

단편화된 서식처의 연결을 위한 야생동물 이동통로의 조성*

- 대상지 선정 및 조성기법을 중심으로 -

김귀곤* · 최준영** · 손삼기***

*서울대학교 조경학과 교수

**서울대학교 대학원 협동과정 조경학전공 박사과정

***서울대학교 대학원 생태조경학과

A Study on the Wildlife Corridor for Connecting Fragmented Habitat - Focused on Site Selection and Design Methods -

Kim, Kwi-Gon* · Choi, Jun-Young** · Son, Sam-Gi***

* Dept. of Landscape Architecture, Seoul National University

** Ph D. Program in Landscape Architecture, Seoul National University

*** Graduate School, Dept. of Landscape Architecture, Seoul National University

ABSTRACT

This is a study to generate a theoretical base for the development of wildlife corridor as a solution to the problems of wildlife population size reduction and declining bio-diversity resulting from the fragmented habitats caused by road constructions. This study seeks to examine and define techniques in every aspect of wildlife corridor including planning, site selection, design and development, and maintenance through an actual application.

The results of this study are as follows.

1) The wildlife corridor should be developed in an approach supplementing a landscape ecological

이 논문의 사례연구에서 계획·설계 및 모니터링은 환경부 G-7과제 '도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발' 연구비의 지원에 의해 수행되었음.

approach and a restoration ecological approach bilaterally. To this end, systematic methodology and process are required.

2) It was restored to an ecosystem as close as possible to the forest ecosystem before road development. In addition, in order to allow it to function as an ecological corridor, topography restoration, stream development, and ecological plantation were implemented.

3) The result of monitoring activities that continued for one year since the development confirmed the migration and inhabitation of a number of animals including small mammals. It is judged that it functions as a corridor in fragmented habitats as initially expected.

4) Through continuous monitoring in the future, the effects of corridor development on ecological restoration need to be reviewed in a long-term perspective. There is also a need to develop and refine a comprehensive maintenance plan for wildlife corridors and their surroundings.

Based on such study results, actual data on the development of wildlife corridor should be accumulated. In follow-up studies, after continuous monitoring for a long period of time, the effects of wildlife corridor development should be evaluated comprehensively and wildlife corridor applicable to Korea should be standardized by correcting disclosed problems.

Key Words : Wildlife corridor, Fragmented habitat, Ecological restoration, Bio-diversity

I. 서론

인간의 활동을 위한 토지의 전환과 관련된 서식처의 훼손 및 고립화는 지구의 생물 다양성에 있어서 가장 심각한 위협이 되고 있다(Collinge, 1998). 특히 교통 수요의 증대에 따른 도로의 개설 및 확장은 현재까지 지속적으로 이루어지고 있다. 최근 들어 도로건설에 있어 걸림돌이 되는 보상비용 절감을 이유로, 과거에는 도로개설이 이루어지지 않았던 산림지역을 대상으로 한 도로개설이 증가하고 있다. 그로 인한 서식처 단편화의 영향으로 야생동물의 개체수 감소, 생물다양성 저하 등의 문제가 계속적으로 발생하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 도로의 계획단계에서부터 면밀한 생태조사와 더불어, 이에 바탕을 둔 경관생태학 측면에서의 환경영향평가를 통한 도로 노선 및 규모의 검토, 가능하면 터널 및 고가도 활용 등 예방적이며 장기적인 대책의 수립이 요구된다(환경부, 1997). 그와 더불어 이미 훼손된 지역을 대상으로 적절한 생태적 기능을 회복시켜줄 수 있는 시설과 구조물의 설치가 필요하다. 본 연구에서 다루고자 하는 야

생동물 이동통로²⁾(이하 '이동통로'라고 한다.)는 이러한 측면에서 볼 때 서식처 단편화로 인한 문제점을 해결하기 위한 사후 보완적 시설로 볼 수 있다.

국내에서는 이동통로의 조성과 관련하여 90년대 초반부터 연구가 시작되었으며, 정부에서도 이동통로 조성의 필요성과 타당성에 대한 검토과정을 거쳐 '야생동물 이동통로 설치지침'(환경부, 1999a)을 마련하였다. 현재 중앙정부 및 지방자치단체들에서 다양한 유형의 이동통로 조성을 구상하고 있어, 이동통로는 도로개설로 인해 발생하는 부정적인 생태적 영향을 저감하기 위한 효과적인 방안으로 자리잡고 있다. 그러나 실제 조성과정에서 채택되고 있는 방법의 유용성에 대한 실증적 자료는 아직 부족한 것으로 나타나고 있다(김귀곤과 최준영, 1998).

따라서 정부에서 마련한 설치지침을 실증적인 연구를 통하여 검증하고 수정 보완하여, 이동통로 조성의 계획, 설계 및 시공, 유지관리에 있어서 표준화된 기준을 제시할 수 있는 연구의 수행이 절실히 요구된다.

본 연구의 목적은 현재까지 국내에서 조성된 이동통로들 중에서 규모와 적용기법의 측면에서 가장 큰 의미

를 지닌다고 판단되는 '오봉산 생태연결통로'의 조성과정 전반에 대한 분석을 수행하는 것이다. 이를 토대로 국내에서 적용 가능한 이동통로의 계획과정, 대상지 선정기법 및 조성기법을 도출하겠다.

하지만 본 연구에서 적용한 기법들을 그대로 다른 지역에 적용하는 것은 무리가 있고, 각각의 조성 대상지의 현황분석에 따라 그 지역의 특성에 맞는 이동통로 계획 및 시공이 이루어져야 한다. 따라서 이 연구에서는 앞으로의 이동통로 조성에 있어서 하나의 모델로 활용될 수 있는 조성기준을 제시하겠다.

II. 이론적 고찰

1. 도로계획에 있어서 경관생태학적 고려

도로건설에 따른 생태적 측면에서의 부정적 영향은 많은 연구자에 의하여 다양한 측면에서 파악되어지고 있으며(Oxley et al., 1974; Mader, 1984; Samways, 1989; Forman et al., 1995), 특히 경관생태학적 측면에서의 서식처 단편화(habitat fragmentation)와 연결성(connectivity)의 문제는 폭넓게 논의되어지고 있다(Hof and Flather, 1996; Sheila, 1998; Ian and John, 1999). 도로 및 철도의 계획에 있어 생물다양성의 감소를 막기 위해서는 전체적인 경관을 생태적 과정 속에서 고려해야하며, 이러한 인식은 기존의 특정지역 및 종 보호에 의한 계획의 한계성을 절감한 결과라 할 수 있다.

스웨덴의 경우 이러한 개념을 적극적으로 수용하여 전략적 계획(strategic planning)과 초기 연구(initial study) 등의 단계에서부터 경관생태학적 고려를 적극적으로 도입하기 위한 노력을 기울이고 있으며(SNRA, 1996), 이를 평가하기 위한 일련의 과정을 기존 환경영향평가 과정에 포함시켜 시행하고 있다(SNRA, 1995). 이는 기존의 특정지역 위주의 보전 계획이 각종 사회간접자본 시설계획에의 적용에 있어서 부적절한 것으로 판단되었기 때문이다.

경관스케일에 따른 위계적 구조분석은 경관생태학적 측면과 생물지리학적 접근 (biogeographic approach)을 통합적으로 고려한 접근으로, 생태계의 복잡하고 동적인 특성을 고려한 과정 중심적인 분석방

법이다. 이동통로의 조성에 있어 개별 종의 움직임에 예측하기보다는, 경관생태적 측면에서 이동통로의 대상지에서의 역할을 파악하는 것이 실질적이라 할 수 있다.

2. 복원생태학과 경관생태학

이동통로는 기본적으로 훼손된 연결통로의 기능을 의부영향에 의한 변화이전의 단계로 회복시켜주는 것을 의미하지만, 그 변화정도와 현재의 조건에 따라 그림 1과 같이 여러 가지 단계로 구분되어질 수 있다(William et al., 1989). 이를 위해서는 복원의 특정한 최종점을 보기 이전에, 재생(reclaim)과정을 일반적인 생태적 맥락(ecological context)에 위치시키는 것이 필수적이라 하겠다.

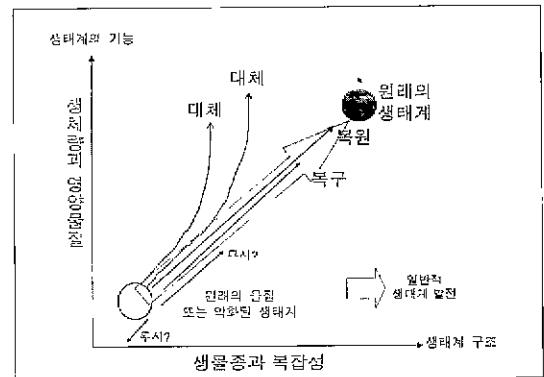


그림 1. 복원에 있어서 단계구분

자료 Bradshaw(1981)

경관생태학과 복원생태학은 상호 보완적 접근체계로 볼 수 있으며(Susan et al., 1997), 복원에 있어 고려되어야 하는 자연요소들의 기능은 실질적으로 경관생태학에 있어서의 자연적 맥락과 일치한다고 볼 수 있다.

이동통로의 조성은 실질적으로 훼손된 자연지역에 대한 경관생태학적 접근과 복원생태학적 접근의 접점을 이루고 있으며, 표 1의 요소들에 대한 상호 복합적인 고려가 실제 조성에 있어 필수적임을 알 수 있다.

3. 이동통로의 조성일지 선정

보편적으로 받아들여져 오던 이동통로의 조성위치는

표 1. 복원시 고려하는 지연 요소

구 분	특 성
구 성	종의 현존과 그 상대적 풍부함
구 조	식생과 토양 구성요소의 수직적 배열
패 턴	시스템 요소의 수평적 배열
비균질성	구성, 구조, 패턴을 구성하는 다양한 복잡성
기 능	생태계의 기초적인 대사과정 (물질, 에너지 등)
역동성/회복력	천이과정, 교란으로부터의 회복

서식처 사이를 잇는 최단거리이다(송병화, 1996). 그러나 최근 그러한 견해가 비판을 받으면서, 시뮬레이션을 통해 이동통로의 조성입지를 선정하고자 하는 시도가 이루어지고 있다(Gustafson and Gardner, 1996). 이러한 방법 외에 아르고스 등의 인공위성을 이용한 이동패턴 조사, 도로에 남겨진 사체의 빈도조사, 지형도로부터 단절된 서식처를 찾는 방법 등이 있을 수 있다.

비균질적인 경관 속에서 개별 종들의 이동경로를 파악하기 위한 노력은 다양하게 시도되고 있으며, GIS와 컴퓨터 시뮬레이션 및 각종 수학적 데이터를 활용한 일련의 노력들이 지속적으로 수행되어 오고 있다(Bakker *et al.*, 1995; Gustafson and Gardner, 1996).

4. 이동통로의 역할 및 그 조성

이동통로가 조성 대상지에서 갖는 역할은 특정 종을 위한 서식처, 이동을 위한 도랑, 분리된 지역간의 장벽 및 여과장치, 주변 환경에 대한 환경격, 생물적 원천 등이 포함된다(Fleury and Brown, 1997).

이동통로는 서식처 단편화에 민감한 야생동물 종들에게 있어 매우 중요한 역할을 담당하며, 이는 특정 종의 보존에 있어 매우 가치 있는 도구이다(Beier and Noss, 1998). 실제로 많은 연구들에서 두 개의 커다란 서식처 패치를 연결하는 50m 길이의 서식처 이동통로가 동종의 다른 개체군간의 상호이동과 교배율을 상당히 높여주는 것으로 나타났다(Aars and Ims, 1999). 또한 단편화된 경관에서 선형의 산림 잔존지는 야생동물 서식처와 이동통로를 제공할 수 있으며, 최소한 30~40m의 폭이 확보되어야 그러한 기능을 수행할 수

있는 것으로 알려졌다(Laurance and Laurance, 1999).

그리고 단편화된 서식처의 이동통로에서는 연속된 서식처와 비교하여 야생동물들의 독특한 행동패턴이 나타나는데, 이는 서식처의 단편화로 인하여 포식에 대한 위협과 먹이 자원의 이용가능성이 변화되기 때문이다(Mahan and Yahner, 1999).

이동통로의 계획은 네 개의 주요한 단계로 구성되는데, (1) 지역적 맥락의 이해, (2) 계획의 목적과 연구의 범위 설정, (3) 녹도 경계의 정의, (4) 대상지 설계의 수행 및 관리 계획 등이 계획과정에 포함된다(Fleury and Brown, 1997).

최근 들어 실제로 이동통로 조성 후 야생동물들의 이동통로 활용 및 조성효과를 파악하기 위한 연구들도 차츰 활기를 띠고 있다. 척추동물의 이동통로 이용에 영향을 미치는 가장 중요한 요인은 서식처에 대한 이동통로의 위치와 적절한 커버의 제공이며, 이동통로의 디자인과 입체구조는 동물의 이동비율의 변화에 있어서 상대적으로 거의 영향을 미치지 않는 것으로 알려졌다(Rokriguez *et al.*, 1996; 1997).

III. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

본 연구는 도로건설에 따른 생태계에 대한 부정적 영향을 저감하기 위한 방안 중 하나인 이동통로 조성에 관한 연구이다. 선행연구로 수행하였던 이동통로 유형 구분 및 조성절차에 대한 연구결과를 토대로, 이번 연구에서는 실제 사례적용을 통하여 이동통로의 계획, 설계 및 조성, 유지관리 등 일련의 과정에서 나타나는 문제점들을 분석하고자 한다.

따라서 본 연구의 내용적 범위는 이동통로 조성에 있어서의 입지선정기법 및 조성기법의 도출로 한정된다. 그리고 현재까지의 변화상태를 제시하기 위하여, 지금까지의 모니터링 결과를 간략하게 종합하겠다.

이동통로의 조성효과에 대한 종합적인 평가와 분석 및 유지관리 방안의 도출은 장기간에 걸친 지속적인 조성 후 모니터링을 수행한 후, 이동통로의 효율성(이동동물 종류, 이동방향, 이용횟수 등), 적합성(위치, 크

기, 주변 식생 조성), 생태적 영향(연결된 서식처의 동·식물상 변화) 등에 대한 검토를 중심으로 후속연구로 진행하도록 하겠다.

2. 연구의 방법

본 연구의 진행과정 및 내용을 간략하게 도식화해보면 그림 2와 같다. 연구의 방법은 크게 대상지 현황 조사방법, 조성입지 선정방법, 조성기법 도출방법, 조성 후 조사 및 평가방법 등으로 나누어 살펴보았다.

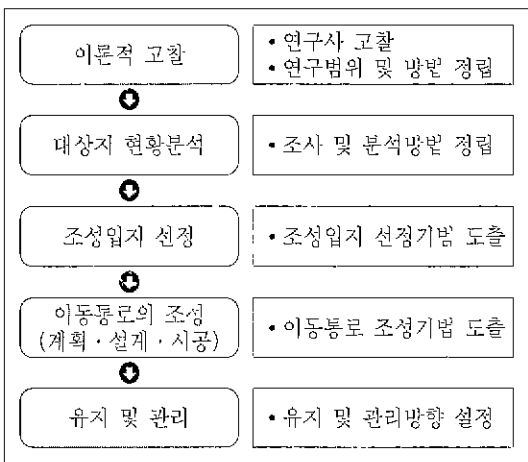


그림 2. 연구의 과정 및 내용

1) 대상지 현황 조사방법

이동통로 조성을 위한 대상지역 현황분석에 있어서 조사항목은 서식하는 동·식물상, 서식처의 파악, 이들이에게 영향을 주는 각종 인자 등으로 선정하였다. 이를 위해서 주변 식생과 더불어 포유류, 조류, 양서·파충류, 곤충류 등에 대하여 생태전문가 팀에 의하여 생태조사를 수행하였다. 또한 이러한 생물상에 영향을 주는 물리적 인자로서 표고 및 경사율, 사회적 인자로서 토지 이용, 도로현황 등의 항목을 조사하였다.

선정된 요소에 대해 1997년 11월부터 1998년 7월까지 10차례의 조성 전 현장답사, 문헌조사, 지역주민 면담, 항공사진 판독 등을 통하여 현황조사를 실시했다.

2) 조성입지 선정방법

조성입지 선정은 이동통로의 조성과정에서 가장 중요한 단계라 할 수 있다. 가장 바람직한 조성입지 선정

방법은 도로개설사업 시행 이전에 야생동물의 이동경로를 추적·파악하여 공사이후 이를 복원하는 것이다. 그러나 본 연구의 사례지역에 있어서는 사전조사가 미비한 상태로 도로 개설사업이 진행됨에 따라, 그러한 방법을 적용하는데 어려움을 겪게 되었다.

이에 따라 도로 개설공사가 진행되는 동안 단편화된 산림에서 현장답사를 통하여 지형적 조건, 식생 구조, 야생동물 서식처 등을 파악하였다. 또한 발견된 종들의 서식조건 및 범위에 대한 문헌조사 결과를 고려하여 서식처의 피해 정도를 예측하였다. 그리고 강설 후 발자국을 추적하여 대상지에서의 야생동물 이동경로를 파악하였다. 그러한 조사 결과를 바탕으로 3개소의 후보지역을 선정하였으며, 각 후보지역의 잠재성과 제한성을 비교 분석하여 최종입지를 선정하였다.

3) 조성기법의 도출 방법

이동통로의 기능은 야생동물의 이동로 제공, 서식처로 이용, 천적이나 교란의 피난처 역할, 생태계의 연속성 유지 등으로 생각할 수 있다(환경부, 1999a). 이동통로가 이러한 기능을 수행할 수 있도록, 지형과 식생을 복원하고 토양과 수계 등 생물서식기반을 복원하였다.

지형의 복원은 일반적으로 도시화와 함께 변형된 하천의 수계를 복원해 주거나(Riley, 1998), 광산지역의 복원에 이용되는 방법(Cairns, 1995: Bradshaw and Chadwick, 1980)으로 이를 이동통로에 맞게 변형하여 적용하였다.

식생의 복원은 식물의 성장과 생존에 있어서 가장 중요한 기능을 하는 환경인자인 습기, 양분, 온도, 광 등의 측면에서 복원기법을 마련해야 한다(Cairns, 1995). 대상지의 경우 특히 습기와 양분이 중요한 요소로 판단되어 이에 복원기법을 도출하였다.

생물서식기반 복원의 경우, 가장 중요한 의미를 가지는 표토 복원기법을 Bradshaw and Chadwick (1980)를 참고하여 도출하였다. 계류와 습지의 복원은 Riley (1998) 등의 문헌을 비롯하여, 현재 활발히 적용되고 있는 소하천 조성공법 및 습지 호안 조성공법을 활용하여 적용하였다. 그리고 동물종별 서식환경 및 이동 촉진 방안은 기존의 문헌고찰을 통해서 도출하였다.

4) 조성 후 모니터링 방법

이동통로 조성 후 식생 분포변화와 야생동물의 이동 현황 모니터링과 관련하여, 구체적인 조사 및 평가방법과 그 결과는 후속연구에서 다루도록 하고, 본 연구에서는 전체적인 조사들만 간략하게 언급하도록 하겠다.

이동통로의 식생 분포 변화와 자연화 과정은 환경부(1998)를 참고하여 영구 방형구를 설치하여 모니터링하였다.

곤충류는 이동통로 내에 식물상이 회복되면 가장 먼저 유입되는 분류군으로, 서식하는 종의 목록과 그 분포, 식생, 토양, 수계 등의 요인에 따른 군집의 형성 및 변화를 조사하였다.

양서·파충류, 조류, 포유류 등은 대상지에 서식 및 이동하는 종을 직접관찰과 배설물 등의 흔적조사를 통하여 모니터링하였다. 특히 이동통로 하부의 응덩이에서 산란된 양서류들이 계류와 습지부를 통과해서 어떻게 상부지역으로 이동하는지를 주기적으로 조사하였다. 대부분의 포유류는 흔적조사가 용이하지 않아, Murie(1974)와 임업연구원(1995)를 이용하여 겨울철 눈 위에 남아있는 발자국을 통해 조사하였다.

IV. 연구 결과 (사례연구)

1. 이동통로 조성 대상지의 위치 및 개황

대상지역은 화성군 봉담면 동파리와 의왕시 고천동을 연결하는 총 연장 14km의 폭 4차선 고속화도로 가운데, 의왕시 고교리 오봉산 일원으로 1998년 12월 도로 완공과 더불어 이동통로가 조성되었다. 이동통로 조성 전·후의 대상지를 비교해보면 그림 3과 같으며, 조성 후 항공사진은 경기도 건설안전 관리본부에서 촬영하였다.

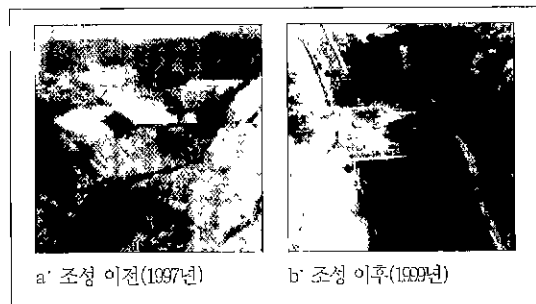


그림 3. 이동통로 조성 전·후 모습

2. 현황조사 결과

1) 지형 및 표고

전체적으로 해발 60m~170m 정도의 분포를 나타내었고 남측이 북측에 비하여 전체적으로 높게 나타나고 있으며, 경사도의 경우 농경지 및 주거지역은 평탄한 구릉이었지만 산림지역은 25~30%의 급경사지였다.

2) 생물상

이동통로 조성 대상지역에 대한 10여 차례의 생태조사 결과 도시화와 도로 개설공사에 따라 많은 피해를 보고있지만, 표 2와 같이 비교적 다양한 동식물이 분포하고 있는 것으로 파악되었다. 그러나 대상지역의 생태계는 도로개설 공사로 인해 직접적으로 훼손되었으며, 주변의 높은 도로밀도로 인한 서식처의 단편화에 따른 질적 저하현상이 가속화되고 있어 생물상의 보존을 위해서 조속한 대책수립이 필요한 것으로 판단되었다.

3) 토지이용

대상지역 주변은 개발제한구역으로 지정되어 있으며 토지이용 상 산림지역이 대부분을 차지하고 있으나, 신규 개설도로를 따라 농업지역, 공업시설, 철도시설지역 및 주거지역 등이 고루 분포하고 있는 복합적 토지이용 양상을 나타내고 있다.

토지이용도와 도로개설 전·후의 항공사진을 통하여 그림 4와 같이 토지이용의 변화양상을 살펴본 결과, 대

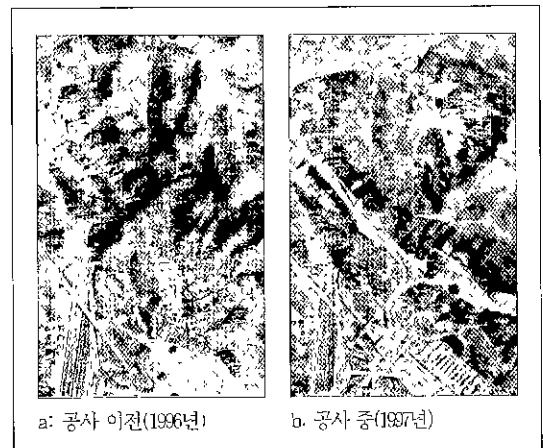


그림 4. 도로 개설공사 전·후의 토지이용 비교

표 2. 이등도로 조성 예정지역에 대한 생태조사 결과

항 목	특 성
식 생	공사이전의 경우 신갈나무군락, 졸참나무군락, 상수리나무 군락 등이 주종을 이루고 있는 음수림으로의 변화과정에 있는 양호한 식생상을 보유하고 있으나(환경부, 1989), 도로 개설공사로 인한 직접적인 서식처 훼손이 광범위하게 나타났으며 총 272종(초본류 포함)이 생육하는 것으로 파악
곤 충	도로개설에 따른 식생의 훼손으로 빈약한 곤충상을 나타냄. 딱정벌레, 먼지벌레 및 털두꺼비하늘소를 비롯한 4개목 13과 21종의 서식 확인
양서·파충류	참개구리, 두꺼비, 산개구리, 쟁개구리, 음개구리, 도롱뇽, 아무르장지뱀, 누룩뱀, 유희목이, 쇠살모사, 능구렁이 등 총 11종 서식 확인. 이 중 참개구리, 산개구리, 두꺼비, 아무르장지뱀 등은 조성 초기 이동이 가능할 것으로 보임
조 류	꿩, 까치, 박새, 노랑턱멧새, 참새, 동고비, 오목눈이, 노랑지빠귀, 쑥새, 소쩍새, 오색딱다구리, 붉은머리오목눈이, 멧비둘기, 어치, 직박구리, 딱까치를 비롯한 총 16종 서식 확인
포 유 류	두더지, 너구리, 청설모, 고슴도치, 고라니, 삵, 족제비, 멧토끼, 다람쥐, 등줄쥐, 곰쥐, 땃쥐 등 총 12종 서식 확인

상지역은 과거 농업지역과 산림지역 위주의 비교적 단순한 토지이용을 나타내었으나, 도시화에 따라 급속한 토지이용 변화가 발생하고 있는 것으로 나타났다.

4) 주변도로

대상지역 인근에는 그림 5와 같이 신갈~안산간 고속도로와 국도 1호선을 비롯한 다수의 도로가 위치하고 있어, 대상지역을 중심으로 한 20km의 지역에서의 도로밀도(road density)²⁾는 1.75로 나타났다.

이는 도로밀도가 동물에 미치는 영향에 대한 연구들(Crete et al., 1981; Sage et al., 1983)에서 동물에게 부정적 영향을 미치는 것으로 알려진 0.4~1.2 보다 월등히 높은 값으로, 도로로 인한 주변지역의 야생동물에 대한 부정적 영향이 상당히 큰 것으로 파악되었다.

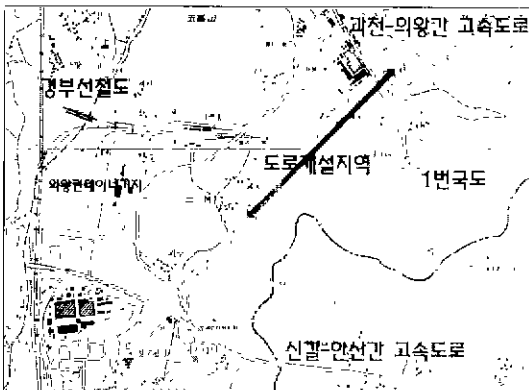


그림 5. 대상지역 주변도로 현황

3. 이등도로 조성 입지선정

대상지역의 경우 이등도로 조성 가능지역의 총 연장이 600m정도의 짧은 구간이므로, 대상지역 전체를 도로로 답사하면서 지형적 조건, 식생구조, 야생동물의 서식처를 파악하였다. 또한 현재 야생동물 이동경로를 파악하여 이들을 종합적으로 고려하여 조성입지 후보지를 선정하고, 이들에 대한 평가 및 분석을 통해 최종 대상지를 선정하였다.

1) 서식처의 파악

야생동물은 자신의 세력권을 포함한 일정한 행동반경을 가지고 있는 것으로 알려지고 있어, 생태조사 시 발견 종을 대상으로 서식 특성, 서식 범위, 산란 및 번식 패턴 등을 표 3과 같이 고려하여 도로개설에 따른 서식처의 피해 정도를 파악하였다.

표 3. 주요 발견종별 서식조건 및 서식범위

종 류	서 식 조 건(산란장소)	서식범위
참개구리	야산이나 물가 풀밭 (연못)	0.5km
산개구리	계류, 바위 밑 (저지대 논)	2km
두꺼비	산간, 야산 습한 곳 (연못)	2km
아무르장지뱀	야산근처의 밭이나 산야	0.5km
청설모	평지, 중고산지대, 수상생활	2-3ha
족제비	산림, 풀숲, 농경지, 주거지	3ha
멧토끼	저지대에 서식	1.7km
삵	산간의 개곡과 암석지대	60-70ha
고라니	산기슭이나 강기슭의 풀숲	

자료: 백남극과 심재한(1999), 교희사 교계부(1996), 환경부(1999), 임업연구원(1999)

야생동물이 도로로 인하여 받을 영향에 대한 평가는 해당지역에 서식하는 각 야생동물의 종 구성 및 분포, 계절적인 변화, 산란 장소, 서식처, 행동권 등에 대한 전반적인 조사를 통해 가능하다(심재한, 1997). 대상지의 경우 도로노선이 논과 산림 경계부를 통과하고 있어 산란과 이동에 있어, 양서,파충류의 서식처가 가장 심하게 직접적으로 훼손하고 있는 것으로 파악되었다.

2) 이동경로 파악

도로개설에 따른 직접적인 서식처 훼손과 더불어 이동경로에 대한 영향을 파악하고자, 포유류의 이동경로를 강설 후 발자국 추적 방식으로 파악하였다.⁴⁾ 이동

경로의 파악은 이동통로의 조성에 있어서 이동이 가능한 동물 예측과 효과적인 조성입지 선정에 있어서 핵심적인 사항이라 할 수 있다.

조사 결과 파악된 너구리, 족제비 및 고라니 등의 이동경로는 능선부를 피하고 대체적으로 계곡사면을 따라 이동하는 것으로 파악되었으며, 도로개설에 따라 이러한 이동경로는 큰 위협을 받는 것으로 판단하였다. 이러한 결과를 바탕으로 대상지에서의 야생동물의 이동경로를 그림 6과 같이 도면화하였다.

3) 이동통로 위치 및 유형

대상지에서의 야생동물 서식처 및 이동경로 파악 결과를 바탕으로, 지형적 조건, 식생구조 등을 종합적으로 파악하여, 3개소의 후보지역을 선정하여 이에 대한 평가를 통해 표 4와 같이 최종 조성지역을 선정하였다. 선정된 지역은 도로개설공사 이전에 계곡이 위치하고 있던 지역으로 산림지역과 경작지역을 연결하는 경계부에 해당하며, 소규모 습지 및 초지가 형성되어 있어 양서,파충류의 서식처로 기능하고 있는 지역이다.

대상지역에서의 이동통로 유형은 육교형으로 결정하였으며, 안정성 및 경제성 등을 종합적으로 고려하여 2경간 R.C 박스교 형식을 채택하였다(김기대 등, 1998). 규모에 있어서는 목표 동물의 생태적 특성, 통로 주변부의 처리, 소음이나 빛 같은 외부영향 저감 등

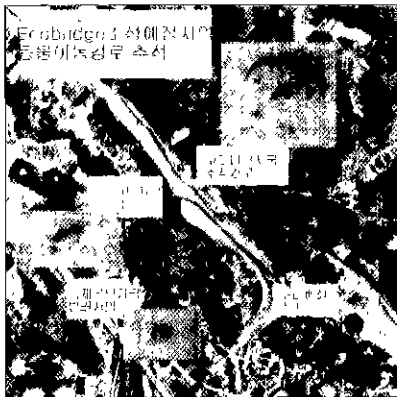


그림 6 파악된 동물이동경로

표 4. 이동통로 설치를 위한 후보지역 비교

항목	제 1 지역	제 2 지역	제 3 지역
위치	STA 1+ 180지점 (중심기점)	STA 1+260 (중심기점)	STA 1+ 480 (중심기점)
지형적 특성	• 절개면 시작지점과 인접하여 있으며 비교적 완만한 경사	• 폐경된 논이 도로 개설구역과 인접하고 있으며 소규모 계곡 형성	• 능선부 정상
장점 및 잠재성	• 습지의 역할을 하는 논과 인접하여 있어 생물서식공간으로서 기능이 가능하며 양서,파충류의 이동에 유리 • 도로 좌우측의 높이 차가 크지 않은 관계로 공사에 유리	• 남측의 폐경된 논지역이 자연 습지로서 기능할 수 있으며 북측의 계곡과 연결지어 계속적인 물의 공급을 통한 다양한 서식환경 조성가능 • 경작지역과 이격되어 있어 상대적으로 외부로부터의 간섭이 적음	• 대형포유류 등이 이동하는 능선부위를 복원함에 따라 이동통로의 효율성 제고 가능 • 도로로부터 멀리 떨어져 있음으로 소음 및 빛의 영향 경감
단점 및 제한성	• 민가가 근처에 위치하고 있으며 도로 진입부와 인접하여 외부로부터의 간섭 발생	• 집중호우시 북측계곡으로부터 급류가 형성에 따른 상부구조 훼손가능	• 능선부위에 구조물을 설치해야 함으로 공법상에 문제점이 많으며 비용 과다소요 우려
선정 결과		○	

을 고려하였으며, 유럽의 조성사례 및 대상지 특성을 고려하여 연장 25m, 폭 50m로 결정하였다(김귀곤 등, 1998).

4. 이동통로 조성기법

이동통로는 기본적으로 단편화된 서식처 및 이동경로를 연결해 주는 것으로, 대상지의 경우 훼손 이전의 산림 및 계곡생태계와 최대한 유사한 형태를 갖도록 고려하였다. 이를 위하여 지형, 서식기반, 수계, 식생의 4가지 측면에 대한 복원기법을 적용하였고, 이를 토대로 종별 이동 및 서식을 위한 환경을 조성하였다.

1) 지형 복원

절개에 따라 발생한 약 16m의 단차를 해소하기 위하여 경량성토재(EPS)를 사용하여 기본형태를 갖추었으며, 일반토양을 최소 토심 2m가 유지되도록 성토하여 공사 이전의 지형과 유사한 형태로 조성하였다.

또한 최대한 다양한 지형을 구성하기 위하여 마운딩 및 저습지를 조성하였으며, 전체적으로 중심부분이 낮게 유지되도록 하여 자연스러운 계곡형상을 조성하였다. 이는 차량의 소음 및 불빛 등에 의한 부정적 영향을 최소화하는 효과도 가져올 것으로 판단되었다.

2) 식생 복원

식생의 복원을 위해서는 환경인자인 습기, 양분, 온도, 광 등에 대한 고려가 요구되는데, 대상지의 경우 인공지반 위에 조성되는 서식처이기 때문에 토양 중 습기와 양분이 중요한 요소로 판단되었다. 토양 중 습기를 유지하기 위하여 보습능력이 우수한 인공토양소재를 자연토양과 혼합하여 토양층을 구성하였다. 그리고 토양의 양분을 보충하기 위하여 논, 밭의 표토와 부식토를 이용하여 표토를 구성하였다.

식재 수종 선정의 경우 기본적으로 주변지역에 생육하며 야생동물이 유인할 수 있는 종으로 선정하였으며, 이들 식생의 배치는 동물의 이동을 우선적으로 고려하고자 하였다. 이를 위하여 식생의 연속된 흐름을 형성하는데 주력하였으며, 아울러 파악된 동물의 이동경로에서와 유사한 식생 유형을 형성할 수 있도록 하였다.

우점종인 참나무류를 위주로 한 교목을 비롯하여 총

45종의 관목 및 초본류를 배치하여, 전체적으로 다층 구조를 이루이 다양한 생물들의 서식공간 및 이동경로로 활용될 수 있도록 하였다. 도로와 접하는 부분에 대해서는 침엽수와 관목을 밀생하여 소음 및 불빛을 저감하도록 하였으며, 개류 주변지역에 대해서는 수생식물을 식재하여 원래 자연상태와 유사하도록 조성하였다.

3) 생물서식기반 복원

건강한 생물서식기반 환경의 모태가 되는 토양은 부식층 표토를 충분히 포함해야 한다. 토양에 표토를 보완해 주는 것은 양료공급원을 확보해주는 것이며, 물리적 자극에 대해 토양을 보전하는 방법이다(Bradshaw and Chadwick, 1980). 대상지의 경우 원칙적으로는 도로공사로 인한 절토 시 표토를 한곳에 모아두었다 이를 이동통로 조성 시 성토하는 것이 바람직하나, 그것은 시기적인 이유 등으로 인하여 불가능하여 주변지역의 논·밭의 표토를 성토에 이용하였다.

선정된 대상지에 있어서 가장 큰 잠재성은 폐경된 논과 웅덩이이다. 이들 지역을 야생동물의 서식처 및 이동 시 휴식공간으로 활용할 수 있으며, 자연형 계류의 형성을 통하여 지속적인 수량공급이 가능하도록 하였다. 그에 따라 지속적인 서식기반 형성이 이루어질 것으로 예상되었고, 그 결과 양서류의 이동이 활발히 이루어지면 조류 및 파충류 등의 연쇄적인 유입을 기대할 수 있을 것으로 판단하였다(환경부, 1999b).

수계는 지형에 따라 형성되며 다양한 생물의 서식과 이동에 있어 중요한 역할을 수행한다. 경사면 형성에 따라 발생하는 우수의 흐름을 활용하여 원래의 수계를 복원함으로써 남측의 습지와 북측의 산림지역을 효과적으로 연결하고자 하였다. 자연재료를 활용하여 폭 1m내외의 곡선형 계류를 형성하였으며, 2기소의 소규모 습지(체류지)를 조성하여 계류부의 특성을 유지하도록 하였다. 수층부에 대해서는 자연석과 말뚝을 활용하여 구조적 안전성을 도모하였다.

4) 동물 서식 및 이동환경의 복원

대상지가 단편화되기 이전의 산림생태계와 유사한 지형, 수계, 식생의 복원을 통해 야생동물 이동통로로서의 기능을 발휘하도록 표 5와 같이 고려하였다. 이에 덧붙이 다양한 동물의 서식환경을 추가적으로 조성함

으로써 대상지의 생물 부양능력과 야생동물의 이동증대를 더불어 도모하였다.

표 5 이동통로 조성시 종별 이동촉진을 위한 고려사항

동물종	고려사항
곤충	<ul style="list-style-type: none"> 먹이식물, 밀원식물 등의 적극적 도입을 통한 곤충류 서식 유도 나비, 잠자리류의 월동과 산란을 위한 습지환경의 형성 및 다공질 공간 조성
양서·파충류	<ul style="list-style-type: none"> 생울타리를 통해 2km 이동 가능 서식 및 이동을 위한 수변 환경 조성 촉구 등에 대한 이동용 보조통로 설치 바위와 자연석 쌓기, 통나무 더미 형성 등을 통한 파충류 서식환경 조성
조류	<ul style="list-style-type: none"> 보통 서식처로부터 1-2km의 영역확보 식이식물의 식재를 통한 서식유도 침엽·활엽수, 관목이 다층구조를 형성, 최대 50m 폭, 10m 높이를 갖는 녹지축 조성
포유류	<ul style="list-style-type: none"> 소형 포유류의 경우 2-3m 폭의 통로 필요 다층구조 형성을 통한 이동경로 재현 돌담, 통나무, 바위, 고사목 등의 배치

자료: 환경부(1998, 1999a; 1999b), Fleury and Brown(1997).

5. 이동통로의 현재 현황 및 유지관리 상황

1) 이동통로의 현황 및 유지관리

대상지의 이동통로에 있어서 식생의 경우 점차 주변 생태계와의 연결성을 확보해 나가고 있으며, 바람의 영향을 많이 받는 사면부를 제외하고는 대부분 식재종들이 잘 정착하고 있다. 그림 7에서 보는 것과 같이 산림의 주변부 생태계와 같은 서식처가 조성되었다.

하지만 사면부를 중심으로 환삼덩굴, 여뀌, 은사시나



그림 7. 이동통로 조성이후 내부 모습

무, 아카시나무 등 귀화식물들이 폭넓게 대규모로 도입되고 있어 적절한 관리와 지속적인 모니터링이 요구되었다. 특히 환삼덩굴의 경우 식재한 초본류와 수종들의 생육을 저해하고 결국 고사시킴으로 인위적으로 제거해 주었다.

식생은 야생동물들에 있어서 가장 중요한 서식환경이므로, 각 종별로 최적의 서식처 및 이동통로를 제공해 주기 위하여, 유입 및 확산되는 귀화식물에 대한 관리에 있어서 세심한 주의를 요한다. 일반적으로 귀화식물에 대한 관리방법으로는 귀화식물의 생육을 억제하는 환경을 조성하거나, 경쟁종 혹은 천적을 이용한 생리학적 방법, 약품을 이용한 화학적 방법, 직접 손이나 기계로 제거하는 물리적 방법 등이 있다.

물리적 방법에 의한 귀화식물 관리를 수행할 때, 무엇보다도 조류의 먹이 공급을 고려하여 작엽시기를 선택하고, 서식환경의 다양성을 유지할 수 있도록 전체를 같은 시기에 제거하지 않아야 한다.

그리고 대상지 주변의 일부 주민들이 이동통로를 등산로로 이용하고 있어 야생동물의 이동에 악영향을 미치는 것으로 판단되어, 주민들의 지나친 접근을 억제하고 연구에 대한 이해를 돕기 위하여 안내해설판을 설치할 계획하였다.

2) 조성이후 효과 분석

1998년 12월 이동통로 조성 이후 1년여의 모니터링을 수행하였으며, 그 결과 표 6에서와 같은 동물 종의 이동을 확인할 수 있었다.

표 6 이동통로 조성 후 이동 확인 동물종

분류군	종수	서식 및 이동이 확인된 종
곤충류	38종	나비목, 잠자리목, 메뚜기목, 벌목, 딱정벌레목, 노린재목 등
양서·파충류	1종	산개구리
조류	5종	멧비둘기, 노랑딱새, 까치, 붉은머리오목눈이, 박새
포유류	4종	토끼, 너구리, 청설모, 들쥐

현재까지 이동통로 조성의 최종 목표종으로 설정한 고라니 등의 중대형 포유류들의 이동은 파악되고 있지 않으나, 토끼, 너구리, 청설모 등 소형 포유류의 이동이 시작되고 있어, 시간의 경과에 따라 점차 많은 동물들의 이동이 일어날 것으로 예상되고 있다.

곤충의 경우 현재까지의 조사 결과 산림의 주변부에 서식하는 종들이 나타나고 있어, 이동통로가 산림주변 초지 생태계의 구조와 기능을 가지고 있는 것으로 파악되고 있다. 이에 따라 주변 산림지역에 비해 다양하고 풍부한 곤충상을 부양하고 있어 조류의 유인효과가 큰 것으로 판단되지만, 시간의 경과에 따라 점차 산림지역의 곤충상으로 변화하게 될 것이다.

V. 결론

이 연구는 이동통로의 구성에 있어 요구되어지는 경관생태학적 접근과 복원생태학적 접근에 대한 연구를 수행하고, 이를 토대로 하여 실제 대상지역에서 이동통로의 구성을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같이 요약되어질 수 있다.

1. 이동통로의 구성은 경관생태학 및 복원생태학적 관점의 상호 보완적 접근을 통해 이루어져야 하며, 이를 위한 체계적인 방법론 및 과정이 요구되어지고 있음.

2. 도로개설 이전의 산림 및 계곡생태계와 유사한 형태로의 복원을 추구하였으며, 이와 더불어 지역 내 생태적 거점으로 기능할 수 있도록 지형 복원, 식생 복원, 생물서식기반 복원, 이동환경 복원 등을 수행하였음.

3. 조성 후 1년 동안의 모니터링 결과, 소형포유류를 비롯한 다수의 동물이 이동, 서식하는 것으로 확인되어, 당초 계획대로 단편화된 서식처에서의 이동통로 기능을 발휘할 것으로 판단됨.

4. 향후 지속적인 모니터링을 통해 조성효과에 대한 장기적인 검토가 수행되어야 하며, 이동통로와 주변지역에 대한 종합적 유지 및 관리계획의 수립과 보완이 요구되어짐.

이동통로 구성에 있어서 도로의 계획단계에서부터 면밀한 생태조사가 수행되어야 하나, 이 연구의 경우 실제 도로개설이 진행 중인 상황에서 이동통로의 구성이 결정되었다. 그에 따라 생태조사 등의 수행에 있어 어려움을 겪었으며, 이로 인한 문제점은 지속적인 모니터링을 통해 보완되어야 할 것이다.

이 연구는 단편화된 서식처를 연결하는 이동통로의 구성에 있어서, 대상지 현황 조사, 입지 선정, 계획, 설계 및 시공, 유지 관리 등에 이르는 일련의 과정들을

오봉산 생태연결통로'를 사례로 하여 분석해 보았다. 그를 통하여 환경부에서 마련한 '야생동물 이동통로 설치지침'을 실증적인 조사 결과를 바탕으로 검증하고 보완해 나가는 출발점이란 점에서 의의가 있다. 또한 앞으로의 이동통로 조성에서 활용될 수 있는 입지 선정과 조성 기법에 있어서 하나의 기준을 제시했다고 점에서 의미를 갖는다.

후속연구에서는 이동통로의 조성 효과에 대한 종합적인 평가와 분석을 수행하고, 이동통로의 효과적인 유지관리 방안을 도출하도록 하겠다. 이를 위해서 이동통로의 식생 변화 및 자연화 과정, 서식하는 동·식물상, 이동통로를 통해 이동하는 동물의 종류, 이동 방향 및 횟수, 이동통로를 통해 연결되는 서식처에서의 동·식물상 변화 등에 대한 장기간에 걸친 지속적인 모니터링을 수행하도록 하겠다.

주1. 경관생태학 측면에 입각한 도로 노선의 선정 및 평가를 위한 사전영향 평가기법은 스웨덴 등 북유럽을 중심으로 1990년대 중반 개발되어 현재 적용되고 있다.

주2. 자연환경보전법 제2조에서는 [도로·댐·수중보·하구인 등으로 인하여 야생 동·식물의 서식처가 단절되거나 훼손 또는 파괴되는 것을 방지하고, 야생 동·식물의 이동을 돕기 위하여 설치되는 인공구조물·식생 등의 생태적 공간]으로 정의 내리고 있다.

주3. km/km로 표시되어지는 지역 내 도로연장의 밀도로서 단위 경관에서의 도로에 의한 생태적 영향을 나타내주는 효과적인 수단으로 사용될 수 있으며, 그 변화에 따라 생물종에 대한 부정적 영향을 파악할 수 있다

주4. 도로 건설 이전에 생태 조사를 시행, 이동 경로를 파악하는 것이 바람직하나 도로 개설 이후 이동통로 조성이 추진되어 제한된 시기에서의 조사가 수행되었다

감사의 글

이 연구의 생태 조사에 참여해 주신 G7과제 '효율적인 생물 서식공간 조성기술개발'의 생태전문가팀인 조류 및 포유류의 우한정박사, 곤충류의 우건석교수, 양서·파충류의 심재한박사, 식물의 민병미교수, 수생식물의 조강현교수님께 감사드립니다.

인용문헌

1. 교학사 교재부(1998) 한국의 멸종위기 및 보호 야생 동·식물. 교학사.
2. 김귀곤, 최준영(1998) 분절된 서식처의 연결을 위한 생태 이동통로에 관한 연구(I) -유형구분 및 조성절차를 중심으로-. 한국조경학회지 26(2) : 293~307.
3. 김기대, 김지현, 최병진, 서민환, 고강석, 최덕일(1998) 환경영향평가서에 나타난 생태계 단편화 현황과 생태통로 조성 실태. 환경영향평가 7(2) : 15~26.
4. 백남극, 심재한(1999) 랩. 지성사.
5. 송병희(1996) 안양천 생태통로 기본계획. 안양천 유역물 대상지로, 서울대학교 석사학위논문.
6. 심재한(1997) 신설도로 건설에 따른 등물상의 변화. 관리 및 보전대책, 자연보존 99호 : 50~53.
7. 임업연구원(1995) 산림생태계의 생물다양성 조사분석 및 표본관리 방법 임업연구원 연구자료 101호
8. 임업연구원(1999) 우리나라 야생동물의 보호·관리 실태. 임업연구원 연구자료 146호.
9. 환경부(1997) 그린네트워크 -사례집-. 7~13.
10. 환경부(1998) 도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발 연구기관 서울대학교.
11. 환경부(1999a) 자연생태계 복원을 위한 야생동물 이동통로 설치지침
12. 환경부(1999b) 도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발 연구기관 서울대학교, 2: 111~221
13. Aars, J. and R. A. Ims(1999) The effect of habitat corridor on rates of transfer and interbreeding between vole demes. Ecology 80(5) : 1648~1655.
14. Bakker, J. and J. P. Lnaapen, and P. Schippers(1995) Fauna dispersal modeling - A spatial approach, Proceedings of the international conference on habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering, 17-21 September 1995. Maastricht and The Hague, the Netherlands, pp. 183~192.
15. Beier, P. and R. F. Noss(1998) Do habitat corridors provides connectivity? Conservation Biology 12(6) : 1241~1252.
16. Bradshaw, A. D. and M. J. Chadwick(1980) The Restoration of Land. Blackwell Scientific Publication, pp. 1~9. 76~80.
17. Bradshaw, A. D.(1984) Ecological principles and land reclamation practice, Landscape Planning 11: 35~48.
18. Cairns, J(1995) Rehabilitating Damaged Ecosystems Lewis Publishers, pp. 386~407.
19. Collinge, S. K.(1998) Spatial arrangement of habitat patches and corridors: clues from ecological field experiments. Landscape and Urban Planning 42. 157~168
20. Crete, M. and R. J. Taylor, and P. A. Jordan(1981) Oplumization of moose harvest in southwestern Quebec. Journal of Wildlife Management 45: 596~611
21. Fleury, A. M., and R. D. Brown(1997) A framework for the design of wildlife conservation corridors with specific application to southwestern Ontario. Landscape and Urban Planning 37. 163~186
22. Forman, R. T. T. et al.(1995) Ecological effects of roads. Towards three summary indices and an overview for North America, Proceedings of the international conference on habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering, 17-21 September 1995, Maastricht and The Hague, the Netherlands, pp. 47~49.
23. Gustafson, E. J. and R. H. Gardner(1996) The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization. Ecology 77(1) 94~107.
24. Ian F. Spellerberg and John W. D. Sawyer(1999) An Introduction to Applied Biogeography, Cambridge Cambridge University Press, pp. 157~180
25. John Hof and Curtis H. Flather(1996) Accounting for connectivity and spatial correlation in the optimal placement of wildlife habitat. Ecological Modelling 88: 143~155.
26. Laurance, S. G. and W. F. Laurance(1999) Tropical wildlife corridors: use of linear rainforest remnants by arboreal mammals Biological Conservation 91: 231~239
27. Mader, H. J.(1984) Animal habitat isolation by roads and agricultural fields, Biological Conservation 29. 81~96
28. Mahan, C. G. and R. H. Yahner(1999) Effects of forest fragmentation on behaviour patterns in the eastern chipmunk (*Tamias striatus*). Canadian Journal of Zoology - Revue Canadienne de Zoologie 77(12): 1991~1997.
29. Murie, O. J.(1974) A Field Guide to Animal Tracks 2nd ed. New York: Houghton Mifflin Company.
30. Oxley, D. J. and M. B. Fenton, and G. R. Carmody (1974) The effects of roads on populations of small mammals. Journal of Applied Ecology 11 51~59.
31. Riley, A. L.(1998) Restoring Streams in Cities, Washington DC: Island Press, pp. 119~121. 335~403.
32. Rodriguez, A., and G. Crema, and M. Delibes(1996) Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates Journal of Applied Ecology 33(6): 1527~1540.
33. Rodriguez, A., and G. Crema, and M. Delibes(1997) Factors affecting crossing of red foxes and wildcats through non-wildlife passages across a high speed railway Ecology 20(3): 287~294.
34. Sage, R. W. and W. C. Tierson, and G. R. Mattfed, and D. F. Behrend(1983) White-tailed deer visibility and behavior along forest roads Journal of Wildlife Management 47. 940~962.
35. Samways, M. J.(1989) Insect conservation and

- landscape ecology - a case-history of Bush Crickets in Southern France, *Environmental Conservation* 16: 217~222.
36. Sheila, P.(1998) *Planning for Bio-diversity* Washington DC . Island Press, pp. 69~88.
37. SNRA(1995) *Miljøkonsekvenser for vagar : en handbok : Vagverket*, pp. 6~23.
38. SNRA(1996) *Bedomning av ekologiska effekter av vägar och järnvägar - Rekommendationer om arbetssätt*, Borlange Vagverket, pp. 10~15.
39. Susan S. B. and S. F. Mark, and B. M. Little(1997) *Linking restoration and landscape ecology*, *Restoration Ecology* 5(4) 318~323.
40. William R. Jordan III, and E. G. Michael, and D. A. John(1987) *Restoration ecology - a synthetic approach to ecological research*, Cambridge Cambridge University Press.