

■ 論 文 ■

버스 운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용

A Development of Punctuality Index for Bus Operation and Analysis of its Characteristics

고 승 영

(서울대학교 지구환경시스템공학부 교수)

박 준 식

(서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정)

김 은 호

(서울대학교 지구환경시스템공학부 석사과정)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경 및 목적</p> <p>2. 연구의 범위 및 방법</p> <p>II. 기존이론 고찰</p> <p>1. 버스 서비스수준 평가의 틀</p> <p>2. 정류장 정시 도착성</p> <p>3. 차두간격 균등성</p> <p>III. 정시성 지표의 개발</p> | <p>IV. 정시성 지표의 적용</p> <p>1. 자료구축</p> <p>2. 정시성 지표 산출</p> <p>V. 정시성 지표 특성분석 및 활용방안 모색</p> <p>1. 정시성 지표 특성분석</p> <p>2. 정시성 지표의 활용방안</p> <p>VI. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : 정시성지표, 신뢰성, BMS(Bus operation Management System), 서비스평가, 대중교통우선처리

요 약

버스 운행 정시성은 운행계획에 따라 정시에 운행하는 정도를 나타낸다. 이용자의 대기시간은 버스 운행의 정시성에 직접적으로 영향을 받기 때문에 정시성지표는 이용자 관점에서 버스 운행의 신뢰성을 평가하는 지표로 가장 널리 사용되는 평가척도 중 하나이다. 그러나 실제 버스 운행은 도로여건, 교통상황, 승객수요 등 여러 가지 상황에 의해 사전에 작성된 운행 계획을 준수하지 못하게 된다. 따라서 여러 가지 상황에 따라 버스 운행의 정시성을 평가할 수 있는 정시성 지표가 필요하다. 본 연구에서는 여러 가지 상황에 따라 버스 운행의 정시성을 평가할 수 있는 정시성 지표를 개발하여 제시한다. 또한 서울시에서 운행하는 여러 버스 노선의 운행 자료를 분석하여 정시성 지표를 산출하였으며 이를 통해 여러 가지 운행 여건에 따른 정시성지표의 변화 특성을 분석하였다.

Punctuality of bus operation can be defined as "timely operation of buses according to their operation schedules." It is often considered as one of the important measures of bus operation reliability in evaluating bus operation performance from the viewpoint of bus users.

Passenger waiting times are severely influenced by the punctuality of bus operations. However, there exist many situations that predetermined schedules cannot be met. In these cases, other definitions of punctuality should be given.

This paper is to develop punctuality indexes of bus operation based on various bus operating situations. Bus operation data sampled from Seoul bus system were analyzed to calculate punctuality indexes for a number of bus routes. Then, bus operation punctuality was characterized by various operating conditions. Several interesting results were obtained and explained.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

2004년 7월 서울시는 버스운행의 효율성과 서비스 수준을 향상시키기 위해서 버스노선을 개편하고 221개 노선 5,000여대의 버스에 BMS(Bus operation Management System)를 도입하였다. 이러한 개혁은 지하철 운행으로 인한 버스수요의 감소를 소생시키고 서울시의 교통 혼잡문제를 완화하기 위함이다.

이용자 관점에서 버스의 서비스수준은 여러 가지 지표로 평가될 수 있으나 이들 대부분은 정성적인 지표로 버스 운행에 대한 자료의 부족으로 정량적으로 측정되지 못하였다. 그러나 BMS의 도입으로 모든 버스의 정류장 도착시간과 같은 자세한 버스 운행 자료를 얻을 수 있게 되었고 이러한 자료를 통해 버스 운행의 정시성이 수치적으로 계산될 수 있다. 버스 운행의 정시성은 버스 운행의 서비스수준을 측정하는 가장 중요한 정량적인 지표의 하나로 버스의 정류장 도착시간 또는 출발시간 자료가 있어야 한다. BMS에서 버스들은 GPS 장비를 장착하여 자신의 위치와 시간 자료를 무선통신을 통해 전송한다.

버스 운행의 정시성은 신뢰성을 측정하는 지표로, 이는 정류장 정시 도착성과 차두시간 균일성을 포함한다. 정류장 정시 도착성은 이용자 관점의 신뢰성 지표로 가장 널리 사용되는 평가척도이다. 그러나 버스 차량의 배차간격이 짧아 자주 운행되는 경우에는 버스 차량들이 몰려서 도착하고 이 경우 선행차량이 혼잡하게 되며 대기시간이 증가하게 되어 차두시간의 균일성이 승객들에게 더 중요한 지표가 된다.(Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, TRB, 2003)

서울시에서 운행되는 버스노선의 경우 사전에 작성된 배차계획표가 없을 뿐만 아니라 정해진 운행회수와 실제 운행회수가 다른 경우도 상당수 존재하기 때문에 TCQSM에서 제시하고 있는 정시성 지표로는 버스노선의 정시성을 평가할 수 없다. 따라서 서울시와 같이 사전에 작성된 배차계획표가 없는 경우와 정해진 운행회수와 실제 운행회수가 다른 경우 등 기존에 개발된 지표로 평가 불가능한 버스노선의 정시성을 평가하기 위해서는 다양한 운행상황을 고려한 다원화된 정시성 지표의 개발이 요구된다.

본 연구의 목적은 사전에 작성된 배차계획표가 없는 경우 및 정해진 운행회수와 실제 운행회수가 다른 경우 등 기존에 개발된 정시성 지표로 평가 불가능한 버스노선의 정시성 평가를 위해 다양한 버스 운행상황을 고려한 정시성 지표를 개발하는 것이다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 기존에 제시된 정시성 지표의 한계점을 분석하여 이를 극복할 수 있는 새로운 정시성 지표를 개발하고 그 적용 가능성을 보이며 활용방안을 모색하고자 한다.

본 연구는 다음과 같은 절차와 방법으로 이루어진다.

- 기존연구 고찰
- 새로운 정시성 지표 개발
- 개발한 정시성 지표의 적용
 - 서울시 버스노선의 운행자료 사용
- 정시성 지표의 특성분석 및 활용방안 모색
- 결론 및 향후 연구과제

II. 기존연구 고찰

1. 버스 서비스수준 평가의 틀

TCQSM에서는 노선 버스의 서비스수준 평가항목과 평가척도를 다음의 <표 1>과 같이 제시하고 있다.

서울시와 같은 대도시 노선버스의 경우 대부분의 노선이 배차간격이 짧고 하루 20시간 정도를 운행하며 도시 전역의 서비스하기 때문에 유용성 측면에서는 차이가 두드러지지 않으며 편의성 측면의 차내 혼잡도, 운행 신뢰성 등이 서비스수준을 평가하는데 적절한 지표가 된다.

차내 혼잡도는 모든 정류장의 시간대별 승하차 인원 자료가 요구되기 때문에 측정하는데 무리가 따르지만

<표 1> 서비스수준 평가척도

구분	평가항목		
	정류장	버스노선	시스템
유용성	운행빈도	운행시간	서비스 구역
편의성	혼잡도	신뢰성	통행시간

자료: TCQSM, TRB, 2003

운행 신뢰성은 BMS를 통해 수집되는 정류장 도착시간 자료로부터 측정할 수 있다.

버스 운행의 신뢰성은 정류장 정시 도착성, 차두간격 균일성, 결행, 무정차통과 등으로 평가할 수 있는데 결행이나 무정차통과는 발생빈도가 적기 때문에 적절한 평가 지표가 될 수 없다. 따라서 TCQSM에서는 버스 운행의 신뢰성을 평가하는 지표로 정류장 정시 도착성(on-time performance)과 차두간격 균등성(headway adherence)을 제시하고 있다. 2003년도에 TCQSM의 개정판이 발간되기 전에는 버스 운행 신뢰성을 평가하는 지표로 정류장 정시 도착성만이 사용되었다. 그러나 평균 배차간격이 10분 이하일 경우에는 이용자들이 계획된 배차 시각표를 참조하여 정류장에 도착하기보다는 임의적으로 균등하게 도착하는 행태를 보이기 때문에 정류장 정시 도착성 보다는 차두간격의 균등성이 보다 적절한 효과적도가 되는 것을 고려하여 차두간격 균등성을 추가로 제시하였다.

국내의 경우 도로용량편람(2004)에 버스 운행 신뢰성의 개념이 아직 도입되지 않았으며 이에 대한 연구도 미비한 실정이다.

2. 정류장 정시 도착성

정류장 정시 도착성은 일정기간 동안 운행된 차량들 중 기준 시간내에 도착한 차량들의 비율로 측정하며 TCQSM에서는 다음과 같이 제시하고 있다.

앞에서도 언급한 바와 같이 정류장 정시 도착성은 평균 배차간격이 10분 이상이어서 이용자들이 계획된 배차 시각표를 참조하여 정류장에 도착하는 행태를 보일 경우에 적용할 수 있는 것이며 사전에 계획된 배차 시각표가 없거나 정해진 운행회수와 실제 운행회수가

〈표 2〉 정류장 정시 도착성의 서비스수준

LOS	정시도착 비율	비 고
A	95.0~100.0%	2주에 1회
B	90.0~94.9%	1주에 1회
C	85.0~89.9%	2주에 3회
D	80.0~84.9%	1주에 2회
E	75.0~79.9%	1일에 1회
F	75.0% 이하	1일에 1회 이상

주: 평균 배차간격이 10분 이상인 경우에 적용하며 "정시"는 0~5분으로 정의함

다른 경우에는 적용할 수 없다.

3. 차두간격 균등성

TCQSM에서 제시하고 있는 차두간격의 균등성은 차두간격의 분산계수로 측정하며 차두간격의 분산계수는 식(1)과 같이 정의된다.

$$c_{wh} = \frac{\text{차두간격 편차들의 표준편차}}{\text{계획된 평균 차두간격}} \quad (1)$$

TCQSM에서 제시하고 있는 차두간격 균등성은 평균 배차간격이 10분 이내로 이용자들이 정류장에 임의적으로 균등하게 도착하는 행태를 보일 경우에 사용할 수 있는 것으로 사전에 계획된 운행계획표상의 차두간격과 실제 운행된 차량들의 차두간격의 차이들의 표준편차를 사용한다. 따라서 사전에 계획된 운행계획표가 없는 경우와 정해진 운행회수와 실제 운행된 운행회수가 다른 경우에는 사용할 수 없다. 또한 이용자의 대기 시간을 고려하지 않은 지표로 이를 통해 산정된 서비스수준은 실제로 이용자들이 느끼는 서비스수준과 차이가 있을 수 있다.

〈표 3〉 차두간격 균등성의 서비스수준 기준

LOS	c_{wh}	$\Pr(h_i - \bar{h} > 0.5 \bar{h})$
A	0.00 ~ 0.21	≤ 1%
B	0.22 ~ 0.30	≤ 10%
C	0.31 ~ 0.39	≤ 20%
C	0.40 ~ 0.52	≤ 33%
E	0.53 ~ 0.74	≤ 50%
F	≥ 0.75	> 50%

자료: TCQSM, TRB, 2003

III. 정시성 지표의 개발

본 연구에서는 사전에 작성된 배차계획표가 없는 경우 및 정해진 운행회수와 실제 운행회수가 다른 경우 등 다양한 운행상황을 고려하여 정류장 정시 도착성과 차두간격 균일성을 통합하여 버스의 운행 정시성으로 정의하고 정시성의 정의에 따라 3가지의 정시성 지표를 제시한다.

<표 4> 정류장에서 버스도착의 정시성

구분	P1	P2	P3
정시성 지표	$P_1 = \frac{S_1^2}{(\bar{h})^2}$	$P_2 = \frac{S_2^2}{(\bar{h})^2}$	$P_3 = \frac{S_3^2}{(\bar{h})^2}$
변수 설명	$S_1^2 = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I I(t_i - \tau_i)^2$	$S_2^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=2}^I I(h_i - \bar{h})^2$	$S_3^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=2}^I I(h_i - \bar{h})^2$
	t_i : i번째 차량의 실제 정류장 도착시간 τ_i : i번째 차량의 계획된 정류장 도착시간 I : 운행회수 h_i : 운행계획표상의 운행시격 $h_i = t_i - t_{i-1} (i=2, \dots, I)$: i번째 차량의 운행시격 $\bar{h} = \frac{1}{I-1} \sum_{i=2}^I (t_i - t_{i-1})$: 실제 통행한 평균시격		

<정시성 지표>

- P1 : 운행 계획표 상의 도착시각과 실제 도착시각의 차이
- P2 : 운행 계획표 상의 배차간격과 실제 운행시격과의 차이
- P3 : 실제 통행한 1일 동안의 평균 운행시격과 각 운행시격과의 차이

정류장에 승객들이 일정물로 도착한다고 가정할 때, 정시성 지표값에 따른 승객들의 평균대기시간은 다음과 같다.

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

정시성지표는 승객의 평균 대기시간을 구하는 식에서 대기시간을 결정하는 요소이며 이는 통계적으로 평균 대비한 분산정도(비정시성)를 나타내는데 사용되는 가장 일반적이고 대표적인 지표이다.

$$P = \left(\frac{S}{\bar{h}} \right)^2 = (\text{coefficient of variation})^2 \quad (3)$$

P1의 경우 사전에 작성된 운행계획표가 있고 실제 운행회수가 정해진 운행회수와 동일할 경우에만 사용할 수 있으며, P2의 경우 사전에 작성된 운행계획표는 있으나 실제 운행회수가 정해진 운행회수와 다를 경우에 사용할 수 있다. P3의 경우는 운행계획표가 없을 경우 및 실제 운행회수가 정해진 운행회수와 다를 경우에도 사용할 수 있는 지표이다.

정시성 지표값 P가 0 이면, 모든 버스가 운행시격대

<표 5> 정시성 지표값에 따른 분산정도 및 대기시간

정시성 지표값	분산정도 및 대기시간
P=0	<ul style="list-style-type: none"> • 버스가 운행시격대로 도착하고 운행시격의 분산은 0 • $E\{W\} = \frac{1}{2} \bar{h}$ (최소 평균 대기시간)
0<P<1	<ul style="list-style-type: none"> • 서울시 대부분의 버스운행의 분산이 이 범위에 해당
P=1	<ul style="list-style-type: none"> • 버스가 음지수분포로 도착, 2대-Pairing으로 정확하게 $2\bar{h}$의 간격으로 도착, 또는 동일한 정도의 분산 값 • $E\{W\} = \bar{h}$ (현실적으로 최악의 경우)
P>1	<ul style="list-style-type: none"> • 버스도착의 분산값이 매우 크고, 정시성이 매우 떨어지는 상태

로 정확하게 도착한다는 의미이고 승객들의 평균대기시간은 평균 운행시격의 1/2이 되며, 이는 평균대기시간의 최소값이 된다. 이 값이 크면 클수록 일정 운행시격을 유지하지 못한다는 의미이다.

정시성 지표값에 따른 분산정도 및 대기시간은 다음의 <표 5>와 같다.

TCQSM에서 제시하고 있는 c_{oh} 는 P1과 P2의 중간적인 형태로 볼 수 있으나 P1, P2가 분산계수의 제곱을 사용하는 것과 달리 c_{oh} 는 분산계수를 그대로 사용하여 그 의미는 다르다 할 수 있다. 이후에 다시 설명하겠지만 분산계수는 평균값에 대한 분산의 정도를 나타내는 지표로 단지 통계적인 의미만을 나타내지만 분산계수의 제곱은 이용자들의 평균 대기시간에 정비례하는 지표로 평균값에 대한 분산의 정도를 나타내는 동시에 이용자들의 대기시간을 반영하여 실제 이용자들이 느끼는 서비스수준을 직관적으로 표현할 수 있는 지표로 볼 수 있다.

세 가지 정시성 지표 중 P1과 P2는 운행 계획표와 실제 운행결과를 비교하는 것이기 때문에 사전에 작성된 1일 운행 계획표가 없는 경우 사용할 수 없다. 서울시 노선버스의 경우 하루 중 첫 번째 배차시간만 사전에 정해놓고 그 이후의 운행은 상황에 따라 임의적으로 조절하기 때문에 1일 전체 운행에 대한 사전 운행 계획표가 없다고 볼 수 있다. 따라서 현재 적용 가능한 정시성 지표는 P3에 국한되지만, 향후 버스 운행 이력 자료를 활용하여 사전 운행 계획표를 작성하여 사용할 경우 P1과 P2값을 사용할 수 있을 것이다. 그러나 P1의 경우 사전 운행 계획표상의 운행회수와 실제 운행회수가 불일치할 경우 역시 적용 불가능하므로 실제 향후 사용 가능한 것은 P2가 될 것이다.

정시성 지표의 최소값은 0이고 현실적으로 최악의

운행상대일 경우 1이 되기 때문에 실제로 정시성 지표의 범위는 [0, 1]이 된다. 그러나 이는 일반적으로 인식하는데 혼돈이 있을 수 있기 때문에 정시성 지표값을 다음의 식에 의해 "%정시성"으로 환산하여 사용하도록 한다.

$$\% \text{ 정시성} = (1 - P) \times 100 \quad (4)$$

%정시성으로 나타난 값은 100에 가까울수록 정시성이 높고 0일 경우 현실적으로 최악의 상황이라 볼 수 있으나 음의 값이 산출될 수도 있다.

IV. 정시성 지표의 적용

1. 자료구축

현재 서울시에선 천호대로, 도봉·미아로, 수색·성산로, 강남대로의 4개축에 중앙버스전용차로가 설치되어 있으며 전체 439개 노선, 7,868대의 버스 중 221개 노선의 약 5,000대 버스에 GPS 장비가 설치되어 운행자료가 수집되고 있다.

본 연구에서는 4개 축의 중앙버스전용차로를 경유하는 버스노선 중 22개 간선버스 노선의 운행자료를 사용하였으며 자료는 2004년 8월 5일~9일, 5일 동안의 정류장 도착정보를 사용하였다. 분석에 사용한 각 노선의 일반현황은 <표 6>과 같다.

분석에 사용된 22개 버스 노선의 노선연장 평균은 45km이고 정류장수는 73개이다. 정류장간 거리는 최

<표 6> 노선 일반현황

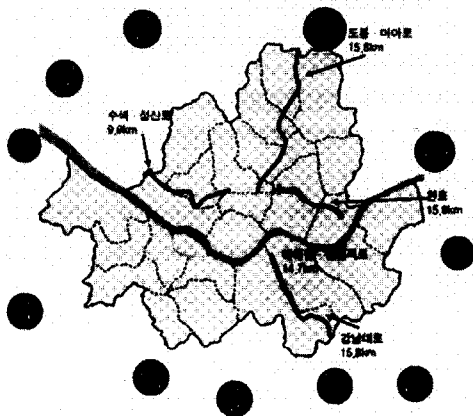
축	노선	연장	정류장수	정류장간격(m)			중앙차로정류장	
				평균	최대	최소	정류장수	비율(%)
강남대로	400	33,253	40	1	3,578	300	17	42.5
	402	42,632	65	656	7,745	148	10	15.4
	420	37,365	64	584	2,432	118	8	12.5
도봉미아	101	27,479	53	518	1,525	134	18	34.0
	102	30,398	59	515	1,510	120	13	22.0
	107	56,778	99	574	2,203	5	36	36.4
	141	54,050	86	628	4,603	92	24	27.9
	142	49,310	55	897	4,336	207	30	54.5
	151	47,303	73	648	9,137	70	14	19.2
	160	70,337	114	617	4,255	121	34	29.8
수색성산로	163	60,514	109	555	4,173	98	7	6.4
	170	46,355	102	454	1,682	76	4	3.9
	171	40,397	62	652	2,410	107	7	11.3
	172	44,440	78	570	2,148	42	6	7.7
	272	45,899	87	528	2,431	153	10	11.5
	606	36,091	46	785	4,012	251	10	21.7
	700	28,709	48	598	2,199	167	24	50.0
천호대로	750	43,949	76	578	2,199	5	22	28.9
	130	49,523	71	698	6,519	77	4	5.6
	145	43,432	78	557	1,927	150	2	2.6
	300	40,591	55	738	7,203	120	5	9.1
	370	59,212	89	665	7,203	120	4	4.5
평균		44,910	73	629	9,137(최대)	5(최소)	14.0	20.8

소 5m에서 최대 9,137m로 평균값은 629m이다. 중앙버스전용차로는 평균적으로 14개소가 있으며, 이는 전체 정류장 수의 21%에 해당한다.

GPS 장비를 장착한 버스들은 버스 정류장에 도착할 때와 출발할 때 시간, 노선번호, 정류장번호, 차량번호 등의 정보를 전송한다. 센터에서는 각 버스에서 전송된 자료를 실시간으로 수집하여 221개 노선의 운영을 관리하고 각종 통계자료를 생성하여 노선버스의 운영을 분석한다.

본 연구에서는 22개 노선의 정류장 도착자료를 가공하여 각 노선별로 매트릭스 형태의 1일 운행 결과표를 작성하였다. 매트릭스 형태의 1일 운행 결과표에서 결측자료를 보정하여 완전한 운행 결과표를 작성한 후 각 노선의 5일 동안의 운행결과를 분석하였다.

분석된 22개 노선의 1일 평균 운행시간은 21시간 정도이고 노선 운행시간은 최소 52분, 최대 6시간으로 평균적으로 2.5시간 정도인 것으로 나타났다.



<그림 1> 중앙버스전용차로 설치구간

〈표 7〉 버스 운행 매트릭스

구분	내용
도착시간	<ul style="list-style-type: none"> • (a_{ij}): 실제 정류장 도착시간 • (a'_{ij}): 운행계획표상의 정류장 도착시간
변수	<ul style="list-style-type: none"> • $i: 1, \dots, J$ (운행회수) • $j: 1, \dots, J$ (정류장수)

〈표 8〉 버스 운행자료

측	노선 번호	1일평균 운행시간	평균 배차 간격	1회 운행시간			평균 이용객 (인/일)
				평균	최대	최소	
강남대로	400	20:06:38	17:19	1:29:15	2:33:24	0:56:16	5,249
	402	21:38:20	06:16	2:13:52	2:48:44	1:34:22	27,444
	420	21:03:26	09:08	2:00:02	2:59:09	1:17:07	15,270
도봉미아	101	20:33:37	10:13	1:48:58	2:32:22	1:04:56	9,720
	102	21:08:29	11:59	1:52:00	2:55:20	1:09:59	7,744
	107	21:16:15	11:51	2:34:31	3:16:56	1:56:38	12,878
	141	21:02:35	08:02	2:53:33	3:39:56	2:06:43	17,610
	142	21:18:00	07:53	3:06:39	4:00:23	2:05:45	17,788
	151	21:11:53	07:58	2:55:27	4:09:13	1:47:07	25,401
	160	21:18:19	11:13	4:01:02	5:50:36	2:33:14	19,967
수색성산로	163	21:16:23	08:31	3:14:06	4:40:34	1:59:21	12,078
	170	21:07:19	09:15	2:51:37	4:05:47	1:42:16	21,759
	171	20:43:17	07:45	2:53:56	3:41:16	1:33:57	19,164
	172	21:19:21	09:41	2:24:55	3:18:34	1:38:31	16,058
	272	20:32:19	06:08	2:19:54	3:03:08	1:37:39	30,641
	606	20:11:24	12:55	1:27:43	2:11:54	1:04:50	16,384
	700	19:15:25	12:38	1:17:42	1:53:36	0:52:33	3,390
	750	20:52:53	08:22	2:04:17	2:31:01	1:29:42	8,124
천호대로	130	20:37:10	08:56	3:14:30	4:57:52	2:03:17	17,223
	145	20:51:26	09:03	2:10:46	3:05:13	1:24:52	10,204
	300	20:35:56	06:14	1:54:55	2:28:15	1:22:28	14,129
	370	21:12:04	09:16	3:08:08	3:48:30	2:18:26	12,958
평균	20:52:23	09:34	2:27:10	5:50:36 (최대)	0:52:33 (최소)	15,508	

2. 정시성 지표 산출

3장에서 개발한 정시성 지표 중 P3를 사용하여 22개 노선에 대해서 5일 동안의 운행 자료를 통해 각 정류장별 1일 운행 정시성 지표를 산출하여 %정시성 값으로 나타내었다. 각 노선의 정류장별 정시성은 배차지점에서 출발한 이후에 지속적으로 감소하는 것으로 나타났으며 그래프에서 굵은 점으로 표시된 구간이 중앙버스전용차로 구간을 나타내는데 중앙버스전용차로 구

〈표 9〉 버스 노선의 운행 정시성

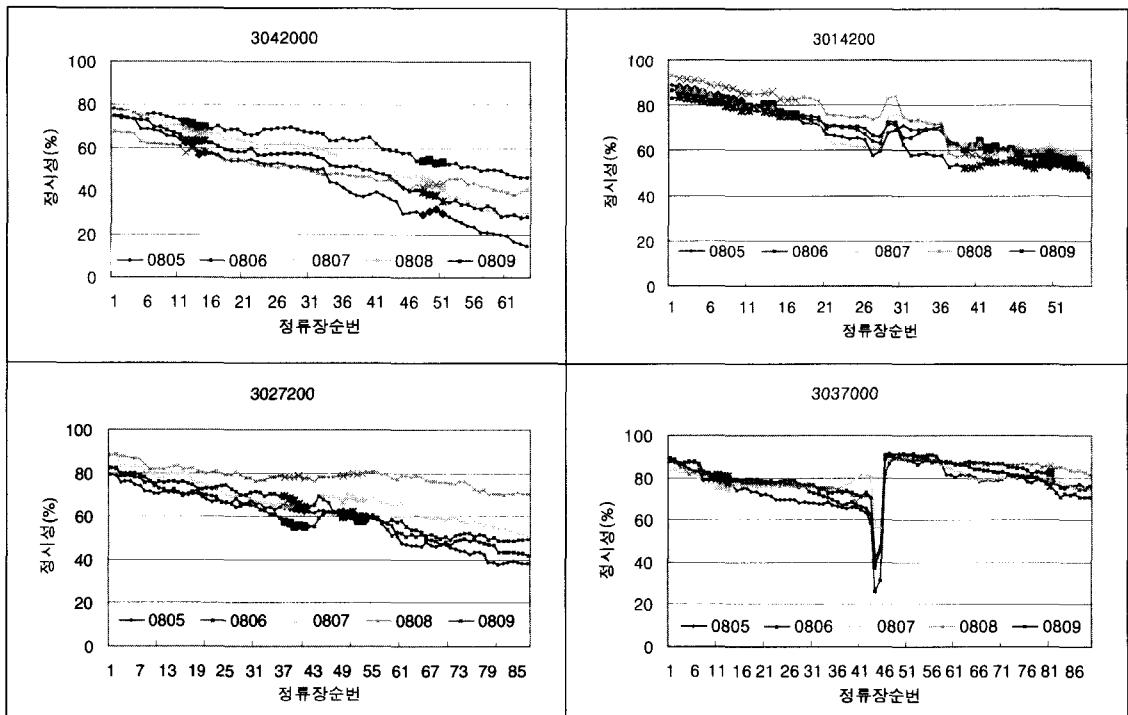
측	노선 번호	8월 5일	8월 6일	8월 7일	8월 8일	8월 9일	평균
강남대로	400	58.6	63.7	68.4	62.0	65.7	6.37
	402	45.0	44.5	57.8	59.8	61.8	54.7
	420	45.0	63.5	55.4	50.6	51.7	53.2
도봉미아	101	67.7	67.0	72.8	75.5	68.1	70.2
	102	75.6	76.7	72.0	76.8	76.0	75.4
	107	73.8	63.3	55.7	66.3	66.0	65.0
	141	54.6	73.5	60.5	74.0	67.0	65.9
	142	68.7	69.7	69.9	72.6	66.2	69.4
	151	65.3	66.7	67.5	68.7	63.8	66.4
	160	60.3	61.6	62.6	58.0	52.1	58.9
수색성산	163	61.5	59.3	65.5	57.2	57.0	60.0
	170	66.9	62.7	67.6	53.8	57.0	61.6
	171	52.6	56.8	60.0	69.5	62.0	60.2
	172	72.6	79.5	71.3	81.7	79.4	76.9
	272	59.0	60.8	67.7	78.5	63.2	65.8
	606	68.0	74.6	72.0	77.4	72.6	72.3
	700	79.2	74.3	73.4	73.0	52.0	70.4
	750	55.8	54.1	66.9	79.4	70.6	65.4
천호대로	130	57.8	58.3	56.7	60.8	55.0	57.7
	145	68.2	68.5	74.9	80.5	69.3	72.3
	300	56.0	53.8	61.7	51.9	62.1	57.1
	370	76.9	79.3	79.4	81.4	80.0	79.4
평균	63.1	65.1	66.4	68.6	64.5	65.6	
최대	79.2	79.5	79.4	81.74	80.0	79.4	
최소	45.0	44.5	55.4	50.6	51.7	53.2	
분산	92.8	80.7	45.5	104.8	68.8	52.6	

간에서의 정시성 변화는 두드러진 특징을 발견할 수 없었다. 일부 노선의 경우 정류장간 거리가 긴 구간에서 정시성이 급격히 감소하는 것으로 나타났으나 정류장간 거리와 정시성 감소정도 간의 유의미한 상관관계는 없는 것으로 분석되었다.

정시성지표는 44.5~81.7% 정도로 평균 64.8%로 나타났으며 평균과 분산의 최대값은 모두 8월 8일(일요일)에 나타났다.

〈그림 2〉는 노선별 각 정류장의 정시성지표를 날짜별로 나타낸 것이고 그래프에서 굵은 점으로 표시된 것은 중앙버스전용차로 구간의 정류장을 나타낸 것이다.

배차지점에서의 정시성은 대부분 80% 정도로 나타났으며 노선 종점에서의 정시성은 20~80% 정도로 노선별, 날짜별로 매우 다양하게 나타났다.



〈그림 2〉 정시성지표 산출 예

V. 정시성 지표 특성분석 및 활용방안 모색

1. 정시성 지표 특성분석

분석을 통해 버스 운행의 정시성은 다음을 포함한 여러 가지 요소에 의해 영향받는 것을 확인하였다.

- 교통상황
- 도로조건
- 노선연장 및 정류장 수
- 승객수요
- 버스 우선처리
- 운행제어전략
- 버스 차량 수
- 운전기술

버스 운행의 정시성은 여러 가지 요소들이 복합적으로 작용하여 영향을 받기 때문에 하나의 이론적인 모형을 구축하기 위해서는 많은 자료가 요구된다. 본 연구에서는 자료수집의 한계로 인해 버스의 운행 정시성을 설명할 수 있는 이론적인 모형을 구축하는 대신에 각각의 영향 요소들이 버스의 운행 정시성과 어떠한 상관관계가 있는지를 분석하였다. 향후 BMS 사업이 전국적으로 확대되어 충분한 데이터베이스가 구축되면 도시규모별, 도로특성별 영향변수와 정시성과의 상관관계에 대한 이론적인 모형을 구축할 수 있을 것으로 예상된다.

1) 교통상황의 영향

일요일인 8월 8일의 각 노선의 정시성과 다른 날의 정시성에 대해서 t검정(쌍체비교, 유의수준 5%)을 수행한 결과 8월 8일의 정시성이 8월 7일을 제외한 다른 날보다 유의미하게 높은 것으로 나타났다. 8월 7일은 토요일로 주5일 근무제 시행으로 업무통행이 평일보다 적어 일요일과 크게 차이가 나지 않는 것으로 분석되었다.

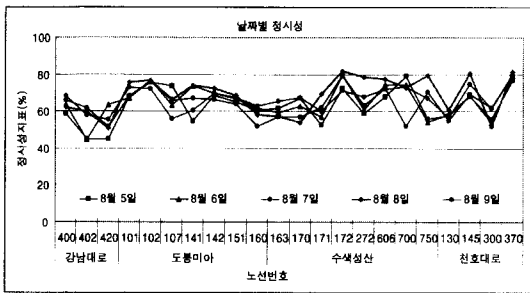
교통상황이 혼잡하지 않을 때 정시성이 높게 나타나 일반적인 상식에 부합하는 결론을 도출할 수 있다.

2) 노선연장 및 정류장수의 영향

노선연장이 길수록, 정류장수가 많을수록 버스의 운행 정시성은 감소하는 것으로 분석되었으며, 노선연장과 강한 양의 상관관계에 있는 1회 평균 운행시간에 대해서도 운행시간이 길수록 정시성이 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 1회 운행시간의 분산계수가 클수록 정시성이 감소하는 것으로 나타나 교통상황의 변화가 심할수록 노선의 운행 정시성이 감소하는 것으로 분석되었다.

<표 10> t 검정 결과

	8월 8일	평일 평균	8월 5일	8월 6일	8월 7일	8월 9일
평균	68.61	64.77	63.14	65.10	66.35	64.48
분산	104.8	49.94	92.83	80.67	45.49	68.77
관측수	22	22	22	22	22	22
피어슨 상관 계수		0.749	0.531	0.592	0.668	0.753
가설 평균차		0	0	0	0	0
자유도		21	21	21	21	21
t 통계량		2.646	2.661	1.880	1.391	2.862
P(T=t) 단측 검정		0.008	0.007	0.037	0.089	0.005
기각치 단측 검정		1.721	1.721	1.721	1.721	1.721



<그림 3> 날짜별 정시성

3) 승객수요에 따른 버스의 운행 정시성

승객수요자료는 노선의 1일 평균 승차수요이기 때문에 승객수요의 집중에 따른 영향은 고려하지 못하였다.

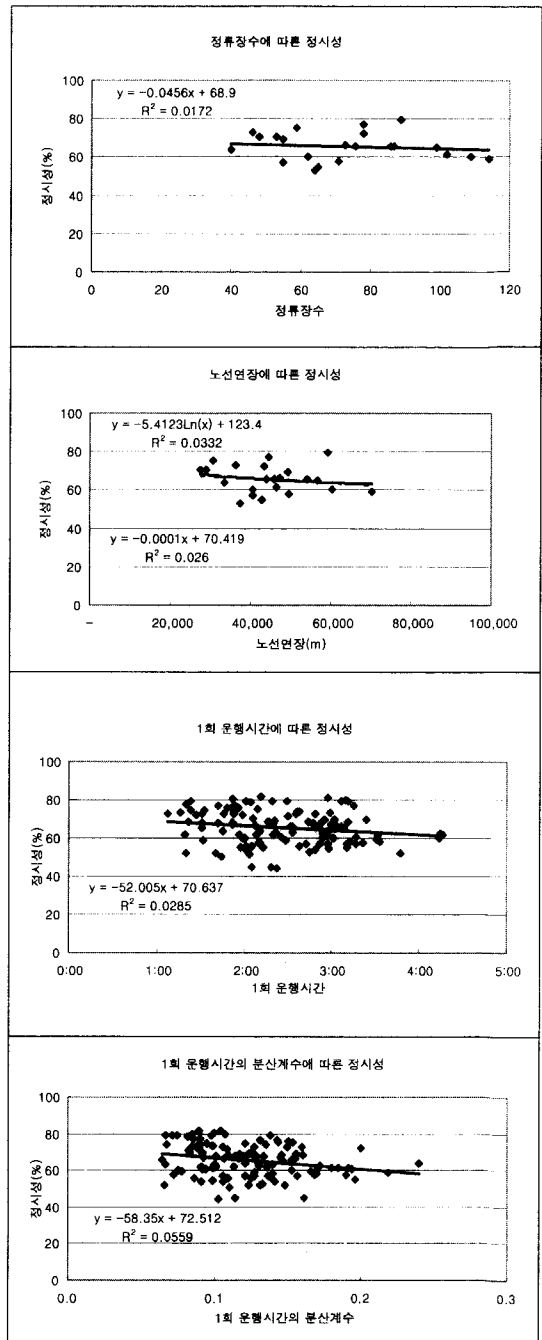
승객수요가 많을수록 버스의 운행 정시성이 감소하는 것으로 나타나 일반적인 상식에 부합하는 결론을 도출할 수 있다.

4) 버스 우선처리에 따른 버스의 운행 정시성

버스 우선처리에 대한 분석을 수행하기 위해서는 버스 우선처리의 시행 전과 후의 운행결과를 비교해야 하지만 서울시의 경우 중앙버스전용차로 시행 전의 버스 운행 자료가 없기 때문에 전·후 분석을 시행하지 못하였다.

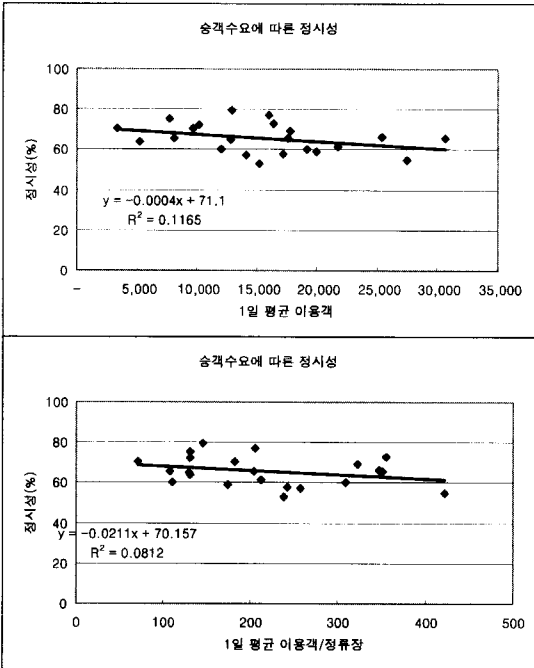
본 연구에서는 중앙버스전용차로 시행에 따른 버스 운행의 정시성 변화를 분석하기 위해 전체 노선 중에서 중앙버스전용차로 구간을 운행하는 비율과 중앙버스전용차로 정류장수에 따른 정시성 지표의 차이를 살펴보고 있다.

중앙버스전용차로 구간을 경유하는 정도에 따른 버스

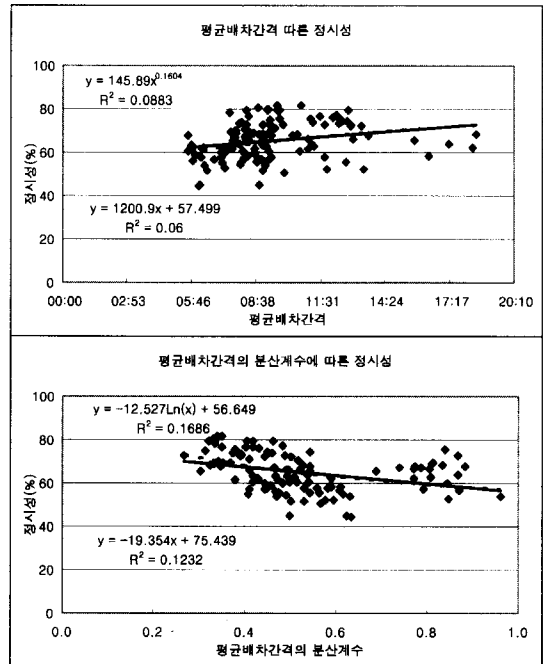


<그림 4> 노선연장/정류장수/1회 운행시간에 따른 정시성

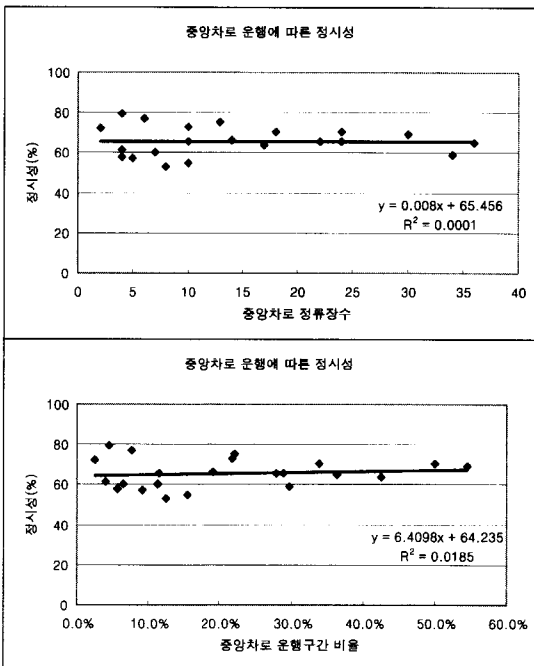
노선의 운행 정시성을 분석한 결과 노선의 중앙버스전용차로 구간 비율이 높을수록 버스의 운행 정시성이 다소 증가하는 것으로 나타났으나 증가 정도가 미약하여 중앙버스전용차로의 효과가 확실하게 나타난다고 결론 지을 수 없다.



〈그림 5〉 승객수요에 따른 정시성



〈그림 7〉 배차간격에 따른 정시성



〈그림 6〉 중앙버스전용차로 운행에 따른 정시성

5) 배차간격에 따른 버스의 운행 정시성

배차간격이 운행 정시성에 미치는 영향을 분석한 결과 평균배차간격이 길수록 정시성이 높게 나타났으며

평균배차간격의 분산계수에 대해서는 분산계수가 큰 경우 운행 정시성이 감소하는 것으로 나타나 일반적인 상식에 부합한다.

2. 정시성 지표의 활용방안

버스운행 정시성에 영향을 미치는 요소는 매우 다양하기 때문에 이들을 모두 고려하여 정시성 지표에 대한 해석적인 모형을 구축하기 위해서는 방대한 데이터베이스가 구축되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 서울시 버스노선의 운행결과 자료를 통해 교통상황(혼잡), 노선연장, 정류장수 및 1회 운행시간, 승객수요, 버스우선처리, 평균배차간격에 의한 영향을 분석하였다. 분석결과 버스의 정시성 향상을 위해 고려되어야 할 사항들을 도출할 수 있었으며 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 교통혼잡은 버스의 정시성을 감소시킨다. 따라서 정시성을 향상시키기 위해서는 승용차와의 마찰, 교차로에서의 신호에 의한 지체 등을 최소화시켜야 하며 이는 버스전용차로, 버스우선신호 등을 통해 개선될 수 있다.
- 노선연장, 정류장수 및 1회 운행시간이 클 경우

버스의 정시성은 감소한다. 따라서 버스의 서비스 권역, 연계노선 및 기타 수단으로의 환승 등을 고려한 적정한 노선망 설계가 요구되며 승객 수요와 지역특성에 따른 최적 정류장 간격산정 등에 관한 연구가 수반되어야 할 것이다.

- 승객수요가 많을수록 버스의 정시성은 감소한다. 승객수요는 정류장 간격산정에 가장 중요한 영향 요소로 승객의 접근시간과 승객의 승하차로 인한 버스의 지체시간을 같이 고려하여 적정 정류장 간격을 산정하는 것이 필요하며 한 정류장에서 다른 노선버스의 승객 승하차로 인한 다른 노선버스의 지체를 최소화시키기 위해 충분한 버스베이를 확보하는 등의 방안이 요구된다.
- 앞서의 분석에서는 중앙버스전용차로의 효과를 확실히 규명하지 못하였다. 그러나 이는 중앙버스전용차로 자체의 효과가 없다가 보다는 여러 노선버스간의 상충, 버스베이의 부족, 교차로에서의 지체 등 기타 요인에 의해 전용차로의 효과가 상쇄된 결과라 판단되며 충분한 실행시간을 거쳐 전용차로의 효과를 최대화시키기 위해 추가적인 개선 방안이 모색되어야 할 것이다.
- 평균배차간격이 증가할수록 정시성이 높게 나타나고 평균배차간격의 분산계수가 증가할수록 정시성이 낮게 나타났다. 승객들은 버스가 예정시간보다 일찍 도착함에 따른 편익보다 늦게 도착함에 따른 불편익을 더 크게 느낀다.(TCRP Report 95(8)) 또한 평균배차간격이 짧을 경우 승객들의 평균 대기시간이 적어지게 된다. 따라서 평균배차간격이 짧을 때 정시성이 감소함에 따른 승객들이 느끼는 불편익과 평균 대기시간이 감소함에 따른 편익이 균형을 이루는 적정 배차간격이 산정될 수 있을 것이다.

정시성 지표는 버스 운행의 신뢰성을 평가하는데 가장 중요한 평가척도 중 하나로 버스의 서비스수준을 평가하는데 사용될 수 있고, 정시성 지표의 분석을 통해 버스의 서비스수준을 향상시키기 위한 개선방안을 도출할 수 있으며, 개선방안의 실행효과를 검증하는 데에도 사용될 수 있다.

향후 BMS 사업의 확대시행으로 다양한 데이터베이스가 구축되면 그를 활용한 더 많은 연구가 진행될 수 있을 것으로 예상된다.

VI. 결론

본 연구에서는 버스의 서비스수준을 평가하기 위한 정시성 지표를 개발하였으며, BMS를 통해 수집된 서울시 버스노선의 운행자료로 버스의 운행 정시성을 산출하고 정시성 지표의 특성을 분석하였다.

버스의 운행 정시성은 여러 가지로 정의할 수 있으나 현재 국내에서 운행되는 버스노선의 현황을 고려할 때 실제 배차된 차량들만을 기준으로 정시성(P3)을 평가하는 것이 현실적이다.

서울시 22개 노선버스의 운행결과 자료를 사용하여 본 연구에서 개발한 정시성 지표를 적용하여, 산출된 정시성 지표를 분석한 결과 교통상황이 혼잡하지 않은 일요일에 정시성이 높게 나타났으며 노선연장이 길수록, 정류장수와 승객수요가 많을수록 정시성이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 평균배차간격이 길수록 정시성이 증가하고 배차간격의 분산계수가 높을수록 정시성이 감소하는 것으로 분석되었으며 중앙버스전용차로에 대한 분석에서는 중앙버스전용차로의 효과를 판단할만한 결론을 도출하지 못하였다. 중앙버스전용차로의 효과를 검증하기 위해서는 전·후 분석을 통한 시간적 분석이나 중앙버스전용차로를 운행하지 않는 노선과의 비교분석을 통한 공간적 분석이 필요한데 본 연구에서는 자료수집의 한계로 시행하지 못하였다. 중앙버스전용차로의 효과가 나타나기 위해서는 앞에서 언급한대로 여러 가지 조치들이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

향후 본 연구에서 제시한 정시성 지표를 활용하여 어떠한 정책이나 개선대책의 시행 효과를 검증할 수 있으며 1일 운행 종료 후 노선별로 정시성 지표를 산출하여 버스회사 서비스평가, 지원근거 자료로 활용할 수 있다. 현실적으로 정시성에 따라 지원을 차별화하면 버스회사가 정시성을 제고하려 노력할 것으로 기대된다.

원칙적으로 정시성 100%는 모든 버스가 모든 정류장에 제시간에 도착하는 것을 의미하나 현실적으로 이는 불가능하며 정시성 평균, 분포 등을 산출하여 운행준수 기준을 설정할 필요가 있다. 향후 전국적으로 BMS 사업이 시행되어 데이터베이스가 구축되면 도시 규모별, 도로특성별 영향변수를 정시성 지표에 반영하여 버스 운행의 서비스수준을 평가하는 방법이 연구될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2004), 도로용량편람.
2. Abkowitz, M. and Engelstein, I. (1984) Methods for Maintaining Transit Service Regularity, Transportation Research Record 961, pp.178~187.
3. Benn, H. P. (1995) TCRP synthesis of Transit Practice 10: Bus Route Evaluation Standards, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC
4. Ceder, A. (2001) Bus Timetables with Even Passenger Loads as Opposed to Even Headways, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 1760, pp.3~9.
5. Chang, S. K. J. and Hsu, C. L. (2001) Modeling Passenger Waiting Time for Intermodal Transit Stations, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 1753, pp.69~75.
6. Ding, Y. and Chien, S. I. (2001) Improving Transit Service Quality and Headway Regularity with Real-Time Control, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 1760, pp.161~170.
7. Fielding, G. J. (1992) Transit Performance Evaluation in the U.S.A, Transportation Research, Vol.26A, No.6, pp.483~491.
8. TCRP Report 95 (2003) Traveler Response to Transportation System Changes, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC.
9. TCRP Report 100 (2003) Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, DC.
10. Robert, L. B. and Ahmed, E. G. (2003) Using Archived Data to Generate Transit Performance Measures, 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 12-16, January 2003.
11. Victoria, A. P. and Chandra, F. (2003) Evaluation of First-Year Florida MPO Transit Capacity and Quality of Service Reports, 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 12-16, January 2003.

✉ 주 작 성 자 : 박준식
 ✉ 논문투고일 : 2005. 1. 7
 논문심사일 : 2005. 2. 17 (1차)
 2005. 3. 4 (2차)
 2005. 4. 8 (3차)
 심사판정일 : 2005. 4. 8
 ✉ 반론접수기한 : 2005. 8. 31