



통근에서 승용차의 수단선택과 통행시간의 숨겨진 효과 : 개인, 가구, 거주지역의 다수준 결정요인을 중심으로*

Private-Car Mode Choice in Commuting and Its Hidden Impacts on the Travel Time : Focused on the Multilevel Determinant Measures of Individual, Household, and Residential Area

성현곤** · 손동욱***

Sung, Hyungun · Sohn, Dongwook

Abstract

Recent policy emphasis in the fields of urban and transport planning has been focused on reduction of vehicle miles traveled. Therefore, many empirical studies have tried to respectively identify either how mode choice private car is chosen against alternative transport ones or how much travel time by car is determined, not simultaneously both of them. However, such an unintentionally separated approach may give a bias on the estimation of actual private car travel time. This study is aimed at identifying the unintentionally unrevealed impact of private car mode choice and its travel time in commuting, focusing on the multilevel determinant measures of individual, household, and residential area in the Seoul metropolitan region in Korea. Using the 2% sample raw data of the 2015 total population survey, the study employed the multilevel Tobit model to estimate private car commuting time with the latent variable of its mode choice against active modes. This is a combined model of the multilevel probit model for binomial mode choice and the multilevel linear regression model for private car commuting time. Comparing the two respective sub-models for mode choice and time of commuting, analysis results on the multilevel Tobit model demonstrate that there exist unintentionally but unrevealed effects in estimating actual private car commuting time in simultaneously considering individual behavior on mode choice and travel time. Such impacts are found in several determinant factors at all levels. The other conclusion coming from the analysis results is that reducing the probability of choosing private car on commuting is more effective than decreasing its commuting time from the perspective of actual consumed time.

주제어 의도하지 않은 숨겨진 효과, 승용차, 수단선택, 통근시간, 다수준 토빗모형

Keywords Unintentional Hidden Impacts, Private Car, Mode Choice, Commuting Time, Multi-level Tobit Model

1. 서론

1. 연구의 배경

20세기 중후반 이후의 대부분의 국가에서 자동차 중심의 교통

체계와 무분별한 외연적 도시확산(urban sprawl)으로 개인 및 사회 관점에서의 다양한 도시문제를 유발(Salon, 2009)하였으며, 이는 21세기에서도 지속 내지는 심화되고 있다. 이의 구체적인 문제점으로서 개인의 관점에서는 승용차의 소유와 이용에 따른 교통비용의 증대, 운전으로 인한 피곤함과 심리적 스트레스의 증

* 이 논문은 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2018R1A2A2A05023450).

** Associate Professor, Dept. of Urban Engineering, Chungbuk National University (hgsung@chungbuk.ac.kr)

*** Associate Professor, Dept. of Architecture & Architectural Engineering, Yonsei University (Corresponding Author: sohndw@yonsei.ac.kr)

대, 삶의 만족도 저하, 교통혼잡에 따른 통행시간의 증대로 인한 시간 손실, 좌식 운전으로 인한 신체활동의 저하와 이에 따른 비만과 당뇨 등의 만성질환 유병률의 증가 등이 이에 해당한다. 사회적 관점에서는 공로상의 교통혼잡 악화로 인한 도시 및 지역 경쟁력의 약화, 화석연료 기반의 과도한 에너지 사용, 가용한 토지 자원의 조기고갈에 따른 지속가능한 발전의 저해, 자동차 배출가스 및 타이어 마모로 인한 수질 및 대기질의 악화 그리고 공중보건의 비용 증대 등이 이에 해당한다. 그러므로 자동차 중심의 교통 체계와 도시형태에 대한 해결대안들은 오늘날에도 여전히 계획 및 정책의 중요한 과제이다.

한편 다양한 통행목적 중에서 통근은 21세기 접어들어서도 여전히 중요한 교통정책의 화두이다. 이는 통근이 경제활동 영위를 위한 의무적 또는 필수적 통행이면서 아마도 즐겁지 않은 불가피한 파생수요(derived demand)이며, 하루 중 대부분의 통행이 여전히 통근 목적에 기반하여 발생하고 있기 때문이다. 특히, 승용차 중심의 과도한 통근통행은 침투 시간대의 교통혼잡의 유발, 대기질의 악화, 개인 및 사회적 측면의 비용증대, 개인의 행복감과 건강의 악화 등 다양한 부정적 폐해를 유발한다는 점에서 특히 그러하다.

따라서 국내뿐만 아니라 해외에서도 도시 및 교통 부문의 전문가와 정책결정자들은 통근통행에서 승용차의 의존도 또는 그 소비시간의 저감을 목표로 계획 및 정책 대안을 마련하는 등의 노력을 경주하여 왔다. 구체적으로, 자가용 승용차 운전자의 통근수단 선택을 대안적 교통수단으로 전환하려는 노력과 통근통행에서의 운전시간을 저감하려는 노력이 그것이다. 전자의 연구질문은 “어떤 곳에 거주하는 누구를 대상으로 초점을 둔다면 통근통행에서의 승용차의 교통수단 선택의 확률을 보다 더 줄일 수 있을까?”이며, 후자는 “승용차 운전자의 총 통행시간(거리)를 줄이기 위하여서는 어떤 곳에 사는 누구에게 보다 더 초점을 두어야 하는가?”이다.

위와 같은 두 질문에 대한 대답은, 즉 통근통행에서의 승용차의 수단선택과 그 소비시간은 상호 독립적인 것이 아니라 상호 밀접한 연관성을 지니고 있다는 점에서 개별적인 접근이 아닌 통합적 접근이 되어야 한다. 그러나 상대적으로 적지 않은 기존 연구들은 통근통행에서의 교통수단의 선택과 그 시간에 대한 결정요인을 각각의 모형으로 구축하여 분석하고, 정책적 대안을 강구하는 등의 접근을 하여 왔다. 결과적으로 통근통행에서의 승용차 이용 저감을 위한 결정요인들에 대한 이들 실증연구들은 의도하지는 않았지만 통행시간 또는 교통수단 선택을 통합하여 구축하지 않았음으로써 분석결과의 편의(bias)를 유발하였을 수 있다.

2. 연구의 목적

본 연구는 통근통행에서 승용차의 통근수단 선택과 이의 소비

시간에 대한 각각의 모형 구축의 문제를 파악하고, 통합적 접근으로 고려할 수 있는 토빗모형(tobit model)을 구축하여, 각각의 개별모형과의 결과를 비교하고, 통합적 접근의 적합성을 실증하고자 한다. 예를 들어, 만약 승용차의 교통수단의 선택확률은 줄어든다면 그 대신에 통행시간이 길어지거나, 또는 승용차의 통근시간은 감소하지만 그 대신에 승용차의 수단선택 확률을 높게 되는 결정요인들이 존재한다면 그 정책 효과는 반감될 수밖에 없을 것이다.

따라서 본 연구는 대안적 통근수단 대신 승용차를 선택할 때, 이의 통행시간을 잠재변수(latent variable)를 고려하는 토빗모형의 결과를, 통근수단 선택모형과 통행시간 모형의 결과를 비교함으로써 통합적 접근 방식으로서의 토빗모형이 보다 바람직한 방법임을 밝히고자 한다. 또한 본 연구는 최근의 통근통행 결정요인들에 대한 실증연구들이 개인 및 가구 수준뿐만 아니라 거주하는 주거지 속성을 파악하고 있다는 점에서 다수준 모형을 구축하여 실증하고자 한다. 즉, 본 연구는 기존 연구들에서 검토되었던 결정요인들을 개인(1수준), 가구(2수준), 거주지(3수준)로 계층화된 다수준 토빗모형을 적용하고자 한다. 그리고 이의 분석결과를 통근통행에서의 승용차 수단선택 모형인 다수준 프로빗 모형과 승용차 통근시간 모형인 다수준 선행회귀모형의 분석결과들을 비교함으로써 그 함의를 도출하고자 한다.

II. 선행연구 고찰과 본 연구의 차별성

본 연구에서는 선행연구를 승용차 의존의 문제점과 최근 정책 동향, 그리고 통근에서의 교통수단 선택과 통행시간 관련 실증연구와 방법론적 고찰로 대별하여 진행하였고, 이들 고찰을 통하여 도출된 결과와 본 연구의 차별성을 서술하고자 한다.

1. 승용차 의존의 문제점과 최근 정책 동향

먼저, 승용차의 과도한 통행 의존의 문제와 이에 대한 정책의 최근 동향에 대한 고찰이다. 승용차의 통행의존도의 심화는 불필요한 통행시간의 증대, 교통혼잡의 심화, 화석연료의 과도한 사용과 이에 따른 환경문제의 악화를 유발한다(Shekarchian et al., 2017)는 것은 주지의 사실일 것이다. 또한 교통안전의 위협, 물리적 활동 감소 및 정신건강의 악화, 교통기반시설의 추가수요 증대 및 수질오염의 문제를 유발한다는 것 또한 통행에서의 승용차의 과도한 의존에 따른 부정적 효과로 볼 수 있다(Currey et al., 2015).

이러한 전반적인 통행에서의 승용차 의존도의 문제를 통근통행에 국한하여 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 보행과 지하철이라는 대안적 통근수단은 신체적·정신적 건강을 촉진하는 효과가 있다(Tajalli and Hajbabaie, 2017), 또한 Chatterjee

et al.(2017)은 장시간 통근이 직업만족도와 긴장과 정신적 건강, 그리고 여가시간 만족도에 부정적 영향을 미침을 보고하고 있다. Handy and Thigpen(2019)은 직주 일치로 통근의 질과 만족도가 제고되는 효과를 가짐을 밝히고 있다. 그리고 통근시간이 길수록 주관적 웰빙수준이 낮으며, 가족과 여가시간 만족도에 부정적 영향을 주고 있음을 밝히고 있다(Zhu et al., 2017).

이와 같이 승용차의 과도한 통행의존에 따른 다양한 개인 및 사회적 관점의 주지의 또는 최근에 드러나고 있는 문제점들을 해소 내지는 저감하기 위하여 대안적 교통수단의 이용을 촉진하거나 자동차의 통행거리(또는 시간)를 감소하기 위한 많은 노력을 경주하여 온 것 또한 주지의 사실이다. 이러한 정책적 노력에서 최근의 두드러진 변화는 정책의 목표를 도로서비스 수준(level of service)의 향상에서 자동차의 수단선택과 통행시간(또는 거리)감소라는 동시적 지표인 자동차 주행거리(Vehicle Miles Traveled, VMT)의 감소로 전환하고 있다는 것이다. 예를 들어, 2008년 캘리포니아 주법(상원 입법 375)은 지역 및 지방정부에게 VMT 저감을 통한 온실가스 감축노력을 강제적 의무 부과로 전환하였으며, 이의 정책수단으로 대중교통 중심의 고밀개발, 대안적 교통수단의 투자, 그리고 교통수요관리 정책을 명시하였다(Bedsworth et al., 2011; Lee and Handy, 2018). 미국 워싱턴주는 VMT 전략으로 카운티 경계를 넘나드는 소규모 기업의 종사자 계층과 저임금 거주민 계층, 그리고 낙후지역 거주민을 대상으로 정책의 초점을 맞추어야 함을 권고하고 있다(Carlson and Howard, 2010). 또한 Boarnet et al.(2017)은 VMT 저감대책으로 대규모 교통기반시설 투자는 경제성장 초기단계에 보다 주효하며, 경제안정화 단계에서는 근린단위의 장소 중심의 쾌적성을 제고하는 물리적 환경의 조성이 더욱 중요하다고 강조하고 있다.

위와 같이 승용차의 수단선택과 이용시간(거리)의 감소를 동시적 정책 목표로 하는 VMT 저감 등 승용차의 의존도를 완화시키는 정책은 통근통행이 경제활동을 영위하기 위한 특정 시간대의 의무적 파생수요(derived demand)라는 점에서 보다 중요하게 다루어져야 한다(Mokhtarian and Salomon, 2001). 특히, 통근은 스트레스 유발, 비싼 통행비용, 시간 허비의 행위로 인식(Ory et al., 2004), 교통혼잡으로 인한 통근만족도의 저감(Ye and Titheridge, 2017), 혼잡의 지속시간에 비례한 스트레스의 증가(Higgins et al., 2018) 등을 볼 때, 통근통행에서 승용차 의존도 감소의 노력이 보다 절실할 수 있다.

2. 관련 실증연구 고찰

여기서는 통근시간 또는 거리 결정요인을 먼저 고찰하고, 이후로 통근수단 결정요인을 고찰하고자 한다. 그리고 자동차의 수단선택과 그 이용시간(또는 거리)에 영향을 미치는 결정요인은 개인 및 가구속성과 장소성과 물리적 환경으로 대별되는 거주지 환

경 속성으로 나누어 고찰할 수 있다.

1) 통근시간(거리) 결정요인

먼저, 통근시간과 거리결정요인의 실증연구 중에서 서울시 거주민을 대상으로 한 Lee and McDonald(2003)는 여성보다는 남성이, 정규직과 영업직일수록, 교육수준이 높을수록, 주택소유를 할수록 직장인들이 통근시간과 거리를 보다 많이 소비하고 있음을 밝히고 있다. 미국자영업과 피고용인의 통근행태 차이를 연구한 Gimenez-Nalda et al.(2018)은 피고용인이 자영업자보다 하루 평균 7.22분을 더 소비함을 밝히고 있다. 이러한 연구결과는 우리나라도 유사함을 이민주·박인권(2016)과 하재현·이수기(2017)의 연구에서 살펴볼 수 있다. 자가용 승용차 가구집단별 통행특성의 차이를 밝히고 있는 주진호 외(2014)는 주말보다 주중이, 비수도권보다 수도권이, 여성보다 남성이 통근시간대에 보다 통행거리가 길어짐을 보고하고 있다. 그리고 김형태(2009)는 여성보다는 남성이, 교육수준이 높을수록, 자가소유자일수록, 가구원수가 많을수록, 최근 5년 내 주거의 이동경험이 있을수록 통근거리가 길어짐을 밝히고 있다.

통근통행에서의 거주지 속성이 그 행태에 미치는 결정요인의 실증연구들 중에서 우리나라의 도시특성과 차량 주행거리와의 관계를 살펴본 서승연 외(2014)는 3차산업 비율과 소득수준이 높을수록 주행거리가 증가하며, 반대로 인구밀도와 직주균형비가 높을수록, 그리고 도시철도가 입지한 도시일수록 주행거리가 감소함을 확인하고 있다. 중국의 도시특성과 통근과의 관계를 밝히고 있는 Zhu et al.(2017)은 인구밀도가 증가할수록 통근시간이 길어지지만 비동력 교통수단의 이용이 촉진되며, 도시화가 진전될수록 저소득층의 통근시간은 오히려 감소함을 보고하고 있다.

대구광역시를 대상으로 한 현준용·김재익(2014)은 교육수준이 높고 승용차 보유대수가 많을수록 통근시간은 길어지고, 거주지 주변 일자리 수가 많을수록 통근시간이 짧아짐을 밝히고 있다. 서울특별시를 대상으로 한 최은진·김의준(2015)은 지하철 접근성이 좋을수록, 종사자수가 많을수록, 공시지가가 높을수록, 지식기반 서비스업이 집적할수록 통근시간이 길어지고, 비지식 기반 서비스업이 집적할수록 통근시간은 짧아짐을 보고하고 있다. 수도권을 대상으로 개인 생애주기 단계와 통근시간의 영향요인을 고찰한 하재현·이수기(2017)는 직주불일치가 클수록, 출발지 읍면동의 주택가격이 낮을수록, 도착지 주택가격이 높을수록 통근시간이 길어짐을 실증하고 있다.

2) 통행수단 결정요인 고찰

통행수단 결정요인의 실증연구를 국내와 해외로 대별하여 고찰하여 정리하면 다음과 같다. 먼저 국내 연구들 중에서 대전시를 대상으로 한 이재영(2013)은 1인 가구가 도보와 버스의 이용비율이 높고, 가구원수가 많을수록 승용차 이용비율이 높아짐을 밝

하고 있다. 고밀도시인 서울시 역세권을 대상으로 한 성현곤 외(2006)는 개발밀도가 높을수록 승용차보다는 도보, 버스보다는 지하철을 선택할 확률이 높으며, 직주균형 지수가 클수록 승용차보다는 대중교통, 대중교통 보다는 도보의 이용확률이 높음을 실증하고 있다. 서울시 출근 통행수요 영향요인을 실증한 Mahriyar·노정현(2017)은 동단위 주거밀도가 높고, 혼합용도지역일수록 통행발생률이 낮고, 대중교통 이용비율이 높아짐을 밝히고 있다. 또한 수도권을 대상으로 한 성현곤·추상호(2010)은 인구와 고용밀도 증가는 승용차의 이용저감을, 고용중심의 직주불균형은 비동력 교통수단과 내부통행비율의 감소효과를 유발함을 실증하고 있다.

한편, 해외의 통근수단 관련 연구들 중에서 홍콩 거주민을 대상으로 한 Lu et al.(2018)은 소득수준이 높을수록, 가구규모가 클수록, 직주일치를 할수록 승용차 선택확률이 높고, 상업밀도가 높을수록, 지하철역과 가까울수록 대안적 통근수단을 선택할 확률이 높음을 보고하고 있다. 한편, 단거리 통행에도 승용차의 수단 선택확률이 높아질 수 있으며, 거주지의 녹색교통 수단의 이용이 양호한 환경일수록 이를 이용할 확률이 높음을 밝히고 있다(Zhu et al., 2017). Zhang(2004)은 통근통행에서 높은 인구밀도는 도보와 대중교통의 이용확률을 증대시키고, 목적지 네트워크 접근성이 낮을수록 승용차의 이용확률이 높아짐을 밝히고 있다. 또한 통근수단의 전환은 주거와 직장의 입지 변화에 커다란 영향을 받을 수 있음을 Chatterjee et al.(2017)은 보고하고 있다.

3. 관련 방법론 고찰

통행수단 선택과 통행시간 결정요인을 고찰하고 있는 기존 연구들을 살펴보면, 전자는 속속변수가 명목척도이므로 주로 다항 로짓모형을, 후자는 연속변수이면서 등간척도이므로 선형회귀모형을 주로 선택하고 있다. 또한 이들 개별모형에 각각의 종속변수들을 설명변수로 적용하여 통합하려는 연구들도 있다. 예를 들어, 통근수단선택모형에서 통행시간을 설명변수로 적용한 연구(Zhang, 2004; Salon, 2009)와 이를 조건부 로짓모형으로 채택한 연구(전명진·백승훈, 2008)가 이에 해당한다. 다른 한편으로는 통행시간(거리)모형에서 설명변수로 수단선택 관련 변수를 적용한 연구들(김형태, 2009; 최은진·김의준, 2015; 하재현·이수기, 2017)이 있다. 그러나 이들 연구들은 각각의 추가된 통행시간(거리) 또는 통행수단 선택이 다른 개인, 가구, 주거지 등에 의하여 또한 결정되어지는 내생성(endogeneity)을 고려하고 있지 않다는 측면에서 방법론적인 접근에서의 한계가 존재한다.

여기서는 승용차의 수단선택과 그 이용시간의 저감이라는 정책목표 지향적 실증모형의 구축의 관점에서는 대안적 교통수단 대비 승용차의 통행수단을 선택할 때 잠재변수(latent variable)로 통행시간(거리)을 고려할 수 있는 토빗모형(Tobit model)을

방법론적인 대안으로 고찰하고자 한다. 이 모형은 통근통행에서 승용차를 선택하지 않을 확률 대비 이를 선택할 확률과 이를 하게 된다면 얼마나 오랫동안 통행시간을 소비할 것인가를 규명할 수 있다. Wooldridge(2002)는 이 모형을 프로빗 모형과 선형회귀모형의 결합이라고 설명하고 있다.

토빗모형은 Tobin(1958)에 의하여 제시된 모형으로 소득수준과 지출과의 연관성에서 앵겔곡선 이하에서는 실질적인 소비가 이루어지지 않는 0의 값을 가지지만, 그 이상의 수준은 직선의 회귀함수 형태를 가지는 소비지출 함수를 규명하기 위하여 제안한 방법론이다. 즉, 토빗모형은 내구재 구매를 위한 지출비용이 알려져 있으면서, 특정 소득수준의 임계점을 지나 그 지출비용이 정규분포를 이루고 있는 경우에 그 지출수준을 보다 정확하게 추정할 수 있다고 보았다. 이후 이 토빈의 모형을 검증하면서 Amemiya(1973)은 최우추정에 의한 접근적 정규성(asymptotic normality)의 분석결과와 일관성을 유지할 수 있도록 방법론을 확장하였다. 그리고 이 모형의 이름을 Amemiya(1985: 384)에서 최초 명명하여 오늘날 불리고 있다(Wooldridge, 2002). 본 연구는 대안적 통합적 접근을 위한 방법론으로 토빗모형을 승용차 선택할 확률의 임계점을 지나 통근시간의 소비가 정규분포를 이루고 있는 경우로 파악하여 적용하고자 한다.

이항의 로짓과 등간척도의 선형회귀의 결합 모형으로 토빗모형을 적용한 사례는 다양한 분야에 걸쳐 있다. 이를 유사한 분야에 국한하여 살펴보면, 주거지 불일치 여부와 통행거리(Schwanen and Mokhtarian, 2005), 연쇄통행 유무와 활동지속시간(Lee et al., 2007), 재택근무 여부와 총 승용차 통행거리(김승남·안건혁, 2010), 주말 여가활동 여부와 여가통행의 거리(장윤정·이승일, 2010), 장거리 통행 여부와 통행거리(Reichert and Holz-Rau, 2015), 통근 유무와 쇼핑 목적의 차량통행거리(Chatman, 2003), 상권 방문 여부와 쇼핑거리(이슬기·성현곤, 2017), 고속도로 교통사고 심각도와 부상사고율(Park and Lee, 2017) 등이 있다. 본 연구에서의 통근통행에서의 승용차 수단의 선택 여부와 승용차 통행시간의 결합모형도 위에서 언급한 경우와 매우 유사하므로, 결합모형으로서의 토빗모형을 사용할 수 있음을 유사 사례로부터 확인할 수 있었다.

4. 종합정리와 본 연구의 차별성

지금까지 살펴본 선행연구 고찰을 종합하여 정리하면 다음과 같다. 먼저 최근의 지속가능한 도시 및 교통정책이라는 관점에서 통행에서의 승용차의 의존도와 통행거리 또는 시간을 감소시키는 것이 중요한 정책적 목표라는 것이다. 특히, 통근은 대부분의 직장인에게 의무적이면서 비싸고, 삶의 만족도에 부정적 요인으로 작용하고, 또한 특정 시간대에 집중하여 발생하게 된다. 그러므로 개인 및 사회적 관점에서 승용차 중심의 통행시간을 저감

시키려는 노력이 지속가능성을 제고하는 데 중요한 역할을 하게 된다.

그러나 지금까지 관련 실증연구들이 승용차에 의한 통행수단의 선택과 그 통행거리 또는 시간과의 밀접한 연관성이 있음에도 불구하고, 지금까지 각각의 실증연구에 주로 초점을 두어 왔다는 문제가 있다. 그리고 이에 기반한 정책적 대안 마련과 적용에 따른 정책 효과가 반감되거나 오히려 기대와 상반된 결과를 도출할 우려가 있다.

이러한 점에서 본 연구의 차별성은 승용차에 의한 통행수단 선택과 통행거리(시간)의 연관성을 고려한 결합모형인 토빗모형을 적용함으로써 개별 모형 구축에 따른 결과의 편(bias)의 발생가능성을 진단하고, 동시적 통합적 접근을 통한 추정의 편의를 제거하는 모형을 적용한다는 데 있다. 또한 최근에는 개인 및 가구 수준의 통행특성뿐만 아니라 주거지의 물리적 환경의 변화를 통한 승용차 통행의존도와 그 소요시간을 저감하려는 노력이 이루어지고 있다는 점을 고려한 것이 두 번째의 본 연구의 차별성이라고 할 수 있다. 주거지 또는 도시의 물리적 환경변수를 투입한 다수준 모형은 중국의 통근수단과 시간(Zhu et al., 2017), 통근시간(Páez et al., 2010; 최은진·김의준, 2015; 하재현·이수기, 2017), 차량주행거리(서승연 외, 2014), 그리고 수단선택(성현곤 외, 2012; Lu et al., 2018) 등에서 그 예를 살펴볼 수 있다. 결론적으로 본 연구는 통근통행에서의 수단 선택과 시간의 동시적 통합적 접근모형을 개인 및 가구 수준과 더불어 주거지 환경 속성 수준을 실증모형에 적용하는 다수준 토빗모형을 구축하고자 한다는 점에서 차별성이 있다.

III. 분석자료와 방법론

1. 분석 자료와 절차

1) 분석 자료

본 연구는 2015년 인구주택총조사 2% 표본 원시자료와 이와 연동된 시군구 단위의 물리적 환경 자료를 구축한 후 서울대도시권을 공간적 범위로 하여 다수준 토빗모형을 구축하여 실증분석을 수행하고자 한다. 2015년 기초자치단체 수준의 시군구 자료는 통계청 KOSIS 자료와 한국교통연구원의 데이터 베이스(DataBase)에서 제공받은 교통주제도 자료를 가공하여 추출하였다.

우리나라는 OECD국가들의 통근시간을 비교하면, 성인남녀의 하루 평균 왕복 통근시간은 101분으로 가장 길고, 남성은 여성보다 약 20% 더 많은 시간을 통근시간에 소비하는 것으로 알려져 있다(OECD Family Database, 2016). 또한 국토교통부 보도자료(2018. 5. 15)에 따르면, 서울(41.8분), 인천(40.2분), 경기도(40.3분)는 다른 시도에 비하여 가장 긴 평균 출근소요시간을 가진 대도시권에 해당한다. 뿐만 아니라 서울대도시권에서의 나홀로 차량 비

율은 지난 2010년 61.3%에서 2016년 82.5%로 급격히 증가하고 있다는 특징을 지닌다. 긴 통근시간과 나홀로 승용차 높은 운전비율은 서울대도시권의 극심한 교통혼잡과 이로 인한 다양한 도시문제의 심각성을 보여주는 지표라 할 수 있다.

본 연구에서의 분석모형에 사용하게 될 종속변수는 통근수단 선택과 통행시간(또는 거리)이다. <표 1>은 2015년 인구주택총조사 2%표본 원시자료에서 추출한 것으로, 서울대도시권에서의 전체 통근자는 186,332명이며, 이 중 승용차로 통근하는 직장인은 전체의 39.7%인 73,916명으로 나타났다. 통근수단선택에서는 여러 가지 다양한 교통수단이 존재하지만, 여기에서는 승용차 이용 저감을 정책목표로 하는 모형을 구축하고자 한다. 이러한 점에서 승용차라는 교통수단과 도보, 버스, 철도, 버스 또는 철도 환승 등을 다른 대안적 교통수단으로 구분하였다. 이러한 구분은 Chatterjee et al.(2017) 등에서 승용차 운전을 수동적 수단(passive mode)으로, 신체활동이 수반되는 교통수단을 적극적 수단(active modes)으로 구분하고 있어 이를 준용하였다.

서울대도시권에서의 대안적 통근수단 분담률은 버스가 19.2%, 도보가 18%, 철도 또는 지하철이 16.1%, 대중교통 환승비율은 7%에 이르는 <표 1>은 보여주고 있다.

두 번째로 사용하게 될 종속변수는 통근시간 또는 통근거리 지표이다. 본 연구에서는 전자를 최종 지표로 선택하였으며, 로그 변환하여 적용하였다. 통근시간을 선택한 배경에는 거리 지표를 해당 자료에서 직접 추출하기 어려운 현실적인 이유도 있지만, 거리보다 시간이 보다 더 양호한 지표라는 기존 연구들(Dubin, 1991; 최은진·김의준, 2015)에 기반하였다. 이들에 따르면 대부분의 도시에서는 실질적으로 교통네트워크가 균일하게 분포되어 있지 않아 거리보다는 시간이 보다 더 정확한 지표라고 정의하고 있다. 또한 이 통근시간은 통근수단의 선택에서 비용보다 더 민감한 지표라고 Salon(2009)은 언급하고 있다는 점에서 거리보다는 시간이 더욱 중요하다고 판단하였다.

Table 1. Summary statistics on two dependent variables

		Mean/ Freq.	Std. Dev./ Percent	
Log-transformed commuting time		1.336 (3.367)	1.703 (0.687)	
Commuting mode	Bus (1)	35,772	19.2%	
	Active modes	Rail or Subway (2)	29,972	16.1%
		Transfer (1 ↔ 2)	13,122	7.0%
		Walking	33,550	18.0%
	Passive mode	Car	73,916	39.7%

Note: The values with parenthesis indicate them after removing the observations for active modes.

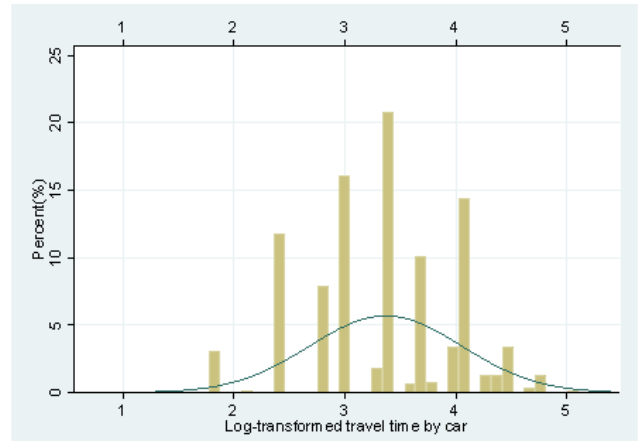
2) 분석 절차

본 연구의 목적을 달성하기 위한 연구절차를 요약하면 <그림 1>과 같다. 먼저, 본 연구는 앞서 수행된 문헌 고찰을 통하여 변수 추출과 모형을 정립하였다. 이후 구축된 1수준의 다수준 토빗모형과 개별 하위모형인 통근수단 선택의 프로빗 모형과 통행시간의 다중 선행회귀모형을 각각 구축하여 다중공선성 진단을 실시하였다. 만약 분산팽창계수(Variance Inflation Factor, VIF)가 5 이상일 경우에는 관련 설명변수들의 재검토가 이루어졌고, 5보다 미만이 조건을 충족하는 경우 관련 모형을 다수준 모형으로 구축한 후 각각에 대하여 1수준의 모형과의 적합도를 비교하였다. 이때 사용한 통계량은 로그-우도 검정(Log-likelihood test), 급내 상관관계수(Intra-Class Correlation, ICC) 진단, 모형 적합도 판정을 위한 AIC, BIC, 로그-우도 검정 통계량 등이다. 이러한 진단 과정을 통하여 다수준 모형이 보다 적합한 경우, 이를 최종모형으로 채택하고 이의 결과들을 대안 모형들과 비교하여 해석하면서 결론에 도달하는 절차로 진행하였다.

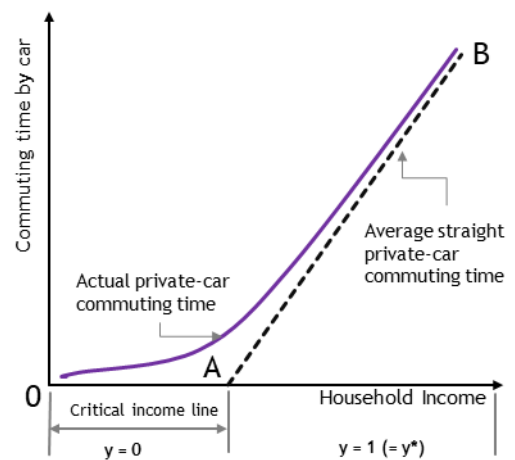
2. 분석 방법론

1) 토빗모형

본 연구의 방법론은 앞서 언급한 바와 같이 종속변수는 잠재변수(latent variable)로의 통근수단 선택과 연속변수인 승용차 통근시간이며, 설명변수들을 개인(1수준), 가구(2수준), 거주지역(3수준)으로 위계화 한 다수준 토빗모형이다. <그림 2>의 (a)는 대안적 통근수단을 고려하지 않은 상태에서의 로그-변환 통근시간의 분포를 보여준다. 이를 서승연 외(2014)의 연구결과에 기반하여 소득수준에 따라 승용차의 통근시간 소비량이 증가한다고 가정하였을 때, 선행회귀모형의 추정식은 <그림 2>의 (b)에서 A-B



(a) Log-transformed commuting time(y_i) by car (min.)



Note: Revised for the Tobin (1958, p.25)

(b) Example on the estimation of commuting time for income level
Figure 2. Estimation of linear and Tobit model for commuting time by income level

로 연결되는 점선 형태의 직선이 된다. 즉, 승용차를 선택한 직장인($y_i = 1$)의 소득수준에 따른 통근시간(y_i^*)의 선행회귀식이다.

그러나 여기서의 승용차통근시간은 승용차를 소유하지 않거나 통근에서 승용차의 이용이 용이하지 않은 집단, 즉 소득수준이 승용차의 이용을 가능하게 하지 않는 집단의 대안적 교통수단의 선택의 경우($y_i = 0$)를 간과하고 있다. 만약 이를 고려하여 소득수준에 증가함에 따라 승용차의 통근시간이 증가하는 실제의 추정식은 <그림 2> (b)에서의 0-A-B를 연결하는 보라색의 실선이 된다. 즉, 승용차의 수단선택 확률과 이의 소비시간을 결합한 승용차의 통근시간의 추정식은 직선이 아닌 형태의 추정곡선이다.

위와 같은 경우에 다음의 식 (1)과 같이 표현할 수 있으며, 이의 대안적 통계모형은 프로빗 모형과 토빗모형이 된다.

$$y_i = \begin{cases} y_i^* & \text{if } y_i^* > 0, \\ 0 & \text{if } y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

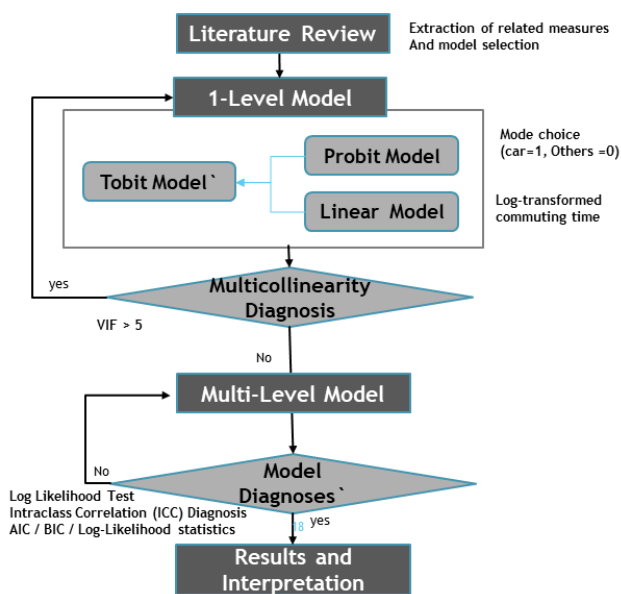


Figure 1. Analysis process

이 때, y_i^* 는 잠재변수(latent variable)이며, 식 (2)와 같이 표현되어진다.

$$y_i^* = \beta x_i + u_i, u_i \sim N(0, \sigma^2) \quad (2)$$

여기서, 만약 잠재변수인 y_i^* 가 0보다 적거나 같으면, y_i 는 0이 되고, y_i^* 가 0보다 크면, y_i 는 y_i^* 가 된다. 이 때 y_i^* 는 설명변수들인 x_i 에 의하여 결정되고, 이외의 설명되지 않는 잔차(u_i)는 평균이 0 이면서 분산이 σ^2 인 정규분포를 이루는 함수형태를 가정하게 된다.

프로빗 모형은 y_i^* 가 관찰되지 않거나 알려지지 않은 경우에, 토빗모형은 관찰되거나 알려진 경우에 적용이 가능하다. 본 연구에서는 수단선택 여부와 더불어 통근수단인 승용차를 선택하였을 때의 통행시간(y_i^*)을 알고 있는 경우이므로 토빗모형이 프로빗 모형보다 더 적합하다고 판단할 수 있다.

본 연구에서 채택하고자 하는 토빗모형은 이미 알려져 있는 통근수단의 이항선택 확률함수와 승용차 선택시의 통근시간의 정규분포 함수가 결합된 로그-우도 함수로 아래와 같이 표현된다 (Amemiya, 1973).

$$\log L(\beta, \sigma) = \sum_{i=1}^n I(y_i) \times \log\left(\frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{y_i - x_i \beta}{\sigma}\right)\right) + (1 - I(y_i)) \times \log\left(1 - \Phi\left(\frac{x_i \beta - y_L}{\sigma}\right)\right)$$

여기서 Φ 는 표준정규누적분포함수(standard normal cumulative function)이고, ϕ 는 표준 정규확률 밀도함수(standard normal probability density function)를 의미한다.

2) 다수준 임의절편 모형

본 연구에서의 통근 통행에서의 교통수단 선택과 승용차 통행시간의 결정은 개인 단위의 직장인 속성(i)과 그 직장인이 속한 가구의 속성(j), 그리고 그 가구가 거주하고 있는 지역의 속성(k)의 차이에 의하여 이루어진다고 가정한다. 즉, 결정요인의 속성들은 개인(i), 가구(j), 근린 또는 도시 단위의 거주지(k)로 위계화 된 구조로 되어 있다고 본다. 만약 이러한 여러 개 수준의 구조를 고려하지 않고, 단일 수준으로 분석할 때에는 생태적 오류(ecological fallacy)로 인한 편의(bias)를 유발시킬 우려가 있다(Hox, 2010; 성현곤 외, 2012; 성현곤, 2014; 최은진·김의준, 2015).

본 연구에서는 설명변수 관점에서 개인, 가구, 거주지역이라는 3개의 계층구조의 집단별 평균의 차이를 고려하는 모형인 다수준 임의 절편모형(multi-level random-intercept model)을 채택하고자 한다. 이 모형은 집단-여기서는 가구와 거주지역의 절편은 다르지만 기울기는 고정된 것으로 보는 모형이다. 본 연구는 설명변수들의 영향력, 즉 기울기의 방향과 통계적 유의성을 개별

하위모형과 비교하고자 하는 목적을 가지고 있기 때문에 설명변수들의 기울기가 가구 또는 거주지역별로 어떻게 달라지는지에 대하여 분석할 수 있는 임의 계수모형(random slope model)으로 확장하여 추정하지 않았다.

3수준으로 계층화된 가장 단순한 다수준 선형회귀모형의 일반식을 표현하면 식 (3)과 같다. 이 수식은 성현곤 외(2012: 267-272)의 내용을 토대로 본 연구의 목적에 맞게 수정한 것이다.

$$y_{ijk} = \beta_1 + \beta_2 x_j + \zeta_{jk}^{(2)} + \zeta_k^{(3)} + \epsilon_{ijk} \quad (3)$$

여기서, y_{ijk} 는 k 의 시군구에 거주하는 j 의 가구, i 의 가구원인 직장인의 승용차 통행수단과 통행시간을 나타내는 관측치를 의미한다. $\zeta_k^{(3)}$ 는 가구와 시군구 단위의 도시환경에 대한 임의절편(Random Intercept)값이며, $\zeta_{jk}^{(2)}$ 는 k 의 시군구에 거주하는 가구 j 에 대한 임의절편 값을 의미한다. 이러한 계층화된 구조적 모형에서의 임의절편과 ϵ_{ijk} (잔차, Residual Error Term)는 상호 독립적이라는 가정을 가진다.

IV. 모형의 통계량과 진단

1. 모형 통계량

앞선 관련 문헌 고찰에서 나타난 통근수단 선택과 승용차 통행시간에 영향을 미치는 것으로 알려진 설명변수들의 수준별 요약통계량을 <표 2>는 보여주고 있다. 이 요약통계량들 중에서 186,332명의 전체 통근자에 대한 통계량은 다수준 토빗모형과 이의 하위 개별 모형 중에서 승용차 선택확률 모형인 다수준 프로빗 모형에 적용되는 통계량이다. 또 다른 요약 통계량은 다른 하위 개별모형인 승용차 통근시간 결정모형으로서의 다수준 선형회귀 모형에 적용되는 73,916명의 승용차 통근자만 해당하는 요약통계량이다.

<표 2>를 구체적으로 살펴보면, 개인 단위 수준의 설명변수는 직장인 i 의 성별, 연령대, 교육수준, 결혼상태, 경제활동 형태, 종사상 직위, 직업유형, 근무년수 등이다. j 의 가구 속성인 2수준은 가구주 여부, 가구 구성형태, 자동차 소유 여부, 주택점유 형태, 주택 유형, 현 거주지 거주년수, 직주 일치 여부 등이다. 그리고 마지막으로 3수준인 k 의 거주지역 속성은 시군구 단위로 하여 기업 당 평균 종사자수, 도소매 종사자수 비율, 일반 서비스 종사자수 비율, 지식기반 서비스 종사자수 비율, 주택거래가격 지수, 저소득층 인구비율, 65세 이상 연령대 인구비율, 인구 10,000인당 자동차 등록대수, 차량당 고속도로 연장, 도시철도역 유무, 지역 간 철도역 유무, 고속철도역 유무 등이다.

<표 2>는 또한 1수준 모형의 다중공선성 진단을 위한 통계량인 분산팽창계수(variance inflation factor, VIF)를 추가로 보여주

Table 2. Summary statistics on explanatory variables

		Entire-Commuting (Obs.=186,332)			Car-Commuting (Obs.=73,916)			
		Mean/ Freq.	Std. Dev./ Ratio	VIF	Mean/ Freq.	Std. Dev./ Ratio	VIF	
Level-1(i): Household Member (=worker)	Gender (ref.=male)	Female	78643	0.422	1.99	20118	0.272	1.66
	Age group (ref.=20-30s)	40s-50s	94221	0.506	1.80	44128	0.597	1.74
		60s and over	19208	0.103	1.69	5981	0.081	1.54
	Education level (ref.=High School or less)	College	91393	0.490	1.48	36272	0.491	1.54
		Graduate school	14914	0.080	2.37	6912	0.094	1.52
	Marriage status (ref.=married)	Not married	120054	0.644	1.70	56476	0.764	2.2
		Others	15594	0.084	1.06	4716	0.064	1.6
	Economic activity (ref.=oftentimes)	Sometimes	8069	0.043	1.08	1918	0.026	1.05
	Working position (ref.=salaried workers)	Self-employed with other employees	13585	0.073	1.22	8851	0.120	1.1
		Others	29900	0.160	1.10	12985	0.176	1.17
	Job type (ref.=office)	Management	3569	0.019	1.77	1932	0.026	1.14
		Professional	44657	0.240	1.85	16699	0.226	1.77
		Sales or service	43573	0.234	2.22	15397	0.208	1.74
		Others	57702	0.310	1.98	25104	0.340	2.11
		No. working years of current job (ref.=LT 1-year)	LT 5-years	54765	0.294	2.20	18786	0.254
	LT 10-years	60623	0.325	2.27	26823	0.363	1.68	
	10-years and over	39698	0.213	1.96	19933	0.270	1.1	
Householder (ref.=No)	Yes	106248	0.570	1.72	49215	0.666	1.86	
Household type (ref.=family)	1-person household	22858	0.123	1.07	6765	0.092	1.58	
	Others	3132	0.017	1.34	1088	0.015	1.07	
Car ownership (ref.=No)	Yes	143021	0.768	1.32	70495	0.954	1.05	
Housing tenure status (ref.=owned)	Rented (Junse)	39986	0.215	1.50	14629	0.198	1.24	
	Monthly rented	38735	0.208	1.10	12338	0.167	1.33	
	Others	6743	0.036	1.45	2772	0.038	1.1	
Housing type (ref.=apartment)	Single family housing	47055	0.253	1.19	14578	0.197	1.29	
	Multi-family housing	31947	0.171	1.10	10928	0.148	1.13	
	Office-type housing	5417	0.029	1.08	1611	0.022	1.06	
	Others	2623	0.014	1.38	605	0.008	1.04	
No. years resided in current housing (ref.=LT 2-years)	From 2- to 5-years	39616	0.213	1.69	16461	0.223	1.4	
	5-years and over	91692	0.492	1.14	35996	0.487	1.68	
Job-housing balance (ref.=No)	Yes	70145	0.376	2.60	23602	0.319	1.08	
Population density (persons/km ²)		10279	7624	2.76	8249	7264	3	
Ratio of jobs to population		0.365	0.301	3.26	0.351	0.240	2.23	
No. employees per firm		8.894	1.582	2.00	8.876	1.566	3.41	
Ratio of wholesale and retail employees		0.152	0.037	2.03	0.147	0.039	2.43	
Ratio of general service employees		0.436	0.115	2.93	0.413	0.114	2.43	
Ratio of knowledge-based service employees		0.092	0.076	2.69	0.082	0.072	3.02	
Index of housing transaction price		96.104	1.879	1.94	96.549	1.845	3.06	
Ratio of low-income class		0.019	0.008	2.17	0.018	0.008	2.13	
Ratio of the elderly (age is over 65 years old)		0.111	0.027	2.22	0.108	0.028	2.81	
No. cars registered per 10,000 residents		2871	555	2.22	2996	523	2	
Highway length (km) per car		0.108	0.191	2.10	0.140	0.217	1.58	
Urban railway station (Yes=1, No=0)		150380	0.80	1.08	54832	0.74	1.05	
Inter-regional railway station (Yes=1, No=0)		37306	0.20	1.07	15328	0.20	1.05	
High-speed railway station (Yes=1, No=0)		27119	0.15	1.006	11473	0.16	1.04	

고 있다. 두 관측치 종류 모두에서 VIF 값들은 모두 5의 값 미만
이므로, 심각한 다중공선성은 없는 것으로 판단할 수 있다.

2. 모형의 진단

본 연구는 통근에서의 승용차 수단 선택 확률과 승용차로 통근
하는 경우의 통행시간을 동시적으로 추정하는 모형인 다수준 토
빗모형과 더불어 분석결과의 비교를 위한 개별 하위모형인 다수
준 프로빗 모형과 다수준 선형회귀모형을 구축하였다. 최종 분석
모형의 적합성 진단은 <표 3>에 요약하여 제시하고 있다. 먼저 최
종모형의 적합성 판단은 각각의 최종 모형인 완전제약모형(fully
constrained model)과 설명변수가 전혀 포함되지 않은 무제약
모형(null or unconstrained model)의 비교를 통하여 수행하였
다. 무제약 모형과의 비교는 로그-우도(Log-likelihood)와
AIC(Akaike Information Criterion), 그리고 BIC(Bayesian
Information Criterion)의 통계량으로 이루어지게 된다.

먼저, 각각의 무제약 모형과 완전 제약 모형의 로그-우도 통계
량 비교에서 그 값이 상대적으로 크면 클수록 보다 더 적합한 모
형이라고 할 수 있다. 이러한 기준에 근거한다면 세 모형 모두 무
제약 모형보다는 완전제약 모형이 보다 더 큰 로그-우도 통계량
을 가지고 있다. 예를 들어, 다수준 토빗모형에서의 무제약 모형
의 로그-우도 통계량은 -266,110.0이고, 완전제약 모형의 그 통
계량은 -240,938.2이다.

또 다른 최종적인 완전제약 모형의 적합성 진단은 AIC와 BIC
통계량을 이용할 수 있다. 이 통계량은 주어진 데이터 셋의 통계
모형들의 상대적인 질적 비교를 위한 추정값이며, AIC 또는 BIC
의 값이 보다 적은 모형이 보다 선호되는 모형이라고 할 수 있다.

<표 3>에서 무제약 모형과 완전제약 모형의 AIC와 BIC의 통계량
을 비교하여 보면 후자의 모형이 보다 더 적은 값을 가지고 있음
을 알 수 있다. 구체적으로 다수준 토빗모형의 무제약 모형의
AIC와 BIC 통계량은 532,228.1과 532,268.6이고, 완전제약 모형
의 그것들은 481,974.2과 482,470.7이다. 즉, 완전제약 모형의 두
통계량이 상대적으로 더 적다는 점에서 보다 더 적합한 모형이라
고 판단할 수 있다.

두 번째로 모형의 신뢰성 진단은 단일 수준 대비 다수준 모형의
비교이다. 이를 위한 진단은 우도비 검정(Likelihood ratio test)과
수준별 급내상관계수(Intra-Class Correlation, ICC)를 이용하면
된다. 먼저, 우도비 검정은 최종 모형과 비교하여 무제약모형의
두 모형 통계량의 적합도 비교를 위하여 사용하는 통계검정이다
(Wooldridge, 2002). <표 3>에서 1수준 모형 대비 3수준 모형의
로그-우도 통계량의 차이($LR(=D)=2[L(\theta_{3-level})-L(\theta_{1-level})]$)에
대한 χ^2 통계량, 그리고 이에 대한 p-값을 제시하여 주고 있다. 이
들 통계량에 근거한다면, 무제약 모형과 완전제약 모형 모두 1수
준 모형보다는 3수준 모형이 보다 더 적합하다고 판단할 수 있다.

또 다른 다수준 모형의 신뢰성 진단은 급내상관계수(ICC) 통계
량과 이에 대한 통계적 유의성과 수준별 분산비율을 통하여 파악
할 수 있다(Rabe-Hesketh and Skrondal, 2008; Hox, 2010; 성현
곤 외, 2012). 2수준(household)과 3수준(city)의 ICC(Intra-Class
Correlation, ρ)의 값들을 산출하는 식 (4)와 같다.

$$\rho_{household} = \frac{\psi^{(2)}}{\psi^{(2)} + \psi^{(3)} + \theta}, \quad \rho_{city} = \frac{\psi^{(3)}}{\psi^{(2)} + \psi^{(3)} + \theta} \quad (4)$$

<표 3>에서 무제약 다수준 토빗모형에서 2수준과 3수준의 ICC

Table 3. Model statistics and diagnostics

	Multi-level Tobit Model	Individual Sub-model		
		Multi-level Probit Model	Multi-level Linear Model	
Null (or unconstrained) model	Log-likelihood	-266,110.0	-117,768.7	-73,018.9
	AIC	532,228.1	235,543.4	146,045.8
	BIC	532,268.6	235,573.8	146,082.7
	χ^2 statistics for LR test vs. level-1 model	13,156.3 ***	14,761 ***	8,131.3 ***
	Level-2 interclass correlation (ICC)	0.269 ***	0.346 ***	0.496 ***
	Level-3 interclass correlation (ICC)	0.088 ***	0.117 ***	0.113 ***
Fully constrained model	Log-likelihood	-240,938.2	-95,988.0	-62,810.0
	AIC	481,974.3	192,071.9	125,718.0
	BIC	482,470.7	192,558.1	126,169.1
	χ^2 statistics for LR test vs. level-1 model	1,982.8 ***	2,273.9 ***	4,438.8 ***
	Level-2 interclass correlation (ICC)	0.183 ***	0.269 ***	0.489 ***
	Level-3 interclass correlation (ICC)	0.008 ***	0.013 ***	0.013 ***

Note: Variables of significance (*: $p \leq 0.1$, **: $p \leq 0.05$, and ***: $p \leq 0.01$)

는 0.269과 0.088의 값을 보여주고 있다. 이는 통근에서의 통행수단 선택과 승용차의 통근시간에 미치는 영향은 가구수준은 26.8%, 시군구의 도시수준은 8.8%임을 의미한다. 즉, 승용차 통근시간에 미치는 영향은 거주지 수준보다는 가구수준 그리고 개인 직장인 수준으로 보다 커짐을 알 수 있다. 또한 이 ICC 통계량은 통계적으로 유의한 수준임을 분석결과는 보여주고 있다. 한편, 이 ICC의 완전제약 모형에서는 수준별 변수들이 투입됨으로 인하여 수준내의 상관계수 값들은 무제약 모형에 비하여 보다 적은, 즉, 수준별 분산의 크기가 줄어들었음을 보여주고 있다. 이러한 크기가 적어진 수준별 분산에도 불구하고 2수준과 3수준의 ICC 계수값은 통계적으로 유의함을 보여주고 있다.

V. 결과의 토의

본 연구는 승용차 이용저감이라는 정책목표를 달성하기 위하여 통근통행에서 승용차의 이용시간을 보다 더 정확하게 추정하기 위하여 토빗모형을 적용하였다. 토빗모형은 Tobin(1958)이 어떤 특정한 상황에서 관찰되는 값들을 추정하기 위한 방법론을 제안한 이후로 Amemiya(1973)에 의하여 증명되고, 그 방법론의 적용은 앞선 선행연구의 예뿐만 아니라 다양한 분야에서 가능성을 보고하고 있다(Daskalakis et al., 2019).

본 연구에서는 토빗모형을 통근수단으로 승용차를 선택하였을 때만 관찰되어지는 통행시간(y^*)과 관찰되지 않았을 때의 통행시간($y=0$)을 결합하여 이를 더 정확하게 추정하기 위한 필요성을 앞서 제시하였다. 그리고 이 모형은 후자의 통근수단의 이항선택 확률함수와 전자의 승용차 선택 시의 통근시간의 정규분포 함수가 결합된 로그-우도 함수 모형이라고 전술한 바 있다. 통근에서의 수단선택 확률과 통행시간 추정의 결합모형인 다수준 토빗모형과 이들 각각의 개별 하위모형으로서의 다수준 프로빗 모형과 다수준 선형회귀모형의 결과를 <표 4>에 요약하여 비교할 수 있도록 제시하고 있다.

일반적으로 인구밀도가 높은 도시일수록 1인당 자동차 주행거리리는 감소하는 것으로 알려져 있다. 세계 주요 도시들(Newman and Kenworthy, 1989)과 미국 도시들(Ewing et al., 2017)을 대상으로 이 주장은 실증되어져 왔다. 국내에서도 선행연구 고찰에서 서승연 외(2014)는 인구밀도가 높을수록 자동차 주행거리가 감소함을 확인하고 있다. 이와 같은 결과를 토대로 한다면 인구밀도가 높은 시군구에 거주하는 사람들은 1인당 승용차 통행시간이 감소하여야 한다. <표 4>의 다수준 토빗모형에서 인구밀도 지표에 대한 분석결과는 이를 확인하여 준다. 즉, 통계적으로 유의하면서 회귀계수가 음의 값을 가지고 있다. 이는 인구밀도가 높을수록 승용차의 통근시간이 줄어들음을 의미한다. 그러나 승용차를 선택한 직장인만을 대상으로 분석한 다수준 선형회귀모형(식 (1)의 y^*)에서는 회귀계수가 양의 값을 가지고 있어 이와 반대의

결과를 보여주고 있다. 이는 관찰되지 않은, 즉 승용차를 선택하지 않은 직장인의 승용차의 통행시간인 0의 값을 고려하지 않음으로 인하여 나타나는 편의(bias)라 할 수 있다. 이와 같이 개별 설명변수들의 결과를 승용차를 선택한 경우(y^*)만을 대상으로 하였을 때는 추정값의 부정확성 또는 심지어 결과의 왜곡을 유발하는 문제가 있음을 보여주고 있다.

결과적으로 개별 하위모형인 프로빗 모형과 선형회귀모형에서 설명변수들의 회귀계수의 부호가 서로 상반되는 것은 보다 진실한 추정을 하지 못하게 하는 문제를 내포하고 있음을 보여준다. 특히, 이들 서로 상반되는 회귀계수의 부호는 통근에서의 승용차 수단선택 확률 저감과 승용차를 이용한 통행시간의 저감이라는 동시적 목적을 추구하는 데 있어서 상쇄 또는 상충되는 결과를 유발하는 것이다. 통계적으로 유의하면서 개별 두 하위모형의 회귀계수 방향성이 반대인 경우에 해당할 경우 파란색의 굵은 글씨체로 <표 4>에서 표현하였다. 이를 통하여 살펴볼 경우 다수의 결정요인들이 상충 내지는 상쇄되는 효과를 가지고 있음을 알 수 있다.

위와 같이 상충 내지는 상쇄되는 두 개별 하위모형과 결합모형인 토빗모형 회귀계수의 방향성을 서로 비교하여 보면, 직관적으로 이해되는 흥미로운 시사점을 도출할 수 있다. 이들 모형에서의 회귀계수들의 방향성을 보면, 토빗모형과 프로빗 모형은 동일하지만, 다수준 선형회귀모형에서만 다른 두 모형과 반대의 경향을 보이고 있다. 이는 통근통행에서의 승용차의 이용 저감을 위한 개인의 결정요인이 관찰되지 않은 승용차의 통근수단 선택 확률이 승용차를 이용하는 통행시간 결정요인보다 더 크게 영향을 미친다는 것을 의미한다. 즉, 승용차 통행시간의 저감 정책은 개인 수준의 승용차 통행시간의 감소 노력보다는 승용차의 선택 확률 그 자체를 줄이고자 하는 노력이 보다 정책적 효과가 큼을 시사한다.

개인 수준에서는 결혼상태, 경제활동 빈도, 직업유형, 현재 직장의 근무년수 등이 이에 해당한다. 예를 들어, 기혼에 비하여 미혼 직장인이 승용차의 통행시간은 짧으나 승용차의 수단선택 확률이 낮고, 이로 인하여 실질적인 승용차를 이용한 통근시간은 미혼에 비하여 기혼의 직장인이 보다 길어지는 결과를 보이고 있다. 경제활동을 자주 하는 계층에 비하여 가끔 하는 계층은 승용차를 통근통행에서 덜 선택하고, 선택을 하더라도 그 이용시간이 짧아, 다수준 토빗모형에서도 동일한 결과를 보여주고 있다.

가구수준에서는 가구주여부, 가구구성 형태, 자동차 소유 여부, 5년 이상 현거주지 거주 등이 이에 해당한다. 즉, 관찰되어지는 승용차 통근시간만을 활용하여 추정한 선형회귀모형의 결과와 관찰되지 않지만 확인 가능한 승용차 통근시간이 0인 경우를 포함한 토빗모형의 결과의 회귀계수의 방향성은 서로 반대임을 보여주고 있다. 예를 들어, 자동차를 소유하지 않은 가구에 비하여 소유하고 있는 가구의 직장인은 승용차를 선택할 확률이 높지만 그 이용시간은 오히려 짧은 경향을 보인다. 그러나 결합모형인 토빗모형의 결과에서는 승용차를 소유한 가구의 직장인이 승

Table 4. Analysis results on the multi-level Tobit model and its two sub-models

		Multi-level Tobit Model		Individual Sub-model				
				Multi-level Probit Model		Multi-level Linear Regression Model		
		Coef.	z	Coef.	z	Coef.	z	
Level-1(i): Household Member (=worker)	Gender (ref.=male)	Female	-1.492 ***	-66.13	-0.608 ***	-58.87	-0.167 ***	-29.57
	Age group (ref.=20-30s)	40s-50s	0.377 ***	15.98	0.149 ***	13.79	0.051 ***	8.86
		60s and over	-0.642 ***	-16.82	-0.317 ***	-18.38	0.012	1.2
	Education level (ref.=high school or less)	College	0.070 ***	3.21	0.021 **	2.1	0.032 ***	6.2
		Graduate school	0.271 ***	7.39	0.088 ***	5.29	0.055 ***	6.19
	Marriage status (ref.=married)	Not married	0.826 ***	29.03	0.344 ***	26.9	-0.046 ***	-6.22
		Others	0.806 ***	19.01	0.330 ***	17.23	-0.012	-1.08
	Economic activity (ref.=oftentimes)	Sometimes	-0.444 ***	-9.47	-0.200 ***	-9.91	0.053 ***	4.12
	Working position (ref.=salaried workers)	Self-employed with other employees	1.163 ***	37.94	0.664 ***	43.18	-0.122 ***	-18.17
		Others	0.415 ***	16.63	0.216 ***	18.91	-0.117 ***	-19.39
	Job type (ref.=office)	Management	0.255 ***	4.27	0.100 ***	3.57	0.015	1.1
		Professional	-0.177 ***	-6.76	-0.079 ***	-6.69	-0.036 ***	-5.47
		Sales or service	-0.144 ***	-5.3	-0.058 ***	-4.74	-0.064 ***	-9.48
		Others	0.143 ***	5.37	0.073 ***	5.96	-0.033 ***	-5.13
	No. working years of current job (ref.=LT 1-year)	LT 5-years	0.368 ***	13.09	0.162 ***	13.02	-0.034 ***	-4.54
LT 10-years		0.538 ***	19.14	0.240 ***	19.11	-0.034 ***	-4.71	
10-year and over		0.513 ***	16.24	0.225 ***	15.77	-0.034 ***	-4.21	
Householder (ref.=No)	Yes	0.114 ***	4.83	0.074 ***	6.95	-0.026 ***	-4.56	
Household type (ref.=family)	1-person household	0.587 ***	16.19	0.291 ***	17.52	-0.167 ***	-17.85	
	Others	0.442 ***	5.71	0.238 ***	6.8	-0.182 ***	-8.52	
Car ownership (ref.=No)	Yes	3.654 ***	116.88	1.439 ***	96.46	-0.092 ***	-8.55	
Level-2(j): Household	Housing tenure status (ref.=owned)	Rented (Junse)	-0.101 ***	-4.08	-0.039 ***	-3.48	-0.022 ***	-3.43
		Monthly rented	0.078 ***	2.88	0.041 ***	3.27	-0.006	-0.83
		Others	0.053	1.1	0.028	1.25	-0.064 ***	-5.07
Housing type (ref.=apartment)	Single-family housing	-0.248 ***	-9.79	-0.116 ***	-10.04	-0.037 ***	-5.57	
	Multi-family housing	-0.137 ***	-5.19	-0.055 ***	-4.63	-0.016 **	-2.31	
	Office-type housing	-0.406 ***	-6.95	-0.197 ***	-7.55	-0.041 **	-2.55	
	Others	-1.103 ***	-12.29	-0.510 ***	-12.9	-0.098 ***	-3.81	
No. years resided in current housing (ref.=LT 2-years)	From 2- to 5-years	0.033	1.3	0.008	0.69	0.024 ***	3.67	
	5-years and over	-0.081 ***	-3.53	-0.047 ***	-4.49	0.031 ***	5.27	
Job-housing balance (ref.=No)	Yes	-1.167 ***	-60.54	-0.382 ***	-43.19	-0.633 ***	-130.4	
Population density (persons/km²)		-3.1E-05 ***	-3.97	-1.5E-05 ***	-3.95	4.2E-06 **	2.16	
Ratio of jobs to population		-0.450 ***	-3.33	-0.181 ***	-2.86	-0.003	-0.1	
No. employees per firm		-0.064 *	-1.72	-0.025	-1.43	-0.009	-0.95	
Ratio of wholesale and retail employees		-2.867 **	-2.42	-1.555 ***	-2.78	0.647 **	2.24	
Ratio of general service employees		-1.423 ***	-3.34	-0.738 ***	-3.67	0.220 **	2.12	
Ratio of knowledge-based service employees		-0.518	-0.61	-0.449	-1.13	0.362 *	1.77	
Index of housing transaction price		0.063 *	1.9	0.028 *	1.81	0.003	0.38	
Ratio of low-income class		2.945	0.48	0.650	0.23	2.551 *	1.72	
Ratio of the elderly (age is over 65 years old)		-2.407	-1.34	-0.585	-0.69	-1.701 ***	-3.88	
No. cars registered per 10,000 residents		4.3E-04 ***	4.84	1.9E-04 ***	4.58	-4.9E-05 **	-2.28	
Highway length (km) per car		0.290	1.61	0.175 **	2.06	-0.079 *	-1.81	
Urban railway station (Yes=1, No=0)		-0.128	-0.99	-0.066	-1.07	0.021	0.67	
Inter-regional railway station (Yes=1, No=0)		0.152	1.59	0.095 **	2.12	-0.061 ***	-2.61	
High-speed railway station (Yes=1, No=0)		0.074	0.58	0.007	0.12	0.039	1.26	

Note: Variables of significance (*: p ≤ 0.1, **: p ≤ 0.05, and ***: p ≤ 0.01)

용차를 이용한 통근시간이 긴 경향을 보여주고 있다. 이는 통근에서 승용차를 이용하는 직장인의 승용차 통행시간($y=y_i^*$)이 짧지만 승용차를 선택하지 않은 직장인의 사례까지 감안($y=0$)한다면 승용차를 이용한 통근시간은 길어진다는 것을 의미한다. 즉, 승용차 소유 억제에 대한 규제와 보상의 정책은 실질적으로 통근에서의 승용차의 이용을 억제할 수 있는 효과를 가지고 있음을 보여주는 것이다. 이러한 결과는 승용차 보유대수가 많을수록 통근시간은 길어짐을 확인하고 있는 현준용·김재익(2014)의 결과와 일치한다. 한편, 승용차를 선택한 직장인만을 대상으로 한 다수준 선행회귀모형에서는 현재 거주지에서 5년 이상 거주한 직장인이 다른 직장인에 비하여 승용차의 통근시간이 길어짐을 보여주고 있다. 그러나 통근수단으로 승용차를 선택하지 않은 직장인을 포함하여 추정한 토빗모형에서는 승용차의 통행시간이 짧아짐을 보여준다. 이는 최근 5년 내 주거의 이동경험이 있을수록 통근거리가 길어짐을 밝히고 있는 김형태(2009)의 결과와 동일하다.

그리고 시군구 단위의 도시수준에서는 인구밀도, 도소매업 등 서비스업 종사자수 비율, 인구 만 인당 자동차 등록대수 등이 선행회귀모형과 토빗모형의 회귀계수의 방향성이 서로 다를 수 있다. 구체적으로 도소매업 등 서비스업 종사자수 비율의 결과를 살펴보면, 승용차를 선택한 직장인들에 대한 선행회귀모형에서는 통근시간이 이의 비율이 높은 도시일수록 증가하지만 승용차를 선택하지 않은 경우를 포함한 토빗모형에서는 감소하는 경향을 보이고 있다. 3차산업 비율이 높을수록 차량주행거리가 증가함을 밝히고 있는 서승연 외(2014)의 결과와 비교하면 토빗모형과는 배치되지만 선행회귀모형과는 일치된다. 이러한 결과는 분석의 자료와 대상지역에 의한 차이로 인한 것일 수 있다. 이들은 국내 74개 중소도시를 대상으로 자동차 검사소 등에서 수집한 개별 차량 주행거리 자료를 활용하여 연평균 주행거리를 사용하였다. 이들의 연구는 승용차를 이용하지 않은 인구를 고려하지 않은 연평균 주행거리를 사용하였기 때문에 관찰되어진 승용차 통행거리(여기서는 y^*)만을 분석에 활용하였기 때문에 풀이된다. 다른 한편으로는 본 연구는 서울대도시권을 대상으로 하였지만 이들은 국내 중소도시만을 대상으로 하였기 때문에 이러한 차이를 보일 수 있다고도 판단된다.

한편, 승용차를 선택한 경우의 통근시간에 대한 선행회귀모형, 승용차를 통근통행에서 선택할 확률모형인 프로빗 모형, 그리고 이들의 결합모형인 토빗모형에서의 설명변수들의 방향성이 동일한 경우는 차량주행거리의 저감이라는 정책목표에 상승효과를 유발할 수 있음을 시사한다. 즉, 이들 결정요인들을 중심으로 통행에서의 승용차 의존도 저감 또는 승용차 통행에서의 그 소비시간(거리)을 감소시키려는 어떤 한 부문의 노력은 이들 두 정책지표를 모두 개선시키는 효과를 발휘하게 된다. 예를 들어 남성보다는 여성 직장인이 승용차의 수단선택확률이 낮은 뿐만 아니라 실제 이용시간도 짧은 경향을 보인다. 또한 직주일치를 하고 있

는 직장인은 통근에서의 승용차 이용시간도 짧을 뿐더러 승용차를 선택할 확률도 낮음을 본 연구의 분석결과는 보여주고 있다. 이와 유사하게 시군구 수준에서의 직주균형 지표도 승용차 통근시간에서는 유의하지 않지만 승용차의 수단선택과 전반적인 그 이용시간을 줄이는 효과를 가지고 있음을 보여주고 있다. 즉, 가구수준의 직주일치 또는 도시수준의 직주균형의 정책목표는 개인 수준의 통근통행에서의 승용차의 이용시간에 대한 저감뿐만 아니라 통근수단으로 승용차의 선택확률을 저감하여 보다 더 효과적으로 작동할 수 있음을 보여준다.

VI. 결론 및 시사점

최근의 도시, 교통, 보건 분야의 정책목표는 통행에서의 승용차의 이용저감과 대안적 교통수단인 활동적 교통(active transport)의 이용촉진을 위하여 도시의 물리적 환경과 환경친화적 교통체계 구축을 보다 강조하고 있다. 특히, 미국 캘리포니아주는 상원 입법을 통하여 정책목표를 교통 서비스 수준 향상이 아닌 차량주행거리(Vehicle Miles Traveled, VMT)의 감소로 규정하고, 대중교통 중심의 개발, 대안적 교통기반시설의 투자, 교통수요관리와 같은 정책을 추진하도록 유도하고 있다(Bedsworth et al., 2011; Lee and Handy, 2018).

차량주행거리의 저감이라는 정책목표 관점에서는 통행에서의 승용차 의존도 저감 또는 승용차 통행에서의 그 소비시간(거리)을 감소시키는 것이 중요하다. 특히, 이러한 정책은 통근통행이 다른 통행목적보다 일상적·주기적으로 발생하면서 필요에 의하여 불가피하게 일어나는 파생수요(derived demand)이기 때문에 정책 목표에서 보다 강조되어 왔다. 이러한 측면에서 지금까지의 통행관련 계획과 정책들은 대안적 교통수단을 제공하면서 승용차 통근수단의 선택을 저감하거나 실제 승용차를 이용하더라도 그 시간(또는 거리)의 감소라는 두 측면을 각각 개별적으로 조명하여 추진하여 온 것이 사실이다. 그리고 이는 각각의 개별적 모형의 실증결과를 기반으로 구체적인 정책수단이 개발되고 현실에 적용되어온 경향이 있다. 그러나 통근통행에서의 승용차의 선택 또는 그 통행시간의 저감은 실질적으로 개인의 의사결정에서 상호 독립이 아닌 밀접한 연관성에 의하여 동시에 이루어지는 행위이다. 따라서 그 두 선택 절차를 각각 개별적으로 확인하고 이를 정책에 적용할 경우에는 의도하지 않은 기대효과의 상쇄 또는 상충으로 인하여 실질적인 정책 효과를 보기 어려울 수 있다.

본 연구에서는 서울대도시권에서의 직장인의 통근통행 행태를 승용차 수단선택과 그 소비시간을 결합하여 하나의 모형으로 그 결정요인들을 분석하고, 이를 각각의 개별 모형의 분석결과와 비교함으로써 통근통행에서의 의도하지는 않았지만 드러나지 않은 효과를 실증적으로 보여주고자 하였다. 이를 위하여 구체적으로 개별 하위모형으로 통근통행에서의 대안적 교통수단 대비 승용

차를 선택할 확률 모형으로 다수준 프로빗 모형을, 승용차 통근 통행시간 모형으로 다수준 선형회귀모형을, 그리고 이 두 개의 하위모형을 하나로 통합한 결합모형으로 다수준 토빗모형을 구축하였다.

본 연구의 결론은 두 개의 개별 하위 모형의 비교와 결합모형을 포함한 세 개의 모형의 결과 비교를 통하여 두 가지로 대별하여 제시할 수 있다. 첫째, 이들 두 개의 개별 하위 모형의 결과를 비교를 통하여 각각의 개별모형으로 실증할 경우 의도하지는 않았지만 드러나지 않은 숨겨진 효과로 인하여 실질적인 결과에서의 편(bias)이 발생하고 있음을 확인하였다는 것이다. 구체적으로 승용차의 수단선택 확률 모형과 승용차 이용시간에서의 회귀계수의 부호가 반대인 결정요인들은 개인 속성에서 결혼상태, 경제활동 참여 형태, 종사자 고용형태, 현 직장 근무년수, 가구속성 결정요인에서는 가구주 여부, 가구 구성형태, 자동차 소유 여부, 현 주거지 거주년수 등이다. 그리고 거주지의 시군구 단위의 도시속성에서는 인구밀도, 도소매와 일반서비스 종사자 비율, 인구만인당 자동차 등록대수 등이 의도하지 않았지만 숨겨진 효과로 인하여 통근통행에서의 실질적인 승용차 통행시간의 편(bias)이 유발됨을 확인하였다.

둘째, 승용차의 통근시간보다는 승용차의 수단 선택의 결정요인이 실질적인 승용차의 통행시간을 저감시키는 데 보다 효과적임이 확인되었다. 이러한 결론은 결합모형인 다수준 토빗모형과 개별 두 개의 하위모형의 결정요인들의 통계적 유의성과 방향성을 서로 비교하였을 때 확인할 수 있다. 즉, 두 개별 하위모형의 회귀계수의 방향성이 서로 다르거나 통계적 유의성에서 차이가 있을 때, 결합모형인 다수준 토빗모형의 회귀계수의 방향성은 통근수단 선택 모형인 다수준 프로빗 모형과 동일한 결과를 보여주었다.

이러한 결과는 승용차의 통근시간을 그 자체를 줄이기 위한 도로 네트워크 개선보다는 통근통행에서의 승용차의 선택확률을 줄이는 결정요인이 보다 중요함을 시사하는 것이다. 즉, 정책 목표가 도로 서비스 수준 향상이 아닌 대안적 교통수단의 이용이 용이한 교통체계가 도시환경을 개선하는 것이 더 중요하다는 것을 의미한다. 이러한 관점에서 Boarnet et al.(2017)이 주장하고 있는 정책 방향성은 우리가 주목해야 할 시사점을 제시하고 있다. 이들은 경제 안정화단계에 있는 국가들에서 자동차 주행거리를 저감하기 위해서는 대안적 교통수단의 접근과 이용이 용이한 장소 중심의 물리적 환경 개선이 대규모 교통기반시설 투자보다 중요함을 강조하고 있다.

본 연구의 목적은 통근통행에서 승용차의 이용저감 실증분석에서 의도하지 않았지만 간과한 숨겨진 효과를 확인하는 것이었다. 따라서 본 연구의 대부분은 이를 비교하고 확인하는 데 초점을 두었고, 각각의 개별 결정요인들에 대한 결과의 해석에서는 상대적으로 충분하지 않았다고 할 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 숨겨진 효과의 발생에 대한 이론적·실증적 제시가

필요하다.

또한 본 연구는 다수준 임의 절편모형(multi-level random-intercept model)으로 개별 하위모형과의 비교하는 데 초점을 두었기 때문에 임의 계수모형(random slope model)으로 확장하여 추정하지 않았다. 후자의 모형은 가구와 거주지역의 절편뿐만 아니라 이들 집단 내 수준의 설명변수들의 기울기가 가구 또는 거주지역별로 어떻게 달라지는지에 대하여 분석할 수 있는 모형이다. 향후 가구 수준과 거주지역별로 통근통행에서의 승용차의 통행시간이 달라질 수 있는지에 대한 연구가 이루어진다면 대안적 교통수단 활성화를 위한 교통 정책 추진에 활용될 수 있는 보다 의미 있는 실증적 분석 결과를 제시할 수 있을 것이다.

인용문헌 References

1. 김승남·안건혁, 2010. “재택근무의 교통부문 영향 분석: 수도권 의 총 승용차 통행거리(VMT)에 대한 영향을 중심으로”, 『국토계획』, 45(7): 147-164.
Kim, S.N. and An, K.H., 2010. “Estimating the Travel-related Impacts of Home-based Telecommuting – Focused on the Vehicle Kilometers Traveled (VKT) in Seoul Metropolitan Area”, *Journal of Korea Planning Association*, 45(7): 147-164.
2. 김형태, 2009. “직주균형이 통근통행에 미치는 영향, 1990~2005: 수도권 지역을 대상으로”, 『국토계획』,
Kim, H., 2009. “The Effects of Transit-Share and Job-Housing Balance on Commuting – Focused on the Capital Region in Korea”, *Journal of Korea Planning Association*, 44(7): 171-184.
3. 서승연·김승남·이경환, 2014. “차량주행거리에 영향을 미치는 도시 토지이용 및 도시형태 특성에 관한 실증 분석: 한국의 74개 중소도시를 중심으로”, 『국토계획』, 49(8): 107-121.
Seo, S.Y., Kim, S.N., and Lee, K.H., 2014. “Effects of Land Use and Urban Form on Vehicle Kilometer Traveled – Focused on the 74 Small and Medium-sized Cities in Korea”, *Journal of Korea Planning Association*, 49(8): 107-121.
4. 성현곤, 2012. “주거입지선택에서의 대중교통 접근성과 직주균형의 구조적 관계가 가구수준의 통행행태에 미치는 영향”, 『국토계획』, 47(4): 265-282.
Sung, H., 2012. “Impacts of the Structural Relationship for Transit Accessibility and Jobs-Housing Balance in Residential Location Choice on Travel Behavior at the Household Level”, *Journal of Korea Planning Association*, 47(4): 265-282.
5. 성현곤, 2014. “주거지 건조환경과 보행활동과의 비선형 연관성 진단: Jacobs의 삶에 기반한 물리적 환경의 보행목적별 차이를 중심으로”, 『국토계획』, 49(3): 159-174.
Sung, H., 2014. “Diagnosis on the Non-linear Association of Built Environment with Walking Activity in Residential Areas: Focused on the Difference of Walking Purposes for Physical Environment Based on Jacobs’ Life”, *Journal of Korea Planning Association*, 49(3): 159-174.
6. 성현곤·노정현·김태현·박지형, 2006. “고밀도시에서의 토지이용이 통행패턴에 미치는 영향: 서울시 역세권을 중심으로”, 『국토

- 계획», 41(4): 59-75.
- Sung, H., Rho, J.H., Kim, T., and Park, J., 2006. A Study on the Effects of Land Use on Travel Pattern in the Rail Station Areas of a Dense City: A Case of Seoul, *Journal of Korea Planning Association*, 41(4): 59-75.
7. 성현곤·추상호, 2010. “근린생활권 단위의 압축도시개발이 통행 수단분담율과 자족성에 미치는 효과분석”, 「국토계획」, 45(1):155-169.
- Sung, H. and Choo, S.H., 2010. “The Effects of Compact-City Development at the Living Area of Neighborhood Level on Modal Split and Self-Sufficiency”, *Journal of Korea Planning Association*, 45(1): 155-169.
8. 성현곤·황보희·박지형, 2012. “다수준 회귀모형을 활용한 TOD 계획요소의 통행행태 변화 실증분석”, 「국토계획」, 47(3): 265-278.
- Sung, H, Hwang, B.H., and Park, J., 2012. “Empirical Analysis of Travel Behavior Change by TOD Planning Elements through Applying Multi-level Regression Modeling”, *Journal of Korea Planning Association*, 47(3): 265-278.
9. 이민주·박인권, 2016. “지역 특성에 따른 소득별 직주불일치에 관한 연구”, 「지역연구」, 32(1): 67-82.
- Lee, M. and Park, I.K., 2016. “A Study on the Spatial Mismatch by Income and Regional Characteristics”, *Journal of the KRSA*, 32(1): 67-82.
10. 이슬기·성현곤, 2017. “ICTs의 일상적 활용이 방문상권을 다양화하고 집으로부터 그 거리를 증가시키는가?”, 「국토계획」, 52(3): 171-184.
- Lee, S.K. and Sung, H., 2017. “Does the Daily Use of Information and Communication Technologies Diversify Visiting Trading Areas and Increase their Distance from Home?”, *Journal of Korea Planning Association*, 52(3): 171-184.
11. 이재영, 2013. “1인 가구 통행특성 및 교통정책 방향”, 「대전발전포럼」, 48: 25-38.
- Lee, J.Y., 2013. “Traffic Characteristics and Direction of Transportation Policy for Single-person Households”, *Daejeon Development Forum*, 48: 25-38.
12. 장윤정·이승일, 2010. “거주지의 여가환경이 여가통행거리에 미치는 영향 분석: 서울시 내부통행을 중심으로”, 「국토계획」, 45(6): 85-110.
- Jang, Y. and Lee, S.I., 2010. “An Impact Analysis of the Relationship between the Leisure Environment at People’s Places of Residence in Seoul and their Leisure Travel on Weekends”, *Journal of Korea Planning Association*, 45(6): 85-110.
13. 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.
14. 주진호·연지윤·장동익, 2014. “자가용 승용차의 가구그룹별 통행특성 차이에 관한 연구”, 「대한교통학회지」, 32(4): 347-356.
- Joo, J.H., Yeon, J.Y., and Jang, D.I., 2014. “Analysis on Passenger Car Travel Characteristics by Household Type”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 32(4): 347-356.
15. 최은진·김의준, 2015. “서울 산업의 공간적 집적이 통근시간에 미치는 영향”, 「국토계획」, 50(4): 243-257.
- Choi, E. and Kim, E., 2015. “Impact of Spatial Concentration of Industrial Activities on Commuting Times in Seoul: with Reference to Knowledge-based Industry”, *Journal of Korea Planning Association*, 50(4): 243-257.
16. 하재현·이수기, 2017. “개인의 생애주기 단계에 따른 통근시간 영향요인 분석: 2010년 수도권 가구통행실태 조사자료를 중심으로”, 「국토계획」, 52(4): 135-152.
- Ha, J. and Lee, S., 2017. “Analysis on the Determinant Factors of Commuting Time by Individuals’ Life Cycle Stage: Based on the 2010 Household Travel Survey Data of the Seoul Metropolitan Area”, *Journal of Korea Planning Association*, 52(4): 135-152.
17. 현준용·김재익, 2014. “대중교통이용률과 직주균형 수준이 통근 통행에 미치는 영향”, 「교통연구」, 21(4): 17-32.
- Hyun, J.Y. and Kim, J.I., 2014. “The Effects of Transit-Share and Job-Housing Balance on Commuting Travel”, *Transportation Study*, 21(4): 17-32.
18. Muhammad Zia Mahriyar·노정현, 2017. “도시 압축도와 주거 밀도가 통행발생에 미치는 영향에 관한 연구: 서울시 출근 통행을 중심으로”, 「대한교통학회지」, 35(1): 1-10.
- Mahriyar, M.Z. and Rho, J.H., 2017. “Effects of Urban Compactness and Residential Density on Trip Generation: Focusing on Work Trips in Seoul, Korea”, *Journal of Korean Society of Transportation*, 35(1): 1-10.
19. Amemiya, T., 1973. “Regression Analysis When the Dependent Variable Is Truncated Normal”, *Econometrica*, 41(6): 997-1016.
20. Amemiya, T., 1985. *Advanced Econometrics*, Cambridge: Harvard University Press.
21. Bedsworth, L., Hanak, E., and Kolko, J., 2011. *Driving Change Reducing Vehicle Miles Traveled in California*, San Francisco, CA: Public Policy Institute of California.
22. Boarnet, M.G., Burinskiy, E., Deadrick, L., Guillen, D., and Ryu, N., 2017. “The Economic Benefits of Vehicle Miles Traveled (VMT)- Reducing Placemaking: Synthesizing a New View”, Davis, CA: National Center for Sustainable Transportation.
23. Carlson, D. and Howard, Z., 2010. *Impacts of VMT Reduction Strategies on Selected Areas and Groups*, Research Report, Seattle, WA: Washington State Transportation Center (TRAC).
24. Chatman, D.G., 2003. “How Density and Mixed Uses at the Workplace Affect Personal Commercial Travel and Commute Mode Choice”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1831: 193-201.
25. Chatterjee, K., Clark, B., Martin, A., and Davis, A., 2017. *The Commuting and Wellbeing Study: Understanding the Impact of Commuting on People’s Lives*, Bristol: University of the West of England.
26. Currey, Ganson, Miller, and Fesler, 2015. “Vehicle-Miles Traveled (VMT) Impacts on the Environment, Human Health, and Fiscal Health”, Working paper, Madison, WI: State Smart Transportation Initiative.
27. Daskalakis, C., Gouleakis, T., Tzamos, C., and Zampetakis, M., 2019. “Computationally and Statistically Efficient Truncated Regression”, *Proceedings of Machine Learning Research*, XX: 1-31.
28. Dubin, R., 1991. “Commuting Patterns and Firm Decentral-

- ization”, *Land Economics*, 67(1): 15-29.
29. Ewing, R., Hamidi, S., Tian, G., and Proffitt, D., 2017. Testing Newman and Kenworthy’s Theory of Density and Automobile Dependence, *Journal of Planning Education and Research*, 38(3): 1-16.
 30. Gimenez-Nadal, J.I., Molina, J.A., and Velilla, J., 2018. The Commuting Behavior of Workers in the United States: Differences between the Employed and the Self-employed, *Journal of Transport Geography*, 66: 19-29.
 31. Handy, S. and Thigpen, C., 2019. “Commute Quality and Its Implications for Commute Satisfaction: Exploring the Role of Mode, Location, and Other Factors”, *Travel Behaviour and Society*, 16: 241-248.
 32. Higgins, C.D., Sweet, M.N., and Kanaroglou, P.S., 2018. All Minutes Are Not Equal: Travel Time and the Effects of Congestion on Commute Satisfaction in Canadian Cities, *Transportation*, 45(5): 1249-1268.
 33. Hox, J.J., 2010. *Multilevel Analysis: Techniques and Applications* (2nd Ed.), UK: Routledge.
 34. Lee, B.S. and McDonald, J.F., 2003. “Determinants of Commuting Time and Distance for Seoul Residents: The Impact of Family Status on the Commuting of Women”, *Urban Studies*, 40(7): 1283-1302.
 35. Lee, A.E. and Handy, S.L., 2018. “Leaving Level-of-service Behind: The Implications of a Shift to VMT Impact Metrics”, *Research in Transportation Business & Management*, 29: 14-25.
 36. Lee, Y., Hickman, M., and Washington, S., 2007. “Household Type and Structure, Time-use Pattern, and Trip-chaining Behavior”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 41(10): 1004-1020.
 37. Lu, Y., Sun, G., Sarkar, C., Gou, Z., and Xiao, Y., 2018. “Commuting Mode Choice in a High-Density City: Do Land-Use Density and Diversity Matter in Hong Kong?”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 15: 920.
 38. Lyons, G. and Chatterjee, K., 2008. “A Human Perspective on the Daily Commute: Costs, Benefits and Trade-offs”, *Transport Reviews*, 28(2): 181-198.
 39. Mokhtarian P.L. and Salomon, I., 2001. “How Derived Is the Demand for Travel? Some Conceptual and Measurement Considerations”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35(8): 695-719.
 40. Newman, P. and Kenworthy, J.R., 1989. “Gasoline Consumption and Cities: A Comparison of US Cities with a Global Survey”, *Journal of the American Planning Association*, 55(1): 24-37.
 41. Ory, D.T., Mokhtarian, P.L., Redmond, L.S., Salomon, I., Collantes, G.O., and Choo, S., 2004. “When is Commuting Desirable to the Individual?”, *Growth and Change*, 35(3): 334-359.
 42. Park, M. and Lee, D., 2017. “Analysis of Severe Injury Accident Rates on Interstate Highways Using a Random Parameter Tobit Model”, *Journal of Mathematical Problems in Engineering*, 2017: 1-6 (Article No. 7273630).
 43. Páez, A., Gallo, J., Buliung, R.N., and Dall’erba, S., eds. 2010. *Progress in Spatial Analysis: Methods and Applications*, Berlin: Springer.
 44. Rabe-Hesketh, S. and Skrondal, A., 2008. *Multilevel and Longitudinal Modeling Using Stata*, Texas: StataCorp. LP.
 45. Reichert, A. and Holz-Rau, C., 2015. “Mode Use in Long-Distance Travel”, *The Journal of Transport and Land Use*, 8(2): 87-105.
 46. Salon, D., 2009. “Neighborhoods, Cars, and Commuting in New York City: A Discrete Choice Approach”, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 43(2): 180-196.
 47. Schwanen, T. and Mokhtarian, P.L., 2005. “What if You Live in the Wrong Neighborhood? the Impact of Residential Neighborhood Type Dissonance on Distance Traveled”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 10(2): 127-151.
 48. Shekarchian, M., Moghavvemiabc, M., Zarifib, F., Moghavvemid, S., Motasemie, F., and Mahliaf, T.M.I., 2017. “Impact of Infrastructural Policies to Reduce Travel Time Expenditure of Car Users with Significant Reductions in Energy Consumption”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77: 327-335.
 49. Stewart, J., 2009. *Tobit or not Tobit?*, Washington DC: Bureau of Labor Statistics.
 50. Tajalli, M. and Hajbabaie, A., 2017. “On the Relationships between Commuting Mode Choice and Public Health”, *Journal of Transport & Health*, 4: 267-277.
 51. Tobin, J., 1958. “Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables”, *Econometrica*, 26(1): 24-36.
 52. Wooldridge, J., 2002. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, Cambridge: MIT Press.
 53. Ye, R. and Titheridge, H., 2017. “Satisfaction with the Commute: The Role of Travel Mode Choice, Built Environment and Attitudes”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52: 535-547.
 54. Zhang, M., 2004. “The Role of Land Use in Travel Mode Choice: Evidence from Boston and Hong Kong”, *Journal of the American Planning Association*, 70(3): 344-360.
 55. Zhu, Z., Li, Z., Liu, Y., Chen, H., and Zeng, J., 2017. “The Impact of Urban Characteristics and Residents’ Income on Commuting in China”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57: 474-483.
 56. OECD Family Database, 2016, Dec 1. “LMF2.6: Time Spent Travelling to and from Work”, OECD - Social Policy Division (Source: <http://www.oecd.org/els/family/database.htm>)

Date Received 2019-11-22
 Date Reviewed 2019-12-24
 Date Accepted 2019-12-24
 Date Revised 2019-12-30
 Final Received 2019-12-30