

생물다양성 증진을 위한 옥상 소생태계 조성기술에 관한 이론적 고찰 및 사례적용 연구¹⁾

김귀곤²⁾ · 조동길³⁾

²⁾ 서울대학교 조경학과 · ³⁾ 서울대학교 대학원 협동과정 조경학전공 박사과정

A Theory Research and Case Study on the Creation Techniques of Rooftop Biotope for Increase of Biodiversity¹⁾

Kim, Kwi-Gon²⁾ and Cho, Dong-Gil³⁾

²⁾ Dept. of Landscape Architecture, Seoul National University

³⁾ Ph D. Program in Landscape Architecture, Seoul National University

ABSTRACT

This study seeks to present creation techniques increasing biodiversity while excluding techniques that avoid rooftop as a place for revegetation or techniques that are standardized and ecologically undesirable.

To this end, a theoretical study was conducted including the identification of issues that need to be considered in introducing biotope creation techniques at a rooftop space using eco-pond or eco-park creation techniques. Based on the result, a creation process and techniques were presented for the rooftop of Kyungdong Energy Company building located in Bundang, Sungnam city.

The conclusions reached in this study are as follows.

First, when structural problems such as load or leakage are resolved and when it is planned as a habitat within a range of carrying load, a rooftop may be habitats for various organisms.

Second, same creation techniques for eco-ponds or eco-parks may be applied to create biotope in a rooftop. In fact, the introduction of a wetland ecosystem on a rooftop may contribute significantly in increasing biodiversity. In addition, it would be desirable to approach traditional rooftop revegetation methods in an ecological aspect and to introduce indigenous plants and to offer habitats to insects and birds.

Third, in order to create rooftop biotope, there should be enough studies and experiments on resolving structural problems and on techniques or technologies to create habitats. Since the Kyongdong Energy Company rooftop biotope described in this study is the first experimental site in Korea, it requires a series of process to identify problems and to improve them by monitoring the

1) 이 연구논문은 환경부 공공기반기술개발사업 과제 “효율적인 생물서식공간 조성기술개발”의 일환으로 수행되었음.

site in the future. Through such studies and experiments, efficient rooftop biotope creation techniques should be developed and disseminated.

Key words : rooftop biotope, biodiversity, creation techniques

I. 서론

20세기 초기부터 산업화 및 도시화 등의 영향으로 우리 주변의 환경은 자연과의 공존에서 멀어지고, 인간편리를 중심으로 한 공간구조가 형성되었다. 그로 인한 생활주변의 부작용들은 헤아릴 수 없을 만큼 다양하고 많은 분야에서 나타나기 시작했고, 급기야는 인간 생존의 위협에까지 이르는 등의 환경악화 현상이 나타났다. 우리가 숨쉬고 마시고, 섭취하는 등 기본적인 생명유지에 필요한 것들이 모두 주변의 환경에서 출발되기 때문에 이제 환경문제는 전세계적으로 우선적으로 해결해야 할 문제중의 하나가 되었다.

이러한 경향은 1992년 리우의 지구정상회의를 계기로 빠른 확산을 보이면서 각국에서는 환경보전 및 복원을 위한 노력을 경주하고 있다. 우리 나라에서도 리우회의 이후에 환경문제에 대한 논의가 활발하게 이루어지면서, 다양한 기술의 개발과 적용, 생활 속에서 환경을 보전하고 개선하려는 노력들을 기울여 왔다.

이와 같은 노력들 중에서 인공지반을 녹화하기 위해서 옥상공간을 녹화하기 위한 움직임이 1980년대부터 시작되었으나, 하중이나 누수 등과 같은 제한점으로 큰 성과를 거두지 못하였으며, 1990년대의 연구나 조성된 공간들도 대부분 에너지 절감을 목적으로 추진되고 있다(한국건설기술연구원, 1998 ; 1999). 또한, 녹지확보를 위해서 이루어지고 있는 옥상조경은 대부분이 법적인 문제점을 해결하기 위한 수단으로 이용되고 있기도 하다(김귀곤, 2000). 그러나, 실제로 건축물의 옥상과 같은 인공지반을 녹화함으로써 얻어지는 효과는 생물다양성의 증진과도 밀접한 관련성을 가지고 있다. 즉, 이러한 공간에 자생식물을 도입함으로써 곤충의 서식처가 되고 이동성이 강한 조류의 경우에는 녹지대를

따라서 이동을 하면서, 쉬어갈 수 있는 공간이나 서식처로서 이용한다는 것이다. 이것이 바로 생태네트워크의 개념이기도 하다(김귀곤·조동길, 1998).

따라서, 옥상공간을 에너지 절감의 효과를 중심으로 하는 접근이 아니라 생물서식공간의 조성으로서 생태네트워크의 구축에 있어서 중요한 점적 요소로서 기능할 수 있도록 하는 방안을 제시할 필요성이 높아졌다. 특히, 아직까지 옥상 소생태계의 조성방향이나 기법 및 효과의 검증 등에 대한 기존의 연구가 거의 없는 상태여서 이 분야에 대한 연구의 필요성은 매우 높다고 하겠다.

이 연구의 목적은 지금까지 옥상공간을 바라보던 시각의 변화와 함께 획일화된 조성 방법을 벗어나서, 생물다양성 증진을 위한 소생태계로서 조성하기 위한 기법을 제시하기 위한 것이다. 이를 위해서 옥상 소생태계의 서식기반환경 조성기법과 생물종의 도입기법을 중심으로 옥상공간에 도입시 고려되어야 할 요소들을 함께 고찰하고자 하였다.

II. 선행연구 및 사례 고찰

1. 외국의 동향

선진외국에서는 옥상공간을 환경개선 및 생물서식처 제공을 위한 방법으로 비교적 다양하게 나타나고 있다.

캐나다를 포함한 여러 나라에서는 옥상공간을 도시농업의 문제와 연결시켜서 농작물을 기르기 위한 장소로 활용하고 있다(Joseph St. Lawrence, 1997). 그리고, 옥상공간을 녹화하는 방식에 따라서 에너지 절감 및 기후완화 효과로도 활용하는 연구도 활발하다(T. Takakura 등, 2000)

이용적인 측면에서 구체적인 조성 사례로는

프랑스 파리 시내의 TGV역사 옥상에 조성되어 있는 Atlantique Garden은 대규모 옥상정원으로 테니스 코트와 파골라, 수경시설, 교목 등 다양한 시설을 옥상에 도입하고 있다. 이곳의 특징은 과감한 마운딩 처리와 단처리를 하고 있으며, 교목을 적극적으로 식재하고 인공경량토양이 아닌 일반토양을 사용한다는 것과 수경시설의 도입이다(서울대학교, 1997a).

그리고, 일본 동경 소송(小松)건물의 옥상 소생태계는 1966년에 건물 건립과 동시에 11층에 약 360m²의 넓이에 조성된 것이다. 이곳에는 자작나무 등을 중심으로 약 200여종의 일본 자생식물을 식재하였으며, 토양은 완전한 인공토양이 아니라 가능한 한 일반토양을 이용하였다(서울대학교, 1997b).

2. 우리 나라의 동향

우리 나라에서 옥상공간에 대해서 관심을 가지기 시작한 것은 1980년대 초에 백화점이나 호텔을 중심으로 한 인공지반 녹화가 이루어지면서라고 볼 수 있다(김인숙, 1996). 이후에는 큰 진전을 보이지 않다가 전국 “그린네트워크화” 구상(환경부, 1995)에서 핵, 거점, 점의 녹색 연결고리를 통해 사람과 자연이 함께 어우러질 수 있도록 하는 자연만들기 추진으로 점의 요소로서 옥상녹화에 대한 제안이 따르면서 비교적 활발해졌다.

그러나, 여러 가지 이유에서 옥상공간의 활용은 부진한 상태며 더군다나, 생물서식공간에 대한 개념이 충분하게 인식되지 않았을 뿐만 아니라 조성된 곳은 관리의 부족으로 황폐해진 곳이 많다.

옥상녹화를 위한 연구로는 전체적인 시스템의 측면에서 볼 때 보급형 옥상녹화를 위한 연구(한국건설기술연구원, 1999)와 그린타운 개발을 위한 요소로서의 연구(김현수 등, 1998)와 생태도시 조성을 위한 기반기술로서 옥상을 다룬 연구(한국건설기술연구원, 1998) 등으로 구분해 볼 수 있으나, 전체적으로 동일한 내용으로 진행되고 있으며, 생물다양성 증진보다는 에너지 절감을 위한 측면에서 접근하고 있다. 그

리고, 옥상녹화를 위한 하부적 시스템에 관한 연구들로는 인공식재지반에서 식물의 생육효과를 살피기 위한 연구들이 이루어지고 있다(이은엽·문석기, 1999a ; 1999b ; 1999c).

아직까지는 우리 나라에서 옥상녹화에 대한 연구나 사례는 그렇게 다양하지 못하다. 주된 이유는 옥상녹화의 제한요소인 하중이나 누수, 바람 등의 문제로 이 분야에 대한 연구나 적용 사례가 기피되었기 때문이다(김인숙, 1996). 따라서, 환경부(1999)에서는 옥상녹화를 널리 보급하기 위한 보급형 옥상녹화 지침서가 마련되었으나, 이것은 옥상녹화로서 가지는 에너지 절감 측면이 강조되고 있다.

결국 옥상을 생태네트워크의 요소로서나 생물다양성 증진을 위한 공간으로서 조성하기 위한 기법이나 사례는 국내에서는 거의 전무하다고 볼 수 있다. 따라서, 이 연구에서는 옥상공간을 생물서식공간으로서 기능할 수 있는 기법들을 문헌 및 외국 사례고찰을 통해서 이론적인 방법을 제시하고, 실제 적용가능성을 국내의 사례를 통해서 제시하고자 하였다.

III. 연구범위 및 방법

1. 연구 범위

1) 내용적 범위

이 연구의 내용적 범위는 크게 조성기법에 관한 이론적 고찰과 이에 바탕한 사례적용을 포함하였다. 그리고, 하중이나 누수, 바람 등에 대한 구조적인 접근이나 에너지 절감을 위한 접근보다는 생물다양성 증진의 측면에서 도입공간의 구성, 기반환경의 조성기법과 생물종의 서식처 및 휴식처 조성기법을 중심으로 전개하였다.

2) 공간적 범위

생물다양성 증진을 위한 옥상 소생태계 조성 기법에 관한 연구의 사례대상지역은 경기도 성남시 분당구에 위치한 경동에너지 사옥 옥상을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

1) 이론적 고찰

옥상 소생태계 조성을 위한 기법들을 제시하기 위한 이론적 고찰은 문헌고찰과 사례연구를 통해서 제시하였다. 특히, 생물서식공간의 서식기반 및 서식처 조성기법은 생태연못, 생태공원 등의 소생태계 조성기법(김귀곤, 2000; 김귀곤·조동길, 1999; 서울대학교, 1997a; 1997b; 1999; 조동길, 1999)을 바탕으로 하면서 옥상공간에 도입시 고려되어야 할 요소를 제시하였다.

이것은 본 연구의 제한점이자 한계점으로 그동안 옥상에 관한 연구는 이루어진 것 것들이 있으나, 생물서식에 초점을 맞추어 연구한 사례는 극히 빈약하였다. 따라서, 생물다양성 증진을 위한 기법은 기존에 연구된 생태공원, 생태연못 등에서 찾으면서, 옥상공간에 도입시 고려되어야 할 내용을 언급한 것이다.

옥상 소생태계 조성을 위한 기법은 크게 세 가지 분야로 나누어 진행되었는데, 대상지역의 선정기준과 기반조성 기법, 생물다양성 증진을 위한 서식처 조성기법으로 제시하였다.

2) 사례적용연구

이론적 연구에서 제시된 조성기법을 바탕으로 하여, 실제 옥상을 대상으로 한 소생태계 조성사례는 경기도 성남시의 경동에너지 사옥 건물을 대상으로 하였다. 이 곳은 우리나라에서는 처음으로 옥상공간을 생물서식공간으로 조성하기 위한 기법들이 적용된 곳으로써, 실험적인 연구내용들이 다수 포함되어 있다.

사례적용 연구는 대상지역의 현황분석을 바탕으로 옥상 소생태계 조성에 있어서의 기회요소와 제한요소를 살펴본 후, 기본계획을 전체 시스템과 하부 시스템으로 구분하여 제시하였다. 그리고, 옥상 소생태계 조성공정별로 도입된 기법을 제시하였으며, 마지막으로 유지 및 관리의 기법과 함께 옥상 소생태계 조성에 주는 시사점을 제시하였다.

IV. 연구결과 및 고찰

1. 옥상 소생태계 조성기법의 이론적 고찰

1) 대상지역 선정기준

옥상 소생태계로 조성할 지역을 선정할 때에는 건축물의 위치와 높이가 가장 중요한 기준이 될 수 있다(김귀곤, 2000). 아직까지 건축물의 위치와 높이에 따라 생물다양성의 차이에 대한 연구나 보고는 없지만, 경관생태학적인 관점에서 보면 소생태계로 조성할 옥상의 위치는 생물종의 공급원이 가까이에 위치한 곳이어야 한다(김귀곤, 2000). 이와 같이 생물종의 공급원을 고려한 위치의 선정은 조성후의 생물다양성 증진효과를 높이는데 기여하는데, 주변의 산림이나 하천 등의 공급원에서 다양한 생물이 이동하여 서식할 수 있는 가능성을 높여준다. 아울러서 생태네트워크의 관점에서 점적 서식처들이 서로 연계될 수 있는 위치를 확보하여 도심부의 건축물도 옥상을 생물서식공간화 하는 것이 바람직하다(김귀곤·조동길, 1998).

건축물의 높이에 관한 것도 구체적인 기준이나 한계가 제시된 바 없지만, 기본적으로 고려할 때 바람의 영향이나 생물종의 이동을 염두에 두어야 할 것이다. 즉, 고층일수록 바람의 세기가 강하며, 이동할 수 있는 곤충의 종류가 적어짐으로 이를 고려해야 한다. 아직까지는 이 분야에 대한 연구가 전무하므로 충분한 연구가 필요하다.

2) 옥상 소생태계의 기반조성 기법

(1) 건물의 안전성 확보

소생태계를 조성할 건축물의 선정에 있어서 대상지역의 위치나 높이 등보다도 우선적으로 고려되어야 할 것은 건물의 안전성 확보이다.

건물의 안전성 검토는 일반적으로 하중과 배수를 중점적으로 조사하게 되는데, 하중은 적재하중을 우선적으로 검토하여 적합성 여부를 판단하고, 건축물의 적합성이 결정된 이후에는 적재하중 이내에서 소생태계로 조성하기 위한 계획 및 설계가 이루어져야 한다. 그리고, 필요에 따라서는 건축물의 하중에 대한 정밀조사를 실

시해야 한다.

그리고, 계획 및 설계의 단계에서는 주요 시설물이나 공간이 필요로 하는 허용기준을 항상 염두에 두고, 마지막으로 이용자들의 이동하중을 고려하여 충분한 안전성을 확보하도록 조성하는 것이 무엇보다도 필요하다.

소생태계를 조성하는데 있어서 하중에 가장 문제가 되는 것은 토양이다. 물론 수목이나 시설물의 무게도 고려되지만, 토양 무게가 가장 큰 변수가 된다. 따라서, 토양에 대한 하중부담을 줄이기 위해서 우리 나라에서는 일반적으로 인공경량토를 사용하고 있는데, 이것은 토심을 확보하는데 도움을 준다.

하중에 대한 안전성이 확보된 경우, 생물서식공간의 조성에서는 가급적 자연토양을 이용하는 것이 바람직한데, 자연토양은 유기물의 함량이 풍부할 뿐만 아니라 자연토양을 반입할 때 함께 들어오는 식물종자 등으로 식물의 다양성 증진에 기여할 수 있으며, 이것은 곤충이나 다른 생물종의 증진에 크게 기여할 수 있다. 다만, 바람직하지 않은 식물종이 유입될 경우에는 제어할 수 있는 방안도 모색되어야 할 것이다. 그리고, 습지와 같은 서식처를 도입하고자 할 때에는 물의 하중에 대한 고려가 추가적으로 이루어져야 한다.

한편, 기존의 건축 구조물이 옥상의 생물서식공간화를 위한 하중에 문제가 생길 경우에는 구조물의 보강이나 토양을 포함한 식재기반을 경량화하는 방안을 모색하여 안정성을 확보하는 것이 바람직하다(豊田 幸夫, 1999).

(2) 배수에 대한 안전성 확보

옥상층의 하중문제 다음으로 중요한 것은 배수로 인한 누수현상이다. 지금까지 옥상녹화를 하면서 배수층의 눈막힘 현상으로 배수불량이 원인이 되어 뿌리가 썩는 등의 문제점이 가장 큰 이슈였다. 이러한 결과 옥상녹화가 이루어졌던 곳들은 녹화를 하지 않는 것보다 못한 상황이 되어 황폐하게 남겨지거나, 관리를 전혀 하지 않는 등의 문제점을 가지고 있었다.

따라서, 옥상공간을 소생태계로 조성하는데

있어서 하중문제를 해결하기 위한 것과 함께 신중하게 검토하고 계획을 세워야 할 부분이 방수와 관련된 것이다. 즉, 다각적인 측면에서 대상지역에 적합하면서 효율적인 방수방법을 도입하도록 해야 한다. 일반적으로 적용 가능한 방수공법으로는 아스팔트열방수 적층 공법, 개량아스팔트시트방수, 폴리우레탄 도막방수, FRP 도막방수, 우레탄·FRP복합방수, 염화비닐계 시트방수 등이다(한국건설기술연구원, 1999)

그리고, 낙엽, 토양, 식물의 뿌리 등에 의해 배수 구멍이 막힘으로써 옥상공간이 물로 가득 찰 수 있는데, 이것은 배수구를 적절히 관리해 줌으로써 해결할 수 있다.

(2) 바람의 저항 저감 방안

옥상 소생태계는 높은 위치에 있음으로 해서 바람의 영향을 피할 수 없는 곳이다. 바람은 긍정적으로 볼 경우에는 식물종자를 포함한 다양한 생물종의 유입에 기여할 수 있으나, 조성되어 있는 소생태계의 수목 등에는 여러 가지 부정적인 영향을 미친다. 즉, 수목의 가지나 초화류 등을 쓰러지게 만들며, 부러진 가지나 수목이 전도될 경우에는 지상으로 떨어져 안전사고를 발생시킬 수도 있다. 또한, 토양의 수분을 빠르게 증발시키는 문제점도 일으킨다.

이처럼 옥상 소생태계가 바람에 노출되어 부정적인 영향을 받을 것을 대비하여 소생태계 주변에 철조망 등을 설치하는 경우가 있다. 철조망이나 목책, 방풍그물 등의 설치는 파풍(破風) 효과를 가져다주며, 수목의 전도에 따른 위험으로부터 안전성을 확보해 주며, 식생지대를 설치하는 것도 좋은 방법이 될 수 있다(豊田 幸夫, 1999).

3) 생물다양성 증진을 위한 조성 기법

(1) 물의 도입

생물서식공간에 물을 도입하는 것은 생물다양성의 증진을 위해서 가장 효과적인 기법 중

- 1) 일본 동경 小松건설 옥상 소생태계의 경우에는 옥상층에 테니스 코트를 도입하면서 철책을 설치하였는데, 이 철책은 바람의 세기를 약화시키는데 60% 정도 기여하는 것으로 보고 있다(서울대학교, 1997b).

에 하나이다. 이것은 습지가 다른 생태계에 비해서 보다 더 많은 생물다양성을 보유하고 있고(Donald A. Hammer, 1996), 다양한 생물들이 서식할 수 있는 기회요소를 제공한다는 것에서 기인한다. 옥상 소생태계에 습지를 조성함으로써 창출될 수 있는 서식처는 수생 및 습지식물의 서식처, 수서곤충, 어류, 양서류의 서식처와 조류의 휴식처 등이다.

물의 도입 방법은 별도의 급수 및 배수 시스템을 조성하여 도입할 수도 있으며, 우수나 중수를 활용할 수 있다.

(2) 식물의 도입

우리 나라의 경우 기존에 옥상녹화가 이루어진 곳을 살펴보면 식물의 적응력을 이유로 대부분이 향나무를 중심으로 하고 있는데, 이것은 생태적인 측면에서 바람직하지 않은 기법이라고 볼 수 있다. 따라서, 옥상의 특수한 환경에 적응할 수 있는 내건성을 지니면서 척박한 토양에서도 잘 서식하는 자생수종을 중심으로 도입해 주는 것이 바람직하다.

일반적으로 옥상녹화를 위한 식물은 가능한 한 키가 작고, 조밀한 피복이 가능하며, 친근성 뿌리를 가지며, 내건성 및 내광성, 내습성, 내한성 등이 강한 것이 적합하다(한국건설기술연구원, 1999)

식물의 도입은 다양한 환경을 창출하면서, 식물을 기반으로 하여 살아가는 곤충, 조류 등에게 중요한 요소로서 야생초화류, 관목류, 유실수 등 다양한 자생수종을 중심으로 도입하는 것이 좋다(조동길, 1999). 이러한 초화류는 벌이나 나비에게 있어서는 중요한 먹이자원이 되며, 관목덤불숲과 유실수 역시 조류에게 중요한 서식처가 된다. 도입된 식물은 다층구조와 군락식재를 통해서 생물의 서식에 적합한 구조를 가지도록 해야 한다.

(3) 동물의 서식처 조성

곤충 서식처 조성의 기본은 다공성 공간의 제공이다. 식물을 기반으로 하여 살아가는 곤충들도 많지만, 곤충들이 서식하는 곳은 썩은 나

무 등으로 다공성이 풍부한 곳이다. 이를 위해서 나뭇가지 다발을 쌓거나 고목 놓기, 다공성 돌쌓기 등을 설치해 주는 것도 좋은 기법이 될 수 있다(조동길, 1999).

조류의 서식처는 관목덤불숲, 유실수 군락, 인공새집 등으로 조성할 수 있다. 이러한 공간은 새들이 필요로 하는 서식처이지만, 옥상에 생물 서식공간을 조성할 때에 우선적으로 고려되어야 할 것은 새들로 하여금 녹지나 습지를 인식할 수 있도록 해 주어야 한다. 즉, 비행중인 조류가 먹이나 물이 풍부한 소생태계를 인식하여 초기에 유인효과를 거두어야 이후에 조류들이 이곳을 휴식처나 서식처로서 이용할 수 있다.

(4) 소생태계 유지 및 관리 방안

소생태계의 유지 및 관리는 도입된 시설에 따라서 달라지기 마련이지만, 옥상 소생태계의 경우에는 지속적으로 하중이나 누수 등과 관련된 구조적인 측면을 점검해야 한다. 이와 같이 건축물의 안전성이 확보된 가운데에서 도입된 식물이나 서식하는 동물을 관리해 주어야 한다. 그리고, 하중이나 누수, 때로는 건조화 등의 징후는 수목의 성장상태와 밀접한 관련이 있으므로 도입된 수목이 지나치게 성장할 경우에는 하중에 부담을 주지 않도록 전정을 실시해 주어야 하며, 토양이 건조해질 경우에는 적절한 관수를 실시해 주어야 한다.

한편, 습지가 도입된 경우에는 수생동물들이 서식에 지장을 받지 않도록 수질, 수온, 동결 등에 대해서 충분한 모니터링과 함께 대응방안을 마련해 주어야 한다. 수질의 경우에는 주기적으로 물을 급·배수 시켜서 물순환이 이루어지게 하는 것이 바람직하며, 수온과 동결에 대한 관리는 그들의 제공이나 별도의 덮개 시설을 이용하여 수온의 급변화를 완화시켜 주어야 한다.

2. 주요 기술의 적용

1) 대상지 현황 분석

(1) 대상지 개요

경동에너지 옥상 소생태계는 경기도 성남시

분당구에 신축된 경동에너지 사옥건물의 12층 옥상에 조성된 곳이다.

분당지역은 1990년대 초에 신도시 개발사업의 하나로 조성된 곳으로써 기존에 산림과 농경지이던 서식처들이 아파트 단지화 도로, 콘크리트 호안 등으로 변형된 곳이다.

하지만, 개발 후에 대상지역의 주변에서 생물종의 공급원이 될 수 있는 주된 생태환경은 청계산과 불곡산을 중심으로 하여 인근에 위치한 중앙공원이 자리잡고 있으며, 가까이에는 텃밭이나 녹지공간이 일부 자리잡고 있어 양호한 환경조건이다. 그리고, 탄천이나 분당천의 환경은 변형되었으나, 물을 담고 있으면서 마르지 않아서 아직까지는 일부 조류를 볼 수 있는 곳이다.

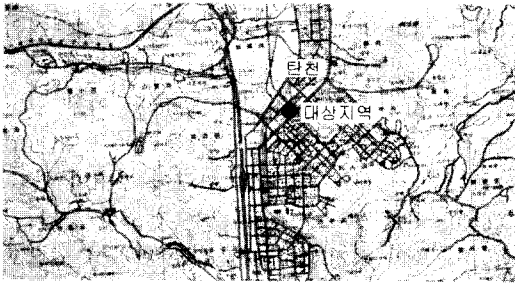


그림 1. 대상지역 위치

실제 기법을 적용하여 조성할 12층 옥상의 총면적은 518㎡(바닥녹지면적은 367㎡, 난간녹지면적 98㎡, 포장면적은 53㎡)에 달한다. 이곳에는 냉각탑 2기와 통신용 기기가 2기 위치하고 있으며, 다른 건물과는 달리 3m의 높이로 형성된 옹벽이 있다(그림 2 참조).

(2) 소생태계 조성을 위한 계획요소 및 제한요소

우선, 소생태계 조성을 위한 계획요소로는 하중과 배수에 관한 것이다. 대상지역의 건물은 구조적인 측면에서 신축건물로서 옥상을 녹화할 계획을 가지고 있었으며, 평균 하중 300kg/㎡으로 옥상의 전면을 생물서식공간으로 조성할 수 있는 환경이다. 또한, 시공전 철저한 방수로 습지 등의 생물서식공간으로 인한 누수 등과 관련한 문제점을 저감시킬 수 있었다.

한편, 생태적인 측면에서는 주변에 다양하면서 풍부한 생물 서식처가 존재하여 대상지역에 종의 공급원이 풍부하다는 것이다. 즉, 청계산과 불곡산, 중앙공원, 농경지 등과 탄천과 분당천 등의 하천이 가까운 위치에 자리잡고 있어 소생태계로 조성한 후에 생물종의 유인 및 서식에 크게 기여할 수 있다.

제한요소로는 3m로 높게 형성된 옹벽으로 조류로부터 녹지나 습지의 인식이 지장을 줄 수 있다는 것이다. 하지만, 조류나 곤충들이 비행성인 생물들이므로 크게 영향을 받지 않을 것으로 생각된다. 그리고, 3m 높이의 옹벽은 생물서식공간에 그늘제공과 바람을 막아주는 역할을 할 수 있어서 계획요소로도 작용할 수 있다.

2) 기본계획

생물서식을 위한 전체시스템은 야생초지와 관목덤불숲, 습지로 구성되어 있으며, 자연지역에서 볼 수 있는 모습들을 최대한 반영하고자 하였다. 그리고, 각각의 공간들이 서로 개별적으로 나타나지 않도록 연계성을 강조하였는데, 옥상소생태계 전체를 하나의 습지공간으로 보

- a) 대상지역 인근에 위치한 중앙공원 b) 대상지역 주변에 위치한 탄천과 농경지 c) 3m 높이의 옹벽과 바닥면 현황 d) 주변의 벽면보다 높지만, 벽면녹화 등을 고려할 수 있는 공간

그림 2. 대상지역 환경 현황

고, 야생초지와 관목덤불숲이 연결될 수 있도록 하였다(그림 3 참조). 주요 공간별로 구체적인 면적은 표 1과 같다.

하부시스템은 전체시스템이 유기적으로 연결되어 제기능을 할 수 있도록 세부적인 공간의 계획이나 기법을 말하는 것으로서, 인공토양의 도입기법, 자연식생의 적응 및 천이형태, 야생초지 조성, 덩불숲 조성, 작은 동산 조성, 습지

조성, 수질 및 수량의 유지 시스템 등을 포함하고 있다.

3) 옥상 소생태계 조성 과정 및 기법

(1) 소생태계 기반 조성

옥상 소생태계 조성을 위해서 기본적으로 고려한 것은 하중으로써 계획하중을 대상지역의 평균 하중과 사람의 이동하중을 고려하여 평균 250kg/m²으로 하였다. 이를 위해서 토양은 인공토양을 사용하고 수목은 수고가 3m가 넘지 않는 것들로 도입하였다. 토심은 평균 50cm를 기준으로 하였으며, 동산지역이나 교목이 식재되는 곳은 70cm 내외로 마운딩하였다.

그리고, 냉각탑이 있는 곳은 적재하중이 700 kg/m²으로서 상대적으로 하중에 부담이 가지 않아 습지의 위치로 선정하였다.

누수문제를 해결하기 위해서 건축물의 조성시 이루어진 방수에 우레탄 방수를 2회 추가 실시하였다. 그리고, 식물의 성장 및 습지의 수위조절을 위한 급수는 1차적으로 건물내의 상수를 이용하였다. 또한, 배수를 위해서는 갑작스런 폭우로 주변지역에서 올 수 있는 토양이나 낙엽 등을 제거하기 위한 자갈층을 30cm 폭으로 조성해 주었으며, 식물의 관리를 위한 관수는 스프링클러를 설치하였다.

그림 4는 옥상 소생태계의 조성을 위한 기반을 조성하는 것으로 방수처리→투수팻 깔기→투수천 깔기→인공토양 깔기→인공토양의 마운딩 처리 등의 과정으로 거쳤는데, 이것은 일반적인 인공지반의 녹화를 위한 과정을 따른 것이다(삼손, 1998).

■범례 A : 관찰학습공간 B : 진입공간 C : 식재공간
D : 관찰데크 E : 저습지 F : 냉각탑

그림 3. 옥상소생태계 기본계획도

표 1. 주요공간별 면적

주요조성공간	면적(m ²)	비율(%)
습 지	23.7	4.6
야생화 초지	312.5	60.3
관목 덩불숲	19.4	3.7
동 산	38.0	7.3
벽면녹화지역	2.9	0.6
관찰학습지역	53.0	10.2
2단식재지역	68.8	13.3
전 체 면 적	518.0	100.0

a) 조성전 현황사진 : 방수 b) 투수팻 SO 920 깔기 c) 투수천 깔기 d) 인공토양 깔기 및 마운딩 작업

그림 4. 생물의 서식기반환경 조성과정

(2) 생물다양성 증진을 위한 조성기법의 적용

① 습지 조성

육상 소생태계에 있어서 습지는 생물서식공간으로서 가장 중요한 기능을 하는데 기본적으로 다양한 수생식물을 도입할 수 있으며, 물에서 물으로 이행하는 지역에서는 다양한 생물의 서식처가 된다.

이처럼 다양한 생물의 서식공간이 되는 습지의 기본적인 특징은 물을 담고 있는 공간이므로 인공적인 지반 위에 습지를 조성할 때에는 항상 물을 담고 있도록 조성해 주는 것이 필요하다. 따라서, 습지의 형태를 잡고 난 후에는 방수에 특별한 신경을 써야 한다. 대상지역의 경우에는 비닐 방수쉬트를 이용하여 1차 방수를 하고, 논흙을 10cm 두께로 포설한 이후에 잘 다져 주었다. 이것은 방수의 기능과 식물의 서식기반이 될 수 있다(그림 5 참조).

또한, 수심과 호안 환경은 습지의 조성에서 생물다양성을 증진시키는 중요한 인자가 되는데, 대상지역에서는 최고수심을 20cm로 하고 가장 얇은 곳은 10cm로 하였다. 호안의 경사는 최대경사는 75%, 최저경사는 15%로 하였다.

그리고, 습지의 특성을 항상 유지할 수 있도록 수위변화를 완화시키기 위한 급수 및 배수

시설을 조성해 주었는데, 홍수기나 가뭄기에 심한 수위변동을 완화하기 위한 목적이다. 즉, 어류나 곤충의 서식에 위협을 주지 않고 서식환경의 안전성을 기하기 위한 것으로, 대상지역에서는 수위변화에 따라 자동적으로 수위를 유지할 수 있도록 하였다.

② 식재기법

소생태계 내의 식재는 일반적으로 자연토양에 식재하는 것과 달리 식재후 단단하게 밟아 주는 것이 필요하다. 그 이외의 방법은 다른 소생태계 조성기법과 동일하게 도입하는 수종은 자생수종을 중심으로 수생식물, 야생초화류, 관목, 교목을 도입하였다. 그리고, 식물의 생태적 특성을 잘 파악하여 자주 그들이 지는 음지에는 쪽제비고사리, 은방울꽃 같은 음지성 식물을 식재하였다. 그리고, 하중에 부담이 적은 지피 식물을 중심으로 하여 군락형태로 식재하였으며, 작은 동산과 습지 주변은 싸리, 짚레, 산딸기 등의 관목덤불숲과 산초나무, 산보리수나무 등의 교목을 이용하여 다층구조화를 꾀하였다(그림 6, 7 참조).

습지에는 미나리, 애기부들, 물억새 등의 습지식물을 식재하고, 주변지역으로는 관목덤불숲을 형성하면서 습지식물과 육상식물과의 연

d) 습지 물공급을 위한 관연결

e) 습지내 물 공급

f) 식재후 습지를 완성한 모습

그림 5. 습지 서식처 조성과정

계성을 높였다(표 2 참조). 옥상 소생태계에 도입된 총 수종은 80종이며, 10,000여본을 식재하였다.

③ 동물의 서식처 조성

경동 옥상 소생태계에 조성된 동물의 서식처는 곤충서식처와 어류, 조류의 서식처로 구성되었다.

곤충의 서식처는 습지를 중심으로 수서곤충과 육상곤충의 유충기를 보낼 수 있는 서식처를 제공해 주었으며, 곤충의 기본적인 서식처는 야생초지와 관목덤불숲이 되므로 대상지역을 전면 포설하면서 자생수종을 이용한 식재지역을 확보하였다.

어류의 서식처는 습지로서 옥상 습지의 특수한 환경조건을 고려하여 수위 변동을 완화시키기 위한 조치를 하였다. 조성이후 도입된 어류는 크기가 작은 피라미와 붕어 등으로 300개체이다.

조류의 서식처로는 습지와 함께 덩불숲이 중요한 서식처 및 휴식처가 될 수 있으며, 인공새집을 조성해 주었다.

그림 6. 식재단면의 개념도

- a) 습지식물 식재
- b) 습지주변의 관목덤불
- c) 양지식물의 야생초화류 식재
- d) 음지성 식물의 식재

그림 7. 소생태계 내의 식물 식재 현황

표 2. 옥상 소생태계에 도입한 수종

구 분		도입한 수종	종수
1단 식재 지역	습지 및 주변	미나리, 줄, 애기부들, 꽃창포, 석창포, 억새, 물억새, 미나리아재비, 수초, 털부처꽃, 갯버들	11
	야생 초지	비비추, 땅채송화, 범부채, 돌나물, 상록패랭이, 원추리, 부추, 벌개미취, 질경이, 개쑥부쟁이, 참나리, 은방울꽃, 꽃무릇, 맥문동, 감국	15
	관목 덩불숲	개쑥부쟁이, 벌개미취, 땅채송화, 맥문동, 감국, 문수조릿대, 싸리, 짚레, 눈주목, 진달래, 산딸기, 산초, 산벚나무, 홍단풍, 보리수나무, 산보리수나무, 소나무, 복자기나무, 산수유, 좁쌀살나무, 노간주나무, 참빗살나무	22
	작은 동산	맥문동, 벌개미취, 범부채, 섬백리향, 땅나리, 붓꽃, 애초, 만년청, 도라지, 철쭉, 산초나무, 국수나무, 소나무, 산딸나무, 개암나무, 중국단풍, 떡갈나무	18
	기타	담쟁이, 능소화, 송악, 칩, 머루, 다래, 섬초롱꽃, 구절초, 매미꽃, 청미래덩굴, 쪽제비고사리, 배롱나무, 가중나무	13
2단 식재 지역	지피 식물	두메부추, 둥근잎평의비름, 자주평의비름, 벌개미취, 맥문동, 구절초, 상록패랭이, 돌나물, 땅채송화, 섬기린초, 기린초, 억새	12
	관목	청미래덩굴, 줄사철, 산딸기, 개나리, 싸리, 짚레	6
	교목	산딸나무, 홍단풍, 측백나무, 산보리수나무, 장구밥나무	5
총도입 종수		(1단식재종수 + 2단식재종수 - 중복종수)	80

④ 관찰을 위한 시설 및 공간

관찰을 위한 시설 및 공간은 기존의 옥상녹화 공간에서는 쉽게 볼 수 없는 것으로 연구대상지역의 경우에는 생물서식공간으로 조성하면서, 이곳을 자연환경교육의 장으로 활용하기 위해서 마련되었다. 특히, 데크의 경우에는 지면으로부터 평균 10cm 정도 거리를 두면서, 데크 아래로 식재하였는데, 이것은 토양의 생물과 곤충들이 이동할 수 있도록 고려한 것이다(그림 8 참조).

학습의 공간은 조성과정별 주요 기법과 모니터링의 결과, 소생태계가 주는 이점 등에 대한 학습의 소재를 전시할 수 있는 공간을 대상지역 내에 마련하고, 건물내부에는 시청각 자료 등을 포함하여 환경교육의 프로그램을 마련하였다.

- a) 데크를 중심으로 좌측의 작은 동산과 우측의 초지 및 실험구 모습 b) 잔디불력으로 조성한 학습공간

그림 8. 관찰 및 학습공간

(3) 소생태계의 유지 및 관리 기법

소생태계의 유지 및 관리는 서식기반환경으로서 관수, 배수와 관련된 관리, 습지관리, 식생관리, 동물 관리로 구분하였다.

① 관수와 배수

여름철에서 지나친 증발산으로 수목의 성장에 필요한 수분을 확보하기 어려울 때에는 관수를 적절히 해 주어야 하는데, 이것은 스프링클러를 통해 관리될 수 있도록 하였다.

한편, 배수는 집중호우시 주변의 토양에 의해서 배수구가 막힐 것을 대비하여 점검회수를 조절하면서, 배수구 주변으로 조성된 자갈층을 적절히 관리하는 형태로 이루어져야 할 것이다.

② 습지 관리

습지관리는 적절한 수심 및 수량을 유지하는 것을 관리의 최우선으로 해야 한다. 이것은 수질보다도 앞서서 수서곤충과 어류의 서식에 제한인자로 작용하기 때문이다. 그 다음으로 고려되어야 할 것은 수질로서, 물의 순환이 제대로 이루어질 수 있도록 유지하는 것이다. 이 두 가지는 습지 관리에 있어서 가장 중요한 문제가 되는데, 수심과 수량의 유지는 급수를 통해서 가능하며, 수질의 관리는 모니터링을 실시하면서 이상증세가 나타날 경우에 물갈이를 통하여 적절하게 제어해 주는 관리방식을 택해야 한다. 이렇게 함으로써 수온의 증가나 급강하 등으로 어류의 서식에 지장을 주지 않고, 수서곤충이나 육상곤충의 서식에도 안전성을 확보할 수 있다.

③ 식생관리

식생은 소생태계의 조성후 인공토양에서 식물의 적응여부에 따라서 보식과 적절한 관리를 해 주어야 한다. 특히, 토양의 관리에서는 토양수분의 관리와 적은 토심으로 인한 토양의 동결과 들뜨는 현상 등에 대한 대책으로 관수와 가벼운 밟기 등을 실시하는 관리 방법을 도입해야 한다.

한편, 식재된 수목이 지나치게 성장할 경우에는 하중에 부담을 주며, 바람의 영향을 받아 전도 등의 위험이 따르므로 지나치게 성장하는 수목은 적절하게 전정을 해 줄 필요가 있다. 그리고, 수목의 성장에 적합한 토양을 선택하는 것도 수목의 지나친 성장을 제어할 수 있는 방법으로 이용될 수 있다(豊田 幸夫, 1999).

전체적인 식생의 구조관리는 식재의도에 따라서 습지식생대, 야생초지, 관목덤불숲, 동산 등이 유지될 수 있도록 해야 한다.

④ 동물 서식처 관리

육상곤충의 서식처 관리는 식생의 관리와 함께 다공질 공간의 제공으로 볼 수 있다. 또한, 수서곤충의 경우에는 수질, 수량의 관리로서 이

2) 일반적으로 식재시 수목의 수고가 성장후 2배가 되면 그에 따른 중량은 8배로 증가한다(이영무, 1998).

루어진다. 특히, 옥상곤충의 경우에는 식생관리에 기초하면서 다양한 먹이식물의 제공과 밝고 어두운 공간을 적절하게 유지시키는 식생관리가 중요하다.

어류의 관리는 수질, 수량과 함께 적절한 개체수의 유지도 고려되어야 한다. 특히, 옥상의 하중에 한계로 좁게 조성된 지역에서는 어류의 개체수가 지나치게 많아질 경우에는 곤충의 유충을 유지하기 어렵기 때문이다.

조류의 관리도 식물의 관리에 기초하고 있으며, 습지와 같은 주요 휴식처, 서식처에 간섭을 줄이는 것이 필요하다. 특히, 관찰이나 학습을 위해서 출입하는 사람들에 의한 간섭을 줄이기 위해서 제한된 인원을 출입시키도록 하고, 주요 서식처와의 완충식생대를 확보해 나가는 것이 바람직하다.

한편, 서식기반환경이 부족한 옥상에서 생물들이 겨울철을 월동할 수 있도록 하기 위해서는 지속적인 모니터링을 수행하면서 보완해야 할 요소들을 공급해 주어야 한다.

3. 옥상 소생태계 조성에 주는 시사점

지금까지 제시한 것들이 옥상 소생태계 조성에 주는 시사점을 제시하면 다음과 같다.

첫째로, 옥상공간에 대한 인식의 전환이 필요하며, 안정성을 확보하여야 한다. 지금까지 옥상공간은 하중과 누수 등의 문제점을 이유로 하여 녹화하기 힘든 공간으로 인식되어 왔다. 그 결과 법적인 범위 내에서 옥상을 녹화하고, 제대로 관리하지 못하는 등의 사례만을 보여주었다. 하지만, 하중이나 배수 등의 어려운 문제점을 세심하게 접근하여 주어진 환경의 한계 내에서 생물서식공간으로 조성할 수 있는 가능성이 높다는 것을 인식하여야 한다. 특히, 갈수록 부족해지는 도시지역에서의 녹지공간을 확보하기 위한 방안으로서도 옥상공간의 활용은 절실하며, 이러한 공간이 활용되어 생물서식공간으로 조성되었을 때에는 야생생물의 이동에 큰 도움을 줄 수 있음을 새겨두어야 할 것이다.

둘째로, 기존에 접근하던 옥상녹화의 방식을 벗어나서 생물서식공간으로 조성할 수 있는 기

법을 도입하여야 한다. 그 동안 조성되었던 옥상녹화의 유형은 단순히 수목이나 잔디의 도입만을 생각하거나, 교목이나 관목은 외래종을 중심으로 한 식재패턴을 보여 주었다. 하지만, 옥상녹화가 가능한 경우라면, 옥상 환경에 적합한 자생수종을 도입하고, 도입하는 식물도 야생초화류, 관목, 교목 등을 다양하게 도입하는 것이 바람직하다. 나아가서, 하중에 대한 안전성이 확보될 경우에는 가급적 습지생태계를 도입할 수록 생물다양성의 증진에 도움이 되며, 습지를 조성하기 힘들 경우에는 수조와 같이 인위적으로 수환경을 창출해 주는 것이 바람직하다.

셋째로, 생태네트워크의 관점에서 옥상공간의 활용은 매우 효과적이며, 도시생태계에서 생물의 이동과 서식, 물순환 등을 효율적으로 도울 수 있다는 것이다. 생태네트워크의 구성이 종의 공급원 역할을 하는 거점생태계와 이들을 연결하는 코리더, 그리고 새롭게 복원하거나 창출되는 서식처인 점적 요소로 보았을 때, 옥상공간은 점적 서식처로서 기능을 하여 생물의 이동과 휴식, 서식에 크게 기여할 수 있는 곳이다. 아울러서, 옥상층에 모아지는 우수나 건물물에서 사용한 물을 재활용하는 중수시스템 등을 복합적으로 활용하여 물순환을 이룰 수 있도록 하는 것도 큰 의의가 있을 것이다.

V. 결론 및 제언

1. 결론

이 연구는 지금까지 옥상을 녹화하는데 있어서 기피하는 장소로 보거나, 확일적이며 생태적으로 바람직하지 못한 조성기법을 벗어나서 생물다양성 증진을 위한 조성기법을 제시하고자 하였다.

이를 위해서 소생태계 조성기법을 생태연못이나 생태공원의 조성기법을 이용하여 옥상공간에 도입될 때 고려해야 할 점들을 제시하면서 이론적인 연구를 수행하였으며, 그 결과를 바탕으로 성남시 분당의 경동에너지 사옥 옥상을 대상으로 조성과정 및 기법을 제시하였다.

이 연구를 통해서 도출할 수 있는 결론은 다

음과 같다.

첫째로, 옥상공간도 하중이나 누수 등과 같은 구조적인 문제점이 해결되고, 적재하중의 범위 내에서 생물서식공간으로 계획할 경우 다양한 생물의 서식처가 될 수 있다. 특히, 하중의 문제로 옥상공간을 방치하는 것보다는 안전성을 확보할 수 있는 범위 내에서 다양한 서식환경을 조성해 주면 도시환경과 생태계의 개선에 크게 기여할 수 있을 것이다.

둘째로, 옥상 소생태계의 조성을 위한 기법은 생태연못이나 생태공원 등의 조성기법을 바탕으로 하여 응용시켜서 적용할 수 있으며, 특히, 옥상 내에 습지 생태계를 도입하는 것은 생물 다양성의 증진에 크게 기여할 수 있다. 또한, 기존에 조성하던 옥상녹화 방식을 생태적인 측면에서 접근하여 옥상환경에 적합한 자생식물의 도입과 곤충 및 조류 등의 서식처를 제공하는 것이 바람직할 것이다.

셋째로, 옥상 소생태계의 조성을 위해서 기본적으로 해결되어야 할 구조적 문제와 생물서식 공간을 조성하기 위한 기법이나 기술에 대한 충분한 연구와 실험이 필요하다. 이 연구에서 제시한 경동에너지 옥상의 소생태계는 우리나라에서는 처음으로 실험적으로 조성된 곳인 만큼 앞으로 모니터링을 진행하면서 문제점을 도출하고, 개선해 나가는 등의 일련의 과정이 필요하다. 이와 같은 연구와 실험 등을 통해서 효율적인 옥상 소생태계 조성기법을 개발하여 확대, 보급시켜 나가야 할 것이다.

2. 제언

앞서 언급되었던 것처럼 국내에서의 기존 연구나 사례의 부족으로 옥상 공간을 생물서식공간으로 조성하기 위한 검증된 기법을 제시하는데에는 아직까지 많은 한계점을 가지고 있다. 따라서, 앞으로 다음과 같은 후속연구들을 통해서 도시생태계의 복원에 기여할 수 있도록 해야 할 것이다.

우선, 사례지역에서는 앞으로 적용된 기법에 대한 모니터링을 통하여 적용된 기법이 의도하였던 목적과 조성후의 결과를 통해서 문제점의

분석 및 개선방안을 마련하여 우리 나라의 도시지역에서 인공지반환경에 적합한 소생태계 조성기법을 제시하여야 할 것이다. 특히, 서식처의 조성기법과 함께 옥상 소생태계가 중요한 생물서식공간으로서 기능할 수 있을 것인지에 대한 구체적인 결과물을 제시하는 것은 이 분야의 발전을 위해서 중요한 연구분야가 될 것이다.

그리고, 옥상 소생태계가 생태네트워크의 점적 요소로서 어느 정도의 기능을 하는지에 대한 효과를 제시할 수 있어야 할 것이다. 즉, 대상지역의 경우에 주변의 청계산, 불곡산, 중앙공원, 탄천 등의 서식처들을 네트워크화 하는데 징검다리로서 어느 정도의 효과를 나타내었는지에 대한 검증은 옥상 소생태계 조성의 궁극적인 목적을 달성하는데 도움을 줄 것이다.

마지막으로 점차적으로 다양한 유형의 옥상 소생태계 조성사례가 늘어나면, 옥상 소생태계의 유형별로 비교, 검토하여 효율적인 조성기법에 대한 제시가 필요할 것이다. 특히, 녹화의 범위에 따라서 전면녹화와 부분녹화에 따른 효과 분석, 습지생태계의 도입 유무에 따른 효과 분석, 조성지역의 높이와 주변의 주요 서식처와의 거리 등에 따른 조성효과를 분석하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

인용문헌

- 국토개발연구원. 1990. 분당신도시개발사업 ; 기본계획. 한국토지개발공사. pp.26~45.
- 김귀곤. 1999. 새천년을 대비한 우리 나라 환경 생태계획 및 조성의 동향과 전망. 21세기 생태환경 조성을 위한 새로운 조경기법. 한국조경사회. pp.20~21.
- 김귀곤. 2000. 생태건축을 위한 옥상습지 조성에 관한 연구. 생태주거건물연구회 공개 발표회 자료집. 서울. pp.1~31.
- 김귀곤, 조동길. 1998. 도시생태네트워크 구축에 관한 기초연구. 한국환경복원녹화기술학회지. 1(1) : 70~83.
- 김인숙 등. 1996. 특집 옥상조경. 월간 환경과

- 조경. pp.58~82.
- 김현수 등. 1998. Green Town 개발사업 III : 건축분야. 한국건설기술연구원.
- 삼손. 1998. 파라소공법 시공사례집 ; 초경량 무공해 인공토양 녹화공법. 주식회사 삼손. pp.12.
- 서울대학교. 1997a. 도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발. 환경부. 2단계 1차년도 보고서.
- 서울대학교. 1997b. 도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발. 환경부. 2단계 2차년도 보고서.
- 서울대학교. 1999. 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발. 환경부. 3단계 1차년도 중간보고서.
- 이영무. 1998. 하중제한이 기존건물의 옥상조경 계획에 미치는 영향. 한국조경학회지. 26(2) : 166~180.
- 이은엽 · 문석기. 1999a. 인공식재지반의 토양배합 및 비료종류에 따른 초본식물의 생육효과. 환경복원녹화. 2(1) : 1~9.
- 이은엽 · 문석기. 1999b. 인공지반의 토양조성과 토양심도가 중엽형들잔디의 생육에 미치는 영향. 환경복원녹화. 2(2) : 24~32.
- 이은엽 · 문석기. 1999c. 인공지반용 식재용토의 배합이 목본식물의 생장에 미치는 영향. 환경복원녹화. 2(3) : 18~24.
- 조동길. 1999. 인공습지 조성후 생물다양성 증진효과에 관한 연구 ; 서울공고 생태연못을 중심으로. 서울대학교 석사학위논문. 한국건설기술연구원. 1999. 보급형 옥상녹화 가이드 북. 환경부.
- 한국건설기술연구원. 1998. 생태도시 조성 기반 기술 개발사업(II). 환경부.
- 환경부. 1995. 전국 그린네트워크화 구상.
- 豊田 幸夫. 1999. 屋上緑化と建築るる. 建設物価臨時増刊. pp.24~29.
- 建設省都市局公園緑地課. 平成11年. 環境共生時代の都市緑化技術 屋上・壁面緑化技術のてびき.
- Donald A Hammer. 1996. Creating Freshwater Wetlands. Lewis Publishers.
- Joseph St. Lawrence. 1997. Urban Agriculture : The Potential of Rooftop Gardening. (<http://www.city-farmer.org> : Urban Agriculture Notes)
- T. Takakura 등. 2000. Cooling effect of greenery cover over a building. Energy and Buildings 31 : 1~6.

接受 2000年 3月 7日