

철도차량의 주행에너지 절약을 위한 열차 주행 패턴 모델링

김정현[○], 김상훈^{*}, 신한철^{**}, 이세훈^{***}

[○]** 서울도시철도공사 정보화기획단, ^{*}(주)나노월드엘이디 연구소장, ^{**}인하공업전문대 컴퓨터시스템과
e-mail: hyunie78@naver.com, conman28@naver.com, shc171717@hanmil.net, seihoon@inhac.ac.kr

Modeling of the driving pattern for energy saving of the railway vehicles

Jung-Hyun Kim[○], Sang-Hoon Kim^{*}, Han-Chul Shin^{**}, Se-Hoon Lee^{***}

[○]Seoul Metropolitan Rapid Transit Co. IT Planning Division

^{*}NanoWorld LED Co.Ltd Director of R&D

^{**}Seoul Metropolitan Rapid Transit Co. IT Planning Division

^{***}Dept. of Computer Systems & Engineering, Inha Tech. College

● 요약 ●

철도기술의 발전 이후 현재 도시철도에서는 국내 처음으로 열차의 안전한 운행 제어를 위한 자동/무인 운전이 가능한 자동 열차 운행 장치(ATO)를 도입해 안정적으로 정시 운행을 하고 있다. ATO 자동운전은 제어기준 값(목표속도)과 피드백 값(실제속도) 간의 오차에 의한 전동차의 역행과 제동을 반복함으로 에너지 효율 낮다. 본 논문에서는 고정된 역간 거리를 정해진 운전 시분 내에 주행에너지를 최소화하며 주행하는 열차의 특성을 파악하고 모델링한다. 따라서 5호선 실 노선 구간별 운전시분 내에서 실측 데이터 분석을 위해 직선구간/구배구간/곡선구간 등 구간을 선정하고 그 구간에서 열차의 주행패턴에 따라 변화하는 주행 에너지를 최소화하는 최적의 주행 패턴을 제시하였다.

키워드: 열차주행 패턴, 주행에너지, 운전시분

● Abstract ●

Since the development of railway technology, the current urban Railway the first train line in the country for safe operation control automatic/unattended operation, automatic train operation equipment available (ATO) on time and reliable operation has introduced. ATO Automatic operation controlled by the value (Target velocity) and the feedback value (Actual velocity) by the error between the backing and braking of the train by repeated low energy efficiency. In this paper, given a fixed distance stations between time operation with minimal energy in the driving characteristics and driving trains are modeled. Therefore, in line 5 real route time sectional drive straight sections for experimental data analysis / draft Section / curved and section of the train on that line is selected according to the changing driving patterns to minimize the energy optimal driving patterns were presented.

Keyword: Train driving pattern, Driving energy consumption, Driving time

I. 서론

도시철도 시스템 운영에 있어 에너지절약 방법에는 여러 가지가 있으며, 본 논문에서는 자동운행 제어에 사용되는 PID 제어기의 주행에너지를 최소화 할 수 있는 열차 주행 패턴을 모델링하고자 한다.

II. 본론

1. 연구 배경

도시철도에서 사용되는 연간 사용전력량의 약 65% 정도는 전차용이고, 나머지 35% 정도는 고배용 이다. 고배용 전력은 전력질감에 한계가 있으며, 운행 중인 열차의 사용 전력량을 감소시키는 방법을 연구하는 것이 보다 효과적일 것이다.

2. 도시철도 차량 시스템

2.1 열차의 주행 패턴

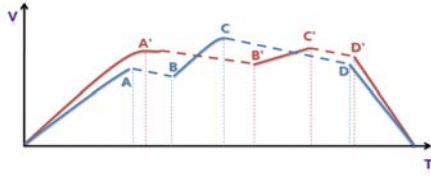


그림 2-1 송정-마곡 주행패턴

Fig 2-1 SongJeong - Magok Driving Pattern

그림 2-1은 역행-타행-역행-타행-제동의 운전패턴을 보여주고 있다. 최초 역행 시 최고속도를 더 높여 가속한 경우의 A'패턴과 낮은 속도에서 타행을 시작한 A패턴을 보여주고 있다.

2.2 열차의 주행에 따른 소비에너지

열차의 운동은 평탄한 궤도를 따라 움직이는 하나의 질점의 운동으로 가정하고 다음 미분방정식을 만족한다.

$$v(t) = \frac{dx}{dt} \quad (2.1)$$

$$m\ddot{x} = F(t) - R(v(t)) + G(x(t)) \quad (2.2)$$

t는 시간, $x(t)$ 는 열차의 위치, $v(t)$ 는 열차의 속도, m은 열차의 질량, $F(t)$ 는 열차에 가해진 힘의 성분 $-R(v(t))$ 는 주행저항, 그리고 $G(x(t))$ 는 구배저항을 말한다.

$$x(\tau) = \int_0^\tau v(t) dt \quad (2.3)$$

열차의 주행에 따른 전체 소비에너지 $J[kwh]$ 는 가속에 의해 소비된 양(+)의 방향의 힘 $F_+(t)$ 에 의해 계산되며 다음과 같다.

$$J = \int_0^T F_+(t)v(t) dt \quad (2.4)$$

3. 실측치 분석 및 고찰

1. 측정방법

운전패턴에 따른 전력소비량을 분석하기 위하여 실노선 구간을 선정해 미리 준비해둔 주행패턴대로 실시하였다. 계획 운전시분 내에서 운전한 것으로 승객이 비혼잡 시간 /같은 시각 3회에 걸쳐 열차 주행 패턴을 다르게 하여 운전을 시행했다.

2. 도심구간 열차운행유형 분석

2.1 송정역 -마곡역 구간

표 3-1 송정-마곡 운전데이터

Table 3-1 SongJeong -Magok Driving Data

구분	A	B	C
구간	역간거리 1.1[km] - 소요시간 100초		
주행최고속도	71	68	64
역행시간(s)	28	25	21
표정속도[km/h]	33,5	33	31
소비전력량[kwh]	22,1	17,8	15,3

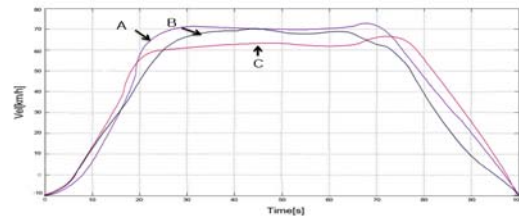


그림 3-1 송정-마곡 주행패턴

Fig 3-1 SongJeong -Magok Driving Pattern

III. 결론

출발 후 역행(Powering)시간이 길수록 주행에너지 소비가 증가되었고 운행 중 타행시점을 먼저 선정하는 것에 의해 주행에너지가 감소되는 것을 알 수 있었다. 따라서 운행 중 승객의 승하차 시간 단축 등 여유 운전 시분이 생기면 최고속도를 낮추어 운행할 수 있고 이에 따라 주행 에너지를 줄 일 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] P.G Howlett and P.J Pudney 『Energy-Efficient Train Control』 Springer, 1995
- [2] 한성호, 안태기, 김원경, 조연옥 『에너지 최소화를 위한 열차 최적운전제어 기법』 대한 전기 학회 1998년도 하계학술대회 논문집 A, 1998
- [3] 서석철 『서울도시철도공사의 열차운행제어 시스템』 한국철도 기술 1999년 19호, 1999
- [4] 김의일 『운전이론』 한국철도운전기술협회, 1999
- [5] 『서울지하철 5호선 전차정비 지침서』 서울시 지하철건설 본부, 서울 도시철도공사, 1995