

■ 論 文 ■

# HLM을 이용한 버스차두간격 편차에 미치는 요인분석 (서울시사례를 중심으로)

## Identifying Key Factors to Affect Bus Headway Deviation using Hierarchical Linear Model (Seoul Case Study)

**이 호 상**

(서울시립대학교 박사과정)

**김 도 경**

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

**김 영 찬**

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

**황 경 수**

(제주대학교 행정학과 교수)

### 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구의 배경 및 목적
    - 2. 연구의 범위 및 방법
  - II. 관련문헌고찰
    - 1. 운행관리지표
    - 2. HLM(Hierarchical Linear Model)
  - III. 자료수집
  - IV. 모형구축
    - 1. 변수정의 및 선정
    - 2. 모형추정
  - V. 분석결과
  - VI. 결론 및 향후연구
- 참고문헌

Key Words : 위계적선형모형(HLM), 다층구조모형(MLM), 집단간상관계수(ICC), 정시성, 차두간격분산  
Hierarchical Linear Model(HLM), Multi-Level Model(MLM), ICC(Intraclass Correlation Coefficient), Punctuality, Headway Deviation

### 요 약

버스의 정시성은 노선특성 및 운수회사의 특성에 의해 많은 영향을 받는 것으로 알려져 왔으나, 과학적인 분석이 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 노선 및 운수회사 특성에 따른 정시성(차두간격편차 요인)을 모형화 하기 위하여 상관분석 및 선형회귀분석(OLS, Ordinary Least Square)을 통하여 최적설명변수를 선택하고, 위계적인 자료구조를 고려하여 위계적 형태의 자료분석에 많이 사용되는 위계적선형모형(HLM, Hierarchical Linear Model)을 적용하여 정시성에 미치는 요인을 분석하였다. 분석결과, ICC가 0.10으로 분석되어 정시성에 미치는 영향 중 노선특성에 의한 영향이 90%, 회사특성에 의한 영향이 10%로 나타나 OLS보다 HLM 적용이 더 적합한 것으로 나타났다. 버스의 정시성은 노선변수 수준에서 운행대수, 평균차두간격, 대당승객수 순으로 영향이 큰 것으로 나타났으며, 운행대수가 많고 대당승객수가 많은 노선은 정시성과 반비례하고, 평균차두간격과는 비례관계로 분석되었다. 회사변수 수준에서는 회사규모(관리대수)가 클 수록, 일반회사 보다는 입찰간선회사가 정시성에 양(+)의 영향을 주는 것으로 분석되었다. 향후 정시성 평가관리시 노선별 운행대수, 평균차두간격, 운수사별 관리차량대수에 의한 영향을 고려하는 것이 필요하며, 정시성을 향상시키기 위해서는 노선의 연장을 짧고, 운수사의 규모가 클 수록 유리하다 할 수 있다.

It has been known that bus route and company related characteristics have influences on punctuality, but fewer research have been conducted. Independent variables used in this study were selected using correlation analysis, and OLS(Ordinary Least Square) and HLM(Hierarchical Linear Model) were employed to identify factors affecting bus punctuality(headway deviation). The results showed that ICC(Intraclass Correlation Coefficient) is 0.10, indicating that hierarchical linear models are more adequate for these data because there is effective variation in the subjects between companies. Punctuality was found to be negatively associated with the number of vehicles, the number of persons per vehicle, and total travel time. On the other hand, average headway and company size have a positive relationship with punctuality. Therefore, the number of vehicles per route, average headway, and the number of vehicles managed by a company should be considered for more accurately evaluating the management of piunctuality.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 어려운 경제여건 및 환경악화로 에너지절약, 에너지 이용효율 고도화, 오염원배출 저감 등 대중교통에 많은 관심이 집중되고 있으며, 대중교통(버스)의 수송분담율을 높이기 위해 많은 정책(중앙버스전용차로, APTS도입, 무료환승 등)이 시행되고 있다.

설문조사 등의 결과를 살펴보면 버스의 이용승객수를 증가시키기 위한 가장 중요한 요인은 버스의 정시성임을 알 수 있다.<sup>1)</sup> 정시성(차두간격편차)은 이용승객의 대중교통에 대한 신뢰도와 직접적으로 관련되어 있으며, 운영관리 측면에서도 중요한 지표이다. 하지만, 기존에 차두간격편차 발생요인의 영향정도를 명확하게 제시한 연구가 없었으며, 일반적으로 개별 운수사의 관리수준 및 운전자 특성, 노선특성에 의한 영향이 있을 것으로 판단하고 있는 실정이다.

특히, 버스운행을 지도·감독하는 공공기관에서의 운행관리수준(정시성 등) 평가시에 노선특성 등을 과학적·객관적으로 고려하지 못하여, 운수업체와 관리기관 간에 이견이 발생하기도 한다. 객관적인 평가·관리를 위해서 개별노선특성 고려가 가능한 모형을 활용한다.

본 연구에서는 운수사별 및 노선별 특성이 개별 버스 노선 정시성에 미치는 영향을 모형화하여 계량적인 판단이 가능토록 한다. 계량화된 모형을 토대로 차두간격편차에 미치는 요인을 분석하고, 이를 줄일수 있는 방안을 제시하고자 한다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

버스의 정시성은 노선특성 뿐만 아니라 운수회사별 특성에 따라서도 영향을 받는 것으로 평가되기 때문에 정시성에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위한 모형개발에는 이 두 가지 특성을 동시에 사용하여야 한다.

그러나 이 두 가지 특성을 한 모형에 동일한 변수로 포함시켜 모형을 예측할 때 문제가 발생하게 된다. 왜냐 하면 하나의 회사는 여러 개의 복수 노선을 가질 수 있기 때문에 자료가 계층적인 구조(Hierarchical structure)를 가지게 되고, 이런 구조는 각 관측값들의 오차항이 서로 독립적

이어야 한다는 선형회귀모형의 기본적인 가정을 위배하게 된다. 만약 선형회귀모형의 기본 가정을 위배한 채로 모형을 예측하게 되면 모형예측 결과로 얻어진 모형의 계수들은 편향(biased)되며, 계수들의 표준오차 또한 편향되는 문제점을 발생하게 된다(Bryk and Raudenbush, 1992). 이러한 문제점은 계층적 모형기법(Multilevel Modeling Techniques)을 사용함으로써 해결할 수 있다(Kim et al., 2007)

본 연구에서는 계층적 분석기법(HLM, Hierarchical Linear Model)을 통해 노선-운수사의 계층적 자료구조를 분석하여 계층별 요인이 차두간격편차에 미치는 요인을 모형화하고자 한다. 또한, HLM 결과와 일반선형회귀모형(OLS, Ordinary Least Square)의 결과를 비교하여 HLM 적용의 타당성을 확인하여 본다.

## II. 관련문헌고찰

### 1. 운행관리지표

TCQSM(Transit Capacity and Quality of Service Manual, 1999/2003)에서는 성과척도(Performance Measure)를 운영자측면, 이용자측면, 차량측면 3가지로 구분하여 제시하고 있으며, 이용자측면(신뢰성, reliability)에서 on-time performance(정시도착성)와 headway adherence (차두간격 균등성)로 나누어져 있다.

TCRP report(1995)에서는 미국을 10개 권역으로 나누어 운수업체를 대상으로 설문조사하여 서비스 평가 항목을 노선설계, 운행계획수립, 경제성 및 생산성, 수송현황 모니터링, 승객편의 및 안전 5가지로 분류하였다. 이 중 수송현황 모니터링부분에 TCQSM과 마찬가지로 정시도착성과 차두간격 균등성 지표를 제시하고 있다.

#### 1) On-time performance (정시도착성)

평균 배차간격이 10분이상인 노선에 적용되며, 정류소에 도착예정시간부터 5분 지연도착까지를 정시도착(0분~+5분)으로 인정하여, 정시도착 비율을 산정하는 방법

#### 2) Headway adherence (차두간격 균등성)

평균 배차간격이 10분이하인 노선에 적용되며, 정해진

1) 2006년 01월 서울시민 2,500명 대상설문조사결과. 버스에서 가장 불만족한 부분은 운행간격(정시성) 29.6% (녹색소비자연대)

배차간격과 실제 배차간격 사이의 분산계수( coefficient of variation of headway)에 의해 서비스수준을 산정하는 방법

고승영(2005)은 차두간격 분산계수의 확일적 적용대신 다양한 분산계수를 제안하였으며, 평가기준을 제시하였다. 양지영(2007)은 시공도상의 배차간격이 유지되지 않는 면적을 이용하여 스케줄기반 및 차두시간기반으로 분리하여 정시성지표를 개발하였다. 이호상(2008)은 서울시 노선을 대상으로 차두간격분산계수 및 새롭게 개발한 몰림율을 적용하여 적용효과를 제시하였다.

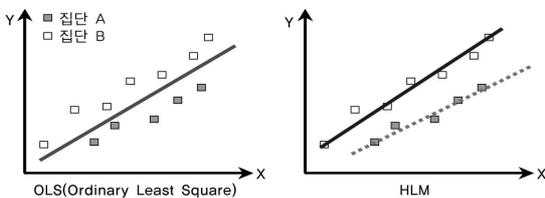
국내 대부분의 지자체에서는 BMS/BIS를 구축하여 운영하고 있으나, 구축시스템에서 수집된 자료를 단순정보제공에만 활용하고 있으며, 객관적인 평가지표의 적용 사례는 찾아보기 어렵다.

2. HLM(Hierarchical Linear Model)

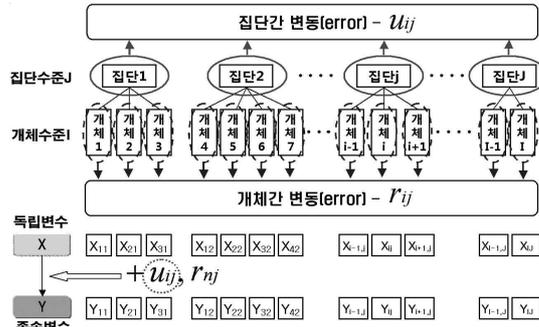
1) HLM개요

HLM은 교육학, 심리학, 사회학, 인구통계학 등 다양한 자료분석에 폭 넓게 사용되고 있는 모형으로, random-coefficient regression models (Rosenberg, 1973), multilevel linear models (Mason et al., 1984), mixed-effects models and random-effect models (Laird and Ware, 1982)로 알려져 있다. 1992년부터 분석대상 자료형태가 계층적으로 이루어진 경우에 사용된다하여 Hierarchical Linear Model (Bryk & Raudenbush, 1992)로 불리우고 있다.

<그림 1>에서 보듯이 일반선형회귀모형(OLS)은 집단별 변동을 고려하지 못하고 계수(coefficient)를 고정(fixed)하여 모형이 완성되나, HLM은 집단별로 계수 및 절편(intercept)이 랜덤하게 변하는 random effect로 OLS보다 모형의 설명력을 높일 수 있다. HLM은 unconditional model, random intercept model, random effect model 등의 sub-model이 있다. 일반



<그림 1> OLS vs HLM



<그림 2> HLM구조

적으로 그룹간(2수준)의 차이에 의해 설명되는 비율 (ICC, intraclass correlation coefficient)이 0.09이상이면 오차항 사이에 종속성이 있는 것으로 보고 OLS보다 HLM을 적용하는 것이 적절하다고 판단한다.

2) HLM 구조

HLM모형은 2 수준 이상으로 구성되며, 하위수준(micro level) 자료를 1수준으로 하고, 상위수준(macro level) 자료를 2수준으로 정의한다. 하위수준의 자료는 반드시 상위수준에 포함(nested)되어야 한다. 1수준은 개별변수간의 변동을, 2수준은 집단간의 변동을 모형화하여 구성된다. <그림 2>에서 보는 바와 같이, 2수준의 설명변수인 집단변수의 변동( $u_{ij}$ )을 종속변수 예측을 위한 모형에 포함시켜 활용한다.

예를 들어, J집단(2수준)에 속한 N개의 개별자료 I(1수준)가 수집된 경우, 개별수준의 모형은 일반선형회귀모형과 같은 형태이나 2수준의 집단모형식이 추가된다. 이를 HLM의 sub-model 중 Random effect 모형으로 표준화하면 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

개별(i)모형식 - 1 level

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}X_{ij} + r_{ij}, \quad r_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$

집단(j)모형식 - 2 level

INTERCEPT -  $\beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}W_j + u_{0j}$   
 SLOPE -  $\beta_{1j} = \gamma_{10} + \gamma_{11}W_j + u_{1j}$

통합표준식

$$Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}X_{ij} + r_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{01}W_j + u_{0j} + (\gamma_{10} + \gamma_{11}W_j + u_{1j})X_{ij} + r_{ij} \tag{1}$$

- 여기서,  $i$  :  $J$ 집단에 속한 개별  $i$
- $j$  : 개별  $I$ 를 포함하는  $j$ 집단
- $Y_{ij}$  : 종속변수
- $X_{ij}$  : 개별수준의 설명변수
- $r_{ij}$  :  $j$ 집단,  $i$ 개별간의 랜덤효과
- $\gamma_{00}, \gamma_{01}$  : 집단수준의 고정효과 (Intercept)
- $\gamma_{10}, \gamma_{11}$  : 집단수준의 고정효과 (Slope)
- $W_j$  : 집단수준의 설명변수
- $u_{0j}$  : 집단수준의 error term (Intercept)
- $u_{1j}$  : 집단수준의 error term (Slope)

III. 자료수집

모형구축에 사용된 기초자료는 서울시 BMS자료, 교통카드자료, 인가자료 등을 활용하였으며, 각 자료별 상세내용은 다음과 같다.

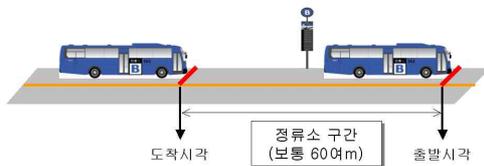
1) BMS 자료

BMS자료는 운행관리를 위해 수집되는 노선별 정류소별 버스 도착/출발시각 자료(63data, 2008년10월6일)를 이용하였다.

63data는 차량별/정류소별 도착시각, 출발시각자료로 운전자에게 실시간 배차간격 정보제공, BIS 및 ARS 정보제공, 버스운행실태관리 등에 사용되며, 정류소의 도착 및 출발시각은 GPS에 입력된 정류소좌표 범위를 통과하는 시각으로 <그림 3>에서 보는 바와 같이 적용된다.

2) 교통카드자료

교통카드자료는 2008년10월6일의 회차별 운행실적자료와 노선별 이용승객 자료를 활용하였다. 회차별 운행실적자료는 운수회사, 영업소, 노선번호, 차량번호, 운행출발일시, 운행종료일시, 운전자명, 운행시간, GPS수신율, 운행거리, 운행속도, 수집금액, 오류판단 자료로 구성되며, 노선별 이용승객수 자료는 운수회사, 노선번호, 차량번호, 일이용승객수 자료로 구성된다.



<그림 3> 정류소 도착·출발시각 개념

<표 1> 회차별 운행실적 교통카드자료

운수 회사	노선 번호	차량 번호	출발 일시	종료 일시	...	수집 금액	오류 판단
BRT	100번	74사 4054	20081016 4:00:00	20081016 5:36:42	...	82,700	
...	...	...	...	...	...	...	...
69개 사	398개 노선	7,466 대	...	...	...	...	...

3) 인가자료 및 행정자료

인가자료는 일자별로 노선별 인가대수, 기종점, 운행대수, 운행거리, 배차간격, 첫막차시각 등을 기록해 놓은 인가대장을 이용하였으며, 행정자료는 운수회사 평가 등을 위해 별도로 관리하는 자료로 운전자수, 관리자수, 사무직인원수, 사고발생건수 등의 자료가 있다.

HLM을 적용하기 위해 <표 2>, <표 3>과 같이 1수준은 노선자료, 2수준은 회사자료로 구성하였으며, 수집가능한 자료를 바탕으로 수준별 검토펙수를 선정하였다. 노선수준 변수에서 노선유형(L\_bTRUNK, L\_bFEEDER)은 간선, 지선, 순환, 광역노선으로 구분되는 데, 광역노선은 BMS자료가 수집되지 않아 제외하였다. 승객집중도(L\_KURT\_P)는 시간대별 승객침도(kurtosis)를, TTI(L\_TTI)는 일평균통행시간 대비 첨두시통행시간비율을, 중앙차로운행비율(L\_MEDIAN)은 노선별 정류소 중 중앙버스전용차로의 정류소 비율을 의미한다.

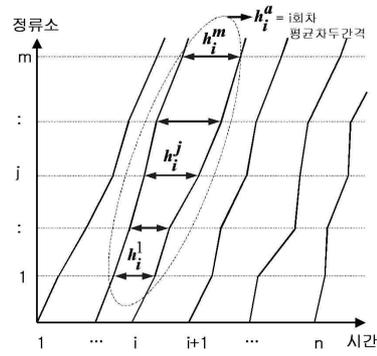
회사수준 변수에서 회사유형(L\_bGENERAL, L\_bTENDER)은 자율버스와 입찰업체(면허입찰제 회사) 면허전환업체(마을→ 시내버스전환)로 구분되며, 관리자수(C\_MA

<표 2> 노선변수(level 1)

ID	자료형태	설명	출처
L_bTRUNK	binary	1=간선, 0=others	인가자료
L_bFEEDER	binary	1=지선, 0=others	인가자료
L_bCOOPER	binary	1=공동배차, 0=단독배차	인가자료
L_VEHICLE	number	운행대수	인가자료
L_PERSON_T	number	일일승객수	교통카드
L_PERSON_V	number	대당승객수	교통카드
L_KURT_P	number	시간대별 승객수 침도	교통카드
L_TRAVEL	number	통행시간	교통카드
L_TTI	number	TTI	교통카드
L_LENGTH	number	노선길이	인가자료
L_STATION	number	정류소개수	BMS자료
L_MEDIAN	rate	중앙차로 정류소비율	BMS자료
L_SEOUL	rate	서울시구간 정류소비율	BMS자료
L_HEADWAY	number	일평균배차간격(분)	인가자료

<표 3> 회사변수(level 2)

ID	자료형태	설명	출처
C_bGENERAL	binary	1=자율업체, 0=others	인가자료
C_bTENDER	binary	1=입찰업체, 0=others	인가자료
C_LINE	number	관리노선수	인가자료
C_HISTRY	number	설립일자(연단위)	인가자료
C_VEHICLE	number	관리차량대수	인가자료
C_DRIVER	number	관리운전자수	행정자료
C_MANAGER	number	사무직인원수	행정자료
C_ACCIDENT	number	연간사고발생건수	행정자료
C_RECEIPT_ERR	rate	현금영수증 발급오차율	행정자료



<그림 4> 종속변수 개념도

<표 4> 회사유형별 통계

구분	유형	노선수 (개)	운행대수 (대)	평균대당 승객수 (인/대)	평균 배차간격 (분)	평균 운행거리 (km)	평균 운행시간 (분)
입찰	간선	20	681	637	8.2	54.4	179.9
	간선	91	2,753	695	8.4	49.4	165.7
자율업체	순환	4	23	770	7.8	7.7	32.6
	지선	215	3,477	637	10.8	28.7	102.1
면허전환	지선	35	309	656	8.8	11.6	52.1

$$MAPE_i = \frac{\sum_{j=1}^m |h_i^m - h_i^j|}{h_i^m} \quad (2)$$

$$ERR = \frac{\sum_{i=2}^n MAPE_i}{n-1}$$

$$ADHER = (1 - ERR) \times 100$$

여기서,  $h_i^m$  :  $i$ 회 평균차두간격  
 $h_i^j$  :  $i$ 회  $j$ 정류소 차두간격  
 $m$  : 정류소개수  
 $n$  : 일일운행회수  
 $MAPE_i$  : 회차( $i$ )별 평균차두간격 대비 정류소 ( $j$ )별 차두간격 절대편차평균의 비율, 회차별 차두간격편차율  
 $ERR$  : 해당노선의 평균차두간격편차율  
 $ADHER$ : 정시성지표

NAGER)는 실제 버스운행관리에 투입되는 관리자를 고려하기 위하여 부장급 이상을 제외한 인원을 포함시켰으며, 사고발생건수(C\_ACCIDENT)는 2007년 보험회사에 접수된 사고건수를, 현금영수증 발급오차율(C\_RECEIPT\_ERR)은 2008년 운수사별로 현금수집금과 영수증 발급을 차이로 정의한다.

입찰간선회사는 간선노선만을 운영하며 장거리를 운행하기 때문에 평균운행대수는 34대정도로 비교적 많다. 이에 반해, 마을버스에서 시내버스로 바꾼 면허전환업체는 노선이 짧고(11.6km) 운행대수가 적다. 자율업체는 간선, 순환, 지선 모든 노선을 보유하고 있으며, 순환은 특정지역을 반복적으로 순환하여 노선연장과 배차간격이 제일 짧다.

IV. 모형구축

1. 변수정의 및 선정

종속변수(정시성)는 식(2)와 같이 차두간격분산계수와 유사한 회차별( $i$ ) 차두간격편차율( $MAPE_i$ )을 평균하여 환산한 값( $ADHER$ )을 정시성으로 정의하여 사용하였다.

<표 5> 상관분석결과

구분	변수명	상관계수	유의도 (2-tailed)	비고
노선변수 (level1)	L_bTRUNK	-0.474	0.000	
	L_bFEEDER	0.434	0.000	
	L_VEHICLE	-0.854	0.000	
	L_PERSON_V	-0.393	0.000	
	L_KURT_P	0.365	0.000	
	L_TRAVEL	-0.613	0.000	
	L_TTI	-0.118	0.027	0.05
	L_LENGTH	-0.525	0.000	
	L_STATION	-0.517	0.000	
	L_MEDIAN	-0.332	0.000	
회사변수 (level2)	C_bTENDER	-0.021	0.002	
	C_LINE	0.237	0.000	

<표 6> 독립변수간 상관분석결과

상관계수	L_bTRUNK	L_bFEEDER	L_VEHCLE	L_LEN GTH	L_STA TION
L_bTRUNK	1	-0.975	0.620	0.619	0.532
L_bFEEDER	-0.975	1	-0.586	-0.579	-0.480
L_VEHCLE	0.620	-0.586	1	0.755	0.726
L_LENGTH	0.619	-0.579	0.755	1	0.941
L_STATION	0.532	-0.480	0.726	0.941	1

적정 설명변수 선정을 위하여, 종속변수와 독립변수 간의 상관분석 및 다중회귀분석을 실시하였다. 상관분석 결과(<표 5> 참조), 회사변수는 유의수준 95%에서 2개의 변수만이 상관성이 높은 것으로 나타난 반면, 노선변수는 11개의 변수가 유의한 것으로 나타났다.

이들 유의변수들을 대상으로 상관관계 분석을 다시 실시한 결과 L\_VEHCLE, L\_LENGTH, L\_STATION 사이에는 상관관계가 높아(<표 6> 참조) 다중공선성이 발생할 확률이 높은 것으로 판단되어 모형개발시에는 3개의 변수 중 종속변수와 상관성이 높은 L\_VEHCLE만을 독립변수에 포함시켰다.

다중회귀분석은 stepwise기법을 사용하였으며 분석 결과는 <표 7>과 같다. C\_bTENDER, C\_LINE, L\_bTRUNK, L\_bFEEDER, L\_VEHCLE, L\_PERSON\_V, L\_KURT\_P, L\_TRAVEL, L\_TTI, L\_LENGTH, L\_STATION, L\_MEDIAN, L\_HEADWAY가 유의수준 95%에서 유의한 것으로 나타났으며, 공차(Tolerance)는 0.1 이상, 분산확대계수(VIF)는 3내외로 선택된 설명변수간 다중공선성 문제는 없는 것으로 판단된다.

상관분석 및 다중회귀분석 결과 유의변수는 L\_VEHCLE, L\_HEADWAY, L\_TTI, L\_PERSON\_V, C\_VEHCLE, C\_ACCIDENT로 나타났으나, 이는 다중회귀분석을 위한 변수선택 기준일 뿐이므로 HLM 적용변수선택의 기준이 될 수는 없다. 따라서, 상관분석결과와 다중회귀분석결과를 토대로 최종변수를 선정하였다. 선정결과, HLM의 모형구축 대상변수는 1수준의 경우 L\_bTRUNK, L\_bFEEDER, L\_VEHCLE, L\_PERSON\_V, L\_TTI, L\_HEADWAY, 2수준의 경우 C\_bGENERAL, C\_bTENDER, C\_VEHCLE, C\_ACCIDENT로 선정하였다.

<표 7> 다중회귀분석결과

Model	계수	t 통계량	p-값	다중공선성 통계값	
				Tolerance	VIF
Constant	0.9071 (0.0145)	62.60	0.000	-	-
L_VEHCLE	-0.0046 (0.00016)	-29.57	0.000	0.71	1.41
L_HEADWAY	0.0030 (0.0004)	8.08	0.000	0.59	1.68
L_TTI	-0.0249 (0.0056)	-4.44	0.000	0.89	1.12
L_PERSON_V	-0.00004 (0.00001)	-3.96	0.000	0.75	1.33
C_VEHCLE	0.0002 (0.00005)	4.03	0.000	0.33	3.02
C_ACCIDENT	-0.00013 (0.00005)	-2.55	0.011	0.34	2.92

\* 괄호안은 회귀계수의 표준오차임.

ICLE, L\_HEADWAY, L\_TTI, L\_PERSON\_V, C\_VEHCLE, C\_ACCIDENT로 나타났으나, 이는 다중회귀분석을 위한 변수선택 기준일 뿐이므로 HLM 적용변수선택의 기준이 될 수는 없다. 따라서, 상관분석결과와 다중회귀분석결과를 토대로 최종변수를 선정하였다. 선정결과, HLM의 모형구축 대상변수는 1수준의 경우 L\_bTRUNK, L\_bFEEDER, L\_VEHCLE, L\_PERSON\_V, L\_TTI, L\_HEADWAY, 2수준의 경우 C\_bGENERAL, C\_bTENDER, C\_VEHCLE, C\_ACCIDENT로 선정하였다.

2. 모형추정

본 연구에서는 수준별 변수가 정시성에 미치는 영향을 파악(서울시 시내버스 기준)하기 위하여, HLM의 Sub-Model 중 random Intercept 모형을 적용하였으며 형태는 식(3)과 같다. 설명변수는 앞절에서 선택한 변수를 적용하였으며, 모형추정은 SAS 9.1의 MIXED PROC 모듈을 이용하였다.

노선(i)모형식 - 1 level

$$Y_{ij} = \beta_{oj} + \beta_{1j}X_{ij} + r_{ij}, \quad r_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$

운수회사(j)모형식 - 2 level

INTERCEPT  $\beta_{oj} = \gamma_{00} + \gamma_{01} W_j + u_{oj}$   
 SLOPE  $\beta_{1j} = \gamma_{10}$

통합모형식

$$Y_{ij} = \beta_{oj} + \beta_{1j}X_{ij} + r_{ij} = \gamma_{00} + \gamma_{01} W_j + u_{oj} + \gamma_{10} X_{ij} + r_{ij} \tag{3}$$

여기서,

- $i$  :  $i$  노선
- $j$  :  $j$  회사
- $Y_{ij}$  : 종속변수
- $X_{ij}$  : 노선수준의 설명변수
- $r_{ij}$  :  $j$  회사  $i$  노선간의 랜덤효과
- $\gamma_{00}, \gamma_{01}$  : 회사수준의 고정효과 (Intercept)
- $\gamma_{10}$  : 회사수준의 고정효과 (Slope)
- $W_j$  : 회사수준의 설명변수
- $u_{oj}$  : 회사수준의 error term (Intercept)
- $u_{1j}$  : 회사수준의 error term (Slope)

<표 8> 모형추정결과

변수명	Estimate	Std. Error	t 통계량	Pr >  t
Constant	0.9514	0.02114	45	<.0001
L_bTRUNK	-0.04917	0.01599	-3.07	0.0023
L_bFEEDER	-0.04964	0.01526	-3.25	0.0013
L_VEHICLE	-0.00468	0.000201	-23.33	<.0001
L_PERSON_V	-0.00004	0.000099	-4.15	<.0001
L_TTI	-0.02254	0.005565	-4.05	<.0001
L_HEADWAY	0.002962	0.000382	7.74	<.0001
C_bGENERAL	0.006954	0.007427	0.94	0.3497
C_bTENDER	0.02144	0.01221	1.76	0.0798
C_VEHICLE	0.000143	0.000065	2.21	0.0277
C_ACCIDENT	-0.00010	0.00007	-1.52	0.1283

V. 분석결과

HLM을 이용한 모형추정 결과, 유의수준 95%에서 C\_bGENERAL, C\_bTENDER, C\_ACCIDENT를 제외하고 모두 유의한 것으로 나타났다. 노선변수의 경우 일평균배차간격(L\_HEADWAY)을 제외한 모든 변수가 정시성과 반비례 관계를 가지는 것으로 분석되었다.

노선유형에 따른 차이에서는 간선과 지선노선이 순환노선에 비해 정시성이 떨어지는 것으로 나타났는데, 이는 간선과 지선의 노선 운행길이가 상대적으로 길고 도심과 같이 차량이 복잡한 지역을 통과하여 운행하기 때문에 운행 중 정시성을 유지하기 어렵기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 차량(L\_VEHICLE)이 많은 노선일수록 노선연장이 길어 배차관리의 어려움으로 인해 정시성이 떨어지는 것으로 나타났으며, 대당승객수(L\_PERSON\_V)가 많을수록 승차차로 인한 정차시간이 길어져 정시성이 낮아지는 것으로 나타났다. 하지만, 평균배차간격(L\_HEADWAY)이 클수록 배차간격이 짧은 노선에 비해 정시성이 높은 것으로 분석되었다. 이는 차두간격이 짧은 노선은 정시성을 표현하는 값을 산출할 때 작은 시간편차도 큰 비율을 차지하기 때문으로 판단된다.

회사변수 수준에서는 회사유형에 따른 차이는 거의 없는 것으로 나타났으나 입찰간선노선의 경우 유의수준 90%에서 정시성이 높은 것으로 나타났다. 이는 노선을 재입찰받기 위해 정시성과 같은 운행관리수준을 적절하게 관리하기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 차량관리대수가 많을수록 정시성이 높은 것으로 분석되었는데, 그 이유로는 차량관리대수가 많은 대형업체는 영세업체보다 버스의 운영계획을 효율적으로 수립하여 운영하기 때문인 것으로 짐작된다.

<표 9> HLM vs OLS

변수명	HLM		OLS	
	Estimate	Std. Error	Estimate	Std. Error
Constant	0.9514***	0.0211	0.9071***	0.0145
L_bTRUNK	-0.0492**	0.0160	-	-
L_bFEEDER	-0.0496**	0.0153	-	-
L_VEHICLE	-0.0047***	0.0002	-0.0046***	0.00016
L_PERSON_V	-0.00004***	0.0001	-0.00004***	0.00001
L_TTI	-0.0225***	0.0056	-0.0249***	0.0056
L_HEADWAY	0.0030***	0.0004	0.0030***	0.0004
C_bGENERAL	0.0070	0.0074	-	-
C_bTENDER	0.0214*	0.0122	-	-
C_VEHICLE	0.00014**	0.00007	0.0002***	0.00005
C_ACCIDENT	-0.00010	0.00007	-0.00013**	0.00005

\* p<0.10, \*\*p<0.05, \*\*\*p<0.01

운수사(2수준)의 차이에 의해 설정되는 비율(ICC, intraclass correlation coefficient)이 0.09이상으로 운수사에 의한 정시성 변동요인이 전체의 10%정도 존재하는 것으로 분석되어, OLS보다 HLM을 적용하는 것이 타당한 것으로 확인되었다.

$$ICC = \frac{\tau_{00}}{\sigma^2 + \tau_{00}} = \frac{0.000086 + 0.000786}{0.000786} = 0.10$$

여기서,  $\tau_{00}$  : 운수사간 변동성에 의한 분산  
 $\sigma^2$  : 운수사 내부변동성에 의한 분산

HLM 추정결과와 OLS를 비교해 보면 <표 9>에 나타난 것처럼 HLM에서는 노선변수에서 L\_bTRUNK와 L\_bFEEDER가, 회사변수에서 C\_bTENDER가 유의한 변수로 모형에 포함된 것을 알 수 있다. 반면에 OLS에서 유의한 변수였던 C\_ACCIDENT 변수는 제외되었다.

추정된 모형계수를 살펴보면 노선변수의 경우 OLS나 HLM 모두 비슷한 계수값을 산출하지만 회사변수의 경우 두 모형에서 얻은 계수값이 서로 다름을 알 수 있다. 이처럼 자료의 계층적 구조를 고려하지 않고 일반적인 방법으로 모형을 예측하게 되면 정시성에 영향을 미치는 변수들을 효과적으로 도출해내지 못할 뿐만 아니라 회사수준과 같은 상위수준의 변수에서는 잘못된 계수값을 얻게 되므로 모형 예측시 자료의 구조 특성을 고려하는 것이 필요하다.

## VI. 결론 및 향후연구

일반적으로 버스의 정시성(차두간격편차)은 노선특성에 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있으나, 과학적인 분석이 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 노선 및 운수회사 특성에 따른 차두간격편차 요인을 분석하기 위하여, 먼저 수집가능한 자료(BMS자료, 교통카드자료, 인가자료, 기타 등)를 활용하여 설명변수를 설정하였으며, 상관분석 및 선형회귀분석을 통하여 최적설명변수를 선택하고, 이를 기반으로 위계적 형태의 자료 분석에 많이 사용되는 Hierarchical Linear Model을 적용하여 별수별로 정시성에 미치는 영향을 분석하였다.

분석결과, 정시성(차두간격편차)은 일부 운수회사 수준 변수에서 유의하지 않았으나, 노선변수는 모두 유의한 것으로 나타났으며, ICC가 0.10으로 분석되어 OLS보다 HLM 적용이 더 적합한 것으로 분석되었다. 하지만, 일부 종속변수와 설명변수(차두간격편차)간 관계를 명확하게 해석하기 어려운 변수도 존재하였다.

버스의 정시성(종속변수, ADHER)은 노선변수 수준에는 운행대수, 평균차두간격, 대당승객수 순으로 영향이 큰 것으로 나타났으며, 운행대수가 많은 노선 또는 대당승객수가 많은 노선은 정시성과 반비례 관계이며, 평균차두간격은 비례관계를 가지는 것으로 분석되었다. 회사변수 수준에서는 회사규모(관리대수)가 클수록, 일반 회사 보다는 입찰간선회사가 정시성에 양(+)의 영향을 주는 것으로 분석되었다. 따라서, 정시성 평가관리시 노선별 운행대수, 평균차두간격, 운수사별 관리차량대수에 의한 영향을 고려하는 것이 합리적이다. 또한, 정시성을 향상시키기 위해서는 노선의 연장이 짧고, 운수사의 규모가 클수록 유리하다 할 수 있다.

본 연구결과를 기반으로 향후 공공기관에서 버스회사를 대상으로 운행관리수준을 평가할 때 정성적 평가보다는 훨씬 객관적이고 정량적인 평가가 가능할 것으로 생각되며, 버스의 정시성을 높이기 위해서는 가급적 장대노선을 지양하고 짧은 노선을 운행하도록 유도하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

종속변수 및 설명변수의 형태(정의)에 따라 분석결과가 일부 다르게 나타날 수 있어 다양한 형태의 분석이 추가적으로 필요하며, 일반 선형회귀모형에서는 기존에 이상치(outlier)를 제거하는 방법론이 많이 제시되어 있으나, HLM에서는 해당방법론이 없어 이상자료에 의한 오류로 모형설명력이 떨어질 수 있는 문제가 있다. 향후 회사수준

에 대한 설명변수 자료를 더욱 보강하여 정밀한 모형을 구축할 필요가 있으며, 설명변수 수준을 3-level(운수사-노선-운전자, 운수사-노선-차량)까지 세분화하여 모형을 구축할 필요가 있다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

## 참고문헌

1. 강명구(2007), "주거비용에 영향을 미치는 요소분석", 한국시스템다이내믹스 연구 제8권 제2호 pp.253~273.
2. 고승영·박준식·김은호 (2005), "버스 운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용", 대한교통학회지, 제23권 제2호, 대한교통학회, pp.131~141.
3. 고승영·박준식 (2005), "버스 운행 정시성의 서비스 수준 기준설정", 대학교통학회지, 제23권 제2호, 대학교통학회, pp.151~160.
4. 김은정 (2004), "SPSS 통계분석 10", 21세기사.
5. 김청택 (2009), "Hierarchical Linear Model", 서울대학교 심리학과.
6. 성기선(2004), "고등학교 평준화 정책의 효과에 대한 위계적 선형모형 분석", 교육사회학연구 제14권 제3호, pp.87~106.
7. 양지영·김영찬·김승일 (2005), "시공도를 이용한 버스운행 정시성 지표개발", 대한교통학회지, 제23권 제8호, 대한교통학회, pp.129~138.
8. 이호상 (2009), "APTS 자료기반의 서울시 버스신뢰성 관리정책과 평가", 한국ITS학회지 제7권 제2호, pp.1~12.
9. 인천시 (2006), "인천광역시 BIS/BMS 구축에 관한 연구", 인천발전연구원.
10. Bates, J. W. (1986), "Definition of practices for bus transit on-time performance : Preliminary study", Transportation Research Circular No. 300, Trans. Res. Board, Washington, D.C.
11. Benn. H. P. (1995), "TCRP synthesis of Transit Practice 10 : Bus Route Evaluation Standards", Transportation Research Board, National Academy, Washington, D.C.

