

■ 論 文 ■

# 버스몰림운행 지속시간 추정모형 개발에 관한 연구

## A Study on Development of Bus Bunching Duration Model

김은경

((주)티테크이앤씨  
교통환경디자인연구소 소장)

노정현

(한양대학교 도시대학원 교수)

류시균

(경기개발연구원 연구위원)

### 목 차

- I. 서론
    - 1. 연구의 배경 및 목적
    - 2. 연구의 내용 및 과정
  - II. 지속시간 모형의 이해
    - 1. 이론적 검토
    - 2. 기존연구고찰
  - III. 자료구축 및 분포의 선정
    - 1. 대상지역 선정 및 자료개요
  - 2. 버스몰림운행 지속시간 산정
  - 3. 버스몰림운행 지속시간 분포선정
  - 4. 설명변수 자료구축
  - IV. 모형의 추정 및 해석
    - 1. 모형추정 및 검증
    - 2. 모형해석 및 정책제시
  - V. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 버스몰림, 정차면수, 생존분석, 기저선, 버스몰림운행 지속시간모형  
Bus Bunching, Number of Berth, Survival Analysis, Base Line, Bus Bunching Duration Model

### 요 약

본 연구는 정류소에서 여러노선의 버스가 동시에 몰려들어오는 버스몰림운행의 실태를 파악하고 이로 인해서 야기되는 문제점을 개선하기 위하여 버스몰림운행지속시간 모형을 추정하고 버스몰림운행에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 버스몰림지속시간의 관측치를 대상으로 8개의 지속시간에 대한 분포를 검토하여 가장 적합도가 높게 나타난 weibull 분포를 가정한 모형을 개발하였다. 18개 영향변수를 검토하였으며 정차면수, 정차면수당 노선수, 노선당 최대 승하차인원을 설명변수로 하는 버스몰림운행 지속시간 모형을 개발하였다. 중앙버스전용차로(도봉미아로)와 가로변 전용 및 일반차로(통일의주로)에 대한 모형을 각각 도출하여 비교하였다. 그 결과, 도봉미아로의 몰림지속시간은 통일의주로에 비해 교통량에 대한 영향을 많이 받으며, 통일의주로는 도봉미아로에 비해 정차면수와 정차면수당 노선수, 노선당 최대 승하차인원에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 개발된 모형을 토대로 버스몰림운행현상의 완화방안을 제시하였다.

The present study aims at estimating the model of bus bunching duration along with its influential determinants in an attempt to understand the status of bus bunching being created by buses from various routes converging into one bus stop. To do so, the duration analysis, a well-known survival analysis, was adopted in order to capture the distribution of duration time as for 8 base lines, accordingly developing the model best fit for weibull distribution. Key attention to draw out the duration time model for bus bunching phenomena was laid, by analyzing 18 impact factors, on such criterion variables as number of berth, number of bus line in each berth and maximum capacity of on-and-off passengers in each line. Comparison in two typical types of bus lane was made between bus-only center lane(Dobong Mia-ro) and normal street-side lane(Tongil Euiju-ro). In this regard, the study, based on the model as above, suggested appropriate alternatives to improve the bus operation by effectively controlling bus bunching.

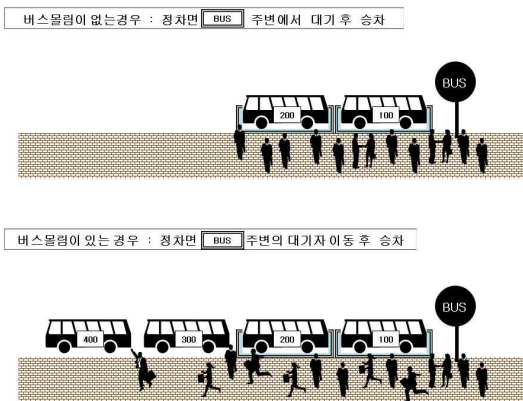
I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

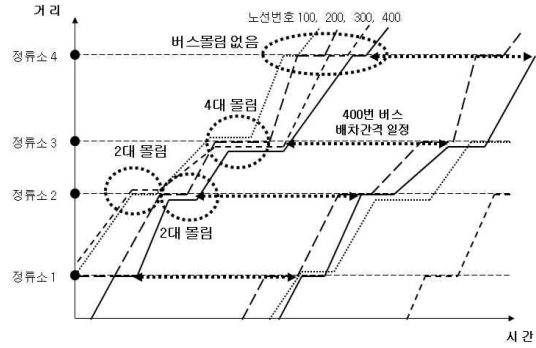
우리나라 대도시의 중요한 교통수단인 버스는 가장 높은 수단분담률을 차지하고 있으며 앞으로도 당분간은 우월적 지위가 유지될 것으로 전망된다. 서울시만 하더라도 400여 노선, 7천 5백여 대의 버스가 짧은 배차간격으로 빈번하고 신속하게 대량의 승객수송을 담당하고 있다. 또한, 버스정보시스템의 발달과 효율적인 관리로 높은 정시성이 유지되고 있다.

하지만, 많은 노선이 짧은 배차간격으로 빈번히 운행됨에 따라 여러 대의 노선버스가 정류소에 몰려들어오는 현상이 발생하고 있다. 지하철의 경우 환승편의를 위해서 서로 다른 두 노선의 열차를 병렬 승강장에 동시에 정차하여 곧바로 환승할 수 있도록 유도하는 경우(ex. 금정역 1호선과 4호선간의 환승)도 있지만, 대도시의 시내버스는 배차간격이 짧고 정시성이 낮아 이러한 전략을 구사할 수 없을 뿐만 아니라 정류소의 병렬 설치도 용이하지 않아 버스몰림현상은 긍정적 효과보다는 부정적 효과를 야기한다

<그림 1>과 같이 일반적으로 버스이용자들은 정류소에서 버스표지판과 정차면(Berth)이 표시되어 있는 공간에서 버스를 대기하게 된다. 설치된 정차면수(Number of Berth)보다 적은 버스가 도착할 경우에는 자연스럽게 승차가 이루어지지만, 정차면수를 초과하는 버스가 동시에 도착하면 정차면 뒤쪽의 버스에 승차하기 위한 불필요한 보행과 뛰어다니는 혼란이 발생된다.



<그림 1> 정류소에서 버스몰림운행 예시



<그림 2> 시공도에서 버스몰림운행 예시

한 정류소에서의 예를 확대하여 여러 정류소에 대한 가상의 버스운행 시공도를 통해 버스몰림운행을 살펴보자. <그림 2>는 가상의 4개 노선버스가 정류소 1에서 정류소 4까지 이동하는 주행궤적을 시간의 흐름에 따라 나타내고 있다. 전체적으로 노선버스의 배차간격은 일정하게 운행되며 정류소의 평균배차간격은 동일하지만, 정류소에서의 정차시간이 다르고 정류소간 주행속도의 차이로 인해 정류소별로 버스몰림운행이 서로 다르게 나타나고 있다. 이러한 운행태는 버스배차간격을 맞추기 위한 과속과 무리한 추월 등을 야기할 수가 있으며, 정류소 대기승객의 보행거리를 길게 함으로써 불편함을 주게 된다.

따라서, 버스몰림운행 실태에 대한 면밀한 이해와 완화방안에 대한 검토가 필요하다. 그러나, 대부분의 버스운행에 관한 연구(H.P.Benn, 1995; TCQSM, 2003; 윤혁렬, 2004; 고승영, 2005; 양지영, 2006; 김원호, 2007)는 동일노선간의 배차간격과 정시성에 초점을 두고 있으며, 버스몰림운행 연구에 있어서도 동일한 노선에 대한 정시성 확보의 연장선에 있다. 김태호(2002)는 동일노선버스가 정류장에 동시에 들어오는 쌍현상에 주목해서 통행시간 및 승하차 시간과 쌍현상간 인과관계를 살펴봐왔다. 또한, 이호상(2007, 2008)은 서울시 교통정보센터 수집자료를 통한 버스운행관리방안으로 버스몰림을 언급하였으나, 동일한 노선에 대한 몰림문제로 한정하였다.

반면에, 김은경(2008)은 동일노선 뿐아니라 운행하는 전체버스노선에 대한 몰림운행실태를 파악하기 위하여 몰림운행지표 및 지표의 활용방안을 제시하였다. 특히, 김은경(2008)은 서울시 BMS(Bus Mangement Systems) 자료를 이용해서 배차간격의 분산이 유사한 3개 정류소의 버스몰림운행 정도에 상당한 차이가 있음을 규명하였으며, 시간대별, 정류소별 버스몰림운행 실태

태 분석을 통해 오전 침두시간대와 환승이 빈번한 지하철역 인접 정류소에서 버스몰림운행현상이 심각하다는 점을 제시하였다.

본 연구에서는 버스몰림운행현상을 완화시키기 위한 정책수단의 발굴을 목적으로 버스몰림운행현상의 지속시간에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위한 버스몰림운행 지속시간 추정모형을 개발하고자 한다. 또한, 추정된 모형의 해석을 통해서 버스몰림운행현상의 완화방안을 모색하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 과정

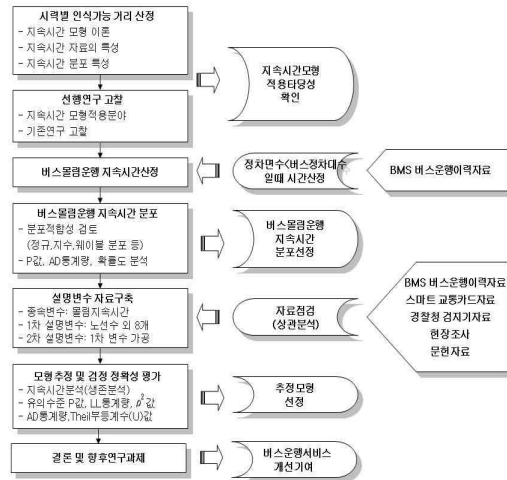
본 연구에서는 1차적으로 버스몰림운행현상의 지속시간에 영향을 미치는 요인탐색을 위해서 버스몰림운행현상 지속시간모형을 개발하였다. 이를 위해 지속시간모형의 이론과 자료 및 분포의 특성을 살펴보고 지속시간 분석모형에 관한 선행연구와 적용분야들을 살펴보았다. 이러한 과정을 통해 지속시간 모형이 본 연구에 적합한 분석 방법인지에 대한 적용타당성을 확인한 후 모형개발을 수행하였다.

모형추정을 위한 기초데이터로서 서울시 스마트 교통카드 자료와 서울시 BMS(Bus Mangement Systems)의 버스운행이력자료가 활용되었다. 이외에도 서울시 경찰청 검지기자료 및 교통영향평가서 등의 문헌자료와 현장조사를 통한 자료수집이 이루어졌다.

본 연구에서는 정류소의 정차면수보다 많은 버스대수가 동시에 도착하여 정차하는 경우를 몰림운행으로 정의하고 이때의 시간길이를 버스몰림운행 지속시간으로 규정하였다. 현장조사를 통해서 측정된 버스몰림지속시간이 어느 분포에 적합한지를 살펴보기 위해 8개의 확률분포를 대상으로 분포적합성 검증을 수행하였다. 지속시간 모형은 기저선(base line) 설정이 중요하기 때문에 어느 분포를 가정하는지가 매우 중요하다.

조사를 통해서 확보된 8가지 1차 변수(노선수, 정차면수, 승차인원, 하차인원, 정류소간 거리, 신호갯수, 교통량, 속도)와 1차 변수들의 조합·가공을 통해서 생성된 8가지의 2차 변수(ex. 노선수/정차면수, 승차인원/노선수 등)등, 모두 16개의 변수를 설명변수로 선정하였고, 종속변수와 설명변수간, 그리고 설명변수간 상관관계를 살펴보았다.

모형은 최우추정법을 통해서 추정되었으며, 모형의 통계적 검증은 변수들의 유의수준(P값)과 LL(Log-



<그림 3> 버스몰림운행 지속시간 모형개발 흐름도

Likelihood)통계량으로 산출되는 우도비( $\rho^2$ )를 통해 검토되었다. 또한 모형을 통해서 추정된 값이 실측값을 얼마나 잘 설명하고 있는지를 살펴보기 위해서 Theil의 부등계수(Theil's inequality coefficient, U값)를 검토하였다. (Robert S 외, 1991)

끝으로, 추정된 모형을 통해 버스몰림운행에 영향을 미치는 요인을 살펴보고 버스몰림운행현상의 완화방안과 결론 및 향후연구과제를 제시하였다.

II. 지속시간 모형의 이해

1. 이론적 검토

지속시간 모형(duration model)은 관찰대상을 일정 시간 추적하여 특정사건이 발생하기까지의 시간을 측정하고 나아가서 사건발생에 영향을 미치는 요인을 찾고자 하는 분석방법이다. 적용되는 분야에 따라 의학분야에서는 생존기간을 분석하는 생존분석(survial analysis)으로, 제조업분야에서는 제품의 수명기간을 분석하는 제품 신뢰성 분석(accelerated reliability analysis)으로 불리며 광범위한 분야에서 다양한 목적으로 활용되고 있다. 교통분야에서는 지속시간모형의 활용이 보편화되어 있지 않으며, 본 연구에서는 지속시간분석과 지속시간모형이라는 용어를 활용하였다.

지속시간은 대상사건이 무엇이건 간에 그 사건이 일어날 때까지의 시간을 말하는데 예를 들어 해열작용을

연구할 때는 고열이 지속되는 시간을, 혼인이 대상사건 이면 독신으로 있는 기간이 지속시간이지만 이혼이 대상 사건이면 혼인상태로 있는 기간이 지속시간이 된다. 일반적으로 시간의 길이가 측정변수이지만 반드시 물리적인 시간으로 측정변수가 한정되는 것은 아니다. 가령, 자동차 타이어가 펑크 날 때까지 부착되어 있었던 시간길이보다는 타이어가 부착된 이후 주행한 거리가 관심대상이 된다.(박재빈, 2006)

본 연구에서는 물림운행이 지속되는 시간을 종속변수로 설정하였다. 그런데, 지속시간 자료는 관측 도중에 관측이 중단되는, 이른바 중도절단(censoring)이 발생할 수 있어 일반적 다변량 통계분석방법을 이용한 분석은 통계이론 측면에서 부적절하다. 가장 보편적인 다변량 분석기법인 회귀분석의 경우, 오차항(종속변수)의 정규분포 가정에 무리가 없어야 활용가능한데 지속시간의 분포는 정규분포를 따르지 않는 경우가 대부분이기 때문에 회귀분석의 활용은 적절치 않다. 또한 중도절단된 자료를 회귀모형 구축과정에서 폐기하던 활용하던 추정된 모형에는 편의(bias)가 내재되어 있다는 단점도 회귀모형의 활용을 제약하는 원인이 된다.

이항 로지스틱 회귀모형 또한 대안적 분석방법으로 고려할 수 있는데, 중도절단 자료를 처리할 수 없다는 문제와 사건발생에 대한 시간(time to event) 자료를 분석할 수 없다는 한계가 있다.(송경일 외, 2008)

따라서, 본 연구에서는 지속시간이라고 하는 종속변수와 관련된 제반 조건을 수용할 수 있는 지속시간 분석을 적용하였다.

지속시간 모형분석은 비모수적(non-parametric) 방법과 모수적(fully-parametric) 방법, 중간형태인 semi-parametric 분석으로 나뉜다.

비모수적(non-parametric) 분석은 지속시간에 대해

특정한 분포를 가정하지 않고 단지 주어진 자료에 대해 관찰한대로 생존확률을 계산하는 방법으로서 생명표법(life table method), Kaplan-Meier 방법 등이 있다. 비모수적 분석은 의학통계 부문에서 어떠한 치료를 실시한 집단과 아닌 집단의 생존확률을 단순히 비교하는데 많이 적용된다.

모수적(fully-parametric) 방법은 지속시간자료에서 지속시간이 어떤 알려진 특정한 분포에 따르는 것으로 간주하여 생존기간에 영향을 미치는 다양한 요인의 영향을 평가하는 방법이다. 모수적 방법은 독립변수가 지속시간에 직접 영향을 미치는 형태로 되어있다.

semi-parametric 분석은 지속시간의 분포에 대해서 어떠한 가정도 도입하지 않는다는 점에서는 비모수적이지만 모형에 근거해서 회귀계수를 추정한다는 점에서 모수적이다. 지속시간에 영향을 미치는 요인이 비례적으로 영향을 미치기 때문에 비례해저드 모형(proportional hazard), 또는 Cox의 비례해저드 모형(Cox proportional hazard)이라고 한다.

본 연구에서는 물림운행이 지속되는 시간에 영향을 미치는 다양한 요인에 대한 모형을 추정하기 위해, 기저선(baseline) 지속시간  $T_0$ 에 변수들이 직접적인 영향을 미치는 모수적 모형<sup>1)</sup>을 적용하였다. 지속시간모형의 기본형은 식(1)과 같다.

$$T_i = T_0 \exp(\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n) \cdot \epsilon_i \quad (1)$$

여기서,  $T_i$  :  $i$ 번째 개체의 지속시간

$T_0$  : 기저선(baseline)의 지속시간

$x_i$  : 설명변수

$\beta_i$  : 계수

$\epsilon_i$  : 오차

<표 1> 회귀분석과 지속시간분석 방법의 비교

분석방법	예측변수	분포	중도절단	수학적 모형	본 연구 적용방법
선형 회귀분석	범주형 또는 연속형 변수	정규분포	불허	$y = \beta_0 + \beta_1 x_1$ (linear)	
로지스틱 회귀분석	범주형 또는 연속형 변수	이항분포	불허	$\ln(p/1-p) = \beta_0 + \beta_1 x_1$ (sigmoidal probability)	
지속시간 분석	시간, 범주형 연속변수	다양	허용	$T = T_0 \cdot \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1)$	○

1) 변수가 기저선 지속시간(ex.제품의 수명)에 상승적인 영향을 미치기 때문에 산업계에서는 가속화 고장시간(AFT, Accelerated Failure Time) 모형이라도 함. 여기서, 지속시간에 상승적으로 작용하는 효과, 즉  $(\beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)$ 를 가속요인(acceleration factor)이라고 함.

식(1)에 자연대수를 취하면,

$$\log T_i = \log T_0 + (\beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_n x_{in}) + \epsilon^* \quad (2)$$

여기서,  $\epsilon^* = \log \epsilon$

이 되어 일반 선형회귀모형과 동일한 형태를 갖는다. 그러나,  $\log T$ 는 정규분포를 하지 않으며, 지속시간 자료에 있어 중도절단(censoring)이 있을 경우 선형회귀모형의 활용은 부적절하다.

$\log T_0 + \epsilon^* = \sigma W$ 으로 두면 식(3)과 같이 정리되며,  $W$ 는  $\log T$ 의 분포를 따르며,  $\sigma$ 는 척도모수로서 상수이다.

$$\log T_i = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_n x_{in} + \sigma W \quad (3)$$

여기서,  $\sigma W$ :  $\log T_0$ 와  $\epsilon^*$ 의 변형

$W$ :  $\log T$ 의 분포를 따름

$\sigma$ : 척도(scale) 모수

따라서, 모형의  $\beta$ ,  $\sigma$ 계수는 모형의 로그우도함수(log-likelihood function)를 비선형계획법(가령, Newton' Method)로 최대화시켜 추정할 수 있다. 그러나, 지속시간에 대한 함수가 어떤 분포를 가정하느냐에 따라 추정모형이 달라지므로 면밀하게 검토할 필요가 있다.

## 2. 기존연구고찰

교통분야 연구에서 지속시간 모형은 시간이 종속변수로 사용되는 차량구매간격, 쇼핑이나 여가에 투자하는 시간, 새로운 교통기술의 적용에 소요되는 시간 등의 분석에 적용되고 있다.

이신혜(1996)는 지속시간모형을 이용해서 판매시설 이용자의 주차시간에 관하여 연구하였다. 주차시간이 웨이블 분포를 따른다는 전제 하에 AFT (Accerlerated Failure Time) 모형을 구축하고 사회경제적 특성(나이, 직업, 소득, 가족수, 운전면허보유자수, 승용차보유대수)과 주차특성(주차요금, 주차목적)이 판매시설의 주차시간에 미치는 영향을 검토하였다.

山本俊行 외(1998)는 지속시간모형을 이용해서 자동차 보유기간과 가구내 특성변수인 면허보유자수, 취업자수, 보유자동차대수와의 관계를 규명하였다.

권상순(2002)은 고속도로에서 발생하는 돌발상황에 효과적으로 대응하기 위해서 위험률 기반 지속시간모형

을 개발, 돌발상황의 지속시간추정에 활용하였다. 한국도로공사의 돌발상황 자료를 이용하였으며, 돌발상황의 지속시간을 종속변수로, 계절적 요인, 시간, 환경, 돌발상황유형 및 특성 등을 설명변수로 활용하였다.

박지훈(2004)은 지속시간 분석방법을 이용하여 자동차생산의 소요시간에 미치는 요인을 분석하였다. 생산자의 관점에서 우리나라 각 자동차 제조사별 생산활동의 특성과 자동차의 생산소요시간간 관계를 규명하고, 이를 다시 내적 요인과 외적 요인으로 구분함으로써 단순평균 비교와 같은 일반적인 통계분석기법으로는 규명이 불가능한 경영정보를 해석함으로써 자동차 제조기업들이 글로벌 경쟁환경에서 최적의 생산주기 전략을 수립하기 위한 기초연구가 되었다.

정연식 외(2007)는 AFT모형을 이용하여 고속도로에서 발생한 교통사고의 지속시간을 모형화하였다. 교통사고의 지속시간 예측을 통해서 고속도로 운영자로 하여금 사고에 대한 적절한 대응전략을 수립하도록 지원할 수 있음은 물론 운전자에게 제공될 교통정보의 내용 및 갱신시점의 결정에 유익하게 활용될 수 있음을 제시하였다.

이 외에도 Carol C. S. 외(1992), Hensher, D. A. 외(1994) 등이 자동차 교통행동 분석에 지속시간 모형을 적용한 사례가 있다.

## III. 자료구축 및 분포의 선정

### 1. 대상지역 선정 및 자료개요

서울시 교통정보센터 TOPIS(Transportation &



<그림 4> 분석대상 지역

Information Service)자료(2007년)와 서울시 BMS (Bus Management Systems)의 자료로부터 분석에 필요한 기초자료를 수집하였다. 서울시는 BMS를 통해서 서울시에 등록된 404개 노선, 7,573대의 버스로부터 GPS단말기와 무선통신을 이용하여 버스 운행정보를 수집하고 있다.

본 연구에서는 <그림 4>과 같이 중앙버스전용차로로 운영 중에 있는 도봉미아로를 경유하는 80개 노선과 가로변 및 일반차로로 운영중에 있는 통일의주로를 경유하는 40개 노선, 약 3,000대의 버스에 대한 24시간 교통정보를 추출하여 분석에 활용하였다.

분석대상인 도봉미아로와 통일의주로의 특징을 살펴보면 <표 2>와 같다.

중앙버스전용차로로 운영되는 도봉미아로의 노선수와 정차면수가 통일의주소에 비해 많은 것으로 나타났다. 중앙버스전용차로의 정류소는 비교적 잘 정비되어 있으며 운행하는 노선수(버스대수)에 대응해서 비교적 많은 정차면이 설치되어 있다. 또한, 승차차 인원 및 교통량, 신호갯수도 도봉미아로가 많은 것으로 나타나 전반적으로 통일의주소에 비해 혼잡한 것으로 나타났다.

통행속도는 통일의주소가 상대적으로 높으며, 도봉미아로에 비해 원활한 통행이 이루어지고 있다. 그러나, 정차면수가 도봉미아로에 비해 절반수준에 미치지 못해 통일의주로의 운행노선수에 비해 정차면의 혼잡이 심각할 것으로 예상된다.

서울시 BMS수집데이터는 버스의 교차로 통과 이벤트 정보를 수집하지 않기 때문에 정류소 단위의 운행정보가 산출되고 있다. 버스 GPS단말기를 통하여 수집된 노선별 버스정류소 출발/도착 일일 운행데이터는 노선별로 하나의 파일(ex. 63데이터\_2007-12- 04\_106.csv)로 정리되며, 정류소코드, 정류소간 거리와 출발도착시간이 초단위까지 제공된다.

2. 버스몰림운행 지속시간 산정

버스몰림운행이 지속되는 시간을 산정하기 위해 대상 지역의 정류소를 통과하는 모든 노선버스들의 출발도착시간을 초단위로 나열하여 정류소별로 정차시간과 정류소에 정차해 있는 버스대수를 산출하였다.

당해 정류소의 버스 정차면수보다 많은 버스가 몰려들어와 정차하는 경우를 몰림으로 판정하고 몰림시간을 측정하였다.

<표 3>의 예와 같이 정차면이 2면인 정류소에서 정차해 있는 버스가 3대 이상이면 몰림운행으로 판정되고 몰림시작시간과 몰림해소시간이 기록되어 몰림운행 지속시간이 산출된다. 즉, 7시 12분 20초부터 몰림운행시간이 측정된다.

반면에, 정차면이 3면인 정류소는 동시에 정차하는 버스가 4대 이상인 경우를 몰림운행으로 판정하여 몰림운행 지속시간으로 측정하였다. 즉, 7시 12분 23초부터

<표 2> 분석대상 도로구간의 개요

구분	버스차로 운영방식	구간 길이	구간	정류소 개수	특성항목	평균	표준 편차	최소값	최대값
도봉미아로	중앙 버스 전용	15.8km	의정부 시계 원남R	20 개소	노선수(개)	14.7	2.9	9.0	20.0
					정차면수(면)	2.9	0.6	2.0	4.0
					승차(인/시)	49.6	76.7	0.0	558.0
					하차(인/시)	48.8	69.1	0.0	416.0
					정류소간거리(m)	651.0	126.8	433.5	944.5
					신호갯수(개)	2.6	1.2	1.0	5.0
					교통량(대/시)	1874.0	429.7	588.0	2785.0
속도(km/시)	41.9	10.3	13.6	59.0					
통일의주로	가로변 버스 전용 및 일반 차로	10.6km	과주 시계 서대문	20 개소	노선수(개)	9.8	3.2	6.0	16.0
					정차면수(면)	1.3	0.6	1.0	3.0
					승차(인/시)	30.3	23.9	1.0	123.0
					하차(인/시)	26.8	21.6	1.0	150.0
					정류소간거리(m)	522.1	211.0	163.9	1019.8
					신호갯수(개)	1.4	0.7	0.0	3.0
					교통량(대/시)	1819.0	589.6	424.0	2637.0
속도(km/시)	48.3	9.7	15.9	65.2					

<표 3> 버스몰림운행 지속시간 측정예

시간		정차대수(대)	정차유무 (유=1, 무=0)	버스몰림운행 몰림시간 산정	
(사:분:초)	(초)			정차면2면 정류소	정차면3면 정류소
7:12:12	25932	0	0	정차없음	정차없음
7:12:13	25933	0	0	정차없음	정차없음
7:12:14	25934	1	1	정상	정상
7:12:15	25935	1	1	정상	정상
7:12:16	25936	1	1	정상	정상
7:12:17	25937	2	1	정상	정상
7:12:18	25938	2	1	정상	정상
7:12:19	25939	2	1	정상	정상
7:12:20	25940	3	1	몰림	정상
7:12:21	25941	3	1	몰림	정상
7:12:22	25942	3	1	몰림	정상
7:12:23	25943	4	1	몰림	몰림
7:12:24	25944	4	1	몰림	몰림
7:12:25	25945	4	1	몰림	몰림

몰림운행시간이 측정된다. 즉, 각 정류소별로 정차면수에 따라 몰림 지속시간이 다르게 산정된다.

본 연구에서는 버스몰림운행 지속시간을 초단위로 측정하였으며 시간대별로 버스몰림운행 지속시간을 측정하여 모형 추정에 활용하였다.

3. 버스몰림운행 지속시간 분포 선정

버스몰림운행 지속시간 모형개발을 위한 가장 중요한

단계가 모수의 분포를 선정하는 단계이다. 모수의 분포를 잘못 선정하면 모형의 신뢰도와 현실설명력은 저하된다. 본 연구에서는 minitab프로그램에서 지속시간자료의 분포적합성시 이용되는 확률도(probability plot, 확률지 도시)를 통해서 가장 적합성이 높은 분포를 채택하였다.

확률지 도시 방법의 특징은 이론분포를 따르는 자료 쌍  $(t : F(t)^2)$ 을 확률지 위에 타점하면 직선이 되도록 고안되어 있어 이론분포와 실험자료의 분포의 비교에 이해가 쉽고 파악이 용이하다. 수명자료를 어떠한 수명분포에 적합시킬 수 있는지 판정하는 적합도 검정을 하는데 Anderson-Darling(AD) 검정값과 P값이 적용되었다. AD통계량은 확률지에서 도시된 점과 직선(<그림 5>에서 파란색 직선)으로 표기된 이론적 분포함수와의 차이를 측정하는 값으로, 수명자료를 대상으로 분포적합시 가졌던 후보 분포 중에서 더 적은 AD통계량 값을 가지는 분포에 잘 적합된다는 것을 의미한다. (서순근, 2006)

P값은 유의수준보다 크면 몰림운행 지속시간이 해당 분포를 따른다고 하는 귀무가설이 채택된다. 그리고 P값의 보조적 검정통계량인 LRT-P값은 동일 분포형의 비교에 사용되는 값으로 추정 모수를 추가했을 경우 두 분포의 동질성 여부를 검정하는 우도비 검정에 활용된다. 본 연구에서는 로그로지스틱 분포와 3-모수 로그로지스틱 분포의 쌍대비교시 LRT-P값이 사용되었으며, LRT-P값이 유의수준 P값보다 크면 두 분포간 차이가 없어 모수를 추가하더라도 적합도 개선효과를 없는 것으로 판정한다.

본 연구에서는 도봉미아로와 통일의주루에 대해 <표

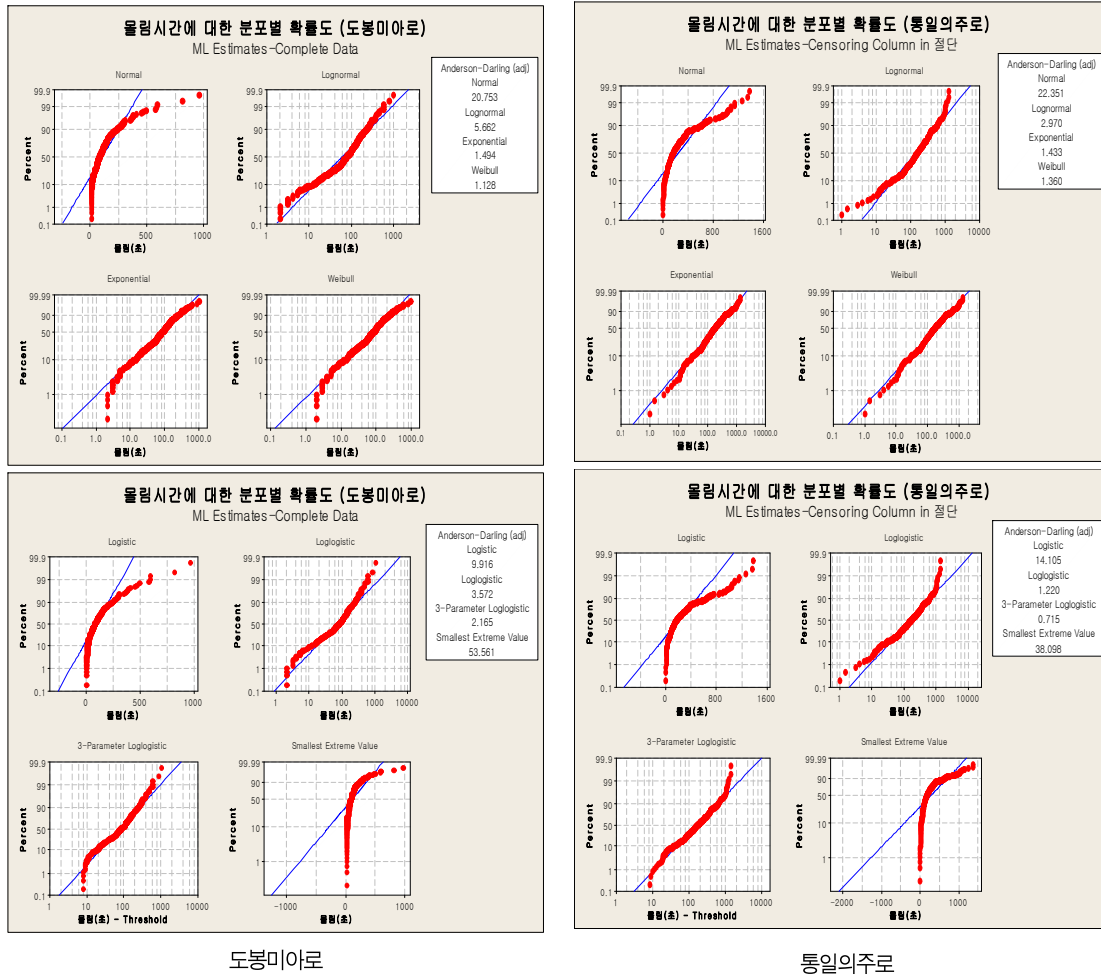
<표 4> 버스몰림운행 지속시간 분포 적합성 검토결과

분포	도봉미아로					통일의주루						
	평균	표준 오차	AD*	P	LRT-P <sup>3)</sup>	채택 분포	평균	표준 오차	AD*	P	LRT-P	채택 분포
정규분포	107.8	6.00	20.75	<0.005			253.4	14.31	22.35	<0.005		
로그정규분포	126.0	10.02	5.66	<0.005			296.5	24.84	2.97	<0.005		
지수분포	107.7	5.67	1.49	0.037			253.4	13.89	1.43	0.044		
Weibull분포	107.8	5.49	1.13	<0.050		○	253.5	13.59	1.36	<0.050		○
로지스틱분포	90.2	4.54	9.92	<0.005			206.9	11.60	14.11	<0.005		
로그로지스틱분포	158.0	15.96	3.57	<0.005			355.9	37.57	1.22	<0.005		
3-모수로그로지스틱분포	133.2	14.01	2.17	*	0.038		316.1	34.11	0.72	*	0.052	
최소극단값분포	57.2	13.21	53.56	<0.010			194.1	24.79	38.10	<0.010		

2) 누적분포함수  $F(t)$ 는 특정시간  $t$  이전에 사건(사망, 몰림지속이 끝남, 즉 몰림해소)이 일어나는 확률로  $F(t) = P(T < t)$ 임.  $F(t)$ 를 미분하면 확률밀도함수는  $f(t) = dF(t)/dt$ 이며, 이때 위험함수  $h(t)$ 는 시점  $t$ 까지 사건이 생기지 않는다는 조건하에서 다음의 인접한 시각(즉, 바로 직후)에 사건이 발생할 조건부확률함수로  $h(t) = f(t)/(1 - F(t))$ 의 관계가 성립됨.

3) LRT-P값은 1-모수 분포가 3-모수 분포와 비교하였을 때 두 분포가 동일한지 여부를 검정하는 우도비 검정에 대한 값으로서 LRT-P값 0.038은 유의수준 0.01에서 3-모수로그로지스틱 분포는 로그로지스틱 분포와 동일하다는 귀무가설을 채택하게 되며, 결과적으로 모수를 추가하더라도 적합도가 크게 향상되지 않음 보여줌.





도봉미아로

통일의주로

<그림 5> 물림운행 지속시간에 대한 분포별 확률도

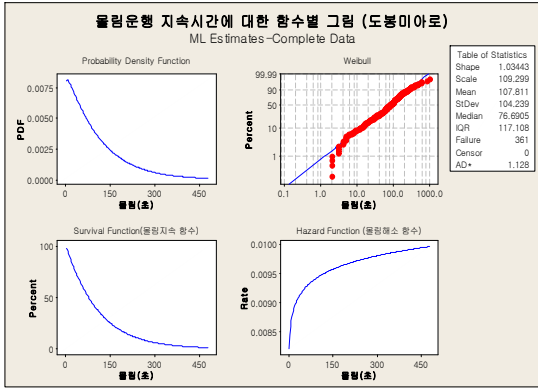
4) <그림 5>과 같이 정규분포를 포함한 총 8개 유형의 분포에 대해 물림운행 지속시간 분포의 적합성을 분석하였으며, 유의수준 0.01에서 Weibull분포와 지수분포가 적합한 것으로 나타났다. 그러나, AD통계량은 Weibull 분포가 가장 작은 것으로 분석되어 Weibull분포를 버스 물림 지속시간의 분포로 선정하였다.

모수의 분포로서 Weibull분포를 가정했을 경우의 물

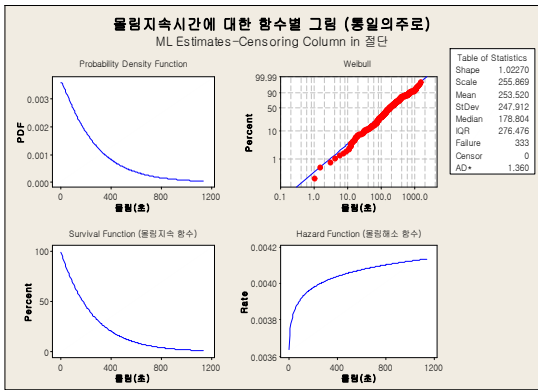
림현상이 지속되는 물림지속함수(Survival Function) 4)와 물림현상이 종료되는 물림해소함수(Hazard Function)5)를 플로팅한 그래프는 <그림 6>과 같다. 물림시간이 길어질수록 물림현상이 지속될 확률은 낮아지고 물림현상이 종료되는 비율은 높아지는 보편적 현상을 보여주고 있다. 관측시간 1시간을 기준으로 했을 때, 물림의 지속확률이 0에 근접하는 시간은 도봉미아로가

- 4) Survival Function은 일반적으로 생존함수라고 해석되나 본 연구의 이해를 위해 물림지속함수라고 하였음. 생존함수(Survival Function)는 특정 시간을 넘겨 생존할(지속될) 확률, 즉 특정의 시간까지 사건(죽음 failure, 지속이 끝나는 사건)이 발생하지 않는 확률함수로 정의됨. 생존시간이라는 변수를 T, 실제로 관찰된 생존시간의 값을 t로 표기하면 생존함수  $S(t) = \Pr(T \geq t) = 1 - F(t)$ 가 됨.
- 5) Hazard Function는 일반적으로 위험함수라고 해석되나 본 연구의 이해를 위해 물림해소함수라고 하였음. 위험함수(Hazard Function)는 특정 시점 t까지 생존한 개체가 t에서부터 아주 짧은 사이에 사망하게 될 확률, 즉 어떤 시점 t까지 사건이 생기지 않는다는 조건하에서 다음의 인접한 시각(즉, 바로 직후)에 사건이 발생할 조건부확률함수로 정의됨. 시점 t에서 사망할 확률밀도함수를  $f(t)$ 라고 하면, 위험함수  $f(t)$ 는  $h(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$ 가 됨.





도봉미아로



통일의주루

<그림 6> Weibull 분포시 물림지속함수와 물림해소함수

450초(7.5분), 통일의주루가 1200초(20분)로 나타나 통일의주루의 물림현상이 도봉미아로에 비해서 오래 지속됨을 알 수 있다.

4. 설명변수 자료구축

물림운행 지속시간 모형은 물림시간을 종속변수로 하고 버스의 물림운행에 영향을 미칠 것으로 판단되는 정류소 및 도로의 물리적 시설현황과 도로의 혼잡상황, 버스의 이용특성을 반영할 수 있는 변수를 설정하였다.

BMS 및 교통카드, 검지기, 현장조사를 통해 수집되는 자료를 그대로 이용한 설명변수를 1차 설명변수로 선정하였으며, 자료 및 변수개요는 <표 5>와 같다. 자료수집 및 구축이 시간대별로 구축되므로 물림시간에 대해서도 시간대별로 합산하여 구축하였다.

보다 정밀한 모형구축을 위해 조사 및 수집된 1차 설명변수를 토대로 이를 가공하여 2차 설명변수를 도출하였다. 즉, 단편적인 노선수나 승하차 인원수가 아닌, 정류소의 특성을 잘 반영할 수 있도록 정류소의 정차면수당 노선수, 정차노선당 승하차 인원, 승하차 인원중 큰값, 단위거리당 신호갯수 등으로 세분화하였다. 이를 통해 변수간의 다중공선성을 최소화하고 고유의 특징을 반영할 수 있도록 하였다.

합리적인 모형의 설정하기 위해서는 우선 각 변수들 간의 상관관계를 살펴보았다. 분석결과, 종속변수인 물

<표 5> 종속변수 및 설명변수 개요

변수명	단위	설명	자료수집 및 구축	
종속변수	물림시간	초	정류소별 기준대수 이상 물림운행되는 시간의 합	BMS자료
1차 설명변수	정차면수	면	정류소의 정차면(berth)수	현장조사
	노선수	개	정류소별 운행되는 버스노선수	TOPIS자료
	승차인원	인	정류소별 시간당 승차인원	교통카드자료
	하차인원	인	정류소별 시간당 하차인원	교통카드자료
	정류소간거리	m	상류정류소간 거리	BMS자료
	신호갯수	개	상류정류소와 사이의 신호교차로 개수	현장조사
	교통량	대	정류소별 시간당 승용차환산 교통량	서울경찰청검지기자료 교통영향평가자료, 현장조사
	속도	km/h	정류소별 시간대별 속도	서울경찰청검지기자료 교통영향평가자료, 현장조사
2차 설명변수	노선/면수	개/면	정류소별 정차면수당 노선수	1차 변수가공
	승하차	인	정류소별 시간당 승차와 하차인원의 합	1차 변수가공
	승하차max	인	정류소별 시간당 승차와 하차인원중 큰값	1차 변수가공
	승차/노선	인/개	정류소별 노선당 평균 승차인원	1차 변수가공
	하차/노선	인/개	정류소별 노선당 평균 하차인원	1차 변수가공
	승하차/노선	인/개	정류소별 노선당 평균 승하차인원의 합	1차 변수가공
	승하차m/노선	인/개	정류소별 노선당 평균승하차인원 중 큰값	1차 변수가공
	신호/거리	개/km	단위거리당 신호갯수	1차 변수가공

립시간과 상관관계를 살펴보면 상류 정류소간 거리를 제외한 나머지 설명변수들은 P값이 0에 가까우므로 몰림시간에 영향을 미치는 변수로 분석되었다. 하지만, 설명변수들 간의 상관성도 높게 나타났는데, 1차 변수들은 단편적인 교통관련 변수들이므로 관련성이 높게 나타났으며, 1차 변수를 가공한 2차 변수들은 상대적으로 변수들간 상관성이 낮게 나타났다.

#### IV. 모형의 추정 및 해석

##### 1. 모형추정 및 검증

앞서 구축된 16개의 설명변수를 활용해서 버스의 몰림운행 지속시간모형을 추정하였다. 모형의 계수는 로그우도함수(log-likelihood function)를 최대화하는 최우추정법으로 추정되었으며, 추정된 모형은 <표 6>와 같다.

도봉미아로를 대상으로 추정된 모형에서 “노선/면수”를 제외한 15개 변수가 유의수준 0.05에서 통계적 유의성이 있는 것으로 분석되었으며, “노선/면수”의 P값도 0.06으로 유의수준 0.10에서 통계적으로 유의한 수준으로 나타났다.

추정된 모형의 우도비( $\rho^2$ )는 도봉미아로가 0.180, 통일의주로가 0.192로 나타났다.

Theil's inequality coefficient(U값)를 이용해서 추정값이 실측값에 어느 정도 근접하는지를 살펴보았다. U값은 0에서 1사이의 값을 갖는데 0이면 추정값과 실측값이 완전히 일치하는 것이고 1이면 실측값과 매우 상이하다고 할 수 있다. 본 연구를 통해서 구축된 모형으로 추정한 결과 Theil의 부등계수(U)값은 0.251과 0.137로 산출되었다.

##### 2. 모형해석 및 정책제시

추정된 모형은 정차면수, 노선/면수, 승하차m/노선수, 교통량 변수로 구성되며, 각 변수의 계수값을 통해서 모형 해석이 가능하다. 모형은 앞서 식(2)와 같이 자연대수(log)를 취한 형태로 추정되었으므로, 몰림운행 지속시간과의 관계를 살펴보기 위해서 다시 각 변수들의 계수에 exp를 취함으로써 다음과 같은 해석이 가능하다.

첫 번째로, 정차면수를 살펴보면, 도봉미아로의 경우 계수는 0.7792(=exp(-0.2496))로 정차면수 1단위(면수)가 증가할 경우 버스몰림 지속시간을 0.7792배 증가시킨다(즉, 22.08%감소시킨다). 반면에 통일의주로는 정차면 1면 추가시 버스몰림지속시간이 0.5837배 증가(즉, 41.63%감소)하는 것으로 나타나, 정차면수가 많을수록 버스몰림운행 지속시간이 짧아지는 것을 알 수 있다. 이것은 각 정류소의 정차면수를 기준으로 버스몰림 지속시간이 산정되므로 정차면수가 많을수록 몰림시간이 작아지는 상식적 추론과 일치한다.

중앙버스전용차로인 도봉미아로에 비해 가로변전용차로인 통일의주로의 정차면이 적게 설치되어 몰림에 더 민감한 것을 알 수 있다. 즉, 정차면수를 1면 추가하면 몰림지속시간 감소는 도봉미아로 22.08%감소에 비해 통일의주로 감소폭(41.63%)이 2배 정도 더 크다는 점을 통해서 확인할 수 있다.

두 번째로, 정차면당 운행 노선수(노선/면수)의 계수는 도봉미아로가 1.1145(=exp(0.1084)), 통일의주로가 1.1465(=exp(0.1367))로 나타나 정차면당 노선수가 증가함에 따라 버스몰림운행 지속시간도 증가하는 것으로 나타났다. 또한, <표 2>에서 살펴보았듯이 통일의주로를 운행하는 노선수가 도봉미아로를 운행하는

<표 6> 모형추정 결과

구분	도봉미아로				통일의주로			
	계수	표준오차	Z값	P값	계수	표준오차	Z값	P값
절편	3.5413	0.479	7.39	0.00	3.2120	0.226	14.24	0.00
정차면수	-0.2495	0.094	-2.66	0.01	-0.5383	0.097	-5.58	0.00
노선/면수	0.1084	0.056	1.92	0.06	0.1367	0.012	10.97	0.00
승하차m/노선	0.0456	0.008	5.90	0.00	0.1581	0.017	9.37	0.00
교통량(시)	0.0007	0.000	6.95	0.00	0.0005	0.000	5.94	0.00
형상	1.3092	0.053	-	-	1.5426	0.063	-	-
로그우도	-1969.17				-2034.31			
우도비( $\rho^2$ )	0.180				0.192			
Theil's inequality coefficient (U값)	0.251				0.137			

노선수에 비해 적음에도 불구하고 정차면당 노선수에 의한 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 이는 단순히 운행하는 노선수보다 운행하는 노선수에 맞게 정류소 시설(정차면수)이 잘 정비되어야 하며, 특히, 본 대상지역에 있어 중앙버스전용차로에 비해 가로변 및 일반차로 상의 정류소에 대한 정차면 및 정류소 시설정비가 필요함을 시사한다.

세 번째로, 승하차m/노선수는 노선당 승차인원과 하차인원 중 큰 인원수를 말하며, 추정된 계수는 도봉미아로가  $1.0467(=exp(0.0456))$ , 통일의주로가  $1.1713(=exp(0.1587))$ 로 나타나 “승하차m/노선수”가 증가함에 따라 버스몰림운행 지속시간도 증가하는 것으로 나타났다. 통일의주로는 승하차m/노선수 1단위 증가에 따라 몰림운행 지속시간이 1.1713배 증가하는 반면 도봉미아로는 1.0467배 증가에 그쳐 통일의주로의 버스몰림 지속시간이 노선당 승하차인원에 보다 민감한 것으로 나타났다. 이것은 통일의주로의 경우 소규모 정류소가 대부분으로 좁은 정류소 공간에 분포해 있던 승객이 정차면을 초과하여 도착하는 버스를 타기 위해 보다 긴 거리를 이동해야 하기 때문으로 추론된다.

네 번째로, “교통량”의 계수는 도봉미아로가  $1.0007(=exp(0.0007))$ , 통일의주로가  $1.0005(=exp(0.0005))$ 로 나타나 교통량이 많을수록 몰림지속시간이 증가하는 것으로 나타났다. 교통량 1단위(대) 증가에 따른 두 대상도로의 버스몰림운행 지속시간의 증가율 차이는 크지 않지만, 통일의주로에 비해 상대적으로 교통량이 많은 도봉미아로의 몰림지속시간이 교통량에 보다 민감한 것으로 해석할 수 있다.

추정된 모형을 토대로 버스몰림운행현상을 완화시키기 위한 정책대안을 발굴할 수 있다.

첫째로 정차면수가 적정하게 확보될 수 있도록 정류소 시설개선 또는, 정류소 분리방안을 생각해 볼 수 있다. 통일의주로와 같이 정차면이 운행하는 노선수에 비해 적게 설치되어 있는 경우에는 적정한 수의 정차면을 확보해주고, 아울러 시인성을 높일 수 있는 노면표지와 쉼터를 포함한 정류소 설계가 이루어져야 할 것이다. 반면, 정차하는 버스대수가 과도한 경우에는 정차면의 추가를 포함한 정류장 시설개선은 오히려 정류장 이용효율을 저하시키기 때문에<sup>6)</sup>, 정류소의 시설개선뿐 아니라 정류소 분리와 같은 대안을 통해 버스몰림에 따른 문제

점을 개선할 수 있을 것이다.

둘째로, 버스노선의 재배치 및 노선조정을 통해서 “정차면 당 노선수”를 감소시키면 버스몰림현상을 완화시킬 수 있다. 서울시는 지난 2004년, 가히 혁신적이라 해도 과언이 아닐 만큼 대중교통 전 분야를 대상으로 대규모 체계개편을 시행하였으며, 전국의 지자체로 확산하는 과정에 있다. 대중교통 체계개편에서 가장 핵심사업인 버스노선개편은 지역간 통행패턴, 이용수요, 운영수익, 배차간격 등 많은 지표들을 고려해서 이루어져야 하는데, 여기에 추가적으로 버스몰림운행을 나타내는 지표도 함께 고려함으로써 다양한 관점에서 적정한 노선 조정이 이루어져야 할 것이다.

셋째로, 버스이외의 교통환경에 대한 개선방안으로 교통량 감축은 버스몰림 지속시간 단축에 기여할 수 있다. 그러나, 교통량 감소를 위한 정책(ex.부재운행)은 지장이 크고 민감한 부분이므로 신호운영의 합리화와 버스전용차로로의 다른 차량의 혼입을 막을 수 있는 전용차로 준수방안 등이 동시에 강구되어야 한다. 이러한 노력은 지속적인 버스 운행서비스 향상으로 이어져 대중교통 이용증대로 인한 전체적인 교통량 감소를 유도할 수 있을 것이다.

## V. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 정류소 정차면수보다 많은 버스가 동시에 도착하여 정차하는 경우를 몰림운행으로 정의하고, 버스몰림운행 지속시간을 산정하기 위한 버스몰림운행 지속시간모형을 구축, 추정하였다. 모형추정에 활용된 설명변수로 정차면수, 정차노선수, 승하차인원, 교통량, 통행속도, 신호개수, 정류소간 거리의 8개 1차 변수와 1차 변수들을 가공한 8개의 2차 변수들이 선정되었다. 정류소간 거리를 제외한 대부분의 변수들은 버스몰림 지속시간과 관계가 있는 것으로 나타나 상당한 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

버스몰림운행 지속시간 모형은 버스전용차로의 형태에 따라 독립적으로 추정되었으며, 중앙버스전용차로인 도봉미아로의 경우 교통량에 대한 가중치가 높게 나타난 반면, 가로변 버스전용차로인 통일의주로는 정류소 시설이 소규모로 열악하여 정차면수의 증감에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다.

6) 정차면이 증가하면 정류소 이용효율은 떨어지므로 정차면수는 45면을 초과하지 않도록 설계하는 것이 일반적임. (도로용량편람, 2005)

또한, 정차면당 노선수(노선/면수)의 계수는 통일의 주로가 도봉미아로에 비해 높게 나타나 정차면당 노선수의 영향이 상대적으로 크게 평가되었다. 마지막으로 “승하차m/노선수”의 계수도 도봉미아로에 비해 통일의주로가 상대적으로 큰 값으로 추정되어 승객이 정차면을 초과하여 도착하는 버스를 타기위한 혼잡이 상대적으로 큰 것으로 분석되었다.

본 연구의 의의를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 동일노선간 배차간격 또는 정시성 위주의 기존 연구 틀에서 벗어나 여러 대의 노선버스가 몰려 이동하는 행태에 대해 주목하였다는 점이다. 버스몰림운행현상의 완화를 통해서 버스운행속도를 제고할 수 있고, 이용자들은 보다 편리하게 버스에 승차할 수 있다. 특히, 뒤따라오는 버스를 승차하기 위한 불필요한 보행(뛰어다님)과 정류장에서의 보행시간 충돌 등을 예방할 수 있다. 또한, 버스의 서비스 수준 향상을 통해서 대중교통 이용증대를 유도하는 사회적 선순환을 가져올 수 있다.

둘째, 몰림운행이 일어나고 지속되는 것에 대한 다양한 요인들을 분석함으로써 정류소 시설측면, 전용차로 운영측면, 기타 교통환경 측면의 다양한 버스정책 수립에 도움을 줄 수 있다. 기존의 도로용량편람 등에서는 버스서비스에 대한 검토를 단순히 버스의 차내용량, 버스운행간격, 정류소 정차면 또는 정류소 용량 등 평균적인 크기만을 고려하고 있어 운행행태에 대한 다양한 검토가 미흡하고 정책활용과 평가에 있어서도 단편적일 수밖에 없는 실정이다.

한편, 향후 연구과제로서 버스몰림운행 지속시간에 영향을 미치는 것으로 규명된 정차면수, 정차면수당 노선수, 노선당 승하차 인원 등의 콘트롤 변수(설명변수)들에 대한 개선 시나리오별을 설정하고 몰림운행 지속시간의 감소효과를 정량적으로 분석함으로써 실질적 개선대안을 제시해야 할 것이다.

본 연구에서는 전용차로의 유형에 따라 설정한 두 개 간선도로축을 대상으로 별도의 독립적 모형을 구축하고 추정결과를 해석하였다. 이는 하나의 단일모형으로 두 개의 교통축을 모두 설명했을 때, 모형의 유의성이 극히 낮아졌기 때문에 보다 많은 축을 연구대상에 포함시키고 보다 많은 자료를 통해서 모형추정을 시도한다면 신뢰성과 범용성을 갖춘 하나의 통합모형을 도출할 수 있을 것으로 예상된다. 끝으로 버스 배차간격을 설명변수에 적용해 봄으로써 배차간격과 같은 운행계획과 버스몰림의 관계를 살펴볼 필요가 있다.

## 참고문헌

1. H. P. Benn (1995), “Bus Route Evaluation Standards”, TCRP Synthesis10.
2. National Academy Press (2003), “Transit Capacity and Quality of Service Manual-2nd Edition”, Transportation Research Board.
3. 윤혁렬 (2004), “서울시 버스체계개편에 따른 모니터링 연구”, 서울시정개발연구원.
4. 고승영·박준식·김은호 (2005), “버스 운행 신뢰성 평가를 위한 정시성지표의 개발 및 적용”, 대한교통학회지, 제23권 제2호, 대한교통학회, pp.131~141.
5. 양지영 (2006), “시공도를 이용한 버스운행 정시성 지표개발”, 서울시립대 석사학위논문.
6. 김원호 (2007), “중앙버스전용차로 운영평가를 위한 지표개발”, 서울시정개발연구원.
7. 김태호 (2002), “버스정류장간 총 통행시간 모형을 이용한 버스 쌍현상 분석에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문.
8. 이호상·임정실·정영제·김영찬 (2007), “자료기반의 버스신뢰성 관리방안(서울시를 중심으로)”, 제6회 추계학술대회, 한국ITS학회, pp.51~59.
9. 이호상·임정실·정영제·김영찬(2008), “자료기반의 서울시 버스신뢰성 관리정책과 평가”, 한국ITS학회논문지, 제7권 제2호, 한국ITS학회, pp.1~12.
10. 김은경·노정현·김영찬 (2008), “버스서비스 개선을 위한 버스몰림지표 개발 및 적용”, 한국ITS학회논문지, 제7권 제6호, 한국ITS학회, pp.1~11.
11. Robert S. P and Daniel L. (1991), “Ecomometric models and economic forecasts”, McGRAW-HILL.
12. 박재빈 (2006), “생존분석 이론과 실제”, 신광출판사.
13. 송경일·최중수 (2008), “SPSS15를 이용한 생존자료의 분석”, 한나래.
14. Simon P. W, Matthew G. K. and Fred L. M. (2003), “Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis”, CHAPMAN & JALL/CRC.
15. 이신해 (1996), “지속시간모형(Duration model)을 이용한 판매시설 이용자의 주차시간 추정에 관

한 연구”, 서울대학교 석사학위논문.

16. 山本俊行, 木村誠司, 北村降一 (1998), “取替更新行動間の相互影響を考慮した世帯の自動車取替更新行動モデルの構築”, 土木計画學研究 論文集, No.15, pp.593~599.

17. 권상순 (2002), “Harzard-based duration model을 이용한 고속도로 돌발상황 지속시간 추정에 관한 연구”, 경기대학교 석사학위논문.

18. 박지훈 (2004), “생존시간 기법을 이용한 자동차 생산기간에 대한 분석”, 단국대학교 석사학위논문.

19. 정연식·송상규·최기주 (2007), “AFT 생존분석 기법을 이용한 고속도로 교통사고 지속시간 예측모형”,

대한교통학회지, 제25권 제5호, 대한교통학회, pp.135~148.

20. Carol C. S. and Gillbert (1992), “A duration model of automobil ownership”, Transportation research Part B, Methodological, v.26 no.2, pp.97~114.

21. Hensher, D. A. and Mannering, F. L. (1994), “Hazard-based duration models and their application to transport analysis”, Transport reviews, v.14 no.1, pp.63~82.

22. 서순근 (2006), “Minitab 신뢰성 분석”, 이레테크.

23. 도로용량편람(2005), 건설교통부, pp.455~457.

✉ 주 작성자 : 김은경  
 ✉ 교신저자 : 김은경  
 ✉ 논문투고일 : 2009. 4. 30  
 ✉ 논문심사일 : 2009. 6. 25 (1차)  
                   2009. 10. 9 (2차)  
                   2010. 2. 16 (3차)  
                   2010. 12. 11 (4차)  
 ✉ 심사판정일 : 2010. 12. 11  
 ✉ 반론접수기한 : 2011. 4. 30  
 ✉ 3인 익명 심사필  
 ✉ 1인 abstract 교정필