

고정폐색방식에서 열차 정위치 최적제어에 관한 연구

A Study on Optimal Control of Rolling Stock for Precise Position Stop under Fixed Block Systems

권오학*, 전태현**†

Ohak Kwon*, Taehyun Jeon**†

Abstract It is important to stop the rolling stock at a precise position in case of unmanned operation and automated operation system. It is also necessary especially for the PSD (Platform Screen Door) installed stations. The precise stop consists of two parts; setting the brake timing and controlling the speed based on the pre-set brake point. In order to stop the rolling stock at a precise position, the optimum control of the proper breaking power and acceleration be necessary. This paper is on the train system modeling and the PID control method for the realization of precise stop of rolling stock.

Keywords : ATO, Fixed Block System, Precise Position Stop, Optimal Control

초 록 철도차량의 정위치 정차는 무인운전, 자동운전에 중요한 요소 중 하나이다. 정위치 정차는 승강장 스크린도어(Platform Screen Door)가 설치된 역에서는 반드시 필요하다. 정위치 정차는 제동체결 시점과 정차점을 미리 설정하여 열차속도를 제어하는 방법으로 이루어진다. 정위치 정차를 위해서는 열차속도를 제어하도록 적절한 제동력과 가속을 하여야 한다. 본 논문에서는 정위치 정차를 위하여, 열차 시스템을 모델링하고, PID제어 방법을 이용하여 정위치 정차를 구현한다.

주요어 : ATO, 고정폐색방식, 정위치정차, 최적제어, PID제어

1. 서 론

도시철도에서 열차의 정위치 정차는 중요한 요소이다. 최근에는 신분당선의 무인운전까지 도입되면서 더욱 그러하다. 도시철도 9호선 철도차량에는 자동열차운행장치(ATO: Automatic Train Operation)가 도입되면서 무인 및 자동운전이 가능하게 되었다 [1]. 자동열차운행장치(ATO)에는 일반적으로 PI(Proportional Integral) 제어 이론이 적용되고 있으며, 목표속도가 주어지고 목표속도와 실제속도의 오차를 보상하여 자동운전을 함으로써 무인운전까지 가능하게 되었다. PI제어를 적용한 도시철도차량 자동주행 제어는 목표속도를 추종하여 충동률(Jerk) 한계를 만족하면서 정해진 시간 내에 정차지점에 정확히 정위치 정차를 목표로 한다. 이러한 방식은 고정폐색에서의 차상연산장치(Distance to go) 방식이라고 한다[2].

† 교신저자: 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수(thjeon@seoultech.ac.kr)

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 석사과정

** 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수(thjeon@seoultech.ac.kr)

본 논문에서는 차상연산장치 방식으로 운행 중인 도시철도 서울 9호선의 열차시스템을 모델링하고, PI제어 방법을 이용하여 정위치 정차를 구현한다.

2. 전동열차 모델링

그림1 은 전동열차 운행에 관련된 힘의 관계를 나타낸다. 전동열차 운행에 관련된 힘은 제동력과 전동열차에 가해진 힘, 주행저항으로 인한 손실, 구배저항으로 인한 손실로 나타낼 수 있다. 본 논문에서 사용한 도시철도 전동열차는 점질량(point mass)을 가정하여 모델링하였다[3].

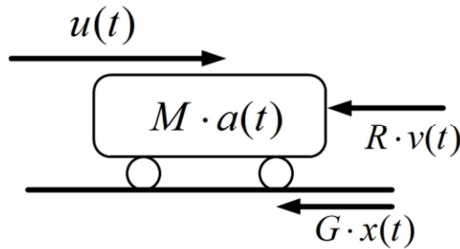


Figure 1. 도시철도 전동열차 모델링

여기서, $u(t)$ 는 제동력, M 은 전동열차의 질량, $a(t)$ 는 전동열차가 받는 가속도, R 은 주행저항, $v(t)$ 는 전동열차의 속도, G 는 구배저항, $x(t)$ 는 전동열차의 제동거리를 나타낸다. 여기서 역행력과 제동력이 동일하고 주행저항은 속도에 비례하는 차륜담면과 레일간의 마찰저항만 존재하고 가정한다. 그림 1을 수식으로 표현하면 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U(t) = Ma(t) + Rv(t) + Gx(t) \quad (1)$$

식 (1)을 제동거리의 식으로 다시 표현하면 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$U(t) = M\dot{x}(t) + R\dot{x}(t) + Gx(t) \quad (2)$$

여기서, 제동거리와 열차 속도의 관계, 제동거리와 열차 가속도의 관계는 각각 식(3), 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$v(t) = \dot{x}(t) \quad (3)$$

$$a(t) = \dot{v}(t) = \ddot{x}(t) \quad (4)$$

위 식에서 정립한 전동열차 모델을 통하여 전동열차 정위치 제어를 위한 상태방정식은 식(5)와 같이 나타낼 수 있다[4].

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{v}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \frac{G}{M} & \frac{R}{M} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ v(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{U(t)}{M} \end{bmatrix} \quad (5)$$

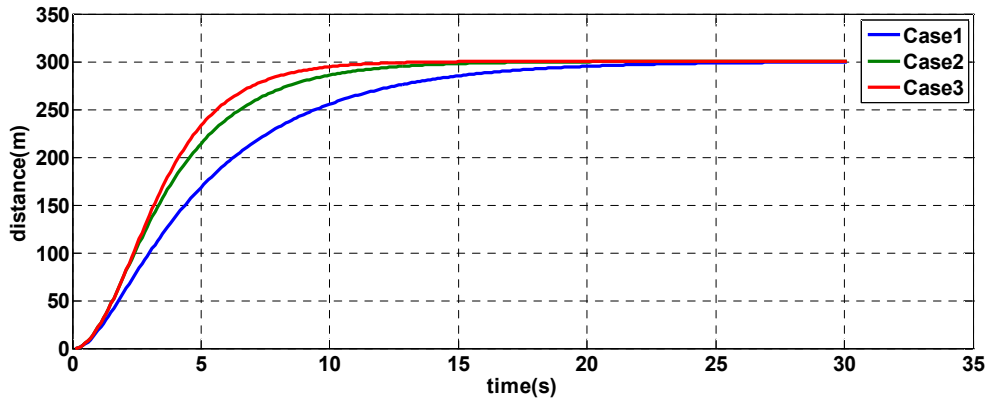


Figure 3. K_{p_in} 값의 변화에 따른 제동곡선

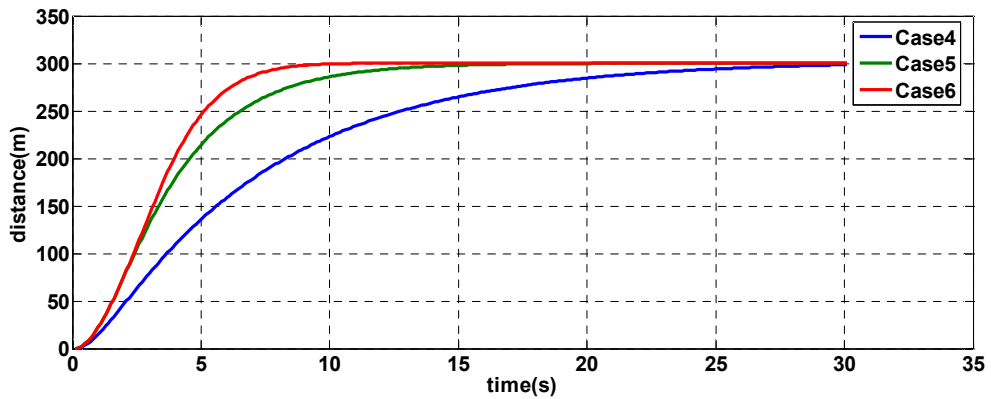


Figure 4. K_{p_out} 값의 변화에 따른 제동곡선

4. 결론

본 논문에서는 도시철도 9호선의 열차제동거리를 속도, 시간 및 전동 열차 시스템에 관련된 파라미터와의 관계를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 주요한 파라미터의 하나로서 파라미터의 gain값인 K_{p_in} 값과 K_{p_out} 의 값의 계인 변화를 선택하였으며, 파라미터 gain 값의 변화에 따른 제동거리를 Matlab Simulink 모듈을 이용하여 실험하였다. 같은 제동거리하고 하더라도 제동력의 차이에 따라 정차 하는데 걸리는 시간이 달라지는 것을 알 수 있다. ATO시스템의 경우는 본선에 비콘이 설치되어 있어, 구간별 최적제어 방법이 가능하며 향후 이러한 정보를 정차위치 제어에 활용하는 경우 향상된 정밀도를 가지는 정위치 정차가 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Lee, Kyoung-Bok, Lee, Heui-Seon, Kim, Jin-Soo et al. (2010) Study for improve the tracing stopping ratio of ATO train through Brake maintenance System, *The Korean Society for Railway*, pp.2249-2257.
- [2] J. M. Lee, S. H. Park, J. S. Kim et al. (2007) Robust Control of Servo Brake System for Railway Rolling Stoocks, *KFPS Conference*, S4-2, Korea , pp.117~123.
- [3] 김치태, 김동환, 탁길훈 (2005) 최적제어를 이용한 도시철도 차량 주행 제어 연구, 한국철도학회 추계학술대회 논문집.
- [4] 서석철 (2010) 도시철도 정위치 정차에 관한 연구, 서울산업대학교 박사논문집.
- [5] P. Mai, Y. Lu (2006) Dynamic modeling for a rolling coin, *Journal of Sound and Vibration*, 48(6), pp. 753-780.
- [6] Jyh-Cherng Jong (2005) Algorithms for Generating Train Speed Profiles, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, pp. 356-371.