pISSN: 1226-7147, eISSN: 2383-9171
https://doi.org/10.17208/jkpa.2019.02.54.1.52

Journal of Korea Planning Association Vol.54, No.1 (2019)
대한국토·도시계획학회지 「국토계획」 제54권 제1호 pp.52-66

통행수단별 소요시간과 비용이 가구소득계층별 통근통행자의 수단 및 목적지 선택에 미치는 영향 분석*

– 효용기반 접근도 개념에 근거하여 –

A Study on the Effect of Travel Time and Cost by Means on the Mode and Destination Choice of a Commuter by the Household Income Class

– Based on the Utility-Based Accessibility Approach –

장성만**
Jang, Seongman

Abstract

Travel is a factor that stimulates the vitality of the urban and is widely used as an indicator of sustainable growth of the region. In Korea, however, no studies has been made to predict changes in traffic and calculate the accessibility of the region by comprehensively considering the socio-economic conditions of the travelers. The purpose of this study is to classify commuters according to the household income and to analyse the traffic characteristics of each class.

The analysis results are aggregated into two. First, the analysis of study found different transport characteristics for different income classes. This is the result that underpins the argument of a previous study that suggested that a discriminatory approach is necessary for each income in determining the accessibility of the region. Second, this study calculated utility values differently for each income class based on the transit time and cost required between each zone. Through these measures, transport characteristics were analyzed by income class using indicators that considered transportation infrastructure, and socio-economic conditions of the travelers.

This study is meaningful in that it provided the basis for calculating the accessibility that could take into account the activities of the housing consumers in establishing domestic housing policies.

키워드 가구소득계층, 통행 목적, 수단 선택, 목적지 선택, 효용기반 접근도
Keywords Household income class, Trip Purpose, Mode Choice, Destination Choice, Utility based Accessibility

Ⅰ. 서 론

통행은 통행자의 경제, 사회 그리고 문화와 같은 다양한 분야와 관련한 필요를 충족시키기 위한 개인의 신체적인 참여로 정의 할 수 있다. 통행은 출퇴근, 등하교, 쇼핑, 그리고 여가 등 다양한 목적과 여러 가지 형태로 존재한다. 통행은 개인이 삶을 영위하는데 있어서 필연적으로 수반되기 때문에 인간의 삶의 질을 경정하는데 있어서 중요한 요소로 평가된다(Jovicic, 2001; Spinney et al., 2009). 또한 통행은 도시의 활력을 불어넣는 요소로써, 지역과 사회의 지속가능한 성장을 가늠하는 지표로도 널리 활용되고 있다(Zhang and Guindon, 2006; Haghshenas and Vaziri, 2012).

이러한 이유로 인해 통행을 분석하고 예측하고자 한 많은 연구

* 이 논문은 저자 장성만(2017a)의 박사학위 논문 일부를 요약하고 수정·보완한 것임. 이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2017R1D1A1B03029464)과 학술연구교수지원사업(NRF-2017S1A5B5 A02026190)의 지원을 받아 수행된 연구임.
** Research professor, University of Seoul (jangsm@uos.ac.kr)

가 진행되었다. 사회과학분야에서는 통행을 도시공간의 물리적인 구성요소와, 통행자의 사회·경제적인 요소가 결부되어 도시공간에 표출되는 행위로 정의하고 다양한 형태로 관련 연구가 수행되었다(Stewart, 1948; Hansen, 1959; Ingram, 1971; Dalvi and Martin, 1976; Koenig, 1980; Handy, 1993; Gutiérrez and Urbano, 1996).

특히, 국외 선진국에서는 토지이용–교통 상호작용 이론에 근거한 통합모형을 통해 지역의 토지이용과 교통조건 그리고 가구의 사회·경제적 조건 등을 종합적으로 고려하여 지역의 접근도를 산출하고 이를 장래 토지이용 및 통행의 변화를 예측하는데 활용한 연구가 시도되었다(Badoe and Miller, 2000; Geurs and van Wee, 2004; Waddell, 2010; Wegener, 2004; Simmonds, 2010; Eliasson, 2010).

국내 역시 토지이용–교통 상호작용에 근거한 연구가 현재 활발히 진행 중이다. 특히, 주거와 기업의 입지, 교통 그리고 환경과 같은 다양한 분야에서 관련 이론을 근거로 인과관계를 분석하고 변화를 예측하는 연구(이희연·김동완, 2006; 이승일, 2010; 김규일, 2011; 이창효, 2012; 안영수, 2013; 이승일·이창효, 2015; 이승일·장성만, 2018)가 주를 이루고 있다. 하지만, 아직 토지이용과 교통 상호작용과 통행자의 사회경제적 조건을 종합적으로 고려하여 지역의 접근도를 산정하는 연구는 부족한 상태이다.

관련연구가 미흡한 이유로 인해, 접근성이 중요한 지표로 활용되고 있는 연구 및 정책결정에서는 다소 모호하고 포괄적인 개념으로 접근성을 정의하고 산출한다. 특히, 접근성이 중요한 지표로 평가받고, 활용되고 있는 주택정책에서 이러한 한계가 발견된다. 현 택지공급계획은 '다양한 주택수요에 효과적으로 대응할 수 있는 택지를 개발함'을 목표로 하고 있음에도 불구하고, 택지 공급의 대상지는 단순히 '도심지 내 혹은 도심과의 접근성이 높은 지역'이라는 다소 선언적인 계획만을 제시하고 있다(국토교통부, 2013).

이에 본 연구자는 앞선 연구(장성만, 2017b)를 통해 접근성의 개념을 체계화하고 국내 주택정책에 부합하는 접근성 산출방식을 제시하였다. 본 연구는 해당 연구의 후속연구로써, 국내 공공임대 주택정책에서 제시하고 있는 가구소득 기준에 준하여 수요자를를 구분하고, 각 그룹별 통행특성을 분석하는데 목적이 있다. 특히, 본 연구는 효용기반 접근도 개념에 근거하여 지역간 접근도를 구하고 이를 근거로 각 소득계층별 통행특성을 분석하였다.

효용 기반 접근도는 경제학 이론연구에 기초한다. 경제학에서 '여러 가능한 제품 중 한 물건을 구매하는 것이 전체 효용을 만족시키는 것'이라는 개념을 기반으로, 통행을 개별 통행자가 각자의 사회·경제적 조건을 고려하여 개인의 효용을 극대화 한 행위라 판단한다. 이에 접근도를 '통행자의 사회·경제적인 요인에 기초하여 공간적으로 분포된 활동들에 접근함으로써 취할 수 있는 효용'이라 정의한다. 효용기반 접근도는 통행자의 개인특성(소득, 인구·사회학적 변수 등)과 수단 또는 도로의 특성(속도, 비용 등)이 동시에 고려한다(Geurs and Ritsema van Eck, 2001; Koenig, 1980; Sweet, 1997).

효용기반 접근도를 산정하는데 있어서 통행효용에 관한 연구가 기반 되어야 한다. 이와 관련한 연구는 2000년대 초기부터 활발하게 진행되고 있다. 특히 Mokhtarian은 통행자가 수단선택 혹은 목적지를 선택함에 있어서 판단 기준이 되는 통행효용을 결정하는 요인으로 토지이용 특성과 건축 환경 그리고 개인특성을 중요한 요인으로 꼽았다. 그리고 관련 요인들이 통행자 효용을 결정하는데 어떠한 영향을 미치는지 지속적으로 연구하였다(Redmond and Mokhtarian, 2001; Mokhtarian et al., 2001; Mokhtarian and Chen, 2004).

본 연구는 통행자가 수단과 목적지를 선택함에 있어 판단 기준이 되는 선택대안들의 효용을 산술적으로 계량화하고 이를 기준으로 통행특성을 분석하였다. 본 연구에서 각 소득계층별 통행자가 수단과 목적지를 선택함에 있어서 판단의 근거가 되는 효용을 기준으로 통행특성을 구하고 이를 분석하였다는 점은 기존연구와의 차별성이라 할 수 있다.

본 연구는 국내 주택정책에서 분류하는 공공임대주택 수급자 기준에 근거하여 통행자를 세 가지 그룹으로 구분하고 각 그룹별 통행특성을 분석하였다. 통행목적은 통근통행으로 한정하였다. 통행수단은 자가용과 대중교통으로 구분하였고, 기종점간의 수단별 통행시간과 비용이 수단선택과 통행분포에 미치는 영향을 분석함으로써, 통행특성을 분석하였다.

본 연구는 향후 지역별 효용기반 접근도 산출 관련 연구에 앞선 선행연구로의 의미 뿐 아니라, 효용기반 접근도 개념에 기초하여 지역간 효용기반 접근도를 산정하고, 이를 근거로 소득계층별 통행자의 통행특성을 분석하고 해석함으로써 하나의 연구논문의 완결성을 갖도록 구성하였다.

Ⅱ. 가구소득 구분 기준과 통행특성

1. 통행데이터 구축

1) 통행목적 분석범위

국가통합교통체계효율화법에 따라 한국교통연구원이 주체가 되어 조사·분석·구축하고 배포하는 국가교통DB(이하 KTDB) 자료는 국가기간교통망계획 및 중기투자계획 등 국가교통정책에 국가 공식자료로 활용되고 있다. 또한 예산당국의 재정집행 효율화를 목적으로 국가재정법에 따라 수행되는 예비타당성조사 등 교통부문의 계획 및 평가에서 기초자료로 활용되어 국내 교통부문 SOC 사업의 계획 및 평가에 매우 중요한 기초자료로 평가된다(김익기·박상준, 2015). KTDB에서 제공하고 있는 2010년 여

객통행실태조사자료는 한국교통연구원에서 전수화 작업을 통해 제공하는 가공자료와 가공 이전의 설문응답 형태인 교통원시자료로 구분된다. 이 연구는 지역 간 목적 및 수단별 통행량 뿐 아니라 통행자의 사회·경제적 속성을 분석대상으로 삼기 때문에 교통원시자료를 분석에 활용하였다.

이 연구는 근본적인 활동목적을 반영하고 귀가통행을 하나의 통행목적 범주에 포함시켜 동일한 특성을 함께 유지하도록 한 PA 접근방법[1]을 이용하였다. PA접근방법에서 통행목적 구분기준은 통행 유인 존으로 가는 활동목적에 의해 정의된다. 이 연구는 한국교통연구원에서 수행한 2011년 전국 여객O/D 전수화 및 장래 수요예측의 방법론(김수철·김찬성, 2012)에 기초하여 PA접근방법 통행목적을 정의하였다. 이 연구에서 분석범위로 삼는 통행목적은 기존 연구(Prashker et al., 2008; Bento et al., 2003)에서 가구의 입지 선정에 가장 크게 영향을 미치는 통행으로 밝혀진 통근통행으로 한정하였다.

2) 주 통행수단 정의

2010년 가구통행실태조사 원시자료는 각 수단별 통행단위로 구분하여 구축한다. 즉, 한 목적통행을 위해 두 가지 이상의 통행수단을 활용한 경우, 동일한 목적의 각 수단 통행별로 데이터가 구축된다. 이 연구는 주 통행수단을 승용차와 대중교통 두 가지로 설정하고 한국교통연구원에서 수행한 2011년 전국 여객O/D 전수화 및 장래수요예측의 방법론(김수철·김찬성, 2012)을 활용하여 데이터를 취합하고 주 통행수단을 정의하였다.

주 통행수단은 세 단계로 구분하여 설정하였다. 첫 번째 단계는 가구통행실태조사 기준 수단을 다섯 개 수단(도보, 승용차, 버스, 도시철도, 기타)으로 변경하였다. 두 번째 단계는 각 수단통행의 통행목적자료를 활용하여 목적통행별 자료를 취합, 통행수단을 나열하였다. 마지막으로 구축한 단일수단통행(단일 수단을 통한 목적통행)과 복합수단통행(다 수단을 통한 목적통행)의 통행수단을 두 개 수단(승용차, 대중교통)으로 변경하였다.

2. 가구소득계층 분류

정부는 주택 수요자의 주거욕구를 파악하고, 이들에게 필요한 주택을 적절히 공급하기 위해, 가구소득을 기준으로 수요자를 분류하고, 각 소득계층별 차별화 된 주택정책을 수립하였다. 특히, 공공임대주택 정책을 통해 소득계층별 차별화 된 주택공급을 수행하고 있다.

정부가 추진하고 있는 공공임대주택정책은 영구임대주택, 국민임대주택, 장기전세주택, 공공임대주택, 전세임대주택, 행복주택, 뉴스테이 등으로 다양하나, 현재 실질적으로 공급이 이루어지고 있는 정책은 국민임대, 공공임대, 행복주택 정도이다(인터넷 홈페이지: 마이홈포털).

입주자격에 따르면 소득 10분위 중 소득 4분위 이하(도시근로자 가구당 월 평균소득 70% 이하)는 '주거수준 미흡 및 주거비 부담능력 취약계층'으로 분류하고, 절대지원계층으로 정의하며, '국민임대' 주택정책의 입주 대상자로 삼는다. 소득 6분위 이하(도시근로자 가구당 월 평균소득 120% 이하)는 '정부지원 시 자가 구입 가능계층'으로 분류하고 부분지원계층으로 정의하며, '공공임대'와 '행복주택'의 입주 대상자로 삼는다.

통행자의 통행패턴과 수단선호를 분석하기 위해 가구통행실태조사 원시자료를 활용하였다. 해당자료의 가구정보는 가구원수, 차량보유여부 및 대수, 주택의 종류 및 소득 등 가구의 사회·경제적 특성을 포함하고 있다. 이 중 가구소득과 관련된 기준은 총 6분위[2]로 구성되어 있다.

가구소득 구분기준을 정의하기 위하여 소득분위별 주택정책의 수요계층 기준과 가구통행실태 조사 자료를 검토하였다. 가구소득계층 구분 기분은 정부가 통상적으로 주택 수요자를 구분하는 소득계층 기준을 참조하여 총 세 계층(1, 2, 3분위 / 4분위 / 5, 6분위)으로 구분하였다. 각 소득계층별 월 평균 소득과 공공임대주택 정책 수요계층을 그림 1과 같이 비교하였다.[3]

3. 소득계층별 통행발생 및 수단선택 비교

1) 가구통행실태조사 원시자료 기초통계량

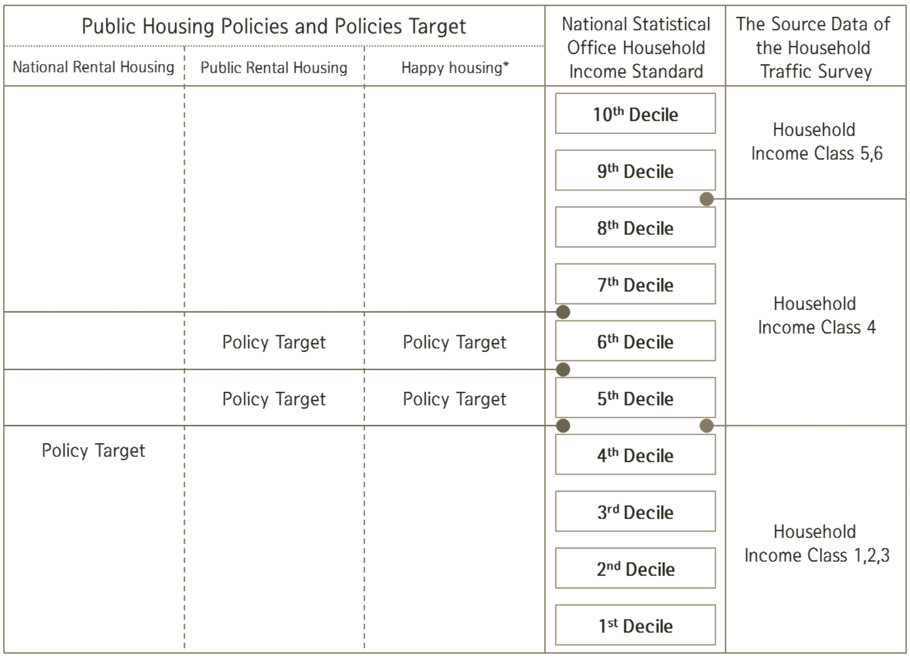
2010년 가구통행실태조사의 유효 표본가구는 473,001가구로써 2010년 총가구의 2.5%에 해당된다. 서울의 유효 표본율은 2.41%, 인천시와 경기도는 2.45%에 달한다(인터넷 홈페이지: 국가교통DB). 이 연구는 해당 자료를 활용하고 앞서 통행데이터 구축 시 제시한 통행목적과 주 통행수단 그리고 통행자의 가구소득기준에 근거하여 통행특성을 분석하였다.

가구소득은 앞서 정의한 기준에 근거하여 총 세 개 계층으로 구분하였다. 각 소득계층은 저소득, 중소득, 고소득으로 명명하였다. 소득계층별 가구 수는 저소득계층이 80,069호로 전체 가구의 약 53.1%를 차지하였다. 중소득계층은 48,505호로 전체 가구의 약 32.1%, 고소득계층은 22,313호로 약 14.8%를 차지하였다.

가구 소득계층별 차량을 보유하고 있는 가구 수의 비율을 비교하였다. 가구의 차량보유여부는 가구원의 통행발생 시 수단선택과 관련하여 영향관계가 있기 때문이다. 분석결과 저소득계층의 경우 가구의 약 70%가 차량을 보유하고 있으며, 중소득과 고소득의 경우 각각 약 90%, 95%의 가구가 차량을 보유하고 있다. 즉, 저소득계층의 경우 차량을 보유하지 않은 가구가 대략 30%에 달하는 반면, 그 외 소득계층에서는 차량을 보유하고 있지 않은 가구가 10%를 넘지 않은 것으로 밝혀졌다.

2) 소득계층별 통행발생 및 수단선택 비교

소득계층별 가구의 통행특성을 파악하기 위하여 가구당 평균



* Affordable urban apartments built near workplaces and schools for college students, newlyweds, and a rookie in the society

Figure 1. Household income classification standard

통행발생량을 산출하고 비교 분석하였다. 소득계층별 가구당 평균 목적통행 발생량의 차이를 계량적으로 검증하기 위하여 일원변량분석(one-way ANOVA)을 수행하였다([표 1] 참조). 분석결과, 가구소득이 증가할수록 가구당 발생하는 평균 통행량이 증가하고, 소득계층별로 통행발생량에 유의미한 차이가 있음을 확인하였다.

이어 각 수단선택이 소득계층별로 유의미한 차이가 있는지 비교하였다. 각 소득계층별 승용차 통행비율을 통해 분석하였다. 수단선택 차이를 계량적으로 검증하기 위하여 일원변량분석을 수행하였다([Table 2] 참조). 분석결과, 가구의 소득이 증가할수록 승용차의 통행비율이 증가하였고, 유의미한 차이를 확인하였다.

이상에서 2010년 통행실태조사의 원시자료를 활용하여 소득계

Table 1. Comparative Analysis of Trip Generation by Income Class

Sortation	Mean	S.D.	F-value	P-value	Scheffe post hoc test	
					Multiple comparison	P-value
Low-income	2.13	1.119	1549.10	.000	Middle-income	.000
					High-income	.000
Middle-income	2.40	1.190			Low-income	.000
					High-income	.000
High-income	2.57	1.359			Low-income	.000
					Middle-income	.000

Table 2. Comparative Analysis of Passenger car Choice Ratio by Income Class

Sortation	Mean	S.D.	F-value	P-value	Scheffe post hoc test	
					Multiple comparison	P-value
Low-income	0.49	0.500	1176.01	.000	Middle-income	.000
					High-income	.000
Middle-income	0.56	0.497			Low-income	.000
					High-income	.000
High-income	0.59	0.492			Low-income	.000
					Middle-income	.000

층별 통행발생량과 수단선택의 차이에 관해 분석하였다. 분석결과, 각 소득계층별 통행발생량과 수단선택의 유의미한 차이가 있음을 확인하였다. 이는 가구의 소득이 통행발생에 미치는 유의미한 영향을 분석한 선행연구와(Golob, 1989; Schmöcker et al., 2005; 장태연 외, 2002; 김채만·좌승희, 2009; 이종호, 2011) 소득에 따라 수단선택에 유의미한 차이를 분석한 선행연구(Niemeier, 1997; Levine, 1998; 오재학·박지형, 1997; 조중래·김채만, 1998)와 일치하는 결과이다.

Ⅲ. 소득계층별 통행특성 분석

1. 통행특성 분석모형 구축

본 연구는 소득계층별 각 존간 통행효용 값과 통행특성을 분석하기 위해 모형을 구축하고 분석을 수행하였다. 통행특성 분석모형은 ①각 존간 수단별 통행시간 및 비용 산출과정, ②소득계층별 수단선택특성 산출과정, ③소득계층별 목적지선택특성 산출과정으로 구성하였으며, 각 단계별 하위모형간의 관계를 그림 2와 같이 정립하였다.

첫 번째 단계는 각 존간 수단별 통행시간 및 비용 산출과정이다. 해당 과정은 교통주제도와 대중교통 노선자료 그리고 가구통행실태조사 자료를 활용하여 각 존간 접근도에 근거가 되는 승용차와 대중교통의 통행시간과 통행비용 Matrix를 구축한다.

두 번째 단계는 소득계층별 수단선택특성 산출과정이다. 해당과정은 로지스틱 회귀분석을 통해 수행되며, 기·종점간의 수단별 소요되는 통행시간과 비용을 근거로 가구소득계층별 수단 선택 시 존재하는 차이점을 분석한다.

세 번째 단계는 통행의 기·종점 별 접근도를 산정하고 이를 근거로 소득계층별 목적지 선택 특성을 산출한다. 해당과정은 비선형 회귀분석을 통해 수행하고, 기·종점간 수단별 소요되는 통행시간과 비용을 종합한 접근도 지표로 산출하며, 이를 근거로 가구소득계층별 목적지 선택 시 존재하는 차이점을 분석한다.

2. 각 존간 수단별 통행시간 및 비용 산출

1) 시간대별 승용차 통행시간 및 비용 Matrix

각 존간 승용차 통행시간 및 비용은 오전첨두와 오후첨두, 그리고 비첨두시간으로 구분하여 산출하였다. KTDB의 'OD 및 네트워크 설명자료' 기준에 근거하여, 오전첨두시간은 07시에서 09시, 오후첨두시간은 18시에서 20시, 그 외 시간은 비첨두 시간으로 정의하였다.

존간 승용차 통행시간과 비용은 존간 승용차 최단거리에 근거하여 산출하였다. 최단거리 산출 시 활용한 수도권 도로 네트워크는 고속국도, 연결램프, 도시고속화도로, 일반국도, 특별/광역

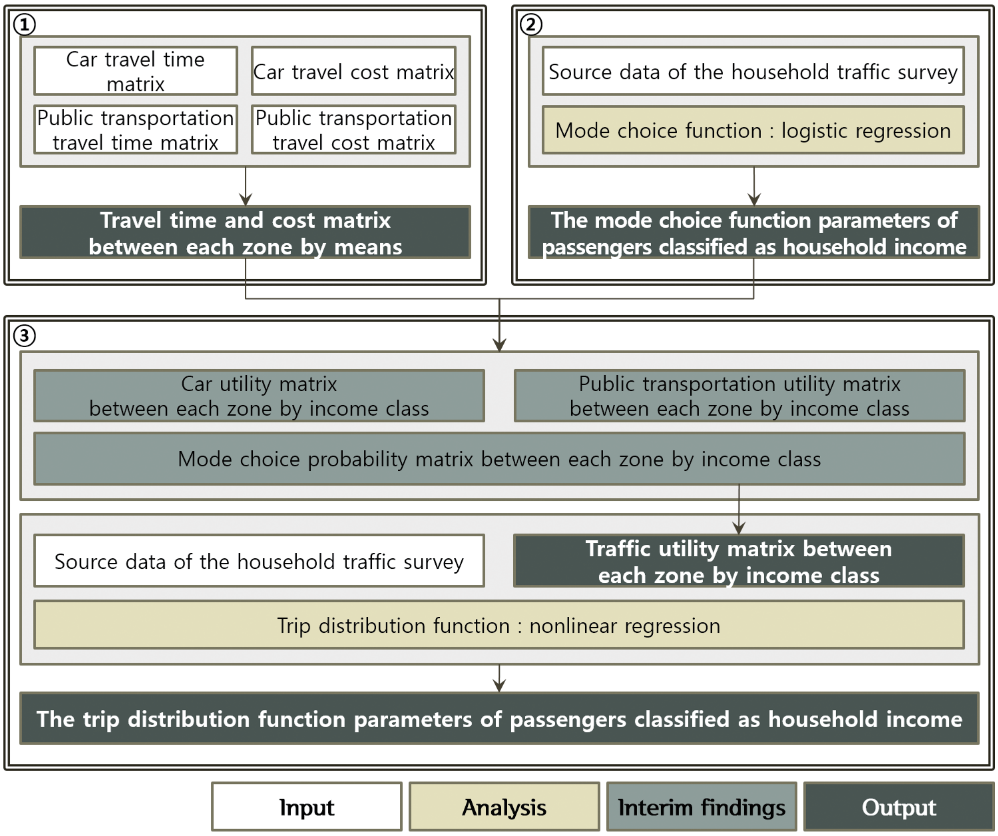


Figure 2. Structure of trip characteristics analysis model

시도, 국가지원지방도, 지방도, 시군도로 총 8가지로 구성되어 있다. 존간 승용차 최단거리는 Arc Map 10.1의 network analysis tool을 활용하여 산정하였고, 최단거리 산출 시 hierarchy tool을 활용하여 존간 통행노선 선택 시 우선순위[4]를 부여하였다. 존간 최단거리는 도로의 종류별로 구분하여 산출하였다.

시간대별 존간 승용차 통행시간을 산출하기 위해서는 존간 최단거리뿐 아니라 실제 통행자가 시간대별로 존간 이동에 소요된 시간 데이터가 요구된다. 이를 위해 가구통행실태조사 원시자료를 활용하였다. 앞서 도로 종류별로 구분하여 산출한 존간 최단거리 Matrix와 가구통행실태조사 원시자료의 시간대별 존간 실제 통행시간 자료를 활용하여 회귀분석을 통해 시간대별 각 도로종류의 통행속도를 [표 3]과 같이 산정하였다.[5] 이후 도로 종류별로 구분하여 산출한 존간 최단거리에 시간대별 도로종류의 속도를 나눈 값을 합하여 각 존간 승용차 통행시간을 산출하였다.

존간 승용차 통행비용은 김수철·김찬성 보고서(2012)에 근거하여 산출하였다. 승용차 통행비용은 유류비, 주차비, 유료도로 통행료를 포함한다. 유류비는 존간 통행시간과 거리를 이용하여 존간 평균 통행속도를 산출 후 수도권 속도별 승용차 운영비용에 근거하여 산출하였다. 주차비용은 도착지의 급지를 구분하여 1시간 주차요금을 적용하였으며, 수도권 지역별 주차요금을 참고하였다. 존간 유료도로 통행료는 수도권 유료도로비용에 근거하여 산정하였고, 1종 폐쇄식 요금을 적용하였다.[6]

2) 시간대별 대중승용차 통행시간 및 비용 Matrix

각 존간 대중교통 통행시간은 승용차와 마찬가지로 동일한 기준 하에 오전첨두와 오후첨두 그리고 비첨두 시간으로 구분하여 산출하였다. 그러나 대중교통 통행시간은 앞서 분석한 승용차 통행시간과는 달리 차내 통행시간과 차외 통행시간의 합으로 구성된다. 차내 통행시간은 승용차 통행시간 산출방식과 유사하다.

차내 통행시간과 비용은 존간 대중교통 최단거리에 근거하여 산출하였다. 최단거리 산출 시 활용한 대중교통 노선은 도시철도, 광역버스, 좌석버스, 일반버스, 마을버스로 총 5가지로 구성되어 있고, 존 중심점을 기준으로 도시철도역과 버스정류장은 보행 네트워크를 연결하였다. 존간 승용차 최단거리는 Arc Map 10.1의 network analysis tool을 활용하여 산정하였고 최단거리 산출 시 hierarchy tool을 활용하여 존간 통행노선 배정 시 우선순위[7]를 부여하였다.

대중교통 종류별 통행속도는 존간 최단거리 Matrix와 가구통행실태조사의 원시자료의 시간대별 실제 존간 통행시간 자료를 활용하여 회귀분석을 통해 [표 4]와 같이 산정하였다. 특히, 가구통행실태조사 자료에서 승용차의 경우 각 도로 종류별 실제 통행시간을 확인할 수 없지만, 대중교통은 도시철도와 버스를 구분하여 각 수단별 통행시간을 확인할 수 있기 때문에 대중교통 통행시간의 분석은 승용차 통행시간 분석과는 달리 도시철도와 버스를 구분하여 총 6회 회귀분석을 수행하였다. 보행의 통행속도는 4km/h로 설정하였다.

승용차와 달리 대중교통은 차외 통행시간이 발생한다. 본 연구는 수단별 배차간격을 통해 차외 통행시간을 산정하였다. 행정동별 배차간격은 읍면동 형상정보와 대중교통 노선의 형상정보를 활용하여 각 읍면동별 통과 대중교통 노선을 선별한 뒤, 각 노선별 배차간격의 가중평균을 구해 산출하였다. 각 존간 차외 통행시간 Matrix는 기·종점의 배차간격 평균을 통해 산출하였다.

Table 3. Estimated speed and explanation power of each road type by time zone

Road type	AM peak (km/h)	PM peak (km/h)	Non peak (km/h)
National Expressway	59.77	58.56	59.89
Expressway	35.27	32.61	38.66
General National Highway	42.66	40.02	42.89
Special/Metropolitan City Road	21.92	19.28	22.24
National Subsidy Road	51.42	52.80	51.15
Local Highway Road	78.99	81.15	67.68
Si Gun Road	42.29	41.28	41.82
Adj. R^2	.316	.388	.275

Table 4. Estimated speed and explanation power of each public type by time zone

Public type	AM peak (km/h)	PM peak (km/h)	Non peak (km/h)
Urban rail	39.83	37.76	38.07
Adj. R^2	.271	.362	.284
Bus	43.16	41.88	41.08
Adj. R^2	.259	.316	.324

존간 대중교통 통행비용은 김수철·김찬성 보고서(2012)에 근거하여 산출하였다. 대중교통 통행비용은 존간 대중교통 최단거리를 이용하여 산출하였으며, 거리별 요금은 수도권 통합 환승할인제의 카드이용 시 요금을 적용하였다. 특히, 동일 시도간의 광역버스 이용은 없는 것으로 간주하였고, 10km 미만 통행은 광역버스 이용에서 제외 하였다.

3) 1일 기준 수단별 통행시간 및 비용 Matrix

승용차와 대중교통으로 구분하여 각 수단별로 존간 통행시간과 통행비용 Matrix를 구축하였다. 각 Matrix는 가구통행실태조사 원시자료에 근거하여 오전과 오후, 비첨두 시간대별로 각각 따로 구축하였다. 이는 각 시간대별로 도로의 정체 혹은 대중교통의 배차간격이 서로 상이하기 때문이다. 그러나 이 연구에서 산출하는 접근도는 특정 시간대만을 대상으로 하지 않기 때문에 이를 1일 평균으로 재 산출할 필요가 있다. 1일 존간 통행시간과 통행비용 Matrix는 시간대와 상관없이 오전, 오후 그리고 비첨두 시간의 Matrix 평균을 통해 산출하였다.

3. 소득계층별 수단선택특성 산출

1) 수단선택 모형구축

이 연구는 통행특성 분석 시 통행효용 값을 근거로 접근도를 산정하는데 이는 수단선택모형의 파라미터에 기초한다. 각 조건별 수단선택모형 파라미터는 가구통행실태조사 원시자료를 활용하여 로지스틱 회귀분석을 통해 산출한다. 이 연구는 기존 수단선택 모형과 관련된 선행연구를 검토[8]하고 이분형 로지스틱 분석방법론을 분석 방법론으로 설정하였다.

또한, 수단선택 분석모형에 활용하는 변수를 설정하기 위하여 관련 선행연구를 검토[9]하였고, 여러 선행연구에서 대부분 활용되고 있는 수단별 통행시간과 비용 그리고 차량 보유여부에 기초하여 수단선택 모형을 구축하였다. 이 연구의 수단선택모형 함수식은 (식 1)과 같다.

$$\begin{aligned} V_A^{eo} &= \alpha_0^e + \alpha_1^e T_A^e + \alpha_2^e C_A^e + \alpha_4^e o^e \\ V_P^e &= \qquad \alpha_1^e T_P^e + \alpha_3^e C_P^e \end{aligned} \tag{1}$$

Where V_A^{eo}: Passenger car utility when a passerby with a household income class e and a vehicle ownership o status (V_P^{pe}: Public transport utility)

T_A^e: Travel time of passenger car when a passerby with a household income class e (unit: Minute)(T_P^e: Travel time of public transport)

C_A^e: Travel cost of passenger car when a passerby with a household income class e (unit: 100KRW)(C_P^e: Travel cost of public transport)

o^e: Dummy variables related to furniture vehicle availability in case of a passerby with a household income class e (not held: 0, held: 1)

α_x^e: Mode choice utility parameters for travel time, cost and vehicle retention in case of a passerby with a household income class e ($x=0$: constant)

효용 함수의 파라미터는 (식 2)의 로지스틱 회귀분석 식을 통해 산정하였다. 분석에 사용된 변수 중 통행시간은 승용차를 기준으로 대중교통의 시간을 뺀 값을 변수로 설정한 값이다. 이는 통행자가 승용차 또는 대중교통을 이용하는데 소비되는 시간을 수단과 관계없이 동일한 가치로 판단함을 가정한다. 반면, 통행비용 파라미터는 수단별로 각각 산출한다. 이는 통행자가 승용차 또는 대중교통을 이용 시 소비되는 비용을 수단에 따라 다른 가치로 판단함을 가정한다. 가구차량보유여부 변수는 더미변수의 형태로써, 가구 내 차량을 보유하고 있는 경우 1, 없는 경우 0을 대입하여 파라미터 값을 산출하였다.

$$\ln\left(\frac{P_A^{eo}}{P_P^{eo}}\right) = \beta_0^e + \beta_1^e(\Delta T^e) + \beta_2^e C_A^e + \beta_3^e C_P^e + \beta_4^e o^e \tag{2}$$

Where P_A^{eo}: Passenger car choice probability when a passerby with a household income class e and a vehicle ownership o status (P_P^{eo}: Public transport choice probability)

ΔT^e: Difference in public transit time based on Passenger car trip time in case of a passerby with a household income class e

β_x^e: Logistic regression analysis parameters in case of a passerby with a household income class e ($\beta_3^e = -\alpha_3^e$ others $\beta_x^e = \alpha_x^e$)

2) 수단선택 모형 파라미터 산정

(식 2)에 기초하여 소득계층별 총 세 차례의 로지스틱 회귀분석을 수행하였다. 로지스틱 회귀분석을 통해 도출한 각 조건별 파라미터와 모형의 적합도는 [표 5]와 같다. 로지스틱 회귀분석모형의 적합도는 x^2와 Pseudo R^2를 통해 검증한다.[10]

수단선택 효용함수의 분석결과는 통행시간과 통행비용, 차량유무와 관련한 파라미터 값을 통해 확인하였다. 해당 파라미터는 각 조건별로 통행에 소요되는 비용과 시간이 각각 1분, 100원 씩 증가할 때 혹은, 가구내 차량을 보유할 경우 통행자가 받는 효용의 변화량을 의미한다. 기존 연구에서는 일반적으로 통행시간과 비용의 파라미터는 음수(-) 값이다. 이는 통행에 소요되는 비용과

Table 5. Mode choice utility function parameters and explanatory power

Sortation		Variable	β	S.E.	Wals	P-value	Exp(β)
Low income	parameters	Constant	-2.868	.026	12,557	.000***	.057
		Travel time	-.042	.001	6,571	.000***	.959
		Travel cost of car	-.018	.000	1,301	.000***	.982
		Travel cost of public	-.063	.003	504	.000***	1.065
		Car ownership	2.641	.017	24,780	.000***	14.025
	Fitness	x^2		54638.693	P-value		.000
		Cox & Snell R^2		.274	Nagelkerke R^2		.365
Middle income	parameters	Constant	-2.329	.035	4,451	.000***	.097
		Travel time	-.046	.001	5,347	.000***	.955
		Travel cost of car	-.020	.001	1,387	.000***	.981
		Travel cost of public	-.054	.003	342	.000***	1.055
		Car ownership	2.156	.028	5,802	.000***	8.635
	Fitness	x^2		19764.342	P-value		.000
		Cox & Snell R^2		.156	Nagelkerke R^2		.209
High income	parameters	Constant	-2.122	.059	1,280	.000***	.120
		Travel time	-.047	.001	2,428	.000***	.954
		Travel cost of car	-.016	.001	473	.000***	.984
		Travel cost of public	-.040	.004	98	.000***	1.040
		Car ownership	2.115	.052	1,644	.000***	8.293
	Fitness	x^2		6923.022	P-value		.000
		Cox & Snell R^2		.114	Nagelkerke R^2		.153

시간이 증가할수록 통행자가 얻는 효용의 값이 줄어듦을 의미한다. 분석결과 해당 파라미터 값은 목적통행별로 다소 차이가 있지만, 모두 음수(-) 값으로써, 기존 선행연구와 일치하는 결과를 도출하였다. 반면, 차량보유여부와 관련된 파라미터는 양수(+) 값이다. 이는 차량을 보유한 경우 자가용과 관련된 효용값이 증가함을 의미한다. 분석결과 차량보유 여부 관련 파라미터 값은 모든 조건에서 양수(+) 값으로써, 기존 선행연구와 일치하는 결과를 도출하였다. 각 통행목적 및 소득계층별 수단선택과 관련된 통행특성을 파악하기 위해, 파라미터를 활용한 조건별 시간비용을 산출하고 이를 비교 분석하였다.

3) 통행목적 및 소득계층별 시간가치

통행의 시간가치는 교통 서비스를 이용하는 사람이 통행할 때, 단위시간에 대해 느끼는 심리적인 희생감을 금전으로 환산한 것이다. 즉, 통행의 시간가치(VOT: value of time)는 개인이 한 단위의 통행시간을 단축하기 위하여 기꺼이 지불할 용의(willingness to pay)가 있는 금전적 가치를 의미한다(조남건, 2001).

통행의 시간가치를 산출하는 방법으로 한계교환율법을 적용하였다. 한계교환율법은 이용 가능한 두 개 이상의 교통수단에 대해 각 수단의 통행시간과 통행비용 등을 비교하여, 이용자가 실제로 선택한 통행수단에 대한 개별행태를 추정하여 시간가치를 찾는 방법이며, 산출방식은 (식 3)과 같다.

$$Time\ value = \frac{Travel\ Time\ Parameter}{Travel\ Cost\ Parameter} \tag{3}$$

소득계층별 각 수단의 시간가치 산출결과는 총 두 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 가구소득이 증가할수록 시간 가치가 증가함을 확인하였다. 둘째, 승용차를 통한 통행의 시간가치가 대중교통을 통한 통행의 시간가치에 비해 더 크다([표 6] 참조).

한국교통연구원의 2011년 전국 여객 O/D 전수화 및 장래수요

Table 6. Time value by trip purpose and income class

Unit: Won/Hour

Mean	Low income	Middle income	High income
Car	14,085	14,091	17,690
Public	4,003	5,157	7,138

예측보고서는 한계교환율법에 근거하여 개인교통수단과 대중교통수단의 시간가치를 산출하였다(김수철·김찬성 2012). 이 연구는 동일한 방법론을 사용해 통행목적 및 소득계층별 각 수단의 시간가치를 산출하고 해당 보고서의 시간가치와 비교하여 검증하였다. 보고서에 따르면, 가정기반 통근통행의 수단별 시간가치는 각각 12,877원(승용차)과 5,997원(대중교통)으로 나타났다. 이는 가구소득에 따라 일부 차이가 있지만 대체로 유사한 결과임을 확인 하였다.

4. 소득계층별 목적지선택특성 산출

1) 소득계층별 각 존간 통행효용 Matrix 구축

전통적인 4단계 교통수요 예측과정(통행발생, 통행분포, 교통수단선택, 노선배정)을 거쳐 교통수단 선택확률을 예측하는 모형을 통행교차 교통수단 분담모형이라 칭한다(윤대식, 2001). 이 연구는 통행교차 교통수단 분담모형이론에 기반하고 있다. 이는 통행자가 통행의 기점에서 목적지를 선택함에 있어 기·종점간의 수단별 효용값을 고려하기 이전에 하나의 종합적인 값 즉, 접근도를 기준으로 통행의 종착지를 결정함을 의미한다. 각 수단별 통행효용 지표가 종합된 하나의 접근도를 산정하기 위해서는 두 단계의 과정이 요구된다. 첫째, 각 수단별 존간 통행효용 Matrix를 산출한다. 둘째, 각 수단별 선택확률 Matrix를 산출하고 이를 존간 통행효용 Matrtix와 조합하여 각 존간 접근도 지표를 산정 한다. 본 연구는 위의 두 단계 과정을 통해 기·종점 접근도를 산정하고 이를 근거로 소득계층별 목적지선택특성을 산출하였다.

수단별 존간 통행효용 Matrix를 구축하기 위해서는 각 존간 수단별 통행시간 및 통행비용 Matrix와 조건별 파라미터의 조합이 요구된다. 앞서 구축한 각 존간 수단별 통행시간 및 비용 Matrix와 각 조건별 파라미터를 조합하여 각 존간 수단별 통행효용 Matrix를 구축하였다. 수단별 존간 통행효용 Matrix를 구하는 식은 (식 4)와 같다.

저소득계층의 가구는 약 30%가량 차량을 보유하지 않기 때문에 차량 보유가구와 차량 미보유 가구를 구분하여 통행효용 Matrix를 구축하였다. 그러나 중, 고소득 가구는 차량을 보유하지 않은 가구가 10%미만(각각 9.7%, 5.1%)으로 대부분 가구에서 차량을 보유하고 있기 때문에, 차량을 보유한 가구만을 대상으로 통행효용 Matrix를 구축하였다.

$$\begin{aligned} V_{Aij}^{eo} &= \alpha_0^e + \alpha_1^e T_{Aij} + \alpha_2^e C_{Aij} + \alpha_3^e o \\ V_{Pij}^{e} &= \qquad \alpha_1^e T_{Pij} + \alpha_3^e C_{Pij} \end{aligned} \tag{4}$$

Where V_{Aij}^{eo}: Passenger car utility when a passerby with a household income class e and a vehicle ownership o status from zone i to j (V_{Pij}^{e}: Public transport utility)

T_{Aij}: Passenger car travel time from zone i to j (T_{Pij}: Public transport travel time)

C_{Aij}: Passenger car cost time from zone i to j (C_{Pij}: Public transport travel cost)

o: Dummy variables related to furniture vehicle availability (not held: 0, held: 1)

α_x^e: Mode Choice Utility Parameters for Travel Time, Cost and Vehicle Retention in case of a passerby with a household income class e ($x=0$: constant)

위 수식을 통해 도출한 수단별 통행효용 Matrix를 단일수단으로 통합하기 위해서는 각 조건별 수단선택 확률을 산정해야 한다(식 5 참조). 이후 각 조건별 수단선택 확률을 기준삼아 두 가지 수단의 통행효용 지표를 가중평균 하여 단일한 접근도 지표를 산출한다(식 6 참조).

$$\begin{aligned} P_{Aij}^{eo} &= e^{V_{Aij}^{eo}} / [e^{V_{Aij}^{eo}} + e^{V_{Pij}^{e}}] \\ P_{Pij}^{eo} &= e^{V_{Aij}^{e}} / [e^{V_{Aij}^{eo}} + e^{V_{Pij}^{e}}] \end{aligned} \tag{5}$$

Where P_{A}^{eo}: Passenger car choice probability when a passerby with a household income class e and a vehicle ownership o status (P_{P}^{eo}: Public transport choice probability)

$$V_{ij}^{eo} = (V_{Aij}^{eo} * P_{Aij}^{eo}) + (V_{Pij}^{e} * P_{Tij}^{eo}) \tag{6}$$

Where V_{ij}^{eo}: Utility when a passenger by with a household income class e and a vehicle ownership o status for from zone i to j

2) 목적지 선택 파라미터 산출

기존 선행연구에서는 일반적으로 통행시간(비용) 또는 일반화 비용을 기준으로 통행분포를 추정한다. 이 경우 종점이 기점에서부터 멀어질수록 통행시간(비용) 또는 일반화 비용이 증가하고 목적지 선택 확률은 감소한다. 반면, 이 연구에서 제시하는 활동기반 접근도는 각 조건별 수단선택 모형 파라미터에 기초하여 산출된 통행 효용값을 기준으로 통행분포를 추정한다. 효용값은 기·종점간에 통행시간 또는 비용이 증가할수록 감소하며, 효용이 높을수록 목적지 선택확률은 동시에 높아진다. 이러한 현상을 반영하기 위해 지수함수를 저항함수로 갖는 중력모형을 통해 효용에 따른 통행분포를 추정하였다.[11]

분석은 가구통행실태조사 원시자료 통행 자료를 활용하였다. 해당자료를 소득계층별로 구분하고, 각 통행별 통행 기점과 종점 자료를 기초로 하여 통행 효용값을 대입하였다. 이후, 각 조건별 효용값에 따른 통행발생량을 누적하여 효용값이 통행분포에 미치는 영향을 분석하였다. 분석모형은 (식 7)과 같으며, 소득계층

Table 7. Destination choice parameters and significance probabilities

Condition	Model summary			Estimated value	
	R^2	F	P-value	Constant	Parameter
Low-income(Not held a Car)	.782	2353.825	.000	567.863	.798
Low-income(Held a Car)	.819	3258.145	.000	1498.092	.912
Middle-income(Held a Car)	.779	2755.213	.000	995.192	.801
High-income(Held a Car)	.779	2366.217	.000	528.249	.825

별 모형의 적합도와 산출된 파라미터는 [표 7]과 같다. 모형의 적합도는 R^2를 통해 확인할 수 있다.

$$Q^{eo} = \alpha^{eo} \cdot \exp(\beta^{eo} V^{eo}) \tag{7}$$

Where Q^{eo}: Cumulative traffic volume between origin and destination zone that has utility value V^{peo} by the passenger with a household income class e and a vehicle ownership o status

V^{eo}: Utility when a passerby with a household income class e and a vehicle ownership o status

α^{eo}: Destination choice function constant in case of a passerby with a household income class e and a vehicle ownership o status

β^{eo}: Destination choice function parameter in case of a passerby with a household income class e and a vehicle ownership o status

통행분포 추정함수의 형태는 비선형 회귀분석에서 도출된 상수항과 파라미터에 의해 결정된다. 이 중 상수항은 각 조건별 통행량에 의해 산출되며, 파라미터는 효용에 따른 통행분포의 패턴에 의해 결정된다. 즉, 각 통행분포함수의 형태는 파라미터 값에 의해 추정할 수 있다. 파라미터 값은 소득계층별 통행을 수행할 때, 종착지의 효용이 목적지 선택에 미치는 영향을 의미한다. 파라미터 값이 크면 기·종점간의 효용값이 작아질수록 목적지로 선택할 가능성이 크게 감소함을 의미한다. 반면, 파라미터 값이 작으면 기·종점간의 효용값이 동일하게 작아진다 하더라도 목적지로 선택할 가능성이 비교적 적게 감소함을 의미한다. 이 연구는 효용에 따른 통행분포의 함수형태를 산출하기 위해서 파라미터를 기준으로 소득계층별 목적지 선택함수 추세선을 그림 3과 같이 형상화 하였다.

지수함수에 근거한 비선형 회귀분석을 통해 도출된 파라미터를 활용하여 각 조건별 통행분포를 비교하는 데에는 한계가 존재한다. 왜냐하면 각 조건별 통행시간과 비용이 통행효용에 미치는 영향이 서로 상이하기 때문이다. 따라서 비선형 회귀분석을 통해 산출된 파라미터의 크고 작음을 가지고 통행시간과 비용의 결과를 직관적으로 해석할 수 없다. 이에 다음에서 합성미분법을 활용하여 통행목적별로 통행시간 및 비용의 차이가 통행량에 미치는 영향을 구체적으로 분석하였다.

3) 통행시간과 비용이 소득계층별 목적지 선택에 미치는 영향분석

앞서 도출한 소득계층별 수단선택 효용함수와 소득계층별 통행분포 추정함수를 조합하여 각 조건별로 통행시간 및 비용의 차이가 통행량 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 분석하기 위해 라이프니츠의 합성함수 미분법이 활용하였다. 즉, 수단선택

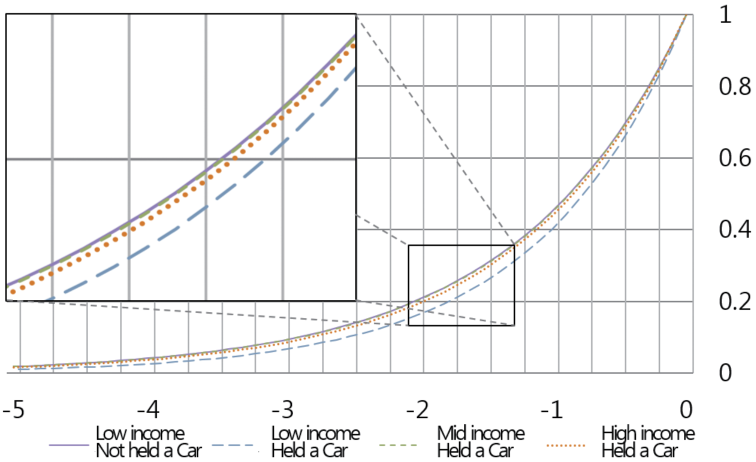


Figure 3. Destination choice function trend

효용함수와 통행분포 추정함수를 각각 미분하고 이를 곱하여 통행시간 및 비용의 차이가 통행량에 미치는 영향을 구하였다(식 8 참조).

$$\frac{dQ^{eo}}{dT^{eo}} = \beta_1^{eo} \cdot \exp(\beta_1^{eo} \cdot V) \cdot \beta_2^{e}$$
$$\frac{dQ^{eo}}{dC^{eo}} = \beta_1^{eo} \cdot \exp(\beta_1^{eo} \cdot V) \cdot \beta_3^{e} \quad (8)$$

Where $\frac{dQ^{eo}}{dT^{eo}}$: The change in the traffic volume according to the change of the traffic time when the passenger with a household income class e and a vehicle ownership o status under the condition of utility V

$\frac{dQ^{eo}}{dC^{eo}}$: The change in the traffic volume according to the change of the traffic cost when the passenger with a household income class and a vehicle ownership o status under the condition of utility V

V: Condition of utility

β_1^{eo}: Destination choice function parameter in case of a passerby with a household income class e and a vehicle ownership o status

β_2^{e}: Mode Choice Utility function parameters for Travel Time in case of a passerby with a household income class e

β_3^{e}: Mode Choice Utility function parameters for Travel cost in case of a passerby with a household income class e

통행분포 추정함수는 지수함수에 근거한 비선형 함수식이기 때문에, 미분 시 미지수로 적용된 통행효용변수가 수식에 남게 된다. 따라서 합성함수 미분법을 통해 도출한 통행시간 또는 비용 차이에 따른 통행량 변화량은 통행 효용값에 따라 변화한다. 즉, 통행 효용값이 통행량 변화량의 조건으로 존재한다. 이 연구는 각 통행효용 조건별 통행시간과 비용의 차이가 통행량 변화에 미치는 영향력을 그림 4와 같이 추세선을 통해 도면화 하고 이를 분석하였다.

도면의 X축은 통행효용 조건을 의미하며, Y축은 각 효용 조건별 통행시간 또는 비용의 차이에 따른 통행량 변화량을 뜻한다. 즉, Y축 값이 클수록 통행시간 또는 비용의 차이에 따라 통행량 변화가 크게 나타남을 의미한다. 또한 기울기는 통행효용 조건에 따른 통행량 변화량의 차이를 의미한다. 따라서 기울기가 큰 경우 통행효용조건이 변화함에 따라 통행시간 또는 비용의 차이가 통행량 변화에 미치는 영향력이 크게 변화함을 의미한다.

분석결과는 통행시간과 통행비용의 차이가 통행량에 미치는 영향을 각각 구분하여 살펴보고, 소득계층별 차이를 확인하였다. 통행시간의 차이가 통행량 변화에 미치는 영향을 확인한 결과, 소득이 증가할수록 통행시간의 차이가 통행량 변화에 크게 영향

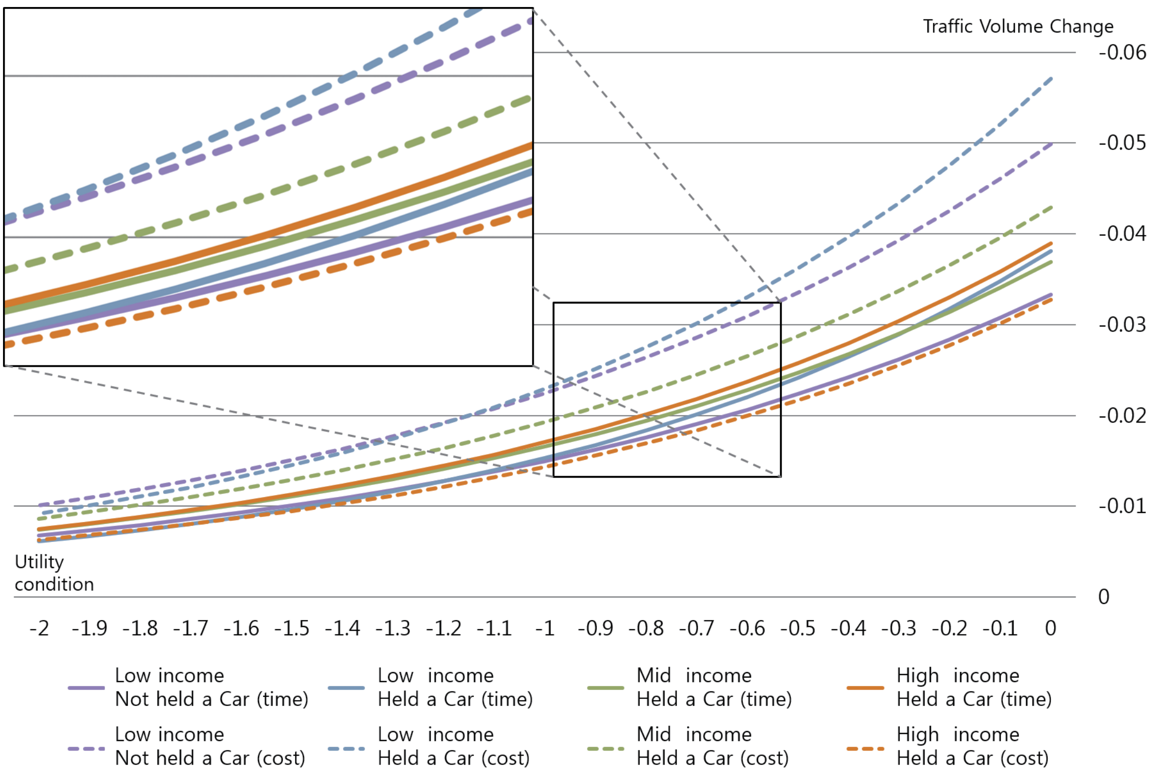


Figure 4. Traffic volume change due to change in transit time and cost by utility condition

을 미치는 것으로 확인 되었다. 즉, 고소득의 경우 기·종점간 통행에 소요되는 시간의 차이에 따라 통행량이 민감하게 반응함을 의미한다. 결과적으로 시간을 절약할 수 있는 수단 및 목적지 선택이 이루어짐을 알 수 있다. 만일, 직장의 위치가 고정되어 있는 경우에는 통근시간이 절약되는 지역으로 주거의 입지를 선택함을 간접적으로 시사한다.

반면, 통행비용의 차이가 통행량 변화에 미치는 영향을 확인한 결과, 소득이 감소할수록 통행비용의 차이가 통행량 변화에 크게 영향을 미치는 것으로 드러났다. 이는 저소득의 경우 기·종점간 통행에 소비되는 비용의 차이에 따라 통행량이 민감하게 반응함을 의미하며, 직장의 위치가 고정되어 있는 경우 통행비용이 절약되는 지역으로 주거의 입지를 선택함을 시사한다.

가구소득별 통행량 변화량은 서로 상이하다. 고소득계층의 통행을 타 소득계층과 비교하였을 때, 통행시간에 가장 민감하고 통행비용에 가장 둔감한 형태를 보였다. 반면, 저소득계층은 통행시간에 가장 둔감하고 통행비용에 가장 민감한 결과를 나타내었다. 이는 앞서 살펴 본 소득계층별 시간가치 분석결과와 일치하는 내용이다.

Ⅳ. 결 론

본 연구는 앞서 본 연구자가 접근도 개념을 체계화하고 국내 주책정책에 부합하는 접근성 산출방식을 제시한 연구(장성만, 2017b)의 후속 연구로써, 국내 공공임대 주택정책에서 제시하고 있는 가구소득 기준에 준하여 통행자를 구분하고 각 그룹별 통행특성을 분석하는데 목적이 있다.

본 연구는 실제 국내 정책에서 활용 가능한 가구 구분기준에 근거하고, 통행자가 수단 및 목적지를 선택함에 있어서 판단의 준거가 되는 효용을 계량적으로 산정하며, 다양한 목적별 통행 특성을 분석하였다는 점에서 기존 선행연구와 차별화 되며 중요한 의미를 갖는다. 본 연구에서 차용한 연구 방법론 및 도출한 분석결과가 갖는 의미를 다음 두 가지로 요약하였다.

첫째, 본 연구의 분석결과 소득계층별로 수단과 목적지를 선택함에 있어서 서로 다른 통행특성을 확인하였다. 이는 앞선 연구에서(장성만, 2017b) 제시한 각 소득계층별 차등적인 접근도 산출방식의 필요성을 실질적으로 확인한 연구결과이다. 본 연구는 임대주택 정책에서 기준으로 삼고 있는 가구소득구분 기준에 따라 차등적인 접근도 산출 연구의 당위성을 밝힌 실증분석연구로의 의미가 있다.

둘째, 효용에 근거한 통행특성 분석 방법론을 활용하였다. 본 연구는 각 존간 소요되는 통행시간과 비용에 근거하여 효용값을 각 소득계층별로 차등적으로 산정하였다. 이후 이를 근거로 기종간의 통행특성을 분석하였다. 특히, 수단별 소요되는 통행시간 및 비용을 하나의 지표 즉, 접근도로 계량화 하였다. 이를 통해 토지이용과 교통인프라 그리고 통행자의 사회·경제적인 조건을 동시에 고려한 지표를 활용하여 소득계층별 통행특성을 분석하였다.

본 연구는 국내 주택 정책을 수립하고 공급 대상지를 결정함에 있어 주택 수요자의 생활 및 활동을 고려 할 수 있는 접근도 지표 산출의 근거를 제시하였다. 그간 사회경제적 조건에 따라 서로 통행특성이 상이하다는 많은 연구가 선행되었으나, 본 연구는 가구 소득을 근거로 통행자를 구분하고 통행의 기종점간 소요되는 통행비용과 시간에 기초하여 통행효용을 산정해 통행특성을 분석하였다는 점에서 의의가 있다.

가구소득계층별 지역의 접근도를 산정하기 위해서는 본 연구에서 밝힌 소득계층별 통행특성 자료가 유용하게 활용될 수 있다. 그러나 지역별 접근도 지표를 산정하기 위해서는 통행자의 사회·경제적인 조건별 통행특성 뿐 아니라 지역의 토지이용 및 차량이 없는 중소득, 고소득 가구의 통행특성도 분석되고 반영되어야 한다. 또한, 비록 접근도는 유리하나, 주거입지 비용으로 인해 직주근접이 이루어지지 않은 소득계층에 관한 분석이 요구된다. 이러한 미흡한 연구내용은 향후 연구를 통해 지속적으로 발전시키고 보완할 계획이다.

주1. PA접근방법에 있어 가정기반통행(home-based trip)의 경우 통행의 방향과 관련 없이 가정이 있는 존이 통행 생성 존(production zone)이 되고, 그 통행의 가정이 아닌 다른 쪽 통행단(trip end)은 통행 유인 존(attraction zone)이 된다. PA접근방법의 경우 가정에서 출발하고 가정으로 돌아오는 통행수를 함께 고려함으로써 근본적인 통행의 특성을 손실시키지 않고 유지하게 된다. 이와 같이 근본적인 활동목적을 반영하고 귀가통행을 하나의 통행목적 범주에 포함시켜 동일한 특성을 함께 유지하도록 한 PA접근방법은 통행행태를 기초로 하였기에 이론적으로 OD 접근방법보다 우수하다고 할 수 있다(수도권교통본부, 2009).

주2. 가구통행실태조사자료 가구소득계층 구분기준은 월 소득을 기준으로 하며, 1분위는 100만원 미만, 2분위는 200만원 미만, 3순위는 300만원 미만, 4순위는 500만원 미만, 5분위는 1,000만원 미만 그리고 6분위는 1,000만원 이상으로 구분한다.

주3. 공공임대주택 정책의 수요계층은 통계청에서 제시하고 있는 도시에 거주하고 있는 근로자 가구의 월평균 소득을 기준으로 삼고 있다. 분석의 시간적 범위인 2010년 기준, 가구원수별 가계수지에 따르면 2인 이상 가구의 도시근로자 가구당 월평균소득은 4,007,671원이다. 가구통행실태조사 자료의 가구소득 3분위 이하는 월 소득 300만원 미만으로써, 통계청 가구소득기준의 4분위(2,965,453원)와 유사하다. 한편, 가구통행실태조사 자료의 가구소득 4분위는 월 소득 500만원 미만으로써, 통계청 가구소득기준 8분위(5,051,094원)와 유사하다.

주4. 자가용 네트워크 분석의 우선순위는 고속국도, 연결램프, 도시고속화도로가 1순위, 일반국도, 특별/광역시도가 2순위, 국가지원지방도와 지방도는 3순위 그리고 시군도는 4순위로 정의하였다.

주5. 본 연구에서 도로유형별 통행속도 산정하기 위해 분석한 방식은 도로의 용량을 고려하지 않고 각 존간 최단 거리 산정방식에 근거한 All or Nothing 방식을 취하고 있다. 이는 실제 통행량을 반영하는데 일부 한계가 있으나, 각 존간 통행시간 및 비용을 산출 하는데 있어 가장 합리적인 방법으로 판단되어 본 연구에 활용하였다.

주6. km당 주행요금 단가는 1종을 적용하였다. 통행비용 산출 시 통행료가 청구되지 않는 인접지역의 짧은 통행거리 이용의 경우를 제외하기 위하

여 고속도로 통행거리 2km미만의 존간 통행은 유료도로 비용 산정에서 제외하였다.

주7. 대중교통 네트워크 분석의 우선순위는 도시철도, 광역버스, 좌석버스, 일반버스, 마을버스 순으로 정의하였다. 존간 최단거리 노선길이는 도시철도와 버스를 구분하여 산출하였다.

주8. 수단선택과 관련한 선행연구를 종합하면 수단선택과 관련된 기존 연구는 일반적으로 효용이론에 근거한 확률선택 모형 기반 로짓모형을 적용하였다(국토교통부, 2008; 김수철·김찬성, 2012; 수도권교통본부, 2009; 도철웅, 2006). 단, 각 연구에서 정의하는 통행수단과 수단선택 의사결정과정에 따라 이분형 로짓모형에서 네스티드 로짓모형까지 다양한 분석 방법을 수행하였다.

주9. 다수 선행연구가 수단선택모형에 활용한 변수는 수단별 통행시간 및 비용, 가구소득, 통행자의 연령, 성별, 나이, 결혼여부, 최종학력, 직업의 종류, 가족 수, 거주 지역, 가구주의 여부, 자가용 보유대수 등 다양하였다(조남건·윤대식, 2002; 강수철 외, 2009; 김경범·황성수, 2010; 김성희 외, 2001; 김형철, 2005; 윤대식 외, 2008; 전명진·백승훈, 2008).

주10. x^2검정 결과를 통해 분석모형이 기저모형에 비해 적합도가 유의미하게 좋아졌는지 확인할 수 있다. Pseudo R^2는 회귀분석모형의 R^2와 유사하여 종속변수에 대한 설명변수의 설명력을 의미하나, 로지스틱 회귀분석모형의 Pseudo R^2는 대체로 작은 값을 갖는다. 이로 인하여 로지스틱 회귀분석모형에서 Pseudo R^2는 모형설정단계에서 중요한 부분을 차지하지 않고 참고 정보로 활용 된다.

주11. 중력모형에서 기종점간 저항함수로 일반적으로 세 가지 형태의 함수(지수함수, 파워함수, 결합함수)가 사용된다. 각 저항함수 별 파라미터를 추정하는 연구들이 국내외에서 다수 진행되어 왔다. (Hyman, 1969; Evans, 1970; Wilson, 1970; 윤성순, 1993; 김형진, 1996; 노정현, 1991; 노정현 외, 2005; 임용택·김상구, 2006;)

인용문헌
References

1. 강수철·남승용·김만배, 2009. "직장인의 차량보유 결정요인 및 통근수단 선택행태 분석", 「한국정책과학학회보」, 13(1): 287-302.
   Kang, S.C., Nam, S.Y. and Kim, M.B., 2009. "Analysis of Determinant Factor of Employee's Vehicle Ownership and Travel Mode Choice", *Korean Policy Science Review*, 13(1): 287-302.

2. 국토교통부, 2008. 「2007년 국가교통 DB사업; 광역권 여객 기종점통행량 전수화」, 세종.
   Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2008. *2007 National Transportation DB Project; Passenger O/D Traffic Expansion in Metropolitan Area*, Sejong.

3. 김경범·황경수, 2010. "제주지역의 교통수단선택 행태에 관한 연구", 「한국산학기술」, 11(12): 4795-4802.
   Kim. K.B. and Hwang. K.S., 2010. "A Study on the Choice Behavior of Transportation Mode in Jeju", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 11(12): 4795-4802.

4. 김규일·이창효·이승일, 2010. "DELTA 모델을 이용한 교통에너지 및 탄소배출 시나리오 분석", 「국토계획」, 45(6): 117-135.
   Kim. K.I., Yi. C.H. and Lee. S.L., 2010. "A Scenario Analysis on Transport Energy Consumption and Carbon Emission Using DELTA", *Journal of Korea Planners Association*, 45(6): 117-135.

5. 국토교통부, 2013. 「제2차 장기('13년~'22년) 주택종합계획」, 세종.
   Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013. *The Second Long Term ('13~22) Housing Comprehensive Plan*, Sejong.

6. 김성희·이창무·안건혁, 2001. "대중교통으로의 보행거리가 통행수단선택에 미치는 영향", 「국토계획」, 36(7): 297-307.
   Kim. S.H., Lee. C.M. and Ahn. K.H., 2001. "The Influence of Walking Distance to a Transit Stop on Modal Choice", *Journal of Korea Planning Association*, 36(7): 297-307.

7. 김수철·김찬성, 2012. 「2011년 전국여객 O/D 전수화 및 장래수요예측 Ⅱ」, 한국교통연구원, 고양.
   Kim, S. and Kim, C., 2012. *The National Passenger O/D Expansion in 2011 and Prediction of Future Demand*, The Korea Transport Institute, Goyang.

8. 김익기·박상준, 2015. "장래 개발계획에 의한 추가 통행량 분석시 OD 패턴적용과 PA 패턴적용의 분석방법 비교", 「대한교통학회지」, 33(2): 113-124.
   Kim, I.K. and Park, S.J., "Comparison Between Travel Demand Forecasting Results by Using OD and PA Travel Patterns for Future Land Developments", *Journal of Korean Society of Transportation*, 33(2): 113-124.

9. 김채만·좌승희, 2009. 「가구소득을 고려한 가구통행발생모형 개발」, 기본연구1-1, 경기연구원, 수원.
   Kim, C., and Jwa, S., 2009. *A Development of Household Trip Generation Model related to Household Income*, Basic Research of Gyeonggi Research Institute 1-1, Suwon

10. 김형진, 1996, "중력모형의 적합도 검증", 「대한교통학회지」, 14(1): 43-50.
    Kim, H.J., 1996, "Testing Goodness of Fit of Gravity Models", *Journal of Korean Society of Transportation*, 14(1): 43-50.

11. 김형철, 2005. "대도시권 교통수단선택 행태분석과 정산모형의 비교", 한양대학교 대학원 교통공학과 석사학위논문.
    Kim. H.C., 2005. "Comparison of the Calibrated Models and Mode Choice Behavior Analysis Among Metropolitan Areas in South Korea", M. D. Dissertation, Hanyang University.

12. 노정현, 1991. "엔트로피 극대화 통행배분모형의 효율적 해법개발", 「대한교통학회지」, 9(2): 121-126.
    Roh, J.H., 1991. "Development of an Efficient Solution Method for the Wilson's Trip Distribution Model", *Journal of Korean Society of Transportation*, 9(2): 121-126.

13. 노정현·김재진·김태균, 2005. "고속도로 이용차량에 대한 통행분포 모형의 적합성 연구", 「국토연구」, 45: 93-104.
    Roh, J.H., Kim, J.J. and Kim, T.G., 2005, "A Suitability Analysis of Trip Distribution Models for Vehicular Movements on the Express Highway in Korea", *The Korea Spatial Planning Review*, 45: 93-104.

14. 도철웅, 2006. 「교통공학원론(하)」, 파주: 청문각.
    Doh, C.W., 2006. *Basic Principles of Traffic Engineering (2)* , Paju: Cheongmoon.

15. 수도권교통본부, 2009. 「수도권 장래교통 수요예측 및 대응방안 연구」, 서울.
    Metropolitan Transportation Authority, 2009. *A Study on the Demand for Future Transportation in the Metroporitan Area*, Seoul.

16. 안영수, 2013. "토지이용-교통모델 기반의 수도권 기업입지모델 개발 연구", 서울시립대학교 대학원 도시공학과 박사학위논문.
    An. Y.S., 2013. "A Study on the Development of a Long-term Firm Location Model based on Land Use - Transport Model in the Seoul Metropolitan Area", Ph. D. Dissertation, University of Seoul.

17. 오재학·박지형, 1997. "「수도권 여객통행행태의 조사: 개별통행 행태모형의 정립을 중심으로」, 한국교통연구원, 고양.
Oh, J., and Park J., 1997. *A Study of the Urban Travel Behaviours in the Seoul Metropolitan Area: Estimation of Disaggregate Demand Models*, The Korea Transport Institute, Goyang.

18. 윤대식, 2001. 「교통수요분석 – 이론과모형」, 서울: 박영사.
Yun. D.S., 2001. *Traffic Demand Analysis – Theory and Model*, Seoul: Pakyoungsa.

19. 윤대식·황정훈·문창근, 2008. "도농통합도시 시민의 교통수단선택 특성과 통행패턴에 관한 연구", 「국토연구」, 57: 117-131.
Yun. D.S., Hwang. J.H. and Moon. C.K., 2008. "A Study on Analysis of Mode Choice Characteristics and Travel Pattern in Urban-Rural Integrated City", *The Korea Spatial Planning Review*, 57: 117-131.

20. 윤성순, 1993. "일반화중력모형 파라메터의 새로운 최우추정기법 개발", 「대한교통학회지」, 11(1): 55-66.
Yun S.S., 1993. "New Maximum Likelihood Estimation Algorithms for the Parameters of Generalized Gravity Model", *Journal of Korean Society of Transportation*, 11(1): 55-66.

21. 이승일, 2010. "저탄소·에너지절약도시 구현을 위한 우리나라 대도시의 토지이용-교통모델 개발방향", 「국토계획」, 45(1): 265-281.
Lee, S.I., 2010. "Development Scheme of a Land-Use Transport Model for Korea's Large Cities Toward a Low-Carbon-Energy-Saving City", *Journal of Korea Planning Association*, 45(1): 265-281.

22. 이승일·이창효, 2015. "토지이용 – 교통 통합모델의 수도권 적용을 위한 모델 적합성 연구 – DELTA의 입지 하위모델의 모수산출을 대상으로", 「국토계획」, 50(3): 39-54.
Lee, S.I. and Yi, C.H., 2015. "Fitting a Land Use – Transport Model for its Application to the Seoul Metropolitan Area – Calibrating the Location Sub-Model of DELTA", *Journal of Korea Planners Association*, 50(3): 39-54.

23. 이승일·장성만, 2018. "노면전차의 장기적·종합적 효과분석을 위한 토지이용-교통통합모델의 수원시 사례 적용", 「국토계획」, 53(1): 63-84.
Lee, S.I. and Jang, S.M., 2018. "Applying Land-use Transport Integrated Model for Analyzing Long-term and Comprehensive Effect of Tram in the City of Suwon, Korea", *Journal of Korea Planners Association*, 53(1): 63-84.

24. 이종호, 2011. "서울시 가구통행발생 특성 분석", 「대한토목 D」, 31(5): 657-662.
Rhee, J.H., 2011. "Analysis of Household Trip Generation Characteristics in Seoul", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, 31(5): 657-662.

25. 이창효, 2012. "토지이용-교통 상호작용을 고려한 주거입지 예측모델 연구: DELTA의 활용을 중심으로", 서울시립대학교 대학원 도시공학과 박사학위논문.
Yi. C.H., 2012. "A Study on Residental Location Choice Model on Consideration of Land-use Transport Interaction Using DELTA", Ph. D. Dissertation, University of Seoul.

26. 이희연·김동완, 2006. "토지이용-교통 통합모형의 이론적 토대와 운용 메커니즘에 관한 소고", 「환경논총」, 44: 47-75.
Lee, H.Y. and Kim, D.W., 2006. "A Study on the Theoretical Foundation and Operation Mechanism of Land Use-transport Integration", *Journal of Environmental Studies*, 44: 47-75.

27. 마이홈포털, "연간공급계획", 2019.02.19. (https://www.myhome.go.kr/hws/portal/sch/selectAnnualSupplyView.do)

28. 국가교통DB, "2010년 전국 여객기종점통행량조사", 2019.02.19 (https://www.ktdb.go.kr/common/pdf/web/viewer.html?file=/site/www/dowonload/PassengerTripSurvey/2010_survey01.pdf)

29. 임용택·김상구. 2006. "장래 통행패턴을 고려한 중력모형의 파라미터 정산방법", 「국토연구」, 50: 93-104.
Lim. Y.T. and Kim. S.K., 2006, "Parameter Calibration of Gravity Model Considering Future Travel Patterns", *The Korea Spatial Planning Review*, 50: 93-104.

30. 장성만, 2017a. "토지이용-교통 상호작용을 고려한 통행목적 및 소득계층별 지역 접근도 산출연구", 서울시립대학교 대학원 도시공학과 박사학위논문.
Jang. S.M., 2017a. "A Study on the Regional Accessibility Calculation by Traffic Purpose and Income Level in Consideration of Land-use Transport Interaction", Ph. D. Dissertation, University of Seoul.

31. 장성만, 2017b. "우리나라 주택시장의 변화 양상에 부합하는 효용 기반 접근도 산출모델 개발 연구", 「국토계획」, 52(7): 5-22.
Jang, S.M., 2017b. "Development of a Utility-Based Accessibility Model in Accord with the Changes in the Korean Housing Market", *Journal of Korea Planners Association*, 52(7): 5-22.

32. 장태연·김대영·김정호·권진영, 2002. "과산포 현상을 고려한 가구내 비가정기반통행발생 모형구축", 「한국지역개발학회지」, 14(3): 123-134.
Jang, T.Y., Kim, D.Y., Kim, J.H. and Kwon, J.Y., 2002. "Modeling Non-Home Based Trip Generation of Household Considering Overdispersion", *Journal of the Korean Regional Development Association*, 14(3): 123-134.

33. 전명진·백승훈, 2008. "조건부 로짓모형을 이용한 수도권 통근수단 선택변화 요인에 관한 연구", 「국토계획」, 43(4): 9-19.
Jun, M.J. and Baek. S.H., 2008. "An Analysis on Determinants of Commuter's Mode Choice in the Seoul Metropolitan Area Using Conditional Logit Models", *Journal of Korea Planning Association*, 43(4): 9-19.

34. 조남건, 2001. "우리나라 지역간 통행의 시간가치 산출 연구", 「국토연구」, 31: 25-38.
Jo, N.G., 2001. "A Study on Estimating the Value of Travel Time for Inter-regional Trips in Korea", *The Korea Spatial Planning Review*, 31: 25-38.

35. 조남건·윤대식, 2002. "고령자의 통행수단 선택시 영향을 주는 요인 연구", 「국토연구」, 33: 129-144.
Jo, N.G. and Yun. D.S., 2002. "Mode Choice Factors of the Elderly", *The Korea Spatial Planning Review*, 33: 129-144.

36. 조중래·김채만, 1998. "출근통행 교통수단 선택행태의 지역간 비교연구 – 서울과 일산 신도시를 중심으로", 「대한교통학회지」, 34: 83-92.
Cho, J.R. and Kim, C.M., 1998. "A Regional Comparative Study on the Commuter Mode Choice Behavior – Case of Seoul and Ilsan New Town", *Journal of Korean Society of Transportation*, 34: 83-92.

37. Badoe, D.A. and Miller, E.J., 2000. "Transportation–land-use Interaction: Empirical Findings in North America, and Their Implications for Modeling", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 5(4): 235-263.

38. Bento, A., Cropper, M., Mobarak, A. and Vinha, K., 2003.

The Impact of Urban Spatial Structure on Travel Demand in the United States, The World Bank.

39. Dalvi, M.Q. and Martin, K.M., 1976. "The Measurement of Accessibility: Some Preliminary Results", *Transportation*, 5(1): 17-42.
40. Eliasson, J., 2010. "The Influence of Accessibility on Residential Location", in Residential Location Choice: Model and Applications, edited by Pagiara, F., Preston, J. and Simmonds, D., 137-164, Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
41. Evans, A.W., 1970, "Some Properties of Trip Distribution Methods", *Transportation Research*, 4(1): 19-36.
42. Geurs, K.T. and Ritsema van Eck, J.R., 2001. "Accessibility Measures: Review and Applications. Evaluation of Accessibility Impacts of Land-use Transportation Scenarios, and Related Social and Economic Impact", *RIVM Official Report*. 408505 006, Dutch Bilthoven: Dutch National Institute for Public Health and the Environment.
43. Geurs, K.T. and van Wee, B., 2004. "Accessibility Evaluation of Land-use and Transport Strategies: Review and Research Directions", *Journal of Transport Geography*, 12(2): 127-140.
44. Golob, T.F., 1989. "The Causal Influences of Income and Car Ownership on Trip Generation by Mode", *Journal of Transport Economics and Policy*, 23(2): 141-162.
45. Gutiérrez, J. and Urbano, P., 1996. "Accessibility in the European Union: The Impact of the Trans-European Road Network", *Journal of Transport Geography*, 4(1): 15-25.
46. Haghshenas, H. and Vaziri, M., 2012. "Urban Sustainable Transportation Indicators for Global Comparison", *Ecological Indicators*, 15(1): 115-121.
47. Handy, S., 1993. "Regional Versus Local Accessibility: Implications for Nonwork Travel", Reprinted from *Transportation Research Record 1400*, 58-66.
48. Hansen, W.G., 1959. "How Accessibility Shapes Land Use", *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2): 73-76.
49. Hyman, G.M., 1969. "The Calibration of Trip Distribution Models", *Environment and Planning A*, 1(1): 105-112.
50. Ingram, D.R., 1971. "The Concept of Accessibility: A Search for an Operational Form", *Regional Studies*, 5(2): 101-107.
51. Jovicic, G., 2001. "Activity Based Travel Demand Modelling: A Literature Study", *Technical Report*, *Danmarks Transport Forskning*.
52. Koenig, J.G., 1980. "Indicators of Urban Accessibility: Theory and Application", *Transportation*, 9(2): 145-172.
53. Levine, J., 1998. "Rethinking Accessibility and Jobs-housing Balance", *Journal of the American Planning Association*, 64(2): 133-149.
54. Mokhtarian, P.L. and Chen, C., 2004. "TTB or not TTB, That is the Question: A Review and Analysis of the Empirical Literature on Travel Time (and money) Budgets", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(9-10): 643-675.
55. Mokhtarian, P.L., Salomon, I. and Redmond, L.S., 2001. "Understanding the Demand for Travel: It's Not Purely1. 'Derived'", *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 14(4): 355-380.
56. Niemeier, D.A., 1997. "Accessibility: An Evaluation Using Consumer Welfare", *Transportation*, 24(4): 377-396.
57. Prashker, J., Shiftan, Y. and Hershkovitch-Sarusi, P., 2008. "Residential Choice Location, Gender and the Commute Trip to Work in Tel Aviv", *Journal of Transport Geography*, 16(5): 332-341.
58. Redmond, L.S. and Mokhtarian, P.L., 2001. "The Positive Utility of the Commute: Modeling Ideal Commute Time and Relative Desired Commute Amount", *Transportation*, 28(2): 179-205.
59. Schmöcker, J.D., Quddus, M.A., Noland, R.B. and Bell, M.G.H., 2005. "Estimating Trip Generation of Elderly and Disabled People: Analysis of London Data", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1924(1): 9-18.
60. Simmonds, D., 2010. "The DELTA Residential Location Model", in *Residential Location Choice*, edited by Pagiara, F., Preston, J. and Simmonds, D., 77-97. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
61. Spinney, J.E.L., Scott, D.M. and Newbold, K.B., 2009. "Transport Mobility Benefits and Quality of Life: A Time-use Perspective of Elderly Canadians", *Transport Policy*, 16(1): 1-11.
62. Stewart, J.Q., 1948. "Demographic Gravitation: Evidence and Applications", *Sociometry*, 11(1/2): 31-58.
63. Sweet, R.J., 1997. "An Aggregate Measure of Travel Utility", *Transportation Research Part B: Methodological*, 31(5): 403-416.
64. Waddell, P., 2010, "Modeling Residential Location in UrbanSim", in *Residential Location Choice*, edited by Pagiara, F., Preston, J. and Simmonds, D., 165-180. Verlag Berlin Heidelberg: Springer.
65. Wilson, A., 1970, *Entropy in Urban and Regional Modelling*, London: Pion Ltd.
66. Zhang, Y. and Guindon, B., 2006. "Using Satellite Remote Sensing to Survey Transport-related Urban Sustainability: Part 1: Methodologies for Indicator Quantification", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(3): 149-164.

Date Received	2018-07-25
Reviewed(1st)	2018-10-29
Date Revised	2019-01-02
Reviewed(2nd)	2019-01-21
Date Accepted	2019-01-21
Final Received	2019-01-23