

제주도 스킨아콘의 사면발달

현 경 희 · 김 태 호

제주대학교 사범대학 지리교육과

Slope Development of Scoria Cones in Cheju Island

Kyunghee Hyun and Taeho Kim

Department of Geography Education, Cheju National University, Cheju, 690-756, Korea

요 약

제주도에 분포하는 스킨아콘의 사면발달을 밝히기 위하여 49개 스킨아콘을 대상으로 화산체의 비고, 저경에 대한 비고의 비율(H_{co}/W_{co}), 저경과 화구경의 차에 대한 비고의 비율(H_{co}/W_{co-cr}) 및 사면각 등의 지형특성치를 계측하였다. 스킨아콘의 형성시기가 오래될수록 지형특성치는 일정한 비율로 감소하므로 화산체의 형태비교학적 방법에 의해 스킨아콘의 형성시기를 추정할 수 있다. 스킨아콘의 화구는 침식작용으로 메워지며 결국에는 사라지게 되므로 화산체의 형성시기와 가장 높은 상관관계를 보이는 지형특성치는 저경과 화구경의 차에 대한 비고의 비율이나 평균사면각(θ_{ave})이다. 스킨아콘의 평균사면각은 $\theta_{ave} = \tan^{-1}[2 \cdot H_{co}/W_{co-cr}]$ 로서 구할 수 있다. 제주도는 플라이스토세에 네 번에 걸친 분화활동을 통하여 형성되었다. 제4분출기(0.1~0.025Ma)에 형성된 최신의 스킨아콘은 평균사면각의 평균치가 $23.6 \pm 1.7^\circ$ 인데 비하여, 제3분출기(0.3~0.1Ma)와 제2분출기(0.6~0.3Ma)의 스킨아콘은 각각 $18.9 \pm 1.7^\circ$ 및 $12.6 \pm 1.9^\circ$ 이다.

ABSTRACT

Morphometric parameters such as cone height, cone height/width ratio(H_{co}/W_{co}), cone height/difference between cone width and crater width ratio(H_{co}/W_{co-cr}) and slope angle are measured to investigate the rates of slope development of scoria cones in Cheju Island. The parameters systematically decrease with increasing age of scoria cones, suggesting that comparative morphology of scoria cones is a useful age indicator. Cone age is most highly correlated with H_{co}/W_{co-cr} or average slope angle because summit craters are infilled and eventually removed by erosional processes. The average slope angle is estimated as $\theta_{ave} = \tan^{-1}[2 \cdot H_{co}/W_{co-cr}]$. Cheju Island was formed through four eruptive stages during Pleistocene. The youngest cones of stage 4(0.1~0.025Ma) have a mean average slope angle of $23.6 \pm 1.7^\circ$, whereas stage 3(0.3~0.1Ma) and stage 2(0.6~0.3Ma) cones have mean values of $18.9 \pm 1.7^\circ$ and $12.6 \pm 1.9^\circ$, respectively.

서론

제 4 기의 분화활동에 의해 형성된 제주도에는 한라산을 중심으로 300개 이상의 소형 화산체가 제주도의 장축방향을 따라 대상으로 분포하고 있다. 제주지역에서 '오름'으로 불리는 이 소형 화산체는 일윤회의 분화활동기를 통하여 생성된 전형적인 단성화산(monogenetic volcano)으로서, 한라산의 측화산(lateral volcano)을 이루고 있다. 일반적으로 단성화산은 분화활동에 관여하는 마그마의 성질에 의해 여러 유형으로 분류되는데, 현무암질 마그마로부터는 주로 화산쇄설구(pyroclastic cone)가 형성된다. 화산쇄설구는 폭발식 분화에 의해 화구 위로 방출된 화산쇄설물이 화구 주변에 떨어져 쌓임으로써 형성되는 원추형의 화산체이다. 분화양식과 구성물질에 의해 분류되는 화산쇄설구의 가장 일반적인 유형이 스킨콘(scoria cone)이며, 제주도의 단성화산도 대부분은 스킨콘에 해당한다(박, 1985; 윤, 1995; 제주도, 1997; 長谷中 외, 1998).

스킨콘은 소규모의 폭발식 분화인 스트롬볼리식 분화에 의해 형성되는 가장 기본적인 퇴적성 화산지형으로서 분석구(cinder cone)라고도 한다. 구성물질은 현무암질 마그마 기원의 다공질 화산쇄설물인 스킨콘이다. 지속적인 분화활동으로 스킨콘이 성장하여 사면의 경사가 커지면, 화산체 위에 떨어진 스킨콘은 그 자리에 멈추지 못하고 사면 아래로 굴러 떨어지게 된다. 이러한 과정을 통하여 화산체가 형성되므로 스킨콘의 사면은 애추의 양상을 띤다(McGetchin et al., 1974). 따라서 스킨콘은 화산쇄설물의 안식각에 해당하는 30° 정도의 직선사면을 지닌 원추형을 이루게 된다(Fig. 1a).

스트롬볼리식 분화의 분출물에는 세립질의 화산회(灰)가 적으며, 사면 위에서 조립질의 분출물이 굴러 떨어지면서 화산체가 성장하므로 스킨콘의 구성물질은 분급이 양호하다. 따라서 우수의 침투가 용이하므로 지표류가 발생하기 어려워 비교적 장

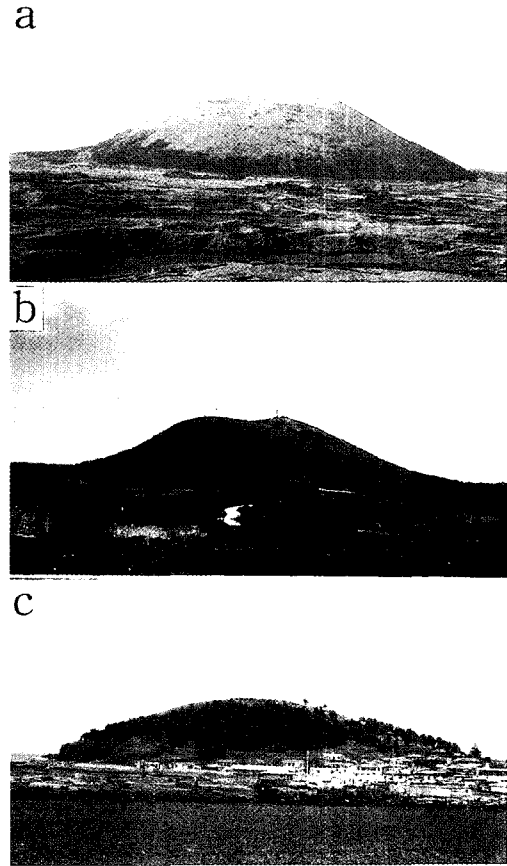


Fig. 1. Scoria cones in Cheju Island.

- (a) Darangshiorum
- (b) Gumorum
- (c) Dodubong

기간에 걸쳐 원형을 유지할 수 있다(Wood, 1980b; 橫山 외, 1992). 그러나 제주도에 분포하고 있는 스킨콘의 사면형태를 비교하면, 모식적인 화산체에서의 직선사면뿐 아니라 다양한 사면형태를 확인할 수 있다(김·전, 1987). 또한 사면의 구배도 스킨콘에 따라 다양하게 나타나고 있다(Fig. 1).

일반적으로 사면지형의 변화는 장시간에 걸쳐 일어나는 현상이므로 야외에서의 계측에 의해 변화를 파악하는 것은 곤란하다. 물론 사면붕괴와 같이 가속화된 지형변화는 계측이 가능하다. 그러나

사면붕괴의 계측치와 사면발달 사이에는 시간스케일 상에서 커다란 괴리가 존재하므로 이러한 계측치가 장기간에 걸쳐 일어나는 사면발달에 대하여 어떠한 의미를 갖는지는 분명하지가 않다. 따라서 Davis(1899)는 다른 조건이 같고 형성시기, 즉 지형변화의 경과시간만이 다르다고 생각되는 지형을 시계열적으로 늘어놓고 지형발달의 법칙성을 찾으려고 하였다. 이러한 비교형태학적 접근방법은 단구애 사면(野上, 1977, 1980; Nash, 1984; 이, 1999)이나 단층애 사면(Wallace, 1977; Nash, 1980, 1984)과 같이 비교적 동일한 원형을 갖는 사면에 적용되어 사면형태와 형성시기 사이의 관계를 밝히고 있다.

따라서 비교형태학적 관점에서 제주도 스코리아콘의 사면형태에 보이는 다양성에 주목하면, 화산체의 사면발달에 미치는 시간의 영향을 밝힐 수 있다. 기후를 비롯한 자연환경이 유사한 한정된 지역 안에서 구성물질이 거의 같으며 또한 형성 초기의 형태가 유사한 스코리아콘의 사면이 화산체에 따라 다르게 나타난다는 사실은 결국 시간의 함수로서 설명할 수 있다. 스코리아콘이 형성된 직후부터 화산체의 사면은 풍화와 매스무브먼트 등에 의한 환경사화 과정을 겪게 되는데, 스코리아콘의 형성시기를 반영하여 환경사화의 정도에 차이가 생기기 때문이다.

본 연구에서는 제주도의 스코리아콘을 대상으로 형태분석을 실시하고, 그 결과에 기초하여 사면의 발달과정을 밝히고자 한다. 즉 스코리아콘의 사면형태와 사면각의 변화를 비교하여 스코리아콘의 형성시기를 추정하고자 한다.

연구지역

북위 33° 11' 27" 에서 33° 33' 50" 에 걸쳐 위치하는 제주도는 남북길이 31km, 동서길이 73km, 면적 1,825km²로서, 북동동~남서서 방향으로 가로놓인 타원형을 이루고 있다. 제주도는 지리적인 특성으로 인하여 한반도와는 상이한 기후환경을 지니며, 최신의 지질시대인 제 4 기의 분화활동으로 형성된

화산도이므로 지형과 지질도 한반도와는 양상을 달리한다.

제주도의 지질은 백악기의 응회암과 미고결 퇴적층 위로 제 4 기의 화산분출물이 출현한다. 제주도 형성사는 이 화산활동의 순서와 시기 구분을 둘러싸고 이견을 보인다(原口, 1931; 원, 1975; 이, 1994; 이, 1994; 李, 1982; 윤, 1995). 가장 잘 알려진 4단계 형성사(이, 1994; 이, 1994)에 의하면 제1 단계는 해수면 아래 감람석회석현무암의 분출기이다. 이 현무암의 연대측정치는 120~94만년을 가리키므로 제주도의 화산활동은 플라이스토세 전기부터 시작되었다고 볼 수 있다. 제2단계는 한라산을 제외한 제주도의 모습이 대부분 결정된 용암대지 형성기이다. 이 시기를 대표하는 침상장석감람석현무암은 60~37만년 전에 남부 해안지역을 제외한 제주도 전역에서 틈분화(fissure eruption)로 분출하였다. 제3단계에는 분화양식이 제주도 중앙부에서의 중심분화로 바뀌면서 중앙화구를 중심으로 화산체의 고도가 높아져 비고 1,700m의 순상화산이 형성되었다. 또한 16만년 전에는 조면암질 용암이 분출하여 한라산 정상에 용암원정구가 형성되었다. 제4단계는 10만년 전부터 시작한 후화산활동기로서 다수의 스코리아콘이 형성되었으며, 2.5만년 전에는 용암원정구에서 다시 현무암이 분출하면서 백록담 분화구가 형성되었다. 역사시대의 화산활동으로는 1002년과 1007년에 일어난 분화가 「高麗史」에 기록되어 있다.

제주도는 대륙동안기후의 특징을 보일 뿐 아니라 사면이 바다로 둘러싸여 있어 해양성 기후의 요소도 현저하다. 따라서 쾨펜의 기후구분에 의하면 제주도의 기후는 아열대습윤기후인 Cfa에 해당한다(이, 1976). 제주도의 연평균 기온은 15.2~15.9℃로서, 0.6~0.7℃ 높은 경향을 보이는 남부지역을 제외하면 전 지역이 비슷하다. 최한월은 1월로서 월평균 기온은 4.8~6.0℃이며, 최난월은 26.4~26.7℃인 8월이다. 연교차는 약 21℃로서 전 지역이 비슷하다. 상대습도는 연평균 70~80%로서, 월별 습도변화가 크지 않은 해양성 기후의 특징을 보인다. 또한 연평균 강수량은 1,872mm로서 국내 최

다우지를 이룬다. 강수는 주로 온대성 저기압, 장마 전선 및 태풍에 의해 발생하는데, 풍향의 영향으로 한라산의 북서사면에서 남동사면 방향으로 강수량은 증가한다(이, 1999).

연구방법

제주도에 분포하는 단성화산의 수는 334개(長谷中 외, 1998), 357개(박, 1985), 368개(제주도, 1997) 등으로 다양하다. 이 가운데 유형별로 화산 지형을 분류한 長谷中 외(1998)에 의하면 스킨콘의 수는 전체 단성화산의 55~76%를 차지하는 183~259개로 보고되고 있다. 그러나 제주도에 화산체의 일부가 결여된 스킨콘이 많이 분포하고 있는데, 스킨콘과는 형태에 큰 차이를 보인다. Fig. 2의 부대오름은 화산체의 평면형태가 말굽이나 U자와 유사하므로 말굽형으로 분류되는 스킨콘이다. 말굽형은 스킨콘이 형성된 직후에 미고결 상태의 화산체를 일부 파괴하면서 다시 용암류가 분출함으로써 출현하게 된다.

말굽형 스킨콘은 화산체나 화구의 계측에 어려움이 따르며, 사면발달의 양식에도 다소 차이가 있으므로 대상에서 제외시켰다. 따라서 본 연구에서는 화산체의 평면형이 가급적 원형에 가까우며 사면의 형태도 대칭을 이루는 원추형 화산체에 한정시켜 지형특성치의 계측에 일관성을 유지하였다. 제주도의 해안에 주로 분포하는 하이드로볼케이노(hydrovolcano)도 원추형의 화산체이다. 그러



Fig. 2. Breached scoria cone(Budaeorum).

나 하이드로볼케이노는 분화양식의 차이를 반영하여 초기 화산체의 형태가 스킨콘과는 다르며(Heiken, 1971), 구성물질도 세립질 분출물로 이루어져 있으므로 대상에서 제외시켰다. 그 결과 49개의 스킨콘이 연구대상으로 선정되었다.

스킨콘의 지형특성치로서 비고(H_{co}), 저경(W_{co}), 화구경(W_{cr}), 저경에 대한 비고의 비율(H_{co}/W_{co}), 저경에 대한 화구경의 비율(W_{cr}/W_{co}), 저경과 화구경의 차에 대한 비고의 비율(H_{co}/W_{co-cr}) 및 평균사면각(θ_{ave})을 1:5,000 지형도를 이용하여 계측하였다. 화산체의 등고선 간격을 비교하여 간격이 가장 넓어지는 부분을 스킨콘의 기저부로 정했다. 그러나 스킨콘은 대부분 사면 위에 출현하므로 사면 위쪽과 아래쪽의 두 지점을 계측하여 평균치를 기저부의 고도로서 이용하였다(Fig. 3a). 화산체 정상부의 고도도 화구를 지닌 경우에는 화구륜(crater rim)의 최고점과 최저점의 평균치를 이용하였다. 따라서 기저부와 정상부의 각 평균치의 차가 스킨콘의 비고가 된다. 저경과 화구경은 장측과 단측을 계측하여 평균치로 정했다. 평균사면각은 화산체를 원추형으로 근사화시켜 저경과 화구경의 차에 대한 비고의 비율을 이용

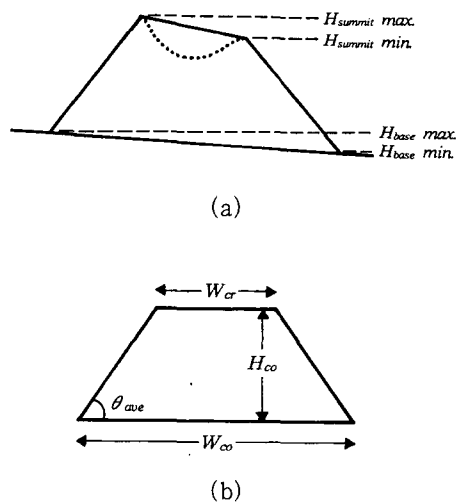


Fig. 3. Schematic diagrams illustrating morphometric parameters for scoria cones.

하여 다음과 같은 식(Hasenaka and Carmichael, 1985)으로 계산하였다(Fig. 3b).

$$\theta_{ave} = \tan^{-1}[2 \cdot H_{co} / W_{co-cr}]$$

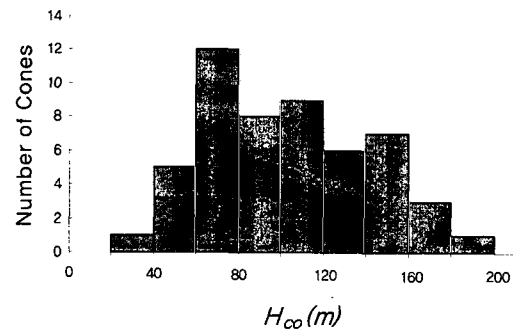
여기에서 저경과 화구경의 차를 이용한 것은 화구를 지닌 스킨리아콘의 경우에 단순히 저경을 적용하면 사면각이 실제보다도 작아지기 때문이다. 평균사면각과의 비교를 위하여 화산체 사면의 중단면도를 작성하여 최대사면각(θ_{max})을 구했다. 일반적으로 사면은 상부의 칠형사면, 하부의 요형사면 및 중간의 직선사면으로 구성되는데, 최대사면각은 직선구간 사면각의 평균치를 의미한다(이, 1999).

스킨리아콘의 풍화상태와 토층의 두께, 우곡의 발달 정도 등을 확인하기 위하여 야외조사를 실시하였다. 그리고 형성연대가 알려진 스킨리아콘의 사면형태에 기초하여 시간경과에 따른 사면형태와 사면각의 변화를 분석하고, 경과시간과 사면변화의 관계식을 이용하여 제주도에 분포하는 스킨리아콘의 형성시기를 추정하였다.

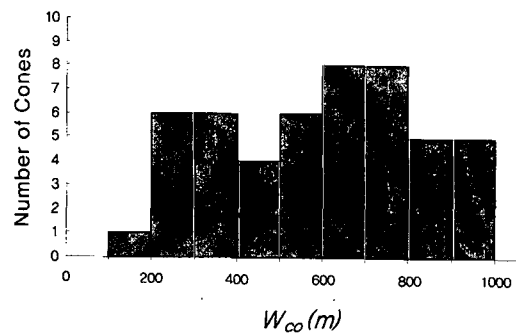
제주도 스킨리아콘의 형태적 특성

연구대상 스킨리아콘의 비고는 14~167m이며, 평균치는 81m, 중앙값은 76m이다(Fig. 4a). 전체의 71.4%는 41~120m의 범위에 들어가는데, 빈도가 가장 높은 비고는 41~60m로 13개가 출현한다. 스킨리아콘의 저경은 158~988m의 범위에 분포하는데, 전 구간에 걸쳐 비교적 고른 빈도를 보인다(Fig. 4b). 저경의 평균치는 591m이며, 중앙값은 613m이다.

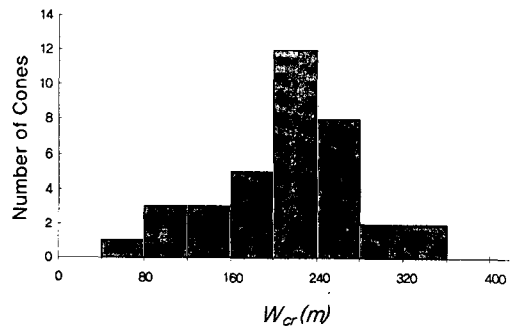
한편 연구대상 스킨리아콘 중에서는 36개의 화산체가 정상부에 화구를 갖고 있다. 제주도에서는 화구가 없는 스킨리아콘이 일반적이는데, 이러한 현상은 화산체가 형성되는 최종단계에서 방출된 스페터(spatter)가 용결하여 화구를 매우거나 또는 화산체가 형성된 이후에 시작되는 침식작용으로 화구가 제거되기 때문이다. 화구경은 65~355m 사



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. Frequency distributions of (a) cone height, (b) cone width and (c) crater width.

이에 분포하는데, 저경과는 달리 161~280m 구간에서 가장 높은 출현빈도를 보인다(Fig. 4c). 화구경의 평균치는 213m이며, 중앙값은 225m이다. 이상과 같은 스킨리아콘의 형태적 특성은 대상지역을 달리한 연구(Porter, 1972; Settle, 1979; Hasenaka

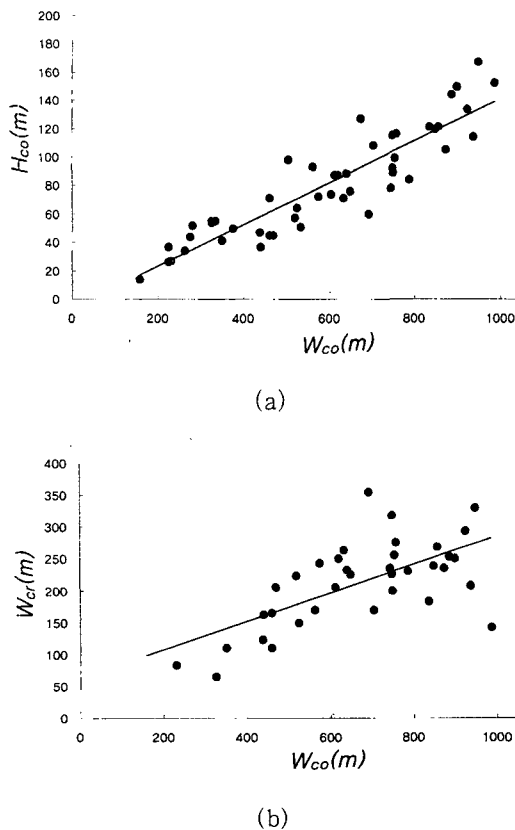


Fig. 5. Relationships of cone width with (a) cone height and (b) crater width.

and Carmichael, 1985)나 제주도를 대상지역으로 한 연구(박, 1985; 윤, 1995; 長谷中 외, 1998)의 결과와 큰 차이를 보이지 않는다.

스코리아콘의 지형특성치간의 관계를 살펴보면, 우선 화산체의 저경이 커질수록 비고는 높아지는 경향을 보인다(Fig. 5a). 스코리아콘의 저경과 비교 사이에는 $H_{co} = 0.15 W_{co} - 5.91$ 의 직선 관계가 나타나며, 결정계수(R^2)도 0.83으로 매우 높다. 형성시기가 오래 되지 않은 스코리아콘을 대상으로 한 경우에는 이 회귀식의 기울기가 0.18로 다소 높게 나타난다(Porter, 1972; Wood, 1980b). 일반적으로 스코리아콘의 환경사화 과정은 용암류에 의해 사면이 매몰되는 경우와 사면물질이 침식과 매스무브먼트에 의해 재동하는 경우로 설명할 수 있다(Wood, 1980a). 특히 후자의 프로세스에서는 풍

화물질이 사면 아래쪽으로 이동하여 퇴적함으로써 화산체의 저경을 증가시키며 더불어 사면각을 감소시키게 된다. 따라서 저경에 대한 비교의 비율이 낮아졌다는 것은 제주도 스코리아콘의 형성시기가 비교적 오래 되어 환경사화 과정을 장기간 겪었음을 시사한다.

스코리아콘의 저경과 화구경 사이에도 $W_{cr} = 0.22 W_{co} + 62.95$ 의 직선 관계가 나타나 저경이 커질수록 화구경도 커지고 있다(Fig. 5b). 그러나 저경과 화구경 사이의 결정계수는 0.42로 높지 않은 편이다. Porter(1972)와 Wood(1980b)에 의하면 비교적 신선한 스코리아콘의 저경과 화구경 사이에는 기울기가 0.4인 직선 관계가 나타난다. 스코리아콘이 형성된 직후부터 시작되는 침식작용에 의해 화구의 형태도 변하게 된다. 화구의 내측 사면에서 일어나는 매스무브먼트에 의해 화구는 점차 메워지므로 시간이 경과하면서 화구경에 대한 화구깊이의 비율은 감소한다(Hooper and Sheridan, 1998). 그 결과 스코리아콘은 돔모양의 화산체로 바뀌게 된다(Fig. 1c). 이 과정에서도 화구경은 비교적 오랫동안 본래의 크기를 유지할 수 있다. 그러나 사면물질이 화산체 주변으로 이동하여 사면 기저부에 퇴적함으로써 저경이 증가하기 때문에 실질적으로 저경에 대한 화구경의 비율은 경과시간과 함께 감소하게 된다. 따라서 저경에 대한 화구경의 비율이 낮아졌다는 것도 제주도 스코리아콘의 장기간에 걸친 환경사화를 시사한다.

제주도 스코리아콘의 사면발달

시간경과에 따른 스코리아콘의 사면발달을 고찰하기 위하여 형성시기와 지형특성치와의 상관관계를 살펴보았다. 연구대상 스코리아콘 중에는 K-Ar 연대측정법에 의해 9개 스코리아콘의 절대연대가 알려져 있다(손, 1997). 화산체의 저경에 대한 비교의 비율은 형성 이후의 경과시간에 따른 사면각의 변화를 파악하는데 있어서 중요한 지표가 된다(Wood, 1980a). 그러나 연구대상 스코리아콘 중에는 화구가 결여된 화산체가 많으므로 저경을 직

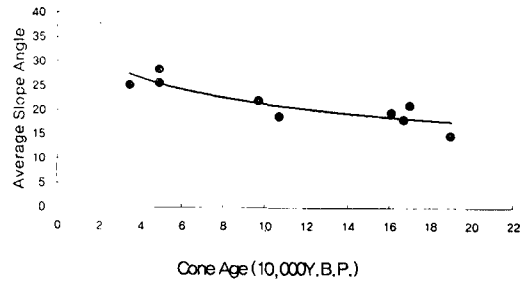


Fig. 6. Systematic decrease in average slope angle with increasing age of scoria cones.

접 사용하는 것보다는 저경과 화구경의 차를 적용하는 것이 화산체의 형태변화를 더욱 효과적으로 표현할 수 있다.

스코리아콘의 형성연대(x : 단위 만년)와 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율 사이에는 $y = -0.063Ln(x) + 0.340$ 의 음의 상관관계가 나타난다. 즉 형성시기가 오래될수록 화산체는 비교가 낮아지며 저경은 증가한다. 그 결과 사면은 완경사화하는데, 연구대상 스코리아콘의 평균사면각은 최대치 28.4° 부터 최소치 10.2° 까지 다양하게 나타난다. Fig. 6은 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율로부터 계산한 평균사면각과 형성연대 사이의 상관관계를 보여주는데, 평균사면각도 형성연대와는 결정계수가 0.77에 이르는 $y = -5.799Ln(x) + 34.677$ 의 음의 상관관계를 갖고 있다.

평균사면각의 변화를 보면, 스코리아콘의 형성 초기에는 변화율이 크게 나타나지만 경과시간과 더불어 변화율은 작아지고 있다(Fig. 6). 이러한 변화의 경향은 단구나 단층에 사면의 완경사화에서도 일어나는 일반적인 현상으로서, 지형 자체가 지형의 변화속도를 규정하고 있기 때문이다(平野, 1966; 野上, 1980; Nash, 1980; 이, 1999). 지형의 변화, 즉 지표면의 고도변화는 결국 지표물질의 공간적 이동에 의해 발생하는데, 지형형성작용이 주로 토양포행인 사면의 경우라면 지표면의 토사 이동량은 사면각에 비례하게 된다(Culling, 1960). 최대사면각도 평균사면각과 마찬가지로 경과시간과 더불어 감소하며, 그 감소율도 점차 작아지고 있다.

스코리아콘의 형성연대와는 $y = -6.201Ln(x) + 38.637$ 의 상관관계를 보인다.

시간경과에 따른 스코리아콘 사면형태의 변화에 근거하여 제주도 스코리아콘의 형성순서와 시기를 추정하면 다음과 같다. 일반적으로 제주도의 화산활동사는 4단계로 구분되는데, 제1분출기는 해수면 아래의 기저부가 형성된 70~120만년 전이며, 제2분출기는 용암대지의 형성기로 30~60만년 전이다. 제3분출기는 한라산 순상화산체가 형성된 시기로 10~30만년 전이며, 제4분출기는 10만년 전부터 시작한 후화산활동기이다(이, 1994; 이, 1994). 이 형성사에 의하면 제2분출기와 제3분출기의 경계는 30만년 전이며, 제3분출기와 제4분출기의 경계는 10만년 전에 해당한다.

따라서 상관관계가 가장 높게 나타나고 있는 형성연대에 대한 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율과의 관계식 $y = -0.063Ln(x) + 0.340$ 을 이용하면, 형성연대 30만년과 10만년에 대하여 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율은 각각 0.126 및 0.195가 된다. 이 값을 화산체의 비교와 저경과 화구경의 차와의 산포도에 적용하여 제주도 스코리아콘의 형성시기를 구분할 수 있다(Fig. 7). 즉 기울기 0.195의 직선 위쪽에 분포하면 제4분출기의 스코리아콘으로, 기울기 0.126의 직선 아래쪽에 분포하면 제2분출기의 스코리아콘으로 추정할 수 있

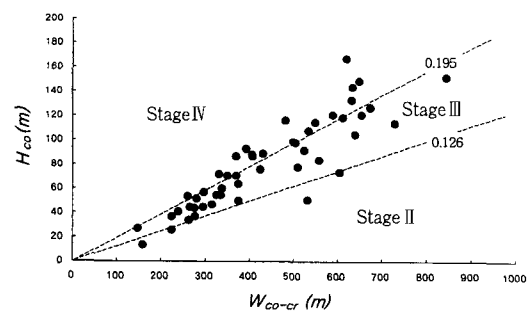


Fig. 7. Classification of scoria cones based on comparative morphology. The dashed lines are proposed as critical values for separating 49 scoria cones into three eruptive stages of Cheju Island.

다. 또한 두 직선 사이에 분포하는 스코리아콘은 제3분출기에 형성된 것으로 볼 수 있다.

스코리아콘의 평균사면각을 이용하면, 21.32° 이상의 사면각을 지닌 화산체는 제4분출기에, 14.95° 이하의 사면각을 지닌 화산체는 제2분출기에 형성된 스코리아콘으로 추정할 수 있다. 또한 평균사면각이 $15.95^\circ \sim 21.32^\circ$ 이면 제3분출기의 스코리아콘으로 볼 수 있다. 형성시기별로 평균사면각의 평균치를 비교하면, 제4분출기에 형성된 스코리아콘 평균사면각의 평균치±1표준편차는 $23.6 \pm 1.7^\circ$ 인데 비하여, 제3분출기와 제2분출기 스코리아콘의 경우는 각 $18.9 \pm 1.7^\circ$ 및 $12.6 \pm 1.9^\circ$ 이다.

이상의 관계식으로부터 연구대상 스코리아콘을 형성시기별로 살펴보면, 제4분출기의 스코리아콘으로는 다랑쉬오름, 병악, 금오름 등을 들 수 있다. 전형적인 직선사면을 지닌 다랑쉬오름은 제4분출기를 대표하는 스코리아콘인데, 평균사면각 28.4° , 최대사면각 31.5° 로서 스코리아의 안식각에 가까운 급사면의 특징을 잘 보여준다. 또한 절개면에 보이는 스코리아층은 비교적 신선하며 토층도 두텁지 않다. 제3분출기의 스코리아콘으로는 붉은오름, 칩오름, 녹남봉 등이 있다. 녹남봉은 평균사면각이 16.6° 로서 다랑쉬오름에 비하여 사면이 상당히 완만해졌을 뿐 아니라 토양화가 진전되어 화구안이 농경지로 이용되고 있다. 제2분출기에 형성된 것으로 추정되는 스코리아콘으로는 가시악, 거린오름, 보름이오름 등을 들 수 있다. 보름이오름은 평균사면각이 10.2° 로서 연구대상 스코리아콘 중에서 최소치를 보이며, 사면은 대부분 농경지로 이용되고 있다.

결론

제주도의 스코리아콘을 대상으로 화산체의 형태적 특성과 시간경과에 따른 사면발달을 밝히고, 이를 토대로 스코리아콘의 형성시기를 고찰하였다. 즉 화산체 사면의 시계열적인 변화를 비교형태학적인 방법으로 분석하였으며, 연구 결과는 다음과 같이 요약된다.

스코리아콘 형성 이후의 경과시간과 더불어 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율이나 평균사면각, 최대사면각과 같은 화산체의 지형특성치는 감소한다. 또한 그 감소율도 점차 작아져 지형변화의 속도가 지형에 의해 영향을 받고 있음을 시사하고 있다. 스코리아콘의 형성연대와 평균사면각의 회귀식에 의하면, 제4분출기($0.1 \sim 0.025\text{Ma}$)의 화산체는 21.32° 이상, 제3분출기($0.3 \sim 0.1\text{Ma}$)의 화산체는 $15.95^\circ \sim 21.32^\circ$, 제4분출기($0.6 \sim 0.3\text{Ma}$)의 화산체는 14.95° 이하의 평균사면각을 지닌다. 또한 형성시기별로 평균사면각의 평균치를 비교하면 제4분출기의 스코리아콘은 23.6° 인데 비하여, 제3분출기와 제2분출기의 경우는 각각 18.9° 및 12.6° 로 감소한다. 연구대상 스코리아콘 중에서 병악, 다랑쉬오름, 금오름 등이 제4분출기에 형성된 화산체로 보이며, 제3분출기와 제2분출기에는 붉은오름, 칩오름, 녹남봉과 가시악, 거린오름, 보름이오름 등이 형성되었으리라고 추정된다.

참고문헌

- 김우관, 전영권. 1987. 제주도 기생화산의 사면형태, 지리학논구, 8, 47-67.
- 박승필. 1985. 제주도 측화산에 관한 연구, 전남대학교 논문집, 30, 159-166.
- 손인석. 1997. 제주화산도의 암석층서 및 연대층서, 제주대학교 박사학위논문.
- 원종관. 1975. 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구, 건국대학교 이학논집, 1, 7-48.
- 윤선. 1995. 제주도 형성사, 제주도, 98, 148-164.
- 윤정수. 1995. 제주도 북사면의 기생화산체에 대한 연구, 제주대학교 해양연구소 연구보고, 19, 25-38.
- 이동영. 1994. 제주도의 화산활동사, 제주도(편) 한국의 영산 한라산, 69-76, 제주도.
- 이문원. 1994. 제주도의 형성사와 지질구조, 대한지하수환경학회(편) 제주도 지하수자원의 환경학적 보전과 개발이용, 54-74, 제주도.
- 이민부. 1999. 디퓨전 공식 모델을 이용한 한국 사

- 면 지형의 연대 측정 연구, *대한지리학회지*, 34, 371-384.
- 이승호. 1999. 제주도 지역의 강수분포 특성, *대한지리학회지*, 34, 123-136.
- 이영택. 1979. 기후구분, 김광식(편) *한국의 기후*, 9 1-98, 일지사.
- 제주도. 1997. *제주의 오름*, 제주도.
- 野上道男. 1977. 比較形態學的方法による段丘崖斜面發達の研究, *地理學評論*, 50, 32-44.
- 野上道男. 1980. 段丘崖の斜面發達における従順化係數, *地理學評論*, 53, 636-645.
- 原口九萬. 1931. 濟州島の地質, *朝鮮地質調査要報*, 10, 1-34.
- 李文遠. 1982. 韓國濟州火山島の地質, *岩石鑛物鑛床學會誌*, 77, 55-64.
- 長谷中利昭, 李文遠, 谷口宏充, 北風嵐, 宮本毅, 藤卷宏和. 1998. 韓國濟州單成火山群の火山カタログ, *東北アジア研究*, 2, 41-74.
- 平野昌繁. 1966. 斜面發達とくに斷層崖發達に關する數學的モデル, *地理學評論*, 39, 324-366.
- 橫山泉, 荒木重雄, 中村一明. 1992. *火山*, 岩波書店, 東京.
- Culling, W. E. H. 1960. Analytical theory of erosion, *Jour. Geology*, 68, 336-344.
- Davis, W. M. 1899. The geographical cycle, *Geogr. Jour.*, 14, 481-504.
- Hasenaka, T. and Carmichael, I. S. E. 1985. A compilation of location, size, and geomorphological parameters of volcanoes of the Michoacan-Guanajuato volcanic field, central Mexico, *Geof. Int.*, 24, 577-607.
- Heiken, G. H. 1971. Tuff rings: examples from the Fort Rock-Christmas Lake Valley Basin, South-Central Oregon, *Jour. Geophys. Res.*, 76, 5615-5626.
- McGetchin, T. R., Settle, M. and Chouet, B. A. 1974. Cinder Cone Growth Modeled After Northeast Crater, Mount Etna, Sicily, *Jour. Geophys. Res.*, 79, 3257-3272.
- Nash, D. B. 1980. Morphologic dating of degraded normal fault scarps, *Jour. Geology*, 88, 353-360.
- Nash, D. B. 1984. Morphologic dating of fluvial terrace scarps and fault scarps near West Yellowstone, Montana, *Geol. Soc. Ame. Bull.*, 95, 1413-1424.
- Porter, S. C. 1972. Distribution, morphology, and size frequency of cinder cones on Mauna Kea volcano, Hawaii, *Geol. Soc. Ame. Bull.*, 83, 3607-3612.
- Settle, M. 1979. The structure and emplacement of cinder cone fields, *Ame. Jour. Sci.*, 279, 1089-1107.
- Wallace, R. E. 1977. Profiles and ages of young fault scarps, north-central Nevada, *Geol. Soc. Ame. Bull.*, 88, 1267-1281.
- Wood, C. A. 1980a. Morphometric analysis of cinder cone degradation, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 7, 137-160.
- Wood, C. A. 1980b. Morphometric evolution of cinder cones, *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, 7, 387-413.

(Accepted: April 25, 2001)