

# 서울시 남산 1, 3호 터널의 혼잡통행료 탄력성 추정

Congestion Toll Elasticities in Seoul:

The Case of the First and Third Nam Mountain Tunnels

조영재

(서울대학교 환경대학원 석사과정)

김성수

(서울대학교 환경대학원 교수)

## 목 차

- I. 서론
- II. 선행연구의 고찰
- III. 모형의 설정 및 추정방법
  - 1. 모형의 설정
  - 2. 추정방법
- IV. 자료
- V. 모형 및 탄력성의 추정결과
  - 1. 모형의 추정결과
  - 2. 탄력성의 추정결과
- VI. 결론
- 참고문헌

### I. 서론

서울시의 2006년 기준 자동차 등록대수는 총 285만대로 지속적으로 증가한 반면, 도로율은 21.68%로 10년 전에 비해 거의 증가하지 않았다. 이로 인해 서울시 도심의 통행속도가 14km/h<sup>1)</sup>에 불과할 정도로 교통혼잡이 악화됨에 따라 교통사고, 대기오염, 소음공해 등으로 인한 사회적 비용도 증가해왔다.

서울시는 이와 같은 도심 교통혼잡에 따른 사회적 외부비용(social external costs)을 줄이기 위해 다양한 교통수요관리정책을 추진해 왔으며, 이의 일환으로 1996년부터 남산 1, 3호 터널에 혼잡통행료 제도를 시범적으로 시행하였다. 이 제도는 승용차의 카풀을 유도하고 대중교통 이용을 증대시킴으로써 교통혼잡을 완화하는 데 주된 목적이 있다.

혼잡통행료 제도의 시행 효과는 혼잡통행료의 탄력성을 추정함으로써 파악할 수 있다. 남산 1, 3호 터널을 통과하는 통행량은 혼잡통행료 뿐만 아니라 교통세를 포함한 휘발유 가격, 소득수준, 대체도로 및 대체수단의 요금 등의 영향을 받으므로 혼잡통행료의 탄력성을 추정하기 위해서는 다른 변수들의 영향을 분리하여야 한다. 그러나 이 점을 고려하면서 혼잡통행료

의 탄력성을 추정한 국내 연구는 거의 전무한 상태이다.

한국교통연구원에 따르면 2004년 기준 서울시의 교통혼잡비용은 5조 7천억원<sup>2)</sup>으로 10년 전에 비해 2배 이상 증가한 것으로 나타났다.

따라서 본 연구는 혼잡통행료 제도를 확대 시행할 필요성이 대두되고 있는 현 시점에서 시범대상구간인 남산 1, 3호 터널의 최근 10년간 자료를 활용하여 혼잡통행료의 탄력성을 추정하고, 추정결과와 정책적 시사점을 제시하는데 주된 목적이 있다.

### II. 선행연구의 고찰

일반적으로 통행수요는 가격에 대해 상당히 비탄력적이라는 것은 여러 경제학자들에 의해 밝혀져 왔다. Oum et al.(1992)와 Goodwin(1992)이 대표적인데, 이 연구들에서는 승객, 화물 그리고 교통수단에 따라 경험적인 통행수요 탄력성값을 정리하였다. 특히 Oum et al.(1992)은 약 60개의 기존연구들로부터 자동차 통행 수요의 탄력성을 정리하였는데, 미국의 경우 -0.13~-0.45, 호주는 -0.09~-0.52, 영국은 -0.14~-0.36으로 나타났다. 이러한 탄력성의 값은 수단간 경쟁, 함수형태, 시설의 위치, 장기 혹은 단기의 차이에 따라 다를 수 있다고 하였다.

본 연구는 교통 시설의 통행료 탄력성을 추정

1) 2005년 서울시 승용차의 평균통행속도는 전체 22.9km/h, 도심 14km/h, 외곽 23.5km/h임(서울시 교통국)

2) 국가교통DB센터 교통통계자료(www.ktdb.go.kr)

하는 것이 주된 목적이므로 이에 관한 선행연구들의 경험적인 결과를 정리하였다. 이는 <표 1>과 같은데, 교통시설의 통행료 탄력성이 대체로 비탄력적이라는 것을 뒷받침해 준다. 선행연구들은 대부분 통행요금의 변화에 따른 통행량 감소율(shrinkage ratio)을 직접적으로 추정하는 방법(Wuestefeld and Regan, 1981; Jones, 1992; Cain et al., 2001)과 대수함수형태의 회귀모형으로 추정한 방법(Hirschman et al., 1995; Gifford and Talkington, 1996; Loo, 2003; Matas and Raymond, 2003)을 사용하였으며, 탄력성 추정값은 대부분 -0.2 ~ -0.3 범위 내에 있는 것으로 나타났다.

<표 1> 교통시설 통행료의 탄력성에 관한 선행연구의 결과

선행연구	탄력성 추정결과	교통시설
Wuestefeld and Regan(1981)	도로: -0.03 ~ -0.31 교량: -0.15 ~ -0.31	미국의 16개 유료 교통시설
Jones(1992)	오슬로: -0.22 알레순트: -0.45	노르웨이 유료도로
Harvey(1994)	교량: -0.05 ~ -0.15 도로: -0.10	미국 유료 교량과 도로
Hirschman et al.(1995)	-0.09 ~ -0.50 평균값: -0.25	미국 뉴욕 6개 교량, 2개 터널
Gifford and Talkington(1996)	금~토요일: -0.18 월~목요일: -0.09	미국 금문교
Cain et al.(2001)	비첨두시: -0.03 ~ -0.36	미국 플로리다 2개 교량
Loo(2003)	-0.10 ~ -0.29	홍콩의 6개 주요 유료터널
Matas and Raymond(2003)	-0.21 ~ -0.83	스페인 유료도로

통행료 탄력성의 가장 낮은 값은 일반적으로 미국의 매우 혼잡한 대도시의 교량들에서 관측되었다. 이 결과는 승용차의 총 운행비용(주차요금, 세금, 유류비용 등의 합)과 비교할 때 통행료 수준이 낮기 때문이라고 설명할 수 있다(Harvey, 1994).

Wuestefeld and Regan(1981)은 통행 목적과 통행빈도, 무료 대안노선, 통행거리에 따라 다양하게 반응한다는 것을 패널 분석을 통하여 구명하였다. 또한 Hirschman et al.(1995)은 미국 뉴욕의 유료 교량 및 터널에 대해 탄력성을 추정하였는데, 무료 통행시설과 같은 다른 종

은 대안노선이 있을 경우 통행수요가 이러한 주변 대안 노선에 따라 민감하게 변한다고 설명하였다.

Loo(2003)는 Hirschman et al.(1995)를 참고로 하여 홍콩 유료터널에 대해 통행료의 탄력성을 추정하였는데 그 값은 미국의 경우와 비슷하며, 통행량을 줄이기 위해서는 통행요금 인상보다는 인구의 분산이 더욱 효과적이라고 분석하였다.

마지막으로 몇몇 선행연구들은 교통량이 시간대별 차등 요금제에 민감하다는 것을 제시했다.

Gifford and Talkington(1996)은 요일별 요금 차이에 따른 교차탄력성이 상호보완적이라는 분석결과를 제시하였다.

Cain et al.(2001)은 통행자가 비첨두시의 통행료 할인에 반응한다고 설명하였는데, 이를 플로리다의 두 개의 교량에 적용하여 분석하였다. 그들은 또한 수요 탄력성이 비첨두시간과 첨두시간간에 상당히 다르게 나타난다는 것을 보여주었다. 이는 Harvey(1994)가 제안한 내용과 유사한데, 이 결과는 첨두시간과 비첨두시간간의 서로 다른 요금 징수제도가 매 시간 동일한 통행료 징수제도에 비해 볼 때 더욱 효율적이라는 것을 뒷받침해주는 것이라 할 수 있다.

국내의 경우 유료시설의 통행료 탄력성에 관한 연구는 거의 없는 실정이며, 특히 남산 1, 3호 터널을 대상으로 한 혼잡통행료의 탄력성 추정에 관한 연구는 없다. 이는 대부분의 연구에서 시뮬레이션을 통한 혼잡통행료의 징수시 전체적인 네트워크 상의 교통량 감소효과에 초점이 맞추어져 있었기 때문인데, 황기연(1998), 손봉수·황기연(2001)이 대표적이다. 또한 조은경(2006)은 혼잡통행료의 효율성과 형평성에 대해 분석하였는데 도심 코든에서 부과할 경우 승용차 통행량은 감소하고 대중교통 수단분담율은 증가하며, 사회 모든 계층의 후생이 증가할 것이라는 결과를 제시하였다.

### III. 모형의 설정 및 추정방법

#### 1. 모형의 설정

##### 1) 단일방정식 모형

본 연구는 남산 1, 3호 터널의 월별 터널 통행량(종속변수)과 여러 설명변수(독립변수)들을

포함시킨 두 모형을 설정하였다. 모형은 크게 단일방정식 모형과 연립방정식 모형으로 구분하였는데, 전자는 전체 통행량에 대해서 그리고 후자는 유료징수 통행량과 무료 통행량을 분리하여 추정하기 위해 설정하였다.

먼저 남산 1, 3호 터널의 전체 통행량을 종속 변수로 하는 이중대수함수형태(double Log multiple Regression)의 모형을 설정하였다. 이는 여러 해외 선행연구들에서 도출된 결과와 비교하기 쉬운 장점이 있다.

설정된 모형의 기본 형태는 식(1)과 같다.

$$\ln V_t = \beta_0 + \beta_1 \ln C_t + \beta_2 \ln E_t + \beta_3 \ln(G_t/I_t) + \beta_4 \ln F_t + \beta_5 \delta^{Jan} + \beta_6 \delta^{Feb} + \dots + \beta_{15} \delta^{Nov} + \beta_{16} \eta^H + \beta_{17} \eta^{2B} + \beta_{18} \eta^{cheongae} + \beta_{19} \eta^{ssq} + \beta_{20} \eta^{aar} + e_i$$

.....식 (1)

여기서,

- $V_t$  : 월별 자동차 통행량
- $C_t$  : 실질 혼잡통행료
- $E_t$  : 취업자수
- $G_t$  : 실질 유통가격
- $I_t$  : 실질근로자 소득
- $F_t$  : 실질 대중교통요금
- $\delta^{Jan} \dots \delta^{Nov}$  : 1월에서 11월까지의 더미변수
- $\eta^H$  : 내부순환로 더미변수(개통이후=1, 이전=0)
- $\eta^{2B}$  : 남산2호 터널 더미변수(폐쇄=1, 개통=0)
- $\eta^{cheongae}$  : 청계천 복개공사 더미변수(공사중=1)
- $\eta^{ssq}$  : 서울광장 조성공사 더미변수(공사중=1)
- $\eta^{aar}$  : 승용차 요일제 시행 더미변수(시행이후=1)
- $e_i$  : 오차항

이 함수형태는 일반적으로 계량경제학에서 많이 사용된다. 선형함수형태보다 대수함수형태로 불편추정량을 구할 경우 주된 장점 중 하나는 가격 혹은 요금변수의 회귀계수값을 바로 그 변수의 탄력성으로 해석할 수 있다는 것이다. 즉 모형에서 추정된 통행료의 탄력성은  $\beta_1$  이 된다.

## 2) 연립방정식 모형

징수대상차량과 면제차량, 즉 3인 이상이 탑승한 카풀 승용차, 택시, 트럭, 버스의 통행특성은 징수대상차량과는 차이가 있을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 징수와 면제 통행량을 분리하여 추정하기 위해 식 (2)와 같은

이중대수함수 형태의 연립방정식 모형을 설정하였다.

$$\begin{aligned} \ln CV_t &= \beta_0 + \beta_1 \ln C'_t + \beta_2 \ln G_t + \beta_3 \ln I_t + \beta_4 \ln R_t \\ &\quad + \beta_5 \ln F_t + \beta_6 \delta^{Jan} + \beta_7 \delta^{Feb} + \dots + \beta_{16} \delta^{Nov} \\ &\quad + \beta_{17} \eta^H + \beta_{18} \eta^{2B} + \beta_{19} \eta^{cheongae} + \beta_{20} \eta^{ssq} \\ &\quad + \beta_{21} \eta^{aar} + e_C \\ \ln NV_t &= \alpha_0 + \beta_2 \ln G_t + \alpha_3 \ln I_t + \alpha_4 \ln R_t + \alpha_5 \ln F_t \\ &\quad + \alpha_6 \delta^{Jan} + \alpha_7 \delta^{Feb} + \dots + \alpha_{16} \delta^{Nov} + \alpha_{17} \eta^H \\ &\quad + \alpha_{18} \eta^{2B} + \alpha_{19} \eta^{cheongae} + \alpha_{20} \eta^{ssq} + \alpha_{21} \eta^{aar} + e_N \end{aligned}$$

.....식 (2)

- 여기서,  $CV_t$  : 월별 유료차량 통행량
- $NV_t$  : 월별 면제차량 통행량
- $C'_t$  : 유료차량 가중 실질 혼잡통행료
- $R_t$  : 자동차 등록대수
- $e_C, e_N$  : 오차항

## 2. 추정방법

위에서 설정한 단일방정식 모형은 오차항의 평균이 영(zero)이고 같은 기간에는 공통적인 분산을 가지고 있으며, 오차항들 사이에는 상관관계가 없다는 가정하에 통상적 최소자승법(OLS: Ordinary Least Square)을 이용하여 추정하였다.

연립방정식 모형은 두 개의 방정식들의 오차항들이 상관되어 통상적 최소자승법을 적용할 수 없으므로 일반화 최소자승법(GLS: Generalized Least Square) 틀 하에서 결합적으로 추정하는 반복결합일반화 최소자승법(SUR: Simultaneously Unrelated Regression)을 이용하였다.<sup>3)</sup> SUR 추정 및 변환 방법은 매우 복잡하지만 추정 단계를 간략하게 설명하면 우선 유료와 면제 통행량에 대한 방정식을 각각 최소자승법으로 추정한 후, 이로부터 잔차를 이용하여  $\sigma_C^2, \sigma_N^2, \sigma_{CN}$  를 추정하게 된다. 그 후 이들 분산 및 공분산에 대한 추정치를 이용하여 두 방정식을 GLS 틀 하에서 결합적으로 추정하여

3) 본래 SUR 추정방법은 횡단면 자료와 시계열 자료를 통합(pooling)하여 변수들 간의 관계를 설명하기 위해 개발된 방법으로, 이는 여러 개의 유사한 횡단면자료가 동일시점에서 상관되어 있을 경우 그 식들을 결합(joint)하여 추정함으로써 식들의 오차항의 정보를 이용하여 더 나은 추정값을 구할 수 있다. 이 방법은 같은 시점에서는 오차항간의 상관관이 있지만 다른 시점에서는 서로 영향을 주지 않는다는 점, 즉 동일한 분산 구조를 가지고 있다는 점에서 구조방정식과 같은 다른 연립방정식 모형과 동일하다. 그러나 내생변수 간에 종속성이 없다는 점에서 차이가 있다.

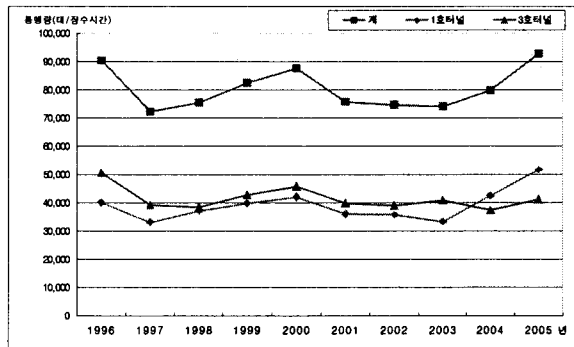
최종적인 계수값을 도출한다. 이러한 SUR 추정방법은 오차항간의 상관에 대한 정보를 이용하여 더 작은 표준오차를 가지게 되므로, 최소자승법에 비해 더욱 정확하다.(이병락 역, 2004)

#### IV. 자료

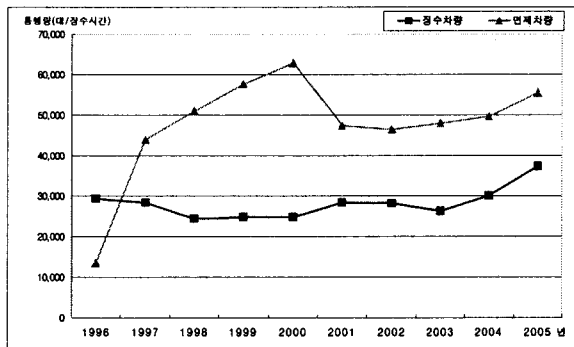
##### 1. 종속변수 : 남산 1, 3호 터널 월별 통행량

1996년 11월부터 2006년 6월까지의 월별 통행량 자료는 서울시설공단의 협조로 구축하였으며, 총 관측점수는 116개이다. 남산 1, 3호 터널의 총 통행량은 혼잡통행료 제도 시행 직후 크게 감소하였으나, 매년 지속적으로 증가하여 시행 4년째인 2000년 11월에는 통행량이 시행 전과 비슷한 수준까지 증가하였다. 그러나 2001년 4월 이후 승합차 징수기준이 강화(5인 이하⇒10인 이하)되면서 남산 1,3호 터널 총 이용 교통량이 2000년에 비해 11,869대(-13.6%) 감소하는 추세를 보였다. 이후 2003년에는 7월부터 시행된 청계천 복원공사로 인해 더욱 감소하였는데, 특히 남산 1호 터널이 전년도 대비 2,335대(-6.6%)로 크게 감소하였으나 3호 터널의 경우 1,711대(+4.4%) 증가하였다. 또한 2004년에는 서울광장 조성공사로 인해 남산 3호 터널이 2003년에 비해 3,424대(-8.4%) 감소하였으나, 남산 1호 터널은 9,104

대 증가하였다. 이는 한강을 기점으로 남산 1호 터널의 종점이 청계천, 남산 3호 터널의 종점이 시청앞 서울광장이기 때문에 이 지역의 공사로 인해 차량들이 주변 우회도로로 분산되었기 때문인 것으로 분석된다.



<그림 1> 남산 1,3호 터널의 연도별 일평균 통행량 추이



<그림 2> 남산 1,3호 터널의 연도별 일평균 징수 및 면제차량 대수 추이

<표 2> 남산 1, 3호 터널의 일평균 통행량과 혼잡통행료 징수차량의 구성비 추이

구분		96.11	97.11	98.11	99.11	00.11	01.11	02.11	03.11	04.11	05.11
		(시행전)	(시행1년)	(시행2년)	(시행3년)	(시행4년)	(시행5년)	(시행6년)	(시행7년)	(시행8년)	(시행9년)
1,3호	징수	-	28,313 (39.2)	24,399 (32.4)	24,822 (30.1)	24,694 (28.2)	28,403 (37.5)	28,241 (37.8)	26,229 (35.4)	30,150 (37.8)	37,286 (40.2)
	면제	-	43,957 (60.8)	50,878 (67.6)	57,576 (69.9)	62,842 (71.8)	47,264 (62.5)	46,387 (62.2)	47,775 (64.6)	49,533 (62.2)	55,449 (59.8)
	계	90,404	72,270	75,276	82,399	87,536	75,667	74,627	74,004	79,683	92,734
1호	징수	-	13,070 (39.6)	12,315 (33.3)	12,139 (30.6)	11,761 (28.1)	13,578 (37.9)	13,335 (37.5)	11,305 (34.0)	15,648 (36.9)	20,663 (40.0)
	면제	-	19,935 (60.4)	24,613 (66.7)	27,470 (69.4)	30,075 (71.9)	22,295 (62.1)	22,267 (62.5)	21,962 (66.0)	26,723 (63.1)	31,055 (60.0)
	소계	39,982	33,005	36,929	39,609	41,836	35,873	35,602	33,267	42,371	51,717
3호	징수	-	15,243 (38.8)	12,083 (31.5)	12,684 (29.6)	12,934 (28.3)	14,825 (37.3)	14,905 (38.2)	14,924 (36.6)	14,501 (38.9)	16,623 (40.5)
	면제	-	24,022 (61.2)	26,264 (68.5)	30,106 (70.4)	32,766 (71.7)	24,969 (62.7)	24,120 (61.8)	25,812 (63.4)	22,810 (61.1)	24,394 (59.5)
	소계	50,422	39,265	38,348	42,790	45,700	39,794	39,025	40,736	37,312	41,017

단위: 대/일, %

주: 1) 징수시간대인 07:00~21:00 동안 일 평균 통행량(월별교통량/징수일수)임.

2) 1996. 11. 시행전 자료는 손봉수 황기연(2001) 참고.

3) ( ) 안의 값은 징수 및 면제차량의 구성비(%)임.

자료: 서울시 시설관리공단 내부자료.

면제와 징수 통행량 추이는 <그림 2>와 같다. 이를 살펴보면 총 통행량 중 면제차량이 큰 비중을 차지하고 있으며, 징수차량대수의 비율은 감소하고 있는 반면 면제차량은 지속적인 증가를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 특히 2001년 승합차 징수기준이 확대됨에 따라 면제 차량이 두드러지게 감소하였다. 또한 2004년 7월 승용차 요일제 차량에 대해 통행료를 50% 감면하는 제도를 시행함에 따라 징수차량 대수가 증가한 것을 알 수 있다. 이는 승용차 요일제 시행에 따른 통행료 감면이 운전자들에게 남산 1,3호 터널을 선택하는 데 큰 영향을 준 요인으로 판단된다.

남산 1, 3호 터널의 통행 차종별 구성비를 살펴보면 <표 3>와 같은데, 승용차 통과대수는 통행료징수 전에 비해 25.3% 감소한 것으로 나타났다. 그리고 승용차 점유비율은 낮아지고, 버스·택시·화물차 등 면제차종의 점유비율은 지속적으로 증가한 것을 알 수 있다.

<표 3> 남산 1,3호 터널의 통행 차종별 구성비 추이

구분	96.11	97.11	98.11	01.11	02.11	03.11	04.11
계	23,752 (100)	21,960 (100)	23,205 (100)	22,592 (100)	22,841 (100)	22,860 (100)	25,354 (100)
승용차	18,628 (78.4)	13,070 (59.5)	12,260 (52.9)	13,107 (58.0)	12,675 (55.5)	12,741 (55.7)	13,910 (54.9)
버스	792 (3.3)	1,148 (5.2)	1,285 (5.5)	1,174 (5.2)	1,332 (5.8)	1,281 (5.6)	2,222 (8.8)
택시	1,848 (7.8)	4,178 (19.0)	5,759 (24.8)	4,853 (21.5)	5,667 (24.8)	5,135 (22.5)	6,082 (24.0)
화물 승합차	2,484 (10.5)	3,564 (16.3)	3,901 (16.8)	3,458 (15.3)	3,167 (13.9)	3,703 (16.2)	3,140 (12.4)

주 : 1) 매년 11월 2일간 현장조사를 통해 분석된 자료로, <표 1>의 월평균 통행량 자료와는 차이가 있음.  
2) 조사시간은 일일 첩두 4시간(07:00~09:00, 17:00~19:00)임.  
3. ( ) 안의 값은 차종별 구성비(%)임.  
자료 : 서울시 내부자료.

남산 1, 3호 터널의 경우 3인 이상의 다인승 차량(HOV)에 대해 혼잡통행료를 감면해 주고 있다. 승용차 중 3인 이상의 다인승 차량의 비율은 <표4>와 같은데, 혼잡통행료 부과 전 첩두시 5.7%에서 부과 이후인 2004년에는 13.6%로 높아졌으며, 통행량은 시행전 대비 79.5% 증가한 것으로 나타났다. 2001년 4월부터 징수 대상차량이 7인승에서 10인승 이하의 승합차로 확대됨에 따라 시행 6년의 경우 카풀 참여율이 다소 증가했으나, 시행 7년부터는 다시 감소한 것으로 나타났다.

<표 4> 남산 1,3호 터널의 통행 승용차 카풀차량 추이

구분	96.11	97.11	98.11	01.11	02.11	03.11	04.11
계	18,628 (100.0)	11,874 (100.0)	13,068 (100.0)	13,107 (100.0)	12,675 (100.0)	12,741 (100.0)	13,910 (100.0)
2인 이하	17,571 (94.3)	10,470 (80.1)	9,671 (78.9)	10,735 (81.9)	10,130 (79.9)	10,626 (83.4)	12,012 (86.4)
3인 이상	1,057 (5.7)	2,598 (19.9)	2,589 (21.1)	2,372 (18.1)	2,544 (20.1)	2,116 (16.6)	1,898 (13.6)

주 : 1) 조사시간은 일일 첩두 4시간(07:00~09:00, 17:00~19:00)임.  
3. ( ) 안의 값은 구성비(%)임.

자료 : 서울시 내부자료.

## 2. 설명변수

### 1) 실질 혼잡통행료

남산 1, 3호 터널의 혼잡통행료는 1996년 11월 징수 초기부터 지금까지 요금의 변화 없이 2,000원을 징수해왔다. 그러나 금액이 같다고 하더라도 10년 전의 2,000원의 가치는 지금보다는 더 크므로 통행량에 미치는 영향은 같지 않을 것으로 판단된다. 따라서 통행료 2,000원에 소비자 물가지수(2006년 6월=100)를 적용하여 실질 혼잡통행료로 환산하였다.

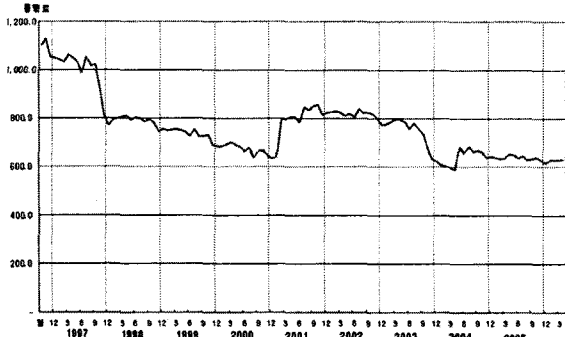
<표 5> 서울시의 혼잡통행료 징수 기준

구분	내용
징수 시간대	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 평일 07:00~21:00</li> <li>• 토요일 07:00~15:00</li> <li>• 일요일, 공휴일은 무료통행</li> </ul>
징수 대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2인 이하의 인원(운전자 포함)이 탑승한 10인승 이하 승용·승합자동차</li> </ul>
면제 차량	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3인 이상 탑승한 승용차</li> <li>• 11인승 이상 승합자동차</li> <li>• 택시, 화물차, 버스, 경형 승합자동차(타운너, 다마스)</li> <li>• 긴급차량, 장애인차량, 외교용차량, 공무용차량</li> </ul>
징수 요금	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2000원(모든 시간대 동일 적용)</li> <li>• 800cc 이하 경승용차 1000원(2003.7.25)</li> <li>• 요일제 참여차량 1000원(2004.7.1)</li> <li>• 정액제(20,000원, 11회), 경차용(10,000원, 11회)</li> </ul>

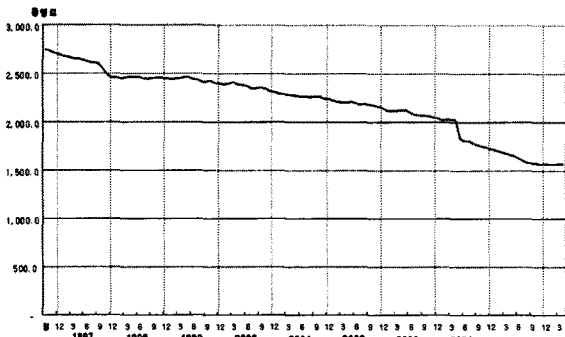
남산 1, 3호 터널의 혼잡통행료는 차종과 결제방법에 따라 5 가지로 나뉘며 징수 기준은 <표 4>와 같다. 현금과 카드로 지불하는 일반 차량이 2,000원, 경차가 50% 할인된 1,000원, 일반 차량에 대해 11장의 쿠폰을 10장의 가격으로 판매하여 9.1% 할인된 가격으로 1,818원, 동일하게 경차에 대한 쿠폰가격은 909원, 3인 이상의 승용·승합차 및 택시·화물차·버스에 대

해서는 무료이다. 이러한 차종별 요금차이를 반영하기 위해 차종별 터널 통행량을 실질 혼잡통행료에 가중하여 구한 혼잡통행료를 설명 변수에 추가하였다.

단일방정식에 사용한 전체 통행량 가중 혼잡통행료의 추이와, 연립방정식 모형에 사용한 유료 통행량 가중 혼잡통행료의 추이는 <그림 3>과 <그림 4>에 나타나 있다.



<그림 3> 전체 통행량 가중 혼잡통행료 추이

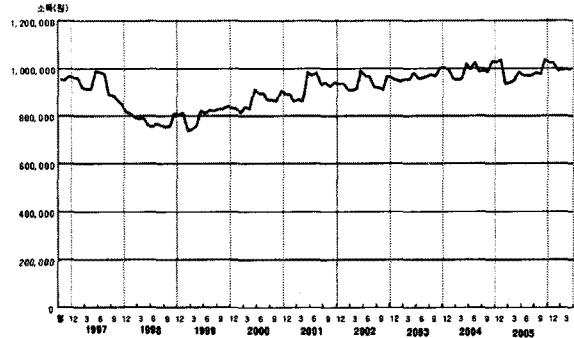


<그림 4> 유료 통행량 가중 혼잡통행료 추이

### 2) 실질 근로자 소득

소득이 증가할 경우 사람들은 자가용을 다양한 용도로 더 자주 사용하는 경향이 있다. 따라서 터널 통행량에 영향을 미치는 변수로서 서울시의 근로자 가구소득을 설정하였다. 근로자 가구소득 자료는 경상소득과 비경상소득을 합한 통계청 가계조사의 소득 자료를 이용하여 이를 소비자 물가지수(2006년 6월=100)로 환산한 후 근로자 가구 평균 구성원 수로 나누어 월별 근로자 가구 일인당 소득 자료로 구축하였다.

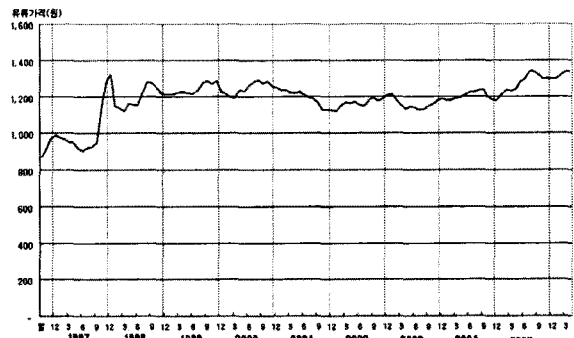
월별 근로자 가구소득의 추이는 <그림 4>와 같은데, IMF시기였던 1997년 전후반을 제외하고 약간씩 증가하다가 변화가 둔화되어 거의 일정한 수준을 유지하고 있다.



<그림 5> 실질 근로자 가구소득 추이

### 3) 실질 유류가격

유류가격은 통행거리와 통행빈도에 영향을 미칠 수 있는 설명변수이다. 유류가격은 우선 서울시의 휘발유, 경유, LPG의 리터당 월별 소매가격<sup>4)</sup>을 각각 취득하고 사용 연료별 자동차 월별 등록대수<sup>5)</sup>를 취득하였다. 그리고 유류가격에 연료별 자동차 등록대수를 가중하여 단일 유류가격을 구한 후, 이를 소비자 물가지수를 반영하여 실질 유류가격 자료를 구축하였다. 실질 유류가격의 변동 추이는 <그림 5>와 같다. 1997년 12월~1998년 3월과 1998년 9월~1998년 10월 기간에 변동이 크게 나타난 것으로 나타났다.



<그림 6> 실질 유류가격 추이(원/ℓ)

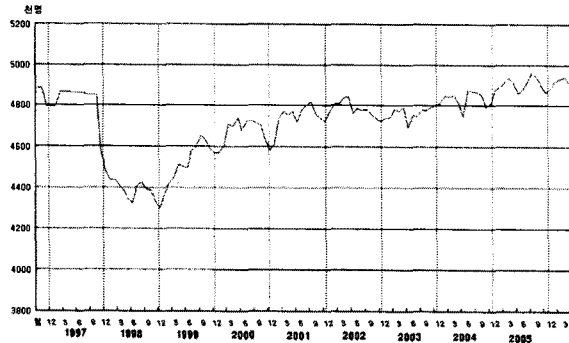
### 4) 취업자수

취업자수는 경제활동에 영향을 미치며 또한 취업자수가 많을수록 업무통행, 통근통행이 증가하므로 취업자수는 경제활동 수준을 대표하는 중요한 변수라 할 수 있다. 따라서 남산 1, 3호 터널의 통행에 영향을 미칠 것으로 판단되는 서울시 취업자수를 통계청의 시도별 경제활동인구조사 자료를 이용하여 구축하였다. 월별

4) 대한석유협회 내부자료([www.petroleum.or.kr](http://www.petroleum.or.kr))

5) 자동차 등록대수 통계월보(한국자동차공업협회, 각 월)

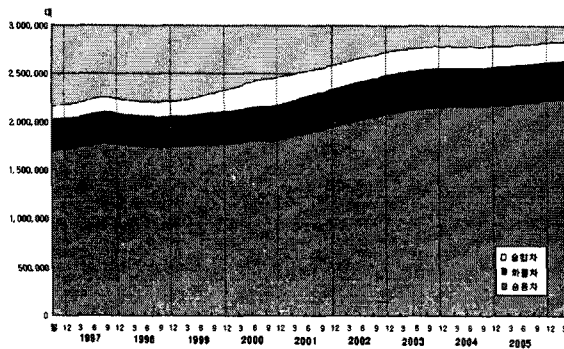
서울시 취업자수 추이는 <그림 7>과 같은데, IMF 기간인 1997년 전후에는 취업자수가 급격히 감소하였으나 최근 5년간 약간씩 증가하는 추세에 있는 것으로 나타났다.



<그림 7> 서울시의 취업자수 추이

### 5) 자동차 등록대수

도로상의 교통량은 서울시의 총 개별차량 등록대수와 직접적인 양의 관계를 가지고 있을 것이다. 따라서 서울시 자동차 등록대수를 설명변수로 추가하였는데, 그 추이는 <그림 8>과 같다.

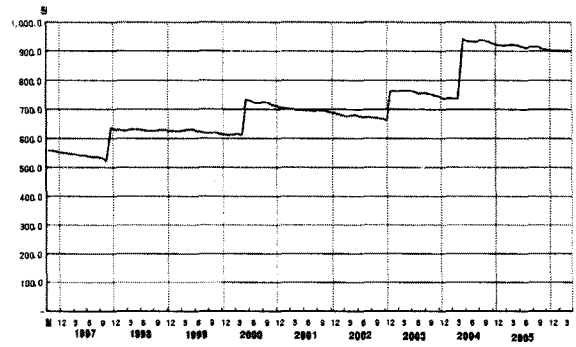


<그림 8> 서울시의 자동차 총 등록대수 추이

### 6) 대중교통 요금

서울의 도심으로 통행하는 많은 통근자들은 자가용 혹은 대중교통을 이용하는 선택을 할 수 있으므로 대중교통 요금을 모형내에 포함하였다. 서울시 버스 운송사업조합 및 지하철 공사 요금자료를 이용하여 기본구간 요금을 소비자 물가지수로 환산하여 구축하였다.

서울시의 버스요금과 지하철 요금은 동일한 시기에 동일한 비율로 인상이 되어 거의 차이가 없어 두 변수간에 다중공선성 문제가 발생하여 하나의 변수를 제거하였는데, 두 변수중 실질 버스 요금을 이용하였다.



<그림 9> 서울시의 실질 대중교통 요금 추이

### 7) 기타 설명변수

남산 1,3호 터널의 통행량에 영향을 미치는 영향에는 사회, 경제적 변수 이외에 주변 교통상황의 변화, 요금 정책의 변화, 경쟁노선의 영향 등이 포함될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 외적인 변화를 반영하기 위해 더미변수를 이용하여 모형 내에 포함시켰는데, 이를 통해 정책 및 주변 상황의 변화에 대한 순수한 영향을 포착할 수 있다. 주요 더미변수에 대한 정의는 아래의 <표 6>와 같다.

<표 6> 모형내에 포함된 주요 더미변수의 정의

더미변수	기간	내용	기대 부호
$\eta^H$	1999.2~	내부 순환로 개통	-
$\eta^{2B}$	1999.2~2001.5	남산 2호 터널 폐쇄	+
$\eta^{cheongae}$	2003.7~2005.9	청계천 복원공사	-
$\eta^{Seq}$	2004.3~2004.5	서울광장 조성공사	-
$\eta^{Car}$	2004.7~	승용차 요일제 할인	+
$\delta^{Jan} \sim \delta^{Nov}$		계절변동	+/-

내부순환로와 남산2호 터널은 분석 대상인 남산 1, 3호 터널과 보완 혹은 대체의 성격을 가지고 있는데 이들의 개통과 폐쇄는 통행량의 변화에 직접적인 영향을 주는 주요한 요소로 고려되었다. 또한 터널의 입출구와 직접적으로 연결된 청계천과 서울광장의 공사 기간 동안에는 통행자들이 우회대체도로를 이용함으로써 통행량의 직접적인 감소가 나타났기 때문에 이를 더미변수로 추가하여 모형에 포함시켰다.

분석의 시간적 범위 내에 “승용차 요일제 참여차량은 터널 혼잡통행료 50% 감면”이라는 징수제도 변화가 있었다. 이 징수제도의 시행은 터널 유료이용자와 우회노선 이용자들의 경로선택에 영향을 주게 될 것이므로 시행에 따른 더미변수를 추가하여 분석함으로써 징수제

도에 따른 영향을 모형내에서 파악할 수 있을 것으로 판단하였다.

또한 시계열 자료의 계절성을 처리하기 위해 월변동 더미변수를 모형에 포함시켰는데, 이는 각 월에 대해 독립적으로 통계적 유의 수준 및 영향을 볼 수 있는 장점을 가지고 있다.

#### IV 모형의 추정결과

##### 1. 모형의 추정결과

최종적으로 도출된 단일방정식모형의 추정 결과는 <표 7>과 같다.

<표 7> 단일방정식 모형의 추정결과

변수	1,3호 터널 총 통행량 합		1호 터널 총 통행량		3호 터널 총 통행량	
	계수 추정치	유의 수준	계수 추정치	유의 수준	계수 추정치	유의 수준
상수	6.880 **	0.000	9.008 **	0.000	3.879 **	0.004
Log(C)	-0.318 **	0.000	-0.359 **	0.000	-0.240 **	0.000
Log(G/I)	0.108 *	0.074	0.197 **	0.014	0.037	0.468
Log(E)	0.920 **	0.000	0.773 **	0.007	0.998 **	0.000
Log(F)	-0.090	0.290	-0.207 *	0.078	0.020	0.777
$\delta^{Jan}$	-0.037 **	0.004	-0.038 **	0.031	-0.036 **	0.001
$\delta^{Aug}$	-0.026 *	0.052	-0.020	0.262	-0.030 **	0.008
$\eta^H$	-0.013	0.505	0.012	0.636	-0.033 **	0.047
$\eta^{2B}$	0.061 **	0.000	0.038 **	0.033	0.085 **	0.000
$\eta^{cheongae}$	-0.066 **	0.000	-0.127 **	0.000	-0.006	0.550
$\eta^{Seq}$	-0.054 **	0.045	-0.023	0.520	-0.076 **	0.001
$\eta^{Car}$	0.093 **	0.000	0.277 **	0.000	-0.085 **	0.000
$\bar{R}^2$	0.802		0.862		0.714	
F-value	43.477		66.298		27.095	
F-sig.	0.000		0.000		0.000	

주: \*\*과 \*은 각각 0.05 및 0.10 수준에서 유의함을 의미함.

1, 3호 터널 총 통행량에 대한 모형과 남산 1호 터널, 3호 터널 통행량의 모형은 모두 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. F-통계량에 대한 유의수준은 모든 경우에 있어서 0.000 이하로 “추정된 모형이 의미 없다”는 귀무가설을 기각하게 되므로 추정된 모형은 유의한 것을 알 수 있다. 모형의 설명력을 나타내는 조정된 결정계수( $R^2$ )의 범위는 최소 0.71~0.86으로 나타났다. 이를 바꿔 말하면 모형 내에 포함된 독립변수들에 의해 자동차 통행에 대한 변동의 약 71%~86%가 설명되어 질 수 있다는 것이다. 모형의 전반적인 통계적 신뢰도는 Hirschmann et al.(1995)의 뉴욕 터널과 교량의

의 분석 결과( $R^2$ : 0.70~0.96)와 Loo(2003)의 홍콩 터널과 교량의 분석결과( $R^2$ : 0.83~0.97)와 비교할 때 비슷하거나 약간 낮은 것으로 나타났다.

또한 유료 징수 통행량과 면제통행량으로 구분하여 추정된 연립방정식 모형의 결과는 <표 8>에 정리하였는데,  $R^2$ 의 범위는 유료통행과 면제통행에 대해 각각 0.805, 0.753으로 비교적 높은 설명력을 보이는 것으로 나타났다.

<표 8> 연립방정식 모형의 추정결과

변수	유료 통행량		면제 통행량	
	계수추정치	유의수준	계수추정치	유의수준
상수	3.323	0.457	6.566 **	0.006
LOG(C)	-0.333 *	0.100		
LOG(G)	0.113	0.180	0.113	0.180
LOG(I)	0.729 **	0.000	-0.418 **	0.000
LOG(V)	0.089	0.660	0.605 **	0.000
LOG(F)	-0.405 **	0.003	0.056	0.631
$\delta^{Jan}$	-0.120 **	0.000	-0.022	0.314
$\delta^{Feb}$	-0.087 **	0.000	0.005	0.821
$\delta^{Mar}$	-0.042 *	0.092	0.005	0.811
$\delta^{Apr}$	0.008	0.733	-0.027	0.217
$\delta^{May}$	0.005	0.823	-0.036	0.103
$\delta^{June}$	-0.023	0.335	-0.014	0.524
$\delta^{July}$	-0.051 **	0.044	-0.014	0.539
$\delta^{Aug}$	-0.076 **	0.002	-0.025	0.259
$\delta^{Sep}$	0.007	0.770	-0.007	0.752
$\delta^{Oct}$	0.000	0.983	0.003	0.872
$\delta^{Nov}$	0.000	0.979	-0.011	0.594
$\eta^H$	0.008	0.807	-0.065 **	0.038
$\eta^{2B}$	-0.035	0.184	0.214 **	0.000
$\eta^{cheongae}$	-0.112 **	0.000	-0.029 *	0.070
$\eta^{Seq}$	-0.168 **	0.000	0.096 **	0.004
$\eta^{Car}$	0.213 **	0.000	0.066 **	0.025
$\bar{R}^2$	0.805		0.753	

주: \*\*과 \*은 각각 0.05 및 0.10 수준에서 유의함을 의미함.

단일방정식 모형과 연립방정식 모형 모두에서 실질 유류가격과 대중교통요금의 영향은 주요한 설명변수가 아닌 것으로 나타났다. 두 변수 모두 추정된 계수의 기대부호는 반대였으며, 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 취업자수와 소득의 경우 추정된 계수값의 기대부호는 양(+)의 값을 가지는 것으로 나타났고, 유의수준도 0.01수준에서 매우 유의한 것으로 나타났다.

연립방정식 모형의 추정된 값에서 주목할 만한 점은 소득에 대한 계수 추정치의 값이다. 연립방정식 모형으로 추정한 결과에서 유료징수와 면제통행량의 모형 모두 0.01 수준의 신



뢰구간에서 유의한 것으로 나타났다. 유료징수 통행량의 식에서 소득에 대한 탄력성이 0.7291, 면제통행량에서 -0.4183으로 각각 추정되었는데, 추정된 계수값의 부호는 서로 반대로 나타났다. 추정된 계수값의 의미는 소득이 10% 증가할 경우 유료통행량은 7.3% 증가하지만, 면제통행량은 4.2% 감소한다는 것을 의미한다. 실제 소득의 변화는 터널의 통행량에 영향을 미치는 요소임을 알 수 있다. 사람들의 소득이 증가하게 되면 그들의 시간가치는 더욱 높아지게 되고, 따라서 시간을 절약하기 위해서 통행료를 지불하고서라도 혼잡이 덜한 남산 1, 3호 터널을 선택할 것이다. 또한 소득이 감소할 경우 면제통행량은 증가하게 되는데, 통행자의 소득 내에서 통행료가 차지하는 비중은 크지 않지만 소득의 감소로 통행에 부담을 느끼게 되므로 3인 이상의 카풀 혹은 대중교통이나 택시로 전환하게 된다는 것을 추정된 계수값을 통해 알 수 있다.

계절변동에 대한 영향을 살펴보면 1월과 8월에 대해 계수값이 음의 값을 가지는 것으로 분석되었는데, 이는 이 기간동안의 휴가기간이기 때문인 것으로 판단된다. 1월과 8월을 제외한 나머지 월변동에 대한 값은 통계적으로 유의하지 않게 나타났는데 터널의 통행량에 대한 계절적 변동이 통계적으로 신뢰할 수 있는 결과를 산출하려면 더욱 긴 시계열 자료가 필요하다고 판단할 수 있다. 또한 유료통행량이 계절적 요인을 더 많이 받는 것을 추정된 모형을 통해 알 수 있다.

경쟁노선인 내부순환로의 개통과 남산 2호 터널의 폐쇄에 따른 더미변수는 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며 기대부호도 일치하는 것을 알 수 있다. 특히 이 변수들은 면제통행량에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다. 청계천 복원과 서울광장 조성에 따라 통행량은 감소하였기 때문에 기대부호 역시 음(-)의 값으로 나타났다. 자동차 요일제 차량 감면의 영향은 양(+)의 값으로 기대부호와 일치하고 추정된 계수값 자체도 유의한 것으로 나타났다.

## 2. 탄력성의 추정결과

실질 터널 통행료의 탄력성은 모두 통계적으로 매우 유의한 것으로 나타났으며 비탄력적으로 나타났다. 단일방정식에서 추정된 탄력성의 범위는 각각 -0.24 ~ -0.35로 나타났으며, 연

립방정식 모형을 이용하여 유료 통행량과 면제 통행량을 구분하여 결합 추정된 결과에서도 통행료에 대한 수요탄력성은 -0.33으로 단일식으로 추정된 결과와 유사하게 나타났다.

추정된 통행료의 탄력성 범위는 -0.24 ~ -0.36로 Oum et al.(1992)에 의해 관측된 미국(-0.13~-0.45), 영국(-0.14~-0.36), 호주(-0.09~-0.52)의 결과와 유사하며, Hirschman et al.(1995)의 뉴욕(-0.13~-0.50) 결과와 Loo (2003)의 홍콩(-0.10~-0.29) 결과와도 유사하게 나타났다. 국가나 장소에 따라 그 탄력성에 대한 근본적인 이유는 다르지만 통행료 탄력성은 여러 나라에서 모두 일관적으로 낮은 것을 알 수 있다. 본 연구에서 도출한 통행료 탄력성의 의미는 통행료가 10% 인상될 경우 남산 1, 3호 터널의 전체 통행량이 3.1% 감소할 것이며, 남산 1, 3호 터널의 유료통행량이 3.3% 감소할 것이라는 의미이다.

## V 결론

본 연구에서는 이중대수함수형태의 단일방정식을 설정하여 남산 1, 3호 터널 전체와 각각의 통행량에 대해 통상최소자승법(OLS)을 이용하여 혼잡통행료의 탄력성을 추정하였다. 또한 혼잡통행료 징수 차량과 면제차량을 분리하여 연립방정식 모형을 설정한 후 반복결합일반화 최소자승법(SUR)으로 결합 추정하였다. 추정된 모형의 설명력은 비교적 높은 것으로 나타났으며, 유류가격과 대중교통요금을 제외한 대부분의 설명변수 추정값은 기대부호와 일치하였고 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

추정된 탄력성 결과는 -0.24 ~ -0.36으로 매우 비탄력적으로 나타났으며, 이는 해외 여러 선행연구들과 유사하게 나타났다. 남산 1, 3호 터널의 혼잡통행료 탄력성의 결과가 낮다는 사실로 볼 때, 혼잡통행료 인상은 통행료 징수로 인한 수입증가에는 효과적일 수 있지만, 교통계획의 목적에서 자동차 통행의 감소나 분산에 있어서는 효과적이지 않다는 정책적 시사점을 가질 수 있다.

혼잡통행료 징수제도의 확대시행시 본 연구 결과를 적용할 경우 추가로 고려해야할 몇가지 사항이 있다.

첫째로 연구에서 도출한 혼잡통행료의 탄력성은 물가상승률을 고려한 통행요금의 작은 비율 변화를 통해 추정된 결과이므로 비탄력적일 수

있다. 하지만 혼잡통행료를 두 배 혹은 세 배 씩 크게 인상할 경우 탄력성은 커질 것이다.

둘째로 본 연구에서 도출된 탄력성은 단일 수요곡선에서 도출된 하나의 호 탄력성이다. 이는 단기탄력성으로 볼 수 있는데 장기적으로 볼 경우 더욱 비탄력적일 수 있다.

마지막으로 혼잡통행료의 탄력성은 대안노선에 크게 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 남산 1, 3호 터널과 같이 단일 노선에 대해서 징수하지 않고 도심 전체 코든라인에 대해 확대 시행할 경우 이에 대한 추가적인 고려가 필요할 것이다.

#### 참고문헌

1. 남준우·이한식(2002), "계량경제학 이론과 응용", 홍문사.
2. 서울특별시(각 연도), "서울통계연보".
3. 손봉수·황기연(2001), "서울시 혼잡통행료 징수체계 보완 연구", 서울시정개발연구원.
4. 송일호·정우수(2002), "계량경제실증분석", 삼영사.
5. 이병락 역(2004), "계량경제학", 시그마프레스.
6. 이홍재 외(2005), "Eviews를 이용한 금융경제 시계열 분석", 경문사.
7. 장택영(1997), "지하철 수요탄력성에 관한 연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.
8. 조은경(2006), "혼잡통행료 부과방안의 효율성과 형평성 분석", 서울대학교 박사학위논문.
9. 한국자동차공업협회(각 월), "자동차 등록대수 통계월보".
10. 황기연(1998), "서울시 교통혼잡관리 프로그램 실행을 위한 교통수요효과 분석체계의 구축", 서울시정개발연구원.
11. Cain, A., M. W. Burris and R. M. Pendyala (2001), "Impact of Variable Pricing on Temporal Distribution of Travel Demand", *Transportation Research Record*, Vol. 1747, pp. 36-43.
12. Gifford, J. L. and S. W. Talkington(1996), "Demand Elasticity under Time-Varying Prices: Case study of Day-of-Week Varying Tolls on Golden Gate Bridge", *Transportation Research Record*, Vol. 1558, pp. 55-59.
13. Goodwin, P. B.(1992), "A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 26, pp. 155-170.
14. Harvey, G.(1994), "Transportation Pricing Behavior, Curbing Gridlock: Peak-Period Fees to Relieve Traffic Congestion", *Transportation Research Board, Special Report Vol. 242*, pp. 89-114.
15. Hirschman, I., C. McKnight, J. Pucher, R. E. Paaswell and J. Berechman(1995), "Bridge and Tunnel Toll Elasticities in New York: Some Recent Evidence", *Transportation*, Vol. 22, pp. 97-113.
16. Hirschman, I., J. Pucher and K. Baker(1993), "Factors Affecting Motor Vehicle Travel into New York City's CBD", *Transportation Quarterly*, Vol. 47, pp. 61-77.
17. Ison, S. and T. Rye(2005), "Implementing Road User Charging: The Lessons Learnt from Hong Kong, Cambridge, and Central London", *Transport Reviews*, Vol. 25, pp. 451-466.
18. Jones, P.(1992), "Restraining Car Traffic in European Cities: An Emerging Role for Road Pricing", *Transportation Research A*, Vol. 26A, pp. 133-145.
19. Litman, T.(2006), "Transportation Elasticities: How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior", *Victoria Transport Policy Institute*.
20. Loo, B. P. Y.(2003), "Tunnel Traffic and Toll Elasticities in Hong Kong: Some Recent Evidence for International Comparisons", *Environment and Planning A*, Vol.35, pp. 249-276.
21. Matas, A. and J. Raymond(2003), "Demand Elasticity on Tolloed Motorways", *Journal of Transportation and Statistics* Vol. 6, pp. 91-108.
22. Oum, T. H. (1989), "Alternative Demand Models and Their Elasticity Estimates", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 13, pp. 163-187.
23. Oum, T. H., W. G. Waters II and J. S. Yong(1992), "Concepts of Price Elasticities of Transport Demand and Recent Empirical Estimates: An Interpretative Survey", *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 26, pp. 139-154.
24. Wuestefeld, N. H. and E. J. Regan III(1981), "Impact of Rate Increases on Toll Facilities", *Traffic Quarterly*, Vol. 35, pp. 639-655.