

개인의 선호다양성을 고려한 지역간 수단선택 모형 구축 및 시간가치 추정 연구

Estimation of Interregional Mode Choice Models and Value of Travel Time Accommodating Taste Variation of Individuals

조신형* · 서영현 · 고승영 · 이성모

Shin-hyung Cho · Young-hyun Seo · Seung-young Kho · Sung-mo Rhee

Abstract The system of high-speed and conventional railway vehicles is diversified, and significant technological development in performance has been achieved. This study analyzed the modal change characteristics; furthermore, it estimated the value of travel time by improving the travel time and cost for the passenger's perception of railway. In this study, we formulate a mode choice model for passengers and compare it with the mixed logit model which reflects individual taste variation. In addition, the validity of the analysis is presented through an estimation the value of travel time using the derived model. For this purpose, a stated preference survey was conducted with 510 people using public transportation. The benefits of time-saving can be accurately determined by estimating the value of time spent on the railway. Appropriate fares for public transportation can also be estimated.

Keywords : Mode choice, Stated preference survey, Value of time, Multinomial logit model, Mixed logit model

초 록 고속 및 일반철도 차량의 시스템이 다양화되고 성능 측면에서 상당한 기술발전에 이르고 있다. 통행자가 현재 인지하고 있는 철도 수단에 대한 시간 및 비용 개선에 따른 수단전환 특성을 분석하고 통행자들의 시간가치를 분석하고자 한다. 본 연구에서는 통행자의 수단선택 모형을 구축하고 개인의 선호다양성을 반영한 혼합로짓모형과의 비교를 수행한다. 또한, 도출된 모형에 의한 통행시간가치 추정을 통해서 분석의 타당성을 제시한다. 이에 본 연구에서는 대중교통 이용자 510여명을 대상으로 SP 조사를 통해 철도 차량 개선에 따른 철도의 통행비용 및 통행시간 변화에 따른 통행시간가치를 다양한 모형을 이용하여 제시하였다. 또한, 개인의 선호다양성을 반영한 다양한 모형 간 비교 분석하였다. 본 연구를 통해 개인의 선호에 의한 한계대체율법을 통하여 철도의 통행시간가치를 추정함으로써 철도 사업에서의 통행시간 절감편익을 보다 정확하게 산정할 수 있다.

주요어 : 수단선택, 잠재선호조사, 통행시간가치, 다항로짓모형, 혼합로짓모형

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 국내에서는 보다 빠르고 편리한 교통시스템을 구축하기 위하여 철도를 활용한 다양한 개선방안을 모색하고 있다. 전국 철도 네트워크망 구축을 통하여 반나절 생활권을 형성하는 데에 중요한 역할을 수행하기 위해 보다 넓은 지역에 철도 서비스를 제공하기 위해 노력하고 있다. 철도의 건설에 따른 인프라 확충과 철도 차량 개선에 따른 시스템 개선이 병행되어야 보다 수준 높은 서비스를 제공할 수 있다. 기 건설 및 건설예정인 철도에 대해서 보다 많은 수요를 창출하기 위하여 철도 서비스 제고가 필요하다.

철도 서비스의 개선 수준에 따라 통행자들의 수단전환 행태를 분석할 수 있으며, 이러한 수단전환 행태는 교통 수요예측에 있어 중요한 요인이다. 또한, 예측된 모형을 활용하여 통행시간에 대한 가치를 추정할 수 있으며, 추정된 통행시간가치는 타당성 조사 수행에 있어 사업의 시행여부를 결정할 수 있는 중요한 요소이다. 한국도로공사 도로교통연구원[1]에 따르면, 전체 편

*Corresponding author. E-mail: lagisa@snu.ac.kr.

© 2017 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<https://doi.org/10.7782/JKSR.2017.20.2.288>

익 항목 중 통행시간절감편익의 비율이 철도부문 사업의 경우 약 58.0%에 달한다. 통행시간가치가 해당 사업의 경제적 타당성과 사업추진 여부를 판단하는데 있어서 결정적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 따라서 합리적인 통행시간가치를 산출하는 것은 사업추진의 우선순위를 올바르게 선정하기 위한 필수 조건이며, 이를 기반으로 철도 부문에 대한 경제적 가치선호를 근간으로 하는 경우, 조속한 사업 추진이 가능하다.

본 연구에서는 통행비용 및 통행시간의 감소에 따라 통행자의 수단선택 행태를 분석하고 기존의 다항로짓모형을 활용한 지역간 수단선택 모형을 구축하고 개인의 선호다양성을 고려한 혼합로짓모형을 통해서 선택 행태의 변화를 비교분석 한다. 또한, 철도수단을 선택하는 이용자들의 통행시간가치를 도출하는데 그 목적이 있다. 통행시간과 통행비용의 절감은 낙관적, 중립적, 비관적 관점에서 설문지를 다양하게 유형별로 제시하였으며, 절감된 통행시간과 통행비용으로 인한 수단전환 행태분석을 통해서 통행시간 및 비용의 개선에 따른 효과를 분석할 수 있다. 각 수단별 주요 터미널 시설에서 수행한 설문조사 결과를 이용해 다양한 선택모형을 통한 통행시간가치를 도출하였다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 철도의 통행시간과 비용의 개선에 의한 수단전환 효과를 분석하기 위하여 수단별 비용과 시간을 고려한 선택모형을 구축하였다. 우선, 수단선택모형의 개선을 위한 다양한 모형들을 비교하고 구축된 모형을 기반으로 한 통행시간가치 추정값에 대한 연구들을 이론적인 고찰을 통해서 정리하였다. 둘째로, 설문조사를 통해서 연구 수행에 필요한 자료를 수집하였다. 지역간 통행자를 대상으로 수집하였으며, 다양한 선택 집합의 특성을 고려하기 위하여 SP조사를 수행하였다. 설문조사지의 구성은 설문응답자는 승용차, 항공, 버스, 철도를 이용하는 통행자를 대상으로 하였다.

수단선택 행태의 변화를 분석하기 위하여 로짓모형 기반의 수단선택모형을 추정하였으며, 우도비 검정을 통하여 이용자에 대한 선택 행동에 대한 유의미성을 검토하였다. 또한, 수단 선택에 있어서 개인의 통행시간과 통행비용에 대한 선호다양성을 고려하여 혼합로짓모형을 이용한 모형을 추가로 검토하였다.

다항로짓모형과 혼합로짓모형을 이용하여 통행시간가치를 추정하였으며, 각 모형별로 통행목적별 통행시간가치의 차이를 제시하였다. 업무와 비업무목적 통행에 따른 통행시간가치 차이를 비교하고 기존 연구와 지침에서 제시하고 있는 값의 비교를 통하여 분석의 타당성을 제시하였다. 마지막으로 본 연구의 결론과 향후연구를 제시하였다.

2. 이론적 고찰

본 연구에서는 크게 두 가지의 내용으로 구성되어 있다. 첫째로, 통행수단선택 모형과 관련된 연구로 기존의 문헌에서 제시되고 있는 다양한 모형들을 비교하고 기본적인 모형을 통해서 1차적인 결과를 도출한다. 그리고 개인의 선호다양성을 반영한 모형을 통하여 개인 선호의 선택모형 반영에 따른 의의를 제시하고자 한다. 두 번째로 도출된 모형의 파라미터를 이용하여 통행시간가치를 추정하는 것이다. 기존의 연구와 지침에서 제시하고 있는 통행시간가치 값과 본 연구에서 제시하고 있는 세 가지 모형에 따른 시간가치를 비교함으로써 연구의 타당성을 제시하기 위해 기존의 시간가치 추정 연구에 대한 검토를 수행하였다.

2.1 통행수단선택 관련연구

임삼진 외[1]는 저비용항공사의 사업확장 및 발전에 따른 저비용항공사와 고속철도 수단간 선택모형을 통해 통행 수단 전환 효과분석을 수행하였다. 국내 항공시장에서의 적정 항공요금 책정을 위한 개선방안을 제시하였다. 전교석 외[2]의 연구에서는 대중교통수단의 수단전환 특성을 고려한 대중교통수단 투자평가제도 개선을 위한 사업의 영향권 설정 방법론 개선을 통한 대중교통수단 투자평가 적정성을 개선한 연구가 수행되었다. Bhat[3]의 연구에서는 지역간 통행 특성에 있어 대안간독립성(IIA-Property)을 갖지 않는 수단 간의 다항로짓모형, 네스티드로짓모형, 혼합로짓 모형을 특정지역에 적용하여 변화되는 수단분담 행태를 분석하였다. 이 밖에 수단선택과 관련된 다양한 연구가 국내외에서 진행되고 있으며, 개인의 선호다양성을 반영한 연구가 최근에 많이 수행되고 있다.

2.2 통행시간가치 관련연구

통행시간가치(value of time)란 통행자가 1단위의 통행시간을 단축하기 위해 기꺼이 지불하고자 하는 크기의 금전적 가치를 의미한다[4]. 국내 지침에서는 KDI[5]의 『도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』과 국토교통부[6]의 『교통시설 투자평가지침(제5차 개정)』에서 통행시간가치의 추정방법을 제시하고 있다. KDI와 국토교통부의 연구에

서는 1인당 통행시간가치를 업무통행과 비업무통행으로 구분하여 제시하였다. 비업무통행 시간가치는 설문조사를 통해 구득한 자료를 로짓(logit)모형을 구축하여 추정된 값을 기초로 업무통행 시간가치의 일정 비율로 적용하였다.

한편, 국토연구원[7] 연구에서는 유료도로의 여객통행을 중심으로 통행자의 통행시간가치 추정을 통하여 합리적이고 효율적인 경제적 및 재무적 타당성 평가를 실시할 수 있도록 통행시간가치를 산정하는 방안을 제시하였다. 이장호 외[8]는 호남고속철도 개통을 앞두고 수요를 추정하기 위해 지역간 교통수단에 대한 현시 선호(Revealed Preference, RP)자료와 호남고속철도에 대한 잠재 선호(Stated Preference, SP)자료를 통하여 지역간 수단선택모형을 구축하고 시간가치 산정 결과를 제시하였다. 또한, 이장호 외[9]는 경로선택모형에 있어 개인의 선호다양성을 반영하기 위한 연구가 진행되었다. 해당 연구에서는 개인의 선호를 반영한 모형의 적합도가 더 높게 나타나고 있으며, 통행시간가치와 신뢰도가치가 유의미한 값으로 도출되었다. 조은경 외[10] 연구에서는 서울시 가구통행실태조사의 출근통행 자료를 이용하여 가격변화로 인한 대체효과만으로 수요관계를 설정하여 수단선택모형을 구축하고, 한계대체율법에 의한 시간가치를 산정하였다. 이훈기 외[10] 연구에서는 승용차 운전자를 대상으로 시장분할기법(Market segmentation)을 적용하였으며, 통행시간가치에 영향을 미치는 다면적 요인을 SP조사를 통해 분석하였다. 한국교통연구원[12]의 연구에서는 도로 대비 철도, 여객 대비 화물의 통행시간 절감편익에 대한 고려가 미흡한 것과 고속철도 및 향후 일반철도 고속화시 시간가치 적용에 대한 근거가 부족하다는 것, 그리고 화물의 통행시간가치에 대한 고려가 없다는 것을 제시하였다. 이재영 외[13]의 연구에서는 2002년 서울시 가구통행실태조사자료와 수도권교통본부의 EMME/3네트워크 및 O/D를 이용하여 승용차, 버스, 화물차의 시간대별 통행목적 비율을 분석하여 승용차, 버스의 시간대별 통행시간가치를 추정하였다. 앞서 제시한 통행시간가치에 대한 기존연구의 결과들을 아래 표와 같이 제시하였다.

기존 연구에서는 통행의 목적에 따라서 변화하는 통행시간가치의 특성을 분석하는 연구가 주로 수행되었으며, 도로 통행자들을 대상으로 한 연구들이 많이 수행되었다. 수단간 비교를 통한 대중교통 이용자들의 시간가치 추정연구가 필요한 것으로 분석되었다.

Table 1. Summary of estimation of value of travel time.

Researcher	Mode	Data	Year	Trip purpose		Unit	Remarks
				Business	Non-business		
KDI(2008)	Auto	Marginal rate of income + SP	2007	14,990		Won/vehicle·hour	Manual
	Bus			58,561		Won/vehicle·hour	
	Freight			16,571		Won/vehicle·hour	
	Rail			5,602		Won/person·hour	
KRIHS(2003)	Auto	SP	2003	7,275		Won/person·hour	-
Lee et al.(2004)	Auto, Rail, Bus	SP+RP	2003	17,100	10,800	Won/person·hour	-
Lee et al.(2016)	Auto	SP	2013	11,358	8,600	Won/person·hour	-
Cho and Kim (2007)	Auto	RP (National travel survey)	2002	13,306		Won/person·hour	-
Lee et al.(2003)	Auto	SP	2003	9,369	6,307	Won/person·hour	-
KOTI(2008)	Auto, Bus	RP	2008	11,321	4,174	Won/person·hour	-
Lee et al.(2011)	Auto, Bus	RP (National travel survey)	2006	6,873~10,376		Won/person·hour	Time-dependent

3. 기초자료 수집

3.1 설문조사 개요

수단선택모형 구축 및 통행자의 통행시간가치 추정기법으로 SP조사가 많이 활용되고 있는 실정이다. SP 조사를 주로 수행하는 이유는 현실에서 존재하지 않는 새로운 상황에 대한 자료 수집이 가능하며, 한 명의 응답자에게 다수의 자료를 획득할 수 있어 비용 효과적이기 때문이다[14].

설문조사 실험설계 방법 중 속성변수와 수준의 모든 조합을 고려하는 경우의 완전배치요인설계(Full Factorial Design)와 그 중의 부분적인 조합을 고려하는 경우의 부분배치요인설계(Fractional Factorial Design)로 구분할 수 있다. 완전배치요인설계

Survey on the choice of means for controlling the in-vehicle-time and access-time of the train

-Type A-

Hello! Thank you very much for taking the survey first.
 This survey is a questionnaire for evaluating people's choice of means of transportation according to the control of the in-vehicle-time and access-time of the train in relation to the "Study on practical application of wireless communication and control system for general and high-speed railway" conducted by Seoul National University. Survey results will not be used to improve railway signal control systems. We promise that this questionnaire will not be used for any purpose other than the purpose of the work, or will not be leaked to the outside. I ask for your active cooperation.
 2016. 03.
 Transportation Laboratory, College of Engineering, Seoul National University

① If you have any inquiries, please contact the researcher at the Seoul National University, Shin-Hyung Cho(02-880-7377).
 ② This research is a part of the R & D project ordered by the Korea National Railroad Technology Promotion Agency and supervised by the Korea Railroad Facilities Corporation.

Name	Date & Time
Place	Confirmation

I. Survey on the personal property information and the use of travel means

- Please mark your basic information.
 - Gender (male / female)
 - Ages(Ages)
 - Number of vehicles (vehicles)
 - Number of household members (Persons)
 - Job (Students / Faculty / Business / Official / Self-employment / Housewife / Etc. :)
- What is your annual household income?
 - Less than 30 million won (Monthly average of less than 2.5 million won)
 - 30 ~ 60 million won (Monthly average of 2.5 ~ 5 million won)
 - 60 ~ 90 million won (Monthly average of more than 7.5 million won)
 - More than 90 million won (Monthly average of more than 7.5 million won)
- How much does your monthly average traffic spend cost? () Won
- What is the origin and destination of your current / previous trip?
 - Origin : ()State ()City ()address
 - Destination : ()State ()City ()address
 - Please mark all the means of transportation you used for your current / previous trip. (Auto , Taxi , Bus , Subway)
- What is the purpose of your current / previous trip?
 - Commuter
 - Excursions
 - Business
 - Journey
 - Visiting
 - Etc.()

II-1

Means	Auto	Air	Express Bus	Rail
Access Time	0min	85min	50min	25min
In-vehicle Time	4hour 45min	55min	4hour 15min	2hour 40min
Total Travel Time	4hour 45min	2hour 20min	3hour 05min	3hour 05min
Travel Cost	70,000Won	76,100Won	34,300Won	61,000Won
Choice				

II-2

Means	Auto	Air	Express Bus	Rail
Access Time	0min	85min	50min	25min
In-vehicle Time	4hour 45min	55min	4hour 15min	2hour 40min
Total Travel Time	4hour 45min	2hour 20min	3hour 05min	3hour 05min
Travel Cost	70,000Won	76,100Won	34,300Won	54,000Won
Choice				

II-3

Means	Auto	Air	Express Bus	Rail
Access Time	0min	85min	50min	25min
In-vehicle Time	4hour 45min	55min	4hour 15min	2hour 40min
Total Travel Time	4hour 45min	2hour 20min	3hour 05min	2hour 35min
Travel Cost	70,000Won	76,100Won	34,300Won	50,000Won
Choice				

II-4

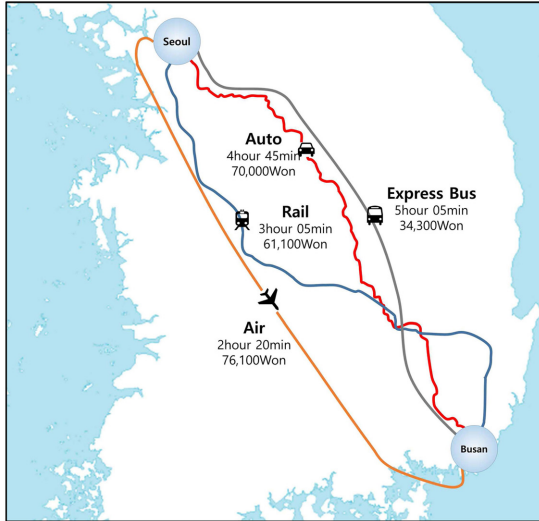
Means	Auto	Air	Express Bus	Rail
Access Time	0min	85min	50min	15min
In-vehicle Time	4hour 45min	55min	4hour 15min	2hour 40min
Total Travel Time	4hour 45min	2hour 20min	3hour 05min	2hour 25min
Travel Cost	70,000Won	76,100Won	34,300Won	58,000Won
Choice				

II-5

Means	Auto	Air	Express Bus	Rail
Access Time	0min	85min	50min	15min
In-vehicle Time	4hour 45min	55min	4hour 15min	2hour 40min
Total Travel Time	4hour 45min	2hour 20min	3hour 05min	2hour 25min
Travel Cost	70,000Won	76,100Won	34,300Won	54,000Won
Choice				

II. Investigation of the choice of means according to the frequency of train operation

Assuming you are moving from Seoul City to Busan City, let's say there are four ways to use it. When the time and cost of using a car, an airplane, or a high-speed bus are fixed and the time and cost of a railway change as shown below, please indicate on the means of transportation you wish to select.



Means	Auto	Air	Express Bus	Rail
Access Time	0min	85min	50min	25min
In-vehicle Time	4hour 45min	55min	4hour 15min	2hour 40min
Total Travel Time	4hour 45min	2hour 20min	5hour 05min	3hour 05min
Travel Cost	70,000Won	76,100Won	34,300Won	61,100Won
Choice				

III. Traffic comfort and mobility importance questionnaire

III-1. Please mark ○ when the traffic service is improved and you are more important than the following items.

Evaluation items	Absolutely Important	Moderate Important	Little Important	Same	Little Important	Moderate Important	Absolutely Important	Evaluation items		
Mobility	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	Comfort

Mobility : The degree of quickness from one area to another
 Comfort : The degree of physical and emotional convenience and comfort that you feel while on the move

IV. Current Satisfaction Survey of Public Transportation

IV-1. How satisfied are you with your on-board service?

Public Means	Absolutely Satisfaction	Moderate Satisfaction	Little Satisfaction	Same	Little Satisfaction	Moderate Satisfaction	Absolutely Satisfaction	Public Means		
Railway	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	Bus

IV-2. How satisfied are you with the use of public facilities between the means of public transportations?

Public Means	Absolutely Satisfaction	Moderate Satisfaction	Little Satisfaction	Same	Little Satisfaction	Moderate Satisfaction	Absolutely Satisfaction	Public Means		
Railway	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	Bus

IV-3. How satisfied or dissatisfied are you with the ease of booking and accessing public transportation?

Public Means	Absolutely Satisfaction	Moderate Satisfaction	Little Satisfaction	Same	Little Satisfaction	Moderate Satisfaction	Absolutely Satisfaction	Public Means		
Railway	⑤	④	③	②	①	②	③	④	⑤	Bus

IV-4. If you have any suggestions for improving railway services, please feel free to write them.

Fig. 1. Documents for survey.

(Full Factorial Design)는 속성변수의 주효과 뿐만 아니라 모든 속성변수의 교호작용을 고려하며, 개별적인 영향을 미치는 것과 변수가 동시에 영향을 미치는 것을 포함하는 것으로 다양한 작용을 함께 분석할 수 있다. 단 속성변수, 수준수가 증가하면서 SP 질문의 수가 급격하게 증가하는 어려움이 있다. 부분배치요인설계(Fractional Factorial Design)는 몇 개의 조합을 추출하여 구성하는 대신에 보다 정교한 방법으로 일부분의 조합을 구성하는 것이다. 가능한 모든 조합을 고려하지 않고 교호작용의 일부분만을 고려하여 설계하는 방법으로 SP조사 방법에서 질문 수를 줄이는 가장 효과적인 방법이다. 본 연구에서는 부분배치요인설계를 통해 세 가지 유형(A, B, C Type)의 설문지를 구성하고 각 유형별로 6개의 시나리오를 구성하여 설문을 수행하였다. 설문 조사지는 Fig. 1과 같다.

설문조사는 2016년 3월~4월에 걸쳐 김포공항, 서울역, 남부터미널 등 대중교통수단의 주요 결절점에서 수행되었다. 김포공항 173명, 서울역 186명, 남부터미널 151명 등 총 510명에게 대면 설문조사를 실시하였다. 설문지는 수단선택에 대한 SP 조사를 포함하여, 개인속성정보(성별, 연령, 차량보유대수 등) 및 통행수단 이용 실태에 관한 조사를 함께 수행하였다. 또한 통행 서비스 개선에 대해 쾌적성과 이동성에 대한 중요도 및 대중교통수단에 대한 만족도 설문을 통해, 집단을 다양한 특성별로 분류하여 통행시간까지 추정 및 수단분담률 추정을 할 수 있도록 설문지를 설계하였다. 수집된 자료의 기술통계량은 Table 2과 같다.

3.2 설문조사 기초통계분석

조사대상의 성별은 남성 48.0%, 여성 51.8%로 여성이 남성보다 다소 많았고, 연령대는 20대 38.8%, 30대 15.3%, 40대 11.8%, 50대 13.3%, 60대 이상 14.5%로 20~30대의 응답이 많았다. 통행 목적은 출장이 21.4%, 통근 20.0%, 여가 31.4%, 친지방문 17.5% 등으로 나타났다. 소득수준은 3,000만 원 이하 23.9%, 3,000~6,000만 원 36.3%, 6,000~9,000만 원 24.5%, 9,000만 원 이상 13.7% 등으로 다양한 분포를 보였다.

한편, 서울에서 부산까지 이동 가능한 4개 수단(승용차, 항공, 버스, 철도)에 대해서 현재통행에 대한 통행시간 및 통행비용을 제시한 후, 어떤 수단을 가장 선호하는지 선택하도록 했다. 그 결과 승용차 7.6%, 항공 17.6%, 버스 22.7%, 철도 52.0%로 철도를 가장 선호하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 지역간 통행에 있어 개인통행수단보다는 대중교통수단을 보다 선호하는 것으로 판단된다. 본 연구에서는 이러한 특성을 분석하기 위해서 네스티드로짓모형을 추가적으로 분석하였다.

4. 수단선택 모형

4.1 수단선택 모형 개요

4.1.1 변수설정

조사 개요에서도 언급했듯이 수단선택모형 구축을 위해 성별, 연령, 가구 구성원 수, 자동차 보유대수 등의 개인속성정보와 차내시간, 차외시간(접근시간), 통행비용 등의 통행 관련 변수를 설문조사를 통해 수집하였다. 이 중 본 연구에서는 주요수단으로의 접근에 필요한 접근시간을 나타내는 차외시간과 주요수단을 이용하여 이동하는 차내시간과 분리하여 설문하였으며, 차내시간과 차외시간을 합한 총 통행시간과 통행비용을 설명변수로 선정하였다.

4.1.2 모형 설명

일반적으로 로짓모형은 대안의 총 효용(utility)은 결정적 효용과 확률적 효용의 합으로 나타낼 수 있다. 결정적 효용에는 설명변수인 통행시간과 통행비용, 그리고 변수상관성의 모호성과 편차를 고려하여 대안특성상수를 반영하였다. 이를 식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$U_i = \alpha_i + \beta_1 TT_i + \beta_2 TC_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

i : 수단선택대안(승용차, 항공, 버스, 철도), TT_i : 대안 i 의 총 통행시간, U_i : 대안 i 의 총 효용, TC_i : 대안 i 의 총 통행비용, α_i : 대안 i 의 대안특별상수, ε_i : 대안 i 의 확률적 효용, β_k : 속성벡터 k 의 모수(parameter).

대안특별상수는 대안의 개수가 J 개일 때 $J-1$ 개로 설정하여야 하며[15], 속성변수 k 의 모수인 β_k 는 대안간 동일한 영향력을 갖는 일반변수(generic variable)와 차등적인 영향력을 갖는 대안특성변수(mode specific variable)로 나눌 수 있다[16]. 본 연구는 철도의 통행비용과 통행시간의 변화에 따른 통행행태 변화에 초점을 맞추기 때문에, 모수를 일반변수로 놓고 분석을 진행하였다.

우선, 본 연구에서는 오차항의 분포가 i.i.d Gumbel Type I (Weibull)분포를 따르는 로짓(logit) 모형을 활용하여 분석하였다. 일반적으로 한 개인이 대안 집합 중에서 대안 i 를 선택할 확률은 아래 Equation 2와 같으며, 이를 근간으로 파라미터를 추정하였다. 본 연구에서는 모형 추정의 용이성 및 비관련대안간 독립성이 확보되는 대안의 수단선택 모형을 구축하였는데, 이는 전술한 바와 같다.

$$P_i(i) = \Pr(U_{in} \geq U_{jn} \forall J \in C_n) = \frac{e^{V_{in}}}{\sum_{j=1}^J e^{V_{jn}}} \quad (2)$$

$P_n(i)$: 개인 n 이 대안 i 를 선택할 확률, C_n : 개인 n 이 선택할 수 있는 대안의 집합.

개인의 선호다양성을 고려한 혼합로짓모형에서는 오차항의 분포가 Normal Distribution과 Triangular Distribution을 이용한 모형을 비교하였다. 개인의 선호다양성을 분석하기 위해 Mixed Multinomial Logit Model(MMNL)(Equation 3)를 분석하여 개인의 선호에 따른 분석결과의 차이를 제시하였다.

$$P_n(i) = \int_{\beta_{in}} \dots \int_{\beta_{kn}} \frac{e^{\beta_n' \chi_{jn}}}{\sum_{j \in C_n} e^{\beta_n' \chi_{jn}}} f(\beta_{Kn}) \dots f(\beta_{1n}) d\beta_{Kn} \dots d\beta_{1n} \quad (3)$$

$P_n(i)$: 개인 n 이 대안 i 를 선택할 확률, β_n : 속성벡터 n 의 모수(parameter), χ_n : 대안별 속성변수.

4.2 다항로짓모형

통계 분석은 NLOGIT 4.0을 이용하여 수행하였으며, 각 모수에 대한 추정 결과는 Table 2와 같다. 우선 전체 모집단에 대해 유의성 검증 분석을 실시한 후, 통행을 업무통행과 비업무통행으로 구분하여 결과를 분석하였다. 통행시간과 통행비용에 대한 모수 추정값이 음수로 나타난 것으로 미루어 결과가 합리적인 것으로 판단되었으며, 또한 p-value를 통해 신뢰수준 95%에서 유

Table 2. Statistics of survey.

Characteristics		Share (%)	Characteristics		Share (%)
Age	~20	5.7	Gender	Male	48.0
	20~29	38.8		Female	51.8
	30~39	15.3		N.A.	0.2
	40~49	11.8	Number of household members	1	10.6
	50~59	13.3		2	14.7
	60~	14.5		3	18.6
	N.A.	0.6		4	40.6
Trip purpose	Business	21.4		5	10.6
	Commuting	20.0		6	1.6
	Leisure/Sightseeing	31.4		7~	0.8
	Visiting	17.5	N.A.	2.5	
	Others	9.8	Number of vehicles per household	0	16.5
Household income (Annual)	<30 million Korean Won	23.9		1	49.0
	30~60 million Korean Won	36.3		2	26.7
	60~90 million Korean Won	24.5		3	3.5
	>90 million Korean Won	13.7		4~	1.4
	N.A.	1.6	N.A.	2.9	

Table 3. Estimation of multinomial logit model according to travel purpose.

Variables	Total (Business+Non-business)		Business		Non-business	
	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value
ASC ¹⁾ auto	0.2424	0.627	-1.3188	-1.369	0.4121	0.952
ASC air	-0.0020	-0.006	0.0822	0.111	-0.0270	-0.072
ASC bus	-2.1705	-3.149***	-2.0545	-1.437	-2.2803	-3.203***
Travel time	-0.0114	-3.701***	-0.0146	-2.138***	-0.0104	-3.003***
Travel cost	-0.0001	-8.498***	-0.0001	-3.541***	-0.0001	-7.812***

Remark) ASC(Alternative Specific Constant): Constants that reflect the potential characteristics of alternatives

- *: 10% significance level
- ** : 5% significance level
- ***: 1% significance level

Table 4. Validation of models according to travel purpose in multinomial logit model.

	Total (Business+Non-business)	Business	Non-business
Number of parameters	5	5	5
Number of observations	2,547	559	1,988
Log-likelihood(0)	-3,530.9	-774.9	-2,756.0
Log-likelihood(θ)	-2,089.9	-380.3	-1,679.0
ρ^2	0.4081	0.5092	0.3908
$\bar{\rho}^2$	0.4067	0.5028	0.3890

의한 결과임을 알 수 있다. 추정된 모형식의 적합도(goodness of fit)를 판단하기 위한 $\bar{\rho}^2$ (adjusted likelihood ratio index)의 값은 0.4~0.5 정도로 도출되었다. 통상적으로 신뢰구간 내 합리적인 값으로 판단되는 0.2~0.4보다 높게 도출되어 적합도는 적절한 것으로 분석되었다. 적합도가 높게 도출된 이유는 지역간 통행에 있어 기 건설되어 있는 철도로 편향되는 특성으로 인해서 도출된 결과로 판단된다. 추가적으로 개인의 수단간 선호다양성을 반영한 모형을 활용하여 수단선택에 미치는 영향을 고려하여 분석할 필요가 있으며, 다양한 개량된 선택모형간의 비교결과에 대해 다음 절에서 제시한다.

설문조사를 통해 향후 철도의 통행시간과 비용의 절감에 따라 서울에서 부산까지 이동 가능한 4개 수단에 대해서 다양한 시나리오를 바탕으로 수단선택행태를 분석한 결과, 승용차 4.1%, 항공 8.1%, 버스 14.4%, 철도 73.4%로 철도를 가장 선호하는 것으로 나타났다. 현재 부담하는 통행비용과 통행시간에 따른 수단분담률에 비해서 시간성에 대한 선호로 철도의 경우 지역 간 통행에 있어 약 21%p 증가하는 것으로 분석되었다.

4.3 혼합로지모형

혼합로지모형은 오차항의 분포에 따른 개인의 선호 차이를 비교하기 위해서 오차항의 분포를 두 가지로 설정하여 분석하였다. 각각의 모형이 이용하여 다항로지모형 분석사와 마찬가지로 통행목적별로 수단선택 모형을 구축하였다. 추정된 모형별 파라미터의 분석결과, 모든 모형에서 통행시간과 통행비용은 1% 이내의 유의도를 나타내고 있어 통행시간까지 추정에 있어 적합한 것으로 분석되었다. 대체적으로 업무통행목적의 적합도가 높게 나타나고 있으며, 비업무통행에서의 적합도는 상대적으로 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이러한 특성은 통행자가 업무통행의 경우에는 통행시간이나 통행비용이 보다 적은 방향, 즉 개인의 효용이 극대화되는 방향으로 수단을 선택하는 경향이 크다고 볼 수 있다. 반면에 비업무통행의 경우에는 개인의 선호인자가 경우에 따라 다를 수 있으며, 현재 처해있는 상황에 따라 다른 결과를 도출하기 때문에 업무통행에 비해서 상대적으로 낮은 적합도를 보이고 있는 것으로 분석된다. 그럼에도 불구하고 전체 모형에서 적합도 지수가 0.47 이상으로 도출되어 개인의 선호를 반영한 혼합로지모형은 적합한 것으로 분석되었다.

Table 5. Comparison of parameters for evaluated models accommodating taste variation.

Variables	MMNL Normal Dist.						MMNL Triangular Dist.					
	Total (Business+ Non-business)		Business		Non-business		Total (Business+ Non-business)		Business		Non-business	
	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value	Parameter	t-value
ASC auto	1.4692	2.406***	0.1344	0.096	1.1647	1.640	1.1141	1.857*	-0.1957	-0.138	1.1932	1.686*
ASC air	-0.3758	-0.656	1.0145	0.820	0.0177	0.027	-0.5726	-1.018	1.1279	0.917	0.0628	0.096
ASC bus	-5.0275	-4.490***	-6.3011	-2.444***	-6.2897	-4.827***	-5.0809	-4.631***	-7.0420	-2.729***	-6.3226	-4.861***
Travel time	-0.0273	-5.191***	-0.0299	-2.691***	-0.0232	-3.845***	-0.0276	-5.358***	-0.0308	-2.720***	-0.0239	-3.977***
Travel cost	-0.0002	-9.130***	-0.0003	-4.329***	-0.0003	-8.480***	-0.0002	-8.996***	-0.0003	-4.423***	-0.0003	-8.599***

Remark) ASC(Alternative Specific Constant): Constants that reflect the potential characteristics of alternatives
 *: 10% significance level
 **: 5% significance level
 ***: 1% significance level

Table 6. Validation of models accommodating taste variation.

	MMNL Normal Dist.			MMNL Triangular Dist.		
	Total (Business+ Non-business)	Business	Non-business	Total (Business+ Non-business)	Business	Non-business
Number of parameters	7	7	7	7	7	7
Number of observations	2,547	559	1,988	2,547	559	1,988
Log-likelihood(0)	-3,530.9	-774.9	-2,756.0	-3,530.9	-774.9	-2,756.0
Log-likelihood(θ)	-1,827.6	-334.0	-1,447.3	-1,837.2	-335.7	-1,447.6
ρ^2	0.4824	0.5690	0.4748	0.4797	0.5668	0.4747
$\bar{\rho}^2$	0.4804	0.5600	0.4723	0.4777	0.5578	0.4722

4.4 통행시간가치 추정 결과

시간가치 추정을 위한 추정식은 Equation 4와 같다. MNL 모형을 이용한 결과를 통하여 모든 통행자에 대한 시간가치는 6,840원으로 산출되었다. 이는 기존의 임금율법에 의한 결과와 전체 통행목적별로 구분하였을 경우에 유사한 결과를 도출하였다. 모형 간 비교에 있어서는 다항로짓모형의 통행시간가치 추정결과에 비해서 혼합로짓모형의 통행시간가치 추정결과가 높게 나타나고 있는 것으로 분석되었다. 개인의 선호도가 기 건설되어 있는 고속 및 일반철도에 보다 치우쳐진 성향을 보이기 때문에 상대적으로 높은 것으로 판단된다.

통행목적별 통행시간가치를 비교하기 위해서 업무와 비업무로 구분하여 시간가치를 추정하였으며, 다항로짓모형 업무통행의 경우 7,953원, 비업무통행의 경우 5,180원으로 도출되었다. 혼합로짓모형의 경우에는 업무통행의 시간가치는 상대적으로 낮은 반면에 비업무통행에 의한 시간가치는 높은 것으로 분석되었다.

본 연구에서는 MNL을 이용한 한계대체율법과 통행목적별 비교를 통하여 통행시간가치를 도출하였으며, 기존 지침에서 제시하고 있는 임금율법에 의한 분석결과와의 비교하였다. 기존 지침에서 제시하고 있는 임금율법에 따른 분석결과와 유사한 결과를 도출하고 있다. 한국철도시설공단[17]에서 2016년도에 수행한 연구에서는 기존 지침을 최신연도로 갱신하여 분석하였으며, 그 결과, 철도의 통행시간가치는 1인당 8,732원/시(2014년 기준)로 제시하고 있다. 본 연구가 물가상승률과 GDP의 상승을 고려하여 도출된 결과를 검토하였을 때, 다소 낮게 도출되었다.

Table 7. Calculation of value of travel time(Standard year 2015) (Unit: Won/person-hour)

Contents		Value of travel time		
		Total (Business+ Non-business)	Business	Non-business
Marginal rate of income(Rail)		6,812	22,649	4,535
Marginal rate of substance	MNL	6,840	7,953	5,180
	MMNL Normal dist.	7,054	6,819	5,480
	MMNL Triangular dist.	7,120	6,651	5,505

$$VOT_i = \frac{\partial U_i / \partial TT_i}{\partial U_i / \partial TC_i} \tag{4}$$

VOT: 통행자 *i*의 통행시간가치, *U_i*: 통행자 *i*의 효용함수, *TT_i*: 통행자 *i*의 통행시간, *TC_i*: 통행자 *i*의 통행비용.

기존 지침에서 제시하고 있는 임금율법에 의한 시간가치 계산은 실제 통행자들의 행태를 반영하지 못하고 있으며, 업무통행의 시간가치 값의 계산에 있어 승용차의 업무통행시간가치를 이용하고 있어 철도 이용자의 시간가치라고 할 수 없다. 한계대체율법에 따른 통행시간가치 추정 결과가 임금율법에 의한 통행시간가치 값과 유사한 결과를 도출하고 있으며, 향후 적용성에 있어서 본 연구에서 수행된 목적별 시간가치 추정이 보다 타당한 분석결과로 판단된다.

5. 결 론

5.1 종합결론

본 연구에서는 철도의 수단분담율 제고를 위해 향후 철도서비스에 있어 철도의 통행비용 및 통행시간이 감소 수준에 따른 통행자의 수단분담율 변화를 추정하였다. 대중교통 이용자 510명을 대상으로 통행행태 변화에 대한 설문조사를 실시하였으며, 다양한 선택모형을 통해 수단별 분담율 변화를 제시하였다. 통행시간가치 분석 결과 모형별로 약 6,840~7,120원/시로 도출되었다. 통행목적별로 통행시간가치는 업무통행이 높게 나타나고 있으며, MNL모형의 경우에는 7,953원/시로 도출되고 혼합로짓모형은 6,651, 6,819원/시로 도출되었다. 비업무통행의 경우에는 다항로짓모형은 5,180원/시로 도출되었으며, 혼합로짓모형의 경우에는 5,480, 5,505원/시로 도출되었다. 기존 지침에서 제시된 임금율법에 의한 대중교통 통행자의 통행시간가치와 비슷한 수준으로 도출되었으나, 본 연구에서는 실제 이용자 선호조사 결과에 따른 한계대체율법을 통한 통행시간가치의 실제상황적 인지성을 반영한 것에 그 의미가 있다. 지역간 수단분담율의 변화에 있어서는 일정 수준의 통행시간 및 통행비용의 개선에 따라 약 21% 수준의 수단분담율 제고가 가능할 것으로 판단된다.

본 연구는 그간의 연구된 자료의 문제점, 실제상황과의 부합도 등을 감안하여 그간 KTX, 고속버스, 시외버스 등의 다수단간의 통행특성에 대한 다양한 교통수단 이용자 등의 현실적인 시간성에 대한 가치를 조사하였으며, 이를 철도의 통행시간 및 비용 개선에 따른 통행시간절감편의 산정의 기초자료로 활용하는 방안으로 수행되었다. 본 연구에서는 개인별 수단선택 특성을 도출하기 위하여 설문조사를 수행하였으며, 다항로짓모형에서는 모형적합도를 평가하는 $\bar{\rho}^2$ 의 값의 유의한 적합도를 충족하고 있으며, 응답자들의 다양한 선호 특성을 반영할 수 있는 혼합로짓모형을 활용하여 개선된 결과를 도출하였다. 모형의 적합도에 따라 Normal Distribution을 가정한 혼합로짓모형이 가장 우수한 모형으로 분석되었다. 개인의 선호를 고려한 모형이 수단선택의 특성을 잘 반영하고 있으며, 수단간 이질성을 반영하고 있다고 볼 수 있다.

5.2 향후 연구

수단별 통행에 대한 통행시간가치를 분석하여 기존 사례와 비교할 수 있을 것이다. Rose *et al.*(2008)[18]의 연구에 따르면 설문자에 특정 수단에 대한 인지를 통해서 수단별 대안특성변수를 설정할 수 있는 이론적 근거를 제시하였다. 본 연구에서는 모

수를 일반변수로 선정하였으나, 설문시 수단에 대한 특성을 제시하고 설문하였기 때문에 이론적으로 수단별 대안특성변수 설정은 문제가 없다. 따라서, 수단별로 다른 변수를 갖는 대안특성변수로 선정하여 수단별 통행시간가치를 추정하는 연구도 필요하다. 철도 수단에 대해서 고속철도와 일반철도로 구분하여 각각의 수단에 따른 수단분담율을 제고할 필요가 있다. 또한 설문조사에서 수집한 여러 개인속성정보 및 이동성, 쾌적성에 대한 선호도 등을 설명변수로 반영한다면 보다 정밀한 분석이 가능할 것이다. 기존문헌에서는 철도 수단별 특성에 의한 통행시간가치 추정 연구가 부족한 것으로 분석되었다. 보다 명확한 철도 통행시간가치 추정을 위해서 철도 수단에 대한 통행시간가치 연구가 많이 수행될 필요가 있다. 또한, 다양한 철도 수단의 도입으로 인한 철도 수단별 특성을 고려한 수단선택 모형이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2014년도 국토교통부에서 수행하는 ‘일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화 연구’ 용역의 위탁과제로 수행하여 분석한 내용이며, 서울대학교 공학연구원의 지원에도 감사를 드립니다.

References

- [1] G.S. Jeon, G.J. Lee, W.H. Jung, K.C. Choi (2012) A Methodology for Defining the Study Impact Area Using Mode Diversion Trip Rate in Rail Infrastructure Feasibility Study, *Journal of Korean Society of Transportation*, 30(6), pp. 81-92.
- [2] S.J. Lim, K.W. Lim, Y.I. Lee, K.H. Kim (2008) A study on Air and High Speed Rail modal According to the Introduction of Low Cost Carrier Air Service, *Journal of Korean Society of Transportation*, 26(4), pp.51-61.
- [3] C. R. Bhat (1995) A heteroscedastic extreme value model of intercity travel mode choice, *Transportation Research Part B: Methodological*, 29(6), pp. 471-483.
- [4] C. Lee, D.K. Kim, S.Y. Kho, J.H. Lee, *et al.* (2014) Estimation of the Value of Travel Time on Korean Expressways and its Impact Assessments, Korea Expressway Corporation Research Institute.
- [5] K.S. Kim, J.W. Woo, S.H. Lee, J.Y. Kim, *et al.* (2008) The complementary studies of project guidelines for pre-feasibility study of the standard instructions of the road and rail sector projects (fifth edition), Korea Development Institute.
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013) Transportation Investment Evaluation Guidelines.
- [7] T.H. Kim, Y.T. Lim, H.K. Lee, Y.S. Kho, *et al.* (2003) The Value of Travel Time for Toll Roads - Focused on the Seoul Metropolitan Area -, Korea Research Institute for Human Settlements.
- [8] J.H. Lee, K.S. Chon, C.H. Park (2004) Accommodating heterogeneity and heteroscedasticity in intercity travel mode choice model-formulation and application to honam, south korea, high-speed rail demand analysis, transportation research record, *Journal of the Transportation Research Board*, 1898 (2004), 69-78.
- [9] J.H. Lee, S.H. Cho, D.K. Kim, C. Lee (2016) Valuation of travel time reliability accommodating heterogeneity of route choice behaviors transportation research record, *Journal of the Transportation Research Board*, 2565 (2016), 86-93.
- [10] E.K. Cho, S.S Kim (2007) The efficiency and equity analysis of cordon pricing in the capital region, *Journal of Korean Society of Transportation*, 25(1), 2007, pp. 7-21.
- [11] H.K. Lee, Y.S. Kho, Y.T. Lim, T.H. Kim, *et al.* (2003) Estimation of the Value of Travel Time Through Market Segmentation In Korea- Focused on the Seoul Metropolitan Area -, Korea Research Institute for Human Settlements Human Settlements Study, 39, pp. 147-161.
- [12] J.S. Chang, J.H. Lee, J.H. Kang, S.S. Kim, *et al.* (2008) A Study on Improvement of Method for Benefit Calculation on Railway Feasibility Study, Korea Transport Institute.
- [13] J.Y. Lee, K.J. Choi (2011) Estimation and Application of the Value of Travel Time by Time Period: A Case Study of Downtown Highway Expansion Project *Journal of the Korean society of civil engineers*, 31(1D), pp. 7-15.
- [14] K.S. Kim, H.J. Cho (2006) SP Survey Design and Analysis Methodology, Boseonggak, Seoul.
- [15] M. Ben-Akiva, S.R. Lerman (1985) Discrete choice analysis: theory and application to travel demand. MIT press, Massachusetts, pp. 48-58.
- [16] D.N. Kim, A.R. Choi, J.M. Hwang, D.K. Kim (2012) A mode choice model with market segmentation of beneficiary group of new transit facility, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 33(2), pp. 667-677.

- [17] Korea Rail NetBusiness Authority (2016) A study on improvement of benefit estimation of (preliminary) feasibility study for railway projects.
- [18] J.M. Rose, M.C.J. Bliemer, D.A. Hensher, A.T. Collins (2008) Designing efficient stated choice experiments in the presence of reference alternatives, *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(4), pp. 395-406.

(Received 10 January 2017; Revised 7 March 2017; Accepted 9 March 2017)

Shin-hyung Cho: lagisa@snu.ac.kr

Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Seoul, Korea

Young-hyun Seo: yhseo@snu.ac.kr

Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Seoul, Korea

Seung-young Kho: sykho@snu.ac.kr

Department of Civil and Environmental Engineering, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Seoul, Korea

Sung-mo Rhee: rheesm@snu.ac.kr

Institute of Construction and Environmental Engineering, Seoul National University, 1 Gwanak-ro, Seoul, Korea