

포유류의 도로횡단구조물 이용 분석¹⁾

- 무인센서카메라를 활용하여 -

최태영* · 박종화**

*서울대학교 환경계획연구소 · **서울대학교 환경대학원

I. 서론

도로의 수로 박스, 수로관, 통로 박스, 교량은 도로의 건설과정에서 무수히 많이 조성되며, 이러한 구조물에 대한 야생동물 생태통로로서의 잠재성과 효율성을 높이기 위한 노력이 근래 선진국에서는 활발히 진행되고 있다(Clevenger *et al.*, 2001; Mata *et al.*, 2005).

우리나라의 경우, 기존에 설치되어 있는 배수 구조물이 생태통로로 적극 활용될 수 있도록 유도 펜스 설치 및 생태연결용 통로 보완 등 도로주변시설을 개량할 계획임을 밝힌 바 있다(건설교통부 2004). 그러나 구조물 유형에 따른 동물들의 이용 습성에 관한 연구가 미비하여 어떤 유형의 통로에 어떤 종의 이동을 가능케 할 수 있는가에 대한 근거가 충분치 못한 상황이다. 이러한 상황에서 최 등(2006)은 겨울철 눈 위의 발자국 조사를 이용하여, 통로의 입구 면적이 넓을수록 동물들의 이용률이 높고 지름 70cm 내외의 작은 원형 수로만으로도 중소형 식육목에 속하는 너구리, 삵, 족제비 등의 이동 통로 기능이 가능한 반면, 고라니의 경우 기존의 통로 박스가 아닌 교량 하부만을 이용하여 도로를 건넌다고 밝힌 바 있다. 하지만 겨울철에 한정된 조사이며, 고라니가 이용 가능한 통로의 크기에 대해 구체적으로 제시하지 못한 한계가 있었다.

따라서 본 연구의 목적은 일정 구간 내에서 4계절 모니터링을 실시하여 해당 구간 내에 있는 통로 유형에 따른 종별 이용 특성을 파악하고, 고라니가 이용 가능한 구조물의 특성을 파악하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

연구대상지는 전남 구례군의 19번 4차선 국도로서 구례읍의 서시천을 따라 1995년에 완공된 6.6km 구간이다(그림 1). 해당 구간은 지리산국립공원과 인접해 있으며, 도로의 동쪽에는 대부분 농경지이며 일부 마을과 산림이 있고, 서쪽에는 서시천이 따라 흐르며 억새와 고마리 등의 하천식생이 발달해 있다. 6.6km의 해당 구간에 대한 현장 조사 결과, 총 40곳의 횡단구조물이 있었으며, 이중 9곳은 입구가 막혀있거나 깊은 물이 항상 고여 있어 동물의 이동이 물리적으로 어려웠다. 따라서 동물이 이용 가능한 31곳의 구조물 중 구조물 간의 인접성과 동물의 이용 가능성, 카메라 도난 가능성 등을 고려하여 13곳의 구조물을 조사에 포함시켰다. 또한 이 구간의 통로 박스보다 규격이 더 큰 통로 박스를 연구에 포함시키기 위해 서식환경이 매우 유사하며 같은 19번 4차선 국도에 위치한 17km 북쪽의 통로 박스 한 곳을 포함시켜 총 14곳을 조사하였으며, 2005년 9월부터 2006년 8월까지 실시하였다.

2. 조사 및 분석

이동통로로 이용될 수 있는 구조물들의 동물 이용

표 1. 통로의 유형과 카메라 설치 현황

유형	입구규격 (m)	전체수	이용통로	카메라 설치
통로박스	2~4.3*2~4.3	12	12	5
수로박스	2*2.5	5	2	2
수로관	0.8~1.2	19	13	7
교량	길이 7~260m	5	5	-
합계	-	41	32	14

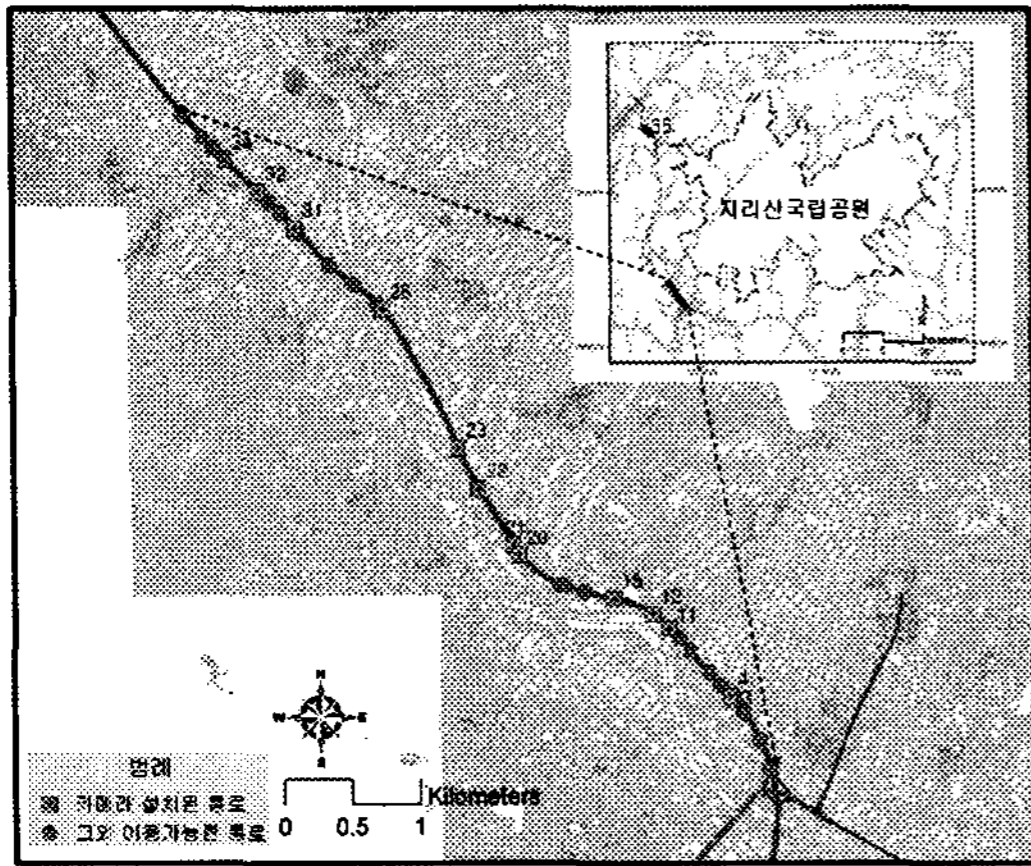


그림 1. 연구대상지의 통로 분포

조사를 위해 지름 1m 내외의 수로관은 입구로부터 1~2m 안쪽의 천장에 무인센서카메라(Wildsystem Inc.)를 설치하였다. 수로 박스와 통로 박스는 중앙부의 벽면 또는 천장에 설치하였으며, 센서와 렌즈의 범위가 통로 전체를 포함하지 않을 경우, 양쪽 벽에 1대씩 두대를 설치하였다. 카메라가 설치된 구조물의 유형과 특성은 표 1과 같다.

카메라가 설치된 구조물 주변에 서식하고 있는 종들의 출현 정도를 파악하기 위해 구조물에서 50m 이내에 무인센서 카메라를 함께 설치하여 주변에서 서식하지만 통로의 이용률이 떨어지는 종을 파악하고자 하였다.

카메라는 한번 촬영한 후 1분 이내에는 다시 촬영되지 않도록 센서의 프로그램에 입력시켜 통로에 일시적으로 머무는 개체가 중복 촬영되는 일이 없도록 하였다. 설치된 카메라는 평균 1주일에 한번씩 점검을 하여 필름을 교체하였다.

수집된 자료를 이용하여 통로의 규격과 동물의 이용에 대한 분석을 위해 통로의 개방도(openness index)와 이용률(use rating)에 대하여 SPSS 10.0(SPSS Inc., 2000)을 이용한 상관관계 분석을 실시하였다. 개방도는 통로의 입구면적을 통로의 길이로 나눈 것으로서 사슴과 동물처럼 개방도가 큰 유형의 구조물을 선호하는 동물들을 위한 적합한 이동통로의 규격을 제시하기 위해 이용되어지고 있다(Reed and Ward, 1985). 이용률은 조사기간 중 카메라가 작동한 날 수를 총 촬영 수로 나누어 1일 당 몇 차례의 이동이 있었는지를 의미한다(Servheen, 2003).

III. 연구결과

1. 카메라 촬영 결과

통로 내·외부에서 1년간 포유류 16종 2,584회, 조류 13종 114회, 파충류 2종 3회, 양서류 1종 1회, 미분류 275회로서 총 2,977회의 촬영이 이루어졌다. 미분류는 카메라의 센서가 작동되었으나 후레쉬가 안 터진 경우와 동물이 카메라의 촬영 범위 밖에서 촬영된 사례이며, 파충류와 양서류가 극히 적은 이유는 카메라의 센서가 적외선 감지 기능이기 때문에 변온동물인 양서류와 파충류의 감지 기능이 떨어졌기 때문이다.

통로 내부에서는 총 2,837회, 외부에서는 총 140회가 촬영되었다. 외부 촬영된 수치가 적은 원인은 카메라의 도난과 날씨 관계 등의 잦은 오작동으로 인해 모니터링을 주기적으로 하지 못한 이유도 있지만 통로가 일반적인 외부 환경보다 동물의 이동이 집중되는 곳이기 때문일 수 있다.

2. 통로 유형별 이용률

수로관과 수로 박스는 4~9월 중 날씨와 농업용수 용도로 인해 물이 많이 흘러 동물의 이용이 물리적으로 어려운 기간이 발생하였다. 본 연구에서는 종별 선호되는 통로의 유형을 파악하는 것이 목적이기 때문에 카메라가 설치된 기간 중 수로가 물에 차 있는 기간은 이용률 계산에서 제외하였다. 분석 결과 시궁쥐와 등줄쥐는 수로관을 주로 활용하였으며, 너구리는 세 가지 유형을 고루 이용하였다. 고양이와 수로관과 통로 박스를 주로 이용한 반면, 작은 수로 박스와 수로관을 주로 이용하였다. 고라니는 통로 박스로만 이용하였으나 이용률이 0.053(18.9일에 한번 이용)으로서 매우 낮았다(그림 2).

한편 조사된 모든 기간을 분석할 경우, 통로 박스와 수로관의 이용률이 수로 박스에 비해 높았다. 그러나 수로가 물에 차 있는 기간을 제외한 경우에는 수로관의 이용률이 월등히 높으며, 이 기간에 시궁쥐와 등줄쥐의 이용을 제외할 경우에는 세 가지 유형 모두 이용률이 비슷하였다. 즉, 수로에 물이 흐르지 않을 경우, 가장 소규모 구조물인 수로관 형태의 통로가 가장 효율적이었다(그림 2).

표 2. 통로 내 증별 촬영된 주요 포유류 횡수, 통로별 특성, 통로별 이용률

통로 번호	유형	폭·높이, 지름 (m)	길이 (m)	개방도 (openness index)	조사 일수	이용가능일수	시궁쥐	등줄쥐	너구리	샐	족제비	수달	멧토끼	고라니	촬영합계	이용률 (설치류 제외, 전 조사 기간)
34	수로파이프	0.8	45	0.011	302	137	125	45	65	20	8	2	0	0	265	0.31
32	수로파이프	0.8	35	0.014	288	153	110	23	87	66	41	0	0	0	327	0.67
22	수로파이프	0.8	30	0.017	253	253	114	103	52	13	49	4	0	0	335	0.47
23	수로파이프	0.8	30	0.017	282	282	41	54	175	9	20	1	0	0	300	0.73
12	수로파이프	0.8	28	0.018	262	97	16	0	65	20	9	7	0	0	117	0.39
3	수로파이프	1.2	34	0.033	311	176	24	0	0	14	8	2	0	0	48	0.08
11	수로파이프	1.2	32	0.035	301	196	22	4	13	57	11	2	0	0	109	0.28
20	수로박스	2.5*2	50	0.100	184	154	0	0	52	24	2	11	0	0	89	0.48
21	수로박스	2.5*2	50	0.100	230	50	1	0	25	6	3	6	0	0	41	0.17
31	통로박스	2*2	29	0.138	310	220	0	0	80	8	10	0	0	0	98	0.32
15	통로박스	3*3	29	0.310	259	259	0	0	53	2	0	0	0	0	55	0.21
28	통로박스	3.5*3.5	32	0.383	189	189	0	0	34	5	0	0	0	7	46	0.24
4	통로박스	3.5*3.5	28	0.438	69	69	2	0	30	2	0	0	0	0	34	0.46
35	통로박스	4.3*4.3	26.4	0.700	111	111	0	0	134	8	6	0	10	25	183	1.65
합계					-	-	455	229	865	254	167	35	10	32	2,047	6.46

· Openness Index = (Height × Width) Divided by Length (Reed & Ward, 1985), Example (6ft. × 8ft.) / 150ft. = 0.32 OI
 · Use Rating = (Σ# of photographs)/(Σ# of functional camera days) (Servheen, 2003)

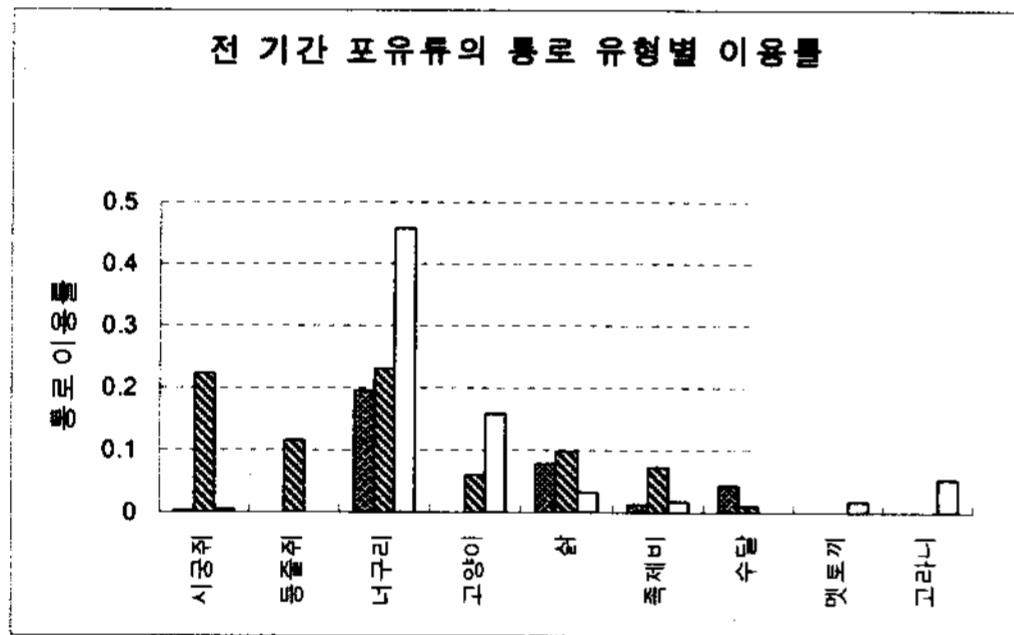


그림 2. 포유류의 통로 유형별 이용률
 범례: ■ 수로박스 ▨ 수로관 □ 통로박스

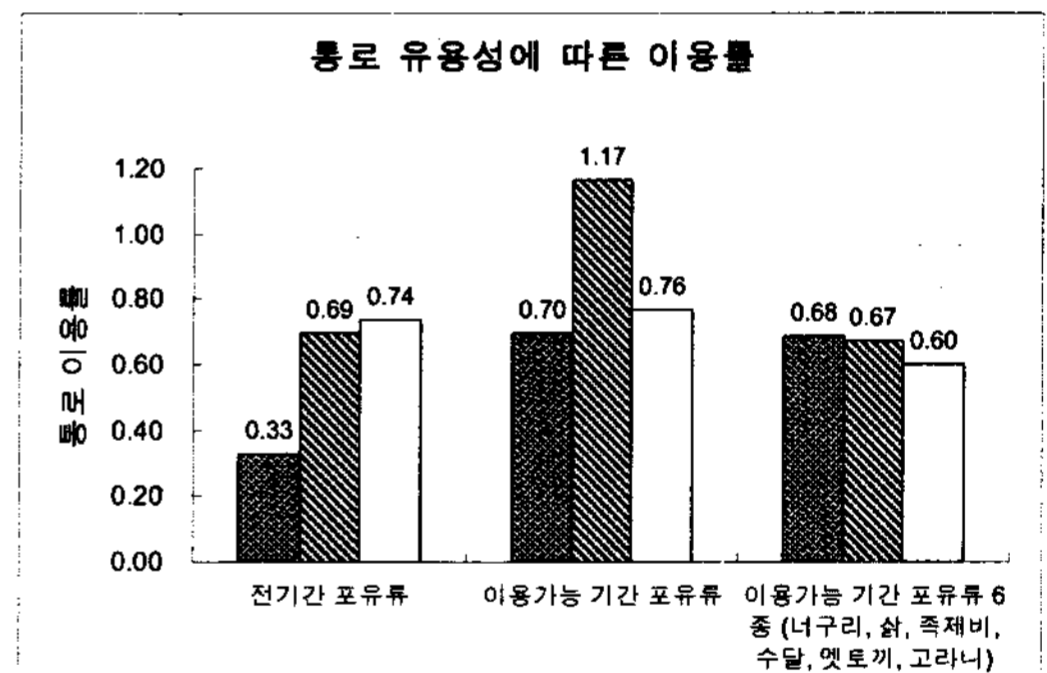


그림 3. 통로 유용성에 따른 이용률
 범례: ■ 수로박스 ▨ 수로관 □ 통로박스

3. 통로 외부와 내부의 출현 종

너구리, 샐, 족제비는 통로 내·외부의 출현율이 비슷하거나 통로에서의 출현율이 높아 서식지 파편화의 우려가 적었으나, 고라니의 경우 통로 외부에서의 출현율이 23.5%로서 두 번째로 높은 반면 통로 내부에서는 출현은 2.4%에 불과해 고라니 서식지 파편화의 가능성이 제기되었다(그림 3).

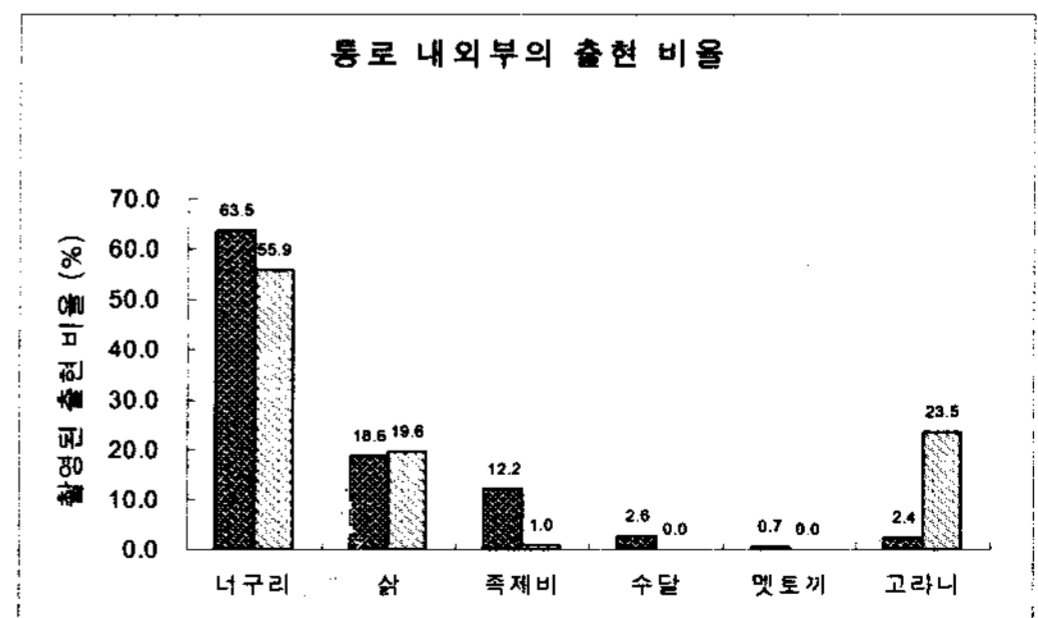


그림 4. 통로 내·외부의 종 출현 비율
 범례: ▨ 통로 내부 ▨ 통로 외부

4. 개방도와 통로 이용률

설치류의 잦은 이용으로 인해 개방도가 0.011~0.035로서 가장 낮은 수로관의 이용률이 가장 높았지만(표

2), 설치류를 제외한 경우에 있어서도 개방도와 이용률의 상관관계는 매우 약했다(표 3). 이는 설치류와 식육

목에 속하는 중·소형 포유류들의 이동 습성이 굴이나 덩굴 속처럼 개방도가 낮은 곳을 선호하거나 특별히 거부감을 갖는 유형이 없기 때문일 수 있다. 그러나 고라니의 경우 개방도 0.38의 통로 박스에서 매우 미미한 이용을 보이기 시작하여, 개방도 0.7(폭과 높이 4.3m, 길이 26.4m)의 박스 통로에서 비교적 잦은 이용률(0.225)을 나타내었다(그림 6). 그러나 야외에서 고라니의 출현비율이 23.5%의 높은 수치였음을 상기해 볼 때 과연 이 정도의 이용률이 고라니의 이동을 충분히 보장하고 있는 수치인지는 단정하기 어렵다.

표 3. 통로 개방도와 이용률 상관관계

개방도와 이용률 상관관계수 (Pearson)	조사 기간 전체		통로 이용가능 기간	
	포유류 전체	설치류 제외	포유류 전체	설치류 제외
	0.019	0.569*	-0.151	0.243

*: 상관관계수는 0.05 수준(양쪽)에서 유의.

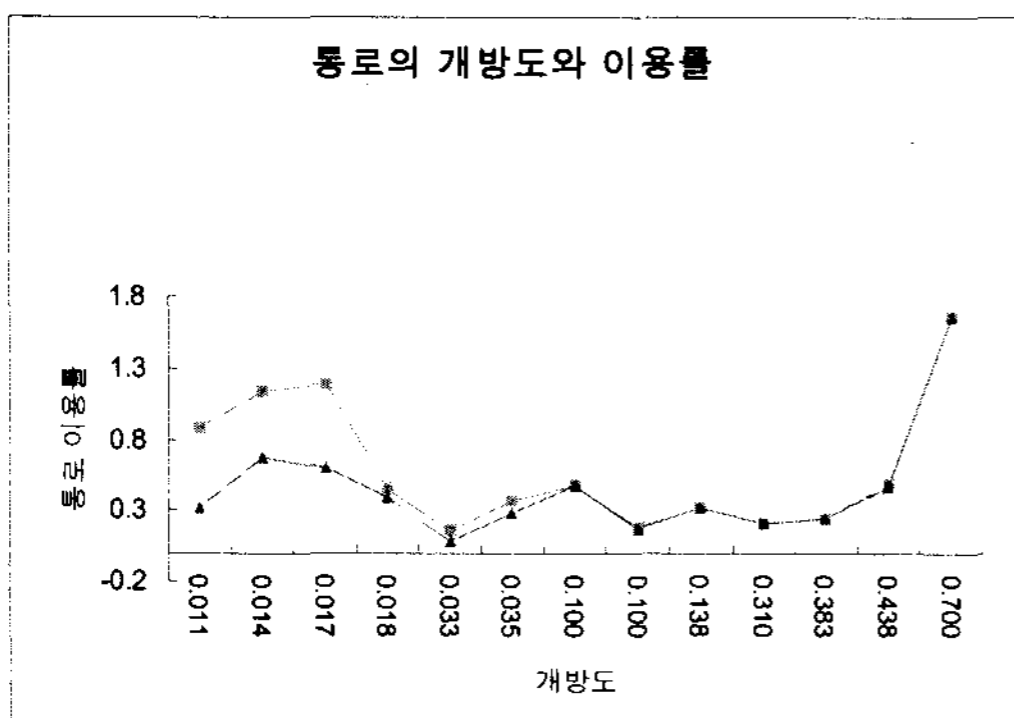


그림 5. 통로의 개방도와 이용률; 설치류는 개방도가 극히 낮은 수로관을 주로 이용했음을 알 수 있다.
범례: ■ 전기간 포유류 ▲ 전기간 설치류 제외

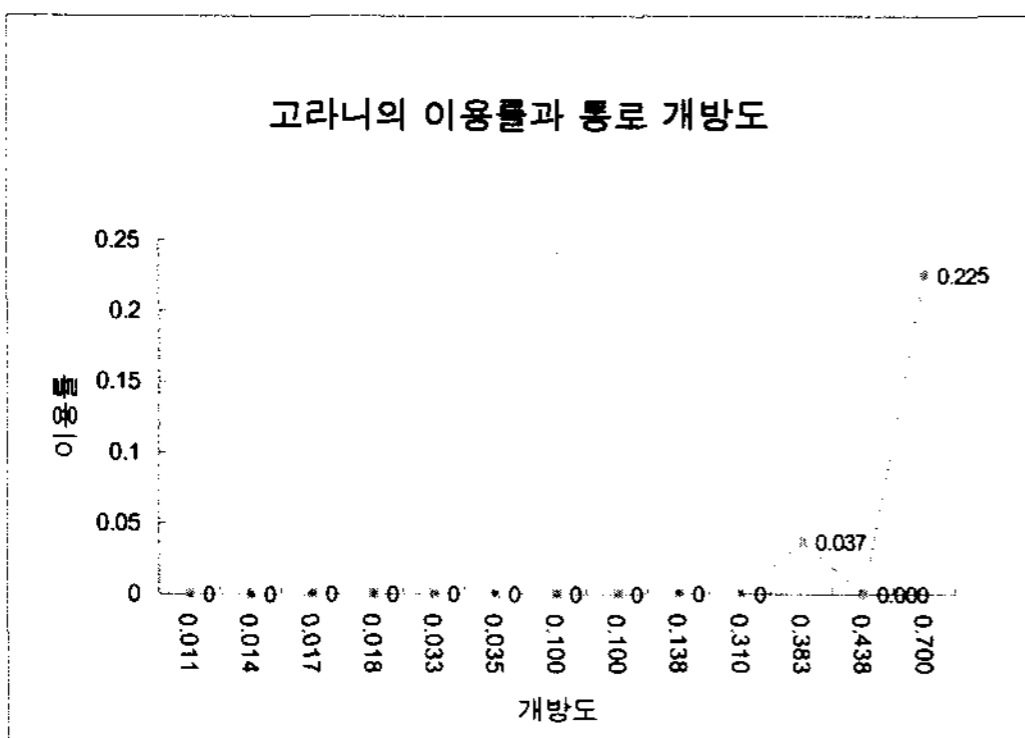


그림 6. 고라니의 이용률과 통로의 개방도

IV. 고찰

연구 결과 최 등(2006)이 언급한 바와 같이 조사된 모든 유형의 구조물이 이동 통로 기능을 하고 있었으며, 설치류와 중·소형 식육목에 해당하는 종은 지름 1m 내외의 파이프형 구조물만으로도 높은 이용률을 확인하였다. 다만 최 등(2006)은 통로의 입구 면적이 클수록 이용되는 통로의 수가 많다고 하였으나, 본 연구에서 4계절 조사한 결과 물리적·시각적으로 양 입구가 트여있는 통로 중 조사된 모든 곳에서 동물의 이동이 매우 빈번하게 확인되었다. 이는 최 등(2006)의 연구에서 눈 위의 발자국을 조사함에 따라 시기적으로 이동이 적거나 흔적을 발견하기 어려운 종들이 누락되었기 때문으로 사료된다.

고라니의 경우, 기존 박스형 통로 중 가장 큰 규모에 해당되는 개방도 0.7(폭과 높이 4.3m, 길이 26.4m)에서부터 이동이 급격히 늘어났으며, 이보다 작은 구조물에서는 이용이 거의 없었다. 참고로 해당 연구 대상지에 존재하는 260m 길이의 교량 하부에서는 조사 기간 중 1년 내내 고라니의 빈번한 발자국을 발견할 수 있었으며, 고라니가 교량 하부를 중심으로 이동하고 있음은 최 등(2006)의 연구에서도 밝혀진 바 있다.

따라서 향후 도로에 횡단 구조물들이 많이 조성되어 있는 농촌지역에서의 생태 통로 조성 시에는 고라니를 목표종으로 하고, 다른 종의 경우에는 기존의 구조물로 유도하는 펜스의 설치만으로도 동물 교통사고 및 서식지 파편화를 저감할 수 있는 충분한 대책이 될 수 있을 것이다.

그러나 본 연구에서 조사된 통로 박스의 수가 많지 않음을 고려해 볼 때 고라니의 교통사고 예방과 이동을 위해 비용과 효과 측면에서 최적의 구조물 규격과 설치 간격에 대한 추가 연구가 진행되어야 할 것이다.

주 1. 이 연구는 한국환경기술진흥원의 '도로의 야생동물 서식지 단절 정도의 분석과 road-kill의 원인 분석에 따른 도로 유형별·동물종별 관리 기법 개발' 연구 용역 지원으로 수행되었으며, 무인 센서 카메라 설치 및 조사에 지리산자연생태보존회 최동기, 최천권 선생님의 도움이 있었습니다.

인용문헌

1. 건설교통부(224) 보도자료: 국도변 야생동물 생태통로 2010년

- 까지 250개소 설치. 건설교통부 홈페이지.
2. 최태영, 이용욱, 황기영, 김선명, 박문선, 박그림, 조범준, 박종화, 이명우(2006) 야생동물의 도로 횡단 특성 분석: 도로횡단 구조물 상의 눈 위 발자국 조사를 통하여. 한국환경생태학회지 20(3): 299-304.
 3. 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.
 4. 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.
 5. Reed, D.F. and Ward, A.L.(1985) Efficacy of methods advocated to reduce deer-vehicle accidents: research and rationale in the USA. Pages 285-293 in *Routes et faune sauvage*. Service d'Etudes Techniques de Routes et Autoroutes. Bagneaux, France.
 6. Servheen(2003) A sampling of wildlife use in relation to structure variables for bridges and culverts under I-90 between Alberton and St. Regis, Montana. *Proceedings Of The 2003 International Conference On Ecology & Transportation*. Lake Placid, New York: 331-341.