

혼잡통행료 징수 정책의 동태성과 효과분석

A study for the Dynamics of the Congestion Toll Policy and It's Effectiveness

최 남 희

(국립청주과학대학 행정전산학과/drnhchoi@cjnc.ac.kr)

Abstract

Traffic congestion stems from the widespread desires of people to pursue certain goals that inevitably overload existing roads every day. As a transportation policy, congestion toll system has been implemented in Seoul, since 1996. The growing concerns on whether the system would achieve sustained results in the future motivated us to investigate the effectiveness of this policy. Developing and running the congestion toll simulation model, we find that this policy is not an effective policy in the long run. The paper indicates the power of system dynamics approach as a tool for evaluating complex policy like a congestion toll, and suggest that city transportation policy maker should approach the problem with systems thinking and analyze the effectiveness of policy on the basis of understanding the dynamic relationships among subsystems.

Keywords : Tunnel, Congestion toll, Traffic volume, Travel cost

I. 서론

도시문제의 특성은 그 문제를 구성하는 관련된 변수들의 수가 많고(infinite), 계량화하기 곤란한 메타문제(meta problem)라는데 있다. 도시정책의 실패 가능성이 높아지는 이유는 정책결정 과정에서 이러한 특성을 갖는 정책문제와 문제를 구성하는 변수들 간 관계의 복잡성에 대한 잘못된 시각과 이해에서 시작되는 경우가 많다. 문제를 잘 못 이해하는 대표적인 시각은 하나의 원인이하나의 결과를 가져오며 인과관계의 방향이 일방향이라는 시각, 그리고 문제의 범위를 너무 좁거나 넓게 보는 시각이라고 할 수 있다.

정책결정자가 정책문제를 진단하는 과정에서 발생한 문제인식의 오류는 정책목표의 설정과 대안분석으로 이어지고, 여기에서 채택된 정책의 집행은 정책목표를 효과적으로 달성하지 못할 것이다. 잘못된 정책은 할당된 자원의 낭비와 시민의 불만만을 초래하고, 정책문제는 계속해서 악순환 고리를 이어가게 된다. 주택, 부동산, 교통, 환경문제 등과 같은 많은 도시문제들이 해결되지 못하고 오히려 악화되고 있는 것은 정책수단들이 문제의 범위와 다수의 요인들이 상호작용 하는 동태성을 제대로 반영하고 있지 않거나 정책목표가 잘못 설정되었다고 할 수 있다(Forrester, 1969:6-14; Alfeld & Graham, 1976:1-5).

정책이 달성하고자 하는 목표를 얼마나 효과적으로 달성하였는가를 분석하는 정책평가는 정책목표가 얼마나 잘 충족되었는가를 알려주기도 하고, 성공과 실패의 원인이나 정책수정을 위한 정보를 제공하는 등의 기능을 갖는다(Nachmias, 1979:10-20). 그러나 정책평가가 갖는 이러한 기능들이 실제적으로 이루어지는 정책평가에서는 제대로 달성되지 못하고 있는데, 그것은 단선적인 사고와 정태적, 선형적인 평가모형에 의존하기 때문이라고 할 수 있다.

그렇다면, 단선적인 사고와 정태적, 선형적인 정책평가를 어떻게 극복할 것인가? 여기에 대한 해답은 용이하지 않다. 그러나, 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 기법에서의 시스템 사고와 시뮬레이션 모델링을 이용한 정책평가 방법이 하나의 방법론적 대안이 될 수 있을 것이다(Richmond, 1993:113-133; Arthur, 1990:92-99). 본 논문은 정책평가에 대한 새로운 접근으로서 시스템 다이내믹스라는 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 활용하고자 하였으며, 본 논문의 연구목적은 먼저 시스템 다이내믹스라는 컴퓨터 시뮬레이션 기법의 논리적 구조와 분석과정을 통해 정책평가 모형을 설계하고, 이 모형에 따라 시뮬레이션을 수행함으로써 실증적으로 정책평가 결과를 얻고자 하였다.¹⁾

실증분석을 위한 정책사례는 1996년부터 시행되고 있는 서울시 남산 1,3호 터널에 대한

1) 우리나라에서 시스템 다이내믹스 기법의 정책분석 도구로서의 유용성은 이미 논의된 바 있다(김도훈, 1994; 김도훈 외, 1999; 문태훈, 2002; 최남희, 2003).

혼잡통행료 징수 정책을 대상으로 하였다. 서울시의 남산터널에 대한 혼잡통행료 징수는 그 효과를 두고 정책 당국, 시민단체, 학자들 간에 평가가 엇갈리고 있으나 본 논문에서의 정책평가의 초점은 혼잡통행료 징수와 관련된 변수들을 인과순환적 피드백 구조로 나타내고, 이 정책이 당초 예상한 정책목표를 얼마나 달성하고 있는지를 시뮬레이션 모형을 통해 분석하였으며, 만약 이 정책이 당초의 목표를 달성하는데 성공적이지 못하였다면 그 이유는 주로 어디에서 기인하는지를 발견하는데 있다.

II. 혼잡통행료 징수 관련 이론과 정책개요

1. 혼잡통행료의 개념과 이론

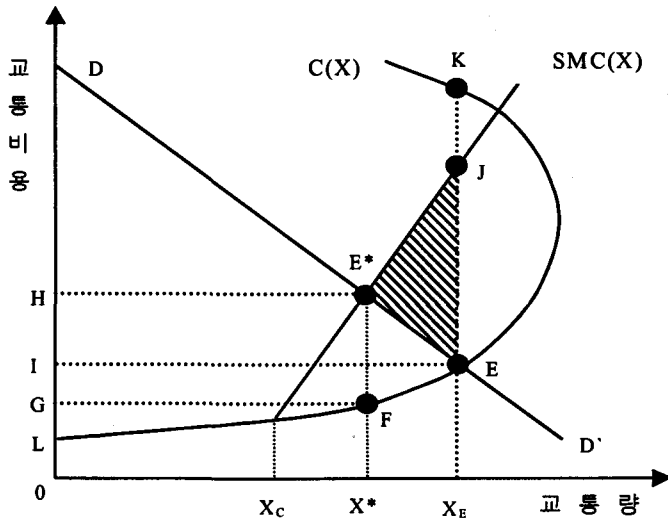
혼잡통행료 징수제도는 교통혼잡 유발 원인자에게 통행료를 부과하여 불요불급한 차량의 통행을 억제 시키는 교통수요 억제대책의 일환이라고 혼잡통행료는 혼잡세의 일환으로 부과되는 것이다.²⁾ 혼잡세는 근본적으로 수요와 공급의 균형이론에 입각하여 사회적 편익을 극대화 시키고 동시에 이용자 개인의 관점보다는 시스템 전체를 최적화시키기 위한 수단으로 사용된다. 특히, 도로 등의 교통시설과 같은 공공재의 경우에는 혼잡으로 인한 사회적 한계비용이 개인이 부담하는 평균가변비용을 초과하고, 이러한 사회적 비용을 이용자에게 내재화하는 것이 곤란하여 그에 따라 외부불경제가 초래되기 때문에 사회적 편익을 극대화시키기 위해서는 정부의 개입이 필요하고 이러한 개입 수단이 바로 혼잡세이다. 즉, 혼잡세인 혼잡통행료를 징수하여 운전자의 평균가변비용을 높이는 반면, 이를 통해 교통수요를 감소시킴으로써 사회적 한계비용을 낮추어 궁극적으로는 사회적 한계비용과 이용자의 평균가변비용, 혼잡통행료의 합이 동일한 수준을 유지하도록 하여 외부불경제가 해소될 수 있도록 한다는 것이다.

혼잡통행료의 이론적 의미를 좀더 자세하게 설명하면 다음과 같다. 도로상에서 발생하는 혼잡악화에 의한 교통비용(연료소모, 시간비용 등)의 증가는 이용자 서로 간에 발생하는 외부불경제이고, 이러한 외부불경제에 의한 사회적 손실이 이용자에게 적정하게 부담되지 않기 때문에 교통량은 사회적으로 볼 때 과잉이 되고, 그 결과 혼잡의 정도도 커지게 된다.

앞의 그림에서 교통량이 XC 를 초과하게 되면 혼잡으로 인해 사적 교통비용 $C(x)$ 이 증가함과 동시에 사회적 한계비용 $SMC(x)$ 가 사적비용을 초과하는 상태가 나타난다. 이론적으로 혼잡통행료는 이러한 상황에서 혼잡악화의 외부불경제($E \cdot F$) 만큼의 혼잡요금을 부과하

2) 서울시시설관리공단 홈페이지의 혼잡통행료 개요에 대한 설명 자료(<http://www.sisul.or.kr>)

여, 사회적 편익의 크기(E^*JE)를 증대시키게 된다. 결국 혼잡통행료는 이용자에게는 비용부담을 증가($I0$ 에서 HO)시켜 승용차 이용을 억제하는 동시에, 요금을 부과하는 사업자는 요금수입을 올려 이를 교통사업에 투자할 수 있게 되는 것이다(홍갑선·이용상, 1992: 45-59).



[그림 1] 혼잡요금의 경제학

그러나 이러한 이론에 입각한 혼잡세의 문제는 한계비용과 평균비용 차이에 의해 얼마만큼의 혼잡세를 계산하여 징수할 것인가를 결정하는 것이 곤란하다는데 있다. 왜냐하면 교통량이 도로용량에 근접하거나 초과할 경우 한계비용이 무한대로 증대되기 때문이다. 또한, 징수된 혼잡세를 사용하여 교통부문에서의 소득재분배를 달성하려는 정책적 노력이 결여될 경우에는 결국 도로 이용자 누구의 편익도 증대되지 못하는 상황이 발생하게 된다는 것이다(김경철, 1993:46-50; 황기연, 1998:8-10; 손봉수, 2001: 17-29).

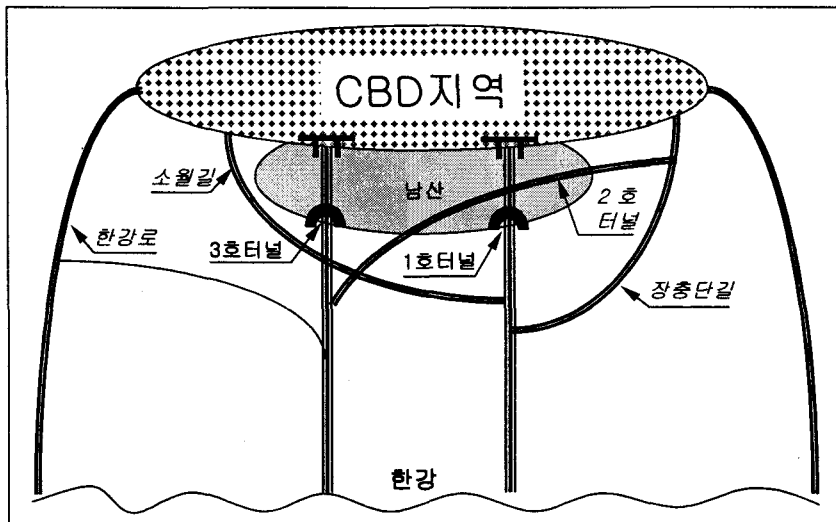
서울시는 이러한 경제학의 이론적 근거에 입각하여 혼잡통행료를 남산 1,3호 터널을 통과하는 승용차에 부과하여 차량통행을 줄이고자 했으며, 동시에 적자버스노선에 투입될 재원을 마련하고자 하였다고 볼 수 있다(서울시 교통관리사업소, 1997).

2. 혼잡통행료 징수 정책의 개요와 근거

서울시 혼잡통행료 징수 정책은 도심으로 진입하는 차량통행을 억제하기 위하여, 1996

년 11월 11일부터 시작되었다. 서울시의 혼잡통행료 징수 정책은 승용차 10부제도입, 서울시 전역 주차장의 유료화, 시 공무원의 출퇴근 시차제, 버스전용차선제 확대, 버스노선개편 및 고급화 등 다양한 정책대안 중의 하나였다. 혼잡통행료는 남산 1, 3호 터널을 통과하는 2인 이하가 탑승한 승용차에 대하여 공휴일과 일요일을 제외하고 2천원의 혼잡통행료를 매일 오전 7시부터 오후 9시까지(토요일은 오후 3시까지) 양방향에서 징수해오고 있다. 면제차량은 3인 이상이 승차한 모든 차량, 화물차, 택시, 버스, 11인승 이상 승합차, 경형승합차, 2인승 승용경화물형 승용차, 그리고 긴급, 장애인, 보도용승용차 등이다. 3)

서울시가 남산터널에서 혼잡통행료를 징수할 수 있는 법적 근거는 도시교통정비촉진법 제17조(혼잡통행료의 부과·징수 등)에 근거하고 있으며, 이 법 17조 1항에서 “시장은 통행 속도 또는 교차로 지체시간 등을 고려하여 대통령령이 정하는 바에 따라 혼잡통행료 부과 지역을 지정하고, 일정시간대에 혼잡통행료 부과지역으로 들어가는 자동차에 대하여 혼잡통행료를 부과·징수할 수 있다”고 규정하고 있다. 또한, 서울시에서는 위의 법 시행령(제32조)의 규정에 의하여 이 법에 근거하여 혼잡통행료의 부과·징수에 관하여 위임된 사항과 그 시행에 필요한 사항을 서울특별시혼잡통행료징수조례(1996년10월5일 조례 제3,339호로 제정,2002년 9월 12일 개정)에서 정하고 있다.



[그림 2] 남산 1,3호 터널 및 우회도로망

3) 2001년 4월 1일부터는 서울특별시 혼잡통행료징수조례 개정에 따라 징수대상 차량이 10인승 이하 승용차 또는 승합차까지 확대되었다.

한편, 도시교통촉진법에서는 시장이 혼잡통행료를 징수할 수 있는 혼잡통행료부과지역으로 지정하고자 할 때에는 우회도로의 확보, 대체교통수단의 확충, 교통지체를 최소화할 수 있는 징수방식에 대하여 고려하여야 한다고 규정하고 있다. 그러나 서울시의 혼잡통행료 징수방식은 싱가포르의 경우처럼 통과하는 차량이 정지할 필요가 없는 전자 번호판이나 스마트카드 같은 전자징수방식이 아니고, 현재까지는 수동방식에 의하여 이루어지고 있다.

혼잡통행료를 징수하는 남산 1, 3호 터널은 서울의 CBD지역으로 진입하는 관문으로서 만약, 승용차 등의 이용자가 혼잡통행료를 내지 않기 위하여 터널을 우회하고자 할 경우 대안으로 이용할 수 있는 우회도로는 한강로, 소월길, 2호터널, 장충단길 등 4개 노선의 도로가 주요 우회도로라고 할 수 있다.

서울시의 혼잡통행료 징수 정책 도입 당시의 교통 혼잡 수준은 아래의 표에 나타난 좌와 같이 도심지역의 평균주행 속도의 변화를 통해서 살펴볼 수 있는데, 1980년대 만해도 30km/h를 넘었으나 1996년의 경우는 16.44km/h로서 차량운행포기 속도인 10km/h에 점점 더 육박하고 있음을 알 수 있다. 또한, 혼잡통행료 징수 정책 도입 당시의 서울시 도로율과 자동차수 증가 추이를 보면 도로율의 증가는 매우 미미하나 자동차의 증가는 매우 빠르게 증가하고 있었다.

[표 1] 혼잡통행료 징수 정책 도입 당시의 서울시 도심평균 주행속도

년도	1980년	1984년	1988년	1992년	1996년
주행속도(km/h)	30.8	25.2	20.5	19.28	16.44

자료: 중앙일보, 1997년 7월 15일자.

[표 2] 혼잡통행료 징수 정책 도입 당시의 서울시 도로율과 자동차 수 증가 추이

구분	1983년	1988년	1990년	1992년	1995년
도로율(%)	15.66	17.82	18.32	18.96	19.85
자동차(천대)	315	779	1,194	1,563	2,043

자료: 황기연. (1997). 서울시 교통정책방향(서울시공무원교육원 교육자료).

서울시에서 승용차 운전자의 반대에도 불구하고, 혼잡통행료를 징수하게 된 이유는 위험수위를 넘어선 서울의 교통난을 더 이상의 교통시설 투자만으로는 해결하기가 곤란하다는 분석에 따라 교통수요를 억제함으로써 교통량을 줄이기 위한 것이었다(중앙일보, 96년 5월 13일자).⁴⁾ 서울시에서 발표한 혼잡통행료 징수 정책의 구체적인 목표는 현재 터널이용 교

통량의 15%를 줄이고, 징수된 통행료는 대중교통수단의 개선을 위해 투자하는 것이다.^{5) 6)}

Ⅲ. 혼잡통행료 정책평가를 위한 시뮬레이션 모델 구축

1. 정책평가의 초점

본 논문은 시스템 다이내믹스라는 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 통해 서울시의 혼잡통행료 징수정책을 평가하고자한 논문이다. 본 논문에서는 혼잡통행료 징수 정책평가의 목적을 극대화하기 위하여 다음과 같은 세 가지 사항에 분석의 초점을 두었다.

첫째, 혼잡통행료 징수와 관련된 문제의 동태적 특성을 정책평가에 반영하기 위하여 보다 실제적인 사고에 입각하여 터널이용(교통량, 비용)과 우회도로 이용(교통량 비용) 간의 상호작용 관계를 인과순환적 피드백 구조로 나타내어 혼잡통행료 징수 정책의 효과에 영향을 미치는 변수들 간의 복잡한 관계를 이해하고자 하였다.

둘째, 혼잡통행료 징수정책의 효과를 파악하기 위하여 혼잡통행료 징수정책 집행 이후의 터널통행량과 우회도로 교통량이 어떻게 변화하고 있는가를 시스템의 행태라는 측면에서 분석, 관찰하고자 하였다. 이러한 분석결과를 근거로 당초 서울시에서 목표로 했던 15%의 교통량 감소를 가져왔다고 할 수 있는가에 대하여 검토하고자 하였다?

셋째, 혼잡통행료 징수정책 집행 이후의 터널과 우회도로의 교통량 변화 행태가 주로 시스템의 어떠한 피드백 구조에서 기인하는가를 살펴보고 이를 토대로 시스템 행태를 변화시키기 위한 구조조정과 파라미터 조정 차원에서의 정책 수정 방향을 살펴보았다.

2. 혼잡통행료 징수의 인과지도와 스톱/플로우 다이어그램

[그림 3]은 터널에서 혼잡통행료를 징수하는 정책을 시행했을 경우에 나타나는 터널과

4) 서울시의 남산터널에 대한 2000원의 혼잡통행료 징수는 수요의 가격탄력성이 낮기 때문에 낮은 수준의 담배 값 인상처럼 거의 효과가 없을 수밖에 없다는 지적을 하는 경우도 있다

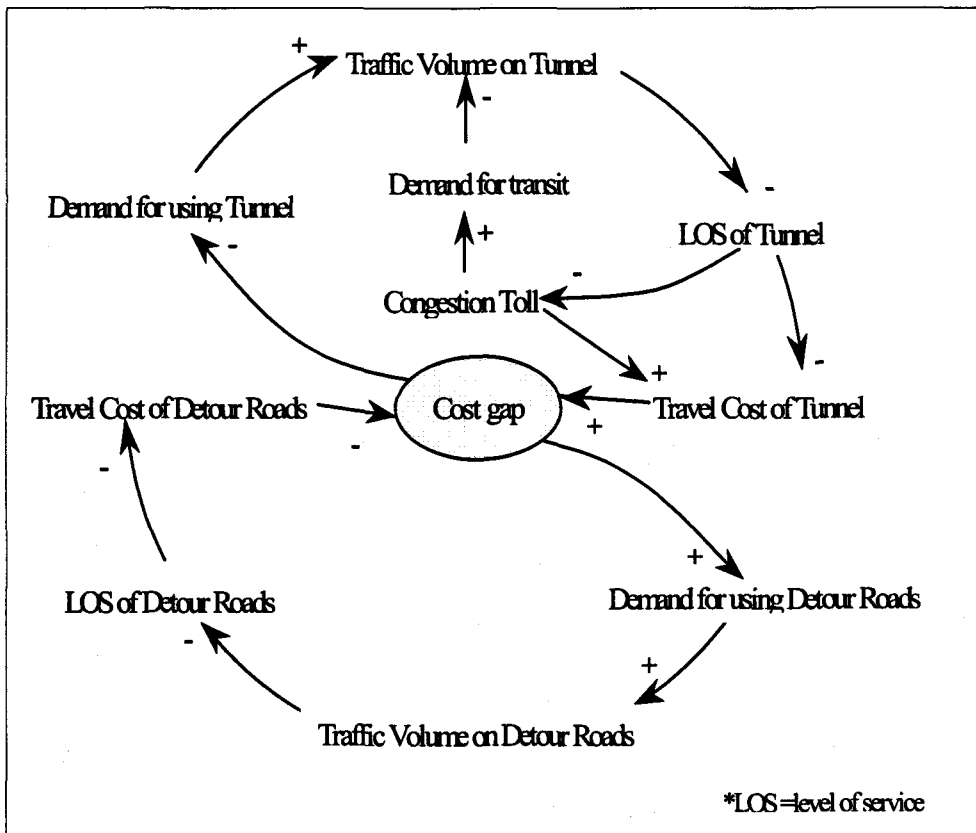
(조현수, <http://www.ptuniv.ac.kr/~chs/column/칼럼17.hwp>).

5) 징수된 통행료(월평균 14억원 정도)는 교통사업특별회계로 적립되나 이 당시 서울시에서 밝힌 통행료 수입의 사용처는 혼잡통행료 지역의 대중교통 수단 개선이 아니고 적자를 핑계로 운행이 정지된 시내버스 5개노선에 투입될 공영버스 1백대를 운행하는데 사용된다는 것이었다(중앙일보, 97년 6월 25 일자).

6) 혼잡통행료 징수의 효과들로서는 주요정책지역의 혼잡완화로 통행시간, 통행비용과 통행불편의 감소, 카풀의 증가, 대중교통이용의 증대, 불필요한 통행감소, 대기오염 및 에너지 소비의 감소, 차량소음 감소, 정체로인한 지체비용 감소, 교통수요의 파악 및 예측 가능 등이 있다(김경철, 1993:56).

우회도로 등 관련 교통시스템 내에서의 관련 변수 간 상호작용 관계를 인과지도로 표현해 놓은 것이다. 혼잡통행료 징수를 관련 교통체계를 반영하여 구조화하기 위해서는 터널 교통량(traffic volume)과 용량(tunnel road capacity), 우회도로의 교통량(detour roads traffic volume)과 도로용량(detour roads capacity), 터널과 우회도로의 통행서비스수준(Level of Service= $\text{volume}/\text{capacity}$), 혼잡통행료·시간비용·연료소모비용 등을 모두 고려한 터널과 우회도로의 통행비용(travel cost), 터널과 우회도로 통행비용의 차이(cost gap), 대중교통으로의 전환수요 등과 같은 다수의 관련 변수들을 고려할 수 있다.

터널에서 통행료를 징수하게 되면 이는 터널 이용자의 통행비용을 증가시킨다. 따라서 터널에서의 혼잡통행료를 지불하지 않으려는 운전자가 우회도로를 이용하려는 의사결정을 하게 되어 터널과 우회도로는 통행료 징수 이전과는 달리 하나의 시스템으로 통합된다.



[그림 3] 혼잡통행료 징수정책 평가를 위한 인과지도

인과순환적인 피드백 루프로 만들어진 [그림 3]의 인과지도는 다음과 같이 해석될 수 있다.

첫째, 시스템 내에서 터널의 통행량 증가는 터널의 서비스 수준을 떨어뜨리고⁷⁾, 터널의 서비스 수준 감소는 다시 통행비용(통행료와 시간비용)의 증가(반대로 터널의 서비스 수준이 증가하면 통행비용의 감소)를 가져와 승용차 이용자로 하여금 우회도로의 통행의 수요를 증가시킨다. 물론, 이 경우에 운전자는 우회도로의 통행비용과 터널의 통행비용 간의 차이를 파악하여 의사를 결정할 것으로 본다. 그러나 이 경우 우회도로와 터널의 혼잡에 의해서 달라지는 통행비용 차이에 대한 운전자의 인식이 의사결정에 영향을 미치지까지는 정보의 흐름에 시간 지연(delay)이 나타날 것이다.

둘째, 우회도로의 통행수요 증대는 우회도로의 통행량 증가를 가져오고, 우회도로의 통행량 증가로 우회도로의 서비스수준이 떨어지면 이는 우회도로의 통행비용을 증가시킨다.⁸⁾ 증가된 우회도로의 통행비용이 만약, 터널 통행비용 보다 적다면 운전자는 계속해서 우회도로를 이용할 것이고, 그 비용이 터널 통행비용보다 크다면 운전자는 터널을 이용하려고 할 것이므로 터널의 이용수요는 증가할 것이다. 터널의 수요증가는 터널의 통행량 증가를 가져오고, 이는 다시 터널의 서비스 수준을 감소시킬 것이다.

셋째, 혼잡통행료(정책)는 터널의 서비스 수준이 사회적으로 비용을 증가시키기 때문에 즉, 혼잡하기 때문에 터널이용자에게 부가된 것으로서 이것이 부과되기 시작하면, 터널을 이용하는데 따르는 터널통행 비용을 일시에 증가시키기 되어 일부 운전자는 소득과 비용(통행료, 연료비, 시간비용 등)의 관계에서 승용차를 이용한 터널 통행을 포기하고 버스와 전철 등 대중교통수단을 이용하거나 통행료를 내지 않기 위하여 우회도로를 이용하게 될 것이므로 이것이 직접적으로 터널의 통행량을 줄일 것이다.

한편, 혼잡통행료의 징수로 인한 터널에서의 총시간단축(travel-time saving)은 고소득층에게는 그들이 내는 통행료에 대한 보상이 될 수 있으나 저소득층에게는 그렇지 못하다. 따라서, 징수된 통행료는 통행료를 내지 못해 대중교통을 이용하는 저소득층을 보상해 주고 사회적 이익을 증대시키기 위해서는 대중교통 수단의 확충과 서비스 개선에 투자되어야 한다(FHA, 1992). 그러나, 본 연구모형에서는 터널교통 시스템과 관계되는 대중교통 부분을 포함시키지 않았다. 왜냐하면, 서울시의 혼잡통행료를 사용한 대중교통 수단에 대한 투자

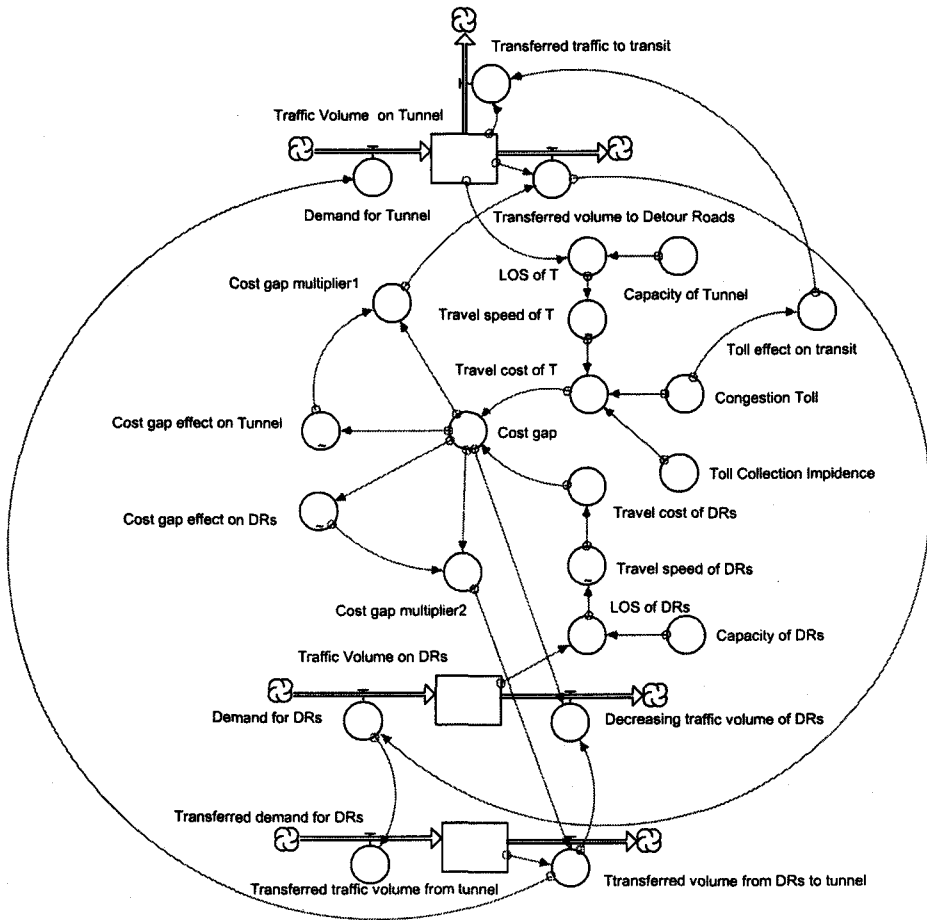
7) 터널의 용량은 고정된 것으로 본다. 실제 터널의 용량을 늘리는 것은 불가능하다.

8) 남산1,3호 터널의 혼잡통행료 징수가 터널의 통행량을 급격히(시행초기는 28%) 줄이기는 하였지만 관련된 대중교통수단의 개선이 선행되지 않았기 때문에 도심으로의 승용차 교통수요를 줄이지 못하고 오히려 우회도로의 통행량을 2배 정도 증가시켰다는 비판이 있다

(이수형, http://www.midas.co.kr/docs/magazine/news_plus/news60/plus60-1.html)

는 매우 저조하기 때문이었다.

이러한 인과관계의 피드백 구조를 통해 정책평가의 논리를 만들었으나, 이를 실제로 평가하기 위해서는 모델링 작업을 수행하여야 한다. 모델링 작업에서는 인과지도에 나타난 변수간의 관계를 함수식(방정식)으로 표현하고, 여기에 실제 상황을 반영할 수 있는 파라미터를 부여하여야 한다. 또한, 인과지도에는 없었던 여러 가지 보조변수들을 사용하게 된다.



[그림 4] 혼잡통행료 징수정책 평가를 위한 플로우 다이어그램: 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 STELLA라는 시뮬레이터 프로그램을 이용하여 [그림 4]에서 보는 바와 같은 플로우 다이어그램을 구축하고 부록에 제시되어 있는 모델방정식을 작성하였다.⁹⁾ 본

9) 여기에서 구축된 모델은 평일 피크타임(7-9시)을 기준으로 하였으며, 예측시간은 시작 월부터 60개월(5

논문에서는 서울시 전체가 아닌 남산터널의 혼잡통행료 징수와 관련된 변수만을 중심으로 시뮬레이션 모델을 구축하였다(Mohapatra, 1994: 1-15). 구축된 모델은 컴퓨터상에서 시뮬레이션을 수행하여 실제 통행료 징수가 어떠한 정책효과를 보여주는가를 시스템의 행태(통행량의 변화)를 관찰함으로써 파악할 수 있다.

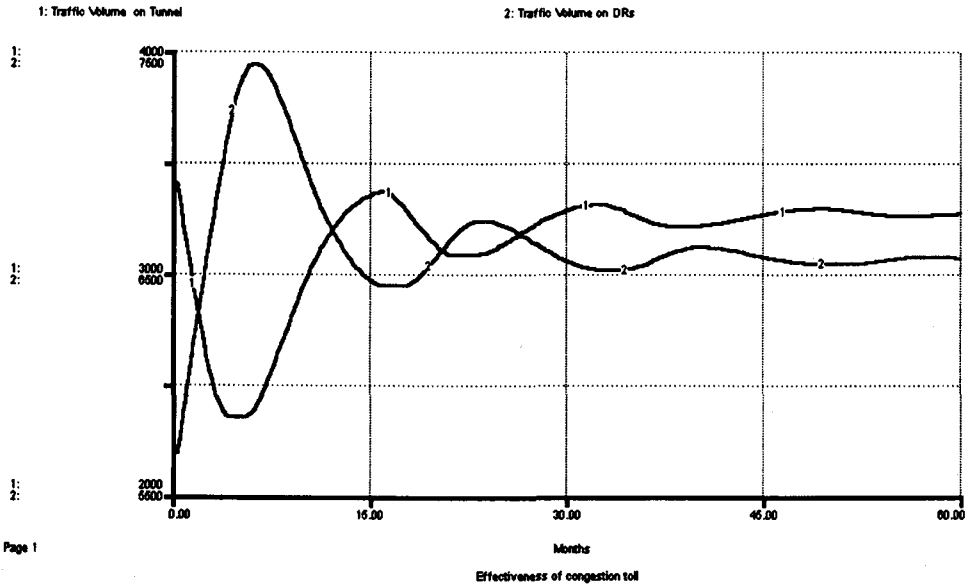
IV. 분석결과

1. 혼잡통행료 징수 모델의 시뮬레이션 결과

구축된 모델의 시뮬레이션 결과는 [그림 5]에서 보는 바와 같이 터널의 교통량은 통행료 징수 초기에는 급격히 감소하여 그 효과가 크게 나타나고 있으나, 초기의 충격효과가 사라진 뒤에는 최초의 통행량 수준으로 급격히 증가하였고, 이후에는 요동(fluctuation)하는 행태를 보이다가 3년 6개월이 지난 후에는 혼잡통행료 실시 전 보다 약간 적은 수준에서 균형을 찾아가려는 패턴을 보여 주고 있다. 이는 혼잡통행료 실시에 따라 승용차 운행을 포기한 대중교통 이용자(소득 수준의 영향을 크게 받는 운전자)를 제외한 거의 대부분의 승용차 운전자가 다시 터널로 돌아 왔으며, 31.0%(3,412대에서 2,353대로 감소)의 교통량 감소를 보이던 초기의 정책효과가 2번째 파동주기에서는 우회도로의 정체 충격으로 일시적으로 원 상태로 회복되었다가 2번째 정책효과는 1번째 효과보다 줄어든 9.5%(3,412대에서 3,088대로 감소) 선에서 그치고 있음을 보여 주고 있다. 반면, 우회도로의 교통량은 통행료 징수 초기에는 이를 내지 않으려는 운전자들이 몰리면서 급격히 증가하였으나, 일정 시점 이후에는 단기적으로는 파동 하는 행태를 보이다가 최초의 통행량 보다 약간 많은 수준에서 균형을 찾아가고 있음을 보여 주고 있다. 우회도로의 교통량이 처음의 통행량 보다 많은 것은 여전히 터널 대신 우회도로를 이용하려는 운전자가 남아 있기 때문이다.

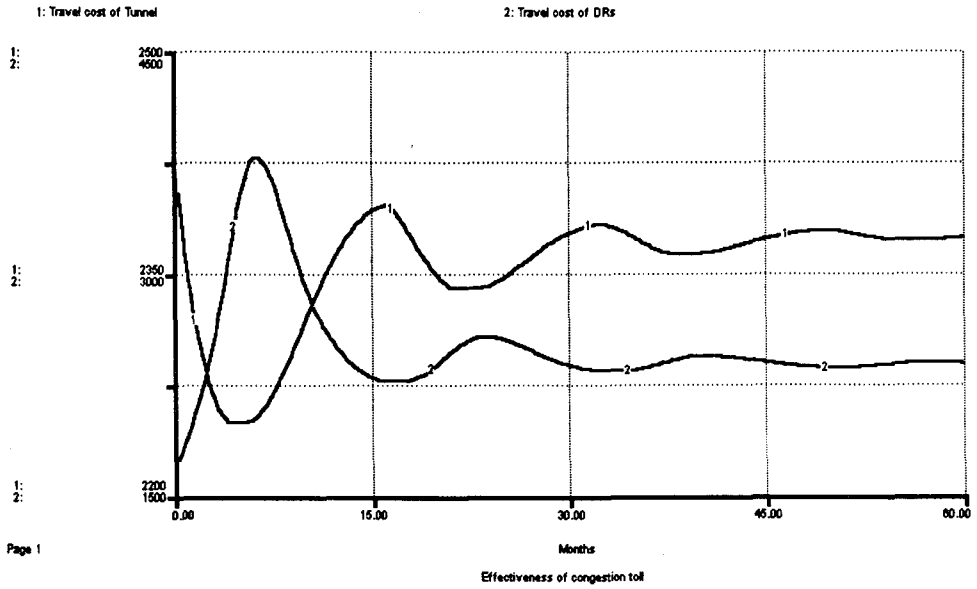
혼잡통행료 정책의 효과를 보여주는 모델의 시뮬레이션 결과, 터널의 통행량이 다시 징수 이전의 수준으로 증가한 이유는 혼잡통행료 실시 초기에는 운전자들이 통행료를 내지 않기 위해 우회도로로 몰림으로써 우회도로의 교통량이 늘어났으나, 계속해서 우회도로의 체증이 심해지고 여기에 터널보다 긴거리를 우회하는데서 생기는 통행시간의 증가가 비용 증가로 작용하여 우회도로의 매력ity 점차 떨어졌기 때문이다. 결국, 승용차 운전자들은 통행료를 지불하고서라도 우회도로 보다 상대적으로 빠른 터널을 이용하려 했다고 볼 수 있다.

년) 후까지로 하였다.

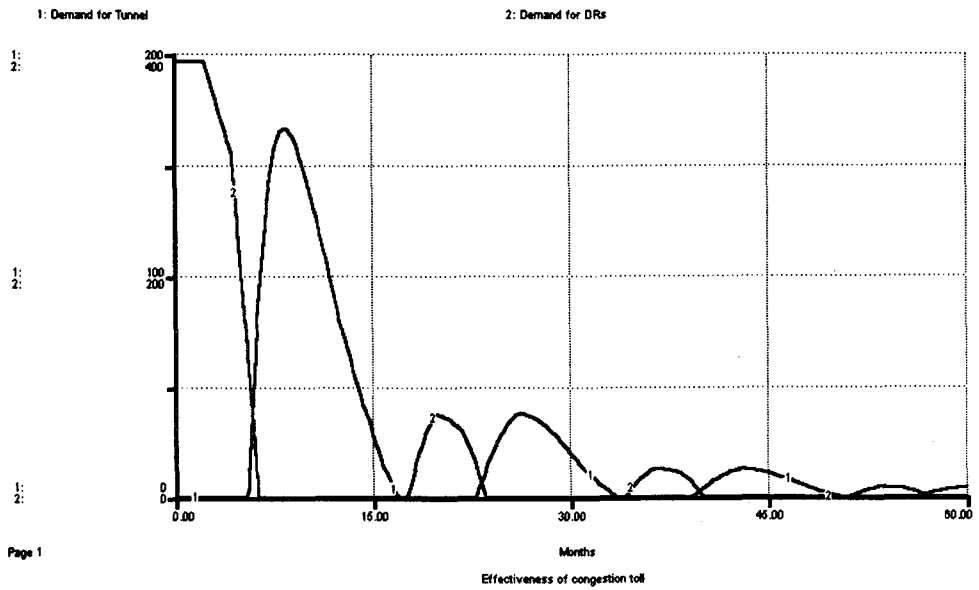


[그림 5] 분석결과1: 터널과 우회도로의 통행량 변화

한편, 시뮬레이션 결과 모형의 패턴이 파동 하는 현상을 보이고 있는 것은, 단기적으로는 혼잡통행료 징수의 일시적인 효과(터널 통행량의 지속적인 감소와 우회도로 통행량의 지속적인 증가)가 나타나다가 이후에는 그 효과가 사라지면서, 운전자들이 터널과 우회도로 간의 통행비용 차이(통행료와 시간비용+연료비용)를 고려하여 의사결정을 하기 때문에 나타나는 현상이라고 할 수 있다. 즉, 비용격차에 대한 인식 또는 비용격차 정보에 대한 반응이 시차를 두고 나타나기 때문이라고 할 수 있다. 이러한 결과는 [그림 6]의 터널과 우회도로의 통행비용과 변화 패턴과 [그림 7]의 통행수요 변화 그래프에서 알 수 있다.



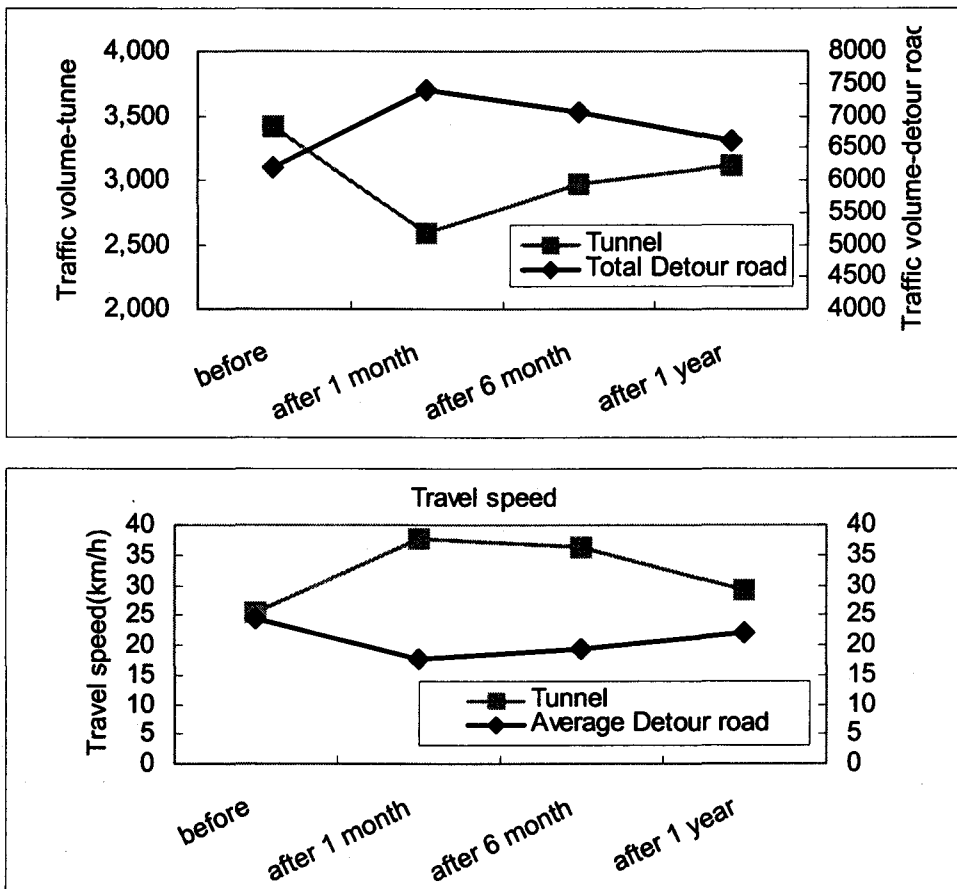
[그림 6]분석결과2: 터널과 우회도로의 통행비용 변화



[그림 7]분석결과3: 터널과 우회도로의 통행수요 변화

2. 정책평가 결과와 정책적 함의

위에서와 같은 분석결과를 얻은 본 혼잡통행료 징수 정책 모델의 타당성과 관련하여 [그림 8]의 혼잡통행료 징수 이전과 이후의 터널과 우회도로의 교통량/통행속도를 조사한 서울시의 조사 자료도 시간이 지남에 따라 터널을 이용하는 교통량이 점차 통행료 징수전의 수준으로 회복되어 가고 있음을 나타내 주고 있는 것을 알 수 있다. 이는 본 시뮬레이션 모델이 혼잡통행료 징수 정책의 문제구조와 정책효과를 평가하는데 있어 시스템의 구조를 나타내는 설명력이 있으며 현실을 왜곡시키지 않는 타당성이 있음을 보여 주는 것이라고 할 수 있다.



자료: 서울시 교통관리사업소(1997). 남산터널 통행량 조사 내부자료.

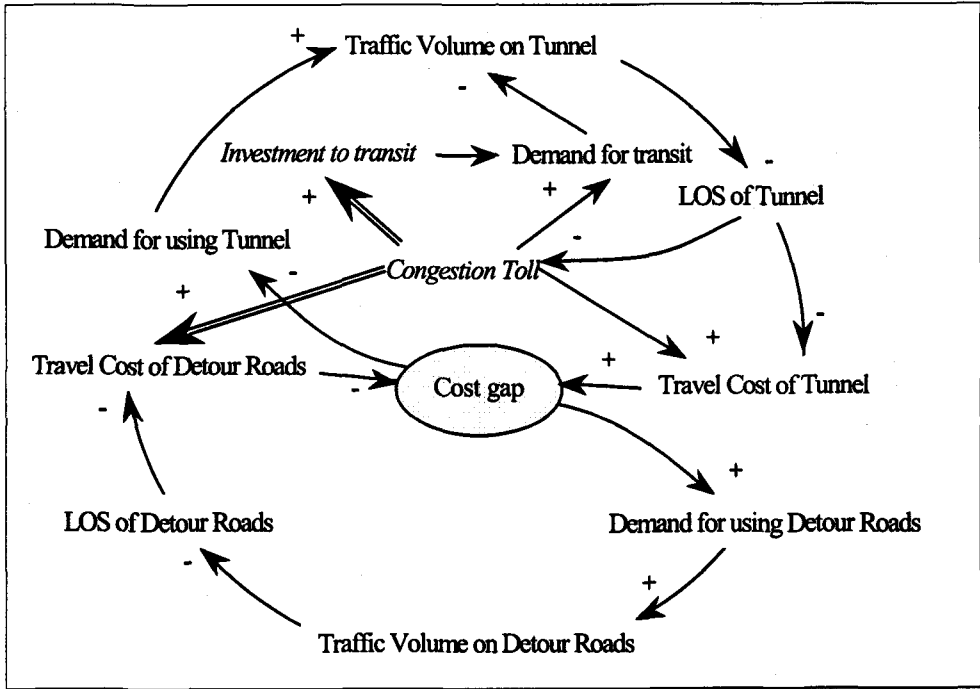
[그림 8] 혼잡통행료 징수 전후의 터널이용 교통량과 통행속도 조사자료

앞에서 살펴 본 시뮬레이션 분석결과에 의하면 서울시 교통정책은 일시적으로는 정책목표를 달성하는데 성공하였을지 모르나 장기적으로는 성공하였다고 할 수 없다. 그렇다면, 왜 이러한 결과가 초래되었는가? 그 이유는 서울시 혼잡통행료 징수 정책이 근본적으로 갖고 있는 한계에서 찾아볼 수 있다.

그것은 첫째, 혼잡통행료 정책이 장기적인 성공을 거두기 위해서는 승용차 이용자에게 혼잡통행료라는 비용만을 부과하는 것만으로는 앞에서 본바와 같이 실패할 가능성이 높다는 것이다. 왜냐하면, 승용차 운전자에게 있어 통근교통의 수요는 단기적으로는 매우 비탄력적이기 때문이다. 따라서 서울시가 혼잡통행료 징수를 통해 승용차 운전자의 승용차 운행을 포기하게 하기 위해서는 대중교통수단의 서비스를 대폭적으로 증대하여야 했다. 그러나 남산 1, 3호 터널을 운행하는 총 버스노선은 일반4개, 좌석10개 노선에 불과하고, 혼잡통행료 시행 후에도 버스노선은 늘어나지 않았다. 승용차 운전자에게는 대안이 없었고 결국, 우회도로를 이용하다 우회도로의 혼잡이 가중되자 터널을 다시 이용하는 결정을 내릴 수밖에 없었던 것이다. 이러한 논리로서 [그림 9]은 징수된 혼잡통행료를 대중교통 수단의 서비스 확충에 투자할 경우, 터널의 승용차 이용이 감소될 수 있음을 제시하고 있다. 또한, 서울시는 여타의 정책들을 통합적으로 활용하여, 승용차운행의 부담을 증가시키고, 대중교통이용을 활성화 하는 정책을 집행하는 것이 바람직하였다고 할 수 있다.¹⁰⁾

둘째, 서울시가 도심으로 진입하는 승용차의 통행을 억제하고자 하는 것이 진정한 정책 목표였다면, 도심으로 진입하는 모든 도로에서 혼잡통행료를 징수 했어야 했다는 것이다. 싱가포르나 홍콩의 경우처럼 도심으로 들어오는 모든 차량에 대하여 혼잡통행료를 징수 할 경우에는 운전자에게 우회도로라는 대안이 없기 때문에 승용차 이용을 보다 효과적으로 억제할 수 있다. 그러나 우회도로가 있는 상태에서 혼잡통행료를 징수하는 것은 혼잡의 장소 이동에 불과하다. [그림 9]에서 보는 인과지도에서처럼 운전자에게 우회도로라는 하위 시스템이 없는 경우, 혼잡통행료 징수효과는 더욱 증가할 것이다.

10) 최근 서울시의 혼잡통행료 징수 확대에 대하여 우리의 여건에 알맞은 대체교통수단의 개발과 적절한 교통시스템 개선 정책들을 성공적으로 수행한 뒤 혼잡통행료 정책을 확대 시행해도 늦지 않을 것이라는 주장이 제기된바있다(중앙일보, 2004년 1월 20일자).



[그림 9] 인과지도 상의 혼잡통행료 정책 수정안

셋째는 정책목표의 모호성에 있다. 서울시의 혼잡통행료 징수 목표가 도심의 교통 혼잡과 자동차 배기가스로 인한 환경문제를 해결하기 위하여 통행량을 15% 줄이는 것이었다면 터널이용 차량이 시행 전 수준으로 다시 증가할 경우에는 혼잡통행료를 재조정(인상)하여 정책목표를 지속적으로 달성해야 했다는 것이다. 즉, 탄력적이지 못한 통행료를 인상했어야 했다. 이는 [그림 9]에서와 같은 혼잡통행료 징수 정책의 수정을 의미한다.

IV. 결론

시스템 다이내믹스 컴퓨터 시뮬레이션은 시스템의 구조적인 측면에 접근하여, 시스템의 행태를 관찰하고 문제를 해결하려는 데 분석의 본 고장(Home domain)이 있다. 시스템 사고를 통해 시스템의 인과순환적 피드백 구조와 정책구조를 결합하여 이를 모델링하고 시뮬레이션 해보는 것은 정책목표와 정책결과를 단선적으로 파악하는 정책평가 방법의 한계를 극복해줄 수 있다(Richardson, 1991:20-41). 시스템이 보이는 바람직하지 못한 증상은 시스템의 구조 속에 내재되어 있기 때문에 집행된 정책이 시스템의 구조 속에서 어떠한 효과를

나타내느냐 하는 것을 관찰하는 것은 정책평가의 지향점이라고 할 수 있다.

본 논문은 시스템 다이내믹스 컴퓨터 시뮬레이션의 정책평가 도구로서의 유용성을 살펴 보고 이 방법에 입각하여 서울시 혼잡통행료 징수 정책을 평가해 보았다. 분석결과 혼잡통행료 징수 정책은 교통혼잡이라는 구조적인 문제를 해결하기에는 한계가 있었다고 볼 수 있다. 이는 서울시 교통정책 결정자의 단선적 사고가 가져온 결과라고 할 것이다.

시스템 다이내믹스 기법을 이용한 정책평가의 결과를 통해서 얻을 수 있는 주요한 지식은 집행된 정책이 목표를 얼마나 성공적으로 달성하였는가에 대한 것뿐만 아니라 정책의 실패원인을 탐색함으로써 수정된 정책의 효과성을 극대화할 수 있는 정책개입지점(policy interruption point), 즉 정책지렛대를 용이하게 발견할 수 있게 해준다는데 있다. 서울시 혼잡통행료 징수 정책이 수정되어야 할 방향으로서의 정책지렛대는 대중교통수단 서비스 강화와 투자, 우회도로 없는 혼잡통행료의 징수 그리고, 파라미터로서 통행요금의 신축적인 수정이라고 할 수 있다.

[참고문헌]

- 김경철. (1993). 「도심통행료 부과방안에 관한 연구」. 서울: 서울시정개발연구원.
- 김도훈. (1994). 행정개선을 위한 장기적 포석: 교육방법과 사고 틀의 전환. 「한국행정학보」, 28(3):737-751.
- 김도훈·문태훈·김동환. (1999). 「시스템 다이내믹스」. 서울: 대영문화사.
- 도시교통정비촉진법. (개정 2003.7.25, 법률 제 06940호).
- 문태훈. (2002). 도시동태모형을 이용한 도시성장관리정책의 평가. 「한국시스템다이내믹스 연구」, 3(2):6-27.
- 서울시 교통관리 사업소. (1997). 남산터널 통행량 조사 내부자료.
- 서울시설관리공단(혼잡통행료 개요에 대한 설명 자료, <http://www.sisul.or.kr>)
- 서울특별시혼잡통행료징수조례.(개정2002.9.12, 조례 제3,339호).
- 이수형. (1996). 혼잡통행료 약효 얼마나 같은지(http://www.midas.co.kr/docs/magazine/news_plus/news60/plus60-1.html)
- 조현수. (1996). 혼잡통행료와 담배값 인상(<http://www.ptuniv.ac.kr/~chs/column/칼럼17.hwp>).
- 「중앙일보」. (1996). 서울시교통대책: 자가용 이용억제와 대중교통 이용유도. 5.13.
- 「중앙일보」. (1997). 숨막히는 교통난 비상구가 없다. 7.15.
- 「중앙일보」. (1997). 혼잡통행료 징수. 6.25.
- 「중앙일보」. (2004). 혼잡 통행료 징수 확대해야 하나? 버스 서비스 높인 뒤 시행해도 늦지 않아. 1.20.:21.
- 최남희. (2003). 시스템 다이내믹스 기법을 이용한 서울시 도시동태성 분석과 정책지렛대 탐색:인과순환구조와 시스템 행태 분석을 중심으로. 「한국행정학보」, 37(4):329-358.
- 홍갑선·이용상. (1992). 「교통정책의 경제학」. 서울: 명보문화사.
- 황기연. (1989). 「서울시 교통혼잡프로그램 실행을 위한 교통수요 효과분석 체계의 구축」. 서울: 서울시정개발연구원.
- 황기연. (1997). 서울시 교통정책방향(서울시공무원교육원 교육자료).
- 황기연. (2001). 「서울시 혼잡통행료 징수체계 보완 연구」. 서울: 서울시정개발연구원.
- Alfeld, L.E., & Graham, A.K. (1976). *Introduction to Urban Dynamics*. Cambridge, Massachusetts: Wright- Allen Press, Inc.
- Arthur, W.B. (1990). Positive Feedbacks in the Economy. *Scientific American*. 262(2):92-99.

- Federal Highway Administration. (1992). *Examining Congestion Pricing Implementation Issues*(Congestion Pricing Symposium). Washington, DC.
- Forrester, Jay W. (1969). *Urban Dynamics*. Cambridge: The MIT Press.
- High Performance Systems. (1992). *STELLA II: An Introduction to Systems Thinking*. Hanover Newhampshire: High Performance Systems Inc.
- Mohapatra P. K.J. (1994). *Introduction to System Dynamics Modelling*. India: University
- Nachmias, David. (1979). *Public Policy Evaluation*. New York: St. Martin's Press.
- Richardson G.P. (1991). *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Richmond, B. (1993). System thinking: critical skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*. 9(2):113-133.

[부록: Model Equations]

$traffic_volumes_transfred_from_tunnel(t) = traffic_volumes_transfred_from_tunnel(t - dt) +$
 $(net_demand_for_DRs - net_transfred_volume_from_DRs_to_tunnel) * dt$
 INIT traffic_volumes_transfred_from_tunnel = 0

INFLOWS:

net_demand_for_DRs = DELAY(Demand_for_DRs,0)

OUTFLOWS:

$net_transfred_volume_from_DRs_to_tunnel =$
 $traffic_volumes_transfred_from_tunnel*(DELAY(Cost_gap_multiplier2,2))$

$Traffic_Volume_on_DRs(t) = Traffic_Volume_on_DRs(t - dt) + (Demand_for_DRs -$
 $Transferred_volume_from_DRs) * dt$

INIT Traffic_Volume_on_DRs = 5687

INFLOWS:

Demand_for_DRs = DELAY(Transferred_to_Detour_Roads,1.8)

OUTFLOWS:

$Transferred_volume_from_DRs = DELAY(((IF(Cost_gap < 1) THEN$
 $net_transfred_volume_from_DRs_to_tunnel ELSE (0)), 2)$

$Traffic_Volume_on_Tunnel(t) = Traffic_Volume_on_Tunnel(t - dt) +$
 $(Demand_for_Tunnel - Transferred_to_Detour_Roads - Transfere_to_transit) * dt$

INIT Traffic_Volume_on_Tunnel = 3412

INFLOWS:

Demand_for_Tunnel = DELAY(net_transfred_volume_from_DRs_to_tunnel,1)

OUTFLOWS:

$Transferred_to_Detour_Roads =$
 $Traffic_Volume_on_Tunnel*DELAY(Cost_gap_multiplier1,2)$

Transfere_to_transit = Traffic_Volume_on_Tunnel*Toll_effect_on_transit

capacity_of_DRs = (1200+1200+800+2400)

```

capacity_of_Tunnel = 800*4
Congestion_Toll = STEP(2000,0)
Cost_gap = Travel_cost_of_Tunnel/Travel_cost_of_DRs
Cost_gap_multiplier1 = IF(Cost_gap>1) THEN Cost_gap_effecr_on_Tunnel ELSE 0
Cost_gap_multiplier2 = IF(Cost_gap<1) THEN Cost_gap_effect_on_DRs ELSE 0
LOS_of_DRs = Traffic_Volume_on_DRs/capacity_of_DRs
LOS_of_T = Traffic_Volume__on_Tunnel/capacity_of_Tunnel
Toll_Collection_Impidence = 0.85
Toll_effect_on_transit = Congestion_Toll=0.05
Travel_cost_of_DRs = ((60/Travel_speed_of_DRs)*5)*(170)
Travel_cost_of_Tunnel =
((60/(Travel_speed_of_T*Toll_Collection_Impidence))*0.9*170)+(Congestion_Toll)
Cost_gap_effecr_on_Tunnel = GRAPH(Cost_gap)
(1.00, 0.00), (1.10, 0.043), (1.20, 0.0725), (1.30, 0.1), (1.40, 0.12), (1.50, 0.138), (1.60
0.153), (1.70, 0.168), (1.80, 0.18), (1.90, 0.193), (2.00, 0.2)
Cost_gap_effect_on_DRs = GRAPH(Cost_gap)
(0.00, 0.2), (0.1, 0.193), (0.2, 0.18), (0.3, 0.168), (0.4, 0.153), (0.5, 0.138), (0.6, 0.12)
(0.7, 0.1), (0.8, 0.073), (0.9, 0.043), (1, 0.00)
Travel_speed_of_DRs = GRAPH(LOS_of_DRs)
(0.5, 55.0), (0.6, 50.0), (0.7, 45.0), (0.8, 40.0), (0.9, 35.0), (1, 30.0), (1.10, 25.0), (1.20
20.0), (1.30, 15.0), (1.40, 10.0), (1.50, 5.00)
Travel_speed_of_T = GRAPH(LOS_of_T)
(0.5, 55.0), (0.6, 50.0), (0.7, 45.0), (0.8, 40.0), (0.9, 35.0), (1, 30.0), (1.10, 25.0), (1.20
20.0), (1.30, 15.0), (1.40, 10.0), (1.50, 5.00)

```