

## 차세대 고속열차 도입에 따른 수단분담모형 개발 및 적용방안

이광섭<sup>1</sup> · 정성봉<sup>2\*</sup> · 엄진기<sup>1</sup> · 남궁백규<sup>2</sup> · 김석원<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 교통체계분석연구팀

<sup>2</sup>서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도경영정책학과

<sup>3</sup>한국철도기술연구원 고속열차연구팀

### Development of Mode Choice Model for the Implementation of Next-generation High Speed Train(HEMU-430X)

LEE, Kwang Sub<sup>1</sup> · CHUNG, Sung Bong<sup>2\*</sup> · EOM, Jin Ki<sup>1</sup> ·  
NAMKUNG, Baek Kyu<sup>2</sup> · KIM, Seok Won<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Transport Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi 437-757, Korea

<sup>2</sup>Department of Railroad Management and Policy, Graduate School of Railroad,  
Seoul National University of Science and Technology, Seoul 139-743, Korea

<sup>3</sup>High-speed Train Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi 437-757, Korea

#### Abstract

The next generation high-speed train, HEMU-430X, was developed and is now being tested. However, the existing mode choice models based on the guidelines for feasibility studies do not consider a high-speed train with a higher speed than KTX. This limitation might result in inaccurate demand forecasting. In this research, a stated preference survey was conducted in order to supplement the problem by considering the characteristics of HEMU-430X. Based on the survey results, this research developed two mode choice models, including a multinomial logit model and a nested logit model. For this purpose, the utility functions of travel time and travel costs were estimated using a Limdep 8.0 NLOGIT 3.0 package. After comparing the two models, it was concluded that the nested logit model is appropriate. The paper suggested a plan to implement the nested logit model and presented a policy implication.

최근 차세대 고속열차에 대한 기술적 검토가 마무리됨에 따라, 실용화 방안에 대한 연구가 본격적으로 진행되고 있다. 차세대 고속열차를 도입하기 위해서는 수요예측을 통한 타당성 분석이 선행되어야 한다. 이에 본 연구에서는 차세대 고속열차 운행특성을 고려한 적정 수단분담모형을 개발하는 것을 목적으로 하고 있다. 즉, 차세대 고속열차의 경우 기존 고속열차와의 관계에 따라 다항로짓모형과 네스티드로짓모형 중 적절한 모형을 선택하는 과정이 필요하다. 수단분담모형 구축을 위해 지역 간 통행자의 통행행태 조사를 통해 현재 및 장래 수단선호도 조사를 실시하였다. 통행시간과 통행비용으로 구성된 효용함수를 추정하기 위하여 Limdep 8.0 NLOGIT 3.0 package를 이용하여 다항로짓모형과 네스티드로짓모형을 개발하였다. 구축된 각 모형의 경우 통계적 유의성은 어느 정도 확보되는 것으로 나타났다. 다만, IIA TEST에서 IV Parameter가 약 0.521로 0과 1사이에 위치하여, 향후 모형적용 시 네스티드로짓모형이 적합한 것으로 분석되었다. 또한, 차세대 고속열차가 도입될 경우 모형의 적용과정에서 국가교통DB의 수정보완 필요성과 적용방안을 제시함으로써, 합리적인 수요분석을 위한 토대를 마련하는데 기여를 할 것으로 기대된다.

#### Keywords

mode choice model, multinomial logit model, nested logit model, next-generation high speed train, transportation demand forecasting

수단분담모형, 다항로짓모형, 네스티드로짓모형, 차세대 고속열차, 교통수요예측

\* : Corresponding Author  
leeks33@krrri.re.kr, Phone: +82-31-460-5686, Fax: +82-31-460-5359

Received 20 July 2014, Accepted 16 July 2015

## 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 고속열차를 운행하고 있는 선진국들은 고속열차의 속도향상을 위해 지속적인 기술개발을 하고 있다. 우리나라 또한 시속 430km/h급 차세대 고속열차(HEMU-430X)<sup>1)</sup> 개발로 프랑스(575km/h), 중국(486km/h), 일본(443km/h)에 이어 세계 4번째 고속철도 기술보유국으로 도약했다. 현재 차세대 고속열차(HEMU-430X)의 성능 검증 및 안정화를 위한 시운전시험을 위해 국가 R&D사업(430km/h급 고속열차 시운전 시험 연구, 국토교통과학기술진흥원 발주)이 진행 중이다.

현재 KTX가 운행하는 고속선로의 경우 최고영업속도 305km/h를 초과하여 운행할 수 없기 때문에 430km/h급 차세대 고속열차(HEMU-430X)가 상용화를 위해 430km/h급 열차가 운행가능한 선로 개량화 사업 또는 신선건설이 필요하며, 이를 위한 예산확보와 사업추진을 위해서는 예비타당성 조사 및 타당성 평가를 거쳐야 한다. 하지만, 의사결정을 위해 반드시 수행하여야 하는 교통수요분석 과정에서 차세대 고속열차(HEMU-430X)를 반영할 수 있는 수단분담모형이 부재한 상황이다.

이에 따라 본 연구에서는 차세대 고속열차(HEMU-430X)의 도입을 위한 교통수요예측 과정에서 차세대 고속열차의 특성을 고려하기 위하여 적정 수단분담모형을 개발하고, 현 투자평가체계하에서의 모형 적정성을 검토하고자 한다.

### 2. 연구의 내용 및 방법

차세대 고속열차(HEMU-430X) 도입에 따른 적정 수단분담모형을 개발하기 위하여 먼저 지역간 통행자를 대상으로 통행행태조사를 수행하여 수단선호도를 조사한 후, 이를 토대로 Limdep 8.0 NLOGIT 3.0 package를 이용하여 다항로짓모형과 네스티드로짓모형의 효율합수를 도출한다. 도출된 결과를 토대로 차세대 고속열차(HEMU-430X)의 수단특성을 합리적으로 설명하는 모형을 도출하여 국내 적용방안에 대하여 제시한다.

효율적 연구수행을 위해 Figure 1과 같은 과정으로 연구를 진행하도록 한다.

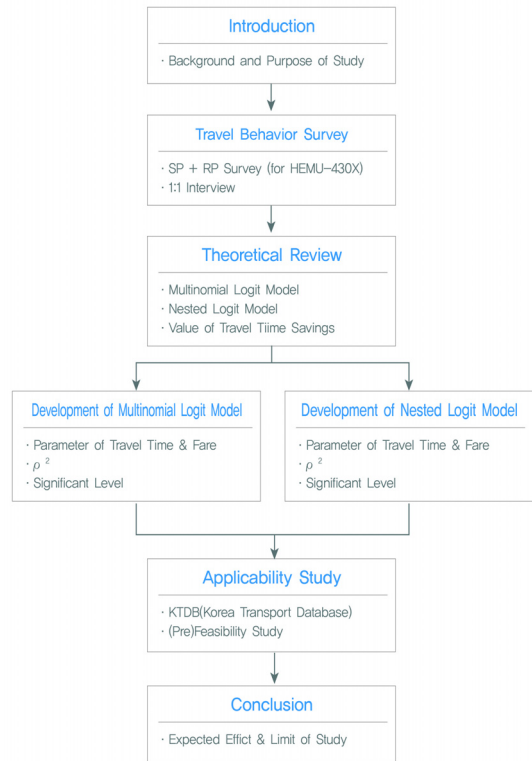


Figure 1. Study process

## 통행행태 조사

### 1. 개요

통행행태 조사는 고속철도 운행구간을 통행하는 승용차, 버스, 철도 이용자들을 대상으로 수단선택 관련 행태와 장래 차세대 고속열차(HEMU-430X) 도입에 따른 선호도를 1:1면접방식으로 조사하였다. 차세대 고속열차의 경우 현재 운영하지 않는 새로운 교통수단으로 도입시 기존 지역 간 통행수요의 분담률 변화가 발생할 것으로 예상되는 바, 적정수준의 이용형태조사에 대한 분석이 수행되어야 차세대 고속열차 도입의 수요예측을 위한 기초자료 구축 및 합리적인 수요예측이 가능할 것으로 판단된다.

고속열차의 통행행태 조사를 위해 본 연구에서는 잠재선호조가 기법을 준용하였다. 잠재선호조사란 가상의 상'황을 제시하고 이에 대한 개인의 의사결정을 유도함

1) 차세대 고속열차(HEMU-430X)는 동력분산식 차량(High-speed Electric Multiple Unit 430km/h eXperimet)으로써 2007년부터 5년에 걸쳐 순수 국내 기술로 개발된 국내 최초 동력분산형 고속열차로 동력분산형 추진시스템, 공력해석에 의한 설계, 차량 경량화 등의 최신 기술이 적용되어 2013년 3월 28일 시험최고속도 421.4km/h를 달성

으로써 심리적으로 내재되어 있는 개인의 선호, 의식, 의향 등을 조사하는 기법으로 이때 가상적인 대안을 대표하는 설명변수 즉, 서비스나 특성으로 표현된다. 교통분야에서는 1980년대부터 수요예측을 위해 사용되어 왔으며, 특히 기존에 존재하지 않았던 통행수단의 도입에 따른 수요를 예측하는 기법으로 널리 사용되어왔다. 잠재 선호조사 기법에는 일반적으로 조건부 가치추정법(CVM, Contingent Valuation Method)과 선택실험법(CE, Choice Experiment)으로 구분되며, 본 연구에서는 응답자에게 현재 수단과 함께 차세대 고속열차를 제시하여 선호하는 수단을 선택할 수 있도록 선택실험법을 이용하였다(Fowkes and Wardman, 1988).

설문조사는 현재 운영 중인 고속선로에 속도를 증속하여 차세대 고속열차가 운행하는 조건으로 현재 교통수단인 승용차, 고속버스, KTX와 차세대 고속열차를 제시하였으며, 일반철도(새마을, 무궁화 등)는 2004년 KTX 개통이후 고속교통수단 선호이용객이 일반철도에서 KTX로 전환되었다고 판단하여, 차세대 고속열차 도입 이후 일반열차에서의 전환은 없는 것으로 가정하면서 일반열차를 수단으로 제시하지 않았다. 통행구간은 서울-대전, 서울-대구, 서울-부산 구간을 제시하여 수단선택여부를 응답자에게 질의하였다. 설문은 지역간 통행이 잦은 고속도로 휴게소, 버스터미널, KTX 정차역 등에서 수행하였으며 수단별 통행시간(접근시간+차내시간)과 통행비용을 제시한 후, 수단을 선택하도록 하였다.

표본수의 경우 기존 연구를 검토하여 적정 표본수를 산정하였다. Park et al.(2004)은 고속철도 개통으로 인한 항공수요 변화 추정을 위해 830명의 표본수를 선정하여 SP조사를 실시하였으며, Yun et al.(2006)은 경부고속철도 2단계 개통 후 대구시민의 지역간 통행수단 선택 행태와 전환수요의 예측을 위해 700명에 대한 SP조사를 실시하였다. 따라서 본 연구는 이러한 기존 연구를 기초로 약 600명의 표본수를 선정하여 설문조사를 수행하였다.

## 2. 조사결과

### 1) 응답자 특성

응답자의 개인속성정보를 분석해보면 성별의 경우 남자는 414명(69.0%), 여자 186명(31.0%)로 나타났으며, 연령대별의 경우 20대 217명(36.2%), 30대 152명(25.3%), 40대 99명(16.5%), 50대 92명(15.3%), 60대 이상 40명(6.7%)으로 조사되었다. 직업별로는 회사원 252명(42.0%), 학생 107명(17.8%), 자영업 104명(17.3%), 주부 54명(9.0%), 공무원 31명(5.2%), 기타 52명(8.7%)으로 나타났다.

### 2) 선호수단 및 통행목적 분석결과

설문조사 결과 현재 지역 간 통행을 위해 응답자가 이용하는 통행수단은 KTX 222명(37.0%)으로 가장 많았

Table 1. Survey method

Classification	Contents
Period	9 May 2014 - 16 May 2014
Survey Point	Capital Area : Seoul Station, Gangnam Bus Terminal, East-Seoul Bus Terminal, Jukjeon Service Area Region Area : Daejeon Station, Dongdaegu Station, Busan Station, Jukam Service Area, Seonsan Service Area, Manghyang Service Area
Sample Size	600 person (Service Area 280, Bus Terminal 69명, KTX Station 251명)
Survey Method	1:1 Interview
Sections	Seoul City Hall - Daejeon City Hall / Daegu City Hall / Busan City Hall
Modes	Car, Express Bus, KTX, HEMU-430X

Table 2. Travel time & travel cost

(unit: Min, Won)

Section	Classification	Car	Express Bus	KTX	HEMU-430X
Seoul City Hall - Daejeon City Hall	Travel Time	140	170	90	75-80
	Travel Cost	26,000	17,000	25,000	26,000-30,000
Seoul City Hall - Daegu City Hall	Travel Time	210	280	150	120-130
	Travel Cost	35,000	28,000	43,000	44,000-58,000
Seoul City Hall - Busan City Hall	Travel Time	280	340	200	150-160
	Travel Cost	49,000	37,000	57,000	59,000-82,000

으며, 고속버스 200명(33.3%), 승용차 151명(25.2%), 일반철도 27명(4.5%) 순으로 조사되었으며, 통행목적별로 살펴보면 친지방문이 197명(32.8%)로 가장 많았으며, 업무 193명(32.2%), 여가 132명(22.0%), 기타 43명(7.2%), 통학 26명(4.3%), 통근 9명(1.5%) 순으로 조사되었다.

장래 차세대 고속열차(HEMU-430X) 도입시 응답자가 이용한다고 답한 수단은 KTX가 186명(31.0%)으로 가장 많았으며, HEMU-430X 183명(30.5%), 승용차 120명(20.0%), 고속버스 111명(18.5%) 순으로 조사되어, KTX와 HEMU-430X 이용 비율이 비슷한 것으로 분석되었다.

### 수단분담모형 개발

#### 1. 개요

이산선택모형은 오차항( $\epsilon$ )의 가정에 따라 로짓모형(Logit Model)과 프로빗모형(Probit Model)으로 구

Table 3. Result of survey (unit: Person)

Mode Purpose	Car	Bus	Train	KTX	Sum	Ratio
Work	74	57	59	3	193	32.2%
Commute (Office)	3	1	4	1	9	1.5%
Commute (School)	1	12	9	4	26	4.3%
Leisure	28	56	44	4	132	22.0%
Visit Relatives	41	53	90	13	197	32.8%
Other	4	21	14	2	43	7.2%
Sum	151	200	222	27	600	100.0%
Ratio	25.2%	33.3%	37.0%	4.5%	100.0%	-

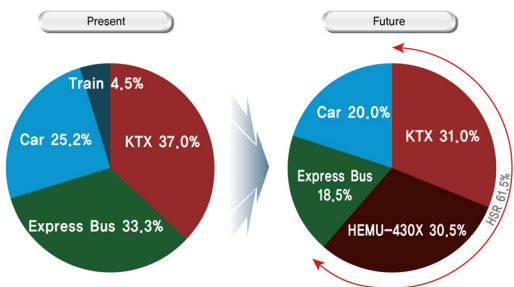


Figure 2. Mode preference survey

분되며, 오차항이 I.I.D.(Independently Irrelevantly Distributed) Gumbel 분포를 따른다고 가정할 경우 로짓모형, 정규분포로 가정할 경우 프로빗모형으로 수단선택모형을 구축할 수 있다. 중심극한정리(Central Limit Theory)에 따라 자료가 충분할 경우 변량은 정규분포에 근사화되기 때문에 프로빗모형의 이론적 강점은 있으나, 수단별 선택비율을 산정하기 위해 적분이 필요한 구조로 계산상의 어려움이 수반된다. 따라서 본 연구에서는 현재 도로 및 철도부문 수요예측에서 일반적으로 사용되고 있고, 실제 분담비율을 용이하게 산정할 수 있도록 적분이 필요 없는 로짓모형(Logit Model)을 기반으로 수단분담모형을 개발하되, 수단특성을 감안하여 다항로짓모형과 네스티드로짓모형을 검토하여 차세대 고속열차 도입 효과를 합리적으로 반영하기 위해 수단분담모형의 적정성을 검토하였다.

#### 1) 다항로짓모형(Multinomial Logit Model)

다항로짓모형은 일반적으로 확률효용이론(Random Utility Theory)에 기초한 대표적인 개별행태모형(Individual Behavior Model)으로써 여러 선택 대안 중에서 통행자의 효용을 극대화시키는 대안을 선택하는 모형이다. 각 대안의 총 효용은 관측 가능한 결정적 효용(Deterministic Utility)과 관측할 수 없는 확률적 효용(Random Utility)으로 구성된다.

$$U_i = V_i + \epsilon_i \tag{1}$$

$U_i$  : 대안  $i$ 의 총 효용

$V_i$  : 결정적 효용

$\epsilon_i$  : 확률적 효용

확률선택모형에서 통행자는 효용이 높은 대안을 선택한다는 사실에 기초를 두기 때문에 대안  $i$ 를 선택할 확률은 식(2)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} P_i &= \text{Prob}(U_i \geq U_j, \forall j \in M) \\ &= \text{Prob}(V_i + \epsilon_i \geq V_j + \epsilon_j, \forall j \in M) \\ &= \text{Prob}(V_i - V_j \geq \epsilon_j - \epsilon_i, \forall j \in M) \end{aligned} \tag{2}$$

$P_i$  : 대안  $i$ 를 선택할 확률

$M$  : 대안집합(Choice Set)

이 확률이 어떤 형태를 가질 것인지는 확률적 효용이

어떤 분포를 따르느냐에 따라 달라지는데, 정규분포(Normal Distribution)를 따른다고 가정하면 프로빗 모형(Probit Model)이 되며, 익스트림 분포(Extreme Distribution)의 Type I인 감벨분포(Gumbel Distribution)을 따른다고 가정하면 로짓모형(Logit Model)이 된다. 이론상 프로빗 모형이 좀 더 현실적이지만 계산상의 어려움으로 주로 로짓모형을 사용하며 로짓모형의 형태는 식(3)과 같다(Lim, 2010).

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{\omega} \exp(V_{\omega})} \tag{3}$$

$P_i$  : 대안  $i$ 를 선택할 확률  
 $V_i$  : 대안  $i$ 의 효용  
 $V_{\omega}$  : 대안별 효용

2) 네스티드로짓모형(Nested Logit Model)

네스티드로짓모형은 표준로짓모형이 가진 약점을 보완하기 위해 개발된 모형으로 Tversky and Sattath (1979)의 Preference Tree 모형과 McFadden(1980)의 GEV(Generalized Extreme Value) 모형에 이론 및 수식의 토대를 두고 있다. 로짓모형의 경우 IIA (Independence from Irrelevant Alternatives)의 성질이 더 이상 유효하지 않을 것으로 판단되는 상황에서 직관적인 판단과 거리가 먼 예측을 유도할 수 있는데, 선택대안 수가 너무 많을 경우 대안을 평가하는 데 어려움이 있으며, 이러한 약점을 보완하여 IIA가 문제되지 않으며, 모형화의 복잡성도 해결할 수 있도록 개발되었다.

네스티드로짓모형의 선택확률은 한계선택확률(Marginal Choice Probability)과 조건부선택확률(Conditional Choice Probability)의 곱으로 표현된다. 본 연구에서는 2단계 트리구조(Tree Structure)로 2단계 선택측면을  $i, j$ 로 표현할 수 있다.  $i$ 는 승용차와 버스, 고속철도를 선택하는 단계이며,  $j$ 는 KTX와 차세대 고속열차를 선택하는 단계이다. 의사결정의 2단계를 수식으로 표현하면 식(4)와 같은 결합확률을 갖는다.

$$P_n(ij) = P_n(j|i) \cdot P_n(i) \tag{4}$$

$P_n(j|i)$  :  $i$ 가 결정된 상태에서  $j$ 가 선택될 조건부확률

$P_n(i)$  :  $i$ 가 선택될 한계확률

여기서 먼저 선택된  $j$ 와 선택되지 않은  $j$ 에 관한 표본 관측치의 자료를 이용해서 조건부확률함수  $P_n(j|i)$ 의 모수(Parameters)를 추정한다.  $P_n(j|i)$ 은 미지의 모수의 벡터  $\beta$ 를 포함한다.

$$P_n(j|i) = \frac{e^{\beta X_j}}{\sum_{m=1}^n e^{\beta X_m}} \tag{5}$$

$X_{ij}$  : 대안( $i, j$ )를 위한 설명변수의 벡터  
 $\beta$  : 파라미터

모수의 벡터  $\beta$ 가 추정되고 나면 식(6)과 같이 각각의  $i$ 에 대하여 포괄값(Inclusive Value)  $I_i$ 가 계산된다.

$$I_i = \log \sum_{m=1}^n e^{\beta X_m} \tag{6}$$

포괄값  $I_i$ 는 어떤 하나의 주어진 대안  $i$ 에 속하는 대안  $j$ 의 최대효용의 기댓값이다. 포괄값  $I_i$ 의 파라미터인  $(1-\sigma)$ 는 0과 1사이에 있어야 네스티드 모형이 유효하다. 만약 추정계수값  $(1-\sigma)$ 가 1이 되면 네스티드 로짓모형은 표준로짓모형과 같다는 것을 의미하게 때문에 굳이 네스티드로짓모형을 사용할 타당성이 없다고 할 수 있다. 즉 단순한 표준로짓모형을 사용해도 문제가 없으며, 표준로짓모형을 이용한 추정계수의 값이 결코 편(biased)된 추정치가 아님을 알 수 있다.

다음에 어떤 하나의 대안( $i$ )을 선택할 한계확률함수  $P_n(i)$ 는 식(7)과 같이 추정된다.

$$P_n(i) = \frac{e^{\alpha Y_i + (1-\sigma)I_i}}{\sum_{m=1}^I e^{\alpha Y_k + (1-\sigma)I_k}} \tag{7}$$

$Y_i$  : 대안  $i$ 를 위한 설명변수의 벡터  
 $\alpha, (1-\sigma)$  : 파라미터

각 개인에 대한 대안의 선택확률이 관찰되지 않으므로 종속변수는 선택되는 대안의 경우 1을, 그렇지 않은 경우 0의 값을 취하게 된다. 모형의 설명변수는 결정적

효용함수에 포함될 변수를 나타내며, 결정적 효용함수는 '파라미터에 대해 선형(Linear in Parameters)' 이라는 가정 아래 추정된다(Park and Kim, 2007).

## 2. 분석기준

최대우도함수(Maximum Likelihood Function)의 극값을 찾는 과정은 Newton-Rhapon법 등의 수치 해석법을 적용하였으며, 편의상 로짓모형 분석패키지인 Limdep 8.0 NLOGIT 3.0을 이용하였다.

대안별 효용함수(Utility Function)은 대안특별상수(Mode Specific Constants), 통행시간, 통행비용의 조합으로 구성되며, 각 변수의 한계효과(Marginal Effect)를 의미하는 계수는 대안특별상수(Mode Specific Constants), 대안일반변수(Mode Abstract Variable)로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 기존 수단분담모형과 일관성을 고려하고, 통행자들의 시간과 비용에 대한 탄력도는 수단에 대한 차별성이 없음을 가정하여, 대안일반변수의 형태로 효용함수를 구성하였으며, 대안특별상수는 차세대 고속열차를 기준으로 설정하였다.

$$U_m^{ij} = \alpha_m + \beta_{TT} \cdot TT_m^{ij} + \beta_{TC} \cdot TC_m^{ij} \quad (8)$$

$TT_m^{ij}$  : 기종점 ij간 수단 m에 의한 통행시간

$TC_m^{ij}$  : 기종점 ij간 수단 m에 의한 통행비용

$\alpha_m$  : 수단 m의 수단 특성상수(전체 수단이 m개일 경우 m-1개만 설정)

$\beta_{TT}$  : 통행시간 파라미터

$\beta_{TC}$  : 통행비용 파라미터

## 3. 분석결과

### 1) 다항로짓모형(Multinomial Logit Model)

응답자가 답변한 설문조사 코딩자료를 기초자료로 다항로짓모형을 추정한 결과 Table 4와 같이  $\beta_{TT}$ 는 -0.05230310,  $\beta_{TC}$ 는 -0.00019003,  $\alpha_{CAR}$ 는 1.82406000,  $\alpha_{BUS}$ 는 3.39612000,  $\alpha_{KTX}$ 는 0.72091000으로 분석되었으며,  $\beta_{TT}$ ,  $\beta_{TC}$ 의 T-Value는 각각 -11.5821, -16.4839, 유의수준은 0.0000,  $\rho^2 = 0.1748$ 로 분석되었다. Chi-squared 값이 기준치 이상이고, Prob(chi

**Table 4.** Result of multinomial logit model (unit: Min, Won)

Variable	Coefficient	Std. err	T-Value	Sig. Level
$\alpha_{CAR}$	1.82406000	0.53354100	3.4188	0.0006
$\alpha_{BUS}$	3.39612000	0.85581200	3.9683	0.0001
$\alpha_{KTX}$	0.72091000	0.21959300	3.2829	0.0010
$\beta_{TT}$	-0.05230310	0.00451586	-11.5821	0.0000
$\beta_{TC}$	-0.00019003	0.00001153	-16.4839	0.0000

N=1644

- Log likelihood function=-1880.590
- L(0)=0.1748(Log-L fncn -2279.0679)
- L(C)=0.1133(Log-L fncn -2120.8836)
- Chi-squared(2)=480.58716
- Prob(chi squared > value)=0.0000

squared > value]=0.0000 이므로 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

### 2) 네스티드로짓모형(Nested Logit Model)

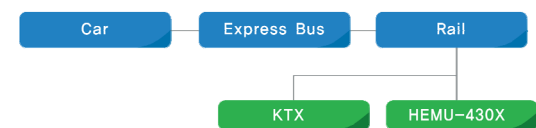
네스티드로짓모형의 구조는 Figure 3과 같이 1단계에 승용차, 버스, 철도로 구분하고, 2단계에 KTX와 차세대 고속열차로 구분하였으며, 기초자료는 다항로짓모형에서 사용한 자료와 동일하다.

네스티드로짓모형 추정을 위해 Figure 3과 같이 승용차, 버스, 철도(RAIL)로 구분하고, 철도에 KTX와 차세대 고속열차로 구성하여 IIA TEST를 시행하였다. 분석 결과 Table 5와 같이 철도(RAIL)의 IV Parameters가 0.52052730으로 0과 1사이의 값이 도출되어 네스티드로짓모형에 적합하다고 할 수 있다.

네스티드로짓모형을 추정한 결과 Table 6과 같이  $\beta_{TT}$ 는 -0.04907050,  $\beta_{TC}$ 는 -0.00021213,  $\alpha_{CAR}$ 는 3.49537000,  $\alpha_{BUS}$ 는 4.66261000,  $\alpha_{KTX}$ 는 0.31407200으로 분석되었으며,  $\beta_{TT}$ ,  $\beta_{TC}$ 의 T-Value는 각각 -6.9302, -16.0289, 유의수준은 0.0000,  $\rho^2 = 0.1790$

**Table 5.** Result of IIA test

Variable	IV Parameters	tau(j i,l)	sigma(ii,l)	phi(l)
B(1 1,1)	0.52052730	0.11315800	4.600	0.0000
RAIL	0.43403309	0.12059157	3.599	0.0003



**Figure 3.** Mode structure for IIA test

**Table 6. Result of nested logit model** (unit: Min, Won)

Variable	Coefficient	Std. err	T-Value	Sig. Level
$\alpha_{CAR}$	3.49537000	1.11836000	3.1254	0.0018
$\alpha_{BUS}$	4.66261000	1.37455000	3.3921	0.0007
$\alpha_{KTX}$	0.31407200	0.32770700	0.9584	0.3379
$\beta_{TT}$	-0.04907050	0.00708069	-6.9302	0.0000
$\beta_{TC}$	-0.00021213	0.00001323	-16.0289	0.0000

- N=1644
- Log likelihood function=-1871.191
- L(0)=0.1790(Log-L fncn -2279.0679)
- L(Q)=0.1177(Log-L fncn -2120.8836)
- Chi-squared=815.7544
- Prob(chi squared > value)=0.0000

으로 분석되었다. Chi-squared 값이 기준치 이상이고, Prob(chi squared > value)=0.0000 이므로 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다.

### 3) 모형의 선정

다항로짓모형과 네스티드로짓모형의 분석결과를 비교해보면,  $\rho^2$  측면에서 네스티드로짓모형이 약 0.01이 높아 상대적으로 설명력이 우수하나, 상수를 포함한 각 파라미터의 유의성은 더 낮게 나타나 통계적으로 어떤 모형의 설명력이 높은지에 대해서는 명확하게 판단하기 어려운 것으로 사료된다. 다만, IIA TEST에서 KTX와 차세대 고속열차를 RAIL로 그룹화 할 경우 IV Parameter 가 약 0.521로 0과 1 사이에 위치하므로, 차세대 고속열차가 도입될 경우 기존의 KTX와는 유사한 속성이 있는 수단으로 나타나, 향후 모형적용 시 네스티드로짓모형이 적합한 것으로 나타났다.

### 적용성 검토

모형의 설명력을 검토하기 위하여 「2013년 국가교통조사 및 DB구축사업(2013. 12, KTDB)」에서 제시하는 승용차, 버스, KTX의 수단분담비율과 본 연구에서 제시한 다항로짓모형, 네스티드로짓모형에 차세대 고속열차(HEME-430X)을 제외하고 산출한 승용차, 버스, KTX의 수단분담비율을 Table 7과 같이 비교하였다.

비교결과 전반적으로 10~20%대의 오차가 발생하였으며, 대부분 다항로짓모형의 오차보다 네스티드로짓모형의 오차가 적은 것으로 분석되었다.

모형개발결과 다항로짓모형에 비해 네스티드로짓모형이 차세대 고속열차 교통수요예측에 더 현실적으로 설명

하는 것으로 판단하였다. 하지만 현 시점에서 교통수요 예측 시 사용되는 수단분담모형은 일반적으로 분석이 용이한 다항로짓모형이 사용되고 있기 때문에, 네스티드로짓모형을 적용하는데에는 다음과 같은 한계가 있다.

첫째, 교통사업 추진을 위한 일반적인 교통수요예측은 국가교통DB센터에서 제공하는 O/D 및 네트워크, 모형 등을 그대로 준용하는 바, 수단분담모형의 경우 다항로짓모형을 적용하여 수단별 O/D를 구축하기 때문에 본 연구에서 제시하는 모형을 국가교통DB센터에서 제공하는 O/D와 네트워크에 적용하는데 어려움이 있다.

둘째, 투자평가 분석을 위한 예비타당성조사의 「도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구 제5판(2008, KDI)」나 타당성 평가의 「교통시설 투자평가지침 제5차개정(2013, MOLIT)」에서는 국가교통DB센터에서 제공하는 다항로짓모형을 규정하고 적용하도록 제시하기 때문에, 네스티드로짓모형을 적용하지 못하는 상황이다.

이러한 한계점을 해결하기 위해 본 연구는 다음과 같은 개선방향을 제시한다.

첫째, 국가교통DB 구축 시 수단분담모형에 대해 세부적인 검토가 필요하다. 본 연구에서 제시한 바와 같이

**Table 7. Result of survey** (unit: %)

Classification	Car	Bus	KTX
Seoul-Dajeon			
KTDB(a1)	34.95	33.36	31.69
Multinomial Logit Model(b1)	8.31	46.10	45.59
Nested Logit Model(c1)	19.88	45.83	34.29
Gap (b1-a1)	-26.64	12.75	13.89
(c1-a1)	-15.07	12.47	2.60
Seoul-Daegu			
KTDB(a2)	21.12	17.15	61.73
Multinomial Logit Model(b2)	31.83	14.90	53.26
Nested Logit Model(c2)	31.80	21.16	47.05
Gap (b2-a2)	10.71	-2.25	-8.46
(c2-a2)	10.68	4.00	-14.68
Seoul-Busan			
KTDB(a3)	7.49	15.43	77.08
Multinomial Logit Model(b3)	12.81	26.17	61.02
Nested Logit Model(c3)	15.54	23.19	61.27
Gap (b3-a3)	5.33	10.74	-16.06
(c3-a3)	8.06	7.76	-15.81

다항로짓모형의 약점을 보완한 네스티드로짓모형이 수단별 통행특성을 좀 더 현실성 있게 반영하는 것으로 분석되었다. 현재 국가교통DB에서 제시하고 있는 수단은 승용차, 버스, 항공, 해운, 일반철도, 고속철도인데, 개인통행수단과 대중교통수단, 공로수단과 비 공로수단, 일반철도와 고속철도 등 철도수단의 분리 등 수단의 구분이 모호하기 때문에 네스티드로짓모형을 이용하여 수단별 특성을 고려한 단계별 수단분담이 필요하며, 철도의 경우 서비스 특성에 따라 도시철도, 일반철도, KTX, 차세대 고속열차 등으로 구분할 필요가 있다.

둘째, 앞서 제기한 국가교통DB에서의 네스티드로짓모형 적용시 예비타당성조사나 타당성 평가 지침에서 해당모형을 반영하여 분석자들이 모형을 적용할 수 있도록 교통SOC사업에서 현실을 고려한 수요예측이 필요하다.

### 결론 및 향후 연구방향

본 연구에서는 지역 간 통행행태 조사를 통해 차세대 고속열차를 반영한 다항로짓모형과 네스티드로짓모형을 개발하였다.

설문조사는 지역 간 통행이 잦은 고속도로 휴게소, 버스터미널, KTX 정차역 등에서 600명을 대상으로 수행하였으며 수단별 통행시간(접근시간+차내시간)과 통행비용을 제시한 후, 수단을 선택하도록 하였다. 설문조사 결과 장래 차세대 고속열차(HEMU-430X) 도입시 수단선택비용을 살펴보면 KTX가 188명(31.2%)으로 가장 많았으며, HEMU-430X 183명(30.4%), 승용차 120명(19.9%), 고속버스 111명(18.4%) 순으로 조사되어, KTX와 HEMU-430X 이용 비율이 비슷한 것으로 분석되었다.

이러한 설문조사결과를 토대로 구축된 각 모형의 경우 통계적 유의성은 어느 정도 확보되는 것으로 나타났다. 다만, IIA TEST에서 IV Parameter가 약 0.521로 0과 1사이에서 위치하여, 향후 모형적용 시 네스티드로짓모형이 적합한 것으로 분석되었다.

『교통시설 투자평가지침 제5차개정(2013, 국토교통부)』에서 제시하는 수단분담모형에서는 상수값을 보정하여 사용하고 있어, 본 연구에서 제시하는 수단분담모형은 각종 지침에서 제시하고 있는 고속철도가 제시한 수단분담모형에서 속도가 더 높은 차세대 고속철도를 도입할 경우 통행특성이 어떻게 나타나는지에 대해 분석하였다.

본 연구의 한계점으로 지역간 통행행태 조사를 위해

약 600부 정도의 표본조사 결과를 바탕으로 차세대 고속열차 도입에 따른 수단분담모형을 추정하였으나, 좀 더 현실적인 모형을 구축하기 위해 표본수의 확대가 필요하며, 네스티드로짓모형의 객관적인 검토를 위해 네트워크 기반의 교통수요예측 통한 모형의 실용화 가능성을 세부적으로 검토가 필요하다. 또한, 본 연구에서 제시한 모형은 모형적합도 측면에서 좋아졌다고 할 수 있으나, 시간가치 측면에서 다소 상이한 측면이 있으므로, 향후 어떤 모형을 사용할 것인가에 대한 실증적인 연구가 필요할 것으로 판단됨은 물론, 수단분담에서의 독립변수인 통행시간, 통행비용의 수단을 선택할 때의 통행행태를 연구하여 변수를 추가함으로써 좀 더 현실적인 모형구축을 위한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a grant (14PRTD-B063984-03) from Railroad Technology Research Program funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

### REFERENCES

- Fowkes T. Wardman M. (1998), The Design of Stated Preference Travel Choice Experiments: With Special Reference to Inter-personal Taste Variations, *Journal of Transport Economics and Policy*, 22(1), 27-44.
- Korea Development Institute (2008), *General Guidelines for Preliminary Feasibility Studies(Road and Railroad, Fifth Edition)*
- Lim Y. T. (2010), Equilibrium of Transport Mode Choice in Logit Model, *J. Korean Soc. Transp.*, 28(5), Korean Society of Transportation, 131-139.
- McFadden D. (1980), Econometric Models of Probabilistic Choice Among Products, *J Bus.*, 53(3), *Journal of Business of the University of Chicago*, 13-29.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), *Appraisal Guidelines for Transport Facilities Investment(fifth Edition)*.
- Park S. J., Kim S. S. (2007), A Nested Logit Model of Auto



Ownership and Vehicle Type Choices, J. Korean Soc. Transp., 25(1), Korean Society of Transportation, 133-141.

Park Y. H., Kim Y. M., Oh S. Y. (2004), Estimating the Impact on Aviation Demand by High Speed Railroad Service in Korea, J. Korean Soc. Transp., 22(6), Korean Society of Transportation, 47-54.

Tversky A., Sattath S. (1979), Preference Trees, Psychological Review, 86(6), 542-573.

Yun D. S., Yuk T. S., Kim S. H. (2006), A Study on the Intercity Mode Choice Behavior of Daegu Citizens According to the Introduction of Gyeongbu High-Speed Railway, J. Korean Soc. Transp., 24(1), Korean Society of Transportation, 29-38.

☞ 주 작 성 자 : 이광섭

☞ 교 신 저 자 : 정성봉

☞ 논문투고일 : 2014. 7. 20

☞ 논문심사일 : 2014. 8. 26 (1차)

2014. 11. 2 (2차)

2014. 12. 8 (3차)

2015. 7. 16 (4차)

☞ 심사판정일 : 2015. 7. 16

☞ 반론접수기한 : 2016. 2. 29

☞ 3인 익명 심사필

☞ 1인 abstract 교정필