

반변천 일대 수달 서식지 적합성 지수(HSI) 모델을 활용한 대체서식지 평가*

심윤진¹⁾ · 김선령²⁾ · 윤광배³⁾ · 정진우³⁾ · 박선욱²⁾ · 박용수⁴⁾

¹⁾ (주)그룹한 어소시에이트 연구소장 · ²⁾ 국립생태원 멸종위기종복원센터 전임연구원 ·
³⁾ 국립생태원 멸종위기종복원센터 선임연구원 · ⁴⁾ 국립생태원 멸종위기종복원센터 책임연구원

Evaluation of Alternative Habitats Using Habitat Suitability Index Model of *Lutra lutra* in Banbyeoncheon Stream*

Shim, Yun-Jin¹⁾ · Kim, Sun-Ryoung²⁾ · Yoon, Kwang-Bae³⁾ ·
Jung, Jin-Woo³⁾ · Park, Seon-Uk²⁾ and Park, Yong-Su⁴⁾

¹⁾ Group Han Associates, R&D Director,
²⁾ Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Associate Researcher,
³⁾ Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Senior Researcher,
⁴⁾ Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Head Researcher.

ABSTRACT

This study was conducted to quantitatively evaluate and analyze the alternative habitats using the HSI(Habitat Suitability Index) model of *Lutra lutra* in Banbyeoncheon Stream. Six variables were selected as habitat variables for *Lutra lutra*, including distance from waterfront, land cover within 1km from waterfront, presence of alluvial island, area of inland water and wetland, distance from roads and urbanized arid areas, and distance from aquaculture farm. The SI(Suitability Index) model and HSI model were developed based on the existing literature of *Lutra lutra*, the results of field surveys and expert opinions, and applied to the alternative habitats to examine the applicability of the HSI model.

* 본 연구는 국립생태원 멸종위기종복원센터 과제 “멸종위기 야생생물 서식변수 및 서식지 적합성지수 개발 연구”의 지원에 의해 수행되었음.

First author : Shim, Yun-Jin, Group Han Associates, R&D Director,
Tel : +82-2-521-1122, E-mail : grenatur@hanmail.net

Corresponding author : Park, Yong-Su, Research Center for Endangered Species, National Institute of Ecology, Head Researcher,
Tel : +82-54-680-7340, E-mail : muskdeer@nie.re.kr

Received : 11 June, 2019. **Revised** : 20 February, 2020. **Accepted** : 17 February, 2020.

The results of this study can provide information on habitat evaluation to prevent the extinction of endangered *Lutra lutra*. In particular, it is highly applicable to the selection and evaluation of alternative habitats for *Lutra lutra*.

Key Words : Aquatic ecosystem health, Alternative Habitats, Ecological Restoration, Endangered Species, Habitat Evaluation Procedure(HEP).

I. 서 론

수달은 식육목 족제비과에 속하는 반수생동물로 세계적으로 총 13종이 분포하며, 그 중 Eurasian Otter(*Lutra lutra*) 한 종만이 우리나라에 서식하고 있다(Jeong, 2014). 수달은 모피획득을 위한 과도한 남획과 1960년대 이후 경제개발에 따른 수질오염, 하천의 직강화 사업 등으로 서식지가 파괴됨으로써 개체수가 지속적으로 감소하여 환경부 지정 멸종위기 야생생물 I급(2005) 및 문화재청 지정 천연기념물 제330호(1982)로 지정되어 보호·관리하고 있다(NIE, 2019b).

수달은 강, 하천, 저수지 등 수환경에 특화되어 사는 종이며, 수생태계의 건강성을 판단하는 지표종으로 수생태계 질서와 먹이사슬을 균형 있게 조절해주는 핵심종이자 조절자의 역할을 수행하고 있다(IUCN, 1990).

일반적으로 육상동물이 면적단위(가로×세로)의 서식 영역에서 살아가는 것과는 달리, 수달은 하천과 같은 기다란 선형의 서식지에 국한되어 살아가는 매우 독특한 포유류이다(Han, 2019). 그러나 산업화와 도시화 과정에서 수달의 보금자리와 은신처로 사용할 수 있는 서식공간은 계속해서 감소하고 있다. 최근 들어 수달 서식을 위한 다양한 복원 노력을 기울이고 있지만, 훼손된 서식지 복원 및 대체서식지 조성 시 수달의 서식에 적합한 서식지를 분석한 연구는 미흡한 실정이다(Shin and Rho, 2017; Han, 2019).

종 보전을 위한 훼손지 복원 및 대체서식지 조성 관련 연구는 해외에서 많은 연구가 수행되었지만 국내에서 수행된 관련 연구는 미흡한 실

정이다. 특히 대체서식지의 경우 위치 선정을 위해서는 대상종의 생태적 특성을 반영하는 것이 가장 중요하며, 관리 정보를 종합적으로 분석하여 평가하여야 한다(Box, 1996). 나아가 이주된 지역에서 지속적인 생존이 가능하도록 이주된 종의 생존뿐만 아니라 인접지역에서 서식하는 개체군과의 상호 연결성이 높아지도록 고려해야 한다(Pryke and Samways, 2001).

지금까지 국내의 대체서식지 조성은 관련 전문가의 주관적 결정에 많이 의지하고 있으며(Lee et al., 2017), 목표종과 그 서식환경에 실제적인 연관성을 분석하여 조성하는데 많은 한계를 가지고 있었다(Kwon, 2011; Song, 2011; Jeong et al., 2015). 반면, 다양한 서식지 관련 연구에서 적용하고 있는 서식지 적합성 지수(Habitat Suitability Index; 이하 HSI)¹⁾는 생물종의 서식 잠재력과 서식환경의 영향을 주는 요인들을 정량적으로 측정하는 장점을 가지고 있다. 즉, 기존의 자연성과 단편적인 조사에 의존한 방법에 비해서 서식에 영향을 주는 요인들의 정량적인 측정이 가능하며, 수변의 미소서식지 특성을 반영한 객관적인 평가가 가능하다(Jeong, 2014).

1) HSI 모델은 미국 어류 및 야생동물 관리국(U.S. Fish and Wildlife Service, 1980)에 의해 개발된 것으로, 한 종이 이용 가능한 서식지의 정량적, 정성적 특성을 규명하기 위해 환경과의 상호작용에 관한 연구를 바탕으로 개발되었다(Lee et al., 2017). 서식지에 영향을 줄 수 있는 서식지의 질을 대변하는 환경 요소들을 정량화함으로써 연구지역의 환경을 정량적으로 평가 및 예측할 수 있으며, 주관적 판단이나 타당성이 없는 가정을 배제한 비교적 객관적인 평가를 가능하게 하는 장점을 지닌다(Gibson et al., 2004).

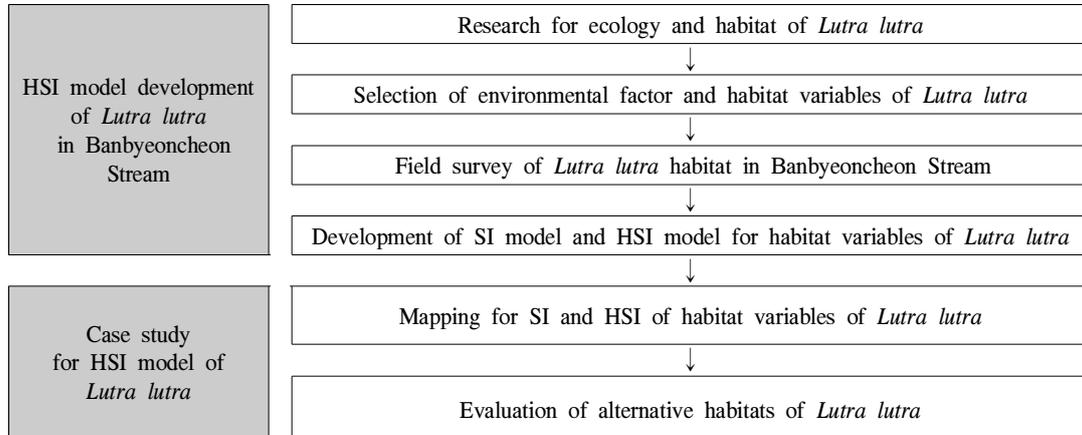


Figure 1. Study flow.

국내 수달 서식지 관련 연구는 서식지 환경특성 연구(DREA, 2002; Lee and Cho, 2005; Choi and Yoon, 2012; Park and Lee, 2012; Kim et al., 2015; Shin and Rho, 2017), 생태적 특성 연구(Han, 1998; NIBR, 2018; Han, 2019), 서식지 복원 연구(MOE, 2007), 보전 지역 설정 연구(Jeong et al., 2015), 수달 보전 대책 연구(Jeonju-City, 2018) 등 다양한 연구가 이루어졌으나 수달의 HSI 모델을 활용하여 수달의 방사 및 서식에 적합한 대체서식지를 분석한 연구는 미흡한 실정이다.

경북 영양군 내에 위치한 반변천 수계는 수달이 서식하기에 있어 양호한 서식환경을 갖고 있는 것으로 평가되며 실제 수달의 서식 흔적이 발견되고 있는 지역이다(NIE, 2019a).

따라서 본 연구는 반변천 일대 수달 HSI 모델을 개발, 이를 활용하여 수달의 대체서식지를 정량적으로 평가하고 분석하는 것을 목적으로 하며, 이를 통해 향후 수달 서식지 평가 연구의 기초 자료로 제시하고자 한다.

II. 연구방법

본 연구는 1) 반변천 일대 수달의 HSI 모델 개발, 2) 수달 HSI 모델의 사례 적용으로 크게 2단계로 구분하여 수행하였다(Figure 1).

1. 수달의 생태 및 서식지 현황 문헌 조사

수달의 생활사 및 야생동물의 서식지 4대 구성요소(공간, 먹이, 물, 은신처)를 중심으로 수달의 생태 및 서식지 현황에 대하여 연구된 문헌을 검토하였다. 서식지 환경특성 연구(DREA, 2002; Lee and Cho, 2005; Choi and Yoon, 2012; Park and Lee, 2012; Kim et al., 2015; Shin and Rho, 2017), 생태적 특성 연구(Han, 1998; NIBR, 2018; Han, 2019), 서식지 복원 연구(MOE, 2007), 보전 지역 설정 연구(Jeong et al., 2015), 수달 보전 대책 연구(Jeonju-City, 2018) 등에서 주로 언급되는 구성요소를 토대로 공간, 먹이, 은신처, 번식, 위협요소 등으로 구분하여 조사하였다.

2. 수달 환경요인 및 서식지 변수 선정

수달의 환경요인 및 서식지 변수(habitat variables)를 선정하기 위해 수달의 생태 및 서식지 현황 문헌 조사 결과를 토대로 환경요인 및 서식지 변수를 1차적으로 제시하였다. 그 후 국내 수달 전문가 2명에게 각각 2019년 5월 29일과 7월 6일, 6월 26일과 7월 16일에 걸쳐 서식지 변수 선정에 대한 대면 인터뷰를 실시하여 자문을 받았다. 자문결과를 바탕으로 최종적으로 서식지 변수를 선정하였다.

3. 반변천 일대 수달 서식지 현장 조사

수달의 서식지 현황 조사는 수달의 서식이 확인된 경북 영양군 반변천 일대의 7개소(NIE, 2019a)를 선정하여(Figure 2) 2019년 7월에 실시하였다. 조사 항목은 선정된 서식지 변수를 중심으로 하천의 지형(하천 폭, 하중도 유무, 수중보 유무), 하천변 형태, 하천 및 습지의 면적, 수변부로부터 1km 이내 토지피복 현황, 털을 말릴 수 있는 여건(초지, 모래 등 유무), 도로 및 시가화건조지역으로부터 거리, 양식장 유무 등으로 구분(Appendix)하여 조사하였다. 수달은 멸종위기 야생생물 I급으로 지정·관리되고 있어 종 보존을 위해 조사 지점의 정확한 좌표는 생략하였다.



Figure 2. Field survey site.

4. 수달 SI 모델 및 HSI 모델 개발

수달의 기존 문헌 및 현지 조사 결과와 전문가 자문 의견을 바탕으로 적합성 지수(Suitability Index; 이하 SI) 모델 및 HSI 모델을 개발하였다. SI 모델은 특정 환경요인(서식지 변수)에 관한 서

식지 적합성을 나타내는 것으로 평가 종의 서식 조건을 규정하는 먹이, 번식 조건 등의 환경요인 별로 0(완전히 부적합)에서 1(최적)까지의 수치로 적정 정도를 표현한 것이다. HSI 모델 개발은 여러 가지 SI 모델을 서로 곱하거나 더해 종합하였다(CNI, 2015). 전문가 자문은 연구방법 ‘2. 수달 환경요인 및 서식지 변수 선정’의 동일한 수달 전문가 2명에게 각각 2019년 9월 19일과 9월 30일, 9월 23일과 10월 1일에 걸쳐 SI 모델별 지수값의 타당성, 수달 HSI 모델(HSI와 SI의 관계 설정) 내용에 대한 대면 인터뷰를 실시하여 자문을 받았다. 수달 산란지 현지 조사 대상지가 7개소에 불과하여 통계 처리에 한계가 있다는 전문가들의 자문 의견을 수렴, 7개소 현지 조사와 기존 문헌 자료를 토대로 수달 SI 모델별 지수값과 수달 HSI 모델을 개발하였다.

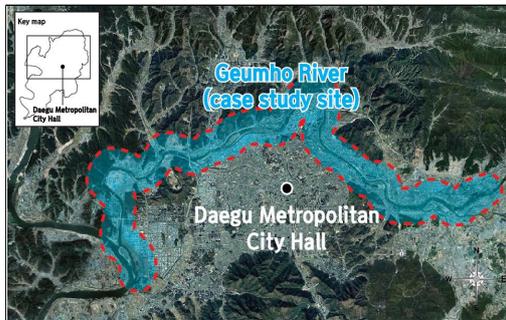
5. 수달 HSI 모델 사례 적용(대체서식지 평가)

수달 HSI 모델의 사례 적용을 위해 금호강 일대(대구광역시)를 대상으로 선정하였다(Figure 3). 금호강 일대는 수달 서식지 현장 조사 대상지인 반변천과 동일한 낙동강 권역에 속하며 수달 서식 현황이 확인되어(Han, 2019) 수달 HSI 모델의 사례 적용인 대체서식지 평가에 적합한 지역으로 판단하여 대상으로 선정하였다. 대상지의 공간적 범위로 금호강의 하천 및 하천선 기준 1km까지의 범위 중 대구광역시의 행정구역 내 부만을 설정하였다.

그 후 수달의 SI 모델별 도면을 작성하기 위해 관련된 서식지 변수별 지리정보 자료를 구축하였다. 수달의 SI 모델별 도면 작성과 관련된 서식지 변수별 지리정보 자료는 Table 1과 같다. 수변부로부터의 거리, 수변부로부터 1km 이내 토지피복, 내륙수+내륙습지의 면적, 도로 및 시가화건조지역으로부터 거리, 양식장으로부터 거리는 모두 환경공간정보서비스의 세분류 토지피복도를 활용하였다. 하중도 유무는 국토정보 플랫폼의 연속수치지형도를 활용하였다.

Table 1. Geographic information data for habitat variables of *Lutra lutra*.

Environmental factor	Habitat variables	Geographic information data	Source of data
Cover	Distance from waterfront	Sub-divided land cover map	https://egis.me.go.kr
	Land cover within 1km from waterfront	Sub-divided land cover map	https://egis.me.go.kr
	Presence of alluvial island	Seamless digital map	https://map.ngii.go.kr
Food	Area of inland water and wetland	Sub-divided land cover map	https://egis.me.go.kr
Threatening factor	Distance from roads and urbanized arid areas	Sub-divided land cover map	https://egis.me.go.kr
	Distance from aquaculture farm	Sub-divided land cover map	https://egis.me.go.kr

**Figure 3.** Case study site for HSI model of *Lutra lutra*.

구축된 서식지 변수별 지리정보 자료를 바탕으로 QGIS Desktop 2.14.21-Essen을 활용해 수달의 SI 도면 및 HSI 도면을 작성하였으며 격자 크기는 100m×100m로 설정하였다. 마지막으로 HSI별 해당 면적을 제시하고 상위 및 하위 HSI가 나타나는 지역을 대상으로 다음(Daum) 지도의 스카이뷰 (<https://map.kakao.com/>)에서 토지피복 현황, 주변 지역과의 관계 등 대상지 현황을 분석하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 수달의 생태 및 서식지 현황 문헌 조사

수달의 서식지는 크게 내륙과 해안으로 구분되며, 내륙의 경우 대부분 하천이나 호수 등에서 수달이 발견된다. 인간의 접촉을 피할 수 있는 곳으로 강, 호수, 해안, 물로부터 꽤 떨어진 늪지 등을 따라 생활하고 있다(DREA, 2002).

행동권의 경우, 활동 시에는 주로 수생생활을

하지만 나머지 시간은 육상에서 대부분을 보낸다. 행동영역의 범위는 지역에 따라 수십 km에 이르는 경우도 알려져 있으나 보통 10km 내외를 넘는 정도를 자신의 home range로 하고 있다. 간혹 서식지의 변화가 커서 새로운 서식지를 찾아야 할 때에는 80km 까지 다른 지역으로 이동하기도 한다(MOE, 2007).

강원도 홍천군 화촌면 일대의 홍천강 상류 수계(내촌천과 군업천)를 중심으로 하천의 지형에 따른 수달의 분포를 확인할 결과(Park and Lee, 2012), 수달은 강폭이 2~5m로 그다지 넓지 않은 곳을 선호하는 곳으로 나타났다. 선호하는 수심은 0.5~1m(77%)와 0.5m 미만(15%)의 하천 환경이 전체 92%를 차지하면서 수심이 얇은 공간일수록 선호한다. 유속의 경우에도 5m/s 이하(55%), 5~30m/s(39%)의 조건이 전체 94%를 차지하면서 유속이 거의 없거나 유속이 느린 곳을 선호한다.

먹이는 어류, 조류, 양서류, 갑각류, 포유류, 곤충류, 복족류의 순으로 섭식한다. 먹이의 계절적 양상을 보면, 어류와 조류는 연중 일정량을 먹이로 하며, 양서류는 여름과 겨울, 갑각류는 겨울보다는 여름에 많이 섭식한다. 겨울철에는 수면성 조류와 양서류를 많이 섭식한다(DREA, 2002).

은신처인 보금자리의 경우, Han(1998)의 연구에 따르면 거제 연초대를 사례로 배설지점 및 식이지점을 수변환경 특성별로 바위와 식생지대, 진흙과 식생지대, 그리고 토양과 돌지대로

Table 2. Selection of environmental factor and habitat variables of *Lutra lutra*.

Environmental factor	Habitat variable		
	Planned	Result of In-depth Consultation with Experts	Finalized
Cover	Distance from waterfront	Appropriate	Distance from waterfront
	Land cover within 1km from waterfront	Appropriate	Land cover within 1km from waterfront
	-	To be proposed - presence of alluvial island	Presence of alluvial island
	-	To be proposed - sinuosity	-
Food	Area of inland water and wetland	Appropriate	Area of inland water and wetland
Threatening factor	Distance from roads and urbanized arid areas	Appropriate	Distance from roads and urbanized arid areas
	-	To be proposed - presence of concrete river embankment	-
	-	To be proposed - distance from aquaculture farm	Distance from aquaculture farm

구분하였을 때 이용 빈도는 바위와 식생지대가 37~62%, 진흙과 식생지대가 6~31%, 흙과 돌이 많은 지역이 21~46%로 바위와 식생이 동시에 존재하는 지역에 대한 선호도가 높은 것으로 나타난다. 통상 보금자리는 물가로부터 약 1~2m의 거리에 위치하고 입구는 2개 이상의 터널이 있으며, 주위에서 많은 배설물이 관찰된다. 보금자리와 물과의 거리는 50m 이내인 지역이 약 90%를 차지하고 가장 멀리 떨어진 보금자리가 300m이다(MOE, 2007).

번식은 연중 조건이 좋은 시기에 교미하며, 임신 기간은 61~74일이고, 한 번에 새끼 2~3마리를 낳는다(NIBR, 2018).

위협요소로 하천 오염, 하천변의 콘크리트화 및 식생 훼손에 따른 보금자리 부족화, 그물 및 양식장으로 접근, 로드킬, 수중보 설치²⁾ 등이

있다(Jeonju-City, 2018).

2. 수달 환경요인 및 서식지 변수 선정

수달의 생태 및 서식지 현황 문헌조사 결과를 토대로 서식지 변수별로 다양한 데이터가 구축되어 있고 실질적으로 GIS 도면 구축 가능성을 고려하여 환경요인 및 서식지 변수를 1차적으로 제시하였다. 1차적으로 제시된 수달의 환경요인 및 서식지 변수에 대하여 전문가 2인(A, B)의 자문 결과 수변부로부터의 거리, 수변부로부터 1km 이내 토지피복, 내륙수+내륙습지의 면적, 도로 및 시가화건조지역으로부터 거리 등이 모두 적합하다는 의견이 있어 이를 반영하였다. 그 외에 전문가 A는 수변환경이 수달의 출현에 미치는 영향이 크므로 하중도 유무, 종횡사주 유무를 추가적으로 제시하였다. 전문가 B는 수달 서식의 위협요인 중요성을 강조하면서 콘크리트 하천 제방 유무, 양식장으로부터 거리를 추가적으로 제시하였다. 그러나 종횡사주 유무 및 콘크리트 하천 제방 유무 변수에 대하여 SI 모델 개발에 필요한 데이터 부족 및 SI 모델 개

2) 어류종의 풍부도에 따라 서식지에 민감하게 반응하는 수달에 있어 수중보는 물이 연중 평균수위 이상의 물을 저수하기 때문에 안정적인 먹이조건을 가지는 반면, 어류의 이동통로 단절로 어류종 감소와 수달의 이동을 초래한다(Jeonju-City, 2018).

발의 난해함을 고려하여 변수 선정에서 제외하였다. 최종적으로 수변부로부터의 거리, 수변부로부터 1km 이내 토지피복, 하중도 유무, 내륙수+내륙습지의 면적, 도로 및 시가화건조지역으로부터 거리, 양식장으로부터 거리 등 6개 서식지 변수를 선정하였다(Table 2).

3. 반변천 일대 수달 서식지 현장 조사

7개 서식지 및 주변을 현지 조사한 결과(Appendix), 하천의 지형으로 하천폭은 25~113m, 하중도 및 수중보는 각각 1개소에 존재하는 것으로 나타났다. 하천폭(25~113m)이 Park and Lee(2012)의 연구결과(2~5m)와 차이가 크게 나타나는데 이는 연구 대상지 하천의 규모(차수)가 다른 환경이기에 나타난 결과라고 판단된다.

하천변 형태는 수생식물이 2개소, 자갈(직경 2m~2mm) 및 수생식물이 4개소, 바위 형태의 인공 제방 및 수생식물이 1개소로 나타났다.

하천 및 습지의 면적은 570,573~763,036m²로 나타났다.

수변부로부터 1km 이내 토지피복³⁾은 내륙수, 암벽바위, 강기슭, 내륙습지, 산림지역, 자연초지가 주를 이루었다. 털을 말릴 수 있는 여건인 초지 및 모래 등은 7개소 모두 존재하였다.

도로 및 시가화건조지역으로부터 거리는 0~77m로 나타났으며 양식장은 서식지 주변에 분포하지 않았다.

그 외 특이사항으로 여울형 낙차공이 조성된 지역(A지역), 수중보와 어도가 조성되어 있고 취수장이 콘크리트 형태로 노출된 지역(B지역), 배설물이 발견된 지역(C, D지역), 잠수교가 조성된 지역(D지역) 또는 잠수교 조성이 진행되고 있는 지역(G지역) 등의 현황이 나타났다.

4. 수달 SI 모델 및 HSI 모델 개발

수달의 기존 문헌 및 현지 조사 결과와 전문

가 자문 의견을 바탕으로 SI 모델을 도출하였다(Figure 4). 수변부로부터의 거리(SI 1)는 MOE(2007)⁴⁾ 및 Kruuk(1995)⁵⁾의 연구 내용과 전문가 자문 의견을 바탕으로 수변부 100m 이내를 SI 1 = 1.0으로, 1,000m 이상을 SI 1 = 0으로 설정하였다(Figure 4a).

수변부로부터 1km 이내 토지피복⁶⁾(SI 2)은 Han(1998)⁷⁾, DREA(2002)⁸⁾, Jeonju-City(2018)⁹⁾ 등의 연구결과, 현장조사 결과¹⁰⁾ 및 전문가 자문 의견을 바탕으로 내륙수, 암벽바위, 강기슭, 내륙습지, 산림지역, 자연초지는 SI 2 = 1.0으로, 농업지역은 SI 2 = 0.5로, 골짜강, 묘지, 기타초지는 SI 2 = 0.3으로, 채광지역, 기타 나지, 운동장은 SI 2 = 0.1로, 시가화건조지역은 SI 2 = 0으로 설정하였다(Figure 4b).

4) 보금자리와 물과의 거리는 50m 이내인 지역이 약 90%를 차지하고 가장 멀리 떨어진 보금자리가 300m이다.

5) Scotland의 수달 보금자리 112개를 조사한 결과 약 77%가 100m이내의 지역에 위치하고 나머지 13% 역시 200m 이내에 있는 것으로 나타났다.

6) 환경공간정보서비스(<https://egis.me.go.kr>)의 세분류 토지피복도를 기준으로 하였다.

7) 거제 연초담을 사례로 배설지점 및 식이점 수변환경 특성별로 바위와 식생지대, 진흙과 식생지대, 그리고 토양과 돌지대로 구분하였을 때 이용빈도는 바위와 식생지대가 37~62%, 진흙과 식생지대가 6~31%, 흙과 돌이 많은 지역이 21~46%로 바위와 식생이 동시에 존재하는 지역에 대한 선호도가 높은 것으로 나타났다.

8) 하천 서식지형에 대한 선호도 조사에서 바위와 식생이 존재하는 지역을 가장 선호하는 것으로 나타났으며, 그 다음이 흙과 돌이 많은 지역, 진흙과 식생지역의 순으로 좋아하는 것으로 나타났다.

9) 동강의 사례에서 서식지의 이용특성은 암벽지역(41±7.1, 34.75%), 암벽과 바위지역(25±4.0, 21.19%), 바위지역(23±4.1 19.63%), 수중에 돌출된 바위지역(18±3.6, 15.11%), 바위와 자갈지역(8±1.3, 6.92%), 자갈지역(3±0.4, 2.26%), 기타(0.2, 0.14%) 등으로 나타났다.

10) 내륙수, 암벽바위, 강기슭, 내륙습지, 산림지역, 자연초지에 해당되는 비율이 59.74~69.32%이며 그 다음으로 농업지역이 20.68~33.43%로 조사되었다.

3) 토지피복은 환경공간정보서비스 (<https://egis.me.go.kr>)의 세분류 토지피복도를 활용하여 분류하였다.

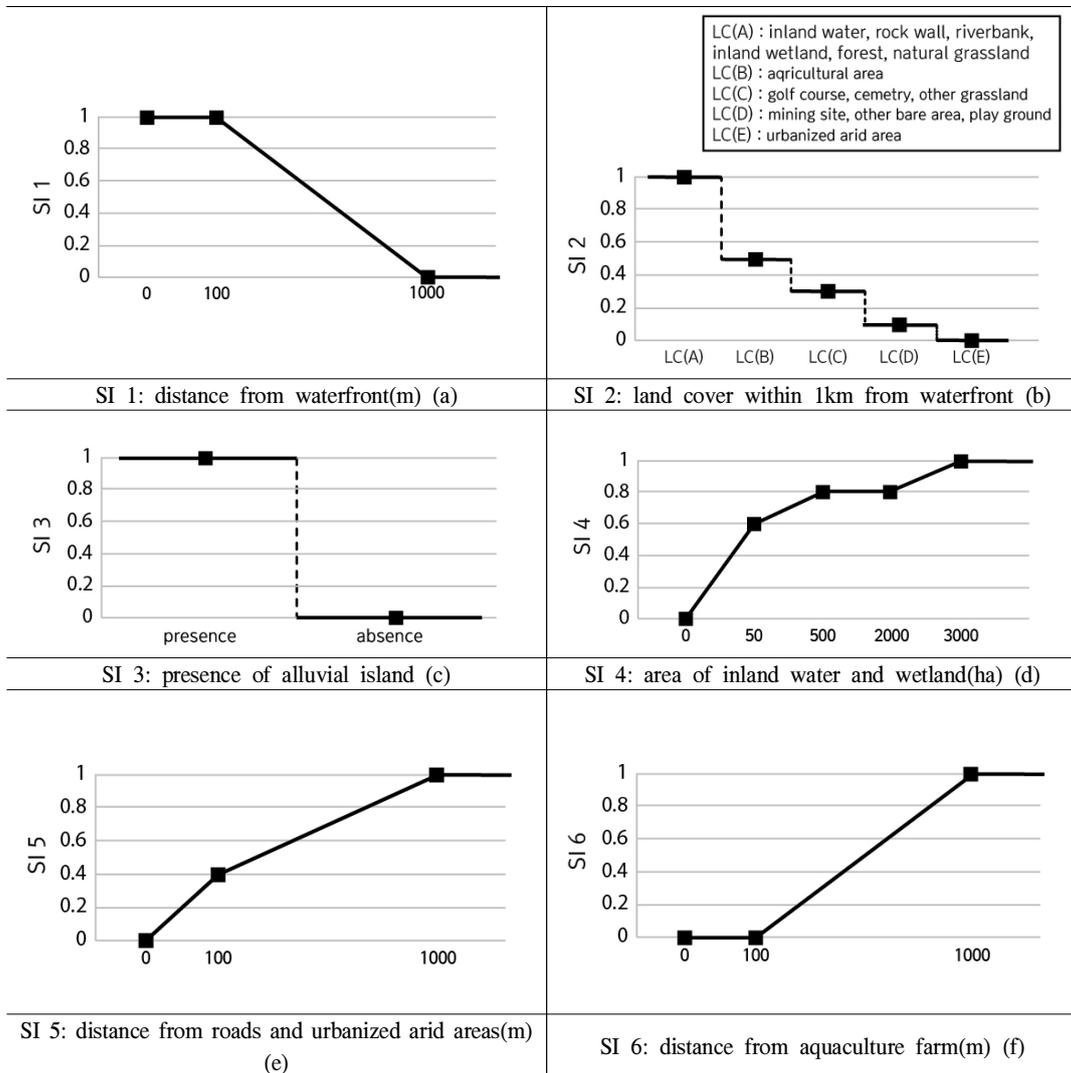


Figure 4. SI model for habitat variables of *Lutra lutra*.

하중도 유무(SI 3)는 현장조사 결과¹¹⁾ 및 전문가 자문 의견을 바탕으로 하중도 지역은 SI 3 = 1.0으로, 하중도 외 지역은 SI 3 = 0으로 설정하였다(Figure 4c).

내륙수+내륙습지의 면적(SI 4)은 수달의 행동권에 관한 연구결과(MOE, 2007; Kim et al., 2015; NIBR, 2018), 현장조사 결과

11) 7개 현장조사 대상지에서 하중도는 1개소에만 존재하였지만 하중도가 수달의 은신 및 휴식 활동에 적합하다는 전문가 자문의견을 반영하였다.

(570,573~763,036m²) 및 전문가 자문 의견을 바탕으로 3,000ha 이상을 SI 4 = 1.0으로, 0ha를 SI 4 = 0으로 설정하였다(Figure 4d).

도로 및 시가화건조지역으로부터 거리(SI 5)는 MOE(2007) 및 Kruuk(1995)의 연구 내용, 현장조사 결과(0~77m) 및 전문가 자문 의견을 바탕으로 1,000m 이상을 SI 5 = 1.0으로, 0m를 SI 5 = 0으로 설정하였다(Figure 4e).

양식장으로부터 거리(SI 6)는 MOE(2007) 및 Kruuk(1995)의 연구 내용 및 전문가 자문 의견

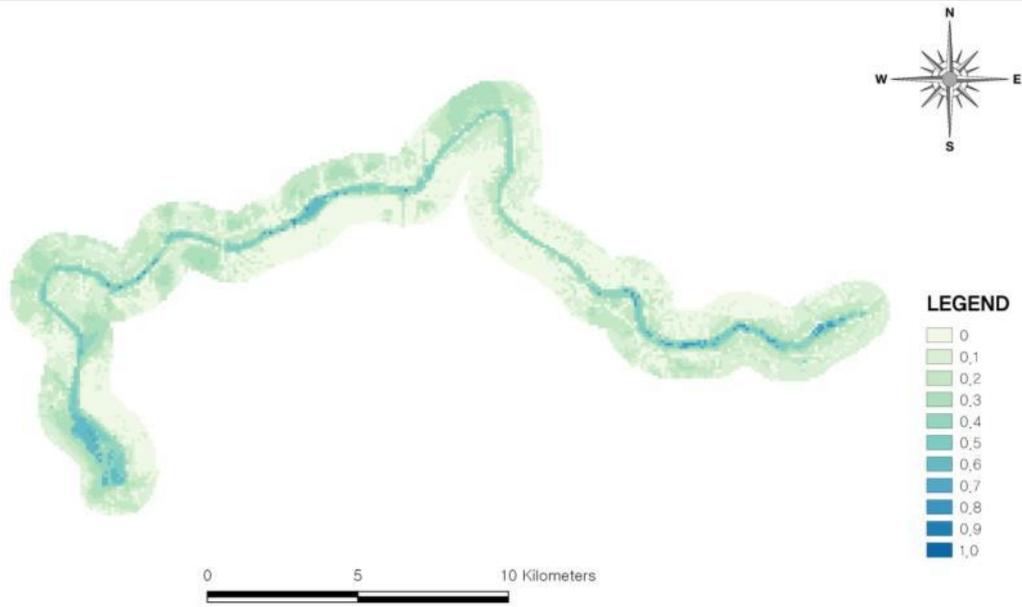


Figure 5. HSI map for habitat variables of *Lutra lutra*.

을 바탕으로 100m까지를 SI 6 = 0으로, 1,000m 이상을 SI 6 = 1.0으로 설정하였다(Figure 4f).

도출된 SI 모델을 대상으로 전문가 자문 의견을 수렴하여 HSI 모델과의 관계를 설정하였다. 수변부로부터의 거리(SI 1)와 수변부로부터 1km 이내 토지피복(SI 2), 도로 및 시가화건조 지역으로부터 거리(SI 5)와 양식장으로부터 거리(SI 6)는 하나라도 0일 때 서식지의 가치도 0이 되는 경우를 고려하여 기하 평균법을 활용하였다. 그리고 이들의 기하평균값과 하중도 유무(SI 3), 내륙수+내륙습지의 면적(SI 4)는 상호 보완관계에 있다고 판단하여 산술 평균법을 통해 제시하였다(식 1).

$$\text{수달HSI} = \frac{\sqrt{SI1 \times SI2} + SI3 + SI4 + \sqrt{SI5 \times SI6}}{4}$$

식 1

5. 수달 HSI 모델 사례 적용(대체서식지 평가)

서식지 변수별 지리정보 자료를 바탕으로 금호강 일대(대구광역시)에 수달의 HSI 도면을 구축

한 결과(Fig. 5), 0.8은 260,000m², 0.7은 530,000m², 0.6은 1,140,000m², 0.5는 3,160,000m², 0.4는 6,860,000m², 0.3은 9,520,000m², 0.2는 22,080,000m², 0.1은 25,420,000m², 0.0은 34,260,000m²으로 나타났다(Table 3).

HSI로 1.0 및 0.9가 나오지 않았는데 대상지가 도로 및 시가화건조지역으로부터 거리가 1,000m 이내에 포함되어 SI 5에서 낮은 평가가 나왔기 때문이라고 판단된다.

상위 HSI(0.8, 0.7)가 나타난 지역을 다음(Daum) 지도에서 확인한 결과 하천 내부에 위치하며 하중도 또는 식생이 분포하는 지역으로 수달이 서식하기에 양호한 환경임을 확인할 수 있었다. 반면 하위 HSI(0.0, 0.1, 0.2, 0.3)가 나타난 지역은 모두 하천 외부지역으로 도로 및 시가화지역에 인접하여 수달이 서식하기에 어려운 환경임을 확인할 수 있었다.

수달은 행동권역이 보통 10km 내외를 넘는 정도로 넓은 선형의 서식지에 살아가는 동물이기에 상위 HSI(0.8, 0.7)가 나타난 지역만을 수달의 적합한 서식지라고 제시할 수 없다. 따라

서 향후에는 두 개 이상의 대체서식지를 대상으로 HSI 모델을 적용 및 비교 평가하여 상위 HSI가 높은 지역을 더 적합한 대체서식지로 제시하고 이를 현장에서 검증하는 추가 연구가 필요하다고 판단된다.

Table 3. Area by HSI for habitat variables of *Lutra lutra*.

HSI	Area(m ²)
1.0	-
0.9	-
0.8	260,000
0.7	530,000
0.6	1,140,000
0.5	3,160,000
0.4	6,860,000
0.3	9,520,000
0.2	22,080,000
0.1	25,420,000
0.0	34,260,000
Sum	103,230,000

IV. 결 론

본 연구는 반변천 일대에 수달 서식지를 대상으로 수달 HSI 모델을 개발, 이를 활용하여 수달의 대체서식지를 정량적으로 평가하고 분석하고자 수행되었다.

연구결과, 수달의 SI 모델은 수변부로부터의 거리, 수변부로부터 1km 이내 토지피복, 하중도 유무, 내륙수+내륙습지의 면적, 도로 및 시가화 건조지역으로부터 거리, 양식장으로부터 거리 등 6개 변수를 중심으로 개발하였다. 그러나 종횡사주는 하천의 사행도를 반영하여 하천 환경의 다양성을 평가할 수 있는 변수이며 콘크리트 하천 제방은 수달 서식의 주요 위협 요인을 평가할 수 있는 변수이나 데이터 구축의 어려움으

로 본 연구에서 제시하지 못하였다. 또한 수달 HSI 모델을 기하평균 및 산술평균으로 제시하였지만 향후 SI 모델간의 가중치 부여에 대한 추가 연구가 이루어진다면 보다 정교한 수달 서식지 평가가 가능하다고 판단된다.

본 연구 결과는 멸종위기에 처한 수달의 절멸 방지를 위한 서식지 평가 관련 정보를 제공할 수 있다. 특히 수달 대체서식지 선정 및 평가에 기초자료로 활용될 수 있다.

그러나 본 연구는 반변천 일대에 서식하는 수달의 서식 환경을 중심으로 HSI 모델을 개발하였기에 모든 지역을 대상으로 적용하기에는 무리가 있다. 또한 반변천 현장 조사지역으로 7개 소 지역만을 대상으로 하였기에 현황 조사 데이터가 충분하지 못하였다.

향후 연구로서 수달 서식지에 대한 다양한 현황조사 데이터를 구축하여 수달 HSI 모델의 정확성을 높여야 한다. 또한 현장 조사를 바탕으로 수달 HSI 모델에 대한 검증 연구가 필요하며 이는 수달 서식지 평가 및 복원 모델 구축, Test-bed 조성, 모니터링과 연계되어 이루어져야 할 것이다.

References

- Box, J. 1996. Setting objectives and defining outputs for ecological restoration and habitat creation. *Restoration ecology* 4(4) : 427-432.
- Choi JW and MH Yoon. 2012. A Study on food habits of the otter (*Lutra lutra*) and effects of construction of the Busan new port on its prey. *J. Life Sci.* 22(6) : 736-743. (in Korean with English summary)
- ChungNam Institute(CNI). 2015. *Habitat Evaluation Procedures Manual*. Paju: Hanul Publishing Group. (in Korean)
- Daegu Regional Environmental Agency(DREA).

2002. Otter Habitat Survey Report: Ungokcheon Stream, Baekcheon Stream and Wangpicheon Stream. (in Korean)
- Gibson, L. A. · B. A. Wilson · D. M. Cahill and J. Hill. 2004. Modelling habitat suitability of the swamp antechinus (*Antechinus minimus maritimus*) in the coastal heathlands of southern Victoria, Australia, Biological Conservation. 117(2) : 143-150.
- Han SY. 1998. The ecological studies of Eurasian Otter(*Lutra lutra*) in South Korea. Doctoral thesis, Kyungnam University. (in Korean with English summary)
- Han SY. 2019. A Study on the behavioral ecology and protection strategy of otters in Daegu. Daegu metropolitan city, Press 287. (in Korean)
- IUCN. 1990. Red List of Threatened Animals-IUCN, Gland.
- Jeong SG. 2014. Evaluation model of riparian corridor connectivity: a case study of Seom river basin, Gangwon-do. Doctoral thesis, Seoul National University. (in Korean with English summary)
- Jeong SG · CH Park · DG Woo · DK Lee · CW Seo and HG Kim. 2015. Selecting core areas for conserving riparian habitat using habitat suitability assessment for Eurasian Otter. J. Korea Env. Res. Tech. 18(2) : 19-32. (in Korean with English summary)
- Jeonju-City. 2018. Survey of Otter populations and establishment of conservation measures in Jeonjucheon Stream and Samcheon Stream. (in Korean)
- Kim SG · GY Ko · C Kim and DW Ha. 2015. Analysis of Hydraulic and Ecological Environment of Eurasian Otter (*Lutra lutra*) Habitat Using River Spatial Information. Journal of Environmental Science International 16(2) : 169-176. (in Korean with English summary)
- Kruuk, H. 1995. Wild otters: predation and populations. OUP Oxford.
- Kwon H. 2011. Integrated evaluation model of biodiversity for conservation planning: focused on Mt. Jiri, Mt. Deokyu and Mt. Gaya regions. Doctoral thesis, Seoul National University. (in Korean)
- Lee SD and HS Cho. 2005. A Study of habitat use pattern of river otter (*Lutra lutra*) with land-cover map. J. EIA. 14(6) : 377-385. (in Korean with English summary)
- Lee BE · JW Kim · NI Kim and JG Kim. 2017. Evaluation on Replacement Habitat of Two Endangered Species, *Aster altaicus* var. *uchiyamae* and *Polygonatum stenophyllum* Using Habitat Suitability Index. Journal of Wetlands Research 19(4) : 433-442. (in Korean with English summary)
- Ministry of Environment(MOE). 2007. Development of river-improvement model for the rehabilitation of otter habitats. (in Korean with English summary)
- National Institute of Biological Resources (NIBR). 2018. Endangered species at a glance. (in Korean)
- National Institute of Ecology(NIE). 2019a. An Ecological Survey of Eurasian Otter in Yeongyang-Gun. (unpublished / in Korean)
- National Institute of Ecology(NIE). 2019b. Basic study for the conservation and improvement of endangered species habitats. (in Korean)
- Park BH and SD Lee. 2012. Studies on river otter habitat use pattern on Hongchun river in

- Gangwon province. *Journal of Wetlands Research* (14) : 413-418. (in Korean with English summary)
- Pryke, S.R. and M.J. Samways. 2001. Width of grassland linkages for the conservation of butterflies in South African afforested areas. *Biological conservation* 101(1) : 85-96.
- Shin GH and PH Rho. 2017. Impacts of aquatic and riparian environmental factors on Eurasian otter (*Lutra lutra*) presence characteristics in the Nakdong river basin. *Journal of environmental science international* 26(12) : 1341-1353. (in Korean with English summary)
- Song WK. 2011. Habitat network modeling of Leopard Cat (*Prionailurus bengalensis*) based on the spatial graph theory. Doctoral thesis, Seoul National University. (in Korean with English summary)
- U.S. Fish and Wildlife Service. 1980. Habitat as a basis for environmental assessment. *Ecological Services Manual*, 101.
- <https://egis.me.go.kr>
<https://map.kakao.com/>
<https://map.ngii.go.kr>

Appendix. Field survey of *Lutra lutra* habitat.

Classification		A	B	C	D	
Space	River topography	River width (m)	50	113	33	78
		Presence of alluvial island	None	None	None	Presence
		Presence of submerged weir	None	Presence	None	None
	Riverside type	Aquatic plants	Aquatic plants	Gravel(Ø 2m-2mm), aquatic plants	Gravel(Ø 2m-2mm), aquatic plants	
Food	Area of river and wetlands (m ²)	600,352	570,573	763,036	763,036	
Cover	Land cover within 1km from the waterfront (%)	LC(A)	59.74	68.15	69.32	69.32
		LC(B)	33.43	23.50	20.68	20.68
		LC(C)	1.66	2.26	3.04	3.04
		LC(D)	0.34	1.49	1.17	1.17
		LC(E)	4.83	4.60	5.79	5.79
	Presence of grasslands, sand, etc (conditions to dry hair)	Presence	Presence	Presence	Presence	
Threats	Distance from roads and urbanized arid areas (m)	76	12	41	0	
	Presence of aquaculture farm	None	None	None	None	
something unusual		Drop structure(riffle type) constructed	Submerged weir and fishways constructed and intake station exposed in concrete form	Feces found	Submersible bridge constructed, feces found	

Appendix. continued.

Classification		E	F	G	
Space	River topography	River width (m)	25	107	50
		Presence of alluvial island	None	None	None
		Presence of submerged weir	None	None	None
	Riverside type	Gravel(Ø 2m- 2mm), aquatic plants	Rock-type artificial embankment, aquatic plants	Gravel(Ø 2m- 2mm), aquatic plants	
Food	Area of river and wetlands (m ²)	763,036	763,036	763,036	
Cover	Land cover within 1km from the waterfront (%)	LC(A)	69.32	69.32	69.32
		LC(B)	20.68	20.68	20.68
		LC(C)	3.04	3.04	3.04
		LC(D)	1.17	1.17	1.17
		LC(E)	5.79	5.79	5.79
	Presence of grasslands, sand, etc (conditions to dry hair)	Presence	Presence	Presence	
Threats	Distance from roads and urbanized arid areas (m)	77	0	0	
	Presence of aquaculture farm	None	None	None	
something unusual		-	-	Submersible bridge is being constructed.	

* LC(A): inland water, rock wall, riverbank, inland wetland, forest, natural grassland,

LC(B): agricultural area, LC(C): golf course, cemetery, other grassland,

LC(D): mining site, other bare area, play ground, LC(E): urbanized arid area

* Areas C, D, E, F, and G are analyzed as the same river sections adjacent to each other.