

한라산 성판악 등산로 노퍽의 확대 속도와 요인*

김태호**

Rates and Factors of Path Widening in Seongpanak Hiking Trail of Mount Halla, Jeju Island*

Taeho Kim**

요약 : 한라산 성판악 코스 표고 875~1,400m 구간의 32개 지점에서 등산로 측벽의 후퇴량, 즉 노퍽의 확대 속도를 관측하고, 확대 프로세스에 영향을 미치는 요인을 조사하였다. 2002년 10월부터 2008년 4월까지 발생한 측벽의 평균 후퇴량은 50.6mm로서 후퇴 속도는 10.0mm/yr이다. 연도별로는 2006년과 2003년에 각각 최대치 18.0mm/yr와 최소치 7.6mm/yr를 기록하였다. 관측 기간을 동결기와 비동결기로 구분하면 시기별 후퇴 속도는 19.3mm/yr와 4.3mm/yr이다. 비동결기를 다시 우기와 건기로 구분하면 후퇴 속도는 각각 5.9mm/yr와 2.9mm/yr이다. 계절별로는 겨울철(42.2mm/yr), 봄철(13.9mm/yr), 가을철(6.4mm/yr), 장마철(3.3mm/yr), 여름철(1.3mm/yr)의 순이다. 토양경도와 표고는 측벽의 후퇴 속도와 명료한 상관관계를 보이지 않으나, 동결기에는 남향보다 북향 측벽에서 후퇴 속도가 더 크다. 겨울철 후퇴량이 전체 후퇴량의 76.7%를 차지하고 있어 등산로 측벽은 주로 서릿발 작용으로 후퇴하는 것으로 판단된다. 조사 구간은 연간 85일 정도 서릿발이 발생할 수 있는 기후 조건을 지니고 있으며, 12월의 동결 진행기, 3월과 4월의 융해 진행기에는 서릿발로 덮여 있는 측벽의 모습을 쉽게 볼 수 있다. 반면에 한라산 동사면의 약한 풍속과 교목 지대에 위치하고 있는 등산로 특성상 취식과 우적침식은 탁월하지 않다. 등산로 노면의 포장 시설로 인하여 우세의 영향도 미약하며, 동물의 영향도 나타나지 않는다. 그러나 봄철에 융설로 생긴 물웅덩이를 피하여 걷는 등산객 때문에 크게 후퇴하는 측벽도 보인다.

주요어 : 등산로, 노퍽 확대, 서릿발 작용, 성판악 코스, 한라산

Abstract : In order to examine the rates and factors of path widening in Mount Halla, the retreat of path sidewalls was monitored at 32 sites of Seongpanak Hiking Trail located between 875 m and 1,400 m in elevation. The mean rate of sidewall retreat for the period 2002-2008 is 50.6 mm, equivalent to 10.0 mm/yr. The retreat rate of frozen period is 19.3 mm/yr, while the rate of unfrozen period is 4.3 mm/yr. The latter is divided into the rainy and dry periods that exhibit the retreat rates of 5.9 mm/yr and 2.9 mm/yr, respectively. The retreat rate of sidewalls is also varied with seasons; winter shows the maximum rate of 42.2 mm/yr, while summer exhibits the minimum rate of 1.3 mm/yr. Spring and fall show the intermediate rates of 13.9 mm/yr and 6.4 mm/yr, respectively. Soil hardness and elevation are not closely related to the retreat rate of sidewalls, even though the retreat rate is larger at the north-faced sidewalls than the south-faced sidewalls during the frozen period. Pipkrake is likely to be the most important factor contributing to the path widening in that the retreat of winter months accounts for 76.7 % of the total retreat. The hiking trail is placed under the climatic conditions which develop pipkrake in 85 days annually. In addition, it is usual to observe the path sidewalls covered with pipkrake in the freezing month of December and the thawing months of March and April. On

* 이 논문은 2006년도 제주대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었으며, 논문의 요지는 2008년도 대한지리학회 춘계 학술대회에서 발표하였다.

** 제주대학교 지리교육과 부교수 겸 교육과학연구소 연구원(Associate Professor, Department of Geography Education, and Researcher, Educational Research Institute, Cheju National University), kimtaeho@cheju.ac.kr

the other hand, deflation and rainsplash erosion are not important due to the weak wind speed and the forested trail. Rainwash is also insignificant in that the path has been almost paved to mitigate trampling effects. Although biological activity is not dominant, hikers cause a large retreat of sidewalls in the thawing months since they would walk on the sidewalls to avoid snow-melting pools on the path.

Key Words : hiking trail, path widening, pipkrake, Seongpanak Trail, Mount Halla

1. 서론

한라산은 국립공원으로 승격된 1970년부터 등산객이 지속적으로 증가하기 시작하여 1994년에는 처음으로 연인원 50만 명을 넘었으며, 2004년에는 668,793명으로 60만 명을 돌파하였다. 최근에도 등산객의 증가 추세는 멈추지 않아 2006년에는 745,308명을 기록하였으며, 국립공원 무료입장이 실시된 2007년에는 804,887명으로 증가하였다. 그러나 단기간에 걸친 등산객의 급증은 백록담 화구륜 일대와 주요 등산로를 따라 심한 훼손을 초래하였다(우보명, 1986; 오구균·허순호, 1992; 오문경, 1996; 한라산국립공원관리사무소, 1997; 제주도, 2000a). 즉 윗세오름 대피소에서 서북벽을 거쳐 정상으로 오르는 최단거리 등산로가 암벽 구간에서의 등산로 유실로 폐쇄되었다. 서북벽 등산로의 대안으로 개설된 남벽 등산로도 암벽 붕괴로 인하여 1994년부터 폐쇄되었으며, 그 후 지금까지도 한라산 정상의 출입은 엄격하게 통제되고 있다. 또한 등산객이 가장 많이 이용하고 있는 어리목 등산로와 영실 등산로 주변의 훼손지 면적은 82,500m²로서 한라산 국립공원 전체 훼손지의 36.4%를 차지하고 있을 정도이다(제주도, 2000a).

등산객의 급증으로 발생하는 등산로 훼손 가운데 가장 전형적인 유형은 등산로에 형성된 난투수층(難透水層)에 기인하는 등산로의 노폭 확대이다. 일반적으로 등산로 노면은 등산객의 답압으로 인하여 압밀되기 쉬우므로 토양 공극률과 강우 침투율이 낮은 난투수층이 노면에 출현한다(Weaver and Dale, 1978; 서병수 외, 1994; 김세천·박종민, 1998; 大貫 외, 1999; 김태호, 2003). 그 결과 등산로를 따라 지표유출이 빈번하게 발생하게 되고, 릿류와 포상류에 의한 우세가 활발하게

일어나 표층의 토양입자가 쉽게 제거되면서 등산로 노면의 세굴이 급속하게 일어난다(Quinn *et al.*, 1980; Coleman, 1981; 渡辺·深澤, 1998). 또한 난투수층으로 인하여 강우 직후에는 등산로 노면에 일시적으로 빗물이 고이고, 등산객은 물웅덩이를 우회하는 과정에서 등산로를 이탈하여 주위의 식생 지대로 걷게 되면서 등산로의 확대에 이끈다(小野 외, 1990; 최오길, 2002). 물론 난투수층이 직접 식물 뿌리의 생육과 침입을 방해할 수도 있으며(윤국병, 1977; 日本材料學會, 1981), 예를 들어 뿌리호흡이 어려워진 등산로 주변 식물이 고사됨으로써 등산로 노폭의 확대가 일어날 수도 있다(Ito *et al.*, 2002).

따라서 등산객의 답압으로 인한 난투수층이 등산로에 출현하는 것을 방지하기 위하여 돌갈기, 각목갈기, 통나무돌갈기, 통나무갈기, 통나무박기, 목재데크, 우드라갈기, 잔자갈갈기, 수피갈기 및 흙시멘트포장 등 다양한 포장 공법이 등산로 노면에 적용되고 있다(산림청, 2006). 한라산에서도 1991년 실시된 어리목 등산로의 지반 안정 공사를 시작으로 등산로를 따라 목재데크, 돌갈기, 잔자갈갈기 등의 포장 공사가 집중적으로 이루어져 등산로 노면의 압밀 현상은 크게 완화되었다(그림 1).

그러나 이러한 포장 공법이 적용되고 있지 않은 등산로 측벽에서는 답압이 발생하는 등산로 노면에 비하여 현저하지는 않을지라도 여전히 토양침식이 진행되고 있다. 등산로 노면에 형성된 난투수층을 따라 우세가 발생하면서 등산로에는 얇은 우곡이 형성된다. 유수에 의한 지속적인 세굴 작용으로 등산로가 반원형이나 사각형의 단면형으로 확대되는 과정에서 출현하는 등산로 측벽에는 다양한 침식 프로세스가 진행되면서 등산로 노폭의 확대에 이르고 있다.

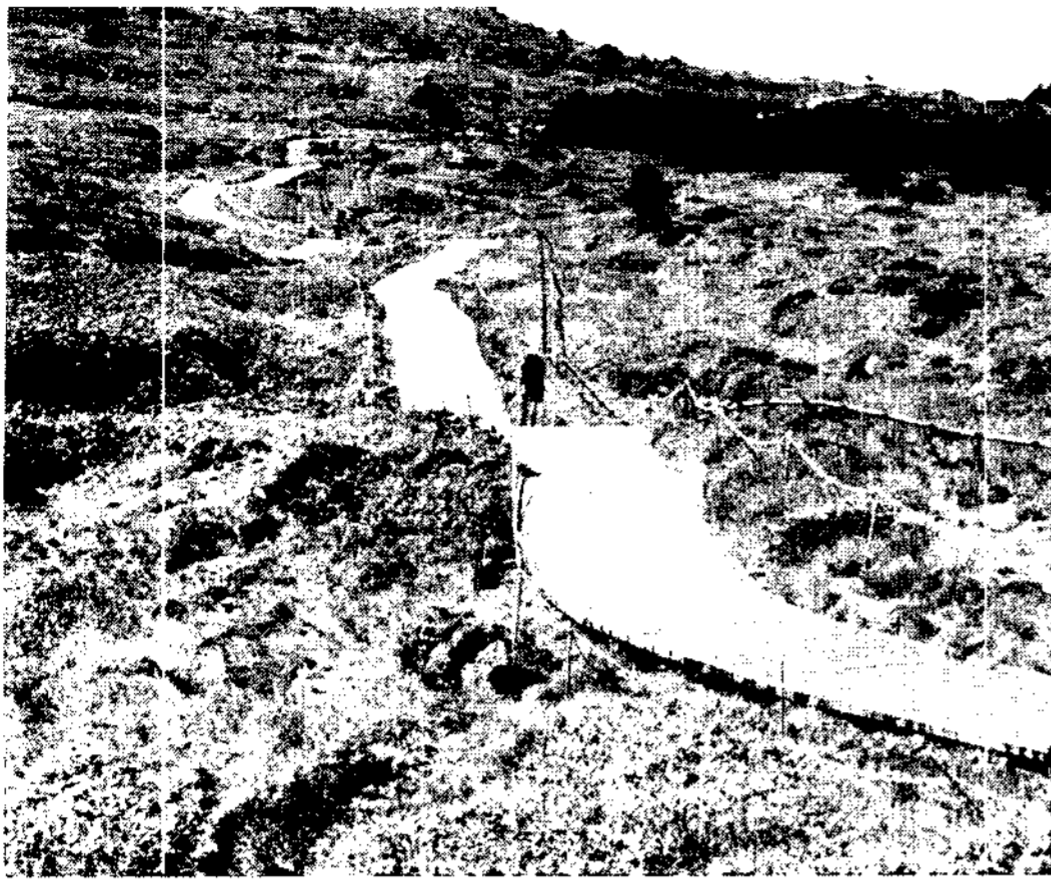


그림 1. 목재데크가 설치된 어리목 등산로

따라서 등산로 훼손을 근본적으로 방지하기 위해서는 등산로 노면의 포장 시설과 병행하여 등산로 측벽에 대한 별도의 관리 대책이 필요함에도 불구하고, 아직까지 등산로 측벽의 토양침식 현상에 관한 조사도 이루어지고 있지 않은 실정이다. 본 논문은 한라산 국립공원 성판악 코스에서 등산로 측벽의 후퇴 과정과 속도를 관측하고, 후퇴 프로세스에 영향을 미치는 요인을 조사함으로써 등산로의 노폭 확대로 이어지는 등산로 측벽의 토양침식 현상을 밝히고자 한다.

2. 연구지역 및 방법

1) 한라산 개관

제주도의 화산 활동사에 의하면 제3단계에 들어와

분화 양식이 중심분화로 바뀌었다. 그 결과 다량의 현무암질 용암류가 섬 중앙에 위치한 화구를 통하여 하와이식 분출을 보이면서 완만한 사면이 특징적인 순상화산체가 형성되었다. 이후 조면암질 용암류가 분출하면서 순상화산체 정상에 백록담 서벽으로 불리는 용암돔(lava dome)이 출현하였다. 제4 단계에는 순상화산체 산록에 다수의 단성화산이 형성되었으며, 정상의 용암돔을 뚫고 다시 현무암질 용암류가 분출하면서 백록담 분화구가 완성되었다(이문원, 1994; 제주도, 1994). 한라산 국립공원 구역에는 백록담 서벽을 포함하여 전부 46개의 단성화산, 즉 오름이 분포하고 있다(제주도, 1997). 이들 오름은 대부분 스트롬볼리식 분화로 방출된 화산쇄설물이 화구 주변에 집적되어 형성된 스킨아콘이다.

한라산에는 주로 조면현무암과 조면암이 분포하고 있으며, 국립공원 구역에는 모두 11개의 암층으로 나타난다(제주도, 2000b). 가장 넓은 면적을 차지하고 있는 법정동 조면현무암은 한라산 서사면에 분포하며, 동사면에는 시오름 조면현무암과 백록담 조면현무암이 넓게 출현한다. 조면암은 백록담 서벽을 중심으로 탐라계곡, Y계곡 및 영실계곡에 분포한다.

한라산의 동사면(762m)과 서사면(972m)에 각각 소재하고 있는 성판악 자동기상관측소와 어리목 자동기상관측소의 연평균 기온은 10.8℃와 9.6℃이다(표 1). 연 강수량은 각각 4,198.1mm와 3,010.9mm를 기록하고 있어 국내 최다우지에 해당한다(표 1). 월평균 강수량이 가장 많은 달은 8월로서 811.9mm와 643.7mm이며, 주로 태풍에 동반된 집중호우의 결과이다. 반면에 가장 적은 달은 12월로서 99.1mm와 89.9mm이다. 강수량의 여름 집중도가 높은 편인데, 6월부터 9월까지 4

표 1. 한라산의 기후 환경

기후요소		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
기온 (℃)	성판악	-0.3	0.6	4.5	10.4	14.2	17.8	21.1	21.1	17.8	12.7	7.4	2.0	10.8
	어리목	-2.3	-1.3	2.9	9.4	13.6	17.6	20.9	20.7	16.6	11.1	5.7	0.0	9.6
강수량 (mm)	성판악	125.3	118.3	204.4	367.8	549.6	392.7	661.6	811.9	499.3	198.2	169.9	99.1	4198.1
	어리목	101.4	96.4	125.7	239.4	319.8	294.1	516.3	643.7	352.8	109.3	122.1	89.9	3010.9

자료: 제주지방기상청(2007)

개월간의 강수량이 각각 2365.5mm와 1806.9mm에 달하여 전체 강수량의 56.3%와 60.0%를 차지하고 있다. 그러나 월 100mm 이상을 기록하는 달이 각각 11개월과 10개월로서 전년에 걸쳐 강수가 발생하는 해양성 기후의 특징을 보인다(표 1).

2) 한라산의 등산로 및 조사 구간의 선정

한라산에는 현재 전면 통제되고 있는 돈내코 등산로를 포함하여 어리목, 영실, 성판악 및 관음사 등 전부 5개의 등산로가 개설되어 있다(그림 2). 한라산 북서사면에 개설된 어리목 등산로는 한라산 국립공원 관리사무소가 위치하는 어리목(970m)을 시점으로 사제비동산(1,400m), 만세동산(1,600m), 윗세오름 대피소(1,700m)에 이르는 길이 4.7km의 등산로이다. 소요 시간은 편도 2시간이며, 현재 가장 많은 등산객이 이용하는 한라산의 표준 코스이다.

영실 등산로는 영실계곡(1,280m)을 시점으로 병풍바위(1,500m)를 경유하여 윗세오름 대피소에 이르는 길이 3.7km의 등산로로서 한라산 남서사면에 개설되어

있다. 소요 시간은 편도 1시간 30분에 불과하므로 가장 단시간에 한라산을 오를 수 있을 뿐 아니라 제주도 남서 지역을 내려보는 병풍바위 일대의 조망점이 뛰어나 많은 등산객이 이용하는 코스이다.

한라산 동사면에 개설된 성판악 등산로는 성판악 휴게소(760m)를 시점으로 속밭(1,050m), 사라오름(1,300m), 진달래밭 대피소(1,500m)를 경유하여 한라산 동릉 정상(1,920m)에 이르는 길이 9.6km의 등산로이다. 한라산 등산로 가운데 가장 긴 코스로서 소요 시간은 편도 4시간 30분이다. 구간이 매우 길고 주변 경관의 조망이 확보되지 않아 등산객이 많이 이용하지는 않았으나, 백록담 분화구를 내려다볼 수 있는 코스이므로 자연 휴식년제에 따른 정상 통제가 해제된 2000년부터 등산객이 꾸준히 증가하고 있다.

관음사 등산로는 관음사 야영장(620m)을 시점으로 탐라계곡(850m), 개미목(1,400m), 용진각 대피소(1,500m)를 경유하여 한라산 동릉 정상에 이르는 길이 8.7km의 등산로로서 한라산 북사면에 개설되어 있다. 소요 시간은 편도 5시간으로 시간이 가장 많이 걸릴 뿐 아니라 등산로의 고도 변화도 심하여 이용객이 가장

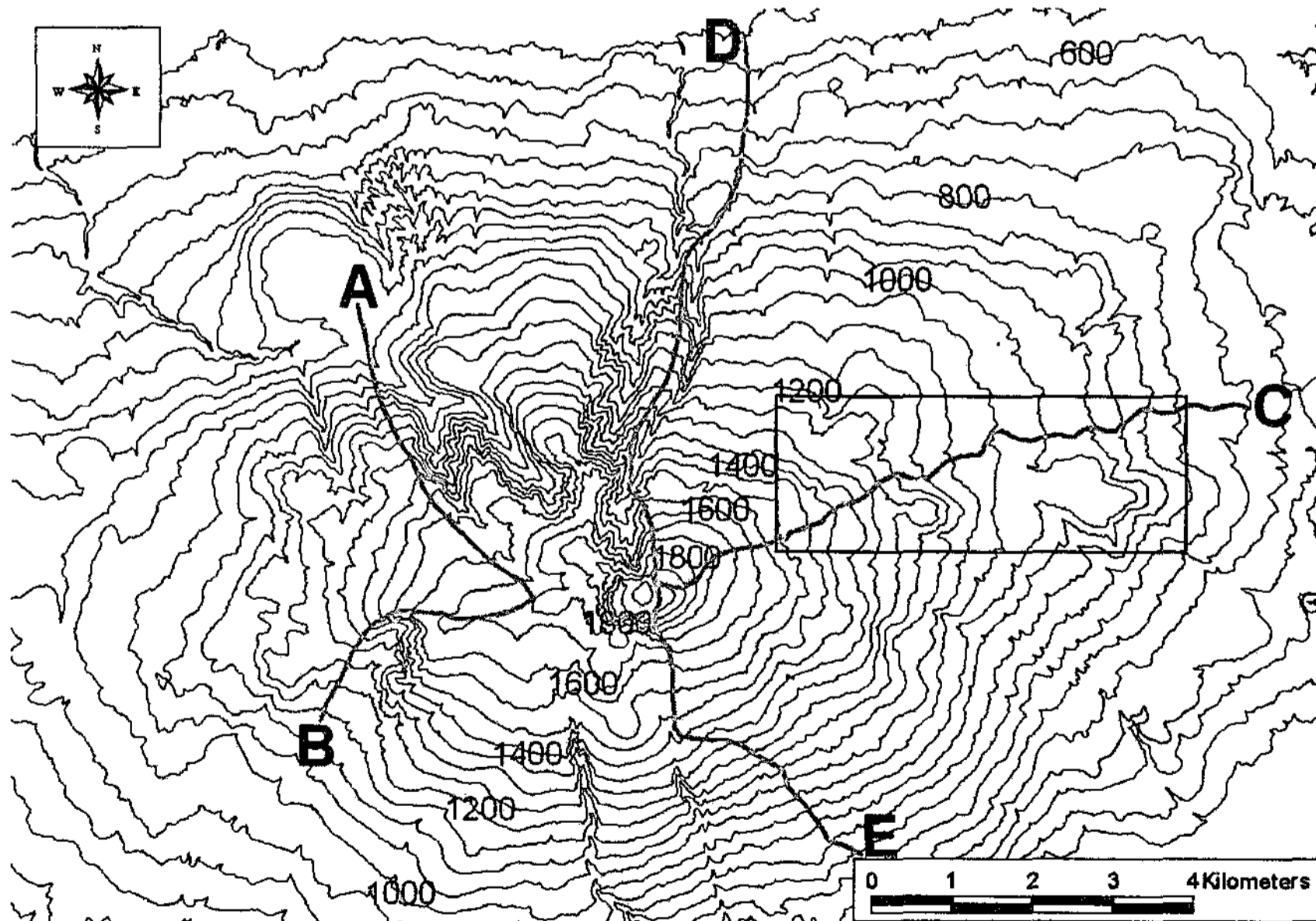


그림 2. 한라산의 주요 등산로

A: 어리목, B: 영실, C: 성판악, D: 관음사, E: 돈내코
성판악 등산로에 표시된 사각형은 그림 4의 범위를 가리킨다.



그림 3. 성판악 등산로의 반원형 단면 구간

적은 코스이다.

한라산 남사면의 돈내코 등산로는 서귀포의 돈내코 입구(500m)를 출발하여 평귀 대피소(1,400m)를 경유하여 남벽으로 한라산 정상에 이르는 코스였으나, 남벽 일대의 훼손과 더불어 현재는 개방되지 않는 등산로이다. 이외에 등반 시간이 충분하지 않은 한라산 탐방객을 위한 코스로서 어리목에 위치하는 어승생오름 정상(1,169m)에 오르는 길이 1.3km, 소요 시간 30분의 등산로가 개설되어 있다.

한편, 등산로별로 노면의 포장 유형을 비교하면 어리목 등산로는 잔자갈 22.1%, 돌바닥 46.5%, 판재데크 2.3% 및 침목 29.0%이며, 영실 등산로는 잔자갈 6.7%, 돌바닥 28.0%, 돌계단 8.0%, 판재데크 8.0%, 통나무 20.0% 및 침목 17.3%이다. 또한 성판악 등산로는 잔자갈 3.1%, 돌바닥 51.6%, 돌계단 16.1% 및 침목 5.2%이며, 관음사 등산로는 잔자갈 2.9%, 돌바닥 34.7%, 돌계단 8.8%, 고무갈개 0.6%, 판재데크 5.9%, 통나무 2.4% 및 침목 5.8%이다. 따라서 나지의 비율은 관음사 등산로가 38.8%로서 가장 높고 성판악 등산로와 영실 등산로가 각각 24.0%와 12.0%이며, 어리목 등산로에는 나지 구간이 출현하지 않는다(제주도, 2000a).

나지의 비율이 높은 관음사 등산로와 성판악 등산로에서도 2002년부터 노면 포장 공사가 활발하게 이루어짐으로써 현재는 대부분의 등산로에 나지가 출현하지 않고 있다. 그러나 성판악 등산로에는 정비 사업 이전에 이미 노면의 세굴이 많이 진행되어 반원형이나 사

각형의 단면형을 지닌 구간이 표고 800~1,400m 사이에 단속적으로 분포하고 있으며(그림 3), 이들 구간에는 노면의 포장 공사에도 불구하고 등산로를 따라 나지 상태의 측벽이 잘 나타난다. 따라서 등산로 측벽의 후퇴를 통한 노폭의 확대 과정을 파악하기에 가장 적합한 장소라고 할 수 있다.

3) 연구방법

등산로 측벽의 토양침식 현상에는 다양한 지형영력

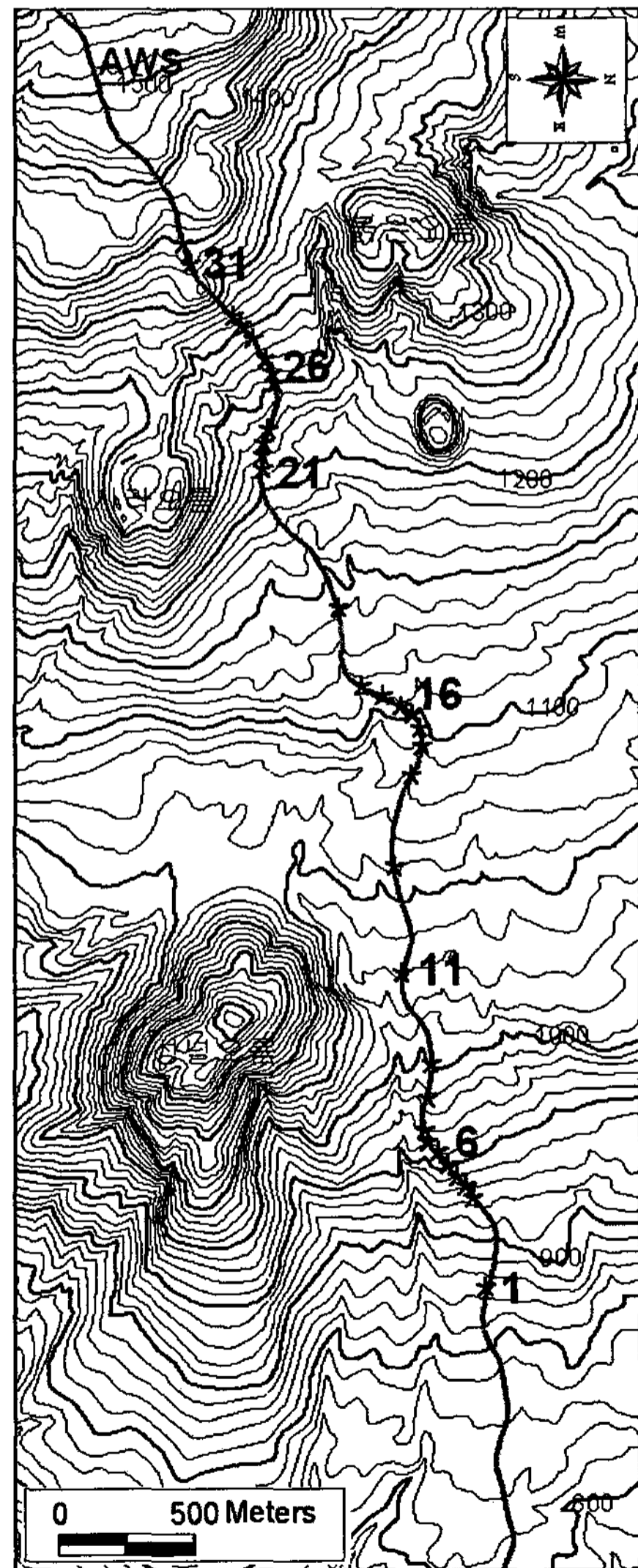


그림 4. 성판악 등산로의 조사 구간 및 침식핀 설치 지점

표 2. 관측 지점의 특징 및 관측 결과

번호	표고(m)	향(°)	토색	토양경도 (kgf/cm ²)	관측 기간 (일)	총후퇴량 (mm)	후퇴 속도 (mm/yr)
1A	875	SE26	2/3	4.68	1693	90.0	19.4
1B	875	NE46	4/4	7.32	1997	15.1	2.8
2A	925	SE46	2/2	4.23	1997	60.5	11.1
2B	925	SE46	5/4	14.74	1622	65.0	14.6
2C	925	NE05	2/2	4.04	1997	37.0	6.8
3	930	NW10	2/2	3.87	1503	59.5	14.4
4A	940	SE20	2/1	4.68	1997	34.5	6.3
4B	940	SE20	4/4	9.55	1662	79.3	17.8
4C	940	NE10	2/2	4.48	-	-	-
5A	950	SE40	2/2	5.19	1997	32.5	5.9
5B	950	NW32	2/3	6.29	-	-	-
5C	950	NW32	3/4	17.65	1693	57.6	12.4
6	955	SE25	2/2	5.67	1997	31.5	5.8
7	960	NE30	4/4	6.99	1997	11.0	2.0
8A	965	SE63	3/4	6.99	1503	27.5	6.7
8B	965	NE36	3/4	6.02	1997	56.0	10.2
9A	985	NE02	2/2	6.99	1997	55.0	10.1
9B	985	NE40	4/4	6.58	1997	52.5	9.6
10A	1000	SE14	2/2	4.68	1693	10.3	2.2
10B	1000	NE13	2/1	4.89	1997	31.3	5.7
10C	1000	NE30	5/6	11.23	1997	39.0	7.1
11	1030	SE36	4/4	6.99	1997	38.5	7.0
12A	1060	SW10	2/2	3.76	1997	38.0	6.9
12B	1060	NE37	2/1	2.89	1997	57.0	10.4
12C	1060	NE37	4/4	8.54	1693	8.8	1.9
13	1080	SE27	2/2	4.48	1693	72.5	15.6
14	1090	NW60	2/2	3.49	1997	20.5	3.7
15	1095	SE45	2/2	2.89	1997	15.0	2.7
16	1100	NE07	2/2	2.89	1503	47.0	11.4
17	1105	NE38	2/2	5.67	1997	52.5	9.6
18A	1110	NE36	2/2	3.76	1997	19.5	3.6
18B	1110	S	3/3	3.02	1997	22.5	4.1
19	1115	NE46	3/3	3.49	1997	31.1	5.7
20	1140	SE70	3/3	6.99	1997	50.0	9.1
21	1215	NE19	2/1	3.49	1997	124.5	22.8
22A	1220	SE42	2/2	3.49	-	-	-
22B	1220	NW54	4/4	8.16	1997	35.5	6.5
23	1225	NW30	2/1	4.04	1997	54.0	9.9
24	1230	NE08	4/3	6.29	1503	83.0	20.2
25	1250	SE86	3/6	2.76	1997	30.0	5.5
26	1265	SE85	2/2	3.16	1997	17.0	3.1
27	1270	SE75	3/3	3.87	1997	143.0	26.1
28	1290	SE42	3/6	4.35	1439	49.0	12.4
29	1305	NE05	2/2	4.23	1503	38.8	9.4
30A	1310	NE85	2/2	2.89	1997	39.0	7.1
30B	1310	NW62	2/2	2.80	1622	79.0	17.8
31	1390	NE36	2/1	1.64	1622	70.1	15.8
32	1400	SE60	2/1	2.93	1622	194.0	43.7

* 토색의 색상(hue)은 7.5YR이며, 25~28번의 4개 지점만 2.5YR이다.

** 침식판을 다시 설치한 3개 지점의 총후퇴량은 구하지 않았으나, 결과 분석에 기간별 후퇴량은 사용하였다.

이 관여하고 있다. 지형영력의 강도는 장소에 따라 달라질 뿐 아니라 같은 장소에서도 계절에 따라 달라진다. 따라서 장소별로 또 계절별로 탁월하게 발생하는 침식 프로세스를 파악하고자 등산로 측벽에 침식핀을 설치하여 측벽의 후퇴 속도를 계측하고 후퇴 과정을 관찰하였다. 즉 성판악 등산로의 표고 875~1,400m 구간에 출현하는 등산로 측벽에 길이 20cm, 직경 5mm의 금속제 침식핀을 단애면에 수직 방향으로 박아 넣고, 단애면 위로 노출된 침식핀의 길이 변화를 정기적으로 관측하였다(그림 10 참조).

침식핀은 2002년 10월 30일 32개 지점에 전부 48개를 설치하였다(그림 4; 표 2). 동결기와 비동결기, 그리고 비동결기는 우기와 건기를 고려하여 2003년 5월 27일, 8월 9일, 10월 18일, 2004년 4월 30일, 7월 30일, 11월 5일 각각 계측하였다. 또한 2006년 4월 9일부터 2007년 6월 19일까지는 모니터링 기간을 단축하여 평균 2개월 간격으로 침식핀의 길이를 계측하였다. 침식핀은 가급적 고도별로 분산되도록 설치하였다(그림 4). 등산로 측벽에 토양단면이 명료한 경우에는 토층별로도 설치하였으며, 등산로 양안에 측벽이 발달한 경우에는 향의 차이를 비교할 수 있도록 양쪽 모두 설치하였다. 토층은 표준 토색칩(小山·竹原, 1996)을 이용하여 토색을 근거로 구분하였으며, 푸쉬콘(push cone) 방식의 토양경도계(DIK-5553)를 이용하여 토층별로 토양경도를 계측하였다.

3. 결과

1) 등산로 측벽의 후퇴 속도

등산로에 설치한 48개의 침식핀 가운데 2002년 10월 30일부터 2008년 4월 18일까지 총 1,997일에 걸쳐 결측 없이 연속적으로 관측이 이루어진 침식핀은 전부 29개이다. 이들 29개 침식핀이 기록한 총후퇴량의 평균값은 42.9mm로서 후퇴 속도는 7.8mm/yr이다. 29개 침식핀 가운데 최대 후퇴 속도를 보인 것은 표고 1,215m에 설치한 21번 침식핀으로서 총후퇴량은 124.5mm이며 22.8mm/yr의 후퇴 속도를 보인다. 반면에 최소치는 표고 960m에 설치한 7번 침식핀에서 관측되었으며, 총후퇴량은 11.0mm로서 후퇴 속도는 2.0mm/yr에 불과하여 최대치의 1/10에도 미치지 못한다. 종료일까지 관측이 이루어지지 않은 나머지 19개의 침식핀을 포함하면, 총후퇴량의 평균치는 50.6mm로 다소 높아지고 후퇴 속도도 10.0mm/yr이 된다. 최대 후퇴 속도를 기록한 것은 표고 1,400m에 설치한 32번 침식핀으로서 총후퇴량은 194.0mm이다. 이 침식핀의 관측 일수는 1,622일이므로 후퇴 속도는 43.7mm/yr로 높아진다. 또한 최소치는 표고 1,060m의 12C번 침식핀에서 관측되었으며, 총후퇴량은 8.8mm로서 관측 일수 1,693일을 고려하면 후퇴 속도

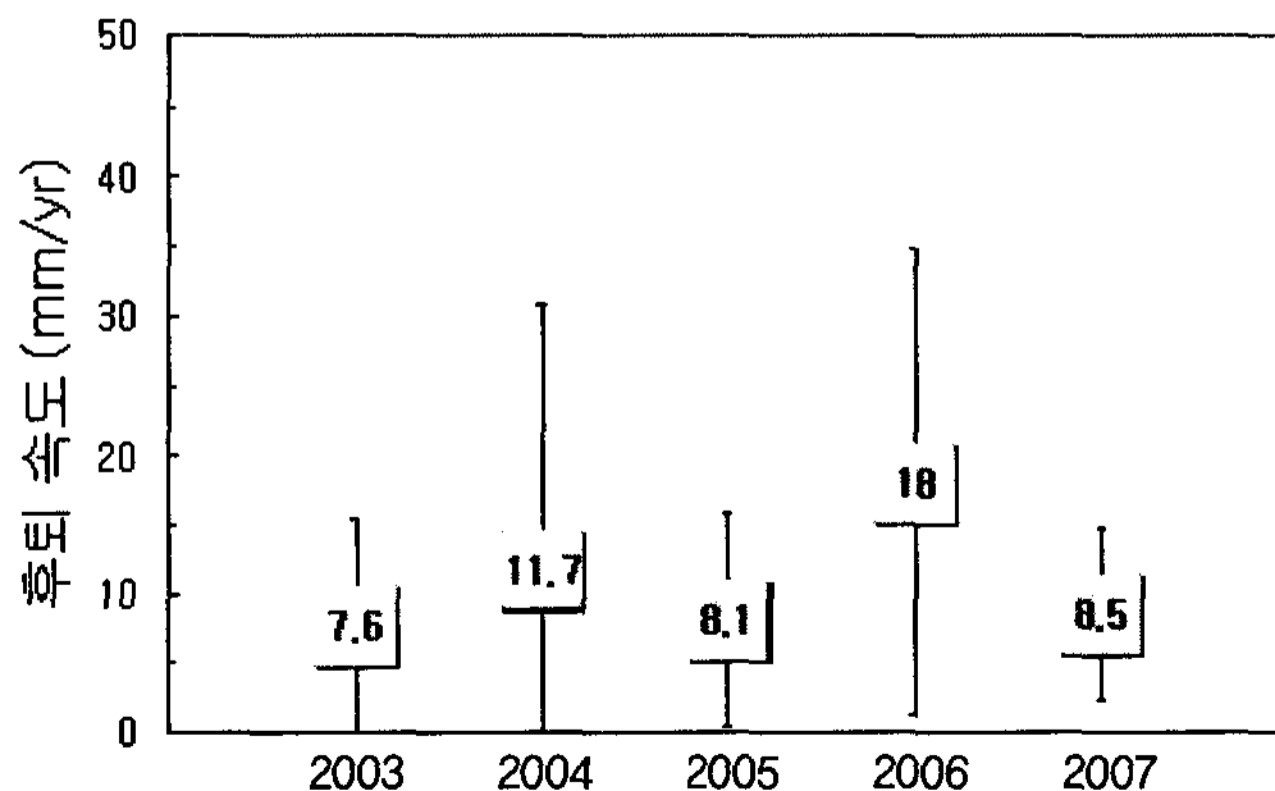


그림 5. 등산로 측벽의 연도별 후퇴 속도

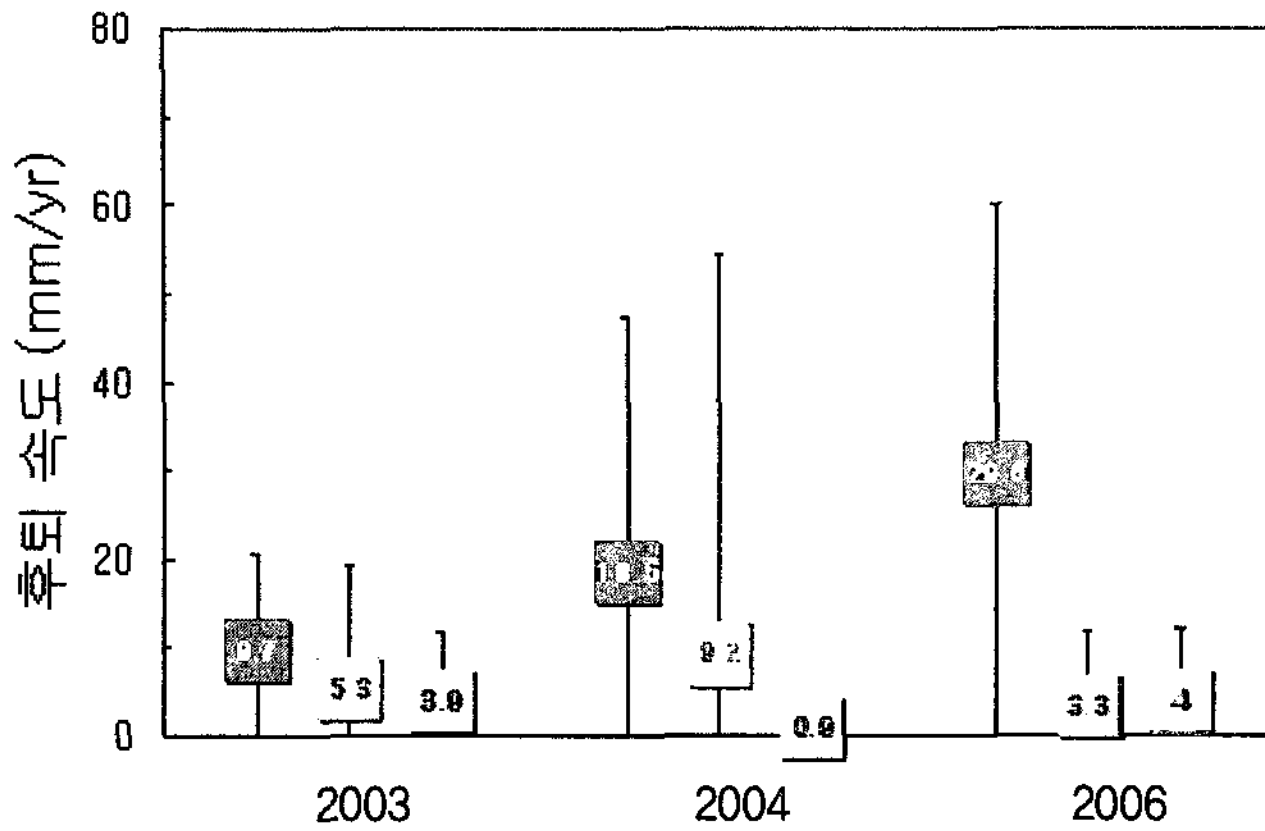


그림 6. 등산로 측벽의 동결기 및 비동결기의 후퇴 속도

■ 동결기, ▨ 비동결기(우기), □ 비동결기(건기)

는 1.9mm/yr에 불과하다.

한편, 연도별로 침식편의 후퇴량을 비교하면 2003년(02.10.30~03.10.18) 7.4mm, 2004년(03.10.18~04.11.5) 12.3mm, 2005년(04.11.5~06.4.9) 11.5mm, 2006년(06.4.9~07.4.9) 18.0mm, 2007년(07.4.9~08.4.18) 8.8mm로서 해에 따라 후퇴량은 조금씩 달라지고 있다. 연도별로 관측 기간의 일수가 다르므로 해당 일수를 고려하여 후퇴 속도를 비교하면, 2003년 7.6mm/yr, 2004년 11.7mm/yr, 2005년 8.1mm/yr, 2006년 18.0mm/yr, 2007년 8.5mm/yr이다. 따라서 2006년은 2003년에 비하여 2.4배 큰 후퇴 속도를 기록하였다(그림 5).

관측 기간을 크게 동결기와 비동결기로 구분하면, 동결기는 2003년(02.10.30~03.5.27), 2004년(03.10.18~04.4.30), 2007년(06.12.11~07.6.19)의 3회로, 또 비동결기는 2003년(03.5.25~03.10.18), 2004년(04.4.30~04.11.5), 2006년(06.6.12~06.12.11)의 3회로 각각 나눌 수 있다. 동결기의 후퇴량은 2003년 5.5mm, 2004년 9.9mm, 2007년 15.4mm이며, 관측 일수를 고려한 후퇴 속도는 2003년 9.7mm/yr, 2004년 18.5mm/yr, 2007년 29.7mm/yr로서 평균 19.3mm/yr이다. 반면에 비동결기의 후퇴량은 2003년 1.8mm, 2004년 2.5mm, 2006년 1.9mm로서 동결기와는 차이가 크다(그림 6). 후퇴 속도는 2003년 4.6mm/yr, 2004

년 4.7mm/yr, 2006년 3.7mm/yr로서 평균 4.3mm/yr이므로 동결기 후퇴 속도의 1/4 정도이다.

비동결기를 다시 장마철을 포함하고 있는 전기(우기)와 그렇지 않은 후기(건기)로 구분하면, 2003년의 경우 전기(5.27~8.9)의 후퇴량과 후퇴 속도는 1.1mm 및 5.3mm/yr이며, 후기(8.9~10.18)는 0.7mm 및 3.9mm/yr로서 전기에 비하여 다소 작다. 이러한 경향은 2004년에 더욱 뚜렷해져 전기(4.30~7.30)의 후퇴량과 후퇴 속도가 2.3mm 및 9.2mm/yr인데 비하여 후기(7.30~11.5)는 0.2mm 및 0.8mm/yr로서 전기의 1/10 이하에 불과하다. 2006년에는 전기(6.12~8.9)의 후퇴량과 후퇴 속도가 0.5mm 및 3.3mm/yr이나 후기(8.9~12.11)는 1.4mm 및 4.0mm/yr로서 전기보다 다소 큰 값을 보인다(그림 6). 이것은 후기의 관측 기간에 동결기에 속하는 11월 후반과 12월 전반이 포함되었기 때문이다.

2006년 4월부터 2007년 6월까지는 겨울철의 적설기를 제외하면 평균 2개월 간격으로 계측이 이루어졌다. 따라서 계절별로 침식편의 후퇴량을 비교하면, 2006년 봄철(4.9~6.12) 2.4mm, 장마철(6.12~8.9) 0.5mm, 여름철(8.9~10.8) 0.2mm, 가을철(10.8~12.11) 1.1mm, 겨울철(12.11~4.9) 13.8mm, 2007년 봄철(4.9~6.19) 1.7mm이다. 후퇴 속도로는 2006년 봄철 13.9mm/yr, 장마철 3.3mm/yr, 여름철 1.3mm/yr, 가을철 6.4mm/yr

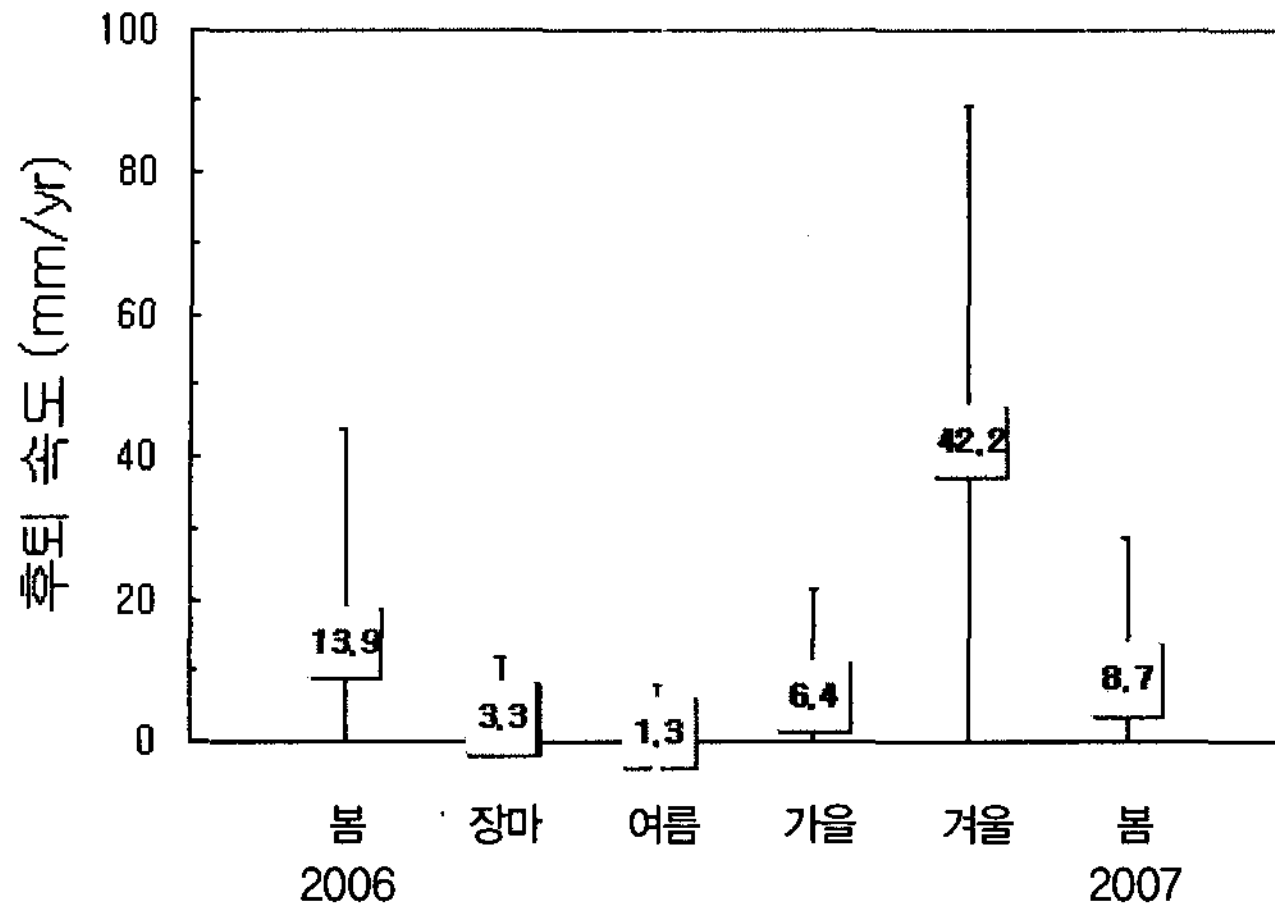


그림 7. 등산로 측벽의 계절별 후퇴 속도

yr, 겨울철 42.2mm/yr, 2007년 봄철 8.7mm/yr로서 겨울철이 가장 크고, 봄철, 가을철, 장마철 및 여름철의 순으로 뒤를 잇는다(그림 7).

2) 후퇴 속도와 환경 요인의 관계

침식편이 설치된 등산로에는 미사질 양토에 해당하는 논고토와 노로토가 넓게 분포하고 있다(농촌진흥청, 1975). 현무암을 모재로 하는 이들 토양이 출현하는 등산로 측벽의 토층은 토색에 의하여 크게 흑갈색 토층(7.5YR 2/1~2/3)과 갈색 토층(7.5YR 3/3~5/6)으로 구분된다. 토층별로 비교하면 28개의 침식편이 설치된 흑갈색 토층의 평균 후퇴량과 후퇴 속도는 54.5mm 및 10.7mm/yr이며, 16개의 침식편이 설치된 갈색 토층은 42.0mm 및 8.3mm/yr로서 흑갈색 토층에 비하여 다소 작은 편이다. 표고 1,250~1,290m에 위치하는 25~28번 침식편은 산화된 스크리아를 모재로 하는 암적갈색 토층(2.5YR 2/2~3/6)에 설치되었다. 이들 암적갈색 토층의 후퇴량과 후퇴 속도는 59.8mm 및 11.7mm/yr로서 흑갈색 토층보다도 높은 값을 보이나, 침식편의 수가 적고 또 값의 편차가 크므로 큰 의미를 부여하기는 어렵다.

앞에서 언급한 지점별 후퇴 속도에서 최고치를 기록한 지점들은 흑갈색 토층에, 또 최저치 지점들은 갈색 토층에 각각 속한다. 그러나 표고 1,000m의 흑갈색 토

층에 설치한 10A번 침식편의 경우, 1,693일의 관측 기간에 발생한 후퇴량은 10.3mm로서 후퇴 속도는 2.2mm/yr에 불과하다. 이 지점의 등산로 측벽에는 제주조릿대가 활착하고 있어 단애면의 나지 비율이 상대적으로 낮다. 단애면이 일부 식생으로 덮여 있는 흑갈색 토층에 설치한 14번, 15번 및 18A번 침식편의 후퇴 속도도 각각 3.7mm/yr, 2.7mm/yr 및 3.6mm/yr에 불과하여 흑갈색 토층에 설치한 침식편의 후퇴 속도로서는 매우 작은 편에 속한다. 반면에 갈색 토층에 설치한 침식편 가운데 가장 큰 후퇴량을 보인 것은 표고 1,230m에 설치한 24번 침식편이며, 1,503일의 관측 기간에 발생한 후퇴량은 83.0mm로서 후퇴 속도는 20.2mm/yr이다. 이 지점의 등산로 측벽은 직경 3~5cm의 자갈을 많이 포함하는 토층으로 이루어져 있으며, 이들 자갈들은 봄철에 단애면에서 쉽게 분리되어 떨어지는 특징을 보인다.

침식편이 설치된 토층의 토양경도는 1.64~17.6kgf/cm²의 범위를 보인다. 토층별로 비교하면 흑갈색 토층의 평균 토양경도는 3.87kgf/cm²로서 갈색 토층의 6.99kgf/cm²에 비하여 3.12kgf/cm² 정도 낮다. 암적갈색 토층의 토양경도는 흑갈색 토층보다 약간 낮은 3.49kgf/cm²이다. 따라서 토층별 토양경도는 갈색 토층, 흑갈색 토층, 암적갈색 토층의 순으로 작아지고 있으므로 토층별 후퇴 속도에 대응하고 있는 것처럼 보인다. 그러나 침식편별로 토양경도와 후퇴 속도의 관계

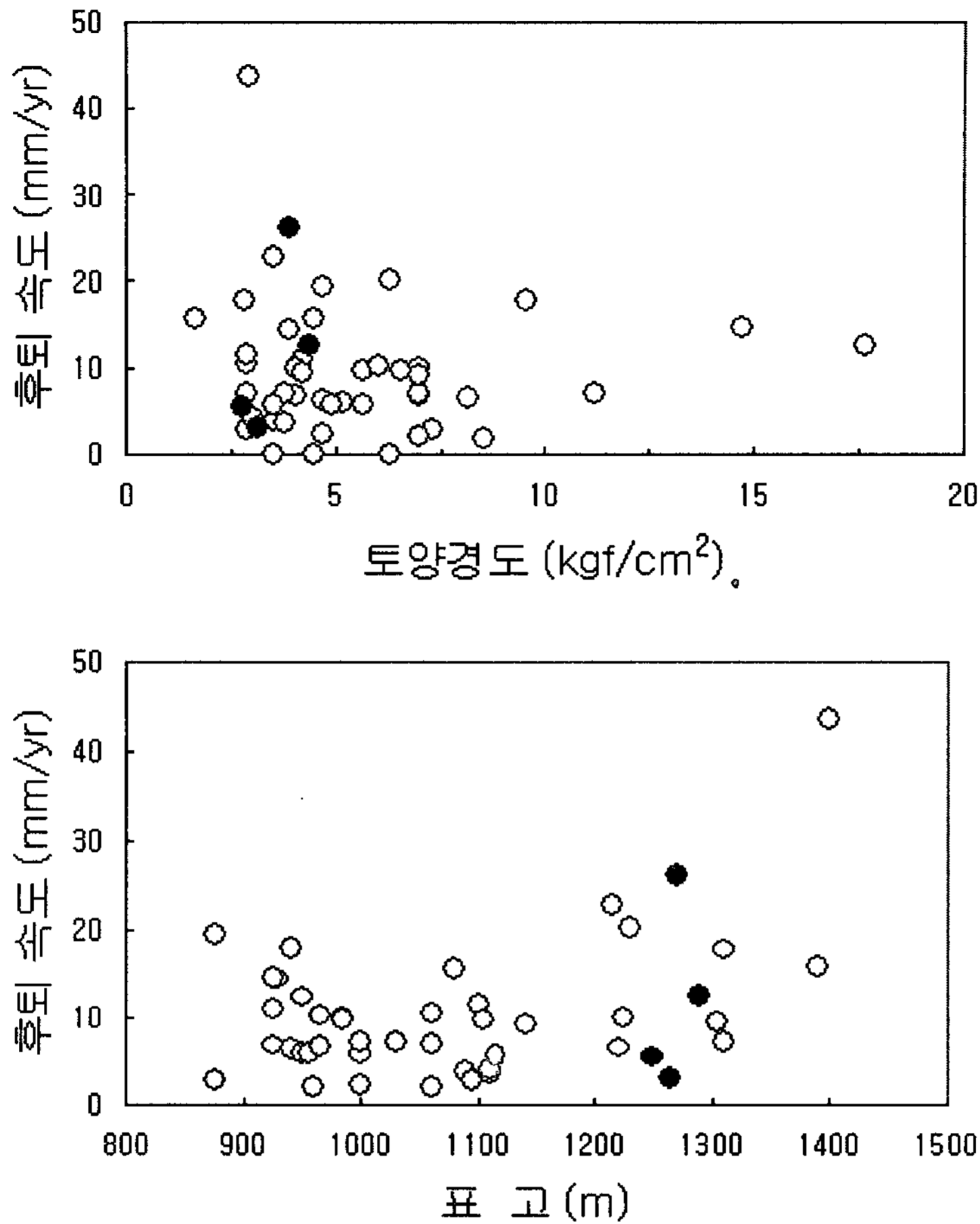


그림 8. 등산로 측벽의 후퇴 속도와 (상)토양경도, (하)표고의 관계
 ○ 흑갈색 토층, ○ 갈색 토층, ● 암적갈색 토층

를 살펴보면 명료한 상관관계를 보이지 않는다(그림 8 상). 예를 들면, 흑갈색 토층에 설치된 12B번, 15번, 16번 및 30A번 침식편의 토양경도는 모두 2.89kgf/cm²로 같으나, 후퇴 속도는 각각 10.4mm/yr, 2.7mm/yr, 11.4mm/yr 및 7.1mm/yr로서 최대 4배 이상의 차이를 보인다. 더욱이 2.93kgf/cm²의 토양경도를 지닌 32번 침식편의 후퇴 속도는 43.7mm/yr에 달하고 있어 토양경도보다는 다른 요인에 의하여 등산로 측벽의 후퇴가 발생하는 것으로 생각된다.

침식편이 설치된 최저 지점의 표고는 875m이며, 최고 지점은 1,400m이다. 고도별로 살펴보면 800~900m 구간에 1개 지점, 900~1,000m 구간에 9개 지점,

1,000~1,100m 구간에 6개 지점, 1,100~1,200m 구간에 4개 지점, 1,200~1,300m 구간에 8개 지점, 1,300~1,400m 구간에 4개 지점으로서 525m의 고도차를 보이는 등산로 구간의 32개 지점에 침식편이 설치되었다(그림 4). 침식편 설치 지점의 표고와 후퇴 속도의 관계를 비교하면, 고도가 증가함에 따라 후퇴 속도도 증가하는 경향을 보이나 상관계수는 높지 않다(그림 8하).

3회의 동결기, 즉 2003년(02.10.30~03.5.27), 2004년(03.10.18~04.4.30) 및 2007년(06.12.11~07.6.19)에 발생한 총후퇴량은 30.8mm이다. 이 기간의 관측 일수는 594일이므로 후퇴 속도는 18.9mm/yr이다. 측벽의

후퇴량 가운데 동결기의 후퇴량이 차지하는 비율이 높으므로(그림 6) 동결기의 후퇴 속도와 토양경도 및 표고와의 관계를 비교하였으나 명료한 상관관계를 보이지 않는다. 그러나 동결기 후퇴 속도와 침식편이 설치된 측벽의 향을 비교하면, 북서향 측벽의 후퇴 속도가 20.2mm/yr로서 가장 크고, 북동향 측벽 19.6mm/yr, 남동향 측벽 18.2mm/yr로서 뒤를 잇는다. 남서향과 정남향 측벽은 1개 지점씩에 불과하나, 후퇴 속도는 각각 6.9mm/yr과 4.1mm/yr로서 가장 작다. 따라서 동결기에는 남쪽보다는 북쪽으로 향한 측벽에서 더 활발하게 후퇴가 일어난다.

4. 고찰

등산로에서 발생하는 침식 프로세스는 노면과 측벽에서 다르게 나타난다. 노면은 등산객의 답압이 지속적으로 일어나는 장소이므로 난투수층으로 변하기 쉬운 노면에서는 지표류의 세굴이 탁월하다. 반면에 등산객의 답압이 일어나기 어려운 측벽은 자연 상태의 토층을 유지하므로 지표류의 발생이 억제되어 우세보다는 다른 요인에 의하여 측벽이 후퇴한다.

측벽의 후퇴 속도를 겨울철과 봄철에 해당하는 동결기, 여름철과 가을철에 해당하는 비동결기로 구분하면, 동결기의 후퇴 속도가 비동결기에 비하여 평균 4.5배 크다. 특히 2006년에는 그 차이가 8배나 되어 등산로 측벽은 주로 겨울철과 봄철에 후퇴하고 있음을 알 수 있다(그림 6). 2개월 간격으로 관측이 이루어진 2006년도의 경우 전체 후퇴량 가운데 겨울철에 발생한 후퇴량이 76.7%를 차지하고 있으며, 봄철 13.3%, 가을철 6.1%, 장마철 2.8% 및 여름철 1.1%의 순으로 나타난다(그림 7).

따라서 조사 구간 등산로 측벽의 후퇴에는 동결 작용이 주도적인 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 측벽의 침식과 관련된 동결 작용으로는 단연 동상(frost heave)을 일으키는 서릿발을 들 수 있다. 서릿발은 야간에 기온이 내려가고 수분을 지닌 토층의 지표면이 영하의 찬 공기에 노출되면, 아직 동결되지 않은 지중

으로부터 수분이 빨려 올라와 찬 공기와 접촉하는 곳에서 빙정으로 변함으로써 출현한다. 이 때 지표면만 먼저 동결하여 찬 공기가 지중으로 좀처럼 침투하지 못하는 경우에는 동결한 지표면 바로 아래에 서릿발이 형성됨으로써 표층의 토양입자는 서릿발의 길이만큼 들려 올라가게 된다(澤口, 2005; 그림 9). 또한 서릿발이 사면에서 성장하면 토양입자는 사면에 대하여 직각 방향으로 들어올려지나 서릿발이 녹게 되면 연직 방향으로 떨어지므로 서릿발의 성장과 용해가 반복됨으로써 사면 아래쪽으로 물질 이동이 발생한다(권혁재, 1999). 특히 등산로 측벽과 같이 수직에 가까운 단애인 경우에는 서릿발의 성장으로 단애면에서 분리된 토양입자가 쉽게 단애 아래쪽으로 떨어질 수 있다(그림 10). 이러한 서릿발의 특성 때문에 고산이나 아고산 초지대에서 일어나는 토양침식의 원인으로 서릿발 작용을 드는 경우가 많다(King, 1971; Hastenrath and Wilkinson, 1973; Perez, 1992; Grab, 2002; 김태호, 2006).

조사 구간에서는 12월의 동결 진행기, 3월과 4월의 용해 진행기에 단애면이 전부 서릿발로 덮여 있는 등산로 측벽을 쉽게 볼 수 있으며, 서릿발이 토양입자로 덮여 있는 경우도 많이 나타난다(그림 9). 서릿발에 의한 침식이 효과적으로 일어나기 위해서는 서릿발의 성장과 용해가 빈번하게 나타나는 하루 주기의 동결 현상(diurnal freeze-thaw)이 일어나야 한다. 성판악 등산로 입구(762m)에 위치하는 성판악 자동기상관측소의 자료(2003~2007년)와 한라산의 기온 체감률 -0.58°C (공우석, 1999)을 토대로 조사 구간의 연평균 동결용해 교대 일수를 추정하면, 표고 875m의 최저 지점은 75일, 표고 1,400m의 최고 지점은 90일로서 연간 평균 85일은 서릿발이 발생할 수 있는 기후 조건을 지니고 있다. 또한 동결 일수는 최저 지점에서 17일, 최고 지점에서 38일로서 연간 평균 111일은 동결 작용의 영향을 받고 있다.

등산로 고도와 측벽 후퇴량 사이에 명료한 상관관계가 나타나지는 않지만(그림 8하), 측벽 후퇴량은 서릿발 작용의 강도 또는 발생 기간을 반영하고 있을 것으로 생각된다. 2003년, 2004년 및 2007년 동결기의 후퇴 속도는 각각 9.7mm/yr, 18.5mm/yr 및 29.7mm/yr



그림 9. 토양입자를 들어올린 서릿발로 덮여 있는 등산로 측벽(2006.12.11)



그림 10. 등산로 측벽에서 분리된 토양입자로 덮여 있는 단애면 하부(2007.4.9)

로서 2007년의 경우 2003년에 비하여 3배 이상 크다. 그러나 연도별로 평균 동결융해 교대 일수를 비교하면, 2003년 89일, 2004년 81일, 2007년 86일로서 후퇴 속도와 특별한 상관관계를 보이지 않는다. 한편, 적설로 이어지는 1월과 2월의 강수량은 2003년 326mm, 2004년 232mm, 2007년 270mm이며, 적설의 융해에 영향을 주는 1~3월의 평균 기온은 2003년 1.7℃, 2004년 1.7℃, 2007년 3.1℃이다. 등산로에 쌓인 눈이 측벽에서의 서릿발 작용을 방해한다고 보면, 2007년의 큰 후퇴량은 평년보다 높은 기온으로 등산로의 눈이 빨리 녹았기 때문에, 그리고 2004년은 작은 강수량으로 적설 기간이 평년에 비하여 짧았기 때문에 동결융해 교대 일수에 비하여 동결 작용이 효과적으로 일어난 것으로 생각된다.

물론 측벽에서의 서릿발 작용에는 기후 조건뿐 아니라 토양수분의 함량도 중요한데(Meentemeyer and Zippin, 1981; Mathews III, 1999), 향별 측벽 후퇴량에서 일조량이 작은 북향 측벽의 후퇴량이 가장 크게 나타난 결과에서도 이러한 사실을 일부 확인할 수 있다. 즉 남향 측벽에 비하여 증발량이 작은 북향 측벽은 서릿발의 발달에 유리한 토양수분을 지속적으로 보유할 수 있기 때문이다. 경기도 불암산의 등산로에서도 남향 측벽보다 수분 집적에 유리한 북향 측벽에서 염상구조가 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다(기근도·김영래, 2007). 이런 점에서 서릿발의 발달 정도를 기후 조

건만으로 일의적으로 설명하는 것은 충분하지 않다.

등산로 측벽에서 단애면 아래쪽으로 떨어진 서릿발을 관찰하면, 순수한 빙정의 집합체인 경우뿐 아니라 서릿발 밑에 토양입자가 붙어 있는 경우로 구분할 수 있다. 전자는 토층의 고결도가 높은 갈색 토층에서 후자는 고결도가 낮은 흑갈색 토층에서 잘 나타나는데, 측벽의 후퇴에는 토양입자를 단애면에서 분리시키면서 떨어지는 후자가 더욱 효과적이다. 토층별로 후퇴량을 비교할 때, 갈색 토층보다 큰 흑갈색 토층의 후퇴량에는 서릿발의 이러한 특성도 관련된 것으로 보인다.

등산로 측벽의 후퇴는 고산 초지대에서 발생하는 초지박리 현상과 매우 유사하다. 초지박리(turf exfoliation)는 초지대에 형성된 소규모의 단애면에서 토양입자가 제거되고 단애 아래쪽이 파이게 되면, 단애 위쪽의 식생이 밑으로 드리워지고 결국 떨어져 나가면서 지표의 식생 피복이 파괴되는 삭박 프로세스로서 토양입자의 제거에는 바람을 비롯하여 서릿발, 빗방울, 지표류, 동물 등 다양한 요인이 관여하고 있다(Perez, 1992; Grab, 2002). 한라산 표고 1,600~1,700m의 아고산 초지대에서 발생하는 초지박리의 경우 단애의 후퇴 속도는 20.0mm/yr로서 조사 구간 등산로 측벽의 후퇴 속도보다 2배 정도 크지만, 동결기에 가장 큰 폭으로 단애가 후퇴하는 점은 등산로 측벽의 경우와 동일하다(김태호, 2006). 따라서 한라산에서는 아고산대뿐 아니라 산록에서도 나지 상태 단애의 후퇴

표 3. 한라산 동사면의 풍속(m/s)

관측소(기간)	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	전년
성판악(1999~2006)	3.7	3.5	3.5	3.3	2.5	2.1	2.3	2.5	2.2	2.7	3.0	3.4	2.9
진달래밭(2006)	2.9	2.5	2.4	2.6	2.4	2.0	1.8	1.3	1.3	1.5	2.3	2.5	2.1

자료: 제주지방기상청(2007)

에는 서릿발이 가장 탁월한 프로세스라고 할 수 있다. 그러나 한라산 아고산대에서는 단애의 후퇴에 서릿발 작용 이외에 취식, 우적침식 및 우세도 중요한 요인인데 반하여(김태호, 2006), 산록에 위치하는 등산로 측벽의 후퇴에 이들 요인이 미치는 영향은 크지 않다.

성판악 자동기상관측소의 연평균 풍속은 2.9m/s이며, 겨울철 풍속은 여름철에 비하여 1.2m/s 정도 높은 3.5m/s이다(표 3). 그러나 겨울철에는 등산로가 대부분 눈으로 덮여 있으므로 단애면이 바람에 노출되어 취식이 일어날 수 있는 비적설 기간만을 대상으로 풍속을 구하면 2.7m/s로 낮아진다. 눈이 본격적으로 녹는 3월과 4월의 풍속은 3.5m/s와 3.3m/s로 다소 높아지나, 이 시기에는 빈번한 서릿발의 용해로 측벽이 젖어 있는 경우가 많으므로 취식의 효과는 크지 않다. 성판악 등산로의 표고 1,489m 지점에 위치하는 진달래밭 자동기상관측소의 연평균 풍속도 2.1m/s에 불과한 점으로 보아 조사 구간의 풍속은 크지 않은 것으로 판단된다(표 3). 더욱이 조사 구간의 등산로는 서어나무

와 졸참나무의 교목 지대를 통과하고 있으므로(임양재 외, 1991) 수목에 의한 방풍 효과도 취식을 억제하고 있다.

수목에 의한 강수의 차단 효과는 우적침식도 약화시킨다. 직경이 1.3~2.5mm인 빗방울의 낙하 속도는 7~9m/s이므로 지표면이 빗방울의 충격으로 파일 때 토양입자는 빗물과 함께 흩날린다(町田 외, 1981). 따라서 수목에 의한 차단 효과를 기대하기 어려운 고산 초지대에서는 우적침식으로 나지가 확대될 수 있으며, 특히 강풍을 동반하는 강우가 자주 발생하는 지역에서는 탁월풍과 같은 방향으로 나지가 확대되기도 한다(原田·小泉, 1997; 福井·小泉, 2001). 표고 1,220m 지점에서는 등산로 양쪽에 측벽이 나타나므로 침식핀(22번)을 좌우 측벽 모두 설치하였다. 등산로 우측에는 수목이 없어 차단 효과가 일어나기 어려운 장소로서, 우측 측벽의 장마철 후퇴량은 2003년 12.5mm, 2004년 5.0mm, 2006년 1.0mm로서 비동결기 후퇴량으로는 드물게 큰 값을 기록하고 있다. 반면에 수목 아래에



그림 11. 용설로 생긴 물웅덩이를 피하여 걷는 등산객에게 밟혀 휘어진 측벽의 침식핀(2007.4.9)과 등산로 측벽 위에 만들어진 소로(2007.4.10)

놓여 있는 등산로 좌측 측벽은 장마철에 전혀 후퇴하지 않아 대조를 이루고 있다.

답압을 방지하기 위하여 포장 공사가 이루어진 성판악 등산로에서는 우세로 훼손된 노면은 잘 보이지 않는다. 따라서 조사 구간에서도 노면의 세굴이 측벽의 후퇴를 초래하는 경우는 출현하지 않는다. 단 표고 1,400m의 급경사 구간에 설치된 32번 침식핀은 배수로에 접한 측벽 하부가 깊게 파이면서 단애면 상부가 흘러내린 결과 2004년 장마철에만 78.0mm의 큰 후퇴량을 기록하였다.

등산로 측벽의 후퇴에 동물의 영향은 거의 나타나지 않지만, 봄철의 융해 진행기에는 등산객의 답압으로 인하여 크게 후퇴하기도 한다. 이 시기에는 등산로에 쌓인 눈이 녹으면서 주간에는 노면 중앙에 물웅덩이가 많이 출현한다. 등산객이 이들 물웅덩이를 피하여 측벽에 붙어 걷거나 또는 측벽 위를 걷는 과정에서 측벽을 차거나 밟음으로써 측벽의 후퇴가 일어난다(그림 11). 관측 결과를 정리한 <표 2>에서 4C번과 5B번은 2006년, 22A번은 2004년 4월에 등산객에게 밟힌 침식핀을 다시 설치하였기 때문에 총후퇴량을 구하지 못하였다. 이와 같이 융해 진행기에 관측되는 측벽의 큰 후퇴량에는 서릿발 작용에 더하여 등산객의 답압이 일부 관여하고 있다.

5. 결론

등산로의 노퍽 확대로 이어지는 등산로 측벽의 토양 침식 현상을 밝히기 위하여 한라산 성판악 코스 표고 875~1,400m 구간의 32개 지점에서 등산로 측벽의 후퇴 과정을 관측하고, 후퇴 프로세스에 영향을 미치는 요인을 고찰하였다. 2002년 10월부터 2008년 4월까지 66개월 동안에 발생한 48개 침식핀의 총후퇴량은 평균 50.6mm로서 후퇴 속도는 10.0mm/yr이다. 관측 기간을 동결기와 비동결기로 구분하면, 동결기의 후퇴 속도는 19.3mm/yr인데 비하여 비동결기는 4.3mm/yr로서 동결기의 1/4 정도이다. 비동결기를 다시 우기와 건기로 구분하면, 우기의 후퇴 속도는 5.9mm/yr로서

2.9mm/yr의 건기에 비하여 2배 이상 크다. 계절별로는 2006년도의 경우 봄철 13.9mm/yr, 장마철 3.3mm/yr, 여름철 1.3mm/yr, 가을철 6.4mm/yr, 겨울철 42.2mm/yr로서 후퇴 속도는 겨울철에 가장 크고, 봄철, 가을철, 장마철, 여름철의 순이다.

겨울철에 발생한 후퇴량이 전체 후퇴량의 76.7%를 차지하고 있으므로 조사 구간의 등산로 측벽은 주로 서릿발 작용으로 후퇴한다고 볼 수 있다. 연간 85일 정도 서릿발이 발생할 수 있는 기후 조건을 지니고 있는 조사 구간에서 12월의 동결 진행기, 3월과 4월의 융해 진행기에는 서릿발로 덮여 있는 등산로 측벽의 모습을 쉽게 볼 수 있다. 반면에 한라산 동사면의 약한 풍속과 조사 구간의 등산로가 교목 지대를 통과하기 때문에 수목의 방풍 및 차단 효과로 인하여 취식과 우적침식은 현저하지 못하다. 답압을 방지하기 위한 포장 공사가 이루어져 우세에 의한 노면의 훼손은 보이지 않으므로 측벽의 후퇴에 우세가 미치는 영향은 매우 미약하다. 동물의 영향도 거의 보이지 않으나, 예외적으로 등산객이 봄철에 눈이 녹으면서 노면에 생기는 물웅덩이를 피하여 걷는 과정에서 측벽에 물리적인 충격을 가함으로써 측벽이 크게 후퇴할 수 있다.

등산로에서 일어나는 토양침식은 등산로 주변의 나지로 이어져 결국 산지 훼손의 주요 원인이 되고 있다. 이러한 현상은 한라산과 같이 많은 등산객이 찾는 국립공원에만 국한되지 않는다. 최근 백두대간의 종주 붐과 더불어 과거 특정 산에만 한정되었던 산행이 이제는 전국 각지의 산지로 확산되고 있다. 그러나 이들 산지에는 아직까지 목재데크나 잔자갈 깔기 등의 등산로 보호 대책이 세워져 있지 않기 때문에 등산객의 답압으로 등산로가 우곡화하면서 등산로를 따라 급속하게 토양침식이 진행되고 있다. 특히 백두대간에서의 등산로 훼손은 사회적인 문제로 대두되고 있으나 뚜렷한 대책 방안이 세워지고 있지는 않다.

답압으로 인한 등산로 노면의 압밀 현상은 등산로 상태에 맞추어 유형별로 포장 공사를 실시함으로써 그 피해를 크게 저감시킬 수 있다. 그러나 등산로의 침식 문제는 등산로 노면뿐 아니라 측벽에서 일어나는 침식도 관련되어 있으며, 특히 측벽이 후퇴함으로써 등산로가 확대된다고 본다면 현재 진행되고 있는 포장 시

설에 의한 등산로 훼손 방지에는 한계가 있다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 본 결과는 한라산 등산로의 관리는 물론 우리나라 산지 전역에서 진행되고 있는 토양침식 문제의 해결에 필요한 자료로도 활용될 수 있을 것이다.

文獻

공우석, 1999, "한라산의 수직적 기온 분포와 고산식물의 온도적 범위," 대한지리학회지, 34, 385-393.

권혁재, 1999, 지형학, 법문사.

기근도·김영래, 2007, "불암산의 지형 경관과 기후지형학적 특색," 한국지형학회지, 14, 87-103.

김세천·박종민, 1998, "모악산도립공원 등산로의 환경훼손 실태 및 이용영향에 관한 조사연구," 한국조경학회지, 25, 39-50.

김태호, 2006, "한라산 아고산 초지대 나지의 확대속도와 침식작용," 대한지리학회지, 41, 233-246.

김태호, 2003, "한라산과 다랑쉬오름 등산로의 답압에 의한 토양 압밀현상," 한국지역지리학회지, 9, 169-179.

농촌진흥청, 1976, 정밀토양도(제주도).

산림청, 2006, 등산로 정비 매뉴얼.

서병수·김세천·박종민·이창현·이규완, 1994, "덕유산 국립공원 등산로의 환경훼손에 대한 이용영향," 한국임학회지, 83, 286-298.

오구균·허순호, 1992, "한라산국립공원의 등산로와 주변의 환경훼손," 응용생태환경, 6, 55-71.

오문경, 1996, 한라산국립공원의 훼손 방지 방안, 제주대학교 석사학위논문.

우보명, 1986, 한라산국립공원 백록담지구 훼손지 복구공법 개발에 관한 기초적 연구 및 복구실시 설계 용역보고서, 서울대학교 농업개발연구소.

윤국병, 1977, 조경배식학, 일조각.

이문원, 1994, "제주도의 형성사와 지질구조," 대한지하수환경학회(편) 제주도 지하수자원의 환경학적 보전과 개발이용, 54-74.

임양재·백광수·이남주, 1991, 한라산의 식생, 중앙대학교출판부.

제주도, 2000a, 한라산 기초조사 및 보호관리수립.

제주도, 2000b, 서귀포·하효리도폭 지질보고서.

제주도, 1997, 제주의 오름.

제주도, 1994, 한국의 영산 한라산.

제주지방기상청, 2007, 제주도 AWS 상세기후 특성집.

최오길, 2002, 등산객에 의한 답압이 설악산 아고산대에 자생하는 식물의 분포에 미치는 영향, 강릉대학교 석사학위논문.

한라산국립공원관리사무소, 1997, 한라산정상보호계획.

大貫靖浩·酒井正治·稻垣昌宏, 1999, "屋久島登山道における難透水層の形成," 地形, 20, 541-550.

渡辺梯二·深澤京子, 1998, "大雪山國立公園, 黒岳七合目から山頂區間における過去7年間の登山道の荒廢とその輕減のための對策," 地理學評論, 71, 753-764.

福井幸太郎·小泉武榮, 2001, "木曾駒岳高山帶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.

小山正忠·竹原秀雄, 1996, 新版標準土色帖, 日本色研事業.

小野有五·依田明實·後藤忠志, 1990, "登山道の侵食について," 森林航測, 161, 15-19.

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.

日本材料學會土質安定材料委員會, 1981, 斜面安定工法-指針と解説, 鹿島出版會.

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.

澤口晉一, 2005, "凍上する地面," 小嶋尚研究室(編) 山にまなぶ, 44-45, 古今書院.

Coleman, R., 1981, Footpath erosion in the English Lake District, *Applied Geography*, 1, 121-131.

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 Periglacjalny*, 22, 157-165.

Ito, E., Yoshinaga, S., Ohnuki, Y., Shichi, K., Matsumoto, Y., and Taoda, H., 2002, Soil factors affecting the decline of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) forests in Kanto plain, Japan,

- Proceedings of the 8th International Congress of Ecology*, 93.
- King, R.B., 1971, Vegetation destruction in the sub-alpine and alpine zones of the Cairngorm Mountains, *Scottish Geographical Magazine*, 87, 103-115.
- Matthews III, V., 1999, Origin of horizontal needle ice at Charit Creek Station, Tennessee, *Permafrost and Periglacial Processes*, 10, 205-207.
- Meentemeyer, V. and Zippin, J., 1981, Soil moisture and texture controls of selected parameters of needle ice growth, *Earth Surface Processes and Landforms*, 6, 113-125.
- Perez, F.L., 1992, Processes of turf exfoliation (Rasenabschalung) in the high Venezuelan Andes, *Zeitschrift fur Geomorphologie N. F.*, 36, 81-106.
- Quinn, N.W., Morgan, R.P.C., and Smith, A.J., 1980, Simulation of soil erosion induced by human trampling, *Journal of Environmental Management*, 10, 155-165.
- Weaver, T. and Dale, D., 1978, Trampling effects of hikers, motorcycles and horses in meadows and forests, *Journal of Applied Ecology*, 15, 451-457.
- 교신: 김태호, 690-756 제주특별자치도 제주시 제주대학로 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 08. 05. 29
최종접수일 08. 06. 23