

정시성을 통한 버스운행관리시스템의 평가에 관한 연구

Analysis of Bus Management System Evaluation by Reliability

양도영* · 최재성** · 김상엽*** · 성현진**** · 김성규*****

Yang, Do Young · Choi, Jai Sung · Kim, Sang Youp · Sung, Hyun Jin · Kim, Sung Kyu

1. 서 론

1.1 연구의 배경과 목적

국내의 대표적인 대중교통수단인 버스는 지하철과 비교하여 서비스 수준이 낮다는 문제점으로 인해 수송 분담률이 감소했다. 낮은 서비스 수준의 원인으로는 정시성의 미확보, 버스 운전기사의 과속, 무정차 등의 위반사항, 부적절한 노선 체계 등이 있으며, 특히 정시성의 미확보 문제는 버스 이용객들의 불만 증가와 버스 이용률 감소의 주된 원인이 되었다. 따라서 국내에서는 버스의 서비스 수준을 향상시키고 수송 분담률을 높이고자 ITS 사업의 한 분야인 버스운행관리시스템(BMS : Bus Management System)을 설치하고 시스템 이용을 확대 하고 있다.

버스운행관리시스템은 GPS나 비콘 등을 통해 버스의 위치좌표를 수집하고 버스의 위치, 속도에 관한 정보를 실시간으로 가공하여 버스 운전자, 버스회사 및 이용객들에게 버스의 위치 정보, 사고·돌발 상황 정보 등 버스 운행에 관한 정보를 다양한 매체를 통해 실시간으로 제공하는 시스템으로, 버스운행관리시스템을 통해 버스 운영자는 버스의 위치를 실시간으로 파악하여 관리할 수 있게 되고 버스 운전자는 차량들의 운행정보를 실시간으로 얻을 수 있게 된다. 이를 통해 차량 간의 거리를 일정하게 유지하여 정시성을 확보하고, 버스 이용객들의 버스 이용에 대한 신뢰성과 편의를 증진시키며 버스의 안전운행을 도모할 수 있다. 버스운행관리시스템의 설치와 이용이 활발하게 진행되고 있는 반면에, 현재 국내에서는 버스운행관리시스템의 효율적인 투자를 위한 시행 전의 사업평가에 대한 연구가 부족한 실정이며, 평가 시 일괄적으로 적용할 수 있는 객관적인 효과평가 기준 및 방법론이 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 앞으로 시행 될 사업의 사전 평가 시 사용할 수 있는 객관적인 효과평가 방법론을 제시하고자 편의 항목으로 통행시간 절감편익을 산정하고 평가 방법론을 정립하고자 한다.

1.2 연구의 범위와 방법

버스운행관리시스템은 버스의 운행에 관련된 정보를 제공함으로써 수단 선택의 기회를 제공해주는 버스정보시스템과 달리, 운전자들의 버스 운행 서비스를 향상시키며 버스의 도착 간격을 조절함으로써 버스의 정시성을 향상시키고, 버스 이용객들의 실제 평균 대기시간을 감소시키고자 하는 시스템이다. 따라서 본 연구에서는 버스운행관리시스템의 편익으로 정량적 편익 항목인 버스 이용객의 평균 대기시간 감소로 인한 통행시간 절감편익을 산정하였다. 이 때 발생한 통행시간 절감편익은 버스의 통행속도의 증가로 인해 발생하는 통행시간 감소가 아닌 버스 이용객들의 대기시간 감소로 인한 통행시간 절감편익이다. 본 연구에서는 버스운행관리시스템의 이용객들의 대기시간 감소로 인한 통행시간 절감편익을 산출하기 위해 TCQSM-2nd(Transit

* 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사 · 02-2210-2990(E-mail : seifer34@naver.com)

** 서울시립대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 02-2210-2990(E-mail : traffic@uos.ac.kr)

*** 서울시립대학교 교통공학과 박사 · 공학석사 · 02-2210-2990(E-mail : road@uos.ac.kr)

**** 서울시립대학교 교통공학과 석사 · 공학사 · 02-2210-2990(E-mail : ekart98@uos.ac.kr)

***** 서울시립대학교 교통공학과 석사과정 · 공학사 · 02-2210-2990(E-mail : bluepizza@dreamwiz.com)

Capacity Quality of Service Manual-2nd Edition)를 참고하였다. TCQSM-2nd는 미국에서 버스 서비스 평가를 위한 연구로, TCQSM-2nd를 국내 실정에 맞도록 적용하여 버스운영관리시스템을 평가 하고자 하였다. 평가 방법은 계획된 배차간격 및 실제 도착간격 자료를 통해 분석한 모형식을 토대로 버스의 도착간격을 예측하고 이를 통해 버스 이용자의 평균 대기시간을 분석한다. 즉, 버스운영관리시스템의 통행시간 절감편익은 예측된 버스 이용자의 평균 대기시간의 변화를 통해 산출한다. 정성적 편의 항목인 버스 이용객이 느끼는 만족감은 버스정보시스템을 통해 제공받는 정보로 인한 효과이므로 버스운영관리시스템이 아닌 버스정보시스템의 편의항목으로 분류하고 본 연구에서는 제외하였다.

2. 선행연구 조사

본 연구에서는 버스운영관리시스템의 통행시간 절감편익을 산정하고, 평가 방법론을 정립하고자 기존 문헌을 분석하였다.

강석호 외(2006)의 연구는 버스도착시간정보와 정류장간 거리 등 BMS데이터를 이용하여 중앙버스전용차로 시행에 따른 개선효과를 분석하고자 하였다. 분석 결과, 중앙버스전용차로 시행 후 정시성이 5.4%~11.0% 수준으로 개선되는 것으로 나타났다.

고승영 외(2005)의 연구는 버스의 서비스 수준을 평가하기 위한 정시성 지표를 개발하였으며, 수집된 버스 노선의 운행자료를 통해 정시성을 산출하고 정시성 지표의 특성을 분석하였다.

오미영 외(2009)의 연구는 정시성이 열악한 노선들을 파악하기 위해 서울시 도심으로 향하는 간선노선을 대상으로 노선별 배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율을 계산하고 통합하여 노선별 정시성을 분석하였다.

오영태 외(2006)의 연구는 대구시 버스운영관리시스템을 대상으로 효과분석을 실시하였다. 이 연구에서는 정량적인 부분과 정성적인 부분으로 분석항목을 나누어 대구시 사례를 검토 하였는데, 정량적인 부분과 정성적인 부분 모두 시스템 설치의 효과가 나타난 것으로 나타났다.

3. 편의 산출을 위한 정시성 지표 산출

버스운영관리시스템으로 인한 통행시간 절감편익은 통행속도 증가에 따른 기존의 통행시간 절감편익과 개념적으로 차이가 있다. 따라서 기존의 통행시간 절감편익의 산출 방법과 차이가 있으며, 본 연구에서는 버스 운영관리시스템의 통행시간 절감편익을 산출하기 위해 버스정류장에서 버스 이용자의 평균 대기시간을 예측하여 분석을 수행하였다. 평균 대기시간을 분석하기 위해서는 버스가 실제 도착하는 분포와 배차간격을 비교하여 시스템 설치 전·후 효과를 분석해야 한다. 버스 노선의 정류장별 버스의 도착간격과 버스의 배차간격을 통해 버스의 도착간격이 얼마나 잘 지켜지고 있는지를 판단할 수 있는 지표로 정시성 지표를 사용한다.

정시성 지표는 정량적 항목이 아닌 정성적인 항목으로써, 이용자의 평균 대기시간을 산출하는 식에서 대기시간을 결정하는 요소이다. 정시성 지표는 분산정도(비정시성)를 나타내는데 사용되는 가장 일반적인 지표로, 여기서 산출하는 정시성 지표는 실제로 버스가 배차간격을 잘 지킬 때 언급하는 정시성과 반대되는 개념이다. 즉 정시성 지표의 산출식은 식-1과 같다

$$P = \left(\frac{S}{\bar{h}}\right)^2 = (\text{coefficient of variation})^2$$

$$S^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=2}^I (h_i - \bar{h})^2$$

여기서, P : 정시성 지표
 h_i : i 번째 차량의 도착간격
 h_i : 배차간격
 \bar{h} : 버스의 실제 도착간격
 I : 운행회수

식-1. 정시성 지표 산출식



식-1의 정시성 지표가 0이면, 모든 버스가 배차간격을 정확하게 지킨다는 의미이다. 즉, 정시성 지표의 값의 작을수록 버스의 도착간격이 배차간격에 가까워지고 버스가 버스정류장에 좀 더 일정한 간격으로 도착한다는 것이다. 그러나 이것은 사람들이 일반적으로 인식하는데 혼란을 야기할 수 있으므로, 본 연구에서는 정시성 지표를 식-2와 같이 “%정시성”으로 환산하여 사용한다.

$$\% \text{ 정시성} = (1 - P) \times 100$$

식-2. %정시성 산출식

%정시성 지표는 정시성 지표와 달리, 100에 가까울수록 모든 버스가 배차간격을 정확하게 지키는 것이고, 0에 가까울수록 버스가 배차간격을 잘 지키지 않고 무분별하게 도착하는 것을 의미한다. 만약 버스의 배차간격의 2배수에 해당하는 도착간격으로 버스가 도착할 경우, 정시성 지표가 0보다 작은 음수가 나타나는 문제점이 발생할 수 있다. 그러나 현실에서는 버스의 도착간격이 배차간격의 2배가 되는 문제가 발생하기는 어려우며, 고승영 외(2005)의 연구에서도 정시성 지표가 0보다 작은 경우는 현실적으로 불가능하다고 제시하고 있다. 따라서 본 연구에서는 정시성 지표가 음수로 나타나는 문제는 발생하지 않는 것으로 판단하고 고려하지 않도록 한다.

4. %정시성 예측 모형

버스운행관리시스템의 통행시간 절감편익은 시스템의 설치 전·후 버스의 %정시성을 예측할 수 있어야 산출이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 %정시성 예측모형을 버스의 종류를 구분하여 간선버스, 지선버스, 광역버스의 예측모형을 각각 정립하였다. %정시성 예측모형을 정립하기 위한 1차 변수의 유형은 표-1과 같다.

표-1. 변수의 유형

구 분	변 수	
종속변수	- Y : 정시성 지표(%/100)	
독립변수	- X1 : 시스템 설치여부("0" or "1")	- X5 : 운행거리(km)
	- X2 : 배차간격(초)	- X6 : 버스 운행대수(대)
	- X3 : 중앙버스전용차로 비율(%/100)	- X7 : 버스 이용객 수(명/일)
	- X4 : 버스정류장 수(개)	

본 연구에서는 표-1과 같이 6개의 독립변수가 %정시성에 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 먼저 배차간격의 길이가 버스의 정시성에 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 일반적으로 배차간격이 짧은 버스노선은 배차간격이 긴 버스노선보다 버스정류장의 이용 횟수가 많아지며 서울시의 혼잡한 교통상황을 고려했을 때 확률적으로 정시성에 영향을 더 많이 받을 것이다. 두 번째로 중앙버스전용차로의 비율이 버스 정시성에 영향을 미친다고 판단하였다. 중앙버스전용차로는 버스와 일반 차량의 통행을 분리시키며, 버스의 통행속도를 증가시키기 때문에, 버스가 배차간격을 잘 지킬 수 있게 될 것이다. 세 번째로 버스정류장의 개수가 버스의 정시성에 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 버스정류장의 개수가 많을수록 버스의 감·가속 횟수가 많아지며 이로 인해 버스가 일정한 속도를 유지하는 비율이 줄어들게 되어 버스의 정시성이 낮아질 것이다. 네 번째로 버스의 운행거리가 버스의 정시성에 영향을 미칠 것으로 판단하였다. 버스의 운행거리가 길수록 노선 상에 교통혼잡구간이 발생할 확률이 높아지며, 혼잡구간이 많이 발생할수록 버스의 정시성은 낮아질 것이다. 또한 버

스의 운행대수가 많을수록 버스의 정시성이 향상되고, 버스의 이용객 수가 적을수록 버스의 정시성이 향상될 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 표-1에서 선정한 변수를 토대로 다중 회귀분석을 수행하여 %정시성 예측모형을 정립하였다. %정시성 예측모형을 정립하기 위해 간선버스, 지선버스, 광역버스로 구분하여 분석을 수행하였으며, 각 모형의 1차 정립 결과는 표-2, 표-3, 표-4와 같다.

표-2. %정시성 예측모형(간선버스) - 1차

변수	계수	표준오차	t	P-value
시스템 설치여부	0.1660	0.0458	3.6250	0.0006
배차간격	0.0598	0.0069	8.7154	0.0000
중앙버스전용차로 비율	0.3967	0.1431	2.7730	0.0074
버스정류장 수	-0.0042	0.0012	-3.4956	0.0009
운행거리	-0.0001	0.0029	-0.0407	0.9677
버스 운행대수	0.0070	0.0034	2.0511	0.0447
버스 이용객 수	0.0000	0.0000	1.0435	0.3010

표-3. %정시성 예측모형(지선버스) - 1차

변수	계수	표준오차	t	P-value
시스템 설치여부	0.2229	0.0455	4.8975	0.0000
배차간격	0.0615	0.0047	12.9479	0.0000
중앙버스전용차로 비율	0.0133	0.2237	0.0597	0.9526
버스정류장 수	0.0003	0.0021	0.1388	0.8900
운행거리	-0.0020	0.0043	-0.4637	0.6442
버스 운행대수	-0.0013	0.0116	-0.1118	0.9113
버스 이용객 수	0.0000	0.0000	1.6656	0.1001

표-4. %정시성 예측모형(광역버스) - 1차

변수	계수	표준오차	t	P-value
시스템 설치여부	0.1540	0.0631	2.4413	0.0275
배차간격	0.0148	0.0091	1.6197	0.1261
중앙버스전용차로 비율	0.6732	0.3559	1.8915	0.0780
버스정류장 수	-0.0034	0.0014	-2.5394	0.0227
운행거리	0.0029	0.0040	0.7105	0.4883
버스 운행대수	0.0333	0.0177	1.8801	0.0797
버스 이용객 수	-0.0001	0.0001	-1.2711	0.2230



%정시성 예측모형을 정립하는 단계에서, 선택한 모든 변수의 추정된 계수를 통해 %정시성을 예측할 경우에 잘못된 결과가 도출될 수 있다. 따라서 통계적 기법을 이용하여 유의한 변수를 선정하고, 최적 모형을 도출하는 과정이 필요하다. 이에 본 연구에서 %정시성 예측모형은 후진 방식을 이용하여, 각 단계별 종속변수에 대한 설명력이 낮은 순서로 제거하였다. 변수 제거의 기준은 P-value를 사용하였다.

%정시성 예측모형을 최종적으로 구축한 결과, 세 가지 모형에서 버스 이용객 수의 P-value 값이 모두 0.05 이상으로 나타나 변수에서 제외하였다. 또한 간선버스 모형의 운행거리, 지선버스 모형의 중앙버스전용차로 비율, 광역버스 모형의 운행거리의 P-value 값이 0.05 이상으로 나타나 변수에서 제외하였다. 후진 방식을 통해 재정립한 최종 %정시성 예측모형의 분석결과는 표-5, 표-6, 표-7과 같다.

표-5. %정시성 예측모형(간선버스) - 최종

변수	계 수	표준오차	t	P-value
시스템 설치여부	0.1668	0.0455	3.6682	0.0005
배차간격	0.0597	0.0062	9.6097	0.0000
중앙버스전용차로 비율	0.3181	0.1197	2.6565	0.0101
버스정류장 수	-0.0042	0.0007	-5.9242	0.0000
버스 운행대수	0.0097	0.0017	5.6797	0.0000

표-6. %정시성 예측모형(지선버스) - 최종

변수	계 수	표준오차	t	P-value
시스템 설치여부	0.1673	0.0406	4.1227	0.0001
배차간격	0.0562	0.0041	13.7056	0.0000
버스정류장 수	-0.0038	0.0018	-2.0537	0.0435
운행거리	-0.0078	0.0035	-2.2231	0.0292
버스 운행대수	0.0262	0.0043	6.1155	0.0000

표-7. %정시성 예측모형(광역버스) - 최종

변수	계 수	표준오차	t	P-value
시스템 설치여부	0.1564	0.0633	2.4727	0.0243
배차간격	0.0231	0.0055	4.1619	0.0007
중앙버스전용차로 비율	0.7866	0.2854	2.7565	0.0135
버스정류장 수	-0.0023	0.0010	-2.2446	0.0384
버스 운행대수	0.0157	0.0030	5.2683	0.0001

최종 분석결과를 통해 간선버스, 지선버스, 광역버스의 %정시성 예측모형을 산출하였고 그 식은 식-3, 식-4, 식-5과 같다. 여기서 각각의 식에 대한 결정계수 값은 0.9029, 0.9171, 0.9563로, 조정된 결정계수의 값은 0.8801, 0.8994, 0.8872로 나타나 본 지침에서 정립한 %정시성 예측모형은 설명력을 가지고 있는 것으로 나타났다.

$$Y = 0.1668X_1 + 0.0597X_2 + 0.3181X_3 - 0.0042X_4 + 0.0097X_5$$

여기서, Y : %정시성(%/100)
 X_1 : 시스템 설치여부('0' or '1')
 X_2 : 배차간격(분)
 X_3 : 중앙버스전용차로 비율(%/100)
 X_4 : 버스정류장 수(개)
 X_5 : 버스 운행대수(대)

식-3. %정시성 예측모형(간선버스)

$$Y = 0.1673X_1 + 0.0562X_2 - 0.0038X_3 - 0.0078X_4 + 0.0262X_5$$

여기서, Y : %정시성(%/100)
 X_1 : 시스템 설치여부('0' or '1')
 X_2 : 배차간격(분)
 X_3 : 버스정류장 수(개)
 X_4 : 운행거리(km)
 X_5 : 버스 운행대수(대)

식-4. %정시성 예측모형(지선버스)

$$Y = 0.1564X_1 + 0.0231X_2 + 0.7866X_3 - 0.0023X_4 + 0.0157X_5$$

여기서, Y : %정시성(%/100)
 X_1 : 시스템 설치여부('0' or '1')
 X_2 : 배차간격(분)
 X_3 : 중앙버스전용차로 비율(%/100)
 X_4 : 버스정류장 수(개)
 X_5 : 버스 운행대수(대)

식-5. %정시성 예측모형(광역버스)

5. 버스 이용객의 평균 대기시간 산출

버스운행관리시스템의 통행시간 절감편익을 산출하기 위해서 %정시성을 통해 버스 이용객의 통행시간 절감편익을 산출하였다. 버스정류장에서의 버스 이용객의 평균 대기시간을 산출하기 위해서는 버스 이용객의 도착이 무작위로 일어난다는 가정이 있어야 한다. 버스를 이용하는 이용객은 실제로 일정한 규칙을 가지고 도착하는 것이 아니기 때문에, 무작위로 도착한다는 가정은 옳은 것으로 볼 수 있다.

E. E. Osuna et al(1972)의 연구에서는 버스정류장에 이용객이 무작위로 도착하는 경우, 실제 평균 배차간격과 정시성 지표를 이용하여 이용객의 평균 대기시간을 산출하는 식을 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 E. E. Osuna et al(1972)의 연구에서 제시하는 식을 참고하여 이용객들의 평균 대기시간 산출식을 제시하고자 하였으며, 그 결과는 식-6과 같다.



$$\text{평균 대기시간 } E(W) = \frac{1}{2} \bar{h} \left[1 + \left(\frac{S}{\bar{h}} \right)^2 \right] = \frac{1}{2} \bar{h} (1 + P)$$

여기서, \bar{h} : 평균 배차간격
 S : 표준편차
 P : 변동계수의 제곱

식-6. 이용객들의 평균 대기시간 산출식

버스운행관리시스템의 설치 효과는 버스운행관리시스템의 설치 전·후의 이용객의 대기시간 감소이다. 즉, 버스운행관리시스템을 설치하기 전에 나타나는 평균 대기시간과 설치한 후 나타나는 평균 대기시간과의 차이이다. 버스운행관리시스템의 통행시간 절감편익은 정시성 지표를 이용하여 버스정류장에서 버스를 기다리는 버스 이용객의 평균 대기시간을 분석하고, 시스템 설치 전·후 평균 대기시간을 비교하여 산출한다. 이는 승객 1명당 평균 대기시간이므로 통행시간 절감편익을 산출하기 위해서는 해당 버스노선의 이용객을 곱하여 산출한다. 이 때, 버스 이용객 수는 일반적으로 1일 이용객 수 형태로 제공되므로 1년 동안의 이용객 수로 변환하여 적용해야 한다. 또한 편익은 ITS 시스템의 내구연한인 10년을 고려하여, 10년간 발생하는 편익을 산출해야 하며 통행시간 가치를 산정해야 한다. 통행시간가치는 표-8를 사용하며 버스운행관리시스템의 통행시간 절감편익은 식-7과 같이 산출한다.

표-8. 통행시간 가치(전국권 : 2009년 기준)

	편익단가 조정 deflator	승용차	버스	화물차
평균 시간가치(원/대) - 2007년 기준	1.076	14,990	58,561	16,571
평균 시간가치(원/대) - 2009년 기준		16,129	63,012	17,829

자료: 한국개발연구원, “도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)”, 2008.(수정)

통행시간 절감편익

$$= 10(\text{년}) \times 365(\text{일}) \times \text{버스 이용객(명/일)}$$

$$\times \text{평균 대기시간 감소효과(시간)} \times \text{통행시간 가치(원/시간)}$$

식-7. 통행시간 절감편익 산출 식

6. 결 론

현재 국내의 버스 서비스 수준을 개선하기 위해 버스운행관리시스템의 설치와 이용이 활발하게 진행되고 있고 그에 따른 시스템 설치 후의 평가에 대한 연구가 많이 진행되고 있는 반면에, 효율적인 투자를 위한 설치 전의 사업평가에 대한 연구가 부족한 실정이다. 본 연구는 이러한 국내의 실정을 반영하여 버스운행관리시스템의 통행시간절감편익을 산정하고 효율적이고 객관적인 효과평가 방법론을 정립하고자 하는데 그 의의가 있다.

본 연구에서는 TCQSM-2nd를 참고하여 국내 실정에 맞는 평가 방법론을 제시하였다. 정시성 예측모형의 산출을 위해 통계적으로 유의한 변수를 선정하고 다중 회귀분석을 통해 정시성 예측 모형을 산출하였다. 이를 통해 버스 이용객의 평균 대기시간을 분석하였으며, 최종적으로 평균 대기시간의 감소를 통해 통행시간



절감편익을 산출하고자 하였다. 그 결과, 간선버스, 지선버스, 광역버스 각각에 대한 %정시성 예측모형을 얻을 수 있었으며 이를 이용해 버스 이용자의 평균 대기시간을 산출하는 모형을 얻었으며 통행시간 절감 편익을 산출할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 강석호 외(2006), “BMS데이터를 이용한 중앙버스전용차로 효과분석”, 한국ITS학회 2006년도 제5회 추계 학술대회
- [2] 고승영 외(2005), “버스 운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용”, 대한교통학회지 제23권 제2호
- [3] 오미영 외(2009), “BMS 자료를 이용한 서울시 간선버스의 정시성 분석(자료포락분석기법을 적용하여)”, 대한교통학회지 제27권 제1호
- [4] 오영태 외(2006), “버스운행관리시스템 효과분석(대구시 BMS를 대상으로)”, 한국ITS학회논문지 제5권 제2호
- [5] Osuna, E. E., Newell, G. F.(1997), “Control Strategies for an Idealized Public Transportation System“, Transportation Science Vol.6 No.1