

지식기반분석기법을 이용한 설악산 국립공원의 산양 서식지 적합성 평가

최태영*·박종화**·서창완***

*서울대 환경대학원 조경학과 · **서울대 환경대학원 · ***SK CNC

I. 서론

산양은 소목(目) 소과(科)의 양아과(啮科)에 속하며, 파키스탄의 산악지대에서부터 중국 동부와 러시아의 연해주에 걸쳐 3종이 분포한다(Shackleton, 1997). 우리나라의 산양(*Nemorhaedus caudatus*)은 과거 그 개체수가 풍부하였으나 1960년대 폭설과 계속적인 밀렵 및 개발에 의한 서식지 축소로 인하여 멸종위기종 및 천연기념물로 분류되어있다.

우리나라의 경우 멸종위기종과 보호종 및 서식지 보전을 위해서 연구 및 보전구역의 관리가 체계적으로 이루어져야 하나, 천연기념물이나 국립공원, 자연보호구역 등의 관리실태를 보면 그 지정 및 관리가 생태학적인 요소가 제외되어 그 역할을 제대로 수행하기 못하고 있다.

야생동물의 서식 유형은 은신처, 물리적 환경의 배치 그리고 토지이용과 관련되어있다. 이러한 요소들을 공간적으로 효율성 있게 분석하는 GIS(Geographic Information System)에 기반 한 서식지 적합성 분석은 해당 종들을 보호하기 위한 필수로서 간주되어진다(Roy, 1995)

본 연구는 우리나라의 대표적인 산양 서식지인 설악산 국립공원을 대상으로 하여 GIS와 Remote Sensing을 기반으로 지식기반분석(Knowledge based analysis)기법을 이용해 산양의 서식지 이용 특성을 알아보고 서식지 적합성 평가를 하며, 국립공원의 탐방로가 산양의 서식지 이용에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

II. 연구사

서식지 적합성 분석 및 평가도를 작성하는 과정은 매우 다양하며 결과 역시 다양하다. 하지만 다양한 과정

의 선택에서 중요한 것은 가장 합리적인 생물학적 자료와 대상지에 대한 지식이 바탕이 되어야 하는 것이다(Gerrard *et al.*, 2001)

이를 위해 선진국에서는 서식지 적합성 평가를 함에 있어 GIS 전문가들이 현장 생태학자들의 다양한 연구결과와 조건을 이용하는 지식기반분석기법이 시도되고 있다.

Gerrard(2001)등은 kit fox(*Vulpes macrotis mutica*)의 서식지 적합성 평가를 하기 위해 기존의 생태학자들의 연구결과를 이용해 서식지 환경인자를 분류하고 해당 인자들의 도면을 작성한 뒤 각각의 셀(cell)에 내부

표 1. 산양의 서식환경 인자와 지역 분포

분류	내용	분포
노출된 암반	필수	인도a, 태국b, 러시아c
경사	>30°	인도d, e, 태국f, 러시아g
향	남, 남동	러시아h, j
	동, 남동	인도k
표고	800-1200m	파키스탄
	1700-3100	인도m
	2000-4500m	중국남부n
	0-1000m	러시아o
계곡/능선	능선	파키스탄p
식생	열린초지와 숲	파키스탄q, 인도r, 러시아s
	소나무숲과 하부초지(grass)	파키스탄, 네팔u
	혼효림(소나무와 참나무)	인도v
인간	목축(소, 염소)	파키스탄w, 인도x
	밀렵	러시아y, 미얀maz

법례: a: Anwar(1989); b: Rattanawat(1999); c: Myslenkov(1989); d: Mishra(1996); e: Roy(1995); f: Lovari(1993); g: Myslenkov(1989); i: Nasimovich(1955); j: Myslenkov(1989); k: Sathyakumar(1997); l: Anwar(1989); m: Sathyakumar(1997); n: Zhang(1987); o: Nasimovich(1955); p: Anwar(1989); q: Anwar(1989); r: Mishra(1996); s: Myslenkov(1989); t: Anwar(1989); u: Schaller(1977); v: Sathyakumar(1997); w: Anwar(1989); x: Rattanawat(1999); y: Myslenkov(1989); z: Rabinowitz(1999)

값(intrinsic value)을 부여한 분포도(intrinsic habitat value map)들을 중첩하였다.

산양의 서식지 선택에 영향을 미치는 인자들은 여러 학자들에 의해 연구되어지고 있다(표 1 참조).

이를 바탕으로 볼 때 산양의 서식지 인자 중 노출암 반과 경사를 제외한 나머지 인자들은 서식하고 있는 각 지역의 환경에 맞게 적응하고 있음을 알 수 있다.

III. 연구방법

1. 자료수집

문헌에 의해 조사된 서식지 인자들의 설악산에 대한 적용 가능성 여부를 확인하기 위해 설악산의 산양 배설물, 발자국, 털, 영역표시 등의 서식흔적 위치를 GPS를 이용하여 수집하였다.

조사시기는 2000년 12월부터 2002년 1월까지였으며 조사횟수는 31차례 실시하였다.

조사기간 동안 총 179개의 산양 서식 위치에 대한 GPS 자료를 수집하였으며 이를 이용하여 서식위치에 대한 서식지 인자들을 분석하였다.

2. 자료분류 및 분석

1) 자연적 환경요인

(1) 지형

표고, 경사, 향, 계곡/능선, 암반분포의 분석을 위하여 1/25,000 지형도로부터 등고선을 추출하고 DEM(Digital Elevation Model)을 생성하였다.

GPS오차와 식생분석을 위한 위성영상의 해상도가 30m인 점을 감안하여 기본 분석단위를 30m 셀로 하였다.

표고는 설악산의 다양한 해발고도(10-1,709m)와 고도별 면적 분포를 고려해 낮은지역(500m이하), 중간지역(500-1,000m), 높은지역(1,000m이상)의 3단계로 분류하였다.

경사는 외국의 산양 분포지역이 경사 30°이상으로 연구된 점(Mishra, 1996; Roy, 1995; Lovari, 1993; Myslenkov, 1989)을 고려해 부적합지역(30°미만)과 적합지역(30°이상)의 2단계로 분류하였으며, 향은 남, 남서, 남동 등의 8방위로 나누어 분류하였다.

지형의 형태에 따라 계곡과 능선을 구분하였으며, 분석내용은 먼저 지형의 굴곡정도가 DEM 자료에서 3×3 원도우를 이용하여 4차방정식의 셀단위로 계산된다. 양의 값은 볼록지형, 음의 값은 오목지형, 0은 평탄지를 나타낸다. 분석된 결과는 3×3 원도우의 필터링과정을 거쳐 계곡과 능선부분을 분류하게 된다.

암반분포는 경사 50도 이상 지역을 암반으로 가정(Roy, 1995)하였으나, 대형 암반 주변에 분포하고 있는 30m이하의 소규모 암반들이 암반으로 분류되지 않지 않았다. 이와 유사한 문제점들을 보완하기 위해 Gerrard 등(2001)은 대상종의 행동반경을 고려해 인접 셀들을 분석 대상으로 포함하였다. 본 연구에서는 산양이 주요 암반으로부터 100m이내의 나무에 뿔을 이용한 영역표시를 하는 현장조사 결과(n=20)를 바탕으로 분류된 암반에서 100m까지의 거리를 암반지대로 분류하였다.

(2) 식생

현장 조사결과 산양의 주요서식지가 활엽수림에 산재된 소규모 소나무림으로 나타났으며 이는 기존 임상도에서 표현하고 있지 않으므로 1987년 4월27일에 촬영된 해상도 30m의 LandsatTM 위성영상을 감독분류(supervised analysis)하여 침엽수림과 활엽수림지대를 분류한 뒤 필터링 작업을 통해 활엽수림지대에 산재되어있는 소규모 침엽수림만을 재분류하여 이용하였다.

분류된 침엽수림 역시 암반분류와 마찬가지로 산양이 실제 이용하고 있는 30m이하의 소규모 소나무 숲을 분류하지 않고 있으므로 분류된 침엽수림에서 100m까지의 거리를 침엽수림 지대로 분류하였다.

2) 인위적 환경요인

(1) 탐방로

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

탐방로별 이용되는 정도에 따라 3개 등급으로 분류한 후 등급별 탐방로로부터 산양 흔적의 분포거리를 조사하였다. 조사한 결과를 바탕으로 이용강도가 높은 탐방로는 100m, 400m, 1,000m 이내의 거리에 따라 내부

값을 따로 부여하고, 중간은 탐방로는 100m와 400m, 낮은 강도의 탐방로는 100m 이내로 구분하여 이용강도가 높은 탐방로일수록 탐방로로부터 가까운 곳이 가장 낮은 내부값을 갖도록 하였다(표 5: 표 7 참조).

(2) 도로

설악산 국립공원을 양분하고 있는 한계령 도로를 중심으로 산양 흔적의 분포거리를 조사하였다.

조사결과 도로로부터 100m 밖에서부터 서식흔적이 꾸준히 발견되어 100m미만과 100m이상의 지역으로 분류하였다(표 5 참조).

3. 산양 서식지 적합성 평가

문헌조사와 현장조사를 바탕으로 작성된 산양의 서식환경 인자들인 표고, 향, 경사, 암반, 계곡/능선, 식생, 탐방로, 도로 레이어들의 각 셀에 내부값을 부여한 뒤 레이어들의 중첩에 의한 내부값의 합을 바탕으로 평가도를 작성하였다.

내부값은 각 현장조사 결과를 바탕으로 인자들의 긍정적 범위에 해당하는 셀에 1을 부여하였으며 나머지 범위의 셀에는 0을 부여하였다. 탐방로와 도로와 같이 부정적인 영향을 미치는 인자에는 현장 조사된 결과를 바탕으로 탐방로로부터의 거리에 따라 -1, -2, -3의 내부값을 부여하였다.

IV. 연구결과

1. 산양의 서식지 이용특성

설악산에서 산양은 신갈나무 등의 활엽수림에 산재되어있는 소규모 소나무림에 서식하고, 이곳의 관목은 진달래속, 지피는 사초 및 화본과가 우점하는 것으로 나타났으며(표 2 참조), 이는 일사량이 많은 지형적 특성과 함께 소나무 숲 아래 식생하는 사초 및 화본과가 먹이로 이용(Bromlei, 1956)되기 때문으로 고려된다.

표고는 500-1,000m사이에 주로 서식하며 1,000m이상의 고지대에서는 밀도가 낮게 분포하는 것으로 나타났다(표 3 참조).

향은 남동, 남, 동향을 선호하는 것으로 조사되었으며(표 4 참조), 이는 겨울철 눈이 빨리 녹는 곳을 선호하

기 때문이다(Nasimovich, 1955; Myslenkov, 1989).

암반의 분포는 설악산 국립공원의 약 23%인 108km이며, 이 구역에 95%(n=122)의 산양 흔적이 분포되어 암반의 분포가 산양의 서식에 매우 필수적인 요소임을 알 수 있었다. 또한 전체 공원면적 중 계곡이 48%, 능선이 52%를 차지하며 이중 능선에 70%(n=126)의 산양 흔적이 분포해 산양이 능선을 주로 선호하는 것으로 나타났다.

표 2. 산양 흔적 발견 장소의 식생

구분	우점종(우점된 장소의 수/백분율)
교목	소나무*(73/63), 신갈나무(20/17), 잣나무(6/5), 기타(18/15)
관목	진달래속(68/46), 싸리나무(37/25), 생강나무(11/7), 노간주나무(9/6), 기타(24/16)
지피	사초과 및 화본과(88/100)

* : 조사된 소나무가 분포하는 장소는 현재의 임상도에 활엽수림으로 분류되어 있으며, 이는 활엽수림에 산재하는 소규모 소나무 숲을 의미한다.

표 3. 산양 흔적의 고도별 분포

구분 (m)	발견된 산양 서식흔적 (흔적 수)	(%)	설악산 국립공원 면적 (km ²)	(%)
<500	2	1	76.9	21
500 - 1,000	164	92	211.7	57
>1,000	13	7	81.5	22

표 4. 산양 서식흔적의 향별 분포

구분	북	북동	동	남동	남	남서	서	북서
흔적 수	10	22	35	48	36	15	7	6
%	6	12	20	27	20	8	4	3

표 5. 산양 서식흔적의 탐방로 및 도로로부터 거리분포

구분	탐방로로부터 거리별 발견된 산양 서식 흔적 수					
	< 100m	100-200m	200-300m	300-400m	400-500m	500-1000m
탐방로 이용강도	1년 중 1일 최고 이용자 수					
높음	>5000명, 케이블카	0	0	0	0	5
중간	5000-1000명	0	2	1	3	7
낮음	<1000명	7	17	43	34	15
도로(한계령)	-	0	2	2	2	1

설악산 국립공원 탐방로의 이용강도에 따른 산양의 서식분포는 매우 심각한 영향을 받는 것으로 나타났다(표 5 참조). 특히, 단풍이 절정인 주말에 1일 5,000명 이상 이용하는 탐방로와 케이블카의 경우 주변 1km 이내에 산양의 서식 흔적이 극히 적었으며, 1,000-5,000명이 이용하는 탐방로의 경우 탐방로로부터 400m 이내에

서는 서식흔적의 분포가 매우 낮게 나타났다.

도로의 경우 100m 이상에서부터 흔적이 발견되었으나 1km 이내에 흔적의 총수가 적은 이유는 한계령 도로가 지나는 지역의 경사가 완만한 곳이 비교적 많기 때문이며, 자동차의 소음이나 외형에 의한 영향보다는 탐방객에 의한 직접적인 사람의 소리 및 외형에 더욱 민감한 것으로 생각된다.

2. 산양 서식지 적합성 평가

서식지 이용특성의 분석을 바탕으로 산양의 서식지 적합성 평가를 위해 서식인자와 각 인자별 영향을 미치는 범위에 따라 부여될 셀의 값을 결정하였다(표 6: 표 7 참조).

표 6. 산양 서식지 인자별 내부값

구분	범위(내부값)
암반	분포지역(1), 미 분포지역(0)
표고(m)	500-1000(1), <500(0), >1000(0)
경사(°)	>30(1), <30(0)
향	남동·남·동(1), 기타(0)
계곡/능선	능선(1), 계곡(0)
식생	산재된 소나무림(1), 기타(0)

표 7. 탐방로별 이용강도에 따른 내부값

탐방로 이용강도	탐방로 부터의 거리별 내부값		
	<100m	100-400m	400-1000m
높음	-3	-2	-1
중간	-2	-1	0
낮음	-1	0	0
도로(한계령)	-1	0	0

작성된 서식지 적합성 평가도의 각 등급별 면적과 해당 등급에 분포된 산양의 흔적 수를 고려해 평가도를 5등급으로 재분류하였다(표 8: 표 9 참조).

탐방객의 영향을 제외한 평가도와 포함한 평가도 모두 "보통"이상의 면적을 30% 이하로 분류하고 있으며, 이 구역안에 각각 75% 이상의 산양 서식흔적(GPS points)이 집중되고 있는 것으로 나타나 평가도의 정확성은 높게 나타났다. 또한, 두 평가도의 등급별 면적과 서식흔적의 비율을 고려해 볼 때 탐방로 영향을 고려한 평가도가 더욱 높은 정확도를 보이고 있어 현재의 설악산 국립공원 상황을 더 현실적으로 나타내고 있음을 알 수 있다(표 8: 표 9 참조).

탐방객의 영향을 고려하지 않은 자연상태의 평가도 경우 산양이 서식 가능하다고 볼 수 있는 "보통"이상의 면적이 30%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 서식조건이 매우 까다로운 동물인 산양에게 설악산 국립공원이 매우 양질의 서식공간임을 보여준다. 그러나, 탐방로의 영향을 고려한 평가도의 경우 "보통"이상의 면적이 24%로 줄어들며, "적합"이상의 양질의 서식지일수록 위축정도가 더욱 심한 것으로 나타났다. 집단시설지구, 사찰, 대피소, 마을, 밀렵 등의 인위적 요소가 제외된 상태임을 고려할 때 실제 서식지의 위축은 더욱 심각한 상황에 놓인 것으로 보여진다.

표 8. 탐방객의 영향을 제외한 평가도 분석결과

구분	평점 (셀값)	등급별 면적		발견된 산양 서식 흔적	
		km ²	%	흔적수	%
매우적합	6	7	2	29	16
적합	5	32.6	9	64	36
보통	4	70.9	19	46	26
부적합	3	93	24	22	12
	2	90.9	25	16	9
매우부적합	1	57.2	16	2	1
	0	16.7	5	0	0

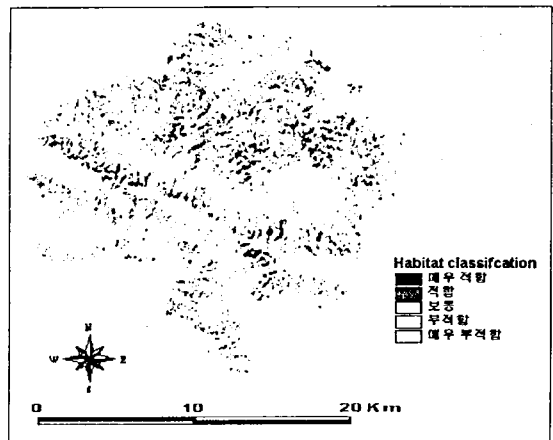


그림 1. 탐방객의 영향을 제외한 평가도

표 9. 탐방객의 영향을 포함한 평가도 분석결과

구분	평점 (셀값)	등급별 면적		발견된 산양 서식 흔적	
		km ²	%	흔적수	%
매우적합	6	4.5	1	26	15
적합	5	24	7	62	34
보통	4	58.5	16	47	26
부적합	3	85.3	23	23	13
	2	88.6	23	17	9
매우부적합	1	64.5	18	3	2
	<0	42.9	12	1	1

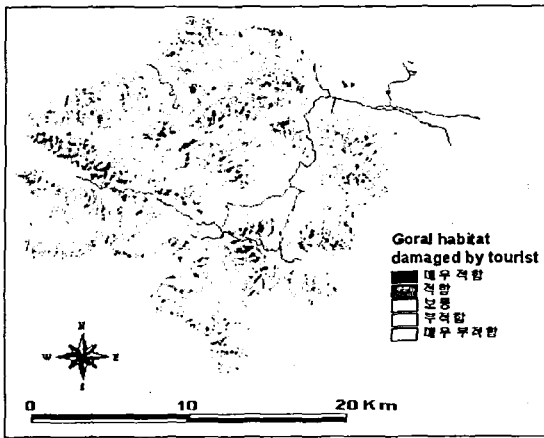


그림 2. 탐방객의 영향을 포함한 평가도

V. 결론

본 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 설악산 산양의 서식지 환경인자는 암반, 30°의 급경사, 남동·남·동향, 표고 500-1,000m, 능선, 활엽수림에 산재한 소나무숲으로 분석되었으며 둘째, 탐방객 영향의 유·무 두 평가도를 바탕으로 탐방객에 의한 산양서식지의 질적·양적 변화를 비교하였으며, 서식지의 질이 높을수록 훼손의 정도가 심각함을 증명하였다. 마지막으로, 설악산 산양의 서식지 적합성 평가의 결과는 탐방객의 영향을 고려한 현재상태의 경우 서식 가능한 면적이 24%로 분류되었으며 이 지역에 75%의 서식흔적이 집중되어 있는 것으로 검증되어 매우 높은 정확도를 나타내었다.

국립공원을 대상으로 한 멸종위기종의 서식지 적합성 평가도는 다양한 목적으로 사용되어 질 수 있다. 첫째, 현재의 탐방로 및 자연휴식년제 체계를 보완하거나 둘째, 공원 내 자연보존지구를 합리적으로 재구성하며 마지막으로, 외부로부터 해당종을 도입 방사하여 일부 지역을 복원하는 경우 생존 가능성이 높은 후보지를 선택할 수 있다.

서식지 모형을 기반으로 적합성 평가도를 작성하는 방법은 매우 다양하며, 해당 방법을 진행하는 과정에도 다양한 의사결정의 기회가 주어지고 그에 따른 결과 역시 다양하다. 이번 연구에서 이용된 지식기반분석기법(Knowledge based analysis or expert system)은 기존 생태학자들의 다양한 연구결과와 현장조사를 통해 얻어

진 해당 종의 서식지 이용에 관한 정보를 효율적으로 활용할 수 있는 장점이 있는 반면 각각의 환경인자에 대해 내부값(intrinsic value)을 부여함에 있어 기존연구자나 조사자의 주관에 의존하게 되는 단점이 있다. 그러나 금번 연구와 같이 지식기반분석기법에 의해 적합성이 검증된 서식 환경 인자 및 인자의 범위를 로지스틱 회귀분석(logistic regression) 등에 활용할 경우 보다 합리적인 모형개발이 가능하게 될 것이다.

인용문헌

1. 서창완(2000) GIS와 로지스틱 회귀분석을 이용한 멧돼지 서식지 모형 개발. 서울대학교 대학원 박사논문.
2. Anwar M.(1989) Development of a management plan for Grey Goral: Lessons from blackbuck and cheer pheasant reintroduction attempts (pheasant, endangered species). Ph. d. Dissertation, Utah State University, Utah.
3. Bromlei, G. F.(1956) Goral(*Nemorhaedus caudatus raddeanus* Heude, 1894). Zool. Zhurnal 35: 1395-1405.
4. Gerrard R. P. Stine, R. Church and M. Gilpin(2001) Habitat evaluation using GIS: A case study applied to the San Joaquin Kit Fox. Landscape and Urban Planning 52: 239-255.
5. Groves, C. P. and P. Grubb(1985) Reclassification of the Serows and Gorals. In S. Lovari ed., The biology and management of mountain ungulates. London: Croom Helm, p. 49.
6. Khokhriakov S. and P. Vrsansky(2000) Ecology of *Nemorhaedus caudatus* in the Lazovski Reserve. AMBA projects publication no. B/21.00.2/ABG: UNESCO.
7. Lovari S. and M. Apollonio(1993) Notes on the ecology of gorals in two areas of Southern Asia. *Revolutionary Ecology*, 48: 365-374.
8. Mishra C., and A. J. T. Johnsingh(1996) On habitat selection by the Goral *Nemorhaedus Goral Bedfordi* (Bovidae, Artiodactyla). *Journal of zoology*, 240: 573-580.
9. Myslenkov A. I. and Voloshina I. V.(1989) Ecology and behaviour of the Amur goral. Moscow: Nauka.
10. Nasimovich A. A.(1955) The role of snow cover conditions in the life of ungulates in the USSR. Moscow: Akad. Nauk SSSR. Transl. Canadian Wild. Serv., Ottawa.
11. Rabinowitz A.(1999) Notes on the rare red goral (*Naemorhedus baileyi*) of north Myanmar. *Mammalia* 63(1): 119-123.
12. 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*, 47(2): 191-205.
13. 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. *Current Science* 69(N8): 685-691.
14. 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. Abstract.

- volume of the 2nd World Conference on Mountain Ungulates, Italy: Organizing Committee, pp. 43-44.
15. Schaller G. B.(1977) Mountain monarchs: wild sheep and goats of the Himalaya, Chicago: The University of Chicago Press.
 16. Shackleton D. M.(1997) Wild Sheep and Goats and their Relatives : Status Survey and Conservation Action Plan for Caprinae. IUCN/SSC Caprinae Specialist Group.
 17. Zhang C.(1987) *Nemorhaedus cranbrooki* Hayman. In H. Soma ed., The biology and management of *Capricornis* and related mountain antelopes. London: Croom Helm, pp. 213-223.