

Research Paper

환경영향평가 협의 시 생태통로 조성을 위한 가이드라인 마련

박용수* · 심윤진**

국립생태원 멸종위기종복원센터*, (주)그룹한 어소시에이트**

A Study on the Guidelines for Creating Wildlife Crossing
through Environmental Impact Assessment

Yong-Su Park* · Yun-Jin Shim**

National Institute of Ecology*
Group Han Associates**

요약: 본 연구는 “환경영향평가 협의 시 생물이동성 제고를 위한 법·제도적 고찰에 관한 연구”의 후속연구로 환경영향평가 협의를 통하여 조성된 대부분의 생태통로가 원목적과 부합하지 않게 조성되어 야생동물 교통사고를 저감하지 못하는 문제점을 개선하고자 수행하였다. 단절된 생태계의 연결성을 회복하기 위한 대안으로 환경영향평가 시 제시한 생태통로가 실질적인 역할을 할 수 있도록 각 단계별 고려사항을 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 환경영향평가 협의 단계를 계획, 설계, 시공, 모니터링, 유지·관리 등 5단계로 구분하여 실무담당자가 각 단계별로 검토해야하는 구체적인 항목을 제시하였다. 이로 인하여 원목적과 부합하지 않게 조성되어 야생동물에게 외면당하는 생태통로 조성을 막아 개발 사업으로 인한 서식지 단절을 최소화하고 생물다양성을 향상시킬 수 있도록 하고자 하였다.

주요어: 야생동물 교통사고, 로드킬, 생태통로, 서식지 단절, 도로건설

Abstract: This study found that wildlife crossing created through environmental impact assessments didn't reduce the number of wildlife accidents on the road by review of "A Study on the Legal and Institutional Review for Reproving Bio-Mobile in Environmental Impact Assessment (2018)". Specific considerations to be reviewed at each stage of the environmental impact assessment consultation were presented for practical site application. Therefore, in this study, the consultation steps for environmental impact assessment were presented in five stages, including planning, design, construction, monitoring, maintenance and management, and detail of the items to be reviewed by public officer. It will be able to prevent loss of habitats and improve biodiversity by improving the practice and institutional problems that were planned and designed at the time of construction.

Keywords: Wildlife accident, Road-kill, Eco-corridors, Habitat fragmentation, Road construction

First Author: Yong-Su Park, Tel: +82-54-680-7340, Fax: +82-54-680-7279, E-mail: muskdeer@nie.re.kr, ORCID: 0000-0002-1355-1624
Corresponding Author: Yun-Jin Shim, Tel: +82-2-521-1122, Fax: +82-2-521-9858, E-mail: grenatur@hanmail.net, ORCID: 0000-0001-5832-6669

Received: 30 April, 2019. Revised: 27 May, 2019. Accepted: 31 May, 2019.

www.kci.go.kr

I. 서론

우리나라 도로의 길이는 현재 약 108,780km로 2012년 기준 105,703km에서 연평균 1%씩 증가하여 경제성장을 이루기 위한 국가기반 형성에는 기여하였으나 국토환경 및 자연 생태계의 질적 하락을 가져왔다(MOE 2017). 특히 국토의 65%가 산지인 우리나라의 특성을 고려해 볼 때 도로와 철도 같은 선형 사업은 산림생태계의 훼손, 야생동물 서식지의 양과 질적 저하를 초래하였다(Park et al. 2009). 이에 도로와 철도 같은 선형사업으로 인하여 서식지 단절을 최소화하고 훼손된 생태계의 연결성을 복원하기 위한 하나의 대안으로 생태통로를 조성하고 있지만 환경영향평가 협의를 통하여 조성된 대부분의 생태통로가 원목적과 부합하지 않게 조성되어 야생동물에게 외면당하고 있는 실정이다(Shim et al. 2018).

1998년 지리산 시암재를 시작으로 2018년 기준 전국에 459개의 생태통로가 조성되어 있어 전 세계적으로 가장 많은 수량의 생태통로가 조성되어 있지만 고속도로 상에서 해마다 2,000마리 이상의 야생동물 로드킬(Road-kill)이 발생하고 있으며, 일반국도나 지방도에서도 연간 1,000마리 이상의 로드킬이 발생하고 있다(Kim 2015). 이는 해마다 수백 개의 생태통로가 환경영향평가를 통해서 조성되고 있지만 목표 종에 대한 생태적 고려 없이 실시된 현장조사와 관행적인 방법에 기초하여 생태통로의 조성 위치와 규모, 형태 등이 결정되어 조성되었기 때문이다(Shim et al. 2018). 2001년부터 국내에서 생태통로 관련 다양한 연구가 이루어졌지만 대부분이 도로건설 후 로드킬 발생상황에 따라 생태통로를 조성한 것으로 도로 건설 전인 환경영향평가 시부터 각 단계별로 생태통로 조성 방안을 고려한 연구는 전무한 실정이다. 또한 국내에 조성된 생태통로 수량은 전 세계적으로 최고이지만 질적으로는 아직도 많은 문제점을 가지고 있어 국내 조성된 생태통로의 질적 향상을 위해서는 환경영향평가 시 각 단계별로 검토해야 하는 필수 항목과 적용범위 등을 명확하게 제시하여야 하는 실정이다(Woo et al. 2015).

따라서 본 연구는 환경영향평가 협의 시 생물이동

성 제고를 위한 법·제도적 고찰에 관한 연구(Shim et al. 2018)에 따르는 후속연구로서 생태통로 조성의 실질적인 효과를 제고하기 위해 환경영향평가 협의 및 검토 실무담당자가 협의 단계별 현장에서 협의 및 검토 기준으로 활용 가능한 가이드라인을 제시하는데 목적을 두고 있다. 또한 사업자가 개발사업 시 생태통로의 본래 취지와 목적에 부합하는 생태통로를 조성할 수 있도록 계획, 설계, 시공, 모니터링, 유지·관리 등의 5단계로 구분하여 검토해야 하는 구체적인 항목을 제시하고자 하였다.

II. 연구방법

환경영향평가 협의 단계별 생태통로 조성 가이드라인을 마련하기 위하여 생태통로 설치 및 관리지침(MOE 2010), 도로설계편람 제8편: 환경시설편(MOLIT 2010), 환경친화적인 도로설계지침(MOLIT and MOE 2015), 자연환경보전사업 설계 가이드라인(NIE 2015) 등의 내용을 검토하여 각 협의 단계별 생태통로 조성 과정을 구체적으로 제시하였다. 또한 관련 선행연구¹⁾의 내용을 검토하여 환경영향평가 협의 시 검토해야 하는 사항을 계획, 설계, 시공, 모니터링, 유지·관리 등의 5단계로 구분하여 구체적인 검토항목 및 기준을 제시하였다.

환경영향평가 협의 시 각 단계별 검토항목 및 기준은 현재까지 발간된 생태통로 관련 지침을 비교·검토하여 현장에서 실무담당자들이 쉽게 적용할 수 있는 구체적인 항목을 도출하였고, 도출된 항목은 환경영향평가 협의기관 담당공무원 및 관련 전문가로 구성된 자문위원회²⁾ 협의(2017년 2월 24일, 8월 30일, 11월 2일)를 거쳐 세부항목과 내용을 수정·보완하였다. 1차 전문가 그룹 검토에서 연구진이 제시한 환경영향평가 협의 단계별 생태통로 조성 과정이 적절한지 의

1) Kim(2015), Lee(2010), NIE(2017), Park et al.(2012), Park and Lee(2014), Shim et al.(2018), Woo et al.(2015)

2) 전문가 그룹의 구성은 환경부 본부(환경영향평가과)와 유역(지방)환경청 등 협의기관 실무자 10명과 국립생태원, 한국환경공단, 국립환경과학원 등 환경영향평가서 검토기관 실무자 6인으로 구성하였음.

견을 수렴하였고, 2차 전문가 그룹 검토에서 환경영향평가 협의 단계별 생태통로 조성 과정에 따른 검토 내용(안)이 적절한지 의견을 수렴하였다. 마지막으로 3차 전문가 그룹 검토에서는 2차 전문가 그룹 검토에서 제시된 사항을 중심으로 수정·보완된 환경영향평가 협의 단계별 생태통로 조성 과정에 따른 최종 검토(안)를 확정하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 환경영향평가 협의 단계별 생물이동성 제고를 위한 생태통로 조성 과정

환경영향평가 협의 단계는 크게 1)환경영향평가서 초안 작성 및 의견수렴, 2)환경영향평가서 본안 작성 및 협의, 3)공사 시 사후조사, 4)운영 시 사후조사 등 4단계로 구분할 수 있다. 각 협의 단계별 생태통로 협의절차는 1)계획, 2)설계, 3)시공, 4)모니터링, 5)유지·관리 등의 순서로 진행하는 것을 제시하였다. 또한 전략환경영향평가 시부터 생태통로 위치와 규모를 제시하고 환경영향평가 초안 작성 및 의견수렴 단계부터 구체적인 조성 계획(설계도면과 시공내역서 등)을 제시할 수 있도록 유도하여 기존에 사후환경영향조사(공사 시)에 계획 및 설계가 이루어지는 관행 및 제도적 문제점을 개선할 수 있도록 하였다.

2. 환경영향평가 협의 단계별 생태통로 조성 검토 내용

1) 계획단계

생태통로 조성 시 계획단계에서 5가지 기본원칙을 제시하였다. 첫째, 시각적으로 단절된 경관의 연속성 확보 및 인접 서식지와 연결성을 확보하여야 한다(MOE 2010). 즉, 개발 사업으로 인하여 훼손되는 야생동물의 기존 이동경로를 파악하고 주변 서식지와 생태적 연속성 검토 및 위협요인 등을 파악하여 가급적 기존 이동경로와 연결될 수 있도록 조성하여야 한다.

둘째, 구체적, 정량적으로 목표를 설정하여야 한다(Galatowitsch 2012; Cho 2017). 목표종 및 원서식지의 현황조사 자료를 바탕으로 개발 사업으로 인한 환경영향(서식지 단절)을 평가하여 구체적, 정량적으로 생태통로 조성목표를 설정하여야 한다.

셋째, 과학적 근거를 바탕으로 적합한 위치를 선정하여야 한다. 목표종의 생태적 특성을 고려한 현황조사 자료를 바탕으로 과학적 근거에 의거하여 조성 위치와 규모가 결정되어야 한다(NIE 2015).

넷째, 생태통로의 효율성을 높이기 위하여 설치되는 부대시설(유도웬스, 생태측구 등)은 야생동물 교통사고를 예방하고 생태통로로 야생동물을 유도할 수 있도록 조성하여야 한다(MOE 2010).

마지막으로 계획·설계·시공·모니터링 등 생태통로 조성 모든 단계에 동·식물 전문가, 생태학자, 생태복원 계획·설계·시공 전문가 등 관련전문가가 필수적으

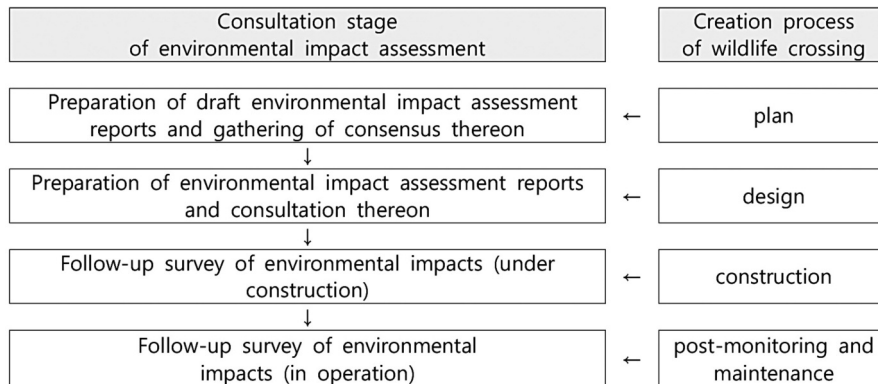


Figure 1. Creation process of wildlife crossing by consultation stage of environmental impact assessment.

Table 1. Review by the planning procedure of wildlife crossing

Step	Review and Method
Objectives	1) Specific of goals - Specific installation goals - Adequacy of the construction of target species
	2) Field survey - Selection of target species, understanding distribution status etc.
Location & Type	1) Location of wildlife crossing - Establishment of the standard for wildlife crossing installation location
	2) Type of wildlife crossing - Determine the type of wildlife crossing for topographical characteristics
	3) Selection of location for wildlife crossing - Clear evidence of location selection and review process - Analysis of threat factor of habitat and surroundings for target species - Join the experts in the selection process of location for wildlife crossing
Planning	1) Scale - A review of appropriately size of wildlife crossing
	2) Establishment method - Selection of ecosystem pathway installation techniques to link habitats to habitats
	3) Additional facilities - Establishment to ensure wildlife leads safely for wildlife crossing - Escape ramp, Sign, Soundproofing etc.

로 참여하여야 한다(Clewell and Aronson 2013; MOE 2013).

생태통로 조성 계획 수립 절차는 1)조성 목표 수립, 2)위치 및 유형선정, 3)생태통로 조성 계획 수립 등 3단계로 구분하고, 계획 절차별 검토항목 및 방법은 Table 1과 같다.

(1) 설치목표

개발 사업으로 단절된 서식지의 연속성을 확보하기 위해서는 가장 먼저 개발 사업으로 인한 서식지 단절 또는 파편화 여부를 파악하고, 현장조사를 통하여 사업대상지 내 생태통로를 이용할 수 있는 목표종을 선정하여야 한다. 지금까지 환경영향평가서 작성 시 생태통로 관련 별도의 규정이 없어 목표종에 대한 생태적 고려 없이 실시된 현장조사와 관행적인 방법

에 의해서 생태통로 조성 위치와 규모가 결정되어 야생동물에게 외면당하는 생태통로가 조성되었다(NIE 2017). 이러한 문제를 해결하기 위해서는 생태통로 조성예정지 반경 2km 내 동·식물 서식 현황을 면밀하게 파악하여 생태통로 조성 전·후 조사결과를 비교 분석할 필요가 있다. 이는 목표종과 주변 식생 현황에 따라 생태통로의 유형 및 규모, 조성기법이 달라지기 때문에 첫째 과학적 근거를 바탕으로 목표종을 선정하기 위함이고, 둘째 동·식물 조사 자료가 향후 생태통로 성패를 판단할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있기 때문이다. 목표종 선정은 서식지 단절로 인하여 야생동물 교통사고가 빈번한 종을 우선적으로 고려하되 그 중 법적보호종을 최우선적으로 고려하여야 한다(NIE 2017). 또한 운전자의 안전을 고려하여 야생동물 교통사고 시 운전자의 피해가 클 것

Table 2. Review for wildlife crossing planning

Review item	Appraisal standard
Selection of target species	- Habitat damaged or severed by development and significant damage to drivers in wildlife traffic accidents, legal protection species first etc.
Field survey	- Before : understanding distribution status of wildlife in development area - After : understanding distribution status of target species

로 예상되는 중·대형 포유류를 목표종으로 선정하는 것도 바람직하다(Table 2).

(2) 위치 및 유형 선정

생태통로 조성 시 위치 선정은 목표종의 생태적 특성과 먹이 자원 분포, 이동 장애 요인, 서식지 위협 요인 등을 충분히 검토하여 논리적이고 합리적인 근거로 선정하여야 한다. 자연환경보전법 시행규칙 제 28조에는 생태통로의 조성 위치를 야생동물 이동이 빈번한 지역으로 제시하고 있지만 생태통로 조성 시 인간의 간섭 및 이용을 배제할 수 있도록 계획이 되었는지, 빛 공해와 소음, 포식자 등 외부 영향이 최소화될 수 있도록 계획이 되었는지, 생태통로 설치 예정 지역 인근에 개발 압력이 존재하는지 등을 다각도로 검토하여 야생동물의 서식 및 이동에 중·장기적으로 영향이 없는 지역에 조성하여야 한다(Table 3).

생태통로의 설치 유형은 개발 사업으로 인한 지형 변화의 특성에 따라 크게 육교형과 터널형 생태통로 구분할 수 있으며, 산지와 계곡 같은 절토면의 경우 절토지역 간의 거리와 높이, 생물이동 가능성을 판단하여 육교형 생태통로 설치 가능성에 대한 검토가 필요하고, 경작지와 하천 같은 성토면의 경우 성토지의 깊이, 하천 횡단 여부 등을 검토하여 터널형 생태통

로 설치 가능성을 검토하여야 한다(Table 3).

(3) 생태통로 설치 계획

① 육교형 생태통로

육교형 생태통로는 산지와 계곡 같은 절토 구간에 조성이 가능하고 중·대형 동물의 이동에 적합하다. 생태통로 설치 및 관리지침(MOE 2010)에서는 현재 주요 생태축을 제외한 지역에 육교형 생태통로 조성 폭을 7 m 이상으로 제안하고 있다. 그 동안 대부분의 개발사업자들이 이를 악용하여 생태통로 폭을 7 m 이상 조성하지 않아 생태통로의 원 기능을 수행하는데 필요한 부대시설(방음벽, 차폐식재, 다공질 공간 등)을 설치할 수 있는 공간적 한계를 가지고 있었다. 이에 본 연구에서는 훼손자 부담의 원칙에 따라 훼손되는 차선 폭 만큼의 공간을 확보하여 생물 이동성을 좀 더 원활하게 하고자 Table 4와 같은 설치기준을 마련하였다. 또한 생태통로 내부는 심근수층이 생육할 수 있도록 2 m 이상의 토심을 확보하여야 하며, 방음벽, 생물 서식 공간 등 야생동물 생활에 필요한 부대시설을 목표종에 맞게 설치되었는지 실무담당자가 협의 단계별로 검토할 수 있도록 예시도면으로 제시하였다(Figure 2).

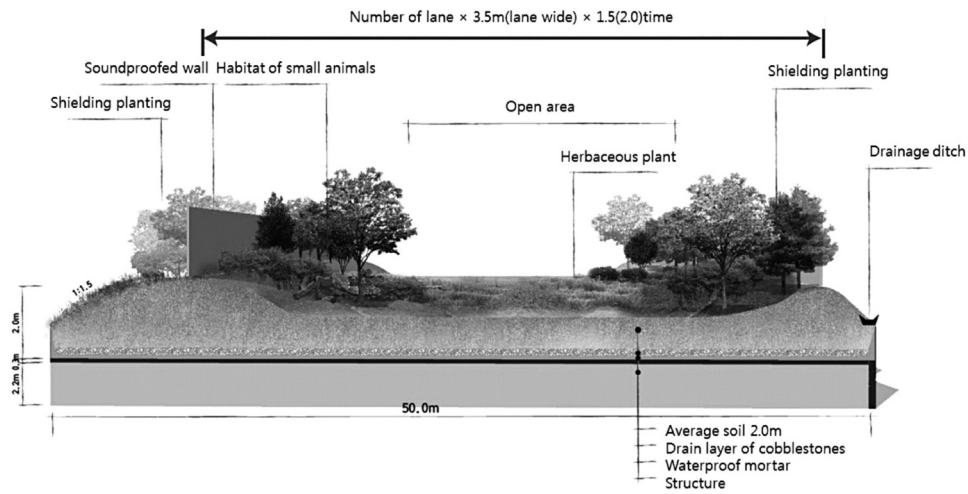
야생동물을 생태통로 유도하기 위하여 설치하는

Table 3. Review for wildlife crossing location and type

Review item	Appraisal standard
Location	- Ecological characteristics of the target species, transfer failure factors of wildlife, development pressure, external effect (light pollution, noise) etc.
Type	- Soil cut-slopes (hill, valley etc.), soil fill-slopes (cultivated land, stream etc.) review

Table 4. Installation reviews of overbridge on soil cut-slopes area

Review item	Appraisal standard
Target species	- Middle to large mammal
Location	- Soil cut-slopes (hill, valley etc.)
Wide	- Lane number × 3.5 m (vehicle wide) × 1.5 - Lane number × 3.5 m (vehicle wide) × 2.0 (Combination use of human and wildlife)
Soil depth	- Soil depth over 2 meters (Minimum viability of a deeply rooted tree) - Peripheral topsoil transfer to natural vegetation guidance system
Additional facilities	- Fence, Dead tree, Stone grave, Puddle, Monitoring facilities etc. * Fence: 1.5 m (ground) + 0.3 m (underground), fence size within 10 cm ▶ More than 200 m of fence installation at 4 sections connected to overbridge ▶ Install at all sections of the road for high-speed vehicles



Figures 2. A cross-sectional view of overbridge by way of illustration.

유도웁스는 야생동물이 웁스 밑을 파헤쳐도 관촬도 록 지하로 0.3 m를 매설하고 지상으로 1.5 m 이상 높이로 웁스를 설치할 수 있도록 하였으며, 양서·파충류와 소형포유류의 침입을 막기 위하여 1×1 cm 이내의 망목으로 설치된 알루미늄 망을 웁스 하단에 30 cm 이상 덧대어 설치하도록 하였다. 야생동물과 운전자의 안전을 위하여 고속도로와 자동차전용도로 같이 차량이 고속으로 운행하는 지역의 경우 전 구간에 걸쳐 앞에서 제시한 기준을 적용하여 웁스를 설치하도록 하였고, 그 밖의 지역의 경우 생태통로와 맞닿은 4부분에 최소 200 m 이상 유도웁스가 앞에서 제시한 기준 대로 설치될 수 있도록 제시하였다 (Table 4).

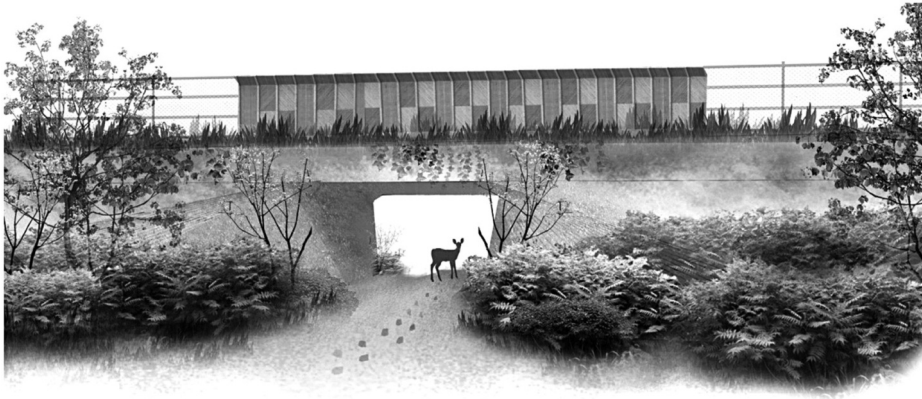
② 터널형(포유류용) 생태통로

터널형 생태통로는 경작지와 하천 같은 성토 구간 에 조성이 가능하고 중·대형 포유류 및 양서·파충류

등이 함께 이동할 수 있도록 설계하였는지 검토하여 야 한다. 또한 생태통로의 규모는 목표종에 따라 다르나 모든 야생동물이 이용 가능하도록 개방도(통로 단면적/통로길이)를 0.7 이상 확보하였는지 검토하여야 한다(MOE 2010). 즉, 규모가 클수록 다양한 야생동물이 생태통로를 이용할 가능성이 높으나 종별로 선호하는 구조물의 규모 및 형태가 다르기 때문에 목표종의 생태적 특성을 반영하여 생태통로의 규모와 세부적인 조성 공법과 소재의 선택이 필요하다(NIE 2017). 또한 터널형 생태통로의 경우 야생동물이 진·출입에 대한 거부감을 줄이기 위하여 통로의 맞은편이 시각적으로 잘 보일 수 있도록 계획되었는지, 보행자와 차량 이용이 배제되도록 계획되었는지 확인하여야 한다. 그 밖에 생태통로 바닥은 배수가 잘 되는 흙(황토, 마사토 등)을 30 cm 이상 깔아 주어야 하며 생태통로 주변에는 나무 그루터기, 돌무더기 등을 배치하여 야생동물이 생태통로를 이

Table 5. Installation reviews of underpass in soil fill-slopes area

Review item	Appraisal standard
Target species	- Middle to large mammal, Amphibians, Reptiles etc.
Location	- Soil fill-slopes (cultivated land, stream etc.)
Wide	- Maintain opening above 0.7 * $Y(\text{Opening}) = (\text{High} \times \text{Wide}) / \text{Length}$
Soil depth	- Soil depth over 0.3 meters
Additional facilities	- Fence, Dead tree, Drainage ditch, Monitoring facilities etc.



Figures 3. A cross-sectional view of underpass by way of illustration.

용하는 것에 대한 거부감을 최소화 할 수 있도록 고려하였는지 확인하여야 한다(MOE 2010).

③ 양서·파충류용 생태통로

양서·파충류용 생태통로는 육지와 수역으로 구성된 양서·파충류의 서식지 단절을 막기 위해 설치하는 생태통로이다. 양서·파충류용 생태통로는 정사각형의 형태로 내부 폭이 최소 1 m 이상 확보되어야 하며, 터널의 길이가 30 m를 넘지 않아야 양서·파충류가 스트레스를 받지 않고 생태통로를 이동할 수 있다(NIE 2017). 뿐만 아니라 원활한 생물 이동을 위해 통로의 바닥은 평평해야하고, 내부는 습하거나 작은 물줄기가 흐르도록 하는 것이 좋는데 경사가 심한 경우에는 계단식으로 조성하고, 원형보다는 사각형이 연결성 면에서 바람직하다고 할 수 있다(MOE 2010). 양서·파충류용 생태통로 설치는 도로 노선 중 성토구간, 골짜기, 개울, 습지를 지나는 구간, 도로가 농수로나 개울을 통과하며 양쪽의 수위차가

적은 지역인지 확인해야하고, 통로의 규격은 최소 1×1 m 이상으로 도로 폭이 넓을수록 크게 계획되었는지 확인해야한다. 뿐만 아니라 통로 내부는 완만한 경사도에 우천 시 배수가 잘 되게 계획하여야 하고, 진입부의 식생은 주변과 유사하게 식재되되 과밀하지 않아 물리적 또는 시각적으로 양서·파충류의 이동에 장애가 되지 않도록 계획되었는지 확인하여야 한다.

양서·파충류 유도웬스의 높이는 지상 0.5 m 이상, 지하 0.3 m 이상으로 하고, 웬스의 망목은 1x1 cm 이내로 계획되었는지 확인하여야 한다. 또한 웬스의 상부 끝에 가로대를 도로 바깥쪽으로 설치하거나 망의 끝을 도로 바깥쪽으로 5 cm 이상 꺾어 양서·파충류가 쉽게 타고 넘지 못하도록 계획하였는지 확인해야 한다.

Table 6. Installation reviews of amphibians·reptiles underpass in soil fill-slopes area

Review item	Appraisal standard
Target species	- Amphibians·Reptiles
Location	- Soil fill-slopes (cultivated land, stream, wetland etc.)
Scale	- 1×1 m over (The wider the road, the larger the plan) * Square shape with an internal width of at least 1 metre, It should not be longer than 20 to 30 meters * Bottom of flat, inside of moist, small water flows etc.
Soil depth	- Soil depth over 0.3 meters
Additional facilities	- Fence, Dead tree, Stone grave, Drainage ditch, Monitoring facilities etc. * Fence: 0.5 m (ground) + 0.3 m (underground), fence size within 1 cm



Figures 4. A cross-sectional view of amphibians-reptiles underpass by way of illustration.

2) 설계 단계

설계단계는 계획에서 수립된 원칙을 설계도면에 표기하는 것으로 설계에 대한 3가지 기본원칙을 제시하였다. 첫째, 계획에서 수립된 원칙이 설계도면에 표기되어야 한다. 둘째, 실제 시공이 가능한 수준으

로 재료명, 수량, 수치, 사진, 그림 등 상세한 사항들이 설계도면에 표기되어 있어야 한다. 셋째, 설계도면은 총괄표, 기반환경, 식생, 부대시설 등 4가지로 크게 구분하여 작성되어야 한다. 생태통로 설계의 구성은 총괄, 생태기반환경, 서식지, 기타 등으로 이루

Table 7. Method and review by design contents of wildlife crossing

Review item	Appraisal standard
Total	1) Drawing list - Writing of drawing list, drawing number, scale etc. 2) General quantity table - Writing of materials, quantity etc. 3) Location map - Provide an outline of the regional status, including location of alternative habitats 4) Master plan - Master plan which shows goals, target species etc.
Physical environment	1) Measurement drawing - Plot of land, actual measurement etc. 2) Construction plan - Wildlife crossing and additional facilities (fence, escape ramp etc.) 3) Topographic reconstruction plan - Flat, longitudinal, and transverse plans for the reconstruction of the topography
Vegetation	1) Vegetable Restoration Concept - Plan for internal and external plant and representative plants etc. 2) Vegetable Restoration plan - Plan to restore vegetation of trees, shrubs, and herbs etc. - Name, specifications, unit, quantity, and area distribution standard etc. 3) Detailed drawing of vegetation restoration - Plant trees based environment (Soil depth and improvement), Area planting standard etc.
Facility	1) Fence and Escape ramp of detailed drawings 2) Animal signs, Porosity space, Soundproofing, Management door etc.

Table 8. Method and review by the construction procedure of wildlife crossing

Review item	Appraisal standard
Check design drawings and details	<ul style="list-style-type: none"> - Review whether the design drawings and the site environment match - Review whether eco-friendly materials and local materials (on-site byproducts) are used
Preparation of construction plan	<ul style="list-style-type: none"> - Reviewing the construction plan (including quality, process, safety, construction management) - Review any design changes - Identify work lines and work areas - Review measures to reduce pollutants
Construction of Wildlife crossing	<ul style="list-style-type: none"> - Check for excessive use of equipment - Check for processing of invasive species during work - Check whether the project proceeded with the design drawings and details (implementation plan, specifications, etc.) - Check if corrective action is being implemented to prevent or reduce the inflow of pollutants

어지며 이에 대한 구체적인 검토사항 및 방법은 Table 7과 같다.

3) 시공 단계

생태통로의 시공은 자연환경에 대한 훼손을 최소화할 수 있는 공법으로 목표종의 생태를 숙지한 전문가의 조언을 받아 시공이 이루어져야 한다. 이는 번식이나 동면 등 계절적 변화에 따라 공사에 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 따라서 공사 시에는 야생동물의 생태적 특성을 충분히 반영한 공사계획서를 작성해 철저하게 계획에 근거한 시공을 실시하고, 사전에 모든 환경보전조치를 검토했다라도 자연환경에 대한 영향은 항상 불확실성이 따르므로 예측하지 못한 사태에 대응할 수 있도록 공사기간 중에도 필요에 따라 모니터링을 실시해 공사로 인한 영향이 예측되는 경우에는 공법 등의 변경이나 개선 등 현장상황에 맞는 탄력적인 대응방안이 환경영향평가서 내에 누구나 알기 쉽게 제시되어 있어야 한다.

이상과 같이 생태통로 시공 절차는 1)설계도서 확인, 2)시공계획서 작성, 3)생태통로 시공 등 크게 3단계로 구분하고, 시공 절차별 구체적인 검토사항 및 방법은 Table 8과 같다.

4) 모니터링 단계

모니터링은 조성 전과 시공 중 그리고 운영 시로 구분하여 개발 사업으로 인한 환경변화와 생물종 변화 추이를 관찰·기록하여야 하며, 사후모니터링 자료는 유지·관리방향을 제시하고 사업의 성공과 실패를

판단하는 기준으로 활용될 수 있으므로 면밀하게 작성하여 제시되어야 한다. 또한 모니터링 결과에 따른 유지·관리 계획을 환경부에 제출하고 미흡한 부분이 있을 경우 사후환경영향조사 시 이를 보완할 수 있도록 하여야 한다. 모니터링 기간은 최소 3년간 연 2회(다른 계절 기준, 첫 번째 조사 후 3개월 후) 이상 정기적으로 실시하고 드론, Camera-trap, Song-meter, 온습도 측정 장치(호버) 등과 같이 객관적인 조사 자료 수집이 가능한 무인조사장비를 활용하여 모니터링의 객관성과 신뢰성을 확보하여야 한다 (NIE 2017).

모니터링은 생태통로의 생태환경과 생물종 변화 추이를 관찰·기록하고, 외래종의 이입, 번식, 확산 등에 대한 조사, 생태통로 내·외부의 기반환경 변화, 식생의 동질성 및 이질성에 대해 조사 등을 실시하여 비교·분석할 수 있도록 하여야 한다. 특히, 계획 초기에 설정한 목표종의 출현 빈도를 중점적으로 파악하고, 생태통로 설치 전·후의 야생동물 교통사고 현황을 파악하여야 한다. 또한 사후모니터링의 결과 및 유지·관리 내용은 매년 보고서로 작성하고, 조사결과가 이듬해 사후모니터링 및 유지·관리에 반영되어야 한다. 이를 위해 모니터링 계획의 변경이 필요하다고 판단되는 경우에는 계획을 수정(Plan)하고, 유지·관리(Do)작업을 거쳐 사업의 진행상황을 재평가(Check) 하여야 한다.

그 동안 환경영향평가를 통하여 조성된 대부분의 생태통로가 조성 후 사후관리 미실시로 제기능을 못하고 있는 실정이며, 이러한 문제점을 개선하기 위해

서는 사후관리 점검을 통해 제기능을 하지 못하는 생태통로의 경우 훼손자부담의 원칙에 따라 개발사업자가 이를 보완·시공(Action)할 수 있는 법적 근거가 마련되어야 한다(Shim et al, 2018). 유지·관리에 대한 평가는 목표 달성도가 기본이 되어야 하나 생태통로 조성 후 효과가 나타나기까지 장시간이 필요한 경우가 많아 단기와 중·장기로 구분하여 평가계획을 수립하여야 한다. 또한 평가 기준은 일정하지 않고 개체군의 구조, 종 구성, 종수, 유지·관리상의 문제 등 다양한 관점에서 복수로 평가하는 것이 중요하며 실무담당자는 환경영향평가 협의 시 이에 대한 계획이 환경영향평가서 내에 상세하게 수립되었는지 확인하여야 한다.

이상과 같이 모니터링 절차는 1)모니터링 계획 검토, 2)모니터링 방향 및 방법 설정, 3)모니터링 시행, 4)모니터링 결과 종합분석 및 평가, 유지·관리 방향 제시 등 크게 4단계로 구분하고, 모니터링 절차별 검토사항 및 방법은 Table 9와 같다.

5) 유지·관리

생태통로의 유지·관리 검토 사항은 생태통로 내·외부 환경, 생태통로 이용 및 주변동물, 유도웬스 상태 등으로 구분할 수 있으며 생태통로 내부 환경은 교목, 초화류, 잔디 등 식생 활착 상태, 미소서식지 안정화 상태, 자연환경보전시설 등 준공 후 일정기간 또는 별도의 독립된 공정으로 시행되는 것도 생태통로 조성의 성패를 좌우하는 중요한 공정이기 때문에 유지·관리에 관한 일련의 모든 공정작업과 동일한 기준으로 점검·보완하여야 한다. 또한 생태통로의 유지·관리 방안은 각 지역별로 지역적 특성을 고려하여 특화된 관리방안을 제시·적용하여야 한다. 목표종 및 야생동물의 이동에 저해되는 위험 및 교란요소는 제거하고, 목표종의 이동에 도움이 되는 요소는 지속적으로 유지될 수 있도록 관리하여야 한다.

마지막으로 장기적인 결과를 얻기 위한 방향으로 야생동물 이동 기록을 살펴보고 지속적인 모니터링을 통해 기존의 관리 방향이 올바른지 평가를 실시하

Table 9. Method and review by post-monitoring procedure of wildlife crossing

Review item	Appraisal standard
Review post-monitoring plan	<ul style="list-style-type: none"> - Review site plan - Review post-monitoring basic direction and key principles - Review post-monitoring methods and budget - Review the drawings and details of Completion
Setting up post-monitoring direction and method	<ul style="list-style-type: none"> - Review whether to include a seasonal survey of ecosystems and comparison / analysis - Review specific post-monitoring plans (scope, timing, manpower) - Review by separating the general survey from the expert survey
Implementation of post-monitoring	<ul style="list-style-type: none"> - Review post-monitoring content (items, methods, etc.) - Review the project site survey and analysis - Review the survey results by taxonomic group (target species, animals, flora, etc.)
Comprehensive analysis, evaluation and presenting maintenance directions	<ul style="list-style-type: none"> - Review comprehensive analysis and evaluation contents of post-monitoring results - Review the maintenance direction settings based on the results - Share post-monitoring results

Table 10. Method and review by the maintenance procedure of wildlife crossing

Review item	Appraisal standard
Review maintenance plan	<ul style="list-style-type: none"> - Review maintenance plan - Check whether post-monitoring results are reflected
Setting maintenance directions & methods	<ul style="list-style-type: none"> - Ensure that a maintenance plan has been prepared for post-monitoring - Review pre-survey for maintenance
Implementation of maintenance	<ul style="list-style-type: none"> - Check if maintenance is carried out by on-site visits
Comprehensive analysis & evaluation	<ul style="list-style-type: none"> - Comprehensive analysis and evaluation according to maintenance conditions

고, 평가결과에 따라 기존 관리·계획을 조정 또는 수정·보완하여야 한다. 이상과 같이 생태통로 유지·관리 단계별 검토사항 및 방법은 Table 10과 같다.

IV. 결론

본 연구는 그 동안 환경영향평가를 통하여 조성된 일부 생태통로가 도로상의 야생동물 교통사고를 감소시키지 못하고, 야생동물에게 외면 받는 등에 대한 문제를 개선하고자 실제 현장에서 적용할 수 있도록 환경영향평가 협의 단계별로 담당공무원이 검토해야 하는 구체적인 검토 사항을 제시하였다.

야생동물 이동을 위한 생태통로를 조성하기 위해서는 환경영향평가 협의 시 좀 더 면밀하게 관련 사항에 대한 검토가 구체적으로 이루어져야 하나 그 동안 어떤 항목을 어떤 기준으로 검토해야 하는지 세부적인 검토 방안이 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 기존 생태통로 관련 설치 지침을 비교·검토하여 환경영향평가 협의 단계를 크게 계획, 설계, 시공, 모니터링, 유지·관리 등 5단계로 구분하여 제시하였고 각 단계별로 실무담당자가 검토하여야 하는 항목과 세부내용을 제시하였다.

본 연구는 향후 환경영향평가서 초안 작성 및 의견수렴 단계부터 생태통로 조성 계획을 검토할 수 있게 유도할 수 있을 것으로 생각되며, 이는 기존에 사후 환경영향조사(공사 시) 시부터 계획 및 설계가 이루어졌던 관행 및 제도적 문제점을 개선하여 보다 원기능에 부합되는 생태통로 조성이 가능해질 것으로 판단된다.

마지막으로 향후 본 연구가 개발사업자 및 평가대행자가 생태통로를 조성할 때 실무적인 활용도를 높이기 위해서는 각 조성 단계별 구체적인 방법에 대한 다양한 사례 연구가 많이 이루어져야 할 것이다. 또한 생태통로는 야생동물의 이동을 목적으로 조성한 것이기 때문에 야생동물의 생활사, 생태적 특성 등을 꼼꼼히 파악하여 조성하는 것이 무엇보다 중요하며 관련 전문가들의 충분한 기초조사와 현장조사 강화 방안 등이 제도적으로 수반되어야 올바른 생태통로 조성이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 환경부 과제 “환경영향평가 협의기준 설정 및 생물 서식·이동성 제고를 위한 가이드라인 마련”의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Cho DG. 2017. Ecological Restoration Planning and Designing. NEXUS Environmental design centre, Seoul. [Korean Literature]
- Clewell AF, Aronson J. 2013. Ecological Restoration: Principles, Values, and Structure of an Emerging Profession. Island Press.
- Galatowitsch SM. 2012. Ecological Restoration. Sunderland: Sinauer associates.
- Kim JK. 2015. Ecological status and improvement suggestion of an artificial wildlife corridor in Incheon. Masters dissertation, The graduate school of Inha university. [Korean Literature]
- Lee SJ. 2010. A study on the installation of ecological corridors. Korean Environmental Law Association 32(1): 399-431. (in Korean with English summary)
- MOLIT. 2010. A handbook of road design (Volume 8). [Korean Literature]
- MOLIT and MOE. 2015. Environmental Friendly Road Construction Guidelines. [Korean Literature]
- MOE. 2010. Guidelines for Design and Management of Wildlife Crossing Structures in Korea. [Korean Literature]
- MOE. 2013. Guidelines for the Environmental Impact Assessment on the Creation and Management of Alternative Habitats. [Korean Literature]
- MOE. 2017. A Study on the Guidelines for the Improvement of Biomability in Environmental Impact Assessment. [Korean Literature]

- NIE. 2015. Guidelines for the Design of Natural Environment Conservation Projects. [Korean Literature]
- NIE. 2017. The study on the Guidelines for Improvement of Biological Mobility. [Korean Literature]
- Park JH, Yoo HS, Park MY. 2009. A Study on Assessment Items Analysis for Eco-corridors Area: Using the Analytic Hierarchy Process. Korean Society of Environment Impact Assessment. 18(5): 301-312. [Korean Literature]
- Park JJ, Woo DG, Oh DH, Park CH. 2012. Site Selection of Wildlife Passage for Leopard Cat in Urban Area using Space Syntax. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 40(1): 92-99. [Korean Literature]
- Park SI, Lee GJ. 2014. A study on building methodology for identifying Road-kill hot spots on Highways and Its empirical application. Journal of Korea Planning Association 50(3): 319-333. [Korean Literature]
- Shim YJ, Jung GJ, Eo YJ, Ryu YJ, Park HJ, Chang MH, Lee TH, Kim JK, Park SG, Chang EH, Chu YS, Park YS. 2018. A Study on the Legal and Institutional Review for Improving Bio-Mobility in Environmental Impact Assessment. J. Korean Env. Res. Tech. 21(1): 145-155. [Korean Literature]
- Woo DG, Choi TY, Seo HS, Lee DH, Park YS, Park HB, Moon HG, Cha JG, Lee SM, Park HY, Seo BS, Jong JK, Park JJ, Lee SK, Park YJ, Cheon GS, Kim KA, Kim JM, Choi JC. 2015. A study on analysis of habitat fragmentation and improvement of wildlife passage effectiveness. National Institute of Ecology. [Korean Literature]