

수요탄력적 버스배차관리를 위한 평가지표 개발 및 적용

A Development of Evaluation Index for Bus Demand-Elastic Schedule Management

이 호 상* 장 현 호** 김 영 찬*** 황 경 수****
(Ho-Sang Lee) (Hyun-Ho Chang) (Young-Chan Kim) (Kyong-Soo Hwang)

요 약

최근 각 지자체별로 ITS에서 방대한 양의 APTS(BMS, 교통카드 등)자료가 수집되고 있으나 버스배차관리에 활용되는 지표는 도착정시성과 차두간격균등성에 국한되어 있다. 수집되는 자료를 버스운행관리에 충분히 활용하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 이용객 수요를 고려한 운수회사의 배차관리 수준을 평가하기 위해 상관계수를 이용하여 수요탄력적 배차관리지표(DEI, Demand Elastic Index)를 개발하였다. 합리적인 개발지표의 적용을 위한 이상치를 유발시키는 자료에 대한 보정방안을 강구하여 적용하였으며, 노선별 제약조건(운행대수, 배차간격 등)을 고려하여 지표의 형평성을 제고하였다. 개발된 평가지표를 서울시 전체노선(356개)에 적용하고, 노선특성(일평균배차간격, 일일수집급, 일평균운행시간, 운행대수)에 따른 적용성(형평성)을 확인하였다. 본 연구의 개발지표는 ATPS자료가 수집되는 노선의 배차계획 및 관리 수준의 평가가 가능하며, 효율적인 배차관리에 활용성이 클 것으로 생각된다.

Abstract

Although enormous data have been collected in major cities (Korea) by APTS(Advanced Public Transit Systems), most of studies related to bus schedule management evaluation have confined to headway adherence and on-time performance. Therefore, bus operation management have been very lack of using APTS data. This study uses coefficient of correlation to evaluate bus company's schedule management level. However, direct application of coefficient of correlation has inequitable problem because of many limitation(number of vehicle, headway, etc). and so variable calibration method was developed and applied to cope with these problems. Thus, demand-elastic management evaluation index was developed. For verifying the equity of developed index, it is applied to Seoul bus routes. It is expected for the developed index to contribute into the demand-elastic management of bus schedule.

Key words: Bus schedule management, evaluation index, level of service, correlation analysis, bus demand

* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사과정

** 공저자 : 서울대학교 환경대학원 박사과정

*** 공저자 : 서울시립대학교 교통공학과 교수

**** 공저자 : 제주대학교 행정학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 2월 17일

† 논문심사일 : 2009년 4월 20일

† 게재확정일 : 2009년 4월 21일

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

1) 연구배경

최근 유가급등으로 승용차에 비해 고용량, 고효율 교통수단인 대중교통(버스)의 중요성이 크게 부각되고 있다. 하지만, 시내버스는 이익최대화를 목표로 하는 민간부문에서 운영되는 만큼, 수익이 떨어지는 노선은 공급량을 줄이게 된다. 이로 인해 배차간격이 길어져 서비스수준이 저하되고, 승객의 버스이용 기피로 버스회사의 경영여건이 악화되는 악순환으로 시민에게 큰 불편을 야기 시키고 있다. 이에 대중교통의 공공성 확보를 위해 서울시 등 일부 지자체에서는 준공영제(공공관리, 민간운영)를 도입하였다.

시내버스 운수업체의 배차관리가 대부분 오랜 경험을 갖고 있는 배차관리원의 비과학적인 판단에 의해 운영되고 있으며, 특히 준공영제를 실시하고 있는 운수회사의 운행관리는 안정적인 인가 운행횟수 채우기에 초점이 맞추어져 있어 수요와 맞지 않는 비효율적인 관리가 이루어지고 있다 [1].

많은 자치단체에서는 ITS로부터 방대한 APTS (Advanced Public Transit Systems)자료가 수집되고 있으나, 대부분이 배차간격, 통행시간 산정 등의 매우 기초적인 수준에 제한적으로만 활용하고 있다. 수집되는 자료의 충분한 분석을 통한 깊이 있는 운행관리평가와 운수업체(운전자) 스스로 운행관리를 유도하기 위해서 객관적인 평가지표가 요구되어 지고 있다.

하지만, 지금까지의 버스 배차관리와 관련된 평가 관리 지표는 대부분 도착정시성과 차두간격균등성에 관한 것이다. 특히, 도착정시성은 배차간격이 짧은 노선이 많은 우리나라 대도시에 적용하기에 어려운 문제가 있으며, 차두간격균등성은 노선특성(도로여건, 승객여건 등)의 영향이 크기 때문에, 관리자 및 운전자의 노력에 의한 개선여지가 크지 않아 평가지표라기 보다는 오히려 관리지표로서 의미가 있다.

수요탄력적 배차관리는 시민입장에서 대기시간 및 차내혼잡을 감소시키기 때문에 매우 중요한 관

리기법이다. 하지만, 수요를 고려한 배차관리수준 평가지표의 연구는 매우 미흡한 실정이다.

2) 연구목적

본 연구에서는 수요탄력적 배차관리의 기법이 이용시민에게 많은 편익을 줄 수 있는 관리기법이기예 노선별로 수요탄력적인 배차관리 수준을 정량적으로 평가할 수 있는 지표를 개발하는 것을 목표로 한다.

평가지표는 과학적인 자료를 기반으로 개발되어야 하며, 개발지표는 형평성 및 객관성을 확보하고 지속적인 평가관리가 가능하여야 한다. 또한, 수요탄력적 배차관리 유도를 위해 서울시에서 관리 중인 상세배차계획 수립/관리에는 많은 시간과 인력을 필요로 하기 때문에, 이를 대폭 줄일 수 있는 새로운 평가지표를 개발하고자 한다.

개발지표를 통하여 운수업체의 자발적인 배차관리화를 유도하고 버스이용승객의 편의를 증진에 도움을 주고자 한다.

2. 연구방법

새로운 평가지표를 개발하기에 앞서 기존 버스배차관리와 관련된 연구문헌 고찰을 통하여 기존연구의 한계 및 문제점을 도출한다.

평가지표 개발 및 적용시에는 서울시의 버스카드 자료(일일운행이력자료)를 이용하며, 일일운행이력 자료에서 GPS 및 인식오류 등으로 발생한 이상자료는 분석시에 제외한다.

우선 평가지표의 요건을 먼저 수립하고, 시간대별 이용수요 패턴 대비 버스공급정도를 수요탄력적 배차관리 평가의 기본개념으로 정하였다. 평가지표는 버스이용수요와 버스공급량 간의 상관계수를 이용하고자 한다. 하지만, 버스공급량(운행횟수)은 보유하고 있는 운행대수, 정책적 배차간격 등의 제약으로 인해 현실적으로 수요에 맞추어 버스를 공급하지 못하는 제약사항이 있다.

평가지표 개발시 제약사항 고려방안, 버스공급량 산정방안 등에 관하여 여러 방안을 수립하고, 그 중 가장 합리적인 방안을 적용하도록 한다.

개발된 평가지표의 적용성을 확인하기 위하여 노선특성별(일평균배차간격, 일일수집금, 운행대수, 평균운행시간) 평가지표의 분포를 검토하여 평가지표의 객관성 및 형평성을 확인한다.

II. 관련문헌 고찰

1. 국내외 연구

1) 국내연구

김성인(1998)[2]은 효율적인 버스운행관리를 위해 승객기회손실비용과 운영비용을 최소화(식 (1))하는 적정 운행관리점 위치와 개수를 구하는 모형을 제시하였으며, 개발모형을 현실 노선에 시뮬레이션 적용하여 효율성을 검증하였다.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n [(CT + \alpha \cdot P_i) \cdot X_i + P_i \cdot (1 - X_i)] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{s.t.} \\ & \sum_{i=1}^n X_i \leq n \\ & \sum_{i=1}^n CT \cdot X_i \leq M \\ & P_i = N_i \cdot L_i \cdot C \\ & L_i = \sum_{j=1}^i \beta_j \cdot \left[\prod_{k=j}^i (1 - X_k) \right] \end{aligned}$$

여기서, X_i : 운행관리점 선택여부(Binary variable)
 CT : 타코설치 및 운영비용(원/시간/개)
 P_i : 승객기회손실비용(원/시간)
 N_i : i 정류소 승객수
 L_i : 운행관리점부터 i 정류장까지 누적승객이탈율
 C : 이탈비용(500원/사람)
 α : 운행관리점일 때 승객이탈 감소율
 β_j : j 랭크승객 이탈율
 M : 타코시스템 투자가능 비용

이상용(2003)[3]은 버스노선체계에 대한 합리적이고 형평성있는 평가지표로 접근성, 승차안락성, 환승률, 노선직결도, 운행생산성, 형평성, 차량소요 대수를 설정하고, 시흥시에 시험적용하여 지표의 합리적 타당성을 보였다.

윤혁렬(2005)[4]은 서울시 버스체계개편의 따른 버스서비스의 평가를 위해 지표를 이용자측면, 운영자측면, 관리자측면, 사회적측면으로 나누어 정리·개

발하고 측단위로 적용하여 분석결과를 제시하였다. 이용자 측면의 신뢰성 항목에 배차관리와 관련된 배차간격 준수 등의 지표가 포함되어 있다.

고승영(2005)[5, 6]은 정류소를 통과하는 버스간 배차간격 분산계수를 지표화한 차두간격 균등성 지표에 대하여 3가지 적용방법론을 제안하고, 합리적인 평가기준을 제시하였다.

양지영(2005)[7]은 정시성 척도로 시공도상에서 차량간 배차간격이 유지되지 않는 면적을 이용하여 스케줄기반과 차두시간기반으로 나누어 각각 차량 및 정류소 기준의 평가지표를 개발하였으며, 안양시 BIS자료를 적용하여 개발지표의 합리성을 보였으며, 활용방안도 제시하였다.

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{1}{K-1} \sum_{k=2}^k \frac{A_{k-1}}{A_{k-1}^{h_i}} & I_2 &= \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{Sl_j}{h_i^k} \\ I_3 &= \frac{1}{K-1} \sum_{k=2}^k \frac{A_{k-1}^{h_i}}{A_{k-1}} & I_4 &= \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{Sl_j}{h_i^k} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, I_1, I_2 : 차두기반 정시성 지표(차량, 정류소)
 I_3, I_4 : 스케줄기반 정시성 지표(차량, 정류소)
 K : 버스운행횟수
 J : 정류장 개수
 Sl_j : $\frac{1}{K-1} \sum_{k=2}^K (h_{k-1}^j - h_i)$
 h_i : 운행계획상 차두간격(min)
 h_{k-1}^j : 정류장 j 에서 k 차량과 앞차와의 차두간격
 $A_{k-1}^{h_i}$: 배차간격 h_i 인 k 번째 차량의 앞차와의 레직 차이
 $\int_0^d [k'd - kd]dD$
 A_{k-1} : k 번째 차량의 운행계획상 레직과 실제운행 레직 차이
 $\int_0^d [k'd - (k-1)d]dD$
 Sl_j : $-\frac{1}{K-1} \left[\sum_{k=1}^j |t_K^j - t_K^j| - \alpha H \right]$
 $t_K^j(t_K^j)$: K 버스의 j 정류장예정(실제) 도착시간

이호상(2008)[1]은 서울시의 APTS(BMS, 및 교통카드)자료를 활용한 평가지표(배차정시성, 물림율, 도착시간 준수율)를 개발하고, 분석방법론을 제시하였으며, 장기간의 개발지표의 분석관리·평가로 운행수준의 향상된 결과를 보여, 타 지자체에서의 활용 가능성을 제시하였다. 특히, 버스이용수요를 고려하기 위하여 사전 배차계획을 작성하고, 이의 준수

정도를 판단하기 위해 차두간격균등성 지표의 변형을 통해 적용방법론(배차정시성)을 제시하였으나, 모든 노선의 배차계획 수립에 많은 시간이 소요되고, 수요패턴 변화시 적절한 시점에 배차계획을 재수립하는데 어려움이 있다.

1) 국외연구

Benn. H. P.(1995)[8]는 미국내 버스운영기관에 설문조사를 실시하여 노선의 평가기준을 정량적/정성적인 것을 모두 포함하는 노선설계, 버스운행, 경제성/생산성, 서비스제공, 승객편의/안전의 5가지 기준을 제시하였으며, 배차관리와 관련한 기준으로 서비스제공측면에 정시도착성 및 차두간격 균등성을 제시하였다.

<표 1> 정시도착성(차두간격 균등성) 기준
<Table 1> Criterion of headway adherence

기준 시간	50대 이하	50~200대	201~500대	501~1,000대	1,000대 이상	계 (회사수)
1분	1 (20)	0 (22)	0 (11)	1 (7)	0 (5)	2 (65)
2분	1 (1)	3 (6)	1 (1)	1 (0)	0 (1)	6 (9)
4분	4 (3)	6 (0)	1 (0)	0 (0)	1 (1)	12 (4)
5분	11 (1)	9 (0)	4 (0)	2 (0)	4 (0)	30 (1)
5분 이상	14 (6)	11 (1)	6 (0)	3 (0)	2 (0)	36 (7)
계 (회사수)	31 (31)	29 (29)	12 (12)	7 (7)	7 (7)	86 (86)

<표 2> 서비스수준 평가기준
<Table 2> Evaluation criterion of LOS

서비스 수준	TCQSM(1999)		TCQSM(2003)	
	정시도착성 비율 ^{주1)}	차두간격 균등성 ^{주2)}	정시도착성 비율 ^{주1)}	차두간격 균등성 ^{주2)}
A	97.5-100.0%	0.00-0.10	95.0-100.0%	0.00-0.21
B	95.0-97.4%	0.11-0.20	90.0-94.9%	0.22-0.30
C	90.0-94.9%	0.21-0.30	85.0-89.9%	0.31-0.39
D	85.0-89.9%	0.31-0.40	80.0-84.9%	0.40-0.52
E	90.0-84.9%	0.41-0.50	75.0-79.9%	0.53-0.74
F	<80.0%	>0.50	<75.0%	>0.75

주1) 배차간격 10분 이상인 노선

주2) 배차간격 10분 이하인 노선

TCQSM(1999, 2003)[9,10]은 외국에서 버스관리의 주요 지침서로 활용하는 보고서로 버스의 성과척도를 운영자측면, 이용자측면, 차량/운전자 측면으로 구분하였다. 배차관리와 관련된 사항은 이용자측면의 availability 항목에 정시도착성, 차두간격균등성이 있으며, 평가기준은 <표 2>와 같이 제시하였다.

Robert L. Bertini(2003)[11]는 오레곤주 Portland시의 버스운수회사 TriMet에서 개발한 Bus Dispatch System(BDS)에서 수집된 방대한 자료분석을 통하여 버스신뢰성 및 서비스질 향상에 도움이 될 수 있다고 주장하였다. BDS는 AVL(Auto Vehicle Location), APC(Automatic Passenger Counters), 통신장비, 중앙배차센터로 구성되는 시스템이다.

Ahmed El-Geneidy(2007)[12]는 미네소타주 Twin시의 주요 대중교통기관인 Metro Transit가 AVL(Auto Vehicle Location) 및 APC(Automatic Passenger Counters) 두 시스템에서 수집되는 자료를 이용하여 대중교통의 신뢰성과 성과척도(통행시간, 배차간격 편차 등) 문제점에 대한 원인분석과 운영개선에 활용이 가능하다는 것을 보여주었다.

3) 시사점

국내의 관련문헌 고찰결과, 배차관리와 연관된 버스평가지표는 정해진 시간에 버스의 도착 준수여부를 확인하는 도착정시성(On-time performance)과 배차간격 분산계수를 이용한 차두간격 균등성(Headway adherence)에 국한되어 연구가 진행되어 왔다. 도착정시성은 배차간격 시간표 작성 및 관리 측면에서 배차간격이 짧은 버스노선이 많은 우리나라에 적용하기에 한계가 있으며, 차두간격 균등성은 운행관리노력 보다 노선의 운행특성(노선거리, 운행대수, 승객수, 정류소개수 등) 영향을 많이 받기 때문에 평가지표라기 보다는 오히려 관리지표로써 의미가 있다.

국내외적으로 수요대응 배차관리수준을 평가하기 위한 지표개발은 자료수집(운영이력 및 이용수요 등) 및 제약조건(운행대수, 배차간격 등) 고려가 어려워 관련연구가 미흡한 실정이다.

2. 상관분석(Correlation Analysis)

상관분석은 두 변수간의 관계가 명확하지 않아 종속관계를 정의할 수 없는 경우, 상호의존도를 직선적으로 정량화하는 기법이다. 따라서, 비선형적 관계의 경우에 상관성이 없는 것으로 나타나는 경우도 있으므로 직선적 관계가 예상될 때에만 사용하여야 한다.

일반적으로 상관관계분석은 변수들 간의 관련성을 분석하는데 유용하게 사용 될 수 있다. 즉, 하나의 변수가 다른 변수와 어느 정도 밀접한 관련성(상관계수)을 갖고 변화하는지를 알아보기 위해 사용한다. 상관분석은 변수간 영향도의 고려여부에 따라 단순상관분석과 편상관분석으로 나눌 수 있다.

1) 단순상관분석(bivariate correlation analysis)

상관분석에서 사용하는 상관계수는 보통 두변수가 모두 등간, 비율척도로 측정되었을 때 적용하는 Pearson상관계수를 의미하며, 상관계수(r_{xy})는 식 (3)과 같이 변수간의 측정단위를 표준화하기 위하여 표준편차로 나누어 계산된다.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{식(3)}$$

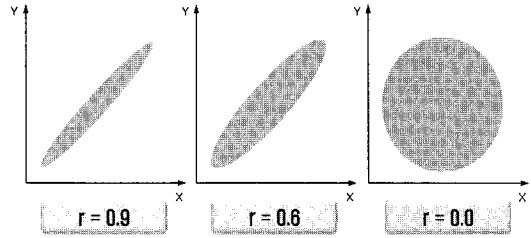
여기서, r_{xy} : 변수X와 Y의 상관계수
 S_{xy} : 변수X와 Y의 공분산
 $S_{x(y)}$: 변수X(Y)의 표준편차
 X_i : 변수X의 i번째 값
 Y_i : 변수Y의 i번째 값
 \bar{X} : 변수X의 평균
 \bar{Y} : 변수Y의 평균

2) 편상관분석(partial correlation analysis)

두 변수이상의 상관관계 분석시 변수간에 영향을 미치는 특정변수를 통제하여 분석하는 기법으로, 예를 들어 분석변수가 3개인 경우 변수간의 상관계수의 문제가 발생하는 변수만 부분적으로 소거하고 나머지 변수에 대한 상관을 알기 위하여 사용한다.

3) 상관계수의 의미

상관계수는 두 변수(X, Y)사이의 선형관계성을 나타내는 값으로, $-1 \leq r \leq 1$ 의 값을 갖게 된다. (-)값은



<그림 1> 산점도 분포에 따른 상관계수
 <Fig. 1> Correlation coefficient by data distribution

음의 상관관계 (+)는 양의 상관관계가 있음 의미하며, <그림 1>은 양의 상관관계에서 변수간의 분포에 따른 상관계수 변화를 나타낸 것이다.

Ⅲ. 평가지표 개발

1. 개발방향 및 내용

1) 평가지표의 요건

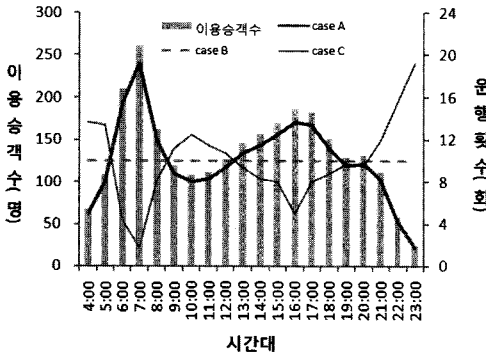
본 연구에서 개발하려는 수요탄력적 배차관리 실태 평가지표는 아래와 같은 요건에 부합하여야 한다.

- ① 평가목적에 부합해야 함.
- ② 합리적이고 객관적이어야 함.
- ③ 간단하고 이해가 용이해야 함.
- ④ 정량적 이어야 함.
- ⑤ 평가적용이 가능해야 함. (자료 활용용이성 포함)
- ⑥ 운수회사에 의한 지표 개선이 가능해야 함.

2) 평가개념

일반적으로 버스운수업체는 이용수요가 많은 시간에 버스를 집중투입하고, 이용수요가 적은 시간에는 버스의 공급을 줄여 운영하고 있다.

버스공급은 3가지 유형으로 나눌수 있다. 예를 들어 <그림 2>와 같이 시간대별 버스이용수요가 막대 그래프와 같을 때, 버스공급이 3가지 꺾은선 그래프(case A, B, C)와 같다면, case A는 이용수요에 탄력적으로 버스공급을 적절히 투입하여 배차관리가 매우 우수한 경우이며, case C는 이와는 반대의 경우이



<그림 2> 시간대별 이용수요 대비 버스공급 비교
 <Fig. 2> Case of bus demand vs supply by time interval

다. case B는 이용수요 패턴과 무관하게 고정배차(균등배차간격)를 실시한 경우로, 각각의 배차관리 실태를 평가한다면 case A > case B > case C 순이 된다.

3) 평가지표 정의

본 연구에서는 버스이용수요와 공급과의 대응정도를 판단하기 위해서 상관계수를 이용하며, 상관계수가 -1에서 1사이의 값을 산출하므로, 수요탄력적 배차관리지표(DEI, Demand Elastic Index)를 식 (4)와 같이 정의하여 평가지표의 산출범위가 0에서 100사이가 되도록 한다. <그림 4>의 case별로 평가를 한다면 case A, B, C 각각 100, 50, 0점을 받게 된다.

$$DEI = \frac{(r+1)}{2} \times 100 \tag{4}$$

여기서, DEI : 수요대응 배차관리 평가지표
 r : 이용수요와 버스공급간의 상관계수

4) 평가대상 선정

버스의 노선별 이용수요는 승차건수를 이용하는 것이 가장 정확하나, 이는 교통카드시스템에서 추가적인 자료가공(현금/카드비율, 어린이/청소년 비율, 환승추가요금 분석 등)이 필요하여 쉽게 사용하기가 어려우므로, 활용이 용이한 노선별 수집금액을 이용수요로 정의하여 분석하고자 한다.

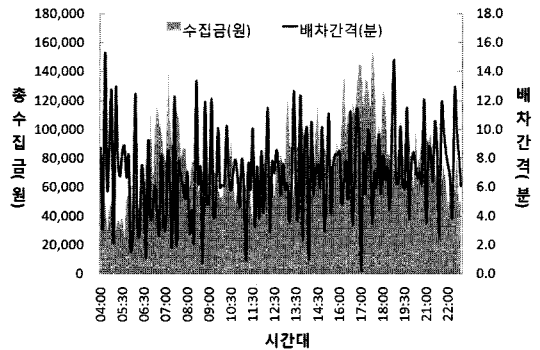
(1) 집계자료 생성

운행회차별 자료는 <그림 3>에서 보는 바와 같이 공급수준(배차간격, 회수)과 이용수요(수집금)의 변동이 매우 심하여 정확한 상관관계의 분석이 어려우므로 집계단위의 자료를 활용한다.

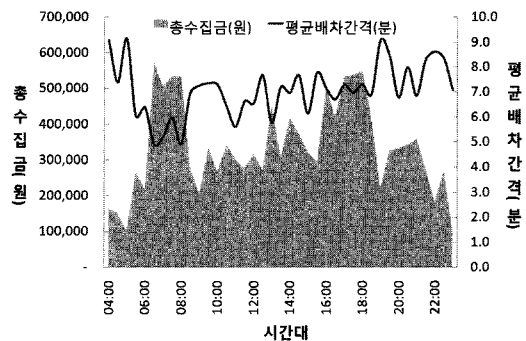
집계단위의 크기를 15분으로 할 경우, 버스운행회수가 1~3회에 불과하여 분석시 오류발생 확률이 클 수 있으며, 60분으로 할 경우에는 첨두시 수요변화에 따른 버스관리행태의 정확한 평가가 어렵기 때문에 30분단위로 집계자료를 구축하여 활용한다.

(2) 평가대상노선 선정기준

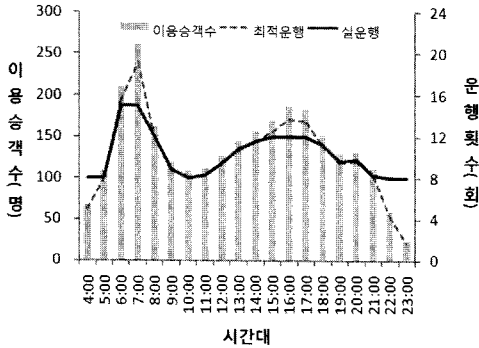
일평균배차간격이 4분이하 또는 15분 이상인 노선은 평가대상에서 제외하고 4~15분인 노선만을 평가대상으로 선정한다. 왜냐하면, 일평균배차간격이 4



<그림 3> 회차별 수집금 vs 배차간격
 <Fig. 3> Income vs headway by each bus



<그림 4> 30분단위 수집금 vs 배차간격
 <Fig. 4> Income vs headway by time interval



<그림 5> 시간대별 이용수요 대비 버스공급 비교
 <Fig. 5> Actual bus demand vs supply

분이하인 노선은 단거리를 순환하는 일일고정배차(균일 배차간격)로 관리되는 노선이고, 일평균배차간격이 15분 이상인 노선은 배차간격이 커서 이용수요에 대응한 탄력적 배차관리가 어렵기 때문이다.

2. 운행횟수 선정

1) 제약사항

버스 공급에 제약조건이 없다면 수요대응 배차관리의 평가는 단순히 이용수요와 버스공급간의 상관계수만으로 평가가 가능하나, 실제 운수회사는 버스노선 운영시 보유차량대수, 정책적 배차간격 유지 등에 의해 영향을 받게 된다.

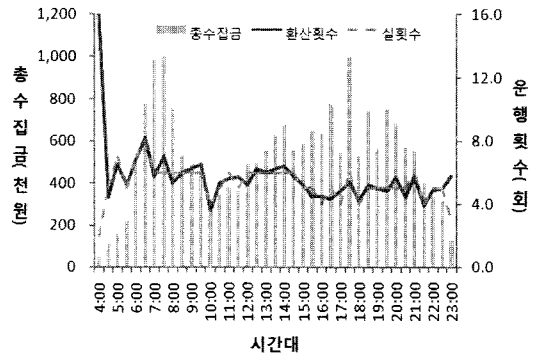
<그림 5>에서 보듯이, 이용수요에 정확한 대응을 위해서는 점선(최적운행)과 같은 관리가 이루어져야 하나, 실제 제약조건으로 인해 실선(실운영)과 같은 관리가 이루어진다. 따라서, 이용수요와 운행횟수의 상관계수를 바로 적용하게 되면 지표의 합리성 및 객관성이 부족해지므로 이에 대한 보정이 필요하다.

2) 운행횟수 정의

평가대상 선정시 상관분석 변수로 시간대별 수집금(이용수요)과 운행횟수(버스공급)을 적용하기로 하였다. 수집금은 단위시간대별 총수집금을 사용하므로 큰 문제가 없겠으나, 운행횟수는 <표 3>과 같이 실운영횟수와 배차간격 환산 운행횟수 두 가지로 적용이 가능하다.

<표 3> 운행횟수 적용방안
 <Table 3> Alternative of bus frequency

구분	적용방법	장점	단점
방안1	단위시간 실운영횟수 누계	적용용이	단위시간내 관리실태 반영불가
방안2	30÷단위시간 평균배차간격	단위시간내 관리실태 반영가능	이상자료 포함시 결과 왜곡



<그림 6> 시간대별 이용수요 대비 버스공급 비교
 <Fig. 6> Bus demand vs supply by alternative (frequency)

집계된 단위시간(30분)내에서 관리실태의 고려가 가능한 방안2의 환산운영횟수를 버스공급으로 적용한다. <그림 6>에서 보듯이 환산횟수가 실횟수보다 시간대별로 공급차이가 나타나지만, 특정시간대는 결과가 심각하게 왜곡되는 현상이 발생한다.

첫 시간대에 실제로는 2회를 운영하였으나 배차간격이 2분이내로 붙어서 출발하여, 환산횟수가 적용되어 평가점수는 39.7점(실횟수 적용시 70.6)으로 산정되었다. 이처럼 특정시간대 이상자료 하나가 노선전체의 평가결과를 왜곡하는 문제가 발생하였다. 이에 대한 보완방안은 뒤에서 논한다.

3) 보정시간대 선정

수요탄력적인 버스운영관리를 어렵게 만드는 제약조건은 대부분이 정책적 배차간격과 운행대수에 의한 것이다. 정책적 배차간격의 유지는 버스의 운행대수가 적어 최소한의 배차간격을 유지하기 위한 것으로 본 연구의 평가대상에 해당되지 않으므로 첨

두시 운행대수 부족으로 인해 발생하는 영향만을 보정한다.

이용수요가 많은 시간대에 운행대수 부족으로 수요에 대응하는 버스공급이 되지 않는 시간대는 식 (5)와 같이 시간대별 최대운행율(Rmax), 수집금 변동계수(VI), 운행시간 변동계수(VT)를 이용하여 선정한다.

$$R_{\max}(t) = \frac{\text{MAX}[R(1), \dots, R(i), \dots, R(n)]}{B}$$

$$V_I(t) = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{\sum_{i=1}^n I_i / N}, \quad V_T(t) = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_i / N} \quad (5)$$

여기서, $R_{\max}(t)$: t시간대 최대운행율
 $R(i)$: i번째 차량투입시 운행중인 차량대수
 B : 해당노선의 총운행대수
 $V_I(t)$: t시간대 수집금 변동계수
 I_i : i번째 차량의 수집금액
 $V_T(t)$: t시간대 운행시간 변동계수
 T_i : i번째 차량의 운행시간
 N : 시간대 개수
 n : 개별시간대 운행횟수

보정시간대 선정기준은 최대운행율 0.9이상, 수집금 변동계수 1.1이상, 운행시간 변동계수(T) 1.1으로 정하였다. 즉, 해당노선의 인가운행대수 중 90%이상의 차량이 운행 중인 상태이고, 수집금이 평균보다 10%이상 많고, 운행시간이 평균운행시간대보다 10% 이상 소요되는 시간대를 운행대수제약(첨두시)으로 인한 발생한 운행횟수를 보정하였다.

4) 보정방법론

수요가 많은 시간대에 운행대수 부족으로 버스공급이 원활하게 되지 못한 것을 고려하기 위해 식 (6)과 같이 보정계수(U)를 이용하여 단위시간(30분)동안의 환산운행횟수(n_c)보다 더 많이 운행한 것으로 보정(n_a)하는 방법을 적용한다.

$$n_a(t) = \text{MAX}[n_c(t), I(t) \times U(t)] \quad (6)$$

여기서, $n_c(t)$: t시간대 환산 운행횟수(회)
 $n_a(t)$: t시간대 보정 운행횟수(회)
 $I(t)$: t시간대 수집금 합계(원)
 $U(t)$: t시간대 보정계수(회/원)

<표 4> 보정계수 선정방안
 <Table 4> Alternative of calibration coefficient

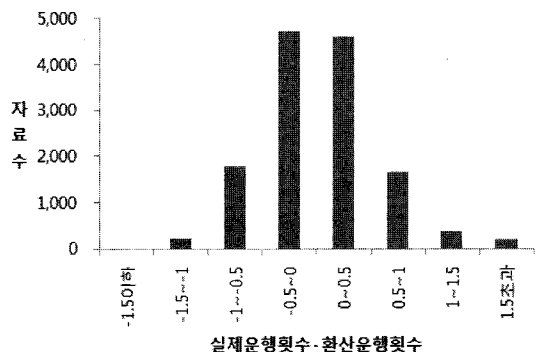
구분	산정방법	장점	단점
방안1	총횟수÷총수입	적용용이	노선별 관리정도 반영 어려움
방안2	해당시간대 제외	적용용이	첨두시 관리실태 반영 불가
방안3	인접시간대횟수÷인접시간대수입	방안4 대비 적용용이 관리수준 반영가능	방안1 대비 적용어려움
방안4	수집금을 고려한 최적환산계수산정	제약조건 문제를 최적으로 반영	적용어려움 및 관리수준 반영미흡

환산운행횟수를 보정하기위한 보정계수 산정방법은 <표 4>와 같이 크게 3가지 경우를 고려할 수 있다. 하지만, 적용용이성 및 노선별 관리실태 반영 등을 기준으로 장단점을 판단한 결과, 방안3이 가장 적합한 방식으로 판단되어 산정방안으로 적용하였으며, 보정계수 산정법은 식 (7)과 같다.

$$U(t) = \frac{n(t-1) + n(t+1)}{I(t-1) + I(t+1)} \quad (7)$$

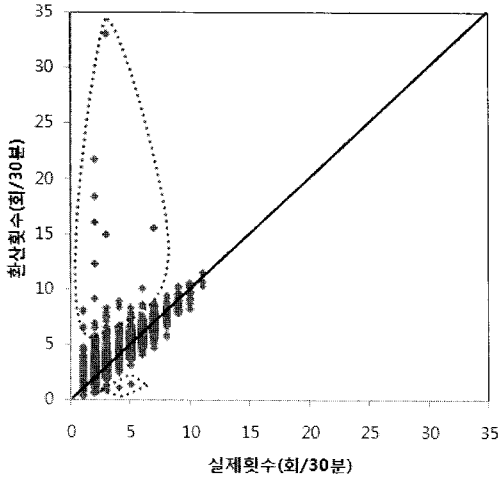
5) 환산횟수 범위조건 설정

<그림 6>에서 보는 바와 같이 버스공급을 환산횟수로 적용할 경우 특정시간대의 이상자료로 인해 평



<그림 7> 편차분포도

<Fig. 7> Distribution of deviation



<그림 8> 실운영횟수 vs 환산횟수 산점도
<Fig. 8> Actual vs conversion (frequency)

가결과를 심각하게 왜곡하는 현상을 확인하였다.

앞에서 제시한 방법론을 적용하여 대상노선(398개 노선 중 356개)에 적용한 결과, 실운영횟수와 환산횟수의 편차가 <그림 7>과 같은 분포를 보였으며, 환산횟수와 실횟수의 산점도인 <그림 8>에서 보는 바와 같이 과다/과소화되는 경우(점선영역)가 발생하여, 환산운영횟수와 실운영횟수의 편차가 ±1.5회 이내가 되도록 범위조건을 추가하였다.

IV. 개발지표 적용 및 결과분석

1. 자료정리 및 가공

1) 활용자료

평가지표에 사용할 자료는 서울시 교통카드시스템에서 일단위로 집계되어 활용이 용이한 노선별 운행실적 자료(<표 5>)를 사용한다. 노선별 운행 실적 자료는 운수회사, 영업소, 노선번호, 차량번호, 운행출발일시, 운행종료일시, 운전자명, 운행시간, GPS수신율, 운행거리, 운행속도, 수집금액, 오류판단 등으로 구성되며, 이 중 노선번호, 출발일시, 도착일시, 수집금액 필드자료만을 이용한다. 여기서, 수집금액이란 버스가 운행하면서 승객으로부터 받은 카드수입을 의미한다.

<표 5> 노선별 운행실적 교통카드자료
<Table 5> Table of operation historical data

운수 회사	노선 번호	차량 번호	출발 일시	종료 일시	...	수집 금액	오류 판단
BRT	100번	74사4054	20080101 4:00:00	20080101 5:36:42	∴	82,700	
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
69개사	398개 노선	7,466 대	∴	∴	∴	∴	∴

2) 버스노선 현황분석

서울시 전체버스 노선 398개(2008년 3월 10일 기준) 노선 중 약 30%정도가 대당 40~50만원 수입을 벌어들이고 있으며, 일일 평균운행 시간이 2~3시간 사이며, 운행대수가 10~20대를 보유하고 있다. 또한, 일일평균배차간격이 6~9분 사이 노선이 전체의 41%로 수요탄력적 배차관리가 중요한 노선비율이 높다.

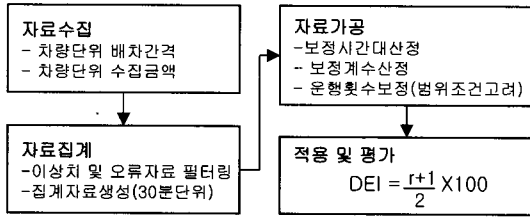
3) 자료정리 및 프로그램 작성

일일 노선별 운행실적자료는 노선별 회차별로 자료를 집계한 것으로, 운행한 횟수의 이력자료가 남아 있으나 운전자 출발버튼 조작실수, GPS인식 오류 등 실제로 운행하지 않은 횟수들이 포함되어 있다. 따라서 수집금액이 없거나 운행시간이 8분 이하이거나,

<표 6> 특성별 노선분포 현황
<Table 6> Distribution of lines by characteristic

구분	계급1	계급2	계급3	계급4	계급5	계급6	계급7
대당 수집금 (원/대)	~20만	~30만	~40만	~50만	~60만	~70만	70만~
	11	28	92	120	101	40	6
	2.8%	7.0%	23.1%	30.2%	25.4%	10.1%	1.5%
일평균 운행 시간 (분)	~30분	~60분	~90분	~120분	~180분	~240분	240분~
	10	67	70	67	129	51	4
	2.5%	16.8%	17.6%	16.8%	32.4%	12.8%	1.0%
운행 대수 (대)	~5대	~10대	~20대	~30대	~40대	~50대	50대~
	42	86	125	97	34	11	3
	10.6%	21.6%	31.4%	24.4%	8.5%	2.8%	0.8%
일평균 배차 간격 (분)	~3분	~6분	~9분	~12분	~15분	~20분	20분~
	1	54	163	88	51	23	18
	0.3%	13.6%	41.0%	22.1%	12.8%	5.8%	4.5%

주) 2008년 3월 10일 월요일 자료 기준



<그림 9> 분석절차도
<Fig. 9> Flow chart of analysis

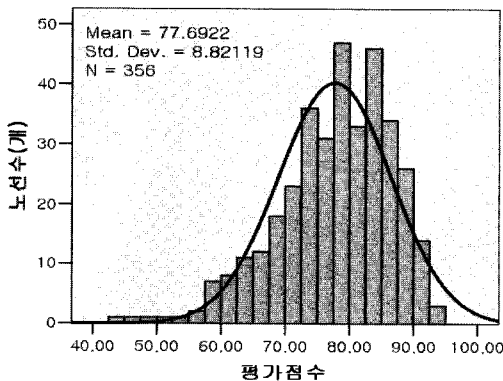
평균통행속도가 70km/h 이상 이거나, 운행거리가 없는 경우는 실제운행횟수에 포함하지 않았다. 기초자료정리 및 평가지표 산정 프로그램을 VBA(Visual Basic Application)로 작성하였다.

2. 적용결과 및 특성분석

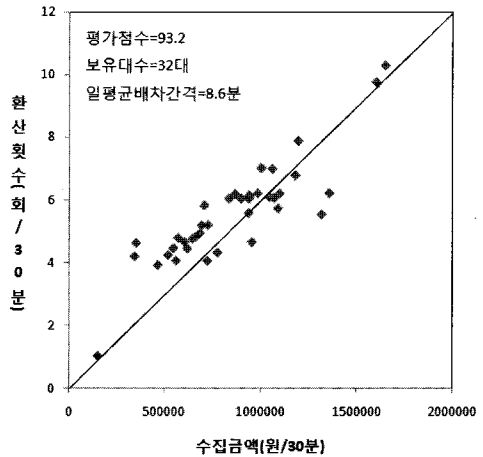
1) 적용결과

서울시 시내버스(356개 노선)에 개발지표를 적용한 결과, 노선당 평균 1.6개의 시간대가 보정되었으며 환산운행횟수 범위조건은 노선당 평균 0.6개의 시간대가 수정되었다. 그리고 평가점수별 노선수 분포는 <그림 10>과 같이 대상노선의 77.5%가 70~90 점을 받아, 점수대별 노선수 분포가 안정적으로 나타났다.

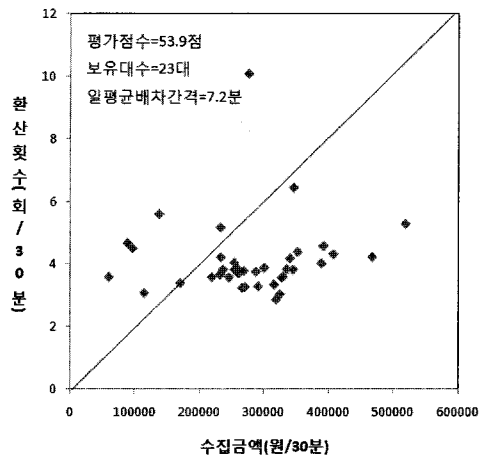
<그림 11>과 <그림 12>는 평균배차간격이 유사하나 배차관리가 우수한 노선은 점수가 93.2로 높은 반



<그림 10> 평가점수별 노선수 분포
<Fig. 10> Distribution of evaluation scores



<그림 11> 평가우수노선 사례
<Fig. 11> Case of excellent line



<그림 12> 평가저조노선 사례
<Fig. 12> Case of poor line

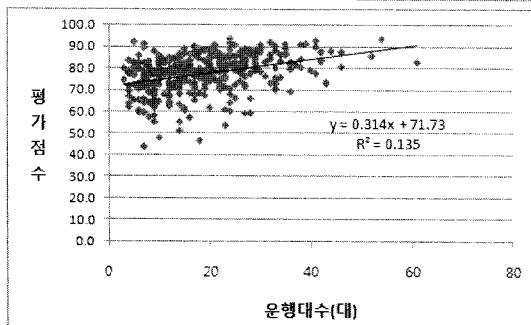
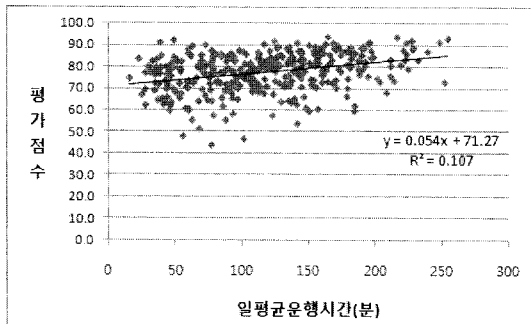
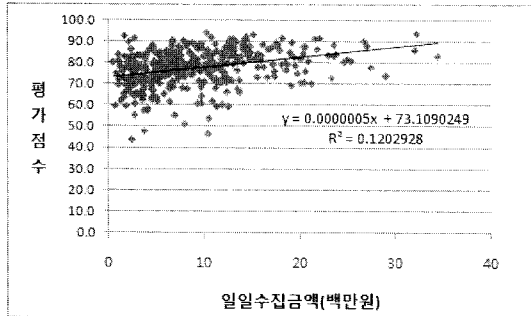
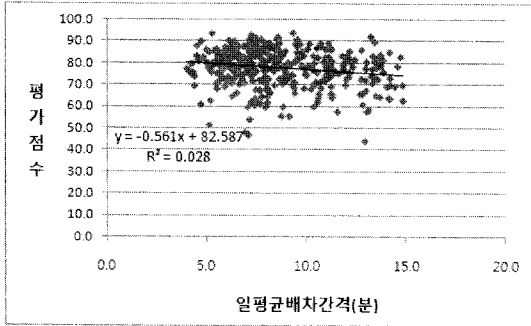
면 배차관리가 저조한 노선은 점수가 53.9로 수요와 공급의 상관도가 큰 노선의 점수가 높은 것을 알 수 있다.

2) 특성분석

앞에서 살펴본 바와 같이 평가결과는 안정적인 분포를 보였으나 노선별 특성에 따라 평가결과가 크게 달라진다면, 평가지표의 요건인 형평성과 객관성이 결여된 것이므로 노선별 특성(일평균배차간격, 일일수집금, 일평균운행시간, 노선별운행대수)에 따른 평

가결과의 특성을 살펴본다.

일평균 배차간격이 클수록 평가점수는 조금 낮아지는 것으로 분석되었는데, 이는 일평균배차간격이 클수록



<그림 13> 노선특성에 따른 평가결과
<Fig. 13> Evaluation result by line characteristic

수록 수요에 대응하여 탄력적으로 조정가능한 배차간격의 범위가 매우 제한적이기 때문에 판단된다.

일일수집금은 버스이용수요의 대체개념으로, 일일수집금이 많은 노선일수록 평가점수가 높은 것으로 분석되었다. 이는 일일수집금이 많을수록 침투시 수요 집중도가 더 크기 때문으로 판단된다.

일평균운행시간이 길수록 평가점수가 높게 분석되었는데, 이는 일반적으로 일평균 운행시간이 길수록 시간대별 이용수요 패턴변화가 크고 그에 따른 운행관리 여지가 많기 때문으로 판단된다.

운행대수가 많은 노선일수록 평가점수가 높은 것으로 분석되었으며, 이는 대수가 많을수록 수요탄력적 배차관리에 유리하기 때문으로 판단된다.

V. 결론 및 향후연구

각 지자체별로 방대한 양의 APTS(BMS, 교통카드 등)자료가 수집되고 있으나, 버스배차관리 평가와 관련된 연구는 대부분이 도착정시성과 차두간격균등성에 국한되어 진행되어 왔다. 수집되는 자료를 활용한 버스운행관리도 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 버스이용수요를 고려한 운수회사의 배차관리 수준을 평가하기 위해 상관계수를 이용하였으며, 상관계수 적용시 현실 버스운행관리에서 발생하는 제약조건(운행대수, 배차간격 등)을 극복하기 위해 다양한 보정방안을 검토하여 최종적인 수요탄력적 배차관리평가지표를 개발하였다.

개발한 평가지표를 서울시 전철노선(356개)에 적용하고, 노선특성(일평균배차간격, 일일수집금, 일평균운행시간, 운행대수)에 따른 평가결과의 형평성을 확인한 결과, 노선특성에 비교적 균형적인 평가결과를 산출하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 개발된 지표는 다음과 같은 의의가 있다. 첫째, 버스이용수요(교통카드자료)를 고려한 운수회사의 배차관리수준 평가가 가능하며, 둘째 배차계획표작성/관리 등 시간 소모적인 작업없이 간단하게 적용이 가능하며, 셋째 적용의 용이성으로 지속적인 관리가 가능하여 운수사의 자발적인 운행관리를 유도 할 수 있다는 점이다. 타 지자체에서도 본

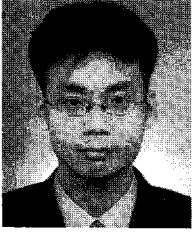
연구의 방법론을 기초로 APTS자료의 다양한 적용이 가능할 것으로 판단된다.

하지만, 개발된 수요탄력적 배차관리 평가지표는 차고지의 배차간격을 기준으로 산정되어 평가의 공간적 범위가 매우 제한적이므로, 향후 정류소별 이용수요의 고려가 가능하고 개별노선 특성을 고려할 수 있는 평가지표의 추가적인 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

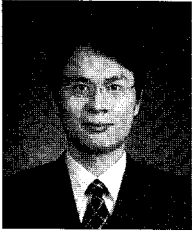
- [1] 이호상, “APTS 자료기반의 서울시 버스신뢰성 관리정책과 평가,” *한국ITS학회논문지*, 제7권, 제2호, pp. 1-12, 2008. 4.
- [2] 김성인, “운행관리점을 이용한 버스운행관리,” *대한교통학회 추계학술발표회 논문집*, pp. 457-464, 1998. 10.
- [3] 이상용, 박경아, “시내버스노선체계 평가를 위한 정량적지표의 설정 및 적용,” *대한교통학회지*, 제21권, 제4호, pp. 29-44, 2003. 8.
- [4] 윤혁렬, *서울시 버스체계개편에 따른 모니터링 연구*, 서울시정개발연구원, 2004. 12.
- [5] 고승영, “버스운행 신뢰성평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용,” *대한교통학회지*, 제23권, 제2호, pp. 131-140, 2005. 4.
- [6] 고승영, “버스운행정시성의 서비스수준 기준 산정,” *대한교통학회지*, 제23권, 제2호, pp. 151-160, 2005. 4.
- [7] 양지영, “시공도를 이용한 버스운행 정시성지표 개발,” *대한교통학회지*, 제23권, 제8호, pp. 129-138, 2005. 12.
- [8] H. P. Benn, *TCRP synthesis of Transit Practice10 : Bus Route Evaluation Standards*, Transportation Research Board, 1995.
- [9] National Academy Press, *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, Transportation Research Board, Jan. 1999.
- [10] National Academy Press, *TCRP Report100, Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition*, Transportation Research Board, 2003.
- [11] R. L. Bertini, *Generating Transit Performance Measures with Archived Data*, Transportation Research Record 1841, pp. 109-119, 2003.
- [12] A. E. Geneidy et al, *Using Archived ITS Data to Improve Transit Performance and Management*, Minnesota Department of Transportation, Oct. 2007.

저자소개



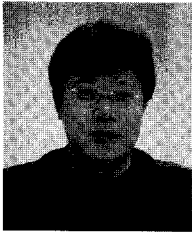
이 호 상 (Lee, Ho-Sang)

2007년 : 서울시립대학교 박사과정 (교통운영전공)
2002년 2월 : 서울시립대학교 공학석사 (교통운영전공)
2001년 12월 ~ : 서울시청 교통전문직
2000년 2월 : 서울시립대학교 공학사 (교통공학전공)



장 현 호 (Chang, Hyun-Ho)

2008년 : 서울대학교 환경대학원 박사과정 (교통관리전공)
2005년 3월 ~ 2008년 2월 : 서울시청 교통전문직
2002년 3월 ~ 2005년 2월 : 한국도로공사 도로교통기술원 연구원
2002년 2월 : 서울시립대학교 공학석사 (교통계획전공)



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)



황 경 수 (Hwang, Kyung-Soo)

1997년 ~ : 현재 제주대학교 행정학화 교수
1997년 : 서울시립대 대학원 도시공학과
1993년 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학
1989년 : 제주대학교 행정학과 학사