

버스서비스 개선을 위한 버스몰림지표 개발 및 적용

The Development and Application of Bus Bunching Indices for Bus Service Improvement

김은경*
(Eun-kyoung Kim)

노정현**
(Jeong-hyun Rho)

김영찬***
(Young-chan Kim)

요약

버스는 개인교통수단에 비해 대량수송이 가능한 경제적, 친환경적 교통수단으로 인식되면서 서비스 개선을 위한 다양한 정책이 추진되고 있다. 특히, BMS(Bus Management Systems)와 같은 첨단대중교통체계의 수립은 버스운행에 대한 효율적 관리를 통한 운행서비스를 높일 수 있는 방안으로 활용되고 있다. 현재 버스운행관리는 대부분 정시배차와 같은 정시성과 관련한 신뢰성 관리에 초점을 두고있다. 본 연구에서는 정류장에서 버스몰림 운행관리의 필요성과 몰림현상에 대해 설명하고 정차면수 기준과 평균버스도착율을 기준으로 한 2가지 유형의 버스몰림지표를 개발하였다. 버스몰림지표는 서울시 교통정보서비스(TOPIS, Transportation & Information Service)의 BMS 버스운행이력 자료를 이용하여 중앙버스전용차로인 도봉미아로와 일반차로인 통일의주로에 적용하였다. 분석결과, 도심에 가까운 정류소가 외곽의 정류소에 비해 몰림운행되는 것으로 나타났으며, 시간대별로는 오전 침두시간대에 버스몰림이 심각한 것으로 분석되었다. 또한, 버스정시성 지표와 비교함으로써 보완지표로서 활용성을 제시하였다. 중앙전용차로와 일반차로의 몰림운행 비교를 통한 중앙전용차로의 확대시 참고자료로 이용될 수 있을 것이며, 정차면수(Number of Berth)와 같은 버스정류소 규모 및 노선배치에 참고자료로 활용될 수 있음을 제시하였다.

ABSTRACT

As bus is realized by economical, environmental transportation that is available mass transport than car, various policy for improvement of services is achieved. As innovative public transportation systems like BMS (Bus Management System) have established, it is possible to manage bus service efficiently. However, the present bus service management system mainly focuses on enhancing service reliability represented by schedule adherence index. This study discusses the necessity of a special management for bus bunching phenomena at stops, and develops two kinds of bus bunching indices based on the Number of Berth and the Average Bus Arrival Rate. The bus bunching indices were measured by utilizing the bus operational information from BMS at the Seoul TOPIS(Transportation & Information Service). In order to evaluate the sensitivity of the Indices, the indices were applied to two different bus groups : buses on exclusive bus median lane, and regular (shared) lanes. As analysis result, is bunching as is near in downtown and is bunching to peak time morning than the afternoon. Compared with the schedule adherence index, the suggested indices were proved as an efficient complementary indices in the evaluation of the bus operational performance. The results of index comparison between exclusive bus median lane and shared lanes can promote the

* 주저자 : 한양대학교 도시대학원 박사수료(교신저자)

** 공저자 : 한양대학교 도시대학원 교수

*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 10월 11일

‡ 논문심사일 : 2008년 11월 6일

† 게재확정일 : 2008년 11월 10일

expansion of exclusive bus median lane. Moreover, it can also be used as a reference in deciding bus station scale including the Number of Berth and the route adjustment plan.

Key words: Bus bunching indices, schedule adherence index, average bus arrival rate, number of berth

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

급속한 경제성장, 도시화에 따른 교통문제 특히, 승용차와 같은 개인교통수단으로 인한 문제는 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 대량수송수단인 버스는 개인교통수단에 비해 대량수송이 가능하여 경제적, 친환경적 교통수단으로 인식되고 있다. 지속가능한 수단으로서 버스의 중요성이 날로 증대됨에 따라, 이에 대한 정책도 활발히 추진되고 있다.

2000년대에 들어서 서울시를 시작으로 중앙전용차로 확대와 같은 물리적 확대 뿐 아니라 BMS를 비롯한 첨단대중교통체계가 수립되고 있다. 첨단대중교통체계의 수립은 각종 시스템에서 수집된 자료를 토대로 효율적으로 운행관리를 할 수 있다. 특히, 버스의 배차와 시종점에서의 출발과 도착 정시성 관리 등 운행관리가 주로 수행되고 있어 많은 개선효과를 나타내고 있다. 그러나, 동일노선간의 배차 정시성은 노선별로 관리되어 서로 다른 여러 노선버스가 동시에 도착하는 버스몰림운행에 대한 관리가 미흡한 실정이다.

버스몰림운행은 정류소에서의 승하차를 위한 불필요한 보행시간이 소요되어 승하차시간 증대 등으로 인한 비효율을 야기시킨다. 이로 인한, 버스지체, 노선별 정시성 등 운행에 악영향을 미친다. 이러한 버스몰림 운행의 문제에도 불구하고 버스몰림 운행에 대한 연구와 실태파악이 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 버스몰림 운행이 일어나는 현상에 대한 이해를 통해 문제를 인식하고 버스몰림 운행 지표를 개발하여 실제 적용함으로써 실태를 파악하고자 한다. 또한 버스서비스 개선을 위한 효율적 운행관리지표로 정책에 활용되고자 한다.

2. 연구의 내용 및 과정

본 연구는 버스몰림운행에 대한 정량적 지표를 개발함으로써 기존 버스관리지표와 더불어 효율적 운행관리에 기여하는데 목적이 있다. 이를 위해 기존 버스서비스 및 운행지표관련 문헌 및 기존연구를 고찰함으로써 한계점과 시사점을 검토하였다. 다음으로 버스몰림운행이 일어나는 상황에 대한 이해를 토대로 각 정류장의 특성을 반영할 수 있으며, 상대적 평가를 수행할 수 있는 지표를 개발하였다. 즉, 각 정류소의 정차면수(Number of Berth)를 고려한 지표와 전체 정류소에서의 평균버스도착율을 고려한 지표로 구분하여 개발하였다.

개발된 버스몰림지표는 서울시 교통정보센터 TOPIS(Transportation & Information Service)의 BMS(Bus Management Systems)의 버스운행이력 자료를 이용하여 실제 적용해 보았다. 또한, 개발된 버스몰림지표의 활용성 측면을 살펴보기 위해, 정시성 지표와의 비교, 중앙전용차로와 일반차로의 비교, 정차면수와 평균도착율과의 관계를 살펴보았다. 이를 통해, 기존에 가장 널리 이용되는 정시성 지표의 보완 지표로 버스몰림지표가 활용될 수 있을 것이며, 각 정류장의 특성과 운행상태를 잘 파악할 수 있을 것이다. 그리고, 중앙전용차로와 일반차로의 몰림운행 비교를 통한 중앙전용차로의 확대시 참고가 될 수 있을 것이며, 정차면수와 같은 버스정류소 규모 및 노선배치에 참고자료로 활용될 수 있음을 제시하였다.

끝으로 연구의 종합결론으로 버스몰림에 대한 이해와 관리는 나은 버스서비스 제공할 수 있는 근거를 제공할 수 있으며, 향후 서울시 전체에 대한 추가 연구에 대해 언급하였다.

II. 버스지표 관련연구 고찰

버스서비스 및 운행관련 지표들은 버스이용에 대한 평가와 버스노선체계 개선 등에 이용되고 있다. 녹색교통(2001), 서울시정개발연구(2004)는 현재 운

영되고 있는 버스서비스에 대한 모니터링을 실시하였는데 전국의 순위를 평가하거나 개별 지자체별로 산발적으로 평가기준과 지표를 설정하여 평가하고 있다 [1,2]. 이상용(2003)은 버스노선체계에 대한 보다 정량적 평가를 위해 버스이용자 관점, 버스운영

<표 1> 버스지표 관련연구 종합
 <Table 1> Summary of literature review

연구자	연구내용	버스운행 및 서비스관련 항목, 지표	몰림지표 적용여부
녹색교통 (2001)	시민단체에서 제시하는 대중교통 모니터링 항목 서비스 및 시설공급수준, 운행실태 서비스 수준 구분	안전성(사고건수), 정시성(배차간격, 연착정도), 운행속도, 쾌적성, 접근성, 정보제공, 편리성 등	×
서울시정 개발연구원 (2004)	서울시 버스체계 개편에 대한 모니터링을 위해 이용자, 운영자, 관리자, 사회적 측면으로 제시	운행정시성, 운영효율, 노선 접근성, 중복도, 굴곡도, 안전성 등	×
이상용 (2003)	버스노선체계 개선을 위한 정량적 지표제시	접근성, 승차안락성, 환승률, 노선직결성, 운행생산성, 지역형평성	×
교통개발연구원 (2001)	시내버스 운송사업조정을 위한 기준으로 이용자측면과 도시교통정책 측면의 평가지표 제시	접근시간, 대기시간, 통행시간, 요금 노선중복 및 경합, 혼잡구간 통과여부	×
장석호 (2006)	BMS자료를 이용하여 중앙버스전용차로의 효과검토	통행속도, 정시성, 승하차인원수 횡단보도 및 교차로수	×
서울시정 개발연구원 (2007)	서울시 중앙버스차로에 대한 운영평가를 위해 BMS자료와 교통카드데이터를 활용하여 적용 가능한 평가척도 선정	통행시간, 신뢰성, 안전성, 통행행태 용량, 환승 및 연계성	×
양지영 (2006)	시공도를 이용하여 정시성을 버스운행 평가	버스기반 정시성지표 버스정류장기반 정시성지표	×
김태호 (2002)	버스정류장에서 총통행시간과 승하차 시간을 변화시킴으로써 쌍현상이 일어나는지 검토함. 실제제용시 쌍현상 미발생.	총통행시간, 승하차시간	×
이호상 (2007)	서울시 교통정보센터에서 수집되는 자료를 활용하여 민간운수회사 평가관리	차고지배차 정시성, 차량몰림율 정류소 도착시간표 준수율 BMS준법운행, 첫차,막차 시간준수	△
BRES (1995)	미국 TCRP의 버스노선평가에 대해 노선설계, 운영, 경제성 및 생산성, 서비스, 안전성관련 지표 제시	운행시간 정시성, 배차간격 준수여부	×
TCQSM (2003)	대중교통시스템 서비스의 양과 질을 평가하기 위한 지침서	운행빈도, 운행시간, 서비스구역, 승객수, 신뢰성, 승용차대비 통행시간	×
CBRT (2004)	미국의 버스전용차로 노선에 대한 평가를 위한 지침서	통행시간, 신뢰성, 이미지, 안전 및 보안, 용량	×
Le Palmars (2000)	프랑스 교통전문주간지(LVRT)에서 1992년부터 매년 대도시 대중교통을 평가함. 시설 및 이용수준, 서비스 수준, 요금 및 투자수준, 교통약자 등 평가기준	운행빈도, 운행속도, 운행시간, 운행범위 등	×
BSS (2005)	싱가폴 PTC에서 버스서비스 지표제시	노선계획 및 설계, 서비스효율, 운영시간, 냉방시설, 정보제공	×

자 관점, 사회적 관점으로 나누어 지표를 제시하였다 [3]. 교통개발연구원(2001)은 버스운송사업조정을 위해 이용자 측면과 도시교통 정책적 측면으로 나누어 제시하였으며, 특히, 정책적 측면에서는 지하철과 버스간 중복여부와 버스들간의 경합여부를 중점적으로 평가하였다 [4].

강석호(2006)와 서울시정개발연구원(2007)는 중앙버스전용차로의 평가를 위해 BMS자료의 활용시 가능한 지표위주로 평가를 수행하였으며, 대부분 정시성과 같은 신뢰성 관리에 중점을 두고 있다. 양지영(2006)은 버스주행 시공도를 통해 노선운행 전체에 대한 정시성과 정류장 기반정시성으로 나누어 지표를 제시하였다 [5-7].

김태호(2002)는 동일노선이 정류장에 연달아 동시에 들어오는 쌍현상에 관심을 가지고 통행시간과 승하차 시간을 변화시킴으로서 쌍현상 발생관계를 살펴 보았다 [8]. 이호상(2007)은 서울시 교통정보센터 수집자료를 통한 다양한 운행관리 방안 및 평가를 수행하였으며, 버스몰림이라는 개념을 제시하고 있으나 여기서 버스몰림은 동일노선간 몰림으로 정시성의 연장선에 있다 [9].

외국의 연구들도 대부분 국가적 차원 또는 지자체 별로 버스서비스 및 노선평가를 위한 기준 지표를 제시하고 있다. 미국의 BRES(1995)를 시초로 하여 TCQSM(2003)은 대중교통시스템의 서비스의 양적 질적 평가를 위한 지침서로 활용되고 있으며, CBRT(2004)는 버스전용차로의 지침서로 활용되고 있다 [10-12]. 운행빈도, 운행시간, 서비스 구역, 승객 수, 신뢰성, 승용차 대비 통행시간, 안전성, 용량 등이 지표로 활용되며 그 중에서도 신뢰성과 관련한 정시성은 비중있게 다루어 지고 있다. 이외에도 프랑스 Le Palmares(2000)와 싱가포르 BSS(2005)에서도 유사한 기준으로 평가하고 있다 [13, 14].

기존연구를 종합해 보면 다양한 정량적, 정성적 지표중에서도 신뢰성 측면의 정시성을 언급하고 있는 것이 대부분이다. 하지만, 버스몰림운행에 대한 상황 인식과 연구는 부족한 실정이다. 이호상(2007)의 연구에서 처음으로 언급되고 있는 버스몰림에 대해서도 동일한 노선에 대한 문제로 인식하고 있어

동일노선간 정시성 확보의 연장선에 있다. 따라서, 여러노선들이 동시에 도착하는 버스몰림운행에 대한 이해와 연구가 요구된다.

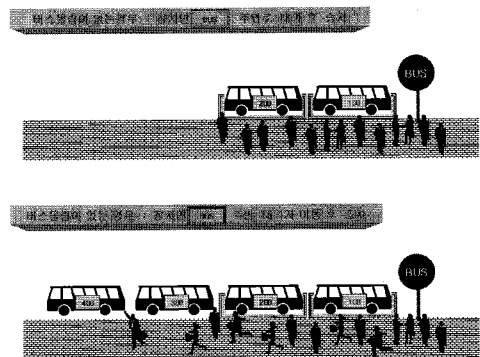
III. 버스몰림지표 개발

1. 버스몰림운행의 이해

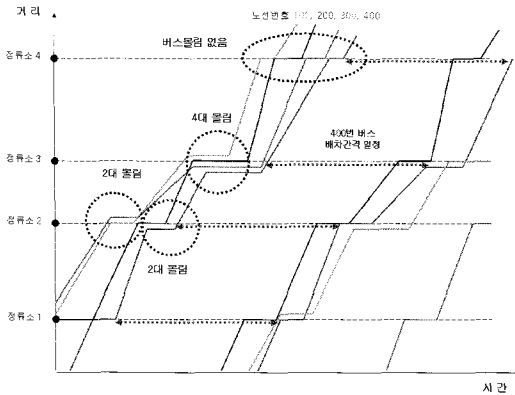
대도시의 중요한 교통수단인 버스는 가장 높은 수단분담비율을 차지하고 있으며 많은 노선이 운행되고 있다. 특히, 서울의 경우 400개 이상의 노선이 집중되어 있어 짧은 배차간격으로 빈번하고 신속한 대량수송을 담당하고 있다. 버스정보시스템의 발달로 인해 효율적인 관리가 이루어지고 있어 짧은 배차간격을 정시에 지키는 높은 정시성을 유지하고 있다.

하지만, 많은 노선이 짧은 배차간격으로 빈번히 운행됨에 따라 버스차로의 혼잡과 동일 노선간 배차간격을 지키기 위해 정류소에서 여러대 노선버스가 몰려들어오는 현상은 심각해지고 있다.

<그림 1>과 같이 일반적으로 버스이용자들은 정류소에서 버스표지판 주변으로 정차면(Berth)이 표시되어 있는 주변에서 버스를 대기하게 된다. 설치된 정차면수(Number of Berth) 이내로 버스가 도착할 경우는 자연스럽게 승차하게 되지만, 그 보다 초과할 경우에는 정차면 뒤쪽의 버스를 승차하기 위해 불필요한 보행시간이 소요되어 승하차 서비스의 비효율



<그림 1> 정류소에서 버스몰림운행 예시
<Fig. 1> Bunching buses at a bus stop



<그림 2> 시공도에서 버스몰림운행 예시
 <Fig. 2> Bunching buses in time-space diagram

이 발생된다. 또한, 이용하는 승객입장에서도 불쾌감을 주게 된다.

한 정류소에서의 예를 확대하여 여러 정류장에 대한 가상의 버스운행 시공도를 통해 알아보자. <그림 2>는 가상의 4개 노선버스가 정류소 1에서 정류소 4까지 이동하는 주행궤적을 시간의 흐름에 따라 나타내고 있다. 전체적으로 노선버스의 배차간격은 일정하게 운행되고 있지만 정류소별로 버스몰림운행이 서로 다르게 나타나고 있다. 버스운행 관리를 위한 가장 중요한 지표인 정시성은 아주 양호하지만 정류장에서의 버스몰림으로 인한 버스운행 서비스는 버스배차간격을 맞추기 위한 과속, 무리한 추월 등의 우려가 있으며, 정류장의 대기승객에 있어서도 승차를 위한 보행거리가 길어짐으로서 불편함을 주게된다.

따라서, 동일노선간의 몰림, 즉 정시성뿐 아니라 다양한 노선들이 동시에 정류소에 도착하게 되는 버스몰림 운행을 관리할 수 있는 지표를 통한 버스운행 서비스 개선이 필요하다.

2. 버스몰림지표 개발

버스몰림지표는 정차면수 기준과 평균버스도착율을 기준으로 한 2가지 형태로 개발하였다. 정차면수 기준은 정류소의 정차면수를 고려한 시설특성을 고려한 지표이며, 평균버스도착율 기준은 다양한 지역

에 있어 상호비교에 용이한 상대적 수치로 활용할 수 있는 지표이다.

1) 정차면수 기준

<그림 1>에서와 같이 각 정류소의 용량 및 특성을 고려할 필요가 있으므로 정차면수를 기준으로 한 지표를 제안하였다. 각 정류소의 버스 정차면수에 대한 각 시간대별 정류소별 버스도착율을 정차면수 기준 버스몰림율(M_{ij})이라고 하며 아래식과 같다. 여기서, 버스몰림율 M_{ij} 이 1보다 클 경우 버스몰림운행이 발생되고 있다고 판단할 수 있다. 즉, 각 정류소의 정차면수를 초과하여 버스가 도착하는 경우가 몰림운행이다.

$$\begin{aligned} \text{버스몰림율}(M_{ij}) &= \frac{i\text{시간, } j\text{정류소의 버스도착율}}{j\text{정류소 버스정차면수}} \\ &= \frac{\lambda_{ij}}{B_j} \end{aligned}$$

($M_{ij} > 1$: 몰림운행, $M_{ij} \leq 1$: 정상운행)

여기서,

$$\begin{aligned} \lambda : \text{버스도착율} &= \frac{i\text{시간, } j\text{정류소 정차대수}}{i\text{시간, } j\text{정류소 정차시간}} \\ &= \frac{n_{ij}}{t_{ij}} \end{aligned}$$

B : 정차면수 (Number of Berth)

n : 정차대수, t : 정차시간

i : 시간, j : 정류소

2) 평균버스도착율 기준

버스정차면수 기준지표와 달리 정류소의 시설특성을 고려하지 않고 정류소 또는 시간대별로 상대적인 비교에 활용될 수 있는 지표이다. 정류소 전체 평균버스도착율에 대한 각 시간대, 정류소별 버스도착율의 비로 설정되며, 평균버스도착율 기준 버스몰림율 N_{ij} 이 1을 초과하는 경우 특정시간(i), 특정정류소(j)에서 평균보다 많은 버스가 몰려 도착하는 것으로 판단할 수 있다. 즉, 평균버스도착율 기준지표

는 상대적 지표라고 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{버스몰림율}(N_{ij}) &= \frac{i\text{시간, } j\text{정류소의 버스도착율}}{\text{평균버스도착율}} \\ &= \frac{\lambda_{ij}}{\bar{\lambda}} \\ (N_{ij} > 1 : \text{몰림운행, } N_{ij} \leq 1 : \text{정상운행}) \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} \lambda : \text{버스도착율} &= \frac{i\text{시간, } j\text{정류소 정차대수}}{i\text{시간, } j\text{정류소 정차시간}} \\ &= \frac{n_{ij}}{t_{ij}} \end{aligned}$$

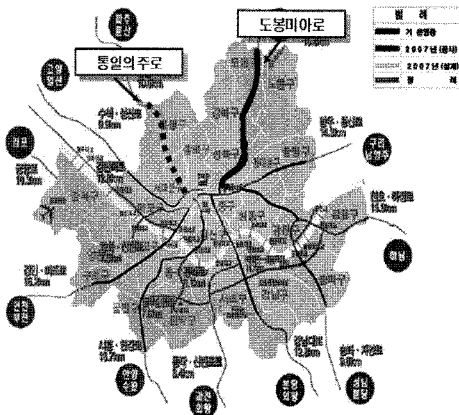
$$\begin{aligned} \bar{\lambda} : \text{평균버스도착율} &= \frac{\text{전체 정차대수}}{\text{전체 정차시간}} \\ &= \frac{\sum_{i,j} n_{ij}}{\sum_{i,j} t_{ij}} \end{aligned}$$

n : 정차대수, t : 정차시간

i : 시간, j : 정류소

IV. 버스몰림지표의 적용 및 활용

1. 대상지역 선정 및 자료개요



<그림 3> 분석대상 지역
<Fig. 3> Study site

<표 2> 분석대상노선의 개요
<Table 2> Summary of study site

버스차로형태	노선	연장 (km)	구간
중앙전용차로	도봉미아로	15.8	의정부시계~원남R
가로변 및 일반	통일의주로	10.6	파주시계~서대문

설정된 버스몰림지표를 실제 데이터에 적용해 봄으로서 제시한 지표의 적용가능성과 분석대상 지역의 버스몰림 지표를 산출하여 정시성을 평가해 보았다.

대상지역은 서울시의 대표적인 중앙버스전용차로인 도봉미아로 축을 위주로 분석하였으며, 중앙버스전용차로로 운영되지 않는 통일의주로를 추가로 분석하였다. 또한, 통일의주로는 가로변전용차로 및 일반차로에서 장래 중앙전용차로 운영계획이 수립되어 설계단계에 있어, 향후연구에서 중앙전용차로 시행 전후 비교가 용이할 것으로 판단했다.

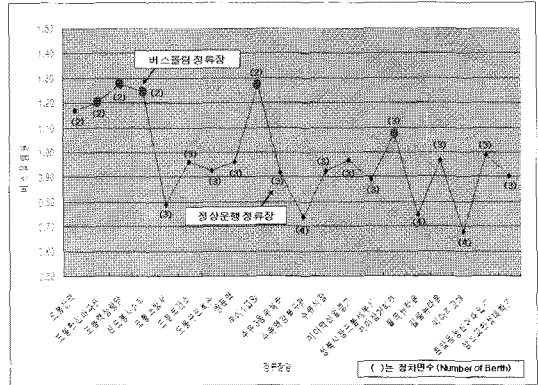
분석데이터는 서울시 교통정보센터 TOPIS (Transportation & Information Service) 자료를 이용하였다. 서울시 BMS(Bus Management Systems)의 자료 수집범위는 서울시 간선도로 전역을 경유하는 버스 노선 404개 노선으로 차내장치 설치 버스 7,573대를 대상으로 GPS단말기와 무선통신을 이용하여 버스 운행정보를 수집하고 있다. 본 연구에서는 도봉미아로 80개노선, 통일의주로 40개 노선, 버스 약 3,000대에 대한 24시간 교통정보를 추출하여 적용하였다.

서울시 BMS수집데이터는 버스의 교차로 통과 이벤트정보를 수집하지 않기 때문에 정류소 단위의 운행정보가 산출되고 있다. 버스 GPS단말기를 통하여 수집된 노선별 버스 정류소 출발/도착 일일 운행데이터는 노선별로 하나의 파일(ex. 63데이터_2007-12-04_106.csv)로 정리되며, 정류소코드, 정류소간 거리, 출발도착시각으로 구성된다.

본 연구에서는 대상지역의 정류소를 통과하는 모든 노선버스들의 출발도착시각을 초단위로 나열하여 정류소별로 정차시간과 정류소에 정차해 있는 버스 대수를 산출하였다.

<표 3> 정류소 버스정차대수 및 정차시간 산출예
 <Table 3> Calculation of number of buses and stoppage time at bus stop

시 간 (시:분:초)	정차대수 (대)	정차유무 ¹⁾ (유:1,무:0)
7:12:13	25933	0
7:12:14	25934	0
7:12:15	25935	1
7:12:16	25936	1
7:12:17	25937	2
7:12:18	25938	2
7:12:19	25939	2
7:12:20	25940	4
7:12:21	25941	4
⋮	⋮	⋮



<그림 5> 정차면수 기준 버스몰림
 <Fig. 5> Bunching Indices based on the number of berth

소에서 주로 몰림이 발생하는 것으로 나타났다. 미아삼거리역 정류소는 설치된 3면의 정차면을 초과하는 것으로 나타나 몰림에 따른 정류소의 혼잡이 있는 것으로 분석되었다.

2) 평균버스도착을 기준 버스몰림

평균버스도착을 기준으로 한 버스몰림율은 미아삼거리가 가장 높은 몰림이 나타났으며, 그 외 도봉보건소, 쌍문역, 수유역강북구청, 미아역신일중고, 월곡뉴타운, 길음뉴타운이 버스몰림 운행이 있는 것으로 나타났다. 버스몰림율이 가장 낮은 정류소는 도봉산역으로 외곽지역 정류소가 전반적으로 버스몰림없이 정상운영되고 있는 것으로 분석되었다.

시간대별로 버스몰림운행을 살펴본 결과, 오전 첨두시간대에 몰림운행이 많이 발생하는 것으로 나타났으며, 오후 첨두시는 상대적으로 몰림운행이 낮은 수준으로 나타났다. 그 외에 낮시간대와 야간, 새벽 시간대에는 몰림없이 정상운영되고 있는 것으로 분석되었다.

<그림 4> 노선별 일일 운행데이터 예시
 <Fig. 4> Bus operating data by bus line

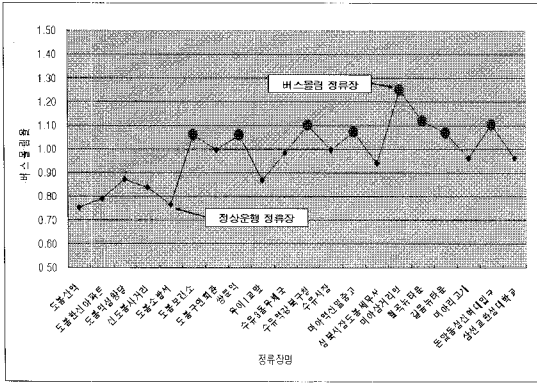
2. 기준별 버스몰림 지표 분석결과

1) 정차면수 기준 버스몰림

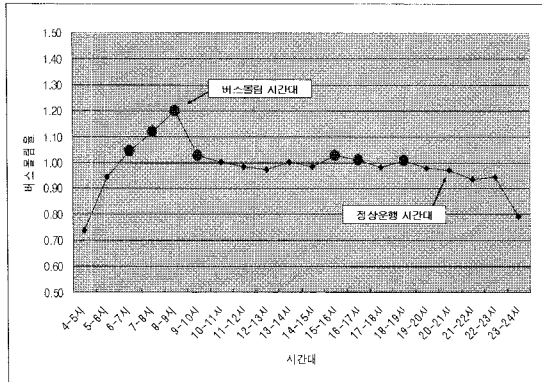
도봉미아로의 1일 평균 정차면수 기준 버스몰림율²⁾을 분석한 결과, 정차면이 2면 설치된 작은 정류

1) 정차유무(유=1)의 값의 합은 버스가 당해정류장에 정차한 정차시간으로 계산됨.

2) 경기도 버스 BMS데이터가 정상적으로 수집되고 있지 않아 본 연구에서는 서울버스를 대상으로 하였음. 단, 정차면수기준 버스몰림지표 분석에서는 도봉미아로의 서울버스 11~20개, 경기버스 8~12개 운행노선을 고려하여 기본 1대 정차를 가정하였음.



<그림 6> 정류장별 버스몰림율
<Fig. 6> Bus bunching indices by bus stops



<그림 7> 시간대별 버스몰림율
<Fig. 7> Bus bunching indices by time

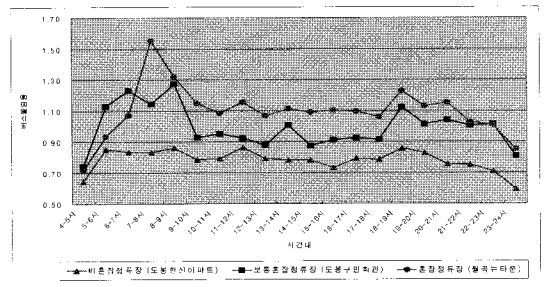
정류소별로 몰림의 차이가 있는 것으로 나타났다. 이것은 많은 노선이 짧은 배차간격으로 이미 잘 관리되고 있어 정류소별로 정시성에 큰 차이가 없으며, 정시성만으로는 정류소의 서비스를 가늠하는 변별력 있는 지표로 활용되기 어렵다고 할 수 있다.

버스몰림율이 정시성으로 설명될 수 없는 운행상태에 대한 분석을 할 수 있는 보완적인 지표로 활용될 수 있으며, 버스운행 개선을 위한 관리지표로 포함되어야 할 것이다.

<표 4> 버스 몰림과 정시성 지표에 대한 분산분석(ANOVA) 결과

<Table 4> Result of ANOVA to bunching indices and schedule adherence indices

구분	버스몰림 지표				버스정시성 지표			
	제공합	평균 제공합	F값	유의 수준	제공합	평균 제공합	F값	유의 수준
집단간 차이	1.02	0.51	29.9	0.00	0.12	0.06	2.66	0.08
집단내 차이	0.98	0.01			1.30	0.02		
계	2.00	-			1.42	-		



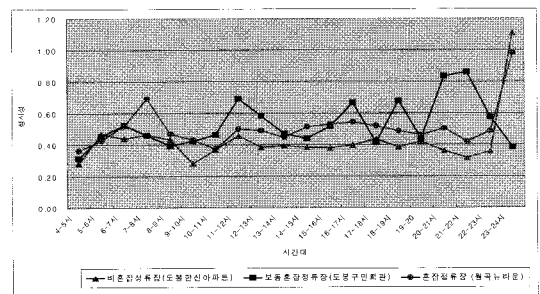
<그림 8> 정류장 시간대별 버스몰림율
<Fig. 8> Bus bunching indices by time at 3 bus stops

3. 버스몰림지표의 활용

1) 정시성의 보완지표로 활용

정류소별로 버스운행 상태를 잘 파악할 수 있는 정시성 및 버스몰림지표를 통하여 살펴보았다. 이를 위해 정류소의 혼잡수준이 다른 3개 정류소³⁾에 대해 1일 운행에 대한 각각의 지표값에 대한 일원분산분석을 실시하였다.

그 결과, 버스 정시성⁴⁾의 경우 정류소별로 차이가 없는 것으로 나타났으며, 반면에 버스몰림율은 버스



<그림 9> 정류장 시간대별 정시성
<Fig. 9> Schedule adherence indices by time at 3 bus stops

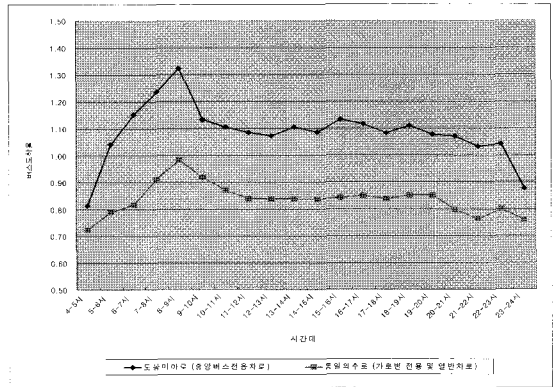
- 3) 버스몰림을 기준으로 혼잡정류소($N_{ij} > 1$), 보통혼잡정류소($N_{ij} = 1$), 비혼잡정류소($N_{ij} < 1$)로 설정하였음.
- 4) 정시성은 배차간격 분산계수로 (배차간격표준편차)/(배차간격 평균)으로 계산됨. (참고문헌 [6,7])

2) 중앙전용차로 설치시 고려할 수 있는 지표로 활용

도봉미아로와 통일의주로의 평균도착율을 기준으로 한 버스몰림율을 비교해 본 결과, 전반적으로 도봉미아로의 버스몰림율이 높은 것으로 분석되었으며, 두 집단간 t검정결과 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 그러나, 외곽보다 도심정류장이, 그리고 오후보다는 오전첨두시에 몰림이 많이 발생하는 패턴은 유사하게 나타났다.

이러한 차이는 당해구간을 운행하고 있는 버스 노선 수, 승하차 인원, 교통량과 속도와 같은 혼잡상황, 차로수와 교차로와 같은 다양한 요인에 의한 것이다. 또한, 버스전용차로의 운영방식도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

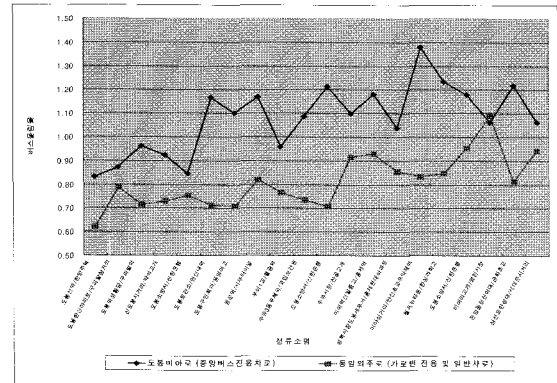
왜냐하면, 중앙전용차로의 경우 추월선이 없으면 뒤에 도착한 버스는 승하차가 완료되어도 먼저 출발할 수 없어 가로변 전용차로에 비해 몰림의 가능성이 높다. 반면에 가로변 전용차로와 일반차로는 택



<그림 11> 전용차로 형태에 따른 시간대별 버스몰림율
<Fig. 11> bunching indices by bus lane type at time

시나 주정차 차량의 혼입이 높아 몰림운행 가능성이 높을 수 있다.

서울시는 가로변 전용차로 및 일반차로에 대해 대대적인 중앙전용차로로의 운영계획이 있으며, 이에 버스몰림에 대해서도 고려하여 합리적인 설치가 이루어져야 할 것이다.



<그림 10> 전용차로 형태에 따른 정류장별 버스몰림율
<Fig. 10> bunching indices by bus lane type at bus stops

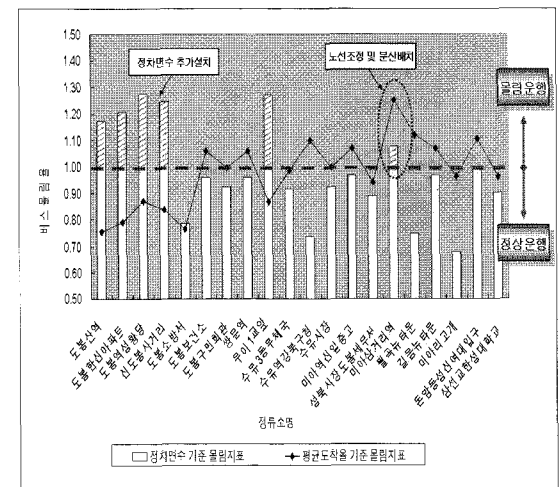
<표 5> 중앙버스전용차로와 일반차로의 비교

<Table 5> Comparison between exclusive bus median lane and shared lane

구분	평균	평균	표준 편차	t	P
정류장별 버스몰림율	도봉미아로	1.079	0.145	6.79	0.00
	통일의주로	0.804	0.108		
시간대별 버스몰림율	도봉미아로	1.084	0.107	9.15	0.00
	통일의주로	0.836	0.059		

3) 정류소 규모설정 및 노선배치시 참고자료로 활용

정차면수 기준과 평균버스도착율 기준 지표를 비교해 보면, 다른 정류소에 비해 버스몰림율은 낮은 수준이지만, 정차면수 기준으로 볼때 버스몰림이 발



<그림 12> 기준별 버스몰림율 비교
<Fig. 12> Comparison of two kinds of bus bunching indices

생하여 불편을 초래할 수 있다. 이러한 경우는 정차면수를 확충하는 것만으로도 서비스 개선이 될 수 있는 정류소이다.

반면에 미아삼거리와 같이 다른 정류소에 비해 상대적으로 버스몰림율도 높으면서, 정차면수를 초과하여 몰림이 발생하는 경우는, 정차면수 증대라는 시설 측면뿐 아니라 집중되는 노선수를 적절히 분산배치하는 대책이 필요하다.

따라서, 두가지 측면의 버스몰림지표를 비교하는 것만으로도 정류소의 규모설정과 노선배치시 참고할 수 있는 자료가 될 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 정류소에서 버스몰림 운행관리의 필요성과 몰림현상에 대해 설명하고 정차면수 기준과 평균버스도착율을 기준으로 한 2가지 유형의 버스몰림지표를 개발하였다. 버스몰림지표는 서울시 교통정보서비스(TOPIS, Transportation & Information Service)의 BMS 버스운행이력 자료를 이용하여 중앙버스전용차로인 도봉미아로와 가로변전용차로 및 일반차로인 통일의주도로에 적용하였다.

분석결과, 도심에 가까운 정류소가 외곽의 정류소에 비해 몰림운행되는 것으로 나타났다. 시간대별로는 오전오후 첨두시간대에 버스의 몰림운행이 나타났으며, 오후보다는 오전첨두시에 버스몰림이 심각한 것으로 분석되었다.

본 연구는 몰림지표의 다양한 활용성 측면을 살펴 보았다. 버스정시성 지표와 비교함으로써 정시성만으로 가늠할 수 없는 정류소에 있어 버스운행 상태를 파악할 수 있는 보완지표로서 활용성을 제시하였다. 중앙전용차로와 일반차로의 버스몰림율을 비교함으로써 중앙전용차로의 확대시 참고자료로의 활용을 제안하였다. 또한, 두 가지 기준의 몰림지표를 통해 정차면수(Number of Berth)와 같은 버스정류소 규모의 조정 및 노선배치에 대한 참고자료로 활용될 수 있음을 제시하였다.

이러한 연구를 토대로 버스몰림에 대한 이해와 관리하는 나은 버스서비스 제공할 수 있는 근거를 제공

할 수 있으며, 버스정책에 수립에 기여할 수 있을 것이다.

몰림지표의 이용은 다음과 같은 버스 서비스 개선을 할 수 있을 것이다. 첫째, 관리자 측면에서 버스노선 배차간격을 기준으로 수립되는 버스운행계획에 대해 몰림지표를 추가함으로써 시간적 공간적으로 보다 원활한 서비스를 제공할 수 있다. 둘째, 버스이용자 측면에서 뒤따라오는 버스를 승차하기 위한 불필요한 보행시간 및 불편감을 최소화할 수 있으며, 정차면을 벗어나 정차하는 버스를 승차차함으로써 발생하는 안전상의 문제를 개선할 수 있다. 셋째, 버스운전자 측면에서 버스몰림으로 인한 버스지체, 동일노선간 배차 정시성을 맞추기 위한 난폭운전 등 악영향을 최소화 할 수 있다.

향후연구로서, 현재 개별노선의 배차간격을 기준으로 한 서울시 버스운행계획 특성상 특정 정류소에서 버스 몰림현상을 극복하기 위해서 도로축이나 노선별로 평가되어야 할 것이다. 본 연구에서는 2개 축에 대해서 정류장 위주로 단편적으로 분석하고 있어, 서울시 전체에 대한 다양한 노선 및 도로축에 대한 추가연구가 필요하다. 또한, 서울 시내에 운행되고 있는 경기 및 인천버스에 대한 데이터 구축에 따른 포괄적 분석이 수행되어야 할 것이다. 끝으로, 몰림운행이 발생되는데 영향을 미치는 다양한 요인을 밝히고 이를 통한 버스몰림을 최소화할 수 있는 방안에 대한 추가연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] 녹색교통, 2001년 대중교통 서비스 모니터링 보고서, 2001.
- [2] 서울시정개발연구원, 서울시 버스체계 개편에 따른 모니터링 연구, 2004.
- [3] 이상용, 시내버스노선체계 평가를 위한 정량적 지표의 설정 및 적용, 대한교통학회지, 제21권, 제4호, pp.29~44, 2003. 8.
- [4] 교통개발연구원, 시내버스 운송사업조정의 기준 및 방법, 2001.
- [5] 강석호, BMS를 이용한 중앙버스전용차로 효과분

- 석, 서울시립대 석사학위논문, 2006.
- [6] 서울시정개발연구원, *중앙버스전용차로 운영평가를 위한 지표개발*, 2007.
- [7] 양지영, *시공도를 이용한 버스운행 정시성 지표 개발*, 서울시립대 석사학위논문, 2006.
- [8] 김태호, *버스정류장간 총 통행시간 모형을 이용한 버스 쌍현상 분석에 관한 연구*, 한양대학교 석사학위논문, 2002
- [9] 이호상, 임정실, 정영제, 김영찬, *자료기반의 버스 신뢰성 관리방안*, 서울시를 중심으로, *한국ITS 학회*, 학술대회논문집, 제6회 추계학술대회, pp.51~59, 2007. 10.
- [10] H. P. Benn, *Bus Route Evaluation Standards*, TCRP Synthesis10, 1995.
- [11] National Academy Press, *Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition*. Transportation Research Board, 2003.
- [12] Federal Transit Administration, *Charateristics of Bus Rapid Transit for Decision-Making*, 2004.
- [13] La Vie du Rail et des Transport, *Le Palmares 2000 des Transport*, No.152, 2000.
- [14] Singapore Bus Service Standards Web Site: http://www.ptc.gov.sg/bus_servstandards.html.

저자소개



김 은 경 (Kim, Eun-kyoung)

2004년~현재 : 한양대학교 도시대학원 박사수료 (SOC·교통학과)
 2006년~현재 : (주)티테크이앤씨 교통계획부 이사
 2006년 : (주)재경종합기술공사 교통계획부 이사
 2002년 : 한양대학교 도시대학원 석사 (교통물류학과)



노 정 현 (Rho, Jeong-hyun)

1989년~현재 : 한양대학교 도시공학과/도시대학원 교수
 1988년 : University of Illinois at Urbana - Champaign
 도시 및 지역계획(교통계획 및 정책) 박사
 1984년 : 고려대학교 산업공학 석사



김 영 찬 (Kim, Young-chan)

1996년~현재 : 서울시립대학교 교통공학과 교수
 1996년 : 명지대학교 공과대학 교통공학과 교수
 1993년 : 도로교통안전협회 연구소 연구위원
 1991년 : 교통개발연구원 선임연구원
 1990년 : Texas A&M University 토목공학과 공학박사(교통공학전공)
 1985년 : 서울대학교 토목공학과 공학석사 (도시공학전공)