

전국 지역 간 2단계 수단분담 모형의 개발*

Development of a 2-phases Sequential Modal Split Model for Inter - regional Inter-modal Trip in Korea

최성택** · 노정현*** · 김승훈****

Choi, Sung-Taek · Rho, Jeong-Hyun · Kim, Seung-Hoon

Abstract

Long distance trip has been increased and travel patterns are complicated due to diversity of transportation mode. Evolution of public transport which has made traveler more comfortable also contribute this phenomenon. So, prediction of transportation demand is becoming far more difficult and important than in the past. To improve the prediction of demand, this study suggests 2-phases modal split model that reflect characteristic of inter-regional inter-modal trip. 2-phases model separates whole trip into main mode trip and access/egress trip. After that, each multi-nominal logit model is calibrated by trip characteristic. After that, optimum model is selected which is the highest model fitness and significant statistically. The result shows that generic variables and separation of time variables are suitable for both models. Model fitness of optimum model is over 0.2 and all variables are significant statistically. Traveler who takes main mode prefer auto to transit and who takes access/egress mode prefer transit to auto. The result of validation for value of time shows reasonable value comparing with standard guideline on KDI. Comparison with existing models also shows improved outcome of explanation. In conclusion, 2-phases model can explain and describe travel pattern better than existing models

키 워 드 · 2단계 모형, 수단분담, 전국 지역 간 통행, 2단계 수단분담 모형, 복합비용
Keywords · 2-Phases Sequential Model, Modal split, Inter-regional trip, Composite cost

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

삶의 질 향상과 주5일 근무제 시행 등으로 인해 사람들은 보다 여유로운 삶을 영위하게 됨과 동시에 과거에 비해 늘어난 여가 시간을 보다 효율적으

로 활용하고자 한다. 이러한 추세 속에서 KTX, 항공, 고속버스 등의 장거리 교통수단 발달은 통행자들이 보다 편리하고 빠르게 이동할 수 있는 환경을 제공하였다. 그 결과, 시도 경계를 벗어나는 장거리 통행수요(이하, 전국 지역 간 통행)가 과거에 비해 증가하였다. 한국교통연구원(2012)에 따르면 KTX 개통 이후 시기인 2008년을 기점으로 총 수

* 이 논문은 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 교통체계효율화사업(09교통체계-지능06)의 지원에 의해 수행되었습니다.

** 홍익대학교 과학기술연구소 연구위원 (주저자: allyhoop@hanmail.net)

*** 한양대학교 도시대학원 도시·SOC개발경영학과 교수 (교신저자: jhrho@hanyang.ac.kr)

**** 오하이오주립대 도시 및 지역계획학과 박사과정 (공동저자: gaeguri10@naver.com)

단 통행량 및 수도권, 5대 광역권의 장거리 통행수요가 모두 증가한 것으로 나타났다. 장기적인 관점에서 이러한 현상은 지속될 것으로 예상되므로 장래 수요의 증가에 대비한 인프라 시설 확충은 합리적으로 이루어져야 하며 이를 위해선 정확한 장래 통행 수요 예측이 선행되어야만 한다.

장래 수단별 통행 수요는 교통수요 모형의 세 번째 단계인 수단분담 모형을 통해 추정된다. 추정 모형으로는 각 수단 대안의 상대적인 효용을 바탕으로 수단 분담률을 산정하는 로짓(Logit)모형이 활용된다. 그러나 로짓모형을 활용하여 추정된 전국 지역 간 수단별 수요에 대한 신뢰도는 그리 높지 않다. 그 이유는 전국 지역 간 교통수단의 복잡한 통행 과정에 있다. 수도권 및 광역권 내부 통행의 경우, 승용차, 일반 버스, 지하철 등 단조로운 수단과 2회 이내의 환승을 통해 통행이 이루어지는 반면, 전국 지역 간 통행은 장거리 교통수단을 이용하기 위해 출발지에서 장거리 수단 터미널로의 접근통행과 터미널에서 목적지까지의 방출통행이 필수적으로 발생하게 된다. 그리고 이 과정에서도 수단 간 환승이 발생하기 때문에 광역권 내부의 통행에 비해 상대적으로 다양한 수단을 이용하게 된다. 그러나 로짓모형은 수단대안이 증가할수록 모형의 적합도가 감소하게 되는 단점을 갖고 있다. 따라서 이를 접근·방출 수단을 간략화하고 일부 주 수단을 통합하는 방법을 통해 수단 대안 수를 10개 내외로 조절하게 된다. 그 결과, 전국 지역 간 통행과정은 지나치게 축약되어 수단별 이용수요 예측에 어려움을 겪게 된다.

본 연구는 이러한 한계점을 개선하여 수단별 세부 수요를 예측할 수 있는 모형을 제안하고자 한다. 본 모형은 전국 지역 간 통행을 장거리 주 수단 통행과 접근·방출 수단 통행으로 분리하여 주 수단의 수단 분담률을 산정 후 접근·방출수단의 수

단 분담률을 산정하는 2단계 구조로 이루어진다. 이를 통해 각 단계별 통행의 특성을 반영할 수 있으며 보다 세분화된 수단 별 통행수요를 추정할 수 있다.

2. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 전국 지역 간 통행패턴을 파악할 수 있는 전국지역 251개 존 시·군·구 지역으로 설정하였다. KTX, 광역버스, 항공 등의 주 수단 이용 패턴을 반영하기 위해서는 전국 지역을 대상으로 연구를 진행할 필요가 있기 때문이다. 시간적 범위는 공신력 있는 통행 자료인 KTDB O/D자료 중 최신 현황 자료 구득이 가능한 2010년을 분석 기준년도로 설정하였다.

분석 자료는 KTDB의 2010년 전국 기종점 통행량(O/D) 조사 자료를 바탕으로 전국 지역 간 통행 행태를 반영할 수 있는 변수로 구성된다. 수단 대안은 주 수단은 승용차, KTX, 일반철도, 고속버스, 항공 등 5개 수단이며 접근·방출 수단의 경우 승용차, 일반버스, 지하철 등 3개 수단으로 정의하였다. 일반적으로 택시 수단이 고려되어야 하지만 통행 비용 변수의 확보에 어려움이 따르기에 최종 수단 대안에서 제외하였다.

본 연구의 내용적 범위는 다음과 같다. 우선 수단분담 모형 중 하나인 로짓모형과 관련된 국내외 기존연구를 검토한 뒤 본 연구의 착안점을 도출하였다. 이를 바탕으로 본 연구 모형의 구조를 설정한 뒤, 모형 정산을 위한 변수를 선정하였다. 특히, 변수의 계수(parameter)를 공유하는 방법에 따라 모형을 각각 정산하였으며 각 모형 중, 적합도가 가장 높고 논리적으로 타당한 모형을 최적 모형으로 선정하였다. 선정된 최적 모형에 대해서는 시간

가치 검증 및 실측 수단분담률 오차 비교를 수행하였다.

II. 기존 문헌 고찰

1. 기존 문헌 검토

기존문헌 검토는 로짓모형과 관련된 연구에 대해 수행되었다. 연구는 복합수단 행태 구현, 로짓모형의 구조 보완 등 두 가지 측면으로 분류하였고 최근에 수행된 연구를 중점적으로 검토하였다.

1) 복합수단 행태 구현

Guastafson, Curd and Golob(1971)은 디트로이트(Detroit)를 대상으로 수단 분담과 통행 배정 단계를 통합한 이항 로짓모형을 구축하였다. 수단 대안은 승용차와 대중교통으로 구성되었으며 대중교통 통행 시 환승과 대기시간이 통행선택에 중요한 요소로 작용하고 있음을 제시하였다.

양창화, 손의영(2000)은 환승이 경로 선택에 어떠한 영향을 미치는 살펴보기 위해서 서울시 지하철 이용자를 대상으로 설문조사를 실시하여 분석하였다. 조사 항목으로는 차내 시간, 환승 횟수, 환승 시간, 에스컬레이터 유무 등을 선정하였다.

김상황(2006)은 지방 대도시의 고속철도와 정차역 간의 연계교통수단 선택모형을 구축하였다. 다항 로짓모형 구조에서 성별, 학력, 개인소득, 승용차보유대수, 통행빈도, 접근통행시간, 접근통행비용 등의 변수를 활용하였다.

송기태(2008)는 대중교통 이용객을 대상으로 환승 지점까지의 평균 도보 시간과 환승 지점에서의 평균 대기 시간을 조사하여 환승시간별 환승률 결정모형을 개발하였다.

이원석(2009)은 집계형 다항로짓모형을 활용, 대

중교통 이용 행태를 세분화하여 23가지의 복합수단 선택대안을 구현하였다. 복합수단 대안은 승용차, 버스, 지하철, 택시 등의 단일수단을 비롯해 수단간 환승을 모두 포함하여 구축되었다. 그러나 복합수단 이용 과정에서 발생하는 환승 통행에 대한 면밀한 조사와 대기 시간, 접근·방출 통행에 대한 세부적인 변수구축이 필요함을 제시하였다.

조항웅(2011)은 설문조사를 통해 고속도로 연계성 향상이 고속철도 수단선택행태에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해 접근 및 환승시간과 비용, 차내 시간과 비용 등을 조사해 다항 및 이항 로짓모형을 활용하였다.

김승훈(2012)은 변수 간 상관분석을 통해 다중공선성을 제거하고 지역 간 특성 변수를 도입한 복합수단분담 모형을 제안하였다. 특히 모형의 적합도 향상을 위해 접근방출수단을 간략화 시켜 수단 대안을 8개로 정의하고 모형의 형태별 정산 및 검증을 수행하였다.

2) 로짓모형의 구조 보완

Koppelman, Chieh-Hua(2001)은 다항 로짓모형이 가지는 비관련대안의 독립성(IIA/Independence of Irrelevant)으로 인해 많은 선택 상황에서 문제점이 발생함을 제시하며 이를 보완하기 위해 Paired Combination Logit 모형을 제안하였다. 수단 선택 모형은 토론토(Toronto)와 몬트리올(Montreal)간 통행자들을 대상으로 구축되었으며 다른 모형들보다 우수하다는 점을 검증결과를 통해 규명하였다.

양인석(2003)은 로짓모형이 갖는 비관련 대안의 독립성(IIA/Independence of Irrelevant) 문제를 해결하기 위해 이분산 로짓모형을 제안하였다. 분석 결과, 로짓모형이 가지는 동분산성 및 이분산성을 규명하고 웨이블(Weibull)분포의 분산에 규모 함수를 도입함으로써 로짓모형의 동분산성이 극복됨을

증명하였다.

이장호(2003)는 기존의 로짓모형이 가진 IIA (Independence of Irrelevant) 가정과 관측되지 않은 선호도를 고려할 수 없다는 점을 해결하고자 선호 다양성과 대안 간 오차 항 구조를 반영한 혼합 로짓모형을 제안하였다. 통행자의 선호다양성, 경직된 대체 유형의 완화, 현시선호 및 잠재선호 자료의 통합적 이용이 가능한 모형 구조를 제시하였다.

2. 착안점 도출

기존 문헌 검토를 통해 도출한 한계점은 다음과 같다. 첫째, 기존 연구는 주로 광역권 또는 수도권 내의 한정적인 공간을 대상으로 수단분담 연구를 진행하였다. 그러나 이와는 구별되는 전국 지역 간 통행은 주 수단 터미널 이용에 따른 환승이 다수 발생하고 수단 선택 과정에 다양한 변수가 고려된다는 특징이 있다. 따라서 전국 지역 간 통행을 대상으로 한 연구는 별도로 수행되어야 한다.

둘째, 구현 가능한 수단 대안 수가 한정적이다. 전국 지역 간 통행 시 이용 가능한 수단 조합은 약 80여개에 이른다.¹⁾ 그러나 현재 구현 가능한 로짓 모형의 수단 대안 수는 10여개에 불과하여 전국 지역 간 수단통행을 구현하기는 어려운 상황이다. 따라서 전국 지역 간 통행 구현을 위해서는 새로운 접근 방법이 요구된다.

셋째, 효용함수를 구성하는 통행시간 및 통행비용 변수들의 설명변수 설명력이 낮다. 이는 대중교통의 통행시간과 비용을 산정함에 있어 많은 가정이 전제되었기 때문이다. 특히, 주 수단 이용을 위한 접근·방출통행은 무시되거나 단일수단으로 가정하는 경우가 많아 모형의 적합도가 낮아지게 되었다.

본 연구는 이러한 한계점들을 극복하고 전국 지역 간 통행을 상세히 구현해 내고자 한다. 이를 위해서는 수단 선택의 위계적 체계를 구현할 수 있는

조건부 선택확률 모형, 또는 단계적 모형의 도입이 필요하다. 이 중에서 복합 수단 통행의 표본이 부족하다는 측면을 보완할 수 있는 단계적 모형 구조를 채택하였다. 본 연구 모형은 2단계 구조로 이루어진다. 2단계는 주 수단 통행과 접근·방출 수단 통행으로 구성된다. 2단계 통행으로 분리한 이유는 첫째, 주 수단 통행과 접근·방출 수단 통행은 통행 특성이 상이하며 이용 가능한 수단 또한 다르기 때문에 별도의 모형으로 정산하는 방법이 바람직하다. 둘째, 이용 가능한 수단 대안에 대한 수단 분담률을 모두 산정할 수 있다. 셋째, 접근·방출 수단의 세분화된 설명 변수 구축이 가능함에 따라 보다 설명력 높은 모형 구축이 가능하다.

III. 연구의 방법론

1. 전국 지역 간 통행특성 파악

전국 지역 간 통행의 핵심은 KTX, 일반철도, 고속버스, 항공 등의 주 수단 및 터미널이다. 통행자는 출발지에서 목적지까지 일련의 통행 과정을 계획할 때 이용 가능한 주 수단의 통행시간 및 요금을 상호 비교하여 가장 적합한 주 수단을 선택하게 된다. 단, 선택한 주 수단을 이용하기 위해서는 해당 수단 터미널로의 접근 통행과 터미널 도착 후 목적지까지의 방출 통행이 요구된다. 이러한 접근·방출 통행이 용이하지 않을 경우 해당 주 수단의 효용은 감소할 것이며, 통행자는 접근·방출 통행의 불편함으로 인해 다른 주 수단을 선택하게 된다. 요약 하자면 전국 지역 간 통행에 있어 가장 중요한 요소는 주 수단의 통행시간 및 요금이며 이와 관련된 접근·방출 수단의 통행시간 및 요금이 통행자의 수단 선택에 일부 영향을 끼친다고 할 수 있다.

주 수단 통행과 접근·방출 수단 통행은 통행의 우선 순위 뿐만이 아니라 이용 가능한 수단 대안에

서도 차이를 보인다. 주 수단은 장거리를 이동하는 통행으로 이동속도가 빠르며 요금이 높고 대량 수송이 가능하다. KTX, 일반열차, 광역버스, 항공 등이 이에 해당된다. 반면, 접근·방출수단 통행은 요금이 저렴하며 이동속도는 상대적으로 느린 지하철, 시내버스, 택시 등의 대중교통이 해당된다. 이처럼 단계별 통행은 수단 대안이 상이하기 때문에 수단 선택 시 고려하게 되는 통행 시간 및 요금에 대한 단위 효용이 다르다. 이러한 경우, 각 단계의 통행은 별도의 모형으로 분리되거나 효용함수의 계수를 수단별로 구분 짓는 대안특성 변수(alternative specific variable)를 활용하는 것이 타당하다. 각 단계별 통행 특성의 세부적인 내용은 Table 1과 같다. 이러한 내용을 바탕으로 본 연구는 전국 지역 간 통행을 Figure 1과 같이 2단계로 구분하고자 한다.

2. 모형의 구조

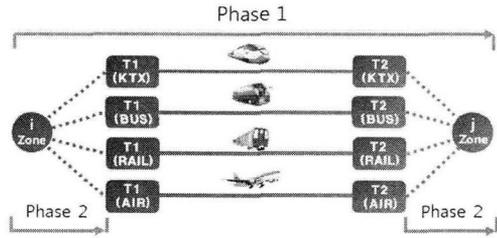


그림 1 전국지역간 통행의 단계적 분류
Fig. 1. Classification of inter-regional trip by phase

본 연구에서는 수단 대안이 2개 이상일 경우에 활용하는 다항로짓(multinomial Logit)모형을 활용하였다. 주 수단을 선택한 뒤 접근·방출 수단을 선택하는 위계를 가지는 계층적 구조(hierarchy structure)를 구현하기 위해서는 네스티드 모형 구조가 적합할 수 있다, 그러나 모든 복합 수단 대안에 대한 충분한 수의 표본이 확보되어야만 한다는 조건으로 인해 네스티드 모형 구조는 적합하지 않다. 현재 KTDB O/D상에서 복합수단 행태에 대한

표 1. 2단계 전국 지역간 통행의 단계별 특성
Table 1. Characteristic of inter-regional trip by phase

분류 Category	주 수단 통행 Main trip	접근·방출수단 통행 Access/Egress trip
통행의 특성 Characteristic of trip	·장거리 통행임 ·Long distance trip ·장시간이 소요되고 요금이 높음 ·Taking a long time and expensive fare	·주수단 통행을 위한 보조적인 통행 ·Auxiliary trip for main trip ·접근 통행 : 출발지에서 출발 터미널까지의 통행 ·Access trip : from origin to main terminal for departure ·방출통행 : 도착 터미널에서 도착지까지의 통행 ·Egress trip : from main terminal for arrival to destination
수단 Mode	·승용차, 고속버스, KTX, 일반열차, 항공 ·Auto, express bus, KTX, rail, air	·승용차, 시내버스, 지하철, 택시 ·Auto, intra-city bus, metro, taxi
우선 순위 Priority	·전국 지역 간 통행에서 우선시 됨 ·1st priority trip of Nationwide scale ·고비용, 고효율 ·High efficiency and high cost	·주 수단 통행 이후에 고려되는 보조적인 통행 ·2nd priority trip of Nationwide scale ·단, 주 수단 선택에 일부 영향을 끼칠 수 있음 ·It can affect choice of main mode partially

자료는 제공하지 않기 때문이다. 단, 다항로짓 모형의 2단계 구조 상에서는 복합수단 대안에 대한 모든 표본 자료가 필요하지 않다. 현재 제공되는 주 수단 O/D와 수단O/D(unlinked trip O/D by mode)를 통해 각 단계별 통행 행태를 간접적으로 유추할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 다항로짓모형 구조 상에서 효용함수의 구조에 따라 통행시간 및 통행요금 변수의 계수를 모든 수단이 공유하는 공유 변수(generic Variable)와 수단 별로 계수를 구분지어 각각 정의하는 대안 특성 변수(Alternative Specific Variable) 형태를 모두 고려하였다. 이후 각 모형의 정산 결과를 바탕으로 최적 모형을 선정하였다.

모형의 정산 및 수단별 교차통행량 산출 과정은 Figure 2와 같다. 전국 지역 간 통행은 주 수단 통행, 접근방출수단 통행 등 2개로 분리하여 정산하게 된다. 수단 분담률 산정 순서는 주 수단의 수단 분담률을 1차적으로 산정한 뒤 각 주 수단의 이용을 위한 접근방출수단의 수단 분담률을 2차적으로 산정한다. 단, 주 수단의 수단분담률 산정을 위해서는 각 주 수단까지의 접근·방출에 소요되는 통행시간 및 통행 요금 변수를 하나의 대표 값으로 산정해야 한다. 그러므로 대표 값 산정을 위해서는 접근·방출 수단분담 모형의 정산이 선행되어야만 한다. 즉, 수단 분담률 산출은 주 수단이 1차적으로 수행되지만 모형의 정산은 접근·방출수단 모형의 정산이 우선 수행된다. 이러한 과정을 통해 각 주 수단의 수단 분담률 뿐만 아니라 주 수단 이용을 위한 접근·방출 수단별 수단 분담률을 모두 산출할 수 있다.

3. 변수 선정 및 구축

모형의 설명변수는 각 수단별 통행시간과 통행요금으로 구성된다. 변수 구축을 위해서 「2010년

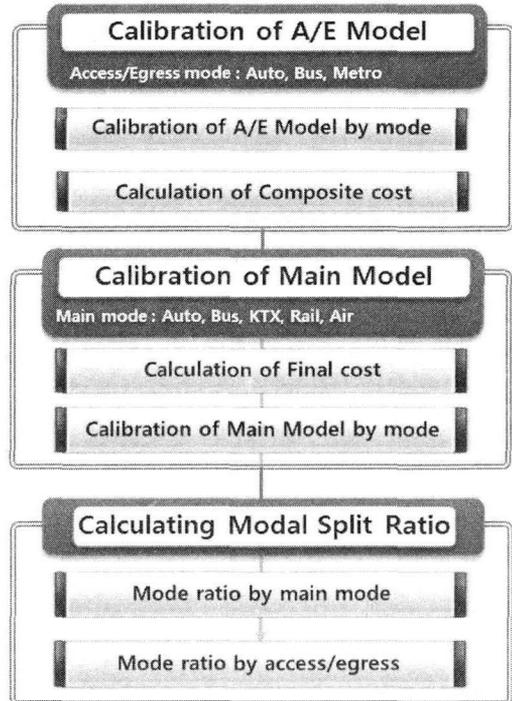


그림 3. 2단계 모형 정산의 흐름
Fig. 2. Flow of 2-phases model calibration

전국여객 기종점 통행량 조사」 자료와 각 주 수단의 운행요금 및 운행시간표 등을 활용하였다. 단, 접근·방출 수단 중 하나인 택시는 통행비용 변수가 KTDB에서 제공되지 않으며 변수 구축을 위해서는 많은 가정이 포함되어야 하기 때문에 접근·방출 수단에서 최종 제외되었다. 따라서 접근·방출 수단은 승용차, 버스, 지하철 등 3개로 정의하였다.

통행시간 변수는 차외시간(Out-vehicle Time)과

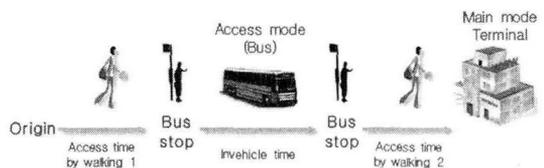


그림 3. 접근통행의 구성
Fig. 2. Composition of access trip

표 2. 수단별 차외시간의 구성

Table 2. Composition of Out-vehicle time by mode

수단 Mode	구성 항목 Contents	값(분) Value (min)	
주 수단 Main mode	승용차 Auto 승용차까지의 접근·방출시간 Access/Egress time to auto	0	
	대기 시간 Waiting time	버스 Bus	20
		KTX	20
		철도 Rail	20
		항공 Air	20
접근/방출 수단 Access/Egress mode	승용차 Auto 승용차까지의 접근·방출시간 Access/Egress time to auto	0	
	버스 Bus 보행접근시간 1, 2 + 접근·방출수단의 대기시간 + 보행방출시간 1, 2 Access time by walking 1, 2 + Waiting time for A/E mode + Egress time by walking 1, 2	네트워크 산출값 Network value	
			지하철 Metro

차내시간(In-vehicle Time) 변수로 나누어 정의하였다. 이를 정의하기에 앞서 복잡한 과정을 통해 이루어지는 접근·방출 수단 통행을 보다 상세하게 분류하였다. Figure 3은 통행자가 출발지에서 주 수단 이용을 위해 버스를 이용하는 접근통행을 나타낸 것이다. 여기서 접근 수단의 차외시간에 해당되는 항목은 도보 접근시간 1, 2와 접근수단 대기시간 등 3개 항목이다. 이와 동일하게 방출수단의 통행에서도 도보 방출시간 1,2와 방출수단 대기시간 등이 발생하게 된다. 최종적으로 접근·방출 수단의 차외시간은 총 6개 항목으로 구성된다.

차외시간 변수는 각 수단별 특징에 따라 Table 2와 같이 정의하였다. 주 수단의 경우, 승용차를 제외한 수단은 일괄적으로 주 수단 탑승을 위한 대기시간 20분을 부여하였다.²⁾ 접근·방출 수단의 차외시간은 emme/2 네트워크에서 산출된 도보 통행시간을 결합하여 구축하였다.

차내시간 변수는 승용차의 경우, KTDB의 2010

표 3. 로짓모형의 독립변수

Table 3. Independent variables of logit model

구분 Category	변수 Variable	구성 항목 Contents
시간 Time	차내시간(분) In-vehicle time(min)	주 수단 Main mode 차내 시간 Invehicle time
		접근·방출수단 A/E mode 차내 시간 Invehicle time
	차외시간(분) Out-vehicle time(min)	주 수단 Main mode 대기 시간 Waiting time
		접근·방출수단 A/E mode 보행 + 환승 + 대기시간 Walking + transfer + waiting time
비용 Cost	Total travel time 총 통행시간 차내 + 차외 시간 Invehicle + Outvehicle time	
	통행 비용 Travel cost (₩1,000)	주 수단 Main mode 승용차: 유류비 + 주차비 + 유지비 + 통행비 Auto: gas + parking + maintenance + toll 대중교통: 요금 Public: fare
접근·방출수단 A/E mode 승용차: 유류비 + 주차비 + 유지비 + 통행비 Auto: gas + parking + maintenance + toll 대중교통: 요금 Public: fare		

년 전국 기종점 통행량(O/D) 조사 자료의 네트워크 속성 값을 사용해 구축하였다. 승용차를 제외한 주 수단의 경우, 각 여객 터미널의 운행 시간표를 활용하였다. 접근·방출 수단의 차내시간 변수는 주 수단 승용차와 동일하게 KTDB의 네트워크 속성 값을 활용하였다.

통행요금 변수도 KTDB의 2010년 전국 기종점 통행량(O/D) 조사자료 결과를 활용하였다. 승용차의 경우, 통행시간 및 통행거리를 이용하여 존간 평균 통행속도를 산정한 뒤, 승용차 운영비용을 산출하였다. 승용차를 제외한 주 수단의 통행 요금 변수는 각 여객터미널 간 여객 운임을 기반으로 산정하였다. 접근·방출 수단의 경우, 승용차는 주 수단 승용차와 동일한 방식으로 변수를 구축하였다.

대중교통 수단은 거리할증 이용 요금으로 변수를 구축하였다. 최종 구축된 본 연구의 설명변수는 Table 3과 같다.

접근·방출수단의 대표비용 산정은 Outuzar와 Willumsen(2010)이 통행분포-수단분담 통합 모형에서 제안한 복합비용(Composite cost) 산정 방식을 적용하였다.

$$\tilde{c}_{ij} = -\frac{1}{\lambda} \log \sum_k \exp(-\lambda c_{ijk}) \quad (1)$$

여기서 \tilde{c}_{ij} 는 존간 대표비용, λ 는 통행분포 모형의 저항계수, c_{ijk} 는 k 수단의 존간 통행비용을 의미한다.

IV. 모형의 개발 및 검증

1. 접근·방출 수단 모형의 정산

접근·방출수단 모형은 설명 변수의 구조 및 통행 시간 변수의 형태에 따라 Table 4와 같이 총 4개의 모형을 개발하였다. 표본 수는 1,078개이며 모형별 정산 결과는 Table 5, 6과 같다.

AE-G-I모형은 모든 수단이 하나의 계수를 공유

표 4. 접근·방출 수단 모형의 종류
Table 4. Classification of Access/Egress model

모형 Model	독립변수의 공유 형태 Type of independence variable	통행시간 변수의 형태 Type of travel time
AE-G-I	공유 변수 Generic variable	차내/차외시간 분리 In/out-vehicle time
AE-G-II	공유 변수 Generic variable	총 통행시간 Total travel time
AE-A-I	대안특성 변수 ASV variable	차내/차외시간 분리 In/out-vehicle time
AE-A-II	대안특성 변수 ASV variable	총 통행시간 Total travel time

하는 공유변수 구조이며 통행시간 변수를 차내 및 차외 시간변수로 분리한 형태이다. 모형의 적합도는 0.213이며 버스와 지하철 수단의 대안상수는 95% 수준, 차내·차외 시간 및 비용 변수의 계수는 90% 수준에서 유의하여 전반적으로 적합한 모형으로 도출됨을 확인할 수 있다.

AE-G-II모형은 모든 수단이 하나의 계수를 공유하는 공유변수 구조이며 통행시간 변수를 총 통행시간의 단일 변수로 결합한 형태이다. 모형의 적합도는 0.143이며 버스와 지하철 수단의 대안상수 및 총 통행시간 변수는 95% 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 그러나 비용 변수가 통계적 유의성을 확보하지 못해 적절하지 못한 효용함수 모형으로

표 5. 접근·방출수단 모형 (1)
Table 5. Access/Egress model (1)

수단 Mode	효용함수(AE-G-I) Utility function(AE-G-I)	효용함수(AE-G-II) Utility function(AE-G-II)
승용차 Auto	$(-0.002^*) \times IVT + (-0.017^{***}) \times COST$	$(-0.007^{***}) \times TT + (-0.045) \times COST$
버스 Bus	$0.357^{**} + (-0.002) \times IVT + (-0.002) \times OVT + (-0.017^{***}) \times COST$	$0.335^{**} + (-0.007^{***}) \times TT + (-0.045) \times COST$
지하철 Metro	$1.069^{***} + (-0.002^*) \times IVT + (-0.002^*) \times OVT + (-0.017^{***}) \times COST$	$0.977^{***} + (-0.007^{***}) \times TT + (-0.045) \times COST$
LL(c)	-1,063.909	-1,065.363
$\rho^2(c)$	0.213	0.143

*는 90%수준에서 유의함

* means significance in 90% level

**는 95%수준에서 유의함

** means significance in 95% level

***는 99%수준에서 유의함

*** means significance in 99% level

**** IVT는 차내시간, OVT는 차외시간, COST는 통행비용, TT는 총 통행시간을 의미

**** IVT means in-vehicle time, OVT means out-vehicle time, COST means travel cost, TT means total travel time

표 6. 접근방출수단 모형(2)

Table 6. Access/Egress model (2)

수단 Mode	효용함수(AE-A-I) Utility function(AE-A-I)	효용함수(AE-A-II) Utility function(AE-A-II)
승용차 Auto	$(-0.009) \times IVT_A + (-0.006) \times COST$	$(-0.008) \times TT_A + (-0.014) \times COST$
버스 Bus	$0.272' + (-0.002') \times IVT_T + (-0.002') \times OVT_T + (-0.006) \times COST$	$0.275' + (-0.759''') \times TT_T + (-0.014) \times COST$
지하철 Metro	$1.000'''' + (-0.002') \times IVT_T + (-0.002') \times OVT_T + (-0.006) \times COST$	$0.917'''' + (-0.759''') \times TT_T + (-0.014) \times COST$
LL(c)	-1,062.999	-1,064.904
$\rho^2(c)$	0.128	0.141

*는 90%수준에서 유의함 * means significance in 90% level
 **는 95%수준에서 유의함 ** means significance in 95% level
 ***는 99%수준에서 유의함 *** means significance in 99% level
 **** IV_T는 승용차 차내시간, IV_T는 대중교통 차내시간, OVT_T는 대중교통 차외시간을 의미
 **** IV_A means in-vehicle time of auto, IV_T means in-vehicle time of transit, OVT_T means out-vehicle time of transit
 ***** TT_A는 승용차 총 통행시간, TT_T는 대중교통 총 통행시간, COST는 통행비용을 의미
 ***** TT_A means total travel time of auto, TT_T means total travel time of transit, COST means travel cost

판명되었다.

AE-A-I모형은 각 수단별 특성에 따라 통행시간 변수의 계수를 별도로 정의하는 대안 특성 변수 구조임과 동시에 통행시간 변수를 차내 및 차외 시간 변수로 분리한 형태이다. 모형의 적합도는 0.128이며 버스와 지하철 수단의 대안상수는 90% 수준에서 유의하나 통행시간 및 요금 변수가 통계적 유의성을 확보하지 못하였다.

AE-A-II모형은 각 수단별 특성에 따라 통행시간 변수의 계수를 별도로 정의하는 대안 특성 변수 구조임과 동시에 통행시간 변수를 총 통행시간의 단일 변수로 결합한 형태이다. 모형의 적합도는 0.141이며 버스와 지하철 수단의 대안상수는 90% 수준에서 유의한 것으로 나타났다. 그러나 승용차 통행시간 변수 및 비용 변수가 통계적 유의성을 확보하지 못하는 것으로 나타났다.

총 4개의 모형 정산 결과, 대안특성 상수 및 설명변수의 통계적 유의성이 확보되고 모형의 적합도 또한 가장 높은 AE-G-I모형이 최적 모형으로 선정되었다. AE-G-I모형을 통해 접근방출통행의 특

성을 살펴본 결과는 다음과 같다. 통행자는 접근방출 통행 시 승용차보다 버스, 지하철 등의 대중교통 자체를 더 선호한다. 이는 승용차를 이용할 경우에는 주차 및 비용과 관련된 문제가 발생하기 때문인 것으로 해석된다. 차내 시간과 차외시간에 대한 분리는 통계적으로 유의하지만 그 차이는 미미한 것으로 나타났다. 비용의 한 단위 변화에 따른 통행자 효용의 변화는 승용차가 대중교통에 비해 민감한 것으로 나타났다. 즉 승용차의 통행비용 한 단위 변화에 통행자의 효용은 더 크게 감소한다고 해석된다.

2. 주 수단 모형의 정산

주 수단 모형은 설명변수의 구조, 시간변수 형태 별로 총 4개 모형을 Table 7과 같이 개발하였다. 표본 수는 9,784개이며 각 모형별 정산 결과는 Table 8, 9와 같다.

M-G-I모형은 모든 수단이 하나의 계수를 공유하는 공유변수 구조이며 통행시간 변수를 주 수단

표 7. Main model (I) Table 7. 주 수단 모형 (I)

수단 Mode	효용함수(M-G-I) Utility function(M-G-I)	효용함수(M-G-II) Utility function(M-G-II)
승용차 Auto	$(-0.007^{***}) \times MT + (-0.056^{****}) \times COST$	$(-0.003^{***}) \times TT + (-0.067^{****}) \times COST$
버스 Bus	$-4.343^{***} + (-0.007^{***}) \times MT + (-0.004^{***}) \times AET + (-0.056^{****}) \times COST$	$-4.344^{***} + (-0.003^{***}) \times TT + (-0.067^{****}) \times COST$
KTX	$-1.834^{***} + (-0.007^{***}) \times MT + (-0.004^{***}) \times AET + (-0.056^{****}) \times COST$	$-1.694^{***} + (-0.003^{***}) \times TT + (-0.067^{****}) \times COST$
철도 Rail	$-2.199^{***} + (-0.007^{***}) \times MT + (-0.004^{***}) \times AET + (-0.056^{****}) \times COST$	$-2.226^{***} + (-0.003^{***}) \times TT + (-0.067^{****}) \times COST$
항공 Air	$-1.151^{***} + (-0.007^{***}) \times MT + (-0.004^{***}) \times AET + (-0.056^{****}) \times COST$	$-0.403^{***} + (-0.003^{***}) \times TT + (-0.067^{****}) \times COST$
LL(c)	-10,508.71	-10,531.86
$\rho^2(c)$	0.237	0.220

*는 90%수준에서 유의함 * means significance in 90% level
 **는 95%수준에서 유의함 ** means significance in 95% level
 ***는 99%수준에서 유의함 *** means significance in 99% level
 **** MT는 주 수단 통행시간, AET는 접근·발출수단 통행시간, COST는 통행비용, TT는 총 통행시간을 의미
 **** MT means main mode travel time, AET means A/E mode travel time, COST means travel cost, TT means total travel time

및 접근·발출수단 시간변수로 분리한 형태이다. 모형의 적합도는 0.237이며 모든 수단의 대안상수는 95% 수준, 주 수단 및 접근·발출수단, 비용 변수가 모두 99%수준에서 유의하여 전반적으로 적합한 모형임을 확인할 수 있다.

M-G-II모형은 모든 수단이 하나의 계수를 공유하는 공유변수 구조이며 통행시간 변수를 총 통행시간의 단일 변수로 결합한 형태이다. 모형의 적합

도는 0.220이며 모든 수단의 대안상수 및 통행시간, 통행비용 변수가 99%수준에서 유의한 것으로 나타났다.

M-A-I모형은 각 수단별 특성에 따라 통행시간 변수의 계수를 별도로 정의하는 대안 특성 변수 구조임과 동시에 통행시간 변수를 주 수단 및 접근·발출수단 시간변수로 분리한 형태이다. 모형의 적합도는 0.114이며 모든 수단의 대안상수 및 통행시간, 통행 비용변수가 99% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

M-A-II모형은 각 수단별 특성에 따라 통행시간 변수의 계수를 별도로 정의하는 대안 특성 변수 구조임과 동시에 통행시간 변수를 총 통행시간의 단일 변수로 결합한 형태이다. 모형의 적합도는 0.132이며 모든 수단의 대안상수 및 통행시간, 통행 비용변수가 99% 수준에서 유의한 것으로 나타났다.

각 모형별 정산 결과, 전반적으로 주 수단 모형의 통계적 유의성은 확보되는 것으로 나타났다. 이는 접근·발출 수단 모형에 비해 7배 이상의 많은 표본수와 현실 수준을 적절히 반영한 주 수단 및

표 8. 주 수단의 모형 종류
Table 8. Classification of Main model

모형 Model	독립변수의 공유 형태 Type of independence variable	통행시간 변수의 형태 Type of travel time
M-G-I	공유 변수 Generic variable	2단계 수단시간 분리 Separation of 2-phase mode
M-G-II	공유 변수 Generic variable	총 통행시간 Total travel time
M-A-I	대안특성 변수 ASV variable	2단계 수단시간 분리 Separation of 2-phase mode
M-A-II	대안특성 변수 ASV variable	총 통행시간 Total travel time

접근방출수단 통행의 설명변수로 인한 결과로 해석된다. 단, 항공 수단에 대한 선호도가 높게 나타나는 점은 수단 대기시간을 타 수단과 동일한 20분으로 설정한 점에 기인하는 것으로 판단된다.

주 수단 최종 모형은 통계적 유의성과 적합도 측면에서 Table 8의 M-G-I 모형이 선정되었다. 이 모형은 다항로짓모형의 구조에서 모든 설명변수의 계수를 공유하는 모형이라 할 수 있다. 모형의 해석 결과, 통행자는 주 수단 통행 시 승용차를 가장 선호하는 것으로 나타났다. 접근-방출 수단의 경우 승용차는 주 수단 이용을 위한 부수적인 수단에 불과하기 때문에 선호도가 낮았던 반면, 주 수단으로 승용차를 이용할 경우에는 가장 편리하고 빠르기 때문에 가장 높은 선호도를 갖는 것으로 해석된다. 통행 시간 변수에 대한 효용의 변화 즉, 민감도는 주 수단이 더 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 주 수단 통행을 고려해 통행을 선택하되 접

근-방출 수단의 특성을 일부 고려해 최종 통행을 결정한다는 본 연구의 가정을 뒷받침한다고 할 수 있다.

3. 기존 수단분담 모형과의 비교

본 연구는 최적 모형의 설명력 검토를 위해서 시간가치 검증과 기존 수단분담 모형과의 추정력 비교 등 두 가지 분석을 수행하였다. 시간가치 검증은 추정된 효용함수의 통행시간 변수와 통행요금 변수의 계수를 활용해 통행자의 일반적인 시간가치를 추정하고 이를 검토하는 방법이다. 시간 가치 검증을 위해서는 KDI에서 제공하는 「도로·철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 5판」의 수정본 자료를 활용하였다. 시간 가치는 2012년 수단별 평균 통행시간 가치를 소비자 물가 지수³⁾를 적용해 2010년 값으로 변환하여 산출하였다. 또한

표 9. Main model (2) Table 9. 주 수단 모형 (2)

수단 Mode	효 용 함 수(M-A-I) Utility function(M-A-I)	효 용 함 수(M-A-II) Utility function(M-A-II)
승용차 Auto	$(-0.010^{***}) \times MT_A + (-0.041^{***}) \times COST$	$(-0.009^{***}) \times TT_A + (-0.043^{***}) \times COST$
버스 Bus	$-4.485^{***} + (-0.006^{***}) \times MT_T + (-0.005^{***}) \times AET + (-0.041^{***}) \times COST$	$-4.519^{***} + (-0.004^{***}) \times TT_T + (-0.043^{***}) \times COST$
KTX	$-2.151^{***} + (-0.006^{***}) \times MTT + (-0.005^{***}) \times AET + (-0.041^{***}) \times COST$	$-2.133^{***} + (-0.004^{***}) \times TT_T + (-0.043^{***}) \times COST$
철도 Rail	$-2.415^{***} + (-0.006^{***}) \times MTT + (-0.005^{***}) \times AET + (-0.041^{***}) \times COST$	$-2.478^{***} + (-0.004^{***}) \times TT_T + (-0.043^{***}) \times COST$
항공 Air	$-2.239^{***} + (-0.006^{***}) \times MTT + (-0.005^{***}) \times AET + (-0.041^{***}) \times COST$	$-2.028^{***} + (-0.004^{***}) \times TT_T + (-0.043^{***}) \times COST$
LL(c)	-10,488.45	-10,498.18
$\rho^2(c)$	0.114	0.132

*는 90%수준에서 유의함 * means significance in 90% level
 **는 95%수준에서 유의함 ** means significance in 95% level
 ***는 99%수준에서 유의함 *** means significance in 99% level
 **** MT_A는 승용차 주수단 통행시간, MT_T는 대중교통 주수단 통행시간, AET는 접근-방출 통행시간을 의미
 ***** MT_A means travel time of auto(main), MT_T means travel time of transit(main), AET means travel time of A/E mode
 ***** TT_A는 승용차 총 통행시간, TT_T는 대중교통 총 통행시간, COST는 통행비용을 의미
 ***** TT_A means total travel time of auto, TT_T means total travel time of transit, COST means travel cost

표 10. 통행자 1인의 통행시간 가치
Table 10. Value of travel time per person

구분 Category	승용차 Auto	버스 Bus	철도 Rail
통행시간 가치 Value of travel time	10,707	6,497	6,203

단위 : 원
Unit : won

출처 : 도로철도 부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 5판
Source : Standard Guidelines for Preliminary Feasibility Studies on Road and Railway Sector (5th Edition),

분석 단위의 통일을 위해 차량 한 대당 제시된 평균 시간가치에 평균 재차인원을 적용, 통행자 1인당 시간가치로 환산하였다. 각 수단별 환산 결과는 Table 10과 같다.

본 연구모형의 시간가치 산정 결과는 Table 11과 같다. 시간가치 비교 결과, KDI에서 제공하는 시간가치와 본 연구모형의 시간가치는 유사한 값을 보이는 것으로 나타났다. 최종 모형으로 제시한 M-G-I 모형의 시간가치는 7,500원이며 이 값은 모든 수단의 평균 수치이다. 이를 감안한다면 KDI에서 제시하는 승용차와 버스, 철도의 시간가치 평균 값과 본 연구모형의 시간가치는 유사하다. 결론적으로 주 수단 최종 모형의 계수는 합리적인 수준에서 적절히 추정되었다 할 수 있다.

본 연구모형의 수단분담률 추정력 비교를 위해

표 11. 주 수단 모형의 시간가치
Table 11. Value of travel time by main model

모형 Model	주수단 모형의 계수 Co-efficient of main mode		시간가치 Value of travel time (₩1,000)
	통행시간 travel time	통행비용 cost	
M-G-I	-0.007	-0.056	7.5
M-G-II	-0.003	-0.067	2.6
M-A-I	Auto	-0.010	14.6
	Transit	-0.006	
M-A-II	Auto	-0.009	12.5
	Transit	-0.004	

표 12. KTDB 전국 지역 간 수단분담모형
Table 12. Modal split model of KTDB on nationwide scale

수단 Mode	효용함수 Utility Function
승용차 Auto	$(-0.009) \times IVT + (-0.002) \times PCOST + (-0.267) \times NZD$
버스 Bus	$-1.648 + (-0.009) \times IVT + (-0.002) \times TCOST + (0.296) \times TR$
일반열차 Rail	$-1.828 + (-0.009) \times IVT + (-0.002) \times TCOST + 0.362 \times ST + (-0.267) \times NZD$
KTX	$-1.171 + (-0.009) \times IVT + (-0.002) \times TCOST + 0.362 \times ST + (-0.267) \times NZD$
$\rho^2(c)$	0.514

* 모든 계수는 90%이상 수준에서 유의함

*All coefficients are significant in 90% level

** IVT는 차내 시간, PCOST는 승용차통행비용, TCOST는 대중교통 통행비용, ST와 TR는 각 수단 터미널 더미, NZD는 비도시지역 더미를 의미

**IVT means in-vehicle time, PCOST means cost of auto, TCOST means cost of transit, ST and TR mean terminal dummy variable, NZD means non-urbanization dummy variable

서는 2010년 전국 기종점 통행량(O/D) 조사 결과를 통해 구축된 전국 지역 간 수단분담 모형(이하 KTDB모형)을 활용하였다. KTDB모형은 총 46,761개의 표본을 대상으로 승용차, 버스, 일반열차, KTX 등 4개 수단을 대상으로 한 다항 로짓모형 이다. 모형의 적합도는 0.514로 우수하였으며 추정된 모든 계수의 통계적 검증결과는 90% 이상 수준에서 유의하였다. KTDB 모형의 정산결과는 Table 12와 같다.

KTDB와 본 연구모형의 비교를 위해서 식 (2)와 같이 수단별 수단분담률 절대평균 오차율을 산출하였다. 단, KTDB에서 제시한 모형은 항공 수단을 포함하지 않았다. 모형 간 비교를 위해 본 연구 모형도 항공 수단을 제외하여 정산한 뒤, 정산결과를 비교하였다. 비교검증 결과는 Table 13과 같이 모든 주 수단의 추정력이 KTDB모형에 비해 본 연구 모형이 우수함을 확인할 수 있다.

$$\text{오차율} = \text{Average} | \text{실측분담률}_i - \text{추정분담률}_i | \quad (2)$$

이러한 추정력 차이는 출발지에서 도착지까지의 통행비용 및 비용 산출방법에 따른 차이에서 비롯되었다고 할 수 있다. KTDB 모형에서는 주 수단 이용을 위한 접근방출수단의 통행시간 및 비용변수

표 13. 모형별 수단별 절대평균 오차율
Table 13. Mean absolute error rate by mode

주 수단 Main mode	KTDB모형 KTDB model	2단계 모형 2-phase model	단위 : %
			Unit : %
승용차 Auto	12.37	10.62	
광역버스 Bus	10.28	8.44	
일반열차 Rail	12.03	5.08	
KTX	6.78	2.14	

를 산정함에 있어 많은 가정이 포함된다. 광역버스의 통행시간을 공로상의 승용차와 동일하게 적용한 점과 철도 이용을 위한 접근-방출 수단을 버스로 한정하고 버스의 평균 통행속도를 이용해 통행시간을 간접적으로 산정한 점, 통행 비용 산정에 있어 접근-방출 수단의 비용 미포함 등이 해당된다. 이로 인해 수단선택 시 고려되는 현실적인 통행시간 및 비용을 반영할 수 없었다. 반면 본 연구에서 제안한 2단계 과정에서는 접근-방출 수단 별 통행시간 및 비용을 모두 반영하여 출발지에서 도착지까지의 통행을 보다 현실적으로 구현할 수 있다는 장점이 존재하며 이로 인해 기존 모형보다 개선된 결과를 도출하였다.

V. 결 론

통행패턴의 다양화로 장래 통행수요 추정, 특히 수단별 분담률 추정은 대안 수 증가와 모형의 설명력 하락이라는 한계점에 직면하게 되었다. 본 연구는 이러한 한계점을 극복하고 다양화 된 수단이용 패턴을 구현하기 위해 2단계 수단분담 모형을 제안

하였다. 본 연구의 착안점 및 개선효과, 시사점은 다음과 같다.

첫째, 전국 지역 간 통행을 주 수단과 접근-방출 수단 통행 등 2단계 통행으로 구분하였다. 고속버스, KTX, 일반열차, 항공 등을 이용하는 전국 지역 간 통행은 각 수단의 터미널을 이용해야 한다는 특성으로 인해 다수의 환승이 발생하게 된다. 따라서 기존의 수단 대안으로는 전국 지역 간 통행을 구현하는데 많은 문제점이 존재하였다. 그러나 전국 지역 간 통행을 2단계로 분류할 경우, 각 단계별 통행 특성을 각각 반영할 수 있으며 다양한 수단조합의 구현이 가능해진다. 이를 통해 전국 지역 간 통행의 다양한 패턴을 구현하였으며 장래 주 수단 및 접근-방출 수단별 수요를 보다 세밀히 추정할 수 있는 토대를 마련하였다.

둘째, 각 단계별 모형의 변수 구축 및 정산을 통해 기존 모형보다 우수한 수단분담 모형을 구축하였다. 기존의 통행시간 및 요금 변수는 접근-방출 수단을 현실적으로 고려하지 못하고 다양한 가정을 통해 일률적인 값을 부여하였기 때문에 현실의 통행을 설명하기에 부족하였다. 그러나 본 연구에서는 접근-방출 수단의 대표 비용을 산정함에 따라 통행시간 및 통행요금 변수의 설명력을 향상시켰으며 그 결과, 기존 모형보다 우수한 적합도 및 검증결과를 얻을 수 있었다.

셋째, 변수의 공유 형태, 설명변수의 형태에 따른 모형 정산을 모두 수행하여 가장 우수한 모형을 최종 모형으로 제시하였다. 최종 모형의 검토 결과, 적합도는 0.2를 상회하였으며 모든 설명변수의 계수는 90% 이상의 유의수준을 만족하는 것으로 나타났다. 2단계 모형별로 살펴보면 접근-방출 수단의 경우, 대중교통을 더 선호하며 차내시간과 차내시간의 효용 차이는 존재하지 않는다는 점을 확인할 수 있었다. 주 수단의 경우에는 승용차를 가장 선호하며 주 수단 이용에 소요되는 시간이 효용 변화에

더 민감하다는 점을 확인할 수 있었다. 이를 통해 통행자는 전국 지역 간 통행 시 주 수단의 통행시간을 더 비중 있게 고려하며 접근·방출 수단의 통행시간은 수단 결정에 일부 영향을 준다는 가정을 증명할 수 있었다.

그러나 특정 지역을 통행할 경우에는 주 수단간의 환승이 필연적으로 발생하게 되나 본 연구에서 제안한 모형의 구조로는 이러한 점을 구현할 수 없다. 따라서 주 수단 환승까지를 고려한 수단분담 모형이 개발된다면 전국 지역 간 통행을 보다 세밀히 구현할 수 있을 것이다. 또한, 복합수단 행태의 경우에는 수단 특성뿐만 아니라 통행자 특성 등이 영향을 끼칠 수 있으므로 개인 행태를 기반으로 한 수단선택모형(mode choice model)의 개발 또한 의미가 있을 것으로 생각된다. 마지막으로 복합 수단 행태에 대한 자료가 구축될 경우, 조건부 선택확률을 기반으로 하는 네스티드 모형의 개발을 통한 본 연구모형과의 비교검증을 수행할 필요가 있다. 이를 통해 조건부 확률 모형과 단계적 모형의 차이점을 규명하고 보다 현실적인 환승행태 구현을 위한 기반을 마련할 수 있을 것이다.

- 주1. 접근수단(4개) × 주수단(5개) × 방출수단(4개) = 80개로 정의됨
- 주2. 각 주 수단별로 조사된 대기시간 자료가 없기 때문에 동일한 값을 부여, 주 수단 대기시간에 따른 수단선택의 변화를 배제하고자 함
- 주3. 2012년 비용에 0.9407을 적용함

인용문헌
References

1. 권세나, 2007. “통행수단 선택에 영향을 미치는 요인에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위 논문.
Kwon, S.N, 2007. “Study on the Factors Influencing Traveler’s Mode Choice”, Master’s Degree Dissertation, Yonsei University.
2. 김문령, 왕위걸, 이병주, 남궁문, 2006. “잠재변수를 이용한 KTX 환승교통수단 선택모형에 관한 연구”, 「대한교통학회 학술대회지」 대전광역시: 대한주택공사
Kim, M.R, Wang,W.G, Lee, B.J, Nangung, M. 2006. “Transfer Model Choice of KTX using Latent Variables”, Conference of Korean Society of Transportation Daejeon Metropolitan Area: The Korea Housing Corporation
3. 김상황, 김갑수, 2006. “고속철도 지방대도시 정차역의 연계교통수단 선택모형 구축에 관한 연구”, 「대한토목학회논문집」 26(4): 565-571.
Kim, S.H, Kim, K.S, 2006. “Examining Access Mode Choice Behavior of Local Metropolitan High-Speed Rail Station”, *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 26(4): 565-571.
4. 김승훈, 2011. “지역 특성을 반영한 복합수단분담모형의 개발”, 한양대학교 도시대학원 석사학위논문.
Kim, S.H, 2011. “Development of Multi-Modal Split Model Introducing Zonal Characteristics Focusing on Commuting Trip”, Master’s Degree Dissertation, Hanyang University.
5. 노정현, 2002. 교통계획-통행수요이론과 모형, 서울: 나남출판.
Rho, J.H, 2002. *Transportation Planning-Demand Theory and Model of Transport*, Seoul: Nanam Publishing Co.
6. 성현곤, 신기숙, 노정현, 2008. “서울시의 주차 및 대중교통 이용여건이 통행목적별 교통수단 선택에 미치는 영향”, 「대한교통학회지」 26(3): 97-108.
Seong, H.G, Shin.K.S, Rho, J.H, 2008. Impacts on the Accessibility of Parking and Public Transportation on Mode Choice by Trip Purpose in the city of Seoul“, *Journal of Korean Society of Transportation* 26(3): 97-107.
7. 손상훈, 최기주, 유정훈, 2007. “대중교통 통행배정을 위한 일반화비용 추정”, 「대한교통학회지」 25(2): 121-132.
Son, S.H, Choi, K.J, Yu, J.H, 2007. “An Estimation of Generalized Cost for Transit Assignment”, *Journal of Korean Society of Transportation* 25(2):

- 121-132.
8. 송기태, 2008. “대중교통 이용자 속성을 고려한 환승 시간별 환승률 결정모형의 개발”, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
Song, K.T, 2008. “Detemination of Transfer Ratio according to Transfer Time Reflecting Passenger Attributes”, Master’s Degree Dissertation, Seoul National University.
 9. 양창화, 손의영, 2000. “서울시 지하철 이용객의 환승 형태에 관한 연구”, 「대한교통학회지」 18(4): 19-30.
Yang. C.H, Son, E.Y, 2000. “Estimation of Transfer Related Values of Seoul Subway Users Using Stated Preference and Revealed Preference Analyses”, *Journal of Korean Society of Transportation* 18(4): 19-30.
 10. 양인석, 노정현, 김강수, 2003. “이분산 로짓모형의 추정과 적용”, 「대한교통학회지」 21(4): 57-66.
Yang, I.S, Rho, J.H, Kim, K.S, 2003. “Development and Application of the Heteroscedastic Logit Model”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 21(4): 57-66.
Lee, J.H, 2003. “Mixed Logit Model Accommodating Traveler’s Taste Variations and Error Structure between Alternatives”, Ph. D. Dissertation, Seoul National University.
 11. 이원석, 2009. “복합수단선택행태를 반영한 다항로짓모형의 구축”, 명지대학교 대학원 박사학위논문.
Lee, W.S, 2009. “A Multinomial Logit Model for Traveler’s Combined Mode Choice Behavior”, Ph. D. Dissertation, Myeongji University.
 12. 이장호, 2003. “선호다양성과 대안간 오차항 구조를 반영한 통행자 선택모형 구축”, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
Lee, J.H, 2003. “(A) mixed logit model accommodating traveler's taste variations and error structure between alternatives”, Ph. D. Dissertation, Seoul National University.
 13. 조항웅, 정성봉, 김시곤, 오재학, 2011. “고속도로 연계성을 반영한 고속철도 수단선택모형 개발 및 적용”, 「한국철도학회논문집」 14(4): 383-389.
Jo, H.W, Jeong, S.B, Kim, S.G, Oh, J.H, 2011, “Development of Mode Choice Model and Applications Considering Connectivity of Express Way, *Journal of the Korean Society for Railway*, 14(4): 383-389.
 14. 홍성표, 황순연, 2012. 「월간교통」 169, 서울: 한국교통연구원.
Hong, S.P, Hwang, S.Y, 2012. *Monthly Magazine on Transportation Policy*, Seoul: The Korea Transport Institute.
 15. 한국개발연구원, 2008. 「도로·철도부문 사업의 예비타당성 조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」, 서울. KDI, 2008. *Standard Guidelines for Preliminary Feasibility Studies on Road and Railway Sector (5th Edition)*, December 2008, Seoul.
 16. Frank S. Koppelman, Chieh-Hua Wen, 2001 “The generalized nested logit model”, *Transportation Research part B* 35: 627-641
 17. Guastafson, Gurd and Golob, 1971. “User Preference for a Demand-responsive Transportation System”, *Highway Research Record* 367.
 18. Juan de Dios Ortuzar, Luis G. Willumsen, 2010. *Modelling Transport*, WILEY.
 19. Maria P.Boile, Lazar N. Spasivic, 2000. “An Implementation of the Modal-split Traffic-Assignment Method”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*.

Date Received 2014-05-28
 Reviewed(1st) 2014-07-14
 Date Revised 2014-08-05
 Reviewed(2nd) 2014-08-05
 Date Accepted 2014-08-05
 Final Received 2014-08-08