

## 대중교통 이용자 관점의 서비스 평가 모형 개발

김원길\* · 노창균 · 손봉수

연세대학교 도시공학과

### Service Evaluation Models from Transit Users' Perspectives

KIM, Wongil\* · ROH, Chang-gyun · SON, Bongsoo

Department of Urban Planning & Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

#### Abstract

The evaluation of public transit service quality is more complicated than evaluating other aspects of transportation service. Although various measures of effectiveness [MOEs] for transit service have been studied and applied, a more comprehensive and accurate MOE is still required. In the past, either data from user surveys or the experience of bus agency administrators and/or engineers used to measure the quality of service. However, recently, with reliable and accurate real time data from BMS(Bus Management System) and BIS(Bus Information System), more reliable and accurate MOEs are available. This study develops a service evaluation model from users' perspectives, which is based on user' cost models that consider passenger access time, riding time, and discomfort due to in-vehicle overcrowding, violation of traffic laws, and accident rate. For validating proposed model, data from the BMS and transit-fare cards (T-Money Card) for Seoul's No. 472 main bus line were used. Models developed in this study provided reliable results.

최근 다양한 대중교통 중심 정책의 시행뿐만 아니라 시행된 정책의 효율적 운영과 대중교통 이용자 측면에서의 서비스 품질평가를 통한 서비스 개선은 대중교통 이용을 지속적으로 활성화시키기 위해 반드시 필요한 요소이며, 제공되는 서비스 품질의 모니터링, 개선 및 새로운 정책의 시행을 위해서는 이용자에게 제공되는 서비스 품질에 대한 다양한 정량적 모니터링 방법이 필요하다. 이용자 측면에서 대중교통 서비스를 정량, 정성적으로 평가할 수 있는 효과적도는 대중교통 이용의 편의성, 정시성, 쾌적성, 안전성, 경제성 등 여러 가지 측면에서 다양한 평가지표가 있을 수 있다. 그러나 일시적이고 단편적인 설문조사나 대중교통 행정가의 경험 등을 통해 해당 지역 또는 노선의 서비스를 평가하기 보다는 대중교통 운행 상세이력, 이용자 수요 등 보다 객관적인 자료를 활용하여 이용자 측면에서 서비스수준을 평가하는 등 보다 과학적이고 정량화된 다양한 평가방법론과 평가척도 등이 필요하다.

본 연구에서는 효율적인 대중교통 서비스수준 평가를 위하여 버스운행관리시스템의 버스운행 자료와 교통카드로부터 수집되는 정류소별 승하차정보를 활용하여 노선 및 정류소별 서비스수준 평가모형을 개발하였다. 서비스 수준 평가를 위해 김원길(2009)의 버스 운행계획수립 모형을 기반으로, 서비스 평가지표 중 운행서비스 측면에서 이용자 접근시간, 대기시간, 차내 혼잡, 교통 혼잡, 돌발 상황, 교통법규위반, 운행규정 등을 고려하여 이용자 접근시간, 구간 통행시간, 차내 혼잡수준, 교통법규 및 운행규정 위반여부 등으로 인한 승객불편 등을 비유함수로 정량화하여 노선 및 정류소별 대중교통 이용자 서비스 수준을 상세 평가하는데 그 목적이 있다. 대중교통 운행이력자료, 노선 및 정류소 기반의 대중교통 수요 자료의 객관적이고 과학적인 분석과 활용을 통해 노선 및 정류소별 이용자 서비스 평가를 함으로써 해당 노선이나 정류소의 서비스 현황분석, 개선사항 도출 등에 활용할 수 있으며, 다양한 대중교통 정책 수립, 시행 정책의 모니터링 목적 등 다양한 목적과 용도로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### Key Words

Public Transit, BMS/BIS, Level of Service, Users' Perspective, Service Evaluation Model, Stop-based and Line-based Service

대중교통, 서비스수준, 이용자관점, 서비스평가모델, 정류소 및 노선기반 서비스

\* : Corresponding Author  
wgkim0220@hanmail.net, Phone: +82-2-2123-3569, Fax: +82-2-393-6298

# 1. 서론

## 1. 연구배경 및 목적

최근의 대중교통정책은 버스전용차로 확대시행, 서비스 고급화, 환승센터 구축, BIS(Bus Information System)/BMS(Bus Management System) 운영, 클라우드 교통시스템 도입검토 등 첨단교통체계 구축 및 운영을 통한 과학적 운행관리로 버스회사의 합리적 경영개선을 도모하여 운행 효율성을 향상시키는 동시에 이용자 측면에서는 버스이용 편의성, 쾌적성, 안전성 제고 등을 위한 많은 정책을 시행하고 있다. 이런 정책시행을 통한 이용자 측면에서의 서비스 품질개선은 대중교통 이용을 지속적으로 활성화시키기 위해 필수불가결한 요소이며, 제공되는 서비스 품질의 유지, 개선 및 새로운 정책의 시행을 위해서는 정량적인 다양한 모니터링 방법이 필요하다.

일반적으로 대중교통의 용량 및 서비스수준은 교통수단의 차량크기, 운행시각 등에 좌우되며, 버스승객의 분포 및 차량 흐름의 상호작용 등을 반영해야하므로 도로용량산정에 비해 복잡하다. 이용자 측면에서 대중교통 서비스를 정량, 정성적으로 평가할 수 있는 효과적도는 버스이용의 편의성, 정시성, 쾌적성, 안전성, 경제성 등 여러 가지 측면에서 다양한 평가지표가 있을 수 있다. 그러나 일시적이고 단편적인 설문조사나 대중교통 행정가의 경험 등을 통해 해당 지역 또는 노선의 서비스를 평가하기 보다는 버스운행 상세이력, 이용자 수요분석 등 보다 객관적인 자료를 활용하여 이용자 측면에서의 서비스수준 평가 등 보다 과학적이고 정량화된 평가척도가 필요하다.

도로용량편람(2004)에서 대중교통 서비스수준 판정 기준으로 제시하고 있는 차내 용량, 운행시각 및 운행시간 등은 평균탑승인원 조사를 통해 산출된 승객 1인당 점유면적에 따라 판정하거나 운행시각, 운행시간, 첫차/막차 시간 등 계획된 버스운행계획에 따라 서비스수준을 정적으로 평가하는 방법이다. 그러나 이러한 방법을 통한 서비스수준 평가는 교통 혼잡 등 다양하게 변화하는 교통상황에 따라 버스의 불규칙적인 정류소 서비스, 정류소별 대기승객 수 및 탑승 승객 수, 정류소 대기시간 등을 적절히 반영하여 효율적으로 서비스수준을 평가하기 힘들다는 단점이 있다.

본 연구에서는 서비스 평가지표 중 운행서비스 측면에서 이용자 접근시간, 대기시간, 교통혼잡, 돌발상황 등을 고려한 이용자 접근시간, 구간통행시간, 차내 혼잡수

준, 교통법규 및 운행규정 위반여부 등을 비용함수로 정량화하여 노선 및 정류소별 이용자 서비스수준을 평가하는데 그 목적이 있다. 객관적이고 과학적인 자료 분석을 통한 노선 및 정류소별 이용자 서비스수준 평가를 통해 해당 노선이나 정류소의 서비스 현황분석, 개선사항 도출 등에 활용할 수 있으며, 다양한 대중교통 정책수립 목적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 효율적인 대중교통 서비스수준 평가를 위하여 버스운행관리시스템의 버스운행 자료와 교통카드로부터 수집되는 정류소별 승하차정보를 활용하여 노선 및 정류소별 서비스수준 평가모형을 개발하였다. 본 연구의 연구범위는 다음과 같다.

첫째, 노선단위의 정류소별 이용자 접근시간, 승차차 수요, 정류소간 통행시간 및 서비스시간, 교통법규 및 운행규정 위반여부 등의 이용자 서비스 관점에서 정류소단위의 비용함수로 모형을 수립하고 이를 통해 서비스수준을 비교, 평가모형을 개발하였다.

둘째, 운행계획 등 서비스 변화에 따른 대기시간과 차내 혼잡 감소 등 이용자 측면에서의 서비스 수준 및 문제점을 분석하여 배차간격 조정, 차량 증차 등 서비스 품질 개선에 따른 정량적인 모니터링 기법을 적용하였다.

버스 서비스 평가모형의 검증에 위해 서울시 운행노선 중 472번(간선, 개포동-신촌 왕복운행)을 대상으로 서울 BMS로부터 수집되는 버스운행정보와 교통카드로부터 수집되는 정류소별 승하차정보를 활용하였다.

## II. 기존연구 고찰

현재 사용되는 주요 평가기준들은 크게 대중교통 이용자 기준과 비용기반 등 크게 두 가지 범주로 나눌 수 있다. Ceder(2007)는 3가지의 이용자 기준의 항목들과 4가지 비용 기준의 평가기준들을 제시하였다. 이용자 기준의 평가기준들로는 차량-시간당 승객수(PVH, Passengers per Vehicle-Hour), 차량-km당 승객수(PVK, Passengers per Vehicle-km), 통행별 승객수(assengers per Trip) 등이 있으며, 비용기준의 4가지 평가 기준들로는 승객당 비용, 직접비용 대비 회수비용간 비율(cost-recovery ratio, 월급, 복리후생, 유지비용 등 운영에 직접적으로 소요되는 비용과 대중교통 이용자의 요금지

〈Table 1〉 Passenger Oriented Service Evaluation Items

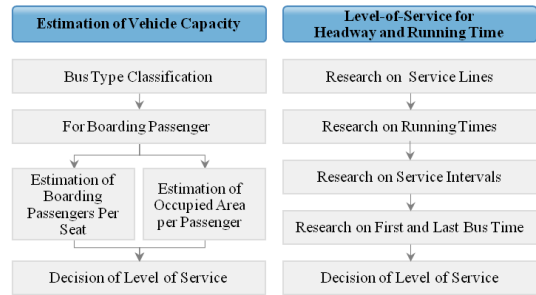
	Station	Bus Line	System
Usefulness & Accessibility	Service Frequency	Total Running Time	Service Area
Convenience & Availability	In-vehicle Congestion	Reliability	Travel Time

Source : Kho et al., Determining Level-of-Service Criteria of Headway Adherence, 2005

불을 통해 회수되는 비용간 비율), 승객별 보조금 등을 제시한바 있다. 그러나 이런 기준들은 더 정확하고 신뢰성 있는 대중교통 서비스 평가를 위해 항목별로 더 세분화되어야 할 필요가 있다. TCRP Report 100(Transit Capacity and Quality of Service Manual, 2003)에서는 〈Table 1〉과 같이 유용성 및 접근성, 편의성 및 편리성 등 이용자 관점에서 정류장, 버스노선, 시스템 등 세 가지 측면에서 서비스 품질을 평가하기 위한 평가항목을 제시하고 있다. 특히, 이용자 측면에서의 편의성과 편리성을 평가하는 버스노선에 대한 신뢰성은 평균 배차간격에 따라 정시 도착성과 차두간격 균등성으로 구분하여 제시하고 있다. 이 경우 평균배차간격의 경우 10분 이상일 경우에는 기준 오차범위 내에 도착하는 차량의 비율값인 정시 도착성을 사용하며, 10분 이하일 경우에는 차두간격의 균등성을 효과적으로 사용할 것을 제시하고 있으며, 각각의 측정값을 통해 A부터 F까지 평가척도에 따른 서비스수준 판정기준을 제시하고 있다.

도로용량편람(2004)에서는 버스의 서비스수준 평가를 위해 〈Figure 1〉과 같이 차내 용량, 운행시각 및 운행시간 등 두 가지 측면에서, 용량산정을 위해서는 정류소 정차면 용량, 정류장 용량 등의 측면에서 대중교통 서비스수준 평가기준과 방법들을 제시하고 있다. 차내 용량의 경우에는 좌석형, 입석형 등 버스형태별 탑승인원과 승객이 차지하는 면적기준에 따라 서비스수준을 판정하고 있다. 또한, 운행시각 및 운행시간의 경우에는 대도시, 중소도시별로 각각 구분하여 계획된 운행시각과 버스의 일 운행시간에 따라 서비스수준 판정기준을 제시하고 있다. 그러나 노선전체의 평균 또는 계획된 정적 운행계획을 기준으로 서비스수준을 평가하게 되므로, 다양한 상황을 반영하기 어렵다는 단점이 있다.

고승영(2005)은 서울시 운행버스노선들의 평균 배차간격이 대부분 10분 이하임을 고려, 차두간격의 균등성 측면에서 차두간격 분산계수의 누적 확률밀도값을 이용하는 방법과 효율함수를 이용하는 방법 등 두 가지 방법으로 서비스수준 기준 산정 방법론을 제시한바 있다. 서



〈Figure 1〉 Level-of-Service Analysis Flow Chart KHCM(2004)

울시를 포함한 국내 대부분의 지자체에서는 버스운영계획 수립 시 시점을 기준으로 한 출발시간과 배차간격, 첫차/막차시간 등의 정보만을 계획하고 있고, 정류소 단위의 운행스케줄 부재로 인하여 고승영이 지적한바와 같이 정시 도착성보다는 차두간격의 균등성을 적용하는 것이 적절하다. 그러나 출퇴근시간대 등 시간대별 버스 이용자수는 서로 상이하므로 불규칙적인 차두간격으로 인한 버스운영 측면이 아닌 이용자 측면에서 불편이나 시간 측면에서의 효과적으로 정량화할 필요가 있다. 또한, 버스 운행 정시성 지표만으로는 이용자 측면에서 경험하는 모든 서비스수준을 평가할 수 없으며, 이용자측면에서의 대기시간, 통행시간, 차내 혼잡, 정류소 접근성, 운행위반, 사고발생 등 제공되는 서비스 수준을 종합적으로 평가할 수 있는 통합분석지표가 필요하다.

### III. 대중교통 이용자를 위한 서비스 평가 모형

본 연구에서는 정류소 대기시간, 통행시간, 차내 혼잡, 정류소 접근성, 운행위반, 사고발생 등 버스 이용자 측면에서 노선 및 정류소별 서비스수준을 종합적으로 평가할 수 있는 평가지표 개발을 위하여 김원길(2009)의 버스 운행계획수립 모형을 바탕으로 각 항목을 비용함수로 정량화하여 모형에 적용하였다. 〈Table 2〉는 운행서비스, 차량 및 시설서비스, 정보서비스 등 세 가지 측면에서 버스의 서비스 평가에 활용할 수 있는 지표들을 제시한 것이다. 본 연구에서는 〈Table 2〉에서 제시된 버스 서비스 평가지표 중 운행서비스 측면에서 이용자 접근성, 이용자 대기시간, 구간통행시간, 차내 혼잡수준, 운행속도 수준, 운전태도, 교통법규 위반 수준, 운행 중 교통사고 수준 등을 비용함수로 정량화, 모형에 적용하여 이용자 서비스수준을 평가하였다.

〈Table 2〉 Bus Service Evaluation Items

	Service Evaluation Items	Applying to model
Bus Service	•The level of observing running interval and departure time	△
	•The level of observing bus schedule	△
	•In-vehicle congestion level	○
	•Relative running speed of bus	○
	•Bus driving manners at station	○
	•The level of violating traffic regulations	○
Facility Service	•Traffic accidents in operation	○
	•Access convenience to station	△
	•The level of considerations for the transportation vulnerable	×
	•The level of access of bus to subway	×
	•Congestion at central bus station	×
Information Service	•Environmental Factors	×
	•The level of bus information service	×
	•The level of providing dynamic information at station	×
	•The level of providing dynamic information at bus	×

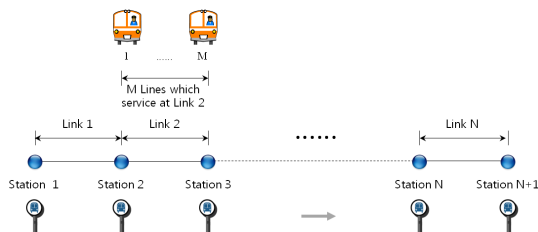
○ : Applied, △ : Applied partially, × : Not applied

### 1. 기본 구성 및 변수 정의

모형 개발을 위한 운행노선, 정류소, 구간 등에 대한 기본 구성은 〈Figure 2〉와 같이 기점과 종점을 포함하여 N+1개의 정류소, N개의 구간으로 나누고 하나의 구간에서 M개의 버스노선이 운행하는 것으로 정의하였다.

모형에 사용된 변수에 대한 정의는 다음과 같다.

- $LTC_k^t$  : 단위시간 t 동안 노선 k를 운행하는 총교통비용
- $BTC_i^t$  : 단위시간 t 동안 m개 노선이 서비스되는 정류소 i에서의 이용자 총교통비용
- $SC_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 노선 k, 정류소 i의 교통비용
- $OC_k^t$  : 단위시간 t 동안 노선 k의 최적 정류소 비용
- $S^k$  : 노선 k를 구성하는 정류소들의 집합



〈Figure 2〉 Transit Line with N links, N+1 stations, and M service lines

- $B^k$  : 정류소 i를 서비스하는 노선의 집합
- $A_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i의 이용자 접근비용(원)
- $R_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i를 출발하여 다음 정류소 i+1까지 통행하는 승객의 탑승시간비용(원)
- $W_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i의 승객 대기시간비용(원)
- $C_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i에서 다음 정류소 i+1까지 통행하는 동안 차내혼잡으로 인해 발생하는 승객불편비용(원)
- $P_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i 또는 정류소 i에서 다음 정류소 i+1까지 교통법규 또는 운행규정 위반으로 인해 발생하는 승객불편비용(원)
- $C_a$  : 승객 접근시간비용(원/시·인)
- $C_r$  : 승객 탑승시간가치비용(원/시·인)
- $C_w$  : 승객 대기시간가치비용(원/시·인)
- $C_d$  : 차내 혼잡으로 야기되는 승객불편에 대한 시간가치 비용 (원/시·인)
- $C_p$  : 교통법규 및 운행규정 위반으로 인해 야기되는 패널티 비용 (원/건수)
- $\mu_h$  : 버스운행간격 평균
- $\sigma_h^2$  : 버스운행간격 분산
- $M_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i에서 다음 정류소 i+1까지 탑승승객 수(인)
- $N_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i에서의 대기승객 수(인)
- $H_{i,j,k}^t$  : 승객 j가 노선 k의 이용을 위해 정류소 i로 접근하는데 소요되는 시간(시)
- $ID_{i,j,k}^t$  : 승객 j가 노선 k의 이용을 위해 정류소 i로 접근하는데 소요되는 기타 비용(원)
- $p_i^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i에서 다음 정류소 i+1까지 탑승중인 승객수(인)
- $q_i^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i에서 버스를 기다리는 승객수 (인)
- $r_i^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i에서 다음 정류소 i+1까지의 주행시간(시)
- $s_i^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i에서 다음 정류소 i+1까지의 평균통행속도 (km/h)
- $d_i$  : 정류소 i에서 다음 정류소 i+1까지의 거리(km)
- $\tau_{i,k}^t$  : 정류소 i에서 노선 k의 체류시간(dwel time)(시)
- $\delta$  : 정류소에서의 평균 가감속시간(시)
- $F_k^t$  : 단위시간 t 동안 노선 k의 운행회수
- $E_{i,k}^t$  : 정류소 i에서의 노선 k의 하차승객 수(인)
- $B_{i,k}^t$  : 정류소 i에서의 노선 k의 승차승객 수(인)
- $a$  : 승객 당 평균 하차시간(시)
- $b$  : 승객 당 평균 승차시간(시)
- $ICF$  : 차내 혼잡 기준값
- $ICF_{max}$  : 차내 탑승 최대값 (용량-최대탑승인원 비율)
- $AWT_{i,k}$  : 정류소 i에서 노선 k의 평균 대기시간(시)
- $c$  : 버스용량(인)
- $\epsilon_{i,k}^t$  : 단위시간 t 동안 정류소 i에서 i+1까지 및 정류소 i에서 교통법규 또는 운행규정 위반 발생건수 (건)

## 2. 모형 구축

단위시간  $t$ 에서  $N$ 개의 정류소로 구성된 노선  $k$ 의 이용자 총교통비용, 정류소  $i$ 의 이용자 총교통비용 및 각 비용요소는 식(1)~식(3)과 같다.

노선  $k$ 가 운행하는 모든 정류소의 이용자 총교통비용

$$LTC_{i,k}^t = \sum_{i \in S^k} SC_{i,k}^t \quad (1)$$

$m$ 개 노선이 운행되는 정류소  $i$ 의 이용자 총교통비용

$$BTC_i^t = \sum_{j \in B^i} SC_{i,j}^t \quad (2)$$

노선  $k$ 의 정류소  $i$ 에서의 이용자 교통비용

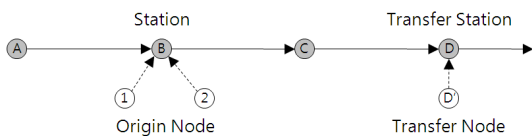
$$SC_{i,k}^t = A_{i,k}^t + W_{i,k}^t + R_{i,k}^t + C_{i,k}^t + P_{i,k}^t \quad (3)$$

### 1) 이용자 접근비용 (Passenger Access Cost)

이용자는 대중교통 이용을 위해 (Figure 3)과 같이 이용자의 집, 직장 등의 출발지(Origin Node)에서 정류소 또는 지하철역까지 도보, 자전거 또는 다른 교통수단 등을 이용하거나 환승지점(Transfer Node)을 통해 접근할 수 있다.

이용자 접근비용은 도보 등을 통해 정류소 또는 지하철역으로 접근하는데 보낸 시간을 시간가치로 환산한 비용, 택시 등 타 교통수단으로 접근한 경우의 이용요금과 시간비용, 승용차 이용 시의 유류비와 감가상각비 등 타 교통수단을 이용했을 때 소요되는 기타 비용(도보인 경우 기타비용은 0) 등의 합으로 구성되며, 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{i,k}^t = C_a \sum_{j=0}^{N_{i,k}^t} H_{i,j,k}^t + \sum_{j=0}^{N_{i,k}^t} ID_{i,j,k}^t \quad (4)$$



(Figure 3) Representation of Public Transit Network

### 2) 이용자 대기시간비용 (Passenger Waiting Time Cost)

이용자 대기시간비용은 정류소에서 승객들이 버스를 기다리며 보낸 시간을 시간가치로 환산한 비용이다. 이용자의 정류소 대기시간비용 산정 시 영향을 미치는 변수 중 하나인 승객의 도착분포는 대부분의 연구에서 균일분포를 따른다고 가정하고, 승객의 평균대기시간을 버스운행간격의 1/2로 모형에 적용하였다. 그러나 현실적으로 버스운행간격은 일정하게 유지될 수 없으며, 버스는 랜덤한 운행간격으로 정류소에 도착하게 된다. 따라서 이용자 대기시간비용은 버스의 운행시간간격과 해당 버스를 이용하는 버스 이용자수에 의하여 결정된다. 김원길(2009)은 식(5), 식(6)과 같이 교통카드로부터 수집되는 정류소별 버스운행관리시스템의 운행자료를 기반으로 버스 운행시간간격의 평균과 분산에 따라 승객의 평균대기시간에 따라 대기시간비용을 산출하여 실시간 버스운행간격 제어모형을 제시한바 있다. 본 연구에서는 기존 연구에서 제시된 이용자 대기시간비용 산출 식을 기반으로, 승객의 대기시간가치비용에 따른 노선  $k$ , 정류소  $i$ 에 대한 이용자 대기시간비용을 모형에 적용하였다.

$$AWT = \frac{1}{2} \mu_h + \frac{\sigma_h^2}{2\mu_h} \quad (5)$$

$$W_{i,k}^t = C_w q_i^t AWT_i^t \quad (6)$$

$$= C_w q_i^t \frac{\sigma_h^2 / \mu_h + \mu_h}{2}$$

### 3) 이용자 통행시간비용 (Passenger Riding Time Cost)

서울, 경기, 인천 등 수도권 통합요금제의 시행으로 약 95% 이상의 버스 이용자들이 하차태그를 사용하고 있다. 따라서 정류소 단위의 승차차 인원, 승객의 O-D 분석 등 대중교통 이용패턴 등에 대한 정확한 분석 또한 가능하게 되었다. 본 평가모형에서는 노선전체를 대상으로 한 승객의 평균탑승거리, 총 탑승객 수 등이 아닌 교통카드 데이터를 활용하여 정류소별 승차차수를 고려한 누적 재차인원수와 정류소간 평균주행시간, 정류소 평균 서비스시간 등 정류소 단위의 비용함수로 승객 통행시간비용을 구성하였다. 이용자 통행시간은 주행시간, 정류소 서비스시간 등 동일한 교통조건 하에서 운행횟수에 관계없이 항상 일정한 값을 갖게 된다. 즉, 대중교통 서비스 평가측면에서의 이용자 통행시간비용은 교통상황과 정류소에서의 서비스시간에만 영향을 받는 특징을 가지고 있다.

$$R_{i,k}^t = C_r P_i^t (r_i^t + \tau_i^t + \delta) \quad (7)$$

4) 이용자 차내 혼잡비용 (In-Vehicle Congestion Cost)

차내 혼잡비용은 버스 내 혼잡으로 인해 안전, 건강, 스트레스 등의 측면에서 승객들에게 주는 불편감을 환산하기 위한 비용요소로, 차내 혼잡비용은 차내 혼잡발생 기준 값인 ICF를 초과하는 경우에만 발생한다고 가정하였다. 또한 버스 승객수가 많더라도 현실적으로 버스에 탑승 가능한 최대 승객 수는 한정되어 있으므로 값은  $ICF_{max}$ 를 초과하지 않는다고 가정하였다.

(a) if  $\frac{M_{i,k}^t}{cF_k^t} > ICF$

$$C_{i,k}^t = C_d M_{i,k}^t (r_i^t + \tau_i^t + \delta) \left( \frac{M_{i,k}^t}{cF_k^t} - ICF \right) \quad (8)$$

(if  $\frac{M_{i,k}^t}{cF_k^t} > ICF_{max}$  then  $\frac{M_{i,k}^t}{cF_k^t} = ICF_{max}$ )

(b) if  $\frac{M_{i,k}^t}{cF_k^t} \leq ICF$ ,  $C_{i,k}^t = 0$  (9)

5) 교통법규, 운행규정 위반 등으로 인한 승객불편비용

이용자 접근성, 정류소 대기시간, 통행시간, 차내 혼잡 외 버스 이용자의 운행 서비스 측면에서 추가적으로 고려되어야 할 편의성 요소로는 버스의 운행속도 수준, 정류소에서의 운전태도, 교통법규 위반수준 등이 있다. 위의 비용요소들은 차내 혼잡과는 달리 교통법규 및 운행규정 위반으로 인해 승객에게 야기되는 불편과 관련된 비용으로, 식(10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{i,k}^t = C_p e_{i,k}^t (M_{i,k}^t / F_k^t) \quad (10)$$

3. 서비스 평가

일반적으로 정류소의 서비스수준은 운행빈도와 통행속도 등에 비례하고 대기승객수, 탑승승객수, 차내혼잡, 운행규정 및 교통법규 위반건수 등에 반비례한다. 본 연구에서는 정류소에서의 서비스수준을 정량적으로 평가, 비교하기 위하여 본 연구에서는 위 5가지 변수들과 대중교통 운행비용을 고려하는 김원길(2009)의 버스 운행계 획수립 모형에서 결정된 최적 서비스 운행횟수인  $F_k^t$ 를 기준으로 버스 서비스 평가모형을 적용하였다. 서비스

운행횟수  $F_k^t$ 와 각 정류소에서의 대중교통 이용자들의 총 교통비용인  $SC_{i,k}^t$ 를 각 정류소에서의 최적 이용자 교통비용인  $OC_k^t$ 와 비교, 평가하였다. 각 정류소에서의 대중교통 이용자 교통비용이 최적 이용자 교통비용보다 높은 경우 기대되는 대중교통 서비스 수준을 만족시키기 어렵다고 판단하였다. 또한, 서비스 수준이 낮은 정류소는 해당 정류소에서의 각 비용요소들을 검토하여 해당 정류소에서 대중교통 서비스 수준 저하를 야기시키는 요인들을 판별하였다.

IV. 모형의 적용 및 검증

1. 모형적용 대상 노선

대중교통 이용자 관점의 서비스 평가 모형의 적용을 위해 서울시 버스운행노선 중 472번 노선을 선정하였다. 472번 노선은 서울시의 광역(Red), 간선(Blue), 지선(Green), 순환(Yellow) 등 4가지 노선유형 중 인가거리 38.9km, 운행시간 147분이 소요되는 간선 노선이다. 모형적용 노선은 개포동 기점과 신촌 종점을 최소 4분, 최대 10분 간격으로 주중 일 210회, 토요일 174회, 일요일 142회 38대 인가대수(37대 운행대수, 1대 예비대수)의 버스로 왕복 운행한다. 472번 노선은 서울의 도심과 신촌, 강남 등 서울 부도심을 운행하므로 시간대별 버스이용 수요, 교통혼잡 등에 따른 교통비용의 변화를 잘 반영할 수 있으리라 판단하였다.

2. 모형적용 파라미터 및 제약조건

모형에 적용한 파라미터 중 차량용량 c는 KHCM의 차내 서비스기준을 고려하여 간선버스 LOS F에 해당하는 58명으로 적용하였다. ICF(In-Vehicle Congestion Factor)는 1.0, ICFmax는 LOS F에서의 최대탑승인원과 차량용량의 비율인 1.5로 가정하였다. 서비스수준 평가를 위한 분석단위시간은 해당 노선의 운행거리와 운행시간 등을 고려하여 1시간으로 설정하였다. 또한, 시간가치비용의 적용을 위해서 김원길(2009)이 모형에서 적용 하였던 GNI(Gross National Income, 국민총소득)를 기준으로 시간가치비용을 산출하여 모형에 적용하였다. 본 연구에서는 통행시간, 대기시간 등의 시간가치비용을 원가개념에 따라 2011년 한국은행에서 발표한 2010년



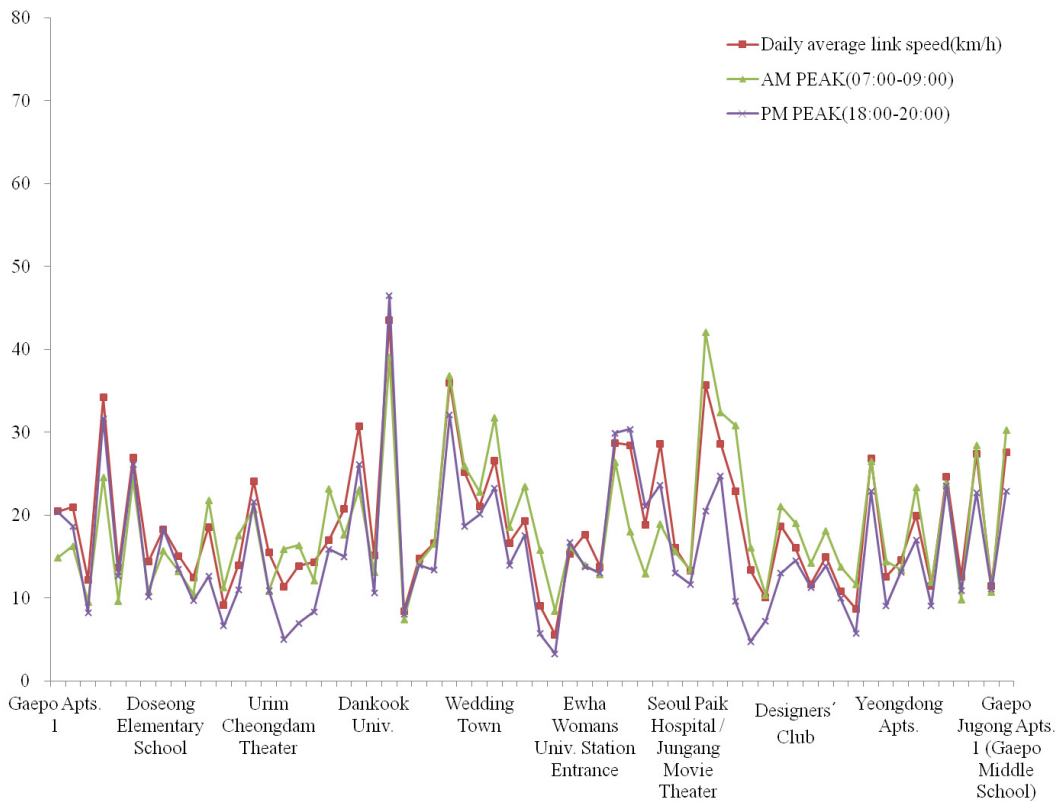
국민계정 자료를 활용하여 2010년 기준 1인당 국민소득인 GNI \$20,759(2009년 대비 \$3,566 증가)를 시간가치비용으로 환산한 3,634원/시·인(\$1=1,150원, 1일 18시간 기준)을 적용하였다. 또한, 본 연구에서 추가로 고려한 교통법규 및 운행규정 위반 등으로 야기되는 승객불편에 대한 패널티 비용은 시간가치비용의 5%로 가정하고 모형에 적용하였다. 본 연구에서 패널티 비용을 5%로 가정, 모형에 적용한 것은 법규 또는 규정위반에 따라 승객불편을 야기하는 패널티 비용에 대한 정량화된 기존 연구나 방법이 없으며, 5%로 가정하고 모형에 적용하더라도 모형 자체에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 판단하였다.

모형에서 제시한 비용요소 중 이용자 접근비용은 버스 이용자가 정류소까지의 도보 또는 자전거, 승용차 등 타 교통수단을 이용하여 접근하는데 소요되는 시간 가치 환산비용과 승용차 등 다른 교통수단 이용 시의 유류비와 감가상각비 등으로 구성된다. 그러나 실제 개별 대중교통 이용자의 접근거리, 접근비용 등에 테

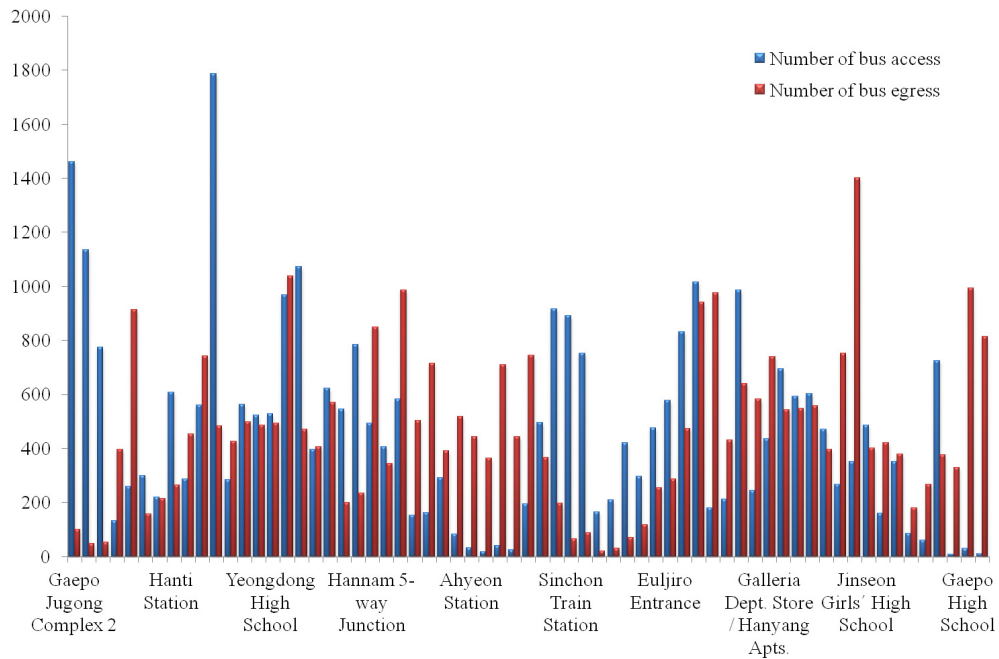
이터 획득이 어려워 이용자 접근비용은 모형 적용 시 제외하였다.

### 3. 수집자료 분석

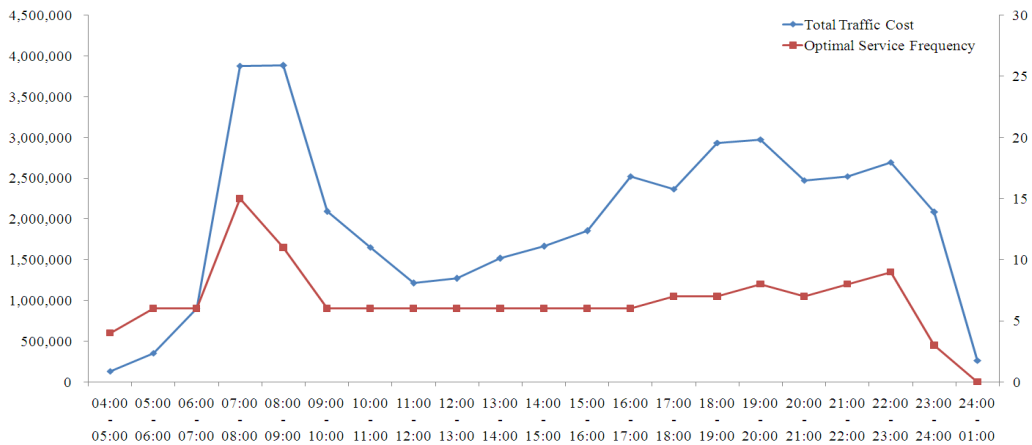
모형의 적용 및 검증을 위해 472번 노선에 대하여 화요일 평일 1일간의 버스운행 자료와 교통카드 자료를 이용하여 모형에 적용하였다. <Figure 4>는 472번 노선의 정류소에서의 서비스시간을 제외한 정류소간 평균주행속도를 보여주고 있다. 평균주행속도는 일평균 27.6km/h였으며, 오전첨두(07:00~09:00)시 30.2km/h, 오후 첨두(18:00~20:00)시 22.9km/h로 나타났다. 해당 노선은 서울 도심부와 강남, 신촌 등의 부도심부 등 일부 상습정체구간에서는 하루 종일 심각한 혼잡을 경험하는 것으로 나타났다. 정류소별 승하차 수요는 <Figure 5>와 같이 첨두시 통근, 통학 등의 통행목적으로 일부 정류소에서 환승 수요가 높은 것으로 나타났다. 기점에서 회차지인 신촌 방향의 선릉역 탑승, 회차지에서 종점방향



<Figure 4> Running Speed Changes by Station



〈Figure 5〉 Number of Boarding & Egressing Demands by Station



〈Figure 6〉 Comparison of Total Traffic Cost and Optimal Service Frequency by Time Period

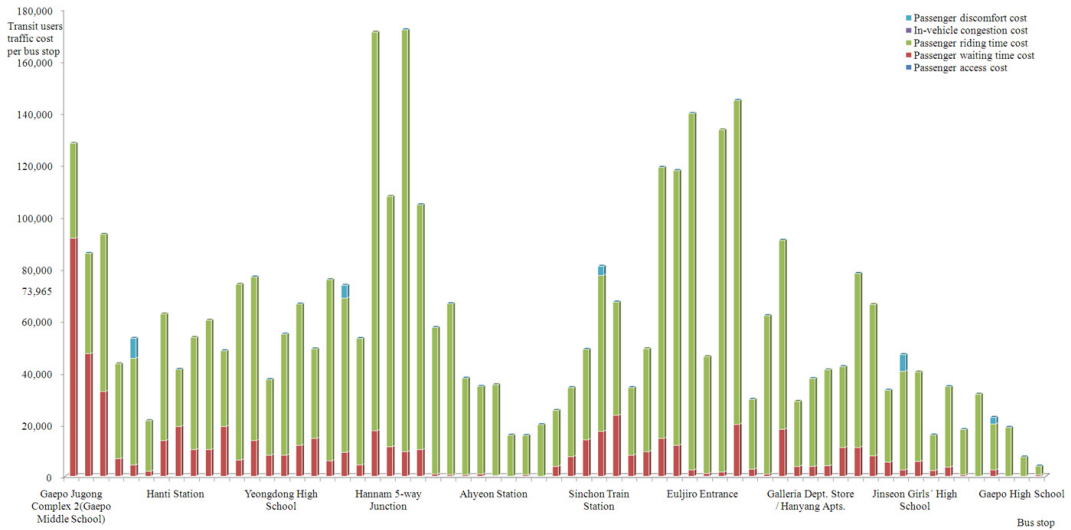
의 선릉역 하차 등 일부 정류소에서는 지하철과의 환승으로 인해 승차수요 또는 하차수요가 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

#### 4. 모형 적용을 통한 서비스 평가결과

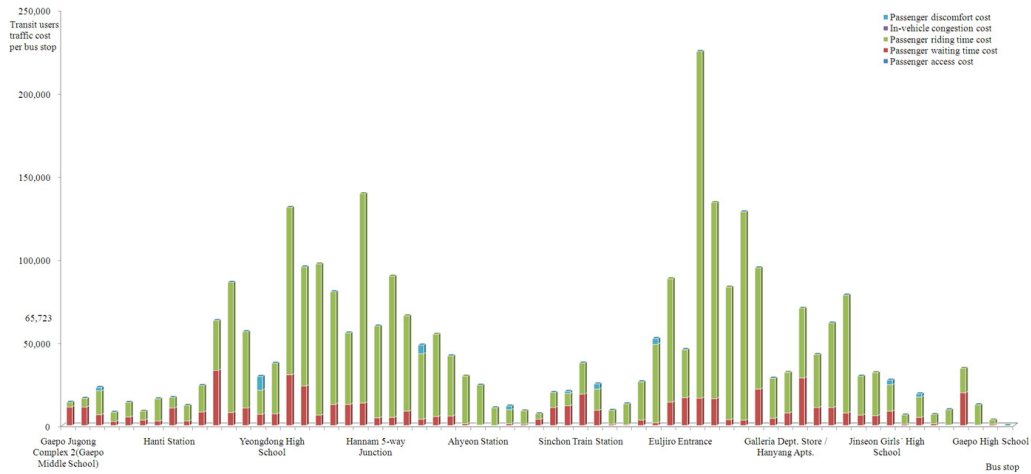
이용자 측면에서 정류소에서의 이상적인 서비스수준은 낮은 대기시간비용과 통행시간비용, 차내혼잡과 운행

규정 및 교통법규 위반 등으로 인한 승객불편이 발생하지 않는 상태이다. 본 연구에서는 정류소별 대중교통 이용자 교통비용인  $SC_{i,k}^t$ 에 따라 대중교통 서비스 수준을 평가하기 위하여 최적 서비스 운행횟수인  $F_k^t$ 와 최적 정류소 비용인  $OC_k^t$ 를 사용하였다. 〈Figure 6〉은 각 단위 시간별 총 대중교통 이용자 교통비용인  $LTC_k^t$ 와 최적 서비스 운행횟수인  $F_k^t$ 를 보여주고 있다. 모형 적용결과, 버스 이용자 측면의 총 교통비용은 오전 8~9시, 오전 7





〈Figure 7〉 Transit User Traffic Cost by Station (7:00~08:00 AM)



〈Figure 8〉 Transit User Traffic Cost by Station (7:00~08:00 PM)

시~8시, 오후 7시~8시, 오후 6시~7시 순으로 높은 것으로 분석되었으며, 데이터 분석 및 모형 적용결과, 차내 혼잡은 늦은 귀가로 인하여 오후 11시~12시 일부 정류소에서 발생하였으나 나머지 시간대에는 발생하지 않았다.

기존 최적 운행횟수 모형 적용결과, 단위시간별 최적 운행횟수인  $F_k^*$  와 최적 정류소 비용인  $oc_k^*$  가 결정하였으며, 총 대중교통 이용자 교통비용  $sc_{i,k}^*$  가 최적 정류소 비용  $oc_k^*$  보다 낮은 경우 서비스 수준이 높은 것으로 판단하였다. 〈Figure 7〉과 〈Figure 8〉은 각각 오전 침두(오전 7시~8시), 오후 침두(오후 7시~8시) 시 발생한

교통비용을 정류소별로 도시한 것이다. A 영역은 이용자 통행시간비용, B 영역은 정류소 대기시간비용, C 영역은 승객불편비용 측면에서 최적 운행횟수 대비 낮은 서비스수준의 정류소이다. 결국, 정류소의 서비스수준은 운행횟수, 통행속도 등에 비례하고 대기승객 수, 탑승승객 수, 차내 혼잡, 운행규정 및 교통법규 위반건수 등에 반비례함을 알 수 있다.

〈Figure 7〉, 〈Figure 8〉의 A, B, C 영역은 각각 이용자 탑승시간, 정류소에서의 이용자 대기시간, 승객 불편 측면에서 높은 비용의 정류소를 나타내고 있다. 또한, 이 정류소들은 최적 운행횟수 측면에서 낮은 서비스

대중교통 이용자 관점의 서비스수준 평가 모형 개발

No.	Station Name	07:00-08:00	19:00-20:00	No.	Station Name	07:00-08:00	19:00-20:00
1	Gaepo Jugong Complex 2(Gaepo Middle School)	W		34	Myeongmulgeon(Street)		
2	Gaepo Apts. 1	W		35	Severance Hospital		
3	Gaepo High School	W	V	36	Sinchon Train Station	V	
4	Gaeil Elementary School / Guryong Middle School			37	Ewha Womans Univ. Station Entrance		V
5	Dogok Station	V		38	Ewha Womans Univ. Station		
6	Sookmyung Girls' High School			39	Ahyeon-dong		
7	Dogok Apts.			40	Gullebandari(Ahyeon Station)	R	
8	Hanti Station			41	Chong Gun Dang(Chungjungro Station)	R	V
9	Doseong Elementary School			42	Seosomun(City Hall Annex Entrance)	R	R
10	Junseon Girls' High School			43	Euljiro Entrance		
11	Sunreung Station			44	Seoul Paik Hospital / Jungang Movie Theater	R	R
12	Sageon			45	Dankook Univ.	R	R
13	Korea National Housing Corporation			46	Sinsa Middle School		R
14	Gangnam-gu Office Station		V	47	Gwangrim Church		R
15	Yeongdong High School			48	Hyundai Apts.(Apgejeong Station)	R	R
16	Urim Cheongdam Theater		R	49	Police Box		
17	Galleria Dept. Store / Hanyang Apts.		R	50	Galleria Dept. Store / Hanyang Apts.		
18	Police Box		R	51	Designers' Club		R
19	Hyundai Apts.(Apgejeong Station)	V	R	52	Hyundai Apts.		
20	Gwangrim Church			53	Yeongdong High School	R	
21	Sinsa Middle School	R	R	54	Korea National Housing Corporation		R
22	Hannam 5-way Junction	R		55	Gangnam Community Health Center Intersection		
23	Dankook Univ.	R	R	56	Sunreung Station	V	
24	Pyunghwa Broadcasting Corporation Paik Hospital	R	R	57	Junseon Girls' High School		V
25	Euljiro Entrance(Industrial Bank of Korea)		V	58	Yeongdong Apts.		
26	Euljiro Entrance			59	Hanti Station(Lotte Dept. Store)		V
27	Seosomun / Seoul City Hall Annex			60	Dogok Apts.		
28	Chong Gun Dang(Chungjungro Station)			61	Chungang Univ. High School		
29	Ahyeon Station			62	Dogok Station	V	
30	Wedding Town			63	Guryong Middle School		
31	Ewha Womans Univ. Station		V	64	Gaepo High School		
32	Ewha Womans Univ. Station			65	Gaepo Jugong Apts. 1 (Gaepo Middle School)		
33	Noksak Movie Theater						

W : High Waiting Time Cost   
 R : High Riding Time Cost   
 C : High In-Vehicle Congestion Cost   
 V : Violating Traffic Regulations Occurred

〈Figure 9〉 Evaluation Results for Public Transit Service

수준의 정류소에 해당하게 된다. 특히, 교통법규 위반 등으로 발생한 승객불편비용에 해당하는 C 영역 이용자 교통비용이 최적 정류소 비용보다 낮다고 하더라도 서비스 수준을 떨어뜨리는 요인이 된다. 결과적으로, 〈Figure 7〉과 〈Figure 8〉에 나타난 것처럼 대중교통 이용자의 서비스 수준을 떨어뜨리는 주요 요인은 각 정류소별로 서로 상이함을 알 수 있다. 따라서, 대중교통 서비스 수준을 향상시키기 위한 행정적인 조치나 대응방안 또한 서로 달라야 할 것이다. 예를 들어, 새로운 정류소를 추가로 만들거나 정류소의 위치를 이전하거나 환승이용을 위하여 지선 노선을 운행하는 것 등은 정류소까지의 접근성 향상을 위해 취할 수 있는 조치들에 해당한다.

만약 승객대기시간이나 차내 혼잡을 줄이고자 한다면, 대중교통 행정 담당자는 해당 노선의 운행횟수를 증가시켜야 한다. 또한, 대중교통 탑승시간을 줄이기 위한 교통 혼잡 완화대책과 교통법규 위반 없이 안전한 대중교통 운행을 위해서는 운전자 교육 등의 행정적인 조치가 필요할 것이다.

〈Figure 9〉는 오전 7시~8시, 오후 7시~8시 동안 대중교통 서비스 수준을 떨어뜨리는 높은 대중교통 이용자 교통비용의 정류소들을 보여주고 있다.

모델 적용결과, 차내혼잡은 발생하지 않았으며, 몇몇 정류소들은 통학·통근수요와 지하철 환승수요, 도심 또는 부도심에서의 교통정체 등으로 인하여 높은 이용자 대기시간 또는 통행시간을 보여주었다.

### V. 요약 및 결론

본 연구에서는 BMS와 교통카드를 통해 수집되는 구간통행시간, 정류소 서비스시간, 운행규정 위반 등의 버스 운행자료와 대중교통 이용자의 정류소별 승하차 수요 자료 등의 자료를 활용하여 제공되는 서비스를 이용자 비용함수로 모델링하여 대중교통 이용자 서비스 관점의 서비스 평가모형을 개발하였다. 서비스수준 평가결과, 동일한 운행횟수로 운행하더라도 정류소 또는 구간별 서로 다른 대중교통 이용수요와 교통상황 등 여러 가지 요인들로 인하여 이용자 측면에서의 서비스수준은 서로 상이한 것으로 분석되었다.

이러한 대중교통 서비스에 대한 평가모형은 배차간격 조정, 차량 증차, 통행시간 감소를 위한 교통혼잡 대응, 교통법규 및 운행규정 위반에 따른 행정조치나 안전운행 교육 등을 통해 대중교통 이용자 측면에서의 품질개

선을 위한 정량적인 모니터링 기법으로 활용될 수 있리라 기대된다. 또한, 본 연구에서 적용한 정류소별 서비스 평가 외 광역노선/간선노선/지선/순환선 등 노선별 서비스수준을 비교, 평가하는 것도 의미가 있으며, 본 서비스 평가모형에서 적용한 이용자 측면의 평가지표 외 추가적인 다른 평가지표들에 대한 추가적인 고려가 필요하다고 판단된다. 또한, 본 모형에서는 기본 비용요소로 제시되었으나 실제 모형적용 시에는 제외된 이용자 접근비용은 실제 대중교통을 이용하는 이용자 입장에서는 대중교통 이용여부를 결정하는 중요한 요인이다. 향후 환승을 포함한 접근비용의 산정방법, 모형 적용 및 분석에 대한 추가 연구와 교통법규, 운행규정 위반 등으로 인한 승객불편에 대한 패널티 비용 등에 대한 추가 연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(과제번호 07교통체계-지능07)에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

1. KHO, Seung Young·PARK, Jun Sik(2005), "Determining Level-of-Service Criteria of Headway Adherence", Journal of Korean Society of Transportation, Vol.23, No.2, Korean Society of Transportation, pp.151~160.
2. Korea Highway Capacity Manual(2004), Korean Society of Transportation.
3. Avishai Ceder, Public Transit Planning and Operation - Theory, Modeling and Practice (2007), Butterworth-Heiemann.
4. Wongil Kim, Bongsoo Son, Jin-Hyuk Chung, Eungcheol Kim(2009), "Development of Real-Time Optimal Bus Scheduling and Headway Control Models", Transportation Research Record R2111 : Journal of the Transportation Research Board, pp.31~41.
5. TCRP Report 100(2003), Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington DC.
6. TCRP Report 30(1998), Transit Scheduling : Basic and Advanced Manuals, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington DC.
7. www.bok.or.kr, 2010 National Account, The Bank of Korea.

- ☞ 주 작성자 : 김원길
- ☞ 교신저자 : 김원길
- ☞ 논문투고일 : 2011. 11. 19
- ☞ 논문심사일 : 2011. 12. 15 (1차)  
2012. 1. 4 (2차)
- ☞ 심사판정일 : 2012. 1. 4
- ☞ 반론접수기한 : 2012. 6. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필