

## 습지형 바이오툼 기능모델 구성<sup>1)</sup>

- 방동소택지를 사례로 -

구본학<sup>2)</sup> · 김귀곤<sup>3)</sup>

<sup>2)</sup>서울대학교 대학원 협동과정 조경학 박사과정 · <sup>3)</sup>서울대학교 조경학과

## Constructing the Functional Models of Wetland Biotopes<sup>1)</sup>

- Focused on the Bangdong Wetland -

Koo, Bon-Hak<sup>2)</sup> and Kim, Kwi-Gon<sup>3)</sup>

<sup>2)</sup>Graduate School, Seoul National University

<sup>3)</sup>Dept. of Landscape Architecture, Seoul National University

### ABSTRACT

This study is one of the processes to build the artificial wetlands in the urban area. The purpose of this study was to survey biotic or physical environments, and to review modelling techniques to find out the ecological structure and function. Case study site was the Bangdong wetland in the north west side of Taejon metropolitan city.

The number of species of insects decreased during monitoring. But the number of individuals of insects decreased abruptly after increasing. And then biodiversity index dropped and dominance index increased. So the structure of biotopes was affected by weather conditions. And in the restricted area such as urban area, the changes of insects were affected sensitively by not physical but environmental changes.

As for birds, the number of species was reduced a little, but the number of individuals increased abruptly. And dominance index increased slowly. The changes of water depth and increase of temperature affected the habitat condition of vegetations and birds, so the dominance index of specific species increased. In urban areas it is necessary to continue management for water environmental changes, such as the depth and area of water.

The number of species of fishes was reduced a little, but the number of individuals increased abruptly. And dominance index and biodiversity index decreased slowly. But the water environments was so changeable that it is difficult to explain current status as some specific trends.

The number of species of reptiles and amphibians changed little, but the number of individuals increased abruptly. And dominance and biodiversity were not changed. The changes of water

1) 본 연구는 환경부의 G-7과제 중 '도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술의 개발' 연구 지원으로 수행되었음.

depth and temperature affected the habitat of every species the environmental changes affected.

Key words : *Ecological Model, Biotope, Ecosystem, Wetland*

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

도시공간에 인공습지를 도입하여 생물서식공간을 조성하기 위해서는 자연상태의 습지 생태계의 기능적, 형태적, 생태적 특성을 원형(proto-type)으로 그 구조와 기능을 반영하는 것이 바람직하다.

이러한 생태계의 구조와 기능을 이해하기 위해서는 생태계내 생물상의 분포와 활성(activity)을 파악해야 하는데 자연의 현상이 매우 복잡하며 다양한 변수로 이루어져 있으므로 복잡한 현상 중에서 가장 중요하고 기본적인 특성만을 단순화된 모식 또는 공식으로 표현한 모델(model)로 나타내는 것도 유용한 방법이며, 일정한 검증 절차를 거쳐 자연의 현상을 쉽게 이해할 수 있음은 물론 앞으로 일어날 현상의 변화에 대한 여러 가지 예측이 가능하다(Odum, 1971 ; Odum, 1994 ; 김 등, 1995). 이러한 모델 작업의 주된 목적은 복잡한 문제에 대한 이해를 돕기 위함이며(Sugg, 1996), 모델링을 통하여 무엇이 포함되어 있으며, 어떤 변화가 올 것인지에 대한 구조적, 기능적 파악이 가능하다.

이러한 모델의 유형을 분류하는 기준이 Odum (1971), Odum(1983), Patton(1992), 양(1995), Sugg (1996), Lim(1998) 등에 의해 제시되었고, 하천 및 호수생태계를 대상으로 한 Mulamoottil et al. (1996), Nakamura(1998) 등의 모델이 있으며, 산림생태계를 대상으로 한 모델로는 Patton(1992), 이 등(1996), Lim(1998), 신과 김(1998) 등의 연구가 있다.

습지와 관련된 모델로는 STREAM 모델, WQRRS, WASP4, BROOK90 수문 모델 등이 있으며(한국전설기술연구원, 1997), 댐저수지 주변의 생태계 변화를 평가모델(김 등, 1996), 수생식물과 환경과의 관련성에 대한 모델(서울대

학교, 1998) 등이 있다.

생태계의 구조와 기능에 대한 관심이 높아지고 환경문제에 대한 사회적 요구가 높아지면서 생태계를 이해하고 환경문제를 해결하기 위한 이론적인 근거로서 생태계를 시스템적으로 이해하고 계량적으로 분석하고자 하는 시스템생태학(System Ecology)과 계량생태학(Quantitative Ecology)이 대두되고 있으며, 인류 복지를 위해 유용 자원을 지속적으로 사용할 수 있게 하기 위한 적정 관리의 수단으로서 보전생태학(Conservation Ecology)과 복원생태학(Restoration Ecology)에 대한 관심이 높아지고 있다(Odum, 1971 ; Dash, 1996).

본 연구는 도시공간에 효율적인 생물서식공간을 조성하거나 복원하는 전략의 하나로서, 시스템생태학 등의 원리를 이용하여 생태계의 구조와 기능을 설명하고 그 변화를 예측할 수 있는 모델링 기법을 도입하기 위한 이론적 근거와 실천적 사례를 고찰하여, 자연생태계에 대한 생태조사 결과를 바탕으로 기초적인 생태계 기능 모델을 구성하며, 도시공간에 인위적으로 조성되는 인공습지의 기능을 파악하고 생태계의 천이를 예측하는데 목적이 있다.

### 2. 연구 범위 및 방법

본 연구는 연구의 이론적 틀을 마련하기 위한 기존 연구 중심의 문헌연구를 통한 이론 고찰과 연구 대상지에 대한 사례연구로 구분하여 진행하였다.

문헌연구에서는 습지생태계의 구조 및 기능과 모델링 기법에 대한 이론적 검토를 통해 생태계 모델의 개념과 유형 등 모델 구성에 대한 분석 틀을 설정하고, 이를 바탕으로 습지 생태계의 구조와 기능을 나타낼 수 있는 수학적, 구획적 모델을 구성할 수 있는 제반 원칙을 제시하였다.

사례연구로서 대전광역시에 위치한 방동소택

지에 대한 생태계 조사 결과를 토대로 물리적 환경 변화와 조류, 곤충류, 어류, 양서파충류 등에 대한 생물종의 수, 개체수, 종다양도 및 우점도 등의 변화 특성을 분석 고찰하였고, 각 생물종과 환경조건 사이의 회귀분석을 통하여 예측모델을 구성하였다.

생태계 조사는 1996년부터 1998년에 이르기까지 3년에 걸쳐 수환경 및 기상, 어류, 조류, 곤충류, 수생식물, 양서파충류 등에 대해 각 분야의 전문가에 의해 조사되었으며, 조사된 자료를 토대로 환경조건의 변화, 각 생물상에 대한 우점도와 종다양도, 최대다양도, 균등도 등을 분석대상으로 하였다. 수환경 및 기상은 강우량, 증발량, 수심, 수면적, 기온(최고, 평균, 최저기온) 등의 항목을 대상으로 대전지방기상통계와 수환경 전문가의 현지 측정을 통하여 조사되었다.

각 생물종의 변화 요인을 밝히기 위해 조사 횟수가 많은 조류(개체수, 종수, 종다양도)와 수서곤충(종수)에 대하여 환경요인에 대한 다중회귀분석(multiple regression)을 시도하였다.

종다양도는 Shannon-Weaver 지수인  $H' = - \sum P_i \cdot \ln P_i$  (단,  $P_i = n_i/N$ )를 사용하였고, 최대다양도, 균등도 및 우점도(D.I.)는  $\ln S$ ,  $H' / \ln S$ ,  $n_i / N$ 으로 각각 분석하였다(박 등, 1996).

## II. 습지형 비오름 모델 구성

### 1. 비오름 모델 구성 요인

도시공간 또는 농촌환경에 인공적인 비오름을 조성하기 위해서는 생물의 서식환경인 비오름의 물리적 조성과 아울러 비오름에 유치하고자 하는 생물의 환경적인 유치조건과 생물 정착을 저해하는 요인을 찾아내는 것이 중요하다.

Blab(1992)는 비오름이나 자연 상태의 공간을 보호하기 위한 요소로서 면적, 섬의 수와 배치, 코리도와 징검돌 비오름, 서식공간 등을 제시하였고, Kent(1995)는 야생 생물 서식처를 제공하기 위한 습지를 조성하기 위한 주요 요인으로 규격(size), 다른 습지와와의 관련성(re-

lationship to other wetlands), 방해(disturbance) 등을 들었으며, 비오름의 기능은 식생(species, coverage, survival), 동물상(species, density, habitat quality), 수문(hydrology), 토양(pedology), 지형특성(morphometry), 문화적 가치(cultural values) 등과 관련된다고 하였다.

한국건설기술연구원(1997)에서는 인공 못을 조성 관리하고 야생조류를 유치하기 위한 조건으로 규격, 모양, 가장자리 경사, 못의 야생조류, 못의 관리 등을 제안하였다. 문 등(1998)은 담수생태계 복원의 제한요인으로 온도, 투명도, 흐름, 호흡기체의 농도, 염류의 농도 등을 제시하였다. Jenny(1971)는 상태요인방정식(state factor equation)을 사용하여 환경요인과 생태계의 관계를 나타내었다(Park, 1994). 즉, 생태계의 특성과 토양, 식생 및 동물 특성은 기후, 지역의 생물요인, 경사도, 시스템의 연령(시간) 등과 관련되었다고 보았다.

토양은 발달한 곳의 고유한 요인과 그곳에 영향을 끼친 환경요인의 영향을 받는다(이 등, 1996). 토양의 생성과 발달에 영향을 끼치는 요인으로는 모재(rock), 식생(vegetation), 기후(climate), 생물상(biota), 지형(topography) 등이며 이들 요인에 의해 생성된 토양은 시간(time)의 흐름에 따라 특징이 다르게 나타난다.

하나의 단위 생태계로서 비오름의 최소 면적을 결정하기 위해서는 특징적 소규모 단위 구조가 존재할 수 있는 가장 작은 공간의 면적, 종수-면적 곡선, 미기후 및 미기후의 영향을 받는 중, 곤충의 비행거리, 조류의 도피거리, 군집 사이의 경쟁인자들이 관련된다(Blab, 1999). 특히, 면적에 관한 요구가 가장 강한 종의 개체군 유지에 필요한 면적이 비오름을 유지하는데 필요한 최소면적으로 이해할 수 있으며, 생물서식공간을 조성하는 경우 공간의 규모 및 구조, 물질순환, 동종간의 경계, 타종과의 경계 등을 고려한다.

### 2. 사례연구 - 방동소택지 생태계 모델링

#### 1) 방동소택지 현황

연구 대상지인 방동소택지의 제반 환경은 다

음과 같다(Fig 1 & 2).

Fig. 1. Location map of the Bangdong wetland.

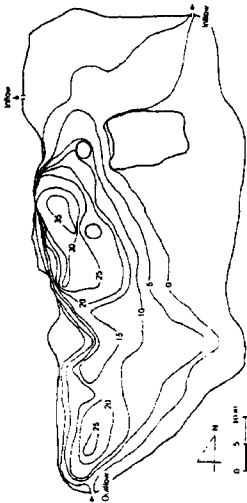


Fig. 2. Topography of Bangdong wetland.

방동소택지는 대전광역시 서남쪽에 있는 방동저수지의 북서쪽 자연 부락 인근에 위치하며, 행정구역으로는 대전광역시 유성구에 속한다. 도시지역에 있지만 자연생태계의 특성을 지닌 소택지로 크기는  $90\text{m} \times 36\text{m}$ 이며 남북방향으로 늘어진 소규모 습지이다. 이 습지는 70여년전 농업용수의 공급원으로 사용하기 위해 주민에 의해 인위적으로 조성된 이래 특별한 관리가 이루어지지 않고 방치되어 온 까닭에

자연 습지와 유사한 상태로 점차 진행되어 가고 있으며, 조성 당시 식재된 인공 식생 외에 유입된 식생이 혼재되어 점차 자연식생으로 천이되고 있는 과정이다.

주변에 동쪽과 북쪽으로 소규모 부락과 논이 분포되어 있으며, 서쪽으로는 육지식생이 비교적 양호하고 밭이 있는 야산이 직접 연결되어 있다. 남쪽으로는 개방수면이 방동저수지까지 연결되어 있어 방동소택지에 대한 생태계의 유입원(outsourcing)으로서의 기능을 제공하고 있다. 소택지 가운데에는 비교적 큰 중도(中島) 1개와 작은 중도 2개가 조성되어 있으며, 큰 중도에는 육상식물이 발달되어 있다.

## 2) 방동소택지 생태계 구조 및 기능

### (1) 환경조건

방동소택지 주변의 환경조건의 변화는 1996년부터 1998년에 걸쳐 조사되었다(서울대학교, 1998). 이를 나타내면 다음 Fig. 3과 같다.

강우량의 변화와 이에 따른 수심의 변화가 매우 심하며, 이런 변화로 인해 생물상의 구조가 급격히 변화되리라고 예측할 수 있다.

### (2) 생물상

#### ① 곤충

杉山惠一 等(1995)은 곤충의 서식에 영향을 주는 환경인자를 크게 수환경, 수제환경, 주변환경, 생물환경으로 대분류하고, 각각 수환경(수질, 수온, 유속, 수심, 바닥형상, 수로형상), 수제환경(비탈면과 호안의 재료, 비탈면의 경사와 높이, 수제선, 공간 패턴, 식생), 주변환경(입지규모, 수로길이, 토양), 생물환경 등으로 소분류하였다. 본 연구는 수제환경, 주변환경, 생물환경 등이 단일조건이며 도시공간과 같은 제한적 공간에서는 물리적 환경보다 기후 등의 환경변화에 예민하다고 할 수 있으므로 수환경에 대한 분석만을 시도하였다.

곤충류의 경우 종의 수는 완만한 감소 추세를 나타냈으나 개체수는 약간 증가하다가 급격하게 감소하였다(Fig. 4). 그러나 종다양도는 급격한 감소추세를 나타내며, 우점도가 증가하고

## Temporal Change

**Fig. 3.** The temporal changes of environmental circumstances of the Bangdong wetland(1996 - 1998).

량, 온도, 수면적, 수심, BOD, COD, pH, DO 등의 환경조건을 독립변수로 하였다. 그 결과 곤충 종의 수는 수심을 제외한 대부분 변수와 관련성은 있지만 유의성은 인정되지 않았다.

즉, 도시내 종다양도의 증가라는 목표에 역행하는 결과로서 소생태계 구조가 기상조건에 영향을 어느 정도 받았다고 생각할 수 있는데, 회귀분석 결과 유의성이 인정되지 않았으므로 기존의 급격한 변화에 따른 일시적 현상이라고 볼 수 있다.

## Temporal Change

**Fig. 4.** Changes of the number of species and individuals of insects(1997).

## ② 조류

杉山惠一(1995)와 杉山惠一等(1997)은 조류를 유치하기 위한 공간은 조류가 서식하기 위한 자연적 사회적 조건을 조성하는 것이 필요하며, 일반적으로 야생조류의 서식지 구성요소는 먹이, 커버, 물, 공간이며, 야생조류는 먹이 공급원, 서식처 및 기타 목적을 위해 숲이나 나무에 의존하여 살아가므로 먹이식물조성, 수림 조성 등이 중요하다고 하였다.

## Temporal Change

**Fig. 5.** Biodiversity and dominance index of insects (1997).

있다(Fig. 5).

이 시기에 종의 수는 비교적 안정되었으나 종의 구성이 변하고 개체수가 급격히 감소됨으로써 특정 종 중심의 구조로 진행되었다.

이러한 변화를 바탕으로 환경조건과 곤충과의 관련성을 파악하기 위해 회귀분석을 실시하였다. 곤충의 종수를 종속변수로 하였고, 강우

공간적 조건은 단위 비오름 수준의 조건, 비오름 시스템에 대한 시스템적 접근, 생태계 수준의 종합적 접근의 위계로 조건을 파악하며, 서식요인으로는 지형, 기후, 수문, 토양 등의 지리적 조건, 먹이, 은신처, 번식처, 녹지면적 등의 생물적 조건, 이동능력 및 행태, 분포상태, 이동루트, 외부유입원(outsourcing)과 관련된 종의 공급 및 유입, 주변의 인공화 정도, 비간

섭 거리, 수렵, 개체군의 인간과의 친밀도와 같은 인간과의 관계(비간섭거리), 공간규모, 공간거리 등을 고려한다.

방동소택지의 경우 96년부터 98년까지 조류의 종의 수는 증감이 반복되었다. 그러나 개체수의 경우 96년에는 급격히 증가하여 11월과 12월에 최고치를 이루었으나 97년에는 급격히 감소하여 증감을 반복하면서 서서히 증가하는 추세를 나타내고 있다(Fig. 6).

#### Temporal Change

Fig. 6. Changes of the number of species and individuals of birds(1996 - 1998).

#### Temporal Change

Fig. 7. Biodiversity and dominance index of birds (1996 - 1998).

조류의 종다양도는 지속적으로 감소하는 경향이던 반면에 우점도는 점차 증가하는 경향을 나타내고 있다(Fig. 7). 특히 97년 여름에 다양도가 급격히 감소하였는데, 비교적 안정된 변화를 나타내던 균등도가 이 시기에 역시 급격히 감소하고 있다.

이 시기의 환경조건은 비가 많이 온 이후로서 수심이 급격히 깊어졌고 기온이 상승되었던 것으로 보아 수심의 변화와 기온 상승이 식생과 조류의 서식환경을 변화시켜 특정 종의 우점도가 높아졌던 것으로 판단된다.

회귀분석 결과 조류개체수 및 조류의 종수는

환경조건과 유의성이 없는 것으로 나타났다.<sup>1)</sup>

#### ③ 기타(어류 및 양서파충류, 야생동식물)

杉山惠一 等(1997)은 어류의 성장과정에 따른 환경요인으로 산란장 면적, 수온, 포식자, 먹이, 어획량, 착저장 면적 등을 제시하였으며, 문 등(1998)은 어류서식을 위한 환경의 구성요소로서 어류의 생육 번식 산란과 은신처 제공을 위한 지류 형성, 은신처 제공을 위한 거석배치 등이 필요하다고 하였는데, 어류 종의 수는 약간 감소하였으며, 개체수는 급격하게 감소하였다. 종다양도와 우점도는 다같이 약간 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 연구대상지의 수환경이 매우 가변적이어서 어류의 서식에는 적합하지 않았고, 따라서 현재의 변화를 어떤 특정한 경향성으로 파악하기는 곤란할 것이다.

양서파충류에 대한 Turk and Tuek(1984)의 연구에서 양서파충류의 종의 수는 서식처 면적과 비례관계에 있다고 하였는데, 방동소택지의 양서파충류의 경우도 이와 비슷한 변화 추세로서 종의 수는 큰 변화 없이 일정한 반면, 개체수는 급격한 감소를 보이고 있다. 이는 앞의 조류의 경우와 마찬가지로 수심 즉, 수면적의 변화와 기온변화가 서식환경의 변화를 초래하였고, 개체수 감소의 원인이 되었을 것으로 판단된다. 종다양도와 우점도의 경우도 종다양도와 균등도가 큰 변화없이 일정한 상태를 유지하고 있다. 따라서 환경변화가 각 종별로 다른 영향을 끼치지 않고 고른 영향을 끼쳤다는 것을 알 수 있다.

Aber & Melillo(1991)은 생태계 내에서 식물의 순생산량은 증발산량(evapo-transpiration)과 양의 상관이 있다고 하였다. 수생식물의 분포 및 생활에 영향을 주는 인자로는 수환경으로서

1) 참고로 유의성은 인정되지 않았지만 비교적 신뢰도가 높았던 조류의 개체수에 대한 회귀식은 조류개체수=282.839 - 0.05수면적+0.766수심 - 5.688온도+8.380BOD - 0.605COD - 23.385DO - 0.308pH로 나타낼 수 있으며(Sig - F=0.094), 온도, BOD, COD, DO 등이 Sig - t=0.06 정도로서 비교적 영향을 끼치고 있다.(R<sup>2</sup>=0.998) 또한, pH를 제외한 다른 변수의 설명력이 비교적 높게 나타났다.

수면적, 수심, 수질 등이 있으며, 토양환경, 기후, 동물상, 지형 등이 있다. 문 등(1998)은 육상동물의 서식처 구성 원리로서 크기, 섬, 주변부, 이동로, 은신처, 먹이, 완충지(buffer zone), 물 등을 제시하였다.

### III. 결 론

본 연구에서는 도시 공간 내에 인공적인 습지형 비오톱을 조성하기 위한 한 과정으로서 비오톱의 물리적, 생물적 환경을 고찰하고, 생태적 원리를 규명하기 위하여 모델 구성 기법을 고찰하였다.

그 첫 단계로서, 우선 생태계의 구조와 기능에 대한 모델링 기법의 유형과 사례를 조사하여 관련된 모델연구의 수준을 파악하고, 개념적 모델링 기법과 수학적 모델링 기법에 대한 기술적, 이론적 근거를 고찰하였다.

또한 사례연구로서 대전광역시 근교의 자연형 비오톱인 방동소택지를 대상으로 비오톱을 구성하는 환경 요인 및 각 생물종에 대한 생태 조사를 통해 생태계의 기능과 구조를 해석하였으며, 회귀분석을 통해 습지형 비오톱의 변화 요인을 파악하고 앞으로의 변화를 예측하고자 하였다.

조류개체수, 조류종수, 곤충종수 등에 대한 회귀분석 결과 유의성이 없는 것으로 나타난 것은 독립변수의 환경조건을 수환경에 국한시켰기 때문으로 판단되며, 지리적, 생물적 조건과 주변 생태계의 특성을 반영하면 유의성 있는 결과가 나올 수 있을 것으로 판단된다.

또한 생태계에서 생물상의 구성은 환경조건의 변화와 일정한 시간적 차이를 두고 나타나는데, 본 연구에서는 같은 시점에서의 조사 자료를 바탕으로 분석을 시도하였기 때문에 관련성을 밝히지 못했던 것으로 판단된다.

본 연구는 도시공간에 인공습지를 조성하기 위한 기초 자료로서 환경조건과 서식처의 구조, 예상되는 생물상의 도입 등에 대한 유용한 정보를 제공해주고 있다.

그러나, 연구대상지인 방동소택지가 도시 외

곽 전원지대에 인공적으로 조성되었으나 70여 년 동안 인위적인 관리행위가 이루어지지 않은 채 방치되어 자연생태계의 천이 과정이 진행되고 있는 특성을 지닌 소규모 습지로서 주변에 농경지 생태계와 소규모 산림생태계가 존재하여 생물상의 유입 및 교류가 이루어질 수 있는 조건을 갖추었으므로, 종의 유입이 어려운 도시 공간에 조성되는 모든 습지에 똑같이 적용하기에는 한계가 있다.

그러므로 이 연구의 결과가 일반화되기 위해서는 본 연구대상지의 환경조건과 습지를 조성하고자 하는 공간의 환경조건의 차이를 우선 규명하고 그 차이에 대한 보정 절차를 먼저 거쳐야 하며, 다양한 환경조건에 대한 후속연구가 뒷받침되어야 할 것이다.

### IV. 인용문헌

1. 김용식·강기호·신현탁·배준규. 1996. 부안댐 식물생태계 장기 모니터링(1차보고서). 한국수자원공사 보고서.
2. 김준호 외. 1995. 현대생태학. 서울: 교문사.
3. 문석기·김민수·차대현·심상렬·김진선·구본학. 1998. 조정설계요람. 서울: 도서출판 조정.
4. 박봉규·임양제·김원·박상욱. 1996. 생태학 실험. 서울: 형설출판사.
5. 서울대학교. 1997. 도시지역에서의 효율적 생물서식공간 조성 기술 개발 II. 환경부 보고서.
6. 서울대학교. 1998. 도시지역에서의 효율적 생물서식공간 조성 기술 개발 III. 환경부 보고서.
7. 신현탁·김용식. 1998. 서식처 분획화에 따른 식물군집의 크기에 관한 연구. 환경생태학회지 12(2) : 147-155.
8. 양홍모. 1995. 하구환경의 생태적 관리 및 계획. 한국조경학회지 22(4) : 187-190.
9. 이경준·한상섭·김지홍·김은식. 1996. 산림생태학. 서울: 향문사.

10. 한국건설기술연구원. 1997. 하천생태계의 구조와 기능. 국내여건에 맞는 자연형 하천 공법의 개발. 환경부 보고서.
11. 杉山惠一 · 進士五十八. 1995. 自然環境復元の技術. 朝倉書店.
12. 杉山惠一 外. 1997. ビオトプの計劃と設計 - 生物生息環境創造. 工業技術會.
13. Aber, J. D., J. M. Melillo. 1991. Terrestrial Ecosystems. Saunders College Publishing.
14. Blab, J. 1999. 비오토프의 이해. 생물서식공간 보호를 위한 입문서. 이동근 · 윤소원 역. 서울 : 도서출판 대운.
15. Dash, M. C. 1996. Fundamentals of Ecology. 이중화 역. 서울 : 동화기술.
16. Lim, J. H. 1998. A Forest Dynamics Model Based of Topographically Induced Heterogeneity in Solar Radiation and Soil Moisture on the Kwangneung Experimental Forest. A Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy. Seoul National University.
17. Mulamootil, G., B. G. Warner, E. A. McBean. 1996. Wetlands-Environmental Gradients. Boundaries, and Buffers. Lewis Publishers.
18. Odum, E. P. 1971. Fundamentals of Ecology. W. B. Saunders.
19. Odum, E. P. 1983. Basic Ecology. Saunders College Publishing.
20. Odum, E. P. 1994. Ecology & Our Endangered Life-Support Systems. 이도원 역. 서울 : 동화기술.
21. Odum, H. T. 1983. System Ecology : An Introduction. John Wiley & Sons.
22. Park, C. C. 1994. Ecology & Environmental Management. 생물학적 환경관리. 손명원 역. 서울 : 도서출판 대운.
23. Patton, D. R. 1992. Wildlife Habitat Relationships in Forest Ecosystems. Timber Press.
24. Sugg, D. W. 1996. Types of Models : Ecological Modelling. Biology 30. [http://darwin.bio.geneseo.edu/~sugg/classes/EcoModel/Lectures/Class\\_2.htm](http://darwin.bio.geneseo.edu/~sugg/classes/EcoModel/Lectures/Class_2.htm).
25. Turk, J., A. K. A. Turk. 1984. Environmental Science(3rd. ed.). Saunders College Publishing.

接受 1999年 3月 2日