

연구논문

## 야생동물 생태학적 사례연구를 통해서 본 교량형 생태통로의 현황 및 문제점

최병진 · 조영석\* · 정종철\*\* · 김주필\*\*\*

한국자연환경연구소, 국립생물자원관 척추동물과\*, 남서울대학교 지리정보공학과\*\*, 동국대학교 생명과학과\*\*\*  
(2007년 6월 8일 접수, 2007년 7월 31일 승인)

### Ecological Case Study of Eco-bridges in Korea: State and Problem

Byung-Jin Choi · Yeong-Seok Jo\* · Jong-Chul Jeong\*\* · Joo-Pill Kim\*\*\*

Korean Natural Environment Institute, Daewon Building 118-35, Nokbun-dong, Uenpyong-gu, Seoul 122-831 South Korea  
Division of Vertebrate, National Institute of Biological Resources, Gyungseo-dong, INchon-shi 404-170, South Korea\*

Department of GIS, Namseoul University Chonan 330-707, South Korea\*\*

Department of Life Science, Dongguk University, Seoul 100-175, South Korea\*\*\*

(Manuscript received 8 June 2007; accepted 31 July 2007)

### Abstract

The purpose of this study was to ascertain the ecological state and problems of eco-bridges on Korean roads. The study was conducted from March to April 2007 by checking ecological factors and wildlife around the eco-bridges and habitats. 8 representative eco-bridges were selected by their bridge shape and condition of location. After field survey, we analyzed ideal trails for wildlife using field data, digital topology maps, satellite images, and land use map. In addition to trail analysis, we identified the propriety of the eco-bridges through Population Viability Analysis. Because of unsuitable location and management, we found that most of the bridges are not proper for wildlife dispersal. Moreover, in some habitats, we could expect that some local populations might be extinct without appropriate treatments.

Key words : Eco- bridge, Wildlife, Habitats

### 1. 서론

MacArthur와 Wilson(1967)의 섬생물지리학 이론의 대두 이후 섬과 같은 형태로 단편화된 서식지간의

연결은 보존생물학의 중요한 화두의 하나로 자리잡아 왔다(Primack, 2004; Cox, 1997; Van Dyke, 2003; 이도원, 2001). 또한, 생태통로의 효용과 무용사이의 논란에도 불구하고 현대의 단편화된 섬 형태의

서식지 사이의 생태연결통로로서의 기능은 많은 지지를 받고 있다(Beier and Noss, 1998; Fleury and Brown, 1997; Bolger *et al.*, 2001). 국내에서도 이미 1998년의 지리산 시암재의 생태통로를 시작으로 많은 생태통로가 건설되어 왔다(환경부, 2006).

하지만, 국내에서의 이러한 생태통로의 조성은 생태학적 기본 원리보다는 건설상의 편의와 보여주기식 전시행정의 이점 아래에 적절한 근거가 없이 이루어졌기에 많은 비판을 받아왔다(김기대 등, 1998; 환경부, 2006; 김명수, 2005; 김명수 등, 2005; 이용욱, 2006; 최병진, 2006a; 최병진, 2006b). 이에 환경부에서는 생태통로의 조성지침을 제시하였고 생태통로의 현황과 문제점에 대한 여러 연구가 진행되었으나 대부분 토목공학과 조경학적인 시야에서 이루어져 실제 생태학적 근거를 바탕으로 한 야생동물 을 위한 생태통로연구와는 적지 않은 거리가 있어 왔다(환경부, 2003).

특히, 암거형의 생태통로와는 달리 육교형의 생태통로는 구룡령과 같은 2차선 도로에 설치할 때에도 그 설치비가 20억에 달하는 등 그 조성비용이 상당하기 때문에 이에 대한 보다 세밀한 검증이 요구되고 있다(강영수, 2001). 국내에 설치된 육교형 생태통로는 2007년 4월 현재 55개로 환경부와 건설교통부 및 서울시에 의해 26개의 생태통로에 대한 현황 점검만이 간헐적으로 이루어지고 있다(환경부, 2006; 환경부,

2004; 환경부, 2002; 송인주, 2006).

따라서, 본 연구는 현재 조성되어있는 육교형 생태통로의 몇몇 사례를 통해서 이들의 지점선정에서 사후 관리에 이르기까지의 현황점검과 인공위성영상 및 기타 지리정보 등을 종합하여 생태학적 관점에서의 문제점을 찾아 이후 생태통로의 설치에 앞서 기초자료 및 대안의 설정을 위해 사용하고자 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

전국에 설치된 육교형 생태통로 중 사례별 대표성을 가진 동시에 비교적 조사연구가 미진한 8개를 선정하여 2007년 3월과 4월 사이에 현장 조사를 진행하였다. 각각의 조사대상 생태통로의 위치 및 조사일시는 그림 1 및 표 1과 같다.

현장조사는 전국자연환경조사지침을 따라 식생, 양서·파충류, 포유류를 생태교량을 중심으로 하여 주변 서식지를 포함하여 조사하였다(환경부, 1997). 현장조사 결과를 통하여 개체수, 서식권 등을 Nichols와 Conry(1996)를 따라 추정하였다. 또한, 야생동·식물 서식에 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 소음, 빛, 바람, 토양 등 모든 물리적인 요인을 포함하였으며 현장의 위치좌표는 GPS(GPS V, Garmin, USA)를 이용하여 획득하였다. 현장조사와 동시에 대상지역의 문헌조사를 병행하여 현장조사에서 확인하지 못하였으나 서식 가능한 동물종을

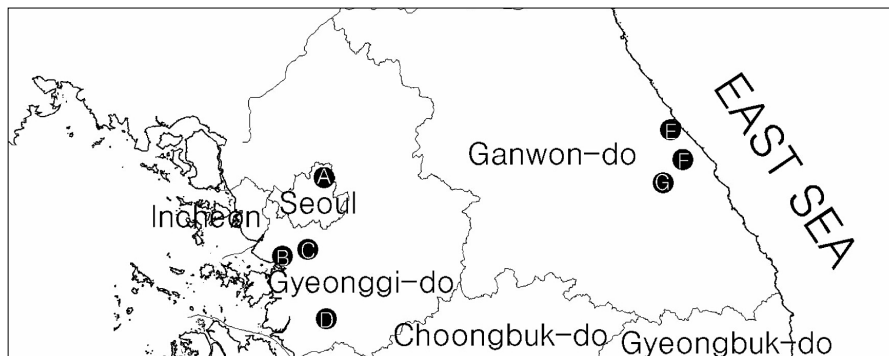


Figure 1. Localities of study sites

A: Sooraksan-gil, B: Jeongji Park, C: Obong-san, D: Yeombong-jae and Keunheunchi-gogae, E: North Gangreung IC, F: Urdan-ri, G: Dackmock-jae

Table 1. Locations and GPS coordinates of Studied Eco-bridges

Eco-bridge	location	survey date	GPS coordinates
Obong-San	I-dong Uiwang-si Gyeonggi-do	2007. 4. 18	N 37° 20' 00.1" E 126° 58' 30.6"
Dackmockjae	Wangsan-myeon Gangneung-si Gangwon-do	2007. 4. 24	N 37° 37' 02.0" E 128° 46' 31.1"
North Gangneung IC	Sacheon-myeon Gangneung-si Gangwon-do	2007. 4. 21	N 37° 49' 24.9" E 128° 49' 06.9"
Urduan overpass	Goojeong-myeon Gangneung-si Gangwon-do	2007. 4. 20	N 37° 41' 03.9" E 128° 55' 08.4"
Yeombongjae	Jisan-dong Pyeongtaek-si Gyeonggi-do	2007. 4. 19	N 37° 04' 33.2" E 127° 05' 38.0"
Keunheunchigogae	Jangan-dong Pyeongtaek-si Gyeonggi-do	2007. 4. 19	N 37° 03' 53.9" E 127° 05' 36.5"
Jeongji Park	Seonboo-dong Ansan-si Gyeonggi-do	2007. 3. 29	N 37° 20' 31.8" E 126° 48' 35.5"
Sooraksan-gil	Sanggyeo-dong Nowon-gu Seoul	2007. 3. 28	N 37° 39' 56.7" E 127° 03' 52.3"

Table 2. Used variables for PVA

		<i>Lupes coreanus</i>	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	<i>Hydropotes inermis</i>		
Extinction Definition		Only 1 sex remains				
Lethal Equivalents		3.14	3.14	3.14		
Percent Due to Recessive Lethals		50%	50%	50%		
EV concordance of reproduction and survival		0.5	0.5	0.5		
Age of First Offspring for both sex		1	1	1		
Maximum age of reproduction		7	10	10		
Maximum Number of Progeny per Year		3	1	1		
Mortality rate	0 to 1	65%	50%	50%		
	mortality after 1	10%	10%	10%		
Catastrophe	Disease	extent: Global	Rabbi	extent: Global	Disease	extent: Global
		Frequency: 2%		Frequency: 2%		Frequency: 1%
	Fire	extent: Global	Fire	extent: Global	Fire	extent: Global
		Frequency: 2%		Frequency: 2%		Frequency: 1%
	Severity	reproduction: 1	Severity	reproduction: 1	Severity	reproduction: 0.7
		Survival: 0.5		Survival: 0.5		Survival: 0.7

조사하였다. 원격조사를 위하여 인공위성영상과 환경부에서 제공하는 환경지리정보의 토지피복분류도, 국립지리원의 1:25000과 1:5000수치지형도를 AutoCADMap (Autodesk Inc.), ArcView 3.3 (ESRI Inc.)과 Imagine 8.4 (ERDAS Inc.)를 이용하여 분석하였다.

야생동물의 이상적인 이동통로의 도출을 위하여

위성영상과 토지피복도의 식생지대와 지형도의 적절한 경사지대 및 현장조사의 결과를 중첩하여 이상적인 이동로들을 도출하였다.

생태통로와 관계를 모든 요인들은 Fleury와 Brown(1997)의 항목을 바탕으로 주변기질, 서식지 패치, 장애물, 길이와 폭, 형태, 식생, 대상 생물종 등으로 구별하여 조사하였다.

각각의 생태통로가 연결하는 서식지 패치에 서식하는 대상 야생생물종의 개체군생존가능성(Population Viability Analysis)은 현장조사를 바탕으로 각 지역의 대상종을 선정하였고 각각의 대상종들의 생리·생태학적 정보는 원병휘(1967), 원홍구(1968), Macdonald(1993), 유병호(2000), 최태영과 박종화(2006)와 Ikeda(1982) 등, 관련된 기존문헌의 자료를 바탕으로 하여 변수를 지정하였으며 확인이 불가능한 변수는 Vortex의 기본 설정치를 이용하여 Vortex 9.72(Chicago Zoological Society)를 통해 분석하였다. 사용된 변수는 표 2와 같다. 두 서식지 패치의 각각의 생존가능성 외에 메타개체군의 생존가능성은 생태통로로 연결되었을 때의 패치 크기에 비례하여 분산가능성을 설정하였고 분산 시에 사망률은 없는 것으로 설정하였다.

최소생존개체군(Minimum Viable Population)은 Shaffer(1981)의 정의를 따라 1000년 동안 개체군이 생존할 확률이 99%에 이르는 개체군크기를 Vortex의 PVA를 통해 도출하였다.

### III. 결과

조사분석된 8개의 교량형 생태이동로의 현황과 문제점은 다음 표 3과 같다. 8개의 생태이동로 중 북강릉IC의 생태교량은 서식지간의 연결이 아닌 서식지와 공원묘지를 연결하고 있었고 강릉 구정면의 어단육교는 분단되지 않는 서식지간에 위치하고 있었다. 또한, 서울시 수락산길에 위치한 생태연결로는 수락산과 아파트 단지간을 연결하고 있어 생태교량으로써의 목적과 괴리를 보여주었다.

또한, 강릉어단육교, 안산정지공원, 평택 큰흔치고개, 수락산길 등의 생태연결로에서는 교량 상부에서 어떠한 야생동물의 흔적도 찾을 수 없어 실제적 이용빈도가 낮음을 짐작할 수 있었다. 조사된 모든 생태교량의 상부 식생은 주변식생과는 중 구성에 차이가 있을 뿐만 아니라 대부분 식생층위가 정상적으로 조성되지 않았다. 특히, 야생동물 등이 주로 이용하는 하층식생은 경우 아주 부족한 상황이었다. 실제 조성된 생태교량과 야생동물이 주로 이용합직한 이상적 이동

Table 3. Features of eco-bridges

	Length (m)	Width (m)	Linked Patch size (ha)	Field signs	Vegetation	Ideal trail	Remark
Obong-san	50	23.5	62.5 + 271.7	Hare Racoondog Water deer	Planted tree layer and sparse grass layer	not matched	Short Fence; Piles of logs for small animal
Dackmock-jae	20	12	8,063 + 9,119	Hare Racoondog Water deer Weasel	Few trees and no shrub and grass	not matched	Long Fence
North Gangreung IC	40	6.8	one side is cemetery	Racoondog Water deer	Only Planted Pine seedling layer	not matched	This bridge links wildlife habitat with cemetery
Urduan	35	6.8	No fragmentation between patches	No signs	Shrub layer only	not matched	Tunnel and riparian habitat as wildlife corridors exist
Yeombong-Jae	20	10	210 + 1,731	Racoondog Water deer Domestic dog	Sparse trees and no shrub and grass	matched	Southern linkage has been changed as cemetery and farm
Keunheunchi-gogae	-	-	300 + 1,731	No signs	only shrub layer	matched	half of bridge is used for people
Jeongji	46	8	5 + 20	No signs	only flower bed	-	this bridge is used for people
Sooraksan-gil	10.9	45	one side is APT complex	No signs	Flower bed with few trees	-	this bridge if used for people





Figure 2. Virtual world of Obong-san habitat with Ideal wildlife trail

제비(*Mustela sibirica*), 오소리(*Meles meles*), 삵(*Prionailurus bengalensis*), 고양이(*Felis catus*), 멧돼지(*Sus scrofa*), 고라니, 멧토끼, 청설모(*Sciurus vulgaris*), 다람쥐(*Tamias sibiricus*), 집쥐(*Rattus norvegicus*), 흰넓적다리붉은쥐(*Apodemus peninsulae*) 등이 2000년 조사되었으나 현장에서 확인된 세종 이외의 야생 포유동물은 확인할 수 없었다 (조범준과 전재도, 2000).

오봉산생태통로 주변의 현장조사와 DEM (Digital Elevation Model)을 위성영상 및 토지이용도와 중첩시켜 도출한 이상적인 야생동물의 이동통로는 서남향으로 400m지역으로 양 서식지의 양쪽을 잇는 능선의 7~8부 능선부로 나타났다(Figure 2).

또한, 오봉산생태통로로 인해 연결되는 두 서식지 내에 서식하는 것으로 현장에서 확인된 너구리, 고라니, 멧토끼 세 종의 PVA (Population Viability Analysis)에서는 야생동물 종의 생태통로를 이용한 분산률이 아주 높아 두 서식지를 하나로 간주한다고 했을 때조차 50년내에 멸종할 가능성이 각각 너

구리 83%, 고라니 4, 멧토끼 34% 순으로 나타났고 100년 후에 멸종할 가능성은 너구리 98%, 고라니 10%, 멧토끼 67%로 나타났다.

또한, 각 개체군의 오봉산생태통로로 이어지는 두 서식지를 하나로 간주했을 때 50년 후와 100년 후의 평균 개체군크기의 추정은 너구리의 경우 각각 34.29과 25마리로 나타났으며 고라니는 50년 후는 71.54, 100년 후는 평균 67.53 마리로 나타났다. 멧토끼의 평균 개체군추정은 50년 후에는 16.05 마리, 100년 후에는 12.33마리가 생존할 것으로 예상되었다.

세 종의 각각 서식지에서의 PVA와 평균개체수추정치는 표 6과 같다.

## 2. 닭목재야생동물이동통로

2005년 7월 완공된 교량형 생태통로로 강릉시 왕산면 왕산리와 대리기를 연결하는 137번 지방도상에 위치한 닭목재야생동물이동통로는 지방도로에 의해 동·서로 분할된 야생동물 서식지를 연결하고 있다.

동측의 연결부위와 달리 서측의 연결부위는 경사가 급해 야생동물의 이용이 쉽지 않으며 언덕에 정상부에 위치하고 있어 양측의 주행차량 모두 생태통로 부근에서는 자연스럽게 저속운행을 하고 있었다.

주변 식생은 물박달나무(*Betula davurica*)와 물푸레나무(*Fraxinus rhynchophylla*) 등 물을 좋아하는 수종임에 반해 교량위에 식재된 느티나무(*Zelkova serrata*)와 소나무는 인접한 식생군락에서는 확인할 수 없었으며 생육상태도 나쁘며 들성듬성하게 식재되어 있었다. 또한 식재된 몇 그루의 교

Table 6. PVA results of Obongsan habitat

Year		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R	E	-	24	39	55	76	81	86	91	95	95	96
	N	10	31.4	23.04	15.24	8.79	6.97	5.05	3.78	2.12	0.63	1.09
W	E	-	0	1	2	3	3	3	3	5	8	9
	N	30	71.66	71	69.29	67.43	69.98	69.05	66.42	64.75	59.88	61.07
K	E	-	6	14	24	36	43	52	57	64	76	80
	N	20	17.64	15.12	13.16	11.68	8.61	7.94	6.83	5.1	3.95	2.64

E: Extinction probability (%), N: mean number of population size, R: Raccoondog, W: Water deer, K: Korean hare

목을 제외하고는 동물들의 이동시 은신처로 이용할 수 있는 관목층과 초본층은 거의 없었다(Table 7).

인근 옥녀봉과 대화실산의 기존 2000년의 조사결과에 의하면 이 서식지에는 고슴도치(*Erinaceus amurensis*), 두더지, 멧토끼, 다람쥐, 청설모, 너구리, 족제비, 오소리, 삥, 고양이, 멧돼지, 노루(*Capreolus pygargus*), 고라니 등이 서식하고 있는 것으로 나타났다(박그림과 이성재, 2000), 생태통로와 그 인근서식지에서는 고라니와 멧토끼, 너구리 및 족제비의 흔적을 확인할 수 있었고 생태교량 위에서 많은 수의 멧토끼 배설물을 확인할 수 있었다. 또한, 생태교량상부의 일부는 멧토끼의 보금자리로 이용되고 있는 것을 확인할 수 있었다.

지방도로에 의해 동쪽과 서쪽으로 나누어진 두 개의 서식지는 각각 8,063ha와 9,119ha의 큰 규모의 서식지로 대부분의 지역이 침엽수림이나 활엽수림 또는 혼효림이 차지하고 있었고(Table 8), 두 서식지 모두에서 최대생존개체군 이상의 생태이동로를 이용하는 대상 동물이 서식하고 있음을 확인할

수 있었다.

양쪽 서식지는 서편의 화란봉(1069.1m)과 동편의 서득봉(1052.6m)을 중심으로 곳곳에 고랭지 농업으로 인해 자연서식지가 훼손되어있으며 야생포유동물이 자주 이용하는 지형과 현장조사 및 토지 이용상황을 고려하여 이상적인 이동로를 도출하였다(Figure 3).

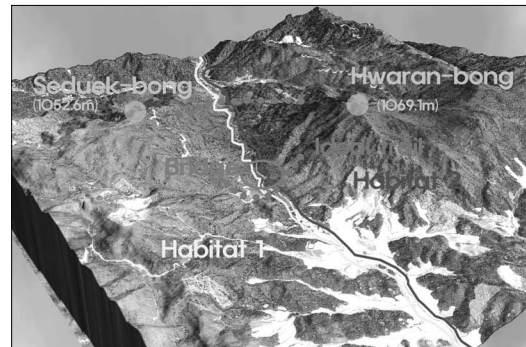


Figure 3. Virtual world of Dackmock-jae habitat with Ideal wildlife trails

Table 7. State of Dackmockjae Eco-bridge

Matrix	Road, cultivated field
Habitat patch	Forest
Barriers	Steep slope of connection
Length	20m
Width	12m
Shape	Bridge
Vegetation Structure	No Shrub and grass layer.
Vegetation composition	<i>Pinus densiflora</i> , <i>Zelkova serrata</i> *planted trees are not healthy
Patch vegetation	<i>Sasa borealis</i> , <i>Fraxinus rhynchophylla</i> , <i>Prunus sargentii</i> and <i>Betula davurica</i>
MVP	Population size of every identified species is over MVP
Dominant Wildlife	Korean hare
Remark	long inducing fences

Table 8. Land use of Dackmockjae habitat (hectare)

	210	220	240	310	320	330	610	620	Total
P1	14	992	-	2,171	3,378	1,463	-	44	8,063
P2	-	435	5	764	4,405	3,504	6	-	9,119
Total	14	1,427	5	2,935	7,783	4,967	6	44	17,182

P1: Western Patch habitat, P2: Eastern Patch habitat 210: Rice field, 220: Field, 240: Orchard, 310: Deciduous forest, 320: Pine forest, 330: Mixed forest, 610: Mine, 620: Bare ground

### 3. 북강릉IC 야생동물이동통로

강원도 강릉시 사천면 석교리에 위치한 이 생태 이동로는 동해고속도로 북강릉인터체인지의 남측 1km 지점에 위치하였다. 이 생태교량이 위치한 서식지는 이미 2000년 동해안 산불로 크게 훼손되어 있으며 생태이동로가 연결하는 동쪽 서식지는 강릉 공동묘지가 큰 규모로 자리 잡고 있다.

생태교량은 목재로 된 차폐막을 설치하여 고속도로에서 발생하는 소음, 빛, 바람 등을 막아주고는 있으나 교량 위에 식재된 수목은 거의 고사하였고 주변의 서식지도 산불이후 약간의 신갈나무 유목만이 산재해 있다. 교량자체의 폭이 좁음에도 긴 유도 펜스를 통하여 이 교량을 이용하는 야생동물의 흔적은 빈번하게 확인되었다(Table 9). 인근 운계봉의 1998년 산불이전 조사에서는 고슴도치, 너구리, 족제비, 오소리, 삿, 멧돼지, 노루, 고라니, 멧토끼, 청설모, 다람쥐 등이 조사되었으나 현장조사에서는 산불로 인해 이 중 제한된 종만이 이 서식지를 이용할 것으로 보이고 실제 흔적이 확인된 종은 너구리와 고라니 2종에 불과하였다(서재철과 김철환, 1998). 하지만, 고라니의 경우 생태통로를 빈번하게 이용하고 있었고 묘지를 포함한 동편과 서편의 서식지에서 모두 많은 흔적을 보여주었다.

현장조사와 수치지도 및 위성영상을 통해 얻은 결과는 현 생태통로의 위치보다는 북쪽 교각의 아래의 하천주변과 7~8부 남측의 능선부가 더 적합한 이동로로 나타났다(Figure 4).



Figure 4. Virtual world of North Gangneung IC habitat with Ideal wildlife trails

### 4. 구정면 야생동물이동통로

강원도 강릉시 구정면 어단리에 위치한 생태이동로는 2004년 준공되어 동해고속도로에 의해 남북으로 나누어진 두 서식지를 연결하고 있다. 동해고속도로는 이 지역의 서식지를 크게 둘로 분할하지만 섬석천, 군선강변의 하천과 강릉5터널지역 등을 통해 야생동물은 자유롭게 양쪽의 서식지를 오가고 있어 실제로 큰 규모에서 야생동물의 분산에는 큰 영향을 주고 있지는 않다.

생태통로는 목재 차폐벽을 가지고 있어 도로에서의 소음, 빛 등의 교란을 어느 정도 막는 듯이 보이나 교량이 연결하는 북측의 연결지점은 급한 절벽으로 연결되고 그 끝이 저수지와 인접하여 야생동물이 이용하는 데에는 큰 제약이 되고 있다. 또한, 교량의 가운데는 식생이 없고 양편에 식재된 식물은 키작은 관목인 산조팝나무(*Spiraea blumei*) 한

Table 9. State of North Gangneung IC Eco-bridge

Matrix	Road, cultivated field
Habitat patch	Forest
Length	40m
Width	6.8m
Shape	Bridge
Vegetation Structure	Only planted seedlings of Pine with seedlings of Oak species
Vegetation composition	<i>Pinus densiflora and Quercus spp</i>
Patch vegetation	Seedlings of <i>Quercus spp</i> since forest fire
MVP	Population size of every identified species is over MVP
Dominant Wildlife	Water deer
Remark	long inducing fences



Table 10. State of Urdan Eco-bridge

Matrix	Road, cultivated field
Habitat patch	Forest
Barriers	Steep slope of one connection; Another side is blocked by reservoir
Length	35m
Width	6.8m
Shape	Bridge
Vegetation Structure	Only shrub layer is exiting.
Vegetation composition	<i>Spiraea blumei</i> is planted along both sides of bride wall
Patch vegetation	<i>Pinus densiflora</i>
MVP	Population size of every identified species is over MVP
Remark	long inducing fences

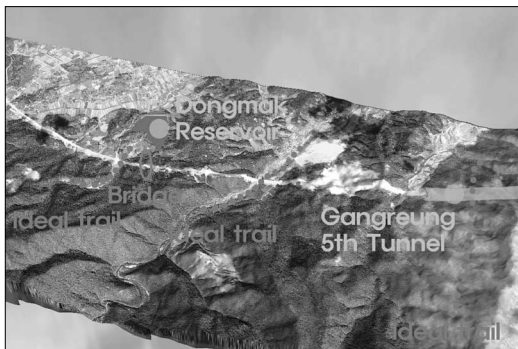


Figure 5. Virtual world of Urdan overpass habitat with Ideal wildlife trails

종으로 고라니 등의 큰 동물의 이동시에 은폐 역할을 수행하지 못할 것이다(Table 10).

2002년 환경부에서 수행한 조사에서는 두더지, 너구리, 족제비, 고양이, 노루, 고라니, 멧토끼, 청설모, 다람쥐, 등줄쥐(*Apodemus agrarius*), 흰넓적다리붉은쥐 등이 인근 법왕사 일대에서 확인되었으며(허위행과 최서운, 2002), 현장 조사에서 생태교량 인근에서 두더지, 너구리, 고라니, 멧토끼의 흔적을 확인할 수 있었으나 교량을 지나간 흔적을 확인할 수 없었다. 이상적인 야생동물이 이동로는 터널 지역 외에도 현 생태통로의 서편 300m지점의 교량 하부와 동편에 위치한 능선으로 보이는데(Figure 5), 실제로 생태교량에 설치된 트래킹스테이션(Tracking station)에서는 어떤 흔적도 보지 못한 반면 인근의 교량하부 하천 주변에서는 양측을 빈번히 이동한 야생동물의 흔적을 확인할 수 있었다.

### 5. 염봉재 · 큰흔치고개 야생동물이동통로

평택시 304번과 314번 지방도로의 연결도로 상에 위치한 염봉재와 큰흔치고개에 설치된 두 야생동물이동통로는 세 개로 분리된 이 지역 자연서식지를 연결하고 있다. 염봉재 생태통로는 약 210ha의 단편화된 서식지를 주변 중심서식지(Source habitat)와 연결시키고 있으며 큰흔치고개 생태통로는 300ha의 서식지를 중심서식지에 연결하고 있다. 중심서식지의 면적은 1731ha에 달한다.

염봉재 생태이동로의 연결 서식지의 중심군락은 상수리, 리기다소나무, 소나무 등인 반면, 교량이 식재된 교목은 산수유(*Cornus officinalis*), 단풍나무(*Acer palmatum*), 벚나무(*Prunus serrulata*), 느티나무 등 가로수종이 주로 식재되어있으며 관목이하 하층 식생은 2007년 현재까지는 자리 잡지 못했다(Table 11). 염봉재와 큰흔치고개의 중심서식지의 야생동물은 2001년 전국자연환경조사의 덕암산 권역의 결과에서 고양이, 멧토끼, 청설모, 다람쥐, 흰넓적다리붉은쥐 만이 확인되었으나 현장조사에서는 너구리, 족제비, 고라니 또한 적지 않게 서식하고 있음을 확인할 수 있었다(한성우와 송민희, 2001). 이중 너구리와 고라니의 흔적은 염봉재 생태교량에서도 빈번하게 발견되었다. 큰흔치고개의 야생동물이동통로는 생태교량을 표방하고 있음에도 많은 사람들이 인도형 육교로 이용하고 있었으며 사람뿐 아니라 자전거까지 통행하고 있었다. 교량의 북측은 식생이 전혀없는 도보로 조성되어있고 남측 식생조성

Table 11. State of Yeombong-jae Eco-bridge

Matrix	Residential district, Road, cultivated field
Habitat patch	Forest
Barriers	One connected side is disturbed by cemetery and field
Length	20m
Width	10m
Shape	Bridge
Vegetation Structure	No Shrub and grass layer.
Vegetation composition	<i>Cornus officinalis</i> , <i>Acer palmatum</i> , <i>Prunus serrulata</i> and <i>Zelkova serrata</i>
Patch vegetation	<i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus rigida</i> and <i>Quercus acutissima</i>
MVP	Racoondog: 70                      Water deer: 250
Dominant Wildlife	Racoondog and waterdeer co-dominant
Remark	Relatively short inducing fences

Table 12. State of Keunheunchigogae Eco-bridge

Matrix	Residential district, Road, cultivated field
Habitat patch	Forest
Barriers	One side of bridge is used for pedestrians
Shape	Bridge
Vegetation Structure	Trees and Shrubs are planted in each their row.
Vegetation composition	<i>Thuja orientalis</i> , <i>Pinus strobus</i> and <i>Forsythia Koreana</i>
Patch vegetation	<i>Pinus densiflora</i>
Remark	Main use of the bridge is for human

역시 주변 서식지의 소나무군락과 달리 측백나무 (*Thuja orientalis*), 스트로브잣나무(*Pinus strobus*), 개나리(*Forsythia Koreana*)가 한 줄 씩 열식되어 있었다. 특히, 식재된 수종이 밀식되어 있어 아주 작은 소형동물을 제외하고는 이 식생대를 이동로로 이용하기는 불가하였다(Table 12).

염봉재와 큰흔치고개 야생동물 이동통로에 의해 연결되는 두 서식지와 중심서식지 모두 정상 능선부를 제외한 대부분이 농경지나 묘지 등으로 훼손되고 있어 야생동물은 주 능선부를 중심으로 이동하고 있는 것으로 보여지며(Figure 6), 특히 염봉재 이동통로의 경우 통로의 서측연결 지점이 묘지와 경지 등으로 모두 훼손된 것을 확인할 수 있었다.

야생동물이동을 우선으로 조성된 염봉재 이동로와 달리 큰흔치고개의 야생동물 이동로는 이동로의 북측은 사람을 위한 보도로 조성되어 있다. PVA의 결과는 염봉재의 통로가 없다고 가정할 때 고립된



Figure 6. Virtual world of Pyeongtaek-si habitat with Ideal wildlife trails

서식지의 너구리는 45년내에 멸종할 것으로 보이고 고라니의 경우도 50년과 100년 후의 멸종 확률이 각각 78, 98%에 이른다(Table 13-A). 하지만, 비교적 크고 안정된 큰흔치고개의 단편 서식지에서의 100년 후 멸종가능성은 너구리가 95%인 반면 고라니는 16%에 불과해 염봉재의 생태이동로가 더욱더

Table 13. PVA results of Fragmented habitat in Yeombong-jae (A) and Keunheunchi-gogae (B)

(A) Results of Yeombong-jae

Year		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R	E	-	57	86	96	98	100	-	-	-	-	-
	N	5	4.49	1.48	0.39	0.15	-	-	-	-	-	-
W	E	-	19	32	50	68	78	84	90	91	94	95
	N	13	10.74	8.13	5.16	3.55	2.35	1.67	0.99	0.78	0.37	0.28

(B) Results of Keunheunchi-gogae

Year		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
R	E	-	28	45	55	67	75	82	88	91	94	95
	N	7	23.38	18.51	13.59	10.1	7.04	5.84	3.6	2.96	1.78	1.99
W	E	-	1	2	3	5	7	10	11	13	14	16
	N	21	50.46	54.28	51.03	50.75	44.48	49.14	42.03	40.74	41.58	40.83

E: Extinction probability(%), N: mean number of population size, R: Raccoondog, W: Water deer

중요함이 확인되었다(Table 13-B).

6. 정지공원 생태연결고

경기도 안산시 선부동에 위치한 정지1공원과 정지2공원을 연결하는 생태연결고로 4차선 도로에 가로막혀 고립된 두 개의 자연서식지를 연결하고 있다(Figure 7). 정지1공원 5헥타르, 정지2공원 20헥



Figure 7. Virtual world of Jeongji Park

타르에 불가한 작은 서식지로 현장조사에서 확인된 중형 이상의 육상포유동물은 없었다.

생태이동로를 이용할 가능성이 있는 동물군으로는 곤충류와 식충목과 설치목의 소형포유동물에 불가할 것으로 보이나 생태통로의 중심부가 콘크리트블럭으로 되어있고 식생대가 끊어져 있어 육상소포유동물의 이동에 어려운 것으로 나타났다. 연결로 등을 통해 고립된 정지1공원과 2공원 서식지에 개체군을 이입시킬 수 있는 원천서식지(Source habitat)는 주변에서 확인할 수 없다(Table 14).

7. 수락산길 생태통로

서울시 상계동에 위치한 수락산길 생태통로는 수락산과 산하부의 아파트단지를 연결하는 육교로 한편은 수락산이라는 큰 원천서식지를 가지고 있으나 생태통로의 한편은 아파트단지내로 연결되는 구조를 가지고 있다(Figure 8).

Table 14. State of Jeongji Park Eco-bridge

Matrix	Residential district, Road
Habitat patch	Forest
Barriers	bridge is used for pedestrians
Length	46m
Width	8m
Shape	Bridge
Vegetation Structure	trees and shrubs are planted in a row along both sides.
Vegetation composition	<i>Pinus densiflora</i> and <i>Euonymus japonica</i>

Table 15. State of Sooraksan-gil Eco-bridge

Matrix	Residential district, Road
Habitat patch	Forest
Barriers	bridge is used for pedestrians; One connection of eco-bridge is Apartment complex
Length	10.9m
Width	45m
Shape	Bridge
Vegetation Structure	Planted trees with shrub and grass layer
Vegetation composition	<i>Ginkgo biloba</i> , <i>Metasequoia lyptostrobooides</i> , <i>Acer palmatum</i> , <i>Pinus Koraiensis</i> and <i>Rhododendrom indicum</i>
Patch vegetation	<i>Pinus rigida</i> , <i>Ailanthus altissima</i> , <i>Quercus mongolica</i> and <i>Prunus serrulata</i>
Remark	Relatively short inducing fences



Figure 8. Virtual world of Sooraksan-gil habitat

수락산과 연결된 부위의 자연서식지의 식생의 중심 종이 리기다소나무, 가중나무(*Ailanthus altissima*), 신갈나무, 뱀나무 등인데 반해 생태교량 위에 식재된 수종은 은행나무(*Ginkgo biloba*), 메타세콰이어(*Metasequoia lyptostrobooides*), 단풍나무, 잣나무 등의 교목 조경수종과 함께 연산홍(*Rhododendrom indicum*)이 식재되어 있다(Table 15).

곤충류와 소포유동물 등 생태통로를 통해 분산해 올 수 있는 동물 종들이 있을 수 있으나 아파트단지 내의 조경구역은 이들이 정착할 수 있는 단편화된 서식지라기보다는 절멸해가는 싱크서식지(Sink habitat)로 확인되었다.

#### IV. 고 찰

본 조사 연구를 통해 여러 지역의 생태이동로의 현황을 조사한 결과 각각의 경우 야생동물 생태학적으로 다양한 문제점을 내포하고 있는 것을 확인

할 수 있었다. 이러한 문제는 크게 위치 설정상의 문제, 설치 후의 관리상의 문제와 생태통로의 기본적인 구조와 식생조성 등의 문제로 나누어진다. 대부분의 야생동물 이동통로는 적절한 위치에 설치되지 못하고 있는 것이 확인되었으며, 적절한 위치선정의 문제점뿐만 아니라 입출구처리의 미숙과 유도웬스의 미설치 등으로 동물의 유도에 대한 배려가 미흡한 실정이다. 사례 연구에서 확인된 오봉산생태이동로의 경우 양쪽의 서식지에 동물종이 생태이동로를 자주 이용하여 두 개체군의 하나의 개체군처럼 취급되었을 때조차 100년 후 개체군의 생존 가능성이 너구리의 경우 4%, 멧토끼 20%에 불과해 생태이동로의 설치이유에 의문을 가질 수 있었다. 이 경우 근처의 큰 규모의 원천서식지와 연결이 필수적으로 보이며 이러한 원천서식지로는 북쪽의 오봉산과 동쪽의 광고산 등이 적합할 것으로 보인다. 또한, 두 서식지의 연결이 필수적이라 할 때에도 현재의 생태이동로의 위치는 이동사면이 급하고 주변부의 교란이 심해 야생동물이 이동에 제한요인이 많아 적절하지 않은 것으로 드러났다.

닭목재의 생태교량은 언덕의 정상부에 위치하고 있어 생태연결로의 역할을 충분히 수행하고 있지 않았다. 특히, 2차로에 불과한 언덕길에서 야생동물의 로드킬(Road-Kill)은 넓은 평지도로에 비해 적는데다가 생태교량이 위치한 정상부는 차량의 가속이 불가능한 위치로 차량에 의한 야생동물의 피해는 거의 없었을 것으로 보인다. 또한, 두 서식지간에 직접 횡단이나 허수암거

등을 이용한 야생동물의 이동이 빈번히 이루어지고 있어 이 연결로가 들인 비용에 제 역할을 수행하고 있는 지에는 의문을 표할 수 밖에 없다. 이 지역의 137번 지방도로는 두 서식지를 분할하기 보다는 서식지의 일부 패치로 밖에 이해할 수 없으며 이러한 교란요인은 생태통로를 이용하는 가장자리 동물종보다는 중심서식지(Core habitat)를 이용하는 담비(*Martes flavigula*), 산양(*Nemorhaedus caudatus*) 등의 종에 더 큰 영향을 미칠 것으로 보인다. 따라서, 이 지역에 생태이동로가 필요하다면 터널의 형태나 수백미터에 달하는 아주 넓은 폭의 이동로가 필요할 것으로 보인다(Forman, 1995).

동해고속도로 상의 북강릉IC 생태교량의 동쪽 끝은 강릉공동묘지 및 묘지내부 도로와 연결이 되어 있어 이 생태통로의 위치선정은 야생동물의 이동로를 감안했다기보다는 건설시의 용이함을 먼저 생각한 것이 아닌가 하는 위치였다. 또한, 같은 동해고속도로 상의 구정면의 생태이동로는 이동로 인근의 이미 야생동물이 쉽게 이용할 수 있는 고속도로의 교량구간과 터널 구간이 있어 야생동물의 이용 효율을 고려해 좀 더 위치선정에 신중해야 했음을 시사한다. 반면, 평택시 염봉재와 큰흔치고개의 생태이동로의 위치는 분할된 두 개의 작은 서식지를 큰 원천서식지에 연결하여 인근 야생동물의 분할된 각각의 작은 개체군을 하나의 큰 메타개체군(Metapopulation)으로 묶어 줄 수 있어 이 지역 야생동물 보전에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 보인다(Hanski and Gilpin, 1997). PVA의 결과 염봉재의 생태이동로가 없다는 가정 하에서 이 지역의 단편화된 서식지의 너구리는 45년에 완전히 멸종할 것으로 나타났다. 하지만, 연결된 메타개체군은 최소생존개체군 이상으로 1000년 이상 연속할 것으로 분석되었다.

동해고속도로 위에 위치한 두 개의 생태이동로와 평택 염봉재 생태교량은 사후관리에서 큰 문제점을 드러내고 있다. 강릉공동묘지의 경우 생태통로 설치 이후에 지속적인 확장을 계속해 오고 있다. 양쪽 서식지의 생태통로의 연결로만 야생동물 관리를 끝낼 것이 아니라 교량을 통해 분산을 시도한 야생동물의 이후 이동에 대한 고찰이 필수적일 것이라 보인다. 현 상태의 묘지

역의 계획없는 증가는 북강릉생태통로를 쓸모없이 만들 것으로 보인다. 구정면에 위치한 동해고속도로 생태통로 역시 동막저수지 방향의 연결서식지가 심하게 훼손되었으며 주변의 식생 역시 크게 훼손되어 있는 상태다. 무인카메라나 트래킹스테이션의 설치 등을 통한 통로의 이동에 대한 모니터링을 진행만 이 능사가 아니라 통로와 인접한 주변 서식지의 관리가 중요함을 인식해야 할 것으로 보인다.

또한, 비교적 좋은 위치에 자리를 잡은 평택 염봉재의 생태이동로는 점차 확장되어가는 묘역과 경지로 인해 남측 연결 서식지가 위협받고 있는 실정이다. 이 지역 야생동물 개체군이 메타개체군과 연결되는 유일한 고리인 염봉재의 이동통로가 연결 서식지의 훼손으로 인해 유명무실해 질 경우 지역 개체군은 일시적 절멸이 아닌 영구적인 절멸에 이를 것으로 보여 이에 대한 대책과 현재 훼손에 대한 복구가 절실해 보인다(Hanski and Gilpin, 1997).

식생은 야생동물의 서식지에 가장 중요한 요소의 하나로 먹이제공에서 보금자리 및 이동시의 은닉처 역할에 이르기까지 야생동물 개체군 유지에 필수적이다(U.S. Fish and wildlife service, 1980a; U.S. Fish and Wildlife service, 1980b; 이우신, 2001). 특히, 생태통로와 주변서식지사이의 식생대의 단순한 조정식재가 아닌 자연스런 연결은 야생동물의 생태통로 이용을 도울 수 있다(유정철, 2001; 김명수, 2005). 하지만, 조사된 모든 생태이동로의 식생조성은 주변서식지와 조화를 이루고 있지 못하였고 대부분은 조정된 식생의 생육상태마저 좋지 않아 야생동물의 생태교량 이용을 제한할 수 있었다. 특히, 교목에서 관목층을 거쳐 초본층에 이르는 다양한 식생층위는 야생동물의 생태이동로 이용에 큰 도움을 줄 수 있음에도 불구하고 이러한 식생 조성은 확인할 수 없었다. 생태통로의 식생은 주변 식생대와 연결되는 식생의 조성이 필요하며 동물의 이동을 유도할 수 있는 배식계획이 세워져야 할 것이다. 좋은 식생대의 조성과 함께 비교적 폭이 좁은 이동로로 야생동물을 이끌 수 있는 유도웁스의 설치는 생태통로 이용효율을 증대를 가져올 수

있는 좋은 구조임에도 불구하고 동해고속도로의 두 개의 생태이동로를 제외하고는 잘 설치되어 있지 않았다. 고비용을 투자하여 건설한 생태교량에서의 야생동물들의 이용 빈도를 높이고 로드킬을 줄이기 위해서는 가급적 넓은 범위의 유도펜스의 조성이 필요하며 유도펜스의 종류도 동물의 생태와 크기를 고려하여 설치해 주어야 할 것이다(환경부, 2003).

마지막으로 안산시 정지공원과 수락산길에 설치된 생태연결로를 고찰하면 야생동물을 위한 생태통로라기 보다는 공원 간을 연결하는 사람을 위해 세워진 육교라는 사실을 인정하지 않을 수 없었다. 하지만, 수락산이라는 좋은 자연서식지와 아파트단지를 연결한 수락산길의 생태연결로의 경우 수락산에 서식하는 동물 종이 이것을 이용하여 도심으로 유입될 수 있다는 사실에 유의해야 할 것으로 보인다. 특히 최근에 곳곳에서 발생한 멧돼지의 도심출현은 이러한 생태교량을 통해서도 더욱더 쉽게 이루어질 수 있으며 수락산이라는 큰 자연서식지에 서식하는 멧돼지, 고라니 등의 중대형 포유동물의 도심유입은 인간과 동물 서로 간에 좋지 않은 결과를 도출할 것이 자명해 보인다(박은호, 2007). 실제 캐나다에서 생태연결로로 유입된 불곰에 의해 사람이 죽는 사건이 발생한 것은 이러한 무계획적인 생태통로 조성이 어떤 결과를 만들 수 있는지에 대해 시사하는 바가 클 것이다(Chetkiewicz *et al.*, 2006).

본 조사를 통해 산지가 많은 국내에서 자주 볼 수 있는 교량형 생태통로의 야생동물생태학적 관점에서의 현황과 문제점을 확인할 수 있었다. 이러한 연구들을 통해 앞으로의 야생동물 생태이동로 조성에서 입지선정시점부터 시공 후 관리단계에 이르기까지 보다 심도있는 생태학과 보전생물적 입장에서의 진단과 조치가 취해져야 할 것으로 보인다(Caughley and Gunn, 1996).

### 감사의 글

모든 현장조사에 참여하여 많은 수고를 해 준 동국대학교 생명과학과 이진원군에게 깊은 감사의 마

음을 전합니다.

### 참고문헌

- 강영수, 2001, 수십억들인 백두대간 구룡령 야생동물 이동통로 '무용지물', 국민일보기사.
- 김기대, 길지현, 최병진, 서민환, 고강석, 최덕일, 1998, 환경영향평가서에 나타나 생태계 단편화 현황과 생태통로 조성 실태, 환경영향평가학회지, 7(2): 15-26.
- 김명수, 2005, 생태통로 식재수종의 현황 및 문제점 고찰, 한국환경복원녹화기술학회지, 8(1): 17-26.
- 김명수, 허학영, 조수민, 신수안, 안동만, 2005, 생태통로 조성 국내외 사례 조사를 통한 개선관계 연구, 한국환경복원녹화기술학회지, 8(2): 41-55.
- 박그림, 이성재, 2000, 강릉·정선 일대의 포유류, 환경부.
- 박은호, 2007, 멧돼지 왜 출몰하나, 조선일보기사.
- 서재철, 김철환, 1998, 강릉·평창 지역의 포유류, 환경부.
- 송인주, 2006, 서울시 생태통로 조성효과 및 유지관리 방안, 서울시정개발연구원, 서울. 7쪽.
- 유병호, 2000, 저 푸름을 닮은 야생동물, 다른세상, 서울, 244쪽.
- 유정철, 2001, 자연경관이 조류의 서식지 이용에 미치는 영향(한국경관생태연구회, '경관생태학', 281~302쪽), 동화기술, 서울.
- 원병휘, 1967, 한국동식물도감 제7권: 포유류. 문교부, 서울, 659쪽.
- 원홍구, 1968, 조선짐승류지, 과학원출판사, 평양, 407쪽.
- 이도원, 2001, 경관생태학, 서울대학교출판부, 서울 349쪽.
- 이용욱, 2006, 지표종 생태통로 위치선정 방법에 관한 연구, 전북대학교 환경대학원 석사학위논문, 80쪽.

- 이우신, 2001, 경관생태학원리를 이용한 야생동물 보호 및 관리(한국경관생태연구회, '경관생태학', 304~319쪽), 동화기술, 서울.
- 조범준, 전재도, 2000, 서울(관악산) · 성남(청계산) · 수원(광교산) 일대의 포유류, 환경부.
- 최병진, 2006a, 야생동물은 왜 도로위로 뛰어드는가, 뉴스라이프 2006년 11월호 칼럼.
- 최병진, 2006b, 갈 곳 잃은 야생동물들의 절규, 뉴스라이프 2006년 12월호 칼럼.
- 최태영, 박종화, 2006, 농촌 지역의 너구리 행동권, 생태학회지, 29(3): 259-263.
- 한성우, 송민희, 2001, 용인 · 안성 지역의 포유류, 환경부.
- 허위행, 최서윤, 2002, 강릉 지역의 포유류, 환경부.
- 환경부, 1997, 제2차 자연환경 전국조사 지침(포유동물 조사지침, 87~112쪽; 양서 · 파충류 조사지침, 137~152쪽).
- 환경부, 2002, 백두대간의 생태통로에 대한 현지조사 실시, 환경부보도자료, 6쪽.
- 환경부, 2003, 자연생태계 복원을 위한 생태통로 설치 및 관리지침, 95쪽.
- 환경부, 2004, 백두대간의 생태통로에 대한 현지조사 결과, 환경부보도자료, 8쪽.
- 환경부, 2006, 전국 생태통로 설치 기본계획 수립 방안연구, 280쪽
- Beier, P. and R. F. Noss, 1998, Do Habitat Corridors Provide Connectivity?, *Conservation Biology*, 12(6): 1241-1252.
- Bolger, D. T., T. A. Scott, and J. T. Rotenberry, 2001, Use of corridor-like landscape structures by birds and small mammal species, *Biological conservation*, 102(2): 213-224.
- Caughley, G. and A. Gunn, 1996, Conservation biology in theory and practice. Blackwell Science, Cambridge, 459pp.
- Chetkiewicz, C. B., C. C. St. Clair, and M. S. Boyce, 2006, Corridors for conservation: Integrating Pattern and Process, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 317-342.
- Cox, G. W., 1997, Conservation biology: concepts and applications. McGraw-Hill Science, Dubuque, 384pp.
- 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(3): 163-186.
- Forman, R. T. T., 1995, Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions. Cambridge University Press, Cambridge, 652pp.
- Hanski, I. and M. E. Gilpin, 1997, Metapopulation biology: ecology, genetics, and evolution, Academic Press, San Diego, 512pp.
- Ikeda, H., 1983, Socio-ecological study on the racoon dog, *Nyctereutes procyonoides viverrinus*, with reference to the habitat utilization pattern. Ph. D. thesis, Kyushu University, Kyushu, Japan., 76pp.
- MacArthur, R. and E. O. Wilson, 1967, The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, 203pp.
- Macdonald, D. W., 1993, Mammals of Europe. Princeton University Press, Princeton, 312pp.
- Nichols, J. D. and M. J. Conroy, 1996, Techniques for Estimating Abundance and Species Richness. In: D. E. Wilson *et al.*(ed), Measuring and Monitoring Biological Diversity Standard Methods for Mammals, Smithsonian Institution

- Press, Washington, pp. 81-104.
- Primack, R. B., 2004, A primer of conservation biology. Sinauer Associates Inc, Sunderland, 320pp.
- Shaffer, M. L., 1981, Minimum population sizes for species conservation, *Bioscience*, 1(2): 131-134.
- U.S. Fish and Wildlife service, 1980a, Habitat as a Basis for Environmental Assessment 101 ESM. 29pp.
- U.S. Fish and Wildlife service, 1980b, Habitat Evaluation Procedures (HEP) ESM 102. 130pp.
- Van Dyke, F., 2003, Conservation biology: foundation, concepts, applications. McGraw-Hill Science, Boston, 413pp.

최종원고채택 07. 08. 06