

생태통로 조성 국내외 사례 조사를 통한 개선과제 연구

김명수¹⁾ · 허학영²⁾ · 조수민²⁾ · 신수안²⁾ · 안동만³⁾

¹⁾ 경관생태디자인연구소 · ²⁾ 서울대학교 조경학과 대학원 · ³⁾ 서울대학교 조경학과 교수

An Analysis of Eco-corridors in Korea by Case Study of Domestic and Foreign Cases

Kim, myoung-soo¹⁾ · Heo, Hag-Young²⁾ · Cho, Soo-min²⁾ · Shin, Su-an²⁾ and Ahn, Tong-Mahn³⁾

¹⁾ Landscape & Ecological Design Research Institute,

²⁾ Graduate School, Seoul National University,

³⁾ Prof., Department of Landscape Architecture, Seoul National University.

ABSTRACT

In an effort to preserve biodiversity in increasingly fragmented green patches, Korea has been installing eco-corridors over or under some arterial or expressways. In a survey of 43 such eco-corridors installed up until the year 2003, some problems and issues were identified. Some selected overseas eco-corridors were also investigated to find implications for the improvements of future installations in Korea.

Major findings are;

- For most existing eco-corridors, target species are not specified and locations of the eco-corridors are not well considered, and consequently it is questionable if wildlives are crossing them
- Most of existing eco-corridors lack supporting facilities such as fences that guide wildlife to cross them and prevent them from running into the road
- Planting on the eco-corridors is not sufficient, not diverse enough in species, and not very considerate of wildlife but designed and planted in a similar manner as in urban parks
- Where target species are not well specified, the location, width, cross section, and other aspects of the eco-corridors can not be optimized
- It is suggested that eco-corridors are planned at early stages of road planning so that the number and locations of eco-corridor(s) decided as necessary and even the alignment and design of roads consider the installation of eco-corridors in advance
- Monitoring of wildlife crossings is needed for improved eco-corridor planning and design
- Nationwide green network plan is desirable to be made first and eco-corridors fit into it.

Key Words : *Planning and design of eco-corridors, Target species, Location selection, Cross section, planting.*

I. 서 론

1. 연구 배경 및 목적

급속한 도시화의 진전으로 인한 도시 내 자연 서식처 파편화(fragmentation) 현상과 격리화(isolation) 현상은 서식처간 야생동물의 이동 등 메타개체군 역동성(metapopulation dynamics)을 방해하여, 패취 내에 서식하는 개체 수 감소와 도시 내 생물 종 다양성 감소를 초래한다.

파편화된 생물서식처 연결성 증대방안 제시는 생태적 지속가능성 증진의 중요한 연구과제이며, 서식처간 생태적 고립을 막기 위한 생태통로(corridor) 조성은 서식처간 종의 이동을 증대하여 도시의 지속가능성 발전에 기여할 것이다. 이러한 서식처의 문제를 해결하기위해서 외국에서는 다양한 종류의 생태통로가 설치되고 있으며, 야생동물 이동에 긍정적인 효과를 주고 있는 것으로 보고되고 있다. 국내에서도 최근 생태통로가 활발히 조성되고 있으며, 많은 생태통로가 계획되고 있다. 하지만 기 조성된 국내 생태통로는 위치선정 등 다양한 문제로 인해 그 실효성에 대한 논란이 야기되고 있다.

따라서 본 연구는 국내에 조성된 전체 생태통로를 대상으로 생태통로 조성 특성 및 이동 흔적 등을 중심으로 전수조사를 실시하여 생태통로 조성실태와 문제점을 분석하고자 한다. 또한, 생태통로 조성 사례가 많은 독일, 스위스, 네덜란드를 대상으로 선진사례 조사를 통해 우리나라 생태통로 조성에 시사하는 바를 찾고자 하였다.

2. 연구 범위 및 방법

1) 연구 범위

국내의 생태통로는 2002년 4월 현재 총 42개소가 조성되었으며(환경부 내부자료), 연구수행기간 중 새로 10곳을 추가되어 총 52곳이 조성 및 계획 중인 것으로 나타났다.

본 연구의 국내 생태통로 사례조사는 현실적으로 조사가 어려운 비무장지대에 위치한 3곳, 현장조사를 실시하였으나 확인을 할 수 없었던 3곳, 계획 중이거나 공사 중인 3곳을 제외한 총

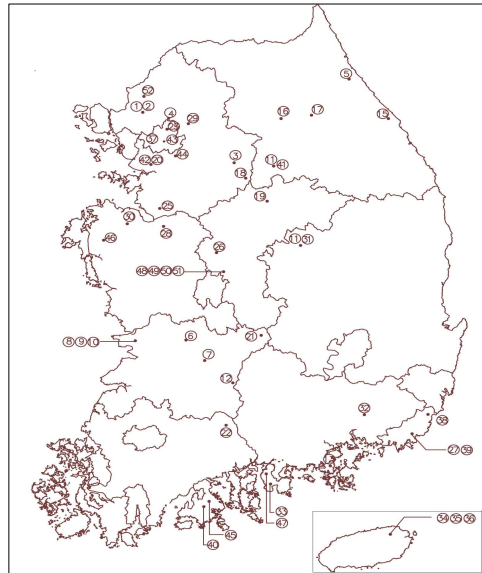


그림 1. 국내 생태통로 위치도.

43개 지역의 현장조사 결과만을 기술하였다. 사례조사지역의 위치는 그림 1과 같다. 또한, 해외 사례조사는 직접 현장조사를 실시한 독일, 네덜란드, 스위스의 생태통로를 중심으로 우리나라 생태통로에의 시사점을 분석하였다.

국내현장조사는 2002년 12월~2003년 10월에 이뤄졌으며, 해외사례조사는 2003년 7월 중에 이뤄졌다.

2) 연구 방법

생태통로에 관한 문헌 고찰을 통해 관련 연구 동향을 살펴보고 환경부 내부자료(2002)와 관련 문헌 조사를 통해 국내 설치된 생태통로 현황을 파악하였다.

기존에 설치된 것으로 파악된 국내 생태통로 전체에 대해 현장조사를 실시하였으며, 관련기관 방문을 통한 자료 수집을 병행하였다. 현장조사는 조사야장을 사용하였으며, 현장파악을 위해 사진촬영을 병행하였다. 조사항목은 생태통로의 기능 및 조성에 관한 이론고찰을 토대로 설정하였으며, 생태통로의 물리적 특성, 식재 및 부대시설 설치 유무, 모니터링 여부, 이동흔적을 중심으로 살펴보았다. 현장조사 항목 및 내용은 표 1과 같다.

표 1. 국내 생태통로 현장조사 내용.

조사항목	세부 항목 및 내용
규모	폭, 길이, 높이
형태	육교형, 지하통로형, 기타
식재수종	교목, 관목, 기타
이동흔적	배설물, 발자국 등 흔적 ¹⁾
유도로의 설치	설치 유무, 소음 및 빛 차단, 포식자 방지책
포장, 목표종, 모니터링	종류, 고려 여부
문제점	위치, 구조, 식재
기타	부대시설 등

해외사례조사는 문헌고찰을 통해 전반적인 이론을 살펴보고, 생태통로가 잘 조성되어있는 것으로 판단되는 독일, 스위스, 네덜란드를 대상으로 직접 현장조사를 수행하였다.¹⁾

II. 생태통로에 관한 연구 동향

1. 생태통로 기능 및 조성 기준 연구

생태통로의 유형은 구조적인 측면에서 볼 때 크게 지하통로형, 육교형, 경사로형이 있으며, 구체적인 구조는 박스형, 덕트형, 파이프형, 배수로형(Friedman, 1997) 등이 있다. Forman and Godron(1986)은 통로를 형성요인에 따라 교란통로(철도, 송전선), 잔여통로(잔여 수림대), 환경자원통로(하천, 능선), 재생통로(철조망을 따라 자란 수림대), 도입통로(생울타리)로 구분하고 있다.

생태통로 조성에 대한 기준(Forman, 1995)을 살펴보면 교란을 받을 수 있는 곳은 피하고, 터널이나 지하통로(underpass)로 유도할 수 있는 펜스의 설치, 시야의 확보, 높이보다는 폭이 넓게 조성할 것 등 기준을 제시하고 있다. 생태통로의 기능은 서식처 기능, 이동통로 기능, 여과기능, 종 공급처(source) 기능, 종 수요처(sink) 기능의

다섯 가지로 구분할 수 있으며(Forman, 1995), 이러한 다섯 가지 기능에 영향을 주는 구조적 요인으로 통로의 폭과 연결성을 들 수 있으며, 생태통로의 폭은 목표종, 이동기능 유지기간, 종에 대한 정보량에 따라 결정되어야 한다. Harris (1991)와 Tassone(1981)은 이러한 기준에 따라 통로 폭을 제안하고 있으며, Fleury and Brown (1997)과 Lambeck(1997)은 목표 종에 따른 생태통로 고려사항을 제안하고 있다. 폭에 관한 연구는 표 2와 같이 이루어지고 있다.

생태통로 위치의 경우 보편적으로 받아들여지던 것은 패취 사이를 잇는 최단 거리였으나, Gustafson and Gardner(1996)는 ‘두 서식처 사이의 최단 거리가 이동통로가 되어야 한다고 생각하는 것은 비합리적’이라면서, 시뮬레이션을 통한 생태통로 위치선정을 제안하였으며, 이와 같은 시뮬레이션 외에 원격측정을 이용한 이동패턴 조사(Andreassen 등, 1998), 도로에 남겨진 동물의 사체 빈도 조사(Meffe and Carroll, 1994), 지형 도로부터 단절된 서식지를 찾는 방법 등이 이용되고 있다.

Hawkins and Selman(1994)는 영국 서부 Swidon 시 주변 산림에 대한 α , γ 지수를 계산하고, 가장 적합한 통로의 입지에 대한 시나리오를 제시하였다.

생태통로 조성에 대한 연구동향을 정리하면 표 3과 같다.

1) 흔적법(field sign method)은 조사 범위 전역을 조사하고, 그 중에 남아있는 흔적, 배변, 손발톱흔적, 마킹, 알 등의 흔적을 근거로 종을 파악하는 방법임.

표 2. 생태통로 폭에 대한 기존 연구결과.

연구자	목표종(대상지)	최소 폭(m)
송병화(1996)*		최소 30m 이상, 주요통로의 경우 150~180
Tassone(1981)*	내부종의 서식	50
	아카디아 딱새	50
	털딱다구리, 도가머리 딱다구리	50~60
	솔새	80이상
Harris(1984)*	더글라스 전나무(80m 기준)	520 (160+200+160)
	보통 숲(40m 기준)	360
Ranney(1981)*	자작나무	100이상
	당단풍	30내외
	위스콘신 활엽수림	
Harris(1991)**	개채수준	10~90
독일교통 공학회**		31~40
Fleury and Brown(1997)**	조류	4~90m
	작은 포유류	2m 이상
	중규모 포유류	2m 이상
환경부(2002)**	포유류, 양서류, 파충류	20m
Claridge(1991)**		최소 100m
미국교통부(2002)**	일반 야생동물	50m
Wilcove(1985)**	미국동부 낙엽수 림	1400m (600+200+600)
Kubés(1996)**	체코슬로바키아	국지적 생태통로 : 10-20m 지역적 생태통로 : 20-50m
Keller, and Pfister(1995)	야생동물(포유류)	약 50m
Shepherd et al.(1992)**	지역의 최상위 포식자	700-1000m

*서울대학교(1997) 자료에서 조사된 자료

**본 연구과정에서 조사된 자료

표 3. 생태통로 조성에 관한 연구 동향.

연구 내용	연구자
유형, 구조	Friedman(1997), Forman and Godron(1986) 등
폭, 높이, 유도시설 등	Forman(1995), Tassone(1981), Harris(1991), Keller and Pfister(1995), 송병화(1996) 등
목표종	Fleury and Brown(1997), Hudson(1991), Lambeck(1997) 등
위치 선정	Gustafson and Gardner(1996), Meffe and Carroll(1994), Hawkins and Selman(1994), Andreaseen et al.(1998) 등
기타(모니터링, 고려사항 등)	Bennett(1999), 김귀곤 등(2000) 등

2. 생태통로 사례 연구

생태 통로의 사례를 소개한 문헌으로는 U.S. Department of Transportation(2002), Forman(1995)의 연구가 있으며, Smith and Hellmund(1993)는 설치목적에 따라 야생동물 보전, 수자원 보호, 레크리에이션 용도별로 통로를 구분하여 소개하

고 있다.

국내 연구동향을 살펴보면, 경상남도(2000)에서 경상남도를 통과하는 6개 고속도로, 국도 22개 노선, 지방도로 48개 노선을 대상으로 자연환경, 야생동물, 산림형태, 산림생태, 훼손지 생태복원, 환경 보호 분야를 조사하여 생태통로(Eco-

bridge) 조성계획을 수립하였으며, 환경부(2001)에서 자연생태계를 위한 야생동물 이동통로 설치지침을 제시하였는데, 이 보고서에는 생태통로 정의 및 필요성과 기능에 대한 설명, 생태통로의 국내외 설치 사례를 제시하였다. 또한 건설교통부(2002)에서는 백두대간의 서식처 단절지역을 대상으로 생태통로 설치 가능 지점에 생태조사를 실시, 최종 선정지점의 생태통로의 규격 및 형식기준을 모색하였다.

III. 국내 생태통로 사례조사

1. 생태통로 유형

생태통로를 정의하면 도로/댐/수중보/하구언 등으로 인하여 야생동식물의 서식지가 단절되거나 훼손 또는 파괴되는 것을 방지하고 야생동식물의 이동을 돕기 위하여 설치하는 인공구조물/식생 등의 생태적 공간(자연환경보전법 2조 9항)으로 할 수 있으나, 본 연구에서는 파편화된 서식처간을 연결하여 야생동물 이동을 도모하는 인공구조물/부대시설/식생을 중심으로 다루었다.

생태통로를 구조물의 유형에 따라 구분하면, 육교형은 도로위에 생태통로를 조성하여 야생동물 등이 이동할 수 있도록 조성하는 생태통로이며, 지하통로형은 도로 하부에 통로를 만들어 야생동물의 이동을 유도하는 생태통로로 단면의 모양에 따라 다시 박스형과 아치형, 그리고 파이프형으로 구분할 수 있다. 고가하부형(viaduct)은 계곡부 도로건설시 성토나 절토에 의한 서식처를 파괴하지 않고, 산마루 사이를 연결하는 고가(육교)형 도로 건설하여 도로 하부로 다양한 종

이 이동하도록 설계된 생태통로로, 우리나라처럼 산악지형인 경우 많이 활용될 수 있는 형태이며, 경사로형은 양서·파충류 및 소형 포유류가 경사가 급한 절토면을 이동할 때 이용할 수 있도록 통나무를 절토면에 설치하거나 계단을 설치하는 형태이다.

2. 국내 생태통로 조성현황

환경부자료(2002년 4월 현재)에 제시된 생태통로 42개소와 연구 수행 중에 발견된 10개소를 추가하여 총 52개소 중 43개소를 조사했다. 접근이 어려운 비무장지대 생태통로 3개소는 조사를 실시하지 못하였고, 공사 또는 계획 중인 곳 3개소와 확인불가 생태통로 3개소도 조사가 이루어지지 않았다(표 4 참조).

전국에 설치된 야생동물 이동통로를 형태별로 분류해보면, 지하통로형 18개소, 육교형(overpass) 23개소, 경사로형 2개소로 나타났다. 다시 지하통로형 야생동물 이동통로를 통로의 단면형태별로 구분했을 때, 파이프형 2개소, 박스형 12개소, 아치형 4개소로 나타났다.

환경부자료와 본 연구에서 실시한 현장조사 결과에서 유형별 설치 건수가 차이 나는 이유는 지하통로형, 육교 형에 대한 분류기준이 다른 것에서 기인하는 것으로, 환경부의 유형구분에서는 지하통로형을 산지에 터널을 뚫고 터널의 상부로 생태통로가 조성된 경우와 도로하단으로 야생동물의 이동이 이루어지는 터널이 조성된 경우를 모두 지하통로형 생태통로로 분류하고 있었으나, 본 연구에서는 야생동물의 관점에서 전자를 육교형, 후자를 지하통로형 생태통로로 구분하였다.

표 4. 국내 생태통로 유형별 조성 현황.

유 형	개 수	사 례
지하통로형(암거형)	18	전남 구례군 시암재, 부산시 연제구 부산아시아 경기장 등
육 교 형	23	경기도 의왕시 오봉산, 강원도 양양군 구룡령, 강릉시 사천면 등
경사로형	2	서울특별시 마포구 상암동 하늘공원, 부산시 기장군 철마면
총 계	43	



그림 2. 생태통로 유형별 설치 사례.

1) 생태통로 유형별 규모

지하형 생태통로 경우 폭은 파이프형인 부산 아시안 경기장을 제외하면 대부분 2~16m로 나타났으며, 높이는 단면 형태에 관계없이 2~5m 정도로 나타났다. 지하통로형 생태통로는 규격화된 콘크리트 박스 표준설계도에 의해 설치되는 경우가 많기 때문에 획일적인 규격을 보여주었다. 설치위치에 따라 폭 및 높이가 다소 다르게 나타났다. 고속도로 밑에 설치한 생태통로는 폭 4~6m, 높이 3~4.5m였다. 국도의 경우 폭 2~3.5m, 높이 1.2~3.5m 정도였다. 즉, 고속도로에 설치된 생태통로 규모가 국도에 설치된 생태통로보다 규모가 큰 것을 알 수 있는데 이는 고속도로의 경우가 이동거리가 더 멀기 때문인 것으로 판단된다.

육교형 생태통로의 경우 아산시 남산에 설치된 생태통로가 폭 200m로 가장 넓은 폭을 가진 사례였으며, 당진군 면천면 생태통로 폭 1.5m로 가장 작은 것으로 나타났다.

표 5. 지하통로형 생태통로의 규모(박스형).

설치 위치		폭	길이	높이
강원	원주시 횡성읍	3.5m	53.2m	3m
	완주군 고산면	2.0m	64m	2.0m
	군산시 성산면	2.0m	39.4m	2.0m
전북	군산시 임피면	3.5m	23.9m	3.5m
	군산시 임피면	2.0m	28.7m	2.0m
	장수군 원촌리	4m	34.5m	4m
전남	구례군 시암재	6m	15m	5m
충북	청주시 우암산터널	10m	29.1m	4.5m
	북제주군 원동	16m	58m	4.5m
	북제주군 모달봉	6m	63.2m	4.5m
제주	북제주군 모달봉	5m	34.7m	2m

표 6. 육교형 생태통로의 규모.

설치 위치		폭	길이	높이
서울	강북구 오동근린공원	6m	50m	10m
	금천구 삼북터널	20m	90m	4.5m
경기	의정부시 사패산	290m	109m	4.5m
	의왕시 오봉산	23.5m	50m	5.7m
	평택시 송복동	10m	20m	5m
	남양주시 도곡리	8m	40m	4.5m
	성남시 분당 중앙공원	50m	100m	4.5m
전남	고흥군 고흥 남양간 도로	22.8m	49.2m	7.4m
	남해군 노구리	5m	27m	4m
전북	무주군 노루고개	11.5m	30m	4.5m
	문경시 마성면	24m	25m	15m
경북	문경시 고치미고개	11.4m	15m	6.1m
	창원시 안민고개	11m	18m	6m
경남	남해군 남면 흥현고개	8m	20m	4.5m
	아산시 남산 순환도시계획	200m	10m	6.7m
충남	당진군 면천면	1.5m	76m	19.5m
	서산시 서해안 고속도로	25m	40m	7m
충북	청원군(배수지-중앙공원)	14m(보도1.8m)	56.6m	
	청원군(중앙공원-양청공원)	15m(보도1.8m)	60m	
	청원군(양청공원-안골공원)	8m(보도1.8m)	89.88m	4.8m
	청원군(양청공원-호수공원)	14m(보도1.8m)	56.16m	
강원	양양군 구룡령	22.4m	30m	5m
	강릉시 사천면	6.8m	40m	10m

2) 유도시설 유무

유도펜스가 설치된 생태통로는 전체 조사 대상시설 중 13개소에 불과했다. 조사대상지역의

표 7. 생태통로의 유도시설 설치 유무.

구 분		개 소	
		설 치	미 설 치
지하통로형	파이프형	1	1
	박스형	3	9
	아치형	1	3
육교형		8	15
경사로형		-	2
총 계		13	30

70%(30개소)에 달하는 생태통로에서 유도시설이 없는 것으로 나타났는데, 기존 생태통로의 야생동물 이용가능성 향상을 위해서는 이에 대한 보완이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

3) 식재 현황

생태통로에서 수목은 이동하는 동물에게 먹이, 은신처, 시각적인 유도로를 제공하고, 일부 종에게는 서식 및 산란처 제공 등의 기능을 하는 매우 중요한 요소이다. 국내에 조성된 생태통로 내부 및 주변에 식재된 교목은 주로 소나무, 잣나무, 참나무류의 수종이 많이 사용되었고, 관목은 개나리, 철쭉, 회양목 등이 사용되었다.

표 8. 생태통로의 식생현황(생태통로 내부).

교 목	빈 도	관 목	빈 도	지피식물	빈 도
소 나무	12	철 쭉	6	잔 디	13
잣 나무	10	개 나 리	4	구 질 초	6
참나무류	6	회 양 목	4	망 초	2
스트로브잣나무	5	산 철 쭉	4	클 로 버	2
보리수나무	4	진 달 래	3	억 새	2
자귀나무	4	무 궁 화	3	붓 꽃	2
홍 단 풍	3	싸 리	3	양 잔 디	2
단풍나무	3	박태기나무	2		
은행나무	3	눈 주 목	2		
왕벚나무	3	참 싸 리	2		
노간주나무	2				
느티나무	2				

- 1회 식재된 교목 수종 : 해송, 아까시나무, 화백, 자작나무, 밤나무, 때죽나무, 감나무, 산수유, 산벚나무, 음나무, 화백, 주목, 편백, 향나무, 버드나무, 산딸나무, 배롱나무, 멸구술나무
- 1회 식재된 관목 : 조팝나무, 청미래덩굴, 노루오줌, 대나무, 쥐똥나무, 남천, 국수나무, 조릿대
- 1회 식재된 지피식물 : 으름덩굴, 별개미취



그림 3. 식생 현황.

전체적으로 의왕시 오봉산, 시암재, 구룡령, 문경 3번국도 생태통로의 경우를 제외하고는 통로 내부의 식생이 미흡한 것으로 나타났다.

4) 포장

생태통로 포장상태는 야생동물의 이동에 많은 영향을 준다. 인공적인 포장은 야생동물의 이동에 방해가 되므로 자연포장재, 식생에 의한 피복이 바람직하다. 특히 양서파충류 생태통로의 경우, 물웅덩이 또는 습지를 조성하여 양서파충류의 은신 및 먹이를 제공하는 것이 필요하다.

기존에 조성된 지하통로형 생태통로 내부 포장은 흙이 깔려있는 경우와 콘크리트 포장이 가장 많았다. 육교형에서는 자연포장재, 식생 포장,



그림 4. 소음 및 빛 차단 대책.

물웅덩이 및 습지 등 포장 유형이 모두 조사되었으나, 일부 생태통로의 경우 콘크리트 교량 구조물이 그대로 방치(남해군 노구리)된 경우와 철제 다리가 그대로 이용되는 경우(당진군 죽동리)도 있었다.

5) 소음 및 빛 차단

야생동물은 소음과 빛에 매우 민감하기 때문에 생태통로 상부에 소음과 빛을 차단할 수 있는 시설을 설치하는 것이 필요하다. 특히, 차량통행 및 마을에 인접한 지역에서는 야생동물 이동을 방해하는 소음과 빛을 차단하는 것이 필수적이다. 그러나 국내 생태통로에 이러한 시설이 설치된 사례(2곳, 5%)는 많지 않았는데, 서울시 강북구 오동근린공원과 강원도 양양군 구룡령에 설치된 생태통로에 소음 및 빛을 차단하기 위한 시설이 설치되어 있었다.

3. 국내 생태통로 조성 문제점

1) 위치 선정의 문제

국내에 설치된 생태통로 중 일부는 위치선정에 있어 문제점이 있는 것으로 나타났는데, 주변에 등산로, 산책로, 근린공원 등 인간 활동이 활발하게 일어나는 곳에 근접하거나 이들 공간과 연결되어 설치된 사례(서울 오동근린공원, 의정부시 서부우회도로), 주변이 농경지여서 통로를 통해 사람이 왕래할 수 있는 가능성이 높은 지역에 설치된 사례(여주군 양귀리, 부산시 황령산, 남해군 노구리, 남면 흥현리 등), 주변 식생지역의 면적이 좁거나 식생이 발달되어 있지 않아 야생동물의 서식이 의심되는 지역에 설치된 사례(고흥-남양간 도로, 강릉시 석교리 동해고속도로, 기장군 철마면)가 있었다.



그림 5. 생태통로 주변 토지이용 현황.

또한 구조상의 문제로서 진입부 경사가 너무 심하거나(무주군 노루고개, 강원도 횡성읍 중앙고속도로, 남양주시 와부읍), 입출구 부분 처리 미흡(서울 난지도공원, 부산 아시안경기장) 등의 문제가 있는 것으로 나타났다.

2) 생태통로 부대시설의 문제

유도시설의 경우 조사대상지역의 70%(30개소)에 달 하는 생태통로에서 유도펜스가 없어서 가장 큰 문제점으로 나타났다. 또한 유도시설이 설치된 지역(경기도 여주군 양귀리 중부내륙고속도로)도 펜스가 낮고 하단부가 개방되어 그 효용성이 의심스러운 곳도 있다.

의왕시 오봉산, 문경시 신현리 지역을 제외하고, 소규모 동물의 서식처와 은신처를 제공할 수 있는 나무그루터기나 돌무지 등의 설치도 미흡한 것으로 나타났다.

생태통로 구조물 주변에 배수로가 같이 조성하게 되는데, 이러한 배수로의 규모가 커서 야생동물에게 장애물로 작용할 가능성이 매우 크다고 할 수 있으나 이의 횡단을 위한 설치는 매우 미흡한 실정이다.



그림 6. 생태통로 부대시설 문제점.

표 10. 계속

구 분		위 치		구 조			식 재			
		1	2	1	2	3	1	2	3	4
경상도	부산시 수영구 황령산	■					■			
	부산시 기장군 철마면	■		■						
	남해군 노구리	■								■
	남해군 남면 흥현리	■		■						
	부산 아시아 경기장			■						
	문경 하피리 고치미 고개			■						
	문경 신현리 국도 3호선					■				
	창원시 안민고개	■								■
충 남	서산군 서해안고속도로	■	■							■
서 울 경 기	강북구 오동근린공원	■				■				■
	마포구 상암동 난지도 공원		■							
	남양주시 와부읍			■		■				■
	여주군 가남면 중부내륙	■				■	■			
	의정부시 서부우회로 사패터널	■				■				
	의왕시 오봉산					■				

위치 - 1 : 인간의 영향이 클 것으로 예상되는 곳, 2 : 서식환경이 갖춰지지 않은 곳
 구조 - 1 : 진입부 및 통로 내부의 급경사 및 규모가 협소하여 이동이 어려운 구조, 2 : 입, 출구 부분의 구조상 문제가 있는 곳, 3 : 부대시설에 문제가 있는 곳
 식생 - 1 : 식생에 대한 고려가 부족한 곳, 2 : 식생의 관리가 미흡한 곳, 3 : 주변 식생과 어울리지 않은 수종이 선정된 곳, 4 : 단조로운 식생 패턴을 보이는 곳

료(문헌 및 도면, 보고서, 모니터링 자료)를 수집하였다.

1. 독일

자연보전에 대한 독일의 관심은 지대하며 자연을 훼손한 만큼 보상하는 것을 법으로 규정하고 있으며, 야생동물 보호를 위한 생태통로 조성이 과학적으로 이루어지고 있다. 독일에서는 안전펜스(독일의 많은 고속도로가 속도제한이 없음), 안내판, 지하도(underpasses), 육교(overpasses; green bridge), 토지보전(교통시설 설치로 인해 훼손된 만큼 보상)을 법적으로 의무화하고 있다.

독일은 유럽에서 가장 많은 육교형 생태통로(overpass; 32개)를 갖고 있으며, 폭은 8.5m~870m에 이른다. 8개 이상이 현재(2002) 공사 중에 있으며, 20개 이상이 계획 중이다. 육교형의 대략 절반 정도에는 임도나 농로가 존재한다. 지하통로형이나 육교형에 차량이 통행하는 것을

막기 위해 암석을 이용한 곳도 있다. 독일의 공학자들은 모래시계 모양(hourglass) 또는 일자모양의 육교형이 비용 측면에서 유리하다고 본다. 양서류를 위한 생태통로가 전국에 걸쳐 100개 이상 완료되었으며, 강을 건너는 다리 중 130개가 야생동물과 동시에 이용될 수 있도록 설계되었다. 모니터링은 곤충에 관련된 연구도 있지만 주로 척추동물을 다루고 있다(U.S. Department of Transportation, 2002).

독일의 대표적인 육교형 생태통로 사례라고 할 수 있는 신설 B31도로 상의 생태통로 현황을 살펴보면 다음과 같다. 전체 구간에는 1.6m 높이에 15cm 그물코를 지닌 야생동물 보호울타리가 쳐져 있으며, 슈바르쯔그라벤(Schwarzgraben), 바이어홀쯔(Weiherholz), 히르쉬빅(Hirschweg) 3개의 육교형 생태통로가 건설되었다. 이 중 슈바르쯔그라벤은 야생동물들 이동 위주로, 나머지 두 개는 경관 미까지 고려하여 건설되었다. 이 3개

표 11. 독일의 생태통로 사례.

행정 구역명	설치 형태	규모(폭)	설 계 특 성
뒤셀도르프	에코브리지	50m	
	지하통로		양서류의 이동을 위하여 조성된 박스의 형태
Kuth-Wildestein	생태적관거		양서류의 보호와 이동 경로를 유도하기 위하여 관거를 효과적으로 이용
Kuth-Wildestein	생태적관거		양서류의 이동을 고려하여 폭을 좁게 형성
	생태적관거		양서류가 이동할 수 있도록 하기 위하여 도로변 배수구 배 상단에 철책을 설치, 차량으로부터 양서류를 보호
Bonn, Rhein-Sieg-Kreis	생태적관거		양서류가 이동할 수 있도록 하기 위하여 도로변의 관거를 주변지역과 연결
Schwarzgarben	에코브리지	50m	지역도로(local road, tarmac)와 결합
Weierholz	에코브리지	80m	통로 없음(without path)
Hirschweg	에코브리지	80m	농로(no tarmac)와 결합
Nesselwangen	에코브리지	29m	좁은 식생대(vegetated strip)가 있는 농로
Negelhof	에코브리지	20m	가축을 위한 좁은 식생대가 있는 농로
Hohereute	에코브리지	35m	
Württembergle	에코브리지	35m	
Oberdingen	에코브리지	10m	

주) 에코브리지는 육교형 생태통로로 구분할 수 있음



그림 8. 독일 신설 B31 도로상의 지하통로형 생태통로.

의 육교형 생태통로 외에 자연 포장 상태로 만들어진 산업도로용 고가교가 들어섰다. 생태통로들은 흙으로 표면을 덮고, 식물을 식재하여 1995년 5월 도로에 교통이 통행되기 직전에 설치 공사를 완공하였으며, 야생동물 보호울타리와 방음조치도 함께 실시되었다.

독일에는 대형 포유류 이동을 위한 생태통로 뿐만 아니라 다양한 형태의 소형동물 및 양서류 생태통로도 많이 조성되어 있다.

사각형 지하통로형은 주로 소형 동물 이동을 위한 것이고, 도로 하부에 설치하는 파이프형 생태통로는 양서류 이동을 위한 것이다.

생태통로 설치와 함께 유도펜스를 설치하여 동물을 통로로 유도하고, 도로횡단을 방지하여 사고를 줄인다.

2. 스위스

다양한 폭의 육교형 생태통로(overpasses, green bridges, ecoduct)를 건설하고 있다. 구조물위에 임도(forestry road)와 식생이 존재하는 복합 이용이 널리 보급되어 있으며, 흔적, 사진, 적외선 카



그림 9. 스위스 Asp Holz N7 도로 생태통로.

메라 등으로 모니터링 하고 있다. 비디오카메라를 통해 야생동물이 구조물을 이용하는 동안의 행동도 분석한다. 이러한 연구 결과 육교의 폭이 50m 이상인 경우에 다양한 종이 이동하는 것으로 나타났다(U.S. Department of Transportation 2002).

대표적인 사례에 속하는 고속도로 N7선(Frauenfeld)의 140m 폭 통로는 1976년 계획, 1992년에 개통되었다.

3. 네덜란드

네덜란드는 유럽에서도 야생동물 이동통로 설치에서 앞서가고 있다. 네덜란드는 야생동물 서식처가 부족하기 때문에, 남아있는 몇몇 종의 보전을 위해 많은 노력을 기울이고 있으며, 이를 위해 대략 600개 정도의 광범위한 culvert 시스템을 설치하고 있다. 양서류의 계절적 이용을 위한 파이프형 지하통로(pipe-culvert)시스템도 10곳 이상 설치되어 있다.



그림 10. 식생과 나무그루터기 등으로 개조한 네덜란드의 육교형 통로.

기존의 다리나 배수용 도랑을 개조(구조물 안쪽을 따라 선반형 흠길, 목조 선반 설치)하여 소형 포유동물이 이용할 수 있도록 하였다. 육교형은 17~50m 폭으로 조성되고 있으며, 형태는 모래 시계형과 직선형이 있고, 울타리, 소음과 빛을 차단하기 위해 흠 독을 설치하고 있다. 서식처를 연결하고, 야생동물의 이동을 돕기 위해 구조물의 위나 아래에 나무 그루터기를 놓아둔다.

네덜란드에서는 개체군 생존능력(viability) 분석과 충돌로 인한 야생동물 사망률이 증가한 지역에서 서식처 연결을 위해 도로를 가로지르는 생태통로를 계획하고 있다.



그림 11. 다양한 네덜란드 지하통로형 생태통로.

표 12. 네덜란드의 생태통로 사례.

행정 구역명	설치 형태	목 표 종	설 계 특 성
Hilversum	생태다리/ 그루터기벽	야생동물	교량 하단부를 활용, 그루터기 등을 설치하여 곤충 및 소 동물 서식처 제공
Overijsselse Vecht	생태다리/ 그루터기벽	야생동물	서식처의 분절을 방지하기 위하여 교각의 하단부에 동물이 이용할 수 있는 턱을 조성, 이동통로로 활용
Boerskotten	에코브리지	야생동물	두께 1m콘크리트 상에 10cm 두께의 양토 도포, 방음 및 불 제어를 위한 2m 높이의 목재방음벽 설치
A50 Veluwe	에코브리지	야생동물	측면에 경사면을 조성, 도로상의 초지와 연결을 도모
Boerskotten의 A1도로	지하통로	소형동물	원형의 형태로 펜스와 조합하여 설치
Heumen	지하통로	소형동물	다양한 동물이 이용할 수 있도록 비교적 큰 직경의 터널 조성
Alphen a/d Rijn	지하통로	소 등의 가축	콘크리트 박스 형태로 가축의 이동을 비롯한 다양한 종들이 이용할 수 있는 다용도로 조성
A50 Nijmegen	그루터기벽	야생동물	교량 하단부를 활용, 동물의 이동통로를 제공하여 서식처의 분절을 예방하고 설치, 식생의 일부 도입
A27 Hilversum	그루터기벽	야생동물	그루터기를 활용하여 이동통로를 제공
A1 Oldenzaal	생태적관거	양서류	식생 및 동물의 이동을 위해 양측면에 일정폭의 공간을 확보
A50 Terlet	에코브리지 (육교형)		통로 가장자리는 마운드와 식재, 중앙부는 초본류 식재
A50 Woeste Hoeve	에코브리지 (육교형)		생태통로 구조물은 3개의 아치형 터널로 구성(하나는 갓길용 도로), 가장자리에 방음을 위한 마운드와 떡갈나무 식재 및 펜스, 통로 중앙부는 초본류 식재

작은 설치류를 위해 수로 위 콘크리트 구조물에 선반 모양의 구조물을 붙여 설치류 이동을 증진하는 흥미로운 형태의 생태통로도 있다. 이러한 형태의 생태통로는 규모도 작고 특별한 시설물이 없지만 소형동물의 이동에 매우 효과적이다. 포장 재료도 일반 흙을 사용하였다.

네덜란드 고속도로에 건설한 육교형 생태통로는 규모가 커서 폭이 50~100m에 이르는 대형이 있다. 이러한 대규모 생태통로에는 유도펜스, 일방향 문, 배수시설, 습지 등 다양한 설계요소를 도입하고 있다.

네덜란드는 도로건설 당시부터 주변의 동물

표 13. 외국 생태통로 시사점.

시 사 점	내 용
도로계획시 생태통로 고려	도로 개설시 환경 및 생태계에 미칠 영향을 조사하는 과정에서 야생동물의 이동경로 등을 같이 조사, 영향을 최소화하는 도로선형을 결정
목표종의 생태적 특성 고려	주요 종에 대한 생태정보가 많이 구축되어 있음. 생태통로 설치시 야생동물의 습성을 고려하여 입지, 구조 및 형태를 결정
이동을 위한 시스템의 구축	이동통로만을 조성하는 것이 아니라, 도로로의 이탈을 막기 위한 방지책, 이동로로의 유도를 위한 유도식재, 포식자로부터의 은신처 등 제공
일정구간마다 다수의 생태통로 조성	독일의 경우 한 노선의 도로에서 2~3km 마다 생태통로를 조성, 이동경로를 쉽게 찾을 수 있도록 함
지속적인 모니터링	생태통로 조성 후 지속적인 모니터링을 통한 정보를 구축하고 다음 생태통로 조성시 결과를 반영
전 국토 생태네트워크 계획 수립	네덜란드의 경우 생태통로 조성 선행 작업으로 전국을 대상으로 생태네트워크 계획을 수립

중에 대한 조사와 도로건설로 인한 영향을 조사하여 생태통로 설계에 반영하고 있으며, 전 국토에 대한 생태네트워크 계획에 따라 생태통로를 연차적으로 조성하고 있다.

이상과 같이 독일, 스위스, 네델란드의 생태통로 조사를 근거로 우리나라 생태통로 조성에 시사하는 바를 정리하면 표 13과 같다.

V. 결 론

문헌 및 이론을 기준으로 생태통로 조성시 고려해야할 규모, 형태, 위치, 목표종, 식재, 유도시설, 모니터링 등에 대하여 국내 생태통로를 전수 조사하고 문제점을 파악하였으며, 국외의 생태통로 사례조사를 통하여 시사점 및 개선방향을 찾고자 하였다.

국내 생태통로 조성 사례에서는 목표종 설정 및 주변연계가 미흡한 위치선정, 유도시설의 부족, 식재의 단조로움 및 부재, 목표종 부정확, 서식처 연결시스템 미흡 등이 문제점으로 나타났다.

국내 생태통로 조성 사례에서는 도로계획부터 생태통로를 고려하였으며 목표종의 생태특성을 고려하여 입지 및 구조 등을 설정하는 점, 유도로 등의 부대시설 설치, 지속적인 모니터링 등에서 우수한 것으로 나타났다.

국외 생태통로의 시사점을 고려한 국내 생태통로의 개선방향을 정리하면 표 14와 같다.

본 연구는 국내 생태통로 설치기준의 미비, 국내외 생태통로의 규모, 위치선정 및 시설설치 시스템 등의 차이로 인하여 구체적인 기준 및 지표를 가지고 비교분석하기에는 한계가 있었다. 더 나아가, 목표종의 선정과 생태통로 위치선정에 서부터 전국토의 서식처 연결시스템을 고려하는 연구와 생태통로 시설 및 지속적인 모니터링에 대한 구체적인 기준과 방법에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

인 용 문 헌

건설교통부. 2002. 생태이동통로 설치를 위한 생태조사 연구. 건설교통부.
 김귀곤. 2000. 단편화된 서식처의 연결을 위한 야생동물 이동통로의 조성. 한국조경학회지 28(1) : 70-82.
 서울대학교. 1997. 도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술의 개발, 환경부.
 진주산업대학교 환경문제연구소. 2000. 에코브릿지(Eco-bridge) 조성계획. 경상남도.
 환경부. 2001. 자연생태계 복원을 위한 야생동물 이동통로 설치지침. 환경부.
 Andreassen, H. P., K Hertzberg and R. A. Ims. 1998. Space-responses to habitat fragmentation and connectivity in the Root Vole *Microtus Oeconmus*. Ecology 79(4) : 1223-1235.
 Bennett, Andrew F. 1999. Linkages in the landscape,

표 14. 국외 생태통로 시사점과 국내 개선방향.

국내 문제점	국외 생태통로 시사점/개선방향
위치선정의 문제	도로계획시 생태통로를 고려하고 목표종의 이동경로 및 전 국토의 생태네트워크를 고려하여 선정.
유도시설 부족	유도웬스, 일방향문, 은신처 등 제공.
식재의 문제	목표종의 습성, 유도식재 및 주변서식처의 식재환경을 고려하여 식재.
목표종 선정의 문제	주요 생물종에 대한 모니터링, 조사를 통한 목표종 선정 필요. 생태정보 구축, 지속적 모니터링 필요.
서식처 연결시스템 미흡	하나의 생태통로만 조성하는 것이 아니라 일정 구간마다 설치하는 서식처 연결시스템 필요.

- IUCN Publications Services Unit, UK.
- Fleury, Allison M. 1997. A framework for the design of wildlife conservation corridors with specific application to southwestern Ontario. *Landscape and Urban Planning* 37 : 163-186.
- Forman, R. T. T. 1995. *Land Mosaics : The ecology of landscape and regions*. Cambridge University Press. Cambridge. UK.
- Forman, R. T. T. and M. Godron. 1986. *Landscape ecology*. John Wiley & Sons, Inc.. New York, NY.
- Friedman, D. S. 1997. Walking on the Wild Side. *Landscape Architecture*. Sep. : 51-57.
- Gustafson, Eric J. and Robert H. Gardner. 1996. The effect of landscape heterogeneity on the probability of patch colonization. *Ecology* 77 (1) : 94-107.
- Harris, L. D. and J. Scheck. 1991. From implication to application : the dispersal corridor principle applied to the conservation of biological diversity, In Saunders, D.A. and R.J. Hobbs. eds. *Nature Conservation, 2 : The Role of Corridors*, Surrey Beatty, Chipping Norton. pp.189-220.
- Hawkins, V. and P. Selman. 1994. *Landscape Ecological Planning and the Future Countryside : A Research Note*. *Landscape Research* 19 (2) : 88-94.
- Hudson, W. E. 1991. *Landscape Linkages and Biodiversity*, Washington D.C., Island Press
- Keller, Verena and Hans Peter Pfister. 1995. Wildlife passages as a means of mitigating effects of habitat fragmentation by roads and railway lines. *Proceedings of the international conference "Habitat fragmentation, infrastructure and the role of ecological engineering"* 1997. Ministry of Transport. Public works and Water Management Directorate-General for Public Works and Water Management Road and Hydraulic Engineering Division (DDW). Netherlands : 70-80.
- Lambeck, R. J. 1997. "Focal species define landscape requirements for nature conservation", *Conservation Biology*, 11 : 849-856.
- Meffe, G. K. and C. R. Carroll. 1994. *Principles of conservation biology*. Sunderland. MA. Sinauer Associates, Inc.
- Smith, D. S. 1993. Greenway case studies. In Smith, D. S. and P.C. Hellmund(eds.) *Ecology of greenways : Design and function of linear construction areas*. Univ. of Minn. Press. Minneapolis. pp161-208.

接受 2005年 2月 15日