

서울메트로 2호선 자동운전을 위한 열차 정차시간 산정에 관한 연구

A study on the dwell time calculation of Seoul Metro Line 2 for automated operation

조 희[†], 최상호^{*}

Hee Jo[†], Sang-Ho Choi^{*}

Abstract Seoul Metro Line 2 is operated by introducing the ATO and ATO is used to help automatic operations of trains. In this paper we examine the door open and close patterns of Seoul Metro Line 2 crews. Practical open and close time of train doors for automated system operation are calculated and retreatment time of train doors are examined when a passenger is stuck between doors. A method of real stopping time computation from actual operation record is presented. Based on this time open and close time of doors is derived. Through the examination of platform CCTV, the reclosing time of doors is investigated as average 5.5 seconds. Dwell time of morning rush hour and closing hour on weekdays becomes longer than average door open and close time of 18.6 seconds.

Keywords : ATO, dwell time, door open and close time, stoppage time

초 록 서울메트로 2호선은 ATO(Automatic Train Operation)를 도입하여 운행하고 있으며 ATO 차량은 자동운전이 가능하다. 본 논문에서는 서울메트로 2호선 승무원들의 출입문 취급 패턴을 조사하여 자동운전을 하기 위한 현실적인 출입문 개폐시간을 산정하고 승객 끼임 발생 시 재취급 시간을 조사한다. 열차 운행실적으로부터 실제 정차시간을 계산하는 방법을 제시하며 이를 통해 출입문 개폐시간을 유도한다. CCTV조사를 통하여 끼임 발생시 출입문 재취급 시간은 평균 5.5초로 조사됐다. 평일 오전 출근시간과 오후 퇴근시간의 정차시간이 길어지는 것을 확인하였으며 평균 출입문 취급시간은 18.6초로 나타났다.

주요어 : 정차시간, 출입문 개폐시간, 무인운전, 운행실적, ATO

1. 서 론

서울메트로 2호선은 기존의 ATS 신호 시스템을 자동운전이 가능한 ATO 시스템으로 교체하여 열차의 안전운행 확보 및 승객 서비스 향상에 기여하고 있다[1]. 현재 일부 ATO 차량을 도입하여 운영하고 있으며, 향후 대폐차 계획에 따라 나머지 차량들도 순차적으로 ATO 차량으로 교체할 계획이다[2]. 모든 차량이 교체가 완료되면 서울메트로 2호선은 자동 운전이 가능하다.

서울메트로 2호선의 운행시각표는 정차시간의 최소단위가 30초로 산정되어 있어 정밀한 계획이 불가능하며 실제 운행되는 열차시간과도 다소 차이가 있다. 특히 오전 오후 러시시간에 정차시간이 길어지는 것을 반영하지 못하므로 이를 자동 운전 시 실제 정차시간으로

† 교신저자: 서울메트로 대림승무사업소(ossam@seoulmetro.co.kr)

* 서울메트로 운전처

사용하기에는 적합하지 않다.

현재 서울메트로는 열차 전부와 후부에 기관사와 차장이 승차하고 있다. 열차 정차시간에서 가장 중요한 요소는 출입문 취급이며 차장이 수행한다. 기존 연구들은 역의 혼잡율과 승객의 승하차 시간을 정차시간과 연관지어 그 관계를 수식으로 모델링 하였다[1,3]. 하지만 40개의 출입문 중 1개 출입문에라도 승객이 승차하고 있을 경우 출입문 개폐시간은 증가하게 되며 정차시간 또한 늘어난다. 또한 실제 승객들은 전체 출입문에서 승/하차 하기 보다는 특정 출입문에서 승/하차 하는 경향이 뚜렷이 나타나며, 역마다 혼잡한 출입문의 위치와 개수가 다르므로 정차시간과 역의 혼잡율의 관계의 모델링은 간단하지 않다. 또한 열차 운행 실적의 정차시간은 열차가 T구간에 머문 시간을 측정한 것으로 실제 정차시간이 아니다[2,4]. 이렇듯 시간대별 정확한 정차시간 및 출입문 개폐시간 산정에 대한 연구는 아직 미흡하다.

본 논문에서는 자동운전 시 최적의 출입문 개폐시간을 산정하기 위하여 서울메트로 2호선의 열차운행실적으로부터 실제 정차시간 및 출입문 개폐시간을 산정한다. 운행실적과 실제 운행시간을 비교 하여 그 차이를 확인하며 이를 바탕으로 계산된 결과를 제시한다.

2. 본 론

2.1 정차시간의 측정

출입문 개폐시간을 정하는 가장 좋은 방법은 실제 운행되는 열차의 개폐시간을 직접 측정하여 평균을 내는 것이다. 하지만 실측 방법은 시간과 노력이 너무 많이 소요되므로 본 논문에서는 열차운행실적을 바탕으로 열차의 출입문 개폐시간을 계산한다.

$$\begin{aligned} \text{정차시간} = & \text{안전문, 출입문 열림시간} + \text{출입문 개방시간} + \text{안전문 닫힘시간} \\ & + \text{안전문, 출입문 닫히고 열차가 출발하는시간} \end{aligned} \quad (1)$$

정차시간은 열차가 승강장에 정차해서 출입문과 안전문을 열고 닫은 후 승강장을 출발할 출발할 때 시간을 나타낸다. 이것을 식(1)에 나타내었다.

2.2 열차 운행실적

서울메트로 종합관제소에서는 열차운행실적을 기록하고 있다. 이 열차운행실적에는 열차의 정차시간이 기록되지만, 열차운행실적에 기록된 정차시간은 열차가 역의 T안에 머문 시간으로 식(1)의 정차시간 이외에 열차가 역 T길이와 승강장 길이의 차이만큼 이동한 시간을 포함한다. 따라서 열차가 승강장에 실제 정차한 시간과는 차이가 있다. 하지만 ATO 열차 운행 패턴은 거의 같다고 볼 수 있으므로 열차운행실적과 실제 열차가 승강장에 정차한 시간의 차이를 비교하면 열차운행실적으로부터 실제 열차의 승강장 정차시간을 계산할 수 있다.

실제 운행되는 서울메트로 2호선 외선과 내선 열차의 정차시간을 조사한 후 운행실적과

비교하여 그 차이를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 역마다 차이가 있었고 외선은 평균 약 9.33초, 내선은 평균 약 8.35초 열차 운행실적이 더 길게 나타난 것을 확인하였다.

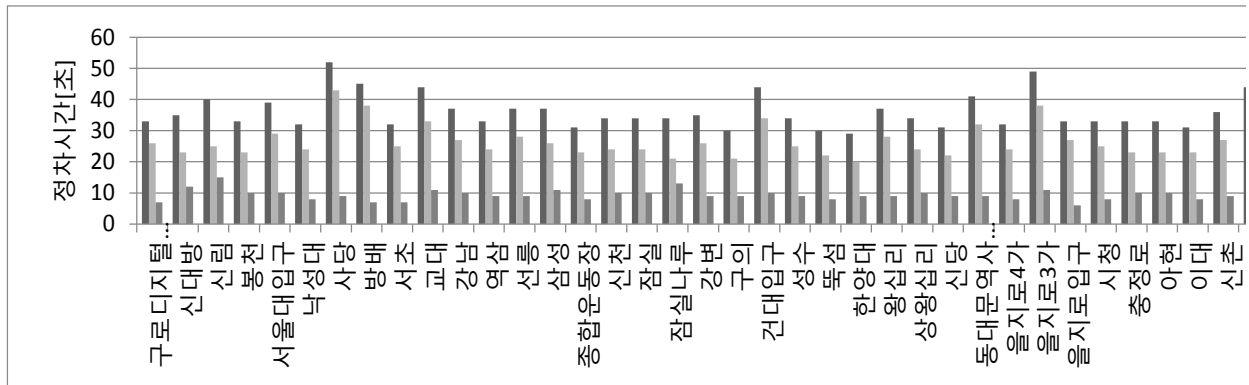


Fig. 1 외선 열차의 운행실적과 실제 정차시간의 차이

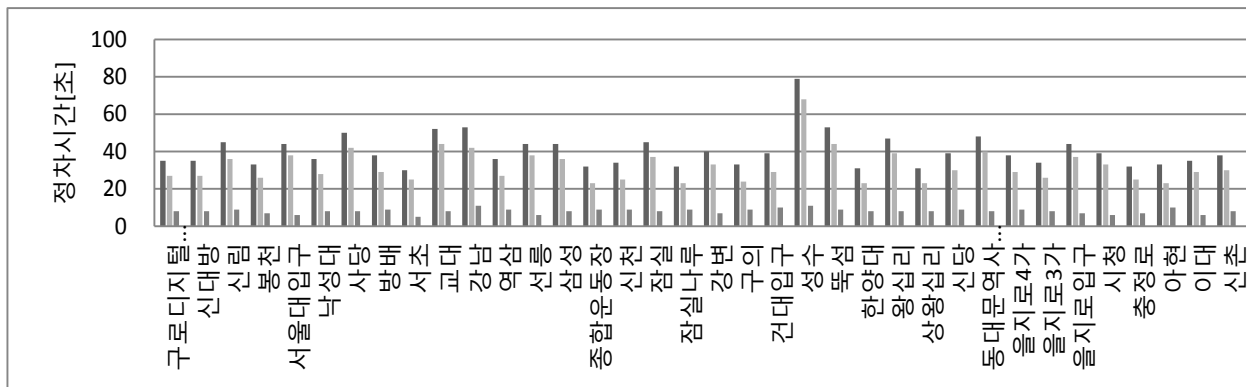


Fig. 2 내선 열차의 운행실적과 실제 정차시간의 차이

2.3 출입문 개폐시간의 산정

각 역의 열차운행실적상 정차시간에서 Fig. 1과 Fig. 2에 나타난 운행실적 정차시간과 실제 정차시간의 차이를 빼면 식(1)의 정차시간을 구할 수 있다. 이를 식(2)에 나타내었다.

$$\text{실제정차시간} = \text{운행실적정차시간} - \text{차이} \tag{2}$$

식(1)의 안전문과 출입문이 열리고 닫히는 시간과 안전문과 출입문이 닫히고 열차가 출발하는 시간은 직접 조사하여 평균을 내었다. 역에 설치된 승강장 CCTV를 확인하여 승객이 출입문이나 안전문에 끼었을 경우 출입문 재개방 및 재개폐 취급 여부와 취급 시간을 확인하였으며, 현재 운행되는 열차의 안전문과 출입문이 열리고 닫히는 시간과 안전문과 출입문

이 단히고 열차가 출발하는 시간의 평균을 조사하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1 승강장 CCTV 조사 결과

항목	시간[초]
승강장 도착 후 출입문 열림 조작 시간	1.5
출입문 단힘 취급 시간	22.4
출입문과 안전문이 닫히는 시간	4.6
출입문과 안전문 단힘 후 열차가 출발하는 시간	6.2
재개폐 취급 시간	4.7
재개방 후 단힘 취급 시간	5.5

Table 1의 값은 서울메트로 승무원들이 실제 출입문을 취급하는 평균 값으로 가장 현실적인 값이다. 따라서 출입문 개폐 조작시간은 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{출입문 개폐시간} = & \text{실제 정차시간} - \text{출입문 열림 조작시간} - \text{안전문, 출입문 단힘시간} \\ & - \text{안전문, 출입문이 닫히고 열차가 출발하는 시간} \end{aligned} \quad (3)$$

식(2)에서 구한 실제 정차시간에서 Table 1의 승강장 도착 후 출입문 열림 조작을 하는 시간 1.5[초], 안전문과 출입문이 닫히는 시간 4.6[초], 그리고 출입문과 안전문이 닫힌 후 열차가 출발하는 시간인 6.2[초]를 뺀 것이 출입문 개폐 조작시간이다. 즉, 열차가 승강장에 도착한 후 1.5[초]후에 출입문 개방 취급을 하며, 식(3)의 출입문 개폐시간 후에 출입문 단힘 취급을 하고 승객 끼임이 발생하지 않으면 출입문과 안전문이 닫힌 후 열차는 출발한다.

2.4 역별 출입문 개폐시간

열차운행실적의 정차시간에서 식(2)의 차이시간을 빼고, 식(3)과 Table 1의 항목들을 빼면 실제 출입문 개폐시간을 계산할 수 있다.

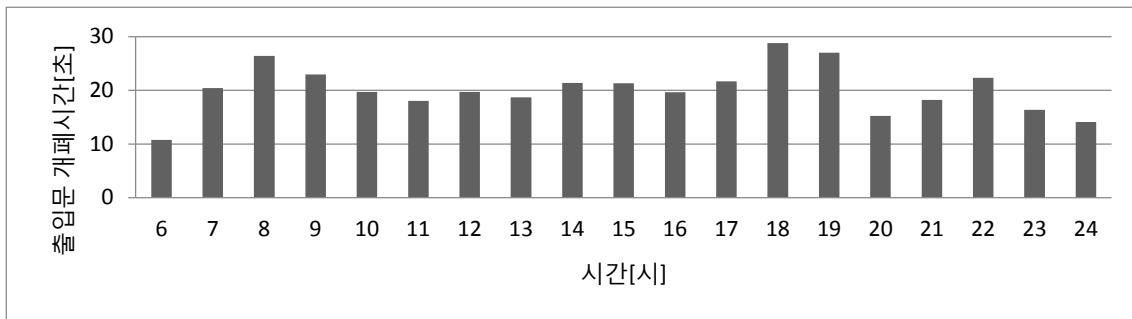


Fig. 3 선릉역 정차시간의 시간대별 평균값

Fig. 3은 2호선 선릉역 외선의 시간대별 출입문 개폐 조작 시간을 나타낸 그래프이다. 오전 출근 시간대와 오후 퇴근 시간대에 출입문 개폐시간이 가장 긴 것을 볼 수 있다.

지선 구간을 제외한 2호선 내선과 외선 모든 역에 대한 출입문 개폐시간의 그래프를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다.

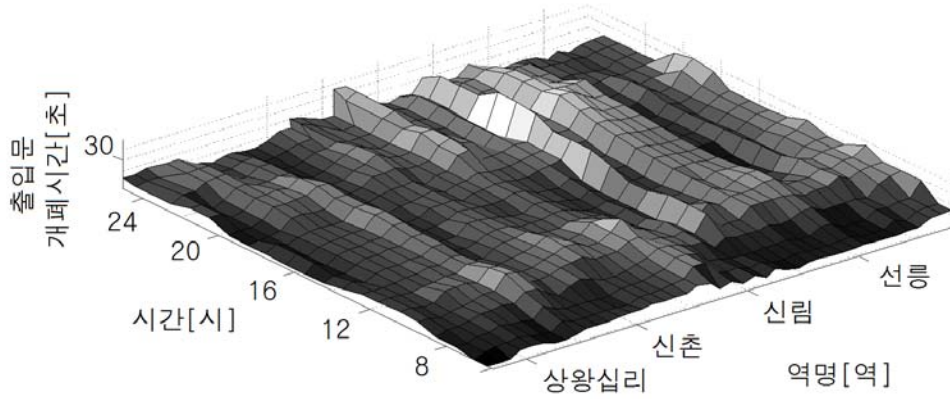


Fig. 4 내선 출입문 개폐시간

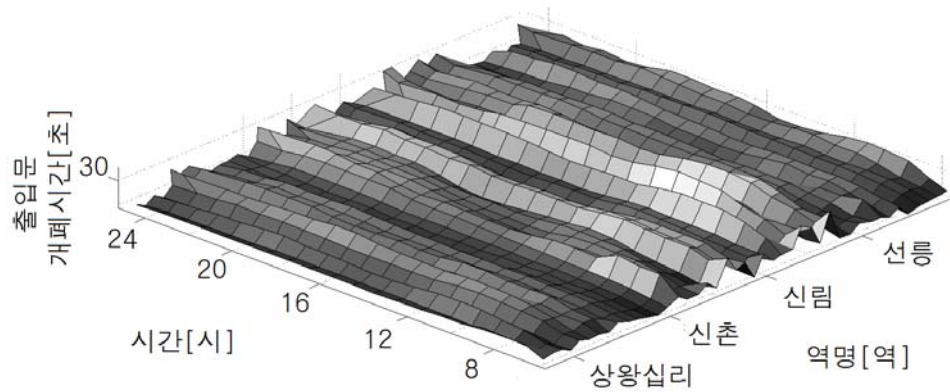


Fig. 5 외선 출입문 개폐시간

전체적으로 신도림역에서 강남역 구간에서 외선 오전 출근시간과 내선 오후 퇴근시간에 출입문 개폐시간이 긴 것을 볼 수 있으며 아현역, 뚝섬역 등과 같은 역들의 경우 하루 동안 출입문 개폐시간이 길지 않은 것도 알 수 있다.

첫차와 막차가 운행되는 시간에 정차시간이 길어지는 것은 승객이 많아서라기 보다는 시각 표상의 열차 운행시간에 맞추기 위해 추가 정차한 것으로 사료된다. 평균 출입문 개폐 조작 시간은 외선 18.74[초] 내선 18.45[초]로 거의 비슷하게 나타났다. 또한 성수역, 홍대입구역, 신도림역 등의 운전 취급역의 경우에도 운행실적상 정차시간이 길게 표시된 경우가 있는데 이것은 열차 간격을 맞추거나 열차 입/출고를 위하여 임의로 정차시간이 길어진 것으로 사료되며 추가 조사가 필요하다.

3. 결론

본 논문에서는 열차 자동운전 시 필요한 출입문 개폐시간을 산정하기 위하여 서울메트로 2호선의 운행실적을 분석하여 실제 출입문 취급시간을 반영한 정확한 출입문 개폐시간을 산정하였다. 운행실적과 실제 정차시간의 차이를 역마다 조사하여 정확한 정차시간을 계산하였고 승강장 CCTV분석을 통해 얻은 값을 이용하여 열차 정차시간으로부터 출입문 개폐시간을 도출하였다. 또한 승객 끼임이 발생하였을 경우 실제 승무원들이 출입문을 취급하는 방식 및 시간을 측정하여 정확한 출입문 취급모델을 제시하였다. 이는 실측 자료를 바탕으로 얻은 결과로서 가장 현실적인 데이터며 적당한 여유시간과 함께 사용될 수 있다. 추후 더욱 정확한 시간을 산정하기 위하여 운전취급역 및 첫차와 막차 시간대의 열차 출입문 개폐시간이 조사된다.

참고문헌

- [1] Y.B. Gwak (2013) A Study on the Prediction of Scheduled Speed through the Dwell Time Estimation Model of Seoul Metro Line 2, MSc Thesis, Seoul Techno University, Korea.
- [2] S.K. Cho, I.B. Chung (2015) A Study on the Solution of Train Delay and Congestion on Seoul Subway Line 2, *Seoul Studies*, 16(1), pp. 123-135.
- [3] S.Y. Kim (2003) Development of Dwell time Relationship and Impaction on Line Capacity at Seoul Metro, MSc Thesis, Hanyang University.
- [4] R.G. Jeong, B.H. Kim, S.W. Kang, Y.H. Kho (2014) Study on the Design of Operation Scenario for Replacement of a Railway Signaling System, *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, 63(8), pp. 1064-1069.