

실시간 운행 스케줄을 기반으로 한 에너지 효율적인 열차자동운전시스템에 대한 고찰

A Study on the Energy-Efficient Automatic Train Operation System Based on the Real-Time Operation Schedule

이기정*, 이재원*[†], 김경식*

Ki Jeong Lee*, Jae Won Lee*[†], Kyoung Shik Kim*

초 록 유럽형 열차제어시스템(ETCS; European Train Control System)이 Level 3가 됨에 따라 에너지 효율적인 운행에 대한 요구사항이 추가되어 이를 만족하는 열차자동운전시스템 알고리즘을 고안하였다. 열차가 출발할 때 선로/운영 정보에 맞게 에너지 효율적인 운행 프로파일을 작성하고 작성된 프로파일대로 운행한다. 운행 중 운영 스케줄이 변동되는 경우에 능동적으로 대응하여 변경된 정보에 맞게 실시간으로 운행 프로파일을 재작성한다. 운영 스케줄이 촉박할 경우에는 All-Out 모드로 운행하여 운영시간을 준수하고, 운영 스케줄이 여유로울 경우에는 에너지 효율적인 패턴으로 운행한다. 실제 도시철도 노선의 선로 정보에 새로 고안한 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 진행한 결과, 에너지 소비량이 기존 운행 대비 약 14% 저감되는 것을 예측할 수 있었다.

주요어 : 열차자동운전시스템, ETCS Level 3, 스케줄 운행, 에너지 효율적 운행, 운영/선로 정보

1. 서 론

일반/고속 철도의 열차제어시스템으로 사용되는 유럽형 열차제어시스템(ETCS)에 무선통신 기반의 Level 3가 적용됨에 따라 에너지 효율적인 운행에 대한 ETCS 요구사항이 추가되었다. 본 논문에서는 이러한 요구사항을 반영한 열차자동운전시스템을 소개하고, 실제 도시철도 노선 정보로 시뮬레이션을 진행해 예상 에너지 소비량을 비교하였다.

2. 본 론

2.1 열차제어시스템 요구사항

유럽형 열차제어시스템(ETCS) Level 3에서

추가된 요구사항이 반영된 새로운 열차자동운전시스템은 열차 운행 중 운영 스케줄 변경 사항을 실시간으로 반영하며 에너지 효율적으로 운행해야 한다.

2.2 열차자동운전시스템 소개

열차 출발 전, 열차의 도착 목표 지점까지 선로/운영 정보에 맞게 에너지 효율적인 운행 프로파일을 작성한다. 운행 중에도 실시간으로 변경되는 선로/운영 정보를 반영하여 운행 프로파일을 수정하게 된다. 운영 스케줄이 여유로울 경우에는 에너지 효율적인 운행 프로파일을 작성하여 운행하고, 촉박할 경우에는 All-Out 모드로 운행하여 운영 스케줄을 맞춘다.

ETCS Level 3에서 열차자동운전시스템은 에너지 효율적인 운행을 하는 것도 중요한 요구사항이지만, 운영 스케줄 준수를 최우선 운영 목표로 한다. 만약 정해진 시간 이내에 목표 지점에 도착하지 못할 것으로 예상되면

[†] 교신저자: 현대로템 철도기술연구소 신호시스템팀 (leeway7@hyundai-rottem.co.kr)

* 현대로템 철도기술연구소 신호시스템팀

Table 1 서울 5호선(아차산-군자 구간) 실제 운행 기록과 새롭게 고안한 알고리즘의 에너지 소비량 비교 (단위 : m·kWh)

	Powering 구간	Braking 구간	합계
서울5호선 실제 운행 기록	57042	15259	41783
고안한 알고리즘	41458	5452	36006
합계 값 비교			실제 운행 기록 대비 약 86%

지상으로 보고한다. 열차자동운전시스템은 위와 같이 열차가 목표 지점에 도착할 때까지 남은 거리와 시간을 확인하고 운행 프로파일을 실시간으로 수정한다.

2.3 열차자동운전시스템 에너지 소비량 시뮬레이션

서울 도시철도 선로 정보에 새로 고안한 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 아래 수식은 에너지 소비량 예측 값을 계산하는 방법을 나타낸다.

(1) 속도 효율을 고려한 견인 에너지

$$J_m = \int_0^x \frac{1}{\eta_t} u_r dx [Joule] = \frac{1}{3,600,000} \int_0^x \frac{1}{\eta_t} u_r dx [kwh]$$

J : Motor 소비에너지, 1Joule = $\frac{1}{3,600,000}$ kwh

$\eta_t(v)$: Traction Motor 효율, X : 변위

(2) 속도 효율을 고려한 회생제동 에너지

$$J_r = \int_0^x \eta_t b_e dx [Joule] = \frac{1}{3,600,000} \int_0^x \eta_t b_e dx [kwh]$$

(3) 회생제동에너지를 포함한 에너지 계산

$$J = J_m - J_r$$

시뮬레이션을 통해 계산한 결과, 에너지 효율적인 운행을 했을 경우에 에너지 소비량은 **Table 1**과 같이 기존 대비 약 14% 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 초기 가정으로 제한된 조건에서 시뮬레이션이 진행되었고, 역 간 거리도 약 1~2 km에 불과하다는 한계점이 있었다. 일반/고속 철도 노선에 비해 짧은 역 간 거리의 시뮬레이션이었기 때

문에 보다 현실적인 시뮬레이션이 되기 위해서는 추가적인 조건 고려가 필요하다.

3. 결론

일반/고속 철도 노선의 ETCS Level 3에서 추가된 요구사항에 따라 스케줄을 준수하고 에너지 효율적인 열차자동운전시스템 알고리즘을 고안하였다. 실제 노선 정보에 고안된 열차자동운전시스템 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 진행하였고, 에너지 소비량이 감소하는 예측 값을 얻었다. 이를 통해 노선 운영에 있어 정시성 증가와 효율적인 선로 이용뿐만 아니라 에너지 효율적인 운행 그리고 운영비 절감 효과도 볼 수 있을 것으로 기대한다.

후 기

이 논문은 국토교통과학기술진흥원에서 지원한 "자동운전을 지원하는 ETCS L3급 고속철도용 열차제어시스템 핵심기술 및 궤도회로 기능 대체기술 개발" 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] ERTMS Users Group (2016) *ATO OVER ETCS OPERATIONAL REQUIREMENTS*, pp.9-34
 [2] 김명한 외 3명 (2017) *고효율 운행 패턴 알고리즘 개발 및 검증*, 2017 한국철도학회 추계학술대회