

철도에너지 효율화를 위한 운전자 지원시스템 적용방안 연구

A study on application plan of driver assistance system for railway energy efficiency

김영규† 박세영* 고영호** 남희복*** 한문섭****
young-kyu Kim Se-Young Park Young-Ho Ko Hui-Bok Nam Moon-Sub Han

ABSTRACT

Railway has recently played an important role in preventing global warming caused by green house gases and furthering a low carbon green growth, The various railway research centers have conducted facilitated studies on saving energy. In particular, urban railway has emerged as the best means of public transportation in terms of punctuality, safety and environmentally friendliness. There are various ways to save energy in terms of operation of urban railway system, and they can be generally divided into hardware aspects that pertain to structure of vehicles and development of control system and software aspects that pertain to effective operation of trains based on operation patterns and diagram control.

In this paper, we investigated drive assistance system for railway energy efficiency. The railway operation patterns and train diagram management programs were researched.

1. 서론

세계는 친환경 사회를 만들면서 경제성장도 이룩할 수 있는 저탄소 사회로 이동 중이며, 우리 정부도 이에 맞춰 저탄소 녹색성장이라는 국가비전을 발표하고 수송 효율성, 에너지 효율성, 친환경성, 안전성 등의 강점을 가진 철도에 주목하기 시작하였다. 현재 우리나라는 화석연료 의존도가 높고, 신재생에너지 보급 수준이 미미하며, 향후 글로벌 에너지·자원의 고갈 및 수급에 관한 위기가 심화될 것으로 예상됨에 따라 에너지 절감은 국가 경제에 중요한 요소로 작용하게 될 것으로 예측된다. 따라서 철도에서 사용되는 에너지의 효율화 및 대량의 에너지를 사용하게 될 전기철도 시스템에서의 에너지 절약대책과 에너지 재사용을 위한 운용 효율화 방안이 시급하다. 특히 대용량 에너지를 필요로 하는 철도시스템의 운용비용이 급격히 증가되므로 에너지 효율화 기술개발이 필요하다.

서울메트로의 2008년 사용전력량을 기준으로 보았을 때 전체 전력사용량의 약 68.7% 정도는 전동차 운행에 나머지 31.3% 정도는 일반시설물 및 차량기지 관리용으로 사용되고 있으며, 역사의 조명, 에스컬레이터, 공조 및 냉난방시설 등으로 사용되는 고배용 전력은 이용승객의 서비스 향상을 위해 전력절감에 한계가 있고, 전기설비 증가 및 온난화 영향으로 전력사용량의 증가 등 여러 가지 문제점이 나타나므로 전력량의 많은 비중을 차지하는 운행 중인 열차의 사용 전력량을 감소시키는 방법을 연구하는 것이 보다 효과적일 것이다.

† 정회원, 철도전문대학원 박사과정, 서울메트로 기술연구소 차장
E-mail : pocari257@seoulmetro.co.kr
TEL : (02)6110-5897 FAX : (02)6110-5338

* 정회원, 서울메트로, 기술연구소, 선임

** 정회원, 서울메트로, 기술연구소, 부장

*** 비회원, 서울메트로, 기술연구소, 과장

**** 정회원, 한국철도기술연구원, 전철전력연구실, 책임연구원

철도차량의 에너지 효율화 방안은 크게 부품 및 차체 경량화를 위한 차량설계 개선, 연료전지-하이브리드 배터리와 같은 대체에너지원 사용 등의 하드웨어 분야와 열차운전방식 및 다이어그램 개선 등의 소프트웨어 분야로 구분 할 수 있다. 하드웨어 분야는 에너지 저감효과가 큰 반면 많은 개발비용 및 장시간이 요구되며, 적용을 위한 새로운 시설 및 기존 시스템의 개선이 필요하다. 반면, 소프트웨어 분야는 적은 비용으로 개발이 가능하며, 비교적 수월한 적용으로 기존 철도에도 사용이 가능한 장점이 있다. 본 논문에서는 도시철도의 에너지 효율화를 위해 열차운전측면에서의 문제점을 분석하고 이에 맞는 열차운전패턴 및 열차군 관리 프로그램 개발 시 효과적으로 적용하기 위해 필요한 운전자 지원시스템의 적용방안을 도출하고자 한다.

2. 본론

2.1 에너지 관점에서 국내 도시철도 열차운전의 문제점(서울메트로 기준)

2.1.1. 열차운행시간표 작성 측면

현행 열차운행시간표는 지하철 수송계획 및 수송수요 변화 등 수송수요에 적합한 최적의 수송력 설정으로 지하철 이용고객의 교통편의 증진과 합리적 운용을 우선적으로 고려하여 제정하고 있으며, 수송력 과잉공급을 해소하고 전동차 무동력(타행) 운전시간 증가 및 제동취급감소로 전력사용량 절감을 위해 운전시간에 여유율을 반영하고 있다.

표 1. 서울메트로 현행 열차운행시간표 제정 시 고려사항

목 적	고려 사항
이용시민의 교통편의 증진	<ul style="list-style-type: none"> - 최고혼잡 시간대 열차 집중 투입 및 운행시격 단축 - 타 노선과의 환승고려 - 일부 열차지연에 대한 탄력성 및 정시성 회복능력 고려 - 열차 정차시간 단축
경영개선 도모	<ul style="list-style-type: none"> - 수송수요에 적합한 최적의 수송력을 위해 요일별, 시간대별, 구간별 운행시격을 차등 적용 - 구간 반복열차 운행

그러나 전동차가 운행함에 있어 특정 노선 및 시간대에서는 열차운행시간표에 맞추어 운행하는 것은 어려움이 있다. 서울지하철 2호선 외선(신도림~잠실)의 경우 출근시간대 승객으로 인해 전동차 내 혼잡도가 220%에 달하고, 승객혼잡으로 각 역에서의 정차시분(30초) 초과로 각 역마다 정차 시 운행시간이 누적 지연되고, 뒤따라오는 열차가 가다서다를 반복함으로써 열차운행시간표에 따른 운행이 되지 못하며, 이는 곧 차량에너지 손실로 나타나게 된다.

또한 위의 고려사항만으로는 에너지 효율 운행 측면에서는 다소 미흡한 점이 있다. 도시철도는 시격이 짧고 출발-정차의 반복이 매우 빈번한 운전특성을 가지고 있다. 동일 전력공급계통 내에서 개별 열차들이 각 역에서 출발-정차를 반복할 때, 여러 대의 열차가 동일한 전력공급 계통에서 동시에 출발할 경우 상당히 큰 기동전류가 발생할 수 있으며 이러한 과도적인 대규모 기동전류는 전기 에너지의 열 손실로 귀결된다. 또한 전동차의 전기제동으로 인해 직류모선으로 회생된 에너지는 같은 직류구간내의 다른 전동차에서 소비될 수 있지만, 동일구간의 직류모선의 주행 중인 전동차가 없거나 회생된 에너지가 인접한 전동차에서 필요한 전력보다 많으면 직류모선의 전압은 점점 더 상승하게 되고 가선전압이 1,800V 이상 상승하면 저항을 통해 열에너지로 전력을 소모하여 과전압으로부터 시스템을 보호하게 되어 에너지 효율성을 저하하는 요소가 된다. 따라서 각종 운영 제약을 만족시키며, 이용승객의 수송수요에 적합한 최적의 수송력을 바탕으로 수송력 전력공급 계통 단위별로 열차의 군을 설정하고, 설정된 열차

군 들을 중심으로 각 역에서의 출발·기동시간을 분산 관리하여 전동차의 동시 기동방지 및 회생에너지의 재활용을 만족시키는 열차운전시간표 작성이 요구된다.

2.1.2 열차 운행패턴 측면

기존의 운행패턴은 에너지 이용 효율화에 대한 인식은 있었으나 열차 지연 요소 해소, 정시 승하차 등의 승객 편의 및 안전이 최우선이었으므로 구간의 구배나 곡선 및 승강장 속도제한 등의 안전을 위한 운전취급규정, 운전 상황에 따른 기관사의 경험과 습관에 따라 단순화된 측면이 있었다. 따라서 에너지 이용 효율화를 위해 전동차 이용승객의 편의 및 안전을 고려하면서 전력사용을 최소화 할 수 있는 호선별 에너지 절감형 운전패턴 개발이 필요하다. 에너지 절감형 운전패턴은 적절한 동력운전 및 역간 선로 특성을 파악하여 이를 이용한 동력운전과 내림기울기 및 제한속도 등을 이용한 적절한 무동력 운전이 필요하며, 제동 시 적절한 초기제동과 일정한 감속도를 유지한 후 정차 직전 계단완해에 의한 정차 제동취급을 통해 빈번한 제동취급에 의한 전력낭비를 방지해야 할 것이다.

2.2. 해외 철도의 운전자 지원시스템 개발 현황 검토

해외에서는 열차운행패턴 및 열차군 관리 연구결과를 토대로 에너지효율을 향상하기 위한 Driver Assistance System의 시제품을 제작·테스트하거나 실용화하였다. 지멘스와 베를린 기술대학교에서 개발된 지멘스 메트로마이저는 경전철, 교외선 및 지하철 시스템을 위한 운전 권고 시스템으로 시간표 최적화 모듈을 가지고 있다. 이 모듈은 시각표의 에너지 효율성을 점검하는 차량기반의 소프트웨어 프로그램으로 차량의 특성, 지형 및 승객유동을 고려하여 기존의 운행 시간표에 맞춰 에너지 최적화된 새로운 시각표를 작성한다.



그림 1. 해외 철도 운전자 지원시스템 현장적용

TU Delft는 견인에너지 소비량을 줄이기 위해 타행운전을 효율적으로 사용하기 위한 장치로 타행운전의 시작과 끝을 시각 및 음향 효과를 사용하여 알려주는 ENAFlex-S를 시제품으로 제작하여 실제 운행 중인 전기기관차에 설치하였고, 테스트 결과 약 15%의 에너지 절감효과가 있는 것을 확인하였다. 또한 봄바르디어의 EBI Drive 50은 열차의 운행경로와 관계된 지형 및 특성, 열차다이어, 현재위치 및 시간 등을 종합적으로 연산하여 설정된 열차시간표에 따라 에너지 소비를 최소화할 수 있는 속도, 가·감속도 정보를 운전자에게 제공한다. EBI Drive 50은 15% 정도의 견인에너지를 절약할 수 있는 것으로 나타났다.

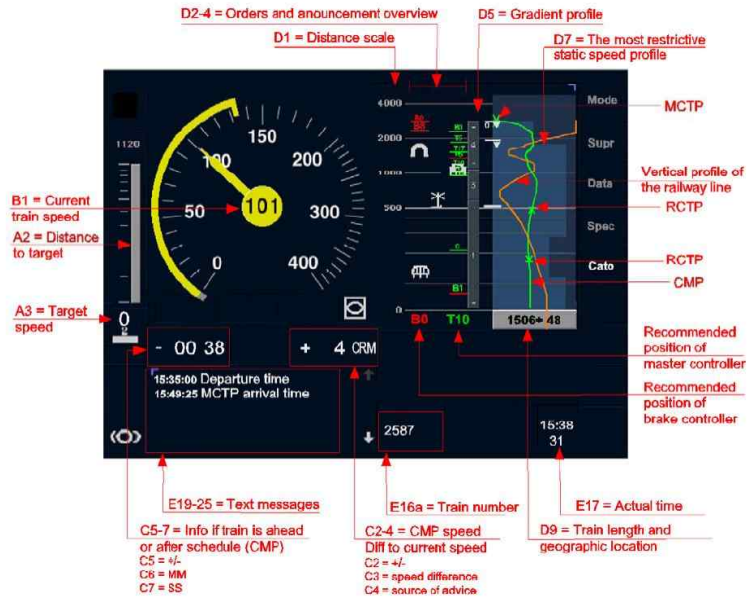


그림 2. 해외 철도 운전자 지원시스템 Display 예시

2.3 국내 도시철도의 운전자 지원시스템 적용방안 고찰

앞선 해외철도의 사례에서 보는바와 같이 연구개발된 열차운행패턴 및 열차군 관리 결과물을 운전자 지원시스템에 적용하여 이용한 결과 상당한 효용성을 보였다. 국내 철도분야에서도 에너지 저감방안에 관심이 고조됨에 따라 열차운행패턴 및 열차군 관리에 대한 연구가 진행 중이거나 결과물이 나오고 있으며, 이 결과물들을 테스트하거나 상용화하기 위해서 운전자 지원시스템은 필수적이라고 할 수 있을 것이다. 현재 운영중인 전동차에 운전자 지원시스템 사용을 위해서는 기관사가 Eco-driving 및 실시간 열차군 관리에 의한 정보를 모니터링하여 열차를 조작할 수 있는 별도의 hardware 및 software를 설치해야 하며, 신호시스템 및 관제시스템 등 타 시스템과의 interface가 고려되어야 할 것이다.

2.3.1 운전자 지원시스템 개발 및 적용을 위한 선행 조건

Eco-driving 운전패턴을 적용하기 위해서 각 운영기관의 호선별 특성에 맞는 표준 수동운전 유형 및 소비전력 절감 운전기법 개발로 에너지 이용효율화에 대한 개념뿐만 아니라 열차 지연 요소 해소, 정시 승하차 등의 승객 편의 및 안전 역시 만족되어야 할 것이다. Eco-driving을 위해서는 시스템의 구성뿐만 아니라 운전자의 driving style의 변화 역시 중요하다. 따라서 운전패턴에 대한 운전자의 마인드 변화 및 교육을 통한 운전유형 분석, 지도, 관리와 인센티브 제공, 포상 등의 동기부여로 운전자의 운전습성 개선을 위한 노력이 필요하다.

에너지 효율적 열차군 관리를 위해서는 운행 중인 열차군 들을 각 역에서 출발·기동시간을 분산 관리 및 특정시점에서 열차의 출발과 도착이 일치되어 회생전력의 이용을 극대화할 수 있어야 하며, 승객 혼잡으로 인한 열차지연을 해소할 수 있는 실시간 열차군 관리 프로그램의 효율성을 위해 열차운행시간 표 제정 시 정확한 수송수요 추정 및 일부 열차지연을 고려 열차운행시각의 탄력성 및 정시성 회복이 가능하고 전동차 무동력(타행) 운전시간 증가 및 제동취급감소로 전력사용량 절감을 위해 운전시간에 적절한 여유율 반영이 요구된다.

2.3.2 TCMS Data의 활용

운전자 지원시스템에 사용될 수 있는 기초 Data는 현재 열차에 탑재되어 사용되고 있는 TCMS를 이용할 수 있다. TCMS(Train Control and Monitoring System)는 최신의 반도체 기술, 소프트웨어 기술과 데이터 커뮤니케이션 기술을 이용한 중앙 집중식 차내 정보 제어(Centralized Control of On-board

Information)를 위한 마이크로컴퓨터 시스템이다. TCMS는 직렬 전송선을 차량에 있는 터미널과 연결시켜 차내 장치들을 집중적으로 제어 및 모니터링하는 열차정보관리시스템으로 운전자들에게 차량의 운행정보를 제공한다.

표 2. TCMS에서 제공되는 정보

정보 구분	제공 Data
기본 운행정보	○ 현재의 날짜 및 시간 ○ 주행거리 ○ 차량의 속도 ○ 현재역 및 다음역 ○ 신 호 : ATS-00(00 : G, Y, YY, R1, RO, SO) ○ 역행 및 제동노치(P 00%/B 00%(PWM Duty))
장치정보(TM)	○ TM 전류값
검수정보	○ VVVF 인버터 및 SIV 적산전력량(역행/회생 시)

2.3.3 운전자 지원시스템의 제공 정보

에너지 효율에 입각한 운전자에게 제공되는 정보는 크게 운전자의 운전패턴 및 열차다이어이다. 운전 정보에는 현재 시간, 열차의 위치, 역간 정보 및 운행거리, 현재속도와 목표속도 등이 제공되어야 하며, 이 중 목표속도는 열차다이어, 열차위치, 차량특성, 선로정보(구배 및 곡선), 구간별 열차제한속도, 표준 운전법 등의 기초 자료를 토대로 연산되어 운전자가 목표속도의 설정에 맞추어 가속, 타행, 제동의 운전법을 추천해야 한다. 운전자의 사용 편의성 및 조작의 안전성을 위해 display 뿐만 아니라 음향효과도 제공하여야 할 것이다.



그림 3. 운전자 지원시스템 제공정보 예시

3. 결론

본 논문에서는 도시철도의 에너지 효율화를 위해 열차운전측면에서의 열차운행패턴 및 열차다이어의 운행상의 문제점을 살펴보고, 이에 맞는 열차운전패턴 및 열차군 관리 프로그램 개발 시 효과적으로 적용하기 위해 필요한 운전자 지원시스템의 적용방안을 살펴보았다. 운전자 지원시스템의 기초Data를 위해서는 에너지효율화를 위한 적용 노선의 표준운전법 및 열차다이어가 필요하며, 현 운행 중인 열차의 TCMS의 Data를 사용할 수 있다. 또한 운전자 지원시스템의 효과적 적용을 위해 display에는 기초자료를 토대로 연산된 운전자의 목표속도의 설정에 맞추어 가속, 타행, 제동의 운전법을 제공할 수 있는 정보제공 및 운전자의 사용 편의성 및 조작 안정성을 위해 음향효과도 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김영규외 3명, “도시철도 열차운전에너지 효율화를 위한 조사 분석 연구”, 한국철도기술연구원 2009년 주요사업 위탁연구보고서, 2009
2. 서울메트로, “운전계획 업무 매뉴얼”, 2008
3. 서울메트로, 운전취급용 열차운전시간표, 2009
4. 서울메트로, “2009년도 주요업무 및 통계자료”, 2009
5. 김영규외 5명, “도시철도 운전에너지 효율화를 위한 조사 분석 연구”, 한국철도학회 2009년도 춘계학술대회논문집, 2009.5, pp. 612~618