한국환경생태학회지 25(5) : 649~657. 2011
Kor. J. Env. Eco. 25(5) : 649~657. 2011

포유류 로드킬 저감을 위한 고속도로 유도울타리 효율성 및 개선방안 연구[1a]

- 중앙고속도로 만종~홍천 구간을 사례로 -

송정석[2*] · 이경재[3] · 기경석[4] · 전익요[2]

The Efficiency and Improvement of the Highway Wild-Life Fences for Decrease of Mammals Road-kill [1a]

- In Case of Manjong~Hongchun Section on Jungang Highway -

Jeong-Seok Song[2*], Kyong-Jae Lee[3], Kyong-Seok Ki[4], Ik-Yo Jun[2]

요 약

본 연구는 고속도로 야생동물 유도울타리 설치효과를 분석하여 적정한 유도울타리 설치 개선 및 관리방안을 제시하고자 중앙고속도로 만종분기점~홍천나들목구간을 대상으로 수행하였다. 고속도로에 설치된 유도울타리는 포유류의 도로침입 방지효과가 있었으며, 방음벽, 낙석방지울타리, 2단 가드레일과 분리방호벽도 로드킬 예방에 효과적인 시설이었다. 유도울타리의 로드킬 저감 효과는 출입문이 설치된 높이 1.5m의 울타리보다 출입문이 설치되지 않은 높이 1.0m 구간이 로드킬 감소효과가 높아 출입문의 유무가 로드킬 저감에 중요한 요인으로 판단되었다. 또한 도로시설물의 연결지점에서 로드킬 저감 효과가 컸으며 출입문이 있더라도 관리가 잘되는 지역도 로드킬 감소효과가 높았다. 유도울타리는 설치연장이 증가함에 따라 로드킬 감소율이 높았다. 유도울타리 끝 부분과 절토부 주변은 로드킬에 취약하여 이에 대한 개선이 요구되었다. 울타리 유지관리용 출입문은 설치간격이 가까울수록 로드킬 발생량이 높아 출입문 관리가 로드킬 저감에 효과가 많은 것으로 판단되었다. 고속도로 유도울타리 설치 개선방안은 암반의 급경사 지역 외에 모두 설치되어야 하고, 도로상의 낙석방지책, 2단 가드레일, 방호벽 등은 적정 시설개선을 통해 유도울타리로 연결 설치되어야 한다. 출입문을 설치할 경우 자동개폐식 또는 중력개폐식으로 설치하여 개방을 방지하고 야생동물 탈출로가 조성이 되어야 한다. 겸용생물이동통로는 토양층 복원이나 식생공간을 조성하여 생물이동통로화 하여야 하며 로드킬로 포식자에 의한 2차 로드킬을 막기 위해 사고난 사체는 즉시 도로외부로 처리가 되어야 한다. 울타리는 최소 사고예방 목표지점으로부터 양방향 500m 이상 즉 1,000m 이상 설치되어야 하며 가급적 다음 도로시설인 교량, 통로박스 등까지 연결하여 야생동물을 생물이동통로로 안전하게 유도하여야 한다.

주요어: 야생동물교통사고, 생물이동통로, 유도펜스, 고라니, 고유종

ABSTRACT

This study had targeted the Manjong Junction~Hongchun interchange section of Jungang highway in order to analyze the efficiency and improvement of the highway wild-life fences. Being analyzed wild-life fence as an effective facility for the prevention of road-kill, it had founded that the wild animals did not jump over even

1 접수 2009년 9월 16일, 수정(1차: 2011년 8월 20일, 2차: 2011년 10월 21일), 게재확정 2011년 10월 22일
Received 16 September 2009; Revised(1st: 20 August 2011, 2nd: 21 October 2011); Accepted 21 October 2011
2 한국도로공사 Korea Expressway Corporation, Korea
3 서울시립대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, College of Urban Science, Univ. of Seoul, Seoul(130-743), Korea
4 도시생태학연구센터 Urban Ecology Research Center, 124-22 Bang-i-dong, Songpa-gu, Seoul(138-052), Korea
a 이 논문은 저자의 석사학위논문(Song, 2009) 일부를 심사를 통해 발전시킨 것임.
* 교신저자 Corresponding author(hydropotes@naver.com)

the two layer guardrail, concrete barrier and noise barrier, fence for rock fall. For the section with high road-kill decrease effect after installing the wild-life fence, the effect was higher at wild-life fence with the height of 1.0m where the door had not been installed and the well connected points of road facility than the area with fence height of 1.5m. The road-kill decrease effect was also high at the well managed areas even if the door has not been installed. Also, road-kill had occurred by concentrating around the end of wild-life fence after installing the fence, Moreover road-kill had also occurred around the cutting section. The door of wild-life fence had higher amount of road-kill occurrence as the installation interval was closer. it was analyzed that the door management has a lot of effect on road-kill decrease. The fence for rock fall, two layer guardrail and concrete barrier having the effect of wild-life fence installed on the road would have to be installed by connecting with wild-life fences through proper facility improvement. Although the door should not be installed if possible, it should be installed as automatic door or gravity door to prevent the door from leaving the door open. An escape route has to be formed for the prompt escape away from the road for the animals entered through the ending section of the fence. The eco-corridor has to be made by restoring the soil layer of dual purpose eco-corridor forming a planting area. Also, the dead body after the accident has to be disposed to the outer section of the road immediately in order to prevent the secondary road-kill by the predator from the road-kill. The fence has to be installed as 500m or longer in both ways, in other words 1,000m or longer, from the targeted spot of minimum accident prevention while connecting up to the bridge or box culvert, etc that are next road facilities if possible to guide wild animals safely to the eco-corridor.

KEY WORDS: WILD ANIMAL TRAFFIC ACCIDENT, ECO-CORRIDOR, WILD-LIFE FENCE, KOREAN WATER DEER(Hydropotes inermis), ENDEMIC SPECIES

서 론

생활환경개선과 사회간접자본시설 확충을 목적으로 조성된 도로·철로는 인간에게 편리함과 경제적인 발전에 기여하지만 생활환경의 질 저하와 자연환경에 영향을 미친다. 특히 도로건설은 야생동물에게 서식지 단절과 함께 유전적 교환을 차단함으로써 환경에 대한 적응력을 약화시킨다. 야생동물은 먹이, 식수확보, 번식, 분산 등을 위해 위험을 감수하고라도 도로를 횡단하려는 본능적 습성에 따라 동물교통사고(로드킬: Road-kill)가 발생된다.

야생동물의 로드킬은 도로 인근 지역에 서식하는 야생동물 개체군의 주요한 감소원인이 될 수 있으며, 중·대형 야생동물이 차량과 충돌하는 경우에는 사람 안전을 위협할 뿐만 아니라 차량 파손 등 물질적 피해까지 발생시키게 된다(Finder *et al*., 1999). 새로운 도로 건설은 자연서식지를 소실시킬 뿐 아니라 고립시키며 교란된 환경으로 변형시킨다. 그리고 동물 개체수에 직접적인 영향을 주는 로드킬이 발생해 멸종위기종들의 절멸을 더욱 가속시킨다. 도로건설에 따른 서식지 단편화는 향후 종과 종사이의 접촉을 차단하고 종의 이동과 분산에 영향을 미치며(Brotons & Herrando, 2001), 도로건설에 의한 수송차량 증가는 소음공해와 시야장애를 발생시켜 척추동물의 서식지를 감소시킨다(Forman & Alexander, 1998).

European Union Cost 341(2003)의 지침에서 유도울타리는 로드킬 발생지점으로부터 최소 500m까지는 설치되거나 다음 생태이동통로인 교량, 통로박스 등까지는 연결되어야 한다고 하였다. Park(2007)는 유도울타리 내부로 진입한 야생동물의 도로내 진입을 방지하고 안전하게 탈출하기 위하여 Oneway Gate, Oneway Pipe, Jump Out형 탈출로를 제시한 바 있다. 최근 국내에서는 로드킬과 관련한 다양한 연구들이 진행되고 있으나 아직 초기단계이며 특히 유도울타리와 관련된 연구는 미흡한 실정이다.

한국도로공사에서는 로드킬을 예방하기 위해 2001년부터 생물이동통로를 설치하였지만 설치 후 로드킬이 증가하여 2005년부터는 생물이동통로 대안으로 야생동물 유도울타리를 설치하였다. 이후 로드킬이 감소되어 야생동물 유도울타리가 생물이동통로, 주의표지판 등 다른 야생동물 보호시설물보다 로드킬 예방효과가 있는 것으로 예측하였다. 향후 야생동물 유도울타리는 국도, 지방도에도 확대될 예정이나 유도울타리의 적정설치와 효과분석에 대한 연구는 진행

된 바가 없어 이에 대한 과학적인 연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 도로건설에 따른 생태계영향 저감과 로드킬 방지를 위하여 설치되고 있는 야생동물 유도울타리 설치효과를 분석하여 효율적인 유도울타리 설치 방안을 제시하고자 한다.

연구방법

1. 연구대상지

본 연구대상지인 고속국도 55호선 중앙고속도로는 1995년 구간별 왕복 2차선으로 개통되었으며, 2001년에 4차선 확장과 함께 전구간이 개통되었다. 연구대상지인 만종~홍천구간은 2001년에 4차선으로 개통되었다. 연구구간은 중앙고속도로 중 강원도지역을 통과하는 만종분기점(원주시 지정면)에서 홍천나들목(홍천군 홍천읍)까지이며 로드킬 저감을 위해 우리나라 최초로 야생동물 유도울타리가 설치된 지역이다. 연구구간 남측 구간인 제천~원주간은 남한강 지류하천인 용암천에 유입되는 무명천 계곡을 따라 북상하는 노선으로 저산성 산간 계곡지형을 이룬다. 그러나 백두대간이 가로지르는 강원도와 충청북도 경계선 지역은 비교적 산세가 험한 지형특성을 이룬다. 부근 일대의 산지는 백운산(1087m), 삼봉산(910m), 구학산(983m), 감악봉(886m), 석기산(906m), 청룡산(575m) 등이 산재하고 있다. 연구구간 내부의 원주~횡성간은 수래봉(407m), 덕고산(428m), 관심산(489m), 감투봉(639m) 등이 부근에 산재하고 있으나 대체로 300~500m 내외의 낮은 구릉성 저산지대에 해당된다. 남한강 상류인 섬강의 범람원 지구도 일부 통과하며, 평균 200m 내외의 지면 높이를 이루고 있다. 연구구간 북측의 홍천~춘천간은 남한강 상류에 유입하는 홍천강과 지류하천의 계곡을 따라 이어지는 구간으로 산지가 발달한 지역이다.

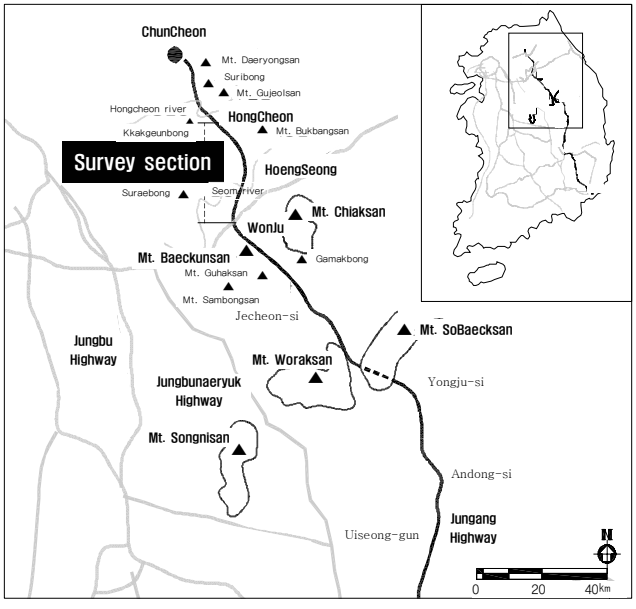

Figure 1. The location map of the survey site

2. 조사분석

연구구간 로드킬 현황은 중앙고속도로 만종분기점~홍천나들목 구간에 대한 유도울타리 설치지역과 미설치지역 포함하여 구간 전체를 대상으로 유도울타리 설치 전인 2004~2005년과 설치후인 2006~2007년에 1월부터 12월까지 종별 로드킬 개체수를 연도별, 월별로 변화상을 분석하였다. 조사 대상동물은 고라니(*Hydropotes inermis*), 너구리(*Nyctereutes procyonoides*), 멧토끼(*Lepus coreanus*), 노루(*Capreolus pygargus*), 오소리(*Meles meles*), 삵(*Prionailurus bengalensis*), 족제비(*Mustela sibirica*) 등 8종이었다. 유도울타리 설치에 따른 로드킬 변화는 연구구간 중 유도울타리를 설치한 10개 구간을 선정하여 울타리 설치 전·후 로드킬 평균감소율을 기준으로 유도울타리 설치 후 로드킬 저감에 영향이 많은 5개 구간, 영향이 적은 5개 구간에 대해 도면 위에 실제 로드킬 발생위치, 교량, 통로박스, 수로박스, 횡배수관, 방음벽 등 도로시설물을 표기하여 발생현황을 분석하였다. 시설물에 의한 영향은 울타리 설치구간 10개소에 대해 출입문, 울타리 높이, 설치연장, 침입방지 역할을 할 수 있는 낙석방지책, 방음벽, 2단 가드레일, 방호벽 등에 의한 로드킬 저감효과를 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 유도울타리 설치에 따른 로드킬 변화 현황

본 연구구간의 야생동물 유도울타리 설치 후 로드킬(Road-kill) 평균 감소율은 43.5%이고 유도울타리 설치구간 내에서의 평균 감소율은 60.8%로 연구구간의 미설치구간과는 약 17.3%의 차이가 났다. 종별로는 너구리, 족제비, 멧토끼가 평균 감소량보다 높았으며 유제류인 고라니의 경우 울타리 설치구간 평균 감소량보다 낮은 50.6%의 감소율을 보였다. 이는 유제류의 로드킬은 통로와 함께 울타리가 조성될 경우 최소 80%(Ward, 1982; Lavsund and Sandegren, 1991; Child, 1998; Clevenger *et al*., 2001)가 감소하며 사슴류는 60~97%(Knapp, 2004)까지 감소시킬 수 있다고 연구한 것과는 다른 수치를 보여주고 있으며 본 연구구간에서는 구간별로 감소율이 높은 구간과 낮은 구간이 발생하

Table 1. The variation of road-kill type in survey section (Unit: individuals)

Year	Total	*Hydropotes inermis*	*Nyctereutes procyonoides*	*Capreolus pygargus*	*Lepus coreanus*	*Mustela sibirica*
2004~2005	186	89	42	1	48	6
2006~2007	73	44	9	0	18	2
Decrease Individual	113	45	33	1	30	4
Decrease Ratio(%)	60.8	50.6	78.6	100.0	62.5	66.7

였다.

2. 유도울타리 및 도로시설물에 의한 로드킬 영향

1) 울타리에 의한 영향

분석구간 10곳에 대한 유도울타리는 높이 97.5%가 1.5m로 설치되었으며 높이 1.0m가 2.5%, 높이 90cm의 방호벽과 2단 가드레일도 포함하여 연결하여 설치되었다. 출입문 분석구간의 총 출입문 수량은 59개소로 도로시설물 연장 포함 평균 255m마다 1개씩 설치되어 있으며 출입문이 설치되어 있지 않거나 울타리 설치간격이 긴 경우 및 출입문 관리가 잘 되는 구간은 로드킬 감소율이 높았다. 울타리 높이 1.5m로만 설치된 8개 구간의 발생종 전체자료를 분석해 보면 로드킬 개체수는 울타리 설치 후에 51.9%로 감소하였다. 하지만 높이 0.9~1.0m를 복합적으로 설치한 곳의 경우 90cm의 방호벽, 2단 가드레일과 1.0~1.5m의 울타리를 연결한 구간에서는 로드킬이 한 건도 발생하지 않았다. 또한 90cm의 방호벽과 높이 1.5m울타리, 높이 2.0m의 낙석방지책을 연결한 구간에서도 로드킬이 추가로 발생하지 않았다. 고라니의 경우만 분석할 경우 전체 로드킬 증감량의 높이에 따른 영향과 비슷하였다. 유도울타리와 도로시설물을 연결한 0.9~1.5m의 경우 100% 감소하였고, 울타리 높이 1.5m만 설치된 곳에서 평균 47.6% 감소하였다.

한국도로공사 설치기준에 의하면 유도울타리 설치 시 사고다발구간을 중심으로 설치하며 절토부가 10m가 넘는 구간은 절토부 시종점 5m까지만 설치하도록 되어있고 사고다발구간에서의 최소 설치길이는 제시되어 있지 않았다. 해당구간은 이러한 기준에 의해 설치되었으며 연구구간에 유도울타리 설치 후 전체적으로 로드킬 감소가 있었다. 설치연장에 따른 증감율은 설치연장이 900~1,300m 구간에서 0~77.7%의 증감변화가 있었고 설치연장 1,500~2,100m 구간에서는 위치에 따라 다르나 28.6~100%까지 감소율이 발생하였으며 대체적으로 설치연장이 증가함에 따라 감소율이 높았다. 설치연장이 1,300m인 구간은 상대적으로 짧았고, 감소율이 높았지만 울타리 설치 이전에 한곳에 4마리가 집중되던 로드킬이 울타리끝 외부 주변에서 4마리가 발생하였다. 따라서 로드킬 위험지역은 유도울타리 끝부분이라고 할 수 있으며 연구구간은 조성당시 사고다발구간 중심에서 명확한 설치거리는 제시되지 않고 일부구간에 있어서는 다발구간 내라도 절토부가 10m가 넘으면 5m까지만 시공하도록 하는 등 중간에 열린구간이 있도록 설치되어 로드킬 증감에 영향을 미친 것으로 판단된다.

하지만 설치구간이 긴 구간이라도 319.0~320.0㎞(부산방향)은 2,000m의 연장인데도 로드킬 감소율이 28.6%밖에 되지 않았으며 그중 고라니가 83.3%이었다. 설치연장이

Table 2. The variation of Road-kill by installation of wild-life fence

Section(㎞)	Direction	Fence door		Fence height(m)	Fence length(m)	Total road-kill variation(%)	*Hydropotes inermis* road-kill variation(%)
		Door(unit)	Average interval(m)				
Total		59	-	-	-	-61.2	-58.4
319.0~321.0	Pusan	8	250	1.5	2,000	-28.5	0.0
319.3~320.6	Chuncheon	7	185	1.5	1,300	-77.7	-100.0
321.1~322.0	Pusan	3	300	1.5	900	-42.8	-33.3
322.1~324.2	Pusan	3	633	1.5	2,100	-90.0	-100.0
328.9~329.9	Chuncheon	7	157	1.5	1,100	0.0	50.0
328.9~330.1	Pusan	8	162	1.5	1,300	-37.5	0.0
330.1~331.6	Pusan	10	150	1.5	1,500	-45.4	0.0
345.6~347.6	Chuncheon	0	2,000	0.9~1.5	2,000	-100.0	-100.0
352.0~353.8	Chuncheon	8	255	1.5	1,800	-76.9	-87.5
355.0~356.5	Chuncheon	5	300	0.9~1.5	1,500	-100.0	-100.0

1,500m의 긴 연장이지만 45.5%의 감소율을 나타낸 330.1~331.6㎞(부산방향)은 추가발생량의 4마리이었는데 그 중 고라니가 3마리이었다. 즉, 울타리 설치 후 설치연장이 길고 울타리의 연결성이 중요하며 설치 후 울타리의 끝에서 유제류인 고라니의 로드킬이 증가한 것으로 판단되었다.

2) 침입방지역할의 도로시설물에 의한 영향

연구구간은 도로의 기능유지, 안전, 환경적 영향을 저감하기 위해 방음벽, 낙석방지책, 가드레일 등 도로시설물이 설치되어 있으며 이러한 도로시설물은 야생동물의 로드킬 예방시설로서 효과적으로 이용할 수 있다. 연구구간에 설치된 낙석방지책 높이는 2.0~2.5m이었고, 방음벽은 2.0~4.5m까지 다양하였으며 도로시설물의 높이가 유도울타리 최고 높이 1.5m보다 높았다. 낙석방지책의 경우 망목이 50㎜이며 지면과 이격이 일부 있지만 설치이후 토사유입 등 지형의 변화에 의해 이격부분은 5cm내외여서 야생동물의 유도울타리 기능을 하는 데에 지장이 없었다. 2단 가드레일과 방호벽은 높이가 유도울타리 최소높이인 1m보다 낮게 90cm로 설치되어 있었다. 따라서 2단 가드레일이라도 지면이격이 큰 곳에서는 멧토끼, 너구리 등의 이동이 자유롭기 때문에 고라니 같은 중형동물 이외의 동물에게는 유도효과가 적을 수 있다. 실제 2단 가드레일(지면이격 25cm)이 설치되어 있는 연구구간의 1개소에서 멧토끼의 로드킬이 추가 발생하였다.

DREO(2006)는 가드레일은 야생동물의 도로침입을 어느 정도 방지할 수 있으며 이 경우 2단 가드레일에 한해서 중대형종의 로드킬방지 효과가 있다고 보고하였다. 중대형종에 한해 보고한 것은 가드레일의 경우 하단과 지면과의 이격부분으로 소형동물의 출입이 이루어지기 때문이며 시공시 지면과 이격을 줄인다면 소형동물이라도 효과가 있을 것으로 판단한다. Ministry of Environment(2007)에서는 대형도로인 4차선 산업도로의 경우 대부분의 고라니 로드킬이 교차로 또는 주변지형과 이어지면서 가드레일(1단, 2단 가드레일 포함)이 없는 구간에서 발생되고 있었다고 하였다. 연구구간의 2단 가드레일과 방호벽이 설치된 3곳의 위치를 분석한 결과 1.5m의 울타리만 설치한 곳보다 로드킬 저감량이 상대적으로 높았다.

이는 1.5m의 울타리에는 출입문이 설치되어 있고 1m 이하의 시설물에는 출입문이 설치되지 않았기 때문이며, 고라니의 경우 최고 도약력이 높이 2.5m까지이지만 고속도로 성·절토부의 지형적 영향과 야생동물의 경우 에너지를 무리하게 소비하면서 장애물을 넘지 않으려는 생태적 특성이 작용한 것으로 판단된다. 향후 야생동물 울타리의 기준 수립시 울타리 높이를 고려하는 것보다 도로시설물의 활용과 함께 시설물간의 유기적인 연결성을 높이며 출입문의 적정 설치방법이 우선되어야 할 것으로 판단된다.

3) 겸용생물이동통로에 의한 영향

연구구간 내 야생동물이 이용 가능한 도로시설에 대한 자료와 로드킬과의 관련성을 전체 로드킬과 고라니와 나누어 분석하였다. Ministry of Environment(2007)에 의하면 쥐과의 설치류, 삵, 족제비, 수달은 수로관처럼 규격이 작은 구조물로도 통로의 기능이 충분하며, 멧토끼와 고라니는 규격이 큰 구조물을 선호하고, 너구리는 모든 형태의 구조물을 잘 이용하는 것을 알 수 있다. 전체구간의 로드킬 감소의 경우 평균감소율보다 높은 경우는 겸용생물이동통로 설치간격이 평균 105m, 108m, 118m, 128m, 166m에서의 감소율이 높았다. 하지만 설치간격이 같은 105m의 동일한 조건에도 28.5%와 100%로 감소효과에 차이가 컸다. 겸용생물이동통로 설치간격이 122m 간격에서는 감소율이 0%였지만 오히려 설치간격이 먼 166m에서 감소율이 높았다. 따라서 겸용생물이동통로와 로드킬과의 상관관계보다는 유도

Table 3. The status of wild-fence as an effective facility (unit: m)

Section(㎞)	Direction	Fence of rock fall	Noise barrier	Two layer guardrail	Concret barrier
Total	-	726	2,080	1,200	780
319.0~321.0	Pusan	-	172	-	-
319.3~320.6	Chuncheon	-	263	-	-
321.1~322.0	Pusan	86	150	-	-
322.1~324.2	Pusan	300	420	600	-
328.9~329.9	Chuncheon	-	74	-	-
328.9~330.1	Pusan	-	355	-	-
330.1~331.6	Pusan	200	102	-	-
345.6~347.6	Chuncheon	-	-	600	400
352.0~353.8	Chuncheon	-	544	-	-
355.0~356.5	Chuncheon	140	-	-	380

Table 4. The effect of dual purpose eco-corridor

Location (㎞)	Direction	Wild-life fence length (m)	Dual purpose eco-corridor (m/unit)	Dual purpose eco-corrider(unit)					Variation of Road-kill			
				Total	Bridge	Box con vert	Pipe con vert	Drain pipe	Installation		Varia-tion	Variation Ratio(%)
									Before	After		
Total	-	-	-	127	11	27	20	69	98	38	-60	-61.2
319.0~321.0	Pusan	2,000	105	19	2	5	3	9	14	10	-4	-28.5
345.6~347.6	Chuncheon	2,000	105	19	2	3	1	13	10	0	-10	-100.0
319.3~320.6	Chuncheon	1,300	108	12	1	4	2	5	9	2	-7	-77.7
321.1~322.0	Pusan	900	112	8	1	2	1	4	7	4	-3	-42.8
322.1~324.2	Pusan	2,100	118	16	1	2	2	11	10	1	-9	-90.0
328.9~329.9	Chuncheon	1,100	122	9	1	1	3	4	7	7	0	0
328.9~330.1	Pusan	1,300	130	10	1	1	3	5	8	5	-3	-37.5
330.1~331.6	Pusan	1,500	136	11	1	3	2	5	11	6	-5	-45.4
352.0~353.8	Chuncheon	1,800	128	13	0	3	3	8	13	3	-10	-76.9
355.0~356.5	Chuncheon	1,500	166	9	1	3	0	5	9	0	-9	-100.0

Table 5. The effect of bridge, box culvert(Dual purpose eco-corridor)(*Hydropotes inermis*)

Location (㎞)	Direction	Wild-life fence length(m)	Dual purpose eco -corridor (m/unit)	Dual purpose eco-corrider(unit)			Variation of Hydropotes inermis(Individuals)			
				Total	Bridge	Box culvert	Installation		Varia tion	Variation Ratio(%)
							Before	After		
Total	-	-	-	38	11	27	53	22	-31	-58.4
319.3~320.6	Chuncheon	1,300	260	5	1	4	5	0	-5	-100.0
319.0~321.0	Pusan	2,000	285	7	2	5	7	7	0	0
321.1~322.0	Pusan	900	300	3	1	2	3	2	-1	-33.3
330.1~331.6	Pusan	1,500	375	4	1	3	4	4	0	0
355.0~356.5	Chuncheon	1,500	375	4	1	3	6	0	-6	-100.0
345.6~347.6	Chuncheon	2,000	400	5	2	3	5	0	-5	-100.0
328.9~329.9	Chuncheon	1,100	550	2	1	1	2	3	1	50.0
352.0~353.8	Chuncheon	1,800	600	3	0	3	8	1	-7	-87.5
322.1~324.2	Pusan	2,100	633	3	1	2	8	0	-8	-100.0
328.9~330.1	Pusan	1,300	650	2	1	1	5	5	0	0

울타리 설치에 따른 영향으로 행동반경에 영향을 받았거나 또 다른 원인으로 보인다. 105~112m사이는 설치간격이 넓어지면서 감소율이 줄어들어 겸용생물이동통로가 많으면 효과가 많게 보이나, 130~166m에서는 이와 반대로 겸용생물이동통로의 설치간격이 멀어질수록 감소율이 많아졌다.

Clevenger *et al*.(2003)은 중·소형 포유류의 로드킬은 수로와 같은 횡단구조물과 가까울수록 로드킬이 감소하였다고 보고한 반면 Rodriguez *et al*.(1996)은 울타리 설치 전과 후에 로드킬의 차이는 있으나 통로 이용율의 차이는 없는 것으로 연구되었다. 또한 Choi(2007)는 월별 이용 가능한 통로의 비율과 로드킬 수의 변화는 비교적 낮은 수준의 정의 상관관계를 보였으며 이러한 통로 수의 증감은 로드킬 발생과 상관관계가 없으며, 이러한 결과는 통로의 수를 늘리면 로드킬이 줄어들 것이라는 일반적인 기대와 다르다. 따라서 통로 수의 변화는 로드킬 발생 수에 유의한 영향을 미치지 않으며, 통로 수가 증가하여도 로드킬이 감소한다고 볼 수 없는 것으로 판단된다.

고라니의 경우에 이용 가능한 겸용생물이동통로로서 교량, 통로박스만을 분석한 결과 설치간격이 가장 짧은 260m에서는 100%의 감소가 있었고 설치간격이 가장 긴 650m에서는 감소율이 0%로서 설치간격이 짧을수록 로드킬이 감소한 것처럼 상관관계가 있어 보이나 설치 간격이 중간인 550m에서는 로드킬이 2마리에서 3마리로 오히려 50% 늘었으며 375m, 400m, 600m에서도 100%의 감소효과가 있어 전종과의 비교처럼 로드킬과 생물이동통로와의 관련성은 낮은 것으로 판단되었다.

이는 연구구간이 2001년 준공 후 현재 5년이 지나서 야생동물이 도로주변 시설물에 적응해서 생활하거나 실제 울타리에 영향을 받은 동물이 도로침입을 시도하지 않고 울타리가 야생동물을 겸용생물이동통로 유도하여 통로이용횟수가 증가하였는지를 파악하기가 명확하지 않다는 것으로 판단할 수 있다.

3. 로드킬 변화 원인

1) 감소 원인

연구구간의 야생동물 유도울타리 설치후 로드킬 감소원인을 분석한 결과 유도울타리 설치구간이 미설치구간보다 로드킬이 감소되어 야생동물 유도울타리가 야생동물에게 또 하나의 장애물(Barrier)라는 부정적 영향과 함께 로드킬 예방이라는 긍정적인 효과가 있는 것으로 분석되었다. 하지만 현장여건 및 설치기준, 조성위치에 따라서는 평균감소율보다 오히려 감소율이 적은 구간도 발생하였다.

로드킬 예방을 위해 설치된 높이 1.0~1.5m, 망목 50㎜ × 50㎜의 야생동물 유도울타리는 목표종인 고라니, 너구리, 멧토끼 등의 도로침입을 예방하는 것으로 판단되었다. 이러한 동물종은 도로의 절·성토면, 도로시설물과 야생동물의 생태적 영향으로 최고 도약높이를 넘지 않은 것으로 조사되었다. 도로시설물에 따라서는 유도울타리 최저높이 1.0m보다 낮은 시설물인 2단 가드레일, 분리방호벽 등에서도 로드킬이 발생하지 않았는데 야생동물의 도로침입을 효과적으로 예방하고 있는 것으로 분석되었다. 도로에 설치된 방음벽, 낙석방지책, 침입방지 가드펜스 등도 중소형종인 고라니, 너구리, 멧토끼 등의 로드킬 예방에 효과적인 대용시설로 판단된다.

연구구간 출입문이 설치된 높이 1.5m에서는 높이 1.0m와 2단 가드레일 등 도로시설물을 유기적으로 연결한 지역보다 로드킬 추가발생량이 높았다. 이는 울타리 높이 1.0m를 설치한 지역에서는 출입문을 설치하지 않았기 때문이며 출입문이 없는 구간이 울타리 높이가 낮더라도 로드킬 감소에 효과가 높았다. 또한 출입문이 있더라도 출입문관리가 잘되는 지역, 도로관리자의 이용이 되지 않은 지역에서도 로드킬 감소효과가 높았다.

야생동물은 한곳에 머무르는 것이 아니라 일정한 행동반경을 갖고 살아가는데 Forman *et al*.(2003)은 일반적으로 이동성이 높은 종일 수록 로드킬에 취약하다고 했다. 따라서 고라니와 같은 넓은 서식지역을 필요로 하는 동물은 울타리 설치연장에 따라 야생동물의 행동에 많은 영향을 주는데 본 연구에서 유도울타리 설치연장이 1,300m이하보다 1,500~2,000m구간에서 로드킬 감소효과가 높았는데 로드킬 다발구간을 중심으로 긴 연장으로 설치된 곳에서 로드킬 감소율이 높았다.

야생동물 유도울타리설치 공사의 준공이 2005년 12월 31일이지만 울타리설치를 위한 터파기, 삭초작업, 자재운반 등의 시행에 따라 조성 준비시기 및 일부구간의 준공에 따라 도로주변의 인위적인 교란이 야생동물에게 민감하게 작용하여 로드킬 저감에 영향이 있는 것으로 판단된다.

2) 감소 후 재증가 원인

2005년 야생동물 유도울타리 설치 후 1년후인 2006년에는 로드킬이 50.3%가 감소하였으나 다음해인 2007년에는 2005년 수준으로 다시 증가하였다. 이는 일반적으로 유도울타리를 설치하면 당연히 로드킬이 감소할 것이라고 예상하는 것과는 상반되는 결과로서 설치지역 전체가 증가하지는 않았으나 로드킬이 감소하는 곳과 증가하는 곳이 발생하였다. 또한 울타리 같은 인위적인 시설설치가 울타리 설치 첫해인 2006년에는 야생동물에게 기피시설로 작용하다가 이후 울타리시설에 적응하였거나 새로 태어난 개체의 경우 주변환경에 부정적 영향이 적었을 것으로 판단된다.

재증가 원인으로는 울타리가 전구간에 걸쳐 설치되지 않은 점과 사고다발위치에서 일정영향구간까지 설치되어야 하지만 사고다발구간으로부터 일정구간까지의 설치기준이 명확하지 않거나 절·성토부에서 울타리설치가 끝나 야생동물의 울타리를 따라서 이동하다가 울타리 끝에서 도로로 침입한 빈도가 높았다. 특히 울타리 끝에서의 로드킬은 너구리나 멧토끼 같은 소형동물보다는 유제류인 고라니의 발생빈도가 높게 나타났다.

야생동물 유도울타리 설치지역의 유지관리용 출입문은 관리를 위해 필요한 시설이나 야생동물에게는 함정과 같은 역할을 했을 것으로 판단된다. 울타리 높이에 따라서는 높이 1.0m 지역보다 출입문이 설치된 1.5m의 지역에서 발생율이 높았는데 이는 울타리 설치지역의 출입문 관리가 되지 않고 한번 열리면 열린상태로 유지되어 로드킬의 취약지점으로 발생된 것으로 판단된다. 또한 유도울타리 시공구간의 울타리 안으로 진입한 동물이 쉽게 빠져나갈 수 있도록 울타리에는 일방향문이나 탈출용 경사로가 필요하나(Putman *et al.,* 2004), 출입문으로 진입한 야생동물이 도로를 탈출하지 못하고 로드킬로 연결되는 것으로 판단된다.

분리방호벽의 경우 추가 로드킬 발생이 되지 않았지만, 2단 가드레일의 경우 지면이격이 250㎜인 일부구간에서는 소형동물의 도로 이동이 자유롭기 때문에 추가 로드킬이 발생하는 것으로 조사되었다. 야생동물에게 유도울타리는 겸용생물이동통로로 유도할 수 있도록 설치되었으나 유도울타리 인근에 생물이동통로가 설치되지 않거나 이동할만한 겸용생물이동통로가 부족한 것도 로드킬 증가원인으로

판단된다.

4. 야생동물 유도울타리 설치 개선 및 관리방안

국내 야생동물 유도울타리 설치기준은 각 기관마다 다르며 한국도로공사에서 지형별, 위치별로 설치기준을 제시한 경우가 있다. 본 연구에서는 이러한 국내 야생동물 유도울타리 설치 지역 중 중앙고속도로 조성 사례를 중심으로 야생동물 유도울타리 설치 개선 및 관리방안을 제시하였다. 10m 이상의 고절토부지역은 현재 유도울타리가 절토부 높이 5m까지 설치하도록 되어 있으나 암반의 급경사 지역 외에 모두 설치되어야 할 것으로 판단되었다. 도로상의 설치된 유도울타리 효과를 갖고 있는 낙석방지책, 2단 가드레일, 방호벽 등은 적정 시설개선을 통해 유도울타리로 연결 설치가 필요하다. 출입문은 가급적 설치되지 않아야 하나 부득이한 경우 자동개폐식 또는 중력개폐식으로 설치하여 출입문이 열린 상태로 방치되지 않도록 하여야 한다.

울타리 끝으로 들어온 야생동물이 도로 밖으로 신속한 탈출을 위해 탈출로가 조성되어야 한다. 생물이동통로는 추가 조성이 현실적으로 어려운 점을 고려하여 겸용생물이동통로의 토양층복원이나 수목 식재를 통해 생물이동통로화 하여야 한다. 또한 1차 로드킬 후 사체 포식자에 의한 2차 로드킬을 막기 위해 사고난 사체는 즉시 도로외부로 처리되어야 한다. 울타리는 최소 사고예방 목표지점으로부터 양방향 500m 이상 즉 1,000m 이상 설치되어야 하며 가급적 다음 도로시설인 교량, 통로박스 등까지 연결하여 야생동물을 생물이동통로로 안전하게 유도하여야 한다.

향후 야생동물의 로드킬 저감을 위해서는 도로의 유지관리 측면에서 개선이 수반되어야 한다. 유도울타리 설치와 함께 야생동물의 이동로가 확보되어 도로 내부로 들어온 야생동물이 울타리 바깥쪽으로 탈출할 수 있는 탈출로도 확대 조성되어야 한다. 유도울타리 설치지역 생물이동통로화가 가능한 통로를 선정하여 환경을 개선하고 지역 자생수종을 활용한 유도수림대를 조성하여 야생동물이 불안감이나 거부감 없이 자연스럽게 이동할 수 있도록 해야 한다. 현재 겨울철 제설작업이 과거 모래위주의 관리에서 소금을 사용하는 습염식 방식으로 바뀌면서 염분섭취가 필요한 고라니를 유인하고 있어 고라니 로드킬 다발구간의 제설작업방법의 보완이 필요하다. 즉 로드킬 예방을 위해 야생동물이 도로를 이용하지 않도록 도로주변에 야생동물들이 필요한 먹이, 따뜻한 공간 등을 제공하는 피딩스테이션(Feeding station) 설치도 고려해야 한다. 이와 함께 로드킬 당한 사체는 고속도로 이용자에게 불쾌감과 함께 너구리, 삵 등 포식동물을 유인하는 효과가 있기 때문에 이로 인한 2차 로드킬이 발생할 수 있어 로드킬 사체는 사고 즉시 제거되어야 한다.

인용문헌

Brotons, L. and S. Herrando(2001) Reduced bird occurrence in pine forest fragments associated with road proximity in a Mediterranean agricultural area. Landscape and Urban Planning 57: 77-89.

Child, K.N.(1998) Incidental mortality. In: Franzmann, A.W., Schwarts, C.C.(Eds.), Ecology and Management of the North American Moose. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, pp. 275-285.

Choi, T.Y.(2007) Road-Kill Mitigation Strategies for Mammals in Korea: Data Based on Surveys of Road-kill, Non-wildlife Passage Use, and home-range. Seoul National University Graduate School Dissertation for the Degree of Doctor, 200pp. (in Korean with English abstract)

Clevenger, A.P., B. Chruszczc and K.E. Gunsonc(2003) Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. Biological Conservation 109: 15–26.

Clevenger, A.P., K. Gunson and B. Chruszcz(2001) Highway mitigation fencing reduces wildlife-vehicle collisions. Wildlife Society Bulletin 29, pp. 646–653.

Daegu Regional Environmental Office(2006) Wild-life Road-kill Survey Report. Daegu Regional Environmental Office, 120pp.

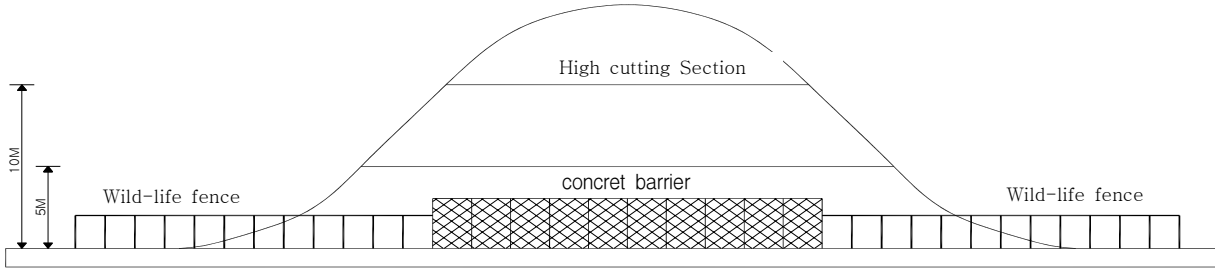

Figure 2. Wild-life fence Installation improvement plan of high cutting section

(in Korean)

European Union COST 341(2003) Wildlife and Traffic: A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions. European Commission Action 341 on "Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure", KNNV Publishing, 176pp.

Finder, R.A., J.L. Roseberry and A. Woolf(1999) Site and landscape conditions at white-tailed deer/vehicle collision locations in Illinois. Landscape and Urban Planning 44: 77- 85.

Forman, R. and L.E. Alexander(1998) Roads and their major ecological effects. Annual Review of Ecology and Systematics 29: 207-231.

Forman, R.T., D. Sperling, J.H. Bissonette, A.P. Cleveger, C.D. Cutshall, V.H. Dale, L. Fahrig, R. France, C.R. Goldman, K. Heanue, J.A. Jones, F.J. Swanson, T. Turrentime and T.C. Winter(2003) Road Ecology, Science and Solutions. Island Press, 504pp.

Fraser, D. and E.R. Thomas(1982) Moose-vehicle accidents in Ontario: relation to highway salt. Wild. Soc. Bull. 10: 261-265.

Lavsund, S. and F. Sandegren(1991) Moose-vehicle relations in Sweden: a review. Alces 27: 118-126.

Mader, H.J.(1984) Animal habitat isolation by roads and agricultural fields. Biol. Consery. 29(1): 81-96.

Ministry of Environment(2007) Management Model of Road Type and Animal Species by Analysis of Wildlife Habitat Interruption and a Cause of Road-kill. Ministry of Envirnoment, 245pp. (in Korean)

Park, S.S.(2007) Decrease Scheme for Wildlife Road-kill on Highway. Thesis for the Degree of Master, Graduate School, Chonbuk National University, 84pp. (in Korean with English summary)

Putman R.J., J. Langbein and B.W. Staines(2004) Deer and road traffic accidents: A review of mitigation measures: costs and cost-effectiveness. Report for the Deer Commission for Scotland contract RP23A. Deer Commission for Scotland, 96pp.

Rheindt, F.E.(2003) The impact of roads on birds: Does song frequency play a role in determining susceptibility to noise pollution? Journal of Omithology 144: 295-306.

Rodríguez, A., G. Crema and M. Delibes(1996) Use of non-wildlife passages across a high speed railway by terrestrial vertebrates. Journal of Applied Ecology 33: 1527-1540.

Song, J.S.(2009) A Study on the Road-kill Decrease Effect of Mammals Followed by Installation of Highway Wild-life Fences - The Case of Manjong～Hongchun Section on Jungang Highway -. Thesis for the Degree of Master, Graduate School, Urban Science University of Seoul, 112pp. (in Korean with English summary)

Ward, A.L.(1982) Mule deer behavior in relation to fencing and underpasses on Interstate 80 in Wyoming. Transportation Research Record 859: 8–13.