

연구노트

국내 포유동물에 적합한 생태통로의 유형과 규격

최태영 · 양병국 · 우동걸

국립환경과학원 환경자원연구부 자연평가연구팀
(2011년 7월 20일 접수, 2011년 12월 5일 승인)

The Suitable Types and Measures of Wildlife Crossing Structures for Mammals of Korea

Choi, Tae Young · Yang, Byeong Gug · Woo, Dong Geol

Ecosystem Assessment Division, Environmental Resources Research Department,
National Institute of Environmental Research

(Manuscript received 20 July 2011; accepted 5 December 2011)

Abstract

In this study, suitable types and measures of Wildlife Crossing Structures (WCS) for mammals of Korea were analyzed to suggest basic information for design guidelines of WCS. In order to find the types and measures, we conducted field surveys on 79 WCS and literature reviews on 159 WCS.

The results of our study were as follows; Small-medium sized carnivores usually use all measures of wildlife underpass, meanwhile large sized herbivores as water deer need larger measures than 0.7 Openness Index(OI). Furthermore, we found that wildlife overpasses were usually used at the measure of 6.8 m width by every mammal. Therefore, we concluded that the proper measures should be larger than 0.7 OI for underpass and 7 m width for overpass.

Keywords : Overpass, Underpass, eco-bridge, road-kill

1. 서론

도로는 서식지 파편화와 많은 생물 종의 생존을 위협하는 가장 파괴적인 단일 요소이며(Noss 1993), 야생동물 개체군의 존속을 위해서는 공간적 이동, 개체군간의 이동, 자유로운 분산과 이입이 필

요하지만 도로는 이러한 이동을 저해하는 요인이다 (Forman *et al.*, 2003). 또한 도로에 의해 발생하는 로드킬은 운전자의 안전과 생물종의 보존, 생명에 대한 윤리적인 차원에서 매우 심각한 문제이다 (Seiler, 2005).

우리나라 역시 도로와 같은 선형(線形) 구조물이

국가적 생태네트워크 구축에 가장 큰 위협요인으로 지적되고 있으며(환경부, 2002), 이를 극복하기 위해 전국적으로 2007년 12월 현재 총 379개소의 생태통로를 조성하였다(환경부, 2008). 그러나 로드킬에 대한 우려와 생태통로에 대한 효율성 논란은 계속되고 있으며, 이는 생태통로의 설계, 시공 및 사후관리 미흡에 기인하고 있다(환경부, 2006).

한편 환경부는 백두대간, 비무장지대, 도서연안 지역을 국가차원의 3대 핵심생태축으로 설정하였으며, 이들 핵심생태축과 연결되는 광역생태축 및 도시생태축을 설정하여 국토 생태네트워크의 구축을 계획하고 있다(환경부, 2007a). 그러나 이들 생태축의 규모에 따라 서식지를 연결함에 있어서 적용해야 할 생태통로의 유형과 규격에 대해서는 연구가 극히 적은 실정이다.

본 연구는 과거 2003년도에 발표된 환경부의 '생태통로 설치 및 관리지침'을 2010년도에 국내의 환경에 맞게 전면 개정하는 데 활용하기 위해 수행하였다. 이를 위해 국내 생태통로의 포유동물 종별 이용에 대한 현장조사와 더불어 기존의 연구에서 발표된 결과를 분석하였으며, 이를 통해 총 238개소(생태통로 136개소, 도로횡단구조물 102개소)에서의 자료를 통해 국내 포유동물의 이동에 적합한 생태통로의 유형과 규격을 제시하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 생태통로의 야생동물 이용에 대해 현장조사를 통한 분석과 기존 연구결과의 분석으로 나누며, 분석결과를 동물 종 별로 이용 가능한 생태

통로의 유형과 규격으로 나누어 정리하였다.

생태통로의 유형은 동물이 도로 위의 구조물로 지나는 육교형과 도로 아래로 지나는 터널형으로 구분하였으며, 터널형은 구조물 유형에 따라 교량하부형, 통로박스형, 통로아치형, 파이프형으로 세분하였다(표 1).

생태통로의 규격은 육교형의 경우 통로의 너비를 파악하였으며, 터널형 통로의 경우 개방도 지수(Openness Index)를 계산 하였다. 통로의 개방도 지수는 터널형 통로의 입구면적을 통로의 길이로 나눈 것으로서 주로 사슴과(科) 동물처럼 개방감이 큰 구조물을 선호하는 동물에게 적합한 터널형 생태통로의 규격을 제시하기 위해 이용되고 있다(Reed and Ward, 1985; Clevenger and Waltho, 2003; Gordon, 2003).

1. 현장 조사

생태통로의 동물 종별 이용에 대한 현장조사는 2007년 1월~12월까지 1년간 이루어졌으며, 2006년 12월까지 환경부에 등록된 전국 252곳의 생태통로 중 지리적 위치와 과거 연구에서의 조사 여부 등을 고려하여 총 69곳을 선정하여 1회씩 조사하였다. 또한 조사 과정 중 환경부에 당시 보고되지 않은 10개소의 시설을 추가하여 총 79개소를 조사하였다(표 2).

조사 방법은 생태통로를 이용한 포유동물이 남긴 발자국, 분변 등의 흔적조사 방법(최태영·최현명, 2007)을 통해 동물 종을 구분하였으며, 해당 생태통로의 유형과 규격을 기록하였다. 포유동물의 생태통로 이용 여부는 해당 동물의 흔적이 생태통로

표 1. 생태통로 유형 (그림: White, 2007)






| 육교형 | 터널형 | | | |
|---|---|---|--|---|
| | 교량하부형 | 통로박스형 | 통로아치형 | 파이프형 |
|  |  |  |  |  |

표 2. 현장 조사된 생태통로 목록

| 번호 | 도로구분 | 설치위치 | 설치형태 | 규격(m) (L×W×H) | 번호 | 도로구분 | 설치위치 | 설치형태 | 규격(m) (L×W×H) |
|----|------|---------------|------|------------------|----|------|--------------|--------|---------------|
| 1 | 지방도 | 구례군 광의면 (시암재) | 터널형 | 15×6×5 | 41 | 국도 | 김천시 대덕면 추량리 | 기타 | L=200,H=1.7 |
| 2 | 국도 | 여주군 여주읍 매룡리 | 터널형 | 29×8×4.5 | 42 | 국도 | 진주시 이반성면 발산리 | 육교형 | 46 × 40 × 8 |
| 3 | 국도 | 속초시 설악면 사룡리 | 기타 | 20×21.0(2연)×5.0, | 43 | 국도 | 합천군 가야면 죽전리 | 터널형 | 3.0×1.5 |
| 4 | 국도 | 가평군 청평면 상천리 | 터널형 | 20×2.0×2.0 | 44 | 국도 | 합천군 가야면 성기리 | 터널형 | 3.0×1.5(2연) |
| 5 | 국도 | 가평군 북면 도대리 | 터널형 | 12×3.0×2.0 | 45 | 국도 | 합천군 가야면 죽전리 | 터널형 | 65*φ1.2 |
| 6 | 국도 | 가평군 북면 도대리 | 터널형 | 12×2.0×2.0(2연) | 46 | 국도 | 합천군 가야면 성기리 | 터널형 | 18.2*φ1.2 |
| 7 | 국도 | 가평군 북면 적목리 | 터널형 | 15×φ1.2 | 47 | 국도 | 합천군 가야면 구원리 | 기타 | 100 |
| 8 | 국도 | 가평군 북면 적목리 | 터널형 | 20×2.0×2.0(2연) | 48 | 국도 | 밀양시 산내면 삼양리 | 터널형 | 134×1.0×0.3 |
| 9 | 국도 | 가평군 북면 적목리 | 터널형 | 12×1.5×1.5 | 49 | 국도 | 밀양시 산내면 삼양리 | 기타 | 181×2.0×1.5 |
| 10 | 국도 | 포천시 이동면 도평리 | 터널형 | 21×3×2.5 | 50 | 지방도 | 광주광역시 봉산동 | 터널형 | 18×φ0.8 |
| 11 | 국도 | 포천시 이동면 도평리 | 기타 | 10×11×8 | 51 | 지방도 | 광주광역시 봉산동 | 육교형 | 76×2×37 |
| 12 | 국도 | 포천시 이동면 도평리 | 기타 | 10×28.4×3 | 52 | 지방도 | 광주광역시 봉산동 | 터널형 | 18×φ1.0 |
| 13 | 국도 | 포천시 이동면 도평리 | 기타 | 10×15×1.3 | 53 | 지방도 | 무주군 부남면 장안리 | 육교형 | 30×10.7×5.3 |
| 14 | 국도 | 화천군 상서면 다목리 | 터널형 | 3.55×2.8×6.1(2연) | 54 | 지방도 | 고창군 고창읍 월곡리 | 육교형 | 40×20×5.3 |
| 15 | 국도 | 화천군 상서면 다목리 | 터널형 | 18×2.4×3.0 | 55 | 지방도 | 장수군 장계면 명덕리 | 육교형 | 30×11×4.5 |
| 16 | 국도 | 인제군 기린면 원대리 | 터널형 | 1.0×9.0(2연) | 56 | 지방도 | 장수군 변암면 복성리 | 터널형 | 10.6×4×4 |
| 17 | 국도 | 홍천군 서석면 생곡리 | 터널형 | 14×2.0×2.0(2연) | 57 | 지방도 | 구례군 산동면 둔사리 | 육교형 | 11×20 |
| 18 | 국도 | 홍천군 서석면 생곡리 | 터널형 | 20.1×3.0×2.5(2연) | 58 | 지방도 | 김천시 구성면 마산리 | 육교형 | 15×16×10.7 |
| 19 | 국도 | 남원시 이백면 (여원재) | 육교형 | 31.0×14.7×7.8 | 59 | 지방도 | 진해시 안민고개 | 육교형 | 23.95×6×11.2 |
| 20 | 국도 | 장수군 장계면 (육십령) | 육교형 | 30.0×13.7×5.1 | 60 | 지방도 | 창원시 양곡동 | 육교형 | 43×6×13 |
| 21 | 국도 | 무주군 무풍면 삼거리 | 터널형 | 1.2×0.9 | 61 | 지방도 | 남해군 남면 흥현리 | 터널형 | 20×8×4.5 |
| 22 | 국도 | 무주군 설천면 월현리 | 터널형 | 2.0×1.0 | 62 | 고속국도 | 강릉시 구정면 어단리 | 육교형 | 35×6.8 |
| 23 | 국도 | 순창군 구림면 운북리 | 터널형 | 1.5×1.5 | 63 | 고속국도 | 강릉시 사천면 석곡리 | 육교형 | 40×6.8 |
| 24 | 국도 | 순창군 구림면 운북리 | 터널형 | 2×1.5 | 64 | 고속국도 | 원주시 횡성읍 갈풍리 | 터널형 | 53.2×3.5×3.5 |
| 25 | 국도 | 순창군 구림면 운북리 | 터널형 | 2×1.5 | 65 | 고속국도 | 강릉시 성산면 보광리 | 터널형 | 60×6.0×3.0 |
| 26 | 국도 | 순창군 쌍치면 방산리 | 터널형 | 4.0×2.0 | 66 | 고속국도 | 강릉시 성산면 보광리 | 터널형 | 56.6×6.0×3.0 |
| 27 | 국도 | 순창군 쌍치면 방산리 | 터널형 | 4.0×2.1 | 67 | 고속국도 | 고성군 대가면 송계리 | 터널형 | 37×φ1.2 |
| 28 | 국도 | 진안군 부귀면 봉암리 | 기타 | L=558, H=1.5 | 68 | 고속국도 | 고성군 대가면 송계리 | 터널형 | 37×φ1.2 |
| 29 | 국도 | 완주군 소양면 신원리1 | 기타 | L=280, H=1.5 | 69 | 고속국도 | 진주시 정촌면 화계리 | 터널형 | 32.8×4.5×4.5 |
| 30 | 국도 | 고흥군 풍양면 상림리 | 터널형 | 22.0×3.0×2.5 | 70 | 미등록 | 장성군 북이면 원덕리 | 유도펜스 | 82 |
| 31 | 국도 | 장성군 북하면 약수리 | 터널형 | 4.0×2.0(2연) | 71 | 미등록 | 홍천군 내면 방내리 | 유도펜스 | 유도펜스 |
| 32 | 국도 | 장성군 북하면 약수리 | 터널형 | φ0.6 | 72 | 미등록 | 남양주시 도둑리 | 육교형 | 20×20×5 |
| 33 | 국도 | 곡성군 오산면 선세리 | 터널형 | 1.2×1.0 | 73 | 미등록 | 창녕읍 창녕향교 뒷산 | 육교형 | 47×8×5 |
| 34 | 국도 | 곡성군 오산면 선세리 | 터널형 | 4.0×4.1 | 74 | 미등록 | 성주군 수륜면 백운리 | 유도펜스 | 양서류 유도펜스 |
| 35 | 국도 | 고흥군 점암면 사정리 | 육교형 | L=49.2, B=15 | 75 | 미등록 | 성주군 수륜면 백운리 | 수로박스개선 | 이동턱 설치 |
| 36 | 국도 | 곡성군 오산면 선세리 | 터널형 | 하상에 18 | 76 | 미등록 | 성주군 수륜면 | 수로박스개선 | 이동턱 설치 |
| 37 | 국도 | 구례군 토지면 파도리 | 육교형 | L=19.67, B=8.03 | 77 | 미등록 | 성주군 수륜면 | 수로박스개선 | 이동턱 설치 |
| 38 | 국도 | 구례군 토지면 파도리 | 터널형 | 36*φ1.0(3연) | 78 | 미등록 | 성주군 변진면 매수리 | 유도펜스 | 유도펜스 |
| 39 | 국도 | 김천시 어모면 동좌리 | 육교형 | L=60, B=21 | 79 | 미등록 | 성주군 변진면 매수리 | 유도펜스 | 양서류 유도펜스 |
| 40 | 국도 | 성주군 수륜면 백운리 | 기타 | L=100,H=1.7 | | | | | |

내에 존재하거나 생태통로 입구에 난 발자국이 통로 안쪽으로 연결된 경우에만 통로를 이용한 것으로 판단하였다.

2. 기존 연구결과 분석

국내 포유동물의 생태통로 이용에 대해 기술된

2007년 12월까지의 학술 논문과 연구보고서 자료를 취합하여 동물 중 및 구조물의 유형과 규격을 정리하였다.

연구보고서는 국회도서관 및 환경부의 환경종합 디지털도서관 등을 이용하거나 발행기관으로 부터 직접 확보하여 분석하였다. 확보한 보고서들의 제목과 내용이 연구서인지 지침서인지 등의 성격이 모호한 경우가 많았으며, 이로 인해 분석한 연구보고서의 범위를 정부와 공공기관이 발행한 조사보고서, 방안서, 지침서, 기준서 등의 제목이 포함된 단행본으로 하였다(표 3). 또한 수로관, 수로박스, 통로박스, 육교 등의 도로횡단구조물을 이용한 동물

의 이동을 기록한 논문(최태영 등, 2006; 최태영, 2007) 및 보고서(환경부, 2007b)도 분석에 포함되어 동물 중별 이용 가능한 규격과 유형을 파악하는데 활용하였다.

논문과 연구보고서에 기술된 생태통로의 이용 동물에 대한 기록은 해당 연구에서 현장조사를 통해 확인된 사례만을 본 논문에 적용하였으며, 청문이나 타문헌의 인용을 통해 기록한 내용은 제외하였다. 또한 문헌으로 보고되지는 않았으나 관련기관이나 개인 연구자에 의한 생태통로 모니터링 중 사진촬영을 통해 이용 동물이 확인된 사례를 포함하였다.

표 3. 생태통로 관련 국내 연구보고서 목록

| 번호 | 발간년도 | 제목 | 연구수행기관 | 발행기관 | 관련부처 | |
|----|------|--|----------------------|---------|----------|-------|
| 1 | 1999 | • 도시지역에서의 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발 VOL.2 | 서울대학교 | 환경부 | 환경부 | |
| 2 | 2001 | • 자연생태계 복원을 위한 야생동물 이동통로 설치지침 | 환경부 | | | |
| 3 | 2002 | • 효율적인 생물서식공간 조성기술 개발 | 서울대학교 | | | |
| 4 | 2003 | • 야생동물 이동통로 설치 및 효율적 관리방안에 관한 연구 | 서울대학교 | | | |
| 5 | 2003 | • 자연생태계 복원을 위한 생태통로 설치 및 관리지침 | 환경부 | | | |
| 6 | 2004 | • 생태통로 설계기법 지침서 | 서울대학교 | | | |
| 7 | 2004 | • 지속가능한 도시녹지 조성을 위한 생태통로 설계기법 개발 | 서울대학교 | | | |
| 8 | 2006 | • 전국 생태통로 설치 기본계획 수립방안 연구 | 한국환경정책·평가연구원 | | | |
| 9 | 2007 | • 도로의 야생동물 서식지 단절 정도의 분석과 ROAD-KILL의 원인분석에 따른 도로유형별·동물종별 관리기법 개발 | 서울대학교 | 국립환경연구원 | | |
| 10 | 2007 | • 야생동물 로드킬(ROAD-KILL) 예방·관리 대책 | 환경부 | | | |
| 11 | 1998 | • 인위적요인에 의한 생물다양성 감소에 관한 연구(Ⅱ): 생태통로 조성지침 개발 | 국립환경연구원 | | | |
| 12 | 2006 | • 야생동물 로드킬 방지시설 설치기법 연구: 백두대간 지역을 중심으로 | 국립환경과학원 | | | |
| 13 | 2006 | • 야생동물 개체군의 생태학적 특성연구 | 국립환경과학원 | | | |
| 14 | 2004 | • 야생동물 이동통로의 설치현황과 국내·외 설치사례 조사보고서: 육교형 및 터널형 이동통로를 대상으로 | 대구지방환경청 | | 대구지방환경청 | |
| 15 | 2006 | • 경북지방 4차선 이상 주요간선도로 야생동물 로드킬 조사연구 보고 | 대구지방환경청 | | | |
| 16 | 2003 | • 오대산 월정사-상원사 ECO-ROAD 장기 모니터링: 동물이동통로 설치를 중심으로 | 국립공원관리공단·한국자연환경연구소 | | 국립공원관리공단 | |
| 17 | 2002 | • 생태이동통로 설치를 위한 생태조사 연구 | 서울대, 서울여대, 한국야생동물연구소 | | 건설교통부 | 건설교통부 |
| 18 | 2004 | • 일반국도 주변 생태이동통로 정비기본계획 수립 연구 | (사)시민환경연구소 | | | |
| 19 | 2006 | • 생태이동통로 설치를 위한 생태조사 연구 | (사)시민환경연구소 | | | |
| 20 | 2007 | • 조경설계기준 | (사)한국조경학회 | | | |
| 21 | 1999 | • 동물이동통로 설치요령 및 적용사례 | 한국도로공사 | 한국도로공사 | | |
| 22 | 2003 | • 생태통로설계기준과 주변 부대시설 조성방안에 관한 연구 | 한국자연환경연구소, (주)다산이앤씨 | | | |
| 23 | 2006 | • 고속도로 동물사고 방지대책에 관한 연구 | 한국도로공사 도로교통기술원 | | | |
| 24 | 2004 | • 환경친화적인 도로건설 지침 | 한국환경정책·평가연구원 | 건교부·환경부 | 건교부·환경부 | |
| 25 | 2004 | • 경기도 예코브리지 조성 및 관리방안 수립 | 경기개발연구원 | 경기도 | | |
| 26 | 2006 | • 생태통로의 조성효과 분석 및 관리매뉴얼 작성 | 서울시정개발연구원 | 서울시 | | 지자체 |

표 4. 종별 이용이 확인된 생태통로의 유형과 규격: 본 현장조사 결과

| 종 명 | 생태통로 유형 | 규격* (m) | 종 명 | 생태통로 유형 | 규격* (m) |
|-----|---------|---------------|-----|---------|---------|
| 멧토끼 | 육교형 | 125/20 | 고라니 | 육교형 | 6.8/35 |
| | 통로아치 | 6, 3/60 | | | 6.8/40 |
| 너구리 | 통로박스 | 3.5×3.5/53 | | | 40/46 |
| | | 4.5×4.5/33 | | | 6/43 |
| | 파이프형 | D1.2/28 | | | 47/12 |
| | | D1.2/28 | | | 20/11 |
| 족제비 | 파이프형 | D1.2/28 | | | 49/23 |
| | | D1.2/28 | | | 125/20 |
| | 통로박스 | 4.5×4.5/33 | | | 30/11 |
| | | 4×4/11 | | | 통로아치 |
| | | 3.5×3.5/53 | | | |
| 수달 | 통로박스 | 3×3/30 | 노루 | 육교형 | 16/15 |
| 오소리 | 육교형 | 30/11(실제5/11) | 멧돼지 | 육교형 | 31/15 |
| 삵 | 통로아치 | 6, 3/60 | | | 6.8/35 |
| | 통로박스 | 3.5×3.5/53 | | | 40/46 |
| | 육교형 | 16/15 | | | 20/11 |
| | | 20/11 | | | 49/23 |

* 규격 육교형:너비/통로길이, 통로아치:지름×높이/통로길이, 통로박스:너비×높이/통로길이

III. 연구 결과 및 고찰

1. 현장조사 결과

현장조사 결과 기존 수로박스 등의 구조물과 연결된 펜스를 설치하여 동물이 해당 구조물만을 이용해 도로를 건널 수 있도록 유도하는 경우에도 생태통로로서 등재되어있는 사례가 다수 확인되었다. 생태통로의 정의와 분류에 대한 국제적 기준은 없으나, Cramer and Bissonette(2006)에 의하면 생태통로(야생동물 이동통로)는 동물 이동을 목적으로 도로 또는 철도에 새롭게 설치했거나 동물 이용이 가능토록 개선한 통로를 의미하며, 이에 따라 북미 전역의 생태통로 현황을 파악한 바 있다. 따라서 유도펜스 구간 내에 존재하는 수로박스 등의 구조물은 생태통로로 정의되지 않지만, 해당 수로박스 내부에 이동턱이 설치되거나 진입하기 용이하도록 입구에 경사로를 조성한 경우에는 생태통로의 범주에 포함된다. 위 기준에 따를 경우 본 연구에서 조사한 69개소의 환경부 목록 중 실제 생태통로는 49개소였으며, 9개소는 펜스만이 설치되어 있었고, 11곳은

해당 구간에서 관련 시설물을 찾을 수 없었다. 조사 과정 중 발견한 환경부 미등록 10개소를 포함하여 현장 조사된 총 79곳 중 실제 생태통로로 분류될 수 있는 구조물은 54곳(환경부 목록 49, 미등록 5)이었으며 이 중 23곳의 생태통로에서 야생동물의 이동흔적이 발견되었다.

조사결과 너구리, 족제비, 수달, 삵, 고양이와 같은 중소형 육식동물들은 파이프형이나 통로박스과 같은 터널형 생태통로에서 주로 확인되었으며, 고라니, 멧돼지, 멧토끼와 같은 초식동물은 주로 육교형 생태통로에서 이동이 확인되었다(표 4).

2. 기존연구 분석결과

로드킬 및 생태통로 관련 국내의 보고서는 1998년에 국립환경연구원(현 국립환경과학원)의 보고서를 시작으로 2007년 12월까지 총 26건이 발간된 것으로 파악되었다. 이들 보고서 중 생태통로에 대한 현장조사를 실시하여 통로를 실제 이용하는 종을 파악한 보고서는 3건이었다(환경부, 2003a; 국립환경과학원, 2006; 한국도로공사, 2006). 또한

이들 보고서 이외에 생태통로는 아니지만 수로관, 수로박스, 통로박스과 같이 동물의 이용이 가능한 도로의 횡단구조물을 조사한 학술 논문이 2건이었다(최태영 등, 2006; 최태영, 2007). 이 중 환경부(2003a), 최태영 등(2006)의 조사는 1회 조사였으며, 국립환경과학원(2006), 한국도로공사(2006), 최태영(2007)의 조사는 반복 조사였다.

각 연구별로 조사된 생태통로의 수는 환경부(2003a)의 조사가 39개소, 국립환경과학원(2006)

10개소, 한국도로공사(2006) 8개소, 최태영 등(2006) 86개소, 최태영(2007) 16개소의 통로에 대한 조사가 이루어져 총 159개소의 자료가 취합되었다.

이들 조사의 취합 결과 육교형에서는 수달을 제외한 조사된 모든 포유동물의 이동이 확인되었다. 동물 별 이동특성으로는 너구리와 삼은 파이프형을 포함한 모든 유형의 생태통로를 이용하였으며, 고라니, 노루, 멧돼지는 육교형에서 이동이 주로 확인되었다(표 5).

표 5. 종별 이용이 확인된 생태통로의 유형과 규격: 기존 연구결과 취합(국립환경과학원, 2006; 최태영 등, 2006; 최태영, 2007; 한국도로공사, 2006; 환경부 2003a)

| 종 명 | 생태통로 유형 | 규격* (m) | 종 명 | 생태통로 유형 | 규격* (m) | |
|--------------|------------|---------------|--------------|------------|--------------|------------|
| 멧토끼 | 통로박스형 | 4.3×4.3/26.4 | 삼 | 교량하부형 | 16/21 | |
| | | 4×4/34.5 | | | D0.8/45 | |
| | 통로아치형 | 6.7, 3/15 | | 파이프형 | D0.8/35 | |
| | 육교형 | 4.3×4.3/26.4 | | | 34/23 | D0.8/30 |
| | | | | | 33/11 | D0.8/28 |
| | | | | | 31/70 | D1.2/32 |
| | | | | | 20/30 | D1.2/34 |
| | | | | | 31/14 | 통로박스형 |
| | | | | 33/35 | 2.0×2.0/29 | |
| | 22.4/30 | 2.5×2.5/50 | | | | |
| 너구리 | 교량하부형 | 4.3×4.3/26.4 | 통로아치형 | 3.0×3.0/29 | | |
| | | | | 파이프형 | D0.8/45 | |
| | D0.8/35 | 3.5×3.5/28 | | | | |
| | D0.8/30 | 3.5×3.5/32 | | | | |
| | D0.8/28 | 4.3×4.3/26.4 | | | | |
| | D1.2/32 | 6, 3/60 | | | | |
| | D1.2/34 | 6.7, 3/15 | | | | |
| | 멧토끼 | 통로아치형 | 6.7, 3/15 | 육교형 | 6.8/35 | |
| | | | | | 육교형 | 2.0×2.0/29 |
| | | 2.5×2.5/50 | 34/23 | | | |
| 3.0×3.0/29 | | 20/12 | | | | |
| 3.5×3.5/28 | | 31/70 | | | | |
| 3.5×3.5/32 | | 20/30 | | | | |
| 4.3×4.3/26.4 | | 31/14 | | | | |
| 너구리 | | 통로박스형 | 4.3×4.3/26.4 | 고라니 | 교량하부형 | 16/21 |
| | | | | | | 4×4/34.5 |
| | | 6×5/15 | 4×4/34.5 | | | |
| | 통로아치형 | 6.7, 3/15 | 통로아치형 | | 4.3×4.3/26.4 | |
| | | | | | 육교형 | 6.7, 3/15 |
| | 6, 3/60 | 6.7, 3/15 | | | | |
| | 34/23 | 6.9, 4.4/60.5 | | | | |
| | 30/길이 미기록 | 6, 3/60 | | | | |
| | 31/70 | 육교형 | | | | 6/42 |
| | 6.8/길이 미기록 | | 6.8/길이 미기록 | | | |

표 5. 계속

| 종 명 | 생태통로 유형 | 규격* (m) | 종 명 | 생태통로 유형 | 규격* (m) | | |
|------------|---------|------------|-------|---------|-----------|-----|--------|
| 너구리 | 육교형 | 6.8/35 | 고라니 | 육교형 | 6.8/40 | | |
| | | 5/11 | | | 30/길이 미기록 | | |
| 족제비 | 파이프형 | D0.8/45 | | | | | 10/15 |
| | | D0.8/35 | | | | | 34/23 |
| | | D0.8/30 | | | | | 33/35 |
| | | D0.8/28 | | | | | 33/11 |
| | | D1.2/32 | | | | | 20/12 |
| | | D1.2/34 | | | | | 31/70 |
| | 통로아치형 | 6.7, 3/15 | | | 31/11 | | |
| | | 6, 3/60 | | | 31/14 | | |
| 수달 | 파이프형 | D0.8/45 | | | 노루 | 육교형 | 33/35 |
| | | D0.8/30 | | | | | 33/11 |
| | | D0.8/28 | | | | | 20/12 |
| | | D1.2/34 | | | | | 31/70 |
| | | D1.2/32 | 31/11 | | | | |
| | 통로박스형 | 2.5×2.5/50 | | | 34/23 | | |
| 3.0×3.0/29 | | 20/12 | | | | | |
| 담비 | 통로아치형 | 6.7, 3/15 | 멧돼지 | 육교형 | 31/11 | | |
| | | 22.4/30 | | | 31/14 | | |
| 오소리 | 육교형 | 20/30 | | | | | 6/42 |
| | | | | | | | 10/15 |
| | | | | | | | 6.8/40 |

* 규격 육교형:너비/통로길이, 통로아치:지름×높이/통로길이, 통로박스:너비×높이/통로길이, 교량하부:너비/통로길이

3. 종별 생태통로의 최소 규격과 적합한 유형

본 연구에서의 현장조사와 기존에 보고된 결과를 종합한 결과 국내의 육교형 생태통로는 너비 6.8m 이상일 경우 수달을 제외한 조사된 모든 포유동물이 이용할 수 있는 것으로 파악되었다(표 6).

터널형 생태통로의 경우 너구리, 삿, 수달, 족제비와 같은 중소형 식육목의 동물은 개방도 0.01의 매우 좁은 통로도 선호하는 반면 일부 종은 비교적 큰 개방도의 통로만을 이용하였다. 개방도가 큰 통로를 선호하는 것으로 사료되는 종으로는 멧토끼, 담비, 고라니, 노루, 멧돼지이며 이들 종이 이용한 통로의 최소 개방도는 0.24~2.0이었다. 이 중 멧토끼, 담비, 노루, 멧돼지의 터널형 통로 이용 사례는 3개소 이하의 적은 자료를 통해 얻어진 결과여서 실질적인 최소 또는 적정의 개방도로서 판단하기는 어려웠다. 그러나 고라니의 경우 현재까지 이용이

확인된 터널형 통로가 8건으로서 비교적 많으며, 최태영(2007)에 의한 16개소의 터널형 통로의 반복적인 모니터링 결과 개방도 0.38의 규격에서 고라니의 이용이 소수 확인되었으며, 0.7 이상의 규격에서 고라니의 이용이 크게 증가하는 것으로 분석된 바 있다.

이러한 분석결과를 바탕으로 종별 선호되는 생태통로의 유형을 분류한 결과, 너구리, 삿, 수달, 족제비와 같은 중소형 식육목의 동물은 지름 80cm 내외의 파이프형을 포함해 통로박스형과 육교형 등 모든 유형의 통로를 이용하지만, 고라니, 노루, 멧돼지, 담비, 멧토끼는 육교형과 개방도가 큰 터널형 통로만을 선호하는 것으로 파악되었다(표 7).

표 6. 종별 이용이 확인된 통로의 최소 규격

| 구분 | 생태통로 유형 | 규격 (m), 개방도=입구면적/통로길이 | | | | | | 종별 | | 목적 | | | |
|---------|---------|-----------------------|-----|-----|------|------|------------------|------------------|-------|---------|-------|-------|---------|
| | | 너비 | 높이 | 길이 | 지름 | 개방도 | 출처 | 터널형 | 육교형 | 터널형 | 육교형 | | |
| | | | | | | | | 최소 개방도 | 최소 너비 | 최소 개방도* | 최소 너비 | | |
| 중소형 포유류 | 멧토끼 | 육교형 | 6.8 | · | 60 | · | · | 한국도로공사 미발표 자료(A) | 0.46 | 6.8 | 0.46 | 6.8 m | |
| | | 터널형 | 4 | 4 | 34.5 | · | 0.46 | 환경부 2003a | | | | | |
| | 너구리 | 육교형 | 4 | · | 40 | · | · | 최태영 미발표 자료 | 0.01 | 4.0 | 0.01 | 6.8 m | |
| | | 터널형 | · | · | 45 | 0.8 | 0.01 | 최, 2007 | | | | | |
| | 샐 | 육교형 | 6.8 | · | 35 | · | · | 한국도로공사 2006 | 0.01 | 6.8 | | | |
| | | 터널형 | · | · | 45 | 0.8 | 0.01 | 최, 2007 | | | | | |
| | 족제비 | 육교형 | 6.0 | · | 43 | · | · | 한국도로공사 미발표 자료(B) | 0.01 | 6.0 | | | |
| | | 터널형 | · | · | 45 | 0.8 | 0.01 | 최, 2007 | | | | | |
| | 오소리 | 육교형 | 5 | · | 11 | · | · | 본 연구 | · | 5.0 | | | |
| | | 터널형 | · | · | · | · | · | · | | | | | |
| | 수달 | 육교형 | · | · | · | · | · | · | 0.01 | · | | | |
| | | 터널형 | · | · | 45 | 0.8 | 0.01 | 최, 2007 | | | | | |
| 담비 | 육교형 | 6.8 | · | 55 | · | · | 한국도로공사 미발표 자료(C) | 1.07 | 6.8 | | | | |
| | 터널형(아치) | 6.7 | 3 | 15 | · | 1.07 | 국립환경과학원 2006 | | | | | | |
| 대형 포유류 | 고라니 | 육교형 | 6 | · | 60 | · | · | 양병국 미발표 자료 | 0.70 | 6.0 | 0.70 | 6.8 m | |
| | | 하부형 | 박스형 | 4.3 | 4.3 | 26.4 | · | 0.70(적정) | | | | | 최, 2007 |
| | | | 아치형 | 3.5 | 3.5 | 32 | · | 0.38(최소) | | | | | 최, 2007 |
| | | 아치형 | 6 | 3 | 60 | · | 0.24(최소) | 한국도로공사 2006 | | | | | |
| | 노루 | 육교형 | 6.8 | · | 55 | · | · | 한국도로공사 미발표 자료(C) | 2.00 | 6.8 | | | |
| | | 터널형 | 6 | 5 | 15 | · | 2.00 | 국립공원관리공단 미발표 자료 | | | | | |
| | 멧돼지 | 육교형 | 6 | · | 42 | · | · | 한국도로공사 2006 | · | 6.0 | | | |
| | | 터널형 | · | · | · | · | · | · | | | | | |

- 한국도로공사 미발표 자료(A): 대구-포항고속도로의 죽곡 육교형 생태통로 모니터링 결과
- 한국도로공사 미발표 자료(B): 중부내륙고속도로 마원, 헌신 육교형 생태통로 모니터링 결과
- 한국도로공사 미발표 자료(C): 대구-포항고속도로의 매산 육교형 생태통로 모니터링 결과
- 최태영 미발표 자료: 88고속도로 남원~함양간 부절리 육교 눈 위 발자국 조사 결과
- 양병국 미발표 자료: 경북 영월 38번국도 육교형 생태통로 조사 결과
- 국립공원관리공단 미발표 자료: 지리산 시암재 생태통로 모니터링 결과
- * : 개방도 = 입구 면적 / 통로 길이

표 7. 종별 적합한 생태통로 유형

| 구분 | 육교형 | 터널형 | | |
|-----------------|-----|------|------|-----|
| | | 교량하부 | 통로박스 | 파이프 |
| 중소형 식육목(중형 포유류) | ○ | ◎ | ○ | ◎ |
| 우제목(대형 포유류) | ◎ | ◎ | △ | × |
| 토끼목 | ○ | ◎ | △ | × |

- ◎: 매우 양호, ○: 양호, △: 보통, ×: 부적합
- 교량하부형(Open-span bridge)은 통로박스나 수로박스를 교량으로 대체하는 것으로서 교량 아래로 주변의 식생, 토양, 물 길의 연결이 자연스러워 대부분의 동물 이동이 원활하지만 국내에는 이러한 목적으로 조성된 사례가 극히 적음

IV. 결론

본 연구는 국내 생태통로의 동물 종별 이용에 대한 현장조사를 실시하고(79개소), 기존 연구의 현장조사 결과(생태통로 57개소, 통로박스·수로관 등의 도로횡단구조물 102개소)를 취합한, 총 238개소의 통로 조사결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 터널형 생태통로는 너구리, 삿, 수달, 족제비와 같은 중소형 식육목에게 통로의 크기와 관계없이 이용되는 반면, 고라니, 노루, 멧돼지, 담비, 멧토끼는 개방도 0.46~1.07 이상 크기의 통로를 이용하는 것으로 분석되었다. 이중 우리나라에서 서식밀도가 높을 뿐만 아니라 대표적 로드킬 피해 동물인 고라니가 이용 가능한 규격은 개방도 0.7이상으로 파악되었다.

2. 육교형 생태통로는 너비 6.8m 이상일 경우 국내의 주요 포유동물이 모두 이용할 수 있는 것으로 파악되었다.

3. 따라서 백두대간이나 정맥 등 생태학적 가치가 큰 생태축이 아닌 일반적인 지역의 국내 생태통로는 육교형의 경우 너비 7m 이상, 터널형은 개방도 0.7 이상으로 설치하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

참고문헌

국립환경과학원, 2006, 야생동물 로드킬 방지시설 설치기법 연구: 백두대간 지역을 중심으로.
 최태영, 이용욱, 황기영, 김선명, 박문선, 박그림, 박종화, 이명우, 2006, 도로횡단구조물 상의 눈 위 발자국 조사를 이용한 야생동물의 도로 횡단 특성 분석. 한국환경생태학회지 20(3): 340~344.
 최태영, 2007, 포유류의 도로횡단 특성과 행동권분석을 통한 로드킬 저감방안. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
 최태영, 최현명, 2007, 야생동물 흔적도감. 돌베개.

한국도로공사, 2003, 생태통로설계기준과 주변 부대시설 조성방안에 관한 연구.
 한국도로공사, 2006, 고속도로 동물사고 방지대책에 관한 연구.
 환경부, 2002, 생태네트워크 구축 추진 전략.
 환경부, 2003a, 야생동물 이동통로 설치 및 효율적 관리방안에 관한 연구.
 환경부, 2003b, 자연생태계 복원을 위한 생태통로 설치 및 관리지침.
 환경부, 2006, 전국 생태통로 설치 기본계획 수립 방안 연구.
 환경부, 2007a, 광역생태축 구축을 위한 연구.
 환경부, 2007b, 도로의 야생동물 서식지 단절 정도의 분석과 road-kill의 원인분석에 따른 도로유형별·동물종별 관리기법 개발.
 환경부, 2008, 생태통로 설치현황. 환경부 환경행정정보 공개자료.
 Clevenger A. P. and N. Waltho, 2003, Long-term, year-round monitoring of wildlife crossing structures and the importance of temporal and spatial variability in performance studies. IN: Proceedings of the 2003 International Conference on Ecology and Transportation, Eds. Irwin CL, Garrett P, McDermott KP. Center for Transportation and the Environment, North Carolina State University, Raleigh, NC: pp. 293-302.
 Cramer, P. and J. Bissonette, 2006, Evaluation of the Use and Effectiveness of Wildlife Crossings: Second Interim Report. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board and National Research Council. 2006. Retrieved from: http://www.trb.org/NotesDocs/25-27_IR.pdf.
 Forman, R. T. T., D. Sperling, J. A. Bissonette, A. P. Clevenger, C. D. Cutshall, V. H.

- Dale, L. Fahrig, R. France, C. R. Goldman, K. Heanue, J. A. Jones, F. J. Swanson, T. Turrentine, and T. C. Winter, 2003, Road Ecology: Science and Solutions. Island Press, Washington, D.C.
- Gordon, M. K., 2003, Mule Deer Use Of Underpasses In Western And Southeastern Wyoming. Habitat Connectivity: Monitoring of Crossing Structures, ICOET 2003 Proceedings. pp 309-318.
- Noss, R. F., 1993, Wildlife corridors. Pages 43-68 in: Smith, D.S., and P.C. Hellmond, editors. Ecology of greenways. Design and function of linear conservation areas. University of Minnesota Press, Minneapolis, MN.
- Reed, D. F. and A. L. Ward, 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.
- Ruediger, B and M. DiGiorgio, 2007, Safe Passage: A User's Guide to Developing Effective Highway Crossings for Carnivores and Natural Environment Other Wildlife. <http://www.carnivoresafepassage.org/>
- Seiler, A., 2005, Predicting locations of moose-vehicle collisions in Sweden. Journal of Applied Ecology 42: 371-382.
- White P. A., 2007, Getting up to speed: A Conservationist's Guide To Wildlife and Highways. Defenders of Wildlife.

최종원고채택 11. 12. 09