

도시생태계의 정의와 범위¹

김준호²

Definition and Scope of Urban Ecosystem¹

Joon-Ho Kim²

머리말

도시는, 자연생태계나 농경생태계와 달리, 사람이 건설한 인간과 자연으로 구성된 인공생태계이다. 도시를 건설한 인간은 도시 속에서 특이한 사회구조를 형성하여 경제활동을 하고, 도시 속의 자연은 식물·동물·미생물의 평형이 깨져서 도시 특유의 비생물환경을 형성한다. 전 인구의 70% 이상이 도시에 집중되고 있으므로 도시생태학(urban ecology)의 연구는 그 중요성이 강조되고 있다.

도시생태학은 도시화가 급속히 진행되고 환경문제가 주목되기 시작한 1970년대부터 정립되기 시작하였다. 中野 등(1973)은 일찌기 도시생태학을 (1) 인간환경으로서의 도시, (2) 도시생태계의 구조와 동태 및 (3) 도시에서의 물질대사로 구분하여 저술한 바 있다. 국제적으로 도시생태학에 대한 심포지움이 열려서 그 자료가 발간되고 있다. 예를 들면, 제 2차 유럽생태학 심포지움에서 발표된 논문이 1982년에 Urban ecology(Bornkamm 등 편)로 발간되었고, 이어서 도시생태학 심포지움이 1991년에 Ege 대학교(Turkey)에서 개최되어 역시 Urban ecology(Öztürk 등 편)가 발간되었으며, 한국에서도 1990년에 UNESCO한국위원회 주관으로 아시아지역의 도시생태학에 관한 심포지움이 개최되었다(Kim, 1990).

INTECOL에서 주관하는 제 1차 국제생태학회가 1974년에 열렸지만 도시생태학분과가 설립되지 않았다. 1986년의 제 4차 국제생태학회에서 도시생태학분과가 설립되어 5편의 논문이 발표되었고, 1990년의 제 5차학회에서 8편이, 1994년의 제 6차국제생태학회에서 18편이 발표됨으로써 도시생태학에 대한 학자들의 연구의욕이 높아지고 있음을 보여주

고 있다.

도시생태학에 대한 최근의 연구 동향을 가늠하기 위하여 제 6차 국제생태학회(1994)의 도시생태학 심포지움에서 발표된 논문제목을 제시한다. 이 제목들은 대부분 도시의 자연을 대상으로 연구하고 있을 뿐 도시와 관련된 사회나 경제에 관한 연구가 배제되어 있다.

- (1) Habitat corridors for animals and plants
- (2) Urban influences on the structure and species composition of deciduous woodland
- (3) Plant species composition in cities: how many species can survive in urban area
- (4) Characteristics and management of trees on stone walls in urban Hong Kong
- (5) Analysis of bird distribution in Tokyo using LANDSAT data
- (6) Changing distribution of the house martin (*Delichon urbica*) in south Manchester during the 20th century
- (7) Effects of landscape structure on the distribution of birds in an urban-rural area
- (8) Urban ecology of palm caterpillars: spatial patterns in pupal mortality along an urban gradient
- (9) Ecological principles and their application to the urban environment
- (10) Realising the ecological potential of post-industrial landscapes

1 1997 환경생태학회 심포지움 발표문

2 서울대학교 자연과학대학 College of Natural Sciences, Seoul Nat'l Univ., Seoul, 151-742, Korea

- (11) Assessing habitat uniqueness and habitat quality
- (12) Prospects for the persistence of western burrowing owls in an urban environment
- (13) Light attenuation by trees and urban landscape design
- (14) Development of roof vegetation of different substrates
- (15) The management of school grounds by students in higher education: a partnership in ecological education
- (16) Swimming pools as a conservations site in the urban area for dragonflies
- (17) Aquifer water quality in relation to land use pattern: a case study of typical urban settlement
- (18) Impact of the Ganga action plan on water quality of the River Ganga, India

본 고(稿)에서는 도시의 의미를 Wang 등(1990)에 의한 사회-경제-자연 복합생태계의 입장에서 해석하고, 도시의 범위를 Odum(1983)에 의한 생태계의 입력-출력환경으로 설명하기로 한다.

도시생태계의 정의

도시생태계를 이해하려면 먼저 도시와 자연생태계 사이의 구조와 기능을 비교하는 것이 효과적이다. Tansley(1935)는 생태계를 특정 지역 내의 생물군집과 비생물환경 사이에 상호관계(interaction)가 일어나는 통합된 계(system)라고 정의하였다. 그가 정의한 자연생태계는 식물·동물·미생물로 구성된 생물군집과 햇빛·온도·물·흙 따위로 이루어진 비생물환경 사이에 균형잡힌 물질순환과 에너지유동을 통한 상호관계가 일어나며 자기유지를 하는 계이다(Figure 1-1).

한편 농경생태계는 인간에 의하여 자연생물군집이 특정 생물종으로 바뀌므로써 종다양성이 낮고 햇빛 이외에 약간의 외부 에너지(인력과 화석에너지)가 보충되지만 자기유지를 하는 계이다(Figure 1-2). 이들에 비하여 도시생태계는 주로 인간과 자연으로 구성되는데 인간은 특이한 사회구조를 형성하고 경제활동을 하며 자연(주로 생물군집과 지형)을 변형시키고 외부로부터 다량의 물질과 에너지를 도입하여 생산품과 폐물을 생산하여 배출하며 왕성한 대사활동을 하는 인공생태계이다(Figure 1-3).

생태계의 대사를 살펴보면, 자연생태계는 태양에너지만으로 자기유지를 하는 독립영양계이며 해양

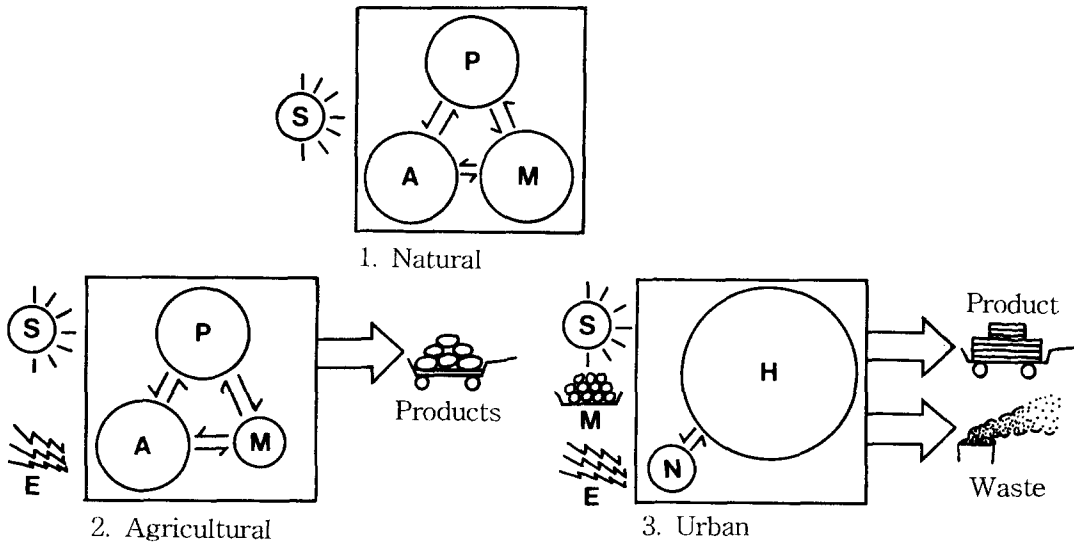


Figure 1. Comparison of the structure and function among natural, agro- and urban ecosystems
 S: sun, E: energy, M: materials, P: plants, A: animals, M: microorganisms, H: human being, N: nature

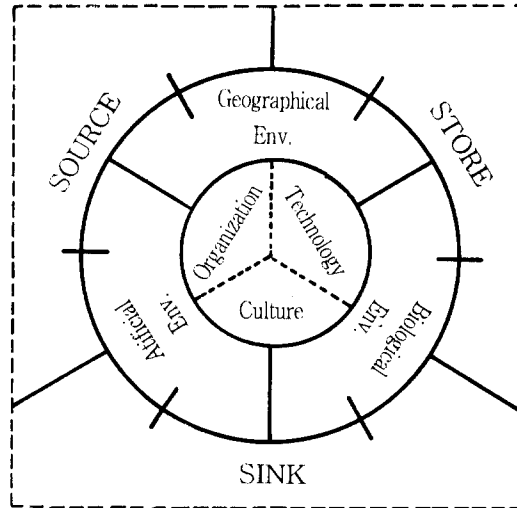


Figure 2. Structure of Socio-Economic-Natural-Complex Ecosystem(SENCE). Center part stands for the core composed of human being, second concentric circle for the direct environment as the base and outside square for the external environment with input and output

이나 산림과 같이 각각 독립해서 존재할 수 있지만, 도시생태계는 태양에너지 이외에 화석과 원자력에너지를 도입하여야 유지되는 중속영양계이며 독립하여 존재하지 못한다. 농경생태계는 대사가 도시생태계보다 자연생태계에 가깝다. 자연생태계가 유지되는 능력은 모든 구성원 사이의 자연스러운 상호관계가 일어나는데 반하여 도시생태계는 상호관계가 매우 적게 일어나며, 상호관계로 파악하기가 대단히 어렵다.

Wang 등(1990)은 도시생태계를 인간의 사회구조와 경제활동이 주축을 이루며 인간활동에 의하여 조정되고 자연환경이 기반이 되는 인공생태계라고 정의하고, 이 계를 사회(social)-경제(economic)-자연(natural) 복합 생태계(complex ecosystem) 즉 요약해서 SENCE라고 불렀다. 도시생태계의 구조는 세 부위로 구성된다(Figure 2). Figure 2에서 원의 중앙부는 사람으로 이루어져 있는데 인간이 사회조직, 기술 및 문화를 가지고 도시생태계를 조절하는 핵심부(core)이다. 원의 바깥 부위는 인간활동과 직접 관계를 맺는 환경, 즉 지형, 인공환경(건축물, 도로 등) 및 생물환경(식생, 야생동물)으로서 인간활동을 지원하는 SENCE의 기초부(base)이다. 외부의 사각형 부위는 도시생태계의 공급원(source), 수용원(sink) 및 물질축적(store)을 맡아 핵심부를 유지하는 SENCE의 외부환경

(external environment)이다. 이 외부환경은 도시생태계의 범위에서 논의할 예정인 입력환경과 출력 환경에 해당한다(Odum, 1983).

세 부위로 구성된 SENCE는 정도가 약하기는 하지만 각 부위가 서로 상호관계를 맺는다. 인간활동과 직접 관계하는 환경인 기초부는 도시의 특이한 장소를 점유하지만 그 자신만으로 완전한 기능을 발휘하지 못하고, 외부환경으로부터의 물질, 에너지, 자본, 정보 및 시민의 교류에 의존한다. 외부환경(Figure 2의 사각형)은 특이한 위치를 차지하지 않지만 기초부와 상호관계를 맺으며 물질과 에너지의 공급원, 수용원 및 축적을 담당하는 영향권의 범위에 있다.

도시의 SENCE의 연구과제는 첫째 기초부와 외부환경 사이의 기능적 동태를 밝히고, 둘째 핵심부와 기초부 사이의 자기조절과 조절방법을 밝히는데 두는 것이 효과적이다.

SENCE의 기능은 정육면체로 표시할 수 있다(Figure 3). Figure 3에서 정점 H(인간), P(생산), L(생활), R(자원), E(환경) 및 N(자연)은 각각 조절, 생산품, 생활, 공급, 수용 및 감소/재생산의 기능을 나타낸다.

복잡한 SENCE에서는 서로 의존하는 세 가지 관계가 내포되어 있다. 즉 (1) 인간과 자연 사이의 촉진, 억제, 적응 및 재구성의 관계, (2) 인간과 자연

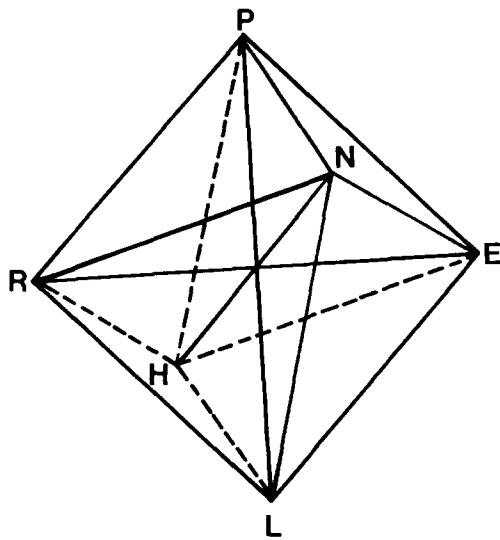


Figure 3. Function of Socio-Economic-Natural Complex Ecosystem (SENCE). P: production, L: living R: resource (input), E: environment(output), H: human(control), N: nature(regeneration). Contradictional effects are carried out between H and N, P and L, or R and E

사이의 개발, 이용, 가공처리 및 축적의 작용을 통한 관계. (3)인간의 생활과 생산활동에 있어서 경쟁, 협조(공생), 복종 및 예측의 관계이다.

SENCE의 기능은 인간 : 자연 (Figure 3의 H-N축), 생활 : 생산 (L-P축) 및 자원 : 환경 (R-E축) 사이에 내재하는 세 가지 큰 모순에 의하여 지배된다. 즉 각 축에 있어서 두 정단의 기능은 서로 촉진과 억제에 상반된 기능을 가지므로 한 축이 과대 증가하면 다른 축이 부적합한 영향을 받게 된다. 현재 지구상의 거의 모든 환경문제는 위의 세 가지 모순 관계에서 벗어난 불균형에서 오고 있는 것이다.

도시생태계가 어떻게 하면 효과적인 기능이 발휘되는지 살펴보기로 한다. 도시생태계에서 물리적, 제도적 및 인간행동적 관계를 새롭게 교체하면 물질, 에너지, 정보, 자본 및 인구가 잘 유통되어 활력을 유지하게 된다. Table 1은 도시생태계의 형성과정, 발전방향, 작인 및 축도를 보여준 것이다. 도시생태계의 발전은 자연천이와 인간에 의한 개발 사이의 상호관계의 결과로 진행된다.

여기에는 효과적인 두 요인, 곧 선도요인과 제한요인이 작용한다. 선도요인이 우세하면 여러 가지 인간활동은 적합한 생태적 지위를 오랫동안 차지하여 도시가 거의 수직적으로 성장(r-형 성장)한다. 이 때의 목표는 빠른 속도와 높은 효율을 얻는데 있으며, 그 과정은 선도요인을 위하여 경쟁적으로 인

Table 1. The dynamics of SENCE(Wang et al., 1990)

Scope	Process	Two extremes	Agent	Measurement
Physical variation	· Environmental change	· Natural: artificial	· Natural and artificial succession	· Eco-exhausting
	· Material transformation	· Useless: useful	· Recycling and regeneration	· Eco-stagnancy
	· Energy flow	· Extensive: intensive	· Energy conservation	· Eco-efficiency
Economic variation	· Value floating	· Ecological value: economic value	· Natural and market value	· Ecological value
	· Science and technology	· Echaos: high order	· Accumulation of energy quality	· Ecological order
	· Progress	· Chain: network	· Symbiosis	· Eco-coordinating index
Social variation	· Human being migration	· Rural: urban	· Eco-niche exploiting and competition	· Eco-attractiveness
	· Cultural evolution	· Savage: civilization	· Coevolution	· Eco-consciousness
	· Behavior variation	· Spontaneous: consciousness	· Self-organization	· Sustainability

간행동이 격렬해지는 것이 특징이다. 한편 생태적 지위가 빨리 점유되면 부족한 생태요인들은 점차 제한요인으로 전환된다. 그래서 성장속도는 둔화되고 그 과정은 역치(threshold)형 성장(K-형 성장)으로 나타난다. 이 때의 목표는 안정한 발전을 유지하는데 있고 그 과정은 제한요인과 절충하여 협조적 행동으로 되는 것이 특징이다.

도시생태계의 자기조절능력에 대하여 살펴보기로 한다. 본래 지속 가능한 발전은 다음 세대를 위하여 환경과 자원을 효과적으로 이용하려는 개념에서 정립되었다. 그런데 개발도상국에서는 인구압박, 자원 부족, 환경영약의 악순환을 되풀이 하며, 환경과 자원의 지나친 오용과 개발이 이루어지며 지속 가능성이 적어져서 경제가 더욱 발전하지 못한다. 이러한 문제는 역사적, 자연적, 대외적 원인에서 비롯되지만 주 원인은 도시 내부에서 발생한다. 그 원인 중에는 도시가 소유하는 자원, 인력, 금융, 제도 및 인간 행동의 이용을 낭비하는 데에서 찾을 수 있다.

SENCE의 연구는 생태적 원리에 입각하여 도시에서 일어나는 당면한 문제를 발견하고, 행정과 기술과 인간행동을 효과적으로 조절하며, 불합리한 내부의 생태적 상호관계를 조절하고, 외부에서 오는 제한요인을 감소시키며, 자기조절능력을 높이고, 지역조건에 맞도록 지속 가능한 개발을 실현하는 데 목적이 있다. 다음에 열거하는 자연생태계의 원리는 도시생태계에 적용함으로써 자기조절능력을 높일 수 있다.

원리 1. (순환의 원리). 지구상의 모든 생산품은 폐물로 전환한다. 그리고 어떤 폐물이는 생물권의 어떤 주성원과 결합한다. 과대 또는 과소한 폐물은 여러 가지 생태학적 문제를 제기한다.

원리 2. (촉진 및 억제 원리). 모든 생물은 자원에 대하여 경쟁을 통해서, 그리고 지속 가능성을 유지하는 공생을 통해서 생존하고 있다. 경쟁이나 공생의 기작을 가지지 않는 생물종은 생명력이 취약하므로 다른 종에 의하여 대체된다.

원리 3. (평형의 원리). 모든 생물에 대하여 발전을 저해하는 제한요인과 함께 음의 피이드백 기작이 작용하고, 발전을 촉진하는 선도요인과 함께 양의 피이드백 기작이 작용한다. 안정한 생태계에서는 양과 음의 피이드백이 평형을 이룬다.

원리 4. (자기조절의 원리). 모든 생물은 가장 적당한 시기에 신속하게 발전하는 전략과 함께 자기 보호를 위하여 위험을 기피하는 전략을 갖는다. 즉 생물은 환경적응과 자기조절의 비교적 강한 능력을 가지고 있다.

도시생태계를 생태학적 방법으로 분석할 수 있는가를 살펴보기로 한다. 생태학에서 이용하는 전통적 시스템모델 기법은 비교적 작은 도시생태계의 실체를 단순한 수학적식으로 표시하고, 그 수식에 몇가지 parameter, 공리 및 가설을 적용하여 그 행동을 시뮬레이션하고 조절하는데 이용한다. 그런데 시스템모델 기법은 잘 정비한 물질계에는 쉽게 적용할 수 있지만 복잡한 도시생태계에는 적용하기 매우 어렵다. 왜냐하면 도시생태계에 대한 정보가 영성하고 모호하며 불완전하므로 시스템모델에서 유도한 결과는 도시생태계의 실상과 맞지 않는 경우가 많기 때문이다.

현재까지 도시생태계에 대한 시스템모델의 적용은 부정적이었다. 그 이유는 도시생태계에 관한 원리가 없고, 그 실체가 변화하며 모델작성자와 정책결정자의 경험과 지식이 한정된 데에 있었다. 시스템모델을 이용하려면 도시생태계의 분석을 통해서 그 동태를 파악하고 중요한 조절행동을 식별하며 시뮬레이션하는 일이 진행되어야 한다. 전체 도시를 모델화하거나 최적화(optimize)하는 것보다는 오히려 도시 기능을 조절하는 몇가지 적절한 방법을 찾아서 시스템모델에 적용할 수 있다.

도시생태계는 다음의 요인들을 적용하여 분석할 수 있다.

- (1) 식별: 중요한 촉진요인과 억제요인, 선도적으로 작용하는 양과 음의 피이드백 루프 및 중요한 기회와 위험한 기회를 식별한다.
- (2) 시뮬레이션: 야기된 문제의 방향을 시뮬레이션하고 과정을 추적하며 정책을 검증한다.
- (3) 조정: 생태공학을 혁신하고 생태적 제도를 재형성하며 생태적 행동을 유도하도록 조정한다.

도시생태계의 범위

모든 생태계는, 도시생태계를 포함하여, 개방계(open system)이다. 생태계가 정상적으로 기능을 발휘하고 자기유지를 하려면 생태계 본체에 입력환경(input environment)과 출력환경(output environment)이 결합되어야 한다(Odum, 1983) (Figure 4). Figure 4에는 원 부분인 생태계 본체의 주변에 입력환경과 출력환경이 그려져 있다. 본체와 입력 및 출력 환경 사이의 경계는, 삼림이나 호소에서 자연적으로 그어지고, 도시에서 행정상의 편의로 그어진 선에 지나지 않으므로, 기능적인 경계

라고 말하기 어렵다. 만일 생태계의 경계가 불투과성이자면 자연 또는 도시생태계는 하류도 유지하지 못할 것이다. 도시생태계는 개방된 경계를 통해서 막대한 물질과 에너지 및 사람이 유입하고 또 생산품과 폐물 및 사람이 유출한다.

입력환경과 출력환경의 크기는 생태계에 따라 크게 다르며 다음의 몇가지 변수에 의하여 변화한다.

- (1) 도시의 크기: 종속영양을 하는 도시는 크기가 클수록 외부환경의 범위가 넓어진다.
- (2) 독립영양—종속영양의 평형: 같은 크기의 도시에서는 종속영양을 하는 공업도시가 독립영양을 하는 전원도시보다 외부환경의 범위가 넓어진다.
- (3) 대사강도: 에너지를 많이 소비하고 생산품이 많으며 교통량이 많은 도시일수록 외부환경이 넓어진다.
- (4) 발전단계: 새로 건설하는 도시는 안정한 도시보다 외부 환경에 더 의존한다.

한국에서 도시생태계의 범위는 식량의 입력환경의 경우 가까운 평야지에 한정되지만 화석에너지의 경우 멀리 중동의 산유국에 이르고, 물공급의 입력환경과 수질오염의 출력환경의 경우 가까운 하천과 바다에 한정되지만 대기오염의 경우 수백 km의 먼 거리에 이르므로 칼로 벤듯이 넓이를 정할 수가 없다.

맺는말

도시생태계는 주 구성원인 인간의 사회구조와 경제활동이 주축이 되고, 부 구성원인 자연이 주 구성원과 상호관계를 받으면서 존재하는 실체이다. 도시생태계는 사회구조와 경제활동이 일어나는 핵심부와

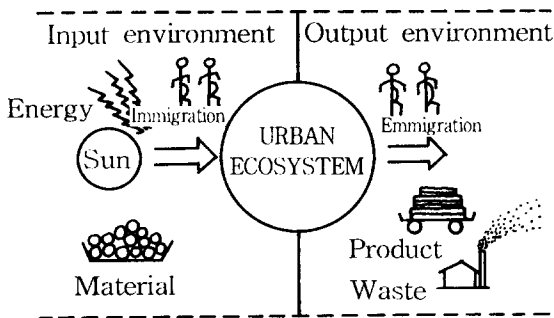


Figure 4. Urban ecosystem with external environments

그것과 직접 관계하는 기초부 및 물질과 에너지의 공급원, 수용원 및 축적을 담당하는 외부환경의 세부위로 구성되는, 사회—경제—자연—복합 생태계 (SENCE)로 이해할 수 있다. 도시생태계는 자연생태계의 원리에 따라 기능을 조절하고 시스템모델 기법으로 분석할 수 있다.

도시생태계의 범위는 그 크기, 독립영양과 종속영양의 평형, 기능적 활성 및 발달단계에 따른 외부환경(입력환경과 출력환경)의 변화에 의하여 크게 달라진다. 생태학자나 환경학자는 도시생태계를 자연만을 대상으로 연구하였지만 앞으로는 사회학자와 공동으로 연구하여야 문제의 정곡에 접근할 수 있을 것이다.

인용문헌

中野尊正, 沼田眞, 半谷高久, 安部喜也(1973) 都市生態學. 共立出版. 東京. 126pp.

Abstracts of V International Congress of Ecology(1990) Yokohama, Japan. pp.214-215.

Bornkamman, R., J. A. Lee and M. R. D. Seaward(eds)(1982) Urban ecology: 2nd European Ecological Symposium. Blackwell Sci. Publ., Oxford. 333pp.

Gilbert, O. L.(1989) The ecology of urban habitats. Chapman and Hall. London. 369pp.

Grey, G. W. and F. J. Deneke(1986) Urban forestry. John Wiley and Sons. New York. 299pp.

Kim, Joon-Ho(1990) An overview on the changes of climate, vegetation and wildlife in Seoul, Korea. Report of UNESCO Regl. Symposium on the Comparative Study of Metropolis Ecosystems in Asia. Korean Nat'l Comm. for UNESCO. pp.301-314.

Kim, Joon-Ho(1991) Metropolitan ecosystem of the city of Seoul, Korea: An overview on the changes of climate, vegetation and wildlife. In "Urban ecology" (eds: M. A. zt rk, . Erdem and G. G rk). Ege university press. Izmir, Turkey. pp.346-358.

Odum, E. P.(1983) Basic ecology. CBS College. 613pp.

Proceedings of the First International Congress

of Ecology(1974) Hague, Netherlands. 413pp.
Proceedings of the VI International Congress of
Ecology(1994) Manchester, UK. pp.228-232.
Program of the IV International Congress of
Ecology(1986) Syracuse, NewYork. 40pp.

Wang, R., L. Li and E. Qintao(1990) Urban
ecological study in China. Report of UNESCO
Regl. Symposium on the Compantive Study of
Metropolis Ecosystems in Asia. Korean. N. C.
for UNESCO. pp.94-118