



시스템다이나믹스 기법을 이용한 교통정책 대안 비교분석

Comparing Policy Effectiveness on Traffic Jam in Seoul: System Dynamics modelling

저자 (Authors)	문태훈, 최남희
출처 (Source)	한국행정학회 학술발표논문집 , 1996.6, 339-357 (19 pages)
발행처 (Publisher)	한국행정학회 The Korean Association For Public Administration
URL	http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06709989
APA Style	문태훈, 최남희 (1996). 시스템다이나믹스 기법을 이용한 교통정책 대안 비교분석. 한국행정학회 학술발표논문집, 339-357.
이용정보 (Accessed)	KAIST 110.76.78.*** 2018/10/22 23:28 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

시스템다이나믹스 기법을 이용한 교통정책 대안 비교분석

(Comparing Policy Effectiveness on Traffic Jam in Seoul:
System Dynamics modelling)

문 태 훈 / 최 남 희

(중앙대학교 지역개발학과 교수/한국전자통신연구소 정보정책연구실 연구원)

I. 연구의 목적 및 필요성

서울시 교통난은 이제 어제 오늘의 일이 아닌 일상적인 일로 받아들여지고 있다. 서울시의 총자동차대수는 1995년을 기준으로 이미 200만대가 넘었으며 자동차 밀도는(대/Km) 91년말 통계치를 볼 때 974에서 92년말 1,044로 세계최고(동경 250, 런던 200, 파리 334, 뉴욕 182)를 기록하고 있다(매일경제신문, 1993.1.13). 이쯤되면 개개인이 출·퇴근 시간에 겪어야 하는 극심한 혼잡과 불편은 차치하더라도 1993년의 서울시 연간 교통혼잡 비용만 2조 4,182억원이었으며 이것도 매년 평균 50% 정도씩 증가되고 있다는 사실을 볼 때 교통체증으로 인한 경제적·사회적 손실이 얼마나 심각한지를 알 수 있다(시정개발연구원, 1995). 이 때문에 기업들은 교통난의 심화로 인한 物流費의 급증이 가져온 경제적 손실과 원가상승을 절감하기 위하여¹⁾, 유통망 구조 개선과 物流時間帶 조정 등 자구책 마련에 부심하는가 하면(매일경제신문, 1993.2.4), 쓰레기 수거 차량까지도 교통난에 발목이 잡혀 하루 8시간의 근무시간중 3시간을 길에서 허비해야 한다고 한다(조선일보, 1992.11.2).

서울시는 이같이 심각한 교통난의 해소를 위하여 향후 96년에서 98년까지 3년동안 총 재정 지출의 30%로 지출 항목 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 7조 630억원이라는 막대한 재정지출 계획을 수립해 놓고 있는 실정이다(서울특별시, 1996). 이를 볼 때 교통난 완화는 서울시政의 최대목표라고 할 수 있다. 서울시에 의하면 서울시의 교통혼잡의 기본적인

1) 한국개발연구원(KDI)의 '화물유통비용절감을 통한 수출경쟁력강화' 라는 연구보고서에 의하면 우리나라 기업의 1992년도 물류비용은 평균 전체매출액의 20%선에 이르고 있어 일본, 미국등의 13-14%의 수준을 훨씬 초과하고 있는 것으로 조사되었다 (한국일보, 1993.4.18).

원인은 소득수준의 향상과 인구집중으로 인한 자가용 승용차의 증가에 비하여 이를 수용할 수 있는 지하철·도로망등 교통시설의 부족에 있으며, 따라서 이의 해소를 위해서는 지하철 건설과 같은 대중 교통망의 확충과 도시 고속도로의 건설, 교통 관리체계의 개선외에 교통 수요관리방안을 과감히 추진해야 한다고 교통정책의 기본방향을 설정하고 있다('95 서울시정, 1995:68). 특히 최근에 들어서는 혼잡통행료의 징수 및 주행세제도를 도입하기위한 논의가 활발하게 전개되고 있는데 이는 도로와 지하철 건설이라는 공급측면 중심의 교통혼잡 완화 정책에서 수요측면의 교통혼잡 완화정책으로 정책방향을 선회한 것을 의미한다고 할 수 있다. 교통수요의 억제를 통한 교통혼잡의 완화가 더 효과적이라는 최근의 연구지적들도 유사한 주장을 하고 있다(황기연, 1996; 손의영, 1996; 이번송·이의섭, 1996). 이 같은 연구들의 연구결과에 의하면 서울시 교통시설의 공급측면을 展望할 때, 특히 도로시설의 공급은 높은 용지보상비 이외에도 가용토지의 부족 때문에 급증하는 교통수요의 증대에 대처하기에는 역부족이라는 것이다. 따라서 이러한 논거에 의하면 이제까지의 공급위주의 교통정책은 수요억제 위주의 교통정책, 즉 승용차 이용감소를 위주로 한 교통정책으로 전환되어야 한다는 것이다.

물론 교통혼잡 완화를 위한 교통정책은 공급 및 수요 정책간의 균형을 유지하면서 결정되고 집행되는 것이 一見 바람직하다고 생각될 수 있으나, 어느 부분의 정책에 중점을 두는 것이 더 효과적인 정책인지를 가늠해 보는 것은 한정된 자원과 이에 따른 정책의 효과성을 고려할 때 중요한 일이 아닐 수 없다. 이 연구는 공급측면의 교통혼잡 완화정책과 수요측면의 교통혼잡 완화정책을 컴퓨터 모의실험을 통하여 비교해 봄으로써 제한적으로나마 두 종류의 정책 효과성을 비교해 보고자 하는 데 그 기본 목적이 있다.

試論的인 意味의 이 글은 既存의 교통문제에 대한 연구에 두 가지 측면에서 공헌 할 수 있을 것으로 생각된다. 우선, 도로의 확장, 대중교통시설의 확충등 공급측면의 교통정책이 교통혼잡완화를 위하여 지속적으로 추진되어야 할 중요한 정책임에는 異論의 여지가 없겠으나, 이를 위해 투입되어야 할 막대한 자원과 기대할 수 있는 정책효과가 비용-효과적인 측면에서 생각할 때 교통수요의 억제를 통한 교통혼잡 완화정책에 비하여 결코 기대하는 만큼의 큰 정책적인 효과를 갖지는 않을 것이라는 점을 부각시킬 것이다. 둘째, 방법론적인 측면에서 이 글은 여러가지 종류의 정책대안이 가져올 정책효과를 컴퓨터 모의실험을 통하여 비교해 본다는데 그 試論的인 의미가 있다. 정책의 현실적용이 어느 정도까지는 항상 시행착오에 의한 사회적·경제적 비용을 야기시킨다고 볼 때, 이를 미리 실험

(experimenting)해 볼 수 있다는 것은 정책분석이나 정책평가를 위한 컴퓨터 모의실험의 방법론적인 유용성을 제기할 수 있으리라 생각된다(Forrester, 1980; 1987; see also Babbie, 1986:318-319).

II. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 동태적 체계이론(System Dynamics)을 이용한 컴퓨터 모의실험을(System Dynamics Simulation) 이용하여, 서울시 교통정책 대안들의 효과성을 비교한다. 동태적 체계이론은 1961년 MIT의 J. Forrester 교수가 산업체의 불안정한在庫량의 변화, 노동력의 불안정한 변화, 그리고 시장점유율의 감소 문제를 다룬 산업 동태학(Industrial Dynamics)을 발표한 이후, 거시적인 차원에서는 도시 및 산업문제들을 포함한 다양한 사회 및 경제문제에 대한 이해나 해결책을 모색하기 위하여, 그리고 미시적인 차원에서는 인간의 의사결정행위에 대한 이해를 증진시키기 위한 방법으로 광범위하게 응용되어 왔다 (Forrester, 1961, 1969, 1971; Hamilton, et. al., 1969; Mass, 1974; Sterman, 1987; Darling and Richardson, 1990).²⁾

이 접근방법의 특징은 첫째, 연구하고자 하는 특정 변수가 시간의 변화에 따라 어떻게 동태적으로 변화해 나가는가에 기본적인 관심을 둔다. 즉, 산업체 고용인력의 증감, 도시의 변형과 쇠퇴, 의료보험 비용의 급격한 상승 등 연구 대상 변수의 시간에 따른 동태적인 변화가 어떻게 일어나고 있으며, 또 앞으로는 어떻게 변화해 갈 것인가에 대해 관심을 둔다는 것이다. 따라서, 동태적 체계이론은 모델 파라미터의 정확한 측정이나 변수의 추정 값을 구하기 보다는 관심의 대상이 되는 변수의 시간의 흐름에 따른 동태적인 변화 경향 - 안정적, 불안정적 경향, 상하 주기적인 변동을 보이는지, 성장, 쇠퇴를 보이는지, 또는 평형 상태를 유지하는지 등 - 에 보다 큰 관심을 둔다(Meadows, 1980:31-36). 둘째, 동태적 체계이론의 기본적인 視角은 사회의 모든 현상을 환류체계(Feedback System)의 관점에서 이해한다는 것이다. 즉, 어떤 변수의 동태적인 변화를 다른 변수와의 복잡한 인과관계의 연결고리 속에서 야기되는 역동적인 양방향의 상호작용(two-way causation or feedback)에 의하여 일어나는 것으로 파악한다. 예를 들면 부족한 도로사정으로 도시의

2) 동태적 체계이론의 개념적인 차원에서의 이해와 방법론상의 유용성에 관해서는 Forrester (1987), Forrester (1980)를, 그리고 동태적 체계이론에 대한 비판으로서 Legasto & Maciariello (1980)을 참조.

교통혼잡이 야기될 때 단순한 도로의 확장은 일시적으로 교통혼잡을 완화할 수 있을 지는 몰라도 나아진 도로사정이 결국 더 많은 자동차를 유인하여 다시 교통체증을 유발하게 된다 라던가, 농업의 경쟁력을 제고시키기 위하여 정부가 농산물 보조금을 지불할 때 단기적으로는 경쟁력을 유지시킬 수 있을지는 모르나 장기적으로는 정부의 재정지원이 농촌의 경쟁력 제고 노력을 둔화시켜 결국 농업의 경쟁력을 더욱 약화시키는 결과를 가져온다는 식의 환류 체계의 관점에서 문제를 인식한다는 것이다 (Richardson, 1982:1-2; Meadows, 1980:30-31).³⁾

이러한 환류체계에 입각한 문제에 대한 인식과 접근방법은 전통적인 계량적 접근방법인 통계적 접근방법과는 相異한 방법론적인 논리에 근거하고 있어 많은 방법론상의 논쟁을 불러 일으킨 것도 사실이다 (Meadows:1980; Bell and Bell, 1980 참조). 대표적인 예로서 계량경제학(econometrics)에서는 주로 단기적으로 변수의 값을 정밀하게 추정하는데 주된 관심을 가지며, 모델의 구조와 모델 파라미터의 엄격한 통계적인 검증에 주안점을 두고 있다. 그러나 동태적 체계이론은 이러한 정밀한 통계적 검증에 의한 예측은 방법론상의 제약과⁴⁾

너무도 많은 예외적인 변수의 영향으로 성공적인 예측이 어려울 뿐만 아니라 변수의 동태적인 변화를 예측하지도 또, 그 변화를 야기시키는 문제의 구조에 대한 설명도 제시하지 못

3) 환류체계의 관점에 대한 광범위하고 종합적인 논의는 Richardson(1991)을 참조할 것.

4) 계량경제학(econometrics)에서 파라미터(parameter)의 추정을 위하여 사용하고 있는 기본적인 방법은 최소자승법 (Least Square Method) 이며 이 최소자승법의 전제조건을 충족시켜 모델의 파라미터를 측정하기 위하여서는 모든 식이 선형(linear)으로 바뀌어져야 한다. 따라서 경제통계학의 모델에서는 변수간의 관계가 대부분 선형이거나 (linear) 로그선형(log-linear) 으로 제한된다. 예를 들어 문맹률과 소비와의 관계는

$$\text{소비} = \beta_0 + \beta_1(\text{문맹률}) + \varepsilon \text{ 또는}$$

$$\text{Log (소비)} = \beta_0 + \beta_1(\text{문맹률}) + \varepsilon$$

로 표시된다. 최소자승법의 또 다른 조건은 독립변수간의 多重共線性 (multicollinearity) 이 없어야 한다는 것이다. 예를 들어 $\text{소비} = \beta_0 + \beta_1(\text{문맹률}) + \beta_2(\text{소득}) + \varepsilon$ 에서 문맹률과 소득은 상호 독립적이고, ε 에 영향을 줄 수 있는 다른 변수가 존재하지 않아야 파라미터 $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ 의 측정이 정확하다는 것이다. 그러나 파라미터의 추정을 위한 이러한 엄격한 전제조건들은 이코노메트릭스를 사용하는 연구자들로 하여금 상대적으로 적은 수의 설명 변수들만을 모델에 포함시키는 경향을 가져오게 하여 경제이론이 방법론에 의하여 제약당하는 결과를 가져오게 한다. 즉, 예를 들어 소비나 투자를 결정짓는 요인은 수십 가지에 달할 수 있으나 방법론상의 제약으로 경제통계학자들은 4-5개 이상의 변수를 거의 사용하지 않는다 (Meadows, 1980:41-42; see also Johnson, 1980).

한다고 비판한다(Meadows, 1980:48).⁵⁾

이러한 동태적 체계이론을 이용한 컴퓨터 모의실험은 몇 단계로 이루어 진다 (Richardson, 1981:16). 우선 분석의 목적에 합당한 모델 작성을 위해 그 목적에 맞게 문제를 인식·정의 한다 (Problem Identification and Definition). 두번째 단계에서는 문제인식을 바탕으로 교통혼잡 문제를 피드백 視角(Feedback Perspective)에서 개념화 (Conceptualization) 시킨다. 이 단계에서는 교통혼잡을 야기시키는 여러 원인들이 어떻게 상호 연결되어 있는가를 피드백 視角에서 나타내는 인과 지도(Causal Loop Diagram)의 작성이 중요한 과제가 된다. 셋째, 이상의 개념화를 바탕으로 실제로 정책분석에 이용될 컴퓨터 모델을 작성하고 (Model Formulation), 넷째, 작성된 모델에서 보여지는 주요변수들의 행태를 교통관련 통계자료와 문헌자료들에 비추어 모델의 타당성을 검토한다 (Model Validation). 모델의 타당성이 입증되면 마지막으로 이 모델을 이용하여 정책대안에 대한 분석을 행하게 된다 (Policy Analysis). 특히 정책대안의 분석단계에서는 이 연구의 중심과제가 될 교통혼잡 완화정책의 대안으로서 도입이 검토되고 있는 주행세, 승용차 부제 운행이라는 수요측면의 정책과 도로건설 및 지하철건설과 같은 공급측면의 정책이 결과할 교통혼잡도의 완화정도에 따라 정책의 효과성을 비교·평가한다.

Ⅲ. 문제의 인식과 개념화

1. 서울시 교통문제의 인식

〈표 1〉은 지난 1980년 - 1994년 사이 최근 14년간 서울시의 주요 교통관련 통계지표를 나타내고 있다. 〈표 1〉의 통계 지표에 의하면 서울시의 인구는 지난 14년간 29%증가 하였는데, 인구의 증가와 더불어 1인당 평균 통행횟수도 1.5회에서 2.4회로 증가하고

5) 그러나 양 방법은 상호대립적이라기 보다는 상호 보완적으로 사용될 수 있다. 통계적인 추정이 단기적으로 유효하다면 동태적인 체계이론은 장기적인 변수의 동태적인 변화를 예측하고 그 원인을 설명하는 데 효과적이다. 또, 통계적인 검증을 거친 파라미터를 동태적 체계모형의 파라미터로 사용함으로써 통계적인 접근이나 동태적 체계모형 어느 한 방법에 의할때 해결하기 곤란한 중기적인 변수의 행태를 예측하고 설명하는데 유용하게 사용될 수 있다(Meadows, 1980:46). 계량경제학의 동태적 체계이론에의 응용에 대해서는 Mass and Senge(1980), Peterson(1980) 참조.

있다. 이는 서울시의 순수한 통행인구의 증가가 1980년에 비하여 약 60.3% 증가되는 결과를 가져오는 것으로, 서울시로 통근하는 통근자들에 의한 통행인구의 증가를 감안하면 약 107%의 통행인구의 증가를 가져왔다고 할 수 있다. 그러나 이렇게 급증하는 통행인구의 증가에 비하여, 대중 교통수단의 수송실적은 지상 대중 교통수단과 지하철의 수송실적을 합하여 지난 10년간 약 28% 증가하는데 그치고 있는데 특히 지하철의 수송실적 증가율은 지속적인 건설로 인해 712%가 증가하였으나 버스의 경우는 오히려 80년보다 4.8감소하여 대중교통수단으로서 버스의 이용율이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 한편 대중교통차량의 승차혼잡도를 보면 1990년의 200%에서 207%로 증가하고 있는데 승차혼잡도가 여전히 정원의 200%를 육박하고 있다는 점은 시민들이 대중교통수단을 이용할 때 겪어야 하는 극심한 차내혼잡에 의한 불편을 말해주고 있다 하겠다.

〈표 1〉 서울시의 주요 교통관련 통계지표

주요교통관련지표 \ 년도	1980	1990	1994	80년 對比 증가율 (%)
인구증가 (천명)	8,367	10,726	10,799	29
통행횟수의 증가	1.51	2.29	2.42	60.3
통행인구의 증가(천명)	12,600	24,638	26,134	107.4
대중교통수단의 수송능력	10,096,971	12,713,797	12,941,993	28.2
지하철 (1일 평균)	539,905	2,758,739	3,847,214	712
영업용차량 (1일 평균)	9,557,066	9,955,058	9,094,779	-4.8
도로연장 (Km)	6,689	7,375	7,621	13.9
(도로율)	-	18.32	19.58	6.8
승차혼잡도 (%)		199%	207%	0.4
차량통행속도 (Km/Hour)	30.8	24.22	23.18	-24.7
자동차대수의 증가(천대)	207	1,194	1,932	833
자가용수 (%)	99 (47.8%)	824 (69.0%)	1,427(73.8)	1341

자료: '95 서울시정 (1995:53-58);서울통계연보 1995.

또한, 도로연장의 증가가 지난 14년간 겨우 13.9%의 증가에 그치고 있는데 반하여 자동차 대수의 증가는 가히 폭발적인 것이어서, 동 기간중 866%의 커다란 증가를 보이고 있는데, 이 중 자가용의 증가가 대부분을 차지하여 무려 1,341%나 증가하고 있음을 보여 주고 있다. 결과는 자명한 것으로 차량 통행 속도는 1980년의 평균 주행 속도 30.8 km/hour 에서 1994년에는 23.18 km/hour로 지난 14년간 24.7%가 감소되는 결

과를 가져온 것이다.

서울시 교통문제는 과거의 승차난 시대와는 달리 소통난, 주차난의 문제로 대표되는데 그 주된 원인은 교통기반시설은 미흡하고 대중교통에의한 수송보다는 승용차에의한 통행이 급격히 증가하였기 때문이며, 구조적으로는 장기적이고 계획적 안목이 없는 도로정책의 미흡성, 수도권 인구 및 공간정책의 실패 등을 들 수 있다. 이는 정책자체의 실패라기 보다는 정책결정자의 사고의 문제인데 그 단적인 예가 1, 2년 전만해도 대형빌딩의 건축허가를 받기위해서는 반드시 법정 주차대수 이상의 주차장을 확보해야만 했지만 지금은 도심교통난을 가중시킨다는 이유로 주차장 설치를 억제하고 있다.

2. 인과모형을 통한 교통시물레이션 모형의 정립

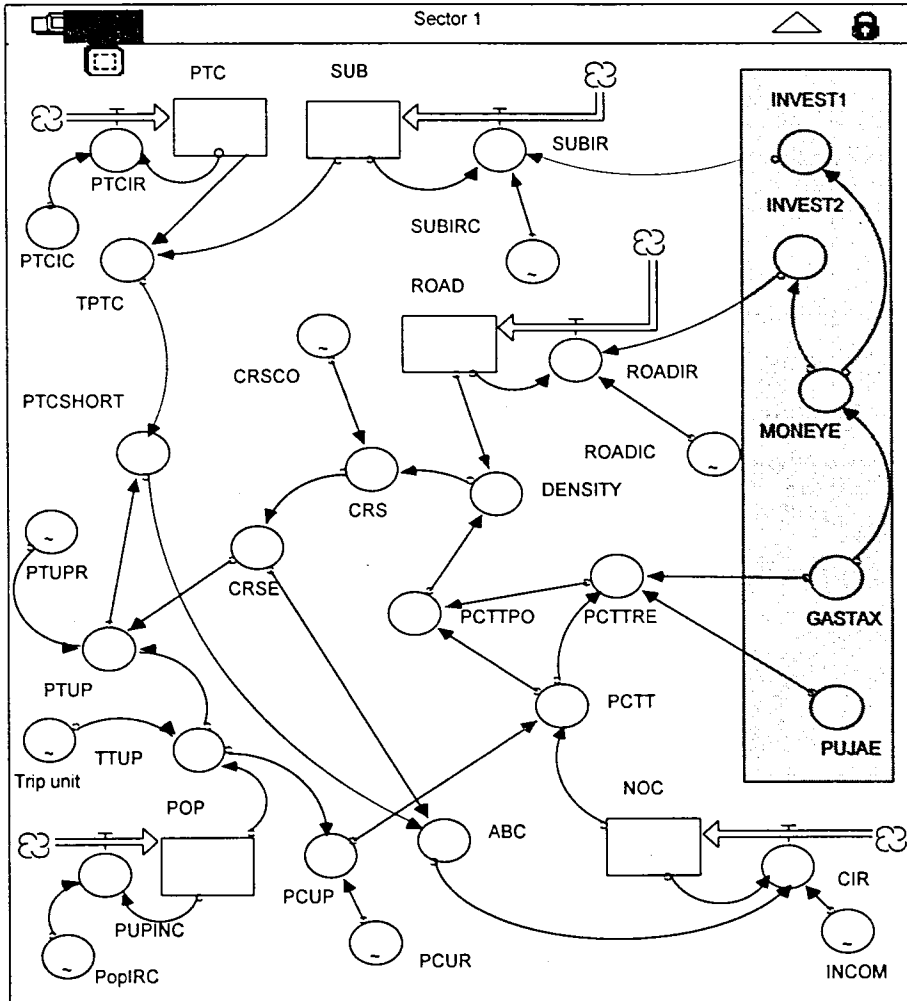
1) 일반모형

이러한 서울시의 교통 혼잡 상황을 모델 작성을 위한 환류체계의 관점에서 개념화 시키면 다음과 같다. 즉, 대중 교통시설의 미비로 인한 대중 교통수단 이용의 불편이 소득의 상승에 따른 승용차 구매의 용이성과 상호 상승작용을 일으키면서 승용차 구매를 촉진시키고 이로 인한 승용차의 증대와 이에 따른 운행 횟수의 증가는 교통혼잡을 더욱 가중시키게 된다. 이러한 교통혼잡으로 인한 통행시간의 지체와 대중교통수단의 부족으로 인한 승차난은 대중 교통수단의 이용자에 대한 불만을 더욱 증가시키면서 승용차 구매를 더욱 촉진시키고, 이는 다시 교통혼잡을 가중시키는 악순환을 되풀이한다는 것이다. 이상의 문제인식을 환류체계의 관점에서 좀더 구체적으로 개념화시킨 플로우다이아그램(Flow Diagram)은 <그림 1>과 같다.

그림을 보면 서울의 인구 증가와 (Population: POP) 그리고 생활수준의 향상에 따른 여가 및 업무, 외출빈도가 높아짐에 따라 1인당 통행발생 단위 (Trip unit)가 높아지면서 총통행인구(TTUP)가 많아지게 된다. 여기서 대중교통수단을 이용하는 총통행량(PTUP)은 대중교통수단의 통행분담율에의해 정해지는데 대중교통수단의 수송용량의 부족은 대중교통수단(버스와 택시)의 수송능력(Public Transportation Capacity: PTC)과 지하철 수송능력을 합한 총 대중교통 수송능력(Total Public Transportation Capacity: TPTC)과의 차이에서를 발생 된다. 이러한 대중교통수단에 대한 수송에 비하여 총 대중교통수단의 수송능력(TPTC)이 이를 뒤따르지 못하는 부

족이(PTCSHORT)이 생기게 되면 대중교통수단에 의한 수송능력의 부족과 이에따른 대중교통수단의 승차혼잡도가 증가하여 이는 자가용 승용차의 소유욕(ABC)을 일으킬 것이다.

〈그림 1〉 서울시 교통혼잡의 플로우다이아그램



※ 빗금친 부분은 정책변수임

그러나 자가용 승용차의 소유는 기본적으로 소득 수준에 의해 결정되므로 이는 소득의 증가에 더 많은 영향을 받을 것이다. 즉, 자가용 승용차의 소유는 소득탄력적인 함수이기 때문에 대중교통수단의 불만이 소득보다 크게 영향을 미치는 것은 아니다. 그러나 소득 수준의 향상에 따라 개인승용차의 수는 꾸준히 증가하겠지만 대중 교통수단의 수송능력의 부족과 이로 인한 승차혼잡도등의 교통불편도 개인으로 하여금 (Attractiveness of Buying a Car: ABC)를 상승시키는 것이므로 자동차대수의 증가는 이 두 개 요인(소득과 대중교통 불만에따른 승용차구매욕구)의 함수라고 보아야 할 것이다.

또한 하루동안 도로를 운행하는 자동차의 대수 즉, 통행량(PCTC)은 총 통행인구(TTUP)중 자가용 승용차를 이용하는 비율(PCUR)과 이들 자동차 통행인구(PCUP)가 자동차를 이용하여 하루에 몇번이나 통행하느냐는 두가지 요인의 결합에 의하여 결정된다.

한편 도로를 통행하는 자동차 대수(통행량)는 도로의 증가(Road: ROAD)가 , 뒷받침되지 못해 증가가 한정된 도로위에서 자동차수의 밀도(DENSITY)를 증가 시키는데 이러한 도로상의 자동차 밀도증가, 즉, 도로혼잡은 서울시 전역의 자동차 주행속도(CRS)를 떨어뜨리게 된다. 그리고 이러한 주행속도의 감소는 승용차 통행의 경제적 및 기회비용 등을 증대시키므로 이를 인식한 사람들은 일반적으로 승용차 소유를 자제하고 지하철과 같은 수단을 이용 할 것으로 보이지만 도로상의 차량주행 속도의 감소는 결국 교통불편(운행시간증가, 배차간격 증가, 혼잡도 증가)를 더욱 가중시키게 되고 이러한 교통불편은 더욱 개인의 승용차구매를 촉진시키는 요인으로 작용하게 된다. 따라서 대중교통수단 수송능력의 미비와 불편으로 인한 개인의 승용차 구매욕구와, 이로 인해 증가된 개인 승용차의 증가는 더욱 교통불편을 가중시키고, 이러한 교통불편은 또다시 개인의 승용차구매욕구를 상승시키는 악순환을 되풀이 함으로써 교통혼잡도를 더욱 악화시키고 있다는 것이다. 이러한 일련의 관계는 통행인구, 대중교통수단 및 자가용 승용차 이용량, 도로혼잡, 주행속도 감소, 승용차보유 욕구증가 간의 순환적 인과관계 과정을 보여준다고 할 수 있다.⁶⁾

6) 주행속도의 감소는 버스와 같은 대중교통수단에 대한 불만()을 감소시켜 반발 심리에 의해 승용차를 소유하려는 욕구가 늘어난다고도 볼 수 있다. 그러나 합리적인 행동은 지하철을 이용하고 승용차 이용은 자제하는 것이라고 보아야 한다.

2) 교통정책대안의 도입

그러나 만약 서울시에서 교통혼잡을 완화 시키기 위한 정책 대안으로서 10부제를 실시하고, 주행세를 도입한다면 이와같은 순환적 관계에 어떠한 변화가 있을까?. 본 연구는 서울시 교통정책대안을 컴퓨터 시뮬레이션 모형을 통해 비교평가하는 것이므로 앞에서 구축된 일반모형에 교통정책대안을 도입하여 모형을 재정립하고 일정기간 동안 이러한 정책을 실제로 시뮬레이션을 통해 수행해 봄으로써 정책효과를 평가하고 정책대안간의 효과를 비교 분석 하기로 하였다.

본연구에서는 서울시의 교통문제를 완화하기 위한 정책대안으로서 최근 활발히 논의되고 있는 주행세와 10부제를 선정하였다.⁷⁾ 주행세와 10부제는 혼잡통행료 징수와 같이 전형적인 교통수요관리 정책들 중의 하나로서 주행세는 교통시설을 이용하는데 대한 비용을 부과하여 수요와 공급이 사회적으로 최적인 균형 상태에서 결정되도록 한다는 의미가 있으며, 버스전용차선은 교통서비스의 이용을 감소시키기 위하여 물리적 혹은 제도적 규제를 가하는 것을 말한다. 승용차의 10부제를 실시 하였을 경우에는 운행차량의 6% 정도가 감소 하는 효과가 있으나 1가구 2차량의 경우는 대부분 10부제를 피할 수 있다는 문제점들도 있고, 투자재원의 조달에 기여하지 못한다는 점도 지적될 수 있다(손의영, 1995). 반면 주행세는 자동차의 이용 단계에서 자동차의 주행거리에 비례하여 세금(휘발유 특소세)을 부과해 차량의 이용을 억제하고 교통부문의 투자재원을 확충하려는 정책적 수단이다. 주행세 도입의 효과에 대해서는 최근의 연구에서 현행 휘발유특소세율(195%)을 300%로 인상시킬 경우 탄력치가 -0.1이면 -3.22%, -0.25이면 -8.8%의 감소효과가 있고, 세수는 최대 1조1천억원 이상의 증대가 가능하다는 결론을 내리고 있다(황기연, 1996).

한편 공급측면의 교통정책은 도로건설과 같은 적극적인 시설투자 정책을 말하는데 도로율(순환형) 1%를 증가시키는데 2조 7천억조원 이상의 재원이 소요되고 도로의 증가보다 자동차의 증가가 크게 앞서는 상황하에서는 교통혼잡의 개선효과가 적다. 따라서 본 연구의 주요 관심사는 교통수요관리 정책으로서 도입될 유용성이 높은 승용차 부제제도와 휘발유특별소비세를 중심으로하였다.

7) 혼잡통행료는 징수가 지역적, 시간적으로 제한되어 있기 때문에 서울시 전체를 연구범위로 하는 본 연구에서는 적절하지 않다.

IV, 모델의 행태 (Model Behavior) 분석 결과

1. 모형의 특성

이상의 개념화 작업에 입각한 모델과 모델에 의한 주요변수들의 행태(behavior)는 먼저 현체제 유지시의 경우 <그림 2> 및 <표 2> 와 같다. 모델의 행태는 과거 서울시의 교통관련 통계치와 비록 엄밀하게 수적으로 일치하고 있지는 않으나 주요 변수들의 --인구 (POP)의 증가, 차량대수(NOC)의 증가, 평균주행속도(CRS)-- 변화 방향은 과거 서울시의 교통관련 통계치의 변화와 거의 같은 모습의 변화를 보여주고 있다.

그러면 이러한 모델에 입각한 각 변수들의 동태적인 변화와 그 추정치들이 얼마나 현실적인 타당성을 가지는가? 이는 결국 모델 타당도의 문제로 귀착된다. 그러나 여기에서는 실제치와 유사한 변화패턴을 보이므로 통계적 검증은 할 필요가 없다.

분석결과에 의하면 서울시에서 어떠한 정책도 취하지 않았을 경우에는 1990년에 시속 24킬로미터이던 주행속도가 12km 가까이 떨어지고, 승용차 대수는 200만대에 육박하여 도로시설이 획기적으로 증가하지 않는 이상 차량 운행을 포기할 시점(10km/h)에 까지 이를 수 있을 것으로 보인다. 또한 자가용승용차의 통행량은 지속적으로 증가하여 2005년에는 1일 7백8십만대 수준을 보이고 있다.

결국 모의실험 결과가 의미하는 바는 결국 인구의 증가, 도로의 증가, 대중교통수단의 수송력 증가와 자동차수의 증가가 지금의 추세대로 2005년까지 지속된다면 차량들의 평균 주행속도(CRS)는 시속 약 12km 대로 감소하여 지금 보다도 더욱 극심한 교통체증을 유발할 것으로 예측된다는 것이다.

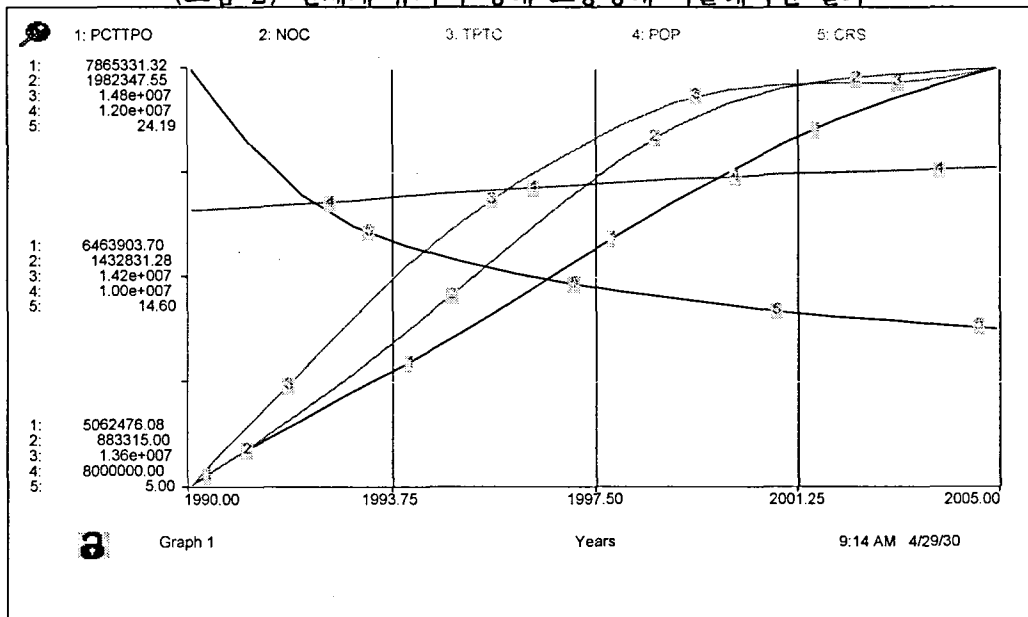
따라서 앞으로의 서울시 교통완화를 위해서는 승용차의 이용억제가 성공의 관건으로 보이는 바 만약, 수요관리 정책이 성공적이라고 한다면 이는 막대한 예산을 들이는 것 보다 더 효과적이며 이는 사회적 형평성과 일치한다. 왜냐하면, 서울시가 교통부문에 투자하는 1년 예산의 30%(2-3조원정도)를 사회복지비나 지역개발비로 상당 부분 전환한다면 이는 사회적편익의 증대에 크게 기여하는 것이다.⁸⁾

8) 아래의 표는 서울시 96-98년간의 총 재정지출 계획으로 교통부문의 지출이 월등히 높은 것을 알 수 있다(손의영, 1995).

〈표 2〉 모델에 의한 주요 변수들의 추정결과1: 현재제 유지시

연 도	승용차통행량 (PCTTPO)	승용차대수 (NOC)	대중교통능력 (TPTC)	인 구 (POP)	주행속도 (CRS)
1990	5,062,476.08	883,315.00	13,601,785.00	10,612,577.00	24.11
1991	5,279,975.90	971,642.25	13,760,561.96	10,648,659.76	20.65
1992	5,476,620.51	1,067,841.03	13,921,059.53	10,685,575.12	18.23
1993	5,683,920.18	1,171,450.57	14,083,937.92	10,722,618.44	16.80
1994	5,863,555.73	1,281,634.38	14,234,319.84	10,759,075.35	15.93
1995	6,053,305.64	1,397,529.82	14,366,832.22	10,794,221.66	15.22
1996	6,303,166.52	1,516,757.37	14,481,222.17	10,828,403.36	14.57
1997	6,524,550.10	1,636,146.34	14,565,130.44	10,861,971.41	14.21
1998	6,748,230.42	1,744,415.78	14,647,464.65	10,892,747.00	13.85
1999	6,961,700.14	1,832,794.11	14,727,391.71	10,921,431.23	13.53
2000	7,164,852.06	1,891,780.17	14,750,039.21	10,948,734.81	13.21
2001	7,351,717.21	1,929,566.15	14,763,937.57	10,973,186.98	12.93
2002	7,508,231.18	1,951,869.71	14,768,565.93	10,994,767.58	12.69
2003	7,646,373.02	1,965,413.55	14,771,888.67	11,013,458.69	12.48
2004	7,761,002.53	1,975,159.96	14,786,963.19	11,028,510.42	12.30
Final	7,865,331.32	1,982,347.55	14,815,131.88	11,040,274.16	12.14

〈그림 2〉 현재제 유지시 장래 교통상태 시뮬레이션 결과



	교통부문	환경부문	세계화/시정	도시주택	도시방재	복지,의료	문화
십억원	7,603	4,992	4,077	2,234	1,887	1,401	1,982
%	30.0	21.2	17.1	9.5	8.0	6.0	8.2

2. 모델의 타당도

모델의 타당도를 검증하는 방법에는 여러가지가 있겠으나 (Richardson, 1981:310-320; Tank-Nielsen, 1980; Forrester and Senge, 1980) 여기서는 첫째, 컴퓨터 모델에 의한 모의실험의 결과가 모델의 주요한 변수들의 역사적인 데이터와 어느 정도나 비슷한 행태를 보이고 있는가?, 둘째, 비현실적인 극단적인 경우에도 이 글에서의 모델이 여전히 일관성있는 행태를 보이는가? 의 기준을 중심으로 모델의 타당도를 평가한다.

여기서는 모의실험에서 얻어진 변수들의 년도별 추정치와 1990년부터 최근년도 0년까지의 과거 데이터와 비교하여 보았다. 앞의 <표 1>에 나와 있는 역사적 행태와 모의실험결과에서 나타나고 있는 주요변수들의 행태들이 정확히 일치하지는 않으나 대체로 같은 추세를 나타내고 있으며 영향을 미치는 방향도 논리적이라고 할 수 있다.

이미 앞에서 언급한 대로 컴퓨터 모의실험이 정확한 수치의 예측(point estimation)에 중점을 두기보다는 어차피 그러한 수치의 예측이 많은 노력과 시간의 투입에도 불구하고 항상 큰 오차를 가져온다는 통계적 추정의 단점을 보완하여 복잡한 인과관계 속에 있는 각 변수들의 행태가 어떤 방향으로 변화해 갈 것인지를 추정해 보는데 더 큰 비중을 두고 있다는 점에서 이해될 수 있을 것이다.

V. 정책대안의 효과성 비교검토

여기서는 교통혼잡 완화 정책대안이 어느 정도의 효과를 가져 오는가를 비교하기 위하여 각 정책대안이 차량 운행 속도에 미치는 영향을 중심으로 각 대안의 효과성을 비교·분석한다.

분석결과를 보면 첫째, 차량 10부제 운행과 주행세 300% 인상시(탄력도가 -0.1인 경우)에는 <표 3>과 <그림 3>에서 알 수 있는 바와 같이 2005년 차량통행속도는 약 13.93 km/hour로 나타나 현체제 유지시의 12.14 km/hour 보다 15% 정도의 속도증가 효과가 있는 것으로 나타났다.

둘째, 차량 5부제 운행과 주행세 300% 인상시(탄력도가 -0.25 적용)에는 <표 4>와 <그림 4>에서 알 수 있는 바와 같이 2005년 차량통행속도는 약 14.9 km/hour로 나타나 현체제 유지시의 12.14 km/hour 보다 20% 정도의 속도증가 효과가 있는 것으로 나타

났다.

셋째, 승용차의 통행량과 주행속도는 시행시점 이후 시간이 경과 하면서 그 효과가 점차 사라져버리는 특성, 즉 단기적(1-3년)으로만 정책효과가 나타나고 장기적으로는 정책효과가 소멸되어버리는 특성을 나타내고 있는데 이는 피드백 모형에서 자동차의 증가와 통행발생의 증가에 영향을 받은 것으로 보인다.

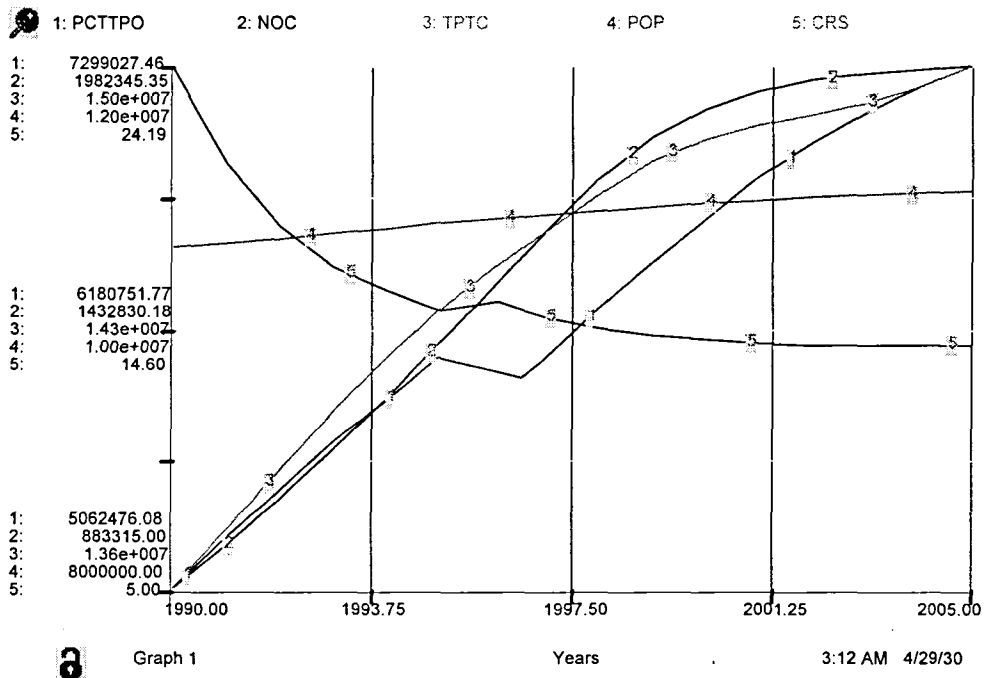
따라서 서울시의 교통혼잡 완화를 위해서는 지속적인 승용차의 10부제 또는 5부제의 시행과 교통사정에 따른 주행세율 인상의 탄력적 도입외에도 여타 자동차 관련 세금, 도심 유출입지점이나 시계유출입 지점에서의 혼잡통행료징수 등의 정책을 다각적으로 실시한다면 교통 수요억제 정책에 의한 교통혼잡의 완화 노력은 비교적 적은 비용으로 교통혼잡도를 완화시킬 수 있는 효과적인 정책이 될것이다.

한편 도로시설의 절대적공 급량을 늘리는 것을 정책대안으로서 도입해볼 수는 있다. 그러나 예를들어 지금의 도로 면적을 10%이상 늘리는 정책대안은 앞에서 설명한바와 같이 건설비 문제, 도로부지의 확보라는 문제외에도 현재의 서울시 도로면적이 10% 증가하는데 소요되는 기간(delay)은 분석의 시간적범위를 넘을 수 있기 때문에 참고적으로만 염두에 두었다.

〈표 3〉 모델에 의한 주요 변수들의 추정결과2: 10부제 실시와 주행세1 도입시

년 도	승용차통행량 (PCTTPO)	승용차대수 (NOC)	대중교통능력 (TPTC)	인 구 (POP)	주행속도 (CRS)
1990	5,062,476.08	883,315.00	13,601,785.00	10,612,577.00	24.11
1991	5,279,975.90	971,412.25	13,760,561.96	10,648,659.76	20.65
1992	5,476,620.51	1,067,841.03	13,921,059.53	10,685,575.12	18.23
1993	5,683,920.18	1,171,450.57	14,083,937.92	10,722,618.44	16.80
1994	5,863,555.73	1,281,634.38	14,234,319.84	10,759,075.35	15.93
1995	6,053,305.64	1,397,529.82	14,366,832.22	10,794,221.66	15.22
1996	5,849,338.53	1,516,757.37	14,481,222.17	10,828,403.36	15.27
1997	6,054,782.49	1,636,146.19	14,583,605.33	10,861,971.41	14.93
1998	6,262,357.83	1,744,415.45	14,686,165.29	10,892,747.00	14.60
1999	6,460,457.73	1,832,793.60	14,788,008.26	10,921,431.23	14.29
2000	6,648,982.71	1,891,779.45	14,834,188.80	10,948,734.81	14.14
2001	6,822,393.58	1,929,565.20	14,873,140.54	10,973,186.98	14.03
2002	6,967,638.53	1,951,868.49	14,904,240.11	10,994,767.58	13.96
2003	7,095,834.16	1,965,412.04	14,935,343.53	11,013,458.69	13.92
2004	7,202,210.35	1,975,158.12	14,979,531.73	11,028,510.42	13.92
Final	7,299,027.46	1,982,345.35	15,038,139.17	11,040,274.16	13.93

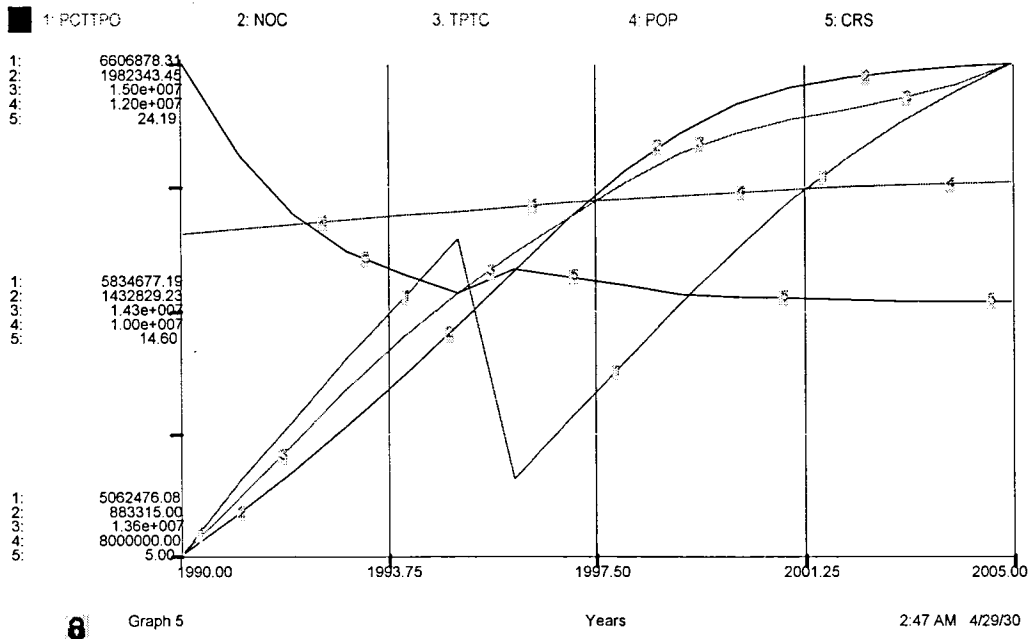
〈그림 3〉 10부제 실시와 주행세1 도입시 장래 교통상태 시뮬레이션 결과



〈표 4〉 모델에 의한 주요 변수들의 추정결과3: 5부제 실시와 주행세2 도입시

년 도	승용차통행량 (PCTTPO)	승용차대수 (NOC)	대중교통능력 (TPTC)	인구 (POP)	주행속도 (CRS)
1990	5,062,476.08	883,315.00	13,601,785.00	10,612,577.00	24.11
1991	5,279,975.90	971,642.25	13,760,561.96	10,648,659.76	20.65
1992	5,476,620.51	1,067,841.03	13,921,059.53	10,685,575.12	18.23
1993	5,683,920.18	1,171,450.57	14,083,937.92	10,722,618.44	16.80
1994	5,863,555.73	1,281,634.38	14,234,319.84	10,759,075.35	15.93
1995	6,053,305.64	1,397,529.82	14,366,832.22	10,794,221.66	15.22
1996	5,294,659.87	1,516,757.37	14,481,222.17	10,828,403.36	16.12
1997	5,480,622.08	1,636,146.00	14,583,605.33	10,861,971.41	15.81
1998	5,668,513.55	1,744,415.06	14,686,165.29	10,892,747.00	15.51
1999	5,847,828.12	1,832,792.98	14,788,008.26	10,921,431.23	15.23
2000	6,018,475.73	1,891,778.61	14,834,188.80	10,948,734.81	15.10
2001	6,175,442.46	1,929,564.13	14,873,140.54	10,973,186.98	14.99
2002	6,306,914.19	1,951,867.21	14,904,240.11	10,994,767.58	14.93
2003	6,422,953.34	1,965,410.55	14,935,343.53	11,013,458.69	14.89
2004	6,519,242.12	1,975,156.42	14,979,531.73	11,028,510.42	14.89
Final	6,606,878.31	1,982,343.45	15,038,139.17	11,040,274.16	14.90

〈그림 4〉 5부제 실시와 주행세2 도입시 장래 교통상태 시뮬레이션 결과



VII. 결 론

지금까지 동태적 체계이론의 컴퓨터 모의실험에 의한 수요측면과 공급측면의 교통정책과 양자가 혼합된 교통혼잡 완화 정책의 효과성을 비교하여 보았다. 결론적으로 말한다면, 교통수요 억제를 통한 교통혼잡 완화정책은 공급측면의 완화정책에 비하여 비교적 적은 비용을 들이면서도 상당히 효과적인 결과를 보이고 있어, 이의 적극적인 실시를 위한 충분한 정책적인 배려가 있어야 할 것이라는 점이다.

물론 이 글에서 설정된 모델과 이 모델의 행태에 입각한 지금까지의 논의는 보다 많은 발전적인 수정과 정교화 과정이 필요하다. 예를 들면 모델의 설정에 있어서 각 변수들이 지나치게 집적화된 변수에 (aggregate variables) 의존 하고 있어 세부적인 사항을 제대로 표현해 주지 못하는 단점들이나, 모델의 핵심이었던 승용차 구매욕구 (ABC: Attractiveness of Buying a Car) 에 대한 보다 철저한 분석과 규명이 미흡했던

점, 그리고 모델의 타당성에 대하여 보다 더 엄밀한 검증과정을 거치지 않은 점외에 사회변화적 특성으로서 정보통신의 발달(홈쇼핑, 홈뱅킹, 전자회의, EDI등의 확산)이라는 측면을 모형에 도입하는 것은 교통과 정보통신의 관계를 규명하기위해서도 앞으로 보완되어야 할 과제라 생각된다.

다만 試論的인 의미에서 이상의 분석결과는 교통수요 억제를 통한 교통혼잡 완화정책은 단기간에는 상당히 효과적인 정책 대안임을 보여주고 있다. 이러한 결과는 그러나 공급위주 교통정책의 無用論을 주장하는 것은 물론 아니다. 이는 아직도 서울의 도로율이 선진국에 비하면 매우낮은 수준이기 때문이다.. 다만, 기존의 연구결과들이 지적하고 있는 것처럼(국회보, 1992; 김수철, 김황배, 1991) 급등하는 토지보상비나 가용토지의 제한으로 막대한 재원이 소요되는 공급위주의 교통 혼잡완화정책을 생각할 때 교통 수요억제를 통한 교통 혼잡완화 정책은 적은 비용으로 거의 동등한 결과를 나타낼 수 있음을 보여주고 있어, 매력적인 정책대안으로 보다 적극적인 고려가 있어야 함을 지적하는 것이라 할 수 있다.

더구나 도로의 증가로 인한 교통체증의 해소는 자가용 이용의 편리성을 상승시키고 장기적으로 볼 때 이러한 승용차 이용의 편리성은 소득의 상승과 더불어 개인의 자동차 구매욕구를 더욱 상승시켜 결국 새로운 교통체증을 유발할 가능성이 있다고 볼 때, 공급위주의 교통혼잡 완화정책은 반드시 강력한 교통수요 억제를 통한 교통혼잡 완화 정책과 병행되어야 할 것이다.

〈참 고 문 헌〉

교통부. 1980-1990. 교통통계연감. 서울.

국회. 1992. “승용차 이용감소를 통한 교통혼잡 개선방안”, 국회보. 제311호.

김수철, 김황배. 1991. “자가용 승용차 운행제한에 따른 효과분석”
교통정보. 1991.2.

매일경제신문. 1993.1.13; 1993.2.4.

서울시. 1980-1990. 서울통계연보. 서울.

-----, 1995. '95 서울시정. 서울.

서울시정개발연구원. 1995. “지자제를 대비한 교통관련세원확보 및 조달”
방안 연구: 주행세를 중심으로.

황기연.1996. “주행세 도입의 바람직한 방향”.서울시정개발연구원,정책토론회, 1996.5.28.

손의영. 1996. “96 서울시 교통혼잡관리방안:이론고찰과 평가”. 서울시
교통정책 토론회. 1996.2.21.

이번송·이의섭. 1996. “교통수요관리정책의 소득계층별 효과분석”.대한교통학회지. 제14
권제1호.

조선일보. 1992.11.2; 1993.1.9; 1993.1.14.

한국일보. 1992.11.17.

Babbie, Earl. 1986. The Practice of Social Research. California,
Wadsworth Publishing Co.

Bell, James A. and James F. Bell. 1980. "System Dynamics and
Scientific Method." In Jorgen Randers. (ed.) 1980. Elements
of the System Dynamics Method. Massachusetts, The MIT
Press.

Darling, Thomas A. and George P. Richardson. 1990. "A Behavioral
Simulation Model of Single and Iterative Negotiations."
Prodeedings of the 1990 International System Dynamics
Conference.

Forrester, Jay W. 1961. Industrial Dynamics. Cambridge, The MIT
Press.

----- . 1969. Urban Dynamics. Cambrdige, The MIT Press.

----- . 1971. World Dynamics. Cambridge, Wright-Allen Press.

----- . 1980. "System Dynamics - Future Opportunities." TIMS Studies
in the Management Science 14. North-Holland Publishing
Company.

----- . 1987. "Lessons from System Dynamics Modeling." System
Dynamics Review. Vol.3. No.2. Summer.

Forrester, Jay W. and Peter M. Senge. 1980. "Test for Building
Confidence in System Dynamics Models." TIMS Studies in the
Management Science 14. North-Holland Publishing Company.

Hamilton, H. R. et.al. 1969. System Simulation for Regional

Analysis. Cambridge, The MIT Press.

Johnson, Curtis B. "Some Effects of Data Errors on Econometric Models." TIMS Studies in the Management Science 14. North-Holland Publishing Company.

Legasto, Jr. Augusto A. and Joseph Maciariello. 1980. "System Dynamics: A Critical Review." TIMS Studies in the Management Science 14. North-Holland Publishing Company.

Mass, Nathaniel(ed). 1974. Readings in Urban Dynamics I. MA, Wright-Allen Press Inc.

Mass, Nathaniel J. and Peter M. Senge. 1980. "Alternative Tests for Selecting Model Variables" In Jorgen Randers. (ed.) 1980. Elements of the System Dynamics Method. Massachusetts, The MIT Press.

Meadows, Donella H. 1980. "The Unavoidable A Priori." In Jorgen Randers. (ed.) 1980. Elements of the System Dynamics Method. Massachusetts, The MIT Press.

Peterson, David W. 1980. "Statistical Tools for System Dynamics." In Jorgen Randers. (ed.) 1980. Elements of the System Dynamics Method. Massachusetts, The MIT Press.

Richardson, George P. & A.L. Pugh. 1981. Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO. Cambridge, MA: The MIT Press.

-----, 1991. Feedback Thought in Social Science and System Theory. Philadelphia, University of Pennsylvania Press.

Sterman, John D. 1987. "Testing Behavioral Simulation Models by Direct Experiment." Management Science. Vol.33. No.12. December.

Tank-Nielsen, Carsten. 1980. "Sensitivity Analysis in System Dynamics." In Jorgen Randers. (ed.) 1980. Elements of the System Dynamics Method.