

# 차세대 고속철도 신호제어시스템의 실험 기본설계

## Design of New Signaling System Test Bench for High Speed Rail

이 종 우\*, 황 종 규\*, 오 석 문\*, 김 영 훈\*  
Jong-Woo Lee, Jong-Gyu Hwang, Suk-Moon Oh, Young-Hun Kim

### ABSTRACT

The railway signaling system consists of microcomputerized vital devices on board and ground, which are connected to one another by track circuits, and interlocking equipment for route control. The software plays a major role in these microcomputer-based vital systems. Therefore it is important to design the software and validate the required levels of safety and reliability. To verify the conditions and functions of signaling logic, the laboratory prototype test bench, which consists of personal computers, VME system and Ethernet LAN, will be developed. In this paper general design of signaling system test bench for high-speed rail is described and some developed subprogram is presented.

### 1. 서론

철도운용 보안시스템은 열차운행의 안전성을 담보로 하는 최종적인 시스템으로서, 기존에는 안전성을 고려하여 릴레이를 이용한 하드웨어 시스템으로 구축되어져 왔으며, 열차제어의 본래의 기능만을 수행하였다. 따라서 열차운행의 고밀도화와 여객수송이 다양화되고 있는 등 사회적 요구에 대응하기 위해서, 이러한 요구되는 서비스 기능들을 실현할 수 있는 마이크로일렉트로닉의 신기술을 이용하여 새로운 시스템을 신호제어시스템에 도입하는 경향이 급속히 확산되고 있다.

이와 같은 소프트웨어 대응의 신기술의 도입은 시스템의 기능향상을 시킬 수 있지만, 기존의 릴레이를 기반으로 한 Fail-safe 특성에 관한 안전확보 방법이 다르게 되어, 안전성에 관련된 충분한 평가 및 예측을 행할 수 없기 때문에 중대한 사고를 초래할 수 있는 위험성이 있다. 이러한 이유로 시스템의 실용화에 앞서, 현재 개발단계에 있는 마이크로일렉트로닉스 등을 사용한 철도용 신호제어장치의 특성을 실험에 의해 파악함과 동시에, 새로운 방식의 운전보안 시스템 안전성, 신뢰성을 체계적으로 검증하는 시험장치의 개발이 필요하다[1][2].

본 논문에서는 신호제어시스템을 실험할 수 있도록 하는 모의 시험장치의 개발 방안에

\* 한국철도기술연구원, 정회원

대해 살펴보고자 한다. 모의 시험장치는 열차다이나미에 의해 열차가 운행될 때 각 신호장치들이 적절하게 반응하는 가를 시험하는 데 있다.

## 2. 차세대 운전제어 시스템의 기본제어 방식

차세대 운전제어 시스템은 속도가 300km/h를 운전하던 시스템에서 50km/h 속도향상이 이루어져 현재의 6개의 폐색구간에서 8개의 폐색구간으로 증가하게 된다. 그리고 속도의 허용단계도 '0-170-220-270-300-330-350'로 7개의 속도단계를 갖게되어 300km/h 보다 속도단계가 두 개 이상 많아진다. 운전방식은 기존의 고속철도에서 사용되는 개념을 그대로 이용을 하였으며, 세부기능을 개략적으로 살펴보면 다음과 같다.

- 열차위치검지 : 각 열차의 위치검지는 궤도에 설치된 궤도회로를 이용하여 검지 한다. 이 위치정보는 지상의 각 제어장치에 전달한다.
- 지상열차추적 : 지상제어장치는 각 열차에서의 위치정보를 기초로 하여, 이 장치의 제어구간에 관한 전 열차의 위치를 파악한다.
- 진로설정상태 및 임시속도제한 파악 : 지상제어장치는 진로의 개통상태와 임시속도제한을 검색하고, 각 열차의 차상제어장치에 대한 전방 방지조건과 임시속도정보를 전달한다.
- 지상 간격제어 : 지상제어장치는 각 열차의 진행전방조건과 임시속도제한을 검색하여, 각 열차의 차상제어 장치에 대하여 전방정지 조건과 임시속도제한정보를 전달한다.
- 차상간격제어 : 각 열차의 차상제어장치는 지상제어장치에서의 전방정지 조건과 임시속도제한 정보 및 차상제어장치에서 기억하는 구배, 속도제한 등의 선로정수에 기초하여, 허용속도를 구한다.
- 속도조사 및 제동제어 : 각 열차의 차상제어 장치는 현재속도와 허용속도 패턴과의 비교조사를 행하여 제동체결을 행한다.

## 3. 실험 시스템의 기본구성

실험 시스템은 폐색구간을 바탕으로 하여 열차들간의 간격제어를 중심으로 하고, 진로제어와 집중제어 등의 각 제어기능의 기초적인 논리검증을 목적으로 한다. 실험시스템 구성의 전제가 되는 기본적인 방법은 다음과 같다.

- 시스템의 구성요소는 하드웨어적 Fail-safe 특성을 무시하고 PC를 이용하여 실시간 제어에 관한 논리구성을 주체로, 소프트웨어의 안전대책 수단 등을 검토한다.
- 간격제어를 지지하는 지상·차상간의 데이터 전송기능을 행하기 위하여, 지상장치, 차상장치 등을 각각 별도의 장치로 하며, 각 장치간의 전송수단에는 현행의 무선전송 시스템 등을 이에 대응하는 Ethernet을 이용하여 각 폐색구간에 정보를 전송한다.
- 노선배선은 폐색구간을 이용하여 복수의 열차가 연속적으로 주행할 수 있도록 하였으

며, 실제노선을 구현할 수 있는 편집기능을 갖도록 하였다. 노선배선의 구성요소에는 분기, 합류, 교차개소가 설치되어 있다. 이것에 의해 중간역의 단순한 분기선에서부터 구내역 등의 복잡한 선배선 개소로의 제어논리의 확장성을 갖도록 하였다.

- 시스템 규모가 커지는 것을 막기 위해 이미 일반화되어진 운행관리 시스템에 상당하는 기능을 필요한 최소한으로 억제하였으며, 열차는 다이어로 운전이 가능하도록 한다.

실험시스템은 신호제어논리의 확인을 행하기 위하여 지상제어장치와 차상제어장치 이외, 분기를 실행하기 위하여 진로설정 등을 할 수 있도록 구성한다. 각 장치는 PC와 VME시스템을 이용한 제어시스템으로 구성하고, 이들 장치간에는 통신으로 서로 데이터를 주고받을 수 있도록 한다. 선로의 궤도회로와 집중제어장치는 PC로, 자동열차제어장치, 연동장치는 VME 시스템을 이용하여 구현한다.

## 4. 지상제어장치의 기능

### 4.1 열차위치의 추적

개개의 열차에 대해 검지된 열차위치를 지상장치에 전달하여, 지상장치가 그것의 제어 범위에 있는 전 열차의 위치를 한꺼번에 파악하는 것을 열차위치 추적이라 한다.

- 선로배선과 위치의 표시방향

열차의 위치파악은 궤도회로의 점유유무에 의해 이루어진다. 역구내와 같은 선로가 분기할 수 있는 역구내에서도 열차의 위치 파악은 위치가 고정된 궤도회로를 이용하기 때문에, 궤도회로 정보를 이용하여 쉽게 구할 수 있다. 각 블록의 위치관계가 명확히 정의되어 있기 때문에 하나의 열차위치와 다른 열차위치와의 상호관계를 쉽게 정의할 수 있다.

선로의 배선은 그래프 이론을 이용하여, 각 블록은 절점과 절점까지의 연결선으로 표시할 수 있다. 각 블록과 블록간의 연결은 절점과 절점의 연결을 이용하여 이루어진다. 블록은 연결, 분기, 합류, 교차의 4개의 기본형에 분류할 수 있다. 즉 그와 같이 복잡한 선로배선이 있더라도 4개의 기본형의 조합에 의해, 선로 블록의 모음으로서 표시할 수 있도록 하였다. 블록의 상호위치관계를 표시하기 위해서, 구체적인 선로 블록 상호 접속관계와 경합관계 등을 리스트 구조에 의해 표시되는 방식으로 채용할 수 있다. 접속관계는 하나의 전철기의 분기기를 전위와 반위의 두 개로 하고, 한 개의 선로 블록에서 순방향 및 역방향에 상호 접속되도록 블록을 두 개까지 표시하도록 하였다. 또한 경합관계는 교차개소와 교차개소에 관한 경합관계를 표시하는 것으로 하였다. 분기합류 개소에서는 경합관계를 접속관계 만큼 구하고, 처리로직이 복잡하게 되기 때문에, 분기경합 개소에서는 경합관계도 표시하였다. 또한 교차 포인트 부분을 간소하게 표시하기 위해서는, 경합관계를 세 개까지 표시되도록 하였다.

- 열차추적법

열차위치의 추적은 선로 블록 위를 열차의 앞부분과 뒷부분의 위치를 각각 추적하는 것이 행하여진다. 하나의 블록에는 단지 하나의 열차만이 존재할 수 있다. 이것으로 열차단

위에 그 열차의 선로상의 위치와 속도 등을 기억하는 열차추적 테이블을 링크 접속시켜 기억하게 한다. 따라서 열차위치와 선행열차 등을 구하는 경우에는 열차추적 테이블을 각각에 앞서 검색하게 한다. 이 두 개의 테이블을 각 열차에서 전달될 수 있는 위치와 속도 정보에 기초하여, 항상 최신의 상태를 경신시키는 것이 열차의 추적이고, 간격제어, 진로 제어 등의 제어는 열차의 위치추적에 의하여 이루어진다.

#### • 기타 위치정보의 표시방법

선로 블록 테이블에는 열차의 견인연결, 구배와 곡율반경 등의 선로정수, 제한속도의 견인연결 및 진로 등의 제어 대상물의 유무 등을 기억할 수 있다. 열차이외의 선로상의 제어 대상의 위치가 이동하는 것으로서는 임시속도제한과 보수작업 등의 구간이 있고, 또한 실시간으로 위치가 이동할 수 있으며 혹은 발생소멸 한다. 구간중별의 잡는 방법에 의해 구간의 중복을 고려해야 하는 경우가 있다. 구간의 위치와 구간의 길이를 열차의 위치와 열차의 길이와 비교한다면 각종의 구간의 위치를 관리하는 것과, 열차위치를 추적하는 것은 거의 동일하게 고려된다. 위치가 고정되어 있는 구배, 곡율, 캔트 등의 선로의 정수와 더불어서 통일적인 표현을 할 수 있다.

### 4.2 간격제어

지상장치는 각 열차의 위치와 진로의 설정상태에 기초한 각 열차의 정지 목표점을 구하여, 이것을 간격제어 정보인 허용 속도정보로서 차상장치에 송신한다. 이것을 지상측의 간격제어라 한다. 먼저 지상장치에서는 일정주기에 각 열차에서 열차추적 데이터와 선로 블록테이블을 사용하여, 각 열차의 진행열차의 전방에 있는 열차와 진로를 조사하여, 정지목표점의 결정을 행한다. 각 열차의 위치는 열차추적 테이블에서 구하여 지며, 동일 선로 블록내의 선행열차는 열차추적 테이블의 선행열차 링크에 의해 구하여 진다. 동일 선로 블록내의 열차가 없는 경우에는, 전방의 선로 블록을 순번에 따라 찾아, 선행열차 또는 진로를 구한다.

### 4.3 진로제어

분기·합류개소에서는 탈선, 또는 합류·교차·맞대어진 개소에서 충돌 등을 방지하는 목적으로 진로가 설정되어 진다. 실험 시스템에는 진로를 블록경계마다 설정하여 진로에 해당 선로로 열차의 진입허가, 진입불가를 표시한다. 설정되어진 진로를 임의로 취소하고자 할 경우 안전을 위해 열차위치에 따라 진로해정 조건을 달리하는 접근쇄정을 수행하고, 이는 또한 진로를 해정시킬 경우 차상장치에서도 외방에 정지할 수 있는지의 여부를 확인을 하여, 정지 가능할 경우 해정하는 방식을 취하여 보다 안전도를 향상시킬 수 있다. 진로쇄정과 철사쇄정 검사는 선로 블록단위에 진로의 설정상태, 열차의 점유유무 등의 확인을 통해 이루어진다.

### 4.4 선로배선정보 및 열차정보

선로에 나타나는 블록, 스위치, 신호기와 열차에 관한 정보의 목록은 표1과 같다.

표 1 선로배선 정보 및 열차정보

블록 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 블록번호 : 블록에 할당된 고유번호</li> <li>· 블록방향 : 블록의 상행과 하행에 위치한 역 이름을 이용하여 표시</li> <li>· 섹션명 : 일부 특정구간의 섹션의 이름</li> <li>· 좌우블록 : 블록의 좌우에 있는 블록이나 스위치</li> <li>· 블록출입구 : 블록의 좌우에 있는 출입구 명</li> <li>· 신호기방향 : 블록에 위치한 신호기의 방향</li> <li>· 블록길이 : 블록의 길이</li> <li>· 신호종류 : 신호기를 제어하는 신호종류 수</li> <li>· 블록속도 : 열차종류와 전방의 열차위치에 따른 블록의 속도</li> <li>· 플랫폼이름 : 승객이 타는 플랫폼의 이름</li> </ul>
스위치 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 스위치번호 : 스위치에 할당된 고유번호</li> <li>· 스위치이름 : 스위치의 이름</li> <li>· 스위치 정·반위 : 스위치의 정·반위 방향</li> <li>· 스위치열차속도 : 스위치 반위 방향의 열차제한속도</li> </ul>
신호기 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 신호기번호 : 신호기 부여된 고유번호</li> <li>· 블록신호기 : 실제블록에 자동적으로 연결된 신호기</li> <li>· 블록 진출입 신호기 : 할당된 블록에 진출입 신호기</li> <li>· 신호기명 : 신호기의 이름</li> </ul>
열차 정보	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 열차리스트 : 운행에 투입되는 열차리스트</li> <li>· 열차ID : 열차번호      · 열차명 : 열차의 이름</li> <li>· 열차길이 : 열차의 길이      · 열차방향 : 열차의 진행방향</li> <li>· 열차형태 : 승객용, 화물용, 고속 등의 열차의 형태</li> </ul>

## 5. 차상장치의 제어기능

본래의 운전제어 시스템의 차상장치에는 전송제어, 위치검지, 속도제어, 허용속도계산, 속도조사, 차내 표시등의 기능을 필요로 한다.

### 5.1 위치·간격제어 정보수신 기능

지상에서의 간격제어 polling message를 일정주기마다 받아들이며, 간격제어 정보의 내용은 정지목표위치, 정지목표속도 등을 케도회로를 이용하여 계산한다. 이 선로정보를 차상열차 테이블에 저장하고 허용속도 연산기에 보낸다.

### 5.2 허용속도 연산기능

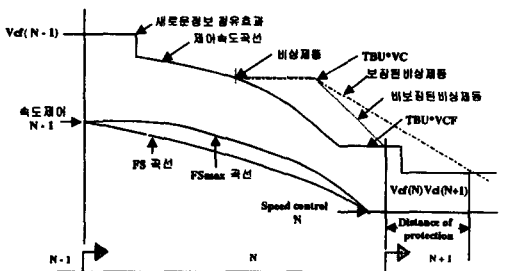


그림 1 차상장치의 속도곡선

정지목표위치가 지상에서 부여된 것의 해, 차상에서는 열차의 감속성능과 도중의 제한속도 및 선로 구배정수 등을 사용하여 이 목표지점에서 정지하기 위해서 허용속도 패턴을 계산한다. 이것으로 정지목표 위치가 변화되지 않는 경우와 정지목표 위치가 바뀌어도, 속도제한의 영향에 의해 허용속도 패턴이 거의 변화시키지 않는 경우, 앞에서 구

해진 허용속도 패턴을 그냥 사용하는 처리부하 경감방법확인 등이 있다. 속도제한을 허용 속도계산식을 위한 일반식은 다음과 같다.

$$V_c = \sqrt{2 G_c (L_c - d) + V_c f^2} \quad \text{식(1)}$$

- $L_c$  : 목표거리 ; 블록의 끝으로부터 각 블록표지를 분리하는 거리
- $d$  : 각 블록표지가 담당하는 거리
- $V_c$  : 폐색구간 끝에서의 제어속도
- $G_c$  : 다음과 같은 요약에 따른 감속 ;  $G_c = G_o - g_i$  ( $g$  : 중력에 의한 가속,  $i$  : 구배 (mm/m) (+ : 오르막 경사, - : 내리막 경사)
- $V_a$  : 블록 진입시의 제어속도
- $G_o$  : 비상제동에 의한 감속 ( $0.795 \text{ mm/s}^2$ )

### 5.3 차내신호표시

차세대 운전시스템은 ATC시스템을 이용하여 차상신호 표시를 하고, 승무원의 운전을 감시하는 역할을 한다. 차내의 신호는 경부고속철도와 같은 형식을 취한다. 속도의 표시방법은 현재 블록의 허용속도, 블록의 진입 및 진출의 3조로 표시고, 전방이 개통되어 있을 경우에는 초록색 바탕에 속도를 표시하며, 전방의 허용속도가 현재의 허용속도 보다 작을 경우에는 점멸신호 바탕에 속도를 표시하고 흰색바탕은 속도가 제한된 구간을 표시한다.

### 6. 소프트웨어의 구성

지상·차상의 각 제어장치간의 알고리즘에 제어 데이터를 교환함으로써, 이 정보를 기초로 하여 제어논리처리가 행하여져 제어상황 또는 결과가 데이터로 표시된다. 소프트웨어의 구성은 초기설정, 전송제어, 지상보안제어, 열차위치 모니터와 차상신호, 화면제어, 차상보안제어, 주행 시뮬레이션 등의 모듈로 구성되며, 필요한 테이블은 지상선로 블록, 지상열차추적, 차상블럭, 차상열차추적, 차상속도제한, 선로구배정수 등으로 구성되어 있다.

### 7. 결론

현재까지 기술한 열차시뮬레이션을 위한 프로그램 개발을 위한 기본설계안에 대하여 기술하였다. 그림2는 현재 개발중인 프로그램의 일부로, 궤도회로와 신호기 등 선로 상태를 편집하고 정보를 입력할 수 있는 궤도 편집 프로그램의 일부를 나타낸 것이다. 현재 일부 프로그램은 제작 중에 있고, 위에서 언급한 내용을 보완하면서 개발할 예정에 있다. 이 시뮬레이터의 기능은 실제의 각 장치 혹은 각 시뮬레이터에 연결되어, 시스템의 기능을 검증할 예정에 있다.

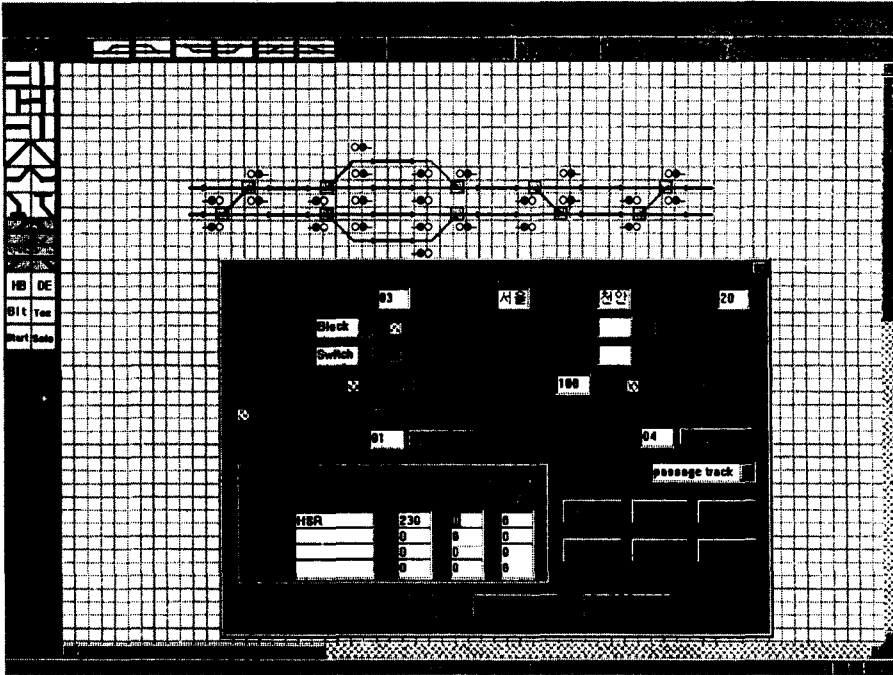


그림 2 궤도편집 프로그램 윈도우

<참고문헌>

- [1] 稱毛弘苗, et al., '次世代運轉制システムのシ室内實驗', RTRI Report Vol 5, No. 1, pp. 48-55, 1991.
- [2] 1·2차년도 연구보고서, '열차운용 시뮬레이션 프로그램 개발에 관한 연구', 한국철도 기술연구원, 1996·1997.