

도로연장에 대한 반등효과 분석 -서울, 부산, 대구, 인천을 중심으로-

이민하*·조용성**

요약 : 본 연구는 2000~2013년까지 14년간 서울, 부산, 대구, 인천 4개 대도시에 대한 총 주행거리, 도로연장길이, 대중교통 이용객수, 지역내총생산, 지역인구, 석유류 소비량에 대한 횡단 시계열자료를 활용하여 도로연장에 대한 반등효과가 우리나라에도 적용되는지를 실증분석하였다. 혼합효과모형으로 추정된 결과 도로연장은 총 주행거리와 동반상승관계에 있는 반면, 대중교통 이용량은 총 주행거리와 역관계에 있는 것으로 나타났다. 이는 도로연장을 중심으로 하는 공급관리형 교통정책이 도시 광역화로 자가운전의 편의성을 직접적으로 증진시키거나, “걷기 힘든” 환경조성을 통해 자가운전 외 교통수단 이용의 편의성을 절감시킴으로써 추가적인 도로 이용을 유인함을 뜻한다. 즉, 교통혼잡 및 정체 개선을 위해서는 현재의 도로연장 중심의 정책보다는 대중교통의 편의성 증진을 골자로 하는 교통수요관리 정책에 맞추어야 함을 시사한다.

주제어 : 반등효과, 도로연장, 주행거리, 교통수요관리, 혼합효과모형분석

JEL 분류 : C5, H5, Q4, R4

접수일(2017년 1월 31일), 수정일(2017년 5월 22일), 게재확정일(2017년 6월 13일)

* 고려대학교 그린스쿨, 박사과정, 제1저자(e-mail: minha_lee@korea.ac.kr)

** 고려대학교 식품자원경제학과, 교수, 교신저자(e-mail: yscho@korea.ac.kr)

Analysis of Rebound Effect from Road Extension in Seoul, Busan, Daegu, and Incheon

Min Ha Lee* and Yongsung Cho**

ABSTRACT : The existence of rebound effect from road extension in Korea has been quantitatively verified using cross-sectional, time series data on four major cities - Seoul, Busan, Daegu and Incheon - between 2000 and 2013. The linear mixed effects model was constructed from six variables: total vehicle miles traveled (VMT), road extension, public transport users, gross regional domestic product (GRDP), regional population and fuel consumption. The main results can be summarized as VMT is positively correlated to road extension while negatively with public transport users. It indicates that the road extension-centered “supply-side” transportation policy induces “additional travel” and create “generated traffic” by enhancing driving efficiencies directly, or degrading other transport modes indirectly. Hence, the ultimate goal of road congestion reduction requires public transport-centered “demand management” rather than current supply-side policies.

Keywords : Rebound effect, Road extension, VMT, Demand management, Linear mixed effects model

Received: January 31, 2017. Revised: May 22, 2017. Accepted: June 13, 2017.

* Ph.D Student, The Green School, Korea University(e-mail: minha_lee@korea.ac.kr)

** Professor, Department of Food and Resource Economics, Korea University(e-mail: yscho@korea.ac.kr)

I. 서론

18세기 말 산업혁명 이후 세계의 주요도시는 경제성장을 목적으로 하는 물류 이동성 증진을 위하여 자동차 중심의 교통체계로 재편되었다. 우리나라도 예외는 아니었기에, 1970년 경부고속도로를 시작으로 도로확충을 전제로 한 경제정책이 시행되어 “편리한 도로체계”를 우선시하는 도시들이 건설되었다. 우리나라의 도로연장을 골자로 하는 공급관리형 교통정책은 1968년 휘발유 세액 75%와 자동차 세액 및 부가세액 등으로 마련된 재원 전액을 투입하는 도로정비사업특별회계(건설부) 도입부터 체계화되어 2009년 영구법화된 교통시설특별회계(국토교통부: 교통에너지환경세의 80%를 재원으로 활용)를 통해 오늘날까지 이어지고 있다. 그 결과, 교통안전공단에서 발표한 「2015년 대중교통현황조사」 결과에 따르면, 우리나라 전국 도로 교통량에서 승용차가 차지하는 비율은 2015년 기준 71.3%인 반면 버스는 단지 2.8%를 점하고 있다. 수송분담률을 기준으로 살펴보면, 버스는 24.5%, 철도는 15.8% 수준인 반면, 승용차는 56.5%를 차지하는 등, 국가공용자산인 도로의 절반을 자가운전으로 이용하고 있다.

그러나 2000년 이후 세계적으로 이상기온에 따른 피해¹⁾ 속출에 따라 도로확충을 골자로 하는 공급관리형 교통정책에 많은 의문이 제기되기 시작하였다. 구체적으로 미국 호프스트라 대학의 로드리그(Rodrigue) 국제지질학 교수는 1965년 대비 268% 증가한 2006년의 1일 석유소비량(8,400만 배럴) 중 52%가 수송부문에 사용되었음을 근거로 세계의 자동차화(motorization) 현상을 에너지과소비에 따른 기후변화의 주요 원인으로 주장하였다.²⁾ 빅토리아 교통정책연구소(Victoria Transport Policy Institute)는 사적용도의 자동차화의 최대 촉진제로서 도로확충을 꼽으며 (도로연장의 반등효과), 도로편의성 증진에 투입되는 사회적 자원을 대중교통 편의성 증진에 활용한다면 수송분야의 과도한 화석연료 의존도 및 환경오염 문제를 많이 해소할 수 있을 것이라고 제안하였다.³⁾

1) 2000년 호주 대가뭄, 2004년 인도양 대쓰나미, 2005년 태풍 카트리나, 2007년 중국 홍수, 2009년 그리스 산불, 2011년 동일본 쓰나미, 2012년 태풍 샌디, 2015년 한국 대가뭄, 그리고 2016년 발생한 파리 홍수 등이 대표적임.

2) 미국 호프스트라대학 국제지질학과 로드리그 교수의 Geography of Transportation System 홈페이지 내용을 참조함(<http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/app15en/ch5a1en.html>).

3) 빅토리아 교통정책연구소의 “교통체계 개발을 위한 정책제언: Rebound Effects Implications for Transport Planning (<http://www.vtpi.org/tm/tm64.htm>)” 참조

이에 따라 우리나라 정책도 영향을 받아 2010년 개정을 통해 교통시설특별회계의 계정별(도로·철도·교통체계관리·공항·항만 등 5개 계정) 배분비율이 이전보다 개선되었지만(<표 1>), 여전히 교통시설특별회계의 지출구조에서 도로계정이 차지하는 비중이 타 계정 대비 높으며, 특히 교통체계관리계정과 철도계정을 합친 비중보다 높다.⁴⁾

〈표 1〉 교통시설특별회계 배분 비율

기 존(2004.6. 개정안)		개 정(2010.1.1.부터)	
교통시설	배분비율(%)	교통시설	배분비율(%)
도 로	51.0 ~ 59.0	도 로	43.0 ~ 49.0
철 도	14.0 ~ 20.0	철 도	30.0 ~ 36.0
대중교통('06부터)	6.0 ~ 10.0	교통체계관리('11부터)	10.0 이하
공 항	2.0 ~ 6.0	공 항	7.0 이하
광역교통	2.0 ~ 6.0		
항 만	10.0 ~ 14.0	항 만	7.0 ~ 13.0

주) 2005년 회계연도부터 Range제 도입하여 종전의 '유보비율' 삭제
 자료: 국가법령정보센터 교통시설특별회계법

국토교통부(2011)의 「제3차 중기교통시설투자계획(2011-2015)」에 따르면, 우리나라는 그중에서도 중·대형 승용차 비중이 외국에 비해 높아, 교통시설의 비효율을 초래하고 환경문제 대응에도 취약하다.⁵⁾ 한국교통연구원(2016)에 따르면 우리나라는 오늘날까지 이어지는 도로에 편중된 시설투자 기조로 인하여 OECD 국가 평균 대비 국토면적당 연장(길이)이 도로는 높은 수준이지만 철도는 여전히 낮은 수준에 머물고 있다.⁶⁾

4) 도로사업특별회계와 도시철도사업특별회계가 통합한 1993년 8월 부처 및 당정 협의 시 배분비율은 도로계정 67.5%, 도시철도계정 13.5%, 고속철도·공항계정 9%, 유보 10%였으며, 1995년 철도계정 배분비율이 18.2%로 증가하였지만 이는 고속철도계정이 철도계정으로 흡수되고 고속철도·공항계정이 공항계정으로 변경되면서 배분비율이 9.0%에서 4.3%로 축소된 결과였다. 이후 1997년 광역도로·광역철도 등 광역교통 관련시설 확충을 위해 광역교통계정이 신설되고, 이에 따라 도로사업 중 광역도로사업이 광역교통계정으로 귀속되면서 도로계정의 배분비율을 2.0% 축소된 65.5%로, 광역교통계정의 배분비율을 2.0%로 책정하였다. 2004년 교통세 배분비율 개정안이 적용되어 철도계정에서 도시철도계정이 분리되고 항만계정이 신설되었다. 대중교통 확충에 대한 요구가 높아지면서 도시철도계정의 명칭이 대중교통계정으로 변경되었다가, 2011년 교통체계관리계정으로 다시 바뀌었다. 2010년에는 광역교통시설계정이 광역·지역발전특별회계에 귀속, 교통시설특별회계에서 폐지되었다.

5) 국토해양부(2012) 자동차 등록대수 보도자료에 의하면 중대형 승용차 등록 비중이 2006년 72.5%에서 2011년 81.9%로 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있음.

2000년 이후 녹색세계개편을 적극적으로 추진하는 주요국과 달리, 우리나라는 여전히 “도로 확충을 통하여 교통정체를 해소함으로써 국가경쟁력을 제고하고, 상습 정체구간 해소로 자동차 오염물질 배출량을 저감시킴으로써 궁극적으로 환경 친화적이며 편의성 증진된 교통체계 구축”이라는 도로 중심의 공급관리형 교통체계 패러다임에 갇혀 있는 것이다.⁷⁾

본 연구는 한반도의 좁은 국토와 고밀도 인구 등의 현실적 여건을 감안할 때 철도 중심의 교통체계로의 개편이 시급함에도 불구하고 자동차 중심의 도로확충에 주력하여 도로의 국토면적 점유율이 여전히 증가세를 유지하는 점에 주목하여 기획되었다. 그리고 친환경도시로의 전환을 위해서는 “도로 확충으로 정체구간을 해소할 수 있다”는 공급 중심의 패러다임이 근본적으로 바뀌어야 한다는 것을 증명하고자 한다. 구체적으로 서울·부산·대구·인천 4개 지역의 도로연장과 총 주행거리 간의 상관관계를 분석하여 우리나라 도로 연장사업에 대한 반등효과(Rebound Effect)를 검증, 교통시설특별회계를 통한 현행 교통에너지환경세 세출체계의 부작용을 실증분석하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 도로확충에 따른 반등효과에 대한 정의 및 관련 문헌에 대한 검토 그리고 연구의 가설을 설명하였다. 제3장에서는 분석모형과 분석자료에 대해 기술하였고, 제4장에는 주요 결과를 설명하였다. 마지막으로 제5장에서는 실증분석결과를 토대로 친환경도시를 만들기 위해서는 도로확충에 따른 반등효과를 인정하고 대중교통 편의성 증진을 우선시하는 교통수요관리 체계가 도입되어야 한다는 내용의 정책제언을 담았다.

6) 2014년 기준, 우리나라의 총 도로연장은 18,089km로 OECD 평균인 17,902km를 상회하지만, 철도연장은 4,205km로 OECD 평균인 5,988km에 비해 낮은 수준임.

7) 2016년 4월 18일 부산일보가 보도한 “국토부 교통혼잡도로 예산 절반, 부산에 쏟는다”를 살펴보면, 국토교통부가 총공사비의 50% (2,951억 원)을 제공하기로 한 부산지역 신규 도로건설 사업 역시 “동서 연결도로망 확충으로 지역간 균형발전은 물론 접근성 개선으로 물류비용 및 교통혼잡비용이 크게 절감될 것”이라는 논리로 추진되고 있음.

II. 도로 확충의 반등효과 정의 및 연구 가설

1. 반등효과 정의 및 기존 연구 검토

유류세를 부과하는 이유 중 하나는 유류세로 마련된 재원으로 도로를 확장하여 에너지 소비량 및 오염물질 배출량이 상대적으로 많은 저속운행 구간을 줄이거나 해소시킴으로써 교통 혼잡도를 개선하여, 궁극적으로는 물류비용 절감 및 수송 편의성 증진을 달성하는 것이다.⁸⁾ 그러나 이는 유류세 부과로 인해 증가된 차량운영비용이 다른 요인으로 인해 상쇄되지 않고, 도로가 확충되었을 때에도 차량 이용패턴이 동일하게 유지된다면 전제 하에서만 성립되는 논리이다.⁹⁾ 도로 확충을 통한 자가운전 편의성 증진으로 인하여 추가 운전자가 등장한다거나(기존 대중교통 이용자의 수송방법 변경 또는 새로운 운전자의 유입), 기존 운전자가 주행거리를 증가시킬 경우, 세월 집행을 통한 도로 확충으로는 원래 목적인 교통혼잡도 개선을 달성하기 어렵기 때문이다. 이와 같은 현상을 “반등효과(rebound effect)”라고 하며, 그 크기는 효율개선에 따른 에너지 절감분에서 손실된(달성되지 못한) 부분의 비율로 표시될 수 있다.¹⁰⁾

반등효과 관련 국내외 연구로는 권태형(2011), Bento (2009), 황기연 외(2003), Noland (2001), Owens (1995) 등이 대표적이다(<표 2>). 권태형(2011)은 Wolstenholme의 시스템원형 이론을 적용¹¹⁾하여 도로연장정책은 “상대적 조절” 유형에 속한다고 정의하며, 추가적인 도로연장을 통한 혼잡도 감소는 추가교통량을 유발로 이어져 실질적인 혼

8) 한국도로학회(2012).

9) 권태형(2011).

10) 에너지경제연구원(2015).

11) 권태형(2011)은 교통혼잡 해소를 위한 도로연장도 시스템적인 문제에 기인하는 측면이 크다는 관점에서 Wolstenholme의 시스템원형 분석틀을 도입하였다. Wolstenholme (2003, 2004)은 시스템적인 관계에서 발생하는 다양한 문제들을 기본적인 4가지 유형으로 분류하였다. 첫째, 과소달성(underachievement) 유형은 자기강화 피드백의 의도된 피드백 효과(intended consequence, ic)와 자기조절 피드백의 의도하지 않은 효과(unintended consequence, uc)로 구성되는 의도된 효과의 실현이 의도되지 않은 효과에 의해 저지되는 구조를 나타낸다. 둘째, 조절실패(out of control) 유형은 자기조절 피드백의 ic와 자기강화 피드백의 uc로 구성되어, 조절을 위한 행위가 의도하지 않은 효과에 의해 실패하는 유형을 나타낸다. 셋째, 상대적 목표 달성(relative achievement) 유형은 자기강화 피드백의 ic와 자기강화 피드백의 uc로 구성되어, 의도된 목표달성이 다른 목표달성의 희생을 통해서만 가능하다. 마지막으로 넷째, 상대적 조절(relative control) 유형은 자기조절 피드백의 ic와 자기조절 피드백의 uc로 구성되어 의도된 조절이 상대방의 균형을 무너뜨려서 상대방의 조절 행위를 초래하는 상황을 나타낸다. 그리고 권태형(2011)은 교통혼잡 해소를 위해 도로건설을 확대하는 정책의 문제상황이 4가지 시스템 원형 중 4번째인 “상대적 조절(relative control)”로 설명 가능하다고 하였다.

잡도 감소효과는 크지 않다는 것을 실증적으로 연구하였다. 구체적으로 유발교통량을 고려한 시스템다이내믹스 모형을 적용하여 도로투자 시나리오별 교통혼잡도와 교통량, 이산화탄소 배출량의 추세를 검토한 결과, 도로투자확대 시나리오의 경우 교통혼잡도 감소가 적은데 비해 유발효과에 의한 이산화탄소 배출량의 급증을 초래하였다. Bento (2009)는 함수모델링을 통하여 세금인상을 통한 차량운영비용 증가가 자동차업계의 기술진보를 통한 연비개선으로 상쇄 혹은 역전될 경우, 유류세를 통한 에너지 소비량 감축 효과는 기대할 수 없다는 결과를 도출하였다. 황기연(2003)은 1999년 완공된 서울시의 내부순환로를 대상으로 하는 사례분석을 통하여 도로용량과 유발수요가 정의 관계에 있음을 증명하였다. 구체적으로 내부순환로라는 교통소통 개선을 목적으로 건설된 도로가 추가적인 도로교통량을 유인함으로써 교통소통을 오히려 악화시킬 수 있음을 시사, 황기연(2003)은 서울시와 같이 개발밀도가 높은 도시에서 교통환경을 개선하기 위해서는 도로건설 대신 수요관리 중심의 정책을 통해 유발수요에 대한 적절한 대응이 필요하다고 제언하였다.¹²⁾ Noland (2001)는 미국 통계자료를 활용한 확장모델을 도입하여 도로확충 등의 도로 편의성 증진은 실질적인 차량운영비용 감소로 귀결되어 더 많은 자동차 이용을 촉진하는 결과를 초래하였고, 결국 본래 목적하였던 교통혼잡도 개선을 달성할 수 없을 것이라는 점을 강조하였다. Owens (1995)은 기존의 교통시설 공급관리 정책(예측과 공급: Predict-and-Provide)이 전 세계적 소득 증가로 자가운전이 보편화된 오늘날 적합하지 않다고 주장하며, 지속가능한 발전을 위하여 미래 수요를 조절 및 관리하는 교통수요관리 정책(예측과 억제: Predict-and-Prevent)으로의 전환을 주장하였다. 이러한 연구결과는 “경제개발-도로인프라 구축”이라는 공급위주의 패러다임을 반박하는 것으로, 도로확충을 최우선 과제로 추진해온 우리나라에 대해 시사하는 바가 크다.

12) 황기연(2003)은 우리나라에 연간 차량의 통행거리에 대한 자료가 구축되어 있지 않아 해외사례와 같이 유발수요(induced traffic)를 나타내는 종속변수를 차량통행거리의 증가분으로 하지 못하고, “서울시 통계연보”에 수록된 통행량 증가분을 종속변수로 설정하였다.

〈표 2〉 교통량과 공급위주의 환경정책의 반등효과에 대한 주요 연구결과

연구자(연도)	연구내용	단기	장기
Wheaton (1982, p.450)	25개 OECD 국가들을 대상으로 차량 당 주행 거리를 동태모델로 분석	6%	6%
Clifton (1993, p.99)	미국을 대상으로 정태·동태모형분석	13%	30%
SACTRA (1994)*	영국을 대상으로 트럭의 운영비용에 대한 탄력성을 동태모형으로 분석	28%	57%
Fulton et al. (2000, p.12)	미국의 메릴랜드 주, 버지니아 주, 노스캐롤리나 주 등 주 단위 데이터에 대한 이중회귀분석(2SLS모형)	10~40%	50~80%
Noland (2001, p.68)	미국을 대상으로 도로확장과 차량 당 주행거리의 상관관계 분석	20~50%	70~100%
황기연 외(2003, p.11)	서울의 내부순환로를 대상으로 도로건설에 의한 유발수요 분석	14%	-
Small et al. (2005)	미국의 주 단위 교통통계자료를 대상으로 유류비에 대한 탄력성을 3SLS모형으로 분석	5%	22%
Burt et al. (2006)	캐나다를 대상으로 소형트럭 및 승용차의 주행거리와 도로 확장 간의 상관관계 분석		도로확장 1%당 소형트럭 0.49%, 승용차 0.27% 증가
Odgers (2009)	호주 멜버른을 대상으로 1994~2007년 기간동안의 도로확장에 따른 차량 이동속도 개선에 대해 통계적 검증		실질이동속도 개선 無
권태형(2011, p.84)	도로투자 시나리오별(균형투자/도로확대/도로연장동결) 혼합도와 교통량의 변화를 30년 기간에 대해 추정		균형투자와 도로확대 모두 유발교통량에 의한 이산화탄소 배출량 증가

* Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment (SACTRA)

2. 연구가설

본 연구는 바그너 가설¹³⁾과 소비자 이론¹⁴⁾에 기초하여 반등효과를 검증하기 위한 가

13) “산업경제가 발전하게 되면 교통통신 서비스, 에너지 및 쓰레기 처리와 같은 보완적 수요가 동방증가하여, 국민총생산에서 공공지출이 차지하는 비중도 증대한다”는 공공부문의 팽창요인에 대한 가설로 독일의 경제학자 바그너(Adolph G. Wagner, 1835-1917)에 의해 제시되었다.

14) 소비자 이론(consumer theory)은 주어진 소득으로 만족을 극대화하고자 하는 소비자의 선택에 대한 분석을 다루는 이론으로 가격이나 소득의 변화가 수요에 어떠한 영향을 미치는지 분석하는 것이다. 여기서 가장 중요한 “효용(utility)”이란 소비자가 재화나 서비스를 소비할 때 느끼는 주관적인 만족을 의미하는 것으로서 최소한의 비용으로 효용 극대화를 추구하는 것이 소비자의 합리적인 의사결정 과정이다.

설을 설정하였다. 바그너 가설을 활용한 이유는 도로연장사업의 재원으로 활용되고 있는 교통에너지환경세의 설계구조(교통시설특별회계를 통한 세출체계)¹⁵⁾ 자동차 이용량 증가에 따라 세입액이 증가하게 되고, 증가하는 세입규모로 인해 결국 도로연장과 같은 공공부문 투자가 과다해진다는 경비팽창설의 바그너적 관계를 반영하고 있기 때문이다.¹⁶⁾ 그리고 도로연장의 반등효과(도로의 추가건설에 따른 유발수요이론)는 기본적인 수요의 법칙을 설명하는 미시경제이론 중 하나인 소비자 이론에 기초한다.¹⁷⁾ 특정 도로의 용량을 증가시키면 해당 도로의 혼잡도 감소에 비례하여 통행 시간비용이 감소(가격 하락)하고, 통행시간 비용이 감소한 만큼 잠재수요에 의해 통행량이 증가(수요 증가)한다는 것이 기본 논리이다.

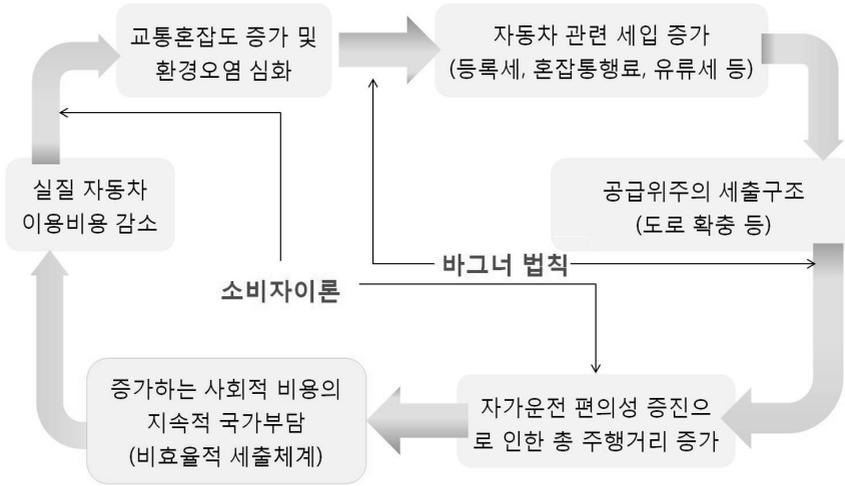
즉, 전체 이용비용에서 사회적 비용(도로연장이라는 형태의 자가운전 서비스 이용비용의 공적 지원)이 차지하는 비중이 커질수록 사회적 비용의 세출 충당금액이 증가하고 그에 따라 실질적 자동차 이용비용이 감소하기 때문에 추가적인 자동차 이용량이 발생된다는 가설을 설정하였다. 이를 도식으로 표현하면 <그림 1>과 같다. 자동차 관련 세출을 대표하는 국토해양부의 도로연장 사업이 실질 자동차 이용비용을 감소시킴으로써 결과적으로 추가적인 자동차 이용량을 발생시키고, 그로 증가된 사회적 비용을 지속적으로 국가에 부담시키는 비효율적인 세출체계라는 것을 가설로 설정하였다. 관련하여 본 연구에서는 두 가지 가설을 설정하였다. 첫째, “도로연장”은 도로이용을 추가적으로 유발하여 “총 주행거리”가 증가한다. 둘째, “대중교통 이용자”가 증가할수록 도로이용량은 감소하여 “총 주행거리”는 감소한다.

15) 우리나라 수송용 유류에 부과되는 대표적 에너지 조세인 교통에너지환경세(현재 휘발유 529원/l, 경유 375원/l)의 근거법인 교통에너지환경세법은 제1조에서 도로·도시철도 등 교통시설의 확충 및 대중교통 육성을 위한 사업, 에너지 및 자원 관련 사업, 환경의 보전과 개선을 위한 사업에 필요한 재원 확보를 목적으로 한다고 정의하고 있다. 2015년 기준 15조원이 확보된 교통에너지환경세는 환경개선특별회계(15%), 에너지 및 자원사업 특별회계(3%), 국가균형발전특별회계(2%), 그리고 교통시설특별회계(80%)로 전입되어 사용되었다.

16) 진상기·오철호(2015).

17) 박명희 외(2013).

〈그림 1〉 연구가설: 교통시설특별회계 도로연장사업의 반등효과



III. 분석모형 및 자료

본 연구는 도로확장과 주행거리 간의 상관관계에 대한 연구들(Noland, 2001; 황기연, 2003; Burt, 2006; Odgers, 2009)에서 채택되는 한정된 대상 지역의 교통량 및 관련 변수들의 추이를 시계열로 분석하여 변수 간의 상관관계를 실증분석하였다. 또한 Mohring (1976), Mills (1994) 등에 의해 이론적으로 정립된 경제학적 의미의 교통혼잡 및 혼잡통행료의 기본인 도로에서의 운행길이가 길어지면 자동차의 밀도는 증가하고 운행속도는 감소하여 결과적으로 운행비용이 증가한다는 개념에서 출발한다.¹⁸⁾ 즉, 각 운전자는 주행거리에 따른 운행비용(A)을 이미 알고 있으며 실질 운행비용이 A보다 가치가 있다고 평가될 때 도로에 진입한다고 가정한다. 이에 따라 도로 교통량은 개인에게 발생하는 운행비용 A가 실질 운행비용과 같아질 때까지 증가한다고 예측한 것이다.¹⁹⁾ 이러한 이론

18) 도로연장의 총길이를 H, 모든 차량의 운행거리를 X, 주행거리에 따른 단위 당 운행비용을 C(X)라 하면 자동차의 밀도는 $\frac{X}{H}$ 로 나타내 질 수 있고, 모든 차량의 통행비용은 $X \cdot C(X)$ 가 되므로 운행거리(x)가 증가함에 따라 운행비용은 비례하여 증가하게 됨(한국교통연구원, 2008).

19) Mohring (1976), Mills (1994) 등은 추가적인 자동차의 진입이 기존의 모든 차량의 속도를 감소시켜 모든 전체 도로 사용자의 비용을 증대시키므로 추가적 운행의 한계비용을 특정 운전자의 개별비용뿐만 아니라 다른 모든 운전자에게 미치는 추가적 비용까지 포함하여 산출해야한다는 측면에서 도로

적 배경은 사회적 한계비용이 사적 한계편익을 초과하여 자원배분의 비효율성을 초래할 경우, 시장이 실패한다고 주장한 주학중(1995)의 연구결과와도 일맥상통한다. 한편 선행연구들(Wheaton, 1982; Owens, 1995; Noland, 2001; World Bank, 2002; 황기연, 2003; Tol, 2005; Victoria Transport Policy Institute, 2010)에 따르면 이와 같은 반등효과의 설명변수는 도로연장 길이, 대중교통 수송인원, 연료(휘발유/경유) 소비량 및 가격, 지역총생산량, 지역인구, 총 주행거리, 자동차 등록대수, 운전면허증 소지자 수 등이 대표적이다(<표 3>).

<표 3> 도로연장의 반등효과에 영향을 미치는 설명변수 비교

	설명변수	선행연구 주요 결과
도로계정	도로연장 길이	도로확장의 반등효과에 따라 교통량 역증가(Noland, 2001).
대중교통	지하철 수송인원 버스 이용객 수	대중교통 확충을 통해 장기적으로 사회적 비용 감축(Owens, 1995)
경제	지역총생산량	온실가스배출에 따른 피해비용 산출방식의 불확실성 해소를 위한 비교분석을 하는 과정에서 GDP 사용(Tol, 2005)
교통량	총 주행거리 휘발유/경유 소비량 휘발유/경유 판매단가 자동차 등록대수 운전면허증 소지자 수	반등효과 분석에서 교통량 측정치로서 사용(Wheaton, 1982)

본 연구에 필요한 자동차 주행거리, 버스 및 지하철 이용객 현황 등의 도로·교통계열 관련 통계가 국민계정 관련 통계와 다르게 그 자료 양이 절대적으로 적어 통상적인 통계 분석이 어렵다는 자료의 제약을 감안하여 전국이 아닌 서울, 부산, 인천, 대구 4개 도시에 대한 연도별 데이터를 이용하였다. 분석모형은 분석자료가 서울, 부산, 인천, 대구 4개 도시에 대한 횡단자료와 대상 도시들의 2000~2013년 기간 동안의 시계열자료가 혼재하는 횡단시계열자료임을 감안하여 IBM SPSS (버전 22)의 선형혼합효과모형(Linear Mixed Effect Model)을 적용하였다.²⁰⁾

통행료 징수를 지지하였다. 이들의 논리에 의하면 도로에서 통행료를 징수하지 않을 경우, 도로교통량은 차량운행의 적정수준을 초과하게 되어 개인들의 지불의사액을 초과하는 사회적 한계비용을 유발시켜 사회 전체의 비용을 증가시키게 된다.

20) 시계열자료는 변수가 일정시간동안 변화할 때 변화기간의 각 시점에서 관측된 값들의 계열인 시계열의 집합을 의미한다. 횡단자료는 고정된 시간(fixed time)에서 관측된 변수들의 값(각 개체들의 특성)들

실험계획법에서 출발하여 의학·공학·심리학·경제학·경영학 등 여러 학문분야에서 광범위하게 활용되고 있는 선형혼합효과모형은 종속변수와 고정효과변수 간의 인과관계 및 상관관계 설명에 적합하다는 장점이 있다. 선형혼합효과모형의 일반적 형태는 식 (1)과 같으며, 여기서 β 는 고정효과 벡터를, b_i 는 확률효과 벡터를 나타낸다. X_i 와 Z_i 는 각각 고정효과와 확률효과에 대응되는 회귀행렬(regressor matrices)이며, ϵ_i 는 그룹 내 오차(within-group error) 벡터이다. 혼합모형의 ϵ_i 는 공분산행렬에 대한 가정을 약화 시킴으로써 일반선형모형을 확장하지만, 일반선형모형과 달리 오차항의 상관관계와 이분산성이 허용된다는 차이가 있다.

$$y_i = X_i\beta + Z_i b_i + \epsilon_i \quad (1)$$

여기서

$$b_i \sim N(0, \Sigma), \quad \epsilon_i \sim N(0, \sigma^2 I), \quad i = 1, \dots, m$$

선행연구 결과 및 식 (1)의 선형혼합효과모형의 일반식에 따라 본 연구에서는 종속변수로 총 연간 주행거리(Travel)를 사용하였고, 고정효과변수(fixed effect variable)로는 연간 도로연장 길이(EXT), 지하철과 버스를 포함한 대중교통의 수송인원(PUB), 석유소비량(FUEL), 지역인구(POP), 지역총생산(GRDP) 그리고 2008년 세계경제위기를 반영하기 위하여 펄스형 이상값에 대한 더미변수(DUMMY)를 사용하였다. 또한 사용된 자료가 전국에서 표본 추출된 4개 도시($i =$ 서울, 부산, 대구, 인천)에 대한 14개 연도($j =$ 2000~2013년)에 해당하므로, 지역변수(region _{i} = 서울, 부산, 대구, 인천)와 연도변수(year _{j} = 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013)를 확률효과변수(random effect variable)로 지정하였다.²¹⁾ 이렇게 설정된 선형혼합효

을 의미한다. 따라서 시간의 변화에 따른 차이를 고려하면서 동시에 동일 시점에서 각 횡단적 관측치들에 대한 영향도 고려해야 한다. 이와 같이 횡단자료와 시계열자료를 모두 포함하는 경우에도 자료의 길이에 따라 또다시 분류된다. 본 논문과 같이 횡단자료 대비 시계열 길이가 긴 경우(4개 도시에 대한 14년간 자료)에는 횡단시계열 자료인 반면, 횡단자료 대비 시계열 길이가 짧은 경우는 패널자료라고 한다. 한편 본 논문과 같은 횡단시계열 자료는 자기상관성과 이분산성을 가지고 있어서 다중 회귀분석으로 모형 설정이 불가능하기 때문에 SPSS 선형혼합모형으로 모형설정을 해야 한다(한광중, 2014).

21) 확률효과변수(random effect)는 무한정(infinite)인 수준(level)의 수를 가진 요인의 모집단이 있다고

과모형, 식 (2)의 모수값은 EM 알고리즘으로 제한최대가능도(restricted maximum likelihood, REML)함수를 최대화하여 추정되었다.

$$Travel_{ij} = \beta_0 + \beta_1 EXT_j + \beta_2 PUB_j + \beta_3 FUEL_j + \beta_4 POP_j + \beta_5 GRDP_j + \beta_6 DUMMY_j + z_1 Region(x_{ij} - \bar{x}_j) + z_2 Year(x_{ij} - \bar{x}_j) + \epsilon_{ij} \quad (2)$$

i = 서울, 부산, 대구, 인천; j = 2000~2013

각 변수들에 대해서는 국토교통부, 한국교통연구원, 통계청 등의 국가공인통계량을 활용하였으며, 변수들의 기초 통계량은 <표 4>에 정리되어 있다.

<표 4> 변수의 기초통계량(N=336)

		종속변수	설명변수			통제변수	
		주행거리	도로연장	석유소비량 ¹⁾	대중교통 수송인원	지역인구	지역 내 총생산
		km/년	m/년	배럴/년	명/년	명	천원/년
서울	최소	104,490,000	7,933,000	142,612,000	3,300,086,365	9,926,383	15,849
	최대	168,468,000	8,223,000	156,704,000	4,270,898,934	10,087,035	32,097
	중앙	150,438,500	8,125,000	148,685,000	3,919,472,381	10,041,643	23,943
	평균	147,962,857	8,104,929	149,162,714	3,904,893,060	10,039,201	24,199
	편차	20,233,300	82,128	5,090,897	257,846,031	45,261	5,286
부산	최소	49,088,000	2,585,000	12,529,000	676,549,430	3,425,848	9,554
	최대	60,237,000	3,246,000	19,754,000	954,720,545	3,732,630	20,532
	중앙	56,537,000	2,859,000	14,670,500	767,482,200	3,544,422	15,315
	평균	55,623,571	2,879,571	14,798,143	792,360,634	3,560,787	15,381
	편차	3,540,417	197,665	1,870,209	87,874,813	104,676	3,527

가정했을 때, 연구에서 나타난 관심의 수준이 그 모집단으로부터 확률적으로 뽑힌 표본이라고 생각하는 요인의 효과를 말한다. 따라서 표본이 뽑힌 모집단에 대한 타당한 추론을 이끌어내는 노력을 의미하는 것으로, Longford (1993)은 연구의 관심이 강문의 오염도를 알아보는 것이라는 예시에서 특정한 강에서 임의적으로 물을 뜰 경우 물을 떠낸 장소가 달라지는 차이에 의한 효과를 말한다고 정리하였다.

〈표 4〉 변수의 기초통계량(N=336) (Continued)

		종속변수	설명변수			통제변수	
			주행거리	도로연장	석유소비량 ¹⁾	대중교통 수송인원	지역인구
		km/년	m/년	배럴/년	명/년	명	천원/년
대구	최소	40,299,000	2,021,000	11,382,000	300,064,874	2,465,048	8,953
	최대	50,373,000	2,627,000	13,669,000	425,153,639	2,530,657	18,155
	중앙	44,707,000	2,267,500	11,904,500	376,340,058	2,482,627	13,427
	평균	45,518,786	2,290,714	12,241,929	371,292,731	2,496,827	13,387
	편차	3,323,291	165,548	894,053	40,761,753	27,969	2,936
인천	최소	39,845,000	2,052,000	6,983,000	222,072,821	2,522,462	11,607
	최대	51,756,000	2,743,000	8,252,000	492,570,588	2,826,351	22,875
	중앙	44,933,000	2,344,500	7,298,500	385,653,825	2,619,724	18,601
	평균	44,632,786	2,325,429	7,374,429	372,080,654	2,646,028	18,200
	편차	3,175,432	207,716	354,120	88,924,106	95,224	3,718

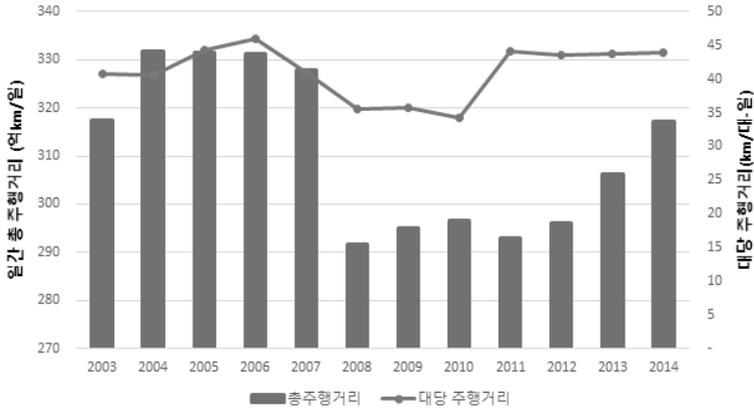
1) 지역별 석유소비량은 주유 목적이 주인 휘발유와 경유 한정으로 포함시켰음

한편, 종속변수인 총 주행거리의 경우, 기존 연구의 대당 평균 주행거리가 아닌 지역별 1일 총 주행거리로 채택하였다. 그 이유는 교통안전공단에서 진행한 자동차주행거리 조사 결과, <그림 2>에 나타나 있듯이 연간 주행거리는 2008년 경제위기 시점에 급감한 이후 2012년부터 가파른 증가세를 보이는 반면, 자동차 1대당 1일 평균 주행거리는 2011년부터 경제위기 이전 수준을 회복한 이후 답보상태에 머무르고 있기 때문이다. 즉, 우리나라 자동차의 전체 이용량은 꾸준한 증가세를 보임에도 불구하고, 자동차 등록대수가 증가함에 따라 1대당 1일 평균 주행거리는 43km 수준에서 정체된 것으로 보이는 착시현상을 갖고 있음을 알 수 있다.

교통안전공단에 의하면 이는 국제적으로도 과도한 것으로 인구와 국토여건이 비슷한 일본 대비 2배 이상 높은 수준이며, 자동차 위주의 교통체계를 갖추고 있는 미국, 호주와 비슷한 수준인 것으로 조사되었다. 교통안전공단은 지난 2007년 이러한 현상을 우리나라의 ‘자동차 운행 과소비 현상’이라고 규명하며, 에너지위기 및 기후변화 등에 매우 취약한 것으로 평가한 바 있다. 이와 같은 추세가 바로 본 연구를 통해 검증하고자 하는 가설(도로연장이 확장되어 도로이용 편의성이 증진됨에 따라 추가 교통량이 유입된다)임에 따라 본 연

구를 위한 SPSS 선형혼합효과모형의 종속변수로는 지역별 1일 총 주행거리로 채택하였다.

〈그림 2〉 지난 10년간 자동차 총 주행거리 및 대당 1일 평균 주행거리 비교



자료: 국회기후변화포럼

IV. 분석 결과

앞서 설명한 바와 같이 지역별 총 주행거리(TRAVEL)를 종속변수로, 고정효과변수에는 지역별 연간 도로연장길이(EXT), 지역별 대중교통의 수송인원(PUB), 지역총생산(GRDP), 지역인구(POP), 지역별 교통분야 석유류 사용량(FUEL)²²⁾ 그리고 2008년 터미변수 등 다섯 가지와 지역변수 및 연도변수 등 두 가지는 확률효과변수로 채택되었다. 본 연구의 목적이 도로연장 길이, 대중교통의 수송인원, 석유류 사용량, 지역인구 및 지역총생산이 각각 총 주행거리에 미치는 영향 즉, 탄력성을 구하고자 하는 것이므로 식(2)의 각 고정효과변수 값에 로그(log)를 취하였다. 다만, 지역변수, 연도변수 그리고 터미변수의 경우는 탄력성을 구할 필요가 없으므로 세 변수 값에는 로그(log)를 취하지 않았다.

22) 석유류 사용량(FUEL) 변수의 경우, 자동차 운용 구조 상 종속변수인 “총 주행거리(TRAVEL)”에 직접적인 영향을 미칠 수 있다는 점을 고려하여 두 변수 간의 인과관계 검증을 시행하였음. 인과관계 검증은 “산점도 그래프”와 서울 지역을 예시적으로 본 “Granger Causality Test”로 진행하였으며, 두 과정 모두에서 “석유류 사용량(FUEL)”과 “총 주행거리(TRAVEL)” 간의 인과관계는 없는 것으로 나타났다.

<표 5>에 나타나 있듯이 혼합효과모형의 추정결과²³⁾, 선행연구와 마찬가지로 우리나라에도 도로연장에 따른 반등효과가 존재하는 것으로 분석되었다. 총 주행거리와 도로연장, 지역인구는 각각 유의한 정(+)의 상관관계를 나타낸 반면, 대중교통 이용량과 지역 내 총생산은 각각 유의한 부(-)의 상관관계를 보였다. 석유류 소비량과 2008년 세계경제위기로 인한 이상값에 대한 더미변수는 기각되었다. 이와 같은 결과는 본 연구가 제시한 두 가지 가설을 모두 충족한다. 첫째로, 도로연장과 총 주행거리 간의 유의한 정(+)의 상관관계는 “도로연장”은 도로이용을 유도하여 “총 주행거리”를 증가시킨다는 도로연장에 대한 반등효과가 우리나라에도 적용됨을 보여주었다. 또한, 대중교통 이용량과 총 주행거리 간의 유의한 부(-)의 상관관계로 “대중교통 이용자”가 증가할수록 도로이용량은 감소하여 “총 주행거리”는 감소한다는 교통수요관리가 우리나라에도 유효함이 증명되었다.

〈표 5〉 SPSS 혼합효과모형 분석결과

구분		고정효과(Fixed Effect)	
변수명	변수설명	추정계수	표준오차
intercept	절편	5.4196***	0.9846
Log(EXT)	도로연장길이	0.8544***	0.3108
Log(PUB)	대중교통 이용량	-0.1782**	0.0737
Log(FUEL)	석유류 소비량	-0.0064	0.0754
Log(POP)	지역인구	0.4721**	0.2053
Log(GRDP)	지역총생산	-0.2238**	0.1001
DUMMY	더미변수	0.0407	0.0456

주) *, **, ***은 각각 10%, 5%, 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 나타냄.

23) 본 모형식에 대한 잔차의 정규성 검정 결과, Kolmogorov-Smirnov 값이 유의수준 0.05보다 큰 0.200으로 나와 정규성 조건을 만족하였음. 또한 종속변수(Travel)와 주요 설명변수인 도로연장(EXT) 간의 상관관계 테스트 결과, Kendallml 타우-b 및 Spearman의 ρ 모두 0.01 수준에서 유의하였음. 한편 오차항의 공분산에 대한 추정값은 다음과 같음.

모수	추정값	표준오차
잔차	0.002599	0.000000
Region (분산)	0.000000	0,000000
Year (분산)	0.005000	0.001535

1. 도로연장에 대한 반등효과

2000년 이후 국제사회에서는 통계학적 근거를 바탕으로 도로부문이 온실가스의 주요 배출원으로 지목되었다. 그럼에도 불구하고 국토해양부 및 한국교통연구원은 2008.11월 발표한 「교통투자 재원확보 방안 연구」에서 국내 도로시설 문제점으로 첫째, 도로시설 확충이 자동차 증가 속도에 미치지 못하고 있고, 둘째, 선진국과 비교하여 절대적인 도로시설 규모가 부족하며, 셋째, 도시부 교통 혼잡 심화로 인한 교통혼잡비용의 증대, 그리고 마지막 문제점으로 교통안전시설 부족으로 인한 교통사고의 증가로 사회·경제적 비용이 발생하는 것을 적시하고 있다. 아울러 그 해결책이 자동차 증가속도에 부합하는 도로시설 확충에 있다고 명시하고 있어 여전히 도로중심의 교통망 계획 추진이 정부정책의 핵심임을 알 수 있다.

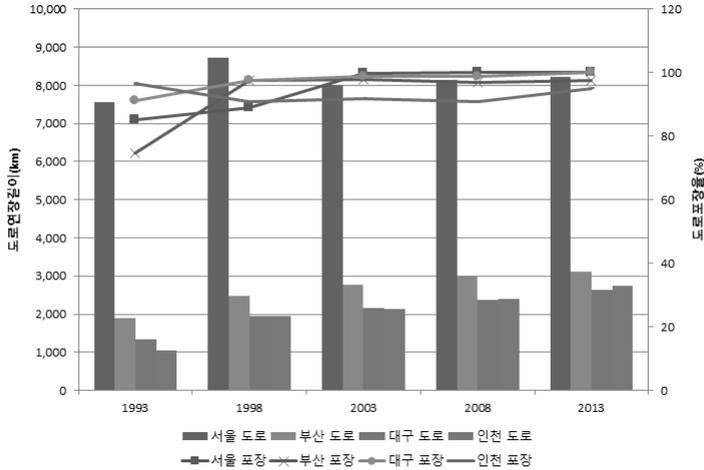
우리나라의 경우, 「교통시설특별회계」를 통하여 매년 총 예산(2015년 기준 17조원) 중 50% 정도가 도로부문에 사용되어²⁴⁾, 전국의 도로연장은 1990년 56,000km으로 시작하여 2004년 10만km를 달성하였고, 2015년 12월 기준 지구둘레의 2.7배인 107,525km로 계측된다.²⁵⁾ 2000년 중반 이후 도로연장 길이 증가폭은 둔화되고, 도로사업의 성격은 도로의 횡적 팽창과 질적 개선으로 전환되었다(<그림 3>).²⁶⁾ 20년 이상 지속되어온 도로중심의 교통체계 개발정책의 결과, 우리나라 주요도시의 도로보급률은 미국과 일본 등 주요 선진국에 비해 매우 높은 수준임을 알 수 있다(<표 6>).

24) 국회예산정책처 국토교통위원회 2017년 예산안

25) 국토교통부 통계누리 도로현황

26) 오늘날 도로포장은 고속도로·도·특별·광역시도는 100%, 지방도와 시·군도는 각각 91%와 86% 완료되었으며, 일반국도의 56%가 3차선 이상으로 확장되었다. 과거 서울을 중심으로 하는 개발정책은 도로사업에도 반영되어 광역시도가 2~3천km에 머무르는데 반해 서울특별시는 8천km까지 연장되어, 서울은 단위면적 당 도로연장 계수와 국토계수 당 도로보급률이 각각 13.6km와 3.4km에 달한다.

〈그림 3〉 지난 20년간의 지역별 도로연장(km) 및 포장율(%) 추이



자료: 교통안전공단 도로교통통계

〈표 6〉 단위면적당 도로연장과 국토계수당 도로보급률 비교

국 가		단위면적당 도로연장 (km/km ²)	국토계수당 도로보급률 (km/√면적*인구)
한 국	합 계	1.07	1.50
	서 울	13.62	3.35
	부 산	4.29	2.01
	대 구	3.14	1.87
	인 천	2.70	1.62
미 국		0.67	3.76
일 본		3.20	5.52
프랑스		1.73	5.14
독 일		1.80	3.75
영 국		1.72	3.42

자료: 국토교통부 통계누리 도로현황(2015년 12월 기준)

현재까지 이어져오는 공급관리형 도로 중심의 도시계획은 도시의 광역화 및 주차시설 등의 자가운전 편의시설 확충으로 이어져 자가운전 대중화를 촉진하고 있다. 그 결과, 국토교통부가 발표한 2014년 「대중교통 현황조사」에 의하면, 전국의 대중교통 수송분담률은

버스 25.9%, 택시 10.4%, 지하철 3.0%에 그쳐, 53.6%가 자가운전형태로 도로를 이용하고 있다(<표 7>). 또한 우리나라의 자동차 1대 당 인구수는 1980년대 말 15명이었으나 2015년에는 2.2명으로 급속하게 감소하는²⁷⁾ 등 자동차 보급이 급속하게 진행되었다. 이와 같은 자동차의 대중화는 국제적으로도 과도한 것으로서²⁸⁾ 국내 도로시설의 문제점이 국토교통부에서 제안한 도로시설 부족(공급부족)이 아니라 이용차량의 과다함에 있음을 의미한다.

<표 7> 전국 도로의 연도별 평균 일교통량 및 교통수단별 수송분담률

구 분	2011		2012		2013		2014		2015	
	주행 거리	구성비 (%)								
승용차	272,877	68.1	271,570	68.5	292,271	71.1	299,994	71.6	310,494	71.3
버스	13,639	3.4	12,757	3.2	12,787	3.1	12,421	3.0	12,384	2.8
화물차	114,248	28.5	112,445	28.3	106,054	25.8	106,476	25.4	113,062	25.9
합계	400,764	100	396,772	100	411,112	100	418,891	100	435,940	100

주행거리 단위: 천대·km

자료: 국토교통부 교통량정보제공시스템

구 분		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
철도	수송실적(1억인·km)	568	555	584	630	701	664	679
	분담률(%)	16.3	15.8	16.3	15.5	16.7	15.5	15.8
버스	수송실적(1억인·km)	901	859	913	982	1,045	1,135	1,050
	분담률(%)	25.9	24.5	25.5	24.1	24.9	26.5	24.5
택시	수송실적(1억인·km)	141	152	134	148	139	140	138
	분담률(%)	4.0	4.3	3.7	3.6	3.3	3.3	3.2
대중 교통	수송실적(1억인·km)	1,468	1,414	1,497	1,612	1,745	1,798	1,729
	분담률(%)	42.2	40.3	41.9	39.6	41.5	42.0	40.3
승용차	수송실적(1억인·km)	1,872	1,938	1,945	2,310	2,319	2,342	2,421
	분담률(%)	53.8	55.3	54.4	56.8	55.2	54.7	56.5
합계	수송실적(1억인·km)	3,481	3,504	3,576	4,070	4,203	4,280	4,288
	분담률(%)	100	100	100	100	100	100	100

자료: 국토교통부, 국토교통통계연보, 교통안전공단. 자동차 주행거리 실태분석 연구

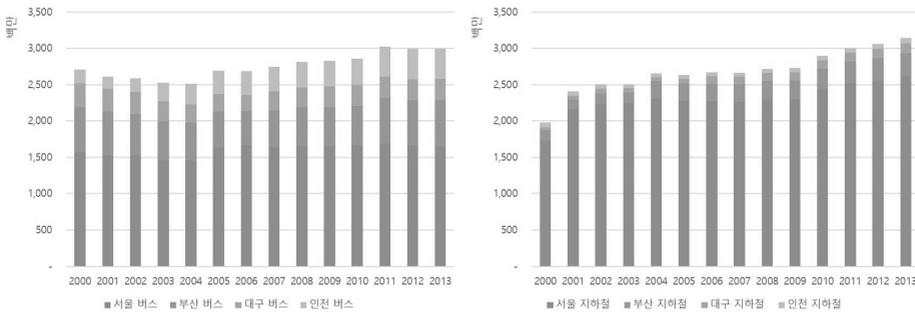
27) 국토교통부 통계누리 데이터 활용: [자동차등록대수/성인인구].

28) 파이낸셜뉴스 2014.11.4. 보도에 따르면, 우리나라는 2014년 10월 전세계적으로 15번째로 자동차 등록대수가 2천 만대를 넘어섰다. 파이낸셜뉴스는 동일 국토교통부 보도자료를 인용, 국내 자동차 대당 인구수는 2.5명(세계10위권)으로 집계되었다고 밝혔다. 이는 2013년 기준 미국(1.3), 호주(1.4), 이탈리아(1.5), 캐나다(1.6), 영국·일본·프랑스(1.7) 등과 비교해도 매우 낮은 수치이다.

2. 교통수요관리의 유효성

통계적으로 유의한 부(-)의 상관관계를 보인 지역별 대중교통의 이용량(PUB)은 대중교통의 이용자 수가 증가할수록 총 주행거리는 감소한다는 교통수요관리의 기본 전제를 증명한다. 우리나라는 1990년대 후반부터 대도시를 중심으로 추진된 대중교통 활성화 정책²⁹⁾에 따라 대중교통 이용객 수는 꾸준한 증가세를 보이고 있다(<그림 4>). 다만, 도시계획 및 교통체계개발 저변에 깔려있는 도로 중심의 공급관리형 패러다임으로 인하여 대중교통 확충을 위한 재원은 도로연장에 밀려 저예산(교통시설특별회계의 6~10%)으로 진행속도가 도로연장 대비 느리다.³⁰⁾

〈그림 4〉 지역별 대중교통 이용객수 추이(단위: 백만 명)



자료: 지하철(KOSIS); 버스(전국버스운송조합, 버스운송 편람)

교통안전공단의 「2015년 대중교통 현황조사: 종합결과보고서」에 따르면, 분석대상 인 4개 지역 중 전국 평균 대비 버스 수송분담률이 가장 높은 지역은 서울(28.7%, 전국 최고는 40.1%의 광주광역시), 도시철도 역시 서울(38.8%, 전국 최고)로 조사되었다. 이와 같은 지역별 차이에 대하여 국토교통부는 대도시의 경우, 출퇴근 방법에 수송분담률에 미치는 영향이 큰 만큼 승용차와 버스의 통행속도 차이가 클수록 대중교통 분담률이 낮고, 교통혼잡도 및 이용편의성을 포함하는 대중교통 만족도가 높은 지역(서울 최고,

29) 도시철도 증설 및 KTX 개통, 지하철·버스 환승 할인, 버스전용차로제 등이 대표적임.

30) 국회예산 결산안을 살펴보면 2015년 기준, 대중교통 관련 예산은 KTX 등 철도 계정을 포함하여 총 6억 원이 사용되었다.

인천 최하)일수록 대중교통 분담률이 높게 나타난 것으로 파악하였다. 특히, 높은 주차 비용으로 자가운전과 대중교통 이용의 비용 격차가 전국 최고로 조사된 서울은 전국에서 유일하게 대중교통 수송분담률이 더 높은 것으로 파악(전국 승용차 수송분담률 56%, 서울 30%)된 반면, 만족도가 최하위인 인천의 대중교통 수송분담률은 전국 광역시 중 유일하게 낮아지고 있는 추세를 보이고 있다.

또한 국토교통부는 철도와 항공이용 비율이 절대적으로 높은 중장거리 통행(200km 이상) 대비 시내통행을 나타내는 단거리(출퇴근 등의 50km 미만)와 중거리(50~200km) 통행에서 승용차 이용비율이 높다는 점에 주목하여 통행시간(도로 혼잡도)과 이동편의성이 이동수단 결정에 미치는 영향이 크다고 설명하였다(<표 8>). 이와 같은 현상에 대하여 국토해양부는 2008년 대중교통 이용실태조사를 통하여 대중교통 이용객의 약 95%가 단일 또는 1회 환승으로 이동하며, 1회 환승객 중 약 64%가 단일 수단(버스-버스 또는 지하철-지하철)을 이용하는 것으로 파악되어, 시민들은 단일수단 간 1회 환승으로 이동이 가능하지 않을 때에는 승용차 이용을 선호한다고 설명한 바 있다.³¹⁾

<표 8> 통행거리에 따른 교통수단별 비교(단위: 천 명·km)

항목		승용차	버스	철도	항공	해운	합계
300km 이상	수송실적(인·km)	27,331	13,034	25,956	14,669	301	81,291
	분담률(%)	33.6	16.0	31.9	18.1	0.4	100.0
200km 이상	수송실적(인·km)	72,269	37,657	34,331	16,932	551	161,740
	분담률(%)	44.7	23.3	21.2	10.5	0.3	100.0
50~200km	수송실적(인·km)	149,886	61,875	25,366	424	1,435	238,986
	분담률(%)	62.7	25.9	10.6	0.2	0.6	100.0
~50km	수송실적(인·km)	354,036	164,440	173,337	0	476	692,289
	분담률(%)	51.1	23.8	25.0	0.0	0.1	100.0

자료: 한국교통연구원, 『국가교통조사 2010』.

본 연구의 두 번째 가설 채택은 대중교통시스템을 체계적으로 개선함으로써 “지점

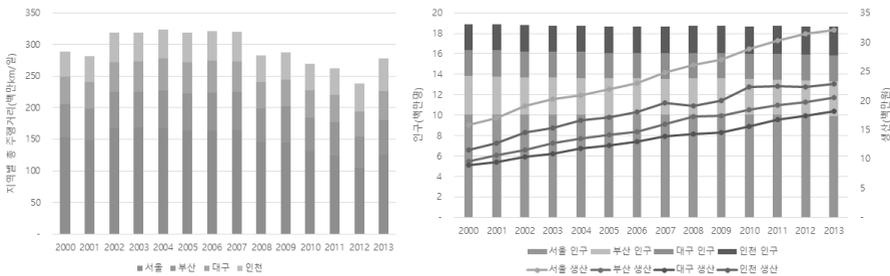
31) 국토해양부(2008)의 설문조사결과, 환승거리 및 대기시간, 환승시스템 그리고 환승정보 적절성 등 환승만족도가 5점 척도에서 각각 3.34, 3.53 그리고 3.37점으로 만족도가 낮지 않다고 파악되었으나, 실질적인 이용패턴을 살펴볼 때, 시민들의 환승선호도는 이동수단 선택에서 밀려나고 있음을 알 수 있다.

간의 이동”이라는 교통수단의 목적을 달성하는데 있어 이용자가 자발적으로 자가운전 대신 대중교통을 ‘선택’하도록 유도한다면, 도로이용량(총 주행거리)을 감축할 수 있음을 의미한다. 이는 기후변화 대응책으로 교통수요에 상응하는 교통시설 확충을 주요 골자로 했던 20세기의 ‘Predict-and-Provide(예측과 공급)’의 교통시설 공급관리정책에서 미래 수요를 조절 및 관리하는 ‘Predict-and-Prevent(예측과 억제)’의 교통수요관리정책으로의 방향전환을 제안한 Owens (1995) 및 연비등급제, 친환경연료개발, 유류세 인상보다 교통수요관리가 효율적인 교통체계 개발에 더 효과적이라고 주장한 Litman (2005) 등의 연구결과와 맥을 같이 한다.

3. 지역 내 총생산(GRDP)과 지역 인구수

지역에 거주인구가 많고 경제적으로 풍족할수록 상대적으로 편의한 자가운전으로 인한 도로이용량도 함께 증가할 것이라는 가정하에 본 연구에 포함시켰으나,³²⁾ 실증분석 결과는 다르게 나타났다. 두 변수 모두 통계적으로 유의한 상관관계를 나타냈지만, 예상대로 정(+)의 관계를 보인 지역인구수와 달리 지역내 총생산(GRDP)은 부(-)의 관계가 나타났다. 구체적으로 지역인구수 변수는 각 지역의 잠재수요로서, 도로연장을 통하여 도로 이용 편의성이 증대할수록 잠재수요가 실질수요로 전환되는 비율도 동반 상승할 것이라는 직관적 이해와 같이 통계적으로도 유의한 정(+)의 상관관계를 보였다.

〈그림 5〉 지역별 총 주행거리와 지역인구·총생산액 변동 추이

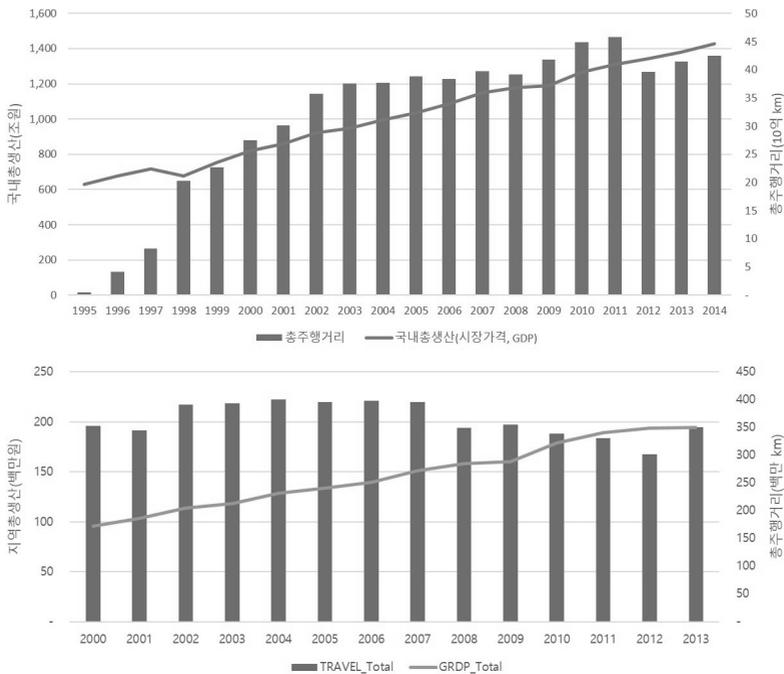


자료: 총 주행거리(국회기후변화포럼), 지역인구(e-나라지표), 지역총생산(KOSIS)

32) 모형설정 당시 종속변수가 자동차 주행거리이기 때문에 자가운전이 가능한 성인인구를 차출하여 사용하는 방안도 생각하였으나, 대중교통과의 상관관계 분석을 통한 교통수요관리의 유효성을 검증하고자하는 목적(두 번째 가설)도 있었기에 지역별 총 인구통계치를 사용하였다.

지역총생산은 소득 지표로서, 소비자 이론에 따라 소득이 증가할수록 대중교통 대비 비용은 높지만 편의성이 좋은 자가운전을 선택하여 총 주행거리가 증가하는 통계적 정(+)의 관계를 예상하였다. 그리고 실제로 전국 단위에서 긴 기간(1995~2014년)을 대상으로 살펴보면 국내총생산(GDP)은 전국 총 주행거리와 동반상승관계에 있다(<그림 6 상단>). 그러나 지역별 데이터의 한계로 본 연구모형에서는 2000~2013년이라는 짧은 기간을 한정적으로 분석하였고, 총 주행거리가 2008년 세계경제위기 이후 2009~2012년의 고유가 기간의 영향을 크게 받은 것으로 해석된다(<그림 6 하단>). 구체적으로, 총 주행거리(파란 막대)는 2000~2007년 기간 동안 거의 움직임이 없다가 2008년 경제위기를 계기로 급하락세로 2012년 최저점을 찍고 2013년 급등하였다. 반면, 지역총생산은 2000~2013년 분석 기간 동안 꾸준한 상승세를 보여 본 모형 상에서 지역생산과 총 주행거리는 유의한 부(-)의 관계로 나타난 것이다.

<그림 6> 전국 총 주행거리와 GDP 총액 변동 추이



자료: KOSIS

즉, 경기에 민감한 자동차 이용량(총 주행거리)은 경제위기·고유가 등의 외부요인으로 형성되는 체감경기를 그대로 반영한³³⁾ 반면, 실질 경제 지표인 지역총생산(GRDP)은 꾸준한 상승세를 유지하고 있는 것이다. 이러한 체감경기와 실질경제지표 간의 간극이 2000~2013년이라는 기간에 한정된 본 모형에서 크게 투영되어 총 주행거리와 지역경제규모가 부(-) 관계를 보였다고 추측된다. 이는 지역별 데이터 부족이라는 본 연구의 한계라고 할 수 있다.

4. 석유류 사용량과 더미변수의 기각

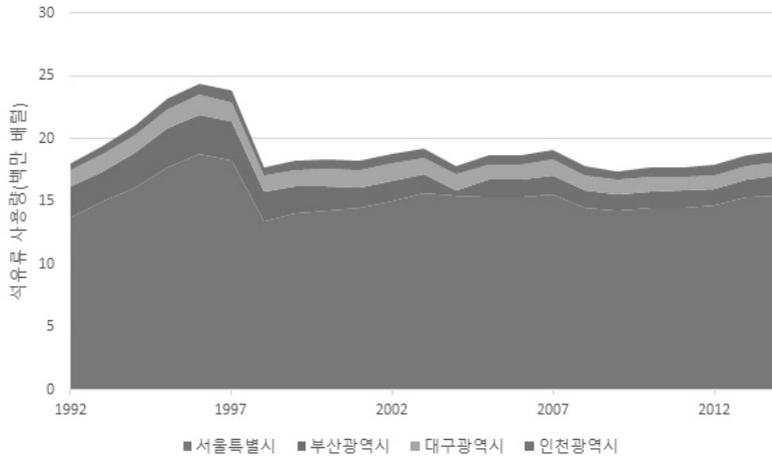
본 연구에 사용된 6가지 변수 중 통계적으로 무의미한 결과로 기각된 변수는 석유류 사용량과 2008년 세계경제위기로 인한 이상값에 대한 더미변수였다. 자가운전에 필수요소인 석유류(휘발유·경유) 소비량(<그림 6>)은 총 주행거리와 유의한 정(+)의 상관관계를 보일 것으로 예상하였으나, 본 모형에서는 “유의확률 0.932”로 기각되었다. 이는 두 개의 독립요인이 석유류 사용량과 총 주행거리 간의 당연한 상관관계를 상쇄시켰다고 판단된다. 첫째는 도심부의 극심한 정체이다. 자동차의 기술발전은 과거 대비 뛰어난 연비 개선을 달성했지만, 여전히 도로정체 시 소모되는 막대한 에너지 손실을 방지하지 못하고 있다. 그리고 본 연구대상으로 선택된 4대 도시는 교통혼잡으로 인한 정체가 극심한 대도시이다. 그중에서도 서울의 경우, 주요 도로 및 교차로는 출퇴근시간을 포함하여 평일 평균통행속도가 17.9km/h에 그치는 등 정체구간이 길다.³⁴⁾ 즉, 본 모형에 적용된 2000년대의 대도시는 도심부 정체구간이 많은 지역으로서, 지역 내에서 사용된 에너지는 총 주행거리가 아닌 정체로 인해 손실되는 양이 막대함을 의미한다. 다른 하나는 2000년대 고유가로 인하여 사회적 문제로 부상한 불법 석유류의 유통이다. 경찰청에서 지난 2005년 발표한 국정감사자료에 따르면 유사휘발유 판매량은 2001년부터 2004년까지 5배로 증가하여, 2005년 판매된 정상 휘발유의 10%에 달하였다.³⁵⁾ 관련하

33) 뉴시스(2016.6.30.) 기사에 따르면, 통계청이 “11순환기의 경기 저점을 2013년 3월로 잠정 설정했다”고 밝히며 우리나라가 2013년 3월 경기 저점을 찍고 서서히 회복 중이라고 판단하였다고 보도하였다. 실제로 경기동행종합지수 순환변동치는 2013년 3월 99.3에서 완만하게 상승하여 2015년 10월 100.9까지 상승하였다.

34) 뉴시스는 2016.12.1. ‘잠실광역환승센터’ 개통식 관련 보도와 함께 잠실역 주변도로인 송파대로의 평일 평균통행속도가 13.3km/h로 서울 도심 평균 통행속도(17.9km/h)보다 4km/h 이상 느린 혼잡지역이라고 소개하였다.

여 통계자료는 더 이상 찾을 수 없었지만, 2016년 한국석유관리원에서 “가짜 석유” 근절 캠페인을 개시하는 등,³⁶⁾ 유사휘발유 판매는 경기침체로 지속되고 있는 것으로 파악된다. 이러한 이유로 본 연구모형에서 지역별 석유류 사용량(FUEL)이 통계적으로 유의성을 갖지 못한 것으로 추측된다.

〈그림 7〉 지역별 석유류 사용량 추이 (단위: 백만 배럴)



자료: KOSIS

마지막으로 2008년 경제위기로 인한 이상값에 대한 터미변수의 기각이다. 이는 종속 변수인 총 주행거리를 포함하여 채택된 모든 변수의 값이 2008년에서만 이상값이 펄스 형태로 나타난 것이 아니라 2008년을 기점으로 새로운 추세가 만들어지거나(예: 총 주행거리의 2008년 급감 이후 완만한 회복세), 2008년에도 별 차이 없이 기존의 추세가 이어졌기 때문(예: 도로연장, 대중교통 이용인원, 지역내총생산의 지속상승세 또는 지역 인구와)으로 판단된다.

35) 한국일보는 2005.10.5. “유사휘발유의 오염배출 문제”에 대해 보도하며 경찰청이 노현승(당시 열린우리당)의원에게 제출한 국정감사자료에 따르면 유사휘발유 원료의 60%를 차지하는 용제의 연간 판매량이 2001년 79만 배럴에서 2004년 389만 배럴로 5배 증가하였다고 보도하였다.

36) 한국석유관리원은 2016.7.20. “정부 3.0 민관협업 가짜석유 근절 캠페인 개시”라는 제목으로 보도자료를 배포하며, 인터넷포털사이트 NAVER의 제휴 제안제도를 통해 NAVER 홈페이지를 통하여 가짜 석유 불법유통 근절 캠페인을 개시하였다고 밝혔다.

이상으로 살펴본 내용을 요약하면, 도로연장을 중심으로 하는 교통체계의 공급관리 정책은 추가적인 자가운전을 유도하여 총 주행거리를 증가시키며, 대중교통 활성화를 중심으로 하는 교통수요관리 정책은 대중교통 이용객수를 증가시킴으로써 총 주행거리를 감소시킨다고 판단된다. 또한 인구수가 많을수록 모든 교통수단의 이용자가 증가함에 따라 총 주행거리도 동반상승하는 정(+)의 관계가 도출된 반면, 경기에 민감한 자동차 이용량임에도 불구하고 GDP 추세가 체감정기를 반영하는 통계치는 아닌 관계로 지역내총생산은 예상 밖의 부(-)의 관계를 나타내었다. 또 하나의 예상 밖의 결과로, 자동차 이용의 필수요소인 석유류 소비량이 주행거리 외에도 교통혼잡 심화로 인한 정체시간 증가에 따라 함께 증가한다는 기계적인 한계로 인하여 통계상 기각되었다. 마지막으로, 2008년 경제위기의 통계적 반영을 위하여 추가한 펄스형 터미변수는 본 모형에 적용된 자료들이 2008년에 이상값을 내포하고 있지 않았던 관계로 기각되었다.

V. 결론

본 연구에서는 2000~2013년까지 14년간 서울, 부산, 대구, 인천 등 4개 대도시에 대한 총 주행거리, 도로연장길이, 대중교통 이용객 수, 지역내 총생산, 지역인구수, 석유류 소비량에 대한 데이터를 활용하여 도로연장에 대한 반등효과가 우리나라에도 적용되는지를 실증분석하였다. 총 주행거리를 종속변수로 2008년 경제위기 반영을 위한 터미변수까지 총 여섯 개의 설명변수를 포함한 횡단시계열 자료를 이용한 혼합효과모형으로 검증하고자 한 가설은 두 가지였다. 첫째는 도로연장은 추가적인 도로이용을 유도하여 총 주행거리가 증가한다는 것이며, 둘째는 대중교통 이용자가 증가할수록 도로이용량은 감소하여 총 주행거리가 감소한다는 것이었다.

실증분석 결과, 총 주행거리 변수가 도로연장 변수와는 유의한 정(+)의 관계를 보인 반면, 대중교통 이용량 변수와는 유의한 부(-)의 관계를 나타내면서 두 개의 가설은 모두 채택되었다. 그 외, 지역인구는 유의한 정(+)의 상관관계를, 지역총생산은 유의한 부(-)의 상관관계를 나타냈으며, 석유류 사용량과 터미변수는 기각되었다. 이는 도로연장을 중심으로 하는 공급관리형 교통정책이 도시의 광역화 및 “걸을 수 없는 환경” 조성을 조장하며 자가운전의 편의성을 직접적으로 증진시키거나 또는 자가운전 외 교통수단이

용의 편의성을 절감시킴으로써 추가적인 도로이용을 초래함을 뜻한다. 그 결과, 도로연장은 의도하였던 교통혼잡 및 정체 개선을 달성하지 못하고, 궁극적으로는 온실가스 다량 배출 등의 도로이용에 따른 피해를 증가시키게 되는 것이다. 이와 같은 결과는 해외 주요 도시를 대상으로 진행된 선행연구들의 결과와 일치한다. 따라서, 교통혼잡 및 정체 개선과 궁극적으로 온실가스 저감을 통한 효과적인 기후변화 대응을 위해서는 우리나라의 교통체계 시스템 개발의 재원역할을 담당하고 있는 교통시설특별회계의 지출구조가 현재와 같은 도로연장에 편중될 것이 아니라 대중교통의 편의성 증진을 골자로 하는 교통수요관리 정책에 맞추어 배분·집행되어야 함을 시사한다.

우리나라에서 지금까지 시행된 대표적인 교통수요관리 정책으로는 1995년부터 시작된 버스전용차로제도(현재 중앙버스노선으로 확대시행 중), 1996년 도입된 남산 1·3호 터널 혼잡통행료, 1997년 제정된 주차상한제 그리고 2003년부터 시행된 승용차 요일제 등이 있다. 버스전용차로의 경우, 운행구간의 평균 통행속도가 일반차량은 19.14km/h에서 18.72km/h로 0.42km/h 감소한 반면, 버스는 16.20km/h에서 23.14km/h로 6.94km/h 증가하는 효과가 있는 것으로 연구되었다.³⁷⁾ 또한 남산 1·3호 터널에 부과된 혼잡통행료는 서울시자동차등록대수 증가세 대비 터널 통행량 감축에 기여하였다. 평균 통행속도 역시 21.6km/h에서 51.0km/h로 증가하여 136.2% 개선효과를 보이고 있다.³⁸⁾ 승용차 요일제의 경우, 자동차세 감면 효과를 기대하고 참여한 653,236대 모두가 제도를 성실하게 이행할 경우, 서울시 전체에서 약 1.02%의 주행속도 개선효과가 기대된다.

본 연구는 정부데이터 및 국책연구 기관의 데이터를 기반으로 하여 실증분석을 하였다. 그러나 모형 운용을 위해 필요했던 자동차 주행거리, 버스 및 지하철 이용객 현황 등의 도로·교통계정 관련 통계가 인구, GDP, 자동차 등록대수 등 국민계정 관련 통계와 달리 2000년 이전의 데이터 및 다른 지역 자료를 찾기가 어렵다는 제약이 있었다. 또한 지역별 미시적 집계변수도 아직 많이 축척되지 못한 한계로 인하여 지역별 장거리 차량 비율 등의 자세한 자료를 포함하지 못하였다. 향후 DB구축을 통해 더 많은 지역에 대한 더 오랜 기간(특히 2000년 이전)의 자료까지 포함한 모형운용이 가능해진다면, 좀 더 정확하고 세밀한 분석을 기대할 수 있을 것이다. 또한 향후 연구과제로 본 연구결과의 시사

37) 김명수(2013).

38) 김기형(2015).

점으로 언급된 교통시설특별회계의 세출체계에 대한 체계적인 검토 및 분석이 요구된다.

[References]

- 교통안전공단 대중교통 기초통계조사: <http://ptc.ts2020.kr:81/app/#/introduce/m1>.
- 교통안전공단, 「2015년 대중교통현황 조사」, 2015.
- 교통안전공단, 「자동차 주행거리 실태분석 연구」, 2013.
- 국가지표체계: <http://www.index.go.kr/potal/main/PotalMain.do>.
- 국가통계포털: <http://kosis.kr/>.
- 국토교통부 통계누리: <http://stat.molit.go.kr/portal/main/portalMain.do>.
- 국토교통부, 「국토교통통계연보」, 2006~2015.
- 국토교통부, 「제3차 중기교통시설투자계획: 2011-2015」, 2011.
- 국토해양부, “자동차 등록대수 ‘11년 말 기준 1,843만7천대: ’10년 대비 49만6천대(2.8%) 증가”, 2012.1.5. 배포.
- 국토해양부, 「2007년 국가교통DB구축사업: 법정조사과제 추가조사 및 수행계획」, 2007.
- 국토해양부, 「2008년 대중교통현황조사: 결과보고서」, 2008.
- 권태형, “혼잡해소를 위한 도로건설의 정책효과: 시스템 다이내믹스 이론의 적용”, 「한국 시스템다이내믹스 연구」, 제12권 제1호, 2011, pp. 75~87.
- 김기형·이주형, “AHP분석을 이용한 교통수요관리 정책에 관한 연구 - 국내외의 정책 비교 및 중요도 측정”, 「대한토목학회논문집」, 제35권 제4호, 2015, pp. 907~920.
- 김명수, “중앙버스전용차로 시행에 따른 통행수단선택 변화에 관한 연구”, 「한국ITS학회 논문지」, 제12권 제4호, 2013, pp. 33~43.
- 뉴시스, “축구장 3개 면적 개통 앞둔 잠실역 광역버스 지하 환승센터 가보니...”, 2016.12.1. 보도, [http://www.newsis.com/ar_detail/view.html? ar_id=NISX20161201_0014553066&cID=10201&pID=10200].
- 뉴시스, “통계청 ‘경기, 2013년 3월 저점 찍고 완만 회복 중’”, 2016.6.30. 보도, [http://www.newsis.com/ar_detail/view.html?ar_id=NISX20160630_00_14188099].
- 박명희·박명숙·제미경·박미혜·정주원·최경숙, 『소비자 의사 결정』, 교문사, 2013.
- 부산일보, “국토부 교통혼잡도로 예산 절반, 부산에 쏟는다”, 2016.4.18. 보도, [<http://news20>].

- busan.com/controller/newsController.jsp?newsId=2016_0419000098].
- 에너지경제연구원, “에너지 효율 리바운드 효과와 온실가스 감축”, 기본 연구보고서 15-11, 2015.
- 전국버스운송사업조합연합회, 「2015 버스통계편람」, 2016.
- 주학중, “무질서의 경제적 비용에 관한 연구”, 국민경제교육연구소, 1995.
- 진상기·오철호, “예산형성 과정에 있어서의 정치·행정 요인의 재발견: 한국고등교육 예산의 시계열회귀분석을 중심으로”, 「한국행정연구」, 제24권 제1호, 2015.
- 파이낸셜뉴스, “차 등록대수 2,000만 대 돌파”, 2014.11.4. 보도. [<http://www.fnnews.com/news/201411041230050082>].
- 한광중, 『SPSS 활용 미래예측과 시계열분석』, 백산출판사, 2014.
- 한국교통연구원, “교통투자 재원확보 방안 연구 - 수탁연구보고서”, 2008.
- 한국교통연구원, “국가교통조사 2010”, 2011.
- 한국교통연구원, “제4차 2016-2020 중기 교통시설투자계획 용역보고서”, 2016.
- 한국도로학회, “자치단체 관리도로 개선 재원 확충방안: 최종보고서”, 2012.
- 한국석유관리원, “석유관리원, 정부 3.0 민관협업 가짜석유근절 캠페인 개시”, 2016.7.20. 보도, [http://www.kpetro.or.kr/kpetro_bbs_photo/view.jsp?mnuflag=&bbs_code=bbs_pr_news&bd_gubn=1&bd_seqn=457&page=3].
- 한국일보, “유사휘발유=오염배출油”, 2005.10.5. 보도. [<http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=038&aid=0000300925>].
- 황기연·김광희, “대도시 교통수요관리를 위한 도로건설과 유발수요의 관계성 검증: 서울시 내부순환도로 사례 연구”, 「서울도시연구」, 제4권 제1호, 2003, pp. 1~11.
- Bento, A. M., H. Lawrence, M. R. Goulder, R. Jacobsen, and R. H. von Haefen, “Distributional and Efficiency Impacts of Increased U.S. Gasoline Taxes,” *American Economic Review*, Vol. 99, No. 3, 2009, pp. 667~699.
- Burt, M., and G. Hoover, “Build it and Will they drive? Modelling Light-duty Vehicle Travel Demand,” Conference Board of Canada. 2006, December.
- Clifton, T. J., “Another look at US Passenger Vehicle Use and the Rebound Effect from Improved Fuel Efficiency,” *Energy Journal*, Vol. 14, No. 4, 1993, pp. 99~110.
- Fulton, L. M., R. Noland, D. J. Meszler, and J. V. Thomas, “A Statistical Analysis of Induced Travel Effects in the US Mid-Atlantic Region,” *Journal of Transportation and*

- Statistics*, Vol. 3, No. 1, 2000, pp. 1~14.
- Mills, E. S., and B. W. Hamilton, *Urban Economics*, 5th ed. Harper Collins College Publisher, 1994.
- Mohring, H., *Transportation Economics*, Cambridge, Ballinger Publishing Company, 1976.
- Noland, R. B., "Relationships Between Highway Capacity and Induced Vehicle Travel," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 35, No. 1, 2001, pp. 47~72.
- Odgers, J., "Have all the Travel Time Savings on Melbourne' Road Network been Achieved?," A GAMUT (Governance and management of Urban Transport) Discussion Paper, School of Management, RMIT University, 2009.
- OECD, *Environmental Outlook to 2030*, OECD Publishing, 2008.
- Owens, S., "From Predict-and-Provide to Predict-and-Prevent?: Pricing and Planning in Transport Policy," *Transport Policy*, Vo. 2, No. 1, 1995, pp. 43~49(7).
- Small, K. A., and K. van Dender,, *The Effect of Improved Fuel Economy on Vehicle Miles Traveled: Estimating the Rebound Effect using US State Data, 1966-2001*, University of California Energy Institute (UCEI) Energy Policy and Economics Working Paper Series, 014. 2005.
- Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment (SACTRA), *Truck Roads and the Generation of Traffic*, UKDot, HMSO, London, 1994.
- The Geography of Transportation System Homepage(Hofstra University): <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch5en/appl5en/ch5a1en.html>.
- Tol, R. S. J., "The Marginal Damage Costs of Carbon Dioxide Emissions: an assessment of the uncertainties," *Energy Policy*, Vol. 33, No. 16, 2005, pp. 2064~2074.
- Victoria Transport Policy Institute, *Rebound Effect: Implications for Transport Planning*, TDM Encyclopedia, 2010.
- Wheaton, W. C., "The Long-run Structure of Transportation and Gasoline Demand," *Bell Journal of Economics*, Vol. 13, No. 2, 1982, pp. 439~454.
- Wolstenholme, E. F., "Towards the Definition and Use of a Core Set of Archetypal Structures in System Dynamics," *System Dynamics Review*, Vol. 19, No. 1, 2003, pp. 7~26.
- Wolstenholme, E. F.. "Using Generic System Archetypes to Support Thinking and

Modelling,” *System Dynamics Review*, Vol. 20, No. 4, pp. 341~356.
World Bank, *Cities on the Move: a World Bank Urban Transport Strategy Review*, World Bank, 2002.