

석사학위논문

제주도 스킨아콘의  
사면 형태와 발달

지도교수 김 태 호



제주대학교 교육대학원

지리교육전공

현 경 희

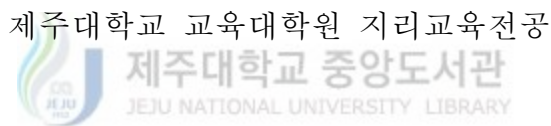
2000년 8월

# 제주도 스코리아콘의 사면 형태와 발달

지도교수 김 태 호

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함.

2000년 7월 일



제출자 현 경 희

현경희의 교육학 석사학위 논문을 인준함.

2000년 7월 일

심사위원장	인
심사위원	인
심사위원	인

< 국문초록 >

## 제주도 스코리아콘의 사면 형태와 발달

현 경 회

제주대학교 교육대학원 지리교육전공

지도교수 김태호

본 연구는 제주도의 49개 스코리아콘을 연구대상으로 하여 사면형태의 특징과 시간의 흐름에 따른 사면의 발달 과정을 밝히고 이것을 토대로 제주도 스코리아콘의 형성순서와 형성시기를 구명하였다.

연구대상 스코리아콘 비고( $H$ )의 평균치는 81m, 저경( $W_B$ )의 평균치는 615m, 화구경( $W_C$ )의 평균치는 213m, 평균경사도( $\theta_{ave}$ )의 평균치는 19.80°이다. 연구대상 스코리아콘의 사면형태의 특징을 분석한 결과 저경과 비고, 저경과 화구경의 차( $W_B - W_C$ )와 비교는 매우 높은 상관관계를 보여주며 저경과 화구경은 보통의 상관관계를 보여주었다.

스코리아콘의 형성연대와, 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율( $H/W_B - W_C$ ), 평균경사도, 최대사면각은 매우 높은 음의 상관관계를 가진다. 따라서 형성연대가 오래될수록 시간이 흐름에 따라  $H/W_B - W_C$ , 평균경사도, 최대사면각은 감소하며, 감소율도 작아진다.

형성연대와  $H/W_B - W_C$ 의 회귀방정식을 토대로 고찰할 때,  $H/W_B - W_C$ 이 0.183보다 크면 제4분출기(현재~12만년 전)에 형성된 스코리아콘으로,  $H/W_B - W_C$ 이 0.112~0.183이면 제3분출기(12~37만년 전)에 분출한 스코리아콘으로,  $H/W_B - W_C$ 이 0.112보다 작으면 제2분출기(37~60만년 전)에 분출한 스코리아콘으로 추정된다.  $H/W_B - W_C$ 과 K-Ar 절대연대 측정자료를 기준으로 해서 연구대상 스코리아콘의 형성시기를 구분할 때, 제4분출기에 형성되었으리라고 추정되는 스코리아콘은 병약(0.035Ma), 다랑쉬(0.049Ma), 금오름, 삼의양오름 등이다. 제3분출기에 형성되었으리라고 추정되는 스코리아콘은 붉은오름(0.161Ma), 도두봉, 법정약(0.167Ma), 녹남봉 등이며, 제2분출기에 형성되었으리라고 추정되는 스코리아콘은 거린오름과 보름이오름이다.

# 목 차

I. 서 론 .....	1
1. 연구 목적 .....	1
2. 연구 방법 .....	2
3. 연구지역 개관 .....	4
II. 이론적 배경 .....	8
1. 스킨아콘의 정의 .....	8
2. 스킨아콘의 형태적 특징 .....	12
1) 제주도 스킨아콘의 형태적 특징 .....	12
2) 국외 스킨아콘의 형태적 특징 .....	14
3. 스킨아콘의 형성시기 .....	16
1) 제주도 스킨아콘의 형성시기 .....	16
2) 국외 스킨아콘의 형성시기 .....	19
III. 제주도 스킨아콘의 형태 분석 .....	23
1. 연구대상 스킨아콘의 선정 기준 .....	23
2. 비교 및 저경, 화구경 .....	29
1) 비교 .....	29
2) 저경 .....	31
3) 화구경 .....	32
3. 경사도 .....	33
1) 평균 경사도 .....	33

2) 최대사면각 .....	34
4. 저경과 비교의 상관관계 .....	36
5. 저경과 화구경의 상관관계 .....	41
IV. 제주도 스킨콘의 사면발달 .....	43
1. 스킨콘의 사면발달 .....	43
2. 저경에 대한 비교의 비율 분석 .....	45
3. $H/W_B-W_C$ 분석 .....	48
4. 평균경사도 분석 .....	50
5. 최대사면각 분석 .....	52
6. 사면의 단면관찰 .....	53
V. 제주도 스킨콘의 형성시기 .....	56
1. $H/W_B-W_C$ 과 형성시기 .....	56
2. 제4분출기의 스킨콘 .....	58
3. 제3분출기의 스킨콘 .....	60
4. 제2분출기의 스킨콘 .....	62
VI. 결 론 .....	63
참고문헌 .....	66
Abstract .....	70

# 표 목 차

표1. 연구대상 스코리아콘 .....	25
표2. 연구대상 스코리아콘의 형태적 특성 .....	27
표3. 스코리아콘의 절대연대와 최대사면각 .....	35



# 그림 목 차

그림1. 스킨아콘의 크기 측정 방법(長谷中 등, 1998) .....	3
그림2. 모식적인 스킨아콘 (다랑쉬) .....	8
그림3. 스킨아콘의 성장모델(McGetchin <i>et al.</i> , 1974) .....	10
그림4. 말굽형 스킨아콘 (부대오름) .....	11
그림5. 스킨아콘의 환경사화 모델(Wood, 1980a) .....	21
그림6. 연구대상 스킨아콘의 분포 .....	24
그림7. 제주도 스킨아콘의 비고 빈도 .....	29
그림8. 제주도 스킨아콘의 저경 빈도 .....	31
그림9. 제주도 스킨아콘의 화구경 빈도 .....	32
그림10. 제주도 스킨아콘의 평균경사도 빈도 .....	34
그림11. 제주도 스킨아콘의 저경과 비고의 상관관계 .....	37
그림12. 제주도 스킨아콘의 $H/W_B$ 과 경사도의 상관관계 .....	38
그림13. 제주도 스킨아콘의 $W_B-W_C$ 과 비고의 상관관계 .....	40
그림14. 제주도 스킨아콘의 저경과 화구경의 상관관계 .....	42
그림15. Hooper와 Sheridan의 컴퓨터 시뮬레이션 모델 .....	44
그림16. 시간의 흐름에 따른 $H/W_B-W_C$ 의 변화 .....	49
그림17. 시간의 흐름에 따른 평균경사도의 변화 .....	50
그림18. 시간의 흐름에 따른 최대사면각의 변화 .....	52
그림19. 스킨아콘의 노두 단면 비교 .....	55
그림20. 제주도 스킨아콘의 형성시기 구분 .....	57
그림21. 다랑쉬의 사면 .....	59
그림22. 지미봉의 사면 .....	59
그림23. 도두봉의 사진 .....	61
그림24. 녹남봉 화구 안의 밀감밭 .....	61
그림25. 보름이오름의 사진 .....	62

# I. 서론

## 1. 연구 목적

제주도는 주로 제4기 플라이스토세의 화산활동 결과로 이루어진 화산도로서 순상화산의 형태를 이루고 있다. 환태평양 조산대의 후면에 위치하는 제주도는 동서 74km, 남북 32km, 면적 1825km<sup>2</sup>의 타원형을 이루며 우리나라에서 최근세의 화산활동 과정을 관찰할 수 있는 대표적인 지역이다. 본도에는 한라산의 중앙화구인 백록담 분화구를 정점으로 하여 해안으로 이르는 완경사의 사면상에 360여개의 소형화산체가 본도의 장축방향(동북동~서남서)을 따라 대상으로 군을 이루면서 분포하고 있다.

‘오름’으로 불리우는 제주도의 소형 화산은 최근에 뽕이라고 할 수 있을 정도로 일반인들의 관심의 대상이 되고 있다. 오름은 제주의 경관을 아늑하고 아름답게 해줄 뿐만 아니라, 오랫동안 제주인의 생활의 터전으로서 제주인의 정신적인 안식처로서도 중요한 역할을 해 왔다. 또한, 촌락 형성의 모태가 되기도 했고 신앙 의식의 터로서 신성시되어 왔으며 슬한 신화도 그 품에 안고 있다. 올림포스가 그리스 신화의 신의 거처라면 오름들은 제주 신화의 신들의 고향이다. 때로는 항쟁의 거점이 되었고, 외침 때에는 통신망 구실을 했다. 주요 생활수단의 하나인 목축의 근거지임은 예나 이제나 변함이 없다. 제주인들의 삶의 숨결이 오름마다에 배어 있는 것이다. 요즘은 주말에 오름을 찾는 인구도 크게 증가하고 있는 상황이다. 하지만 이런 대중적인 관심에도 불구하고 오름에 대한 학술적인 연구는 여전히 빈약한 편이다.

본 연구는 제주의 오름 중에서도 대부분을 차지하고 있는 스코리아콘을 대상으로 하여 제주도 스코리아콘의 사면 형태의 특징과 사면의 발달과정



을 밝힘으로써 기존의 연구에서 한 걸음 진전시켜 보고자 한다. 기존의 연구에 비해서 본 연구가 갖고 있는 가장 큰 차별성은 사면의 변화를 시간의 함수로 본다는 것이다. 즉, 시간의 흐름에 따른 사면의 발달과정을 밝히고 역으로 사면의 형태와 경사도를 분석함으로써 스킨리아콘의 형성순서와 형성시기를 추정해 보고자 한다.

본 연구의 목적으로 첫 번째는 제주도 스킨리아콘의 사면 형태의 특징을 구명하는 것이다. 이를 위한 연구내용으로는 각각의 스킨리아콘에 대한 비고( $H$ ), 저경( $W_B$ ), 화구경( $W_C$ ), 평균경사도( $\theta_{ave}$ ), 최대사면각( $\theta_{max}$ ), 저경에 대한 비고의 비율( $H/W_B$ ), 저경과 화구경의 차에 대한 비고의 비율( $H/W_B - W_C$ ), 저경에 대한 화구경의 비율( $W_C/W_B$ )을 구하고 상관관계를 분석했다.

두 번째 연구목적은 제주도 스킨리아콘이 형성된 이후의 사면발달과정을 구명하는 것이다. 이를 위한 연구내용으로는 시간의 흐름에 따른  $H/W_B - W_C$  변화, 평균경사도의 변화, 최대사면각의 변화를 분석했다.

세 번째 연구목적은 제주도 스킨리아콘의 형성순서와 형성시기를 추정하는 것이다. 이를 위한 연구내용으로는 형성연대와  $H/W_B - W_C$ 의 회귀방정식을 구하고, 이를 토대로 제주도 스킨리아콘의 형성순서와 형성시기를 추정했다.

## 2. 연구 방법

본 연구를 위해 다음과 같은 연구 방법을 취하였다.

첫째, 1/5,000 지형도에 의거해서 스킨리아콘의 비고( $H$ ), 저경( $W_B$ ), 화구경( $W_C$ ), 평균경사도( $\theta_{ave}$ ), 최대사면각( $\theta_{max}$ ), 저경에 대한 비고의 비율( $H/W_B$ ), 저경과 화구경의 차에 대한 비고의 비율( $H/W_B - W_C$ ), 저경에

대한 화구경의 비율( $W_C/W_B$ ), 화구 형태 등을 분석했다(그림1).

스코리아콘의 비고를 구하는 데 있어서는 1/5,000 지형도에서 화구의 최고점과 최저점의 평균치와 화산체 밑면의 최고점과 최저점의 평균치의 차이를 비고로 정했다. 저경은 장축과 단축의 평균치로 정했고, 화구경 역시 장축과 단축의 평균치로 정했다.

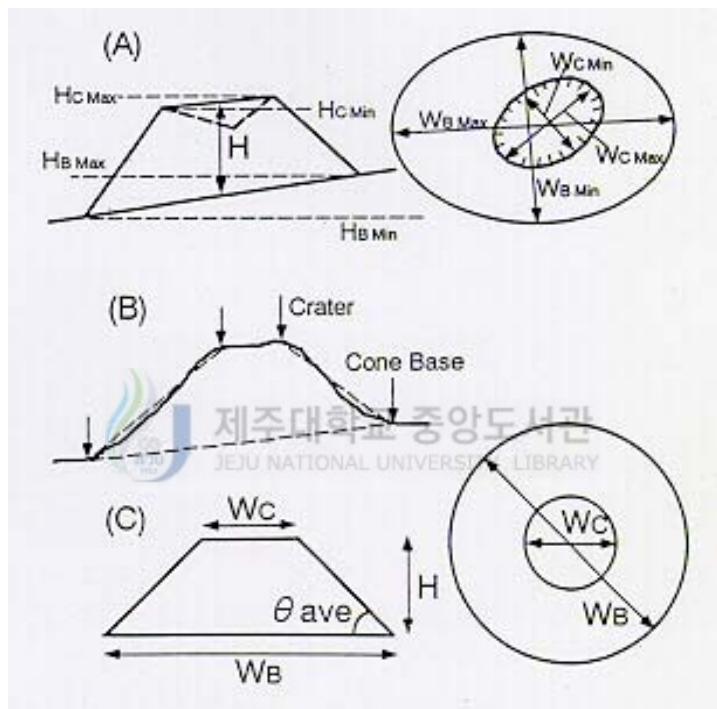


그림1. 스코리아콘의 크기 측정 방법(長谷中 등, 1998)

평균경사도( $\theta_{ave}$ ) 역시 평균값으로 정했는데 그 식은 다음과 같다.

$$\theta_{ave} = \text{atan}(2 \cdot H / (W_B - W_C))$$

그리고 최대사면각( $\theta_{max}$ )을 구했는데 최대사면각이란 사면 중간부분인 직선 구간의 사면각의 평균값을 뜻한다.

또한, 1/5,000 지형도에 의거해서 각 스코리아콘의 단면도를 그렸고 그

단면도를 바탕으로 스코리아콘의 경사도와 사면의 특성을 분석했다.

둘째, 야외조사를 통해서 스코리아콘의 구성물질을 분석하고 화구가 원지형을 보존하고 있는 정도, 사면상에 우곡이 발달한 정도, 스코리아가 풍화되어서 토양화가 진전된 정도, 식생 피복의 정도를 조사했다. 특히 노두를 통해서 토양층의 두께와 스코리아의 풍화정도를 관찰함으로써 형성연대를 추정하는데 도움이 되는 정보를 얻을 수 있었다.

셋째, 지형도 분석, 야외조사의 결과를 바탕으로 통계분석을 통해 사면의 발달과정을 밝혔다. 그리고 사면의 발달과정을 토대로 각 스코리아콘의 상대적 형성순서를 구명했다. 또한, 기존에 절대연대가 밝혀져 있는 스코리아콘의 지형도 분석과 통계분석, 야외조사의 결과를 통해 형성연대에 따른 특성을 구명하고 이를 토대로 절대연대가 밝혀져 있지 않은 스코리아콘의 형성시기를 추정했다.



### 3. 연구지역 개관

먼저 제주도의 지질에 대해서 고찰하면 제주도의 지질에 대한 연구는 여러 지질학자들에 의해 이루어졌다.<sup>1)</sup> 각 연구자들은 그 당시의 얻어진 자료와 각자의 전공지식을 배경으로, 기존의 안을 수정·보완하였거나 새로운 각도로 시도하였다.

제주도의 지질은 서귀포층, 성산층, 화순층 및 신양리층 등의 퇴적암층

- 
- 1) 원종관(1976), “제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구,” 박사학위논문, 건국대학교 대학원.  
이동영(1994), “제주도의 화산활동사,” 「제주도편 한국의 영산 한라산」.  
이문원(1982), “한국, 제주화산도의 지질,” 「암석광물광상학회지」, 77, 55-64.  
이문원(1994), “제주도의 형성사와 지질구조,” 「제주도 지하수자원의 환경학적 보전과 개발 이용」, 대한지하수환경학회, pp.54-74.  
윤선(1995), “제주도 형성사,” 「제주도」, 통권 제98호, pp.148-164.  
손인석(1997), “제주화산도의 암석층서 및 연대층서,” 박사학위논문, 제주대학교 대학원.

과 현무암, 조면암질 안산암, 조면암 등의 화산암류, 기생화산에서 분출된 화산쇄설물 등으로 구성되어 있다.

제주도의 형성사를 살펴보면 4단계로 구분할 수 있다. 제1분출기는 해수면 아래의 기저부가 형성된 시기이다. 제주도의 지하에는 해수면 아래 100m까지 감람석휘석현무암이 분포한다. 이 기저현무암의 연대 측정치는 94~120만년이므로 전기 플라이스토세부터 제주도는 화산활동을 시작했다고 볼 수 있다. 제2분출기는 한라산체를 제외한 제주도의 모습이 대부분 결정된 용암대지의 형성기이다. 37~60만년 전에 틈분화로 분출한 침상장석감람석현무암은 남부 해안 지역을 제외한 제주도 전역에 분포한다. 제3분출기에는 분화양식이 광역적인 틈분화로부터 제주도 중앙부에서의 중심분화로 변화하였다. 따라서 중앙화구를 중심으로 화산체의 고도가 높아지면서 비고 1,700m의 한라산 순상화산체가 형성되었다. 제3분출기의 말기인 16만년 전에는 조면암질 용암이 분출하여 한라산 정상에 용암원정구가 형성되었다. 제4분출기는 12만년 전부터 시작한 후화산활동기로 제주도 전역에서 스코리아콘이 형성되었다. 2만 5천년 전에는 백록담 용암원정구에서 다시 현무암이 분출하면서 백록담 분화구가 형성되었다. 역사시대에 들어와서도 제주도에서의 화산활동은 계속되어 고려 중엽의 1002년과 1007년에 일어난 용암류의 분출과 화산체의 생성이 『고려사(高麗史)』 권55 「오행지(五行志)」에 기록되어 있다.

제주도의 지질은 지형에 따라 해발고도 약 200m 이하의 저지대 지질과 약 300~600m의 중산간 지대 및 600m 이상인 고산지대의 지질과 스코리아콘, 응회구, 응회환 등의 단성화산으로 구분된다<sup>2)</sup>. 저지대에는 동서해안에 대지상으로 침상장석감람석현무암이 분포하며 이는 유동성이 크며 여러 번 반복하여 분출한 흔적을 관찰할 수 있다. 이 암석은 분출시기는 다를지라도 암상은 유사한 것이 특징이다. 중산간 지역은 저지대에 비해 경사가 커지며 이들 용암들은 반정 광물에 따라 장석현무암, 반상휘석·장석

---

2) 손인석(1997), 전게서, p.26.

현무암 등으로 분류된다. 이들 용암류의 일부는 저지대 해안가에까지 흘러간 흔적을 현지에서 관찰할 수 있다. 고산지대와 한라산체 부근은 큰 장석반정을 함유하는 장석현무암과 치밀한 조면암(백록담 분화구 서편)이 3~4회 정도로 분출한 용암단위가 관찰이 된다. 퇴적암층으로는 미고결층(세화리층, 고토양층, 서귀포층, 성산층, 신양리층, 사빈, 사구층)이 분포한다.

제주도의 지형에 대해 살펴보면 제주도는 N 70°E 방향의 장축을 갖는 타원형의 화산도이며, 그 중앙에 해발 1,950m에 달하는 한라산이 솟아 있다. 한라산을 중심으로 산사면의 경사는 단축 방향인 북사면, 남사면이 장축 방향인 동서 방향보다 급하다.

제주도는 다량의 현무암질 용암류와 화산쇄설물로 이루어진 화산도로써 화산지형의 특징을 잘 보여준다. 제주도 전체 지형은 해발고도와 지형 경사도에 따라 크게 해안 저지대, 중산간지대, 한라산체로 나눈다. 전반적으로 동서방향으로는 해안 저지대의 면적이 우세하고, 남북방향으로는 해안 저지대 및 중산간지역이 좁고 한라산체의 면적이 넓다.

전체적으로 보아 순상화산을 이루고 있는데 이 순상화산체 상에는 360여 개에 달하는 단성화산들이 산재되어 있다. 단성화산은 육상 형성의 것과 수중 형성의 것으로 세분할 수 있는데, 대부분은 육상 형성의 스킨리아 콘으로 이루어져 있다. 특히 이들은 한라산의 동서산복에서 집중적으로 군을 이루고 있으며, 해안 지역과 하천에 인접한 지역에서는 수월봉이나 성산일출봉, 당산봉과 같은 수중 형성의 응회구와 응회환도 발견된다.

이들 단성화산은 불규칙하게 산재하는 것 같이 보이나 세밀히 관찰하면 주로 동·서부 지역에 대상으로 규칙성 있게 군을 이루는데, 한라산을 중심으로 하여 동쪽은 우도, 서쪽은 차귀도에 이르는 본도의 장축에 해당하는 중앙선 주위에 단성화산의 2/3이상이 밀집되어 있다.<sup>3)</sup>

---

3) 윤정수(1995), “제주도 북사면의 기생화산체에 대한 연구,” 「제주대학교 해양연구소 연구보고」, 19권, p.27.

제주도의 기후에 대해 고찰할 때, 제주도는 몬순의 영향이 큰 대륙동안 기후의 특징을 보일 뿐만 아니라 사면이 바다로 둘러싸여 있어 해양성기후의 요소도 현저하다. 또한 섬의 중앙부에 위치한 해발 1,950m의 한라산과 제주근해의 해류가 중요한 기후인자로 작용하여 특징적인 기후환경을 지닌다. 쾨펜(Koppen)의 기후구분법을 적용하면 남해안 일대와 더불어 아열대 습윤기후인 *Cfa*에 해당한다.

제주도의 연평균기온은 15.2~15.9℃로 제주, 대정, 성산의 기온은 비슷하지만 서귀포는 0.6~0.7℃ 높은 경향을 보인다. 최한월은 1월로 월평균기온은 4.8~6.0℃이며 성산이 가장 낮고 서귀포가 1℃ 정도 높게 나타난다. 반면에 최난월은 8월로 월평균기온은 26.4~26.7℃이며 지역차는 거의 나타나지 않는다. 연교차는 약 21℃로 전지역이 비슷하다.

제주도의 상대습도는 연평균 70~80%로 월별 습도변화가 크지 않은 해양성기후의 특징을 보인다. 지역적으로 보면 동부지역의 성산에서 77%로 가장 높게 나타난다.

제주도의 연평균 강수량은 1,872mm로서<sup>4)</sup> 우리나라의 최다우지를 이룬다. 지역별로 보면 서귀포와 성산에서 강수량이 높게 나타난다. 즉 강수량은 계절에 관계없이 북서사면에서 남동사면 방향으로 증가하며 강수량의 지역차에는 기압배치보다 풍향의 영향이 더 크게 작용한다.<sup>5)</sup> 제주도의 강수는 주로 온대성 저기압, 장마전선 및 태풍에 의하여 발생한다. 온대성 저기압과 장마전선에 의한 강수가 남·동사면에서 많은데 비하여 태풍으로 인한 강수는 상대적으로 북사면에서 많이 나타난다.<sup>6)</sup>

---

4) 건설부(1993), 수역별 물수지 분석결과 ; 서귀포시(2000), 「지하수영향조사서」, p.27에서 재인용  
5) 이승호(1999), “제주도 지역의 강수 분포 특성,” 「대한지리학회지」, 제34권, 제2호, (통권 75호), 대한지리학회, p.135  
6) 이승호(1999), 상계서, p.135.

## II. 이론적 배경

### 1. 스킨리아콘의 정의

스킨리아콘(scoria cone)은 스트롬볼리식 분화에 의해서 이루어진 단성 화산(monogenetic volcano)을 말한다(그림2). 스트롬볼리식 분화란 비교적 점성이 작은 마그마의 간헐적인 폭발로 일어나는 분화양식이다. 소규모의 폭발로 화산쇄설물을 방출하여 화구 주위에 원추형의 화산쇄설구를 형성한다. 분화는 주기적이거나 거의 연속적으로 일어난다. 때로는 화구에서 용암도 분출하므로 화산퇴적물은 화산쇄설물과 용암의 호층으로 구성된다. 이탈리아의 리파리(Lipari)제도에 소재하는 스트롬볼리(Stromboli)화산에서 명명되었다. 스트롬볼리화산은 로마시대부터 이 양식의 분화활동을 계속해왔기 때문에 '지중해의 등대'로 불린다.



그림2. 모식적인 스킨리아콘 (다랑쉬)

단성화산은 분화활동의 횟수에 주목하여 화산체를 구분한 것인데, 단성 화산과 복성화산으로 구분할 수 있다. 단성화산은 1회의 분화활동으로 형성된 화산체이며 비고와 체적이 각각 0.5km 및 0.1km<sup>3</sup> 이하로 소형이다. 반면에 복성화산은 휴지기를 사이에 두고 계속되는 수차례의 분화활동으로 형성된 대형 화산체로서 성층화산의 경우라면 보통 10~100km<sup>3</sup>의 체적을 보인다. 또한 복성화산은 단독으로 나타나는데 비하여 단성화산은 군을 이루며 집단으로 형성되는 경우가 많다. 복성화산 주변에 분포하는 단성화산군은 측화산(lateral volcano) 또는 기생화산(parasitic volcano)이라고 한다. 단성화산과 복성화산은 분화양식을 결정하는 화산분출물의 성질에 의하여 다시 세분된다.

화산분출물은 화산가스, 용암 및 화산쇄설물로 구분하는데 화산분출물의 종류는 분화양식에 따라 달라진다. 화산분출물의 차이는 결국 상이한 화산지형으로 이어지므로 화산지형의 조사에는 그 지형을 구성하는 화산분출물의 검토가 매우 중요하다. 스킨콘은 화산쇄설물로 이루어진 화산체인데, 폭발로 지표에 방출된 파편상의 고결물을 화산쇄설물이라고 한다. 용암 내부의 화산가스가 빠져나가면 화산쇄설물은 다공질이 된다. 현무암질 용암으로부터 생성된 적색이나 흑색의 다공질 쇄설물을 스킨콘이라고 하며, 제주도에서는 스킨콘을 ‘송이’라고 부른다.

스킨콘은 분석구(cinder cone)라고도 하는데 소규모의 폭발식 분화로 방출된 화산쇄설물 즉, 스킨콘이 화구를 중심으로 집적되어 생긴 원추형의 화산체이다. 가장 기본적인 퇴적성 화산지형으로 화산쇄설물의 분출과 퇴적에 의한 성장 과정은 4단계로 구분한다(그림3). 스트롬볼리식 분화로 방출된 화산쇄설물은 탄도를 그리며 날아가다가 땅에 떨어진 후에는 사면 아래로 굴러 떨어지며 애추(talus)를 만든다. 따라서 스킨콘은 30°에 가까운 급경사의 직선사면을 지닌 원추체를 이룬다.



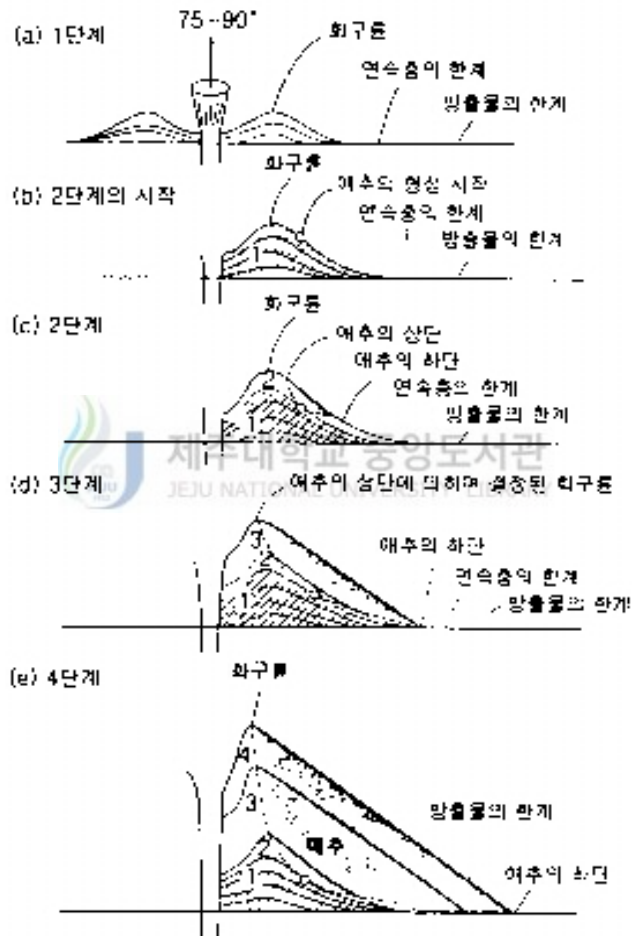


그림3. 스코리아콘의 성장모델 (McGetchin *et al.*, 1974)

산정에는 화산체에 비하여 규모가 큰 화구가 형성되지만 모든 스킨콘이 화구를 지니지는 않는다. 스킨콘이 형성된 후에 화산체를 일부 파괴하면서 다시 용암류가 분출하면 말굽형 스킨콘이 형성된다(그림4). 무너져 내린 스킨콘은 용암류에 실려 흘러가며 유동궤적을 따라 구릉상의 미지형을 만든다. 말굽형 스킨콘의 전면에 출현하는 이러한 소규모의 퇴적지형을 스킨콘 래프트(scoria raft)라고 한다.



그림4. 말굽형 스킨콘 (부대오름)

## 2. 스코리아콘의 형태적 특징

### 1) 제주도 스코리아콘의 형태적 특징

제주도의 오름에 대한 논문이 대부분 오름 전체를 연구대상으로 하고 있는데 비하여, 본 논문에서는 제주도의 스코리아콘을 연구대상으로 하여 그 형태적 특징과 사면의 발달 과정을 밝히고자 한다. 제주도 오름의 형태적 특징을 구명하고 있는 논문으로는 원종관(1975), 손인석(1980), 박승필(1985), 김우관·전영권(1987), 윤정수(1995)의 논문이 있다.

원종관<sup>7)</sup>은 제주도 오름의 분포, 비고와 경사도, 구성물질, 화구의 형태와 개구방향, 개석정도의 특징을 분석, 설명하고 있다. 오름의 비고는 대부분 100m 이하이며, 전체의 44.7%가 30m 이하로 보고하고 있다. 또한, 경사도는 30°내외가 많으며, 화구의 형태는 화구가 없는 원추형과 소형의 화구를 갖는 것으로 구분하고 있다. 화구를 갖는 경우는 다시 O-형과 U-형으로 세분하고 있다. U-형 오름의 형성은 첫째 화산쇄설물이 분출할 때의 탁월풍, 둘째 분화시의 지면 경사방향, 셋째 용암유출에 인한 유로에 따르는 침식 등에 기인되는 것으로 설명하고 있다. 그런데 대부분 스코리아콘이기 때문에 셋째의 경우는 생각하기 곤란하다고 원종관은 설명하고 있으나, U-형 스코리아콘이 형성되는 원인으로 스코리아콘이 형성되고 나서 용암이 유출되었기 때문이라는 설명이 정설로 받아들여지고 있다.

손인석<sup>8)</sup>은 제주도 기생화산의 화구 형태와 경사도, 개구 방향, 비고, 표고별 분포를 분석하고 있다. 기생화산들 중에서 171개를 선택하여 이들을 분화구의 유형에 따라 정상부에 화구가 있는 O자형이 8개, 화구가 없는

---

7) 원종관(1975), “제주도에 분포하는 화산구의 구조 해석에 관한 연구,” 건국대학교 이학논집, 제2집, pp.33-43.

8) 손인석(1980), “제주도에 분포하는 기생화산의 유형분류에 관한 연구,” 석사학위논문, 고려대학교 교육대학원.

원추형 61개, 화구의 일부에서 용암이 경사를 따라 흘러간 U자형 54개, 위의 형태가 복합적으로 구성되어 있는 복합형은 48개로 분류하였다.

박승필<sup>9)</sup>은 제주도의 오름을 성인(成因)에 따라 분류하고, 그 중에서 스코리아콘, 응회환, 응회구를 대상으로 형태적 특징을 구명하고 있다. 스코리아콘과 응회환, 응회구를 각각 분류하여 저경, 비고, 화구경의 빈도 및 평균치를 구했을 뿐만 아니라, 스코리아콘의 저경과 비고의 상관관계, 저경과 화구경의 상관관계, 저경에서 화구경을 뺀 값과 비고의 상관관계를 설명하고 있다. 또한, 스코리아콘의 분포는 동북동~서남서 방향의 장축에 대상으로 균을 이루면서 분포하고 있으며 스코리아콘의 평균 비고는 78m, 저경은 615m, 화구경은 205m로 보고하고 있다.

김우관·전영권<sup>10)</sup>은 각각의 오름에 대한 경사도, 비고, 화구 형태, 개구 방향에 대한 분석과 정상부에서 8방위 단면 형태를 분석함으로써 오름의 형태적인 특성을 밝히고 있으며 각각의 요소들에 대해서 고도대 및 사면별로 분석하고 있다. 결론적으로 화구 형태는 화구가 없는 것과 말굽형 화구가 77%를 차지하며, 평균 경사도는 약 17°이고 경사도가 11°~30°사이 에 오름의 80%가 분포한다. 평균 비고는 55m이고 비고 100m 이하의 것이 전체의 88%를 차지한다고 보고하고 있다.

윤정수<sup>11)</sup>는 북제주군의 오름을 대상으로 하여 연구하고 있는데, 스코리아콘과 응회구, 응회환의 분화 활동에 대하여 설명하고 북제주군 오름의 저경, 비고, 화구경, 저경과 비고의 상관관계, 저경과 화구경의 상관관계를 설명하고 있다.

---

9) 박승필(1985), “제주도 측화산에 관한 연구,” 「전남대학교 논문집」, 제30집, pp.159-166.

10) 김우관·전영권(1987), “제주도 기생화산의 사면 형태,” 「지리학 연구」, 제8호, 경북대학교 사회과학대학 지리학과, pp.47-68.

11) 윤정수(1995), 전계서, pp.25-38.

## 2) 국외 스킨리아콘의 형태적 특징

스킨리아콘은 제주도뿐만 아니라 세계 여러 지역에 분포하고 있으며, 스킨리아콘을 연구대상으로 하고 있는 논문도 상당수 있다.

Porter<sup>12)</sup>는 하와이의 마우나 키아 화산에 형성된 스킨리아콘의 분포와 형태적 특징, 크기를 분석하고 있다. 대부분의 스킨리아콘은 저경이 200~600m, 비고가 30~100m로 제주도 스킨리아콘의 경우와도 비슷하게 나타나고 있다. 그리고, 비고( $H_{co}$ )와 저경( $W_{co}$ )의 상관관계와 화구경( $W_{cr}$ )과 저경( $W_{co}$ )의 상관 관계를 밝히고 있는데, 그 관계식은 다음과 같다.

$$H_{co} = 0.18W_{co}$$

$$W_{cr} = 0.40W_{co}$$

Settle<sup>13)</sup>은 세계 각 지역의 스킨리아콘을 연구하는데 있어서, 커다란 화산 위에 스킨리아콘이 형성된 경우와 상대적으로 평평한 용암대지 위에 스킨리아콘이 형성된 경우를 비교 분석하고 있다. 각각의 경우에 스킨리아콘의 분포 패턴, 저경, 비고, 스킨리아콘과 스킨리아콘 사이의 거리를 분석하고 있는데 특히, 저경의 경우에는 평평한 용암대지 위에 분포하고 있는 스킨리아콘의 저경이 훨씬 크다는 것을 보여주고 있다. 여기에서 Settle은 스킨리아콘의 형태적 특징을 비교하고 있는데, 하와이의 마우나 키아화산, 이탈리아의 에트나화산, 미국의 샌프란시스코지역의 화산과 알래스카의 Nunivak섬에 분포하고 있는 스킨리아콘의 저경, 비고, 스킨리아콘과 더불어 인접하는 스킨리아콘 사이의 거리를 비교하고 있다. 마우나 키아의 경우는 168개 단성화산의 평균 저경이 508m, 평균 비고가 67m, 스킨리아콘 사이의 평균 거리가 813m였다. 에트나의 경우는 87개 단성화산의 평균 저

---

12) Porter, S. C.(1972), "Distribution, Morphology, and Size Frequency of Cinder Cones on Mauna Kea Volcano, Hawaii", Geological Society of America Bulletin, Vol.83, pp.3607~3612.

13) Settle, M.(1979), "The Structure and Emplacement of Cinder Cone Fieldes", American Journal of Science, Vol. 279, pp.1089~1107.

경이 369m, 평균 비고가 57m, 스킨리아콘 사이의 평균 거리가 780m였다. 샌프란시스코의 경우는 376개 스킨리아콘의 평균 저경이 1158m, 평균 비고가 111m, 스킨리아콘 사이의 평균 거리가 1367m였다. Nunivak섬의 경우는 83개 스킨리아콘의 평균 저경이 850m, 평균 비고가 53m, 스킨리아콘 사이의 평균 거리가 1547m였다. 제주도에 분포하고 있는 스킨리아콘과 평균 저경, 평균 비고가 가장 비슷한 경우는 마우나 키아의 경우이다. 두 지역은 순상화산에 스킨리아콘이 분포하고 있다는 점에서 유사성을 찾을 수 있다.

Wood<sup>14)</sup>는 스킨리아콘의 형성과정을 구명하고 있는데, 스킨리아콘이 형성되는 기간은 1일(에트나, 1792)에서 15년(Jorullo, 멕시코, 1759-1774)으로 다양하게 나타나고 있는데, 평균 30일 걸린다. 평균적으로 분출 첫 날, 비고 100m, 부피  $10^4$ - $10^6$  m<sup>3</sup>를 분출하는데, 그 이후에는 분출량이 감소한다. 또한, 형성연대가 새로운 스킨리아콘의 경사도는 스킨리아콘을 구성하고 있는 입자의 크기와 상관없이 32-33°를 이루고 있다는 것을 밝히고 있다. 그리고, 일반적인 경우 스킨리아콘을 구성하고 있는 스킨리아의 크기는 2-10cm를 이룬다.

Tibaldi<sup>15)</sup>는 스킨리아콘의 형태 분석에 있어서, 스킨리아콘 저경의 장축과 단축의 비율을 그래프로 나타냄으로써 지역에 따라 스킨리아콘 기저부의 모양이 원형에 가까운가, 아니면 어떤 비율로 타원형을 이루는가를 밝히고 있다.

Hooper와 Sheridan<sup>16)</sup>은 스킨리아콘의 환경사화 과정에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 제시하고 있다. 형성연대를 알고 있는 샌프란시스코의 스

---

14) Wood, C. A.(1980b), "Morphometric evolution of cinder cones", Journal of Volcanology and Geothermal Reserch, pp.387-413.

15) Tibaldi, A.(1995), "Morphology of pyroclastic cones and tectonics", Journal of Geographical Research, Vol. 100, No. B12, pp.24,521-24,535.

16) Hooper, D. M. and Sheridan, M. F.(1998), "Computer-simulation models of scoria cone degradation", Journal of Volcanology and Geothermal Research 83, pp.241-267.

코리아콘을 대상으로 하여 스킨리아콘의 형태적 특징을 분석하고, 형성연대에 따른 사면 특성의 변화를 구명한 다음 이를 디퓨전 공식(diffusion equation) 모델을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션 모델로 제시하고 있는 것이다.

### 3. 스킨리아콘의 형성시기

#### 1) 제주도 스킨리아콘의 형성시기

제주도 스킨리아콘의 형성시기에 대해서는 대부분 지질학자들에 의하여 지질학적 관점에서 연구되어 왔다.

원종관<sup>17)</sup>은 야외 관찰과 시추 자료에 근거하여 제주도의 화산 활동을 5회의 분출유회로 구분하고 이를 바탕으로 오름의 형성시기를 초기, 중기, 최후기로 분류하고 있다. 초기의 기생화산은 분출유회로 보아 제2분출기 말 성산층 및 화순층의 퇴적기에 형성된 것으로서 월라산, 예촌망, 제지기 오름, 걸서악, 각수바위, 산방산, 군산, 숲섬, 당산봉, 성산일출봉, 두산봉, 수월봉, 고내봉, 별도봉, 도두봉, 무악, 단산, 소머리오름, 매봉 등 20여개로 주장하고 있다. 그리고, 오름의 형태적인 비교관찰과 구성물질, 주변지역의 용암과의 접촉부의 협곡유무 등을 관찰하여 주위 용암 분출시기보다 먼저 형성된 오름을 중기 기생화산으로 분류하였다. 중기 기생화산은 붉은오름, 번널오름, 남산봉, 설오름, 영주산, 북오름, 녹하지악, 광오름 등 20여개가 있다. 최후기에 속하는 오름은 제4분출기 말 또는 제5분출기 말에 형성된 것으로서 어승생악을 비롯하여 300여개에 달하는 오름이 여기에 포함된다 고 주장하고 있다.

---

17) 원종관(1976), 전계서, p.38.

오남삼<sup>18)</sup>은 산방산지구의 용암분출 순서를 연구했는데, 기존 암석학적 층서배열에 의한 편년뿐만 아니라 타포니(tafoni) 등 지형에 의한 편년, 하천 침식 기준면의 변화와 해수면 변동에 의한 지형편년 대비 방법 등을 통해 화산분출 편년을 수립했다. 그 결과, 1단계는 기저현무암대, 2단계는 서귀포 조면암과 표선리 현무암대, 3단계는 용머리, 단산, 산방산, 4단계는 하효리 현무암대와 중문 조면암대 지형, 5단계는 논오름, 율라봉 2차 지형, 송악마르, 6단계는 안덕 용암류와 군산, 7단계는 후빙기 지형으로 송악산 이중화산인 스코리아콘과 형제섬이 형성되었다고 주장하고 있다. 그 중 송악산 제2차 분화구인 스코리아콘은 풍화 정도로 보아 2000년 전 정도로 추정하고 있다.

이문원<sup>19)</sup>은 제주도의 화산활동이 적어도 120만년 이전에 시작되어 약 3만년 전까지 용암을 분출하였으며, 대체로 4단계의 화산활동이 있었던 것으로 확인하고 있다. 제주도의 용암류에 대한 절대연령 측정값(K-Ar age dating)을 이용해 각 단계의 시기도 논의하고 있다. 1단계는 1.2Ma<sup>20)</sup>~0.7Ma의 시기로서 산방산~서귀포를 잇는 선상이 화산활동의 중심이 되어 열하 분출을 했다. 산방산, 각수바위, 율라산, 예촌리, 제지기오름 등의 분출이 있었으며 이 오름들은 스코리아콘이 아니라 용암원정구에 해당한다. 2단계는 0.6Ma~0.3Ma의 시기로서 서귀포층의 형성과 더불어 표선리 현무암이 분출했으며 한라산체를 제외한 제주도 전체 지형의 대부분을 만들었다. 3단계는 0.3Ma~0.1Ma의 시기로서 한라산체를 구성하였다. 해발고도 약 500m 이상 되는 곳에서부터 한라산 정상까지 지형적으로 경사가 급해지는 곳에 분포하고 있는 장석과 휘석 반정이 많은 현무암류가 이 시기에 분출된 것이다. 4단계는 0.1Ma~0.025Ma의 시기로 한라산 정상에서 조면암이 분출하면서 백록담 분화구가 만들어지고, 장축선상 동·서쪽에서는

18) 오남삼(1991), “산방산지구 용암분출순서 탐사연구”, 「제주문화의 재조명」, 일  
 념, pp.202-235.

19) 이문원(1994), 전계서, pp.54-74.

20) Ma는 100만년을 가리킴



현무암류를 분출하여 현재의 해안선의 지형을 만들었다. 제주도의 장축 방향에 위치하는 많은 오름 중에는 이 단계에 활동했던 분화구가 많다.

이문원 등<sup>21)</sup>은 제주도 남부해안과 중산간 지대(산방산-서귀포-병악-시오름)에 분포하는 화산암류의 화산층서를 밝히고 있다. K-Ar 연대측정을 통한 절대연대값과 항공사진 판독, 심부 시추자료를 이용해서 이 지역을 설명하고 있다. 이 지역의 화산암류의 활동연대는 0.9Ma~0.035Ma에 해당한다. 1단계 말기에 산방산, 범섬, 문섬, 각수바위 등이 분출했고, 2단계에는 군산이 분출했으며 3단계에는 모라이악, 녹하지악이 분출했고 4단계에는 거린사슴, 병악이 분출했다고 주장하고 있다.

원종관 등<sup>22)</sup>은 제주도 남동부 표선 지역의 화산층서를 확립하고, 화산암류의 지구화학적 특징을 밝히고 있다. 이 지역 화산활동 단계를 4단계로 구분하고 있는데, 1단계의 시기는 1.20~0.71Ma이며 대표적인 용암류는 시오름 벤모라이트이다. 2단계의 시기는 0.70Ma~0.41Ma이며 본지오름용암, 아심전지용암, 여절악용암(0.44Ma)이 여기에 속한다. 3단계의 시기는 0.4Ma~0.1Ma이며 토산악용암, 독자봉용암, 갑선시오름용암, 모구리오름용암, 따라비용암이 3단계에 해당한다. 4단계의 시기는 0.1Ma~25,000Y.B.P.로서 백록담 주변에 분포하는 용암류와 많은 분석구가 이 시기에 형성되었다. 모지오름용암, 물영아리용암, 소록산용암, 대록산용암, 민악용암, 영아리용암, 사려니, 구두리오름용암, 거문오름용암, 괴평시오름용암, 성널오름용암이 4단계에 분출되었다.

손인석<sup>23)</sup>은 제주도에 분포하는 화산암류의 절대연령 측정자료 52점을 종합하였다. K-Ar 측정방법에 의하여 측정된 절대연령자료에 의하면, 용머리, 수월봉이 1.2Ma, 각수바위가 0.917Ma와 0.893Ma, 산방산이 0.870Ma와 0.747Ma, 문섬이 0.728Ma, 숲섬이 0.725Ma, 시오름이 0.711Ma와 0.689Ma,

---

21) 이문원 외(1994), “제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구”, 지질학회지 제30권 제6호, pp.521-541.

22) 원종관 외(1998), “제주도 남동부 표선 지역 화산암류의 지구화학적 특징”, 지질학회지 제34권 제3호, pp.172-191.

23) 손인석(1997), 전게서.

궁산이 0.190Ma, 우보악이 0.168Ma, 법정악이 0.167Ma, 붉은오름이 0.161Ma, 거린사슴이 0.121Ma와 0.093Ma, 고근산이 0.097Ma, 다랑쉬가 0.049Ma, 수악이 0.045Ma로 보고되고 있다. 손인석은 제주도의 화산활동 단계를 크게 5단계, 작게 11단계로 구분하고 있다.

제주도 스킨리아콘의 형성시기와 관련한 논문은 지질학적인 방법으로 야외관찰과 항공사진 판독, 시추자료, K-Ar 연대측정방법으로 형성시기를 판단하고 연대층서를 확립하고 있다. 본 논문은 이런 지질학적 연구성과를 토대로 하면서, 이와는 다른 방법론으로 지형학적 방법을 통해 제주도 스킨리아콘의 형성시기를 추정해보고자 한다. 즉, 사면은 시간의 함수라는 인식하에 스킨리아콘의 형태 분석을 토대로 형성시기를 추정하겠다.

## 2) 국외 스킨리아콘의 형성시기

국외 스킨리아콘의 경우는 이미 형성시기를 측정해서 정확한 형성연대를 알고 있는 경우가 많다. 그래서 단지 형성시기만 밝히는 것이 아니라 형성연대를 토대로 시간의 흐름에 따른 사면의 발달을 구명하고 있다.

Colton<sup>24)</sup>은 샌프란시스코의 스킨리아콘을 5단계의 환경사화 단계로 구분했다. 5단계 화산체는 가장 신선한 화산체로 경사가 급하고 우곡이 형성되어 있지 않으며 스킨리아가 거의 산화되지 않았다. 4단계 화산체는 대규모의 침식이 없다는 면에서는 5단계와 비슷하나 산화작용이 스킨리아를 분해해서 점토를 형성하고 식생을 유지한다. 3단계 화산체의 특징은 우곡이며, 2단계에서는 더 심하게 침식이 진행되어서 내부가 드러나고 가장자리가 낮아진다. 1단계 화산체는 화산체의 구성물질이 완벽하게 제거되고 플러그<sup>25)</sup>만 남는다.

---

24) H. S. Colton(1960), "Cinder Cones and Lava Flows" p.58. : quoted in C. A. Wood(1980), *op.cit.*, p.138.

25) 플러그(암진) : 사화산의 화구를 막고 있는 경화 화성암

Moore *et al.*<sup>26)</sup>은 샌프란시스코의 스킨리아콘을 6단계의 환경사화 단계로 구분했는데, 1만년 이내의 신선한 스킨리아콘을 Sunset age, 5만년 이내의 스킨리아콘을 Merriam age, 20만년~70만년 전의 스킨리아콘을 Tappan age, 80만년~300만년 전의 스킨리아콘을 Woodhouse age, 300만년~400만년 전의 스킨리아콘을 Rim Basalts age, 550만년~600만년 전의 스킨리아콘을 Cedar Ranch age로 구분했다.

Moore와 Wolfe<sup>27)</sup>는 연대측정이 된 샌프란시스코 스킨리아콘의 저경과 비교의 상관관계를 구했다. Sunset age와 Merriam age 스킨리아콘의 저경과 비교의 상관관계는  $Hco=0.179Wco$ 으로 나타났다. 그리고, Tappan age 스킨리아콘의 저경에 대한 비교의 비율은 더 낮아져서 저경과 비교의 상관관계는  $Hco=0.125Wco$ 으로 나타났다. Woodhouse age 스킨리아콘의 저경에 대한 비교의 비율은 더 낮게 측정되어서, 저경과 비교의 상관관계가  $Hco=0.038Wco$ 으로 나타났다. 그리고, 각 단계별로 저경에 대한 비교의 비율의 범위를 구명해 보면, Sunset age와 Merriam age 스킨리아콘의 저경에 대한 비교의 비율은 0.15보다 크며, Tappan age 스킨리아콘의 저경에 대한 비교의 비율은 0.06~0.15이고, Woodhouse age 스킨리아콘의 저경에 대한 비교의 비율은 0.06보다 작다.

스킨리아콘의 최초의 외면적 형태는 매우 유사하며 스킨리아콘은 오랜 기간에 걸쳐 환경사화되어 간다. 스킨리아콘의 환경사화 메카니즘은 다음의 2가지로 설명할 수 있다. 첫째, 용암류에 의해 스킨리아콘의 사면이 묻히는 경우와 둘째, 스킨리아콘의 사면으로부터 물질의 침식과 매스 무브먼트가 나타나는 경우이다. 이 두 가지 경우를 그래프로 나타낸 것이 그림5이다. 샌프란시스코에 있는 Sunset Crater(저경 1.6km, 화구경 0.6km, 비교 0.3km)의 경우, 용암류에 의해 기저부가 잠기면 저경은 0.6km까지 도달하

26) R. B. Moore *et al.*(1976), Volcanic rocks of the eastern San Francisco volcanic field, pp.549-560 : quoted in C. A. Wood(1980), libid. p.142.

27) R. B. Moore & E. W. Wolfe(1976), Geologic map of the eastern San Francisco volcanic field, : quoted in C. A. Wood(1980), libid, p.143.

게 되고 비고는 제로까지 도달한다. 만일 용암류가 원래의 스킨콘의 형태를 변형시킨 주요한 수단이라면 오래된 스킨콘의 저경은 새로운 스킨콘의 저경에 비해 더 작게 된다.

두 번째 환경사화 프로세스는 침식과 매스 무브먼트에 의한 것으로 설명할 수 있다. 이 프로세스는 파리쿠티(Paricutin)<sup>28)</sup>에서 관찰되었는데, 스킨콘 사면이 강우 때문에 불안정해졌고 사면 아래로 미끄러져 내려갔다. 이것은 애추에 의해 둘러싸인 많은 오래된 스킨콘에 영향을 주었음에 틀림없다. 풍화는 스킨콘을 더 작은 입자로 분해하였는데 그것들은 더 이상 원래의 사면에 정착되어 있지 않았기 때문에 저경을 증가시켰고 비고와 경사도를 감소시켰다. 그림5는 풍화와 매스 무브먼트에 의해 비고는 급속히 감소하는데 비해 저경은 단지 약간만 증가하는 것을 보여준다. 하지만 저경에 대한 비고의 비율이 0.05를 넘어서면 비고의 감소에 비해 더 빠르게 저경이 증가한다.

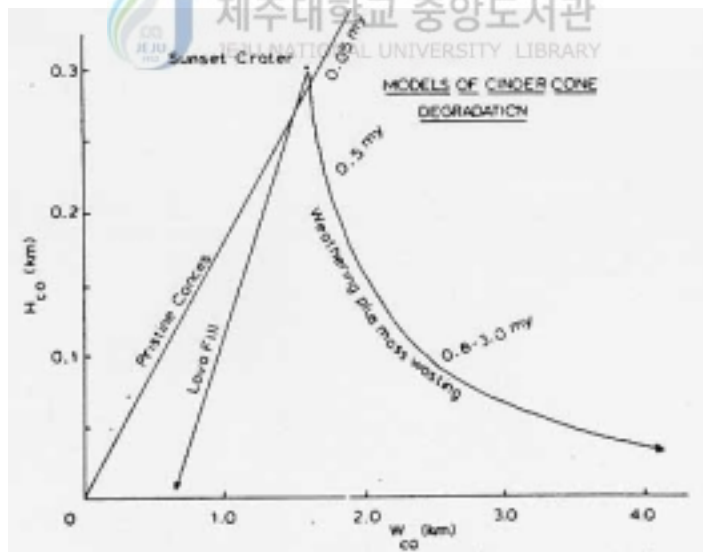


그림5. 스킨콘의 환경사화 모델(Wood, 1980a)

28) K. Segerstrom(1950), Erosion studies at Paricutin, state of Michoacan, Mexico, : quoted in C. A. Wood(1980), Journal of Volcanology and Geothermal Research, p.151.

그림5에 제시된 스코리아콘의 변화에 대한 두 가지 프로세스는 저경에 대해서 반대의 영향을 준다. 스코리아콘을 둘러싼 용암류의 분출은 저경을 감소시키고, 반면에 물질이 사면 상단에서 하단으로 재배치된 것은 결과적으로 저경의 확장을 가져 온다. 샌프란시스코에 있는 8개의 Sunset/Merriam age 스코리아콘과 22개의 Tappan age 스코리아콘의 예로부터 판단한다면, 오래된 스코리아콘의 평균 저경이 새로운 스코리아콘보다 5% 더 크다. 이것은 매스 무브먼트가 샌프란시스코에서 더 중요한 환경사화 프로세스라는 것을 시사한다.

매스 무브먼트에 의한 스코리아콘의 환경사화는 사면의 경사도를 계속적으로 감소시킨다. 반면에 용암류에 의한 변화는 일정한 경사도를 유지한다. 저경에 대한 비교의 비율( $Hco/Wco$ )이 0.12인 Tappan age 스코리아콘은, 그림에 의하면 약 26°의 경사도를 나타내는데, 이에 비해 새로운 스코리아콘은 30°~ 31°를 나타낸다. 샌프란시스코의 27개 스코리아콘의 평균 경사도 야외측정 결과는 다음과 같다.

Merriam age	30.8±3.9°	N=7
Tappan age	23.1±2.0°	N=15
Older cones	14.1±4.2°	N=5

### Ⅲ. 제주도 스킨콘의 형태 분석

#### 1. 연구대상 스킨콘의 선정 기준

우선 1/5,000 지형도에서 화산체의 모양과 화구의 모양이 둥근 모양을 이루고 있으면서 경사도에 있어서도 사면에 따른 차이가 거의 없는 스킨콘으로 선정했다. 왜냐하면, 스킨콘의 경우는 원추형을 이루므로 사면의 경사가 사면의 방향에 따라 다를 수 있기 때문에 오차를 최대한 줄이기 위한 것이다. 또한 기존의 연구를 통해서 절대연대가 측정된 스킨콘을 연구대상 스킨콘에 포함시켰다. 절대연대가 측정된 스킨콘은, 사면의 형태 분석과 야외 조사를 통해서 상대적 형성순서와 형성시기를 추정하는데 있어서 객관성을 부여하는데 많은 자료를 제공하리라 생각된다.

제주도의 스킨콘 중에서 위와 같은 기준으로 연구대상 스킨콘을 선정한 결과 49개의 스킨콘을 선정했다. 그리고, 연구대상 스킨콘의 분포를 그림6에 표시해 놓았다. 또한, 분포도에 표시된 스킨콘의 명칭과 소재지를 표1에 작성함으로써 그림6의 이해를 도울 수 있도록 했다.

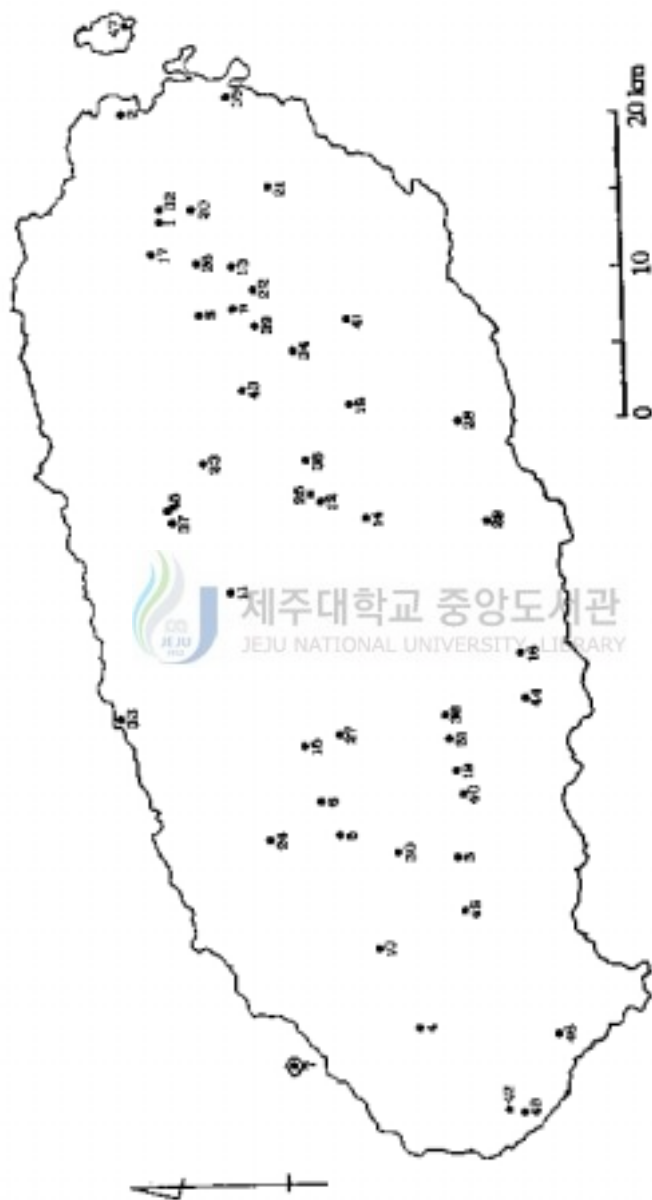


그림6. 연구대상 스크리아론의 분포

(표1) 연구대상 스키리아콘

번호	화산명	소재지	번호	화산명	소재지
1	다랑쉬	구좌읍	26	높은오름	구좌읍
2	지미봉	구좌읍	27	붉은오름	애월읍
3	병악	안덕면	28	자배봉	남원읍
4	저지오름	한경면	29	취오름	서귀포시
5	밭이오름	애월읍	30	괴수치	안덕면
6	노꼬메큰오름	애월읍	31	거린사슴	서귀포시
7	비양봉	한림읍	32	아끈다랑쉬	구좌읍
8	안돌오름	구좌읍	33	도두봉	제주시
9	민오름	구좌읍	34	대록산	표선면
10	금오름	한림읍	35	소수산봉	성산읍
11	삼의양오름	제주시	36	법정악	법정악
12	셋케펜이	조천읍	37	큰취오름	제주시
13	백악이오름	표선면	38	거문오름(물чат)	조천읍
14	논고악	남원읍	39	성불오름	구좌읍
15	천아오름	애월읍	40	모라이악	서귀포시
16	고근산	서귀포시	41	병곳오름	표선면
17	돌오름	구좌읍	42	녹남봉	대정읍
18	물영아리	남원읍	43	까끄래기	조천읍
19	녹하지악	서귀포시	44	궁산	서귀포시
20	용눈이오름	구좌읍	45	족은취오름	제주시
21	유건에오름	성산읍	46	가시악	대정읍
22	개오름	표선면	47	쇠머리알오름	우도면
23	바늘오름	조천읍	48	거린오름	안덕면
24	검은덕이	애월읍	49	보름이오름	대정읍
25	셋케펜이	조천읍			



그리고 응회구와 응회환의 경우는 연구대상에서 제외했다. 왜냐하면, 스크리아콘과 응회구, 응회환은 화산체와 화구의 형태, 사면의 경사가 매우 다르기 때문에 사면의 경사를 분석함으로써 형성시기를 추정하는데 있어서 비교의 대상이 될 수 없기 때문이다.

그런데, 기존에 스크리아콘으로 분류된 것 중에서 형태적 특징으로 볼 때 응회구나 응회환과 유사한 것이 상당수 발견되었다. 따라서 확인되지 않은 것은 빼고 확실히 스크리아콘으로 생각되는 것만을 선정했다. 기존의 연구에서는 응회구, 응회환이 해안 지역에서만 나타나는 것으로 주장하고 있는데 반하여 중산간 지역에서도 응회구, 응회환으로 생각되는 것이 상당수 있었는데, 과거 제주도의 환경이 지금과는 달랐음을 추정할 수 있는 자료가 될 수 있다고 생각되며 앞으로의 연구 과제라고 사료된다.

연구대상 스크리아콘을 선정한 다음에는 선정된 스크리아콘의 형태를 측정하고 분석했다. 즉, 스크리아콘의 비고( $H$ ), 저경( $W_B$ ), 화구경( $W_C$ ), 평균경사도( $\theta_{ave}$ ), 최대사면각( $\theta_{max}$ ), 저경에 대한 비고의 비율( $H/W_B$ ), 저경과 화구경의 차에 대한 비고의 비율( $H/W_B - W_C$ ), 저경에 대한 화구경의 비율( $W_C/W_B$ )을 측정하고(표2)<sup>29)</sup>, 그래프를 그리고 상관관계를 통계분석했다. 또한 연구대상 스크리아콘의 단면도를 그림으로써 사면의 형태를 분석했다.

---

29) 표2의 번호는 그림6, 표1의 번호와 동일함.

(표2) 연구대상 스코리아콘의 형태적 특성

번호	화산명	$H$ (m)	$W_B$ (m)	$W_C$ (m)	$\theta_{ave}$ (°)	$H/W_B$	$H/W_B - W_C$
1	다랑쉬	167	950	330	28.40	0.176	0.269
2	지미봉	116	758	275	25.64	0.153	0.240
3	병악	93	563	170	25.17	0.165	0.237
4	저지오름	87	620	250	25.17	0.140	0.235
5	발이오름	149	900	250	24.70	0.166	0.229
6	노꼬메큰오름	144	888	253	24.46	0.162	0.227
7	비양봉	72	575	243	23.43	0.125	0.207
8	안돌오름	88	640	233	23.27	0.138	0.216
9	민오름	87	613	205	23.07	0.142	0.213
10	금오름	133	925	293	22.78	0.144	0.210
11	삼의양오름	115	750	200	22.78	0.153	0.209
12	셋케펜이	54	325	65	22.78	0.166	0.208
13	백악이오름	89	750	318	22.29	0.119	0.206
14	논고악	121	858	268	22.29	0.141	0.205
15	천아오름	71	460	110	22.10	0.154	0.203
16	고근산	108	705	170	21.98	0.153	0.202
17	돌오름	99	755	255	21.60	0.131	0.198
18	물영아리	119	850	238	21.31	0.140	0.194
19	녹하지악	98	505		21.21	0.194	0.194
20	용눈이오름	71	633	263	21.10	0.113	0.192
21	유건에오름	57	520	223	21.01	0.110	0.192
22	개오름	127	675		20.61	0.188	0.188
23	바늘오름	121	837	183	20.30	0.145	0.185
24	검은덕이	52	280		20.30	0.186	0.186
25	셋케펜이	27	230	83	20.30	0.117	0.184
26	높은오름	152	988	143	19.80	0.154	0.180

번호	화산명	$H$ (m)	$W_B$ (m)	$W_C$ (m)	$\theta_{ave}$ (°)	$H/W_B$	$H/W_B - W_C$
27	붉은오름	76	650	225	19.54	0.117	0.179
28	자배봉	60	693	355	19.54	0.087	0.178
29	쑤오름	92	750	225	19.29	0.123	0.175
30	괴수치	41	350	110	18.88	0.117	0.171
31	거린사슴	64	525	150	18.84	0.122	0.171
32	아끈다랑쉬	45	470	205	18.78	0.096	0.170
33	도두봉	55	325		18.68	0.169	0.169
34	대륙산	105	875	235	18.26	0.12	0.164
35	소수산봉	37	225		18.26	0.164	0.164
36	법정악	55	335		18.06	0.164	0.164
37	큰쑤오름	44	275		17.74	0.16	0.16
38	거문오름 (물찻)	114	938	208	17.33	0.122	0.156
39	성불오름	78	745	235	17.01	0.105	0.153
40	모라이악	45	460	165	16.96	0.098	0.153
41	병곳오름	84	788	230	16.70	0.107	0.151
42	녹남봉	47	438	123	16.59	0.107	0.149
43	까끄래기	37	440	163	15.11	0.084	0.134
44	궁산	50	375		14.79	0.133	0.133
45	죽은쑤오름	34	263		14.57	0.129	0.129
46	가시악	74	605		13.74	0.122	0.122
47	쇠머리알오름	26	225		12.95	0.116	0.116
48	거린오름	51	533		10.76	0.095	0.095
49	보름이오름	14	158		10.20	0.089	0.089

## 2. 비고 및 저경, 화구경

### 1) 비고

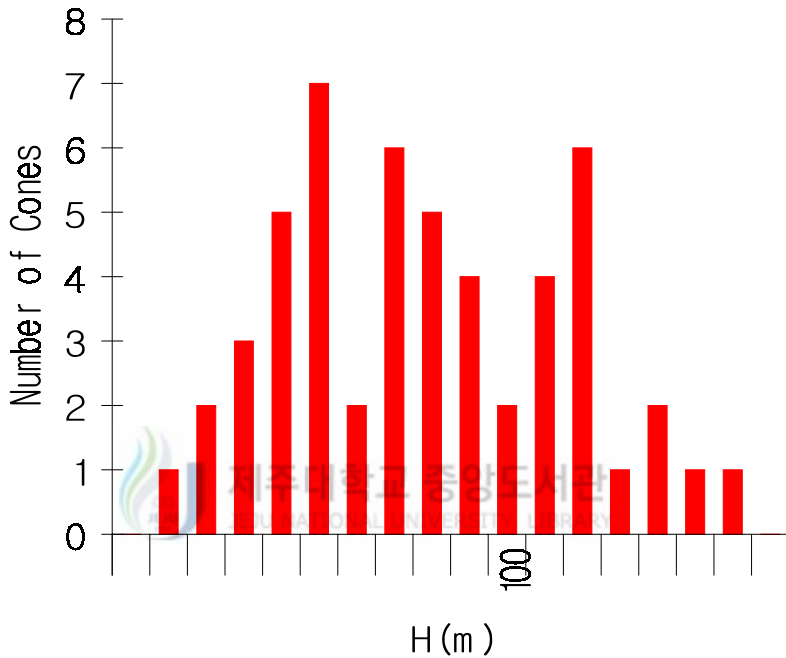


그림7. 제주도 스킨콘의 비고 빈도

비고를 구하기 위해서 우선 스킨콘의 범위를 정했다. 1/5,000 지형도에서 등고선 간격을 기준으로 해서 등고선 간격이 현저하게 달라지는 지점을 경계로 하고 등고선 간격이 좁은 곳, 즉 경사가 급한 곳을 스킨콘의 범위로 정했다. 그 다음에는 스킨콘의 기저부를 이루는 낮은 지점과 스킨콘의 화구를 이루는 높은 지점의 높이를 구했다. 그런데, 스킨콘이 평지보다는 사면상에 형성되어 있는 경우가 많기 때문에 기저

부의 높이가 일정하지 않고, 화구의 높이 역시 일정하지 않다. 비고를 구하는데 있어서 최고점의 높이에서 최저점의 높이를 빼는 경우도 있으나,<sup>30)</sup> 본 논문에서는 경사도를 구할 때 최대한 오차를 줄이고 정확도를 높이기 위해서 평균치를 구했다. 즉, 화구의 둘레를 이루는 높은 지점의 평균값에서 기저부를 이루는 낮은 지점의 평균값을 뺀 것이다.

연구대상 스킨아콘의 비고는 14m~167m 범위에 들어 있다(그림7). 비고가 가장 낮은 스킨아콘이 대정읍에 있는 보름이오름(14m), 가장 높은 스킨아콘이 다랑쉬오름(167m)이었다(표2). 가장 많은 스킨아콘이 분포하고 있는 비고는 40m~120m로서 전체의 약 78%를 차지한다. 연구대상 스킨아콘 비고의 평균치는 81m로서, 제주도 전체 스킨아콘 비고의 평균치가 78m로 보고되고 있는 것<sup>31)</sup>과 비슷하다. 또한 연구대상 스킨아콘 비고의 중앙값(median)은 76m로서, 제주도 전체 스킨아콘 비고의 중앙값인 70m<sup>32)</sup>와 큰 차이가 없다.

연구대상 스킨아콘 비고의 빈도 분포는 제주도 전체 스킨아콘 비고의 빈도 분포와도 거의 비슷하고,<sup>33)</sup> 특히 북제주군 지역 기생화산 비고의 빈도 분포와도 매우 비슷한 양상을 보여주고 있다.<sup>34)</sup> 또한, 하와이의 마우나 키아 화산에 있는 스킨아콘을 대상으로 한 Porter의 연구에서도 대부분의 스킨아콘이 30m~100m의 비고를 나타내고 있다.<sup>35)</sup>

---

30) 제주도(1999), 「제주의 오름」

31) 박승필(1985), 전계서, p.163.

32) 박승필(1985), 상계서, p.163.

33) 박승필(1985), 상계서, p.163.

34) 윤정수(1995), 전계서, pp.30-31.

35) Stephen C. Porter(1972), *op. cit.*, p.3608.

## 2) 저경

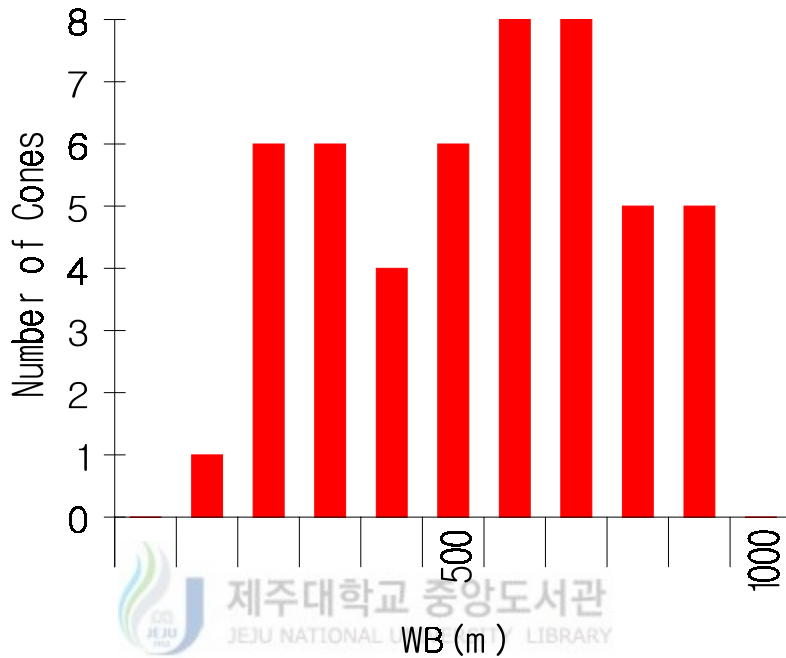


그림8. 제주도 스킨아콘의 저경 빈도

저경 역시 평균값을 취했는데 1/5,000 지형도에서 스킨아콘 기저부의 직경을 구하고 장축과 단축의 평균값을 저경으로 취했다. 연구대상 스킨아콘의 저경은 158m~988m 사이에 분포하고 있는데(그림8), 저경이 가장 큰 스킨아콘은 높은오름(988m), 저경이 가장 작은 스킨아콘은 보름이오름(158m)이다. 200m~1000m 사이에 비교적 고르게 빈도가 분포하며, 가장 빈도가 높은 구간은 500~800m 범위이다. 연구대상 스킨아콘 저경의 평균치는 591m이고 중앙값은 613m이다. 제주도 전체 스킨아콘의 저경은 400m~800m 사이에 전체의 3/5이 분포하며 평균치가 615m, 중앙값은 600m로서 600m~700m의 저경을 나타내는 스킨아콘이 가장 많다.<sup>36)</sup>

36) 박승필(1985), 전계서, p163.

### 3) 화구경

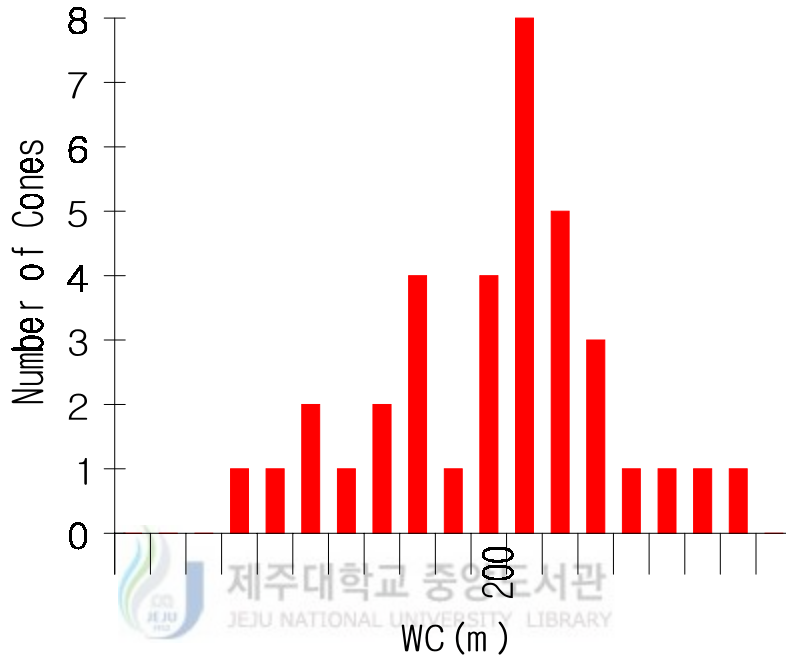


그림9. 제주도 스키리아콘의 화구경 빈도

화구경도 저경과 마찬가지로 1/5,000 지형도에서 스키리아콘 화구의 직경을 구하고 장축과 단축의 평균값을 화구경으로 취했다. 연구대상 스키리아콘의 화구경은 65m~355m 사이에 분포하고 있으며(그림9), 화구경이 가장 많이 분포하고 있는 구간은 200m~260m 사이였다.

저경이 고르게 빈도가 분포하고 있는 것과는 달리 화구경의 경우는 200m~260m 사이, 특히 220m~240m 구간에 집중적으로 분포하고 있다. 제주도 전체 스키리아콘의 연구에서도 이와 비슷하게 나타나고 있는데, 화구경이 150~250m 사이가 3/5을 차지하고 있다.<sup>37)</sup> 연구대상 스키리아콘 화

37) 박승필(1985), 상계서, p.163.

구경의 평균치는 213m이고 중앙값은 225m이다. 제주도 전체 스코리아콘 화구경의 평균치는 205m, 중앙값은 200m로 보고되고 있다. 연구대상으로 선정된 스코리아콘 중에서 화구경이 가장 작은 스코리아콘은 셋케펜이 (65m)였고 가장 큰 스코리아콘은 자배봉(355m)이었다(표2).

### 3. 경사도

스코리아콘의 경사도 측정은 본 논문에서 매우 중요하면서도 어려운 과제이다. 중요한 이유는 본 논문이 사면의 경사를 분석함으로써 형성시기와 형성순서를 추정하려는 것이기 때문에 정확한 경사도를 구하는 것이 아주 중요하고 또한, 어려운 이유는 스코리아콘이 360°방향의 사면을 갖고 있는 화산체이기 때문에 사면에 따라 경사도가 다르게 나타날 수 있기 때문이다. 최대한 합리성과 객관성을 획득하기 위해 고심했으며, 연구대상 스코리아콘을 선정할 때부터 사면에 따른 경사도의 차이가 별로 없는 원모양의 스코리아콘으로 선정했다. 경사도로는 사면의 평균경사도와 최대사면각을 구했다.

#### 1) 평균 경사도

평균경사도( $\theta_{ave}$ )의 측정은 비고( $H$ ), 저경( $W_B$ ), 화구경( $W_C$ )의 값을 사용하여 다음과 같은 공식에 의하여 이루어졌다.

$$\theta_{ave} = \text{atan} (2 \cdot H / W_B - W_C)$$

사면에 따라 경사도가 다르게 나타날 수 있기 때문에 평균값으로 경사도를 정하는 것은 상당히 합리적이고 타당하다고 생각한다. 평균경사도는 10.20°~28.40°로 나타났는데, 가장 경사가 급한 스코리아콘은 다량쉬 (28.40°)였고, 가장 경사가 완만한 스코리아콘은 보름이오름(10.20°)이었



다(표2). 연구대상 스코리아콘 평균경사도의 평균치는 19.80°, 중앙값은 20.30°로 나타났다. 평균경사도는 17°~22°사이에 가장 많은 스코리아콘이 분포하고 있다(그림10).

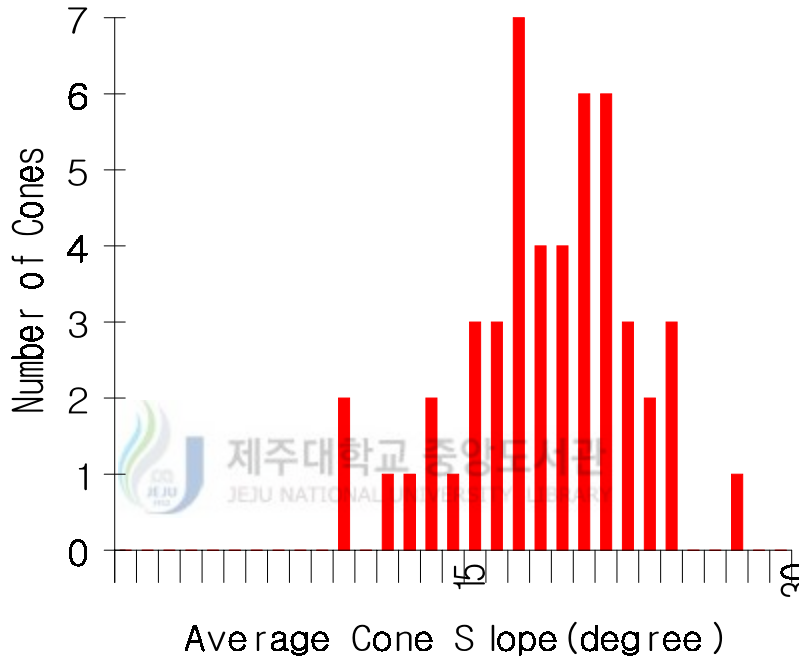


그림10. 제주도 스코리아콘의 평균경사도 빈도

## 2) 최대사면각

최대사면각( $\theta_{max}$ )이란 사면 중간 부분인 직선 구간의 사면각의 평균값을 뜻한다. 1/5,000지형도에 의거해서 연구대상 스코리아콘의 단면도를 그리고, 그 단면도를 바탕으로 4지점의 최대사면각을 구한 다음, 그 평균값을 구했다. 최대사면각은, 연구대상 스코리아콘 중에서 절대연대를 알고 있

는 스코리아콘<sup>38)</sup>을 대상으로 최대사면각을 구했다. 최대사면각이 가장 큰 스코리아콘은 역시 다랑쉬로 31.46°였고, 최대사면각이 가장 작은 스코리아콘은 궁산으로 18.53°였다(표3). 연구대상 스코리아콘 중에서 절대연대를 알고 있는 스코리아콘의 최대사면각의 평균치는 24.91°였고, 중앙값은 23.99°였다.

(표3) 스코리아콘의 절대연대와 최대사면각

번호	화산명	절대연대(Ma)	$\theta_{max}$ (°)
1	병악	0.035	29.57
2	다랑쉬	0.049	31.46
3	지미봉	0.049	29.35
4	고근산	0.097	23.99
5	거린사슴	0.093 0.121	19.65
6	붉은오름	0.161	23.95
7	법정악	0.167	22.84
8	용눈이오름	0.170	24.81
9	궁산	0.190	18.53

38) 손인석(1997), 전계서, p.138.

#### 4. 저경과 비교의 상관관계

저경에 대한 비교의 비율은 시간의 흐름에 따른 스코리아콘의 사면 사의 변화를 파악하는데 있어서 중요한 지표가 된다. Wood는 샌프란시스코의 화산지역에서 연대 측정이 되어있는 스코리아콘을 대상으로 하여 시간의 흐름에 따라 저경에 대한 비교의 비율이 어떻게 변하는가를 그래프로 그리고 상관관계를 구했다.<sup>39)</sup> 형성연대가 10만년이 안 된 스코리아콘은 Sunset age와 Merriam age로 분류하고 저경( $Wco$ )과 비교( $Hco$ )의 상관관계를 구했는데 상관관계는  $Hco=0.179Wco$ 으로 나타났다. 그리고, 형성연대가 20만년에서 70만년 된 스코리아콘은 Tappan age로 분류했으며 저경과 비교의 상관관계는  $Hco=0.125Wco$ 으로 나타났다. 또한, 형성연대가 80만년에서 300만년 된 스코리아콘의 경우는 Woodhouse age로 분류했는데 저경과 비교의 상관관계는  $Hco=0.038Wco$ 으로 나타났다.

Wood는 또한 저경에 대한 비교의 비율이 0.15보다 큰 경우에는 Sunset age와 Merriam age로 분류했고 0.15와 0.06 사이일 경우에는 Tappan age, 0.06보다 작은 경우에는 Woodhouse age로 분류했다. Wood의 연구에서, 시간의 흐름에 따라 형성연대가 오래될수록 저경에 대한 비교의 비율이 낮아지고 있음을 분명하게 확인할 수 있다.

---

39) Charles A. Wood(1980a), *op. cit.*, p.142.

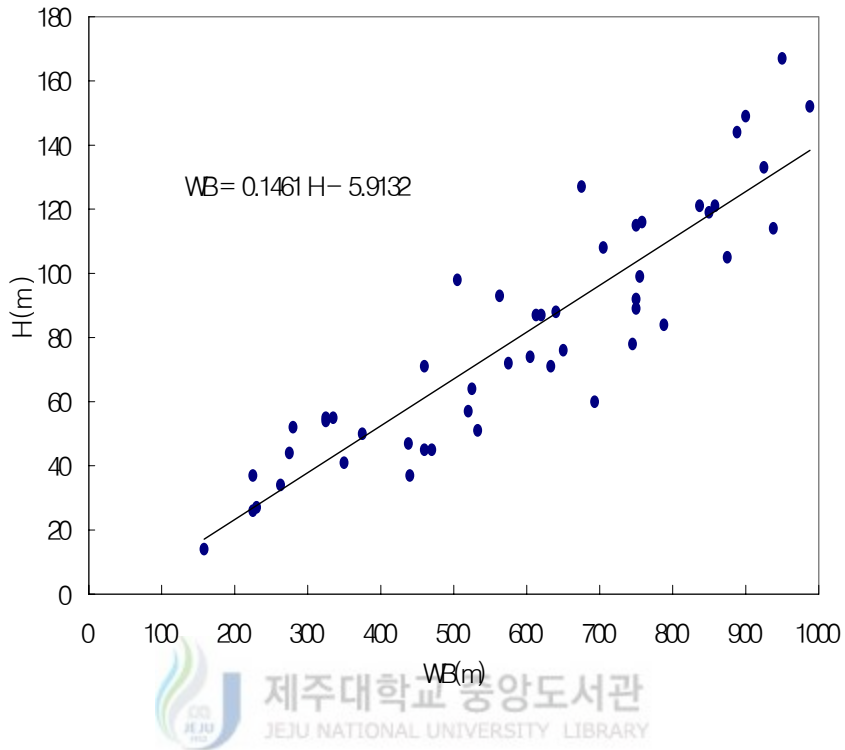


그림11. 제주도 스킨아콘의 저경과 비교의 상관관계

제주도 스킨아콘의 저경에 대한 비교의 비율( $H/W_B$ )은 (표2)와 같으며 저경( $W_B$ )과 비교( $H$ )의 상관관계를 다음과 같이 그래프로 나타냈다(그림 11). 그리고, 저경과 비교의 상관관계를 알기 위하여 회귀분석(regression analysis)을 실시한 결과 상관계수( $r$ )가 0.905로 매우 높은 상관관계를 보여주었다. 또한, 저경과 비교의 상관관계를 설명해 주는 회귀방정식(regression equation)을 구했는데,  $H=0.1461W_B-5.9132$ 로 나타났다.

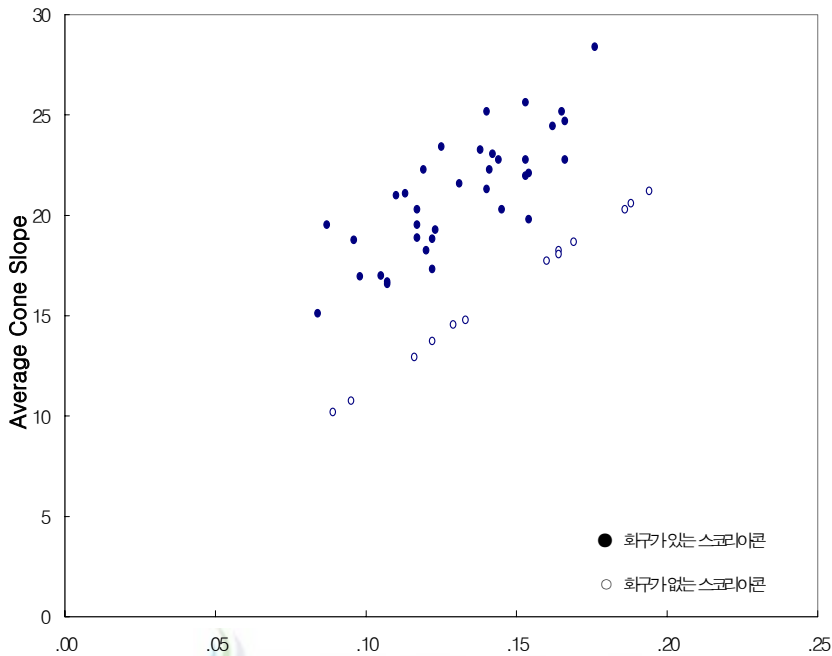


그림12. 제주도 스코리아콘의  $H/W_B$ 와 평균경사도의 상관관계

또한, 저경에 대한 비고의 비율( $H/W_B$ )과 평균경사도( $\theta_{ave}$ )의 상관관계도 그래프로 나타냈다(그림12). 그리고,  $H/W_B$ 와 평균경사도의 상관관계를 알기 위해 회귀분석을 실시한 결과 상관계수( $r$ )가 0.560으로  $H/W_B$ 와 평균경사도는 보통의 상관관계를 보여주었다. 또한,  $H/W_B$ 와 평균경사도의 회귀방정식을 구한 결과,  $\theta_{ave}=76.679H/W_B+9.4436$ 으로 나타났다.

그런데, 저경에 대한 비교의 비율( $H/W_B$ )과 평균경사도( $\theta_{ave}$ )의 상관 관계를 분석하는데 있어서, 전체 연구대상 스킨아콘의 상관계수( $r$ )는 0.560이지만, 화구가 있는 스킨아콘과 화구가 없는 스킨아콘으로 분리 해서 상관관계를 분석할 경우 상관계수는 훨씬 커진다. 즉, 화구가 있는 스킨아콘과 평균경사도의 상관계수( $r$ )는 0.805로 매우 높은 상관계수를 보여주며, 화구가 없는 스킨아콘과 평균경사도의 상관계수( $r$ )는 1.0으로 완전한 상관관계를 보여준다.

또한, 저경에 대한 비교의 비율( $H/W_B$ )과 평균경사도( $\theta_{ave}$ )의 상관관계에 있어서 화구가 있는 스킨아콘인가, 화구가 없는 스킨아콘인가에 따라 다르게 나타났다. 즉, 화구가 없는 스킨아콘은 저경에 대한 비교의 비율에 비해 평균경사도가 완만하게 나타났다. 저경과 비교가 같다고 해서 평균경사도가 같아지는 것이 아니라, 저경과 비교가 같다고 하더라도 화구가 있는가 없는가, 화구의 크기가 어떠한가에 따라 평균경사도가 다르게 나타나고 있는 것이다.

따라서, 사면의 경사, 사면의 발달에 초점을 맞출 때, 저경에 대한 비교의 비율( $H/W_B$ )을 통해서 사면의 발달을 살펴보기보다는 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율( $H/W_B - W_C$ )을 통해서 사면의 발달을 살펴보는 것이 더 합리적이라고 생각된다.

연구대상 제주도 스킨아콘의  $H/W_B - W_C$ 은 표2와 같으며, 저경과 화구경의 차( $W_B - W_C$ )와 비교( $H$ )의 상관관계 그래프는 그림13과 같다.

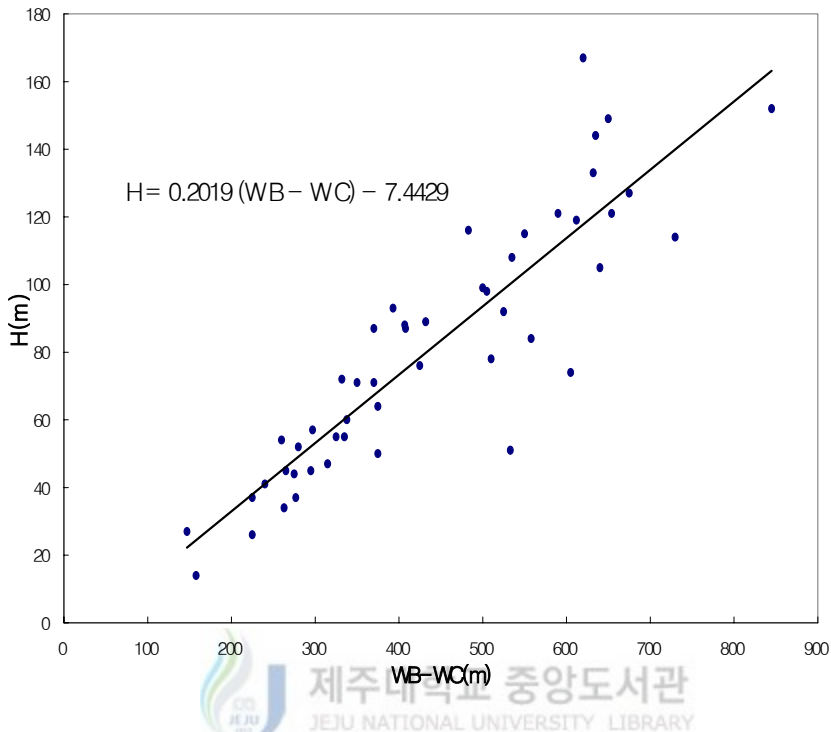


그림13. 제주도 스코리아콘의  $W_B-W_C$ 과 비교의 상관관계

저경과 화구경의 차( $W_B-W_C$ )와 비교( $H$ )의 상관관계를 알기 위해 회귀 분석을 실시한 결과 상관계수( $r$ )가 0.893으로 매우 높은 상관관계를 보여주고 있다. 그리고,  $W_B-W_C$ 와  $H$ 의 상관관계를 보여주는 회귀방정식을 구한 결과,  $H=0.2019(W_B-W_C)-7.4429$ 로 나타났다. 이 회귀방정식의 기울기인 0.2019는 연구대상 스코리아콘 평균경사도의 평균값인  $19.80^\circ$ 와 거의 같다.

박승필은 제주도 전체 스코리아콘을 대상으로  $W_B-W_C$ 와  $H$ 의 상관관계를 구했는데,  $H=0.24(W_B-W_C)-23.5$ 의 직선 관계가 존재하며 여기에서 직선의 기울기인 0.24는 스코리아콘의 사면의 평균경사각인  $25.5^\circ$ 와 같은 값을 보여주고 있다고 밝히고 있다.<sup>40)</sup> Porter도 또한 하와이의 마우나 키아

화산에 있는 스킨아콘을 대상으로  $W_B-W_C$ 와  $H$ 의 상관관계를 구했으며  $H=0.25(W_B-W_C)$ 의 관계가 있음을 밝히고 있다.<sup>41)</sup>

## 5. 저경과 화구경의 상관관계

연구대상 스킨아콘의 저경( $W_B$ )과 화구경( $W_C$ )은 표2와 같고 저경과 화구경의 관계를 그래프로 나타낸 것이 그림14이다. 스킨아콘의 저경이 클수록 화구경도 크다는 것을 알 수 있다. 연구대상 스킨아콘의 저경과 화구경의 상관관계를 알기 위해 회귀분석을 실시한 결과, 상관계수( $r$ )는 0.648로 보통의 상관관계를 보여주고 있다. 저경과 화구경의 회귀방정식은  $W_B=0.2223W_C+62.952$ 로 나타났다.

연구대상 스킨아콘의 저경에 대한 화구경의 비율( $W_C/W_B$ )은 표2와 같으며, 저경에 대한 화구경의 비율이 가장 큰 스킨아콘은 자배봉으로 0.512였고, 가장 작은 스킨아콘은 높은오름으로 0.145였다.

---

40) 박승필(1985), 전계서, p.164.

41) Stephen C. Porter(1972), *op.cit*, p.3610.



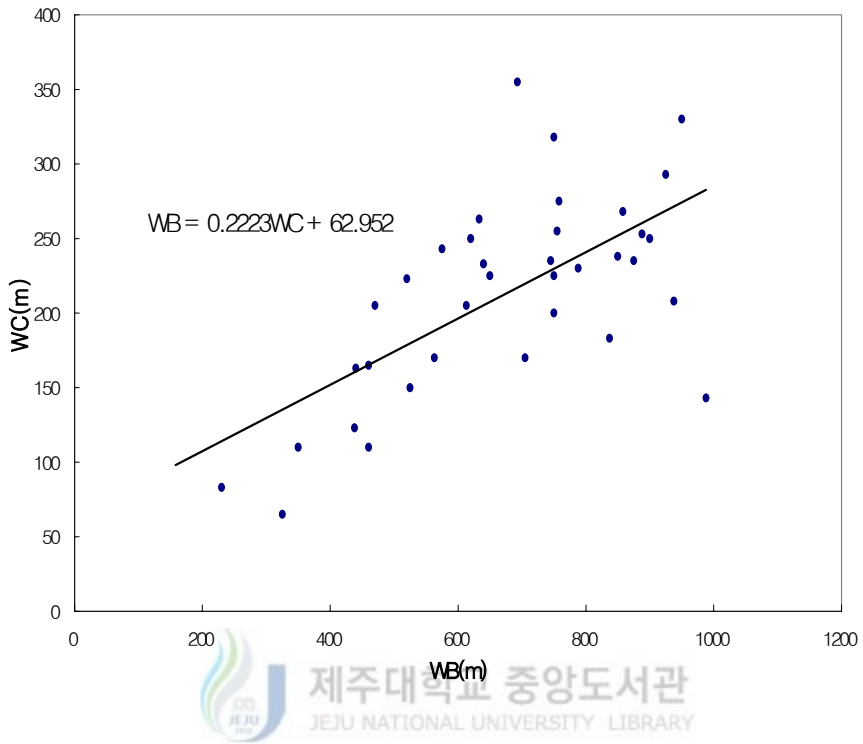


그림14. 제주도 스킨리아콘의 저경과 화구경의 상관관계



## IV. 제주도 스킨아콘의 사면발달

### 1. 스킨아콘의 사면발달

저경에 대한 비고의 비율 분석과 경사도에 대한 분석, 야외조사 결과에 대한 분석을 바탕으로 시간이 흐름에 따라 스킨아콘의 형태가 어떻게 변하는가를 구명해 보았다. 시간의 흐름에 따른 스킨아콘의 형태 변화를 Hooper와 Sheridan이 컴퓨터 시뮬레이션 모델로 제시하고 있는데, 시간의 흐름에 따라 비고가 낮아지고 저경은 커지고 화구경이 작아져서 마침내 화구가 없어지고 있다(그림15-h).<sup>1)</sup> 저경에 대한 비고의 비율( $H/W_B$ )이 점점 작아지고 경사도는 점점 완만해져서 결국 경사가 극히 완만한 스킨아콘을 이루게 된다(그림15-h).

이와 같은 환경사화 모델은 디퓨전 공식 모델(diffusion equation model)로 설명할 수 있다. 디퓨전 공식 모델에 의하면 시간이 흐름에 따라 사면의 상단 부분과 하단 부분이 점차 더 둥글어지고 사면의 중간 부분의 최대사면각이 줄어들게 된다.<sup>2)</sup> 디퓨전 공식 모델은 토양 포행에 의한 환경사화로서 시간이 흐름에 따라 평균경사도와 최대사면각이 감소한다.

---

1) D.M.Hooper, M.F.Sheridan(1998), *op.cit*, p.255.

2) 이민부(1996), 지형 연대 측정을 위한 디퓨전 공식 모형, 지리학논집 22-1, p.51.

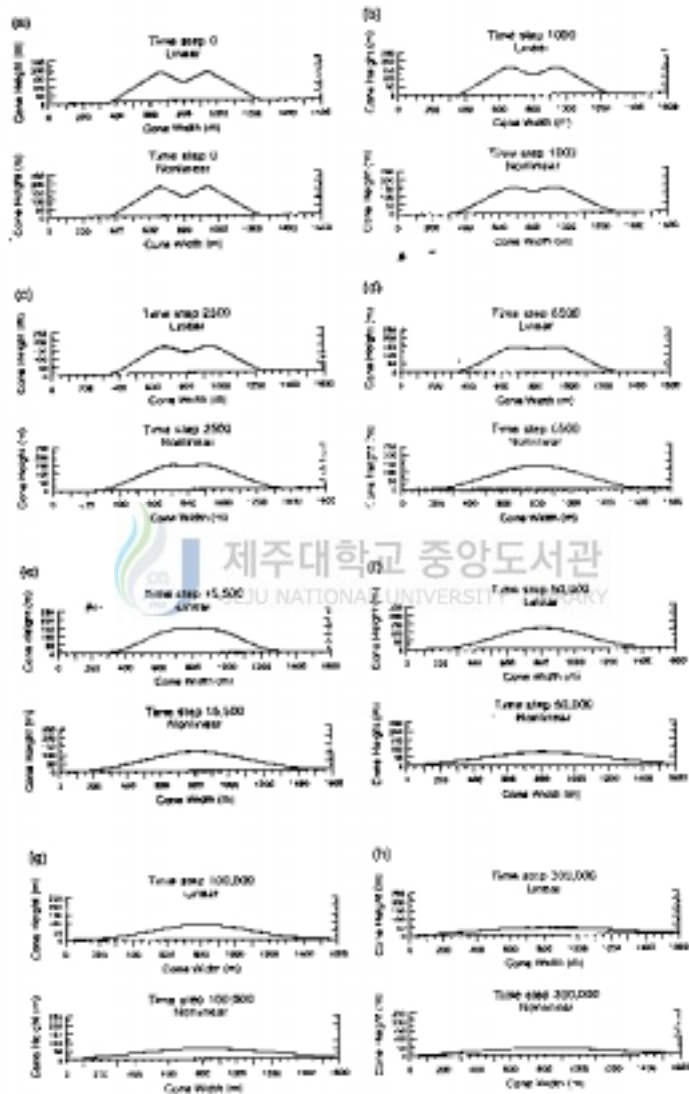


그림15. Hooper와 Sheridan의 컴퓨터 시뮬레이션 모델

## 2. 저경에 대한 비교의 비율 분석

Wood는 샌프란시스코의 화산지역에 있는 연대 측정이 되어 있는 스코리아콘을 대상으로 하여 시간이 흐름에 따라 저경에 대한 비교의 비율이 어떻게 변하는가를 그래프로 그리고 상관관계를 구했다. 저경에 대한 비교의 비율이 0.15보다 큰 경우에는 Sunset age(~1천년 전)와 Merriam age(1천년~5만년 전)로 분류했고 0.06~0.15인 경우에는 Tappan age(20만년~70만년 전), 0.06보다 작은 경우에는 Woodhouse age(80만년~300만년 전)로 분류하고 있다.<sup>3)</sup> 저경과 비교의 상관관계를 Wood의 논문에 적용시켜 본다면 저경에 대한 비교의 비율( $H/W_B$ )이 0.15보다 큰 스코리아콘은 다랑쉬(0.176), 지미봉(0.153), 병악(0.165), 발이오름(0.166), 삼의양오름(0.153), 셋케펜이오름(0.166), 천아오름(0.154), 녹하지악(0.194), 개오름(0.188), 검은덕이(0.186), 높은오름(0.154), 도두봉(0.169), 소수산봉(0.164), 법정악(0.164), 고근산(0.153), 큰취오름(0.16), 노꼬메큰오름(0.162)이다(표2)(그림7). 이 스코리아콘들은 Wood의 분류에 따르면 Sunset age(~1천년 전)와 Merriam age(1천년~5만년 전)에 해당하지만, 제주도와 샌프란시스코는 기후 조건이 다르기 때문에 단순비교는 곤란하다. 이 중에 K-Ar 측정방법에 의해 절대연대가 측정된 스코리아콘은 병악이 3만 5천년 전, 다랑쉬가 4만 9천년 전, 지미봉이 4만 9천년 전, 고근산이 9만 7천년 전, 법정악이 16만 7천년 전이다.  $H/W_B$ 을 기준으로 보면 형성시기가 오래되지 않을 것으로 예상되나 절대연대는 다양하게 나타나고 있다. 특히 형성시기가 10만년을 넘어서고 있는 스코리아콘은 법정악인데 화구가 없는 스코리아콘이다. Wood의 논문에서는 화구가 없는 스코리아콘은 상대적으로 수가 적다고 생각해서 논의 대상에서 제외했다. 그런데, 제주도에 화구가 없는 스코리아콘도 많이 분포하므로 본 논문에서는 화구가 있는 스코리아콘과 더불어 화구가 없는 스코리아콘도 함께 연구대상 스코리아콘으로 포함했다. 그런데, 화구

---

3) Wood(1980a), *op.cit.*, p.142.

가 있는 스킨아콘과 화구가 없는 스킨아콘은 경사도가 비슷할 경우에도  $H/W_B$ 이 다르게 나타난다. 즉, 경사도가 비슷할 경우 화구가 있는 스킨아콘은  $H/W_B$ 이 작고, 화구가 없는 스킨아콘은  $H/W_B$ 이 크다. 그리고, 화구가 있는 스킨아콘의 경우도 화구의 크기에 따라 다르게 나타난다.<sup>4)</sup> 즉, 경사도가 비슷할 때, 화구가 크면  $H/W_B$ 이 작고 화구가 작으면  $H/W_B$ 이 크다. 역으로 볼 때,  $H/W_B$ 이 비슷할 때 화구가 있는 스킨아콘의 경우는 경사도가 크지만, 화구가 없는 스킨아콘의 경우는 경사도가 작다.  $H/W_B$ 과 평균경사도의 관계는 그림12에 잘 나타나 있다. 이에 의하면  $H/W_B$ 이 비슷할 때 화구가 없는 스킨아콘은 화구가 있는 스킨아콘에 비해 평균경사도가 작다는 것을 한눈에 알 수 있다. 결국, 법정악의 경우는 화구가 없는 스킨아콘이기 때문에  $H/W_B(0.164)$ 이 평균경사도( $18.06^\circ$ )에 비해서도 크고<sup>5)</sup> 형성시기(16만 7천년 전)에 비해서도 크게 나타난 것이라고 생각할 수 있다(표2). 결국  $H/W_B$ 은 형성시기를 유추할 수 있는 한 가지 요소는 되지만 결코 절대적이지 않으며 특히 화구의 유무와 화구의 크기를 고려해야 한다.

Wood<sup>6)</sup>는  $H/W_B$ 이 0.15~0.06인 경우를 Tappan age로 분류하고 있는데, 시기적으로 볼 때, 20~70만년 전이다. 제주도의 연구대상 스킨아콘 중에서  $H/W_B$ 이 0.15~0.06인 경우는 바늘오름(0.145), 금오름(0.144), 민오름(0.142), 논고악(0.141), 저지오름(0.140), 물영아리(0.140), 안돌오름(0.138), 궁산(0.133), 돌오름(0.131), 죽은침오름(0.129), 비양봉(0.125), 침오름(0.123), 거린사슴(0.122), 거문오름(0.122), 가시악(0.122), 대록산(0.120), 백악이오름(0.119), 붉은오름(0.117), 괴수치(0.117), 셋케펜이(0.117), 쇠머리알오름(0.116), 용눈이오름(0.113), 유건에오름(0.110), 병곳오름(0.107), 녹남봉(0.107), 성불오름(0.105), 모라이악(0.098), 송악산(0.097), 아끈다랑쉬

4) 박승필(1985), 전개서, p.163.

5) 저경에 대한 비교의 비율의 평균값 : 0.1351  
 평균경사도의 평균값 :  $19.80^\circ$

6) Wood(1985a), *op.cit.*, p.142.

(0.096), 거린오름(0.095), 보름이오름(0.089), 자배봉(0.087), 까끄래기(0.084)이다. 이 스코리아콘들 중에서 K-Ar 측정방법에 의해서 절대연대를 알고 있는 스코리아콘은 거린사슴(0.093Ma, 0.121Ma)이 10만 7천년 전, 붉은오름이 16만 1천년 전, 용눈이오름이 17만년 전, 궁산이 19만년 전이다. 샌프란시스코의 스코리아콘의 절대연대가 20~70만년 전인데 비해 제주도의 스코리아콘은 10~20만년 전으로 나타나고 있다. 이것은 두 지역의 기후 조건의 차이, 특히 강수량과 관련이 깊다고 생각된다. 샌프란시스코(SFVF의 동부지역)의 연강수량은 380-500mm<sup>7)</sup>인데 비해 제주도의 연평균 강수량은 1,872mm이다. 즉, 제주도의 강수량이 샌프란시스코에 비해 훨씬 많기 때문에 형태적 특성( $H/W_B$ )이 비슷하게 나타날 때까지 도달하는 시간이 적게 걸린다고 생각된다. 물론 여기에서도  $H/W_B$  만으로 형성시기를 추정하는 것은 무리가 있고 다른 조건들도 함께 고려되어야 한다.

Wood는  $H/W_B$ 이 0.06 이하를 Woodhouse age로 분류하고 있으며 형성시기는 80만년-300만년 전으로 나타나고 있다. 제주도의 연구대상 스코리아콘 중에서  $H/W_B$ 이 0.06 이하인 것은 없다. 한편, 본 논문의 연구대상 스코리아콘이었다가 나중에 제외된 것으로 돈두미오름이 있는데, 돈두미오름의  $H/W_B$ 은 0.058로 0.06 이하이다. 돈두미오름은 경사도가 매우 완만하고  $H/W_B$ 이 매우 낮아서 형태상, 수치상으로는 Woodhouse age의 스코리아콘에 속한다고 생각할 수 있다. 그러나, 현지답사를 해 본 결과 구성물질이 스코리아도 전혀 없었고, 터프(tuff)도 전혀 없이 용암으로만 형성되어 있어서 스코리아콘이 아니었기 때문에 본논문의 연구대상에서 제외했다. 돈두미오름은 용암류의 말단이 주변보다 약간 높아서 그동안 오름으로 불려 왔던 것으로 생각되어진다. 특히, 돈두미오름이 소재하고 있는 대정읍 영락리 지역은 평평한 평야가 넓게 펼쳐져 있는 지역 조건 때문에 매우 완만한 경사(6.56°)임에도 불구하고 단성화산으로 인식되어 왔던 것으로 생

---

7) W.D.Sellers and R.H.Hill(1974), Arizona Climate, University of Arizona Press, Tuscon, Ariz.

각된다. 제주도의 오름 중에서 경사가 매우 완만한 오름들 중에는, 실제로는 돈두미오름처럼 용암류의 말단인 경우가 상당수 있을 것으로 생각된다. 앞으로 현지답사를 통해서 정확하게 밝혀져야 할 부분이라고 생각한다.

### 3. $H/W_B-W_C$ 분석

앞에서 고찰한 것처럼 형성시기와 관련해서 저경에 대한 비교의 비율( $H/W_B$ )을 살펴볼 때, 화구의 유무와 화구의 크기에 따라 저경에 대한 비교의 비율이 달라지기 때문에 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율( $H/W_B-W_C$ )을 구할 필요가 있다.

시간의 흐름에 따른  $H/W_B-W_C$ 의 변화는 그림16과 표2를 중심으로 하여 살펴보고자 한다. 그림16은 연구대상 스킨리아콘 중에서 K-Ar 연대측정에 의한 절대연대를 알고 있는 스킨리아콘을 대상으로 하여 그린 그래프이다. 49개의 연구대상 스킨리아콘 중에서 절대연대가 알려져 있는 스킨리아콘은 9개가 있다(표3). x축은 스킨리아콘의 형성연대(Cone Age)를 나타내고 있고 시간의 단위는 만년을 단위로 하며, y축은 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율( $H/W_B-W_C$ )을 의미한다. 형성연대와  $H/W_B-W_C$ 의 상관관계를 알기 위하여 회귀분석을 한 결과, 형성연대와  $H/W_B-W_C$  사이에는 음의 상관관계가 존재하며 상관계수(r)가  $-0.896$ 으로 나타났다. 즉, 스킨리아콘의 형성연대가 오래될수록 시간이 흐름에 따라  $H/W_B-W_C$ 이 작아지며, 형성연대와  $H/W_B-W_C$ 의 상관관계는 매우 높다. 스킨리아콘의 형성연대와  $H/W_B-W_C$ 의 회귀방정식은  $y=-0.0632\ln(x)+0.3402$ 로 나타났다. 그림16과 그 회귀방정식을 고찰하면, 시간이 흐름에 따라  $H/W_B-W_C$ 이 감소하고 있으며 또한,  $H/W_B-W_C$ 이 감소하는 정도가 작아지고 있다.

형성연대와  $H/W_B-W_C$ 의 값이 회귀방정식과 가장 비슷하게 나타나는 스킨리아콘은 지미봉, 고근산, 붉은오름, 법정악이다. 지미봉은 형성연대가



0.049Ma,  $H/W_B-W_C$ 이 0.240이고 고근산은 형성연대가 0.097Ma,  $H/W_B-W_C$ 이 0.202이다. 그리고, 붉은오름은 형성연대가 0.161Ma,  $H/W_B-W_C$ 이 0.179이며 법정악은 형성연대가 0.167Ma,  $H/W_B-W_C$ 이 0.164이다.

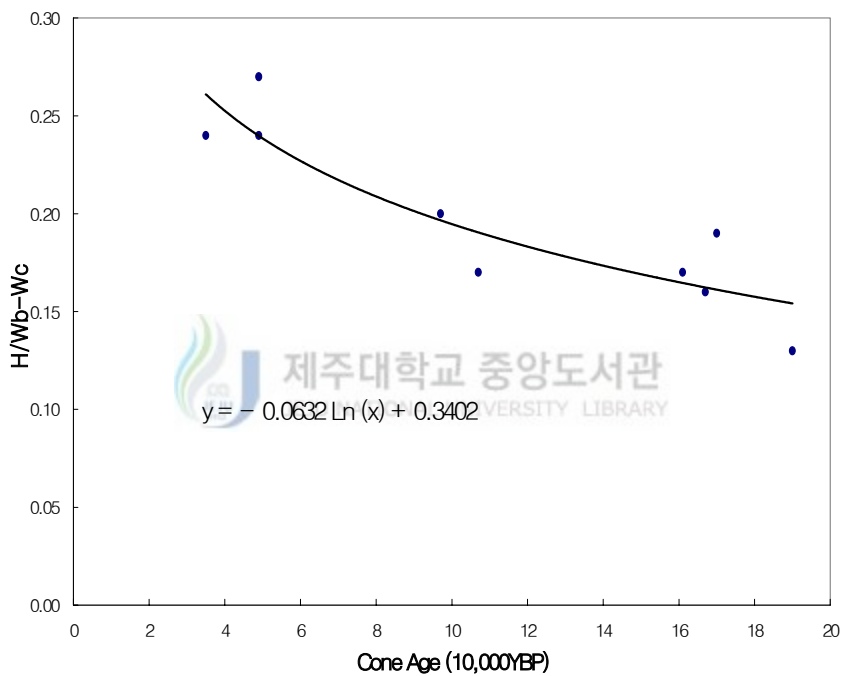


그림16. 시간의 흐름에 따른  $H/W_B-W_C$ 의 변화

#### 4. 평균경사도 분석

평균경사도와 형성연대와의 상관관계를 고찰해 볼 때, 평균경사도가 시간의 흐름에 따라 어떻게 변하는가 하는 것은 그림17과 같다.

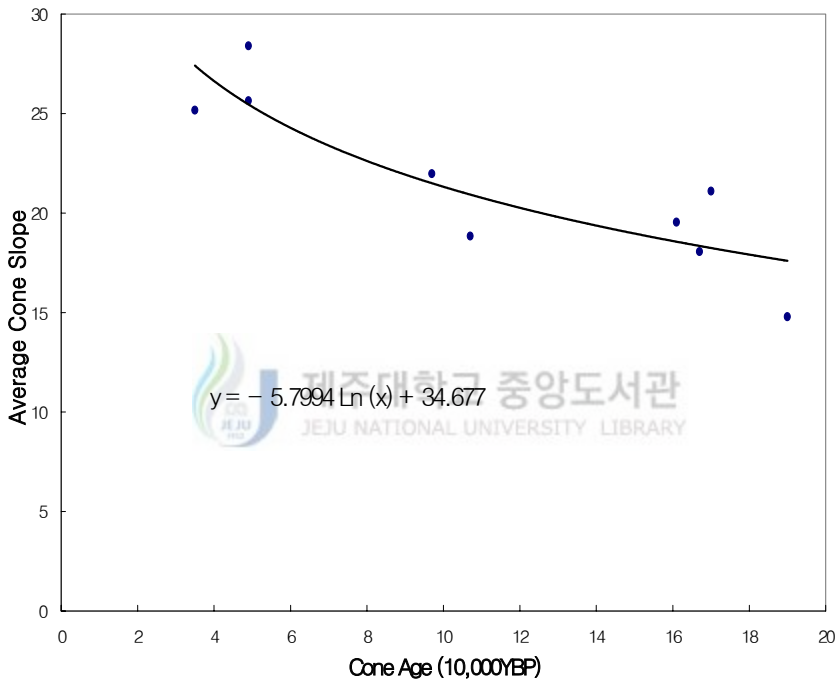


그림17. 시간의 흐름에 따른 평균경사도의 변화

그림17은 연구대상 스코리아콘 중에서 K-Ar 연대측정에 의한 절대연대를 알고 있는 스코리아콘을 대상으로 하여 그린 그래프이다. 그림16과 마찬가지로  $x$ 축은 스코리아콘의 형성연대를 나타내고 있고 시간의 단위는 만년을 단위로 하며,  $y$ 축은 평균경사도를 의미한다. 스코리아콘의 형성연대와 평균경사도의 회귀방정식은  $y = -5.7994 \ln(x) + 34.677$ 로 나타났다. 그리고, 형

성연대와 평균경사도의 상관관계를 알기 위하여 회귀분석을 실시한 결과 상관계수(r)가 -0.871로 매우 높은 음의 상관관계를 가진다. 즉, 스코리아콘의 형성연대가 오래될수록 평균경사도는 낮아진다.

형성연대와 평균경사도의 값이 회귀방정식과 가장 비슷하게 나타나는 스코리아콘은 지미봉, 고근산, 법정악이다. 지미봉은 형성연대가 0.049Ma, 평균경사도가 25.64°이고 고근산은 형성연대가 0.097Ma, 평균경사도가 21.98°이며 법정악은 형성연대가 0.167Ma, 평균경사도가 18.06°이다(표2, 표3).

시간의 흐름에 따른 평균경사도의 변화를 살펴볼 때, 시간의 흐름에 따라 평균경사도가 감소하고 있으며 또한, 평균경사도가 감소하는 정도가 작아지고 있다. 스코리아콘이 형성된 초기에는 평균경사도의 변화의 정도가 크게 나타나지만 점점 더 변화의 정도가 작다는 것을 알 수 있다. 디퓨전 공식 모델(diffusion equation model)에 의하면 사면의 굴곡이 완만해질수록 변화의 속도도 느려진다고 설명하고 있는데,<sup>8)</sup> 제주도의 스코리아콘에서도 이 모델이 적용되고 있음을 확인할 수 있다.

---

8) 이민부(2000), 사면지형과 사면이동, 「자연환경과 인간」, 한울아카데미, p.336.

## 5. 최대사면각 분석

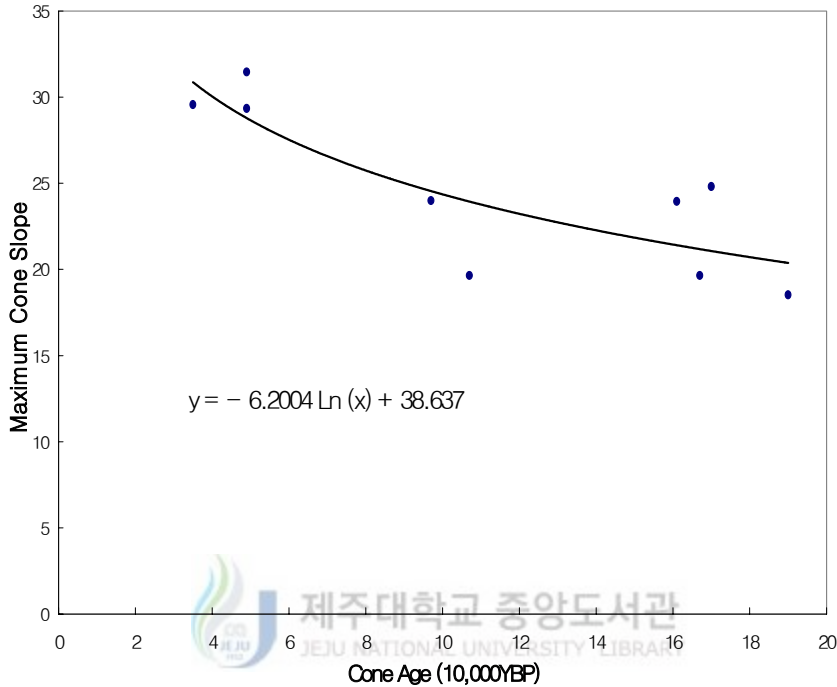


그림18. 시간의 흐름에 따른 최대사면각의 변화

그림18은 연구대상 스코리아콘 중에서 K-Ar 연대측정에 의한 절대연대를 알고 있는 스코리아콘을 대상으로 하여 그린 그래프이다. x축은 스코리아콘의 형성연대를 나타내고 있고 시간의 단위는 만년을 단위로 하며, y축은 최대사면각을 의미한다. 스코리아콘이 형성되고 나서 시간의 흐름에 따른 최대사면각의 변화를 고찰할 때, 스코리아콘의 형성연대와 최대사면각의 회귀방정식은  $y = -6.2004 \ln(x) + 38.637$ 로 나타났다. 그리고, 형성연대와 최대사면각의 상관관계를 알기 위하여 회귀분석을 한 결과 상관관계수(r)가 -0.837로 매우 높은 음의 상관관계를 가진다. 따라서, 스코리아콘의 형성연대가 오래될수록 최대사면각은 낮아진다.

스코리아콘의 형성연대와 최대사면각의 값이 회귀방정식과 가장 비슷하게 나타나는 스코리아콘이 지미봉과 고근산이다. 지미봉은 형성연대가 0.049Ma, 최대사면각이 29.35°이며 고근산은 형성연대가 0.049Ma, 최대사면각이 23.99°이다(표3). 형성연대와 최대사면각의 회귀방정식과 추세선을 고찰할 때, 시간이 흐름에 따라 최대사면각이 낮아지고 있는데, 사면의 굴곡이 완만해질수록 변화의 속도도 느려져서 최대사면각이 낮아지는 비율이 작아지고 있다.

## 6. 사면의 단면관찰

스코리아콘 사면의 단면관찰을 통해서 얻을 수 있는 중요한 성과로는 구성물질의 분석을 통해 성인(成因)을 파악하는 것이다. 스코리아콘인지, 응회구(tuff cone)·응회환(tuff ring)인지 아니면 단순히 용암류의 말단인지 하는 것은 구성물질을 분석해야 확실하게 판단할 수 있다. 물론, 형태를 통해서도 어느 정도 파악할 수 있지만 때때로 오해와 혼란의 여지가 많아서 구성물질을 분석하는 것이 확실하다. 예를 들어 우보악과 돈두미오름의 경우가 그러하다. 우보악의 경우는 일종의 응회구의 형태로 표기되고 있지만,<sup>9)</sup> 실제 야외조사를 통해 구성물질을 분석해 보면 스코리아로 구성되어 있는 스코리아콘임이 확실하다. 또한 돈두미오름의 경우는 구성물질에서 스코리아도 터프(tuff)도 발견할 수 없어서, 스코리아콘이나 응회구, 응회환이 아니라 단지 용암류의 말단이 기복을 형성하고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 지금 현재 형태적인 특징만으로 스코리아콘이나 응회구, 응회환으로 분류되고 있는 오름들을, 사면의 단면관찰을 통한 구성물질의 분석을 통해 확실하게 성인(成因)을 파악하고 분류하는 것이 필요하다고 생각한다.

야외조사를 통하여 형성시기를 파악하는데 있어서 모두 분석은 매우 중

---

9) 제주도(1999), 전게서, p.163.

요한 방법이다. 노두 관찰을 통하여 특히, 스코리아가 풍화되어서 토양화가 진전된 정도를 조사함으로써 형성시기 추정에 도움을 준다.

K-Ar 측정방법에 의한 절대연대가 3만 5천년 전인 병악의 경우 기저부에서 노두를 관찰할 수 있었는데, 스코리아의 상태가 매우 신선했다(그림 19-a). 그리고, K-Ar 측정방법에 의한 절대연대가 4만 9천년 전인 다랑쉬의 경우는 노두의 스코리아가 신선할 뿐만 아니라 토양층이 아주 얇다는 것을 관찰할 수 있었다. 다랑쉬는 대부분 새(식생)로 덮혀 있는데, 토양층이 아주 얇아서 식생이 스코리아층에 뿌리박고 있었다(그림 19-b).

반면에 바로 옆에 이웃한 아끈다랑쉬의 경우는 두꺼운 토양층을 관찰할 수 있었다(그림 19-c). 그리고, 모라이악의 경우는 노두에서 신선한 스코리아는 거의 보이지 않고 스코리아가 풍화된 토양층이 두껍게 나타나는 것으로 보아 형성시기가 오래되었을 것으로 추정된다(그림 19-d). 병악과 모라이악의 노두를 비교해 보면 매우 대조적이라는 것을 알 수 있다. 앞에서 살펴본 것처럼 노두는 다른 자료와 더불어 종합적으로 고찰할 때, 형성시기를 추정할 수 있는 자료로 가치가 있다고 생각된다.

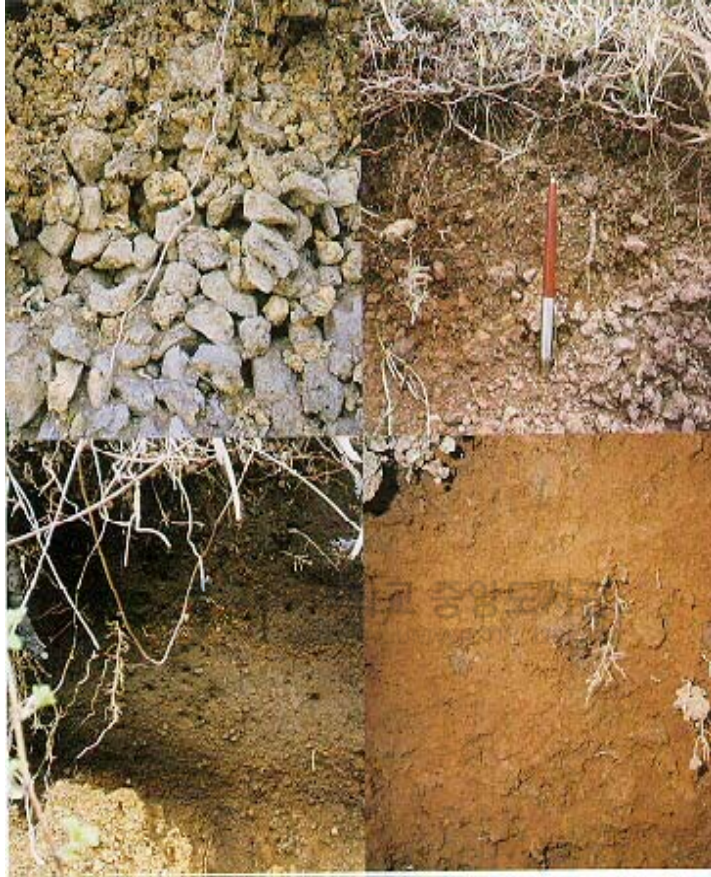


그림19. 스킨리아콘의 노두 단면 비교  
(a) 병약(0.035Ma), (b) 다랑쉬(0.049Ma)  
(c) 아끈다랑쉬, (d) 모라이악

## V. 제주도 스크리아콘의 형성시기

### 1. $H/W_B-W_C$ 과 형성시기

1/5,000 지형도를 분석한 여러 가지 자료 즉, 저경에 대한 비교의 비율 ( $H/W_B$ ), 저경과 화구경의 차에 대한 비교의 비율( $H/W_B-W_C$ ), 평균경사도 ( $\theta_{ave}$ ), 최대사면각( $\theta_{max}$ )에 대한 분석과 노두단면의 관찰결과, K-Ar 절대연대 측정자료를 종합하여 제주도 스크리아콘의 형성순서와 형성시기를 고찰하겠다. 그 중에서도 형성순서와 형성시기 고찰의 가장 중요한 근거로 삼고자 하는 것은  $H/W_B-W_C$ 의 값(표2)과 K-Ar 절대연대 측정자료(표3)이다. K-Ar 절대연대 측정자료에 의한 형성연대(Cone Age)와  $H/W_B-W_C$ 의 상관관계를 그래프로 나타낸 것이 그림16이며, 그 회귀방정식은  $y=-0.0632Ln(x)+0.3402$  ( $x$ : 형성연대(단위 만년),  $y$ :  $H/W_B-W_C$ )이다. 이 회귀방정식을 토대로 하여 제주도 형성사와 관련하여 연구대상 스크리아콘의 형성순서와 형성시기를 고찰하고자 한다.

제주도의 형성사는 4단계로 구분할 수 있는데, 제1분출기는 해수면 아래의 기저부가 형성된 시기로 94~120만년 전이며, 제2분출기는 용암대지의 형성기로 37~60만년 전이다. 제3분출기는 제주도 중앙부에서의 중심분화에 의해 한라산 순산화산체가 형성된 시기로 12~37만년 전이고, 제4분출기는 12만년 전부터 시작한 후화산 활동기이다.

여기에서 제2분출기와 제3분출기의 경계를 이루는 형성연대가 37만년 전이고, 제3분출기와 제4분출기의 경계를 이루는 형성연대가 12만년 전이다. 형성연대와  $H/W_B-W_C$ 의 회귀방정식  $y=-0.0632Ln(x)+0.3402$  에서  $x$ 값(형성연대, 단위:만년)이 37일 때  $y$ 값( $H/W_B-W_C$ )은 0.112이고,  $x$ 값이 12일 때  $y$ 값은 0.183이다(그림16).



이 값을 그림13. 제주도 스킨리아콘의  $W_B-W_C$ 와 비교의 상관관계 그래프에 적용해서 제주도 스킨리아콘의 형성시기를 구분할 수 있다(그림20). 즉,  $H/W_B-W_C$ 이 0.183보다 크면 제4분출기(12만년 전 이후)에 분출한 스킨리아콘이고,  $H/W_B-W_C$ 이 0.112~0.183이면 제3분출기(12~37만년 전)에 분출한 스킨리아콘이며,  $H/W_B-W_C$ 이 0.112보다 작으면 제2분출기(37~60만년 전)에 분출한 스킨리아콘이다.

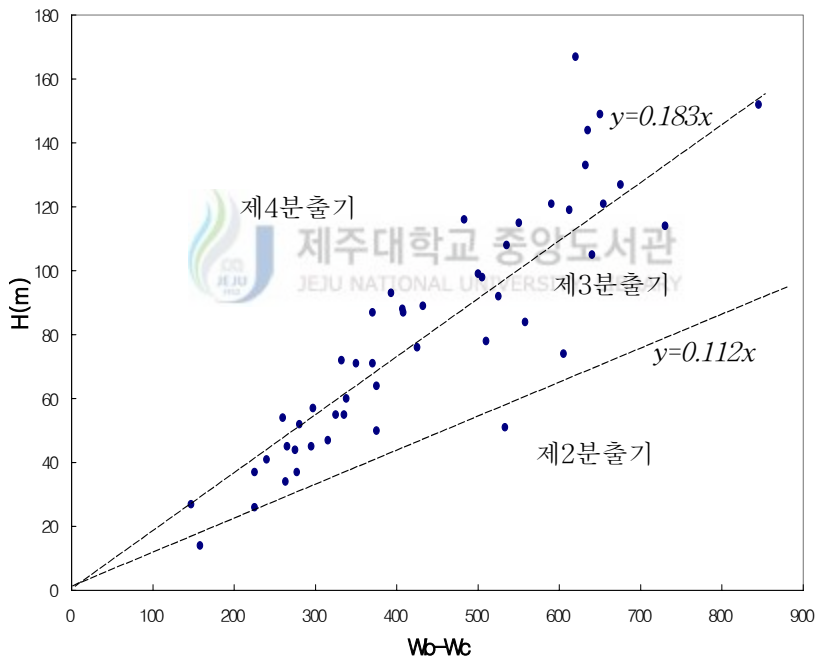


그림20. 제주도 스킨리아콘의 형성시기 구분

## 2. 제4분출기의 스코리아콘

$H/W_B-W_C$ 과 K-Ar 절대연대 측정자료를 기준으로 해서 연구대상 스코리아콘의 형성시기를 구분할 때, 제4분출기(현재~12만년 전)에 형성되었으리라고 추정되는 스코리아콘은 병약(0.035Ma), 다랑쉬(0.049Ma), 지미봉(0.049Ma), 저지오름, 발이오름, 노꼬메큰오름, 비양봉, 안돌오름, 민오름, 금오름, 삼의양오름, 셋케펜이, 백약이오름, 논고악, 천아오름, 고근산(0.097Ma), 돌오름, 물영아리, 녹하지악, 유건에오름, 개오름, 바늘오름, 검은덕이, 셋케펜이, 거린사슴(0.093Ma, 0.121Ma)이다.

K-Ar 절대연대가 0.049Ma이며 스코리아콘 형성 초기의 형태를 지니고 있는 다랑쉬의 형태적 특징을 통해서 이 시기 스코리아콘의 특징을 살펴볼 것이다. 다랑쉬는 비고가 167m, 저경이 950m, 화구경이 330m이다. 그리고, 저경에 대한 화구경의 비율이 0.347이고 저경에 대한 비고의 비율이 0.176이며  $H/W_B-W_C$ 이 0.269이다. 또한, 평균경사도가 28.40°로 가장 크고 최대사면각 역시 31.46°로 가장 크다. 그림2와 그림21은 다랑쉬의 사면 특성을 볼 수 있는 사진인데, 경사가 급할 뿐만 아니라 직선사면이 발달해 있다는 것을 알 수 있다. 그림19-b는 다랑쉬의 노두를 보여주고 있는데, 스코리아의 상태가 신선할 뿐만 아니라 토양층이 매우 얇다. 그리고 K-Ar 절대연대가 같은 다랑쉬와 지미봉이 거의 비슷한 사면의 모습을 보여주는 것도 흥미로웠다(그림21, 그림22).



그림21. 다랑쉬의 사면



그림22. 지미봉의 사면

### 3. 제3분출기의 스코리아콘

그리고,  $H/W_B-W_C$ 이 0.183보다 작고 0.112보다 커서  $H/W_B-W_C$ 과 K-Ar 절대연대를 기준으로 할 때 제3분출기(12~37만년 전)에 형성되었으리라고 추정되는 스코리아콘은 높은오름, 붉은오름(0.161Ma), 자배봉, 칩오름, 괴수치, 아끈다랑쉬, 도두봉, 대록산, 소수산봉, 법정악(0.167Ma), 큰칩오름, 거문오름(물찻), 성불오름, 모라이악, 병곳오름, 녹남봉, 까끄래기, 궁산(0.190Ma), 죽은칩오름, 가지악, 쇠머리알오름이다.

이 시기의 특징을 살펴볼 수 있는 대표적 스코리아콘으로 도두봉이 있다. 도두봉은  $H/W_B-W_C$ 이 0.169이며 평균경사도가 18.68°, 비고가 55m, 저경이 325m이다. 그림23은 도두봉의 사면의 특성을 보여주고 있는데, 다랑쉬에 비할 때 상당히 완만한 사면의 모습을 보여주고 있다.

그리고 이 시기의 스코리아콘 중에서 녹남봉은 토양화가 많이 진전되어 화구 안에 농경지가 조성되어 있으며 밀감밭이 분포하고 있다(그림24).



그림23. 도두봉의 사진



그림24. 녹남봉 화구 안의 밀감밭

#### 4. 제2분출기의 스코리아콘

그리고,  $H/W_B-W_C$ 이 0.112보다 작아서 제2분출기(37~60만년 전)에 형성되었으리라고 추정되는 스코리아콘은 거린오름과 보름이오름이다.

이 시기의 특징을 보여주는 대표적인 스코리아콘으로는 보름이오름이 있다(그림25). 보름이오름의 비고는14m, 저경은 158m, 화구는 없고, 평균경사도는 10.20°이다. 저경에 대한 비고의 비율은 0.089,  $H/W_B-W_C$ 도 0.089로서  $H/W_B-W_C$ 이 연구대상 스코리아콘 중에서 가장 작다. 보름이오름은 연구대상 스코리아콘 중에서 비고, 저경, 평균경사도,  $H/W_B-W_C$ 이 가장 작은 스코리아콘이다. 그림25에서 보름이오름은 기저부가 경작지로 이용되는 것을 알 수 있는데, 이것도 역시 토양화의 진전을 통해서 형성시기가 오래되었다는 것을 보여주는 증거가 된다. 경작지화 되었는지의 여부는 토양화 정도를 알 수 있는 지표가 되며 따라서 형성시기를 추정하는데 도움을 준다.



그림25. 보름이오름의 사진

## VI. 결 론

제주도의 스코리아콘을 대상으로 하여 사면 형태의 특징과 시간의 흐름에 따른 사면 발달과정을 밝히고, 이것을 토대로 스코리아콘의 형성순서와 형성시기를 고찰한 결과는 다음과 같다.

1. 49개의 연구대상 스코리아콘 비교의 평균치는 81m, 저경의 평균치는 615m, 화구경의 평균치는 213m, 평균경사도의 평균치는 19.80°이다.

2. 연구대상 스코리아콘의 사면형태의 특징을 알기 위해 회귀분석을 한 결과, 저경과 비교는 상관계수(r)가 0.905로 매우 높은 상관관계를 보여주었고, 회귀방정식이  $H=0.1461W_B-5.9132$ 로 나타났다. 그리고, 저경과 화구경의 차( $W_B-W_C$ )와 비교(H)는 상관계수(r)가 0.893으로 매우 높은 상관관계를 보여주며, 회귀방정식이  $H=0.2019(W_B-W_C)-7.4429$ 로 나타났다. 이 회귀방정식의 기울기인 0.2019는 연구대상 스코리아콘 평균경사도의 평균값인 19.80°와 거의 같다. 또한, 연구대상 스코리아콘의 저경( $W_B$ )과 화구경( $W_C$ )은 상관계수(r)가 0.648로 보통의 상관관계를 보여주며 저경과 화구경의 상관관계식은  $W_B=0.2223W_C+62.952$ 로 나타났다.

3. 시간의 흐름에 따른  $H/W_B-W_C$ 의 변화를 살펴보기 위해 형성연대와  $H/W_B-W_C$ 의 상관관계를 알기 위해 회귀분석을 한 결과, 형성연대와  $H/W_B-W_C$  사이에는 음의 상관관계가 존재하며 상관계수(r)가 -0.896으로 나타났다. 즉, 스코리아콘의 형성연대가 오래될수록 시간이 흐름에 따라  $H/W_B-W_C$ 이 작아지며, 형성연대와  $H/W_B-W_C$ 의 상관관계는 매우 높다. 스코리아콘의 형성연대와  $H/W_B-W_C$ 의 회귀방정식은  $y = -0.0632Ln(x) + 0.3402$ 로 나타났다. 시간의 흐름에 따른 평균경사도의 변화를 살펴볼 때,

시간의 흐름에 따라 평균경사도가 감소하고 있으며 또한, 평균경사도가 감소하는 정도가 작아지고 있다. 스킨리아콘의 형성연대와 평균경사도의 회귀방정식은  $y = -5.7994 \ln(x) + 34.677$ 로 나타났다. 그리고, 상관계수(r)가 -0.871로 매우 높은 음의 상관관계를 가진다. 시간의 흐름에 따른 최대사면각의 변화를 고찰할 때, 스킨리아콘의 형성연대와 최대사면각의 회귀방정식은  $y = -6.2004 \ln(x) + 38.637$ 로 나타났다. 그리고, 형성연대와 최대사면각의 상관관계를 알기 위해 회귀분석을 한 결과 상관계수(r)가 -0.837로 매우 높은 음의 상관관계를 가진다. 따라서, 스킨리아콘의 형성연대가 오래될수록 최대사면각은 감소한다.

4. 제주도의 형성사를 4단계로 구분할 때, 제2분출기와 제3분출기의 경계를 이루는 형성연대가 37만년 전이고, 제3분출기와 제4분출기의 경계를 이루는 형성연대가 12만년 전이다. 형성연대와  $H/W_B - W_C$ 의 상관관계식  $y = -0.0632 \ln(x) + 0.3402$ 에서  $x$ 값(형성연대, 단위:만년)이 37일 때  $y$ 값( $H/W_B - W_C$ )은 0.112이고,  $x$ 값이 12일 때  $y$ 값은 0.183이다. 이 값을 제주도 스킨리아콘의  $W_B - W_C$ 과  $H$ 의 상관관계 그래프에 적용해서 제주도 스킨리아콘의 형성시기를 구분할 수 있다.  $H/W_B - W_C$ 이 0.183보다 크면 제4분출기(현재~12만년 전)에 분출한 스킨리아콘이고,  $H/W_B - W_C$ 이 0.112~0.183이면 제3분출기(12~37만년 전)에 분출한 스킨리아콘이며,  $H/W_B - W_C$ 이 0.112보다 작으면 제2분출기(37~60만년 전)에 분출한 스킨리아콘이다.  $H/W_B - W_C$ 과 K-Ar 절대연대 측정자료를 기준으로 해서 연구대상 스킨리아콘의 형성시기를 구분할 때, 제4분출기에 형성되었으리라고 추정되는 스킨리아콘은 병약(0.035Ma), 다랑쉬(0.049Ma), 지미봉(0.049Ma), 저지오름, 발이오름, 노꼬메큰오름, 비양봉, 안돌오름, 민오름, 금오름, 삼의양오름, 셋케펜이, 백약이오름, 논고약, 천아오름, 고근산(0.097Ma), 돌오름, 물영아리, 녹하지악, 유건에오름, 개오름, 바늘오름, 검은덕이, 셋케펜이, 거린사슴(0.093Ma, 0.121Ma)이다.  $H/W_B - W_C$ 이 0.112~0.183으로  $H/W_B - W_C$ 과



K-Ar 절대연대를 기준으로 할 때 제3분출기에 형성되었으리라고 추정되는 스코리아콘은 높은오름, 붉은오름(0.161Ma), 자배봉, 칩오름, 괴수치, 아끈다랑쉬, 도두봉, 대륙산, 소수산봉, 법정약(0.167Ma), 큰칩오름, 거문오름(물찻), 성불오름, 모라이악, 병곳오름, 녹남봉, 까끄래기, 궁산(0.190Ma), 죽은칩오름, 가시악, 쇠머리알오름이다.  $H/W_B - W_c$ 이 0.112보다 작아서 제2분출기에 형성되었으리라고 추정되는 스코리아콘은 거린오름과 보름이오름이다.

# 참 고 문 헌

## 1. 한국 문헌

### <논 문>

- 김우관·전영권(1987), “제주도 기생화산의 사면 형태,” 「지리학 연구」, 제8호, 경북대학교 사회과학대학 지리학과, pp.47-68.
- 박승필(1985), “제주도 측화산에 관한 연구,” 「전남대학교 논문집」, 제30집, pp.159-166.
- 손인석(1980), “제주도에 분포하는 기생화산의 유형분류에 관한 연구,” 석사학위논문, 고려대학교 교육대학원.
- \_\_\_\_\_(1997), “제주화산도의 암석층서 및 연대층서,” 박사학위논문, 제주대학교 대학원.
- 오남삼(1991), “산방산지구 용암분출순서 탐사연구,” 「제주문화의 재조명」, 일념, pp.202-235.
- 원종관(1975), “제주도의 형성 과정과 화산 활동에 관한 연구,” 박사학위논문, 건국대학교.
- \_\_\_\_\_(1976), “제주도에 분포하는 화산구의 구조 해석에 관한 연구,” 건국대학교 이학논집, 제2집, pp.33-43.
- 원종관·이문원·윤성효·고보균(1998), “제주도 남동부 표선 지역 화산암류의 지구화학적 특징,” 지질학회지 제34권 제3호, pp.172-191.
- 윤정수(1995), “제주도 북사면의 기생화산체에 대한 연구,” 「제주대학교 해양연구소 연구보고」, 19권, pp.25-38.
- 이동영(1994), “제주도의 화산활동사,” 「제주도편 한국의 영산 한라산」.
- 이문원(1994), “제주도의 형성사와 지질구조,” 「제주도 지하수자원의 환경학적 보전과 개발 이용」, pp.54-74.

- 이문원 · 원종관 · 이동영 · 박계현 · 김문섭(1994), “제주도 남사면 화산암류의 화산층서 및 암석학적 연구,” 지질학회지 제30권 제6호, pp.521-541.
- 이민부(1996), “지형 연대 측정을 위한 디퓨전 공식 모형,” 「지리학논집」, 제22권, 제1호, pp. 49-59.
- \_\_\_\_\_(1999), “디퓨전 공식 모형을 이용한 한국 사면 지형의 연대 측정 연구,” 「대한지리학회지」, 제34권, 제4호, pp.371-384.
- 이승호(1999), “제주도 지역의 강수 분포 특성,” 「대한지리학회지」, 제34권, 제2호, pp. 123-136.
- 황재하(1988), “제주도 두산봉 일대의 지질과 화산활동 연구,” 석사학위논문, 전남대학교 대학원.

<단행본>



- 김태호(2000), “화산지형,” 「자연환경과 인간」, 한울 아카데미, pp.441-466.
- 북제주군(1991), 「북제주군 지역 기생화산(오름)에 관한 학술조사 보고서」
- 서귀포시(2000), 「지하수영향조사서(대포지구 발기반정비사업에 따른 지하수개발)」
- 이민부(2000), “사면지형과 사면이동,” 「자연환경과 인간」, 한울 아카데미, pp. 314-341.
- 제주도(1999), 「제주의 오름」

## 2. 동양문헌

### <논문>

李文遠(1982), “韓國, 濟州火山島の 地質,” 「巖石鑛物鑛床學會誌」, 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.

長谷中 利 昭・李文遠・藤卷宏和・北風 嵐・宮本 毅・谷口宏充(1998), “韓國, 濟州島の 單成火山の 地形學的 特徴,” 「東北アジア研究」, 2, 21-39.



## 3. 서양 문헌

### <논문>

Hooper, D. M. and Sheridan, M. F.(1998), "Computer-simulation models of scoria cone degradation," *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 83, pp.241-267.

McGetchin, T. R., Settle, M. and Chouet, B. A(1974), "Cinder Cone Growth Modeled After Northeast Crater, Mount Etna, Sicily," *Journal of Geographical Research*, Vol. 79, No. 23, pp.3257-3272.

Porter, S. C.(1972), "Distribution, Morphology, and Size Frequency of Cinder Cones on Mauna Kea Volcano, Hawaii," *Geological Society of America Bulletin*, Vol.83, pp.3607-3612.

- Settle, M.(1979), "The Structure and Emplacement of Cinder Cone  
Fieldes," American Journal of Science, Vol. 279, pp.1089-1107.
- Tibaldi, A.(1995), "Morphology of pyroclastic cones and tectonics,"  
Journal of Geographical Research, Vol. 100, No. B12, pp.24,521-  
24,535.
- Wood, C. A.(1980a), "Morphometric analysis of cinder cone  
degradation," Journal of Volcanology and Geothermal Reserch,  
pp.137-160.
- \_\_\_\_\_ (1980b), "Morphometric evolution of cinder cones,"  
Journal of Volcanology and Geothermal Reserch, pp.387-413.

<Abstract>

## A Study on the Morphology and Development of Scoria Cone Slope in Cheju Island

Hyun, Kyung-Hee

Geography Education Major

Graduate school of Education, Cheju National University

Cheju, Korea

Supervised by Professor Kim, Tae-Ho

This research is to search for the characteristics of the slope shape and the chronological process of the slope development using the 49 scoria cones in Cheju Island, and based on the findings, to examine the formation sequence and time of the scoria cones in Cheju Island.

The scoria cones examined in the research are 81m in average height( $H$ ), 615m in average basal diameter( $W_B$ ), 213m in average crater diameter( $W_C$ ) and  $19.80^\circ$  in average cone slope angle( $\theta_{ave}$ ). According to the results to examine the characteristics of their slope shapes, there are very close correlations between basal diameter and height and between the difference between basal diameter and crater diameter( $W_B - W_C$ ) and height, and there is an ordinary correlation between basal diameter and crater diameter.

The formation age of the scoria cones is correlated negatively with the ratio of height to the difference between the crater diameter and the

basal diameter( $H/W_B-W_C$ ), with the average cone slope angle, and with the maximum cone slope angle. Accordingly, as the formation age grows older,  $H/W_B-W_C$ , the average cone slope angle and the maximum cone slope angle become smaller and the decreasing rate becomes smaller as well.

Considering based on the regression equation of the formation age and  $H/W_B-W_C$ , it is estimated that, if  $H/W_B-W_C$  is more than 0.183, the scoria cones are formed in the Fourth Eruption Period(the present~120 thousand years ago), if  $H/W_B-W_C$  is between 0.112~0.183, the scoria cones are formed in the Third Eruption Period(120 thousand years ago~370 thousand years ago), and if  $H/W_B-W_C$  is less than 0.112, the scoria cones are formed in the Second Eruption Period(370 thousand years ago~600 thousand years ago). When the examined scoria cones are classified according to their formation age based on  $H/W_B-W_C$  and K-Ar absolute age measurement data, the scoria cones presumably formed in the Fourth Eruption Period are Byungak(0.035Ma), Darangsh(0.049Ma), Kumorm, Sameuyangorm and so on. The scoria cones presumably formed in the Third Eruption Period are Bulgunorm(0.161Ma), Dodubong, Bubjungak(0.167Ma), Noknambong and so on, and the scoria cones presumably formed in the Second Eruption Period are Georinorm and Borumiorm.

## 감사의 글

논문의 시작부터 끝까지 깊은 관심과 정성으로 세심하게 지도해주시고 함께 답사해주신 김태호 지도교수님께 먼저 감사드립니다. 뜨거운 열정으로 학문하는 자세를 몸소 실천하시고 항상 격려해주신 송성대 교수님, 힘들 때마다 힘과 용기를 주시고 즐겁게 공부할 수 있도록 배려해주신 손명철 교수님, 컴퓨터를 이용한 그래프 작성과 통계분석에 크게 도움을 주신 권상철 교수님에게 고마운 마음을 드립니다.

대학원 재학동안 마음으로 많이 성원해주시고 배려해주신 대정여고 선생님들에게 감사드립니다. 서로 격려하며 함께 학문의 길을 걸어온 동료 대학원생들 김영철 선생님, 김정숙 선생님, 김지수 선생님에게도 고마운 마음을 전합니다.

그리고, 항상 아름다운 매력으로 다가와 이제는 마음의 친구가 된 이 논문의 주인공 제주의 오름들에게 고마운 마음을 전합니다.

끝으로 이 논문을 쓰는 동안 물심양면으로 도와주고 마음껏 연구할 수 있는 여건을 만들어주고 지원을 아끼지 않은 부모님, 남편과 아이들 주연, 성현, 남훈에게 커다란 사랑과 고마움을 드립니다.

이 모든 분들의 사랑과 배려, 도움이 없었으면 이 논문을 쓸 수 없었을 것입니다. 그 고마움을 가슴깊이 간직하고 베풀 수 있는 삶을 위해 노력하겠습니다.