

야생동물의 도로 횡단 특성 분석^{1a} -도로횡단구조물 상의 눈 위 발자국 조사를 통하여-

최태영^{2*} · 이용욱³ · 황기영⁴ · 김선명⁴ · 박문선⁴ · 박그림⁵ ·
조범준⁶ · 박종화⁷ · 이명우⁸

Monitoring the Wildlife Use of Culverts and Underpasses Using Snow Tracking in Korea^{1a}

Tae-Young Choi^{2*}, Yong-Wook Lee³, Ki-Young Whang⁴, Seon-Myong Kim⁴,
Moon-Sun Park⁴, Grim Park⁵, Beom-Joon Cho⁶, Chong-Hwa Park⁷, Myung-Woo Lee⁸

요 약

본 연구의 목적은 겨울철 눈 위 발자국 조사를 통해서 도로횡단구조물(교량, 박스형 통로, 박스형 수로, 원형 수로)에 대한 야생동물 생태통로로서의 기능과 종별 이동 특성을 파악하는 것이다. 총 86개소의 구조물을 조사한 결과는 다음과 같다. 첫째, 입구의 면적이 넓을수록 동물들의 이용률이 높아졌다. 둘째, 원형 수로, 박스형 수로, 박스형 통로 등 조사된 모든 구조물 유형이 중소형 식육목에 속하는 너구리·삾족제비의 생태통로 기능을 하고 있었다. 마지막으로, 대형 초식동물인 고라니는 교량 하부로만 이동하는 것이 확인되었다. 따라서 고라니가 안전하게 이용할 수 있는 도로 구조물의 규격에 대한 연구가 향후 진행되어 고라니의 교통사고와 서식지 파편화에 대한 취약성을 감소시켜야 할 것이다.

주요어 : 생태통로, 통로암거, 수로암거, 눈 위 흔적조사, 고라니

ABSTRACT

The objective of this paper was to investigate the potential of road-crossing structures as biological corridors that can overcome wildlife habitat fragmentation caused by road construction. Snow tracking on animal trace adjacent to and under bridges, underpasses, and culverts of eight rural highways in Korea was carried out. A total 89 structures were monitored and the results

1 접수 7월5일 Received on Jul. 5, 2006

2 서울대학교 환경계획연구소 Environmental Planning Institute, Seoul National Univ., Korea (gumiran3@snu.ac.kr)

3 국립공원관리공단 종복원센터 Species Restoration Center, Korea National Park Service, Korea

4 야생동물소모임 Korean Wildlife Conservation Group (www.yasomo.net)

5 설악녹색연합 Green Korea United/ Seorak (www.sanyang.net)

6 야생동물연합 Wildlife Union (www.wild.or.kr)

7 서울대학교 환경대학원 The Graduate School of Environmental Studies, Seoul National Univ., Seoul(151-742), Korea

8 전북대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Chonbuk National Univ., Chonbuk(560-756), Korea

a 본 연구는 건설교통부의 '생태이동통로 설치를 위한 생태조사연구'와 한국환경기술진흥원의 '도로의 야생동물 서식지 단절 정도의 분석과 road-kill의 원인 분석에 따른 도로유형별·동물종별 관리 기법 개발' 연구 영역의 지원으로 수행되었음.

* 교신저자, Corresponding author

follow. First, the probability of road crossing increases with the increasing cross sectional size of crossing structures. Second, small to medium sized carnivores such as raccoon dog, leopard cat, and Siberian weasel use all types of structures. Finally, water deer, or large herbivore crossed only under bridges. Consequently, further studies are necessary to identify suitable types of road crossing structures that can mitigate the probability of road-kills and habitat fragmentation of water deer.

KEY WORDS : WILDLIFE PASSAGE, UNDERPASS, CULVERT, SNOW TRACKING, WATER DEER

서론

도로는 야생동물의 이동을 저해하고 서식지를 파편화시키는 주요 원인 중의 하나이며, 특히 우리나라는 세계 3위의 인구밀도와 압축성장으로 인해 개발압력이 매우 높은 상황에 놓여 있다. 이에 따라 1998년 지리산 시암재에 환경부 최초의 생태통로가 설치된 이후 환경부건교부지자체에 의해 건설된 국내 생태통로의 수는 2003년 말 48개소로 늘었으며, 앞으로도 지속적으로 조성될 예정이다(환경부, 2004). 하지만 우리나라 도로의 길이가 2004년 말 10만278km에 이르렀으며(건설교통부, 2005) 도로의 연장은 지속적으로 늘어날 것임을 감안할 때 고비용이 요구되는 생태통로 조성만으로 서식지의 파편화를 완화하기에는 명백한 한계가 있다.

반면에 야생동물이 아닌 물의 흐름과 사람의 통행을 목적으로 조성된 도로 하부의 수로와 통로는 도로의 건설과정에서 무수히 많이 조성되며, 이러한 구조물에 대한 야생동물 생태통로로서의 잠재성과 효율성을 높이기 위한 노력이 근래 선진국에서는 활발히 진행되고 있다(Clevenger *et al.*, 2001; Brudin III, 2003; Lapoint *et al.*, 2003; Donaldson, 2005; Mata *et al.*, 2005). 하지만 우리나라에 서식하고 있는 야생동물들이 도로의 이러한 구조물들을 어떻게 이용하는가에 대한 조사는 매우 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 겨울철 눈 위의 발자국 조사를 이용하여, 기존 구조물들에 대한 생태통로로서의 가능성을 파악하고, 구조물의 유형과 규격별로 이용되는 동물 종을 파악하여, 도로 구조물을 설계하거나 개선할 때 생태통로의 기능을 겸할 수 있도록 기초 자료를 제공하는데 있다.

연구방법

1. 조사 대상 도로 및 조사 시기

조사결과의 일반성을 위해 산림, 하천, 농경지가 섞여 있는 우리나라의 보편적인 농촌지역의 도로에 조성되어 있는 수로와 통로를 중심으로 조사하고자 하였다. 그러나 각 도로 주변에 서식하고 있는 종별 서식밀도와 서식지 질의 차이가 있을 수 있으며, 이는 본 연구에서 확인하고자 하는 구조물 유형 이외의 변수로 작용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 농촌지역의 도로 중 다수의 지역에서 가능한 많은 지점의 구조물을 조사하여 조사결과의 일반성을 유지하고자 하였다. 이를 위해 적설기간이 짧은 남부지역을 제외한 충청도, 전라도, 강원도 지역에서 8개 도로를 선정하였으며, 이 중 7개 도로는 왕복 4차선도로이고, 88고속도로만 왕복 2차선 도로이다. 이들 조사 구간의 총길이는 21.5km이며, 교량 10개소, 박스형 수로 25개소, 원형 수로 25개소, 박스형 통로 26개소가 포함된 총 86개소를 조사하였다(표 1).

조사 시기는 2005년 12월부터 2006년 2월까지 눈이 온 후 1~3일이 지난 다음에 대상을 방문하여 해당 조사구간에 있는 수로와 통로 주변의 동물 발자국을 조사하였다.

Table 1. Status of monitored roads

Road ID	Province	No. of lanes	MS (km)	NMS	Surroundings
NH 32	Chungnam	4	3	16	F, A
NH 38	Chungbuk	4	3.1	20	F, A, S
NH 44	Kangwon	4	1.7	2	F, A, S
NH 17	Chonbuk	4	3.9	10	F, A, S
NH 21	Chonbuk	4	1.3	7	F, A, S
NH 26	Chonbuk	4	3.5	13	F, A
NH 30	Chonbuk	4	3	9	F, A
88 NE	Chonbuk	2	2	9	F, A
Total number			21.5	86	.

*MS; Monitored section, NMS; No. of Monitored structures, NH; National Highway, NE; National Expressway, F; Forest, A; Agricultural land, S; Stream

2. 눈 위 발자국 조사 및 분석

본 연구에서는 넓은 지역에 분포해 있는 다수의 구조물에 대한 동물의 이용 현황을 조사하기 위해서 동물이 이동하며 눈 위에 남긴 발자국을 활용하였다. 야생동물의 통로 이용 및 도로 주변에서의 이동에 관한 조사를 위해 눈 위의 발자국 조사를 활용하는 것은 매우 효율적이고 폭넓게 이용되고 있다(Singleton and Lehmkuhl, 2000; Helldin, 2003; Huijser *et al.*, 2005).

눈 위의 발자국을 발견하기 위해 눈이 내린 후 1~3일 뒤에 각 구조물 별로 조사를 1회씩 실시하였으며, 발자국이 수로 또는 통로의 입구로 이어져 사라진 경우 해당 구조물을 이용해 도로를 건넌 것으로 판단하였다. 삶과 고양이의 발자국 모양과 크기가 매우 유사한 점을 고려하여 두 종은 따로 구분하지 않고 하나로 묶어 분석하였으며, 수달은 발자국 없이 통로 내부에서 배설물만이 발견된 경우가 있었으나 이 역시 이동의 흔적으로 간주하였다.

조사된 흔적 자료를 바탕으로 입구 면적의 크기 변화와 구조물의 이용률 관계를 파악하기 위해 상관분석을 실시하였으며, 구조물 밖의 도로 주변에서 발견되는 종별 흔적을 함께 조사하여 구조물을 이용해 건너는 종들의 이용 빈도와 비교하였다.

연구결과

조사된 총 86개소의 구조물 중 51%에 해당하는 44개소에서 5종 67회의 동물 이동 흔적을 확인할 수 있었으며(표 2), 구조물 밖의 도로 주변에서는 7종 164회의 동물 이동 흔적을 발견하였다(그림 1).

교량은 조사된 수의 90%에서 동물의 이동을 확인할

수 있었으며, 박스형 통로는 53.9%, 박스형 수로는 48%, 원형 수로는 36%에서 이동이 확인되었다(표 2). 이는 구조물의 입구 면적이 클수록 높은 이용률을 보여주는 것으로서 입구의 평균 면적과 이용 비율은 강한 상관관계를 나타내었다($r=0.965$). 이는 구조물의 입구가 넓을수록 개방감이 커져 동물의 진입에 거부감이 적어지기 때문으로 판단된다.

확인된 총 67회의 동물 이용 중 너구리(*Nyctereutes procyonoides*)가 38.8%인 26회로서 가장 많이 확인되었으며, 삶(*Prionailurus bengalensis*) 또는 고양이(*Felis catus*)가 18회, 족제비(*Mustela sibirica*) 15회, 고라니(*Hydropotes inermis*) 5회, 수달(*Lutra lutra*) 3회가 확인되었다. 너구리, 삶, 고양이, 족제비와 같은 중소형 식육목에 속하는 종들은 조사된 모든 유형의 구조물을 이용하여 도로를 건너고 있는 것으로 나타났다.

그러나 고라니의 경우 도로 주변에서 총 55회(33.5%)의 발자국이 발견되어 가장 빈번하게 흔적이 발견되었으나, 실제 조사된 구조물을 이용하여 도로를 건넌 경우는 5회 뿐이었으며, 모두 교량 아래로만 이동한 흔적이 발견되었고 나머지 76곳의 수로와 통로에서는 전혀 이동 흔적이 발견되지 않았다(표 2, 그림 1). 이러한 원인으로 고라니가 통로를 이용함에 있어서 구조물의 바닥상태가 영향을 미쳤을 수도 있다. 그러나 본 조사에서는 단 1곳의 박스형 수로에서만 바닥 면 전체가 얼음으로 덮여 있었고 나머지 모든 박스형 구조물들은 수로와 통로의 바닥 일부 또는 전체가 얼음이나 물이 없이 콘크리트 면 위에 흙, 모래 또는 자갈이 일부 또는 전체적으로 쌓여있는 상태였다. 또한 고라니가 이동한 교량 한 곳은 바닥이 아스팔트로 된 지점을 이용해 건넌다. 따라서 본 조사에서는 구조물의 크기 이외에 바닥의 재질에 대한 고라니의 거부감이 교량 하부로만 이동을 하도록 영향을 미쳤

Table 2. Using ratio and number of wildlife crossing on each structure type

Type	Size			Using ratio of structure		No. of wildlife crossing						
	Mean width (m)	Mean height (m)	Mean area of entrance (m ²)	Using ratio (%)	No. of surveyed	No. of crossing	raccoon dog	leopard cat, feral cat	Siberian weasel	Eurasian otter	water deer	Total number
Bridge	39.4±29.5	4.6±2.2	227.3±207.5	90.0	10	9	4	1	1	1	5	12
Box type underpass	4.1±0.9	4.1±0.9	16.9±6.1	53.9	26	14	7	8	4	0	0	19
Box type culvert	3.1±1.9	1.9±0.7	6.4±4.5	48.0	25	12	6	8	3	2	0	19
Circular culvert	0.7±0.2 (Diameter, m)		0.37±0.21	36.0	25	9	9	1	7	0	0	17
Correlation and Total number			Pearson correlation 0.965* Sig. (2-tailed) 0.035		86	44	26	18	15	3	5	67

*. Correlation is significant at the 0.05 level.

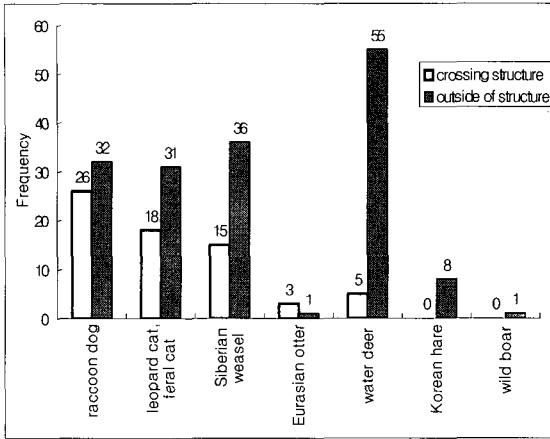


Figure 1. Frequency of mammal species using crossing structures and found on outside of structure

다고 볼 수 없다. 이는 결국 고라니의 이동 특성이 현재의 박스형 수로와 통로 보다 규모가 큰 구조물을 필요로 함을 의미한다.

또한 멧토끼의 경우 도로 주변에서 8회의 눈 위 발자국을 발견하였으나 교량, 수로, 통로 등의 모든 구조물에서 이동한 흔적을 발견하지 못하였다(그림 1). 이는 멧토끼의 경우 고라니처럼 비교적 큰 구조물을 필요로 하는 반면에 산림 내부에 서식하고, 건조한 환경을 선호하는 습성으로 인해 고라니처럼 하천을 따라 교량 아래로 도로를 건널 수 있는 기회조차 어렵기 때문일 수 있다. 그러나 조사된 멧토끼의 흔적 수가 적어 명확한 결론은 내기엔 어려움이 있다.

멸종위기1급이자 천연기념물인 수달은 교량과 박스형 수로를 이용하여 도로를 건넌 것이 확인 되었으나 확인된 수가 3회로서 매우 적었다. 수달의 이런 낮은 이용 횟수가 구조물 외부에서 발견된 이동흔적이 단 1회에 불과하듯이(그림 1) 수달의 서식 밀도가 매우 낮은데서 비롯된 것인지, 또는 기존의 구조물에 대한 거부감이 클 가능성에서 비롯된 것인지는 멧토끼의 경우처럼 조사된 흔적 수가 적어 결론을 내기엔 어려움이 있다.

고 찰

구조물의 입구 면적이 넓을수록 동물의 생태통로로서 기능성이 높음을 확인하였으며, 너구리, 삵, 고양이, 족제비와 같은 중소형 식육목의 경우 지름 70cm 내외의 소규모 원형관을 포함한 다양한 도로 구조물을 이용하여

도로를 건너는 것이 확인되었다.

그러나 고라니의 경우 통로 외부에서 가장 빈번하게 서식흔적이 발견되었음에도 불구하고 기존의 박스형 통로와 수로를 이용하지 못하고 교량 아래로만 도로를 건너고 있었다. 이는 기존의 수로와 통로가 중소형 동물들의 생태통로로서의 기능을 하고 있으나 고라니에게는 부적합함을 의미한다. 이 결과는 Choi and Park(2006)이 무인센서 카메라를 이용한 야생동물의 도로 횡단구조물 이용 연구 결과와 일치하며, 또한 김영준(2006), 한국도로공사(2005), Choi and Park (2005)이 보고한 바와 같이 고라니의 로드킬이 여타의 포유류에 비해서 비교적 많은 이유를 이해하는 데 도움이 된다. 따라서 금번 연구에서 조사된 너비 4.1±0.9m의 정사각형 박스형 구조물 보다 규모가 큰 구조물이 설치되어야 고라니의 생태통로 기능을 겸할 수 있을 것이다. 이처럼 대형 초식동물의 경우 대개 넓은 규모의 통로를 필요로 하는데, 미국에서 서식하는 사슴류의 경우 도로 아래로 이동하기 위해서는 구조물의 너비가 최소 7m 이상을 필요로 한다(Reed *et al.*, 1975; Foster and Humphrey, 1995).

따라서 현재 우리나라의 도로 구조에서는 고라니가 도로를 안전하게 건너기 위한 구조물을 찾기 못하고 노면으로 나오는 기회를 높여 차량 충돌로 인한 대형 교통사고의 가능성과 고라니 서식지의 파편화를 심화시킬 가능성이 높으므로 향후 고라니가 안전하게 도로를 건널 수 있는 구조물의 규격에 대한 연구와 적용이 진행되어야 할 것이다.

본 연구는 겨울철 눈 위의 발자국 조사를 바탕으로 진행된 특성상 계절별로 이동 습성의 변화가 있을 수 있음이 반영 되지 않았으며, 일부 종은 적은 수의 이동 흔적이 발견되어 조사된 모든 종에 대한 구조물 이용 특성을 명확히 분석하기에는 한계가 있었다. 향후 무인센서 카메라와 모래판 조사와 같은 다양한 연구에 의한 성과가 뒷받침 되어야 할 것이다.

인용문헌

- 건설교통부(2005) 2005년 도로현황. 건설교통부 홈페이지.
- 김영준(2006) 한국 야생동물 조난원인 유형분석. 수의학 석사학위논문, 서울대학교 대학원. 16쪽.
- 한국도로공사(2005) 고속도로 동물 사고사 현황. 한국도로공사 홈페이지.
- 환경부(2004) 백두대간의 『생태통로』에 대한 현지조사 결과. 환경부 보도자료, 환경부 홈페이지.
- Brudin, C.O(2003) Wildlife use of existing culverts and bridges in north central Pennsylvania. Proceedings Of

- The 2003 International Conference On Ecology & Transportation. Lake placid, New York, 344-352pp.
- Choi, T.Y. and C.H. Park(2005) Effect of rice harvesting on mammal road-kills in Mt. Jrisan area, South Korea. Proceedings of the IX International Mammalogical Congress, Sapporo, Japan, 278-279pp.
- Choi. T.Y. and C.H. Park(2006) Which is better type for mammal passage across rural highway in korea, box or pipe? Proceedings Of The International Consortium Of Landscape And Ecological Engineering. Osaka, Japan, 169pp.
- Clevenger, A.P, B. Chruszcz, and K. Gunson(2001) Drainage culverts as habitat linkages and factors affecting passage by mammals. The Journal Of Applied Ecology. 38(6): 1340-1349.
- Donaldson, B.M.(2005) Use of highway underpasses by large mammals and other wildlife in virginia and factors influencing their effectiveness. Proceedings Of The 2005 International Conference On Ecology & Transportation. San Diego, California, 433-441pp.
- Foster, M.L. and S.R. Humphrey(1995) Use of highway underpasses by Florida Panthers and other wildlife. Wildlife Society Bulletin 23: 95-100.
- Helldin, J.O. (2003) The barrier impact on migratory moose of highway E4 in the high coast area, Sweden. Proceedings of Habitat Fragmentation due to Transport Infrastructure & Presentation to the COST 341 action. Infra Eco Network Europe. Brussels, Belgium, 25pp.
- Huijser, M.P., W. Camel, and A. Hardy(2005) Reliability of the animal detection system along US HWY 191 in Yellowstone National Park, Montana, USA. Proceedings of The 2005 International Conference on Ecology & Transportation. San Diego, California, 509-524.
- Lapoint, S., R.W. Kays, and J.C. Ray(2003) Animals crossing the northway: Are existing culverts useful? Adirondack Journal of Environmental Studies. Spring/Summer 2003: 11-17.
- Mata, C., I. Hervás, J. Herranz, F. Suárez, and J.E. Malo(2005) Complementary use by vertebrates of crossing structures along a fenced spanish motorway. Biological Conservation, 124(3); 397-405.
- Reed, D.F., T.N. Woodard, and T.M. Pojar(1975) Behavioral response of mule deer to a highway underpass. Journal of Wildlife Management 39: 361-67.
- Singleton, P.H. and J.F. Lehmkuhl(2000) Evaluating multi-species landscape permeability along Interstate 90 at Snoqualmie pass, Washington. Proceedings of the 7th Annual Meeting of The Wildlife Society, Nashville, Tennessee, 118-127pp.