

지속가능한 발전을 위한 환경용량의 산정과 토지이용형태 연구 - 수도권지역을 중심으로 - *

Sustainable Land Use within a Limit of Environmental Carrying Capacity in Metropolitan Area, Korea

문태훈**

Moon, Tae-Hoon**

Abstract

The purpose of this paper is exploring changes in land use pattern when considering environmental carrying capacity. A sustainable development requires a society to define sustainability constraints, environmental carrying capacity. Environmental carrying capacity can be defined as a level of human activity a region can sustain at a desired level of quality of environment. This concept of environmental carrying capacity can be applied to land use to explore sustainable land use pattern. Since land use pattern can affect environment in an important way, exploring sustainable land use pattern within the limit of environmental carrying capacity can suggest useful implications for a sustainable regional management and planning. For this purpose, this paper built the environmental carrying capacity land use model and applied it to the Metropolitan Area, Korea. System dynamics modeling methods was used to build the model. The model developed in this paper consisted of 6sectors; population, housing, industry, land, environment, and traffic sector. The model limits its main focus on the NO₂ level as an indicator of quality of environment in Metropolitan Area. Box model was translated into system dynamics model and combined to urban dynamics model to estimate NO₂ level, the maximum number of population, industry structure, housing and maximum amount of land use for industrial, housing, and green space that can sustain desirable NO₂ level. Metropolitan area was divided into 16 areas and the model was applied to each area. Since NO₂ is flowing in and out from each area, model was built to allow this transbounding nature of air pollutants. Based on the model estimation, several policy implications for a sustainable land use pattern was discussed.

Keywords: Sustainable Land Use, Environmental Carrying Capacity,
Metropolitan Area, System Dynamics

* 이 논문은 중앙대학교 연구년 연구비 지원에 의하여 수행된 연구입니다.

** 중앙대학교 도시 및 지역계획학과 교수 (sapphire@cau.ac.kr)

I. 서론

환경문제는 토지이용의 문제와 직결된다. 보전해야 할 지역과 개발이 가능한 지역을 엄밀히 구분하여 토지를 계획적으로 이용함으로써 자연생태계를 보전할 뿐 아니라 직주근접의 공간배치로 불필요한 통행수요와 에너지자원의 낭비를 막고 환경오염을 최소화시킬 수 있기 때문이다. 따라서 신중하고 체계적인 계획에 입각한 토지이용은 토지의 효율적 이용 뿐 아니라 환경보전을 위해서도 필수적이다.

본 연구는 토지이용이 환경문제에 지대한 영향을 미친다는 인식하에 지역의 토지이용이 환경친화적으로 되기 위해서는 토지이용의 형태가 어떻게 되어야 할 것인지 그 방안을 모색하고자 하였다. 여기서 적정 토지이용 형태라 함은 환경친화적인 토지이용을 위한 적정 인구규모를 추정하고 이 인구가 이용할 토지가 녹지, 택지, 산업용지, 도로 등 부문별로 얼마나 할당되는 것이 적정한가를 말한다.

이를 위하여 본 연구는 기존의 환경용량모델(문태훈, 2001)을 이용하여 일정한 환경수준을 목표로 할 때 지역이 수용가능한 최대인구규모가 얼마인지를 추정하고 이에 기반하여 지역의 적정 토지이용 형태를 파악해 보고자 하였다. 연구대상지역은 수도권 전체를 대상으로 하되 수도권을 4x4 지역으로 나누어 총 16개 지역에 대하여 환경용량모델을 적용하여 보다 세밀하게 지역별 적정 토지이용 형태를 추정하고자 하였다. 이 경우 문제는 지역의 환경수준은 인접지역으로부터의 환경오염물질의 유입에 직접적인 영향을 받아 지역간에 밀접한 상관관계가 있기 때문에 환경오염 물질의 지역간 유동문제를 고려하여야 한다는 점이다. 본 연구에서는 지역간 환경오염물질의 유출입을 고려하여 오염물질의 발생량 및 유출입량에 따른 환경수준의 차이가 토지이용 형태의 차이를 가져올 수 있도록 모델링 하였다.

II. 환경용량에 대한 선행연구

생태학자들은 한계용량을 “현재 지역에 생존하고 있는 종이 미래에도 생존할 수 있는 가능성을 해치지 않으면서 수용할 수 있는 최대 개체의 수”로 정의한다. 더 구체적으로 “유기체의 수로 표현된 재생가능한 자원의 크기”를 말한다(Daily & Ehrlich, 1992).

한계용량은 지역의 크기와 그 지역에 생존하고 있는 유기체의 특성의 함수관계로 표시된다. 다른 조건이 동일하다면, 더 넓고 자연자원이 풍부한 지역일수록 더 큰 한계용량을 가질 것이다. 또 같은 규모의 지역이라도 그 지역에 생존하는 종이 적은 에너지로 생존이

가능하다면 더 많은 에너지를 필요로 하는 종이 생존하고 있는 경우보다 큰 한계용량을 가지게 될 것이다. 따라서 일정한 규모의 지역이 지니는 한계용량은 그 지역에 생존하는 유기체가 생존에 필요한 자원의 양이 변하는 속도와 같이 변하게 된다. 이같이 한계용량의 개념은 비교적 명확하지만 용량의 측정은 단순하지가 않다.

인간일 경우 환경용량은 자연생태계가 지탱할 수 있는 최대 인구규모를 지칭하는 것으로 사용되어왔다(Miller, 1979). 인간일 경우 문제는 두가지 이유로 인하여 더 복잡해진다. 인종에 따라 생존에 필요로 하는 자원의 소비량에는 상당한 차이가 있으며, 기술진보를 포함한 문화적인 진보에 따라 개개인이 소비하는 자원의 양은 상당한 차이를 가져오기 때문이다. 따라서 보통 한계용량은 생물물리학적 한계용량과 사회적 한계용량으로 구분한다. 생물물리학적 한계용량은 주어진 기술수준에서 생물물리학적으로 생존이 가능한 최대의 인구규모를 말하며, 사회적 한계용량은 특정 수준의 사회체제하의 소비수준에서 수용가능한 최대 인구규모를 말한다. 따라서 어떤 기술수준에서 이 양자를 비교하더라도 사회적 한계용량은 생물물리학적 한계용량의 규모보다는 적게 된다. 그러나 이미 대부분의 생태학자들은 지구의 한계용량은 초과되었다고 보며 이러한 상태하에서 문제는 삶의 질과 지속가능성에 모아지고 있다. 즉, 한계용량 이상의 삶을 지구가 지탱할 수는 있으나 여기서는 필연적으로 삶의 질의 저하를 수반하게 된다는 것이다. 이렇게 보면 환경용량은 “일정한 삶의 질을 지속적으로 유지할 수 있는 수준에서 지역이 지탱할 수 있는 인간활동의 최대수준”으로 정의할 수 있다(Bioshop et.al. 1974).

환경한계용량과 관련한 연구는 다양하지만 이 연구는 주어진 자연조건하에서 자연의 재생산능력을 해치지 않는 범위 내에서의 인간활동의 한계점이 어느 정도인가를 파악하고자 하는 것이 목적이다. 이러한 부류의 연구로 좋은 예는 야생동식물 서식지를 파괴하지 않으면서 수용할 수 있는 관광객의 수는 최대한 어느 정도인가에 대한 연구(Shelby & Colvin, 1982; Tarrant & English, 1996), 성공적인 농업경작을 위한 적정인구밀도를 한계용량의 관점에서 행한 연구(Fearnside, 1985), 도시지역에서 일정한 삶의 질과 환경의 질을 목표로 할 때 인구수용량이 어느 정도이며 현재의 상태는 어떠한가에 대한 연구들(Onishi, 1994; 이창우, 1999, 2000; 문태훈, 1999b, 2001)이 있다.

한계용량에 대한 연구들은 환경정책에 중요한 응용가능성을 시사해 주고 있다. 일정한 환경의 질을 유지하기 위한 인간활동의 한계가 보다 과학적 방법으로 추정될 수 있다면 이는 각종 계획과 인간활동에 대한 여러 결정을 위한 논의의 중요한 출발점과 가이드라인을 제공할 것이다. 뿐만 아니라 환경용량의 개념은 인구과밀상태에 있는 지구에서 장기적으로 인간이 당할 고통을 최소한으로 줄이기 위해서, 그리고 인류의 후손들이 번창할 수 있는 여지를 남겨두려는 윤리적인 의미에서도 필요한 개념으로 주장되고 있다(Hardin, Garrett.

1975).

그러나 문제는 환경의 한계용량 산정이 단순한 것이 아니라는 점이다. 한계용량의 산정에 대한 비판들은 대체로 한계용량이라는 것이 기술의 발전정도, 인간의 선호도, 생산과 소비를 망라하는 경제활동의 구조 등에 의하여 지속적으로 변화하는 것임에도 불구하고 한계용량의 산정이 인구밀도와 기술 및 제도가 무관하다는 가정에 입각해 있을 뿐 아니라 소비와 생산에 있어서 경제학의 대체이론이 무관한 것으로 가정되고 있으며, 인구밀도와 사회복지 함수가 무관하다는 가정에 입각해 있다는 점 등에 모아지고 있다(Mackellar, 1996). 뿐만 아니라 환경의 한계용량은 물리적환경과 생물학적 환경과의 상호작용에 의해서도 끊임없이 변화한다(Arrow, Bolin, Costanza et.al, 1995:520-521). 따라서 고정된 숫적인 개념으로서의 한계용량은 의미가 없다. 환경용량은 일정한 환경의 질을 목표로 할 때, 인간활동과 환경요소들간의 복합적이고 순환적인 양방향의 상호작용에 의하여 변화되는 것으로 파악되어야 한다. 그리고 환경용량을 산정하기 위한 방법은 이같이 복잡하게 얽힌 각 요소들간의 연쇄적인 인과관계를 동태적으로 고려할 수 있어야 한다. 본 연구에서 환경용량모델링에 시스템다이내믹스 방법¹⁾을 이용한 것은 이러한 점을 고려한 것이다.

Ⅲ. 환경용량기반 토지이용 모델

1. 지역환경용량모델

환경한계용량 산정을 위한 모델의 전체의 인과지도는 <그림1>과 같다. 모델은 인구, 산업, 주택, 환경, 토지, 차량의 다섯 부문으로 구성되어 있으며 각 부문은 서로간에 영향을 주고받는 역동적인 관계를 가지는 것으로 설정되어 있다. 모델의 목적은 녹지를 포함하는 한정된 토지공간이 주어져 있다고 가정할 때, 이 공간내에서 일정한 환경의 질을 유지할 수 있는 최대 인구규모가 얼마인지를 산정하는 것이다. 그리고 이에 따른 산업활동, 주택, 자동차의 규모는 어느 정도인지를 동태적으로 파악함으로써 적정 토지이용형태를 추정하고자 하는 것이다(문태훈, 1998). 이를 위하여 알펠드의 도시동태모형과 박스모델을 결합한 환경용량모델(ECC: Environemntal Carrying Capacity)을 이용하였다(문태훈2001). 지역간 대기오염물질의 이동성을 고려하기 위하여 수도권을 4×4섹터로 나누어 총 16개 섹터로 구분하고 각 섹터별로 환경용량모델을 적용하였다. 그리고 섹터간 대기오염물질의 유동성을 고려할 수 있도록 한 섹터에서의 오염물질의 배출농도가 인근섹터의 오염물질 유입농도가 되

1) 시스템다이내믹스에 대한 상세한 설명은 김도훈 문태훈 김동환. 1999. 「시스템다이내믹스」 참조.

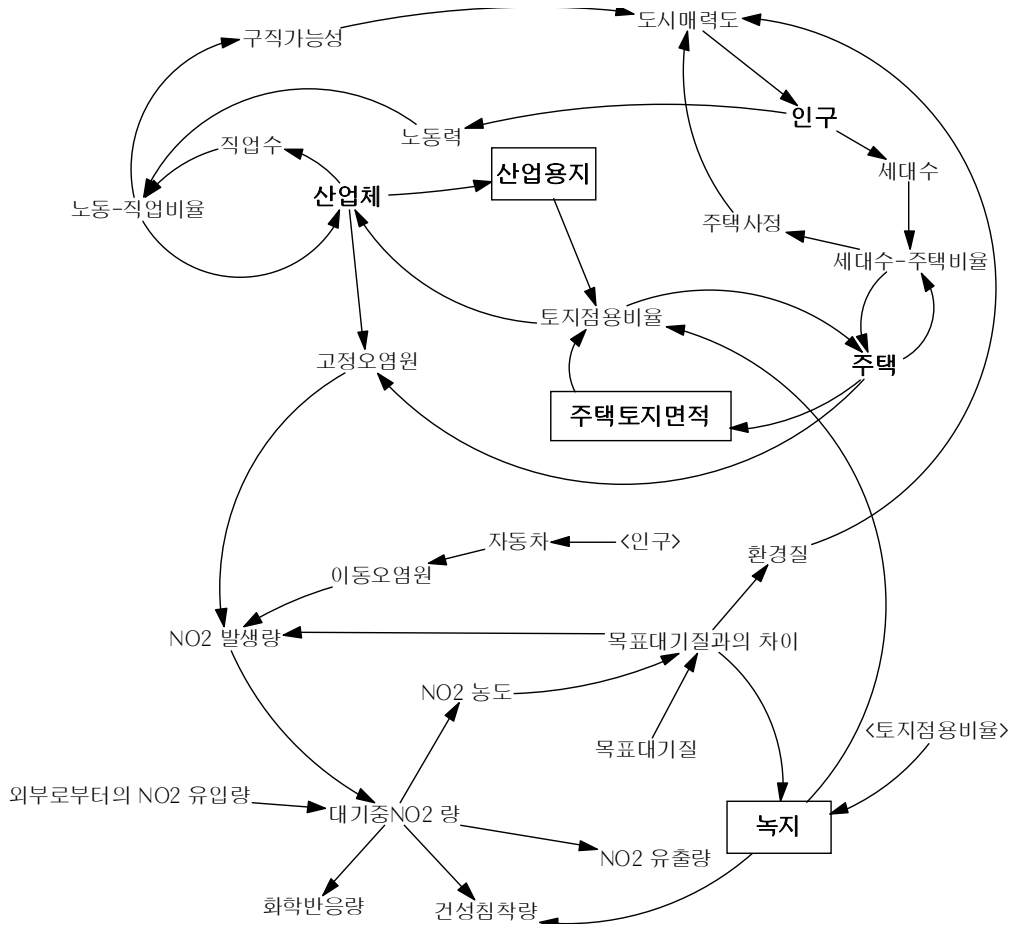
도록 하였다.

인과지도의 하단부분은 박스모델을 이용한 대기중 이산화질소의 농도를 추정하는 부분을 나타내고 있다. 고정오염원인 산업부문 및 주거부문과 이동오염원인 자동차에서 배출되는 이산화질소는 이 모델에서의 주된 오염물질로 설정되고 있다. 지역 이산화질소의 대기중 농도는 지역으로 유입되는 외부로부터의 이산화질소의 유입량과 지역에서 발생하는 이동오염원과 고정오염원으로부터의 이산화질소의 배출량, 그리고 이들 이산화질소가 화학반응(chemical reaction)으로 다른 물질로 변하는 양, 그리고 건성침착(dry deposition)되는 양의 크기에 의하여 결정된다. 건성침착은 녹지에서 일어나는 이산화질소의 침착과 도심지역의 비녹지지역에서 일어나는 이산화질소의 침착으로 구성되는데 녹지지역에서의 이산화질소의 침착이 훨씬 더 빠른 속도로 많이 이루어진다.

인과지도에서 녹지가 포함되고, 굵은 선으로 표시된 인과관계의 루프들이 보이는데 이 인과관계는 사실적인 인과관계를 나타내는 것이 아니라 모델이 목표대기질로 근접해 갈 수 있도록 하고, 목표대기질을 이루었을 때 해당지역이 수용가능한 인구의 규모나 주택, 산업체, 차량의 규모가 어느정도인가를 밝히기 위하여 의도적으로 삽입된 인과관계의 루프(loop) 이다.

지역의 대기질이 목표 대기질과 현격한 차이가 있어 지역의 대기오염이 심각해지면 두 가지 측면에서의 대응이 가능하다. 첫째, 대기오염물질의 총 배출량을 기술개발을 통해서나 자동차, 산업체의 절대량의 감소를 통하여 줄이거나, 둘째, 이산화질소의 흡착원인 도심 녹지의 규모를 증대시켜서 대기질을 향상시키는 방법이다. 주어진 토지내의 주어진 자연환경인 녹지(green space) 지역주민들에게 신선한 산소를 공급해 주는(green space needed per person) 한편 고정오염원과 이동오염원에서 배출되는 이산화질소를 흡착하는(No2 sink by green space) 흡수원으로서의 역할도 동시에 하기 때문이다. 그러나 녹지의 면적은 무한히 증가할 수 없다. 지역의 토지용량이 한계가 있기 때문이다. 다른 한편으로 녹지면적의 증가는 토지용량의 한계범위를 압박하여 산업체의 증가는 물론 주택의 증가를 억제하는 요인으로 작용한다. 토지이용이 녹지면적, 산업체부지, 택지간에서 경쟁이 일어나게 되는 것이다. 여기서 환경의 질은(pol index) 대기중 이산화질소의 농도와 목표 이산화질소의 농도의 비

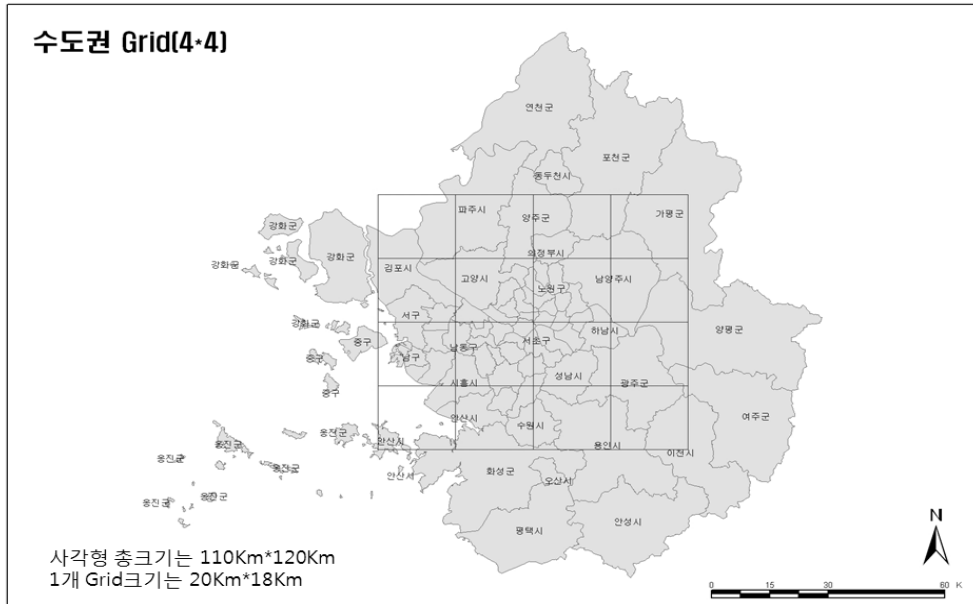
율로 산정하였는데 $\frac{\text{NO}_2 \text{ ppb}}{\text{목표 NO}_2 \text{ ppb}}$ 로 계산되었다.



<그림 1> 환경용량 기반 토지이용모델

2. 환경유동모형으로의 확장

이상 설명한 환경용량모델은 한 지역에 대한 총량모델로 적용될 수 있으나 한 지역을 세분하여 보다 세밀하게 지역간의 오염물질이 이동되는 환경유동모형으로 확장될 수 있다. 연구의 대상지역을 수도권으로 할 때 수도권을 일정한 범위로 구분하여 각 구분된 지역별로 환경용량모델을 적용하여 지역별로 시뮬레이션이 가능하다. 그러나 이 경우, 지역간 오염물질이 서로 유동하게 되므로 이러한 점이 고려되어야 한다. 연구대상권역은 아래 <그림2>와 같으며 권역별 행정구역은 <표1>과 같다.



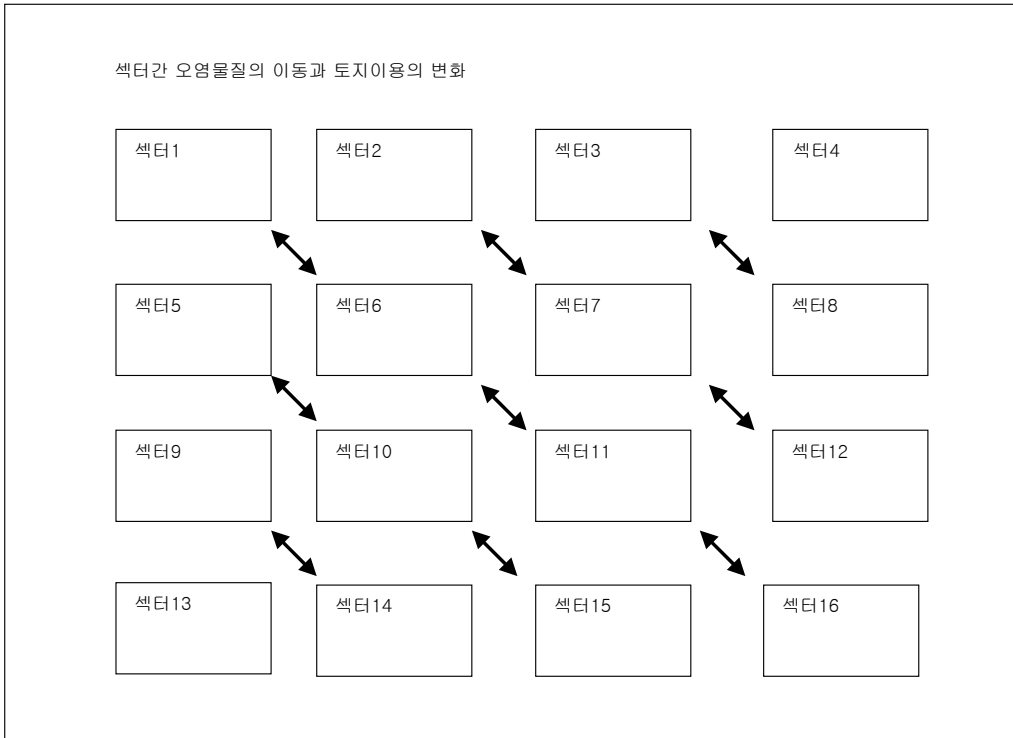
<그림 2> 연구대상권역

<표 1> 수도권 Grid별 행정구역

1 ×	2 · 파주시 · 양주군	3 · 의정부시 · 포천군	4 · 가평군
5 · 김포시 · 인천 (서구, 계양구)	6 · 고양시 · 서울시 일부 (은평구, 서대문구, 종로구, 강서구, 마포구, 중구, 강북구)	7 · 구리시 · 서울시 일부 (성북구, 도봉구, 노원구, 동대문구, 성동구, 중랑구, 광진구, 강동구)	8 · 남양주시
9 · 인천시 일부 (부평구, 동구, 중구, 남구, 남동구, 연수구)	10 · 서울시 일부 (용산구, 영등포구, 양천구, 구로구, 동작구, 관악구, 금천구) · 부천시, 시흥시, 광명시, 안양시, 과천시	11 · 서울시 일부 (강남구, 송파구, 서초구) · 성남시, 하남시	12 · 광주군
13 ×	14 · 군포시, 의왕시 · 수원시, 안산시	15 · 용인시	16 · 이천시

1) 환경유동모형의 구조

환경유동모형의 전체적인 구조는 <그림3>과 같다.

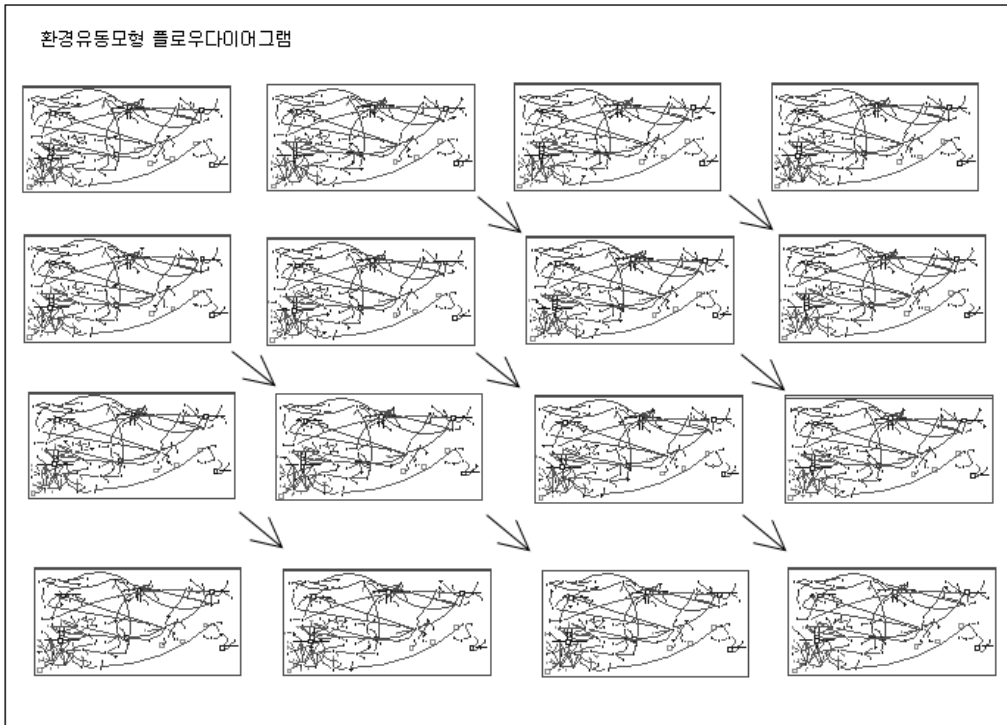


<그림 3> 섹터간 오염물질의 이동과 토지이용의 변화

<그림3>에서 권역간 오염물질의 이동은 북서방향과 남동방향의 양방향으로 이루어지는 것으로 가정하였다. 이것은 겨울철에는 주로 북서풍이, 여름철에는 주로 남동풍이 불어 온다는 것을 가정한 것이다. 그러나 이산화질소의 오염도는 자동차운행 및 난방연료의 사용에 영향을 받아 월별 오염도의 추이를 보면 가장 오염도가 높은 달은 11월로 0.035 ppm이며 가장 낮은 달은 8월로 0.018 ppm이다(경기환경백서, 2006:244). 모델에서는 보수적인 입장에서 오염도가 높은 겨울철을 상정하였고, 바람은 겨울철의 북서풍을 주된 풍향으로 가정하였다.

각 섹터별로 적용되는 모델은 일정한 환경질을 유지하기 위해서 수용 가능한 최대 인구

규모와 그에 따른 산업용지, 주택용지, 녹지면적 등을 추정해 내게 되는데 이때 각 지역별로 발생된 오염물질이 인접지역으로 이동해 들어가면 해당지역의 오염도가 높아지게 되고 이 오염도를 적정수준으로 유지하기 위해서는 인구규모의 축소, 청정기술을 이용한 오염물질배출의 감소, 또는 녹지면적의 확대가 필요하게 된다. 청정기술을 제외한 두가지 대안은 결국 토지이용형태의 변화를 가져오게 되는데 이는 오염도가 높은 지역에 인접한 지역은 오염물질의 이동으로 말미암아 환경용량의 규모가 축소되고 그에 상응하는 토지이용의 변화가 필요해진다는 것을 의미한다. 이상 권역별 오염물질의 이동을 고려한 환경유동모형의 플로우다이어그램은 다음과 같다. 플로우다이어그램에서 섹터별 연계는 나타나 있지 않는데 이것은 플로우다이어그램의 단순화를 위하여 섹터간 직접연결을 피하고 고스트변수(복사된 변수)를 이용하여 각 섹터내로 포함시켰기 때문이다.



<그림 4> 환경유동모형 플로우다이어그램

2) 파라미터와 가정들

수도권 NO2의 대기질 지역환경기준은 제1권역은 연평균 40ppb, 제2권역은 20ppb로 설정되어 있다²⁾. 모델에서도 이 기준을 적용하여 제1권역의 목표 대기질은 연평균 40ppb, 제2권역의 지역은 연평균 20ppb를 목표 대기질로 설정하였다. Base run에서 모델은 토지이용에 대한 어떤 규제도 없는 상태에서 단순히 목표대기질을 유지할 때 각 지역이 수용할 수 있는 최대규모의 어느 정도인지, 그리고 이 경우 산업용지, 녹지, 택지의 배분이 어떻게 총량적으로 이루어지는지를 시뮬레이션 하였다.

IV. 환경유동모형의 적용

1. 수도권 지역별 Base Run 시뮬레이션결과

아래 <표2>는 수도권을 권역별로 나누었을 때, 권역별로 이산화질소 대기질 기준인 40ppb (제1권역)와 20ppb (제2권역)를 달성하면서 수용가능한 최대 인구규모와 그에 따른 산업용지와 택지, 녹지면적을 나타낸다. 이는 토지구제로 인한 토지이용의 제약이 없는 경우로 수도권에서 최대 34,723,502 명까지 수용가능한 것으로 나타나고 있다.

<표 2> 토지구제가 없는 경우 섹터별 최대수용가능 인구규모 및 토지이용

섹터	지역명	인구		산업용지		택지		녹지		총면적
		초기	균형값	초기	균형값	초기	균형값	초기	균형값	
2	파주, 양주	412,591	2,450,313	2	12	7	105	140	819	983
3	의정부, 포천	558,505	1,514,229	3	8	13	301	255	502	908
4	가평	55,252	1,418,043	1	15	2	291	78	498	843
5	인천(서구,계양구)	925,891	1,954,446	15	29	19	98	136	304	433

2) 제1권역은 대기환경규제지역으로 지정되거나 오염물질의 배출밀도가 높은 수원 성남 등 22개 시군이고, 제2권역은 오염물질의 배출밀도가 낮거나 자연환경보전지역 등이 있는 파주 양주 등 9개 시군

섹터	지역명	인구		산업용지		택지		녹지		총면적
		초기	균형값	초기	균형값	초기	균형값	초기	균형값	
6	고양, 서울 (은평, 서대 문, 종로, 강 서, 마포, 중 구, 강북)	3,342,778	5,121,482	15	38	80	128	245	270	437
7	구리, 서울 (성북, 도봉, 노원, 동대 문, 성동, 중 랑, 광진, 강 동)	3,685,598	3,556,703	9	10	84	99	97	99	205
8	남양주	423,073	4,189,158	1	5	8	243	210	211	460
9	인천(부평, 동구, 중구, 남구, 남동 구, 연수구)	1,821,200	1,922,757	45	55	59	62	78	139	261
10	서울(용산, 영등포, 양 천, 구로, 동 작, 관악, 금 천구), 부천, 시흥, 광명, 안양, 과천	5,075,585	5,012,503	48	51	102	126	284	291	469
11	서울(강남, 송파, 서초), 성남, 하남	2,672,259	2,826,082	11	12	71	83	258	260	355
12	광주군	212,621	1,238,158	0	3	4	90	157	336	432
14	군포, 의왕, 수원,안산	2,154,280	2,066,288	30	31	54	55	261	262	359
15	용인	649,577	396,279	5	3	15	426	47	183	591
16	이천	192,725	260,079	2	3	5	235	17	223	461
1	서울	10,321,496	2,898,696	52	20	300	127	253	253	606
계		22,181,935	34,723,502	187	255	523	871	2,263	4,979	7,197

2. 경기도 토지이용규제 현황

토지이용규제가 없는 경우를 상정한 시뮬레이션 결과를 위에서 보았으나 사실 경기도는 복잡한 토지이용규제를 받고 있다. 수도권정비계획권역, 팔당상수원관리구역, 군사시설보호구역, 개발제한구역 등 각종규제가 중첩되어 적용되고 있다.

수도권정비계획 권역은 수도권에 과도하게 집중되어 있는 인구 및 산업의 적정한 배치를 위하여 수도권을 과밀억제권역, 성장관리권역, 자연보전권역 등 3개 권역으로 구분하고 있다. 수도권에는 공통적으로 대학신설의 금지, 공장설립에 대한 총량규제가 적용되고 있으며, 전체면적의 11%를 차지하는 과밀억제권역(1,172km²)에서는 공업지역의 지정 및 연수시설의 설치가 금지된다. 51%인 성장관리권역(5,169km²)에서는 수도권정비계획에 미반영 된 공업지역이 불허되고, 38%인 자연보전권역(3,842km²)에서는 택지·공업용지·관광지의 입지가 규제되고 있다.

팔당상수원 보호와 관련하여 남양주시 등 4개 시·군의 일부지역 157km²가 '75년 7월 9일 상수원보호구역으로, 이천시 등 7개 시·군 지역 2,102km²가 '90년 7월 19일 팔당수질보전특별대책지역으로 지정·관리되고 있으며, 이밖에 13개 시·군 지역 54.4km²가 상수원보호구역으로 지정되어 관리되고 있다.

접경지역에 인접하여 있어 규제되고 있는 군사시설보호구역은 25개 시·군에 걸쳐 2,399km²에 달하며, 이는 경기도 전체면적의 23.6%에 이른다. 접경지역은 휴전선과 인접한 서북해안과 동북내륙지방에 매우 광범위하게 지정되어 있는데 동북내륙권의 39.2%, 서북해안권의 82.2%, 동남내륙권의 2.3%, 남부임해권의 0.8%, 서울인접 도시권의 6.0%가 이에 해당된다. 개발제한구역은 경기도 전체면적의 12.6%인 1,284km²로써, 대도시 주변을 중심으로 관리되고 있다. 이는 급속한 도시화 및 산업화로 인하여 도시의 무질서한 평면적 확산을 방지하고 주거교통난, 환경오염 등 심화되는 도시문제를 해소하기 위한 것이다. 개발제한구역은 1971년 전문개정된 도시계획법에 의해 관리되다가 2000년 국토이용관리법과 도시계획법을 정비하여 국토의계획및이용에관한법률('02년 2월 4일 제정, '03년 1월 1일부터 시행)과 개발제한구역의 지정 및 특별조치법('01. 1. 28제정)의 적용을 받고 있다 (2004 경기환경백서, 172)

모델과 관련해서 보면 상수원관리구역, 군사시설보호구역, 개발제한구역, 자연보전권역 등은 관련 토지규제로 인하여 개발가능 토지의 양이 축소되기 때문에 이들 토지의 양은 해당 섹터의 행정구역면적을 이미 점유하고 있는 것으로 보아 토지점유율을 그만큼 상승시킨 상태에서 시뮬레이션을 시행하였다.

이외에도 각 지역별로 도시계획구역 중 미지정지역이 있는데 이 지역 역시 용도지역이

지정되지 않아 유보지로서의 성격이 강하므로 이들 토지들은 이미 토지를 점유하고 있는 것으로 가정하고 시뮬레이션하였다. 상술하면, 경기도의 경우 도시계획구역 중 미지정지역이 약 15.3%, 서울시의 경우 도시계획구역과 서울시 전체면적이 동일한데 미지정 지역이 28%이며, 인천시, 성남, 하남, 수원, 군포, 의왕, 안산시의 경우 미지정지역이 없는 점을 감안하여야 한다는 것이다. 서울시 지역은 토지유보 비율을 28%로, 인천을 비롯한 미지정지역이 없는 경우는 0%, 기타지역을 포함하고 있는 경우는 15%의 토지를 유보하였다. 여기에 상수원관리구역, 군사시설보호구역에 해당하는 면적을 추가로 유보시켰다.

또, 자연보전권역에 해당하는 경우의 시군도 자연보전권역의 설정으로 인한 개발토지의 양이 줄어들 것이기 때문에 이를 고려하여야 한다. 그러나 이 경우 데이터의 부족으로 해당 시군에 대하여 추가적으로 일정비율의 토지를 유보시키고 추후 데이터의 확보에 따라 변화시키도록 하였다.

이같은 점들을 종합적으로 고려한 개발가능지를 대상으로 권역별로 이산화질소 대기질을 만족시키면서 수용가능한 최대 인구규모와 이에 상응하는 산업 및 상업지역, 주거지역, 녹지지역 면적을 시뮬레이션하였다.

〈표 3〉 섹터별 상수원보호구역과 군사시설보호구역면적

섹터	상수원보호구역+군사시설보호구역면적(km ²)	총면적(km ²)	비율(%)
2	72.4291	982.80	7.37
3	11.6155	908.04	1.28
4	135.6499	843.38	16.08
5	2.0343	433.31	0.47
6	0.0000	437.43	0.00
7	0.0000	205.29	0.00
8	129.8052	460.07	28.21
9	0.0000	260.51	0.00
10	0.0000	468.68	0.00
11	19.6799	355.34	5.54
12	93.8284	431.79	21.73
14	12.5497	358.55	3.50
15	4.0795	591.47	0.69
16	13.3462	461.20	2.89

자료: 경기개발연구원. 2000년 구축된 GIS자료 이용한 해당섹터면적 추정

한편, 경기도의 법정보호구역, 생태자연도1등급지역, 녹지자연도8등급지역, 수역 등을 종합하여 중복분을 제외한 부분들 (법정보호구역, 생태자연도1등급지역, 녹지자연도8등급지역, 수역)을 개발불능지역으로 할때 개발불능지역이 전체 면적에서 차지하는 비중은 다음 <표 5>와 같다. 이 개발불능지역에는 위의 군사시설보호구역이 포함되어야 하겠으나 군사시설 보호구역면적만을 따로 분리할 수 없어서 이 부분은 시뮬레이션에서 고려하지 못하였다.

<표 4> 섹터별 개발불능지역

		법정보호구역		개발불능지역		권역구분
		면적(km ²)	비율	면적(km ²)	비율	
2	파주시	10.11	1.50%	130.83	19.45%	성장관리
	양주시	71.22	22.96%	131.17	42.28%	
		81.33	8.28%	262.00	26.66%	
3	의정부시	59.74	73.21%	60.05	73.59%	과밀억제
	포천시	17.29	2.09%	194.28	23.51%	성장관리
		77.03	8.48%	254.33	28.01%	
4	가평균	95.74	11.35%	396.16	46.97%	자연보전
5	김포시	38.33	13.86%	128.51	46.47%	과밀억제
	인천_서구	20.78	18.70%	29.40	26.45%	
	인천_계양	30.49	66.90%	30.51	66.93%	
		89.61	20.68%	188.42	43.48%	
6	고양시	141.70	53.00%	184.01	68.82%	과밀억제
	서울_은평	18.26	61.45%	18.26	61.45%	
	서울_서대문	0.86	4.86%	0.86	4.86%	
	서울_종로	7.44	31.11%	7.44	31.11%	
	서울_강서	15.88	38.36%	18.08	43.67%	
	서울_마포	0.51	2.14%	5.11	21.39%	
	서울_중구	0.00	0.00%	1.62	16.24%	
	서울_강북	12.84	54.40%	12.84	54.40%	
		197.48	45.15%	248.20	56.74%	
7	구리시	26.07	78.28%	26.46	79.45%	과밀억제

		법정보호구역		개발불능지역		권역구분
		면적(km ²)	비율	면적(km ²)	비율	
	서울_성북	6.06	24.67%	6.06	24.67%	
	서울_도봉	10.19	49.01%	10.19	49.01%	
	서울_노원	16.84	47.54%	16.98	47.93%	
	서울_동대문	0.00	0.00%	0.06	0.40%	
	서울_성동	0.00	0.00%	2.47	14.65%	
	서울_중랑	6.18	33.40%	6.29	34.03%	
	서울_광진	2.04	11.99%	5.13	30.09%	
	서울_강동	11.52	46.88%	12.73	51.81%	
		78.91	38.44%	86.37	42.07%	
8	남양주시	226.17	49.16%	318.79	69.29%	자연보전
						성장관리
9	인천_부평	6.67	20.85%	6.68	20.87%	과밀억제
	인천_동구	0.00	0.00%	0.00	0.06%	
	인천_중구	0.00	0.00%	0.00	0.00%	
	인천_남구	0.17	0.70%	0.41	1.67%	
	인천_남동구	28.57	50.27%	29.32	51.59%	
	인천_연수구	0.90	3.03%	1.07	3.62%	
		36.31	13.94%	37.48	14.39%	
10	서울_용산	0.00	0.00%	3.91	17.90%	과밀억제
	서울_영등포	0.11	0.46%	5.57	22.67%	
	서울_양천	1.56	8.95%	1.64	9.44%	
	서울_구로	5.29	26.32%	5.34	26.57%	
	서울_동작	0.00	0.00%	0.45	2.78%	
	서울_관악	8.58	29.01%	8.58	29.01%	
	서울_금천	1.62	12.48%	1.70	13.08%	
	부천시	20.05	34.27%	20.06	34.28%	
	시흥시	114.20	84.97%	115.56	85.99%	
	광명시	29.76	77.27%	29.82	77.43%	
	안양시	32.17	54.98%	32.20	55.02%	
	과천시	32.58	90.88%	32.58	90.88%	

		법정보호구역		개발불능지역		권역구분
		면적(km ²)	비율	면적(km ²)	비율	
		245.93	52.47%	257.42	54.93%	
11	서울_강남	8.00	20.23%	10.54	26.67%	과밀억제
	서울_송파	2.82	8.33%	6.19	18.27%	
	서울_서초	22.87	48.62%	24.71	52.53%	
	성남시	56.82	40.07%	59.90	42.24%	
	하남시	90.88	97.64%	90.88	97.64%	
			181.39	51.05%	192.22	54.10%
12	광주시	146.01	33.82%	228.43	52.90%	자연보전
14	군포시	25.52	70.14%	25.52	70.14%	과밀억제
	의왕시	48.37	89.65%	48.37	89.65%	
	수원시	33.05	27.30%	35.48	29.31%	
	안산시	39.50	26.84%	52.23	35.49%	
			146.44	40.84%	161.60	45.07%
15	용인시	63.05	10.66%	146.31	24.74%	자연보전
						성장관리
16	이천시	20.13	4.36%	135.46	29.37%	자연보전

개발불능지역=법정보호구역+생태자연도1등급지역+녹지자연도8등급지역+수역
중복분 제외

이상 개발불능지역은 이미 섹터별 면적에서 개발유보지의 성격을 지니고 있어 산업 및 주택의 개발에 영향을 미치므로 토지점유부분에 포함시켜 시뮬레이션에 반영하였다.

이상 결과를 토대로 시뮬레이션을 시행하였는데 그 결과는 <표6>에 요약되어 있다. 여기서 TEST1은 녹지의 변화는 있으나 배출량의 감소가 없는 경우, TEST2는 녹지의 변화가 있고 배출량이 20% 일률적으로 감소되는 경우 TEST3은 녹지의 변화가 있고 배출량이 50%감소되는 경우를 상정한 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다.

또 과밀억제권역, 성장관리권역, 자연보전권역에 따라 공장의 증설이나 택지의 개발 등 각종 개발행위에 대한 규제의 강도가 달라지고 이에 따라 각종 개발의 용이도가 달라진다.

이것은 공장의 증가율이나 주택증가율에 직접적인 영향을 미칠수 있기 때문에 적절하게 모델에 그 내용이 반영되어야 할 것이다. 이 모델에서는 고려되지 않았다.

3. 토지이용규제를 감안한 시뮬레이션

토지이용규제를 감안한 시나리오별 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

〈표 5〉 NO2 목표치 (제1 권역 40ppb, 제2 권역 20ppb) 달성을 위한 인구, 산업, 택지, 녹지의 최대규모

색 터	지역명	인구			산업용지			택지			녹지						
		초기	test1	test2	test3	초기	test1	test2	test3	초기	test1	test2	test3				
2	파주, 양주	412,591	1807180	1809151	1811919	2	9	9	9	7	75	75	75	140	502	502	502
3	의정부, 포천	558,505	1754115	1769436	1708044	3	11	11	11	13	46	48	46	255	590	590	590
4	가평	55,252	1073830	1074007	1077487	1	13	13	13	2	53	53	52	78	357	358	358
5	인천(서구,계양구)	925,891	1435195	1521789	1523040	15	22	24	24	19	73	83	83	136	149	130	130
6	고양, 서울(은평, 서대문, 종로, 강서, 마포, 중구, 강북)	3,342,778	2259020	2258026	2259028	15	11	11	11	80	59	59	59	245	245	245	245
7	구리, 서울(성북, 도봉, 노원, 동대문, 성동, 중랑, 광진, 강동)	3,685,598	3313443	3313443	3313443	9	9	9	9	84	84	84	84	97	95	95	95
8	남양주	423,073	376127	376127	376127	1	1	1	1	8	8	8	8	210	210	210	210
9	인천(부평, 동구, 중구, 남구, 남동구, 연수구)	1,821,200	1906438	2322024	2347907	45	54	55	65	59	52	76	75	78	103	78	78
10	서울(용산,	5,075,585	4509076	4509076	4509076	48	48	48	48	102	102	102	102	284	284	284	284

세 터	지역명	인구		택지			산업용지			택지			녹지				
		초기	test1	test2	test3	초기	test1	test2	test3	초기	test1	test2	test3	초기	test1	test2	test3
	영등포, 양천, 구로, 동작, 관악, 금천구, 부천, 시흥, 광명, 안양, 파천																
11	서울(강남, 송파, 서초), 성남, 하남	2,672,259	2415958	2415058	2415958	11	11	11	11	71	71	71	71	258	258	258	258
12	광주군	212,621	518052	493618	495951	0	1	1	1	4	36	39	40	157	154	153	152
14	군포, 의왕, 수원, 안산	2,154,280	1875278	1876278	1875278	30	30	30	30	54	54	54	54	261	261	261	261
15	용인	649,577	1076303	1146202	5098802	5	8	8	41	15	65	69	343	47	358	354	47
16	이천	192,725	534154	1148809	3069594	2	7	13	34	5	36	64	172	17	246	212	83
계		22,181,935	24824504	26133180	32640531	187	243	257	316	523	789	885	1,264	2263	3,812	3,730	3,293

초기: 2004 현재

test1: NO2의 배출량이 감소하지 않는 경우

test2: NO2의 배출량이 20% 감소하는 경우

test3: NO2의 배출량이 50% 감소하는 경우

V. 정책적 시사점과 활용

1. 지역별 토지이용

1) NO2 목표치 달성을 위한 섹터별 인구, 산업용지, 택지, 녹지의 최대허용 규모

시뮬레이션 결과 중 녹지량의 변화를 허용하고 NO2의 배출량이 20% 감소한다는 것을 가정한 경우 지역별 인구와 토지이용에 대한 시뮬레이션 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

〈표 6〉 NO2 목표치 (제1권역 40ppb, 제2권역 20ppb) 달성을 위한 인구, 산업, 택지, 녹지의 최대규모

섹터	지역명	인구		산업용지		택지		녹지	
		초기	test2	초기	test2	초기	test2	초기	test2
2	과주, 양주	412,591	1809151	2	9	7	75	140	502
3	의정부, 포천	558,505	1769436	3	11	13	46	255	590
4	가평	55,252	1074007	1	13	2	53	78	358
5	인천(서구, 계양구)	925,891	1521789	15	24	19	83	136	130
6	고양, 서울(은평, 서대문, 종로, 강서, 마포, 중구, 강북)	3,342,778	2258026	15	11	80	59	245	245
7	구리, 서울(성북, 도봉, 노원, 동대문, 성동, 중랑, 광진, 강동)	3,685,598	3313443	9	9	84	84	97	95
8	남양주	423,073	376127	1	1	8	8	210	210

섹터	지역명	인구		산업용지		택지		녹지	
		초기	test2	초기	test2	초기	test2	초기	test2
9	인천(부평, 동구, 중구, 남구, 남동구, 연수구)	1,821,200	2322024	45	55	59	76	78	78
10	서울(용산, 영등포, 양천, 구로, 동작, 관악, 금천구), 부천, 시흥, 광명, 안양, 과천	5,075,585	4509076	48	48	102	102	284	284
11	서울(강남, 송파, 서초), 성남, 하남	2,672,259	2415058	11	11	71	71	258	258
12	광주군	212,621	493618	0	1	4	39	157	153
14	군포, 의왕, 수원, 안산	2,154,280	1876278	30	30	54	54	261	261
15	용인	649,577	1146202	5	8	15	69	47	354
16	이천	192,725	1148809	2	13	5	64	17	212
계		22,181,935	26,033,044	187	257	523	883	2,263	3,730

시뮬레이션 결과, 환경용량을 고려할 때 수용가능한 최대인구의 규모가 현재보다 다소 증가한 것으로 나타나고 있다. 이것은 현재의 이산화질소의 배출량이 20% 감소한다는 것을 가정한 상황(TEST2)의 최대수용가능한 인구의 규모이며 현 상황하에서는 총 수용가능 인구규모는 약2400만명 정도로 나타나고 있었다(TEST1).

<표6>에서 지역별 허용가능 최대인구 규모들을 살펴보면 서울시의 경제활동규모는 축소되어야 하는 반면 서울시 주변 도시지역의 수용능력은 여전히 여유가 있음을 알 수 있다. 서울을 포함한 주변의 인구밀집지역은 인구가 감소하는 것으로 나타나는 반면 비교적 환경상태가 좋은 지역의 인구는 증가하는 것으로 나타나고 있기 때문이다. 이는 환경의 질을 유지하기 위한 모델의 특성상 현재 인구가 밀집된 지역은 인구의 증가를 억제하여 목표

환경질로 수렴해가는 반면 현재 환경상황이 양호한 지역은 인구유입의 여지가 그렇지 않은 지역보다 더 크기 때문인 것으로 설명할 수 있다.

또, 인구가 급속히 증가하는 지역은 산업용지나 택지 역시 증가하지만 인구가 감소하는 지역의 토지이용은 현재상황을 대체로 그대로 유지하고 있다.

이것은 인구의 감소분이 증가하는 지역에 비교하여 크지 않아서 인구의 감소분이 현상태의 토지이용 형태를 변경시킬 정도로 크지 않기 때문인 것으로 설명할 수 있다.

2) NO2 22ppb, 배출량 145,142톤 목표시 섹터별 인구, 산업용지, 택지, 녹지의 최대허용량

2005년 11월 확정된 수도권대기환경관리기본계획에 의하면 정부는 수도권대기환경을 선진국 수준으로 획기적으로 개선하기 위하여 2014년까지 목표 NO2 농도 22ppb를 배출량을 145,142톤으로 저감함으로써 달성한다는 계획이다. 이 경우 지역별 최대수용가능 인구 규모와 토지이용의 변화는 다음 <표8>과 같다.

<표8> NO2 22 ppb, 배출량 145,142톤 목표시

섹터	지역명	인구		산업용지		택지		녹지	
		초기	test4	초기	test4	초기	test4	초기	test4
2	파주, 양주	412,591	1,817,048	2	9	7	74	140	605
3	의정부, 포천	558,505	1,767,991	3	11	13	48	255	589
4	가평	55,252	1,082,655	1	13	2	51	78	361
5	인천(서구, 계양구)	925,891	600,630	15	9	19	30	136	204
6	고양, 서울(은평, 서대문, 종로, 강서, 마포, 중구, 강북)	3,342,778	2,259,659	15	11	80	59	245	245

섹터	지역명	인구		산업용지		택지		녹지	
		초기	test4	초기	test4	초기	test4	초기	test4
7	구리, 서울(성북, 도봉, 노원, 동대문, 성동, 중랑, 광진, 강동)	3,685,598	3,319,314	9	9	84	84	97	96
8	남양주	423,073	369,403	1	1	8	8	210	210
9	인천(부평, 동구, 중구, 남구, 남동구, 연수구)	1,821,200	552,138	45	16	59	19	78	184
10	서울(용산, 영등포, 양천, 구로, 동작, 관악, 금천구), 부천, 시흥, 광명, 안양, 과천	5,075,585	4,514,415	48	48	102	102	284	284
11	서울(강남, 송파, 서초), 성남, 하남	2,672,259	2,251,394	11	11	71	71	258	258
12	광주군	212,621	499,744	0	1	4	36	157	166
14	군포, 의왕, 수원, 안산	2,154,280	1,877,306	30	30	54	54	261	261
15	용인	649,577	1,076,500	5	8	15	65	47	358
16	이천	192,725	722,345	2	8	5	41	17	241
계		22,181,935	22,710,542	187	185	523	742	2,263	4,062

test4 = 22ppb 목표, NO2 배출량 145,142톤 목표,

이 경우 수도권 최대인구의 수용규모는 2,270만명 가량으로 현재 인구와 유사한 수준의 규모로 볼 수 있다. 이 경우 산업용지는 1권역의 NO2 농도의 목표가 40ppb, 2권역의 목표

치가 20ppb이고 NO₂ 배출량이 20% 감소하는 경우(TEST2)에 비교하여 약28%가 줄어들고 택지 역시 TEST2에 비교하여 16%가량이 줄어들게 된다. 반면 녹지량은 TEST2에 비교하여 9% 정도 증가한 모습을 보이고 있다. 수도권 전역이 22ppb의 NO₂ 목표치를 달성하기 위해서는 인구규모가 상당히 줄어들어야 할 것이지만 NO₂ 배출량의 상한을 145,142톤/년으로 2001년대비 53%, 2004년대비 51.5% 감소시키게 된다는 시나리오하에서 인구의 수용능력이 22.7백만명으로 추정된 것이다.

현재의 토지이용 형태와 비교하면 경기도 전체적으로 보아 산업용지는 거의 같은 수준을 유지하고, 택지는 약40%가 늘어나며, 녹지가 약80% 증가하는 것으로 나타나고 있다. TEST2와 TEST4의 결과를 비교할 때 다른 지역보다 인천이 특히 많은 차이를 보이면서 인구의 수용능력이 줄어들고 산업용지와 택지가 줄어드는 반면 녹지는 상당부분 늘어나는 모습을 보이고 있다. 이 같은 결과는 강화된 환경기준이 인천지역에서 달성되기 위해서는 녹지의 확대를 통한 경제활동규모의 조정과 오염물질의 건성침착 확대를 통한 대기질의 개선이 동시에 이루어져야 함을 나타내는 부분이라 할 수 있다.

TEST2와 TEST4의 결과에 따르면 개선된 환경기준을 달성하기 위해서 수도권이 수용할 수 있는 최대규모의 인구가 2200만 - 2600만의 범위를 가진다. 이러한 인구규모는 수도권 정비계획에서 계획하고 있는 인구규모와 유사하다. 개정된 수도권정비계획은 2020년까지 수도권 추세인구를 2613.3만명으로, 목표인구를 2375.2만명으로 설정하고 있다. 이것은 대기환경기준을 달성하는 최대허용인구규모 2600만명과 수도권대기환경관리기본계획에 의하여 달성하고자하는 NO₂ 22ppb를 달성할 때 수용가능한 최대 인구규모 2200만과 유사하게 나타나고 있다.³⁾

또 규제가 없는 상황에서의 시뮬레이션 결과는 수도권의 최대인구수용규모가 3,470만명으로 나타나고 있는데⁴⁾ 이것은 수도권의 토지이용에 대한 규제가 완화되거나 제거될 경우 수도권 지역으로의 인구유입이 빠르게 증가할 가능성이 있음을 시사하는 부분이라 볼 수 있다. 이 경우에도 서울지역과 인근 지역의 인구는 감소하는 경우도 나타나고 있는데 인구감소는 아주 소규모에 그치고 있는 반면 외곽지역의 인구증가는 대규모로 일어나 수도권 전체의 인구가 폭발적으로 증가하는 모습을 보이고 있다. 따라서 행정복합도시로의 이전이 서울시의 인구를 소규모로 분산시키기는 하겠으나, 수도권의 토지규제가 완화될 경우 인구분산은 소규모로 이루어지고 유입은 대규모로 진행되어 전혀 원하지 않았던 결과가 나타나

3) 원래 수도권정비계획 수정안은 이보다 훨씬 큰 규모의 목표인구를 설정하고 있었다. 최종 수정안이전의 계획에 의하면 서울 1000만, 경기 1500만, 인천 350만으로 수도권의 인구규모를 최대 2,850만으로 하여 그 이상의 인구증가를 억제하는 것으로 계획되고 있었다.

4) <표2> 참조

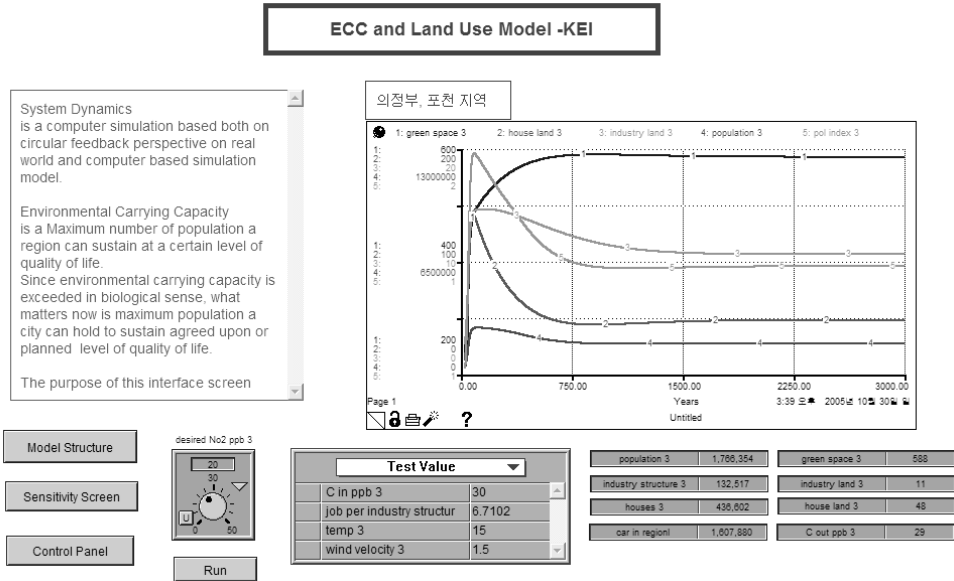
게 될 가능성을 배제하기가 힘들다. 따라서 행복도시로의 정부기능 이전 대신 경기도의 토지규제를 완화하여 경기도의 경쟁력을 제고시키려는 정책은 오히려 인구유입을 촉진시켜 행복도시로의 행정기능 이전효과를 크게 상쇄할 가능성이 있다는 관점에서 신중을 기해야 할 정책이라 할 수 있다.

2. 사용자 인터페이스의 개발과 활용

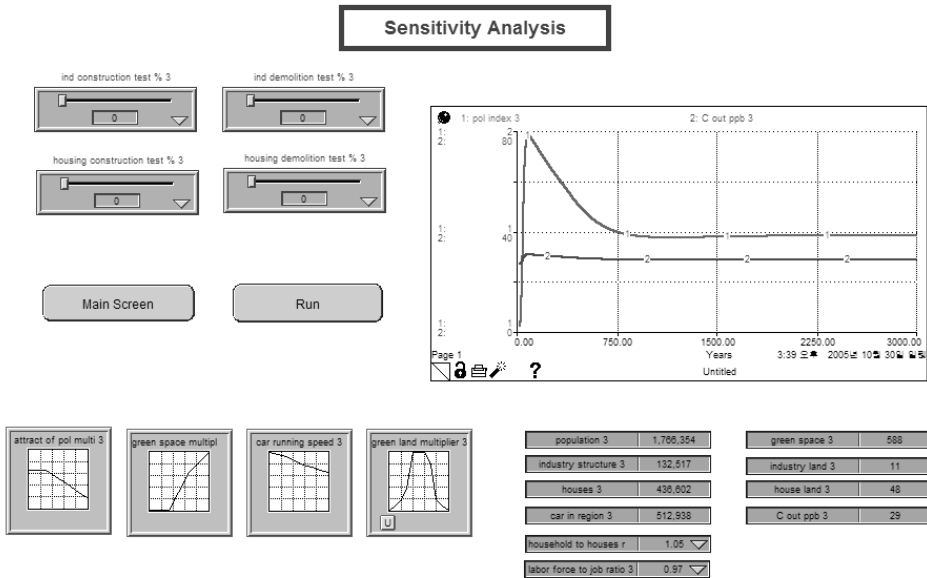
환경용량기반 토지이용모델은 모델 사용자들이 모델의 가정들을 변경할 때 인구수용의 규모와 토지이용이 어떻게 변화해야 하는지를 쉽게 알 수 있도록 사용자 인터페이스 모델을 이용할 수 있다. 이 인터페이스 모델은 첫째, 모델의 민감도를 분석하는데 유용하게 이용될 수 있으며, 나아가서는 의사결정자가 다양한 상황에서 최적의 의사결정을 내리는데 도움이 될 수 있도록 모의실험환경을 제공한다. 또 인터페이스는 토지관리가 도시 및 지역의 인구, 주택, 산업, 교통, 환경 등 다양한 분야들과 밀접하게 연관되어 있음을 알려주는 교육용으로도 활용할 수 있다.

현재 인터페이스 모델은 단순하게 세가지 형태의 스크린으로 개발되었다. 첫째는 <그림 5>와 같이 특정지역에 대한 인터페이스 모델로 여기서는 포천의정부 지역에 대한 인터페이스 모델이다. 여기서는 목표대기질을 변화시킬 때 최대 수용가능 인구규모와 산업, 주택, 녹지 등 각 용도별 총 토지량이 어떻게 변화해야하며 최대 수용가능한 주택, 산업활동의 규모가 얼마인지 인터페이스 스크린상에서 모니터링 하는 것을 가능하도록 한다.

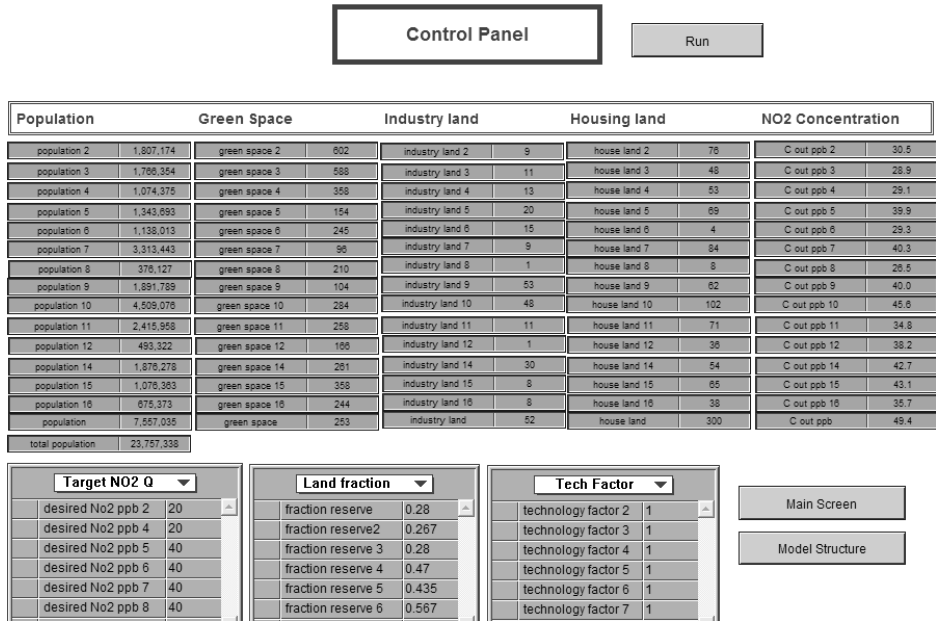
두 번째 유형의 인터페이스는 <그림6>에서와 같이 모델의 가정들을 변화시킬 때 인구, 산업체 활동규모, 주택규모, 그리고 토지이용형태가 어떻게 변화하는 하는지를 검토할 수 있도록 하는 인터페이스이다. 이 모델이 사용하는 박스모델이 대기질의 변화에 온도, 풍속, 유입대기질의 농도등에 중요하게 영향을 받기 때문에 이러한 가정들이 변화할 때, 예를 들면 유입되는 오염물질의 농도가 급속히 변화할 때 경제활동에 어떤 규모의 변화가 일어나야하는지를 모의실험할 수 있도록 한다. 또 시스템다이나믹스 모델이 자주 사용하는 테이블함수에 대한 민감도 분석도 용이하게 할 수 있도록 한다.



〈그림 5〉 의정부 포천지역 전체상황 인터페이스



〈그림 6〉 민감도 분석을 위한 인터페이스



<그림 7> 전지역에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내는 인터페이스

세번째 형태의 인터페이스는 <그림7>과 같은 전체 상황계기판과 같은 것으로 시뮬레이션의 결과에 대한 각 섹터별 정보를 모두 한곳에서 볼 수 있도록 하고 있다.

이상의 인터페이스들은 모델내의 모든 지역에 대한 <그림7>과 같은 인터페이스로 확대되고 각종 파라미터들에 대한 보다 광범위한 민감도 분석이 가능하도록 구축될 수 있다.

그리고 사용자가 더욱 친숙하게 접근할 수 있도록 사진이나 그림 자료들이 같이 포함되도록 발전시킬 수도 있다.

이러한 인터페이스 개발의 중요한 목표중의 한가지는 사람들로 하여금 피드백구조로 연결되어 있는 각종 사회시스템에 대한 이해를 높이는데 있다. 환경용량에 기반한 토지이용 모델의 인터페이스 역시 일정한 환경수준을 유지하는데 인구와 산업활동, 주택규모, 교통량 등이 어떻게 토지이용형태와 연결되고 있는지를 이해시키고, 토지이용 형태를 변화시키면 인구, 산업, 주택, 교통등에 어떤 영향을 미치게 될지를 이해할 수 있도록 개발되어 나가야 할 것으로 보인다.

VI. 모델의 한계와 앞으로의 과제

시뮬레이션 결과는 지역별로 수용가능 최대인구의 규모와 그에 따른 토지이용형태를 보여주고 있다. 시뮬레이션 결과를 정책활용을 위한 엄격한 수치로 해석하기에는 아직 많은 무리가 있다. 그러나 이 결과치를 GIS와 연계시킨다면 용도별 토지이용량을 지역별로 분배하고 공간적으로 토지이용의 형태가 어떻게 변화해야 하는지도 파악할 수 있을 것으로 보인다. 이러한 연구는 아직 기초적인 단계이기는 하지만 최근 시스템다이내믹스를 이용하여 시간의 흐름에 따른 연구변수의 동태적인 변화를 GIS와 연계시켜 공간적으로 시각화시키고, 분석하는 최근 연구의 새로운 흐름과도 일치하고 있어 더 많은 연구의 시도와 결과의 축적이 있어야 할 것으로 보인다.

그러나 이 연구에서 제시된 환경용량에 기반한 토지이용모델이 보다 타당성을 가지는 모델로 발전하기 위해서는 다음과 같은 점들이 앞으로의 연구에서 중요하게 고려되어야 할 것으로 생각된다.

첫째, 모델의 타당성 제고를 위한 지속적인 모델검토와 개선이 이루어져야 한다는 점이다. 예를 들면, 이 모델이 사용하고 있는 박스모델은 대기중에 오염물질이 일정한 면적과 높이로 구성되는 상자내에 균등하게 분포되고 있다는 가정에 입각해 있다. 또 섹터별 지형이 오염물질의 확산과 흡착에 미치는 영향은 박스모델의 특성상 모두 동일하다고 가정하였다. 그러나 실제로 오염물질은 지표면 부근에서 농도가 높아지고 지형과 생태조건에 따라서도 농도가 달라질 수 있기 때문에 이러한 점들이 앞으로의 이 모델의 발전에 고려되어야 할 것으로 생각된다.

둘째, 시뮬레이션 연구에서 제시되는 수치는 하나의 점에 대한 정확한 추정이라기 보다는 일정한 최소, 최대의 범위를 가지는 수치로 제시되는 것이 보다 바람직하다. 이것은 모델이 입각하고 있는 여러 가정 때문이기도 한데 이 연구에서는 14개의 섹터에 대한 민감도 분석은 방법론상의 제약과 시간적인 제약으로 추후의 연구과제로 미루게 되었다.

셋째, 환경의 질을 이산화질소에만 국한한 것도 이 모델의 한계로 남는다. 대기질만을 고려한다 하더라도 전지구적인 관심사안이 되고 있는 이산화탄소의 농도, 도시민의 건강과 가시거리에 가장 직접적인 영향을 미치는 미세먼지 등은 앞으로의 연구에서 우선적으로 추가되어야 할 오염물질로 생각된다.

넷째, 토지이용의 구분을 단순화하여 산업용지, 택지, 녹지로만 구분하였다. 그러나 산업용지도 최소한 공장용지와 상업용지로 구분할 필요가 있으며 택지와 녹지, 기타 용도지역도 보다 세분하여 용도별 토지이용의 형태를 보다 면밀히 검토할 필요가 있다.

이러한 한계에도 불구하고 이 연구는 한 지역에만 적용되던 환경용량모델을 오염물질의

지역간 이동을 감안하는 환경토지이용모델로 확대되었으며 경기도의 14개 섹터에 적용되었다는 점, 그리고 그 결과치가 공간적인 분석틀인 GIS와 연계될 수 있는 공간분석의 기틀을 제공하였다는 점, 토지이용의 동태적인 변화를 시각화시킬 뿐 아니라 공간적으로 분석하기 위한 시론적인 연구라는 점에서 의의를 찾을 수 있을 것으로 보인다.

【참고문헌】

- 김선희 (1996) “환경용량의 개념과 활용동향” unpublished working paper. 국토개발연구원.
- 김도훈 문태훈 김동환 (1999) 「시스템다이내믹스」 대영문화사.
- 문태훈 (1999a) 「환경정책론」 형설출판사.
- 문태훈 (1999b) "환경용량평가의 적용사례 및 활용방안" pp.23-45. 『서울시 환경용량평가의 의의 및 추진방향에 관한 워크숍』 서울시정개발연구원.
- 문태훈 (1998) “지속가능한 성장을 위한 환경용량의 산정과 환경지표 개발에 관한 연구” 「한국 정책학회보」 제7권 1호.
- 문태훈 홍민선. (2001) “지탱가능한 발전을 위한 서울시 환경용량의 산정과 정책적 함의” 「국토 계획」 제36권 제4호. pp. 245-266.
- 이창우 (1999) 「서울시 환경용량평가에 관한 연구」. 서울시정개발연구원.
- 이창우 (2000) 「서울시 환경용량평가에 관한 연구II」. 서울시정개발연구원.
- Alfeld, Louis Edward & Alan K. Graham. (1976) Introduction to Urban Dynamics. MA: Wright-Allen Press, Inc.
- Daily, Gretchen C. and Paul R. Ehrlich. (1992) "Population, Sustainability, and Earth's Carrying Capacity: A framework for estimating population sizes and lifestyles that could be sustained without undermining future generations" BioScience, November, 1992.
- 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.
- Fearnside, Philip M. (1985) "A Stochastic Model for Estimating Human Carrying Capacity in Brazil's Trasnamazon Highway Colonization Area" Human Ecology. Vol.13.No.3.
- Forrester, Jay W. (1961) Industrial Dynamics. Cambridge, The MIT Press.
- Forrester, Jay W. (1969) Urban Dynamics. Cambridge, The MIT Press.
- Forrester, Jay W. (1971) World Dynamics. Cambridge, Wright-Allen Press.
- Forrester, Jay W. (1980) "System Dynamics - Future Opportunities." TIMS Studies in the Management Science 14. North-Holland Publishing Company.
- Forrester, Jay W. (1987) “Lessons from System Dynamics Modeling.” System Dynamics Review. Vol.3. No.2. Summer.
- Hamilton, H. R. et.al. (1969) System Simulation for Regional Analysis. Cambridge, The MIT

Press.

- Hardin, Garrett. (1975) "Carrying Capacity as an Ethical Concept" <http://www.esva.net/~leo/>
High Performance. (1994) Stella, An Introduction to System Thinking. High Performance Systems
Inc.:NH, USA.
- 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.
- Mackellar, F. Landis. (1996) "On Human Carrying Capacity: A Review Essay on Joel Cohen's
How many people can the earth support?". Population and Development Review. 22(1).
March.
- 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.
- Mass, Nathaniel (ed). (1974) Readings in Urban Dynamics I. MA, Wright-Allen Press Inc.
- Meadows, Donella H. (1980) "The Unavoidable A Priori." In Jorgen Randers. (ed.) 1980. Elements
of the System Dynamics Method. Massachusetts, The MIT Press.
- Moon, Taehoon. (1999) "A System Dynamics Analysis of Environmental Carrying Capacity of Seoul
Metropolitan Area for a Sustainable Development" System Thinking for the Next
Millennium. Proceedings of the 17th International Conference of the System Dynamics
Society. Wellington, New Zealand.
- Onishi, Takashi. (1994) "A Capacity Approach for Sustainable Urban Development: An Empirical
Study" Regional Studies. Vol.28.1. pp.39-51.
- 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.
- Richardson, George P. (1991) Feedback Thought in Social Science and System Theory. Philadelphia,
University of Pennsylvania Press.
- Richardson, George P. (1999) "Reflections for the future of system dynamics" Journal of the
Operational Research Society. Vol.50. pp.440-449.
- Shelby, Bo and Rick Colvin. (1982) "Encounter Measures in Carrying Capacity Research: Actual,

- Reported, and Diary Contacts" *Journal of Leisure Research*. Vol.14. No.4.
- 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*.
- Tarrant, Michael A., Donald B. K. English. (1996) "A Crowding-based Model of Social Carrying Capacity: Applications for Whitewater Boating Use" *Journal of Leisure Research*. Vol.28. No.3. pp.155-168.