

버스 승하차시간 추정 모형 개발

성명언^{1*} · 최기주² · 신강원³ · 정우현¹ · 이규진¹

¹ 아주대학교 TOD기반 지속가능 도시·교통 연구센터, ² 아주대학교 교통시스템공학과
³ 경성대학교 도시공학과

An Empirical Model for Estimating Bus Boarding and Alighting Time

SEONG, Myeong Eon^{1*} · CHOI, Keechoo²
SHIN, Kangwon³ · CHUNG, Woohyun¹ · LEE, Kyu Jin¹

¹ TOD-based Sustainable City Transportation Research Center, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

² Department of Transportation Systems Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

³ Department of Urban Design and Development Engineering, Kyungsoo University, Busan 608-736, Korea

Abstract

The total boarding and alighting time models have been developed by applying the multiple regression analysis with three variables; numbers of boarding or alighting passengers, non-sitting passengers, and the step-height from the ground. Such variables have influenced to the total boarding time model with the most influential in the numbers of boarding or alighting passengers and the least in the step-height. On the total alighting time model, the numbers of alighting passengers are the most strongest while the step-heights the least. The total boarding and alighting time models can be used in practices for the prediction of current and future bus stops' capacities in TOD-based towns.

현재 KHCM이 출판될 당시와 현재의 대중교통 환경이 달라져 승하차시간 산정방법이 달라질 필요가 있다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 승하차시간에 영향을 주는 승하차수, 입석자수, 상면지상고를 변수로 총승하차시간값을 도출하는 모형을 다중회귀모형을 통해 분석하였다. 그 결과 총승하차시간의 경우는 승하차수, 입석자수, 상면지상고 순으로 영향력의 차이가 있었으며, 총하차시간의 경우는 하차자수, 상면지상고 순으로 분석되었고, 두 개의 모형에서의 독립변수들은 모두 종속변수와 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 모형을 통해 예측된 순수 승하차시간은 기존의 버스정류장은 물론 TOD를 고려한 신도시 등의 신설 버스정류장 용량 산정에 유용할 것으로 판단된다.

Keywords

boarding/alighting time, boarding/alighting passenger number, heights of path bottom, multiple regression analysis, standing passenger number, TOD

버스 승하차시간, 버스 승하차차의 수, 상면지상고, 다중회귀분석, 입석자수, TOD

* : Corresponding Author

lantise@ajou.ac.kr, Phone: +82-31-219-3250, Fax: +82-31-219-3253

Received 22 February 2013, Accepted 14 April 2014

서론

1. 연구의 배경 및 목적

버스 정류장을 효율적으로 설계하고 운영하기 위해서는 버스 정류장 용량 산정의 핵심요소인 승객승하차시간이 적절하게 반영되어야 한다. 국내 도로용량편람(KHCM, Korea highway capacity manual)은 대중교통시설 시설에 대해 적정 규모를 계산하고, 현재의 서비스 수준을 분석하는 지침을 제공하고 있으나, 지침이 나온 이래로 수도권 통합요금제가 시행되었고, 교통카드 보급률과 저상버스의 수도 증가하여 이를 고려한 현실적인 승객 승하차 시간 추정모형에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구는 버스 정류장 용량산정의 핵심요소인 버스 승객 승하차시간을 보다 현실적으로 반영하기 위해 요금징수체계의 변화에 따른 승하차시간, 입석승객의 규모에 따른 승하차시간, 차종별 승하차시간을 고려하였다. 본 연구의 주안점을 좀 더 구체적으로 기술하면, 현재 KHCM은 단순히 입석자 유무에 따라 승차시간 차이를 1초로 규정하고 있으나, 입석자의 규모에 따라 승하차시간은 영향을 받을 수 있다고 판단되는바, 입석자 규모가 승하차시간에 미치는 영향을 분석하였다.

버스 차종별 상면지상고¹⁾가 버스 승하차시간에 미치는 영향을 분석하였다. 구체적으로 본 연구에서는 저상버스, 일반버스(시내, 도시형 좌석), 광역형 좌석버스의 상면지상고를 변수로 고려하여 차종별 승하차시간을 조사분석하였다.

이처럼 본 연구의 목적은 버스정류장 시설계획 및 운영에 핵심이 되는 버스정류장 용량 산정을 위한 버스 승하차시간을 다양한 요인들을 반영하여 추정할 수 있는 모형개발로, 관련 분석은 버스 CCTV자료와 버스 탑승 조사 결과를 분석하여 수행하였다(전체 연구 흐름은 Figure 1 참조).

이론적 고찰

1. 버스 점유시간

KHCM에서 제시하고 있는 버스 정차시간, 승객 승하차시간, 버스점유시간의 정의는 아래와 같다.

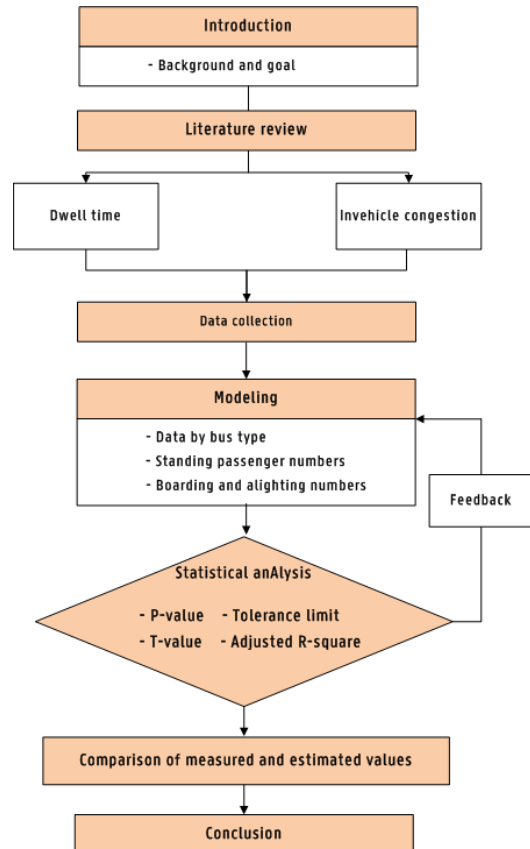


Figure 1. Study process

- 정차시간: (출입문 여는 시간+승객 승하차시간+출입문 닫는 시간) 버스정류장에 정차해 있을 동안의 시간으로 버스의 바퀴가 멈추었다 출발하는 사이의 시간을 의미
- 승객 승하차시간: 출입문이 열린 후 승객이 승·하차하기 시작한 시간부터 승하차 완료 후 출입문이 닫힐 때까지의 소요시간
- 점유시간: 한 버스가 정류장 정차면을 이용하는데 점유하는 시간으로 정차시간과 소거시간의 합. 정차면을 이용하는 버스의 최소 차두시간이 되기도 함

Figure 2와 같이 버스점유시간은 세부적으로 정차면에 진입하기 위한 차량의 감속 및 진입시간, 출입문 개폐시간, 승객 승하차시간(요금징수방법, 계단높이 등에 따라 다름) 그리고 본 도로로 진입하는 시간 등으로 구성된다.

1) 버스의 경우 지면으로부터 실내인 승객석(또는 통로)이 위치한 바닥의 최저 높이를 의미함, <http://www.buslife.co.kr>

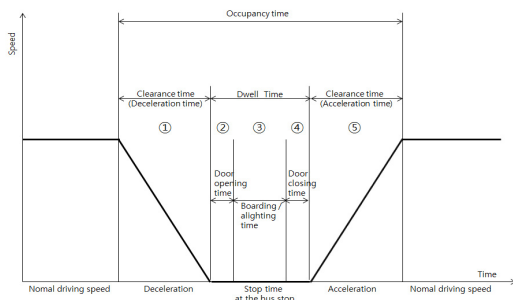


Figure 2. Bus occupancy time's configuration

정차시간이 증가하게 되면 정차면당 시간당 최대버스의 수는 감소하여 설계된 버스 정류장 용량에 미치지 못하게 된다. 이러한 상황을 미연에 방지하기 위해서는 정차시간이 증가시키는 요인을 분석해서 제거 및 감소시켜야 한다.

KHCM에서는 정차시간을 구성하는 요소인 출입문 개폐시간과 승객 승하차시간에 대해 따로 기준을 두었다. 출입문 개폐시간은 도시형과 좌석형 버스를 기준으로 각각 3.0초, 3.2초로 제시하였으며, 승차시간은 입석 승객의 유무, 결제방법(버스카드, 거스름돈 유무)별로 기준을 두어 3.0-5.0초/인으로 제시하였다.

2. 승하차시간(Boarding/alighting time)

Cundill and Watts (1973)의 연구에서 정지시간(Stop time)을 구성하는 요소인 문의 개폐시간과 승객의 승하차시간을 따로 조사하였다.

Levinson (1983)은 승객의 서비스 시간에 대한 모형을 제시하였는데, 승객의 서비스 시간은 차량의 문 개·폐시간을 포함하였으며, 도시별 승차시간 계수 값을 산정하여 모형화하였다.

Guenther and Sinha (1983)의 연구에서는 정차시간 중 승하차 분석에서는 승하차별로 구분하여 카운팅하지 않고 전체를 카운팅하여 조사하였다. 총 표본수는 357명과 113개의 정류장을 오전 침두, 낮, 오후 침두로 나누어 조사한 결과 버스정류장당 평균 정차시간은 9.54초였고, 승객당 평균 정차시간은 3.02초로 나타났다. 정류장에서 승객의 수가 증가하면 할수록 총 정차시간은 증가하지만 승객 당 정차시간은 감소하였다. 이는 승객이 버스를 승차 전 또는 하차 후 등에 걸리는 시간이 승객수만큼 나뉘어져서 나타난 결과이다.

Chapman(1975)은 승차시간(Boarding time)에 영향을 받는 요소에 대한 연구를 하였고, 요금체계, 버스의 문, 계단, 입석 공간 등이 승차시간에 영향을 주는 요소이며, 이 요소에 대한 기존의 분석방법을 나열하고, 각 분석방법에 대한 장점 및 문제점을 언급하였다. 정차시간의 경우 1-6.5 사이의 값을 가진다고 하였다. 정지시간 모형은 버스문이 하나일 경우와 2개일 경우로 2가지 형태이다. 하나일 경우는 버스의 승차시간과 하차시간 그리고 정차시간으로 구성된다. 승하차 승객 특성 모두의 영향을 받게 되며, 승하차가 구분되어질 때 추가의 정차시간이 소비되어 출입문이 두 개일때보다 정차시간의 수치가 증가하는데, 그 이유는 승차와 하차가 교차되는 시점에도 승하차에 쓰여지지 않는 시간이 발생하기 때문이다.

Highway Capacity Manual(TRB, 1994)에서는 승객서비스 시간(passenger service time)에 관해 다음과 같은 사실을 확인하였다. 앞쪽과 뒤쪽 출입문의 이용에 있어서 하차시간에는 아무런 차이가 없다. 하차시 양쪽문을 사용하게 되면 한쪽 출입문을 사용하여 하차하는데 많이 소요되게 되며 출입문이 하나인 버스의 경우에 대한 미국의 경험을 보면 승객의 승차시간의 범위는 2-8초로 나타났다. 그리고 하차시간은 전형적인 도시의 조건에서는 1.5-2.5 정도에서 수하물 휴대할 경우에는 6초 또는 그 이상으로 다양하게 분포된다.

이후 연구에서는 정차시간은 버스가 승객을 위해 정차하는 시간으로 정의하면서, 버스와 일반교통이 분리되지 않는 도로에서 버스가 정차할 때 버스의 정차시간은 해당도로의 용량감소에 직접적인 영향을 끼친다고 보고하고 있다. 이 시간은 승객을 위한 승하차시간과 출입문 개폐시간은 2-5초 정도의 값을 갖는다. 정차시간은 지역에 따라 측정될 수 있다(TRB, 2000).

Kang et al. (2001)의 연구에서는 승차시간의 버스별(도시형, 좌석형, 순환형) 요금 형태별(현금, 거스름 받는 경우의 현금, 버스카드) 승하차별 정차시간을 비교하였으며 승차시간, 하차시간별 회귀분석을 이용하여 모형을 도출하였다. 도시형과 지역순환버스의 승차시간은 버스의 앞문을 연 순간부터 앞문을 닫는 순간까지로 측정하였으며, 운전자가 차량 문을 닫지 않고 차량을 출발시키는 경우는 차량이 움직이는 시점이 문을 닫는 시간으로 측정하였다. 하차시간은 버스의 뒷문을 연 순간부터 닫는 순간까지로 측정하였다. 조사방법은 승차는 현재 차량 내에 설치된 카메라에서 촬영되는 비디오로 분

석하였으며, 하차는 조사자가 직접 하차인원과 시간을 기록하는 방법으로 측정하였다. 좌석 및 고급좌석의 경우는 승하차가 하나의 문에서 이루어지므로, 승하차 시간은 버스의 문을 연 순간부터 닫는 순간까지로, 차량 내에 설치된 카메라에서 촬영되는 비디오로 분석하였다. 정차시간에 대한 회귀식에서 승차시간에 대한 변수로 요금 형태별 탑승한 승객수이며, 하차시간에 대한 변수로는 하차 승객수, 정류장별 dead time(문 개 · 폐시간 및 그에 따른 순수 승하차시간을 제외한 시간)을 반영하였다.

Kim et al.(2008)의 연구에서는 일반버스와 저상 버스를 대상으로 이용승객이 다양한 721번 간선버스 중 도시형버스 선정, 조사원이 직접 탑승하여 승차구, 하차구에 배치 후 초시계를 이용하여 조사하였으며, 승하차시 대기행렬 영향 최소화를 위해 비침두에 실시 SPSS를 이용하여 평균 승하차시간의 차이에 대한 T검증 실시하였다. 그 결과는 승차시간은 노년층(65세 이상)일반 버스가 평균 3.1초, 저상버스가 2초로서 1.1초정도 빨라진 것으로 조사됨, 하차시간의 경우도 0.9초 빨라졌다. 저상버스 보급으로 승차시 전체평균 2.8초에서 2.0초로 0.8초의 단축 효과가 있었으며, 특히 노년층의 경우 3.1초에서 2.0초로 1.1초의 단축효과를 보였다. 하차시 역시 전체평균 2.0초에서 1.5초로 0.5초의 단축을 노년층의 경우 2.42초에서 1.5초로 0.9초의 단축효과가 있는 것으로 나타났다. 무엇보다 승하차시간분포의 편차가 줄어들어 좀 더 안정적으로 타고 내릴 수 있음을 발견하였다.

Kim (2005)의 연구에서는 버스 차종을 도시형 일반, 저상, 굴절, 좌석형 등 4가지로 나누어 조사하여, 종속변수는 정차시간, 독립변수는 승객의 승차 및 하차인원, 유형별 승차인원 등의 관계를 토대로 다중 회귀분석

을 사용하여 규명하였다. 문의 수와 승차대의 높이에 따라 문의 용량 증대효과가 있다. 정수방식을 자동으로 할 경우 3% 용량 증대효과도 있다.

문헌고찰 결과, 버스 운영 및 설치 등에 중요한 부분을 차지하는 버스점유시간, 그 중에서도 이용자 특성이 가장 크게 드러나는 승하차시간에 대해 현재의 버스이용 현황을 가장 잘 반영할 수 있도록 현재 많이 운영되고 있는 버스타입별로 실제 이용자의 승하차시간을 측정하고, 기존 승하차측정방법을 참고하여 자료를 수집한 후, 앞으로 설치 및 운영할 버스정류장에 대한 승하차시간 추정 모형을 개발하고자 한다.

승하차시간 모형 개발

1. 조사 개요

승하차시간은 버스 유형별로 구분하여 모형을 도출하였으며, 분석을 위해 차내 CCTV를 통해 버스탑승에 대한 조사를 실시하였다. 조사노선번호는 운행중인 버스 중 가장 많이 운행중인 버스를 상면지상고별로 크게 3가지 타입으로 구분하여 용남고속에서 운행중인 저상버스인 88번 버스, 도시형 일반버스인 46-1번, 52번 버스, 광역형 좌석버스인 3007번, 7000번 버스에 대해서 입석자 조사가 용이한 침두시(06시30분~08시30분)에 실시하였다.

버스 승하차시간은 차내에 설치된 CCTV자료를 토대로 측정하였다. 승 · 하차시간 조사방법은 버스 차종별로 정류장에서 발생하는 승 · 하차 그룹별로 총승 · 하차시간, 승 · 하차자수, 입석자수를 측정하였다. 버스제원조사는 해당 버스에 탑승하여 상면지상고 등에 대해 직접 측정하였으며, Table 1은 조사된 버스 유형별 제원이다.

Table 1. Bus specifications by type

| Bus Type | Low Floor | Urban | Metropolitan |
|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Number of Door | 2 | 2 | 2 |
| Type of Door (Front, Rear) | Folding/ Gliding | Folding/ Sliding | Folding/ Folding |
| Width of Door (Front, Rear)(cm) | 85/20 | 75/102 | 65/90 |
| Heights of Path Bottom(cm) | 36 | 93 | 105 |
| Number of Seat | 24 | 24 | 41 |
| Standing Area(m ²) | 61,547 | 49,264 | 29,600 |
| Number of Stair (Front, Rear) | 0/0 | 2/2 | 2/3 |

Table 2. Example of survey form(sample)

| Boarding or Alighting Time (sec) | Boarding or Alighting Passenger Number (person) | Standing Passenger Number (person) | Heights of Path Bottom (cm) | Total Passenger Number (person) |
|----------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 3.3 | 1 | 0 | 105 | 37 |
| 11.0 | 5 | 0 | 105 | 17 |
| 37.8 | 14 | 12 | 105 | 53 |
| 14.5 | 5 | 0 | 105 | 33 |
| 15 | 12 | 0 | 93 | 3 |
| 3.5 | 2 | 6 | 105 | 47 |

승차시간모형과 하차시간모형의 통계에 쓰인 자료의 형태는 Table 2와 같다. 본 연구에서 조사결과, 현금결제율이 현저히 낮아 KHCM과는 달리 버스카드로 결제한 승객의 자료만 다루었다.

2. 모형 개발 방법론

본 연구에서는 다중회귀모형을 통해 분석하고자 하며, 변수 선택법은 독립변수의 진입과 탈락을 단계별로 검토하여 투입하는 Stepwise를 채택하였다. 모형은 승차와 하차로 나누어서 개발하고자 한다. 버스의 문은 승차와 하차가 동시에 각각 앞문과 뒷문에서 이루어지므로, 정류장에서 발생하는 총승하차시간은 승차, 하차 2개 모형의 결과값 중 가장 큰 값(식(1))을 정차시간에 활용하기 위해서이다.

$$Y_{\max} = \max(Y_B, Y_A) \tag{1}$$

여기서, Y_{\max} : 총승하차시간
 Y_B : 총승차시간
 Y_A : 총하차시간

3. 승하차시간별 모형 개발

1) 승차시간 모형

승차시간 모형에서 고려한 독립변수는 승차자수, 총탑승자수, 입석자수, 상면지상고이다. 이 중에 Stepwise를 사용하여 승차자수, 입석자수, 상면지상고 이렇게 3개의 변수가 채택되었으며, 자료에 대한 통계분석을 수행한 결과는 Table 3과 같다.

총승차시간 자료에 대한 회귀분석을 수행한 결과는 Table 4와 같다.

Table 3. Results of statistical analysis

| | Boarding Time (sec) | Boarding Passenger Number (person) | Standing Passenger Number (person) | Heights of Path Bottom (cm) |
|--------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| The Number of Data | The Number of Boarding Passenger Group: 106 (The Number of Boarding Passenger: 401) | | | |
| Range | 1.5-91.5 | 1-34 | 0-41 | 36, 93, 105 |
| Average | 9.75 | 3.78 | 5.33 | 80.24 |
| Variance | 24.88 | 158.68 | 98.49 | 916.98 |
| Standard Deviation | 12.60 | 4.99 | 9.92 | 30.28 |

Table 4. Results of regression analysis

| Variables | unstand ardzardized | | Standar dized | Adjusted R ² | t-value | p-value | Collinearity Statistics | |
|----------------|---------------------|-------|---------------|-------------------------|---------|---------|-------------------------|-------|
| | Coefficients | | | | | | Tolerance | VIF |
| Constant | -1.704 | | | | -2.103 | 0.038 | - | - |
| X ₁ | 2.445 | 0.968 | | 0.953 | 45.511 | 0.000 | 0.998 | 1.002 |
| X ₂ | 0.115 | 0.091 | | | 4.243 | 0.000 | 0.985 | 1.016 |
| X ₃ | 0.020 | 0.048 | | | 2.224 | 0.028 | 0.983 | 1.017 |

$$Y_B = -1.704 + 2.445X_1 + 0.115X_2 + 0.020X_3 \tag{2}$$

여기서, Y_B : 총승차시간
 X_1 : 승차자수
 X_2 : 입석자수
 X_3 : 상면지상고

위 계수의 유의성 검증결과 95% 신뢰수준에서 Adjusted R²는 0.953으로 설명력이 높으며, t-value의 절대값이 1.96보다 크고, p-value 또한 0.05보다 작으므로 유의하게 나왔다. 다중공선성을 나타내는 기준인 VIF가 10 이상이거나 1/VIF값인 Tolerance가 0.1이하인 값이 없으므로 다중공선성도 없다고 판단할 수 있다. 따라서 총승차시간 모형은 적절한 것으로 판단된다.

아래는 총승차시간에 대한 각 변수별로 비교대상인 변수를 제한 다른 변수는 동일조건으로 하고 상관관계를 그래프로 표시한 것으로, 전부 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 영향력의 순서는 승차자수, 입석자수, 상면지상고 순으로 나타났으며 Figure 3, 4, 5와 같다.

2) 하차시간 모형

하차시간 모형에서 고려한 독립변수는 하차자수, 총탑승자수, 입석자수, 상면지상고이다. 이 중에 Stepwise

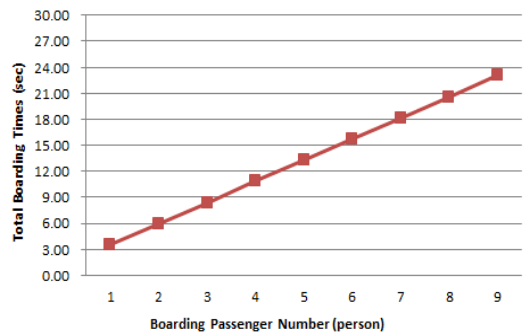


Figure 3. Correlation and influence analysis

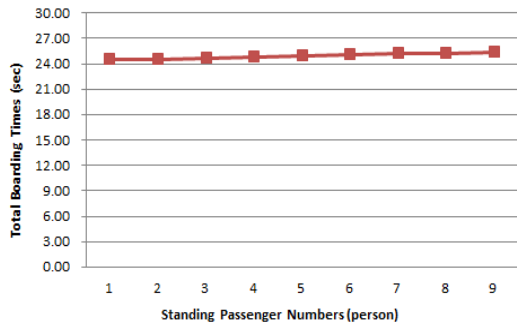


Figure 4. Correlation and influence analysis

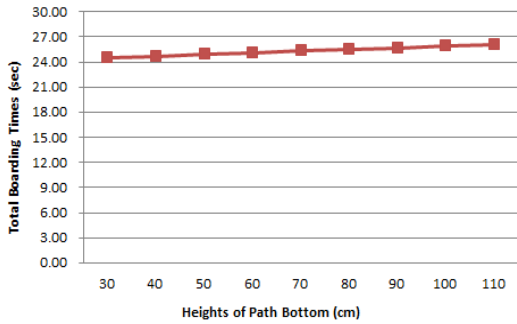


Figure 5. Correlation and influence analysis

를 사용하여 하차자수, 상면지상고 이렇게 2개의 변수가 채택되었으며, 자료에 대한 통계분석을 수행한 결과는 Table 5와 같다.

총하차시간 자료에 대한 회귀분석을 수행한 결과는 Table 6과 같다.

Table 5. Results of statistical analysis

| | Alighting Time (sec) | Alighting Passenger Number (person) | Heights of Path Bottom (cm) |
|--------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|
| The Number of Data | The Number of Alighting Passenger Group: 73 (The Number of Alighting Passenger: 399) | | |
| Range | 0.6-62.8 | 1-37 | 36, 93, 105 |
| Average | 7.53 | 5.47 | 74.7 |
| Variance | 111.30 | 50.17 | 913.29 |
| Standard Deviation | 10.55 | 7.08 | 30.22 |

Table 6. Results of regression analysis

| Variables | unstand ardzied rdzied | | Adjusted R^2 | t-value | p-value | Collinearity Statistics | |
|-----------|------------------------|-------|----------------|---------|---------|-------------------------|-------|
| | Coefficients | | | | | Tolerance | VIF |
| Constant | -3.655 | | | -3.636 | 0.001 | - | - |
| X_1 | 1.376 | 0.924 | 0.910 | 25.839 | 0.000 | 0.978 | 1.023 |
| X_2 | 0.049 | 0.140 | | 3.924 | 0.000 | 0.978 | 1.023 |

$$Y_A = -3.655 + 1.376X_1 + 0.049X_2 \quad (3)$$

여기서, Y_A : 총하차시간

X_1 : 하차자수

X_2 : 상면지상고

위 계수의 유의성 검증결과 95% 신뢰수준에서 Adjusted R^2 는 0.910로 설명력이 높으며, t-value는 절대값이 1.96보다 크고, p-value 또한 0.05보다 작으므로 유의하게 나왔다. 다중공선성을 나타내는 기준인 VIF가 10 이상이거나 $1/VIF$ 값인 Tolerance가 0.1이하인 값이 없으므로 다중공선성도 없다고 판단할 수 있다. 따라서 총하차시간 모형은 적절한 것으로 판단된다.

아래는 총하차시간에 대한 각 변수별로 비교대상인 변수를 제한 다른 변수는 동일조건으로 하고 상관관계를 그래프로 표시한 것으로, 전부 양의 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 영향력의 순서는 하차자수, 상면지상고 순으로 나타났으며 Figure 6, 7과 같다.

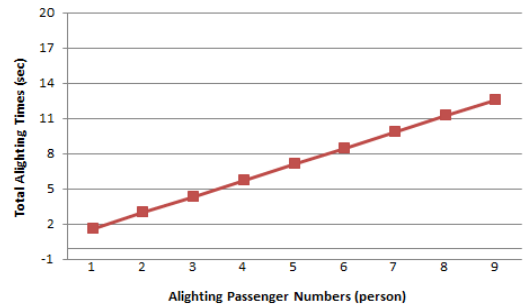


Figure 6. Correlation and influence analysis

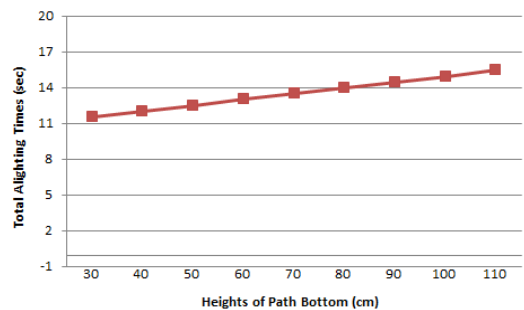


Figure 7. Correlation and influence analysis

승하차시간 모형 검증

1. 본 연구와 도로용량편람의 비교분석

기준에 조사했던 자료 중 80%의 자료를 사용해서 모형을 구축하고 20%의 실측자료를 이용해서 3가지 타입

의 상면지상고를 가진 버스에 대해 승차와 하차별로 본 연구에서 개발한 모형과 KHCM의 방법을 통해 나온 값을 비교분석하여 본 연구에 대해 검증은 하고자 한다.

1) 승차시간 모형

총승차시간 모형에 대한 검증 자료는 매 정류장별 버스별로 발생한 승객들의 승차시간들을 한 그룹씩 묶었다.

검증자료수는 총조사자료수인 133개 그룹의 20%인 27개 그룹이다. 실측치와 본 연구의 모형을 통해 나온 값과 비교한 결과, 승차자수가 1명일 경우가 큰 편으로 나왔으며, 오차는 0.04-3.06초이고 오차율은 1.44-107.67%로 분포가 넓게 나왔으며, 그 외의 승차

자수에 대해서는 오차는 0.10-7.51초, 오차율이 1.18-35.41%로 나와 승차자가 1명씩 존재하는 경우 해당 정류장의 총승차시간을 예측하는 데는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

실측치와 KHCM과의 값을 비교한 결과, 오차는 0.4-40초이고, 오차율은 13-84%로 입석자가 존재할 경우는 승차시간이 2-4배 과다추정되는 경향이 있어, 승차자수가 적을 경우 입석자가 많이 존재하는 경우 적합하지 않은 것으로 나타났다.

본 연구와 KHCM과의 실측치와의 오차 비교분석시 단위가 초(sec)이므로 오차율로만 비교분석할 시 오 판단의 여지가 있으므로 오차값을 같이 비교하였다. 본 연구

Table 7. Comparison of error value (Boarding)

| Measurement Value (sec) | Boarding Passenger Number (person) | Standing Passenger Number (person) | Heights of Path Bottom (cm) | Estimated Value (sec) | KHCM Value (sec) | Error of Estimated Value(sec) | Error of KHCM (sec) | Error rate of Estimated Value (%) | Error rate of KHCM (%) |
|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 5.9 | 1 | 0 | 105 | 2.8 | 3.2 | 3.1 | 2.7 | 107.7 | 84.4 |
| 2.5 | 1 | 0 | 36 | 1.5 | 3.2 | 1.0 | 0.7 | 71.1 | 21.9 |
| 3.7 | 1 | 0 | 93 | 2.6 | 3.2 | 1.1 | 0.5 | 42.3 | 15.6 |
| 2.0 | 1 | 0 | 36 | 1.5 | 3.2 | 0.5 | 1.2 | 36.9 | 37.5 |
| 8.0 | 2 | 12 | 105 | 6.7 | 18.4 | 1.3 | 10.4 | 20.0 | 56.5 |
| 15.8 | 6 | 0 | 36 | 13.7 | 19.2 | 2.1 | 3.4 | 15.5 | 17.7 |
| 13.8 | 5 | 0 | 105 | 12.6 | 16.0 | 1.2 | 2.2 | 9.3 | 13.8 |
| 11.4 | 3 | 26 | 105 | 10.7 | 35.6 | 0.7 | 24.2 | 6.3 | 68.0 |
| 5.3 | 2 | 0 | 93 | 5.1 | 6.4 | 0.3 | 1.1 | 5.0 | 17.2 |
| 10.3 | 4 | 0 | 93 | 9.9 | 12.8 | 0.4 | 2.5 | 3.7 | 19.5 |
| 12.0 | 4 | 14 | 105 | 11.8 | 26.8 | 0.2 | 14.8 | 1.8 | 55.2 |
| 8.9 | 4 | 0 | 36 | 8.8 | 12.8 | 0.1 | 3.9 | 1.2 | 30.5 |
| 2.8 | 1 | 0 | 105 | 2.8 | 3.2 | 0.0 | 0.4 | 1.4 | 12.5 |
| 5.0 | 2 | 0 | 105 | 5.3 | 6.4 | 0.3 | 1.4 | 5.4 | 21.9 |
| 19.4 | 9 | 0 | 36 | 21.0 | 28.8 | 1.6 | 9.4 | 7.7 | 32.6 |
| 11.4 | 5 | 0 | 93 | 12.4 | 16.0 | 1.0 | 4.6 | 7.9 | 28.8 |
| 23.4 | 11 | 0 | 36 | 25.9 | 35.2 | 2.5 | 11.8 | 9.7 | 33.5 |
| 13.3 | 6 | 0 | 105 | 15.1 | 19.2 | 1.8 | 5.9 | 11.7 | 30.7 |
| 14.6 | 7 | 0 | 93 | 17.3 | 22.4 | 2.7 | 7.8 | 15.5 | 34.8 |
| 8.5 | 4 | 0 | 105 | 10.2 | 12.8 | 1.7 | 4.3 | 16.5 | 33.6 |
| 14.3 | 7 | 0 | 105 | 17.5 | 22.4 | 3.2 | 8.1 | 18.3 | 36.2 |
| 25.4 | 12 | 27 | 36 | 31.5 | 65.4 | 6.1 | 40.0 | 19.3 | 61.2 |
| 8.2 | 4 | 14 | 36 | 10.4 | 26.8 | 2.2 | 18.6 | 21.2 | 69.4 |
| 16.1 | 9 | 3 | 36 | 21.4 | 31.8 | 5.3 | 15.7 | 24.7 | 49.4 |
| 2.0 | 1 | 0 | 105 | 2.8 | 3.2 | 0.8 | 1.2 | 29.6 | 37.5 |
| 4.6 | 2 | 14 | 105 | 6.9 | 20.4 | 2.3 | 15.8 | 33.3 | 77.5 |
| 13.7 | 8 | 13 | 93 | 21.2 | 38.6 | 7.5 | 24.9 | 35.4 | 64.5 |
| Sum of Error Value | | | | | | 50.9 | 237.5 | - | - |

* Estimated values: results from developed model
 bold : More closely match the values than KHCM of estimated values

의 경우는 오차의 합이 총 50.92초, KHCM과의 오차의 합이 총 237.5초이고 총 27개의 그룹 중 24개의 그룹이 실측치와 더 근접해 본 연구의 모형이 더 적합하다고 판단된다. 27개 그룹에 대한 오차 비교분석 결과는 Table 7과 같다.

2) 하차시간 모형

총하차시간 모형에 대한 검증자료는 매 정류장별 버스별로 발생한 승객들의 승차시간들을 한 그룹씩 묶었다. 검증자료수는 총조사자료수인 91개 그룹의 20%인 18개 그룹이다. 실측치와 본 연구의 모형을 통해 나온 값을 비교한 결과, 하차자수가 1-2명일 경우가 큰 편으로 나왔으며, 오차는 0.27-1.42초, 오차율은 9.28-274.76%로 편차가 크며, 그 외의 하차자수에 대해서는 오차는 0.08-10.64초, 오차율은 1.05-36.24%로 나와, 하차자가 1명씩 존재하는 정류장의 총하차시간 모형에는 적합하지 않은 것으로 나타났다.

실측치와 KHCM과의 값을 비교한 결과, 오차는 0-9.4초이며, 오차율은 0-73.3%로 나타나, 본 연구의 값보다 편차는 적은 것으로 나왔다.

본 연구와 KHCM과의 실측치와의 실제 오차값들의 합을 비교했을 시, 본 연구는 45.94초, 도로용량편람은 53.5초이고, 총 18개 그룹 중 9개의 그룹이 실측치와 근접한 값으로 나왔다. KHCM과 본 연구의 모형값이 유사하게 나왔으나 미세하지만 본 연구의 모형이 더 적합하다고 판단된다. 18개 그룹에 대한 오차 비교분석 결과는 Table 8과 같다.

결론

본 연구의 모형은 승차자나 하차자가 1-2명인 경우는 적합하지 않은 것으로 나타났으며, 기존의 KHCM과의 비교분석을 통해 보다 적합한 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발된 승차시간 모형과 하차시간 모형 중에서도 승차시간 모형이 KHCM의 오차값의 합의 1/4보다 적어 추후 버스정류장의 용량 산정시 개선된 값을 도출할 수 있을 것이다.

모형에서 반영하지는 않았지만 카드오류가 발생할 경우 승차시간이 인당 1-2초대에서 5초 이상까지 급격히 증가하는 것을 볼 수 있었다. 하지만 카드오류는 거의

Table 8. Comparison of error value (Alighting)

| Alighting Passenger Number (person) | Heights of Path Bottom (cm) | Measurement Value (sec) | Estimated Value (sec) | KHCM Value (sec) | Error of Estimated Value(sec) | Error of KHCM (sec) | Error rate of Estimated Value (%) | Error rate of KHCM (%) |
|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------|
| 2 | 36 | 2 | 0.9 | 3.0 | 1.1 | 1.0 | 132.3 | 33.3 |
| 2 | 36 | 2 | 0.9 | 3.0 | 1.1 | 1.0 | 132.3 | 33.3 |
| 2 | 36 | 1.9 | 0.9 | 3.0 | 1.0 | 1.1 | 120.7 | 36.7 |
| 2 | 36 | 1.7 | 0.9 | 3.0 | 0.8 | 1.3 | 97.4 | 43.3 |
| 22 | 105 | 42.4 | 31.8 | 33.0 | 10.6 | 9.4 | 33.5 | 28.5 |
| 19 | 105 | 36 | 27.6 | 28.5 | 8.4 | 7.5 | 30.3 | 26.3 |
| 5 | 93 | 7.7 | 7.8 | 7.5 | 0.1 | 0.2 | 1.1 | 2.7 |
| 3 | 36 | 2.1 | 2.2 | 4.5 | 0.1 | 2.4 | 6.1 | 53.3 |
| 1 | 105 | 2.6 | 2.9 | 1.5 | 0.3 | 1.1 | 9.3 | 73.3 |
| 2 | 105 | 3.4 | 4.2 | 3.0 | 0.8 | 0.4 | 19.9 | 13.3 |
| 1 | 105 | 2.1 | 2.9 | 1.5 | 0.8 | 0.6 | 26.7 | 40.0 |
| 14 | 93 | 14.6 | 20.2 | 21.0 | 5.6 | 6.4 | 27.6 | 30.5 |
| 8 | 36 | 6.2 | 9.1 | 12.0 | 2.9 | 5.8 | 32.0 | 48.3 |
| 6 | 36 | 4.2 | 6.4 | 9.0 | 2.2 | 4.8 | 34.0 | 53.3 |
| 13 | 36 | 10.2 | 16.0 | 19.5 | 5.8 | 9.3 | 36.2 | 47.7 |
| 1 | 105 | 1.5 | 2.9 | 1.5 | 1.4 | 0.0 | 47.7 | 0.0 |
| 1 | 36 | 0.9 | -0.5 | 1.5 | 1.4 | 0.6 | 274.8 | 40.0 |
| 1 | 36 | 0.9 | -0.5 | 1.5 | 1.4 | 0.6 | 274.8 | 40.0 |
| Sum of Error Value | | | | | 45.8 | 53.5 | - | - |

* Estimated values: results from developed model
 bold : More closely match the values than KHCM of estimated values

고정된 값으로 나타나므로 변수에 넣지는 않았다. 카드 오류 횟수의 조사 결과, 1,000명을 대상으로 3%미만으로 나타났다. 이를 해결하기 위해서는 카드시스템측면에서 해결이 필요할 것이다. 요금 측면에서 브라질의 꾸리찌바시처럼 승차전에 요금을 지불하는 방식도 있을 것이다. 분석한 변수들 중에 영향력이 가장 높은 승하차자수나 입석자수의 경우 정차시간 해소를 위해서는 그 부근의 노선 조정이나 신설시 고려하는 방법을 고려해 볼 수 있을 것이다. 또한, 강남대로변의 중앙버스차로 정류장의 경우, 승객이 버스가 오는 곳의 위치에 따라 뛰어가는 것이 아니라 교도의 버스정류장처럼 정해진 위치별로 버스노선을 나누어서 뛰어와서 탑승하는 승객으로 인한 정차시간 증가를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 상면시상고의 경우는 장애인을 위해서뿐만 아니라, 일반인을 위해서도 저상버스 도입을 늘려가는 방법을 고려해 볼 수 있으며, 브라질의 꾸리찌바시처럼 원통형의 버스정류장을 통해 정류장의 바닥과 버스 승차대 높이의 차이를 줄이는 방법이 있을 것이다. 이를 통해 버스 승하차시간을 줄이게 되면 버스 정차시간도 줄어들게 되어 버스정류장에서 수용 가능한 용량이 늘어나게 될 것이다. 또한 일반 버스 이용자들뿐 아니라 고령자들의 이용편의성 또한 증진되어 버스수단분담율도 증가할 것으로 기대된다.

향후 연구과제

본 연구에서 느낀 것은 버스 탑승객의 행태에 대한 고려가 필요하다는 것이다. 입석자가 같은 열명이라고 해도 입구쪽에 위치해 있거나 차량의 뒤편에 있는 경우는 영향력이 다를 것이다. 또한, 입석자수가 아닌 입석공간을 고려해서 추후 모형을 고려해 볼 수도 있을 것이다. 이 외에도 탑승객의 연령에 대한 고려, 공항이나 터미널 등의 경우는 짐의 여부 등에 대한 고려도 필요할 것이다. 그리고 첨두시에 조사하였기 때문에 카드이용자가 다수였지만, 비첨두시에는 현금이용자가 좀 더 많을 것이라 판단이 되므로 이 또한 본 연구의 한계가 될 수 있다. 이 외에도 뒷문에 가운데 봉이 있는 경우는 동시에 두 사람이 내리기 쉬울 수 있을 것이라는 인간공학적 측면에서도 고려해 볼 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This paper was supported by the National

Research Foundation of Korea grant funded by the Korea government(MEST) (NRF-2010-0029446).

REFERENCES

- Alter C. H. (1976), Evaluation of Public Transit Services : The Level-of-Service Concept, TRR, 606, TRB, 37-40.
- Bakker J. J. (1976), Transit Operating Strategies and Levels of Service, TRR, 606, TRB, 1-5.
- Botzow H. (1974), Level-of-Service Concept For Evaluating Public Transport, TRR, 519, TRB, 73-84.
- Chapman R. A. (1975), Bus Boarding Times-a Review of Studies and Suggestions for Interpretation, University of Newcastle, 18-21.
- Cundill M. A., Watts P. F. (1973), Bus Boarding and Alighting Times, Britain Transport and road research laboratory), 521.
- Cundill M. A., Watts P. F. (1973), Bus Bording and Alighting Time, Report LR 521, Great Britain Transport and Road Research Laboratory, Crowthome, England.
- Fruin J. J. (1992), Public Transportation Design for Pedestrians -second edition-, 214-215.
- Guenthner R. P., Sinha K. C. (1983), Modeling Bus Delay due to Passenger Boardings and Alightings, TRB 915, 7-13.
- Kang Y. K., Seo J. S., Koh S. Y. (2001), An Analysis of Bus Dwell times, Myongji University, 203-208.
- Kim J. H. (2005), Development of The Bus Berth Capacity Using Bus Dwell Time, Hanyang University, 4-10.
- Kim J. Y., Rhee J. H., Oh S. H. (2008), Analysis of The Low Floored Bus Effect on Elderly People, Korean Society of Civil Engineers, 28(2).
- Korean Society of Transportation (2001), Korean Highway Capacity Manual (third phase).
- Lee H. S., Lee S. I., Won J. M. (2007), The Development of Evaluation Model for the Bus Service, Korean Society of Civil Engineers, 27(3), 275-280.
- Levinson H. S. (1983), Analyzing Transit Travel Time

Performance, TRR, 915, TRB, 1-6.

Ministry of Health and Welfare (2002), Study of Low Floored Buses Operating Plan.

Seo S . J. (2002), Study on The Capacities of Bus and Bus Stop, Myongji University.

TRB (2000), Special Report 209, Highway Capacity Manual.

알림 : 본 논문은 대한교통학회에서 제66회 학술발표회 (2012. 10. 20)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

☞ 주 작 성 자 : 성명언

☞ 교 신 저 자 : 성명언

☞ 논문투고일 : 2013. 2. 22

☞ 논문심사일 : 2013. 4. 8 (1차)
2014. 4. 14 (2차)

☞ 심사판정일 : 2014. 4. 14

☞ 반론접수기한 : 2014. 8. 31

☞ 3인 익명 심사필

☞ 1인 abstract 교정필