

■ 論 文 ■

시공도를 이용한 버스운행 정시성 지표개발

A Development of Punctuality Index for Bus Operation Using Time-space Diagram

양 지 영

(서울시립대학교 교통공학과
석사과정)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

김 승 일

(서울시립대학교 교통공학과
박사과정)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구 배경 및 목적
 - 2. 연구 방법
 - II. 기존 연구 고찰
 - 1. TCQSM(Transit Capacity and Quality of Service Manual)
 - 2. 버스운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용
 - III. 정시성 지표개발
 - 1. 버스기반(bus-based) 정시성 지표
 - 2. 버스 정류장기반(bus stop-based) 정시성 지표
 - IV. 정시성 지표 적용 및 활용 방안
 - 1. 지표적용 데이터 및 시공도 작성
 - 2. 정시성 지표 적용 및 활용방안
 - V. 결론
- 참고문헌

Key Words : 정시성 지표, 시공도, BMS(Bus Mangement System), 버스기반(bus-based), 버스정류장 기반(bus stop-based)

요 약

각 지자체에서 대중교통 활성화를 위해 실시하고 있는 BMS사업은 버스서비스 질 향상을 통한 대중교통활성화를 목표로 하고 있다. BMS(Bus Management System)에 있어 노선별 배차간격 관리는 버스의 정시성 확보를 통한 버스 이용자의 편의를 제고하는 중요한 요소라 할 수 있다.

이를 위해 버스배차간격 및 정시성 준수여부 등 버스서비스 수준을 객관적으로 파악해야만 효율적인 버스운행 관리를 할 수 있으나, 기존 방법의 대부분이 정성적 지표에 머물고 있다. 또한 버스운행 정보의 부족으로 정량적인 평가방법은 현장조사가 대부분이었다. 그러나 현재는 각 지자체 BMS의 도입으로 개별 버스의 자세한 운행 정보 수집과 정량적인 지표에 의한 객관적인 버스 운행 평가가 가능하게 되었다. 따라서 BMS 센터로 수집되는 개별 버스의 위치정보를 활용한 버스운행 서비스수준을 평가하는 지표의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존의 버스 정시성 평가방법을 고찰하고 새로운 버스운행 정시성 지표를 개발하고자 한다. 지표개발은 노선별 시공도 작성을 통해, 스케줄 기반(Scheduled-based), 차두시간 기반(Headway-based)로 나누어 진행 하였으며, 본 연구에서 개발한 지표를 실제 버스운행 수집 데이터에 적용해 정시성을 평가해 보았다.

Since Successive introduction of BMS(Bus Management System) into the local governments has been able to collect each bus data on the road and valuate the bus operation by the quantitative index not qualitative index, we need a study on punctuality index for evaluation of service level for bus operation using bus location information.

We propose punctuality index for bus operation using time-space diagram and valuate the index by application to real bus data.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

각 지자체에서 버스의 효율적인 운행관리를 위해 실시하고 있는 BMS(Bus Management System)사업은 버스서비스 질 향상을 통한 대중교통활성화를 목표로 하고 있다. BMS에 있어 노선별 배차간격 관리는 버스의 정시성 확보로 버스 이용자의 편의를 제고하는 중요한 요소라 할 수 있다. 이용자들은 보통 그들의 기대시간 보다 더 많이 버스를 기다리게 되고, 이는 대중교통 이용감소로 이어지기 때문이다. 이를 위해서 버스배차간격 및 정시성 준수여부 등을 객관적으로 파악해야만 효율적인 버스운행 관리를 할 수 있을 것이다. 하지만 버스서비스 수준을 평가하기 위한 기존 방법의 대부분이 정성적 지표 제시에 머물고 있으며, 방법 또한 현장조사가 대부분이다. 아직 국내는 버스운행에 대한 객관적이고 정량적인 평가기준에 대한 연구 및 결과가 미흡한 상황이다.

기존에는 버스운행 정보의 부족으로 정량적인 평가에 한계가 있었으나, 현재는 각 지자체 BMS의 도입으로 BMS 센터를 통한 개별 버스의 자세한 운행정보의 수집이 가능하다. 이에 정량적인 지표에 의한 객관적인 버스운행 평가가 가능하게 되었다. 이에 따라 BMS 센터에서 수집된 자료를 활용하여 버스서비스수준을 정량적으로 평가할 수 있는 평가지표의 개발이 필요하다.

버스서비스수준을 평가하기 위한 여러 방법 중 버스운행의 정시성은 이용자뿐만 아니라 관리자 입장에서도 버스서비스의 신뢰성을 평가하는 가장 중요한 정량적 지표라고 할 수 있다. 일반적으로 버스운행의 정시성을 평가하기 위한 방법으로는 정류장 정시도착성(on-time performance)과 차두시간 균등성(headway adherence) 두 가지가 있다. 이는 버스의 운행이 정해진 배차시각표에 의한 것인지(schedule-based) 일정한 배차간격에 의한 것인지(headway-based)에 따라 평가에 각각 다르게 이용된다. 오지노선이나 교외지 버스처럼 배차간격이 긴 노선의 경우는 정시도착성을 통한 정시성 평가방법이 적합하다. 이에 반해, 서울시 및 각 대도시 시내버스의 경우 배차시각표 없이 대부분의 버스운행이 10분 이내의 짧은 배차간격에 의한 운행으로 이루어지므로 차두시간 균등성을

기반으로 한 정시성 평가방법이 더욱 적합하다.

본 연구는 각 지자체 BMS 센터로 수집되는 개별 버스의 위치정보를 이용하여 버스운행의 정시성을 객관적으로 평가할 수 있는 기법과 평가지표를 개발하는데 목적이 있다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 문헌을 통해 기존의 버스 정시성 평가 방법 및 척도를 고찰하고 새로운 버스운행 정시성 지표를 개발하고자 한다. 본 연구는 버스의 노선별 시공도 작성이라는 새로운 접근법을 통하여 버스운행 정시성 지표를 개발한다. 버스운행 정시성 지표개발은 차두시간 기반(headway-based)와 스케줄 기반(schedule-based)로 나누어 진행한다.

본 연구에서 개발된 버스운행 정시성 지표를 적용하기 위해 필요한 자료는 안양시 BIS센터의 수집 데이터를 이용하였다.

II. 기존 연구 고찰

버스서비스는 복합 시스템으로 평가가 복잡하고 또한 평가방법이 지역간·시스템간 차이가 많이 나기에 평가방법에 있어 일관성이 없다. 또한 객관적·주관적 요소가 혼재하여 평가의 객관화에 어려움이 있으며, 정량적·정성적 요소가 혼재해 평가를 정량화 하는데 많은 어려움이 따른다. 이에 국내외 적으로 버스서비스 수준 평가를 위한 시도는 많이 이루어지고 있으나, 체계적인 평가체계나 평가척도 연구가 아직은 많이 미비한 실정이다.

버스서비스 평가를 위한 대표적 해외 연구는 미국의 TCQSM⁶⁾에서 서비스 평가기법을 제시하고 있다. 미국에서는 이를 기본으로 이용자 중심의 평가가 이루어지고 있으며, 버스운행 정시성 평가척도로 버스 정시도착성과 차두시간 균등성성에 대한 기준을 제시하고 있다.

국내 버스서비스 평가는 차량 분산 계수 제곱을 활용한 효과 척도 연구⁷⁾는 있으나, 미국의 TCQSM과 같은 체계적인 지침서는 없다. 대부분이 지자체별 설문 조사를 통한 정성적인 평가와 현장조사를 통한 지자체별 기준의 정량적 평가수준에 머무르고 있다.

6) TCRP Report T 100 (2003) TCQSM-2nd(Transit Capacity and Quality of Service Manual), TRB

7) 고승영, 박준식, 김은호 (2005), 버스운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용, 대한교통학회지 제 23권 2호

1. TCQSM(Transit Capacity and Quality of Service Manual)

TCQSM은 모든 대중교통시스템 서비스의 양과 질을 평가하기 위한 방법을 제시하고 있는 체계적 지침서로, 가장 최근의 연구들을 참조하여 반영하고 있다. TCQSM에서 제시하는 고정 노선 대중교통 서비스 수준을 평가하기 위한 항목은 <표 1>과 같다. 이 6가지 척도 중, 버스운행 신뢰성 지표는 버스 정시도착성, 차두시간 균등성, 무정차 통과, 결행 등을 제시하고 있으나, 버스 정시도착성과 차두시간 균등성 두 가지를 구체화하여 제시하고 있다.

<표 1> 고정노선에 대한 서비스 수준 척도

구분	평가항목		
	정류장	버스노선	시스템
유용성	운행빈도	운행시간	서비스구역
편의성	승객수	신뢰성 (정시성)	승용차 대비 통행시간

자료 : TCQSM, TRB, 2003

정류장 정시도착성은 버스운행 정시성 평가에 가장 널리 이용되는 지표이나, 버스 배차간격이 짧을 때는 차두시간 균등성(headway adherence)이 이용자에게는 더 중요한 척도이다. 특히, 동일 노선의 버스가 균을 형성하여 정류장에 도착할 경우 앞 차량이 승객을 많이 태우게 되어 버스 이용의 편의성이 떨어지고, 또한 승객은 기대시간보다 버스를 더 오래 기다리게 되기 때문이다.

1) 정류장 정시도착성

정류장 정시도착성은 버스 평균 배차간격이 10분 이상인 차량을 대상으로 적용하며, 일정기간 운행된 차량들 중 실제 도착시간과 계획된 도착시간과의 차이가 5

<표 2> 정류장 정시도착성 서비스수준

LOS	정시도착비율	비고
A	95.0~100%	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

자료 : TCQSM, TRB, 2003

분 이내인 차량들의 비율로 측정된다. 이용자들은 버스 이용을 위해 계획된 버스 도착 시각표를 참조하여 정류장에 도착하는 행태를 보이고 있다.

2) 차두시간 균등성

차두시간 균등성은 버스 평균 배차간격이 10분 이내 일 경우 정시성 평가 지표로 사용한다. 이 경우 버스 이용자들은 버스가 곧 올 것이라는 생각을 가지고, 배차 시각표에 상관없이 정류장에 임의로 균등하게 도착하는 행태를 보인다.

차두시간 균등성 척도는 차두시간의 공분산을 이용하는데, 사전 계획된 평균 차두시간과 차두시간 편차들의 표준편차를 사용한다.

<표 3> 차두시간 균등성 서비스수준

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

$$c_{uh} = \frac{\text{차두시간 편차의 표준편차}}{\text{계획된 평균 차두시간}}$$

2. 버스운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용⁸⁾

고승영 외(2005)는 국내 처음으로 버스정시성에 대한 표준화된 정량적 평가척도를 제시했다고 할 수 있다. 고승영 외(2005)는 사전에 작성된 배차계획표가 없는 경우 및 정해진 운행횟수와 실제 운행횟수가 다를 경우 등을 고려하여 3가지의 정시성 지표를 제시하였다.

여기서, 고승영 외(2005)는 TCQSM에서 제시하는 공분산 대신 공분산의 제곱을 이용함으로써 승객 대기시간을 반영한 정류장 정시성 지표를 제시하였다. 또한, 그 값을 "%정시성"으로 환산하여 사용하도록 하였다.

$$\%정시성 = (1 - P) \times 100$$

8) 고승영, 박준식, 김은호 (2005), 버스운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용, 대한교통학회지 제 23권 2호

〈표 4〉 정류장에서 버스도착의 정시성

구분	P_1	P_2	P_3
정시성 지표	$P_1 = \frac{S_1^2}{h_1^2}$	$P_2 = \frac{S_2^2}{h_1^2}$	$P_3 = \frac{S_3^2}{h^2}$
변수 설명	$S_1^2 = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^I (t_i - \tau_i)^2$	$S_2^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (h_i - h)^2$	$S_3^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (h_i - \bar{h})^2$
	t_i : i 번째 차량의 실제 정류장 도착시간 τ_i : i 번째 차량의 계획된 정류장 도착시간 I : 운행횟수 h_i : 운행계획표상의 운행시격 $h_i = t_i - t_{i-1}$: i 번째 차량의 운행시격 $\bar{h} = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I (t_i - t_{i-1})$: 실제 통행한 평균시격		

P_1 : 운행 계획표 상의 도착시각과 실제 도착시각의 차이
 P_2 : 운행 계획표 상의 배차간격과 실제 운행시격과의 차이
 P_3 : 실제 통행한 1일 동안의 평균 운행시격과 각 운행시격과의 차이

III. 정시성 지표개발

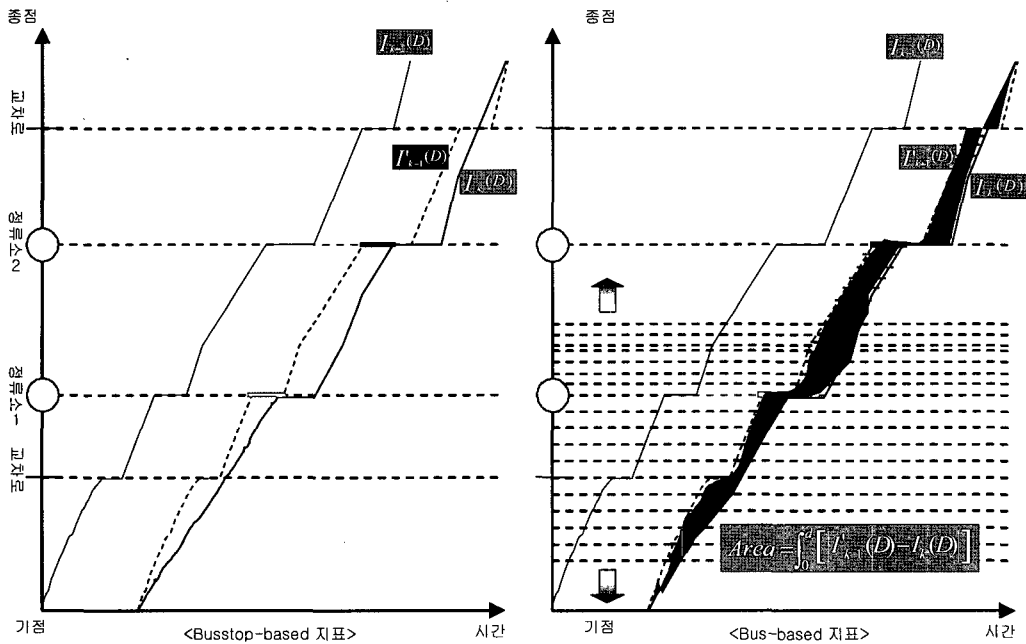
앞에서 언급한 바와 같이 '버스도착 정시성'은 스케

줄 기반(Schedule-based)⁹⁾와 차두시간 기반(Headway-based)¹⁰⁾로 나누어 정의할 수 있다. 이에 본 연구에서는 국내 버스운행 상황에 맞게, 스케줄 기반과 차두시간 기반으로 나누어 정시성 지표를 제시한다.

〈표 5〉 지표 개발 범위

구분	기준	
차두시간 기반 (headway-based)	① 버스기반 (bus-based) 지표	② 버스정류장 기반(bus stop-based) 지표
스케줄 기반 (schedule-based)	③ 버스기반 (bus-based) 지표	④ 버스정류장 기반(bus stop-based) 지표

버스기반 정시성 지표와 버스정류장 기반 정시성 지표의 관계는 버스 정시성 지표 값은 정류장 정시성 지표 값들을 포함한다고 할 수 있다. 〈그림 1〉에서 기점에서 종점까지 정류장을 무한대로 나눈다고 가정하면, 각 버스정류장 기반 정시성 지표값들을 기점에서 종점까지 적분하면 버스기반 정시성 지표값과 동일하게 된다. 그러나 실제 데이터는 10초 마다 수집되는 이산데



〈그림 1〉 정시성 지표 개발 개념

9) 앞서 언급한 정시 도착성(on-time performance)와 동일한 의미
 10) 앞서 언급한 차두시간 균등성(headway adherence)와 동일한 의미

이더이므로 실제계산에서는 10초 마다 평가되는 값들을 합하여 정시성을 평가한다.

본 연구에서 BMS 센터 자료로 버스운행 시공도 작성을 통한 정시성 지표를 제시함으로써 기존 방법과의 차별을 기한다. 노선별 버스운행 시공도를 통한 지표는 다음과 같은 장점이 있다. 첫째, 노선별 버스운행이 그림(diagram)으로 표현이 되므로 관리자 입장에서 정시성을 한눈에 파악할 수 있으며, 또한 향후 시공도를 통한 실시간 버스운행 관리가 가능하다. 둘째, 버스가 기점에서 종점까지 운행되는 전 경로를 반영한 지표이기에 시스템에서 개별 버스에 대한 전체 경로 정시성 평가가 가능하다. 셋째, 시공도를 통하여 임의의 시점, 임의의 지점에서 정시성 평가가 가능하다.

정시성 지표는 버스 정시성 파악에서 더 나아가 버스 정시성 향상을 증진하고자 하는 것이다. 따라서 앞서 언급한 정류장별 정시성만을 가지고 정책에 활용하는 것 보다 버스운행 전반의 정시성을 반영하여 정시성을 유지하도록 함으로 정시성을 향상시킬 수 있다.

1. 차두시간 기반¹¹⁾ 정시성 지표

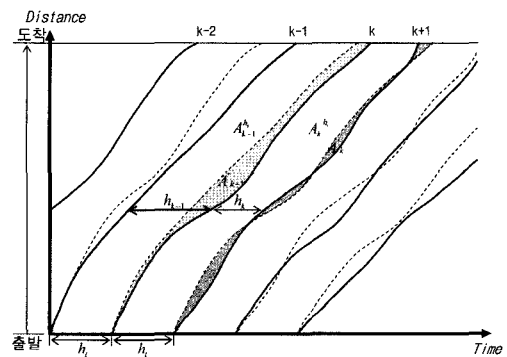
국내 대도시를 운행하는 대부분의 버스들이 배차간격 10분 이내로 버스가 자주 다니기 때문에 차두시간 기반을 통한 정시성 평가가 적당하다. 본 연구에서는 버스기반 정시성지표와 버스정류장 기반 정시성지표로 나누어 제시한다.

1) 버스기반 정시성 지표

버스기반 정시성 지표 방법은 노선별 정시성 또는 동일 노선의 버스별 정시성을 파악할 때 적용하는 지표이다. 이 지표는 관리자 입장에서 하루 버스운행 경로의 기점에서 종점까지 전체 정시성을 파악할 수 있다.

〈그림 2〉에서 선두 버스 K가 정해진 노선 경로를 따라 제대로 주행한다고 가정을 한다. 다음 K+1 버스가 계획된 차두시간으로 운행된다면, 시공도 상에 나타나는 K+1 버스의 예상 궤적(K')은 균등한 차두시간으로 주행한다면, 이전 K 버스의 궤적(K)을 그대로 따라가게 될 것이다. 하지만, 환경에 따라 실제 운행된 K+1버스의 궤적(K+1)은 예상 궤적(K')과 차이가 생기게 된다. 두 버스 궤적간의 편차가 클수록 주행 버

스의 정시성이 나쁘다. 또한, 개별 차량이 기점에서 종점까지 전체 노선을 운행하는 동안 정시성을 판단하기 위해서 궤적 차이는 예상 궤적과 실제 운행 궤적간의 면적으로 나타낼 수 있다. 그러나 단순히 궤적간의 면적은 노선 특성에 따라 절대적인 기준을 갖지 못하므로 정시성 평가의 지표로 활용되어질 수 없다. 따라서 궤적간의 면적을 이전 버스의 궤적과 예상 궤적간의 면적으로 나눠서 정시성 평가의 지표로 활용한다. 이는 해당 노선의 배차간격이 변경되어도 적용이 가능하다.



〈그림 2〉 버스 기준 정시성 지표

$$I_1 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=2}^K \frac{A_{k-1}^{h_t}}{A_{k-1}^{h_t}}$$

여기서, I_1 : 운행 차량들의 정시성 지표

K : 버스운행회수

h_t : 운행계획상의 Headway (min)

$A_{k-1}^{h_t}$: 배차간격이 t분인 k번째 차량의 앞차와의 궤적 차

$$: \int_0^d [k'd - kd] dD$$

A_{k-1} : k차량의 운행계획상 궤적과 실제 운행 궤적 차

$$: \int_0^d [k'd - (k-1)d] dD$$

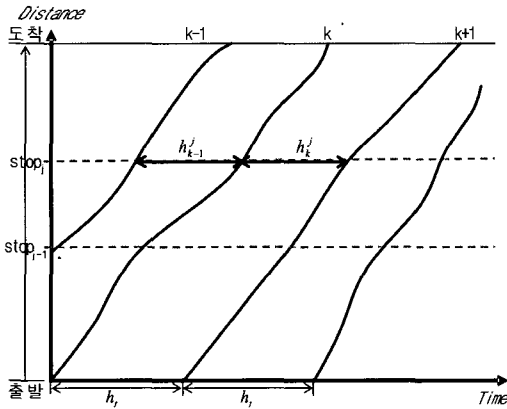
2) 버스정류장 기반 정시성 지표

버스정류장 기반 방법은 작성된 시공도를 통해 각

11) 본 지표에서 언급하는 Headway는 차두시간을 말하며, 차두거리간격은 혼잡한 대도시에서는 교통상황을 반영하지 못하며 승객들에게는 일정한 시간으로 도착하는 것이 중요함

지점별 정류장에서 사전에 계획된 차두시간간격과 실제 운행된 버스의 차두시간간격 차를 활용하여 운행한 모든 버스의 정류장별 정시성을 알 수 있다.

이 지표는 승객들이 버스를 타기 위해 대기하는 정류장 정시성이기에 관리자뿐만 아니라 승객입장에서 중요한 지표이다.



〈그림 3〉 버스정류장 기준 정시성 지표

$$I_2 = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{S_j}{h_i^k}$$

여기서, I_2 : 대상 범위 내 전체 정류장의 정시성 지표

J : 대상 정류장 수

$$S^j = \frac{1}{K-1} \sum_{k=2}^k |h_{k-1}^j - h_i^j|$$

K : 버스운행회수

h_i : 운행계획상의 Headway (min)

h_{k-1}^j : 정류장 j에서 k차량과 앞차와의 headway (min)

2. 스케줄 기반 정시성 지표

교외 및 오지노선의 경우는 대부분 배차간격이 10분 이상으로 사전에 작성된 배차계획표를 기준으로 운행이 된다. 스케줄 기반은 기존 연구에서 언급한 대로, 균등한 차두시간격을 유지하는 것 보다 정류장 도착 예정시간을 준수를 기준으로 정시성을 평가할 수 있다.

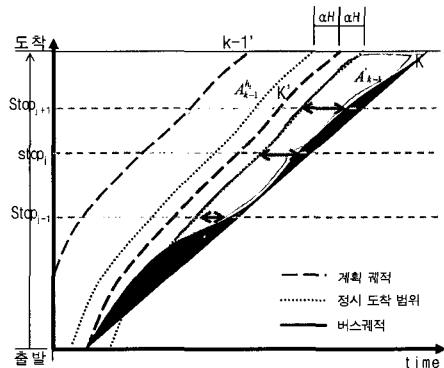
스케줄 기반 정시성 척도는 앞서 제시한 차두시간 기반 정시성과 다르게 범위를 둔다. 버스는 예상 도착시각보다 일찍 도착하는 경향이 있기 때문에, 각 정류장 도착 예정시간을 기준으로 일정 범위 안에 버스가 도착하는 것으로 한다.

TCQSM에서는 배차시간 간격에 상관없이 5분 내 도착하는 비율을 기준으로 서비스 수준을 정의하고 있다. 그러나 배차간격은 환경적인 요인에 따라 변하기 때문에, 본 연구에서는 절대적인 기준을 두지 않고 해당 배차시간 간격에 일정한 파라미터 값(a)을 두고 정시성을 파악하도록 한다.

여기서 버스의 조기도착은 실제 도착시간이 계획 도착시간 편차가 aH ($0 \leq a \leq 1$) 시간 내에 들어오고, 지연 도착은 aH ($0 \leq a \leq 1$) 시간 내에 들어오는 것을 기준으로 한다. 여기서 파라미터 값이 작을수록 정시성은 높아지고, a 값이 클수록 정시성이 낮게 나타나게 된다.

스케줄 기반 지표도 앞서 언급한 차두시간 기반 지표와 동일하게 버스 기준 지표와 정류장 기준 지표로 나누어 제시할 수 있다.

버스기준 정시성 지표는 차두시간 기반과 동일한 방법으로 정시성을 평가한다. 〈그림 4〉에서 버스 K-1의 예상 도착 궤적(K-1')과 다음 버스인 K버스 궤적(K') 간의 면적($A_{k-1}^{h_i}$)을 K'궤적의 파라미터 범위를 제외한 실제 K 버스 궤적과의 면적(A_{k-1}^i)으로 나눈다.



〈그림 4〉 버스기준 정시성 지표

$$I_3 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=2}^k \frac{A_{k-1}^{h_i}}{A_{k-1}^i}$$

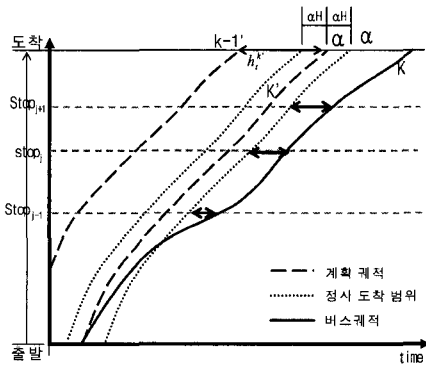
여기서, I_3 : 운행 차량들의 정시성 지표

K : 버스운행회수

12) 파라미터 값은 운영자가 임의로 정하되, 향후 연구 및 표본 조사를 통해 각 지자체 시스템에 가장 적합한 값을 쓰도록 함

- $A_{k-1}^{h_i}$: k번째 차량의 앞차와의 궤적 차
- A'_{k-1} : k차량의 운행계획상 궤적과 실제 운행 궤적 차

버스정류장 기반(bus stop-based 지표는 <그림 5>에서 버스 도착예정시간에서 aH 시간을 뺀 후의 편차를 이용해 정시성을 평가한다.



<그림 5> 버스정류장 기준 정시성 지표

$$I_4 = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{S_j}{h_k^j}$$

여기서, I_4 : 대상 범위 내 전체 정류장의 정시성 지표

J : 대상 정류장 수

$\overline{h_k^j}$: K버스 예상도착 시간과 K-1버스 예상 도착시간 차

$$S^j = \frac{1}{K-1} \left[\sum_{j=1}^j |t_K^j - t_K^j| - aH \right]$$

t_K^j : K버스의 j정류장 실제 도착시간

h_{k-1}^j : 정류장 j에서 k차량과 앞차와의 headway (min)

실제 주행한 차량의 궤적을 그려냄으로써 센터 자료만 있으면 본 연구에서 제시하는 모든 지표가 적용가능하다. 고승영(2005)에서 제시하는 P1, P2 지표는 사전에 작성된 운행계획표 없이는 사용할 수 없는 지표이다. 그래서 현재 적용 가능한 지표는 P3으로 한정되어 있다.

본 지표는 GPS 데이터를 활용한 버스의 운행 전 경로의 궤적을 비교함으로써, 대도시에서 임의 지점·임의 시간대 평가가 가능하다.

<표 6> 정시성 지표값에 따른 설명

지표값	설명
$I = 0$	버스가 계획된 Headway로 운행되며, 분산은 0
$0 < I < 1$	대부분의 버스운행이 여기에 해당됨
$I \geq 1$	정시성이 매우 떨어짐

본 연구에서 제시한 정시성 지표의 최소값은 0이고, 승객을 위한 가장 이상적인 서비스라고 할 수 있다. 지표값이 1보다 큰 경우는 현실적으로 차량 고장 및 사고 등의 돌발상황 발생시 나올 수 있는 값이고, 대부분의 정시성 지표값 범위는 0에서 1사이가 된다.

IV. 정시성 지표 적용 및 활용 방안

앞서 제시한 지표를 실제 데이터에 적용해 봄으로써, 제시한 지표의 적용 가능성과 분석대상 노선의 정시성 지표를 산출하여 정시성을 평가해 보았다. 본 지표를 활용한 정시성 분석은 교통 환경(Traffic condition)에 따라 다양한 결론 도출이 가능하다. 정류장간 거리, 정류장 여건, 통과교차로 수, 신호주기, 첨두시간대, 진행방향, 정류장 통과 노선수, 교통량 등에 따라 분석을 달리할 수 있다.

1. 지표 적용 데이터 및 시공도 작성

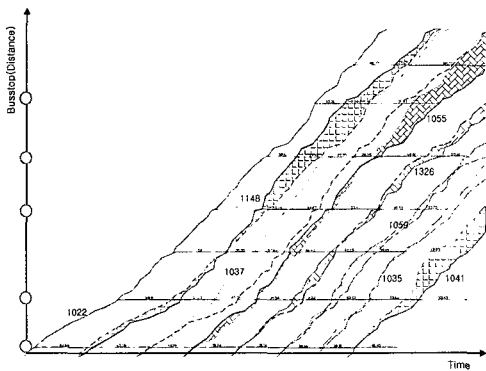
안양시 BIS센터에서 수집되는 32개 노선, 568대 버스의 GPS 수신기를 통해 안양 BIS센터로 수집되고 있다. BIS 센터에서 매 일정 주기마다 수집되는 정주기 정보와 이벤트 정보로 구분되어 수집된다. 정주기 정보는 버스위치 및 버스의 상태를 파악할 수 있고, 이벤트 정보는 버스위치 및 각 노드의 도착·출발 시점을 알 수 있다. 정주기 자료와 이벤트 자료 모두 위치정보에 활용하기 때문에 평균 10초 마다 위치 파악이 가능하므로 궤적을 정확하게 그려낼 수 있다.

본 연구에서는 적용한 데이터는 안양시 A번, B번 노선으로 오전(08:00~11:00)와 비첨두시(12:00~15:00)의 맵매칭 된 GPS 데이터를 이용해 기점에서 종점까지의 누적 거리를 계산하여 시공도로 나타내었다.

<표 7> 사례연구 노선

노선 번호	기점	종점	연장	운행 대수	운행 횟수	정류장 수	배차 간격
A	충훈부	고천	20.1km	21	168	79	5
B	충훈부	포일단지	12.3km	14	100	28	11

〈그림 6〉는 데이터를 이용해 시공도를 작성한 예이며, 빗금친 부분은 버스별 차량의 운행계획상 궤적과 실제운행 궤적의 차이이다. 이 면적의 차를 통해 정시성을 평가하며, 면적이 클수록 해당 버스의 운행 정시성이 나빠짐을 알 수 있다. 또한, 세로축의 7개 정류장 지점은 해당 버스 노선의 경유 정류장 중에서 선정된 것이고, 그 지점을 기준으로 해당 차량과 앞차량의 차두시간간격 차를 이용해 정류장 정시성을 평가한다.



〈그림 6〉 시공도 작성 예

〈표 8〉 Bus-based 정시성 지표 적용 예

버스	$A_{k-1}^{h_i}$	A_{k-1}	P
1022	-	-	-
1148	20622	4821	0.23
1037	21984	10597	0.48
1055	10696	1473	0.14
1035	8224	1017	0.12
1041	6025	1988	0.33
평균	-	-	0.24

〈표 9〉 bus stop-based 정시성 지표 적용 예

지점	s^j	P
정류장 1	12.06	0.23
정류장 2	18.67	0.35
정류장 3	13.22	0.25
정류장 4	9.75	0.18
정류장 5	20.75	0.40
정류장 6	21.80	0.42
정류장 7	23.82	0.46
평균	-	0.31

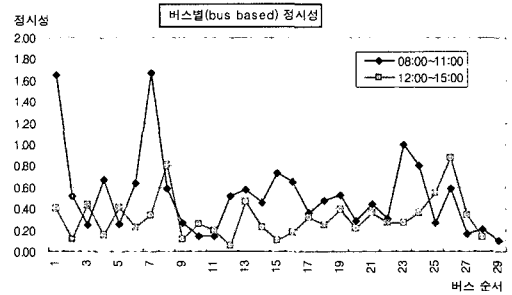
2. 정시성 지표 적용 및 활용방안

1) 정시성 지표 적용

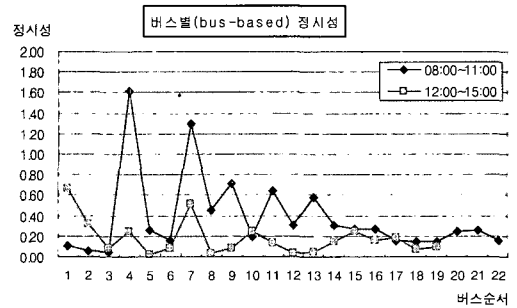
본 연구에서 적용한 운행 자료는 배차간격이 짧고 대도

시 버스를 대상으로 하고 있기에, 정시성 지표 가운데 차두 시간 지표 2가지를 적용하여 정시성 지표 값을 산출하였다.

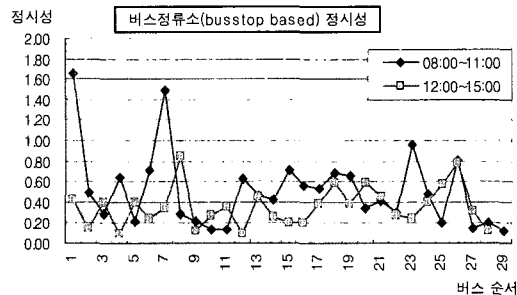
지표 적용 결과, 버스기준 지표 정시성과 버스정류장기준 지표 정시성 모두 오후 비첨두시 보다 오전 첨두시의 정



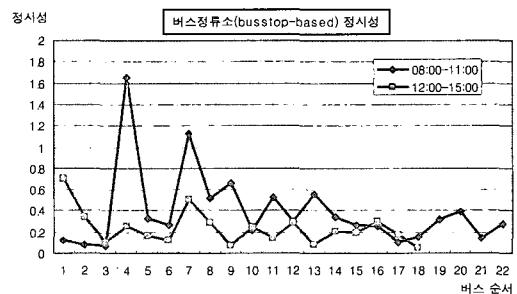
〈그림 7〉 A번 버스기준 정시성 산출



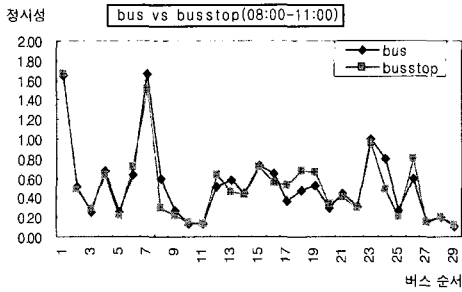
〈그림 8〉 B번 버스기준 정시성 비교



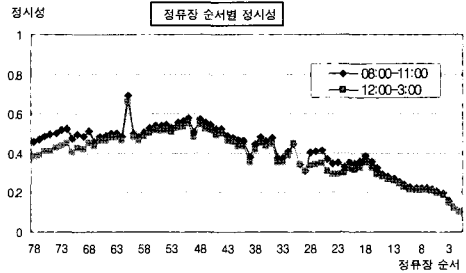
〈그림 9〉 A번 버스정류장 기준 정시성 산출



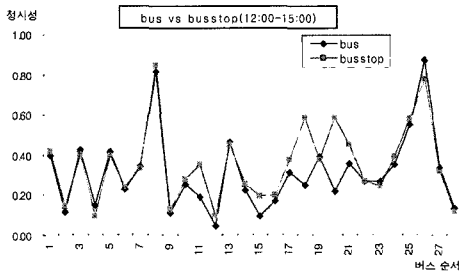
〈그림 10〉 B번 버스정류장 정시성 비교



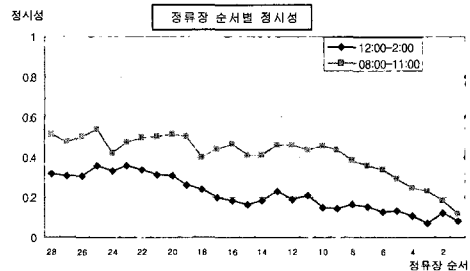
<그림 11> A번 bus vs busstop 정시성 비교



<그림 13> A번 정류장 순서별 정시성 비교



<그림 12> A번 bus vs busstop 정시성 비교



<그림 14> B번 정류장 순서별 정시성 비교

<표 10> 지표 적용 결과

	A번				B번			
	오전		오후		오전		오후	
	정시성	분산	정시성	분산	정시성	분산	정시성	분산
버스기반	0.53	0.16	0.29	0.03	0.38	0.16	0.16	0.03
버스 정류장 기반	0.55	0.16	0.34	0.04	0.39	0.14	0.24	0.04

정시성이 나쁜 것으로 분석되었다. 오전 첨두시의 버스기준 정시성과 버스정류장 기준 정시성 지표 값은 크게 차이가 나지 않았으나, 오후 비첨두시에서는 두 지표 값에서 차이가 큰 것으로 나타났다. 이는 오후 비첨두시가 오전 첨두시보다 차량의 흐름이 원활하므로 주행시 운전자들의 특성이 반영되어 정시성 값에서 차이가 나는 것으로 판단된다.

<표 10>에서 보는 바와 같이 두 노선을 비교하여 정시성을 분석한 결과, 8번 노선이 오전·오후 모두 정시성이 나쁘게 분석되었다. 8번 노선의 연장이 긴 것으로 인한 많은 정류장 수와 배차간격이 짧아 정시성이 나쁜 것으로 판단되는데, 이는 보통의 상식에 부합된다고 할 수 있다. 또한, 평균 수송 승객수가 A번이 B번 보다 많은데, 승객수요가 많을수록 운행 정시성이 감소한다는 것을 알 수 있다.

<그림 13>과 <그림 14>에서 특정한 구간을 제외하고는 대체로 기점에서 종점으로 갈수록 버스 운행 정시성이 감소하는 것으로 나타났다.

2) 정시성 지표 활용방안

운영자는 정시성 지표 산출 값은 시간대별, 요일별, 월별로 분석이 가능하며, 버스노선별, 회사별, 정류장별 분석을 통해 버스 정책 수립시 근거자료 및 버스 운행관리에 활용이 가능하다.

운행 종료 후, 버스별·정류장별 정시성 지표 산출값 분석을 통해 운전지별·노선별·회사별 정시성 준수여부 평가가 가능하다. 계획배차와 실제배차의 감독 및 노선별 버스컷·막차 시간 준수여부, 운행대수 등의 파악이 가능하며, 이를 통해 버스 회사의 평가 및 인센티브 지원에 대한 근거 마련이 가능하다.

1일 정시성 평가를 통해 요일별 배차계획 및 시간별 분석을 통해 정시성 확보가 어려운 시간대에는 예비차 투입 등의 증차를 하고, 정시성 분석을 통해 탄력적인 배차 정책 수립시 적극적으로 반영할 수 있다.

교통 상황으로 인해 버스의 정시성이 떨어지는 구간은 다른 차종들과의 혼재, 교차로에서 신호로 인한 지체, 기하구조의 불량 등으로 인한 원인이 있을 수 있으므로, 이들로 인한 지체를 최소화(버스전용차로, 버스우선신호 등의 도입)시켜 정시성을 높이도록 한다.

정류장별 정시성 평가를 통해 특별히 정류장 정시성이 떨어지는 곳은 이용 많은 승객 수요, 정류장 시설 불량, 불법 주정차 등의 원인을 들 수 있다. 이런 곳은 정시성이 떨어지는 정확한 원인을 파악하여 정류장 정시성을 높이도록 한다. 승객의 수가 아주 많은 곳은 정류장 간격의 재설정을 통해 승객 접근이

용이하도록 한다. 또한, 불법주정차 차량이나, 버스베이가 설치되지 않은 곳은 승객 서비스 한 차로를 막는 악영향이 생기므로 버스베이 확보 및 불법 주정차 단속이 필요하다.

버스가 집중 배치되고 있는 구간에 대해서는 승객 서비스 시간이 상당히 길어져 버스 정시성까지 영향을 미칠 수 있다. 이런 구간의 경우 버스를 계통별로 나누어 정류장을 나누어 설치함으로써 승객 서비스 시간을 단축시킬 수 있다.

장대 노선인 경우 버스의 정류장 수가 증가하게 되고 굴곡 노선인 경우가 많으므로 운행 정시성 감소뿐만 아니라 승객의 시설이용에도 불편함을 야기하게 된다. 이런 경우, 정책 수립시 광역 노선인 경우는 굴곡 노선이 되지 않도록 하며, 연계 노선 및 타 교통수단으로의 환승을 고려한 노선망 설계를 할 수 있다.

V. 결론

본 연구에서 버스 운행 정시성 평가를 위해 시공도를 통한 정시성 지표를 개발하고, 안양시 BIS 센터의 운행자료를 이용하여 개발한 지표를 적용해 버스 운행 정시성을 산출해 보았다.

본 연구의 시공도를 통한 버스 운행 정시성 지표는 운영자가 버스 운행간격 정도 및 정시성을 한눈에 파악할 수 있으며, 개별 버스에 대한 전체 경로의 정시성 평가가 가능해 좀더 정확한 정시성 지표 산출이 가능하리라고 판단된다.

안양시 2개 노선 86대 버스를 지표에 적용한 결과, 대부분의 지표 산출값이 0~1사이의 값을 가지는데, 교통환경 여건이 양호한 비첨두시의 정시성이 더 좋게 나타났다. 또한, 노선연장이 길수록 정류장 수가 많을수록, 배차간격이 짧을수록 정시성이 나쁜 것으로 분석되었으며, 기점에서 종점으로 갈수록 버스운행 정시성이 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서 지표에 적용한 데이터가 2개 노선이므로, 분석 결과에 한계점을 가질 수도 있으므로, 지표를 적극적으로 활용하기 위해서는 많은 데이터를 활용하여 요일별 특성, 정류장별 특성, 시간별 특성을 분석해야 한다.

본 정시성 지표 산출값 산출에 따른 분석을 다양화 하여 버스 회사 서비스 평가 및 노선 개편시 정책에 적극적으로

반영할 수 있을 것이다. 향후 센터에서 버스 운행 시공도를 실시간으로 표출함으로써 버스 Headway-control을 할 수 있도록 하여, 버스 운행 Headway 정시성을 더욱 높여 이용자들에게 편리성을 제고할 수 있을 것이라고 판단된다.

참고문헌

1. TCRP Report 100 (2003), Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, TRB, National Academy, Washington, DC.
2. Ding, Y. and Chien, S. I. (2001), "Improving Transit Service Quality and Headway Regularity with Real-Time Control", TRB 1760.
3. Guey-Shii Lin, Ping Liang, Paul Schonfeld, Robert Larson (1995), "Adaptive Control of Transit Operations", FDA.
4. Rabi G.Mishalani, Sungjoon Lee, Mark R.Mc-Cord(2000), "Evaluation of Real-Time Bus Arrival information Systems", TRB 1731.
5. Howard P .Benn (1995), TCRP Synthesis 10: Bus Route Evaluation Standards, TRB, National Academy Press.
6. CARLOS F.daganzo (1997), Fundamentals of Transportation and Traffic Operations.
7. 고승영·박준식·김은호 (2005), "버스 운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용", 대한교통학회지, 제23권 제2호, 대한교통학회, pp.131~141.
8. 고승영·박준식 (2005), "버스 운행 정시성의 서비스수준 기준산정", 대한교통학회지, 제23권 제2호, 대한교통학회, pp.151~160.
9. 고승영 (2002), "버스도착시간 정보에 대한 연구", 대한교통학회지, 제20권 제5호, 대한교통학회, pp.175~181.
10. 시정연2004-R-12 (2004), 서울시 버스체계개편에 따른 모니터링 연구", 시정개발연구원.

✉ 주 작 성 자 : 양지영

✉ 논문투고일 : 2005. 10. 29

✉ 논문심사일 : 2005. 11. 30 (1차)

2005. 12. 15 (2차)

✉ 심사판정일 : 2005. 12. 15

✉ 반론접수기한 : 2006. 4. 30