

Study Note

여우(*Vulpes vulpes*)의 서식지 적합성 지수(HSI) 모델 개발

어여경* · 이상돈**

이화여자대학교 에코크리에이티브*, 이화여자대학교 환경공학과**

Development of a Habitat Suitability Index for *Vulpes vulpes*

Yeokyoung Ou* · Sangdon Lee**

Interdisciplinary Program of EcoCreative, Ewha Womans University*
Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University**

요약: 여우 복원 사업이 시행됨에 따라 자연에 방사된 여우의 개체수가 증가하고 있어 앞으로는 여우 개체들이 다른 지역으로 분산되어 인간 생활 지역에서도 출몰할 것이다. 본 연구에서는 이에 따른 영향을 예측하고 대비하고자 여우의 서식지 적합성 지수(HSI)를 개발하였다.

문헌 조사를 통하여 주요 환경 변수를 추출한 뒤, GIS를 이용해 분석한 결과, 총 5가지의 적합 지수(Suitability Index, SI)를 구축하였다. 임상과 경사, 향, 수계 및 도로로부터의 거리가 주요 변수이며, 임상도에 2배의 가중치를 주어 산술 평균한 값이 HSI 결과이다. 전국자연환경조사 자료와 비교한 결과, 여우 좌표들이 평균 0.64의 HSI의 값을 가지는 것으로 나타나며, 0.53 이상일 때에 출현 확률이 높은 것으로 보인다. 본 연구 결과를 활용하여 여우의 분포를 사전에 예측하여 앞으로의 복원 계획의 기초 자료로 사용하거나 추후 환경영향평가 시 분포 파악 및 저감 방안 마련에 도움이 될 것으로 기대한다.

주요어: 적합성 지수, 전국자연환경조사, 산림, 복원, 임상, 경사

Abstract: With the implementation of the fox restoration project, the number of foxes released into nature are increasing; therefore, in the future, foxes will be dispersed to other areas and will appear in human habitats. In this study, the habitat suitability index (HSI) of foxes was developed to predict and prepare for the effects.

After extracting major environmental variables through literature research and GIS analysis, 5 suitability indices (SIs) were constructed. The forest physiognomy, slope, aspect, distance from water source, and distance from road are the main variables, and the arithmetic average value by giving twice the weight to the forest physiognomy is the HSI result. As a result of comparing with the data from the Natural Environment Survey, it is found that the fox coordinates have an average HSI value of 0.64, and the probability of appearance is high when it is 0.53 or higher.

Using the results of this study, it is expected to be able to predict the distribution of foxes in advance, to use them as basic data for future restoration plans, or to identify the distribution of the species and the reduction plan in future environmental impact assessments.

Keywords: Suitability Index, Natural Environment Survey, forest physiognomy, restoration, slope, aspect

I. 서론

멸종위기 I 급 동물인 여우(*Vulpes vulpes peculiosa*)는 제주도과 울릉도 등의 섬 지역을 제외한 전 지역에 서식하였으나 서식지 파괴와 1960년대 쥐잡기 운동으로 인해 1978년에 멸종한 것으로 추정되었다(Cho et al. 2013). 하지만 2004년, 강원도에서 여우의 사체가 발견되어 적은 수지만 야생 여우가 살아있을 것이라는 의견이 제기되었다. 이후 추가로 발견된 한국 여우 개체들과 유전적으로 가까운 중국, 러시아 등의 여우를 도입하여 2006년에 시행된 멸종위기 야생동·식물 증식·복원 종합 계획의 일환으로(Chung 2012) 2012년부터 현재까지 여우 복원 사업이 시행되고 있다(Lee et al. 2013).

앞으로 여우의 개체수가 늘어감에 따라 인간 활동에 영향을 받을 확률이 높아지고, 그 결과, 현재 민가가 가까이에서 불법 포획도구에 걸려 다치거나 목숨을 잃는 여우들이 많은 것처럼 여우 복원에 악영향을 끼치게 될 것이다. 반대로 여우가 가축 및 농산물을 먹는 등 주민들에게도 피해가 생길 것이다. 따라서 여우의 분포를 사전에 예측하여 인간 활동 및 개발 사업에 의한 영향을 최소화하여야 한다. 또한, 멸종위기 종인 여우의 출현 지역 증가에 따라 환경영향평가 시 고려 횟수가 증가할 것으로 보인다.

앞서 언급하였듯이 복원 사업 전까지 한국 여우는 멸종한 것이나 다름없었으므로 야생 한국 여우의 생태는 알려진 것이 적으며, 분포 자료 또한 매우 부족하다. 이러한 여우의 특성상, 분포 예측을 위하여 서식지 적합성 지수(Habitat Suitability Index, HSI) 모델을 개발하여 GIS를 이용한 검증을 시행하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상지 선정

우리나라의 여우 좌표가 존재하는 제2차 전국자연환경조사 자료를 바탕으로 대상지 선정을 진행하였다. 제2차 전국자연환경조사는 1997년부터 2005년까지 이루어졌으며, GIS 분석에 사용된 중분류 토지피복도는 2000년부터 제작되었기 때문에 종 좌표 중 2000년 이후로 조사된 좌표만 사용하였다. 또한 가장 밀집된 지역인 강원도 정선군(신동읍·남면·사북읍·고한읍)과 강원도 영월군(영월읍·중동읍)의 자료를 활용하였다(Fig. 1).

2. SI 및 HSI 구축

문헌 조사를 통하여 여우의 행동 생태 및 서식지 요구 사항을 파악하고, 주요 환경 변수들을 선정하였다. 이때, 디지털화되는 환경영향평가(ICT-EIA)에 따라 GIS를 이용하여 ICT 기반으로 사용 가능한 변수를 기준으로 정하였다. 또한, 이 환경 변수들에 대한 적합성 지수(Suitability Index, SI) 모델을 구축하였으며, SI 중 영향의 정도에 따라 가중치를 부여하여 산출 평균을 이용하여 HSI 모델을 구축하였다. SI와 HSI는 '0'부터 '1'의 값으로 나타나며, '0'에 가까울수록 종 서식에 부적합함을, '1'에 가까울수록 종 서식에 적합함을 의미한다.

3. 종 출현 가능 값 도출

GIS를 이용하여 연구대상지 내의 제2차 전국자연환경조사 자료와 HSI 값의 비교를 통해 구축된 HSI의 신뢰성을 검증하였고, 종의 출현 가능 값을 도출하였다(Table 1).

Table 1. List of environmental variables used for the developing Habitat Suitability Index model for *Vulpes vulpes*

Environmental variable	Data name	Data format	Source
Forest physiognomy	4th forest type map (1:25,000)	Forest type map	Korea Forest Service
Slope	Digital Elevation Model_90M	DEM	National Geographic Information Institute
Aspect	Digital Elevation Model_90M	DEM	National Geographic Information Institute
Distance to water source	2000-2004 medium scale national land cover map (5m resolution)	Land cover map	Ministry of Environment
Distance to road	2000-2004 medium scale national land cover map (5m resolution)	Land cover map	Ministry of Environment

III. 결과 및 고찰

연구대상지로는 좌표가 가장 밀집된 지역인 강원도 정선군 신동읍·남면·사북읍·고한읍과 강원도 영월군 영월읍·중동읍을 선정하였다(Fig. 1).

여우는 혼효림(Chae et al. 2017)과 참나무림(*Quercus* spp.)에서 주로 활동하며, 설치목의 우점율이 높은 지역이 생존에 유리하다(Goldyn 2003; Lee et al. 2013). 굴의 위치로는 남향(Chae et al. 2017; Cho et al. 2013; Goldyn 2003; Korea National Park Research Institute & Restoration Center for

Endangered Species 2010)의 낮은 경사지(Chae et al. 2017; Cho et al. 2013; Goldyn 2003; Wang et al. 2008)를 선호하며, 수분 보충 및 사냥을 위하여 수계로부터 1km 내에 주로 존재한다(Carter et al. 2012; Wang et al. 2008). 굴은 또한 도로로부터 400m 내에도 존재하지만(Carter et al. 2012), 로드킬이 여우의 생존력을 위협하는 큰 요인 중 하나이기 때문에(Lee et al. 2013) 굴의 위치는 도로로부터 멀수록 적합하다(Korea National Park Research Institute & Restoration Center for Endangered Species 2010). 굴을 만들 때는 쉽게 무너지지 않아야

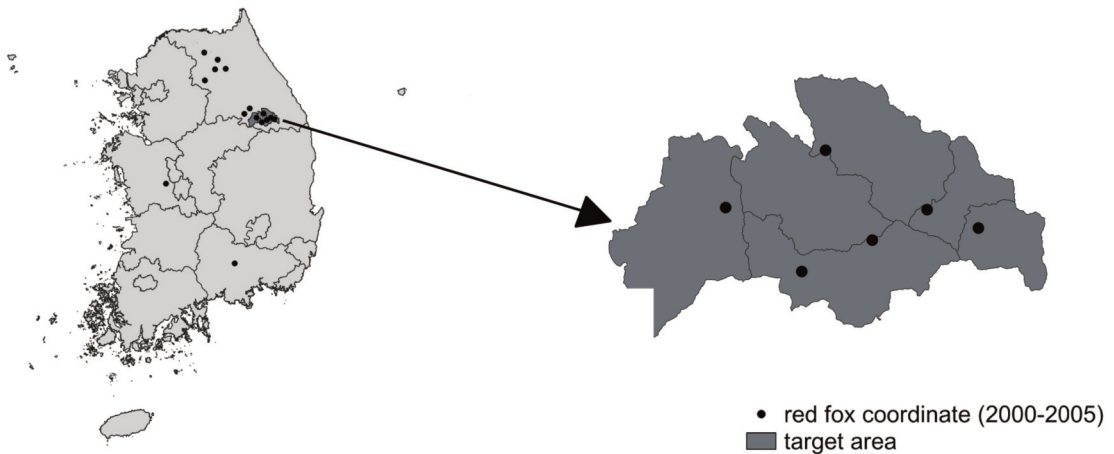


Figure 1. Study area and distribution of *Vulpes vulpes* in South Korea between 2000 and 2005 in the Jungseon and Youngwol counties (right)

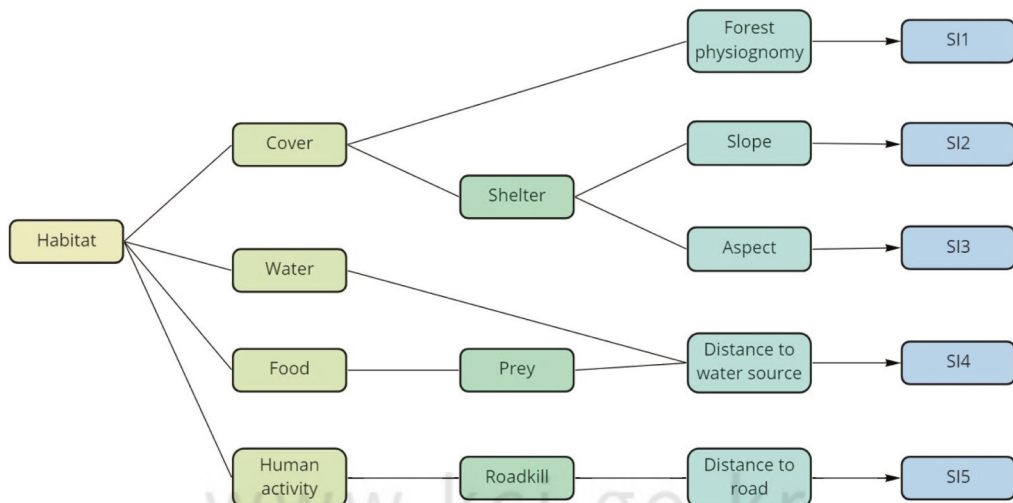
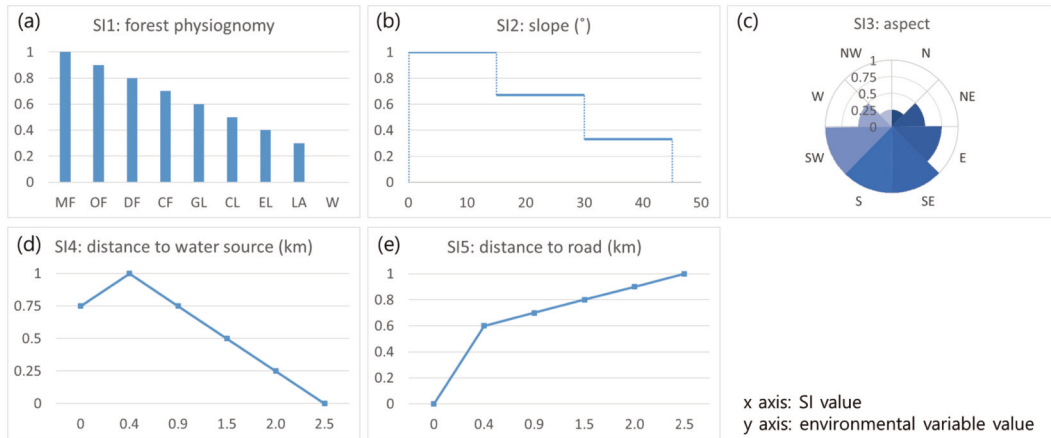


Figure 2. Major environmental variables for *Vulpes vulpes* habitat and Suitability Index (SI) for each factor



(a) SI1: forest physiognomy (MF: mixed forest, OF: oak forest, DF: deciduous forest, CF: coniferous forest, GL: grazing land, CL: cultivated land, EL: eroded land, LA: logged area, W: water), (b) SI2: slope, (c) SI3: aspect, (d) SI4: distance to water source, (e) SI5: distance to road.

Figure 3. Suitability index model of environmental variables for *Vulpes vulpes* habitat.

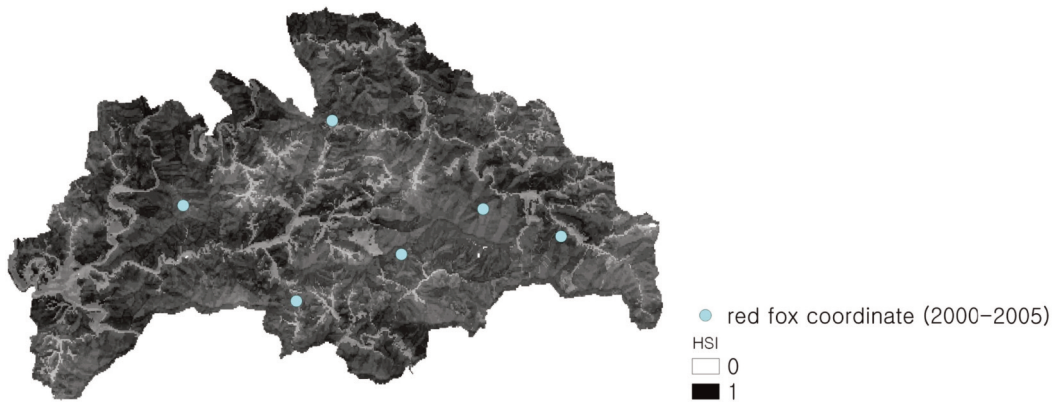


Figure 4. Habitat Suitability Index map for *Vulpes vulpes* habitat in Jungsun and Youngwol county

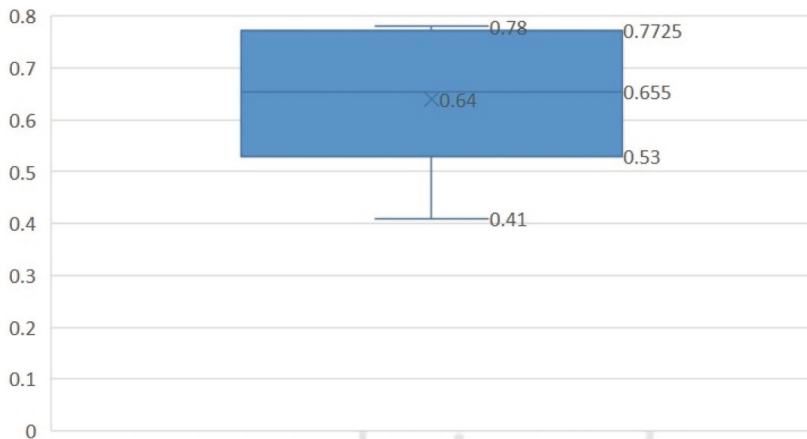


Figure 5. Box-plot (25%-75%, upper and lower) for Habitat Suitability Index values of red fox coordinates. The mean value was 0.64 marked in 'x'

하고 땅 밑으로 잘 파져야 하므로 이에 맞는 표토의 종류 및 성질이 중요하다(Carter et al. 2012; Centeri et al. 2017, Chae et al. 2017, Cho et al. 2013).

즉, 여우의 서식지에는 임상, 설치목의 우점율, 향, 경사, 수계와 도로로부터의 거리, 표토 등이 주요한 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 그러나 동물 종의 우점율과 표토는 GIS 상에 나타내기 어렵기 때문에 최종적으로 본 연구는 두 요소를 제외한 5가지 환경 변수를 주요 환경 변수로 선정하였으며(Fig. 2), 이 변수들에 따른 SI 모델을 구축하였다(Fig. 3). 환경 변수별 중요도에 따라 임상에 두 배의 가중치를 둔 산술 평균 식으로 HSI 모델을 생성하였다. HSI 식은 아래와 같다.

$$HSI = \frac{2 \times SI_1 + SI_2 + SI_3 + SI_4 + SI_5}{6}$$

모델의 결과를 제2차 전국자연환경조사 여우 좌표와 비교한 결과(Fig. 4), 각 좌표는 0.78, 0.77, 0.71, 0.60, 0.57, 0.41의 값을 가졌다. 이 값들을 상자 그림으로 나타낸 결과, 연구대상지 내의 여우 좌표가 가지는 HSI 값의 평균은 0.64로 한 좌표를 제외한 모든 좌표가 0.5 이상의 값을 나타냈다(Fig. 5).

IV. 결론

멸종위기종이자 복원이 필요한 여우의 복원전략과 관련하여 본 연구에서는 서식적합도지수를 개발하여 이들의 잠재적인 서식지 발굴에 필요한 기초자료를 도출하였다. 여우의 생태적 특성을 바탕으로 향, 표토, 경사도, 수계로부터의 거리, 산림 등 자연적 요소를 도출하였으며, 방해요인으로 도로로부터의 거리 등을 통해 여우의 서식요소 및 서식환경을 분석하였다. 여우의 서식요소 및 서식환경 분석을 바탕으로 복원 대상지에 대한 분석을 시도한 결과 평균 0.64의 양호한 값을 구할 수 있었다. 기존의 Lee et al.(2012)는 소백산국립공원을 대상으로 여우 개체군의 생존력 평가 및 요인분석에 대하여 Vortex 프로그램 활용을 통해 모델링하여 최소존속개체군 형성 등 생존력을 증대시키기 위한 요소들을 추출하였으며, Cho et al. (2013)은 서식지 복원을 위한 굴, 번식지크기 등의 구

체적인 자료를 구하고 이에 대한 효율적인 관리방안을 마련하였다. 하지만, 여우의 서식 및 번식에 필요한 복원을 위한 서식지적합도 지수 개발은 본 연구가 처음이다.

본 연구 결과, 여우 좌표의 HSI 값의 평균은 0.64로 가장 낮은 값인 0.41을 제외하고 모든 좌표가 0.5 이상의 값을 가지므로 본 연구에서 구축한 SI 및 HSI 모델이 타당하다고 판단된다. 또한, 0.53 이상의 HSI 값을 가지는 지역이 여우의 서식에 적합하며, 개체의 출현 확률이 높을 것으로 판단된다(Cavallini, 1996).

본 연구 결과를 바탕으로 복원 사업 결과, 여우 개체들이 다른 지역으로 확산하였을 때 HSI 모델을 통한 분포 예측 및 저감 방안 대책 마련에 도움을 줄 수 있으며, 복원에 필요한 적합한 잠재서식지를 발굴하는데 크게 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

실제 활용 시에는 여우의 최근 좌표들과 행동반경을 고려하여 HSI 지도를 구축하면, 더 정확한 예측이 가능할 것이기 때문에 더 신뢰성 있는 검증을 위해 현재 복원 사업이 이루어지고 있는 지역에서의 심도 있는 현장 조사가 필요할 것으로 사료된다.

본 연구에서는 한정적으로 존재하는 한국 여우의 좌표를 사용하였으며, 제3차 전국자연환경조사에서부터는 여우가 발견되지 않았기 때문에 모델의 검증이 어렵다. 하지만 추후 복원 사업을 통해 여우의 자료가 축적되면, 모델의 검증 및 보완이 가능할 것으로 기대한다.

사사

본 결과물은 한국환경산업기술원(2021003360002, 2020002990006), 서울녹색환경지원센터(SGEC-2022) 및 한국연구재단(NRF-2021R1A2C1011213) 지원으로 연구되었습니다.

References

Carter A, Luck GW, Wilson BP. 2012. Ecology of the red fox (*Vulpes vulpes*) in an agricultural

- landscape. 1. Den-site selection. Australian Mammalogy 34: 145-154.
- Cavallini P. 1996. Ranging behaviour of red foxes during the mating and breeding seasons. Ethology, Ecology & Evolution 8: 57-65.
- Centeri C, Kádár L, Tóth M, Heltai M, Márton M. 2017. Soil preference of the red fox (*Vulpes vulpes*) and badger (*Meles meles*) for creating dens. 24th International Poster Day Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System, Bratislava, pp. 53-66.
- Chae SH, Jung DH, Song DJ, Kim SB, Jeong WJ, Jeong SJ, An JS, Kim M. 2017. A Study on the Habitat Use of the Released Red Fox for Daytime. Proceedings of the Korean Society of Environment and Ecology Conference 27(2): 36-36. [Korean Literature]
- Cho DG, Shim YJ, Hong JP, Cha JY. 2013. Reproducing and Restoring Space Planning for Red Fox (*Vulpes vulpes*) Restoration – Focusing on Sobaeksan National Park –. Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 16(4): 1-14. [Korean Literature]
- Chung CU. 2012. State and Direction of National Park Red Fox Restoration Project. Nature Conservation 157: 31-37. [Korean Literature]
- Goldyn B, Hromada M, Surmacki A, Tryjanowski P. 2003. Habitat use and diet of the red fox *Vulpes vulpes* in an agricultural landscape in Poland. Zeitschrift für Jagdwissenschaft 49: 191-200.
- Korea National Park Research Institute, Restoration Center for Endangered Species. 2010. A Study on the Habitat and Environmental Characteristics for the Restoration of Fox species. Korea National Park Service. [Korean Literature]
- Lee HJ, Lee BK, Kwon GH, Chung CU. 2013. Release Strategy for the Red Fox (*Vulpes vulpes*) Restoration Project in Korea Based on Population Viability Analysis. Korean Journal of Environment and Ecology 27(4): 417-428.
- Wang ZH, Wang XM, Chmura AA. 2008. Den Habitat Characteristics of Tibetan Foxes (*Vulpes ferrilata*) in Shiqu County, Sichuan Province, China. Zoological Studies 47(4): 445-454.