

신교통시스템의 무인운전 제어기술 연구

*김종기
한국철도기술연구원

류상환
한국철도기술연구원

이재호
한국철도기술연구원

조봉관
한국철도기술연구원

A Driverless operation technology in Light Rail Transit

*Kim, Jongki
KRRI

Ryu, sanghwan
KRRI

Lee, jaeho
KRRI

Cho, bongkwan
KRRI

Abstract - 최근 국내에서는 다양한 대중교통수단의 요구로 경량전철의 건설이 가시화 되면서 경량전철의 안전운전과 운영경비 절감에 필요한 새로운 개념의 열차제어장치에 대한 기술개발을 철도선진국은 물론 우리나라에서도 추진중에 있다. 이에 본 논문에서는 철도연에서 2000년까지 추진한 경량전철의 무인운전 제어기술에 관하여 소개하고자 한다.

락함에 따라 신호장치, 기타 장치를 직간접으로 제어할 목적으로 설치되어 열차의 유무를 검지하기 위한 전기회로이며, 미국의 윌리엄 로빈슨에 의해 발명되었다.

2) 열차간격제어방식

열차를 안전하고 신속하게 운행하기 위해서는 역과 역간의 대향 열차 상호간, 선행열차와 후속열차 상호간에 서로 지장없이 일정한 간격을 두고 운행하여야 하며 이때 필요한 물리적인 제어장치로서 폐색장치를 사용하며, 이러한 목적을 위해 이루어지는 제어를 열차간격제어라고 하고, 이를 대별하면 시간간격법(Time Interval System)과 공간간격법(Space Interval System)이 있다.

공간 간격법은 선행열차와 후속열차 사이에 항상 일정한 공간거리를 두고 운전하는 방법으로 선로를 몇 개의 구간으로 분할하여 그 경계에 신호기를 설치하여 그 구간으로의 진입의 가부를 지시하도록 하여 열차운전의 안전을 확보한다. 즉, 일정한 공간거리를 두고 일정구역을 정하여 하나의 구역내에서 1개의 열차만을 운행할 수 있도록 한 것이다. 이와 같이 한 열차만이 독점할 수 있는 일정구역을 "폐색구간"이라 하며 이와 같은 폐색구간을 정해서 공간간격을 확보하여 열차를 운전하는 방식을 "폐색식 운전"이라 한다. 또한 열차의 운행시간에 영향을 주는 폐색구간의 최적화는 열차의 제동특성과 경제성(운전시격) 등이 고려되어야 한다. 폐색방식은 폐색장치의 형식에 따라 고정폐색방식과 이동폐색방식으로 대별되며, 폐색 구간이 길면 길수록 보안도는 향상되지만 운전 밀도상의 제한을 받는 것과 같이 폐색구간의 길이와 열차운전시격과의 사이에는 밀접한 관계가 있다.

1. 서 론

도시철도라 함은 도시철도법 제3조(정의) 1항에 "도시교통의 원활한 소통을 위하여 도시교통권역에서 건설, 운영하는 철도·모노레일 등 계도에 의한 교통시설 및 교통수단을 말한다."라고 정의되어 있으며, 부산교통공단법 제2조(정의) 2항에는 "도시교통권역내에서 주민의 일상생활에 供하는 지상 및 지하의 軌道交通手段을 말한다."라고 정의하고 있다. 따라서 경량전철과 신교통시스템 등도 도시철도의 범주에 포함되며, 당 연구원에서 추진중인 경량전철 신호제어시스템 기술개발 내용 또한 신교통시스템의 무인운전 제어기술에 활용될 수 있다고 판단된다.

2. 본 론

2.1 연구배경

2.1.1 열차제어기술의 변천

1825년 영국에서 증기기관차의 운전이 시작된 후 176년이 지나고 있다. 우리 나라도 1899년 경인선 개통 후 102년을 경과하고 있다. 그 동안 기술의 진보와 함께 열차제어의 방법도 변화하여왔다. 처음 운행할 당시에는 시각(육안)에 의존한 운전이었으며, 단선 구간에서 열차상호간의 안전을 도모하는 방법으로 "시간간격법"에 의한 열차제어방식이 채용되었지만 터널 내부나 단선 구간의 도중에서 정차열차에 충돌하는 사고가 빈번히 발생하곤 하였다. 그러다 1910년 궤도회로의 실용화로 위와 같은 사고를 방지하여 현재에 이르고 있다. 우리 나라에서 사용하고 있는 도시철도용 신호제어시스템 또한 궤도회로를 기본으로 하여 열차의 안전운행을 도모하고 있으나, 궤도회로의 단락감도 유지와 지상설비 규모가 크고 유지보수의 어려움 때문에 궤도회로에 대한 새로운 문제가 제기되고 있다. 최근에 들어오면서 궤도회로를 사용한 열차제어방식을 대신하여 무선을 이용한 새로운 개념의 열차제어방식이 철도선진국을 시작으로 세계 각국에서 연구 및 실험이 실시되었다. "무선에 의한 열차제어시스템"은 지금까지 신호보안장치의 개념을 기본적으로 타파하는 것으로 실현될 때는 철도신호시스템의 대변혁을 가져오는 계기가 될 것으로 예측된다.

2.1.2 궤도회로 및 열차제어방식

1) 궤도회로(Track Circuit)

궤도회로란 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 회로를 구성하고 그 회로를 차량의 차축에 의해 레일간을 단

3) 이동폐색 방식(Moving Block System)

공간간격법에서 선행열차와 후속열차의 공간 간격을 후속열차의 제동거리 이상만 확보되면 안전하므로 후속열차가 연속적으로 제동거리 이상의 열차 간격을 유지하며 주행 할 수 있다면 이론상으로 가장 단시격의 운행 패턴이 된다.

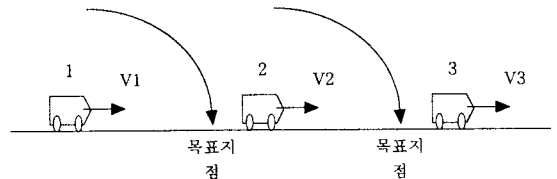


그림 1 이동폐색방식(Moving Block System)의 개념

열차간의 안전거리는 선행열차와의 속도차 ($V_2 - V_1$)에 의해 좌우되며, 운전시격은 매우 유연하게 $V_2 - V_1$ 의 값에 따라 항상 변화 할 수 있다. 이론적으로 $V_2 = V_1$ 이면, 열차간의 안전거리는 0가 될 수 있다. 열차간의 거리는 더 이상 폐색구간의 길이에 의해

제한되지 않으므로 정차거리가 감소된다.

구체적으로 선행열차의 위치를 검출하여 후속열차의 열차종별(제동 성능), 속도 등에 의하여 필요 제동 거리가 확보되는 최소열차 간격을 갖도록 후속열차를 제어하는 방식으로서 이것은 자동차의 운전기사가 전방의 자동차의 차간거리 및 속도를 생각하면서 운전하는 것과 같이 폐색이 선행열차의 이동과 함께 이동되며, 폐색거리는 선행열차의 속도에 따라 변화한다. 이와 같은 폐색방식을 이동폐색방식이라 하며 국내에는 아직 실용화된 구간이 없으나 유럽의 일부지역에서 사용되고 있다. 이 방식은 열차 운전시력의 단축을 최대한 확보할 수 있어 향후 충분한 검토와 기술개발로 실용화하여야 한다.

2.1.3 경량전철 신호제어시스템 기술개발 방향

경량전철의 국내 적용가능성 검토시 논란이 되는 주제 중의 하나가 운전방식이다. 즉, 무인운행 또는 유인운행의 결정이다. 무인운행이 가능하려면 당연히 타 교통수단이나 보행자와 혼재되어 도로를 같이 사용할 수 (mixed traffic) 없게 된다. 즉, 선로의 하부구조가 모토고가 또는 지하화되어 타 교통수단과는 입체적으로 처리되어야 한다. 아직 국내에는 무인운행을 하는 대중교통수단은 없다. 이러한 무인운행의 전체 조건은 시민의 질서외식의 성숙정도에 따라 적용이 가능할 것으로 보인다. 물론 차내와 역내의 각종 범죄와 안전사고를 방지할 수 있는 역무 안전시설의 설치가 선결되어야 한다. 선로는 고가나 지하로 타 교통수출과 완전분리가 되어야 하며 플랫폼도 선로와 차단하여 승객이 선로에 접근이 불가능하도록 열차 도착시에만 문이 개폐되도록 스크린도어가 설치되어야 한다. 한편, 무인자동운행을 위해서는 유인운행에 비해 고급인력엔지니어들이 필요하다. 즉, 무인운전은 고도의 기술수준을 가진 기술자가 동원되어야 함으로 이에 대한 기술인력의 확보를 위한 방안이 마련되어야 할 것이다.

국내에서도 세계적인 조류에 능동적으로 대처하기 위하여 1999년부터 기술개발을 진행하고 있다. 선진외국기술을 모니터링하는 수준을 넘어 최종적인 목표를 그들과 동등한 기술수준으로 끌어올리는 계기가 될 것이다. 경량전철 신호제어시스템은 열차의 운행을 감시하면서 진로를 자동으로 설정하고 제어하는 열차운행제어관리장치, 열차의 위치를 검지하여 열차의 충돌, 추돌, 탈선 등을 방지하고 열차의 안전운행을 보장하는 자동열차제어장치 및 이를 연결하는 통신장치로 구성된다.

국내에서는 열차운행제어관리장치 및 통신장치에 대한 설계, 제작 및 설치 등에 대해서는 나름대로 많은 경험을 축적하고 있다고 할 수 있으나, 자동열차제어장치와 관련해서는 아직 외국의 기술을 의존하고 있는 상태이다. 경량전철 신호제어시스템은 컴퓨터 시스템을 이용한 무인운전체계, 차상과 지상간의 제어정보송수신체계 및 열차검지방법 등에서 기존의 철도시스템과는 커다란 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 경량전철 신호제어시스템에 대한 핵심기술 및 요소기술 등의 연구를 통하여 시스템 구성 요소의 기능 및 성능 정의와 함께 체계적인 시스템관리를 할 수 있도록 체계를 구축하여 하부 시스템을 구현 및 이를 통합, 연계시키는 엔지니어링 기술을 개발하고, 시험·검증을 통한 신뢰성 및 안전성 확보를 위한 검증절차에 관한 기준설정 등으로 독자적인 경량전철 시스템 기술에 대한 연구를 수행하고 있다. 다음의 기본목표사항 구현을 위한 사업의 주요내용을 소개한다.

1) 무인자동운전체계의 구축 : 기본적으로 열차가 자동으로 운전될 뿐만 아니라 무인운전이 가능해야 하며, 필요시 수동운전도 가능하여야 한다. 무인운전을 하기 위해서는 열차위치, 열차확인, 열차성능, 열차유지보수 내용 운행중인 노선의 상태 등 필요한 내용을 실시간으로 처리하여야한다. 이렇게 처리된 자료를 근거로 열차운행제어관리장치(종합사령실)에서 열차의 운행을 관리한다. 무인운전을 수행함으로써 운영자는 양질의 서비스

를 제공할 수 있음과 동시에 운영비를 절감할 수 있으며, 특히 승객에게는 더욱 짧아진 운행시격을 제공하고 열차와 역사간에는 운행노선에 대한 높은 수준의 정보가 공유되어 안전을 한층 높일 수 있다.

2) 이동폐색시스템의 적용 : 열차의 절대위치 및 주행속도를 검지할 수 있어야 하며, 선행 열차의 속도에 따라 안전이 확보되는 가운데 최소시력 안에서 열차운행이 이루어져야 한다.

3) 중앙원격제어 : 정보전송기능, 열차감시 및 제어기능 등을 갖추어 열차운행제어관리장치(중앙사령실)에서 운행열차를 직접 제어할 수 있어야 한다.

4) 기반기술의 확보 : 위치검지 및 무선정보전송기술의 신뢰성 확보, 시스템 다중화기술, 실시간제어기술, 고신뢰성 소프트웨어 설계 기술, Fail-safe설계기술, 통신기술 등 요소기술의 확보 및 분석, 시험, 개발, 검증 절차를 거쳐야 하며, 유지보수를 위한 프로세서가 확립되어야 하며, 국제 공인 규격에 따르는 안전도 및 신뢰성, 유용성이 확보되어야 한다.

2.2 연구내용

2.2.1 경량전철 신호제어시스템의 전체개요

경량전철 신호제어시스템은 크게 3가지의 기능, 즉 자동열차관리(ATS) 기능, 자동열차운전(ATO) 기능, 자동열차보호(ATP) 기능으로 구성된다. 이 기능들 사이에는 서로의 연관 관계를 가지고 운행중인 열차의 안전을 확보하게 되며, 이의 무인운전을 위한 출입문제어 기능, 여객안내정보 기능 및 열차와 지상간의 정보 송수신을 위한 무선데이터 통신 기능 등이 있으며, 지난 2년 동안 수행되어온 결과 한국형 경량전철 신호제어시스템의 기본적인 구성도는 그림 2 및 그림 3과 같다. 그림에서도 알 수 있듯이 신호제어시스템의 지상장치는 중앙사령실설비, 신호기기설비, 선로변장치로 분류되며, 중앙사령실설비는 사령콘솔, 대형표시판, ATS 기능을 수행하는 주컴퓨터(train operation computer), ATO 기능을 수행하는 운행계획관리장치(ATO central computer), 주컴퓨터와 신호기기설 장치와의 정보전송을 담당하는 사령실 통신인터페이스장치로 구성된다. 신호기기설 내의 주요 장치는 역 통신 인터페이스 장치, ATP역컴퓨터, ATO역컴퓨터, 전자연동장치 및 지역사령콘솔이 있다. 선로변에 있는 주요장치는 데이터 통신을 위한 무선시스템과 지상트랜스폰더로 구성된다.

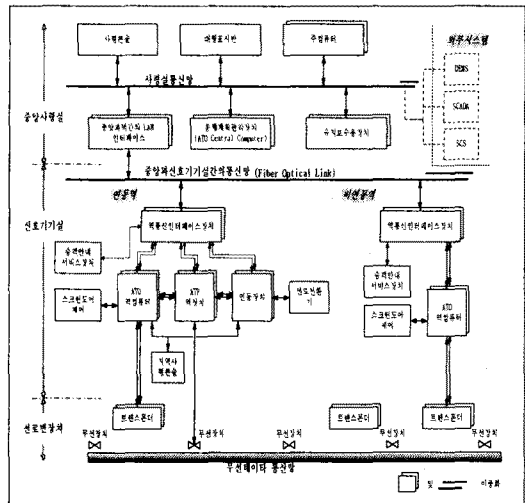


그림 2 경량전철 신호제어시스템 지상장치 구성도

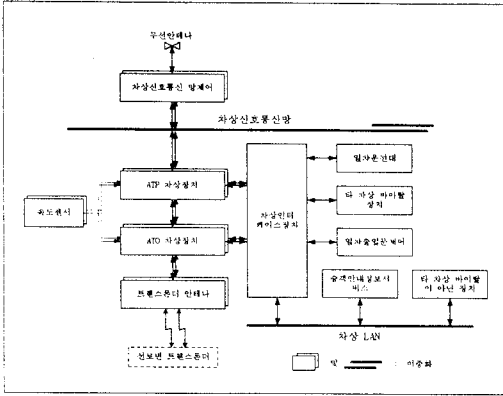


그림 3 경량전철 신호제어시스템 차상장치 구성도

2.2.2 무인운전 제어기술 개발을 위한 설계

무인운전을 실현하기 위해 열차의 역 출발로부터 다음 역 도착까지를 종합적으로 제어하는 설비로서 경량전철 차량에 ATO차상장치를 설치하고, 역에는 ATO역컴퓨터를 설치하여야 한다. 그리고 무인운전 제어를 위하여 무선데이터 통신망을 설치하고 있다. 또한 승객에 대한 안내설비 및 홈도어/차량도어 제어를 위해 필요한 설비가 설치된다. 더욱이 열차의 진로를 전환하는 신호전환부는 차량에 설치된 분기 안내륜과 지상에 설치된 가이드레일 구조로 이루어진다. 운행관리, 여객안내, 열차제어 및 ATO제어, 홈도어/차량도어 제어에 필요한 정보전송수단으로서, 중앙사령실과 각 역간에는 광전송시스템을 사용하고 있다. 그림 2에서와 같이 중앙사령실 설비 및 ATO역컴퓨터는 다른 장비와 밀접하게 관련하여 무인운전을 실시하고 있다.

2.2.1 중앙사령실 설비

원활한 열차운행을 확보하기 위해 ATO역컴퓨터, 신호통신장치, 방재설비, 전력설비 및 차고관리설비와 연계하고, 출입고 및 본선에 있어서, 다이어관리, 진로제어, 방송제어, 안내제어 및 각종 운행기록을 행한다. 또한 열차 및 열차의 상태감시를 위해 중앙사령실에 각종정보를 표시하고, 또한 중앙사령실에서 필요한 조작을 행한다. 또한 중앙사령실과 각역간의 정보전송용으로서 역통신인터페이스장치를 설치하고 있다. 주요 기능은 다음과 같다.

- ① 열차의 운행상황을 CRT디스플레이에 표시한다.
- ② 노선에서 움직이는 경량전철의 운행상황을 표시한다.
- ③ 상기 CRT디스플레이 화면 및 각 역의 상황을 대형 비디오프로젝터에 표시할 수 있다.
- ④ 수송력의 조절을 행할 필요가 발생했을 때 주컴퓨터가 필요한 수송력을 확보할 수 있는 등시력다이어를 작성하고 당일 다이어와 접속하여 사용할 수 있다.
- ⑤ 제어대의 입력은 CRT의 터치센서방식이다.

중앙사령실 설비의 무인 운전을 지원하기 위한 핵심장치는 운행계획 관리장치로서 이는 다음의 주요기능을 갖는다.

- ① 열차추적기능
- ② 진로제어기능
- ③ 다이어 관리기능
- ④ 운전정리기능
- ⑤ ATO제어기능
- ⑥ 여객안내기능
- ⑦ 설비관리기능
- ⑧ MMI(Man Machine Interface) 기능

2.2.2 신호기기술 설비

신호기기술 설비 중 무인운전의 핵심역할을 하는 ATO역 컴퓨터는 역에 있어서의 열차의 정위치정지제어, 차량도어

와 홈도어를 연동시킨 도어개폐제어, 차량의 발진방향 전환제어, 출발제어 등을 시행한다. 지상-차상간의 전송은 무선 데이터통신망 및 트랜스폰다를 이용하여 다음의 운전방식을 지원한다.

- ① 자동운전조건 : 자동운전은 본선 및 차량기지외의 출입고 구간에서 실행한다. 또한 차량기지 내에서는 수동운전이 가능하도록 설계하였다.
- ② 운전순서 : 출고열차는 차량기지내 유치선으로부터 수동운전으로 수동자동 철책지점까지 주행하고 거기에서 자동운전으로 전환한다. 거기에서 출입고검사전까지 자동운전이 행해지고, 자동운전기능이 검사된다. 출입고 검사전에서는 출고검사가 자동적으로 행해지고, 운전사는 정상을 확인한 후 하차하고, 지상에 설치되어 있는 하차확인버튼을 누른다. 중앙사령실에서 하차를 확인하고, 출입고선 방향에의 출발진로를 구성한 후, 출고열차는 자동적으로 발진하고, 이후 출입고선을 거쳐 출발역에서 본선에 진입한다. 본선에 있어서는, 연동역에서는 운행계획관리장치로부터의 출발지령 예고에 따라, 또한 일반역에서는 ATO역컴퓨터가 다이어에 따라 만드는 출발지령 예고에 따라, 차량도어 및 홈도어를 닫고 열차가 출발한다. 열차는 다음 역에서 자동적으로 정지하고 차량도어 및 홈도어가 열린다. 입고열차는 자동운전으로 출고시와 반대의 순으로 출입고검사전역에 도착한다. 여기에서 운전사가 승차하고, 수동운전으로 전환하여, 유치선에 진입한다. 이상과 같이 차량기지내의 운전을 제외하고 자동운전을 행한다. 필요시 입환 운전이 가능하도록 설계하였다.

3. 결 론

본 연구는 4 분야로서 개발이 이루어지고 있으며, 시스템 엔지니어링 분야에서는 지난 2년 동안 시스템요구사항 조사 및 분석, 시스템 개념 정립, 시스템 기본설계, 시스템 통합 성능 기능 완성도 체계 구축 등을 수행하였으며, 향후에는 시스템 인터페이스 정립, 시스템 I/F시험 및 시험방안 작성, 시스템 알고리즘 검증 등을 위한 시험장치 제작, 무선통신을 위한 주파수 할당, 시스템구축 및 종합시험, 시험선로 실차시험, 활용방안 수립 등을 수행할 예정이며, 자동 열차관리 분야에서는 종합운행 제어 관리장치에 대한 구성도 작성, 장비별 사양 및 기능설계서 작성 등을 수행하였으며, 향후에는 각 구성장치들에 대한 알고리즘 개발, H/W 수정보완 및 제작, 시험 및 시제품 제작 등을 수행할 예정이며, 자동열차 제어장치 분야에서는 자동 열차제어장치에 대한 구성도 작성, 기능정립 및 상세 기능도 작성 등을 수행하였으며, 향후에는 지상 및 차량의 자동열차제어 장치에 대한 알고리즘 및 신호 설계 Tool 개발, H/W 수정보완 및 제작, 시험 및 시제품 제작 등을 수행 할 예정이다. 본 경량전철 신호시스템의 무인 운전을 구현하기 위한 핵심장치인 무선 통신 장치 분야에서는 그동안 기지국과 차량시스템간의 무선통신시스템 설계를 수행하였으며, 향후에는 지상/차상간 데이터 전송시험 및 시제품 제작, 열차운행데이터 전송시험, 시험선로에서의 시험 및 성능인증 등을 수행하여 경량전철 무인운전 제어기술을 완성할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] "Innovative Train Control System by Radio" Y.Hasegawa, QR of RTRI, vol.30, No.4 Nov. 1989, pp181-189
- [2] "Communications-Based Train Control", Trade Press Publishing, 2000.
- [3] 새로운 열차제어 시스템 佐佐木敏明 J.IEE Japan, Vol. 110, No.2 pp83-85
- [4] "A communication-based system for safe and economic automatic train control" C.J. Gibson Computers in Railways V Vol.2, 1996, pp237-245
- [5] "Automated People Mover Standards-Part1", ASCE21-96
- [6] "Communication-Based Train Control Performance and Functional Requirements" IEEE P1474.1/D5.0, Nov 1998
- [7] "Advanced Automatic Train Control Project Material", Hamon, 1999.