

시정연 2000-R-11

서울시 환경용량 평가에 관한 연구 II

서울시 환경용량 평가에 관한 연구 II

이창우

서울시 환경용량 평가에 관한 연구 II

시 정 연
2000-R-11

서울시 환경용량 평가에 관한 연구 II

A Study on the Environment Capacity Assessment of Seoul II

2000



서울시정개발연구원
Seoul Development Institute

연구진

연구책임자 우 • 도시환경연구부장
연구위원 문태훈 • 도시환경연구부 초빙선임연구원
홍민선 • 도시환경연구부 초빙선임연구원
서현교 • 도시환경연구부 위촉연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요약 및 정책건의

I. 연구의 개요

1. 연구의 목적

- 작년 연구원 기본연구과제인 「서울시 환경용량평가에 관한 연구」의 후속연구 인 본 연구는 서울에 적합한 환경용량평가 모델을 새로이 개발하여 적용하고자 함
- 본 연구에서는 토양환경부문에서의 걱정 불투수 토양피복도와 대기오염물질 중 이산화질소의 수용능력을 산정하여 서울의 환경용량을 평가함
- 환경용량 평가 결과에 기초하여 본 연구는 서울시 환경의 수용능력의 한계를 초과하는 개발에 대한 규제방안을 마련함과 동시에 환경용량에 기초한 환경관리체계 구축방안 및 토지이용규제 제도 정비방안을 제시함

2. 연구의 필요성

- 지속가능한 발전과 도시성장관리를 위하여 서울의 환경용량에 기초한 환경관리체계가 구축될 필요 있음
- 불투수지역을 개선하여 빗물이 스며들도록 하는 한편, 기존의 공원, 녹지, 나대지 등이 불투수지역으로 전환되는 것을 막아 도시환경을 보전하고 서울의 자연시스템이 부양할 수 있는 범위 내에서의 적절한 경제활동을 해나갈 필요 있음
- 본 연구를 통해 대기환경용량도 평가함으로써 서울이 수용가능한 걱정 수준 이내의 대기오염물질을 배출하도록 함으로써 도시의 쾌적성을 증진하고 시민의 건강상 위해도 방지해야 함

3. 연구의 범위

- 서울의 환경용량을 평가하기 위해 토양피복 부문 및 대기 부문 모델 개발
- 불투수 토양피복 부문
 - 전문가 델파이 조사를 통해 서울의 바람직한 불투수 토양피복도를 알아본 뒤, 불투수 토양피복도 문제를 개선하기 위한 정책방안 모색

- 장기적으로는 불투수 토양피복도 관련 규정을 도시계획법 내지 건축법, 나아가 도시계획조례 등에 포함시킬 수 있는 방안 제시
- 서울시 대기부문 환경용량 산정 연구
 - 시스템 다이내믹스 모델에 상자 모델을 결합하여 서울시 대기환경용량을 산정하고, 이산화질소를 중심으로 한 서울의 적정 오염물질 배출량 제시
 - 서울의 대기부문 오염물질 중 질소산화물에 대한 환경용량을 파악하는 한편 서울시 적정인구도 실험적으로 제시함

4. 연구의 방법

- 문헌조사를 통해 국내·외 환경용량 평가의 유사사례 연구
- 서울의 토양피복과 관련한 연구 중에서 가장 최근 연구를 찾아 이를 수정·보완하여 서울의 각 구별 토양피복도에 대한 DB 재구축
- 전문가 델파이 조사를 통해 서울시의 바람직한 불투수 토양피복도 제시
- 대기부문의 환경용량과 관련하여 외부전문가를 초빙하여 종합적 환경용량 평가모델인 시스템 다이내믹스 모델을 통해 도시 요소(인구, 토지 등)간 상호작용을 고려하여 컴퓨터 시뮬레이션을 함

5. 주요연구결과

- 환경용량평가 모델 개발의 이론적 배경
 - 환경용량은 인간을 중심으로 하는 사회과학적인 개념으로서 “일정한 지역의 자연시스템이 부양할 수 있는 경제 또는 인구규모”로 정의됨.
 - 불투수 토양피복도는 “토양이 건물과 불투수 포장지로 덮혀 있는 정도”로 정의됨.
 - 국내 선행연구로 도시동태 모델, 도심부 하부기반시설 수용용량 분석, 경기도 도시개발용량 평가, 서울시 주요 산 경관풍치보전계획에서의 교통용량분석·대기환경 용량분석·도시계획시설 용량분석·상하수도 용량분석 등이 있음.
 - 국외 선행연구로 공간환경접근법, 불투수면적 계산을 통한 환경용량 산정, 대기자원이 부양할 수 있는 적정인구 산정, 도시성장관리정책 등이 있음.

○ 서울시 환경용량평가 모델

- 불투수 토양피복은 도시미기후, 수질오염을 포함한 수자원관리, 토양, 동식물상, 미관적 측면에서 도시환경에 부정적 영향을 주고 있으므로 본 연구에서는 불투수 토양피복도를 서울시 환경용량평가를 위한 주요 접근방법으로 채택함.

- 시스템 다이내믹스 모델과 상자 모델의 결합을 통한 대기환경용량 평가

- 시스템 다이내믹스 모델의 목적은 녹지를 포함하는 한정된 토지공간이 주어져 있다고 가정할 때 이 공간내에서 일정한 환경의 질을 유지할 수 있는 지속가능한 인구·산업활동·주택·자동차의 규모는 어느 정도인가를 동태적으로 파악함으로써 서울시의 환경용량을 산정하는 데 있음.
- 상자 모델(Box Model)을 통해 서울시 대기중 이산화질소 농도를 목표 대기질에 최대한 근접시키기 위하여 주어진 토지의 한계 범위내에서 녹지면적을 증가시켜나가면서 이산화질소 배출량을 기준으로 서울시의 적정인구와 토지이용패턴 변화를 추정함.

○ 불투수 토양피복도 분석

- 서울시 현재 불투수 토양피복율은 43.05%이며, 전문가 델파이조사 결과 적정 불투수 토양피복율이 36.5%로 제시됨.

- 6.55%의 불투수 토양피복율 개선을 위해, 한강둔치 불투수면적 56.9ha, 서울시 보도면적 621ha, 노외주차장 면적 7.1ha 중 타당성 있는 지역에 대하여 투수포장 전환 및 불투수포장 제거 등의 조치를 취하는 한편 단독주택, 공동주택단지 및 공공행정기관 부지내 포장된 부분, 그리고 상업지역 및 공업지역의 일부 포장지역을 투수성 포장으로 전환할 필요 있음.

- 불투수 토양피복에 따른 환경영향은 크게 물순환 저해, 수질오염, 도시미기후 교란, 동식물서식처 파괴, 도시미관 훼손의 다섯 가지로 나누어 볼 수 있음

- 델파이 조사 결과, 물순환 저해가 불투수 토양피복에 따른 가장 중요한 환경문제로 파악되었음

○ 대기환경용량 평가

- 시스템 다이내믹스 모델과 박스 모델을 결합하여 이산화질소를 중심으로

서울시 대기환경용량을 산정하였음.

- 서울시를 대상으로 이산화질소의 1년간 유입량, 건성침착과 화학반응에 의해 전환되는 양, 유출량, 자체 배출량 등의 값을 입력하여 시뮬레이션함.
- 서울시 이산화질소 환경기준인 40ppb를 목표대기질로 할 경우, 녹지만 확대하고 배출량은 불변이라고 가정할 때 적정인구는 515만명, 녹지 확대와 배출량 감소를 병행할 경우 649만명으로 제시됨. 30ppb(현재 서울시 이산화질소 농도는 32ppb임)를 목표대기질로 할 경우, 녹지만 확대할 때 적정인구 204만명, 녹지확대와 배출량 감소를 병행할 때 280만명으로 제시됨.

II. 정책건의

1. 환경용량 개념에 기초한 새로운 환경관리체계 구축 필요

- 각종 환경용량평가 결과를 환경관리체계 구축의 기초자료로 활용
- 기존 환경영향평가는 서울의 성장관리제도로 한계를 가지므로 환경용량을 우선 평가한 후 환경영향평가를 실시하는 방안을 강구하는 등 환경용량 개념과 환경영향평가간 접목 필요

2. 토지이용계획체계에 환경용량 개념 도입

- 개발대상지역에 대한 환경용량 평가후 평가된 환경용량을 고려하여 체계적인 토지이용계획 수립
- 환경의 질이 희소하고 다른 목표에 비해 환경적 목표를 우선시해야 하는 지역에서의 개발은 우선적으로 제한

3. 도시계획법체계에 불투수 토양피복도 개념 반영

- 독일, 미국 등 선진외국의 예에서 보듯 불투수 토양피복에 관한 규정을 도시계획법에 담아야 함
- 미국 여러 도시는 용도지역조례에 지역지구별 최대허용가능 건폐율뿐 아니라

최대허용가능 불투수 토양피복율에 대한 세부적인 규정을 담고 있는 바, 향후 서울시 도시계획조례 개정시 이와 관련한 규정 신설 필요

- 지구단위계획에서의 계획지표로 불투수 토양피복도의 한계를 정함

4. 불투수 토양피복도 분석을 통한 정책건의

- 델파이 조사 결과, 물순환 저해가 불투수 토양피복에 따른 가장 중요한 환경문제로 파악되었는 바, 정책의 우선순위로 물순환체계의 구축에 두는 것이 바람직함

- 서울에서의 물순환체계를 자연상태에 가깝게 회복하기 위해 녹지를 최대한 확보하고 나무를 많이 심어 식물에 의한 증산과 증발이 더욱 증가되도록 함
- 지하로의 빗물침투를 증가시키기 위해 포장시 투수성 포장재료를 사용하고 침투우물이나 침투관 등의 다양한 침투시설 설치
- 우수유출을 줄이기 위해 녹지면적을 확대하고 침투시설과 저류시설을 최대한 확보

- 서울시내 공한지를 도시텃밭으로 조성

- 공한지를 이용한 도시텃밭은 도시생태계를 유지하고 보호하는 역할을 함
- 놓고 있는 사유지뿐 아니라 사유지도 임시적으로 도시텃밭으로 이용할 수 있도록 허가하는 제도적 장치 필요
- 서울시 당국은 산재해 있는 여러 형태의 공한지를 조사하고 이를 경작가능지와 경작불가능지로 분류하는 등 공한지 관리를 체계화해야 함

- 특히 도심부에 있어 옥상녹화와 벽면녹화를 적극 시행함으로써 쾌적한 도시기후 조성 및 물순환에 도움을 주도록 하고 동식물 서식처로도 기능하게 해야 함

- 장기적으로는 건폐율에 비례하는 포장세를 신설하거나 불투수 토양피복을 줄이기 위한 인센티브 제도의 도입을 고려해야 함

5. 대기환경용량 평가에 따른 정책건의

- 대기오염물질의 배출 억제는 단순히 서울시 환경상태를 개선하기 위한 것만이 아니라 서울시의 전체적인 환경용량을 증가시키는 수단으로 인식되어야 함.

- 일정한 대기질을 유지하기 위해서는 경제활동 범위 축소, 오염물질 배출량 감소, 녹지규모 확충, 유입 대기질 개선 방법 중 몇 가지를 선택해야 함.

- 녹지의 확보는 서울시 대기질을 향상시키고 궁극적으로는 서울시 환경용량을

증대시키지만, 서울에 주어진 토지용량 자체의 한계로 녹지 확보를 통한 환경 질 향상에는 한계가 있을 수밖에 없음. 따라서 녹지를 지속적으로 확충해나가되 임목 집적량이 큰 고밀의 녹지를 확보하는 정책을 추진해야 함.

- 서울 및 수도권 인구를 적정수준에서 조정해야 함. 국제경쟁력 강화를 이유로 수도권 인구집중억제정책이 완화되는 경향이 있으나 수도권 인구분산정책은 지속적으로 추진되어야 함.
- 그린벨트 규제완화는 도시환경용량과 지속가능한 발전이라는 측면에서 신중하게 추진해야 함.

6. 기타 정책건의

- 서울의 환경용량은 서울시에 국한하기보다 경기도와의 통합적인 접근 필요
 - 서울시의 정책, 계획, 행정이 경기도와의 긴밀한 협조관계하에서 조정되어야 함.
- 환경용량 모델을 이용하여 지속가능성 지표체계를 마련할 필요가 있으며, 이 지표체계는 서울시의 지속가능성의 정도를 주기적으로 모니터링하는 데 활용
- 환경용량 모델은 이 분야 연구가 일천하고, 미비한 자료에 기초하여 여러 가정을 하여 만들어지므로, 그 결과를 구체적인 정책대안으로 직접 연계시키는 것은 어느 정도 한계가 있음.
- 향후 도시 물질대사라는 접근방법을 통하여 일정기간에 걸쳐 산소, 물, 음식물, 종이 등 서울시에 유입되는 물질과 생활폐기물, 이산화탄소, 아황산가스 등 서울시에서 유출되는 물질을 산정하는 연구를 수행함으로써 알기쉽게 서울의 환경용량을 이해하도록 할 필요 있음.

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구의 목적과 필요성	3
1. 연구의 목적	3
2. 연구의 필요성	4
제 2 절 연구의 범위와 방법	6
1. 연구의 범위	6
2. 연구의 방법	6
제 2 장 환경용량 평가 모델 개발의 이론적 배경	9
제 1 절 정의와 유형화	11
1. 정의	11
2. 유형화	12
제 2 절 선행연구 검토	15
1. 국내의 선행연구	15
2. 국외의 선행연구	23
제 3 장 서울시 환경용량 평가 모델	29
제 1 절 불투수 토양피복도	31
1. 불투수 토양피복의 환경적 영향	31
2. 외국도시의 불투수 토양피복도 분석 및 정책사례	43
제 2 절 시스템 다이내믹스를 통한 대기환경용량 평가	53
제 4 장 사례 연구	59
제 1 절 불투수 토양피복도 분석	61
1. 불투수 토양피복도 개념도	61
2. 서울시 불투수 토양피복도 현황	63
3. 불투수 토양피복관련 델파이 설문조사	71
4. 서울시 불투수 토양피복도 개선 가능성 분석	76
제 2 절 시스템 다이내믹스 모델	82
1. 상자 모델을 이용한 서울시 이산화질소 농도의 추정	82

2. 시스템 다이내믹스 모델과의 결합	95
3. 모델 행태와 서울시 환경용량	96
제 5 장 서울시 환경용량평가의 정책적 함의	107
제 1 절 환경용량에 기초한 환경관리체계 구축	109
제 2 절 토지이용규제제도 정비	109
1. 불투수 토양피복도의 정책 반영을 위한 국내외제도 검토	109
2. 토지이용계획에서의 환경용량평가	117
제 3 절 불투수 토양피복도 분석의 정책적 함의	118
제 4 절 시스템 다이내믹스 모델의 정책적 함의	120
제 6 장 결 론	123
< 참 고 문 헌 >	129
< 부 록 >	137
<부록 1> 시스템 다이내믹스	139
부록 A: 서울시 환경한계용량 모델에 사용된 파라미터의 값	139
부록 B: 도심지역과 녹지지역에서의 건성침착 속도의 변화	141
부록 C: Box Model에서의 시간지연 문제	146
부록 D: 대기환경기준	147
부록 E: 서울시 환경용량 모델 Equation	158
<부록 2> 각 구별 토지이용형태에 따른 면적(단위: ha)	163
<부록 3> 전문가 델파이 설문조사서	166
<부록 4> 미국 코네티컷주 여러 도시의 토양피복규정 세부내용	172

표 목 차

〈표 2-1〉 1인당 연간 사용량의 공간환경목표치(2050년 기준)	24
〈표 3-1〉 도시화에 따른 기후요소의 변화	32
〈표 3-2〉 도시화로 인한 기후 변화	33
〈표 3-3〉 서울시 각 구별 연평균기온과 여름 평균기온(1995~1999)	34
〈표 3-4〉 서울시 하천처리구역별 총합유출계수	38
〈표 3-5〉 불투수 토양피복이 도시생태에 미치는 영향	41
〈표 3-6〉 포장유형이 자연에 미치는 영향	41
〈표 3-7〉 베글스 지역에서의 오염물질의 양(Kg/ha)	42
〈표 3-8〉 일본 도시의 녹피율	43
〈표 3-9〉 독일도시의 불투수 토양피복도(1981)	43
〈표 3-10〉 미국의 텍사스주 오스틴 지역의 불투수 토양피복도	45
〈표 3-11〉 미국 델라웨어 주의 불투수 토양피복도	48
〈표 4-1〉 서울시 불투수 토양피복도(보정전)	65
〈표 4-2〉 서울시 불투수 토양피복도(보정후)	66
〈표 4-3〉 각 구별 전체 불투수 토양피복 면적 및 비율	67
〈표 4-4〉 자재별 서울시 보도연장과 보도면적	77
〈표 4-5〉 구별 도로면적 및 포장면적 현황	78
〈표 4-6〉 서울시 노외주차장(불투수포장, 노상기준)	79
〈표 4-7〉 하천복개 구조물 이용현황	81
〈표 4-8〉 서울시내 최대 투수성 전환가능면적	81
〈표 4-9〉 Case별 모사 조건	86
〈표 4-10〉 Case별 모사 결과	86
〈표 4-11〉 균형값에서의 서울시 인구, 사업체, 주택, 차량, 토지이용값 ..	98
〈표 4-12〉 녹지와 기술이 변화하는 경우 서울시 한계용량의 변화	99
〈표 4-13〉 세계각국의 이산화질소 대기질 기준	101
〈표 4-14〉 목표대기질 30ppb인 경우 서울시의 한계용량	101
〈표 4-15〉 목표대기질 40ppb인 경우 서울시의 환경한계용량	103
〈표 4-16〉 대기질 목표 변화에 따른 서울시 환경한계용량의 변화	104
〈표 5-1〉 용도지역·지구제 변경 내용	111
〈표 5-2〉 서울시 건폐율 및 용적율	112

<표 5-3>	코네티컷 주 여러 도시의 지역·지구 조례의 불투수 토양피복 도 규정	113
<표 5-4>	서울시 토지이용패턴의 변화	121
<표 5-5>	수도권 면적과 그린벨트	122

그림 목 차

〈그림 1-1〉 연구체계도	8
〈그림 3-1〉 서울시 불투수 토양피복도와 연평균 기온분포와의 관계	35
〈그림 3-2〉 서울시 연평균 기온분포(1999년)	36
〈그림 3-3〉 불투수 토양피복이 환경에 미치는 영향	37
〈그림 3-4〉 서울의 녹지분포(그림 녹색부분)	44
〈그림 3-5〉 미국 텍사스주 오스틴지역의 현재 불투수토양피복도	46
〈그림 3-6〉 미국 텍사스주 오스틴지역의 미래 불투수토양피복도 예측	47
〈그림 3-7〉 시애틀 근교 6개 구역에서의 불투수 토양피복도	52
〈그림 3-8〉 일방향의 단선적 인과관계	55
〈그림 3-9〉 원형의 내부순환적 환류체계	55
〈그림 3-10〉 도로와 교통혼잡, 보조금과 농가소득의 환류체계	56
〈그림 3-11〉 환경한계용량과 인간활동 모델의 개념도	56
〈그림 3-12〉 도시의 순환적 인과관계	57
〈그림 3-13〉 도시환경의 순환적 인과관계	57
〈그림 4-1〉 불투수 토양피복으로 인한 환경부하의 개념도	62
〈그림 4-2〉 서울시 불투수 토양피복도 현황	68
〈그림 4-3〉 서울 북서지역의 불투수 토양피복도 현황	69
〈그림 4-4〉 서울 중구의 불투수 토양피복도 현황	70
〈그림 4-5〉 상자 모델	84
〈그림 4-6〉 유입농도 변화에 따른 모사결과 변화	87
〈그림 4-7〉 평균풍속 변화에 따른 모사결과 변화	88
〈그림 4-8〉 혼합고 변화에 따른 모사결과 변화	88
〈그림 4-9〉 건성침착속도 변화에 따른 모사결과 변화	89
〈그림 4-10〉 배출량 증가에 따른 모사결과 변화	90
〈그림 4-11〉 상자 모델 인과지도	90
〈그림 4-12〉 환경부문 플로우다이아그램 모형도	91
〈그림 4-13〉 상자 모델의 행태	91
〈그림 4-14〉 환경부문의 인과지도	92
〈그림 4-15〉 환경부문 플로우 다이어그램	94
〈그림 4-16〉 서울시 환경용량모델의 인과지도	95

<그림 4-17> 서울시 인구, 산업체, 주택, 차량수의 변화	97
<그림 4-18> 서울시의 녹지, 택지, 산업체부지, 토지점용율 변화	97
<그림 4-19> 서울시 이산화질소의 농도, 환경지수의 변화	98
<그림 5-1> 우리나라의 공간계획체계	110
<그림 5-2> 독일의 공간계획체계와 주요관련법	116

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 목적과 필요성

제 2 절 연구의 범위와 방법

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 목적과 필요성

1. 연구의 목적

서울은 급속한 발전을 목표로 환경적 측면을 경시한 채 경제성과 편리성을 추구해 오으로써 여러 가지 환경문제를 나타내고 있다. 대기와 관련하여 오존 오염, 광화학 스모그, 산성비 등의 문제가 발생하고 있고, 물과 관련하여 수질 오염, 하천 건천화, 어류 폐사 등의 문제가 일어나고 있으며, 기타 폐기물 문제, 토양 오염 등 여러 가지 환경문제가 나타나고 있다. 이러한 환경문제의 원인은 수도권에 과도한 인구집중과 환경용량을 초과한 경제활동에서 찾을 수 있다. 환경용량을 고려하여 적정 인구수준을 유지하면서 사회경제활동을 해야 지속가능한 도시를 만들 수 있을 것이다.

작년에 본 연구원에서 기본연구과제로 「서울시 환경용량평가에 관한 연구」를 수행하면서 생태적 발자국(Ecological Footprint) 지수, 에머지(Energy) 분석, 오니시(Onishi) 모델 등의 기법을 활용하여 서울의 환경용량을 평가한 바 있다. 도시차원에서의 환경용량 연구는 아직 초보적인 수준에 머물러 있으며 기초 자료가 부족하고 신뢰할만한 모델 개발이 아직 이루어지지 못하고 있어 연구결과를 현실적으로 적용가능한 정책으로 바로 연계시키는 데에는 아직 상당한 한계가 있음을 인정하지 않을 수 없다. 예를 들면 5톤 트럭의 경우 적재용량을 초과하면 트럭에 상당한 부담을 주게 되므로 5톤까지만 싣게 할 수 있다. 그러나 도시에서의 자연시스템이 가지는 경제활동 부양 능력의 한계는 쉽게 산정되지 않는다. 도시환경의 인과관계가 시간적, 공간적으로 너무나 복잡하기 때문이다. 본 연구와 같은 도시환경용량 연구들이 다양한 측면에서 수행되면서 연구의 한계를 하나 둘 극복해나간다면 앞으로 특정 개발사업지구뿐 아니라 도시 전체 차원에서 토지이용계획을 수립하거나 집행할 때 환경용량 개념을 기초로 환경친화적인 개발이 이루어질 수 있을 것이다.

작년 연구의 후속연구 성격을 가지는 본 연구는 서울에 적합한 환경용량평가 모델을 새로이 개발하여 적용하고자 한다. 본 연구에서는 토양환경부문에서의 적정 불투수

토양피복도와 대기오염물질 중 이산화질소의 수용능력을 산정하여 서울의 환경용량을 평가한다. 이러한 환경용량평가 결과에 기초하여 본 연구는 서울시 환경의 수용능력의 한계를 초과하는 개발에 대한 규제방안을 마련함과 동시에, 환경용량에 기초한 환경관리체계 구축방안 및 토지이용규제 제도 정비방안을 제시한다.

2. 연구의 필요성

서울은 앞서 언급한 바와 같이 여러 환경문제에 직면해 있다. 서울의 환경문제를 해결하고 환경친화적 도시로 거듭나게 하기 위해 대기·수자원·토지 등 환경의 수용능력 범위 내에서 적극적인 환경관리를 해나가야 한다. 지속가능한 발전과 도시성장관리를 위하여 서울의 환경용량에 기초한 환경관리체계가 구축될 필요가 있다. 본 연구는 서울의 환경문제 중에서도 특히 불투수 토양피복 문제와 대기오염물질 중 이산화질소의 수용능력 문제를 다루고자 하는데, 이 두 부문은 각각 다음과 같은 문제를 가진다.

우선 도시의 불투수 토양피복은 도시환경에 다음과 같은 영향을 미친다.

첫째, 수자원관리 측면에서 볼 때, 홍수시 하천 범람의 우려가 커지고, 빗물이 땅으로 침투되지 못하는 피복된 공간으로부터 빗물과 함께 흘러나오는 오염물질이 상·하수로 유입될 우려가 있다.

둘째, 동·식물상 측면에서 볼 때, 불투수 토양피복은 동식물 서식공간을 파괴하는 요인이 되고, 도로와 같은 부분적인 불투수 포장은 비오톱을 단절시키고 적응력이 부족한 생물종들을 감소시켜 생태계의 불균형을 초래한다.

셋째, 토양보전 측면에서 볼 때, 물 공급이나 산소 공급에 유용한 토양유기체를 파괴한다.

넷째, 도시기후 측면에서 보면, 건물과 아스팔트 포장 도로의 열 저장 능력을 통해 대기온도가 상승하고 식생지역으로부터 증산이 줄어들어 상대습도가 감소한다. 즉 불투수 토양피복은 도시 미기후에 부정적 영향을 미친다¹⁾. 또한 불투수 토양피복은 녹지면적의 감소를 가져와 결과적으로 쾌적성을 저하시키고 도시 생태계의 불균형을 가져온다.

1) 서울특별시b, 「서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침수립」-1년차 연구보고서-, 2000, p43

불투수 토양피복이 가지는 위와 같은 부정적 영향을 고려할 때, 불투수지역을 개선하여 빗물이 스며들도록 하는 한편, 기존의 공원, 녹지, 나대지 등이 불투수지역으로 전환되는 것을 막아 도시환경을 보전하고 서울의 자연시스템이 부양할 수 있는 범위 내에서의 적절한 경제활동을 해나갈 필요가 있다.

한편 서울의 가장 중요한 환경문제로 대기오염을 들 수 있다. 자동차의 증가로 교통혼잡이 심화되고 생활수준의 향상으로 에너지 사용량이 급증함으로써 대기 중에 과도한 오염물질이 배출되어 시민의 건강을 해치고 가시권을 악화시키며 쾌적성을 감소시키는 결과를 초래하고 있다. 따라서 본 연구를 통해 대기환경용량도 평가함으로써 서울이 수용가능한 적정 수준 이내의 대기오염물질을 배출하도록 함으로써 도시의 쾌적성을 증진하고 시민의 건강상 위해도 방지해야 한다.

본 연구를 통해 부수적으로 성장 위주의 도시개발 패러다임을 지양해야 함을 보일 필요가 있다. 많은 사람들이 도시성장애의 잘못된 믿음을 가지고 있다(Fodor, 1999, pp38-59). 그러한 잘못된 믿음을 열거하면 다음과 같다.

- 도시성장을 통해 조세 수입이 증가한다.
- 고용을 늘리기 위해서는 계속 성장해야 한다.
- 도시성장을 억제하면 주택가격이 상승한다.
- 환경보전 정책을 펴면 경제가 성장하지 않는다.
- 도시성장은 불가피하며 도시성장관리는 불가능하다.
- 대다수 시민들이 도시성장관리와 환경보전을 지지하지 않는다.
- 공한지나 미개발 토지는 자원의 낭비이다.
- 환경보전문자는 특수한 이익집단에 불과하다.

위와 같은 잘못된 믿음을 타파하는 인식의 전환을 통해 서울 시민에게 개발과 환경보전을 동시에 실현시키고자 하는 지속가능성에 대한 인식을 심어주며, 나아가 쾌적한 서울을 만들기 위해 시민의 참여의식을 키워나가는 데 환경용량평가 연구 결과가 기여할 수 있을 것이다.

제 2 절 연구의 범위와 방법

1. 연구의 범위

본 연구는 서울의 환경용량을 평가하기 위해 토양피복 부문 및 대기 부문의 모델을 개발한다. 그리고 이 모델을 통해 서울에 있어 이 두 부문의 환경용량을 평가한 뒤, 이에 기초하여 불투수 토양피복 문제와 관련하여 토지이용규제 제도 정비방안을 포함한 정책적 함의를 다루고, 대기부문과 관련하여 실험적으로 적정인구를 제시하고 관련 정책적 함의도 검토한다.

구체적인 연구범위를 살펴보면, 우선 불투수 토양피복도 관련 연구에서, 서울시 25개 자치구의 세부지점별로 건폐율(일정면적에서 건물이 차지하는 비율), 불투수 포장, 투수 포장, 녹지, 기타의 5가지 척도로 나누어 불투수 토양피복도를 조사한 기존 연구²⁾에 기초하여 그 조사결과를 본 연구의 필요에 맞게 수정보완한 후 구별 불투수 토양피복도 현황을 제시한다. 그리고 전문가 델파이 조사를 통해 서울의 바람직한 불투수 토양피복도를 알아본 뒤, 그 결과를 기초로 서울에서 불투수 토양피복도 문제를 개선하기 위한 정책 방안을 모색한다. 장기적으로는 불투수 토양피복도 관련 규정을 도시계획법 내지 건축법, 나아가 도시계획조례 등에 포함시킬 수 있는 방안을 제시한다.

서울시 대기부문 환경용량 산정 연구에서는 시스템 다이내믹스 모델에 상자 모델(Box Model)을 결합하여 서울시 대기환경용량을 산정하고, 그 결과에 의해 이산화질소를 중심으로 한 서울의 적정 오염물질 배출량을 제시한다. 본 연구에서는 복잡하게 얽힌 도시의 토지, 녹지, 경제활동, 인구, 주택 등 각 요소간의 상호작용을 고려하여 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 구축한다. 이를 기초로 하여 서울의 대기부문 오염물질 중 질소산화물에 대한 환경용량을 파악하는 한편 서울시 적정인구도 실험적으로 제시한다.

2. 연구의 방법

첫째, 문헌조사를 통해 국내·외 환경용량평가의 유사사례를 연구한다. 특히 서울의

2) 서울특별시b, 「서울시 비오름 현황조사 및 생태도시 조성지침수립」-1년차 연구보고서-, 2000

토양피복과 관련한 연구 중에서 가장 최근 연구를 찾아 이를 수정·보완하여 서울의 각 구별 토양피복도에 대한 DB를 재구축한다.

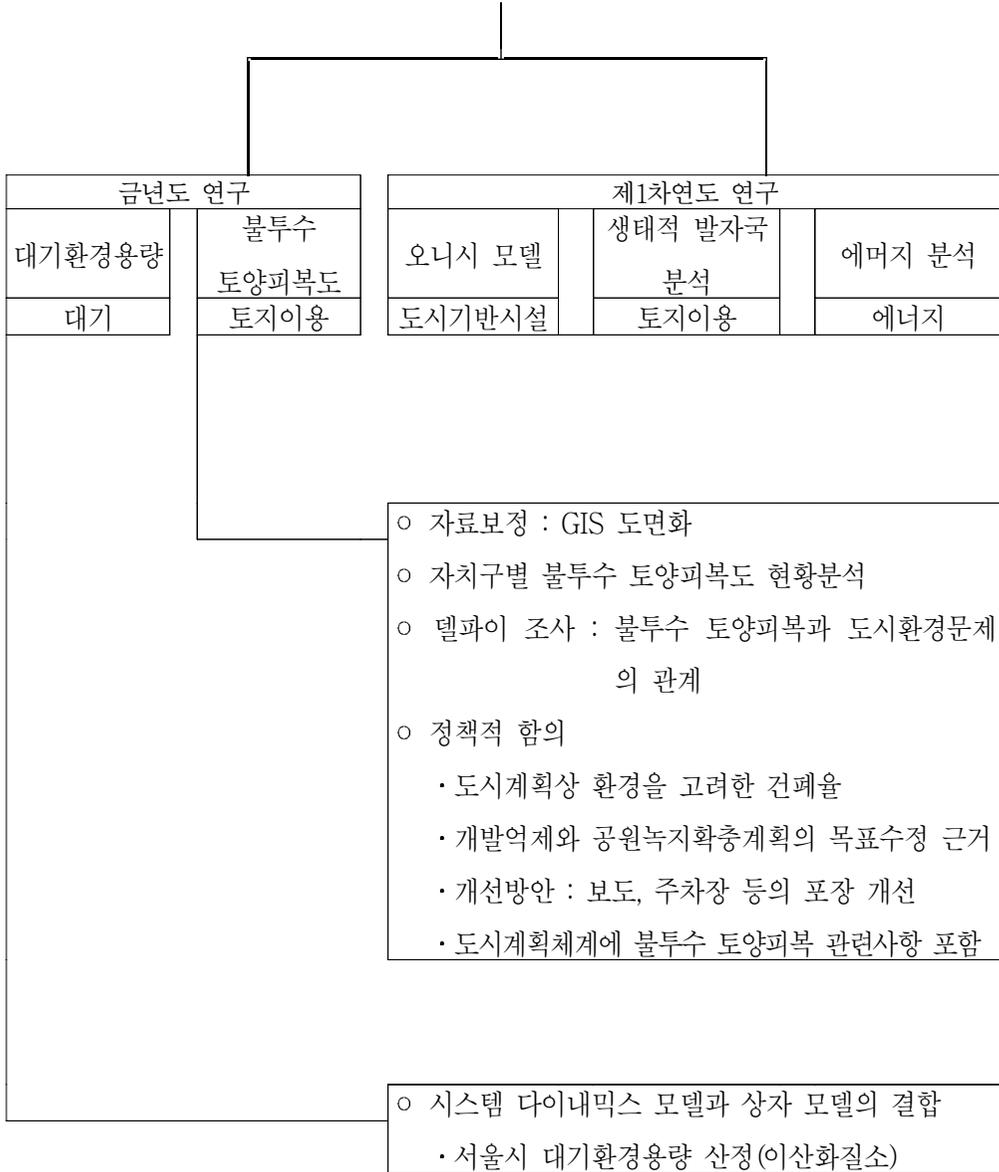
둘째, 전문가 설문조사를 통해 서울시의 바람직한 불투수 토양피복도를 제시하고자 한다. 그리고 이 결과를 기초로 서울시의 불투수 토양피복도의 개선가능성을 제시하고자 한다. 나아가 이런 개선가능한 부분을 실제로 실현하기 위해서 기존 도시계획조례나 건축법 등의 개선방안을 제안한다.

셋째, 대기부문의 환경용량과 관련하여 외부전문가를 초빙하여 종합적 환경용량 평가모델인 시스템 다이내믹스 모델을 통해 도시 요소(인구, 토지 등)간 상호작용을 고려하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하고, 이를 기반으로 서울시 대기오염물질 중의 이산화질소에 대한 환경용량을 산정하고 그에 기초하여 서울시의 적정인구를 산출하고자 한다.³⁾

본 연구의 기본적인 구성체계는 다음의 <그림 1-1>에서 정리한 연구체계도에서 보는 바와 같다.

3) 이 부분의 연구는 중앙대학교 도시 및 지역계획학과의 문태훈 교수와 아주대학교 환경공학과와 홍민선 교수가 맡아서 하였다.

서울시 환경용량평가 연구



<그림 1-1> 연구체계도

제 2 장 환경용량 평가모델 개발의 이론적 배경

제 1 절 정의 및 유형화

제 2 절 선행연구 검토

제 2 장 환경용량 평가 모델 개발의 이론적 배경

제 1 절 정의와 유형화

1. 정의

1) 환경용량

환경용량은 인간을 중심으로 하는 사회과학적인 개념으로 “일정한 지역의 자연시스템이 부양할 수 있는 경제(또는 인구)규모”로 정의된다. 이 때 경제규모에는 인구, 산업, 주택, 도로, 교통 등이 포함된다. 환경용량을 달리 표현하면, “주어진 공간, 자원, 그리고 오염관리능력으로서 부양할 수 있는 최대 지속가능 밀도”를 의미한다(이창우, 1999, p20). 이러한 의미를 기초로 하여 도시의 환경용량은 “쾌적한 수준을 유지하면서 도시 내에서 수행될 수 있는 모든 활동의 크기”로 정의될 수 있다.⁴⁾

2) 환경용량 산정

환경용량 산정이란 “자연시스템의 인간부양능력이 어느 정도인지를 공학적, 자연과학적 방법을 활용하여 수치로 나타내는 것”을 말하는 것으로서 환경용량의 한계치를 찾는 다음, 이 지점에서의 경제규모를 측정하는 것이다(이창우, 1999, p24). 산정된 환경용량은 자연시스템 각 구성요소가 지탱할 수 있는 경제규모의 크기로 나타난다. 환경용량 산정의 경우 자연시스템의 구성요소뿐 아니라 하부기반시설의 용량도 중요한 요소이기 때문에, 자연시스템의 구성요소가 지탱할 수 있는 경제규모 산정을 기본으로 하고, 하부기반시설의 구성요소가 지탱할 수 있는 경제규모 산정을 부수적으로 한다. 한편 단위녹지면적 당 인구수 등으로 환경용량 산정에 의한 수치를 일정한 단위로 나타낼 때 이를 “환경용량 지표”라 한다.

4) 좀 더 상세한 내용은, 이창우, 「서울시 환경용량평가에 관한 연구」, 서울시정개발연구원, 1999를 참조할 것.

3) 환경용량 평가

환경용량 평가는 “환경용량 구성요소의 한계치를 기준으로 하여 일정지역의 경제 규모가 해당 지역의 환경용량을 초과했는지 여부를 파악함으로써 그 지역에서 이루어지는 각종 개발사업이 환경용량에 미치는 영향이 어느 정도인지에 대한 정책적 판단을 내리는 것”을 말한다(이창우, 1999, p25). 이 때 비교기준이 되는 한계치는 환경용량 산정의 결과치를 사용하는 방법과 사회적 합의기준인 정책목표치를 사용하는 방법이 있다.

환경용량 평가는 정책적 판단 행위로서 환경용량 산정 그 자체를 의미하는 것이 아니기 때문에 반드시 평가기준으로 환경용량 산정의 결과치만을 사용할 필요가 없다. 환경용량 평가의 기준치는 자연과학적 방법으로 산정된 값일 수도 있고 사회적으로 합의된 값일 수도 있는데, 이중 해당 지역의 이해관계자들이 쉽게 이해하고 합의할 수 있는 것으로 기준치를 정하여 환경용량 평가가 이루어져야 할 것이다.

4) 불투수 토양피복도

도시 토지는 토양피복이라는 기준으로 볼 때 크게 건물, 불투수포장지, 투수포장지, 나지의 4가지 유형으로 나눌 수 있다. 이중 본 연구의 중심이 되는 불투수 토양피복지는 건물과 불투수포장지의 둘을 합친 것을 말한다. 따라서 불투수 토양피복도는 “토양이 건물과 불투수 포장으로 덮혀 있는 정도”라고 정의할 수 있다. 불투수 토양피복도와 유사한 개념으로 독일에서 나온 ‘봉합화’라는 개념이 있다. 봉합화는 지표면이 건물, 지하건축물, 도로포장 등으로 마치 봉합된 것처럼 되어서 대기로부터 차단되어 원래의 땅으로서의 역할 즉 빗물을 침투시키고, 동식물들이 생육할 수 있는 공간으로서의 역할을 방해받는 현상을 의미한다(이은희, 1997).

2. 유형화

환경용량 평가를 유형화함으로써 이 개념을 좀 더 잘 이해할 수 있다. 환경용량 평가는 다음과 같이 분류할 수 있다.

첫째, 지역 자연자원의 지속가능성 평가를 들 수 있다.

둘째, 지역 시설의 적정 이용밀도 평가를 들 수 있는데 레크리에이션, 관광지 등의 수용능력 평가가 그 예라 할 수 있다.

셋째, 오염총량 평가로서 오염물질 총량 규제, 산업체의 신규진입 규제 등이 여기에 포함된다.

넷째, 개발총량을 평가하는 것으로서 도시화율, 용적율, 녹지총량, 하부기반시설 용량 등의 평가가 여기에 속한다.

환경용량 평가의 접근방법으로 크게 두 가지가 있는데, 첫째 환경용량 산정의 결과치 활용방법이고 둘째 사회적 합의로서의 정책목표치 활용방법이다.

환경용량 산정의 결과치 활용방법은 먼저 환경용량을 산정한 후 환경기준을 설정하여 수용가능한 개발용량을 제시한다. 그리고 현 개발수준 및 개발계획안의 개발 수준을 비교·평가한다. 또한 수용가능한 개발용량의 초과여부를 판단하여 환경용량에 기초한 정책목표를 제시한다. 즉 적정 개발용량을 제시하고 이를 달성하기 위한 수요 및 공급 관리 방안을 제시하게 된다.

사회적 합의로서의 정책목표치 활용방법은 정책목표치로서의 환경기준을 설정하고 현 개발수준 및 개발계획안의 기준치 달성여부를 평가하여 적정 개발용량과 수요 및 공급 관리를 통한 환경용량 확대방안을 제시하는 방법이다.

이러한 환경용량 평가를 구체적 개발사업에 적용할 경우, 그 구체적 개발사업을 정의하고 유형화하면 다음과 같다. 개발사업이란 토지상의 형질 변경을 통해 경제적, 사회적, 환경적으로 영향을 미치는 사업으로서 장소가 특정되면서 개발 일정이 확정된 사업을 말하는데 적어도 9가지로 유형화할 수 있다.

- ① 자연 복원사업으로서 일종의 환경용량을 확대하는 사업이고, 자연형 하천만들기, 공장이전적지 등의 공원화, 난지도 생태공원조성, 낙산복원사업 등이 대표적인 예이다.
- ② 환경오염 관리사업으로서 이 또한 환경용량을 확대하는 사업이며, 난지도 매립지 안정화사업, 자원회수시설 건설, 대형배수지 건설 등이 있다.
- ③ 휴식 및 여가공간 조성사업으로서 이 사업으로 인해 유동인구가 발생함으로써 환경오염 유발 가능성이 있다. 관광자원 개발사업이 대표적인 예이다.
- ④ 산림보전지역의 개발사업으로서 사업시행과정에서 직접적인 산림파괴로 이어질

수 있는 사업이다. 북한산관련 개발, 서울 외곽순환도로 건설 등이 있다.

- ⑤ 도심, 부도심, 기존 용도지역의 기능 활성화사업으로 도심 및 부도심 정비계획사업, 준공업지역 재정비사업 등이 있다.
- ⑥ 주택공급 및 주거환경 개선사업으로서 상주인구 증가로 환경부하가 증가될 수 있으며, 주택개량사업(주택재개발, 재건축, 주거환경개선사업), 택지개발사업, 역세권 개발, 공공주택 건설 등이 여기에 포함된다.
- ⑦ 도시내 대규모 개발사업으로서 대규모 인구유입과 경제활동규모 증대로 이어지며, 상암지구 새서울타운 건설, 용산 국제첨단 업무단지개발 등이 여기에 속한다.
- ⑧ 하부기반시설 중 교통관련 시설 건설사업으로서 하부기반시설 용량이 확대될 수 있고, 도로확장, 신규도로 건설, 내부순환 도시고속도로, 한강시민공원 진입도로 확충, 3기 지하철 건설, 한강교량 신설 및 보수사업 등이 여기에 속한다.
- ⑨ 특정 목적에 적합한 소규모 단위개발사업으로서 사업용도에 따른 환경부하가 발생할 수 있으며 인구증가를 가져올 수 있다. 서남권 농수산물 도매시장 건설, 아파트형 공장 건립, 준공업지역내 미니 산업단지 조성, 재활용산업단지 조성사업 등이 여기에 포함된다.

이런 9가지 구체적 개발사업 중에서 어떤 사업이 해당지역의 인구수용능력, 자원공급능력, 오염처리능력, 하부기반시설용량 등에 부정적 영향을 미친다면 그 개발 사업은 평가되어야 한다. 이렇게 구체적으로 평가되어야 할 사업과 평가되지 않아도 되는 개발사업을 특성별로 분리하면 다음과 같다.

첫째, 환경용량의 구성지표에 중요한 영향을 미칠 정도의 개발규모를 가진다면 평가대상사업이 되어야 한다. 즉 토지이용 변경의 규모, 추가 인구유발 규모, 기반시설 부하량 증대 규모 등의 요소를 가진 사업은 평가되어야 한다.

둘째, 환경부하량 발생가능성 측면에서 환경용량 능력을 확대시키는 사업은 평가대상에서 제외되어도 된다. 예를 들면 자연복원 사업, 환경오염관리사업은 평가대상에 포함되지 않아도 된다.

셋째, 단위 건물 개발, 도심 기능활성화 사업 등은 토지이용 변경 규모가 상대적으로 작기 때문에 평가대상사업에서 제외되어도 된다. 그러나 그 구체적인 규모는 좀 더 세밀하게 연구해야 한다.

위와 같이 서울에서 일어날 수 있는 개발사업들을 유형화하였으나 본 연구에서는 서울시 전체 차원에서 환경용량평가 접근방법을 사용함으로써 유형화된 개발사업별 환경용량 평가는 이루어지지 않는다. 그러나 이렇게 환경용량평가의 대상사업들을 유형화함으로써 환경용량평가의 필요성을 분명하게 인식할 수 있고 본 연구에서 다루는 불투수 토양피복도와 대기환경용량 분석을 좀 더 쉽게 이해할 수 있을 것이다.

제 2 절 선행연구 검토

1. 국내의 선행연구

1) 도시동태모델

환경용량평가 모델과 관련한 연구로 도시동태 모델 연구(김도훈, 문태훈, 김동환, 1999)가 있다. 이 책은 도시의 매력도라는 개념을 사용하면서 도시의 성장과 쇠퇴과정을 전체 도시 시스템의 관점에서 설명하고 있다. 여기서 매력도는 아름다운 경관만을 의미하는 것이 아니라 다양한 소득 계층의 인구들을 주변지역으로부터 끌어들이고 유입된 계층별 인구를 지탱할 수 있는 사회·경제적 힘을 말한다.

도시동태 모델은 도시를 구성하고 있는 하위 시스템으로 인구, 주택, 산업, 토지 분야를 설정하고, 각 분야들간의 상호 역동성을 기초로 한 도시의 성장과 쇠퇴의 행태를 설명하는 모델이다. 그리고 끊임없는 인구의 유출·입으로 한 측면의 매력력이 향상되면 그에 상응하는 다른 문제를 발생시키기 때문에 이상적인 도시는 존재할 수 없음을 밝히고 있다.

결론적으로 도시정책 결정자는 자신들의 비전과 주민들의 도시문제에 대한 인식 사이의 어떤 지점에서 타협된 정책들을 선택하게 된다고 이 연구는 주장하고 있다.

2) 도심부 하부기반시설 수용용량 분석

환경용량 평가 사례로서 서울 도심부 하부기반시설의 수용용량 분석(서울시립대학

교 도시과학연구원 환경공학센터, 1998)이 있다. 이 연구는 서울의 정수장 시설용량 및 생산실적, 송·배·급수시설 현황, 하수도시설 및 하수발생량 현황을 파악한 후, 현재의 기반시설이 감당할 수 있는 개발용량을 산정하였다. 상수도 추가가능생산량은 정수장(뚝도, 보광동) 가동율을 90%로 할 경우 74,580톤에 불과하며, 이중 도심지로 배분되는 비율(17%)을 고려하여 12,679톤이라는 결과를 도출하였다. 그래서 향후 개발에 따른 용량 확보는 현재의 시설로서는 대처 불가능한 것으로 보였다.

기존 정수량의 추가생산량을 연상면적당 1일 물사용량(liter per area day: lpad)으로 나누어 계산하여 수용할 수 있는 개발용량(면적, m²)을 추산하였다.⁵⁾ 그리고 이를 종로구 및 중구에 적용하고 각 구의 평균값을 계산하여 9.24 lpad라는 결과를 얻었다. 현재의 추가생산량을 전량 도심부로 송수한다고 가정하고 이를 두 개구 lpad 평균값으로 나누면 최대 확장가능한 개발면적이 도출됨을 아래 식을 통해 보여주었다.

$$\text{확장가능면적} = \text{가능추가생산량} \div [\text{lpad}(\text{liter}/\text{m}^2 \times \text{day}) \div 1000]$$

$$8,071,429 = 74,580 \div 0.00924$$

$$\text{용적률의 증가(\%)} = \text{확장가능면적} \div \text{도심부의 대지면적}(\text{m}^2) \times 100$$

$$59.7\% = 8,071,429 \div 13,528,887 \times 100$$

여기서 확장가능면적 8,071,429m²는 중구와 종로구의 전체대지면적인 13,528,887m²의 59.7%에 해당하는 면적이므로, 지금의 용적률을 100%로 하였을 때 추가로 중구와 종로구에 59.7%정도의 개발이 정수시설만을 고려할 경우 가능함을 보여주고 있다. 이는 정수장에서 수돗물 잉여생산량이 모두 중구와 종로구 지역으로 공급되며, 장래의 연상면적당 1일 물사용량은 현재와 같은 값이고, 두 정수장에서 공급되는 도심부(종로, 중구) 이외의 구의 물 사용량은 장래에도 일정하며, 가능추가생산량은 전량 도심부로 공급된다는 가정을 내포하고 있다. 그러나 가능추가생산량 중 현재의 배분비율인 17%만 도심부로 수송가능한 것이 현실적이므로 이를 계산하면 다음과 같다.

$$\text{용적증가가능량} \approx 10\% \text{ 정도}$$

5) 계산세 부과자료와 상수도 검침자료를 통해 추산하고 있음.

그리고 현 정수시스템 상에서 용량을 늘려 도심부의 개발수요용량을 증가시키는 것은 확장효율(생산량 분배율 17%를 고려했을 때는 약 10%미만)측면과 경제적 측면에서 실효성이 없음을 지적하였다.

다음으로 하수도 시설이 감당할 수 있는 개발용량을 산정하였다. 종로와 중구에서 발생하는 하수를 처리하는 중랑하수처리장은 1998년 현재 171만 m^3 /일의 시설을 가동 중이다. 그러나 1995년 일평균 유입하수량이 210만 m^3 /일이고, 게다가 제1, 2공장은 시설된 지 약 20년이 경과하여 일부 시설물이 노후되어 제 기능을 발휘하지 못하고 있는 상황이므로 노후시설의 갱생과 불량하수관거의 정비가 요구됨을 보여주었다. 또한 현재의 시설로는 추가 수용용량을 고려할 수 없다고 하였다. 수질의 경우 유입물질이 설계수질의 80%에 불과하여 유입수질에 따른 오탁부하량이 약 25% 증가하여도 처리가능함을 보여주었다.

3) 경기도 도시개발용량 평가

경기개발연구원(1999)은 도시개발용량 평가 연구를 통해, 도시개발용량을 성장관리 기법으로 활용하기 위해 경기도 시·군의 개발용량을 측정할 수 있는 평가항목과 평가 기준을 개발하였는데, 도시개발용량을 당해 도시가 가지고 있는 자원과 시설 등의 수용능력으로 이해하면서 이 개념이 도시의 개발수준과 속도를 조절하는 중요한 척도로 이용될 수 있다고 보았다.

이 연구는 경기도 31개 시·군의 개발용량을 토대로 지역별 개발수준을 적절히 조절하여 경기도 역내의 균형 있는 발전을 유도하기 위한 목적으로 개발용량을 평가할 수 있는 평가항목과 평가 기준을 설정하고 이를 토대로 경기도 31개 시·군의 개발용량을 산정하고 있다. 이 연구에서는 도시개발용량을 “도시 및 지역개발 측면에서 환경에 나쁜 영향을 미치지 않는 범위 내에서 수용가능한 수준”으로 정의하면서 인구수를 기준으로 나타내었다.

이 연구는 산정용량과 현재용량이라는 개념을 도입하고 있는데, 산정용량은 도시 및 지역내의 자원과 시설이 수용가능한 적정용량을 의미하는 것이며, 현재용량은 기존의 자원과 시설이 현재 수용하고 있는 용량, 즉 인구수를 의미하는 것으로 표현하였다.

이 연구는 도시개발용량의 구체적인 평가항목을 토지용량, 교통용량, 시설용량, 환

경용량의 4가지 용량으로 나누었는데 그 구체적 기준은 다음과 같다.

- ① 토지용량: 도시 또는 지역 내의 개발이 가능한 토지(개발가능지) 기준
- ② 교통용량: 도로율과 도로연장밀도 기준
- ③ 시설용량: 상하수도 처리용량 기준
- ④ 환경용량: 지역내 녹지면적 기준

총개발용량은 다음 식과 같이 산정된다.

$$\text{총개발용량} = \text{토지용량} + \text{교통용량} + \text{시설용량} + \text{환경용량}$$

이 식을 지역별 총 평균용량에 적용함에 있어, 제1단계에서는 토지용량, 교통용량, 시설용량, 환경용량 등 부문별로 도시개발용량을 평가하고, 제2단계에서는 각 부문별 평가결과를 종합하여 지역별 총 평균용량을 산정하였다. 그리고 지역별 평균용량은 각 부문별 최대산정용량과 최저 산정용량 값을 제외한 나머지 산정용량을 합한 후 평균값을 구함으로써 얻어짐을 보여주었다.

4) 서울의 주요 산 경관풍치보전계획

서울의 주요 산 경관풍치보전계획(서울특별시c, 2000)에서 교통용량, 대기환경용량, 도시계획시설 용량 및 상하수도 용량에 대한 분석을 하고 있다. 각 용량에 대한 분석은 아래에서와 같이 검토내용, 검토범위, 측정방법, 측정결과 및 예측으로 나누어 볼 수 있다.

(1) 교통용량분석

① 검토내용

개발량 변화에 따른 관악산 주변도로에 배분되는 교통량의 변화 및 서비스 수준을 분석하고 관악산 주변에서 수용할 수 있는 개발량의 한계치 설정하기 위하여 교통용량을 분석하였다.

② 검토범위

- 시간적 범위: 1999 ~ 2010년
- 공간적 범위: 관악산 인접지역인 관악구 및 금천구
- 내용적 범위: 1999년 개발량(100%)과 2010년의 개발량(100~200%)변화시 서비스 수준의 변화 분석

③ 분석과정

- 1996년 서울시 교통센서스 자료와 1999년 주요간선도로 교통량 자료를 기반으로 하고 교통량 기반 O/D 추정기법을 활용하여 1999년 현재 기종점(O/D)통행량을 1차로 보정
- 통행유출에 영향을 주는 요소(인구, 자동차, 연상면적 등) 및 유입에 영향을 미치는 요소(고용지수, 연상면적 등)를 구분하여 다중회귀분석을 통한 회귀계수 추정
- 추정된 회귀계수를 이용하여 만들어진 모형을 근거로 개발량(연상면적)을 100% (현재수준)~200%(현재의 두배)로 변화시켜 만들어진 6개의 시나리오에 따른 유·출입량을 계산하고 Matrix Balancing 기법을 활용하여 2차로 보정
- 보정된 자료를 이용한 개발량에 따른 교통망 배분을 통해 최종 배분된 교통량과 속도를 분석

④ 결과 및 예측

각 도로구간별 현재의 서비스 수준을 평가하였고, 2010년의 경우 개발량이 현재의 140·160% 이상으로 증가할 경우 서비스 수준이 악화된다. 따라서 교통량 측면에서는 현재 개발량(연상면적)의 150%정도를 관악산 주변지역의 적정개발용량으로 판단하였다. 그리고 이를 위해 계획적 통제를 강조하였다.

(2) 대기환경용량 분석

① 검토내용

경관관리 대상지역의 도시개발 밀도변화에 따른 도로변 대기오염물질의 배출과 오

염도 변화분석과 도로변 대기환경 변화를 수용할 수 있는 개발량의 검토 및 대기환경 용량 개념을 적용한 경관관리의 편익분석(경관관리 및 적정 개발량을 수용할 수 있는 대기환경용량 개념의 정립, 대기환경용량 개념에 의한 적정 개발용량 산정의 가능성을 모색)을 하였다.

② 검토범위

- 측정기간: 1999년 11월 9일~11월 14일
- 측정지점: 남부순환도로 및 시흥대로 6개 지점
- 측정내용: 대기환경보전법에서 규정하고 있는 환경기준 설정항목인 총먼지(TSP), 미세먼지(PM-10), 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂), 일산화탄소(CO), 오존(O₃), 납(Pb) 등의 대기 중 함량을 측정
- 측정방법: 시료채취 및 분석방법은 대기환경오염 공정시험법에 준하여 실시함.

③ 결과 및 예측

도로주행차량에 의한 오염물질 배출로 인한 주변지역의 대기질 변화를 예측하기 위해 미국 EPA 권장 이동오염원 예측모델인 CALINE-3 모델을 사용하였다. 대기질 영향 예측시 배경농도로는 1994년~1998년의 서울시 평균농도를 산출하여 적용하였다.

대기질 영향예측결과, 개발량을 1999년을 기준하여 200%로 하였을 경우 NO₂ 단기환경기준인 0.08ppm을 초과하는 지점이 3군데 있으며, 여타 지점에서도 단기환경기준에 근접하는 경향을 보였다. PM10은 개발량 200%에서도 단기환경기준 150 μ g/m³을 하회하였다. NO₂는 개발량 200% 경우 단기환경기준에 접근하며 CO는 200%상에서 기준에 하회하였다. 이를 종합하면 현재 개발량(연상면적)의 150% 정도의 개발량이 대기환경의 여건에서 최대 개발가능 용량임을 보여 주었고, 현행법규에서 설정한 대기환경기준을 만족하기 위해서는 추가 개발량을 통제하여 오염물질 배출량 삭감에 의한 초과농도수준을 저감할 필요가 있음을 보여주었다.

(3) 도시계획시설 용량 분석

① 검토내용

도시계획시설 중 공원녹지, 학교, 공용의 청사 등의 공공시설 및 복지시설 등의 현황을 파악하고, 개발량이 증가함에 따라 필요로 하는 도시계획시설의 양을 계량적으로 분석하고 현재의 도시계획시설로 수용할 수 있는 개발의 한계치를 추정하였다.

② 검토 범위

- 시간적 범위: 1999년, 2011년
- 공간적 범위: 관악산 인접지역인 관악구 및 금천구
- 내용적 범위: 1999년 개발량을 기준으로 개발량이 200%까지 증가할 경우 필요한 도시계획시설의 수요를 추정하여, 현재의 시설이 수용할 수 있는 용량을 분석

③ 예측결과

대부분의 도시계획시설의 수용능력이 이미 초과되고 있어 도시계획시설의 측면에서의 적정개발용량은 현재 연상면적의 120~140%에 불과함을 보여주었다.

- 공원녹지시설: 120~140% 개발까지 현재 공원용량으로 수용가능한 한계 수준
- 학교시설: 120% 개발이 학교시설 기준으로 볼 때 한계시설용량
- 공용의 청사 등 공공시설: 우체국, 파출소 등 중생활권 시설로 볼 때 120%가 한계이며, 소생활권 시설 중 동사무소는 160%까지 문제없으나 180% 이상 개발 시 인구증가에 따라 1~3개소 추가 설치 필요
- 사회복지시설: 이미 과부족 상태

(4) 상하수도 용량분석

① 검토내용

개발시나리오에 따라 관악산 주변지역에서 발생하는 물수요량 및 하수발생량을 분석하였으며 관악산 주변의 상수도 시설 및 하수도 시설이 수용할 수 있는 적정 개발용량을 산정하였다.

② 검토범위

- 분석연도: 2011년
- 대상지역: 관악산 주변지역(관악구, 금천구)
- 분석대상: 상수도(정수장, 배수지)와 하수도(하수처리장)

③ 분석과정 및 방법

· 상수도 분야

- 서울시 수도정비 기본계획에 비추어 대상지역의 정수장, 배수지 현황 및 계획의 용량을 분석
- 물수요에 영향을 주는 인자들을 이용한 모델의 구축 및 최적모델 선정
- 개발 시나리오에 따른 관악산 주변지역에서의 물 수요량에 대해 최적모델을 통해 예측
- 서울시 수도정비 기본계획의 자료와 개발 시나리오에 따른 물 수요량을 비교, 분석하여 적정 개발용량 산정

· 하수도 분야

- 서울시 하수도 정비기본계획에 비추어 대상지역의 하수처리장 시설용량을 분석
- 개발 시나리오에 따른 하수발생량 추정
- 추정된 일평균 하수발생량을 이용하여 하수처리시기 중에 일최대 하수발생량과 시간최대 하수발생량을 비교, 분석하여 적정개발용량 산정

④ 결과 및 예측

· 상수도분야

- 정수장의 경우 200% 개발시에도 해당지역에 충분히 물을 공급할 수 있다고 판단됨
- 배수지의 경우 독산배수지가 140% 개발시 적정 저류시간을 확보하고 있지 못하나 배수지의 총 저류용량으로 볼 때에는 배수구역의 변경 등을 통해 적정 저류시간의 확보가 가능하며, 따라서 200% 개발시에도 적정 저류시간을 확보할 수 있음

- 하수도분야
 - 관악산 지역을 관할하는 가양하수처리장은 이미 시설기준인 일최대하수량이 시설용량을 초과한 상태로 시설확장 시급
 - 관거정비사업에 의해 일평균 유입하수량의 20%를 차지하는 지하침투수 저감 필요
 - 2011년도 증설계획에 의해 시설용량이 256만톤/일로 증설된다면, 개발에 따른 추가 하수발생량이 수용될 수 있음.

2. 국외의 선행연구

1) 공간환경접근법

독일의 부페탈 연구소(Wuppertal Institute)와 국제 지구의 친구들(Friends of the Earth International)이 자연자원 이용의 한계를 계산하는 새로운 방법을 고안해냈다(Mittler, 1999). 이 이론적 기법을 환경공간(environmental space) 접근법이라고 부르는데 이 환경공간 이론의 접근방법은 다음과 같다.

첫째, 구득가능한 자료를 기초로 하여, 시멘트, 알루미늄, 목재, 토지, 에너지 소비량을 표시하는 이산화탄소 배출량과 같은 주요 자원의 환경용량의 한계를 정하였다.

둘째, 이러한 계산 결과를 기초로 하여, 위와 같은 자원의 일인당 자원이용 목표치를 도출하였다. 그런데 여기서 일인당 자원이용 목표 계산을 정당화하기 위하여, “모든 사람들은 똑같이 환경공간을 이용한 권리를 가진다”는 가정을 하였다. 그리고 이러한 ‘형평성 원칙’이라는 가치판단이 받아들여진다면 환경공간의 자원이용 목표치(즉 환경용량) 계산은 의외로 쉬워진다고 보고 있다. 목표 인구수준에 따른 이용가능 자원량은 지구의 수용용량을 벗어나지 않고 자원을 사용할 수 있는 정도를 보여준다. 그리고 지속가능한 일인당 연 이산화탄소 배출의 한계치는 1.7톤으로 알려져 있는데(Carley and Spapens, 1998, p104) 영국의 경우, 현재 일인당 연간 이산화탄소 배출량은 10.09톤이며, 독일은 12.1톤이므로 한계치를 훨씬 초과하고 있다. 그리고 사회변화를 위해서는 장시간이 요구된다는 관점에서, 2050년을 목표연도로 하는 주요 자원의 항목별 1인당 연간 사용량의 공간환경목표치를 보여주고 있다(<표 2-1> 참조).

〈표 2-1〉 1인당 연간 사용량의 공간환경목표치(2050년 기준)

항 목		목표치	항 목		목표치
Energy(CO ₂)		1.7ton	Wood		0.5m ³
Non-renewable raw materials	Cement	80kg	Land-use	Protected area	0.061ha
	Pig iron	36kg		Built-up land	0.051ha
	Aluminium	1.2kg		Net import of land	0.0185ha
	Chlorine	0kg			

자료: Carley, M. & Spapens, P., 1998, *Sharing the World, sustainable Living and Global Equity in the 21st century*, p106.

이 목표연도가 너무 장기이고, 보통 정치인들은 단기적인 정책에 관심이 많다는 점을 고려하여 중기 목표치도 제시하고 있다. 예를 들면 영국은 2010년까지 이산화탄소 배출량의 30% 감축과 알루미늄 사용의 22% 삭감을 요구받고 있는데, 이것은 2050년 목표치의 1/4에 해당된다.

이 연구는 환경공간 접근법의 한계로 환경자료의 한계와 세계인구예측의 어려움을 들고 있다. 또 다른 문제점으로 환경은 동적인 체계이기 때문에 서로 다른 자원간에 다양한 상호작용이 있을 수 있음을 고려하지 못했다고 지적하고 있다. 예를 들면 한가지 종류의 자원을 조금 더 잘 보존하면 다른 자원을 좀 더 오래 사용할 수 있게 되는 경우가 배제되었다는 것이다. 환경공간 접근법의 근본 문제는 환경공간의 목표치를 계산하기 위하여 우리는 성장의 한계를 과학적으로 알 수 있다는 것을 전제해야 하는데 이에 대한 합의가 쉽지 않고, 모두가 인정하는 객관적으로 받아들여지는 환경공간의 목표치를 제시할 수 없다는 데 있다.

환경공간 접근법은 줄여야 할 자원 이용의 양을 보여준다는 점에서 의미를 가지며, 이 이론은 여러 한계를 지니지만 정책 결정자들이 쉽게 이해하고 집행하는 데 필요한 정책 도구가 될 수 있다.

이 연구에서 다음과 같은 환경용량 접근방법의 저해요인을 지적하고 있다.

- ① 일반시민이나 관계자들의 지식 및 이해 부족
- ② 재정 및 예산 조정 문제
- ③ 부서 할거주의로 인하여 같은 사안에 대해 다른 부서가 다른 정책을 펴

- ④ 현행 법규나 규제가 가진 근본적인 한계: 특히 현행 조세제도는 가장 지속가능하지 않음을 지적
- ⑤ 지방정부간의 지역경제 활성화를 위한 경쟁: 특히 수도권 지방자치단체

2) 불투수면적 계산을 통한 환경용량 산정

Regional Science Research Institute(1973)는 불투수면적 계산을 통해 환경용량을 산정한 바 있다. 사례연구지역은 필라델피아 시 경계 내의 Wissahickon 수계의 일부이고, 이 지역의 1970년 인구는 63,000명, 면적은 10.9평방마일, 그 중 5.3평방마일은 이미 중·고밀도로 개발되었고, 2.8평방마일은 공원인 상황이었다. 그리고 남아 있는 미개발 토지가 개발됨에 따라 우수의 유출율이 증가하여, 토양침식, 홍수, 야생동물 서식지 감소, 경관 파괴 등의 부정적 영향이 생길 수 있는 상황이었다. 이 연구는 이러한 영향을 방지하기 위하여 개발이 가장 심각하게 영향을 미칠 위치를 밝히고, 도시개발의 영향을 최소화하기 위해 예방조치가 필요함을 보여주었다.

환경용량의 형태는 토양, 식생, 수질, 야생동물, 경관자원의 5가지로 분류하였고, 환경용량 산정방법은 경사도, 하천으로부터의 거리, 불투수 면적의 양에 근거하여 사례지역에서의 개발 영향을 추정하였다.

연구결과, 5에이커의 그리드 셀(grid cell)에서 각각 허용가능한 불투수 면적을 제안하였고, 식생과 경관의 심미성에 미치는 영향을 관리하기 위한 정책 권고를 하였다.

3) 대기자원이 부양할 수 있는 적정 인구 산정

Von Wodtke(1970)는 대기자원이 부양할 수 있는 적정 인구를 산정한 바 있다. 연구대상지역은 캘리포니아 남부해안지역, 로스앤젤레스, 샌디에고 및 산으로 둘러싸인 여러 군이며, 1970년의 이곳의 인구는 1,180만명이나 2000년까지 유역인구가 2,000만명으로 증가할 것으로 추정하였다.

환경용량의 형태는 상수, 대기질, 교통의 3가지 요소를 고려하였으며, 환경용량 산정방법은 자동차 배출기준 규제계획에 근거하여 바람직한 대기질 기준을 가정하였다. 그리고 연료소비경향 및 부양인구가 대략적으로 계산되었으며, 상수 문제도 언급되었

지만 폐수 재이용, 해수 담수화가 잠재적으로 가능하기 때문에 결과적으로 제한요소로 고려되지 않았다. 연구 결과, 로스앤젤레스 지역의 대기자원이 부양할 수 있는 인구는 1,400만명임을 보여주었다.

4) 도시성장관리

1960에서 1999년에 걸쳐 미국의 주 및 지역단위에서 도시성장관리 정책이 추진되었다(Weitz, 1999). 미국에 있어 주로 도시확산 방지목적으로 이루어진 성장관리정책은 몇 차례의 변화를 경험하다가 1998년에 테네시주와 애리조나주에서 Smart Growth 관련법이 제정된 이후 Smart Growth라는 새로운 도시성장관리 단계로 나아가고 있다.

Smart Growth 개념은 고밀 개발, 도심 재개발, 대중교통수단 개선, 보행자 전용도로 및 자전거 도로 증설, 농지 및 오픈 스페이스 보존, 혼합적 토지이용 증진 등의 요소들을 포함하고 있다.

5) 기타 연구

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 연구(Onishi, 1994) 등이 있다.

이런 연구 중에서 오니시의 연구는 도시지역에 대한 한계용량 연구라는 점에서 관심을 끈다. 오니시의 도시 한계용량 접근방법은 도시는 무한히 성장할 수 없으며 쾌적한 삶의 질을 유지하면서 수용할 수 있는 인구 규모나 경제활동 규모에는 한계가 있다는 인식에서 출발한다. 도시의 지속가능성이란 일정한 지역내의 주민들에게 현재는 물론 미래에도 일정한 환경의 한계 내에서 쾌적한 삶의 질을 유지할 각종 개발과 서비스를 제공할 수 있는 상태를 말한다. 이렇게 되기 위해서는 도시의 성장, 인구, 경제활동과 도시의 용량이 적절한 균형을 유지할 것이 요구되며 이러한 적정한 균형의 상태를 유지하는 수준에서의 발전을 지속가능한 도시개발로 보는 것이다.

도시용량이라는 것은 쾌적한 수준을 유지하면서 도시 내에서 수행될 수 있는 모든 활동의 크기로 정의된다(Onishi, 1994, p40). 그러나 쾌적한 생활수준이라는 것은 주관적인 문제로 도시 생활의 쾌적성을 객관적으로 판단하는 것은 쉬운 일이 아니다. 따라서 오니시는 도시의 한계용량을 도시의 각종 시설과 서비스 공급의 한계를 고려하는 방식을 택한다. 이를 위하여 오니시는 도시민 대부분이 도시시설과 서비스를 만족스럽게 사용하는 수준을 결정하고, 미래 도시시설과 서비스에 대한 수요를 근로자와 주거자 인구예측에 기반하여 측정한 후, 도시지하철, 도로, 폐기물처리, 전기의 공급, 주택공급, 토지공급 등 도시 시설과 서비스의 공급이 도시주민들의 요구를 어느 정도나 쾌적하게 충족시킬 수 있는가의 관점에서 파악하였다.

제 3 장 서울시 환경용량 평가 모델

제 1 절 불투수 토양피복도

제 2 절 시스템 다이내믹스를 통한 대기환경용량 평가

제 3 장 서울시 환경용량평가 모델

제2장 제2절에서 이루어진 선행연구 검토 결과, 환경용량평가에 있어 여러 가지 접근방법이 있음을 알 수 있었다. 그러나 서울시에 적용가능하고, 현실적으로 의미 있는 모델을 개발하는 것은 쉬운 일이 아니다. 본 장에서는 토양의 불투수 토양피복이 환경에 미치는 영향과 이와 관련한 외국의 연구사례를 살펴본다. 그리고 오염물질 중 이산화질소의 수용능력을 산정하기 위해서 시스템 다이내믹스 모델에 관해 살펴본다.

제 1 절 불투수 토양피복도

1. 불투수 토양피복의 환경적 영향

서울시의 적정 불투수 토양피복율을 산정하기 위해서 우선 불투수 토양피복이 환경에 주는 부정적인 영향을 알아볼 필요가 있다. 빗물이 지하로 스며들지 못하게 하는 불투수 토양피복이 환경에 미치는 부정적 영향은 다음과 같이 5가지로 요약할 수 있다. 불투수 토양피복은 첫째 도시 미기후, 둘째 수자원 관리(수질오염 포함), 셋째 토양, 넷째 동·식물상, 다섯째 미관적 측면에서 부정적인 영향을 주는데 그 구체적인 내용은 다음과 같다.

1) 도시 미기후에의 영향

도시의 건물과 아스팔트로 포장된 도로로 인한 불투수 피복면적 증가는 도시 열저장능력 확장을 통해 도시 대기온도의 상승을 가져온다. 또한 포장으로 인해 식생지역이 감소함에 따라 식생으로 인한 증산이 줄어들게 되어 결과적으로 도시의 상대습도가 감소하게 된다. 증발율과 관련해 럼과 소퍼(Lull & Sopper: 1969)는 숲을 이루고 있는 수계가 25%, 50%, 75%의 불투수 토양피복으로 전환된다면 각각 19%, 39%, 59% 정도 증발량이 감소한다고 하였다. 도시에서의 여름철 온도는 불투수 토양피복으로 인한 열섬현상에 기인하여 교외의 농촌이나 자연 녹지보다 높다. 이 현상은 무더운 여름철 시민의 스트레스를 가중시키고, 냉방에너지 소비의 증가를 가져와 대기오염물질의 배출

을 상승시키는 요인으로 작용한다.

Akbari et. al(1992)는 미국 세인트루이스 도심의 온도가 교외지역보다 1~4.5℃ 높으며, 온도 1℃의 상승은 미국 전체 최대시 냉방전력요구를 약 4% 증가시킨다고 보고하고 있다. 또한 윤용한·김은일·송태갑(1998)은 공원녹지가 기온저하에 영향을 준다고 보고하고 있다. 도시열섬과 같은 국부적 도시기온의 상승은 토지피복상태, 차량이나 공장으로부터 열방출, 대기오염 등으로 나타난다(Akbari et al., 1992; Givoni, 1998). 도시내 수목, 초본 및 토양으로 구성되는 도시녹지는 증발산의 역할을 통해, 그리고 도시수목은 부가적으로 인공구조물에 도달하는 태양복사를 차단하거나 흡수하는 기능을 통해 대기온도를 낮춘다(조현길·안태원, 1999). 도시기온 상승을 방지하기 위해 불투수 토양피복도를 낮추는 한편 녹지율을 높일 필요가 있다.

자동차가 급증하고 포장면적이 증가하면, 아래에서 보는 바와 같이 기온, 구름, 풍속, 강우 등이 바뀌게 된다. 아래 <표 3-1>은 건물 축조와 불투수 토양피복에 따라 기후요소가 어떻게 바뀌는지를 보여주고 있다. 그리고 도시화에 따른 기후의 변화는 다음의 <표 3-2>에서 보는 바와 같다(김영덕, 1984).

<표 3-1> 도시화에 따른 기후요소의 변화

기후요소		교외와의 비교
기온	연평균 기온 연평균 최저기온	0.5-1.0℃ 증가 1.0-2.0℃ 감소
구름	운량 안개(겨울) 안개(여름)	5-10% 증가 100% 증가 30% 증가
복사	전천 자외선(겨울) 자외선(여름)	15-20% 감소 30% 감소 5% 감소
풍속	연평균 풍속 순간최대풍속	20-30% 감소 10-20% 감소
강수	총강수량 일량 5mm이하의 일기 강우량	5-10% 증가 10% 증가 5% 감소

주: 기온은 '대기 온도'의 준말이고, 국제적으로는 지표로부터 1.25-2.0m의 높이에서 측정한 것을 기준으로 하고 있으나, 우리나라에서는 1.5m 높이를 기준으로 하고 있다.

자료: 김연옥, 1981, 「기후학 개론」, p341.

<표 3-2> 도시화로 인한 기후 변화

구 분	연간 변화	계절별 변화	
		겨 울	여 름
일 사	-22%	-34%	-20%
기 온	+1%	+2%	+0.5%
상 대 습 도	-6%	-2%	-8%
시 계(빈 도)	-25%	-34%	-17%
안 계(빈 도)	+60%	+100%	+30%
풍 속	-25%	-20%	-30%
흐 림(빈 도)	+8%	+5%	+10%
우 량	+14%	+13%	+11%
폭풍우(빈도)	+16%	+5%	+3%
오 염 도	+1,000%	+2,000%	+500%

자료: 김영덕, 1984, 「효과적인 기초환경 조성을 위한 미기후 관리방안 연구」 -햇빛과 바람을 중심으로-, p23, 홍익대 석사학위 논문, T. R. Oke, The significance of the Atmosphere in Planning Human Settlements, Ecological Land Classification Series, No.3.

도시가 거대화되고 도심 밀도가 증가하면서 도시의 독특한 기후요소가 존재하며 이 국지적 기후요소는 주변지역과 상이하게 나타난다. 일반적으로 고온성, 강우량의 증가, 안개의 증가, 풍속의 감소 등이 대표적인데 이 중에서 고온성은 가장 뚜렷한 현상으로 등온선으로 표시된 지리적 고온지역을 도시열섬이라고 한다. 도시열섬 현상은 도심을 중심으로 지역 또는 계절에 관계없이 나타나는데, 서울의 경우 도심과 교외지대의 기온차가 여름철과 겨울철 각각 최고 10℃ 이상으로 보고되어 있다. 이런 도심 고온현상은 먼저 도심 지면상태와 관련이 있다. 도심이 아스팔트나 콘크리트로 피복이 되면 이 콘크리트나 아스팔트는 물이나 녹지보다 열을 쉽게 흡수하고 쉽게 배출한다. 이로 인해 녹지나 유수면이 손실되면 냉각작용이 감소되고 피복층의 열 흡수 및 방출로 인해 결과적으로 도시온도 상승의 요인이 된다. 또한 토양피복 이외에도 도심의 스카이라인이 높아질수록 도심의 일사량 흡수면적이 증가하여 도시기온을 상승시키는 요인으로 작용한다. 이러한 현상으로 도시의 기온이 도시외부의 기온보다 계절에 상관없이 높아지게 된다.

<표 3-3> 서울시 각 구별 연평균기온과 여름 평균기온(1995~1999)

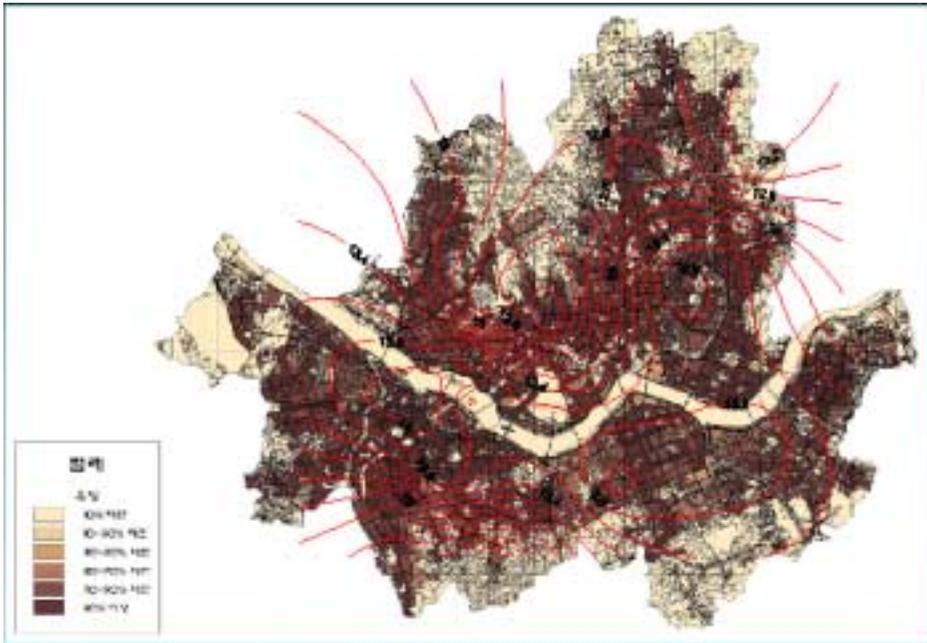
지점 번호	측정소	1995		1996		1997		1998		1999	
		연평균	여름 평균								
400	강남	14.26	24.33	12.74	25.06	13.04	25.58	14.21	24.31	13.82	25.46
401	서초	15.33	24.69	12.79	25.36	14.10	26.02	14.61	24.48	14.08	25.70
402	강동	12.68	24.81	11.72	24.47	12.48	25.23	14.05	23.51	13.06	25.11
403	송파	17.35	24.60	14.50	24.97	13.52	25.96	14.51	24.47	13.96	25.51
404	강서	13.98	24.00	12.56	24.93	12.79	25.20	13.54	23.56	13.69	24.31
405	양천	14.86	24.69	12.20	24.80	13.05	25.22	14.39	24.94	14.00	25.98
406	도봉	12.60	25.09	12.56	23.70	12.17	24.91	13.33	23.70	12.62	24.43
407	노원	13.76	23.44	10.64	23.77	11.61	24.21	12.73	22.99	12.07	23.84
408	청량리	14.15	22.19	17.94	24.97	13.85	26.24	14.61	24.68	13.95	25.59
409	중랑	14.69	24.54	12.80	25.13	13.66	26.10	14.31	24.47	13.62	25.31
410	동작	14.62	24.39	17.04	24.99	12.63	25.51	14.22	24.01	14.00	24.69
411	마포	14.92	26.14	12.66	24.96	13.11	25.85	14.88	25.11	14.21	25.74
412	서대문	14.53	23.32	10.03	21.80	11.63	24.42	13.17	23.54	12.55	23.97
413	성동	14.45	23.38	7.96	22.36	12.78	25.42	13.95	23.99	13.65	25.29
414	성북	13.27	23.57	11.52	25.16	13.77	24.64	13.07	22.96	12.39	23.92
415	용산	14.46	24.62	13.40	25.24	13.27	26.28	14.52	24.67	13.75	25.44
416	은평	14.48	24.13	11.92	24.17	12.79	25.45	13.76	23.90	12.99	24.47
417	금천	14.67	24.58	13.64	24.20	-	-	14.08	23.93	12.82	23.29
418	한강	9.41	21.17	14.37	24.55	13.47	25.90	14.05	24.15	13.56	25.09
419	중구	12.75	21.86	10.68	22.72	10.73	23.51	12.03	22.25	11.98	23.84
420	북한산	11.80	20.83	8.95	21.61	10.77	22.68	14.13	24.29	12.75	24.44
509	관악	11.64	23.53	11.25	23.04	8.09	22.76	13.23	22.97	11.92	23.74
510	영등포	20.25	24.38	4.77	22.90	13.35	26.19	14.62	24.89	14.19	26.03
	연평균	14.13	23.84	12.12	24.12	12.58	25.15	13.91	23.99	13.29	24.83

자료: 서울특별시, 『서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법연구』, 2000. 12

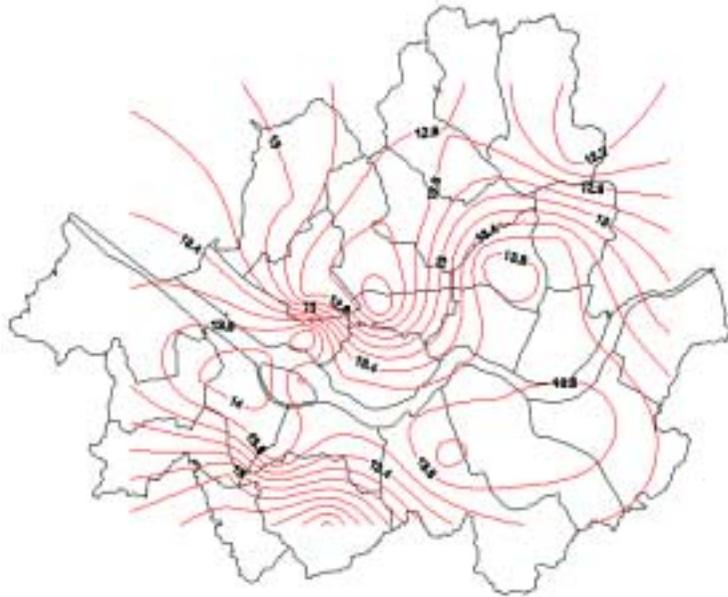
1999년 서울의 연평균 기온과 여름 평균기온을 살펴보면, 불투수 토양피복도가 가장 높은 영등포구의 경우 연평균 기온이 14.19℃로서 측정지점 23곳 중 가장 높았으며, 여름평균기온 또한 26.03℃로서 가장 높았다. 반면 불투수 토양피복도가 낮은 관악구의 경우 연평균 기온이 11.92℃로서 23개 측정지점 중 연평균 기온이 가장 낮았으며, 여름 평균 기온도 23.74℃로 가장 낮았다. 즉 불투수 토양피복도가 가장 높은 구는 연평균 기온과 여름철 평균기온이 가장 높았고, 불투수 토양피복도가 대체로 낮은 구에서는 온도가 낮음을 보여주고 있다. 그러나 평균기온에 영향을 주는 요인이 토양피복도뿐 아니라 다른 변수, 가령 일정지역의 녹지양이나 지형 등의 요소가 있을 수 있다. 그러

므로 이에 대한 연구도 앞으로 심도 있게 이루어져야 한다.

서울시 불투수 토양피복도와 기온분포의 관계는 <그림 3-1>에서 보는 바와 같고, 서울시 기온분포는 <그림 3-2>에서 보는 바와 같다.



<그림 3-1> 서울시 불투수 토양피복도와 연평균 기온분포와의 관계



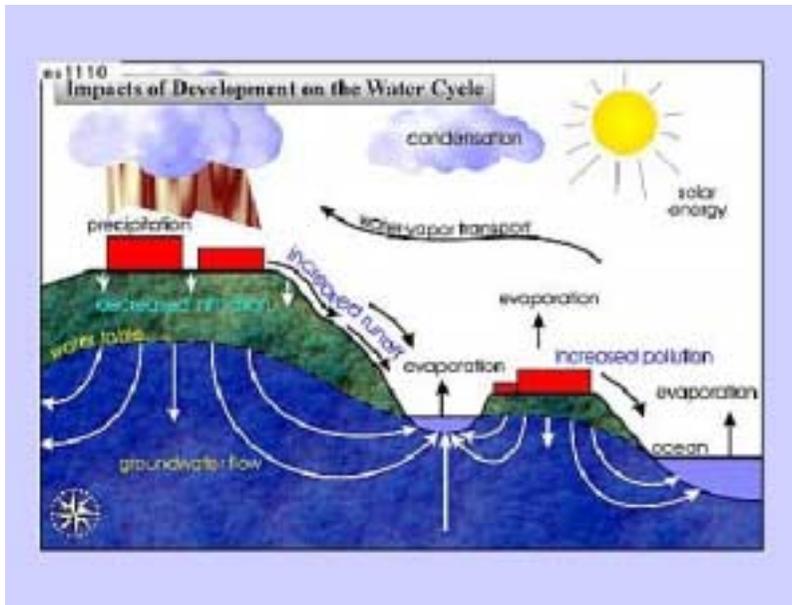
〈그림 3-2〉 서울시 연평균 기온분포(1999년)

자료: 서울특별시d, 『서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법연구』, 2000. 12.

2) 수자원 관리에의 영향

강우에 따른 유수는 불투수 토양피복면을 따라 흐르게 되어 수역에 따라 한 지점에 모이게 된다. 그런데 이 경우 하수관의 용량이 충분하지 않다면 홍수시에 하수관 범람으로 인한 홍수의 우려가 있다. 또한 불투수 토양피복으로부터 강우에 따른 유출량의 증가로 오염물이 수역으로 유입되어 하천이나 바다의 수질오염을 가중시킬 우려가 있다. 대표적인 오염물질로는 Pb, Cd, Zn, 부유물질 등을 들 수 있다.

불투수 토양피복은 물이 침투되는 기회를 줄인다. 토양수분의 증가를 가져오는 물의 침투기능을 감소시키면 결과적으로 지하수 수위가 낮아져 지하수 부족현상을 가져온다.



<그림 3-3> 불투수 토양피복이 환경에 미치는 영향

자료: Gerald Kauffman, 1999, *Use of Impervious Cover Thresholds In the Zoning Code To Protect Water Resource Protection Areas*, University of Delaware.

위의 <그림 3-3>은 강우를 통해 빗물이 지반으로 투과되어 여과과정을 거쳐야 하나 불투수 토양피복으로 인해 침투되지 못하고 호소나 대양으로의 유출량이 많아져, 빗물의 침투 저하로 지하수 수위가 감소하고 지상 오염물질의 호소와 대양으로의 배출량이 증가하는 현상을 보여주고 있다.

서울시의 우수유출 현황을 살펴보면 아래 표와 같은데, 하수관거가 우수관으로도 이용되어 하수관거를 타고 우수가 한강으로 배출된다.

<표 3-4> 서울시 하천처리구역별 총합유출계수

하천처리구역	배수구역	해당행정구역	총합유출계수(%)
중랑천	청계	도봉구, 성북구, 종로구, 동대문구, 중구, 성동구	66%
	중랑	도봉구, 동대문구, 성동구, 성북구	
	뚝도	성동구	
탄천	탄천	강동구, 송파구, 강남구, 서초구	64%
	성내	강동구, 송파구	
안양천	반포	동작구, 관악구, 강남구, 서초구, 강서구, 양천구	67%
	강서	강서구, 양천구	
	안양천	영등포구, 동작구, 관악구, 구로구, 강서구, 동작구, 영등포구	
	노량진	동작구, 영등포구	
난지천	불광	마포구, 서대문구, 은평구	66%
	홍제	종로구, 서대문구	
	망원	마포구	
	마포	용산구, 마포구	
	육천	중구, 서대문구, 용산구	
	용산	성동구, 용산구	
서울평균			66%

자료: 서울시, 1992, 기본계획보고서 - 서울시 관내 하천제방 안전도검사 및 치수종합대책 수립 내용 재정리.

현재까지 서울시 각 25개 구별로 유출계수(run-off coefficient)가 연구된 바가 없어, 위의 표에서 보는 바와 같이 하수처리구역별 유출율 조사결과를 본 연구에서 인용하였다. 총합유출계수란 각 지류의 유출율을 통해 본 지류의 유출율을 구한 것으로 이 값은 두 지역을 예로 들어 계산한다면 다음과 같다.

$$\text{총합유출계수} = (\text{A지역의 면적} \times \text{A지역의 유출계수} + \text{B지역의 면적} \times \text{B지역의 유출계수}) / (\text{A지역의 면적} + \text{B지역의 면적})$$

도시지역에서의 유출 특성은 다음의 두 가지 인자에 주로 기인한다.

첫째, 침수유역이 불투수성 표면으로 피복됨으로써 유출계수가 증가하여 침투유량과 유출용적이 증가하게 된다. 저류용량도 감소하며 도시생활로 인해 발생되어 가라앉는 먼지, 노사 및 여러 오염물질이 불투수성 표면에 쌓이게 되고, 비가 내리는 동안 유출에 의해 씻겨 내려가게 된다. 또한 초지와 식생피복의 조경사업이 이루어져 있는 도시유역은 비료와 살충제 등을 살포함에 따라 지표면 유출이 발생할 때 오염물질도 씻겨져 내려가게 되어 도시유역 내 환경오염문제를 야기시킨다.

둘째, 인자는 수로의 수리학적 통수능이 증가하는 것이다. 즉 도시화가 진행되면서 자연하천이 정비되어 수심이 깊어지고 수로벽도 직강화되었다. 또한 하수관거와 각종 배수시설이 설치되어 수로에서 유속이 빨라지기 때문에 침투유출시간이 빨라지게 되며, 불투수성 표면적의 증가와 수리학적 통수능의 증가로 인해 유출총량과 침투유출율이 증가하게 된다. 따라서 강우에 의한 유출량이 도심지 유역의 하류지점에 일시에 많은 양이 집중하게 되며, 자연하천일 때보다 침투유출량의 도달시간이 빨라진다.

일반적으로 우수유출 억제시설은 불투수성 면을 고려한 우수저류시설과 지표면, 지상 및 지하로의 침투성을 고려한 침투시설로 대별된다. 저류를 증가시키는 데에는 공원이나 녹지 등의 구조를 변경하여 그 지점에 우수를 저류시키는 방안과 건물, 지하, 주차장 등 불투수지역이 저류기능을 가지도록 하는 방안 등이 있다. 침투시설에는 기존의 침투유역 즉 공원, 녹지 등을 이용하여 침투율을 증진시키는 방안과 보도, 주차장 등의 불투수면으로 구성되어 있는 부분의 구조나 재질을 변경하여 침투가능하도록 변경하는 방안 등이 있다.

저류시설은 빗물을 일시적으로 저류하기 때문에 침투유출량을 저감시킬 수 있지만 총유출량을 감소시키는 기능은 없다. 반면 침투시설은 지반의 침투능력에 따라 지하로 빗물을 침투시켜 우수유출 절대량을 감소시킨다. 그러므로 총유출량을 감소시키면서 동시에 홍수조절과 지하수 부족문제를 해결해 줄 수 있는 침투시설이 저류시설보다 우수하다고 판단되나 침투시설을 확장한다 하더라도 여타 불투수 토양피복으로 인한 문제 즉 서식처 파괴, 미관기능 상실 등의 문제는 여전히 남게 되므로 불투수 토양피복

도를 낮추어 자연침투가 될 수 있도록 하고, 생물서식처 제공을 위한 녹지를 많이 확보하는 것이 바람직하다.

현재 서울의 도시구역 홍수재해 방지 방안은, 지표면 배수를 위한 우수관거를 설치하거나 확충하며, 구역 말단부에 우수지 및 펌프장 등을 설치하여 내수를 배제시키는 시설에 집중되어 있다. 이와 같은 홍수대책시설은 단위 구역내의 침수방지 등의 효과는 기대할 수 있으나, 궁극적으로 하류 하천의 홍수량을 증대시키게 되는 등의 문제를 수반하게 된다. 따라서 근본적이고 적극적으로 홍수 및 우수유출을 저감하기 위해 불투수 토양피복도 감소와 녹지의 확보가 필요하다.

3) 토양에의 영향

토양에서 물 공급이나 산소 공급에 유리한 토양 유기체가 불투수 토양피복으로 말미암아 혐기성 환경이 조성되어, 토양 속에 함유된 유기체가 파괴된다. 불투수 토양피복으로 인한 혐기성 환경으로 인해 피복층 아래 토양의 질이 악화된다. 그리고 앞서 언급한 대로 우수유출 등과 함께 토양침식이 활발하게 일어나 토양환경을 변화시킨다.

4) 동식물상에의 영향

대부분의 동·식물은 녹지를 서식공간으로 하는데 이를 소생물권 즉 비오톱(biotope)이라 부른다. 불투수 토양피복은 동식물 서식공간인 녹지를 파괴하는 결과를 초래한다. 도로와 같이 부분적인 토양피복도 비오톱 단절 즉 동·식물의 소생활권 파괴 및 포장환경에 적응력이 부족한 종들의 심각한 감소를 초래할 수 있다.

5) 미관상의 영향

불투수 토양피복은 미관상 도심 쾌적성을 저해하고, 도시 녹지를 감소시켜 도시의 자연미를 감소시키는 결과를 초래한다.

이상의 불투수 토양피복이 환경에 미치는 영향을 표로 요약하면 아래 <표 3-5>와 같다.

〈표 3-5〉 불투수 토양피복이 도시생태에 미치는 영향

영향 요인	불투수 토양피복의 영향
도시 기후	- 건물과 아스팔트로 포장된 도로의 열저장능력을 통해 대기온도 상승 - 식생지역으로부터 증산이 줄어 상대습도 감소 - 1ha 이상의 포장되지 않은 토양은 쾌적한 기후 조성에 기여
수자원 관리	- 우수관이 분리되어 있지 않은 경우 홍수시에 하수관 범람 우려 - 포장된 공간으로부터 우수와 함께 흘러나온 오염물의 수역 유입 우려(Pb, Cd, Zn, 부유물질, COD 등) - 수계의 변화로 인한 지하수 부족 및 홍수발생 우려
토양	- 물 공급이나 산소 공급에 유용한 토양 유기체 파괴
동·식물 상	- 불투수 토양피복은 동·식물 서식공간 손실의 원인 - 도로와 같이 부분적인 토양피복도 비오톱 단절과 적응력이 부족한 종들의 심각한 감소 초래
미관	- 쾌적성 저하, 자연미 감소

자료: 서울특별시a, 2000, 「서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침수립」 -1년차 연구보고서

포장유형에 따라서 자연에 영향을 주는 정도도 달라진다. 예를 들어 이음새가 큰 블록 포장은 콘크리트보다 물에 대한 투과성이 크고, 공원의 잔디밭은 아스팔트로 포장된 공간보다 도시 미기후에 긍정적인 영향을 준다. 이와 같이 건축물을 제외한 포장 유형이 자연에 주는 영향을 살펴보면 다음의 <표 3-6>과 같다.

〈표 3-6〉 포장유형이 자연에 미치는 영향

구분	자연에 미치는 영향	포장재의 종류
완전불투수포장	아주 큼	아스팔트, 콘크리트, 이음새를 채운 블록포장, 하층이 콘크리트인 지반, 플라스틱 포장재
중간크기의 포장재를 이용한 포장	큼	한 면의 크기가 8cm이상인 인조석 또는 블록, 중간크기의 포장재, 벽돌
작은 크기의 포장재를 이용한 포장	중간	작은 모자이크 포장재(한 면의 크기가 8cm 이하)
투수포장	적음	쇄석 잔디밭, 투수성 포장재

자료: 서울시, 2000, 「서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침수립」 -1년차 연구보고서, p68.

불투수 토양피복으로 인한 환경에의 부정적 영향을 감소시키기 위해 다양한 투수성 포장 연구가 이루어지고 있다. 예를 들면, 발라데스 등(Balades et al., 1995)은 프랑스 보르도(Bordeaux)의 교외지역인 베글스(Begles) 지역을 대상으로 투수성 도로⁶⁾의 지표 미세오염물질 감소능력을 평가하였다. 그는 도시에서 불투수 지표면으로 흐르는 물의 오염은 도로나 주차장에 농축된 미세오염물질 때문임을 밝히고, 도로표면을 투과성 물질로 하였을 경우 베글스 지역의 유출수에서 오염물질농도가 감소됨을 밝혔는데, 투수성 포장은 오염물질의 50-60%의 저장능력을 가지고 있는 것으로 나타났으며, 그 감소율은 다음의 <표 3-7>에서 보는 바와 같다.

<표 3-7> 베글스 지역에서의 오염물질의 양(Kg/ha)

오염물질	투수성 포장전	투수성 포장후	감소비율(%)
Pb	0.94	0.33	65
Cd	0.023	0.012	48
Zn	2.5	1.1	56
부유물질	1207	495	59
COD	765	348	55

자료: J-D. Balades, M. Legret and H. Madec, 1995, 『Permeable Pavements: Pollution Management Tools』.

또한 콜란디니 등(Colandini et al., 1996)의 연구는 투수성 포장이 유출수에서 부유물질과 Pb를 각각 64%, 79% 감소시키고, Zn과 Cd를 각각 72%, 67% 감소시키는 효과가 있음을 보여주고 있다. 그 외에도 국내외에서 도로 등의 투수성 포장을 통하여 유수에서의 오염물질을 줄이려는 많은 연구가 이루어지고 있다.

6) 투수성 포장재료는 다음과 같다: 투과코팅물질(porous coating materials), 정제혼합물을 표층화하고 콘크리트로 하층화한 도로(rough concrete underlay with a surface coat of relatively fine aggregate), 투수성 포장 슬랩(slap), 폼모르타르(foam mortar: lime+water). J-D. Balades, et al.(1995) 참조.

2. 외국도시의 불투수 토양피복도 분석 및 정책사례

1) 외국도시의 불투수 토양피복도 분석

(1) 일본 도시의 녹피율

녹피율이란 개념이 토양투수도와 다르기는 하나, 일본도시의 불투수 토양피복도 관련 자료가 없는 상황에서 가장 유관한 개념인 녹피율을 알아봄으로써 어느 정도의 비교분석은 가능한 것으로 보인다. 일본 도시의 녹피율은 다음의 <표 3-8>에서 보는 바와 같이 전국 평균 30% 정도이고, 센다이와 35.5%로서 가장 높고, 동경도가 22.5%로서 가장 낮다.

<표 3-8> 일본 도시의 녹피율

도시명	녹피율(%)	도시명	녹피율(%)
센다이	35.5	시즈오카	29.4
지바	28.5	나고야	27
우라와	29.9	동경도	22.5
카네라와	34.6	전국평균	30

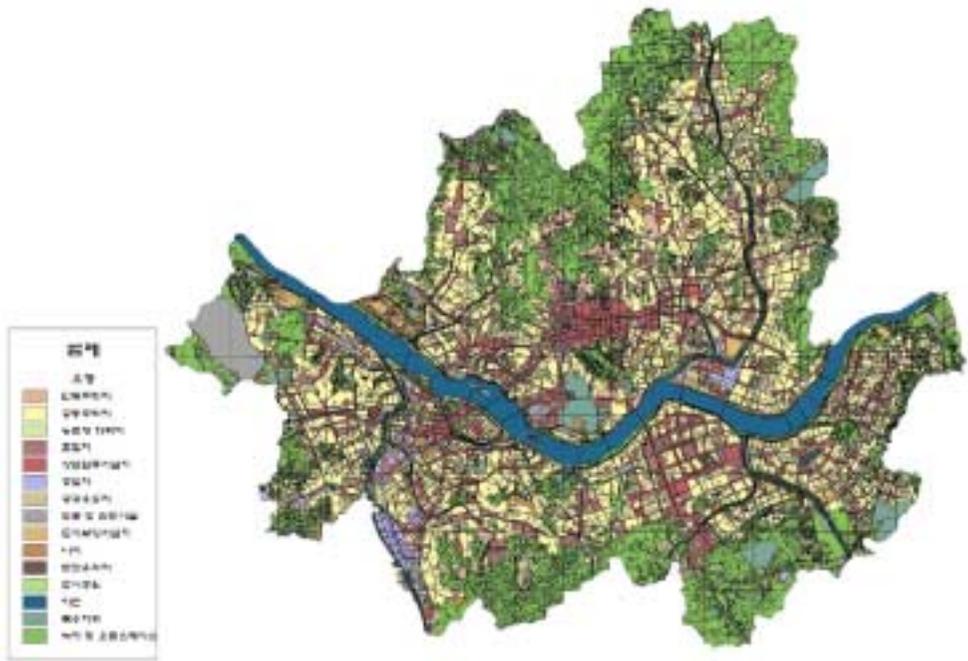
(2) 독일 도시의 불투수 토양피복도

독일 도시의 불투수 토양피복도를 살펴보면 다음의 <표 3-9>와 같은데 대체적으로 불투수 토양피복도가 40%에서 50%대로 상당히 높은 편이다. 뮌헨이 58%로 6개 도시 중에서 가장 높고, 프랑크푸르트가 42%로 가장 낮은 피복도를 보였다.

<표 3-9> 독일도시의 불투수 토양피복도(1981)

도시명	피복도(%)	도시명	피복도(%)
프랑크푸르트	42	두이스부르크	47
만하임	44	뮌헨	58
하노버	47	베를린	57

서울시(약 43%)와 독일도시들의 불투수 토양피복도를 비교해 볼 때, 서울의 인구밀도가 높은 점을 감안하면 서울의 불투수 토양피복도가 매우 높은 것은 아니다. 그럼에도 불구하고 서울에서 쾌적함을 느낄 수 없고, 여러 환경문제를 안고 있는 원인은 도심 인구과밀로 인한 용적율 상승과 도심외곽에만 산림형 녹지가 분포하고 있어 개발지와 녹지가 서로 공존하지 못하고 있기 때문이다. 따라서 서울 도심에서는 불투수 피복 지역을 녹지로 전환하는 등 토지이용의 적극적인 변화가 필요하다. 다음의 <그림 3-4>에 현재 서울의 녹지분포 현황을 나타내었다.



<그림 3-4> 서울의 녹지분포(그림 녹색부분)

(3) 미국 텍사스주 오스틴 지역의 불투수 토양피복도

메이드먼트 등(Maidment et al., 1998)은 수계의 오염관리에 관한 연구에서 미국 텍사스주 오스틴(Austin)지역의 불투수 토양피복도 조사를 하였는데 그 결과는 다음의 <

표 3-10에서 보는 바와 같다.

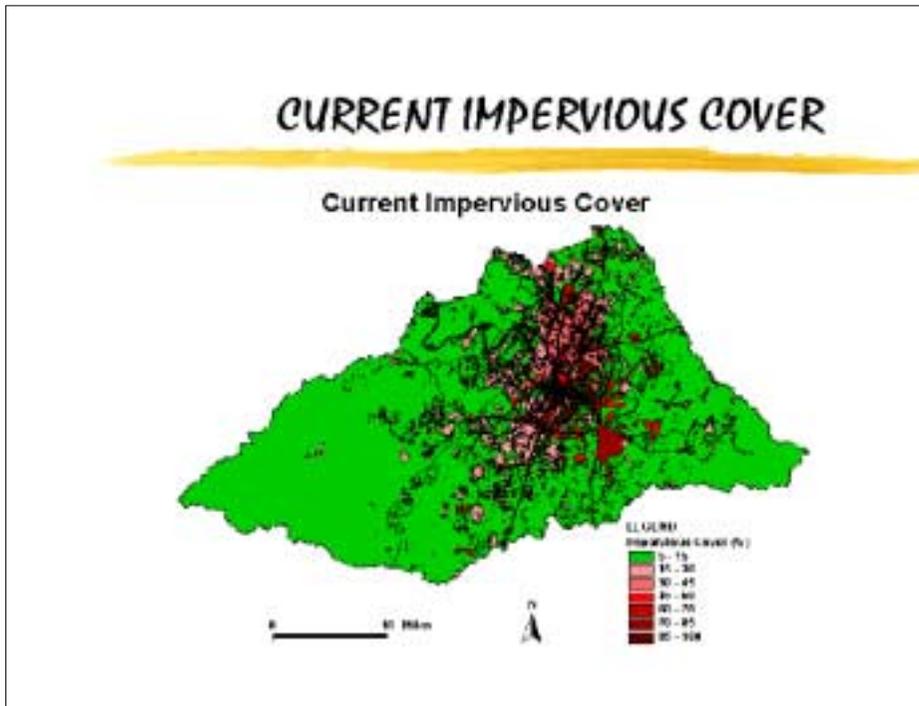
<표 3-10> 미국의 텍사스주 오스틴 지역의 불투수 토양피복도

토지이용 구 분	불투수 토양피복도(%)	
	도시 지역	비도시 지역
단독 주택	40	30
공동 주택	80	45
상 업	95	60
사 무 실	95	60
공 업	95	60
공 공	70	30
공 원	15	5
교 통	100	85
미 개 발	15	5
물	100	10

자료: David Maidment et al., 1998, *City of Austin Water Quality Master Planning - GIS Model*, University of Texas at Austin.

위 표는 단독주택지역 불투수 토양피복도의 경우 도시지역이 40%이고 비도시지역이 30%이며, 공공용 토지의 불투수 토양피복도의 경우 도시지역이 70%, 비도시지역이 30%임을 보여준다.

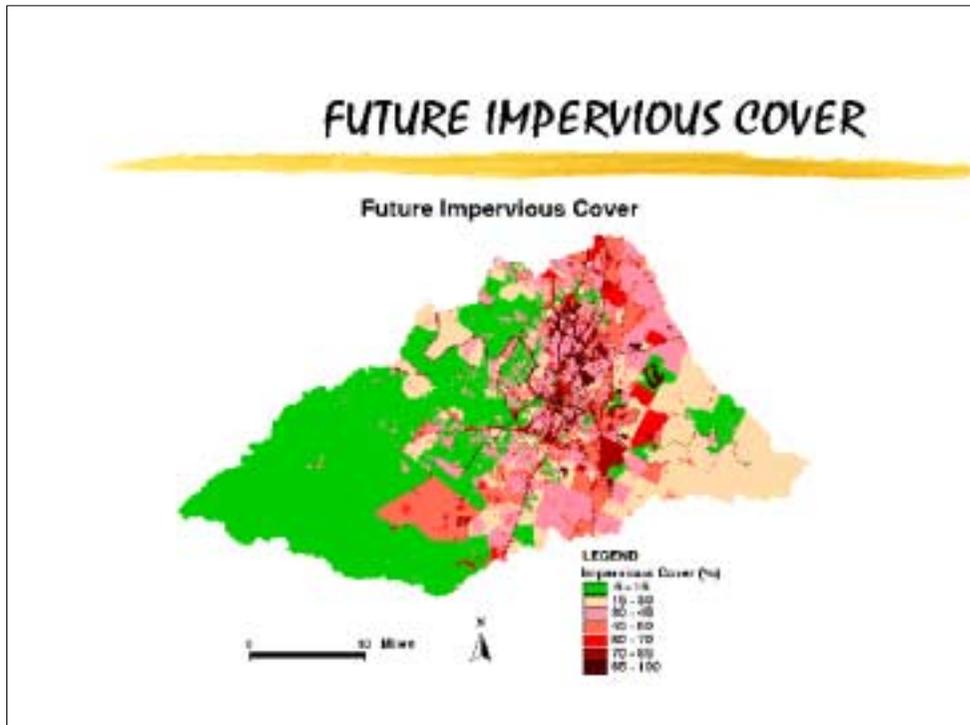
오스틴 지역의 불투수 토양피복도 현황을 그림으로 나타내면 <그림 3-5>와 같다. 이 그림을 통해서 알 수 있듯이, 서울과 달리 포장되지 않은 면적(그림 녹색부분)이 상당 부분 존재하고 있다.



<그림 3-5> 미국 텍사스 주 오스틴 지역의 현재 불투수 토양피복도

자료: David Maidment et al., 1998, City of Austin Water Quality Master Planning – GIS Model, University of Texas at Austin.

그러나 미래 토지이용은 <그림 3-6>과 같이 될 것으로 예측되고 있다. <그림 3-6>에서 보는 바와 같이 녹색부분이 감소하고 있어, <그림 3-5>에서 본 바와 같은 오스틴 지역의 현재 불투수 토양피복도보다 미래 불투수 토양피복도가 상당히 증가할 것으로 예측되었다.



<그림 3-6> 미국 텍사스 주 오스틴 지역의 미래 불투수 토양피복도 예측

자료: David Maidment et al., 1998, City of Austin Water Quality Master Planning – GIS Model, University of Texas at Austin.

이 연구는 불투수 토양피복으로 인해 도심에서 유출되는 우수에 환경오염물질이 얼마나 포함되어 수질에 영향을 주는지를 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{오염물질 부하량(kg/day)} = \text{유출량(mm/yr)} \times \text{농도(mg/L)} \times \text{Cell Area}(10,000\text{m}^2) \times (1\text{m}/1,000\text{mm}) \times (1\text{yr}/365.25\text{day}) \times (1\text{kg}/106\text{mg}) \times (1000\text{L}/1\text{m}^3)$$

여기서 부하량은 하루에 각각 1ha의 셀면적에서 각 오염물질 몇 kg이 유출량에 포함되어 수질에 영향을 주는가를 의미하는 값이다. 유출량과 농도를 제외한 Cell Area(10,000m²) × (1m/1,000mm) × (1yr/365.25day) × (1kg/106mg) × (1000L/1m³)의 값은 항상 일정한 값 1/365.25이므로, 이를 상수로 하여 각 cell(해당지역을 1ha의 격자로 나

는 한 단위)에 적용하여 부하량을 계산하였다.

(4) 미국 델라웨어 주의 불투수 토양피복도

카우프만(Kauffman, 1999)은 미국 델라웨어 주의 불투수 토양피복 면적에 관한 연구에서 <표 3-11>과 같은 불투수 토양피복도를 제시하였다.

<표 3-11> 미국 델라웨어 주의 불투수 토양피복도

구 분	불투수피복율(%)
2 acre 대지	12
1 acre 대지	20
1/2 acre 대지	25
1/3 acre 대지	30
1/4 acre 대지	38
공동주택	65
공업지역	72
상업지역	85

자료: Gerald Kauffman, 1999, Use of Impervious Cover Thresholds In the Zoning Code To Protect Water Resource Protection Areas, University of Delaware

위 표를 통해 알 수 있듯이, 공동주택지역의 불투수 토양피복도가 65%, 공업지역은 72%, 상업지역은 85% 정도이다. 그리고 대지 2에이커인 단독주택지역의 경우에 불투수 토양피복도는 12% 정도임을 알 수 있다.

(5) 필라델피아시 위사히콘 수계의 불투수 토양피복도

필라델피아시 위사히콘(Wissahickon) 수계의 일부에 대해서 바람직한 개발강도를 결정하는 것과 관련된 한 연구에서 불투수 토양피복도를 분석하고 있다(Regional Science Research Institute, 1973). 이 연구는 낮은 개발밀도를 가지고 있으면서 개발 가능성이 높은 지역에 연구의 초점이 맞추어져 있다. 위사히콘 수계의 면적은 10.9 제곱마일이다. 공원으로 잘 보존되어오던 위사히콘 지역은 도시화가 진전되면서 여러 측면에서 부하가 걸리고 있다. 불투수 토양피복 등으로 인한 과도한 우수유출은 이곳

에 부하를 주고, 결과적으로 위사이콘 본류에 영향을 주게 되었다. 침식으로 인한 침전물이 식생에 영향을 주고, 이 침전물에는 도시먼지와 기름이 같이 운반되어 결과적으로 수질오염도 가중시키고 있다.

위사이콘 공원은 미개발지와 사유지에 의해서 둘러싸여 있다. 그래서 이 곳이 개발된다면 엄청난 부하를 위사이콘 공원에 줄 것이다. 그래서 이 연구에서는 개발가능한 지역부터 명확히 구별한 뒤 이곳에 대한 개발 시나리오를 구상하였다. 미개발지는 1 에이커 당 1명 이하인 지역이다. 홍수, 침식 및 퇴적, 수질오염, 생태계 파괴, 미적 파괴 등을 예방하는 것을 목적으로 하는 이 연구는 도시개발을 최소화하기 위한 조치를 ①개발금지, ②개발방식의 규제(포장·밀도·높이 제한), ③개발의 특별한 영향 규제(특정 공사장, 유역 보호, 도로나 주차장 투수포장, 개발지역 최소화, 도로면적 최소화, 포장된 토양 관리)의 세 가지로 나누어 제시하고 있다.

이 연구의 주안점은, 첫째 개발에 의한 침식 및 퇴적과 수질오염 최소화, 둘째 생태계 보호, 셋째 경관 파괴 최소화에 있다. 그리고 이 연구는 개발은 인구와도 관련이 있으므로 인구 부하도 고려해야 한다고 주장하고 있다. 또한 이 연구는 물리적 측면과 인공적 측면으로 나누어 위사이콘 수계의 현황을 살펴보고 있다.

① 물리적 여건

연구대상지역의 면적은 위사이콘 전체수계 64제곱마일 중에서 10.9제곱마일이며, 이중 2.8제곱마일은 공원이다. 이 지역은 현재 1에이커당 1명 이하의 인구밀도를 가진 곳으로 미래 개발가능성이 높은 곳이다. 연구대상지역 면적 중 5.3제곱마일은 높은 밀도를 가진 이미 개발된 곳이다. 연구대상지역 상부에 몽고메리(Montgomery) 카운티가 있어 이곳의 개발정도나 하수처리도는 위사이콘 본류에 중요한 영향을 줄 것이다.

위사이콘 강에 인접한 토지는 모두 경사도가 25%를 넘는 가파른 곳이며, 이 하천에서 멀어질수록 기울기가 완만하여 평평해진다. 경사도가 심한 곳은 크레심(Cresheim) 강 주위와 벨스 밀(Bell's Mill) 주위의 지류를 따라 위치하고 있다. 연구대상지역의 지질은 편암구조를 가지고 있으며 건설에 전혀 지장이 없는 지질구조다. 그러나 일부 지역은 지반운동에 따른 지반변동으로 건물에 위험을 줄 수도 있다. 위사이콘 지역의 대부분은 자연상태를 그대로 유지하고 있다. 가장 개발가능한 지역은 도시경계내 수계 상부지역이다.

② 인공적 여건

연구대상지역의 인구는 1970년 기준으로 63,000명이다. 미래 개발가능지역도 현재의 이미 개발된 지역의 인구밀도로 개발된다고 가정한다면, 기개발지에 60,000명이 거주하므로 32,200명이 추가로 개발가능지역에 거주할 것이다. 주거, 상업, 공업 등이 아니라 환경영향을 기준으로 해서, 포장된 토양 및 건물, 정원 및 공원의 잔디, 전답 및 초지, 숲의 4가지로 토지이용을 분류하고 있다. 이 분류는 토양의 불투수도와 연관되어 있다. 위 4가지 토지이용 분류는 불투수도의 크기 순서를 나타내고 있기도 하다.

최근 밸리 크릭(Valley Creek) 근처가 개발되면서, 50%의 토지가 포장되었으며, 과도한 우수유출에 따른 홍수저지능력 감소로 벨리천 수로가 3.3배 확대되었다. 1년 중 90%는 하천이 건천화되어 있어 홍수시에 대비해 수로가 확장되었다. 현재 이 지천 위에 몇 개 도로가 생겨나면서, 어메니티 가치가 감소하고 있다. 그리고 홍수기에 불투수 토양피복지역에서 유출되는 빗물이 많아졌다. 포장면적의 증가는 비홍수기의 적은 유량의 흐름을 감소시키며 수질, 여가, 경관 자원의 가치를 하락시킨다.

조사결과 위사이콘의 한 지류인 수계 하구에서 다른 지류인 벨스 밀보다 침투유출량은 20% 증가했는데, 만약 도시개발이 없었더라면 12~15% 증가했을 것이다. 필라델피아에서의 도시개발은 명백히 침투유출량에 영향을 준 것으로 보여진다. 위사이콘 지역에서 2.8제곱마일이 개발가능지역이라 볼 때, 이를 개발할 경우 4.4%의 개발면적이 증가되고, 침투유출량은 10%정도 증가될 것이다. 현재 도시화의 영향이나 제반여건을 고려할 때 실제 증가치는 5% 정도가 될 것으로 예측된다. 이 연구는 또한 위사이콘 지역 각 지류별로 과거 개발이전과 현재까지의 개발과 관련한 배수면적과 수직 단면적을 추정하여 이들의 상대적인 비를 나타내어 개발강도를 보여주고 있는데 이 값은 지류에 따라 1.2~3.3로 나타났다.

미래 도시개발 효과를 고려하기 위해 5개의 격자 셀로 나누고 각 셀의 한 변은 470피트로 하였다. 그리고 개발가능지역의 인구밀도는 1에이커당 거주인구가 1인 이하인 곳으로 설정하였고, 토지특성에 지층의 기율기, 식생분포, 토양 특성을 포함하여 각 지류의 단면적 증가의 추정이 가능하도록 하였다.

이 연구에서 총 불투수 토양피복도, 하수처리시설, 해당면적에서 경사지면적의 비율, 숲이 차지하는 면적 등 4가지를 기준으로 개발가능형태를 분류하였다. 각 개발형태가 적용되었을 경우 각 지류별 개발형태별로 얼마나 수량이 현재보다 증가되어야 하

고, 수량의 수직단면적이 증가되어야 하는지를 예측하였다. 개발영향은 각 지류의 수로 부피증가 및 수로 단면적 증가로 나타나므로 개발영향지수는 아래와 같은 식으로 구해진다.

$$\text{영향지수 (Index of Impact)} = 10,000A + V$$

A: 개발로 인한 수로확장 면적 (단위: 개발면적 에이커당 제곱피트)

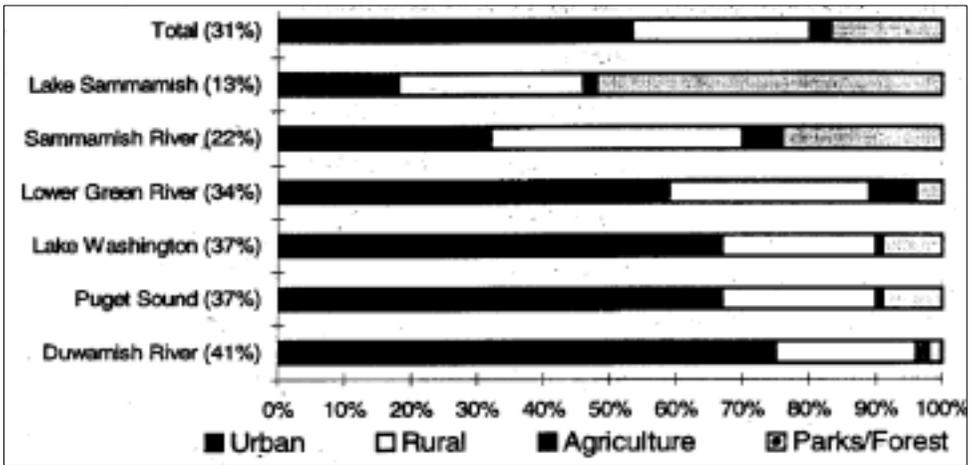
V: 수로에서 확장된 부피(개발면적 에이커당 세제곱 피트)

한편 이 연구는 과거로부터 미래까지 불투수 토양피복도가 증가함에 따라 BOD와 유기탄소, COD 등이 어떻게 증가하는지 그래프로 보여주고 있는데, 이는 과거의 데이터를 기준으로 하여 선형그래프로 추정하고 있다.

(6) 미국 시애틀 시의 불투수 토양피복도

불투수성 재료로 피복된 토양은 홍수 위험을 야기하고 과도한 우수유출에 의한 토양침식을 유발하며 유출수에 의한 오염물질 이동으로 생태계의 건강을 위협한다. 불투수 토양피복에 대한 지표는 킹 카운티의 1/4에 해당하는 시애틀 근처의 6개 하위수계(subwatershed)에 대한 자료를 기초로 만들어졌다. 이 지표는 Landsat(지구자원탐사위성) data와 토양피복과 관련한 시애틀 외곽지역을 조사한 1995년 보고서를 기초로 업데이트 되어왔다. 그리고 자료는 킹 카운티의 수질토양자원분과 위성영상을 이용한 토지이용패턴(도시, 교외, 농지, 공원/숲)을 보여준 the King County Division of Water and Land Resources 1995 Regional Needs Assessment Atlas를 기초로 하였다. 전체 수계의 불투수면적은 각 토지이용 형태별 전환계수를 이용하였으며, 그 결과는 다음과 같다(Sustainable Seattle, 1998).

Land Coverage (by Watershed)



〈그림 3-7〉 시애틀 근교 6개 수역에서의 불투수 토양피복도

자료: Sustainable Seattle, 1998, Indicators of Sustainable Community.

1992년 킹 카운티 수계는 개발 이전보다 30% 이상 더 피복되었다. 시가화지역의 40%가 피복되어 있으며, 교외지역은 15%가 피복상태이다. 그러나 상당부분의 교외지역에서 개발이 진행되고 있어 불투수면적이 증가하고 있다.

2) 불투수 토양피복도 관련 외국의 정책사례

(1) 베를린의 경관관리 프로그램

1994년 2월 베를린 시 도시개발 및 환경보호위원회는 환경보호와 자연보호를 위한 경관보호프로그램 및 종 보호 프로그램을 승인하였는데, 그 내용은 자연관리 환경보호, 비오톱 및 종보호, 경관특성 유지, 휴양 및 오픈스페이스 이용의 4개 부분으로 나뉘어져 있다. 그리고 동 프로그램 안에서 도시화로 인한 녹지율 감소 문제를 해결하기 위한 녹지율 확보 및 증진 방안을 언급하고 있다.

(2) 포츠담 시 칼막스 지구상세계획의 사례(포츠담 시 칼막스 거리 45구획)

포츠담 시 칼막스 지구상세계획 중 녹지정비계획의 개요(1998)의 일부에서 토지이용현황(불투수 피복 면적, 녹지현황, 휴양기능지)을 조사하였다. 이러한 녹지정비계획의 내용이 1999년 지구상세계획 수립시 포함되었다. 포함된 구체적 항목은 적정 녹피율, 녹지구조의 다양성, 벽면녹화 등이다. 이러한 일련의 과정은 브란덴부르크 자연보호법 제 7조 1항의 지구상세계획구역(예: 포츠담시 칼막스거리 45구획) 전체에 대해 녹지정비계획을 수립하여 주 환경부의 승인을 받아야 하고, 제 7조 2항에 의해 이 녹지정비계획의 항목을 지구상세계획 수립시 반영해야 한다는 조항에 따른 것이다.

(3) 생태적 도시계획을 위한 독일법 사례

독일의 '도시계획에서의 생태적 요소의 적용을 위한 지침'에서 불투수면적의 감소를 언급하고 있는데, 이는 물질 수송을 줄이고, 에너지 절약, 자원공간 확보, 지하수 확보를 위한 것이라고 설명되어 있다.

제 2 절 시스템 다이내믹스를 통한 대기환경용량 평가

환경용량 산정을 위한 모델은 실험적인 의미에서 제한된 소규모 모델의 구축에 한정하였다. 모델의 구축은 시스템 다이내믹스(체계동태학, System Dynamics)의 모델링 방법을 사용하였다. 시스템 다이내믹스는 동태적이고 순환적 인과관계의 시각으로 현상을 이해하고 설명하며, 이러한 이해에 기초한 컴퓨터 모델을 구축하여 복잡한 인과관계로 구성된 현상이 어떻게 동태적으로 변해 나가는지를 컴퓨터상에서 실험해 보는 방법론이자 현상을 바라보는 시각이며 준거틀이다.

이 동태적 체계이론은 1961년 MIT의 Forrester 교수가 산업체 재고량의 불안정한 변화, 노동력의 불안정한 변화, 그리고 시장점유율의 감소 문제를 다루기 위하여 공학의 제어 이론(Control Theory)에 바탕을 둔 컴퓨터 모의실험 결과를 다양한 각도로 분석한 Industrial Dynamics 『산업 동태론』을 저술한 것이 방법론적인 효시가 된다. 이후 시스템 다이내믹스는 거시적인 차원에서는 도시 및 산업문제, 지속가능한 발전문제들을 포함한 다양한 사회 및 경제문제에 대한 이해나 해결책을 모색하기 위하여, 그리고 미시적인 차원에서는 기업의 경영문제, 인간의 의사결정행위에 대한 이해를 증진시

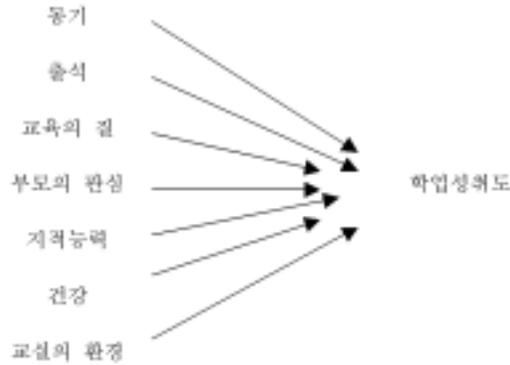
키기 위한 방법으로 광범위하게 응용되어 왔다(김도훈, 문태훈, 김동환, 1999; Choucri, 1995; Radzicki et.al, 1995; Forrester, 1961, 1969, 1971; Hamilton, et. al., 1969; Mass, 1974; Sterman, 1987; Darling and Richardson, 1990).

이 접근방법의 특징은 모든 현상을 순환적 환류체계의 관점에서 이해한다는 것과, 파라미터의 정확한 측정보다는 연구하고자 하는 특정변수가 시간의 변화에 따라 어떻게 동태적으로 변화해 나가는가에 기본적인 관심을 둔다는 데 있다(Richardson, 1982, pp1-2; Meadows, 1980, pp30-36). 보다 상세히 살펴보면 다음과 같다.

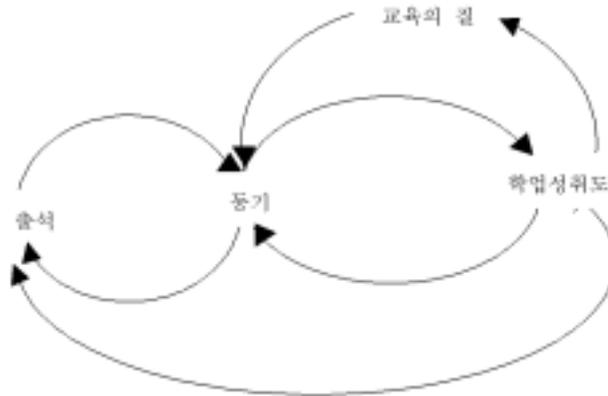
첫째, 연구하고자 하는 특정 변수가 시간의 변화에 따라 어떻게 동태적으로 변화해 나가는가에 기본적인 관심을 둔다. 즉 산업체 고용인력의 증감, 도시의 번영과 쇠퇴, 의료보험 비용의 급격한 상승 등 연구 대상 변수의 시간에 따른 동태적인 변화가 어떻게 일어나고 있으며, 또 앞으로는 어떻게 변화해 갈 것인가에 대해 관심을 둔다는 것이다. 따라서 시스템 다이내믹스는 일회적인 사건이나 모델 파라미터의 정확한 측정이나 변수의 추정 값을 구하기보다는 관심의 대상이 되는 변수가 시간의 흐름에 따라 어떤 동태적인 변화의 경향(안정적·불안정적 경향, 상하 주기적인 변동, 성장·쇠퇴·평형상태의 유지 등)을 보이는지에 보다 큰 관심을 둔다(Meadows, 1980, pp31-36).

둘째, 모든 현상을 순환적 환류체계의 관점에서 이해한다(김도훈 문태훈 김동환, 1999, p36). 즉 어떤 변수의 동태적인 변화를 시스템 내부에 존재하는 변수들과의 순환적 인과관계에 의하여 일어나는 것으로 파악한다. 이때 시스템은 일반적 체제이론에서 말하는 시스템과는 다른 개념을 가진다. 여기서 시스템은 연구대상의 변수가 동태적 변화를 일으키는데 관련되는 변수들의 집합체를 의미한다. 이러한 체제에서는 기존의 개방체제와 폐쇄체제의 구분은 더 이상 의미를 갖지 못한다. 따라서 변수의 동태적 변화는 시스템 내부의 원인에 의하여 발생하는 것이지 시스템 밖의 외부변수에 의해서 발생하는 것이 아니게 된다. 이런 의미에서 시스템 다이내믹스는 내생적 관점을 가지며, 관련된 변수들이 일방향의 단선적인 영향을 주는 것이 아니라 순환적 인과관계에 의하여 동태적인 상호작용을 하고 있는 것으로 파악된다(Richardson, 1982, pp1-2; Meadows, 1980, pp30-31). <그림 3-8>은 일방향의 단선적 인과관계는 학업성취도에 여러 원인들이 일방향으로, 그리고 일회적인 영향을 미치는 구도로 이해되고 있다. 그러나 <그림 3-9>는 원형의 피드백 관점에서 학업성취도에 영향을 미치는 변수들이 순환적으로 영향을 주고받는 상호작용 관계에 지속적으로 놓여있음을 나타내고 있다

(High Performance, 1994, pp25-26). 이 경우 종속변수와 독립변수의 구분은 더 이상 의미가 없게 된다.



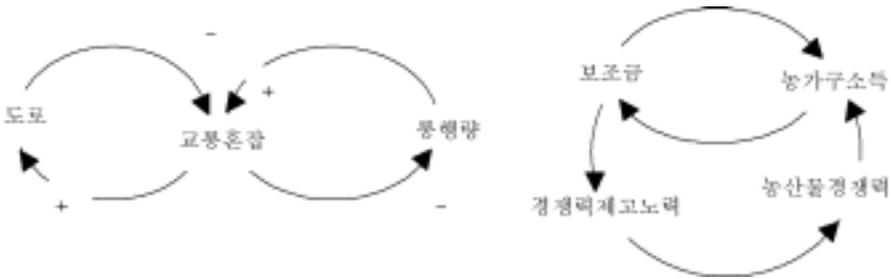
<그림 3-8> 일방향의 단선적 인과관계



<그림 3-9> 원형의 내부순환적 환류체계

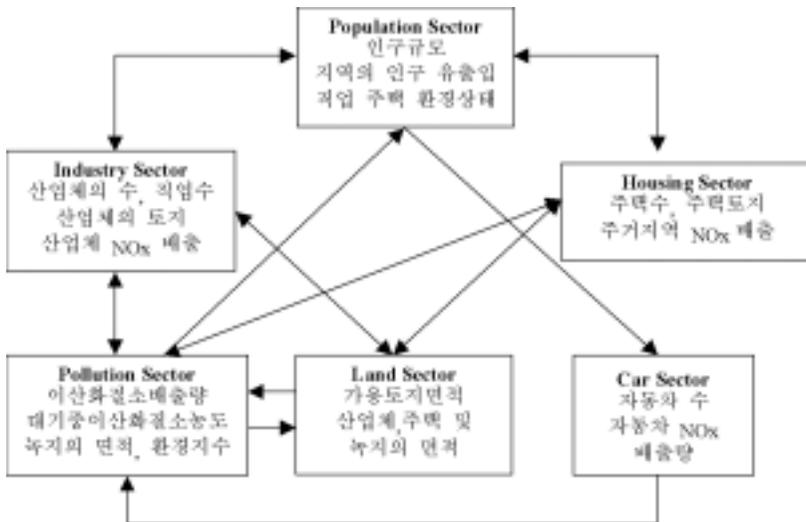
순환적인 인과관계에 의한 동태적인 현상들은 주변에서도 많이 찾아볼 수 있다. 예를 들면 부족한 도로사정으로 도시의 교통혼잡이 야기될 때 단순한 도로의 확장은 일시적으로 교통혼잡을 완화할 수 있을지는 몰라도 나아진 도로사정이 결국 더 많은 자동차를 유인하여 다시 교통체증을 유발하게 된다든지, 농업의 경쟁력을 제고시키기 위하여 정부가 농산물 보조금을 지불할 때 단기적으로는 경쟁력을 유지시킬 수 있을지는 모르나 장기적으로는 정부의 재정지원이 농촌의 경쟁력 제고 노력을 둔화시켜 결국 농

업의 경쟁력을 더욱 약화시키는 결과를 가져오게 되는 것이다.

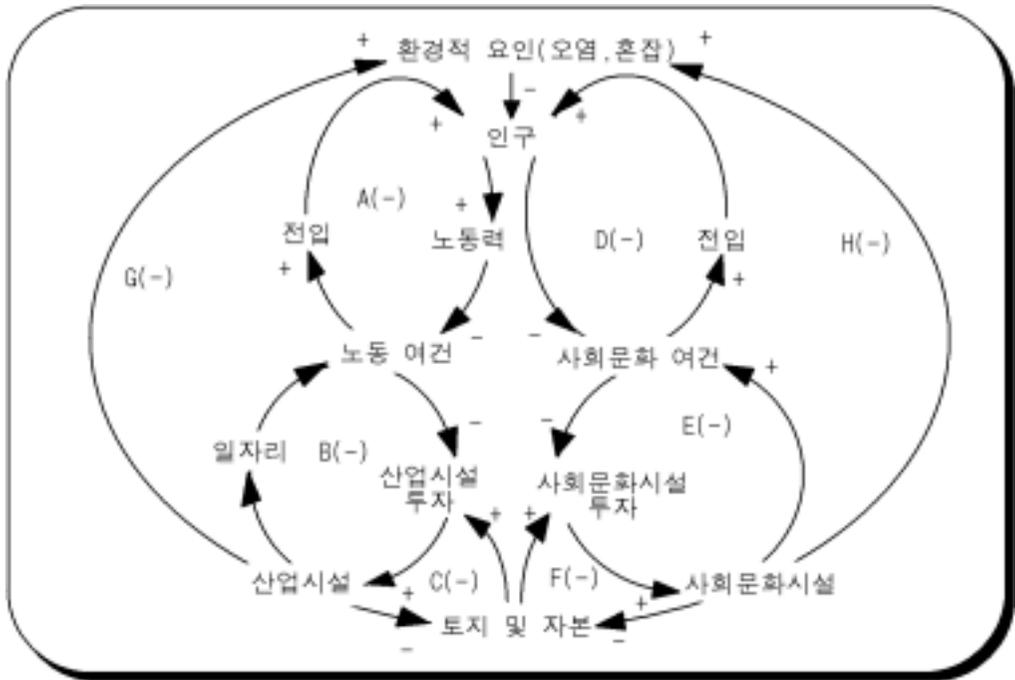


<그림 3-10> 도로와 교통혼잡, 보조금과 농가소득의 환류체계

시스템 다이내믹스에 입각한 환경용량 산정을 위한 모델의 개념도는 <그림 3-11>과 같다. 모델은 크게 인구, 산업, 주택, 환경, 토지, 차량으로 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 지속가능한 인구규모, 산업활동의 규모, 주택의 규모, 자동차의 규모는 어느 정도인가를 동태적으로 파악함으로써 서울시의 환경용량을 산정하고자 하는 것이다(문태훈, 1998).

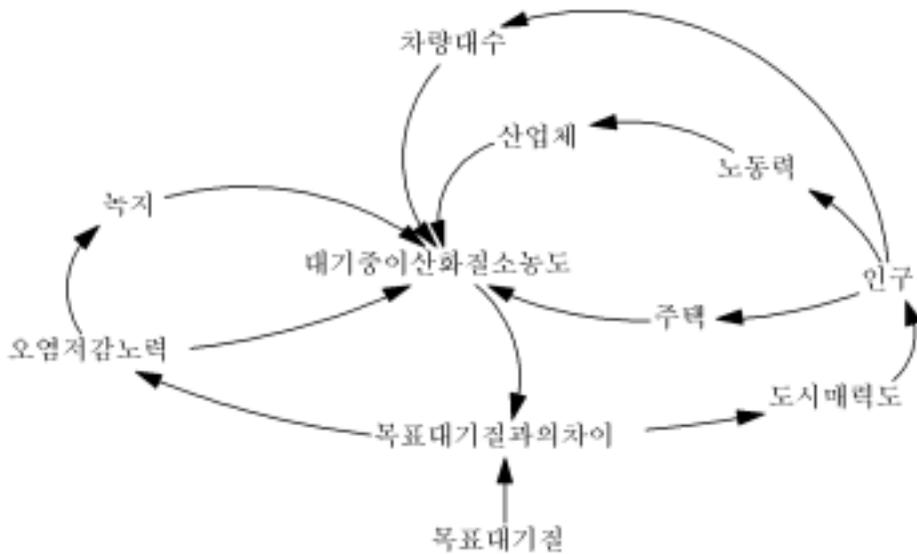


<그림 3-11> 환경한계용량과 인간활동 모델의 개념도



〈그림 3-12〉 도시의 순환적 인과관계

출처: 김도훈 문태훈 김동환 1999:76.



〈그림 3-13〉 도시환경의 순환적 인과관계

전체적인 모델의 구조를 간략히 설명하면 다음과 같다. 모델은 토지부문에서 가용 토지면적이 한정되어 있다는 가정에서 출발한다. 주어진 토지용량의 한계 속에서 산업 활동이 이루어지게 되는데 산업활동의 변화는 산업부문에서 산업체수의 변화로 파악된다. 산업체 수의 증감은 인구부문에서 인구의 증감이 일어나면서 노동력이 어느 정도나 원활하게 공급되는가에 영향을 받는다. 그런데 지역으로의 인구유입은 산업부문에서의 고용상태, 주택부문에서의 주택사정, 그리고 환경부문에서의 환경상태에 의하여 종합적으로 영향을 받는다.

고용사정과 주택의 사정이 좋고 환경상태가 양호하면 지역의 인구유인 매력이 커서 인구가 활발히 유입되고 따라서 노동력 역시 풍부하게 제공되어 산업활동이 활발히 이루어지겠지만 고용사정이나 주택의 사정, 혹은 환경상태가 좋지 않게 되면 이 지역의 매력도는 감소하면서 인구의 유입이 감소될 것이고 따라서 산업활동은 위축된다. 그러나 인구의 유입이 활발히 일어난다 하더라도 이 모델에서 산업활동은 무한히 증가할 수 없다. 산업체나 주택, 녹지의 토지점유율이 점차 높아져서 가용토지가 부족하게 되면 산업체의 입지가 제약을 받게되고 따라서 산업활동의 성장은 지연될 것이기 때문이다. 모델은 각 부문들이 밀접한 상호작용을 일으키면서 각 부문의 주요변수들의 행태가 어떻게 변화해 가는가를 나타낼 수 있도록 모델링되었다.

제 4 장 사례 연구

제 1 절 불투수 토양피복도 분석

제 2 절 시스템 다이내믹스 모델

제 4 장 사례 연구

제4장에서는 제3장의 연구결과를 토대로 2가지 모델(불투수 토양피복도 분석, 시스템 다이내믹스)을 중심으로 서울시 환경용량 평가 사례연구를 하고자 한다.

제 1 절 불투수 토양피복도 분석

1. 불투수 토양피복도 개념도

토양을 불투수성 재료로 피복하면 아래의 <그림 4-1>의 개념도를 통해 알 수 있듯이 여러 가지 환경적인 측면에서 부하를 주게 된다. 불투수 토양피복의 환경영향은 제3장 제1절에서 살펴본 바와 같은데, 이를 다시 간단하게 정리하면 다음과 같다.

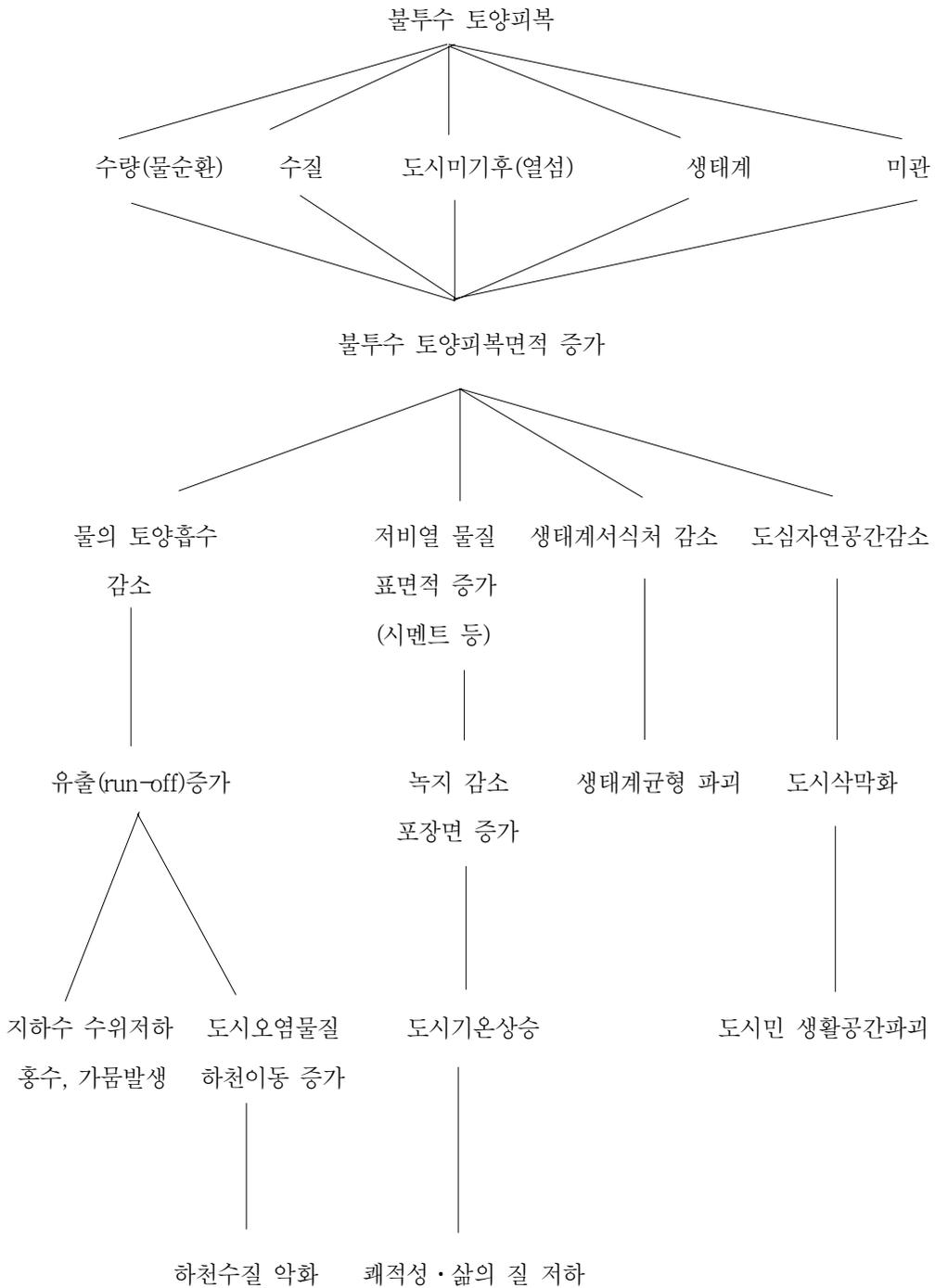
수량(물순환)의 경우 불투수 토양피복이 증가할수록 물의 토양 흡수가 감소하게 된다. 이에 유출이 증가하여 지하수 수위가 저하되고 홍수나 가뭄 발생이 잦아진다.

수질의 경우 불투수 토양피복이 증가할수록 유출이 증가하여 도시오염물질의 하천 이동이 증가하므로 하천수질을 악화시키게 된다.

도시미기후(열섬)의 경우 불투수 토양피복이 증가할수록 저비열 물질(시멘트, 아스팔트 등)의 표면적이 증가되고 녹지면적이 감소됨으로써 도시기온이 상승하고 이로 인해 시민의 삶의 질이 저하된다.

생태계의 경우 불투수 토양피복이 증가할수록 생태계 서식처가 감소되어 결과적으로 생태계 균형을 파괴시킨다.

도시미관의 경우 불투수 토양피복이 증가할수록 도시자연공간이 감소되어 결과적으로 도시민의 생활공간이 파괴된다.



<그림 4-1> 불투수 토양피복으로 인한 환경부하의 개념도

2. 서울시 불투수 토양피복도 현황

서울시 면적 중 도시화지역은 서울시 전체의 58%, 녹지 및 오픈 스페이스지역은 42%이다(서울특별시, 2000a, p63). 이러한 토지이용을 기초로 하여 본 연구에서 서울시 각 구별로 토지이용 및 불투수 토양피복도를 구체적으로 살펴보기 위해 『서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침수립 1차년 연구보고서』(2000. 2)에서 분석한 토양피복도를 5가지 유형(건폐비율, 불투수 포장비율, 투수포장비율, 녹지비율, 기타비율)으로 보정하였다. 그래서 각 측정지점마다 이 5가지 유형의 합이 100%가 되도록 하였다.

위 연구보고서에서 제시한 연구 결과는, 불투수 토양피복도를 서울시 환경용량 평가의 한 방법으로 활용하는 데 있어 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 첫째 토양피복용 재료인 마사토 등을 불투수면적에 포함시켰다. 둘째 철로 등의 쇠석 포장을 불투수면적에 포함시켰다. 셋째 작업오류로 인해 아스팔트와 콘크리트 포장을 투수면적에 포함시킨 경우가 간혹 있으며 기타 DB 구축과정에서 일부 오류가 있었다. 예를 들면 오픈스페이스 지역을 불투수면적에 포함시킨 것 등의 오류를 들 수 있다. 본 보고서에서 이런 문제점을 고려하여 위 연구보고서의 결과를 다음의 기준에 따라 보정하였다.

- ① 각 토지이용에서 마사토 등의 토지는 불투수포장에서 기타로 수정
- ② 아스팔트, 콘크리트 포장은 불투수 포장 항목으로 수정
- ③ 학교용지 중 운동장은 피복재(가령 마사토)를 고려하여 불투수포장에서 기타 항목으로 수정
- ④ 철로 등의 쇠석 포장은 불투수포장에서 투수포장으로 수정
- ⑤ 오픈 스페이스 지역은 불투수포장에서 녹지로 수정
- ⑥ 인공지반의 경우 투수포장에서 기타항목으로 수정

이런 기준 하에서 보정이 이루어졌는데, 보정전 및 보정후 결과는 다음의 <표 4-1>과 <표 4-2>에서 보는 바와 같다. <표 4-2>의 보정 후의 결과를 살펴보면 다음과 같다. 불투수 토양피복도가 가장 낮은 구는 강북구로서 23.08%, 그 다음이 은평구로서 24.26%이다. 반면에 불투수 토양피복도가 가장 높은 구는 영등포구로서 67.08%이고, 그 다음이 성동구로서 63.51%이다. 녹지율을 살펴보면 녹지율이 가장 높은 구는

마찬가지로 강북구로서 72.44%이고, 다음이 관악구로서 71.54%이다. 이는 도봉산과 관악산의 영향이 큰 듯하다. 반면에 녹지율이 가장 낮은 구는 성동구로서 24.11%이고 그 다음이 영등포구로서 25.48%이다.

서울시 전체로 볼 때, 평균 불투수 토양피복도는 43.05%이며, 녹지율은 49.49%이다. 그리고 이를 각 구별 면적으로 환산하여 <표 4-3>의 결과를 얻었는데, 서울시 전체면적 60,552.3ha 중에서 불투수 피복면적은 26,067.8ha이었다. 그리고 절대면적에서 가장 불투수 토양피복면적이 많은 구는 강서구로서 구 전체면적 4,138.9ha 중에서 1546.3ha (불투수 토양피복율: 37.36%)가 불투수 피복된 것으로 나타났고, 이와 반대로 불투수 토양피복면적이 가장 적은 구는 강북구로서 구 전체면적 2,361.5ha 중에서 545.0ha (23.08%)가 불투수 피복된 것으로 나타났다.

<표 4-1> 서울시 불투수 토양피복도(보정전) (단위: %)

	건폐율	불투수 포장율	투수 포장율	녹지율	기 타	총토지 이용율	불투수 토양피복도
종로구	18.38	24.02	1.12	52.71	3.77	100	42.40
중구	21.54	45.10	1.34	29.46	2.56	100	66.64
용산구	14.58	28.66	2.36	50.38	4.02	100	43.24
성동구	33.69	35.57	3.69	20.95	6.10	100	69.26
광진구	20.60	35.74	0.21	38.90	4.55	100	56.34
동대문구	30.12	32.51	0.34	32.41	4.62	100	62.63
종랑구	24.09	19.17	1.65	55.09	0.00	100	43.26
성북구	15.39	23.43	0.85	54.37	5.96	100	38.82
강북구	9.31	15.21	0.57	72.56	2.35	100	24.52
도봉구	9.62	22.63	1.82	63.46	2.47	100	32.25
노원구	23.74	26.97	0.83	45.56	2.90	100	50.71
은평구	10.49	16.10	1.28	69.07	3.06	100	26.59
서대문구	28.72	23.61	0.45	45.65	1.57	100	52.33
마포구	21.67	32.47	1.08	39.33	5.45	100	54.14
양천구	13.97	31.17	1.13	50.34	3.39	100	45.14
강서구	13.66	25.61	4.67	50.87	5.19	100	39.27
구로구	18.07	16.93	2.46	60.26	2.28	100	35.00
금천구	32.36	29.16	2.27	34.98	1.23	100	61.52
영등포구	26.86	44.07	0.23	25.30	3.54	100	70.93
동작구	22.55	24.71	2.04	50.50	0.20	100	47.26
관악구	13.36	11.55	2.75	71.54	0.80	100	24.91
서초구	15.42	20.15	0.96	62.82	0.65	100	35.57
강남구	13.23	25.92	0.72	57.39	2.74	100	39.15
송파구	23.18	31.99	0.95	40.90	2.98	100	55.17
강동구	21.64	22.95	1.03	53.46	0.92	100	44.59
서울평균	19.85	26.62	1.47	49.13	2.93	100	46.47

자료: 서울특별시, 2000.2, 「도시생태 개념의 도시계획에의 적용을 위한 서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시조성지침수립 -1차년 연구보고서-」 (자료를 본 연구 목적에 맞도록 재정리)

<표 4-2> 서울시 불투수 토양피복도(보정 후)

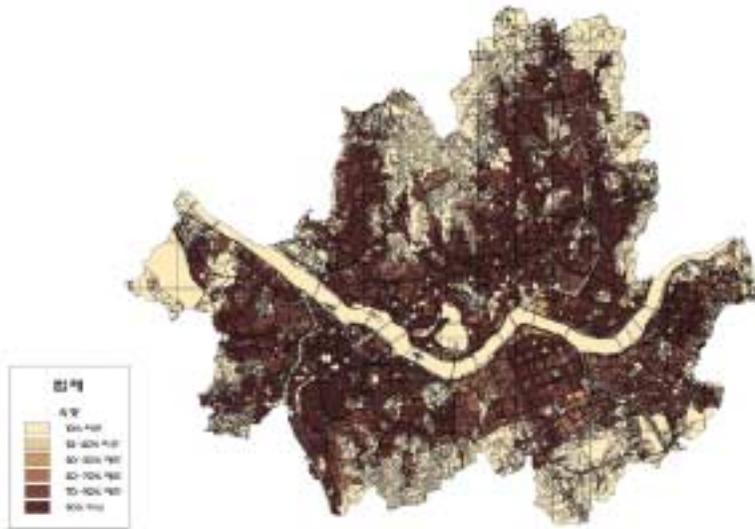
(단위: %)

	건폐율	불투수 포장율	투수 포장율	녹지율	기 타	총토지 이용율	불투수 토양피복도
종로구	18.38	21.20	0.00	52.70	7.72	100	39.58
중구	21.54	34.40	0.30	37.46	6.30	100	55.93
용산구	14.58	26.25	1.35	50.49	7.32	100	40.83
성동구	32.78	30.73	1.32	24.11	11.06	100	63.51
광진구	20.60	29.90	0.18	38.88	10.44	100	50.50
동대문구	30.12	28.20	1.15	32.42	8.11	100	58.23
중랑구	24.11	17.36	0.56	52.07	5.89	100	41.47
성북구	15.39	19.53	0.11	54.37	10.60	100	34.92
강북구	9.31	13.77	0.00	72.44	4.47	100	23.08
도봉구	9.61	18.88	0.83	63.47	7.22	100	28.49
노원구	23.71	21.73	0.66	45.59	8.32	100	45.44
은평구	10.49	13.77	0.38	69.15	6.21	100	24.26
서대문구	28.72	19.19	0.56	45.82	5.71	100	47.91
마포구	19.98	30.03	1.45	41.03	7.51	100	50.01
양천구	13.97	28.03	0.08	50.33	7.59	100	42.00
강서구	13.65	23.71	0.14	50.10	12.41	100	37.36
구로구	18.07	14.65	0.77	60.21	6.30	100	32.73
금천구	32.37	25.39	0.81	34.98	6.45	100	57.76
영등포구	26.76	40.32	0.82	25.48	6.62	100	67.08
동작구	22.55	21.43	0.95	50.49	4.58	100	43.98
관악구	13.36	11.54	0.18	71.54	3.38	100	24.90
서초구	14.95	18.35	0.00	63.31	3.39	100	33.31
강남구	13.23	24.28	0.10	55.83	6.56	100	37.51
송파구	23.16	29.63	0.31	41.35	5.55	100	52.79
강동구	21.66	21.07	0.06	53.52	3.69	100	42.72
서울평균	19.72	23.33	0.52	49.49	6.94	100	43.05

<표 4-3> 각 구별 전체 불투수 토양피복 면적 및 비율

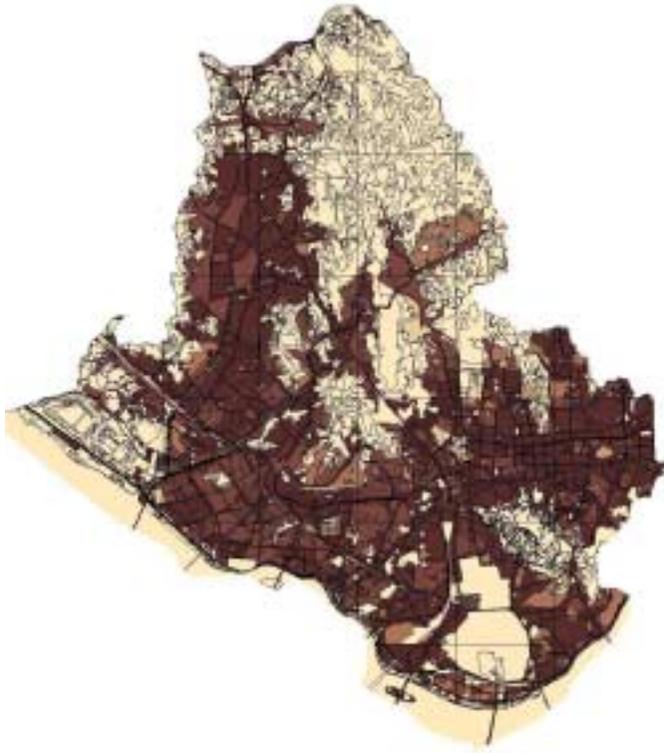
	불투수 피복면적(ha)	구 전체면적(ha)	면적비율(%)
종로구	946.5	2,391.4	39.58
중구	557.6	997.0	55.93
용산구	892.9	2,186.8	40.83
성동구	1,069.6	1,684.2	63.51
광진구	860.8	1,704.6	50.50
동대문구	827.7	1,421.5	58.23
중랑구	767.6	1,850.9	41.47
성북구	857.1	2,454.6	34.92
강북구	545.0	2,361.5	23.08
도봉구	593.1	2,081.7	28.49
노원구	1,610.9	3,545.2	45.44
은평구	720.9	2,971.7	24.26
서대문구	843.1	1,759.8	47.91
마포구	1,194.1	2,387.7	50.01
양천구	731.1	1,740.7	42.00
강서구	1,546.3	4,138.9	37.36
구로구	658.2	2,011.0	32.73
금천구	751.0	1,300.2	57.76
영등포구	1,647.9	2,456.6	67.08
동작구	719.2	1,635.3	43.98
관악구	736.0	2,955.8	24.90
서초구	1,570.2	4,713.8	33.31
강남구	1,483.4	3,954.7	37.51
송파구	1,788.9	3,388.7	52.79
강동구	1,050.0	2,457.8	42.72
서울시 전체	26,067.8	60,552.3	43.05

위의 표를 그림으로 나타내면 다음의 <그림 4-2>와 같다. 그리고 25개 구 중 서울 북서지역(서대문구, 은평구, 종로구, 중구, 마포구, 용산구)의 불투수 토양피복도를 <그림 4-3>에 제시하였다.



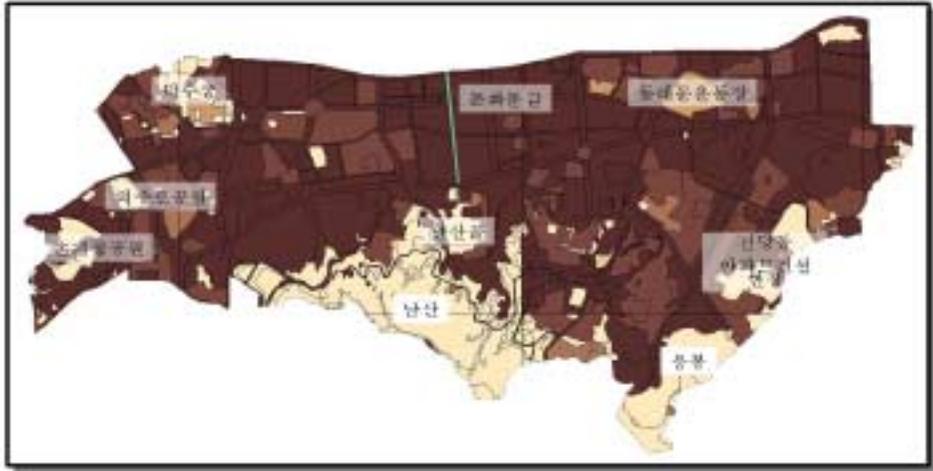
<그림 4-2> 서울시 불투수 토양피복도 현황

위 그림을 통해 알 수 있듯이, 서울 도심부로 갈수록 색이 짙어지는데, 이는 서울 도심부로 갈수록 불투수 토양피복도가 높아지기 때문이다. 즉 서울 도심부에 녹지가 부족하고 건물이나 불투수 포장으로 토지가 덮여 있음을 말한다. 그리고 서울 외곽으로 갈수록 색이 옅어지는데 이는 서울 외곽에 분포된 녹지가 불투수 토양피복도를 낮추고 있음을 알 수 있다.



〈그림 4-3〉 서울 북서지역의 불투수 토양피복도 현황

〈그림 4-3〉은 서울 25개 구 중에서 북서지역(서대문구, 은평구, 종로구, 중구, 마포구, 용산구)의 불투수 토양피복도를 나타내고 있다. 그림 서쪽의 옅은 색 부분은 상암동 일대이고, 남쪽의 둥근 모양의 옅은 색 부분은 남산 일대를 가리키며, 북쪽은 북한산 국립공원, 북악산 등으로 인해 옅은 색을 띠는 부분이 있음을 알 수 있다. 그리고 서쪽과 남쪽의 경계의 옅은 색 부분은 한강과 맞닿은 곳이다. 이 북서지역의 불투수 토양피복도 중에서 서울 중구만을 따로 도면으로 나타내면 〈그림 4-4〉와 같다.



<그림 4-4> 서울 중구의 불투수 토양피복도 현황

위 그림을 통해 알 수 있듯이 서울 남산과 응봉동 일대, 그리고 일부 공원을 제외 하면 서울 도심은 완전히 건물과 아스팔트 또는 콘크리트 등으로 피복되어 있음을 알 수 있다. 서울 도심을 대표하는 중구에서 대부분 토양이 불투수성으로 피복되어 있음을 볼 때, 서울의 환경용량을 늘리기 위해서 도심에서의 개발을 억제하는 한편 도심 녹지를 조성할 필요가 있다.

이상의 서울의 불투수 토양피복도 현황분석은 기존의 국내연구와 다음과 같은 차이점을 지니고 있다. 가령 서울 도시생태현황도(2000)의 경우 비오름 유형 중 불투수 토양피복도를 아래와 같이 다루었다. 먼저 서울시를 ‘블럭’단위로 나누었다. 그리고 각 블럭별로 몇 %가 피복되었는지 조사하여 % 단위로 분류된 블럭이 서울시 전체 중에서 차지하는 비율을 보여주었다. 그 예로 70%이상 불투수 토양피복된 블럭이 서울시 전체 블럭에서 얼마나 존재하는지를 보고서에서 %로 보여주었다. 이에 반해 본 연구는 블럭별로 나누지 않고, 직접적으로 각 구별 전체면적에서 불투수성으로 피복된 부분의 면적을 ‘실제 면적’과 ‘%(구의 불투수 토양피복면적/구 면적)’로 산정하였다.

3. 불투수 토양피복관련 델파이 설문조사

서울을 친환경적으로 만들기 위한 적정 불투수 토양피복율을 도출하기 위하여 2000년 9월에 전국의 전문가 대상 델파이 조사를 실시하였다. 먼저 불투수 토양피복도 관련 전문가를 교수 및 연구원, 시민단체, 공무원의 3개 그룹으로 분류하였다. 그리고 그룹별로 적절하게 설문지를 안배하여 총 50부를 우편으로 배포하여 35부를 회수하였다(회수율 70%).

설문지에서는 먼저 환경친화적인 서울을 위한 바람직한 적정 불투수 토양피복율에 대해서 질문하였다. 응답자들이 제시한 값들을 산술평균한 결과, 서울시의 바람직한 불투수 토양피복도는 36.5%로 나타났다. 전문가들은 자신들이 주장하는 적정 불투수 토양피복율에 대한 근거 내지 이유를 다음과 같이 제시하였다.

- 흙의 문화, 흙과 함께 가지는 삶 영위, 향후 한강변·골목길 등지의 도로 잔디화 고려
- 물순환을 위해서
- 토양 생명체의 삶을 위해, 도시환경교란 억제
- 서울 남산, 북한산, 관악산 등의 산악지형을 감안하면 현재의 토양피복이 과도함
- 토양피복도가 최소한 녹지비율의 80% 이상을 초과하여서는 안된다고 추정됨. 왜냐하면 녹지비율 20% 정도가 초과되어야만 대기·수질의 최소한 자체정화능력을 갖춘 것으로 판단됨. 그러므로 현 서울시 녹지비율 49.9%를 감안할 시 토양피복율이 현 43%에서 40%대로 낮추어져야 된다고 사료됨.
- 토양의 기반은 수맥(수분함량)에 의하여 지탱하고 있으므로, 건축지역의 투수포장면적이 건물면적에 해당하는 만큼의 투수공간이 있어야 하고, 이로 인해 토지의 지반이 유지될 수 있을 것임.
- 40%는 1000만 인구가 교목 12주씩 가꾼다고 가정할 때 면적을 산출한 것임(교목 1주 당 1평).
- 서울시의 지형·토지이용 특성 등을 고려한 물리적인 한계치를 45%로 본 것이고, 이를 근거로 실효성 있는 정책방향과 집행수단을 마련할 수 있을 것으로 판단됨.
- 서울의 녹지면적(49.36%)의 대부분이 산지로 되어 있고, 평지녹지의 비율은 소규

모인데, 프랑크푸르트, 베를린 등은 모두 평지에 위치한 도시임. 따라서 평지를 고려하면 서울의 지형구조로 보아 서울이 독일보다 더 피복율이 높다고 판단됨. 또한 독일도시와 비교시 녹지의 양과 질, 건축밀도 등이 크게 다름. 따라서 현재의 피복율을 더 낮춰야 할 것으로 판단됨.

- 보도는 모두 투수 콘크리트로 포장하거나 통행이 많지 않은 구간은 맨발로 걸어 다닐 수 있는 공간을 확보하기 위해서 토양피복도를 대폭 낮추어야 함.
- 여의도 아스팔트 광장을 녹지로 조성하였듯이 발상의 전환이 요구됨.
- 협의의 토양피복도(건폐면적+불투수포장면적/전체면적)와 광의의 토양피복도(Σ 토양피복유형×유형별피복도/전체면적)로 나뉘볼 때, 광의의 피복도는 협의의 피복도보다 높아질 수 있다고 판단됨.
- 불투수피복비율이 70%이상 주거지 비오톱 유형면적이 94%이기 때문에 주거지에서 토양피복도를 개선하면 가능하다고 판단됨.
- 녹지총량이 환경용량과 더 관계가 있을 듯함. 환경용량은 밀도의 문제이지 면적의 문제가 아니므로 현재 토지이용에서 투수성 공간확보 중요.
- 현재 토지피복도가 적정하다고 생각할 수 있는데 이는 국립공원, 공원녹지, 하천 등의 면적이 포함된 전체면적분에 대한 계산임. 그러나 도심이나 주거지 안에서 이 면적을 계산한다면 반 이상 줄어들 것임. 따라서 서울내 주활동지역의 피복도가 70%정도라면 이를 절반으로 줄여야 함.
- 서울의 공원이 절대 부족하고, 지속가능한 발전을 위해 도시 안에 채소 등을 재배할 수 있는 공터가 늘어나야 한다고 판단됨. 70%의 땅은 해와 비를 보도록, 아울러 비점오염원이 걸러지기 위해서 이 정도는 필요함.
- 건폐율을 줄이기는 단기적으로 쉽지 않으므로 불투수포장면적을 줄여야 함.
- 토양피복율 증가 억제 정책 필요. 도로공사는 추가로 시행될 것이므로 현재의 수준을 유지하는 것도 용이하지 않음. 또한 기존의 토양피복구조물을 제거하는 것도 환경친화적이지 못할 수 있음.
- 현재 서울시에서 1000만 인구를 부양하고 있는 현실에서 볼 때, 40%가 적당함. 사실 43%에서 3%를 줄이는 것도 상당히 어려울 것임. 다만 도심내부에 3%의 피복만 제거하여도 환경친화적 도시가 될 것임.
- 서울시가 열섬현상과 강우유출계수를 저감하기 위한 노력목표 수치로서 30%를

제시하였음. 그러나 비용이 많이 소요되므로 장기적 측면에서 고려해야 함.

- 토양피복도가 가능한 낮은 수치가 되는 것이 좋으나 도시발전과 효율적인 이용을 위해 서는 불가피하게 일정면적이 피복되어야 할 것임. 30%의 수치는 절대적인 가치기준에 의해 제시된 것이 아니라 그 동안 주거단지계획에 비추어 볼 때, 도달 가능한 최대수치로 제시함.
- 외국과 비교해 나쁜 상태가 아니므로, 현행을 유지한다 해도 좋을 것으로 사료됨.
- 서울의 경우 절대녹지가 부족하고 시민의 건강을 위해 소공원, 소운동장 등이 절대적으로 부족하여 메트로폴리탄으로서의 기능을 상실하였으므로 피복개선이 필요함- 커뮤니티 가든(community garden)으로 전환하기 위해 피복율 감소 필요.
- 선진외국의 사례보다 우리나라 자체의 정책방향을 보다 친환경적인 방향으로 정책결정과 아울러 우리나라만의 특성을 활용해야 할 것으로 보임.
- 불투수피복면적에서 투수포장으로 가능한 면적(보도공간, 중앙분리대, 녹지공간 등)을 산출하면 토양피복도를 낮출 수 있다고 판단.
- 현재 43%인데도 서울의 열섬현상과 지류천의 수질오염은 심각한 상태이며, 물순환에 있어 최악의 상황에 이르렀으므로, 30%이하가 문제 해결에 도움을 줄 것임.
- 불투수피복면적 중 8% 정도는 녹지 또는 투수성 포장으로 전환하더라도 용도상 큰 문제는 없으리라 판단되며, 환경용량 증대에 도움이 클 것으로 기대됨.
- 유럽의 도시지역은 지형적으로 평면지형이고, 강수의 패턴도 한 시즌에 집중되어 있지 않으므로 토양환경을 거치는 물의 순환에 큰 차이가 있음. 이런 차이를 고려한다면 서울의 토양피복도가 현재보다 저감되어야 함.
- 불투수포장면적비율 23%에서 도로 10%를 제외한 13%의 약 1/4인 3%를 투수포장 또는 녹지로 전환하도록 하면 달성가능한 실천목표가 될 수 있을 것임

둘째로 현재의 서울시 불투수 토양피복도 43%을 36.5%로 낮추기 위해서 설문응답자들은 다음과 같은 정책을 제안하였다.

시민단체는 토양피복도 개선 정책과 관련하여 토양생명체, 도시물순환, 흙의 문화, 도시안에서 채소 등을 재배할 수 있는 공터, 커뮤니티 가든, 옥상녹화, 빗물저류시설, 공원의 콘크리트 바닥 해체 등을 강조하였다.

공무원은 다음과 같은 내용을 강조하였다. 교통일방체계와 도로 및 보도변 경계에

화단 가로수 식재 및 피복억제, 하천복개부분의 원상회복, 최소녹지비율(80%), 빌딩과 빌딩사이 정원조성, 1인당 교목 12그루 가꾸기, 포장개선시 조세경감을 주장하였다. 또한 맨발로 걸을 수 있는 토지 확보, 건폐율 50%이하·용적율 100%이하로 건축법 및 도시계획법 개정, 건폐율·용적율에 비례하는 포장세 도입, 공원의 자연친화적 소재를 통한 지속적 조성(1인당 공원면적 등), 사후관리강화, 흙길·마사토·자갈길로의 대체, 그린벨트 유지 등을 강조하였다.

전문가는 다음의 내용을 정책개선점으로 제시하였다. 하천복개시설 제거, 골목길·한강변 잔디화, 배수를 고려한 피복율 개선작업(자갈길 등), 세금보다 생태계교란부담금제도 도입, 건물고층화에 의한 건폐율 저감, 공지의 녹지화, 지구단위계획에서의 계획지표로 피복한계 제시, 피복저감관련 인센티브 제도 마련, 피복도보다 녹지총량을 중시, 담장의 생울타리화, 도시내 준농지 및 그린벨트 보존, 옥상녹화, 자투리 땅의 녹지화, 지하주차장 억제 및 주차빌딩 건설, 보행자 적은 보도의 일부녹화, 오픈 스페이스에 포장억제 제도화, 시민단체의 시민 교육 및 홍보 프로그램 개발, 빗물저류시설 의무화, 공공시설 투수층 포장, 토양피복 제거시 환경오염 방지, 건물 1층 피로티화, 투수성 포장의 보행자 우선 도로 대체, 마을단위 주민자치적 피복율 저감사업 추진, 보라매 공원과 대방동 해군본부에 아파트를 짓는 행위 같은 건축행위 규제, 피복율 관련 선진외국제도 도입, 우수처리 및 하천수질 개선세 도입, 최소피복도 유지를 위한 의무규정 신설, 과학적 피복율 계산, 경작지 보전 및 복원(형질변경 억제), 비닐하우스 경작지 오픈, 유수지 확보, 도시계획법 정비, 포장부담금(대규모), 건축심의 강화, 주차장 포장율 상한제 도입, 도시개발사업시 토양피복 상한제 도입, 재건축·주거환경개선사업, 재개발 사업 등의 도시정비사업에 불투수 토양피복상한선 도입을 주장하였다.

또한 시민단체, 공무원, 전문가 그룹 모두 도시계획법이나 건축법 개정 등을 포함한 불투수 토양피복도 관련 제도개선과 투수성 포장전환, 대규모 녹지 조성을 공통적으로 강조하였다.

셋째로 서울시에서 불투수 토양피복으로 인해 파생되는 문제 즉 물순환 저해, 수질 오염, 미기후 교란 및 열섬현상, 생물서식처 파괴, 도시미관 손상의 5가지 문제에 대한 상대적 심각도를 비교하였다. 그 결과 응답자들은 불투수 토양피복으로 인해 도시환경 전체에 주는 심각도를 100%으로 볼 때, 토양피복문제는 물순환 저해에 32%, 도시미기

후 교란 22.1%, 수질오염 19.6%, 생물서식처 파괴 19%, 도시미관 손상 6.8% 순으로 영향을 준다고 응답하였다. 본 결과를 도출해 내기 위해서 다음과 같은 분석을 하였다. 먼저 5가지 문제간에 1대 1 비교를 하여 어느 한 문제가 다른 문제와 비교하여 동등, 조금 심각, 심각, 매우 심각한 4가지 패턴으로 응답을 주도록 하였다. 그래서 동등에는 1점, 조금 심각에는 3점, 심각에는 5점, 매우 심각에는 7점을 주었다. 그런데 만약 비교되는 문제가 더 심각할 경우 앞의 점수의 역수를 하여 그 점수를 주었다. 그리고 이 점수를 이용하여 Satty의 AHP기법을 이용하여 파생되는 환경문제의 상대적 심각도를 비교하였다.⁷⁾

전문가 그룹별로 분석한 결과에서 서울시의 바람직한 불투수 토양피복도에 대해 공무원의 경우 33.4%, 시민단체는 33.5%로 응답하여 두 그룹 간에 비슷한 결과를 보였으나, 전문가 그룹(교수, 연구원)은 38.3%로 다소 높은 수치를 제시하였다. 그리고 시민단체의 경우 불투수 토양피복으로 인해 도시환경 전체에 주는 심각도를 100%로 볼 때, 불투수 토양피복문제는 물순환 저해에 29%, 도시미기후 교란 27%, 수질오염 22%, 생물서식처 파괴 13%, 도시미관 손상 9% 순으로 영향을 준다고 응답하였다. 전문가 집단의 경우 불투수 토양피복문제는 물순환 저해에 34%, 수질오염 21%, 도시미기후 교란 20%, 생물서식처 파괴 18%, 도시미관 손상 7% 순으로 영향을 준다고 응답하였다. 공무원 집단의 경우 일치성 정도가 벗어나 문제의 심각도 고려 분석 결과를 본 연구에서 언급하지 않았다.

본 결과를 통해 알 수 있듯이, 전문가 집단, 시민단체 모두 물순환 저해를 불투수 토양피복으로 인한 가장 큰 문제로 지적하였다. 그러나 시민단체는 다음의 큰 문제로서 수질오염보다 도시미기후 교란을 지적하였으나 전문가 집단은 반대로 수질오염을 도시미기후 교란보다 더 심각한 문제라고 지적하였다.

넷째로 불투수 토양피복과 대기오염사이의 관계를 묻는 질문에서 다음과 같은 응답을 얻었다.

- 도로 증가 → 차량이용 증가 → 화석에너지 사용 증가 → 대기오염물질 배출 증가 → 대기오염물질에 대한 자정능력 감소

7) Satty(1991)의 AHP(Analytic Hierarchy Process)기법을 이용하여 환경문제를 분석한 사례는 Maila Puolamaa et.al.(EUROSTAT, 1996)이나 강상목(통계청, 1997) 등이 있다.

- 녹지면적과의 연계가 필요 - 녹지면적은 대기정화, 대기온도조절, 미기후 조절, 지구온난화 감소, 질소순환과정에 직접영향 - 대기용량과 관련
- 불투수 토양피복 증가는 오염물질의 물리적 흡착 감소, 생물학적 고정·흡수량 감소
- 불투수 토양피복도가 높을수록 태양복사열의 재반사로 인한 도시열섬현상의 잦은 발생 → 도시내 환기 부족, 잦은 역전층 발생 → 대기오염물질 확산의 어려움 → 대기오염농도의 상승, 광화학스모그 증가, 오존발생 → 대기환경용량의 저하 → 따라서 도시내 투수층과 녹지면적을 확장하여 열섬현상을 방지하고, 통풍율을 높여야 함.

4. 서울시 불투수 토양피복도 개선 가능성 분석

위 텔파이 조사에서 서울시의 불투수 토양피복과 관련하여 전문가들은 토양피복으로 인해 발생하는 5 가지 대표적 환경문제 중에서 물순환문제를 가장 심각하다고 제시하였다. 이 물순환 문제의 해결을 위해서는 우선 불투수 토양피복된 부분을 투수성 토양피복으로 전환하던가 피복층 자체를 제거하여 유출계수를 낮추고, 토양의 물흡수를 증진시켜야 한다. 도시 물순환체계 개선에 초점을 맞추어 불투수 토양피복 문제의 해결책을 모색해 보면 다음과 같은 방안을 검토해 볼 수 있다.

첫째, 한강둔치에서 불투수로 피복된 부분을 살펴보면, 크게 공영주차장과 견인차 보관소, 자전거도로로 나누어 볼 수 있다. 주차장면적의 경우 현재 303,943m²이고, 견인차보관소의 면적은 39,356m²이다. 그리고 자전거도로는 폭이 평균 4m, 총길이가 56,600m이므로, 자전거도로의 면적은 226,400m²이 되고, 이 공영주차장, 견인차 보관소, 자전거도로의 면적을 모두 합하면 569,699m²이 된다.⁸⁾

둘째, 서울시 보도면적은 아래 <표 4-4> 과 같이 총 보도면적은 6,658,691m²이고, 이 중에서 투수성 보도면적은 투수성 콘크리트를 사용한 442,909m²이다. 따라서 불투수성 보도의 면적은 6,215,782m²이 되며, 전체 보도면적 중에서 투수성 보도는 6.65%에 불과하여 대부분의 보도가 불투수성인 것을 알 수 있다.

8) 한강관리사업소 관리과·시설과 내부자료, 2000.

<표 4-4> 자재별 서울시 보도연장과 보도면적(1998.12.31.현재) 단위: m, m²

구분	총계	사각블럭		소형고압블럭	테라조타일	투수성콘크리트	화강석판	시멘트콘크리트	아스팔트콘크리트	타일류	기타
		무색	유색								
보도연장	1,577,377	292,293	30,409	1,036,807	38,631	103,220	17,265	20,309	22,888	9,589	5,965
보도면적	6,658,691 (100.00)	1,223,820 (18.40)	111,208 (1.67)	4,285,032 (64.40)	203,653 (3.06)	442,909 (6.65)	104,592 (1.57)	65,195 (0.98)	101,114 (1.52)	92,830 (1.39)	28,338 (0.43)

자료: 서울시 도로운영과 내부자료

셋째, 서울시의 총도로포장면적과 각 구별 도로포장면적을 살펴보면 다음의 <표 4-5>와 같다. 이 표를 통해 알 수 있듯이, 서울시 총 도로면적은 78,121,964m²이고, 이 도로면적 중에서 포장된 면적은 73,120,403m²으로서, 도로의 93.60%가 불투수성으로 포장되어 있다. 그리고 도로율은 각 구의 모든 주거·상업·공업지역과 녹지지역 중의 도로가 난 일부지역 중에서 도로가 차지하는 면적을 %로 나타낸 것을 의미한다. <표 4-5>에서 각 구별 도로율을 살펴보면 각 구별로 약 21%정도로서, 시가화지역 중 21%가 도로로 피복되어 있음을 알 수 있다. 그런데 이 결과를 불투수 포장면적의 개선가능성 면적에 포함시키기 위해서는 먼저 도로 하부의 현황 파악 즉 일반토양층인지, 지하도·지하차도·지하철 등이 존재하는지의 등의 여부를 파악해야 한다. 그리고 도로의 투수성 포장으로 인한 토양의 오염물질 침착정도 등의 연구도 선행되어야 한다. 실제로 도로를 투수성 포장을 한다 할지라도 엄청난 비용이 소요될 것이다. 따라서 현재로서는 서울시 도로 부분을 투수포장화하는 방안은 장기적인 관점에서 연구되어야 할 과제이다.

<표 4-5> 구별 도로면적 및 포장면적 현황(99.12.31. 현재)

서울시 각구	도로면적(m ²)	포장면적(m ²)	도로율(%)	포장율(%)
계	78,121,964	73,120,403	20.86	93.60
종로	2,584,298	2,560,086	21.43	99.06
중구	1,818,147	1,818,417	21.78	100.00
용산	3,080,474	3,080,474	20.07	100.00
성동	2,861,945	2,639,158	19.31	92.22
광진	3,187,955	3,092,432	20.38	97.00
동대문	2,927,821	2,739,746	24.56	93.58
중랑	2,483,381	2,164,911	22.66	87.18
성북	3,651,145	3,526,133	25.28	96.58
강북	1,817,903	1,811,145	20.25	99.63
도봉	2,225,908	2,204,990	17.17	99.06
노원	3,383,356	3,178,432	19.44	93.94
은평	2,924,692	2,562,884	21.66	87.63
서대문	2,582,157	2,410,765	18.55	93.36
마포	3,459,146	3,427,646	19.64	99.09
양천	3,373,279	2,784,829	18.15	82.56
강서	4,101,925	3,620,530	24.11	88.26
구로	2,712,611	2,435,803	15.86	89.80
금천	1,862,100	1,735,409	16.67	93.20
영등포	4,325,602	4,053,554	22.53	93.71
동작	2,474,764	2,225,214	23.86	89.82
관악	2,595,393	2,354,381	18.11	90.71
서초	4,894,566	4,862,850	25.22	99.35
강남	5,409,516	4,467,634	21.75	82.59
송파	4,416,746	4,406,076	21.38	99.76
강동	2,966,864	2,956,904	21.30	99.66

자료: 서울시 도시계획과

넷째, 공영주차장을 살펴보면 노상주차장은 도로상에 있으므로, 도로면적에 편입되고, 노외주차장의 경우 서울시 소유의 나대지나 복개천 위의 공간을 주차장으로 만든 곳으로써 지하철 주위 환승주차장 등이 여기에 포함된다. 그리고 일부 각 구청별로 거

주차우선주차제 실시의 노상주차나 골목길 주차시설이 공여주차장에 포함된다.

<표 4-6 >서울시 노외주차장(불투수포장, 노상기준) (2000.10.30. 현재)

구별	주차장명	주차면수	구별	주차장명	주차면수
용산	용산전자4	114	중구	백범광장	29
용산	용산전자5	42	종로	봉화산역	96
용산	용산전자6	14	종로	봉화산역북	175
노원	월계역	40	노원	상계역(남)	108
종로	인사동노외	25	노원	상계역(북)	85
강남	일원동	21	종로	서린노외	29
강남	일원역	70	노원	석계역	187
용산	용산전자3	370	강남	대청역	75
도봉	창동동측	701	도봉	도봉산	198
도봉	창동서측	128	도봉	도봉산역	504
도봉	창동역	41	중구	동국제강	16
성동	마장노외	132	중구	동대문노외	100
강동	명일동제2	12	관악	신림노외	112
서대문	미근동노외	32	종로	신문로노외	23
강서	방화역동측	71	강남	압구정노외	453
강서	방화역서측	72	영등포	영의도노외	169
강서	방화우체국	18	강서	영보빌딩옆	80
노원	수락산역	142	성동	옥수역	102
강남	수서역	576	용산	용산전자1	212
동작	신대방역	123	용산	용산전자2	195
총면수		5692			

자료: 서울시 시설관리공단

이 표에서 한강둔치 주차장은 앞에서 정산되었으므로 제외하였고 천호역, 영등포구청역, 잠실역, 학여울역의 지하주차장도 제외되었다. 그리고 용산역의 주차빌딩 역시 평면 대지의 주차시설이 아닌 입체시설이므로 제외시켰다.

다섯째, 이상에서 논의한 불투수 토양피복 개선가능지역 이외에 주거지역, 상업지역, 공업지역, 공공청사내 토지 중 불투수로 포장된 면적을 투수 포장면적으로 개선할

수 있다. 그러나 본 연구에서는 자료의 미비와 시간적 제약으로 이에 대한 분석은 이루어지지 못하였다. 종합적인 불투수 토양피복 개선 정책을 수립하기 위해서는 용도지역별 불투수 토양피복에 대한 구체적인 자료 분석이 뒤따라야 할 것이다.

서울시 불투수 토양피복과 관련한 제반여건을 개선하기 위하여 본 연구에서 정책 방향을 제시해 보면 다음과 같다.

먼저 델파이 조사 결과 전문가들이 생각하는 적절한 서울시 불투수 토양피복도의 평균 36.5%을 서울시 불투수 토양피복도의 목표치로 본다면, 이 목표를 달성하기 위해서는 현재의 불투수 토양피복도 43.05%에서 6.55%를 줄여야 한다. 즉 서울시 전체면적에서 3,966ha의 면적이 투수 피복층으로 전환되든지 아니면 피복 자체가 제거되어야 한다. 앞서 본 연구에서 서울시의 토양피복과 관련하여 지적인 한강둔치, 보도, 노상주차장 등의 문제점을 해결하는 차원에서 토양피복도 개선방안을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 한강둔치에서는 앞의 계산을 통해 57ha가 투수 형태로 전환될 수 있음을 알 수 있다. 여기서 주차장과 견인차보관소는 대폭 축소시키거나 피복층을 벗겨내 자연상태로 유지시키고, 자전거 도로는 투수 피복층으로 전환하되 자전거의 승차감이 떨어지지 않도록 고려해야 할 것이다.

둘째, 서울시 보도면적과 관련하여 서울시의 걷고 싶은 거리 만들기에서 자연의 흙을 밟고자 하는 욕구가 현재 일고 있다. 그러므로 사람의 왕래가 드문 보도는 마사토와 같은 흙이나 부드러운 자갈길로 포장하고, 왕래가 빈번한 보도의 경우는 투수성 포장재료로 대체하여 강우시 우수가 스며들도록 한다. 단 일정량 이상의 강우는 아무리 투수피복층으로 된 보도라고 일정량 이상이 유출되는 것을 막을 수 없으므로 이 점을 고려해야 한다. 이렇게 보도를 개선하면 앞서 계산에서와 같이 서울시 보도면적 621.6ha가 투수피복층으로 개선될 수 있다.

셋째, 서울시 도로면적의 경우 노상주차장 면적을 포함하여 7,312ha가 포장되어 있고, 이 중 144.2ha가 하천이 복개되어서 도로가 된 부분이다(서울시 건설안전관리공단 내부자료, 2000). 따라서 투수성 포장으로의 전환이나 복개천의 원상복구를 통해 도로부분의 불투수 토양피복도 개선을 이룰 수 있으나 앞서 언급한대로, 서울시의 경우 상당한 지하공간이 지하철이나 지하도 등으로 이용되고 있는 상황이고 도로의 투수포장화는 기술적, 환경적 측면에서 검토해야 할 사항이 많으므로 극히 일부지역에서만 도로의 투수성 전환이 가능할 것으로 판단된다.

넷째, 서울시 지상 대지와 복개천 상부의 불투수성 노외주차장의 경우 총 5,692면수가 존재하므로 한 주차면수를 2.5m×5m로 하여 계산하면 총 7.1ha의 면적이 도출된다. 이 7.1ha에 대해서, 불투수 토양피복에서 피복 제거나 복개천 원상회복, 투수피복층으로의 전환 등을 통해 투수 형태로의 전환이 가능하다. 서울시의 경우 복개천 상부 도로와 주차장이 대부분을 차지하고 있음을 <표 4-7>을 통해 알 수 있는데, 도로가 총 도로연장의 89.5%를 차지하고 있다. 따라서 도로와 주차장의 경우 하부상태가 토양인지 하천인지에 따라 토양의 경우는 불투수 성분을 제거하고 하천인 경우 복개천을 복구하면 서울시 불투수 토양피복도는 개선될 수 있다.

<표 4-7> 하천복개 구조물 이용현황

구분	이용형태별													
	계		도로		주차장		적환장		상가아파트		공공건물		기타	
	하천수	연장	하천수	연장	하천수	연장	하천수	연장	하천수	연장	하천수	연장	하천수	연장
계	27	82093	26	73465	9	5150	1	320	3	1520	3	550	5	1088
%		100		89.5		6.27		0.39		1.85		0.67		1.33

자료: 서울시 치수과(2000. 9월 기준), * 소수점 둘째자리 이하 반올림.

이상에서 논의한 개선방안을 종합하면, 현재의 불투수 토양피복부분을 투수 부분으로 전환할 수 있는 면적은 <표 4-8>과 같다.

<표 4-8> 서울시내 최대 투수성 전환가능면적 (단위: ha)

	한강둔치	보도	노외주차장
투수포장 전환	22.6 (자전거도로)	321	7.1
불투수포장 제거	34.3 (주차장 등)	300	
총면적	56.9	621	7.1

<표 4-8>에서 제시한 현 토지부문별 최대 투수성으로 전환가능한 면적을 모두 합

치면 685ha로서 전문가들이 제시한 서울시 적정 토양피복도 36.5%를 달성하기 위해서 추가적으로 투수성 피복층으로 전환되어야 할 면적인 3,966ha에 못미치는 수치이다. 3,966ha중 685ha를 제외한 3,281ha는 다음과 같은 방안에 의해서 개선가능할 것으로 판단된다.

단독주택, 공동주택단지 및 공공행정기관 부지내 포장된 부분을 투수성 포장으로 전환할 수 있다. 그리고 상업지역 및 공업지역의 포장된 지역도 상당부분 투수성 포장으로 바꿀 수 있다. 나아가 재개발이나 재건축시, 건폐율을 줄이고 이로 인해 넓어진 대지부분에 대해 투수층 확보를 모색한다면 장기적으로 볼 때 불투수 토양면적 3,966ha에 대한 피복도 개선이 가능할 것이다.

이렇게 불투수 토양피복도가 개선되어 물순환이 좋아진다고 하더라도, 도시미기후, 도시삭막화 등의 문제도 같이 해결하고자 한다면 불투수 토양피복 부분을 제거함과 동시에 도심 녹지도 증가시켜야 한다. 따라서 지속적으로 녹지를 확충해가는 한편 건물의 옥상녹화도 추진해야 할 것이다. 먼저 관공서나 각급 학교 등에서 이를 시행하고, 성공사례를 서울시민에게 홍보하면서 옥상녹화를 권장해나갈 필요가 있다.

제 2 절 시스템 다이내믹스 모델

1. 상자 모델을 이용한 서울시 이산화질소 농도의 추정

이 모델에서 환경부문은 가장 중요한 부문으로 서울시의 대기중 이산화질소의 농도를 상자 모델(Box Model)로 추정하여 목표 대기질과 서울시의 대기질을 비교하고 서울시의 이산화질소의 농도를 목표 대기질에 최대한 근접시키기 위하여 일단 녹지면적을 주어진 토지의 한계 범위 내에서 증가시켜나가도록 설정하였다. 우선 여기서 사용된 상자 모델은 아래와 같이 적용되었다.

1) 다이내믹 모델의 대기오염물질 매개변수

대기오염물질 증가에 따른 사회적, 경제적 제반문제를 고려하기 위해서는 개략적인 모델의 도입이 필요하다. 대기오염 모델에는 대기오염 물질의 배출량, 바람에 의한 이

류와 확산, 지표면에서의 침전, 강우에 의한 흡수, 광화학 반응에 의한 2차 오염물질로의 변환 등 많은 물리 화학적 현상을 수식으로 모사한 모델이 많이 있으나 입력자료의 제한, 기상현상의 복잡성, 지표면의 다양성 등으로 인해 모델에 따라 제한성과 함께 각각의 장점과 단점을 지니고 있다.

다이내믹 모델에서 필요로 하는 다음과 같은 질문에 정확한 값을 제시하는 것은 기술적·현실적으로 어려움이 많다. 즉,

- 서울에서 배출된 오염물질 중 몇 %가 지표에 침전하며 몇 %가 서울시 외곽으로 유출되는가?
- 서울에서 배출되는 오염물질이 10% 증가할 시 서울시의 대기질은 몇 % 변화하는가?

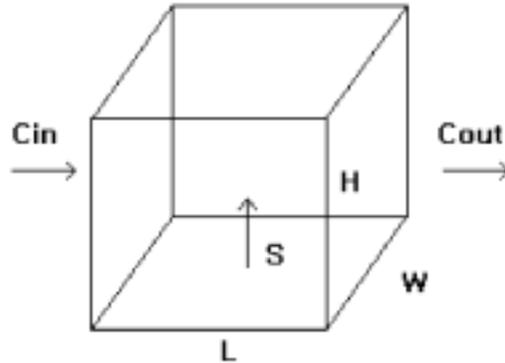
상기질문에 대한 해답은 대규모 대기오염물질 측정망, 배출원에 대한 조사연구, 광범위하고 집중적인 기상 및 대기질 측정에 의한 정교한 대기오염 모델의 모사가 필요하나 현재의 과학기술로는 불가능한 것이 현실이다.

대기오염물질의 단기예측에 사용되는 Eulerian 모델은 다이내믹 모델의 적용에 적합하지 않으며, 많은 경계조건과 초기조건 자료가 요구되어 제한적으로 쓰이고 있다. 장기 예측에 주로 사용되는 Gaussian 모델은 격자별 배출원, 안정도, 혼합고, 배출원 고도 등 많은 입력자료가 요구되어 본 다이내믹 모델에는 적합치 않다. 이에 가장 간단한 모델인 CSTR approach를 통해 대략적인 매개변수를 도출하였다.

2) 상자 모델

상자 모델은 대류현상이 활발하여 공간 내 오염물질이 고르게 분포되어 있다고 가정할 때 CSTR(Continuous Stirred Tank Reactor) 개념이 도입된다. 본 연구에서는 서울시를 대상으로 1년간 유출입되는 NO₂량과 건성침착(dry deposition)과 화학 반응에 의해 전환되는 양을 구하기 위하여 아래와 같이 상자 모델을 이용하였으며, 초기 입력 값 변화에 따른 영향을 살펴보았다.

(1) 상자 모델 개요



<그림 4-5> 상자 모델

$$V \frac{dc}{dt} = q C_{in} - q C_{out} + S - K_{dd} CLW - K_{cr} CV \quad \text{식 (1)}$$

여기에서 q = 체적속도 (m^3/sec)

K_{dd} = 건성침착속도 (m/sec)

K_{cr} = 화학반응속도 ($1/sec$)

qC_{in} = 오염물질 유입량 (g/sec)

qC_{out} = 오염물질 유출량 (g/sec)

S = 오염물질 배출량 (g/sec)

$K_{dd}CLW$ = 건성침착에 의한 오염물질 제거량 (g/sec)

$K_{cr}CV$ = 화학반응에 의해 전환되는 양 (g/sec)

W = 바람속도 (m/sec)

위 식에서, $V(L \times W \times H)$ 는 서울시의 공간체적(m^3)을 나타내며, $q(m^3)$ 는 유출입되는 공기의 체적으로 공기가 비압축성이므로 유출입면에서 동일하다고 가정하였다. 서울시의 면적은 $605km^2$ 로 상자의 길이(L)와 너비(W)를 각각 $25km$ 로 가정하였다. H(m)

는 오염물질이 일정높이까지 혼합되는 높이(mixing height)를 나타낸다.

또 C_{in} 는 유입되는 농도와 C_{out} 은 유출되는 농도를 나타내며, 위 식(1)에서 첫 번째 항은 일정기간동안 유입되는 NO_2 의 총량을, 두 번째 항은 동 기간동안 유출되는 NO_2 총량을 나타낸다. 일정기간(1년)동안 농도의 변화가 없다고($V \frac{dc}{dt} = 0$) 가정하면, $q = H \times W \times W_i \times Time(1yr)$ 이다. 세 번째 항은 NO_2 배출량으로써 $S(kg/yr)$ 는 산출된 NO_x 배출량 중 NO 로의 전환을 고려해주기 위해 1년동안('98년) 서울시에서 관측된 NO_2/NO_x 비(0.456)를 이용하여 배출량을 재산정하였다. 오른쪽 넷째항은 건성침착에 의한 제거량으로, K_{dd} 는 건성침착속도(cm/sec)이고 본 모사시 $K_{dd} = 0.5cm/sec$ 로 가정하였다. 다섯 번째 항은 화학반응에 의해 전환되는 양으로 K_{cr} 은 반응속도 상수를 나타낸다.

(2) 매개변수 추정

복잡한 대기 중 물리 화학적 현상을 간단한 수식으로 나타내는 것은 평균의 의미가 크며, 풍속, 침전속도, 농도변화 등의 대표값 또는 최대 최소값을 입력하면 유출입 및 침전량의 최대, 최소 구간을 유추할 수 있을 것이다. 이에 본 연구는 다이내믹 모델에 쉽게 사용할 수 있는 CSTR을 적용하였다.

CSTR 모델은 모델 구간의 농도가 일정하다는 가정을 전제로 실제 대기오염물질이 이동이나 기상인자를 모사하는 데는 부적합하나 평균값을 유추하는 데는 유용하게 적용이 가능하다.

아래 case별 모사에서는 주변으로부터 유입되는 농도(C_{in})와 유출농도(C_{out}), 풍속(m/s), 혼합고(H) 등을 변화시켜주며 전체 유출입량과 건성침착량, 화학반응에 의한 제거량 변화 등을 알아보았다.

아래 <표 4-9>는 각 Case 별로 입력된 초기조건을 보이며, <표 4-10>은 그에 따른 결과를 보인 것이다.

Case 1의 경우 혼합고 높이를 1000m로, 유입되는 농도를 30ppb, 평균풍속을 1.5m/sec, 건성침착속도를 0.5m/sec로 가정하였을 경우로 결과를 보면 주변 도시로부터 유입되는 양이 연간 69,061,992kg으로 서울시 자체 배출원에 의한 53,719,365kg보다 많은 것을 볼 수 있다. 이 경우 유출량은 86,669,194kg으로 유입량에 비해 많으며 건성

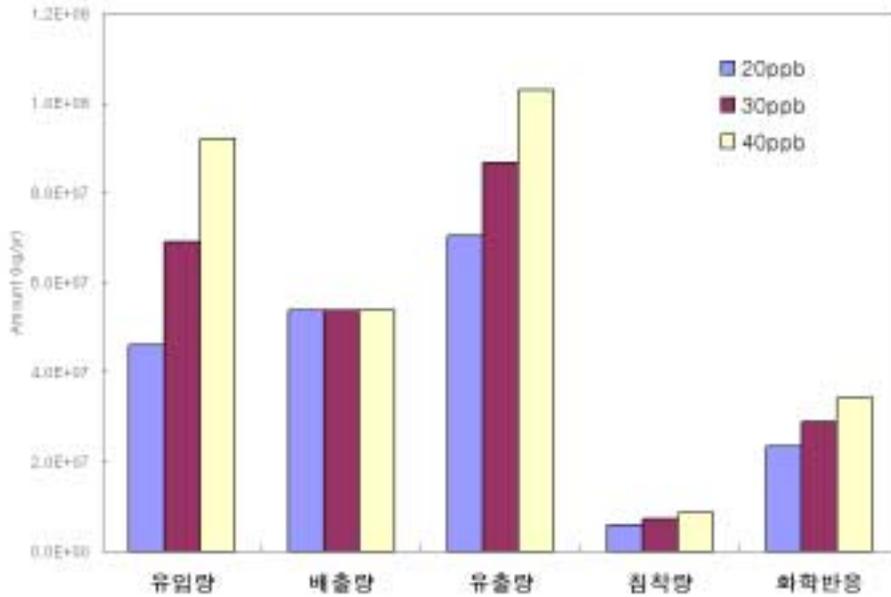
침착량은 7,222,433kg으로 총유입되는 양(외부 유입량+배출량) 중 5.9%가 이를 통해 제거되는 것을 볼 수 있다. Case 2와 3은 유입농도가 각각 40ppb로 증가하는 경우와 20ppb로 감소하는 경우로 <그림 4-6>에서 볼 수 있듯이 유입농도가 증가함에 따라 유입량은 물론 유출량, 건성침착량, 화학반응에 참가하는 양이 증가하는 것을 볼 수 있다.

<표 4-9> Case별 모사 조건

Case	Height m	Length m	Width m	Time day	Cin ppb	Temp °C	Wind m/s	Eri-NOx kg/yr	Kdd cm/sec
1	1000	25000	25000	365	30	15	1.5	117805626	0.5
2	1000	25000	25000	365	40	15	1.5	117805626	0.5
3	1000	25000	25000	365	20	15	1.5	117805626	0.5
4	1000	25000	25000	365	30	15	1	117805626	0.5
5	1000	25000	25000	365	30	15	2	117805626	0.5
6	800	25000	25000	365	30	15	1.5	117805626	0.5
7	1200	25000	25000	365	30	15	1.5	117805626	0.5
8	1000	25000	25000	365	30	15	1.5	117805626	0.1
9	1000	25000	25000	365	30	15	1.5	117805626	1.0
10	1000	25000	25000	365	30	15	1.5	141366751	0.5
11	1000	25000	25000	365	30	15	1.5	176708439	0.5

<표 4-10> Case별 모사 결과

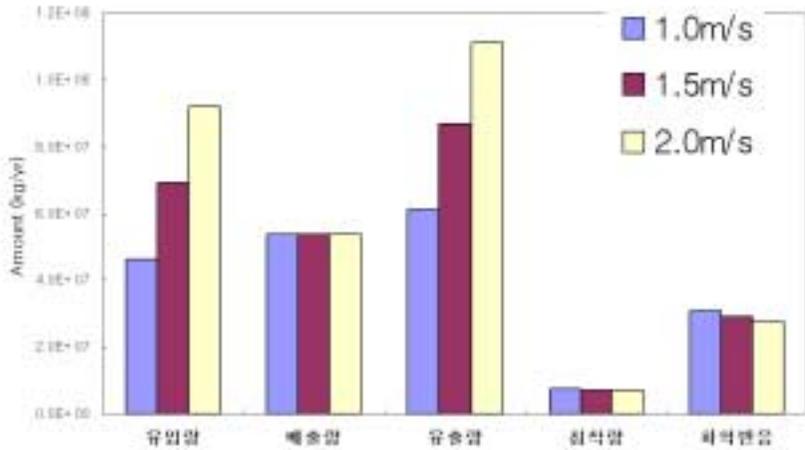
Case	유입량		배출량		유출량		침착량		화학반응량	
	kg/yr	%	kg/yr	%	kg/yr	%	kg/yr	%	kg/yr	%
1	69061992	56.2	53719365	43.8	86669194	70.6	7222433	5.9	28889731	23.5
2	92082656	63.2	53719365	36.8	102919074	70.6	8576590	5.9	34306358	23.5
3	46041328	46.2	53719365	53.8	70419313	70.6	5868276	5.9	23473104	23.5
4	46041328	46.2	53719365	53.8	61391196	61.5	7673900	7.7	30695598	30.8
5	92082656	63.2	53719365	36.8	111087255	76.2	6942953	4.8	27771814	19.0
6	55249594	50.7	53719365	49.3	75804493	69.6	7896301	7.3	25268164	23.2
7	82874391	60.7	53719365	39.3	97373767	71.3	6762067	5.0	32457922	23.8
8	69061992	56.2	53719365	43.8	90949154	74.1	1515819	1.2	30316385	24.7
9	69061992	56.2	53719365	43.8	81854238	66.7	13642373	11.1	27284746	22.2
10	69061992	51.7	64463239	48.3	94253104	70.6	7854425	5.9	31417701	23.5
11	69061992	46.2	80579048	53.8	105628970	70.6	8802414	5.9	35209657	23.5



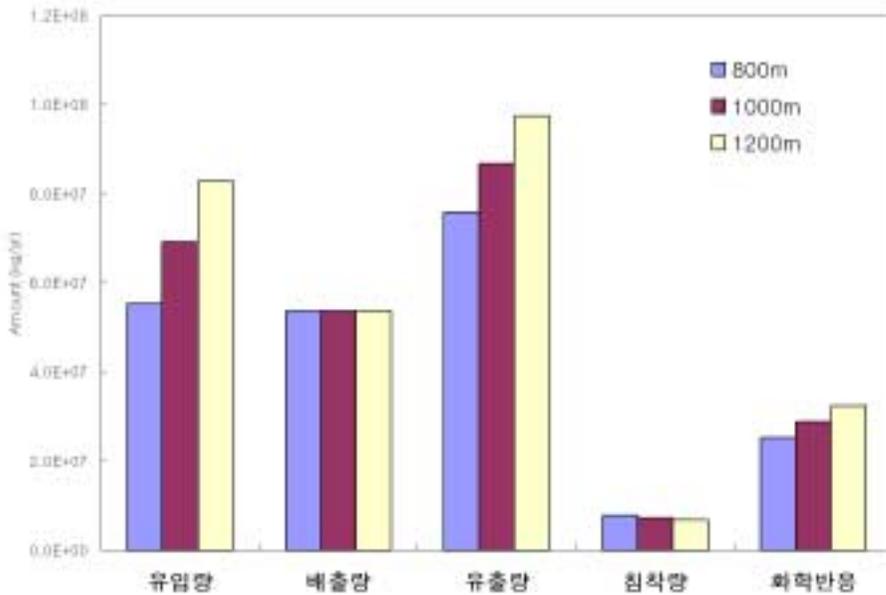
〈그림 4-6〉 유입농도 변화에 따른 모사결과 변화

Case 4와 5는 연간 평균풍속 변화에 따른 영향을 파악하기 위한 것으로 Case 4의 경우 평균풍속이 1m/sec이며, Case 5의 경우 평균풍속이 2m/sec로 증가한 경우이다. Case 4와 같이 풍속이 감소하게 되면 유입량보다 배출량이 커지게 되며 Case 1에 비해 유출량도 감소하게 되는 반면 건성 침착량과 화학반응에 참가하는 양이 증가하게 된다. Case 5와 같이 풍속이 2m/sec로 증가하게 되면 Case 4와 상반되는 결과를 보인다. 〈그림 4-7〉을 보면 〈그림 4-6〉과 마찬가지로 배출량은 일정하고 유입량과 유출량이 증가하나 침착량 및 화학반응량은 감소하는 것을 볼 수 있다.

Case 6과 7은 혼합고(H) 변화에 따른 영향을 보기 위한 것으로 Case 6의 경우 혼합고가 800m로 감소하는 경우 배출량과 유입량이 비슷하게 되며 Case 7과 같이 혼합고가 1200m로 증가하는 경우 유입량이 증가하고 유출량 및 화학반응량이 커지는 대신 건성침착량은 감소하는 것으로 나타났다.



<그림 4-7> 평균풍속 변화에 따른 모사결과 변화



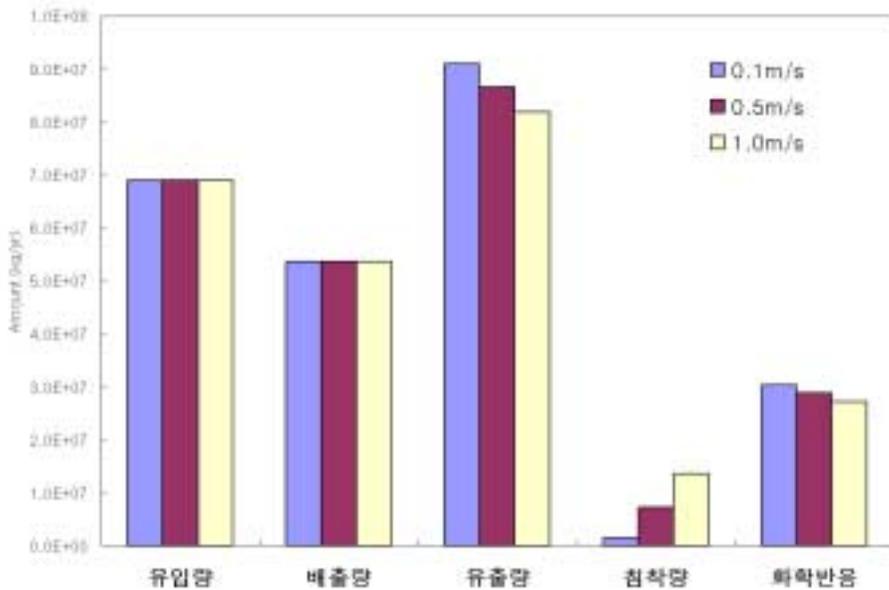
<그림 4-8> 혼합고 변화에 따른 모사결과 변화

Case 8과 9는 건성침착속도가 0.1cm/sec와 1.0cm/sec로 달리하는 경우로 건성 침착속도 증가에 따라 유출량과 화학반응량이 약간씩 감소하는 반면 건성침착량은 전체

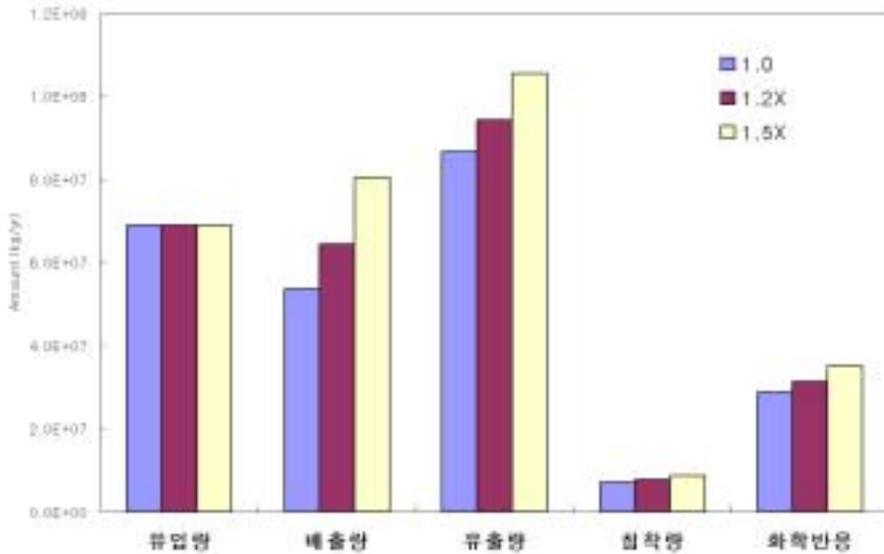
NO₂량 중 1.2%~11.1% 사이에서 변화하는 것으로 나타났다.

Case 10과 11은 유입량은 일정한 반면 배출량이 현재의 1.2배와 1.5 배로 각각 증가하는 경우로 배출량 증가에 따라 유출량, 건성침착량, 그리고 화학반응량 모두 증가하는 것을 볼 수 있다(<그림 4-10> 참조).

전체적으로 볼 때 바람에 의해 외부로부터 유입되는 NO₂ 양이 현재 서울에서 배출되는 양에 비해 비슷하거나 큰 것을 볼 수 있으며, 대부분 바람에 의한 수송에 의해 서울시에서 배출되거나 유입된 NO₂가 외부로 유출되는 것을 볼 수 있다. 모사결과 유입량은 46,000ton/yr~92,000ton/yr 사이에서 변화하였으며, 유출량은 서울시 배출량에 의해 이보다 많은 61,000ton/yr~110,000ton/yr 사이에서 변화하였다. 건성침착되는 양은 1%~11% 내외에서 조사되었으며 화학반응에 참가하는 양은 20~30% 정도로 나타났다.



<그림 4-9> 건성침착속도 변화에 따른 모사결과 변화



〈그림 4-10〉 배출량 증가에 따른 모사결과 변화

이 상자 모델을 시스템 다이내믹스 모델로 전환하면 아래와 〈그림 4-11〉, 〈그림 4-12〉와 같은 Box Model로 표현될 수 있다. 이 상자 모델의 행태는 〈그림 4-13〉에 나타나 있는데 서울시의 NO₂ 배출량이 일정할 때 서울시 대기중 NO₂의 연간 농도는 약38ppb 수준에서 유지되고 있음을 보여주고 있다. 위 Case 1~11은 혼합고, 유입농도, 풍속, 침착속도의 변화에 따른 모사결과를 보여주고 있는데 각 Case별로 상자 모델을 적용해야 할 것이나, 여기서는 이중혼합고 1km, 유입농도 30ppb, 풍속 1.5m/sec, 건성 침착 도심 및 녹지 0.33cm/sec, 0.98cm/sec의 경우로 한정하기로 한다.



〈그림 4-11〉 상자 모델 인과지도

이 상자 모델을 환경부분모델에서 서울시의 녹지와 결합하였는데 이에 대한 인과 지도에 입각한 개념도는 다음과 같다.



〈그림 4-14〉 환경부문의 인과지도

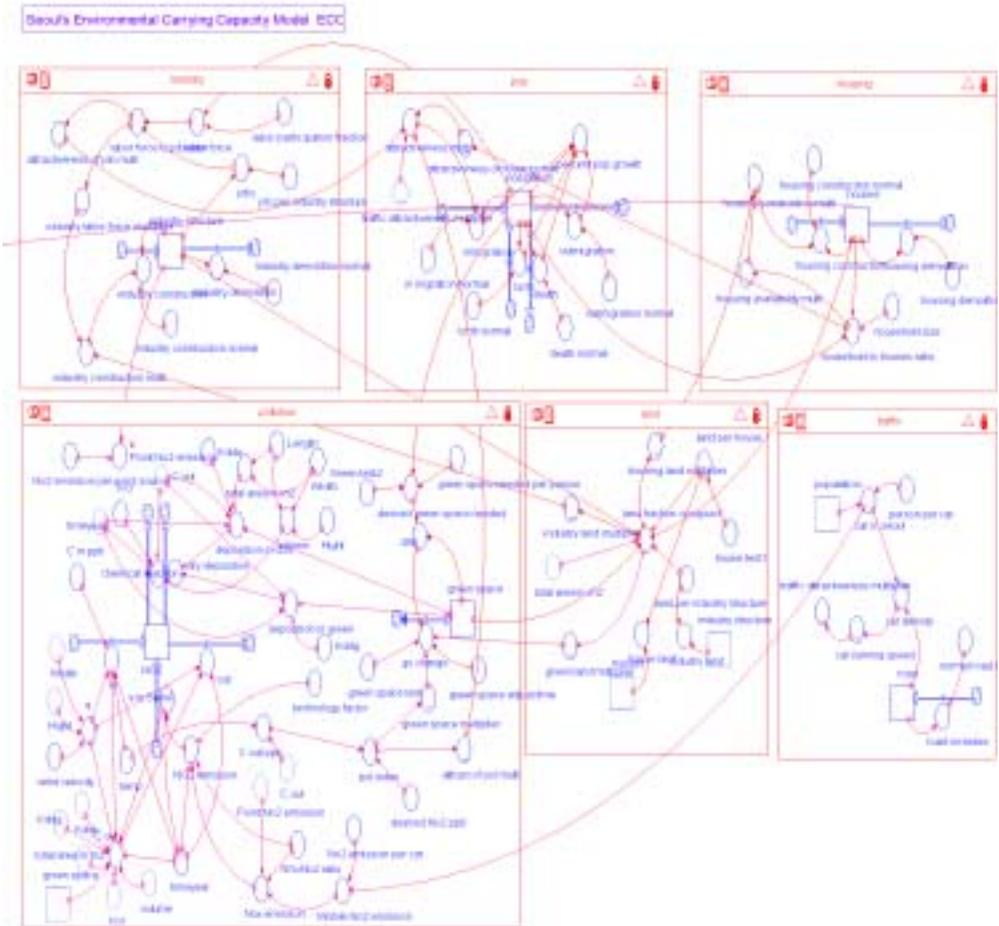
환경부문 모델을 간략히 설명하면 다음과 같다. 고정오염원인 산업부문·주거부문과 이동오염원인 자동차에서 배출되는 이산화질소는 이 모델에서의 주된 오염물질로 설정되고 있다. 서울시 이산화질소의 대기중 농도는 서울시로 유입되는 외부로부터의 이산화질소의 유입량과 서울시에서 발생하는 이동오염원과 고정오염원으로부터의 이산화질소의 배출량, 그리고 이들 이산화질소가 화학반응으로 다른 물질로 변하는 양, 그리고 건성침착(dry deposition)되는 양의 크기에 의하여 결정된다. 건성침착은 녹지에서 일어나는 이산화질소의 침착과 도심지역의 비녹지지역에서 일어나는 이산화질소의 침착으로 구성되는데 물론 녹지지역에서의 이산화질소의 침착이 훨씬 더 빠른 속도로 많이 이루어진다.

이 인과지도의 그림에서 녹지가 포함되고, 굵은 선으로 표시된 인과관계의 루프들

이 보이는데 이 인과관계는 사실적인 인과관계를 나타낸다기보다는 이 모델이 목표대기질로 근접해 갈 수 있도록 하는 힘을 발휘하고 궁극적으로 목표대기질을 이루었을 때 서울시가 수용가능한 인구의 규모나 주택, 산업체, 차량의 규모가 어느 정도인가를 밝히기 위하여 의도적으로 삽입된 인과관계의 루프(loop)이다.

서울시의 대기질이 목표대기질과 현격한 차이가 있어 서울시의 대기오염이 심각해지면 두가지 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 토지 내의 주어진 자연환경인 녹지는 지역주민들에게 신선한 산소를 공급해 주는 한편 고정오염원과 이동오염원에서 배출되는 이산화질소를 흡착하는 흡수원으로서의 역할도 동시에 하기 때문이다. 그러나 녹지의 면적은 무한히 증가할 수 없다. 서울시의 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 비율로 산정하였는데 $\frac{\text{서울시 } NO_2 \text{ppb}}{\text{목표 } NO_2 \text{ppb}}$ 로 계산되었다. 위에서 제시된 인과지도와 지금까지의 설명을 모델의 플로우 다이어그램으로 표시하면 다음 <그림 4-15>와 같다.

서울시환경용량모델



<그림 4-15> 환경부문 플로우 다이어그램

2. 시스템 다이내믹스 모델과의 결합

이상의 환경 모델은 시스템 다이내믹스 모델과 결합되었는데 이를 인과지도로 표시하면 다음 <그림 4-16>과 같다.



<그림 4-16> 서울시 환경용량모델의 인과지도

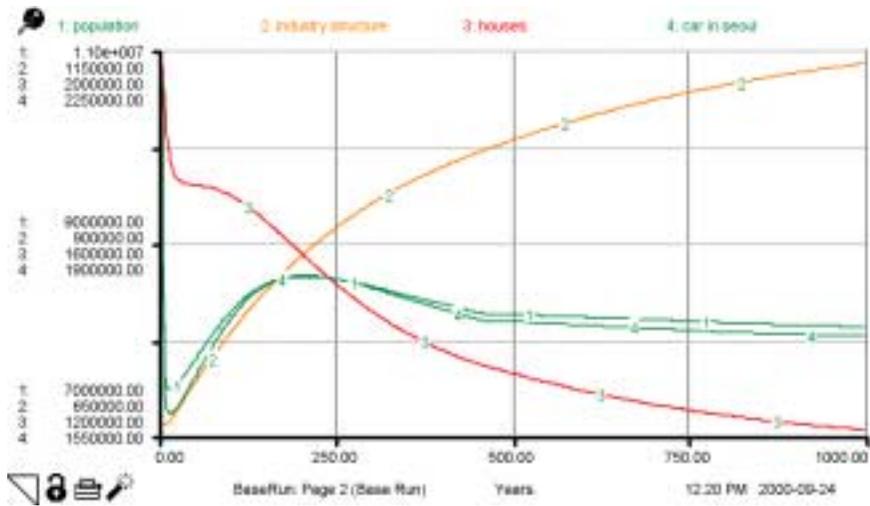
3. 모델 행태와 서울시 환경용량

1) Base Run

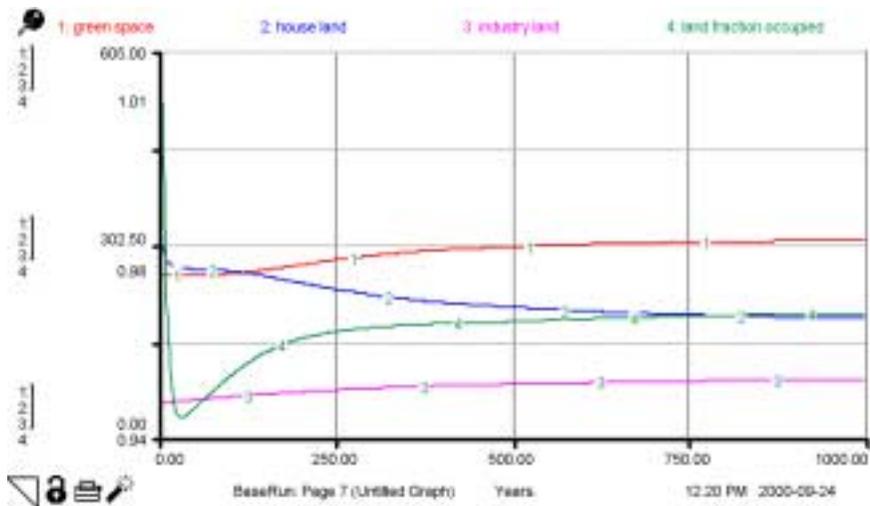
모델을 시뮬레이션한 결과는 아래 그림과 같다. 시뮬레이션 시점 1000에서 각변수들의 값은 대체로 균형을 이루기 시작했으나 사업체의 수는 조금씩 증가하는 경향을 보였다. 안정적인 균형값을 구하기 위하여 <표 4-11>에서 제시된 균형값은 시뮬레이션 시점 3000에서의 값을 취하였다. 여기서 시점 1000, 3000은 시간단위라기보다는 계산회수의 반복으로 보는 것이 이 경우에는 더 적절하며 실질적으로 시간의 개념과는 큰 관계가 없다. 시스템의 균형점에서 각 변수들의 값이 어떤지를 찾는 것이 목적이기 때문이다.

Base Run에서는 서울시의 이산화질소 대기질 목표를 일단은 현재 우리나라의 국가환경기준과 동일한 50ppb로 설정하였다(대기기준에 관해서는 부록 참조). 1999년 현재 서울시 이산화질소 농도는 32ppb인데, 목표 대기질을 50ppb로 둔 것은 서울의 대기질을 더욱 악화시켜야 한다는 의미가 아니라 이론적으로 보아 연평균 이산화질소 50ppb의 대기질을 유지한다고 할 때의 서울시가 수용가능한 최대한의 인구, 산업, 주택, 차량, 녹지 등의 규모가 어느 정도인가를 추정하고 있는 것에 불과하다.

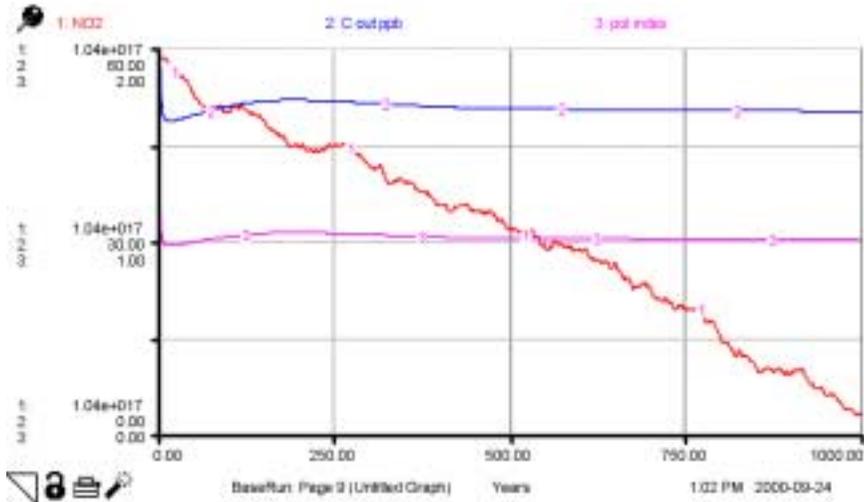
시뮬레이션 균형점에서 각 변수들의 값은 대기중 NO₂의 농도가 연평균기준치인 50ppb를 유지하는 상태에서 수용가능한 최대규모의 인구, 산업체수, 주택수, 산업부지, 택지, 녹지의 규모들을 나타내고 있다. 균형값에서 나타나는 인구, 산업체수, 주택수는 서울시가 이산화질소의 연평균 기준치 50ppb를 기준으로 할 때 서울시가 각종 도시계획의 과정에서 최대 수용규모의 한계로 지켜야 할 서울시의 환경용량이라고도 볼 수 있다.



〈그림 4-17〉 서울시 인구, 산업체, 주택, 차량수의 변화



〈그림 4-18〉 서울시의 녹지, 택지, 산업체부지, 토지점용율 변화



<그림 4-19> 서울시 이산화질소의 농도, 환경지수의 변화

<표 4-11> 균형값에서의 서울시 인구, 사업체, 주택, 차량, 토지이용 값

	초기값	Base Run 균형값*	비 고
인구	10,321,496	8,060,481	명
사업체	663,293	1,203,878	개소
주택	1,968,054	1,155,908	호
차량	2,196,062	1,714,996	대
사업체부지	52.24	94.82	Km ²
택지면적	300.43	176.45	Km ²
녹지면적	253.28	311.79	Km ²
NO ₂	56.79	50	ppb
환경지수	1.14	1.00	서울시 NO ₂ ppb/목표 NO ₂ ppb
세대수/주택비율	1.27	1.82	세대수/주택수
노동/직업수비율	1.07	0.64	노동자수/직업수

주: Base Run : 녹지가 대기질에 따라 변화하고 기술변화가 없다고 가정했을 때
(Green Space test=1, Technology factor=1)

Base Run은 녹지가 대기질의 향상을 위한 주요 수단으로 채택되어 이산화질소의 주된 흡수원으로 역할하도록 하는 경우를 가정한 시물레이션이다. 또 여기서 기술의 발전에 따른 이산화질소의 배출량의 감축은 없다고 가정하였다.

균형점에서 서울시의 이산화질소 농도는 50ppb를 달성하고 있으며 <표4-11>에서

보여지듯이 대기질 50ppb를 기준으로 하는 경우 서울시의 환경용량은 인구규모 약 800만명, 사업체의 수 약 120만개, 주택수 약 115만호, 차량대수 170만대 정도이며 토지이용은 녹지면적 310 Km², 택지면적 176 Km², 사업체 면적 약 95 Km²가 적정 토지 이용 패턴이라고 분석되고 있다.

이 경우 도시의 모습은 세대수-주택 비율 1.82에서 보여지듯이 세대수에 비교하여 주택수가 부족한 상황이며 노동-직업비율은 0.64로 노동자의 수에 비교하여 직업의 수가 많아 직장사정은 양호한 상태의 도시로 분석되고 있다.

2) 녹지와 기술수준이 변화하는 경우 모델의 행태

도시의 대기질에 영향을 미치는 두가지 인위적인 요인은 배출원으로부터의 배출량과 녹지에 의한 오염물질의 흡착이다. Base Run에 이어 이 두가지 요소를 변화시킬 때, 즉 녹지를 변화시키거나 기술수준을 변화시킬 때 나타나는 서울시 한계용량의 변화를 살펴보았다. 우선 첫 번째 실험(Test1)은 녹지를 시뮬레이션 초기값인 현재 서울시의 녹지면적에 고정시키고 변화시키지 않을 경우를 가정하였고 두 번째 실험(Test2)은 녹지를 초기값에 고정시키되 기술변화로 이산화질소 배출량이 20% 감축되는 경우를 가정하였다. 그리고 세 번째 실험(Test3)은 녹지가 변화하고 기술변화로 이산화질소 배출량도 20% 감축한다고 가정하고 시뮬레이션하였다.

<표 4-12> 녹지와 기술이 변화하는 경우 서울시 한계용량의 변화

	초기값	Base Run 균형값*	Test1	Test2	Test3
인구	10,321,496	8,060,481	9,799,562	9,799,562	9,799,569
사업체	663,293	1,203,878	1,457,211	1,457,211	1,457,211
주택	1,968,054	1,155,908	1,408,465	1,408,465	1,408,465
차량	2,196,062	1,714,996	2,085,013	2,085,013	2,085,013
사업체부지 K ^{m2}	52.24	94.82	114.77	114.77	114.77
택지면적 K ^{m2}	300.43	176.45	215.01	215.01	215.01
녹지면적 K ^{m2}	253.28	311.79	253.28	253.28	253.28
NO ₂ in ppb	56.79	50	55.99	49.28	49.28
환경지수	1.14	1.00	1.12	0.99	0.99
세대수-주택비율	1.27	1.82	1.81	1.81	1.81
노동-직업수비율	1.07	0.64	0.64	0.64	0.64

- 주: Base Run: 녹지가 대기질에 따라 변화하고 기술변화가 없다고 가정했을 때
 (Green Space test=1, Technology factor=1)
 Test1: 녹지를 초기값에 고정시키고 변화시키지 않을 경우
 Test2: 녹지를 초기값에 고정시키되 이산화질소 배출량 20% 감축하는 경우
 Test3: 녹지가 변화하고 이산화질소 배출량을 20% 감축한다고 가정할 때

녹지가 확대되지 않고 동시에 기술수준도 동일하여 배출량의 변화가 없는 경우 서울시의 대기질은 55.99ppb가 된다. 그러나 기술변화로 이산화질소의 배출량이 20% 감축할 수 있다면 추가적인 녹지면적의 증가 없이도 서울시의 대기질은 50ppb를 초과달성할 수 있어 최대규모의 인구를 수용할 수 있는 것으로 나타나고 있다. 녹지면적의 변화가 허용되는 Test3에서 녹지면적의 증가가 일어나지 않고 있는 것은 이미 배출량의 감소로 목표 대기질을 서울시가 달성하고 있는 상태이기 때문에 추가적인 녹지면적의 확대가 목표대기질의 달성을 위하여 필요없었다는 의미이다. 이 경우 서울시의 모습은 여전히 세대수-주택의 비율이 높아 주택부족현상이 있는 반면 노동-직업의 비율은 낮아 직업사정은 양호한 것으로 나타나고 있다.

요약하면, 기술수준의 향상으로 현재 서울시의 이산화질소 배출량을 20%정도 감축할 수 있다면 서울시는 추가적인 녹지면적의 확대 없이도 50ppb를 달성할 수 있으며 이때 서울시의 환경용량은 인구규모 약 980만명, 사업체 약 145만개소, 주택 약 140만호, 차량 200만대의 규모이며 토지이용은 사업체부지면적 114K^m², 택지면적 약 215K^m², 녹지면적 250K^m²의 배분으로 나타나고 있다.

3) 목표대기질을 30ppb로 하는 경우

세계각국의 이산화질소 대기질 기준은 다음과 같다.

<표 4-13> 세계각국의 이산화질소 대기질 기준

구분		한 국	미 국	캐나다	이태리	스위스	터 키	일 본
NO ₂ (ppm)	년 평균	0.05	0.053	0.05	-	0.02	0.05	-
	24시간 평균	0.08	-	0.11	-	0.04	-	0.04-0.06
	1시간 평균	0.15	-	0.21	0.11	0.05/30분	0.16	-
구분		태 국	싱가포르	대 만	홍 콩	WHO 권고기준	EC 권고기준	
NO ₂ (ppm)	년 평균	-	0.05	0.05	0.04	0.021	0.021	
	24시간 평균	-	-	-	0.08	-	-	
	1시간 평균	0.17	0.10-0.17	0.25	0.16	0.105	0.105	

서울시의 대기질 목표를 30ppb로 하는 경우 서울시의 한계용량은 다음 몇가지 경우로 나누어 분석된다.

<표 4-14> 목표대기질 30ppb인 경우 서울시의 한계용량

	초기값	Base Run 균형값*	Test4	Test5	Test6	Test7
인구	10,321,496	8,060,481	2,040,032	9,547,640	2,803,709	9,727,559
사업체	663,293	1,203,878	342,651	1,442,759	439,725	1,452,303
주택	1,968,054	1,155,908	278,864	1,413,337	392,739	1,410,532
차량	2,196,062	1,714,996	434,049	2,031,412	596,533	2,069,693
사업체부지 K ^{mf}	52.24	94.82	26.99	113.63	34.63	114.38
택지면적 K ^{mf}	300.43	176.45	42.57	215.75	59.95	215.32
녹지면적 K ^{mf}	253.28	311.79	513.66	253.28	488.58	253.28
NO ₂ in ppb	56.79	50	29.37	55.29	30.04	49.12
환경지수	1.14	1.00	0.98	1.84	1.00	1.64
세대수-주택비율	1.27	1.82	1.91	1.76	1.86	1.80
노동-직업수비율	1.07	0.64	0.57	0.63	0.61	0.64

Test4: 녹지면적이 변하고 기술변화가 없을 경우

Test5: 녹지면적이 변하지 않고 기술변화가 없을 경우

Test6: 녹지면적이 변하고 기술변화가 있는 경우

Test7: 녹지면적이 변하지 않고 기술변화가 있는 경우

첫째, 배출량의 감소 없이 녹지면적의 증대만을 통하여 서울시의 대기질을 향상시키는 경우(Test 4) 서울시의 환경용량은 적정인구규모 200만명, 사업체 수 34만개소, 주택 27만 호, 차량 43만대 등으로 급격한 한계용량의 감소에 직면한다. 따라서 서울시의 대기질 개선을 위해서는 녹지의 확충을 통한 방법으로는 한계가 있다. 현 서울시의 인구가 1,032만명인 것을 감안한다면 대기질을 30ppb로 향상시키기 위하여 인구의 규모를 200만명 선으로 줄이는 것은 현실적으로 힘든 일이기 때문이다.

둘째, 녹지면적도 증가시키지 않고 배출량도 감소시키지 않을 경우(Test 5) 목표 대기질을 달성할 수는 물론 없다.

셋째, 녹지를 증가시키고 기술의 변화로 이산화질소의 배출량을 20% 줄이는 데 성공하는 경우(Test 6) 서울시의 인구는 최대한 280만명 선까지는 수용이 가능한 것으로 분석되고 있다. 이 경우 대기질은 목표 대기질을 달성하고 있으나 역시 녹지면적이 서울시에서 큰 비중을 차지하게 되어 사업체 면적과 택지면적을 압박함으로써 적정 인구 규모를 크게 억제하고 있는 것이다.

넷째, 녹지면적을 그대로 두고 배출량을 20% 감소시키는 경우 서울시의 대기질은 목표대기질을 달성하지 못한다. 대기질의 기준이 50ppb였을 때와는 달리 이산화질소 배출량의 20% 감축을 통해서만 30ppb라는 대기질 목표를 달성할 수 없다. 서울시가 대기중 이산화질소 농도 30ppb라는 대기질 목표를 달성하기 위해서는 20% 이상의 이산화질소 배출량의 감소를 기술적으로 이룩하던지 그렇지 않으면 표에서 보여지는 바와 같이 한계용량내로 도시규모의 축소가 불가피하다고 볼 수 있다.

4) 목표대기질을 40ppb로 하는 경우

대기중 이산화질소 농도 30ppb와 국가환경기준치인 50ppb의 중간으로 서울시 환경기준인 40ppb를 목표로 하는 경우 서울시의 환경용량은 아래와 같이 분석된다.

첫째, 기술발전을 통한 이산화질소 배출량의 감축이 없고 녹지의 확충만을 통하여 대기질 개선을 도모할 때(Test 8) 목표 대기질 40ppb를 달성하는 상태에서 서울시의 환경한계용량은 인구규모 515만명, 사업체 77만개소, 주택 73만호, 차량 100만대 등이며 토지이용은 사업체 부지 61K^m², 택지면적 112K^m², 녹지면적 409K^m²로 나타나고 있다.

<표 4-15> 목표대기질 40ppb인 경우 서울시의 환경한계용량

	초기값	Base Run 균형값*	Test 8	Test 9	Test 10
인구	10,321,496	8,060,481	5,151,317	9,803,894	6,433,971
사업체	663,293	1,203,878	773,688	1,457,578	963,113
주택	1,968,054	1,155,908	736,638	1,408,295	921,607
차량	2,196,062	1,714,996	1,096,025	2,085,935	1,368,930
사업체부지 K ^{m²}	52.24	94.82	60.93	114.80	75.85
택지면적 K ^{m²}	300.43	176.45	112.45	214.98	140.69
녹지면적 K ^{m²}	253.28	311.79	409.69	253.28	366.53
NO ₂ in ppb	56.79	50	40.00	49.29	40
환경지수	1.14	1.00	1.00	1.23	1.00
세대수-주택비율	1.27	1.82	1.82	1.81	1.82
노동-직업수비율	1.07	0.64	0.64	0.64	0.64

Test 8: 녹지를 변화시키고 기술변화가 없는 것으로 가정할 때

Test 9: 녹지를 변화시키지 않고 기술변화가 있는 것으로 가정할 때

Test 10: 녹지를 변화시키고 기술변화가 있는 것으로 가정할 때

둘째, 녹지의 변화 없이 기술변화를 통한 배출량의 변화만 있는 경우(Test 9)에는 서울시의 목표대기질이 달성되지 못함을 보여주고 있다. 50ppb가 기준인 경우와 달리 40ppb가 기준인 경우에도 역시 녹지의 변화 없이 배출량의 20% 감소만으로는 목표대기질 40ppb를 달성할 수 없음을 보여주고 있다. 20% 이상의 이산화질소의 배출량 감소가 필요하다.

셋째, 녹지를 증가시키고 동시에 20% 배출량의 감소를 달성하는 경우(Test 10) 서울시의 환경용량은 인구규모 640만명, 사업체수 96만개소, 주택 92만호, 차량 136만대 등으로 분석되고 토지이용은 사업체 부지 76K^{m²}, 택지면적 140 K^{m²}, 녹지면적 366 K^{m²}등으로 나타나고 있다.

이상의 결과를 종합하면 다음과 같다. 환경용량은 일정한 삶의 질을 지속적으로 유지할 수 있는 수준에서 지역이 지탱할 수 있는 인간활동의 수준이다. 따라서 지역의 환경용량은 여러 요인에 의하여 영향받는다. 지역의 환경적인 조건은 물론 삶의 질의 목표, 기술수준에 밀접한 영향을 받는다. 삶의 질의 목표가 높을수록 지역이 지탱할 수 있는 인간활동의 수준은 억제되어야 할 것이며 기술수준이 아주 높아져 오염물질의 배출이 감소된다면 청정기술 덕분에 지역이 지탱할 수 있는 인간활동의 수준은 그만큼 높아질 것이며 따라서 환경용량도 늘어난다고 볼 수 있다.

서울시의 환경용량 역시 서울시의 환경상태, 서울시가 목표로 하는 삶의 질(여기서는 이산화질소의 농도로 표현되는 대기질의 수준)이 어느 정도인가, 그리고 기술수준은 어느 정도인가에 따라 변화한다. 서울시의 환경상태는 외부에 의하여 유입되는 이산화질소의 양과 서울시에서 발생하는 이산화질소의 양, 이산화질소들이 화학적 반응에 의하여, 그리고 건성침착에 의하여 감소되는 양에 의하여 결정된다. 이 과정은 상자 모델을 이용한 시스템 다이내믹스 모델로 서울시의 환경상태를 추정하였다. 또, 서울시가 목표로 하는 삶의 질은 서울시가 일방적으로 정하는 것이 아니라 시민들과 서울시의 미래 비전에 대한 합의에 의해 결정되는 것이라 본다면 본 연구에서 제시된 50ppb, 40ppb, 30ppb 등 대기질의 목표치는 몇 가지 예시에 불과하다 할 수 있다. 이러한 관점에서 이 연구는 대기질의 목표치를 변화시키고, 또 앞으로 일어날 기술변화를 감안하여 서울시의 배출량이 줄어드는 경우와 그렇지 않을 경우를 가정하여 시뮬레이션하였다. 이 결과들을 종합하면 아래 표와 같다.

<표 4-16> 대기질 목표 변화에 따른 서울시 환경한계용량의 변화

목표 대기질		인구	사업체	주택	사업체부지	택지면적	녹지면적
대기질 50ppb	녹지확대	800만	120만	115만	94	176	311
	배출량감소	980만	145만	140만	114	215	253
대기질 40 ppb	녹지확대	980만	145만	140만	114	215	253
	배출량감소	515만	77만	73만	61	112	409
대기질 30 ppb	녹지확대	640만	96만	92만	76	141	367
	배출량감소	204만	34만	28만	27	43	514
대기질 30 ppb	녹지확대	280만	44만	39만	35	60	489
	배출량감소						

첫째, 현재 국가환경기준치인 이산화질소의 대기질 50ppb를 기준으로 볼 때, 현 서울시의 인구규모는 서울시의 환경용량에 크게 벗어나지는 않고 있음을 알 수 있다. 기술발전으로 인한 이산화질소 배출량의 감소가 전혀 없는 경우 서울시의 환경용량은 인구 800만, 사업체 120만, 주택 115만 정도로 분석되고 있다. 물론 이 경우에도 현 서울시의 인구는 1030여만명으로 환경용량의 지탱가능한 인구규모보다 약 230 만명이 초과

되고 있음을 알 수 있다. 녹지면적은 310K㎡, 택지면적은 176K㎡, 사업체 부지면적은 약 94K㎡ 정도로 나타나고 있다.

둘째, 서울시가 이산화질소의 배출량을 20% 줄일 수 있다면 녹지의 확충 없이도 대기질 목표 50ppb를 달성할 수 있으며 이 경우 서울시의 환경용량은 크게 증가한다. 서울시의 환경용량은 인구 980만, 사업체 145만, 주택 140만호의 규모로 나타나고 있다. 인구의 수용규모가 늘어난 것은 배출량의 감소로 인하여 녹지의 확충 없이도 대기질 목표를 달성할 수 있으므로 녹지로 전환되던 토지가 이제는 사업체와 주택에 이용될 수 있기 때문이다.

셋째, 이산화질소의 대기중 농도 40ppb를 대기질의 목표로 설정한다면 서울시의 환경용량은 그에 상응하게 축소한다. 더 높은 삶의 질을 유지하기 위해서 인간활동의 수준이 그만큼 축소되어야 한다는 것이다. 배출량의 감소가 전혀 없고 녹지의 확대에만 의존하는 경우를 상정한다면 서울시의 환경용량은 인구 515만 정도로 나타나고 있으며 녹지의 확대와 배출량의 감소가 동시에 가능할 경우 서울시의 환경용량은 인구 640만 명 정도로 분석되고 있다. 이 경우 배출량의 20% 감소만으로 서울시의 환경목표치를 달성할 수 없다. 따라서 배출량의 감소만으로 서울시 대기질의 목표치를 달성하기 위해서는 배출량의 감소가 20%를 훨씬 상회할 수 있어야 한다.

넷째, 대기질의 목표치가 30ppb로 가계되면 서울시의 환경용량은 급격히 축소한다. 이 경우 서울시의 환경용량은 인구규모 200만에서 280만명으로 축소하는데 이산화질소 배출량의 감소가 없는 경우 200만명이, 배출량의 감소가 이루어지는 경우 280만명 정도로 적정 인구규모가 분석되었다. 이 경우도 배출량의 감소만으로는 목표 대기질을 달성할 수 없는데 30ppb라는 목표 대기질을 배출량의 감소로 달성하기 위해서는 20% 이상의 이산화질소의 배출량 감소가 이루어져야 한다.

이상의 결과에서 한가지 염두에 두어야 할 사안은 서울시가 현재 서울시 이산화질소 환경기준인 40ppb를 달성하고 있다고 하여 서울시가 환경용량의 범위내에 있다는 것은 아니라는 점이다. 서울시의 이산화질소 연간 평균기준은 40ppb로 국가 환경기준 50ppb보다 엄격한 환경기준을 설정하고 있다. 서울시의 이산화질소 농도는 1999년 현재 연평균 32ppb로 국가환경기준은 물론 서울시의 대기환경기준을 달성하고 있다. 그러나 서울시가 목표 환경기준을 달성하고 있다고 하여 이것이 곧 서울시의 인구나 주택의 규모, 산업활동의 규모, 교통량의 규모 등이 환경용량의 범위내에 있다는 것을 의

미하는 것은 아니다. 이것은 인구 1000만 서울시가 이산화질소의 연평균농도 32ppb를 달성하고 있다고 하여 환경의 질 32ppb를 목표로 할 때 서울시 인구의 한계용량이 1000만이라고 할 수 없다는 것과 마찬가지로이다. 이러한 차이는 환경용량에 영향을 미치는 주요한 변수중의 하나가 도시녹지인데서 기인한다. 도시의 녹지는 시민들에게 신선한 공기를 공급함은 물론 이산화질소를 비롯한 오염물질을 흡수함으로써 도시의 대기질을 향상시킨다. 그러나 환경용량에 미치는 도시녹지의 역할은 복잡적이다. 도시의 녹지는 대기질을 향상시키는 데 기여하지만 다른 한편으로는 도시의 토지이용을 제한한다. 녹지가 증가하는 만큼 도시의 대기질은 개선되었지만 산업활동과 주택건설에 이용할 수 있었던 토지가 녹지의 용도로 이용됨으로써 도시의 인구수용력은 그만큼 떨어지게 되는 것이다. 결국, 이것은 서울시가 현재 목표 이산화질소 환경기준을 달성하고 있다 하더라도 이는 도시민이 신선한 공기를 공급받는 데 필요한 녹지가 절대적으로 부족한 상태에서 달성하고 있는 성과, 즉 환경용량이 초과된 상태에서 달성하고 있는 대기환경 상태라는 점을 의미한다. 이러한 점은 앞에 설명되는 모델 시뮬레이션 결과인 <표 4-16>에서도 나타나고 있다. 50ppb를 기준으로 하는 환경용량에 필요한 최소한의 녹지는 311K㎡이며, 40ppb를 목표로 하는 환경용량에 필요한 최소한의 녹지는 367K㎡ - 409K㎡ 범위로서 필요한 녹지가 기존의 다른 용도에서 녹지로 전환될 때 이용 가능한 토지의 감소로 인한 인구감소가 불가피하다. 이러한 이유로 서울시가 비록 목표 환경기준을 달성하고 있다 하더라도 이는 환경용량이 초과된 상태에서 달성하고 있는 환경상태를 의미하게 되는 것이며 적정 환경용량의 측면에서 인구규모는 축소되어야 하는 것이다.

제 5 장 서울시 환경용량평가의 정책적 함의

제 1 절 환경용량에 기초한 환경관리체계 구축

제 2 절 토지이용규제제도 정비

제 3 절 불투수 토양피복도 분석의 정책적 함의

제 4 절 시스템 다이내믹스 모델의 정책적 함의

제 5 장 서울시 환경용량평가의 정책적 함의

제 1 절 환경용량에 기초한 환경관리체계 구축

환경용량평가는 환경관리체계를 구축하는 데 있어 기본 자료가 된다. 개발된 환경용량평가 모델을 활용함으로써, 특정지역의 개발사업을 추진함에 있어 경제개발과 환경보전간 선택의 상황이 발생한다. 그 경우에 판단의 근거로서 환경용량평가가 이루어지고 이를 기초로 환경영향평가가 실행될 수 있는 방안이 모색된다면 좀 더 체계적인 환경관리체계가 구축될 것이다. 환경영향평가는 환경영향평가 대상사업의 사업계획을 수립함에 있어서 당해 사업의 시행으로 인하여 환경에 미치는 부정적인 영향을 미리 예측·분석하여 환경영향을 줄이기 위해 만들어진 제도이다. 그러나 인구영향평가, 교통영향평가, 환경영향평가가 서로 통합되는 등 기존 환경영향평가제도가 가진 근본적인 문제점을 극복하기 위한 여러 가지 시도가 있지만, 환경영향평가제도는 서울의 성장관리를 위한 제도로서 한계를 지닌다. 환경영향평가를 실시할 때 해당지역의 환경용량이 풍부하나 그렇지 못하나에 따라 그 환경영향평가 결과는 다른 의미를 지닐 것이다. 그래서 기존의 환경영향평가법 체계 하에서 환경친화적 토지이용의 규제가 가능하기 위해서 환경영향평가와 환경용량 개념간 접목이 필요하다고 판단된다.

제 2 절 토지이용규제제도 정비

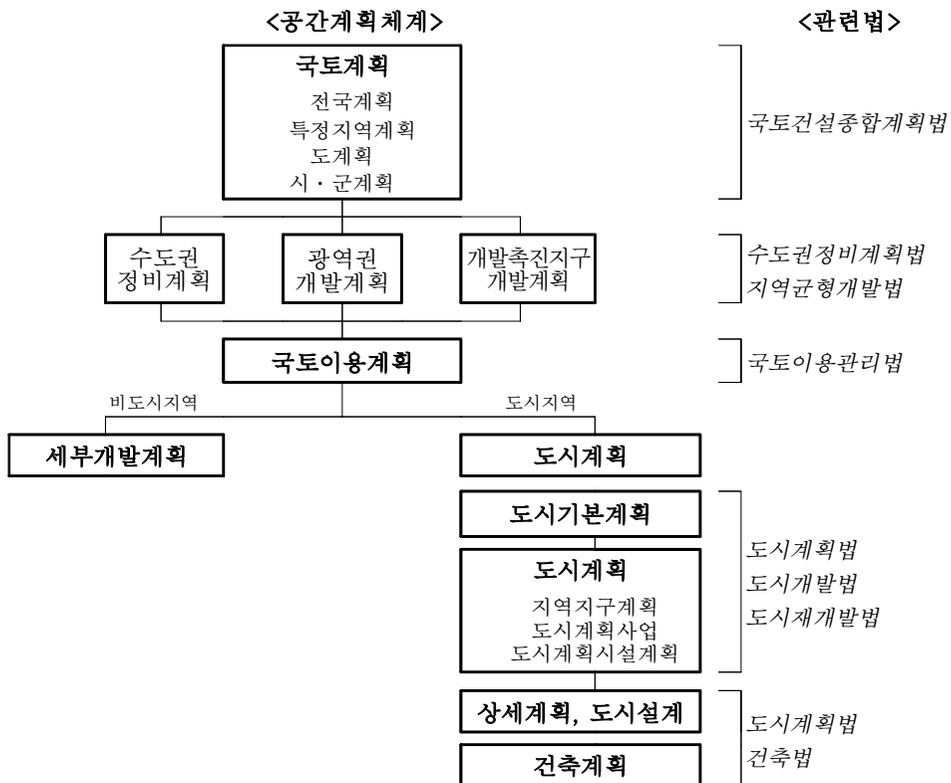
1. 불투수 토양피복도의 정책 반영을 위한 국내외제도 검토

불투수 토양피복도를 증가시켜 환경에 부하를 가중시키는 개발계획이나 정책을 지양하기 위해 향후 도시계획 수립시 불투수 토양피복도를 직접적으로 통제하는 항목을 추가해야 할 것이다. 우선 우리나라의 토지이용 관련 제도를 살펴본 뒤, 구체적 적용방안에 대해 논의한다.

1) 공간계획체계

우리나라의 공간계획체계는 <그림 5-1>을 통해 알 수 있듯이, 최상위의 국토계획을 통해 전국단위의 계획이 이루어지고 있으며, 그 하위에 수도권 정비계획, 광역권 개발계획, 그리고 개발촉진지구 개발계획이 있고, 그 아래 국토이용계획이 존재한다. 그리고 국토이용계획의 하위계획으로 도시계획과 상세계획, 건축계획 등이 존재한다.

국토계획은 국토건설종합계획법에 적용을 받으며, 수도권 정비계획, 광역권 개발계획, 개발촉진지구 개발계획은 수도권정비계획법, 지역균형개발법에 적용을 받는다. 그리고 국토이용계획은 국토이용관리법에, 도시계획은 도시계획법, 도시개발법, 도시재개발법에 적용을 받는다. 그리고 최하위인 상세계획, 건축계획 등은 도시계획법과 건축법에 적용을 받는다.



<그림 5-1> 우리나라의 공간계획체계

2) 용도지역·지구상 용적율·건폐율 규제 강화

건설교통부가 올해 도시계획법 시행령을 전면개정(2000. 7. 1)하면서 용도지역·지구상 용적율과 건폐율 규제를 강화한 것은 도시의 무분별한 개발을 막고 쾌적한 주거환경을 이루겠다는 강한 의지를 보인 것으로 받아들여진다. 그 동안 규제 완화라는 시대 흐름에 이끌려 건축규제를 풀어줌으로써 도시 안에 초고층아파트가 들어서 주거환경을 크게 해쳤던 게 사실이다. 이번 개편을 통해 이런 문제를 해결하고자 하였다. 현행 인구 50만 이상의 도시에만 적용되던 일반주거지역을 모든 도시로 확대해서 일정 기준을 적용하게 되며 그 구체적인 내용은 다음의 <표 5-1>과 같다.

<표 5-1> 용도지역·지구제 변경 내용

현행	변경				
	명칭	지정대상지역	용적율	건폐율	높이
전용주거지역 (용적율 100%)	1종 전용주거지역	주거환경이 양호한 저층, 저밀주택지	80~100%	30~50 %	3층 이하
	2종 전용주거지역	주거환경이 양호한 공동주택지	100~150%	30~50 %	5~15층
일반주거지역 (용적율 400%)	1종 일반주거지역	저층 저밀도의 주택지 (구릉지, 경사지 등)	100~200%	40~60 %	4~5층
	2종 일반주거지역	중층, 중밀도의 주택지 (평지의 일반주택지)	150~250%	40~60 %	10~15 층
	3종 일반주거지역	고층 고밀도의 주택지 (역세권,간선도로변 등)	200~300%	50~60 %	15~20 층
준주거지역 (용적율 700%)	준주거지역	주거기능을 위주로 상업기능을 보완	250%~700 %	50~60 %	15~20 층

자료: 건설교통부

3) 서울시 도시계획조례 제정

2000년 7월 15일 공포된 서울시 도시계획조례에서 개발위주의 사고방식에서 환경중시의 지속가능한 법령체계로 전환을 적극 반영하기 위해서 다음의 <표 5-2>과 같이

중전의 건폐율·용적율에 대한 건축조례 내용을 대폭 수정하였다. 특히 이번의 도시계획조례 제정을 통해서 후손의 삶의 질 향상을 위한 도시환경의 개선을 위해서 5가지 도시관리원칙을 정립하였는데, 첫째로 도심 과밀억제, 둘째로 지역환경의 존중, 셋째로 생산공간(상업지역, 준공업지역)의 보호, 넷째로 도시매력의 증진, 마지막으로 지속가능한 도시생신의 보장이다.

〈표 5-2〉 서울시 건폐율 및 용적율

용도지역	건폐율(%)		용적율(%) : < ()안은 4대문 안 지역 >	
	중전 건축조례	도시계획 조례안	중전건축조례	도시계획 조례안
제 1종 전용주거지역	50이하	50이하	100이하	100이하
제 2종 전용주거지역	-	40	-	120
제 1종 일반주거지역	60	60	200	중구분이 없는 일반주거지역은 2000년 1월부터 300%적용
제 2종 일반주거지역	60	60	300	
제 3종 일반주거지역	60	50	400	
준주거지역	60	60	600	400
중심상업지역	60	60	1,200(800)	800(600)
일반상업지역	60	60	1000(800)	600(500)
근린상업지역	60	60	800(700)	600(500)
유통상업지역	60	60	1000(800)	600(500)
전용공업지역	60	60	200	200
일반공업지역	60	60	300	200
준공업지역	60	60	400	400
보존녹지지역	20	20	50	50
생산녹지지역	20	20	150	50
자연녹지지역	20	20	60	50

자료: 서울특별시 도시계획국, 2000. 6, 「서울특별시도시계획조례안」

그리고 특별지구의 지정을 통해 건전한 환경을 조성하며 보전하고자 하는 내용이 서울시 도시계획조례에 포함되어 있다. 가령 ‘보행우선지구’로 ‘시민의 안전하고 쾌적한

보행환경을 조성하거나 시민의 보행권 확보를 위하여 필요한 지구를 도시계획으로 지정할 수 있다'(서울시 도시계획조례 제9조)고 정하고 있다. 또한 동조례 제16조에서 '도시미관의 증진과 양호한 환경을 조성하기 위하여 건축물의 용도·건폐율·용적율 및 높이 등의 계획적 관리가 필요한 지역은 지구단위계획구역으로 지정해야 한다'고 정하고 있다. 그러나 여기서 토양피복에 관한 세부사항이 포함되어야 건전한 환경 환경을 확보할 수 있는데 현재 서울시 도시계획조례에서 토양피복과 관련된 조항은 앞서 살펴본것과 같이 존재하지 않는다. 미국의 경우, 예를 들면 코네티컷 주의 여러 도시의 지역·지구조례에서 불투수 토양피복에 대한 구체적 규정을 다루고 있는데 그 내용을 상세하게 살펴보면 다음과 같다.

<표 5-3> 코네티컷주 여러 도시의 지역·지구조례의 불투수 토양피복도 규정

● 주거지역

도 시	구 분	최소필지면적	최대건물면적 (%)	허용가능불투수 토양피복도(%)
안소니아(Ansonia)	AA	30,000 ft ²	20	40
	A	12,500 ft ²	25	45
	B	7,500 ft ²	35	60
베를린(Berlin)	PR-1	20 acres	10	25
	PR-2	7 acres	15	30
	PR-3	5 acres	20	40
볼튼(Bolton)	다가구 주거지구	-	-	20
에섹스(Essex)	단일주거가구의 집단적 개발지역	10 acres	15	25
스트렛포드(Stratford)	단독가구 주거지구	200,000 ft ²	0.5	0.5
	주택개발지구	120,000 ft ²	20	45
플리머스(Plymouth)	계획주택 개발지역	10 acres	-	35
	노인주거 개발지역	-	-	50

도 시	구 분	세부항목	허용피복 (%)
사우스 윈저 (South Windsor)	교외주거지역	박애주의, 교육, 레크레이션, 종교와 관련된 시설	50
		전화교환, 환승시설, 버스, 전철대기실, 승객대기실 등	35
		두 거리의 코너에 위치한 지역	50
		병원, 위생시설 등	50
		9홀 이상의 골프코스	10
		말(horse)과 관련된 상업시설(건물, 토지 등)	20
		은퇴한 어른들을 위한 주택	40
	일반주거지역	-	60
		최대 3명의 세입자를 가진 하숙집(여행자, 유숙자 제외)	10
		마구간	20
계획주거지역	-	30	

● 업무지역

도 시	구 분	최소필지 면적	최대건물 피복(%)	허용가능최대 불투수토양피복(%)	
베를린(Berlin)	OL (업무연구지구)	25 acres	25	60	
	POD (계획업무개발 지구)	10 acres	25	50	
브룩클린(Brooklyn)	-	-	20	80	
엘링턴(Elmington)	업무전문지구	3 acres	15	60	
로키힐(Rocky Hill)	행정업무지구	3 acres	-	55 (multi-story) 65 (single-story)	
스트랫포드(Stratford)	제한업무지구	9,000 ft ²	25	70	
	연안 업무지 구	Marine Uses	10,000 ft ²	35	70
		Mixed Uses	10,000 ft ²	25	60
	예술업무지구	-	25	40	
사우스 윈저 (South Windsor)	업무단지지구	-	30	50	

● 상업지역

도 시	구 분	최소필지면적	최대건물면적 (%)	허용가능최대 불투수토양피복(%)
브룩클린(Brooklyn)	상업지역	1 acre	20	80
	근린상업지역	-	20	80
스트랫포드(Stratford)	소매상업지구	7,500 ft ²	50	80
	전문상업지구	20,000 ft ²	-	80
플레인필드(Rainfield)	상업지역	4 acres	-	60
사우스 윈저 (South Windsor)	일반상업지역	80,000 ft ²	-	25

● 기타

도 시	구 분	최소필지면적	최대건물면적 (%)	허용가능최대 불투수토양피복(%)
페어필드(Fairfield)	해안지구	-	-	20
플레인필드(Rainfield)	특정수입시설	50 acres	-	25
스트랫포드(Stratford)	해안 및 경공업지구	-	30	70
더햄(Durham)	계획개발단지*	30 acres	-	50
에섹스(Essex)	오픈스페이스**	-	15	25
사우스 윈저 (South Windsor)	통로개발지역***	5 acres	-	65
베를린(Berlin)	G (일반산업지역)	0.5 acres	35	80
	P (계획산업지역)	5 acres	30	60

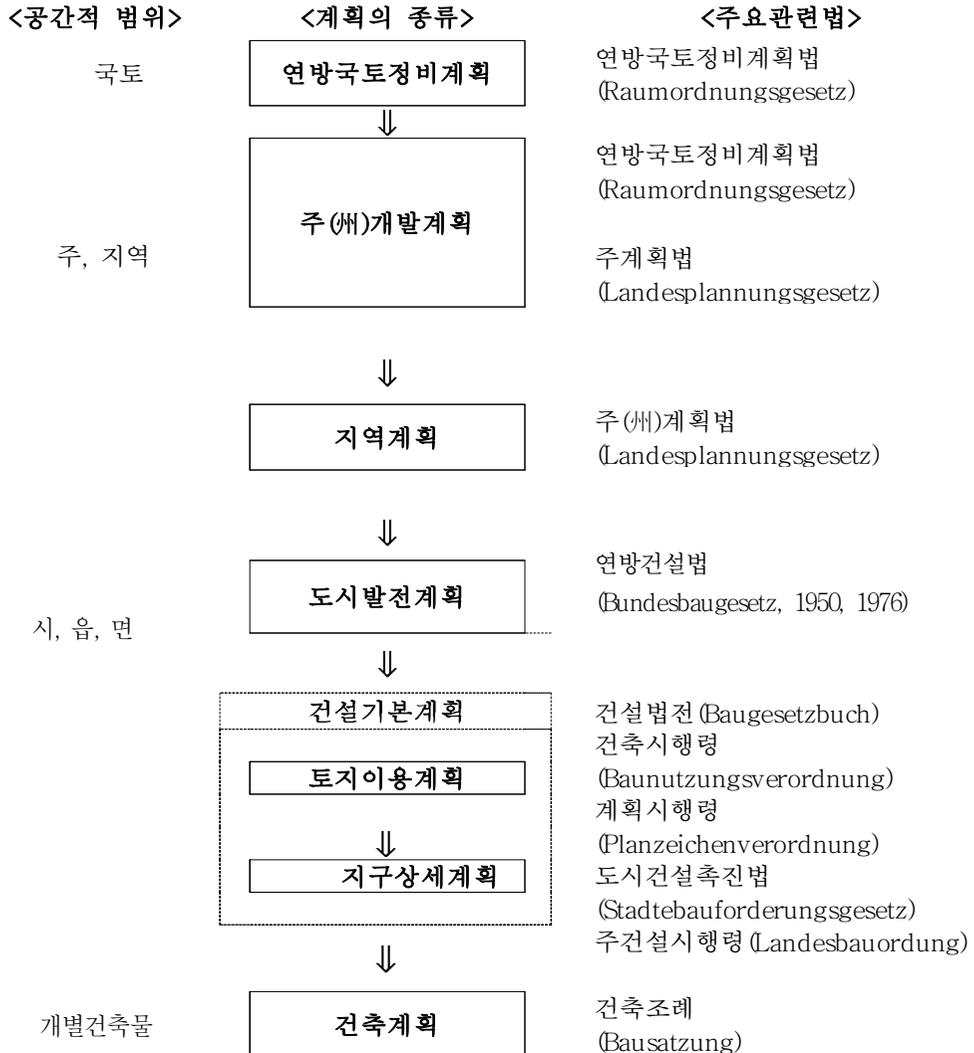
주: * 계획개발단지(Design Development District)는 공업단지와 상업단지의 계획과 개발, 주거와 공공의 조화와 편리성 고려, 적정 오픈스페이스와 주차 등의 고려에 토양 피복 제한규정 마련

** 단일주거형태만이 가능

*** 통로개발지역(Corridor Development Zone): 사이트와 사이트를 연계하는 지역

자료: <http://www.canr.uconn.edu/ces/nemo/gis/imperv.html>

또한 선진외국에서 토양피복도 규정을 법률화시킨 구체적인 예로서 독일의 연방건설법전을 들 수 있다. 이 연방건설법전은 우리나라의 도시계획법과 같은 법으로 사전 준비적인 건설기본계획(F-plan: 우리나라의 토지이용계획에 해당)과 구속력이 있는 건설기본계획(B-plan: 우리나라의 지구상세계획에 해당)의 두 단계 계획을 정하고 있다. 다음의 <그림 5-2>에서 독일의 공간계획체계에서 건설기본계획의 위치를 나타내었다.



<그림 5-2> 독일의 공간계획체계와 주요관련법

자료: 서울특별시a, 비옴 지도의 도시계획의 적용방안, 1999. 10

건설기본계획 입안시 지방자치단체는 상충되는 이해관계의 해소를 위해 종적·횡적으로 형평성을 고려해야 한다. 건설법전 제1조 제5항의 1에서는 “건설기본계획은 지속가능한 도시개발과 공공의 보리에 상응하는 사회적 정당성을 갖는 토지이용을 보장하여 인간을 위한 환경의 보호와 자연기반의 보호개발에 기여해야 한다”고 규정하고 있으며 법 제1a조는 다음과 같은 사항을 명시하고 있다.

동조 제1항에서 “토지는 절약하고 소중하게 다루어져야 하는데 이때 불투수 토양피복은 필요한 경우에만 이루어져야 한다”고 언급하고 있다.

동조 제2항에서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다고 언급하고 있다.

- ① 경관생태계획과 기타 계획들(특히 수질, 폐기물, 대기오염관련법에 의한)
- ② 자연과 경관에 예상되는 침해의 방지와 보정(대체)(연방자연보호법에 의한 침해규정)
- ③ 계획안에 대한 환경영향평가
- ④ 공공사회에 의미를 갖는 지역과 연방자연보호법에 의한 유럽조류보호구역의 보호; 이러한 지역에 커다란 침해가 이루어질 경우 허가에 관한 사항은 연방자연보호법의 규정에 따른다.

동조 제3항에서는 “자연과 경관에 대한 침해에 대한 보정, 보정을 위한 토지 또는 사업은 법 제9조에 따라 적절한 방식을 취한다”라고 규정하고 있다.

이처럼 법규 자체에 불투수 토양피복에 관한 구체적인 언급을 하여 계획이나 건설시에 토양피복을 고려하도록 법규 자체가 규정을 하고 있어, 우리와는 다른 현실을 보이고 있다. 앞으로 서울시도 구체적으로 도시계획조례 등에 불투수 토양피복에 대한 규정을 포함시켜 서울시의 건전한 환경조성에 기여해야 할 것이다.

2. 토지이용계획에서의 환경용량평가

앞으로 규제적 토지이용계획체계는 물리적 개발의 한계를 이해하고, 이를 옹호하기 위하여 환경용량의 개념을 채택해야 한다. 그리고 환경의 질이 희소하고, 다른 목표에 비해 환경적 목표를 우선시해야 하는 지역에서의 개발은 우선적으로 제한되어야 한다. 환경용량은 ‘한 장소의 개발에는 절대적 제한이 있어, 그 한계를 넘으면, 바람직하지

못한 변화가 일어난다'는 개념을 포함하고 있다. 그러므로 먼저 대상지역에 대해서 환경용량평가를 한 후, 이 평가된 환경용량을 고려하여 체계적인 토지이용계획을 세우면 도심 환경부하 감소로 인한 환경질 개선과, 이를 통한 도시의 지속가능성이 확보될 것이다. 이러한 측면에서 지속가능한 개발을 달성하기 위한 규제적 정책수단으로의 토지이용계획이 제 역할을 하는 데 환경용량 개념이 유용하게 활용될 수 있다.

현재의 용도지역·지구제가 충분하지는 않지만, 일정수준에서 환경적 고려가 가능하다는 주장이 제기될 수 있다. 현재의 용도지역·지구제를 포함한 토지이용계획체제가 환경을 고려함에 있어 가지는 한계는 무엇이며, 이 한계가 극복가능한 것인지를 먼저 검토해 볼 필요가 있다. 만약 그 한계가 극복할 수 있는 것이라면 장·단기 개선방안은 무엇인지, 그리고 극복할 수 없다면 그 대안으로 환경용량평가가 유일한 대안인지, 아니면 다른 대안이 존재하는지를 확인해야 한다. 그리고 환경용량평가가 유일한 대체수단이라고 할 때, 이 수단이 가지는 한계는 무엇인지 연구해야 할 것이다.

제 3 절 불투수 토양피복도 분석의 정책적 함의

앞서 논의한 델파이 조사 결과 전문가들은 불투수 토양피복으로 인한 가장 큰 도시환경문제는 물순환체계의 교란으로 보았다. 따라서 서울에서의 빗물순환체계를 개선하기 위한 다각적인 조치가 필요하다. 물순환을 통해 물은 강우라는 수입과 유출 및 증발이라는 지출의 균형을 이룬다. 그리고 총 수량의 수지 중 지출부문은 크게 ①식물에 의한 증산, ②땅이나 물체 표면상에서의 증발, ③지하로의 침투, ④강이나 지천으로의 유출의 넷으로 나뉘어진다.⁹⁾ 원래 자연상태에서의 빗물순환체계는 많은 양의 증발, 적은 양의 유출, 많은 양의 침투라는 현상을 보이거나, 도시지역에서는 빗물의 순환체계가 저해되어 적은 양의 증발, 많은 양의 유출, 적은 양의 침투 현상을 보이게 된다.¹⁰⁾

서울에서의 물순환체계를 자연상태에 가깝게 복원하기 위해서는 녹지를 최대한 확보하고 나무를 많이 심어 식물에 의한 증산이나 증발이 더욱 증가되도록 하여야 한다. 그리고 지하로의 침투를 증가시키기 위해서는 포장시 투수성이 높은 포장재료를 사용

9) 이은희, "생태학적 측면에서 고찰한 빗물 순환체계와 도시화와의 관계", 『한국조경학회지』, 제24권 4호, 1997, p124.

10) 상계논문, p125.

하는 한편 침투우물이나 침투관 등 다양한 침투장치를 설치하여야 한다. 또한 유출을 줄이기 위해서도 옥상녹화, 벽면녹화를 포함하여 녹지면적을 확대하는 한편 침투시설과 저류시설을 최대한 확보해야 한다.

물순환체계의 구축뿐 아니라 수질오염 저감, 쾌적한 도시미기후 조성, 동식물 서식처 확보, 경관 개선 등의 목표를 달성하기 위해서는 다음과 같은 정책들도 추진되어야 한다.

우선 서울시내 공한지를 도시텃밭으로 조성할 필요가 있다. 공한지를 이용한 도시텃밭은 도시생태계를 유지하고 보호하는 역할을 한다. 공한지 상태로 내버려둘 때보다 표토유실을 줄이고 도시의 물순환에 도움을 준다. 또한 도시텃밭이 공장과 주택지 사이, 도로와 주택 사이, 도시중심부에 있을 때에는 공기정화기능, 소음방지기능까지도 수행한다. 도시텃밭은 나아가 동식물의 서식처 역할도 한다. 따라서 놓고 있는 사유지뿐 아니라 사유지도 임시적으로 도시텃밭으로 사용할 수 있도록 허가하는 제도적 장치가 마련되어야 한다. 서울시 당국은 도시텃밭을 시민에게 공급하기 위하여 서울시내에 산재한 여러 형태의 공한지를 체계적으로 조사하고 이를 경작가능지와 경작불가능지로 분류하는 등 공한지 관리를 체계화해야 한다. 도시텃밭은 도시계획 차원에서 다루어져야 한다. 선진외국의 도시텃밭은 공원이나 녹지와 함께 도시의 공적인 녹지대로 인정되어 도시계획의 중요한 요소로 자리잡고 있다. 개별 도시텃밭이 생태공원, 생태계보전지역, 어린이 놀이터 등과 종합적으로 연계되도록 운영되어야 한다.

서울 도심부에서의 녹지 확충에 한계가 있다면, 옥상녹화와 벽면녹화를 시행함으로써 쾌적한 도시기후 조성 및 물순환에 도움을 주도록 하고 동식물의 서식처로도 기능하게 해야 한다. 옥상정원의 유출계수는 0.3¹¹⁾으로서 비포장도로의 유출계수가 0.5인 점을 감안할 때 도시 물순환에 크게 기여할 수 있다. 나아가 빌딩과 빌딩사이에 소규모 공원을 조성하는 한편, 공원내 콘크리트 바닥을 해체할 필요가 있다.

도시계획과 관련하여, 장기적으로는 건폐율에 비례하는 포장세를 신설하거나 불투수 토양피복을 줄이기 위한 인센티브 제도의 도입을 고려해야 하며, 지구단위계획에서의 계획지표로 불투수 토양피복도의 한계를 정할 필요가 있다. 미국 여러 도시의 용도지역조례에서 보듯 도시계획조례에 지역지구별로 최대허용가능 불투수 토양피복율을 정할 필요도 있다.

11) 상계논문, p126 참조.

제 4 절 시스템 다이내믹스 모델의 정책적 함의

시스템 다이내믹스 모델을 통한 분석결과에 기초해서 본 연구는 다음과 같은 몇 가지 정책제안을 한다.

첫째, 서울시는 지속적으로 녹지를 확보하고 이산화질소 등을 비롯한 오염물질의 배출량을 줄이기 위하여 노력하여야 한다. 우선 환경용량의 분석에서 분명히 나타나고 있듯이 오염물질의 배출 억제는 단순히 서울시의 환경상태를 개선하기 위한 것만이 아니라 서울시의 전체적인 환경용량을 증가시키는 수단으로 인식되어야 한다. 일정한 대기질을 유지하기 위해서는 도시내 인간활동의 범위를 축소하든가, 오염물질의 배출량을 축소하든가, 녹지의 규모를 대폭 확충하든가 아니면 서울시로 유입되는 대기질을 개선시키는 방법들 중 몇 가지를 택할 수밖에 없다.

오염물질의 배출 억제는 서울시의 환경용량을 증대시킴으로써 서울시가 지탱할 수 있는 인구규모의 크기와 사업체의 수를 확대하여 서울시의 도시활력을 유지하는 데 결정적인 영향을 미치게 된다. 그리고 녹지의 확보는 서울시의 대기질을 향상시키는 데 중요한 역할을 할 뿐 아니라 서울시의 환경용량을 증대시킨다.

그러나 녹지의 확보로 기대할 수 있는 환경질의 향상에는 한계가 있다. 이는 서울시의 주어진 토지용량 자체에 한계가 있기 때문이며 녹지의 비중이 커질수록 도시의 활력을 유지하는데 중요한 요소인 사업체의 건설에 필요한 토지면적이 부족해지기 때문이다. 녹지만 확보하고 대기질을 유지하더라도 직업이 없고 주택이 부족한 도시는 더 이상 도시로서의 매력을 상실할 뿐 아니라 환경보호, 경제발전, 사회발전 세가지 요소를 중심으로 하는 지속가능한 발전의 개념에도 부합되지 않는다. 다만 녹지를 확보 하되 녹지로 인하여 사업체와 주택면적의 침식이 최소화되도록 집약적이며 임목의 집적량이 큰 고밀의 녹지를 개발해 나가는 것에 더 큰 관심을 가질 필요가 있다.

둘째, 서울시 인구 및 수도권 인구를 적정 수준으로 조정해야 한다. 사실 중앙정부는 1970년대 이래 수도권 인구분산정책을 추진해 왔으나 서울시의 인구는 지속적으로 증가해왔다. 1992년 이후 서울시 인구는 감소추세에 있으나 그간 수도권 인구분산정책이 효과를 보지 못한 중요한 이유 중의 하나는 서울시로의 인구집중을 억제하는 규제 정책이 주가 되었고, 다른 중소도시의 도시매력도를 향상시키기 위한 노력은 상대적으로

로 미약하였기 때문이었다. 최근 국제경쟁력의 강화를 이유로 수도권지역 인구집중억 제정책이 완화되고 있으나 수도권 인구분산정책은 지속적으로 추진될 필요가 있다.

셋째, 서울시민의 삶의 질 향상을 위해서는 서울시의 토지이용패턴이 대폭 수정되 어야 한다. 아래 <표 5-4>는 현재 토지이용형태와 시뮬레이션에 의한 토지이용패턴을 비교하고 있다. 상황에 따라 공장·상업용의 사업체 부지와 택지, 녹지의 면적비는 다 르게 나타나고 있으나 공통적인 것은 택지의 비중보다 녹지의 비중이 더 크다는 점이 다. 이러한 현상은 목표 대기질이 높아질수록 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다는 것을 알 수 있다.

<표 5-4> 서울시 토지이용패턴의 변화

목표		토지	사업체부지(%)	택지면적(%)	녹지면적(%)
현재의 토지이용상태			8.4	49.9	41.7
목표대기질 50ppb	녹지확대		15.5	29.1	51.4
	녹지확대 배출량감소		18.8	35.5	41.8
목표대기질 40ppb	녹지확대		10.1	18.5	67.6
	녹지확대 배출량감소		12.6	23.3	60.7
목표대기질 30ppb	녹지확대		4.5	7.1	84.9
	녹지확대 배출량감소		5.8	9.9	80.8

넷째, 서울시 외곽의 그린벨트는 서울시의 환경용량을 증가시키고 동시에 지속가능 한 도시발전을 위하여 큰 의미를 지니고 있다. 그린벨트에 대한 규제완화 역시 토지이 용권 측면뿐 아니라 도시의 환경용량과 지속가능한 발전을 확보한다는 차원에서도 신 중히 검토되어야 한다. 또 이 연구에서 검토되지는 않았으나 서울시의 환경용량 문제 는 서울시에 국한하기보다는 경기도와 통합적으로 고려되어야 한다. 이것은 서울시의 정책과 계획, 그리고 행정이 경기도와의 긴밀한 협조관계 하에서 조정되어야 한다는 것을 의미한다.

<표 5-5> 수도권 면적과 그린벨트 (km²)

	전체면적	그린벨트
서울	605.4	132.0 (21.8%)
인천	957.8	80.6 (8.4%)
경기	10,136.4	1237.0 (12.2%)
수도권 전체	11,699.6	1449.0 (12.4%)

다섯째, 환경용량모델을 이용하여 지속가능성 지표체계를 마련할 수 있으며 이 지표체계는 서울시의 지속가능성의 정도를 주기적으로 모니터링하는 데 활용될 수 있을 것이다(문태훈, 1998).

제 6 장 결 론

제 6 장 결 론

본 연구에서 서울시 환경용량 평가에 관하여 5장으로 나누어 살펴보았다.

제1장에서는 본 연구의 목적과 필요성 및 연구의 범위와 방법에 대해서 살펴보았다. 여기서 작년의 환경용량평가 관련 연구에서 사용된 오니시 모델, 생태적 발자국 지수 분석, 에머지 분석에 이어 본 연구에서는 불투수 토양피복도 분석과 대기 환경용량 산정을 위한 시스템 다이내믹스 모델을 통해 서울의 환경용량평가에 관하여 연구한다는 점을 명시하였다.

제2장에서는 환경용량평가 모델의 이론적 배경을 제시하였다. 먼저 환경용량평가 관련 개념 정의를 하고, 이를 유형화를 하였다. 그리고 모델 개발 및 적용과 관련하여 국·내외 선행연구 검토를 하였다.

제3장에서는 본 연구에서 다루어진 서울시 토양피복도와 시스템 다이내믹스 모델에 관한 내용을 다루었다. 먼저 불투수 토양피복도에서는 불투수 토양피복의 환경적 영향을 설명하였고, 외국의 불투수 토양피복도 분석 및 정책사례를 보여주었다. 그리고 이 장에서는 시스템 다이내믹스 모델의 기본적 개념 및 체계를 설명하였다.

제4장에서는 불투수 토양피복도에 대한 개념도를 제시한 후, 서울의 불투수 토양피복도 현황을 분석하였다. 그 결과 독일도시가 서울의 불투수 토양피복도(43.05%)와 비슷한 것으로 밝혀졌으나, 서울은 녹지가 상대적으로 외곽에 분포하여 다른 도시에 비해 쾌적성이 떨어짐을 보여주었다.

서울 25개 구 중에서 불투수 토양피복도가 가장 높은 구는 영등포구(67.08%)이고, 가장 낮은 구는 강북구(23.08%)임을 분석을 통해 알 수 있었다. 또한 기온과 불투수 토양피복도간의 관련성을 그림을 통해 제시하였다.

델파이 조사를 통해 서울의 불투수 토양피복도는 36.5%가 되는 것이 바람직하다고 제시하였다. 그 결과를 기초로 서울에서 불투수 토양피복도 개선가능성을 보여주었는데 한강둔치, 보도, 노외주차장 등의 피복면적 현황을 제시한 후 서울시 불투수 토양피복도 개선을 위한 정책방향을 제시하였다.

시스템 다이내믹스 모델 부분에서는 상자 모델을 통해 서울시 이산화질소 농도를 추정하였다. 그리고 이 모델을 도시동태모델과 결합시켰다. 그리고 시뮬레이션한 결과

이산화질소 배출량을 기준으로 서울시의 적정인구를 실험적으로 보여주었고, 기타 적정 차량수, 녹지면적, 택지면적, 사업체부지 등을 모델을 통해 제시하였다.

제5장에서는 서울시 환경용량평가의 정책적 함의를 다루었다. 불투수 토양피복도 개선방안과 관련하여 선진외국의 불투수 토양피복도 관련 법 및 제도를 소개한 후 우리나라 도시계획체계에의 도입방안을 검토하였다. 여기서는 환경용량평가와 환경영향평가간의 연계성, 그리고 토지이용계획에서의 환경용량평가방법 등에 관해 살펴보았다. 그리고 불투수 토양피복도 분석에 따른 정책적 함의와 함께 시스템 다이내믹스 모델을 통한 대기환경용량 분석 결과 도출된 정책제언도 함께 제시하였다.

본 연구는 계량적인 불투수 토양피복도 모델을 개발하지 못하고 개념적 틀만을 제시한 한계가 있다. 향후 불투수 토양피복도와 관련한 유출계수를 기초로 하여 서울시 적정인구 내지 적정 경제활동규모 등도 산정해 볼 수 있을 것이다.

서울시의 토양피복도 개선가능면적을 산출할 시에, 자료부족으로 주차장의 경우 민영주차장은 제외하였으며, 도로의 구조적 측면 즉 도로하부가 복개천인지, 토양인지에 따른 도로의 면적구분이 DB로 존재하지 않아 도로 자체를 고려하지 못하였다. 주거지역, 상업지역, 공업지역 등 용도지역별 불투수 토양피복 면적에 대한 기초자료의 부족으로 보다 엄밀한 불투수 토양피복 개선가능면적을 제시하지 못한 한계도 있다.

또한 본 연구는 불투수 토양피복도와 관련한 도시계획법 및 조례 개정의 필요성을 강조하였으나 구체적인 대안까지를 제시하지는 못하였다.

시스템 다이내믹스 모델 연구와 관련하여 향후 이산화질소뿐 아니라 아황산가스나 이산화탄소 등 몇 가지 오염물질들을 추가한 종합 모델이 개발될 필요가 있다. 또한 시스템 다이내믹스 모델에서 사용된 각종 파라미터들은 기존의 통계치가 존재하는 범위내에서 최대한의 정확도를 기하러 노력하였으나 몇몇 파라미터들은 통계치의 부족으로 최선의 추정에 머무른 경우가 있었음을 인정하지 않을 수 없다. 이러한 파라미터들의 정확도와 이 모델에서 사용된 테이블 함수들의 가정에 따라 최종 환경용량의 결과는 다소 달라질 수 있으나, 이것이 본 연구에 대한 치명적인 결함은 아니라고 보여진다. 시스템 다이내믹스 모델의 특성상 파라미터의 미세한 변화가 모델의 행태에 큰 영향을 미치지 않는기 때문이다. 그러나 대기의 순환체계는 매우 복잡하기 때문에 이산화질소 하나만을 가지고 서울의 대기환경용량 및 적정인구를 산정하고 이에 따라 정책제언을 개선하는 것은 어느 정도 한계를 가진다는 점은 인정해야 할 것이다.

향후 도시 물질대사라는 접근방법을 통하여 일정기간에 걸쳐 산소, 물, 음식물, 종이 등 서울시에 유입되는 물질과 생활폐기물, 이산화탄소, 아황산가스 등 서울시에서 유출되는 물질을 산정하는 연구를 수행함으로써 알기쉽게 서울의 환경용량을 이해하도록 할 필요가 있다.

마지막으로 환경용량을 스톡(stock) 개념으로 접근하느냐 아니면 플로어(flow) 개념으로 접근하느냐에 따라 미래의 변화에 대한 환경용량이 다소 다를 수 있다는 점도 유의할 필요가 있다. 즉 환경기술의 발전에 따라 투입 부문에서 연료규제 등의 통제가 가능하기도 하고 산출 부문에서 오염물질 배출량 등을 제어할 수도 있다는 점은 지적해둘 필요가 있다.

참 고 문 헌

참 고 문 헌

I. 국내문헌

- 강상목, 「우리나라 환경지수 작성에 관한 연구」, 통계청 통계연수원, 1997
- 경기개발연구원, 「경기지역 도시개발용량 평가항목과 평가기준 개발연구」, 1999
- 국토개발연구원, 「중소도시의 성장과 구조」, 1988
- 김도훈·문태훈·김동환, 「시스템 다이내믹스」, 서울: 대영문화사, 1999
- 김선희, 「국토 환경용량에 관한 연구」, 국토연구원, 1999
- 김선희, “환경용량의 개념과 활용동향”, 국토개발연구원 working paper, 1996
- 김연옥, 「기후학 개론」, 서울: 정익사, 1981
- 김영덕, 「효과적인 기초환경 조성을 위한 미기후 관리방안 연구」, 홍익대학교 대학원 석사학위논문, 1984
- 독일 연방건설법전, 2000
- 문태훈, “지속가능한 성장을 위한 환경용량의 산정과 환경지표 개발에 관한 연구” 「한국정책학회보」, 제7권 제1호, 1998
- 문태훈, 「환경정책론」, 서울: 형설출판사, 1999
- 서울시립대학교 도시과학연구원 환경공학센터, 「서울 도심부 하부기반시설의 수용용량분석」, 1998.
- 서울시정개발연구원, 「한강 수질관리 효율화 방안 연구」, 1994
- 서울시정개발연구원, 「우수유출을 저감대책」, 1999
- 서울특별시, 「기본계획보고서 - 서울시관내 하천제방 안전도검사 및 치수종합대책수립」, 1992
- 서울특별시a, 「비오톱지도의 도시계획에의 적용방안」, 1999
- 서울특별시b, 「서울통계연보」, 1999
- 서울특별시a, 「새천년 새서울 가꾸기: 2000 새서울 행동계획」, 2000
- 서울특별시b, 「서울시 비오톱 현황조사 및 생태도시 조성지침수립」 - 1년차 연구보

- 고서, 2000
- 서울특별시c, 「주요 산 경관풍치보전계획」, 2000
- 서울특별시d, 「서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법연구」, 2000
- 서현교, 「환경압력지수 개발 및 적용에 관한 연구」, 서울대학교 환경대학원 석사학위
논문, 1998
- 윤용한, 김은일, 송태갑, "공원녹지가 기온저하에 미치는 영향", 「한국조경학회지」, 제
26권 2호, 1998
- 이은희, "생태학적 측면에서 고찰한 빗물 순환체계와 도시화의 관계", 「한국조경학회
지」, 제24권 4호, 1997
- 이종렬·곽동국, 「도시화의 과정과 원인에 관한 연구 : 서울시 사례분석」, 1993
- 이창우, 「서울시 환경용량 평가에 관한 연구」, 서울시정개발연구원, 1999
- 이현영, 「서울의 도시기온에 관한 연구」, 이화여자대학교 박사학위논문, 1986
- 조현길, 안태원, "도시녹지에 의한 미기후개선에 관한 연구", 「한국조경학회지」, 제27
권 4호, 1999

II. 국외문헌

- Akbari, H., S. Davis, J. Huang, P. Liu, and H. Taha, 1992, "The urban heat island: cause and impacts", in H. Akbari, S. Davis, S. Dorsano, J. Huang, and S. Winnett, eds., *Cooling Our Communities*, Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, 1992
- Alfeld, L. E. & A. K. Graham, *Introduction to Urban Dynamics*, Cambridge, Massachusetts: Wright-Allen Press, 1976
- Balades, J-D, et. al, "Permeable Pavements: pollution Management Tools", *Water Science Tech*, Vol. 32, No. 1, 1995
- Carley, Michael and Philippe Spapens, *Sharing the World: Sustainable Living & Global Equity In the 21st Century*, London: Earthscan, 1998
- Colandini, V. and M. Legret, "Impacts of porous pavement with reservoir

- structure on runoff waters", *7th International Conference on Urban Storm Drainage*, Hannover, 1997
- 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. "A Behavioral Simulation Model of Single and Iterative Negotiations." *Proceedings of the 1990 International System Dynamics Conference*, 1990
- Davis, Kingsley, "Urbanization", in H. M. Hochman ed., *The Urban Economy*, New York: W. W. Norton and Company Inc., 1976
- Douglas, Ian, *The Urban Environment*, Edward Arnold, 1983
- Fearnside, Philip M. "A Stochastic Model for Estimating Human Carrying Capacity in Brazil's Transamazon Highway Colonization Area", *Human Ecology*. Vol. 13, No. 3, 1985
- Fodor, Eben, *Better Not Bigger: How to Take Control of Urban Growth and Improve Your Community*, Gabriola Island, B.C. Canada: New Society Publishers, 1999
- Forrester, Jay W., *Industrial Dynamics*. Cambridge: The MIT Press, 1961
- Forrester, Jay W., *Urban Dynamics*. Cambridge: The MIT Press, 1969
- Forrester, Jay W., *World Dynamics*. Cambridge: Wright–Allen Press, 1971
- Forrester, Jay W. & N. J. Mass, "Urban Dynamics: A Rejoinder to Averch and Levine", W. W. Schroeder et. al eds., *Readings in Urban Dynamics: Volume 2*, Cambridge, Massachusetts: Wright–Allen Press, 1975
- Forrester, Jay W., "System Dynamics – Future Opportunities", *TIMS Studies in the Management Science 14*, North–Holland Publishing Company, 1980
- Forrester, Jay W., "Lessons from System Dynamics Modeling", *System Dynamics Review*, Vol. 3, No. 2 Summer, 1987
- Forrester, Jay W., "System Dynamics as an Organizing Framework for Pre–College

- Education", *System Dynamics Review*, Vol. 9, No. 2, 1993
- Givoni, B, *Climate consideration in Building and Urban Design*, New York: Van Nostrand Reinhold, 1998
- Goodman, Michael R., *Study Notes in System Dynamics*, Portland: Productivity Press, 1974
- Hamilton, H. R. et. al, *System Simulation for Regional Analysis*. Cambridge: The MIT Press, 1969
- Hauser, Phillip M., "Urbanization: An Overview", in Phillip M. Hauser and Leo F. Schnore eds., *The Study of Urbanization*, New York: John Wiley & Sons Inc., 1966
- High Performance Systems, *STELLA II: An Introduction to Systems Thinking*, Hanover Newhampshire: High Performance Systems Inc., 1992
- High Performance Systems, *Stella, An Introduction to System Thinking*, NH, USA: High Performance Systems Inc., 1994
- Johnson, Curtis B., "Some Effects of Data Errors on Econometric Models", *TIMS Studies in the Management Science 14*, North-Holland Publishing Company, 1980
- Kauffman, Gerald, *Use of Impervious Cover thresholds In the Zoning code To Protect Water Resource Protection Areas*, University of Delaware, 1999
- Legasto, Jr. Augusto A. and Joseph Maciariello, "System Dynamics: A Critical Review." *TIMS Studies in the Management Science 14*, North-Holland Publishing Company, 1980
- Legret, Michel and Valerie Colandini, "Effects of a porous pavement with reservoir structure on runoff water: water quality and fate of heavy metals", *Water Science Technology*, Vol. 39, No. 2, 1999
- Mackellar, F. Landis, "On Human Carrying Capacity: A Review Essay on Joel Cohen's How many people can the earth support?", *Population and Development Review*, Vol. 22, No. 1 March, 1996
- Maidment, David et al., *City of Austin Water Quality Master Planning – GIS*

- Model*, University of Texas at Austin, 1998
- Mass, Nathaniel ed., *Readings in Urban Dynamics I*, MA: Wright–Allen Press, 1974
- Mass, Nathaniel J. and Peter M. Senge, "Alternative Tests for Selecting Model Variables" in Jorgen Randers ed, *Elements of the System Dynamics Method*. Massachusetts: The MIT Press, 1980
- Meadows, Donella H., "The Unavoidable A Priori." in Jorgen Randers ed., *Elements of the System Dynamics Method*, Massachusetts: The MIT Press, 1980
- Mittler, Daniel, "Environmental Space and Barriers to Local Sustainability: evidence from Edinburgh, Scotland," *Local Environment*, Vol. 4, No. 3, 1999
- Onishi, Takashi. "A Capacity Approach for Sustainable Urban Development: An Empirical Study" *Regional Studies*. Vol. 28, No. 1, 1994
- Peterson, David W., "Statistical Tools for System Dynamics." in Jorgen Randers ed., *Elements of the System Dynamics Method*, Massachusetts: The MIT Press, 1980
- Randers, Jorgen, *Conceptualizing Dynamic Models of Social System: Lessons from a Study of Social Change*, Ph.D. dissertation, Alfred P. Sloan School of Management, MIT, 1973
- Regional Science Research Institute, *Environmental Study of the Wissahickon Watershed within the City of Philadelphia*, Philadelphia: Pennsylvania, 1973
- Richardson George P., *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*, Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1991
- Richardson, George P. & A. L. Pugh, *Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAMO*, Cambridge, MA: The MIT Press, 1981
- Richardson, George P. & A. L. Pugh, "Reflections for the future of system dynamics", *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, 1999
- Shelby, Bo and Rick Colvinm, "Encounter Measures in Carrying Capacity Research: Actual, Reported, and Diary Contacts", *Journal of Leisure*

- Research*, Vol. 14, No. 4, 1982
- Sterman, John D., "Testing Behavioral Simulation Models by Direct Experiment",
Management Science, Vol. 33, No. 12 December, 1987
- Sustainable Seattle, *Indicators of Sustainable Community*, 1998
- Tank-Nielsen, Carsten, "Sensitivity Analysis in System Dynamics." in Jorgen
 Randers ed., *Elements of the System Dynamics Method*,
 Massachusetts: The MIT Press, 1980
- Tarrant, Michael A., Donald B. K. English, "A Crowding-based Model of Social
 Carrying Capacity: Applications for Whitewater Boating Use", *Journal
 of Leisure Research*, Vol. 28, No. 3, 1996
- Von Wodtke, Mark, "The Carrying Capacity of the Los Angeles Basin", *Cry
 California*, Vol. 5, 1970
- Weitz, Jerry, "From Quiet Revolution to Smart Growth: State Growth Management
 Programs, 1960 to 1999", *Journal of Planning Literature*, Vol. 14, NO. 2
 November, 1999

III. 인터넷 자료

<http://www.canr.ucomm.edu/ces/nemo/gis/imper.html>

<http://www.esva.net/~leo/> (Hardin, G., "Carrying Capacity as an Ethical Concept", 1975)

<http://www.udel.edu/streamflows/impervious/>

<http://www.crwr.utexas.edu/gis/gi.../WEBFILES/Presentation/>

부 록

<부록 1> 시스템 다이내믹스

<부록 2> 각 구별 토지이용형태에 따른 면적

<부록 3> 전문가 델파이 설문조사서

<부록 4> 미국 코네티컷 주 여러 도시의 토양피복규정에
대한 세부규정

<부록 1> 시스템 다이내믹스

부록 A: 서울시 환경한계용량 모델에 사용된 파라미터의 값

[표] 서울시 환경용량모델에서 사용된 파라미터들 (ECC4-211 Model)

변수	값	비고
POLLUTION SECTOR		
C _{in} ppb	30	서울시 유입 대기질 농도
desired NO ₂ in ppb	50	한국환경기준
k _{cr}	0.00002	화학변환속도
k _{ddg}	0.098/100	녹지에서의 건설침착속도 m/sec
k _{dbu}	0.033/100	도심에서의 건설침착속도 m/sec
initial green space	253.28	k ^m 99 서울통계연보
NO ₂ emission per car	38.150	kg/year '99대기통계자료
NO ₂ emission per point source	7.7557	kg/year '99대기통계자료
NO _x /NO ₂ ratio	0.456	
temp	15	온도
wind _{velocity}	1.5	m/sec 풍속
green space needed per person ¹	0.000333	k ^m /person/year
green space adjusted time	5	year
total area	605.5	서울시 면적 k ^m
HOUSING SECTOR		
initial house	1968054	호 98서울시주택수
household size	3.84	people 98 도시연감
housing construction normal	0.04691	90-98 연평균 증가율 서울통계연감
housing demolition normal	0.017	주택평균수명 약60년
INDUSTRY SECTOR		
initial industry structure	663293	98사업체수
industry construction normal	0.02	91-98 연평균증가율
industry demolition normal	0.001	
job per industry structure	5.1	job
labor participation fraction	0.489	
LAND SECTOR		
land per house	0.000152653	k ^m /house 주거지역/주택수
land per industry ²	0.0000787576	k ^m /industry (상업지역+공업지역) /사업체수
POPULATION SECTOR		
initial population	10321496	99통계
birth normal	0.012837	98통계
death normal	0.003642	98통계
in migration normal	0.052	93-98 전입
out migration normal	0.050	93-98 전출 adjusted
TRAFFIC SECTOR		
INIT _{road}	7801	98 도로연장 Km
normal road increase	.00723827	90-98 도로증가율 Km/year
person per car	4.7	98년 서울시

註:

1. 1ha 잣나무숲은 30명에 필요한 산소 8.06톤을 공급(산림청)

1ha=0.01km²

1인당 신선한 공기를 마시는 데 필요한 숲의 면적은

0.01km²/30명 = 0.000333km² = 333m²≈약 101평

현재 서울 1인당 녹지 = 252.92km²/10469852≈24.15m²≈7.3평

[서울의 환경, 1997: 406]

2. .0004915km²≈149평, 492m²

상업지역 21.85km², 준공업지역 29.01km² 총계:50.86km²

서울시 총 사업체수 708025, 종업원수 3874597 사업체당 5.5명/업체

업체당 면적: .000071834km²

[한국도시연감, 1997], [서울의 환경, 1997: 406]

부록 B: 도심지역과 녹지지역에서의 건성침착 속도의 변화

· Dry Deposition

가스상 오염물질의 건성침착속도는 아래 식에 의해 계산된다. 식에서 r_a 는 aerodynamic resistance, r_b 는 Quasi-laminar resistance, 그리고 r_c 는 canopy resistance로 $r_t = r_a + r_b + r_c$ 로 각각에 의한 설명이 아래에 정리되어 있다.

$$V_d = \frac{1}{r_a + r_b + r_c} \text{ for gas}$$

r_a 는 aerodynamic resistance로 대기상태를 중립으로 가정하면 다음 식으로 계산된다.

$$r_a = \frac{1}{ku_*} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \leftarrow \text{neutral}$$

k = von karman constant = 0.4

u_* = friction velocity

$$= \frac{0.4u}{\ln(z/z_0)}$$

z_0 = roughness length

z = reference height, 10m

<표 1> 표면상태에 따른 거칠기 높이 변화

	z_0 (m)
Lawn	10^{-2}
Uncut grass	0.05
Fully grown crops	0.1
Tree covered	1
Low density residential	2
Central business	5-10

<표 1>은 도심이나, 숲, 수풀 등지에서의 거칠기 높이변화를 보여주고 있으며,

이에 따라 u^* 값이 지표면상태에 따라 달라지게 된다.

· Quasi-Laminar resistance

$$r_b = \frac{5 S_c^{2/3}}{u_*}$$

S_c = Schmidt number = V/D

V = kinematic viscosity of air

D = molecular diffusivity of the gas

$$V = \frac{u_*}{10^5} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

· Canopy resistance

$$r_c = \left(\frac{1}{r_s + r_m} + \frac{1}{r_{lu}} + \frac{1}{r_{dc} + r_{cl}} + \frac{1}{r_{ac} + r_{gs}} \right)$$

r_s = leaf stomatal resistance

r_m = mesophyll resistance

r_{lu} = outer surface resistance in the upper canopy

r_{dc} = buoyant convection resistance

r_{cl} = exposed surface resistance

r_{ac} = transfer resistance

r_{gs} = ground resistance

$$r_s = r_j \left[1 + \left(\frac{200}{G + 0.1} \right)^2 \left(\frac{400}{T_s(40 - T_s)} \right) \right]$$

r_j = minimum bulk canopy stomatal resistance for water vapor

T_s = air temp. (15 °C)

G = solar radiation = 125W/m²

$$r_{sm}^i = r_{st} + r_m = r_{st} \left(\frac{D_{H_2O}}{D_i} \right) + \frac{1}{3.3 \times 10^{-4} H_i^* + 100 f_o^i}$$

$$\frac{D_{H_2O}}{D_{NO_2}} = 1.6$$

$$H^*(288) = H \exp[A(1/298 - 1/288)]$$

A = -2500 (constant)

H = 1×10^{-2} (M atm⁻¹) ← NO₂의 증기압

f_o = 0.1 ← normalized reactivity

그리고 i species에 대해서는 다음과 같이 정리된다.

$$r_{lu}^i = r_{lu} \left(\frac{1}{10^{-5} H_i^* + f_o^i} \right)$$

$$r_{dc} = 100 \left(1 + \frac{1000}{G + 10} \right) \left(\frac{1}{1 + 1000\theta} \right)$$

여기서, θ = slope of local terrain

$$r_{cl}^i = \left(\frac{10^{-5} H_i^*}{r_{clS}} + \frac{f_o^i}{r_{clO}} \right)^{-1}$$

$$r_{gs}^i = \left(\frac{10^{-5} H_i^*}{r_{gsS}} + \frac{f_o^i}{r_{gsO}} \right)^{-1}$$

아래 <표 2>는 위 식들이 이용한 건성침착속도 계산시 입력되는 값들로 계절별로 정리되어 있다(Seinfeld, 1997)

<표 2> Input Resistances(s m⁻¹) for Computation of surface Resistances

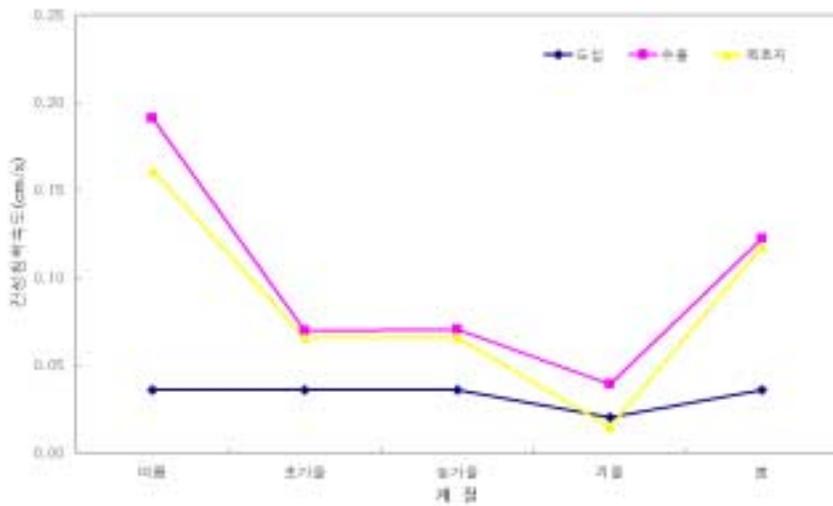
		r_j	r_{iu}	r_{ds}	r_{dO}	r_{gsS}	r_{gsO}	r_{ac}
도심	여름	9999	9999	9999	9999	400	300	100
	초가을	9999	9999	9999	9999	400	300	100
	늦가을	9999	9999	9999	9999	400	300	100
	겨울	9999	9999	9999	9999	100	600	100
	봄	9999	9999	9999	9999	500	300	100
수풀, 숲	여름	100	2000	2000	1000	100	300	2000
	초가을	500	8000	4000	600	100	300	1700
	늦가을	500	8000	6000	600	200	300	1500
	겨울	800	9000	400	600	100	3500	1500
	봄	190	3000	3000	700	200	300	1500
목초 지	여름	120	2000	2000	1000	350	200	100
	초가을	9999	9000	9000	400	350	200	100
	늦가을	9999	9000	9000	400	350	200	100
	겨울	9999	9999	9999	1000	100	3500	10
	봄	240	4000	4000	500	350	200	80

<표 3>은 계산된 건성침착속도를 보인 것이다. <그림 1>을 보면 도심의 경우 계절에 따른 건성침착속도의 변화가 거의 보이지 않는 반면, 수풀과 목초지의 경우 생장이 활발한 봄과 여름철에 건성침착속도가 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

연평균 건성침착속도를 보더라도 도심 0.033cm/sec, 수풀 0.098cm/sec, 목초지 0.085cm/sec로서 도시에 비해 수풀과 목초지에서 침착속도가 높게 나타났으며, 이로 미루어 볼 때 봄철과 여름철의 경우 이들 지역에서 많은 양의 NO₂가 제거될 것으로 판단된다.

<표 3> 계절별 건성침착속도 변화

구분	도심(cm/s)	수풀(cm/s)	목초지(cm/s)
여름	0.03585	0.19095	0.16092
초가을	0.03585	0.06929	0.06525
늦가을	0.03585	0.07020	0.06525
겨울	0.02004	0.03900	0.01449
봄	0.03585	0.12218	0.11734



<그림 1> 지표면 상태에 따른 계절별 건성침착속도 비교

부록 C: Box Model에서의 시간지연 문제

Characteristic time for each Process

- Definition of Characteristic time

: 농도가 $\frac{1}{e}$ 로 주는 데 걸리는 시간

- Transport Characteristic Time = $\frac{V}{Q}$

V : Volume(m³)

Q : Volumetric flow rate(m³/sec)

이 경우 4.6 시간

- Chemical Characteristic Time = $\frac{1}{K_{cr}}$

K_{cr} : rate constant

이 경우 $\frac{1}{0.00002} = 13.8$ 시간

- Dry Deposition Characteristic Time = $\frac{H}{K_{dd}}$

$$= \frac{1000 m}{0.005 \frac{m}{sec}} = 55.5 \text{ 시간}$$

Input parameter H, K_{cr}, K_{dd}, L, W_i 등에 따라 Characteristic time이 달라진다.

부록 D: 대기환경기준

I. 대기환경기준

1. 국내 대기환경기준

설 정 항 목		기 준
이황산가스(SO ₂)		연간평균치 0.03ppm이하, 24시간평균치 0.14ppm이하 1시간평균치 0.25ppm
일산화탄소(CO)		8시간평균치 9ppm이하, 1시간평균치 25ppm이하
이산화질소(NO ₂)		연간평균치 0.05ppm이하, 24시간평균치 0.08ppm이하, 1시간평균치 0.15ppm이하
먼 지	총먼지 (TSP)	연간평균치 150 μ g/ m ³ 이하, 24시간평균치 300 μ g/ m ³
	미세먼지 (PM-10)	연간평균치 80 μ g/ m ³ 이하, 24시간평균치 150 μ g/ m ³
오 존(O ₃)		8시간평균치 0.06ppm이하, 1시간평균치 0.1ppm이하
납(Pb)		3개월평균치 1.5 μ g/ m ³ 이하

※ 단기기준은 연간 3회이상 초과하여서는 안됨

※ 미세먼지는 입자의 크기가 10 μ m이하인 먼지를 말함

2. 각국의 대기환경기준

구 분		한 국	미 국	캐나다	이태리	스위스	터 키	일 본
SO ₂ (ppm)	년 평균	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.06	-
	24시간 평균	0.14	0.14	0.11	0.10	0.04	0.15	0.04
	1시간 평균	0.25	-	0.34	-	-	-	0.10
TSP (μ g/ m ³)	년 평균	150/*80	-	*70	150	-	-	-
	24시간 평균	300/*150	-	*120	300	-	300	-
	1시간 평균	-	-	-	-	-	-	-
O ₃ (ppm)	년 평균	-	-	0.015	-	-	-	-
	8시간 평균	0.06	0.08	0.025	-	-	-	-
	1시간 평균	0.10	0.12	0.08	0.10	0.06	0.12	0.06
NO ₂ (ppm)	년 평균	0.05	0.053	0.05	-	0.02	0.05	-
	24시간 평균	0.08	-	0.11	-	0.04	-	0.04-0.06
	1시간 평균	0.15	-	0.21	0.11	0.05/30분	0.16	-
CO (ppm)	년 평균	-	-	-	-	7	-	10
	8시간 평균	9	9	13	9	-	9	20
	1시간 평균	25	35	31	35	-	26	-
HC (ppm)	년 평균	-	-	-	-	-	-	-
	1시간 평균	-	-	-	-	-	0.26	-
Pb (μ g/ m ³)		1.5/ 3개월	1.5/ 3개월	-	2.0/년	1.0/년	-	-

구분		태국	싱가포르	대만	홍콩	WHO 권고기준	EC 권고기준
SO ₂ (ppm)	년 평균	0.04	0.03	0.03	0.03	0.019	-
	24시간 평균	0.11	0.14	0.10	0.13	0.047	0.047
	1시간 평균	-	-	0.25	0.31	-	0.13
TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	년 평균	100	75/*50	130/*65	80/*55	-	-
	24시간 평균	330	260/*150	250/*125	260/*180	-	-
	1시간 평균	-	-	-	-	-	-
O ₃ (ppm)	년 평균	-	-	-	-	-	-
	8시간 평균	-	0.03	0.06	-	0.06	-
	1시간 평균	0.10	0.12	0.12	0.12	-	-
NO ₂ (ppm)	년 평균	-	0.05	0.05	0.04	0.021	0.021
	24시간 평균	-	-	-	0.08	-	-
	1시간 평균	0.17	0.10-0.17	0.25	0.16	0.105	0.105
CO (ppm)	24시간 평균	-	-	-	-	-	-
	8시간 평균	17	9	9	9	9	-
	1시간 평균	44	35	35	26	26	-
HC (ppm)	년 평균	-	-	-	-	-	-
	1시간 평균	-	-	-	-	-	-
Pb ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		10/24시간	1.5/3개월	1.0/1개월	1.5/3개월	0.5/년	0.5/년

비고:

1. TSP란의 *는 입경이 10 μm 이하인 입자 즉 미세먼지(PM10)의 환경기준임
(다만, 스위스는 침강속도가 10cm/s이하인 미세부유분진을 대상)
2. 프랑스는 EC기준(CO는 WHO기준)을 인용
3. 영국은 EC기준(NO₂, SO₂, Pb)과 WHO기준(CO, O₃ 및 기타)을 인용

II. 배출허용기준

대기환경기준을 달성하기 위한 주요 수단인 배출허용기준은 개별적인 오염물질배출시설에 적용되는 규제기준으로서 오염물질배출의 최대허용치 혹은 최대허용농도라고 할 수 있다.

배출허용기준은 오염물질에 대한 직접규제수단 중 가장 핵심이 되는 것으로 환경기준과 배출허용기준은 목적과 수단이라는 상호관계가 있으므로 배출허용기준은 환경기준에 따라 달라질 수 있다.

대기오염물질 배출허용기준은 황산화물 등 26개 오염물질에 대하여 배출허용기준이 설정되어 있고, 1991년 2월 2일 대기환경보전법시행규칙 제정시 종전의 환경보전법

상의 아황산가스, 먼지 등 26개 대기오염물질 배출허용기준을 20~80% 강화하였으며, 업계의 기술 및 대처능력을 감안하여 배출허용기준 적용기간을 1991년 2월 2일부터 1994년 12월 31일까지, 1995년 1월 1일부터 1998년 12월 31일까지, 1999년 1월 1일 이후 등 3단계로 하여 예시제를 도입, 시행함으로써 1999년 이후에는 미국, 일본 등 선진국 수준의 배출허용기준에 도달되도록 하였다.

1994년 12월 31일까지인 1단계 적용기준을 제외한 그 이후의 적용기준은 다음과 같다.

< 가스상물질 >

오염물질	배출 시설	적용기간 및 배출허용기준	
		1998년 12월 31일까지	1999년 1월 1일 이후
암모니아	가. 화학비료 제조시설	100ppm 이하	50ppm 이하
	나. 안료 및 염료 제조시설	70ppm 이하	70ppm 이하
	다. 기타시설	200ppm 이하	100ppm 이하
일산화탄소	가. 발전시설 또는 일반보일러		
	(1) 액체연료시설	350(4)ppm이하	350(4)ppm이하
	(2) 고체연료시설	400(6)ppm이하	400(6)ppm이하
	나. 소각시설 또는 소각보일러	600(12)ppm이하	600(12)ppm이하
	다. 시멘트제조시설중 소성로	600(13)ppm이하	600(13)ppm이하
	라. 기타시설	700ppm이하	700ppm이하
염화수소	가. 염산제조시설	15ppm 이하	6ppm 이하
	나. 인산제조시설	2ppm 이하	0.6ppm 이하
	다. 화학비료제조시설	10ppm 이하	10ppm 이하
	라. 금속의 표면처리시설중 산처리시설	5ppm 이하	5ppm 이하
	마. 소각시설 또는 소각보일러	60(12)ppm 이하	50(12)ppm 이하
	바. 유리 및 유리제품제조시설중 용융·용해시설	2ppm 이하	0.6ppm 이하
	사. 폐염산재생시설	-	15ppm이하
	아. 기타시설	6ppm 이하	6ppm 이하
염 소	가. 소각시설 또는 소각보일러	60(12)ppm 이하	60(12)ppm 이하
	나. 기타시설	10ppm 이하	10ppm 이하
황산화물 (SO ₂ 로서)	가. 일반보일러		
	(1) 액체연료사용시설		
	(가) 저황유사용지역		
	1) 1.0%이하	540(4)ppm이하	540(4)ppm이하
	2) 0.5%이하	270(4)ppm이하	270(4)ppm이하
3) 0.3%이하	-	180(4)ppm이하	
(나) 기타지역	1950(4)ppm이하	540(4)p	

황산화물 (SO ₂ 로서)	(2)고체연료사용시설(액체연료혼합시설)		
	(가) 고체연료사용규제지역	250(6)ppm이하	250(6)ppm이하
	(나) 기타지역	700(6)ppm이하	500(6)ppm이하
	1) 국내에서 생산되는 무연탄을 사용하는 시설		
	2) 기타 고체연료사용시설	500(6)ppm이하	250(6)ppm이하
	나. 발전시설		
	(1)기존발전시설('96.6.30이전에 설치되었거나 설치중인 시설)		
	(가)액체연료사용시설		
	1)설비용량400MW이상	1,200(4)ppm이하	150(4)ppm이하
	2)설비용량400MW미만 100MW이상	540(4)ppm이하	180(4)ppm이하
	3)설비용량100MW미만	540(4)ppm이하	270(4)ppm이하
	(나)고체연료사용시설 (액체연료혼합시설포함)		
	1)국내에서 생산되는 무연탄을 사용하는 시설	1,650(6)ppm이하	150(6)ppm이하
	가)설비용량 50MW이상		
	나)설비용량 50MW미만	1,200(6)ppm이하	270(6)ppm이하
	다)강원도 영월지역 및 전북군산지역	1,200(6)ppm이하	700(6)ppm이하
	2)유연탄 사용 시설		
	가)설비용량 500MW이상	500(6)ppm이하	150(6)ppm이하
	나)설비용량 500MW미만	500(6)ppm이하	270(6)ppm이하
	(2)신규발전시설 (기존 발전시설을 증설·개축하는 시설과 '96.7.10이후 설치하는 시설)		
	(가) 액체연료사용시설	120(4)ppm이하	120(4)ppm이하
	(나) 고체연료사용시설	120(6)ppm이하	120(6)ppm이하
	(3) 국내에서 생산되는 석유 코크스 사용시설	700(6)ppm이하	270(6)ppm이하
	(4) 기타 고체연료 사용시설	500(6)ppm이하	270(6)ppm이하
	다. 금속의 용융, 제련, 열처리시설중 배소로, 용광로, 용선로	650ppm이하	650ppm이하
	라. 황산제조시설		
	(1)황연소 황산제조시설	300(8)ppm이하	300(8)ppm이하
(2)기타 황산제조시설	200(8)ppm이하	300(8)ppm이하	
마. 화학비료 제조시설중 혼합·반응·정제 및 농축시설	350(4)ppm이하	350(4)ppm이하	
바. 석유정제시설중 가열시설, 탈황시설, 폐가스 소각시설	500(4)ppm이하	300(4)ppm이하	
사. 코크스제조시설	150(7)ppm이하	150(7)ppm이하	
아. 소각시설 또는 소각보일러	300(12)ppm이하	300(12)ppm이하	
자. 기타시설	500ppm이하	500ppm이하	

질소산화물 (NO ₂ 로서)	가.액체연료사용시설	1,400(13)ppm 이하	950(13)ppm 이하
	(1) 발전용내연기관		
	(2) 기타시설	250(4)ppm이하	250(4)ppm 이하
	나.고체연료사용시설	350(6)ppm이하	
	(1)시멘트제조시설중 소성로		350(13)ppm 이하
	(2)소결로		220(15)ppm 이하
	(3)기타시설		350(6)ppm 이하
	다.기체연료사용시설 (발전시설에 한한다)		
	(1)발전용 내연기관	500(13)ppm이하	500(13)ppm 이하
(2)기타 발전시설	400ppm이하	400ppm이하	
라.기타시설	200ppm이하	200ppm이하	
이황화 탄 소	가.인건사제조시설	100ppm이하	80ppm이하
	나.기타시설	30ppm이하	30ppm이하
포 림 알데히드	모든배출시설	20ppm이하	20ppm이하
황화수소	가.석유정제시설중 가열시설, 탈황시설, 폐가스소각시설	6ppm이하	6ppm이하
	나.펄프제조시설	5ppm이하	5ppm이하
	다.기타시설	15ppm이하	15ppm이하
불소화합물 (F로서)	가. 도기, 자기, 토기, 구조점토, 내화물제조시설중 용융, 용해, 소성시설	10(16)ppm이하	5(16)ppm이하
	나. 습식인산 제조시설, 복합비료제조시설 및 인광석, 형석의 용융, 용해, 소성시설, 불소화합물 제조시설	5ppm이하	5ppm이하
	다. 과린산암모늄 제조시설	4ppm이하	4ppm이하
	라. 기타시설	3ppm이하	3ppm이하
시아니화수소	모든 배출시설	10ppm이하	10ppm이하
브롬화합물 (Br로서)	모든 배출시설	5ppm이하	5ppm이하
벤젠화합물 (C ₆ H ₆ 로서)	모든 배출시설	50ppm이하	50ppm이하
페놀화합물 (C ₆ H ₅ OH)	모든 배출시설	10ppm이하	10ppm이하
수은화합물 (Hg로서)	모든 배출시설	5mg/Sm ³ 이하	5mg/Sm ³ 이하
비소화합물 (As로서)	모든 배출시설	3ppm이하	3ppm이하
염화비닐	< 신설 >		

비고:

1. 배출허용기준란의 ()은 표준산소농도(O₂의 백분율)을 말한다
2. 황산화물의 자. 기타시설 중 액체 또는 고체연료를 사용하는 간접가열시설의 경우에는 일반 보일러의 기준을 적용한다
3. 황산화물(SO₂로서)의 나목 발전시설 (1)기존 발전시설 (가)액체연료사용시설 3) 설비용량 100MW미만 열병합발전시설과 (2)신규발전시설 (가)액체연료사용시설의 열병합 발전시설은 가목 일반보일러 (1)액체연료사용시설의 기준을 적용한다. 다만 집단에너지 사업법에 의한 한국지역난방공사의 열병합발전시설은 나목 발전시설 (1)기존 발전시설 (가)액체연료사용시설 3)설비용량 400MW미만의 기준을 적용한다.
4. 황산화물(SO₂로서)의 나목 발전시설 (1)기존발전시설 (나)고체연료사용시설 2)유연탄사용시설 (가)설비용량 500MW이상의 보령화력발전소 1,2호기, 호남화력발전소, 삼천포 화력발전소는 나목 발전시설 (1)기존발전시설 (나)고체연료사용시설 2) 유연탄사용시설 (나)설비용량 500MW미만의 기준을 적용한다.
5. 일산화탄소의 라목 기타시설에서 소결로는 이를 제외한다.
6. 집단에너지사업법의 규정에 의한 지역난방 열병합발전시설 중 영 제37조 제3항의 규정에 의하여 환경부장관으로부터 청정연료 외의 연료사용을 인정받은 시설(안산 지역)에 대하여는 질소산화물(NO₂로서)에 관하여 2004ppm이하의 기준을 적용한다
7. 보령화력발전소 5·6호기, 태안화력발전소 3·4호기, 하동화력발전소 2·3·4호기 및 당진화력발전소 1호기의 발전시설에 대하여는 1999년 6월 30일까지 황산화물에 관하여 500(6)ppm이하의 기준을 적용한다
8. 국내에서 생산되는 석유코크스를 사용하는 발전시설에 대하여는 2000년 12월 31일까지 황산화물에 관하여 500(6)ppm이하의 기준을 적용한다

< 입자상 물질 >

오염물질	배출시설	적용기간 및 배출허용기준	
		1998년 12월 31일까지	1999년 1월 1일 이후
먼지	가. 발전시설 또는 일반보일러 (1) 액체연료 사용 시설		
	(가) 배출가스량이 200,000 ^{m³} /hr 이상인 시설	60(4)mg/Sm ³ 이하	40(4)mg/Sm ³ 이하
	(나) 배출가스량이 30,000 ^{m³} /hr 이상 200,000 ^{m³} /hr 미만인 시설	100(4)mg/Sm ³ 이하	50(4)mg/Sm ³ 이하
	(다) 배출가스량이 6,000 ^{m³} /hr 이상 30,000 ^{m³} /hr 미만인 시설	150(4)mg/Sm ³ 이하	100(4)mg/Sm ³ 이하
	(라) 배출가스량이 6,000 ^{m³} /hr 미만인 시설	200(4)/Sm ³ 이하	150(4)/Sm ³ 이하
	(2) 고체연료 사용시설(액체연료 혼합시설 포함)		
	(가) 배출가스량이 30,000 ^{m³} /hr 이상인 시설	100(6)mg/Sm ³ 이하	50(6)mg/Sm ³ 이하
	(나) 배출가스량이 6,000 ^{m³} /hr 이상 30,000 ^{m³} /hr 미만인 시설	150(6)mg/Sm ³ 이하	50(6)mg/Sm ³ 이하
	(다) 배출가스량이 6,000 ^{m³} /hr 미만인 시설	200(6)mg/Sm ³ 이하	150(6)mg/Sm ³ 이하
	나. 소각시설 또는 소각보일러		
	(1) 배출가스량이 40,000 ^{m³} /hr 이상인 시설	80(12)mg/Sm ³ 이하	80(12)mg/Sm ³ 이하
	(2) 배출가스량이 40,000 ^{m³} /hr 미만인 시설	100(12)mg/Sm ³ 이하	100(12)mg/Sm ³ 이하
	다. 금속의 용융·제련 또는 열처리 시설 중		
	(1) 전기아크로(유도로포함)	20mg/Sm ³ 이하	
	(가) 기존시설		20mg/Sm ³ 이하
	(나) 신규시설		15mg/Sm ³ 이하
	(2) 용광로, 용선로, 배소로	50mg/Sm ³ 이하	50mg/Sm ³ 이하
	(3) 소결로	70mg/Sm ³ 이하	50mg/Sm ³ 이하
	(4) 가열로	100(11)mg/Sm ³ 이 하	70(11)mg/Sm ³ 이하
	라. 화학비료제조시설 또는 인산 및 그 화합물제조시설 중 소성시설, 건조시설	70(10)mg/Sm ³ 이하	50(10)mg/Sm ³ 이하
마. 석유화학제품 제조시설중 가열시설	50(4)mg/Sm ³ 이하	50(4)mg/Sm ³ 이하	
바. 코크스 제조시설	100(7)mg/Sm ³ 이하	100(7)mg/Sm ³ 이하	
사. 아스콘 제조시설 중 소성시설	100(10)mg/Sm ³ 이하	100(10)mg/Sm ³ 이하	

	아. 석유정제시설 중		
	(1)축매재생시설	100(6)mg/Sm ³ 이하	70(6)mg/Sm ³ 이하
	(2)탈황시설	50(6)mg/Sm ³ 이하	50(6)mg/Sm ³ 이하
	(3)가열시설	50(4)mg/Sm ³ 이하	50(4)mg/Sm ³ 이하
	자. 유리 및 유리제품제조시설의 용융, 용해시설중		
	(1)연속식 탱크로 또는 전기로	70(13)mg/Sm ³ 이하	50(13)mg/Sm ³ 이하
	(2)기타시설	70mg/Sm ³ 이하	50mg/Sm ³ 이하
	차. 도기, 자기, 토기, 구조점토, 내화물 제조시설중 용융, 용해, 소성 또는 냉각시설	100(7)mg/Sm ³ 이하	70(7)mg/Sm ³ 이하
	카시멘트, 석회 및 프라스트 제조시설 중		
	(1)건조시설 및 소성시설	100(13)mg/Sm ³ 이하	50(13)mg/Sm ³ 이하
	(2)냉각시설	50mg/Sm ³ 이하	50mg/Sm ³ 이하
	타. 석면제품 제조가공시설중		
	(1)방사,집면,탈판시설	30mg/Sm ³ 이하	30mg/Sm ³ 이하
	(2)기타시설	100mg/Sm ³ 이하	100mg/Sm ³ 이하
	파. 발전용 내연기관	-	40(13)mg/Sm ³ 이하
	하. 기타시설	120mg/Sm ³ 이하	120mg/Sm ³ 이하
카드뮴화 합물 (Cd로서)	모든 배출시설	1.0mg/Sm ³ 이하	1.0mg/Sm ³ 이하
납화합물 (Pb로서)	가. 금속의 용융, 제련, 열처리시설 중 용융로, 용해로, 용광로 및 정련시설	20mg/Sm ³ 이하	10mg/Sm ³ 이하
	나. 기타시설	10mg/Sm ³ 이하	5mg/Sm ³ 이하
크롬화합 물 (Cr로서)	모든 배출시설	1.0mg/Sm ³ 이하	1.0mg/Sm ³ 이하
구리화합 물 (Cu로서)	가. 구리제련 시설	20mg/Sm ³ 이하	20mg/Sm ³ 이하
	나. 기타시설	10mg/Sm ³ 이하	10mg/Sm ³ 이하
니켈 및 그화합물	모든 배출시설	20mg/Sm ³ 이하	20mg/Sm ³ 이하
아연화합 물 (Zn로서)	가. 금속 제련, 전기로 및 소각시설	30mg/Sm ³ 이하	30mg/Sm ³ 이하
	나. 기타시설	10mg/Sm ³ 이하	10mg/Sm ³ 이하
비산먼지 매 연	모든 배출시설	1.0mg/Sm ³ 이하	0.5mg/Sm ³ 이하
	모든 배출시설	링겔먼비탁표 2도이하	링겔먼비탁표 2도이하

비고 :

1. 배출허용기준란의 ()는 표준산소농도(O₂의 백분율)를 말한다
2. 보일러중 일반보일러, 소각보일러 및 소각시설에 적용되는 배출가스량 산정은 시설용량으로 한다. 다만 시설의 고장 등을 대비하여 허가를 받거나 신고하여 예비로 설치된 시설의 시설용량은 포함하지 아니한다.
3. 먼지의 파. 기타시설 중 액체 또는 고체연료를 사용하는 간접가열시설의 경우에는 일반보일러의 기준을 적용한다.
4. 먼지의 배출시설란 라.의 건조시설 중 열풍을 이용하여 직접 건조하는 시설에 대하여는 표준산소농도를 적용하지 아니한다.
5. 먼지의 마 및 아(3)의 가열시설 중 액체 또는 고체연료를 사용하는 간접 가열시설의 경우에는 일반보일러의 기준을 적용한다.
6. 먼지란의 다목 (1)전기아크로(유도로 포함)에서 "기존시설"이라 함은 다음 각목의 시설을 말하고, "신규시설"이라 함은 기존시설외의 시설을 말한다.
 - 가. 1998년 12월 31일 이전에 설치된 시설
 - 나. 1998년 12월 31일까지 배출시설 설치허가서 또는 배출시설 설치신고서를 제출한 시설
7. 집단에너지사업의 규정에 의한 지역난방 열병합발전시설 중 영 제37조 제3항의 규정에 의하여 환경부장관으로부터 청정연료 외의 연료사용을 인정받은 시설(안산지역)에 대하여는 먼지에 관하여 204mg/Sm³이하의 기준을 적용한다.
8. 영월화력발전소 및 군산화력발전소의 발전시설에 대하여는 2000년 12월 31일까지 먼지에 관하여 100(6)mg/Sm³이하의 기준을 적용한다.

< 약 취 >

측정방법	배출허용기준		
직접관능법	약취도 2도 이하		
공기희석 관능법	가. 배출구 (1) 공업지역내의 사업장 : 희석배율 1,000이하 (2) 기타지역내의 사업장 : 희석배율 500이하		
	나. 부지경계선 (1) 공업지역내의 사업장 : 희석배율 200이하 (2) 기타지역내의 사업장 : 희석배율 150이하		
기기분석법	악취물질	공업지역안의 사업장	기타지역안의 사업장
	암모니아	5ppm이하	2ppm이하
	메칠메르캅탄	0.01ppm이하	0.004ppm이하
	황화수소	0.2ppm이하	0.06ppm이하
	황화메틸	0.2ppm이하	0.05ppm이하
	이황화메틸	0.1ppm이하	0.03ppm이하
	트리메틸아민	0.07ppm이하	0.02ppm이하
	아세트알데히드	0.5ppm이하	0.1ppm이하
스티렌	2ppm이하	0.8ppm이하	

비고:

1. 측정방법은 대기오염공정시험방법에 의하여 직접관능법 또는 공기희석관능법으로 실시하되, 부지경계선에서 채취한 시료 중에 기기분석법에 규정된 8가지의 악취물질이 있다고 판단되는 경우에는 기기분석법을 병행한다. 이 경우 어느 하나의 방법에 의하여 기준을 초과할 때에는 배출허용기준을 초과한 것으로 본다.

2. 공기희석관능법의 측정장소는 다음과 같다.

가. 배출구의 높이가 5m 이상인 경우

(1) 사업장안에 배출구외의 다른 악취배출원이 있고, 배출되는 악취물질이 암모니아·황화수소 또는 트리메틸아민인 경우 : 부지경계선 및 배출구

(2) 사업장안에 배출구외의 다른 악취 발생원이 없는 경우 : 배출구

나. 위 가. 외의 경우 : 부지경계선

3. 공업지역은 다음의 1에 해당하는 지역을 말한다.

가. 산업입지 및 개발에 관한 법률 제6조 내지 제8조의 규정에 의하여 지정된 국가 산업단지·지방산업단지 및 농공단지

나. 수출자유지역설치법 제3조의 규정에 지정된 수출자유지역

다. 도시계획법 제17조의 규정에 의하여 지정된 공업지역중 전용공업지역 및 일반공업지역

4. 직접관능법 및 공기희석관능법·기기분석법의 악취농도별 관계는 다음과 같다.

구 분		악 취 농 도		
		3이상 4미만	4이상 5미만	5이상
직접관능법(악취강도)		3	4	5
공기희석 관능법 (단위:희석배율)	배출구	3,000미만	3,000이상 15,000미만	15,000이상
	부지경계선	100미만	100이상 500미만	500이상
기기분석법 (단위:ppm)	암모니아	10미만	10이상 40미만	40이상
	메틸메르캡탄	0.03미만	0.03미만 0.2미만	0.2이상
	황화수소	0.7미만	0.7이상 8미만	8이상
	황화메틸	0.8미만	0.8이상 2미만	2이상
	이황화메틸	0.3미만	0.3이상 3미만	3이상
	트리메틸아민	0.2미만	0.2이상 3미만	3이상
	아세트	1미만	1이상 10미만	10이상
	알데히드			
스티렌	4미만	4이상 20미만	20이상	

부록 E: 서울시 환경용량 모델 Equation

HOUSE SECTOR

$houses(t) = houses(t - dt) + (housing_construction - housing_demolition) * dt$
INIT houses = 1968054
 $housing_construction = houses * housing_construciton_normal * housing_construction_multi$
 $housing_demolition = houses * housing_demolition_normal$
household_size = 3.84
 $household_to_houses_ratio = population / (houses * household_size)$
 $housing_construciton_normal = .04691$
 $housing_construction_multi = housing_availability_multi * housing_land_multiplier$
 $housing_demolition_normal = 0.017$
 $housing_availability_multi = GRAPH(household_to_houses_ratio)$
(0.00, 0.1), (0.2, 0.2), (0.4, 0.35), (0.6, 0.5), (0.8, 0.7), (1, 1.00), (1.20, 1.35), (1.40, 1.60), (1.60, 1.80), (1.80, 1.95), (2.00, 2.00)

INDUSTRY SECTOR

$industry_structure(t) = industry_structure(t - dt) + (industry_construction - industry_demolition) * dt$
INIT industry_structure = 663293
 $industry_construction = industry_structure * industry_construction_multi * industry_construction_normal$
 $industry_demolition = industry_structure * industry_demolition_normal$
 $industry_construction_multi = industry_labor_force_multiplier * industry_land_multiplier$
 $industry_construction_normal = 0.02$
 $industry_demolition_normal = 0.001$
 $jobs = industry_structure * job_per_industry_structure$

$job_per_industry_structure = 5.1$
 $labor_force = population * labor_participation_fraction$
 $labor_force_to_job_ratio = labor_force / jobs$
 $labor_participation_fraction = 0.489$
 $attractiveness_of_job_multi = GRAPH(labor_force_to_job_ratio)$
 (0.00, 2.00), (0.2, 1.95), (0.4, 1.80), (0.6, 1.60), (0.8, 1.35), (1.00, 1.00), (1.20, 0.5),
 (1.40, 0.3), (1.60, 0.2), (1.80, 0.15), (2.00, 0.1)
 $industry_labor_force_multiplier = GRAPH(labor_force_to_job_ratio)$
 (0.00, 0.2), (0.2, 0.25), (0.4, 0.35), (0.6, 0.5), (0.8, 0.7), (1.00, 1.00), (1.20, 1.35),
 (1.40, 1.60), (1.60, 1.80), (1.80, 1.95), (2.00, 2.00)

LAND SECTOR

$house_land = houses * land_per_house$
 $house_test1 = 1$
 $industry_land = industry_structure * land_per_industry_structure$
 $land_fraction_occupied = (land_per_industry_structure * industry_structure +$
 $land_per_house * houses + green_space) / (total_area_in_m^2 / 1000000)$
 $land_per_house = 0.000152653 * house_test1$
 $land_per_industry_structure = .0000787586$
 $green_land_multiplier = GRAPH(land_fraction_occupied)$
 (0.00, 0.00), (0.1, 0.1), (0.2, 0.2), (0.3, 0.4), (0.4, 1.00), (0.5, 1.00), (0.6, 1.00), (0.7,
 0.8), (0.8, 0.2), (0.9, 0.1), (1, 0.00)
 $housing_land_multiplier = GRAPH(land_fraction_occupied)$
 (0.00, 0.4), (0.1, 0.7), (0.2, 1.00), (0.3, 1.25), (0.4, 1.45), (0.5, 1.50), (0.6, 1.50), (0.7,
 1.40), (0.8, 1.00), (0.9, 0.5), (1, 0.00)
 $industry_land_multiplier = GRAPH(land_fraction_occupied)$
 (0.00, 1.00), (0.1, 1.15), (0.2, 1.30), (0.3, 1.40), (0.4, 1.45), (0.5, 1.40), (0.6, 1.30),
 (0.7, 0.9), (0.8, 0.5), (0.9, 0.25), (1, 0.00)

POLLUTION SECTOR

$$\text{green_space}(t) = \text{green_space}(t - dt) + (\text{gs_change}) * dt$$

$$\text{INIT green_space} = 253.28$$

$$\text{gs_change} = (\text{gap}/\text{green_space_adjust_time}) * \text{green_land_multiplier} * \text{green_space_multiplier} * \text{green_space_test}$$

$$\text{NO}_2(t) = \text{NO}_2(t - dt) + (\text{in} + \text{s_in_Seoul} - \text{dry_deposition} - \text{out} - \text{chemical_reaction}) * dt$$

$$\text{INIT NO}_2 = \text{s_in_Seoul}$$

$$\text{in} = q * (\text{C_in_ppb} * 46) / (((\text{temp} + 273) / 273) * 22.4) * \text{timeyear}$$

$$\text{s_in_Seoul} = \text{NO}_2\text{_emission} * \text{timeyear}$$

$$\text{dry_deposition} = \text{deposition_in_cbd} + \text{deposition_in_green}$$

$$\text{out} = q * \text{C_out} * \text{timeyear}$$

$$\text{chemical_reaction} = \text{Kcr} * \text{C_out} * \text{volume} * \text{timeyear}$$

$$\text{C_in_ppb} = 30$$

$$\text{C_out} = (\text{in} + \text{s_in_Seoul}) / ((q + \text{Kddu} * (\text{total_area_in_m}^2 - \text{green_space} * 1000000) + \text{Kddg} * \text{green_space} * 1000000 + \text{Kcr} * \text{volume}) * \text{timeyear})$$

$$\text{C_out_ppb} = ((\text{C_out} * ((\text{temp} + 273) / 273) * 22.4) / 46)$$

$$\text{deposition_in_cbd} = \text{Kddu} * (\text{total_area_in_m}^2 - \text{green_space} * 1000000) * \text{C_out} * \text{timeyear}$$

$$\text{deposition_in_green} = \text{Kddg} * \text{green_space} * 1000000 * \text{C_out} * \text{timeyear}$$

$$\text{desired_green_space_needed} = \text{population} * \text{green_space_needed_per_person} *$$

$$\text{Green_test2}$$

$$\text{desired_NO}_2\text{_ppb} = 50$$

$$\text{gap} = \text{desired_green_space_needed} - \text{green_space}$$

$$\text{green_space_adjust_time} = 5$$

$$\text{green_space_needed_per_person} = 0.000333$$

$$\text{green_space_test} = 1$$

$$\text{Green_test2} = 1$$

$$\text{Hight} = 1000$$

$$\text{Kcr} = 0.00002$$

$K_{ddg} = 0.098/100$
 $K_{ddu} = 0.033/100$
 $Length = 24607.3$
 $Mobile_NO_2_emission = car_in_seoul * NO_2_emission_per_car$
 $NO_2_emission = ((Nox_emission * NOxNO_2_ratio * 1000000000) / timeyear) * technology_factor$
 $NO_2_emission_per_car = 38.150$
 $NO_2_emission_per_point_source = 7.7557$
 $NOxNO_2_ratio = 0.456$
 $Nox_emission = (Mobile_NO_2_emission + Point_NO_2_emission) / NOxNO_2_ratio$
 $Point_NO_2_emission = (industry_structure + houses) * NO_2_emission_per_point_source$
 $pol_index = C_out_ppb / desired_NO_2_ppb$
 $q = Hight * Width * wind_velocity$
 $technology_factor = 1$
 $temp = 15$
 $timeyear = 60 * 60 * 24 * 365$
 $total_area_in_m^2 = Width * Length$
 $volume = Hight * Length * Width$
 $Width = 24607.3$
 $wind_velocity = 1.5$
 $attract_of_pol_multi = GRAPH(pol_index)$
 $(0.00, 1.20), (0.3, 1.20), (0.6, 1.20), (0.9, 1.20), (1.20, 1.20), (1.50, 1.21), (1.80, 1.16),$
 $(2.10, 1.12), (2.40, 1.04), (2.70, 0.923), (3.00, 0.8)$
 $green_space_multiplier = GRAPH(pol_index)$
 $(0.00, 0.00), (1.00, 0.00), (2.00, 0.2), (3.00, 0.4), (4.00, 0.6), (5.00, 1.00)$

POPULATION SECTOR

$population(t) = population(t - dt) + (immigration + birth - outmigration - death) * dt$
 $INIT\ population = 10321496$

inmigration = population*in_migration_normal*attractiveness_multi
 birth = population*birth_normal
 outmigration = population*outmigration_normal
 death = population*death_normal
 attractiveness_multi= attractiveness_of_job_multi*attractiveness_of_housing_multi
 *attract_of_pol_multi*traffic_attractiveness_multiplier
 birth_normal = .012837
 death_normal = .003642
 in_migration_normal = 0.052
 outmigration_normal = 0.050
 percent_pop_growth = PCT((birth+inmigration-death-outmigration)/population)
 attractiveness_of_housing_multi = GRAPH(household_to_houses_ratio)
 (0.00, 1.40), (0.2, 1.40), (0.4, 1.35), (0.6, 1.30), (0.8, 1.15), (1.00, 1.00), (1.20, 0.8),
 (1.40, 0.65), (1.60, 0.5), (1.80, 0.45), (2.00, 0.4)

TRAFFIC SECTOR

road(t) = road(t - dt) + (road_increase) * dt
 INIT road = 7801
 road_increase = road*normal_road_increase
 car_density = car_in_seoul/road
 car_in_seoul = population/person_per_car
 normal_road_increase = 0.00723827
 person_per_car = 4.7
 car_running_speed = GRAPH(car_density)
 (30.0, 30.0), (50.0, 29.0), (70.0, 28.0), (90.0, 26.0), (110, 24.0), (130, 23.0), (150,
 21.0), (170, 20.0)
 traffic_attractiveness_multiplier = GRAPH(car_running_speed)
 (0.00, 0.8), (10.0, 0.877), (20.0, 1.03), (30.0, 1.10), (40.0, 1.16), (50.0, 1.19), (60.0,
 1.20)

<부록 2> 각 구별 토지이용형태에 따른 면적(단위: ha)

		강남구	강동구	강북구	강서구	관악구	광진구	구로구	금천구	노원구
도시 화지 역	주택지	981.4	690.2	592.0	856.3	706.4	656.0	643.8	371.1	775.4
	상업 및 업무지	482.5	133.8	87.8	158.3	69.2	97.4	87.8	44.5	66.7
	공업지	8.2	7.2	0.0	69.3	0.2	4.1	178.6	207.9	15.2
	혼합지	231.4	93.7	48.7	113.5	208.9	40.7	54.3	89.2	124.5
	공공용도지	172.3	105.6	55.0	103.3	185.2	141.2	104.8	39.8	235.7
	교통시설지	430.4	286.2	73.7	999.8	141.8	157.0	212.3	123.8	270.7
	도시부양시설 지	50.7	30.0	2.0	115.6	1.1	30.1	10.6	0.0	8.8
	건설현장 및 기타 나지	67.2	32.2	64.8	116.0	69.2	28.6	101.0	21.7	84.0
	소계	2,424.2	1,378.9	924.0	2,532.1	1,381.9	1,154.9	1,393.1	898.0	1,581.0
녹지 및 오픈 스페 이스	초지	140.0	118.5	14.0	102.5	15.2	24.3	67.7	29.3	54.6
	경작지	298.2	366.9	21.8	727.2	52.8	8.8	138.0	18.9	87.0
	하천	80.3	330.1	8.1	674.4	10.6	528.7	21.5	33.6	41.5
	산림	622.8	300.1	1,356.2	272.7	1,533.4	284.1	323.2	278.8	1,555.8
	관리되는 녹지	137.1	60.1	23.0	77.6	-14.8	57.9	32.0	10.9	49.1
	군사시설 및 기타 조사불가능지	9.9	4.7	15.1	86.0	0.0	1.2	10.7	24.9	207.4
	녹지소계	1,288.2	1,180.4	1,438.1	1,940.4	1,597.1	904.9	593.1	396.3	1,995.4
합계	3,712.5	2,559.2	2,362.1	4,472.5	2,979.1	2,059.9	1,986.3	1,294.3	3,576.4	

		도봉구	동대문구	동작구	마포구	서대문구	서초구	성동구	성북구
도시 화지역	주택지	582.5	559.1	693.1	547.5	655.0	794.8	395.3	1,092.0
	상업 및 업무지	58.8	182.3	105.4	81.0	103.9	178.2	138.3	34.6
	공업지	12.6	6.9	10.9	26.7	0.8	22.9	118.8	2.6
	혼합지	51.1	103.6	61.7	276.7	75.8	306.8	84.4	76.8
	공공용도지	88.2	148.3	114.6	81.9	148.7	174.4	117.6	161.5
	교통시설지	125.0	178.5	140.6	281.4	134.3	355.1	238.7	138.2
	도시부양시설 지	8.2	16.4	19.9	207.7	1.4	28.4	110.5	0.3
	건설현장 및 기타 나지	29.5	74.3	35.1	142.5	10.2	27.9	74.9	87.7
소계	956.0	1,269.3	1,181.3	1,645.4	1,130.0	1,888.4	1,278.4	1,593.6	
녹지 및 오픈 스페이스	초지	56.2	33.4	57.4	262.2	20.9	119.7	69.3	13.5
	경작지	69.0	2.2	5.7	84.1	18.8	485.1	7.5	2.5
	하천	29.5	35.3	0.0	543.3	16.3	19.0	409.1	10.7
	산림	929.0	85.9	245.9	82.0	556.0	1,754.3	50.2	794.3
	관리되는 녹지	25.8	28.6	85.6	-147.0	30.7	142.4	22.7	38.8
	군사시설 및 기타 조사불가능지	13.0	3.1	23.5	44.3	3.2	163.8	1.2	30.3
	녹지소계	1,122.6	188.6	418.2	868.9	645.8	2,684.5	560.1	890.0
합계	2,078.5	1,457.9	1,599.4	2,514.3	1,775.9	4,572.8	1,838.6	2,483.6	

		송파구	양천구	영등포구	용산구	은평구	종로구	중구	종량구
도시 화지 역	주택지	917.3	668.7	458.7	499.6	862.8	476.7	155.9	720.7
	상업 및 업무지	238.8	53.4	346.4	137.9	68.2	210.7	344.6	45.3
	공업지	3.9	10.7	95.3	0.8	14.4	0.0	0.0	4.2
	혼합지	121.7	185.9	139.7	105.0	158.0	129.4	40.3	53.8
	공공용도지	227.6	119.0	105.3	103.0	83.9	146.9	80.8	75.6
	교통시설지	418.9	241.1	367.6	310.1	148.3	137.6	155.1	155.8
	도시부양시 설지	86.5	12.7	30.2	4.8	7.1	0.8	0.2	3.2
	건설현장 및 기타 나지	50.1	56.5	88.1	56.6	33.7	24.4	46.5	63.7
	소계	2,064.8	1,348.0	1,631.4	1,217.7	1,376.4	1,126.6	823.3	1,122.4
녹지 및 오픈 스페 이스	초지	179.3	24.7	137.5	51.0	30.4	9.0	4.5	138.4
	경작지	259.2	72.5	1.8	2.3	88.8	5.3	0.1	152.8
	하천	63.6	19.5	54.3	584.2	14.2	0.0	0.0	23.3
	산림	87.1	182.3	0.0	131.4	1,467.5	1,054.5	112.6	356.2
	관리되는 녹지	267.1	57.2	129.7	60.4	97.3	103.3	44.9	37.8
	군사시설 및 기타 조사불가능 지	132.2	28.9	25.1	355.3	56.0	19.7	11.6	0.4
	녹지소계	988.5	385.0	348.4	1,184.6	1,754.1	1,191.7	173.7	708.8
합계	3,053.3	1,733.0	1,979.8	2,402.3	3,130.5	2,318.3	997.0	1,831.2	

<부록 3> 전문가 델파이 설문조사서

「서울시 환경용량 평가 모델의 개발 및 적용에 관한 연구」에
대한 전문가 델파이 설문조사

안녕하십니까?

서울시정개발연구원에서는 「서울시 환경용량평가 모델의 개발 및 적용에 관한 연구」를 금년도 기본연구과제로 수행하고 있습니다. 본 연구를 통해 첫째로 활용용도에 따라 환경용량 평가를 유형화하고, 둘째로 서울시 환경용량의 산정과 평가를 위해 토양피복부문 및 대기부문의 모델을 개발하려 합니다. 그리고 이 모델을 통해 이 두 부문의 환경용량을 산정한 뒤, 이에 기초하여 환경관리체계를 구축할 계획입니다. 토양피복문제와 관련하여 토지이용규제 제도 정비방안을 제시하고, 대기오염문제와 관련하여 저감시켜야 할 오염물질 배출량의 근거를 제시하려 합니다.

이처럼 본 연구가 환경용량평가의 여러 대상 중에서 서울시의 적정 토양피복율과 대기환경용량에 관한 내용을 다루고 있는데, 이와 관련한 몇 가지 사항에 대해서 전문가 여러분의 고견을 듣고자 합니다.

바쁘시더라도 전문가 여러분께서 본 설문에 응해주신다면, 그 결과를 충실히 본 연구에 반영하여 연구성과를 높이도록 최선을 다하겠습니다.

응답하신 설문지는 가능한한 9월 8일(금)까지 아래 제시한 FAX나 우편, 이메일로 회송해 주시고 기타 설문에 대한 의문사항은 저희 연구진에게 문의하여 주시기 바랍니다.

전문가 여러분의 하시는 일에 무궁한 발전이 있기를 기원합니다.감사합니다.

2000. 9

서울시정개발연구원 도시환경연구부장 이창우

○ 연락처

주소: 서울 중구 예장동 산 4-5번지 서울시정개발연구원 도시환경연구부
(우편번호: 100-250)

담당: 서현교 연구원(e-mail: shkshk@sdi.re.kr)

Tel : (02)726-1216, FAX: (02)726-1110

< 설 문 >

서울시 전체면적(605.52km²)에서, 건물면적이 차지하는 비율(이하 ‘건폐율’이라 함)은 19.76%, 불투수포장면적 비율 23.41%, 투수포장면적 비율 0.53%, 녹지면적 비율 49.36%, 기타 6.95% 입니다. 따라서 서울의 토양피복율은 건폐율과 불투수포장면적 비율을 합친 43%(260.38km²)정도가 됩니다. 외국의 토양피복율 사례를 살펴보면 독일의 경우 프랑크푸르트 42%, 베를린 57%, 뮌헨 58% 정도입니다.

토양이 과도하게 피복되어 불투수 면적이 증가하면, 도시미기후 교란 및 열섬현상, 물순환 저해, 수질오염, 동식물 서식처 파괴, 도시미관손상 등 여러 문제가 발생합니다.

위와 같은 서울의 토양피복율 정보를 기초로 아래 몇 가지 질문에 답해 주시면 감사드리겠습니다.

토양피복율 : 토양이 도로·아스팔트 등으로 포장되거나 건축물 등이 들어서서, 일정 면적의 토양 중에서 불투수 면적이 차지하는 정도(%)

대기환경용량 : 대기시스템이 수용할 수 있는 대기오염물질과 환경부하 물질의 한계

질문 1) 서울의 토양피복율은 현재 43%입니다. 귀하께서는 서울이 환경친화적 도시가 되기 위해서 토양피복율이 몇 %가 되는 것이 바람직하다고 생각하십니까?

_____ %

질문 2) 질문 1)에서 제시하신 토양피복율이 바람직하다고 판단하신 이유가 무엇인지 밝혀주시기 바랍니다.

질문 3) 서울시 토양피복율을 개선하기 위해서 어떤 조치가 필요하다고 생각하십니까? (예시: 포장세 도입, 도시계획법 정비 등)

질문 4) 토양피복에 의해 발생하는 여러 환경문제 중 어떠한 문제가 서울에서 더 심각한 지 아래의 <예시>에 따라 답해 주시기 바랍니다.

<예시> 현재 서울에서 토양피복으로 인해 발생하는 환경문제 중에서 “도시미관손상”과 “수질오염”의 심각도를 비교하셔서 상대적으로 “수질오염”이 매우 심각하다고 생각하시면 우측 “수질오염” 쪽의 ‘매우 심각’란에 ○표로 답을 하시면 됩니다.

환경문제	매우 심각	심각	조금 심각	동등	조금 심각	심각	매우 심각	환경문제
도시미관 손상							○	수질 오염

< 토양피복에 의한 환경문제간 상대적 심각도 평가 >

환경문제	매우 심각	심각	조금 심각	동등	조금 심각	심각	매우 심각	환경문제
물순환 저해								수질오염
물순환 저해								미기후교란 · 도시열섬
물순환 저해								생물서식처 파괴
물순환 저해								도시미관 손상
수질오염								미기후교란 · 열섬현상
수질오염								생물서식처 파괴
수질오염								도시미관 손상
미기후교란 · 열섬현상								생물서식처 파괴
미기후교란 · 열섬현상								도시미관 손상
생물서식처 파괴								도시미관 손상

질문 5) 본 연구에서는 환경부하물질인 이산화탄소와 대기오염물질 중에서 대표적인 NOx의 배출량을 중심으로 서울의 대기환경용량을 평가하고자 합니다. 이 때 토양피복율과 대기환경용량 사이에 어떤 관계가 있다고 생각하십니까?

질문 6) 기타 본 연구와 관련하여 좋은 의견이 있으시면 제시해 주시기 바랍니다.

끝으로 아래의 일반사항을 적어주시기 바랍니다.

○ 소 속 :

○ 직 위 :

○ 연락처 :

○ 성 명 :

설문에 응해주셔서 대단히 감사드립니다.

<부록 4> 미국 코네티컷 주 여러 도시의 토양피복규정 세부내용

본문 <표 5-3>의 코네티컷 주의 여러 도시에 대한 토양피복도 규정을 아래에 좀 더 자세하게 열거하였다.

(1)앤소니아 타운(TOWN OF ANSONIA)

앤소니아 지역-지구 조례에서 AA 주거지구, A 주거지구, B 주거지구의 최소 규정 (minimum requirement)은 아래와 같다.

District Codes Categories	AA	A	B
Lot Area(sq. ft.)	30,000	12,500	7,500
Building Area as % of Lot	20%	25%	35%
Lot coverage by impervious surfaces	40%	45%	60%

(2)베를린 타운(TOWN OF BERLIN)

토양피복에 대한 정의를 다음과 같이 내리고(한 필지에서 빌딩, 구조물, 도로포장 등으로 피복된 부분의 %), 지역지구조례에서 주거지역을 3 종류(PR-1, PR-2, PR-3: Planned Residential)로 구분하여 규정하였다. 그리고 아래와 같이 각 주거지역 종류별 최소 필지면적과 빌딩이 포장될 수 있는 정도(%)와 필지에서 토양피복의 한계를 규정하였다.

	PR-1	PR-2	PR-3
Minimum lot requirements Areas(acres)	20	7	5
Maximum coverage's building coverage	10%	15%	20%
impervious surface	25%	30%	40%

그리고 산업지역과 업무지역에 관한 토양피복과 빌딩에 관한 규정은 다음과 같다.

OL: 업무연구지역 (office laboratory)

GI: 일반산업지역 (general industry)

PI: 계획산업지역 (planned industry)

POD: 계획업무개발지역 (planned office development)

(%)	OL	GI	PI	POD
maximum building coverage	25	35	30	25
Max. impervious surface coverage	60	80	60	50
minimum lot size(acres)	25	0.5	5	10

(3) 볼튼 타운(TOWN OF BOLTON)

볼튼 타운의 조례에서 다가구 주거지구(multi-family residence)에 대한 필지별 크기와 토양피복에 대한 규정이 다음과 같이 언급되어 있다.

Minimum front yard: 50feet

Minimum side yard: 50feet

Minimum rear yard: 50feet

Maximum lot coverage: 15%

Maximum impervious coverage: 20%

(4) 브룩클린 타운(TOWN OF BROOKLYN)

브룩클린 타운 조례에 다음과 같이 토양피복을 정의하고 있다: 강우의 토양흡수를 방해하거나 막는 물질로 포장된 표면.

상업지역(Planned Commercial Zone)에 대해서 다음과 같이 규정하고 있다.

Maximum building Coverage 20%

Maximum Coverage of impervious surfaces	80%
Minimum lot size	1 acre

업무지역 (Business Zone)에 대한 토양피복의 규정은 아래와 같다.

Maximum building coverage	20%
Maximum impervious surface Coverage	80%

또한 근린상업지역 (neighbourhood commercial zone)에 대한 토양피복은 다음과 같이 규정하고 있다.

Maximum building coverage	20%
Maximum impervious surface coverage	80%

(5) 더함 타운(TOWN OF DURHAM)

더함 타운에서는 계획개발단지 (Design Development District)에 대해 다음과 같이 토양피복에 제한규정을 두고 있다. 이 단지내의 산업단지와 상업단지의 계획과 개발을 하고, 주거와 공공의 조화와 편리성을 고려하며, 적정 오픈 스페이스와 주차 등을 고려하기 위해서 이 개발계획단지는 30acre보다 작아서는 안되며, 빌딩, 주차장, 도로 등의 포장면이 필지당 50%를 초과해서는 안된다고 규정하고 있다. 그리고 stormwater management system을 통해 강우시 토양으로 수분이 충분히 흡수되도록 권고하고 있다.

(6) 엘링턴 타운(TOWN OF ELLINGTON)

엘링턴 타운의 조례에서 업무전문지구 (BUSINESS PROFESSIONAL ZONE)에 대해서 다음과 같은 규정을 두고 있다.

minimum lot area	3 acres
maximum building coverage	15%

maximum building height	24ft or 2 stories
maximum impervious coverage	60%

(7) 에섹스 타운(TOWN OF ESSEX)

단일주거가구(SINGLE FAMILY)를 위한 집단적 개발지역(CLUSTER DEVELOPMENT)의 경우 다음과 같은 규정을 두고 있다.

Min Area of Subdivision	10 Acres
Min. lot area With or Without Public Water Supply	필지면적의 50%
Min lot Width	125ft
Front Setback	25ft
Max building coverage	15
Max impervious Coverage	25%
Max Building Height	30ft

그리고 오픈스페이스에 대한 토양피복규정이 존재한다.

단일주거형태만이 가능

maximum Building Coverage	15%
maximum impervious coverage	25%

(8) 페어필드 타운(TOWN OF FAIRFIELD)

해안지구(BEACH DISTRICT)에 대한 규정을 다음과 같이 언급하고 있다.

최대 허용가능 피복도는 기존의 피복도는 그대로 놓고 새로운 개발이나 재개발에 대해서 20%로 한정한다. 그리고 도로 또는 보도는 최대 폭을 3feet로 규정하고 있다.

(9) 플레인 필드 타운(TOWN OF PLAINFIELD)

상업지구(C-1, C-2, C-3)에 건설되는 쇼핑센터에 대해 규정을 두고 있는 데, 그 내용은 아래와 같다.

Min site area	4acres	20000 sq feet
Max site coverage	60%	100%
(all impervious surfaces)		

그리고 특정수입시설(special revenue facilities) 의 경우 규정은 아래와 같다.

Min site area	50acres
max site coverage	25%

(10)플리마우스 타운(TOWN OF PLYMOUTH)

계획주택개발지역(PLANNED AFFORDABLE HOUSING DEVELOPMENT)의 경우 최소필지와 최대피복율의 규정은 다음과 같다.

minimum parcel area	10 acres
maximum impervius surface coverage	50%

그리고 노인층을 위한 주거개발지역의 경우 최대 피복율을 50%로 규정하고 있다.

(11) 로키힐 타운(TOWN OF ROCKY HILL)

행정업무지구(EXECUTIVE OFFICE DISTRICT)에 대한 토양피복에 대한 규정을 두고 있다.

MIN ACREAGE	15 ACRES
MIN LOT ACRES	3 ACRES

MAX IMPERVIOUS LOT COVERAGE(multi-story)	55%
MAX IMPERVIOUS LOT COVERAGE(single-story)	65%
Min open space(multi-story)	45% of lot
Min open space(single-story)	35% of lot

(12) 사우스 윈서 타운(TOWN OF SOUTH WINDSOR)

농촌주거지역(rural residential zone)은 다음과 같은 시설에 따라 최대피복율 규정을 달리 하였다.

- 기존의 주거지역을 two-family 형태로 전환
- 사회복지, 교육, 레크레이션, 종교와 관련된 시설의 경우 토양피복 50%
- 전화교환, 환승시설, 버스, 전철 대기실, 승객대기실은 35%
- 4거리의 코너에 위치한 각지의 경우 50%
- 병원, 위생시설 등의 경우 50%
- 9홀 이상의 골프코스 10%
- 말(horse)과 관련된 상업시설(빌딩, 토지 등) 20%
- 은퇴한 노인을 위한 주택: 40%

주거지역의 경우 각 시설 또는 용도에 따라 토양피복율이 다음과 같이 나뉜다.

- 최대 3명의 세입자(여행자, 유숙자 제외)를 가진 주택의 경우 최대 토양피복율 10%
- 마구간 20%
- 주거지역 60%

계획주거지역(DESIGNED RESIDENCE ZONE(DRZ)의 경우 최대 토양피복율 30%

일반상업지역의 경우 최소필지와 최대토양피복율 규정은 다음과 같다.

minimum lot size	80,000 SQUARE FEET
maximum impervious coverage	25%

업무단지지역의 경우 최대 토양피복율과 최대 빌딩면적 규정은 다음과 같다.

maximum impervious coverage	50%
maximum building coverage	30%

통로개발지역은 사이트와 사이트를 연결하는 지역을 일컫는 것으로, 이 지역의 최소필지면적과 최대 토양피복율 규정은 다음과 같다.

minimum lot size	5 acres
maximum impervious coverage	65%

(13) 스트랫포드 타운(TOWN OF STRATFORD)

스트랫포드 타운은 조례에 상세하게 지구별 최소필지 ,빌딩점유면적의 비율, 최대 피복율, 최소 오픈스페이스 면적의 비율을 규정하고 있다.

단독가구 주거지구의 경우 피복율 규정은 아래와 같다.

Min lot area	200,000sq.ft.
Max building coverage	0.5%
Max impervious area	0.5%
Min open space	99%

주택개발지구의 피복도 규정은 다음과 같다.

Min lot area	120,000sq.ft.
Max building coverage	20%
Max impervious area	45%
Min open space	55%

제한업무지구 즉 도심센터의 경우 다음과 같다.

Min lot area	9,000sq.ft.
Max building coverage	25%
Max impervious area	70%

Min open space 30%

소매상업지구의 경우 토양피복에 관한 규정은 아래와 같다.

Min lot area 7,500sq.ft.

Max building coverage 50%

Max impervious area 80%

Min open space 20%

예술(극장, 오페라하우스 등)업무 등이 소재한 지구에 관한 규정은 다음과 같다.

Max building coverage 25%

Max impervious area 40%

연안업무지구(waterfront business districts)는 아래와 같다.

	Marine Uses	Mixed uses
Min lot area	10,000sq.ft.	10,000sq.ft.
Max building coverage	35%	25%
Max impervious area	70%	60%
Min open space	20%	30%
Min water frontage	100ft	100ft

전문상업지구는 다음과 같다.

20,000sf

impervious area 80%

해안 및 경공업(light industrial) 지구는 아래와 같다.

Max building coverage 30%

Max impervious area 70%

Min open space area 30%

시정연
2000-R-41

서울시 환경용량 평가에 관한 연구 II

발행인 권원용
발행일 2000년 12월 31일
발행처 서울시정개발연구원
 100-250 서울시 중구 예장동 산 4-5
 전화: (02)726-1125 팩스: (02)726-1110

ISBN 89-8052-206-1-93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다.