로드킬 저감을 위한 로드가드시스템의 가치 평가에 관한 연구

Valuation of Road Guard System to Reduce Road-Kills

이 병 주 Lee, Byung Joo

김 태 식 Kim, Tae Sik

정 봉 조 Chung, Bong Jo

남 궁 문 Namgung, Moon

정회원 · (주)해오름이엔씨 교통계획부 이사 · 공학박사 (E-mail : lbj3891@hanmail.net)

(유)금오안전 대표이사 · 공학박사 (E-mail : apex64@empal.com)

정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구팀장 · 공학박사 (E-mail : chungbj@ex.co.kr)

정회원 · 원광대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 · 교신저자 (E-mail : ngmoon@wonkwang.ac.kr)

ABSTRACT

This study carries out to evaluate the value of introducing the road guard system that merges the function of a fence that induces wild animals and a grass inhibitor to an existing guard rail that acts as road safety facilities. For this purpose, we surveyed that road user's willingness-to-pay and recognition characteristics for road safety facilities using contingent valuation Method. By establishing a willingness-to-pay assumption model, the average willingness-to-pay was 5,018 won, which was higher than the average proposed amount of 3,883 won and shows that the road guard system is an appropriate alternative facility to increase road safety and reduce road kills. Therefore, it would be prudent to review the introduction of the road guard system to newly constructed roads or current roads in operation as a way of reducing road kills. In the future, the road guard system must be tested in areas that are highly susceptible to road kills after consulting with the relevant highway managing authorities to conduct a comparison study on the before and after installation effect of the road guard system to investigate its operation and the current status of road kills to clearly identify its effectiveness.

KEYWORDS

road-kill, contingent valuation method, willingness-to-pay, multicollinearity

요지

본 연구는 로드킬 저감을 위한 도로 안전 시설물로 기존 가드레일에 야생동물 유도철크스 기능과 방초 기능을 결합한 로드가드시스템 도입의 가치를 평가하여 도입 타당성을 규명한다. 이를 위해 조건부가치 측정법을 이용하여 도로 이용자들이 생각하는 지불의지역 및 도로 안전 시설물에 대한 인지특성 조사를 실시하였다. 그리고 로드가드시스템 도입의 지불의지역 추정 모형을 구축하고 지불의지역을 추정한 결과, 평균 지불의지역(5,018원)이 평균 제시금액(3,883원)보다 높게 나타나 다양한 도로 안전성 향상 효과 및 로드킬 저감을 위한 대안 시설물로 로드가드시스템이 적절함을 알 수 있었으며, 신규 도로계획 시 뿐만 아니라 현재 운영중인 도로의 로드킬 저감을 위해서도 도입을 검토할 필요성이 있다. 향후 도로 관리청과 협의하여 실제 로드킬 발생률이 높은 도로구간에 로드가드시스템을 시범 설치한 후 주행 실험 및 로드킬 현황 조사를 통해 로드가드시스템 설치 전·후에 대한 비교·연구를 실시하여 보다 명확한 효과를 규명해야겠다.

핵심용어

로드킬, 조건부 가치측정법, 지불의지역, 다중공선성

1. 서론

1.1. 연구배경 및 목적

자동차 1,600만대 시대를 살고 있는 우리들에게 자동차는

편리한 생활을 영위하는 필수적인 요소임에는 틀림이 없으나 교통사고로 발생하는 엄청난 사회적 손실은 커다란 사회문제로 대두되고 있는 실정이다. 정부에서도 교통사고의 문제점과

심각성을 깊이 인식하여 교통사고 줄이기 운동을 지속적으로 추진해 오고 있으며, 그 결과, 2001년 이후 다소 감소하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 감소 추세에도 불구하고 2007년도에 211,622건의 교통사고로 6,166명이 사망하고 335,906명의 부상자가 발생하여 1일 평균 580건의 사고가 발생하여 16.9명이 사망하고 920명의 부상자가 발생하였다. 이를 차량 1만대 당 사망자로 환산하면 3.1명으로 경제협력개발기구(OECD) 회원국들의 평균 1.6명에 비해 약 2배 정도 높은 것으로 나타났다. 또한, 몇 년 전까지만 해도 관심을 가지지 않았던 야생동물에 의한 교통사고인 “로드킬(Road-Kill)”이 사회적 문제점으로 대두되고 있는 실정으로 환경부 및 국립생물자원관의 “2007년도 야생동물 로드킬 발생현황” 보고서에 의하면 2007년도에 로드킬로 5,737마리의 야생동물이 도로에서 죽은 것으로 나타났다. 한국도로공사 자료에서도 고속도로 교통사고는 연평균 5.8%가 감소하고 있으나 로드킬은 오히려 55.98%가 증가하고 있는 것으로 나타나 로드킬에 대한 심각성이 날로 증가하고 있음을 간접적으로 확인할 수 있었다.

로드킬이 사회적인 이슈로 부각되고 있는 것은 야생동물의 피해뿐만 아니라 이로 인한 교통사고로 발생하는 인적피해 및 2차 교통사고를 유발한다는 점이다. 특히, 최근 법원에서 로드킬로 인한 2차 교통사고의 유발 책임이 도로관리청에도 일부 있다는 판결을 하고 있어 사회적으로도 문제의 심각성을 공감하고 있다고 볼 수 있다. 로드킬은 야생동물의 서식지와 이동특성을 고려하지 않고 건설되는 도로에서 야생동물들의 도로횡단을 방지하고 이동로를 효과적으로 연결해 줄 수 있는 생태통로와 야생동물 유도웬스 등이 부족하기 때문에 지속적으로 증가하고 있다고 볼 수 있다. 이에 환경부에서는 2006년도에 “전국 생태통로 설치 기본계획”을 수립하고 국토해양부와 함께 야생동물의 습성 등을 고려한 “환경친화적인 도로건설지침”을 마련하여 신규 도로 건설시 적극 활용할 수 있도록 노력하고 있다. 하지만 이미 건설되어 운영 중인 도로의 비율이 절대적으로 높은 상태에서 생태통로 등을 추가 설치한다는 것은 매우 어렵기 때문에 야생동물의 도로횡단을 방지할 수 있는 교통안전시설 등을 통한 로드킬 감소 대책을 수립하는 것이 더 효과적이라고 볼 수 있다.

로드킬과 관련된 연구로는 이상돈 등(2004)의 로드킬 발생지점 환경 특성, 신수안(2004)과 이용욱 등(2006)의 생태통로 위치 선정, 최태영 등(2006)의 토지이용 유형에 따른 로드킬 발생 특성, 최태영(2007)의 포유류의 도로횡단 특성과 행동권 분석을 통한 로드킬 저감 방안 등이 있다. 하지만 기존 연구들 대부분이 동물보호 측면에서 야생동물들의 행동특성을 규명하고 신규 도로계획 시 고려해야 할 사항들만을 제안하고 있어 현재 운영중인 도로에서 로드킬을 저감시키는데 한계가 있다고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 신규 도로계획 시 뿐만 아니라 현재 운영 중인 도로에서도 적용 가능한 로드가드시스템(Road Guard System) 도입을 가정하여 로드킬 저감에 따른 도로 안전성 향상의 간접적인 가치를 추정하고 로드킬 저감의 대안 시설물로 로드가드시스템 도입이 타당한지 여부를 파악하는데 목적이 있다.

1.2. 연구범위 및 방법

국토해양부 도로현황 조서(2008)에서 2007년 말 현재 우리나라 도로 연장은 103,019km로 세계도로연맹(International Road Federation ; IRF)의 “세계 도로통계 2007” 자료에 의하면, 도로 밀도가 국토면적 1km²당 1.03km로 비교 대상 187개국 가운데 40위를 차지하고 있어 비교적 조밀한 수준인 것으로 나타났다. 따라서 로드킬 교통사고를 저감시키기 위해서는 신규 도로계획에 대한 지침으로는 한계가 있으며, 현재 운영되고 있는 도로를 대상으로 한 로드킬 예방 대책에 더 큰 비중을 두어야 한다.

하지만 현재까지 로드킬과 관련된 정기적인 조사 및 데이터베이스가 구축되지 않아 로드킬 관련 연구에 많은 제약이 있는 실정으로 본 연구에서는 기존 국내의 연구 자료들을 검토하여 야생동물들의 행동 특성을 파악하고 로드킬 현황을 검토하기로 한다.

먼저 현재까지의 로드킬 관련 연구 결과들을 종합해 보면, 고라니, 너구리와 같은 중·대형 포유동물들의 경우에 가드레일만 설치된 구간에서도 로드킬 사고가 저감되는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 또한, 한국도로공사에서는 고속도로 로드킬 저감을 위해 야생동물 유도웬스를 설치하여 그 효과가 있음을 확인하고 지속적인 설치 사업을 추진하고 있는 실정이다. 야생동물 유도웬스는 고속도로와 같은 자동차 전용도로에는 설치가 용이하나 일반국도, 지방도, 시·군도에는 설치 가능한 구간이 매우 제한적이다. 2007년 기준으로 우리나라 전체 도로 중에서 3.27%만 고속도로이고 나머지 대부분은 일반국도, 지방도, 시·군도이기 때문에 야생동물 유도웬스 설치로 로드킬을 저감시키는데 한계가 있다. 따라서 야생동물 유도웬스와 동일한 효과를 가지면서도 설치에 제한을 받지 않는 대안 시설물의 도입이 절실히 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존 가드레일에 추가 설치함으로써 로드킬 저감 효과 이외에 도로변 잡초 예방, 운전자 주행방향 유도 등의 효과를 얻을 수 있는 로드가드시스템을 대안 시설물로 선정하였다. 그리고 조건부 가치추정법(Contingent Valuation Method, 이하 CVM)을 이용하여 로드가드시스템 도입에 대한 기대효과 및 지불의지 등을 조사한 후 로드킬 저감에 따른 도로 안전성 향상의 간접적인 가치를 추정하여 대안 시설물인 로드가드시스템의 도입 타당성을 규명하고자

한다(그림 1).

그림 1. 연구의 흐름도

2. 야생동물 로드킬 특성

본 장에서는 이용욱(2006)이 “지표종 생태통로 위치선정 방법에 관한 연구”를 수행하면서 조사·분석한 내용 중에서 본 연구에서 제안하는 로드가드시스템과 관련이 있는 야생동물 로드킬 특성을 중심으로 살펴보았다. 이용욱은 2003년 3월부터 2005년 2월까지 2년 동안 동군산 I.C~홍성 I.C 고속국도 15호선, 전주~남원 국도 17호선, 전주~군산 국도 21호선, 완주군 소양면 화심리~진안군 부귀면 국도 26호선, 완주군 고산면 대아리~동상면 지방도 732호선, 부안군 부안읍~변산면 격포리 국도 30호선, 김제시 만경읍~진봉면 심포리 지방도 702호선, 전주시 삼례교~추천대교 하천둑방도로 총 9만 5,184km를 운행하면서 야생동물 로드킬 현황을 조사하였다.

야생동물 로드킬 현황을 분석한 결과, 그림 2와 같이 로드킬로 인해 총 11종 429개체가 죽었고 종별 개체 수를 살펴보면, 족제비(120개체), 청설모(104개체), 너구리(99개체), 삥(49개체), 멧토끼(26개체), 다람쥐(16개체), 고라니(7개체) 순으로 높게 나타나 환경부 및 국립생물자원관의 “2007년도 야생동물 로드킬 발생현황”과 큰 차이를 보이고 있었다.

그림 2. 야생동물 종별 로드킬 현황

그리고 종별 개체에 대한 행동 특성에 대해서 다음과 같이 보고하고 있다. 삥은 주로 야간에 활발히 활동하는 동물로 너구리, 족제비에 비해 행동반경이 훨씬 크기 때문에 자주 도로를 건너다니는 특성이 있어 개체 수에 비해 로드킬이 자주 발생하고 있다.

족제비는 밤·낮에 관계없이 활발히 활동하고 개체수도 비교적 많으며, 전국적으로 다양한 지형과 환경에서 발견되는 동물이어서 로드킬 발생률이 가장 높은 포유동물이다. 그리고 도로 밀도가 높은 인가 주변에서도 서식하기 때문에 삥과 마찬가지로 로드킬에 항상 노출되어 있는 실정이다. 청설모는 주로 주간에 활발히 활동하는 동물이고 산림이 있는 지역이라면 쉽게 볼 수 있는 동물이다. 가을이 되면 일부는 잣나무와 같은 상록 침엽수림 지대나 호두농장 등을 선호하여 상당한 거리를 이동하기 때문에 족제비 다음으로 로드킬 발생률이 높으며, 특히 가을철(81%)에 집중적으로 발생하고 있는 실정이다. 너구리는 주로 야간에 활동하는 동물이고 족제비와 마찬가지로 다양한 환경과 지형에서 서식하며 개체수도 상당히 많은 종으로 로드킬 발생률이 높은 동물이다. 또한, 너구리는 개체에 따라 농수로나 하천 등을 이용하여 도로를 안전하게 횡단하거나 길을 바꾸지 않고 자신이 지나다니던 길을 계속 이용해서 활동하므로 비교적 로드킬에 노출이 적은 편이며, 다른 식육목 동물에 비해 개체수가 상당히 많아 로드킬로 멸종될 우려는 거의 없는 동물이다.

그림 3. 가드레일과 생태통로 설치 현황

멧토끼는 주로 야행성이지만 조용한 곳에서는 낮에도 활동하는 동물이고 초지와 관목림이 있는 양지 바른 산림지역을 선호하며, 전국적으로 분포하고 있다. 멧토끼는 주민들에 의한 주요 밀렵 대상으로 현재 개체 수가 감소하고 있는 종으로 로드킬로 인해 그 감소 추세가 더욱 가속화되고 있는 실정이다. 다람쥐는 주간에도 활동하는 동물이고 개체수가 비교적 많아 산악지대의 산림지역에서 쉽게 볼 수 있는 동물이고 4차로 이상 폭이 넓은 도로는 횡단하지 않는 특성이 있어 4차로 이상 도로에서는 단 한 건의 로드킬도 발생되지 않았다. 고라니는 주로 야간에 활동하는 동물이고 전국적으로 분포하며 산림 및 습지 주변에서 자주 발견되는 중형 동물로 로드킬 발생시 운전자들에게 상당한 위협이 될 수 있는 동물이다. 기타 로드킬 동물로는 수달(천연기념물 제330호 및 멸종위기Ⅰ급), 담비(멸종위기Ⅱ급), 무산쇠족제비(멸종위기Ⅱ급), 고슴도치 등이 있으나 개체수가 적고 특정 지형에서 주로 서식하기 때문에 로드킬 발생율이 매우 낮은 편이다.

(a) 가드레일 안쪽 로드킬 : 족제비

(b) 가드레일 안쪽 로드킬 : 멧토끼

(c) 중앙분리대 장애 로드킬 : 너구리

(d) 가드레일 미설치 로드킬 : 족제비

그림 4. 도로 상의 로드킬 현장 사진

가드레일과 중앙분리대는 고라니와 같은 우제류가 도로를 건너는데 커다란 방해 요인으로 작용하였다. 특히, 고라니의 경우, 가드레일이 끝나거나 교차로(진입로)가 있는 부분에서 많은 로드킬이 발생하는 것으로 보고되고 있다. 하지만 식육목과 멧토끼, 청설모, 다람쥐에게는 가드레일이 도로를 건너는데 방해 요인으로 거의 작용하지는 않았지만 4차로 이상 도로에 설치된 중앙분리대는 방해 요인으로 작용하였다.

낮은 옹벽이 있는 구간에서도 야생동물들의 이동 흔적이 상당수 발견되고 있으며, 너구리, 삵, 족제비, 청설모, 다람쥐 등의 로드킬이 발생되었다.

중앙분리대는 도로를 횡단하는 야생동물에게 커다란 방해

요인으로 특히, 우제류의 경우 도로 안쪽으로 들어온 다음 중앙분리대를 넘지 못하고 도로를 따라 이동하기 때문에 로드킬 발생시 대형 교통사고로 이어질 수 있다. 삵, 너구리, 족제비, 청설모, 다람쥐, 멧토끼는 몸집이 작아 가드레일과 상관없이 가드레일 안쪽으로 자유롭게 넘나들면서 도로를 이동하였으나 우제류(고라니, 노루, 멧돼지)의 경우는 가드레일을 뛰어 넘어가지 않고 가드레일을 따라 이동하다가 가드레일이 끝나는 부분에서 횡단하였다.

따라서, 현재 야생동물 로드킬의 주요 특징을 종합해 볼 때 우제류와 같은 중·대형 야생동물은 도로안전시설인 가드레일 정비만 잘 되어도 로드킬 발생율을 현저하게 저감시킬 수 있으나 소형 야생동물의 경우에는 가드레일 하단부를 통해 도로를 횡단하기 때문에 횡단방지를 위한 대안이 필요한 것으로 판단된다. 특히, 차량 주행속도가 높은 4차로 이상 콘크리트 중앙분리대가 설치된 도로의 경우에는 도로변 가드레일 하단부로 진입한 야생동물이 도로를 횡단하지 못하고 도로를 따라 이동하기 때문에 이로 인한 로드킬로 인한 교통사고 위험성이 높다고 볼 수 있다. 또한, 산림, 농경지, 하천 등과 접해 가드레일이 설치된 경우, 가드레일 하단부의 잡초는 운전자의 시야 불량 및 야생동물들의 도로 진입을 가중시키는 요인으로 작용하고 있다고 볼 수 있었다.

3. 조사 및 통계분석

3.1. 로드가드시스템 개요

본 연구에서 대안 시설물로 선정된 로드가드시스템은 야생동물 행동 특성을 고려하여 기존 가드레일에 야생동물 유도웁스 기능을 접목시킨 새로운 시스템으로 야생동물 유도웁스

(a) 로드가드시스템(안)-앞면

(b) 로드가드시스템(안)-뒷면

(c) 로드가드시스템 설치 전

(d) 로드가드시스템 설치 후

그림 5. 제품 사진 및 설치 전·후 도로 전경

특히, 도로 이용시 로드킬로 인한 사고 예방뿐만 아니라 그림 6과 같이 현재 도로에 설치·운영중인 방초 매트와 단점을 보완한 방초 기능도 가지고 있어 도로변의 잡초 예방, 운전자의 주행방향 유도 및 주변 경관과의 조화로 운전자 피로도 저하 등의 효과를 기대할 수 있다.

(b) 방초 매트-B형

(d) 가드레일

그림 6. 현재 설치·운영중인 도로안전 시설물

3.2. 조사개요

본 연구에서는 로드킬 저감에 따른 도로 안전성 향상의 간접적인 가치를 추정하기 위하여 대안 시설물로 로드가드 시스템 도입을 가정한 가상 상황을 설정한 후 평상시 운전을 하는 다양한 분야의 피실험자들을 대상으로 하여 조사내용을 상세하게 설명할 수 있는 대인면접조사를 실시하였다(표 1).

표 1. 조사개요

조 사 일 시	2008년 10월~11월
조사 대상자	평상시 운전을 하고 있는 도로 이용자
조 사 항 목	• 개인속성 및 로드킬 경험 등에 대한 질문 • 로드가드시스템 도입 기대효과와 인지특성 조사 • 로드가드시스템에 대한 지불의사 조사
조 사 방 법	교육된 면접원에 의한 대인면접조사
배 포 수	150부
유효 회답수	138부(92.00%)

특히, 로드킬이 도로 안전성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 로드킬이 집중되는 2008년 10월~11월에 전북에 거주하는 운전자들을 대상으로 총 150부를 조사하여 138부의 유효

효 회답수를 얻었다.

3.3. 응답자 속성 및 인지특성 분석

본 조사에서는 개인속성으로 성별, 연령, 최종학력, 직업, 가구 월소득과 같은 기본적인 항목을 조사하였으며, 조사에 응답한 운전자들의 각 속성별 구성비는 표 2와 같다.

표 2. 응답자 속성별 구성비율

항 목	구 분	비 율(%)	항 목	구 분	비 율(%)
성 별	남 자	69.57	직 업	학 생	2.90
	여 자	30.43		회사원	43.48
연 령	20대	24.09		공무원	10.14
	30대	45.99		전문직	24.64
	40대	22.63		기 타	18.84
	50대	7.30	가 구 월소득	200만원 미만	8.09
최 학 종 령	전문대	20.74		200~300만원	25.00
	대학교	54.07		300~400만원	25.00
	대학원	25.19		400만원 이상	41.91

응답자들의 60.87%가 평상시 도로 위의 동물사체에 의한 불쾌감과 회피행동 경험을 포함한 로드킬 경험이 있는 것으로 분석되었으며, 그림 7과 같이 최근 3개월 동안에도 평균 5.6회의 로드킬 경험이 있는 것으로 분석되었다. 로드킬이 도로 안전에 미치는 영향에 대해서는 그림 8에서 보는 것과 같이 대부분이 영향을 미친다고 인지하고 있었으며, 로드킬 발생 원인에 대해서는 생태통로 미설치, 가드레일 기능 미흡, 운전자의 과속이 주요 원인이라고 생각하는 것으로 분석되었다. 특히, 그림 9에서 보는 것과 같이 가드레일 기능 미흡과 잡초에 의한 시거불량으로 로드킬이 발생한다고 생각하는 응답자들이 32.5%로 생태통로 미설치 31.0%에 비해 다소 높게 나타나 현재 운영 중인 도로에서는 로드킬 예방을 위해 가드레일 기능과 방초 기능을 개선할 필요성이 있음을 알 수 있었다.

그림 7. 응답자의 최근 3개월간 로드킬 경험
(도로 위 동물사체 포함)

그림 8. 로드킬이 도로안전에 미치는 영향

그림 9. 로드킬 발생 원인

자들이 찬성하였으며, 83.33%가 도로 안전성이 향상될 것이라는 응답을 하였다.

그림 10. 로드킬로 인한 교통사고 예방 효과

그림 11. 잡초 방지를 통한 쾌적한 주행시거 확보 효과

4. 로드가드시스템 특성 분석

4.1. 로드가드시스템의 인지특성

기존 가드레일에 야생동물 유도웬스 및 방초 기능을 접목시킨 로드가드시스템 도입을 통한 도로 안전성 향상 정도를 파악하기 위하여 로드가드시스템의 기대효과에 대한 응답자들의 인지특성을 조사하였다.

먼저, 로드가드시스템 도입으로 도로 이용자들이 얻을 수 있는 이익은 로드킬로 인한 교통사고 예방, 잡초 예방을 통한 쾌적한 주행시거 확보, 운전자의 주행방향 유도를 통한 안전성 확보, 주변 경관과의 조화로 운전자 피로도 저하로 설정하여 조사를 실시한 후 응답자들의 기대효과에 대한 인지특성을 분석하였다.

그 결과, 그림 10~그림 13에서 보는 것과 같이 응답자들은 로드가드시스템 도입이 로드킬로 인한 교통사고 예방, 잡초 예방을 통한 쾌적한 주행시거 확보, 운전자의 주행방향 유도를 통한 안전성 확보, 주변 경관과의 조화로 운전자 피로도 저하에 상당한 효과가 있을 것으로 생각하고 있어 로드가드시스템 도입이 타당함을 간접적으로 확인할 수 있었다.

또한, 로드가드시스템 도입에 대해 도로 안전성 향상 등의 긍정적인 측면과 비용 지불 등과 같은 부정적인 측면을 동시에 고려할 때 도입에 대한 찬반 여부에서는 58.82%의 응답

그림 12. 운전자 주행방향 유도로 안전성 확보 효과

그림 13. 주변 경관과의 조화로 운전자 피로저하 효과

4.2. 로드가드시스템의 기대효과 검증

본 절에서는 기존에 설치 운영 중인 가드레일과 야생동물 유도웬스 및 로드가드시스템의 기대효과에 대하여 응답자들의 생각에 차이가 있는지를 검증하기 위하여 ANOVA 분석을 실시하고 Duncan의 사후검정을 실시하였으며, 그 결과를 표 3에 나타내었다.

표 3. 교통안전시설별 기대효과에 대한 차이 검증

구 분	범 주	Duncan Grouping	평 균	F-value	p-value
교통사고 예방	가드레일	A	2.82	70.35	0.000
	유도웬스	B	4.07		
	로드가드시스템	B	4.04		
잡초예방 주행성 확보	가드레일	A	2.75	28.17	0.000
	유도웬스	B	3.32		
	로드가드시스템	C	3.67		
주행방향 유도 안전성 확보	가드레일	A	3.20	8.17	0.000
	유도웬스	A	3.27		
	로드가드시스템	B	3.67		
주변경관 조화 피로도 저하	가드레일	A	2.82	6.36	0.002
	유도웬스	B	3.13		
	로드가드시스템	B	3.25		
시설투자 대비 안전성 향상	가드레일	A	2.91	19.32	0.000
	유도웬스	B	3.47		
	로드가드시스템	B	3.64		

먼저, 로드킬 교통사고 예방에 대한 기대효과 분석에서는 가드레일에 비해 야생동물 유도웬스와 로드가드시스템이 유의수준 5%에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었고 야생동물 유도웬스와 로드가드시스템은 차이가 없는 것으로 분석되어 응답자들이 로드가드시스템이 야생동물 유도웬스와 같이 로드킬 교통사고 예방 효과가 있다고 생각하고 있음을 확인할 수 있었다. 잡초 예방을 통한 쾌적한 주행시거 확보에 대한 기대효과에서는 가드레일, 야생동물 유도웬스, 로드가드시스템 모두 유의수준 5%에서 유의한 차이가 있었으며, 특히 로드가드시스템의 평균이 높게 분석되어 잡초 예방 효과가 높을 것으로 생각하고 있음을 알 수 있었다.

그리고 운전자의 주행방향 유도를 통한 안전성 확보에 대한 기대효과에서도 가드레일과 야생동물 유도웬스에서는 유의수준 5%에서 차이가 없는 것으로 분석되었으나 로드가드시스템은 가드레일과 야생동물 유도웬스에 비해 유의수준 5%에서 유의한 차이가 있는 것으로 분석되어 응답자들이 로드가드시스템을 도입하면 주행방향 유도를 통한 안전성이 확보될 수 있다고 생각하고 있음을 알 수 있었다.

또한, 주변 경관과의 조화로 운전자 피로도 저하에 대한 기대효과에서는 가드레일에 비해 야생동물 유도웬스와 로드가드시스템이 유의수준 5%에서 유의한 차이가 있는 것으로 분

석되었으며, 야생동물 유도웬스와 로드가드시스템은 차이가 없는 것으로 분석되어 주변 경관과의 조화에서도 응답자들은 기존 가드레일만 설치하는 것보다 로드가드시스템 설치에 대하여 긍정적인 생각을 가지고 있음을 알 수 있었다.

그림 14. 도로교통안전시설별 종합적인 안전성 기대효과

마지막으로 교통안전시설 투자비용 대비 로드킬에 대한 안전성 개선 효과에서도 유의수준 5%에서 야생동물 유도웬스와 로드가드시스템이 가드레일에 비해 개선 효과가 높다고 생각하고 있음을 알 수 있었다.

도로변에 설치할 수 있는 로드가드시스템, 가드레일, 야생동물 유도웬스 이외 생태통로, 교통표지판, 네비게이션을 포함하여 도로 안전성 확보에 대한 기대효과를 비교해 본 결과, 그림 14에서 보는 것과 같이 운전자가 얻을 수 있는 이익을 종합적으로 고려할 때 로드가드시스템, 생태통로, 야생동물 유도웬스 순으로 효과가 높다고 생각하고 있었다. 특히, 로드킬로 인한 교통사고 예방 및 시설 투자비용 대비 안전성 개선 효과에서는 다른 교통안전시설물에 비해 효과가 좋을 것으로 생각하고 있었다.

5. CVM에 의한 로드가드시스템 평가

5.1. 모형의 개념

Hicksian Equivalent Variation (HEV)에 의한 지불의지액 함수는 식 (1)과 같이 유도될 수 있다.

$$Y(P, Q_0, Q_1, U_0, T) = E(P, Q_0, U_0, T) - E(P, Q_1, U_0, T) \quad (1)$$

여기서, P : 시장 재화들의 가격,
 Q_0 : 최초 공공재의 수준
 Q_1 : 개선된 공공재의 수준
 U_0 : 최초의 효용수준
 T : 응답자들의 선호

제시된 금액 t 에 대해 “예/아니오” 응답은 그 대상자가 가지고 있는 효용과 개인의 속성에 따라 다르다. 로드가드시스템의 도입에 따라 로드킬과 시야 불량으로 인한 교통사고 위험성이 제거되는 이익이 발생했을 때 개인이 느끼는 효용이 개인의 직업, 연령, 소득 등에 따른 경제적 속성과 지불의향에 대한 인식 정도에 따라 결정된다.

$$l(WTP_i) = x_i \beta_i + u_i \quad (2)$$

여기서, $l(WTP_i)$: 응답자의 지불의지액

x_i : 설명변수

u_i : 오차항

β_i : 계수벡터

로드가드시스템 도입에 의한 도로 안전성 향상에 대한 응답자들의 지불의지액을 식 (2)와 같이 가정하면, 응답자는 자신의 사회·경제적 속성, 제시된 대안에 대한 특성들을 고려하여 자신의 지불의지액을 결정하게 된다. 응답자들은 로드가드시스템의 도입에 의한 도로 안전성 향상에 대해 설문 조사표에 제시된 금액이 응답자의 지불의지액을 넘으면 거부하고 지불의지액 보다 적으면 수락하게 된다. 응답자의 내재된 지불의지액에 대해서는 양분 선택법(Dichotomous-Choice Question)에 의한 “예/아니오”의 응답 자료를 가지고 응답자가 생각하는 대상재의 가치가 제시된 금액 t_i 보다 큰지 작은지를 판단할 수 있다. 제시금액 t_i 을 제시했을 때 제시금액을 수락할 경우를 $y_i = 1$ 로, 기각할 경우를 $y_i = 0$ 으로 표시하고 확률적 성분인 u_i 에 대해 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 정규분포를 가정하였다.

$$\begin{aligned} P(y_i = 1 | x_i) &= P(l(WTP_i) > l(t_i)) \\ &= P(x_i \beta_i + u_i > l(t_i)) \\ &= P(u_i > l(t_i) - x_i \beta_i) \\ &= P\left[z_i > \frac{l(t_i) - x_i \beta_i}{\sigma}\right] \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, WTP_i : 응답자의 지불의지액

z_i : 표준정규확률변수

t_i : 설문지에 제시된 금액

양분 선택형 질문에 통해 얻어지는 결과는 제시된 금액에 대한 응답자의 “예/아니오” 응답으로 실제적인 응답자들의 지불의지액이 아닌 제시된 금액에 대한 수락 여부 자료만을 얻을 수 있다. 이러한 이산적인 자료를 이용한 지불의지액 함수의 추정에는 확률선택모형인 프로빗(Probit) 모형과 로짓

(Logit) 모형을 적용할 수 있다. 확률효용이론에서는 효용이 확률적으로 변동한다고 생각해서 효용함수의 오차항 분포를 정규분포 또는 웨이블 분포로 가정하느냐에 따라 프로빗 모형과 로짓 모형으로 구분된다.

본 연구에서는 지불의지액을 추정해야 하므로 제시금액을 함수에 포함시킨 변형된 프로빗 모형을 이용하였다. Cameron and James(1987)에 의해 제안된 이 모형의 특징은 양분 선택형 질문에서 제시금액에 대해 수락 혹은 기각하는 자료에 이용되는 방법으로 지불의지액 함수에 제시 금액을 포함시킴으로써 최우추정법에 의해서 지불의지액 함수의 계수를 추정하는 방법이다. 따라서 제시된 금액을 수락할 확률은 식 (4)와 같고 제시된 금액을 거부할 확률은 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \pi_i^Y &= P[l(t_i) \leq l(WTP_i)] \\ &= P\left[\frac{l(t_i) - x_i \beta_i}{\sigma} \leq \frac{u_i}{\sigma}\right] \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{l(t_i) - x_i \beta_i}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \pi_i^N &= P[l(WTP_i) < l(t_i)] \\ &= P\left[\frac{u_i}{\sigma} \leq \frac{l(t_i) - x_i \beta_i}{\sigma}\right] \\ &= \Phi\left(\frac{l(t_i) - x_i \beta_i}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, Φ : 표준정규누적밀도함수

이때 로그우도함수를 극대화시키는 효용함수의 계수 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ 의 값을 구하기 위해 로그우도함수를 효용함수 계수에 대해 각각 편미분하여 k 개의 연립방정식을 풀게 되면 최우추정치 $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k$ 를 구할 수 있다.

비선형 최적화 기법은 계수 β_i 와 표준편차 σ 에 대해서 이 함수값이 최대가 되게 할 것이다. 전통적인 프로빗 모형에서는 t_i 가 포함되지 않았으므로 β 와 σ 에 대하여 우도함수를 극대화하게 되어 σ 값을 따로 판단할 수 없기 때문에 β 값 또한 알 수 없다. 본 연구에서는 최종적으로 지불의지함수를 구해서 지불의지액을 추정해야 하므로 지불의지함수를 세우기 위해 β 값을 산정해야 한다. 그런데 변형된 프로빗 모형에서는 제시금액 t_i 가 효용함수에 포함됨에 따라 최우추정법에 의해서 구한 응답자에 따라 임의로 제시되는 t_i 가 우도함수에 포함되어 β 와 σ 의 산정이 가능하게 된다.

5.2. 가치추정을 위한 설계표 작성

CVM 가상시장 시나리오는 전반적으로 응답자가 이해할 수

있는 가능성, 적절성, 의미성의 기준을 충족시키도록 작성해야 한다. 특히, 정책적인 목적에서 대상재를 평가하기 위해서는 이론적으로 정확하면서 정책과 관련되어야 하고 연구자가 의도한 대로 응답자에게 이해되어야 하며, 응답자에게도 적절하고 의미가 있어야 한다는 5가지 기준을 충족시켜야 한다.

따라서 본 연구에서는 그림 15와 같은 6단계의 적용 과정을 통해 연구를 진행하였으며, 보다 정확한 CVM 가상시장 시나리오를 설계하기 위해서 설문 조사표 설계 과정에 샘플 집단을 만들어 응답자들이 이해할 수 있는지 여부를 검토하여 모든 응답자들이 이해할 수 있도록 시나리오를 수정·보완하였다.

그림 15. 조건부 가치 측정법의 적용 과정

5.2.1. 대상재 및 지불수단

최근 로드킬로 인한 야생동물의 죽음에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데 로드킬로 인한 2차 교통사고뿐만 아니라 중·대형 야생동물들로 인한 대형 교통사고가 언론 매체를 통해 보도되면서 동물보호 측면과 함께 도로 이용자들의 인적 피해에 대한 관심이 높아지고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 기존 가드레일에 야생동물 유도웬스 및 방초 기능을 접목시켜 로드킬 예방 등 도로 안전성을 개선하고 추가 설치비용을 절감할 수 있는 로드가드시스템을 평가 대상재로 설정하였다. 또한, 시나리오 구성에 있어 대상재를 명확히 인식시키기 위해 로드가드시스템을 추가 설치한 그래픽 사진을 작성하여 응답자가 명확한 판단을 할 수 있도록 하여 보다 정확한 가치를 측정하기 위해 노력하였다.

지불형태는 평가될 대상재와 적절한 연계를 가질 때 신뢰성이 높아지기 때문에 야생동물의 출현으로 인한 로드킬 및 잡초로 인한 시야 불량으로 인한 교통사고 등의 피해를 방지하기 위한 로드가드시스템 도입(유지관리 포함)에 필요한 비용을 지불수단으로 선택하였다. 특히, 로드킬 사진과 함께 로드가드시스템 시공 전·후 사진 등을 통해 응답자가 충분한 효과를 쉽게 인식시킴으로써 결과의 신뢰성이 확보될 수 있도록 노력하였다.

5.2.2. 지불의사 유도방법

본 연구에서는 지불의사 유도방법으로 양분 선택법을 이용하였다. 양분 선택법은 예비 설문조사시 개방형 질문(Open-Ended Question)에 의해 조사된 지불의지액을 바탕으로 분위수 설계 방식에 따라 제시 금액을 설정한다. 그리고 응답자들에게 금액을 제시하여 응답자가 평가 대상재에 대해 지불하고자 하는 금액보다 높은지 또는 낮은지에 따라 “예/아니오” 만을 답하기 때문에 개방형 질문법이 가지고 있는 대부분의 편의(Bias)를 극복할 수 있다. 양분 선택법에 의한 설문조사표는 그림 16과 같이 로드가드시스템 도입에 필요한 비용을 제시하고 질문에 대하여 “예/아니오”의 둘 중 하나를 선택하도록 하는 것이다.

문. 로드가드시스템 도입으로 야생동물의 갑작스런 출현으로 인한 로드킬과 도로변 잡초로 인한 주행시거 불량 해소로 귀하를 포함한 가족들이 얻을 수 있는 안전성, 쾌적성 등과 귀택의 가구소득을 종합적으로 고려할 때 귀하는 로드가드시스템 도입 및 유지관리에 필요한 비용으로 매월 (1,700)원을 지불하실 의향이 있으십니까?
① 예   ② 아니오

그림 16. 로드가드시스템 도입(유지관리 포함)에 대한 지불의지액 조사 예

5.2.3. 지불의지액의 제시 금액 설계

본 연구에서는 지불의지액의 제시 금액을 설계하기 위하여 Alebrini(1995)의 분위수 설계 방식에 따라 지불의지액 누적 확률이 20%, 40%, 60%, 80% 되는 금액을 제시 금액으로 설정하였다.

그림 17. 예비 설문조사의 개방형 질문에 대한 지불의지액 분포

이를 위하여 본 설문조사의 약 10~20%에 해당하는 예비 설문조사를 실시하였으며, 그림 17은 예비 설문조사의 개방형 질문에 의해 얻어진 로드가드시스템 도입의 지불의지액에 대한 분포이다. 일반적으로 지불의지액의 제시 금액 설계시

단일 경계모형에서는 경험법칙에 의하여 15분위수와 85분위수 이내의 값들을 제거하는 것이다. 따라서 분포의 꼬리부분의 값들을 제거하고 분위수 설계 방식에 따라 로드가드시스템 도입 시의 지불의지에 대한 제시 금액을 900, 1,700, 5,000, 7,500원으로 설정하였다.

5.2.4. 설문 구성

설문 조사표는 응답자의 개인속성 및 평상시 로드킬 경험 유무와 횡수, 새로운 로드가드시스템 도입에 따른 지불의지에 대한 제시 금액에 대한 수락 여부에 대한 질문으로 구분하여 작성하였다. 특히, 응답자들에게 로드가드시스템 도입에 대한 전반적인 가상시나리오 내용을 구체적이고 명확하게 인지시키기 위해 설문 조사표에 로드킬과 로드가드시스템의 설치 전·후 사진을 포함시켰다.

5.3. 가치추정 모형과 평가

5.3.1. 설명변수 선정

로드가드시스템 도입에 따른 도로 안전성 향상의 가치를 산정하기 위하여 본 연구에서는 Cameron의 선형가치함수를 이용하였다. 로드가드시스템 도입에 대한 지불의지액을 추정하는데 영향을 미칠 수 있는 요인들은 응답자들이 가지고 있는 사회·경제적 속성들에 따라 달라질 수 있고 특히, 로드가드시스템 도입에 대한 인지 정도가 큰 영향을 미칠 수 있다고 예상된다.

따라서 로드가드시스템 도입에 따른 도로 안전성 향상의 가치를 산정하기 위해 먼저 로드가드시스템 도입의 지불의향에 영향을 미치는 사회·경제적 속성을 파악하고 동시에 설명변수 간의 다중공선성(Multicollinearity)에 대한 검증을 실시하였다. 다중공선성을 검토하기 위하여 분산확대지수(VIF: Variance Inflation Factors)를 이용하였으며, 분산확대지수의 계산식은 식 (6)과 같다.

$$VIF_i = 1/(1 - R_i^2) \quad (6)$$

여기서, R_i^2 는 i 번째 독립변수를 종속변수로 하고 나머지 독립변수들을 독립변수로 한 모형의 R_i^2 값을 의미한다.

먼저, 로드킬 저감을 위한 로드가드시스템의 도입 타당성을 검토하기 위하여 로드가드시스템 도입에 대한 지불의지액을 제시한 후 지불의향을 조사하였다. 그 결과, 그림 18에서 보는 것과 같이 로드가드시스템 도입시 비용 지불의향에 대해서 응답자들의 59.42%가 지불의향이 있는 것으로 분석되었고 지불의지액이 적을수록 지불의향이 높았으며, 높을수록 지불의향이 낮은 것으로 나타났다. 제시한 지불의지액에 대하여 지불하지 않겠다고 응답한 응답자들은 대부분 이미 충

분한 세금을 지불하고 있기 때문에 더 이상 지불하는 것에 대해서는 부정적인 것으로 분석되었다.

그림 18. 로드가드시스템 도입시 비용 지불의향

로드가드시스템 도입의 지불의향에 대한 다중공선성을 검증한 결과, 표 4에서 보는 것과 같이 설명변수들의 VIF 값이 기준 VIF 값(35.3357)보다 낮게 나타나 설명변수 간에 다중공선성이 없는 것으로 나타나 로드가드시스템 도입의 지불의지액 추정 모형을 구축하는데 적합하다고 볼 수 있다.

또한, 로드가드시스템 도입의 지불의향에 대하여 도입 찬성 여부와 안전성 향상 정도의 설명변수가 유의수준 1%에서 유의성이 있는 것으로 분석되었으며, 검증 모형의 적합도를 나타내는 Adjust R^2 값이 0.9694로 높게 나타나 적합하다고 볼 수 있다. 그리고 로드가드시스템 도입의 지불의향에 영향을 가장 크게 미치는 요인은 도입 찬성 여부로 로드가드시스템 도입이 도로의 안전성 향상에 도움이 될 것이라고 생각하는 응답자들의 지불의지가 높음을 알 수 있었다.

표 4. 로드가드시스템 도입의 지불의향에 대한 설명변수의 다중공선성 검증 결과

항 목	계 수	t-value	VIF
성 별	-0.0270	-0.79	3.3562
연 령	-0.0007	-0.30	29.0209
최종학력	0.0131	0.89	8.9723
운전경력	0.0003	1.04	7.1613
가구 월소득	-0.0238	-1.38	13.8728
도입 찬성 여부	0.9446	27.43**	3.5620
안전성 향상 정도	0.0013	2.14*	6.7171
R^2	0.9717		
Adjust R^2	0.9694		
VIF-Value	35.3357		

주) *: 유의수준 5%에서 유의, **: 유의수준 1%에서 유의

5.3.2. 지불의지액 추정 모형

로드킬 저감에 따른 도로 안전성 향상의 간접적인 가치를 산정하기 위하여 로드가드시스템 도입의 지불의지액 추정 모

형을 구축하였다. 로드가드시스템 도입의 지불의지액은 응답자들의 사회·경제적인 속성들과 본 연구에서 로드킬 저감을 위한 대안 시설물로 선정된 로드가드시스템 도입에 대한 인식 정도에 따라 결정되므로 지불의지액은 식 (7)과 같이 가 정할 수 있다.

$$WTP_i = \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \beta_3 x_{i3} + \beta_4 x_{i4} + \beta_5 x_{i5} + \beta_6 x_{i6} + \beta_7 x_{i7} \quad (7)$$

식 (7)과 같은 지불의지액에 대한 추정식을 도출하기 위한 프로빗 모형은 식 (8)과 같다.

$$Y_i = l(t_i) - WTP_i \quad (8)$$

로드가드시스템 도입에 대한 지불의지액 추정 모형은 표 5와 같으며, 연령, 최종학력, 운전경력, 로드가드시스템 도입 찬성 여부와 안전성 향상 변수가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 분석되었다.

그리고 성별, 운전경력, 가구 월소득의 부호조건이 부(-)의 조건을 나타내고 있어 성별이 남자이고 운전경력이 높으며, 가구 월소득이 높은 응답자들일수록 로드가드시스템 도입에 찬성하지만 비용 지불에 대해서는 부정적인 생각이 강하다고 생각할 수 있다.

표 5. 로드가드시스템 도입의 지불의지액 추정 모형

항 목	계 수	t-value
성 별	-0.6068	-0.8756**
연 령	0.0967	3.3594**
최종학력	1.0313	5.1913**
운전경력	-0.0085	-2.8911**
가구 월소득	-0.1388	-0.7366**
도입 찬성 여부	3.6917	7.6554**
안전성 향상 정도	0.0361	2.7728**
σ	0.4985	2.5656**
Log Likelihood	-13.2866	
Rho-bar-Square	0.66088	
Chi-Square	138.826	

주) * : 유의수준 5%에서 유의, ** : 유의수준 1%에서 유의

또한, 추정 모형에 의하여 로드가드시스템 도입에 대한 지불의지액을 추정해 본 결과, 표 6에서 보는 것과 같이 매월 평균 지불의지액이 5,018원으로 평균 제시금액(3,883원)보다 높게 나타나 로드킬 저감을 위한 대안 시설물으로써 로드가드시스템 도입이 타당함을 간접적으로 확인할 수 있었다.

표 6. 로드가드시스템 도입에 대한 지불의지액

평균 지불의지액		95% 신뢰구간 지불의지액	
추정금액	제시금액	하한금액	상한금액
5,018원	3,883원	5,014원	5,022원

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 로드가드시스템을 로드킬 저감을 위한 대안 시설물로 선정하고 도로 안전성 향상의 기대효과 및 도입시 지불의사를 조사·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 도로 이용자들은 로드킬이 도로 안전에 큰 영향을 미치고 있으며, 생태통로 미설치, 가드레일 기능 미흡, 운전자 과속이 로드킬 발생의 주요 원인이라고 생각하고 있었다.

둘째, ANOVA 검증을 통해 가드레일에 야생동물 유도웁스 기능과 방초 기능을 결합한 로드가드시스템이 로드킬 교통사고 예방, 잡초 방지를 통한 쾌적한 주행시거 확보, 운전자의 주행방향 유도를 통한 안전성 확보, 주변 경관과의 조화로 운전자 피로도 저하에 효과가 있음을 알 수 있었다.

셋째, 로드가드시스템 도입의 지불의지에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 시설 도입의 찬성 여부로 로드가드시스템 도입이 도로 안전성 향상에 도움이 될 것이라고 생각하는 응답자들의 지불의지가 높음을 알 수 있었다.

넷째, 로드가드시스템 도입의 지불의지액 추정 모형을 통해 지불의지액을 추정한 결과, 매월 평균 지불의지액(5,018원)이 평균 제시금액(3,883원)보다 높게 나타나 로드가드시스템의 도입이 타당함을 간접적으로 확인할 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 다양한 도로 안전성 향상 효과 및 로드킬 저감을 위한 대안 시설물로 로드가드시스템이 적절함을 알 수 있었으며, 신규 도로계획 시 뿐만 아니라 현재 운영 중인 도로의 로드킬 저감을 위해서도 도입을 검토할 필요성이 있다.

향후 도로 관리청과 협의하여 실제 로드킬 발생율이 높은 도로구간에 로드가드시스템을 시범 설치한 후 주행 실험 및 로드킬 현황 조사를 통해 로드가드시스템 설치 전·후에 대한 비교·연구를 실시하여 보다 명확한 효과를 규명해야겠다. 또한, 도로관리청에서는 법규 정비 등을 통해 정기적으로 로드킬 현황 조사 및 데이터베이스를 구축하여 로드킬로 인한 도로 이용자들의 사고 위험성 및 야생동물 보호에 활용될 수 있도록 노력할 필요성이 있다.

감사의 글

이 논문은 2010학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행 됨.

참고 문헌

- 경찰청(2008), “2008 교통사고통계”
- 국토해양부(2008), “도로안전시설 설치 및 관리지침”
- 국토해양부(2008), “도로현황 조서”
- 한국도로공사(2005), “고속도로 동물 사고사 현황”
- 한국도로공사(2007), “로드킬 예방시설 효과 분석”, 야생동물 교통 사고 저감을 위한 세미나 자료집, 서울대학교 환경계획연구소, pp.17~38.
- 환경부(2003), “야생동물 이동통로 설치 및 효율적 관리 방안에 관한 연구”.
- 신수안(2004), “고속도로 생태통로 위치선정 방법에 관한 연구-경부고속도로 양재-판교구간을 중심으로”, 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 이병주, 김명수, 성수련, 남궁문(2008), “관광지 환승교통시스템 도입에 관한 연구-내장산국립공원을 중심으로”, *대한교통학회지* 제26권 제2호(통권101호), pp.69~78.
- 이상돈, 조희선, 김종근(2004), “우리나라 야생동물의 도로 치사에 관한 연구”, *한국환경영향평가학회지*, 제13권, 제1호, pp.21~31.
- 이용욱(2006), “지표종 생태통로 위치 선정 방법에 관한 연구”, 전북대학교 환경대학원 석사학위논문.
- 최태영, 박종화(2006), “토지이용 유형에 따른 포유류 로드킬 발생 특성”, *한국조경학회지* 제34권 제5호, pp.52~58.
- 최태영(2007), “포유류의 도로횡단 특성과 행동권 분석을 통한 로드킬 저감방안”, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- Alberni, Anna,(1995), “Optimal Design for Discrete Choice Contingent Valuation Surveys : Single Bound, Double Bound and Bivariate Model”, *Journal of Environmental Economics and Management* 28, pp.287~306.
- Cameron, T.A. and James M.D.(1987), “Efficient Estimation Methods for Closed-ended Contingent Valuation Survey Data”, *Review of Economics and Statistics*, Vol.69, pp.269~276.

접 수 일 : 2010. 9. 2

심 사 일 : 2010. 9. 12

심사완료일 : 2010. 12. 31