

# 교통체계의 지속가능성과 시스템 사고 - 전체 엔트로피의 증가속도를 느리게 하기

## Sustainability of Transportation and Systems thinking - Slowing down the rapidity of total entropy

김도훈\* · 홍영교\*\* · 김새림\*\*\*

Kim, Doa-Hoon\* · Hong, Young-Kyo\*\* · Kim, Sae-Rim\*\*\*

### Abstract

Transportation systems around the world are difficult to maintain sustainability that, in a broad sense, is the capacity to endure. By connecting Entropy theory and systems thinking, we find the current problems and seek alternative plans. Distortions of the current transportation system to improve individual's ease and increasing traffic congestion, impose us the heavy energy consumption and will make increase whole entropy. UNEP reports are presented following three reasons that undermine the sustainability. The first one is that the prevalent traffic system highlight benefits of accessibility than benefits of mobility, the second, deteriorate excessive energy consumption, and the last reason is that personal vehicles has inhibited the use of public transportation. Alternative ideas to enhance the sustainable transportation system are these; ① changeover from 'Ease of movement' to 'space efficiency', ② evolving the smart traffic system instead of the construction or expansion of the road and ③ creating more comfortable the use of mass transportation. In addition, there are another ways that encouraging modal shift that increase traffic of goods, transport over railway lines and waterways, decongesting transport corridors and elevating technology to improve public transportation. The most importantly, we converse our cognitive process to be willing to enjoy uncomfortable and annoying life.

**Keyword** : 교통지속성, 엔트로피, 시스템 사고

(Sustainability of Transportation, Entropy, Systems thinking)

\* 숙명여자대학교 행정학과 교수 (제1저자, dhkim@sookmyung.ac.kr)

\*\* 숙명여자대학교 행정학과 박사과정 수료 (공동저자, evanion2@paran.com)

\*\*\* 숙명여자대학교 행정학과 석사과정 (공동저자, verac@naver.com)

## I. 서론

서울 세곡, 서울 우면, 고양 원흥, 하남 미사—이 네 곳은 최근 사람들의 이목을 끌고 있는 보금자리 주택<sup>1)</sup>이 들어설 시범지구이다<sup>2)</sup>. 이러한 대단위 주택지구, 신도시, 위성도시가 건설될 때면 청약 경쟁률, 분양가, 건설사 같은 정보가 중요이슈로 부각된다. 그렇지만 건물이 완성되고 입주할 단계가 되면, 편의시설 부족이나 대중교통시설의 미비가 또 다른 문제로 떠오른다. 이는 신도시 개발에서 흔히 발생하는 관례와 같은 현상이다. 실제로 신도시 건설은 수도권 비대화 현상을 유도해, 교통문제, 주택문제, 환경문제를 비롯한 각종 사회문제를 심화시키고 있다는 실증적 분석결과도 도출된 바 있다(이희연·이승민, 2008: 562).

우리나라는 수도권 교통문제의 해소를 위하여 총 SOC 투자비의 67%를 매년 수도권에 투입하고 있지만, 2000년대에 들어 와서도 수도권 연간 교통혼잡비용은 10조 원을 계속 웃돌고 있다. 특히 수도권 신도시의 교통계획은 중요 교통망이 서울에 의존하는 형태로 이루어지고 있다. 서울과의 연결교통 위주의 개발로 인한 주변도시 및 신도시 내부의 교통시설 미비는 인접도시와의 생활권 분리를 조장하고 있다. 이는 신도시 내부의 자족적 기능을 해치는 결과를 초래 하였다. 또한 신도시 건설에 수반된 광역 전철망과 도로망 건설로 서울 광역권 확대, 서울 통근지역 및 통근률 역시 계속 증가 하고 있다.<sup>3)</sup>

이번 보금자리 주택 시범지구의 경우는 서울시와 연계된 지하철 노선이 있기 때문에 이러한 문제에서 예외가 될 것이라고 생각할 수도 있다. 그렇지만, 지하철을 2번이나 3번씩 환승해서 직장에 출퇴근 할 수 있다고 해서 대중교통시설이 완비되어 있다고 말하기는 어렵다. 직행버스와 일반버스, 마을버스까지 구비되려면 주민들의 의견을 모아 여러 번 시(市)에 건의해야 할 것이다. 이러한 과정이 몇 번 반복된 후에야 도로가 확충되고, 버스노선이 정비되고 새로운 주거단지도 안정화 된다. 신도시개발 이후에도 교통시설이 완비되지 못하고 있다는 연구(김경석, 1998: 104)에서도 이러한 문제를 단적으로 보여주고 있다. 이

1) 보금자리 주택은 공공에서 짓는 것으로 중소형분양주택과 임대주택을 포괄하고 있다. 무주택 서민들의 내 집 마련을 위하여 분양가를 낮게 책정하고 있다.

2) www.bogumjari.kr

3) 서울시 통계(2004).

(단위 : %)

구분	버스	택시	지하철	승용차	기타
2000	28.3	8.8	35.3	19.1	8.5
2001	27.6	8.4	36.5	18.7	8.8
2002	26.0	7.4	34.6	26.9	5.1
2003	25.6	7.1	35.6	26.4	5.3

러한 교통문제는 신도시가 건설되거나 대규모 주거단지가 들어설 때 마다 매년 반복적으로 제기된다. 시간이 지나도 이러한 문제가 해결되지 않는 이유는 무엇일까?

이러한 궁극증에 대한 실마리는 UNEP(United Nations Environment Programme)에서 2009년 2월 발간한 ‘A Global Green New Deal’이라는 정책 보고서를 통해 엿볼 수 있다. 보고서에서는 현재 미국의 교통체계가 매우 왜곡되어 있으나, 이를 장점으로 잘못 인식한 다른 국가에서 모방하고 있다고 지적하고 있다. 이러한 문제로 인해 결국 전 세계가 교통체계의 지속가능성(sustainability of transportation)을 유지하기 어려운 상황으로 치닫고 있다는 것이다.

그렇다면 전 세계에서는 왜 미국의 교통체계를 바람직하다고 생각하였을까? 교통체계의 지속가능성을 유지하기 위해서는 어떠한 노력을 기울여야 하는 것일까? 본고에서는 이러한 의문을 해결하기 위하여 UNEP 보고서의 내용을 인과지도를 통해 분석하고, 이를 바탕으로 교통체계의 지속가능성을 유지하기 위한 대안을 제시해보고자 한다. 지속가능성의 필요성을 설명하기 위해서는, 물리학의 열역학 제2법칙이라고 불리는 엔트로피(entropy) 이론을 시스템 사고와 연결하여 분석한다.

## II. 교통체계 분석을 위한 이론적 논의

### 1. 부드러운 방법론 - 시스템 사고와 인과지도

시스템 사고(system's thinking)는 사물 자체보다는 사물사이의 관계를 보기위한 사고체계이며, 정지된 현상보다는 변화의 유형을 파악하기 위한 사고체계이다(정석환·홍영교, 2007: 205). 각 시스템을 구성하고 있는 변수들 간의 상호간 피드백 관계를 살펴 시스템의 구조를 파악하는 것으로, 특정 변수가 시간의 흐름에 따라 어떻게 동태적으로 변화하는가에 중점을 두고 있다. 즉, 시스템 작동의 메커니즘을 파악하고자 하는 사고(김도훈·문태훈·김동환, 2001: 38)이며, 어느 한 시점에서 문제가 되는 단순 요인을 찾기보다는 시간의 흐름에 따른 변화행태를 찾는 데 목적이 있다. 이러한 시스템 사고는 지난 30년 동안, 정치, 정책, 경제 및 심리체계에 이르기까지 다양한 분야를 이해하기 위한 방법론으로 사용되어 오고 있다(Forrester, 1961; Sterman, 2000).

시스템 사고를 분석하기 위해서는 양적분석법(quantitative analysis) 또는 딱딱한 모델링(hard modeling)이라고 불리는 시뮬레이션(simulation) 기법과, 질적 분석법(quality analysis) 또는 부드러운 모델링(soft modeling)이라고 불리는 인과지도(causal loop) 분석법이 사용된다.

다. 두 가지 방법을 모두 사용하는 경우가 많으나 김동환, Wolstenholme 및 Colye 같은 연구자들에 의하여 부드러운 모델링의 장점이 부각되기 시작하였다(Wolstenholme · Colye, 1983; Coyle, 1998, 1999; 김동환, 2004). 이들은 수량화하기 곤란한 시스템을 무리하게 계량화하여 시뮬레이션을 실시하기보다는 인과지도만으로 시스템을 이해하고, 이를 바탕으로 시스템 전체에 대한 통찰을 하는 것이 더욱 바람직하다고 주장하고 있다. 인과지도는 시스템을 이해하는 데 있어 도움을 줄 뿐만 아니라 시스템의 의미를 파악하는 데에도 커다란 영향을 준다. 또한 변수들을 포함하는 동시에 변수들 사이의 상관관계를 일목요연하게 표시해 주어, 각 변수가 다른 변수와 어떤 인과관계를 형성하고 있는지를 총체적으로 관찰할 수 있으며 동시다발적 파악이 가능해진다. 즉, 현재 진행되고 있는 시스템의 특징이나 행태가 시스템의 어떤 부문 특히 어떤 피드백 구조에 의해 일어나고 있는지에 대한 근본적인 이해가 가능해진다(김동환, 2004: 64-72). 무엇보다도 인과지도를 중심으로 하는 시스템 다이내믹스 연구방법은 기존의 단선적 분석을 종합화시켜주며, 정책에 내재된 시스템사고를 추출하여 그 내용을 검토하여 정책에 대한 현실적 접근을 높여준다(정석환 · 주영중, 2005). 이에 본고에서는 교통정책의 지속가능성에 대한 실질적인 접근을 높이기 위하여 이에 대한 인과지도 분석을 방법론으로 사용한다.

## 2. 지속가능성과 엔트로피에 관한 이론적 논의

지속가능성(持續可能性)이란 일반적으로 특정한 과정이나 상태를 유지할 수 있는 능력을 의미한다. 생물학에서는 생태계가 생태의 작용, 기능, 생물다양성, 생산을 미래까지 유지할 수 있는 능력이라는 의미로 정의 내린다. 이를 사회과학과 연관시켜 보면 환경·경제·사회적 양상의 연속성선 상의 개념으로 이해할 수 있다. 문명과 인간 활동, 즉 사회를 구성하는 수단으로 인간의 수요를 절충하고, 현재 한도에서 최대한의 가능성을 고려하는 동시에 생물의 다양성과 생태계를 보존하기 위한 이념을 지속적으로 유지하기 위한 모든 계획과 활동까지 포함한다.<sup>4)</sup>

위의 지속가능성이라는 일반적인 개념을 확장시켜 등장한 것이 지속 가능한 개발 또는 발전(sustainable development)이다. 이러한 패러다임의 전환은 1972년 ‘로마클럽’의 제1차 보고서인 ‘성장의 한계(Limits to Growth)’에서 환경과 개발에 관한 강한 우려를 표명하고 ‘지속가능한 발전(sustainable development)’이란 용어를 사용하면서부터 일어났다. 그 후 1980년 IUCN(International Union for Conservation of Nature)UNEP · WWF(World Wildlife Fund)에 의해 ‘세계환경보전전략’이 공동으로 작성되었고, 그 이후에 WCED(World Commission

4) <http://ko.wikipedia.org>

on Environment and Development)가 1987년에 발표한 ‘우리의 미래(Our Common Future)’라는 보고서에서 공식화 되었다. 이 보고서는 지속가능성을 ‘미래세대가 그들의 필요를 충족시킬 수 있는 가능성을 손상시키지 않는 범위에서 현재 세대의 필요를 충족시키는 개발’이라고 정의함으로써, ‘환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development; ESSD)’의 개념을 확립하였다. 이 밖에도 ‘지속가능한 사회(sustainable society)’, ‘지속가능한 생활(sustainable living)’ 등 유사한 단어들도 등장하였다.<sup>5)</sup>

그렇다면 엔트로피는 무엇인가? 물리학에서는 시스템을 포괄적으로 설명하기 위한 기본 법칙으로, 열역학(thermodynamics)의 제(諸) 법칙을 이용하고 있다(김영표, 1986). 열역학은 열과 관련된 여러 가지 현상을 취급하는 보편적인 이론체계로, 열평형상태와 경험적 온도에 관한 열역학 제0법칙, 에너지 보존법칙인 열역학 제1법칙, 열 현상의 비가역성에 대한 열역학 제2법칙 그리고 절대영도에서의 상태에 관한 열역학 제3법칙을 기본으로 한다. 열의 본성은 물체를 구성하는 전자나 원자핵과 같은 미시적 입자의 운동에서 구하지만, 열역학법칙은 거시적 수준에서의 열 현상에 관계되던 물체의 미시적 구조와의 관계없이 일반적으로 성립하는 법칙이다. 이 중에서 본 논문과 밀접한 상관관계에 있는 열역학 제2법칙(엔트로피의 법칙)을 설명하면 다음과 같다.

역학에서 취급하는 운동은 모두 가역<sup>6)</sup>이다. 그러나 아주 많은 입자로 구성된 거시적 물체에서는 변화가 일정한 방향으로만 진행되고 역변환은 생기지 않는 경우가 많다. 운동은 마찰에 의해 열이 발생하지만, 그 역변환은 일어나지 않는다. 또한 잉크를 물속에 떨어뜨리면 확산되지만, 자연히 다시 모이는 일은 없다. 이 같은 변화를 비가역변화라고 한다.

열역학 제2법칙은 자연계에 생기는 열 현상이 어떤 방향으로 진행되는가를 서술한 것이

---

5) 지속가능한 발전의 국제연합 분과는 다음과 같은 영역을 그 범주 안에 포함한다 : 농업(Agriculture), 대기(Atmosphere), 생물다양성(Biodiversity), 생물학 기술(Biotechnology), 수용량 건축(Capacity-building), 기후 변화(Climate Change), 소비와 생산의 양상(Consumption and Production Patterns), 인구통계(Demographics), 사막화와 가뭄(Desertification and Drought), 재해 감소 및 관리(Disaster Reduction and Management), 교육과 자각(Education and Awareness), 에너지(Energy), 재정(Finance), 숲(Forests), 깨끗한 용수(Fresh Water), 건강(Health), 인간의 정착(Human Settlements), 지표(Indicators), 산업(Industry), 결론 도출과 참여를 위한 정보(Information for Decision Making and Participation), 통합된 결정(Integrated Decision Making), 국제법(International Law), 환경의 권리부여를 위한 국제협력(International Cooperation for Enabling Environment), 제도적인 협정(Institutional Arrangements), 토지 관리(Land management), 주요 그룹(Major Groups), 산악(Mountains), 국제 지속가능한 발전전략(National Sustainable Development Strategies), 해양과 바다(Oceans and Seas), 빈곤(Poverty), 보건(Sanitation), 과학(Science), 소규모 군도(Small Islands), 지속가능한 관광(Sustainable tourism), 기술(Technology), 유해 화학물질(Toxic Chemicals), 무역과 환경(Trade and Environment), 운송(Transport), 유해 폐기물(Waste-Hazardous), 방사성 폐기물(Waste-Radioactive), 고체 폐기물(Waste-Solid), 물(Water).

6) 가역이란 어떤 운동이 가능하면 그것을 반대방향으로 진행시키는 운동도 가능한 것을 뜻한다.

다. 서로 동등한 열역학 제2법칙에 대한 표현방법이 몇 가지 있는데, 그중 대표적인 2가지는 다음과 같다. 하나는 ‘열은 고온에서 저온으로 이동한다.’라는 표현이다. 즉, R. J. E. Clausius의 표현에 따르면 열의 이동은 비가역적이므로 저온에서 고온의 물체로 열을 운반하면서 그 이외에는 어떤 변화도 남기지 않는 역과정은 불가능하다. 또 하나는 Kelvin, W. Thomson의 표현으로, ‘일이 열이 되는 과정은 비가역적이다’라는 것이다. 따라서 그 역 과정을 행하는 장치인-열원에서 열을 받아 그것을 모두 일로 바꾸면서 그 이외에는 어떤 변화도 남기지 않고 원래상태로 되돌아가는 장치-제2종 영구기관<sup>7)</sup>은 불가능하다. 만약 제2종 영구기관이 가능하다면 대기나 바닷물에서 열을 취해서 전력으로 바꿀 수 있으므로, 특별히 석유를 연소시키거나 핵반응을 일으켜 높은 온도를 만들지 않아도 발전할 수 있게 된다. 그러나 우리 경험에 의하면 현실적으로 이런 일은 있을 수 없으므로 열역학 제2법칙이 보편적으로 성립한다고 할 수 있다. 열을 일로 바꾸기 위해서는 반드시 고온의 열원과 저온의 열원이 필요하며, 열의 일부를 저온열원에 버려야 한다.

열역학 제2법칙은 당연한 것을 설명하는 것처럼 생각되지만, 심도 있는 열역학 체계를 전개하고 있다. 그 내용은 절대온도 및 엔트로피의 도입이다. 엔트로피는 내부에너지와 마찬가지로 상태량, 즉 물체의 정해진 열평형상태에서 정해진 값을 취하는 양이다. 이 엔트로피라는 양을 사용하면 열역학 제2법칙은, 외계로부터 고립된 물체의 계(系)에서 생기는 변화에서는 계 전체의 엔트로피가 반드시 증가한다는 원리로 나타난다.<sup>8)</sup>

앞서 설명한 것처럼, 엔트로피는 ‘외계로부터 고립된 물체의 계(系)에서 생기는 변화에서는 계 전체의 엔트로피가 반드시 증가한다는 원리’를 일컫는다. 즉, 어떠한 생태계, 환경, 사회시스템이라 할지라도 이 시스템 내부의 엔트로피는 반드시 증가하기 때문에 궁극적으로는 회복하기 힘든 상태에 진입하게 된다는 것이다. 그런데, 우리는 에너지를 소비하는 환경에 살고 있으면서도 이러한 상황이 지속되는 동시에 발전되기를 바라고 있다. 지구의 에너지는 제한이 되어 있는데, 지속적으로 성장하기 위해서는-바로 엔트로피의 증가속도를 느리게 하여야 한다는 당위적인 문제로 귀결되게 된다.

7) 영구히 일을 계속할 수 있는 가공의 동력기관을 영구기관이라고 한다. 에너지의 공급을 받지 않고 일을 계속할 수 있는 기계를 제1종 영구기관이라 하고, 단 하나의 열원으로부터 열량을 흡수하여 이것을 그대로 외부에 대한 일로 계속 바꾸는 기계를 제2종 영구기관이라 한다.

8) <http://100.naver.com>

### 3. 선행연구 검토

교통체계의 지속가능성을 증진시키기 위해서 교통의 공급, 도로확장 및 교통의 수요를 관리하는 연구들이 진행되었다. 본고에서는 교통체계를 가중시키거나 확장시키는 것과는 달리, 현재의 교통수요를 줄이거나 관리하는 쪽에 무게를 두었다. 그 이유는 개발이나 성장의 논리로는 교통체계의 지속가능성을 충당할 수 없기 때문이다. 이에 ‘교통의 수요’와 관련된 선행연구들을 검토하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

이건영·원제무(1989)는 도심유발 통행을 억제 또는 분산시키는 정책과 도심유입 및 도심내 교통량을 관리하는 정책 그리고 교통흐름의 처리에 대처하는 정책을 분류하여 교통의 수요를 관리하는 내용을 담고 있다. 교통개발연구원(1991)의 연구내용은 교통수요관리를 물리적 교통수요억제, 경제적 부담부과 방안, 제도적 규제방안, 대체교통수단의 육성이라는 4가지 방안으로 나누고 있다. 서울시정개발연구원(1993)에서는 통행행태의 변화양식에 따라 정책을 구분하고, 교통유발부담금이나 주거지 주민주차제 등의 방안을 제시하고 있다. 광주전남발전연구원(2001)의 연구에서는 각종 인센티브를 통해 자발적인 교통수요 감축노력을 유도하고 통행유발에 따른 사회적 비용을 원인자가 부담하도록 하는 연구를 진행하였다. 인천발전연구원(2002)의 연구는 상습적인 교통정체로 인해 발생하는 사회적 비용을 수익자 부담원칙에 의거해서 교통혼잡 유발 당사자에게 부담시키는 방안을 강구하고 있다. 부산발전연구원(2004)에서는 교통수급불균형에 의해 초래되는 교통소통문제와 주차문제 등을 해소하고, 중·장기적으로는 지속가능한 도시발전을 위한 기반구축을 목표로 설정하였다.

〈표 1〉 선행연구검토

연구자	연구내용
이건영·원제무(1989)	교통수요관리방안
교통개발연구원(1991)	자가용 승용차 운행제한에 따른 분석
서울시정개발연구원(1993)	서울시 교통 통행행태 분석 및 관리 방안
광주전남발전연구원(2001)	교통수요 감축노력 유도과 사회적 비용 노력 연구
인천발전연구원(2002)	교통혼잡완화를 위한 교통수요관리 방안
부산발전연구원(2004)	교통소통문제와 수요관리의 효율화

위에서 살펴본 연구들의 주요 내용은 교통 혼잡 발생의 원인을 최소한으로 감소시켜 혼잡을 완화하고 이러한 일의 원인제공자를 찾아 그 부담을 지우는 일이다. 즉, 교통 혼잡 발

생의 원인을 찾는 부분에서 공통점을 찾을 수 있으며, 이러한 부분이 교통체계의 지속가능성을 저해하는 변수로 활용할 수 있다.

### Ⅲ. 교통체계의 문제점 분석

#### 1. 우리나라 교통체계의 문제점

우리나라의 교통체계는 지속가능성을 지니고 있을까? 우리나라의 교통체계가 지속가능성을 지니지 않고 있다면, 어떠한 문제점을 지니고 있을까? 본고에서는 우리나라의 교통체계의 지속가능성을 저해하는 요인들을 파악해보기 위하여 자동차의 수나 교통 분담률에 대한 국내의 통계자료를 수집하여 그 변화를 살펴보았다.

통계자료를 통해 파악할 수 있었던 첫 번째 문제점은 자동차 수가 꾸준히 증가하고 있다는 것이다. 물론, 국민소득이 높아지고 산업기반이 성장함에 따라 물류나 운송을 위한 차량이 증가하는 것은 당연한 일이다. 그렇지만 [그림 1]을 살펴보면, 우리나라에서의 1,000명당 자동차 수가 지속적으로 증가하는 것과 개인용 차량(승용차의 수)이 증가하는 패턴이 거의 유사하다는 것을 알 수 있다. 즉, 산업성장과 물류이동의 증가로 인해 전체 자동차 수가 많아졌다기 보다는, 개인의 이동 편의성이 향상되는 방향으로 승용차의 수가 증가했다고 볼 수 있다. 이러한 문제점은 <표 2>에서 나타나듯이 각 가정에서 지출하는 교통비 비율을 통해 더욱 분명히 파악할 수 있다.

<표 2> 가구당 월평균 교통비지출 비율 (단위 : 원)

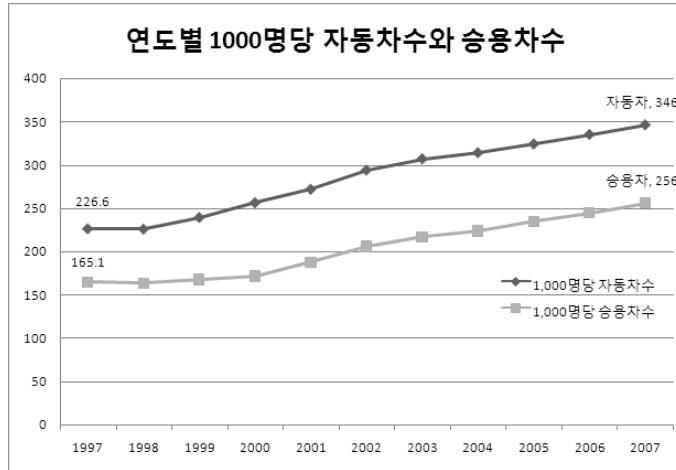
연 도	총소비지출	교통비지출	비(%)	대중교통	비(%)	자가용	비(%)
1988	467,636	23,417	5.0	17,166	3.7	6,251	1.3
2007	2,269,577	255,122	11.2	61,045	2.7	194,068	8.6

<표 2>의 통계자료에서는 1988년과 2007년의 소비지출 대비 교통비지출의 현황을 살펴볼 수 있다. 이 자료에 따르면, 1988년도에 교통비가 총 소비 지출에서 차지하는 비율은 5%였으며, 그 중에서도 대중교통을 이용한 비율이 3.7% 이었다. 그런데 2007년에는 교통비 지출은 총소비지출의 11.2%로 급증한데 반해, 대중교통의 이용률은 2.7%로 하락하였다

9) 통계자료는 구(舊)통계청-현(現)국가통계포털([www.kosis.kr](http://www.kosis.kr))에서 수집하였다.



는 것을 알 수 있다. 즉, 시간이 지남에 따라 개인차량(자가용)을 보다 많이 보유하게 되었으며, 그를 사용하는 비율이 높아졌다는 것을 알 수 있다. [그림 1]과 <표 2>를 통해서, 우리나라에서는 지속적으로 자동차의 수가 증가해왔으며, 그 중에서도 특히 개인차량(승용차, 자가용)이 더욱 높은 비중으로 증가해 왔다는 것을 알 수 있다.



[그림 1] 우리나라 연도별 자동차와 승용차 수

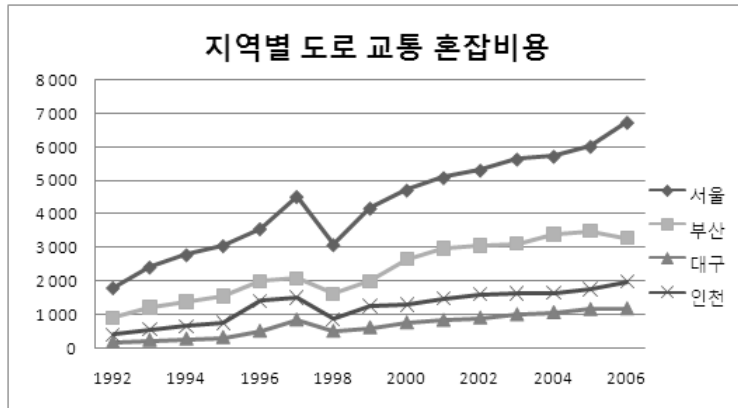
통계자료를 통해 파악할 수 있는 두 번째 문제점은 교통난이 가중되고 있다는 것이다. <표 3>에서는 서울에서 신도시로의 출근 통행률이 매우 높은 수치를 보이고, [그림 2]에서는 우리나라 주요지역의 도로 교통 혼잡비용도 상승하는 모습을 볼 수 있다. 1998년—우리나라의 외환위기(IMF 구제금융 지원)로 단기간에 대량해고 등으로 전반적인 소비가 위축—을 제외하고는, 지역별 교통 혼잡비용이 가중되고 있다.

<표 3> 수도권 5대 신도시에서 서울로의 출근 통행률 (단위 : %)

구 분	일 산	분 당	중 동	평 촌	산 본
신도시 출근통행의 서울유입	64.5	60.2	41.3	37.5	33.2
서울에서 신도시로 이주자의 출근통행의 서울유입	84.5	82.3	69.2	72.9	60.8

도로의 혼잡 비용은 교통 혼잡에 의하여 증가하는 사회적인 비용을 일컫는 말로, 교통량이 어느 한계를 넘는 도로에서 추가되는 한 대의 차량으로 인하여 증가되는 전체 주행 비

용과 시간 비용의 증가를 의미한다. 이러한 도로 혼잡 비용이 지속적으로 증가하고 있다는 것은 교통난이 가중되고 있다는 것을 뜻하며, 이는 에너지의 낭비와 비효율을 부추기고 있다. 통계자료를 통해 파악한 내용만으로도, 현재 우리나라의 교통체계는 에너지의 낭비와 비효율 때문에 엔트로피가 증가하고 지속가능성을 저해하고 있음을 알 수 있다.

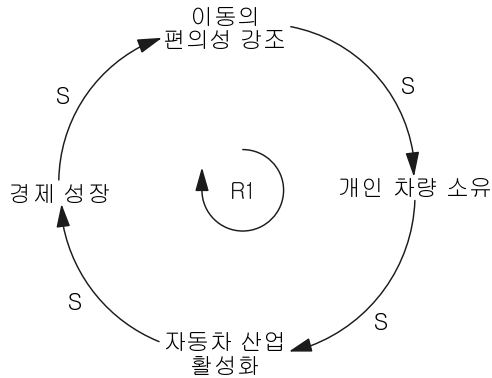


[그림 2] 주요지역 도로 교통 혼잡비용

## 2. UNEP 보고서 : 교통체계의 지속가능성을 저해하는 3가지 이유

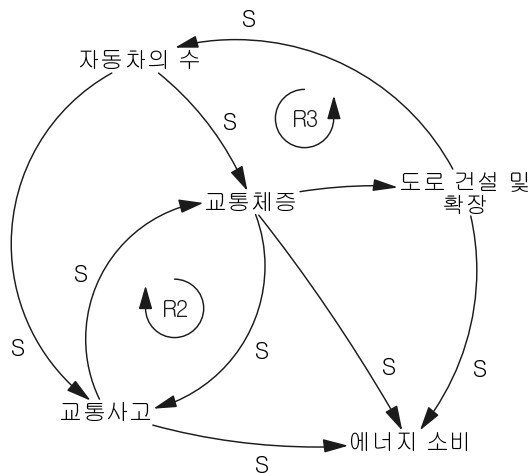
그렇다면 현재 우리나라를 비롯하여 전 세계 교통체계는 왜 왜곡되어 있을까? UNEP 보고서에서는 교통체계의 지속가능성을 저해하는 3가지 이유를 지적하고 있다. 그 첫째는 현재의 교통체계는 접근의 편의성(benefits of accessibility)보다는 이동의 편의성(benefits of mobility)에 중점을 두고 있다는 것이다. 1950년대에서 1990년대까지 미국에서는, 대량생산, 대량소비 문화가 만연하면서 개인의 자동차 구입이 늘어났고 이와 함께 자동차산업과 경제가 지속적으로 성장하는 구조를 보였다. 직장이 있는 도시까지 개인 차량으로 이동하고 저녁에는 다시 운전을 해서 자신의 집으로 이동하는 이러한 모델이 경제성장의 표준이 되었으며, 이로 인해 전 세계적으로 유사한 모델이 급증하게 되었다는 것이다. 이러한 내용을 인과지도로 표현하면 다음의 [그림 3]과 같이 나타낼 수 있다.

[그림 3]의 인과지도를 통해, 개인들의 차량 소유가 늘어나면 자동차 산업이 활성화되고, 이로 인해 전반적인 경제가 성장한다. 경제가 성장할수록 이동의 편의성을 강조해 개인 승용차의 수요를 증가 시킨다. 이는 경제의 성장을 견인하기 때문에, 이동의 편의성은 정책적으로 더욱 강조되게 된다. 이로 인해 개인의 이동영역은 점점 확장하고, 도시에서 일하는 직장인들이 도심에서 거주하기보다는, 상대적으로 주거비가 저렴한 교외지역(suburb)에 머물면서 개인차량을 통해 출퇴근하는 것을 더욱 선호하게 된다는 것이다.



[그림 3] 교통체계의 왜곡의 첫 번째 이유

UNEP 보고서에서 지적하고 있는 두 번째 이유는 현재의 교통체계가 지나치게 에너지 소비를 촉진하고 있다는 것이다. 차량의 증가로 교통체증이 심해진다. 그에 따른 경제적 비용의 증가<sup>10)</sup>(정세호, 1993: 231~243)는 물론 주요 대도시를 중심으로 도로 건설이 촉진되게 된다. 도로가 확장되어 교통체증의 문제가 완화되면, 차량은 더욱 증가되게 되고 이로 인해 다시 교통체증, 교통사고 증가 및 에너지 낭비가 심화된다는 것이다. 이러한 문제를 인과지로도 정리하면 다음의 [그림 4]와 같다.

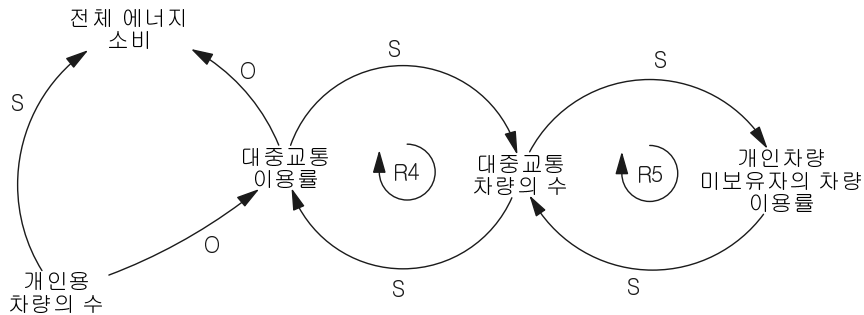


[그림 4] 교통체계의 왜곡의 두 번째 이유

10) 교통체증에 따른 경제 비용(congestion cost)은 2가지로 나누어 생각해 볼 수 있다. 첫째, 운전자 자신이 부담해야 하는 승용차의 운행비이다. 여기에는 휘발유비와 시간비용이 포함된다. 둘째, 많은 운전자가 도로를 사용함으로써 발생하는 혼잡비용이다. 이 비용은 모든 도로 사용자가 부담하게 된다. 혼잡비용에는 차량운행비, 시간 손실비용, 환경비용이 포함된다.

[그림 4]의 인과지도는 자동차의 수가 증가함에 따라 교통체증과 교통사고가 더욱 많이 늘어나게 된다는 점을 분명히 보여주고 있다. 교통체증이 늘어나면 교통사고가 일어날 확률이 높아지고, 교통사고가 발생하면 교통체증 또한 심해지게 된다. 교통난이 심각해지면 도로를 넓히거나 새로 증축하게 되는데— 이로 인해 교통이 편리해지고, 교통이 편리해지면 다시 자동차의 수가 더욱 늘어나게 된다. 이러한 일련의 과정은 모두 에너지의 소비를 촉진하여 엔트로피를 증가를 가속화하는 방향으로 움직인다.

세 번째 이유는 개인용 차량(private motorized vehicle)의 사용을 적극적으로 권장함으로써 대중교통의 발달이 저해된다는 것이다. 그러한 예로 미국과 인도의 경우를 대비하여 설명하고 있는데— 미국인 가정의 90% 이상이 개인차량을 소유하고 있는 반면, 인도의 노동자층은 대중교통조차 이용하지 못하고 있다. 인도의 뭄바이(Mumbai)의 경우를 보면, 전체 통근자의 44% 이상이 도보로 출퇴근을 하고 있다. 가난한 사람의 63% 이상은 걸어서 통근한다. 즉, 에너지 자원을 비효율적으로 이용하는 셈이 된다. 이러한 문제를 인과지도로 도식화 하면 다음의 [그림 5]와 같다.

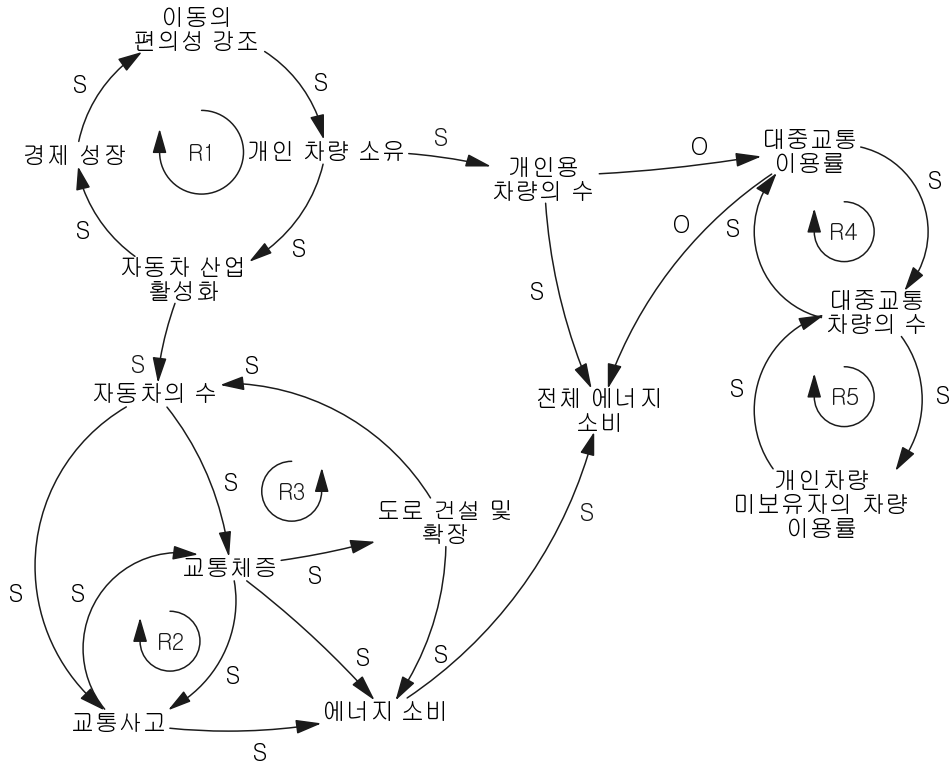


[그림 5] 교통체계의 왜곡의 세 번째 이유

대중교통이용률이 증가하면 버스 등의 대중교통 차량 대수나 노선이 증가할 것이고, 개인차량을 가지고 있지 않은 다수의 서민이나 저소득층의 대중교통 이용률이 폭발적으로 증가할 것이다. 그렇지만, 개인용 차량의 수가 증가하고 각 개인들이 이를 이용하게 되면, 대중교통의 이용률이 감소하게 된다. 수익이 남지 않는 대중교통 운영업체는 대중교통 운행 차량의 수를 적게 배치하게 될 것이고, 이로 인해 개인차량을 가지고 있지 않은 서민<sup>11)</sup>이나 저소득층의 대중교통 이용률은 감소하게 되는 것이다. 이는 교통접근성에 대한 ‘부익부 빈익빈’의 문제를 야기할 뿐만 아니라, 전체적인 에너지의 소비량은 오히려 증가하게 만든

11) 이러한 경우 장기적인 관점에서 보면, 개인차량이 없는 서민층은 잠정적 개인차량 보유자로 봐야한다. 의식주 같은 기본적인 생활환경이 갖춰지면, 개인차량 구매를 우선시하게 되기 때문이다.

다는 데 심각한 문제가 있다. 대중교통을 이용하는 편이 전체 에너지의 소비를 줄일 수 있기 때문에 개인용 차량을 권장하는 정책이 이러한 에너지 소비의 왜곡을 불러일으키고 있다는 것이다.



[그림 6] 3가지 이유 - 통합 인과지도

이러한 3가지의 이유는 각각도 문제이거나, 이를 합한 전체 측면에서 살펴보면 더욱 심각한 구조적인 문제를 지니고 있다. 3가지 이유를 종합한 전체 인과지도는 [그림 6]과 같다. 이동의 편의성이 강조되다 보니, 개인의 차량의 소유가 증가하게 되고, 개인의 차량 증가는 대중교통 이용률을 저하시켜 교통체계를 왜곡하게 된다. 또한, 이동의 편의성이 강조되는 산업모델을 다른 국가에서 벤치마킹 하게 되어, 자동차의 수는 전 세계적으로 증가하게 되고, 교통체증과 사고 등으로 인한 에너지의 낭비(소비)가 또한 급증하게 된다. [그림 6]에서 보면, 앞서 말한 3가지 문제점이 궁극적으로는 전체의 에너지 소비를 활성화 시키는 방향으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 즉, 엔트로피의 상승을 촉발시키는 시스템이 구축되어 결코 지속가능성을 지닐 수 없는 구조로 전략한다.

#### IV. 교통체계의 지속가능성을 높이기 위한 대안 탐색

이렇게 심각하게 왜곡된 교통체계의 지속가능성을 제고하고 엔트로피의 증가속도를 현저하게 낮추기 위해서는 어떻게 하여야 할까? 이를 위해서는 앞에서 제기된 교통체계의 문제점을 개선하여 왜곡된 현실을 개선하여야만 할 것이다. 앞선 [그림 6]을 다시 검토해 보면, 이는 5개의 강화루프(reinforcing loop)로 되어 있다. 일반적으로 강화루프는 변화를 점점 크게 만드는 특성을 지닌다(김창욱·김동환, 2006;6). 즉, 어떠한 문제가 발생하게 되면 지속적으로 그 문제가 같은 방향으로 끝없이 증가하거나 감소하는 패턴을 지니게 된다는 것이다. 이러한 강화루프만으로 이루어진 시스템은 불균형 혹은 문제 현상이 가중되며 통제나 제어가 불가능하여 문제를 더욱 심각하게 왜곡시키게 된다.

현재, UNEP의 보고서를 분석한 [그림 6]의 통합인과지도는 5개의 강화루프로 이루어져 있을 뿐만 아니라 어떠한 조절변수를 찾기가 어렵다는 점에서 더욱 문제가 심각하다. 이 때문에 각각의 문제 성향들은 지속적으로 반복되고 있으며 그를 해결하기 위한 방안도 찾기 어려운 불안정한 시스템이다. 조절변수는 한 방향으로만 진행하던 강화루프를 조정하여 그 방향을 다른 방향으로 전개시키는 역할을 하게 된다. 그러므로 이 시스템을 조절하기 위한 조절변수를 찾는 일이 반드시 필요하다 할 것이다. 즉, 조절변수를 추가하게 되면 지속적으로 증가되던 강화 시스템을 반대방향으로 이동하게 하여 기존의 문제를 완화시키게 된다. 이에 본고에서는 UNEP 보고서에서 제시한 교통체계 왜곡의 3가지 이유를 기반으로 이들을 극복할 수 있는 대응변수를 찾아본다.

UNEP에서 지적한 교통체계 왜곡의 첫 번째 이유는 ‘이동의 편의성’을 강조하는 데에서 시작하였다. 이동의 편의성은 특히 개인차량의 소유를 증대시키는 기본적인 원인이 되었고, 많은 문제가 파급되게 되었다. 그렇다면, ‘이동의 편의성’보다 ‘공간의 효율성’을 강조하는 것을 조절변수로 추가하면 문제해결의 실마리가 보이게 된다. 공간의 효율성을 강조하게 되면, 주거지역과 직장을 얼마나 효율적으로 배치하는가가 더욱 중요한 문제가 된다. 자동차를 이용한 이동보다는, 도로나 자전거를 이용하여 출퇴근이 가능한 지역에 주거지를 결정하게 되고 이러한 흐름이 지속적으로 강조되게 된다면 개인차량의 보유 증가속도를 늦출 수 있게 될 것이다. 출퇴근 시간의 교통 혼잡이 줄어들게 된다면, 교통체증이나 교통사고 등의 문제도 완화될 것이며 이로 인해 증가되던 에너지 소비의 증가도 억제 할 수 있게 된다. 즉, 엔트로피의 증가를 억제하는 균형루프가 작동할 수 있게 된다.

UNEP에서 지적한 교통체계 왜곡의 두 번째 이유는 ‘에너지의 소비를 촉진’하고 있는 교통체계의 구조적인 문제이다. 이를 극복하기 위해서는 도로의 건설이나 확장보다는 ‘스마트 교통시스템(Smart Transport)<sup>12)</sup>의 중요성을 강조할 필요가 제기된다. 물론 최근에도

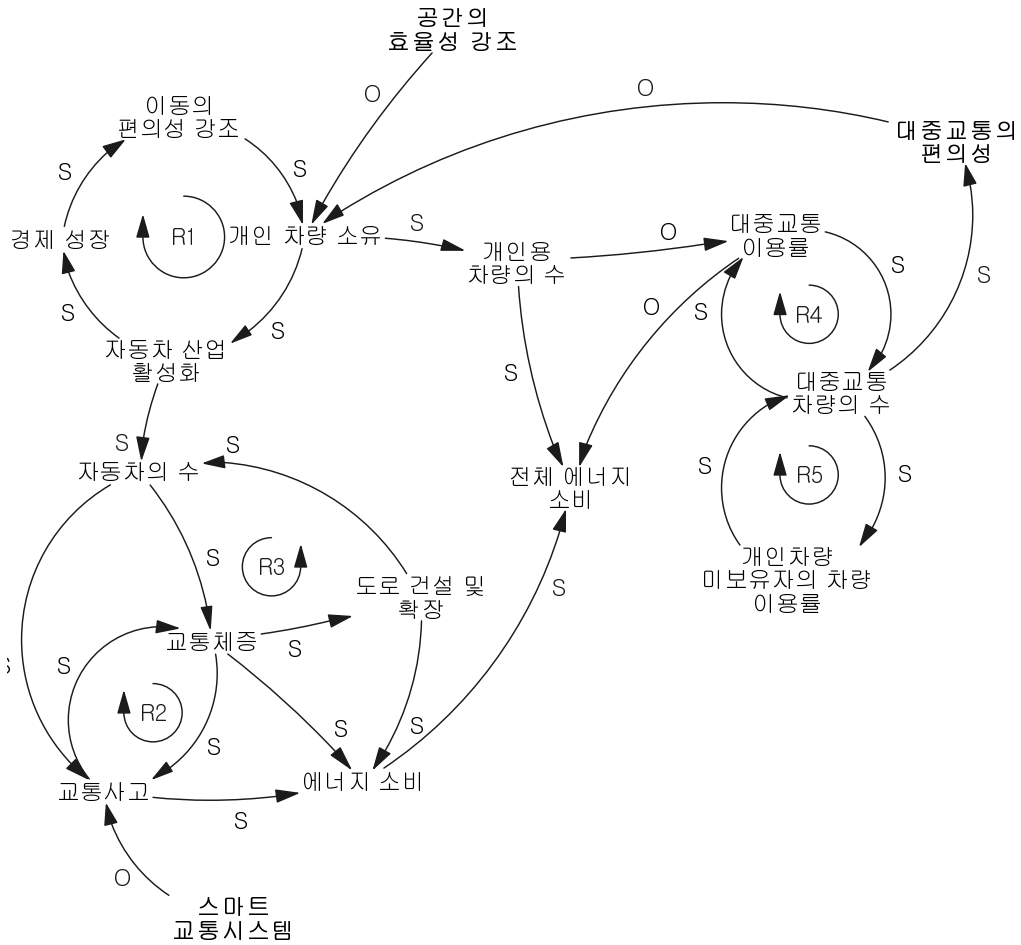
내비게이션을 이용하여 최단거리를 찾고, 교통정체 지역을 우회하여 에너지의 낭비를 최소화하고 있다. 그렇지만, IT 기술이 접목된 스마트 교통시스템을 이용하게 된다면 이러한 내비게이션의 기능보다 더욱 빠르게 실시간, 쌍방향 정보 얻을 수 있으며, 안전한 교통시스템을 이용할 수 있게 된다. 교통의 흐름을 원활하게 하고 교통사고를 예방하여 에너지의 낭비를 막게 된다면, 교통체계의 지속가능성을 보다 향상시킬 수 있다.

마지막으로 UNEP에서 지적한 세 번째 이유는, ‘개인용 차량 이용’ 증가를 조장하는 정책에 관한 것이었다. 개인용 차량 이용이 증가하게 됨으로써 대중교통의 이용률은 낮아지고, 이로 인해 대중교통이 더욱 위축될 수밖에 없기 때문이다. 이를 극복하기 위해서는 ‘대중교통 이용의 편의성’을 증진하는 정책이 필요하다. 대중교통이 활성화된다면 개인차량의 소유나 이용의 필요성이 낮아질 것이며, 이를 통해 저소득층이나 개인차량을 보유하지 못한 사람들의 교통 이용률이 더욱 증진될 것이다. 이를 위해서는 편리한 대중교통 이용 시스템이 구축되어야 할 것이다. 대중교통 시스템이 활성화되어 있지 않으면 그 불편함으로 인해 개인차량의 이용을 선호하게 될 것이고, 이는 다시 교통체계의 지속가능성을 저해하는 중요한 이유가 될 것이기 때문이다. 이러한 조절변수들을 포함한 전체 인과지도는 다음의 [그림 7]과 같다.

이러한 조절 변수 이외에도, 교통체계의 지속가능성을 향상시킬 수 있는 대안들로는 다음과 같은 것들이 있다. 요즘에 가장 이슈가 되고 있는 것 중의 한 가지는 ‘전환교통(Modal Shift)’이다. 이는 도로 중심의 수송체계를 철도나 해운 등을 이용한 대중교통체계로 전환하는 것을 의미한다. 버스나 택시, 승용차등 도로 중심의 체계에 비해 철도나 해운은 저렴한 비용으로 더욱 많은 인원을 수송하는 것이 가능하다. 이러한 전환교통도 현재의 교통체계의 왜곡현상을 완화할 수 있는 주요한 대안으로 사료된다. 또한 기술향상을 통해 고효율 연료 자동차를 개발하거나, 바이오연료를 이용한 동력장치를 개발하는 일 또한 엔트로피의 증가를 느리게 할 수 있는 중요한 대안이 될 것이다.

---

12) 하원규·최문기 (2009) <Super IT Korea 2020 한국형 선진국가 전략모델 : 만물 지능화 IT 입국> ‘스마트 교통시스템(Smart Transport)이란 작게는 IT기술을 접목해 지능적이고 안전하고 깨끗한 교통수단을 개발하는 것이고, 크게는 도로 시스템의 정비를 말한다. 관련 연구는 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있다. 목적은 도로 사망자 수를 줄이는 단순한 것뿐만 아니라, 도로 공간의 안전화를 지향하며, 장기적으로는 자동차, 도로, 사람간의 쌍방 정보 교환을 실현시켜, 최적의 교통 환경을 구축하는 것이다.



[그림 7] 조절변수가 포함된 전체 인과지도

## V. 결론 - 불편한 삶을 즐기기

‘미국의 청학동’이라 소개된 바 있는 아미쉬(Amish) 사람들은 현대사회가 말하는 편리함과과는 거리가 먼 사람들이다. 이들은 17세기 유럽 농촌 지역의 전통을 지켜나가면서 자급자족을 통한 소박한 삶을 즐기고 있다. 마차를 타고, 동물을 이용해 농사를 짓고, 생활에 필요한 모든 것을 직접 생산·소비한다. 이들은 현대사회가 말하는 편리함은 편리함이 아니라고 주장한다. 시간을 단축시켜준다는 컴퓨터는 오히려 작업환경을 가정으로까지 확대시켰으며, 자동차와 전철은 통근 거리를 더 멀어지게 했다. 아파트 생활의 즐거움은 적어도 10년에 걸친 융자금 납부라는 올라미로 자리 잡았다. 융자금을 갚고 노후를 보장받기 위해



서는 평균적으로 매일 한 시간 이상 멍한 정신으로 출근하고, 장시간의 노동을 한 후 다시 늦은 시간의 술자리를 갖고 택시를 이용해 귀가한다. 그러는 동안 이혼 가정은 늘어나고 아이들은 길에서 방황을 한다. 이것은 정상적이지 않다(Savage, 1998;269).

본고에서 이야기하고자 하는 것은, 우리들이 모두 청학동에 들어가거나 아미쉬처럼 생활해야 한다는 것은 아니다. 그렇지만, 지속가능성을 향상시키기 위해서는 어느 정도의 불편함은 감수할 준비가 되어있어야 한다는 것이다. 현재의 교통시스템은 분명히 왜곡되어 있다. 특히 신도시나 주거 도시가 생기면 극심한 교통난이 가중되는 우리나라의 수도권은 그 왜곡현상이 특히 심하다고 할 수 있다.

이러한 문제의 가장 근본적인 원인은 ‘편리한 대중교통’이 완비되지 않은 채로 주거지만을 건설하는 문제 때문이다. 대중교통이 확보되지 않은 상태라면 주민들은 당연히 개인용 차량을 구입하게 된다. 개인용 차량의 증가는 자연적으로 교통체증과 사고를 유발하게 되고, 이로 인한 혼잡비용의 증가는 필연적으로 에너지의 소비를 촉진시킨다.

사회 전체의 엔트로피가 증가한다는 것은 불변의 진리이다. 엔트로피가 증가하는 현대사회에서 지속가능성을 함께 논의한다는 것은 매우 어려운 일이 아닐 수 없다. 결국은 지속적으로 증가하고 있는 엔트로피의 증가속도를 최대한 더디게 하는 것만이 지속가능성을 높일 수 있는 유일한 방법이다. 본고에서는 이러한 문제를 완화시키는 방안으로-이동의 편리성보다는 공간의 효율성을 강조할 것, 기술축적을 통한 스마트 교통시스템을 구축할 것, 대중교통의 편의성을 증진시킬 것을 제안하였다. 이러한 대안 중 가장 중심이 되어야 하는 것은 바로 대중교통을 우리가 많이 이용하고, 불편한 삶을 기꺼이 즐기려는 우리들의 인식 전환 과정일 것이다.

### 【참고문헌】

- 고준호. (2007). 「승용차 이용 감축을 위한 서울시 교통수요관리 추진방안」. 서울 시정개발연구원.
- 광주전남발전연구원. (2001). 「광주광역시 교통수요관리 추진방향」.
- 교통개발연구원. (1991). 「자가용 승용차 운행제한에 따른 분석」.
- 김경석. (1998). 「일본 수도권 신도시와 교통시설확충 실태」. 『국토계획』. 7 (201): 95-104.
- 김도훈 · 문태훈 · 김동환. (1999). 『시스템 다이내믹스』. 대영문화사.
- 김동환. (2004). 『시스템사고』. 선학사.
- 김영표. (1986). 「Entropy - A New World View」. 『국토계획』. 22-24. 국토연구원.
- 김창욱 · 김동환. (2006). 「정책 부작용의 원인과 유형」. 제1회 복잡계 컨퍼런스 발표 논문.
- 부산발전연구원. (2004). 「부산시 교통수요관리 정책의 평가 및 효율화 추진 방안」.
- 서울시정개발연구원. (1993). 「서울시 교통수요관리방안 연구」.
- 스코트 새비지. 김연수 옮김. (2001). 『플러그를 뽑은 사람들』. 나무 심는 사람.
- 이건영 · 원제무. (1989). 『도시교통정책론』.
- 이희연 · 이승민. (2008). 「수도권 신도시 개발이 인구이동과 통근통행패턴에 미친 영향」. 대한 지리학회. 43(4): 561-579.
- 인천발전연구원. (2002). 「인천광역시 교통혼잡완화를 위한 교통수요관리 방안 연구」.
- 정세호. 「교통체증에 따른 경제비용에 대한 연구-도시 교통문제를 중심으로」. 인하대학교 산업경제연구소. 『경상논집』. 7: 231-243.
- 정석환 · 주영중. (2005). 「시스템다이내믹스 방법론을 이용한 정책과급효과분석」. 『한국행정학보』. 39(1): 219-236.
- 정석환 · 홍영교. (2007). 「대북포용정책의 차원과 타당화」. 『한국행정학보』. 41 (1): 203-206.
- 장영희. (2000). 「수도권 신도시 개발의 쟁점」. 서울시정개발연구원.
- 조명래. (2003). 「수도권 신도시 건설의 재성찰: 김포 신도시 건설 무엇이 문제인가?」. 공청회자료집.
- 하원규 · 최문기. (2009). Super IT Korea 2020. 「전자신문사」. 239-243.
- 한국일보. (2003). 「수도권 신도시 주민 38% 서울 출근」. 3. 23.
- 황희연. (2003). 「수도권 대단위 택지개발사업이 인구집중에 미치는 영향」. 한국공간환경학회. 공간과 사회. 20: 100-116.

- Coyle, R. (1998). "The practice of system dynamics: Milestones, lesson and ideas from 30 Years of experience". *System Dynamics Review*. 14(4): 343-365.
- \_\_\_\_\_. (1999). "Qualitative Modelling in System Dynamics or What are the wise limits of quantification?". *Proceedings of 1999 Conference of System Dynamics Society*, New Zealand.
- Forrester, Jay W. (1961). *Industrial Dynamics*, Cambridge. The MIT Press.
- Savage, Scott. (1998). *The Plain Reader*. Ballantine Publishing Group.
- Sterman, J D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. The Mcgraw-Hill Company.
- UNEP. (2009). A Global Green New Deal.
- Wolstenholme, E. F., Coyle, R. G. (1983). "The development of system dynamics as a methodology for system description and qualitative analysis", *The Journal of the Operational Research Society*, 34(7): 569-581.

<http://ko.wikipedia.org>

<http://100.naver.com>

<http://www.kosis.kr>