

HSI와 MaxEnt를 통한 삵의 서식지 예측 모델 비교 연구*

유다영¹⁾ · 임태양¹⁾ · 김휘문¹⁾ · 송원경²⁾

¹⁾ 단국대학교 환경원예·조경학과 학생 · ²⁾ 단국대학교 환경원예·조경학부 교수

A Comparative Study on HSI and MaxEnt Habitat Prediction Models: About *Prionailurus bengalensis**

¹⁾ Yoo, Da-Young · ¹⁾ Lim, Tai-Yang · ¹⁾ Kim, Whee-Moon and ²⁾ Song, Won-Kyong

¹⁾ Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student,

²⁾ School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Professor.

ABSTRACT

Excessive development and urbanization have destroyed animal, plant, habitats and reduced biodiversity. In order to preserve species diversity, habitat prediction studies are have been conducted at home and overseas using various modeling techniques. This study was conducted to suggest optimal habitat modeling research by comparing HSI and MaxEnt, which are widely used among habitat modeling techniques. The study was targeted on the endangered species of *Prionailurus bengalensis* in nearby areas (5460.35km²) including Cheonan City, and the same data were used for analysis to compare those models. According to the HSI analysis, *Prionailurus bengalensis*'s habitat probability was 74.65% for less than 0.5 and 25.34% for more than 0.5 and the top 30% were forest (99.07%). MaxEnt's analysis showed that 56.22% of those below 0.5 and 43.79% of those above 0.5 were found to have a high explanatory power of 78.3% of AUC. The Paired Wilcoxn test, which evaluated the significance of thoes models, confirmed that the mean difference between the two models was statistically significant (p<0.05). Analysis of the differences in the results of those models using the matrix table shows that score 24.43% HSI and MaxEnt was accordance,12.44% of the 0.0 to 0.2

* 이 논문은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 “도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (2019002770001)”

First author : Yoo, Da-Young, Dept. of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Student,

Tel : +82-41-550-3630, Email : ydy0129@naver.com

Corresponding author : Song, Won-Kyong, School of Environmental Horticulture and Landscape Architecture, Dankook University, Professor,

Tel : +82-41-550-3636, Email : wksong@dankook.ac.kr

Received : 20 January, 2021. **Revised** : 20 October, 2021. **Accepted** : 17 October, 2021.

section, 7.22% of the 0.2 to 0.4 section, 2.73% of the 0.4 to 0.6 section, 1.96% of the 0.6 to 0.8, and 0.08% of the 0.9 to 1.0. To verify where the score difference appears, the result values of those models were reset to values from 1 to 5 and overlaid. Overlapping analysis resulted in 30.26% of the Strongly agree values, 56.77% of the agree values, and 11.92% of the Disagree values. The places where the difference in scores occurs were analyzed in the order of forest (45.23%), agricultural land (34.57%), and urbanization area (7.65%). This confirmed that the analysis of the same target species within the same target site also has differences in forecasts depending on the modelling method. Therefore, a novel analysis method combining the advantages of each modeling in habitat prediction studies should be developed, and future study may be used to select *Prionailurus bengalensis* and species-protected areas and species protection areas in the future. Further research is judged to require higher accuracy studies through the use of various modeling techniques and on-site verification.

Key Words : *Species distribution model, GIS, species Diversity*

I. 서 론

WEF(World economic forum)는 세계 위험 보고서 주요 주제로 환경문제의 심각성을 거론하고 있으며, 멸종위기종 및 전 지구 생물 종의 생물다양성 감소에 대한 연구사례 및 예측시나리오를 소개하고 있다(Global risks report, 2020). 국제적으로 생물다양성의 보존 및 지속가능성 유지를 위해 생물다양성협약이나 람사르협약 등과 같은 노력을 기울이고 있으며, 국내에서는 제5차 국가환경종합계획을 통해 자연환경 관리 정책 등 멸종위기 야생동식물에 대한 보전방법을 제시하는 등의 노력을 하고 있다(Related Departments of Korea Report, 2020). 또한, 전국 단위의 자연환경조사를 통해 국내 생물다양성에 대한 조사가 이루어져 왔으며(Rho and Chung, 2006) 이를 활용해 종의 출현분포 및 서식환경 등을 파악한 다양한 서식지 예측 및 분석이 이루어지고 있다(Kim *et al.*, 2012).

생물 종 보전을 위해서는 종의 서식지를 보존하는 것이 중요하며, 서식지 보전을 위해 다양한 모델을 사용한 서식지 예측연구가 진행되고 있다. 서식지 모델링을 위해 국내외에서는 HSI(Habitat Suitability Index; Raleigh, 1984), MaxEnt

(Maximum Entropy; Phillips *et al.*, 2006), GARP(Genetic Algorithm for Rule-set Production; The GARP modelling system; Problems and solutions to automated spatial prediction. Stockwell and Peters, 1999), RF(Random forest; Ho, 1995), CART(Classification and Regression Tree; Breiman, 2001) 등의 모델링 기법이 사용되고 있으며, 특히 HSI와 MaxEnt가 가장 널리 활용되고 있다. 최근에는 단일 모델보다 다양한 모델의 중첩을 통한 서식지 모델 연구가 진행되고 있고 중첩을 통한 모델이 서식지 예측 및 종 분포를 파악하는 데 더 효과적(Latif *et al.*, 2015)이라는 의견도 대두되었다.

최근 국내외 서식지 연구 조사를 통해 서식지 연구의 최신 동향을 파악할 수 있었으며 Lee *et al.*(2010)는 GIS를 야생동물 출현 공간 자료를 바탕으로 서식지의 변수를 추출, 서식환경모형을 제시하였으며 각 변수를 활용하여 회귀분석을 통해 산림성 조류의 서식지 환경모형을 구축하였다. Lee *et al.*(2014)는 야생동물 3종(너구리, 삿, 오소리)를 대상으로 각각의 동물별 주요 행동권 중첩을 고려한 서식예측 연구를 진행하였다. Chung *et al.*(2020)는 다양한 환경변수 활용 및 출현변수 기반 앙상블을 이용하여 곰솔의

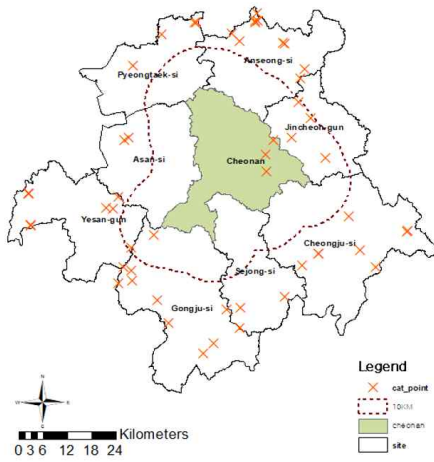


Table 1. Study area and Land cover rate

Region	Area	Forest	Agricultural Land	Urban Area	Water Land
Cheonan-si	11.72%	47.08%	31.58%	10.73%	0.90%
Sejong-si	8.56%	49.52%	29.89%	5.30%	2.16%
Pyeongtaek-si	8.82%	11.20%	53.01%	14.45%	8.48%
Anseong-si	10.18%	42.34%	38.10%	8.30%	2.50%
Cheongju-si	17.31%	46.63%	31.38%	9.39%	2.33%
Gongju-si	15.90%	65.19%	21.92%	3.88%	1.32%
Asan-si	10.00%	34.81%	42.84%	9.09%	4.68%
Yesan-gun	10.01%	40.87%	46.64%	3.67%	2.63%
Jincheon-gun	7.51%	54.85%	28.38%	5.02%	2.05%
Total	100%	44.61%	34.30%	7.57%	2.76%

Figure 1. Study area and Land cover rate

잠재 서식 예측지를 구축하는 방법에 관해 연구를 진행하였다. 또한, Ahn *et al.*(2015)는 기후변화 시나리오에 따른 잣나무의 서식지 예측분석을 진행하였으며 시나리오에 따른 서식지의 이동 분석을 진행하였다. 이처럼 다양한 방법론을 활용한 서식지 예측 연구가 제시되고 있으며, 여러 종류의 방법론을 혼합 사용해 보다 효과적인 서식지 예측을 위한 노력이 이루어지고 있다. 그러나 모델링을 통해 분석된 서식 예측지에 대한 실증분석과 모델링 간의 서식지 예측이 일치하는지에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 국내 멸종위기종 중 삵 (*Prionailurus bengalensis*)의 서식지 보전 지역 설정을 위해 HSI와 MaxEnt를 비교하고 두 모델의 결과 일치도 확인 및 연계 사용 가능성을 모색해보고자 한다. 연구결과는 향후 다양한 종의 보호지역 선정을 위한 기초 분석 방법론 및 결과로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구 대상지

연구지역은 충청남도 천안시를 중심으로 삵의 행동권 및 이동반경을 고려하여 10km의 경계를 형성해 경계 내부의 행정구역을 포함하였다

(Figure 1). 대상지는 천안시, 평택시, 안성시, 청주시, 세종시, 공주시, 아산시, 진천군, 예산군을 포함하고 있으며 총면적은 5,460.35km²이다. 연구지역 내 도시지역은 전체 면적의 7.57%(413.42km²)로 확인되었으며, 산림지역은 44.61%(2,435.71km²), 농경지역은 34.30%(1,872.73km²), 수계지역은 2.76%(15.56km²)로 확인되었다. 대상지는 태조산, 광덕산, 영인산과 같은 산림지역과 넓은 평지가 함께 형성되어 있으며, 주요 수계는 안성천, 삼교천, 금강수계로 구분되며 각각 서해와 금강으로 유입되고 있는 특징이 있다. 대상지는 도시와 농경지의 적절한 균형을 유지하고 있는 도농복합지로 삵을 대상으로 한 기존 선행연구에 근거해 대상 종인 삵의 행동권 및 다양한 환경변수를 고려하기에 적합하다고 판단되어 선정하였다.

2. 연구 대상 종

삵은 식육목에 속하는 육식동물로서 현재 우리나라 내륙 전역에 서식 가능한 고양이과 야생동물이며, 넓은 행동반경과 이동거리로 인해 서식지의 외부 환경을 많이 이용하는 특성을 보유하고 있다(Choi *et al.*, 2012). 특히 삵은 주로 산림지역을 핵심 서식지로 이용하고 산림경계 주변 초지 등에서 먹이활동을 하는 종으로 알려져 있다(Lee *et al.*, 2011). 국내 생태계 먹이사슬 최

상위 종으로 쥐과 동물 및 노루, 고라니, 꿩 새끼, 멧토끼, 청설모, 다람쥐 등을 사냥하며 야행성 동물이다(Lee *et al*, 2012).

삶은 아프가니스탄 동부에서부터 러시아 연해주에 이르기까지 아시아 중남부 일대의 넓은 지역에 분포하고 있으나, 우리나라는 멸종위기 2급 종으로 삶의 출현이 거의 확인되지 않고 있고 IUCN 적색목록의 관심필요종(LC)에 등재되어 있다(Choi *et al*, 2012). 삶은 유전적 다양성이 낮아 멸종위기에 취약하여 삶의 개체 수 보호 및 보전 정책이 필요하다(Kim *et al*, 2010).

3. 서식지 모델링 기법

1) HSI

HSI는 서식지 적합도 지수로 기존 혹은 신규의 모델 구축을 통해 서식지의 질을 판단하는 모델링 기법이다(Tanaka, 2015). HSI모델은 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 환경요소들을 정량화함으로써 연구지역의 환경을 정량적으로 평가 및 예측할 수 있으며(Guisan *et al*, 2005), 전문가의 검증 과정을 거친다. 즉, 기존의 자연성과 단편적인 조사에 의존한 방법에 비해서 서식에 영향을 주는 요인들의 정량적인 측정이 가능하며, 서식지 특성을 반영한 객관적인 평가가 가능하다(Shim *et al*, 2020b). HSI 모델 구축 시 모델 구축의 목적을 정한 후 목적에 맞는 환경요인을 선정한다. 선정된 환경요인의 점수화를 통해 SI(Suitability Index) 모델을 작성하고 이를 산술평균 혹은 기하평균 하거나 한정요인 혹은 가산요인을 설정하는 등의 조합 및 가중치 부여 과정을 거쳐 HSI 모델을 구축하게 된다. HSI 모델은 개선과정과 전문가에 의한 자문, 표본자료의 해석 등의 검증단계를 통해 최종적인 모형 결

과가 산출되는 과정을 거친다(Akira Tanaka, 2011).

국내외에서는 HSI를 적지선정 혹은 대체서식지 평가, 환경영향평가 연구 등에 활용하고 있다. 관련 선행연구로 근소만 갯벌 바지락의 양식장 적지선정 자료 구축(Choi *et al*, 2019)과 금개구리 서식지 평가 및 복원 연구의 기초자료를 제시(Shim *et al*, 2020a)한 연구가 있다. 반변천 일대 수달의 대체서식지를 평가 및 분석(Shim *et al*, 2020)하거나 도로 건설에 따른 삶의 서식지 파괴를 정량적으로 예측하여 영향의 저감 방안을 강구(Lee *et al*, 2012), 남생이 복원대상지의 평가 기준을 제시(Park *et al*, 2015)한 연구사례도 있다. 또한, 화재피해 산림의 흰머리딱따구리(*Dryobates albolarvatus*)둥지를 위한 서식지 적합성 모델 개발 및 화재 후 산림관리의 광범위한 적용 가능성을 확립(Latif *et al*, 2020)하기 위한 연구나 해수면 높이 변화가 *Ommastrephid Squid*의 서식지 적합성 미치는 영향을 평가(Yu *et al*, 2015)한 연구도 확인된다.

2) MaxEnt

MaxEnt는 머신러닝 기반 모형으로 출현 위치 자료를 토대로 대상 종의 출현 및 서식 적합성을 추정하는 모형이다. MaxEnt는 최대 엔트로피를 이용해 불완전한 출현 정보를 예측하여 추정된 정보를 분포, 환경변수의 예상 값과 경험적 평균이 일치한다는 조건을 고려하여 가장 균일한 분포를 추정하는 장점이 있다(Phillips *et al*, 2004). 또한, 연속형 변수(Continuous Variable)와 범주형 변수(Categorical Variable)를 모두 사용하여 생물종 서식 예측이 가능하고 로지스틱 회귀분석과 유사하게 다양한 변수를 사용하며, 이는 생물종 출현에 영향을 미치는 합이 1이 되도록 상수로 나누어 표시한다(Pilar A *et al*, 2006). MaxEnt 모형은 ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선의 AUC(Area Under Cover) 값으로 예측 변수들에 대한 정확도를 확인할 수 있는 장점이 존재

한다. 또한 AUC값은 AUC가 1.0에 가까울수록 예측정확도가 높은 것으로 파악되며 그중 주요변수는 Jackknife의 검증을 통해 가중치가 높은 환경변수를 확인할 수 있어 변수분석시 이점으로 작용한다(Phillips *et al*, 2006).

MaxEnt는 전체 대상지의 환경변수에 따라 대상종의 주요 예측지가 변동될 우려가 있어 환경변수 선정이 중요하다(Kim *et al*, 2016). MaxEnt의 과정을 나누어 분석한 결과 AUC 값의 신뢰도에 대한 문제점이 모델의 한계로 나타났다(Fourcade *et al*, 2014). MaxEnt의 장단점을 분석한 결과, MaxEnt가 야생동물 서식지 예측 시 효과적인 모델링 방법임을 입증하였다(Baldwin, 2009). MaxEnt를 활용해 고양이과 서식분포 예측연구가 진행되었으며(McCarthy *et al*, 2015), MaxEnt와 Niche Mapper의 모델을 이용해 기후 데이터를 기초로 온도상승에 대한 주머니날다람쥐의 분포예측이 진행되었다(Kearney *et al*, 2010). 또한, 기후변화를 기초데이터로 활용한 소나무 서식지예측연구(Cho *et al*, 2020)와 양봉 꿀벌의 서식예측 연구(Kim *et al*, 2017), 고라니를 대상으로 한 MaxEnt와 GARP의 비교 연구 등이 진행되었다(Song and Kiim, 2012).

4. 연구방법

연구의 진행순서는 아래의 그림(Figure 2)과 같다. 국내외의 선행연구 조사를 통해 환경요인을 선정하였으며, HSI와 MaxEnt를 이용해 데이

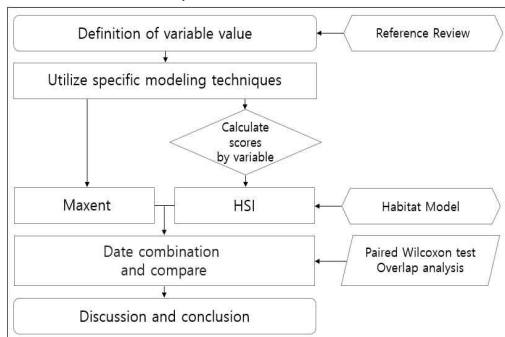


Figure 2. Flow Chart

터를 분석하였다. 분석된 데이터로 각 모델링에 따른 최종도면을 도출하였으며, 2개의 최종도면을 Paired Wilcoxon test와 교차 검증을 통해 비교하여 결과를 도출하였다.

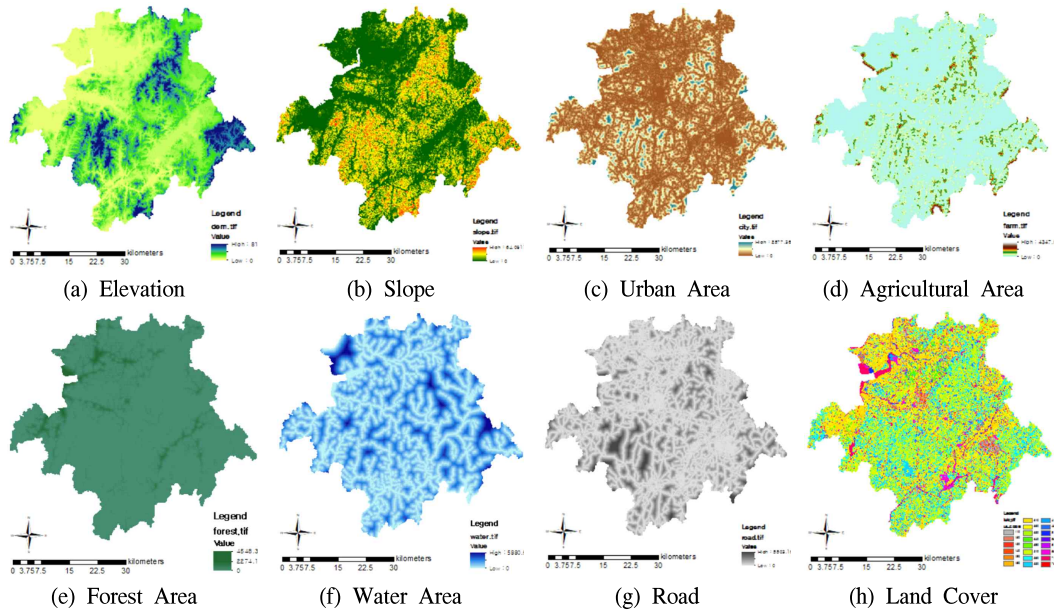
1) 환경요인 설정

삶의 서식지에 영향을 주는 환경요인을 선정하기 위해 관련 선행연구를 분석하였다. Choi *et al*. (20012)은 지리산 내 3개체의 행동권을 확인하여 삶이 초지와 논을 선호하는 것을 파악하였다. Grassman *et al*.(2005)은 태국의 20개체의 삶을 모니터링하여 삶의 평균 행동권 크기가 13.2km²임을 파악하였다. Kwon *et al*.(2012)은 농촌 지역의 삶이 하천 변과 산림, 주거지와 멀리 떨어져 있는 지역을 서식지로 선호함을 확인하였다. Lim *et al*.(2015)은 오대산에 분포하는 삶의 특성을 분석하여 삶이 활엽수림과 평균 1,045m의 고도, 15.48°의 경사를 선호하고 수계에서 256m, 주거지에서 1,491m, 농경지에서 1,587m, 도로에서 853m 떨어진 거리의 지역을 선호함을 확인하였다. Mohamed *et al*.(2013)은 166개의 카메라 모니터링 결과 먹이가 풍부한 벌목길 옆 잔디밭에서 삶의 발견 확률이 높다고 파악하였다. 본 연구에서는 사례 연구들을 토대로 삶의 서식지 적합성 평가를 위해 경사, 고도, 도로로부터 거리, 도시로부터의 거리, 농경지로부터의 거리, 산림으로부터의 거리, 수계로부터의 거리, 토지피복유형 8가지의 환경변수를 선정하였다(Table 2).

모형에 활용된 환경변수들은 2019년 세분류 토지피복도(Environmental Geographic Information Service, EGIS), 수치지형도(National Space Information Portal), 3차 전국자연환경조사 데이터를 활용하였으며 공간 및 통계 분석을 위해 ArcMap 10.7과 MaxEnt 3.4.0, R studio 1.3.1073을 이용하였다. 사용된 환경변수들은 공간해상도 30m 단위로 통일하여 분석되었으며, 분석의 오차

Table 2. Environmental variables and data processing

Environmental variables	Data type	Meta data
Elevation(m)	Continuous	Land Cover Map (https://egis.me.go.kr/ , Ministry of Environment, Korea 2019)
Slope(degree)	Continuous	
Land cover	Categorical	
Distance from Built-up	Continuous	
Distance from Water Body	Continuous	
Distance from Woodland	Continuous	
Distance from Agricultural Area	Continuous	
Distance from Road Network	Continuous	Natural Environment Survey (Research of Environment, Korea 2015)
Presence point of <i>Prionailurus bengalensis</i>	Points	

**Figure 3.** Environment variables used in the species distribution model in HSI, MaxEnt

를 줄이기 위해 두 모델링 모두 동일한 데이터를 사용하였다.

2) SI 선정 및 분석

SI(Suitability Index) 선정 시 오대산 국립공원에 분포하는 삵의 서식지 특성 분석(Lim *et al.*, 2015)을 토대로 삵의 서식지와 관련한 여러 선행연구를 참고하여 천안시에 적합한 삵의 SI를 선정하였다. 8가지의 환경변수 모두 삵의 서식지 선정에 있어 중요하다고 판단되어 산출된 SI를 산술평균해 최종 HSI를 제시하였다. 최종

HSI를 통해 삵의 출현빈도가 높다고 판단되는 지역일수록 1에 가까운 점수를 갖는다. (Figure 3, Reference matters 1)

$$\text{최종 HSI} = \frac{SI1 + SI2 + SI3 + SI4 + SI5 + SI6 + SI7 + SI8}{8}$$

3) MaxEnt 연구방법

기초자료를 활용하여 고도와 경사도를 제외한 나머지 데이터들을 거리 데이터로 변환하여 분석을 진행하였다. 각 거리의 계산은 Euclidean

Distance를 사용하였으며 Ascii파일로 변환 후 MaxEnt로 모델링 하였다. MaxEnt 모형의 결과는 총 5번의 중첩 후 산출되었으며 각 모델의 결과값은 ROC곡선의 AUC값으로 정확도를 파악하였다(Figure 3). 환경요인과 삶의 잠재분포 관계를 확인하고자 출현예측정확도, 비출현예측정확도인 Maximum training sensitivity plus specificity(MTSS)를 사용하여 영역을 계산해 확인하였다(Cho et al, 2020).

4) 서식지 모델링 비교

두 모형의 차이를 확인하고자 동일변수 간 짝(Pair)을 이루어 유의성을 검증하는 Paired Wilcoxon test를 진행하였다. Wilcoxon rank sum test는 비모수검정에서 순위를 비교하는 모델을 기초로 유의성을 판단하는 방법으로 (Wilcoxon, 1992) 독립된 동일변수의 전후 관계 비교를 위한 연구에서 흔히 사용되는 검증방법이다(Hanley et al, 1983). Wilcoxon rank sum test는 의학 분야에서 전·후 비교를 위한 방법으로 많이 사용되어왔으나 최근에는 서로 다른 데이터의 유의성 검증을 위해 많이 이용되고 있다(Rosner et al, 2006). 따라서 본 연구에서는 HSI와 MaxEnt의 비교를 진행하여 두 모형의 유의성을 파악하고자 하였다.

두 모델링의 결과를 비교하고자 각 모델의 결과를 1~5(0.0~0.2 미만=1, 0.2 이상~0.4 미만=2, 0.4 이상~0.6 미만=3, 0.6 이상~0.8 미만=4, 0.8 이상~1.0 미만=5)로 점수화 하였다. MaxEnt의 경우 적합성 지수가 연속성을 보이거나 비연속적인 HSI와의 비교를 위해 균등구간으로 구분하였다. 점수화한 결과값을 토대로 매트릭스 테이블을 이용해 HSI와 MaxEnt에서 점수가 일치하는 부분과 불일치하는 부분의 비율을 확인하였다. 또한, 두 모형의 교차 검증을 통해 일치하는 부분과 불일치하는 부분의 위치 및 토지 구성에 대해 확인하는 분석을 진행하였다(Figure 6, Table 3).

III. 결과 및 고찰

1. HSI 분석 결과

HSI를 통한 최종 분석결과, 전체 대상 면적 가운데 HSI 0.5 미만 74.65%였으며, HSI 0.5 이상인 지역은 전체의 25.34%에 해당하였으며 이중 HSI 0.7 이상의 지역은 8.76%로 낮은 비율을 보였다(Figure 4).

삶의 서식 적합성이 높다고 예측되는 상위 30% 지역은 침엽수림 및 활엽수림의 산림지역(99.08%)이었다. 경사는 20°~40°, 표고는 200~500m, 도시로부터 500m~1500m의 거리, 농경지로부터 300m~900m의 거리, 숲에서 300m~1500m의 거리, 수계에서 2400m~3600m 구간에서 삶의 서식 적합성이 높은 것으로 분석되었으며, 서식 적합성이 높게 평가된 지역은 SI에서도 높은 점수를 갖는 지역과 일치하였다. 오대산 국립공원 및 선행연구사례에서 분포하는 삶의 서식지 특성 분석과 비교하였을 때 선호하는 고도, 수계로부터 거리 및 농경지로부터 거리는 감소한 것으로 확인되었는데 이는 본 연구대상의 지형적 특성 및 입지의 차이가 작용한 것으로 판단된다.

2. MaxEnt 분석 결과

MaxEnt를 통해 삶의 서식 적합성을 예측한 결과 AUC 값은 78.3%로 높은 설명력을 나타냈고 삶의 서식예측지의 잠재분포지를 확인하고자 출현/비출현 정확도(MTSS)를 기준으로 확인한 영역값(0.3515)을 확인하였다.

MaxEnt 결과 산악지형을 중심으로 높은 서식 예측도가 확인되었다. 0.5 미만은 전체의 56.22%였으며, 0.5 이상의 지역은 전체의 43.79%의 비율을 나타냈다(Figure 5). 삶의 서식 적합성 예측 모형에서 도시지역으로부터 거리가 변수의 모형을 설명하는데 기여도가 가장 높았으며(50.8%), 산림과의 거리(17.3%), 도로와의 거리

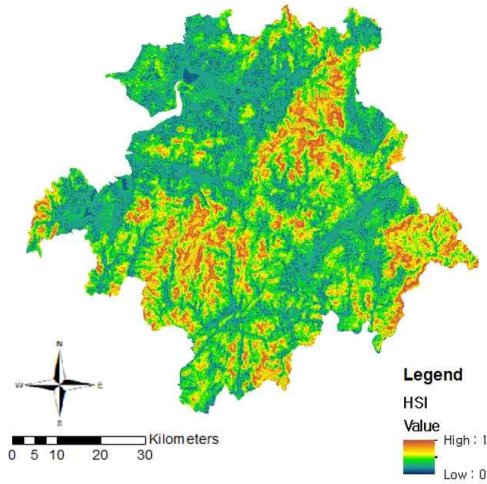


Figure 4. Results of HSI Habitat Prediction Model

(11.2%), 토지피복지도(7.6%), 고도(6.2%), 수변과의 거리(2.5%), 경사도(2.3%), 농경지와외의 거리(2%)순으로 파악되었다. 분석결과를 통해 숲은 산림을 선호하는 것으로 평가되며 도시지역으로부터 멀리 떨어진 곳, 농경지와 가까운 거리를 선호하는 것으로 확인된다.

3. 모형 비교 및 교차 검증

HSI와 MaxEnt 모형 각각의 평균 서식지 예측지수는 3.64, 4.39로 두 모형의 평균 서식지 예측지수는 4.02였으며, Paired Wilcoxon test 결과 두 모형의 평균차가 통계적으로 유의함을 확인하였다($p < 0.05$).

모형의 결과값을 1~5로 점수화하여 매트릭스 테이블을 이용해 두 모형을 비교한 결과 HSI와 MaxEnt의 값이 일치하는 비율은 전체의 약 24%로 0.0~0.2(12.44%), 0.2~0.4(7.22%), 0.4~0.6(2.73%), 0.6~0.8(1.96%), 0.8~1.0

(0.08%)로 확인되었다(Table 2). 숲의 서식 적합성이 높을 것으로 예측되는 0.8~1.0 구간의 일치율이 0.08%의 낮은 수치로 분석되었으며, 이는 두 모형이 서식 적합성이 높다고 분석하는 지역이 다를 것을 의미한다. 두 모형의 중첩을 통한 교차 검증에서 점수가 일치 혹은 불일치하는

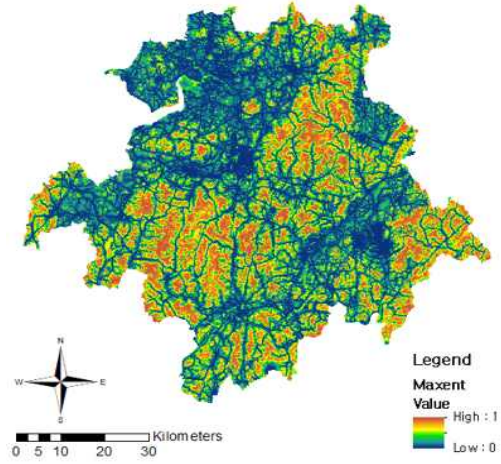


Figure 5. Results of MaxEnt Habitat Prediction Model

부분의 위치 및 토지구성을 확인하였다. 교차 검증 결과 두 모형 간 점수 차가 없는 Strongly agree 지역은 30.26%였으며 점수 차가 유사한 agree인 지역은 56.77%, Undecided인 지역은 11.92%, Disagree인 지역은 1.04%, Strongly Disagree로 점수 차가 많이 발생하는 지역은 0.01%로 적은 차이를 보였다(Figure 6). 점수의 차이가 발생하는 지역의 주요 토지구성은 산림(45.2%)과 농경지(34.5%), 시가지(7.6%) 순으로 분석되었다. 중첩도면 또한 기존의 두 모형과 유사한 결과를 의미하는 도면이 확인되었으며, 점수 차가 Strongly agree와 Agree인 지역이 전체의 약 90%로 분석되었다(Figure 6). 두 모형의 결과값 차이는 각 모델링의 특성에서 기인한 것으로 판단된다. HSI의 경우 숲의 서식 가능성을 예측하는 범주에서 중간값(0.4~0.6)의 비중을 높게 분석하였으며 MaxEnt의 경우 서식 가능성 예측 범위의 편차가 0.0 혹은 1.0으로 극명하게 분류되었다. 또한, HSI의 경우 SI 값 선정 방식과 최종 HSI 산정방식에 의해, MaxEnt의 경우 AUC 값의 정확도 및 환경변수 과적합에 의해 산출되는 결과값이 변동될 수 있다는 점도 두 모형의 결과값 차이를 나타내는데 영향을 주었다고 판단된다.

Table 3. Comparison of HSI and MaxEnt scores through matrix tables

HSI \ MaxEnt	1(0.0~0.2)	2(0.2~0.4)	3(0.4~0.6)	4(0.6~0.8)	5(0.8~1.0)
1(0.0~0.2)	12.44%	13.63%	6.87%	3.46%	0.35%
2(0.2~0.4)	6.59%	7.22%	3.64%	1.83%	0.19%
3(0.4~0.6)	4.95%	5.42%	2.73%	1.38%	0.14%
4(0.6~0.8)	7.04%	7.71%	3.89%	1.96%	0.20%
5(0.8~1.0)	2.83%	3.10%	1.56%	0.79%	0.08%

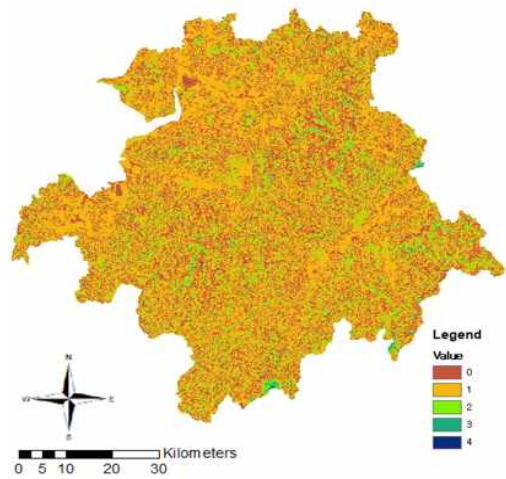


Figure 6. HSI and MaxEnt Score Comparison Plot of score differences

본 연구는 숲의 서식지 예측지역을 확인하였으며, 사용된 두 모델을 비교하여 모델링의 교차 검증 등을 통해 보다 정확한 서식지 예측을 모색함에 의의가 있다. 또한, 이를 통해 서식지 예측에 있어 모델링 방법에 따른 예측 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 정확한 서식지 예측을 위해 다양한 모델링 기법의 비교와 융합과정 통해 새로운 서식지 모델링 기법 연구의 필요성을 확인하였다.

IV. 결론

HSI와 MaxEnt를 활용해 천안시 및 천안시 인근지역(5460.35km²)의 숲 서식지 예측분석을 진행하였다. 두 모델링의 비교를 위해 분석 시 동일한 데이터를 이용하였으며, 관련 선행연구를 참고해 경사, 고도, 도로로부터 거리, 도시로

Table4. HSI and MaxEnt Comparison table of score differences

Score difference	meaning	Ratio(%)
4	Strongly Disagree	0.01
3	Disagree	1.04
2	Undecided	11.92
1	Agree	56.77
0	Strongly agree	30.26
Total		100.0

부터의 거리, 농경지로부터의 거리, 산림으로부터의 거리, 수계로부터의 거리, 토지피복유형 8가지를 환경변수로 선정하였다. HSI 분석결과 숲의 서식 적합성 0.5 미만은 74.65%, 0.5 이상은 25.34%로 확인되었으며, MaxEnt 분석결과 0.5 미만은 56.22%, 0.5 이상은 43.79%로 확인되었다.

두 모형의 평균 서식 적합성 지수는 4.02였으며, Paired Wilcoxon test 결과 두 모형의 평균차가 통계적으로 유의함을 확인하였다(p<0.05). 두 모형의 결과값을 1~5로 점수화하여 매트릭스 테이블과 중첩분석을 통해 비교하였다. 매트릭스 테이블에서 두 모형 사이 전체의 약 24%가 동일점수를 갖는 것이 확인되었으나 서식 적합성이 높은 5점에서는 0.08%의 낮은 일치율을 보였다. 모형 간 차이가 발생하는 지역 및 토지

구성을 확인하기 위해 중첩 분석한 결과 두 모형의 점수 차가 적은 Strongly agree인 지역은 30.26%, agree인 지역은 56.77%였으며 차이가 나타나는 지역의 토지구성은 산림(45.2%)과 농경지(34.5%), 시가지(7.6%)의 순으로 확인되었다.

점수 차가 Strongly agree와 agree인 지역의 일치도가 전체의 약 90%이나 서식 적합성이 높다고 예측되는 5점 구간에서는 0.08%로 일치도가 낮은 것을 확인하였다. 이는 모델링에 따라 서식 적합성을 분석함에 차이가 있음을 시사하며, 현재까지 진행된 중 보전지역 선정연구 혹은 대체서식지 선정연구의 결과가 타모델링을 통해 진행될 경우 변경될 수 있음을 의미한다. 따라서 본 연구는 HSI와 MaxEnt를 통한 삶의 서식지 예측결과 비교 및 융합과정을 거쳐 보다 정확한 새로운 서식지 예측 분석방법의 필요성을 제언한다. 그러나 수많은 모델링 기법 중 두 개의 기법만을 비교한 점과 단일 종을 대상으로 서식지 모델링을 진행한 점, 다양한 연습 모델 분석 부족 등의 한계가 있다. 향후 연구에서는 여러 종류의 모델링 기법의 비교 및 융합을 통한 분석과 현장 검증을 통해 실제 서식지와 서식지 모델링의 차이를 확인하여 모델링의 오차를 파악하는 등 보다 정확도 높은 연구가 필요하다고 판단된다.

References

- Ahn YJ · Lee DK · Kim HG · Park C · Kim JY and Kim JU, 2015, Estimating Korean Pine(*Pinus koraiensis*) Habitat Distribution Considering Climate Change Uncertainty - Using Species Distribution Models and RCP Scenarios, *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 18(3): 51-64.
- Akira D, 2011, Hanwool Academy: Chungnam Development Institute(in Korean), *Habitat Ecological Impact Assessment Methodology*.
- Baldwin R. A, 2009, Use of Maximum Entropy Modeling in Wildlife Research. *Entropy* 11: 854-866.
- Breiman L, 2001, Random Forests, *Machine Learning* 45: 5-32.
- Cho, N. H., E. S. Kim, B. Lee, J. H. Lim, S. Kan. 2020, Predicting the Potential Distribution of *Pinus densiflora* and Analyzing the Relationship with Environmental Variable Using MaxEnt Model, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology*. 22(2): 47-56.
- Choi TY · Kwon HS · Woo DG and Park CH, 2012, Habitat Selection and Management of the Leopard Cat(*Prionailurus bengalensis*) in a Rural Area of Korea, *Korean Journal of Environment and Ecology* 26(3): 322-332.
- Choi YH · Hong SJ · Jeon SR and Cho YS, 2019, Site Assessment Using Habitat Suitability Index for Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in Geunso Bay Tidal Flats, *Korean J Fish Aquat* 52(5): 511-518.
- Chung HI · Choi YY · Ryu JE and Jeon SW, 2020, Accuracy Evaluation of Potential Habitat Distribution in *Pinus thunbergii* using a Species Distribution Model: Verification of the Ensemble Methodology, *Korean J of Climate Change Research* 11(1): 37-51.
- Fourcade Y · Engler J.O and Secondi J, 2014, Mapping Species Distributions with MAXENT Using a Geographically Biased Sample of Presence Data: A Performance Assessment of Methods for Correcting Sampling Bias, *PloS ONE* 9(5): 97-122.
- Grassman L.I · Tewes M.E · Silvy N.J, 2005, Spatial organization and diet of the leopard

- cat (*Prionailurus bengalensis*) in north-central, Thailand Journal of Zoology 266(1): 45-54.
- Hanley J. A. and B. J. McNeil, 1983, A method of comparing the areas under receiver operating characteristic curves derived from the same cases, Radiology 148(3): 839-843.
- Ho T. K., 1995, Random decision forests- International Conference on Document Analysis and Recognition in Sobaeksan National Park, Korean J. Env 17(6): 51-60.
- Kearney M.R · Wintle B.A and Porter W.P, 2010, Correlative and mechanistic models of species distribution provide congruent forecasts under climate change, Conservation Letters 3(3): 203-213.
- Kim CY · Kim LG · Srel JU · Son SH · Kim SO., 2012, Analyse the Home Range of Leopard Cat(*Prionailurus bengalensis*) near forest living in Gayasan National Park of Korea, Korean Soc Env 22(2): 207-211
- Kim TG · Yang DH · Cho YH and Song KH and Oh JG, 2016, Habitat Distribution Change Prediction of Asiatic Black Bears (*Ursus thibetanus*) Using MAXENT Modeling Approach, Korean J Ksl 49(3): 197-207
- Kim WM · Song WK · Kim SY and Hyung EJ, 2017, Habitat Analysis Study of Honeybees (*Apis mellifera*) in Urban Area Using Species Distribution Modeling -Focused on Cheonan, Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology 20(3): 55-64.
- Kim YS · Yoo MH · Jung BD and Kim JT, 2010, Genetic diversity in Korean Leopard cats (*Prionailurus bengalensis euptilura*), based on mitochondrial DNA cytochrome b gene sequence analysis, Korean J. Vet Serv 33(4): 353-359.
- Kwon HS · Seo CW and Park CH, 2012, Development of Species Distribution Models and Evaluation of Species Richness in Jirisan region, Korean J KSIS, 20(3): 11-18
- Latif Q.S · Saab V.A and Markus A, 2020, Development and evaluation of habitat suitability models for nesting white-headed woodpecker (*Dryobates albolarvatus*) in burned forest, PloS ONE 15(5): e0233043.
- Latif Q.S · Saab V.A and Mellen K, 2015, Evaluating Habitat Suitability Models for Nesting White-Headed Woodpeckers in Unburned Forest, Journal of Wildlife Management 79(2): 263-273.
- Lee BE · Kim J · Kim NI and Kim JG, 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.
- Lee DK · Baek GH · Park C and Kim HG, 2011, Spatial Planning of Climate Adaptation Zone to Promote Climate Change Adaptation for Endangered Species, Korean J Env 14(6): 111-117.
- Lee HJ · Cha JY and Kim YC, 2014, Home Range Analysis of Three Midium-Sized Mammals, Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Techology 17(6): 51-60
- Lee SD · Kwon JH · Kim AR and Jung Jh, 2012, A Study on Ecological Evaluation of Habitat Suitability Index using GIS - With a case study of *Prionailurus bengalensis* in Samjang-Sanchung Road Construction, Korean J EIASS Vol. 21(5): 801-811
- Lee SG · Jung SG · Park KH · Kim KT and Lee WS, 2010, A Prediction Model and Mapping for Forest-Dwelling Birds Habitat Using GIS,

- Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies 13(1): 62-73
- Lim SJ · Kim JY and Park YC, 2015, Analysis of habitat characteristics of leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in Odaesan National Park, J A&LS 49(3): 99-111
- McCarthy J.L · Wibisono H.T and McCarthy K.P, 2015, Assessing the distribution and habitat use of four felid species in Bukit Barisan Selatan National Park, Sumatra, Indonesia Global Ecology and Conservation 3: 210-221.
- Mohamed A. · Sollmann R. · Bernard H. · Ambu L. N. · Lagan P. · Mannan S. · Hoffer H. and Wilting A, 2013, Density and habitat use of the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) in three commercial forest reserves in Sabah, Malaysian Borneo, Journal of Mammalogy 94(1): 82-89
- Park YS · Chang MH · Cha JY · Cho DG and Kim SH and Lee SW, 2015, A Study on Site Selection for Reeve's turtle(*Maunemys reevesii*) Habitats Using Habitat Suitability Index, Korean J Env 18(3): 109-118
- Phillips S.J · Dudik M.E and Schapire R, 2004, Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning (A Maximum Entropy Approach to Species Distribution Modeling) 655-662
- Phillips S.J. · Anderson R.P. · Schapire R.E, 2006, Maximum entropy modeling of species geographic distributions, Ecological Modelling. 190: 2261-259
- Pilar A.H · Graham C.H · Master L.L and Albert D.L, 2006, The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods, Ecography 29: 773-785. Related Departments of Korea Report, 2020, Fifth National Environmental Report. (in Korean)
- Raleigh RF, 1984, Habitat suitability information: rainbow trout, Fish and Wildlife Service (in U.S. Department of the Interior)
- Rho PH and Choung HL, 2006, Alternatives of the Korean Nationwide Survey on Natural Environments to Promote Biodiversity Conservation, Korean J Kei 5(3): 25-56
- Related Departments of Korea Report, 2020, The 5th National Environmental Comprehensive Plan.
- Rosner B · Glynn R.J and Lee M.L.T, 2006, Extension of the Rank Sum Test for Clustered Data: Two Group Comparisons with Group Membership Defined at the Subunit Level, Biometrics 65: 1251-1259.
- Shim YJ · Kim SR · Yoon KB · Jung JW and Park SU and Park YS, 2020a, Evaluation of Alternative Habitats Using Habitat Suitability Index Model of *Lutra lutra* in Banbyeoncheon Stream, Korean J Env 23(1): 63-76
- Shim YJ · Kim SR · Yoon KB · Jung JW and Park SU and Park YS, 2020b, A Basic Research for the Development of Habitat Suitability Index Model of *Pelophylax chosonicus*, Korean J Env 23(1): 49-62
- Song WY and Kim EY, 2012, A Comparison of Machine Learning Species Distribution Methods for Habitat Analysis of the Korea Water Deer (*Hydropotes inermis argyropus*), Korean J of Remote Sensing 28(1): 171-180
- Stockwell D. and D. Peters, 1999, The GARP modelling system: problems and solutions to automated spatial prediction, International Journal of Geographical Information Science, 13(2): 143-158.

- Wilcoxon F, 1992, Individual Comparisons by Ranking Methods, Breakthroughs in Statistics 196-202.
- Yu W · Yi Q and Chen Y, 2015, Modelling the effects of climate variability on habitat suitability of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas* in the Southeast Pacific Ocean off Peru, *ICES Journal of Marine Science* 73(2): 239-249.
- Chungnam Development Research Institute, 2015, Academy Hanul 1765, Tanaka Akira, Habitat Ecological Impact Assessment Methodology.
- World Economic Forum, 2020, The Global Risks Report.

Reference matters 1. SI Score Settings

Slope					
Classification	Area	Ratio	Point	Point/Area	Reclass
0-10	4478.62	0.8274	27	32.63	0.15
10-20	536.31	0.0991	9	90.83	0.43
20-30	331.74	0.0613	13	212.12	1
30-40	63.61	0.0118	2	170.18	0.80
40-60	2.57	0.0005	0	0	0
total	5412.85	1	51		
Elevation					
Classification	Area	Ratio	Point	Point/Area	Reclass
0-100	2940.11	0.5491	11	20.03	0.14
100-200	1402.70	0.2620	14	53.45	0.38
200-300	611.81	0.1143	16	140.04	1
300-500	381.82	0.0713	10	140.25	1
500-800	18.46	0.0034	0	0	0
total	5354.89	1	51		
Distance_Urban Area					
Classification	Area	Ratio	Point	Point/Area	Reclass
0-500	4411.20	0.8125	17	20.92	0.10
500-1000	839.29	0.1546	31	200.53	1
1000-1500	154.21	0.0284	3	105.61	0.53
1500-2000	21.64	0.0040	0	0	0
2000-2577	2.70	0.0005	0	0	0
total	5429.06	1	51		
Distance_Agricultural Area					
Classification	Area	Ratio	Point	Point/Area	Reclass
0-300	4672.08	0.8606	32	37.18	0.22
300-600	542.14	0.0999	17	170.24	1
600-900	141.51	0.0261	2	76.73	0.46
900-1500	49.87	0.0092	0	0	0
1500-4347	23.45	0.0043	0	0	0
total	5429.06	1	51		
Distance_Forest Area					
Classification	Area	Ratio	Point	Point/Area	Reclass
0-100	4687.37	0.8634	49	56.75	1
100-200	405.42	0.0747	0	0	0
200-300	165.82	0.0305	1	32.74	0.58
300-1500	123.70	0.0228	1	43.89	0.77
1500-4548	46.75	0.0086	0	0	0
total	5429.06	1	51		
Distance_Water Area					
Classification	Area	Ratio	Point	Point/Area	Reclass
0-1200	3714.85	0.6843	19	27.77	0.19
1200-2400	1440.68	0.2654	26	97.98	0.69
2400-3600	228.21	0.0420	6	142.74	1
3600-4800	39.70	0.0073	0	0	0
4800-6000	5.62	0.0010	0	0	0
total	5429.06	1	51		
Distance_Road					
Classification	Area	Ratio	Point	Point/Area	Reclass
0-500	3663.67	0.6748	14	20.75	0.09
500-1000	1132.24	0.2085	21	100.69	0.43
1000-1500	417.43	0.0768	9	117.05	0.49
1500-2000	137.66	0.0253	6	236.64	1
2000-5503	78.6	0.0143	1	69.55	0.29
total	5429.06	1	51		
Land Type					
Classification	Area	Ratio	Point	Point/Area	Reclass
Urban Area	22.86	0.08	0	0	0
Agricultural Area	57.75	0.35	4	11.43	0.1
Coniferous Forest	23.85	0.25	27	108	1
Broad-leaf Forest	29.06	0.14	12	85.71	0.79
Mixed Forest	21.65	0.06	3	50	0.46
Grassland	20.22	0.05	4	80	0.74
Wetland	3.14	0.02	0	0	0
Bare land	5.71	0.03	0	0	0
Waters	1.82	0.03	1	33.33	0.3
total	186.06		51		