

# AHP기법을 활용한 야생동물이동통로의 기능개선을 위한 평가항목 분석<sup>1a</sup>

이진영<sup>2</sup> · 노백호<sup>3\*</sup> · 이장원<sup>4</sup>

## Using AHP to Analyze the Evaluation Factors Related to Wildlife Passage Management<sup>1a</sup>

Jin-Young Lee<sup>2</sup>, Paik-Ho Rho<sup>3\*</sup>, Jang-Won Lee<sup>4</sup>

### 요 약

서식지 파편화로 발생하는 야생동물과 차량과의 충돌사고(이하 '로드킬')를 방지하기 위해 2000년대 후반부터 야생동물이동통로가 활발하게 설치되었으나 로드킬 발생은 여전히 감소하지 않고 있어 야생동물이동통로의 실효성 분석이 필요하며, 설치 이후 단편화된 유지관리로 인해 야생동물이동통로에 대한 평가 및 기능개선을 위한 관리기법이 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 야생동물이동통로의 유지관리를 위한 기본방향 및 관리기법을 제시하기 위해 현재 설치·운영되고 있는 367개 이동통로에 적용할 수 있는 평가항목과 항목별 중요도를 AHP 기법에 의해 파악하였다. 분석결과, 평가항목은 3단계로 구분할 수 있었으며 총 10개 평가항목이 도출되었다. 야생동물이동통로의 유지관리를 위한 우선순위 도출을 목표(Level 1)로 시설인자, 환경인자, 동물인자, 관리인자로 구성된 Level 2의 중요도 분석에서는 환경인자가 가장 중요한 것으로 나타났다. Level 3에서는 구조 적합성(시설인자), 주변지형과의 조화(환경인자), 야생동물 이용빈도(동물인자), 모니터링 기기 운영여부(관리인자)가 중요 평가항목으로 조사되었다. 즉 야생동물이동통로의 유지관리를 위해서는 주변지형과의 조화와 야생동물 이용빈도를 우선적으로 고려해야 할 것이다. 이같은 연구 결과는 우리나라에 설치되어 있는 야생동물이동통로의 유지관리 방향 및 각 이동통로의 정비전략을 모색하기 위한 평가자료로 활용될 수 있다.

주요어: 야생동물이동통로, 생태통로, 로드킬, 평가항목, 우선순위, 계층분석적 의사결정방법(AHP)

### ABSTRACT

The rapid increase of wildlife passage installation since the late 2000s was aimed to reduce roadkill caused by habitat fragmentation and losses related to road construction, but wildlife-vehicle collisions are now still occurred even near the wildlife passage area. This is the reason that the effectiveness of wildlife passage have not been evaluated in combination with absence of monitoring data and management strategy of the wildlife passage. The AHP method are used, in this study, to identify the evaluation factors affecting the effectiveness of the present 367 wildlife passages in a mitigation measures to reduce road effects on wildlife species. Ten evaluation factors are derived from third levels in the AHP analysis. Priority setting to identify appropriate

1 접수 2010년 11월 15일, 수정(1차: 2010년 12월 30일), 게재확정 2010년 12월 31일

Received 15 November 2010; Revised(1st: 30 December 2010); Accepted 31 December 2010

2 한국환경정책·평가연구원 Korea Environment Institute, Seoul(122-706), Korea(jylee@kei.re.kr)

3 한국환경정책·평가연구원 Korea Environment Institute, Seoul(122-706), Korea(oikos@kei.re.kr)

4 국토해양부 Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Gwacheon(427-712), Korea(jwlee@mltm.go.kr)

a 본 연구는 2010년도 국토해양부 '일반국도 생태통로 정비계획 수립 및 유지관리 개선방안 연구(과제번호 2010042424-00)'의 일환으로 수행되었음.

\* 교신저자 Corresponding author(oikos@kei.re.kr)

management strategies in first level is selected among four second levels on facility, environment, wildlife species and management tool. The AHP analysis suggested that neighboring environments are the most important factor at the second level, and passage structure, harmony with natural surroundings, wildlife occurrence and monitoring of the passage are also important factors at the third levels. In summary, effective measurements of wildlife passage management is based on managing the passage with neighboring topography and natural surrounding. This is useful to establish wildlife passage management strategy in order to reduce the negative effects of roads on wildlife species.

**KEY WORDS: WILDLIFE PASSAGE, ECOLOGICAL CORRIDOR, ROADKILL, EVALUATION FACTOR, PRIORITY, ANALYTIC HIERARCHY PROCESS(AHP)**

## 서론

도로는 많은 국가에 있어 사회경제적 활동의 근간이 되고 있지만 서식지 파편화와 생물종의 생존을 위협하는 특성을 함께 지니고 있다(Forman *et al.*, 2002). 도로에 의한 서식지 파편화는 동물의 이동루트 단절이나 서식지 소멸로 인해 생물다양성 감소와 로드킬 등 부정적인 영향을 초래한다(Kim, 2005). 가령 야생동물의 번식기나 성장기 이후 활동 지역 조정이나 확대를 위한 도로횡단 시 충돌로 인해 야생동물의 사망률이 높아지고, 다른 지역으로부터 야생동물이 입이 어려워 최소생존개체군 유지를 어렵게 한다. 양서류와 파충류의 경우 국립공원 지역에서조차 도로 건설 이후 산란 장소로 이동할 때 로드킬을 당하는 사례가 빈번하며(Song *et al.*, 2009), 너구리, 하늘다람쥐, 족제비 등 포유류의 경우도 야생동물이동통로 주변에서 빈번하게 관찰되며 로드킬 출현비율이 높게 나타나고 있다(Choi, 2007). 생물종 혹은 단절된 지역의 서식환경에 따라 도로건설의 영향이 상이하므로 각 지역에 적합한 보전조치가 요구되는데 이러한 요구 중 하나로 야생동물이동통로를 제시할 수 있다.

우리나라는 1990년대 초반 야생동물이동통로를 도입하였는데, 일반적으로 노면을 거치지 않고 도로를 횡단할 수 있는 육교형과 터널형을 설치하고 있다. 자연환경보전법(제2조)에서는 생태통로를 도로 뿐만 아니라 하구둑, 댐, 수중보 등으로 인하여 단절된 서식지를 연결하기 위한 어도, 야생동물이동통로 등을 포괄적으로 정의하고 있으나, 본 연구에서는 도로에 의해 파편화된 야생동물 서식지를 연결한다는 측면에서 야생동물이동통로로 구분하여 사용한다. 설치지점은 현지조사를 실시하여 야생동물의 이동이 빈번한 지역을 선정하되, 공사비 및 주변지형을 고려하여 설치지점을 배분하고 있다(Park *et al.*, 2009). 그러나 야생동물이동통로 설치 시 사전모니터링에 의한 생물서식현황조사가 제대로 실시되지 않아 위치선정의 부적정과 목표종의 행동습성

미고려(Shin and Ahn, 2008), 주변 식생과의 부조화(Kim, 2005)로 야생동물이동통로 이용이 저조하다는 지적을 받고 있다. 2005년 이후 야생동물이동통로가 크게 증가했음에도 불구하고 로드킬은 여전히 빈번하게 일어나고 있다. 특히 야생동물 서식지로 보호가치가 높은 15개 산악형 국립공원 지역에서도 2008년 42개 노선에서 총 637건의 로드킬이 발생한 것으로 조사되었다(Korea National Park Service, 2009). 이를 통해 우리나라에 설치된 기존 야생동물이동통로의 기능평가 및 개선방안이 필요하다는 것을 유추할 수 있다.

야생동물이동통로 신규설치에 대한 연구로는 로드킬 분석(Lee and Lee, 2006), 설치지역 선정을 위한 평가항목 분석(Park *et al.*, 2009), 식생 단절정도 파악(Lee and Han, 2002), 생태계 단편화 분석(Kim and Choi, 1998; Kim *et al.*, 2000)에 대한 연구가 수행되었으나, 이동통로의 유지관리를 위한 연구는 해외자료를 이용한 관리매뉴얼 제시(Song, 2006), 일부 동물종을 중심으로 한 유지관리기법의 강구(Ministry of Environment, 2007)에 국한되어 있다. 즉 야생동물이동통로의 지속적인 유지관리를 위한 표준화된 관리기준 및 정량적 평가방안이 마련되지 않아 야생동물이동통로의 현황 및 기능평가가 어려운 실정이다.

이에 따라 야생동물이동통로의 구조물, 환경, 이용동물, 관리수행여부 등을 고려한 정량적 기능평가 방안이 제시된다면 도로관리주체는 보다 원활한 야생동물이동통로의 정비전략 모색이 가능할 것으로 사료된다. 이에 본 연구에서는 계층분석적 의사결정방법(Analytic Hierarchy Process, AHP)에 의해 지난 16년 동안 전국에 설치된 367개 야생동물이동통로 유지관리의 일환으로 정비대상 선정을 위한 평가항목 및 평가항목별 중요도를 파악하고자 하였다. 본 연구에서의 AHP 평가는 야생동물의 이동통로에 대한 서식 및 이동, 기능적합성 평가를 통하여 시설을 정비하고 야생동물이동통로의 실효성을 높이기 위해 설계하였다.

## 자료 및 방법

### 1. 설문조사

야생동물이동통로 기능분석 및 개선방안을 도출하기 위한 평가항목과 항목별 우선순위를 결정하기 위해 관련전문가들을 대상으로 AHP 기반의 설문조사를 실시하였다. AHP는 다양한 목적 요소들에 대한 중요도와 선호도를 평가하기 위한 구조를 전문가에게 제공하여 의사결정과정도를 도와주는 역할을 한다. 설문지는 상위평가 기준 및 하위평가 기준 간의 쌍대비교 및 각각의 평가기준과 등급척도에 대한 중요도 산출을 위한 행렬로 이루어졌다.

설문조사는 야생동물이동통로 관련 연구를 수행하였거나 실무 경험이 있는 환경·생태분야, 토목분야, 야생동물분야 전문가 31명을 대상으로 실시하였다. 설문조사기간은 2010년 9월 6일부터 23일까지 수행하였으며 일관성이 없는 9부를 제외하고 총 22부를 분석에 사용하였다. 설문분석은 인식과 가치를 보다 더 정확하게 반영할 수 있게 해주는 Expert Choice 11.5 프로그램(Decision Science, 2000)을 이용하여 의사결정과정도를 구조화하고 분석하였다.

### 2. 자료분석

AHP기법은 Thomas L. Saaty에 의해 1970년대에 제안된 다요인 의사결정법의 하나이다(Satty, 1980). 다수의 대안에 대한 다면적인 평가기준, 다수의 주체에 의한 의사결정을 위해 설계된 방법으로써, 의사결정자의 판단을 근거로 정량적인 요소와 정성적인 요소를 동시에 고려한다. 이로 인해 의사결정의 해결을 위한 포괄적인 틀로써 오랫동안 많은 분야에서 널리 사용되고 있다(Son and Hwang, 2009). AHP기법의 핵심은 각 단계의 인자간 상대적 중요도를 결정하는 과정이며, 상대적 중요도는 동일 단계의 두 개의 구성요소를 상호비교하는 쌍대비교를 통해 구할 수 있다.

본 연구에서는 AHP기법의 과정으로 문제의 구조화, 계층평가, 일관성 검증 및 우선순위 결정으로 나누었다. 문제의 구조화 단계는 현안문제를 계층화 과정법을 이용할 수 있도록 계층구조로 전환시킨다. 계층구조는 최상위 계층(의사결정의 최종목표), 중간계층, 그리고 하위계층으로 구성되는데, 각 계층은 바로 위 계층에 대하여 일종의 목표수단의 연쇄관계를 이룬다. 계층평가 단계는 한 계층 내 모든 요인들을 들쭉 짝을 지어 비교하는 과정으로, 상위에 있는 조사기준들에 비추어 그 상대적인 중요성을 조사하는 과정이다(Satty, 1980). 즉 계층의 단계별 평가요소 간 쌍대비교를 통해 평가하는 과정이다. 각 항목에 대하여 항목  $i$ 를 항목  $j$ 에 비하여 얼마나 선호하는 지를 묻고 행렬의 대각을 중심

으로 역수의 형태를 취하게 된다.

$$A = \begin{matrix} & A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \dots & W_2/W_n \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & W_n/W_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 & \dots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

한 계층 내에서 평가요소들을  $A_1, A_2, \dots, A_n$ 이라 하고 그들의 중요도를  $W_i$ 라 하면,  $n$ 개의 원소의 이원비교논리는 다음 식의 행렬  $A = (a_{ij})$ 와 같이 수행된다. 일관성 검증 및 우선순위 결정단계에서는 의사결정자의 의사를 반영한 중요도를 도출 하되, 일관성을 검증하기 위하여 일관성비율(CR, Consistency Ratio)을 구한다. 중요도는 동일한 단계의 두 개의 요소들을 상호 비교하는 이원비교에서 얻을 수 있다. 중요도의 벡터가 알려지지 않은 경우 이원비교행렬  $A$ 에 의해  $w$ 의 관측이 가능하다. 행렬  $A$ 의 계수는 상대적 중요도로부터 얻어진다.  $A$ 가 이원비교 행렬일 경우 중요도를 나타내는 벡터를 구하기 위해  $A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w$ 를 만족하는 종벡터  $w$ 를 구해야 한다. 이상적인 이원비교행렬  $A$ 와  $w$  및  $n$ 의 추정값을 각각  $A', w', \lambda_{\max}$ 로 나타낼 때, 이것은  $A' \cdot w' = \lambda_{\max} \cdot w'$ 으로 나타낼 수 있다. 일반적으로  $\lambda_{\max} > n$ 일 경우 일관성 없는 경우이다.  $\lambda_{\max}$ 가  $n$ 에 가까울수록  $A'$ 의 계수 추정값은 더욱 일관성이 있다고 할 수 있고, 또한 추정값  $w'$ 도 실제  $w$ 에 가까워 진다고 할 수 있다(Lim and Cho, 2002). 적합성을 평가하기 위한 지표로서 아래와 같은 일관성지수(CI: Consistency Index)를 사용할 수 있다. 일대일 비교가 완전한 적합성을 가지고 있다면  $n$ 의 추정치인  $\lambda_{\max}$ 이  $n$ 보다 커지게 되어 CI도 커지게 된다.

$$\bullet \text{ CI} = (\text{평균-항목수}) / (\text{항목수}-1) = (\lambda_{\max}-n) / (n-1)$$

AHP는 일관성비율에 의하여 조사대상 전문가 판단의 일관성을 측정한다( $CR = CI/RI$ ). 일관성 비율의 10%(0.1)이 내에 들 경우 해당 쌍대비교행렬은 일관성이 있다고 규정한다. 난수(RI: Random index)는  $n$ 크기의 이원비교 행렬표에 의해 무작위로 생성된 여러 개의 일관성 지수이다(Satty, 1980). 즉  $n$ 이 1에서 10까지 변화할 때 난수표에 의해 무작위 난수를 추출하였다. 본 연구에서는 다른 분석과의 일관성을 유지하기 위해 AHP에서 널리 이용되는 9점 척도를

적용하였다.

## 결 과

### 1. 평가항목 및 계층 설정

본 연구는 야생동물이동통로의 운영실태를 파악하기 위해 일반국도에 설치된 이동통로 전수조사를 실시하여 계층 분석적 의사결정방법(AHP) 기법에 의해 획득한 평가항목을 적용하였다. 전문가 및 실무자는 국도에 위치한 159개 야생동물이동통로에 대해 약 2달(2010. 5. 31 ~ 7. 6)에 걸쳐 일반현황, 동물이용흔적, 식생, 주변여건, 시설물, 관리상태 등을 조사하였다. 조사내용은 AHP 계층 설정을 위하여 야생동물이동통로 정비지점 우선순위 도출(Level 1)이라는 의사결정을 위해 시설인자, 환경인자, 동물인자, 관리인자 4개의 상위레벨(Level 2)로 나누고 각 조건별로 하위레벨(Level 3)로 Figure 1과 같이 구분하였다.

### 2. 평가인자 기준 설정

야생동물이동통로의 유지관리를 위한 평가인자는 관련 문헌 및 전문가 설문조사를 통해 야생동물의 휴식, 이동, 은신 등이 이루어지는 이동통로의 구조와 기능을 중심으로 선정하였다. 평가인자를 중심으로 향후 기존 야생동물이동통로를 정비하고 부족한 시설을 보완하여 본래의 야생동물 서식처 및 이동로 기능을 충족할 수 있도록 구성하였다. 특히 관리목표를 토대로 정책결정자, 시설관리자가 적용가능한 관리방안을 제안하기 위해 계층구조별 평가인자를 구분하였다.

상위레벨(Level 2)의 시설인자는 야생동물이동통로 설계·시공 시 구조와 시설의 적합성을 고려하여 조성된 실효성 있는 이동통로인지를 판단하고 시설훼손의 복구 가능성

을 진단하기 위해 분류하였다. 환경인자는 야생동물이동통로 조성과 관련한 자연환경과 야생동물의 접근가능한 환경 진단을 통하여 야생동물이동통로 주변 환경의 위험요인 및 보완가능한 환경을 분석하기 위하여 분류하였다. 동물인자는 야생동물의 습성을 배려하고 보호역할을 적절히 수행하고 있는 시설인지를 판단하기 위한 서식처로서의 기능진단을 위해 분류하였다. 관리인자는 야생동물이동통로의 관리를 위한 모래족적판, CCTV, 카메라와 같은 모니터링 기기와 표지판, 경고판과 같은 야생동물 출현주의 시설의 설치 여부를 진단하기 위해 분류하였다.

상위레벨(Level 2) 각 조건별로 분류한 하위레벨(Level 3)의 선정이유는 다음과 같다. 시설인자(Level 2)는 구조의 적합성, 보조시설, 시설훼손정도로 하위레벨을 분류하였는데, 그 중 구조의 적합성은 개방도 및 내부폭 등에 따른 규모 형태의 적정성을 판단하고, 보조시설은 야생동물이동통로까지 야생동물을 안전하게 유도하고 은신처로서 적절히 구성된 시설인지를 평가하기위하여 분류하였다. 시설훼손정도는 야생동물이동통로의 입·출구나 배수 등의 불량상태를 점검하여 직접적인 정비의 필요성을 평가하고자 선정하였다.

환경인자(Level 2)는 식생, 은폐, 주변지형과의 조화로 하위레벨을 분류하였으며, 이는 햇빛, 바람 등 인위적으로 조절할 수 없는 환경 외 야생동물이동통로 주변을 기술적으로 조성하여 보완 가능한 환경인자를 선택하였다. 우선 식생은 야생동물의 유인 등을 위한 이동통로 내·외부환경에 대한 점검을 위한 항목이며, 은폐는 소음·빛 등으로부터 동물이 받는 외부영향을 분석하기 위하여 분류하였다. 마지막으로 주변지형과의 조화는 야생동물이동통로 인접지형과의 연결성과 경사 등을 통하여 야생동물 진입이 용이한지를 판단하기 위하여 분류하였다.

동물인자(Level 2) 선정은 국내 야생동물이동통로 주변 로드킬 자료 부재로 자료수집이 가능한 야생동물이동통로

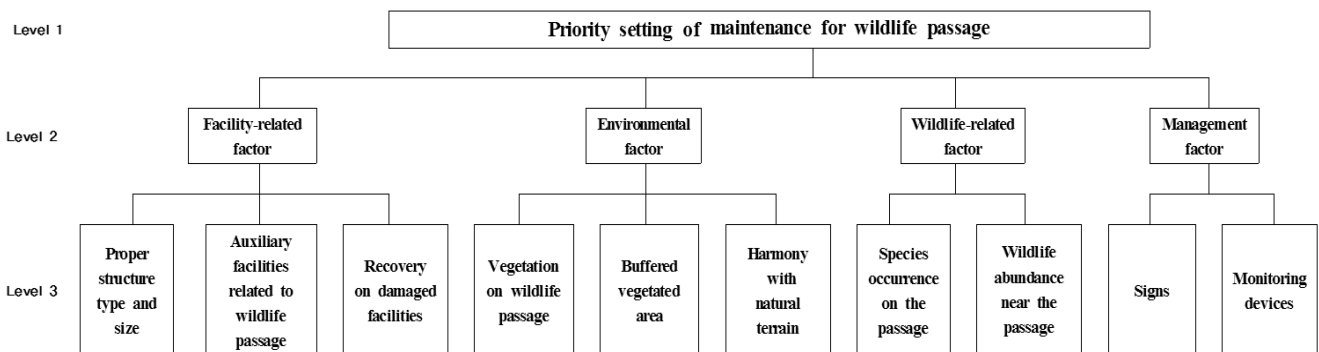


Figure 1. Framework for setting management priority for wildlife passage with analytic hierarchy process(AHP)

내 동물이용빈도와 이동통로 주변지역 동물밀도 항목을 하위레벨로 선정하였다. 야생동물이동통로를 이용하는 야생동물의 이용빈도를 통해 이동통로가 야생동물의 서식처 요구사항을 충족하고 있는지 분석하고, 주변지역 동물밀도에 따라 야생동물이동통로가 적정한 위치에 설치되었는지 파악하기 위해 분류하였다.

관리인자(Level 2) 선정은 표지판과 모니터링 기기 유무에 따라 야생동물이동통로의 관리여부를 분석한다. 이동통로의 위치식별 및 속도제한으로 로드킬을 예방할 수 있는 관리행태로 표지판 설치를 들 수 있으며, 야생동물이동통로가 설치된 후 시설의 지속적 관리 및 문제점 검토 등을 위한 모니터링 기기의 설치유무를 파악하였다. 상위레벨의 각 조건별로 분류되는 하위레벨의 상세한 설명은 Table 1과 같다.

### 3. 전문가 설문분석

#### 1) 설문대상자 분석

전문가 대상의 설문조사에서는 전문분야별로 균형을 이루도록 하여 조사대상자 42인을 선정하였으며, 약 2주간에 걸쳐 총 31부가 회수되었다. 설문응답자를 분석한 결과 환경·생태 분야 13인 전문가가 응답하여 42%비율로 가장 높

았으며, 다음으로 야생동물분야 10인 응답으로 32%, 토목분야 8인 응답으로 26% 순으로 나타났다. 이들의 전문분야 경험기간은 3-5년이 3%, 6-10년이 26%, 11-15년이 32%, 16-20년이 39% 비율로 나타나 전문가로서 신뢰도가 높다고 볼 수 있다. AHP기법을 통한 설문분석 중 일관성비율이 0.1보다 높게 나타난 경우가 9건이 발생하였으며, 이를 제외하여 회수된 31부 설문 중 22인의 설문을 분석하였다.

#### 2) 평가항목 분석

중요도는 일반적인 인자별 중요도와 종합중요도가 있는데 인자별 중요도는 비교기준의 중요도를 1로 했을 때, 차 하위 비교대상간의 쌍대비교를 통한 중요도 값이며, 종합중요도는 AHP 의사결정 계층 전체에서 차지하는 중요도로써, 인자별 중요도에 차 상위 계층의 중요도 값을 곱하여 산출하였다.

Level 2의 중요도는 Table 2와 같으며, 평가항목의 일관성 비율은 0.01로 나타났다.

환경인자가 0.437로 1순위로 나타났으며, 다음으로 동물인자, 시설인자, 관리인자로 순으로 Table 2와 같이 나타났다. 야생동물이동통로의 정비지점을 도출하기 위한 상위레벨에서 환경인자의 중요도가 높게 나타난 이유는 환경요인의 생물에 대한 기능은 독립적인 것이 아니고 서로 유기적으

Table 1. Evaluation factors related to wildlife passage management

Level 1	Level 2	Level 3	Explanation
Priority setting of maintenance for wildlife passage	Facility-related factor	Proper structure type and size	Facility size, type and openness of the wildlife passages are properly designed and maintained in each evaluation site
		Auxiliary facilities related to wildlife passage	Effective auxiliary facilities such as small freshwater pond, rock pile, woody debris, wildlife fences are enough to help wildlife movement in each evaluation site
		Recovery on damaged facilities	Recovery and maintenance of damaged structures including auxiliary facilities are regularly conducted
	Environmental factor	Vegetation on wildlife passage	Planting of palatable species, attracting wildlife species in and near the wildlife passage
		Buffered vegetated area	Road-side vegetation around wildlife passage to serve as an attraction to wildlife species with providing sheltered site and reducing light and noise derived from the right-of-way
		Harmony with natural terrain	Landscape connectivity between two sides divided by road centered on wildlife passage, particularly topographic terrains and degree of slope approaching the passage
	Wildlife-related factor	Species occurrence on the passage	List of wildlife species observed in wildlife passage by the systematic, sand track, camera-trap, and the others
		Wildlife abundance near the passage	Wildlife abundance near the wildlife passage is calculated from the number of species observed in the surrounding area
	Management factor	Signs	Reliable installation of number of wildlife warning signs, speed limit and other signals in suitable locations
		Monitoring devices	Construction and maintenance of the CCTV, camera and sand track to monitor wildlife species using the passage

Table 2. Significance of each evaluation factor at second level in wildlife passage management strategy

Classification		Significance	Rank
Priority setting of maintenance for wildlife passage	Facility-related factor	0.228	3
	Environmental factor	0.437	1
	Wildlife-related factor	0.249	2
	Management factor	0.086	4
Total		1	-

로 연결되어 있고, 자연환경조건이 이동통로에 직·간접적으로 영향을 끼치는 정도가 큼을 나타낸다고 볼 수 있다. 2순위와 3순위의 중요도 차이는 크지 않는데 이는 야생동물이동통로 이용대상인 동물의 중요도와 시설의 중요도가 정비지점 선정에 있어 비슷한 수준의 가치를 나타낸다고 볼 수 있다. 그러나 이동통로의 유지관리 항목을 도출하는데 있어 관리인자는 다른 인자들보다 상대적으로 낮게 나타났다.

Level 3의 평가항목별 중요도는 Table 3과 같다.

우선 시설인자 부분에서의 중요도는 구조의 적합성(0.499)이 가장 높게 나타났으며, 다음으로 시설훼손정도(0.309), 보조시설(0.192) 순으로 나타났다. 보조시설의 중요도가 3순위로 나타난 것은 주가 되는 야생동물이동통로 자체가 보조적 장치보다 더욱 중요한 요인임을 나타내며, 구조의 적합성이 1순위로 나타난 것은 이용대상 동물을 위한 조건 즉 적절한 구조가 직접적으로 정비해야 할 이동통로의 시설 훼손보다 유지관리 우선순위로 더 중요한 요인임을 말하고 있다.

환경인자 부분에서의 중요도는 주변지형과의 조화가 0.545로 월등히 높게 나타났으며, 다음으로 은폐(0.249), 식생(0.206) 순으로 나타났다. 이는 자연이나 지형물을 이용

한 은폐환경 또는 이동통로 주변부 식생보다 설치 이전에 고려되는 지형과의 관계가 야생동물이동통로의 기능에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 야생동물이동통로가 주변과 자연스럽게 어울릴 때 야생동물이 이동통로에 대한 접근 거부감이 줄어들고 야생동물이동통로 자체로도 자연친화적인 시설로서의 적정성을 내포하기 때문에 주변 지형과의 조화 항목이 1순위로 평가된 것으로 사료된다.

동물인자 부분에서의 중요도는 야생동물 이용빈도가 0.716으로 주변지역 동물밀도 0.284보다 높게 나타났다. 야생동물이동통로 내 야생동물이 이용하는 정도에 따라 동물의 이동통로로서 역할 수행여부를 파악할 수 있기 때문에, 좀 더 간접적으로 영향을 받는 주변지역 동물밀도는 야생동물 이용빈도보다 중요도가 낮게 평가된 것으로 파악된다. 또한 야생동물 이용정도가 야생동물이동통로의 서식처 요구도를 대변하고 주변지역 동물밀도가 이동통로 위치의 적정성을 대변한다고 가정할 때 야생동물이동통로의 서식처 충족은 이동통로의 설치 위치보다 높은 중요도를 가진다고 추론된다. 분야별 전문가에 의해 이동통로 주변지역의 동물 밀도보다 이동통로 내부의 야생동물 이용빈도가 중요하게 나타난 것은 야생동물이동통로를 실질적으로 이용하는 야

Table 3. Expert-based results on degree of significance for each evaluation factor in setting priority items related to management strategy of wildlife passages

Level 1	Level 2	Level 3	Significance	rank	
Priority setting of maintenance for wildlife passage	Facility-related factor 0.228	Proper structure type and size	0.499	1	
		Auxiliary facilities related to wildlife passage	0.192	3	
		Recovery of damaged facilities	0.309	2	
			Subtotal	1	-
	Environmental factor 0.437	Vegetation on wildlife passage	0.206	3	
		Buffered vegetated area	0.249	2	
		Harmony with the natural terrain	0.545	1	
			Subtotal	1	-
	Wildlife-related factor 0.249	Species occurrence on the passage	0.716	1	
		Wildlife abundance near the passage	0.284	2	
		Subtotal	1	-	
Management factor 0.086	Signs	0.288	2		
	Monitoring devices	0.712	1		
			Subtotal	1	-

생동물의 출현현황에 따라 야생동물이동통로의 정비방향을 설정하고, 출현동물의 요구조건에 부합하는 정비요소를 중요한 항목으로 간주하고 있는 것으로 해석된다.

관리인자 부분에서는 모니터링기기의 중요도 0.712, 표지판의 중요도 0.288로 나타났다. 모니터링기기는 야생동물이동통로 내부현상을 측정하기 위한 지속적 관리행위로 이동통로 내부 자료를 축적할 수 있는 수단이다. 표지판은 야생동물 출현신호를 나타내거나, 야생동물이동통로 위치를 알리고 사고저감을 위한 속도제한 경고를 하는 일종의 경각심유도를 위한 관리행위이다. 야생동물이동통로의 관리 우선순위 선정에 있어서 모니터링기기의 압도적 우위는 도로에서의 사고저감을 위한 표지판 설치보다는 이동통로 내부를 이용하는 동물에 대한 조사자료의 축적 및 이용특성 분석이 향후 야생동물이동통로 기능 향상에 더욱 기여할 것이라는 판단 하에 나타난 결과로 분석된다.

상위레벨(Level 2)은 환경인자, 동물인자, 시설인자, 관리인자 로 분류되었으며, 그 중 환경인자항목이 야생동물이동통로 기능평가 및 정비지점 도출에 있어서 가장 높은 중요도를 나타내었다. 이를 토대로 하위레벨의 중요도가 평가되었고, 마지막으로 종합중요도가 평가되어 Table 4와 같은 순위로 나열되었다.

종합중요도는 각각 항목의 중요도를 분석하고, 상위평가항목의 중요도를 하위평가항목의 중요도에 곱하여 산출하였다. 전반적인 종합중요도를 분석해 보면 주변지형과의 조화가 0.238로 가장 높게 나타났으며, 다음으로 야생동물 이용빈도(0.178), 구조의 적합성(0.114), 은폐(0.109), 식생(0.090), 시설훼손정도(0.070), 주변지역 동물밀도(0.238), 보조시설(0.044), 모니터링기기(0.061), 표지판(0.025) 순으로 나타났다. 특히 상위레벨 환경인자(Level 2)의 평가항목 주변지형과의 조화(Level 3)는 야생동물이동통로 정비지점

우선순위를 판단하는 항목 중에서 가장 높은 종합중요도를 나타냄에 따라 이동통로의 실효성을 측정하는 가장 중요한 변인으로 분석된다. 야생동물의 이용빈도는 주변지형과의 조화항목보다 낮은 중요도를 가지고 있지만, 궁극적으로 야생동물이동통로 내 동물의 접근을 유도하기 위해서 이동통로 주변부에 대한 처리를 고려하기 때문에 그 가치는 기능평가 시 간과되지 않아야 할 것이다. 환경·생태적인 측면보다 토목·건축적인 측면에서 시설구조의 적합성은 높이 평가될 것이라 사료되는데, 이는 야생동물이동통로의 신설 시 사전조사 결과를 통해 설치될 통로 방향이 보다 과학적이고 전문적이어야 함을 나타낸다. 야생동물이동통로의 식생과 은폐정도는 환경인자의 하위항목으로 4, 5위의 중요도를 나타내는데, 이는 주변 식생대와 연결되는 식생 조성의 필요성과 동물의 생태특성을 고려한 활동역 확보를 중간단계로 판단할 수 있다.

종합중요도 결과는 레벨별 중요도 결과와 유기적으로 연결되어 있어 상위레벨(Level 2)의 1순위 중요도(환경인자)는 하위레벨(Level 3) 항목들을 높은 순위의 종합중요도에 다수 분포시켰으며, 상위레벨(Level 2)의 3순위 중요도(관리인자)는 하위레벨(Level 3) 항목들의 종합중요도 순위를 낮추는 역할을 하였다.

## 고 찰

본 연구에서는 각 단계의 인자들 사이의 상대적인 중요도를 결정하는 과정의 척도이자 동일한 단계에서 두 개의 요소들의 상호비교가 가능한 AHP를 이용하여 기 설치된 야생동물이동통로 관리의 일환으로 우선정비가 필요한 이동통로를 결정하기 위해 평가인자를 도출하고, 도출된 평가인자의 중요도를 산정하였다. 야생동물이동통로의 기능평가

Table 4. The AHP sensitivity analysis of each evaluation factor in wildlife passage management priority setting

Level 1	Level 2	Degree of significance (A)	Level 3	Degree of significance (B)	Overall significance (A*B)	Rank
Priority setting of maintenance for wildlife passage	Facility-related factor	0.228	Proper structure type and size	0.499	0.114	3
			Auxiliary facilities related to wildlife passage	0.192	0.044	8
			Recovery on damaged facilities	0.309	0.070	6
	Environmental factor	0.437	Vegetation on wildlife passage	0.206	0.090	5
			Buffered vegetated area	0.249	0.109	4
			Harmony with natural terrain	0.545	0.238	1
	Wildlife-related factor	0.249	Species occurrence on the passage	0.716	0.178	2
			Wildlife abundance near the passage	0.284	0.071	7
	Management factor	0.086	Signs	0.288	0.025	10
			Monitoring devices	0.712	0.061	9
Total		1		-	1	-

는 야생동물의 서식이 이루어지는 시설로서의 기능 및 적합성 평가를 통하여 시설을 정비하고 이동통로의 실효성을 높이려는 근본적인 목적이 있다. 설문조사는 야생동물이동통로 관련 연구 및 실무 경험을 가진 전문가를 대상으로 환경·생태분야 42%, 야생동물 분야 32%, 토목건설분야 26%의 참여로 이루어졌다.

본 연구의 중요도 분석의 결과는 다음과 같다. 야생동물 이동통로의 생태적, 기능적 측면을 고려하여 정책결정자 또는 시설관리자에 적합한 관리방안을 제시하기 위해 구분한 3개 Level 계층구조는 야생동물이동통로 정비지점 우선순위 도출이라는 목표를 Level 1로 두고, 상위레벨(Level 2)과 하위레벨(Level 3)로 분류하여 상위레벨은 4개 항목, 하위레벨 10개 항목을 도출하였다. Level 2의 중요도 분석결과 ‘환경인자’가 부분별 1순위로 나타났으며, Level 3에서는 시설인자 하위항목으로 ‘구조의 적합성’, 환경인자 하위항목으로 ‘주변지형과의 조화’, 동물인자 하위항목으로 ‘야생동물이용빈도’, 관리인자 하위항목으로 ‘모니터링기기’가 각각 1순위로 평가되었다. 종합중요도 분석결과에서는 ‘주변지형과의 조화’가 1순위로 나타났으며, 다음으로 ‘야생동물 이용빈도’, ‘구조의 적합성’, ‘은폐’, ‘식생’, ‘시설훼손정도’, ‘주변지역 동물밀도’, ‘보조시설’, ‘모니터링기기’, ‘표지판’ 순으로 나타났다. Level 2의 중요도 1순위 환경인자의 하위레벨 ‘주변지형과의 조화’가 최종 종합중요도 1순위로 분석된 것은 야생동물이동통로 정비지점 선정 시 가장 우선 고려해야 할 항목임을 말해준다. Forman *et al.*(2002)은 야생동물이동통로 조성 원칙 중 하나가 “주변산림과 연결되어 산림으로 덮일 수 있고 야생동물이동통로와 주변지형이 연결 될 수 있는 곳의 선정”이라고 하였다. 이는 주변 서식지와의 생태적 연속성 유지를 위해 인접지형과의 연결성을 야생동물이동통로 선정 및 관리에 있어 중시하고 있음을 보여준다. 실질적으로 야생동물이동통로의 인접한 비탈면은 주변수림과 거리를 짧게 하여야 하고, 육교형의 경우 폭이 넓고 완만한 경사일 때 중대형 동물들이 건너편 서식지 이동이 용이하며 넓게 트여진 시야에 의해 포식자로부터 쉽게 피신할 수 있다. 터널형의 경우에 있어서도 야생동물이동통로 출입구 주변부에 이동을 위한 통로가 확보되어야 하는데 노면이 자연상태를 유지할 때 소형동물들이 진입시 거부감이 줄어든다. 따라서 ‘주변지형과의 조화’항목이 중요한 평가항목으로 나타난 것은 야생동물이동통로 유지 관리에 있어 주변지형과 자연스러운 경사 및 연결을 추구하되, 야생동물 서식에 유리한 지형·토지 조정 등의 인위적 정비 노력이 서식처로서의 기능을 향상시킬 수 있는 요인임을 의미한다.

종합중요도 1순위 이하 동물특성이나 시설물에 관련된 항목은 선행연구(Ministry of Environment, 2007)에서도 언

급된 사항이지만, 환경인자 하위항목 ‘주변환경과의 조화’가 야생동물이동통로의 실효성 진단을 위한 가장 중요한 변인으로 측정된 것은 기존에 강조되어진 야생동물이동통로 위치결정요인이나 관리방안 요인들과 비교했을 때 다소 차이가 있다. 선행연구에서 야생동물이동통로 위치결정시 로드킬, 단절기간, 단절지점의 교란 정도 등이 강조(Kim and Choi, 1998; Kim *et al.*, 2000; Lee and Lee, 2006; Park *et al.*, 2009)되었다면, 본 연구는 관리적 측면에서 주변지형과 야생동물이동통로의 조화가 가장 중요한 요인으로 입증되었으며, 궁극적으로 야생동물이동통로 내 동물의 접근을 유도하기 위해서 이동통로 주변부에 대한 처리의 중요성이 강조되었다고 볼 수 있다.

또한 본 연구는 야생동물이동통로의 정성적 검토항목이나 관리지침(Song, 2006)의 기존 한계를 벗어나 정량적 데이터 결과를 적용하여 이동통로의 기능과 실효성분석 방안을 제시하였다. 야생동물이동통로의 평가 및 중요도분석은 정비지역의 기능별 순위측정과 속성에 따른 정비항목 도출을 가능하게 한다. 이는 전국에 설치된 다수의 야생동물이동통로 가운데 정비지역 선정이라는 목표를 달성하는데 있어 보다 객관적인 분석 방법이며, 제한된 예산과 시간으로 정비실효성을 높일 수 있는 평가항목을 도출하는데 유용하게 활용된다.

분석결과를 종합하면 야생동물이동통로의 기능은 그 자체 시설이 가지고 있는 가치만으로 결정되는 것이 아니라 야생동물이동통로를 구성하는 주변지형 및 이용대상 등이 이동통로의 적절성을 내포하고, 이들이 조화될 때 원활히 유지될 수 있음을 알 수 있다. 향후 이를 토대로 도로관리기관의 지속적인 야생동물이동통로 전수조사 및 모니터링이 수반된다면 시설별 기능저해요인 파악과 적절한 정비전략이 체계적으로 모색되어질 수 있을 것이라 판단된다.

## 인용문헌

- Alisa, W.C. (2007) From roadkill to road ecology -A review of the ecological effects of roads-. *Journal of Transport Geography* 15(5): 396-406.
- Allen, R. and A. McCullough(1976) Deer-car accidents in southern Michigan. *Journal of Wildlife Management* 40(2): 317-325.
- Brooker, L., M. Brooker and P. Cale(1999) Animal dispersal in fragmented habitat: measuring habitat connectivity, corridor use, and dispersal mortality. *Conservation Ecology* [online] 3(1): 4. Available from the Internet. URL: <http://www.consecol.org/vol3/iss1/art4/>
- Choi, T.Y.(2007) Road-kill mitigation strategies for mammals in Korea: data based on survey of road-kill non-wildlife passage use, and home range. Seoul National Univ. Ph.D. Dissertation.



- 219pp. (in Korean with English summary)
- Decision Science(2000) Expert Choice Manual. pp. 7-16.
- 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(2002) Road ecology: Science and solutions. Island Press, Washington, D.C., 481pp.
- Kang, H.G., T.K. Park, H.L. Kim, S.T. Kim and S.E. Lee(2009) Study on the GIS based environmental assesment techniques for enviromental friendly road route plan. Journal of Korean Society of Environmental Engineers 31(3): 223-231. (in Korean with English abstract)
- Kim, K.G. and J.Y. Choi(1998) A theoretical study on the wildlife passage for connecting fragmented habitat (1) - In the case of wildlife passage types and design process -. Journal of the Korea Institute of Landscape Architecture 26(2): 293-307. (in Korean with English abstract)
- Kim, K.G., J.Y. Choi and S.G. Son(2000) Landscape materials ecological restoration: A study on the wildlife corridor for connecting fragmented habitat - focused on site selection and design methods -. Journal of the Korea Institute of Landscape Architecture 28(1): 70-82. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.S.(2005) The existing conditions and problems of ecological corridor in Korea -focusing on planting species. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 8(1): 17-26. (in Korean with English abstract)
- Korea National Park Service(2009) Comprehensive plan on mitigation measures to reduce roadkill in National Parks. Korea National Park Service, pp. 3-13. (in Korean)
- Laura, A.R. and A. John(1996) Status of state monitoring activities and mitigation efforts. Wildlife Society Bulletin. 24(2): 276-283.
- Lee, K.J. and B.H. Han.(2002) Planting plan of ecological corridor at destroyed mountain area as a result of road construction. Korean Journal of Environment and Ecology 16(3): 321-337. (in Korean with English abstract)
- Lee, Y.W. and M.W. Lee(2006) Eco-corridor positioning for target species -by field surveying of mammals road-kill-. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 9(3): 51-58. (in Korean with English abstract)
- Lim, S.H. and G.S. Cho(2002) The methodology of GIS spatial analysis integrating of fuzzy and AHP theory. Journal of the Korean Society of Civil Engineers. 22(1): 173-184. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Environment(2007) Development of read type-specific and animal species-specific management techniques according to analysis of the degree of fragmentation of wildlife habitats by roads, and of causal factors behind road-kills. Ministry of Environment, pp. 25-35. (in Korean)
- Ministry of Environment(2010) Guidelines for design management of wildlife crossing structures in Korea. Ministry of Environment, pp. 3-74. (in Korean)
- Park, J.H., H.S. Yoo and M.Y. Park(2009) A study on assessment items analysis for eco-corridors area -Using the analytic hierarchy process-. Journal of the Korea Society of Environmental Impact Assessment 18(5): 301-312. (in Korean with English abstract)
- Quinn, J.F. and A. Hastings(1987) Extinction in Subdivided Habitats. Conservation Biology 1(2): 198-208.
- Satty, T.L.(1980) The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation (decision making series). McGraw-Hill, New York, 289pp.
- Shin, S.A. and T.M. Ahn(2008) Approach to the Location of Wildlife Corridors on Highways -Between Yang-jae and Pan-gyo ICs of Seoul-Busan Highway, Korea-. Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 11(2): 19-27. (in Korean with English abstract)
- Son, E.G. and I.S. Hwang(2009) A GIS-based method for bicycle route network determination using AHP analysis in Busan. Journal of the Korea Association of Geographic Information Studies 12(4): 182-190. (in Korean with English abstract)
- Song, I.J.(2006) Analysis on the effect of ecological corridor in Seoul and construction of management manual. Seoul Development Institute. pp. 109-132. (in Korean)
- 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. (in Korean with English abstract)