

# 이동통로가 늘어나면 야생동물 교통사고가 감소할 것인가?<sup>18)</sup>

Can wildlife vehicle collision be decreased by increasing the number of wildlife passages?

최태영 □ 박종화

서울대학교 환경계획연구소 □ 서울대학교 환경대학원

## I. 서론

야생동물 교통사고와 서식지의 파편화를 저감하기 위해 도로에 생태통로와 펜스를 설치하는 것은 국내외 적으로 가장 적극적이고 효과적인 방법이면서 가장 고비용을 요구하는 방법이기도 하다. 그러나 펜스 이외에 고비용의 생태통로를 추가함으로써 과연 어느 정도의 동물교통사고와 서식지 파편화를 완화 시킬 수 있을 것인가에 대한 연구는 미비한 실정이다.

한편 야생동물이 아닌 물의 흐름과 사람의 통행을 목적으로 조성된 도로 하부의 수로와 통로는 도로의 건설과정에서 무수히 많이 조성되며, 이러한 구조물에 대한 야생동물 이동통로로서의 잠재성과 효율성을 높이기 위한 노력이 근래 선진국에서는 활발히 진행되고 있다(Clevenger et al, 2001; Brudin, 2003; Lapoint et al, 2003; Donaldson, 2005; Mata et al, 2005). 특히 우리나라의 경우 산악지형이 많고 세계 3위의 인구밀도 국가로서 도로의 구조적 특성상 터널, 교각, 수로, 지하통로, 육교 등의 횡적 구조물이 다른 나라에 비해 매우 많을 수밖에 없는 상황에서 이들 구조물의 생태통로로서의 잠재력에 대한 분석은 우리나라의 생태통로 계획에 대해 중요한 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 첫째, 도로의 횡단구조물들이 갖는 야생동물 이동통로로서의 기능성을 파악하고 둘째, 일정 구간 내에서 수로의 수량 변화에 따른 월별 이용 가능한 통로 수의 변화와 이로 인한 동물들의 통로 이용률과 동물교통사고 발생 수의 변화를 분석하며 셋째, 이동통로의 밀집도와 야생동물 교통사고 발생 밀도의 관계를 분석하고 넷째, 야생동물 교통사고로 희생되는 개체의 특성을 파악을 하고자 한다. 마지막으로, 이를 통해 우리나라 현실에 맞는 야생동물 교통

18) 본 연구는 한국환경기술진흥원의 차세대핵심환경기술개발사업(과제번호: 052-041-033)의 지원 하에 수행되었으며, 야생동물 교통사고 조사 및 너구리 포획에 지리산자연생태보존회 최동기, 최천권 선생님의 도움이 있었습니다.

사고 예방 및 서식지 파편화의 대책 수립 시 고려해야할 사항을 제시하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 동물교통사고와 이동통로 조사

동물교통사고는 차량을 이용하여 매일 1회씩 조사를 하였으며, GPS(Garmin Inc., GPSV)를 이용하여 위치정보를 기록하고 발견된 사체를 도로에서 치운 뒤 도로 위에 남은 사체의 흔적 위에 스프레이 페인트를 칠하여 추후 중복 조사가 되지 않도록 하였다. 또한 도로 횡단 구조물의 동물 이용 조사가 이루어지는 구간과 같은 곳에서 동물교통사고를 조사하여 자료의 연관성을 높이고자 하였다.

이동통로로 이용될 수 있는 구조물들에 대한 조사를 위해 지름 1m내외의 수로관의 경우 입구로부터 1~2m 안쪽의 천장에 무인센서카메라(Wildsystem Inc.)를 설치하여 촬영하였다. 수로박스과 통로박스의 경우는 중앙부의 벽면 또는 천장에 설치하였으며, 센서와 렌즈의 범위가 통로 전체를 포함하지 않을 경우 양쪽 벽에 1대씩 두 대를 설치하였다. 총 13곳의 구조물에 카메라를 설치하였으며 설치된 구조물의 유형과 특성은 [표1]과 같다. 카메라는 한번 촬영한 후 1분 이내에는 다시 촬영이 되지 않도록 센서의 프로그램에 입력시켜 동시에 같은 개체가 중복 촬영되는 일이 없도록 하였다. 설치된 카메라는 평균 1주일에 한번씩 점검을 하여 필름을 교체하였다.

표 13. 조사된 통로의 유형별 특성

유형	용도	입구 규격 (m)	통로 수	이용가능 통로	카메라 설치	바닥 재질
통로박스	사람 통행	2~4.3*2~4.3	11	11	4	콘크리트
수로박스	수로	2*2.5	5	2	2	콘크리트
수로관	수로	0.8~1.2	19	13	7	콘크리트, 파형강판
교량	하천수로	길이 7~260m	5	5	0	흙, 아스팔트
합계	-	-	40	31	13	-

### 2. 조사 대상 도로 및 조사 시기

조사대상지는 전남 구례군의 19번 4차선 국도로서 구례읍의 서시천을 따라 1995년에 완공된 6.6km구간이다. 예비 조사를 위해 해당 도로의 30km 구간을 2004년 9월부터 1년간 동물교통사고 조사를 실시하였으며, 이중 사고가 빈번히 발생하며 도로 인근의 서식지 유형이 동일한 구간을 선정하였다. 선정된 6.6km 구간은 지

리산국립공원과 인접해 있으며, 도로의 동쪽에는 대부분 농경지이며 일부 마을과 산림이 있고, 서쪽에는 서시천이 따라 흐르며 도로와 하천사이에는 억새와 달뿌리풀 등의 수변식생이 주를 이루고 있다. 6.6km의 해당 구간에 대한 현장 조사결과 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 이용가능성, 카메라 도난 등의 가능성을 고려하여 총 13곳의 구조물에 대한 모니터링을 실시하였다. 무인카메라를 이용한 통로 조사는 2005년 9월부터 2006년 8월까지 이루어 졌으며, 야생동물 교통사고 조사는 2004년 9월부터 2006년 8월까지 실시되었다.

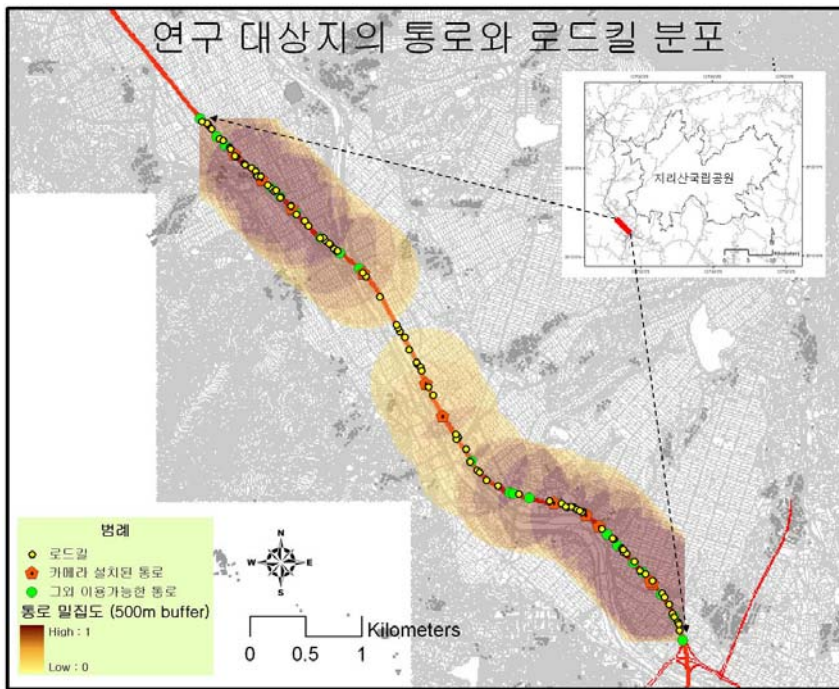


그림 18. 연구 대상지의 통로와 야생동물 교통사고 분포

### 3. 포획 후 표식기 부착

해당 조사 구간에서 발생하는 야생동물 교통사고가 개체군에 미치는 영향과 희생되는 개체의 특성을 파악하기 위해 도로 100m 이내에서 2004년 10월부터 2005년 5월까지 너구리 13개체를 포획하여 귀에 금속 표식기(National-band Inc.)를 부착한 후 방사하고, 무인센서카메라와 야생동물 교통사고 조사 시에 표식기를 단 개체의 출현을 기록하였다.

#### 4. 분석 방법

수로파이프 역할을 하는 구조물들은 4월부터 9월 사이에 농수로의 역할을 하며 동물들의 이동이 물리적으로 불가능해지는 경우가 발생되었다. 따라서 월별로 줄어드는 이동통로의 수와 월별 야생동물 교통사고 발생 수의 차이를 비교하여 시기별 이동통로의 증감이 사고 발생에 어떠한 관계가 있는 지 분석하였다.

또한 월별 이동통로의 이용 빈도 증감과 야생동물 교통사고의 발생을 비교하여 이동통로 이용률 증감에 따라 사고 발생이 어떻게 변화하는지 알아보았으며, 일부 통로의 이용이 불가능해지는 시기에 다른 통로들의 이용률이 증가하는가에 대해서도 분석하였다. 이때 이용률은 이동이 확인된 총 횟수를 조사한 날짜 수로 나눈 것으로서 해당 통로에서 하루에 몇 번의 이동이 발생하는 가를 의미한다 (Servheen, 2003).

이동통로가 많이 밀집될수록 야생동물 교통사고의 발생에 공간적으로 어떠한 변화가 있는지 파악하기 위해 ArcGIS(ESRI Inc.) 프로그램의 Point density(Silverman, 1986) 모듈을 이용해 해당 도로의 통로 밀집도를 0~1의 값으로 분류하였다. 이때 각 통로별 버퍼의 범위를 500m로 하였으며, 이는 본 연구에서 가장 많이 정보가 수집되어진 너구리의 행동권이 평균 0.8km<sup>2</sup>(최와 박, 2006)로서 직선상으로 약 1km의 이동거리를 나타내기 때문이다.

마지막으로 포유류의 교통사고가 집중되는 야간통행량(19시~07시)의 월별 변화(건설교통부 교통량제공시스템, 2006)와 사고 발생량을 비교하여 통행량의 변화가 야생동물 교통사고 발생에 어떠한 영향을 주는지 분석하였다.

이러한 이동통로의 수, 이동통로의 이용율, 이동통로의 밀집도, 통행량의 변화가 야생동물 교통사고 발생에 어떠한 관계를 가지고 있는지 분석하기 위해 사고 발생 건수와 각각 상관분석을 실시하여 Pearson 상관계수를 구하였으며, 일부 통로의 이용이 불가능한 시기에 다른 통로의 이용률이 증가하는 가에 대해서는 paired-t test를 실시하였다. 통계분석에는 SPSS 10.0(SPSS Inc., 2000)이 사용되었다.

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 이동통로 및 야생동물 교통사고 조사 결과

1년간 총 13개 통로에 대해 평균 254(±72)일 씩 무인센서카메라를 이용한 조사가 실시 되었으며, 포유류의 경우 13종 2,545회의 이동이 촬영되었다(그림2). 또한 같은 구간 내에서 2년간 12종 93건의 포유류 교통사고가 발견되었다(그림3).

통로 이동 중 너구리가 전체의 28.7%인 730회로서 가장 많이 촬영되었으며, 그 다음이 시궁쥐가 17.9%로서 455회 촬영되었다. 또한 동물의 이동이 센서에 감지 되었으나 카메라의 후레쉬가 터지지 않았거나, 동물이 카메라의 촬영 범위 밖에 있어 종을 구분하지 못한 경우가 10.5%인 268회였다. 한편 고라니의 경우 이동이 확인 된 경우는 단 7회(0.3%)에 불과하여 현재의 박스형 통로에 대한 거부감이 클 것으로 예상되었다(그림2).

야생동물 교통사고 조사를 통해 발견된 종은 시궁쥐가 20마리로서 21.5%를 차지하였고, 그 다음으로 삶이 17마리로서 18.3%를 차지하였으며, 고라니는 12마리로서 12.9%를 차지하였다(그림3). 따라서 고라니는 교통사고에 희생되는 수에 비해 통로의 이용률이 극히 낮아 교통사고와 서식지 파편화에 매우 취약할 가능성이 있으며, 삶 역시 고라니에 비해 정도가 약하지만 유사한 경향이 있어 비교적 교통사고에 취약할 것으로 예상되었다(그림2, 그림3).

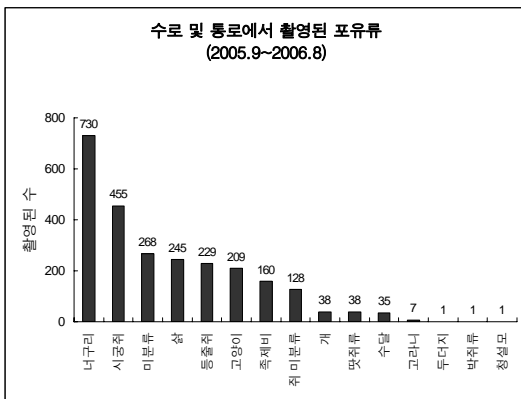


그림 19. 수로 및 통로에서 촬영된 포유류

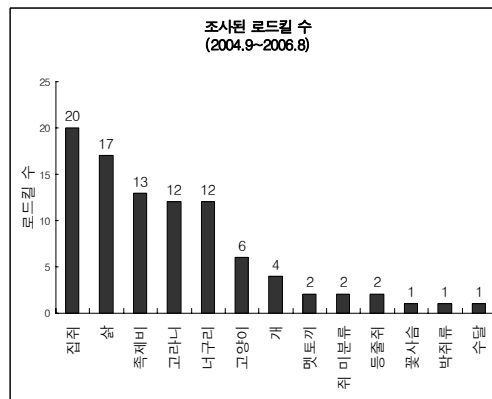


그림 20. 조사된 야생동물 교통사고 수

## 2. 이동통로와 야생동물 교통사고 관계

통로의 이용율과 야생동물 교통사고 발생 수는 강한 정의 상관관계를 보였으며 ( $r=0.890$ )(그림 4), 이는 통로의 이용 빈도가 높아지면 사고 발생이 줄어들 것이라는 일반적인 생각과 다르다. 통로 수의 증감 역시 야생동물 교통사고 발생과 상관관계가 없는 것으로 나타났는데( $r=0.243$ )(그림 5), 이 역시 통로의 수가 많아질 수록 사고가 줄어들 것이라는 일반적인 생각과 다르다. 또한 통로 수의 증감은

통로의 이용률 증감과도 상관이 없는 것을 나타냈으며( $r=0.402$ )(그림 6), 전체 통로의 일부 통로의 이용이 불가능해지는 4월~9월의 시기에 다른 통로들의 이용률이 증가하지도 않았다( $p=0.516 > \alpha=0.05$ ). 게다가 통로가 밀집된 구간 일수록 야생동물 교통사고의 발생이 늘어가는 정의 상관관계( $r=0.559, p<0.093$ )를 매우 약하게 보여 이동통로가 집중되는 구간에서 사고가 줄어들 것이라는 일반적인 예상과도 다르게 나타났다(그림 7).

이러한 이유로는 6.6km라는 해당 도로 구간에 31곳이라는 이용 가능한 통로가 있기 때문에 수로에 물이 많이 차는 7월에 이용 가능한 통로의 수가 46.2%까지 떨어진다 하더라도(표2) 남아 있는 이용 가능한 통로가 약 14.3곳으로서 1km당 2.2곳의 여분이 남아있게 되는데, 이는 가장 흔한 야생동물인 너구리의 행동권이  $0.8\text{km}^2$ (최와 박, 2006)인 점을 고려해 보면 주위진 행동권 내에서도 약 2개의 통로가 이용 가능한 것을 알 수 있듯이 해당 구간에 이미 충분한 통로의 수가 구성되어 있기 때문으로 사료된다.

포획 후 표식기를 부착한 너구리 13개체 중 3개체가 원형수로와 통로박스를 이용하여 지속적으로 도로를 횡단하는 것으로 카메라에 촬영되었으며, 수로에 물이 차는 4~9월 사이에 다른 장소로 이동하여 이용 가능한 통로를 활용하는 행동을 보이지 않았다. 이는 각 개체별로 고유한 행동권과 세력권으로 인해 서로 배타적인 공간의 이용 때문이거나 시기적으로 먹이가 풍부해 행동권을 축소 시켜도 생존에 큰 무리가 없기 때문일 수 있다.

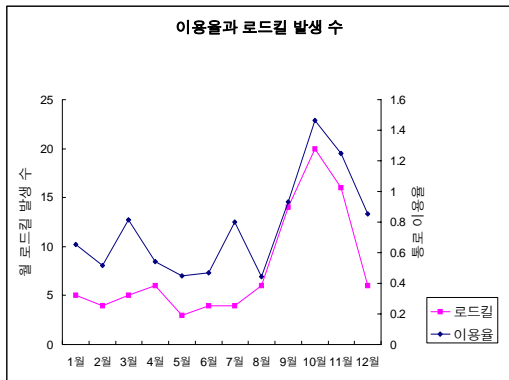


그림 21. 통로 이용률과 야생동물 교통사고

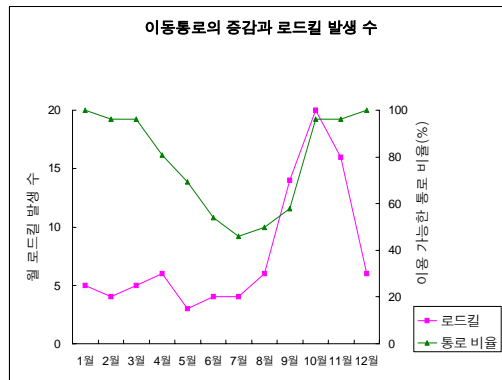


그림 22. 통로의 증감과 야생동물 교통사고

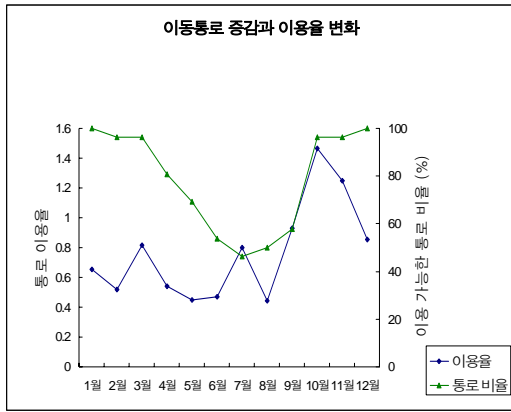


그림 23. 통로의 증감과 통로의 이용률

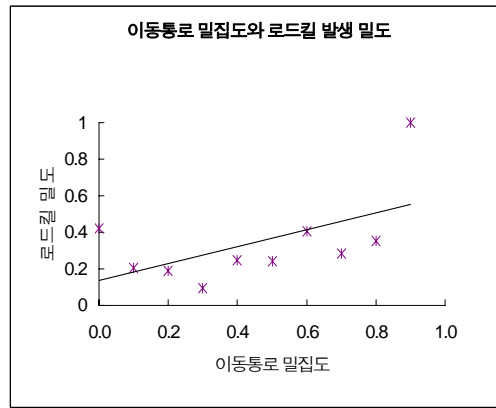


그림 24. 도로 밀집도와 동물교통사고 밀도

표 14. 도로, 야생동물 교통사고, 통행량의 상관관계

월	야생동물 교통사고 수	일 평균 도로 이용률	이용 가능한 도로 비율	야생동물 교통사고 수	일 평균 야간 통행량
1	5	0.652	100.0	5	2422
2	4	0.517	96.2	4	2744
3	5	0.815	96.2	5	3122
4	6	0.540	80.8	6	3449
5	3	0.448	69.2	3	3347
6	4	0.468	53.8	4	3392
7	4	0.799	46.2	4	3257
8	6	0.442	50.0	6	3600
9	14	0.932	57.7	14	3370
10	20	1.465	96.2	20	3090
11	16	1.251	96.2	16	3099
12	6	0.856	100.0	6	2150
상관계수 (Pearson)	0.890**	0.402	0.243	0.075	

\*\* 상관계수는 0.01 수준에서 유의  
 이용률 = (촬영된 총 수)/(카메라 작동된 날 수), (Servheen, 2003)

한편 월별 야생동물 교통사고 수와 월별 일 평균 야간통행량의 변화는 상호 관련이 없는 것으로 나타났다( $r=0.075$ )(표 2). 이는 해당 도로에서의 월별 통행량의 변화에 비해 월별 동물의 이동 변화가 훨씬 크기 때문에 통행량 변화에 따른 야생동물 교통사고 발생 빈도가 표현되지 못한 것으로 사료된다.

### 3. 표식기 개체의 야생동물 교통사고

해당 도로로부터 100m 이내에서 2004년 10월부터 2005년 5월까지 너구리 13개체를 포획하여 귀에 금속 표식기를 부착한 후 방사한 결과, 해당 도로에서 2004년 9월부터 2006년 8월까지 실시된 야생동물 교통사고 조사에서 발견된 총 12개체의 너구리 사체 중 표식기를 부착한 개체는 단 1개체에 불과하였다. 최와 박(2006)은

원격무선추적을 통해 해당 지역에 서식하는 너구리의 평균 행동권이 0.8km<sup>2</sup>로 밝힌바 있는데, 이를 고려해 볼 때 6.6km 구간에서 13개체의 포획은 해당 장소에서 서식하는 상당수의 개체에 표식기를 부착한 것이며, 12개체의 교통사고 발견 역시 매우 높은 수치임을 추정할 수 있다. 그럼에도 불구하고 조사된 12건의 교통사고 중 1개체만이 표식기를 달고 있음은 결국, 교통사고로 희생되는 개체의 상당수가 해당 장소에서 서식하지 않는 개체들이며 새로운 영역의 확보 등의 이유로 이동 중 기존의 통로에 익숙지 못하거나 기존 개체로부터 통로의 이용권을 배척당해 발생하는 것으로 사료된다.

#### IV. 고찰

조사된 도로에는 이미 야생동물의 생태통로 역할을 하고 있는 수로, 통로, 교량 등이 도로 조성 당시부터 40곳(1km당 6.1곳)에 설치되어 있었으며, 이들 통로 중 77.5%인 31곳이 실제 동물들의 이동이 가능한 상태였고, 이중 13곳을 조사한 결과 13곳 모두 동물의 이동이 있었으며, 1년간 총 2,545회의 포유동물 이동을 확인하여 통로 한 곳 당 1일에 평균 0.53회의 포유동물 이동이 있을 정도로 이들 구조물들이 야생동물 이동통로로서의 기능을 하고 있었다. 이러한 수치는 6.6km길이의 해당 도로에서 도로 아래의 통로를 이용한 포유동물의 이동이 31곳의 통로를 이용해 1일 평균 16.6회씩 빈번하게 이루지고 있는 것으로서 도로에 의한 서식지의 단절을 우려할 상황이 아님을 의미한다. 이러한 상황은 산악지형이 많고 인구밀도가 높아 교량, 터널, 박스통로, 수로 등의 구조물들이 필연적으로 많이 조성될 수밖에 없는 우리나라의 현실을 고려해 볼 때 다른 농촌 지역의 도로 역시 유사할 가능성이 크다. 실제 최 등(2006)의 연구에 의하며 전국 8개 도로 총 21.5km 구간에서 86개의 횡단 구조물을 적설 후 1~3일 후에 한차례씩 조사한 결과 44개 구조물에서 67회의 동물 이동 흔적이 발견 된바있다.

그러나 고라니의 경우 1년간 단 6회의 이동이 확인되어 타 종에 비해 서식지의 단절과 교통사고에 대한 취약성이 클 것으로 우려된다. 최 등(2006)의 연구에서는 고라니의 이동이 통로박스에서는 발생하지 않고 교량 아래로만 이용하는 것으로 보고 된바 있다. 센서카메라를 이용한 본 연구의 이동통로 조사에서는 제외되었지만 본 대상지 내에 있는 일부 교량 아래의 경우 1년 내내 빈번하게 고라니가



이동한 발자국 흔적을 발견할 수 있었다. 그러나 교량의 경우 다른 구조물들에 비해 조성된 간격이 클 수밖에 없어 고라니의 서식지를 파편화 시키거나 이동을 위해 부득이 도로 위로 올라와야 하는 기회를 높이게 되므로 향후 고라니의 행동 반경 및 이동특성에 대한 연구가 추가적으로 진행되어 고라니의 이동에 적합한 구조물의 규격 및 적절한 조성 간격에 대한 제시가 있어야 할 것이다.

또한 6.6km 구간에서 2년간 12마리의 너구리 교통사고를 발견하였으나 표식기가 부착된 13개체 중 교통사고에 희생된 개체는 단 1마리였다. 이는 교통사고에 희생되는 상당수의 동물들은 애초 그 장소에서 서식하는 개체가 아니라 새로운 영역을 찾는 등의 이유로 이동을 하면서 해당 도로의 구조물 위치에 익숙지 않거나 이미 서식하고 있는 개체들에게 통로의 이용권을 배제당한 개체들일 가능성이 크다.

연구결과 막연히 이동통로의 수를 늘리거나 이동통로의 설치 간격을 줄인다고 해서 동물의 이동이 늘어나거나 야생동물 교통사고가 줄어든다고 볼 수 없으며, 우리나라처럼 도로에 야생동물의 이동통로 역할을 하는 구조물이 이미 많은 경우에 있어서는 이들 구조물들의 일부가 시기적으로 이용이 불가능해지거나 설치된 통로의 간격에 다소 차이가 있다 하더라도 기존의 동물들이 충분히 이용할 수 있을 정도의 통로가 존재할 수 있을 뿐만 아니라, 각 개체들의 배타적인 공간 이용 때문에 인근의 다른 통로를 다른 무리의 개체들이 동시에 공유 할 수 없는 속성을 지니고 있었다. 결국 현재의 국내 도로 조건에서 충분한 기초 조사 없이 이루어지는 생태통로 건설은 야생동물 교통사고와 서식지 파편화의 저감에 별다른 효과를 주지 못할 수 있다.

따라서 국내 여건 상 농촌지역의 환경에 생태통로를 조성할 경우 목표종을 고라니로 하되 고라니의 거부감이 없는 구조물 규격 및 고라니의 행동권과 이동습성을 고려한 배치 간격을 고려해야 할 것이다. 유사한 지역에서 고라니 이외의 종에 대해서는 노면으로의 침입방지 펜스만으로도 기존 통로로의 유도 역할을 통해 서식지 파편화를 악화시키지 않으면서 야생동물 교통사고 저감에 큰 효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다.

## □인용문헌

1. 최태영, 박종화(2006) 농촌 지역의 너구리 *Nyctereutes procyonoides* 행동권. Journal of Ecology

- and Field Biology. 29(3): 259-263.
2. 최태영, 이용욱, 황기영, 김선명, 박문선, 박그림, 조범준, 박종화, 이명우(2006) 야생동물의 도로 횡단 특성 분석; 도로횡단구조물 상의 눈 위 발자국 조사를 통하여. 한국환경생태학회지. 20(3): 299-304.
  3. 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: 344-352.
  4. 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.
  5. 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: 433-441.
  6. 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.
  7. 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.
  8. 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.
  9. Silverman, B.W.(1986) Density Estimation for Statistics and Data Analysis. New York: Chapman and Hall.