

너구리 로드킬 원인 및 저감방안 연구

권혁수

서울대학교 환경계획연구소

I. 서론

인간 활동을 위한 토지전환은 서식지 훼손 및 고립화를 유발시켜 생물다양성을 유발시키는 위협요인으로 작용하고 있다. 특히 도로건설에 있어 보상비용 절감을 위해, 최근에는 산림지역을 대상으로 도로개설이 증가하고 있다. 이러한 도로의 증가는 인간에게 이동의 편리함을 제공하지만, 야생동물의 이동에는 제약적 요소가 된다(김귀곤, 2000; 이도원, 2001; Forman & Alexander, 1998; Format et al., 2003). 최근에 증가되는 도로건설과 교통량으로 인하여 야생동물은 포식이나 질병에 의한 사망보다는¹⁾ 로드킬에 의한 사망비율이 높은 것으로 나타나고 있다. 이러한 로드킬은 도로와 인접한 곳에 분포하는 야생동물 개체군에게 피해를 줄 뿐만 아니라 차량운전자에게도 심각한 정신적 충격과 경제적 손실을 초래한다. 미국에서는 연간 130여만 마리의 사슴이 차량에 의하여 죽고, 약 2만 9천여 명의 부상자와 200여명의 사망자를 내고 있으며 자동차 수리비용으로 매년 28억불의 경제적 손실을 발생시키는 것으로 추산된다(Format et al., 2003). 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 도로의 계획단계에서부터 면밀한 생태조사와 더불어 경관생태학적 측면에서의 환경영향평가를 통한 도로 노선 및 규모의 검토, 가능하면 터널 및 고가도 활용 등으로 예방적이며, 장기적인 대책의 수립이 요구된다(환경부, 1997). 이것과 더불어 이미 훼손된 지역을 대상으로 적절한 생태적 기능을 회복시켜줄 수 있는 시설과 구조물의 설치가 필요하다. 이를 위해서는 로드킬이 일어나는 지역의 주변 환경이나 도로 인공구조물 등의 정확한 데이터를 수집하여 시기별, 종별 야생동물의 로드킬이 어떠한 인자에 의하여 영향을 받는지를 계량화 하는 것이 필수적인 선행과제라 할 수 있다.

본 연구에서는 포유류 중에서 사고율이 가장 높은 너

구리를 대상으로 로드킬이 일어난 지점의 위치데이터를 수집하고, GIS를 이용하여 로드킬에 영향을 주는 도로 주변 환경인자의 공간정보나 속성정보를 파악하여 서로의 상관관계를 규명하고자 하였다.

위의 과정에서 유효하게 나타난 인자를 추출하고, 추출된 인자에 따른 로드킬 발생확률을 알아보기 위하여 로지스틱 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석 결과를 바탕으로 각 인자들의 영향력이나 고려 우선순위를 알아보고자 하였다. 최종적으로는 위의 자료 및 분석 결과를 통해 앞으로 도시화와 차량의 증가를 통하여 필연적으로 증가되는 도로의 건설에 있어서 보다 생태적인 도로를 건설하는데 기초적인 데이터를 제공하고 이를 토대로 저감방안을 제시하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구범위

본 연구에서는 로드킬 빈도수가 높아 자료의 취득이 비교적 용이하며, 가장자리 종으로서 도로와의 관련성이 높은 너구리(*Nycteres procyonides ussuricnsis* Matschie)를 연구의 대상종으로 삼았다. 연구 대상지역은 지리산이 접하고 있어 서식지 환경이 비교적 우수하며 도로에 의한 야생동물의 로드킬이 다발적으로 일어나고 있는 전라북도 남원과 전라남도 구례간의 19번 산업국도와 도로의 영향이 미치는 인접지역으로 한다(35°22'50.0"N - 35°15'00.0"N, 127°22'50.0"E - 127°30'00.0"E). 데이터 자료는 2003년 1월에서 2004년 5월까지 서울대학교 환경계획연구소의 최태영 연구원이 남원-구례 간 19번 국도를 모니터링한 로드킬 위치자료와 한국 환경기술진흥원의 차세대 핵심환경기술개발사업 "도로의 야생동물 서식지 단절 정도의 분석과 로드

킬 원인분석에 따른 도로유형별·동물종별 관리 기법 개발” 과제에서 수집된 2004년 6월에서 2005년 9월까지의 로드킬 위치자료를 사용하였다.

2. 연구의 방법

도로와 야생동물과의 관계를 정량적으로 규명하는 로드킬 연구, 기존의 야생동물 이동통로 구성에 있어서 고려사항, 구조물의 특성에 관한 연구 등에 관하여 문헌조사를 실시하였다.

로드킬의 발생요인 추출을 위해 GPS를 이용한 위치 데이터를 이용하였다. 구조물 위치데이터와 도로 주변 지형은 현장에서 GPS를 통하여 자료를 수집하였으며, 기존의 수치지도를 참조하여 GIS map에서 정위치 편집을 실시하였다. 그리고 토지이용에 관한 데이터는 국립지리원에서 제공하는 토지이용현황도를 이용하였다.

이러한 자료를 바탕으로 로드킬에 영향을 주는 인자를 파악하기 위하여 χ^2 검정(Chi-square test)을 실시하였다. 이를 통하여 나타난 요인 인자를 토대로 로드킬 발생확률 평가하기 위해 로지스틱 회귀분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 도로구조물

연구대상지의 인공구조물을 크게 통로 암거와 도로 횡배수관, 교량, 펜스, 방음벽, 옹벽, 가드레일로 나누어 조사하였다. 19번 국도구간에서 조사된 도로 횡배수관을 대상으로 반경 500m²⁾를 도로 횡배수관에 의한 이동 영향권으로 설정하여 도로 횡배수관의 영향이 미치는 지역과 도로 횡배수관의 영향이 미치지 않는 지역을 비

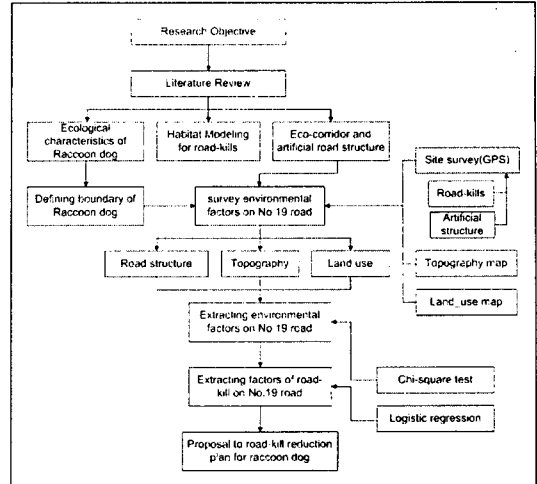


그림 1. 연구의 흐름

교하였다.

총 44마리의 로드킬 발생 수에서 11마리가 도로 횡배수관에 의한 영향권 안에서 발견되었으며 33마리가 영향권 바깥쪽에서 발견되었다. 이를 통하여 도로 횡배수관이 약 32% 정도의 로드킬 저감 효과를 가지고 있는 것으로 보인다.

통로 암거의 경우에는 500m 안에 대부분 로드킬 지점이 몰려 있지만 이는 통로 암거가 도로의 전반에 있어서 고르게 분포하고 있기 때문에 비교할 수 없다. 펜스와 방음벽은 도로 횡배수관과 통로암거와는 달리 야생동물의 이동을 저해하는 요소이다. 야생동물들은 펜스나 방음벽을 따라 이동하다가 개방된 지점을 통하여 도로를 횡단할 가능성이 있으므로, 본 연구에서는 펜스나 방음벽의 끝 지점에서부터 로드킬 발생지점까지 거리에 따른 발생빈도를 계산하였다.

펜스의 경우는 500m 안쪽에서 많은 사고발생률이 일어나는 것이 관찰되는 반면, 교량의 경우는 1,000m이상에서 많이 발견되었다. 이것은 19번 국도에 방음벽 시설이 많이 없어서 대부분의 로드킬 지점에서 상당히 떨어져 있는 것이 위와 같은 결과의 원인이 될 수 있으며, 또

표 1. 너구리 로드킬지점에서 도로 횡배수관까지의 거리별 로드킬 발생밀도

이동영향권	도로의 길이(km)	발견된 너구리로드킬 수	발생밀도(마리/km)
영향권	9.94	11	1.17
비영향권	19.09	33	1.73
합계	29.03	44	

표 2. 너구리 로드킬지점에서 펜스와 방음벽, 교량까지의 거리별 로드킬 빈도

거리	통로암거		펜스		방음벽		교량	
	빈도	%	빈도	%	빈도	%	빈도	%
500m이하	24	55	33	75	20	45	11	25
501m이상 1,000m 이하	15	34	9	20	13	30	6	14
1,001m 이상	5	11	2	5	11	25	27	61
합계	44		44		44		44	

한 방음벽의 설치가 주로 취락시설 쪽으로 설치되어 있기 때문에 실제로 많은 이동이 없는 부분이기도 하다. 교량의 경우는 수로암거와 인접하여 있기 때문에 너구리의 이동이 빈번할 것으로 예상되며, 거리에 따라 사고 발생률도 일정하게 증가하고 있다.

옹벽의 경우는 주로 절토면의 토사유출 방지를 위해 설치한 경우로 절토면의 위치와 거의 일치하며 가드레일은 너구리가 무리 없이 통과할 수 있는 장애물로서 분석에서 배제하였다.

2. 지형

대상지의 지형은 산악지역과 농경지가 혼재되어 있어 지형의 요철이 다양하다. 본 연구에서는 도로의 횡단면을 크게 산림지역을 절토하여 도로를 조성한 절토형 도로와 농경지 등과 같은 평탄지형을 성토하여 도로를 조성한 성토형 도로, 산림의 능선을 따라 한쪽 면만을 절토하여 도로를 조성한 절성토 복합형 도로로 나누었다. 본 대상지에는 기존의 지형과 동일한 높이를 가지는 평탄한 도로는 존재하지 않아 분류에서 제외되었다.

도로 횡단면 요철에 따른 로드킬 발생밀도를 살펴본 결과 복합형 도로에서 가장 빈번하게 너구리 로드킬이 발생하고 성토형 도로, 절토형 도로 순으로 나타났다. 절성토 복합형 도로에는 대부분이 산을 끼고 있으며 맞

은편은 주로 농경지나 수로 암거 등의 토지이용의 형태를 보이고 있다. 이는 서식지에서 먹이나 수분을 섭취하기 위하여 야생동물들이 이동하면서 사고의 빈도가 높은 것으로 예상할 수 있다. 절토형 도로는 절토에 따른 토사 유출 방지를 위한 펜스 구간이 같이 분포하면서 이동을 저해하기 때문에 상대적으로 사고의 빈도가 낮은 것으로 예상된다.

반면 성토형은 절성토 복합형이나 절토형에 비하여 이동할 수 있는 통로가 많이 확보될 수 있다. 실제로도 도로의 방향과 직교하여 야생동물 이동에 도움을 주는 구조물(도로 횡배수관과 통로 암거)의 대부분이 성토형 도로에 집중되어 있음을 확인할 수 있다. 그 밖의 지역은 구조물의 설치가 어렵거나 효율 대비 비용측면에서도 설치하기 힘들다.

경사도의 경우는 대부분 평지에서 사고가 발생하였으며, 이는 평탄한 지형에서 로드킬 발생률이 더 높기보다는 경사도가 너구리 로드킬과 크게 관련없는 것으로 판단된다.

3. 토지이용

대상지역은 산림과 농경지의 면적 비율이 높은 전형적인 농촌의 토지이용 패턴을 가지고 있다. 토지이용은 다른 요소들에 비해 야생동물 이동을 발생시키는 직접

표 3. 도로 횡단면 요철에 따른 로드킬 발생밀도

도로형태	도로의 길이(km)	발견된 너구리로드킬 수	발생밀도(마리/km)
성토형	16.48	25	1.52
절토형	2.82	3	1.32
복합형	9.73	16	1.64
합계	29.03	44	

적인 원인으로 작용할 판단되어 국립지리원의 토지이용 현황도를 크게 농경지, 산림, 건폐지, 수계의 4부분으로 나누었다. 야생동물들이 도로를 횡단하는 목적은 도로 양쪽의 토지이용과 관련성이 있을 것으로 판단하고 44개의 로드킬 지점의 양쪽 토지이용을 살펴보았다. 이를 위하여 농경지, 산림, 건폐지, 수계의 4가지 토지이용형태를 10가지 형태로 조합하였다.

표 4의 조합을 토대로 조사해 본 결과 농경지를 포함하는 토지이용에서 로드킬 발생빈도가 77.2%로 높은 것으로 보아 너구리가 물과 먹이의 확보가 용이한 농경지와 수계를 포함하고 서식하고 있음을 판단할 수 있다. 그리고 산림과 농경지, 산림과 산림에서도 너구리 서식지가 산림과 농경지의 주연부에서 서식함을 유추할 수 있다.

이 밖에도 너구리 로드킬 지점과 수계, 식생과의 거리를 계산하였다.

너구리 로드킬 발생지점에서 500m 이내에 산림과 수

계가 대부분 존재하고 있음을 볼 수 있다.

4. 로지스틱 회귀분석

분석에 앞서 로드킬 발생 지점과 로드킬이 일어나지 않는 지점을 비교하기 위하여 19번 국도를 따라 73개의 임의 지점을 발생시켰으며³⁾, 발생된 임의의 점들은 로드킬 발생지점들과 동일한 방법으로 변수를 입력하였다. 그리고 로드킬이 일어난 지역은 '1'로 임의로 생성된 로드킬이 일어나지 않는 지점은 '0'으로 입력하였다.

입력된 자료를 너구리의 행동권 개념을 토대로 명목 변수화 하였으며 이를 통하여 로드킬이 일어난 지점이나 임의로 발생한 지점으로부터의 거리변수들을 500m 이하, 501m ~ 1,000 m 이하, 1,001m 이상으로 나누었다. 이 밖에 토지이용자료는 국립지리원 토지이용현황도의 대분류를 기초로 하여 10가지 형태로 나누었으며, 도로의 횡단면은 절토면, 성토면, 절성토 복합형으로 나누었

표 4. 토지 이용 조합

형태	토지이용 1		토지이용 2	발생수	%
1	농경지	도로	농경지	17	38.6
2	농경지		산림	5	11.4
3	농경지		건폐지	2	4.5
4	농경지		수계	10	22.7
5	산림		산림	5	11.4
6	산림		건폐지	2	4.5
7	산림		수계	2	4.5
8	건폐지		건폐지	0	0
9	건폐지		수계	1	2.3
10	수계		수계	0	0

표 5. 수계 및 식생으로부터의 거리에 따른 로드킬 발생밀도

	수계로부터의 거리		식생으로부터의 거리	
	빈도	%	빈도	%
500m 이하	42	95.5	42	95.5
501m 이상 1,000m 이하	2	4.5	2	4.5
1,001m 이상	0	0	0	0
합계	44		44	

으며, 경사도는 3° 단위로 구분하였다.

이 변수들의 적합도 검증을 위하여 χ^2 test를 실시하였다. 실시한 결과 95% 유의수준에 만족하여 모든 변수를 선택하였다.

이를 통하여 살펴본 환경요인들 중에서 500m이하 도로 횡배수관(D_HUME), 1km 이상의 도로 횡배수관(D_HUME2), 절토형 도로(T_TOPO1)만이 유의적으로 나타났다. 나머지 변수들은 다른 독립변수들이 모형에 존재할 때 분류예측력이 낮다고 할 수 있다.

도로 횡배수관의 경우는 한 지점에서 도로 횡배수관이 1km 이상 밖에 있으면 500m 이내에 있을 때보다 9.207배 로드킬 확률이 높아지며, 도로의 횡단면의 경우는 성토형 도로보다 절토형 도로에서 로드킬이 일어날 확률이 0.009배 감소한다.

나머지 부분은 유의수준을 기각함에 따라 나머지 변수를 동일하게 고정하고 변수를 포함할 경우와 제거할 경우를 비교하여 설명하도록 한다. 이를 통하여 도로 횡배수관은 1km이상에서, 통로암거은 점진적으로 로드킬 발생률이 증가하는 경향을 보이는 반면에 펜스와 산림의 경우는 거리가 멀어질수록 로드킬 발생률이 감소하는 경향을 보인다. 수계의 경우는 거리가 멀어질수록 사고 발생률이 증가한다. 이는 수계가 도로를 가로지를 때 통로를 만들어 주기 때문에 상대적으로 수계가 가까울수록 감소하는 경향을 보일 수 있다. 또한 도로의 횡단면의 경우에는 성토형 도로, 절성토 복합형도로, 절토형 도로 순으로 로드킬 발생률이 높다. 도로의 좌우에 산림과 농경지가 있는 경우와 산림과 산림이 있는 경우 비교 로드킬 발생률이 감소하는 경향을 보였다. 경사도의 경우에는 4 ~ 6° 사이 비교적 로드킬 발생률이 증가하는 경향을 보이지만 나머지 부분은 Wald값이 낮고 빈도가 적어서 유의한 값이라 할 수 없다.

이 모형의 분류정확도는 Road-kill 에서는 61.4%를 예측하였으며 Non_road-kill에서는 90.4%를 예측하여 전체적으로는 79.5%라는 비교적 높은 분류정확도를 나타내었다.

IV. 결론

본 연구의 목표는 너구리를 대상으로 로드킬을 일으키는 주변 환경 인자를 파악하여 도로에서 너구리의 로드킬 발생 확률을 예측하는 모형을 만드는 데 있다. 본

연구 결과를 통하여 기존의 도로에 있어서의 생태이동 통로 설치나 향후 친환경적인 도로 건설에 있어서의 기초자료를 마련하고자 한다.

본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 도로 횡배수관의 경우 도로 횡배수관의 500m 범위 안에서 너구리 로드킬 발생 저감시키는 것으로 나타났다. 특히 도로 횡배수관의 1km 범위 안에서는 로드킬 발생확률이 현저히 저감되는 것을 모형을 통해 확인할 수 있었다.

둘째, 도로의 횡단면의 경우는 성토형 도로, 절성토 복합형 도로, 절토형 도로 순으로 너구리 로드킬이 일어나며 성토형 도로에 비하여 절토형 도로에서 너구리 로드킬 발생확률이 현저히 저감되는 것을 모형을 통해 확인할 수 있었다.

셋째, 통로암거과 수계의 경우에는 거리가 가까울수록 너구리 로드킬 발생이 저감되는 경향을 보이고 있다. 이는 두 요인 모두 통로로서의 역할을 하고 있기 때문으로 판단되며, 수계의 경우는 주로 수로암거나 교량과 동반하여 통로 역할을 하고 있음을 현장을 통해 확인할 수 있었다.

넷째, 산림과 펜스의 경우 가까울수록 사고가 일어날 확률이 높게 나타나는 경향을 보였다. 이는 산림이 양호한 서식지를 제공하기 때문에 인근에 개체수가 많은 것으로 요인으로 분석할 수 있으나 전반적으로 도로가 산림과 가까이 있기 때문에 유의한 결과로 보기는 힘들다. 다만 농경지 주변에서 로드킬이 일어나는 빈도가 가장 많아 산림과 농경지를 빈번히 이동한다는 것을 유추할 수 있다. 그리고 펜스의 경우 너구리가 이동시 펜스에 의해 이동을 못할 경우 펜스를 따라 이동하다가 개방된 끝나는 지점에서 도로를 건너는 것으로 판단된다. 이로 인하여 펜스 끝 지점에서 가까울수록 사고 확률이 높다.

이러한 결과를 통하여 너구리 로드킬 저감방안을 제안할 수 있다. Clevenger *et al.*(2003)은 소형포유류의 도로 횡단을 막기 위해 150m에서 300m 간격으로 암거를 설치할 것을 제안하였으나 본 연구의 결과로 유추하여 볼 때 1km 간격으로 암거를 설치하더라도 너구리 로드킬 저감효과를 볼 수 있을 것이다. 또한 펜스나 방음벽, 가드레일과 같은 도로 진입 방지책은 그 시설물이 끝나는 지점에 암거 설치하거나 완전히 차단하는 것이 효과적일 것이다. 이는 도로의 건설비용에 있어서 매우 작은 부분에 지나지 않기 때문에 도로 설계 시에

이러한 지침을 포함한다면 소형 포유류의 이동에 있어서 상당한 생태적 효과를 가져 올 것이다.

본 연구의 한계는 다음과 같다.

첫째, 너구리의 표본 수가 44개로서 연구에서 선정한 변수를 다루기에 부족했다. 둘째, 로지스틱 회귀모형의 한계로서 비출현 자료의 선정에 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 랜덤하게 점들을 발생하였으나 이 점들이 모두 비출현이라고 가정하기에는 문제가 있다. 셋째, 정확한 너구리 행동권 자료 확보가 미흡한 관계로 정확하게 명목형 변수를 나누는데 한계가 있었다. 넷째, 도로의 주변 환경에 중점을 두었기 때문에 너구리의 행동생태학적 고려가 미흡하였다. 다섯째, 단일표본으로 단일 지역을 연구하였기 때문에 로드킬이 일어나는 여러 다른 변수를 고려하기에 한계점이 있다.

보다 정확한 연구를 수행하기 위해서는 여러 형태의 도로에서 포유류 전반에 관한 연구가 수행되어야 할 것이며, 이와 더불어 좀 더 정확한 행동권 연구도 수반되어야 할 것이다.

인용문헌

1. 김귀곤, 최영준, 손삼기(2000) 단편화된 서식처의 연결을 위한 야생동물 이동통로의 조성. 한국조경학회지 28(1):70-82.
2. 이도원(2001) 경관생태학: 환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리. 서울: 서울대학교 출판부.
3. 환경부(1997) 도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술의 개발.
4. 환경기술진흥원(2005) 도로의 야생동물 서식지 단절 정도의 분석과 road-kill의 원인 분석에 따른 도로유형별·동물종별 관리기법 개발:미발표 문건.
5. Cleverger, A. P., B. Chruszcz, and K. E. Gunson(2003) Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregation. *Biological Conservation* 109:15-26.
6. Forman, R.T.T. et al.(2003) *Road Ecology: Science and Solutions*. Washington, D.C.:Island Press.
7. Forman, R. T. T. and L. E. Alexander(1998) Roads and Their Major Ecological Effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 207-231.
8. Saeki, M.(2001) Ecology and Conservation of Raccoon Dog (*Nyctereutes Procyonoides*) in Japan. DhD thesis, University of Oxford.