

최대 지불의사액을 고려한 미경험 교통수단의 전환율 추정모형: Personal Rapid Transit 사례를 중심으로

유정훈 · 최정윤*

아주대학교 교통시스템공학과

Diversion Rate Estimation Model for Unexperienced Transportation Mode by Considering Maximum Willingness-to-pay: A Case Study of Personal Rapid Transit

YU, Jeong Whon · CHOI, Jung Yoon*

Department of Transportation Systems Engineering, Ajou University, Gyeonggi 443-749, Korea

Abstract

Personal Rapid Transit(PRT) has emerged as a promising transportation mode for transit-oriented sustainable communities. In this study, an alternative design of questionnaire survey is proposed in order to capture traveler's perception of an unexperienced transportation mode. This study aims at predicting the mode choice diversion behavior of potential PRT users who do not have experience of using it previously, considering their willingness-to-pay. The proposed model was applied to predict an aggregate forecast of PRT patronage for the city of Songdo where PRT is considered to be constructed. For validation of the proposed model, the price elasticity of PRT demand was analyzed, compared with existing models. The analysis results suggest that the proposed design of questionnaire survey is able to capture respondents' attitude and perception to unexperienced transportation mode in an effective manner. Also, they show that the proposed diversion rate model is more realistic than existing models in explaining the effects of users' willingness-to-pay for predicting PRT patronage.

Personal Rapid Transit(PRT)는 대중교통중심의 지속가능한 사회를 위한 교통수단으로 각광받고 있다. 본 연구에서는 경험하지 못한 교통수단에 대한 이용자들의 인식을 효과적으로 측정하기 위한 설문 설계방법을 제시하고, PRT 잠재적 이용자들의 지불의사액(WTP: Willingness-to-pay)을 고려한 수단전환율 모형을 구축하여 이용경험이 부재한 사람들의 교통수단 이용선호의 변화를 분석하였다. 또한, 연구의 적정성을 검증하기 위해 설문조사 결과를 기초로 구축된 수단전환율 추정모형을 PRT 도입이 논의 중인 송도신도시에 적용하여 PRT 이용수요를 예측하고, 요금수준에 따른 수단전환율의 변화를 기존 수단전환율 예측모형의 결과와 비교하였다. 모형적용결과를 통해 본 연구에서 제안된 설문 설계방식은 교통수단 이용선호와 관련된 설명변수를 효과적으로 측정함을 알 수 있다. 또한, 요금수준에 따른 PRT 수단전환율 예측에 있어서, 본 연구에서 제시하고 있는 모형이 기존 모형보다 이용자가 느끼는 요금에 대한 저항을 현실적으로 반영하는 것으로 나타났다.

Key Words

Aggregate Forecasting, Diversion Rate, Logistic Regression, Personal Rapid Transit, Tobit, WTP
집계예측, 수단전환율, 로지스틱 회귀분석, 승객여정선택형 대중교통, 토빗모형, 지불의사액

* : Corresponding Author
cjungy@ajou.ac.kr, Phone: +82-31-219-1653, Fax: +82-31-219-1533

Received 24 October 2012, Accepted 22 May 2013

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 들어 미래세대가 그들의 필요를 충족시킬 수 있는 가능성을 손상시키지 않는 범위에서 현재 세대의 필요를 충족시키는 개발로 정의된 “환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(ESSD: Environmentally Sound and Sustainable Development)”에 대한 요구가 증대되며, 모든 개발의 기반인 교통 분야에서도 이러한 요구에 대응하기 위해 친환경적 교통수단 도입에 대한 필요가 높아지고 있다. 특히, 대중교통분야에서는 LRT(Light Rapid Transit), BRT(Bus Rapid Transit), PRT(Personal Rapid Transit) 등과 같이 기존교통수단에 비해 상대적으로 높은 접근성과 수요변화에 능동적으로 대응이 가능한 시스템을 보유하고, 소음, 매연 등이 적은 신교통수단에 대한 연구개발과 도입이 가속화되고 있다.

이러한 신교통수단의 도입을 위해서는 『국가재정법』 및 『국가통합교통체계효율화법』에서 요구하는 경제적 타당성 평가가 선결되어야 하나, 평가의 근간이 되는 신교통수단 이용수요 분석에 있어 현존 사용 중인 전통적 교통수요 분석 방법론은 명백한 한계가 존재한다. 일반적으로 진술선호(SP: Stated Preference) 조사를 통해 교통수단분담모형을 개발하고 이를 기초로 신교통수단 도입 후에 이용분담률을 예측한다. 그러나 타 교통수단과는 달리 신교통수단의 특성상 응답자의 대다수가 해당수단을 실제로 보거나 탑승한 경험이 없어 신교통수단 시스템의 특성 및 개념을 이해하지 못하는 상황이 발생한다.

특히, 응답자들은 미경험 교통수단의 정확한 요금 수준 및 징수방식에 대한 정보가 부재한 상태에서 설문조사에 응함으로써 요금 수준 및 징수방식을 기존 대중교통수단과 유사하게 인식하는 현상이 발생한다. 그러나 현재 도입예정이거나 도입 초기의 신교통수단들을 살펴보면 사업의 특성상 기존 대중교통수단보다 높은 요금수준과 독자적인 징수방식을 가지고 있는 것으로 나타났다.

현재 도입초기인 의정부 경전철 및 김해 경전철의 사례에서 보는 바와 같이 이러한 현실과의 괴리는 미경험 교통수단 이용선호 추정에 있어 과다추정의 오류를 범할 가능성이 높아지며 분석결과의 정확도 및 신뢰도를 저하시키는 결과를 초래한다.

본 연구에서는 대표적인 미경험 교통수단인 PRT 사례를 중심으로 미경험수단에 대한 이용자 선호조사 결과

의 편의(bias)를 최소화 하는 설문 방법을 제시하고, 이와 더불어 응답자들의 미경험 교통수단 요금의 지불의사액(WTP: Willingness-to-Pay)을 직접 설문하여 일반적인 수단전환을 모형에 지불의사액을 고려하는 단계가 추가된 수정모형을 제시하였다. 또한, 구축된 모형을 PRT 도입이 논의 중인 송도신도시에 적용하여 PRT 도입 시 수단전환율을 예측하고, 기존 추정모형과의 비교 및 모형 적정성에 대한 분석을 시행하였다.

PRT란 3-6인이 승차할 수 있는 소형 차량이 궤도를 통하여 목적지까지 정차하지 않고 운행하는 새로운 도시교통 수단으로 일종의 궤도 시스템이다. 경전철과 다른 PRT시스템의 특징은 저렴한 사업비와 “On-demand”, 완전무인자동운전으로 경전철과는 또 다른 새로운 시장을 개척하고 있다.

PRT와 타 대중교통 시스템과의 특성을 비교하면 Table 1과 같다.

PRT는 역간 거리를 300-500m로 타 시스템보다 조밀하게 네트워크를 구성하여 door-to-door를 지향하고 있다. 이로 인해 타 대중교통수단과는 달리 운행 중간에 정차나 환승이 발생하지 않는다.

또한, 전체적으로 완전 무인운전 및 운영을 표방하고 있어 타 수단에 비해 운영비용이 저렴하다. 또한 경량의 구조물로 초기 건설비용을 대폭 감축시켜 경전철의 50% 이하의 초기 투자비 수준을 보인다.

Table 1. Comparison of systems

System	PRT	HRT	LRT	BRT
Operation method	off-line station	line-haul system		
Station spacing	300-500m	1,000m	800m	500m
Scheduled speed	40-45km/h	25-35km/h	25-35km/h	20-30km/h
headway	on-demand (minimum 3sec)	more 2 min		



Figure 1. PRT of heathrow-airport

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 수행과정은 다음과 같이 구성된다. 우선 기존 문헌을 통해 수단전환을 모형과 지불의사액 관련 국내외 선행연구를 고찰한다. 다음으로 미경험 교통수단에 대한 이용자 선호조사 결과의 편의를 최소화하는 설문조사 설계방식 및 설문 기술통계 분석결과를 제시한다. 그리고 본 연구에서 활용한 분석방법론에 대해 다룬다. 구체적으로 분석방법론에서는 연구모형의 전개, 고려사항, 주요가정 분석에 사용될 변수를 정의한다. 이후 구축된 모형을 시범지역에 적용한 결과를 기존 모형의 결과와 비교 분석하여 본 모형의 차별성 및 우수성을 다루고 최종적으로 연구결과를 정리하고 향후 연구방향을 제시한다.

II. 선행연구 고찰

본 장에서는 기존의 국내외 연구들을 면밀히 검토하여 본 연구가 지니는 차별성에 대해 기술하고자 한다. 연구의 검토는 본 연구의 핵심인 수단전환과 지불의사액 관련 연구로 구분하여 이루어졌다.

국내의 수단선택모형에 관한 연구들을 살펴보면 Metropolitan Transportation Authority (2010)에서는 효용이론을 근거로 한 확률선택모형인 nested logit 모형을 적용하였고, 수단선택의 모형 변수를 결정할 때 각 개인의 수단선택 행태를 반영하기 위해 개인의 성별, 나이, 지역 더미변수 및 도착지점 종사자 수를 고려하였다. Ministry of Construction and Transportation (2009)에서는 수단분담모형 구축 시 기존 수단선택모형들과는 달리 접근통행을 분리하고 모형의 변수를 대안특정변수로 설정하여 제시하였고, 이용 가능 수단은 승용차, 버스, 고속철도, 철도의 4개 수단으로 구분하였으며, 수단선택모형의 핵심 변수는 통행비용 및 통행시간을 세분화한 차내시간 및 접근시간을 사용하였다. Korea Development Institute (2008)에서는 모형의 변수를 대안동일변수(Alternative Abstract Variables)로 설정하고 이용 가능한 수단은 전국지역간의 경우 승용차, 버, 철도, 수도권 및 광역권의 경우 승용차, 택시, 버스, 철도로 구분하였다. 주목할 점은 전국지역간, 수도권, 광역권을 구분하여 모형을 구축한 것이다.

Lee and Lee (2009)는 개인의 사회·경제적 특성을 통해 교통수단이 결정되는 다항로짓모형(MNL: Multinomial Logit model)과 교통수단의 효용에의 이용여부의 선택

이 결정되는 조건부 로짓모형을 결합한 혼합적 조건부 로짓모형을 구축하였다. 이때 사용된 독립변수는 통행자 개개인의 사회·경제적 속성 변수, 출발지와 도착지의 공간적 특성, 그리고 교통수단 속성이다. Jun and Baek (2008)은 조건부 로짓모형을 활용하여 통근통행의 수단 선택요인을 추정하였다. 통행시간과 통행비용 외에도 성별, 연령, 교육수준 등, 통행자의 개인특성, 주거와 직장의 위치에 따른 입지적 특성, 인구 및 직장밀도 등의 토지 이용특성, 그리고 교통통근, 역통근 등 통행방향이 설명변수로 활용되었다.

Kim et al. (2004)은 신교통수단이 도입될 경우 기존 교통수단들로부터의 전환이 얼마나 이루어지며, 이용행태가 어떻게 변화할 것인지, 전환수요에 대한 예측수법에 대해 연구하였으며, SP조사 자료를 기초로 로짓모형을 사용하였다.

국외에서는 2000년대 들어 단순한 수단분담모형이 아닌 개개인의 수단선택의 행태 및 특성, 모형 적용 지역의 토지이용 등을 고려한 수단분담모형의 연구가 활발히 진행 중에 있다(Hess, 2001; Cervero, 2002; Jun, 2004; Song and Knaap, 2004; Zhang, 2004 등).

Li et al. (2010)은 기존의 일반적인 로짓모형에서 한 단계 발전된 mixed-logit 모형의 계수추정법과 적용 사례를 제시하였고, Matthew et al. (2011)은 개인의 행태 스케줄링, 차량처리, 수단선택을 동시에 고려한 통합모형을 제안하였다.

Klochner et al. (2011)은 다양한 특성과 인적특성을 가지는 상황 하에서의 사람들의 수단선택에 관해 multi-level approach 방법을 사용하여 모형을 구축하고 이를 실제 적용하여 검증하였다.

교통부문에서 SP조사를 활용한 지불의사액 추정에 관한 연구는 다양하다(Son et al. 2002; Lee et al. 2005) 먼저 Bin and Kim (2005)은 실시간 버스도착 정보의 제공에 따른 이용자들의 효용을 불안감 해소와 도착정보 제공에 따른 대기시간 동안 추가활동으로 제시하였고, 특히 불안감 해소에 따른 가치평가를 위하여 잠재가치추정법(CVM: Contingent Valuation Method)을 이용하여 분석하였다. Khattak et al. (2003)은 교통정보에 대한 이용자들의 지불의사액을 추정하기 위해 SP조사기법을 활용하였으며 응답자들의 사회·경제적 속성에 따른 이용자들의 지불의사액 추정 모형을 구축하였다. 상대적으로 개인특성에 적합한 정보, 장거리통행, 업무통행일수록 교통정보에 대한 지불의사액이 높은 것으

로 나타났다.

Denant-Boemont and Petiot (2003)의 경우에도 선호의식 조사를 활용하여 교통정보에 대한 지불의사액을 조사하고 이를 게임이론을 통해 분석하였다. 개인 간 정보가치의 다양성, 특히 정보획득을 위한 비용은 통행 시간 및 비용과의 비교를 통해 계산되는 위험성(Risk)에 따라 다양한 지불의사액을 갖는 것으로 나타났다. Molin and Timmermans (2006)은 웹사이트를 통해 제공되는 대중교통정보의 가치를 추정하기 위해 SP조사결과를 기초로 지불의사액을 측정하였다. 지불의사액의 추정 결과로서는 실시간 교통정보, 추가대안 경로 등을 제공할 경우에 지불의사가 높아지는 것으로 보고하였다.

신교통수단의 요금에 대한 기존 연구들은 주로 요금체계, 징수방법 및 징수 시스템에 국한되어 이루어져 왔다(Hickey et al. 2010). Batarce and Galilea (2013)는 통합대중교통시스템을 구축하기 위한 버스망을 재구성에 따른 비용과 요금 추정 방안을 제시하였으나, 이 연구 또한 요금 체계 구축과 요금정책에 한정되어 있다.

선행연구 고찰결과 기존의 수단선택모형 관련 연구들은 신교통수단 도입 시 이용자들의 수단선택 행태에 영향을 미치는 핵심요소가 미경험 교통수단 이용에 대한 지불가능금액이나, 기존 논문들에서는 이러한 부분을 명확하게 고려하지 않아 신교통수단 도입에 따른 이용자들의 수단선택 행태를 묘사하는데 일정부분 한계를 지니고 있다. 또한 지불의사액 관련 연구들은 지불의사액을 활용하여 단순히 어떠한 재화에 대한 가치 또는 효과를 분석하는 데 국한되었고, 이를 신교통수단 선택에 적용한 경우는 없는 것으로 파악되었다.

본 연구는 기존 연구결과들을 바탕으로 이용자 지불의사액을 고려한 모형을 제시함으로써 신교통수단 도입 시 수단 전환율을 정확하게 파악하는 데 의의가 있다고 할 수 있다.

III. 조사 설계 및 분석자료 구축

1. 설문조사 설계

본 연구에서는 현재 PRT 도입 예상지역으로 논의 중인 송도신도시 지역에 대해 설문을 시행하였다. 설문은 설문조사 항목의 적정성과 효율성을 검증하기 위한 예비조사, 본조사 및 본조사에서 발생한 문제점을 보완하기 위한 보완조사로 나누어 이루어졌다.

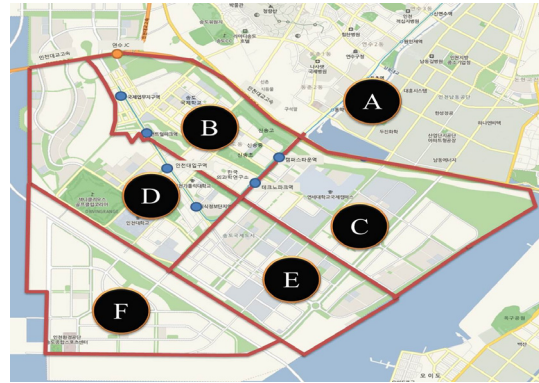


Figure 2. Division of study area

조사대상지역은 PRT 도입 검토 중인 노선을 기반으로 하여 송도동 경계를 기준으로 공간적 범위를 정하고, 원활한 조사를 위해 토지이용, 주요 건물, 인구 활동패턴 등을 고려하여 Figure 2와 같이 지역을 세분화하고, 세부 지역별로 동일한 표본 수를 조사하여 공간적 편의를 최소화하였다.

본조사는 주간 12시간씩 이틀에 걸쳐 320명을 조사하였고, 환경적 편의를 최소화하기 위하여 날씨가 맑은 날을 택하여 실시하였다. 이 때, 조사원들의 교육 부족과 응답자들의 비일관적인 응답으로 인해 일부 설문항목에 대한 응답률이 현저하게 떨어지는 문제가 발생하였다. 이를 해결하고자 조사원 교육을 재실시하고, 응답자들에게 충분한 설명 자료를 제공할 수 있게 설문지를 수정하여 동일지역에 대해 주간 12시간에 걸쳐 보완조사를 실시하였고 설문인원은 100명으로 하였다.

설문대상자는 송도신도시 내에서 반복적인 통행을 보일 것으로 예상되는 거주민 또는 근무자를 대상으로 무작위 추출하여 선정하였고, 적정요금과 지불의사액에 대해서 open-ended 방식을 적용하였다. 이때 open-ended 방법이 야기할 수 있는 응답 bias를 최소화하기 위해 설문조사원이 응답자에게 설문 시 장래 PRT 요금이 현재 응답자가 이용하고 있는 대중교통요금과 유사할 것이라는 점을 인지시키도록 조치하였다.

설문항목의 경우 Table 2에서 정리된 바와 같이 응답자의 성별, 나이, 직업 등을 묻는 응답자 특성 항목과 현재 이용하는 수단, 각 수단별 통행시간, 비용 등을 묻는 통행특성 항목, PRT 도입 시의 진출선호 항목으로 나누어 설계하였으며 특히, PRT 진출선호 항목에서는 응답자가 느끼는 PRT의 적정요금과 지불의사액을 조사하였고, 별도의 금액을 제시하지 않는 개방형 질문으로 설계

Table 2. Survey questions

Category	Elements
Respondent Characteristics	Gender, Age, Occupation, Income, Car ownership
Trip Characteristics	Trip purpose, Origin/Destination, Travel mode, Travel time, Travel cost
PRT Statement Preference	PRT use, Optimum fare of PRT, WTP of PRT fare

하였다.

일반적으로 설문응답자가 질문대상에 대한 정확한 이해가 없을 경우, 응답의 오류 또는 편의가 발생할 가능성이 높다. 특히 이용자의 이용선호 특성을 파악할 수 있는 기초자료 수집과 동시에 응답자의 집중력 유지를 통한 자료의 신뢰성 확보할 수 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 응답의 일관성 확보의 최대 방해요소라 할 수 있는 과도한 문항 수의 최소화를 위해 설명변수들에 대한 다양한 수준의 값을 제시하고 이에 대한 응답자의 선택을 수집함으로써 문항의 수를 불가피하게 증가시키는 방식인 fractional factorial을 적용하지 않았다.

또한, 교통수단별 실제 통행시간/통행비용과 응답자가 인지(perception)하는 통행시간/통행비용 사이에 차이가 발생한다. 따라서 본 설문 설계 시 현시선호조사를 병행하여 현재 이용하는 수단들에 대해 응답자가 실제로 인지하고 있는 수단별 통행시간/통행비용을 수집하였고, 미경험교통수단인 PRT에 대해서는 설문지에 주어진 운행속도, 대기시간, 주요경로에 대한 예상시간 등을 통해 응답자가 추정한 통행시간과 PRT의 적정요금과 지불의 사액을 수집하였다. 그러므로 모형 추정 시 PRT를 제외한 현재 이용 가능한 수단에 대해서는 실제로 개개인이 인지하고 있는 비용과 시간을 사용하게 되어 모형 추정 결과의 정확도를 향상시킬 수 있었고, PRT의 경우에도 인위적으로 가정한 상황 하에서 이용자가 응답한 자료보다 더욱 현실감 있는 수단선호 행태를 조사할 수 있었다.

2. 기초자료 통계 분석

설문조사 대상자 320명 중 응답이 누락되었거나 응답의 오류가 있는 설문을 제외한 유효 응답자는 286명이다.

286명의 유효 응답자 중 남성은 44.76%, 여성은 55.24%로 관측되었으며 연령대는 30대가 43.01%로 가장 높고, 20대, 40대, 50대, 60대 이상의 순으로 타났으며, 평균 연령은 32.56세이다.

Table 3. Survey results

Attributes		Frequency	Relative Frequency
Gender	Male	128	44.76%
	Female	158	55.24%
Age	20-30	124	43.36%
	30-40	123	43.01%
	40-50	23	8.04%
	50-60	10	3.50%
	60-	6	2.10%
Car Ownership	Yes	118	41.26%
	No	168	58.74%
Occupation	Economically active people	174	60.84%
	Not economically active people	112	39.16%
Trip Purpose	Business	196	68.54%
	Non-business	90	31.74%
Income (million KRW)	-100	69	24.13%
	200-300	94	32.87%
	300-400	48	16.78%
	400-500	51	17.83%
Travel Time (min)	500-	24	8.39%
	-15	113	39.51%
	15-30	124	43.36%
	30-45	39	13.64%
Mode	45-	10	3.50%
	Auto	60	20.98%
	Taxi	13	4.55%
	Bus	131	45.80%
	Rail	61	21.33%

응답자들의 주요 통행목적은 출·퇴근 통행과 출장 등을 포함한 업무통행이 68.54%, 쇼핑, 업무, 친구방문과 같은 비업무 통행이 31.74%로 나타났다. 교통수단 이용선호 및 수단선택의 주요한 요소 중 하나인 응답자들의 월평균 소득 평균값은 317만원이다.

직업의 경우 회사원과 자영업자를 포함하는 경제활동 인원과 학생, 주부 등과 같은 비경제활동인원으로 구분하였는데, 경제활동인원은 전체의 60.84%, 비경제활동 인원은 39.16%로 조사되었다.

그리고 응답자들에게 반복적으로 발생하는 통행에 대한 이용수단과 통행시간을 살펴본 결과, 이용수단은 버스를 이용하는 인원이 전체의 45.80%이고 승용차, 전철, 택시 순으로 이용하는 것으로 나타났으며, 통행시간의 경우 주로 내부통행을 담당하는 PRT 특성을 반영하기 위해 응답자가 내부통행 시 인지한 시간을 설문하였기 때문에 약 84% 가량이 30분 미만의 통행인 것으로 나타났다. 마지막으로 평균 PRT 적정요금은 1,499원,

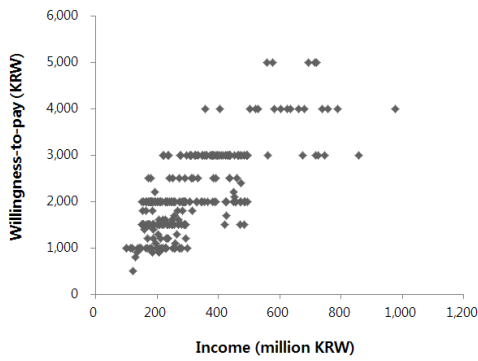


Figure 3. Willingness-to-pay by Income

평균 지불의사액은 2,213원으로 분석되었다.

소득 수준에 따른 지불의사액의 분포를 살펴보면 소득이 증가할수록 이용자들의 지불의사액은 증가하는 경향이 있는 것으로 보아 소득은 PRT 요금에 대한 응답자들의 지불의사액의 주요 설명변수인 것으로 판단되었다.

설문 분석결과에 따르면 소득이 WTP에 영향을 주고 이는 PRT 전환율에 중요한 요소인 것으로 파악된다. 하지만, PRT 요금이 1,000원 정도 수준으로 소득수준에 상관없이 대다수가 이용하는 기존 대중교통과 요금이 비슷하여, 소득자체만으로 choice rider를 규정할 수 없다. 즉, 동일한 소득수준이라 하더라도 PRT 이용가치에 대한 주관적인 판단(subjective valuation)이 각자 다르므로 개인의 소득수준 자체보다는 소득을 포함한 개인 특성이 PRT 이용가치에 영향을 주며, 이러한 영향이 WTP로 표출된다고 볼 수 있다. 이는 WTP가 개인별 PRT 이용효용을 간접적으로 표현하는 잠재변수(latent variable)임을 나타낸다.

IV. 모형구축

1. 수단전환 추정과정

본 연구에서 제시하는 미경험 신교통수단에 대한 수단전환을 추정과정은 2단계로 이루어진다. 첫 번째 단계에서는 식(1)과 같이 PRT의 잠재적 이용자들의 사회경제적 변수를 기초로 PRT 요금의 지불의사액 추정한다.

$$\hat{Y}_i = f(\vec{X}_i, \vec{\beta}) \quad (1)$$

여기서, \hat{Y}_i : PRT 요금에 대한 이용자 지불의사액

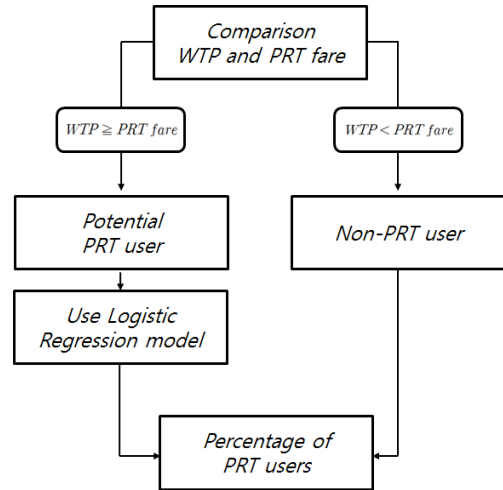


Figure 4. Concept of diversion rate estimation

\vec{X} : 이용자들의 사회·경제적 특성변수

$\vec{\beta}$: 각 변수들의 추정계수

다음 단계에서는 Figure 4와 같이 추정된 지불의사액과 설정된 PRT 요금을 비교하여 지불의사액이 PRT 요금에 비해 큰 경우들은 PRT의 잠재적 이용자로 정의하고, 기존 연구에서 일반적으로 사용되어왔던 로지스틱 회귀모형을 적용한다. 반면, 지불의사액이 PRT 요금에 비해 작은 인원들은 PRT 도입 후 지불의사액의 제약으로 인해 수단전환이 발생하지 않는 것으로 가정하여 분석한다.

2. WTP 추정모형

본 연구에서는 이용자의 PRT요금 지불 한계점인 지불의사액의 추정모형을 추정하기 위해 응답자에게 지불의사액을 직접적으로 설문하였다. 그러므로 간접적인 가치추정방법과는 달리 효용함수에 대한 일반적 가정이나 보통 수요함수 도출 등의 복잡한 중간과정을 거치지 않고 지불함수에서 직접적으로 최대지불의사금액을 이끌어낸다. 그러나 지불의사액의 특성상 0원 이상의 값을 가지기 때문에 기존의 회귀분석으로는 편의가 발생하게 되므로 이러한 문제를 해결하기 위해 Tobit 모형을 이용하여 분석하였다.

Tobit모형이란 식(2)와 같이 $y_i^* > 0$ 면 관측할 수 있고, $y_i^* < 0$ 이면 관측할 수 없는 경우와 같이 종속변수가 양적 변수이지만 일정범위 안에서는 관측될 수 없고 제한된 값

을 가지는 경우 사용되는 중도절단회귀모형 (Censored regression model)을 말한다.

$$\begin{aligned}
 y_i^* &= x_i\beta + \epsilon_i & \epsilon_i &\sim N(0, \sigma^2) \\
 y_i &= y_i^* & \text{if } y_i^* > 0 \\
 y_i &= 0 & \text{if } y_i^* < 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

위의 식에서 y_i^* 는 관찰 불가능한 잠재변수이다. 이 변수의 값을 관찰할 수 있다면, 위의 식에서 일반적인 최소자승법을 적용하여 계수 β 의 일치추정량을 얻을 수 있다. 그러나 관찰 가능한 변수는 y_i 이다. 그런데 이 관찰 가능한 변수 y_i 는 0이상에서만 관찰 가능하다. 이 경우 y_i 를 y_i^* 를 대신 이용하여 최소자승법으로 추정하면 $E(\epsilon_i) \neq 0$ 이기 때문에 β 의 일치추정량을 얻을 수 없게 된다.

앞에 식과 같이 0의 값에서 censored된 자료에 대해 최우추정법을 이용하여 일치추정량을 얻을 수 있다. 이 경우 전체 표본에 대한 우도함수는 식 (3)과 같으며 우도함수에 로그 값을 취해 얻어지는 $\ln L$ 을 극대화 하는 방법으로 계수 추정치 β 를 구하게 된다.

$$\ln L = \sum \ln(1 - \Phi(\frac{x_i\beta}{\sigma_u})) + \sum [\ln \sigma_u + \ln \phi(\frac{y_i - x_i\beta}{\sigma_u})] \tag{3}$$

단, 앞부분은 y_i 가 0인 항의 합, 뒷부분은 y_i 가 0보다 큰 항의 합이다. $\Phi(\cdot)$ 는 표준정규분포의 누적분포함수, $\phi(\cdot)$ 는 표준정규분포의 확률밀도함수를 나타낸다.

본 연구에서는 PRT 요금에 대한 이용자의 WTP를 종속변수로 하고 이용자의 사회·경제적 변수(소득, 통행 목적, 직업, 연령)를 독립변수로 선정하여 식(4)와 같이 모형을 구축하였다.

$$WTP = \beta_0 + \beta_1 Age + \beta_2 INC + \beta_3 OCC + \beta_4 GEN \tag{4}$$

여기서, WTP : PRT 요금에 대한 이용자 지불의사액
 AGE : 연령(세), INC = 월평균 소득
 OCC : 직업(1=경제활동, 0=비경제활동)
 GEN : 성별(1=남자, 0=여자)

구축된 모형을 econometric S/W인 Limdep을 이용하여 table 4와 같은 결과를 산출하였다.

모형추정결과를 연령, 소득이 양(+),의 부호로 추정

Table 4. Model estimation results for WTP

variables	coefficient	standard error	t-ratio	p-value
constant	888.18	147.74	8.01	0.00
Age	40.75	6.25	6.52	0.00
INC	0.79	0.38	2.06	0.04
OCC	248.56	85.71	2.90	0.01
GEN	29.51	15.38	1.95	0.04
R ² =0.788 adj R ² =0.724				

되어 연령이 높고 소득이 높을수록 지불의사액이 증가함을 확인할 수 있었고, 직업이 정규직이며, 성별이 남성인 경우가 그렇지 않은 경우에 비해 지불의사액이 상대적으로 큰 것을 알 수 있었다.

모형의 설명력을 나타내는 지표인 R²와 adjusted-R²를 살펴본 결과 각각 0.788과 0.724로, 설명력이 높은 것으로 판단되었다.

3. Logistic 회귀분석

이항반응이란 각 대상의 반응을 '성공'과 '실패'로 측정하는 것으로서 이항반응 Y와 양적 설명변수 X에 대해 p(i)를 X=x일 때 '성공' 확률이라고 하고 확률 p(x)는 이항분포의 모수라 정의한다. logistic 회귀모형은 p(i)의 logit에 대해 식(5) 같이 정의된다.

$$\text{logit}[p_i] = \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \alpha + \beta x \tag{5}$$

또한, logistic 회귀식을 변형하여 성공확률을 직접 나타낼 수 있다.

$$p_i = \frac{\exp(\alpha + \beta x)}{1 + \exp(\alpha + \beta x)} \tag{6}$$

logistic 회귀에서 모수 B는 S-곡선의 증가 또는 감소율을 결정한다. B의 부호는 곡선의 증가 또는 감소를 나타내며 곡선의 변화율은 |β|가 증가함에 따라 증가한다. β=0이면 우변항은 상수가 되므로 p(i)는 모든 x값에 대해 같다. 이때 곡선은 x축에 평행인 직선이 되며, 이항반응 Y는 X와 독립이다.

logistic 회귀모형에서 그 의미를 해석하는데 가장 간단한 모형은 선형확률모형으로서 보통 최소제곱추정에 의해 계수가 결정된다. 본 연구의 PRT 이용확률에 대한 추정식은 식(6)과 같다.

$$\logit [p_i] = \beta_0 + \beta_1 TCD_i + \beta_2 TTD_i + \beta_3 INC_i + \beta_4 TP_i + \beta_5 CM \quad (7)$$

- 여기서, p_i : PRT 이용확률(=PRT 전환율)
- TCD : PRT 이용비용-타수단 이용비용 (원)
- TTD : PRT 이용시간-타수단 이용시간 (분)
- INC : 월평균 소득 (백만 원)
- TP : 통행목적 (1=업무, 0=비업무)
- CM : 현재 이용수단 (1=승용차, 0=대중교통)

이 때, 월평균소득, 통행목적, 현재 이용수단의 경우에는 설문조사에서 조사된 값을 활용하였으며, 타 수단 이용시간 및 이용비용 또한 마찬가지로 설문조사 시 개인이 선택한 수단에 대해 응답한 이용시간과 이용비용의 값을 적용하였다.

PRT 이용시간과 이용비용의 경우에는 설문 시 응답한 출발지와 목적지를 기반으로 PRT 네트워크, 운행속도 및 배차간격 등을 고려하여 산출한 값을 사용하였다.

해당 추정식을 통계 S/W인 SPSS를 활용하여 분석한 결과는 Table 5와 같다.

모형 추정결과 살펴보면 PRT이용시간 및 이용비용이 타 수단보다 저렴하고, 소득이 낮을수록 PRT 전환율이 높은 것으로 나타났으며, 이는 PRT가 타 수단에 비해 경쟁력이 높은 경우 PRT 전환율이 높다는 것으로 해석되어진다. 또한, 통행목적이 업무통행이고, 현재 이용수단이 승용차인 경우가 상대적으로 전환율이 낮은 것으로 분석되었다.

모형의 적합도를 살펴보기 위해 R^2 , $adj-R^2$ 를 살펴본 결과 각각 0.798과 0.756으로 설명력이 비교적 높은

Table 5. Model estimation results for PRT diversion rate

variables	coefficient	t-value	p-value	EXP(B)
constant	16.88	1.052	0.19	-
TCD	-0.015	2.568	0.01	0.985
TTD	-0.871	4.252	0.00	0.419
INC	-0.016	1.886	0.02	0.984
TP	-3.054	3.563	0.00	0.001
CM	-2.453	1.453	0.04	0.086
$R_2=0.798$ $adj R_2=0.756$				

Table 6. Classification table

Category	Predicted		Percentage Correct
	PRT use=N	PRT use=Y	
PRT use=N	99	23	80.49
PRT use=Y	24	140	85.89
total			83.57

것으로 판단되며, 모형의 분류표인 Table 6을 통해 분류정확도를 확인한 결과 83.57%로 본 연구에서 구축한 모형은 우수한 설명력을 가지는 것으로 확인되었다.

V. 모형 적용

1. 적용 범위

본 연구에서는 앞서 구축된 모형을 송도신도시에 적용하여 결과를 분석하였다. 적용에 앞서 송도신도시의 규모 및 특성, PRT 예상노선을 살펴보기로 한다.

국제업무, 지식기반산업 중심지로 IT, BT 등 첨단산업의 중심지로 개발될 예정인 송도신도시는 인천광역시 연수구 송도동에 위치하고 있으며, 총 면적은 53.3km²이며, 계획인구는 약 25만 명이나 현황 인구는 약 4만 명인 것으로 조사되었다.

송도신도시에 도입 논의 중인 PRT 도입노선은 32.0km 연장으로 송도신도시를 순환하는 노선 1개와 5개로 구분된 지역을 연결하는 5개의 지선으로 이루어져 송도신도시 내부통행의 한 축을 담당할 것으로 예상되어진다. 1량 당 최대승차인원은 6인으로 설계되었으며, 운행속도는 평균 25km/h이다.

Table 7. Characteristics of Songdo

Location	Incheon Yeonsu-gu Songdo-dong
Size	53.3 km ²
Planning Population	255,879
Current Population (2011yr)	41,425

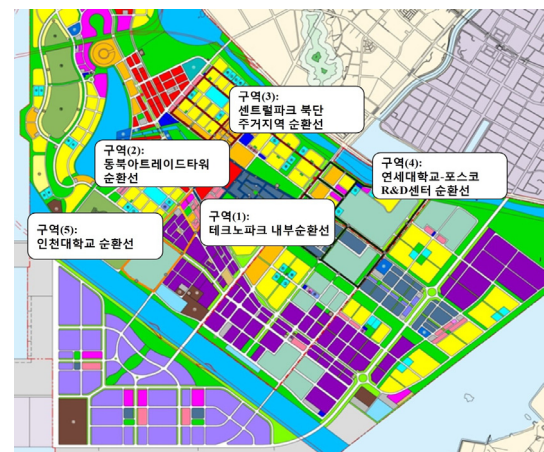


Figure 5. PRT route map of Songdo

2. 적용방법

본 연구에서 구축한 모형은 개인의 설문조사자료를 기초로 구축한 모형은 비집계형(disaggregate)모형이다. 그러나 모형의 적용은 특별한 경우를 제외하고는 집계형(aggregate)수요에 관한 것이므로, 비집계모형을 기초로 집계예측(aggregate forecasting)을 수행하여야 한다. Ben-Akiva and Lerman (1985)는 집계 예측방법을 average individual, classification, statistical differentials, explicit integration으로 나누어 제시하고 있다. 적용대상 지역과 관련된 기초 통계 자료의 한계로 본 연구에서 적용 가능한 방법은 단순평균법과 집단평균법이다. 그러나 가장 단순하게 모형 적용대상의 모집단 평균값을 적용하는 단순평균 방법은 만일 설명변수 값의 분산이 클 경우 결과 값의 신뢰도가 급격히 감소할 수 있기 때문에 본 연구에서는 classification을 사용하기로 한다.

classification은 적용대상 모집단을 상대적으로 동일한 특성을 갖는 소집단(subgroup)으로 구분하여 모형의 독립변수들에 대한 각 소집단의 평균값을 모형에 적용하여 결과 값을 산출하고, 산출된 결과를 가중 평균하여 모집단의 종속변수 값을 추정하는 방법이다.

classification의 과정을 살펴보면 다음과 같다.

단계 1: 전체 집단 T 를 상호배타적이고 총합이 전체와 일치하는 G 개의 sub-group으로 구분함. 이때 $X_g (g=1,2,\dots,G)$ 는 각 sub-group의 속성 값임.

단계 2: 각 sub-group 해당하는 sample의 수: $N_g, g=1,2,\dots,G$

단계 3: 각 sub-group을 대표하는 평균값: \bar{X}_g

단계 4: 전체를 집단 T 를 대표하는 값 $W(i)$:

$$W(i) \cong \sum_g \frac{N_g}{N_T} P(i|\bar{X}_g)$$

본 연구에서는 집단평균 방법을 적용하기 위해 Table 8과 같이 기준을 설정하고 통계청, 인천시청, 인천경제자유구역청에서 제공하고 있는 송도신도시 주민의 기초 통계자료를 조사하여 주민 41,425명을 분류기준에 따라 12개의 소집단으로 분류하였다. 이때 분류기준은 설문자료 분석과 이항로지스틱 모형 추정결과 PRT전환율에 영향을 미치는 3가지 핵심변수를 선택하였다.

Table 8. Criteria of classification

Classification Criteria	Elements
Income (million KRW)	less than 200
	between 200 and 400
	more than 400
Trip Purpose	Business
	Non-business
Current mode	Passenger car
	Public Transportation

Table 9. Estimation results of PRT diversion rate for level of PRT fare

PRT Fare	Diversion Rate	
	General model	Modified model
500	36.05%	36.05%
600	33.57%	33.10%
700	31.59%	30.24%
800	29.68%	28.03%
900	27.83%	25.81%
1,000	26.05%	23.73%
1,100	24.34%	21.68%
1,200	22.70%	19.67%
1,300	21.13%	17.80%
1,400	19.62%	15.89%
1,500	18.18%	14.12%
1,600	16.81%	12.35%
1,700	15.51%	10.69%
1,800	14.28%	9.12%
1,900	13.11%	7.60%
2,000	12.01%	6.17%

소득의 경우 통계청에서 제공하고 있는 소득수준별 인구수 자료를 통행목적 및 현재 이용수단 자료는 KTDB(Korea Transport Database)에서 제공하는 목적별·수단별 기종점 통행량을 통해 수집하였다.

WTP 추정 값과 PRT 요금의 비교 없이 PRT 전환율을 추정하는 일반모형과 WTP와 PRT 요금의 비교를 통해 잠재적 PRT 이용자를 선별하고, 해당 집단을 대상으로 PRT 전환율을 추정하는 모형인 수정모형의 비교를 위해 PRT 요금을 현재 대중교통 요금과 동일한 1,000원으로 설정하고 분석을 수행하였다. 일반모형 적용 시 PRT 전환율은 26.05%, 수정모형의 경우에는 23.73%로 분석되었다.

또한, 설문조사에서 조사된 응답자의 적정요금의 평균값인 1,500원을 적용한 경우에는 각각 18.18%, 14.12%로 분석되었다. Table 9는 PRT 요금설정 수준에 따른 PRT 전환율 분석결과이다.

위의 결과를 통해 PRT 요금과 이용자가 PRT 요금에 대해 느끼는 지불의사액을 비교하여 PRT 잠재적 이용

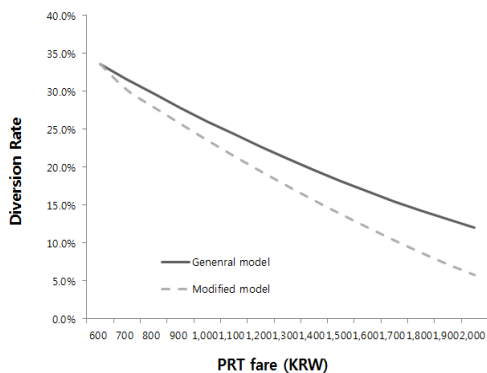


Figure 6. Comparison between general model and modified model

가능 집단과 PRT 미이용 집단을 나누어 전환율을 추정하는 본 연구의 모형은 Figure 6과 같이 기존에 일반적으로 사용하고 있는 모형보다 전환율이 낮게 추정됨을 확인할 수 있었다. 이는 이용자가 PRT 이용 시 발생하는 효용의 지표로 대변되는 지불의사액을 고려하여 요금에 상한 값을 부여하였기 때문일 것으로 사료된다.

VI. 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 미경험교통수단 도입의 수단전환율 추정모형의 신뢰성을 높이기 위한 현시선호조사와 진출선호조사를 결합한 조사 설계방법을 제시하고 미경험 신교통수단인 PRT 도입 시 사회경제적 지표에 따른 PRT 요금에 대한 이용자 지불의사액과 지불의사액을 고려한 PRT 수단전환율에 대해 분석하였다.

현시선호와 진출선호조사를 결합한 조사 방법을 사용하여 적용하게 되면 기존 진출선호조사에서 일반적으로 사용되고 있는 fractional factorial이 가지는 과도한 문항 수로 인한 설문응답 결과의 신뢰도 저하 문제를 해결할 수 있었고, 인위적으로 선정된 요금수준에서의 수단전환 자료보다 현실적인 수단전환 행태 특성을 조사할 수 있는 것으로 확인되었다.

지불의사액의 경우에는 응답자의 직업, 연령, 소득, 성별에 영향을 의해 주로 영향을 받는 것으로 분석되었으며, PRT 수단전환율은 PRT 통행시간 및 통행비용, 소득, 통행목적, 현재 이용수단에 영향을 받는 것으로 나타났다. 또한, 본 연구는 기존의 일반적인 수단전환 모형에 이용자가 인식하는 요금에 대한 지불의사액을 고려하는 단계를 추가한 모형을 사용하여 분석하였는데, 이는

미경험교통수단의 요금정보의 부재한 상황 하에서 기존 모형 적용 시 발생하던 수단전환율에 과다추정문제를 해결할 수 있을 것으로 기대되며, 모형의 신뢰성을 높일 수 있다고 판단된다.

특히, 기존연구에서는 신교통수단 요금 및 지불의사액을 고려하지 않아 대부분 민간자본으로 운영되는 신교통수단에 대해 과다한 전환을 추정하여 많은 문제를 야기하고 있으나, 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위한 기초를 제시한다.

본 연구에서는 제시하고 있는 이용자의 행태분석 및 모형 구축 방법론은 앞으로 도입예정인 미경험교통수단들에 대해 적용이 가능할 것으로 예상되며, 연구의 범위를 확장하여 통행료의 저항이 심한 민간투자 도로사업들에 대해서도 적용 가능할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (NRF-2010-0029447).

REFERENCES

Batarce M., Galilea P. (2013), Cost and Fare Estimation for the Urban Bus Transit System of Santiago, TRB 2013 Annual Meeting CD-ROM 13-4814, p.14.

Ben-Akiva M. E., Lerman S. R. (1985), Discrete Choices Analysis Theory and Application to Travel Demand, MIT Press.

Bhat C. R., Sivakumar A., Axhausen K. W. (2003), An Analysis of the Impact of Information and Communication Technologies on Non-maintenance Shopping Activities, Transp. Res. Part B, Vol.37, Elsevier, pp.857-881.

Bin M. Y., Kim H. B. (2005), Investigating the Monetary Value of Bus Arrival Time Information, J. Korean Soc. Transp., Vol.23, No.6, Korean society of Transportation, pp.81-89.

Cevero R. Kockelman K. (1997), Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design, Transp. Res. Part D, Vol.2, Elsevier, pp.199-219.

- Denant-Boèmont L., Petiot R. (2003), Information Value and Sequential Decision-making in a Transport Setting: an Experimental Study, *Transp. Res. Part B*, Vol.37, Elsevier, pp.365-386.
- Dziekian K., Kottenhoff K. (2007), Dynamic At-stop Real-time Information Displays for Public Transport: Effects on Customers, *Transp. Res. Part B*, Vol.14, Elsevier, pp.27-33.
- Hess D. (2001), Effect of Free Parking on Commuter Mode Choice: Evidence from Travel Diary Data, *Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. Board*, Vol.1753, Transportation Research Board, pp.35-42.
- Hickey L. R., Lu A., Reddy A. (2010), Using Quantitative Methods in Equity and Demographic Analysis to Inform Transit Fare Restructuring Decisions, *Transp. Res. Rec.: J. Transp. Res. Board*, Vol.2144, Transportation Research Board, pp.80-92.
- Jun M. J. (2004), The Effects of Portland's Urban Growth Boundary on Urban Development Patterns and Commuting, *Urban Stud.*, Vol.41, No.7, Urban Studies, pp.1333-1348.
- Jun M. J., Baek S. H. (2008), An Analysis on Determinants of Commuter's Mode Choice in the Seoul Metropolitan Area Using Conditional Logit Models, *J. Korea Plan. Assoc.*, Vol.43, No.4, Korea Planners Association, pp.9-19.
- Khattak A. J., Yim Y. B., Prokopy L. S. (2003), Willingness-to-pay for Travel Information, *Transp. Res. Part C*, Vol.11, Elsevier, pp.137-159.
- Kim M. S., Lee Y. H., Lim J. K. (2004), Development of the New Transportation Systems Introduction Models Using Stated Preference Data, *Proceedings of the Korean Geographical Society Conference*, pp.2917-2921.
- Klöckner C. A., Friedrichsmeier T. (2011), A Multi-level Approach to Travel Mode Choice-How Person Characteristics and Situation Specific Aspects Determine Car Use in a Student Sample, *Transp. Res. Part F*, Vol.14, Elsevier, pp.261-277.
- Korea Development Institute (2008), Study on Standard Guidelines for Pre-feasibility Study on Road and Railway Projects (5th edition), pp.265-277.
- Lee B. J., Park Y. S., Kim M. S., Namgung M. (2005), Benefit Evaluation of Access Road in Tourism Area using Contingent Valuation Method, *KSCE J. Civ. Eng.*, Vol.25, No.3D, Korean Society of Civil Engineers, pp.403-408.
- Lee B. J., Timmermans H. J. P. (2007), A Latent Class Accelerated Hazard Model of Activity Episode Durations, *Transp. Res. Part B*, Vol.41, Elsevier, pp.426-447.
- Lee H. S., Lee H. Y. (2009), Differential Changes in Commuter's Mode Choice after the Integrated Public Transit Systems in Seoul Metropolitan City, *J. Korean Geogr. Soc.*, Vol.44, No.3, The Korean Geographical Society, pp.323-338.
- Li H., Huang H., Liu J. (2010), Parameter Estimation of the Mixed Logit Model and Its Application, *J. Transp. Syst. Eng. Inf. Techno.*, Vol.10, Elsevier, pp.73-78.
- Loomis J., Ekstrand E. (1998), Alternative Approaches for Incorporating Respondent Uncertainty When Estimating Willingness-to-pay: the Case of the Mexican Spotted Owl, *J. of Ecol. Econ.*, Vol.27, Elsevier, pp.29-41.
- Lyons G., Urry J. (2005), Travel Time Use in the Information Age, *Transp. Res. Part A*, Vol.39, Elsevier, pp.257-276.
- Metropolitan Transportation Authority (2010), Metropolitan Area and the Corresponding Study on the Future Traffic Demand Forecasts, pp.95-96.
- Ministry of Construction and Transportation (2009), Transport Investment Appraisal Guidelines, pp.36-42.
- Molin E. J. E., Timmermans H. J. P. (2006), Traveler Expectations and Willingness-to-pay for Web-Enabled Public Transport Information Services, *Transp. Res. Part C*, Vol.14, Elsevier, pp.57-67.
- Roorda M. J., Carrasco J. A., Miller E. J. (2009), An Integrated Model of Vehicle Transactions Activity Scheduling and Mode Choice, *Transp. Res. Part B*, Vol.43, Elsevier, pp.217-229.
- Son Y. G., Lee B. J., Eom Y. S., Namgung M. (2002),

Benefit Evaluation of Traffic Information Offered System using Contingent Valuation Method, KSCE J. Civ. Eng., Vol.22, No.2D, Korean Society of Civil Engineers, pp.229-235.

Song Y., Gerrit-Jan K. (2004), Measuring Urban Forma: Is Portland Winning the War on Sprawl?, J. American Plan. Asso., Vol.70, The American Planning Association, pp.210-225.

Zhang M. (2004), The Role of Land-use in Travel Mode Choices: Evidence from Boston and Hong Kong, J. American Plan. Asso., Vol.70, The American Planning Association, pp.344-360.

- ☞ 주 작성 자 : 유정훈
- ☞ 교 신 저 자 : 최정윤
- ☞ 논문투고일 : 2012. 9. 24
- ☞ 논문심사일 : 2012. 11. 6 (1차)
2013. 5. 9 (2차)
2013. 5. 22 (3차)
- ☞ 심사판정일 : 2013. 5. 22
- ☞ 반론접수기한 : 2013. 10. 30
- ☞ 3인 익명 심사필
- ☞ 1인 abstract 교정필