

## 한라산 아고산 초지대 나지의 확대속도와 침식작용\*

김태호\*\*

### Rates and Processes of Bare Patch Denudation in the Subalpine Grassland of Mt. Halla\*

Taeho Kim\*\*

**요약** : 한라산 아고산대의 초지박리에 관여하는 침식작용을 규명하기 위하여 표고 1,710m와 1,600m 지점에 출현하는 나지를 대상으로 지형특성과 확대속도를 조사하였다. 나지는 가장자리에 단애가 출현하므로 와지형태를 이룬다. 단애의 높이는 최고 85cm부터 단차가 나타나지 않는 경우까지 다양하다. 단애 최상부는 앞쪽으로 2~38cm 정도 튀어나와 있으며, 많이 돌출한 최상부는 시간이 지나면서 아래쪽으로 드리워져 단애를 가리게 된다. 나지 표면은 중력과 대력 크기의 각력으로 덮여 있으며 암피도 산재한다. 2002년부터 2004년까지 2년간 발생한 단애의 평균후퇴량은 39.2mm로서 연간 19.6mm의 후퇴량을 기록하였다. 계측지점별로 후퇴량을 비교하면 최고치와 최소치는 각각 131mm와 0mm로서 차이가 크다. 단애 후퇴량은 계절에 따라서도 달라져 4월의 융해진행기에 가장 크고 10월, 11월의 동결진행기와 6월, 7월의 장마기에도 큰 편이다. 나지확대에는 동결작용을 비롯하여 취식, 우세, 우적침식 및 동물작용 등 다양한 유형의 침식작용이 관여하고 있다. 이 가운데 우세나 취식과 결합된 서릿발작용은 한라산 아고산대의 100일 이상으로 추정되는 동결융해 교대일, 응설, 강풍환경 등을 고려할 때 가장 탁월한 침식작용이다. 한라산은 국내 최다우지이므로 릿침식과 같은 우세도 간과하기 어렵다. 그러나 우적침식은 단애 위쪽에 출현하는 식생 돌출부로 인하여 미약하다. 최근 개체수가 증가하고 있는 노루도 나지확대에 영향을 주고 있다.

**주요어** : 초지박리, 동결작용, 취식, 우세, 노루, 단애 후퇴, 아고산 초지대, 한라산

**Abstract** : Rates and processes of bare patch denudation were observed at Janggumokoreum(1,710m) and Minoruem(1,600m) in order to clarify some characteristics of turf exfoliation in the subalpine grassland of Mt. Halla. The bare patches have marginal terrace fronts with a maximum height of 85 cm. The terrace risers usually develop an overhanging edge 2 to 38 cm long that eventually hangs down and protects the riser beneath. The patches are largely covered with angular pebbles and cobbles. The mean rate of riser retreat for the period 2002-2004 is 39.2 mm, equivalent to 19.6 mm/yr. However, there is a disparity of the rate of riser retreat at individual sites. The maximum rate is 131 mm measured at Janggumokoreum patch while the minimum rate is 0 mm at Minoreum patch. The rate of riser retreat also varies with seasons. The thawing season of April exhibits a maximum rate of retreat. The freezing season of October and November and the rainy season of June and July show relatively high rates of retreat. Several processes such as frost action, aeolian deflation, rainwash, rainsplash and fauna activity cause the denudation of bare patches. In particular, the needle ice action which is combined with rainwash or deflation plays a primary role in turf exfoliation due to the diurnal freeze-thaw cycles occurred over 100 days, melted snow and strong wind in the subalpine zone of Mt. Halla. Rainwash is also an important contributing process in the rainy season because Mt. Halla

\* 이 논문은 2004년 제주지역환경기술개발센터의 지원으로 연구되었으며(연구과제 : 04-2-70-76), 대한지리학회 2006년도 연례 학술대회에서 발표하였다.

\*\* 제주대학교 지리교육과 부교수(Associate Professor, Department of Geography Education, Cheju National University), kintaeho@cheju.ac.kr

has the highest precipitation in Korea. By contrast, rainsplash erosion has a minor effect on the bare patch denudation due to the overhanging edge of terrace risers. Recent increase in roe deer appears to be responsible for turf destruction.

Key Words : turf exfoliation, frost action, deflation, rainwash, roe deer, riser retreat, subalpine grassland, Mt. Halla

## 1. 서론

초지대에서 소규모의 계단상 지형을 따라 노출된 토양이 제거됨으로써 지표의 식생피복이 파괴되는 삭박 프로세스를 초지박리(turf exfoliation)라고 한다(Pérez, 1992). 초지박리가 처음 보고된 아이슬란드에서는 초지대 가장자리에 형성된 작은 단애의 기저부에서 토양입자가 취식(deflation)으로 제거되면서 단애 아래쪽이 파이게 되면 위쪽의 식생이 밑으로 드리워지고 결국 뜰어져 나가는 형태로 침식이 진행된다(Sapper, 1915). 그러나 초지박리는 취식에 의해서만 발생하는 것은 아니며, 주빙하 환경의 초지대에서는 동결작용에 의해서도 유사한 현상이 일어나고 있다(King, 1971, Hastenrath and Wilkinson, 1973; Troll, 1973; 多田, 1974; Pérez, 1992; 原田·小泉, 1997; Rost, 1999; Grab, 2002; 김태호, 2002).

한편 한라산의 표고 1,400m 이상 아고산대에 넓게 분포하고 있는 초지대에는 등산로 주변은 물론 등산로에서 멀리 떨어져 있는 완사면에도 식생피복이 제거되고 토양이 노출된 훼손지가 많이 분포하고 있다(한라산국립공원관리사무소, 1997; 제주도, 2000a). 아고산대는 기온이 낮고 바람이 강할 뿐 아니라 일교차가 커서 동결융해가 빈번하게 일어나는 지역이다. 또한 강수빈도가 크고 강수량도 많은 기후특성을 지니고 있으므로 유수로 인한 토양침식을 비롯하여 동결작용과 취식 등 다양한 침식작용으로 나지가 빠른 속도로 확대될 수 있다. 따라서 태풍 루사 피해복구공사와 장구목 녹화매대 피복공사 등 나지복구를 위한 토목사업이 최근까지 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 나지확대에 관여하는 침식작용에 대한 규명 없이 복구사업이 진행되고 있으므로 한라산 아고산 초지대는 여전히 훼손위험에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

아고산대에 분포하는 나지 가운데 등산로에서 멀리

떨어진 완사면에 출현하는 나지는 인위적인 요인보다는 바람이나 서릿발과 같은 자연적인 요인에 의해 형성된 것으로 생각된다. 그러나 등산로 주변 나지에 비하여 눈에 쉽게 띄지 않는 장소에 위치하므로 주목을 받지 못하고 있으며, 그 결과 이들 나지에 대해서는 대책 수립은 물론 정확한 실태도 파악되지 않은 상태이다.

따라서 본고에서는 나지의 효과적인 복구와 초지대의 훼손예방을 위하여 한라산 아고산대에서 일어나고 있는 초지박리의 특성을 밝히고자 한다. 즉 규모와 형태 등 나지의 지형특성을 조사하고 확대속도를 장기간에 걸쳐 관측함으로써 한라산 아고산대의 나지확대에 관여하는 침식작용의 유형과 특징을 규명하고자 한다.

## 2. 연구지역 및 방법

### 1) 연구지역

한라산은 완사면으로 이루어진 순상화산으로서 표고 600m 이상 산악지대에 위치하는 국립공원의 경우 70.5%의 구역이 15° 이하의 경사를 보이고 있다(제주도, 2000a). 국립공원의 9.2%를 차지하는 아고산대도 오름과 하곡사면을 제외하면 완사면으로 이루어져 있으며, 특히 초지대가 넓게 분포하는 만세동산과 선작지왓 일대의 경사는 5° 이하에 불과하다(그림 1). 아고산대에는 윗세오름을 비롯하여 전부 13개의 오름이 분포하고 있으며 주로 분석구(cinder cone)이다.

연구지역에는 조면현무암과 조면암으로 분류되는 4개의 암층이 나타난다(제주도, 2000b). 조면현무암 가운데 가장 넓게 분포하는 백록담조면현무암은 백록담 분화구 동쪽으로 나타나며, 서쪽과 남쪽으로는 법정동 조면현무암과 윗세오름조면현무암이 분포한다. 반면

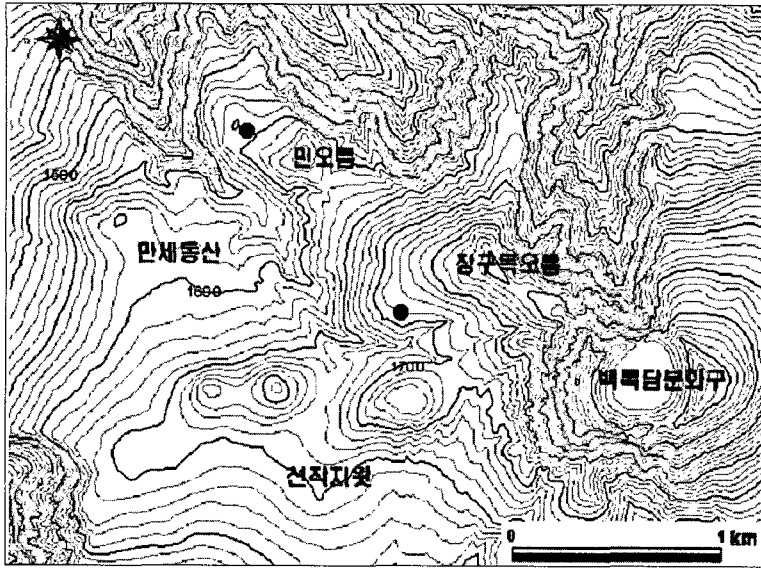


그림 1. 연구지역

주 : 조사나지는 장구목오름 남서사면 (1,710m)과 민오름 북서사면 (1,600m)에 흑색 원으로 표시되어 있다.

에 백록담 서벽을 중심으로 장구목, 큰두레왓 및 영실 일대에는 7만 년 전(玉生, 1990)에 분출한 것으로 알려진 한라산조면암이 분포한다.

표고 970m에 위치한 어리목의 연평균기온은 9.7℃ 이므로 기온계감률을 적용하면 아고산대의 하한고도인 표고 1,400m는 7.3℃이며 한라산 정상은 4.1℃로 추정된다(표 1). 또한 백록담 동쪽 화구륜에서 관측한 자료에 의하면 연평균기온은 3.7℃이며, 11월부터 3월 까지 동계 5개월의 평균기온은 -4.2℃로서 11월을 제외한 4개월은 월평균기온이 영하로 내려간다(고정균, 2000).

어리목의 연평균강수량은 3,356.5mm이다. 월별로는 태풍이 많이 북상하는 8월과 9월이 631.0mm와 443.5mm이며, 장마철인 7월이 575.5mm를 기록하고 있다. 한라산에서도 강수량의 하계 집중도는 높은 편

이나 100mm 이상의 강수량을 기록한 달이 11개월에 달할 정도로 전년에 걸쳐 강수가 발생하는 해양성기후의 특징을 보인다(표 1).

연구지역에는 구상나무로 대표되는 침엽수림을 비롯하여 관목림과 초본군락이 넓게 분포한다(임양재 등, 1991). 이 가운데 관목림과 초본군락은 한라산 정상을 중심으로 서쪽과 남쪽의 평탄지와 완사면에 나타난다. 그러나 동일한 지역에서도 북향사면이나 하곡사면에는 분포하지 않으며, 이러한 장소에는 구상나무로 이루어진 교목림이 출현한다. 따라서 남향 및 서향사면에 편재되어 있는 관목림과 초본군락의 분포특성에는 일사로 인한 건조현상이나 바람이 영향을 미치는 것으로 추정하고 있다(김찬수·김문홍, 1985). 반면에 산불이나 과거 한라산 고지대에서 여름철에 이루어진 방목을 원인으로 보는 경우도 있다(김문홍, 1985).

표 1. 어리목 자동기상관측소의 3년간(2002년~2004년) 평균기온 및 강수량

기후요소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
기온(℃)	-2.4	0.0	3.6	9.9	13.7	17.2	20.5	20.6	16.9	10.1	5.6	0.5	9.7
강수량(mm)	85.7	111.3	150.8	361.2	410.2	273.0	575.7	631.0	443.5	103.5	102.0	108.7	3356.5

## 2) 연구방법

한라산 북서사면의 초지대에는 다양한 규모와 형태의 나지가 분포한다. 그러나 나지의 확대속도 관측에 필요한 나지 가장자리의 단애가 모든 나지에 나타나지는 않는다. 특히 최근 한라산에서 빠르게 확산되고 있는 제주조릿대(*Sasa quelpaertensis*)가 단애를 완전히 덮음으로써 외관상 나지확대가 정지한 것처럼 보이는 경우도 많다. 따라서 명료한 단애를 지니고 있을 뿐 아니라 등산로에서 접근하기 쉬운 장구목오름 남서사면의 표고 1,710m 지점과 민오름 북서사면의 표고 1,600m 지점의 두 나지를 선정하고 규모와 형태 등 지형특성을 조사하였다(그림 1).

초지박리는 나지와 초지의 경계를 이루고 있는 단애의 침식에 따른 현상이므로 단애 후퇴량을 구하면 나지의 확대속도를 파악할 수 있다. 따라서 나지 가장자리의 단애에 길이 40cm, 직경 5mm의 금속제 침식핀을 수직방향으로 30cm 이상 박아 넣고 노출된 침식핀의 길이를 정기적으로 측정하여 단애 후퇴량을 구하였다. 단애가 높지 않으면 1~2개의 침식핀을 설치하였고 높은 경우에는 10cm 간격으로 5~8개를 설치하였다(그림 2). 장구목오름 나지는 15개소에 43개의 침식핀을, 민오름 나지는 25개소에 38개의 침식핀을 2002년 9월 29일과 10월 1일에 각각 설치하였다. 단애 후퇴량은 평균 2개월 간격으로 측정하였다.



그림 2. 장구목오름 나지의 단애에 10cm 간격으로 설치된 침식핀

## 3. 결과

### 1) 나지의 규모와 형태

한라산 아고산대에는 표고 1,400m의 사제비동산 주변을 비롯하여 1,600m의 만세동산과 민오름 일대, 1,700~1,800m의 장구목오름 주변 등 북서사면의 초지대에 규모가 큰 나지가 분포하고 있다. 나지의 형태는 산릉의 평탄지나 완사면에서는 원형이나 타원형이 많고 경사도가 큰 사면에서는 등고선과 평행하게 늘어난 세장형이 많다. 규모는 직경 50m를 넘는 나지부터

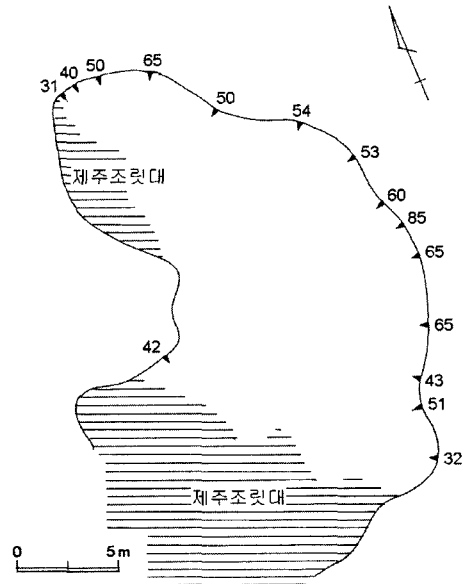


그림 3. 장구목오름 나지 전경(위)과 평면형(아래)

주: 빗금부분은 나지 안쪽에 나타나는 제주조릿대 분포범위, ▲는 침식핀 설치지점, 수치는 단애 높이(cm)를 가리킨다.

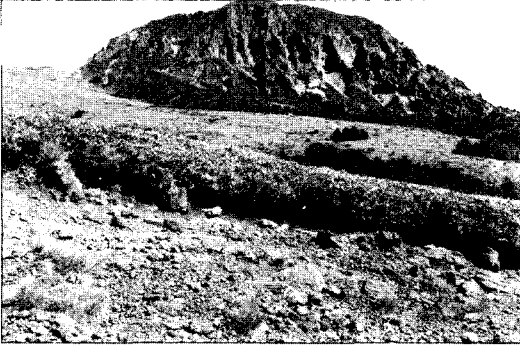


그림 4. 나지 가장자리의 단애 위로 드리워진 지표식생과 나지 표면을 덮고 있는 각력

급사면에 테라세트(terraced) 형태로 출현하는 직경 1m 이하의 나지까지 다양하며, 대형 나지가 평탄지에 발달하는데 비하여 경사도가 큰 사면에는 소형 나지가 출현하는 경향을 보인다.

장구목오름 나지는 7.6°의 사면에 출현하며 남북방향 26m, 동서방향 12m의 크기로 형태는 타원형이다(그림 3). 나지의 가장자리에는 남서쪽을 제외하면 전부 단애가 형성되어 계단상 지형을 보인다. 서쪽과 남쪽 단애는 제주조릿대로 완전히 덮여 있으며, 동쪽과 북쪽 단애는 10~28cm 정도 튀어나온 단애 최상부가 아래로 드리워져 단애를 일부 가리는 장소도 나타난다(그림 4). 북동쪽 단애에서는 2002년 겨울철에 쌓인 눈 때문에 단애 위쪽 식생 돌출부가 아래로 많이 드리워지면서 돌출부에 틈이 벌어져 떨어지지 직전의 모습을 보이는 등 단애의 노출부분은 줄어들고 있다.

최상부의 식생부분을 제외한 단애의 높이는 31~85cm로 동쪽과 북동쪽에서 가장 높고 서쪽과 남쪽으로 갈수록 작아진다. 단애의 단면형태는 수직에 가까운 직선단면과 오목단면이 모두 나타난다. 오목단면을 보이는 단애에서는 돌출부 바로 아래쪽이 가장 많이 후퇴한 모습으로 단애가 높을수록 오목단면의 형태는 명료해진다. 식생 돌출부가 떨어져 단애에 걸려 있기도 하나 시간이 지나면서 떨어진 부분은 결국 제거되고 새로운 단애가 드러난다.

나지 표면에는 김의털(*Festuca ovina*)과 시로미(*Empetrum nigrum var. japonicum*)가 일부 분포하나 대부분 중력(中礫)과 대력(大礫) 크기의 각력으로 덮여

있고 직경 70cm의 암괴도 산재한다(그림 4). 암설은 서릿발작용에 의한 암석포행을 통하여 사면 아래쪽으로 이동하고 있으며, 나지의 남쪽 가장자리에서는 슬라이플렉션 로브(solifluction lobe)와 유사한 형태를 보인다. 나지 표면에는 여러 곳에 유수의 흔적이 나타나고 있어 지표류에 의해서도 암설이 사면 아래쪽으로 이동되는 것으로 생각된다.

한편 민오름 나지는 평탄면에 출현하며 남북방향 67m, 동서방향 52m의 크기로서 형태는 직사각형에 가깝다(그림 5). 나지 가장자리에는 전부 단애가 형성되어 있으나 서쪽 단애는 높이가 15cm 이하에 불과하

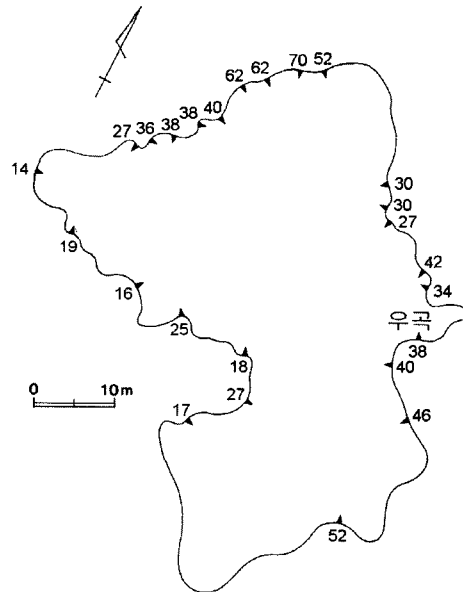
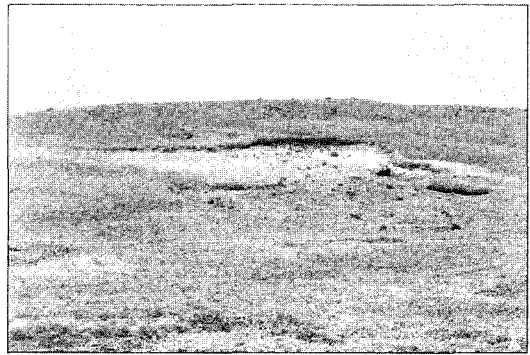


그림 5. 민오름 나지 전경(위)과 평면형(아래)

주 : ▲는 침식봉 설치지점, 수치는 단애 높이(cm)를 가리키며, 나지 동쪽으로 우곡이 출현한다.

여 계단상 지형이 명료하지 않다. 남쪽과 북동쪽 단애는 제주조릿대로 완전히 덮여 있고 나머지 단애에서도 2~38cm 정도 튀어나온 단애 위쪽의 식생 돌출부가 아래로 드리워져 있으나 단애는 대부분 노출된 상태이다. 단애의 높이는 장구목오름 나지에 비하여 낮은 편으로 북쪽 단애에 최대 70cm의 장소도 보이나 대부분 40cm를 넘지 못한다.

단애의 단면형태는 수직에 가까운 직선단면과 오목단면이 모두 나타나 단애가 높지 않으므로 오목단면의 형태는 장구목오름 나지에 비하여 명료하지 않다. 동쪽 단애 앞에는 최근에 떨어진 것으로 보이는 김의털이 산재하고 있으나 나지 전체에 걸쳐 단애 최상부가 떨어질 조짐을 보이는 장소는 출현하지 않는다.

나지 표면에 식생은 나타나지 않으며 대부분 중력과 대력 크기의 각력으로 덮여 있다. 동쪽 단애 부근에는 나지가 확대되는 과정에서 잔류한 직경 1.6m, 높이 1.5m의 암괴가 보이는 등 암괴도 일부 나타난다. 각력의 크기와 피복도는 남쪽으로 갈수록 증가한다. 동쪽

가장자리에는 나지 바깥쪽으로 우곡이 발달하고 있으며, 우곡으로 이어지는 유수의 흔적이 동쪽 단애 앞에 보인다.

## 2) 나지의 확대속도

단애의 후퇴량 계측은 2002년 9월 29일과 10월 1일 침식핀을 설치한 후 2002년 12월 5일, 2003년 4월 4일(4월 26일), 6월 15일, 7월 25일, 10월 1일, 11월 30일, 2004년 5월 5일, 6월 18일, 8월 2일, 10월 1일까지 겨울철 적설기를 제외하면 약 2개월 간격으로 이루어졌다. 2003년 4월 계측은 민오름 나지 4일, 장구목오름 나지 26일로 다른 날짜에 이루어졌으며, 이는 4일 시점에 장구목오름 나지가 눈으로 덮여 있어 계측일을 단애에서 적설이 사라진 하순으로 늦추었기 때문이다. 계측이 이루어진 2년간 발생한 단애의 평균후퇴량은 장구목오름 나지 44.6mm, 민오름 나지 33.3mm이다. 따라서 전체평균은 39.2mm로서 연간 평균후퇴량은 19.6mm를 기록하였다.

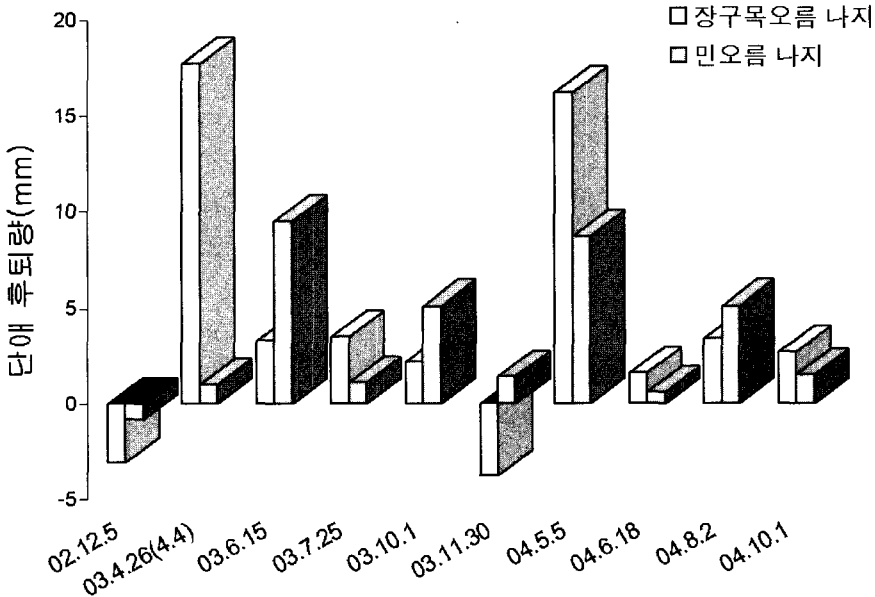


그림 6. 2002년 10월부터 2004년 9월까지 계절별 단애의 평균후퇴량

주 : 2003년 4월 민오름 나지의 계측은 소설 직후인 4일에 이루어졌다. 따라서 6월 15일 9.5mm의 많은 후퇴량이 기록된 것은 4월 응해진행기의 후퇴량이 포함되었기 때문이다.

후퇴량의 최고치와 최저치를 계측지점별로 비교하면 장구목오름 나지는 131mm와 4mm, 민오름 나지는 88.5mm와 0mm로서 차이가 크다. 민오름 나지의 최고치 지점은 2003년 4월 4일과 6월 15일 사이에 78mm를 기록하여 2년간 후퇴량의 88%를 차지하고 있다. 그러나 이러한 큰 폭의 후퇴는 노루가 단애면을 밟고 올라가면서 생긴 결과로서 매우 예외적인 경우이다. 최소치 지점은 2004년 3월 26일까지 11mm가 후퇴하였으나 이후 단애 위쪽으로부터 흘러내린 토양이 침식편을 덮음으로써 결과적으로 후퇴량이 기록되지 않은 경우이다. 따라서 실제로는 모든 지점에서 단애의 후퇴가 발생한 것으로 볼 수 있다. 장구목오름 나지의 최저치 지점은 제주조릿대의 치수(稚樹)가 단애를 덮고 있는 장소이므로 식생에 의해 단애가 침식작용으로부터 보호받은 경우이다.

단애의 평균후퇴량은 계절별로도 달라지고 있는데, 12월부터 4월까지의 기간에 가장 많은 후퇴량을 보이고 있다(그림 6). 즉 2002년도 9.1mm, 2003년도 13mm의 후퇴가 발생하였으며, 이러한 현상은 장구목오름 나지에서 더욱 두드러져 2002년 12월 5일부터 2003년 4월 26일까지의 기간에 17.7mm, 2003년 11월 30일부터 2004년 5월 5일까지의 기간에 16.2mm의 후퇴량이 계측되었다.

연구지역 인근의 백록담분화구에서는 최고 40cm 깊이까지 동결되는 등 한라산 아고산대의 지면은 겨울철에 콘크리트 상태로 동결된다(김태호, 2001). 또한 민오름 일대는 12월부터 3월까지 장구목오름 남사면도 4월까지 눈으로 덮여 있는 장소이므로 적설에 의해 단애가 보호를 받는 점을 고려하면 계측기간이 5개월에 달한다고 하더라도 실제로 단애에 침식작용이 활발하게 일어나는 시기는 4월 융해진행기에 국한된다. 적설이 사라진 직후인 2003년 4월 5일 계측한 민오름 나지의 후퇴량은 1mm에 불과한 사실도 이를 뒷받침한다.

융해진행기와 기후조건이 유사한 10월 중순부터 12월 초순까지의 동결진행기에 발생한 후퇴량은 2002년도 -2mm, 2003년도 -2.5mm로서 오히려 마이너스 값을 보이고 있다. 이러한 경향도 장구목오름 나지에서 더욱 현저하여 2002년 9월 29일부터 12월

5일까지의 기간에 -3.1mm, 2003년 10월 1일부터 11월 30일까지의 기간에 -3.8mm를 기록하고 있다. 그러나 동결진행기에 마이너스 값이 나타나는 것은 단애 위쪽으로부터 흘러내리거나 떨어진 토양입자가 단애 아래쪽에 쌓인 결과로서 실제로는 융해진행기와 같이 토양침식이 활발하게 일어나고 있다. 예를 들면 같은 기간 단애 위쪽에 설치된 침식편만을 대상으로 후퇴량을 구하면 2002년도 4.0mm, 2003년도 2.5mm를 기록하고 있다. 따라서 융해진행기의 후퇴량에는 동결진행기의 후퇴량도 일부 포함된 것으로 볼 수 있다.

여름철은 봄철의 융해진행기에 비하여 후퇴량이 크지 않은 편이다. 그러나 장마기에는 후퇴량이 다소 증가하여 2003년도 2.4mm, 2004년도 4mm를 기록하고 있다. 장구목오름 나지는 2003년 6월 15일부터 7월 25일까지의 기간에 3.5mm, 2004년 6월 18일부터 8월 2일까지의 기간에 3.4mm의 후퇴하였으며, 민오름 나지는 같은 기간에 각각 1.1mm와 5.1mm 후퇴하였다. 태풍의 북상으로 강수량이 많은 8월과 9월의 후퇴량은 장마기에 비하여 다소 작다.

## 4. 고찰

### 1) 초지박리에 관여하는 침식작용

초지박리가 처음 보고된 아이슬란드에서는 초지대의 침식현상을 취식의 결과로 해석하였다(Sapper, 1915). 그러나 바람이 강하지 않은 주빙하지역에서도 유사한 현상이 발생하고 있으므로 초지박리의 원인으로 취식보다는 점차 서릿발작용이나 동결융해작용을 중시하게 되었다. 따라서 현재는 아이슬란드에서도 취식은 이차적인 침식작용에 불과하며, 하루주기의 동결융해가 빈번하게 발생하는 장소에서의 초지박리는 야간의 서릿발형성과 주간 융해와 관련된 동결작용을 일차적인 원인으로 보고 있다(Kim, 1967).

어리목관측소의 2003년도 기상자료와 한라산 아고산대의 기온체감을  $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (공우석, 1999)을 이

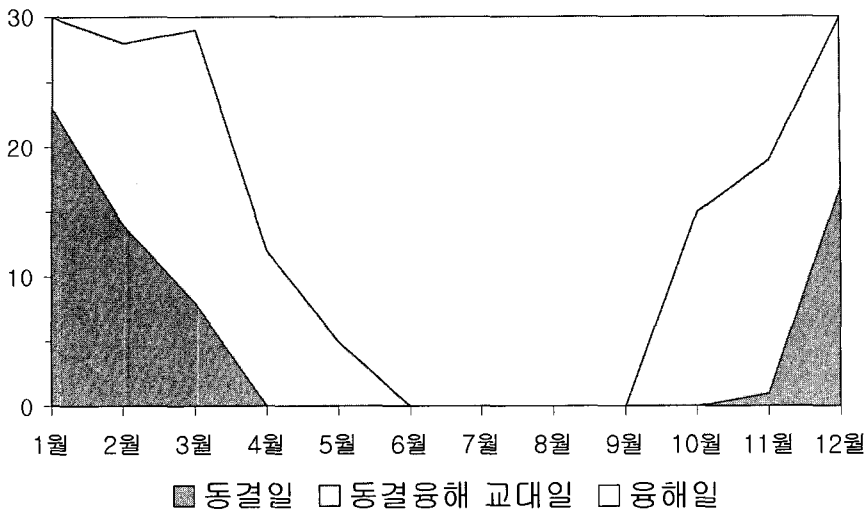


그림 7. 표고 1,710m 장구목오름 나지의 추정 동결융해일

용하여 추정한 표고 1,710m와 1,600m 지점의 동결융해 교대일은 각각 105일과 101일로서 3개월 이상에 걸쳐 하루주기의 동결융해가 일어나고 있다(그림 7). 특히 4월과 11월에는 15일 이상 동결융해가 반복되고 있는 등 한라산 아고산대는 동결작용이 활발하게 일어나는 장소로 볼 수 있다. 물론 토양이나 암석의 동결형태는 수분조건을 비롯하여 공극의 크기와 분포에 따라 달라지기 때문에 온도가 0℃를 오르내리는 횟수만으로 동결작용의 강도를 결정하기는 어렵다고 할지라도 단애 후퇴량에 비추어 나지확대에 관여하는 가장 중요한 침식작용으로 동결작용을 들 수 있다.

모세관현상으로 토양중의 수분이 지표면으로 상승하는 과정에서 빙정으로 변함으로써 출현하는 서릿발이 지표면이나 지표면 바로 아래에 발생하면 토양표층을 들어올려 토층을 교란시킬 수 있다. 또한 서릿발이 성장할 때 토양입자나 암설은 사면에 대하여 직각방향으로 들어올려지나 서릿발이 녹으면 연직방향으로 떨어지게 되므로 서릿발의 성장과 융해가 반복되면 사면 아래쪽으로 물질이동이 발생한다. 따라서 서릿발작용을 중위도나 저위도의 산악지역에서 일어나는 초지박리의 가장 탁월한 침식작용으로 보는 사례가 많다 (King, 1971; Hastenrath and Wilkinson, 1973; Pérez, 1992; Grab, 2002).

조사나지에서 동결진행기와 융해진행기에는 단애



그림 8. 동결작용에 의한 단애의 침식

(상) 서릿발의 성장과 함께 들어올려진 토양입자  
 (하) 서릿발이 녹으면서 떨어져 이완된 토양입자와 수분으로 포화되어 단애 아래쪽으로 흘러내리는 토양입자



전면에 걸쳐 항상 서릿발이 발생하고 있으며, 이로 인하여 이완된 토양입자가 단애 하부를 덮고 있어 서릿발의 효과를 쉽게 확인할 수 있다(그림 8상). 서릿발이 녹으면서 공급되는 수분으로 이완된 토양입자가 포화되고 또 액성한계를 넘게 되면 젤리플렉션의 형태로 아래쪽으로 흘러내림으로써 단애에서 제거될 수 있다(그림 8하). 이와 같은 직접적인 역할뿐 아니라 서릿발작용은 토양표층을 이완시킴으로써 가동성(可動性)이 커진 토양입자를 취식이나 우세와 같은 다른 침식작용을 통하여 효과적으로 제거시키는 간접적인 역할도 중요하다(King, 1971; Troll, 1973).

세립물질이 바람에 날려감으로써 진행되는 취식은 전통적으로 초지대의 중요한 침식작용으로 간주되고 있다(Sapper, 1915; Arnalds, 2000). 산악지역에서는 나지의 형태가 바람의 방향으로도 늘어져 있거나 나지가 가장자리의 단애가 바람받이 쪽에만 나타나고 있는 등 바람의 영향을 쉽게 확인할 수 있다(原田·小泉, 1997; 福井·小泉, 2001). 그러나 취식은 응집력이 없는 건조한 토양에서 잘 일어나므로 강한 바람이 불더라도 응집성 토양으로 이루어진 지역이라면 취식의 효과는 크지 않다. 베네수엘라 안데스에서는 최대 6.8%의 월평균풍속이 기록됨에도 불구하고 취식이 미약하게 나타나는 것은 토양의 수분함량이 증가하는 우기에 강풍이 불고 취식이 효과적으로 일어날 수 있는 전기에는 풍속이 3.9% 이하로 약해지기 때문이다(Pérez, 1992). 따라서 취식이 초지박리를 일으키는 중요한 침식작용임에는 틀림없으나 바람이 약한 지역은 물론 바람이 강한 지역일지라도 단애의 수분함량이 높은 경우라면

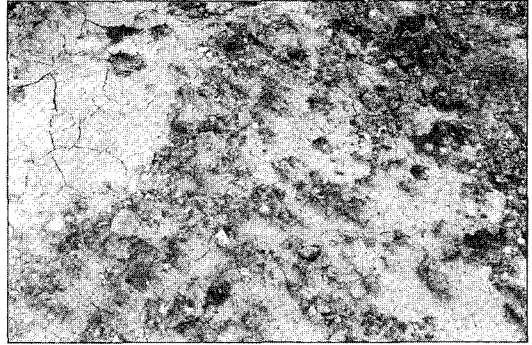


그림 10. 위쪽에 돌출부를 지니지 않은 단애에 우적침식으로 생긴 자갈 밑의 흙기둥

그 역할은 제한적이라고 할 수 있다.

연구지역의 민오름 정상에는 풍식나지로 판단되는 작은 나지가 많이 분포한다(그림 9). 등고선방향으로 길게 늘어진 길이 3m, 폭 60cm의 나지 표면은 전면 자갈로 덮여 있고 세립물질은 보이지 않는다. 나지를 덮고 있는 이러한 잔류자갈의 존재나 현지에서 관찰되는 비사현상 등으로부터 나지확대에 미치는 취식의 영향을 확인할 수 있다. 자료가 부족하여 한라산 아고산대의 바람특성을 논의하기는 어려우나 2000년 2월부터 8월까지 장구목오름의 표고 1,810m 지점에서 관측한 자료에 의하면 7개월간의 평균풍속은 16.7%이며, 214일의 관측기간 가운데 19% 이상의 풍속을 기록한 일수가 34일로서 한라산 아고산대의 강풍환경을 잘 보여주고 있다(제주도, 2000c).

지표면에 직접 떨어지는 빗방울의 충격으로 토양입자가 제거되는 우적침식(rainsplash erosion)은 나지에서 일어나는 중요한 침식작용의 하나이다. 직경 1.3~2.5mm의 빗방울이 떨어지는 속도는 7~9%로서 빗방울의 충격으로 지표면은 쉽게 파이고 이 때 토양입자는 빗물과 함께 흩어진다. 또한 한번의 충격으로 직경 1cm의 자갈도 움직일 수 있다(町田 등, 1981). 따라서 빗방울이나 우박이 단애에 직접 떨어지는 경우에는 충격으로 단애가 후퇴할 수 있다(그림 10). 특히 강풍을 동반하는 강우가 빈번하게 발생하면 바람받이 쪽의 단애가 가장 많은 빗방울을 받게 되고 결국 가장 빠르게 후퇴하므로 나지는 탁월풍과 같은 방향으로 확대된다(세곡 등, 1997; 福井·小泉, 2001).



그림 9. 잔류자갈로 덮여 있는 민오름 정상 부근의 풍식나지



그림 11. 낙숫물에 의해 단애에 파인 구멍



그림 12. 단애로부터 나지 안쪽으로 형성된 린

그러나 조사나지의 단애 위쪽에는 최대 38cm 길이의 식생으로 덮인 돌출부가 출현하며, 일부 단애는 돌출부의 식생이 단애 위로 드리워져 있다(그림 4). 따라서 단애에 직접 빗방울이 떨어지기 어려우므로 우적침식의 영향은 크지 않은 것으로 보인다. 반면에 강우나 용설로 생긴 유수가 돌출부에서 단애로 직접 떨어지는 경우에는 낙숫물의 충격으로 단애에 구멍이 파이므로 빗방울보다 더욱 효과적으로 침식이 일어난다(그림 11).

강우강도가 빗물의 토양침투율을 상회하면 빗물은 지표면에 저류되거나 사면을 따라 흘러내리면서 토양 입자를 제거하는 우세(rainwash)가 발생한다. 우세는 포상류(sheet flow)에 의한 포상침식과 린류(rill flow)에 의한 린침식으로 구분된다(권혁재, 1999). 조사나지에서는 단애 앞에 작은 물길이나 유수의 흔적이 자주 관찰되는데, 사면에 위치하고 있는 장구목오름 나지에서 더욱 현저하다(그림 12). 이러한 유수는 세립 물질을 쉽게 운반함으로써 단애 하부를 침식하여 단애의 후퇴를 조장할 뿐 아니라 직접 단애를 따라 흘러내리면서 이완된 표층물질을 효과적으로 제거할 수 있다(그림 11).

산악지역의 초지대는 여름철 방목지로 활용되는 장소이므로 가축의 활동이 초지박리를 일으킬 수 있다(Hastenrath and Wilkinson, 1973; Pérez, 1992; Watanabe, 1994; Rost, 1999). 한라산 아고산대에서는 1988년부터 방목활동이 전면적으로 금지되었으므로 가축에 의한 훼손은 사라진 것으로 볼 수 있다. 그러나 1980년대부터 노루 보호운동이 시작되면서 개체수가

꾸준히 증가하여 노루의 서식밀도는 0.138마리/ha로 조사되고 있다. 특히 표고 1,600m 이상 지역은 0.38마리/ha로서 서식밀도가 매우 높다(오장근·신용만, 2001). 따라서 나지 표면과 단애에 보이는 노루 발자국이나 뽕을 사용한 흔적으로부터 최근에는 우마를 대신하여 노루가 초지박리에 영향을 주고 있음을 알 수 있다(그림 13상).

장구목오름 나지에서는 오소리가 단애에 높이 16cm, 폭 10cm, 깊이 5~12cm의 크기로 구멍을 파고 그 안쪽에 배설을 한 흔적도 보인다(그림 13하). 남아프리카에서는 단애 부근 초지에 구멍을 뚫고 사는 시궁쥐에 의해 단애가 후퇴하는 등(Grab, 2002) 초지대에 서식하는 동물이 나지확대에 영향을 줄 수 있다.

## 2) 계절별 탁월 침식작용

한라산 아고산 초지대의 가장 탁월한 침식작용은 단애 후퇴량에 비추어 용해진행기와 동결진행기에 일어나는 동결작용으로 판단된다. 단애 후퇴량을 계절별로 비교하면 적설이 사라지기 시작하는 3월 후반부터 5월 전반까지의 용해진행기에 가장 큰 값을 보이며, 10월 후반부터 적설이 발생하는 12월 전반까지의 동결진행기에도 높은 편이다. 또한 연구지역 일대는 연간 100일 이상에 걸쳐 동결용해 교대일이 발생하고 4월과 11월에는 15일 이상 동결용해가 반복되는 것으로 추정되므로 한라산 아고산대는 동결작용이 활발하게 일어나는 장소로 볼 수 있다. 특히 4월에는 용설수가 지속적으로 단애 위로 흘러내리기 때문에 서릿발로 이완된



그림 13. 동물에 의한 단애의 침식

(상) 단애를 밟고 올라간 노루의 발자국  
(하) 오소리애 의해 단애에 파인 구멍과 배설물

토양입자는 용설수의 우세에 의해서도 효과적으로 제거된다. 따라서 4월의 용해진행기에 단애 후퇴량의 최대치를 기록하는 것은 서릿발작용과 함께 젤리플렉션, 용설수에 의한 우세 등이 결합된 결과이다.

한라산 아고산대는 항상 강풍이 부는 지역이므로 취식은 계절에 관계없이 일어나는 침식작용이다. 그러나

단애가 바람으로부터 보호를 받는 겨울철 적설기와 토양의 응집력이 커지는 우기에 취식의 효과는 나타나지 않거나 미약하다. 즉 단애가 눈으로 덮이는 12월 중순~3월 하순의 겨울철을 비롯하여 이동성저기압의 잦은 통과로 강수일이 많은 4월 중순~5월 중순, 장마에 해당하는 6월 중순~7월 중순 그리고 집중호우를 동반하는 태풍이 많이 북상하는 8월 중순~9월 중순을 제외하면 취식은 나지확대에 관여하는 중요한 침식작용이다. 단 연구지역에서는 3월 하순부터 4월 중순에 걸쳐 적설이 사라지나 위쪽의 사면으로부터 흘러내리는 용설수로 단애가 젖어 있으므로 이 시기에도 취식은 발생하기 어렵다. 반면에 10월과 11월의 동결진행기에는 아직 눈이 쌓이지 않은 상태이므로 서릿발작용과 취식이 결합하여 단애의 후퇴를 조장하는 것으로 보인다.

여름철에는 강우와 관련된 우세와 우적침식이 탁월하게 나타난다. 특히 6월 중순~7월 중순의 장마를 비롯하여 8월 중순~9월 중순, 4월 중순~5월 중순 등 강수가 많이 발생하는 시기에는 우세가 가장 중요한 침식작용이다. 봄철의 4월에도 용설수로 인한 우세가 발생한다. 반면에 연구지역의 단애 위쪽에는 식생으로 덮인 최대 38cm 길이의 돌출부가 출현하고 있으며, 일부 단애에서는 돌출부가 단애 위로 드리워져 빗방울로부터 단애를 보호하므로 우적침식은 우세만큼 중요하지 않다.

노루를 비롯한 동물의 작용은 눈이 녹는 4월부터 적설이 나타나기 직전의 11월까지 나타나게 되나 국지적인 성격이 강하므로 나지확대에 미치는 영향은 제한적이다. 단애의 후퇴를 일으키는 침식작용을 시기별로 정리하면 (그림 14)와 같다.

침식작용	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
동결작용												
취 식												
우 세												
우적침식												
동물작용												

그림 14. 초지박리에 관여하는 침식작용의 계절변화

주 : 짙은 색은 해당 침식작용이 더욱 강화되는 시기를 의미한다.

## 5. 결론

표고 1,400~1,800m의 한라산 아고산대 북서사면에 위치하는 사제비동산, 만세동산, 민오름 및 장구목오름 등의 평탄지와 완사면에는 비교적 규모가 큰 나지가 여러 곳에 분포하고 있다. 이 가운데 표고 1,710m 장구목오름 남서사면과 표고 1,600m의 민오름 북서사면에 출현하는 두개의 나지를 선정하여 규모와 형태 등 지형특성을 조사하였다. 또한 2002년 10월부터 2004년 9월까지 2년간 침식핀을 이용하여 나지 가장 자리의 단애 후퇴량을 측정하고 나지확대에 관여하는 침식작용의 유형과 특징을 조사하였다.

나지의 가장자리에는 단애가 형성되어 계단상 지형을 이루고 있다. 단애의 높이는 최고 85cm에 이르는 경우도 있으나 같은 나지에서도 단애가 나타나지 않은 채 나지상태의 지면이 초지로 이어지는 등 매우 다양하다. 식생으로 이루어진 단애 최상부는 앞쪽으로 2~38cm 정도 튀어나와 있으며, 많이 돌출한 최상부는 시간이 지나면서 아래쪽으로 드리워져 단애를 가리게 된다. 나지 표면은 중력과 대력 크기의 각력으로 덮여 있으며 압피도 일부 나타난다.

침식핀 측정이 이루어진 2년간 발생한 단애의 평균 후퇴량은 장구목오름 나지 44.6mm, 민오름 나지 33.3mm이다. 따라서 전체평균은 39.2mm로서 연간 19.6mm의 후퇴량을 기록하였다. 후퇴량을 지점별로 비교하면 최고치는 장구목오름 나지의 131mm, 최소치는 민오름 나지의 0mm로서 지점별로 차이가 크다. 단애 후퇴량은 계절에 따라서도 달라져 4월의 융해진행기에 가장 크고 10월, 11월의 동결진행기와 6월, 7월의 장마기에도 큰 편이다.

나지확대를 가져오는 단애의 후퇴에는 동결작용을 비롯하여 취식, 우세, 우적침식 및 동물작용 등 다양한 침식작용이 관여하고 있다. 특히 우세나 취식과 결합된 서릿발작용은 한라산 아고산대의 100일 이상으로 추정되는 동결융해 교대일을 비롯하여 응설, 강풍환경 등을 고려하면 가장 탁월한 침식작용으로 판단된다. 또한 한라산은 국내 최다강수량을 기록하는 지역이므로 우기에는 털침식과 같은 우세도 간과하기 어려우나 우적침식은 단애 위쪽에 나타나는 식생으로 덮인 돌출

부로 인하여 크지 않은 편이다. 우마의 방목활동이 금지되어 가축으로 인한 초지대의 침식은 일어나지 않고 있으나 최근 지속적으로 개체수가 증가하고 있는 노루의 영향은 충분히 예상된다.

한라산 천연보호구역에 속하는 아고산 초지대에서는 나지복구를 위해 녹화마대 피복, 양카매트 포설, 새심기 등 다양한 공법이 적용되고 있다. 녹화마대 공법은 복구성과를 올리고 있으나 많은 비용이 소요될 뿐 아니라 공사용 자재 운반을 위하여 모노레일 시설이 필요하고 저지대에서 가져온 토양에 포함된 씨앗과 미생물에 의해 아고산대의 생태계가 교란될 수 있는 등의 문제가 지적되고 있다. 또한 아고산대의 침식작용에 대한 고려 없이 시행된 양카매트 공법은 낮은 식생 피복율과 지속적인 토양유실로 복구성과를 올리지 못하고 있다(고정군, 2002).

따라서 나지복구로 인해 초래되는 이러한 문제점을 최소화시키면서 효과적인 사업수행을 위해서는 본 연구와 같은 아고산대에서의 다방면에 걸친 기초조사와 모니터링이 필요하다. 나지확대를 일으키는 침식작용은 계절은 물론 단애의 형태와 향(向), 토양, 식생, 미기상 등 환경요인의 영향도 받으므로 장소에 따라서도 탁월한 침식작용은 달라질 수 있다. 본 연구에서 환경요인을 다루지는 않았으므로 금후 상이한 환경조건에 놓인 나지를 대상으로 면밀한 조사와 모니터링이 이루어진다면 그 결과는 한라산 아고산대의 보전과 관리에 충분히 활용될 수 있을 것이다. 이와 동시에 지리산, 설악산, 덕유산 등의 국내 산지뿐 아니라 아고산대와 고산대가 넓게 분포하는 북한의 산지연구를 위한 모델로도 의미를 부여할 수 있을 것이다.

## 謝辭

현지조사에 도움을 주신 한라산국립공원 관계자들에게 감사드립니다.

文獻

- 고정균, 2000, 한라산 고산식물의 생태생리학적 연구, 제주대학교 박사학위논문.
- 고정균, 2002, "한라산의 아고산대의 훼손지복구 및 식생 복원," 한라산연구소 조사연구보고서, 1, 1-27.
- 공우석, 1999, "한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위," 대한지리학회지, 34, 385-393.
- 권혁재, 1999, 지형학, 법문사, 서울.
- 김문홍, 1985, "한라산의 식생 개관," 한라산 천연보호구역 학술조사보고서, 41-45, 제주도.
- 김찬수 · 김문홍, 1985, "한라산 아고산대 초원 및 관목림의 식물사회학적 연구," 한라산 천연보호구역 학술조사보고서, 311-330, 제주도.
- 김태호, 2001, "한라산 백록담 화구저의 유상구조토," 대한지리학회지, 36, 233-246.
- 김태호, 2002, "한라산 아고산대의 초지 박리현상," 한국지형학회지, 9, 71-81.
- 오장근 · 신용만, 2002, "한라산 노루의 분포 특성," 한라산연구소 조사연구보고서, 1, 101-113.
- 임양재 · 백광수 · 이남주, 1991, 한라산의 식생, 중앙대학교출판부.
- 제주도, 2000a, 한라산 기초조사 및 보호관리계획수립.
- 제주도, 2000b, 서귀포 · 하효리도폭 지질보고서.
- 제주도, 2000c, 자연친화적인 한라산 산도설치 타당성조사.
- 한라산국립공원관리사무소, 1997, 한라산정상보호계획.
- 多田文男, 1974, "芝地の剝離-周氷河現象として," 東北地理, 26, 118.
- 福井幸太郎 · 小泉武榮, 2001, "木曾駒岳高山帯での風食ノッチの後退とパッチ狀裸地の擴大," 地學雜誌, 110, 355-361.
- 刈谷愛彦 · 佐佐木明彦 · 鈴木啓助, 1997, "月山の強風砂礫斜面における通年氣象觀測と地形形成環境," 地理學評論, 70A, 676-692.
- 玉生志郎, 1990, "韓國濟州島の火山岩のK-Ar年代とその層序的解釋," 日本地質調査所月報, 41, 527-537.
- 原田經子 · 小泉武榮, 1997, "三國山脈 · 平標山におけるパッチ狀裸地の形成プロセスと侵食速度," 季刊地理學, 49, 1-14.
- 町田貞 · 井口正男 · 貝塚爽平 · 佐藤正 · 樞根勇 · 小野有五, 1981, 地形學事典, 二宮書店.
- Arnalds, O., 2000, The Icelandic 'rofabard' soil erosion features, *Earth Surface Processes and Landforms*, 25, 17-28.
- Grab, S. W., 2002, Turf exfoliation in the High Drakensberg, southern Africa, *Geografiska Annaler*, 84A, 39-50.
- Hastenrath, S. and Wilkinson, J., 1973, A contribution to the periglacial morphology of Lesotho, southern Africa, *Biuletyn Peryglacjalny*, 22, 157-165.
- Kim, D. J., 1967, Die dreidimensionale Verteilung der Strukturboden auf Island in ihrer klimatischen Abhängigkeit, Diss. Bonn, Math. Nat. Fak., 227S.
- King, R. B., 1971, Vegetation destruction in the sub-alpine and alpine zones of the Cairngorm Mountains, *Scottish Geographical Magazine*, 87, 103-115.
- Pérez, F. L., 1992, Processes of turf exfoliation(Rasenabschalung) in the high Venezuelan Andes, *Zeit fur Geomorphologie*, N.F., Suppl. Bd., 36, 81-106.
- Rost, K. T., 1999, Observations on deforestation and alpine turf destruction in the central Wutai Mountains, Shanxi Province, China, *Mountain Research and Development*, 19, 31-40.
- Sapper, K., 1915, Rasenabschalung, *Geographische Zeitschrift*, 21, 105-109.
- Troll, C., 1973, Rasenabschalung(Turf Exfoliation) als periglaziales Phanomen der subpolaren Zonen und der Hochgebirge, *Zeit fur Geomorphologie*, N.F., Suppl. Bd., 17, 1-32.
- Watanabe, T., 1994, Soil erosion on yak-grazing steps in the Langtang Himal, Nepal, *Mountain Research and Development*, 14, 171-179.
- 교신 : 김태호, 690-756 제주특별자치도 제주시 제주대학교로 66, 제주대학교 사범대학 지리교육과 (이메일 : kimtaeho@cheju.ac.kr, 전화 : 064-754-3235)
- Correspondence : Taeho Kim, Department of Geography Education, Cheju National University, Jejudaehak-Road, Jeju 690-756, Korea (email : kimtaeho@cheju.ac.kr, phone : +82-64-754-3235)

최초투고일 06. 6. 24.  
최종접수일 06. 12. 8.