

■ 論 文 ■

# 도로환경개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 관련성 규명 및 수요탄력성 추정(수도권을 중심으로)

## Relation between Highway Improvement and Induced Travel Demand, and Estimate the Demand Elasticity (A Seoul Metropolitan Area Case)

**이 규 진**

(아주대학교 건설교통공학과 박사과정)

**최 기 주**

(아주대학교 교통공학과 교수)

**심 상 우**

(아주대학교 건설교통공학과 박사과정)

**김 상 수**

(아주대학교 건설교통공학과 박사과정)

### 목 차

- I. 서론
  - 1. 연구의 배경 및 목적
  - 2. 연구의 범위 및 내용
- II. 관련문헌 고찰
  - 1. 이론적 고찰
  - 2. 기존연구 고찰 및 한계점
- III. 분석방법
  - 1. 분석절차
  - 2. 분석자료
  - 3. 분석모형
  - 4. 모형의 적합성 검토
- IV. 분석자료
  - 1. 자료 가공
  - 2. 수도권 가구통행실태조사 자료
  - 3. 수도권 네트워크 자료
- V. 분석결과
  - 1. 단위통행시간과 VKT의 상관분석
  - 2. 지역별 수요탄력성
  - 3. 통행목적별 수요탄력성
  - 4. 요일별 수요탄력성
  - 5. 연령별 수요탄력성
- VI. 결론 및 향후과제
- 참고문헌

Key Words : 도로 개선, 유발통행수요, 가구통행실태조사, 수요탄력성, 로그다항회귀모형  
Highway Improvement, Induced Travel Demand, 2002 Metropolitan Household Transportation Survey, Demand Elasticity, Log-Linear Regression Model

### 요 약

현재 교통수요예측 기법은 주로 외생적인 변수에 의해 추정된 종속적 차원의 수요만을 고려할 뿐 도로의 개선으로 인해 새롭게 유발/생성되는 수요(유발통행수요)는 충분히 고려되지 않고 있으며, 관련 연구도 국내에서는 아직 미미한 실정이다. 본 연구는 이와 같은 유발통행수요 추정 앞서 필요한 연구로 도로의 개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 관련성을 검증하고 차후 유발통행수요 추정에 적용될 수 있는 현실적인 수요탄력성 원단위를 수도권의 각 지역과 통행목적별로 추정하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 2002년 서울시 가구통행실태조사 자료와 네트워크 자료를 이용하여 단위통행시간에 대한 수요탄력성 원단위를 지역별로 산출하였고 지역별로 산출된 수요탄력성은 서울시 -0.582, 인천시 -0.597, 경기도 -0.559로 1995년 NPTS 자료로 산출된 수요탄력성 -0.3~-0.5보다 조금 높게 나타났다. 본 분석 결과를 통해 우리나라의 통행자가 미국 통행자보다 통행시간에 대해 더 탄력적이며, 도로의 개선으로 인해 유발될 수 있는 수요가 더 많은 것으로 나타났다. 추가적으로 거시적 관점에서 교통관리방안과 교통정책을 고찰해 볼 수 있는 요일별/연령별 수요탄력성 원단위를 산출하여 그 의미에 대해서 살펴보았다.

The purpose of this paper is to investigate the relationship between highway improvement and Induced Travel Demand(ITD) focusing on the Seoul metropolitan area data. In addition, authors tried to estimate basic unit of demand elasticity focusing on zone and trip purpose which can be applied for the ITD forecasting. The results are based on the 2002 Metropolitan Household Transportation Survey Data, where the demand elasticity (DE) is -0.582 in Seoul, -0.597 in Incheon and -0.559 in Gyeonggi province, respectively. This study revealed part of the relationship between highway improvement and ITD for metropolitan region and provided the framework for yielding real estimated values by applying the concept of demand elasticity in terms of the relationship by using regional and long-term data. We expect that the basic unit of demand elasticity focusing on zone and trip purpose can be applied for the ITD forecasting to analyze the whole demand exactly. The estimated DE's for age group and day of week can also be used for proper transportation management and transport policy making. Some limitations have also been discussed.

## I. 서론

### 1. 연구 배경 및 목적

서울 도심의 통근자를 대상으로 실시한 조사에 따르면 자가용 소유자중 겨우 35%만이 승용차를 통근수단으로 이용하고 있고 승용차를 이용하지 않는 주된 이유로 도시의 교통 혼잡 문제를 지적하고 있다(서울시정개발연구원, 1994). 다시 말해 혼잡이 개선되면 승용차를 이용해서 출근할 수 있는 유발통행수요가 상당 부분 존재하고 있다는 것이다.

그러나 이와 같이 도로의 개선으로 인해 순수하게 증가될 수 있는 유발통행수요는 수요분석에서 가장 많이 적용되는 4단계추정기법을 통해서도 충분히 추정되지 못하는 한계가 있다.

이러한 개념의 유발통행수요를 추정하기 위한 모형을 Patrick and Harry(1999)가 연구한 바 있지만 모형에 민감하게 적용되는 수요탄력성이 현실적이지 못해 추정된 유발통행수요를 신뢰할 수 없는 문제가 있다. 따라서 순수한 의미의 유발통행수요 추정에 앞서 우리나라의 통행특성을 반영한 현실적인 수요탄력성 산출에 대한 연구가 선행될 필요가 있다. 또한 유발통행수요의 개념조차 혼재되어 사용되고 있기 때문에 그 정의와 범위에 대해서도 명확히 할 필요가 있으며, 도로의 개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 관련성 검증과 산출된 수요탄력성을 통해 교통정책과 교통관리방안을 거시적 관점에서 고찰해볼 필요도 있다.

따라서 본 연구는 유발통행수요에 대한 정의와 더불어, 도로의 개선과 그로 인해 증가되는 모든 수요(집합적 개념의 유발통행수요)와의 관련성을 검증한 후, 수도권의 지역별/통행목적별 수요탄력성 원단위를 산출하여 차후 현실적이고 정확한 유발통행수요 추정에 적용될 수 있도록 하며, 수도권의 연령별/요일별 수요탄력성 원단위를 산출하여 거시적 관점에서 도로의 개선에 따른 교통정책과 교통관리방안을 살펴보는 데 그 목적이 있다.

### 2. 연구 범위 및 내용

본 연구에서는 분석 과정의 용이성과 결과 해석의 명확성을 위해 전체 수요 중 대중교통을 제외한 승용차

수요만을 다루고 있다. 즉, 도로의 개선으로 인해 증가될 수 있는 집합적 개념의 승용차 유발통행수요를 본 연구의 범위로 한정하였다.

본 연구의 내용은 크게 4가지로 구분할 수 있다. 첫째 혼재되어 사용되고 있는 유발통행수요에 대한 정의를 재정립하였으며, 둘째 도로 개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 관련성을 상관분석을 통해 검증하였으며, 셋째 수도권의 지역별/통행목적별 수요탄력성 원단위를 2002년 수도권 가구통행실태조사 자료와 시정개발연구원에서 작성한 네트워크 자료를 활용하여 로그다항회귀모형을 구축하여 산출하였으며, 넷째 동일한 방법으로 산출된 연령별/요일별 수요탄력성을 통해 거시적 관점에서 교통정책과 교통관리방안을 살펴보는 것이다.

## II. 관련문헌 고찰

### 1. 이론적 고찰

#### 1) 유발통행수요의 정의

교통계획에서 유발통행수요(Induced Travel demand)는 자주 언급되지만 그 개념은 명확하지 않다. 가령, 공간적 범위가 전 지역인지 개선도로인지에 따라 경로 전환 통행량이 유발통행수요에 포함되거나 제외될 수 있으며 시간적 범위가 1년 이내인지 이후인지에 따라 외생변수(토지이용, 인구, 고용, 수입)의 영향으로 증가되는 통행량이 유발통행수요에 포함되거나 제외될 수도 있다. 또한 용어도 유발통행수요, 유발수요, 유발교통량 등과 같이 혼용하여 사용되고 있다. 이와 같이 유발통행수요에 대한 개념과 용어의 불일치성은 유발통행수요를 연구한 학자들의 논문에서도 살펴볼 수 있다.

Goodwin(1996)은 전환 통행량을 제외하고 증가된 통행량을 "Induced traffic"이라고 정의하였으며, DeCorla-Souza(1999)는 단기(1년 이내)와 장기(1년 이후)별로 전환된 차량통행거리를 제외한 새롭게 생성된 차량통행거리를 "Induced Travel"(Other Induced VMT)로 정의하였다. 그리고 Barr(2000)는 인구 성장과 수입 증가와 같이 교통 공급 측면과 관계없는 차량통행거리는 제외하고 새롭게 생성된 차량통행거리를 "Induced Highway Travel Demand"로 정의하였다.

이와 같이 유발통행수요를 연구한 학자들에 따라서도 그 개념과 용어가 조금씩 차이가 있는데 이는 통행

의 주체, 단위, 분석 범위의 차이에서 발생한다. 즉, 통행의 주체가 사람이 아닌 차량이면 추가되는 유발통행수요는 통행 발생량이 아닌 차량 통행량이 되며, 통행의 단위가 대가 아닌 VKT면 유발통행수요에는 추가되는 차량수 뿐 아니라 증가되는 차량통행거리도 포함되며, 시간의 범위를 침투시간으로 국한할 경우 비 침투시간에서 침투시간대로 시간대를 변경한 통행도 유발통행수요에 포함된다.

〈표 1〉 유발통행수요의 정의를 위한 구분

구분	내용
통행의 주체	사람, 차량
통행의 단위	Trips, 대, Km, VKT
시간적 범위	침투시간, 하루
공간적 범위	전 지역, 개선 도로

따라서 본 논문에서 정의하고자 하는 “유발통행수요(Induced Travel Demand)”는 기존 4단계수요예측 기법을 통해 충분히 추정되지 못하는 수요로 기존 기법을 통해 추정되는 수요와 구별하고자 한다. 즉, 유발통행수요(Induced Travel Demand)는 기존수요예측에서 추정된 시간대의 이동으로 변화된 수요, 경로전환수요 등을 제외한 도로의 개선으로 인해 순수하게 증가된 수요이기 때문에 분석의 공간적 범위는 전 지역, 통행의 주체는 차량, 시간적 범위는 침투/비 침투시간, 통행의 단위는 차량의 증가뿐 아니라 통행거리의 증가도 포함하는 VKT이다.

그리고 유발통행수요의 추정에 앞서 본 연구에서 살펴보고자 하는 수요는 도로의 개선으로 인해 증가되는 모든 수요로 기존에 추정된 수요와 순수한 개념의 유발통행수요를 모두 포함한 수요로 “집합적 개념의 유발통행수요”라고 정의하였다. 즉 집합적 개념의 유발통행수요는 경로전환수요에서부터 신규발생수요까지 모든 수요를 포함하고 있다.

2) 수요탄력성의 정의

경제학에서 수요의 가격탄력성(Price Elasticity of Demand)은  $E_d = \frac{\Delta Q\%}{\Delta P\%}$  로, 가격 변화의 %에 대한 수요 변화 %를 의미하며 음(-)의 값을 가지는 것이 논리적으로 타당하며 수식(1)과 같이 표현된다.

$$E_d = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = \frac{\Delta Q}{\Delta P} \times \frac{P}{Q} \quad (Q: \text{수량}, P: \text{가격}) \quad (1)$$

유발통행수요의 기본이론은 수요와 공급의 경제이론을 바탕으로 하는바 수요(Q)를 통행수요(차량통행거리)로 가격(P)을 통행비용(단위통행시간)으로 해석할 수 있기 때문에 본 연구에서의 수요탄력성은  $E_d = \frac{\Delta VKT\%}{\Delta t\%}$  (단위 통행시간의 변화율 대비 차량통행거리의 변화율)로 정의한다. 여기서 통행수요는 교통수요예측과 편의 분석에서 유용하게 사용되는 차량통행거리를(VKT), 통행비용은 일반적으로 적용되는 통행시간을 반영하였다.

2. 기존연구 고찰 및 한계점

1) 기존연구의 고찰

국외의 경우 Bressy·Lutyens(1938)의 “Great West Road” 발표를 시작으로 도로 개선과 유발통행수요의 관련성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 국내의 경우 아직 해당 연구가 미미한 실정이다.

Hansen(1993)은 캘리포니아주에 있는 18개 주요 도로 구간에 대해 1973년부터 1990년까지 조사된 교통량 자료를 이용하여 도로 용량에 대응하는 교통량의 변화를 시간 간격으로 구분하여 분석하였다. 분석결과 VMT에 대한 차선-마일의 계수는 시간의 흐름에 따라 증가하였는데 공사 4년 후의 계수는 0.2~0.3, 10년 후의 계수는 0.3~0.4, 16년 후의 계수는 0.4~0.6로 나타났다. 본 결과를 통해 시간이 지날수록 용량의 증가에 대해 발생할 수 있는 유발수요가 더 많아지는 것을 알 수 있었다.

Hansen and Huang(1997)은 동일 자료를 이용하여 시간의 흐름이 아닌 지역 형태별로 구분하여 VMT에 대한 차선-마일 계수를 추정하였으며 모형식은 수식(2)와 같다.

$$\text{Log}(VMT_{it}) = \alpha_i + \beta_i + \sum_k \lambda^k \log(X^{k_{it}}) + \sum_{i=0}^L \omega \log(M_i) + \epsilon \quad (2)$$

여기서,

- $VMT_{it}$  : i지역에서 t년 VMT
- $\alpha_i$  : i지역에 대한 상수
- $\beta_i$  : t년에 대한 상수
- $X^{k_{it}}$  : i지역에서 t년의 k에 대한 설명변수들
- $M_{it}$  : i지역에서 t년의 차선-마일
- $\lambda, \omega$  : 계수값

:  $i$ 지역에서  $t$ 년 에러 값

지역 형태를 구분하여 설명변수로 인구수, 인구밀도, 개인소득, 연료비용을 적용하여 VMT에 대한 차선-마일 계수를 추정한 결과 대도시인 경우 0.9, 소도시인 경우 0.6~0.7로 분석되었다. 본 결과를 통해 도로 용량의 증가에 따른 VMT의 변화는 소도시보다 대도시가 더 큰 것을 알 수 있었다.

Marshall(2000)은 도로 용량과 VKT자료를 도로 형태별로 구분하여 VKT에 대한 용량의 계수를 추정하였다. 분석 결과 고속도로의 경우 0.85, 간선도로의 경우 0.76으로 추정되어 고속도로의 개선이 간선도로의 개선보다 더 많은 수요를 발생시키는 것을 알 수 있었다.

Noland(1999)는 통행을 증가시키는 원인은 도로 용량의 증가뿐만 아니라 수요 자체의 증가도 포함되어 있기 때문에 설명변수에 인구수, 개인소득, 연료비용을 반영하여 VMT에 대한 차선-마일 계수를 분석하였다. 1984년부터 1996년까지 미국 50개 주의 통행량 자료를 사용하여 분석하였으며 모형식은 수식(3)과 같다.

$$\text{Log}(VMT_{it}) = \alpha_i + \sum_k \beta_k \log(X^{k_{it}}) + \sum_k \lambda_k \log(M_{it}) + \epsilon \quad (3)$$

여기서,

- $VMT_{it}$  :  $i$ 지역에서  $t$ 년 VMT
- $\alpha_i$  :  $i$ 지역에 대한 상수
- $X^{k_{it}}$  :  $i$ 지역에서  $t$ 년의  $k$ 에 대한 설명변수들
- $M_{it}$  :  $i$ 지역에서  $t$ 년의 차선-마일
- $\beta, \lambda$  : 계수값
- $\epsilon$  :  $i$ 지역에서  $t$ 년 에러 값

도로 형태를 구분하지 않고 전 도로에 대해 모형을 구축한 결과 VMT에 대한 차선-마일 계수는 0.2~0.3로 나타났으며, 도로 형태를 구분하여 계수를 추정할 결과 주간선도로의 경우 0.5~0.8, 간선도로의 경우 0.2~0.7, 국지도로의 경우 0.5~0.9로 나타났다. 그리고 시간 간격, 시간 간격과 도로 형태, 지역 형태를 분류하여 계수를 추정하고 비교 분석하였다.

Fulton and Noland(2000)는 Maryland, Virginia, North Carolina, District of Columbia에서 구축한 자료를 이용하여 VMT에 대한 차선-마일 계수를 추정하였으

며 지역별로 추정된 계수는 0.3~0.6, 시간별로 추정된 계수는 0.15~0.61로 나타났다. 시간별로 각 지역에 대한 계수를 추정할 결과 단기적으로는 0.22~0.43, 장기적으로는 0.49~0.81로 추정되어 유발통행수요가 단기보다 장기적 관점에서 더 많이 발생하는 것을 알 수 있었다. 또한 혼잡수준을 일일 2,000(VMT/lane-miles)이하의 낮음, 일일 2,000~5,000(VMT/lane-miles)은 중간, 일일 5,000(VMT/lane-miles)이상은 높음으로 구분하여 모형을 구축한 결과 차선-마일의 계수는 혼잡이 낮은 경우 0.24, 중간일 경우 0.53, 높은 경우 0.6으로 추정되었다. 또한 인구밀도를 100(명/m<sup>2</sup>)미만은 낮음, 100~500(명/m<sup>2</sup>)은 중간, 500(명/m<sup>2</sup>)이상은 높음으로 구분하여 계수를 분석한 결과 인구밀도가 낮은 경우 0.402, 중간일 경우 0.573, 높은 경우 0.404로 추정되어 혼잡수준과 인구밀도가 중간일 경우 가장 많은 유발수요가 발생하는 것을 알 수 있었다.

Heanue(1997)는 지역특성, 토지이용, VMT의 증가, 인구성장, 거주자 특성, 수입, 자동차 보유등록대수, 총 노동자수, 여성 노동인력 증가, 연료비용, 인구밀도 등 통행과 관련된 여러 변수들에 대해 다른 문헌들에서 구해진 계수를 적용하여 도로 용량과 유발통행수요의 관련성을 분석하였다. 1963년부터 1991년까지 Milwaukee지역을 대상으로 분석한 결과 VMT증가의 78%정도는 토지 이용 증가와 관련 있고 나머지 22% 정도는 용량 증가와 관련 있는 것을 알 수 있었다.

Goodwin(1996)은 영국의 순환고속도로(M25), Westway(M40), Rochester Way Relief Road(RWRR)에 대해 모니터링을 통한 관측 교통량과 예측 교통량을 비교·분석하여 유발통행수요가 얼마나 발생하는지를 연구하였으며 조사된 연료비용, 교통량, 통행시간, 통행시간가치를 이용하여 통행시간에 대한 수요탄력성을 분석하였다. 이를 공식으로 나타내면  $E_t = E_m \times V_t/M$  (여기서,  $E_t$ : 통행시간에 대한 수요계수,  $E_m$ : 연료비용에 대한 계수,  $V_t$ : 통행시간가치,  $M$ : 연료비용 당 평균통행시간)이며 분석결과 통행시간에 대한 교통량의 단기 탄력성은 -0.5, 장기 탄력성은 -1.0로 분석되어 절감된 시간의 절반은 추가적인 다른 통행에 사용하는 것을 알 수 있었다.

Barr(2000)는 1995년 가구통행실태조사 자료를 이용하여 통행시간과 VMT의 관계를 분석하였다. 도로 개선뿐 아니라 각종 사회경제지표도 VMT에 영향을 주기 때문에 통행속도, 인구밀도, 년 가구수입, 가족 당

개인수입, 가족 수, 가족 당 노동자 수, 평균 가구수입 등의 설명변수를 적용한 모형을 구축하였다. 구축된 모형은 수식(4)와 같으며 추정된 단위통행시간 계수는 -0.350~-0.582로 나타났다.

$$\text{Log}(VMT) = \alpha + \beta_1 \log(\text{단위 통행시간}) + \beta_2 \log(\text{밀도}) + \beta_3 \log(\text{년 가구수입}) + \beta_4 \log(\text{가족수}) + \beta_5 \log(\text{가족 중 노동자수}) + \epsilon \quad (4)$$

VKT에 대한 단위통행시간 계수를 도시지역과 비도시 지역으로 구분하여 추정한 결과 각 -0.360, -0.323로, 대중교통 이용 유무에 따라서는 각 -0.343, -0.352로, 자녀들의 연령에 따라서는 -0.220~-0.372로, 요일에 따라서는 -0.262~-0.397로 추정되었다.

황기연, 김광희(2003)는 도로의 용량과 유발통행수요의 관련성을 도출하기 위해 서울시 사회·경제자료와 교통량 조사 자료를 도로 형태별로 구분하여 도로 길이와 여러 변수를 설명변수로, 교통량을 목적변수로 하는 회귀모형을 구축하였다. 모형분석 결과 교통량에 대한 도로별 계수 값들은 광로의 경우 1.91, 대로의 경우 1.60, 중로의 경우 0.48로 추정되었다. 광로와 대로 차이는 0.3정도 나지만 광로와 중로는 약 4배 정도 차이가 발생하였다. 이를 통해 서울시의 경우 도로 유형별 용량 변화가 통행량의 변화에 영향을 끼치며 특히 도로폭원이 커질수록 그 영향은 더욱 커지는 것을 알 수 있었다.

2) 기존연구의 한계점

도로 개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 관련성 검증에 대한 기존 연구를 고찰한 결과 도로 개선을 반영하는 변수는 크게 도로용량과 통행시간으로 구분할 수 있다. 우리나라는 도로용량에 대한 조사 및 자료 구축이 제대로 되어있지 않으며 수요분석에서 도로용량보다 통행시간이 더 직접적인 변수로 적용되기 때문에 도로 개선을 반영하는 설명변수로 통행시간이 더 적합한 것으로 판단된다.

도로 개선을 반영하는 변수로 통행시간을 적용하여 유발통행수요와의 관련성을 검증한 Barr(2000)의 경우 NPTS 자료를 이용하여 미국의 도로 개선과 유발수요의 관련성을 검증하였으나 우리나라의 통행특성과 도로특성은 미국과 다를 것으로 판단되기 때문에 우리나

라에 적용하기에는 무리가 따른다.

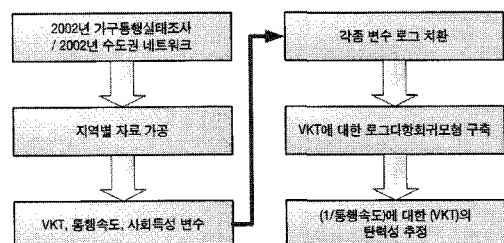
우리나라의 도로 개선과 유발통행수요의 관련성을 검증하기 위해 황기연(2003)은 서울시 자료를 이용하여 도로용량과 교통량과의 관련성을 광로, 대로, 중로로 구분하여 검증하였지만 앞서 언급한 바와 같이 도로 용량보다는 수요분석에 직접적으로 적용되는 변수인 통행시간을 대상으로 한 분석이 필요하며 광로, 대로, 중로와 같은 도로 구분은 일반적으로 수요분석에 거의 적용되지 않기 때문에 현실적으로 적용하기에는 어려운 점이 있었다. 그리고 수요는 도로용량뿐 아니라 각종 사회경제지표도 많은 영향을 미치는데 이를 충분히 고려하지 못한 한계가 있었다.

그리고 분석 존과 통행목적에 따라 통행의 특성이 다르기 때문에 수요예측 과정에서도 이를 각각 분류하여 수요를 분석하고 있으나 아직 존과 통행목적에 따른 도로 개선과 유발통행수요의 관련성을 비교·검증한 연구가 없었다. 이에 유발통행수요 추정에 적용되는 수요 탄력성도 존과 통행목적의 특성을 전혀 고려하지 않고 획일적으로 적용되어온 문제가 있었다.

III. 분석방법

1. 분석절차

도로의 개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 관련성은 단위통행시간(1/통행속도)에 대한 수요탄력성으로 설명되는바 2002년 수도권 가구통행실태조사 자료와 수도권 네트워크 자료에서 통행속도, 각종 사회·경제 변수, VKT를 분석 목적에 맞게 추출/가공한 후 단위통행시간과 각종 사회·경제 변수를 설명변수로 하는 VKT에 대한 로그다항회귀모형을 구축하였다. 최종 구축된 모형에서 (1/통행속도)에 대한 계수를 통해 도로 개선에 대한 수요탄력성을 설명하며, 차후 유발통행



<그림 1> 분석절차

수요 추정과 교통수요관리 정책에 활용될 수 있도록 분석 자료를 지역별, 통행목적별, 연령별, 요일별로 분류하여 수요탄력성 원단위를 추정하였다.

### 2. 분석자료

교통은 시스템적인 기능을 하기 때문에 도로의 개선은 지역 전체의 시스템에 영향을 미치게 되고, 수요는 단기가 아닌 장기 측면에서 평형을 이루어 결정되기 때문에 교통의 수요분석은 지역적이며 장기적인 접근이 필요하다. 이러한 측면에서 가구통행실태조사 자료는 지역 전체적인 조사 결과이며 통행자들의 교통수단과 경로에 대한 반응이 반영된 통행특성 자료와 경제특성 자료가 포함되어 있기 때문에 본 연구 자료로 적합하며 지역별, 통행목적별, 연령별, 요일별로 쉽게 분류할 수 있는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 분석 지역의 개인 통행행태와 교통패턴이 반영된 가구통행실태조사 자료를 이용하여 도로 개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 관련성을 검증하였다.

### 3. 분석모형

유발통행수요는 교통 시스템뿐만 아니라 사회·경제적 특성과의 관계도 무시할 수 없기 때문에 본 연구에서는 다양한 설명 변수가 포함된 로그다항회귀모형을 구축하여 수요탄력성을 분석하였다.

여기서 각 변수를 로그 치환하고 모형을 구축한 것은 각 변수를 치환하여 모형을 구축한 결과 로그다항회귀모형의 설명력이 가장 높았으며, 구축된 로그다항회귀모형의 각 변수는 수요탄력성으로 쉽게 해석될 수 있기 때문이다.

$$X \text{에 대한 } Y \text{의 탄력성}(e) = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \times \frac{X}{Y} \text{인데,}$$

$\log Y + a \log X$  이기 때문에  $Y = X^a$ 로 표현된다

$$\therefore e = a X^{a-1} \times \frac{X}{X^a} = a$$

최종 구축할 로그다항회귀모형은 수식(5)와 같은 형태이며 분석하고자 하는 수요탄력성((1/통행속도)의 변화율에 대한 VKT의 변화율)은  $\beta$ 이다.

$$\log(VKT) = \alpha + \beta \log(INVSPEED) + \gamma \log(X) + \epsilon \quad (5)$$

- 여기서,  $VKT$  : 가구당 차량통행거리
- $INVSPEED$  : 가구당 통행속도의 역수  
(단위거리 당 통행시간)
- $X$  : 가족원수, 소득, 주택규모 등
- $\alpha, \beta, \gamma$  : 계수
- $\epsilon$  : 오차항

### 4. 모형의 적합성 검토

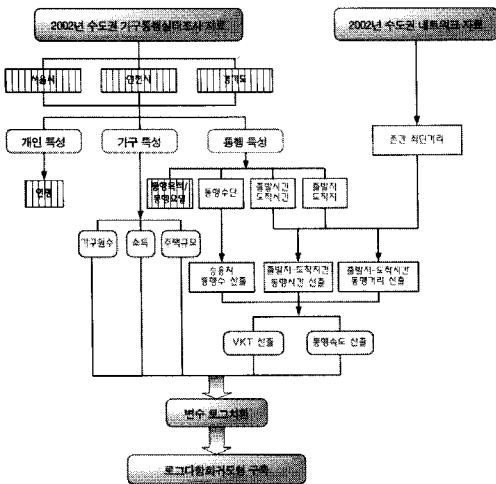
모형 간편화의 원칙에 따르면 독립변수가 2개 이상인 다항회귀모형의 경우 무조건 많은 수의 독립변수들이 모형에 포함된 것이 적합한 모형이 아니라 종속변수(Dependent Variable)를 가장 잘 설명할 수 있는 기여도가 높은 독립변수(Independent Variable)들만이 모형에 포함되어야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 단계적 변수선택법(Stepwise Selection Method)을 통해 변수를 선택하였는데 이 방법은 기존의 전진 선택법(Forward Selection)방식에 후진 제거법(Backward Elimination)방식이 가미된 방법으로 일반적으로 변수 선택 시 가장 널리 사용되는 방법이다.

이와 같은 변수 선택법을 통해 다중회귀모형을 구축하고, 정립된 모형의 검정을 위해 t값, F값, 수정 R<sup>2</sup>값 등을 확인하였다. 통상 R<sup>2</sup>값의 경우 설명변수의 개수가 증가하면 할수록 R<sup>2</sup>값도 증가하기 때문에 설명변수의 개수에 Penalty를 부여한 수정 R<sup>2</sup>를 확인하였다. 그리고 정립된 모형의 적합성(Aptness)을 확보하기 위해 잔차(Residual)의 정규성(Normality), 등분산성(Homoscedasticity)을 검토하여 Feedback 형식으로 모형을 구축하였다. 통상 잔차의 독립성(Independence)검정의 경우 관측치의 개수가 추정할 모수의 개수에 비해 상대적으로 많을 경우 잔차의 비 독립성 효과는 줄어들고, 횡단면 자료(Cross Sectional Data)에 대한 회귀분석의 경우 통상 잔차의 독립성 검정을 실시하지 않기 때문에 본 분석에서는 생략하였다.

## N. 분석자료

### 1. 자료 가공

수도권 가구통행실태조사 자료를 이용하여 VKT에 대한 로그다항회귀모형을 구축하기 위한 자료 가공 절



〈그림 2〉 분석자료 가공절차

차는 〈그림 2〉와 같다.

우선 수도권 가구통행실태조사를 지역별(서울시, 인천시, 경기도)로 분류하고 가구 ID를 기준으로 통행특성 자료에 가구특성 자료를 합쳐 통행과 가구의 모든 특성이 포함된 자료로 구성하였다.

다음으로 본 연구는 승용차 이용자에 대한 수요탄력성의 추정을 목적으로 하기 때문에 수단 통행 중 승용차 이용자 통행만을 추출하고 중복 조사된 자료를 제거하기 위해 타인의 차량을 이용한 통행을 제외하고 자신이 운전한 통행만을 다시 추출하였다.

미국의 가구통행실태조사는 통행특성에 차량의 미터기를 통한 주행거리까지 조사되는 반면 국내 가구통행실태조사에서는 통행거리를 조사하지 않기 때문에 승용차를 이용한 통행자는 모두 출발지와 목적지를 최단거리로 이용한다는 가정아래 가구별 통행거리를 사용자 평형 배정법(User Equilibrium)을 통해 추정하였다. 네트워크의 통행거리 자료와 통행특성 자료가 방대하기 때문에 Visual Basic 프로그램을 이용하여 가구의 출발지, 목적지 ID와 최단거리 Matrix의 ID가 매칭되는 통행거리를 추출하고 이를 원 자료에 포함시켰다.

다음으로 각 가구의 통행에 대한 단위통행시간(1/통행속도)을 산출하기 위해 조사된 도착시간에서 출발시간을 빼주고 이를 해당 가구의 통행거리로 나누어 산출하였다.

이와 같은 절차를 통해 승용차 이용자에 대한 단위통행시간, 해당 가구의 가구원수, 소득, 주택 규모, VKT를 포함하는 자료를 최종 구성하였다.

## 2. 수도권 가구통행실태조사 자료

서울시의 교통문제 해결 및 중장기 교통대책 수립에 필요한 지표를 수립하기 위한 목적으로 2002년도에 서울시의 교통문제에 직·간접적으로 영향을 주는 서울 및 인천·경기지역에 거주하는 가구의 하루 동안의 통행을 파악하여 통행의 출발·도착지, 통행수단, 통행목적 등이 포함되어 있는 자료가 2002년 수도권 가구통행실태조사 자료이다.

가구통행실태조사에서 조사되는 항목은 다양하지만 본 연구에서는 분석 목적에 맞게 다음과 같이 연령, 가구원수, 소득, 주택규모, 통행목적, 요일, 출발지, 도착지, 통행시간을 사용하였다.

〈표 2〉 가구통행실태조사자료 중 사용한 변수

구분	내용
가구번호	가구번호
개인자료	연령
가구자료	가구원수
	소득
	주택규모
통행자료	통행목적
	요일
	출발지
	도착지
	통행시간

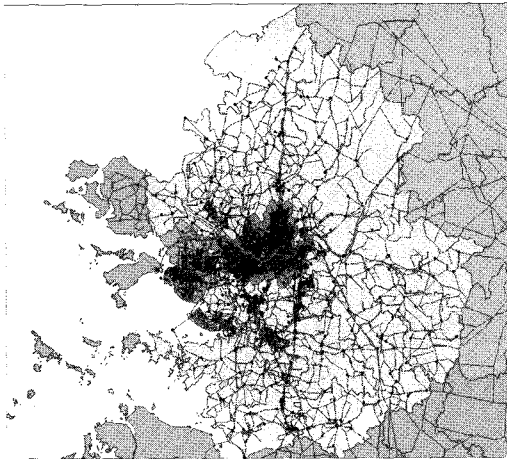
지역별 수요탄력성 추정을 위해 수도권 가구통행실태조사 자료를 서울시, 경기도, 인천시로 분류하였으며, 자신이 운전한 통행만을 자료에서 추출하고 각 변수에 대한 결측치와 이상치를 제외한 서울시 17,523개, 인천시 7,827개, 경기도 26,337개 자료를 최종 구성하여 분석하였다.

〈표 3〉 분석에 사용된 최종 유효 표본수

지역 구분	전 통행	자가 승용차 통행	결측치 제외	이상치 제외
서울시	144,569	30,638	24,629	17,523
인천시	48,137	12,513	10,520	7,827
경기도	140,620	39,692	30,713	26,337
합계	285,189	82,843	65,862	43,860

## 3. 수도권 네트워크 자료

본 연구에서 사용한 2002년 수도권 네트워크 자료는 시정개발연구원에서 작성한 것으로 서울시 도로구간



〈그림 3〉 수도권 네트워크

은 2001년 11월에 촬영한 항공사진과 교통조사보고서, 현장조사를 통해 구축하였으며 수도권 도로구간은 교통개발연구원에서 구축한 NGIS를 기본으로 이용하여 구축하였다. 네트워크 자료 중 링크 속성에는 거리, 도로 구분, 차로수, 용량 등이 포함되어있다.

**V. 분석결과**

**1. 단위통행시간과 VKT의 상관분석 결과**

각 지역별 VKT와 설명변수에 대한 상관분석을 실시한 결과 모두 유의하였으며 단위통행시간과 VKT의 상관계수는 서울시의 경우 -0.581, 인천시의 경우 -0.596, 경기도의 경우 -0.559로 추정되었다. 즉, 수도권의 도로 개선으로 인해 증가될 수 있는 통행수요가 존재하며 지역별로 차이가 있는 것으로 분석되었다.

〈표 4〉 지역별 각 변수와 VKT의 상관분석 결과

구분	서울시	인천시	경기도
가구원	0.006	0.014	0.008
주택규모	0.012	0.047	0.021
소득	0.035	0.008	0.003
연령	0.008	0.039	0.004
단위통행시간	-0.581	-0.596	-0.559

**2. 지역별 수요탄력성**

지역별로 도로 개선으로 인해 변화되는 단위통행시간과 VKT의 상관관계가 있는 것은 분석되었지만 VKT는 단위

통행시간 외에 지역별 사회·경제지표에도 영향을 받는 바, VKT와 관련 있는 변수들의 조합으로 이루어진 모형 구축을 통해 단위통행시간에 대한 수요탄력성을 추정하였다.

**1) 서울시 수요탄력성**

서울시 가구통행실태조사 자료를 통해 최적 변수들의 조합으로 이루어진 로그다항회귀모형을 구축하기 위해 단계선택법(Stepwise Selection Method)을 실시하였으며 최종 구축된 모형식은 수식(6)과 같다.

$$\text{Log}(VKT) = 0.212 - 0.582 \text{Log}(\text{단위 통행시간}) + 0.042 \text{Log}(\text{소득}) \quad (6)$$

서울시 수요탄력성 모형에 대한 수정R<sup>2</sup> 값은 0.339로 적절한 수준이었으며, 모형에 대한 F검정, 변수에 대한 t검정 결과 모두 유의하였으며, 수요탄력성은 -0.582로 분석되었다.

〈표 5〉 서울시 수요탄력성 추정모형의 분산분석 결과

수정R <sup>2</sup>	분산분석					유의 확률
	구분	제곱합	자유도	평균제곱	F	
0.339	회귀	717.197	2	358.599	4502	.000
	error	1395.312	17,520	0.07964		
	total	2112.509	17,522			

〈표 6〉 서울시 수요탄력성 계수 추정 결과

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의 확률
	B	표준오차			
(상수)	0.212	0.072		2.926	.003
log(단위통행시간)	-1.037	0.011	-0.582	-94.730	.000
log(소득)	0.0759	0.011	0.042	-6.784	.000

**2) 인천시 수요탄력성**

인천시 수요탄력성 추정을 위해 정립된 모형은 수식(7)과 같으며 모형의 수정R<sup>2</sup> 값은 0.358, 단위통행시간에 대한 계수는 -0.597로 추정되었다. 인천시 통행자는 서울시 통행자보다 통행속도에 대해 더 수요탄력적인 것으로 분석되어 도로의 개선으로 인해 유발될 수 있는 통행수요가 서울시보다 많은 것으로 해석된다.

$$\text{Log}(VKT) = -0.285 - 0.597 \text{Log}(\text{단위 통행시간}) + 0.042 \text{Log}(\text{주택규모}) + 0.018 \text{Log}(\text{가구수}) \quad (7)$$



〈표 7〉 인천시 수요탄력성 추정모형의 분산분석 결과

수정R <sup>2</sup>	분산분석					
	구분	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의 확률
0.358	회귀	355.233	3	118.411	1454	.000
	error	636.777	7823	0.08140		
	total	992.010	7826			

〈표 8〉 인천시 수요탄력성 계수 추정 결과

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의 확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	-0.285	0.037		-7.678	.000
log(단위통행시간)	-1.149	0.017	-0.597	-65.851	.000
log(주택규모)	0.0895	0.019	0.042	-4.628	.000
log(가구수)	0.0603	0.030	0.018	-1.989	.047

3) 경기도 수요탄력성

경기도 수요탄력성 추정을 위해 정립된 모형은 수식 (8)과 같으며 모형의 수정R<sup>2</sup> 값은 0.313, 단위통행시간에 대한 계수는 -0.559로 추정되었다.

경기도의 단위통행시간에 대한 수요탄력성은 서울시와 인천시의 수요탄력성보다 다소 낮으며 경기도의 혼잡 정도가 서울시와 인천시보다 덜하기 때문에 도로 개선으로 인해 발생할 수 있는 유발통행수요가 보다 적은 것으로 해석된다.

$$\text{Log}(VKT) = -0.260 - 0.559 \text{Log}(\text{단위 통행시간}) + 0.011 \text{Log}(\text{소득}) \quad (8)$$

〈표 9〉 경기도 수요탄력성 추정모형의 분산분석 결과

수정R <sup>2</sup>	분산분석					
	구분	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의 확률
0.313	회귀	1013.525	2	506.762	5987	.000
	error	2228.871	26,334	0.08464		
	total	3242.396	26,336			

〈표 10〉 경기도 수요탄력성 계수 추정 결과

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의 확률
	B	표준오차	베타		
(상수)	-0.260	0.063		-4.096	.000
log(단위통행시간)	-0.905	0.008	-0.559	-109.42	.000
log(소득)	0.0215	0.010	0.011	2.185	.029

3. 통행목적별 수요탄력성

지역별/통행목적별로 모형을 정립하여 수요탄력성을 산출하였으며, 수요탄력성 계수에 대한 t-test 결과 모두 유의한 것으로 나타났다.

서울시의 경우 업무 통행이, 인천시/경기도의 경우 등교 통행이 가장 수요 탄력적인 것으로 나타났다. 등교 통행의 수요탄력성이 높게 나타난 것은 분석 범위가 승용차 통행수요이기 때문에 승용차 등교 통행자의 대부분인 대학생이 등교 통행에 포함되어 있기 때문인 것으로 판단된다.

〈표 11〉 지역별/통행목적별 수요탄력성

구분	출근	등교	업무	쇼핑/여가	기타	합계	
서울시	샘플수	5,983	156	2,945	576	1,205	17,523
	수정R <sup>2</sup>	0.362	0.480	0.399	0.396	0.336	0.339
	계수	-0.601	-0.590	-0.632	-0.629	-0.554	-0.582
	T 값	-58.210	-10.188	-44.250	-19.416	-23.521	-94.730
인천시	샘플수	2,947	45	1,079	160	459	7,827
	수정R <sup>2</sup>	0.371	0.524	0.463	0.165	0.311	0.358
	계수	-0.609	-0.703	-0.676	-0.413	-0.559	-0.597
	T 값	-41.676	-6.831	-39.883	-28.383	-14.34	-65.851
경기도	샘플수	9,635	200	3,359	657	1,566	26,337
	수정R <sup>2</sup>	0.321	0.444	0.381	0.389	0.302	0.313
	계수	-0.563	-0.656	-0.617	-0.624	-0.532	-0.559
	T 값	-66.978	-12.429	-45.447	-20.463	-25.024	-109.42

4. 요일별 수요탄력성

지역별/요일별 수요탄력성을 추정한 결과 수요탄력성 계수는 모두 유의하였으며, 모든 지역에서 월요일의 수요탄력성이 가장 높게 나타났다. 즉, 월요일 통행의

〈표 12〉 지역별/요일별 수요탄력성

구분	월	화	수	목	금	합계	
서울시	샘플수	1,443	2,477	9,683	2,406	1,514	17,523
	수정R <sup>2</sup>	0.359	0.329	0.338	0.348	0.339	0.339
	계수	-0.600	-0.574	-0.578	-0.590	-0.575	-0.582
	T 값	-28.47	-34.86	-69.87	-35.83	-27.44	-94.73
인천시	샘플수	755	1,061	4,596	788	627	7,827
	수정R <sup>2</sup>	0.376	0.323	0.357	0.403	0.359	0.358
	계수	-0.632	-0.570	-0.594	-0.607	-0.600	-0.597
	T 값	-21.10	-22.50	-50.11	-22.94	-18.69	-65.851
경기도	샘플수	631	1,285	22,641	1,195	585	26,337
	수정R <sup>2</sup>	0.362	0.313	0.313	0.291	0.313	0.313
	계수	-0.602	-0.550	-0.559	-0.540	-0.560	-0.559
	T 값	-18.94	-23.69	-101.4	-22.18	-16.24	-109.4

경우 도로의 개선이나 교통관리/교통정책으로 인해 통행속도가 증가된다면 타 요일보다 더 많은 유발통행수요가 발생하며 이로 인해 결국 개선 효과는 타 요일보다 떨어질 것으로 판단된다.

### 5. 연령별 수요탄력성

지역별/연령별 수요탄력성을 추정한 결과 수요탄력성 계수는 모두 유의하였으며, 연령별로 탄력성의 정도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 50대의 수요탄력성이 일반적인 예상과 달리 수요 탄력적인 것으로 나타났는데, 이는 고령화시대에 접어든 우리나라의 교통 개선 대책에 노년층에 대한 고려를 요하는 분석 결과로 노년층을 위한 교통 편의뿐만이 아니라 접근성 향상에도 많은 관심이 필요한 것으로 판단된다.

〈표 13〉 지역별/연령별 수요탄력성

구분		30세 이하	31~40	41~50	51~60	61세 이상	합계
서울시	샘플수	1,282	4,759	7,583	3,219	680	17,523
	수정R <sup>2</sup>	0.358	0.304	0.344	0.380	0.348	0.339
	계수	-0.599	-0.550	-0.583	-0.618	-0.590	-0.582
	T 값	-26.78	-45.42	-62.72	-44.44	-22.29	-94.73
인천시	샘플수	378	2,001	4,094	1,143	211	7,827
	수정R <sup>2</sup>	0.354	0.340	0.358	0.381	0.418	0.358
	계수	-0.596	-0.581	-0.597	-0.612	-0.649	-0.597
	T 값	-14.43	-32.00	-47.67	-26.18	-12.27	-65.85
경기시	샘플수	1,543	7,934	12,458	3,576	826	26,337
	수정R <sup>2</sup>	0.367	0.309	0.314	0.310	0.323	0.313
	계수	-0.580	-0.556	-0.561	-0.557	-0.557	-0.559
	T 값	-28.54	-59.58	-75.58	-40.11	-19.39	-109.4

### VI. 결론 및 향후과제

아직 우리나라에서 유발통행수요에 대한 연구가 미미한바 본 연구는 유발통행수요의 추정에 앞서 이루어져야 되는 연구로써, 유발통행수요의 정의를 포함하여 도로의 개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 관련성을 검증하고 해당 수요탄력성 원단위를 수도권의 지역별/통행목적별/연령별/요일별로 추정하였고 그 결과에 대한 의미를 살펴보았다.

현실적인 분석을 위해 통행특성이 반영된 2002년 수도권 가구통행실태조사 자료와 네트워크 자료를 이용하여 사회경제지표와 단위통행시간에 대한 증가된 VKT를 상관 분석하여 관련성을 검증하였으며 지역별

로 모두 유의한 것으로 분석되었다.

또한 각 분석 목적별(지역별/통행목적별/연령별/요일별) 수요탄력성 원단위 산출을 위해 로그다항회귀모형을 구축하여 해당 원단위를 산출하였으며, 지역별로 산출된 수요탄력성은 서울시 -0.582, 인천시 -0.597, 경기도 -0.559로 1995년 NPTS 자료로 분석된 수요탄력성 -0.3~0.5보다 모두 높게 나타났다. 본 분석 결과를 통해 우리나라의 통행자가 미국 통행자보다 통행시간에 대해 더 탄력적이며, 도로의 개선으로 인해 유발될 수 있는 수요가 더 많은 것으로 나타났다.

본 연구 결과를 통해 도로 개선과 집합적 개념의 유발통행수요와의 계량적 관련성을 파악하였으며, 지역별/통행목적별로 산출된 수요탄력성 원단위는 차후 유발통행수요 추정 모형에 현실적인 지표값으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

그러나, 본 연구에서는 도로의 승용차 통행에 대해 발생할 수 있는 유발통행수요만을 분석하였는데 승용차 뿐 아니라 버스, 지하철 등과 같은 대중교통수단도 유발통행수요가 발생할 것으로 예상되는 바, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 권오철(1993), "경제학원론", 박영사.
2. 노정현(2001), "교통경제학", 나남출판.
3. 박성현(2003), "현대실용계획법", 민영사.
4. 박성현(1998), "회귀분석", 민영사.
5. 박원규, 강정모, 이상규(2003), "미시경제학", 시그마프레스.
6. 서울특별시(2003), "2002 서울시 가구통행실태조사".
7. 인천광역시(2003), "2002 인천시 가구통행실태조사".
8. 주경민, 박성환(1998), "Visual Basic Programming Bible", 영진출판사.
9. 황기연, 엄진기(2001), "교통수요관리론-정책 및 분석 실무", 청문각.
10. 황기연, 김광희(2003), "대도시 교통수요관리를 위한 도로건설과 유발수요의 관계성 검증", 서울도시연구.
11. Denvil Coombe(1996), "Induced Traffic: What do Transportation Models tell us?", Transportation 23.
12. Douglass B. Lee(1999), "Induced Traffic and Induced Demand", TRR.

13. Herbert Mohring(1976), "Transportation Economics", Ballinger Publishing Company.
14. Kenneth D. BOYER("1997), "Principles of Transportation Economics", Addison-Wesley.
15. Kenvin Heanue(1998), "Highway Capacity and Induced Travel: Issues, Evidence and Implications", Transportation Research Circular.
16. Lawrence C. Barr(2000), "Testing for the Significance of Induced Highway Travel Demand in Metropolitan Areas", TRB 79th
17. Lewis M. Fulton and Robert B.Noland(2000), "A Statistical Analysis of Induced Travel Effects in the use U.S. Mid-Atlantic Region", Journal of Transportation and Statistics.
18. Mark Hansen and Yuanlin Huang(1997), "Road Supply and Traffic in California Urban Areas" , Transportation Research Part A, Vol. 31. NO 3.
19. Mark Hansen(1998), "The Traffic Inducement Effect: Its Meaning and Measurement", Transportation Research Circular.
20. Norman L. Marshall(2000), "Evidence of Induced Demand in th texas Transportation Institute's Urban Roadway Congestion Study Data Set", TRB 79th.
21. Peter J. Hills(1996), "What is Induced Traffic?", transportation 23.
22. Phil B. Goodwin"(1996), "Empirical Evidence on Induced Traffic: A review and synthesis", Transportation.
23. Richard G. Dowling and Steven B. Colman (1998), "Effects of Increased Highway Capacity: Results of a Household Travel Behavior Survey", Transportation Research Circular.
24. Robert B. Noland(1999), "Relationships between Highway Capacity and Induced Vehicle Travel", TRB 78th.
25. Robert T. Dunphy(1998), "Widening the Roads: Data Gaps and Philosophical Problems", Transportation Research Circular.
26. Todd Litman(2004) "Generated Traffic and Induced Travel, Victoria Transport Policy Institute.

✉ 주 작 성 자 : 이규진  
 ✉ 교 신 저 자 : 이규진  
 ✉ 논문투고일 : 2005. 9. 6  
 ✉ 논문심사일 : 2005. 11. 4 (1차)  
                   2006. 4. 12 (2차)  
                   2006. 5. 24 (3차)  
 ✉ 심사판정일 : 2006. 5. 24  
 ✉ 반론접수기한 : 2006. 10. 31