

우이-신설 경전철 출입문 설계를 위한 승하차시간 분석 연구

A Statistical Study on Doorway Flow-time for Designing Doors of Ui LRT

오석문* · 장현목 · 신한철

Suk-Mun Oh · Hyeon-Mog Jang · Han-Chul Shin

Abstract This paper presents an analysis of door design for the Ui LRT based on experiments to predict doorway flow-time and their analyses results. A similar railway vehicle (from Gimhae LRT) and operational conditions are utilized to assess the doorway flow-time through repetitive experiments. Design of the experiments consists of four scenarios, and the experiments are repeated 39 times in total. We use the results of the experiments to verify the design of doors of Ui LRT (e.g. the required number of doors and their width). Various statistical analyses are carried out for the flow-time with respect to the number of boarding/alighting passengers. We make three category levels of boarding/alighting passengers, and analyze the mean and variance for each category, and then carry out One-Way ANOVA to analyze how the number of boarding/alighting and onboard passengers impact flow-time. The results of this paper can be used for making decisions about doors of the LRT vehicle.

Keywords : Urban railway, Metro, LRT, Flow-time, Door, Design, Width

초 록 본 논문은 서울시 우이-신설 경전철의 출입문 사양 결정을 위한 승하차 시간 예측 모의실험 내용과 실험 데이터 분석결과를 제시한다. 우이-신설 경전철과 유사한 차량(김해 경전철 차량) 및 운영조건을 설정하여 승하차 시간을 측정하는 모의실험을 반복적으로 실시한다. 실험계획은 승하차 인원의 시나리오에 따라 4가지로 구성하였으며, 총 39회의 모의실험을 실시하였다. 이 실험결과를 활용하여 우이-신설 경전철의 출입문 폭과 수량에 대한 차량설계 방안의 적절성 검증이 가능하였다. 실험결과에 대한 통계적 분석으로 승하차 인원의 변화에 따른 승하차 시간 분석을 실시하였다. 실험계획에서 설정된 시나리오를 승하차 인원의 규모에 따라 다시 3가지 수준으로 분류하고, 수준별 승하차 시간의 평균과 분산을 조사하였다. 다음 승차, 하차 및 재차 인원의 구성에 따른 일원배치 분산분석(One-Way ANOVA)을 실시하여 각각의 구성이 승하차 시간에 미치는 영향을 분석하였다. 본 논문에서 제시된 실험결과 및 분석결과들은 장래 도시형 경전철 차량의 출입문 설계 관련 업무에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 도시철도, 경전철, 승하차시간, 출입문 설계, 출입문 폭, 출입문 수

1. 서 론

우이-신설 경전철이 2014년 개통을 목표로 건설되고 있다. 이 노선에 운영될 차량은 2량을 1량 편성으로 하는 경전철로서 최고속도 70km/h로 운행될 계획이다. 우이-신설 실시 설계[1]의 운영계획에 따르면 해당 차량은 정거장에 정차 중 출입문 완전 열림 상태 18초 이내에 승하차 승객을 모두 처리할 것으로 계획하고 있다. 서울시와 해당 사업의 관련기관에서는 해당 차량의 출입문 폭을 충분히 확보하면 사전에 계획된 정차시간 시간안에서 승하차 승객을 안전하게 처리할 수 있을 것으로 판단하고 우이-신설 경전철 차량 및 운영상황을 유사하게 모의실험(Emulating Experiment)하여 승하차 시간을 측정함으로써 해당 차량의 출입문 설계방안의 근거를 확보하고자 한다.

미국 국가연구위원회(National Research Council) 산하 교통 연구분과(Transportation Research Board)에서 1996년에 발표한 'TCRP Report - 13, Rail Transit Capacity'[7]에서는 북미 지역의 다양한 도시철도 통행 데이터를 분석하여 열차의 수송용량에 영향을 미치는 인자들과 상호관계에 대한 연구결과를 제시하고 있다. 이 보고서에 의하면, 열차의 운행시격(Headway)이 매우 짧은 도시철도의 경우, 역 정차시간(Station Dwell Time)은 수송용량에 중요한 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다.

역 정차시간은 승객의 승하차 시간(Passenger Flow Time, FT), 출입문 작동시간(Doorway still open) 및 출발신호 대기시간(Wait to depart)으로 구성된다고 알려져 있다[2,3,7,8]. 이 세 가지 구성 요소들 중에서 승하차 시간은 인구가 밀집한 도심지의 정거장에서 열차운영에 빈번하게 영향을 미치는 중요한 요인이지만 지금까지 소수의 연구만이 이 문제를 다루었다. A. Puong[3]은 Massachusetts Bay Transportation Authority (MBTA)에서 운영하는 Red Line을 대상으로 1999년 봄과 가을에 수집된 데이터를 이용하여 정차시간(Dwell

*Corresponding author.

Tel.: +82-2-900-9999, E-mail : thirdc@hankook.ac.kr

©The Korean Society for Railway 2013

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.2.144>

Table 1 Bus dwell time guide in Korea

Door operation time (sec.)		Boarding time (sec.)						Alighting time (sec.)
City type	Seat base	Without standees			With standees			
		Card	Cash		Card	Cash		
	Without changes		With changes			Without changes	With changes	
3.0	3.2	3.2	3.0	5.0	4.2	4.0	6.0	1.5

time)을 추정하는 회귀모델(Regression model)을 제시하고 있다. 이 연구에서는 단위 승차 및 하차 인원의 증가에 따라 각각 2.27초와 1.82초의 정차시간 증가를 나타내는 모형을 제시하고 있다.

오석문[2]은 서울시 2호선 혼잡 지하철역의 승하차 시간에 대한 측정결과를 제시하였다. 이 논문에서는 신도림역에서 삼성역에 이르는 매우 혼잡한 지하철역에서 퇴근시간대에 관측된 승객 543명의 1인당 평균 승하차 시간이 0.83초이었음을 제시하였다. 이 측정 결과는 A. Puong[3]과 상당히 차이가 있는 결과로서 국내 수도권 혼잡 지하철역의 1인당 승하차 시간이 미국에서 측정된 1인당 승하차 시간과 큰 차이가 있음을 의미한다. 저자는 이와 같은 차이의 한 가지 원인으로 미국과 국내 도시철도 통행자의 행태(Behavior)와 습성(Custom)이 매우 다르기 때문일 것으로 판단한다. 이러한 사실은 또한, 각 국의 도시철도 운영 및 관리 기관은 해당 지역 주민의 행태와 습성을 고려한 도시철도 운영시스템 설계가 이루어 지도록 해야 할 것임을 의미하는 것이라고 본다.

도로교통 분야에서 승하차 시간에 대한 연구는 철도 분야에 비해 많은 사례가 보고되었다. Cundill과 Watts[9]는 1인 및 2인 승무 버스 등 다양한 운영형태에 따른 버스의 정차시간에 대한 연구결과를 제시하였다. 각 정거장마다 평균 3명의 승차와 3명의 하차가 이루어지는 경우 평균 정차시간의 결과를 제시하였다. 또한 버스의 플랫폼 형태가 승하차 시간에 미치는 영향에 대해서 연구결과를 제시하였다.

Chapman[10]은 1969년에서 1974년 사이 영국과 유럽도시에서 운행하는 버스의 승하차시간에 대한 다양한 인자(승차권 판매 장치, 차량의 디자인 및 요금체계 등)의 영향을 조사하였다. 그러나 이 문헌에서는 각 인자에 대한 버스의 승하차시간의 의미 있는 영향을 찾아내지 못하였다. 저자는 그 이유에 대해 충분치 못한 조사 자료에 있다고 설명하고 있다.

Guenther와 Sinha[11]는 정거장에서 승객의 승차와 하차에 의한 정차시간의 형성과 버스의 지연에 대한 연구결과를 제시하였다. 그들은 노선을 따른 승하차 승객수의 분포가 음이항분포(Negative binomial)를 따르는 함수임을 보였다. 정차시간이 승하차 승객수의 함수임을 보이기 위해 추가적인 데이터를 활용하였다. 개발된 방법론은 위스콘신주의 밀워키 데이터를 활용하여 검사되었다.

국내 도로용량 편람[4]에서는 버스의 정차시간을 승객을 위한 승하차 시간과 출입문 개폐시간의 합으로 정의하고 있으며, 개폐시간은 2~5초의 값을 갖는 것으로 설정하고 있다.

성명연[5]은 버스 승객의 승하차시간과 하차시간에 대한 회

귀모형을 제시하였다. 승차시간 예측모형의 독립변수는 총 승차인원, 입석자수 및 상면 지상고, 하차시간 예측모형의 독립변수는 하차인원과 상면지상고로 설정하였다.

이와 같이 승하차 승객수가 버스의 정차시간과 운영계획의 안정성에 미치는 영향의 분석을 위한 다양한 연구들이 추진되었다. 반면 철도의 경우 버스에 비해 이 분야의 연구사례가 미흡한 실정이다. 특히 국내 수도권과 같이 인구가 밀집된 도시의 복잡한 도시철도 노선에 대한 이 분야의 연구는 필수적이다. 본 논문은 이 분야에 기여를 목적으로 한 논문으로써, 우이-신설 경전철에서 운영할 차량과 유사한 조건을 가진 김해 경전철의 차량을 이용하고, 장래 우이-신설 경전철의 예상 수요 및 운영조건을 동일하게 설정하여 승하차 시간에 대한 다양한 실험과 결과 분석을 통해 해당 노선이 장기적으로 원활하게 운영될 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, 제2절에서는 김해 경전철 차량을 활용한 실험계획 및 결과를 제시한다. 다음 3절에서는 실험결과 데이터에 대한 다양한 통계분석 결과를 제시한다. 마지막으로 4절에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

2. 실험계획 및 결과

Table 2는 우이-신설 차량에 대한 승하차 시간 예측 실험계획의 개요를 나타낸다. 실험은 우이-신설 차량과 유사한 제원을 갖는 김해 경전철 차량을 이용하여 이루어졌다. 실험에는 부산시에서 거주하는 일반 시민들이 참여하였다. 실험의 참여자들은 20대 ~ 50대에 이르는 청장년 층이 대부분으로 남녀간의 성별 비율은 균형있게(약 50%:50%) 구성되었다. 노약자 및 신체 장애자들은 실험에 참가하지 않았으며 이 부분에 의한 영향은 장래 추가로 연구되어야 할 부분이다.

실험 참가자들이 현실과 유사한 승하차 조건을 구성한 후 사전에 설정된 다양한 시나리오에 따라 승하차 과정을 반복적으로 시행하며 소요시간을 측정하였다. 실험 참가자들은 실험 중에 발생할 수 있는 안전사고에 대한 교육과 함께 실

Table 2 General aspects of the experiment

Date: April 3 2012, 13:30 ~ 16:30
Place: Depot of Busan-Gimhae LRT (platform width = 3.3m)
Rail vehicle: Busan-Gimhae LRT vehicle that would be very similar with Ui LRT (2 coaches for a train-set, 2 (1.5m) doors for each side of a coaches whose)
Passengers: 72 persons (equivalent to full capacity for 1 door)

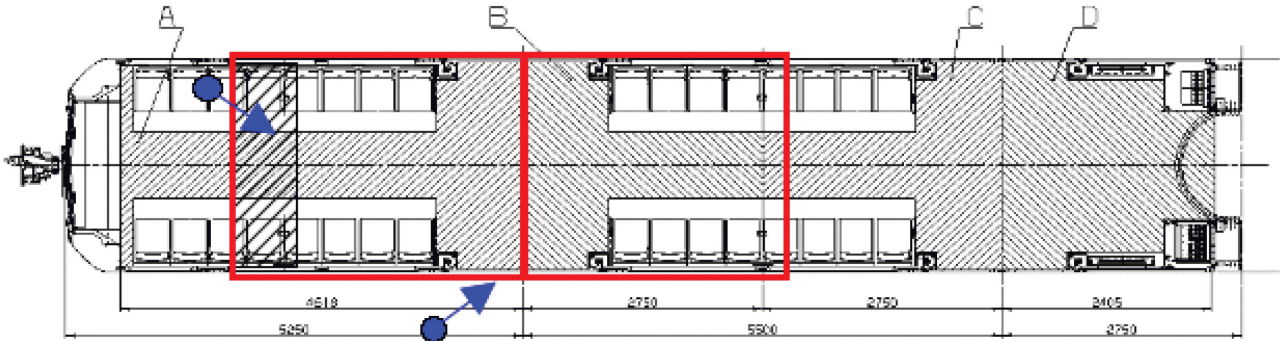


Fig. 1 Layout of the test rail-vehicle

험계획에서 정의된 시나리오별 승차 및 하차 인원을 지정하고 평소 지하철 이용과 동일한 방법으로 승하차 하도록 교육을 받았다.

Fig. 1은 실험 대상인 김해 경전철 차량의 평면구조를 나타낸다. 실험은 Fig. 1에 나타난 평면 구조에서 출입문 1개를 통해 승하차 할 것으로 예상되는 차내 면적을 대상으로 한다. Fig. 1에 표시된 차내 면적에 대한 만차 정원(72명)은 해당 차내 면적의 탑승정원(44명)과 해당 차내 면적에서 입석 정원의 200%(28명)를 합산하여 산출된다.

Table 3은 우이-신설 경전철의 실시설계[1] 중 승객 이용이 가장 높을 것으로 예상되는 L11 정거장의 장래 수송수요 예측결과를 나타낸다.

Table 3 Demand forecast for a peak hour in the busiest station (L11, L13 L01) [1]

Years	Boarding	Alighting	Total (Including onboard)
2013	2,461	114	6,186
2017	2,497	114	6,244
2022	2,524	113	6,304
2027	2,549	111	6,378
2032	2,562	110	6,425
2037	2,569	109	6,467
2042	2,571	109	6,496

우이-신설 경전철 실시설계[1]에 수록된 운영계획에 따라 운전시격(Operational headway)을 2.5분으로 설정하는 경우 첨두시간(Peak time)에 승하차 승객수가 가장 많은 2042년 출입문 1면당 예상 승하차 승객수는 다음과 같이 산정된다.

이는 실험에서 상정하는 실험인원 수 보다 훨씬 작은 수로서, 본 실험의 조건은 장래 우이-신설 경전철의 통행발생예측을 충분히 고려한 것으로 판단할 수 있다.

Table 4는 실험을 실시하기 위해 설정한 4가지 시나리오를 포함하는 실험계획을 나타낸다. Table 3의 2042년 총원대비 승하차 인원의 비율이 약 40%인 점을 감안하여 실험에서 총원에 대한 승하차 인원수를 산정하였다.

실험을 실시하는 중, 현장에서의 판단에 따라 시나리오 I-1과 IV-1를 추가적으로 실시하였다. 또한 시나리오 I과 II의 반복횟수는 실험계획 당시 5회로 설정하였으나 역시 현장에서의 판단으로 각각 10회와 11회를 반복하였다. 이와 같은 실험들의 결과는 Table 5에서 제시하는 바와 같다.

Table 5에서 제시하는 실험 결과 데이터의 수는 일반적 통계적 분석과정에서 적용하는 정규성의 가정을 충족하기에는 부족한 샘플이다. 일반적으로 정규성을 가정하기 위해 최소의 샘플 수는 30 이상이어야 한다. 본 논문에서 제시하는 실험은 대규모의 인원(72명)을 동원하여 다양한 조건(4가지 시나리오)에서 실행하는 실험으로서 각 시나리오별로 충분한 반복 샘플을 구하기 어려운 현실적인 제약을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 각 시나리오의 데이터 샘플에 대해 정규성 검정(Normality Test)를 별도로 시행하였다.

Table 4 Design of the experiment

Index of scenarios	Number of passengers				Number of repetition	Identification
	Total	Onboard	Boarding	Alighting		
I	72	44	28	0	10(5)	40% of boarding passengers (28) to the full capacity (72)
I-1	72	44	0	28	5	40% of alighting passengers (28) to the full capacity (72)
II	72	42	15	15	11(5)	40% of boarding and alighting passengers (30) to the full capacity (72)
III	43	25	9	9	5	40% of boarding and alighting passengers (18) to the capacity (43)
IV	43	0	43	0	5	100% of boarding passengers (43) to the capacity (43)
IV-1	43	0	0	43	3	100% of alighting passengers (43) to the capacity (43)

Table 5 Experimental results of door-way flow time (in sec.)

Index of repetition	I	I-1	II	III	IV	IV-1
INST-1	11.82	10.50	12.60	11.53	16.41	17.16
INST-2	10.28	12.91	13.81	10.07	14.97	15.53
INST-3	11.28	12.47	10.97	9.35	16.53	14.91
INST-4	11.40	12.88	12.22	9.12	16.00	
INST-5	11.75	13.19	12.53	9.38	14.72	
INST-6	13.31		15.37			
INST-7	13.91		12.19			
INST-8	13.65		13.12			
INST-9	14.91		11.15			
INST-10	13.53		13.90			
INST-11			11.78			
Mean	12.58	12.39	12.69	9.89	15.73	15.87
Stdev.	1.47	1.09	1.29	0.98	0.83	1.16
FT/passenger	0.449	0.443	0.423	0.549	0.366	0.369
Shapiro-wilk test	0.8703	-	0.6774	0.1074	0.5427	-

정규성 검정을 위해 Shapiro-Wilk의 정규성 검정방법[14]을 적용하였다. 추가로 실시한 I-1 및 IV-1 시나리오는 원래 시나리오인 I과 IV의 데이터와 함께 분류하여 검정하였다. 검정 결과는 Table 5의 마지막 행에 나타나있다. Shapiro-Wilk 검정의 P값이 모두 유의수준 이상으로 정규성의 조건을 만족하고 있으므로 모수적 분석(Parametric Analysis) 방법을 적용할 수 있다.

Table 5에서부터 모든 시나리오의 승하차 시간 평균값이 우이-신설 경전철 실시설계[1]의 출입문 개방시간 (18초) 이 내로 나타남을 알 수 있다.

3. 실험결과 분석

이 절에서는 앞 절에서 소개한 실험으로부터 얻은 데이터들에 대한 다양한 통계적 분석결과들을 제시한다. 이 절에서 시행되는 통계적 분석에서는 측정된 데이터의 정규성(Normality)과 등분산성(Equality of variance)을 가정한다. 이 실험이 많은 인원을 동원하여 반복적 시행되는 형태이므로, 다양한 시나리오에 대해 개별적으로 충분한 데이터(Sample size)를 갖지 못하는 한계점에 기인한다.

3.1 승하차 인원에 따른 승하차 시간 분석

Table 5의 실험결과를 승하차 인원(즉, 승차 인원 + 하차 인원)의 관점에서 분석할 때, 시나리오 I과 I-1은 28명이고, 시나리오 II는 30명인 경우로서 각 시나리오에서 승하차 인원의 차이는 크지 않다고 볼 수 있다. Table 6은 이 두 가지 시나리오에서 승하차 시간의 차이에 대한 통계적 유의성을 검정한 결과이다. Table 6의 양측검정에 대한 $P = 73.85\%$ 로 5% 유의수준에서 귀무가설($H_0: \mu_{28} = \mu_{30}$, $H_1: \mu_{28} \neq \mu_{30}$)을 기각할 수 없으므로, ‘승하차 인원이 28명인 경우와 30명

Table 6 Results of T-Test for the average flow-time to I, I-1 vs. II

Level of factors	I, I-1 (28)	II (30)
Average	12.51933	12.69455
Variance	1.733664	1.674827
Number of samples	15	11
Pooled variance	1.709149	
Hypothetical average difference	0	
DF	24	
t Statistic	-0.33762	
P(T<=t) One-side	0.369292	
P(T<=t) Two-side	0.738584	

인 경우 승하차 시간의 차이는 통계적으로 유의하지 않다.’는 결론이 가능하다. 여기서, μ_{28} 및 μ_{30} 는 각각 승하차 인원이 28명 및 30명인 시나리오들의 승하차 시간 평균값을 나타낸다.

따라서, 승하차 인원에 따른 승하차 시간 변화 분석은 Table 7에서 제시된 바와 같이 18명인 경우(III), 28명 ~ 30명인 경우(I, I-1 및 II) 및 43명인 경우(IV, IV-1)로 구분하여 시행한다. Table 7과 Fig. 2는 승하차 인원의 증가에 따른 승하차 시간 증가 유형을 나타낸다. 이와 같은 결과들로부터 승하차 시간(종속변수)은 승하차 인원(독립변수)에 크게 영향을 받는다는 사실을 확인할 수 있다.

승하차 시간의 분석에 있어 또 한가지 고려해야 할 사항은 재차 인원(Onboard passengers)이다. 재차 인원이 많으면 차내 혼잡율이 높아진다. 차내 혼잡율이 높은 상황에서의 승하차 시간은 그 반대의 경우보다 승하차 시간이 크게 나타날 개연성이 있다. 다음 절에서는 승하차 인원을 제외하고

Table 7 A new classification of level of factors

Level of factors	Samples	Mean flow time (FT)	Variance	FT/passenger
III (18)	5	9.89	0.97	0.55
I, I-1, II (28~30)	26	12.59	1.65	0.43
IV, IV-1 (43)	8	15.78	0.79	0.37

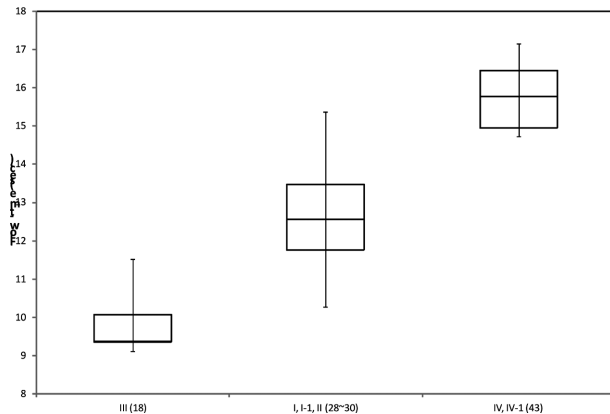


Fig. 2 Increase of flow time to the number of passenger

승하차 시간에 영향을 미칠 것으로 예상되는 인자(Factors) 들인 재차 인원과 총원(= 승차 + 하차 + 재차 인원)의 영향을 파악한다.

3.2 승차, 하차 및 재차 인원의 구성에 따른 승하차 시간 분석

Table 4의 시나리오들을 총원의 관점에서 72명인 시나리오(I, I-1 및 II)와 43명인 시나리오(III, IV 및 IV-1) 그룹으로 대별할 수 있다. Table 8은 이와 같이 총원이 72명 및 43명인 경우 승하차 시간의 차이에 대한 통계적 유의성을 검정한 결과이다. 단측검정에 대한 $P = 9.84\%$ 로 5% 유의수준에서 귀무가설($H_0: \mu_{72} = \mu_{43}$, $H_1: \mu_{72} > \mu_{43}$)을 기각할 수 없다. 따라서 총원이 72명인 경우와 43명인 경우 승하차 시간의 차이는 통계적으로 유의하지 않다. 이와 같은 검정의 결과로부터 승하차 인원과 재차 인원의 구성 비율을 구체적으로 고려하지 않고, 총원의 규모만을 고려하여 승하차 시간의 변화를 파악하는 시도는 적절치 않은 접근법으로 판단할 수 있다.

Table 8의 첫 번째 시나리오 그룹(I, I-1 및 II)의 승하차 인원 구성은(28명 ~ 30명)이고, 두 번째 시나리오 그룹(III, IV 및 IV-1)의 승하차 인원 구성은(18명 ~ 43명)이다.

각 시나리오 그룹에 대해 승차, 하차 및 재차 인원의 구성이 승하차 시간에 미치는 영향을 분석하기 위해 Table 8과 같이 시나리오들을 분류하고, 각 시나리오 그룹별로 일원배치 분산분석(1-Way ANOVA)을 실시한다. 각각의 경우 검정하고자 하는 가설은 $H_0: \mu_I = \mu_{I-1} = \mu_{II}$ 와 $H_0: \mu_{III} = \mu_{IV} = \mu_{IV-1}$ 이다.

Table 8 Results of T-Test for the average flow-time to I, I-1, II vs. III, IV, IV-1

Level of factors	I, I-1, II (72)	III, IV, IV-1 (43)
Average	12.59	13.51
Variance	1.65	9.67
Number of samples	26	13
Pooled variance	4.25	
Hypothetical average mean difference	0	
DF	37	
t Statistic	-1.31414	
P(T<=t) One-side	0.098443	
P(T<=t) Two-side	0.196887	

Table 9 Summary of flow times for (I, I-1, and II) and (III, IV, and IV-1)

Level of factors	Samples	Sum	Mean	Variance
I	10	125.84	12.58	2.16
I-1	5	61.95	12.39	1.18
II	11	139.64	12.69	1.67
III	5	49.45	9.89	0.97
IV	5	78.63	15.72	0.69
IV-1	3	47.6	15.87	1.35

Table 10은 위에서 제시된 일원배치 분산분석의 결과를 나타낸다. Table 9로부터 첫 번째 시나리오 그룹(총원 72명)에 대한 귀무가설 $H_0: \mu_I = \mu_{I-1} = \mu_{II}$ 는 기각되지 않는다. 이와 같은 결과의 원인은 이 그룹에 속한 각 시나리오의 승하차 인원 차이가(28명 ~ 30명)으로 작기 때문인 것으로 판단된다. 사실 이 결과는 Table 6에서 제시된 T-검정 결과와 연관성이 크다. 이와 같은 검정 결과로부터 승차가 중심인 경우(I), 하차가 중심인 경우(I-1) 및 승하차가 공존하는 경우에 대한 승하차 시간의 차이는 통계적으로 유의하지 않음을 알 수 있다. 반면, 두 번째 시나리오 그룹(총원 43명)에 대한 귀무가설 $H_0: \mu_{III} = \mu_{IV} = \mu_{IV-1}$ 은 기각된다. 이 결과는 III의 승하차 인원이 18명인 반면 IV와 IV-1의 승하차 인원이 각각 43명 이므로, 승하차와 재차 인원 구성이 상이할 경우, 승하차 시간의 차이가 발생한다는 앞 절의 결과를 다시 확인해 준다. 이와 같은 결과는 승하차 시간에 대한 영향력에서 총원과 재차 인원 보다 승하차 인원이 주요한 요인임을 의미한다.

승하차 시간에 대한 승하차 인원과 재차 인원의 영향을 회귀분석(Regression analysis)을 통해 보다 정확하게 파악할 수 있다. Table 11은 승하차 시간에 시간에 대한 승하차 인원과 재차 인원의 회귀분석 결과를 나타낸다. 이 회귀모형의 전반적인 유의성은 $F = 6.7705E-10$ 으로 확보되는 것을 알 수 있다. 그러나, 각 독립변수에 대한 영향력의 검정에서, 재차 인원의 경우, $P = 74.22\%$ 로서 5% 유의수준 이내에서 유의하지 않음을 알 수 있다. 이 결과는 주어진 실험결과에서 승

Table 10 Result of 1-Way ANOVA for (I, I-1 and II) and (III, IV and IV-1)

Level of factors	Factor of variance	Sum of square	DF	Mean of square	F ratio	P-Value	F Statistics
I, I-1 and II (72 passengers)	Treatment	0.32	2	0.16	0.090	0.914	3.422
	Residual	40.89	23	1.78			
	Total	41.21	25				
III, IV and IV-1 (43 passengers)	Treatment	0.32	2	53.37	57.135	3.37E-6	4.103
	Residual	40.89	10	0.93			
	Total	41.21	12				

Table 11 Result of regression analysis to the flow and onboard passengers

Variables	Coefficient	Standard error	t Statistic	P-Value
Y-intercept	5.5070045	1.3997831	3.9341842	0.000365166
Flow passengers	0.2384468	0.0341405	6.9842806	3.44244E-08
Onboard passengers	0.0048242	0.0145584	0.33137	0.742286303

Table 12 Result of regression analysis to the flow passengers

Variables	Coefficient	Standard error	t Statistic	P-Value
Y-intercept	5.886258	0.796167	7.393246	8.53701E-09
Flow passengers	0.231035	0.025482	9.06661	6.18176E-11

하차 시간에 대한 재차 인원의 영향이 유의하지 않음을 의미한다.

Table 12는 재차 인원을 제외하고 승하차 인원의 영향력을 분석한 결과이다. 이 회귀모형의 전반적인 유의성은 $F = 6.1818E-11$ 로 확보되는 것을 알 수 있고, $R^2 = 0.689$ (Adj. $R^2 = 0.681$)의 수준으로 나타났다. 이 결과는 MBTA Red Line에 대한 모형[6]의 Adj. $R^2 = 0.89$ 로 제시된 것과 비교할 때 모형의 설명력 측면에서 다소 미흡한 결과이다. 이와 같은 차이점은 MBTA Red Line[6]의 데이터가 현실에서 운영되는 노선으로부터 얻어진 것과 비교하여, 본 논문의 결과는 장래 예상 노선에 대한 모의 상황의 실험결과로부터 기인한 것으로 판단한다.

4. 결 론

본 논문에서는 서울시 우이-신설 경전철의 출입문 설계를 위해 승하차 시간에 대한 모의실험과 그 실험결과의 통계적 분석을 제시하였다. 장래 우이-신설 경전철과 유사한 차량인 김해 경전철 차량을 선택하여 해당 노선의 장래 운영조건을 재현하였다. 승하차 실험을 위해 출입문 1면을 통해 승하차 할 것으로 예상되는 인원 72명이 다양한 시나리오에 따라 승차와 하차를 반복하는 모의실험을 실시하고 결과를 분석하였다. 실험결과와 분석을 통해 다음과 같은 결론들을 도출할 수 있다.

1. 승하차 시간에 대한 국내 기존 연구[2]와 본 연구를 복미 기존 연구[6] 및 [7]과 비교 검토한 결과 승하차 인원 증가에 따른 승하차 시간 증가의 폭에 상당한 차이가 있음을 발견할 수 있다. 이와 같은 원인 중의 하나로 각 국 대중교통

통 통행자의 행태 및 습성의 차이에 기인한다고 판단된다. 따라서, 각 지역별 통행 행태와 습성의 차이를 고려한 도시철도 시스템 관리가 이루어져야 할 것이다.

2. 김해 경전철을 이용한 우이-신설 경전철 차량(각 차량의 면당 1.5m 출입문 2조)의 승하차 시간 예측 실험 결과는 모두 출입문 개방시간 (18초) 이내로 관측되었다.

3. 승하차 인원 및 재차 인원의 구성을 고려하지 않고 총원만을 고려하는 승하차 시간 추정방법은 적합하지 않다.

4. 주어진 실험 결과 내에서, 재차 인원의 승하차 시간에 대한 영향력은 유의미 하지 않았으며, 승하차 인원이 동일한 경우, 승차 중심인 경우와 하차 중심인 경우 승하차 시간의 차이에 대한 유의성 역시 확보되지 않았다.

본 논문에서 도출한 네 번째의 결론은 기존 연구[2]와 배치되고 있다. 이는 장래 보완된 실험과 데이터를 통해서 극복해야 할 과제로 사료된다. 아울러 출입문 폭의 증가에 따른 승하차 시간의 단축에 관한 연구도 추진되어야 할 것으로 판단된다. 특히, 동일한 실험조건에서 승차와 하차를 반복하는 단순한 과정에서 차내 혼잡에 따른 승하차 시간의 지연 요소들이 무시될 여지가 많았다. 마지막으로 최근 증가하는 고령자의 비율 증가에 따른 승하차 시간 증가 문제가 같이 고려될 수 있는 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문에서 제시한 결과를 도출할 수 있도록, 김해 경전철에서 실험을 주관하신 현대로템 고한준 부장님과 김래원 과장님 그리고 실험에 참여하신 모든 분들께 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] Seoul City (2011) Implementation plan for public private partnership project of Ui LRT (Driving and Operation).
- [2] S.-M. Oh (2005) An analysis of the passenger flow time in the congested subway stations, *Proceeding of The Korean Society for Railway - Spring Conference in 2005*, Uiwang, pp. 42-49.
- [3] S.-M. Oh, H.-L. Rho, Y.-H. Kim, S.-H. Hong (2012) A comparative study on methods of assessing railroad track capacity, *Journal of the Korean Society for Railway*, 15(6), pp. 670-681.
- [4] Ministry of Construction & Transportation (2005), Korean Manual of Road Capacity.
- [5] Sung Myung Uhn (2012) An empirical estimation model for bus boarding and alighting times, *Master's Thesis*, Ahju University.
- [6] A. Puong (2000) Dwell time model and analysis for the MBTA, Massachusetts Institute of Technology Research Memo.
- [7] Transportation research board/national research council, Chapter 4- Station dwells (1996) TCRP report 13 - Rail Transit Capacity(part B), pp. 38-64.
- [8] Transportation research board/national research council (1999) Transit capacity and quality of service manual, TCRP web document 6.
- [9] M.A. Cundill, P.F. Watts (1973) Bus boarding and alighting times, Britain Transport and road research laboratory.
- [10] R.A. Chapman (1975) Bus boarding times a review of studies and suggestions for interpretation, University of Newcastle.
- [11] Richard P. Guenther and Kumarc C. Sinha (1983) Modeling Bus Delay due to Passenger Boardings and Alightings, *TRB* 915, pp. 7-13.
- [12] K.Y. Kyun, K.S. Young (2000) Analysis of Dwell Time for Metro Bus, *Master's Thesis*, Myongji University.
- [13] J.H. Kim (2005) A Study on Calculation of Dwell Capacity through Analysis of Dwell Time for Metro Bus, *Master's Thesis*, Hanyang University.
- [14] Patrick Royston (1982) An Extension of Shapiro and Wilk's W Test for Normality to Large Samples. *Applied Statistics*, 31, pp. 115-124.

접수일(2012년 10월 22일), 수정일(2012년 11월 9일),
 게재확정일(2013년 3월 13일)

Suk Mun Oh : smoh@krri.re.kr

Korea Railroad Research Institute, #176 Raiold museum road,
 Uiwang-si Gyeonggi-do, 437-757, Korea

Hyeonmog Jang : hmjang@seoul.go.kr

Infrastructure Headquarters, Seoul Metropolitan Government, 54
 Seosomunno, Jung-gu, Seoul, 100-731, Korea

Hanchul Shin : hans@seoul.go.kr

Director of General of Rapid transit Seoul Metropolitan Govern-
 ment, 54 Seosomunno, Jung-gu, Seoul, 100-731, Korea