

고속도로 투자로 인한 유발교통량 분석에 관한 연구

김 강 수

(한국개발연구원 연구위원)

Road Supply and Generated Traffic

Kang-Soo Kim

(Research Fellow, Korea Development Institute)

- 핵심주제어: 유발교통량(Generated Traffic), 고속도로(Highway Investment), 탄력성(Elasticity)
- JEL 코드: R40, R42, R49
- 논문투고일: 2006. 4. 26 • 심사시작일: 2006. 4. 28 • 심사완료일: 2006. 12. 5

ABSTRACT

This paper estimates relationships between the supply of national highways, measured in lane-km, and the quantity of traffic, measured in vehicle-km traveled. The analysis uses a panel data set of annual observations for the years 1984 to 2003. By using a log-linear lag effect model designed to capture short and long term effects, the paper estimates that national highway vehicle-km traveled has a lane-km elasticity of 0.268 at the country level (Non-Seoul Metropolitan area) and 0.41 at the Seoul metropolitan area for the short term. For the long term, the paper estimates 0.8 for the country level and 1.23 for the Seoul metropolitan area. This paper finds conclusive evidence that increases in highway lane-miles have generated traffic over the period of study, however the increasing ratio of the generated traffic decreases gradually, particularly during the late 1980s.

본 논문에서는 교통시설에 대한 투자로 인한 유발교통량을 분석하였다. 교통시설 투자 설명변수인 LK(차로 수 · 구간거리)와 유발교통량 변수인 VKT(차량 · 주행거리 (vehicle-kilometer)의 관계는 통계적으로 매우 의미 있는 것으로 나타나 고속도로의 서비스 개선은 교통량을 유발시키는 것으로 분석되었다.

지역별로는 경기지역의 변화율이 월등히 높고, 경상남북도, 충청남북도 지역이 그 뒤를 따르는 것으로 나타났으며, 전라남북도의 이동증대효과가 가장 작은 것으로 분석되었다.

본 연구 결과, 교통시설에 대한 투자는

유발교통량을 발생시키나 지금까지는 지방보다는 수도권에서의 유발교통량이 많고 시간이 흐를수록 그 증가폭은 상당 부분 줄어드는 것으로 분석되었다. 유발교통량이 경제성장과 연관이 있다고 가정하는 경우 도로시설에 대한 투자의 지역경제성장효과는 존재하나 점차 줄어들고 있음을 보여주고 있는데, 이는 오히려 지방권보다는 수도권에서 점차 그 현상이 가속화되는 것을 의미하는 것이다.

본 연구는 제한된 교통투자예산하에서 투자효과가 극대화될 수 있는 도로시설 투자방향에 대한 시사점을 제공해 준다.

I. 서론

본 연구는 교통시설 투자효과를 유발교통량 관점에서 살펴본다. 즉, 교통시설 투자는 지역 간의 일반화 통행비용을 감소시켜 억제되어 있던 또 다른 교통량을 유발하는데, 이러한 교통량의 유발 정도를 지역별·시대별로 살펴보고자 한다. 이를 위해서 고속도로 투자와 유발교통량의 관계 모형을 구축하고, 추정결과에 대한 분석을 실시한다. 특히, 연도별 및 지역별 분석을 통해 연대별로 고속도로에 대한 투자가 교통량 증가에 어떤 영향을 미치는지를 분석하고, 그 영향이 수도권과 지방 등 지역별로 어떻게 나타나는지를 분석한다.

본 연구의 결과는 어떤 조건하에서 도로시설 투자가 이루어졌을 때 투자의 효과가 극대화될 수 있는지에 대한 중요한 참고자료로 활용될 수 있다. 왜냐하면 유발교통량의 정도에 따라 도로투자의 개선효과가 지역별·시대별로 다를 수 있고, 더욱이 혼잡한 지역의 도로투자 개선효과는 미미하거나 오히려 의도와 맞지 않게 통행비용을 더욱 증가시킬 수 있기 때문이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 연구의 목적 및 배경을 설명하는 서론 부분에 이

어 유발교통량의 개념 및 기존 연구 고찰이 II장에 제시되어 있다. III장은 실증적인 사례를 통한 분석 단원으로, 국내의 고속도로 특정 구간의 시계열 교통량 자료와 차로 수 및 노선연장 자료를 이용하여 고속도로에 대한 투자와 교통량 증가의 관계를 시차모형으로 구성한 후, 이에 대한 모형 추정 결과 및 함의를 도출한다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문의 종합 및 결론을 제시한다.

II. 유발교통량의 개념 및 기존 연구 고찰

유발교통량은 학자들에 따라 다양한 관점으로 정의하고 있다. 공간적 범위가 전 지역인지 개선도로인지에 따라 경로 전환교통량이 유발통행의 중요한 요소로 포함되거나 제외되기도 한다. Goodwin(1996)은 전환통행량(diverted traffic)을 제외하고 증가된 통행량을 유발교통량으로 정의하였고, Hills(1996)도 혼잡한 도로 때문에 발생하지 못한 통행들이 도로의 혼잡을 개선함으로써 발생하는 통행을 유발교통량으로 정의하였다. 한편, SACTRA(1994)는 도로 신설 및 개선으로 인해 장기적으로 발생하는 운전자들의 행태를 여러 유형¹⁾으로 분류하고 이러한 행태 변화로 인한 모든 교통량의 증가를 유발

교통량으로 규정하였다.

본 연구에서의 유발교통량은 특정 도로에 대한 투자로 도로의 용량이 증가됨으로써 늘어나는 집합적 개념의 통행량을 의미한다. 즉, 도로용량이 증가함으로써 일반화 통행비용(특히 통행시간)이 감소하고 이에 따라 늘어난 모든 교통량을 의미한다. 사실, 일반적으로 관측되는 임의의 한 구간의 유발교통량은 단지 도로 시설 투자로 인한 용량의 증가에 기인하는 것만은 아니다. 존재하지 않았던 통행량이 발생할 뿐만 아니라, 경로의 변화에 의해 그 구간의 교통량이 증가하기도 하며, 타 수단을 이용하던 통행자가 해당 도로로 전환해 교통량이 늘어나기도 한다. 이렇게 다양한 유발교통량의 발생요인 중에서 경로전환교통량을 제외하고 교통시설 투자로 인한 교통량의 증가 부분만을 분리하여 자료상에서 통제하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 교통시설 투자 이후에 늘어난 관측교통량을 교통시설 투자에 의해 발생하는 유발교통량으로 규정하고 모형을 구축 분석한다.

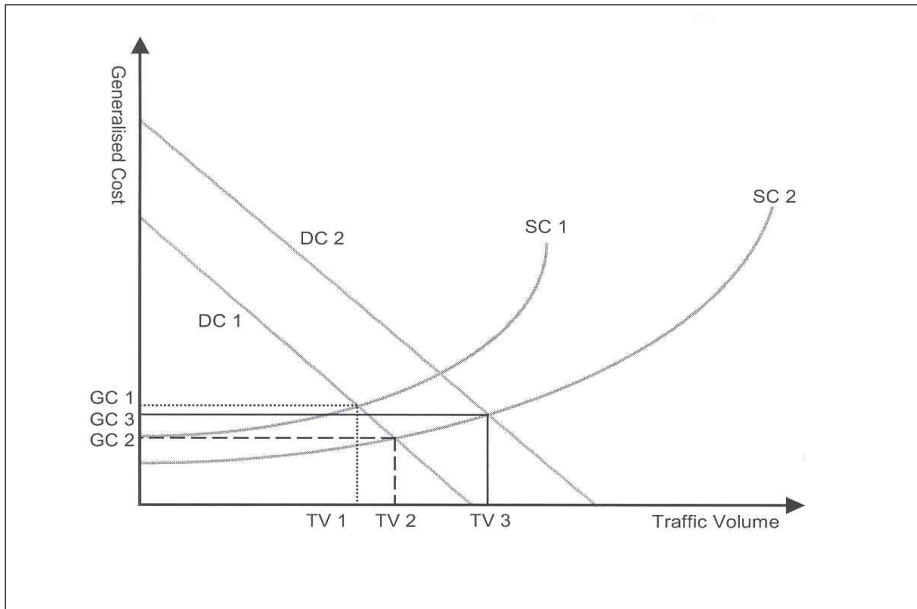
유발교통량은 [그림 1]에서 제시되는 교통공급(Supply Curve: SC)과 수요곡선(Demand Curve: DC)으로 설명될 수 있다.

그림에서 공급곡선 SC1은 도로의 혼잡으로 인한 일반화 비용(통행시간)이 지수 형태로 증가함을 보여주고 있고, 이와 상응하는 수요곡선 DC1은 도로이용자의 지불의사에 의해 순서대로 정렬된 분포를 의미한다. 이때의 균형 교통량(Traffic Volume: TV)은 TV1이 된다. 만약 도로의 확충이 이루어지는 경우, 통행시간비용의 감소로 일반화 비용(Generalised Cost: GC)은 GC1에서 GC2로 작아지게 되고,²⁾ 공급곡선은 SC1에서 SC2로 이동하게 되며 균형 교통량은 TV2가 된다. 따라서 도로의 확충으로 인한 유발교통량은 TV2와 TV1의 차이, 즉 'TV2-TV1'이 된다. 한편, 인구의 증가, 소득의 증가 또는 여성취업자의 증가 등으로 교통수요 자체가 DC1에서 DC2로 증가하는 경우, 수요와 공급곡선은 동시에 이동하게 되고 균형 교통량은 TV3이 되며 수요증가폭에 따라 도로건설에도 불구하고 통행비용이 오히려 상승하는 경우도 발생한다. 이때, TV3과 TV2의 교통량 차이가 이러한 수요곡선 이동을 초래하는 영향으로 발생되는 교통량이나 현실에서는 유발교통량과의 구분이 용이하지 않다.

이처럼 유발교통량의 이론적인 배경은 단순하고 기초적인 경제학 이론에 근거

- 1) 통행자의 행태 유형 변화에는 경로 변화, 출발시간 변화, 수단 전환, 재차인원 감소, 통행횟수 증가, 목적지 변경 등을 포함한다.
- 2) 일반화 비용은 통행시간비용뿐만 아니라 차량운행비용 등 다양한 요소로 구성되나, 일반적으로 통행시간비용이 대부분을 차지한다. 특히, 차량운행비용의 경우 혼잡의 증가에 따라 통행시간비용만큼 증가하지 않는다.

[그림 1] 일반화 통행비용과 교통량에 대한 수요·공급곡선



를 두지만, 이에 대한 논의는 교통분석가에게 여전히 중요한 이슈로 남아 있다. 그 이유는 일반적으로 교통수요는 각종 경제 활동으로부터 파생된 수요로만 인식되고 있으며 도로용량과 교통수요의 상호관계는 무시되는 측면이 있기 때문이다.³⁾

도로용량 증가로 인한 교통량 유발요인을 평가하려는 노력은 1940년대로 거슬러

올라간다. Jorgensen(1947)⁴⁾은 Connecticut에 위치한 Merrit and Wilbur Cross Parkways의 개통으로 인한 유발교통량을 예측하였는데, 그가 사용한 방법은 개선된 도로의 사업 시행 전·후 통행량을 비교하여 관측된 변화와 도로의 개선이 없었을 때의 상황을 비교하는 방식이었다. 연구의 결과는 전형적으로 사업대상 지

3) 기존의 전통 교통수요 분석기법에서는 목적지 변경에 의한 전환수요, 교통수단 전환에 의한 수요, 노선 변경에 의해 전환된 수요가 구분되어 분석되고는 있으나 교통수요와 공급의 균형을 구체적으로 반영하지는 못하고 있다. 이는 교통계획모형이 순차적으로 적용되기 때문이다. 예를 들어, 교통발생에서는 사회경제적 특성 변화에 따른 교통량 변화는 고려하고 있으나 교통서비스 변화에 의한 통행발생 변화는 일반적으로 무시되며 통행분포, 수단선택도 장래 네트워크 변화에 대한 서비스(통행시간) 변화를 어느 정도 수준까지는 고려하기는 하나 이때의 통행시간(서비스)과 통행분포, 수단선택으로 산출되는 교통수요는 상호 간의 균형수준은 아니다.

4) R.E. Jorgensen, "Influence of Expressways in Diverting Traffic from Alternative Route and Generating New Traffic," Proceedings of 27th Annual Highway Research Board Meeting, 1947.

역의 도로 개선 사업 후 일정 기간 내의 통행량 증가 비율로 표현되었다.

SACTRA(1994)⁵⁾는 다양한 서비스 개선을 통해 유발되는 교통량을 분석하였는데, 통행시간에 대한 탄력성을 단기는 -0.5, 장기는 -1.0으로 분석하였다. 즉, 20%의 통행시간 감소는 단기적으로 약 10%의 교통량 증가, 장기적으로는 약 20%의 교통량 증가를 가져온다고 주장하였다.

한편, Goodwin(1996)⁶⁾은 유발교통량에 대한 지역적인 특성을 분석하였다. 도시 내 도로의 경우 통행시간에 대한 탄력성은 단기 -0.27, 장기 -0.57, 그리고 외곽도로의 경우 단기 -0.67, 장기 -1.33으로 외곽도로의 탄력성이 도시 내 도로보다 오히려 높은 것으로 분석되었다.

Fulton et al.(1999)⁷⁾은 인구밀도 및 혼잡상황에 따른 유발교통량의 크기에 대해 분석하였다. 일반적으로 도로확장 시 인구밀도가 높고 혼잡이 심한 지역일수록 유발교통량의 크기가 클 것으로 기대되었으나 통계적으로 별다른 차이가 없

는 것으로 분석되었다.

Noland and Cowart(1999)⁸⁾ 또한 지역과 혼잡에 따른 유발교통량의 탄력성을 분석하였으나 Fulton et al.(1999)의 결과와 같이 통계적으로 별다른 유의적인 차이를 발견하지 못했다.

본 연구와 밀접한 관련이 있는 유발교통량, 예를 들어 고속도로 용량 증감 시 VMT(vehicles miles travelled, 차량(대)·거리)의 증감 여부에 대한 연구도 다수 존재한다. Hansen and Huang(1997)⁹⁾은 미국 캘리포니아주의 고속도로 용량에 대한 고속도로 통행량의 중기탄력성을 시외곽 지역의 경우 0.6~0.7, 도시 내 지역의 경우 0.9로 제시하였다. 이는 증가된 도로용량의 약 60~70%가 5년 안에 유발교통량으로 채워짐을 의미한다. Noland(2001)¹⁰⁾는 차로용량의 증가에 따른 VMT 탄력성을 단기는 0.5, 장기는 0.8 정도로 주장하고 증가된 도로용량의 약 50%가 5년 안에 추가적인 통행으로, 최종적으로 약 80%가 채워진다고 주장하였다. 또한 혼

-
- 5) SACTRA, "Trunk Roads and the Generation of Traffic, Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment," *Department of Transport*, London, 1994.
 - 6) P. Goodwin, "Empirical Evidence on Induced Traffic," *Transportation* 23(1), 1996, pp.35~54.
 - 7) Lewis M. Fulton, Daniel J. Meszler, Robert B. Noland, and John V. Thoms, *A Statistical Analysis of Induced Travel Effects in the U.S. Mid-Atlantic Region*, 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1999
 - 8) R.B. Noland and W.A. Cowart, *Analysis of Metropolitan Highway Capacity and the Growth in Vehicle Miles of Travel*, 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1999
 - 9) M. Hansen and Y. Huang, "Road Supply and Traffic in California Urban Areas," *Transportation Research A* 31(3), 1997, pp.205~218.
 - 10) R. Noland, "Relations between Highway Capacity and Induced Vehicle Travel," *Transportation Research A* 35(1), 2001, pp.47~72.

잡이 심한 도시 내 도로가 지역 간 도로보다 탄력성이 더욱 높은 것으로 분석하였는데, 이는 도시 내 지역에서 발생하는 혼잡과 도시 내 지역의 잠재수요 때문인 것으로 분석하였다. Noland and Lem(2002)¹¹⁾은 Mid-Atlantic의 통행량 횡단면의 시계열 자료 분석에서 차로 수·거리(Lane Mile) 증가에 따른 VMT의 탄력성이 0.2~0.6 사이에 위치한다고 주장하였다.

Cervero(2002)¹²⁾와 Cervero and Hansen(2002)¹³⁾은 1980년부터 1994년까지의 캘리포니아주의 고속도로 자료를 이용하여 통행속도 증가에 따른 유발교통량을 분석한 결과, 장기 VMT 탄력성은 0.64로 통행속도의 10% 증가는 6.4%의 유발교통량(VMT)을 초래한다고 주장하였다. 이들은 유발교통량 분석을 위해 고속도로 용량, 교통량, 다양한 사회경제지표 및 지리적인 특성을 나타내는 변수들을 사용하였다.

본 연구에서도 외국의 경우와 동일하게 실제 우리나라의 고속도로 시계열 교통량 자료를 이용하여 고속도로 시설 투자로 인한 교통량의 증가를 살펴봄으로써 고속도로 투자에 대한 지역 간의 이동

증대효과를 우리나라에서는 최초로 분석하고자 한다.

Ⅲ. 고속도로 투자로 인한 유발교통량 분석

1. 자 료

본 연구에서는 고속도로에 대한 투자가 연도별로 교통량 증가에 어떤 영향을 미치는지를 분석하고, 그 영향이 지역별로 어떻게 나타나는지를 분석한다. 또한 유발교통량 외에 다른 영향으로 인한 교통량 증가를 설명하기 위해 고속도로 투자를 의미하는 변수뿐만 아니라 다른 사회경제적 변수를 고려한다.

고속도로 투자로 인한 유발교통량¹⁴⁾ 분석을 위해서 전국 고속도로 47개 지역별 구간의 시계열 교통량을 개통연도부터 최종 분석연도인 2003년도까지 입수하여 분석하였다. 47개 구간만이 선정된 것은 기본적으로 자료 취득의 한계로, 우리나라 전국 고속도로 노선 중에서 그 노

11) R. Noland and L. Lem, "A Review of the Evidence for Induced Travel and Changes in Transportation and Environmental Policy in the US and UK," *Transportation Research D* 7(1), 2002, pp.1~26.

12) R. Cervero, "Induced Demand: An Urban and Metropolitan Perspective, Working Together to Address Induced Demand," ENO Transport Foundation, Washington D.C., 2002.

13) R. Cervero and M. Hansen, "Induced Travel Demand and Induced Road Investment," *Journal of Transport Economics and Policy* 36(3), 2002, pp.469~490.

14) 본 연구에서 유발교통량의 구체적인 의미는 고속도로 용량을 증가시키는 확장사업에 의해 증가하는 차량(대)·km을 의미한다.

선을 대표하고, 검지기에 의해 매년 실측되는 교통량이 존재하며, 도로시설 투자가 행해진 구간을 무작위적으로 선정하였기 때문이다. 그리고 이러한 구간별 연평균 일 교통량 이외에, 해당 구간의 차선 수, 구간길이, 그리고 해당구간이 속해 있는 인구 수, GRDP, 자동차보유대수를 조사하였다. 인구 수, GRDP, 자동차보유대수는 고속도로 투자 이외에 교통량을 증가시키는 요인을 고려하기 위한 변수이다.

<표 1>은 본 연구에서 분석된 우리나라 고속도로의 47개 구간을 보여주고 있다. 전국 모든 고속도로 노선에서 지역별로 균등하게 무작위로 선택하였다.¹⁵⁾ 모형 추정의 신뢰성을 위해 차로확장이 추가적으로 이루어진 구간을 자료에 포함시켜 분석하였다.

<표 2>는 사용된 자료의 특성을 보여주는 것으로, 위의 구간 자료를 지역별로 세분하여 분석기간 동안 지역별 확장연도와 평균 GRDP, 그리고 해당구간의 평균 차량·km 및 구간길이를 보여주고 있다.

2. 시차 모형 구축 및 정립

앞서 언급한 바와 같이 유발교통량을 분석하기 위해 고속도로 47개 구간의 시계열 교통량 자료를 수집하였고, 연도별 교통시설 투자로 인한 유발교통량을 분석하기 위해 시차모형을 구축하였다. 즉, 연도별로 관측되는 교통량은 당해연도 그 구간의 교통투자뿐만 아니라 과거연도의 교통투자에도 영향을 받는다는 가정하에 시차(Lag)를 반영한 모형을 구축하였다.

모형의 종속변수로는 연도별·구간별 교통량과 거리를 곱한 차량주행거리 개념의 대·km(VKT)가 사용되었으며, 이러한 대·km와 인과관계에 있는 독립변수로는 본 분석에 반드시 필요하고 도로시설 투자를 의미하는 차로 수·구간거리(lane-kilometer: LK) 이외에 문헌고찰 및 자료 입수의 용이성에 따라 구간이 속해 있는 해당 지역의 인구, 인당 GRDP, 자동차 보유대수가 고려되었다. 그러나 독립변수 간의 다중공선성 분석결과, 인당 GRDP 및 자동차 보유대수는 제외되고, 최종적으로 해당지역의 인구(POP)와 도로시설 투자를 의미하는 차로 수·구간거리(LK)만이 사용되었다.

15) 본 연구에서는 채택된 47개 고속도로 구간자료가 전체 우리나라 고속도로의 유발교통량을 대표한다는 가정이 필요하다. 향후 연구 시 이에 대한 충분한 자료입수가 필요하다. 한편, 47개의 구간을 시도별로 분류하면 10개의 시도가 된다. 그러나 10개의 시도별로 구분한 후 47개의 구간을 선택한 것은 아니다.

<표 1> 분석 고속도로 노선 및 구간

노 선	구 간	차로 수	개통 연도	지역	노선	구간	차로 수	개통 연도	지역
88올림픽 고속도로	순창~남원	2	1984	전북	서울외곽 고속도로	하남~서하남	8	1992	경기
	담양~고서	2	1984	전남		구리~퇴계원	8	1994	경기
	거창~함양	2	1984	경남		평촌~산본	8	1997	경기
	옥포~성산	2	1984	경북	마산외곽 고속도로	칠원~북창원	4	2002	경남
	고령~해인사	2	1984	경남	남해고속도로	냉정~장유	4	1982	경남
서해안 고속도로	함평~영광	4	2001	전남	제2지선	서부산~부산	4	1982	경남
	서김제~동군산	4	2001	전북	제2경인 고속도로	문학~남동	6	1994	인천
	해미~서산	4	2001	충남		광명~일직	6	1996	경기
	무안~일로	4	1998	전남	대전남부순환 고속도로	서대전~안영	4	2001	대전
익산포항 고속도로	장수~장수분기점	4	2001	전북	중앙고속도로 지선	물금~남양산	4	1997	경남
중부 (대전통영) 고속도로	진주~서진주	4	1996	경남	중앙고속도로	홍천~춘천	6	1995	강원
	서상~장수	4	2001	경남		만종~남원주	4	1995	강원
	오창~증평	4	1997	충북		남원주~신림	4	1995	강원
	증평~진천	4	1987	충북		남안동~의성	4	1995	경북
	진천~음성	4	1987	충북		예천~영주	4	1999	경북
	호법~일죽	4	1987	경기		금호~왜관	8	1970	경북
제2중부 고속도로	마장~산곡	4	2001	경기	경부고속도로	청원~남이	8	1969	충북
영동 고속도로	군포~동군포	6	2001	경기		천안~안성	8	1969	충남
	반월~부곡	6	1992	경기		양재~판교	8	1968	경기
	부곡~북수원	6	1992	경기	경인고속도로	시점~도화	6	1994	경기
	북수원~동수원	6	1992	경기		도화~가좌	6	1993	경기
	동수원~신갈	8	1992	경기	구마고속도로	금호~서대구	8	1986	경북
서울외곽 고속도로	성남~송파	8	1992	경기		서대구~성서	10	1986	경북
	하남~상일	10	1993	경기		-			

주: 1970년 이전에 개통한 고속도로 노선은 자료의 특성상 1980년 이후의 교통량만 분석함.
 자료: 건설교통부, 「도로교통량통계연보」, 각년도.

<표 2> 분석기간 동안의 지역별 확장연도 및 평균 대·km, GRDP, 분석구간길이

지역	대·km	GRDP (백만원)	확장연도	분석 구간 길이 (km)	지역	대·km	GRDP (백만원)	확장연도	분석 구간 길이 (km)
경기	706,848	66,052,951	1988, 1992, 1993, 1996, 1997, 2001~2003	263	전북	5,910	12,183,437	2001, 2002	57
인천	69,261	25,765,039	-	18	전남	13,768	18,203,258	1998, 2002	49
강원	52,016	15,968,141	2001	216	경남	158,048	31,348,046	1996,2002	108
충북	99,787	13,577,141	1993	55	경북	209,409	24,427,086	1995, 1999	140
충남	83,707	171,411,812	1993	126	대전	22,436	15,962,106	-	18

식 (1)은 본 연구에서 구축한 시차모형을 보여주고 있는데, 이 식에서 l 은 당해 연도와 개통연도를 뺀 시차를 나타내며 만약 '0'인 경우 시차가 없는 당해연도를 의미한다. 한편, 시차 l 은 $0 < l < L$ 의 범위를 갖는다.

특히 식 (1)에서는 고속도로 투자로 인한 수도권과 지방의 교통량 증가효과를 비교하기 위해서 각 권역의 인구와 차로 수·구간거리(LK)를 권역별로 구분하여 모형을 구축하였다.

$$\log(VKT_{t,i,s}^{r,i,s}) = \sum_{i=1}^q \alpha_i D_i + \sum_{r=1}^2 \lambda_r \log(POP_{t,i}^{r(i)}) + \sum_{r=1}^2 \omega_r \sum_{j=0}^L \log(LK_{t-i}^{s(r,j)}) + \varepsilon_{t,i,s}^{r,i,s} \quad (1)$$

여기서,

$VKT_{t,i,s}^{r,i,s}$: 연도 t 의 권역 r 에 속한 지역 i 내 구간 t 에서의 차량·주행거리(vehicle-kilometer travelled). r 이 1이면 수도권, r 이 2이면 지방

α_i : 지역 i 의 고정된 영향 추정값. D 는 더미변수

$POP_{t,i}^{r(i)}$: 권역(수도권 또는 지방) r 에 속한 지역 i 의 연도 t 의 인구 수

$LK_{t-i}^{s(r,j)}$: 권역(수도권 또는 지방) r 내 지역 i 에 속한 s 구간의 시간 $t-l$ 의 차로 수·구간거리(lane-kilometer)

λ_r, ω_r : 추정값

$\varepsilon_{t,i,s}^{r,i,s}$: 확률변수. 평균이 0인 정규분포를 가정

식 (1)의 시차분포모형의 추정을 위해서는, 어느 과거연도부터의 고속도로 투

〈표 3〉 시차별 AIC 변화

시차(L) order of lag		AIC	시차(L) order of lag		AIC
수도권	지방		수도권	지방	
1	0	190.3	2	0	188.0
1	1	153.0	2	1	154.1
1	2	199.3	2	2	129.4

자가 현재연도의 차량·주행거리에 영향을 미치는지를 분석하는 시차 분석과 (number of lags) 각 시차의 추정값(ω)을 몇 차의 방정식(order of polynomial)으로 구성할 것인가에 대한 고려가 중요하다.

먼저, 시차의 다항식의 경우, 대부분의 도로 확장이 단지 몇 차례에 불과해 LK가 분석기간 동안 동일한 값을 보여주기 때문에 시차 계수추정치에 다항식은 1, 2차식보다는 단순 상수항으로 구성하였다. 한편, 적정 시차 수의 결정은 시차를 지속적으로 넣어 모형을 구축하면서 수행하였는데, 적정시차의 경우 Greene(1993)¹⁶⁾이 제안한 것처럼 Akaike 정보(Akaike Information Criterion: AIC)¹⁷⁾를 이용하여 AIC값이 가장 낮은 모형의 시차를 적정 시차로 선택하였다. 적정 시차는 수도권

과 지방의 경우가 각각 다를 수 있으므로 수도권과 지방의 시차를 조합하여 분석하였다.

분석 결과, 수도권과 지방 모두 시차가 2(lag=2)일 경우 가장 적합한 모형이 선정되는 것으로 나타났다. 즉, 현재연도의 차량·주행거리(VKT)는 당해연도뿐만 아니라 과거 2개 연도의 교통시설 투자에 영향을 받는 것으로 분석되었다.

모형 추정에 있어, 오차의 자기상관 문제도 고려되었다. 특히, 본 연구에서는 자료의 취득 한계 및 교통량을 설명하는 다양한 변수의 누락으로 추정되는 오차의 자기상관 문제를 고려하였다.¹⁸⁾ 이를 위해 먼저, 일반적인 오차의 자기상관 문제를 검증하기 위한 Durbin-Watson 검정을 실시하였는데, 검정 결과 값이 0.15로

16) W. Greene, *Econometric Analysis*, second edition, Macmillan Publishing, New York, 1993.
 17) 수정된 R^2 와 비슷하나, 오차자승합이 더 낮고 자유도의 손실에 더 민감하게 반응하는 결정계수이다. AIC 값이 작을수록 적절한 모형이라 평가한다. $AIC = n \log \frac{SSE}{n} + 2(k+1)$, 여기서 SSE는 총오차제곱근합(sums of squared errors), k 는 독립변수 수, n 은 자료 수를 의미한다.
 18) 설명변수의 누락 이외에 오차의 자기상관 문제를 일으키는 요인은 다양하다. 그중의 하나가 모형구조(model specification)의 잘못으로 인한 오차의 자기상관 문제이다. 본 논문에서는 기존 문헌고찰 등을 고려하여 다양한 모형구조를 시도 및 분석하였고 식 (1)을 최종적인 모형형태로 선정하였다.

나타나 오차항의 자기상관이 존재하는 것으로 분석되었다. 따라서, 일반적인 계수 추정방법인 최소자승법(Ordinary Least Square)의 방법이 아닌 Prais-Winsten의 추정법을 이용하여 자기상관 문제를 극복하였다.¹⁹⁾

3. 모형 추정 결과 및 분석

<표 4>는 구축된 자료를 이용하여 식 (1)을 추정한 결과이다. 모든 모형에서 인구 및 LK의 t값이 매우 높아 독립변수들이 통계적으로 유의함을 보여주고 있고, 추정치의 부호도 직관적으로 올바른 양의 부호를 보여주고 있다. 또한 모형의 설명력을 나타내는 R²도 매우 높아 전체적으로 모형 추정 결과가 유의함을 보여주고 있다.

모형 추정 결과, 투자에 의한 고속도로의 서비스 개선은 통행비용 감소로 인해 교통량을 유발시키는 것으로 분석되었다. 설명변수인 LK(차로 수·구간거리)와 VKT(차량·주행거리)는 양의 관계에 있으며, 그 관계는 통계적으로 매우 의미 있는 것으로 분석되었다.

<표 4>에서 각 설명변수의 추정치는 해당변수의 단기탄력성을 의미한다. 지방의 경우 LK에 대한 VKT의 단기탄력성은 0.33이며, 수도권의 경우 0.60으로 분석되어 수도권이 지방보다 교통시설 투자로 인한 유발교통량이 더 큰 것으로 분석되었다.

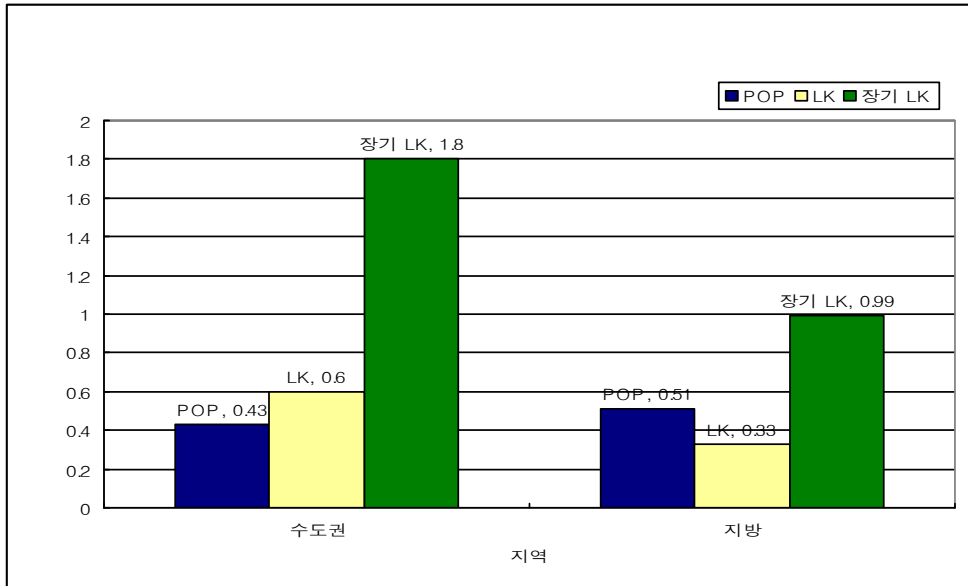
장기탄력성의 경우 추정된 LK의 3년(lag=2)간의 계수를 더하여 분석되는데, 수도권은 1.80으로 차로 수·구간거리(LK)의 1% 증가는 차량·주행거리(VKT)

<표 4> 모형 추정 결과

지역	변수	추정치	표준오차	t-value	LK 장기 탄력성	자료 수	L*	R ²
수도권	POP1	0.43	0.05	8.46	1.80	29	2	0.99
	LK1	0.60	0.09	6.97				
지방	POP2	0.51	0.04	11.55	0.99	123		
	LK2	0.33	0.07	5.01				

19) 본 연구에서처럼 오차항에 자기상관 문제가 존재하지 않는 경우 식 (1)의 모형은 Fixed-Effects Estimation 이나 Random Effects Estimation을 이용하여 추정할 수 있다. 이 경우 연도의 개수가 지역의 개수보다 많은 경우는 다양한 시계열 분석에서 문제점을 발생시킬 가능성이 크므로 연도의 개수를 세분하여 추정해야 한다.

[그림 2] 모형 추정치 비교



의 약 1.80% 증가를 가져오는 것으로 분석되었다. 한편, 지방권의 경우 0.99%의 증가를 가져오는 것으로 분석되어 지역별 차이가 큰 것으로 나타났다. 수도권은 장기의 경우 외국에 비해 유발교통량이 많이 발생하는 것으로 분석되었다.

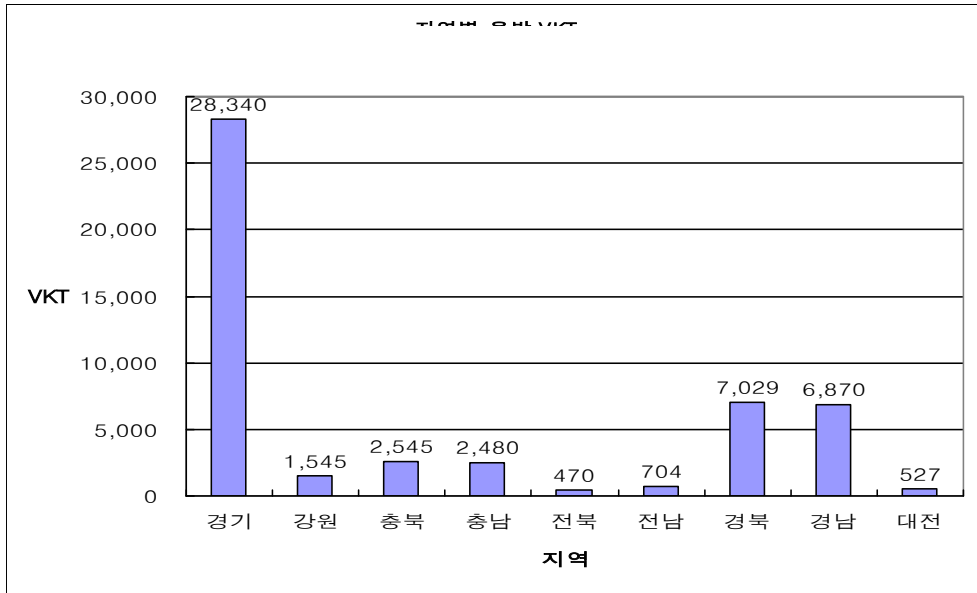
한편, 이와 관련한 국내외 연구 모두 국가차원에서 분석이 시도되어 지역적인 교통시설 투자로 인한 유발교통량 효과는 분석되지 못하였다. 특히, 시계열적으로 교통시설 투자의 경제성장효과는 매우 다를 수 있음에도 불구하고 이러한 분석은 시도되지 못하였다. 본 연구에서는 이러한 점을 고려하여 지역별 교통시설에 대한 투자로 인한 지역별 유발교통량

을 살펴봄으로써 교통시설 투자에 대한 유발교통량의 효과를 지역별·연도별로 살펴본다.

4. 지역별·연도별 유발교통량 분석

교통시설 투자에 대한 탄력성을 지역 시도별로 더욱 세분하여 분석하였다. 즉, LK의 한계 변화로 인한 시도 지역별 VKT의 추가적인 발생량을 분석하였다. 장기 탄력성에 기반한 지역별 VKT의 추정은 전국을 대상으로 시차모형을 적용하여 각 시도 지역별 LK의 장기탄력성을 추정하고 이를 마지막 연도의 지역별 VKT값

[그림 3] 지역별 유발 VKT(1일 기준)



에 곱하여 산정하였다. 인천 및 대전지역의 경우 각 해당 지역에 속하는 문학~남동 노선, 서대전~안영 노선은 개통연도 이후 확장이 이루어지지 않았고 자료 수가 미미해 본 분석에는 제외하였다.

[그림 3]은 각 시도별 LK의 한계 변화로 인한 시도별 VKT(1일 교통량)의 변화를 나타낸 것이다. 분석 결과, 경기지역의 변화율이 월등히 높은 것을 알 수 있으며, 경상남북도, 충청남북도 지역이 그 뒤를 따르고 있다. 전라남북도의 경우 교통시설 투자로 인한 유발교통량이 작은 것으로 분석되었다.

경기지역의 경우 LK 1% 증가 시 장기적으로 28,340대의 추가적인 통행이 발생

하며, 경상도의 경우 약 7,000대의 유발교통량이 발생한다. 충청도의 경우 약 2,500대, 전라도의 경우 약 500~700대 내외의 유발교통량이 발생하는 것으로 분석되었다. 한편, 이러한 교통시설 투자가 유발교통량에 미치는 영향은 연도별로 달라질 수 있다. 특히, 우리나라의 경우 급격한 경제성장시대인 1970~90년대 중반과 저성장시대로 표현되는 2000년대의 교통시설 투자가 유발교통량의 변화율에 미치는 영향은 매우 다를 것으로 판단된다.

각 연대별로 VKT 변화에 영향을 미치는 인구(POP)와 LK의 영향 정도를 파악하기 위해 식 (4)와 같이 변형하여 분석

하였다. 즉, 추정된 시차회귀모형은 시차 (lag)가 2이고, 각 시차의 계수를 구성하는 다항식이 0차 다항식, 즉 상수항이므로 식 (2)와 같은 유발교통량 시차모형이 성립된다. 여기서 수도권과 지방의 구분 (r)은 편의상 생략하였다.

$$\log(VKT^i_t) = \sum_{j=1}^9 a_j D_j + \lambda \log(POP^i_t) + \omega \sum_{l=0}^2 \log(LK^i_{t-l}) + \varepsilon^i_t \quad (2)$$

연대별 VKT 변화에 영향을 미치는 인구와 LK의 영향 정도 분석을 위해 식 (2)를 식 (3)과 같이 변형한다. 여기서 m은 분석된 연대의 기간을 의미한다. 즉, 1985~90년을 분석하는 경우 m은 이 기간의 연도 5년을 의미한다. *은 식 (2)에서 추정된 모형값 또는 추정된 파라미터 값을 의미한다.

$$\begin{aligned} \log(VKT^*_i_t) - \log(VKT^*_i_{t-m}) &= \lambda * [\log(POP^i_t) - \log(POP^i_{t-m})] \\ &+ \omega * \left[\sum_{l=0}^2 \log(LK^i_{t-l}) - \log(LK^i_{t-m-l}) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

한편, 식 (3)을 다시 지역별로 분석하기 위해 모든 지역에 대하여 평균을 취하면 식 (4)와 같다. 식 (4)의 계산으로 POP의 기여도와 LK의 연도별 VKT에 대한 기여도를 계산할 수 있다. 본 연구에서는 1985~90년, 1991~96년, 1997~2003년으로 구분하여 분석하였다.

$$\begin{aligned} &\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{ \log(VKT^*_i_t) - \log(VKT^*_i_{t-m}) \} \\ &= \left[\lambda * \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \{ \log(POP^i_t) - \log(POP^i_{t-m}) \} \right] \\ &+ \omega * \frac{1}{n} \left[\sum_{l=0}^2 \left\{ \sum_{i=1}^n \log(LK^i_{t-l}) - \log(LK^i_{t-m-l}) \right\} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

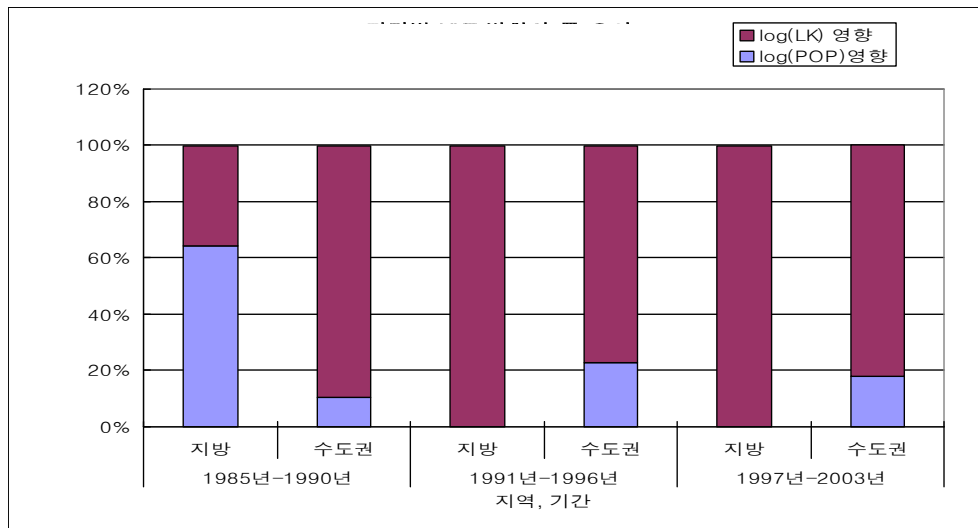
먼저, 지방의 경우 1985년과 1990년 사이의 VKT 변화가 가장 크게 나타나고 있으며, 동 기간 중 유발교통량 VKT의 증가에 가장 많은 영향을 미치는 요소는 인구(POP)로 분석되었다. 그러나 1990년 이후부터는 VKT의 증가율도 1990년까지의 2.24에서 1997~2003년에는 0.5로 감소하며, 이러한 변화율에 있어 그 지역의 인구변수의 기여도는 거의 없는 것으로 분석되었다. 1991년부터는 도로시설에 대한 투자만이 교통량의 증가를 유발하는 것으로 분석되었는데, 이는 LK변수가 VKT의 평균 변화율 0.66~0.50의 대부분을 차지하는 것으로 알 수 있다.

수도권의 경우 지방권과 달리 1991년과 1996년 사이의 VKT 변화가 가장 크게 나타나고 있으나, 유발교통량에 대한 기여도가 인구보다는 LK의 영향이 항상 크다는 것을 알 수 있다. 1997년과 2003년 사이를 비교하면 지방권보다는 다소 낮은 VKT 변화율을 보여주어 교통시설 투자로 인한 유발교통량은 오히려 최근에 들어와 점차 감소하는 것으로 분석되었다.

<표 5> 지방 및 수도권 VKT 변화의 주요인 및 기여도

구 분		1985~90년		1991~96년		1997~2003년	
		log값의 변화	변화율	log값의 변화	변화율	log값의 변화	변화율
지 방	log(POP) 영향	1.44	64.4%	-0.03	0.0%	0.00	0.0%
	log(LK) 영향	0.80	35.6%	0.69	100.0%	0.50	100.0%
	log(VKT)의 평균 변화	2.24	100.0%	0.66	100.0%	0.50	100.0%
수도권	log(POP) 영향	0.10	10.6%	0.46	22.9%	0.07	18.1%
	log(LK) 영향	0.83	89.4%	1.56	77.1%	0.33	81.9%
	log(VKT)의 평균 변화	0.93	100.0%	2.02	100.0%	0.4	100.0%

[그림 4] 지방 및 수도권의 기간별 VKT 변화와 그 주요인



IV. 정책적 시사점 및 결론

본 논문에서는 교통시설에 대한 투자 효과를 유발교통량 관점에서 살펴보았다. 즉, 교통시설 투자는 지역 간의 일반화 통행비용을 감소시켜 억제되어 있던 또 다른 교통량을 유발하는데, 이러한 교통량의 유발 정도를 통해 도로투자사업의 효과를 지역별·시대별로 살펴보았다.

분석 결과, 투자에 의한 고속도로의 서비스 개선은 통행비용 감소로 인해 교통량을 유발시키는 것으로 분석되었다. 모형 추정 결과 설명변수인 LK(차로 수·구간거리)와 VKT(차량·주행거리(vehicle-kilometer))는 양의 관계에 있으며 그 관계는 통계적으로 매우 의미 있는 것으로 분석되었다. 탄력성 분석 결과, 지방의 경우 LK에 대한 VKT의 단기탄력성은 0.33이며, 수도권은 0.60으로 분석되어 수도권은 지방보다 교통시설 투자로 인한 유발교통량이 더욱 큰 것으로 분석되었다. 장기탄력성의 경우 수도권은 1.80으로 차로 수·구간거리(LK)의 1% 증가는 차량·주행거리(VKT)의 약 1.80% 증가를 가져오는 것으로 분석되었다. 한편, 지방권의 경우 0.99%의 증가를 가져오는 것으로 분석되어 지역별 차이가 큰 것으로 분석되었다.

또한, 시도별 LK의 한계 변화로 인한

시도별 VKT(1일 교통량)의 변화를 분석하였는데, 경기지역의 변화율이 월등히 높고, 경상남북도, 충청남북도 지역이 그 뒤를 따르고 있는 것으로 나타났다. 특히, 전라남북도가 교통시설 투자로 인한 유발교통량이 가장 작은 것으로 분석되어 고속도로 투자 시 이용증대효과가 가장 작은 것으로 분석되었다.

유발교통량의 변화율에 대한 LK의 기여도가 연도별로 어떻게 변화하였는지도 분석하였다. 지방의 경우 1985년과 1990년 사이의 VKT 변화가 가장 크게 나타나고 있는데, 동 기간 중 유발교통량 VKT의 증가에 가장 많은 영향을 미치는 요소는 인구로 분석되었다. 그러나 1990년 이후부터는 VKT의 증가율도 1990년까지의 2.24에서 1997~2003년에는 0.50으로 감소하며, 이러한 변화율에 있어 그 지역의 인구변수의 기여도는 거의 없는 것으로 분석되었다. 1991년부터는 도로시설에 대한 투자만이 교통량의 증가를 유발하는 것으로 분석되었는데, 이는 LK 변수가 1991~96년 VKT의 평균 변화율 0.66의 대부분을 차지하는 것으로 알 수 있다. 수도권의 경우 지방권과 달리 1991년과 1996년 사이의 VKT 변화가 가장 크게 나타나고 있으나, 유발교통량에 대한 기여도가 인구보다는 LK의 영향이 항상 큼을 알 수 있었다. 1997년과 2003년 사이를 비교하면 지방권보다는 다소 낮은 VKT 변화율을 보여줘 교통시설 투자로 인한 유발교

통량은 오히려 최근에 들어와 점차 작아지는 것으로 분석되었다.

결론적으로 교통시설에 대한 투자는 유발교통량을 발생시키나 지금까지는 지방보다는 수도권에서의 유발교통량이 많고 시간이 흐를수록 그 증가폭은 상당 부분 줄어드는 것으로 분석되었다.

한편, 이러한 유발교통량의 정도는 현재 이를 고려하지 않고 있는 우리나라의 도로사업 투자에 대한 타당성 평가에 적극적으로 활용할 필요가 있다. 유발교통량의 정도에 따라 도로투자의 개선효과

가 지역별·시대별로 다를 수 있기 때문이다. 예를 들어, 혼잡한 지역의 도로투자 개선효과는 미미하거나 오히려 의도와 맞지 않게 통행비용을 더욱 증가시킬 수 있다. 본 연구의 결과는, 어떤 조건하에서 도로시설 투자가 이루어질 때 투자효과가 극대화될 수 있는지에 대한 중요한 참고자료로 활용될 수 있으며, 제한된 교통투자예산하에서 투자효과가 극대화될 수 있는 투자방향에 대한 시사점을 제공해 준다.

참 고 문 헌

- 곽태원, “사회간접자본의 산업지원효과,” 곽태원 · 이계식 편, 「국가예산과 정책목표: 1986년도」, 한국개발연구원, 1986.
- 건설교통부, 「주택종합계획(2003~2012)」, 2003.
- 유일호, “사회간접자본 투자의 확대와 국가예산,” 송대회 · 유일호 편, 「국가예산과 정책목표: 1992년도」, 한국개발연구원, 1990.
- 이재민, “시계열분석을 통한 고속도로 통행수요함수의 추정,” 「대한교통학회지」, 근간.
- 정일영, “도로에 대한 투자가 제조업물류비에 미치는 영향에 대한 연구,” 「대한교통학회지」, 제17권 제1호, 1999.
- 하현구 · 이경미 · 김홍석 · 오정은, 「중장기 SOC 투자전략 수립연구(1단계)」, 교통개발연구원, 2003.
- Aschauer, D.A., “Is Public Expenditure Productive?” *Journal of Monetary Economics* 23, 1989, pp.177~200.
- Cervero, R., “Induced Demand: An Urban and Metropolitan Perspective, Working Together to Address Induce Demand,” ENO Transport Foundation, Washington D.C., 2002.
- Cervero, R. and M. Hansen, “Induced Travel Demand and Induced Road Investment,” *Journal of Transport Economics and Policy* 36(3), 2002, pp.469~490.
- Choo, Sangho, Patricial L. Mokhtarian, and Ilan Salomon, “Impacts of Home-Based Telecommuting on Vehicle-Miles Traveled,” A Nationwide Time Series Analysis. Publication No. P600-01-020, the California Energy Commission, Sacramento, CA, December 2001.
- Conrad, K. and K. Seitz, “The Economic Benefits of Public Infrastructure,” mimeo, 1992.
- Eisner, R., “Real Government Saving and the Future,” Presented at the session of the American Economic Association Annual Meetings of Public Investments, Infrastructure and Economic Growth, Anaheim, California, 1993
- Fulton, Lewis M., Daniel J. Meszler, Robert B. Noland, and John V. Thoms, “A Statistical Analysis of Induced Travel Effects in the U.S. Mid-Atlantic Region,” 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1999
- Goodwin, P., “Empirical Evidence on Induced Traffic,” *Transportation* 23(1), 1996, pp.35~54.
- Greene, David L., “Vehicle Use and Fuel Economy: How Big is the ‘Rebound’ Effect?” *The Energy Journal* 13(1), 1992, pp.117~143.
- Greene, W., “Econometric Analysis,” second edition, Macmillan Publishing, New York, 1993.
- Hansen, M. and Y. Huang, “Road Supply and Traffic in California Urban Areas,” *Transportation*

- Research A* 31(3), 1997, pp.205~218.
- Hills, P.J., "What is Induced Traffic," *Transportation* 23, 1996
- Hulten, C.R. and R.M. Schwab, "Is There too Little Public Capital? Infrastructure and Economic Growth," Conference Paper, American Enterprise Institute, February 1991.
- Jorgensen, R.E., "Influence of Expressways in Diverting Traffic from Alternative Route and Generating New Traffic," Proceedings of 27th Annual Highway Research Board Meeting, 1947
- Nadri, I.M. and M. Schankerman, "Technical Change, Returns to Scale and Productivity Slowdown," *American Economic Review* 71(2), 1981, pp.314~319.
- Noland, R.B. and W.A. Cowart, "Analysis of Metropolitan Highway Capacity and the Growth in Vehicle Miles of Travel," 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1999
- Noland, R., "Relations between Highway Capacity and Induced Vehicle Travel," *Transportation Research A* 35(1), 2001, pp.47~72
- Noland, R. and L. Lem, "A Review of the Evidence for Induced Travel and Changes in Transportation and Environmental Policy in the US and UK," *Transportation Research D* 7(1), 2002, pp.1~26.
- Prais, S. and C. Winsten, "Trend Estimates and Serial Correlation," Cowles Commission, Chicago, IL., 1954.
- SACTRA, "Trunk Roads and the Generation of Traffic, Standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment," Department of Transport, London, 1994.
- Schimek, Paul, "Gasoline and Travel Demand Models Using Time Series and Cross Section Data from United States," *Transportation Research Record* 1558, 1996, pp.83~89.
- Tatarn, J.A., "Public Capital and Private Sector Performance," *St Louis Federal Review*, 1991.