

GIS와 퍼지집합을 이용한 산양(*Nemorhaedus caudatus*)의  
서식지적합성모형 개발: 설악산 국립공원을 대상으로1)

Goral(*Nemorhaedus caudatus*) Habitat Suitability Model based on  
GIS and Fuzzy set at Soraksan National Park.

최태영\* 양병이\*\* 박종화\*\* 서창완\*\*\*

Tae-Young Choi\* · Byoung-e Yang\*\* · Chong-Hwa park\*\* · Chang-Wan Seo\*\*\*

\*박사과정, 서울대학교 환경대학원

\*\*교수, 서울대학교 환경대학원

\*\*\*SK C&C

요약

멸종위기종의 서식지를 효율적으로 관리하기 위해서는 해당 종의 서식 가능한 지역의 분포를 알아야 한다. 본 연구의 목적은 GIS와 퍼지집합을 이용하여 산양(*Nemorhaedus caudatus*)의 서식지적합성모형을 개발하여 멸종위기종의 서식지를 관리하기 위한 정보를 제공하는 것이다.

산양의 서식지적합성모형 개발을 위한 본 연구의 주요내용은 다음과 같다.

첫째, 산양 서식지 이용에 관한 기존 연구를 바탕으로 산양의 잠재적 서식지 환경변수를 분류하였으며, 분석 대상지의 산양 흔적 조사를 통해 서식지 환경변수의 재분류 및  $\chi^2$ 검정(Chi-square test)을 통한 변수들의 유용성을 파악하고, 쌍체비교를 통한 환경변수별 가중치를 계산하였다. 둘째, 기존 부울논리(boolean logic)의 단점을 보완하기 위해 현장 조사의 결과를 바탕으로 퍼지논리(fuzzy logic)에 의한 산양 서식지의 각 환경변수별 주제도를 작성하고, 주제도들의 상관관계를 분석하여 상호 관련성이 높은 변수들의 중복을 피하였다. 셋째, 환경변수별 주제도와 변수별 가중치를 바탕으로 다기준평가기법(MCE, Multi-Criteria Evaluation)을 이용하여 분석대상지의 산양 서식지적합성모형을 개발하였다. 마지막으로, 개발된 서식지적합성모형의 타당성을 검증하기 위해 분석대상지 외부 지역을 대상으로 검증을 실시하였다.

분석 결과 분석대상지의 분류정확도는 서식가능성 0.5를 기준으로 93.94%의 매우 높은 분류정확도를 나타내었으며, 검증대상지에서는 95.74%의 분류정확도를 나타내어 본 모형의 분류정확도는 일관성이 높은 것으로 판단되었다. 또한 전체 공원구역에서 서식가능성 0.5이상의 면적은 59%를 차지하였다.

1) 본 연구는 한국과학재단 2000년 목적기초연구 (과제번호 2000-2-51300-002-3)의 지원에 의하여 수행한 연구성과물의 일부임

## I. 서론

GIS 및 원격탐사 기술의 발전은 환경관리를 위한 여러 환경 모형개발기법들을 발전시키는 데 많은 도움을 주고 있으며 (Goodchild *et al.* 1993), 서식지 모형에 의한 서식지적합성평가는 멸종위기종의 보존구역 설정 및 멸종지역에 대한 복원의 과정에 중요한 의사결정의 근거로 이용되고 있다(Howells & Edward-Jones 1997; Singer *et al.* 2000). 우리나라의 경우 로지스틱회귀분석을 이용한 서식지적합성 모형 개발(서창완 2000, 박소영 2000, 주우영 2002)이 몇 차례 이루어졌으나 기존 모형의 단점을 극복할 수 있는 다양한 모형 기법에 대한 연구는 매우 초보적인 단계에 있다.

설악산국립공원(면적 약373Km<sup>2</sup>)은 1970년에 국립공원 제5호로 지정되었다. 또한 UNESCO에 의해서 한국 유일의 생물권보존지구로 지정된 곳이다. 그러나 집단시설지구, 관통 및 접근 도로 등에 의한 서식지 축소 및 파편화, 연간 300만 명 이상의 탐방객에 의한 서식지 악화 등의 영향을 정확하게 평가하지 못하고 있다. 특히 산양은 설악산국립공원의 대표적인 야생동물이자 국제적인 멸종위기종임에도 불구하고 합리적인 서식지 보존을 위한 연구 기법의 개발이 전무한 실정이다.

본 연구의 목표는 퍼지집합을 이용하여 기존 부울논리에 의한 서식지적합성 모형의 단점을 보완하고 설악산국립공원 내에서 산양의 서식가능성이 높은 지역을 추출하는 것이다. 이 연구결과는 설악산국립공원의 산양보호계획에 기초정보를 제공하고, 우리나라의 야생동물 서식지 중 보존의 필요성이 높은 지역을 확인하여 각종 개발에 의한 서식지 축소를 최소화하는데 이용될 수 있다.

## II. 연구방법

### 1. 자료수집 및 DB구축

서식지 분석을 위해 30m 셀크기의 DEM(Digital Elevation Model)을 이용한 지형분석과 Landsat TM 위성영상을 이용한 식생분류를 하여 산양의 서식지에 영향을 미치는 환경변수와 관련된 GIS자료를 구축하였다. 또한, 산양의 서식위치를 확인하기 위해 2000년 12월부터 2002년 3월까지 GPS를 이용한 31차례의 흔적조사를 통해 204개의 서식 흔적 위치자료를 수집하였다. 모형개발을 위한 분석대상지를 흑선동계곡 수계로 하고 개발된 모형의 일관성을 검증하기 위한 검증대상지를 나머지 공원구역으로 하여 자료수집 및 분석을 각각 실시하였다.

### 2. 산양서식지 환경 변수의 선정 및 가중치

산양의 서식환경에 영향을 미치는 환경요인들을 파악하기 위해 기존의 국내외 산양서식지 특성에 대한 연구들로부터 설악산 산양서식지의 잠재적 환경 변수들을 분류하였으며, 이러한 잠재적 환경 변수들의 구간별 산양흔적의 밀도가 정규분포를 이루는지의 여부 및  $\chi^2$ 검정(Chi-square test)을 실시하여 서식지 환경변수로서의 유용성을 검증하였다. 검증된 각각의 환경 변수들이 산양의 서식지 선택과 성장 및 생존에 주는 영향력이 각기 다르기 때문에 환경 변수 별로 중요도의 차이가 있을 수 있다. 따라서 변수별 가중치를 설정하기 위한 변수들의 비교를 위해 다기준평가의 한 기법인 계층화 의사결정방법(AHP, Analytical Hierarchy Process)에 의한 쌍체비교(pairwise comparison)를 실행하였다. 쌍체비교는 분석 대상중에 대한 생태학적 경험이 부족한 GIS 분석자가 경

험이 풍부한 전문가집단의 의견을 효율적으로 반영할 수 있는 방법이다. 국내에서는 산양의 생태를 장기간 연구한 전문가가 없는 관계로, 근래에 설악산의 산양서식지에 대한 조사경험이 있는 외국의 산양 전문가 3인을 선정하였으며, 국내에서는 설악산 산양서식지에 대해 조사경험이 풍부한 3인을 선정하여 총 6명의 전문가 집단에게 설문을 의뢰하였다.

### 3. 퍼지집합에 의한 환경 변수 별 주제도 작성

환경 변수로서 경사도를 고려할 때 경사가 급할수록 서식에 유리 할 경우 기존의 로지스틱회귀분석에서는 경사도를 몇 개의 범주로 나누어 분석 해야만 한다. 그러나 퍼지집합에 의해 경사도를 고려할 경우 대상 지역의 경사도를 0에서 1에 해당하는 연속된 사이 값으로 모두 분석할 수 있게 된다. 즉, 퍼지이론의 소속도 함수는 크리스프 개념, 즉 '모든 또는 전혀 아닌(all-or-nothing)'의 형태를 확장하여 '어느 정도(more-or-less)'라는 애매모호성을 다룰 수 있게 한다(Lee, 1994). 본 연구에서는 이러한 퍼지집합을 이용하여 환경 변수들의 주제도를 작성하였다. 또한 작성된 환경 변수 별 주제도들의 상관관계를 분석하여 상호 관련성이 높은 변수의 중복을 피하였다.

### 4. 모형의 검증

퍼지집합에 의한 환경 변수 별 주제도와 쌍체비교에 의한 가중치를 이용하기 위해 다기준평가(MCE, Multi-Criteria Evaluation)를 실시하여 모형을 완성하였다. 다기준평가는 다수의 환경변수와 각 환경변수의 가중치로부터 최종 평가치를 구하기 위한 방법이다(Voogd, 1983). 모형의 정확도를 확인하기 위해 예측확률

0.5를 기준으로 분류정확도를 계산하였다. 또한 완성된 모형의 일관성을 확인하기 위해 검증대상지에서의 분류정확도를 계산하여 비교하였다.

## III. 연구 결과 및 고찰

### 1. 서식지 환경 변수 및 가중치

문헌조사에 의해 나타난 잠재적 환경 변수들을 검증하기 위해 현장조사를 실시한 결과 산양의 서식흔적 위치 204곳을 수집하였다. 이를 이용해 잠재적 환경 변수들을 검증한 결과 설악산국립공원 내 산양의 서식지는 바위절벽과 소규모 소나무림으로부터 가까울수록, 경사가 급할수록, 계곡보다는 능선이, 향은 남향과 남동향이, 표고는 중간(700~800m)에 가까울수록 긍정적 영향을 받는 것으로 나타났다.

쌍체비교에 의해 계산된 변수 별 가중치는 <표 1>과 같다. 이에 의하면, 산양의 서식지 선택에 있어서 바위절벽이 가장 중요하며, 표고의 중요도가 가장 낮은 것으로 조사되었다.

<표 1> 환경 변수 별 가중치

환경 변수	가중치
바위절벽	0.33
식생	0.22
경사	0.18
능선	0.13
향	0.09
표고	0.06
합계	1

### 2. 환경 변수 별 소속도 함수

환경변수들의 소속도 값이 1과 0이 되는 변곡점들은 변수 값의 변화에 따른 산양흔적 밀도 비율의 변화를 고려하여 결정하였다<표 2>.

소속도 함수는 S, J, 선형 등이 있는데

(Eastman, 1993), 공간정보와 관련된 퍼지집합은 공간의 점진성으로 대개는 S형태를 띠고 있다(김대중, 1995). 따라서 본 연구에서는 S형 소속도 함수를 선택하였으며, 환경변수별 소속도의 변곡점들과 S형 소속도 함수를 이용한 소속도 분포의 그래프는 <그림 1~6>과 같다.

<표 2> 선택된 서식지 환경변수들과 소속도의 변곡점 구간

환경 변수	단위	소속도의 변곡점		
		0	1	0
표고	m	<480	700~800	>1,050
향	도	0	181~202	>247
소규모 나무림으로부터의 거리	m	-	0~60	>300
바위절벽으로부터의 거리	m	-	0~60	>420
경사	도	0	51~90	-
능선으로부터의 거리	m	-	0	>150

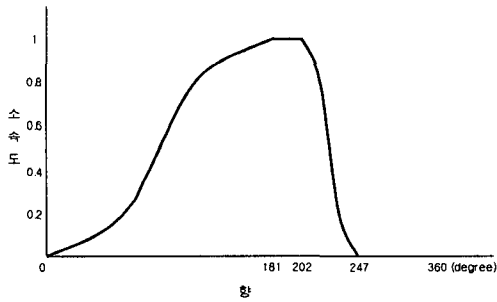


그림 1. 향의 소속도 함수

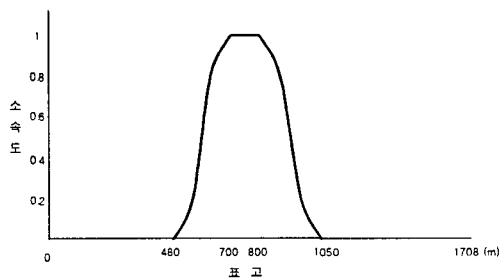


그림 2. 표고의 소속도 함수

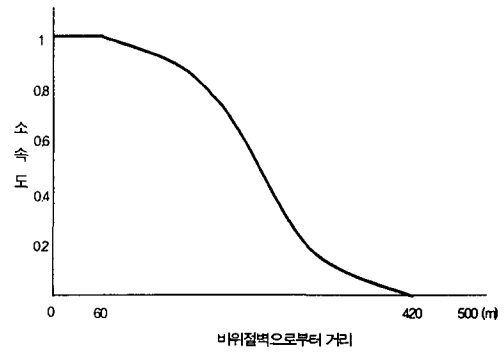


그림 3. 바위절벽으로부터의 거리에 대한 소속도 함수

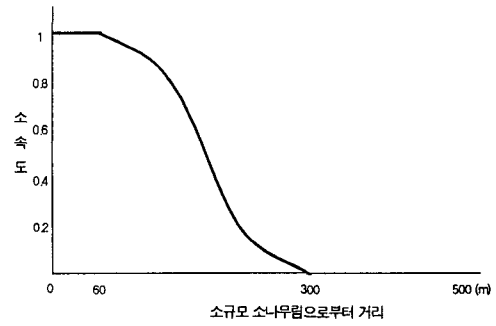


그림 4. 소규모 소나무림으로부터 거리에 대한 소속도 함수

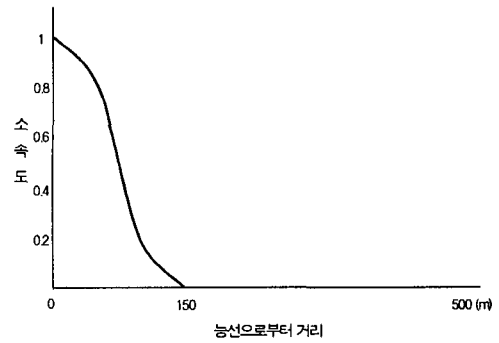


그림 5. 능선으로부터 거리에 대한 소속도 함수

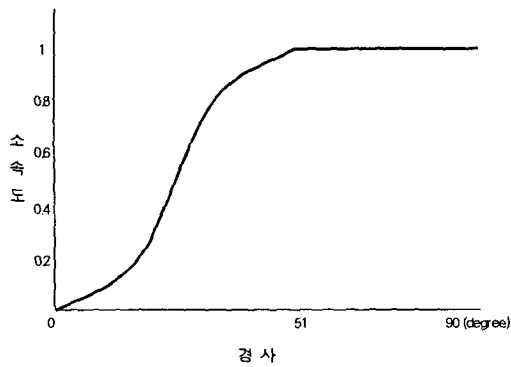


그림 6 경사의 속도 감소 함수

### 3. 모형의 분류 정확도

분석대상지인 흑선동계곡 수계의 분류 정확도 분석 결과 132개의 서식흔적 중 93.94%(124개)의 흔적이 서식가능성 0.5 이상의 지역에 분포하고 있어 매우 높은 분류정확도를 나타내었다<그림 7>. 모형의 검증에 위해 분석대상지를 제외한 설악산 국립공원 내에서 수집된 47개의 흔적 자료를 이용하였다. 검증결과 분류정확도가 95.74%(45개)가 나와 분석대상지와 매우 비슷한 결과를 나타내어 본 모형의 분류정확도는 일관성이 높은 것으로 판단된다. 그러나 검증을 위해 이용된 흔적의 수가 비교적 적고, 검증대상지가 같은 국립공원 내인 점을 미루어 볼 때 산양이 서식하고 있는 국내의 타 지역을 대상으로 검증을 실시하여 개발된 모형의 일반성을 확보해야 할 것이다. 분석대상지와 검증대상지의 모형을 합하여 설악산국립공원 전체의 산양서식지적합성 모형을 개발하였으며<그림 8>, 전체 공원구역에서 서식가능성 0.5이상의 면적은 59%를 차지하였다.

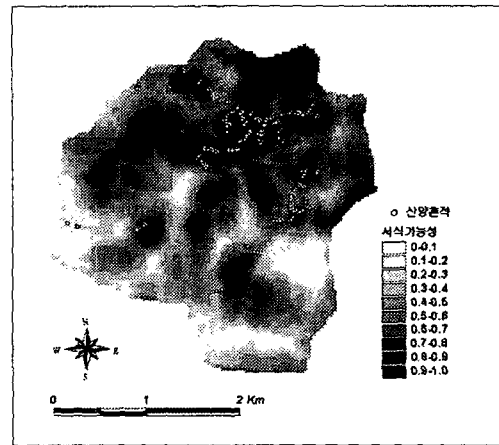


그림 7. 분석대상지의 산양서식지 적합성 모형

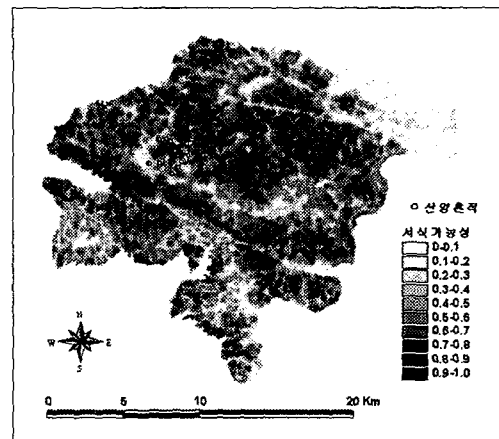


그림 8. 설악산국립공원의 산양서식지 적합성 모형

## IV. 참고문헌

- 김대중(1995) 퍼지집합을 이용한 적지 분석 의사결정에 관한 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문
- 박소영 (2000) 야생동물 서식지 적합도 예측에 관한 연구: 지리산 지역의 반달가슴곰을 중심으로. 서울대학교 대학원 석사학위 논문
- 서창완 (2000) GIS와 로지스틱 회귀분

석을 이용한 멧돼지 서식지 모형개발. 서울대학교 환경대학원 박사학위논문.

·주우영 (2002) GIS를 이용한 수달의 서식지 모형개발: 설악산국립공원을 대상으로. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.

·최태영 (2002) 설악산국립공원의 산양 특별보호구역 설정: GPS를 이용한 흔적조사에 입각한 서식지적합성평가와 최소존속개체군을 고려하여. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문.

·Eastman (1993) Decision theory and GIS, Proceedings of Africa GIS '93.

·Goodchild, M. F., B. O. Parks, L. T. steyaert (1993) Environmental modeling with GIS. Wxford Univ. Press, Inc., 488pp.

·Howells, O. and G. Edwards-jones (1997) A feasibility study of reintroducing wild boar *sus scrofa* to Scotland: Are existing woodlands large enough to support minimum viable populations. Biological Conservation 81: 77-89.

·Lee, B. G. (1994) An application of fuzzy set theory to input-output analysis, Graduate School of Cornell Univ.

·Scott J. M. *et. al.* (1993) Gap Analysis: A geographical approach to protection of biological diversity. Wildlife Monographs.

·Singer F.J., C.M., Papouchis and K.K., Symonds (2000) Translocations as a tool for restoring populations of bighorn sheep. Restoration Ecology 8: 6-13.

·Voogd, H. (1983) Multicriteria evaluation for urban and regional planning. London: Pion.