

수도권 통행 특성을 고려한 통행시간가치 산정 연구

김경현¹ · 이장호² · 윤일수^{3*}

¹한국도로공사 도로교통연구원 교통연구실, ²한국교통대학교 철도시설공학과, ³아주대학교 교통시스템공학과

Calculation of Travel Time Values in Seoul Metropolitan Area Considering Unique Travel Patterns

KIM, Kyung Hyun¹ · LEE, Jang-Ho² · YUN, Ilsoo^{3*}

¹Transportation Research Division, Korea Expressway Corporation Research Institute, Gyeonggi 18489, Korea

²Department of Railroad Facility Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi 16106, Korea

³Department of Transportation Systems Engineering, Ajou University, Gyeonggi 16499, Korea

*Corresponding author: ilsooyun@ajou.ac.kr

Abstract

Travel time reduction benefit is the most important benefit item in the feasibility study of transportation infrastructure investment projects and calculated by using the value of travel time. The current feasibility study guideline (5th edition) calculate the value of non-business travel time in a metropolitan area, using the ratio of the value of non-business travel time to business travel time calculated based on the nationwide inter-regional traffic survey data of 1999. The characteristics of metropolitan trips are different from those of nationwide regional trips. Metropolitan trips have frequent transfers between multiple public transits and long-time commuter trips. Therefore, this research aims to calculate the value of travel time reflecting traffic characteristics in a metropolitan area by improving the limitation of current calculation methods. To reflect these characteristics, this research extracts commuter trips from non-business trips and calculates the value of travel time for commuter trips. The results of the likelihood ratio test for the commuter trip model and the non-business trip model are found to be statistically significant. An integrated public transportation model was also estimated in this study to reflect the trip conditions of the Seoul metropolitan area integrated fare system. The results of comparing coefficients between bus and subway in the integrated public transit model indicated that there were no statistically significant differences between the two modes.

Keywords: mixed logit model, multinomial logit model, nested logit model, probability choice model, value of travel time

초록

교통시설 투자사업에 대한 타당성조사 시 가장 큰 비율을 차지하는 편익항목은 통행시간 절감편익이며, 이는 통행시간가치를 이용하여 산정한다. 현재 예비타당성조사 표준 지침(5판)에서는 1999년 전국 지역 간 통행 조사 자료를 기반으로 산정된 업무통행 대비 비업무통행 통행 시간가치의 비율을 이용하여 비업무통행 통행에 대한 시간가치를 산정하였으며, 여기에 수도권 통행목적 비율과 재차인원을 적용하여 수도권에 대한 통행시간가치를 산정하였다. 수도권 통행은 전국 지역 간 통행과 다른 통행특성을 가지고 있다. 수도권 통행의 경우 복합 대중교통

수단을 이용한 환승이 빈번하게 발생하고 있으며, 통근통행에 장시간을 소요하고 있다. 따라서 본 연구에서는 타당성조사 관련 지침의 통행시간가치 산정방법을 개선함으로써 수도권 통행 특성을 반영한 통행시간가치를 산정하였다. 수도권 통행 특성 반영을 위하여 기존 비업무통행에 포함된 통근통행을 분리하여 통근통행에 대한 통행시간가치를 별도로 산정하였다. 통근통행 모형과 비업무 통행 모형에 대한 우도비 검정통계량 검정 결과 두 모형은 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 또한 수도권 통합요금제 시행에 따른 통행 여건을 반영하기 위하여 대중교통 통합 모형을 구축하였다. 대중교통 통합모형의 버스과 지하철의 계수 비교결과 두 수단간 계수는 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 분석되었다.

주요어: 혼합 로짓 모형, 다항 로짓 모형, 네스티드 로짓 모형, 확률선택모형, 통행시간가치

서론

교통시설 투자 사업에 대한 타당성 조사(feasibility study)시 편익(benefit) 산정을 통한 경제성 분석을 수행하게 된다. 경제성 분석을 위한 편익 항목 중 가장 큰 비율을 차지하는 항목은 통행시간 절감편익이며, 이는 전체 편익의 약 60% 정도를 차지한다(Hensher, 2001). 현재 국내에서 사용되는 타당성조사 관련 지침은 「교통시설투자평가지침(제6차 개정)」(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017; 이하 투자평가지침)과 「도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판)」(Korea Development Institute, 2008; 이하 예비타당성조사 표준지침)이다. 타당성조사 관련 지침에서는 통행시간 절감편익 산정 시 사용되는 통행시간가치(value of travel time) 원단위를 제공하고 있으며, 이는 업무통행(business trip)과 비업무통행(non-business trip)으로 구분되어 있다. 일반적으로 통행시간가치 산정 시 업무통행의 경우 임금율법(wage rate method)을 이용하여 산정하며, 비업무통행은 한계대체율법(marginal rate of substitution method)을 이용하여 업무통행 통행시간가치에 대한 상대적 비율을 적용하여 산정한다(Korea Development Institute, 2008). 현재 투자평가지침과 예비타당성조사 표준지침의 업무통행 통행시간가치 대비 비업무통행 통행시간가치 비율은 전국 지역간 통행에 대한 현시선호(revealed preference) 조사 자료를 이용하여 산정된 결과이다.

Metropolitan Transportation Authority(2016)의 2014년 총 수단통행량을 살펴보면 수도권 내부 통행은 전체 통행의 97.6%로 수도권의 통행은 대부분 내부 통행이라는 것을 확인할 수 있다. 현행 타당성조사 관련지침의 통행시간가치는 지역간 통행에 대한 조사 자료를 이용하여 산정된 결과이다. 따라서 이는 수도권의 통행실태를 반영하기에 한계가 있으므로 수도권 통행조사 자료를 이용하여 수도권의 통행특성을 반영한 통행시간가치 산정이 필요할 것으로 판단된다.

Korea Statistical Information Service(2017.01.11. 접속 기준)에 따르면 수도권에 해당하는 서울특별시, 인천광역시, 경기도의 2016년 주민등록 인구는 전체 인구의 49.5%를 차지하며, 2008년 이후 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. Korea Appraisal Board Real Estate Statistical Information(2016.01.11. 접속 기준)에 따르면 수도권의 주택종합 전세가격 지수는 2008년 이후 전국 및 지방에 비해서 높은 증가추세를 보이는 것으로 나타났으며, Korea Statistical Information Service(2016.12.22. 접속 기준)의 순이동 인구를 살펴보면 서울특별시의 인구는 감소하는 경향을 보이지만 인천광역시와 경기도는 대체로 증가하는 경향을 보인다. 이는 전세가격 상승에 따른 서울특별시 전출인구의 인천광역시 및 경기도 이주에 따른 현상으로 파악된다. 이를 통해서 수도권이 점점 광역화되고 있으며, 인구집중 또한 심화되고 있음을 알 수 있다.

Metropolitan Transportation Authority(2016)의 2014년 기준 수도권 목적통행 현행화 결과를 살펴보면 전체 목적 통행 중 통근통행이 차지하는 비중은 19.2%로 귀가를 제외한 통행 중 가장 높은 비율을 차지하고 있다. OECD(2011)에 따르면 OECD 회원국의 전일제 근로자의 하루 통근 통근시간은 38분이며, 한국은 55분으로 남아프리카공화국(56분)에 이어 통근시간이 가장 긴 것으로 나타났다. 또한 통계청 보도자료(2016.04.20.)에 따르면 20

세 이상 취업자의 평일 평균 업무 관련 이동시간은 비수도권이 1시간 11분인 반면 수도권은 1시간 36분으로 수도권 통근자의 통근시간이 타 지역에 비해서 장시간 소요됨을 알 수 있다. Korea Research Institute for Human Settlements(2015)에 따르면 2014년 수도권 대중교통 이용자의 오전 및 오후 침두시 통행량은 23.5%를 차지하고 있으며, 특히 서울↔인천·경기간 통근 시 이동거리는 25km 이상, 통근시간은 50분 이상 소요되는 것으로 나타났다. 이처럼 수도권에서 통근통행의 비중은 상당히 높으며 비교적 장시간이 소요되고 있다. 하지만 현재 타당성조사 관련 지침에서는 통행시간가치 산정 시 통근통행을 비업무통행에 포함하고 있다. 해외 통행시간가치 산정결과를 살펴보면 통근통행에 대한 통행시간가치는 기타 비업무통행에 비해서 높은 것을 알 수 있다(Axhausen et al., 2004; Bates, 2012; Börjesson and Eliasson, 2014; Department for Transport, 2015; HETACO, 2006). 따라서 수도권 통행시간가치 산정 시 통근통행을 별도로 분리할 필요가 있다.

수도권에서는 2007년부터 대중교통 이용 수단에 관계없이 이용거리에 비례하여 요금을 징수하는 수도권 통합요금제를 시행하고 있다. Minister of Land Infrastructure and Transport & Korea Transportation Safety Authority(2016)에 따르면 대중교통 환승통행 비율(평일 기준)은 전국 평균 28.0%인 반면에 수도권은 29.8%(서울특별시), 30.5%(인천광역시), 32.3%(경기도)이며, Korea Statistical Information Service(2016.08.08. 접속 기준)의 시도별 수단간 환승비율을 살펴보면 전국 평균 53.2%에 비해서 서울특별시(59.4%), 인천광역시(60.1%), 경기도(60.9%)의 수단간 환승이 타 지역에 비해서 높은 것을 알 수 있다. 현재 타당성조사 관련 지침에서는 버스와 지하철에 대해서 별도의 통행시간가치를 제공하고 있다. 하지만 수도권 통합요금제 시행으로 인하여 주수단의 개념이 모호하며, 수도권 통행에서 비교적 높은 비율을 차지하는 환승통행을 현실적으로 반영하지 못하는 문제가 발생하게 된다.

앞서 언급한 바와 같이 기존 수도권 통행시간가치 산정시 사용된 자료는 전국 지역간 통행에 대한 조사 자료로 전체 통행 중 내부통행 비율이 97.6%인 수도권의 통행행태를 현실적으로 반영하지 못하는 한계가 있다. 또한 수도권은 전세가격 상승으로 인하여 점점 광역화 되고 있으며, 이에 따라서 귀가를 제외한 통행 중 가장 높은 비율을 차지하는 통근통행에 장시간이 소요되고 있다. 수도권의 경우 대중교통 수단간 높은 환승통행 비율을 보이고 있으며, 수도권 통합요금제 시행으로 주수단의 개념이 모호하다.

따라서 본 연구에서는 이러한 수도권의 통행행태를 현실적으로 반영하기 위하여 수도권 이용자를 대상으로 조사를 수행하였고 조사자료를 기반으로 기존 비업무 통행에 포함된 통근통행을 별도로 분리하여 통행시간가치를 산정하였다. 또한 수도권 대중교통 간 빈번하게 발생하는 환승통행 특성 및 수도권 통합요금제 시행 효과를 반영하기 위하여 기존 버스와 지하철로 구분된 통행시간가치를 통합하여 대중교통 통행시간 가치를 산정하였다.

기존 문헌 고찰

1. 타당성조사 관련 지침

현재 사용되고 있는 통행시간가치 원단위는 대부분 타당성조사 관련 지침에 수록되어 있으며, 대표적인 지침은 국토교통부의 교통시설 투자평가지침과 한국개발연구원의 예비타당성조사 표준지침이다. 한국개발연구원에서는 1999년 이후 도로 부문의 예비타당성조사 표준지침을 다섯 차례 개정하였으며, 업무통행과 비업무통행에 대한 통행시간가치 원단위를 제공하고 있다. 1999년 초기 지침에서는 비업무통행에 대한 통행시간가치 원단위는 별도로 제공하고 있지 않으며, 업무통행 시간가치 대비 1/3로 가정하였다(Korea Development Institute, 1999). 2000년 이후 개정된 4판, 5판 지침에서 승용차 운전자 및 이용자의 비업무통행 통행시간가치는 Korea Research Institute for Human Settlements(1999)에서 산정된 업무통행 대비 비업무통행 시간가치 비율인 32.7%를 동일하게 적용하고 있다. 2015년 6월 이후 예비타당성조사 수행 시 Korea Development Institute(2012)의 연구결과를 바탕으로 수정된 통행시간가치를 적용하고 있으며 업무통행 대비 비업무통행 시간가치 비율은 승용차 42.8%, 버스 22.0%, 철도 22.1%이다.

투자평가지침은 2002년 이후 2017년까지 총 여섯 차례 개정되었다. 투자평가 지침은 2차 개정까지는 Korea

Research Institute for Human Settlements(1999)의 산정 비율을 적용하였지만, 이후 개정된 지침에서는 The Korea Transport Institute(2008), Korea Rail Network Authority & The Korea Transport Institute(2010)에서 산정된 업무통행 대비 비업무통행 시간가치 비율을 적용하였다. 최근 고시된 6차 개정(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017)에서는 Korea Development Institute(2012)의 업무통행 대비 비업무통행 시간가치 비율을 적용하여 통행시간가치를 산정하고 있다.

2. 국내 연구 사례

본 연구의 범위에 부합하는 수도권, 대중교통, 통근통행에 대한 국내 통행시간가치 산정 사례를 검토하였다. 수도권을 대상으로 한 통행시간가치는 승용차 단일 수단에 대한 산정 사례와(Lee et al., 2003; Korea Research Institute for Human Settlements, 2003; Kim et al., 2014) 대중교통을 포함한 다 수단 산정 사례(Song, 1997; The Korea Transport Development Institute, 2007; Kahng, 1998; Cho and Kim, 1998; Kim et al., 1999; The Korea Transport Institute, 2008), 그리고 대중교통 수단에 대한 산정 사례(Yoon, 2000; Son et al., 2008)로 구분되어 있다. 통근통행에 대한 통행시간 산정 사례인 Lee et al.(2003)과 Korea Research Institute for Human Settlements(2003)에서는 통근통행 통행시간가치가 업무통행과 비업무통행에 비해서 낮은 것으로 나타났다. Kim et al.(2014)에서 시간, 요금을 고려한 통행시간가치 추정 결과에서는 비업무통행에 비해 통근통행의 시간가치가 높은 것으로 나타났지만, 여기에 거리를 고려하게 되면 오히려 비업무통행에 비해서 통근통행의 시간가치가 낮은 것으로 분석되었다.

3. 국외 연구 사례

통행목적을 기준으로 살펴보면 네덜란드, 영국, 스웨덴, 스위스는 통근통행을 별도로 구분하여 통행시간가치를 산정한 것으로 나타났다. 네덜란드는 통행 목적을 업무, 통근, 기타로 구분하고 있으며(Bates, 2012), 호주는 승용차에 대해서만 업무와 비업무로 구분하였다(Austrroads, 2012; Transport for NSW, 2013). 영국은 업무통행에 대한 시간가치를 고용자와 피고용자로 구분하여 통행수단별로 제시하고 있다(Department for Transport, 2015). 스웨덴은 통근통행과 기타통행에 대해서 시간가치를 산정하였으며, 승용차 통행의 경우 지역별 시간가치를 별도로 제시하고 있다(Börjesson and Eliasson, 2014). 프랑스에서는 화물자동차에 대한 시간가치를 별도로 제시하지 않고 있으며, 통행 목적을 업무, 개인휴가, 기타로 구분하고 있다(Meunier and Quinet, 2015). 스위스는 승용차와 대중교통 수단에 대해서 통행시간가치를 제공하고 있으며, 통행 목적은 업무, 통근, 쇼핑, 레저로 구분하고 있다(Axhausen et al., 2004). 미국은 통행수단별 시간가치는 별도로 제공하지 않으며, 통행 목적에 대해서만 업무와 개인으로 구분하고 있다(U.S. Department of Transportation, 2011).

각 국가별 통행시간가치 산정 기준년을 살펴보면 2003-2012년까지 다양하게 분포되어 있다. 따라서 동일한 시점에서 비교하기 위하여 명목GDP와 실질GDP를 이용하여 각 국가별 2014년 기준 GDP Deflator를 산정하였고, 2014년 12월 31일 기준 환율을 적용하여 원화로 환산하였다. 승용차 업무통행을 기준으로 호주의 통행시간가치가

Table 1. Comparison of business trips value of travel time (auto user) by country

Country	Researcher	Value of travel time(won) base year 2014	Percentage of value of travel time to GDP per person
AUS	Transport for NSW (2013)	58,506	0.0825%
AUS	Austroads (2013)	51,253	0.0768%
NLD	Bates (2012)	41,110	0.0752%
GBR	Department of Transport (2015)	56,261	0.1156%
FRA	Meunier (2015)	50,778	0.1071%
CHE	Axhausen et al. (2004)	41,591	0.0785%
USA	U.S. Department of Transportation (2011)	28,298	0.0499%
KOR	Korea Development Institute (2008)	22,490	0.0823%

가장 높은 것으로 나타났으며, 유럽권의 통행시간가치는 미국과 한국에 비해서 대체로 높은 수준으로 나타났다. 하지만 해당연도의 1인당 GDP 대비 통행시간가치 비율을 기준으로 살펴보면 유사한 수준인 것으로 나타났다. 이는 Table 1에 제시되어 있다.

4. 연구의 차별성

기존 수도권 통행시간가치 산정 연구에서는 특정 통행목적 또는 특정 통행수단에 대한 통행시간가치를 산정하였다. 하지만 본 연구에서는 수도권의 장거리 통근통행 특성 반영을 위하여 기존 비업무통행에 포함된 통근통행을 별도로 분리하여 통행시간 가치를 산정하였다. 또한 수도권의 경우 통합요금제 시행으로 인하여 환승에 따른 요금을 할인받고 있으며, 빈번한 환승으로 인하여 주수단의 개념이 모호해진다. 따라서 기존 버스와 지하철로 구분된 통행시간 가치를 통합하여 대중교통 통행시간가치를 산정하였다.

분석 자료 수집

모형 구축을 위하여 수도권 통행자를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 조사내용은 통행목적, 통행수단, 차내 통행시간 및 차외 통행시간, 통행비용, 차량보유 유무, 차량보유 대수, 성별이다. 설문조사는 조사 당시의 통행목적, 통행수단을 조사하였으며 출발지에서 목적지까지 소요되는 통행시간, 통행비용을 조사하였다. 통행수단 선택 행태를 현실적으로 반영하기 위하여 조사 당시 이용 예정인 교통수단(선택 대안)과 이용하지 않는 교통수단(비선택 대안)에 대한 통행시간 및 통행비용을 모두 알고 있는 통행자를 대상으로 설문조사를 수행하였다. 조사 대상자 중 다중 통행목적(업무 & 비업무, 통근 & 업무 등) 통행자 및 복합 교통수단 이용자(버스 & 지하철 등)는 제외하였다.

조사지역은 서울특별시, 인천광역시, 경기도로 한정하였다. 서울특별시와 경기도의 경우 4개의 권역으로 구분하여 조사를 수행하였다. 경기도의 경우 지역적 범위가 광범위하므로 Statistics Korea Press Releases(2011.09.22)의 2010년 기준 서울로 통근·통학하는 비율이 10% 이상인 지역으로 선정하였다. 이 중 강남권역에 인접한 과천시, 성남시는 조사대상 지역에서 제외하였다. 이는 타 경기도 지역에 비해서 비교적 단거리 위주의 통행행태를 보이기 때문이다. 다음으로 지하철이 운행하지 않는 지역을 제외하여 고양시, 남양주시, 용인시를 대상으로 선정하였으며, 경기도에서 가장 많은 인구가 거주하고 있는 수원시를 조사대상 지역에 포함하였다. 조사 장소는 버스와 지하철 이용자에 대한 조사가 용이하고 비교적 유동인구가 많은 지하철역, 복합 환승센터 등을 최우선으로 고려하였다.

수도권 통행자의 통행실태를 파악하기 위하여 총 1,100부의 표본을 조사지역별로 할당하였다. 1,100부 중 서울특별시 500부, 인천광역시 200부, 경기도 400부로 할당하여 설문조사를 진행하였다. 각 권역별 조사부수는 주민등록 인구를 기준으로 할당하였고, Metropolitan Transportation Authority(2016)을 이용하여 통행목적 및 통행수단별 표본을 할당하였다. 설문조사는 2016년 3월 21일부터 31일까지 10일 동안 이루어졌다. 자료 수집 결과 조사 부수는 1,091부로 조사 수행률은 당초 계획대비 99.2%였다. 이 중 답변 누락, 응답 오류와 같은 부실자료를 제거하여 유효 표본 수는 851개로 나타났다.

조사된 유효 표본을 대상으로 기초통계 분석을 수행하였다. 차내 통행시간, 차외 통행시간, 통행비용, 자동차 보유대수는 각 응답자들의 평균값이며 성별과 승용차 보유유무는 각 수단별, 통행목적별 비율이다. 분석결과 승용차의 평균 차내 통행시간이 가장 작은 것으로 나타났으며, 버스에 비해서 지하철의 차내 통행시간이 작은 것으로 분석되었다. 평균 차외 통행시간의 경우 버스와 지하철이 유사한 것으로 나타났다. 통행비용은 승용차가 가장 많이 소요되는 것으로 나타났다. 지하철에 비해서 버스의 평균 통행비용이 더 비싼 것으로 분석되었으며 이는 지하철, 지선/간선/일반버스에 비해서 기본요금이 약 2배 정도 비싼 광역/좌석/직행/M버스 이용자의 통행비용이 평균 통행비용 산정에 미친 영향 때문으로 판단된다. 전체 조사자 중 80.6%는 차량을 보유하고 있는 것으로 나타났으며, 여성의 비율은 51.9%로 조사되었다. 조사 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Mean and sample ratio of surveyed data

Trip purpose	Mode	Number of samples	Mean			Presence or absence of passenger car			Gender	
			In vehicle travel time (min.)	Out of vehicle travel time (min.)	Travel cost (won)	Number of passenger cars	Absence	Presence	Male	Female
Business trip	Auto	109	31	-	3,584	1.39	0.0%	12.8%	8.0%	4.8%
	Bus	58	51	14	1,849	0.84	2.0%	4.8%	4.1%	2.7%
	Subway	55	48	15	1,561	0.87	1.9%	4.6%	3.4%	3.1%
Commute trip	Auto	113	28	-	2,743	1.44	0.2%	13.0%	8.0%	5.3%
	Bus	81	47	13	1,581	0.79	3.2%	6.3%	4.3%	5.2%
	Subway	54	32	15	1,399	0.87	2.1%	4.2%	2.6%	3.8%
Non-business trip	Auto	122	25	-	2,256	1.36	0.4%	14.0%	5.2%	9.2%
	Bus	148	51	14	1,630	0.85	5.9%	11.5%	6.7%	10.7%
	Subway	111	44	14	1,496	0.86	3.8%	9.3%	5.8%	7.3%

모형 추정 및 통행시간가치 산정 결과

1. 모형 구축

조사 자료를 기반으로 모형 구축을 위한 변수를 설정하였다. 수단선택모형 구축 시 변수 설정방법에 따라서 효용함수식이 결정된다. 이는 일반적으로 선택수단이 가지고 있는 특성과 해당 수단을 선택하는 개인의 특성으로 구분된다. 선택수단의 특성에 해당하는 변수는 기준대안에 대한 상대적인 선호를 나타내는 대안특정상수(alternative specific constant), 모든 수단에 대해 동일한 값을 적용하는 일반변수(generic variable), 동일한 설명변수지만 수단 간 서로 다른 값을 갖는 대안특정변수(alternative specific variable)로 구분된다. 개인특성 변수는 조사 대상자의 성별, 승용차 보유 대수 등과 같은 사회경제 변수(socioeconomic variable)를 말한다. 본 연구에서는 종속변수를 선택 수단으로 설정하였으며 독립변수는 차내 통행시간, 차외 통행시간, 통행비용, 승용차 보유 유무, 승용차 보유대수, 성별로 설정하였다. 해당 변수의 정의는 Table 3과 같다.

Table 3. Definition of variables

	Variable	Definition
Dependent variable	Selection mode	Non-selection: 0, Selection: 1
Independent variable	In vehicle travel time (min)	Auto, public transit in vehicle travel time
	Out of vehicle travel time (min)	Public transit out of vehicle travel time (access and waiting time)
	Travel cost (won)	Auto operation cost, Public transit fare
	Presence or absence of passenger car	Absence: 0, Presence: 1
	Number of passenger cars	Number of passenger cars per household
	Gender	Male: 0, Female: 1

Ryu(2008)에 따르면 통행시간과 통행비용 사이에는 비교적 높은 상관관계가 내재되어 있으며, 이는 다중공선성(multicollinearity)의 문제를 야기하여 변수들의 신뢰도 저하를 유발한다고 하였다. 하지만 모형구축에 있어서 중요한 의미를 갖는 변수의 경우 다중공선성 문제를 야기하더라도 분석가의 판단에 따라 변수를 포함시켜 분석할 수 있다(Kim et al., 2005). 본 연구의 목적은 확률선택모형 구축을 통한 통행시간가치 산정이다. 따라서 통행시간과 통행비용의 계수 비율을 이용하게 된다. 이에 본 연구에서는 통행시간과 통행비용을 모두 독립변수로 선정하였다. 모형 구축 시 설명력을 높이는 방향으로 각 통행목적별 독립변수를 설정하고 효용함수의 형태를 결정하였다. 먼저 독립변수별 계수 부호의 적정성 및 통계적 유의성을 기준으로 독립변수를 구성하였다. 다음으로 선정된 독립변수를 기준으로 모형 적합도(ρ^2)가 가장 높은 효용함수를 구성하여 모형을 구축하였다.

2. 대중교통 구분모형 추정 결과

대중교통수단 간 계수 비교를 위하여 대중교통 구분모형을 구축하였다. 이는 동일한 통행목적별로 버스와 지하철의 계수가 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 검정하기 위함이다. 만약에 동일한 통행목적에서 대중교통 수단인 버스와 지하철의 계수가 통계적으로 유의미한 차이가 있다면 대중교통 구분모형 구축이 필요하며, 반대의 경우라면 대중교통 통합모형을 구축할 수 있다. 대중교통 구분모형 구축을 위하여 통행목적은 업무통행, 통근통행, 비업무통행으로 구분하였으며 수단 선택 대안은 승용차, 버스, 지하철로 설정하였다.

모든 통행목적에 대하여 승용차의 경우에는 ‘차내 통행시간’과 ‘통행비용’을 효용함수에 포함하였다. 대중교통 수단인 버스와 지하철은 ‘차내 통행시간’과 ‘통행비용’ 외에 ‘차외 통행시간’을 효용함수에 포함하였다. 대중교통 구분모형 구축 시 대안특정변수인 버스와 지하철의 ‘차외 통행시간’과 ‘통행비용’을 구분하여 모형을 구축할 경우 계수의 설명력이 확보되지 않는 문제가 발생하였다. 따라서 ‘차외 통행시간’과 ‘통행비용’을 대중교통 수단에 대한 일반변수로 설정하였다. 업무통행 모형에서는 사회경제변수 중 ‘승용차 보유대수’를 승용차의 효용함수에 포함하였으며, ‘성별’의 경우에는 지하철의 효용함수에 추가하였다. 통근통행의 경우에는 ‘자동차 보유 유무’와 ‘성별’을 승용차 효용함수에 포함하였다. 마지막으로 비업무통행은 승용차의 효용함수에 ‘승용차 보유 유무’를 포함하여 대중교통 구분모형에 대한 통행목적별 효용함수를 구성하였다.

본 연구에서는 모형 간 비교를 위하여 네스티드 로짓 모형과 다항 로짓 모형을 구축하였다. 이는 두 모형의 계수 부호 적정성 및 모형 적합도를 기준으로 수도권 통행시간 가치 산정을 위한 확률선택모형을 선택하기 위함이다. 네스티드 로짓 모형의 종속변수는 2단계의 나뉘가지 구조로 구성하여 모형을 구축하였다. 첫 번째 단계는 승용차와 대중교통으로 구성된 이항 선택항목이며, 두 번째 단계는 대중교통을 버스와 지하철의 이항 선택항목으로 모형을 구축하였다. 본 연구에서는 확률선택모형 구축을 위하여 계량경제 및 통계 분석 소프트웨어인 NLOGIT ver.5를 이용하였으며 Table 4는 네스티드 로짓 모형 추정 결과를 보여주고 있다. 추정 결과에 따르면 차내 통행시간, 차외 통행시간, 통행비용의 계수는 (-) 부호를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 통행시간가치 산정 시 사용되는 통행비용 계수에 대한 통계적 유의성 검토결과 업무통행의 대중교통 통행비용을 제외한 나머지 통행비용 계수의 통계적 유의성이 확보되지 못한 것으로 분석되었다.

Table 4. Estimation result of nested logit model by public transit mode

Variable			Business trip coefficient	Commute trip coefficient	Non-business trip coefficient
Alternative specific constants	Bus		2.86242***	3.34954***	3.20178***
	Subway		2.22387***	3.16379***	2.87235***
Alternative specific variable and generic variable	In vehicle travel time (min)	Auto	-0.06742***	-0.02929*	-0.03884**
		Bus	-0.04065***	-0.02182***	-0.01795**
		Subway	-0.04286***	-0.02745***	-0.01807**
	Out of vehicle travel time (min)	Public transit	-0.08222*	-0.03171	-0.04518
		Travel cost (won)			
		Auto	-0.00016	-0.00014	-0.00024
	Public transit	-0.00062*	-0.00036	-0.00042	
Socioeconomic variables	Female		0.56829*	-0.64428**	-
	Number of passenger cars		1.53495***	-	-
	Presence or absence of passenger car		-	3.23978***	2.85829***
Summary statistics			Observations: 222	Observations: 248	Observations: 381
			Variables: 10	Variables: 10	Variables: 9
			LL($\hat{\beta}$): -182.2998	LL($\hat{\beta}$): -203.3499	LL($\hat{\beta}$): -348.6880
			LL(0): -232.1286	LL(0): -261.7794	LL(0): -415.7709
			ρ^2 : 0.215	ρ^2 : 0.223	ρ^2 : 0.161
			$\bar{\rho}^2$: 0.172	$\bar{\rho}^2$: 0.185	$\bar{\rho}^2$: 0.140

note: *significance level 0.1, **significance level 0.05, ***significance level 0.01

Table 5는 다항 로짓 모형 추정 결과를 보여주고 있다. 네스티드 로짓 모형과 동일한 효용함수를 이용하여 구축한 다항 로짓 모형 추정 결과 차내 통행시간, 차외 통행시간, 통행비용의 계수는 (-) 부호를 보이는 것으로 나타났다. 통행비용 계수에 대한 통계적 유의성 검토결과 업무통행의 대중교통을 제외한 나머지 계수들은 유의수준 0.1(허용 오차 10%)에서 통계적 유의성을 확보하는 것으로 분석되었다.

네스티드 로짓 모형과 다항 로짓 모형간 합리성 비교를 위하여 카이제곱 차이 값을 이용한 우도비를 비교하였다. 비교결과 자료 적합도 측면에서 업무통행과 비업무 통행은 두 모형간 유의미한 차이가 없고, 통근통행 모형에서만 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 통근통행의 경우 네스티드 로짓 모형을 사용하는 것이 적절하지만 대부분의 통행목적에서 통행비용 계수의 통계적 유의성이 확보되지 않았기 때문에 본 연구에서는 두 모형 중 다항 로짓 모형을 이용하여 확률선택모형을 구축하였다. 우도비 검정 통계량 결과는 Table 6과 같다.

다항 로짓 모형의 추정결과를 이용하여 버스와 지하철의 차내 통행시간 계수를 비교하였다. 계수 비교는 Ben-Akiva and Lerman(1985)에 제시된 소집단별 계수 비교 방법을 이용하였다.

Table 5에 제시된 계수를 기준으로 비교한 결과 각 통행목적별 *t*-통계량은 유의수준 0.1에서의 *t*값 1.282 보다 작으므로 대립가설을 기각하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 각 통행목적별 버스와 지하철의 차내 통행시간 계수는 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 이에 본 연구에서는 버스와 지하철에 대한 대중교통 통합모형을 구축하였다. 소집단별 계수 비교 결과는 Table 7과 같다.

Table 5. Estimation result of multinomial logit model by public transit mode

Variable			Business trip coefficient	Commute trip coefficient	Non-business trip coefficient
Alternative specific constants	Bus		2.89403***	4.14605***	3.20438***
	Subway		2.01451**	3.75929***	2.80696***
Alternative specific variable and generic variable	In vehicle travel time (min)	Auto	-0.07304***	-0.04484**	-0.04070***
		Bus	-0.04966***	-0.03653***	-0.02101***
		Subway	-0.05069***	-0.04894***	-0.02127***
	Out of vehicle travel time (min)	Public transit	-0.08225**	-0.06482*	-0.04205
		Travel cost (won)			
		Auto	-0.00020*	-0.00022**	-0.00027**
	Public transit	-0.00062	-0.00066**	-0.00048*	
Socioeconomic variables	Female		0.69745**	-0.65179**	-
	Number of passenger cars		1.55936***	-	-
	Presence or absence of passenger car		-	3.34427***	2.86240***
Summary statistics			Observations: 222 Variables: 10 <i>LL</i> (β): -182.5759 <i>LL</i> (0): -232.1286 ρ^2 : 0.213 $\bar{\rho}^2$: 0.170	Observations: 248 Variables: 10 <i>LL</i> (β): -207.4976 <i>LL</i> (0): -261.7794 ρ^2 : 0.207 $\bar{\rho}^2$: 0.169	Observations: 381 Variables: 9 <i>LL</i> (β): -348.7515 <i>LL</i> (0): -415.7709 ρ^2 : 0.161 $\bar{\rho}^2$: 0.139

note: *significance level 0.1, **significance level 0.05, ***significance level 0.01

Table 6. Result of likelihood ratio test

Trip purpose	Test statistic	Degree of freedom	χ^2 (0.05)
Business trip	0.5522		
Commute trip	8.2954	1	3.84
Non-business trip	0.1270		

Table 7. Comparisons of travel time coefficient between buses and subways by different trip purposes

Category	Bus		Subway		t-statistics	$H_1 : \beta_k^1 \neq \beta_k^2$ rejection
	Coefficient	S.E.	Coefficient	S.E.		
Business trip	-0.04966	0.01019	-0.05069	0.01031	0.071054	×
Commute trip	-0.03653	0.00847	-0.04894	0.01055	0.917265	×
Non-business trip	-0.02101	0.00636	-0.02127	0.00704	0.027405	×

3. 대중교통 통합모형 추정 결과

모든 통행목적에 대해서 버스와 지하철에 대한 대안특정상수는 (+) 부호를 갖는 것으로 나타났다. Seoul Metropolitan Government(2015)에 제시된 2013년 서울 유출입 통행 기준 버스와 지하철의 1일 수송 분담률이 65.9%임을 감안하였을 때 이는 합리적인 결과로 판단된다.

각 수단의 대안특정변수 및 일부 일반변수인 차내 통행시간, 차외 통행시간, 통행비용 계수 부호에 대한 적합성을 검정하였다. 모든 통행수단 및 통행목적에 대하여 차내 통행시간, 차외 통행시간, 통행비용의 계수는 (-) 부호를 가지는 것으로 분석되었다. 이는 통행자는 출발지부터 목적지까지 이동시 통행시간과 통행비용이 적은 수단을 선호한다는 행태적 가설을 만족하는 것으로 해석할 수 있다.

사회경제변수 중 승용차 보유 유무 및 승용차 보유대수에 대한 부호 적합성 검정 결과 승용차 이용자는 승용차를 보유하고 있거나 혹은 승용차 보유대수가 많을수록 승용차 이용을 선호하는 것으로 분석되었다. 이 또한 매우 상식적인 결과로 판단된다. 성별에 따른 부호의 적합성 검토결과 업무통행에서는 남성에 비해서 여성이 상대적으로 지하철을 선호하는 것으로 나타났고, 통근통행에서는 남성이 여성에 비해서 상대적으로 승용차를 선호하는 것으로 나타났다. 여성운전자에 비해서 상대적으로 남성운전자 수가 많음을 감안하였을 때 상식적인 범위 내에서 설명되는 현상으로 논리적 문제를 야기하지는 않는 것으로 판단된다.

각 모형의 계수에 대한 통계적 유의성 확인 결과 비록 비업무통행의 차외 통행시간은 유의수준 0.1에서 통계적 유의성을 확보하지 못하는 것으로 나타났지만 이를 제외한 나머지 대안특정상수, 대안특정변수 및 일부 일반변수, 사회경제변수는 모두 통계적 유의성을 확보하는 것으로 분석되었다. 분석 결과는 Table 8과 같다.

본 연구에서는 수도권 통행 특성에 따라서 기존 비업무통행에 포함되어 있던 통근 통행을 별도로 분리하였다. 따라서 실제로 통근통행 모형과 비업무통행 모형이 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 검정하는 과정이 필요하다. 통근통행 모형과 비업무통행 모형의 비교를 위하여 Ben-Akiva and Lerman(1985)에 제시된 소집단과 전체 집단 모형 비교를 위한 가설검정 방법을 이용하였다. 소집단은 통근통행 대중교통 통합모형과 비업무통행 대중교통 통합모형이며, 통근통행과 비업무통행 조사 자료를 이용하여 전체 집단인 통근+비업무통행 대중교통 통합모형을 구축하였다.

Table 8. Estimation result of public transit integrated model (multinomial logit)

Variable			Business trip coefficient	Commute trip coefficient	Non-business trip coefficient
Alternative specific constants	Bus		2.89195***	4.15995***	3.20379***
	Subway		1.96964**	3.31173***	2.79478***
Alternative specific variable and generic variable	In vehicle travel time (min)	Auto	-0.07292***	-0.04443**	-0.04070***
		Public transit	-0.05016***	-0.04007***	-0.02110***
	Out of vehicle travel time (min)	Public transit	-0.08241**	-0.06110*	-0.04198
		Travel cost (won)	Auto	-0.00020*	-0.00021**
	Public transit	-0.00060*	-0.00058*	-0.00048*	
Socioeconomic variables	Female		0.69660**	-0.65053**	-
	Number of passenger cars		1.55664***	-	-
	Presence or absence of passenger car		-	3.33688***	2.86216***
Summary statistics	Observations: 222		Observations: 248	Observations: 381	
	Variables: 9		Variables: 9	Variables: 8	
	$LL(\hat{\beta})$: -182.5837		$LL(\hat{\beta})$: -208.5712	$LL(\hat{\beta})$: -348.7525	
	$LL(0)$: -232.1286		$LL(0)$: -261.7794	$LL(0)$: -415.7709	
	ρ^2 : 0.213		ρ^2 : 0.203	ρ^2 : 0.161	
	$\bar{\rho}^2$: 0.175		$\bar{\rho}^2$: 0.169	$\bar{\rho}^2$: 0.142	

note: * significance level 0.1, ** significance level 0.05, *** significance level 0.01

통근+비업무통행 대중교통 통합모형 구축 결과 모든 통행수단 및 통행목적에 대하여 차내 통행시간, 차외 통행시간, 통행비용의 계수는 (-) 부호를 가지는 것으로 분석되었다. 계수에 대한 통계적 유의성 검정 결과 모든 변수는 유의수준 0.05에서 통계적 유의성을 확보하는 것으로 나타났다. McFadden(1976)에 따르면 모형의 적합도(ρ^2)는 0.2-0.4 사이의 값을 가지면 아주 좋은 적합도를 가지는 것으로 평가할 수 있다. 모형의 적합도(ρ^2)는 0.166으로 높지는 않은 것으로 분석되었다. 통근+비업무통행 대중교통 통합모형 구축 결과는 Table 9와 같다.

본 연구에서는 수도권외의 통행 특성을 반영하여 기존 타당성조사 관련 지침에서 비업무통행에 포함되어 있던 통근 통행을 별도로 분리하였다. 하지만 실제로 통근통행 모형과 비업무통행 모형이 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 파악하기 위하여 앞서 구축된 두 모형 간 우도비 검정을 수행하였다. 우도비 검정 통계량은 24.94로 유의수준 0.1에서 귀무가설이 기각되었다. 따라서 두 모형 간 추정계수 값의 벡터는 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 수도권을 대상으로 통행시간가치를 산정할 때에는 기존 비업무통행에 포함되어 있는 통근통행을 별도로 분리하는 방안이 합리적인 것으로 판단된다. 우도비 검정 통계량 결과는 Table 10과 같다.

Table 9. Estimation result of public transit integrated model including commute and non-business (multinomial logit)

Variable		Business trip coefficient	Commute trip coefficient	Non-business trip coefficient	
Alternative specific constants	Bus	2.89195***	4.15995***	3.36097***	
	Subway	1.96964**	3.31173***	2.82022***	
Alternative specific variable and generic variable	In vehicle travel time (min)	Auto	-0.07292***	-0.04443**	-0.04318***
		Public transit	-0.05016***	-0.04007***	-0.02680***
	Out of vehicle travel time (min)	Public transit	-0.08241**	-0.06110*	-0.04775**
		Travel cost (won)	Auto	-0.00020*	-0.00021**
	Public transit	-0.00060*	-0.00058*	-0.00048**	
Socioeconomic variables	Female	0.69660**	-0.65053**	-0.39081**	
	Number of passenger cars	1.55664***	-	-	
	Presence or absence of passenger car	-	3.33688***	3.03100***	
Summary statistics		Observations: 222 Variables: 9 $LL(\hat{\beta})$: -182.5837 $LL(0)$: -232.1286 ρ^2 : 0.213 $\bar{\rho}^2$: 0.175	Observations: 248 Variables: 9 $LL(\hat{\beta})$: -208.5712 $LL(0)$: -261.7794 ρ^2 : 0.203 $\bar{\rho}^2$: 0.169	Observations: 629 Variables: 9 $LL(\hat{\beta})$: -569.7931 $LL(0)$: -683.5524 ρ^2 : 0.166 $\bar{\rho}^2$: 0.153	

note: * significance level 0.1, ** significance level 0.05, *** significance level 0.01

Table 10. Estimation result of likelihood ratio test statistic

Category		Commute trip model	Non-business trip model
Number of parameters of commute trip and non-business trip models	K_g	9	8
Number of parameters of public transit integrated (commute and non-business) model	K		9
Degrees of freedom	Degrees of freedom		8
Maximum log-likelihood function value of the commute trip model and non-business trip model	$L_N(\hat{\beta}^g)$	-208,571	-348,753
Maximum log-likelihood function value of the commute trip model + non-business trip model	$L_N(\hat{\beta})$		-569,793
Likelihood ratio test statistic	χ^2		24,93884
Value of χ^2 in degree of freedom 8 and level of significance	$\chi^2_{(8),0.05}$		13.36
H_0 rejection			○

4. 혼합 로짓 모형 추정 결과

수도권 통행자들에 대해서 속성별 계수가 응답자에 따라서 다양성을 나타내는지 분석하기 위하여 혼합 로짓 모형을 구축하였다. 각 통행목적별 변수 선정 및 효용함수 구성은 앞서 구축한 대중교통 통합모형과의 비교를 위하여 동일하게 적용하였다. 계수의 선호 다양성은 차내 통행시간, 차외 통행시간, 통행비용에 대해서 분석하였다.

혼합 로짓 모형 구축 시 계수에 대한 분포는 정규분포와 로그정규분포가 주로 사용되며, 가격과 같이 모든 응답자의 계수 부호가 동일하다면 로그정규분포가 적합할 수 있다(Train, 2009). 혼합 로짓 모형을 이용한 통행시간가치 산정 시 분모로 사용되는 통행비용 계수에 대한 분포 가정은 특히 중요하다. 만약에 통행비용에 0이 포함되어 있다면 이를 이용하여 산정한 통행시간가치는 무한대의 값을 가지기 때문이다. 따라서 통행시간가치 산정 시 통행비용에 대한 분포 가정 시 정규분포를 사용하는 것은 바람직하지 못한 것으로 판단된다. 로그정규분포의 경우 분포함수가 long tail을 지니고 있어서 지불의사액(Willingness To Pay, WTP)이 과대 추정되는 경향이 있으며, 최대우도 추정시 수렴하지 않는 문제점이 있다(Jung, 2009). 본 연구에서는 통행시간과 통행비용의 계수가 모두 (-)부호를 갖기 때문에 계수의 분포를 우측절단(right censored (or truncated)) 정규분포로 가정하여 혼합 로짓 모형을 구축하였다.

다항 로짓 모형에서는 계수 추정을 위하여 최우추정법(Maximum Likelihood, MLE)을 사용하지만 혼합 로짓 모형에서는 시뮬레이션 최우추정법(Maximum Simulated Likelihood, MSLE)이 사용된다(Lee, 2003). 시뮬레이션 반복횟수가 250회 정도 되면 최우추정량의 편의는 무시할만한 수준이 된다(Brownstone and Train, 1999). 따라서 본 연구에서도 250회를 시뮬레이션 반복횟수로 설정하였다.

혼합 로짓 모형을 이용한 업무통행 대중교통 통합모형 추정 결과 모든 계수는 유의 수준 0.1에서 통계적 유의성을 만족하는 것으로 분석되었지만 계수의 표준편차는 모두 통계적 유의성을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 표준편차가 통계적 유의성을 갖지 못하는 경우 통계적으로 표준편차가 0인 경우로 해당 속성에 대한 선호의 다양성이 존재하지 않는다는 것을 의미한다. 통근통행 대중교통 통합모형은 대중교통 차내 통행시간 계수만이 통계적 유의성을

Table 11. Estimation result of public transit integrated model (mixed logit)

Variable		Business trip coefficient (Std. dev.)	Commute trip coefficient (Std. dev.)	Non-business trip coefficient (Std. dev.)	
Alternative specific constants	Bus	2.90353***	30.7779	3.23121***	
	Subway	1.97965**	29.5207	2.78128***	
Alternative specific variable and generic variable	In vehicle travel time (min)	Auto	-0.07305*** (0.00023)	-0.04032 (0.07723)	-0.05069*** (0.00059)
		Public transit	-0.05024*** (0.00026)	-0.09770*** (0.00902)	-0.02637** (0.01689***)
	Out of vehicle travel time (min)	Public transit	-0.08302* (0.00883)	-0.30190 (1.4658)	-0.03681 (0.00078)
		Travel cost (won)	Auto	-0.00020* (0.21D-05)	-0.00173 (0.00174)
Public transit	-0.00060* (0.93D-05)		-0.00122 (0.00089)	-0.00051* (0.53D-04)	
Socioeconomic variables	Female	0.69853*	-3.69972	-	
	Number of passenger cars	1.56113***	-	-	
	Presence or absence of passenger car	-	28.3310	2.97297***	
Summary statistics		Observations: 222 Variables: 14 LL($\hat{\beta}$): -182.5739 LL(0): -232.1286 ρ^2 : 0.213 $\bar{\rho}^2$: 0.153	Observations: 248 Variables: 14 LL($\hat{\beta}$): -200.0828 LL(0): -261.7794 ρ^2 : 0.236 $\bar{\rho}^2$: 0.182	Observations: 381 Variables: 13 LL($\hat{\beta}$): -347.9639 LL(0): -415.7709 ρ^2 : 0.163 $\bar{\rho}^2$: 0.132	

note: * significance level 0.1, ** significance level 0.05, *** significance level 0.01

확보하는 것으로 분석되었으며, 모든 계수의 선호 다양성은 존재하지 않는 것으로 분석되었다. 비업무통행 대중교통 통합모형에서는 대중교통 차외 통행시간 계수를 제외한 모든 계수가 유의수준 0.1에서 통계적 유의성을 확보하는 것으로 분석되었으며, 특히 대중교통 차내 통행시간의 경우 선호 다양성이 존재하는 것으로 분석되었다. 비업무통행에는 쇼핑, 여가 등 다양한 통행목적이 혼재되어 있다. 업무통행과 통근통행의 경우 대중교통 이용자는 항상 동일한 수준의 통행시간 및 차내 혼잡도를 경험하게 된다. 하지만 비업무통행 시 통행시간보다는 차내 혼잡도, 안락감, 입석 여부 등이 더 중요한 고려 요소가 된다. 따라서 비업무통행 시 대중교통 이용자들이 차내 통행시간에 대해서 체감하는 효용은 업무통행이나 통근통행에 비해서 다양하게 나타나며, 이로 인해 대중교통 이용자의 차내 통행시간에 대한 선호 다양성은 존재하는 것으로 판단된다. 혼합 로짓 모형 추정 결과는 Table 11과 같다.

5. 통행시간가치 산정 결과

본 연구에서는 먼저 네스티드 로짓 모형과 다항 로짓 모형의 두 가지 형태로 대중교통 구분모형을 구축하였으며 계수의 통계적 유의성을 기준으로 다항 로짓 모형을 선택하였다. 다음으로 차내 통행시간 계수 비교결과 버스와 지하철의 차내 통행시간 계수는 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 분석되어 다항 로짓 모형 기반 대중교통 통합모형을 구축하였다. 대중교통 통합모형은 다항 로짓 모형뿐만 아니라 혼합 로짓 모형을 구축하여 수도권 통행자들의 통행시간 및 통행비용에 대한 선호 다양성을 분석하였다. 선호 다양성 분석 결과 비업무통행의 대중교통 차내 통행시간만이 선호 다양성이 존재하는 것으로 분석되었다. 또한 통근통행 모형의 경우 대부분의 계수값이 통계적 유의성을 확보하지 못한 것으로 분석되어 본 연구에서는 다항 로짓 모형 기반 대중교통 통합모형을 이용하여 통행목적별 수도권 통행시간가치를 산정하였다.

통행시간가치는 통행시간과 통행비용의 계수를 이용한 한계대체율법으로 산정하였다. 대중교통 통행시간가치 산정 시 차외 통행시간을 제외한 차내 통행시간 계수와 통행비용 계수를 이용하였다. 승용차 이용자의 통행시간가치는 업무통행 21,876원, 통근통행 12,694원, 비업무통행이 9,044원이며 대중교통 이용자의 통행목적별 시간가치는 각각 5,016원, 4,145원, 2,638원으로 나타났다. 수단별 통행시간가치 비교결과 대중교통에 비해서 승용차 이용자의 통행시간가치가 상대적으로 크게 나타났다. 통행목적별로 비교해 보면 업무통행의 시간가치가 가장 크고 다음으로 통근통행, 비업무통행의 순서로 나타났다. 통행시간가치 산정 결과는 Table 12와 같다.

Table 12. Estimation result of value of travel time by trip purpose and mode

(unit: won/hour · person)

Category	Business trip	Commute trip	Non-business trip (excluding commute trip)
Passenger car users	21,876	12,694	9,044
Public transit users	5,016	4,145	2,638

대중교통 이용자의 업무통행 대비 통근통행, 비업무통행의 비율은 각각 82.6%, 52.6%이며, 승용차 이용자의 경우에는 58.0%와 41.3%로 나타났다. 승용차 이용자의 업무 대비 통근 및 비업무통행의 시간가치 비율이 상대적으로 낮은 이유는 이용 수단의 통행비용 차이 때문으로 판단된다. 대중교통은 기본 운임을 기준으로 통행비용이 결정되며 거리비례제를 적용하고 있기는 하지만 증가폭이 크지 않다. 따라서 평균 통행비용에 대한 표준편차가 승용차에 비해서 상대적으로 작은 경향을 보인다. 반면 승용차의 경우 주행거리에 따라서 통행비용이 결정되기 때문에 대중교통 요금에 비해서 상대적으로 표준편차가 크게 나타난다.

승용차 이용자에게 비해서 대중교통 이용자의 업무통행 통행시간가치는 약 1/4 수준으로 나타났다. 예를 들어 일산 대화역에서 강남역 이동시(다음지도 검색 기준) 승용차 유류비는 4,617원, 통행시간은 60분이 소요되며 버스는 2,600원, 80분, 지하철은 1,850원, 76분이 소요된다. 이를 분당 비용으로 환산해보면 승용차 77원/분, 버스 31원/분, 지하철 24원/분이 된다. 앞서 설명한 바와 같이 지역 간 통행과 달리 수도권내에서 대중교통을 이용한 장거리 이

동 시 거리 증가에 따른 통행요금 증가폭은 크지 않은 반면에 승용차는 주행거리에 따라서 통행비용이 증가하기 때문에 대중교통 이용자에 비해서 통행시간가치가 상대적으로 크게 나타나는 것으로 판단된다.

6. 통행시간가치 검증

대중교통 이용자의 통행시간가치인 차내 통행시간가치와 차외 통행시간가치를 비교하였다. 통행목적별로 살펴 보면 업무통행은 차내 통행시간가치 대비 차외 통행시간 가치는 1.64배 크며, 통근통행과 비업무통행의 경우에도 각각 1.52배, 1.99배 큰 것으로 나타났다. 대중교통 수단의 통행목적별 차내 통행시간과 차외 통행시간 비율은 Table 13과 같다.

Table 13. Out of vehicle value of travel time ratio over in vehicle value of travel time (unit: won/hour · person)

Category	Business trip	Commute trip	Non-business trip (excluding commute trip)
In vehicle value of travel time	5,016	4,145	2,638
Out of vehicle value of travel time	8,241	6,321	5,248
Out of vehicle ratio over in vehicle	164.3%	152.5%	198.9%

일반적으로 차내 통행시간가치에 비해서 차외 시간가치는 더 큰 값을 갖는다. European Union(2010)에서는 대중교통에 대해서 차내 통행시간 대비 대기시간에 1.6배의 시간 가중치를 적용하고 있으며, Jang and Park(2010)에서도 이와 같은 사실들을 확인할 수 있다. 본 연구에서 산정된 차내 통행시간가치 대비 차외 통행시간가치의 상대적 크기가 적정한지 검토하기 위하여 기존 연구사례들과 비교하였다. 기존 연구에 따르면 차외 통행시간가치는 차내 통행시간가치에 비해서 평균 1.38-1.98배 큰 것으로 나타났다. 본 연구에서의 산정한 차내 통행시간가치 대비 차외 통행시간가치의 상대적 크기는 1.52-1.99배로 기존 연구결과와 크게 다르지 않은 것으로 분석되었으며, 결과는 Table 14에 제시되어 있다.

Table 14. Relative size comparison of out of vehicle value of travel time over in vehicle value of travel time

Researcher	Value of travel time's ratio (in vehicle)	Value of travel time's ratio (out of vehicle)	
		Access time	Waiting time
Lee (1995)		1.40	2.95
KOTI (1997)		0.85	3.20
Cho (1999)		1.70	
Yang and Son (2000)		-	1.65
Kim (2001)		1.07	
Son et al. (2007)	1.00	1.53	1.83
Wardman (2001)		1.74	1.47
This research			1.64
Business trip			1.52
Commute trip			1.99
Non-business trip (excluding commute trip)			

source: Jang and Park (2010) re-quoting and revise

note: Relative ratio of out of vehicle value of travel time when the in vehicle travel time value is 1.00

구축된 모형의 속성변화에 따른 선택확률 변화를 분석하기 위하여 직접탄력성을 추정하였다. 추정결과 기존 연구 사례(Cho and Kim, 1998; Chung et al., 2007)와 마찬가지로 차내 통행시간이 통행비용에 비해서 큰 직접탄력성을 갖는 것으로 나타났다. 차내 통행시간과 차외 통행시간 비교결과 차외 통행시간이 차내 통행시간에 비해서 직접탄력성이 낮은 것으로 분석되었다. 업무통행의 경우 승용차와 대중교통 이용자 모두 차내 통행시간에 대해서

화에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있으며 통근통행은 대중교통 이용자, 비업무 통행은 승용차 이용자의 차내 통행 시간 탄력성이 타 수단에 비해서 높은 것으로 나타났다. 직접탄력성을 추정 결과는 Table 15와 같다.

Table 15. Estimated direct elasticities

Category	Business		Commute		Non-Business	
	Auto	Transit	Auto	Transit	Auto	Transit
In vehicle travel time	-1.1555	-1.2117	-0.6748	-0.7413	-0.6917	-0.3236
Out of vehicle travel time	-	-0.5665	-	-0.3870	-	-0.1936
Travel cost	-0.3649	-0.5032	-0.3134	-0.3985	-0.4141	-0.2418

본 연구에서는 한계대체율법을 이용하여 통행시간 가치를 산정하였다. 타당성조사 관련 지침의 경우 임금율법을 이용하여 업무통행에 대한 통행시간가치를 산정하고 기존 연구의 업무 대비 비업무 통행에 대한 통행시간가치 비율을 적용하여 비업무통행에 대한 통행시간가치를 산정하기 때문에 본 연구 결과와의 직접 비교는 어려울 것으로 판단된다. 따라서 기존 통행시간가치 산정 연구 중 한계대체율법을 이용한 통행시간가치 산정결과와 본 연구의 산정 결과를 비교하였다. 비교대상은 수도권을 대상으로 통행시간가치를 산정한 연구들이다. 비교결과 업무통행과 비업무통행에 대한 통행시간가치 산정 연구는 모두 비업무통행에 비해서 업무통행의 통행시간가치가 높은 것으로 나타났다. Kim et al.(2014)에서는 비업무통행에 비해서 통근통행의 통행시간가치가 더 높은 것으로 나타났다. Lee et al.(2003), Korea Research Institute for Human Settlements(2003)에서는 동일한 자료를 이용하여 통행시간가치를 산정하였으며 비업무통행의 통행시간가치가 통근통행 통행시간가치보다 높은 것으로 나타났다. 각 통행목적별 통행시간가치 비교결과는 Figure 1과 같다.

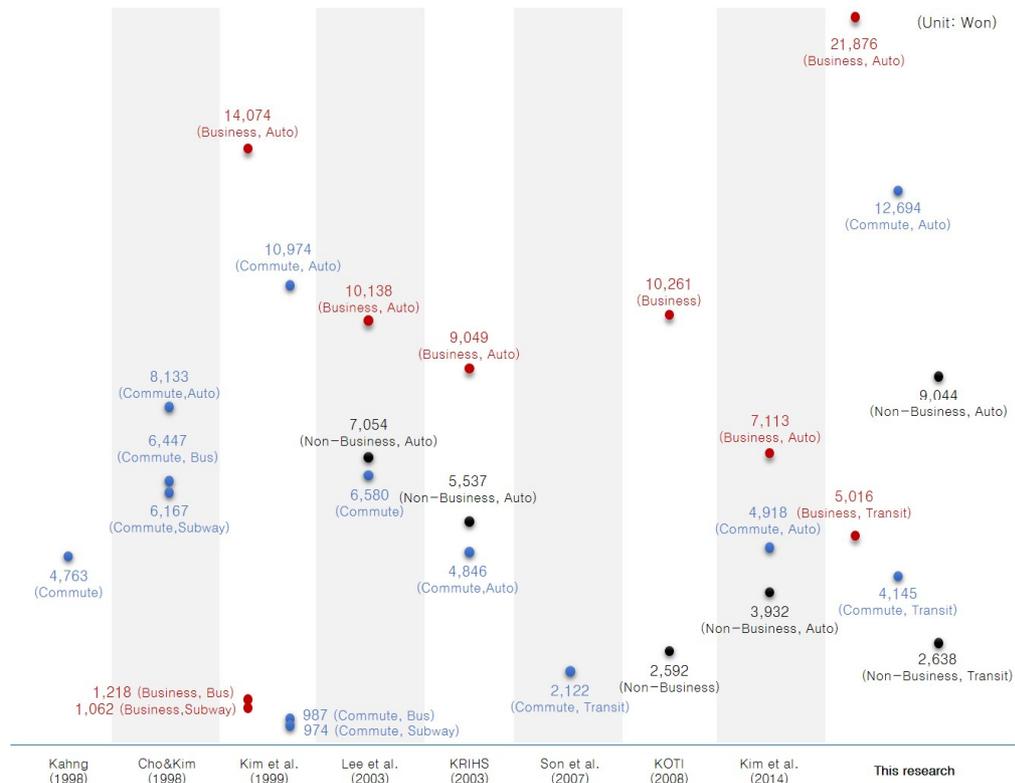


Figure 1. Comparison by value of travel time for each trip purposes

기존 연구 사례를 살펴보면 각각의 통행시간가치 산정 결과는 큰 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 조사 시기, 조사 대상 등 조사 자료의 영향이 절대적인 확률선택모형의 한계 때문으로 판단된다. 이러한 확률선택모형의 태생적 한계와 더불어 기존 수도권 통행시간가치 산정 연구는 주로 2010년 이전에 이루어졌으며, 특정 목적 및 특정 수단에 대해서 산정된 결과이므로 본 연구결과와의 직접비교를 통한 적정성 여부 판정은 어려울 것으로 판단된다.

결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 기존 타당성조사 관련 지침에서 산정하고 있는 수도권 통행시간가치의 문제점을 개선하여 수도권 통행특성을 반영한 통행시간가치를 산정하였다. 수도권 통행자를 대상으로 통행실태를 조사하였고, 이를 이용하여 모형을 구축하였다. 수도권 지역은 타 지역에 비해서 장시간 소요되고 있는 통근통행에 대한 통행특성 반영을 위하여 기존 비업무통행에 포함되어 있는 통근통행을 분리하여 모형을 구축하였다. 통근통행 모형과 비업무 통행 모형 비교 결과 두 모형은 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 또한 수도권 통합요금제 시행에 따른 통행특성 및 복합 수단을 이용한 환승 통행특성을 반영하기 위하여 계수 비교를 통한 대중교통 통합모형을 구축하였다. 대중교통 통합모형 구축에 따른 수도권 통행시간가치 산정 결과 업무통행 통행시간가치가 가장 큰 것으로 분석되었으며, 다음으로 통근통행 통행시간가치, 비업무통행 통행시간가치의 순서로 나타났다. 대중교통 이용자의 통행시간가치는 승용차 이용자에 비해서 작은 것으로 분석되었다. 통행시간과 통행비용에 대한 선호 다양성을 분석하기 위하여 혼합 로짓 모형을 구축하였다. 분석결과 비업무통행 대중교통 통합모형의 대중교통 차내 통행시간만이 선호 다양성을 갖는 것으로 나타났다.

본 연구의 진행 과정에서 도출된 여러 가지 한계점은 향후 연구과제로 제시하였다.

첫째, 수도권을 대상으로 통행실태 조사 자료를 수집하였지만 조사지역이 한정적이며, 조사 부수 또한 충분하지 못하였다. 또한 대부분의 조사가 수도권내의 장거리 통행자를 대상으로 이루어졌으며, 조사 자료 확보를 용의하게 하기 위해서 지하철 미운행 지역을 조사대상에서 제외하였다. 지하철 미운행 지역의 경우 운행지역에 비해서 버스의 차내 시간이 길어질 수 있으며, 대중교통에 대한 수단 부담률 또한 다를 것으로 생각된다. 이러한 통행여건을 반영하게 되면 본 연구에서 산정된 통행시간가치와는 다른 결과를 보일 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 연구 자료의 한계점을 극복하기 위해서는 수도권의 다양한 지역을 대상으로 한 대규모 조사가 필요하며, 이를 통해 연구 결과에 대한 객관성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 본 연구에서는 조사의 어려움으로 인하여 택시 이용자에 대한 조사가 수행되지 못하였으며, 통행시 버스와 지하철을 모두 이용하는 복합 대중교통 이용자의 환승 통행행태를 반영하지 못하였다. 추후 택시 이용자 및 복합 대중교통 이용자를 대상으로 한 조사가 필요하며 환승과 관련된 조사항목 추가를 통해서 환승에 따른 수단선택 특성을 분석할 필요가 있다.

셋째, 본 연구에 사용된 자료는 2016년 3월 조사 자료로 2016년 10월 시행된 인천광역시 대중교통체계 개편이 반영되지 못하였다. 대중교통체계 개편은 기존 대중교통 이용자들의 대중교통 이용 행태를 변화시킬만한 요인이므로 추후 수도권 통행시간가치 산정 시 이를 반영할 필요가 있다.

넷째, 기존 연구 결과에 따르면 전일 동일한 통행시간가치 적용 시 편익 및 통행요금 수입이 과다 추정되며, 시간대별 통행시간가치 적용 시 이러한 왜곡을 줄일 수 있는 것으로 나타났다(Lee and Choi, 2011). 수도권의 경우 오전·오후 첨두시간대가 명확하며 비첨두시 업무통행이 지방부에 비해서 상대적으로 활발하므로 이러한 통행행태 반영을 위하여 시간대별 통행시간가치 산정이 필요할 것으로 판단된다.

마지막으로 혼합 로짓 모형을 구축하였지만 비업무 통행의 차내 시간만이 선호 다양성을 갖는 것으로 분석되어 혼합 로짓 모형을 이용한 통행시간가치를 산정하지 못하였다. 추후 통행수단 선택 요인에 대해서 다양한 문항을 조사하여 혼합 로짓 모형을 구축한다면 이를 통한 통행시간가치를 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was partially supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education, Science and Technology (2015R1A1A1A05028008).

REFERENCES

- Austroroads (2012), GUIDE TO PROJECT EVALUATION Part 4: Project Evaluation Data.
- Axhausen K., König A., Abay G., Bates J., Bierlaire M. (2004), Swiss Value of Travel Time Savings, Paper Presented at the 2004 European Transport Conference.
- Bates J. (2012), Values of Time and Reliability in Passenger and Freight Transport in The Netherlands.
- Ben-Akiva M., Lerman S. R. (1985), Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand: Theory and Application to Travel Demand, MIT Press.
- Börjesson M., Eliasson J. (2014), Experiences From the Swedish Value of Time Study, Transportation Research Part A, 59, 144-158.
- Brownstone D., Train K. (1999), Forecasting New Product Penetration With Flexible Substitution Patterns, Journal of Econometrics 89, Elsevier, 109-129.
- Cho J. R., Kim C. M. (1998), A Regional Comparative Study on the Commuter Mode Choice Behavior: Case of Seoul and Ilsan New Town, J. Korean Soc. Transp., 16(4), Korean Society of Transportation, 75-86.
- Chung C., Kim S., Kim C. (2007), A Comparison Study on Fare and Time Elasticities on Intercity Rail Travel Demand, Journal of the Korea Society of Civil Engineers, 27(5D), Korean Society of Civil Engineers, 547-553.
- Department for Transport (2015), WebTAG Databook, Table A1.3.1 Values of time per person.
- European Union (2010), Transport Modelling: Towards Operational Standards in Europe(MOTOS Handbook).
- HEATCO (2006), Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines.
- Hensher D. A., Rose J., Green W. (2015), Applied choice Analysis 2nd Edition, Cambridge University Press.
- Jang S. E., Park K. U. (2010), Estimation of Value of Walking Travel Time by Meta-analysis, Journal of Transport Research, 17(1), The Korea Transport Institute, 13-22.
- Jung S. Y. (2009), A Study on Parking Preference Heterogeneity Using Mixed Logit Models - Focusing on Shopping Trips in Daegu Metropolis, Journal of the Korean Urban Management Association, 22(2), Korean Urban Management Association, 137-162.
- Kahng D. J. (1998), Evaluation of Value of Travel Time Using Logit Model and a Study on the Characteristics of It, Hanyang University Graduate School, Master's Thesis.
- Kim H., Oh S. C., Choi K. C. (1999), VOT Derivation for Different Trip Purposes, Travel Modes and Testing of Their Significance, J. Korean Soc. Transp., 17(1), Korean Society of Transportation, 113-129.
- Kim I. K., Kim K. S., Kim H. C. (2005), Model Specification and Estimation Method for Traveler's Mode Choice Behavior in Pusan Metropolitan Area, J. Korean Soc. Transp., 23(3), Korean Society of Transportation, 7-19.
- Kim S. J., Jung C. Y., Shon E. Y., Kim J. Y., Ko C. S. (2014), Estimating the Value of Travel Time for Toll Road

- Demand Forecast, *The Korea Spatial Planning Review*, 82, Korea Research Institute for Human Settlements, 37-47.
- Korea Appraisal Board Real Estate Statistical Information, <http://r-one.co.kr>, 2017.02.11.
- Korea Development Institute (1999), Study on Standard Guidelines for Preliminary Feasibility Studies for Roadway and Railway Projects.
- Korea Development Institute (2008), Study on Modification and Supplementation of Standard Guidelines for Preliminary Feasibility Studies for Roadway and Railway Projects (5th ed.).
- Korea Development Institute (2012), Study on the Estimation of the Value of Travel Time for the Preliminary Feasibility Study (non-publishing report).
- Korea Rail Network Authority, The Korea Transport Institute (2010), A Study of Complete Revision for Railway Investment Evaluation Manuals.
- Korea Research Institute for Human Settlements (1999), An Establishment Study on Method of the Road Investment Analysis.
- Korea Research Institute for Human Settlements (2003), The Value of Travel Time for Toll Roads: Focused on the Seoul Metropolitan Area.
- Korea Research Institute for Human Settlements (2015), Analysis of Transit Passenger Movements Within Seoul-Gyeonggi-Incheon Area Using Transportation Card Data.
- Korea Statistical Information Service, <http://kosis.kr>, 2017.01.11., 2016.12.22., 2016.08.08.
- Lee H. K., Ko Y. S., Lim Y. T., Kim T. H., Yang I. S. (2003), The Estimation of the Value of Travel Time Through Market Segmentation: Focusing on Car Drivers of Seoul Metropolitan Area, *The Korea Spatial Planning Review*, 39, Korea Research Institute for Human Settlements, 147-161.
- Lee J. H. (2003), A Mixed Logit Model Accommodating Traveler's Taste Variations and Error Structure Between Alternatives, Seoul National University Graduate School, Ph.D. Thesis.
- Lee J., Choi K. (2011), Estimation and Application of the Value of Travel Time by Time Period: A case Study of Downtown Highway Expansion Project, *Journal of the Korea Society of Civil Engineers*, 31(1D), Korean Society of Civil Engineers, 7-15.
- McFadden D. (1976), The Theory and Practice of Disaggregate Demand Forecasting for Various Modes of Urban Transportation, University of California Berkeley, Institute of Transportation Studies, Working Paper No.7623.
- Metropolitan Transportation Authority (2016), 2015 Partnership Project of Passenger Trip(O/D) Update in Metropolitan Area.
- Meunier D., Quinet E. (2015), Value of Time estimations in Cost Benefit Analysis: The French experience, *Transportation Research Procedia*, 8, Elsevier, 62-71.
- Minister of Land Infrastructure and Transport, Korea Transportation Safety Authority (2016), Survey of public transport in 2015: Overall result report.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), Transportation Facility Investment Assessment Guideline, 5th ed.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017), Transportation Facility Investment Assessment Guideline, 6th ed.
- OECD(2011), How's Life?: Measuring well-being.
- Ryu S. K. (2008), Effects of Multicollinearity in Logit Model, *J. Korean Soc. Transp.*, 26(1), Korean Society of

- Transportation, 113-126.
- Seoul Metropolitan Government (2015), Seoul Statistical Yearbook(55th ed.).
- Son S. H., Choi K. C., Yu J. W. (2007), An Estimation of Generalized Cost for Transit Assignment, J. Korean Soc. Transp., 25(2), Korean Society of Transportation, 121-132.
- Song Y. N. (1997), The Values of Commuters' Travel Time and Differential Unpleasantness, J. Korean Soc. Transp., 15(4), Korean Society of Transportation, 9-19.
- Statistics Korea Press Releases, http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/2/2/1/index.board, 2011.09.22
- The Korea Transport Development Institute (1997), A Study of the Urban Travel Behaviour in the Seoul Metropolitan Area: Estimation of Disaggregate Demand Models.
- The Korea Transport Institute (2008), An Improved Methodology For Estimating Benefit in the Rail Investment Appraisal.
- Train K. (2009), Discrete Choice Methods With Simulation 2nd Edition, Cambridge University Press.
- Transport for NSW (2013), Principle and Guidelines for Economic Appraisal of Transport Investment and Initiatives.
- U.S. Department of Transportation (2011), The Value of Travel Time Saving: Departmental Guidance for Conducting Economic Evaluations Revision 2.
- Yoon H. R. (2000), A Transit Trip Assignment Model Under Capacity Restraint, Seoul National University Graduate School, Ph.D. Thesis.