GPS 위성 등을 실험하고 있으며 무선은 기존 LCX를 사용하고 있다.

(6) 위치결정방식

열차의 위치검지는 차륜의 회전수 계측에 의하거나 GPS 위성과 광 자이로의 이용도 실험되고 있다. 또한 몇 개의 마크(지상자와 트랜스폰더 등)를 통과할 때에 위치의 보정을 행하고 있다. 현재는 타코메타에 의한 차륜의 회전수를 계측하는 차륜회전방식이 가장 저렴하다.

(7) 실용화 계획

현장설치 시험은 1989년도에 산양신간선(신암국 덕산간)의 시험용 LCX의 가설구간에서 개시되어 1991년도에는 상월신간선(연삼조·신갈간)의 기설 LCX를 이용하여 실시하고 있다.

4.1.7 IAGO 시스템

(1) 개요

IAGO 시스템은 알스톰사에서 개발되었으며 도파관(Waveguide) 형식이다. 일반적으로 이 시스템이 적용되는 분야는,

① 데이터 채널

- 가. CBTC (신호설비)
- 나. 열차 식별/열차 제어기능 구현
- 다. 유지보수 정보의 실시간 전송
- 라. 중요 정보의 실시간 전송용 “블랙 박스”

② 화상 서비스

- 가. 승강장 CCTV 정보를 차량 운전자에게 전송(차량 탑승시)
- 나. 차량내 CCTV 정보를 사령설비로 전송함
- 다. 차량내 승객안내 시스템 지원

③ 음성 채널

- 가. 운전자 음성 통화 채널로 사용 가능
- 나. 승객에 대한 음성안내 방송 지원
- 다. 승객과 사령 근무자간의 통화 채널

④ 절대적인 열차 위치 추적 기능

(2) 목 적

IAGO 시스템은 공사의 과정을 단순화하고 유지보수가 필요 없으며, 기존 시설물에 지장이 없이 시공가능 하도록 하며 건설비의 절감효과를 목적으로 개발됨.

(3) 시스템의 구성

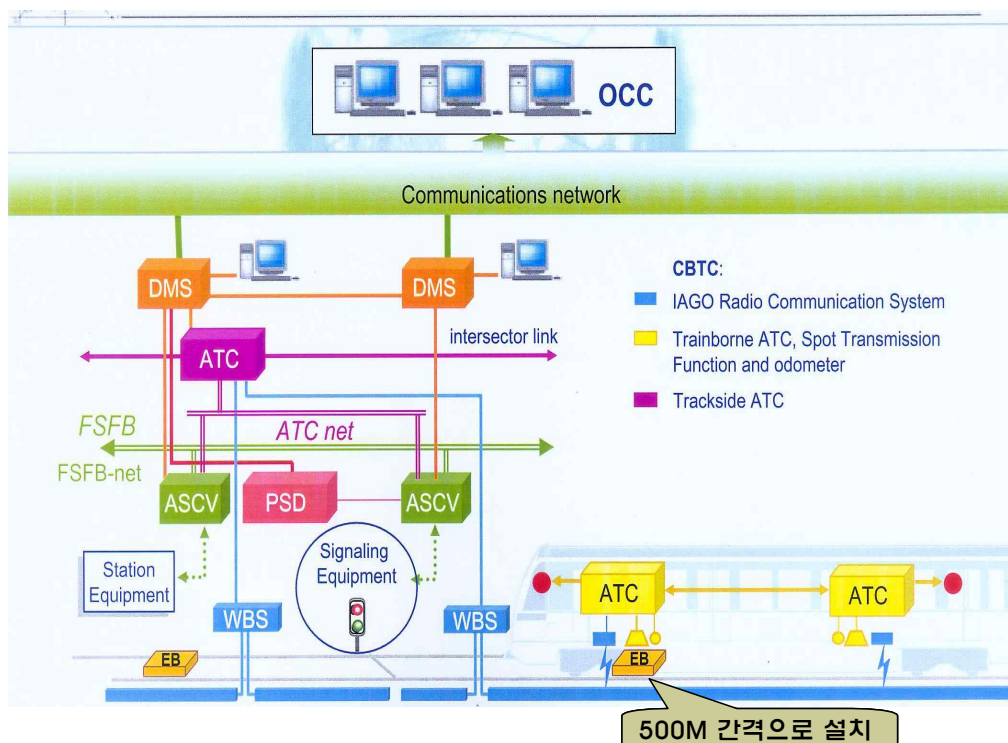


그림 18. 시스템 구성도

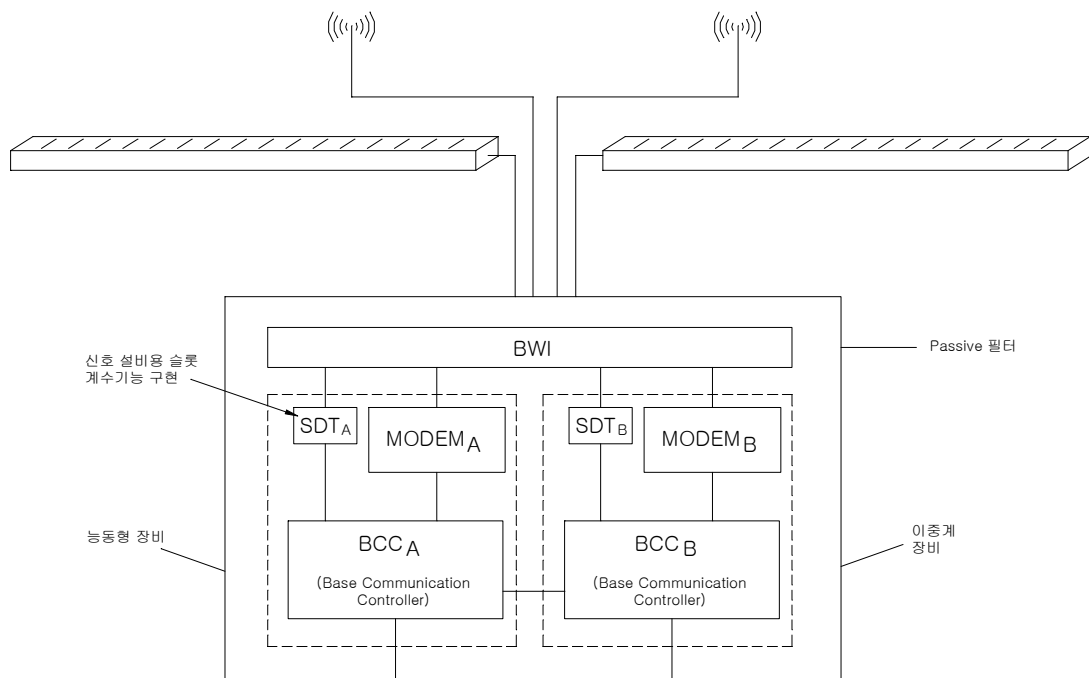


그림 19. WBS(Win Base Station, 기본전송국)

① 동작 원리

가. 누설 도파관(Waveguide)가 “전송 매체”

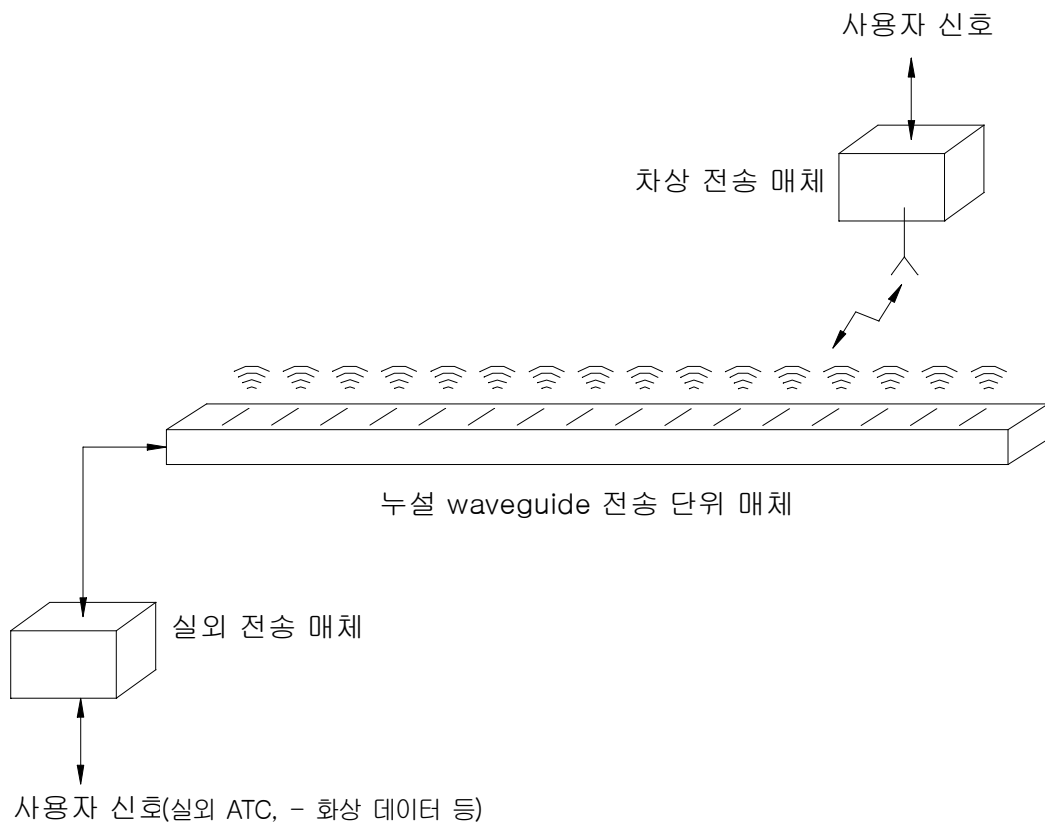


그림 20. 전송범위

② 통신용 셀 구조

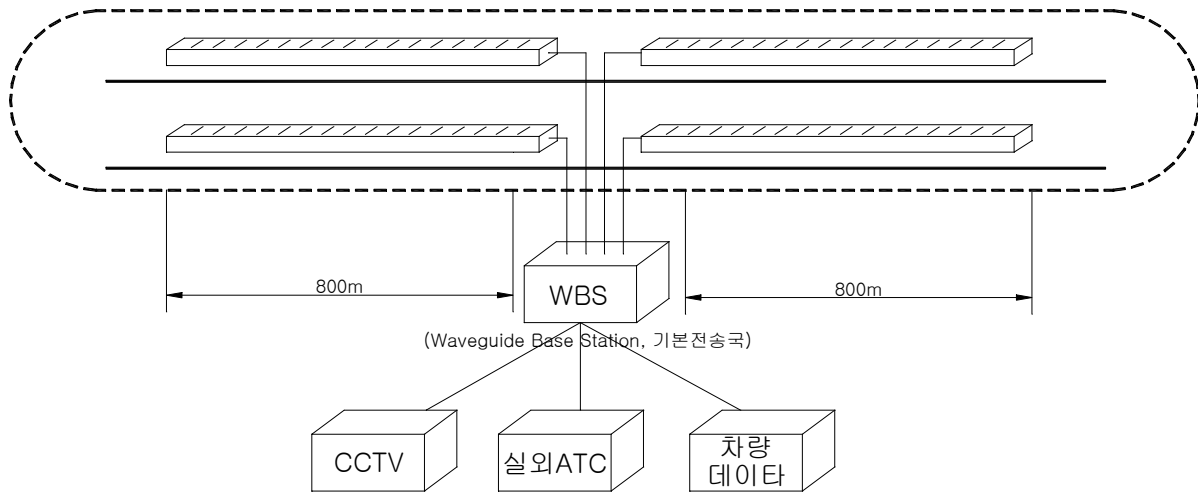


그림 21. 구성도

가. 각 WBS(Waveguide Base Station, 기본 전송국)은 1개의 통신용 셀을 담당한다.

나. 1개의 통신용 셀은 4개의 도파관(Waveguide) 영역 단위로 구성된다.

다. 1개의 통신용 셀 상에는 최대 30편성의 열차가 존재할 수 있다.

라. 도파관(Waveguide) : 사각형 튜브 모양 52.5×105mm

마. 재료 : 사출 알루미늄 재질

바. 튜브길이 : 12m

사. 낮은 신호 감쇄율 : 2dB/100m

아. 환경요건(Environmental Constraints) : 방수(Watertightness) : IP67

자. 진동 및 충격(Vibrations and Shocks) : Standard NFF 05-510 Assembly of Segments

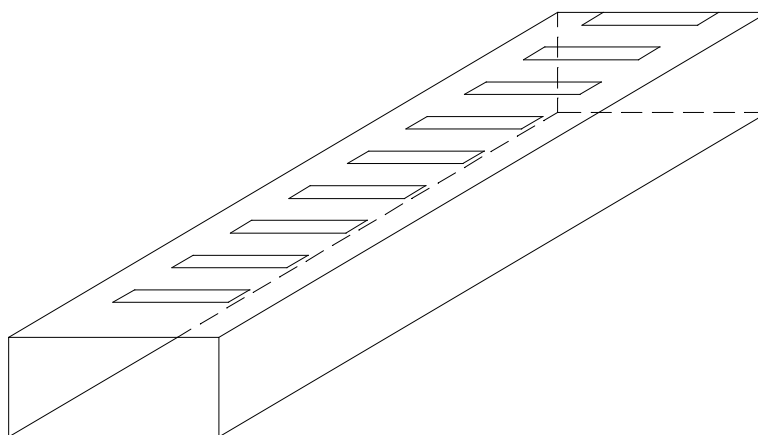



그림 22. 구조



(4) 안전성

전체적인 출력의 안정성 및 CCTV

① 다중 경로 환경이라는 문제점

- 가. 기술적인 용어로서 : 보다 많은 출력을 요구하게 될수록, 상징적인 간섭요인에 직면하게 될 확률은 커지는 것을 뜻함
- 나. 사용자 측면의 관점에서 : 보다 많은 출력들을 요구하게 될수록 사용자가 신뢰성 있게 얻을 수 있는 것은 없다.
- 다. CCTV에 대한 영향
- 라. 일부 구간에서 화상정보가 전송되지 못할 가능성이 있음
- 마. 상호 측정, 공간적인 다양성 등의 방법을 사용
- 바. 간섭에 대한 완벽한 보호는 불가능함
- 사. 기존 안테나에 비해 4배의 수량이 요구됨
- 아. 무선설계에 대한 연구가 보다 많이 필요하며 배치가 복잡
- 자. 변경요인이 생기면 전체 시스템 강도시험이 훨씬 복잡해진다(새로운 안테나, 새로운 차량 및 기타요인 등)

② IAGO 시스템의 경우 : 다중경로환경은 발생하지 않음

- 가. 전구간에 걸쳐 최상의 출력이 보장
- 나. ISM2 대역 내에 보다 많은 데이터채널이 제공
- 다. 보다 안정적인 구조
- 라. 무선설계과정이 필요하지 않음
- 마. 설치 및 시험과정이 단순하고 숙련된 구조
- 바. 현장검증을 거친 안정성 보장
- 사. 높은 품질수준의 서비스를 제공
- 아. 보다 높고 안정적인 신호/잡음비
- 자. CCTV 및 기타 적용 시스템에 대해 높고 안정적인 대역폭을 제공
- 차. 개방적인 구조
- 카. 일반적인 부분에 대해 어떤 표준에 대해서도 개방적임(약 2.4GHz)
- 타. 신호설비에 대해서는 결정적인 통신매체를 제공
- 파. 유지보수가 편리한 시스템
- 하. 기존 장비에 비해 장비 규모가 1/4 수준임
- 거. 터널 내에 별도 장비가 설치되지 않음
- 너. 별도의 복잡한 무선 설비 시험 없이 IAGO 세그먼트의 교체가 가능

(5) 무선통신방식

도파관(Waveguide)에 따른 RF(무선) 시스템의 전송방식을 사용하여 그 범위는 <그림 23>과 같다.

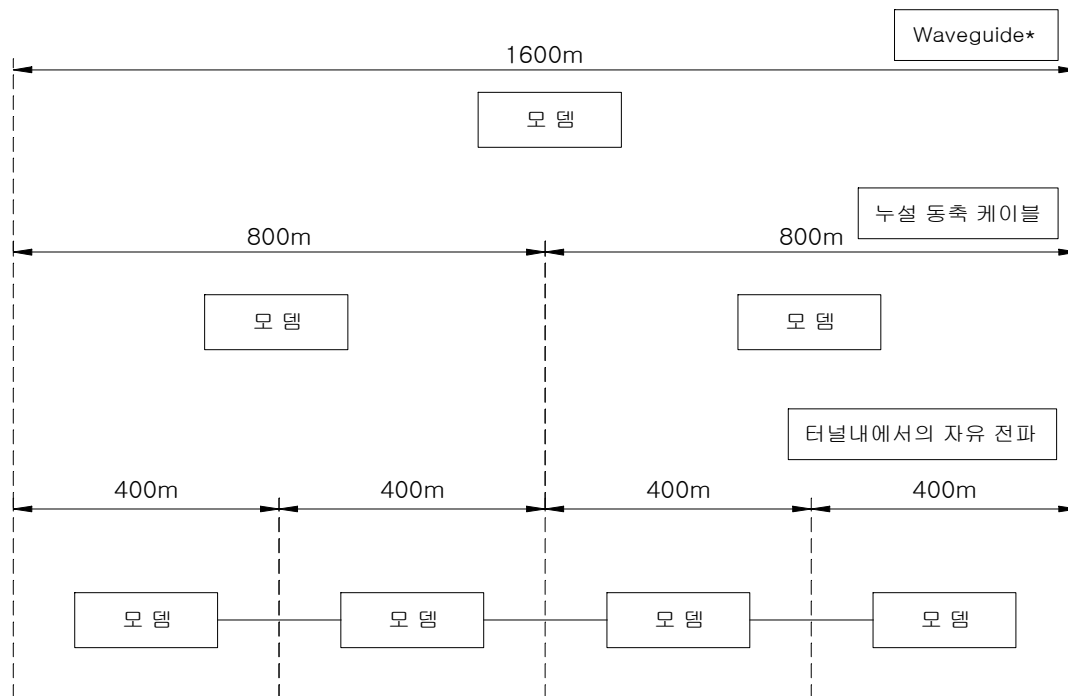


그림 23. 셀 구조

(6) 위치결정방식

도파관(Waveguide)에 의한 열차 위치검지방식 사용

(7) 실용화 계획

① 최초 적용 - 싱가포르 NEL-LTA 노선

가. 사업 착수 : 1998년 3월

나. 공장 시험 및 통합 시험 : 기 완료

다. 프랑스(Valenciennes) 시험선 : 검증 완료

라. 현장 설치 : 2000년 6월 착수

마. 싱가포르 NEL-LTA 노선 설치 : 2000년 9월 착수, 2003년 상업운전

② 차후 적용 사업 분야

스위스 로잔

(8) 미래의 개발전망

① 새로운 전자장비

가. 기술이 발전되며 장비 내에서 모뎀만 손쉽게 업그레이드하는 방향으로 추진예정

나. 자유무선방식에 비해 장비 규모가 1/4 수준임

다. 영업운전 중에 노후 된 모뎀 교체작업 가능(터널 내에 설치되는 장비가 없음)

② 새로운 차량

가. 시스템에 대해 미치는 영향이 없음

나. 무선시스템에 대한 재 설계과정 필요 없음



- 다. 전구간에 대한 재시험이 필요 없음
- 라. 터널 내에서 모든 차량에 대한 재시험이 필요 없음
- 마. 자유 무선방식으로는 상기와 같은 사항들이 필요함
- 바. 터널 내 새로운 금속장비 : 상기 차량항목과 동일

(9) 미래에 제공예정인 서비스

① IAGO 시스템 기준

- 가. ISM2 대역내의 예비주파수를 사용할 수 있음
- 나. 또 다른 무선 대역에 대한 허가 과정을 필요로 하지 않음(예를 들면 5.8GHz)
- 다. 새로운 무선주파수에 대한 설계 및 시험과정이 필요치 않음
- 라. 터널 내에 새로운 장비의 설치가 필요치 않음

② 자유전파시스템 기준

- 가. ISM2 대역 내에 충분한 예비주파수가 없음
- 나. 새로운 무선대역에 대한 허가 및 동일한 유형의 장비가 필요함(예를 들면 5.8GHz)
- 다. 새로운 대역에 대한 새로운 무선설계 과정
- 라. 지상 및 차내에 새로운 대역용 안테나 설치가 필요
- 마. 터널내의 구간에 대해 복잡하고 장시간이 소요되는 설치 및 시험 과정을 거쳐야 함

4.1.8 CBATC 시스템

(1) 개요

CBATC 시스템은 Communication Based Automatic Train Control의 약자로 브라질의 상파울로 지하철로 CMW사가 개발중인 무선을 이용한 열차제어 시스템으로 이동폐색을 실시함으로써 상파울로 지하철 동서선의 수송증강을 달성하려고 하고 있다.

(2) 목적

① 시격단축

상파울로 지하철 동서 선은 현재 22km 18역의 선로를 42편성의 열차가 운전시격 98초로 운전을 하여 매일 120만명 승객을 수송하고 있지만 이러한 짧은 운전시격으로도 수송력은 충분하지 않다. 따라서, 컨설턴트인 CMW사는 통신을 기본으로 한 운전제어 시스템으로 변경함으로써 운전시격을 60초로 단축하여 수송력 부족 문제를 해결하고 피크 수송력을 증대할 수 있도록 계획하고 있다.

② 현 기술공용

이 시스템은 분산화 된 통신네트워크와 차내의 마이크로 프로세서, 역 및 선로변의 기기, 제어센터로 구성되어 있다. 이동폐색 모드 이외에 전통적인 종래의 고정폐색의 운전도 가능하다. 장치가 모듈화 되어 있어 경제효과가 높고 일반철도 뿐만 아니라 도시교통시스템에도 적용할 수 있다. 현재 설치되어 있는 선로변 기기는 무선과 분산화 된 인텔리전트·모듈에 의해 매우 적다(매우 적은 설비가 설치된다).

(3) 시스템의 구성

CBTC 시스템은 분산화 된 통신 네트워크, 차내와 지상의 마이크로 프로세서 및 제어센터로 구성되고, 그 특징은 종래의 고정폐색 ATC와 이동폐색 CBATC 운전 모드를 자동적으로 절환 가능한 점이다. 즉 모든 선구에 걸쳐 종래의 ATC가 설비되어 ATC 운전을 기본으로 하고 혼잡 역의 근방에 CBATC를 설치하여 그 제어영역을 한정하고, CBATC 차내장치를 탑재한 열차가 CBATC의 제어영역에 진입하여 지상~차내간의 통신이 정상적으로 실시되는 시점에서 CBATC 운전으로 전환된다. <그림 24>는 CBATC의 시스템 구성도를 표시한다.

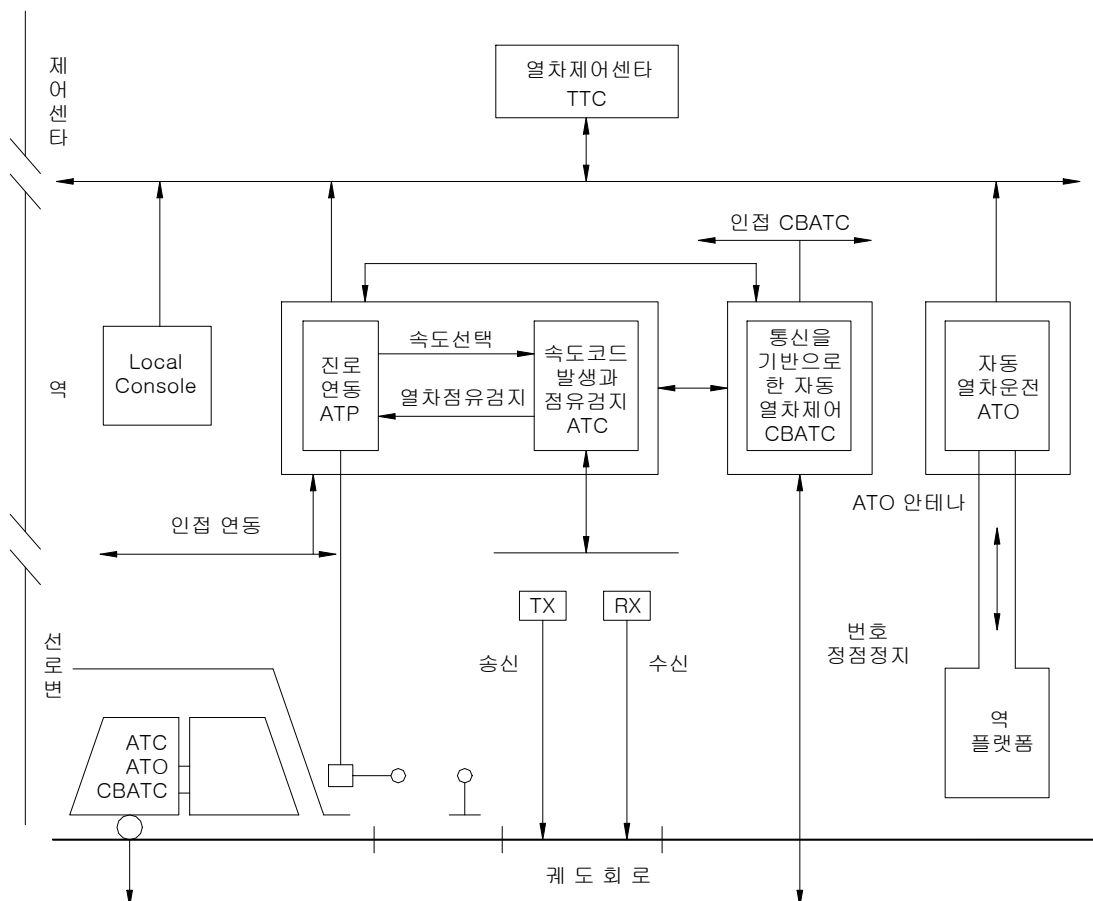


그림 24. CBATC 시스템의 구성도

(4) 안전성

CBATC는 고밀도 대량수송 시스템을 지원하도록 사양화되어 있고 가동 중의 기존 시스템에 병렬로 설치 가능하다.

CBATC는 그 모듈이 역과 차내의 어느 한쪽에 기존의 신호시스템에 대하여 완전하게 적합 가능하도록 설계되어 있다. 따라서 새로운 시스템으로의 이행은 기존 수송능력을 방해 없이 달성하여, 기존의 안전성을 확보하는 새로운 시스템의 안전성을 검증할 수 있다.



① 역의 CBATC는 마이크로 프로세서 모듈에서 처리하는 주요기능은 다음과 같다.

- 가. 제어범위내의 전체 열차이동의 추적
- 나. 차내 알고리즘 사용으로 전체 열차 시스템으로의 변수의 전송
- 다. 인터페이스 존에서 열차의 수신과 해방

이러한 기능을 실행하기 위해서 연동, ATO, 열차제어센터, 인접 역의 CBATC, 차내 CBATC와 인터페이스한다.

② 차내 CBATC도 마이크로 프로세서 모듈에서 아래의 처리를 한다.

- 가. 운전 가능한 안전거리와 안전허용 속도의 제한
- 나. 제어영역내의 열차위치
- 다. 열차의 구성

인터페이스는 기존의 차내 ATC와 접속하고 열차길이의 완전 검사를 위하여 후부의 CBATC와 열차의 내부 선으로 접속하며 역의 CBATC와 접속한다. 역과 열차의 CBATC 간의 데이터 교환은 누설 케이블과 스펙트럼(Spectrum) 확산방식의 무선을 사용하여 달성한다.

안전성과 신뢰성의 목표는 중대한 기기와 특수한 기술에 대하여 적절한 확장구성을 이용하여 달성된다. 예를 들면 다수결, 확장요소의 완전체크, 자동 고장진단 및 Fail-Safe 원리 등이다.

열차와 역의 정보교환은 확장한 체크 비트에 의해 방호되어, 각 데이터의 처리 사이에서 단일과 다중 에러의 검출을 책임진다. 수신장치에 의해 데이터의 확실성을 검사하고 일치성 분석이 행해진다. 수신되지 않은 메시지는 Time Out에 의해 검지되어, 수신시스템에서 제한 측의 동작(Fail-Safe)이라는 결과로 된다.

(5) 무선통신방식

지상~차내간의 정보전송은 분산구성으로 선로에 설비된 누설케이블과 디지털·확산 스펙트럼방식의 무선을 사용하고 있다. 각 기기의 안전성은 다중구성과 Fail-Safe 원리를 기초로 하여 확보할 계획이다.

(6) 위치결정방식

기존의 신호방식과 병행이 전제이고, 궤도회로에 의한 열차위치검지를 기본으로 한 ATC방식에 중첩하여 운전시각에 병목지점이 되는 역 등의 부근에 CBATC 구간을 설치하여, 차내에서 검지한 위치를 LCX와 확산 스펙트럼 등의 무선전송 수단에 의해 CBATC의 지상장치를 통하여 후속열차에 전한다. 후속열차의 차내위치는 선행열차의 위치를 연속적으로 파악하면서 안전한 허용속도를 구하고 그 속도의 범위 내에서 운전을 한다. 차내에서 위치검지의 구체적인 기술은 거의 없고, 초 단위의 시격단축을 시스템 도입의 목표로 하고 있어 상당히 높은 정확도가 필요하다고 생각된다. 또한 열차의 후부위치를 정하기 위해 필요한 열차길이 및 열차 분리검사는 전후의 CBATC 차내장치간 유선으로 연결하는 방식을 사용하는 것으로 기술되어 있다.

4.1.9 Bombardier사의 CITYFLO 650

(1) 개 요

CITYFLO 650 솔루션은 짧은 운전시각 요구조건 또는 APM을 갖는 무인 지하철 시스템을 위한 것이다. 이 시스템은 다음의 주요 특징들을 가지고 있다.

- ① CBTC APM/지하철 이동폐색시스템
- ② ATP EBI Cab VATP/VATO(DTO/UTO 레벨)에 의한 운전
- ③ 광역 스펙트럼 무선을 통한 ATP 정보(2.4GHz)
- ④ 분리된 궤도
- ⑤ 라디엑스(Radiax) 케이블 이용한 열차위치의 무선송신에 의한 열차검지
- ⑥ EBI 스크린을 통한 연속열차감시
- ⑦ 노밍 포인트(Norming Point)에 의한 열차 위치 에러 계산
- ⑧ EBI Lock 통합 연동기능 또는 EBI Lock 900 CBI
- ⑨ 연동장치에 의해 제어되는 선로전환기
- ⑩ 옵션인 SCADA 기능은 EBI Screen 제품에 추가될 수 있음
- ⑪ EBI Screen은 보조시스템에 연결 가능
- ⑫ CITYFLO 650 솔루션은 다음과 같은 보조시스템들의 통합을 허용함
가. PID CCTV PA Radio Telecomm

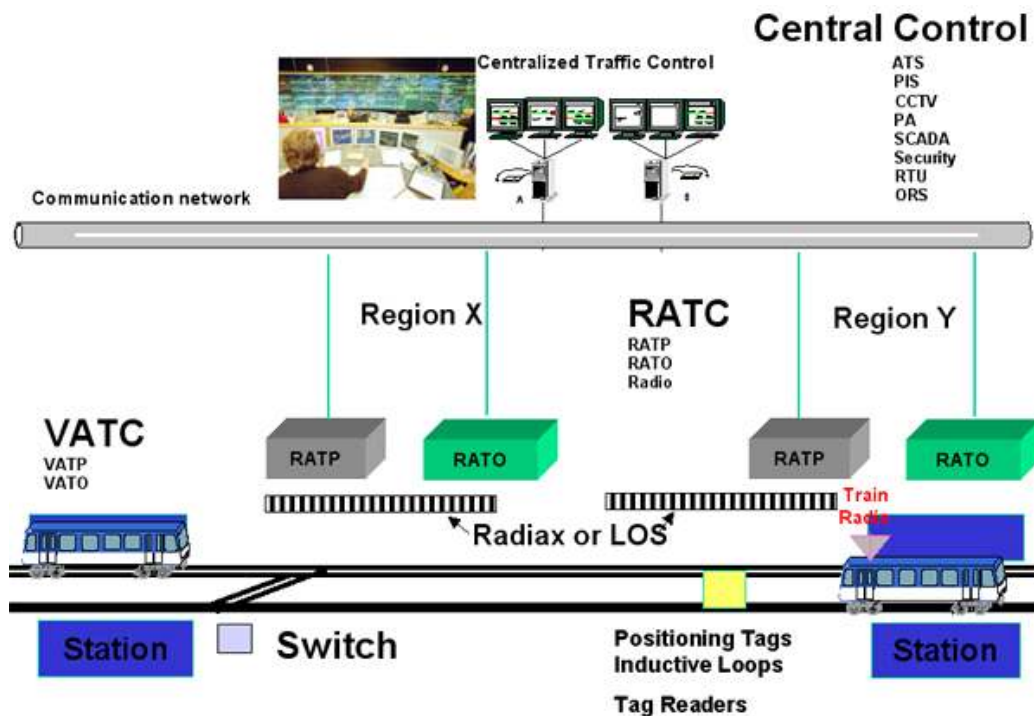


그림 25. CITYFLO 650, 시스템 구성



(2) 기능

① ATC 지상장비(EBI Com)

CITYFLO 650 시스템 지상장비는 지리적 영역으로 나뉘어진다. 각 영역은 그 영역의 열차들을 위한 ATP 및 ATO 기능을 다루는 ATP 및 ATO 장비를 이중제화 한다. 각 영역은 열차로부터 위치정보를 수신하고 이동 권한을 열차에 보내는 하나 이상의 광역 스펙트럼 무선을 가지고 있다.

② 연동장치(EBI Lock)

CITYFLO 650 시스템은 내장 연동기능을 사용하거나 예비 시스템 능력 또는 지역 기준에 따르기 위해 EBI Lock 950 전산화된 연동 장치를 추가할 수 있다.

③ 차량감시(EBI Screen)

차량은 EBI Screen 시스템에 의해 감시된다. 이것은 현대의 컴퓨터 기반 제어 및 감시 시스템으로 조작자가 마우스나 키보드를 통해 명령을 주고, 차량 및 선택 사항인 지상시설물의 위치가 일반 표시스크린 및 대형 후방 프로젝션 스크린에 나타날 수 있게 해준다. EBI Screen은 또한 이 시스템에 대한 열차 운전규칙을 제공한다.

④ 차내장비(EBI Cab)

차내장비는 차내시스템인 EBI Cab VATP 및 VATO로 구성되어, 현대화된 ATP 시스템이 무선에 의한 전송을 통해 이러한 정보의 연속적인 감시 및 업데이트를 하는 것을 가능하게 한다. 이동폐쇄 ATP 시스템은 공공수송을 위한 미국의 안전기준을 가지고 있으며, 이 시스템의 CENELEC 승인이 예상된다.

CITYFLO 650 시스템은 궤도에 있는 동안 언제든지 EBI Screen 시스템을 통해 자동으로 선택될 수 있는 운전전략의 연속변경이 이루어지는 완전자동운전(DTO/UTO 레벨)을 가능하게 하는 ATO시스템을 가지고 있다. ATO시스템은 전형적으로 $\pm 15\text{cm}$ 의 정확성으로 역에서 열차의 정확한 정지를 가능하게 한다.

⑤ 정상화 위치 발리스(EBI Link)

시스템에 대한 위치 오차의 정상화를 위해 궤도로부터 필요한 정보는 특정 지점들에서 궤도의 중간에 위치한 정상화 위치 발리스를 통해 열차로 전달된다. 이러한 발리스들은 열차가 통과함에 따라 열차에 정확한 위치를 제공하며, 열차가 위치 오차를 줄이면서 그 위치를 정상화하게 한다.

⑥ 선로전환기(EBI Switch)

EBI 스위치 타입 E600-640, J20-730 또는 J952-953과 같은 선로전환기의 일반적인 철도 타입은 특정시장에 가장 적합한 것에 따라 사용될 수 있다.

4.1.10 신분당선 IL-CBTC 시스템

(1) 개요

신분당선의 열차제어시스템은 Thales사 IL-CBTC 시스템으로 주요 내용은 다음과 같다.

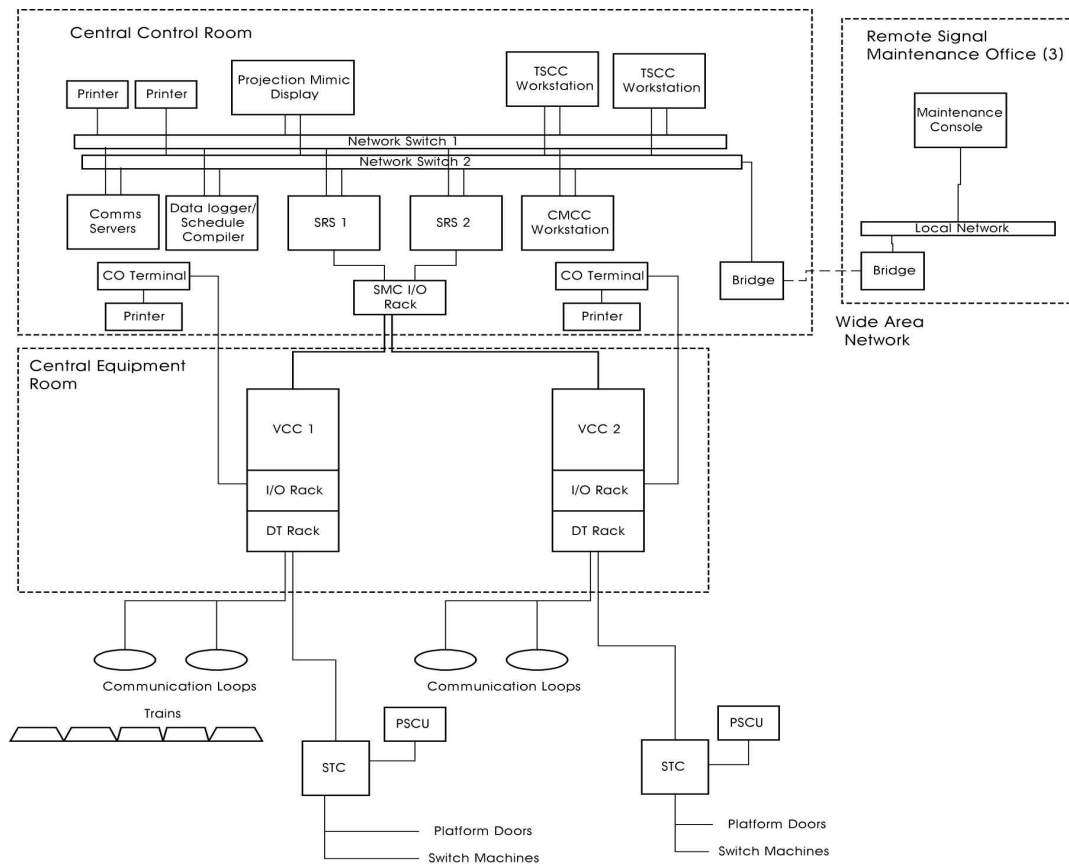


그림 27. CBTC 제어계층

① SMC (종합 사령실)

- 가. 종합 사령실에는 DLP TYPE의 대형 표시반과 이중화된 사령자 콘솔 및 사령장용 콘솔을 설치
- 나. 사령기계실은 지원용 컴퓨터 시스템 군을 설치되며, 시스템군은 용도에 따라 Assistant, Station communication, Station Controller Emergency Gateway, Database Server로 구성
- 다. 통합사령실을 위한 이중화된 전원공급장치 및 30분 이상 유지 가능한 무누액 장수명 축전지 시설

② VCC (열차제어센터)

- 가. 신분당선은 장래 신사 측 확장 및 백궁 측 확장에 대비하여 1단계 구간 전역을 2개의 제어권역으로 설정, 열차제어용 주장치 설치
- 나. 열차제어용 주장치는 2 Out of 3 의 강력한 안전 시스템으로 구축

③ STC (역단위 제어장치)

- 가. 분기기 시설 모든 역에 설치
- 나. STC에서 관할구역의 감시 및 제어 인터페이스 시설은 다음과 같다.
- 다. 현장 제어 반 인터페이스 (분기기 시설역)

- 라. 선로전환기
- 마. 진로개통표시기 (신호기)
- 바. 스크린도어
- 사. 행선 안내 등 Local에 필요한 열차운행 제어정보
- 아. 이 장치와 함께 설치되는 루프코일 인터페이스 모듈로 VCC 감시제어 지령을 루프코일을 통하여 운행중 모든 열차와 결합된다.
- 자. 시스템 전원안정을 위하여 UPS 설치 및 무 누액 장 수명 축전지 시설

④ 선로 변 설비

열차제어시스템을 위한 선로 변 설비는 다음과 같다.

- 가. 무보수형 루프코일 접속 모듈과 루프코일로 모든 열차운행 안전 수단을 제공
- 나. 재래적 신호 기초시설 : 무보수형 엑셀 카운터 접속 모듈 (열차검지), 진로개통 표시기 (신호기), 접속함
- 다. 선로전환기 (체결장치부 전자클러치형(본선))

(3) 관리레벨 (SMC : 사령실)

- ① 자동열차제어시스템의 전체관리는 시스템관리센터 (SMC)에 의하여 조정되며, SMC는 신호제어와 ATS기능을 수행하며 안전에 대한 책임은 없다.
- ② SMC는 LAN 기반의 SELNET 시스템을 사용하며 다음의 기능을 제공한다.
 - 가. 서비스로부터 열차의 추가 또는 삭제
 - 나. 사전저장스케줄에 따른 현장에서 적절한 스위치 설정에 대한 요구와 열차의 루트 할당
 - 다. 열차 속도와 역 점유시간을 조정함으로써 시스템 내의 열차의 제어
 - 라. 열차 성능의 상태의 감시와 다른 ATO 데이터의 수집
- ③ 시스템 관리 센터(SMC)는 철도 시스템을 위한 전반적 관리 시스템이다. 이는 시스템과 중앙 제어 운영자간의 인터페이스로 작용하고 필요한 ATS 레벨 자동 제어와 감시 기능을 제공한다.
- ④ 주요 기능은 모든 궤도 열차의 위치 및 상태와 ATC 시스템 내에서 현장 장비의 상태에 관하여 CCO에 정보를 제공하는 것이다.
- ⑤ 열차와 궤도 제어 명령은 적절한 자격을 인정하는 CCO 워크 스테이션을 통하여 입력이 된다.
 - 가. 시스템 초기화 (예: 올바른 데이터와 날짜의 시간의 설정)
 - 나. 열차의 라우팅 (예: 열차를 역으로 라우팅, 열차를 노선으로 할당)
 - 다. 열차 출발의 할당 (즉 영업 운전을 위한 후보 열차식별)
 - 라. 스케줄 창출/수정/할당
 - 마. 스위치 동작
 - 바. 열차 및 궤도 정보요청 (예: 성능 지시기)



사. 시스템 및 열차 홀드/릴리스(Hold/Release)

⑥ SMC는 다음과 같은 자동 기능을 제공한다:

- 가. 열차 출발/출차 (즉 열차를 영업운전에 투입 및 제거)
- 나. 저장고 관리 및 제어 (예: 차폐, 셔틀 업(shuttle up), 천이 영역 취급)
- 다. 열차 제어 (예: "헤드웨이" 제어 및 감시)
- 라. 열차 및 궤도 경보 그리고 상태 감시 (예: 열차 상태, 스위치 상태)
- 마. 데이터 입력 (즉 이벤트 기록)

CBTC 블록다이어그램

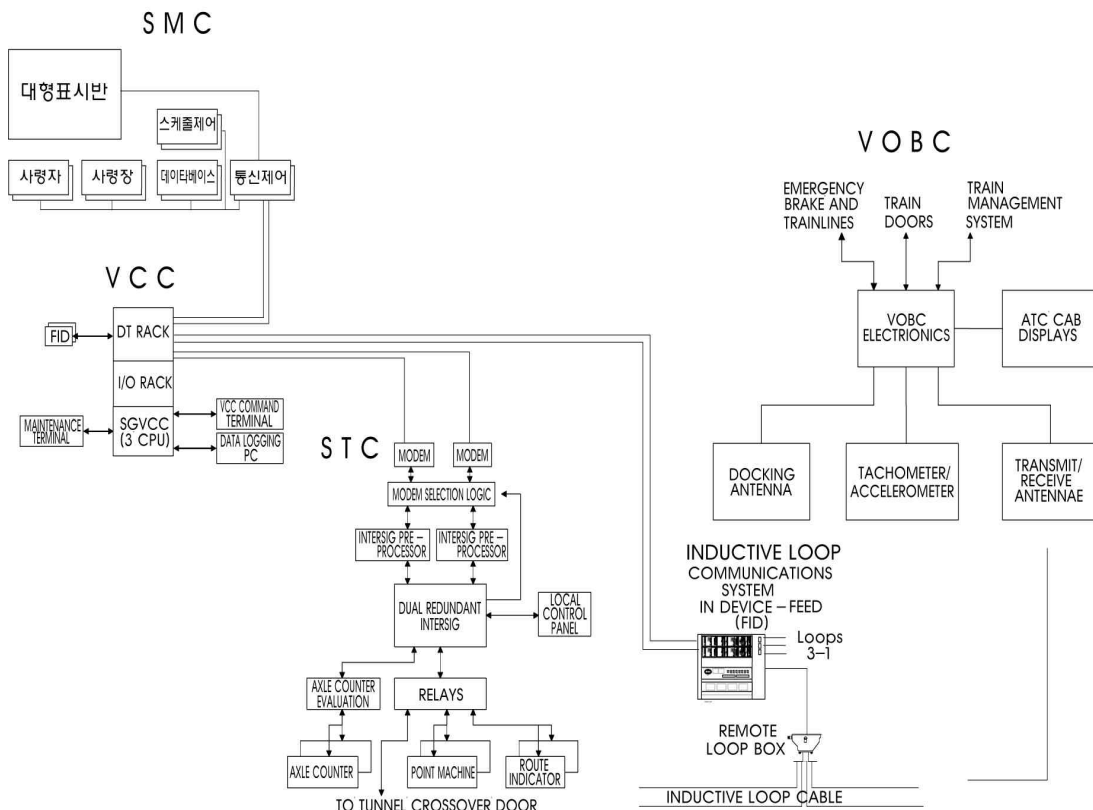


그림 28. ATC의 시스템 구성도

CBTC 제어 계층

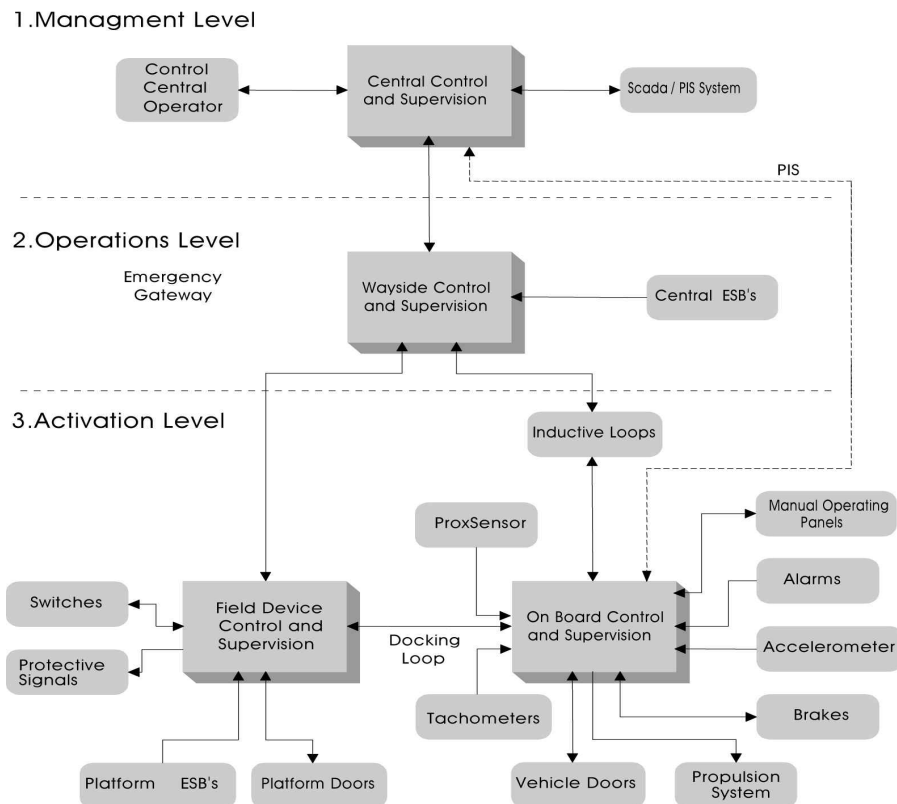


그림 29. 각 레벨 개요도

(4) 운영레벨 (VCC : 차량제어센터)

셀트랙 시스템의 안전 운행은 차량제어 센터(VCC)의 책임이다. VCC는 시스템 전반적으로 안전 열차 간격을 보장한다.

VCC는 목표점과 최대 허용 차량 속도, 그리고 다른 명령을 포함하는 명령 전송을 하며 다음과 같은 실시간 정보에 기초를 둔다.

- ① 최종 보고된 열차 속도와 위치
- ② 열차의 방향
- ③ 선행 열차의 최종 확인된 위치
- ④ 열차 방향 측으로 스위치의 개방 또는 예비 해제
- ⑤ 속도 제한
- ⑥ 역 정지
- ⑦ 궤도 장치의 상태

VCC의 서브 시스템은 "바이탈(Vital)"하게 안전 자동 열차 간격인과 이동폐색(Moving Block) 환경에서의 동작을 확인하는데 책임이 있다. VCC는 전방 열차의 후방 측의 최종 확인된 위치로부터 안전 제동 거리 또는 간섭받은 스위치 또는 폐색 궤도를 기반으로 하는 열차간 최소 안전 간격을 강제적으로 유지한다.



열차의 위치를 감시하는 것에 추가하여, VCC는 상태를 위한 역 제어기의 주기적 "폴링"에 의한 모든 스위치의 상태를 감시한다. 열차 주위에 있는 스위치는 열차가 통과 할 수 있기 전에 예약되고 지정이 된다. 스위치의 예약은 다른 열차, 예약에 의하여 시작되는 CCO 또는 스위치 동작 요청과의 간섭을 방지한다.

VCC는 기관사 또는 CCO 없이 열차를 자동적으로 운행할 수 있다. 이는 두 가지 기능을 통하여 수행된다. 즉 열차의 추적과 명령 운행권이다. 이러한 기능은 ATO 기능을 제공하기 위하여 함께 사용되거나 수동적으로 운영되는 열차의 움직임을 감시하는데 사용된다. VCC는 VOBC로부터 위치 정보를 수신하거나 연속적 "폴링"에 의하여 열차를 추적한다. 운행 허용은 안전 정지 점을 VOBC에 연속적으로 송신하는 VCC로 구성된다.

열차 운행은 추진과 제동, 속도 제한 설정 그리고 제동율, 역 정지 그리고 열차의 도어 개·폐를 명령하는 VCC를 통하여 차내장치와 통신을 수행한다.

"가능/불가능(enable/disable)" 및 플랫폼 도어의 감시가 VCC에 의하여 수행된다. 플랫폼 도어 상태는 STC 부수 시스템에 의하여 VCC에 제공된다.

(5) 활성화레벨 (역 설비 및 차내장치)

활성/동작 레벨에는 차내장치(VOBC), 유도 루프, 그리고 역 제어기 (STC)와 같은 3가지 보조 시스템으로 구성된다.

① 차내 장치 (Vehicle Onboard Controller)

각 열차의 차내장치 (VOBC)는 VCC에 의하여 제공되는 제한 범위 내에서 안전 자동 열차 운행에 책임이 있다.

각 차량은 VOBC 2 세트로 장치가 되어 있다. VCC는 VOBC의 한 세트에 활성화를 위한 명령을 주며 다른 장치는 수동 모드가 된다. 수동 VOBC는 활성 장치의 상태를 감시하고 활성 장치가 오류일 경우 기능을 수행할 준비가 되거나 전환이 CCO에 의하여 수행이 된다. 활성화된 VOBC는 모든 차내 ATO와 ATP 기능에 대한 책임이 있다.

VOBC는 VCC로부터의 명령을 해석하고 VCC에 의하여 지시된 속도 및 거리의 제한 범위 내에서 열차를 제어하며 열차 위치, 속도, 진행 방향 그리고 VOBC의 상태를 VCC에 전송한다.

안전을 위한 예라 점검 목적의 확인된 VOBC 시험의 보조 마이크로프로세서는 지속적으로 검사를 한다. 이 시험이 통과가 되면 VOBC는 명령 메시지를 해석한다. VOBC는 확실히 전달되는 전송 데이터에 따라 동작이 된다.

VOBC는 차내 ATO및 차내 ATP 기능으로 책임이 있다. VOBC는 중앙 ATP 기능으로 책임이 있는 보조 시스템과 일정한 통신을 하며 추진, 제동 그리고 ATP 제약 조건 하에서 열차 도어의 제어에 대한 책임이 있다.

VOBC는 최대 속도, 목표점, 도어 제어 그리고 제동율을 포함한 VCC 명령을 해석하고 지원한다. 이는 열차가 허용범위 내에서 동작하도록 과속, 목표점 과도현상, 도어 상태 검지를 수행한다.

VOBC는 열차 운동을 감지하고 안전 동작이 연속적으로 수행되지 않을 때 적용할 수 있도록 자동적으로 비상 제동 명령을 발령한다. 이는 또한 비상 "워크웨이 이네이블(walkway enable) 제어 및 감시를 제공한다.

VOBC의 위치 시스템은 궤도상에 놓여 있는 유도 루프로부터의 정보와 차량 측 상에 장착된 타코미터로 부터의 정보에 기반을 두고 있다. 각 유도 루프의 섹션은 루프 ID를 가지고 있다.

루프 ID 사용과 각 루프의 시작으로부터 크로스오버의 카운팅은 VOBC로 하여금 궤도 내에서 개략적인 위치를 설정한다. 보다 정확한 분해능은 전 크로스 오버의 시작으로부터 진행되는 거리를 측정하기 위하여 타코미터를 사용하여 달성한다.

② 유도 루프 (Inductive Loops)

열차와 지상간의 통신은 유도 루프 기반의 송신 시스템을 사용하여 수행이 된다. 정확한 위치 자료는 루프의 크로스오버(Crossover)에 의하여 만들어진다. 크로스오버간의 중간 위치는 차축에 접속된 타코미터에 의하여 결정이 된다. 타코미터와 루프 크로스오버의 조합은 열차의 위치를 결정한다. 유도 루프 통신 장비는 장비실과 궤도에 위치한다. 유도 루프 데이터 시스템은 VCC와 VOBC가 정보를 교환하는 수단이다.

③ 역 제어기 (Station Controller)

역 제어기 (STC)는 스위치 동작 명령을 변환하고 VCC로부터 데이터로 바이털 계전기 랙을 통하여 신호로 전송한다. 스위치 상태, 승강장 도어 그리고 승강장 ESB는 STC 로부터 VCC로 궤환 된다.

정상적 동작 시에, 모든 연동 기능은 VCC에 의하여 수행이 된다. 그러나 스위치의 동작은 "지역운전 모드"에서 STC에 의하여 수행될 수 있다. "지역운전 모드(Local Mode)"는 STC와 같이 같은 물리적 위치에 있는 현장 보수자(Local Maintainer)에 의하여 선택이 된다. PSCU를 STC에 접속한 후에 국부 모드 보수자(Maintainer)는 STC로 명령을 발송하고 상태를 STC로부터 수신한다.

STC가 국부모드(Local Mode)에 있을 때는, 스위치의 동작은 VCC가 아닌 PSCU를 통하여 제어될 수 있다. PSCU는 운영자에게 스위치의 배열과 스위치의 동작을 위한 제어를 표출한다. ATO 열차는 "국부 제어" 하에서 스위치를 통하여 진행 방향으로 부터 방지된다. 수동 열차(MDM)는 국부 제어 하에서 스위치를 통하여 진행할 수 있다. 운영의 이러한 모드는 오류 상태에서 사용되어 진다. VCC에서 STC로 명령 경로의 오류가 일어나면, 스위치의 동작은 PSCU를 사용하여 가능하다.



보수자가 PSCU를 통하여 스위치를 움직이고 저 할 때, STC는 다음과 같이 동작한다.

- 예약되어 있지 않으면, 스위치의 이동 명령을 행함
- 스위치가 예약되어 있으면, 스위치는 동작 명령을 거절
- STC는 VCC와 통신을 잃었을 때, 모든 스위치가 예약되지 않은 것으로 판단함

STC는 ATC 시스템의 자동 열차 제어보호 (ATP)와 자동 열차 운행(ATO)을 보충하기 위하여 VCC와 연동하여 동작한다. STC의 궤도제어 기능은 정상 동작 동안 VCC로부터의 명령 전송에 의하여 작동한다. STC 제어 하에 모든 장비의 상태 정보는 STC 응답 전송의 형태로 VCC에 반환된다.

STC는 다음 "바이탈 제어"와 기능의 감시를 제공한다.

- 자동 스위치 제어와 감시
- 승강장 도어 제어와 감시
- 승강장의 폐쇄 및 잠금 상태를 VCC에서 감시하고 보고함

(6) 데이터 통신 (Data Communication)

송신 기반 신호 시스템은 정확하고 신뢰성 있는 데이터 통신을 요구한다. 다음과 같은 기술은 차량간, wayside와 중앙간의 데이터 통신의 순수성을 증명하기 위하여 사용이 된다.

여분 비트가 전자파 간섭에 의해 "오염" 되는 데이터가 수신되지 않도록 하기 위하여 유도 루프를 통하여 전송되는 데이터를 동반한다. 이는 "바이탈 정보"를 포함하고 있는 데이터 통신 상에서 연속적 여분 검사(CRC)에 의하여 수행이 된다.

송신된 데이터는 주기적으로 업데이트 된다. VCC로부터 VOBC와 STC에 전송된 명령이 새로운 전송 시에 업 데이트가 되고 확인이 된다.

"개연성"과 "지속성" 검사는 수신된 데이터 상에서 수행이 된다. 부수 시스템이 사전 전송, 물리적 법칙 그리고 설계 제한에 의하여 예상되는 수신된 데이터를 시험한다.

(7) ATC 시스템

ATC 시스템은 전형적인 신호 구성 품인 ATP, ATO 및 ATS로 구분된다.

① 자동 열차 보호 장치 (Automatic Train Protection)

자동 열차 보호 장치는 안전 열차 운행에 책임이 있는 ATC 시스템 내에서 "바이탈 기능"을 포함한다.

ATP 구성품의 주요 책임은 다음과 같다.

- 가. 열차 운행에 마찰로 인한 충돌의 방지
- 나. 부적절한 궤도 스위치의 동작 및 설정에 의해 야기되는 충돌 방지
- 다. 예정되지 않은 도어 개방, 혼잡 등에 의한 위험에 승객 노출 방지
- 라. 허용 상용 속도 또는 명령 속도를 초과하는 열차의 결과로 궤도의 손상 방지
- 마. 특별히 ATP 시스템은 다음과 같은 것을 제공

- 바. 차내~지상 통신 시스템을 사용하여 시스템 전역을 통한 열차의 연속적 존재 검출
- 사. 최소 요구되는 안전 정지 거리에 의하여 결정되는 안전 열차 간격, 안전 거리는 상용속도제한, 차량 그리고 ATC 특성에 의하여 계산
- 아. 열차가 스위치 상에 이동하는 동안 스위치의 동작을 금지 그리고 스위치가 할당되거나 올바른 위치에 잠금 된 상태가 아닌 상태에서 열차가 스위치 영역에 진입되어"지워지는" 것을 방지하기 위한 연동 장치
- 자. 조정, 라우팅 연동 그리고 합류점 및 분기점 위치에서의 열차 운행의 감시
- 차. 안전 운행과 상용 속도 제한에 따르는 열차 속도의 제한
- 카. 시스템 전체를 통한 열차 운행 방향의 감시
- 타. 열차의 혼잡감시
- 파. 이동 방해물 감지
- 하. 열차/승강장 도어 제어 안전 연동 제공
- 거. 비상 작업로 감시
- 너. 열차 "정상도" 위반 감지 및 열차 노선 감시

② 자동 열차 운전 (Automatic Train Operation)

자동 열차 운전은 속도 제어, 프로그램 된 역 정지 및 도어 제어와 같은 기능을 지배하는 ATC 내에서 기능을 포함하고 있다. ATC 시스템의 ATO 구성 품은 다음을 제공하고 있다.

- 가. ATP 기능에 의하여 제한을 주는 범위 내에서 열차 속도의 제어 그리고 승객 승차 품질 척도내에서 열차 운행을 제공하기 위한 열차 속도 제어
- 나. 도어 개·폐를 포함하는 프로그램 된 역 정지
- 다. 차내 음향/비디오 방송 조작
- 라. 궤도 음향/비디오 방송 조작
- 마. 경보 감시 및 보고

③ 자동 열차 감시 (Automatic Train Supervision)

자동 열차 감시 (ATS) 기능적 보조 시스템

- 가. 인간-기계 인터페이스 제공
- 나. 열차의 위치 와 ATC 구성 품 통신의 상태 감시와 표출
- 다. 스케줄과 "헤드웨이"를 유지하기 위한 열차 운행의 제어
- 라. 노선 할당을 기반으로 하는 열차의 라우팅
- 마. 시스템 지연 과/또는 중앙 운영 명령에 입각한 시스템 운행 변수의 수정
- 바. 역 점유 시간 제어
- 사. 관리 보고를 위한 데이터의 수집
- 아. SCADA 및 관리 정보 시스템(MIS)와의 인터페이스

해설 2. 해외시스템 비교

1. 회사별 CBTC관련 생산품

표 4. CBTC 관련 생산품

회사명	CBTC관련 생산품	담당자	차내-지상간의 통신방식/RF 협력업체	위치결정기술	프로토콜네트워 크차내케이블	비 고
Alcatel	Seltrac	Kevin Fitzgerald	RF통신은 IEEE 802.11에 따르며 Alvarion사와 협력관계 Induction loop : LZB기술을 기준함	표준트랜스폰더 (Tag):AAR형 Loop:Loop Crossover	CAN	NYCT의 데모를 성공적으로 수행
Alstom	URBALIS 300 IAGO	Naor Wallach	자사제품사용 /Morse	Euro Balise(Tag)	IEEE-1473-L IEEE-1473-T	NYCT의 데모를 성공적으로 수행
Bombardier /ADtranz	Flexiblok	Joe Zwastetzky	자사제품/Andrew	표준트랜스폰더 (Tag):AAR형	IEEE-1473-L	
GE/Harmon	CBTC ITCS AATC	Jeff Baker	자사제품/EPLRS	CBTC와 AATC:Radio Ranging ITCS:GPS와 Tachometer	IEEE-1473-L	SF-BART와 계약추진중 (Nippon of 기술협력)
Nippon Signal		Makoio Yag			IEEE-1473-L	SF-BART와 CBTC 발전계약
Safetra System	TBS100	John Paljug	자사제품		IEEE-1473-L	
Siemens France/Matra	SACEM	Jon Bader	자사제품/Morse	RF:새로운자사 트랜스폰더(Tag) 자사광센서	IEEE-1473-L	NYCT의 데모를 성공적으로 수행하고 US&S와 함께 NYCT를 수행중

표 4. CBTC 관련 생산품-계속

회사명	CBTC관련 생산품	담당자	차내-지상간의 통신방식/RF 협력업체	위치결정기술	프로토콜네트워 크차내케이블	비 고
Siemens Germany	LZB80	Fomas Mart Ralf-Wennrich	RF:GSM-R Inductive Loop:LZB80	Loop:Loop Crossover	IEEE-1473-L IEEE-1473-T	
US&S		Deny Pascoe			IEEE-1473-L	Simens/ Matra와 함께 NYCT 수행중
Westinghouse Signals-Australia		Charles page				
Westinghouse Rail Systems-UK	TBS100	Mark Glover				
Wabtec	CBTM PTC-IDOT	Robert Kall	IEEE 802.11 ATCS200 차사:DSSS Mobile Satellite Multiple VHF Data Radios		IEEE-1473-L IEEE-802.3 CAN	



2. 통신을 이용한 열차제어시스템 검토

표 5. 통신을 이용한 열차제어시스템 비교

시스템명	AATC	ETCS	SELTRAC S40	CARAT
원 어	Advanced Automatic Train Control	Incremental Train Control System		Computer and Radio Aided Train Control
국명 도시명등	미국 샌프란시스코	미국	캐나다	일본 (철도총연)
메이커명	휴즈항공사	Harmon	Alcatel	경삼,일본신호, 미쓰비시,대동
개발 Conecpt	시격단축군사기술응-용 현기술 중첩가능	고속철도속도향상에 따른 수용능력 증대	초기투자비절감 성능의안정성강화	차세대시스템 비용절감
안전성	이중화 부호검사	이중화 부호검사	이중화방식 RAM 을 기본원칙 적용	Fault-tolerant Fail-safe
무 선	스택트럼 확산 2.4-2.485GHz EPLRS(무선에 의한 위치 검사)	900MHz의 ATCS Link	확산 스펙트럼 주파수호핑방식	LCX 400MHz 상월 신간선 실험 시스템
열차제어	역 인텔리전스 ATC 기반 & Wireless	차내인텔리전스	차내인텔리전스	차내 인텔리전스
열차검지	확산 스펙트럼 무선	GPS 방식	타코메타와 트랜스폰더	GPS 위성과 광자이로 트랜스 폰더와 타코메타
특 징	다정보이용 전력절감 회생전력효과 맵수정 용이	3레벨 1레벨 : ATP 2레벨 : ATC 3레벨 : 무선		선로변기기 철거
시격단축	150→80초			
처리주기	0.5초			1초
구동기 처리	시스템 회복 용이			
레일절손 검지	궤도회로	레벨3 : 불가		
중첩/공용성	있다	있다		
개발시 위험도		영국, 서안간선 레벨3 계획 메이커 부담 큼		실험 시스템은 운수성 보조금
실용화	불명	레벨3 : 2000년		
	샌프란시스코만 지역 고속철도 Pacific	TGV 동선 등 레벨2 : 독일등		

표 5. 통신을 이용한 열차제어시스템 비교-계속

시스템명	ATCS	CBATC	SACEM	IAGO	ASTREE
원 어	Advanced Train Control System	Communication Based Automatic Train Control		Informatisation et Automatisation par Guide d'Ondes	
국명 도시명등	미국,캐나다	브라질 상파울로	프랑스	프랑스	프랑스
메이커명	CRS, US&S등	CMW	ALSTOM	ALSTOM	GEC-ALSTOM
개발 Conecpt	차량운용의 효율화 연료절감	시격단축 현 기술공용	ATO 시스템의 발전 수송능력 증대	건설비 및 유지보수 비 절감효과 증대	성능향상 비용절감 차내지능화
안전성	인위적 오류방호 다중루프	확장성 Fail-Safe	연속 정보전송에 의한 안전정보유지	다중경로환경을 발생하지 않음	모노프로세서 부호화 FS
무 선	열차무선 900MHz	분산형 통신 누설케이블 스펙트럼확산	Spectrum 누설 유도선 전파안내방식	Waveguide에 따른 RF(무선) 시스템	열차무선 450Mhz Beacon (1Km 2.45GHz)
열차제어	차내 인텔리전스	차내 인텔리전스	차내 인텔리전스	차내 인텔리전스	차내 인텔리전스
열차검지	GPS위성 트랜스폰더 타코메타	기존 신호 방식과 병행, 궤도회로사용	궤도회로 및 타코메타	Waveguide 방식	
특 징	4레벨 지령자동화 화차추적 운용자동화	기존 ATC&CBATC 의 자동절환			선로변기기 철거 도플러 레이더 속도검지
시격단축		98→60초			
처리주기		1초			
구동시 처리		구간마다 회복			Beacon 마다 회복
레일절손 검지	레벨 40 : 요구	궤도회로			불가
중첩/공용성		있다			없다
개발비 위험도	자금면에서 전면 실용화 곤란				개발비 증대로 고려
실용화	부분 실용화	수년후			2000년
	CN 철도 Union Pacific	상파울로 지하철 동서선			TGV 동선



3. 해외 CBTC

해외에 설치된 CBTC의 특징은 다음과 같다.

- (1) 열차제어방식에 있어서 대부분의 시스템은 차내 인텔리전스를 채택하여 사용하고 AATC 시스템은 역 인텔리전스 방식을 적용.
- (2) 안전성 면에서 대부분의 시스템은 이중화에 의한 안전측 동작(Fail-Safe) 원칙을 적용하였으나 ASTREE는 일중계로 모노프로세서 방식을 적용
- (3) 개발목적은 시스템의 수송능력 증대 및 건설유지비의 감소를 주목적으로 구성으로 하였다. 또한 시격단축을 주요 개발목표로 하고 있는 대부분의 시스템은 이동폐색 기술과 접목되거나 접목되어질 것으로 사료된다.
- (4) CBTC 기술은 적용한 시스템 중 기존 설비를 백업(Backup) 용으로 사용하지 않는 시스템들의 문제점은 레일의 철손을 감지하지 못하는 문제점을 가지고 있으며 이는 보안적으로 기존 설비의 유지 방향으로 추진 중이다.
- (5) 실용화할 때에는 기술면보다 소프트 개발비의 증대 등 자금 면에서 많은 문제점을 갖게 된다.
- (6) 무선방식은 열차무선, 확산 스펙트럼 방식, LCX 누설 유도선, 도파관(Waveguide) 등의 다양한 기술이 사용되어지고 있다.
- (7) 열차위치 감지방식은 GPS, 확산 스펙트럼 무선방식, 타코미터와 트랜스폰더, 도파관(Waveguide) 등의 기술이었으나 가장 주도적인 기술은 타코미터와 트랜스폰더를 사용하는 방식이다.

4. CBTC 시스템의 장·단점 분석

4.1 개 요

앞에서 검토한 바와 같이 CBTC 시스템은 그 기능 및 성능에 따라 여러 종류로 나뉘어진다. 그리고 각 시스템 별로 사용되는 기술은 유사하거나, 각각의 성능에 따라 다소 차이점이 있으므로 다음과 같이 CBTC 시스템의 장·단점을 검토하였다.

4.2 CBTC 시스템의 장점

- (1) 열차 위치에 대한 높은 정확성과 해상도는 열차 성능과 궤도 기하학의 제약 조건 내에서 60초의 운행 간격(Headway)으로 운행할 수 있는 조건을 제공한다.
- (2) 중요 데이터와 비-중요 데이터를 전달하는 중앙, 차내와 열차간 양방향(Duplex) 고속, 고성능 통신이 가능하다.
- (3) 차내 신호를 위한 연속적인 ATP 기능성을 제공한다.
- (4) 자동과 수동 작동 모드의 광범위한 선택을 허용한다.

- (5) 운전 프로파일과 역 정차를 포함한, 지상으로부터 열차 제어 성능을 통제한다.
- (6) 전철에 적용 시 입증된 기술 개념이다.
- (7) 예로는 약 1500 km의 통신-기반 신호처리를 구비하고 20년 이상 수익 서비스를 운영 해온 독일 국영철도가 있다. 8년 동안 서비스를 제공해온 Vancouver Sky Train은 일반적으로 어느 정도 성공을 거둔 것으로 간주된다. 이 회사의 승차율은 원래 계획보다 4년을 앞서 달성했으며, 실제 운행 간격은 적게는 40초이며, 평균시스템은 북미특급 전철 평균 보다 45% 이상이다. 마일당 0.11 (1609.3M당 132원) 달러는 북미에서 모든 철도나 버스 시스템 중 최저의 운영비라 할 수 있다.
- (8) 타워, 차내와 차내에서의 마이크로프로세서 설비 설정은 높은 시스템 가용성(적절한 상태 감시, 진단과 고장난 부분에 대한 즉각적 유지보수) 접근성과 화합성을 제공할 수 있다.
- (9) 차내 시스템이나 상태는 실시간으로 원격 감시할 수 있다.
- (10) 역 에서의 정확한 정위치정차(Vancouver 시스템은 2.0 인치 정차 정확성)를 가능하게 한다.
- (11) 열차는 제어장소에서 연속적으로 확인 가능하며, 자동으로 진로가 설정될 수도 있다 (더 정확한 열차 궤도 추적은 열차 위치 결정의 정확성과 보고 기능에 의해 가능하다).
- (12) 궤도배선에 의해 제약을 받는 양방향운전, 짧은 거리에서의 회차, 무정차역을 포함해서 다양한 운영 환경을 제공한다.
- (13) 특별한 소프트웨어를 위해 적은 추가 비용의 사용으로 양방향 모두에서 최소의 운영 거리 성능을 가지고 완전한 양방향 운전을 가능하게 한다.
- (14) 서비스 규정을 최적화 할 뿐만 아니라 전력 소비를 최소화하고, 재생 브레이크 시스템을 완전히 활용할 수 있게 해주는 융통성 있는 열차의 통제 수준을 제공한다.
- (15) 수동 작동 하에 최적의 운전 기법을 가능하게 하는 향상된 디스플레이를 제공한다.
- (16) 최신의 컴퓨터와 통신 하드웨어를 사용한다.
- (17) 향후 하드웨어 업그레이드로 옮길 수 있는 높은 수준의 언어 소프트웨어를 채택할 수 있다.
- (18) 완전히 운영되면 어떤 지상 신호나 정지(Tripstops)를 필요로 하지 않는다.
- (19) 수익 운영에 영향을 미치지 않고, 통신 연결을 광범위하게 시험할 수 있다.
- (20) 완전한 이중 모드 설정에서 운영되며, CBTC가 적용되지 않은 열차는 고장시 대체 시스템 궤도 회로의 상태를 감시해서 추적할 수 있으며, CBTC가 적용된 열차는 그에 따라 제어될 수 있다.
- (21) 고장 시 대체 시스템은 주요 프로세서와는 별개로 작동할 수 있다.
- (22) 전원 소비는 다른 유형의 열차 통제 기술의 경우보다 낮다.
- (23) 레일로부터 차내~지상 링크의 고립에 의한 전도성 전자기 간섭으로부터 개선된다.
- (24) 조작자는 많은 궤도 없이 CBTC로 선로용량을 높인다.
- (25) CBTC는 안전을 증가시키도록 설계된다.
- (26) CBTC는 지상의 현장설비를 제거한다.



- (27) 기존 시스템을 병합하기 쉽다.
- (28) CBTC 설치 후 새로운 응용설비를 추가할 수 있다.

4.3 CBTC 시스템의 단점

- (1) 열중요한 차내 프로세서의 고장은 철도의 넓은 지역에 대한 주요한 통제를 못하게 하는 결과를 초래한다. 중복되는 시스템의 경우, 중요한 차내 프로세서의 고장은 두 부분 모두에서 고장의 특성이 될 수 있다. 일반적으로, 양쪽의 시스템에 모두 공통인 유일한 품목은 소프트웨어이다. 소프트웨어 오류가 교정되면 재 발생하지는 않는다. 벤쿠버(Vancouver)에서 최근의 경험에 따르면 이는 현재 극히 드문 문제이다.
- (2) 센터의 건물에 수용되는 논 바이탈 프로세서(Non-Vital Processor)와 바이탈 프로세서(Vital Processor) 장치들의 집중화는 어떠한 사고에 의한 전체시스템에 영향을 미치는 취약점이 드러나는 공통점이 있다.
- (3) 현재 이용 가능한 시스템은 상대적으로 낮은 대역폭을 보이며 마모, 분열과 파손행위에 피해를 보기 쉬운 자기유도 통신을 그 특징으로 한다. 자기유도 루프(LOOP) 시스템을 이용한 운영 시스템은 초당 1200 비트의 열차로 전송되는 데이터 전송률을 허용한다. LA Green Line과 RATP는 사용되는 레일의 높은 유도계수가 초당 200 비트 정도의 통신을 제한한다. 벤쿠버(Vancouver)는 초당 1200 비트의 업링크와 자기유도 통신을 이용한 40초의 운행간격으로 운행한다.
- (4) 자기유도 루프는 파손 등의 가능성이 있다. 벤쿠버(Vancouver)에서는 이러한 문제를 해결하지 못한 반면에, German Federal Railway는 자기유도 루프로 20년 이상 성공적으로 운영해왔다. 무선-기반 시스템은 이러한 단점을 완화시킬 것이다.
- (5) 시스템 고장시, 모든 열차는 완전 운영이 다시 시작되기 전에 긍정적으로 구축되어야 한다. 이는 무인운전 시스템에서 가장 중요할 수 있다. 대부분의 시스템에서, 열차 운전사는 다음 역으로 수동으로 운전 할 수 있다. 이로써 시스템을 재 구동할 필요 없이 지연을 크게 완화할 수 있다.
- (6) 개발과 디버그 시기 동안 많은 기능성이 도입되므로 써 응용설비는 대개 소프트웨어 위주이며, 수익 운영에 적용한 후에 미세한 조정이 예상된다.
- (7) 기존의 시스템은 하나의 제조업체가 공급한 완전한 통합 패키지이다. 현재까지, 이러한 공급업체들은 하드웨어와 소프트웨어의 세부사항을 공개하기를 꺼려했는데, 세부사항은 하나의 시스템으로 완전히 인터페이스 되는 설비를 경쟁업체도 공급할 수 있게 해준다. 통신 주파수, 주기, 데이터 전송율, 비트 패턴 등의 정의는 각 부분이 수행하는 기능을 완전히 정의하기에는 충분치 않으며, 각시스템에 대한 상당한 설계 세부사항이 필요하다. 이 기술을 NYCT에 적용하려면 비 독점적인 인터페이스 시리즈나 수용 가능한 라이선스 프로그램도 필요하다.

4.4 CBTC 장·단점 분석

(1) 장·단점 요약

표 6. CBTC의 장/단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ■ 90초의 운행간격 ■ 양방향 고속, 고성능 통신링크 ■ 연속적인 ATP 기능성 제공 ■ 작동모드의 광범위한 선택 ■ 열차제어 성능 통제 ■ 높은 시스템 가용성, 접근성·화합성 제공 ■ 실시간 원격감시 ■ 정확한 역정차 기능 ■ 열차의 연속적인 위치확인 및 자동진로 설정 ■ 다양한 운영 설정 ■ 완전한 양방향 운전 ■ 융통성 있는 열차의 통제수준 제공 ■ 향상된 디스플레이 제공 ■ 최신의 컴퓨터와 통신하드웨어 사용 ■ 높은 수준의 언어 소프트웨어 채택 ■ 광범위한 통신연결 시험 ■ 대체시스템 궤도회로의 상태를 감시 추적 ■ 고장시 대체 시스템은 주요 프로세서와 별개로 작동 ■ 전원 소비가 낮다 ■ 전도성 전자기 간섭으로부터 개선 ■ 적은 궤도로 선로용량 증대 ■ 안전이 증가된 설계 ■ 지상의 현장설비 제거 ■ 기존 시스템과 병합 용이 ■ 새로운 응용설비 추가 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 차내 프로세서의 고장으로 철도의 넓은 지역에 대한 주요한 통제불가 ■ 높은 정도의 프로세서의 중심화는 수용되는 건물의 사고에 시스템 취약화 ■ 상대적으로 낮은 대역폭을 보이며 마모, 분열, 파손행위에 피해보기 쉬운 자기유도통신 사용 ■ 시스템 고장시 시간 소비 ■ 응용설비는 대개 소프트웨어 위주 ■ 인터페이스 시리즈나 수용 가능한 라이선스 프로그램 필요

(2) 장·단점 분석에 따른 검토의견

앞에서 언급한 장점에서 열차운행 간격축소, 안전성 강화, 실시간 제어에 따른 열차 운용성의 증대 등 현재의 시스템보다 우수하다. 그러므로 단점에 대하여 검토하였다.



표 7. CBTC 문제점 대처방안

항 목	구축시 고려사항
중앙시스템의 고장	일부 통제시스템 추가를 통한 복구시간단축, 전체 복구를 위한 제어범위 불필요
대역확산(Spread Spectrum) 통신 기술방식의 불신임	NYCT에서 타당성 및 적용가능성을 입증. BART에서 대역확산 무선통신 기술에 대해 광범위한 시험을 수행. London Underground의 지하철 내부구조에서 시험을 수행. 피츠버그 시험궤도에서 Lossy 라인을 이용해서 대역확산 통신방식의 가능성 입증.
기존 신호 시스템 설비의 노화 상태로 인한 시험중의 지연	시스템 마이그레이션(Migration) : 이 개념은 기존 신호 시스템 회로에 대한 변경을 최소화하면서도 연속적인 과속보호를 구현할 수 있게 한다.
기존 시스템 교체에 따른 열차 안전을 위한 대체 시스템 필요	CBTC 시스템 적용으로 신뢰성이 확보되면 대체시스템의 사용을 중단할 수도 있다.

현재 CBTC가 가지고 있는 문제점에 대하여 많은 제작용체 또는 연구기관에서 보다 효율적인 대처방안을 연구하고 있으며 보완해 나가고 있다. 또한 현재 세계적 추세 및 시스템 구축방향이 CBTC 시스템으로 진행되고 있으므로 현재에도 인증 받은 시스템이나 점차적으로 더욱 안정적인 기반으로 구성될 것으로 사료된다.

4.5 기존 도시철도와의 비교

국내의 기존 도시철도는 두 가지로 구분할 수 있다. 그것은 ATO 기능이 없는 시스템(서울지하철3, 4호선)과 ATO 기능이 있는 시스템(서울 2기 지하철)으로 구분된다. 이들 시스템과 CBTC 시스템과의 가장 큰 차이점은 열차운전 시격 조정 및 안정성 확보를 예로 들수 있으며, 보수유지비 부분에서도 CBTC 시스템이 유리하다. 또한 기존노선 및 설비에 추가적으로 부설이 가능하여 그에 따른 기존 시스템 운영에 문제가 발생하지 않도록 시공 가능한 시스템이라 할 수 있다. 그리고 이미 세계적으로도 NYCT, BART 등에서 그 기술이 시험을 통하여 입증된 상태이므로, 현재의 시스템보다 그 성능과 기능이 우수하며, 기존 도시철도 운영에 지장을 초래하지 않는다는 것만으로도 이미 신기술 도입에 큰 장점을 가지고 있다고 할 수가 있다.

표 8. 기존 시스템과 CBTC 시스템의 비교

구 분		기존 열차 신호 시스템	CBTC 시스템
구 성	열차위치 검지	궤도회로	Radio ranging, Balise, Inductive loop, GPS
	신호전송	궤도회로	무선 통신
	폐색방식	고정폐색	이동폐색
특 징		궤도회로 기초	궤도회로 필요없음
		안전성이 증명된 기술	안전성 증명, 신뢰성 향상
		소량의 정보 전송	다량의 정보 전송
		날씨등 외부 조건에 취약	radio ranging의 경우 외부조건의 영향이 적음
		설치 및 유지보수에 어려움	설치 및 유지보수 용이
			다른 시스템과 혼용으로 사용 가능
			무선 통신의 질이 보장되어야 함

5. CBTC 구축에 따른 고려사항 검토의견

CBTC 구축에 따른 시스템별 고려사항은 크게 두가지로 구분되며 첫 번째는 인터페이스 고려사항으로 장치간 인터페이스, 데이터 통신 인터페이스 기존장비와의 인터페이스 사항이고 두 번째는 장비별 고려사항으로 사령설비, 통신망, 신호기계실, 현장설비, 차내설비로 구성된다. 이들의 고려사항에 대하여 검토하였다.

5.1 인터페이스 고려사항

앞에서 검토한 바와같이 CBTC 구축에 따른 인터페이스의 범위는 크게 장치간 인터페이스, 데이터통신 인터페이스, 기존장비와의 인터페이스로 구분되며 이들 항목의 상세검토 항목은 다음과 같다.

5.1.1 장치간 인터페이스 구성

- (1) 현장 CBTC 시스템장치 사이의 정보교환 구성
- (2) 차내와 차내간의 정보교환 구성
- (3) 차내 CBTC 시스템 장치 사이의 정보교환 구성
- (4) 차내 CBTC 시스템 장치와 트랜스폰더 사이의 정보교환 구성

5.1.2 데이터통신 인터페이스

- (1) RF 데이터 인터페이스 기능
- (2) RF 인터페이스 요건



5.1.3 기존 장비와의 인터페이스

- (1) 차내 직렬 링크
- (2) 선두~후미 차량간 링크
- (3) ATP 인터페이스
- (4) 열차 출발(Dispatch)
- (5) SORS에 대한 ATC 모델
- (6) 프로그램 정지 무효화(Override)
- (7) 인터락킹(Interlocking) 명령 및 표시
- (8) 사령실

CBTC 설비에 따라 다를 수 있으나, 위에서 언급한 내용의 인터페이스 관련 사항은 검토하여야 한다.

5.2 장비별 고려사항

표 9. CBTC 적용에 따른 장비별 고려사항

구 분	장 비 명	CBTC 적용에 따른 고려사항
사령 설비	LDP	기존 장비유지
	Train Control Computer	CBTC 적용에 따른 S/W 개수 필요
	CDTS	기존장비 유지
	TCC	CBTC 적용에 따른 S/W 개수 필요
	MSC	CBTC 적용에 따른 운행관리 S/W 개수필요, Central Radio Dispatch와 인터페이스
	Central Radio Dispatch	CBTC 적용에 따른 신설장비, 기존 MSC와 인터페이스
	RBS Rack(Radio Block Center)	CBTC 적용에 따른 신설 장비와 인터페이스
통신망	광 케이블	기존 전송로 사용, CBTC용 장비들과 연결
	Router	기존 장비유지 및 CBTC 적용에 따른 추가장비설비
통신망	LDTS	기존장비 유지
	연동장치	기존장치 일부변경, 통신장비와 연동장치의 연계장치 추가

표 9. CBTC 적용에 따른 장비별 고려사항-계속

구 분	장 비 명	CBTC 적용에 따른 고려사항
신호 기계설	ATC 장치	기존장비 유지
	ATO/TWC 장치	기존장치 철거, CBTC 장비가 기능 대체
	Local Control Computer	기존장비 유지, S/W 개수 필요
	전원장치	기존장비 유지, 용량에 따른 추가 전원장비 설치가능
	통신장치와 연동장치의 연계장치	기존 데이터를 변환하여 CBTC 장비로 전송
	지역제어기	CBTC 적용에 따른 신설장비, 현장 Radio Box 및 광통신망과 인터페이스
현장 설비	신호기	기존장비 유지, 일부설비 철거
	선로전환기	기존장비 유지
	궤도회로	기존장비 유지, 일부설비 철거
	Open Door Loop	철거, CBTC 장비가 기능 대체
	TWC	철거, CBTC 장비가 기능 대체
	PSM Marker Coil	철거, CBTC 장비가 기능 대체
	Transponder	CBTC 적용에 따른 신설장비, 차내 TI와 인터페이스
	Radio Box + 안테나	CBTC 적용에 따른 신설장비, 지역제어기와 연결, 차내안테나 통신
차내 설비	ATC 장치	철거, CBTC 장비가 기능대체
	ATO/TWC 장치	철거, CBTC 장비가 기능대체
	ATC 안테나	철거, CBTC 장비가 기능대체
	TWC 안테나	철거, CBTC 장비가 기능대체
	Radio	CBTC 적용에 따른 신설장비
	Cab Signal Computer	CBTC 적용에 따른 신설장비
	버튼(절체스위치)	CBTC 적용에 따른 신설장비
	CBTC 장치	CBTC 적용에 따른 신설장비
	Transponder 안테나	CBTC 적용에 따른 신설장비
	Tachometers	CBTC 적용에 따른 신설장비



해설 3. 도시철도 신호시스템 표준화 사업

1. 개 요

국내 도시철도의 신호제어장치는 각 노선별로 상이한 시스템을 운용하고 있어 동일 기능별로 상호 호환성 부족으로 유지보수 및 기술인력 활용에 애로사항이 많고, 해외 기술의존에 의한 기술경쟁력이 약하다. 또한 본격적으로 대두될 도시철도의 신설 및 개량에 대비하여 신호시스템의 발전적인 표준화/국산화를 통한 국내 기술력 및 제품간 호환성을 확보 및 열차운행의 안전도 및 신뢰도를 향상시키기 위해 “도시철도 인프라 표준화/정보화 사업과 관련하여 도시철도 신호시스템 표준화”의 주요 내용은 다음과 같다.

2. 시스템 방식별 특성 검토

2.1 시스템 원리 및 안전, 신뢰성

표 10. 시스템 방식별 특성 비교

비교항목	Speed Code ATP/ATO	Distance to go ATP/ATO	CBTC ATP/ATO	비고
전송방식 (기본원리)	<ul style="list-style-type: none"> 궤도회로 또는 루프코일 이용 속도코드(Speed Code)전송 	<ul style="list-style-type: none"> 궤도회로, 루프코일 또는 지상자 이용 텔레그램 전송 	<ul style="list-style-type: none"> 무선을 이용한 열차제어 (RF-CBTC, IL-CBTC) 텔레그램 전송 	
열차위치 검지	궤도회로	궤도회로	<ul style="list-style-type: none"> 양방향 통신기반 열차 자체 	
운전지원	무인, 자동, 수동	무인, 자동, 수동	<ul style="list-style-type: none"> 무인, 자동, 수동 완전 무인운전 가능 	
궤도회로 사용목적	열차검지 차내신호전송	열차검지 차내신호전송	궤도회로 없음	
안전운전	<ul style="list-style-type: none"> 지시속도 코드에 의함 건설 전 설계된 속도코드 체제에 의함 	<ul style="list-style-type: none"> 차량자체정보와 수신된 열차운전정보 차내연산에 의함 선행열차가 점유한 궤도후부와 후속열차 전두부간 거리에 대한 Distance to go 	<ul style="list-style-type: none"> 좌동 양방향 통신으로 입수된 선행열차후부와 후속열차 전두부간 거리에 대한 Distance to go 	Distance to go (안전운전 가능 거리가 형성되면 거리에 적합한 제한속도 부여로 지속적 안전유지)
최소 운전시각	10량편성시 상용 2분30초가 한계	10량 편성시 상용 2분 접근 가능	Distance to go 보다 더욱 단축 가능	
안전성, 신뢰성	우수	우수	매우 우수	

2.2 시스템 기능 및 효과 측면

표 11. 시스템 방식별 기능 및 효과

비교항목	Speed Code ATP/ATO	Distance to go ATP/ATO	CBTC ATP/ATO	비고
무인운전시 추가 시설	안전유지를 위한추 가시설 투자	안전유지를 위한추 가시설 투자	불필요	
운행중 진동차 Down시 조치	승무원에 의한 리셋팅	승무원에 의한 리셋팅	원격 리셋팅 기능	
수송능력의 융통성	최초 폐색설계에 의존 : 추후 운전시각 단축 변경 시 대규모 투자가 따름	최초 폐색설계에 의존 : 추후 운전시각 단축 변경 시 대규모 투자가 따름	별도의 조치사항 없음	
개별열차 통제방법 운행조절능력	<ul style="list-style-type: none"> 정차중 TWC 이용 정차시간조절 다음 역간 운전 시간(속도) 조절 	<ul style="list-style-type: none"> 정차중 TWC 이용 정차시간조절 다음 역간 운전 시간(속도) 조절 	<ul style="list-style-type: none"> 본선 실시간 양방향통신 이용 프로그램에 의한 개별 열차 운행 조절 	

2.3 시스템 구축 사항

표 12. 시스템 방식별 구축 사항

비교항목	Speed Code ATP/ATO	Distance to go ATP/ATO	CBTC ATP/ATO	비고
지상 ATC 장치 및 연동장치	궤도회로, ATP, ATO, TWC장치, 전자연동장치가 각각 구분된 장비로 결합	궤도회로, ATP, ATO, TWC장치, 전자연동장치가 각각 구분된 장비로 결합	<ul style="list-style-type: none"> 궤도회로 없음 일반적으로 ATP, ATO, 연동장치가 단일 장비로 통합 	
지상-차내 연결	<ul style="list-style-type: none"> ATP전송채널(단방향) ATO채널(단방향) TWC채널(양방향) 	<ul style="list-style-type: none"> ATP전송채널(단방향) ATO채널(단방향) TWC채널(양방향) 	<ul style="list-style-type: none"> 단일 채널 양방향 통신 	
H/W구축	채널별 H/W	채널별 H/W	단일 H/W	



표 12. 시스템 방식별 구축 사항-계속

비교 항목	Speed Code ATP/ATO	Distance to go ATP/ATO	CBTC ATP/ATO	비고
신호기계실 기기배치	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 분기역:연동장치 ▪ 중간역:기기집중 (평균 2-3km간격) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 분기역:연동장치 또는 중계I/O시설 ▪ 중간역:기기집중 (공급자에 따라 3-6km) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 주요분기역:집중기기시설 ▪ 중간역:소규모 I/O 시설 ▪ 기계실간 간격:시스템 규모에 따라 조정 	
중계용 모듈	없음	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ATO/TWC를 위한 중계용 모듈(각 역 승강장 또는 통신기 계실) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 역 제어 및 RF 또는 IL제 어 모듈 (각 역 승강장 또 는 통신기계실) 	
기계실 공간	100%	비슷함	가장 작음	
선로변 기기	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 임피던스본드 ▪ Loop Coil 모듈 ▪ TWC 모듈 ▪ ATO 모듈 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 임피던스본드 ▪ Loop Coil 모듈 ▪ TWC 모듈 ▪ ATO 모듈 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 무선 Data 전송 설비 (기지국 또는 Loop Coil 연결단자함) 	
선로변 기기수량	100%	비슷함	가장 적음	
선로변 케이블	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AF용, TWC용, 출입문제어용, 분기구간용, 스크린도어용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ AF용, TWC용, 출입문제어용, 분기구간용, 스크린도어용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 무선 Data 전송용 케이블 또는 IL Coil (분기구간용스크린도어용) 	
케이블 규모	100%	기기집중방법에 따라 다르나 속도코드 방식 과 비슷함	가장 적음	
주제어용 장비	AF : 2중계 연동 : 2중계 TWC : 2중계 차 상 : 2중계	AF : 1중계 연동 : 2 out of 3 TWC : 2중계 차 상 : 2중계	주장비: 2 out of 3 차 상 : 2중계	
써지, 지락 대비	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 선로변기기 레일결 합으로 취약 ▪ 별도의 보호설비 설치 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 선로변기기 레일결합 으로 취약 ▪ 별도의 보호설비 설치 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 선로변기기의 레일결합이 없음 ▪ 써지 또는 지락의 영향이 적 음 	

2.4 시스템 운영의 편리성 측면

표 13. 시스템 방식별 운전

비교항목	Speed Code ATP/ATO	Distance to go ATP/ATO	CBTC ATP/ATO	비고
비상시 양방향 운전	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 별도 시스템구축 ▪ 추가 투자비용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 별도 시스템구축 ▪ 추가 투자비용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 양방향 통신기반 ▪ 기본 기능 	
비상시 특정 구간 셔틀운행	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 별도 시스템 구축 ▪ 추가 투자비용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 별도 시스템 구축 ▪ 추가 투자비용 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 양방향 통신기반 ▪ 기본 기능 	
모타카 안전 운전	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 궤도회로 검지불가 ▪ 사람에 의한 지도통신 식 ▪ 모타카에 ATC장치를 탑재하여도 궤도단락 불가시 효과 없음 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 궤도회로 검지불가 ▪ 사람에 의한 지도통신 식 ▪ 모타카에 ATC장치를 탑재하여도 궤도단락 불가시 효과 없음 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 모타카에 소규모 ATC장치 탑재로 열차와 동일한 안전 확보 	
수송능력의 융통성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 최초 폐색설계에 의존⇒추후 운전시격단 축 변경시 대규모 투자 가 따름 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 최초 폐색설계에 의존⇒추후 운전시격단 축 변경시 대규모 투자 가 따름 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 별도의 조치사항 없 음 	
개별열차 통제방법 운행조절능력	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정차중 TWC 이용 ▪ 정차시간조절 ▪ 다음 역간 운전 시간(속도) 조절 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정차중 TWC 이용 ▪ 정차시간조절 ▪ 다음 역간 운전 시간(속도) 조절 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 본선 실시간 양방향 통신 이용 ▪ 프로그램에 의한 개 별열차 운행조절 	



2.5 시스템 비용 및 사례 측면

표 14. 시스템 방식별 비용 및 사례

비교항목	Speed Code ATP/ATO	Distance to go ATP/ATO	CBTC ATP/ATO	비고
기존선 개량	복잡하고, 어려움	복잡하고, 어려움	별도 시설로 가능 기존설비에 영향이 없이 개 량이 가능	
건설비용	100%	150%	200%	시스템가격 동 일시, H/W량으 로 비교
유지보수비용	100%	많음	가장 적음	
운영비 절감	<ul style="list-style-type: none"> 100% 기준 투자비용 회수불가 	<ul style="list-style-type: none"> 100% 기준 투자비용 회수불가 	전동차 운행조정이 가능하 여, 회생제동의 효과 발 휘로 전동차 에너지 절감 기대	투자비용 조기 회수가 가능함
공급업체	다수업체	다수업체	다수업체 (단, 중대형에는 한정)	
공급 사례	서울 5,6,7,8호선 외 다수	<ul style="list-style-type: none"> 대구2호선 인천1호선 부산2호선 유럽 종래의 일반적 시설 	<ul style="list-style-type: none"> 신분당선 민자 경전철사업 제안 은 모두 포함 주요 선진국 실적 다수 	
적용기술 세대	재래시설로 해석	현재 시설	미래 지향적 시설	

RECORD HISTORY

Rev.4('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.