

한국형 고속전철의 안전운행을 위한 자동열차제어장치

조용기 / LG산전

개요

현재의 철도, 도로망 등의 각 중심축 및 간선축의 주요 교통시설은 이미 포화 상태가 되어 물류비용의 증가를 초래하고, 배기 가스를 비롯한 환경오염 문제를 유발하고 있기 때문에 이에 대한 해결방안이 시급한 실정이다. 이러한 상황에서 고속전철은 대기 오염을 일으키지 않으면서 신속·대량 수송이 가능하여 교통량을 대량으로 흡수할 수 있는 주요 교통 수단으로 인식되고 있다.

그러나, 고속전철은 고속으로 주행을 하기 때문에 기존의 신호체계하에서는 운전자가 선로변의 신호기를 관찰하기가 어려워서 이를 준수하기 힘들고, 또한

정지 거리가 길어서 운전자가 처리하기 힘든 상황이 많이 발생할 수 있어서 이점들을 고려한 여러 가지 복합적인 기능을 갖춘 신호체계가 필요하다.

자동열차제어장치(ATC : Automatic Train Control)는 선로 상황과 주변 환경에 관한 정보를 수집하여 여기에 맞는 준수 해야 할 속도를 차상에서 운전자가 직접 볼 수 있게 하여 기존의 신호체계의 문제점을 보완할 수 있고, 운전자가 차상에서 현시 된 신호에 따를 수 없을 때는 자동적으로 열차를 제어하고, 비상시에도 열차를 제어할 수 있도록 함으로써 고속의 주행에도 고밀도 운전을 안전하게 실현할 수 있게 한다. 그러므로, 자동열차제어 기술은 고속전철의 핵심 요소라 할 만큼 비중이 상당히 큰 부분이라 할 수 있겠다.

자동열차제어장치는 다음 세가지 시스템으로 구성되어 있고, 전체 시스템 구성도는 그림.1.1과 같다.

- 지상장치 (Way-side System)
- 차상장치 (On-board System)
- 궤도회로 (Track Circuit)

ATC 지상장치의 개요

Automatic Train Control의 첫 글자를 딴 자동열차제어장치는 글자 그대로 자동으로 열차를 제어하는 시스템이다. 도로에는 자동차들이 안전운행을 위해 신호기들이 있듯이 열차

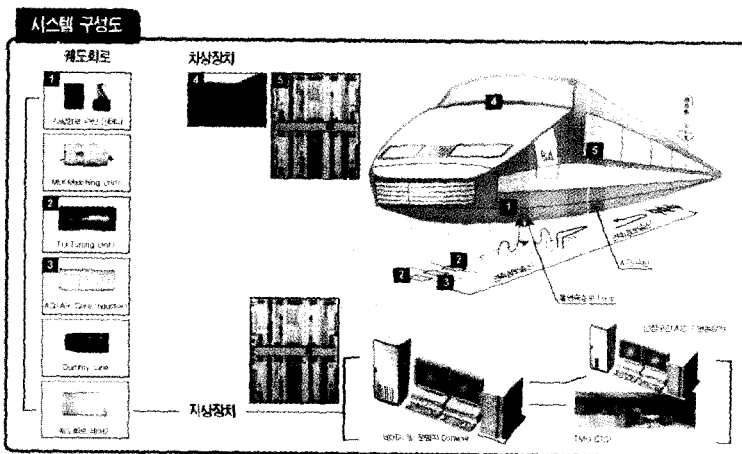


그림.1.1 자동열차제어장치 구성도

가 다니는 선로에도 도로의 신호등과 같은 신호 체계가 필요하다. 기존의 새마을호, 무궁화호 등이 다니는 선로에는 신호기와 이 신호기를 제어하는 시스템, 그리고 이를 관리하는 센터 등이 있다. 그리고 이와 같이 구축된 환경 하에서 기관사는 그림 2.1과 같이 지상의 신호기에 표시되는 신호나 도로의 교통 경찰관의 수신호와 같은 신호수의 수기 통제나 비상시 울리는 경보음, 센터와 기관사 간의 무선통신에 따라 열차 운행을 제어한다. 따라서 기관사는 눈이나 귀로 수집된 정보를 바탕으로 열차를 제어하는 구조로 되어 있다. 하지만 열차의 속도가 200km/h 이상이 될 경우 기관사의 판단에 따른 열차 운행은 다음과 같은 이유에서 불가능하다는 의견이 일반적이다.

- 안개 등으로 인한 기상 조건이 좋지 못할 경우 신호의 관찰이 어렵다.
- 고속으로 인해서 제동 거리가 멀어질 경우 운전자가 처리하기 힘든 상황이 많이 발생하여 이를 고려한 신호 체계가 기존의 신호 체계에 가미되어야 한다.

이러한 이유 때문에 고속으로 운행하는 KTX의 경우 기존 선로에 구축되어 있는 동일한 신호 체계로는 열차를 안전하고 신속하게 제어할 수 없다.

ATC 지상장치는 열차 운전이 필요한 각종 정보를 실시간으로 수집하여 비교, 검증한 후 운행조건에 적합한 제어속도 정보를 생성한다. 이렇게 생성한 정보를 또한 실시간으로 연속적으로 고속열차에 전송하여 차상에 설치되어 있는 ATC차상장치가 이를 분석한 후 기관사에게 제어정보를 현시하여 줌으로써 기관사의 안전운행을 유도 감시하며 비상시에는 고속열차를 자동으로 비상 정지시키는 기능을 수행하는

기능을 수행한다.

ATC 지상장치의기능

지상장치의 궁극적 목표는 고속 선로에서 열차의 운행 간격을 안전하게 관리하는데 있다.

기술적인 면에서 지상장치는 다양한 신호 조건에 맞는 열차 제어용 전송 코드를 생성하는 역할을 수행하고, 또한 열차가 진행할 수 있도록 혹은 진행할 수 없도록 진로를 열어주거나 막는 기능 등을 수행하는 “연동장치(IXL)” 등과 인터페이스 하는 기능을 수행한다.

ATC 지상 유지보수 센터는 통신망을 통해 ATC의 모든 지상장치와 연결되고, 열차운행 및 안전 등 열차와 관련된 모든 상황을 중앙에서 통제 관리하는 “열차집중제어장치(CTC)” 와도 연결된다.

그리고, 열차제어의 완전한 안전성을 보장하기 위해서 다양한 검지기들로부터 정보를 수신 처리하기도 한다. 이들 검지기들은 다음과 같은 종류의 것이 있다.

- 날씨 검지기: 강우, 강설, 강풍 등의 검지.
- 장애물 침입 검지기: 낙석의 위험이 있는 곳으로부터 선로상에 낙석 여부 검지.
- 장애물 끌림 검지기: 열차가 선로에 진입하면서 열차에 장애물이 끌리는지의 여부를 파악하여 처리.

결론적으로 지상 장치는 다음의 사항들을 수행한다.

- 릴레이와 각종 통신 프로토콜을 이용하여 열차집중제어장치(CTC), 연동장치, 주변 역의 ATC 지상장치로부터 각종 데이터를 수집한다.
- 차상장치에서 필요한 데이터를 지상과 차상의 통신 매개체인 “궤도회로”와 “불연속 전송 루프”로 전송한다.

- 주변 역의 ATC 지상장치로 각종 정보를 전송한다.
- 주변 연동장치로 신호 점검 데이터를 전송한다.
- 유지보수 시스템으로 기술적인 점검 데이터를 전송한다.

ATC 지상장치는 주변장치로부터 수집된 데이터를 처리한 후 제어 속

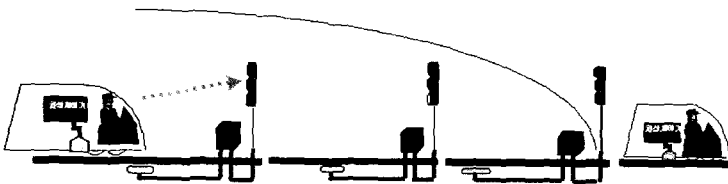


그림 2.1 기존 신호체계에서의 열차운행(중/저속 구간)

도, 운행 명령, 불연속 전송 송신기에 전송될 메시지 관련 데이터를 생성한다.

ATC 지상장치의 구성

신호 기계실 내의 ATC 지상장치는 다음과 같이 구성된다:

- 보수자 터미널
- 프로세싱 및 입/출력 관련 랙
- 선로변에 위치한 각종 장비와 인터페이스하는 장치
- 전원 분배 장치
- 속도제한 스위칭 판넬

G7(선도기술개발사업) 고속전철기술개발사업의해 개발된 ATC 지상장치는 아래 그림 2.2에 나와 있는 바와 같이 열차의 안전한 운행제어를 위해 관련 데이터 수집 및 처리, 출력하는 지상장치 제어기와 제어기와 네트워크 통신을 수행하는 Local Control Panel, 현장의 선로조건 변화에 맞추어 편집하여 DB를 생성하는 현장 Editor, 현장의 상황을 상황에 따라 변경하여 가상적으로 장비의 정상작동 여부를 모의 시험할 수 있는 현장 시뮬레이터로 구성된다.

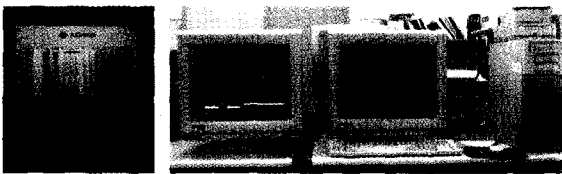


그림 2.2 G7 고속전철 기술개발 사업에 의해 개발된 ATC 지상장치

ATC 지상장치의 동작원리

동작원리를 이해하기 위해서는 우선 폐색(block)이라는 개념을 이해해야 한다. 폐색이란 한 개의 열차만 존재할 수 있는 구간을 말한다. 따라서 한 개의 폐색에는 두개 혹은 그 이상의 열차가 함께 존재할 수가 없다. 그 이유는 열차는 충돌이나 추돌사고가 일어나지 않도록 일정한 간격을 유지하면서 운행되어야 하기 때문이다. 좀 더 알기 쉽게 말하자면 열차와 일대일 대응되는 폐색이라는 단위별로 제어정보를 실시간으로 전

송하여 상호 열차간(폐색간) 충돌이나 추돌의 가능성을 제거하면서 안전하면서도 최적의 열차의 운행간격을 확보할 수 있도록 하여주는 개념이다. 이런 폐색은 선로의 조건(경사나 곡선반경 등), 열차 특성, 열차운영 스케줄 등에 따라 그 길이가 정해진다. 이렇게 정해진 각각의 폐색에 ATC 지상장치에서 계산된 제어정보가 전송되어 열차는 그 제어정보에 따라 운행 제어되게 된다.

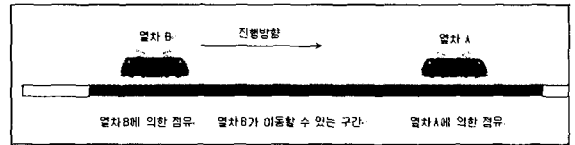


그림 2.3 폐색 개념에 대한 이해

ATC 지상장치의 운행제어 정보의 생성 과정은 다음과 같다.

ATC 지상장치는 주변의 정보(연동장치로부터의 정보, 궤도변의 각종 보호 스위치 및 검지기, 인접 역 등으로부터 오는 정보)를 모두 취합하여 이들 환경을 조합하여 판단을 한 다음 이들 조건에 맞는 제한 속도를 계산하여(Vcond) 이를 정지 단계를 고려한 속도 계산 알고리즘과 비교하여 최종적인 속도 정보를 산출하도록 구성된다.

속도 정보를 계산하는 동안 궤도 프로파일 계산, 열차가 이동할 수 있는 목적지의 거리 계산, 사용 네트워크의 판단 등의 작업과 동시에 이루어져서 ATC 지상장치와 차상장치의 통신 매체인 궤도회로로 정보를 전송할 때에는 이들과 함께 전송하도록 한다.

< 계산 과정 >

다음과 같은 방법으로 계산이 이루어진다.

- 선력의 조건으로 선로의 운행방향(ORT), 전철기의 방향(PCS) 등의 정보를 이용하여 계산될 궤도를 결정한다.
- 제한 속도의 조건으로 궤도점유 상태, 마커의 개방 여부, 속도 제한 스위치, 각종 보호 스위치의 동작 등의 정보를 이용하여 위의 선택 조건과 함께 Vcond를 계산한다.
- 위에서 계산된 Vcond를 선택 조건, 이전 궤도의

운행 방향, 이전 궤도의 진입속도 및 제어 속도를 이용하여 해당 궤도의 제어 속도를 계산하고, 다시 $f1, f2$ 등을 이용하여 진입 속도를 계산하고, 마지막으로 다음궤도 제어속도를 계산한다.

○ 계산된 속도와 궤도의 프로파일, 목표 거리 등을 함께 궤도회로의 전송부로 전송하고, 계산된 세속도는 다음 궤도로 넘긴다.

이러한 연속 전송 시스템의 구조는 그림 2.4와 같다.

여기에서 사용된 약어에 대한 정의는 다음과 같다:

- Se: 운행방향(ORT), 진로 설정(PCS)(down stream, up stream과 폐색구간의 경계 궤도 회로의 결정)
- Vcond: 신호 조건에 따라 해당 궤도회로에 적용되는 속도
- Va: 다음 폐색구간에서의 지시 속도
- Vc: 차상에 표시될 속도
- Ve: 해당 폐색구간 내에서 초과되면 안되는 최고 속도(폐색구간의 진입 속도)
- of1: 폐색구간 진입시 최고 속도 테이블
- of2: Vc 또는 Vcond 에 연관된 단일 속도 테이블
- P = Profile
- Td = Target distance (해당 궤도회로 시작점부터 폐색구간 마커 끝까지)
- Netc = Network code

아래의 그림 2.5는 이러한 동작원리에 의해 개발한 ATC 지상장치와 주변장치인 연동장치와의 통합시험을 수행하고 있는 상황 및 열차가 임의의 궤도회로를 점유할 경우 그 상태 표시 및 ATC 지상장치 제어기에서 계산된 결과가 시뮬레이터 화면상에 폐색별로 속도가 표시되어 있는 상황을 보인 것이다.

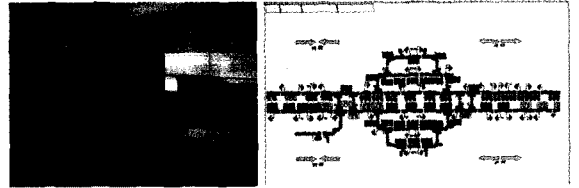


그림 2.5 연동장치 및 궤도회로와의 통합시험 및 시뮬레이터상의 현시

ATC 차상장치 개요

도로를 달리는 자동차가 신호등의 신호를 보고 운전 하듯이 레일 위의 모든 열차도 기본적으로 지상의 신호에 따라서 달리도록 되어있다. 기존의 새마을호 등은 기관사에게 지상의 신호를 전달하기 위해서 선로를 따라서 신호기등의 장비가 설치되어 운행되어 왔다. 열차의 속도가 점차로 고속화 되면서 기관사가 육안으로 신호기를 확인하고 운전을 하기가 어려워졌으며 안개등의 기상 조건에 따라서 가시거리에 제한이 생기는

등의 문제가 발생했다. 이를 보완하기 위해서 열차의 신호를 기관실 안에서 표시하는 것이 추세이며 특히 시속 300km/h의 고속으로 운행하는 열차에서는 필수적이라고 할 수 있다. 지상의 운행 신호는 코드화된 신호로써 변조되어 레일에서 바로 차상의 ATC장치로 무선 전송을 하며 이 신호 정보를 수신하여 기관사에게 항시 신호 및 운전 가능한 속도를 표시하고 더 나아

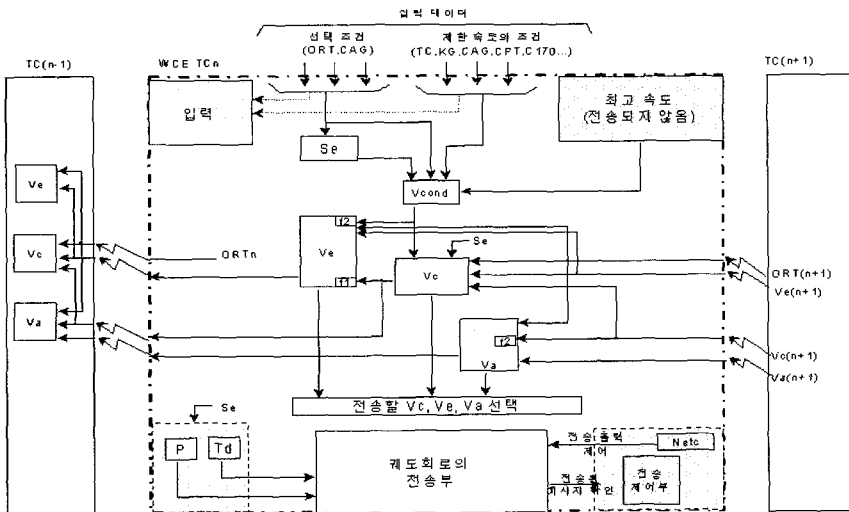


그림 2.4 연속 전송 시스템의 구조

가 기관사가 이 속도를 준수하지 못하는 경우 비상제동을 투입하여 열차의 안전한 운행을 뒷받침 하도록 한다.

경부고속전철의 ATC 장치는 속도 감시 제어의 기능 외에 지상의 불연속 정보에 의한 터널구간의 진출입 정보처리, 고속선/기존선의 자동 전환 제어, 사구간 제어, 차축열 검지 제어등의 제어를 수행한다.

우리기술로써 2003년 9월 최초로 300km/h 운행 시험을 마친 한국형 자동열차제어장치는 다음의 기준으로 설계 및 제작 하였다.

- 경부 고속전철에 사용되는 ATC장치와 호환성
- 시스템의 고장시 안전측으로 동작하는 Fail safe방식
- 다중화 기술을 이용하여 내 고장성의 시스템 개발
- 차상 - 지상간의 정보를 전송하는 신호 장치 개발

여기에 추가로 경부고속전철 ATC장치의 300km/h 설계와 비교하여 한국형 고속전철에서 개발한 ATC 장치는 최고속도 350km/h를 기준으로 제작되었으며 기존 설비가 램프와 버튼으로 구성된 것에 반하여 TFT LCD와 터치 화면을 적용하여 운전의 편의성 면에서도 한 단계 업그레이드 되었다.

ATC 차상장치의 기능

차상장치의 기능은 크게 나누어서 속도 감시 제어

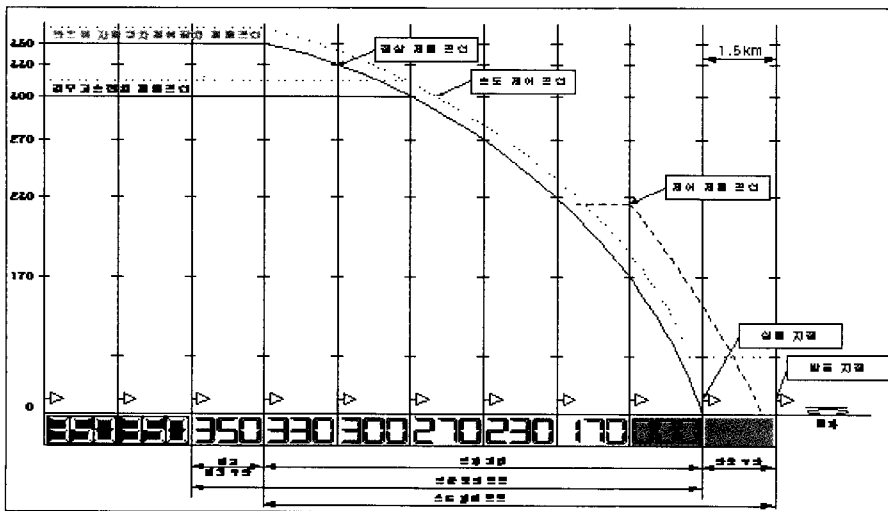


그림3.1 ATC에 의한 제동 곡선

기능, 지상 ATC로부터의 연속, 불연속 정보 수신 및 처리 기능, 차량 인터페이스 기능, 기관사 표시제어 기능으로 나눌 수 있다.

위의 그림3.1은 자동열차제어장치가 최고 속도인 350km/h로 운행하는 경우의 정상적인 신호에 의한 제동 곡선을 표시 한 것으로 선행 열차의 후방에서 진행하는 열차의 위치에 따라서 기관사에게 표시되는 신호와 ATC에서 계산하는 비상 제동 곡선을 보여주는 것이다. 제한 속도를 표시는 약 1.5km를 단위로 한 폐색 구간으로써 구분하며 이 폐색구간 단위로 표시되는 제한 속도와 색깔로써 앞 열차와의 대략적인 거리를 짐작할 수 있게 된다. 따라서 기관사는 실제로 표시되는 제한 속도에 맞추어 운행만 하면 되는 것이다. 만약 그림에서와 같이 170km/h로 감속해야 하는 구간에서 기관사의 실수나 장치의 오류에 의해서 약230km/h의 속도로 정상적인 제동을 투입하지 못하는 경우에도 ATC는 비상제동을 투입하여 선행하는 열차 앞에서 안전하게 정지하도록 한다. 이 비상제동은 선로에서 지켜야 하는 속도에 약 15km/h의 여유를 더한 값을 초과하는 경우에 작동하며 경부고속전철 선로를 운행하는 경우에는 최고 운행 속도가 300km/h일 때 315km/h~320km/h에서부터 감속하는 비상 제동 곡선을 계산한다. 운행하는 선로의 최고 속도는 지상의 ATC가 선

로의 상태를 결정하여 레일을 통해서 연속정보로써 전송하는데 이 속도 값을 수신하지 못하는 경우에도 차상의 ATC장치는 안전측 동작으로 35km/h의 제한 속도로 운행하도록 한다.

경부고속전철은 총 구간 450km중에 터널 구간이 158.55km로 총 구간의 35.23%이며 최단 0.120km, 최장 19.25km이다. 최고 속도 350km/h의 속도로 운행하는 고

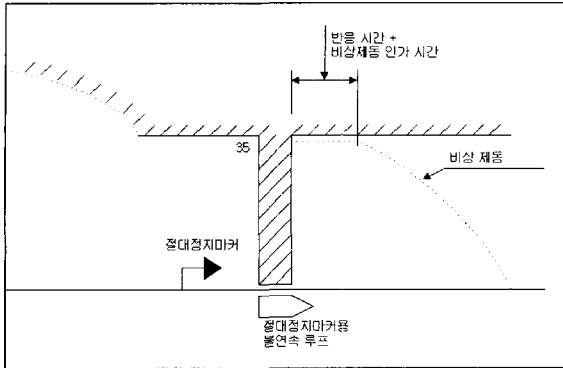


그림3.2 허용 받지 않은 진로 진입시의 비상제동 제어

속전철의 경우 터널내을 통과할 때는 터널 안팎의 기압차이로써 이명현상으로 귀가 멍해지는데 이것을 방지하기 위해서 터널의 특정 위치에 불연속 정보를 수신 장치인 ATC에 전달한다. 차상의 ATC는 불연속 정보 수신 장치를 이용해서 현재 열차의 속도 등을 종합하여 터널의 진입, 진출 상태를 전달하여 이명 현상을 방지하게 된다. 이와 같이 주로 제한 속도를 받아 처리하도록 하는 연속정보 수신장치 외에 불연속 정보 수신 또한 차상 ATC의 기능이다. 차상 ATC는 특정위치에 설치된 불연속 루프에서 현재 열차의 위치에 대하여 특정한 열차 제어를 한다. 전차선 무압 구간의 예를 들면 고속전철이 전차선으로부터 2만5천볼트의 전압을 집전하여 열차를 움직이게 되는데 선로를 따라서 전력을 공급해주는 변전소가 위치한다. 변전소간에는 무압구간이 있으며 이 구간을 통과할때는 회로를 차단하여야 차량에 피해가 없게 된다. 이를 위해서 무압구간의 전방에 설치된 불연속 루프를 통해서 차상 ATC는 자동으로 차내의 차단기를 제어하여 기관사가 운전에만 신경을 쓰도록 돕는다. 그 외에 불연속 정보는 고속전철 차축의 고온이라는 경보를 받아서 기관사에게 안전을 위해서 감속하도록 하는 차축열 감지 신호를 수신하며 현재의 대구이남의 기존 새마을호 선로를 진출입할 때의 팬도그래프를 자동으로 하강 시키는 제어를 수행한다. 그리고 열차가 허가 받지 않은 진로를 들어가는 경우에도 안전축으로 열차를 정지시키는 기능도 담당하고 있다.

다음 그림3.2는 허가를 받지 않고 열차를 진입 시킨 경우에 ATC에 의한 비상제동 곡선이다.

ATC 차상장치 구성

차상 ATC 장치는 제어기, 기관사 표시장치, 지상정보 수신 안테나, 차량 인터페이스로 구성이 된다. 제어기는 알고리즘의 실행을 위한 CPU보드와 연속과 불연속 지상 정보를 수신하기 위한 보드, 차량의 제어를 위한 입출력 보드들로 구성이 되며 동일한 이종계 구성으로써 한쪽 장치에 결함이 발생하면 다른 쪽의 제어기에서 지속적인 제어를 하는 구조로 되어 있다.

차상장치는 개발 과정에서 지상의 연속 불연속 정보를 송신하는 시뮬레이터와 차량과 입출력을 시험하는 시뮬레이터가 같이 개발되어 시험에 사용되었다.

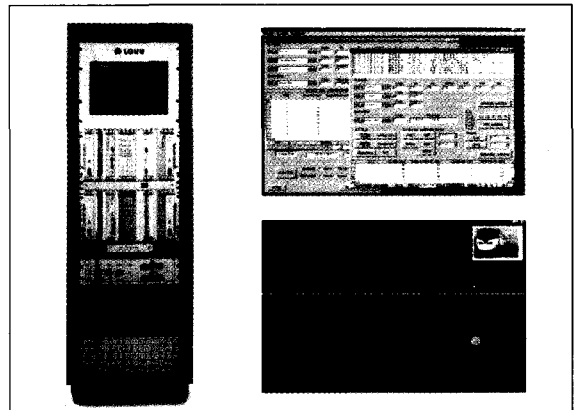


그림3.3 차상 시스템과 시뮬레이터 화면



그림3.4 한국형 고속전철 차량에 설치된 표시장치 및 차상 제어기

기관사 운전석 앞에 설치된 표시장치는 패널형 컴퓨터로써 제어기와 통신을 통해서 기관사에게 열차의 현재 속도와 제한 속도뿐만 아니라 ATC가 제어하는 차량의 상태와 기관사의 수동 조작을 받을 수 있는 입력 버튼들로 구성이 되어 있다.