

철도의 신호시스템 개선에 따른 통행자의 수단선택 행태 분석

A Mode Choice Behavior Analysis of Traveler on the Railway Signal System Improvement

서영현*, 조신형*, 고승영*, 이성모**†

Young-Hyun Seo*, Shin-Hyung Cho*, Seung-Young Kho*, Sung-Mo Rhee**†

Abstract A study on the commercialization of wireless communication and control system is currently under investigation. Once the commercialization of KRTCS (Korean Radio-based Train Control System) is complete, decreased operating cost and increased frequency cause to reduce travel cost and travel time, respectively. This study suggests the value of time for each mode using multinomial logit model according to the change of travel cost and travel time. For this purpose, SP survey is conducted for 510 people using public transportation. Benefit of time-saving can be accurately figured out by estimating the value of time for railway. Appropriate fare for public transportation can be also estimated.

Keywords : Train control system, Mode choice, SP survey, Value of Time, Multinomial logit model

초 록 국내 열차제어시스템을 국산화하고자 현재 일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어 시스템 실용화를 위한 연구가 수행 중에 있다. 열차제어시스템(KRTCS)이 실용화될 경우 철도의 운영비가 감소하고 운행 빈도가 증가하여 통행비용과 통행시간이 감소할 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 대중교통 이용객 510여 명을 대상으로 SP 조사를 통해 KRTCS가 실용화될 경우 철도의 통행비용 및 통행시간 변화에 따른 통행시간가치를 다항로짓모형(multinomial logit model)을 이용하여 제시하였다. 본 연구를 통해 철도의 통행시간가치를 추정함으로써 철도 사업에서의 시간 절감 편익을 보다 정확하게 계산할 수 있으며, 더불어 대중교통수단의 적정 요금을 산정하는데 이용될 수 있을 것이다.

주요어 : 열차제어시스템, 수단선택, SP조사, 통행시간가치, 다항로짓모형

1. 서 론

한국도로공사 도로교통연구원[1]에 따르면, 전체 편익 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 조속한 사업 추진이 가능하다.

† 교신저자: 서울대학교 건설환경종합연구소 (rheesm@snu.ac.kr)

* 서울대학교 공과대학 건설환경공학부

** 서울대학교 건설환경종합연구소

무선통신을 이용한 열차제어시스템이 실용화될 경우 용량이 증대되어 차외시간이 감소함에 따라 실질적인 통행시간이 감소한다. 또한 열차제어시스템 국산화에 따라 장기적으로 통행비용도 감소하며, 차내 서비스 개선 등으로 인해 쾌적성이 증가하는 등 타 수단 이용자가 철도 수단을 선택할 유인이 제공된다. 따라서 무선통신을 이용한 열차제어시스템의 실용화로 인해 철도의 수단분담률이 증가할 것으로 예상된다.

본 연구에서는 철도의 신호시스템 개선에 의해 통행비용 및 통행시간이 감소할 때 통행자의 수단선택 행태를 분석하고자 한다. 이를 위해 철도 수단에 대한 통행시간가치 관련 국내·외 지침 및 연구현황을 분석하고 시사점을 도출하였다. 그리고 각 수단별 주요 터미널 시설에서 수행한 설문조사 결과를 이용해 다항로짓모형을 통한 통행시간가치를 파악하였다.

2. 본 론

2.1 기존연구 고찰

통행시간가치(value of time)란 통행자가 1단위의 통행시간을 단축하기 위해 기꺼이 지불하고자 하는 크기의 금전적 가치를 의미한다[1]. 국내 지침에서는 KDI[2]의 『도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)』과 국토교통부[3]의 『교통시설 투자평가지침(제5차 개정)』에서 통행시간가치의 추정방법을 제시하고 있다. KDI와 국토교통부의 연구에서는 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, 이장호 외[4]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.

2.2 설문조사

2.2.1 조사 개요

수단선택모형 구축 및 통행자의 통행시간가치 추정에 있어 많은 연구들이 SP 조사를 활용하고 있다. 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[5]. 따라서 본 연구에서도 SP 조사를 이용하여 통행시간가치를 추정하였다.

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 만족

Table 1 Descriptive statistics of the sample

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	

도 설문을 통해, 집단을 다양한 특성별로 분류하여 통행시간가치 추정 및 수단분담률 추정을 할 수 있도록 설문지를 설계하였다. 수집된 자료의 기술통계량은 Table 1과 같다.

2.2.2 설문결과 분석

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%, 친지 방문 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 대체로 고른 분포를 보였다.

한편, 서울에서 부산까지 이동 가능한 4개 수단(승용차, 항공, 버스, 철도)에 대해서 현재의 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.

2.3 수단선택모형 구축

2.3.1 변수 설정

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 차내시간과 차외시간을 합한 총 통행시간과 통행비용을 설명변수로 선정하였다.

2.3.2 모형 설명

다항로짓모형은 대안의 총 효용(utility)은 결정적 효용과 확률적 효용의 합으로 나타낼 수 있다. 결정적 효용에는 설명변수인 통행시간과 통행비용, 그리고 대안특별상수를 반영하였다. 이를 식으로 표현하면 식 1과 같다.

$$U_i = \alpha_i + \beta^1 TT_i + \beta^2 TC_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

- i : 수단선택대안(승용차, 항공, 버스, 기차)
- U_i : 대안 i 의 총 효용
- α_i : 대안 i 의 대안특별상수
- β^k : 속성벡터 k 의 모수(parameter)
- TT_i : 대안 i 의 총 통행시간
- TC_i : 대안 i 의 총 통행비용
- ε_i : 대안 i 의 확률적 효용

대안특별상수는 대안의 개수가 J 개일 때 $J-1$ 개로 설정하여야 하며[6], 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[7]. 본 연구는 철도의 통행비용과 통행시간의 변화에 따른 통행행태 변화에 초점을 맞추기 때문에, 모수를 일반변수로 놓고 분석을 진행하였다.

오차항의 차이가 어떤 확률분포를 따르는 지에 따라 다양한 확률 모형이 활용된다. 프로빗(probit) 모형은 오차항의 차이가 정규분포를 따른다고 가정하는 모형으로서, 직관적으로 합리적이고 오차항의 가정에 대한 이론적 바탕이 존재하지만 열린 형태(open form)의 함수를 가지므로 계산이 어렵다. 반면 로짓(logit) 모형은 오차항의 차이가 로지스틱 분포를 따른다고 가정한다. 즉 각 오차항이 i.i.d Gumbel Type I (Weibull) 분포를 따른다고 가정하는 것과 같다. 본 연구에서는 모형 추정의 용이성 및 비관련대안간 독립성이 확보되는 수단에 대한 비교에 대한 분석을 통해 로짓모형을 이용한 수단선택 모형을 구축하였다. 개인이 대안 집합 중에서 대안 i 를 선택할 확률은 아래 식 2와 같다.

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

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

2.3.3 모형 검증

통계 분석은 NLOGIT 4.0을 이용하였으며, 각 모수에 대한 추정 결과는 Table 2와 같다. 우선 전체 모집단에 대한 분석을 실시한 후, 통행을 업무통행과 비업무통행으로 구분하여 결과를 분석하였다. 통행시간과 통행비용에 대한 모수 추정값이 모두 음수로 나타난 것으로 미루어 결과가 합리적인 것으로 판단된다. 또한 p-value를 통해 신뢰수준 95%에서 유의한 결과임을 알 수 있다. 추정된 모형식의 적합도(goodness of fit)를 판단하기 위한 $\bar{\rho}^2$ (adjusted likelihood ratio index)의 값은 0.02~0.03 정도로, 통상적으로 합리적인 값으로 판단되는 0.2~0.4 보다 다소 낮은 것으로 분석되었다.

Table 2 Parameters of multinomial logit model by mode

Mode	Statistics	β^1	β^2	Value of time (won/hour)	Number of observations	$\bar{\rho}^2$
Total	Parameter	-0.01125	-0.00012	5,625	12,240	0.0337
	Standard Error	0.0030	0.0001			
	P-value	0.0002	0.0000			
Business	Parameter	-0.01458	-0.00011	7,826	2,240	0.0252
	Standard Error	0.0068	0.0003			
	P-value	0.0325	0.0004			
Non-business	Parameter	-0.01036	-0.00012	5,100	7,960	0.0240
	Standard Error	0.0034	0.0002			
	P-value	0.0027	0.0000			

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 철도의 경우 약 21%p 증가하는 것으로 분석되었다.

또한, 모든 통행자에 대한 시간가치는 5,625원으로 산출되었고, 업무통행의 경우 7,826원, 비업무통행의 경우 5,100원으로 도출되었다. 한국교통연구원[8]은 한계대체율법을 이용해서 도시부 비업무통행시간가치를 3,011원(2015년 기준가격)으로 산출하였다. 본 연구가 승용차 선택 대안을 포함하고 물가상승률과 GDP의 인상을 고려하여 결과를 검토하였을 때, 합리적인 결과를 도출한 것으로 판단된다.

3. 결론

본 연구에서는 열차제어시스템 무선화로 인해 철도의 통행비용 및 통행시간이 감소함에 따른 통행자의 수단분담률 변화를 추정하였다. 대중교통 이용자 500여 명을 대상으로 통행행태 변화에 대한 설문조사를 실시하였으며, 다항로짓모형을 통해 수단별 분담률 변화를 제시하였다. 통행시간가치 분석 결과 모든 통행자 5,625원, 업무통행자 7,826원, 비업무통행자 5,100원으로 도출되어, 기존에 제시된 대중교통 통행자의 비업무통행의 통행시간가치와 비

슷한 수준으로 도출되었음을 알 수 있다. 본 연구는 철도 신호시스템 개선에 따른 통행시간 절감편익 산정의 기초자료로 활용될 수 있다. 통행시간절감편익은 편익 산정에서 가장 큰 비율을 차지하기 때문에 올바른 통행시간가치의 산정은 편익 산정에 있어 가장 중요한 요소이다.

본 연구에서 모형적합도를 평가하는 $\bar{\rho}^2$ 의 값이 낮게 도출되었는데, 이는 응답자들의 다양한 선호 특성을 반영할 수 있는 혼합로짓모형을 활용하여 개선된 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 수단별 통행에 대한 통행시간가치를 분석하여 기존 사례와 비교할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 모수를 일반변수로 선정하였으나, 수단별로 다른 변수를 갖는 대안특성변수로 선정하여 수단별 통행시간가치를 추정하는 연구도 필요하다. 또한 설문 조사에서 수집한 여러 개인속성정보 및 이동성, 쾌적성에 대한 선호도 등을 설명변수로 반영한다면 보다 정밀한 분석이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 2014년도 국토교통부에서 수행하는 ‘일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화 연구’ 용역의 위탁과제로 수행하여 분석한 내용입니다. 감사합니다.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013) Transportation Investment Evaluation Guidelines.
- [4] J.H. Lee, K.S. Chon, and 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.
- [5] K.S. Kim and H.J. Cho (2006) *SP Survey Design and Analysis Methodology*, Boseonggak, Seoul.
- [6] M. Ben-Akiva and S. R. Lerman (1985) *Discrete choice analysis: theory and application to travel demand*. MIT press.
- [7] D.N. Kim, A.R. Choi, J.M. Hwang, and 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), 667-677.
- [8] S.E. Jang, J.H. Lee, J.H. Kang, and S.S. Kim et al. (2008), A study on improvement of benefit estimation of (preliminary) feasibility study for railway projects, Korea Transport Institute.