

TCS 자료를 이용한 서울시 혼잡통행료 요금탄력성 분석에 관한 연구

- 남산 1,3호 터널을 중심으로 -

(A Study of Congestion Pricing Toll Elasticities in Seoul using TCS data)

조영재

(서울대환경대학원, 석사과정)

김성수

(서울대환경대학원 교수)

Key Words : TCS, 혼잡통행료, 탄력성

목 차

- | | |
|---------------------------|----------------------|
| I. 연구의 배경 및 목적 | IV. 모형의 설정 및 자료의 구축 |
| II. 연구의 범위와 방법 | 1. 모형의 설정 |
| III. 기존연구 고찰 | 2. 자료의 선정 및 분석 |
| 1. 교통수요의 탄력성 | V. 모형 추정결과 |
| 2. 집탄(Aggregate) 수요모형 접근법 | VI. 연구의 한계 및 향후 연구과제 |
| 3. 해외 대도시 지역 통행행태의 연구 | 참고문헌 |

I. 연구의 배경 및 목적

2005년 현재 서울시의 자동차 등록대수는 총 280만대로 20년 전인 1985년의 약 6.3배로 증가하였으며, 이 가운데 승용차가 78.8%를 차지하고 있다. 이러한 서울시 자동차 통행량의 급격한 증가로 도로의 교통 혼잡이 가중되고, 차량당 낮은 평균 재차인원과 교통 시설 공급의 한계 도달로 인해 도로이용 비효율성의 문제가 발생하게 되었다. 또한 이로 인해 도로 교통 혼잡, 교통사고, 대기오염, 소음공해로 인한 피해가 해마다 크게 증가하고 있다. 서울시에서는 이러한 문제들을 해결하기 위해 기존의 교통시설 공급에 주안점을 두었던 정책에서 중앙버스 전용차로제, 대중교통요금체계, 버스 노선체계 변경 등의 대중교통 활성화 정책이나 승용차 자율 요일제, 나홀로 차량의 저감정책이라는 새로운 패러다임을 전개하려 하고 있다. 이러한 패러다임의 변화에 부합하는 정책의 하나로써 교통 혼잡의 사회적 비용을 원인자에게 직접 전가시키기 위한 혼잡통행료 제도를 추진하게 되었다.

혼잡통행료(Congestion toll)는 도로의 혼잡으로 인해 초래되는 시간손실과 추가비용 등을 사회적 외부비용(social external costs)으로 파악하고, 이를 혼잡을 야기한 통행자에게 부과함으로써 도로 이용을 보다 효율적으로 제고하고자 마련된 제도이다. 싱가포르, 홍콩, 영국 등 일부 나라에서는 이 제도를 실행하고 있으며, 서울시에서도 혼잡통행료 시범사업의 일환으로 1996년 11월 11일부터 남산 1, 3호 터널을 통과하는 승용차에 대하여 혼잡통행료를 부과하고 있다.

당초 혼잡통행료 제도의 초기목적은 대중교통수단을 이용할 수 있음에도 불구하고, 교통 혼잡을 유발시키고 도로 이용

효율성을 저하시키는 1,2인승 승용차 이용자들을 3인승 이상의 카풀이나 대중교통으로 유도함으로써 교통 혼잡을 완화하고 도로시설의 용량을 재분배 하는데 있었다. 또한 여러 기존연구에서 연구자들은 교통 혼잡 완화목적 이외에 징수 수입금으로 대중교통을 지원하고 도로의 건설 및 유지보수에 지원함으로써 소득의 재분배, 재원의 효율적 이용이라는 측면에서도 긍정적인 효과를 얻을 수 있다고 주장해 왔다.

혼잡통행료 부과 목적은 징수 수입금의 증대이던 혹은 교통량의 재분배이던, 가격을 포함한 여러 변수들의 교통수요에 대한 탄력성은 공공정책의 변화에 따라 통행행태가 어떻게 반응하는지를 나타내는 유용한 지표이다. 즉 교통환경부담금제의 도입이라는 서울시 혼잡통행료 확대 시행의 필요성이 대두되고 있는 현 시점에서 혼잡통행료 시범사업 대상구간인 남산 1,3호 터널의 최근 10년간의 자료를 활용하여 요금 및 다른 사회경제적 조건에 따른 통행행태의 변화 및 그 크기를 파악하는 것은 반드시 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 서울시 남산 1,3호 터널의 TCS자료를 이용하여 혼잡통행료 징수 사업이 10년을 경과한 현 시점에서 남산 1,3호 터널 통행량에 영향을 미치는 요인들을 규명하고, 가격, 유류가격, 소득 등 사회·경제적 변수들의 변화에 따른 탄력성을 구하여 분석 결과의 정책적 적용에 대해 논의하는데 목적이 있다.

따라서 적정한 거시적인 모형을 추정하고 추정된 결과를 분석하여 터널 통행량에 영향을 미치는 요인이 무엇인가를 규명하여, 터널 통행량에 영향을 미치는 요인들을 변수로 내재시킬 수 있는 수요탄력성법을 이용해 일정기간의 교통 정책 변수의 변화가 얼마만큼의 교통수요를 변화시켰는지 분석하고자

한다.

II. 연구의 범위와 방법

본 연구의 시간적 범위는 남산 1,3호 터널의 혼잡통행료 징수가 시작된 1996년 11월부터 2006년 6월까지의 약 10년간이며, 월별로 총 116개의 관찰점을 가진 시계열 자료를 이용한다. 공간적 범위로는 남산 1,3호 터널에 직접적인 영향을 미칠 것이라 예상되는 서울 사대문 안을 중심으로 한 서울시 전역을 대상으로 하였으며, 경기지역은 제외시켰다. 본 연구는 남산 1,3호 터널 통과 수요에 영향을 미치는 요인을 규명하기 위해 계량경제학적 분석을 시도하였고 시계열 분석을 적용하여 시간의 변화에 따른 영향을 분석하고자 한다.

이를 위해 본 연구에서는 남산 1,3호 터널 각각에 대해 1996년 11월에서 2006년 6월까지의 차량 통과수를 종속변수로 하고, 이를 설명할 수 있는 변수들을 선정하여 다음과 같은 과정을 통해 적절한 모형식을 추정하여 탄력성을 도출하였다.

III. 기존연구의 고찰

1. 교통수요의 탄력성

탄력성(elasticity)이란 한 변수가 변할 때 다른 변수가 이에 반응하는 정도(민감도)를 측정하는 척도이다. 즉 탄력성은 한 변수가 1% 증가할 때, 이에 반응해서 다른 변수는 몇 % 변하는가를 알려주는 수치이다. 각 독립변수의 변동에 대한 종속변수의 반응정도를 의미하는 탄력성은 각종 정책에 대한 지침이 된다. 특히 교통수요에 있어서 요금의 탄력성이나 휘발유 요금의 탄력성 등은 요금 정책에 따른 교통수요의 변화량을 예측할 수 있게 하고 이에 따른 교통정책을 수립할 수 있다는 점에서 의의를 가진다.¹⁾

일반적으로 수요의 가격 탄력성(The elasticities of demand)이란, 가격 변화율에 대한 수요량의 변화율의 비를 말하는데, 여기서 상품의 수요량 q 를 가격 p 의 함수라 본다면, $q=f(p)$ 이라 할 수 있고, 이에 대해 아래 식처럼 p 가 Δp 만큼 변하면 q 도 Δq 만큼 변한다. 그러므로 이와 같은 관계를 이용하여 수요의 탄력성 η 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \left| \lim_{\Delta p \rightarrow 0} \frac{\Delta q/q}{\Delta p/p} \right| = \left| \frac{dq}{dp} \cdot \frac{p}{q} \right|$$

여기서 p 와 q 의 증가방향은 반대이므로 수요탄력성의 값은 원래 음(-)의 값을 가지나 분석을 할 때는 양(+)의 값으로 그 크기만을 비교하기 때문에 절대값을 사용하는 것이 일반적이다.

1) Goodwin은 수요 탄력성의 유용성으로 경험적 추정이 가능하다는 점, 이해하기 쉽다는 점, 실험으로 검증이 가능하다는 점, 정책평가에 직접적으로 이용이 가능하다는 점 등을 들고 있다.

탄력성은 크게 가격이 변하더라도 수요가 전혀 변하지 않는 완전비탄력적(perfectly elastic), 아주 작은 가격변화에도 수요가 무한대로 증가하는 완전 탄력적(perfectly elastic), 가격의 변화량과 수요의 변화가 같은 단위탄력적(unitary elastic)으로 구분된다. 수요가 탄력적인지 비탄력적인지의 구분은 대체로 단위탄력적인 상태, 즉 수요의 가격 탄력성이 1인 경우를 기준으로 한다. 가격 변화율이 수요량의 변화를 보다 클 때, 즉 수요의 가격탄력성의 절대값이 1보다 작으면 수요가 가격 비탄력적(price inelastic)이라고 하고, 가격 변화율이 수요량의 변화율보다 작아서 수요의 가격탄력성의 절대값이 1보다 크면 수요가 가격 탄력적(price elastic)이라고 한다. 이러한 교통수요의 탄력성에는 가격 탄력성 외에도 교차가격, 소득, 서비스 수준 등에 대한 탄력성이 있다. 이러한 탄력성을 도출하기 위해서는 우선 수요함수를 도출하여야 한다.

따라서 다음에서는 본 연구의 목적과 관련하여 추정방법상의 이론적 고찰을 하는데, 본 연구의 목적은 남산 1,3호 터널의 그 동안 통행수요에 실제적인 영향을 미치는 인자들이 어떤 것들이었으며, 실제 그로 인해 나타나고 있는 수요탄력성을 포함한 경제적 특성들은 어떠한지 분석해보는 것이다. 이러한 통행수요함수와 관련하여 전통적인 선형 및 대수선형회귀분석 방법에 관한 이론적 내용들을 간단히 소개하면 다음과 같다.

2. 집단(Aggregate) 수요모형 접근법

1) 선형회귀 수요모형

(Linear Regression Demand Model)

$$D = \alpha + \beta X_1 + \gamma X_2 + \delta X_3 + \dots + e$$

D 는 종속변수, X_1, X_2, X_3 는 독립변수, e 는 오차항이다. 선형함수는 추정하기 쉽고, 경험적인 결과들을 손쉽게 해석할 수 있는 장점을 가지므로, 교통수요 예측의 분야에 많이 이용되어 왔다. 이러한 함수에서 수요 각각의 탄력성은 변수값에 좌우된다는 장점이 있지만, 많은 변수들이 가지는 선형함수의 효과는 현실적으로 설득력이 약할 수 있다. 또한 다중회귀분석은 설명변수들의 값이 고정되어 있다는 조건을 갖는 조건부 회귀분석이며, 우리가 구하고자 하는 것은 고정된 X 변수들의 값에 부응하는 R 의 평균값이다. 변수 간에 자기상관이 있는지의 여부를 Dubin-Watson 통계량으로 확인할 수 있으며, 만약 통계값이 높게 나타나면 추정치가 과장되거나 과소 추정되는 결과가 나오므로 재추정해야 한다.²⁾

2) 대수선형회귀 수요모형

(Log Linear Regression Demand Model)

2) D.W 값은 0~4의 범위에서 값을 가지며, 2에 가까울수록 자기상관(autoregression)이 없게 된다. 만약 유의하지 않은 값이 나왔을 경우, 자기상관이 있게 되어, 차분(差分)한 자료를 이용하는 방법으로 재추정을 하게 된다.

$$\ln D = \ln \alpha + \beta \ln X_1 + \gamma \ln X_2 + \delta \ln X_3 + \dots + e$$

대수 선형회귀 수요모형은 선형회귀 수요모형의 종속변수와 독립변수에 자연로그를 취한 것으로 직선의 형태를 띠는 선형회귀 수요모형에 비해 곡선의 형태를 띠며, 이러한 곡선을 통해 종속변수의 예측력을 높일 수 있다. 또한 선형회귀 수요모형에서와 같은 방법으로 자기상관관계를 검정할 수 있다. 선형회귀 수요모형의 계수값은 종속변수와 독립변수간의 단순변화율을 나타내는 반면에 대수 선형회귀 수요모형은 계수값 자체가 탄력성을 의미한다. 이러한 수요모형은 교통 수요모형에 가장 널리 이용되어져 왔으며, 그 이유는 다음과 같다. 첫째, 수요함수식의 계수자체가 각각 수요의 탄력성을 나타낸다. 둘째, 비선형의 효과를 모형화 할 수 있다. 셋째, 1960, 70년 대 초 동안 교통수요 모형으로 주로 이용되어진 중력모형의 형태와 추상수단선택모형이 바로 이 대수선형 함수형태를 띠고 있다. 그러나 이와 같은 수요모형은 각각의 탄력성이 모든 자료의 관찰점의 위치와는 무관하게 동일하게 결정되며, 수요곡선의 위치에 좌우되지 않는다는 단점을 갖는다.

3. 해외 대도시 지역 통행행태의 연구

이전 연구들에서 다양한 교통수단에 대한 가격탄력성에 관한 실험적 연구가 많이 진행되어져 왔다. 그 중 Oum et al.(1992)와 Goodwin(1992)의 연구가 대표적인데, 대부분의 연구들에서 통행수요는 요금에 대해 비탄력적인 것으로 밝혀졌다. 그러나 탄력성은 수단, 시간, 통행목적, 소득 등의 크기에 따라 매우 다양할 수 있으며, 탄력성은 매년 변할 수 있고, 그 값은 도시마다 크게 다양해질 수 있으며, 같은 도시 내에서도 다를 수 있다. 본 절에서는 본 연구와 가장 유사하다고 판단되는 미국의 뉴욕사례와 홍콩의 사례에 관련된 연구 및 남산 1,3호 터널 관련 연구들을 살펴본다.

1) 뉴욕의 통행행태에 관한 연구

Hirschman(1993)은 뉴욕 맨해튼 CBD의 교통 혼잡을 문제로 제기하고 자가용 이용의 높은 부담을 원인으로 지적하며 뉴욕시의 CBD내의 자동차 통행에 미칠 수 있는 요인들을 분석하였다. 여기에는 근로자수와 수입, 통행비용, 대중교통 요금, 고속도로 차선과 대중교통 용량에 해당되는 물리적 용량, CBD 근로자들의 주거위치의 변화, 자동차 보유대수를 주요 요인들로 설명하고 있다.

이를 기반으로 1995년에 뉴욕시의 다리와 터널들의 통행료 탄력성에 대한 분석을 하였다. 뉴욕은 맨해튼, 브롱스, 퀸즈, 브록클린, 스탠포드 아일랜드로 나누어지며 여기에는 4개의 터널과 11개의 교량이 있다. 각 도시로 들어가기 위해서는 이 시설들을 통과해야하며 유료인 시설과 무료인 시설이 있다. 이들 시설들에 대한 통행요금은 12년간 6배 가량 증가했으며 실물가격으로는 65% 증가하였다. Hirschman은 이 중 8개의 유료 터널과 교량에 대해서 1979년에서 1990년까지의 월별 자료를 이용하여 대수 선형 회귀모형을 통해 탄력성을 도출하였는데, 중

속변수로는 차종별 통행량으로 독립변수로는 통행료, 취업자 수, 자동차 등록대수, 실질 유류가격, 실질 대중교통 요금, 대중교통 파업 더미변수, 계절변동 더미변수를 이용하였다.

추정결과 모형의 설명력은 매우 높고 값들은 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 거의 모든 경우에 있어서 통행료 계수값들은 음수이고 절대값으로 볼 때 1.0보다 매우 작았다. 그 값의 범위는 0.13~0.50으로 통행료 수요 탄력성은 매우 낮은 것으로 나타났으며, 가장 가격에 민감한 수요시설은 무료의 대체시설이 있는 것으로 나타났다.

2) 홍콩의 통행행태에 관한 연구

Becky P Y Loo(2003)는 홍콩을 대상으로 6개의 주요 터널에 대한 통행요금의 탄력성을 도출하였다. 그는 Hirschman의 연구결과와 비교하며 자동차 중심의 도시인 뉴욕과 대중교통 중심인 홍콩의 차이점을 부각하였다. 그는 1979년 1월에서 2000년 7월 까지의 22년간 월별 통행량 자료를 이용하여 모형을 구축하였는데, 모형의 형태는 Hirschman의 연구와 같이 대수 선형 회귀모형을 이용하였다. 주요 설명변수로는 실질 터널 통행료, 인구의 공간적 분포, 실질 가구수입, 실질 유류가격, 실질 주차장 가격, 자동차 등록대수와 더미변수인 계절변동, 대중교통 시스템의 변화이다. 이전 연구의 대상도시들이었던 미국, 호주 등에 비해 자동차 보유율이 매우 낮고(12.3%) 대중교통의 통행의존도가 매우 높은 상황(80.2%)에도 불구하고, 홍콩의 결과는 이전 연구와 유사한 결과를 도출하였다. 홍콩에서의 요금의 탄력성 범위는 -0.103~-0.291로 Oum에 의해 판측된 미국(-0.13~0.45), 영국(-0.14~-0.36), 호주(-0.09~-0.52)의 결과와 매우 유사하게 나타났다.

하지만 대중교통이 큰 비중을 차지하는 홍콩의 경우 자동차 부담율이 매우 높은 뉴욕의 경우보다는 가격탄력성이 더욱 비탄력적인 것으로 나타났다.

3) 서울의 통행행태에 관한 연구

서울시의 경우 서울시의 일부구간 혼잡을 고려하여 1996년 11월부터 남산 1,3호 터널의 통과 차량에 대해 혼잡통행료를 부과하기 시작했다. 본 연구에서 시도하려는 탄력성 분석 등과 관련된 연구는 없지만 현재 혼잡통행료 징수계획 및 정책과 관련된 연구는 아래와 같다.

황기연(1998)은 기존의 교통 관련 정책들이 주로 장기 위주로 설정되어 단기적인 교통관리 목표치가 없다고 판단하고 교통수요관리 효과분석모형(Seoul Congestion Management Model: SECOM)을 개발하여 서울시에 활용하도록 제안하였다. SECOM을 통해 교통수요관리의 대안별 효과를 예측한 결과 혼잡통행료를 확대 부과할 경우 도심의 교통혼잡은 개선되지만 서울시 전체적인 개선에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 단기적인 교통혼잡관리 목표를 달성하기 위해서는 남산 1,3호 터널에서 혼잡통행료를 징수함과 동시에 주행세와 기업체의 교통수요관리를 중심으로 자율 10부제를 병행하는 것이 효과적이라고 보았다.

손봉수·황기연(2001)은 시행 5년이 지난 시점에서 남산 1,3호 터널 구간에 부과한 혼잡통행료의 징수대상과 징수시간대, 징수요금 및 방법이 교통여건에 부합되는지 검토하고, 아울러 현재의 문제점을 보완하여 향후 서울시 전역으로의 혼잡통행료 제도를 확대 시행할 수 있는 기반을 마련하고자 하였다. 연구 결과 혼잡통행료를 부과하면 전반적으로 이용교통량이 감소하고 통행속도가 개선되며, 우회 차량으로 인한 혼잡 전이현상은 크게 발생하지 않은 것으로 나타났다. 또한 혼잡통행료의 형평성 문제와 관련하여 한계효용이 낮은(시간가치가 높은) 승용차 운전자에게 통행료를 부과하여 이를 도로운영 개선이나 교통정보시스템 구축, 대중교통체계 개선 등에 투자함으로써 한계효용이 높은 대중교통 이용자의 통행시간을 단축시켰으므로 소득재분배의 효과가 있다고 평가하였다.

조은경(2006)은 서울시 혼잡통행료 확대 부과방안의 실행대안에 대해서 나타날 수 있는 효율성 및 형평성 효과를 분석하였는데, 기존의 혼잡통행료 부과에 따른 통행속도나 교통량 변화 등의 교통측면의 효과분석 이외에 통행자들의 직접적인 효율성과 형평성에 대해서 분석하였다. 교통측면에서 혼잡통행료 부과시 수도권 전역에 걸쳐 승용차 통행이 감소하고 대중교통 수단 분담율이 증가할 것으로 주장하였고, 형평성 측면에서 저·중·고소득 모든 계층의 통행자들의 후생이 증가를 위해 도심코드에서만 혼잡통행료를 부과하는 것이 타당하다는 결론을 도출하였다. 또한 효율성 측면에서 도심코드에서 혼잡통행료를 부과할 경우 수도권 전체적으로 매우 큰 사회적 순편익이 발생한다고 정책적인 결론을 제시하였다.

IV. 모형의 설정 및 자료의 구축

1. 모형의 설정

인과관계구조는 여러 요인들로 복잡하게 얽혀 있기 때문에 다수의 독립변수를 모형에 포함시키는 다중회귀 분석이 필요하다. 이러한 분석을 통해 오차분산(error variance)을 줄이고 종속변수에 대한 보다 충실한 설명이나 예견을 할 수 있게 된다. 또한 다중회귀 분석은 다른 독립변수의 값을 통제된 상태에서 특정 독립변수가 종속변수에 독립적으로 행사하는 영향력을 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서 각 독립변수가 종속변수에 미치는 효과의 상대적인 비교와 보다 정밀한 인과관계를 파악할 수 있다.

본 연구에서는 대수 선형 일반최소자승법(GLS: Generalized Least Squares)을 이용하는데 기존연구 고찰에서 설명한 바와 같이 이 모형은 계수값 자체가 설명변수의 탄력성으로 볼 수 있는 장점이 있다.

각 터널에 대한 모형의 기본형태는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \ln T_i = & \alpha + \beta_1 \ln t_i + \beta_2 \ln E + \beta_3 \ln F + \beta_4 \ln I \\ & + \beta_5 \ln C + \beta_6 \ln f + \beta_7 \delta^{Jan} + \beta_8 \delta^{Feb} \\ & + \beta_9 \delta^{Mar} + \beta_{10} \delta^{Apr} + \beta_{11} \delta^{May} + \beta_{12} \delta^{Jun} \\ & + \beta_{13} \delta^{Jul} + \beta_{14} \delta^{Aug} + \beta_{15} \delta^{Sep} + \beta_{16} \delta^{Oct} \\ & + \beta_{17} \delta^{Nov} + \beta_{18} \delta^H + \beta_{19} \delta^{2B} + \beta_{20} \delta^R + e_i \end{aligned}$$

여기서 T_i : 터널 i 에 대한 월별 자동차 통행량

$\alpha, \beta_1, \dots, \beta_{24}$: 상수

t_i : 터널 i 에 대한 실질 통행요금

E : 취업자수

F : 실질 유류가격

I : 근로자 소득

C : 차량등록대수

f : 실질 대중교통요금

$\delta^{Jan} \dots \delta^{Nov}$: 1월에서 12월까지의 더미변수

δ^H : 내부순환로 개통 더미변수

δ^{2B} : 남산2호 터널 폐쇄와 개통 더미변수

δ^R : 집중호우로 징수중단 더미변수

e_i : 오차항

2. 자료의 선정 및 분석

교통수요이론에 따르면 통행요금, 대중교통수단의 요금, 통행비용, 대체교통수단 및 시설의 유무 등 통행수요에 영향을 주는 용인들이 많이 있다. 그러나 본 연구에서는 남산 1,3호 터널의 통행량을 현실적으로 설명할 수 있는 독립변수들을 다음과 같은 제약하에서 설정하였다. 첫째, 기본이 되는 남산 1,3호 터널의 통행량 자료는 월별로 구축되어 있다. 이에 맞추어 월별 변동성을 제대로 설명할 수 있는 변수이면서 동시에 자료획득이 가능한 변수들을 우선적으로 택하였다. 여기에서 사용되어진 자료들은 통계적으로 공신력이 있는 자료인 서울시 통계연보나 통계청 등의 자료를 기반으로 하였다. 두 번째로 월별 변동 및 주기적인 패턴을 분석하기 위해서는 최소한 관찰점이 50개 이상이 되어야 하므로 혼잡통행료 징수가 시작된 1996년 11월부터 2006년 6월까지의 월별 자료를 이용하였다.

1) 종속변수: 남산 1,3호 터널의 차량 통행량

1996년 11월부터 2006년 6월까지의 통행량 자료는 서울 시설공단의 교통관리과의 협조를 구하여 구축하였으며, 월별 통행량으로 총 관측점수는 116개이다. 통행량 자료의 구성은 아래 표와 같다.

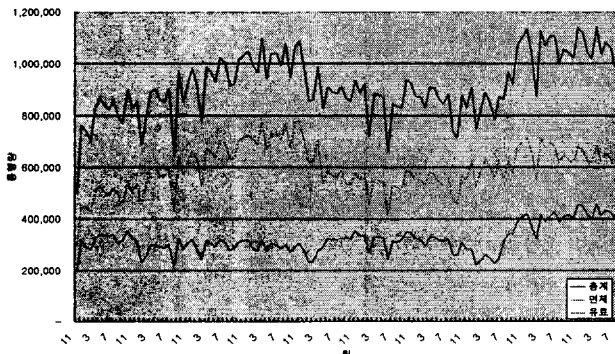
<표 3> 통행량 자료의 구성

구분		비고	자료 구축
총계	현금	일반	-
		경차	2003년 7월부터 시행
	카드	일반	2006년 5월부터 시행
		경차	-
	쿠폰	일반	-
		경차	2003년 7월부터 시행
	미정수	면제	-
		미납	-
정수일수	-	-	

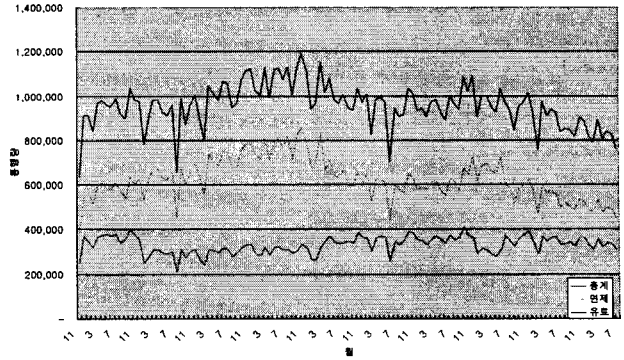
남산 1,3호 터널의 통행료 징수 방법은 현금, 카드, 쿠폰의 방법이 있으며 면제차량의 경우 3인 이상차량의 면제인지 택시, 화물차, 대중교통 차량으로 인한 면제인지는 구분이 되어 있지 않다. 현금, 카드, 쿠폰 차량과 미정수 차량을 유료차량으로 구분하고 이외의 차량을 면제차량으로 구분하였다. 남산 1,3호 터널의 위의 구분에 따른 통행량은 아래 표와 같다.

<표 4> 남산 1,3호 터널 통행량의 기술통계

구분		월 통행량		
		유료	면제	총계
남산 1호 터널	최대값	457,514	781,953	1,141,815
	최소값	203,783	294,051	497,834
	평균값	320,568	596,771	917,339
남산 3호 터널	최대값	410,155	851,927	1,188,205
	최소값	207,352	384,714	633,446
	평균값	331,241	622,435	953,675



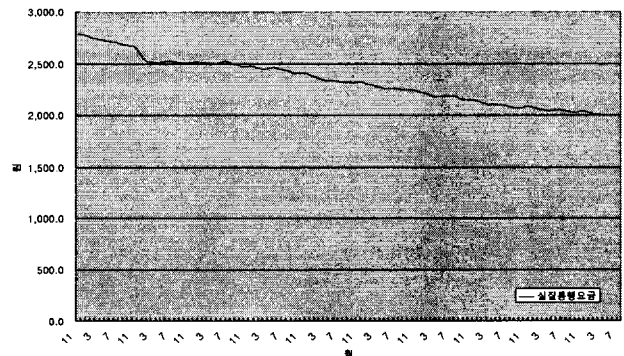
<그림 1> 남산 1호 터널의 유형별 통과대수



<그림 2> 남산 3호 터널의 유형별 통과대수

2) 실제 터널 통행료

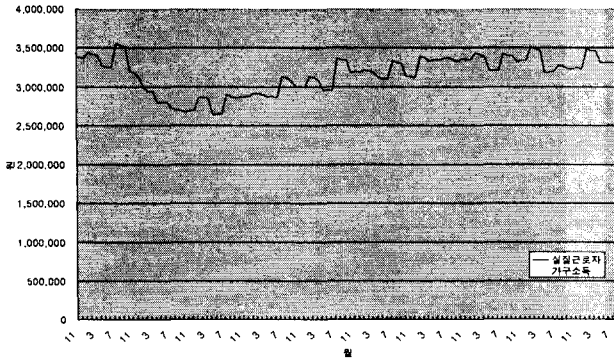
남산 1,3호 터널의 통행료의 경우 96년 11월 징수 초기부터 지금까지 요금의 변화 없이 2,000원을 징수해왔다. 2003년 7월부터 배기량 800cc이하의 경차에 대해 통행료를 1,000원으로 감면해주었지만 그 이외의 요금변화는 없었다. 하지만 동일한 통행료라 할지라도 10년 전의 2,000원의 가치는 지금보다는 더 클 것이며 소비자는 그 차이를 체감하고 그에 따른 통행량도 변화하게 될 것이다. 따라서 통행료 2,000원에 소비자 물가지수(2006년 6월=100)로 환산하여 자료를 구축하였다. 실질 터널 통행료의 차이는 2006년 6월에 비해 약 800원의 차이가 나는 것으로 나타났으며, 변화추이는 아래 그림과 같다.



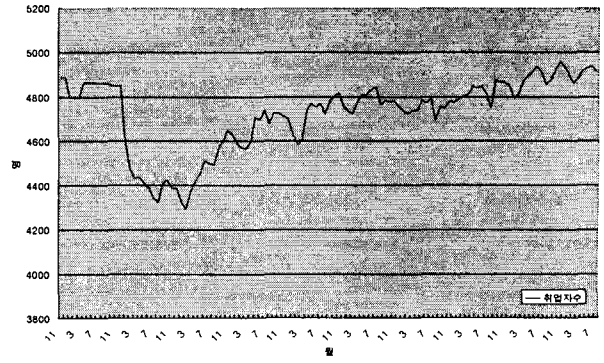
<그림 3> 실질 터널 통행료 변화추이

3) 근로자 가구소득

사람들의 수입이 증가할 경우 그들은 자가용을 다양한 용도로 더 자주 사용하는 경향이 있다. 따라서 터널 통행량에 영향을 미치는 요인으로 서울시 근로자 가구당 소득의 변화를 이용한다. 근로자 가구당 소득은 통계청의 가계조사 자료를 이용하였는데 소득자료는 경상 소득과 비경상 소득을 합한 값이다. 이 자료는 1996년 4분기~2006년 2분기까지의 분기별 자료로 구축되어 있으므로, 분기 내에는 소득변화가 크지 않다는 가정하에 소비자 물가지수(2006년 6월=100)로 환산하여 월별자료로 구축하였다. 월별 근로자 가구소득의 추이는 아래 그림과 같다.



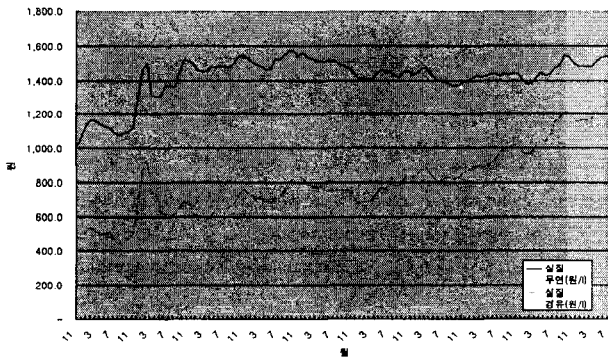
<그림 4> 근로자 가구소득 추이



<그림 6> 서울시 취업자수 추이

4) 실질 유류가격

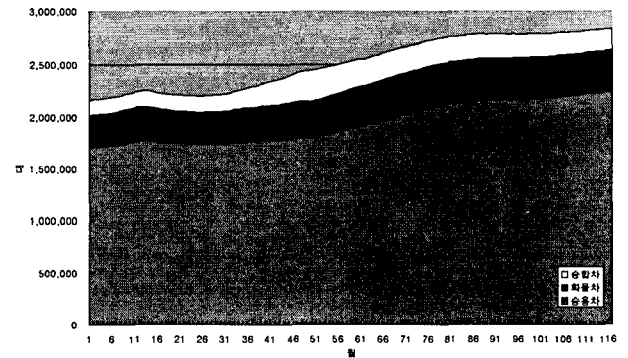
유류가격의 경우 통행거리나 통행빈도에 영향을 미칠 수 있는 설명변수이다. 휘발유는 리터당 월별 무연휘발유 소매가격과 경유의 리터당 월별 소매가격을 구축한 후 소비자 물가지수(2006년 6월=100)를 반영하여 구축하였다. 자료는 1996년 11월~2006년 4월까지의 한국석유공사의 석유수급통계자료를 이용하였고, 2006년 5월~6월의 자료는 서울 및 전국의 주유소 유류가격정보를 제공하는 사이트(www.oilpricewatch.com)의 자료를 이용하였다. 실질 유류가격의 변동 추이는 아래 그림과 같다.



<그림 5> 실질 유류가격 변동 추이(원/ℓ)

6) 자동차 등록대수

도로상의 교통량은 도시의 총 개별차량대수와 직접적인 양의 관계를 가지고 있을 것이다. 그러므로 서울시의 월별 자동차 등록대수를 설명변수로 포함시켰는데, 승용차/화물차/승합차/특수차로 구별되어 있는 자료는 서울시 통계 내부 자료를 이용하였으며, 유류가격에 따른 변화를 고려하기 위해서 사용연료별 등록현황을 한국 자동차 공업협회에서 발간하는 월별 자동차등록 통계연보를 이용하여 구축하였다. 서울시 자동차 총 등록대수 추이는 아래 그림과 같다.



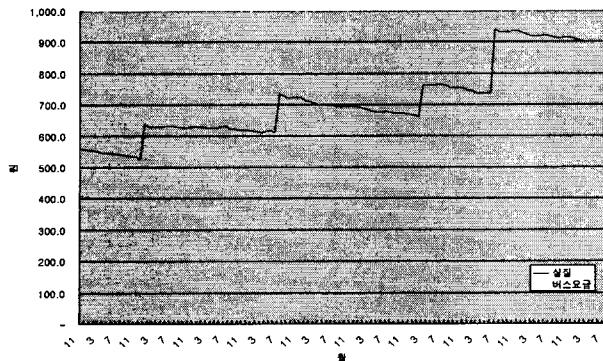
<그림 7> 서울시 자동차 총 등록대수 추이

5) 취업자수

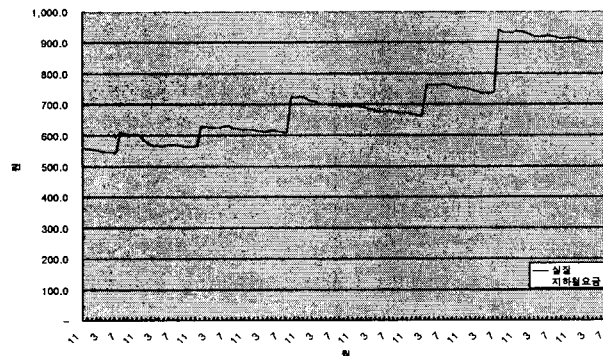
통행에 영향을 미칠 것으로 판단되는 서울시 취업자수를 통계청의 시도별 경제활동인구조사 자료를 이용하여 구축하였다. 1998년~2006년의 월 자료를 이용하였으며, 1996년~1998년에는 분기별 자료를 월별 값으로 변환하여 구축하였다. 월별 서울시 취업자수 추이는 아래 그림과 같다.

7) 대중교통 요금

대중교통요금의 변화는 통행량의 증가와 음의 관계가 있을 것으로 판단된다. 승용차 이용자의 특성상 대중교통으로 전환하는 수요는 그렇게 크지 않을 것으로 판단되므로 크게 밀접한 관계가 있을 것으로 예상되지는 않지만 통행량의 변화에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 실질 버스요금과 지하철 요금을 설명변수에 포함시켰는데 버스 요금의 경우 서울시 버스 운송사업 조합의 자료를 이용하여 도시형버스 일반인 기준의 현금요금을 기준으로 소비자 물가지수로 환산하였으며, 지하철의 경우 서울시 지하철 공사 요금자료를 이용하여 기본구간 요금을 소비자 물가지수로 환산하여 자료를 구축하였다.



<그림 8> 실질 버스 요금 변화 추이



<그림 9> 서울시 실질 지하철 요금 변화 추이

8) 기타 주요 더미변수

(1) 내부 순환로의 개통

내부 순환로는 강북지역의 방사형 간선도로와 도시고속도로를 도심을 중심으로 반경 약 5Km로 연결하는 왕복 4*8차로(도로폭원 : 26~35m), 연장 40.1Km의 환상형 도시고속도로로 1999년 2월 1일 전면 개통되었다. 기존에 남산 1,3호 터널을 이용하는 차량이 내부 순환로의 개통으로 인한 이용경로를 변경할 가능성이 있으므로 1999년 2월 1일 내부 순환로의 개통을 더미 변수로 설정하였다.

(2) 남산 2호 터널의 폐쇄 및 개통

서울시는 1999년 2월부터 총 322억원을 들여 노후화로 균열이 발생한 남산 2호 터널(폭9.5m, 길이 1,622m)의 벽면과 천장을 모두 철거한 뒤 60cm 두께의 콘크리트로 보강하고 벽면과 암반을 고정하는 록 볼트를 설치하는 보수공사를 진행하였으며 2001년 5월말에 재개통하였다. 이는 남산 1,3호 터널의 통행량의 변화에 영향을 미칠 것으로 판단되므로 더미 변수로 설정하였다.

(3) 집중호우로 인한 혼잡통행료 징수 중단

1998년 8월 4일부터 서울 및 경기북부지방에 집중호우로 많은 도로가 침수되는 등 시내 전반에 교통통제가 이루어지고, 특히 남산 3호 터널의 접근로인 잠수교, 주요 우회도로인 남산 2호 터널, 한강로, 소월길 등의 일부가 침수되어 혼잡통행료의 징수를 1998년 8월6일~1998년 8월 13일까지 8일간 중단하였다.

혼잡통행료 징수를 중단한 기간 동안 이용교통량의 변화는 아래 표와 같다.

남산 1호 터널과 3호 터널간 증가율을 비교해보면, 잠수교의 침수로 인하여 남산 3호 터널보다는 1호 터널의 증가율이 훨씬 높은 것으로 판단된다. 집중호우로 인해 침수되었던, 잠수교, 남산 2호 터널, 한강로, 소월길 등은 8월 10일 이전에 거의 완전히 복구되었던 점을 감안할 때, 8월 11일~13일에 증가한 교통량은 순수하게 혼잡통행료 미징수로 인해 증가하는 교통량으로 판단할 수 있을 것이다.

(4) 계절변동

월별 교통량은 계절적 변동을 구제화 할 수 있다. 계절성을 다루는데 있어서 정립된 방법에는 이동평균법을 포함하여 여러 가지가 있다. 예를 들면 SPSS의 내에서 계절적 구분은 각 월별의 계절적 보정계수를 통해서 구분할 수 있고 비계절적인 월별자료를 만들어낼 수 있다. 본 연구에서는 각 월을 대표하는 11개의 더미변수를 포함하여 분석하는 전통적인 방법을 적용하였다($\delta^{Jan} \dots \delta^{Nov}$). 12월은 비교를 위한 기준월로 선택하였는데 이 방법은 각 월에 대해 독립적으로 통계적 유의 수준을 볼 수 있는 장점을 가지고 있다.

V. 모형 추정결과

1차적으로 해외도시사례와의 비교를 위해서 Hirschman의 뉴욕시의 탄력성 추정방법과 Becky P Y Loo의 홍콩 탄력성 추정방법을 준용하여 선형로그회귀모형방법을 이용하여 추정해보았다. 독립변수의 경우 위에서 구축한 자료를 이용하였고 종속변수의 경우 각 1,3호 터널에 대해서 총 통행량, 유료통행량, 무료통행량으로 구분하여 분석하였다. 추정시 Eviews3.1을 이용하였는데 이는 횡단면, 횡단면과 시계열자료의 조합인 패널분석에도 용이하며 시계열 분석시 계열간의 관계에 대한 통계적 분석을 실행하는데 있어서 매우 유용하다.

남산 1, 3호 터널 각각에 대한 총 통행량, 유료통행량, 무료통행량에 대한 모형의 추정 결과는 <표 5>, <표 6>과 같다.

전체적인 모형의 설명력을 나타내는 조정된 결정 계수값은 0.56~0.908로 남산 1호 터널의 유료통행량을 대상으로 분석한 결과를 제외하고는 비교적 높은 설명력을 보이는 것으로 나타났다. 통행료, 취업자수, 징수일수 등의 변수에서는 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 차량등록대수의 경우에는 통계적으로 유의한 것으로 나타났으나 기대부호와는 다른 값을 가지는 것으로 분석되었다. 또한 남산 3호 터널의 경우 혼잡통행료의 탄력성의 범위가 -0.21~-0.67로 비탄력적으로 나타났으며, 1호 터널의 경우 -2.96~-4.21로 탄력적인 것으로 나타나 Hirschman의 추정결과에서 나타난 미국의 혼잡통행료 탄력성의 범위인 -0.13~-0.50과 Becky의 홍콩 혼잡통행료 탄력성 범위인 -0.10~-0.29와는 차이를 보이는 것으로 추정되었다.

<표 5> 남산 1호 터널 모형 추정 결과

Variable	중 통행량		유료 통행량		무료 통행량	
	Coefficient	T-significance	Coefficient	T-significance	Coefficient	T-significance
상수	65.543*	0.000	66.266*	0.001	64.935*	0.000
ln(통행료)	-3.814*	0.000	-2.968*	0.014	-4.219*	0.000
ln(소득)	-0.339	0.317	-0.732*	0.179	-0.164	0.597
ln(휘발유가격)	0.297	0.181	0.024	0.946	0.431*	0.036
ln(경유가격)	-0.057	0.646	0.015	0.938	-0.090	0.431
ln(취업자수)	3.086*	0.000	4.383*	0.000	2.334*	0.000
ln(자랑등록대수)	-3.333*	0.000	-4.321*	0.000	-2.825*	0.000
ln(버스요금)	0.002	0.991	0.016	0.963	-0.008	0.965
ln(지하철요금)	0.143	0.497	0.603*	0.077	-0.080	0.679
ln(징수일수)	0.850*	0.000	0.518*	0.004	1.036*	0.000
JAN	-0.011	0.767	-0.028	0.638	-0.001	0.973
FEB	0.001	0.982	-0.025	0.685	0.016	0.652
MAR	0.010	0.772	0.034	0.555	-0.001	0.967
APR	-0.040	0.222	-0.031	0.556	-0.042	0.157
MAY	-0.050*	0.128	-0.036	0.497	-0.055*	0.067
JUNE	-0.038	0.238	-0.057	0.273	-0.028	0.344
JULY	-0.018	0.612	-0.004	0.936	-0.022	0.493
AUG	-0.016	0.654	-0.006	0.919	-0.019	0.563
SEP	-0.023	0.506	-0.009	0.875	-0.028	0.372
OCT	-0.007	0.817	-0.012	0.816	-0.004	0.886
NOV	-0.014	0.645	-0.018	0.712	-0.011	0.690
내부순환로 개통	-0.074	0.223	0.143	0.144	-0.177*	0.002
2호터널 개척	0.114*	0.008	-0.208*	0.003	0.269*	0.000
징수중단	0.010	0.908	-0.082	0.565	0.060	0.464
Adjusted R-squared	0.742		0.565		0.836	

<표 6> 남산 3호 터널 모형 추정결과

Variable	중 통행량		유료 통행량		무료 통행량	
	Coefficient	T-significance	Coefficient	T-significance	Coefficient	T-significance
상수	-0.410	0.944	-8.474	0.451	2.911	0.709
ln(통행료)	-0.212	0.555	0.711	0.308	-0.671	0.167
ln(소득)	-0.041	0.801	-0.446	0.163	0.164	0.459
ln(휘발유가격)	0.210*	0.053	-0.268	0.199	0.467*	0.002
ln(경유가격)	-0.034	0.580	0.041	0.728	-0.076	0.354
ln(취업자수)	0.671*	0.039	1.793*	0.005	0.046	0.916
ln(자랑등록대수)	0.513	0.062	0.276	0.600	0.643	0.081
ln(버스요금)	-0.116	0.256	-0.052	0.791	-0.159	0.248
ln(지하철요금)	-0.100	0.331	0.315	0.115	-0.311	0.026
ln(징수일수)	1.041*	0.000	0.781*	0.000	1.188*	0.000
JAN	-0.039	0.032	-0.059	0.089	-0.027	0.259
FEB	-0.009	0.649	-0.038	0.308	0.008	0.748
MAR	-0.005	0.758	-0.004	0.915	-0.006	0.797
APR	-0.015	0.351	-0.023	0.450	-0.008	0.698
MAY	-0.025	0.118	-0.023	0.454	-0.024	0.257
JUNE	-0.025	0.111	-0.054	0.080	-0.010	0.635
JULY	-0.018	0.298	-0.020	0.532	-0.015	0.500
AUG	-0.039	0.028	-0.051	0.138	-0.032	0.178
SEP	-0.002	0.892	0.010	0.754	-0.008	0.718
OCT	-0.001	0.970	-0.010	0.731	0.005	0.826
NOV	-0.001	0.960	-0.011	0.719	0.005	0.817
내부순환로 개통	-0.092*	0.002	0.084	0.142	-0.178*	0.000
2호터널 개척	0.161*	0.000	-0.101*	0.012	0.286*	0.000
징수중단	0.028	0.522	-0.055	0.513	0.073	0.206
Adjusted R-squared	0.902		0.713		0.908	

VI. 연구의 한계 및 향후 연구과제

1차적으로 해외 대도시 지역의 결과와의 비교를 위해 선행 연구에서 사용한 GLS(Generalized Least Squares) 형태의 대수 선형 회귀모형을 이용하여 분석하였다. 그 결과 뉴욕과 홍콩의 혼잡통행료 탄력성과는 차이가 있는 것으로 분석되었다.

자료로 남산 1,3호 터널의 TCS자료를 이용하였는데 여기에 한계점이 있는 것으로 나타났다. 남산 1,3호 터널의 경우 다른 외국의 경우와 다르게 다인승 차량(3인 이상)에 대해 통행료를 감면해 주고 있는데, TCS 자료 내에 이를 구분하여 자료를 수집하지 않고 있어 모형의 분석시 어려움이 있었다. 이는 남산 1,3호 터널의 자료 수집체계를 보완한다면 교통 계획이나 분석가들이 좀 더 정확한 분석을 할 수 있을 것이다.

또한 설명변수들 간의 양방향성 및 자기 상관의 문제가 있는 것으로 생각되는데 이는 양방향성을 설명할 수 있는 연립방정식 형태의 모형을 선택하여 추가적인 분석을 통해 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

국내문헌

- 1) 남준우, 이한식(2002), 「계량경제학 이론과 응용」, 홍문사.
- 2) 송일호, 정우수(2002), 「계량경제실증분석」, 삼영사.
- 3) 이홍재 외(2005), 「Eviews를 이용한 금융경제 시계열 분석」, 경문사.
- 4) 손봉수, 황기연(2001), 「서울시 혼잡통행료 징수체계 보완 연구」, 시정개발연구원.
- 5) 이성원, 박지형(1999), 「교통수요의 가격, 소득 및 서비스 탄력성에 관한 분석」, 교통개발연구원.
- 6) 황기연(1998), 「서울시 교통혼잡관리 프로그램 실행을 위한 교통수요효과 분석체계의 구축」, 시정개발연구원.
- 7) 여상구(2003), 「서울시 지하철 수요의 특성 및 수요변화 요인에 관한 연구」, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 8) 장택영(1997), 「지하철 수요탄력성에 관한 연구」, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 9) 조은경(2006), 「혼잡통행료 부과방안의 효율성과 형평성 분석」, 서울대학교 환경대학원 박사학위논문.
- 10) 서울특별시(각 연도), 「서울통계연보」.
- 11) 한국자동차공업협회(각 월), 「자동차 등록대수 통계월보」.

국외문헌

- 1) Woosuk Zhee(1996), "A Study on the impact of congestion pricing benefits and revenue redistribution for the case of Seoul&Los Angeles", doctoral thesis.
- 2) Oum T H, Waters II W G, Yong J S(1992), "Concepts of price elasticities of transport demand and recent empirical estimates: an interpretative survey", 「Journal of Transport Economics and Policy 26(2)」 : 139-154.

- 3) Goodwin PB(1992), "A review of new demand elasticities with special references to short and long run effects of price changes", 「Journal of Transport Economics and Policy 26(2)」 : 155-170.
- 4) Ira Hirschman et al.(1995), "Bridge and tunnel toll elasticities in New York: Some recent evidence", 「Transportation 22」 : 97-113.
- 5) Becky P Y Loo(2003), "Tunnel traffic and toll elasticities in Hong Kong: Some recent evidence for international comparisons", 「Environment and Planning A, Volume 35」 : 249-276.
- 6) Ira Hirschman et al.(1993), "Factors affecting motor vehicle travel into New York City's CBD", 「Transportation Quarterly, Vol. 47, No.1」 : 61-77.
- 7) Ison, S. and T. Rye(2005), "Implementing road user charging: The lesson learnt from Hong Kong, Cambridge, and Central London", 「Transport Reviews, Vol. 25. No. 4」 : 451-466.

인터넷자료

- 1) 서울시설관리공단 <http://www.sisul.or.kr/>
- 2) 서울시 교통국 <http://traffic.seoul.go.kr/>
- 3) 통계청 <http://www.nso.go.kr/>
- 4) 한국은행 경제통계시스템 <http://ecos.bok.or.kr/>
- 5) 한국자동차공업협회 <http://www.kama.or.kr/>
- 6) 대한석유협회 <http://www.petroleum.or.kr/>
- 7) 에너지경제연구원 <http://www.keei.re.kr/>
- 8) OIL PRICE WATCH <http://www.oilpricewatch.com/>