

설악산국립공원내 산양(*Nemorhaedus Caudatus*
Raddeanus)의 잠재 서식지 적합성 모형:
 다기준평가기법(MCE)과 퍼지집합(Fuzzy Set)의 도입을 통하여[†]

최태영* · 박종화**

*서울대학교 대학원 박사과정 · **서울대학교 환경대학원

Korean Goral Potential Habitat Suitability Model at Soraksan
 National Park Using Fuzzy Set and Multi-Criteria Evaluation

Choi, Tae-Young* · Park, Chong-Hwa**

*Graduate School, Seoul National University

**The Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University

ABSTRACT

Korean goral (*Nemorhaedus caudatus raddeanus*) is one of the endangered species in Korea, and the rugged terrain of the Soraksan National Park (373km²) is a critical habitat for the species. But the goral population is threatened by habitat fragmentation caused by roads and hiking trails. The objective of this study was to develop a potential habitat suitability model for Korean goral in the park, and the model was based on the concepts of fuzzy set theory and multi-criteria evaluation.

The process of the suitability modeling could be divided into three steps. First, data for the modeling was collected by using field work and a literature survey. Collected data included 204 points of GPS data obtained through a goral trace survey and through the number of daily visitors to each hiking trail during the peak season of the park. Second, fuzzy set theory was employed for building a GIS data base related to environmental factors affecting the suitability of the goral habitat. Finally, a multiple-criteria evaluation was performed as the final step towards a goral habitat suitability model.

The results of the study were as follows. First, characteristics of suitable habitats were the proximity to rock cliffs, scattered pine (*Pinus densiflora*) patches, ridges, the elevation of 700~800m, and the aspect of south and southeast. Second, the habitat suitability model had a high classification accuracy of 93.9% for the analysis site, and 95.7% for the validation site at a cut off value of 0.5. Finally, 11.7% of habitat

[†] : 이 논문은 2000~2002년 한국과학재단 지원에 의하여 연구되었음.

Corresponding author : Tae-Young Choi, The Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea. Tel. : +82-2-875-5132, E-mail : gumiran3@snu.ac.kr

with more than 0.5 of habitat suitability index was affected by roads and hiking trails in the park.

Key Words : *Wildlife Habitat Evaluation, GIS, Fuzzy Set, Multi-Criteria Evaluation, Goral*

I. 서론

우리나라는 보호대상 야생동물의 분포 및 서식밀도에 관한 기초자료가 적고 이 분야의 GIS 적용연구와 주요 야생동물의 밀도 및 서식지 분포 예측능력은 아직 초보적인 단계에 있다. 초기 국내 야생동물의 서식지 적합성모형은 서식지 이용확률의 관찰값을 토대로 하여 적지분석기법을 이용하였으며 통계적인 검증이나 적용의 타당성이 확인되지 않았다(이명우, 1997; 김원주 등, 1998). 근래에는 로지스틱회귀모형을 이용한 멧돼지, 반달곰, 수달 등의 서식지에 대한 모형 개발이 몇 차례 시도되었다(서창완, 2000; 박소영, 2000; 서창완 등, 2001; 주우영, 2002). 우리나라에서는 현재까지 서식지 예측 및 평가기법들에 대한 다양한 연구가 이루어지지 않고 있어 반달곰, 산양과 같은 멸종위기종의 서식지 보존 전략의 수립과 전국의 생태자연도 작성을 통한 생태계보존 노력에 어려움을 겪는 실정이다.

선진국의 경우 1970년대 중반 서식지평가의 기본틀로 미국 야생동물보호청에서 서식지 평가절차(Habitat Evaluation Procedures)와 서식지 적합성지수(Habitat Suitability Index)를 개발하고, 현재에도 서식지적합성 평가에 관한 활발한 연구가 진행되고 있다(U.S. Fish and Wildlife Service, 1980; 1981). 소규모 서식지 모형 개발을 위해서는 판별분석보다 자료에 대한 통계적인 전제조건들이 덜 제약적이면서 최우추정기법을 이용한 로지스틱회귀모형이 제안되었다(Capen *et al.*, 1986). 이러한 로지스틱회귀모형은 설명변수로 연속형과 범주형자료를 모두 포함시킬 수 있는 장점을 가지고 있어 미국의 흑곰(*Ursus americanus*)(North and Reynold, 1996; Manen and Pelton, 1997)과 엘크(*Cervus elaphus nelsoni*)(Bian and West, 1997) 등 다양한 야생동물들의 서식지 분석에 이용되고 있다. 그러나 로지스틱회귀모형은 비출현 자료 선정에 있어서 객관성을 유지하기 힘들며, 이와 같은 통계적인 평가 모형들은 폭넓은 현장 연구자료를 필요로 하며, 이는 방대한 시간과 비용

을 필요로 하는 단점을 지니고 있다(Store and Kangas, 2001). Store and Kangas(2001)는 다기준평가(Multi-Criteria Evaluation)와 전문가 지식(expert knowledge)을 통합하여 서식지 모형을 개발하였는데, 다기준평가의 경우 기존의 회귀모형에서 불린연산(Boolean overlay)에 의해 일어나는 정보손실을 퍼지집합이론(fuzzy set theory)를 이용하여 해결할 수 있으며, 생태전문가들의 경험적 판단을 활용한 변수들의 가중치를 적용할 수 있기 때문이다. 퍼지집합은 불린연산에 의해 발생하는 이러한 단점을 극복할 수 있기 때문에 GIS를 이용한 적지선정 과정에 꾸준히 활용되어 왔다(Wang *et al.*, 1990; Smith, 1992; Xiang *et al.*, 1992; Banai, 1993).

한편 우리나라에서는 2003년 12월에 야생동·식물보호법이 국회를 통과함에 따라 멸종위기종과 같은 특정 야생동물의 서식지를 특별보호구역으로 지정하여 보호할 수 있는 근거가 마련되었다. 그러나 선진국과 달리 멸종위기종의 보호구역을 합리적으로 설정하기 위한 서식지 예측 및 평가기법에 대한 연구는 초보적인 상태에 머물고 있기 때문에 서식지보호 관련 법규의 실효성이 의문시되고 있다.

따라서 본 연구의 목적은 CITES 부속서 I에 등재된 국제적 멸종위기종이며, 천연기념물 제217호인 산양(*Nemorhaedus caudatus raddeanus*)의 서식지 특성을 현장조사와 GIS 분석을 통해 밝혀내고, 퍼지집합(fuzzy set)과 다기준평가(Multi-Criteria Evaluation) 기법을 이용하여 서식지적합성평가모형을 개발하는 것이다. 이 연구는 국내 멸종위기종의 서식지 관리 정책의 기초를 제공할 수 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

설악산국립공원(면적: 약 373km²)은 산양의 분포가 다른 지역에 비해 비교적 풍부하여(이우신, 1999) GPS

를 이용한 서식흔적의 위치자료 수집이 용이하고, 인간의 행위가 비교적 잘 규제되어 산양의 출현과 비출현 지역의 차이가 밀렵 등의 예측하기 힘든 변수에 의해 발생할 가능성이 적으며, 국립공원이기 때문에 탐방객 이용강도를 정량화 시킬 수 있는 장점을 지니고 있다.

본 연구에 의해 개발된 모형의 일관성을 검증하기 위해 설악산국립공원을 분석대상지와 검증대상지로 나누었다. 분석대상지는 현재 산양의 서식여부, 다양한 지형 및 식생의 분포 현황, 조사를 위한 접근성을 고려하여 유역면적 약 10km²인 흑선동계곡을 선택하였다. 모형 검증대상지는 흑선동계곡을 제외한 설악산국립공원 구역으로 하였다(그림 1 참조).

2. GIS DB 구축

1) 잠재적 환경변수들의 분류

본 연구 대상지에서 산양의 서식환경에 영향을 미칠 수 있는 잠재적 환경변수를 파악하기 위해서 산양의 서식지 특성에 관한 기존 연구들을 종합하여 정리하였다(표 1). 이에 의하면 산양 서식지의 환경변수들은 크게 기회요인과 제한요인으로 나눌 수 있다. 기회요인으로는 암반, 경사, 향, 표고, 능선, 식생유형이 있다. 제한요인으로는 인간의 간섭과 폭설이 있다. 이러한 잠재적 환경변수들은 산양이 분포하는 지역에 따라 서식에 영향을 주는 범위와 정도에 차이가 있으므로, 분석 대상지의 현장조사를 통한 재분류 및 검증을 하였다. 인간에 의한 간섭은 밀렵, 산불, 스트레스 등을 들 수 있다(Khokhriakov and Vrsansky, 2000). 설악산국립공원의

경우 매년 300만명 이상의 탐방객이 입장하고 있으므로 탐방로의 이용정도에 따른 서식지 위축 및 단편화 조사 및 분석은 필수적이다.

산양 서식지의 환경변수들에 관한 자료들은 1/25,000 지형도를 통해 30m 셀(cell) 단위의 DEM(Digital Elevation Model)을 생성한 후 표고, 경사, 향, 계곡/능선,

표 1. 문헌상의 산양 서식지 환경변수

환경 변수	내용	분포	
기 회 요 인	암반	필수	인도 ^a , 태국 ^b , 러시아 ^c
	경사	>30°	인도 ^{d,e} , 태국 ^f
		>25°	러시아 ^g
	향	남, 남동	러시아 ^h , ⁱ
		동, 남동	인도 ^k
	표고	800~1,200m	파키스탄 ^l
1,700~3,100m		인도 ^m	
2,000~4,500m		중국남부 ⁿ	
0~1,000m		러시아 ^o	
계곡/능선	능선	파키스탄 ^p	
식생	열린초지와 숲	파키스탄 ^q , 인도 ^r , 러시아 ^s	
	소나무숲과 하부 초지(grass)	파키스탄 ^t , 네팔 ^u	
	혼효림(소나무와 참나무)	인도 ^v	
제 한 요 인	목축(소, 염소)	파키스탄 ^w , 인도 ^x	
	밀렵	러시아 ^y , 미얀마 ^z	
	폭설	북사면, 완경사지 러시아 ^{2z}	

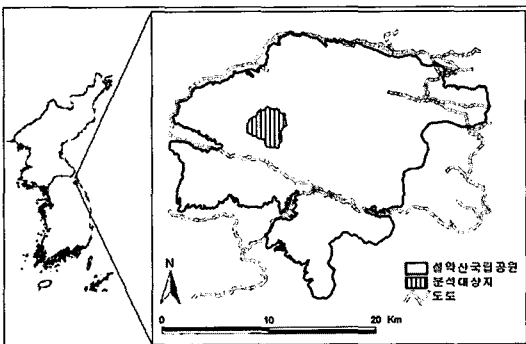


그림 1. 연구 대상지 위치

^a: Royet al.(1995):686, ^b: Rattanawat et al.(1999):191,
^c: Myslenkov and Voloshina(1989):85,
^d: Mishra and Johnsingh(1996):573, ^e: Royet al.(1995):689,
^f: Lovari and Apollonio(1993):373,
^g: Myslenkov and Voloshina(1989):85,
^h: Nasimovich(1971):143, ⁱ: Myslenkov and Voloshina(1989):85,
^k: Sathyakumar et al.(1997):131 ^l: Anwar(1989):19,
^m: Sathyakumar et al.(1997):131, ⁿ: Zhang(1987):391,
^o: Nasimovich(1971):142, ^p: Anwar(1989):21,
^q: Anwar(1989):40, ^r: Mishra and Johnsingh(1996):575,
^s: Myslenkov and Voloshina(1989)85, ^t: Anwar(1989):9,
^u: Schaller(1977):67, ^v: Sathyakumar et al.(1997):131,
^w: Anwar(1989):40, ^x: Rattanawat et al.(1999):191,
^y: Rabinowitz(1999):120,
^{z1,2}: Myslenkov and Voloshina(1989):85

바위절벽 자료를 생성하였고, 또한 탐방로와 도로로부터의 거리 자료를 생성하였다. 현장조사 결과 설악산의 산양은 파키스탄(Anwar, 1989)과 네팔(Schaller, 1977)의 산양처럼 소규모 소나무숲과 허부의 초지를 선호하는 것으로 나타나 위성영상(Landsat TM, 1987. 4. 27)을 이용하여 소규모 소나무림을 분류하였다(그림2~8 참조).

2) 환경변수의 유용성 분석

서식지 이용 및 유용성(availability)의 관점에서 서식지의 선호와 기피를 판단하는 것은 오래 전에 인식되었다(Glading et al., 1940). 환경변수들의 유용성을 통계적으로 검증하는 효과적인 방법으로 χ^2 검정(Chi-square test)이 주로 사용되었으며(Ostle 1963), 분석자에 의해

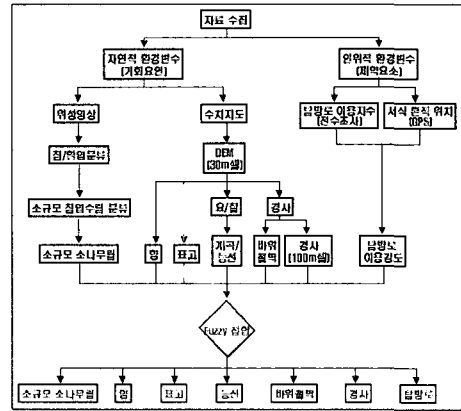


그림 8. 자료 수집과 분석 과정

선택된 각 변수들은 계산된 위치들의 적합성에 기반하여 변수로서의 직·간접적인 근거를 구성한다(Jiang and Eastman, 2000). 따라서, DEM과 위성영상으로부터 얻어진 잠재적 환경변수들의 주제도와 산양흔적의 밀도 분포를 비교하여 정규분포를 이루는지의 여부 및 χ^2 검정을 실시하여 서식지 환경변수로서의 유용성을 검증하였다.

3. 산양 서식지 이용 현황 조사

1) 산양의 서식지 이용 조사

문헌에 의해 조사된 서식지 환경변수들의 설악산에 대한 적용 가능성을 확인하기 위해 분석대상지의 산양 배설물, 발자국, 털, 영역표시, 먹이흔적, 관찰 등의 위치를 GPS를 이용하여 수집하였다. 검증대상지는 모형의 일반성을 검증하기 위해 내설악, 외설악, 남설악의 일부지역들을 조사하여 설악산국립공원의 전반적인 특성을 반영하도록 하였다. 조사기간은 2000년 12월부터 2002년 3월까지 31차례의 흔적조사를 실시하였다(그림 9 참조).

2) 탐방객에 의한 서식지 영향 조사

탐방객이 산양의 서식분포에 미치는 영향을 분석하기 위해 단풍 관광이 절정인 2001년 10월 7일과 14일 일요일에 내설악의 주요 등산로별 이용자수를 전수 조사하였다. 외설악 지역의 탐방객 수는 1997년 10월 12일 일요일에 설악산국립공원관리공단에서 조사한 결과

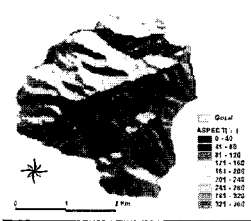


그림 2. 향

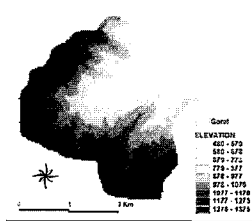


그림 3. 표고

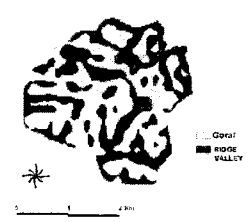


그림 4. 계곡/능선

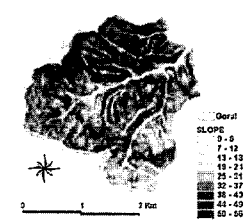


그림 5. 경사

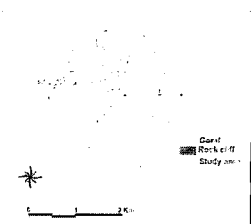


그림 6. 바위절벽

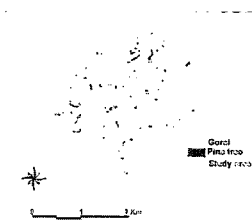


그림 7. 소규모 소나무림

를 이용하였다. 탐방로별 1일 최고 이용자 수에 따라 1,000명 이하, 1,000~5,000명, 5,000명 이상의 3개 등급으로 분류한 후 외설악, 내설악, 남설악 지역의 탐방로 등급별 산양 흔적의 분포거리를 조사하였다. 또한 설악 산국립공원을 양분하고 있는 한계령 도로를 중심으로 산양 흔적의 분포거리를 조사하였다. 탐방로와 도로 이외에 집단시설지구, 사찰, 대피소, 마을, 밀렵, 가축에 의한 전염병 등의 여러 인위적 요인이 환경변수로 작용할 수 있으나 정량적인 분석의 어려움으로 인해 본 연구에서는 제외하였다(그림 9 참조).

4. 산양서식지적합성모형

본 연구에서 진행한 서식지적합성모형 개발의 주요

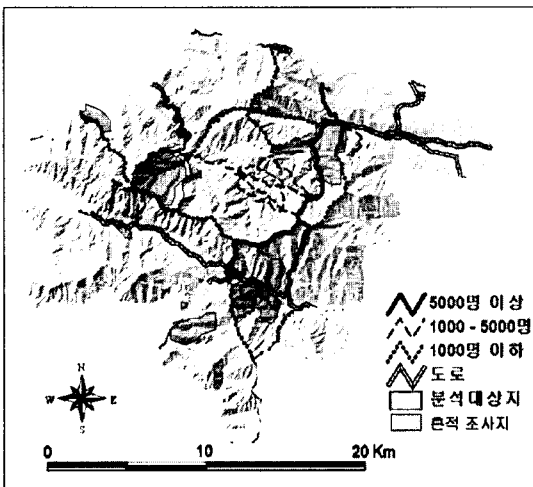


그림 9. 1일 최고 이용자 수에 따른 탐방로별 이용강도의 분류와 산양의 서식 흔적 조사지역

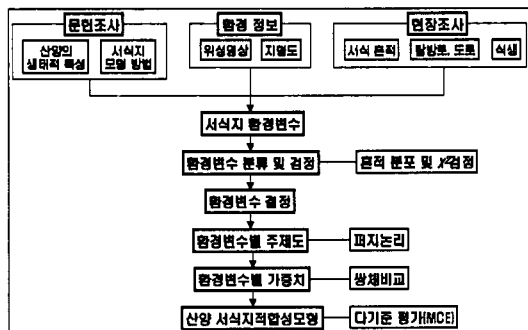


그림 10. 서식지적합성모형 개발 과정

과정은 다음과 같다.

첫째, 앞서 설명된 방법에 의해 유용성이 검증된 환경변수들을 피지논리를 활용하여 주제도를 작성하였다. 둘째, 작성된 주제도들의 상관관계 분석을 통해 상호 관련성이 높은 주제도의 중복을 피하였다. 셋째, 쌍제 비교를 통해 환경변수별 가중치를 계산하였으며, 마지막으로, 다기준평가기법(MCE, Multi-Criteria Evaluation)을 이용하여 분석대상지의 산양 서식지적합성모형을 개발하였다.

1) 피지집합에 의한 환경변수별 주제도 작성

유용성이 검증된 각각의 환경변수들은 조사된 산양 흔적의 밀도 분포 변화와 비교하여 각 소속도함수의 변곡점을 결정하게 된다. 즉, 소속도함수는 서식흔적의 밀도가 가장 높은 지점이나 구간이 1값을 가지며 가장 낮은 지점이나 구간은 0값을 지니고 나머지 구간은 0에서 1의 사이값이 부여된다. 이때 0과 1이 시작되는 지점이 소속도함수의 변곡점에 해당된다. 소속도 함수는 S, J, 선형 등이 있는데(Eastman, 1993), 공간정보와 관련된 피지집합은 공간의 점진성으로 대개는 S형태를 띠고 있다(김대중, 1995). 따라서 본 연구에서는 S형 소속도 함수를 적용하였다.

2) 환경변수별 주제도 간의 상관관계 분석

피지집합에 의해 작성된 각 환경변수들의 분포가 서로 관련성이 깊을 경우 불필요한 변수들을 포함하게 된다. 본 연구에서는 앞서 피지집합에 의해 작성된 능선으로부터 거리의 소속도를 나타내는 주제도와 소규모 소나무림으로부터의 거리별 소속도를 나타내는 주제도 간의 상관관계를 분석하였다. 또한, 경사 분포의 소속도를 나타내는 주제도와 바위절벽으로부터의 거리별 소속도를 나타내는 주제도 간의 상관관계를 분석하였다. 이는 설악산의 소나무림의 경우 주로 능선위에 분포하기 때문에 능선과 소규모 소나무림을 설명하는 주제도들의 관련성이 높을 수 있기 때문이다. 또한 바위절벽으로부터의 거리는 경사 50도 이상의 지역을 바위절벽으로 가정하여 분류하였기 때문에 경사 분포의 소속도를 나타내는 주제도와 높은 상관관계를 지닐 가능성이 있다. 이러한 환경변수들이 한 지역 안에서 유사

한 공간적 분포를 나타내는지의 여부를 상관관계 분석을 통하여 알아보기 위해 Arc/Info 프로그램(ESRI, 2000)에서의 CORRELATION 모듈을 이용하였다.

3) 환경변수의 가중치 계산

선택된 환경변수들 간에 가중치를 어떻게 줄 것인가는 상당히 중요한 문제이다. 산양이 서식지를 선택함에 있어 각각의 환경변수가 성장과 생존에 미치는 영향력이 다르기 때문에 변수간에 중요도의 차이가 있을 수 있다.

가중치를 설정하기 위한 변수들의 비교는 다기준평가의 한 기법인 계층화 의사결정방법(Anclytical Hierarchy Process)에 의한 쌍체비교(pairwise comparison)를 실행할 수도 있고 실제 자료값을 이용할 수도 있다(이계원 2000). 본 연구에서는 쌍체비교를 위한 평가자 집단을 구성하여 선택된 환경변수들 간의 중요도를 묻는 설문조사를 하였다.

평가자 집단의 선정은 국내에서 산양의 생태를 장기간 연구한 전문가가 부족하기 때문에 근래에 설악산의 산양서식지의 조사경험이 있는 외국의 산양 전문가 3인을 평가자에 포함하였다. 국내에서는 설악산 산양서식지에 대해 조사경험이 풍부한 3인을 포함하여 총 6명을 선정하였다¹⁾.

4) 다기준평가에 의한 모형 개발

본 연구에서 다기준평가 기법을 위한 의사결정 과정은 계층화 의사결정법을 이용하여, 주어진 목적에 대한 적합성은 기회요인들을 가중선형결합(weighted linear combination)의 형태 안에서 조합함으로써 평가된다(Gumbrecht, 1996).

$$S = \sum(w_i x_i)$$

S = Suitability, w_i = Weight of factor I
 x_i = Criterion score of factor I

다기준평가 기법은 전통적인 GIS 분석과 달리 퍼지 집합이론의 적용이 가능하며, 각각의 기회요인들은 서로간의 중요도를 고려해 가중치가 주어질 수 있다(Gumbrecht, 1996).

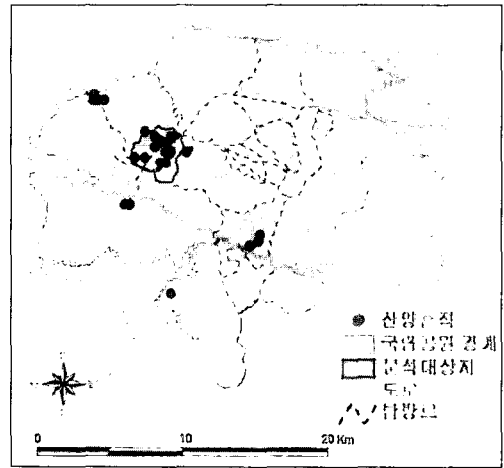


그림 11. 산양 흔적 발견 지점

III. 흑선동 계곡 수계의 서식지 적합성 평가

1. 산양의 서식지 이용특성

산양의 서식 흔적 위치는 총 204개소를 수집하였으며, GPS 오차와 분석단위 셀의 크기가 30m인 점을 고려하여 179개소로 재분류 하였다. 분석대상지 내에서는 137개소를 수집하였으며, 나머지 공원지역인 검증대상 지역에서는 42개소를 수집하였다(그림 11 참조).

분석결과 바위절벽과 소규모 소나무림으로부터 가까울수록, 경사가 급할수록, 계곡보다는 능선이, 향은 남향과 남동향이, 표고는 중간(700~800m)에 가까울수록 산양의 서식 흔적이 많이 분포되어 있었다(표 2 참조). 문헌조사와 현장조사를 통해 분류된 잠재적 환경변수들 모두가 일정 구간을 중심으로 서식 흔적의 밀도가 점차적으로 늘어나거나 줄어드는 정규분포를 보이고 있어 표고, 향, 바위절벽, 소규모 소나무림, 경사, 능선, 도로, 탐방로를 설악산의 산양서식지의 환경변수로서 유용성이 매우 높은 것으로 나타났다. 표 2의 각 환경변수의 구간별 산양흔적의 밀도 비율 변화를 나타내는 0~1의 값은 퍼지집합의 소속도를 나타내는 0~1값과 동일한 의미를 지닌다.

2. 퍼지집합에 의한 환경변수별 주제도

표 2. 선택된 서식지 환경변수들과 소속도의 변곡점 구간

환경 변수	단위	혼적의 밀도비율			
		0	1	0	
표고	m	<480	700~800	>1,050	
향	도	0	181~202	>247	
기회요인	소규모 소나무림으로부터의 거리	m	-	0~60	>300
	바위절벽으로부터의 거리	m	-	0~60	>420
	경사	도	0	51~90	-
	능선으로부터의 거리	m	-	0	>150
제한요인	이용강도가 높은 탐방로로부터의 거리	m	0	>1,000	-
	이용강도가 중간인 탐방로로부터의 거리	m	0	>400	-
	이용강도가 낮은 탐방로로부터의 거리	m	0	>100	-
	도로(한계령)으로부터의 거리	m	0	>100	-

산양서식지 선택의 기회요인인 자연적 환경변수는 퍼지집합에 의해 앞에서 구해진 각 환경변수들의 소속도 함수를 이용하여 주제도를 작성하였다(그림 12~17 참조). 그림 12~17에서 보는 바와 같이 주제도에서 진한색(소속도 1에 가까운 곳)에 산양의 혼적이 집중 분포되어 있다. 주제도의 공간적 범위는 분석대상지인 흑선동계곡 수계를 경계로 하였다.

능선으로부터 거리별 소속도를 나타내는 주제도와 소규모 소나무림으로부터의 거리별 소속도를 나타내는 주제도 간의 상관관계를 분석한 결과 상관계수 r값이 0.17로서 상호 매우 낮은 상관관계를 보였다. 이는 소규모 소나무림이 주로 능선위에 분포하지만 신갈나무 군락 역시 능선에 많이 분포하며, 분류된 능선은 면과 선적인 요소를 수반하는 반면 소규모 소나무림으로부터의 거리는 주로 점적인 요소에서의 거리로 표현되기 때문으로 판단된다. 또한, 경사 분포의 소속도를 나타내는 주제도와 바위절벽으로부터의 거리별 소속도를 나타내는 주제도 간의 상관관계 역시 상관계수 r값이 0.40으로서 약한 상관관계를 보였다. 이는 바위절벽으로부터의 거리별 소속도를 나타내는 주제도가 경사가 완만하더라도 암벽으로부터의 거리가 가까울 경우 높

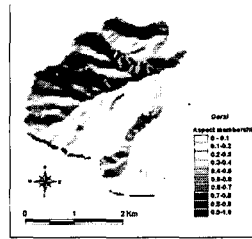


그림 12. 향의 소속도 분포

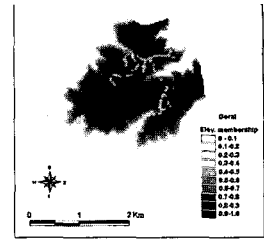


그림 13. 표고의 소속도 분포

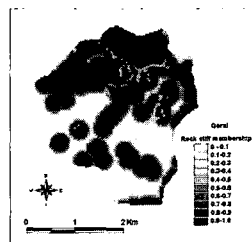


그림 14. 바위절벽의 소속도 분포

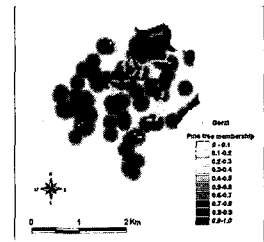


그림 15. 소규모 소나무림의 소속도 분포

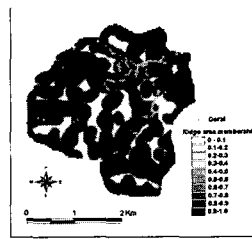


그림 16. 능선의 소속도 분포

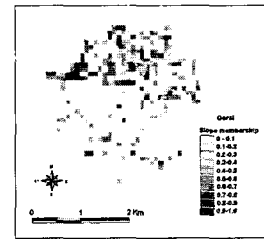


그림 17. 경사의 소속도 분포

은 소속도를 나타내기 때문으로 생각된다. 따라서 분석된 환경변수들의 상관관계가 모두 낮은 것으로 나타났기 때문에 산양서식지 적합성 모형개발을 위한 환경변수로서 전부 선택하였다.

3. 환경변수의 가중치

쌍체비교에 의해 계산된 변수 별 가중치는 표 3과 같다. 이에 의하면, 산양의 서식지 선택에 있어서 바위절벽이 가장 중요하며, 표고의 중요도가 가장 낮은 것으로 조사되었다. 서식지 선택에 부정적 영향을 주는 제한요인인 탐방로는 실제 조사결과를 직접 이용하였으므로 쌍체비교를 위한 설문항목에서 제외하였다.

표 3. 환경변수 별 가중치

환경변수(기회요인)	가중치
바위절벽	0.33
식생	0.22
경사	0.18
능선	0.13
향	0.09
표고	0.06
합계	1

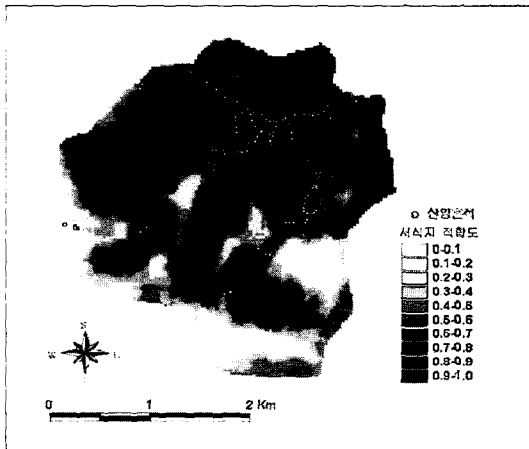


그림 18. 분석대상지의 서식지적합성모형

4. 서식지적합성모형

퍼지집합에 의한 환경변수 별 주제도와 쌍체비교에 의해 계산된 가중치를 이용하여 다기준평가에 의해 개발된 분석대상지의 서식지적합성모형은 그림 18과 같다.

분석대상지인 흑선동계곡 수계의 분류정확도 분석 결과 132개의 서식흔적 중 93.9%(124개)의 흔적이 서식지적합도 0.5 이상의 지역에 분포하고 있어 매우 높은 분류정확도를 나타내었다. 분석대상지 내에서 0.5 이상의 면적은 58.6%를 차지하였다²⁾.

IV. 설악산국립공원에서의 서식지 적합성 평가

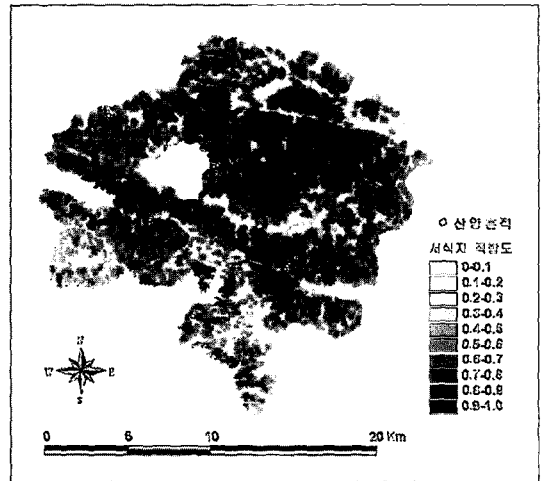


그림 19. 검증대상지의 서식지적합성모형

1. 서식지적합성모형의 검증

분석대상지를 제외한 설악산국립공원 구역을 검증대상지로 한 검증결과 47개의 흔적 중 95.7%(45개)의 흔적이 서식지적합도 0.5 이상의 지역에 분포하고 있어 분석대상지와 마찬가지로 매우 높은 분류정확도를 나타내었다(그림 19). 검증대상지 내에서 0.5 이상의 면적은 59.2%를 차지하였다. 따라서 모형의 분류정확도는 일관성이 높은 것으로 판단되었다.

2. 설악산국립공원의 서식지적합성모형

분석대상지와 검증대상지를 합하여 만들어진 설악산국립공원 전역의 모형은 그림 20과 같으며, 서식지적합도 0.5를 적용했을 경우 95%의 분류정확도를 보였다. 전체 공원구역에서 0.5 이상의 면적은 59%를 차지하였다.

3. 산양서식지적합성모형에 대한 탐방로와 도로의 영향

산양서식지 선택의 제한요인인 탐방로와 도로에 대해서도 퍼지집합에 의해 앞에서 구해진 소속도 함수를 이용하여 주제도를 작성하였다(그림 21). 주제도의 공간적 범위는 분석대상지인 흑선동계곡 수계를 포함한

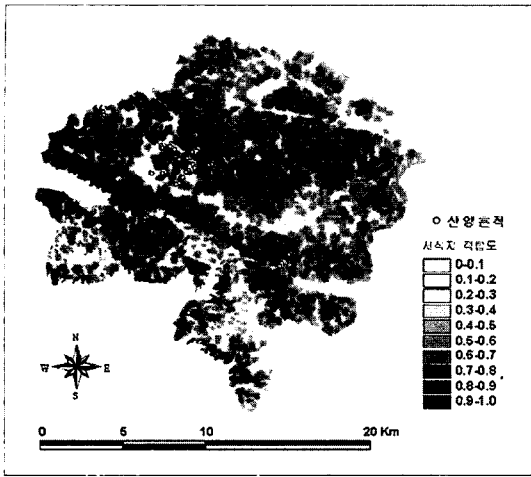


그림 20. 설악산국립공원의 서식지적합성모형

공원 전지역을 경계로 하였다. 탐방로와 도로의 영향을 분석한 주제도는 퍼지집합에 의해 탐방로로부터 거리가 멀어질수록 0~1의 값을 가지며, 1의 값이 시작되는 지점은 탐방로의 이용강도에 따라 다르다(표 2). 최종 평가도가 탐방로 상에서는 서식가능성이 0이 되며, 탐방로와 도로의 영향을 분석한 주제도의 값이 1이 되는 구간에서부터는 탐방객의 영향이 없이 본래의 서식가능성 값을 지니게 된다.

인위적 영향을 제외한 모형에 탐방로와 도로의 영향을 분석한 주제도를 곱하여 최종 서식지 모형을 완성하

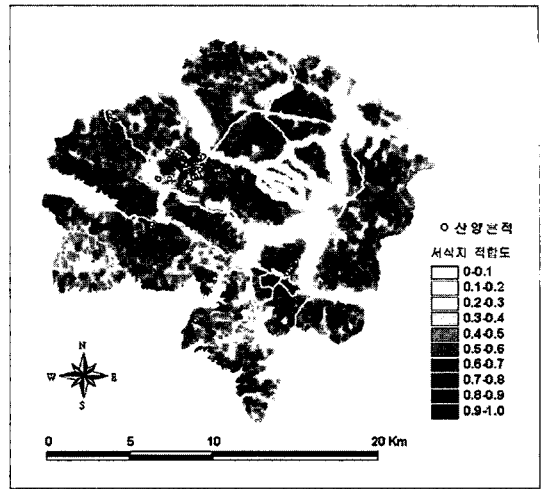


그림 22. 탐방로와 도로의 영향이 반영된 설악산국립공원의 서식지적합성모형

였다(그림 22). 탐방로와 도로의 영향을 포함한 평가도는 서식지적합도 0.5를 적용했을 경우 94.7%의 분류정확도를 보였다. 적합도 0.5 이상의 면적은 분석대상지의 47.3%를 차지하여 탐방로와 도로에서의 인간간섭에 의하여 11.7%의 서식지가 감소되었음을 알 수 있었다.

V. 결론

본 연구에서는 GIS, 퍼지집합과 다기준평가기법을 이용하여 설악산국립공원에 서식하는 산양의 서식지 적합성모형을 개발하여 국내 멸종위기종의 서식지 관리정책의 기초를 제공하고자 하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 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. 둘째, 개발된 서식지적합성모형의 결과 서식지 적합도 0.5를 기준으로 분석대상지는 93.9%, 검증대상지는 95.7%의 높은 분류정확도를 나타내어 서식지적합성모형의 분류정확도는 일관성이 높은 것으로 판단되었다. 마지막으로, 도로와 탐방로의 영향에 의해 서식지적합도 0.5 이상의 면적이 11.7% 축소된 것으로 나타났다.

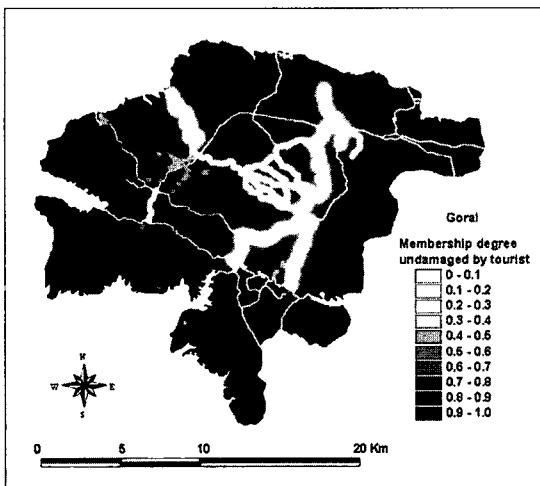


그림 21. 설악산국립공원내 탐방로와 도로의 영향을 받지 않는 공간의 소속도

본 연구의 한계로는 첫째, 산양의 계절별 서식지 이용의 변화와 사회구조 등에 따른 서식지 이용의 행동생태학적 고려가 미흡하였다. 둘째, 서식지모형개발 지역보다 모형의 검증대상지의 면적이 훨씬 넓음에도 불구하고 검증에 이용된 서식흔적의 위치자료(42개소)는 개발대상지에 이용된 것(137개소)보다 적었다. 셋째, 탐방로와 도로의 영향 이외에 정량적 분석의 어려움으로 인해 집단시설지구, 대피소, 주거지, 밀렵, 사찰 등의 인위적 영향에 대한 분석이 결여되어 인위적인 서식지 위축에 대한 평가가 충분히 실시되지 않았으며, 도로와 탐방로가 서식지 단절에 미치는 영향과 이로 인한 개체군의 장기적인 감소 가능성은 분석에서 배제되었다. 이러한 연구의 한계는 앞으로 산양의 원격무선추적 실시 등을 이용한 자료의 수집과 다양한 연구자들의 상호 협력을 통해 해결해 나가야 할 것이다.

- 주 1. 박그림(산양의동무작은뿔), 양병국(국립환경연구원), 최태영(서울대 환경계획연구소), Alexander Ivanovich Myslenkov(Sikhote-Alin State Biosphere Reserve, Russia), Inna Vadimovna Voloshina (Sikhote-Alin State Biosphere Reserve, Russia), Sandro Lovari(Dept. of Evolutionary Biology, Ethology and Behavioural Ecology Group, Univ. of Siena, Italy)
- 주 2. 적합도 0.5가 절대 기준으로서의 의미를 갖는 것은 아니며, 개발된 모형의 분류정확도가 어느 정도인지에 대한 이해를 돕기 위해 많은 연구에서 관습적으로 사용하고 있는 참고적인 수치이다. 따라서 적합도 0~1 사이에서 의미있는 값은 고정되어 있는 것이 아니라 주어진 상황에 따라 달리 적용되어야 할 것이다. 예를 들어 적합도 0.8 이상으로 이루어지는 면적만으로도 최소존속개체군(MVP)을 유지시킬 수 있는 지역에서는 용도지역 설정 등에 적합도 0.8이 중요한 기준이 될 수 있으나, 적합도 0.3의 지역까지 보존시켜야 최소존속개체군을 유지시킬 수 있는 지역에서는 적합도 0.3이 중요한 기준이 되어야 할 것이다.

인용문헌

- 김대중 (1995) 퍼지집합을 이용한 적지분석 의사결정에 관한 연구. 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
- 김원주, 박종화, 김원명 (1998) 멧돼지 서식지 적합성 분석 모형 개발: 점봉산, 설악산 지역을 대상으로. 한국GIS학회지 6(2): 247-256.
- 박소영 (2000) 야생동물 서식지 적합도 예측에 관한 연구: 지리산 지역의 반달가슴곰을 중심으로. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.
- 서창완 (2000) GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용한 멧돼지 서식지 모형 개발. 서울대학교 환경대학원 박사학위 논문.
- 서창완, 박종화, 최태영 (2001) Korean Goral Habitat Suitability Modeling at Soraksan National Park. The Journal of GIS Association of Korea. 9(4): 577-589.
- 이계원 (2000) 통합의사결정모형을 이용한 상수원 수질개선 대안선택에 관한 연구: 팔당 특별대책지역을 중심으로. 서울대학교 환경대학원 박사학위 논문.
- 이명우 (1997) 지리정보체계를 이용한 생태환경분석 및 적지 분석: 자연생태계 보전지역 설정 및 평가모형을 중심으로. 환경영향평가 6(2): 61-80.
- 이우신 (1999) 천연기념물 산양과 사향노루의 분포와 생태 연구 보고서. 문화재청.
- 주우영 (2002) GIS를 이용한 수달의 서식지 모형 개발. 서울대학교 환경대학원 석사학위 논문.
- Anwar M.(1989) Development of a management plan for grey goral: Lessons from blackbuck and cheer pheasant reintroduction attempts(pheasant, endangered species). Phd, Utah State University.
- Banai, R.(1983) Fuzziness in geographical information systems: contributions from the analytical hierarchy process. International Journal of Geographical Information Systems. 7: 315-329.
- Bian, L., and E. West(1997) GIS Modelling of elk calving habitat in a prairie environment with statistics. PERS 63(2): 161-167.
- Capen, D. E., J. W. Fenwick, D. B. Inkley, and A. C. Boynton(1986) Multivariate models of songbird habitat in New England forest. pp. 171-176 in J. Verner, M. L. Morrison, C.J. Ralph, eds. Wildlife 2000: Modeling Habitat Relationships of Terrestrial Vertebrates. Univ. Wisconsin Press, Madison.
- Eastman, J. R.(1993) Applications in coastal zone research and management. in: IDRISI Manual.(ed) K.S. Martin, Worcester, Massachusetts: Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. pp. 42-52.
- Glading, B., H. H. Biswell, and C. F. Smith(1940) Studies on the food of the California quail in 1937. J. Wildlife Management 492: 128-144.
- Gumbrecht, T.(1996) Application of GIS in Training for Environmental Management. Journal of Environmental Management 46: 17-30.
- Jiang, H., and J. R. Eastman(2000) Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. int. j. geographical information science 2000, vol. 14, no. 2, 173-184.
- Khokhriakov, S., and P. Vrsansky(2000) Ecology of *Nemorhaedus caudatus*(Milne-Edwards 1867)(Artiodactyla, Bovidae) in the Lazovski Reserve. AMBA projects publication no. B/21.00/ABG/C.
- Lovari, S., and M. Apollonio(1993) Notes on the ecology of gorals in two areas of Southern Asia. Rev. Ecol. 48: 365-374.
- Manen, F. T. van, and M. R. Pelton(1997) A GIS Model to Predict Black Bear Habitat Use. Journal of Forestry. August: 6-12.
- Mishra, C., A., and J. T. Johnsingh(1996) On habitat selection by the Goral *Nemorhadus Goral Bedfordi* (Bovidae, Artiodactyla). Journal of zoology V 240, NOV, pp. 573-580.

22. Myslenkov, A. I., and I. V. Voloshina(1989) Ecology and behaviour of the Amur goral, Nauka, Moscow.
23. Nasimovich, A. A.(1971) The role of snow cover conditions in the Life of ungulates in the USSR, Ottawa: Translation Services, Canada Institute for S.T.I.
24. North, M. P., and J. H. Reynold(1996) Microhabitat analysis using radio telemetry locations and polytomous logistic regression, *J. Wildlife Management* 60(3): 639-653.
25. Ostle, B.(1963) Statistics in research, Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa.
26. Rabinowitz A.(1999) Notes on the rare red goral(*Naemorhedus baileyi*) of north Myanmar, *MAMMALIA* 63(1): 119-123.
27. Rattanawat, C., L. Weerayuth, K. Utis, and N. Jarujin(1999) Ecology of the goral (*Naemorhedus goral*) in Om Koi Wildlife Sanctuary, Thailand, *Natural History Bulletin of the Siam Society*, Winter 47(2): 191-205.
28. Roy, P. S., S. A. Ravan, N. Rajadnya, K. K. Das, A. Jain, and S. Singh(1995) Habitat suitability analysis of *Nemorhaedus goral*. A remote sensing and geographic information system approach, *Journal: Current Science* 69: 685-691.
29. Sathyakumar, S., S. N. Prasad, G. S. Rawat, and A. J. T. Johnsingh(1997) Habitat use by Goral and Himalayan Tahr in Kedarnath Wildlife Sanctuary, Western Himalaya, pp. 43-44. Abstract Volume, 2nd World Conf. Mt. Ungulates (1998), pp. 131.
30. Schaller, G. B.(1977) Mountain monarchs, Univ. Chicago Press, Chicago.
31. Smith, P. N.(1992) Fuzzy evaluation of land-use and transportation options, *Environment and Planning B*, 19, pp. 525-544.
32. Store, R., and J. Kangas(2001) Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling, *Landscape and Planning* 55: 79-93.
33. U. S. Fish, and Wildlife Service.(1980) Habitat Evaluation Procedures(HEP), Ecological Services Manual 102, U.S. Department of Interior, Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services, Government Printing Office, Washington, D.C.
34. U. S. Fish, and Wildlife Service.(1981) Standards for the development of habitat suitability index models for use in the Habitat Evaluation Procedures, USDI Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services, ESM 103.
35. Wang, F., G. B. Hall, and Subaryono(1990) Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application, *International Journal of Geographical Information Systems*, 4, pp. 261-283.
36. Xiang, W-N., M. Gross, J. G. Fabos, and E. B. MacDougall (1992) A fuzzy group multicriteria decision making model and its application to land-use planning, *Environment and Planning B*, 19, pp. 61-84.
37. Zhang, C.(1987) *Nemorhaedus cranbrookii* Hayman, pp. 213-223, in *The biology and management of Capricornis and related mountain antelopes* (H. Soma, ed.) Groom Helm, London, pp. 391.

원 고 접 수 : 2004년 7월 9일

최종수정본 접수 : 2004년 9월 4일

3인의명 심사필