

■ 論 文 ■

선호의식 조사를 통한 버스 차내 혼잡도 정보제공이 버스선택에 미치는 영향 분석

Stated Preference Analysis of the Impacts of Bus Crowdedness
Information on Bus Choice

이 백 진

(국토연구원 교통연구실 책임연구원)

김 경 석

(공주대학교 건설환경공학부 교수)

김 준 기

(국토연구원 교통연구실 책임연구원)

오 성 호

(국토연구원 교통연구실 연구위원)

목 차

- I. 서론
 - II. 선행연구 고찰
 - III. 선호의식 조사
 - 1. 조사의 개요
 - 2. 조사데이터의 기초분석이용방안
 - IV. 버스선택 모형
 - 1. 모형의 이론고찰
 - 2. 버스선택 모형의 추정결과
 - VI. 결론 및 향후 연구과제
- 참고문헌

Key Words : 차내 혼잡정보, 버스선택모형, 버스정보 시스템, 이항로짓모형, 지능형 교통시스템
Bus Crowdedness Information, Bus Choice Model, Bus Information Systems,
Binary logit model, Intelligent Transportation Systems

요 약

기존 버스정보 시스템(BIS, Bus Information Systems)에 의해 제공되는 교통정보는 도착예정시간 정보와 같은 실시간 운행정보 위주인 반면 본 연구에서는 이용자들의 다양한 교통정보 수요를 반영하고 대중교통 이용 편의성 향상을 위해 새로운 대중교통정보 제공 서비스인 실시간 버스 차내 혼잡도 정보에 관해 논의한다. 버스 차내 혼잡도 정보제공이 이용자들의 버스선택 행태에 미치는 영향을 분석하기 위해 선호의식 조사를 실시하였으며 버스 선택모형 구축을 위해 대표적 개별행태모형인 이항로짓모형을 적용하였다. 또한 이용자 계층별(연령대별, 통행목적별 등) 정보제공 효과 분석을 위해 계층별 버스 선택모형을 구축하였다.

모형 추정결과 실시간 버스 차내 혼잡정보는 이용자들의 버스선택 행동에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되어 정보제공의 필요성이 있음을 보였다. 버스 차내 혼잡정보가 버스선택에 미치는 영향은 연령대별(청년층, 장년층, 고령층)로 차이가 있었으며 특히 고령자(60대 이상)의 버스선택에 가장 큰 영향이 있는 것으로 분석되었다. 통행목적별로 분석한 결과 통근·통학과 같은 업무통행에 비하여 비업무통행(여가/친교/개인업무, 쇼핑, 병원)인 경우가 버스 차내 혼잡정보에 더 민감하였으며 특히 쇼핑통행인 경우가 가장 높았다.

The study proposed a new type of bus information, Real-time Bus Crowdedness (RBC) information, to meet various demands of users and improve the convenience level of using public transportation, while existing bus information provided by bus information systems(BIS) were limited to bus operating information such as predicted bus arrival time. To analyze the impacts of providing the proposed RBC information, stated preference(SP) survey was performed and a methodology of disaggregate analysis (e.g., binary logit) was applied to develop passenger choice models. Additionally, passenger choice models incorporating the heterogeneity of different user groups(i.e., by age or trip purposes) were developed to evaluate the different responses on RBC information. The results showed that providing RBC information was significantly related to users' bus choices and the responses of user groups were significantly different, especially the age group of more than 60 was most affected by the RBC information on their bus choices. Also trip purposes were significantly related to users' bus choices, for instance the impacts of providing RBC information was bigger for non-business trips(leisure/meet friend/personal business, shopping, hospital) compared to business trip.

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

I. 서론

최근 첨단 정보통신기술을 활용한 대중교통 정보제공 서비스 등을 통해 대중교통 서비스 질을 개선하고 대중교통이용 활성화를 꾀하는 교통정책들이 추진되고 있다. 이러한 대중교통 정보제공 서비스의 대표적인 사례가 버스정보 시스템(BIS: Bus Information Service)이다. 버스정보 시스템은 버스의 실시간 위치정보를 파악하여 이용자에게 버스 도착예정시간, 버스 위치 등에 관한 실시간 운행정보를 다양한 정보제공매체(예, 버스정류장 안내단말기, 인터넷, 모바일 등)를 통해 제공함으로써 버스 이용의 효율성 증진과 대중교통 이용 활성화를 목적으로 하며 2007년 현재 수도권 및 광역시를 중심으로 약 22개 도시에서 구축·운영 중에 있다(한국건설기술연구원, 2007).

그러나 기존 버스정보 시스템을 통한 정보제공이 버스에 대한 이용자들의 만족도를 향상시키는데 일정부분 기여하고 있음에도 불구하고 정보의 종류가 주로 실시간 도착예정시간 등과 같은 버스 운행정보 위주로 제공되고 있어 이용자별(예, 고령자, 주부 등)로 다양한 교통정보 수요에 충분히 대응하고 있다고 할 수 없다. 따라서 이용자 수요조사와 이에 따른 신규 대중교통정보제공 서비스 창출을 통한 이용자 맞춤형 대중교통 정보제공 서비스의 지속적인 개발을 통해 한 단계 발전된 버스정보 시스템을 구축할 필요성이 높다고 할 수 있다.

이러한 관점에서 본 연구는 기존 버스정보 시스템이 실시간 운행정보만을 제공하는 반면 새로운 대중교통정보 제공 서비스인 실시간 버스 차내 혼잡도 정보제공에 관하여 논의한다. 실시간 버스 차내 혼잡도 정보는 첨단 정보통신 기술을 활용하여 버스 차내 혼잡도를 실시간으로 측정하고 이를 정류장 대기 승객 등에게 정보를 제공함으로써 이용자 관점에서 대중교통 이용의 편의성을 보다 향상 시키는 것을 목적으로 한다. 예를 들면 비교적 업무시간 등과 같은 시간제약이 없는 고령자들의 경우 혼잡한 버스 보다는 대기시간이 조금 증가하더라도 혼잡도가 낮아 좌석에 여유가 있는 버스를 선호할 수 있다. 또한 버스운영자 관점에서도 한 대의 버스에 많은 승객이 승차하려고 함으로서 발생할 수 있는 버스 혼잡도 증가, 운행지연 등과 같은 서비스 질 저하를 방지하고 한정된 버스의 효율적인 운영에 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 실시간 버스 차내 혼잡도 정보제공의 필요성과 정보제공에 따른 이용자들의 버스선택 행태에 관하

여 분석하는 것을 목적으로 한다. 특히 계층별(연령대별, 통행목적별 등)로 버스 차내 혼잡도 정보제공 효과에 관하여 분석함으로써 향후 서비스 도입 시 주요 이용자 계층 등에 관하여 논의한다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 교통정보 제공에 따른 통행자의 통행행태에 관한 선행연구를 고찰하고, 3장에서는 실시간 버스 차내 혼잡도 정보제공의 효과분석을 위해 실시한 선호의식 조사와 기초 통계분석 결과에 관하여 설명한다. 4장과 5장에서는 정보제공 효과분석을 위한 모형에 대해 설명하고 모형 추정결과를 바탕으로 한 분석결과를 제시한다. 끝으로 결론 및 향후 연구 과제에 관하여 논의한다.

II. 선행연구 고찰

교통정보 제공에 따른 통행자의 통행행태 변화를 분석한 국내연구로 원계무외(1996), 신동호외(1998), 노정현과 김용석(1999)는 교통정보제공이 출발시간변화에 미치는 영향을 분석하였고, 윤대식과 김상환(2001)은 교통정보가 노선선택과 교통수단에 미치는 영향을 분석하였다. 또한 빈미영외(2005)은 실시간 버스도착정보의 가치에 관하여 잠재가치측정법(CVM: Contingent Valuation Method)을 이용하여 측정하였다.

해외 논문으로 Adler와 Blue(1998)는 지능형통행자정보시스템(ITIS: Intelligent Traveler Information System)이 여행자들에게 개인별 특성에 맞는 계획을 수립하는데 있어서 보조역할을 할 수 있음을 보여주었고, Golob와 Rgean(2001)은 정보 기술이 사람과 화물의 통행에 미치는 영향을 분석하였다. Lyons과 Urry(2005)은 통행시간이 비생산적 시간으로 낭비되는 시간이 아니라 활동시간으로 생산적으로 이용되어 질 수 있음을 보여주었다. 이러한 논문들은 통행에 있어서 첨단 정보시스템의 역할의 중요성을 보여주고 있다.

대중교통에 있어서도 정보시스템은 대중교통 이용자들의 만족도에 큰 영향을 끼치고 있다. Dziekan과 Kottenhoff(2007)은 정류장에서 실시간 교통정보의 제공은 대기시간 감소, 불확실성 감소와 같은 긍정적 심리 효과, 지불의사 증대, 통행 형태의 효율성 증대, 효과적인 통행수단선택, 이용자 만족도 증대 등의 효과가 있음을 보여주었다. Molin과 Timmermans(2006)는 대중교통수단의 접근성을 높이기 위하여 다양한 교통정보를 통합하였다. 또한 여행자들이 정보를 얻기 위해 기꺼이 지불하고자 하는 비

용을 통하여 정보간 상대적 중요성을 평가하였다. Zografos 외 (2008)는 도시간 통행을 대상으로 다교통수단을 포함하는 개인의 통행계획을 도와주는 온라인 승객 정보 시스템에 대해서 연구하였고, 온라인 승객 정보 시스템은 이용자 친화적이고 비용대비 효과적이며 여행자들의 필요를 충족시킨다는 것을 보였다. Grotenhuis 외 (2007)는 대중교통 이용자들은 이용자들의 상태 즉 통행전, 길가, 통행중 등에 따라 원하는 여행정보의 질이 다르다는 것을 지적하였다. Goto와 Kambayashi (2002)는 이동통신기기를 통하여 대중교통을 이용하는 여행자들의 편리성을 높이기 위한 방안을 연구하였다.

Abdel-Aty(1996)은 첨단 대중교통시스템의 효과평가를 위해 선호의식조사(SP: Stated Preference Survey)를 실시하였고 이를 바탕으로 이산선택모형인 이항로짓(BL: Binary logit)모형과 순서형 프로빗(Ordered Probit) 모형을 적용하여 모델화하였다. 또한, Abdel-Aty(2001)는 대중교통의 소요시간 및 비용과 함께 차내 여유좌석에 관한 정보가 이용자들의 대중교통선택에 유효한 영향을 미치는 것으로 분석하였다.

위의 선행연구들을 볼 때, 교통정보제공은 대중교통 이용자들이 대중교통을 편리하게 이용할 수 있게 하며, 또한 이용자들은 다양한 교통정보를 원하고 있다는 것을 알 수 있다. 교통정보제공이 대중교통 이용에 미치는 영향에 관한 많은 연구들이 최근에 이루어지고 있지만, 실시간 버스의 차내 혼잡도 정보가 버스를 이용하고 있는 이용자들에게 미치는 영향에 대해서는 아직 연구가 이루어지고 있지 않다. 따라서 본 연구에서 실시간 버스 차내 혼잡도 정보 서비스의 영향을 살펴보는 것은 의미가 있다고 할 수 있다.

III. 선호의식 조사

1. 조사의 개요

실시간 버스 차내혼잡정보가 버스선택에 미치는 영향을 분석하기 위해 선호의식 조사를 실시하였다. 설문은 2008년 6월 19일 (목) 부터 6월 25 (수)까지 일주일간 대중교통 이용자를 대상으로 면접조사를 통해 수행되었다. 설문 대상 지역은 버스정보 시스템이 설치되어 정보제공 서비스가 상대적으로 보편화되었다고 판단된 서울(사당-수원측), 안양, 군포, 천안을 대상으로 하였으며 유효 표본수는 총 800부였다. 주요 설문조사 항목은 <표 1>과 같다.

<표 1> 주요 설문 조사 항목

항목	세부 조사 항목
개인 특성	성별, 연령, 직업, 소득, 대중교통 이용횟수 등
정보제공 매체별 이용현황	정보제공 매체별 이용횟수, 이용목적
대중교통 정보이용 현황	이동수단, 대기 및 이동시간, 이용 정보 내용, 이용매체 등
선호의식 조사	실시간 버스 차내 혼잡도 정보제공에 따른 선호의식

실시간 버스 차내혼잡정보 제공에 대한 선호의식 조사를 위해 “버스 도착예정시간”, “버스 차내이동시간” 및 “버스 차내 혼잡도”를 주요 요인으로 설정하였으며 각 요인별 수준 설정 값을 <표 2>에 제시하였다. 버스도착예정시간은 2 수준 (5분후 도착, 10분후 도착), 버스 차내 혼잡도는 3수준 (한적, 보통, 혼잡), 버스 차내 이동시간은 3 수준 (30분, 40분, 50분)으로 설정하였다. 특히, 두 번째 버스의 도착예정시간을 첫 번째 버스 도착 후의 (+)5분과 (+)10분으로 각각 설정한 이유는 목적지까지 이용 가능한 버스(동일노선의 버스 포함)가 다수 존재하는 것으로 가정하였고, 실제 첫 번째와 두 번째 버스의 차내 혼잡도에 따라 버스이용자들이 10분 이상 추가로 대기하는 것은 매우 드문 현상으로 가정하였기 때문이다.

버스 차내혼잡정보에 대해서는 응답자의 모호성을 줄이기 위하여 각 혼잡도에 따른 상황에 대해 <그림 1>과 같이 제시하고 조사자의 자세한 설명 후 설문에 응답하도록 하였다. 즉 버스 차내 혼잡도 ‘한적’은 버스 이용자들이 앉아서 갈 수 있는 수준, ‘보통’은 옆 승객과 어깨가

<표 2> 요인별 수준 설정값

변수	버스 도착예정시간		버스 차내 혼잡도		버스 차내 이동시간	
	첫번째 버스	두번째 버스	첫번째 버스	두번째 버스	첫번째 버스	두번째 버스
1수준	5분 후	(+)5분 후	한적	한적	30분	30분
2수준	10분 후	(+)10분 후	보통	보통	40분	40분
3수준	-	-	혼잡	혼잡	50분	50분

주: (+)는 첫번째 버스 도착예정시간에 대한 증가분을 표시함



-앉아서 갈 수 있음 -어깨가 가볍게 닿는 느낌 -몸이 맞닿고 압박감이 들며 움직이기 어려움

주:원재무(2006), 『알기쉬운 도시교통』

<그림 1> 버스 차내 혼잡도 수준의 설명

가볍게 닿을 수 있을 정도의 충분한 공간이 있는 수준, '혼잡'은 승객 간에 몸이 맞닿고 압박감이 들며 움직임이 어려운 수준을 의미한다.

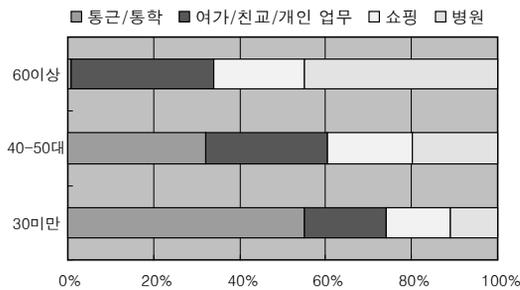
응답자들에게 제시된 SP카드는 각 요인별 수준값을 이용하여 실험계획법에 의하여 작성되었으며 비합리적인 경우(예, 첫 번째 도착버스가 절대적으로 선호되는 경우 등)를 제외하고 총 8개의 카드로 구성되었다. 응답자당 무작위로 추출된 총 2개의 SP카드가 제시되었으며 응답자는 가장 선호하는 버스를 선택 하였다.

또한 통행목적별 실시간 버스 차내정보제공에 따른 버스의 선호도 변화를 파악하기 위하여 본 연구에서는 통행목적에 총 네 가지 (통근/통학, 여가/친교/개인업무, 쇼핑, 병원)로 구분하고 응답자별 무작위로 선정된 통행목적에 관한 이동을 가정 한 후 제시된 SP카드에 대하여 응답하도록 하였다. 단, 응답자의 직업이 가정주부 또는 무직인 경우에는 통근/통학은 제외되었다.

2. 조사데이터의 기초분석

먼저 설문응답자들의 기본 속성을 살펴보면, 연령대별로 10대가 5.0%, 20대 32.0%, 30대 19.5%, 40대 22.1%, 50대 10.6%, 60대 이상이 15.7%를 차지하고 있다. 또한 직업별로는 회사원이 약40.8%로 가장 많았으며 다음으로 주부·가사(27.9%), 학생(15.1%), 자영업(10.1%), 무직(6.1%)순이었다.

평상시 대중교통을 이용하는 주요 통행목적은 통근·통학(52.3%)이 가장 많았으며 다음으로 여가·친교(24.8%), 쇼핑(10.5%), 업무(7.0%), 병원(5.1%)순이었다. 연령대별 통행목적 분포를 <그림 2>에 제시하였다. 30대 미만과 40~50대의 경우 통근·통학 목적이 각각 55%, 32%로 가장 많았으며 60대 이상 고령자의 경우 병원, 여가/친교/개인업무, 쇼핑 순이었다.

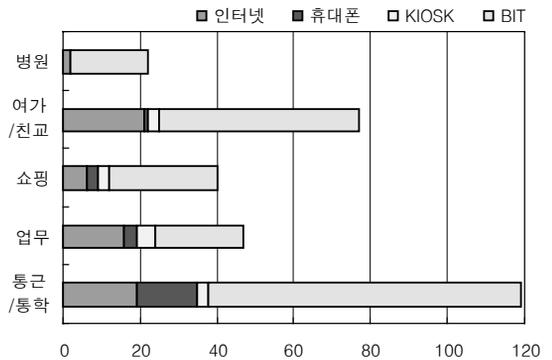


<그림 2> 연령대별 통행목적 분포

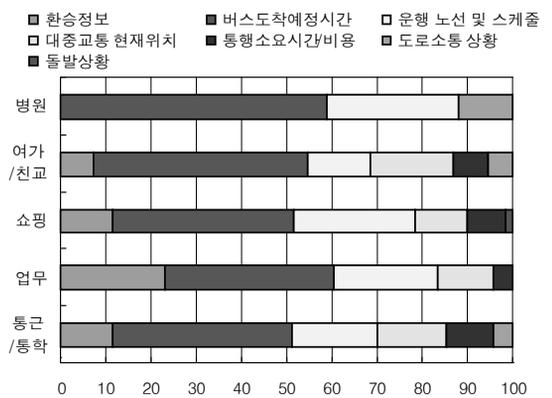
조사데이터의 대중교통정보 이용현황은 <그림 5>과 같다. 본 연구의 설문 응답자들은 동적정보인 실시간 버스도착예정시간 정보를 약 34%로 가장 많이 이용하고 다음으로 대중교통 운행노선 및 스케줄(첫차, 막차, 배차간격)의 정적정보와 대중교통수단 현재 위치순으로 이용하는 것으로 분석되었다. 특히 정적정보의 이용률이 높아 향후 실시간 교통정보와 같은 정보통신기술을 활용한 정보제공과 더불어 정적정보의 효과적인 제공 방법론에 관한 연구 필요성도 높다고 할 수 있다.

통행목적별 대중교통정보매체 이용빈도는 <그림 3>에 제시한 바와 같다. 본 연구의 응답자들의 경우 통행목적에 상관없이 버스정류장 안내단말기(BIT: Bus Information Terminal)의 이용률이 가장 높았으며, 통행목적이 여가/친교인 경우 인터넷을 이용하는 비율이 다른 통행목적들에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

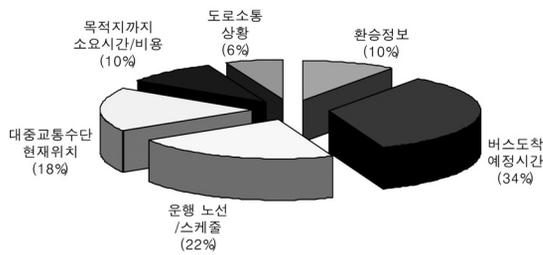
또한 통행목적별 대중교통정보 이용현황을 살펴보면 <그림 5>과 같다. 통행목적에 상관없이 버스도착 예정시간 정보(41.7%)를 가장 많이 이용하며 다음으로 운행



<그림 3> 통행목적별 대중교통정보매체 이용빈도(회수/주일)



<그림 4> 통행목적별 대중교통정보 이용현황(%)



〈그림 5〉 대중교통정보 이용현황

노선 및 스케줄 정보(19.4%), 대중교통수단의 현재위치 정보이용(14.9%)순으로 분석되었다. 특히 업무와 통근·통학 목적인 경우 환승정보를 각각 23%, 11%로 가장 많이 이용하는 것으로 분석되었다.

IV. 버스선택 모형

본 장에서는 실시간 버스 차내 혼잡도 정보제공이 이용자의 버스선택행태에 미치는 영향을 분석하기 위한 버스선택 모형에 관한 이론적 고찰을 수행하고 모형의 추정결과를 바탕으로 본 연구에서 제시한 실시간 버스 차내 혼잡도 정보제공의 유의성을 제시한다. 또한 이용자 계층별 다양한 모형구축을 통해 향후 서비스 도입에 따른 이용자 계층별 버스선택 행태에 미치는 영향에 관하여 분석한다.

1. 모형의 이론고찰

버스 이용자들의 버스 선택에 관한 모형을 구축하기 위해서 본 연구에서는 개별행태모형(Disaggregate Behavior Model)의 하나인 이항로짓 모형을 적용하였다.

통행자 n 이 대안 교통수단 i 에 대한 효용함수를 $U_n(i)$ 라 하고 선형식으로 가정하면 식(1)로 표시될 수 있다.

$$U_n(i) = V_n(i) + \epsilon_{ni} \quad (1)$$

여기서 $V_n(i) = \beta_i X_{ni}$ 이고 β_i 는 추정되는 계수벡터이며 X_{ni} 은 통행자 n 의 교통수단 i 에 대한 외생변수의 벡터이다. ϵ_{ni} 는 에러항이다. 만약 ϵ_{ni} 를 감벨(Gumbel) 분포를 가정하면 다항로짓모형이 유도된다(McFadden, 1981).

$$P_n(i) = \frac{\exp^{V_n(i)}}{\sum_{i=1}^I \exp^{V_n(i)}} = \frac{\exp^{\beta_n X_{ni}}}{\sum_{i=1}^I \exp^{\beta_n X_{ni}}} \quad (2)$$

추정된 모형의 설명력을 나타내는 우도비(Likelihood Ratio)와 사용된 변수의 수를 고려한 수정우도비(Adjusted Likelihood Ratio)는 식(3)과 식(4)과 같다.

$$\rho^2 = \frac{L(\beta) - L(0)}{L(0)} \quad (3)$$

$$\overline{\rho^2} = \frac{\{L(\beta) - K\} - L(0)}{L(0)} \quad (4)$$

여기에서 $L(0)$ 는 초기 우도값, 즉 모든 변수 $\beta=0$, $L(\beta)$ 는 최종 우도값, K 는 사용된 변수의 갯수이다. 모형추정을 위해 경제학 분야에서 주로 사용되는 TSP프로그램을 이용하였다.

2. 버스선택 모형의 추정 결과

1) 전체 데이터를 이용한 버스 선택모형

버스 혼잡정보가 버스 선택에 미치는 영향을 분석하기 위하여 선호의식조사 데이터를 이용하였으며 제4장 1절에서 제시한 이항로짓모형을 적용하였다.

모형구축을 위해 사용된 종속변수는 SP카드에서 제시한 가상의 상황에서 대안 교통수단인 첫 번째 도착예정 버스와 두 번째 도착예정 버스에 대한 응답자의 선택 결과이다. 모형의 설명변수는 SP카드의 주요 요인으로 제시된 버스 도착예정시간(분), 버스 차내 혼잡도, 버스 차내이동시간(분)이다. 〈표 2〉에 제시된 바와 같이 버스 차내 혼잡도의 경우 “한적”, “보통”, “혼잡”과 같이 정성적 변수로 제시되었기 때문에 모형 구축시에는 계량화된 수치로 변환시킬 필요성이 있다. 따라서 본 연구에서는 먼저 버스 차내 혼잡도 변수에 대해 다양한 함수식을 가정하여 모형을 구축하였다.

정성적 변수의 계량화를 위해 본 연구는 연구자가 사전에 함수식을 가정하여 추정하였기 때문에 가정된 함수식이 실제 데이터를 충분히 반영하지 못하는 한계를 가질 수 있다. 이를 극복하기 위해 정형화된 함수식을 가정하지 않은 비모수적 함수추정방법을 적용할 수 있으나 본 연구에서는 추후 과제로 남기로 한다(Lee & Timmermans, 2007).

모형의 추정결과를 〈표 3〉에 제시하였으며 버스 차내 혼잡도 변수를 선형으로 가정한 경우 Model1={한적=1, 보통=2, 혼잡=3}, 지수함수인 경우 Model2={한적=exp(1), 보통=exp(2), 혼잡=exp(3)}, 상용로그함

〈표 3〉 총 데이터를 이용한 버스 선택모형 추정결과

변수명	MODEL1(선형)		MODEL2(EXP)		MODEL3(LOG)		MODEL4(LN)	
	추정계수(t 값)		추정계수(t 값)		추정계수(t 값)		추정계수(t 값)	
상수(첫번째 버스)	-0.731*	(-3.790)	-0.756*	(-3.902)	-0.658*	(-3.442)	-0.731*	(-3.790)
도착예정시간(분)	-0.165*	(-7.100)	-0.159*	(-6.867)	-0.158*	(-6.803)	-0.165*	(-7.100)
차내 혼잡도	-0.654*	(-13.382)	-0.068*	(-13.939)	-1.145*	(-12.259)	-0.654*	(-13.382)
차내 이동시간(분)	-0.019*	(-3.619)	-0.016*	(-2.896)	-0.021*	(-4.037)	-0.019*	(-3.619)
관측수	1600		1600		1600		1600	
초기우도값 $L(0)$	-1109.035		-1109.035		-1109.035		-1109.035	
최종우도값 $L(\beta)$	-994.412		-982.952		-1008.971		-994.412	
우도비 (ρ^2)	0.103		0.114		0.090		0.103	
수정우도비 ($\bar{\rho}^2$)	0.100		0.110		0.087		0.100	

주1: † 는 유의수준 1%내 유의, *는 유의수준 5%내 유의

수인 경우 Model3={한적=log(1), 보통=log(2), 혼잡=log(3)}, 자연로그함수인 경우 Model4={한적=ln(1), 보통=ln(2), 혼잡=ln(3)}이다. 모형의 추정결과를 살펴 보면 먼저 모든 모형에서 추정된 변수들이 1% 유의수준에서 유의하였으며 모형의 설명력을 나타내는 우도비를 비교한 결과 버스 차내 혼잡도를 지수함수로 가정한 경우(Model2)가 가장 설명력이 높은 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 버스 차내 혼잡도 수준에 대한 정성적 표현(한적, 보통, 혼잡)은 지수함수를 따른다고 가정한 Model2를 중심으로 분석한다.

Model2의 수정된 우도비가 0.121로 타 연구에 비하여 비교적 낮은 것으로 판단되나(일반적으로 0.2~0.4) 본 연구의 목적이 차내 혼잡도 정보가 이용자들의 버스 선택행동에 미치는 영향을 계층별, 통행목적별에 따른 선호도 차이를 비교분석하는데 있어 Model2의 추정결과를 수용하여 분석한다. 모형의 설명력은 예를 들면, 버스 혼잡도에 대한 정성적 변수를 비모수 함수추정을 통해 도출함으로써 개선될 수 있을 것으로 사료된다. 또한 본 연구는 이항로지토모형을 적용하였으나 추가적으로 응답자들의 시간제약을 고려한 모형, 이질성을 고려한 모형(Mixed logit model, Latent class model 등) 등 다양한 모델화 방법론을 적용하여 모형의 설명력을 개선하고 보다 세밀한 분석이 가능할 것으로 판단되며 이는 추후 연구과제로 남긴다.

먼저, 버스 차내 혼잡도에 대해 추정된 계수값이 음(-)의 부호이고 유의수준 1%에서 유의한 것으로 추정되어 혼잡도가 높은 수록 해당 버스를 선호하지 않는다는 타당한 추정결과가 도출된 것으로 판단되며 혼잡도 정보제공

이 이용자들의 버스 선택에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 본 연구에서 제안한 실시간 버스 차내 혼잡도 정보제공의 타당성을 보여주는 것으로 판단된다.

도착예정시간 및 차내 이동시간에 대해 추정계수 값이 음(-)의 부호로 도착예정시간이 빠를수록, 차내 이동시간이 짧을수록 해당 버스를 선택한다는 타당한 추정결과로 판단된다.

2) 연령대별 버스 차내 혼잡정보의 영향

본 절에서는 실시간 버스 차내 혼잡정보 제공이 연령대별 버스 선택에 미치는 영향을 분석하였다. 연령대별 버스 선택모형 구축을 위해 먼저 실시간 버스 차내 혼잡정보의 계량화는 전체 데이터를 이용한 모형구축 결과를 바탕으로 지수함수로 가정하고 모형을 구축하였다.

연령대별 버스선택모형의 추정결과는 〈표 4〉에 제시된 바와 같다. 먼저 모델의 설명력을 나타내는 수정우도비($\bar{\rho}^2$)가 0.121로 크게 높지는 않으나 본 연구의 목적이 연령대별 실시간 버스 차내 혼잡정보 제공의 영향을 비교하는데 있어 추정결과를 채택하였다. 또한 연령대별 버스선택에 대한 이질성(Heterogeneity)를 고려한 모형이 이질성을 고려하지 않은 모형에 비해 유의한 설명력을 갖는지에 대한 통계적 검증을 위해 〈표 3〉의 전체 데이터를 이용한 모형(Model2)의 추정결과와 χ^2 검증을 아래와 같이 실시하였다.

$$\begin{aligned}
 & -2\{L^1(\beta) - L^2(\beta)\} \\
 & = -2\{-997.413 + 965.322\} \\
 & = 58.180 > \{\chi_{d.f.}^2 = 6, 0.01 = 16.81\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

〈표 4〉 연령대별 버스 선택모형 추정결과

변수명	청년층(30대 미만)		중년층(40-50대)		고령층(60대 이상)	
	추정계수(t 값)	(-4.728)	추정계수(t 값)	(-1.798)	추정계수(t 값)	(3.787)
상수(첫번째 버스)	-1.313*	(-4.728)	-0.619*	(-1.798)	0.547*	(3.787)
도착예정시간(분)	-0.231*	(-6.892)	-0.142*	(-3.534)	-	-
차내 혼잡도(EXP)	-0.069*	(-9.484)	-0.057*	(-7.309)	-0.074†	(-5.794)
차내 이동시간(분)	-0.025*	(-3.258)	-0.026*	(-2.614)	-	-
관측수	824		524		252	
초기우도값 $L(0)$	-1109.035					
최종우도값 $L(\beta)$	-965.322					
우도비 (ρ^2)	0.130					
수정우도비 (ρ^2)	0.121					

주1: †는 유의수준 1%내 유의, *는 유의수준 5%내 유의
 주2: 차내 혼잡도(EXP) = (한적=exp(1), 보통=exp(2), 혼잡=exp(3))

여기에서 $L^1(\beta)$ 는 전체 데이터를 이용한 모형(Model2)의 최종 우도값, $L^2(\beta)$ 는 연령대별 버스선택모형의 최종 우도값이다.

χ^2 검증결과 연령대별 버스선택에 대한 계층별 이질성을 고려한 모형이 그렇지 않은 모형에 비하여 유의한 타당성을 갖는 것으로 분석되었다. 즉 대중교통정보 제공시에 이용자들의 연령대별 계층별 차이를 고려할 필요성이 있는 것으로 사료된다.

모형의 추정계수 값들을 분석하여 보면 먼저 청년층(30대 이하)과 장년층(40-50대)의 경우에는 도착예정시간, 혼잡도, 이동시간에 대한 추정계수 값들이 모두 유의한 반면, 고령자층(60대 이상)의 경우에는 버스 차내 혼잡도에 대해서만 유의한 것으로 추정되었다. 이는 고령자 계층의 경우 청년 또는 장년 계층에 비하여 상대적으로 시간제약(예, 출근시간 등)을 덜 가지기 때문인 것

으로 판단된다. 또한 본 연구의 고령층 응답자들은 대부분 비업무통행(병원, 쇼핑 등)이 많기 때문인 것으로 파악된다. 반면 버스 차내 혼잡도 정보에 대한 추정계수 값들을 비교하여 보면 노년층(-0.074)과 청년층(-0.069)에 비해 중년층은 비교적 (-0.057) 덜 민감한 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서 제시한 실시간 버스 차내 혼잡도 정보 제공 서비스를 도입할 경우 고령자 계층의 버스선택에 가장 큰 영향을 줄 것으로 사료된다. 또한 버스 차내 혼잡도 정보는 연령대별 계층에 관계없이 이용자들의 버스선택에 유의한 영향을 주는 것으로 분석되어 실시간 버스 차내 혼잡도 정보제공 서비스 도입의 필요성 있음을 시사한다.

3) 통행목적별 버스 차내 혼잡정보의 영향

본 절에서는 실시간 버스 차내 혼잡정보 제공이 이용자들의 통행목적별 버스 선택에 미치는 영향을 분석한다. 통행목적별 버스 선택모형의 경우에도 연령대별 버스선택모형과 같이 차내 혼잡도를 지수함수로 가정하여 이항 로짓모형을 구축하였다. 통행목적은 통근통학, 여가/친교/개인업무, 쇼핑, 병원으로 구분하였다. 특히 통근통학의 경우, 시간제약이 정도에 차내 혼잡도 정보에 대한 영향이 출근(등교)통행과 퇴근(하교)통행에서 일부 차이가 있을 수 있으나 본 연구에서는 동일하다고 가정한 것에 유의할 필요성이 있다.

모형의 추정결과를 〈표 5〉에 제시하였다. 통행목적별 버스 선택모형의 유의성을 검증하기 위하여 〈표 3〉의 전체 데이터를 이용한 모형(Model2)의 추정결과와 χ^2 검증을 실시하였다.

〈표 5〉 통행목적별 버스 선택모형 추정결과

변수명	통근통학		비업무 통행					
			여가/친교/개인업무		쇼핑		병원	
	추정계수(t 값)	(-1.058)	추정계수(t 값)	(-2.544)	추정계수(t 값)	(-2.769)	추정계수(t 값)	(-0.723)
상수(첫번째 버스)	-0.348*	(-1.058)	-0.999*	(-2.544)	-1.338*	(-2.769)	-0.303*	(-0.723)
도착예정시간(분)	-0.164*	(-4.159)	-0.176*	(-3.706)	-0.151*	(-2.578)	-0.119*	(-2.293)
차내 혼잡도(EXP)	-0.064*	(-8.097)	-0.074*	(-7.436)	-0.077*	(-6.308)	-0.065*	(-5.869)
차내 이동시간(분)	-0.050*	(-5.490)	-	-	-	-	-	-
관측수	624		388		280		308	
초기우도값 $L(0)$	-1109.035							
최종우도값 $L(\beta)$	-957.256							
우도비 (ρ^2)	0.137							
수정우도비 (ρ^2)	0.125							

주1: †는 유의수준 1%내 유의, *는 유의수준 5%내 유의
 주2: 차내 혼잡도(EXP) = (한적=exp(1), 보통=exp(2), 혼잡=exp(3))

〈표 6〉 비업무 통행시 연령대별 버스 선택모형 추정결과

변수명	총데이터 (비업무 통행목적)		연령대별 (비업무 통행목적)					
			청년층(30대 미만)		중년층(40-50대)		고령층(60대 이상)	
	추정계수(t 값)		추정계수(t 값)		추정계수(t 값)		추정계수(t 값)	
상수(첫번째 버스)	-1.110 [†]	(-4.154)	-1.894 [†]	(-4.425)	-1.302 [†]	(-3.043)	0.563 [†]	(2.837)
도착예정시간(분)	-0.176 [†]	(-5.497)	-0.249 [†]	(-4.883)	-0.191 [†]	(-3.863)	-	-
차내 혼잡도(EXP)	-0.074 [†]	(-11.180)	-0.076 [†]	(-7.105)	-0.052 [†]	(-5.415)	-0.096 [†]	(-5.371)
차내 이동시간(분)	-	-	-	-	-	-	-	-
관측수	878		370		356		152	
초기우도값 $L(0)$	-608.583				-608.583			
최종우도값 $L(\beta)$	-534.060				-522.478			
우도비 (ρ^2)	0.122				0.141			
수정우도비 ($\overline{\rho^2}$)	0.118				0.128			

주1: † 는 유의수준 1%내 유의, *는 유의수준 5%내 유의
 주2: 차내 혼잡도(EXP) = {한적=exp(1), 보통=exp(2), 혼잡=exp(3)}

$$\begin{aligned}
 & -2\{L^1(\beta) - L^2(\beta)\} & (6) \\
 & = -2\{-997.413 + 957.256\} \\
 & = 74.313 > \{\chi_{d.f. = 9, 0.01}^2 = 21.70\}
 \end{aligned}$$

$$1.41배 \left(\frac{e[-0.077 \times e(3)] - e[-0.077 \times e(2)]}{e[-0.065 \times e(3)] - e[-0.065 \times e(2)]} = 1.41 \right) \text{ 민감한 것으로 분석된다.}$$

여기에서 $L^1(\beta)$ 는 전체 데이터를 이용한 모형(Model2)의 최종 우도값, $L^2(\beta)$ 는 통행목적별 버스선택모형의 최종 우도값이다.

χ^2 검증결과 통행목적별 버스선택모형은 전체 데이터를 사용한 모형에 비하여 유의한 추정결과로 판단된다. 또한 실시간 버스정보제공에 따른 버스선택은 이용자의 통행목적에 유의한 영향을 받는 것으로 판단 할 수 있다.

추정결과를 살펴보면, 버스 차내 이동시간 변수의 경우 통행목적이 통근통학의 경우에만 유의한 것으로 분석되었다. 이는 통근통학과 같은 업무통행의 경우에는 다른 통행에 비하여 상대적으로 시간제약(예, 출근·수업시간 등)의 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다. 반면 버스 차내 혼잡도의 추정계수 값들을 비교하여 보면 통근통학(-0.064)의 경우가 여가/친교/개인업무(-0.074), 쇼핑(-0.077), 병원(-0.065)과 같은 비업무 통행의 추정계수 값들에 비하여 작은 값으로 추정되어 실시간 버스 차내 혼잡도 정보는 통근통행과 같은 시간제약이 있는 통행에 비하여 비교적 제약이 덜한 비업무 통행인 경우의 버스선택에 보다 많은 영향을 미치는 것으로 판단된다. 비업무 통행 중에서도 쇼핑 통행의 경우가 버스 차내 혼잡도 정보에 상대적으로 민감한 것으로 추정되었으며 다음으로 여가/친교/개인업무, 병원 순이었다. 즉, 통행목적별 차내 혼잡도 영향을 비교하면, 다른 조건이 동일하고 혼잡정보("보통"과 "혼잡"인 경우)에 대한 영향만을 고려하면 쇼핑의 경우가 병원의 경우에 비하여 약

4) 비업무 통행시 연령대별 버스 차내 혼잡정보의 영향

앞 절에서 제시한 바와 같이 실시간 버스 차내 혼잡정보의 제공은 연령대별, 통행목적별 버스 선택에 대해 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 본 절에서는 비업무 통행시(여가/친교/개인업무/쇼핑/병원) 연령대별 버스 차내 혼잡정보의 영향에 관하여 분석한다. 통근·통학(업무통행)의 경우 연령대별 버스선택에 이질성을 고려한 모형을 구축한 결과 유의한 차이가 없는 것으로 분석되어 본 논문에는 생략하였다.

모형의 추정결과를 〈표 6〉에 제시하였다. 먼저, 비업무 통행의 연령대별 이질성을 고려한 모형의 유의성을 검증하기 위하여 비업무 통행목적의 전체 데이터를 사용한 모형의 추정결과와 χ^2 검증을 실시하였다.

$$\begin{aligned}
 & -2\{L^1(\beta) - L^2(\beta)\} & (7) \\
 & = -2\{-534.060 + 522.478\} \\
 & = 23.163 > \{\chi_{d.f. = 5, 0.01}^2 = 15.09\}
 \end{aligned}$$

여기에서 $L^1(\beta)$ 는 전체 데이터(비업무통행)를 이용한 모형의 최종 우도값, $L^2(\beta)$ 는 연령대별(비업무통행) 버스선택모형의 최종 우도값이다.

χ^2 검증결과 비업무통행에 대한 연령대별 이질성을 고려한 모형이 그렇지 않은 모형에 비하여 유의한 모형으로 판단된다.

추정결과를 살펴보면 먼저, 비업무통행의 경우 버스

의 차내 이동시간 변수에 대한 추정결과가 유의하지 않았다. 이에 반해 버스 차내 혼잡도에 대한 추정결과는 연령대별로 모두 유의한 추정되어 비업무통행의 경우에도 연령대별 버스 차내 혼잡도의 영향이 다른 것으로 판단된다. 특히 고령자 계층의 계수값(-0.096)이 청년층(-0.076)과 장년층(-0.052)에 비하여 상대적으로 높은 값으로 추정되어 버스 차내 혼잡도에 대한 정보제공이 비업무통행의 경우에도 고령자 계층에 가장 큰 영향을 주는 것으로 분석되었다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

첨단 정보통신기술을 활용한 버스정보 시스템은 대중교통 활성화 측면에서 현재 많은 지역에서 운영 중이거나 도입을 추진하고 있다. 기존 버스정보 시스템이 도착 예정시간과 같은 실시간 운행정보만을 제공하고 있는 반면 본 연구에서는 버스 차내 혼잡도 정보제공의 필요성과 이용자 계층별, 통행목적별 정보제공의 효과에 관하여 분석하였다. 실시간 버스 차내 혼잡도가 이용자들의 버스선택에 미치는 영향을 분석하기 위해 선호의식 조사를 실시하였으며 대표적인 개별행태모형인 이항로짓모형을 적용하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

① 모형 추정결과 실시간 버스 차내 혼잡정보는 이용자들의 버스선택 행동에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되어 정보제공의 필요성이 있음을 보였다.

② 버스 차내 혼잡정보가 버스선택에 미치는 영향은 연령대별(청년층, 장년층, 고령층)로 차이가 있었으며 특히 고령자(60대 이상)의 버스선택에 가장 큰 영향이 있는 것으로 분석되었다.

③ 통행목적별로 분석한 결과 통근·통학과 같은 업무통행에 비하여 비업무통행(여가/친교/개인업무, 쇼핑, 병원)인 경우가 버스 차내 혼잡정보에 더 민감한 것으로 분석되었으며 특히 쇼핑통행인 경우가 가장 높았다.

최종적으로 본 연구에서 논의한 실시간 버스 차내 혼잡도 정보는 이용자들에게는 대중교통 이용의 편의성(예, 고령자들의 경우 대기시간이 조금 증가하더라도 혼잡도가 낮은 버스 선호) 개선에 기여하고 버스 운영자들에게는 한정된 버스의 효율적 운영에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 더불어 버스 운영자들의 경우 실시간으로 버스혼잡도를 파악함으로써 배차시간 조정 등 효율적인 버스운영전략 수립에 기여할 것으로 기대된다.

본 연구의 한계로는 먼저, 버스 혼잡도에 대한 정성적

변수(한적, 보통, 혼잡)의 정량화를 위해 사전에 가정된 함수식을 적용함으로써 모형의 편위(Bias)가 발생할 수 있으며 추후에 비모수적 함수추정 방법론을 적용한 모형화가 필요하다. 또한 본 연구에서 적용된 이항로짓모형 이외에도 이용자들의 시간제약조건(출근시간, 약속시간 등)에 따른 차내 버스혼잡정보의 효과평가가 가능한 시간제약을 고려한 모형 구축이 필요하다. 끝으로 본 연구에서 구축한 계층별 버스 선택모형은 연구자가 설정한 임의의 사전기준(연령대, 통행목적별)에 의해 구분하였기 때문에 응답자들의 계층화에 있어 편위(Bias)가 존재할 수 있다. 따라서 향후 연구과제로서는 주로 마케팅 분야에서 많이 적용되고 있는 잠재그룹 모형(LC, Latent Class Model)과 같은 계층화 방법론을 적용함으로써 이용자들의 버스선택에 대하여 보다 행태적 측면에서 접근할 필요가 있다.

참고문헌

1. 남궁문·성수련·최기주·이백진(2000), 『SP 패널데이터의 Bias를 고려한 동적모델』, 대한교통학회지, 제18권 제6호, 대한교통학회, pp.63~75.
2. 노정현·김용석(1999), 『통행전 교통정보의 불확실성에 따른 출발시각 선택변화에 관한 연구』, 국토계획 제34권 제4호, pp.135~147.
3. 빈미영·김효빈(2005), 『실시간 버스도착정보의 가치 측정에 관한 연구』, 대한교통학회지, 제23권 제6호, 대한교통학회, pp.81~89.
4. 신동호·임용택·박정근(1998), 『비반복 도로혼잡시 교통정보제공에 따른 출발시간대별 통행수요변화 연구』, 국토계획 제33권 제4호, pp.193~208.
5. 원제무·최기주·황준환(1996), 『운전자의 출근 통행 행태에 미치는 교통정보의 영향에 관한 연구』, 국토계획 제31권 제5호, pp.281~297.
6. 윤대식·김상황(2001), 『교통정보 제공에 따른 통행자의 통행행태 변화 분석』, 국토계획 제36권 제2호, pp.101~115.
7. 한국건설기술연구원(2007), 『TAGO 기본계획 및 유지관리 방안 수립 연구』, e-나라지표 (<http://www.index.go.kr>).
8. B. Lee, and H. J.P. Timmermans(2007), 『A latent class accelerated hazard model of activity episode durations』, Transportation Research Part B 41, pp.426~447.

9. D. McFadden(1981), 『Econometric models of probabilistic choice. In: Manski, C., McFadden, D. (Eds.), Structural Analysis of Discrete Data with Econometric Applications』, The MIT press, Cambridge, MA.
10. E. J.E. Molin, H. J.P. Timmermans(2006), 『Traveler Expectations and Willingness-to-Pay for Web-Enabled Public Transport Information Services』, Transportation Research Part C 14, pp.57~67.
11. G. Lyons, J. Urry(2005), 『Travel Time Use in the Information Age』, Transportation Research Part A 39, pp.257~276.
12. J. Grotenhuis, B. W. Wiegman, P. Rietveld (2007), 『The Desired Quality of Integrated Multimodal Travel Information in Public Transport: Customer Needs for Time and Effort Savings』, Transport Policy 14, pp.27~38.
13. J. L. Adler, V. J. Blue(1998), 『Toward the Design of Intelligent Traveler Information Systems』, Transportation Research Part C 6, pp.157~172.
14. K. Dziekan, K. Kottenhoff(2007), 『Dynamic at-Stop Real-Time Information Displays for Public Transport: Effects on Customers』, Transportation Research Part A 41, pp.489~501.
15. K. Goto, Y. Kambayashi(2002), 『A New Passenger Support System for Public Transport Using Mobile Database Access』, 28th VLDB Conference, Hong Kong, China.
16. K. Zografos, V. Spitadakis, K. Androutopoulos (2008), 『An Integrated Passenger Information System for Multimodal Trip Planning』, TRB Annual Meeting.
17. M. Abdel-Aty(2001), 『Using ordered probit modeling to study the effect of ATIS on transit ridership』, Transportation Research Part C 9, pp.265~277.
18. M. Adbed-Aty, R. Kitamura, P. Jovanis (1996), 『Investigation the effect of advanced traveler information on commuter tendency to use transit』, Transportation Research Record 1550, pp.65~72.
19. T. F. Golob, A. C. Regan(2001), 『Impacts of Information Technology on Personal Travel and Commercial Vehicle Operations: Research Challenges and Opportunities』, Transportation Research Part C 9, pp.87~121.
20. W. H. Greene(2003), 『Econometric Analysis』, 5th ed, Prentice Hall.

✉ 주 작성자 : 이백진

✉ 교신저자 : 김준기

✉ 논문투고일 : 2008. 9. 1

✉ 논문심사일 : 2008. 12. 2 (1차)

2008. 12. 8 (2차)

✉ 심사판정일 : 2008. 12. 8

✉ 반론접수기한 : 2009. 4. 31

✉ 3인 익명 심사필

✉ 1인 abstract 교정필