

강혜순 교수지도
석사학위청구논문

제주 생물권보전지역 내
한라산국립공원의 경관분석
- 핵심지역의 단편화 -

2007

성신여자대학교 대학원

생물학과

김현정

강혜순 교수지도
석사학위청구논문

제주 생물권보전지역 내
한라산국립공원의 경관분석
- 핵심지역의 단편화 -

2007

성신여자대학교 대학원

생물학과

김현정

제주 생물권보전지역 내
한라산국립공원의 경관분석
- 핵심지역의 단편화 -

강혜순 교수지도

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2007년 5월

성신여자대학교 대학원

논문개요

생물권보전지역의 핵심지역 또는 공원의 보전지역은 최소한의 인간 간섭으로, 최대의 보전을 이루고자 하는 지역이지만 실제 생태계에서는 종종 인간 활동, 특히 도로의 효과가 빈번하다. 한반도(목포)에서 149 km 떨어진 제주도(면적 1848.2 km², 경도 126° 08' 43" ~ 126° 58' 20", 위도 33° 11' 27" ~ 33° 33' 50")의 중심부는 생물권보전지역의 핵심지역이며 한라산국립공원으로 지정되어 있다. 이 공원(153.4 km²)은 복성화산(polygenetic volcano)인 한라산(해발고도 1,950 m)과 그 주변의 많은 기생화산(parasitic volcano) 등 특이한 지형으로 인해 종다양성이 매우 높은 생태계이다. 현재 제주도는 기후변화, 관광객의 증가와 이에 따른 도로 증가로 인해 종 보전지역의 역할이 우려되는 상태이나 한라산국립공원의 서식지 상태에 대한 연구는 매우 미약하다. 따라서 본 연구에서는 GIS시스템을 활용하여 한라산국립공원에서의 도로로 인한 서식지 단편화를 공원의 지구설정 (자연환경지구와 자연보존지구)에 관련하여 분석하였다. 한라산국립공원은 포장도로와 법정탐방로로 인해 총 10개 조각으로 나누어져 있다. 포장도로, 법정탐방로에 각각 112 m, 60 m 버퍼를 적용시킨 결과 각 조각의 면적은 평균 14.2 km² (범위: 0.002 km² - 38 km²)로 공원면적의 약 7.3%가 가장자리로 판정되었고 이런 서식지 감소는 자연환경지구와 보전지구 간에 차이가 없었다. 5개의 법정탐방로와 많은 비법정 탐방로가 모두 분화구까지 연결되어 있어 고도 1,900 m 이상에서 서식지 면적은 95%나 감소했다. 고도가 높아짐에 따라, 활엽수림, 침엽수림, 초지로 식생이 전환되기 때문에 서식지 감소는 초지에서 가장 현저하였다. 자연보존지구 내 29개의 기생화산 중 17개(59%)가 도로에서 500 m 이내 거리에 위치하여 기생화산의 생태계 보전에도 위협을 가하고 있다. 결국, 한라산국립공원은

생물권보전지역의 핵심지역임에도 불구하고 많은 길로 인해 서식지 단편화에 처하고 있으며, 이 지역 생태계를 보전하기 위해서는 기생화산과 분화구를 중심으로 한 자연보존지구의 재설정과 도로에 대한 엄격한 관리가 필요하다고 사료된다.

목 차

논문개요

표목록 (List of Table)

그림목록 (List of Figure)

I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	6
III. 결 과	
1. 한라산국립공원 경계 내 포장도로와 탐방로에 의한 단편화 양상	14
2. 고도, 경사도 분석과 단편화 면적	15
3. 토지피복도 분류와 단편화에 따른 자연식생의 면적의 감소	16
4. 한라산국립공원의 용도지구 내 오름의 분포	17
IV. 고 찰	
1. 도로에 의한 단편화	52
2. 단편화가 식생에 미치는 영향	56
3. 도로와 오름의 분포	58
4. 제 언	60

참고문헌

ABSTRACT

표목록 (List of Table)

Table 1. 한라산국립공원 내 각종 도로에 다양한 버퍼를 적용한 후 나타난 단편화의 양상 -----	19
Table 2. 한라산국립공원 내 내부조각 크기 등급에 따른 조각의 비율과 갯수 -----	20
Table 3. 한라산국립공원 내 포장도로 112 m 버퍼와 법정탐방로 60 m 버퍼 적용 후 도출한 10 조각의 크기와 형태 -----	21
Table 4. 한라산국립공원 내 해발고도에 따른 공원면적과 버퍼적용 후의 조각면적 -----	22
Table 5. 한라산국립공원 내 공원전체와 단편화된 공원의 경사도 비교 -----	23
Table 6. 한라산국립공원 내 경사도에 따른 공원면적과 조각면적 -----	24
Table 7. 한라산국립공원의 토지피복도에 따른 공원면적과 조각면적 -----	25

그림목록 (List of Figure)

Figure 1. 유네스코에 의해 설정된 제주 생물권보전지역(MAB)의 용도구분과 제주도의 도로망 -----	26
Figure 2. MAB 핵심지역인 한라산국립공원 내 포장도로와 탐방로의 분포 -	28
Figure 3. 한라산국립공원 경계 내 LSI(경관형태지수)에 따른 조각의 분포양상-----	30
Figure 4. 한라산국립공원 내 포장도로(버퍼 112 m) 법정·비법정 탐방로 (버퍼60 m)로 인해 발생한 서식지 단편화 -----	32
Figure 5. 한라산국립공원 내 포장도로(버퍼 112 m)와 법정탐방로 (버퍼 60 m)로 인해 발생한 서식지 단편화 -----	34
Figure 6. 한라산국립공원 내 포장도로와 법정탐방로에 버퍼 적용 후 (각기 112 m 와 60 m) 발생한 서식지 조각과 오름의 분포-----	36
Figure 7. 한라산국립공원 내 포장도로와 법정탐방로에 버퍼 적용 후 (각기 112 m 와 60 m) 100 m 고도구간으로 구분한 고도분포도 -	38
Figure 8. 한라산국립공원 내 다양한 격자크기를 적용하여 7° 경사구간으로 구분한 경사분포도 -----	40
Figure 9. 한라산국립공원 내 중분류 토지피복도 --	42
Figure 10. 한라산국립공원 내 자연초지의 분포 -----	44
Figure 11. 한라산국립공원 내 포장도로, 법정·비법정 탐방로와 오름의 분포 -----	46
Figure 12. 한라산국립공원 내 500 m 버퍼를 적용한 오름 지역 -----	48
Figure 13. 한라산국립공원 내 포장도로 및 법정탐방로와 오름의 버퍼지역의 중복율 -----	50

I. 서론

인간과 생물권 계획(MAB: Man and the Biosphere)은 동·식물, 대기, 해안의 자연과 인간을 포함한 전체 생물권에 인간이 미치는 영향에 대해 연구하고 전 세계가 함께 더 이상의 생물권 파괴를 막기 위한 것으로 1971년 유네스코 총회를 통해 공식적으로 설립되었다. MAB 사업의 일환인 생물권보전지역은 1976년에 개최된 국제 생물권보전지역 총회에서 57개 지역이 처음으로 지정되었으며 2006년 12월 507개 지역이 지정되었다(www.unesco.or.kr). 생물권보전지역은 핵심지역(Conservation area), 완충지역(Buffer zone), 전이지역(Transition area)의 용도가 다른 세 지역으로 구분된다. 가장 중요한 보전지역인 핵심지역은 경관, 생물다양성, 자연생태계의 보전을 철저히 하기 위해 생태계의 조사연구 및 교육처럼 영향이 적은 이용을 제외한 인위적 간섭을 통제해야 하는 지역이다(www.unesco.or.kr). 완충지역은 핵심지역의 보전을 도우며 생태적으로 건전한 활동을 하도록 하며, 전이지역은 농업 또는 주거지로 가능하며 지역자원을 발전시켜가는 것을 목적으로 한다.

한반도에 위치하는 생물권보전지역으로는 1982년에 설악산(389 km²), 1989년에 백두산(1,320 km²), 2002년에 제주특별자치도(830 km²), 그리고 2005년에 구월산(527 km²)이 승인되었다. 남한에서 가장 넓은 면적인 제주 생물권보전지역은 핵심지역(151 km²), 완충지역(146 km²), 전이지역(533 km²)의 세 지역으로 구분되며 핵심지역은 총 면적의 18%에 불과하다. 핵심지역에 속하는 한라산국립공원(153.4 km²)은 우리나라 국립공원의 용도구분에 따라 다시 자연보존지구(51%)와 자연환경지구(49%)로 구분하고 있으며 자연마을지구, 밀집마을지구, 집단시설지구가 없다. 자연보존지구는 생물다양성이 풍부하고 자연생태계가

원시성을 지니고 있으며 특별히 보호할 가치가 높은 야생 동·식물이 살고 있고 경관이 아름다운 지역이다. 자연환경지구는 자연보존지구의 완충 공간으로 보전할 필요가 있는 장소로 명시하고 있다(환경백서, 2002). 또한 국립공원 내 자연보존지구와 생물권보전지역 내 핵심지역은 인위적 간섭을 최소화하기 위한 보전지역으로서 그 용도 정의가 유사하다.

식생이외에도 오름, 꽃자왈, 습지, 하천은 제주 생물권보전지역의 대표적인 생태자원이며 보전해야 할 자원이다. 우리나라에서 유일하게 아열대 기후를 나타내는 제주도의 식생대는 저지대의 난대성 식물에서 고지대의 한대성 식물과 고산식물까지 고도에 따라 수직적 분포가 뚜렷하다(김문홍, 1993). 한라산 자생식물은 약 1,800 종으로 우리나라 국립공원 중에서 가장 많은 종을 보유하고 있다. 한라산에서만 자라는 특산식물은 75 종 이상으로 추측되며 구상나무(해발 1,000 m 이상), 한라돌창포(해발 1,500 m 이상), 한라부추(해발 1,000 m 이상) 등이 있다(제주도 등, 1999). 희귀식물로는 환경부 지정 멸종위기식물인 돌매화나무(해발 1,800 m 이상)를 비롯하여 시로미(해발 1,700 m 이상), 눈향나무(해발 1,000 m -1,500 m) 등 28종이 있다(공우석, 2002). 백록담 일대에 분포하는 고산식물 59종 중 특산식물이 22종, 희귀식물이 17종으로 고산식물의 대부분이 희귀 및 특산식물로 나타났다(고정균, 1999). 포유류로서는 제주등줄쥐와 노루가 우점종이고 붉은박쥐는 멸종위기종이다(제주발전연구원, 2003). 제주족제비, 제주땃쥐, 제주멧밭쥐 등은 제주도 고유종이다. 곤충은 오랫동안 한반도와 격리되어 있어서 모주둥이노린재, 제주양코스딱정벌레, 제주풍뎅이, 제주은주둥이벌, 참뒤영벌 등과 같은 특산종이 있다(nature.jeju.go.kr). 제주도는 세계에서 가장 큰 오름(기생화산체) 군락지이며 제주도 전역에 368개, 제주 생물권보전지역 내 260개, 한라산국립공원 내 46개가 분포하고 있다(nature.jeju.go.kr). 화산의 형성시기가 비교적 최근의 것으로 원지형을 잘 보존하고 있어 지형, 지질적인 연구 가치와 경관적, 생태 관광적 가치 등의

다양한 보전 가치를 갖는다(제주도 등, 2000). 또한 오름은 초지, 자연림, 인공림, 습지 등으로 구성되어 있으며 분포하는 표고가 달라 식물, 생태적 가치가 높다. 이 중 분화구가 습지를 이루는 오름인 산정화구호는 한라산에 분포한 물장울, 어승생악, 동수악, 사라오름을 포함하여 제주도 내 총 9개가 분포한다(제주도, 2005). 산정화구호에는 다양한 습지식물이 분포하고 물이 풍부하여 다양한 동식물이 서식하는 생태계의 연결고리가 된다. 습지가 파괴되면 식물종과 그 식물에 의존한 곤충이 멸종위기에 처하게 되며, 수질정화와 기후조절 기능을 갖고 있어 보호가치가 높은 지역이다. 제주도의 하천은 지표를 구성하고 있는 화산암류와 화산쇄설물의 높은 투수력으로 인해 지하수 함양능력이 좋은 반면, 강을 이루기 어려워 대부분이 건천에 속한다(www.hallasan.go.kr). 한라산 고지대의 용천수는 방아샘(해발 1,862 m) 등이 있고 고도별로 600 m - 1,000 m에 8개소, 1,000 m - 1,500 m에 6개소, 1,500 m 이상에 7개소로 총 21개소가 분포한다(제주발전연구원, 2003).

특이한 경관과 다양한 생태자원 등으로 제주도를 찾는 생태관광객은 과거 40년 동안 20배의 성장률을 보이고 있다. 관광객의 증가는 도로건설을 유도하여 제주도 도로 보급율은 우리나라 기준치를 1로 볼 때, 2.24배로 매우 높다(건설교통부, 2004). 이러한 도로건설과 관광객 급증으로 제주 생태계의 훼손이 심화되고 있다. MAB 핵심지역 내에도 포장도로와 많은 탐방로가 존재하고 있어 생물권보전지역 중 핵심지역의 의미와 부합하지 않고 있다(제주도 등, 2000). 한라산 정상과 백록담을 포함한 고산지대의 식생과피면적도 약 19만 m²를 차지하고(김찬수, 2000) 탐방로 주변의 훼손지도 1993년에 비해 2000년에는 15.7%가 증가하였다 (제주도, 2005). 특히, 영실 코스와 어리목 코스에 등산객이 편중되어 이 두 곳의 등산로 주변식생과 토양침식이 심각한 상태이다(오순자 등, 2000). 무분별한 다양한 길에 의해 한라산 생태계 훼손이 일어나고 있다는 연구들은 국립공원 내 길의 영향에

대한 연구가 절박함을 보여주고 있다. 제주 특산식물의 주 분포지가 해발 1,400 m 이상의 고지대이고 정상부근에 많은 종이 밀집(김문홍, 1993)되어 있는데 고정군(1999)은 한라산의 고산식물은 극히 한정된 환경에서 자라고 생육지가 좁아 작은 환경 변화나 생태계 교란에 의해 쉽게 절멸할 가능성이 높다고 하였다. 이에 고산지대의 탐방로에 의한 영향이 클 것으로 사료된다.

산림에서의 도로 건설은 큰 서식지를 작은 서식지로 분할시켜 서식지 소멸 또는 서식지 고립을 유도하는 생태계 훼손의 가장 큰 원인이다. 분할된 서식지들은 가장자리 효과(Edge effects)를 발생시켜 내부면적을 감소시킨다(Miller et al., 1996; Reed et al., 1996; 김진수 등, 2000). 이로 인해 안정된 서식지를 요구하는 고유의 동·식물이 감소하게 되므로 종 구성이 변한다(Wilcove et al., 1986; Saunder et al., 1991; Andren, 1994; Collinge, 1996). 실제로 Forman과 Deblinger(1999)는 습지, 하계망, 외래식물, 사슴, 숲의 새와 초지의 새 등 9가지 요소에 관하여 도로영향권(Road-effect zone)을 분석하고 도로 주변부의 거리에 따른 새의 밀도 연구에서 대부분의 민감한 종의 새는 도로로부터 930 m에 이르는 주변부까지 새의 밀도가 감소하는 것을 밝혀냈다. 미국 록키산맥의 서식지 단편화 영향에 대한 분석에 의하면 가장자리 효과로 인해 도로 건설이 실제 건설면적에 비해 산림에 미치는 영향이 훨씬 크게 나타났다(Reed et al., 1996). 즉 도로 건설과 개발에 의해 분할된 조각의 가장자리 효과로 50 m, 100 m의 버퍼를 적용 했을 때, 도로 건설에 의한 가장자리 면적이 개발에 의한 것보다 각각 1.54배, 1.98배였다. 이와 같이 우리나라에서도 도로가 야생동물에 미치는 부정적인 영향이 연구된 바 있다. 지리산국립공원에서 도로밀도가 높을수록 멸종위기종인 반달곰의 출현빈도가 낮아지며 결국 도로, 탐방로 및 탐방객의 간섭이 곰의 행동권에 큰 영향을 준다는 것이 밝혀졌다(백경진 등, 2005). 이에 따라 한라산국립공원에서 도로, 탐방로 등과 같은 인위적인 토지이용에 의한 단편화가 생태계에 미치는 영향이 있을

것으로 예상된다.

본 연구에서는, GIS를 사용한 백경진 등(2005)과 강혜순 등(2005)의 단편화 분석을 기초로 하여 도로에 의한 단편화 양상을 분석하고, 단편화 양상과 식생 및 오름 분포와의 관계를 분석하였다. 특히, 다음과 같은 의문에 대해 분석을 수행하였다. 1) 한라산 내 도로에 의한 단편화 양상; 2) 한라산 내 고도, 경사도 및 토지피복도의 분포와 단편화의 관계; 3) 도로의 분포와 식생 및 오름의 분포를 고려한 한라산 용도지구의 적절성을 평가한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

2005년 12월 현재, 총 20개의 국립공원이 지정되어 있으며 총 넓이는 6,580 km²로 전 국토의 6.6%에 해당한다(환경백서, 2006). 이 중 한라산은 총 20개의 공원 면적 중 13번째로써 비교적 면적이 작으나 해발고도 1,950 m로 남한에서는 가장 높은 산이다. 백록담을 중심으로 동서와 남북의 길이는 각각 14.4 km²와 9.8 km²이다. 한라산국립공원은 지리적으로 한반도 남단 제주도 중앙인 북위 33° 19' 10" - 33° 25' 35", 동경 126°27' 50" - 126° 37' 55" 에 위치하며 총 면적은 약 153.4 km²에 이른다(www.hallasan.go.kr). 제주도는 신생대 제 4기 동안의 연속된 화산활동에 의해 형성된 화산도로서 순상화산(shield volcano)의 지형특성을 보이며 한라산 중앙부에 백록담 분화구가 있다. 제주도는 송이(scoria)로 구성된 소규모의 화산체인 오름(기생화산체)이 독특한 경관을 보여주고 있으며 세계에서 가장 큰 오름 군락지를 형성하고 있다(nature.jeju.go.kr). 제주도에 분포하는 오름은 총 368개로 제주시 59개, 서귀포시 37개, 북제주군 151개, 남제주군 121개가 분포하고 있다(제주도, 2000). 핵심지역 내 오름은 해발 1,000 m - 1,500 m에 주로 분포(42%)하고 총 면적은 약 14.7 km²로 공원의 9.7%를 차지한다(제주발전연구원, 2003; 강정효, 2003). 오름의 형태는 말굽형 174(47.3%), 원추형 102개(27.7%), 원형 53개(14.4%), 복합형 39개(10.6%)의 4 가지로 분류된다. 제주도개발특별법에 의해 한라산, 기생화산, 계곡, 하천, 호수, 폭포, 용암동굴 등 자연경관이 뛰어나고 생태적으로 중요한 지역을 절대보전지역으로 설정하고 있으며 한라산 내 총 46개 오름도 모두 절대보전지역으로 설정되어 있다(제주도, 2000). 그 외에

상대보전지역과 중산간보전지역으로 구분하여 주요 생태자원을 관리하고 있다.

한라산 내 자생하는 특산식물의 주 분포지는 해발고도 1,400 m 이상의 고지대이며 정상부근에 종이 밀집되어 있다(한라산연구소, 2006). 특산식물 중 구상나무는 해발고도 1,000 m에서부터 발견되나 주로 1,400 m 이상의 아고산대에 분포하는 우리나라 고유종이며 한라산 구상나무림은 세계 유일의 최대 규모로 알려져 있다. 한라부추는 해발고도 1,000 m 이상에 분포하는 것으로 조사되었으나 주로 백록담 분화구 내에 분포하는 식물로 비교적 습한 지역에서 자라는 특성이 있다. 그 외의 특산식물로는 주로 초지에 분포하는 자주꿩의다리과 해발고도 1,400 m 이상의 양지바른 초지에 드물게 자라는 구름채꽃 등이 있다. 희귀식물로는 환경부가 멸종위기식물로 지정한 돌매화나무를 비롯하여 눈향나무, 시로미 등이 있다. 돌매화나무는 빙하시대 한라산에 분포하였던 식물이 현재까지 남아있는 것으로 암매라고 불리며 1,800 m에서부터 발견되나 실제로 극히 한정된 암벽에만 자란다. 해발고도 1,000 - 1,500 m 구간의 바람이 강한 바위나 초지에 자라는 대표적인 고산성 포복식물과 아고산지대인 1,700 m 이상에서만 자라는 대표적인 극지 고산식물이 있다.

제주 생물권보전지역은 핵심지역, 완충지역, 전이지역으로 구분되며 핵심지역에는 육상의 한라산국립공원과 영천·효돈천 천연보호구역, 해양의 설섬·문섬·범섬 천연보호구역과 서귀포 시립해양공원이 포함된다(Fig. 1). 완충지역은 핵심지역을 둘러싸며, 해발고도 600 m 에서 한라산국립공원의 경계까지와 영천·효돈천의 양변 500 m를 포함한다. 그 외, 해발고도 200 m 에서 600 m 까지는 전이지역에 속한다(www.unesco.org). 핵심지역 중 한라산은 1970년 자연공원법에 의해 국립공원(151.35 km²)으로 지정되고, 백록담을 중심으로 자연보존지구(77.836 km², 50.7%)와 자연환경지구(75.550 km², 49.3%)로 구분하여 관리하고 있다. 한라산 정상부와

하천지역(약 91.9 km²)은 1996년 문화재보호법에 의해 천연기념물 제 182호 천연보호구역으로 지정되었다. 1999년에 설섬, 문섬, 범섬은 서귀포 시립해양공원으로 지정되었으며, 2000년에 문화재보호법에 의해 문섬과 범섬을 천연보호구역으로, 설섬의 파초일엽 자생지를 천연기념물로 지정하였다.

공원 내 포장도로의 총 연장은 31.6 km로 국도 11호선(길이= 13.7 km; 도로폭= 10 m - 13 m; 포장폭= 7 m - 13 m), 국도 99호선(길이= 11.8 km; 도로폭= 9 m - 13 m; 포장폭= 6.5 m - 13 m), 어리목 입구 ~ 진입로(길이=1.2 km; 도로폭= 6 m - 9 m; 포장폭= 6 m - 9 m), 영실 입구 ~ 진입로(길이= 4.9 km; 도로폭= 6 m - 9 m; 포장폭= 6 m - 9 m)가 관통하고 있다. 포장도로는 왕복 2차로이며 오르막 도로가 있는 구간은 3차로인 경우도 있다(제주도청 도로관리단 공문, 2006). 등산객이 주로 사용하는 법정탐방로(길이= 최소 3.7 km² - 최대 9.6 km²)는 폭이 1 m - 1.5 m 이며(한라산국립공원, 개인적 대화), 수많은 비법정 탐방로의 폭은 약 1 m 이다. 어리목, 관음사, 성관악, 돈내코, 영실의 5 개 법정탐방로와 어승생악 자연학습탐방로(길이= 1.3 km²)가 있다(Fig 2). 한라산 법정탐방로는 1960년대까지 관음사 코스가 가장 많이 이용되었으나, 국도 11호선인 5.16횡단도로가 개통된 이후에는 어리목 코스와 영실 코스를 이용하여 한라산 정상 탐방을 하였다. 한라산의 탐방객 현황은 1980년에 총 88,802명이었으나 2006년에는 745,308명으로 88%가 증가하였다(www.hallasan.go.kr). 이러한 과도한 탐방객의 방문으로 등산로가 훼손되어 현재 정상 탐방은 성관악 코스와 관음사 코스만을 이용할 수 있다(Fig. 2). 현재 돈내코 탐방로 전체와 윗세오름부터 백록담까지 이르는 탐방로가 자연휴식년제를 시행하고 있다.

2. 데이터 수집

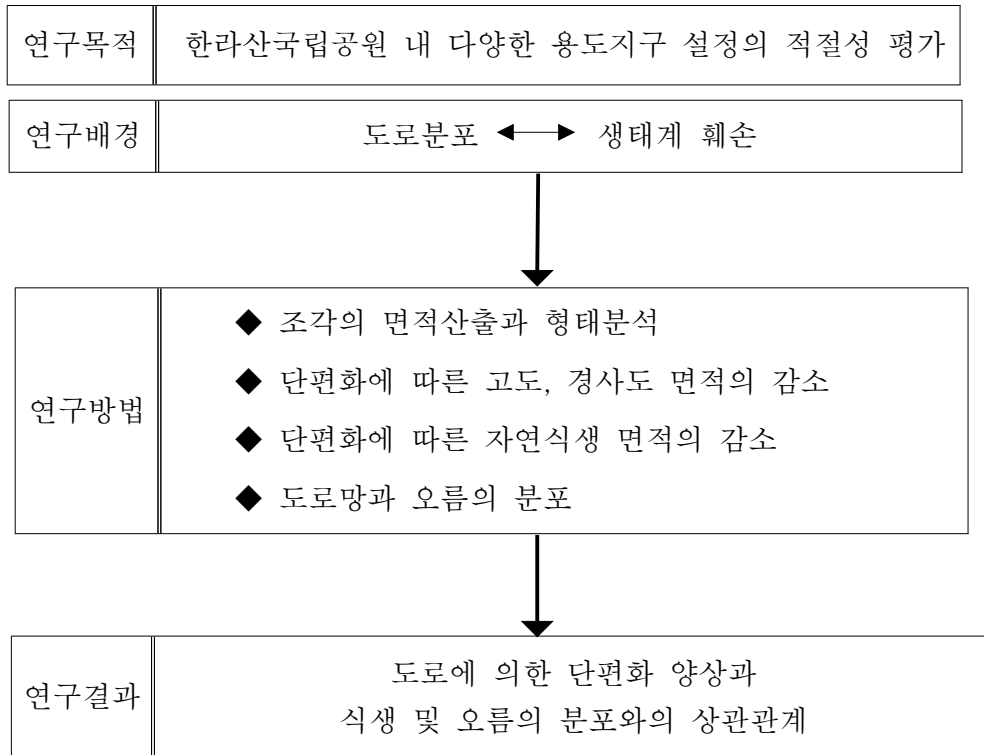
한라산국립공원의 도로에 의한 서식지 단편화를 정량적으로 분석하기 위해서 국토지리정보원의 수치지도(2003)와 환경부의 한라산국립공원의 경계(2003), 용도지구 경계(2003) 및 중분류 토지피복지도(2003)를 획득하였다. 그리고 제주특별자치도의 제주 생물권보전지역의 용도지구 도면지도(제주도, 2005)와 한라산국립공원의 포장도로의 길이와 폭이 표시된 도면지도(한라산국립공원 공문, 2006)를 획득하였다. 법정탐방로와 비법정탐방로를 구분하기 위해서 강정효(2003)의 도면지도와 한라산국립공원(www.hallasan.go.kr)의 법정탐방로의 길이와 폭에 관한 자료를 수집하였다. 수치지도는 한라산국립공원을 포함한 1:25,000 축적의 중분류 지도로 6개의 도엽을 포함한다. 이를 벡터 형태로 전환하여 ArcGIS에서 사용할 수 있도록 하였다. 환경부의 중분류 토지피복지도, 한라산국립공원의 경계, 그리고 자연보전지구와 자연환경지구로 구분한 용도지구를 면(polygon) 형태의 데이터로 획득하였다. 제주특별자치도와 제주발전연구원에서 오름의 면적 및 고도 자료를 확보하였다.

레이어 추출 및 중첩, 벡터편집, DEM 등의 분석을 가능하게 하는 ESRI의 ArcGIS v. 9.0(ESRI, 2004)을 사용하였다.

3. 데이터 처리 및 분석

자연적, 인위적인 다양한 요인으로 인해 생태계 훼손이 이루어지고 있으며 그 중 가장 큰 요인은 도로건설이다. 한라산국립공원 내 도로분포와 탐방로에 의한 단편화 양상을 밝히고 단편화가 한라산 주요 생태자원에 얼마나 영향을 주는지 분석하는 것은 산림 연구에 있어 기본적인 과정이라 할 수 있다.

단편화 양상을 파악하기 위해 조각의 수, 내부면적, 가장자리면적, 평균면적 등의 면적산출과 조각의 형태지수를 분석한다. 이러한 단편화 양상이 한라산의 고도, 경사도, 자연식생 분포에 각각 어떠한 영향을 주는지 분석하고 도로망과 오염 분포의 관계를 파악하여 한라산국립공원의 다양한 용도지구 설정의 적절성을 평가한다. 본 연구의 개괄적인 흐름도를 작성하면 다음과 같다.



< 연구 흐름도 >

세부적인 연구방법은 다음과 같다. 한라산 경계인 면 데이터와 도로 및 탐방로 레이어(layer)를 중첩하기 위해서 총 6개의 도엽으로 된 한라산 수치지도에서 일반국도, 지방도 및 시도 포함한 선(line) 형태의 레이어를 추출하였다. 포장도로는 수치지도(국토지리정보원)와 토지피복도(환경부)의

도로현황이 정확히 일치하지 않아 한라산국립공원 사무소에서 2006년도 한라산국립공원 내 포장도로 현황을 표시한 도면자료를 활용하여 수치지도의 벡터자료를 스크린 디지털라이징으로 수정하였다. 어승생악 자연학습 탐방로를 포함한 6개의 법정탐방로와 비법정탐방로를 각각 분류하기 위해 수치지도의 소로 레이어를 추출하였다. 추출한 소로 레이어와 다양하게 수집된 자료의 법정탐방로가 겹치는 선을 법정탐방로로 분류하고, 나머지 소로는 비법정탐방로로 분류하였다. 수정 방법은 포장도로와 마찬가지로 스크린 디지털라이징을 이용하였다. 제주특별자치도에서 획득한 제주 생물권보전지역의 용도 구분(핵심지역, 완충지역, 전이지역)된 도면자료는 스크린 디지털라이징으로 벡터 형태로 수정하였다. 한라산국립공원 경계와 용도 구분된 제주 생물권보전지역 경계 내 도로와 탐방로 분포를 파악하기 위해 추출된 다양한 길을 각각 중첩하여 시각화시켰다.

추출된 도로와 탐방로에 의한 가장자리 효과를 분석하기 위해서 버퍼링을 적용하였다. 설악산국립공원 내 도로가 식생에 미치는 영향에 관한 분석(서경주, 1996)과 지리산국립공원의 조각화 양상 분석(백경진 등, 2005)을 인용하여 본 연구에서도 2차선 이상의 포장도로에 112 m 버퍼를 적용하였다. 1 m - 1.5 m 폭의 법정탐방로와 1 m 폭의 비법정탐방로(한라산국립공원 사무소와 개인적 대화)에는 백경진 등(2005)을 인용하여 20 m, 40 m, 60 m 의 다양한 버퍼를 적용하였다. ArcGIS의 Topology Tool을 이용하여 한라산국립공원 경계 폴리곤과 버퍼를 적용한 도로(112 m)와 탐방로(60 m)를 중첩하였다. 버퍼링된 다양한 길을 제거하고 나머지 조각(patch)마다 ID를 부여하였다.

토지이용에 의한 단편화 양상을 분석하기 위해서 환경부의 중분류 토지피복지도를 인용하였다. 한라산국립공원 경계 내 토지피복은 총 23항목 중 공업지역, 상업지역, 논, 과수원, 연안습지, 채광지역, 해양수를 제외한 16 항목으로 나타났다. 16개 항목을 각각 Coverage로 변환하여 면적을 추출하고,

자연지역과 인위적 이용지역으로 분류하였다(Table 7). 한라산국립공원의 총 면적인 153.4 km² 중 152.5 km²에 해당하는 자연지역은 활엽수림, 침엽수림, 혼효림, 자연초지, 기타초지, 내륙습지, 내륙수의 총 7개 항목이 포함된다. 자연지역 내 버퍼가 적용된 다양한 길을 중첩하여 면적을 추출하여 단편화 전과 후의 면적을 비교하였다.

지형적인 분석을 위해서 수치지도의 고도 레이어(7111, 7114)를 추출하여 3차원적인 지형의 표현을 가능하게 하는 데이터 구조의 하나인 불규칙삼각형망(TIN: Triangulated Irregular Network)으로 변환한 후 고도분포도를 시각화하였다. 단편화되기 전과 후를 TIN 형태로 전환하여 각 고도를 분류하였다. 해발고도 1,950 - 435 m 를 100 m 간격으로 하여 총 15 등급으로 분류하고, 각 고도별 면적은 Coverage로 파일을 변환하여 산출하였다. TIN을 이용하여 래스터 형태의 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 생성하였다. 격자 크기를 10 m, 30 m, 100 m의 다양한 격자크기를 적용하여 경사도 분석을 하였다. 경사도는 7° 구간으로 총 6개 항목을 재분류한 후 Coverage로 변환하여 각 등급마다 면적을 산출하였다.

한라산국립공원을 자연보존지구와 자연환경지구로 구분한 환경부의 Shape 파일을 사용하여 단편화 양상을 분석하였다. 자연보존지구 면적은 실제로 77.8 km²이나 2003년도 환경부에서 제작한 자연보존지구의 면적은 85.3 km²로 나타나 약 8 km²의 차이가 있었으며 본 연구에서는 85.3 km² 면적으로 데이터를 분석하였다. 포장도로 112 m, 법정탐방로 60 m의 버퍼를 적용한 길을 Topology Tool을 이용하여 자연보존지구와 중첩하였다. 길에 의해 단편화된 자연보존지구를 Coverage로 변환하여 면적을 산출하였다. 수치지도의 등고선과 오름의 위치가 표시된 도면지도(강정효, 2003), 그리고 오름의 면적 및 고도자료(제주도, 2000)를 활용하여 오름의 위치를 표시하고 용도지구 내 오름의 분포를 확인하였다. 한라산국립공원 내 오름과 다양한 길과의 거리는 각 오름의 고도가 가장 높은 분화구 부근에서부터 측정도구를

이용하여 측정하였으며, 오름의 버퍼링은 오름의 분화구에서 고도가 가장 낮은 오름의 경계까지 해당하는 면적의 원에 500 m의 버퍼를 적용하였다. 오름의 버퍼지역과 중복되는 포장도로 및 법정탐방로의 길이 측정도 측정도구를 이용하였으며 자연휴식년제를 시행중인 통제지역은 측정에서 제외하였다. 문화재보호법 제 74조는 문화재가 건설공사로 인해 영향을 받지 않도록 하기 위해서 건설공사와의 거리를 500 m 로 제한하고 있다. 이에 따라 제주 생물권보전지역 중 핵심지역인 영천·효돈천의 양측에 500 m 버퍼의 전이지역이 설정(제주도, 2005)되었으며, 이에 따라 본 연구의 오름에도 500 m 버퍼를 적용하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 한라산국립공원 경계 내 포장도로와 탐방로에 의한 단편화 양상

한라산국립공원을 관통하는 2차선 포장도로에 버퍼 112 m를 고정하여 적용하고, 1 m - 1.5 m의 노폭을 갖는 법정·비법정 탐방로에는 20 m, 40 m, 60 m의 버퍼를 적용하여 비교하였다(Table 1). 한라산국립공원은 20 m, 40 m, 60 m의 다양한 버퍼 하에서 각각 101개, 102개, 100개 조각으로 분할되었다. 이러한 다양한 버퍼를 적용한 결과 조각의 수, 평균면적, 최소면적, 최대면적 등 다양한 면적산출에 있어 큰 차이가 없었다.

포장도로 112 m, 법정·비법정탐방로 60 m 버퍼를 적용하였을 때, 100개 조각의 내부면적과 형태지수를 분석하였다. 조각들의 평균면적은 1.2 km²로 나타났으며 면적 범위는 최소 0.00001 km²(20번 조각)에서 최대 8.3 km² (37번 조각)로 나타났다(Table 1). 조각의 면적 2 km² 이하인 조각이 전체 조각의 84%를 차지하였다(Table 2). 0.1 km² - 1 km² 범위에 해당하는 조각이 전체 조각 중 40%로 가장 큰 비율을 나타냈다. 총 100개 조각의 LSI는 최소 2, 최대 21에 이른다. 그 중 LSI가 2 - 6인 조각이 총 조각의 86%를 차지한다(Fig. 3). LSI가 높은 조각은 35번(LSI=21) > 5번, 19번(LSI=10) > 38번, 47번(LSI=9) 순으로 나타났다(Fig. 4). 가장자리를 제외한 총 내부면적은 120.6 km²로 나타나 공원면적의 21%가 가장자리에 해당되었다.

비법정탐방로를 제외하고 버퍼를 준 후 한라산국립공원은 총 10개의 조각으로 분할되었으며, 각 조각의 평균면적은 14.2 km²로 나타났으며 면적 범위는 최소 0.002 km²(3번 조각)에서 최대 38.2 km²(2번 조각)로 나타났다(Table 3, Fig. 5). 1번, 2번, 7번의 세 조각은 20 km² 이상의 비교적 큰 조각을 이뤘으나 3번, 4번, 5번의 세 조각은 1 km² 이하의 면적으로서 매우

작았다. 특히 이 세 조각은 모두 백록담 부근에서 나타났다. 총 10개 조각의 LSI는 최소 2에서 최대 21까지 나타내며 LSI가 4 - 6인 조각의 수가 5개로 가장 많다(Fig. 3). LSI가 높은 조각은 9번(LSI=21) > 6번(LSI=6) > 8번, 10번(LSI=5) 순으로 나타나고 있다(Fig. 5). 가장자리를 제외한 총 내부면적은 142.2 km²로 나타나 공원면적의 7%가 가장자리에 해당되었다.

한라산국립공원의 자연보존지구 내 비법정탐방로를 제외한 포장도로, 법정탐방로에 각각 112 m, 60 m 버퍼를 적용한 결과 총 11개의 조각으로 분할되었다(Fig. 6). 각 조각의 평균면적은 7.2 km²로 나타났으며 면적 범위는 최소 0.002 km²에서 최대 24.5 km²로 나타났다. 총 내부면적은 79.5 km²로 나타나 자연보존지구 전체면적의 7%가 감소하였다.

2. 고도, 경사도 분석과 단편화 면적

고도와 경사도를 포함하는 지형적 요소를 분석하고 단편화된 공원의 면적 감소율을 산출하였다. 한라산의 해발고도는 최저 435 m에서 최고 1,950 m의 분포로 나타났으나 단편화된 한라산의 해발고도는 최저 440 m에서 최고 1,917 m의 고도분포로 나타났다(Fig. 7). 각 고도별 면적을 산출한 결과 1,000 m 부터 고도가 높아질수록 면적이 점차 감소하였다(Table 4). 해발고도 1,100 m - 1,000 m 구간의 면적은 22 km² (14%)로 가장 넓은 면적을 차지한다. 해발고도 1,900 m 구간 이상의 면적은 0.1 km² (0.07%)로 가장 작았다. 포장도로와 탐방로(각기 112 m, 60 m 버퍼)에 의해 단편화된 후의 면적을 산출한 결과, 해발고도 1,900 m 이상인 지역에서 0.11 km²에 불과하는 면적이 0.006 km²로 감소하여 94.5%의 가장 높은 감소율을 나타냈다. 해발고도 1,900 - 1,800 m 와 1,800 - 1,700 m의 범위에서도 각각 51.2%와 26.3%의 높은 감소율을 나타냈다.

한라산의 경사도는 다양한 격자크기로 분석하여 최소, 최고, 평균

경사도를 산출하였다. 10 m에서 최소, 최고, 평균 경사도가 각각 0°, 87.9°, 12.8° 로 나타났으며 30 m에서 각각 0°, 81.0°, 12.6°, 그리고 100 m에서 각각 0°, 74.0 12.6°로 나타났다(Table 5). 단편화 적용 후 최고 경사도에서 가장 큰 차이를 나타냈다. 10 m에서 단편화 적용 후 최고 경사도는 5.2°가 감소하고 30 m에서 1.5°가 감소하였다. 반면 100m에서 0.7°가 증가하여 격자의 크기에 따라 최고 경사도에서 차이가 나타났다. 경사도 0 - 35° 이상까지 7° 구간으로 하여 총 6 등급으로 분류하여 경사구간 별 면적을 산출하였다(Table 6, Fig. 8). 경사도 7 - 14° 구간의 면적 비율이 다양한 격자크기를 적용한 분석에서 40% 이상으로 가장 넓은 면적을 차지하며, 경사도 0 - 21° 구간의 면적비율이 전체의 85% 이상으로 한라산 대부분의 경사도가 21° 이하로 나타났다. 한라산 전체지역과 포장도로 112 m, 탐방로 60 m 의 버퍼 적용 후 단편화된 한라산의 경사도별 면적을 비교한 결과 10 m에서 35° 이상의 구간이 13.6%로 가장 높은 감소율을 나타냈으며, 30 m에서 0 - 7° 구간이 11.4 %, 100 m에서 0 - 7° 구간이 11.9%로 나타났다.

3. 토지피복도 분류와 단편화에 따른 자연식생 면적의 감소

토지피복도(중분류)는 자연지역을 총 7개 항목으로 분류하고 있으며 공원의 총 면적인 153.4 km² 중 152.5 km²에 해당하고 있었다. 자연지역인 1) 활엽수림, 침엽수림, 혼효림을 포함하는 산림지역 2) 자연초지, 기타초지를 포함하는 초지 3) 내륙습지, 내륙수를 포함하는 수계의 면적을 산출하였다(Table 7, Fig. 9). 산림지역, 초지, 그리고 수계의 면적은 각각 143.20 km², 9.24 km², 0.05 km² 로 산출되었다. 나머지 0.3%에 해당하는 인위적 이용지역은 1) 주거지역, 위락시설지역, 교통지역, 공공시설지역을 포함하는 시가화 · 건조지역 2) 밭, 하우스재배지, 기타재배지를 포함하는 농업지역 3) 초지 4) 기타나지를 포함한다. 시가화 · 건조지역, 농업지역, 초지

및 나지의 면적은 각각 0.05 km², 0.03 km², 0.01 km²로 산출되었다.

단편화된 후의 자연지역 면적을 산출한 결과 산림지역, 초지 및 수계가 각각 134 km², 8 km², 0.05 km²로 나타났다. 단편화를 적용하기 전과 후의 면적 감소율은 초지, 산림지역이 각각 15.2%, 6.4%로 나타났으며 산림지역 중에서는 침엽수림이 8%의 면적 감소율을 나타냈다. 총 7개 항목의 자연지역 중에서는 자연초지가 17%로 가장 높은 감소율로 산출되었으며 자연초지가 주로 분포한 고도구간은 1,400 m 이상 지역으로 나타났다(Fig. 10). 수계는 면적의 감소가 없었다. 단편화된 후의 인위적 이용지역 면적을 산출한 결과 시가화·건조지역, 농업지역, 초지 및 나지가 각각 0.05 km², 0.03 km², 0.01 km²로 나타났다. 단편화를 적용하기 전과 후의 면적 감소율은 시가화·건조지역, 농업지역이 각각 86.8%, 50%로 나타났으며 초지 및 나지는 감소율이 없었다.

4. 도로망과 용도지구 내 오름의 분포

한라산국립공원 수치지도 상에 자연보존지구 내에는 29개, 자연환경지구 내에는 15개로 총 44개의 오름이 분포하고 있다(Fig. 6). 각 오름의 정상과 포장도로, 법정·비법정 탐방로의 거리를 측정한 결과, 그 중 6개 오름이 포장도로와 500 m 이내 거리에 위치하고 있었다. 자연보존지구 내 오름 중 17개 오름(59%)이 포장도로나 법정·비법정 탐방로로부터 500 m 이내에 위치하고 있다. 자연환경지구 내 오름 중 7개 오름(47%)이 포장도로나 법정·비법정 탐방로로부터 500 m 이내에 위치하고 있다(Fig. 11). 산정화구호인 어승생악, 사라오름, 동수악 및 물장울과 도로와의 거리를 측정한 결과 어승생악은 자연학습탐방로가 오름의 정상까지 연결되어 있으며, 포장도로가 오름의 경계까지 연결되어 있다. 사라오름은 법정탐방로와 326 m 거리로 측정되었고 비법정탐방로가 오름의 정상까지 연결되어 있다. 동수악과

포장도로는 230 m 거리로 측정되었고 비법정탐방로가 오름의 정상까지 연결되어 있다. 물장올도 다른 산정화구호와 마찬가지로 비법정탐방로가 오름의 정상까지 연결되어 있으며 포장도로와의 거리는 1,154 m로 나타났다. 어승생악은 포장도로가 오름의 경계까지 연결되어 있고 자연학습탐방로가 오름의 정상까지 연결되어 있다.

수치지도 상에 각 오름의 전체면적에 해당하는 원에 500 m 버퍼를 적용한 결과, 포장도로와 버퍼지역이 중복되는 오름은 11개로 나타났다(Fig. 12). 포장도로 중 공원 동쪽을 관통하는 5·16도로(길이: 13.7 km)의 39%(5.3 km)가 성진이오름, 물오름, 동수악, 논고악과 버퍼지역이 중복되었으며 공원 서쪽을 관통하는 1100도로(길이: 11.8 km)는 56%(6.6 km)가 어승생악, 쉽터동산, 장오름, 삼형제큰오름, 살핀오름과 버퍼지역이 중복되었다(Fig. 13). 어리목입구에서 어리목 진입로까지 연결되는 어리목구간(길이: 1.2 km)은 어승생악의 버퍼지역과 100% 중복되었으며, 영실입구에서 영실 진입로까지 연결되는 영실구간(길이: 4.9 km)은 영실기암, 다래오름의 버퍼지역과 18%가 중복되었다. 법정탐방로와 오름의 버퍼지역이 중복되는 도로의 길이를 각 도로의 비율로 산출한 결과, 자연휴식년제를 시행중인 지역을 포함하여 법정탐방로와 버퍼지역이 중복되는 오름은 총 21개로 나타났다(Fig. 12). 돈내코 탐방로를 포함하여 자연휴식년제를 시행중인 백록담 부근 지역을 제외하였을 경우, 관음사 탐방로(길이: 8.7 km)는 능화오름, 삼각봉, 왕관릉, 큰드레왓, 장구목의 버퍼지역과 39%(3.4 km)가 중복되었다. 성관악 탐방로(길이: 9.6 km)는 물오름, 성널오름, 흙붉은오름, 사라오름과 40%(3.8 km)가 중복되었으며 어리목 탐방로(길이: 4.7 km), 영실 탐방로(4.7 km), 어승생악 자연학습탐방로(1.3 km)는 수많은 오름들의 버퍼지역과 100% 중복되었다(Fig. 13). 특히 1,300 m 이상의 고도 내에 분포한 14개 오름은 버퍼를 적용한 결과 모두 법정탐방로와 중복되었다. 따라서 한라산 수치지도 내 총 44개 오름 중 33개 오름(75%)이 다양한 길과 중복되고 있다.

Table 1. 한라산국립공원 내 각종 도로에 다양한 버퍼를 적용한 후 나타난 단편화의 양상.

버퍼 폭(m)		조각 수	총면적 (km ²)	평균면적 (km ²)	최대면적 (km ²)	최소면적 (km ²)
포장도로	탐방로					
112	20	101	120.7	1.4	9.7	0.0009
112	40	102	129.0	1.3	9.3	0.0003
112	60	100	120.6	1.2	8.3	0.0003

Table 2. 한라산국립공원 내 내부조각 크기 등급에 따른 조각의 비율과 갯수.
포장도로 112 m 버퍼, 법정·비법정 탐방로 60 m 버퍼를 적용하였다.

면적(km ²)	비율(%)	누적비율(%)	조각 수
8-9	1	1	1
7-8	3	4	3
6-7	1	5	1
5-6	0	5	0
4-5	2	7	2
3-4	5	12	5
2-3	4	16	4
1-2	19	35	19
0.1-1	40	75	40
0.01-0.1	15	90	15
0.001-0.01	7	97	7
0.0001-0.001	3	100	3
총 면적 120.6	100		100

Table 3. 한라산국립공원 내 포장도로 112 m 버퍼, 법정탐방로 60 m 버퍼 적용 후 도출한 10 조각의 크기와 형태. LSI는 형태지수(Landscape Shape Index)이다.

ID	면적(km ²)	비율(%)	가장자리(km)	LSI
1	26.60	18.7	27.2	4
2	38.21	26.9	28.8	3
3	0.002	0.001	0.2	3
4	0.11	0.08	1.3	2
5	0.58	0.4	3.4	3
6	8.35	5.9	18.4	6
7	27.93	19.6	25.8	4
8	16.10	11.2	21.4	5
9	5.72	4.0	27.5	21
10	18.57	13.1	25.2	5
계	142.2	100		

Table 4. 한라산국립공원 내 해발고도에 따른 공원면적과 버퍼 적용 후의 조각면적.
포장도로와 법정탐방로에 각기 112 m, 60 m의 버퍼를 적용하였다.

해발고도(m)	공원면적		조각면적		감소율(%)
	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)	
1900 이상	0.11	0.07	0.006	0.004	94.6
1900 - 1800	0.84	0.6	0.40	0.3	52.4
1800 - 1700	2.24	1.5	1.64	1.2	26.8
1700 - 1600	4.79	3.1	4.71	3.3	1.7
1600 - 1500	6.86	4.5	6.40	4.5	6.7
1500 - 1400	6.67	4.3	6.31	4.4	5.4
1400 - 1300	9.54	6.2	9.27	6.5	2.8
1300 - 1200	11.78	7.7	11.36	8.0	3.6
1200 - 1100	16.29	10.6	15.77	11.1	3.2
1100 - 1000	22.04	14.4	20.17	14.2	8.5
1000 - 900	15.39	10.0	14.01	9.9	9.0
900 - 800	16.07	10.5	15.55	11.0	3.2
800 - 700	19.12	12.5	17.85	15.6	6.7
700 - 600	17.22	11.2	15.24	10.7	11.5
600 이하	4.44	2.9	3.44	2.4	22.5
계	153	100	142	100	7.2

Table 5. 한라산국립공원 내 공원전체와 단편화된 공원의 경사도 비교, 10 m, 30 m, 100 m의 격자크기를 적용하였다.

경사도(°)	10 m		30 m		100 m	
	공원전체	단편화	공원전체	단편화	공원전체	단편화
최소 경사도	0	0	0	0	0	0
최고 경사도	87.9	83.7	81.9	80.4	74.0	74.7
평균 경사도	12.8	12.7	12.6	12.8	12.8	12.8

Table 6. 한라산국립공원 내 경사도에 따른 공원면적과 조각면적. 10 m, 30 m, 100 m 의 다양한 격자크기에 따른 경사도 면적을 비교하였다.

경사도(°)	10 m			30 m			100 m		
	공원면적	조각면적	감소율	공원면적	조각면적	감소율	공원면적	조각면적	감소율
0-7	37.93	33.64	11.3	37.85	33.52	11.4	37.96	33.46	11.9
7-14	63.40	60.30	4.9	64.60	60.55	6.3	64.91	60.39	7.0
14-21	30.05	28.88	3.9	30.18	28.73	4.8	29.84	28.88	3.2
21-28	10.79	9.56	11.4	9.90	9.39	5.2	10.34	10.08	2.6
28-35	5.24	4.89	6.7	5.04	4.76	5.6	4.95	4.66	5.9
35이상	5.59	4.83	13.6	5.28	5.00	5.3	4.99	4.73	5.2
계	153km ²	142km ²	7.2%	153km ²	142km ²	7.2%	153km ²	142km ²	7.2%

Table 7. 한라산국립공원의 토지피복에 따른 공원면적과 조각면적. 포장도로와 법정탐방로에 각기 112 m, 60 m 의 버퍼를 적용하였다.

토지피복	공원면적		조각면적		감소율(%)
	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)	
자연지역	152.49	99.7	141.98	99.9	6.9
산림지역	143.20	93.7	134.09	94.4	6.4
활엽수림	116.47	76.2	109.34	77.0	6.1
침엽수림	20.96	13.7	19.28	13.6	8.0
혼효림	5.77	3.8	5.47	3.9	5.2
초지	9.24	6.0	7.84	5.5	15.2
자연초지	5.84	3.8	4.85	3.4	17.0
기타초지	3.40	2.2	2.99	2.1	12.1
수계	0.05	0.04	0.05	0.04	0
내륙습지	0.01	0.01	0.01	0.01	0
내륙수	0.04	0.03	0.04	0.03	0
인위적 이용지역	0.45	0.3	0.09	0.06	80.0
시가화/건조지역	0.38	0.2	0.05	0.04	86.8
주거지역	0.003	0.002	0.003	0.002	0
위락시설지역	0.02	0.01	0	0	100
교통지역	0.31	0.2	0	0	100
공공시설지역	0.05	0.03	0.05	0.04	0
농업지역	0.06	0.03	0.03	0.02	50.0
밭	0.02	0.01	0.02	0.01	0
하우스재배지	0.02	0.01	0.001	0.0007	95.0
기타재배지	0.02	0.01	0.009	0.006	55.0
초지 및 나지	0.01	0.006	0.01	0.007	0
골프장	0.002	0.001	0.002	0.001	0
기타나지	0.008	0.005	0.008	0.006	0
계	152.9	100	142.0	100	7.1

Figure 1. 유네스코에 의해 설정된 제주 생물권보전지역(MAB)의 용도구분과
제주도의 도로망. 용도지역의 비율은 핵심지역 18%, 완충지역
18%, 전이지역 64%에 해당한다.

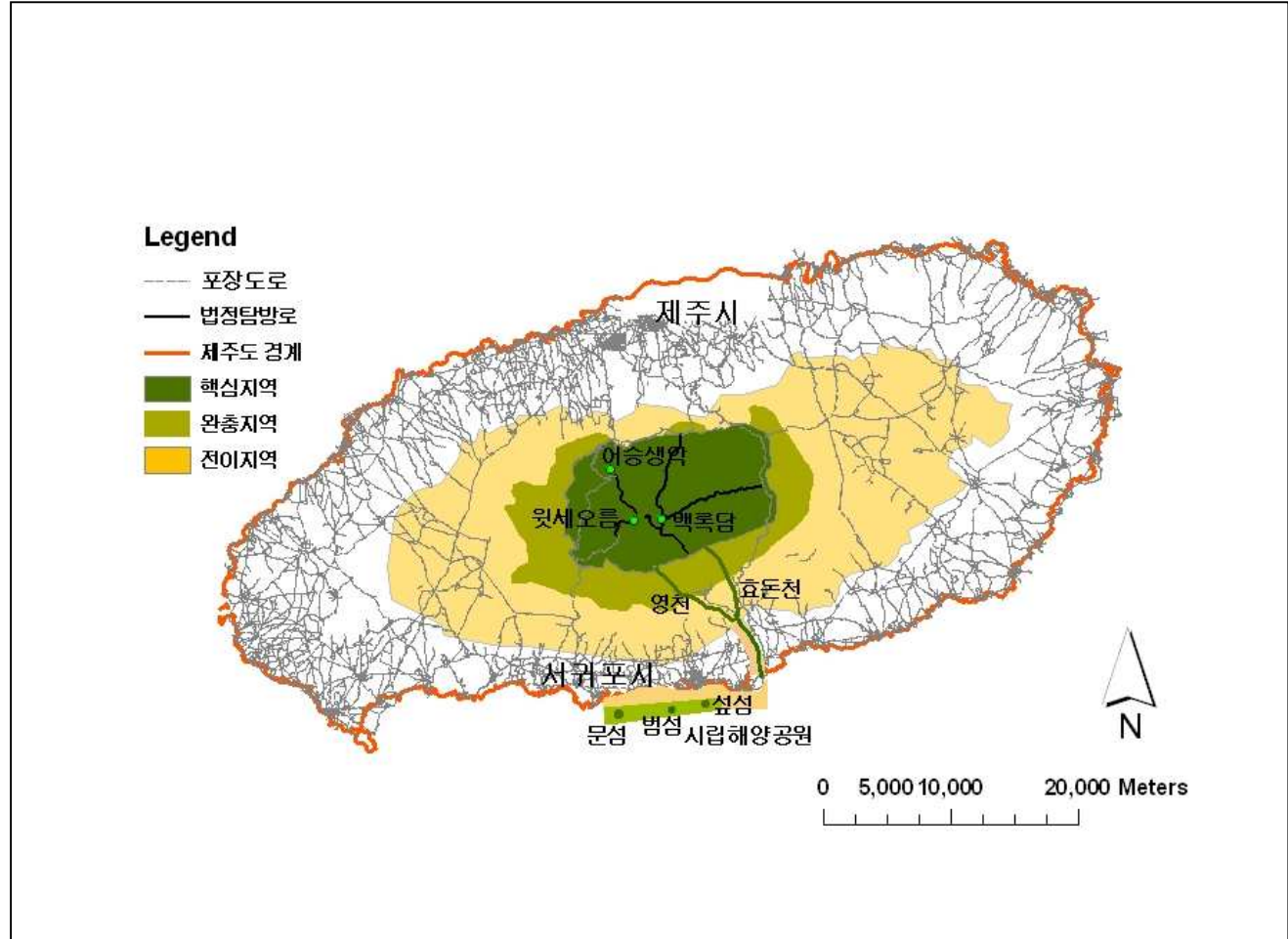


Figure 2. MAB 핵심지역인 한라산국립공원 내 포장도로와 탐방로의 분포.

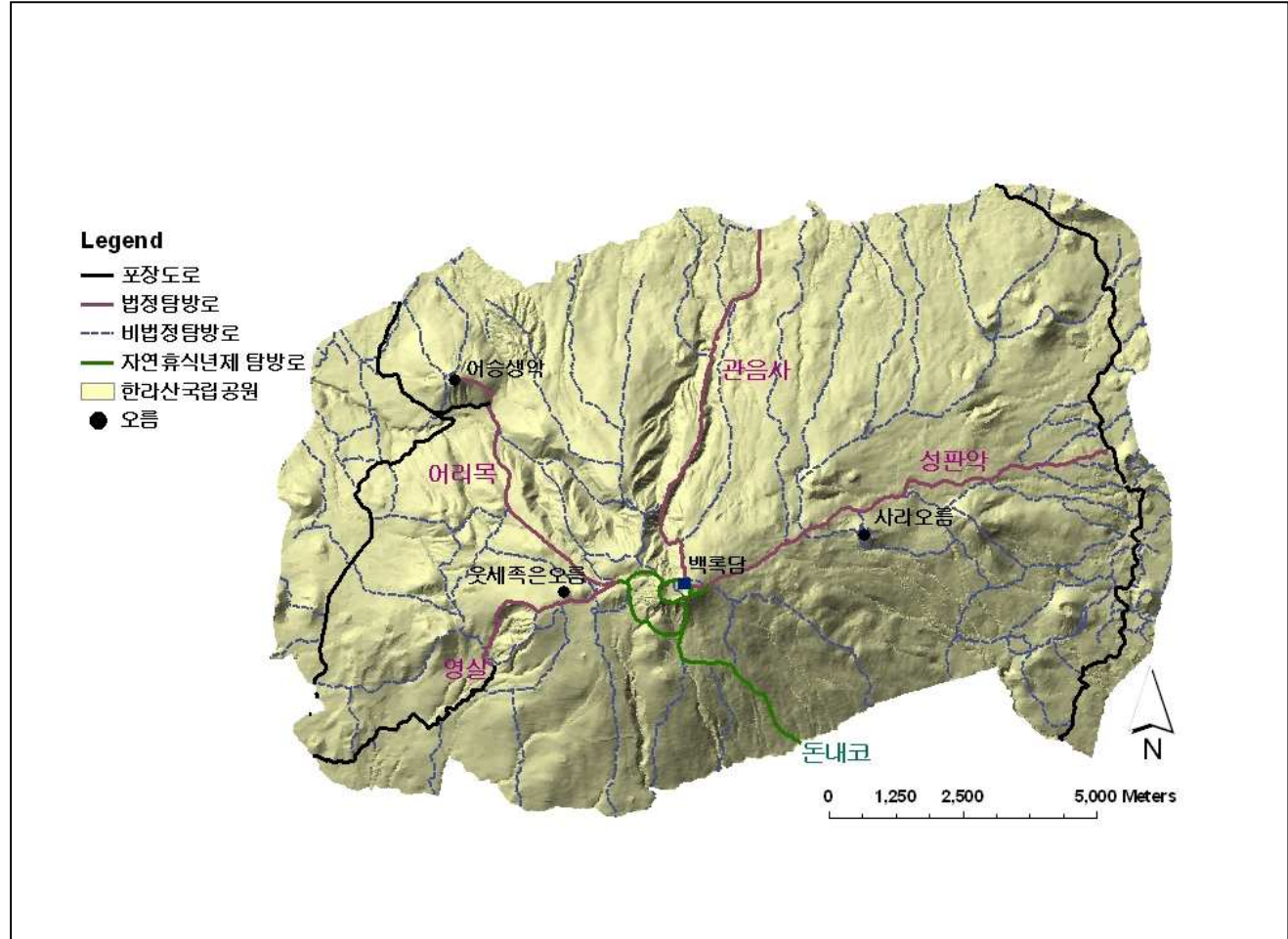


Figure 3. 한라산국립공원 경계 내 LSI(경관형태지수)에 따른 조각의
분포양상.

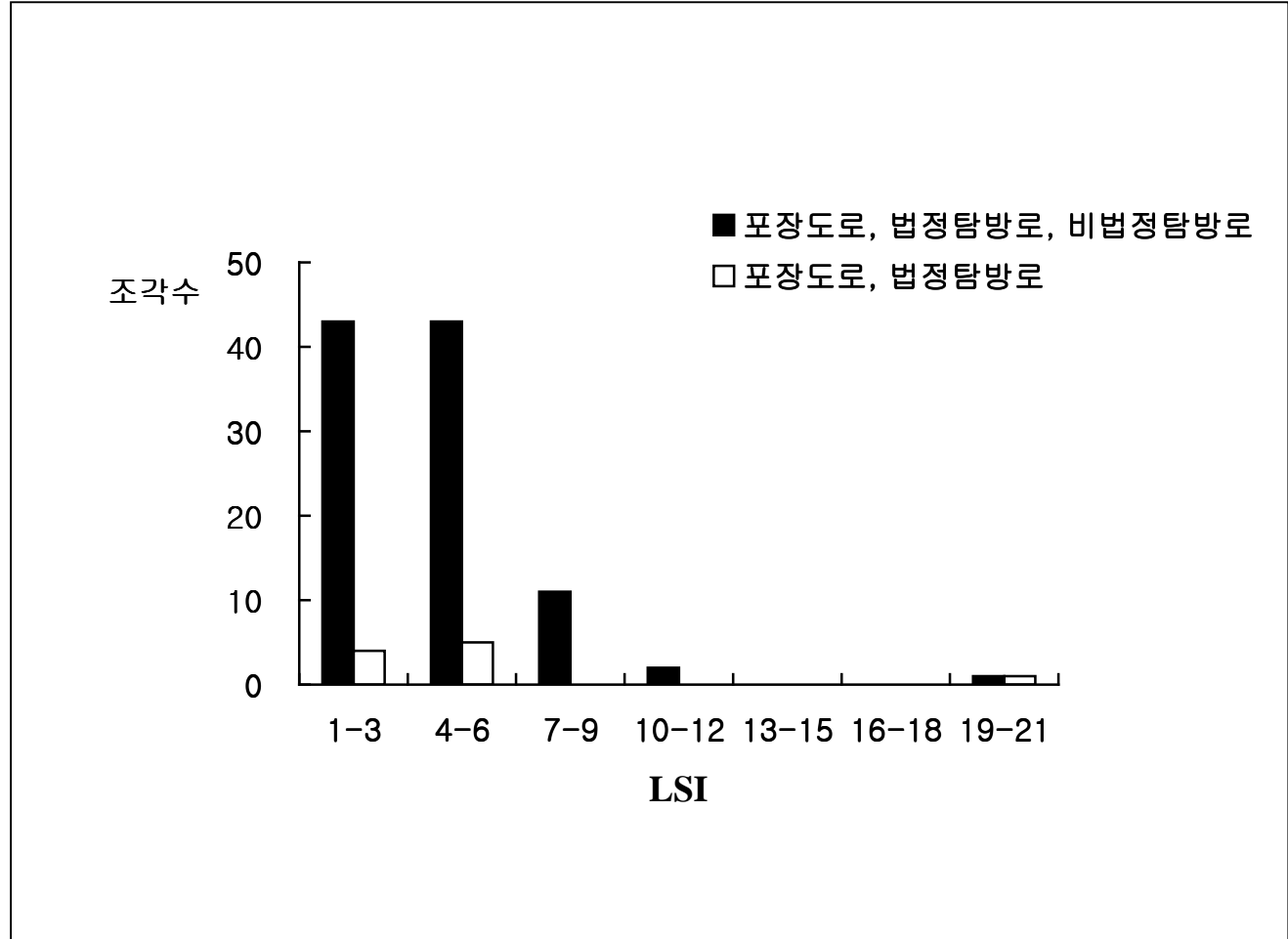


Figure 4. 한라산국립공원 내 포장도로(버퍼 112 m) 법정·비법정 탐방로
(버퍼60 m)로 인해 발생한 서식지 단편화.

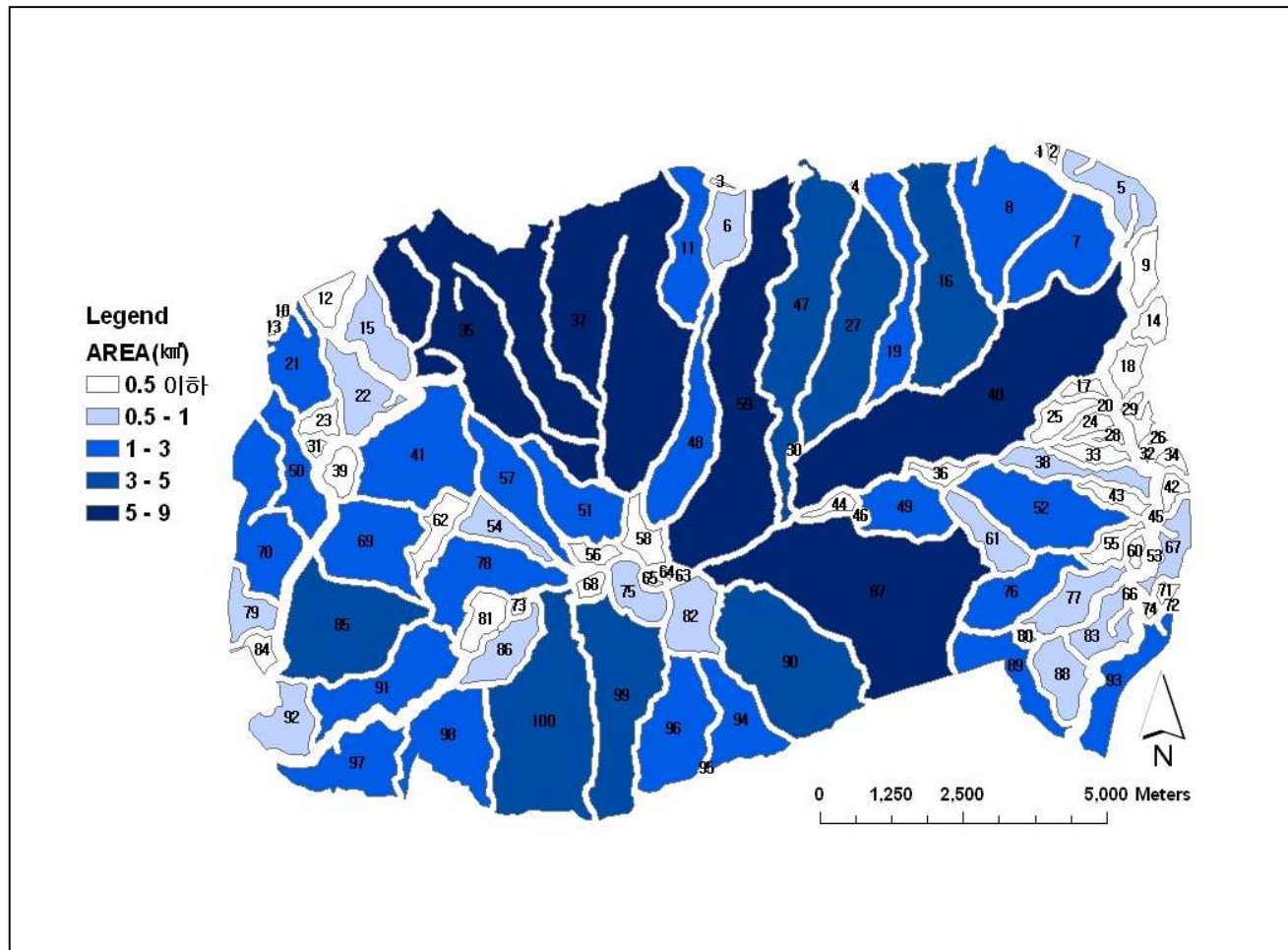


Figure 5. 한라산국립공원 내 포장도로(버퍼 112 m)와 법정탐방로
(버퍼 60 m)로 인해 발생한 서식지 단편화.

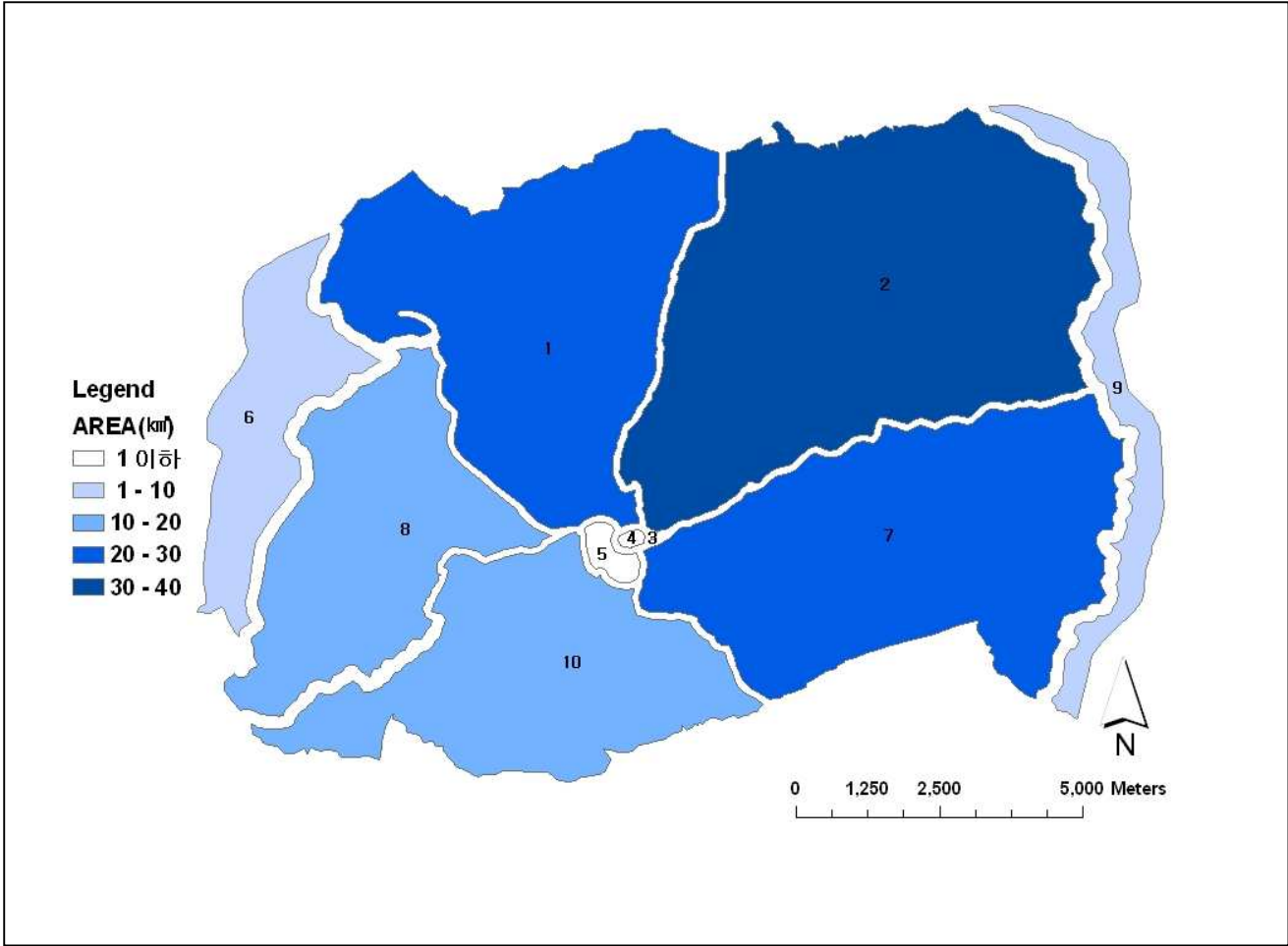


Figure 6. 한라산국립공원 내 포장도로와 법정탐방로에 버퍼 적용 후
(각기 112 m 와 60 m) 발생한 서식지 조각과 오름의 분포.

Figure 7. 한라산국립공원 내 포장도로와 법정탐방로에 버퍼 적용 후
(각기 112 m 와 60 m) 100 m 고도구간으로 구분한 고도분포도.

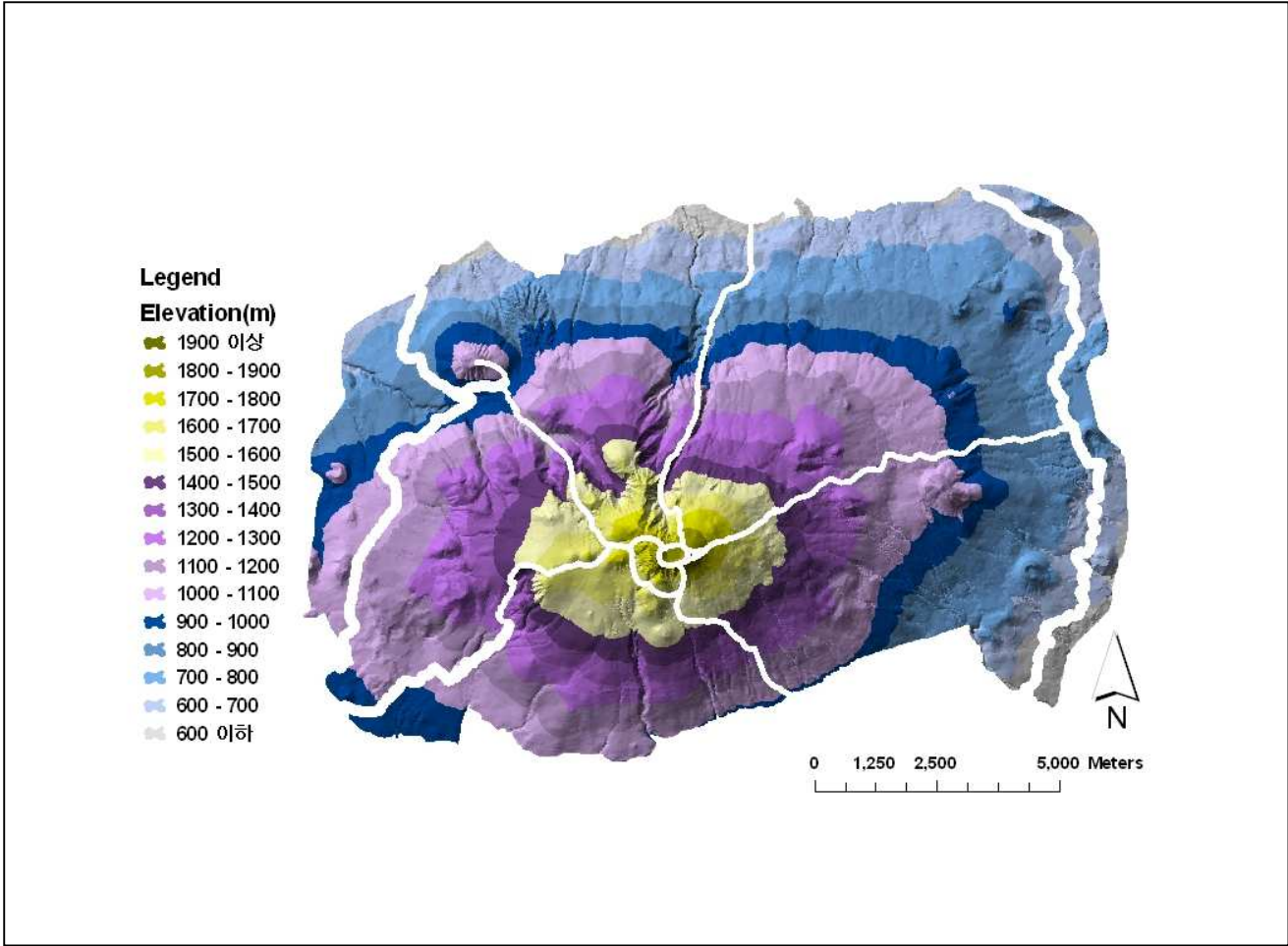


Figure 8. 한라산국립공원 내 다양한 격자크기를 적용하여 7° 경사구간으로
구분한 경사분포도. (A. 10 m , B. 30 m , C. 100 m)

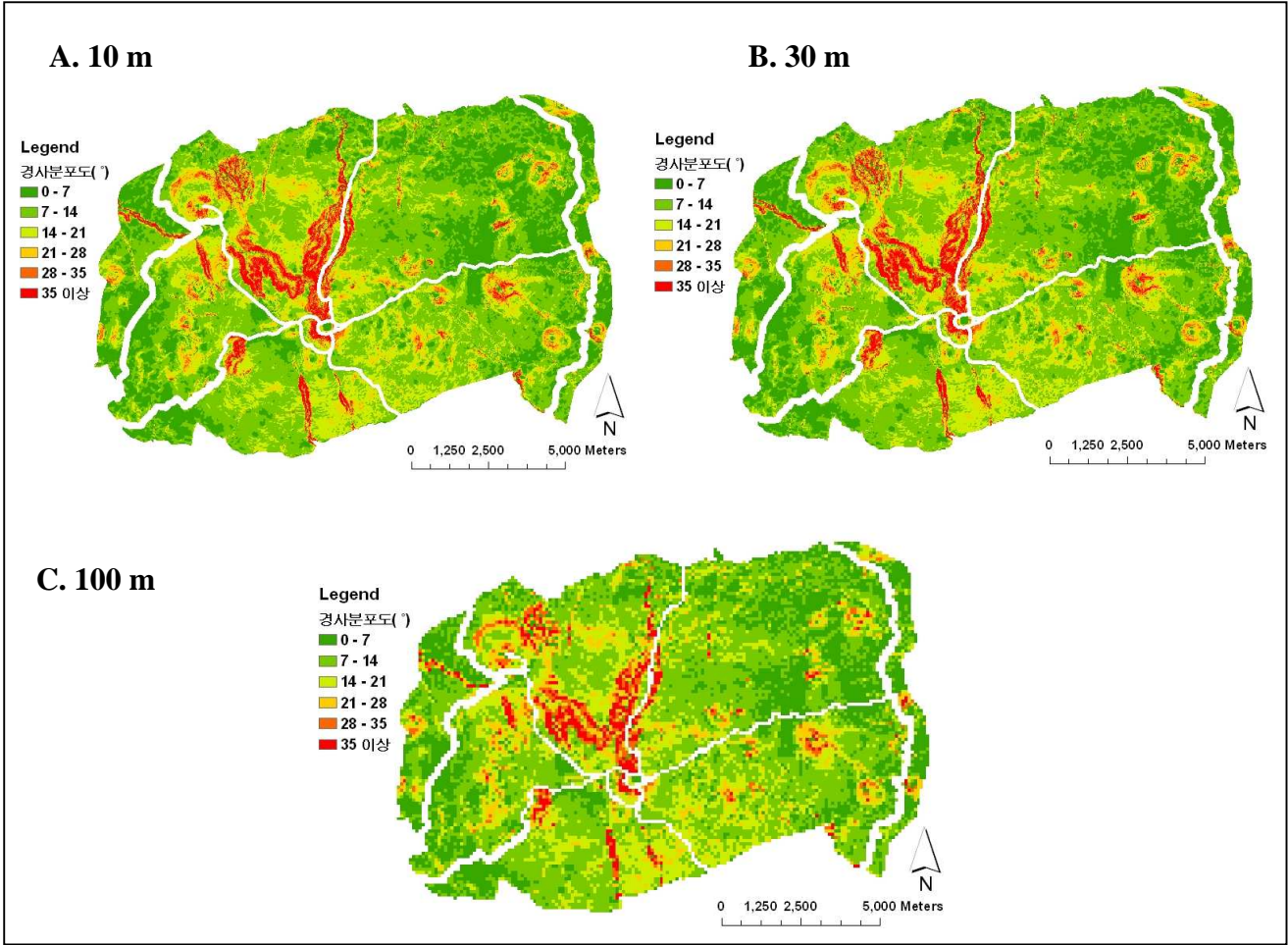


Figure 9. 한라산국립공원 내 중분류 토지피복도(환경부 2003년도 제작).

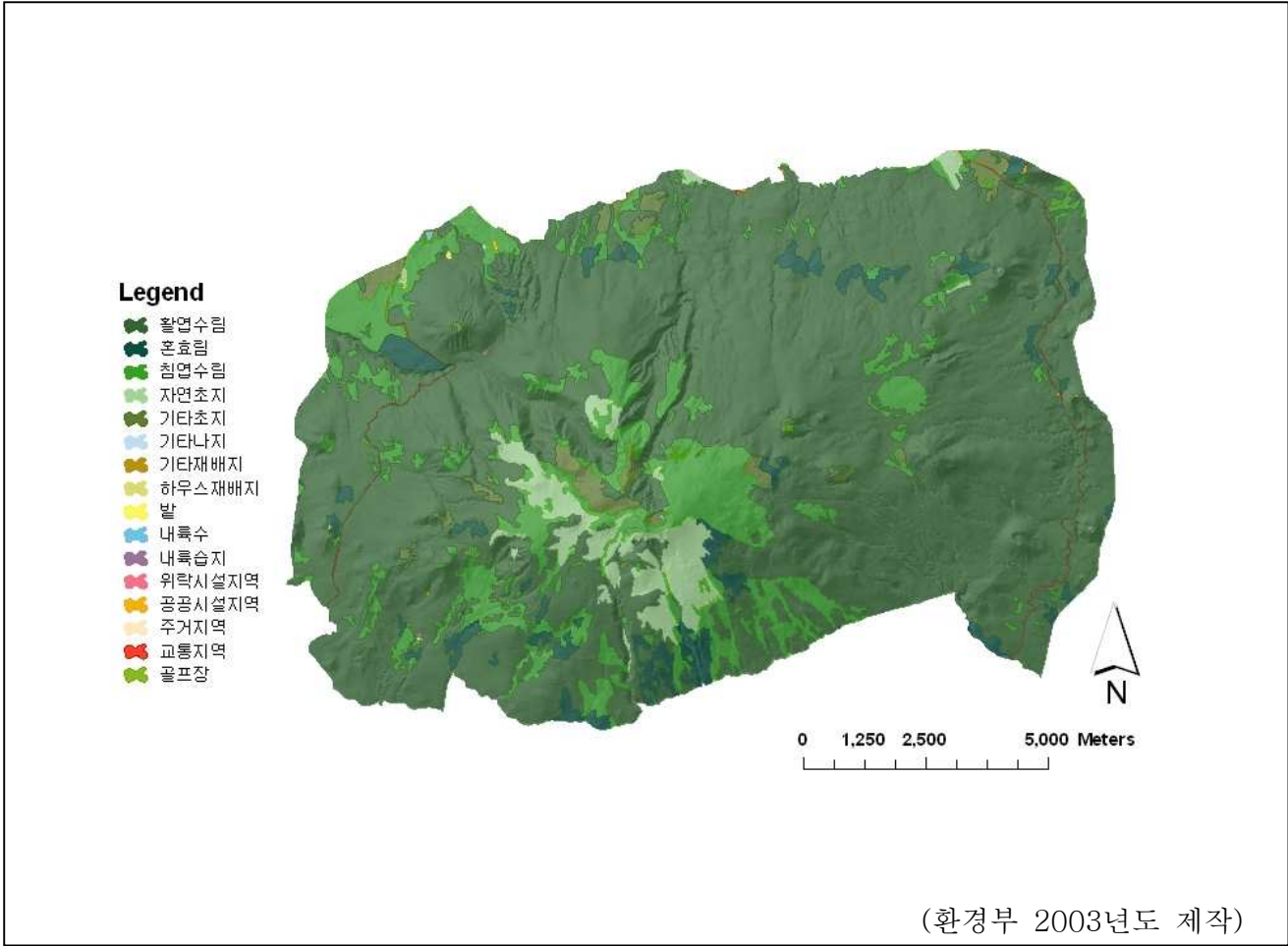


Figure 10. 한라산국립공원 내 자연초지의 분포.

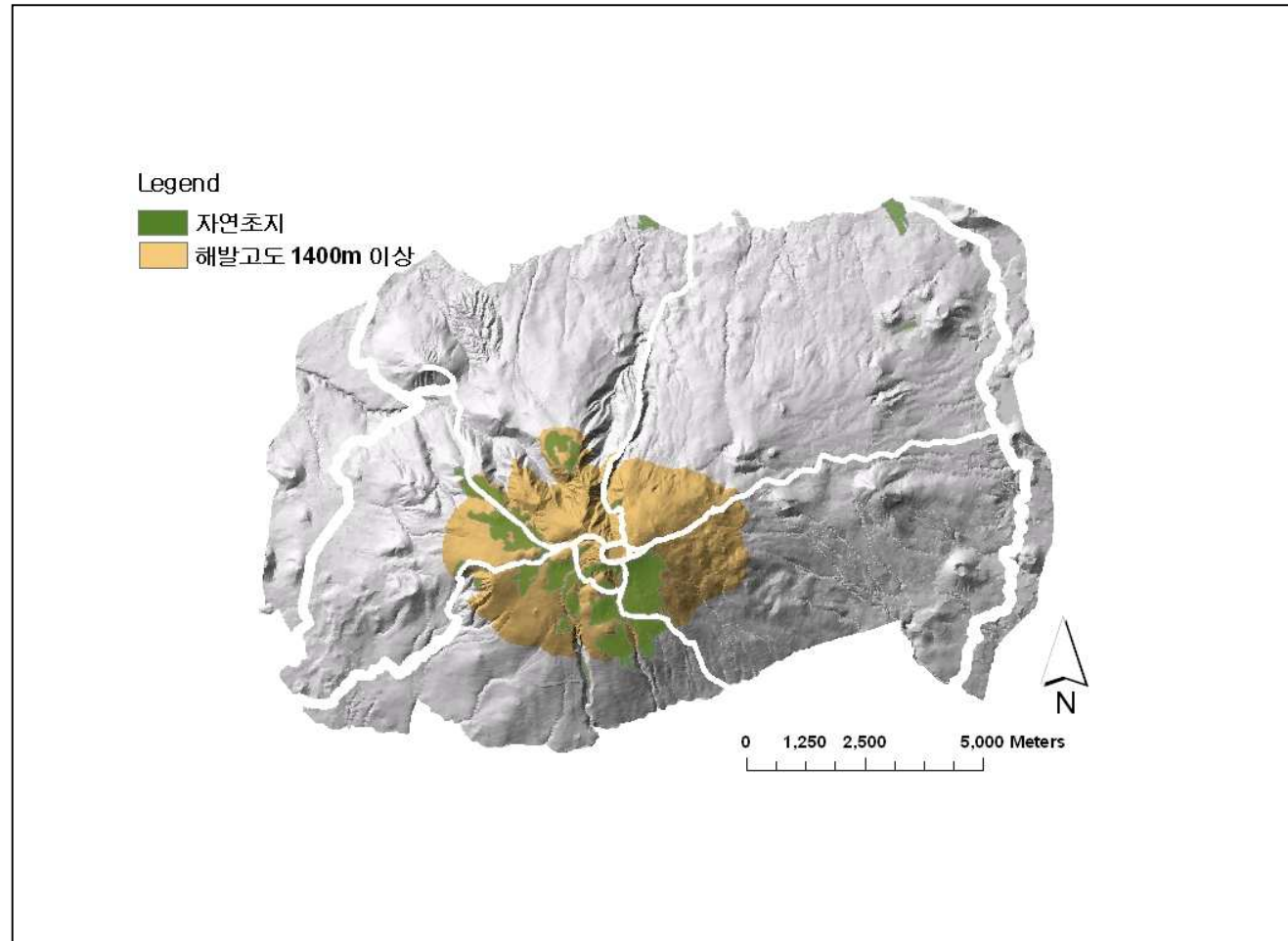


Figure 11. 한라산국립공원 내 포장도로, 법정·비법정 탐방로와
오름의 분포.

Figure 12. 한라산국립공원 내 도로망과 500 m 버퍼를 적용한
오름의 분포.

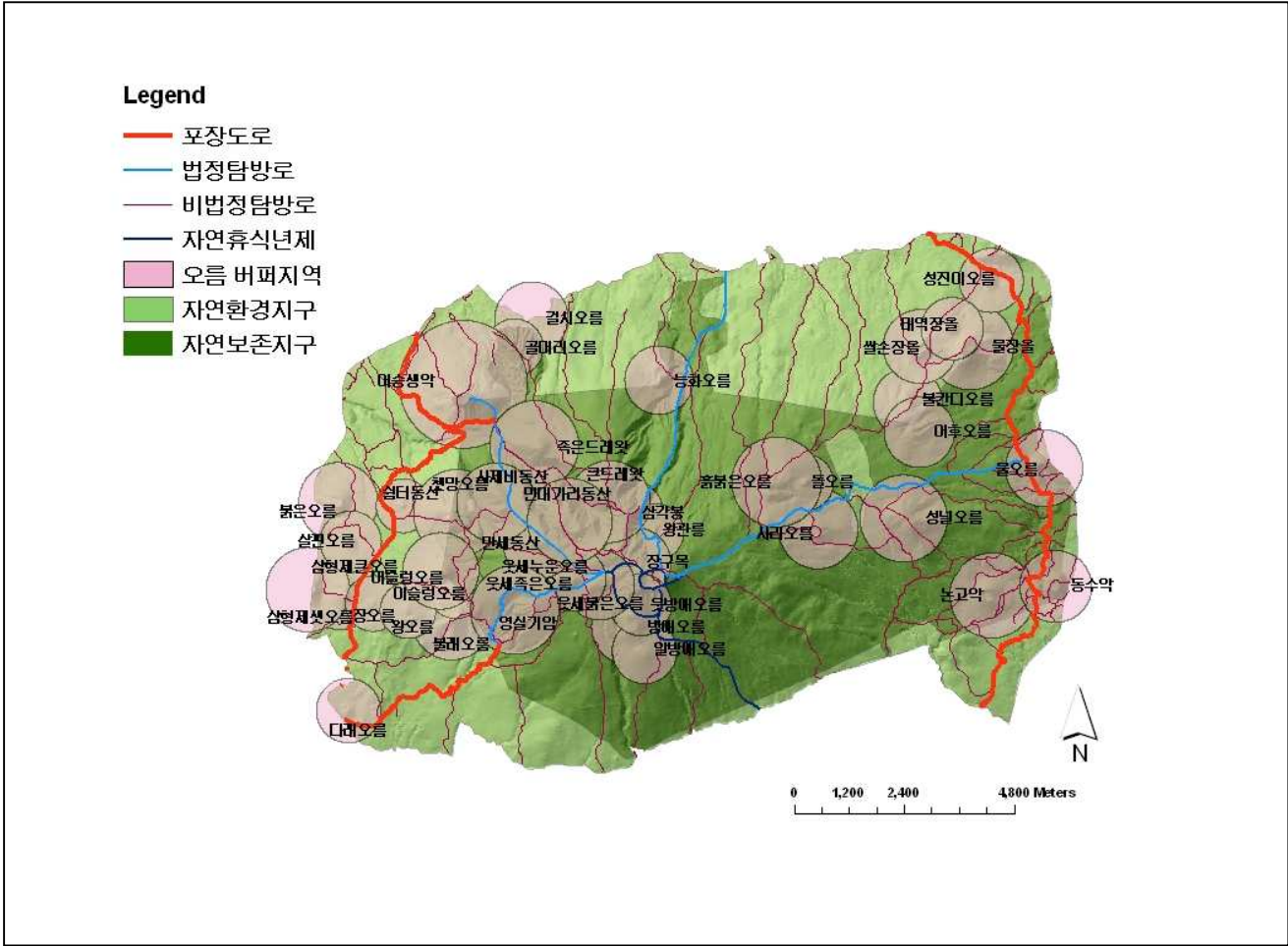
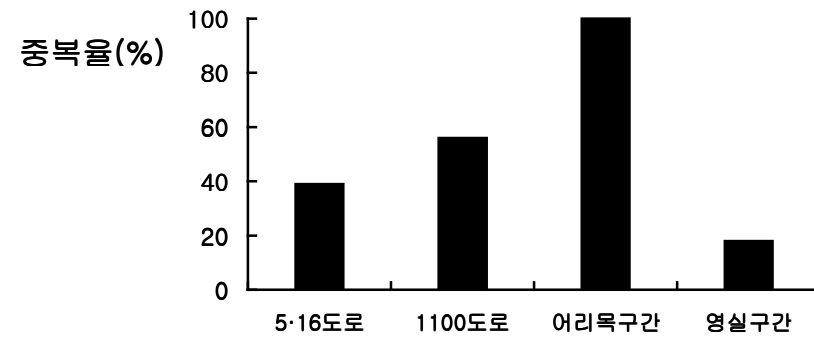
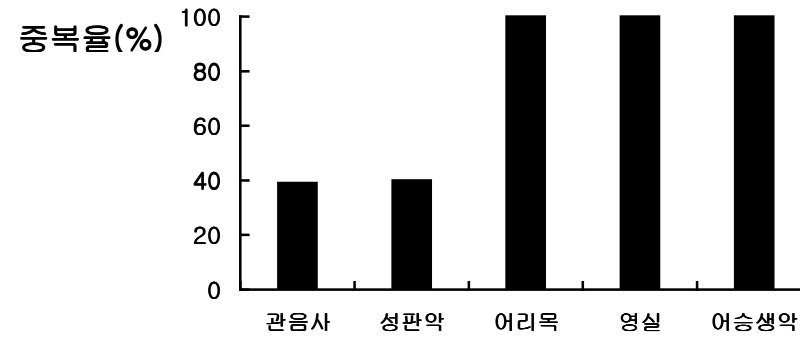


Figure 13. 한라산국립공원 내 포장도로 및 법정탐방로와 오름의 버퍼지역의 중복율.

A. 포장도로



B. 법정탐방로



IV. 고 찰

1. 도로에 의한 단편화

우리나라에는 현재 20개의 국립공원이 있으며 총 면적은 6,472 km²로 국토면적의 6.3%에 불과하다(환경부, 2003). 우리나라 자연식생 면적은 373 km²로 국토면적의 0.4%에 지나지 않으며 그 면적의 90% 이상이 국립공원에 위치하고 있어(환경부, 1991) 우리나라의 국립공원은 주요 자연자원이라고 할 수 있다. 그러나 우리나라의 국립공원은 외국에 비해 넓이가 좁고 사유지 비율이 39.1%로 높으며 이용형태도 등산, 유흥 및 위락 중심으로 이루어지고 있다(환경부, 2006). 현재 우리나라 국립공원을 횡단하는 도로의 수는 포장도로 42개, 비포장도로 10개에 달하며, 백두대간(670km)을 가로지르는 도로는 1990년 23개에서 1997년에는 72개로 증가하였다(환경부, 2002). 한라산국립공원은 제주 생물권보전지역 중 핵심지역으로서 인간의 간섭을 최소화해야 하지만 동쪽과 서쪽의 경계 부근에서 포장도로가 공원을 관통하고 수많은 법정·비법정 탐방로를 통하여 한라산을 등반하는 탐방객이 매년 증가하고 있어 핵심지역의 의미와 부합하지 않는 실정이다.

우리나라의 경우 백경진 등(2005)에 의해 지리산국립공원의 단편화 양상이 연구된 바가 있어 이를 기초로 한라산국립공원에도 포장도로와 법정탐방로에 각각 112 m, 60 m 의 동일한 버퍼를 적용하여 비교하였다. 지리산국립공원(면적: 440.5 km²)은 총 57조각 단편화되어 있으며, 한라산국립공원(면적: 153.4 km²)도 지리산과 마찬가지로 총 10조각으로 단편화되었다. 두 국립공원의 조각의 면적을 비교하였을 때 조각의 평균면적을 비교하였을 때 지리산과 한라산이 각각 7 km², 14 km²로 나타났으며 최대면적은 각각 47.8 km², 38.2 km²로 나타나 지리산 면적의 33%에

해당하는 한라산의 면적을 고려하였을 때 양호한 수치라고 판단된다. 5 km² 이상의 면적을 지닌 조각은 지리산과 한라산이 각각 32%, 70%를 차지하여 비교적 한라산이 높은 비율을 나타냈다. 따라서 지리산에 비해 상대적으로 한라산의 도로에 의한 단편화가 적은 것으로 사료된다. 또한, 생물권보전지역의 핵심지역과 그 용도정의가 비슷한 우리나라 국립공원의 용도지구 구분 중 자연보존지구 조차도 원래 정의에서 벗어나 있다. 지리산의 자연보존지구(149.8 km²) 내 내부면적이 10 km² 이상인 조각의 수는 5 조각에 불과하였으며, 한라산 자연보존지구도 4 조각으로 나타나 우리나라 다른 국립공원도 자연보존지구 내 인간간섭이 심각할 것으로 예측된다. 미국의 대규모 국립공원인 그랜드캐년의 경우 용도지구 중 우리나라의 자연보존지구의 역할과 비슷한 개발규제지구는 사람의 손이 닿지 않고 거의 이용되지 않는다(목영규, 2003). 미국의 국립공원은 면적은 크지만 탐방객이 자유롭게 출입할 수 있는 지역은 전체 공원면적의 10% 안팎에 불과하다. 반면, 우리나라 국립공원은 지리산과 한라산 내 자연보존지구의 단편화를 비추어볼 때 인간간섭의 규제를 위한 자연보존지구 용도가 적절하지 않은 것으로 판단된다.

이러한 수많은 다양한 길에 의한 서식지 단편화는 환경변화, 동물의 행동변화, 외래종의 도입, 차량 충돌사고, 인간의 유입증가 등의 다양한 결과를 초래한다(Trombulak and Frissell, 2000; Spellerberg, 2002). 특히, 도로가 인간에게 이동의 편의성을 제공하고 있으나 도로의 규모와 수가 증가할수록 인간의 개입이 증가하기 때문에 야생동물의 서식지 안정성과 이용도가 떨어진다(Mace et al, 1996; McLellan and Shackleton, 1988). 그 결과로 서식지가 단편화된 지역에서 야생동물의 로드킬(Road-kill) 사고가 빈번하게 나타난다. 로드킬 현황에 의하면 자동차와의 충돌사고가 연간 384건에 이르며 우리나라 야생에 많이 살고 있는 너구리, 토끼, 오소리, 노루 등의 중소형 포유류의 사망사고가 많은 것으로 조사되었다(한국도로공사, 2001). 이용육과

이명우(2006)에 의해 전라북도, 백두대간 등의 다양한 지역에서 로드킬이 발생한 지점의 지형유형과 도로유형을 조사한 결과, 4차선 고속도로에서 가장 많은 로드킬이 발생하였으며 초식동물은 산악지대, 구릉지대, 평야지대에 관계없이 도로가 산림을 통과하는(절개지) 지점에서 로드킬의 90%가 발생되었다. 오장근(2004)에 의하면 1993년부터 2004년까지 12년간 제주도 내 주요도로변에서 죽은 노루가 총 547마리이며, 이 중 한라산국립공원 내 주요도로에서 죽은 노루가 357마리로 조사되었다. 이러한 로드킬 사고에 대처하기 위해 Bennett(1990)는 인위적 이용으로 단편화된 호주 빅토리아 원시림에 두 세 개의 평행한 통로와 징검다리 역할을 하는 작은 조각으로 큰 조각 사이에 연결망을 만들어 고립된 서식지 사이의 단절을 완화하는 기술을 제안하였다. Lindenmayer와 Fischer(2006)는 서식지 분할과 고립이 종 분포에 위협이 된다면 징검다리 돌(Stepping stone)로써 서식지 조각들을 연결하도록 방안을 제시하였다. 국내의 서식지 연결성에 관한 연구로는 설악산과 오대산국립공원을 중심으로 한 강원도 일대 약 4573.5 km² 지역의 단편화로 인해 삶과 같은 중대형 포유류의 감소를 예측한 바가 있다(강혜순 등, 2005). 조사지역에서 단편화된 조각 중 삶의 행동권을 만족시킬 수 있는 최소면적(5 km²), 각 조각 간의 거리(1 km² 이하)와 근접도, 삶의 선호 식생, 연결성 등을 만족하는 계방산과 방태산 일대를 오대산과 설악산국립공원의 연결지점으로 선정하였다.

단편화의 영향은 서식지 조각의 내부면적과 형태에 따라서 다양한 효과를 나타낸다. 도로 등의 인위적 이용에 의해 분할된 많고 작은 서식지 조각들은 각각의 불규칙한 모양을 나타낸다. 이러한 굴곡성 있는 형태는 가장자리 종에게는 유리할 수 있으나 내부종에게는 위협이 가해지기도 한다. 조각의 굴곡화는 도로에 인접한 가장자리 식생은 조각내부에 대한 미기후 변화의 완충 효과를 갖기도 하나(김은숙, 2001) 햇빛을 선호하는 외래종의 침입함으로서 식생 고유성을 변화시킨다(Parendes and Jones, 2000,

Spellerberg, 2002). 동물 이동에 중요한 역할을 하는 반도효과(Peninsula effect)을 발생시키기도 한다(Taylor, 1987; Mann and Plummer, 1993). 이러한 반도효과로서 지리산국립공원의 반달가슴곰의 경우, 가장자리 면적이 최소화되는 원형 조각보다는 이동통로가 많은 굴곡형 서식지 조각을 선호하는 것으로 나타났다(강혜순과 백경진, 2005). 조각 형태의 정량화가 가능한 경관형태지수(LSI)는 가장자리 둘레길리와 내부면적의 비를 이용하여 값이 클수록 조각의 둘레가 내부면적에 비해 굴곡화가 심한 정도를 나타내고 LSI가 작을수록 둘레가 완만하다는 것을 나타낸다. 예를 들어, 원의 LSI를 1이라고 했을 때, 1보다 클수록 불규칙한 모양이다(Forman, 2000). 한라산국립공원 내 포장도로와 법정·비법정탐방로에 의한 100개 조각의 LSI는 최소 2에서 최대 21까지 나타났으며 특히 한라산의 북사면 조각은 대부분 긴 형태를 나타내 비법정탐방로로 인해 조각의 둘레길리가 증가하게 됨을 알 수 있다. 북사면의 35번과 38번 조각 내 비법정탐방로를 폐쇄한다면 내부면적이 상당히 증가하고 LSI 지수가 낮아질 것으로 기대된다. LSI가 10을 나타내는 5번, 19번 조각의 면적이 각각 0.8 km², 1.4 km²로 상당히 작아 LSI 지수가 낮더라도 포유류가 서식하기에 부적합한 면적을 가지고 있다. 반면, 35번 조각은 최대 LSI인 21로서 굴곡성이 가장 컸으나 내부면적은 8 km²로 100개 조각 중 세 번째로 큰 면적이다. 북사면은 남사면에 비해 법정탐방로에 의한 단편화가 적고 관음사 탐방로를 제외한 나머지 비법정탐방로를 폐쇄한다면 대부분이 활엽수림으로 구성된 북사면 서식지는 내부종 생물에게 매우 적합한 서식지가 될 것으로 기대된다. 비법정탐방로를 제외하여 발생한 10개 조각의 LSI는 최소 2에서 최대 21까지 나타났으나 최대 LSI를 나타내는 9번 조각은 공원 경계 밖의 산림을 고려하면 형태지수가 낮아질 것으로 사료되며, 최소 LSI인 4번 조각은 형태지수가 2로서 비교적 원에 가까운 형태이나 내부면적이 0.1 km²에 불과하여 가장자리 효과가 클 것으로 예측된다.

2. 단편화가 식생에 미치는 영향

단편화에 의해서 가장자리 효과가 발생하고 이는 실제 생물이 서식할 수 있는 서식지 면적을 감소시키게 된다(Miller et al., 1996; Reed et al., 1996; Hawbaker, 2004). 가장자리가 증가하면 외래종이 확산(김보현, 2000)되고 빛과 바람에 의해 숲 가장자리는 내부와 다른 미기후 조건을 가지게 되어 식물 군집의 성장환경에 영향을 미치게 된다(김은숙, 2001). 이에 따라 단편화된 산림의 보존 가치를 평가하기 위해서 가장자리 효과가 미치는 범위를 추정하는 것이 요구된다(Matlack, 1993). Matlack(1993)은 숲 가장자리에서 거리에 따른 방형구를 설치하고 빛, 기온, 낙엽 수분, 수증기압, 습도 등의 미기후를 측정한 결과 가장자리로부터 50 m 이상이 가장자리 영향에 노출되어 있다고 밝혔다. 한라산국립공원의 포장도로와 법정탐방로에 각각 112 m(서경주, 1996; 백경진 등, 2005), 60 m(Forman, 2000; 이도원, 2003; 백경진 등, 2005)의 가장자리 효과를 적용한 결과, 내부면적이 142.2 km²로 원래 공원면적(153.4 km²)보다 감소하여 7%가 가장자리에 해당되었으며 비법정탐방로를 포함하면 내부면적이 120.6 km²로 공원면적의 21%가 가장자리에 해당되었다.

한라산의 토지피복도 분류에서 자연지역이 공원에서 차지하는 비율은 99.7%(152.49 km²)로 공원의 대부분을 차지하고 있으며 단편화로 인해 6.9%가 감소하였다. 한라산 내 자연지역 중 자연초지(5.84 km²)가 17%로 가장 높은 감소율을 나타냈다. 자연초지는 공원의 3.8%에 불과하는 좁은 면적이면서 주로 해발고도 1,400 m 이상에서 분포하고 있어 초지에 서식하는 식생, 즉 김의털, 검정겨이삭, 자주꿩의다리 및 구름채꽃 등은 탐방로와 탐방객에 의한 피해가 있을 것으로 사료된다. 한라산 내 해발 1,400 m 이상의 자연초지를 포함한 정상일대에는 환경부에서 지정하고 있는 멸종위기 야생식물, 보호 야생식물, 특산식물 및 희귀식물의 대부분이

밀집되어 있어(이영노와 이명보, 1957; 오순자 등, 2000) 매우 보호가치가 높은 지역이다. 그러나 윗세오름을 중심으로 한 고산식생의 훼손이 심각하여 2001년 ~ 2005년까지 구상나무를 비롯하여 좁고채목, 병꽃나무, 곰취, 시로미 등을 식재하여 훼손지를 피복한 바 있다. 그 결과 초본은 좋은 피복율을 보였으나 목본은 생육만 할 뿐 성장하지 않고 있다(정영교, 2005). 본 연구에서도 포장도로와 법정탐방로에 의해 분할된 조각의 면적 중 1 km² 이하로 산출된 3개의 조각이 모두 백록담 부근에 위치하는 것으로 나타나 고산지대 탐방로에 의한 훼손 상태가 심각한 것을 알 수 있다. 또한 백록담 부근인 해발고도 1,900 m 이상 지역의 면적을 조사한 결과, 겨우 0.11 km²에 불과하였으며 단편화에 의해 서식지 면적이 0.005 km²로 95%나 감소하였고 해발고도 1,700 m 이상의 고도로 올라갈수록 면적 감소율이 증가하였다. 즉, 면적이 좁은 고산지대의 서식지 면적은 더욱 감소하여 고산식생을 위협하고 있다.

최근에는 지구온난화 현상과 관련하여, 한라산 내 특산식물을 포함한 약 59종의 고산식물에 대한 관심이 높아지고 있다(공우석, 1998; 고정균, 1999; 김봉찬과 고정균, 2001). 공우석(1999)은 극지·고산식물과 고산식물은 온도 범위가 좁고 고온에 민감하여 지구온난화에 대해 가장 취약한 종으로 예측(2005)하였고, 한라산 고산식물을 분포에 따라 8가지 유형으로 분류하여 생육환경을 조사(1998)하는 등의 지구온난화의 영향에 대비하기 위한 정보를 제공하고 있다. 한라산연구소에 따르면 한라산 내 제주조릿대 분포면적이 확산되어 아고산 식생들이 점점 줄어들고 있으며 대표적 특산식물인 시로미 군락지 일부가 사라진 것으로 조사되었다(동아일보, 2004). 또한 벚꽃의 개화시기가 빨라지는 등(이승호와 이경미, 2003) 우리나라에서도 많은 변화가 관찰되고 있다. 김재욱과 이동근(2006)은 지역기후모형을 이용하여 미래 산림식생의 분포를 예측한 결과 아고산 식생이 이동할 수 있는 분포 범위가 줄어들고 다른 군락들도 수평적, 수직적 이동을 하면서 점차 이동 범위가

감소하는 것을 예측하였다. 그러나 인위적 토지이용에 의한 심각한 단편화가 이루어진 경관이라면 식물이 적합한 서식지로 이동하는 것을 방해할 것이며(Peters and Darling, 1985; Gardner et al., 1991) 기후 변화로 인해 종의 적합한 서식지는 더욱 감소할 것이다(IPCC, 2001). GIS를 이용하여 스웨덴 산지의 교목한계선 변화를 예측한 결과, 1년 동안에 23 m ~ 221 m만큼 이동할 것으로 예측하였고 스웨덴 산지의 좁은 면적을 차지하는 고산지대는 심각한 단편화로 인하여 식물 이동에 영향을 줄 것으로 예측하고 있다(Moen et al., 2004). 지구온난화 결과 100년 후 평균 기온이 현재와 비교해 약 3℃ 증가한다면 현재의 식생대는 북쪽으로 약 500 km 또는 현재의 표고보다 500 m 높은 고산지대로 이동할 것으로 예측되었다(한국환경정책·평가연구원, 2006). 이는 매년 수평적으로 5 km씩 식생대가 북쪽으로 이동하고, 5 m 씩 식생대의 분포표고가 현재보다 높아진다는 것을 의미한다. 이에 따라 최고 해발고도가 1,950 m인 한라산은 분포역이 좁은 돌매화나무(1,800 m 이상)와 시로미(1,700 m 이상)와 같은 고산식물의 멸종 가능성이 높아지게 될 것으로 예측된다. 따라서 종의 이동을 돕기 위해 공원과 같은 서식지에서는 토지이용을 규제하는 방안을 확보해야 할 것이다(IPCC, 2001).

3. 도로와 오름의 분포

한라산의 기생화산인 오름은 독특한 경관을 나타내며 풍부한 생태환경을 형성하고 있어 한라산의 종다양성을 위해 보전가치가 높은 자연자원이다(최남단청정환경21, 1999). 특히 보전가치가 높은 오름은 분화구 내에 물이 풍부하여 습지 생태계를 이루는 산정화구호이다. 산정화구호로 확인된 오름은 제주시의 물장오리, 어승생악, 원당봉, 한림읍의 금오름, 세미소, 조천읍의 물찻, 남원읍의 사라오름, 물영아리,

동수악이 있다(www.jeju.go.kr). 이 중, 제주특별자치도에 의해 지정된 절대보전지역(제주도, 2000)이며 한라산의 자연보존지구 내 위치하는 오름은 물장오리, 어승생악, 사라오름, 동수악이 있다. 동수악(면적: 0.3 km²)은 분화구 내 습지와 주변일대에 분포하는 식물종이 총 163종이 분포하며 이 중 개족도리 등 3종의 특산식물과 제주지네고사리 등 13종의 희귀식물이 분포하고 있어 보호가치가 높은 오름이다(제주도, 2001).

그러나 보전가치가 높은 오름은 현재 무방비 상태로 다양한 요인에 의해 훼손되고 있다. 오름 훼손의 원인에는 태풍, 폭우와 같은 자연적 요인과 탐방객에 의한 답압, 식물의 도채, 인공시설물 등의 인위적 요인이 오름을 훼손하고 있으나 가장 큰 요인은 인간 활동이다(제주도 등, 2000). 제주도 내 많은 오름들이 이용형태를 변경하여 경작지, 과수원, 묘지 등을 조성하기도 하며, 최근 관광 웹사이트를 이용한 오름 탐방 관광객이 증가하고 있어 그 피해가 뚜렷이 나타나고 있다. 실제로 한라산 내 분포하는 4개의 산정화구호는 자연보존지구 내 위치하며 절대보전지역으로 선정되었음에도 불구하고 모두 비법정탐방로가 오름의 정상부근까지 직접적으로 연결되어 있다. 특히, 제주도 오름 중 세 번째로 큰 규모인 어승생악은 포장도로가 오름의 경계까지 연결되어 있고 자연학습탐방로가 오름의 정상까지 연결되어 있어 탐방객 뿐 아니라 차량의 영향까지 받고 있는 실정이다. 한라산 내 고산지대를 속한 1,300 m 이상의 고도 내에 분포한 14개 오름에 500 m 버퍼를 적용한 결과 모두 법정탐방로와 겹치고 있고 비법정탐방로가 많아 매년 증가하는 탐방객의 영향이 매우 클 것으로 사료된다. 단편화로 인해 면적이 감소하여 주요 식생에 위협이 가해지는 1,400 m 이상의 고산지대는 오름에도 마찬가지로 단편화의 영향이 미치고 있어 오름 보전에 대한 구체적인 방안이 제시되어야 할 것이다. 제주특별자치도와 제주발전연구원(2000)에서는 오름의 자연성, 훼손의 정도 및 휴양기회 제공의 정도에 대한 평가 인자를 고려하여 적극적인 보전을 필요로 하는 오름, 보존과 이용의 조화를 유지하는 오름, 그리고 복합적

이용이 가능한 오름 등의 3등급으로 구분하고 각 등급별 오름을 선정하고 관리할 방침을 세우고 있어 훼손을 줄일 수 있는 구체적 방안이 제시되길 기대한다.

4. 제언

다른 국립공원 또는 산림지역과 마찬가지로 도로와 같은 인위적 이용으로 인해 단편화된 제주 생물권보전지역 중 핵심지역인 한라산국립공원의 주요 생태자원의 효율적 보전을 위한 다음과 같은 사항을 제시하고자 한다.

첫째, 단편화 영향이 큰 백록담 부근, 고산지대의 탐방로 폐쇄를 제안한다. 좁은 분포역과 지구온난화에 취약한 고산식물이 주로 분포한 해발고도 1,400 m 이상 지역은 탐방로에 의한 면적 감소율이 상당히 높은 것으로 나타났다. 실제로 어리목 탐방로와 영실 탐방로를 통해 백록담으로 연결되는 고산지대의 훼손지 복원이 이루어지고 있는 상태이다. 특히 어리목 탐방로는 한라산에서 가장 많은 탐방객이 이용하는 구간으로 주변 식생파괴, 샛길 생성, 나지확대 등 탐방객에 의한 훼손이 심각하게 발생하였다(김상우, 1999). 어리목 구간 중 백록담 부근의 심각한 훼손에 대처하여 윗세오름부터 백록담까지 이르는 탐방로와 돈내코 탐방로가 자연휴식년제를 시행하고 있으나 관음사와 성판악 탐방로를 통한 정상탐방이 가능하여 인간간섭으로 인한 훼손이 계속 이루어지고 있다. 2007년 국립공원 입장료가 폐지되어 무분별한 공원이용으로 인한 자연자원의 훼손이 우려되므로 공원탐방예약제, 성수기 탐방 조절 등 이용 분산 방안과 자연휴식년제 확대, 출입통제지역 관리강화 등 보존적 관리방향을 탐방객이 이해할 수 있도록 하는 등(김동필, 2007) 여러 방안이 제시되고 있다. 따라서 보호가치가 높으나 단편화의 영향이 크게 나타난 해발고도 1,400 m 이상 지역 내 분포한 비법정탐방로와

법정탐방로를 모두 폐쇄하여 학술연구와 모니터링 외의 인간 간섭을 규제하는 것이 요구된다. 그 외 폐쇄되지 않은 지역, 특히 수많은 비법정탐방로가 존재하는 북사면을 중심으로 등산객이 법정탐방로만을 이용하도록 유도하여 비법정탐방로를 폐쇄하는 것이 생태계 훼손을 줄이는데 기여할 것으로 사료된다.

둘째, 오름의 핵심지역과 완충지역을 설정하여 핵심지역 내 비법정탐방로 폐쇄하고 오름 버퍼지역 내 분포하는 각종 길에 대한 규제를 제안한다. 한라산의 주요 생태자원인 오름은 한번 훼손되면 복구가 어려운 점을 고려하였을 때 인간 간섭으로부터 격리시켜 보호해야 하지만 절대보전지역이면서 자연보존지구 내 오름조차도 인간 간섭이 이루어지고 있다. 현재 제주도 내 물영아리 오름의 습지보호를 위해 핵심지역, 습지보호지역, 습지주변관리지역, 완충지역, 전이지역으로 구분하고 물영아리 오름 면적(0.309 km²)의 약 8배에 해당하는 면적을 습지보호지역으로 설정하고(환경부, 2001) 그 지역으로부터 150 m의 폭을 갖는 완충지역을 설정하여 관리하고 있다. 이에 따라 물영아리 보전 대책과 같이 한라산 내 분포하는 오름에 인간간섭이 통제되는 핵심지역과 완충지역을 설정하여 핵심지역 내 비법정탐방로를 모두 격리시킬 것을 제안한다. 더불어 오름에 500 m 버퍼 적용 결과, 어리목 입구 ~ 어리목 진입로까지를 연결하는 포장도로가 어승생악의 버퍼지역과 100% 중복되었으므로 어리목 구간 포장도로 폐쇄해야 하며, 서쪽의 1100도로가 어승생악, 쉼터동산, 장오름 등의 오름의 버퍼지역과 56%로 두 번째로 높은 중복율을 나타내므로 1100도로의 교통량을 조절할 것을 제안한다. 또한 각종 오름의 버퍼지역과 100% 중복되는 어리목 탐방로, 영실 탐방로, 어승생악 자연학습탐방로를 자연휴식년제로 시행할 것을 제안한다.

셋째, MAB 핵심지역의 정의와 혼동되는 한라산국립공원 내 용도지구의 재설정이 요구된다. 본 연구의 결과로 보아 한라산 내 다양한

도로가 식생 및 오름 등 생태자원에 미치는 영향을 충분히 고려하지 않은 상태로 분포되어 있다고 판단된다. MAB의 핵심지역의 정의와 부합하지 않으며, 공원 내 자연보존지구의 인위적 훼손도 그 용도정의와 부합하지 않고 있다. 이러한 다양한 용도 설정이 혼동되는 것은 한라산 생태계 보전계획을 세우는데 있어 혼란을 야기 시키므로 MAB의 핵심지역의 정의와 일치하는 자연보존지구를 한라산국립공원 전체로 지정하는 고려해야 할 것이다. 현재 한라산은 1970년 자연공원법에 의해 국립공원으로 설정되어 자연보존지구와 자연환경지구로 용도를 구분하고 있으며, 2002년 제주 생물권보전지역의 핵심지역으로 지정되었다. 세계적으로 90% 이상의 생물권보전지역이 국립공원과 같은 보호지역에 중복 지정되어 있다(www.knps.or.kr). 그 이유는 생물권보전지역의 생물다양성 보전과 경제적 · 사회적 · 문화적 가치를 조화시켜 보전과 지역사회의 발전을 동시에 달성하고자 하는 핵심이념 때문이다(Batisse, 1997). 중복 지정된 또 다른 국립공원인 설악산은 1970년 국립공원으로 지정된 후, 1982년에 설악산 생물권보전지역(393.49 km²)으로 지정되었다(www.unesco.or.kr). 설악산국립공원을 생물권보전지역으로 지정할 때 국립공원 용도지구에 기초하여 자연보존지구를 핵심지역으로, 자연환경지구를 완충지역으로, 취락지구와 집단시설지구를 전이지역으로 지정한 후, 1993년에 점봉산 일대를 핵심지역으로 추가 지정하였다(제주도, 2005). 설악산국립공원은 국립공원의 용도구분과 생물권보전지역의 용도구분 정의가 일치한다. 반면, 한라산국립공원은 자연보존지구와 자연환경지구가 모두 제주 생물권보전지역 중 핵심지역에 포함하고 있으며, 자연환경지구는 환경부령이 정하는 밀집하지 않는 공원시설의 설치 및 공원사업을 허용하고 있어 MAB 핵심지역의 정의와 차이가 있다. 용도지구의 다양한 역할로 혼동을 주는 것을 피하기 위해 자연환경지구를 자연보존지구로 재편성하는 것을 고려해야 할 것이다. 한라산국립공원의 용도지구를 재설정함으로써 MAB 핵심지역의 용도에 부합하게 관리 계획을 세우도록 기대한다.

참 고 문 헌

- 강정효. 2003. 오름의 왕국 생태계의 보고 한라산. 돌베개. pp. 271.
- 강혜순, 김진영, 박경. 2005. 야생동물의 행동권을 고려한 설악산 국립공원과 오대산 국립공원간 서식지 연결. 19: 150-161.
- 강혜순, 백경진. 2005. 멸종위기종 반달가슴곰의 현장 내 복원을 위한 행동권 평가. 한국생태학회지. 28: 395-404.
- 고정균. 1999. 한라산 고산식물의 생태생리학적 연구. 제주대학교 대학원 박사학위 논문.
- 공우석. 1998. 한라산 고산식물의 분포 특성. 대한지리학회지. 33: 191-208.
- 공우석. 1998. 한라산 고산식물의 지리적 분포역. 대한지리학회지. 1: 60-62.
- 공우석. 1998. 제주도 기온 온난화가 한라산 고산식물의 분포에 미치는 영향. 대한지리학회지. 48: 1-41
- 공우석. 2002. 한반도 고산식물의 구성과 분포. 대한지리학회지. 39: 357-370.
- 김도훈, 홍영교. 2006. 제주도 한라산 노루에 관한 시스템적 접근. 한국 시스템다이내믹스 연구. 7: 191-213.
- 김동필. 2007. 한라산국립공원 탐방객 만족요인 및 예측모형 분석. 한국환경생태학회지. 21: 120-125.
- 김문홍. 1993. 제주도 관속식물의 연구와 재문제 식물상 및 특산식물의 기재와 식생대 구분을 중심으로. 한국생물과학협회 생물과학심포지움. 14: 109-131.
- 김보현. 2000. 도로 건설이 식물생태계에 미치는 영향: 지리산국립공원 성삼재관통도로를 사례로. 서울시립대 석사학위논문.
- 김봉찬, 고정균. 2001. 제주도의 희귀 및 멸종 위기식물 현황 및 보존. 한국의

- 식물. 29: 12-17.
- 김상우. 1999. 한라산국립공원 자원개발 방향에 관한 연구. 제주대학교 석사학위논문.
- 건설교통부. 2004. 제주도 통계 보완.
- 국토연구원. 2000. 한라산 기초조사 및 보호관리계획수립. 연구보고서.
- 김은숙. 2001. 도로에 인접한 숲 가장자리의 미기후 변화에 대한 완충제로서 하층식생의 역할. 서울대학교 환경대학원 박사학위논문.
- 김진수, 손요한, 신준환, 이도원, 최재천, 리처드프리맥. 2000. 보전생물학. 사이언스북스. pp. 309-326
- 김찬수. 2000. 한라산 고산식물분포대의 특성과 고산식물의 증식을 통한 자생지 복원. 국제자연보전연맹(IUCN) 증보전위원회 한국식물전문가그룹 뉴스레터 제 10호.
- 동아일보(2004. 10. 27). '식물계 무법자' 제주 조릿대 한라산 점령.
- 목영규. 2003. 국립공원 자연보존지구의 재설정에 관한 연구: 지리산국립공원을 중심으로. 서울대학교 대학원 석사학위논문.
- 백경진, 박경, 강혜순. 2005. 지리산 국립공원 내 도로에 의한 산림조각화. 한국환경복원 녹화기술학회지. 8: 63-72.
- 서경주. 1996. 식생지수를 이용한 설악산 국립공원내 인간활동이 식생에 미치는 영향 분석. 서울대학교 환경대학원 박사학위논문.
- 오순자, 고정균, 고석찬. 2000. 한라산국립공원 지역의 식생과 식물상. 제주대학교 환경연구논문집. 8: 39-49.
- 오장근. 2004. 제주도 노루의 생태학적 행동특징. 한국교원대학교 박사학위논문.
- 윤성일. 2003. 제주도지역 노루의 생태에 관한 연구. 고려대학교 박사학위논문.
- 이도원. 2003. 경관생태학. 서울대학교출판부. pp. 349

- 이동근, 김명수, 구본학, 김경훈, 김동성, 나정화, 윤소원, 이명우, 전성우,
정홍락, 조경두, 제종길, 홍선기. 2004. 경관생태학. 보문당. pp. 518
- 이승호, 이경미. 2003. 기온 변화에 따른 벚꽃 개화시기의 변화 경향.
환경영향평가 12: 85-99.
- 이영노, 이명보. 1957. 한라산 화구내 식물과 토도 식물. 한국약학회지.
4: 21-34.
- 이용욱, 이명우. 2006. 목표종 생태통로의 위치선정: 포유류 Rord-kill
현장조사를 중심으로. 한국환경복원 녹화기술학회지. 9: 51-58.
- 정영교. 2005. 한라산 생태계안정화 연구. 산림과학정보 175호. pp. 10-11
- 조도순. 1991. 도서생물지리학설과 자연보존. Journal of Natural Science.
12: 37-47.
- 제주도. 2000. 한라산 기초조사 및 보호관리계획수립 보고서.
- 제주도. 2005. 제주도 생물권보전지역 관리계획. pp. 357.
- 제주도. 2006. 한라산국립공원 내 포장도로 현황도.
- 제주도, 제주발전연구원. 1999. 제주도에 자생하는 멸종위기 · 보호야생식물.
pp. 154.
- 제주도, 제주발전연구원. 2000. 제주 오름의 보전 · 관리 방안. pp. 307.
- 제주도, 제주발전연구원, 제주환경운동연합. 2001. 제주의 습지. pp. 270.
- 제주대학교. 2000. 한라산 국립공원 자연환경 기초조사.
- 제주발전연구원. 2003. 제주도 생물권보전지역의 효율적 관리방안 연구.
pp. 54.
- 최남단청정환경21 추진협의회, 남제주군 환경관리과. 1999. 오름과 하천을
가깝시다. pp. 99,
- 한국환경정책 · 평가연구원, 2006. 기후변화 영향평가 및 적응시스템 구축Ⅱ.
한국환경정책 · 평가연구원 보고서.
- 한라산국립공원. 2006. 공원통계자료.

- 한라산연구소. 2006. 사진으로 보는 천연보호구역의 자연생태계 한라산.
pp. 243.
- 환경부. 1991. 전국녹지자연도 정밀조사. 환경부 보고서.
- 환경부. 2001. 제주 물영아리오름 습지보호지역 보전·관리대책수립. pp. 97
- 환경부. 2002. 환경백서
- 환경부. 2003. 공원기본계획안. 환경부 보고서.
- 환경부. 2006. 환경백서.
- Andren, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals
in landscapes with different proportions of suitable habitat: a
review. *Oikos*. 71: 355-366.
- Battisse, M. 1997. Biosphere Reserves: A Challenge for Biodiversity
Conservation and Regional Development. *Environment*. 39: 7-33.
- Collinge, S. K. 1996. Ecological consequences of habitat fragmentation:
implications for landscape architecture and planning. *Landscape
and Urban Planning*. 36: 59-77.
- ESRI. 2004
- Fahrig L. 2003. effects of fragmentation on biodiversity. *Annual Review
of Ecology and Systematics*. 34: 487-515.
- Forman, R. T. T., and L. E. Alexander. 1998. Roads and their major
ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics*.
29: 207-231.
- Forman, R. T. T., and R. D. Deblinger. 2000. The ecological road-effect
zone of a Massachusetts (USA) suburban highway. *Conservation
Biology*. 14: 36-46.
- Forman, R. T. T. 2000. 토지 모자이크 번역서. 성균관대학교 출판부. pp.645
- Forman, R. T. T. 2000. Estimate of the area affected ecologically by the

- road system in the United State. *Conservation Biology*.
14: 31-35.
- Fortin, M. J., Boot B., Csillag F., and Remmel T. K. 2003. On the role of spatialstochastic models in understanding landscape indices. *Oikos*. 102: 203-212.
- Gardner, R. H., M. G. Turner, R. V. O'Neill, and S. Lavorel. 1991. Simulation of scaledependent effects of landscape boundaries on species persistence and dispersal. In *Ecotones: The Role of Landscape Boundaies in the Management and Restoration of Changing Environments*, ed. M. M. Holland, P. G. Risser, and R. J. Naiman, 76-89. New York: Chapman and Hall.
- Hawbaker, T. J. and V. C. Radeloff. 2004. Roads and landscape pattern in northern Wisconsin based on a Comparison of four road data sources. *Conservation Biology*. 18: 1233-1244.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability - Summary for Policymakers*. pp. 17.
- Lindenmayer, D. B. and J. Fischer. 2006. Tackling the habitat fragmentation panchreston. *Trend in Ecology and Evolution*. 22: 127-132.
- Mann, C. C. and M. L. Plummer, 1993. The high cost of biodiversity. *Science* 260: 1868-1871.
- Matlack, G. R., 1993. Microenvironment variation within and among deciduous forest edge sites in the eastern United States. *Biological Conservation*. 66: 185-194.
- Miller, J. R., L. A. Joyce, R. L. Knight, and R. M. King. 1996. Forest roads and landscape structure in the southern Rocky Mountains.

- Landscape Ecology. 11: 115-127.
- Miller, S. G., R. L. Knight, and C. K. Miller. 1998. Influence of recreational trails on breeding bird communities. *Ecological Applications*. 8: 162-169
- Moen, J., K. Aune, L. Edenius, and A. Angerbjorn. 2004. Potential effects of climate change on treeline position in the Swedish mountains. *Ecology and Society*. 9: 16.
- Parendes, L. A. and J. A. Jones. 2000. Role of light availability and dispersal in exotic plant invasion along roads and streams in the H. J. Andrews experimental forest, Oregon. *Conservation Biology*. 14: 64-75.
- Peters, R. L. and J. D. S. Darling. 1985. The greenhouse effect and nature reserves. *Bioscience*. 35: 707-717.
- Reed, R. A., J. Johnson-Barnard, and W. L. Baker. 1996. Contribution of roads to forest fragmentation in the Rocky Mountains. *Conservation Biology*. 10: 1098-1106.
- Rich, A. C., D. S. Dobkin, and L. J. Niles. 1994. Defining forest fragmentation by corridor width: the influence of narrow forest-dividing corridors on forest nesting birds in southern New Jersey. *Conservation Biology*. 8: 1109-1021.
- Saunders, D. A., R. J. Hobbs, and C. R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology*. 5: 18-32.
- Spellerberg, I. F. 2002. *Ecological Effects of Roads*. Science Publisher. Inc., Enfield. pp. 251.
- Taylor, R. J. 1987. The geometry of colonization : 2. Peninulas. *Oikos*.

48: 232-237.

Trombulak, S. C. and C. A. Frissell. 2000. Review of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation Biology*. 14: 18-30.

Turner, M. G. 2005. Landscape Ecology: What Is the state of the science?. *Annual Review*. 36: 319-344.

Wilcove, D.S., C.H.McLellan and A.P.Dobson.1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. In Soulé, M.E., ed. *Conservation Biology: The science of Scarcity and Diversity*. p. 237-256. University of Michigan. Sunderland, Massachusetts. pp. 584

www.unesco.or.kr 유네스코한국위원회

www.hallasan.go.kr 한라산국립공원

www.knps.or.kr 국립공원관리공단

www.jeju.go.kr 제주자연환경생태정보시스템

**Landscape Analysis of Mt. Halla National Park
in a Biosphere Reserve, Jeju Island
- Core Area Fragmentation -**

**Kim, Hyun Jung
Department in Biology
Graduate School
Sungshin Womens's University**

The habitat fragmentation due to roads on small islands like Jeju may further aggravate habitat conditions and conservation efforts. Mt. Halla National Park(153.4 km²), distinguished for its high endemism and species diversity, serves as a core area of a biosphere reserve on Jeju Island located in the Korea Steait. This national park is also dominated by Mt. Halla, a polygenetic volcano with numerous parasitic volcanoes as the name suggest. The recently-increased number of roads and trails with the growth of tourism has been invoking concerns about the habitat conditions in this park. Thus we examined the fragmentation pattern due to roads in relation to its elevation, vegetation, and parasitic volcanoes using GIS systems. The park consists of ten patches divided by roads and legal trails. When a buffer of 112 m and 60 m was applied to roads and legal trails respectively, core and buffer zones of the park did not differ in the mean patch size. Regarding the elevation, we found out that the patch size was reduced by 95% at a rather high elevation. About half

of 44 parasitic volcanoes were located within the 500 m vicinity of roads and legal trails. The results of severe fragmentation regardless of the zoning, patch size reduction at high elevation, and occurrence of parasitic volcanos in edge areas indicate that this designated core area may not function as a core area of the reserve, and rezoning the park and managing the roads are crucial for proper conservation, in particular with the climate change.

감사의 글

조금은 늦은 나이지만 성신여대 대학원에 입학하면서 '정말 잘해봐야지, 최선을 다 해야겠다'라고 생각했었습니다. 그러나 지금 되돌아보면 구석구석 구멍이 많아 후회가 되기도 합니다. 때때로 어렵고 힘든 순간을 지내면서 했던 생각들과 깨달음이 앞으로 들어가야 할 많은 문들을 열고 들어갈 수 있도록 큰 용기와 지혜를 줄 것이라 믿습니다. 이곳에서 좋은 공부를 하게 되고 작은 열매를 맺게 되어, 또한 좋은 사람들을 많이 만났음에 행복하고도 소중한 시간이었음을 고백하지 않을 수 없습니다. 처음부터 부족한 모습이었던 저에게 학문의 선배로서, 인생의 선배로서 끊임없는 가르침을 주시고 어떤 상황에서도 세심함과 따뜻함으로 애써주신 강혜순 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 바쁘신 중에도 실질적으로도 정신적으로도 의지가 되어 주시며 좋은 정보와 아낌없는 조언을 해주셨던 박 경 교수님과 장은미 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 첫 학기에 경관생태학을 처음 가르쳐 주셨으며 세심하게 논문을 살펴주시고 도움을 주신 권진오 선생님께도 깊은 감사를 드립니다. 또한 성신에서 귀한 가르침을 주신 김진일 교수님, 박경숙 교수님, 윤진호 교수님, 전용필 교수님, 김인순 교수님께도 감사의 말씀을 전합니다.

식물생태연구실에 처음 들어갔을 때 편안하고 친절하게 맞아주셨던 경진언니, 진영언니, 선영이, 그리고 은정이와 순임이를 생각하면 지금도 마음이 훈훈해집니다. 처음 논문을 쓰면서 막막하기만 했던 저에게 함께 고민해주고 해결책을 찾아주었던 경진언니, 언니의 배려심과 따뜻함에 늘 고마웠던 마음을 전합니다. 당찬 모습으로 에너지가 넘쳤던, 그러나 진실하고 마음 따뜻한 진영언니, 친언니처럼 멀리에서도 잊지 않고 챙겨주신 것 감사드리고 한국에서 만날 날만을 고대합니다. 첫 학기, 생소했던 학교생활을 친절하게 안내해주고 즐겁게 농담을 주고받았던 귀엽고 호기심 많은 선영이와 학창시절 친구처럼 편안하고 따뜻해서 많은 고민을 나누었던 은정에게 고마움을 전합니다. 늘 한결같은 모습으로 칭찬하지 않을 수 없고 어려운 부탁에도 흔쾌히 도와주었던 착한 순임이에게도 고마움을 전합니다. 씩씩하지만 속은 너무나 여린 은강언니,

내가 지쳐있을 때 격려해주시고 의지가 되어주셨던 것 감사드리며 먼저 있던 저로써 많은 도움이 되지 못한 미안한 마음을 전합니다. 그리고 실험실에 올 때마다 스타벅스 커피를 잊지 않고 챙겨주는 유쾌 발랄 수경이에게도 고마움을 전합니다. 미생물학 실험실, 동물분류학 실험실, 유전학 실험실, 발생학 실험실, 식물분자 실험실의 선, 후배들에게도 감사한 마음을 전합니다.

언제나 아낌없는 지원과 한없는 사랑으로 키워주신 사랑하고 존경하는 부모님, 내가 믿고 의지하는 큰언니와 작은언니, 언제 봐도 멋지지만 한 등직한 큰형부와 작은형부, 너무나 사랑스러운 조카 해린이와 아직 뱃속에 있는 리틀은경, 군대에서 씩씩하게 적응 잘하고 있는 착한 영재, 우리 가족 모두모두 사랑합니다. 그리고 언제나 변함없이 곁에 있어주는 나의 사랑하는 친구들에게 감사함을 전합니다. 마지막으로 이 모든 것을 계획하시고 늘 먼저 손 내밀어 주시는 하나님께 감사와 영광을 돌립니다.

2007. 7. 5.

