

도시철도 열차 승하차시간 분석에 관한 연구

An Analysis of Boarding and Alighting Times for Urban Railway Vehicles

김정태* · 김무선 · 홍재성 · 조용현 · 김태식

Jungtae Kim · Moo Sun Kim · Jae Sung Hong · Yong Hyun Cho · Taesik Kim

Abstract Various methods have been developed in an effort to increase the scheduled speeds of the urban railways. Reducing the train dwell times by extending door widths is one such method. However, there is thus far no domestic model of boarding and alighting that is appropriate to lead to boarding and alighting time reductions if the door width is extended. Foreign models are not suitable because human behaviors, which are important factors when assessing boarding and alighting times, differ from country to country. In this study, a boarding and alighting model for domestic urban railways is proposed and related equations and parameters are derived from measured and experimental data. The model can be employed to assess time reductions in Korean railroad system if the door widths are extended.

Keywords : Boarding and alighting time, Door width, Scheduled speed, Boarding and alighting model, Metropolitan railway

초 록 도시철도의 표정속도를 증대시키기 위해 여러 가지 방안이 연구되고 있는데 출입문 폭 확장을 통한 정차시간 단축은 이러한 방안 중 하나이다. 그러나, 출입문 폭을 확장하였을 때 단축되는 승객 승하차시간을 예상하기 위해 적합한 국내 모델과 수식은 아직 수립되지 않은 형편이다. 승하차 동작은 사람의 행동 방식에 영향을 많이 받고 이는 국가 별로 상이하다는 점을 고려한다면 승하차시간에 대한 외국 모델을 따른다는 것은 적합하지 않다. 본 연구에서는 국내에서 측정 및 실험한 데이터를 바탕으로 국내 환경에 적합한 모델을 세우고 관련 수식과 변수를 유도함으로써 출입문 폭 확장 시 승하차시간 단축효과를 예상할 수 있도록 한다.

주요어 : 승하차시간, 출입문 폭, 표정속도, 승하차 모델, 도시철도

1. 서 론

현재 우리나라 주요 구간에서 운행하는 도시철도의 출입문의 폭은 1,300mm로 되어있다. 이는 승객의 표준 체형과 차량의 구조적 안전성을 고려하여 정해진 것이며 전동차 표준사양에 규정되어 있다. 그러나 이 규격은 40년 전 서울 지하철 1호선이 개통 당시의 규격이어서, 현재의 승객의 체형이 훨씬 커졌음을 고려할 때 출입문 폭을 확장할 필요가 있다. 또한 도시철도의 표정속도를 증가시켜서 수송분담률을 제고하기 위한 여러 연구가 수행되었는데[1-5] 출입문 폭을 확장한다면 승하차시간을 단축시킬 수 있으므로[6] 정차역이 많은 국내 도시철도에서 큰 효과를 기대할 수 있다. 그러나, 출입문 확장 시에는 차량의 구조적 안전성과 개폐 동작 시간, 창문 축소 등 여러 가지 요소를 고려해야 하므로 출입문을 적정 수준으로 확장하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 출입문 폭이 확장되었을 때 승하차시간 단축효과를 예상하여 적절한 규격을 설정할 수 있어야 한다.

승하차 인원 및 관련 여러 변수로부터 승하차시간을 예상하기 위한 모델 정립에 관한 여러 연구가 국내외로 이루어

졌다. 기본적으로 승차 인원 및 하차 인원 수에 따라 승하차시간이 선형적으로 증가한다고 가정하고 이와 관련된 선형 계수를 추정하는 연구가 수행되었다[7]. 승하차 인원 외에 승하차시간에 영향을 미치는 요소로써, 재차 인원 즉 혼잡도를 들 수 있는데, Lin[8]과 Lam[9]은 혼잡도에 대한 선형 항을, Puong[10]은 비선형 항을 승하차시간 모델에 추가하였다. 국내 도시철도에 대한 승하차시간 모델을 정립하는 연구도 있는데 Kim[11]은 Lin[8]의 모델을 바탕으로 서울시 지하철 2호선에서 열차 전체의 승하차 인원과 정차시간에 대하여 회귀 분석을 통해 선형 계수를 추정하였다. 다만 이 연구에서는 개별 출입문에 대한 승하차시간과 차량의 혼잡도는 고려되지 않았다. Oh[12]에서도 선형 데이터 모델에 기초하여 서울시 혼잡 지하철에서의 1인당 승하차시간을 분석하였는데 외국의 사례에서 제시한 값과 차이가 있으므로 국내 모델의 설립이 필요함을 역설하였다.

승하차 인원이 많은 경우 줄지어서 연속으로 승차 및 하차가 가능하여 1인당 승하차시간이 단축될 수 있다. Harris[13]는 기존 선형모델에서 이러한 점을 반영하여 지수모델을 설립하였다. Parkinson[14]에서도 승하차 인원이 증가할 때 선형모델로 예측한 시간 보다는 단축된다는 점을 반영하기 위해 인원의 제곱에 대하여 일정 비율로 시간이 단축되도록 모델에 반영하였다.

정차시간 지연은 혼잡시간 대에서 승하차 인원이 많을 때

*Corresponding author.

Tel.: +82-31-460-5722, E-mail : jtkim@krii.re.kr

©The Korean Society for Railway 2014

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2014.17.3.210>

발생하므로 국내 모델 설립에서도 이러한 지수형 모델을 적용하는 것이 바람직하다. 다만, 국내 승객의 승하차 행동 방식이 외국과는 차이가 있으므로 적합한 모델과 계수를 찾는 것이 필요하다[12]. 본 연구에서는 서울시 2호선 및 분당선 승하차시간 측정결과와 모의실험을 통해 승하차 인원과 출입문 폭에 따른 승하차시간 예측 모델을 제시한다. 이를 위한 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2.1절에서 정차시간과 승하차시간의 관계에 대하여 기술한 다음, 2.2절에서는 기존 연구에 대하여 소개한다. 2.3절에서는 실제 측정결과에 따라 국내의 승하차시간 모델을 도출한 후 모의실험 결과를 바탕으로 출입문 폭에 의한 영향을 확인하고 이 요소를 모델에 추가한다. 조정결정계수(adjusted coefficient of determination)를 통해 제한하는 모델의 충실도를 확인할 수 있으며 출입문 폭 확장에 따른 시간 단축 효과를 예상할 수 있다.

2. 본 론

2.1 승하차시간과 정차시간

사전에 정차시간은 열차가 역에 정지해 있는 시간으로 정의되며, 열차가 정지하여 열차의 출입문이 열리도록 지령하는 순간부터 열차의 출입문이 닫히고 잠길 때까지의 시간을 나타낸다[15]. 따라서 정차시간 안에 출입문이 여닫히는 시간, 승객이 승하차하는 시간, 출발 신호가 떨어져서 출입문을 닫기까지 대기하는 시간이 포함된다[14]. 이는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_D = T_{OC} + T_F \quad (1)$$

여기서 T_D 는 정차시간(dwell time), T_{OC} 는 출입문을 여닫는 등의 작동시간 및 신호 대기시간, T_F 는 승하차시간(flow time)이다. T_{OC} 는 승하차 인원과 시간의 두 요소 사이의 관계만 나타내면 충분하다. 그러나 정차시간의 경우 열차 운행 기록을 통해 쉽게 획득할 수 있는 반면 승하차시간은 직접 측정을 통해서만 얻을 수 있으므로 많은 데이터를 얻기 어렵다. 따라서, 열차 운행 기록을 통해 획득한 정차시간 데이터를 분석하여 승하차시간 대신에 정차시간과 승하차 인원과 관계를 도출한 연구도 있다[7,8,10]. 본 연구에서는 승하차시간을 직접 측정하였으므로 T_F 에 대한 모델을 제시하며, 기존 연구에 대한 기술 부분에서 정차시간을 가지고 세운 모델에 대해서는 T_D 로 명칭한다.

2.2 기존 연구

2.2.1 선형 모델

승하차시간 도출에 있어서 기본적으로 승하차 인원에게 따라 시간이 비례하여 증가한다고 가정하고 그 계수를 구하는 방식의 모델이다. 여기서 계수는 1인당 승차시간 혹은 하차 시간이 되며 상수 항은 출입문 개폐 동작 혹은 하차 후 승

차까지의 지연 시간 등을 나타낸다. 대표적인 연구가 Lin[8]으로써 MBTA(Massachusetts Bay Transportation Authority) Green Line의 정차시간을 분석하여 다음과 같은 모델을 세웠다. 1량 열차에 대한 정차시간 T_D 는

$$T_D = T_{OC} + C_A \cdot P_A + C_B \cdot P_B + C_O \cdot P_O \quad (2)$$

로 나타내어지며 여기서 P_A 는 하차(Alighting) 인원, P_B 는 승차(Boarding) 인원, P_O 는 재차(Occupied) 인원이며 C_A , C_B , C_O 는 각각 P_A , P_B , P_O 에 대한 계수로써 인원에 대해 소요되는 시간을 비례적으로 나타내기 위하여 정해진 값이다. Lin[8]에서 위 계수는 다음과 같이 산출되었다. 단, Lin[8]에서는 해당 차량 1량에 대한 전체 승하차 인원 및 재차 인원으로 모델을 설립하였으나 본 논문에서는 출입문 당 인원으로 기준을 세웠으므로 다음과 같이 계수를 조정하였다. 즉, Green Line의 1량 열차의 출입문이 2개 이므로 2개의 출입문으로 승하차하는 인원이 동일하다는 가정하에 C_A , C_B 는 연구에서 제시된 값에서 2배를 하였다.

$$T_{OC}=9.24, C_A=1.04, C_B=1.42, C_O=0.16$$

Puong[10]은 MBTA Red Line에 대한 모델을 설립하였는데 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_D = T_{OC} + C_A \cdot P_A + C_B \cdot P_B + C_O P_O^3 \cdot P_B \quad (3)$$

이 모델은 혼잡도가 급격히 올라갈수록 정차시간이 길어진다는 점을 반영한 것으로 재차 인원의 세제공과 승차 인원의 곱에 비례한 항을 추가한 것이 특징이다. 조정결정계수(\bar{R}^2) 또한 0.89로 Lin[8] 모델의 0.7보다 높다. Puong[10] 모델에서는 P_A , P_B , P_O 를 출입문 당 인원수로 정하였으며 이에 따라 산출된 계수는 다음과 같다.

$$T_{OC}=12.22, C_A=1.82, C_B=2.27, C_O=6.2 \times 10^{-4}$$

Kim[11]은 서울시 2호선의 대표적인 혼잡역인 사당역에서 정차시간 측정데이터를 가지고 선형 모델의 계수를 도출하였다. (1)과 같이 승차인원과 하차인원을 분리한 모델과 승하차 인원을 통합한 모델 두 가지를 설립하였는데 두 모델 모두 조정결정계수가 약 0.93으로 비교적 높은 수치를 나타낸다. 계수 C_A 와 C_B 는 각각 1.52, 2.67이다(출입문 당 인원으로 환산). 다만 이 모델에서는 상수항의 유의확률이 크게 나타나는데 이는 승하차 인원 외의 다른 요소에 의해 정차시간의 변동폭이 큼을 나타낸다.

2.2.2 지수형 모델

승하차 인원이 많을 경우 앞의 줄을 따라가게 되면서 가속이 붙어 정지한 상태에서 승차 혹은 하차를 할 때보다 시간이 단축되게 된다. Harris[13]는 이러한 사항을 반영하여 다음과 같은 지수형태의 모델을 설립하였다.

$$T_A = 1.5 \cdot (1 + 0.9 \cdot P_O / VC) + (P_A)^{E_A} \cdot DWF \quad (4)$$

$$T_I = 0.011 \cdot P_A \cdot P_B \quad (5)$$

$$T_B = 1.3 \cdot (1 + 0.8 \cdot P_O / VC) + (P_B)^{E_B} \cdot DWF \quad (6)$$

여기서, T_A 는 하차 시간, T_B 는 승차 시간이며 T_I 는 하차와 승차가 겹쳐지면서 발생하는 지연시간이다. 총 승하차시간 T_F 는 $T_A + T_B + T_I$ 로 나타내어 진다. VC 는 Vestibule Capacity로 문 안쪽 공간을 나타내는 계수로 식의 P_O / VC 는 혼잡도와 비례한 값이 된다. DWF (Door Width Factor)는 출입문 폭에 의한 영향을 나타내는 계수로 출입문 폭에 반비례한다[13]. E_A 와 E_B 는 각각 하차 시간 지수와 승차 시간 지수이다. 이 모델은 영국의 South West Trains 노선에서 측정한 자료를 바탕으로 하였으며 문이 열렸을 때 사람들이 일정 시간 기다린 후 승차 혹은 하차를 한다는 점과 승차인과 하차인의 간섭을 고려하였다.

지수형 모델은 Parkinson[14] 에서도 제시되었다. Parkinson [14]에서는 승차와 하차의 비율에 따라 다른 모델을 제시하였는데 비율에 관계없이 전반적인 경향을 나타내는 모델은 다음과 같이 표현된다.

$$T_F = \exp(C_C + C_A \cdot P_A + C_B \cdot P_B + C_{A2} \cdot P_A^2 + C_{B2} \cdot P_B^2 + C_O P_O) \quad (7)$$

다항식으로 이루어진 값에 지수를 취한 형태이며 그 계수는 다음과 같다.

$$C_C = 1.1412, C_A = 0.0890, C_B = 0.0845, \\ C_{A2} = 0.00149, C_{B2} = -0.00131, C_O = 0.0460$$

이 모델은 승차인원이 증가함에 따라 1인당 승차시간이 감소하다가 다시 증가하는 경향을 반영한 것인데 승하차 인원 25명 이내인 경우에 대하여 회귀 분석을 통해 얻은 결과이므로 그 이상의 인원에 대해서는 적용되기 어렵다[14].

2.3 제안 승하차 모델

2.3.1 승하차시간 측정과 국내 모델

승하차시간 모델을 도출하기 위해 서울시 2호선의 본선과 분당선에서 직접 측정을 하였다(2012년 9월). 오전 첨두 시간(7:30~8:30), 오전 비첨두 시간(10:00~11:00), 오후 비첨두 시간(15:00~16:00), 오후 첨두 시간(18:00~19:00) 4가지 경우에 대하여 3~6회씩(시각이 긴 분당선 죽전 아래 구간의 경우 2회) 측정하였다. 승차 인원, 하차 인원, 승하차 시간에 대한 측정값을 수집하였으며, 이 중 승객이 승차 후 다시 하차 하는 등 비정상적인 경우를 제외한 총 958회 측정값에 대하여 회귀분석을 통해 승하차시간 모델을 도출하였다. Fig. 1은 승하차시간 측정 결과를 승하차 인원에 대하여 나타낸 것이다. Fig. 1 및 측정과정에서 몇 가지 특징이 나타났는데 다음과 같다.

- (ㄱ) 승하차 인원이 증가함에 따라 1인당 승하차시간이 감소하는 경향이 나타난다.
- (ㄴ) 하차 중에 승차하는 경우가 빈번히 발생하여 승차 시간과 하차 시간을 나누어서 모델링하는 것이 쉽지 않다. 국내 사례에서는 승차와 하차 인원을 분리하는 것이 적합하지 않다는 연구가 있다[6,11].
- (ㄷ) 1인당 승하차시간은 30명일 경우 약 0.67초로 기존의 연구(선형 모델)에서 제시된 값 1.04~2.67 보다 현저히 낮다. 이는 국내 승객들의 특성이 외국의 사례에서 나타난 특성과는 다르다는 기존 연구결과를 다시 한 번 확인시켜 주는 결과이다[12]. Kim[11]에서는 국내 사례이지만 혼잡도가 가장 높은 사당역에서 측정을 한 결과이므로 1인당 승하차시간이 높게 나타났다. 이러한 특징을 바탕으로 국내에 적합한 승하차 모델을 구하기 위해 본 연구에서 측정한 데이터를 기존 승하차시간 모델을 사용하여 회귀분석을 수행한 결과를 Table 1에 나타내었다. 측정데이터의 수도 많고 넓게 퍼져 있어서 전반적으로 조정결정계수가 높게 나타난다. 그러나, 앞에서 기술한 특징에 따라 지수형 모델(Harris[13])의 조정결정계수가 비교적 높다. 그러나 Harris 모델로 회귀 분석을 수행하였을 경우 식 (5)의 승하차 교행에 의해 나타나는 시간 성분의 계수가 0에 가깝지만 음의 수로 나타난다. (약 -0.005) 이는 (ㄴ)의 특징과 부합하는 현상이다. 따라서, Harris 모델을 바로 적용하는 것은 바람직하지 않다. 이러한 점들을 반영하여 제

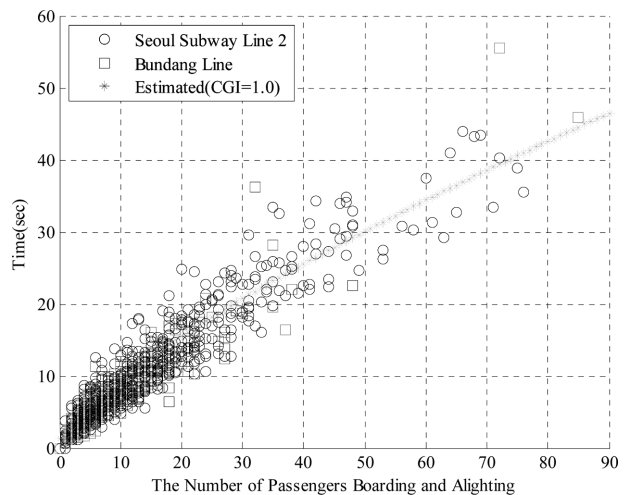


Fig. 1 The measured time of boarding and alighting input and the estimated trend line

Table 1 Regressions with conventional models

Model	Reference	Model equation	Adjusted coefficient of determination
Linear	TRB[7], Lin[8], Lam[9], Kim[11]	(2)	0.9335
Polynomial	Puong[10]	(3)	0.9270
Exponential	Harris[13]	(4)+(5)+(6)	0.9416

안하는 승하차 모델은 다음과 같다.

$$T_F = C_C \cdot CGI + C_{AB} \cdot (P_{AB})^{E_{AB}} + C_0 \quad (8)$$

이 모델은 Harris[13]의 지수형 모델을 바탕으로 승차 인원, 하차 인원을 더한 승하차 인원 P_{AB} 에 대하여 승하차시간 T_F 를 도출하기 위한 관계식이다. CGI (Congestion Index)는 혼잡도로 승차 정원 대비 재차 인원의 비율이다. 여기에서는 혼잡도가 100%일 때 CGI 는 1의 값을 갖는 것으로 하였다. 혼잡도에 비례한 계수 C_C 와 승하차 인원의 지수 E_{AB} 및 비례계수 C_{AB} , 그리고 상수 C_0 는 승하차 모델의 특성을 결정짓는 계수로 측정결과로부터 도출해야 한다. 이 중 비례계수 C_{AB} 는 출입문 폭에 의한 요소이며 본 측정에서는 상수로 도출되지만 다음 절에 기술하는 실험 및 분석을 통해 출입문 폭을 변수로 하는 함수로 표현된다.

모델의 각 계수는 회귀분석을 통해 추정하였다. 이를 위해 입력 변수인 승하차 인원 P_{AB} 와 CGI 를 대입하여야 하는데 P_{AB} 는 직접 측정할 값이 있지만 CGI 를 구하기 위한 재차 인원은 측정값이 없다. 운행중인 차량에서 재차 인원을 정확히 측정하는 것은 어려운 일이며 특히 높은 혼잡도에서는 재차 인원 측정이 거의 불가능하다. 따라서, Seoul Metro [16]에서 제시된 시간대 별 혼잡도 데이터를 기초로 사용하였다. 이 데이터는 교통카드 O/D(origin/destination) 데이터로 혼잡도를 추정할 것이며 비교적 유사하게 실제 혼잡도를 나타내는 지표로 볼 수 있다[17]. 그러나, 열차 편성 및 차량 각각에 따라 재차 인원의 분포가 다르므로 실제 측정 시 해당 차량의 혼잡도와는 차이가 있다는 점은 유의해야 한다. 회귀분석 시 기준으로는 최소제곱법을 사용하였다. 이를 통해 얻은 계수는 각각 다음과 같다.

$$C_C=2.943, C_{AB}=1.175, E_{AB}=0.8165, C_0=-1.026$$

설립한 모델이 측정된 데이터와 잘 부합하는 지 나타내는 지표로 조정결정계수(\bar{R}^2)를 많이 사용하는데 이 값은 약 0.9421로 기존 연구들에서 나온 값 0.7-0.93과 비교하여 높은 수치를 나타내며 본 연구에서 측정된 데이터로 기존 모델을 사용하여 회귀분석을 수행하였을 시의 조정결정계수 0.927~0.9416에 비해서도 비교적 높다. 혼잡도 100%일 때의 모델을 통한 예측 곡선은 Fig. 1에 있는 측정 데이터와 함께 나타내었다.

2.3.2 출입문 폭 영향 분석

실제 승하차시간 측정 시에서는 출입문 폭이 고정된 기존 전동차를 대상으로 하였으므로 출입문 폭에 의한 영향을 알 수 없다. 따라서 출입문 폭을 조절할 수 있는 간이 열차 모형을 만들고 실험을 통해 이 영향을 분석하였다. 시험 공간은 Fig. 2와 같이 열차 1량에서 1개의 출입문이 담당하는 공간으로 설정하였고 간이 출입문을 만들어서 수동으로 개폐 동작을 하도록 하였다. 출입문 폭은 1,300mm, 1,600mm, 1,800mm, 2,000mm의 네 가지 경우에 대하여 시험하였고 혼잡도는 100%, 150%, 200%의 세 가지에 대하여 시험하였다.

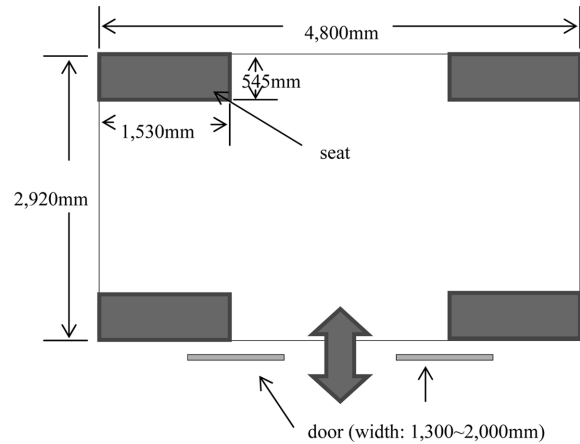


Fig. 2 The simulated space of the train for the boarding and alighting experiment

Table 2 Participants in the experiments (boarding, alighting and occupied passenger numbers)

Congestion index	Number of occupied passengers	Number of alighting and boarding passengers	
		Average	Maximum
100%	36	Alighting: 10 Boarding: 10	Alighting: 27 Boarding: 27
150%	54	Alighting: 12 Boarding: 12	Alighting: 38 Boarding: 38
200%	73	Alighting: 33 Boarding: 33	Alighting: 44 Boarding: 44

이 때의 승하차 인원은 2.2.1의 측정 데이터 중 모의 시험을 수행할 세 가지의 혼잡도에 해당하는 승하차 인원 측정치의 평균과 최대값으로 하였다. 승하차 인원이 정해지면 승차 인원과 하차 인원은 동수로 하였다. Table 2에 주어진 공간을 기준으로 혼잡도 별 재차 인원과 승하차 인원을 기술하였다. 승하차 시험 참가자는 한국철도기술연구원 직원들과 한국교통대학교 학생들로 이루어져 있는데 여성 비율이 약 15%에 불과하다는 점과 노약자가 포함되지 않았다는 점은 고려해야 할 요소이다. Fig. 3에 승하차 인원에 대하여 승하차시간을 측정된 결과를 나타내었다. 서울 2호선과 분당선에서 측정된 데이터도 같이 나타내었는데 이와 비교하면 모의 시험에서 시간이 약간 단축되었지만 전반적인 경향은 비슷하게 나타난다. 출입문 폭에 의한 요소인 C_{AB} 를 구하기 위해 측정된 데이터를 사용하여 식 (8)에 대하여 $C_C=2.7$, $E_{AB}=0.77$, $C_0=-1.3$ 을 대입하고 회귀분석을 통해 C_{AB} 를 획득하였다. 획득한 모델은 다음과 같다.

(1) 출입문 폭 1,300mm:

$$T_F = 2.943 \cdot CGI + 1.096 \cdot (P_{AB})^{0.8165} - 1.026, \bar{R}^2 = 0.956$$

(2) 출입문 폭 1,600mm:

$$T_F = 2.943 \cdot CGI + 0.9427 \cdot (P_{AB})^{0.8165} - 1.026, \bar{R}^2 = 0.952$$

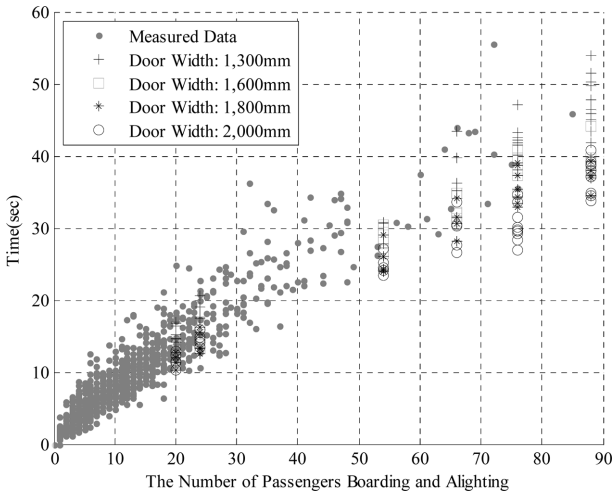


Fig. 3 The experimental data of boarding and alighting with the measured data

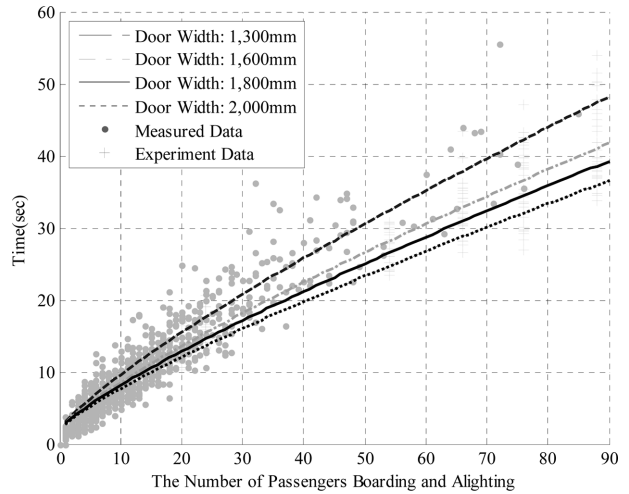


Fig. 4 Boarding and alighting graph with various door widths; the measured and experimental data are also displayed

(3) 출입문 폭 1,800mm:

$$T_F = 2.943 \cdot CGI + 0.8836 \cdot (P_{AB})^{0.8165} - 1.026, \bar{R}^2 = 0.946$$

(4) 출입문 폭 2,000mm:

$$T_F = 2.943 \cdot CGI + 0.8185 \cdot (P_{AB})^{0.8165} - 1.026, \bar{R}^2 = 0.945$$

전반적으로 조정결정계수가 0.94 이상 높게 나타남으로부터 모델이 잘 부합함을 알 수 있다. 출입문 1,300mm일 경우 실험 데이터로 추정된 C_{AB} 가 1.096으로 실제 측정 데이터로 추정된 C_{AB} 1.175보다 약 6.7% 감소하였는데 이는 승객 구성 비율의 차이 및 실험이라는 통제된 환경 등에 기인한 것이라 사료된다.

마지막으로 C_{AB} 와 출입문 폭의 함수 관계를 도출하여야 한다. 출입문이 넓을수록 동시에 승하차 할 수 있는 인원이 많아지므로 C_{AB} 와 출입문 폭과는 반비례의 관계에 있다[6,13]. 그러나, 고정적인 출입문 통과 시간으로 인해 출입문 폭이 무한히 넓어진다고 해도 문을 통과하는 시간이 0이 될 수는 없다. 이러한 고정적 시간 요소를 상수로 반영하여 회귀 분석을 통해 구하면 관계식 (9)를 얻을 수 있다.

$$C_{AB} = \frac{1.09}{DW} + 0.3226 (\bar{R}^2 = 0.997) \quad (9)$$

여기서 DW 는 출입문 폭(m)이다. 여기에는 승하차 시험 시 실제 환경에 비하여 시간이 6.7% 적게 걸린 결과에 따라 이를 조정하기 위한 수치도 반영되어 있다. 이를 승하차 시간 모델에 대입하면 다음과 같은 모델 식이 얻어진다.

$$T_F = 2.943 \cdot CGI + \left(\frac{1.09}{DW} + 0.3126 \right) \cdot (P_{AB})^{0.8165} - 1.026 \quad (10)$$

Fig. 4에 혼잡도 100%일 때의 다양한 출입문 폭에 대한 승하차시간 그래프를 측정 및 시험 데이터와 함께 나타내었다. 도출된 승하차시간 모델이 실제 측정 데이터 및 시험 테

이터와 잘 부합함을 확인할 수 있다.

3. 결 론

본 연구는 국내 환경에 적합한 도시철도 열차의 승하차시간 모델을 설립에 관한 것이다. 실제 노선에서 승하차 시간을 측정하고 데이터 분석과 조정결정계수 비교를 통해 적합한 모델을 제안하였다. 다른 나라보다 1인당 승하차시간이 짧은 기존 연구를 다시 한 번 확인하였으며 승하차 인원이 증가함에 따라 지수형으로 감소하는 것도 확인하였다. 이러한 경향을 바탕으로 모델 수식을 설립하고 회귀분석을 통해 관련 변수의 값을 추정하였다. 또한 출입문 폭을 변경하여 시험하고 분석함으로써 이에 대한 영향도 승하차 모델에 반영하였다. 이를 통해 출입문 폭 확장 시 시간 단축 효과를 쉽고 정확하게 예상할 수 있다. 재차 인원의 정확한 측정이 어렵기 때문에 혼잡도는 예상치를 사용하여 회귀분석에 대입하였으므로 이에 대한 보완이 필요하며 또한 플랫폼의 혼잡도에 따른 하차 시간의 영향 분석은 본 연구를 발전시켜 추가로 진행해나가야 할 부분이다.

후 기

승하차시간 측정과 시험에 참여하신 한국철도기술연구원 광역도시교통연구본부 및 녹색교통물류시스템공학연구소 연구원님들과 한국교통대학교 학생들, 시험을 지원해 주신 한국교통대학교 교수님들께 깊은 감사를 드립니다.

References

[1] M.S. Kim, J. Kim, T. Kim, S.S. Park, et al. (2013) Study of the metropolitan rapid transport system to minimize sidetrack construction, *Journal of the Korean Society for Railway*, 16(5), pp. 402-409.

- [2] S. Choi, B. Lim, H. Park (2012) A study on the application of express train for the Gimpo city urban railway, *Proceedings of the Conference of the Korean Society for Railway*, Mokpo, pp. 177-184.
- [3] F. Takayoshi, H. Roh, and G. Kim (2004) A study on implementation of rapid service in urban railway, *Proceedings of the Conference of the Korean Society for Railway*, Gyeongju, pp. 144-149.
- [4] J. Park, H. Lee, J. Won (2006) A development of optimum operation models for express-rail systems, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 26(4), pp. 679-686.
- [5] K. Sohn (2007) Mixed operation with express train for urban railways in Seoul metropolitan area, *Journal of Korea Transportation Research Society*, 25(5), pp. 195-207.
- [6] S. Oh, H. Jang, H. Shin (2013) A statistical study on doorway flow-time for designing doors of Ui LRT, *Journal of the Korean Society for Railway*, 16(2), pp. 144-150.
- [7] Transportation Research Board (2000) *Highway Capacity Manual 2000*, National Academy Press, Washington, D.C.
- [8] T. Lin, N.H. Wilson (1992) Dwell time relationships for light rail systems, *Transportation Research Record*, 1361, pp. 287-295.
- [9] W.H.K. Lam, C.Y. Cheung, and Y.F. Poon (1998) A study of train dwelling time at the Hong Kong mass transit railway system, *Journal of advanced transportation*, 32(3), pp. 285-295.
- [10] A. Puong (2000) Dwell time model and analysis for the MBTA red line, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts Institute of Technology's Open Course Ware Project Report.
- [11] S.Y. Kim (2003) Development of dwell time relationship and impact on line capacity at Seoul Metro, *Master's Thesis*, Hanyang University
- [12] S. Oh (2005) An analysis of the passenger flow time in the congested subway stations, *Proceedings of the Conference of the Korean Society for Railway*, Uiwang, pp. 42-49.
- [13] N.G. Harris (2005) Train boarding and alighting rates at high passenger loads, *Journal of Advanced Transportation*, 40(3), pp. 249-263.
- [14] T. Parkinson and I. Fisher (1996) *Transit Cooperative Research Program Report 13 Rail Transit Capacity*, National Academy Press, Washington, D.C., pp. 38-50.
- [15] N. Baeg and S. Lee (2007) *Railroad Dictionary*, Golden Bell, Seoul.
- [16] Seoul Metro (2012) *The transportation plan of Seoul Metro in 20120*, Seoul Metro, Seoul, pp. 143-167.
- [17] S. Shin (2011) *Congestion Index of Urban Rail Transit Using Public Transportation Card Data*, Seoul Development Institute, Seoul, pp. 9-19.
- 접수일(2014년 3월 25일), 수정일(2014년 4월 22일),
게재확정일(2014년 5월 2일)
-
- Jungtae Kim** : jtkim@krii.re.kr
Korea Railroad Research Institute, #176 Cheoldo bakmulkwan-ro
Uiwang-si, Gyeonggi-do 437-757, Korea
- Moo Sun Kim** : mskim@krii.re.kr
Korea Railroad Research Institute, #176 Cheoldo bakmulkwan-ro
Uiwang-si, Gyeonggi-do 437-757, Korea
- Jae Sung Hong** : jshong@krii.re.kr
Korea Railroad Research Institute, #176 Cheoldo bakmulkwan-ro
Uiwang-si, Gyeonggi-do 437-757, Korea
- Yong Hyun Cho** : yhcho@krii.re.kr
Korea Railroad Research Institute, #176 Cheoldo bakmulkwan-ro
Uiwang-si, Gyeonggi-do 437-757, Korea
- Taesik Kim** : taesik.kim@hongik.ac.kr
Dept. of Civil Engineering, Hongik University, #94 Wausan-ro
Mapo-gu, Seoul 121-791, Korea