■ 論 文 ■

BMS 자료를 이용한 서울시 간선버스의 정시성 분석 (자료포락분석기법을 적용하여)

Analysis on Reliabilities of Seoul's Trunk Bus Lines Using BMS Data (through Data Envelopment Analysis)

오 미 영 (서울시립대학교 교통공학과 연구교수)

정 창 용 (서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

손 의 영 (서울시립대학교 교통공학과 교수)

목 차

Ⅰ. 서론
Ⅱ. 정시성의 개념과 추정방법
1. 배차간격의 오차율
2. 운행시간의 오차율
3. 자료포락분석기법을 이용한 통합 정시성 분석
Ⅲ. 자료 및 처리과정
1. 자료
2. BMS자료의 처리과정
Ⅳ. 서울시내버스의 정시성 평가 결과
1. 배차간격 및 운행시간의 오차율
2. 통합 정시성
Ⅴ. 결론
참고문헌

Key Words : BMS, 간선버스, 배차간격, 운행시간, 정시성
BMS, Trunk Bus Line, Headway, Travel Time, Reliability

요 약

본 연구의 목적은 이용자 입장에서 정시성이 열악한 노선들을 파악하는 것이다. 이를 위해 서울시의 도심으로 향하는 간선노선을 대상으로 BMS자료를 이용하여 노선별 배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율을 계산한 후, 자료포락분석기법을 이용하여 두 지표를 통합한 노선별 정시성을 분석하였다.

그 결과를 통하여 노선들과 교통권역들의 정시성을 비교하고, 정시성이 열악한 노선들을 개선할 필요성과 이용자들에게 현실을 감안한 운행스케쥴을 제시할 필요성이 있음을 제안하였다.

향후 연구로는 BMS와 교통카드 시계열 자료를 이용함으로써 각 노선의 다른 운행환경을 반영한 정시성 범위를 파악하여 노선별 정시성 평가틀을 개발하고, 정시성이 열악한 노선들에 대한 개선방안을 제시할 필요가 있음을 제안하였다.

The purpose of this paper is to identify unreliable routes in the view of users. After headway error ratio per route and travel time error ratio per route were calculated by using BMS data, reliability which incorporated two indicators each route was calculated through data envelopment analysis.

Reliability among routes and among traffic zones was compared through the results, the needs to improve severely unreliable routes and to show passengers adjusted bus schedule information considering current reliability were suggested.

As a future study, reliability evaluation framework of each route needs to be developed considering operation environment by analyzing bus card data(passengers and operation speed etc.) and pooly unreliable route should be managed strictly and reformed.

Ⅰ. 서론

서울시는 2004년 7월 대중교통체계를 개편하면서 시내버스 이용자에게 수준 높은 서비스를 제공하고자 시내버스의 운행 행태를 관리하기 위한 버스관리시스템(BMS)을 구축하였다.

BMS로부터 수집된 자료는 차고지에서의 배차간격 준수도, 운행 중 차량의 몰림도, 배차간격이 20분 이상인 노선을 대상으로 한 도착시간의 준수도, 첫차와 막차의 운행여부, 정류장에서의 무정차 통과 정도, 개문주행 및 과속 등과 같은 운행 행태를 분석하는데 이용되며, 그 결과는 시내버스업체를 평가하는데 활용된다.

본 연구에서는 이용자의 관점에서 가장 중요하다고 여길 수 있는 시내버스의 정시성에 대하여 분석하고자 한다. 일반적으로 시내버스의 정시성은 이용자의 통행위치에 따라 다르게 평가될 수 있다. 먼저 정류장에서 정시성을 평가하는 지표는 도착시간의 준수도와 배차간격의 준수도가 있다. 도착시간의 준수도는 정류장별 운행스케쥴이 제시한 도착시간을 실제 버스의 도착시간이 어느 정도 준수하고 있는지를 평가하는 지표이다. 배차간격의 준수도 역시 정류장별 운행스케쥴이 제시한 배차간격을 실제 버스의 배차간격이 어느 정도 준수하고 있는지를 평가하는 것이다. 이때 어느 지표를 이용하느냐에 따라 그 결과는 상이하게 나타나는데, 한 예로 정류장에 도착하는 모든 버스들이 운행스케쥴의 도착시간보다 정확하게 5분씩 늦게 도착한다면 그 버스들의 도착시간의 준수도는 0%이지만, 배차간격의 준수도는 100%가 될 수 있다.

한편 차내(in-vehicle)에서 평가하는 지표는 운행시간의 준수도가 있다. 운행시간의 준수도는 운행스케쥴이 제시한 정류장간 또는 기·종점간 운행시간을 실제 버스들이 어느 정도 준수하는지를 평가하는 지표이다.

시내버스 이용자들의 입장에서는 버스가 운행스케쥴의 배차간격에 맞추어서 정류장에 도착한 후, 목적지까지 정시에 도착하길 원한다. 따라서 배차간격의 준수도와 운행시간의 준수도를 함께 고려하여 정시성을 평가할 필요가 있다.

현재 서울시는 운행의 정시성을 평가하기 위한 지표로 차고지에서의 배차간격 준수도, 운행 중 차량의 몰림정도, 도착시간의 준수도 등을 포함하고 있다. 하지만 정류장별 배차간격의 준수도와 운행시간(running time)의 준수도는 포함하지 않고 있다.

본 연구는 정류장별 배차간격의 준수도와 노선별 운행시간의 준수도를 BMS 자료를 이용하여 각각 계산하고, 두 결과를 통합한 정시성을 측정함으로써 정시성에 문제가 되는 노선들을 파악할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 각 지표를 통합하기 위해 시내버스업체별 효율성을 측정하는데 주로 이용되는 자료포락분석(data envelopment analysis, DEA)기법을 이용한다.

본 연구와 같이 자료포락분석기법을 이용하여 시내버스의 정시성을 분석한 연구는 우리나라의 경우 전무한 상태이며, 외국의 경우 Lin et al.(2008)만을 들 수 있다. 다만 우리나라의 경우 자료포락분석기법을 이용한 시내버스 분석은 업체의 효율성과 생산성 변화 위주로 이루어졌으며, 이들 연구로는 오미영 외(2002)와 오미영·김성수(2008) 등이 있다.

APTS(Advanced Public Transit System)를 이용하여 시내버스의 정시성을 분석한 연구로는 Hammerle (2005)과 Lin et al.(2008) 및 강석호·이승재(2006)와 이호상 외(2008)를 들 수 있다.

먼저 Hammerle(2005)은 시카고의 AVL (automatic vehicle location)과 APC (automatic passenger conters)의 자료를 설명하고 버스 통행 패턴, 스케쥴 준수도 및 배차간격 준수도 등을 각각 분석하였다.

Lin et al.(2008)은 시카고 AVL의 시계열 자료를 이용하여 시내버스의 운행시간 준수도와 배차간격의 준수도를 함께 고려한 정시성을 평가하고 각 노선의 정시성 수준이 다른 노선에 비해 열악한지 그리고 저하되고 있는 상황인지를 평가할 수 있는 틀(framework)을 자료포락분석기법을 이용하여 제시하였다.

강석호·이승재(2006)는 서울시의 BMS 자료를 이용하여 중앙버스 전용차로의 정시성, 통행속도 등을 설치 전과 후로 분석하여 비교하였다.

이호상 외(2008)는 서울시가 시내버스업체의 운행행태를 관리하기 위한 평가지표를 소개하고 실제 BMS 자료를 이용하여 차고지 배차정시성, 운행 중의 차량 몰림율, 도착시간표 준수율의 변화추이를 살펴보았다.

본 연구는 Lin et al.(2008)의 분석방법 중 일부를 따르며, 2005년 6월 15일 오전 첨두시의 서울 시내버스 간선노선 33개를 대상으로 정시성을 분석한다.

본 연구는 먼저 Ⅱ장에서 정시성의 개념을 정의하고 추정방법을 살펴본다. Ⅲ장에서는 분석에 사용되는 자료에 대해 설명하고, Ⅳ장에서는 추정결과를 배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율로 각각 분석한 후, 통합한 결과를 분석한다. 마지막으로 Ⅴ장에서는 추정결과를 요약하고, 향후 연구방향에 대해 논한다.

Ⅱ. 정시성의 개념과 추정방법

TCQSM(2003)과 서울시는 운행스케줄을 기준으로 배차간격의 분산계수[1]를 측정하여 정시성을 평가하고 있다. Lin et al.(2008)은 배차간격과 운행시간을 운행스케줄을 기준으로 더 짧은 경우[2]와 더 긴 경우로 구분하고[3], 각각의 상대오차 평균을 자료포락분석기법의 투입물(4개)로 사용하였다. 하지만 본 연구는 운행스케줄보다 더 빠른 경우와 긴 경우를 구분하지 않은 상태에서 배차간격과 운행시간의 상대오차를 계산한 후, 그 결과를 자료포락분석 모형의 투입물 자료로 이용한다.

1. 배차간격의 오차율[4]

배차간격의 오차율(H_o)[5]은 해당 노선 o를 운행하는 모든 차량들을 대상으로 인가 배차간격에 대한 정류장별 실제 배차간격과 인가 배차간격의 차이인 상대오차를 계산한 후, 운행차량 수로 나누어 평균값을 구한다.

$$H_o = 100 \times \{ \sum_{j=2}^{M} \frac{| (AH_{oj} - SH_o) |}{(SH_o)} / (m-1) \} \qquad (1)$$

여기서 $j = 1, \ldots, m$: 노선o의 정류장 기준 도착차량

AH_{oj} : 노선o의 실제 배차간격

SH_{oj} : 노선o의 인가 배차간격

여기서 j는 대상 노선o를 운행하는 차량이며, 실제 배차간격은 정류장별 차량간 도착간격이다. 배차간격의 오차율이 클수록 정시성은 낮아짐을 의미한다.

2. 운행시간의 오차율

운행시간의 오차율(RT_o)은 해당 노선 o를 운행한 차량별 두 지점 사이의 실제 운행시간과 인가 운행시간과의 차이를 인가 운행시간으로 나누어 상대오차를 계산한 후, 운행차량 수로 나누어 평균값을 구한다.

$$RT_o = 100 \times \{ \sum_{i=1}^{n} \frac{| (ART_{oi} - SRT_o) |}{(SRT_o)} \} / n \qquad (2)$$

여기서 $i = 1, \ldots, n$: 노선o의 운행차량 수

ART_o : 노선o의 실제 운행시간

SRT_o : 노선o의 인가 운행시간

여기서 i는 대상 노선o를 운행하는 차량이며, 운행시간은 두 지점 사이의 운행시간이다. 운행시간의 오차율이 높을수록 정시성은 낮아짐을 의미한다.

---

1) 배차간격의 분산계수 : $HCV = \frac{S_h}{\bar{h}}$,

$S_h = \sqrt{\sum_{i=2}^{N} \frac{(h_i - \bar{h})^2}{(N-2)}}$, $\bar{h} = \frac{1}{(N-1)} \sum_{i}^{N} h_i$

h_i : i번째 버스의 배차간격

N : 실제 운행횟수

$\bar{h}$: 인가 배차간격

2) 배차간격 측면에서 연속으로 운행하는 두 개의 버스가 인가 배차간격보다 더 짧게 운행하는 경우이다. 극단적일 경우 버스들은 군(群)을 이루어서 운행하기도 하는데, 서울시는 이를 버스의 몰림운행을 평가하는 지표로 사용한다.

3) 노선 A와 노선 B 모두 운행시간이 10분이고, 10대의 버스를 운행한다. 이때 노선 A는 인가 운행시간보다 10분 느린 차량이 8대, 5분 빠른 차량이 2대이며, 노선 B는 각각 5대라고 가정한다. Lin et al.(2008)은 노선 A와 노선 B의 운행시간 오차율을 인가 운행시간보다 긴 경우(longer)와 짧은 경우(shorter)로 구분하고, 각각의 상대오차율(절대오차를 참값으로 나눈 값)의 평균값을 계산한 후, 이를 자료포락분석기법의 투입물로 이용하였다. 하지만 Lin et al.(2008)의 방식대로라면 노선 A와 노선 B의 longer와 shorter 각각의 오차율 평균(%)ⓐ은 동일한 값을 취하게 된다. 이러한 방법은 분명 노선 A가 노선 B보다 차량 10대에 대한 절대오차(오차와 참값 차이의 절대값)의 합이 더 큼에도 불구하고 동일한 값을 가지기 때문에 합리적이라고 볼 수 없다. 따라서 본 연구에서는 본문의 식과 같이 운행스케줄보다 긴 경우와 짧은 경우를 구분하지 않고 전 차량의 상대오차율 평균(%)ⓑ을 계산하여 자료포락분석기법의 투입물로 이용하였다.

구분	노선 A		노선 B	
	longer	shorter	longer	shorter
인가 운행시간(분)	10	10	10	10
실제 운행시간(분)	20	5	20	5
운행 차량수(대)	8	2	5	5
오차율(%)ⓐ	100	50	100	50
오차율(%)ⓑ	90		75	

주) 오차율ⓐ는 Lin et al.(2008)에서 적용한 방법의 값이며, 오차율ⓑ는 본 연구에서 적용한 방법의 값이다.

4) 서울 간선버스의 첨두시 대부분의 배차간격은 10분 이하이므로 도착시간의 오차율보다는 배차간격의 오차율만을 계산하여 분석에 활용하였다.

5) TCQSM(2003)은 배차간격을 10분 이하와 그 이상인 구분하여, 전자는 배차간격의 오차율을 후자는 도착시간의 오차율을 적용하였다. 전자의 경우는 배차간격이 짧아서 운전자가 도착시간을 정확하게 준수하기가 어려울 뿐 아니라 버스가 자주 오기 때문에 이용자는 배차간격을 더 중요하게 여기는 반면, 후자의 경우 대부분의 이용자는 버스의 도착시간에 맞추어 정류장에 대기하기 때문에, 도착시간을 더 중요하게 여기게 된다고 기술하였다.

3. 자료포락분석기법을 이용한 통합 정시성 분석

배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율을 함께 고려한 통합 정시성을 추정하기 위해 본 연구에서는 주로 업체의 효율성을 측정하는데 이용되는 비모수접근법인 자료포락분석기법을 적용한다. 이 기법은 선형계획기법으로서, 효율적인 업체들로 구성된 변경선을 구축한 후, 변경선을 기준으로 측정대상 업체와의 거리를 계산하여 효율성을 측정한다. 이 기법은 다수의 산출물과 투입물을 함께 고려할 수 있고, 가격에 대한 정보가 없더라도 양적 정보만으로 측정이 가능하다. 또한 이 기법은 상대적으로 비교하는 선형계획기법이기 때문에 다중공선성이 문제되지 않는다.

본 연구에서는 통합 정시성을 추정하기 위하여 식(3)과 같은 자료포락분석기법을 적용한다. 기존 방식과의 차이는 자료분석단위(DMU)가 업체가 아닌 노선이며, 효율성을 추정하는 것이 아닌 통합 정시성을 추정한다는 점이다.

일반적으로 자료포락분석기법에서는 산출물은 증가하도록, 투입물은 감소하도록 모형이 설계되어 있다. 배차간격 및 운행시간 오차율은 감소될 필요가 있는 바람직하지 않은 산출물(undesirable outputs)로 볼 수 있다[6]. 따라서 본 연구에서는 바람직하지 않은 산출물을 식(3)과 같이 투입물로 적용함으로써, 투입물을 최소화하는 선형계획식을 계산한다.

$$
\begin{aligned}
&min \quad \theta \\
&s.t. \ : \ \sum_{j=1}^{N} x_{jm}\lambda_j \leqq \theta x_{km}, \ \ m=1,\ 2 \\
&\qquad \sum_{j=1}^{N} y_j\lambda_j \geqq y_k, \ \ y_j = y_k = 1 \forall j,\ k \\
&\qquad\qquad \lambda_j \geqq 0 \quad \forall j,\ j=1,2,...,33 \quad (3)
\end{aligned}
$$

j는 각각의 노선을 의미하며, 투입물 $x_{jm}(m=1,2)$은 두 개의 변수, 운행시간의 오차율(RT)과 배차간격의 오차율(H)을 나타낸다. 산출물 y_j는 하나의 변수이며, 모든 노선에 1을 적용한다. $\lambda_j \geqq 0$은 식에 의해 구축된 변경선이 모든 노선의 정시성 결과를 포괄함을 의미한다[7].

식(3)은 노선별로 추정되며, 통합 정시성 점수 θ는 정시성이 가장 좋은 노선들과 비교하였을 때 부여될 수 있는 상대적인 점수로서, 0과 1 사이로 추정된다.

이때 운행시간 및 배차간격의 오차율과 비교하기 위하여 자료포락분석기법의 값 θ에 100을 곱하여 퍼센트화 한다.

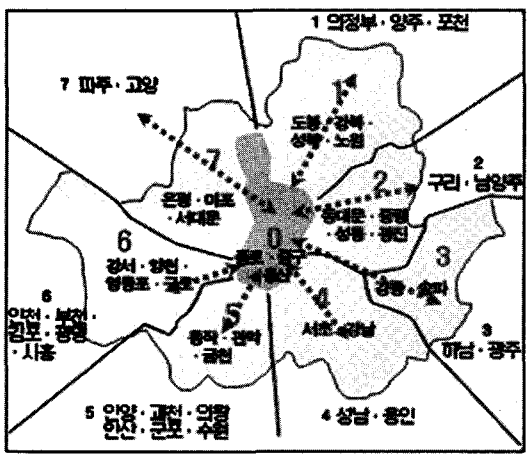
$$
\text{통합 정시성} = \theta \times 100, \ 0 \leq \theta \leq 1
$$

점수가 100이면 표본 중 정시성이 가장 높은 노선으로서 변경선에 위치하며, 다른 노선의 정시성을 평가하는 기준(benchmark)이 된다. 한편 0에 가까울수록 정시성이 낮은 노선을 의미한다.

Ⅲ. 자료 및 처리과정

1. 자료

서울시 도심을 기·종점으로 하는 간선노선을 대상으로 분석한다. 〈그림 1〉과 같이 서울시내는 8개의 교통권역(0~7)으로 구분되며, 시내버스의 노선번호는 기·종점의 권역번호로 구성되어 있다. 간선버스의 번호는 세



〈그림 1〉 서울시 교통권역

6) 바람직하지 않은 산출물을 적용하는 또 다른 방법은 Chung et al.(1997)과 오미영·김성수(2008) 등을 참고한다.

7) Lin et al.(2008)의 자료포락분석기법은 $\lambda_k = 0$의 제약식을 포함한다. 이는 분석대상 노선이 변경선내에 포함되지 않아도 된다는 것을 의미하는 것으로 정시성 값은 1이상으로도 도출된다. Lin의 연구가 이러한 제약식을 포함한 이유는 노선별 시계열 자료를 이용하여 대상 노선 정시성의 변경 범위를 추정함으로써 대상 노선의 정시성이 갑자기 변하는 경우를 파악할 수 있도록 하기 위함이다. 본 연구에서는 자료포락분석기법을 통해 횡단면 자료의 운행시간과 배차간격의 오차율을 통합하는 방법론을 제시하고, 정시성이 낮은 노선들을 파악하는 것을 목적으로 하기 때문에 $\lambda_k = 0$의 제약식을 제외하였다.

〈표 1〉 서울시 33개 간선노선들의 운행스케줄 개요

구분	운행거리(km)	운행시간(분)	배차간격(분)[1)]
평균값	41.6	130.9	7.6
최대값	59.1	190.0	35.0
최소값	22.9	70.0	3.0
표준편차	9.1	30.1	5.9

주 : 1) 배차간격은 첨두시 기준임.
자료 : 서울시 인가계통, 2005년 6월 자료

〈표 2〉 간선버스(노선A)의 BMS자료 구성

버스ID	도착/출발	도봉산역	도봉한신아파트	…	도봉산역
차량1	도착시간	4:21:47	4:22:56	…	…
차량1	출발시간	4:22:26	4:23:16	…	…
차량1	도착시간	7:16:00	7:17:41	…	…
차량1	출발시간	7:16:13	7:17:59	…	…
⋮					
차량2	도착시간	4:30:11	4:32:40	…	…
차량2	출발시간	4:32:26	4:33:20	…	…

자리로 이루어지는데, 첫째 자리와 둘째 자리가 기·종점이 위치한 권역을 의미한다. 따라서 그 두 자리 중 도심권역을 의미하는 번호 0이 포함(예. 402번, 501번)되고, 자료가 존재하는 33개 노선들만을 분석하였다.

선정된 간선노선의 운행스케줄의 특성은 〈표 1〉과 같다.

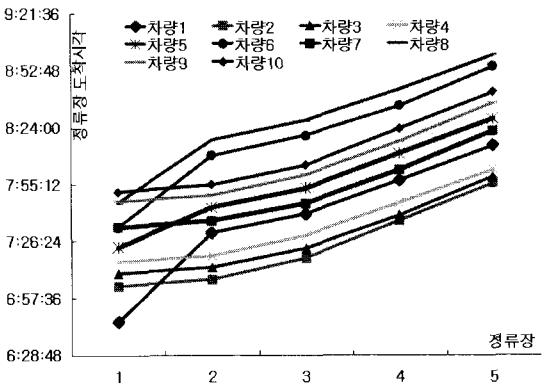
2005년 6월 15일의 노선 기점을 중심으로 오전 첨두시인 7시와 9시 사이에 출발한 차량을 대상으로 분석한다. 이를 위하여 〈표 2〉와 같이 정류장별 차량별 도착시간과 출발시간으로 구성된 BMS 자료를 이용한다.

2. BMS자료의 처리과정

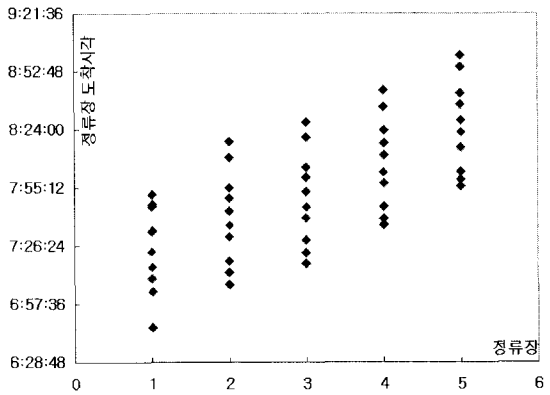
1) 실제 배차간격의 계산과정

각 노선의 모든 정류장을 대상으로 배차간격의 오차율을 분석해야 하나, BMS 오류 등으로 인해 일부 정류장에 차량별 도착시간의 자료가 구축되어 있지 않았다. 따라서 차량별 자료가 모두 구축되어 있는 정류장들을 대상으로 5개의 정류장들을 선정하였다. 대상 정류장은 지하철, 학교, 아파트 부근 등 시내버스 이용인구가 많을 것으로 예상되는 곳이다.

배차간격은 연속된 차량들 사이의 정류장 도착시각 간격을 의미한다. 분석을 위하여 노선 B의 정류장 1에서 출발한 차량의 순서대로 정류장별 도착한 시각을 살펴보았다. 〈그림 2〉와 같이, 차량 5는 차량 7보다 정류장 1



〈그림 2〉 차량 기준의 운행 배차간격(노선B)



〈그림 3〉 이용자 관점의 운행 배차간격(노선B)

에서 먼저 출발하였으나 정류장 2에는 늦게 도착하였다. 이는 정류장 1과 정류장 2 사이에서 차량 7이 차량 5를 추월하였기 때문이다.

하지만 정류장에서 버스를 기다리고 있는 이용자는 어느 차량이 먼저 출발하였고 추월하였는지는 관심이 없다. 따라서 이용자 관점에서 배차간격을 살펴보기 위해서는 차량의 ID와는 상관없이 정류장별 차량이 도착한 시각대로 정렬할 필요가 있으며 이는 〈그림 3〉과 같다.

〈그림 3〉은 정류장 1보다는 정류장 5에 도착하는 버스들이 약간 더 조밀하게 도착하였음을 보여준다.

즉 정류장별 차량 자료를 도착시간에 따라 정렬한 후, 차량간 도착시간의 차이를 계산함으로써 실제 배차간격을 계산하였다.

2) 실제 운행시간 계산과정

운행시간의 오차율을 분석하기 위하여 정류장간 운행시간을 검토할 필요가 있지만, 운행스케줄에서 제시하고

있는 운행시간은 노선을 왕복 운행하였을 때의 시간으로, 정류장간별 운행시간은 제시되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 노선의 왕복 운행시간을 기준으로 운행시간의 오차율을 살펴보았다.

실제 운행시간은 BMS자료의 기점에서 출발한 시각부터 종점을 거쳐 다시 기점에 도착하였을 때까지의 시각으로 계산하였다. 하지만 몇몇 차량의 경우 기점의 출발시각 자료가 구축되지 않았다[8]. 이를 보정하기 위하여 자료가 구축되어 있는 다른 시간대 동일노선 차량들의 기점 정류장과 그 다음 정류장간의 운행시간을 평균하여 적용하였다. 그 후 노선을 왕복한 후의 기점에 도착한 시각에서 기점을 출발한 시각의 차이를 계산함으로써 실제 운행시간을 계산하였다.

Ⅳ. 서울시내버스의 정시성 평가 결과

1. 배차간격 및 운행시간의 오차율

실제 배차간격과 실제 운행시간을 계산한 값과 운행스케줄을 참고하여 식(1)과 식(2)에 대입한 결과는 〈표 3〉, 〈표 4〉와 같다.

먼저 배차간격의 오차율을 살펴보면, 인가 배차간격을 기준으로 평균적으로 약 71.5%를 늦게 또는 빠르게 운행하고 있었으며, 노선별로는 최대 163.8%, 최소 37.8%의 차이가 있는 것으로 나타났다. 교통권역별로는 권역 1에서 7까지 모두 50% 이상의 값으로 나타났는데, 이는 인가 배차간격보다 1.5배 이상 차이가 남을 의미한다. 또한 권역 2와 4가 오차율이 가장 높았으며 상대적으로 권역 1이 가장 낮았다.

〈표 3〉 교통권역별 배차간격의 오차율(%)

권역	전체	1	2	3	4	5	6	7
평균값	71.47	57.21	138.94	66.45	88.46	74.29	72.92	69.34
최대값	163.80	99.72	138.94	113.65	138.23	163.80	148.07	115.99
최소값	37.83	42.10	138.94	38.63	52.14	37.83	39.57	45.61
표준편차	36.76	21.67	-	28.77	44.60	45.45	44.40	40.40
노선개수	33	8	1	5	3	6	7	3

주 : 수치가 클수록 오차율이 큼을 의미함.

〈표 4〉 교통권역별 운행시간의 오차율(%)

권역	전체	1	2	3	4	5	6	7
평균값	13.42	10.46	34.75	11.43	24.20	9.27	11.31	20.01
최대값	42.20	23.87	34.75	21.63	42.20	11.66	16.76	27.00
최소값	1.23	4.23	34.75	1.23	12.79	2.83	5.26	9.18
표준편차	9.39	7.60	-	9.54	15.78	3.28	5.19	9.51
노선개수	33	8	1	5	3	6	7	3

주 : 수치가 클수록 오차율이 큼을 의미함.

운행시간의 오차율을 살펴보면, 인가 운행시간을 기준으로 평균적으로 약 13.4%를 늦게 또는 빠르게 운행하고 있었으며, 노선별로는 최대 42.2%, 최소 1.2%의 차이가 나타났다. 교통권역별로는 권역 2, 4, 7의 오차율이 가장 높았으며 상대적으로 권역 5가 가장 낮았다.

한편 차량별로 실제 배차간격과 운행시간이 운행스케줄보다 더 긴 경우와 더 짧은 경우로 구분한 후 그 비율을 살펴보았다〈표 5〉.

먼저 배차간격의 경우 운행스케줄보다 더 긴 배차간격을 갖고 정류장에 도착하는 차량횟수가 전체의 약 49.8%를 차지하였다. 한편 운행시간의 경우 운행스케줄보다 더 긴 운행시간을 갖고 종점에 도착하는 차량횟수는 전체 중 약 66.5%를 차지하였다. 운행시간에 비해 배차간격의 경우는 긴 경우와 짧은 경우가 비슷한 비율로 나타났다.

배차간격과 운행시간이 운행스케줄보다 짧은 경우는 운전자가 운행조절이 가능한 환경이나, 긴 경우는 타교통수단의 흐름 또는 돌발 상황 등과 같은 외부적 요인의 영향에 의한 것으로 운전자가 운행조절이 불가능한 경우라고 볼 수 있다[9]. 본 연구의 분석범위가 교통혼잡이 가장 심한 오전 첨두시이기 때문에, 운전자가 운행조절이 어려웠을 것으로 판단된다.

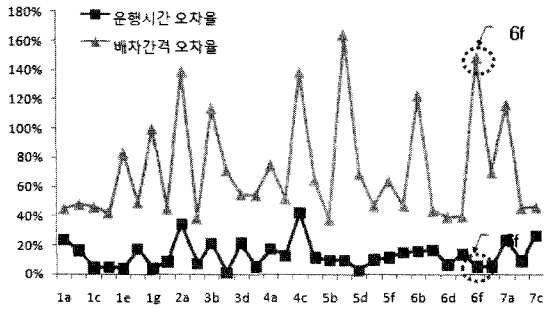
〈그림 4〉는 노선별 배차간격 및 운행시간 오차율의 분포도를 나타낸다.

그림에서 보듯이, 배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율이 일관성 있는 흐름을 나타낸다고는 볼 수 없다. 예로 노선 6f의 경우 배차간격의 오차율은 매우 높은 반

〈표 5〉 운행스케줄보다 긴 또는 짧은 경우의 차량횟수 비율(%)

구분	배차간격 기준 차량횟수 비율		운행시간 기준 차량횟수 비율	
	더 긴 경우	더 짧은 경우	더 긴 경우	더 짧은 경우
평균값	49.8	50.2	66.5	33.5

8) 이는 BMS 시스템의 오류 또는 단말기 고장 및 터널 또는 큰 건물 등에 의해 GPS 정보를 수신하지 못함으로써 발생 한다.
9) Lin et al.(2008)



〈그림 4〉 운행시간 및 배차간격의 오차율 분포

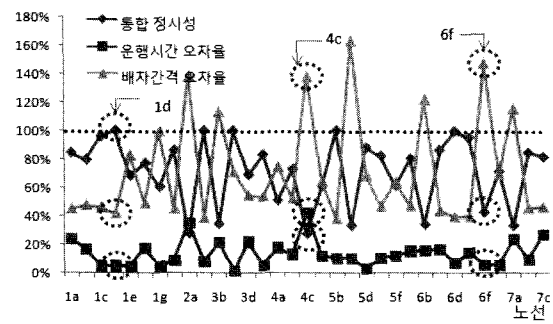
면, 운행시간의 오차율은 매우 낮다. 이러한 경우 어느 노선의 정시성 문제가 가장 심각한지를 판단하기가 어렵다. 따라서 배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율을 함께 고려하는 통합 정시성을 노선별로 평가할 필요가 있다.

2. 통합 정시성

배차간격과 운행시간의 오차율을 자료포락분석기법의 투입물로 적용하여 노선별 통합 정시성을 추정한 결과의 분포와 특징은 〈그림 5〉 및 〈표 6〉과 같다.

배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율 및 이 둘을 모두 고려한 통합 정시성의 노선별 분포는 〈그림 5〉와 같다.

〈그림 5〉에서 배차간격과 운행시간의 오차율 모두 상대적으로 낮은 노선 1d의 경우 통합 정시성은 100으로 나타나 정시성이 높은 것으로 나타났다. 이에 반해 배차간격과 운행시간의 오차율 모두 상대적으로 높은 노선 4c의 경우는 통합 정시성이 27.3%으로 가장 낮게 나타났다. 한편 배차간격의 오차율은 상대적으로 높으나 운



〈그림 5〉 노선별 배차간격, 운행시간의 오차율 및 통합 정시성 분포[10]

행시간의 오차율은 상대적으로 낮은 노선 6f의 경우는 정시성이 42.4%로 나타났다. 따라서 자료포락분석기법을 적용한 통합 정시성 결과는 합리적으로 도출되었다고 판단된다.

전체 노선의 평균은 약 71.2%이며, 정시성 점수가 100인 벤치마크가 되는 노선은 4개로 나타났다. 가장 낮은 정시성을 갖는 노선은 약 27.3%으로 나타났으며, 표준편차는 23.7%로 노선별 정시성의 차이가 큰 것으로 나타났다. 한편 교통권역별로 구분하여 정시성의 평균을 비교한 결과, 권역 2, 4, 7이 70%이하로 상대적으로 매우 낮게 나타났다. 따라서 이들 권역을 우선으로 정시성을 개선할 필요가 있다.

정시성 점수를 정렬한 후, 다섯 개의 노선군으로 구분하여 〈표 7〉에 제시하였다. 정시성이 최하위인 노선군 1에 속하는 노선들은 2a, 3b, 4c, 5c, 6b, 7a로 나타났다. 이들 노선들은 정시성을 개선하기 위한 대책이 가장 절실하다. 다음으로 노선군 2, 3, 4 순으로 개선할 필요가 있다. 한편 노선군 5에 속하는 노선들은 상대적으로 다른 노선들보다 정시성이 좋은 노선들로 볼 수 있다.

한편 기존 중앙버스 전용차로와 관련된 연구에서는 정시성이 향상된 것으로 나타났다[11]. 따라서 권역별 중앙버스 전용차로의 설치 현황을 살펴보았다. 참고로

〈표 6〉 교통권역별 정시성 결과(%)

권역	전체	1	2	3	4	5	6	7
평균값	71.2	81.4	27.3	77.3	50.4	70.9	72.6	66.4
최대값	100.0	100	-	100	72.9	100	99.6	84.5
최소값	27.3	60.3	-	34.1	27.4	33.3	33.8	33.2
표준편차	23.7	12.4	-	24.5	18.6	21.9	23.6	23.5
노선수[2]	4	1	0	2	0	1	0	0

주 : 1) 수치가 높을수록 정시성이 높음을 의미함.
2) 정시성이 100인 노선수임.

〈표 7〉 정시성 점수별 노선 구분 및 평균

노선 군		평균	노선
1	최하위(6)	31.5	2a, 3b, 4c, 5c, 6b, 7a
2	하위(7)	58.9	1e, 1g, 3d, 4a, 6f, 5a, 5f
3	중위(7)	77.7	1b, 1f, 6g, 4b, 5e, 6a, 7c
4	상위(7)	86.8	1a, 1h, 3e, 5d, 6c, 6e, 7b
5	최상위(6)	99.3	1c, 6d, 1d, 3a, 3c, 5b

주 : ( )는 노선수를 의미함.

10) 배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율이 낮을수록, 높은 통합 정시성 결과가 도출될 것임. 이러한 결과일수록 이용자에게 유리한 서비스를 제공함을 의미함.

11) 강석호 · 이승재(2006)

〈표 8〉 중앙버스전용차로 설치 현황

도로	연장	구간
도봉·미아로(권역1)	15.8km	의정부시계~원남R
천호·하정로(권역3)	7.6km	신설동 R~아차산역
강남대로(권역4)	5.9km	신사역~영동1교
수색·성산로(권역7)	6.8km	고양시계~이대후문

자료 : 서울시내버스 홈페이지, http://bus.seoul.go.kr

2005년 6월 15일 이전에 설치되어 개통된 중앙버스전용차로는 〈표 8〉과 같이 전체 36.1km이다.

하지만 권역 1, 3, 4, 7에 중앙버스 전용차로가 설치되어 있음에도 불구하고 권역 4, 7의 정시성은 〈표 6〉과 같이 열악한 것으로 나타났다. 이는 본 연구의 공간적 범위가 중앙버스 전용차로를 지나는 노선만을 대상으로 한 것이 아니며, 또한 중앙버스 전용차로 자체가 전체 노선에 비해 짧기 때문에 중앙버스전용차로를 진입하기 전 일반노선의 운행환경에 보다 많은 영향을 받았기 때문으로 판단된다.

V. 결론

본 연구는 이용자가 중요하게 여기는 운행 서비스 중 정시성이 열악한 노선들을 파악하는데 그 목적이 있다. 이용자는 운행스케쥴에 준하여 버스가 정류장에 도착하며 가고자 하는 목적지에 도착하기를 원한다. 이를 위해 노선별 배차간격의 오차율과 운행시간의 오차율을 계산한 후, 그 결과를 자료포락분석기법의 투입물에 대입함으로써 시내버스의 통합 정시성을 도출하였다.

2005년 6월 15일 오전 첨두시 동안의 33개 간선노선 BMS자료를 이용하여 분석한 결과, 먼저 배차간격의 오차율은 권역 중에서는 권역 2와 권역 4가 다른 권역보다 상대적으로 높게 나타났다. 서울시는 시내버스 노선에 할당된 하루 동안의 운행거리에 준해서 운행비용을 지급하고 있다. 따라서 첨두시 동안 운행스케쥴보다 더 짧은 배차간격으로 운행할 경우 비첨두시 동안 더 긴 배차간격으로 운행할 가능성이 있다. 이는 시내버스 이용자들에게 시내버스에 대한 신뢰성을 잃게 하는 중요한 요인이 될 수 있다.

운행시간의 오차율은 권역 중에서는 권역 2와 권역 4가 배차간격의 오차율에서와 마찬가지로 다른 권역들보다 상대적으로 높게 나타났다.

한편 이 두 지표를 함께 고려한 통합 정시성을 살펴본 결과, 역시 권역 2와 권역 4가 가장 열악하게 나타나 이들 권역에 대한 개선책이 필요했다. 또한 노선별 통합 정시성을 정렬하여 다섯 개의 노선 군으로 구분한 결과, 최하위 6개의 노선은 1c, 6d, 1d, 3a, 3c, 5b로 매우 낮게 나타났다. 이들 노선들은 우선적으로 개선되어야 하며 현실을 반영한 운행스케쥴이 이용자들에게 제시될 필요가 있다.

본 연구는 두 가지 측면에서 의의가 있다. 첫째, 시내버스의 운행실태를 객관적으로 반영하는 BMS 자료를 응용하였다는 점이다. BMS 자료는 실시간 자료로서 연속적으로 수집된다. 따라서 본 연구의 방법을 적용할 경우 이용자 관점에서 정시성에 문제가 있는 노선들을 즉각적으로 파악할 수 있다.

두 번째, 자료포락분석기법을 이용함으로써 여러 개의 개별 정시성 지표들을 하나로 통합하는 수리적이며 경제학적인 방법론을 제시하였다. 이 자료포락분석기법은 다수의 평가지표를 함께 고려할 수 있으며, 벤치마크가 되는 노선들을 구분할 뿐만 아니라 주의가 필요한 노선들을 구분하는데 유용하다. 또한 본 연구에서의 자료포락분석기법은 기존 연구에서 투입물과 산출물의 비율을 이용한 것과는 달리, 서비스 관련의 산출물만을 이용했다는 점에서 순수한 효과성을 평가했다고 볼 수 있다.

본 연구에서 사용한 2005년 6월 15일 하루 첨두시 동안의 BMS자료는 수집율이 높지 않아서 보정해야 했으며, 일부 정류장만을 대상으로 분석하였기 때문에 객관적인 결과라고 보기 어렵다. 하지만 2008년 현재 서울시는 실시간으로 모든 노선의 모든 차량의 BMS자료를 수집할 수 있으며 이러한 모든 자료를 가공할 수 있는 능력을 가지고 있다. 따라서 현재 적용한 방법으로 서울시 전체 노선을 대상으로 한 통합 정시성을 실시간으로 분석한다면, 심각한 문제가 발생하는 노선을 보다 빠르고 정확하게 파악할 수 있으며 문제를 개선할 수 있을 것으로 보인다.

또한 각 노선은 승객수, 운행속도 등과 같은 운행환경이 모두 다르다. 따라서 본 연구에서 사용한 속성 외에 다른 속성들을 수집하는 BMS 자료 및 교통카드 자료의 노선별 시계열 자료를 분석함으로써 각 노선의 운행환경을 고려한 정시성을 평가할 필요가 있다. 더 나아가 개별 노선의 정시성 범위를 파악함으로써 해당 노선의 개별 차량에 대한 정시성 수준도 파악할 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구에서는 배차간격과 운행시간의 오차율을 사용하였다. 이는 상대오차를 측정하는 방법으로 만약 배차간격이 긴 노선과 짧은 노선을 비교할 때 상대오차가 같은 값일 지라도 절대오차 측면에서 큰 차이가 날 수 있다. 본 연구에서는 대부분 서울시내 간선노선의

배차간격이 10분 이하이기 때문에 큰 무리가 없다고 판단하였지만, 10분 이상의 노선이 많을 경우 문제가 발생할 수 있다. 따라서 절대오차를 고려한 통합 정시성 분석 또한 필요하다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제59회 학술발표회(2008.10.24)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 강석호·이승재 (2006), "BMS데이터를 이용한 중앙버스전용차로 효과분석", 한국ITS학술대회논문집, 2006년도 제5회 추계학술대회 및 정기총회, 한국ITS학회, pp.56~61.
2. 오미영·김성수·김민정 (2002), "자료포락분석기법(DEA)을 이용한 서울 시내버스운송업의 효율성 분석", 대한교통학회지, 제20권 제2호, 대한교통학회, pp.59~68.
3. 오미영·김성수 (2005), "서울의 대중교통체계 개편에 따른 시내버스업체의 생산성 변화", 대한교통학회지, 제23권 제7호, 대한교통학회, pp.53~61.
4. 이호상·임정실·정영제·김영찬 (2008), "APTS 자료기반의 서울시 버스신뢰성 관리정책과 평가", 한국ITS학회논문지, 제7권 제2호, 한국ITS학회, pp.1~12.
5. Huang, Ailing, J. Shen and W. Guan (2007), "Study on Bus Route Evaluation System in Beijing Based on AHP", Proceedings of the 2007 IEEE, Intelligent Transportation Systems Conference Seattle, WA, USA, Sept. 30 - Oct. 3, 2007.
6. Hammerle, Meghan. (2005), "Use of Automatic Vehicle Location and Passenger Count Data to Evaluate Bus Operations", Transportaion Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1903, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp.27~34.
7. Lin, J., P. Wang and D. T. Barnum (2008), "A Quality Control Framework for Bus Schedule Reliability", Transportation Research Part E, Vol. 44, pp.1086~1098.
8. Sheth, Chintan., K. Triantis, D. Teodorović (2007), "Performance Evaluation of Bus Routes: A Provider and Passenger Perspective", Transportation Research E, Vol. 43, pp.453~478.
9. TCRP Report 100 (2003), "Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition", TRB, National Academy, Washington, DC.

♧ 주 작 성 자 : 오미영
♧ 교 신 저 자 : 오미영
♧ 논문투고일 : 2008. 10. 24
♧ 논문심사일 : 2008. 12. 15 (1차)
2009. 1. 6 (2차)
♧ 심사판정일 : 2009. 1. 6
♧ 반론접수기한 : 2009. 6. 30
♧ 3인 익명 심사필
♧ 1인 abstract 교정필