

국립공원 내 도로에서 뱀류 로드킬 현황

김석범^{1,2} · 이정현³ · 박대식^{4,*}

¹국립공원관리공단, ²강원대학교 생명과학과, ³국립생물자원관, ⁴강원대학교 과학교육학부

Patterns of Snake Roadkills on the Roads in the National Parks of South Korea. Kim, Seok-Bum^{1,2} (0000-0001-7665-579X), Jung-Hyun Lee³ (0000-0002-3980-9697) and Daesik Park^{4,*} (0000-0001-8794-5776) (¹Korea National Park Service, Wonju 26466, Republic of Korea; ²Department of Biology, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea; ³National Institute of Biological Resources, Incheon 22689, Republic of Korea; ⁴Division of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea)

Abstract The roadkill that animals die after bumping by vehicles on the roads is acting as a factor to decrease the size of various animal populations. It has also been known to be the biggest artificial causations of Vertebrata deaths not only in urban areas but also protected areas such as national parks. Nevertheless, in the national park areas which are major protected national areas for conservation of national biodiversity and ecological diversity, snake roadkills occur frequently. Up to date, related studies are rare. Therefore, in this study, we described snake roadkill patterns on the roads in six national parks between 2006 and 2015. We identified total 736 snake roadkills compromising 10 different species. Five species, *Rhabdophis lateralis*, *Elaphe dione*, *Gloydius ussuriensis*, *Lycodon rufozonatus*, *Gloydius brevicaudus* occupied more than 91.7% of total roadkill cases. Active forager snakes were killed by roadkills more than ambush foragers, and the snake roadkill frequency was the highest in September, a migration period and in August when the young individuals dispersed at between 100 and 799 m altitude areas. Roads where roadkills were frequent lie between forest and hydrosphere or between forest and crop field road sides. Our results could be used to identify the trend of snake roadkills on the roads in national parks, and to establish effective roadkill mitigation measures and policies.

Key words: reptile, foraging type, vehicle collision, population conservation

서론

국립공원이란 “비교적 넓은 면적으로서 인간의 개발과 점용에 의해 물리적으로 변화되지 않은 수개(1~7개)의 생태계를 유지하고 있어야 하고, 이 지역의 동·식물과 지형학적 위치 및 서식지가 특별한 과학적, 교육적, 여가·선용적 가치를 지니고 수려한 자연풍경을 구비해야 한다

(IUCN, 1998)”고 정의하고 있다. 우리나라 국립공원 역시 국내 보호지역의 유형별 면적에서 약 4.0%에 해당하는 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 국내 생물 종의 45%, 멸종위기종의 63%가 서식하는 국가 생물다양성 및 생태계 다양성의 핵심지역이다. 특히, 산업사회의 각종 개발 행위와 간섭, 환경오염, 동·식물 남획 등의 위협으로부터 한국 고유종 및 멸종위기종 등 동·식물들의 피난처 역할을 하고 있다(Shin, 2016). 그러나 산업 발달에 따른 도시간의 원활한 교통망 확보를 위해 다양하고 건강한 생태계를 유지하고 있는 우리나라 국립공원에서도 관통 도로가 개설됨에 따라 야생동물의 서식지가 단절되어 야생동물이 먹

Manuscript received 18 June 2018, revised 27 August 2018, revision accepted 1 September 2018
* Corresponding author: Tel: +82-33-250-6739, Fax: +82-33-242-9598, E-mail: parkda@kangwon.ac.kr

이 획득, 번식 등 서식지 간 이동을 위해 도로를 이용하는 과정에서 로드킬이 지속적으로 발생하고 있다(Kim and Kim, 2013).

도로는 인간이 만든 가장 분명한 환경적인 변화 중 하나이고 동물군에 생태적으로 부정적인 영향을 야기하며(Forman and Alexander, 1998; Trombulak and Frissell, 2000; Clevenger *et al.*, 2003; Forman *et al.*, 2003; Andrews and Gibbons, 2005), 특히 주변 환경을 자유롭게 왕래하는 뱀의 이동을 제한하거나 단절하는 장벽으로 작용한다(Andrews and Gibbons, 2005). 도로상에서 차량 충돌에 의해 죽는 동물을 의미하는 로드킬(Roadkill)은 생물 개체군 크기를 감소시키는 요인으로 작용하고 있으며(Fahrig *et al.*, 1995; Reading *et al.*, 2010), 도로가 잘 발달한 도시지역은 물론 자연보호구나 국립공원과 같은 보호지역에서도 척추동물의 사망을 유발하는 가장 큰 인위적인 원인으로 알려져 있다(Bernardino and Dalrymple, 1992; Kline and Swann, 1998).

국외에서의 야생동물 로드킬에 대한 연구는 종별, 지역별 로드킬 발생의 양상을 규명하고 경향을 모델링하여 특정 지역에서 로드킬을 예측하고 발생 가능지점들을 비교 평가하여 효율적이고 적절한 저감 대책을 수립하는 데 근거로 삼고 있다(Meek, 2009; Gunson, 2010; Baxter-Gilbert *et al.*, 2015). 특히, 서식지에 따라서 로드킬 대상이 되는 종과 발생 빈도에 차이가 있음을 고려하여 가능한 다양한 서식지와 규모에서 로드킬 연구를 진행하고 있다(Gu *et al.*, 2011; Hartman *et al.*, 2011). 대상 동물로는 일반적으로 포유류가 가장 많고(Spellerberg, 1998; Chen, 2015), 상대적으로 파충류에 대한 로드킬 연구 사례는 다른 동물군에 비하여 많지 않은 실정이나(Andrews *et al.*, 2008), 섭식 유형을 포함하는 종의 활동성(Andrews and Gibbons, 2005; Roe *et al.*, 2006; Meek, 2009), 도로 선호, 도로를 횡단하려는 성향 등의 행동학적 측면(Bonnet *et al.*, 1999), 도로 횡단 속도와 각도(Andrews *et al.*, 2008) 등 다양한 분야에서 연구가 시행되고 있다.

국내에서는 오대산, 월악산, 설악산 등의 국립공원이나 고속도로와 같은 지역에서 주로 포유류와 조류를 주 대상으로 한 로드킬 연구가 수행된 바 있으며(Song *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2015; Seo *et al.*, 2015; Son *et al.*, 2016), 생태통로의 설치를 위한 기법과 설치에 따른 효율성 평가 연구(Yang *et al.*, 2007; Oh, 2009), 주변 환경을 조사하여 공간 특성에 따른 로드킬 발생 빈도 분석(Choi and Park, 2006), GIS 또는 통계 기법 등을 이용하여 상관관계를 분석한 연구(Kwon, 2006; Min and Han, 2010) 등의 연구가 수행되었다. 뱀류에 대한 로드킬 연구는 남한 동북부 지역에 일반

도로를 대상으로 연구된 바 있으며(Park *et al.*, 2017), 발생 지점과 주변 환경에 대한 정량적인 분석(Son *et al.*, 2016; Park *et al.*, 2017) 등의 연구가 수행된 바 있다.

뱀류와 같은 변온 동물은 환경 조건에 크게 영향을 받으며, 많은 종이 도로의 부정적 영향에 특히 민감하고(Lillywhite, 1987; Peterson *et al.*, 1993; Zug *et al.*, 2001), 낮은 생식율과 성체 사망률을 생활사적 특징으로 하므로 로드킬로 인한 개체군 유지에 더 취약하다(Forman *et al.*, 2003). 또한, 생태계 구성에 있어서 먹이사슬의 중간단계에 있어 생태계 안정성을 위해 매우 중요한 분류군(Song and Oh, 2006)임에도 불구하고 아직까지 국내에서 뱀류 로드킬 현황에 대한 연구는 매우 부족한 상황이며(Kim *et al.*, 2013b), 특히 국가 생물다양성과 생태계 다양성의 주축인 국립공원 지역에서 뱀류를 대상으로 하는 연구는 거의 없는 실정이다.

이에 따라 본 연구는 2006년에서 2015년 사이 6개 국립공원 내 도로에서 발생한 뱀류 로드킬의 종별, 연별, 월별 발생 경향과 발생 지점의 고도와 도로 좌우측의 가장자리 환경 특성, 차량통행량과의 상관관계 등에 대한 분석을 실시하여 뱀류 로드킬의 주요 원인을 밝히고, 그 결과를 국립공원 내 뱀류 보전 정책수립 기초자료 활용 및 효율적인 로드킬 저감 대책을 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 연구지역

국립공원 내 뱀류 로드킬 현황 분석은 국내 15개 산악형 국립공원 가운데 국도, 지방도 및 시도 등과 같이 국립공원을 관통하는 도로가 위치하고 있으며, 전체 국립공원 대비 연간 파충류 로드킬 빈도가 50건 이상인 오대산, 지리산, 월악산, 속리산, 내장산, 덕유산 등 총 6개 국립공원만을 대상으로 하였다. 뱀류 로드킬 현황 자료는 6개 국립공원 내에 위치한 22개 노선, 187.7 km 거리의 도로를 대상으로 수집하였으며, 로드킬 자료의 수집기간은 2006년부터 2015년까지 10년간의 기록을 이용하였다(Table 1).

오대산국립공원은 비로봉(1,563 m)이 주봉이며 강원 강릉, 홍천, 평창에 걸쳐 있고, 면적은 326.348 km²로 총 4,945종의 야생동·식물이 분포하고 있다. 지리산국립공원은 천왕봉(1,915 m)이 주봉이며 전남 구례, 전북 남원, 경남 하동, 함양, 산청에 걸쳐 있고, 면적은 483.022 km²로 야생동·식물 7,882종이 서식하고 있는 자연의 보고로 난대림부터 한대림, 중부온대림에 이르기까지 다양한 식생이 분포하고 있다. 월악산국립공원은 영봉(1,097 m)이 주봉이며

Table 1. Roadkill survey road sections in six national parks investigated in this study.

No	National Park	Route	Survey road section	Road length (km)
1	Odaesan	Local road 446	Woljeong Elementary school~Sangwonsa	11.30
2		National highway 6	Byeongnae-ri~Jingogae~Samsan-ri	17.50
3	Jirisan	Local road 861	Cheoneun vister center~Dogye~Naeryeong	26.70
4		Local road 865	Yeongok vister center~Jikjeon	2.00
5		National highway 18	Hwangjeon campsite~Hwaomsa	1.50
6		Local road 737	Dogye~Jeongnyeongchi~Gogi-ri	12.00
7		Local road 60	Gogi-ri~Guyong branch office	6.00
8	Woraksan	Local road 597	Worak Samgeori~Samun-ri	16.00
9		National highway 59	Seonam Parking lot~Banggok Samgeori	12.00
10	Songni-san	Local road 997	Jeongnang Valley~Araeunulti	6.00
11		Local road 32	Hwayangdong~Song-myeon Park boundary	3.00
12		Local road 517	Oessanggok~Song-myeon Park boundary	3.00
13		Local road 505	Witgalmogi~Hwanghaedong	3.00
14		County road 202	Mansu Valley~Mansu-ri	3.00
15	Naejang-san	Local road 49	Naejang Reservoir~Chuyeong Parking lot	9.00
16		Park access road	Bueochon~Geumseon Bridge~Vister center	8.20
17		Park ring road	Naejang Tunnel~Solti Bridge	2.00
18		County road 16	Baegyong Bridge~Ilgwangjeong	3.50
19		County road 17	Namchang vister center~Training center	4.00
20	Deogyu-san	National highway 37	Laje branch office~Won Samgeori	20.00
21		Local road 49	Hajo Village~Gucheondong Tunnel	8.00
22		Park access road	Oebukchang~Jeoksangsan Upper dam	10.00
Total	6	22		187.7

충북 제천, 단양, 충주, 경북 문경시에 걸쳐 있고, 면적은 287.571 km²로 총 4,004종의 야생동·식물이 분포하고 있다. 속리산국립공원은 천왕봉(1,058 m)이며 충북 보은, 괴산과 경북 상주에 걸쳐 이루어진 산으로 면적은 274.766 km²로 총 3,605종의 야생동·식물이 분포하고 있다. 내장산국립공원은 신선봉(763 m)이 주봉이며 전남 정읍, 순창, 전북 장성에 걸쳐 있고, 면적은 80.708 km²로 총 3,447종의 야생동·식물이 분포하고 있다. 덕유산국립공원은 향적봉(1,614 m)이 주봉이며 전북 무주, 장수, 경남 거창, 함양에 걸쳐 있고, 면적은 229.43 km²로 총 3,806종의 야생동·식물이 분포하고 있다(Korea National Park Service, 2016).

2. 자료의 수집

로드킬 자료는 2006년부터 2015년까지 현장에서 직접 조사하여 수집한 자료와 국립공원관리공단의 로드킬 자료를 합하여 GPS의 기계적 오차 또는 입력 시 오기로 인하여 로드킬이 발생한 도로 외곽선으로부터 20 m 이상을 벗어난 자료와 해당기간 동안 로드킬이 발생하지 않은 월악산의 2006년도 등 일부 년도를 제외한 736건을 분석하였

다. 로드킬 현장조사는 로드킬이 발견되면 날짜를 기록하고 해당 지점의 좌표를 GPS (GARMIN, GPSmap60CSx)를 이용하여 WGS84 좌표 체계로 기록하였다. 또한, 로드킬이 발생한 지점을 중심으로 길이 약 30 m×너비 약 10 m 중 가장 많은 넓이를 차지하고 있는 도로 좌·우 가장자리 환경특성을 조사하였다. 가장자리 환경 특성은 크게 산림(Forest), 농경지(Crop field), 수계(Hydrosphere), 민가(Residential area)로 4가지로 구분하였으며, 도로를 중심으로 산림-산림(FF), 산림-농경지(FC), 산림-수계(FH), 산림-민가(FR), 농경지-농경지(CC), 농경지-수계(CH), 농경지-민가(CR), 수계-수계(HH), 수계-민가(HR), 민가-민가(RR) 등 총 10가지 세부유형으로 구분하여 기록하였다. 국립공원관리공단 로드킬 조사는 조사의 일관성 유지를 위하여 조사 및 기록방법(좌표 취득, 도로의 좌우 가장자리 환경 특성, 종 동정 등) 등이 규정된 「국립공원 로드킬 조사 매뉴얼('06년 제정)」에 따라 각 공원별로 관련 학문분야 학사 이상의 직원이 연중 매월 주 1회 이상 고정 조사 구간을 차량을 이용하여 20 km의 미만 속도로 이동하면서 로드킬이 관찰된 지점을 조사하였다. 조사 자료에는 현장 좌표, 도로 좌측과 우측의 환경 특성, 종 정보 등이 수록되어 있으며, 이후 세부적인 토지 피복 현황은 국립공원 자

원통합관리시스템에 입력된 자료를 기반으로 도로의 좌우 가장자리 환경특성 자료를 로드킬 지점별로 추가적으로 확인하여 확보하였다. 또한, 차량통행량과 로드킬 발생 빈도 사이의 상관관계를 파악하기 위한 국립공원 내 도로에서 차량통행량에 대한 직접적인 자료가 없는 실정이다. 이에 차량통행량을 이용한 탑승인원 추정 시 일괄적인 비율값을 이용하고 있으므로(Choi *et al.*, 2010), 국립공원 내 차량통행량 추정은 전체 탑승객의 72.3%가 차량을 이용하고, 차량 1대에 4인이 탑승(Korea National Park Research Institute, 2014)한다는 자료를 이용하여, 2006년부터 2015년 사이 로드킬이 발생한 4월부터 11월까지 6개 국립공원의 차량통행량을 추정하여 자료를 이용하였다.

3. 자료의 분석

국립공원 내 뱀류의 로드킬 현황 자료를 기준으로 종별, 섭식유형별, 연도별, 월별, 계절별(봄, 여름, 가을), 고도별, 도로의 좌우 가장자리 환경특성별로 발생빈도를 분석하였다. 섭식유형에 따른 로드킬 빈도 분석은 잠복형(Ambush predator)과 활동형(Active predator) 2개 그룹으로 구분하였다. 쇠살모사(*Gloydius ussuriensis*), 살모사(*Gloydius brevicaudus*), 까치살모사(*Gloydius intermedius*)와 같은 독사과(Viperidae) 종은 먹이를 잡기 위해 먼 거리를 이동하지 않고 특정 장소에 오랜 시간 머물러 있는 행동 습성을 보이기 때문에 잠복형으로 분류하였고, 누룩뱀(*Elaphe dione*), 유헤목이(*Rhabdophis lateralis*), 구렁이(*Elaphe schrenckii*)와 같은 뱀과(Colubridae) 종들은 먹이를 찾기 위해 많은 탐색과 이동하는 행동 습성을 가지고 있어 활동형으로 구분하였다. 또한, 공원별 로드킬 자료 비교를 위해서 조사구간 길이에 차이가 있기 때문에 가장 짧은 속리산(18.0 km)을 기준으로 각 공원별 조사구간 길이에 가중치(오대산 1.60, 지리산 2.68, 월악산 1.56, 속리산 1.00, 내장산 1.48, 덕유산 2.11)를 적용하여 산출한 발생빈도를 이용하였다. 자료의 빈도 검증이 필요한 경우 웹 상(Preacher, 2001)에서 제공되는 프로그램을 이용하여 유의성 검증을 하였다. 차량 통행량과 로드킬 발생 빈도 사이의 관계는 Pearson 상관관계를 SPSS 통계프로그램(ver. 25)을 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 로드킬 현황

연구기간 동안 총 10종(유헤목이, 누룩뱀, 쇠살모사, 능구

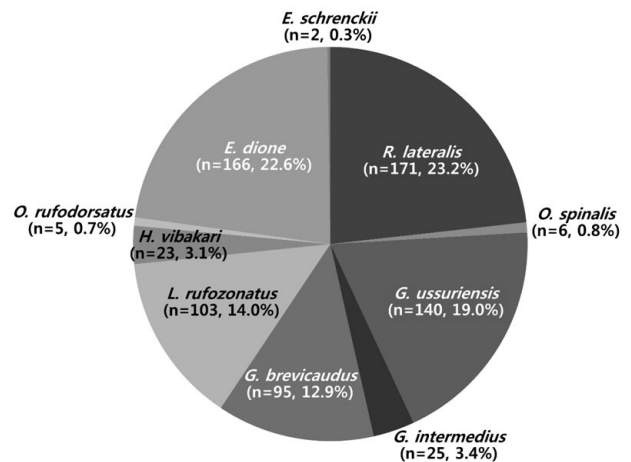


Fig. 1. Composition (%) of roadkilled snake species investigated in six national parks between 2006 and 2015.

렁이, 살모사, 까치살모사, 대륙유헤목이 *Hebius vibakari*, 무자치 *Oocatochus rufodorsatus*, 실뱀 *Orientocoluber spinalis*, 구렁이), 736건의 로드킬이 조사되었다. 이 중 유헤목이가 171건(23.2%)으로 가장 많았고, 누룩뱀 166건(22.6%), 쇠살모사 140건(19.0%), 능구렁이 103건(14.0%), 살모사 95건(12.9%), 까치살모사 25건(3.4%), 대륙유헤목이 23건(3.1%), 실뱀 6건(0.8%), 무자치 5건(0.7%), 구렁이 2건(0.3%) 순이었다. 로드킬이 발생한 상위 5종이 전체 로드킬의 91.7%를 차지하고 있었다(Fig. 1).

2. 전체 로드킬 발생경향

종별 발생빈도는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($X^2=585.33$, $df=9$, $P<0.001$). 유헤목이가 171건(23.2%)으로 최대 빈도를 보였으며 구렁이가 2건(0.3%)으로 최소 빈도를 보였다($M\pm SE$: 73.6 ± 21.88). 섭식유형별 발생빈도는 잠복형이 260마리(35.4%)였으며, 활동형이 476마리(64.6%)로 나타났다. 하지만, 두 집단 간의 로드킬 발생 빈도 차이는 유의한 차이를 보이지 않았다($X^2=2.329$, $df=1$, $P>0.05$).

연도별 발생빈도 역시 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($X^2=197.56$, $df=9$, $P<0.001$). 2009년이 130건(17.7%)으로 최대 빈도, 2015년이 22건(3%)으로 최소 빈도였다($M\pm SE$: 73.6 ± 12.71 , Fig. 2A). 월별 발생빈도 역시 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($X^2=386.37$, $df=7$, $P<0.001$). 9월이 190건(25.8%)으로 최대 빈도를 보였으며, 8월이 187건(25.4%), 10월과 7월이 각각 116건(15.8%), 110건(14.9%)로 뒤를 이었으며, 9월이 6건(0.8%)으로 최소 빈도를 보였다($M\pm SE$: 92 ± 25.19 , Fig. 2B). 이를 계절별로

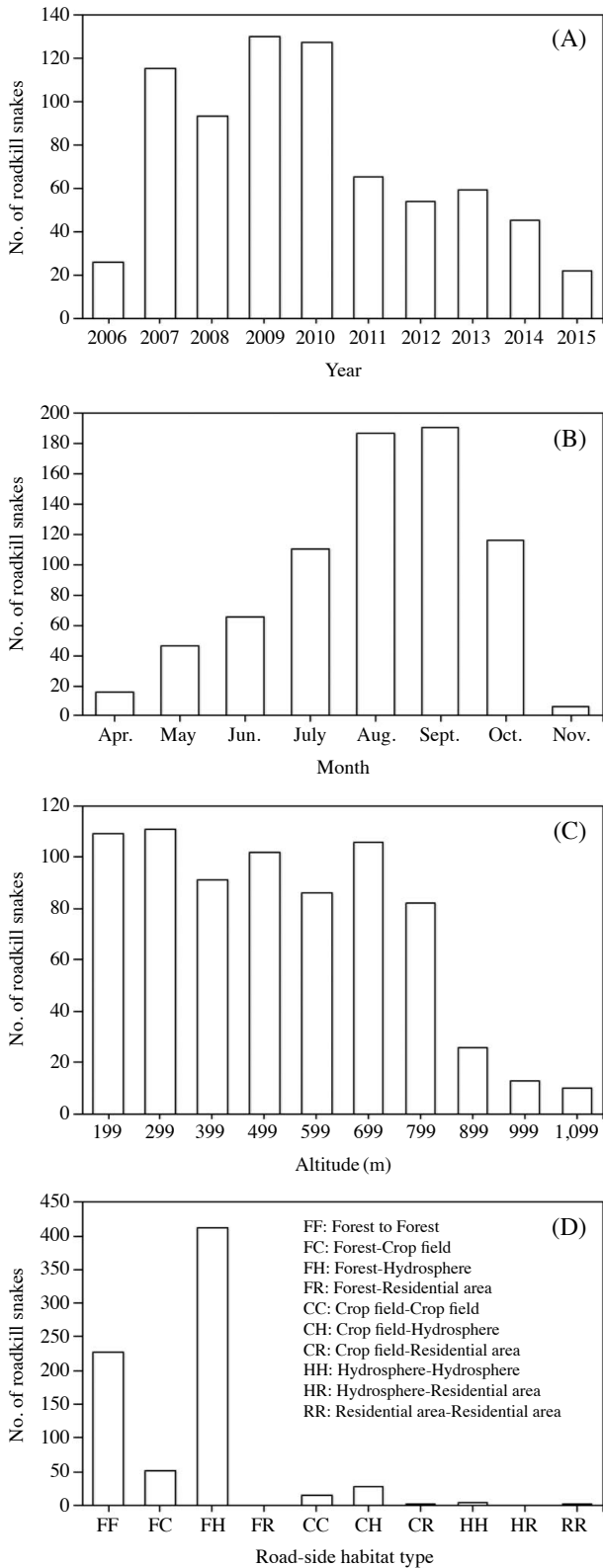


Fig. 2. Number of roadkilled snakes depending on different years (A), months (B), altitudes (C), and road-side habitat types (D), investigated in six national parks between 2006 and 2015.

보면, 봄(4~5월) 62건(8.4%), 여름(6~8월) 362건(49.2%), 가을(9~11월) 312건(42.4%)으로 나타나 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($X^2=210.63$, $df=2$, $P<0.001$).

로드킬의 빈도는 고도에 따라서도 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($X^2=204.05$, $df=9$, $P<0.001$). 200~299 m 구간이 111건(15%)으로 가장 빈도가 높았으며, 100~199 m 구간 109건(14.8%), 다음으로 600~699 m과 400~499 m 구간이 각각 106건(14.4%), 102건(13.9%)이었다. 1,000 m 이상이 10건(1.4%)으로 가장 낮은 빈도를 보였다 ($M\pm SE$: 73.6 ± 12.92 , Fig. 2C).

도로의 좌우 가장자리 환경특성(산림, 농경지, 수계, 민가)에 따른 발생 빈도는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($X^2=1699.76$, $df=7$, $P<0.001$). 산림-도로-수계환경이 411건(55.8%)으로 최대 빈도였으며, 산림-도로-산림환경이 227건(30.9%), 산림-도로-농경지환경이 52건(7.1%)으로 3개 환경에서의 관찰이 전체의 93.8%를 차지하였다. 수계-도로-민가 환경과 민가-도로-민가 환경이 각각 1건(0.15%)으로 가장 낮은 빈도를 보였다($M\pm SE$: 92 ± 52.84 , Fig. 2D).

3. 공원별 발생빈도에 따른 로드킬 발생경향

조사구간 길이 차이를 보정한 공원별 상대적 발생빈도를 살펴보면 지리산이 404.7건(30.9%)으로 가장 많았고, 오대산 379.2건(29.0%), 월악산 187.2건(14.3%), 덕유산 145.6(11.1%), 내장산 105.1건(8.0%), 속리산 88건(6.7%) 순이었다(Fig. 3). 공원별로 발생한 연도별 발생빈도는 속리산을 제외하고는 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났고($P<0.001$), 월별, 고도, 도로의 좌우 가장자리 환경특성에 따라서도 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($P<0.001$).

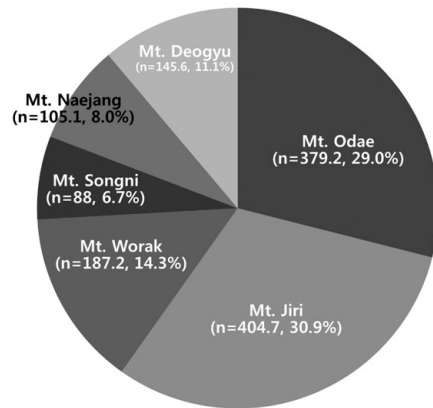


Fig. 3. Relative amounts of snake roadkills among six national parks between 2006 and 2015.

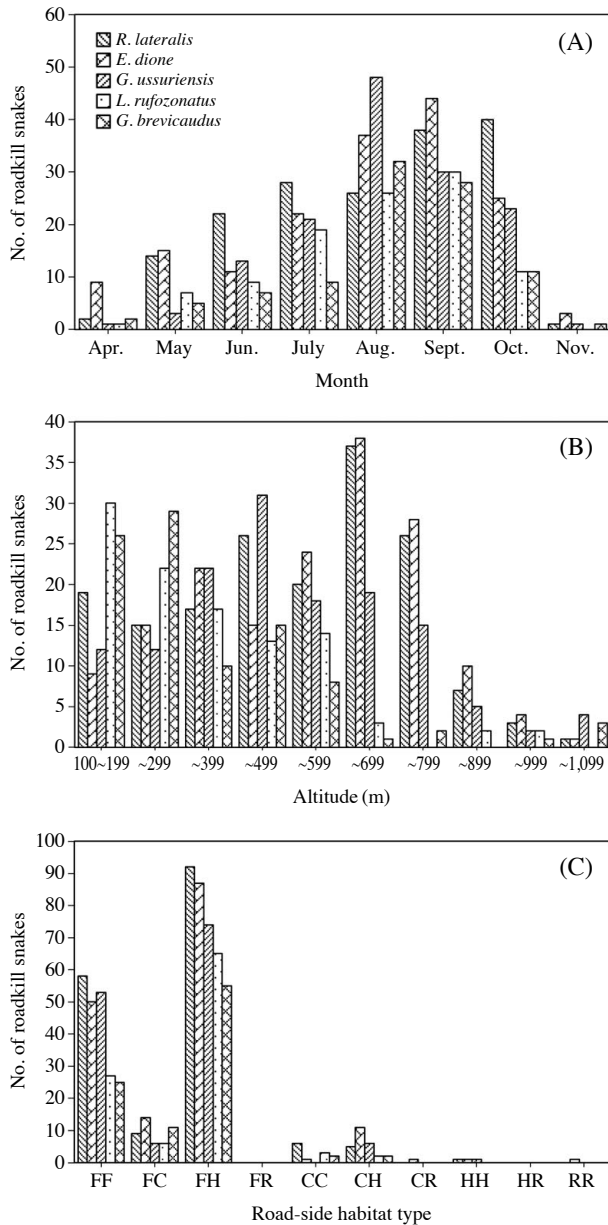


Fig. 4. Number of five major roadkilled snakes depending on different months (A), altitudes (B), and road-side habitat types (C), investigated in six national parks between 2006 and 2015.

4. 로드킬 상위 5종의 로드킬 발생경향

로드킬의 대부분을 차지하는 상위 5종(유혈목이, 누룩뱀, 쇠살모사, 능구렁이, 살모사)의 월별, 고도별, 도로 가장자리 환경특성별 세부 내용을 살펴보면, 월별 발생빈도는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며 ($X^2=53.78$, $df=28$, $P<0.001$; Fig. 4A), 중간 사후검증에서 유혈목이는 능구렁이, 살모사와 유의미한 차이를 보였으며 ($P<0.05$), 누

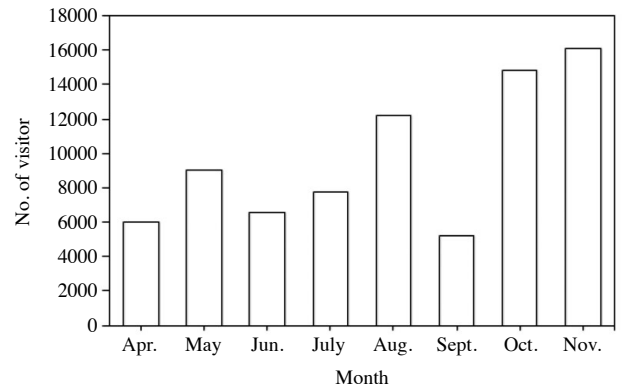


Fig. 5. Number of visitors depending on different months investigated in six national parks between 2006 and 2015.

룩뱀은 유혈목이를 제외하고 다른 모든 종과 유의한 차이를 보였다 ($P<0.05$). 쇠살모사와 능구렁이, 살모사는 각각 유혈목이와 살모사, 능구렁이를 제외하고 다른 모든 종과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($P<0.05$). 5종간에 고도별 로드킬 발생빈도는 유의한 차이가 있었으나 ($X^2=165.94$, $df=36$, $P<0.001$; Fig. 4B), 가장자리 환경특성 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$; Fig. 4C).

5. 차량통행량과 로드킬 발생경향

2006년부터 2015년 사이 로드킬이 발생한 4월부터 11월까지 6개 국립공원의 탐방객 수는 모두 77,693천 명으로서 11월이 16,123천 명 (20.8%)으로 가장 많았으며, 10월과 8월이 각각 14,861천 명 (19.1%), 12,217천 명 (15.7%) 순으로 많았다. 각 공원의 월별 탐방객 수를 차량통행량으로 환산한 값과 각 공원의 월별 로드킬 빈도수와의 상관관계 분석을 해 본 결과, 6개 공원 모두 두 변수 간에 상관관계는 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$; Fig. 5).

고 찰

본 연구결과는 도로 선호, 도로를 횡단하려는 성향 등 행동학적 측면 (Bonnet *et al.*, 1999) 등의 복합적인 요인들이 상호작용하여 국립공원 지역 내에서 뱀류 로드킬 빈도에 관여하는 것으로 판단된다.

종별 로드킬 빈도는 공원별로 경관 및 자원 특성, 탐방객 집중 이용 시기에 따라 조금씩 차이가 있으나, 전체적으로는 유혈목이, 누룩뱀, 쇠살모사, 능구렁이, 살모사 순으로 높았다. 이는 도로와 인접한 종별 개체군 크기가 클수록 (Vijayakumar *et al.*, 2001), 그리고 먹이를 적극적으로

구하는 뱀류의 로드킬 가능성이 높다(Bonnet *et al.*, 1999)고 알려져 있는 이전의 연구결과들과 일치하는 결과이다. 유혈목이와 쇠살모사는 국내에 가장 높은 개체군 밀도를 가지는데(Lee *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2011), 유혈목이는 활동범위가 매우 넓고 다양한 서식지를 사용하는 적극적으로 먹이를 구하는 포식자이며(Song, 2007), 쇠살모사는 활동성이 작지만 길가를 일광욕 장소로 선호하고, 여름철에는 수계 근처에서 빈번히 확인되는 종으로 알려져 있어(Do and Yoo, 2014) 이러한 요인들이 높은 로드킬 빈도로 이어졌을 것으로 보인다. 누룩뱀은 저지대 경작지부터 산림지역까지 다양한 서식지에서 확인되고 활동성이 크며, 다양한 먹이를 이용(Ananjeva *et al.*, 2006; Zhao, 2006)하는데 이러한 요인들이 높은 로드킬 빈도로 이어졌을 것으로 보인다. 능구렁이는 다양한 고도에 걸쳐 폭넓게 분포하고 있으며(Kang and Yoon, 1975), 주간보다는 야간에 많이 활동하는 야행성 종으로서 활동성이 높고(Kim *et al.*, 2013a), 야간에 체온 조절을 위해 따뜻해진 도로 표면으로 나와(Dodd *et al.*, 1989; Rosen and Lowe, 1994) 로드킬이 빈번히 발생하는 것으로 보인다. 살모사의 경우, 쇠살모사와 유사한 일광욕 요구로 로드킬 빈도가 높은 것으로 보인다. 따라서, 국립공원 내 파충류 로드킬 발생빈도에 영향을 미치는 요인으로는 선행 연구(Park *et al.*, 2017)와 유사한 종별 밀도, 먹이원 종류, 활동성 정도 등을 주요 요인으로 들 수 있으며, 국립공원 내에서 뱀류 로드킬을 방지하기 위해서는 전체 로드킬의 91% 이상을 차지하고 있는 유혈목이 등 상위 5종과 구렁이와 같은 환경부지정 멸종위기 야생생물을 주 대상으로 로드킬 저감 대책을 세울 필요성을 보여준다.

월별 로드킬 발생 경향 역시 특징을 가지고 있는 것으로 나타났다. 첫째는 8월과 9월의 로드킬 비율이 전체의 51.2%로 매우 높고, 둘째는 4월부터 9월까지 로드킬 비율이 점진적으로 증가한다는 것이다. 마지막으로는 11월에도 0.8%로 비율이 낮기는 하지만 로드킬이 관찰된다는 것이다. 이러한 발생 경향은 종별로 차이가 있으나 3월 중순부터 시작되는 동면 종료(Kang and Yoon, 1975)로 활동하는 종이 점차 많아지고, 5~6월경의 짝짓기 시기(Lee *et al.*, 2011)에 따른 활동성 증가, 약 8월경부터 시작되는 부화 및 어린 개체의 초기 분산(Bonnet *et al.*, 1999; Meek, 2009), 9월 중순부터 10월 중순에 이루어지는 동면지로의 이동(Kang and Yoon, 1975) 등의 다양한 요인 때문인 것으로 판단된다. 또한, 11월은 국립공원 탐방객과 차량 교통량이 가장 많은 시기(National Park Institute, 2008)로써 드물기는 하지만 늦가을 동면 이주(Kambourova-Ivanova *et al.*, 2012)를 하는 개체의 로드킬이 발생한 것으로 추정된다.

고도에 따른 로드킬의 경우 종별로 유의한 차이를 보였는데 전체적으로는 100~799 m 사이 구간에서 대부분 발생(93.2%)하고, 100~499 m에서 주로 발생(56.2%)하는 것으로 나타났다. 일반적으로 도로 면적이 넓은 지역에서 로드킬이 더 빈번하게 발생하는 것으로 알려져 있는데(Chen, 2015), 비록 조사구간 내 도로 길이와 면적을 고도별로 분석하지는 못했지만, 조사구간의 고도 분포(오대산: 274~974 m, 지리산: 128~1,077 m, 월악산: 147~524 m, 속리산: 200~599 m, 내장산: 100~399 m, 덕유산: 300~899 m)가 100~799 m 사이에 집중 분포하고 있기 때문에 이 고도 구간에서 더 빈번한 로드킬이 발생하였을 것으로 판단된다. 또한, 쇠살모사 등 특정 종들은 특정 고도대를 선호(Do and Yoo, 2014)한다고 알려져 있는 것처럼 특정 뱀류의 고도별 로드킬 원인이 될 것으로 판단된다. 본 연구결과와 고도별 발생빈도에 대한 경향성은 보여주었으나, 보다 의미 있는 연구결과 도출을 위해 고도별 실제적인 도로 면적과 로드킬 빈도와 관계된 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

도로의 좌우 가장자리 환경조건은 로드킬 발생에 큰 영향을 미친다는 연구 결과가 있는데(Choi and Park, 2006; Matos *et al.*, 2012; Quintero-Ángel *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2017), 본 연구에서도 전체 로드킬 종을 대상으로 분석한 결과에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 산림-도로-수계, 산림-도로-산림 환경에서 대부분의 로드킬이 발생(86.7%)하는 것으로 나타났고, 농경지와 연결된 산림이나 수계, 민가는 대체로 낮은 비율로 나타났다. 이러한 경향은 국립공원 내 도로는 계곡을 따라 위치해 있는 경우가 많은데, 도로의 위치적 특성은 뱀류가 산림으로부터 개활지나 인근 산지로 이동시에도 많은 경우에 도로를 횡단하는 일이 발생하고 뱀류의 로드킬을 유발시키는 중요한 요인이 되며, 도로가 뱀류의 주된 이동 경로 상에 있는 경우에는 큰 위협요인으로 작용하게 된다(Park *et al.*, 2017). 또한, 일반적으로 모든 뱀은 육식성이며, 주로 살아있는 다양한 먹이자원(파충류, 포유류, 조류, 어류, 곤충류, 양서류 등)을 이용한다(Luiselli, 2006). 이러한 먹이자원은 뱀의 분포에 중요한 요소로 작용하고(Barbault, 1971, 1987), 계곡 서식지 주변에서 서식하는 쇠살모사와 같은 뱀들은 양서류와 어류를 취식한다(Gibbons *et al.*, 1977; Kofron, 1978; Semlitsch, 1998; Bodie, 2001). 따라서, 먹이활동을 위해 수계에 도달하고자 하는 경우에 도로를 횡단해야 하는 경우가 빈번히 발생함에 따라 로드킬 발생 빈도가 높아지는 것으로 사료된다. 이러한 결과는 로드킬 빈도가 상대적으로 높게 일어나는 도로의 좌우 가장자리 환경조건에 대한 정보를 제공하여 추후 국립공원 내 도로에서 뱀류의 로드킬

저감을 위한 계획 및 정책 수립, 보전을 위한 각종 방지시설 설치 계획 등의 공간의사 결정에 객관적인 정보를 제공할 수 있을 것이다.

차량교통량이 척추동물에 미치는 영향은 잘 알려져 있지 않지만 상당히 큰 것으로 추정되는데 (Bennett, 1991), 본 연구에서는 각 공원의 월별 차량통행량과 로드킬 빈도 사이에 상관관계는 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이러한 이유로는 공원별 입지 유형과 여름 휴가철, 가을 단풍철 등 계절적 탐방 특성 등으로 인하여 각 공원별로 월별 탐방객 수의 변동이 매우 심해 (Lee, 2003), 뱀류가 주로 도로를 횡단하려는 시기와 다소 상이한 것에 영향을 받은 것으로 사료된다. 따라서 추후 시기별 정확한 차량통행량과 뱀류의 시기에 따른 이동정도의 차이 등에 대한 추가적인 연구를 통해서 밝혀져야 할 것으로 사료된다.

본 연구결과를 남한 동북부지역 도로에서 수행한 연구결과 (Park *et al.*, 2017)와 비교해보면 주요 발생종, 섭식유형, 최다 발생월 등은 유사하게 나타났으나, 주요 발생종의 발생빈도 순서, 해발고도, 도로의 좌우 가장자리 환경특성이 다소 상이한 것으로 나타났다. 발생빈도에서 일반지역보다 국립공원에서 쇠살모사보다 누룩뱀이 더 빈번하게 로드킬이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 누룩뱀이 저지대 경작지부터 산림지역까지 다양한 서식지에서 확인되는 (Ananjeva *et al.*, 2006; Zhao, 2006) 반면, 쇠살모사는 저고도 (200~400 m)에 위치한 물이 있는 계곡 주변에 주로 분포 (Do and Yoo, 2014)하므로 일반지역과 국립공원 지역에서 이들 종의 서식 고도 등의 차이에 따른 현상이라고 판단된다. 해발고도는 국립공원 지역이 일반 지역의 주요 발생고도 (100~299 m, 59.4%)를 포함한 100~499 m에서 56.2%가 발생하였고, 100~799 m에서 대부분 발생 (93.4%)하였다. 이는 지리적으로 국립공원 지역의 도로가 일반지역의 도로보다 상대적으로 높은 고도에 주로 위치하고 있기 때문인 것으로 판단된다. 도로의 좌우 가장자리 환경특성에서 일반도로 지역과 국립공원 내 지역에서 산림-도로-수계 환경이 각각 34.2%, 55.8%로 최대 빈도를 보였다. 그 다음으로는 일반 지역이 산림-도로-농경지 환경 (24.5%)인 반면, 국립공원 지역은 산림-도로-산림 환경 (30.8%)지역이었다. 국립공원 지역은 산림을 포함하지 않는 가장자리 환경특성 비율이 6.3%인 반면, 일반 지역은 29.7%로 월등히 높았는데, 이러한 차이는 개발보다는 보전을 위주로 관리하는 국립공원 특성상 산림 분포 비율이 높고, 상대적으로 농경지 비율이 낮기 때문인 것으로 판단된다.

본 연구결과를 종합하여 보면 국립공원 내 뱀류의 로드킬은 유희목이, 누룩뱀, 쇠살모사, 능구렁이, 살모사 5종이

고도 100~799 m 사이에 위치한 산림-도로-수계나 산림-도로-산림 환경조건에서 어린 개체가 분산하는 8월과 동면지로 이동하는 9월에 주로 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과들을 참조하여 효과적인 국립공원 내 뱀류 로드킬 저감 방안을 제시하면 유희목이 등 상위 5종과 구렁이와 같은 멸종위기종을 주 대상으로 산림-도로-수계, 산림-도로-산림 환경 등 로드킬 주요 발생지점에 이들이 효과적으로 이용할 수 있는 도로 가장자리 유도울타리를 설치한 지하형 이동통로의 설치를 고려해야 한다. 하지만, 도로의 구조적인 문제 등으로 지하형 이동통로의 설치가 어려운 구간은 뱀류의 특성과 도로의 구조적인 특성을 고려하여 충분한 길이의 유도울타리를 설치하거나, 뱀류의 주요 이동시기인 7~10월에 뱀류의 이동을 일시적으로 제한할 수 있는 시설의 설치를 고려해야 한다. 아울러, 국내·외 사례 및 관련 법규정 등을 검토하여 주요 발생구간에 대한 차량통행의 일시적·영구적 제한 등의 정책을 적극적으로 도입할 수 있는 제도적 장치의 마련과 운전자들이 차량 속도를 저감시킬 수 있도록 시인성을 개선한 안내표지판 등의 확대 설치, 네비게이션 안내 확충 등 대국민 로드킬 저감을 위한 홍보가 필요할 것으로 사료된다.

적 요

도로상에서 차량 충돌에 의해 죽는 동물을 의미하는 로드킬 (Roadkill)은 다양한 동물 개체군 크기를 감소시키는 요인으로 작용하고 있으며, 도로가 잘 발달한 도시지역은 물론 국립공원과 같은 보호지역에서도 척추동물의 사망을 유발하는 가장 큰 인위적인 원인으로 알려져 있다. 생태계 안정성을 위해 매우 중요한 분류군인 뱀류 로드킬이 국가 생물다양성과 생태계 다양성의 주축인 국립공원 지역에서 빈번하게 발생하고 있음에도 불구하고 이에 대한 연구는 매우 부족한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 2006년부터 2015년 사이 6개 국립공원 내 도로에서 발생한 뱀류 로드킬 현황을 조사, 연구하였다. 그 결과, 총 10종 736건의 로드킬이 조사되었으며, 유희목이 (*Rhabdophis lateralis*), 누룩뱀 (*Elaphe diene*), 쇠살모사 (*Gloydius ussuriensis*), 능구렁이 (*Lycodon rufozonatus*), 살모사 (*Gloydius breviceaudus*) 5종이 전체의 91.7%를 차지하고 있었다. 섭식유형별로는 먹이를 찾아다니는 것으로 예상되는 활동형 뱀류의 로드킬이 더 빈번하게 발생하였고, 월별로는 어린 개체가 분산하는 8월과 동면지로 이동하는 9월에 고도 100~799 m 사이에 위치한 산림-도로-수계나 산림-도로-산림 환경조건에서 주로 발생하였다. 이러한 결과들은 국립공원 내 도로에서 뱀

류의 로드킬 경향 파악과 효율적인 로드킬 저감 방안과 각종 정책 수립에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구에 사용한 국립공원 내 뱀류 로드킬 자료를 제공해 주신 국립공원관리공단에 감사드립니다.

REFERENCES

- Ananjeva, N.B., N.L. Orlov, R.G. Khalikov, I.S. Darevsky, S.A. Ryabov and A.V. Barabanov. 2006. The Reptiles of Northern Eurasia: Taxonomic Diversity, Distribution, Conservation (No. 47). Pensoft Publishers, Sofia, Bulgaria.
- Andrews, K.M. and J.W. Gibbons. 2005. How do highways influence snake movement? Behavioral response to roads and vehicles. *Copeia* **2005**(4): 772-782.
- Andrews, K.M., J.W. Gibbons and D.M. Jochimsen. 2008. Ecological effects of roads on amphibians and reptiles: A literature review. *Herpetological Conservation* **3**: 121-143.
- Barbault, R. 1971. Les peuplements d'Ophidiens des savanes de Lamto (Côte d'Ivoire). *Annales de l'Université d'Abidjan. Série Ecologie* **4**: 133-194.
- Barbault, R. 1987. Pression de prédation et évolution des stratégies démographiques en zone tropicale: le cas des lézards et des amphibiens. *Revue Suisse de Zoologie* **101**: 301-327.
- Baxter-Gilbert, J.H., J.L. Riley, D. Lesbarrères and J.D. Litzgus. 2015. Mitigating reptile road mortality: fence failures compromise ecopassage effectiveness. *Public Library of Science One* **10**(3): e0120537.
- Bennett, A.F. 1991. Roads, Roadsides and Wildlife Conservation: a Review. Nature Conservation 2: the Role of Corridors. Surrey Beatty & Son, New South Wales, Australia.
- Bernardino, F.S. Jr. and G.H. Dalrymple. 1992. Seasonal activity and road mortality of the snakes of the Pa-hay-okee wetlands of Everglades National Park, USA. *Biological Conservation* **62**: 71-75.
- Bodie, J.R. 2001. Stream and riparian management for freshwater turtles. *Journal of Environmental Management* **62**: 443-455.
- Bonnet, X., G. Naulleau and R. Shine. 1999. The dangers of leaving home: dispersal and mortality in snakes. *Biological Conservation* **89**(1): 39-50.
- Chen, H.L. 2015. Barrier Effects of Roads and Traffic on Animal Occurrence, Space Use, and Movements. The University of Arizona, Arizona, USA.
- Choi, J.Y., H.M. Park and S.D. Lee. 2015. An analysis of wildlife roadkill based on land cover in South Korea expressway: in case of Jungbu Expressway, p. 13-15. In: Proceedings of the International Conference on Waste Management, Ecology and Biological Sciences (WMEBS'15). Kuala Lumpur, Malaysia.
- Choi, K.C., J.W. Lee, Y.J. Yi and S.K. Baek. 2010. An occupancy based O/D data construction methodology for expressway network. *Journal of Civil Engineering* **30**(6D): 569-575.
- Choi, T.Y. and C.H. Park. 2006. The effects of land use on the frequency of mammal roadkills in Korea. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* **34**(5): 52-58.
- Clevenger, A.P., B. Chruszcz and K.E. Gunson. 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna roadkill aggregations. *Biological Conservation* **109**: 15-26.
- Do, M.S. and J.C. Yoo. 2014. Distribution pattern according to altitude and habitat type of the Red-tongue viper snake (*Gloydius ussuriensis*) in the Cheon-ma mountain. *Journal of Wetlands Research* **16**(2): 193-204.
- Dodd, C.K., K.M. Enge and J.N. Stuart. 1989. Reptiles on highways in north-central Alabama, USA. *Journal of Herpetology* **23**: 197-200.
- Fahrig, L., J.H. Pedlar, S.E. Pope, P.D. Taylor and J.F. Wegner. 1995. Effect of road traffic on amphibian density. *Biological Conservation* **73**(3): 177-182.
- Forman, R.T. and L.E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* **29**: 207-231.
- 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., USA.
- Gibbons, J.W., J.W. Coker and T.M. Murphy Jr. 1977. Selected aspects of the life history of the rainbow snake (*Farancia erytrogamma*). *Herpetologica* **33**: 276-281.
- Gu, H., Q. Dai, Q. Wang and Y. Wang. 2011. Factors contributing to amphibian road mortality in a wetland. *Current Zoology* **57**(6): 68-774.
- Gunson, K. 2010. Cyprus Lake Road Pre-mitigation Assessment. Fathom Five National Marine Park, Ontario, Canada.
- Hartmann, P.A., M.T. Hartmann and M. Martins. 2011. Snake road mortality in a protected area in the Atlantic forest of southeastern Brazil. *South American Journal of Herpetology* **6**(1): 35-42.
- IUCN. 1998. 1997 United Nations List of Protected Area. IUCN Publications, Cambridge, England.
- Kambourova-Ivanova, N., Y. Koshev, G. Popgeorgiev, D. Ragyov, M. Pavlova, I. Mollov and N. Nedialkov. 2012. Effect of traffic on mortality of amphibians, reptiles, birds and mammals on two types of roads between Pazardzhik and Plovdiv region (Bulgaria): preliminary results. *Acta Zoologica Bulgarica* **64**(1): 57-67.
- Kang, Y.S. and I.B. Yoon. 1975. Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea (vol.17): Amphibia, Reptilia. Korean

- Ministry of Education, Seoul, Korea.
- Kim, D.I., J.H. Lee, I.H. Kim, J.K. Kim, N.Y. Ra, B.N. Kim and D. Park. 2011. Herpetofauna and distribution of each species in Gwangneung Forest. *Korean Journal of Herpetology* **3**: 1-9.
- Kim, E.K. and T.G. Kim. 2013. A study on the characteristics of wildlife road-kill in Korea national park. *Proceedings of the Korean Society of Environment and Ecology Conference* **23**(2): 15.
- Kim, I.H., H.J. Lee, J.K. Kim, D.H. Choi, J.H. Han and D. Park. 2013a. Morphological characteristics and daily movement pattern of the nocturnal red-banded snake (*Dinodon rufozonatum*). *Korean Journal of Herpetology* **5**: 15-25.
- Kim, S.B., I.H. Kim, H.J. Lee, J.K. Kim and D. Park. 2013b. Review of amphibian and reptile road-kill studies in South Korea. *Korean Journal of Herpetology* **5**: 33-44.
- Kline, N.C. and D.E. Swann. 1998. Quantifying wildlife road mortality in Saguaro National Park, p. 23-31. *In: International Conference on Wildlife Ecology and Transportation (ICOWET 1998)*. Florida, USA.
- Kofron, C.P. 1978. Food and habitats of aquatic snake (Reptilia, Serpentes) in a Louisiana swamp. *Journal of Herpetology* **12**(4): 543-554.
- Korea National Park Research Institute. 2014. Visitor's Use Patterns of Korea National Park. Korea National Park Research Institute, Namwon, Korea.
- Korea National Park Service. 2016. National Park of Korea. Korea National Park Service, Seoul, Korea.
- Kwon, H.S. 2006. A study of Raccoon (*Nyctereutes procyonoides*) roadkill cause and reduction plan. *Proceedings of the Korean Institute of Landscape Architecture Conference* **2006**: 117-122.
- Lee, D.J. 2003. Monthly seasonal variations of 18 National Parks. *Journal of Tourism Sciences* **27**(2): 155-175.
- Lee, J.H., D. Park, N.Y. Ra and J.K. Kim. 2009. Herpetofauna in Odaesan National Park. *Korean Journal of Herpetology* **1**: 45-52.
- Lee, J.H., H.J. Jang and J.H. Seo. 2011. Ecological Guide Book of Herpetofauna in Korea. National Institute of Environmental Research, Incheon, Korea.
- Lillywhite, H.B. 1987. Temperature, energetics, and physiological ecology, p. 422-477. *In: Snakes: Ecology and Evolutionary Biology* (Seigel, R.A., J.T. Collins and S.S. Novak eds.). Macmillan, New York, USA.
- Luiselli, L. 2006. Resource partitioning and interspecific competition in snakes: the search for general geographical and guild patterns. *Oikos* **114**(2): 193-211.
- Matos, C., N. Sillero and E. Argaña. 2012. Spatial analysis of amphibian road mortality levels in northern Portugal country roads. *Amphibia-Reptilia* **33**(3-4): 469-483.
- Meek, R. 2009. Patterns of reptile road-kills in the Vendée region of western France. *The Herpetological Journal* **19**(3): 135-142.
- Min, J.H. and G.S. Han. 2010. A study on the characteristics of road-kills in the Odaesan National Park. *Korean Journal of Environment and Biology* **24**(1): 46-53.
- National Park Institute. 2008. A Study on the Capacity of National Park. National Park Institute, Seoul, Korea.
- Oh, J. 2009. Study on Preparing Mitigation Ways for Wildlife Road-kills in National Parks. Korea National Park Service, Seoul, Korea.
- Park, D., S.M. Jeong, S.K. Kim, N.Y. Ra, J.H. Lee, J.K. Kim, I.H. Kim, D.I. Kim and S.B. Kim. 2017. Patterns of snake roadkills on the roads in the northeast region of South Korea. *Korean Journal of Environment and Biology* **31**(1): 42-53.
- Peterson, C.H., A.R. Gibson and M.E. Dorcas. 1993. Snake thermal ecology, p. 241-314. *In: Snakes: Ecology and Behavior* (Seigel, R.A. and J.T. Collins eds.). McGrawHill, New York, USA.
- Preacher, K.J. 2001. Calculation for the chi-square test: An interactive calculation tool for chi-square tests of goodness of fit and independence (Computer software). Available from <http://quantpsy.org>.
- Quintero-Ángel, A., D. Osorio-Dominquez, F. Vargas-Salinas and C.A. Saavedra-Rodríguez. 2012. Roadkill rate of snakes in ad disturbed landscape of Central Andes of Colombia. *Herpetology Notes* **5**: 99-105.
- Reading, C.J., L.M. Luiselli, G.C. Akani, X. Bonnet, G. Amori, J.M. Ballouard, E. Filippi, G. Naulleau, D. Pearson and L. Rugiero. 2010. Are snake population in widespread decline?. *Biology Letters* **6**(6): 77-780.
- Roe, J.H., J. Gibon and B.A. Kingsbury. 2006. Beyond the wetland border: estimating the impact of roads on two species of water snakes. *Biological Conservation* **130**(2): 161-168.
- Rosen, P.C. and C.H. Lowe. 1994. Highway mortality of snakes in the Sonoran Desert of Southern Arizona. *Biological Conservation* **68**: 143-148.
- Semlitsch, R.D. 1998. Biological delineation of terrestrial buffer zones for pond-breeding salamanders. *Conservation Biology* **12**(5): 1113-1119.
- Seo, C., J.H. Thorne, T. Choi, H. Kwon and C.H. Park. 2015. Disentangling roadkill: the influence of landscape and season on cumulative vertebrate mortality in South Korea. *Landscape and Ecological Engineering* **11**(1): 87-99.
- Shin, Y.S. 2016. Understanding and Management of National Park. Nature and Ecology, Seoul, Korea.
- Son, S.W., S.H. Kil, Y.J. Yoon, J.H. Yoon, H.J. Jeon, Y.H. Son and M.S. Kim. 2016. Analysis of influential factors of roadkill occurrence: a case study of Seorak National Park. *Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture* **44**(1): 1-12.
- Song, J.Y. 2007. Current status and distribution of reptiles in the Republic of Korea. *Korean Journal of Environmental Biology* **25**(2): 124-138.
- Song, J.Y. and H.S. Oh. 2006. Current status of road-killed am-

- phibian and reptile and conservation plants in songgye valley, woraksan national park. *Korean Journal of Environment and Ecology* **20**(4): 400-406.
- Song, J.Y., M.S. Kim, I.S. Kim, T.H. Kim, I. Roh, S.W. Seo, E.K. Seo, J.K. Seo, J.Y. Yang, K.D. Woo, H.J. Won, Y.G. Lee, Y.H. Lim, S.H. Han and M.G. Moon. 2009. Roadkill of amphibians in the Korea National Park. *Korean Journal of Environment and Ecology* **23**(2): 187-193.
- Spellerberg, I.F. 1998. Ecological effects of roads and traffic: a literature review. *Global Ecology & Biogeography Letters* **7**(5): 317-333.
- Trombulak, S.C. and C.A. Frissell. 2000. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology* **14**(1): 18-30.
- Vijayakumar, S.P., K. Vasudevan and N.M. Ishwar. 2001. Herpetofauna mortality on roads in the Anamalai Hills, southern Western Ghats. *Hamadryad* **26**(2): 265-272.
- Yang, B., T. Choi, B. Yoo, J. Yi, T. Kim, J. Lee, S. Lee and Y. Cho. 2007. Management of Wildlife Species under the Influence by Habitat Fragmentation (II): in the Case of Roadkill Mitigation Measures. National Institute of Environment Research, Incheon, Korea.
- Zhao, E.M. 2006. Snakes of China. Anhui Science and Technology Publishing House, Hefei, China.
- Zug, G.R., L.J. Vitt and J.P. Caldwell. 2001. Herpetology, Second Edition. Academic Press, San Diego, USA.