

철도운행제어시스템 기술의 최근 동향 및 전망

홍순흠(한국철도기술연구원)

1. 서론

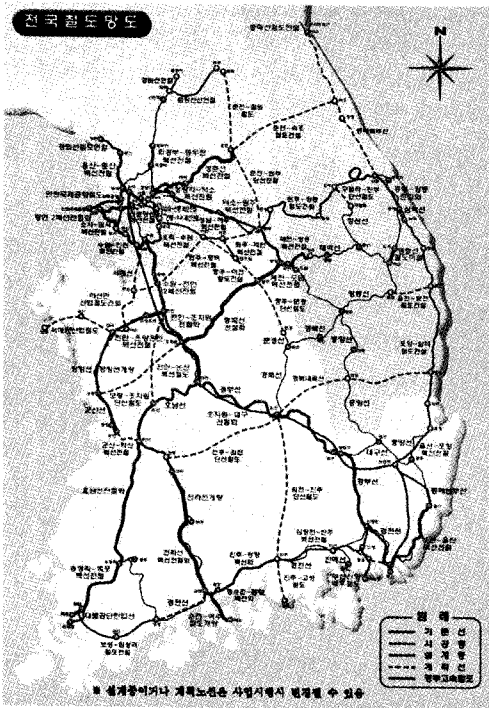
철도교통은 다른 교통수단에 비하여 정시성을 확보할 수 있으며, 고밀도로 안전한 운행을 할 수 있어 고속 대량수송을 할 수 있는 장점을 가지는 것으로 알려져 있다. 이러한 특성을 가지기 위하여 열차는 일반 차량과 달리 차량의 중량이 크고 속도가 빠르기 때문에 기관사가 안전하게 운전을 하기 위하여서는 선로변을 따라 설치된 신호설비에 의존하여 운전을 하게 된다. 시속 300km로 운행하는 KTX의 경우 상용제동거리(승객이 불안감을 느끼지 않을 정도의 제동)가 약 7km(비상제동의 경우에도 3.5km 이상)로 인간의 시야에만 의존하여 운전하기가 더욱 어려워지기 때문에 지상의 신호 현시장치를 기관사 패널에 설치하여 쉽게 신호를 구분할 수 있도록 하고 있다.

철도교통에서 자동화 및 제어시스템이 이용되는 분야는 열차의 운전제어, 열차(신호)제어, 운행제어(Traffic Control), 전력시스템 제어(SCADA), 통신설비제어 및 역무자동화시스템 등을 들 수 있는데 역무자동화시스템은 주로 역에서 승객을 안전하고 편리하게 안내

하기 위한 제반 설비를 말한다. 열차는 자동차와 달리 기관사가 자의적으로 경로를 선택하는 것이 아니라 사전에 결정된 스케줄에 설정된 시간과 경로를 따라 운행하게 된다. 열차가 진행하게 되면 스케줄에 나타난 경로로 진입할 수 있도록 선로전환기를 사용하여 적절한 시간에 해당진로를 설정해 주어야 한다. 이와 같이 네트워크 위를 운행하는 모든 열차에 대하여 스케줄에 따라 진로를 설정해 주는 것을 열차운행제어라 하며 최근에는 관제시스템이라 부른다.

한국철도네트워크는 연장 약 3,400km로 수도권 전철만 8개 노선에서 하루 약 229만명을 실어나르며, 132개역, 1824편성, 2021열차, 연평균증가율 3.2%로 점차 노선 수, 열차운행편 수 및 수요가 증가하고 있어 열차운행제어가 점차로 어려워지고 있다. 특히 수도권 지역은 단선, 복선, 이복선 및 삼복선 등 복잡한 선로 구조를 가지고 있으며, 일반여객철도와 고속철도 및 수도권 전철이 다양한 패턴을 가지고 운행되고 있어 한 번 지연이 발생하면 수도권전체로 지연이 확산될 가능성이 상존하고 있다.

현재 한국철도네트워크는 중앙집중형 방식



〈그림 1〉 한국철도망

의 CTC에 의하여 열차운행제어가 이루어지고 있으며, 전체노선의 약 52.6%, 수도권은 거의 100%가 적용을 받고 있다.

현재 한국철도에는 고속철도의 도입 이후로 공항철도, 경량전철 등 신규철도노선이 지속적으로 건설되고 있어 주요 대형역에서의 열차 트래픽은 점차 심각해지고 있는 실정으로 열차운행제어의 중요성이 날로 더해지고 있다.

본 고에서는 철도교통의 트래픽 관리를 담당하고 있는 열차운행제어시스템 기술에 대하여 현황과 그 전망에 대하여 알아본다. II절에서 열차운행제어시스템에 대한 개요, 그리고 III절에서는 국내외 기술동향과 자율분산 방식의 운행관리시스템에 대하여, 그리고 마지막으로 IV절에서 운행제어시스템의 향후 전망에 대하여 살펴본다. 다만, 철도신호시스템은 열

차운행제어와 밀접한 관계를 가지고 있지만 본 특집의 다른 부분에서 다루기 때문에 열차운행제어를 중심으로 설명한다.

II. 개요

1. 철도교통제어체계

철도교통의 트래픽제어는 크게 열차제어-연동제어-운행제어의 3단계로 나눌 수 있다.

- 열차제어 (Train Control)

열차제어는 지상으로부터 운행중인 철도차량에 제동관련 제어에 필요한 정보를 지속적으로 주어 열차가 상황에 적절한 속도로 운행할 수 있도록 한다. 가장 기본적인 장치는 ATS (Automatic Train Stop)로 주어진 폐색구간에서 열차가 지시된 속도 이상으로 주행하는 경우 열차를 자동으로 정지시키는 장치이다.

자동열차제어장치(ATC: Automatic Train Control)는 열차가 연속적으로 속도관련 정보를 수신하여 적절한 속도를 유지하고 또 기관사가 정지신호에 반응하지 못한 경우 정지신호를 지나치지 않도록 하기 위한 장치로 열차제어시스템은 열차가 고속고밀도운행을 안전하게 할 수 있도록 한다.

- 연동제어 (Interlocking)

선로위에 다수의 열차가 동시에 움직이는 경우 선로상의 각 신호제어장치는 서로 간에 경합이 일어나지 않도록 작동되어야 한다. 따라서 모든 신호기와 신호설비는 서로 연동되어 신호기 또는 선로전환기의 작동이 순차적으로

일어나게 한다. 다시 말하면 특정진로가 안전하다는 것이 보장되지 않는 경우 그 진로에 대하여 진행신호가 나가는 것은 불가능하도록 연계되어 있다. 따라서 상위의 제어시스템인 열차운행제어시스템은 다수의 열차간에 진로충돌을 직접적으로 고려하지 않아도 된다.

연동장치는 릴레이를 연동로직으로 사용한 릴레이연동장치를 많이 사용하였으나 최근에는 고속철도를 비롯하여 전자연동장치(SSI; Solid State Interlocking)를 주로 사용하고 있다.

• 운행제어

모든 열차는 정해진 시간에 정해진 진로를 따라 운행하여야 한다. 이것은 이미 정해진 열차다이아그램에 설정되어 있다. 이를 위하여 열차의 진행에 따라 적절한 진로를 이용할 수 있도록 선로전환기를 이용하여 진로를 열어주어야 한다.

사고, 차량고장 등 외란에 의하여 열차가 지연되는 경우 열차 우선순위, 대피장소 등을 고려하여 지연이 확산되지 않도록 열차 진로를 설정해야 한다. 많은 경우 운행제어는 네트워크를 운행하는 모든 열차를 동시에 고려하여야 하기 때문에 중앙관제소를 설치하고 집중적으로 관리하게 되는데 이를 CTC(Central Traffic Control)이라고 한다.

열차의 운행제어 시스템은 계획된 시간표에 따라 운행되는 열차의 정시성 제공을 위한 철도시스템의 핵심부분이다. 열차 운행제어시스템은 운행노선과 역들을 관리하며 특히 열차에 대한 역과 노선에 자원할당과 열차들의 경합 및 대기를 방지하는 역할을 수행한다. 이를 위해 실시간으로 열차의 운행상황을 파악하고 각 역에서의 신호기와 선로전환기를 취급

하여 열차의 진로를 구성하는 업무를 수행하여야 한다.

열차의 운행 제어는 대형 역에서 열차들에 대해서 역 내부의 진로와 트랙, 플랫폼 등의 자원을 할당하여야 하며 이러한 역운영이 노선의 운영보다 더욱 복잡한 문제를 다루게 된다. 왜냐하면 역장치의 고장이나 열차의 지연은 이후 열차들의 시각표에 대한 역 자원의 할당을 변경하여야 하기 때문이다.

2. 열차운행제어 관련 기술

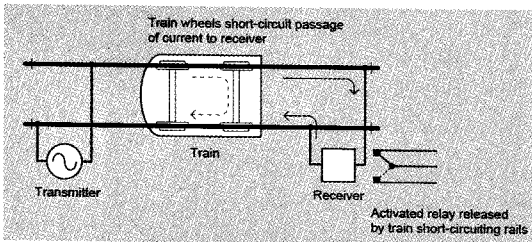
열차운행제어기술은 크게 열차위치 검지기술과 최적진로설정 기술로 나뉜다.

운행제어기술은 각 열차에게 필요한 진로를 할당하는 것이 가장 큰 목적이기 때문에 제어의 출력은 선로전환기 방향을 지시하는 명령이다. 이러한 선로전환기 조작명령은 연동장치를 통하여 선로전환기에 전달되며, 각 열차간의 위치를 고려한 열차의 속도제어는 열차제어장치가 담당을 하기 때문에 실시간으로 열차운행상태를 파악하여 최적의 진로를 각 열차에게 할당해 주는 것이 가장 중요한 기술이다. 여러 가지 형태의 열차가 들어오는 경우 최소의 시간에 열차특성을 파악하고 운행중인 열차의 진로를 예상하는 것이 필요하다.

또한 관련된 정보를 실시간으로 수집, 분석, 의사결정 및 전달해야하기 때문에 주로 이러한 분야의 기술이 필요하다.

• 열차위치 검지

운행중인 열차의 현재 위치를 정확하게 파악하는 것은 열차운행제어의 시작이다. 현재 가장 널리 사용되는 검지방식은 궤도회로를



〈그림 2〉 궤도회로 기반한 열차검지

사용하는 것이다. 궤도회로는 그림 2와 같이 궤도의 양쪽을 전선으로 연결하여 회로를 구성하고 여기에 전원을 가한 것이다. 정상적인 경우 궤도가 분리되어 있어 회로가 구성되지 않지만 열차가 존재하는 경우 바퀴축에 의하여 회로가 구성됨으로써 열차가 궤도위에 위치함을 검지할 수 있다. 연속된 궤도는 전기적으로 분리되어 하나의 궤도회로를 이루게 된다.

다른 방법으로는 GPS를 이용하여 열차의 위치를 파악할 수 있다. 그러나 열차의 위치는 실시간 지속적으로 정밀하게 파악되어야 하기 때문에 터널 등 GPS음영지역에서 사용하기 불편할 뿐만 아니라 현재 약 15m 정도의 정밀도로는 조밀한 궤도를 구분하기가 어려워 주로 저밀도 운행지역에서 사용된다.

최근에는 무선통신을 이용하여 열차위치를 검지하는 방식이 통신기반열차제어(CBTC; Communication Based Train Control)체계에서 많이 사용된다. CBTC방식은 열차의 위치인식을 위해 기존에 사용하는 궤도회로를 대신하여 열차에 설치된 차상설비가 지상정보와 검지장치에 의해 자체적으로 위치를 인식하고, 무선으로 지상설비와 양방향통신을 함으로써 열차의 위치추적과 각종 제어정보를 주고 받게 된다. 열차위치검지에서 일정거리로 구분한 폐색을 사용하지 않기 때문에 선로용량을 증

대시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 국내에서는 무선통신설비는 ISM밴드인 2.4GHz대역에서 IEEE 802.11b DSSS표준방식으로 개발되어 분당선의 시험구간에서 현장적용시험을 진행하고 있다.

• 열차이동방향 판단

궤도회로에 기반한 열차위치검지 방식에서는 열차의 위치만 알 수 있기 때문에 열차의 진행방향과 열차번호를 파악하기가 어렵다. 따라서 궤도점유상태의 연속적인 변화와 스케줄의 비교를 통하여 열차를 확인하고 지속적인 추적을 통하여 열차의 진행, 정차 및 방향전환을 감지한다.

무선기반 방식에서는 열차의 진행방향 등 열차관련 정보를 차상의 제어장치가 직접 지상시스템에 알려주기 때문에 훨씬 정교하고 신속한 운행제어가 가능하지만 운행중인 열차와 중앙제어시스템간의 정보송수신을 위한 통신방식의 확보가 필요하다.

• 자동경로설정

경로설정기능은 열차번호와 열차위치가 지속적으로 확인이 가능한 상태에서 열차스케줄에 따라 각 열차가 진행해야 할 경로를 열어주는 기술이다. 앞에서 기술한 바와 같이 열차의 속도를 고려하여 미리 경로를 통과하는데 필요한 제동거리 이상을 확보하고 경로를 결정해야 한다. 이 경우 지연 등으로 인하여 예정된 경로에 다른 열차가 존재하거나 선로전환기가 다른 진로에 연동되어 경로설정이 불가능한 경우 스케줄에 지정된 진로를 변경하여 스케줄 시간을 준수할 수 있는 기능을 가져야 한다.

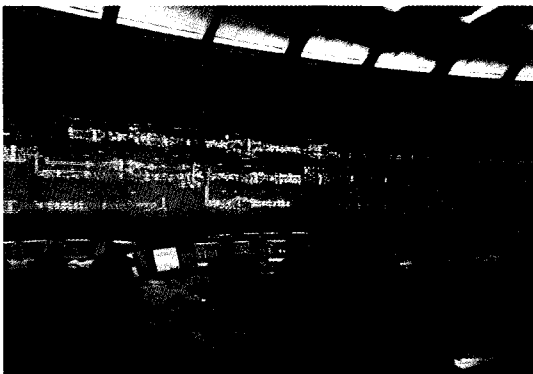
III. 기술현황

1. 국내 기술현황

• 국내 열차운행제어 기술 발전 현황

국내 철도의 열차운행제어기술은 철도 역 현장의 신호설비들을 중앙에서 집중 제어하여 열차운행 효율을 높이는 열차집중제어장치(CTC 시스템)로 발전하여 왔다. 열차운행제어는 1966년 중앙선 31개역(망우-봉양간) 144km에 웨스팅하우스의 CTC(Centralized Traffic Control)시스템 도입을 시작으로 서울, 대전, 부산, 영주, 순천지역 5개의 CTC사령실과 광명고속철도 CTC사령실에 열차집중제어장치가 설치되어 2004년 기준으로 약 52.6%의 노선이 CTC화 되어 있다. 이러한 CTC시스템 도입 효과는 초기에 대폭적인 선로용량 증가와 운전시각 감소라는 기술적 효과를 가져왔다.

그러나 기존의 CTC는 마이크로프로세서 보드 기반의 시스템으로 전국 철도노선을 운행하는 열차 및 현장제어장치를 원격으로 감시 및 진로제어를 한다는 의미가 강했다. 따라서 이 시기의 CTC는 트래픽관리보다는 트래픽 제어시스템으로서의 성격이 강했다.



〈그림 3〉 철도교통관제센터

컴퓨터 및 통신기술의 발달에 따라 2006년 전국의 5개 지역에 분산되어 있던 사령실을 수도권 철도교통관제센터로 통합하여 운영할 수 있는 통합관제시스템이 구축되어 현재 운영되고 있다. 이 시스템은 최신의 기술을 이용하여 전국의 모든 노선을 동시에 제어할 수 있으며, 철도운영정보시스템과 실시간으로 연결되어 정보를 교환할 수 있는 체계를 갖추고 있다. KTX만 취급하는 경부고속철도의 경우 차상장치 및 통신체계의 특성을 활용하기 위하여 전용의 고속철도관제센터에서 제어한다.

• 문제점

대형철도역의 경우 열차우선 순위에 따른 대피, 열차조성(기관차와 객차를 연결하거나 화차의 연결순서를 조정하는 일) 등으로 인하여 본선열차의 운행에 지장을 주는 일이 빈번하게 일어난다. 특히 인구가 밀집한 대도시에 위치한 역의 경우 KTX, 새마을 등 간선열차 뿐만 아니라 수도권 전동차 및 광역철도 전동차 등 다양한 형태의 열차를 운영하기 때문에 역의 혼잡도가 높아 고밀도운행지역(HTA; High Traffic Area)으로 분류되며 대부분 현장 제어 상태로 운영되고 있다. 대형역에서는 현장제어를 위한 현장제어장치(LCP; Local Control Panel)가 구축되어 열차운영과장이 교통관제센터의 위임을 받아 열차운행을 제어하고 있다.

이것은 철도네트워크의 주요 결점에서 현장제어가 이루어지고 있기 때문에 네트워크차원의 운행관리최적화에 어려움이 있으며, 각 역에 최소한의 열차운행관리를 위한 인원을 배치해야 하는 문제를 안고 있음을 의미한다.

경부고속철도의 경우 세 곳의 LCP를 두고

있지만 운행형태가 단순하여 중앙에서 원격자 동상태로 제어하고 있다.

• 연구현황

국내의 열차운행제어 기술은 외국사 시스템을 도입하는 초기 단계에서 벗어나 1991년 서울지역 통합사령실 CTC시스템의 국내사 계약을 시작으로 국산화가 이루어졌으며 2001년에 태국 수출계약으로 국내 열차운행제어기기의 수출단계에까지 이르렀다.

현재 운영중인 철도교통관제센터의 통합 CTC시스템도 주전산기를 제외하면 모두 순수 국내기술로 개발되었다.

차세대의 열차운행제어시스템을 위한 연구로 현재 건설교통부가 주관하는 미래철도기술 개발사업의 일환으로 진행되는 자율분산형 철도운행제어시스템의 개발이 진행중이다. 이 시스템은 기존의 현장제어역으로 운영중인 대형역의 열차운행관리를 최적화 및 자동화하고 이를 중앙의 열차스케줄관리시스템과 연동시켜 제어의 현장화와 의사결정의 중앙화를 실현하기 위한 시스템이다.

이 연구에서는 철도역을 각각 독립된 서브시스템으로 역의 모든 열차운행제어를 책임지는 단위로 설정하고 센터에서는 오직 전체네트워크의 상황을 고려하여 최적의 열차순위만 조정하는 기능을 가지게 된다.

2. 국외 기술현황

• EU

EU는 역내 철도의 자유로운 왕래 및 경쟁체제 구축을 위하여 국경의 철도규제를 완화하고 철도산업구조를 개편하면서 철도교통에 대

한 표준화를 준비해왔다.

철도산업구조의 개편을 통하여 철도시설을 보유한 철도시설관리자와 철도운영자로 크게 나누고 철도시설관리자는 특정 철도운영자에게 혜택을 주는 것을 금지하고 있다. 이 경우 열차운행관리에 영향을 주는 가장 큰 변화는 지금까지는 열차운영주체와 열차운행관리주체가 일치하였으나 구조개편 이후에는 복수의 철도운영사 열차가 각각의 영업 목적을 위하여 동일한 철도네트워크를 이용하려는 갈등을 열차운영사로부터 독립적인 열차운행관리주체가 해결해야 하도록 되었다. 따라서 열차운행관리의 목표가 철도네트워크의 최적 이용이라는 기존 목표에 열차운영사간 공정한 철도시설이용이 추가되었다.

철도운영사의 입장에서는 지금까지는 경험하지 못했던 다양한 철도시설 및 관제시스템을 접하게 되었으며 운행관리주체의 입장에서는 다양한 형태의 철도차량을 접하게 되어 원활한 제어를 위해서는 철도차량과 제어시설간의 표준화가 무엇보다 필요하게 되었다. 따라서 철도신호제어시스템의 표준화(ERTMS)와 열차운행제어의 우선순위 및 절차에 대한 표준화를 마련하였으며 EU를 구성하는 모든 국가의 철도운영사 및 철도시설관리자는 이를 준수해야 한다.

이러한 이유로 EU에서는 열차운행제어기술의 개선과 함께 공정한 운행정리를 할 수 있는 기술개발에 보다 많은 노력을 기울이고 있다.

• 일본

일본의 철도산업구조는 EU나 우리나라와 달리 상하로 분리하지 않고 지역적으로 분리하여 철도운영자가 철도시설을 소유하는 형태

를 취하고 있다. 이러한 체계에서는 열차의 운영과 운행관리가 동일한 목표를 가지고 있기 때문에 주어진 철도네트워크에서 최대의 열차 운행이 가능하도록 하는 것이 가장 유리하다.

일본의 열차운영제어시스템도 EU나 우리나라와 같이 중앙집중식을 채택하고 있는 경우가 대부분이다. 그러나 일본 최대의 철도회사인 동일본철도(JR East)는 트래픽이 많은 동경권 철도망을 운영하고 있기 때문에 중앙에서 선로전환기를 원격으로 제어하는 것은 가능하지만 프로그램에 의한 자동진로설정은 어려워 각 역마다 사람의 손에 의하여 운영을 제어하고 있었고, 큰 역의 경우는 10여명이 담당하기도 하였다.

이에 동일본철도는 동경권 300여개의 역을 대상으로 하는 세계 최대의 수송관리 시스템 ATOS(Autonomous Decentralized Transport Operation System)를 개발 도입하였다. 이 시스템의 특징은 각 역의 운행관리를 폐지하고 각각에 전산시스템을 배치하여 역 장치에 의한 자동제어체계로 운영하는 것을 목표로 한다. 이를 위하여 기존의 중앙집중제어방식과 달리 자율분산제어개념에 기초하여 온라인 확장성(on-line expansion), 결함허용성(fault-tolerance),

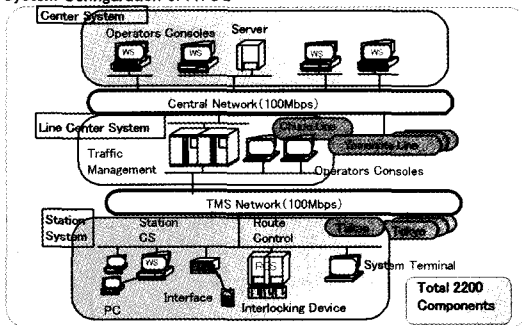
온라인 보수성(on-line maintenance)을 핵심개념으로 하고 있다. 이 개념을 기초로 시스템의 점진적 구축과 운행제어의 자동화를 달성하고 있다. 이 시스템은 1992년 처음 도입된 이래로 지금도 계속 단계적으로 구축되어 현재 동경권 철도망의 250여 개 역과 6,000여 열차를 제어하는 시스템에 이르고 있다.

ATOS시스템의 도입으로, 열차 트래픽은 보다 순조롭게 관리되며, 외란상황에서의 열차 다이아 회복 속도 또한 이전 방식에 비해 2배 이상 빨라졌고, 실시간 여객 정보 안내 또한 가능해졌다.

3. 자율분산방식의 열차운영제어시스템

1970년대 후반부터 연구되기 시작한 자율분산개념은 1990년대 후반부터 철도에 적용되어 열차운영제어시스템이 개발되기 시작하였다. 자율분산 개념은 시스템의 온라인 확장 및 유지보수, 결함허용성 강화 등을 주목적으로 하며 철도분야의 열차운영제어부분에 성공적으로 도입되었다. 그 이유는 자율분산시스템은 대규모 분산형 시스템의 개발 및 유지보수에 장점을 가지며 열차운영제어시스템은 여기에 적합한 조건을 제공하기 때문이다.

System Configuration of ATOS



〈그림 4〉 동경권 수송관리시스템

• 자율분산시스템의 개념

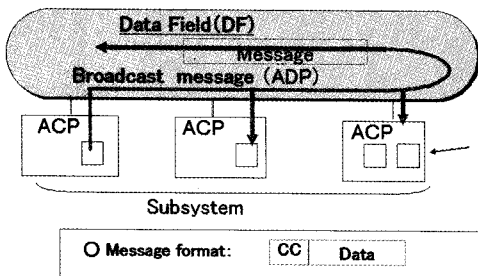
자율분산이란 전체적인 측면에 있어서의 각각의 개체 관계를 중시하고 각 개체가 자율적이며 협조적으로 행동해서 전체를 형성한다고 하는 개념에 두고 있다. 이 개념은 분자생물학에서 그 힌트를 얻었다. 예를 들면 사람의 신체 중 어느 한 부분이 다친다 하더라도 생명에는 지장이 없을 뿐만 아니라 전체의 다른 부분의 사용에는 문제가 발생하지 않는다고 보기 때

문이다. 이러한 개념을 정보 또는 제어시스템에 적용하기 위하여 다음과 같은 개념적 특징을 가정한다.

- 시스템은 항상 결점(고장)을 가질 수 있다.
- 시스템은 운영중에 교체, 유지보수, 수정 등을 위해 지속적으로 변경된다.
- 시스템 전체 목적은 대부분 성취한다.

자율분산 시스템은 몇 개의 서브시스템의 통합형태로 구성되며 서로서로 전체적인 기능 수행과 상호작용을 한다. 또한 각각의 서브시스템은 분자생물학에서 살아있는 조직간에 계층구조가 없듯이 계층구조를 가지지 않는다. 때문에 자율분산시스템은 철도시스템에서와 같이 제어의 측면으로 고려할 수 있다. 자율분산 시스템에서는 다음과 같은 중요한 두 가지 주요 속성을 가진다.

- 자율제어능력(Autonomous Controllability) : 어느 서브시스템의 기능에 이상이 있어도 다른 서브시스템은 스스로 제어할 수 있어야 한다.
- 자율협조능력(Autonomous Coordinability) : 어느 서브시스템의 기능에 이상이 있어도 다른 서브시스템들은 서로 협조할 수 있어야 한다.



·ACP : Autonomous Control Processor
 ·ADP : Autonomous Decentralized system Protocol
 ·CC : Content Code

〈그림 5〉 자율분산시스템 아키텍처

야 한다.

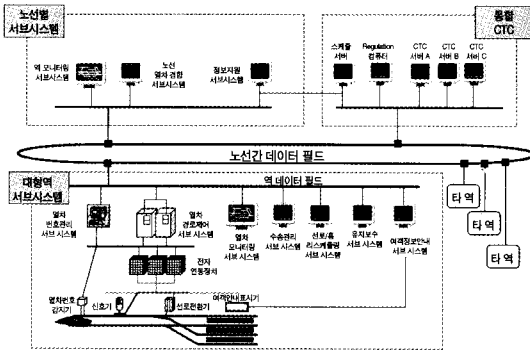
• 아키텍처

자율분산의 속성을 가지기 위하여 자율분산 시스템은 그림 5와 같은 아키텍처를 가진다. 각 서브시스템은 자신의 관리시스템인 자율제어 프로세서 (ACP : Application Control Processor)를 가지고 있어 내부의 응용프로세서와 외부 데이터필드와의 입출력을 관리한다. 모든 서브시스템들은 단지 데이터 필드를 통해 정보를 주고 받으며, 메시지에 부가된 CC(Content Code)를 이용하여 데이터를 구분한다.

• 단계적구축 기능

철도운영제어시스템은 대규모시스템으로 전국에 산재한 많은 제어대상을 관리하게 된다. 따라서 일시에 모든 시스템을 구축하거나 개선하기가 어렵기 때문에 단계적으로 시스템을 확장해나가는 기술이 필요하다. 특히 기술의 발전에 따라 개선이 요구되는 역단위로 업그레이드가 이루어지는 경우가 많다. 이 경우 가장 중요한 것은 온라인 상태에서 시스템 증설 및 유지보수에도 불구하고 신뢰도를 유지할 수 있어야 한다는 점이다.

단계적 구축 방식으로 시스템이 구축되는 동안 정상적인 온라인 운영과 시스템 테스트가 공존하며, 테스트는 온라인 운영을 방해하지 않아야 한다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 모든 서브시스템은 온라인모드 및 테스트모드에서 각각의 데이터필드를 이용하여 서로 정보를 주고 받도록 설계되어 있어 항상 정상적인 온라인 모드와 시험모드의 두 가지 상태가 공존할 수 있게 된다.



(그림 6) 자율분산방식의 열차운행제어시스템 구성도

(표 1) CTC방식과 자율분산방식의 비교

비교내용	현재CTC방식	자율분산형제어방식
기능	표시, 제어위주 기능	제어 및 정보(스케줄)의 공유기능
제어방식	중앙집중 및 지역제어 혼용	노선별, 역별 자율분산 제어
구축방식	일괄구축방식	단계적 구축
특징	구성요소간 상하관계 유지	각 구성요소는 동등한 관계에서 협조적으로 행동
장단점	상위 또는 하위시스템의 고장이 시스템 전체의 기능 저하 또는 불능상태로 전이	국부적인 고장이 시스템 전체로 확산되지 않고 관련 기능의 저하에 그침

이러한 온라인모드와 시험모드의 결합을 위하여 온라인상태의 서브시스템은 동시검지방법(Simultaneous Protection Method)을 사용하여 테스트 서브시스템에 응답만 하고 요구된 데이터는 무시하는 방식으로 작동된다.

그림 6은 현재 연구가 진행중인 열차운행제어시스템의 구성도이다. 대형역의 경우 세 개의 서브시스템으로 구성이 되며, 기존의 중앙집중제어시스템에 의하여 제어되는 역과 병행 운영이 가능하도록 설계하였다. 초기에는 대형역을 중심으로 도입하고 점차 다른 중소역으로 단계적으로 교체할 수 있다.

• 특징비교

자율분산개념을 적용한 열차운행제어시스템의 특징은 표 1과 같다.

IV. 향후 전망

철도산업은 세계적으로 현재 규제의 완화와 경쟁체제의 도입으로 빠른 변화를 겪고 있다. 이러한 변화에 따른 열차운행제어분야의 향후 전망을 다음 몇가지 사항별로 살펴본다.

• 철도산업구조개혁에 따른 변화

EU와 마찬가지로 우리나라도 2004년 KTX 개통을 전후하여 철도시설관리와 철도운영이 분리되었다. 이와 동시에 철도교통관제는 정부 업무로 되었으며 철도네트워크의 트래픽을 최적화하는 일도 정부의 책임이 되었다. 향후 철도네트워크를 효율적으로 활용하기 위하여는 지속적으로 철도관제전략을 수립하고 최신의 기술을 반영한 운행제어시스템을 개발해 가야 할 것이다. 특히 향후 복수의 운영사가 서로 경쟁하고, 대륙철도와 연계되어 타국의 열차가 우리나라 철도네트워크를 이용하게 될 것으로 예상되기 때문에 기존의 네트워크 이용의 효율성뿐만 아니라 운영사간 공정하게 처리할 수 있는 관제체계의 개선이 더욱 요구될 것이다.

• 열차제어시스템 발전에 따른 방향

향후 열차제어체계는 지금의 궤도회로에 기반한 고정폐색방식에서 무선통신을 이용한 시스템(CBTC)로 급격하게 이동할 것으로 예상된다. 이것이 열차운행제어에 미칠 영향은 열차위치검지뿐만 아니라 지상-차상간의 양방향

데이터 통신, 열차간격제어 및 운행상태를 실시간으로 감시할 수 있다는 것이다. 특히 열차 주행방향 (진행, 정지, 역행), 열차제원 및 고장 상태를 직접 파악할 수 있어 열차운행제어 성능이 더욱 향상될 것이다.

특히 이동폐색 기능이 가능하게 되어 기존의 열차위치확인 해상도가 연속적인 위치로 바뀌게 됨에 따라 이를 효과적으로 이용하기 위한 연구가 필요하다.

• 열차운행의 무인화 자동화

철도운영의 효율화는 열차운행의 무인화 또는 자동화에 크게 영향을 받는다. 철도는 궤도를 따라 달리기 때문에 무인운전이 쉬울 것으로 판단하는 경우가 많지만 무인운전은 주로 도시철도와 같이 운행노선이 단순하고 열차간격이 일정한 경우에 주로 적용되고 있다. 파리 지하철 14호선이 대표적인 경우이고 서울도시철도(2기)의 경우 무인운전이 가능한 시스템을 갖추고 있다. 무인운전의 경우 모든 판단이 운행제어기능에 집중되기 때문에 신호시스템 및 현장의 모든 감시, 제어정보가 중앙에 집중되는 형태로 발전할 것으로 예상된다.

• 차상의 제어장비 및 통신장치의 발전

일반철도의 경우 철도차량의 제어 및 감시 기능을 가진 차상컴퓨터와 데이터통신설비가 구축되지 않은 경우가 아직 많다. 따라서 현재의 운행제어시스템은 차량의 현재위치 정보를 중심으로 의사결정을 내리고 음성통신 또는 폐색신호기를 통하여 의사를 전달하고 있다. 최근 도입되는 차량은 차상컴퓨터를 갖추고 있고, 열차무선방식도 TRS방식으로 전환되는 추세에 있어 향후의 열차운행제어시스템은 실

시간으로 최적의 열차운행경로를 결정하고 이를 열차에 즉시 전달할 수 있는 체계를 갖추게 될 것이다.

• 분산제어체계의 강화

지금까지의 경향이 중앙집중제어체계였다면 향후 방향은 자율협조기능이 강화된 분산제어체계로 갈 것으로 예상된다. 프랑스 국영철도운영사인 SNCF는 대형역사의 선로 및 홈의 실시간 리스케줄링 시스템을 운행제어시스템과 연동 운영하여 역구내 및 인접제어구간의 트래픽 제어를 처리함으로써 중앙 CTC의 부하를 대폭 경감하는 방식으로 개선하고 있다.

향후 현재 항공 및 도로교통에서 연구되고 있는 것과 같이 열차간 자율관제시스템도 중요한 연구테마로 간주되고 있다.

열차운행제어는 열차운영의 최종단계로 관련시스템의 기술에 많은 영향을 받는다. 최근 관련기술의 활발한 연구와 발전으로 열차운행제어기술은 점점 최적의 의사결정을 지원하는 시스템으로 변해갈 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Fumio Kitahara, Autonomous Decentralized Traffic Management System, 2000
- [2] Fumio Kitahara, A train operation control system for the next generation IROS and ATOS, Rail International, 1998
- [3] Takao Iwamoto, Autonomous Decentralized Transport Operation Control System in the Tokyo Metropolis Zone, Japanese Railway Engineering, 1995
- [4] Kazuo Kera, Assurance System Technologies Based on

Autonomous Decentralized System for Large Scale Transport Operation Control System, IEICE/IEEE joint Special Issue on Autonomous Decentralized System

[5] 건설교통부, 대형고밀도 철도역 자동운행제어시스템 기술개발 보고서, 2007

저자소개



홍 순 흠

1983년 3월 서울대학교 전기공학과
 1985년 3월 서울대학교 대학원 전기공학과
 (공학석사)
 1994년 8월 서울대학교 대학원 전기공학과
 (공학박사)
 1985년 3월 - 1988년 5월 현대중공업 중전기
 기술연구소
 1989년 5월 한국고속철도건설공단 전기연구실
 1995년 5월 한국철도기술연구원 운영정보연구팀
 주관심 분야 : 철도운영 및 정보화, 철도운영제어