

# 시간지연에 따른 열차의 운행간격 제어알고리즘

## Traffic Regulation Algorithm for Metro Lines with Time Delay

박민기<sup>★</sup>

Min-Kee Park<sup>★</sup>

### Abstract

When a train is delayed because of a disturbance, the time interval deviation between successive trains increases, and high frequency metro lines can become unstable. Thus, it is necessary to control the traffic regularity to prevent any such instability. In this paper, we propose a simple but effective traffic regulation algorithm that guarantees system stability. In the proposed method, the control algorithm for running time is designed using a discrete traffic model where control input is determined from a linear combination of departure time deviations and control input of the preceding train to ensure an optimal time interval between successive trains. The results of the computer simulation are also given to demonstrate the validity of the proposed algorithm.

### 요약

철도운영 시스템에서 외란에 의해 지연이 발생하면 열차 사이의 시간간격 편차가 증가하여 열차운행이 불안정하게 된다. 따라서 이러한 불안정한 열차운행을 방지하기 위하여 열차의 운행간격을 제어하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 철도운영 시스템의 안정성을 보장하는 간단하면서도 효과적인 새로운 열차의 운행간격 제어알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 이산 열차모델에 기반하며 열차의 적절한 운행간격이 유지되도록 출발시간 편차와 선행열차 제어입력의 선형조합에 의해 운행시간을 제어한다. 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 유효성을 보인다.

*Key words : Traffic regulation, Traffic control, Traffic Model, Train interval, Stability*

### 1. 서론

도시철도에서 열차는 시스템의 안정도를 고려하여 사전에 계획된 운행계획에 따라 운행되어야 하지만 외란에 의해 지연이 발생하면 운행계획과의 시간 편차가 발생하고 대기승객이 증가하여 열차운행이 불안정하게 된다. 이러한 불안정한 열차운행을 방지하기 위해서는 열차의 운행간격을 적절하게 제어하는 방법이 필요하다. 따라서

열차의 운행간격을 제어하는 많은 연구가 진행되어 왔는데 대표적인 방법으로 단순제어, 선형제어, 퍼지제어 등이 있다.

단순제어 방법은 몇 가지 실행명령 규칙으로 구성된 알고리즘에 의해 구현되어 간단하고 적용하기 쉬우나 단순한 명령에 의해 제어되기 때문에 성능이 좋지 못하며 지연이 큰 경우에는 전체 운행계획을 재조정해야 하는 어려움이 있다[1-2].

\* Professor, Dept. of Electronic and IT Media Engineering, Seoul National University of Science and Technology

★ Corresponding author

E-mail : mkpark@seoultech.ac.kr, Tel : +82-2-970-6464

Manuscript received Nov. 15, 2022; revised Dec. 13, 2022; accepted Dec. 16, 2022.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

선형제어 방법은 열차제어를 위하여 선형 열차모델을 사용한다[3-6]. Breusegem은 이산이벤트(discrete-event) 접근법으로 선형 열차모델을 제시하고 열차의 안정도를 이론적으로 분석하였으며 열차가 운행계획에 맞추어 운행하도록 상태궤환 제어방법을 제안하였다[4]. 이 방법은 간단하고 최적화된 제어 성능을 보이지만 외란이 큰 경우에는 운행계획을 새로 조정해야하는 등 제어 성능이 크게 저하된다.

선형제어 방법들 중 [5]와 [6]은 열차 사이의 간격을 조정하기 위하여 이산 열차모델에 기반하여 정차시간을 제어하거나 정차시간과 운행시간을 동시에 제어하는 알고리즘을 제안하였다. 이 방법들은 우수한 제어성능을 보이지만 열차지연이 발생하는 경우에는 대기승객의 증가하여 정차시간을 단축시키는 것이 어렵기 때문에 실제로 적용하기에는 한계가 있다.

마지막으로 퍼지제어 방법들은 여러 개의 if-then 규칙을 사용하여 선형제어 방법에 비해 비선형 열차모델의 제어에 우수한 성능을 보이며 비선형 외란에도 강한 특성을 보인다[7-9]. 하지만 이 방법들은 복잡한 제어 규칙을 작성하기가 어렵고 운행정보를 효과적으로 반영한 통합제어기의 설계가 매우 복잡한 단점이 있다.

본 논문에서는 기존 방법들의 단점을 개선하고자 상용 도시철도 노선에서 적용 가능한 간단하면서도 효과적인 새로운 열차의 운행간격 제어알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 이산 열차모델에 기반하며 출발시간 편차와 선형열차 제어입력의 선형조합에 의해 운행시간을 제어함으로써 열차의 운행간격 편차를 최소화한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장 본론의 1절에서는 열차의 이산사건(discrete-event) 운행모델을 제시하고 2절에서는 새로운 열차간격 제어알고리즘을 제안한다. 3절에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 열차의 운행간격 제어알고리즘의 성능이 유효함을 보이고 III장 결론에서는 연구결과 및 향후 연구방향에 대해 기술한다.

## II. 본론

### 1. 열차운행 모델

열차의 운행간격을 제어하기 위해서는 연속된 열차 사이의 시간간격에 대한 정보가 필요하며 따라서 먼저 연속된 열차 사이의 시간간격에 대한 수학적 모델을 구한다[4]. 여기서 열차와 역은 각각 열차와 역의 색인에 의해 구분한다. 위첨자는 열차의 순번을 의미하고 아래첨자는 역의 순번을 의미한다.

$k$ 역에서  $i$ 열차의 출발시간  $t_k^i$ 는 다음과 같이 기술된다.

$$t_k^i = t_{k-1}^i + r_{k-1}^i + s_k^i \quad (1)$$

여기서  $t_{k-1}^i$ 은  $k-1$ 역에서  $i$ 열차의 출발시간,  $r_{k-1}^i$ 는  $k-1$ 역에서  $k$ 역까지 운행시간, 그리고  $s_k^i$ 는  $k$ 역에서 열차의 정차시간이다.

열차의 수와 열차 사이의 간격은 일정하고 운행시간은 열차의 승객수에 의존하지 않는다고 가정하면 운행시간  $r_{k-1}^i$ 는 다음과 같이 기술된다.

$$r_{k-1}^i = R_{k-1} + u_{k-1}^i + w1_{k-1}^i \quad (2)$$

여기서  $R_{k-1}$ 은  $k-1$ 역에서  $k$ 역까지 공칭 운행시간이며  $u_{k-1}^i$ 은 운행시간을 조정하기 위한 제어입력이고  $w1_{k-1}^i$ 은 외란이다.

역에서 탑승객 수는 연속된 두 열차 사이의 시간간격에 비례하고 정차시간은 탑승객 수에 선형종속된다고 가정하면 정차시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s_k^i = S_k + c_k \Delta h_k^i + w2_k^i \quad (3)$$

여기서  $S_k$ 는  $k$ 역에서 열차의 공칭 정차시간,  $c_k$ 는 열차의 운행간격 편차에 의해 발생하는 지연율이며  $w2_k^i$ 는 외란이다.  $\Delta h_k^i$ 는 연속된 열차들의 실제 운행간격과 공칭 운행간격과의 차이이다. 식 (3)의 우변의 두 번째 항은 열차들의 운행간격이 길어지면 승객수가 증가하여 정차시간이 지연됨을 의미한다.

$T_k^i$ 를  $k$ 역에서  $i$ 열차의 공칭 출발시간으로 정의하면 연속된 열차 사이의 공칭 시간간격은 다음과 같이 상수  $H$ 로 정의된다.

$$H = T_k^i - T_k^{i-1} \quad (4)$$

연속된 열차들의 실제 시간간격은 다음과 같이 기술된다.

$$h_k^i = t_k^i - t_k^{i-1} \quad (5)$$

따라서 공칭 시간간격  $H$ 에 대한 연속된 열차 사이의 시간간격 편차는 다음과 같다.

$$\Delta h_k^i = h_k^i - H \quad (6)$$

식 (2)와 (3)을 식 (1)에 대입하면 다음의 열차운행 모델을 얻는다.

$$t_k^i = t_{k-1}^i + R_{k-1} + S_k + c_k \Delta h_k^i + u_{k-1}^i + w^i \quad (7)$$

여기서  $w^i = w1_{k-1}^i + w2_{k-1}^i$ 이다.

식 (7)의 관계식이 본 연구에서 열차의 운행간격 제어를 위해 사용되는데 열차의 출발시간  $t_k^i$ 를 제어입력  $u_{k-1}^i$ 에 의해 조정한다.

외란과 제어입력이 없는 경우에 공칭시간 모델은 다음과 같다.

$$T_k^i = T_{k-1}^i + R_{k-1} + S_k \quad (8)$$

여기서 공칭시간 모델의 경우 연속된 열차들의 실제 운행간격과 공칭 운행간격이 같으므로  $\Delta h_k^i$ 는 영이 된다.

식 (7)에서 식 (8)을 빼고, 식 (4), (5), (6)을 대입하여 정리하면 다음 관계식을 얻는다.

$$(1 - c_k)(t_k^i - T_k^i) = t_{k-1}^i - T_{k-1}^i - c_k(t_{k-1}^{i-1} - T_{k-1}^{i-1}) + u_{k-1}^i + w^i \quad (9)$$

실제 출발시간  $t_k^i$ 와 공칭 출발시간  $T_k^i$ 와의 편차를 식 (10)과 같이  $x_k^i$ 로 정의한다.

$$x_k^i = t_k^i - T_k^i \quad (10)$$

그러면 식 (9)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$(1 - c_k)x_k^i = x_{k-1}^i - c_k x_{k-1}^{i-1} + u_{k-1}^i + w^i \quad (11)$$

식 (11)은 외란과 제어입력에 대하여 시간에 따른 편차들을 기술한다.

## 2. 열차의 운행간격 제어

열차의 운행간격 제어의 목표는 지연이 발생하는 경우 전체 열차시스템이 안정하게 운행되도록 열차의 추가지연을 방지하고 운행간격의 편차를 최소화하여 열차의 운행간격을 일정하게 하는 것이다. 지연이 발생하면 대기 승객의 증가로 정차시간을 줄이는 것은 실제로 적용하기 어려우므로 본 연구에서는 열차들의 운행시간  $r_{k-1}^i$ 만을 적절히 제어하여 열차간격 편차  $\Delta h_k^i$ 가 최소가 되도록 한다. 또한 운행시간의 너무 급격한 변화는 전체 시스템에 충격을 주어 회복하기 어려울 수 있으므로 운행시간

은 15% 내에서 증감할 수 있다고 가정한다.

제어알고리즘은 다음과 같다:

1) 열차간격 편차  $\Delta h_k^i$ 가 0보다 작으면 열차간격이 공칭계획보다 좁음을 의미하며 열차는 ATO(Automatic Train Operation)에 의해 지연모드로 운행하거나 추가 정차를 설정한다.

2) 열차간격 편차  $\Delta h_k^i$ 가 0보다 크면 열차의 지연이 발생한 경우이며 다음 알고리즘에 의해 운행시간을 제어한다. 운행시간 제어는 공칭 시간 계획과의 편차를 이용한다. 식 (11)로부터  $k$ 역에서  $i$ 열차의 시간편차  $x_k^i$ 는  $x_{k-1}^i$ 와  $x_{k-1}^{i-1}$ 에 의존하며 공칭 출발시간  $T_k^i$ 는 상수이므로  $k$ 역에서  $i$ 열차의 출발시간  $t_k^i$ 는  $x_{k-1}^i$ 와  $x_{k-1}^{i-1}$ 에 의해 결정된다. 따라서  $x_{k-1}^{i-1}$ 과  $x_{k-1}^i$ 의 값에 따라 식 (12)의 제어입력을 가하여 출발시간을 조절함으로써 운행간격을 제어할 수 있다.

$$u_{k-1}^i = px_k^{i-1} - qx_{k-1}^i + ru_{k-1}^{i-1} \quad (12)$$

여기서  $p$ ,  $q$ 와  $r$ 은 열차의 혼잡도에 따라 결정되는 상수이며 제어입력은 출발시간 편차와 선행 열차 제어입력의 선형조합으로 구성된다.

식 (12)에서 우변의 세 번째 항은 선행열차의 제어입력이 열차의 운행간격에 영향을 미치므로 선행열차의 제어입력에 따른 열차의 운행간격 변화를 조절하기 위해 추가하였다. 운행간격을 제어하기 위한 입력은 열차간격의 편차가 최소가 되도록 각 열차에 반복적으로 가해진다.

지연이 발생하는 경우 열차의 운행간격을 제어하는 알고리즘에 대한 플로차트를 그림 1에 보이고 있다. 그림에서  $t_k^{i(new)}$ 는 지연이 발생한 경우 제한한 알고리즘에 의해 갱신된  $k$ 역에서  $i$ 열차의 출발시간이다.

열차의 운행간격을 제어하기 위한 성능지표를 식 (13)과 같이 정의한다.

$$J = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(h_k^i - H)^2] \quad (13)$$

여기서  $n$ 은 운행 열차의 수이다. 이 지표는 열차의 운행간격 편차의 제곱 평균값으로 공칭 운행시간 간격  $H$ 에 대한 실제 운행시간 간격  $h_k^i$ 의 편차를 평가하는 것이다. 열차의 운행간격 제어의 목표는 운행계획에 맞추어 열차의 운행시간 간격이 일정하게 유지되도록 성능지표  $J$ 를 최소화하는 것이다.

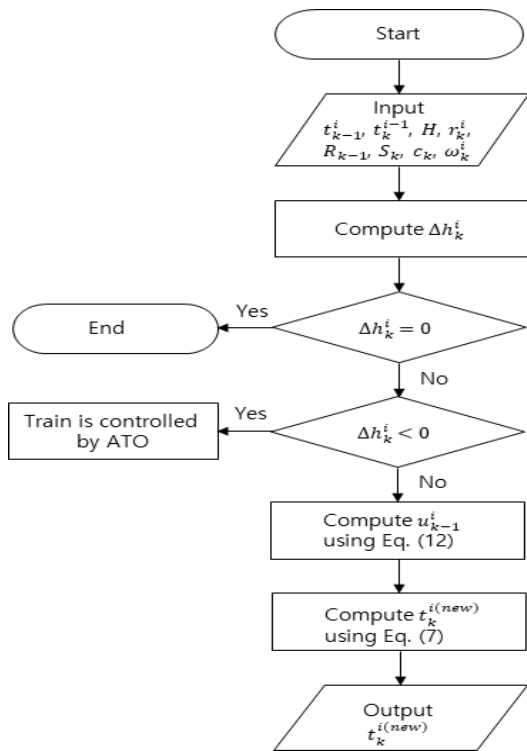


Fig. 1. Traffic regulation Algorithm.  
 그림 1. 열차 운행간격 제어알고리즘

3. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 방법의 유효성을 확인하기 위해

지연이 발생하는 외란 상황에 대하여 제안한 알고리즘을 Matlab을 사용하여 시뮬레이션하고 결과를 분석하였다. 성능을 비교 분석하기 위하여 다음 3가지 경우를 고려한다:

- Case 1: 제어를 하지 않는 경우
- Case 2: 참고문헌 [5]의 방법
- Case 3: 본 논문에서 제안한 방법

시뮬레이션을 위한 열차의 운행조건은 다음과 같다: 공칭 운행시간은 180초이며 공칭 정차시간은 60초이다. 운행 열차 수는 13대이며 지연을  $c_k$ 는 0.02로 설정하였다. 운행시간의 변화는 15%로 제한하며 제어입력에서 상수  $p$ ,  $q$ 와  $r$ 은 모두 0.2로 설정하였다. 이러한 조건에서  $i$ 번째 열차가 120초 지연이 발생한 경우에 대해 시뮬레이션을 통해 열차의 운행간격 편차의 변화를 분석한다. 제안한 알고리즘에 의해 열차의 운행간격을 제어하는 시뮬레이션 결과를 표 1에 보이고 있다.

시간이 경과함에 따라 운행간격의 편차가 감소하며 시스템이 안정함을 알 수 있다. 기존 방법과 비교분석을 위하여 세 가지 경우에 대하여 운행간격 편차의 제공평균값인 성능지표  $J$ 를 계산한 결과가 표 2에 나타나 있으며 시간에 따른 운행간격 편차의 제공평균값의 변화를 그림 2에 보이고 있다. 그림에서 열차간격을 제어하지

Table 1. Time interval deviations regulated by the proposed algorithm.

표 1. 제안한 알고리즘에 의해 조절된 운행간격 편차

Train No.	$i-7$	$i-6$	$i-5$	$i-4$	$i-3$	$i-2$	$i-1$	$i$	$i+1$	$i+2$	$i+3$	$i+4$	$i+5$	$i+6$	$i+7$
Delay time	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Time interval deviation(1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	120.00	-120.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Control input(1) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-24.00	19.20	3.84	0.77	0.15	0.03	0.01	0.00
Time interval deviation(2)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	98.40	-79.20	-15.36	-3.07	-0.61	-0.12	-0.02	0.00
Control input(2) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-19.68	11.90	5.45	1.70	0.46	0.12	0.03	0.01
Time interval deviation(3)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.69	-49.58	-21.81	-6.82	-1.86	-0.47	-0.11	-0.03
Control input(3) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-16.14	6.69	5.70	2.50	0.87	0.27	0.08	0.02
Time interval deviation(4)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.16	-28.37	-22.80	-10.02	-3.49	-1.07	-0.31	-0.08
Control input(4) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-13.23	3.03	5.17	3.04	1.30	0.48	0.16	0.05
Time interval deviation(5)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.25	-13.43	-20.66	-12.15	-5.22	-1.90	-0.62	-0.19
Control input(5) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-10.85	0.52	4.24	3.28	1.70	0.72	0.27	0.09
Time interval deviation(6)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44.49	-3.15	-16.94	-13.10	-6.80	-2.88	-1.08	-0.37
Control input(6) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-8.90	-1.15	3.16	3.25	2.01	0.98	0.41	0.16
Time interval deviation(7)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.48	3.71	-12.64	-13.01	-8.04	-3.91	-1.64	-0.62
Control input(7) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.30	-2.20	2.09	3.02	2.21	1.22	0.57	0.24
Time interval deviation(9)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.91	8.07	-8.35	-12.08	-8.85	-4.90	-2.29	-0.96
Control input(8) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-5.98	-2.81	1.11	2.64	2.30	1.44	0.75	0.34
Time interval deviation(10)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.53	10.65	-4.43	-10.55	-9.19	-5.76	-2.99	-1.36
Control input(9) $U$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.91	-6.05	-3.96	-1.06	0.99	1.95	2.15	2.00
Time interval deviation(11)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	20.11	9.22	-2.63	-7.77	-7.11	-4.74	-2.72	-1.49

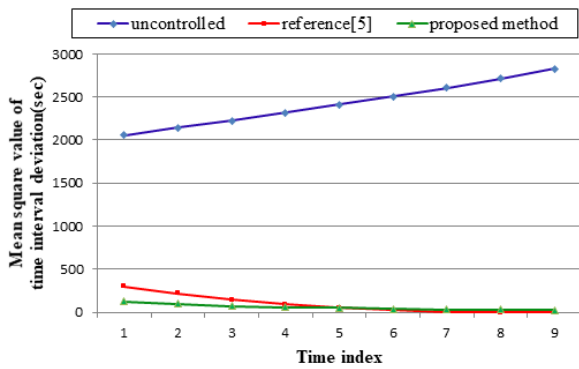


Fig. 2. Evolution of mean square values of time interval deviations.

그림 2. 시간에 따른 운행간격 편차의 제곱평균값의 변화

않는 Case 1의 경우에는 운행간격 편차의 제곱평균값이 점차 증가하는데 이는 성능지표  $J$ 가 점점 증가하여 도시철도가 불안정해짐을 의미한다. Case 2의 경우는 참고문헌 [5]에서 제안한 방법으로 시간이 지남에 따라 운행간격 편차가 빠르게 0으로 수렴하며 시스템이 안정함을 알 수 있다[5]. 하지만 이 방법은 지연이 발생하는 경우 대기승객이 증가하여 정차시간을 줄이는 것은 쉽지 않으며 실제적용하기에는 어려움이 있다. 본 논문에서 제안한 방법인 Case 3의 경우에도 시간이 경과함에 따라 운행간격 편차가 줄어들며 시스템이 안정하게 된다. Case 2와 Case 3의 경우 모두 운행간격 편차를 감소시키는 안정한 제어 성능을 보이지만 표 2에서 성능지표의 평균값은 본 논문에서 제안한 방법이 가장 작음을 알 수 있다. 이러한 시뮬레이션 결과를 통해 본 논문에서 제안한 방법이 간단하면서도 효과적으로 열차의 운행간격을 제어함을 확인할 수 있다.

Table 2. Perform index  $J$

표 2. 성능지표  $J$

Time index	Mean square value of time interval deviations		
	Case 1	Case 2	Case 3
1	2057.14	298.29	127.28
2	2140.25	217.33	97.44
3	2226.72	149.28	76.26
4	2316.68	94.20	61.07
5	2410.27	52.14	50.04
6	2507.65	23.11	41.91
7	2608.96	5.95	35.83
8	2714.36	0.04	31.21
9	2824.02	0.00	25.29
Average	2422.89	93.37	60.70

### III. 결론

본 논문에서는 도시철도 운행시스템에 적용 가능한 간단하고 효과적인 열차의 운행간격 제어 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 제안한 방법의 유효성을 보였다. 제안한 알고리즘에서는 출발시간 편차와 선행열차 제어입력의 선형조합으로 제어입력을 결정하고 운행시간을 조절하여 열차의 운행간격을 제어한다.

제안한 알고리즘을 시뮬레이션한 결과 열차가 지연되는 경우 열차 사이의 시간간격 편차가 감소하고 정상 운행간격으로 회복되어 안정한 운영을 유지할 수 있었다. 제안한 방법은 열차의 운행시간만을 제어하기 때문에 기존 방법에서 지연이 발생하는 경우 대기승객 증가로 인해 정차시간을 단축하는 어려움을 해결할 수 있으며 실제 상용열차에 적용 가능함을 보인다. 하지만 좀 더 복잡한 실제적인 상황에 적용하기 위해서는 실제 열차시스템과 결합된 추가적인 연구가 필요하다. 또한 본 논문에서는 열차 사이의 시간간격 편차를 최소화하는 열차의 운행간격 제어에 초점을 두었는데 향후 출발시간, 도착시간, 운행시간 및 정차 시간 등의 공칭 시간계획을 고려한 연구가 지속될 것이다.

### References

[1] H. G. Park, "Train interval regulation by the modified control algorithm for subway," Master's Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2003.

[2] G. G. Yoo, "A Study on the Train Regulation Algorithm of the Railway Control," *Korea National Railroad College, Collection of Dissertations*. vol.15, pp.341-364, 1999.

[3] W. S. Sevine, M. S. Levine and M. Athans, "On the optimal error regulation of a string of moving vehicles," *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-11, pp.355-361, 1966. DOI: 10.1109/TAC.1966.1098376

[4] V. Van Breusegem, G. Campion, and G. Bastin, "Traffic modeling and state feedback control for metro lines," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol.36, no.7, pp.770-784, 1991. DOI: 10.1109/9.85057

- [5] Min-Kee Park, "Traffic regulation algorithm for metro lines with time interval deviations," *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol.31, pp.1001-1008, 2016.  
DOI: 10.1109/FSKD.2015.7382328
- [6] K. W. Kim, J. W. Lee and M. K. Park, "A study on the optimal control algorithm for train interval under disturbance," *Journal of the Korean Society for Railway*, vol.18, no.5 pp.419-425, 2015. DOI: 10.7782/JKSR.2015.18.5.419
- [7] E. Bailly, S. Hayat, D. Jolly and A. M. Desodt, "Subway line one of Lille simulation and regulation based on fuzzy logic," in *Proc. of the 12<sup>th</sup> International Conference on Systems Science*, pp. 331-338, 1996. DOI: 10.7782/JKSR.2015.18.5.419
- [8] S. Yasunobu, S. Miyamoto and H. Ihara, "Fuzzy control for automatic train operation system," in *Proc. of the 4th IFAC International Conference on Transportation Systems*, pp.33-39, 1983.  
DOI: 10.1016/S1474-6670(17)62539-4
- [9] S. Yasunobu and S. Miyamoto, "Automatic train operation system by predictive fuzzy control," *Industrial Applications of Fuzzy Control*: Elsevier Science Publishers B. V.(North-Holland), pp.1-18, 1985. DOI: 10.1109/AIIA.1988.13336
- [10] Y. Xu, K. Li, L. He, L. Zhang and K. Li, "A hybrid chemical reaction optimization scheme for task scheduling on heterogeneous computing systems," *IEEE Transaction on Parallel and Distributed System*, vol.26, iss.12, pp.3208-3222, 2015. DOI: 10.1109/TPDS.2014.2385698
- [11] E. Khmelnitsky, "On an optimal control problem of train operation," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol.45, iss.7, pp.1257-1266, 2000.  
DOI: 10.1109/9.867018
- [12] P. Howlett, "The optimal control of a train," *Annals of Operations Research 98*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp.65-87, 2000.  
DOI: 10.1023/A:1019235819716

---

BIOGRAPHY

---

**Min-keePark** (Member)

1985 : BS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.  
1992 : MS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.  
1996 : PhD degree in Electronic Engineering, Yonsei University.  
1985~1990: Research Engineer, LG Electronics.

2000~2001 : Visiting Researcher, University of Tokyo.  
1996~Present : Professor, Seoul National Univ. of Science and Technology.