



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

목 차

List of Tables	iv
List of Figures	v
I. 서론	1
II. 지질개요	4
III. 연구방법	9
IV. 단성화산체의 분류와 정의	16
1. 정의	16
1) 분석구	16
2) 응회환, 응회구와 마르	17
2. 구성물질	19
1) 스크리아구	19
2) 수성쇄설성 화산체	22
3. 형태와 내부 구조	26
1) 스크리아구	26
2) 응회환, 응회구와 마르	30
V. 제주도 단성화산체	32
1. 제주도 단성화산체의 지역별 분포와 개수	32
2. 제주도 단성화산체의 고도별 분포와 개수	43
3. 제주도 단성화산체의 사면경사각의 계산	45
1) 높이(H)	45
2) 기저면의 직경(W_B)	48

3) 분화구의 직경(W_c)	48
4) 사면경사각	51
5) 단성화산체의 형태별 사면경사각	53
5-1) 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것의 사면경사각	53
5-2) 순상화산체의 사면경사각	55
5-3) 응회환, 응회구, 마르의 사면경사각	55
5-4) 용암돔의 사면경사각	58
VI. 제주도 분석구의 사면경사각의 계산	61
1. 분석구의 높이	62
2. 분석구의 기저면의 직경	62
3. 분석구의 분화구의 직경	62
4. 분석구의 사면경사각	66
5. 분석구의 형태와 각 파라메타 간의 상관관계	69
6. 분석구의 터진 방향	72
7. 분석구에 대한 절대 연령과 형태적 연령의 상관관계	77
VII. 제주도 단성화산체의 부피	80
1. 단성화산체의 도폭별 부피	84
2. 단성화산체의 형태별 부피	84
1) 분석구의 부피	84
2) 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것의 부피	85
3) 순상화산체의 부피	87
4) 응회환, 응회구, 마르의 부피	88
5) 용암돔의 부피	88

3. 제주도의 전체 부피	89
VIII. 지질구조와 응력장의 해석	92
IX. 토의	98
X. 결론	102
참고문헌	107
Appendix	114
Abstract	123
감사의 글	

List of Tables

Table 1. Distribution of monogenetic volcanoes of each topographic/ geological map (1:50,000) in Jeju Island, Korea.	34
Table 2. Distribution of small nested cinder cone (al-oreum) of each topographic/geological map (1:50,000) in Jeju Island, Korea.	35
Table 3. Maximum and minimum of morphological parameters for monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.	47
Table 4. Maximum and minimum of morphological parameters for cinder cones in Jeju Island, Korea.	64
Table 5. Comparison of slope angle and K-Ar and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochrono- -logical data of the monogenetic volcanoes.	78

List of Figures

Fig. 1. Simplified geological map of Jeju Island, Korea.	5
Fig. 2. Aerial shadow relief map of Jeju Island, Korea.	6
Fig. 3. Typical morphology of monogenetic volcanoes. (a) rounded cone without crater (RC; Dodubong), (b) symmetrical cone (SC; Baekyaki-oreum), (c) breached cone (BC; Nyungseori-oreum), (d) crescent shape cone (CC; Bonji-oreum), (e) disaggregated cone (DC; Dang-oreum), (f) elongated cone (EC; Youngcheonak), (g) sharp-pointed cinder cone without crater (SP-C; Nokhagiak), (h) sharp-pointed lava cone without crater (SP-L; Deodeo-oreum), (i) shield volcano (SH; Gaejukeunsanseong), (j) tuff ring (TR; Songaksan tuff ring), (k) tuff cone (TC; Dangsanbong), (l) maar (MR; Hanon), (m) lava dome (LD; Sambangsan).	11
Fig. 4. Morphology and internal structure of a scoria cone.	21
Fig. 5. Lateral facies variations of base surges, Jeju Island, Korea.	23
Fig. 6. Simple model of cone parameters.	27
Fig. 7. Growth stages of scoria cones.	29
Fig. 8. Pie chart of distribution of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.	36
Fig. 9. Pie chart of distribution of monogenetic volcanoes of each topographic/geological map (1:50,000) in Jeju Island, Korea. (a) Hallim, (b) Jeju, (c) Seongsan, (d) Moseulpo, (e) Seogwi, (f)	

Pyoseon.	38
Fig. 10. Pie chart of distribution of small nested cinder cone (al-oreum) in Jeju Island, Korea.	41
Fig. 11. Histogram of basal elevation (E_B) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.	44
Fig. 12. Histogram of height (H) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.	46
Fig. 13. Histogram of basal diameter (W_B) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.	49
Fig. 14. Histogram of crater diameter (W_C) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.	50
Fig. 15. Histogram of slope angle (Θ) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.	52
Fig. 16. Histogram of SP-L morphological parameter frequency in Jeju Island, Korea. (a) height, (b) basal diameter, (c) slope angle.	54
Fig. 17. Histogram of shield volcanoes morphological parameter frequency in Jeju Island, Korea. (a) height, (b) basal diameter, (c) slope angle.	56
Fig. 18. Histogram of tuff ring, tuff cone and maar morphological parameter frequency in Jeju Island, Korea. (a) height, (b) basal diameter, (c) crater diameter, (d) slope angle.	57
Fig. 19. Histogram of lava domes morphological parameter frequency in Jeju Island, Korea. (a) height, (b) basal diameter, (c) slope angle.	

.....	59
Fig. 20. Histogram of cinder cones height (H) frequency in Jeju Island, Korea.	63
Fig. 21. Histogram of cinder cones basal diameter (W_B) frequency in Jeju Island, Korea.	65
Fig. 22. Histogram of cinder cones crater diameter (W_C) frequency in Jeju Island, Korea.	67
Fig. 23. Histogram of cinder cones slope angle (Θ) frequency in Jeju Island, Korea.	68
Fig. 24. (a) H vs. W_B diagram and (b) W_C vs. W_B diagram for cinder cones in Jeju Island, Korea.	70
Fig. 25. Rose diagram of breached direction for BC and CC of Jeju Island, Korea.	73
Fig 26. Rose diagram of breached direction of each topographic/geological map (1:50,000) in Jeju Island, Korea. (a) Hallim, (b) Jeju, (c) Seongsan, (d) Moseulpo, (e) Seogwi, (f) Pyoseon.	74
Fig. 27. Slope angle (Θ) vs. geochronological data of cinder cones in Jeju Island, Korea and America.	79
Fig. 28. Histogram of volume frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea. (a) monogenetic volcanoes, (b) cinder cones, (c) SP-L, (d) shield volcanoes, (e) tuff ring, tuff cone and maar, (f) lava domes.	81
Fig. 29. (a) Volcanic Explosivity Index (VEI) and (b) histogram of VEI	

frequency for cinder cones in Jeju Island, Korea.	86
Fig. 30. Contour map showing submarine and aerial topography around Jeju Island, Korea. A-A'; the major axis, B-B'; the extended major axis, C-C'; the minor axis, D-D'; the extended minor axis.	90
Fig. 31. Fracture forms of Jeju Island. N43°E or N77°W trends (straight lines) are the expected shear fracture and N73°E trends (dotted lines) are the expected extensional fracture. (a) N45°E, (b) N49°E, (c) N40°E, (d) N27°E, (e) N55°E, (f) N67°W, (g) N76°W, (h) N82°W, (i) N72°W, (j) N60°W, (k) N50°W, (l) N70°E, (m) N67°E, (n) N73°E, (o) N64°E, (p) N77°E, (q) N67°E. ◆; $\theta \leq$ 10°, ●; $10^\circ < \theta \leq 24^\circ$, ■; $\theta > 24^\circ$	94

I. 서 론

제주도는 한반도 남서쪽 남해의 수심 100m~200m 내외의 대륙붕 위에 위치한다. 최고봉인 한라산은 해발 고도가 1950m이며, 정상에는 지름이 585m×375m, 깊이가 약 100m에 이르는 분화구(고정선 등, 2003)를 가진다. 동북동-서남서 방향으로 74km의 장축과 이에 수직인 북북서-남남동 방향으로 32km의 단축을 가지는 면적 1,825km²의 제주도는 우리나라에서 가장 큰 규모의 화산섬이며 대체적으로 순상화산의 지형을 가지고 있다.

또한 이 순상화산체에는 360여 개의 단성화산체(황상구, 2000)가 집중적으로 분포하여 단성화산체군을 이루고 있으며, 이들 단성화산체군은 현재까지 알려진 한반도의 화산활동 중에서 가장 젊은 화산활동기를 대표하며(이문원, 1982), 화산지형의 보존이 비교적 양호한 편이다.

제주도는 5단계 이상의 화산활동 주기(원종관, 1976a)를 거치면서 여러 분화구에서 수십 회 이상의 현무암 용암을 분출하여 이루어진 섬으로서, 특이한 화산 지형들이 많이 발달되어 있으며 주로 용암류와 약간의 화성쇄설암, 유리쇄설암 및 퇴적층으로 구성된다(이동영 등, 1987).

제주도의 형성과정은 화산활동에 따라 크게 4단계로 나눌 수 있다(이문원, 1982). 약 170만 년 전부터 60만 년 전까지가 제1 화산활동기로, 이때에는 현무암질 마그마가 얇은 대륙붕 바다 속에서 분화하여 물과 반응함으로써 현무암질 응회암을 분출한 수성화산활동기이다. 이때 형성된 암석들은 해수면 하부 곳곳에서 낮은 구릉을 이루고 있는 응회구와 응회환을 이루며(박기화, 2005; Sohn et al., 2008), 또 이들 주변에 응회암이 삭박되어 형성된 퇴적층도 분포한다. 육상의 일부 지역에서는 조면암이 삼방산과 같은

용암돔(lava dome)을 형성하고 있으며, 주로 제주도의 기저부에 분포한다. 약 60만 년 전부터 40만 년 전까지가 제2 화산활동기이며, 이때에는 현재 해수면 주변부 해안 저지대에 나타나는 용암대지가 형성되었다. 약 40만 년 전부터 2만 5천 년 전까지가 제3 화산활동기이며, 제주도의 대부분을 구성하는 한라산 순상화산체를 형성한 시기이다. 제4 화산활동기는 약 2만 5천 년 전부터 역사시대까지 지속되어 1002년, 1007년에도 화산폭발이 발생했던 기록(동국여지승람 제38권)이 있으며, 이때에는 주로 제주도의 단성화산체를 형성한 시기로서 제주도의 단성화산체군이 제주도의 제4 화산활동기를 대표한다고 알려져 있다(이문원과 손인석, 1983).

제주도에 대한 연구는 原口(1931)가 처음으로 제주도 전역에 대한 화산활동을 시대적으로 구분하였고, 손치무 등(1968)은 최초로 제주도 전역에 대한 10만 분의 1 지질도를 완성하였다. 박기화(2001)는 제주도 전 지역에 대한 지표지질조사를 실시하고, 5만분의 1 지질도를 작성함과 아울러 구성암석의 종류와 분포 상태, 지질구조, 지질계통 등에 대해 상세하게 보고하였다. 제주도의 화산총서, 용암류의 지구화학적 연구는 원종관(1976a), 이문원(1982, 1984, 1994), 윤상규와 김원영(1984), Nakamura et al.(1989, 1990), 박준범과 권성택(1993a, 1993b, 1993c, 1996), 원종관 등(1998)과 같은 여러 연구자에 의해 이루어졌다. 원종관(1976a)은 제주도를 형성한 화산작용을 5회의 분출 윤회로 구분하였고, 이문원(1982)은 지형학적 및 암석학적인 증거를 기초로 제주도를 형성한 화산활동을 4단계의 화산 분출기로 구분하고 19개의 총서단위로 재분류하였다.

또한 화산활동의 시기에 대한 연구는 주로 K-Ar 전암 연대측정으로 이루어졌으며(이문원, 1982; Won et al., 1986; 윤상규 등, 1986; Miyake et al., 1993; 이문원 등, 1994; 이동영, 1996; 윤성효 등, 2002; 고정선 등, 2003,

2005a, 2005b, 2007a, 2007b), 최근에는 일부 Ar-Ar법 전암 연대 측정 결과가 보고되었다(고기원 등, 2004, 2008; 박기화, 2004).

이와 같이 제주도에 대한 암석학적, 암석화학적, 구조적 연구 등은 많이 이루어져 있다. 그러나 제주도 전역에 흩어져서 분포하고 있는 단성화산체에 대한 체계적인 연구는 아직 수행된 바가 없다.

제주도처럼 한정된 지역 내에 매우 많은 단성화산체가 집중적으로 분포하고 있는 경우, 다양한 화산분화 현상을 통계학적으로 연구하는데 많은 이점이 있다. 다수의 화산 분포와 배열로부터 응력장을 해석할 수도 있고(Nakamura, 1977), 화산지형 파라메타를 비교하여 화산의 형성 연대를 추정할 수도 있다(Hasenaka and Carmichael, 1985). 이러한 지형 파라메타의 통계적 측정 결과를 이용하여 태양계 행성 혹은 위성에서 발견되는 화산지형을 해석하는 시도도 이루어지며(Pike, 1978), 화산재해의 예측과 방재를 위하여도 화산 분포와 분화 연대에 대한 기초 자료 축적이 매우 중요하다고 알려져 있다(Pike, 1978, Hasenaka and Carmichael, 1985). 따라서 수백 개의 단성화산체가 집중적으로 분포하고 있는 제주도는 통계학적으로 화산지형 자료를 획득하기에 최적의 화산분포지(volcanic field)임에 틀림없다.

따라서 본 연구는 제주도에 분포하는 단성화산체의 형태학적 분석과 분류를 실시하고, 화산지형 파라메타를 이용한 분석구의 연대 추정 및 개개의 단성화산체에 대한 마그마 분출량의 계산, 그리고 분석구의 분포와 배열로부터 응력장과의 연관성 해석을 그 목적으로 한다.

II. 지질개요

제주도는 높은 온도의 현무암질 마그마 기원의 용암이 흐르고 쌓여 한라산을 정점으로 완만한 구릉 모양을 이루고 있는 전형적인 순상화산체(shield volcano)의 지형을 가진 화산섬으로(Fig. 1 & Fig. 2), 멀리서 보면 서쪽과 동쪽은 비교적 완만하고, 한라산에서 서귀포시와 제주시 쪽으로는 험준한 지형을 이루고 있다. 완만한 지역에는 파호이호이 용암(pahoehoe lava)이 굳어서 된 암석이, 험준한 지역에는 아아 용암(aa lava)이 굳어서 된 암석이 주로 분포한다(박기화 등, 2006).

제주도에는 용암 분출에 의해 형성된 화산암과 화산폭발에 의해 형성된 화성쇄설암이 있으며, 용암과 용암 사이에는 고토양과 퇴적층이 나타나기도 한다. 시추조사에 의하면 제주도 동부는 해수면 아래 150m까지, 서부 지역은 해수면 아래 50m~70m까지 현무암이 분포하고 있으며, 그 밑으로는 서귀포층과 미고결 퇴적층인 U층(고기원, 1991)이 분포하고 있으며, 더 깊은 곳에는 중생대 화강암과 응회암이 분포하고 있다(박기화 등, 2006).

지금까지의 연구에 따르면 제주도를 구성하고 있는 다양한 화산암은 알칼리현무암, 하와이아이트, 뮤저라이트, 조면암 및 소량의 쉐레이아이트로 이루어져 있다(Lee, 1982; Lee, 1989; 박준범과 권성택, 1991). 이들 화산암은 해수면 아래 약 100m까지만 존재하고, 그 이하는 시대미상의 미고결 퇴적층 및 중생대로 추정되는 기반암이 분포한다(윤상규와 김원영, 1984; 고기원, 1991; 박준범과 권성택, 1991; 최순학 등, 1991). Lee(1982)는 지질 및 암석학적 연구를 통해 기존의 육안적 암상구분과 지형에 의한 화산층서(농업진흥공사, 1971-78; 원종관, 1976a)를 네 단계의 화산분출기로 재분류

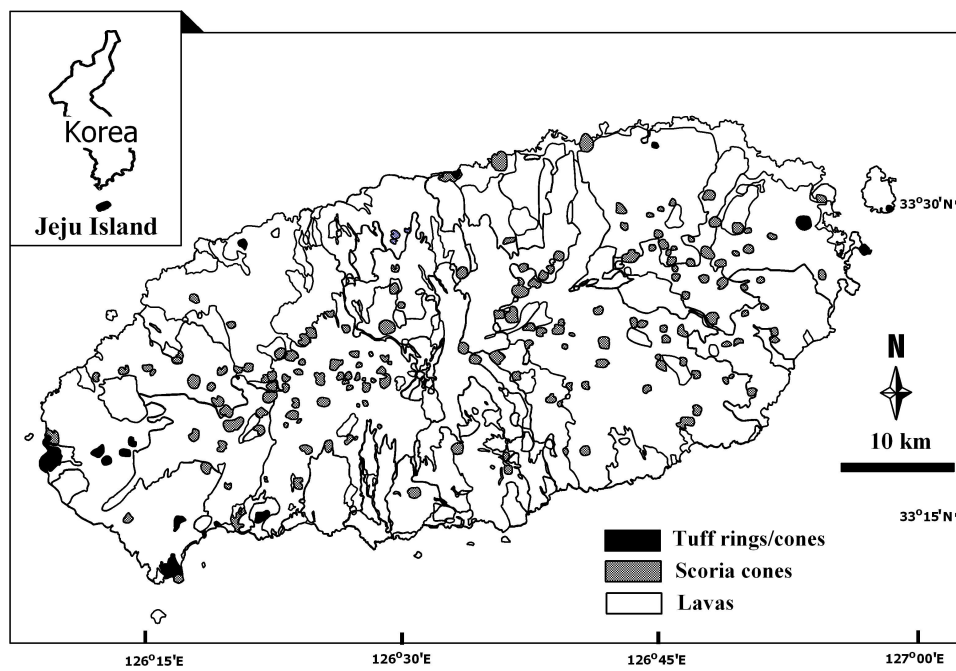


Fig. 1. Simplified geological map of Jeju Island, Korea (modified from KIGAM, 2000).

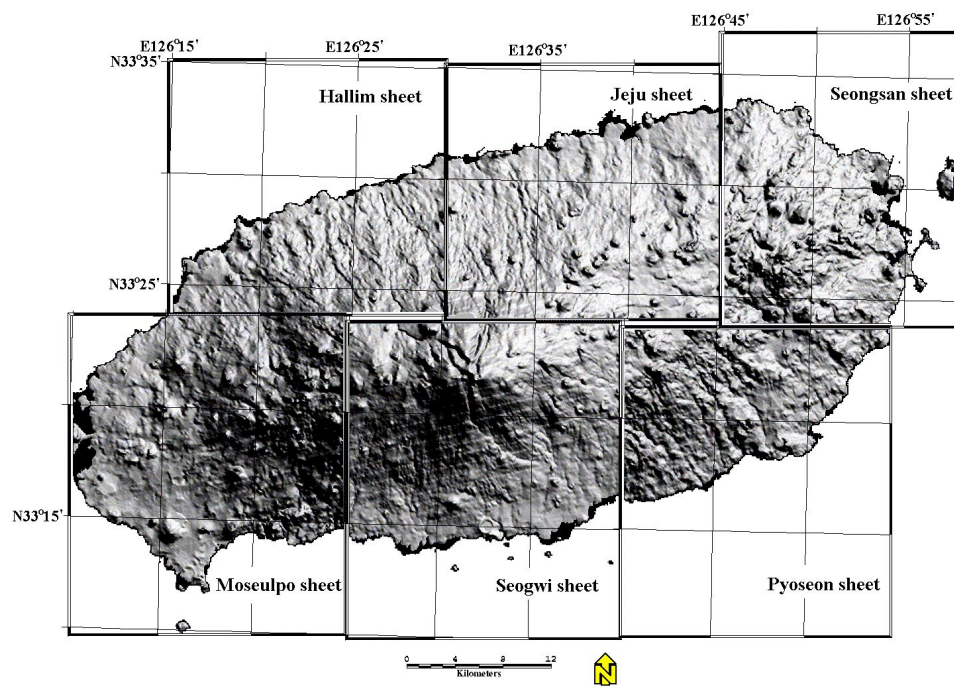


Fig. 2. Aerial shadow relief map of Jeju Island, Korea (modified from <http://ysgeo.yonsei.ac.kr/main.php>).

하였는데, 크게 전기의 기저용암 분출기(basal basalt stage)와 용암대지 형성기(lava plateau stage), 중기의 순상화산형성기(shield stage), 후기의 기생화산 형성기(cinder cone stage)로 구분하였다. 또한 그는 용암대지 형성기 동안은 알칼리현무암에서 조면암, 순상화산형성기는 하와이아이트에서 조면암의 분화를 각각 보이는 것으로 해석하였다.

현무암은 파호이호이 용암에 의해 형성되어 넓은 지역을 덮고 있다. 현무암의 표면에는 작은 기공이 많으며 이 기공은 용암 표면에서 50cm 정도 범위에 주로 형성되어 있다. 반복 분출에 의해 형성된 현무암에서는 용암튜브(lava tube)가 나타나기도 한다(박기화 등, 2006).

현무암질 조면안산암, 조면안산암과 조면암은 점성이 높은 아아 용암이 만든 암석으로 좁고 긴 구릉을 이룬다. 이들 암석의 표면에는 용암이 흐르면서 깨진 클링커가 약 20m 두께로 형성되어 있는데, 클링커층은 용암류 사이에 분포하여 지하수가 유동할 수 있는 통로 역할을 한다. 아아 용암에 의해 형성된 암석에는 장석, 휘석, 감람석이 반정 광물로 흔히 나타난다(박기화 등, 2006).

분석구는 스트롬볼리형 분화를 위주로 하면서 용암 분출이 수반되어 형성되었다. 대부분의 분석구는 말발굽 모양을 하고 있는데, 분석구 형성 도중에 용암이 분출하여 분석구의 일부를 파괴한 결과이다(박기화 등, 2006).

응회구와 응회환 그리고 마르(maar)는 수성화산분출에 의해 만들어진 화산체로 제주도 해안에 주로 분포한다. 이 화산체는 수 cm ~ 수십 cm 두께로 반복된 응회암층으로 구성되어 있는데, 일출봉, 송악산, 당산봉, 두산봉과 같이 높은 산을 이루고 있다. 응회암층의 수평 분포는 수백 m ~ 수 km에 이르며, 근원지로부터 멀어지면서 그 두께는 점차 얇아진다. 제주도의 지표 하부에도 응회암층이 광범위하게 발달되어 있는 것이 시추조사로 확

인되었다(박기화 등, 2006).

퇴적층은 적황색 혹은 회색의 이암, 사암, 역암 등으로 구성되며 용암류 사이에 나타난다. 퇴적층은 고지형의 저지대와 하천 혹은 바닷가에서 형성된 것으로 수평 연장은 대체로 미약하다(박기화 등, 2006).

Ⅲ. 연구방법

이 연구의 목적을 달성하기 위해 실내연구와 야외조사가 구분되어 수행되었다.

먼저 실내에서는 지질도와 지형도를 이용한 작업을 수행하였다. 1:50,000 지질도와 지형도를 통해 단성화산체의 대략적인 분포를 파악하였다. 6장의 1:50,000 지질도와 6장의 1:50,000 지형도, 20장의 1:25,000 지형도에서 단성화산체의 전체적인 분포 상태를 파악하였다. 이들을 통해 파악한 단성화산체의 분포를 기반으로 하여, 국립지리원에서 발간한 1:5,000 지형도 281장과 1:5,000 수치지형도 전도를 구입하여 각각의 단성화산체에 대해 화산 이름, 위치(위도와 경도), 화산의 형태 분류, 화산의 규모 등을 확인하고 화산지형 파라메타를 측정하여 기록하였다. 즉, 화산 이름의 경우 기존의 1:25,000 지형도와 1:5,000 지형도에 기록되어 있는 한글 및 한자를 사용하였으며, 기존에 보고되지 않은 단성화산체에 대해서는 기존의 단성화산체에 대한 상대적인 위치나 지역의 이름을 따서 명명하거나, 혹은 미지의 시료라는 의미로 X라 표기하고 일련번호를 붙였다. 단성화산체의 이름을 확인한 후에는 1:5,000 지형도 상에서 등고선의 간격이 갑자기 넓어지는 지점을 단성화산체의 경계부로 인식하여 외부 경계선을 그어 형태를 결정하였다. 각각의 단성화산체에 대해 최고지점을 기준으로 한 위도와 경도를 전국거리좌표계(national grid)로서 기재한 후, 기저면 고도의 최대, 최소, 평균값, 최고점의 고도, 높이, 기저면의 직경, 분화구가 있는 경우 분화구의 직경, 터진 형태의 경우 터진 방향 등 지형적인 파라메타를 측정하여 기재하였다.

기본적인 파라메타를 측정한 후에는 구성성분과 외관상의 지형 형태에

따라 단성화산체들을 다음과 같은 12가지 형(type)으로 분류하였다. ① 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구(RC: rounded cone without crater), ② 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구(SC: symmetrical cone), ③ 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구(BC: breached cone), ④ 초승달형 분석구(CC: crescent shape cone), ⑤ 불규칙한 형태의 분석구(DC: disaggregated cone), ⑥ 타원형 분석구(EC: elongated cone), ⑦ 정상부가 뾰족한 형태의 분석구(SP: sharp-pointed cone without crater), ⑧ 순상화산(SH: shield volcano), ⑨ 응회환(TR: tuff ring), ⑩ 응회구(TC: tuff cone), ⑪ 마르(MR: maar), ⑫ 용암돔(LD: lava dome)(Fig. 3).

이들 중, 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구와 초승달형 분석구는 터진 입구의 각에 의해 구분된다. 즉, 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구의 경우에는 터진 입구의 각이 90° 미만이며, 초승달형 분석구의 경우에는 터진 입구의 각이 90° 이상이다.

또한 정상부가 뾰족한 형태의 분석구의 경우에는 형태로는 같은 유형으로 분류되나 그 구성 성분이 분석구인 경우와 용암인 경우로 구분이 되므로 이를 다시 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것(SP-C: sharp-pointed cinder cone without crater)과 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것(SP-L: sharp-pointed lava cone without crater)을 구분하여 기재하였다.

고내봉과 도두봉의 경우, 하부에는 응회암으로 구성되어 있으나 그 상부가 스크리아로 덮여 분석구로 대표되므로, 응회암과 분석이 혼합되어 분포하고 있으나 편의상 분석구로 분류하였다.

야외에서는 1:5,000 지형도 상에서 등고선의 모양으로 형태를 어느 정도

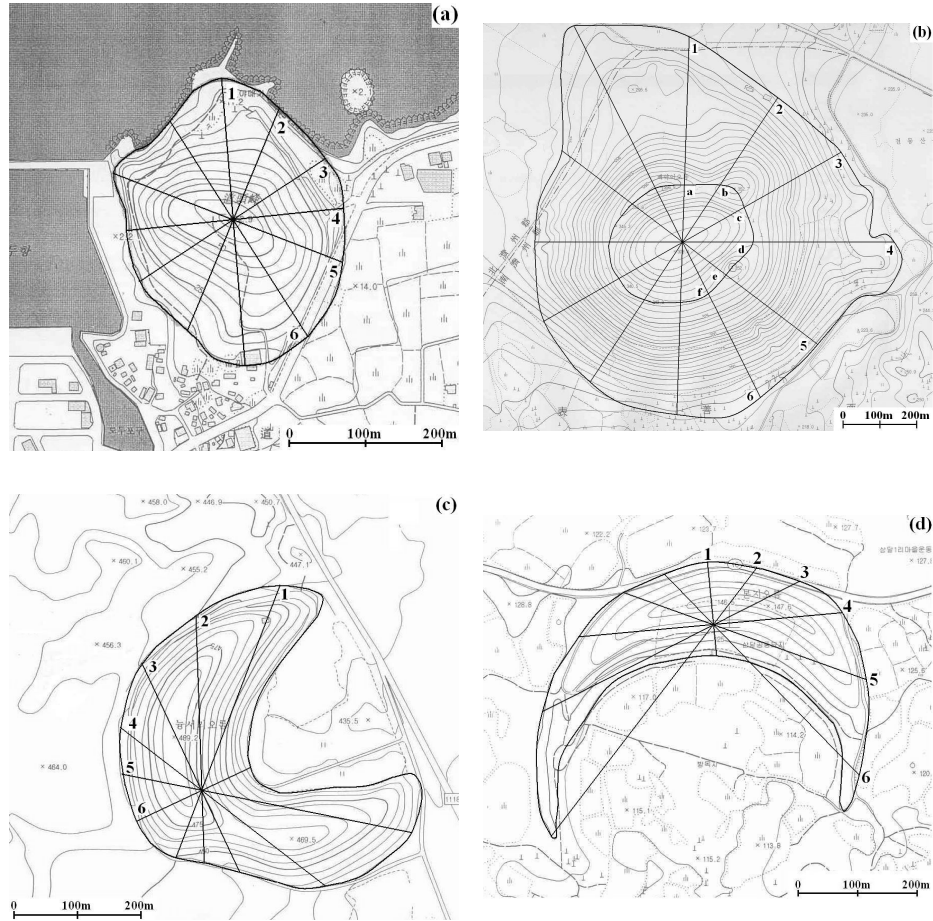


Fig. 3. Typical morphology of monogenetic volcanoes from Jeju Island. (a) rounded cone without crater (RC; Dodubong), (b) symmetrical cone (SC; Baekyaki-oreum), (c) breached cone (BC; Nyungseori-oreum), (d) crescent shape cone (CC; Bonji-oreum).

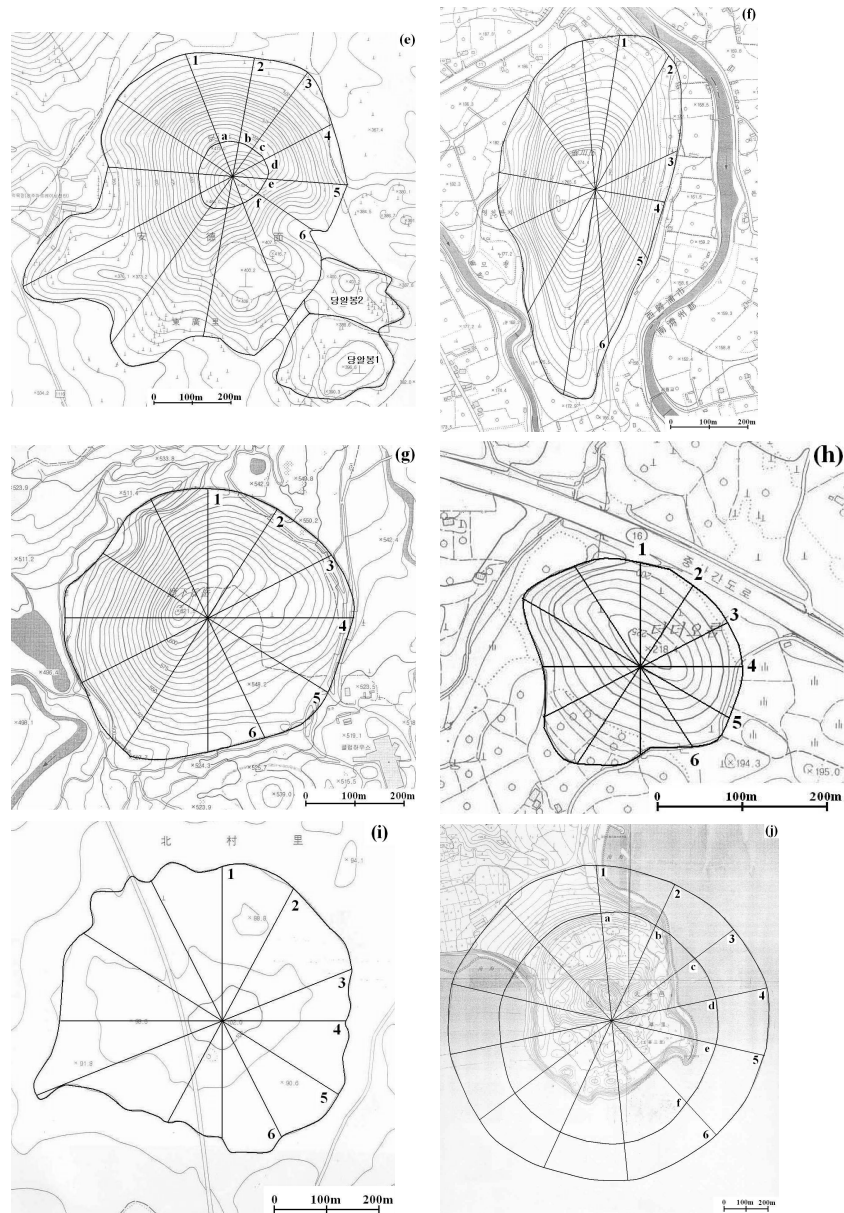


Fig. 3. Continued. (e) disaggregated cone (DC; Dang-oreum), (f) elongated cone (EC; Youngcheonak), (g) sharp-pointed cinder cone without crater (SP-C; Nokhagiak), (h) sharp-pointed lava cone without crater (SP-L; Deodeo-oreum), (i) shield volcano (SH; Gaejukeunsanseong), (j) tuff ring (TR; Songaksan tuff ring).

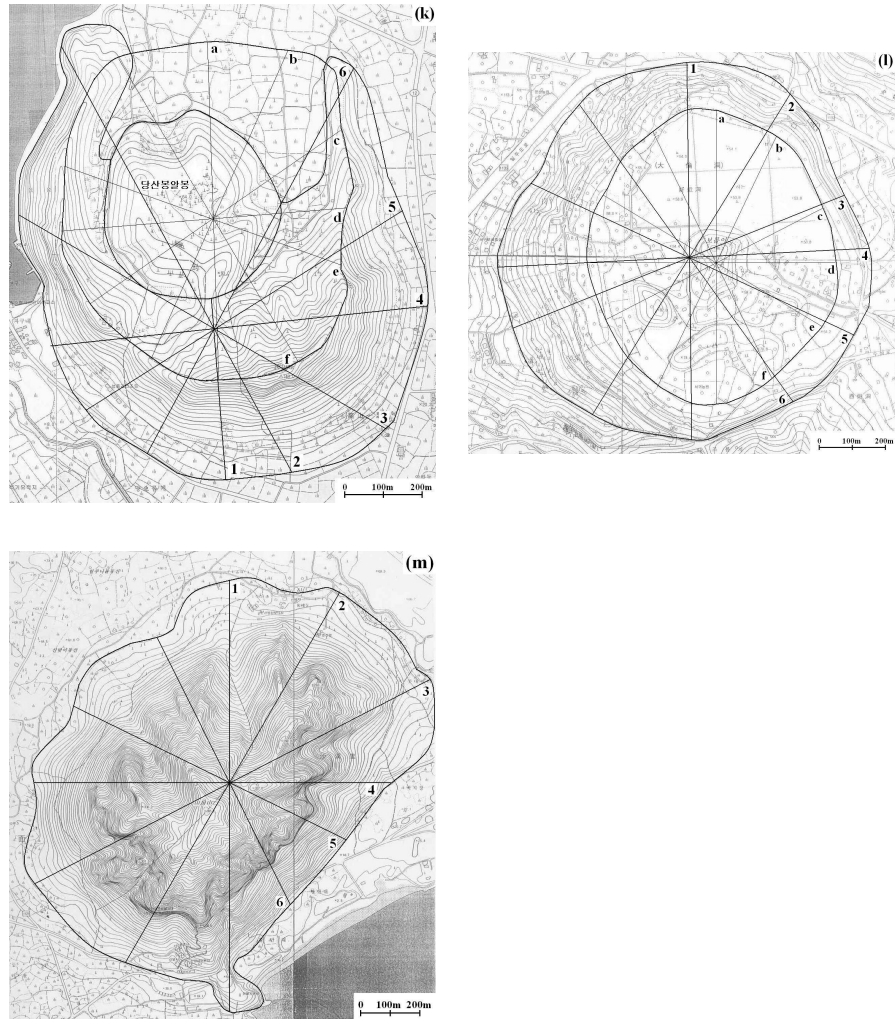


Fig. 3. Continued. (k) tuff cone (TC; Dangsangbong), (l) maar (MR; Hanon), (m) lava dome (LD; Sambangsan).

확인할 수 있는 단성화산체를 우선으로 수차례의 현장답사를 실시하였다. 현장에서 직접 그 형태를 관찰한 후 단성화산체의 형태를 결정하였으며, 구성 성분을 확인하여 분석구인지 용암류인지를 구분하였다. 또한 이전에 그 이름이 알려져 있거나 기재되어 있으나 지형도 상에서 그 흔적을 찾아볼 수 없는 화산체들은 대개 최근의 개발 등으로 인해 파괴되었음을 현장에서 확인하였다.

실내 작업과 현장 조사를 통해 단성화산체의 지형적인 파라메타를 확인한 후, 이 파라메타를 이용하여 단성화산체의 사면경사각을 계산하였다. 화산체가 원추형에 근사한 경우 산록사면의 경사각(θ)은 $\theta = \arctan(2 \times H / (W_B - W_C))$ 의 식으로 계산하였다. 여기에서 H 는 단성화산체의 높이를, W_B 는 단성화산체 기저부의 직경을, W_C 는 단성화산체가 분화구를 가지거나 혹은 분화구의 형태를 추정할 수 있는 경우에 측정한 분화구의 직경을 의미한다. 화구와 산록사면의 형태가 잘 보존되어 있는 경우에는 계산치의 경사각과 야외에서 실제 측정한 경사각이 거의 일치한다. 침식이 진행되어 산체의 형태가 불규칙해지면 계산치는 일반적으로 화산체 사면의 경사각보다 더 크게 나온다(Pike, 1978). 따라서 좀 더 정확한 사면 경사각을 구하기 위하여 화산체의 기저면의 직경과 분화구가 존재하는 경우에는 분화구의 직경을 각각 6방위에서 측정하여 그 평균값을 구하여 경사각 계산에 이용하였다.

또한 분출한 마그마의 양을 알아보기 위해 단성화산체의 부피를 계산해 보았다. 부피(V)는 $V = \frac{\pi \times H (W_B^2 + W_B W_C + W_C^2)}{12}$ 의 식으로 계산하였다. 단, 제주화산섬의 전체 부피의 경우, 제주화산섬이 타원뿔의 형태이므로 부피(V)를 $V = \frac{1}{3} \pi abH$ 로 계산하였다. 여기에서 a 는 장축의 길이를,

b는 단축의 길이를 의미한다.

그리고 사면경사각을 이용하여 거의 비슷한 시기에 형성된 분석구의 분포와 선상의 배열로부터 응력장과의 연관성을 해석하였다.

IV. 단성화산체의 분류와 정의

1. 정의

1) 분석구

분석구는 화성쇄설구 또는 스킨리아구라고 불리며, 성층화산체에 비하여 상대적으로 작은 크기를 가지지만, 육성 화산활동의 산물로 점성이 낮은 스트롬볼리안 혹은 하와이안 분화형의 현무암질 마그마의 분화로 형성되는 일반적인 화산체이다. 이들은 때때로 수 백 개의 분화 중심(eruptive center)을 갖는 집단으로 화산지대에서 산출되기도 한다. 일반적으로 이 화산체들은 꼭대기가 잘려나가 있으며, 원추구의 형태를 띠거나 혹은 말발굽형으로 나타난다. 정상부에는 오목한 그릇 형태의 분화구가 있으며, 원추구의 가장자리에서 이동된 암설들 또는 이들보다 더 젊은 퇴적물로 채워진다. 신장된 스킨리아구는 보다 더 복잡한 화구 시스템의 틈새 위에 만들어진다. 스킨리아구의 퇴적물은 화산탄, 스킨리아질 라필리, 그리고 소량의 작은 화산재로 구성되는 반면 스패터구(spatter cone)나 스킨리아로 접합된 스킨리아구들은 대부분이 용결된 용암 스패터(lava spatter)로 구성된다. 잘 알려진 예로는 아이슬란드의 헤이메이(Heimaey), 멕시코의 파리큐틴(Paricutin), 이탈리아의 스트롬볼리(Stromboli)가 포함된다. 해저 용암 분천으로부터 형성되는 얇은 해양성 스킨리아구는 드물다.

2) 응회환, 응회구와 마르

지표의 얇은 물에서 형성되는 응회환, 응회구와 마르는 그 숫자에 있어서 스코리아구 다음으로 풍부하다. 이들은 상승하는 마그마가 지하수나 지표수와 만나 혼합되어 일어나는 수증기마그마 분화(phreatomagmatic eruption)로 대표되는 수성 화산활동의 결과물이다. 응회환, 응회구 그리고 마르에 쌓이는 퇴적물은 마그마로부터 유래된 초생의 본질 화성쇄설물과 그 이전에 분화되어 형성된 동일기원 마그마의 화산암과 그 암편들, 그리고 화산체 하부의 기저암에서 유래된 이질 암편 등으로 구성된다(Wohletz and Sheridan, 1983).

마그마-물의 상호작용은 용암류나 화성쇄설류가 얇은 물이나 빙하 아래에서 만날 때, 혹은 바다로 들어가는 곳에서 일어난다. 수증기 분화(phreatic eruption)라는 용어는 초생의 암편은 존재하지 않고 오직 그 이전에 존재했던 암석을 뿜어내는 폭발적인 수증기 분화가 일어날 때 사용된다.

수성쇄설성(hydroclastic) 화산은 세 가지의 서로 다른 형태적 그리고 구조적인 유형 즉, (1)응회환, (2)응회구, (3)마르로 세분된다. 이들 화산들의 차이점은 주로 마그마/물 비(magma/water ratio), 마그마/물의 혼합정도(degree of magma/water mixing), 그리고 파편화의 깊이(depth of fragmentation)에 의해 조절된다.

응회환은 일반적으로 높이가 50m 미만이다. 이들은 지표면 혹은 그 위에서 너비에 대한 깊이의 비가 작은 분화구와 층의 경사가 25° 미만인 수성쇄설성 암설의 낮은 분출물의 경계를 보인다. 퇴적물은 초생 암설과 이질 암설의 혼합물로 구성되며, 초생의 화성쇄설물은 비교적 층리가 잘 발달되어 있다.

응회구는 응회환과 마르에 비해 더 높은 외형과 층의 경사가 25° 이상인 더 가파른 외부 경사를 나타낸다. 이들 분화구 바닥은 일반적으로 지표면보다 높은 위치에 놓인다. 퇴적물은 주로 초생의 암설과 소량의 이질 암설로 구성되어 있다. 외륜의 퇴적층은 괴상이며, 교란된 파편을 가진 서지(surge), 공락(空落), 재이동 과정으로 후기에 정치된 것으로 해석된다.

마르는 이전의 분화 표면에 대해 약 10m에서 500m 이상 깎여진 오목한 그릇 모양의 분화구로 정의된다. 마르는 외륜으로부터 멀어질수록 급격하게 두께가 감소하는 층리가 잘 발달된 분출물(층의 경사는 25° 미만)의 낮은 누벽(rampart)으로 둘러싸여 있다. 마르 퇴적물은 초생의 암설보다는 그 이전 암석의 암편이 풍부하다는 점에서 응회환/구의 퇴적물과 구별된다. 퇴적물은 주로 기저 서지와 공락물질로 구성된다.

수성쇄설성 화산과 스킨리아구는 일반적으로 단성(monogenetic) 화산체로 분류된다. 왜냐하면 이들은 짧은 기간, 즉 며칠, 몇 달, 혹은 기껏해야 수 년 이내의 빠른 화산구의 성장기간 동안 거의 일정한 분화 조건을 가지고 하나의 분화 에피소드를 가지고 형성되기 때문이다. 이들은 크고 오랜 기간 동안 활동하는 복성(polygenetic)의 순상화산체와 성층화산체들의 층서와는 다른 단순한 층서를 타나낸다. 스킨리아구에 대한 보다 자세한 연구는 긴 시간 간격 동안에 서로 교대되는 마그마성 분화와 수증기마그마 분화의 조건에 의해 복잡한 구조를 나타낼 수 있음을 보여주었다(예; 도두봉, 고내봉). 몇몇 화산체들은 복합화산복합체(composite volcanic complex)를 형성하는 최종 용암류의 분출에 의해 마르, 응회환 또는 응회구 상(phase)으로부터 스킨리아구 상으로 진화된다.

2. 구성물질

1) 스코리아구

스트롬볼리안 퇴적물은 조립의 쇄설물 크기와 괴상의 총리 혹은 조립의 총리 구조, 암질 쇄설물의 일반적인 부족, 보다 높은 퇴적 온도에 의해 수성쇄설성 화산의 퇴적물과 구별된다. 스트롬볼리안 퇴적물은 화산체의 구조를 잘 나타내고 있으며 대개 분급도가 높고, 조립질 층과 세립질 층이 교호되는 층으로 구성되어 있다. 다양한 분급도는 밀도나 기공률이 각각 다른 파편의 분화, 매적작용(aggradation), 혹은 운반되어 온 쇄설물이 흐름과 강하에 의해 혼합됨으로써 나타난다. 일반적으로 스트롬볼리안 퇴적물의 쇄설물은 약 80 vol.% 정도의 기공률을 가진다. 스트롬볼리안 퇴적물 내에서 기공률이 작거나 혹은 중간 정도의 기공률을 가지며, 각진 틈새의 경계를 가지는 쇄설물(예; 독일 로덴버그 분석구)은 가스가 풍부한 마그마와 가스가 제거된 마그마가 함께 분화되는 화구 내에서나 그 주변에서 마그마가 고임(ponding)으로써 생긴 것이다.

괴상의 스코리아 각력은 일반적으로 얇은 물에서 해양성 용암분천(熔岩噴泉; submarine lava fountaining)의 결과로 만들어진다. 스코리아 쇄설물은 60 vol.% 정도의 기공률을 가지며, 불규칙하거나 아메바 모양의 외형을 가진다. 이러한 스코리아구 내에 충상화된 라필리 응회암이 끼어있는 것은 용암이 분천하는 불길 속으로 현저한 물의 혼합이 발생함으로써, 마그마성 암편화에서 수성화산 암편화작용으로 변화되었음을 제시한다.

스코리아구 내에서는 두 가지 주된 상(facies) 즉, (a)분화구상과 (b)외벽

상으로 구별될 수 있다(Fig. 4). 분화구상의 퇴적물은 벽상의 퇴적물에 비해 매우 불균질하다. 분화구상은 다시 하부 분화구상(LCF)과 상부 분화구상(UCF)으로 나눈다. 하부 분화구상은 뜨거운 상태로 떨어져서 용결되어 집괴암을 이루게 되는 분화된 용암 스패터로 구성된다. 분화구벽을 향하여 바깥쪽으로 지나가는 전이대 내에서, 스코리아편은 서로 용결되어 있으나, 여전히 각각의 쇄설물을 구분할 수 있다. 분화구 내부에는 용암 호수, 혹은 용암류가 발달될 수 있다. 상부 분화구상은 특징적으로 분급이 불량한 라필리 기질을 가지는 둥근 화산탄으로 이루어져 있으며, 이는 수 미터 두께의 잘 분급된 라필리층으로 덮여 있다. 이 라필리층은 실제로 스코리아구보다 훨씬 더 멀리까지 확장될 수 있다.

외벽상은 아래쪽에 부가 라필리를 많이 가지는 미세한 화산재층으로부터 시작되며, 그 위를 이질 암편을 매우 많이 가지는 분급이 거의 되지 않은 조립의 각력층이 덮고 있다. 이 퇴적물은 화도의 외부가 넓혀지는 동안의 초기의 수증기마그마 폭발의 결과이다. 내부 벽과 하부 분화구상은 유사한 퇴적물을 가진다. 조립의 스코리아 화산탄과 라필리층은 분화구의 외부 측면에서 우세하고, 분화구 외륜쪽으로 갈수록 용결되어 있으나, 분화구와 멀리 떨어진 곳에서는 덜 용결되고, 치밀하지 않으며, 더욱 미세한 입자로 점차 변해간다. 치밀하고 방추형인 화산탄도 보통 또는 매우 기공이 많은 초생의 라필리와 함께 벽상 퇴적물 내에서 발견된다. 벽암 암편들은 드물다. 대개의 스코리아구의 외부 측면은 공략된 분급이 잘된 라필리층으로 덮여 있다. 스코리아구에서 종적 및 횡적 변화는 분화 조건, 화구로부터의 거리, 그리고/혹은 수증기마그마의 영향의 변화를 반영한다.

분화생성물의 후기 재퇴적작용은 특히, 스코리아구 성장 및 성숙단계 동안에 외부 경사가 불안정해지고, 쇄설물이 구의 기저로 미끄러질 때에 주로

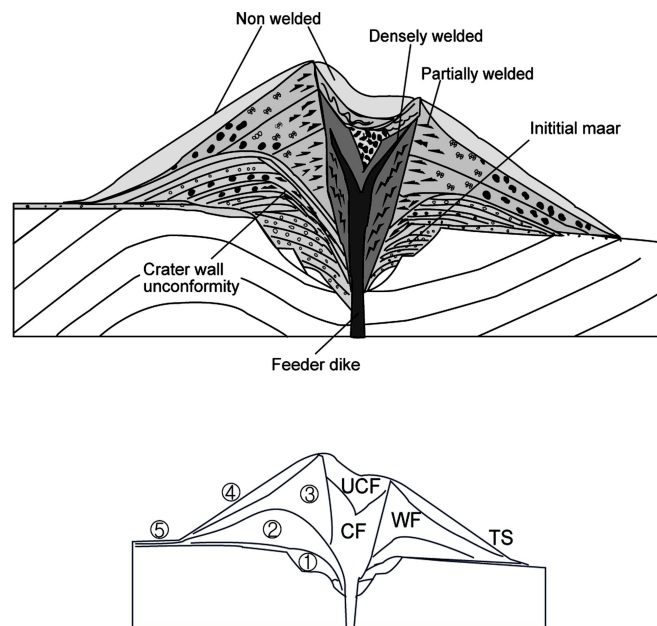


Fig. 4. Morphology and internal structure of a scoria cone (Haraldur et al., 2000). ① initial phreatomagmatic eruptions; ② strombolian eruptions with phreatomagmatic intercalations; ③ strombolian eruptions forming main cone; ④ poststrombolian talus slides; ⑤ distal fallout; CF (crater facies), agglutinates, feeder dike; UCF (upper crater facies), round bombs set in matrix of lapilli, redeposition and slumping from the walls; WF (wall facies), scoria breccias, partial welded bombs in proximal units and unflattened bombs in distal units; TS (talus slope), redeposition because of slope failure.

일어나는 과정이다. 재퇴적작용은 마그마의 상승과 연관된 변형으로 스코리아구의 균열과 부분적인 붕괴가 일어날 때, 또는 경사각이 안식각보다 더 커지는 곳에서 스코리아구의 과도한 경사 때문에 발생할 것이다. 가파른 스코리아구 위에 있는 퇴적물은 일반적으로 역점이층리를 이루는 암설류(debris flow), 입자류, 혹은 이류의 형태로 아랫방향으로 유동한다.

2) 수성쇄설성 화산체

수성쇄설성 화산체들의 전형적인 퇴적물은 이질 암편이 풍부하다. 90 wt.% 정도의 벽암 암편과 소량의 초생 쇄설물을 포함하는 조립에서 중립의 강하 퇴적물은 화산체 하부의 기반암의 짜임새와 수성쇄설성 폭발의 깊이 에 대한 중요한 정보를 포함한다. 대부분의 응회환, 응회구와 마르는 서제이(Iceland, 1963-1967년), 타알(Philippines, 1965년), 카펠린호스(Azores, 1957-1958년), 미야케지마(1983년)와 같은 최근의 화산분화에서 볼 수 있듯이, 기저 서지와 꼬리를 치켜 올리는 콕테일 분사(cock's tail jets) 등을 볼 수 있는 폭발적인 수성화산의 서지 퇴적물이 주로 우세하게 나타난다. 미세한 화산재 층에 조잡하게 협재되거나 대부분이 입자로 지지되는 노천에서 나타나는 더 잘 분급된 라필리 응회암의 강하 퇴적물, 탄도분비의 강하 각력은 수성쇄설성 퇴적물 내에 일반적으로 협재되어 나타난다. 세립의 강하 응회암은 기저 서지를 동반하는 화산재 구름에서 유래될 것이다.

기저 서지는 연속적인 상으로서 중력으로 조절되고, 가스(증기)를 가지는 낮은 농도의 난류성 화성쇄설성 밀도류이다. 하류 방향으로의 흐름의 변화, 다양한 흐름의 형태, 습한 정도는 복합적인 수평 및 수직 방향의 상의 변화를 야기한다(Fig. 5). 기저 서지는 건조하거나(유체상으로서 과열된 증기)

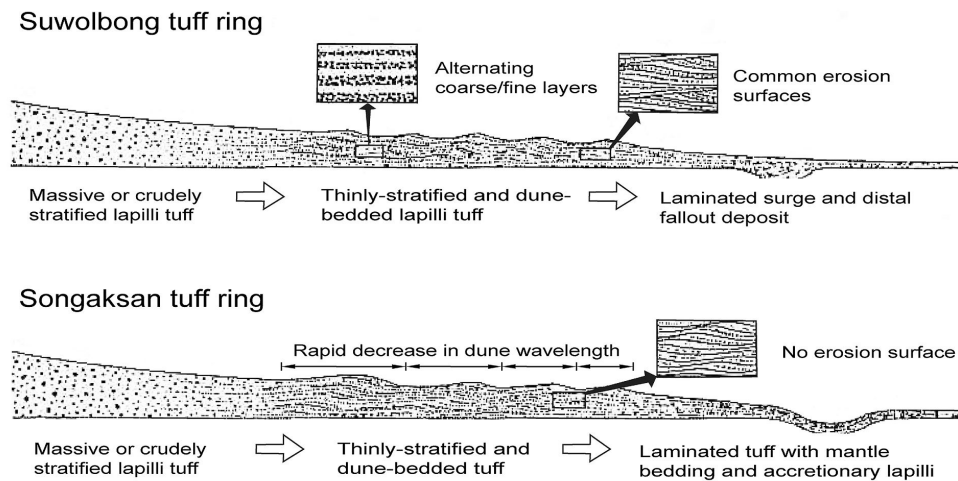


Fig. 5. Lateral facies variations of base surges, Jeju Island, Korea. In the Suwolbong tuff ring, proximal lapilli tuffs are crudely stratified or massive with inversely graded bases. In medial parts, thinly stratified beds or dune-bedded lapilli tuffs dominate. Segregation of coarse and fine grains into distinct layers reveals cohesionless transport. In distal sections, thinly stratified and wavy-bedded tuffs are present. The Songaksan tuff deposits show similar facies variations, although accretionary lapilli, plastering of deposits on vertical obstacles, and absence of erosion structures suggest wetter surges (Sohn, 1996).

혹은 습하며(유체로서 압축된 증기), 빠른 상의 변화를 유도한다. 서지는 수송과 정치 온도 범위가 저온에서 $200^{\circ}\text{C}\sim 300^{\circ}\text{C}$ 에 이른다. 서지 퇴적물은 일반적으로 얇은 층을 이루고, 세립의 입자들로 구성되며, 분급이 불량하다. 층의 형태는 평면상이며, 물결모양이거나 혹은 사층리를 가지며, 층의 두께는 이동하는 방향으로 빠르게 감소한다.

응회암과 마르는 건조한 서지의 점진적인 수평 및 수직 방향의 상변화에 의해 특징지어진다. 화도 부근의 퇴적물은 괴상에서 층상의 라필리 응회암으로 구성되며, 역점이층리를 가지며, 화구로부터의 거리에 따라 조잡한 층리를 이룬 라필리 응회암, 판상의 층리를 이룬 라필리 응회암, 보다 말단부에서 사층리를 가지는 라필리 응회암으로 변화한다. 바깥으로 경사진 퇴적물은 조적이 교란되거나 파괴된 라필리 응회암으로 시작되며, 이들은 층상화된 라필리 응회암과 사구 모양의 라필리 응회암으로 변화된다. 이 둘의 측방상계열은 화구 근처에서 고농도의 저탁류 서지로부터 퇴적되었음을 암시한다. 견인수송(牽引輸送)의 결핍은 층을 이루지 못하고 괴상의 조잡한 층리를 가지는 퇴적물을 형성한다. 보다 더 하류의 흐름에서 서지는 쇄설물의 퇴적과 엽층리를 형성하는 대기의 혼합에 의해 보다 더 농도가 묽어진다. 서지의 약화는 습한 화산재, 기공이 많은 응회암, 부가적이고 강화된 라필리를 형성하는 증기의 냉각과 응축에 의해서도 발생된다.

응회구에서의 측방의 상변화는 분화구름의 보다 높은 습기 때문에 응회암의 변화와는 다르다. 주로 조잡한 층리를 이루는 퇴적물 내에서 화산재로 둘러싸인 라필리는 화도로부터 멀리 확장되지는 않는 습한 서지에 의해 퇴적된 것으로 설명된다. 지름이 mm에서 cm의 크기이며, 대부분이 1cm 정도인 불규칙 혹은 구형의 기공을 포함하는 응회암은 인접하는 외륜층의 젖은 서지와 이류에서 발달한다. 기공이 많은 응회암은 (a)습하고 접착력이

있는 강하물이나 서지 퇴적물에서 공기나 기포의 포획, (b)점성이 있는 이류의 퇴적, 혹은 (c)뜨거운 화성쇄설물과 수성쇄설물에 의해 제공된 가스의 생성 동안에 만들어진다고 설명할 수 있다. 기재된 대부분의 예에서, 기공이 많은 응회암은 증기 응축 때문에 부가 라필리와 관련되어진다.

퇴적물의 재이동은 낮은 경사를 갖는 외륜 때문에 응회환과 마르에서 일반적으로 수반되는 과정이지만, 주변의 환경에 강하게 의존한다. 퇴적물의 재퇴적은 보다 가파른 층을 가지는 응회구에서 암설류, 입자류, 슬라이드(slide), 혹은 슬럼프(slump)에 의해 렌즈모양, 괴상 또는 무질서한 층리를 가진 라필리 응회암을 만드는 것이 매우 일반적이다.

특이한 경우 혼합된 퇴적물이 나타나는데, 이는 복합 화구 시스템의 동시적인 분화에 의한 수성쇄설성/육성쇄설성 쇄설물의 순차적 퇴적으로 대표될 수 있다. 복잡한 마그마성/수성화산성 기원의 강하와 서지 퇴적물은 (a)매우 다양한 쇄설물 밀도, (b)스트롬볼리안/하와이안 퇴적물과 수성화산성 퇴적물 사이의 분급계수, (c)높은 기공률을 가지는 유동성(하와이안)과 낮은 기공률을 가지는 울퉁불퉁한(스트롬볼리안) 수성화산성 분화에서의 각지거나 암괴형의 쇄설물 형태를 가지는 초생 쇄설물에 의해 특징지어진다(Haraldur et al., 2000).

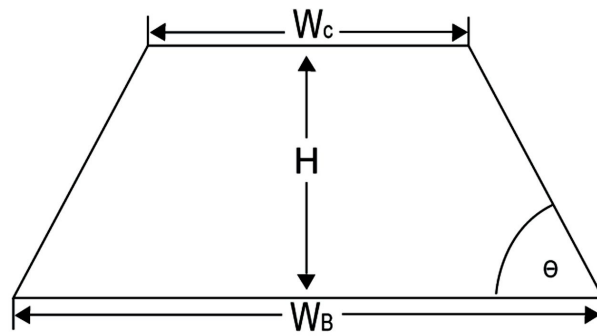
3. 형태와 내부 구조

1) 스킨리아구

스킨리아구의 형태는 (1)분출된 물질의 총 체적, (2)방출 속도의 범위와 중앙값, (3)방출 각, (4)풍향과 풍속, (5)입자의 성질과 크기, (6)용암 홍수의 출현, (7)수증기마그마의 협재, (8)화구의 형태 등을 포함하는 수많은 요소에 의해 결정된다.

스킨리아구는 기저 직경(W_B)이 대개 0.25km~2.5km의 범위를 가지며 중앙값은 0.8km이다(Fig. 6). 구의 높이는 0.18 W_B 와 같으며, 수 m에서 멕시코의 파리큐틴 화산과 같이 424m에 이르는 큰 범위의 변화를 나타낸다(Wood, 1980a). 분화구 직경은 910개의 구로부터 얻은 자료 분석 결과에 따르면 0.4 W_B 와 같다. 몇몇 스페터구와 스킨리아-응결집괴암구는 0.2km보다 작은 기저 직경을 나타낸다. 분화구 직경은 화성쇄설물의 방출에 의해서 뿐만 아니라, 지진충격이 일어나는 동안에 화구 속으로 무너짐에 의해서도 증가할 수 있다(Wood, 1980a). 대부분의 스킨리아구는 초기에 높은 비율의 스트롬볼리안 혹은 하와이안 분화활동이 일어나는 동안에 세워진다.

주분화 중심은 스킨리아구가 성장하는 동안에 반복적으로 이동하며, 몇몇 화구는 틈새를 따라서 활성화되는 경우도 있다. 후기의 분화활동은 아주 미약하게 구의 형태를 변화시킨다. 많은 구들은 폭발적인 활동이 그치고 난 후에 주로 용암류를 분출한다. 용암은 용암 분천에 의해 커지거나 혹은 구의 기저부의 화구나 틈새를 통해 분출한다. 관찰되는 스킨리아구 분화의 50%는 30일 이상 지속되지 않으며, 95%는 1년 이내에 끝난다. 용암류를



W_c = crater diameter
 H = cone height
 W_B = basal width of cone
 θ = slope angle

Fig. 6. Simple model of cone parameters. Scoria cones range from 0.25km to 2.5km in basal diameter (W_B), with a median of 0.8km (Porter, 1972; Wood, 1980a). Cone heights equal 0.18 W_B ; crater diameters equal 0.4 W_B . Slope angle is less than angle of repose and ranges between 25° and 38°, depending on the nature of the ejected material (Wood, 1980a).

포함하는 구의 체적은 10^5m^3 에서 10^9m^3 의 범위를 가지며, 이는 응회구와 응회환의 전체 체적과 비슷하다. 용암류의 체적은 관계되는 스코리아구의 체적보다 일반적으로 높다. 그러나 화구 근처에 떨어지는 조립 화성쇄설물(스코리아질 라필리, 화산탄)은 안식각(약 30°)보다 작은 경사각의 위치에 도달할 때까지 내리막으로 이동할 것이다(Fig. 7). 스파터구와 스코리아-응결집 괴암구는 파편들이 서로 용결되어 있기 때문에 가파른 면의 경사를 나타낼 수 있다. 분화활동의 마지막에 구는 아주 약간 성장하며, 용암류는 그 자신의 흐름으로 구의 기저부를 침수하여 화성쇄설성 분화보다 용암류가 우세하게 된다. 복잡한 파괴와 새로 만들어짐을 반복하였기로 유명한 멕시코의 파리큐틴 화산의 스코리아구도 확장되는 성장 기간 동안에 일어났다. 잘 노출된 스코리아구는 몇 개의 화구를 보여준다. 스코리아구의 공간적인 배열과 형태적 구조는 틈새 혹은 안행상의 공급 시스템에서 분화하였음을 제시하기도 한다. 몇몇 서로 다른 분화 과정은 예를 들면 뉴질랜드 오클랜드의 카터 힐(Carter Hill)로부터 혼합된 마그마/수증기마그마 퇴적물과 같이 틈새 시스템(fissure system)의 서로 다른 부분에서 동시에 일어날 수 있거나 혹은 독일 아이펠 지역의 로텐버그 분석구처럼 복잡한 화산구조를 만들면서 서로 교호하기도 한다.

구의 높이, 높이/직경의 비, 경사도는 시간에 따른 침식에 의해 체계적으로 감소한다. 붕괴의 양상은 모든 스코리아구에서 대체로 비슷하나 강수량, 기후, 교결률에 강하게 영향을 받는다. 뉴기니아에 있는 스코리아구는 분화 이후에 5년의 현저한 협곡 침식을 보여줬지만, 대조적으로 보다 건조한 지역에서는 침식이 몇 천 년 후에도 대수롭지 않다. 따라서 구의 형태와 파괴율은 고대 기후대와 기후변화의 유용한 지시자가 된다(Wood, 1980a). 스코리아구의 이 조직적인 파괴는 하나의 지역 내에서 형성연대가 알려지지 않

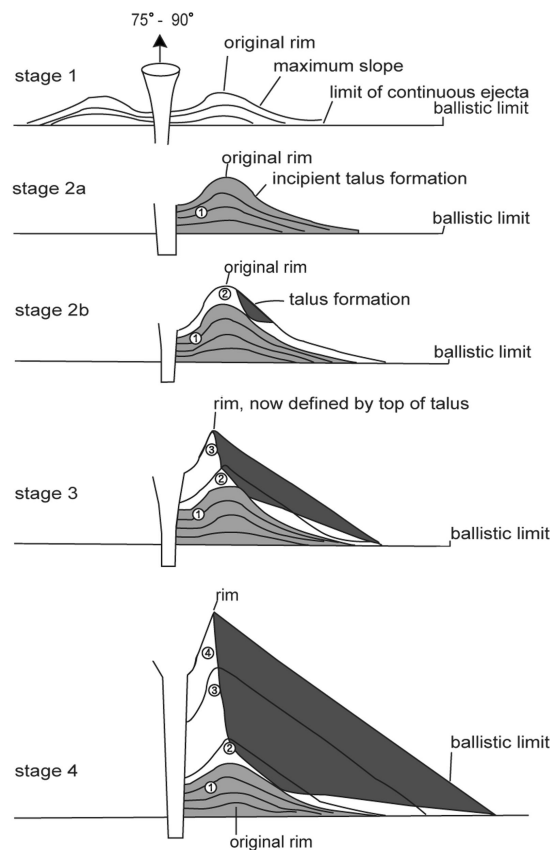


Fig. 7. Growth stages of scoria cones. Stage 1: Initial phreatomagmatic deposits form a tuff ring with shallow dipping rim beds. Mean ejecta angles range between 75° and 90°. Stage 2: Continuous strombolian eruption activity leads to the growth of a steeper sided cone. Slope instability results in talus formation (Stage 2b); as volume increases, the cone rim migrates outward. Stage 3: Inward migration of the exterior talus pile and destruction of the older rounded rim occur. Collapse of the vent, talus formation of the inner slopes, and destruction by larger eruptions modify the original cone. The cone rim migrates inward. Stage 4: During continuous growth of cone, talus extends beyond ballistic limit of ejecta (McGetchin et al., 1974).

은 스코리아구의 대략적이고 상대적인 형성연대를 추정하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다.

2) 응회환, 응회구와 마르

수성화산성 응회구와 응회환의 형태, 모양, 크기는 (1)외륜의 직경, (2)최대 높이, (3)높이/외륜의 비, (4)함몰깊이, (5)층의 최대 경사와 같은 파라미터로 묘사될 수 있다.

응회환과 마르는 형태적으로 유사하다. 마르에서, 분화구는 분화 이전의 지표면 아래로 깎여있다. 뉴멕시코 주의 킬보른 홀(Kilbourne Hole)처럼 이들은 0.7km~0.8km의 평균 직경과 0.2km~3.0km 범위의 직경을 가진다. 외륜의 층서는 일반적으로 두께가 50m 미만이지만, 높이는 100m 이상에 달하기도 한다(예, 멕시코의 호야 혼다 마르(Joya Honda maar); 카나리아 제도의 엘 쿠칠로 응회환(EI Cuchillo tuff ring)). 높이/외륜 직경 비는 0.13~0.05 사이의 범위를 나타낸다. 형태적으로 비대칭의 화산체는 강한 바람이 부는 동안 형성된다(예, 멕시코 피나케이트 화산지대의 세로 콜로라도 마르(Cerro Colorado maar)). 응회환과 마르의 층리가 잘 발달된 세립의 퇴적물은 외륜 근처에서 완만하게 20° 정도의 경사를 가지고 바깥을 향하며, 더 멀리 갈수록 몇 도 미만의 경사각을 가진다. 이들은 일반적으로 뜨거운 상태로 퇴적된 스파터와 응결집괴암은 거의 없다. 주변 모암의 암편의 최대 직경은 3m를 넘는 것도 있다. 마르 퇴적물에서 이질 쇄설물은 90 vol.%에 달하지만, 응회환 퇴적물에서는 단지 몇 %밖에 되지 않는다. 응회환에서의 암편화율은 약간의 기공을 가진 본질 쇄설물의 높은 함량 때문에 마르에서 보다 일반적으로 더 낮다.

응회구의 외륜 직경은 100m 미만에서 1.5km(예, 우도 응회구)까지 다양하며, 높이는 50m~330m(하와이 코코 분화구(Koko crater)) 사이에서 변화한다. 미국 북부 메난 응회구(Menan tuff cone)와 같이 응회구 분화구의 기저부는 이를 둘러싼 주변부보다 130m 위에 솟아있다. 응회구의 전형적인 높이/외륜 비는 약 0.5~0.2의 범위이다. 응회구의 층의 경사는 응회환과 마르에 비해 훨씬 가파르다(10° ~ 30° 이내, 분화구 외륜 근처에서는 45° 에 이른다). 불안정한 분화구 벽의 슬럼프가 일어난 이후에 형성된 협재되어 있는 하도(channel)는 일반적으로 초기의 층리보다 더 가파른 20° ~ 50° 의 경사를 가진다. 불안정하고 가파른 단층을 형성하며, 이 단층의 경사가 약 50° ~ 90° 정도이며(예, 아이슬랜드의 써제이, 카나리아 제도의 엘 골포 응회구(EI Golfo tuff cone)), 50m 이상 함몰될 수 있는 큰 암괴들이 있는 전단 변위를 나타내기도 한다(Haraldur et al., 2000).

V. 제주도 단성화산체

1. 제주도 단성화산체의 지역별 분포와 개수

1:50,000 지질도와 지형도, 1:25,000 지형도, 1:5,000 지형도, 수치지형도 및 야외 조사를 통하여 제주도의 단성화산체를 총 466개를 확인하였다. 그러나 이 중 11개는 본 연구의 분류에서 제외하였다. 제외한 것은 ①경마장(알오름)(기존의 연구(제주도, 1997)에 기재되어 있으나 실제 야외답사를 통해 확인한 결과 경마장의 건설로 파괴되어 알아볼 수 없음), ②형제도와 ③절부암(화성쇄설물과 용암으로 구성되어 있으나 파도의 침식작용으로 파괴되어 지도상에서 그 형태를 측정할 수 없는 상태), ④남성리(침식작용으로 그 형태가 남아있지 않음), ⑤소산봉과 ⑥서삼봉(“~봉”으로 이름이 붙여져 있어 오름으로 취급하였으나 직접적인 화산활동으로 생긴 단성화산체가 아닌 것으로 판단), ⑦원산미머루와 ⑧운지악(토양과 풍화된 기반암이 갑작스런 미끄러짐과 범람으로 인해 흐트러지고 분급이 되지 않은 상태로 혼합되어 있는 암설 애버런치(debris avalanche)에 해당), ⑨신흥리동북(오래되어서 그 형태가 명확하지 않고 일부만이 남아있음), ⑩가메오름남동과 ⑪판포오름남동(기존의 지질도 상에 응회환/응회구로 기재(박기화 등, 2000)되어 있어, 응회암으로 구성되어 있는 것으로 생각되나, 오래되어 그 형태를 정확히 규명할 수 없는 상태)이다. 따라서 본 연구에서는 이들 11개를 제외하고 총 455개의 단성화산체를 분류하여 연구하였으며(Appendix 1), 이는 기존에 알려진 360여 개보다 100여 개가 더 많은 것이다.

부록 1에는 이들 단성화산체의 위치와 이름, 번호, 그리고 형태적인 파라

메타, 이들 파라메타를 측정하고 계산한 자세한 데이터를 정리하였다. 이들
에 대한 도폭별 형태적 분류에 의한 빈도수는 표 1과 같다. 또한 총 455개
의 단성화산체 중 단성화산체의 알오름의 형태로 존재하는 것이 모두 15개
이며, 이는 표 2에 나타내었다.

제주도에 분포하는 총 455개의 단성화산체는 분화구를 가지지 않는 정상
부가 둥근 모양의 분석구가 41개(9.0%), 원형 분화구를 가진 둥근 모양의
분석구가 54개(11.9%), 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가
136개(29.9%), 초승달형 분석구가 23개(5.1%), 불규칙한 형태의 분석구가
42(9.2%)개, 타원형 분석구가 40개(8.8%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 분
석으로 구성된 것이 37개(8.1%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구
성된 것이 9개(2.0%), 순상화산이 27개(5.9%), 응회환이 17개(3.7%), 응회
구가 3개(0.7%), 마르가 1개(0.2%), 용암돔이 25개(5.5%)로 구성되어 있다
(Fig. 8). 형태로 보면 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 가
장 많은 수를 차지하고 있으며, 응회구는 제한되어 아주 적은 수가 나타나
고, 마르는 단 하나만이 존재한다.

지역별로 분포하는 단성화산체의 개수는 한림도폭에 38개, 제주도폭에
108개, 성산도폭에 85개, 모슬포도폭에 77개, 서귀도폭에 107개, 표선도폭
에 40개로, 제주도폭에 가장 많은 단성화산체가 분포하고 있으며, 한림도폭
에 가장 적은 단성화산체가 분포하고 있음을 파악할 수 있으며, 제주도 전
체에서 보면 서쪽보다는 동쪽에 더 우세하게 분포하고 있음을 알 수 있다.

지역별로 분포하는 단성화산체를 형태별로 다시 구분하여 보면, 먼저 한
림도폭에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 2개
(5.3%), 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구가 2개(5.3%), 한 방향으로
터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 13개(34.2%), 초승달형 분석구가 2개

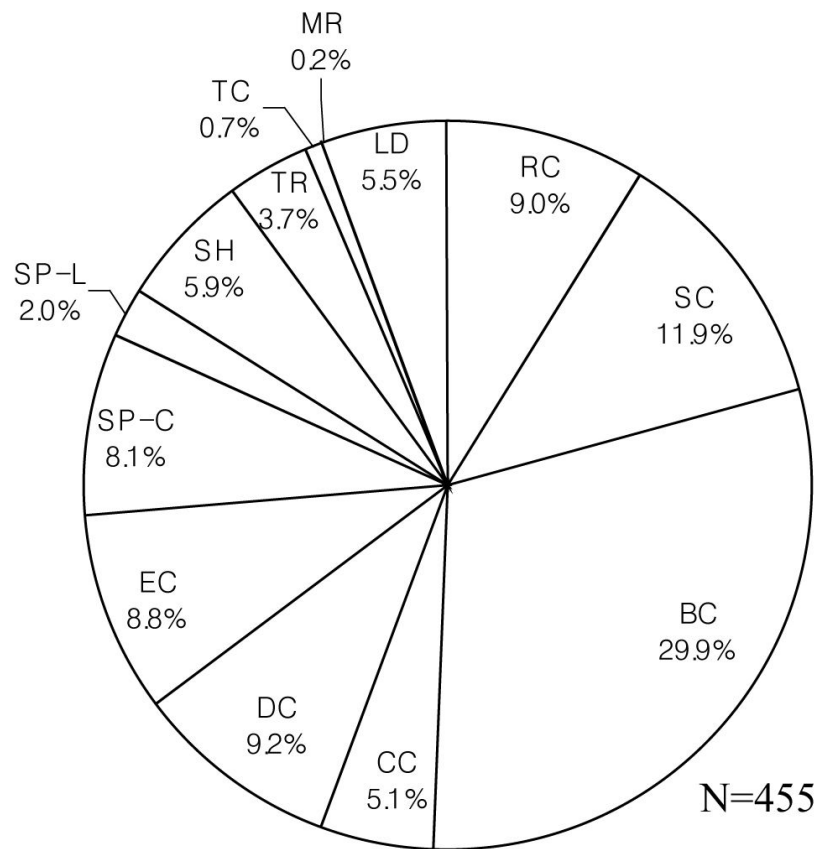


Fig. 8. Pie chart of distribution of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea. Abbreviations are the same as those in appendix 1.

(5.3%), 불규칙한 형태의 분석구가 4개(10.5%), 타원형 분석구가 5개(13.2%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 3개(7.9%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것이 1개(2.6%), 순상화산이 5개(13.2%), 응회환이 1개(2.6%)가 분포하고 있다(Fig. 9a). 한림도폭에는 응회구, 마르, 용암돔 등이 나타나지 않으며 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 그 중 가장 우세하게 나타난다.

제주도폭에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 4개(3.7%), 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구가 15개(13.9%), 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 44개(40.7%), 초승달형 분석구가 6개(5.6%), 불규칙한 형태의 분석구가 9개(8.3%), 타원형 분석구가 10개(9.3%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 5개(4.6%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것이 5개(4.6%), 순상화산이 6개(5.6%), 응회환이 1개(0.9%), 용암돔이 3개(2.8%)가 분포하고 있다(Fig. 9b). 제주도폭에서는 다른 도폭에 비해 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 가장 많은 수가 분포하고 있으며, 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구나 불규칙한 형태의 분석구, 타원형 분석구 등의 빈도도 높게 나타나며, 응회구와 마르는 나타나지 않는다.

성산도폭에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 4개(4.7%), 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구가 12개(14.1%), 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 22개(25.9%), 초승달형 분석구가 8개(9.4%), 불규칙한 형태의 분석구가 11개(12.9%), 타원형 분석구가 12개(14.1%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 8개(9.4%), 순상화산이 4개(4.7%), 응회환이 3개(3.5%), 응회구가 1개(1.2%)가 분포하고 있다(Fig. 9c). 성산도폭에서도 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분

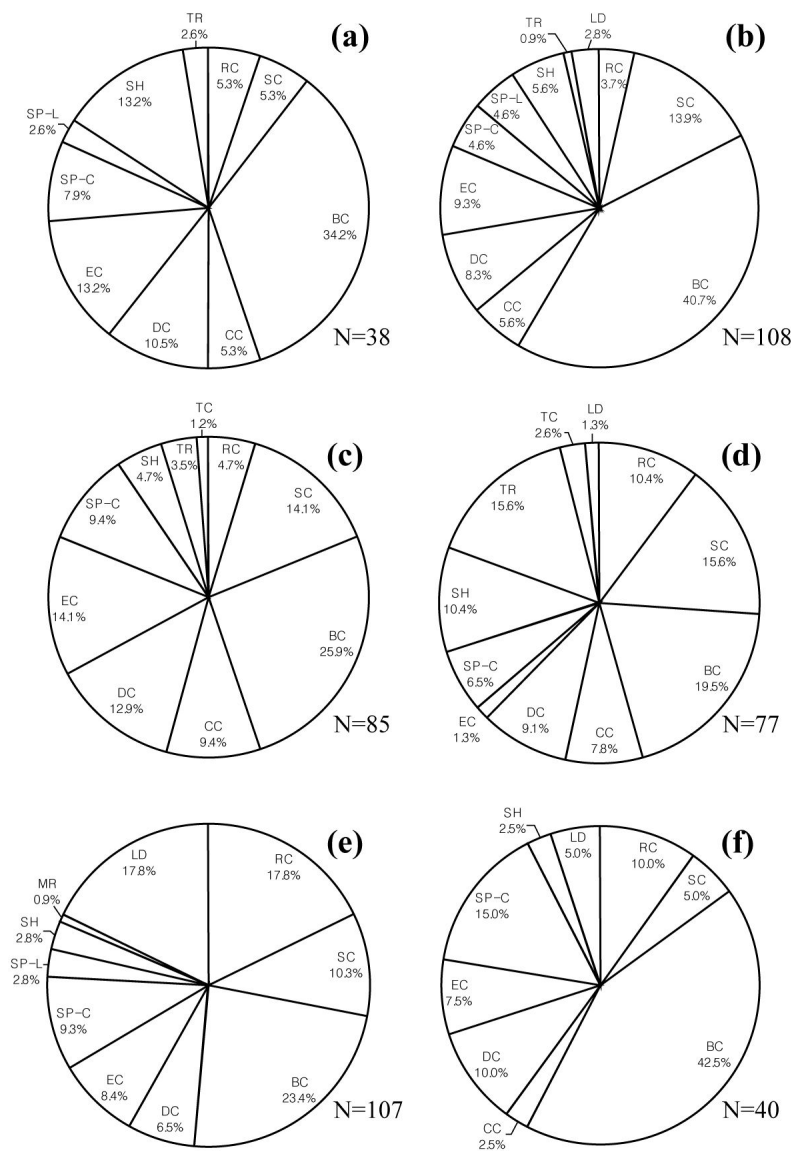


Fig. 9. Pie chart of distribution of monogenetic volcanoes of each topographic/geological map (1:50,000) in Jeju Island, Korea. (a) Hallim, (b) Jeju, (c) Seongsan, (d) Moseulpo, (e) Seogwi, (f) Pyoseon. Abbreviations are the same as those in appendix 1.

석구가 가장 우세하게 나타나고 있지만, 다른 형태의 분석구들도 골고루 분포하고 있으며, 응회환과 응회구 역시 나타난다. 그러나 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것과 용암돔이 나타나지 않아 다른 도폭에 비해 용암이 비교적 적게 나타남을 알 수 있으며, 마르 역시 나타나지 않는다.

모슬포도폭에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 8개(10.4%), 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구가 12개(15.6%), 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 15개(19.5%), 초승달형 분석구가 6개(7.8%), 불규칙한 형태의 분석구가 7개(9.1%), 타원형 분석구가 1개(1.3%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 5개(6.5%), 순상화산이 8개(10.4%), 응회환이 12개(15.6%), 응회구가 2개(2.6%), 용암돔이 1개(1.3%)가 분포하고 있다(Fig. 9d). 모슬포도폭에는 다른 도폭에 비해 순상화산이 더 많이 분포하고 있으며, 응회환이 높은 비율로 분포하고 응회구 역시 나타난다. 마르는 나타나지 않는다.

서귀도폭에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 19개(17.8%), 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구가 11개(10.3%), 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 25개(23.4%), 불규칙한 형태의 분석구가 7개(6.5%), 타원형 분석구가 9개(8.4%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 10개(9.3%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것이 3개(2.8%), 순상화산이 3개(2.8%), 마르가 1개(0.9%), 용암돔이 19개(17.8%)가 분포하고 있다(Fig. 9e). 서귀도폭에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구와 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 우세하게 나타나며, 특히 다른 도폭에 비해 용암돔이 매우 많이 분포하고 있다. 응회환과 응회구는 나타나지 않지만 유일하게 마

르가 존재한다.

마지막으로 표선도폭에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 4개(10.0%), 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구가 2개(5.0%), 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 17개(42.5%), 초승달형 분석구가 1개(2.5%), 불규칙한 형태의 분석구가 4개(10.0%), 타원형 분석구가 3개(7.5%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 6개(15.0%), 순상화산이 1개(2.5%), 용암돔이 2개(5.0%)가 분포하고 있다 (Fig. 9f). 표선도폭에서도 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구의 빈도가 가장 높게 나타나며, 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것, 응회환과 응회구, 마르는 나타나지 않는다.

이들 단성화산체 중에서 알오름으로 존재하는 것은 모두 15개이며, 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 8개(53.3%), 불규칙한 형태의 분석구가 1개(6.7%), 타원형 분석구가 5개(33.3%), 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것 1개(6.7%)이며(Fig. 10), 도폭별로 분포를 살펴보면 먼저 한림도폭에 타원형 분석구가 1개, 성산도폭에 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 3개, 불규칙한 형태의 분석구가 1개, 타원형 분석구가 2개, 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석구로 구성된 것이 1개, 모슬포도폭에 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 3개, 타원형 분석구가 1개, 서귀도폭에 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 1개, 타원형 분석구가 1개, 표선도폭에 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 1개의 빈도로 나타난다. 성산도폭에 가장 많은 7개의 알오름이 존재하며, 제주도폭에는 알오름의 형태로 나타나는 단성화산체가 존재하지 않는다.

제주도에 분포하는 단성화산체의 분포 경향을 좀 더 자세하게 알아보기

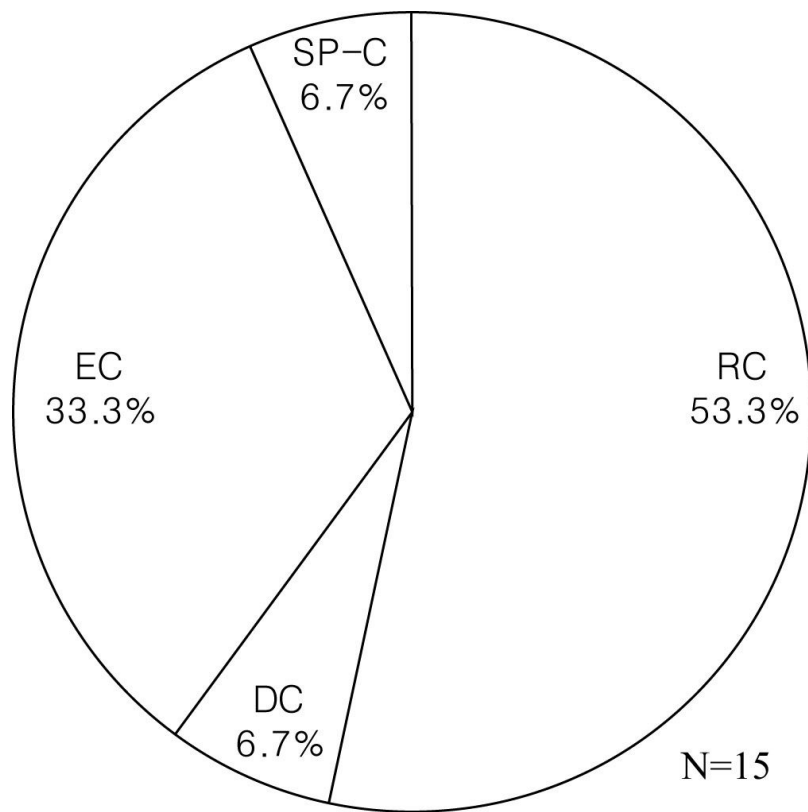


Fig. 10. Pie chart of distribution of small nested cinder cone (al-oreum) in Jeju Island, Korea. Abbreviations are the same as those in appendix 1.

위해, 제주도를 크게 남북으로 나누어 단성화산체의 분포를 살펴보았다. 북부 지역에는 한림도폭, 제주도폭, 성산도폭 지역이 포함되며, 남부 지역에는 모슬포도폭, 서귀도폭, 표선도폭 지역이 해당된다.

제주도의 북부 지역에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 10개, 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구가 29개, 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 79개, 초승달형 분석구가 16개, 불규칙한 형태의 분석구가 24개, 타원형 분석구가 27개, 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 16개, 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것이 6개, 순상화산이 15개, 응회환이 5개, 응회구가 1개, 용암돔이 3개가 분포하고 있다.

제주도의 남부 지역에는 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구가 31개, 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구가 25개, 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구가 57개, 초승달형 분석구가 7개, 불규칙한 형태의 분석구가 18개, 타원형 분석구가 13개, 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 21개, 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것이 3개, 순상화산이 12개, 응회환이 12개, 응회구가 2개, 마르가 1개, 용암돔이 22개가 분포하고 있다.

제주도를 남북 지역으로 구분하면 일반적으로 기후적인 요소에 큰 차이가 있어, 재배 작물의 수확량 등에 영향을 미친다고 알려져 있다. 그러나 최근 30년 동안의 기후 자료를 살펴보면, 연평균기온이 1℃ 미만의 차이를 나타내어 지역 간의 차이는 거의 없으며, 연평균최고기온 역시 지역 간의 차이가 0.1℃~1.6℃로 큰 차이가 없다. 또한 연평균습도 역시 지역 간의 차이가 6% 이내로 거의 차이가 없는 것으로 보인다. 다만 연강수량이 북부 지역은 1456.9mm인 것에 비해 남부 지역은 1850.8mm로 월등히 많은 강

수량을 보이는 것으로 보고되어 있다.

강수량과 같은 풍화 요인에 의해 분석구의 형태가 영향을 받는다면, 강수량이 월등히 더 많은 남부 지역에 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구나 초승달형 분석구, 불규칙한 형태의 분석구 등이 더 많이 분포해야 할 것이다. 그러나 실제 제주도에 분포하는 단성화산체의 분포를 살펴보았을 때, 오히려 강수량이 더 적은 북부 지역에 이러한 분석구들이 더 많이 분포하는 것으로 나타났다. 따라서 제주도의 남북 간의 기후적인 요소의 차이가 분석구의 형태나 분포에 크게 영향을 끼친 것은 아니라고 사료된다.

2. 제주도 단성화산체의 고도별 분포와 개수

이문원과 손인석(1983)에 따르면 제주도는 고도에 따라 세 부분으로 나눌 수 있다. 즉, 해수면에서 300m 이하의 해안저지대, 300m~600m의 중산간지대, 600m~900m 이상의 산악지대로 구분된다. 이에 착안하여 제주도에 분포하는 단성화산체의 고도별 분포를 살펴보았다(Fig. 11).

먼저 300m 이하의 해안저지대에는 전체 455개 단성화산체 중 253개가 분포하여, 과반수 이상인 55.6%가 해안저지대에 분포하는 것으로 나타났다. 300m~600m의 중산간지대에는 110개의 단성화산체가 분포하여 전체의 24.2%가 중산간지대에 흩어져 분포하고 있으며, 600m~900m 이상의 산악지대에는 92개의 단성화산체가 분포하여 전체의 20.2%가 산악지대에 분포하는 것으로 나타났다.

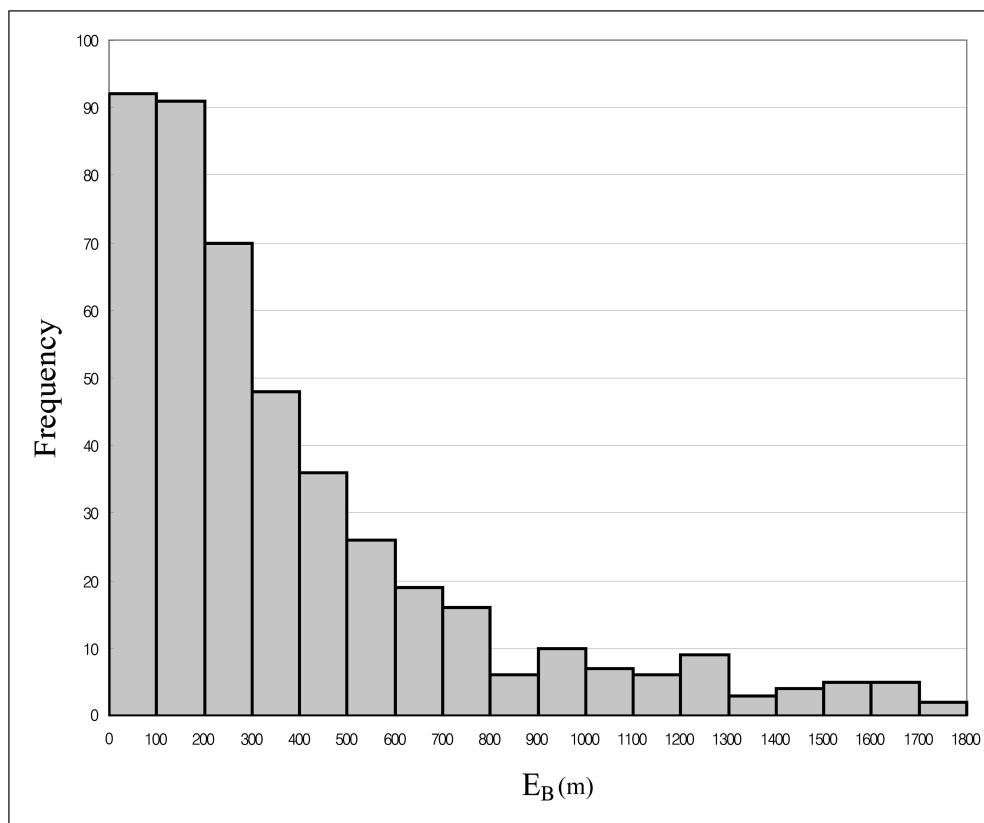


Fig. 11. Histogram of basal elevation (E_B) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.

3. 제주도 단성화산체의 사면경사각의 계산

단성화산체의 형태를 분류한 후에는 이들의 사면경사각을 계산하기 위해 여러 가지 파라메타를 측정하였다.

사면경사각은 $\theta = \arctan(2 \times H / (W_B - W_C))$ 의 식으로 계산할 수 있으므로, 단성화산체의 높이(H)와 기저면의 직경(W_B), 그리고 분화구가 있는 경우에는 분화구의 직경(W_C)을 측정해야 한다.

1) 높이(H)

단성화산체의 높이는 단성화산체의 최고점의 고도에서 기저면 고도의 평균값의 차이로 구하였다. 기저면 고도의 평균값은 기저면이 같은 고도를 가지는 것이 아니므로, 기저면의 최고 고도와 최저 고도의 평균치로 구하였다. 단성화산체의 높이는 최대 350.2m에서 최소 2.0m의 넓은 범위를 나타내었으며, 평균 높이는 56.5m로 나타났다(Fig. 12).

도폭별로 단성화산체의 높이를 계산한 결과는 다음과 같다. 먼저 한림도폭에서는 최대 340.0m, 최소 6.0m, 제주도폭에서는 최대 174.7m, 최소 7.9m, 성산도폭에서는 최대 191.4m, 최소 2.0m, 모슬포도폭에서는 최대 350.2m, 최소 2.4m, 서귀도폭에서는 최대 205.7m, 최소 2.8m, 표선도폭에서는 최대 131.0m, 최소 4.7m로 나타났다(Table 3).

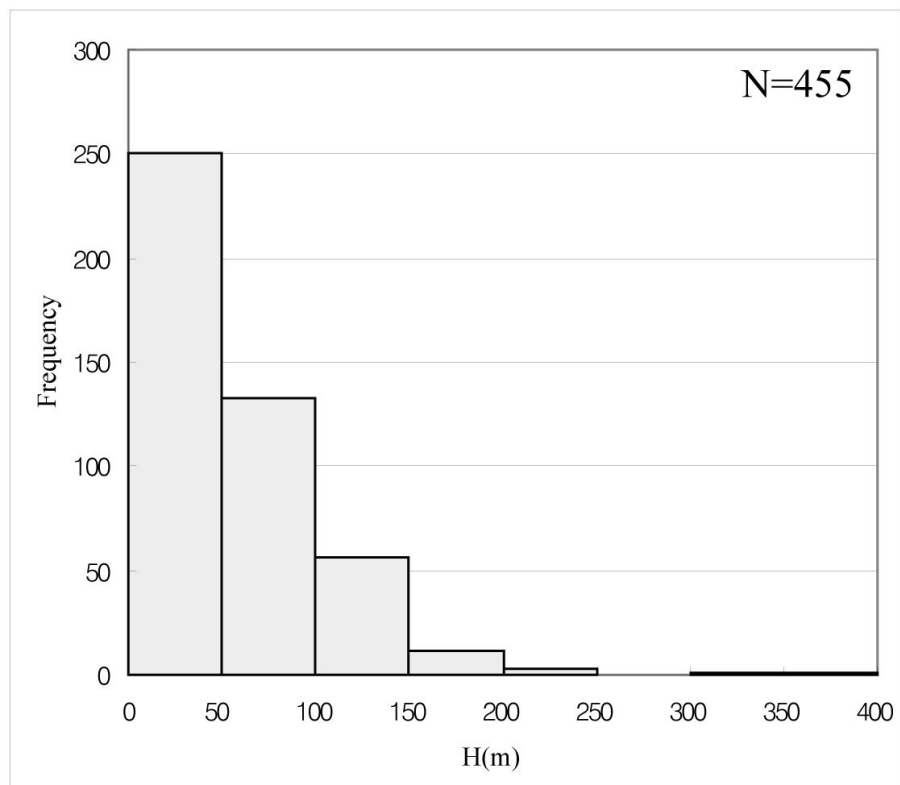


Fig. 12. Histogram of height (H) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.

2) 기저면의 직경(W_B)

단성화산체의 기저면의 직경은 모두 6개의 방위에서 측정하였고 이를 평균하여 표에 기재하였다. 기저면 직경의 최대는 2450.0m이며, 최소는 87.5m이고, 평균 기저면 직경은 496.8m로 나타났다(Fig. 13).

도폭별로 단성화산체의 기저면의 직경을 측정한 결과는 다음과 같다. 먼저 한림도폭에서는 최대 1925.0m, 최소 141.7m, 제주도폭에서는 최대 1073.3m, 최소 87.5m, 성산도폭에서는 최대 1275.8m, 최소 89.2m, 모슬포도폭에서는 최대 2450.0m, 최소 97.5m, 서귀도폭에서는 1370.8m, 최소 121.7m, 표선도폭에서는 최대 1024.2m, 최소 120.0m로 나타났다(Table 3).

3) 분화구의 직경(W_C)

단성화산체 중에서 중심에 분화구를 가지고 있거나 혹은 분화구의 형태는 침식되어 사라지고 없더라도 전체 단성화산체의 형태에서 분화구의 형태를 추정할 수 있는 경우에는 분화구의 직경을 측정하였다. 분화구의 직경 역시 기저면의 직경과 마찬가지로 6방위에서 측정하였고, 이를 평균하여 표에 기재하였다. 분화구 직경의 최대는 1608.3m이며, 최소는 48.3m이고, 평균 분화구 직경은 110.1m로 나타났다(Fig. 14).

도폭별로 단성화산체의 분화구의 직경 분포를 살펴보면, 먼저 한림도폭에서는 최대 292.5m, 최소 99.2m, 제주도폭에서는 602.5m, 최소 69.2m, 성산도폭에서는 최대 794.2m, 최소 50.0m, 모슬포도폭에서는 최대 1608.3m, 최소 48.3m, 서귀도폭에서는 최대 815.8m, 최소 70.0m, 표선도폭에서는 최

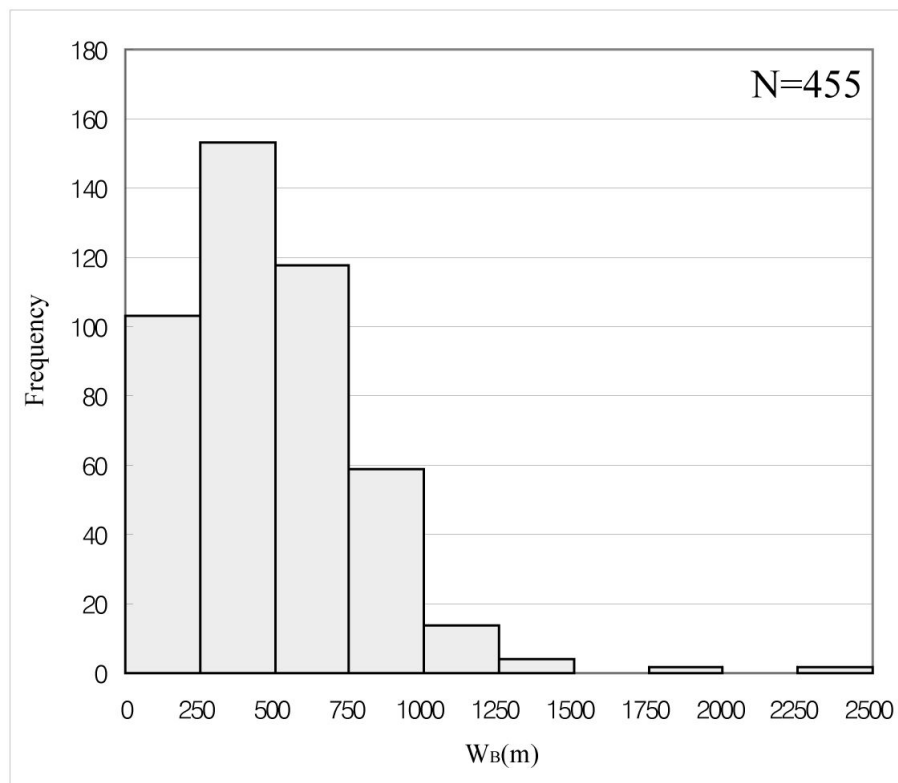


Fig. 13. Histogram of basal diameter (W_B) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.

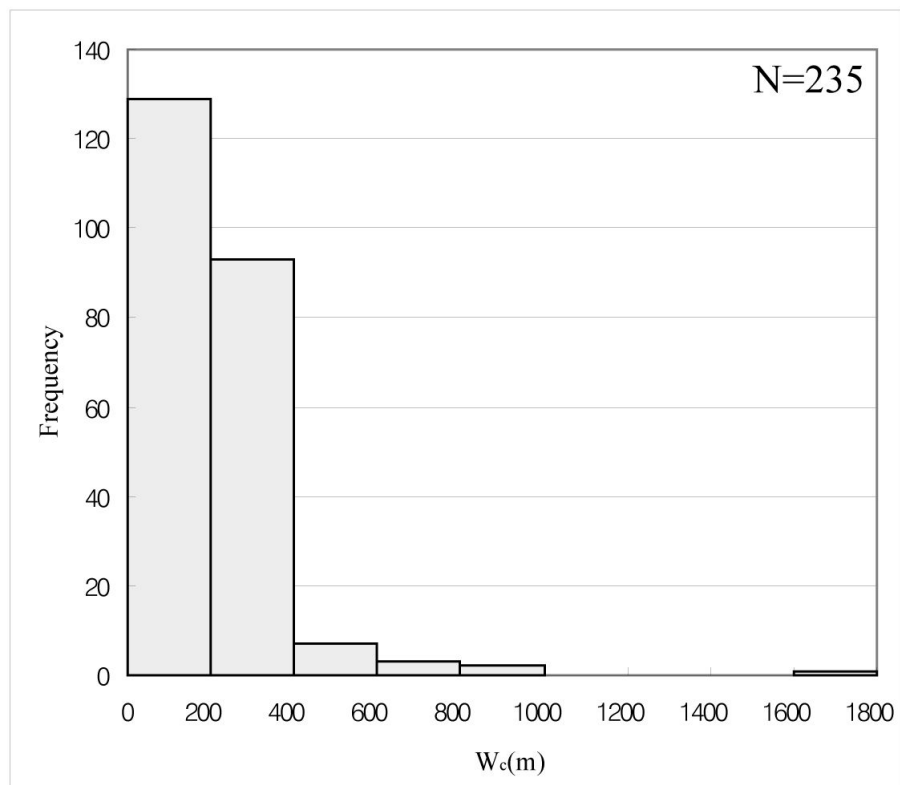


Fig. 14. Histogram of crater diameter (W_c) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.

대 346.7m, 최소 94.2m로 나타났다(Table 3).

4) 사면경사각

전체 단성화산체에 대해 사면경사각을 계산해 본 결과, 사면경사각은 1.5°에서 34.4°의 비교적 넓은 분포범위를 나타내었으며, 평균 사면경사각은 15.7°이다. 이들 사면경사각은 총 3개의 집단으로 세분할 수 있었는데, 먼저 0° ~ 10°이하의 낮은 경사각 집단, 10°초과 ~ 24°이하의 중간 정도의 경사각 집단, 24°초과 ~ 36°이하의 큰 경사각의 집단으로 나누었다(Fig. 15).

0° ~ 10°이하의 낮은 경사각 집단은 100개로 전체의 22.0%, 10°초과 ~ 24°이하의 중간 정도의 경사각 집단은 296개로 전체의 65.1%, 24°초과 ~ 36°이하의 큰 경사각의 집단은 59개로 전체의 13.0%를 차지하였다.

각 도폭에서의 단성화산체의 사면경사각 분포에서 차이가 나타났다. 한림도폭에서는 최소 2.5°에서 최대 25.1°, 제주도폭에서는 최소 1.5°에서 최대 34.4°, 성산도폭에서는 최소 1.5°에서 최대 32.8°, 모슬포도폭에서는 최소 2.2°에서 최대 32.9°, 서귀도폭에서는 최소 2.2°에서 최대 32.1°, 표선도폭에서는 최소 4.2°에서 최대 27.0°의 범위로 나타났으며, 제주도폭에서 32.9°로 경사각의 분포 범위가 가장 넓었으며, 한림도폭에서 22.6°로 경사각의 분포 범위가 가장 좁았다(Table 3).

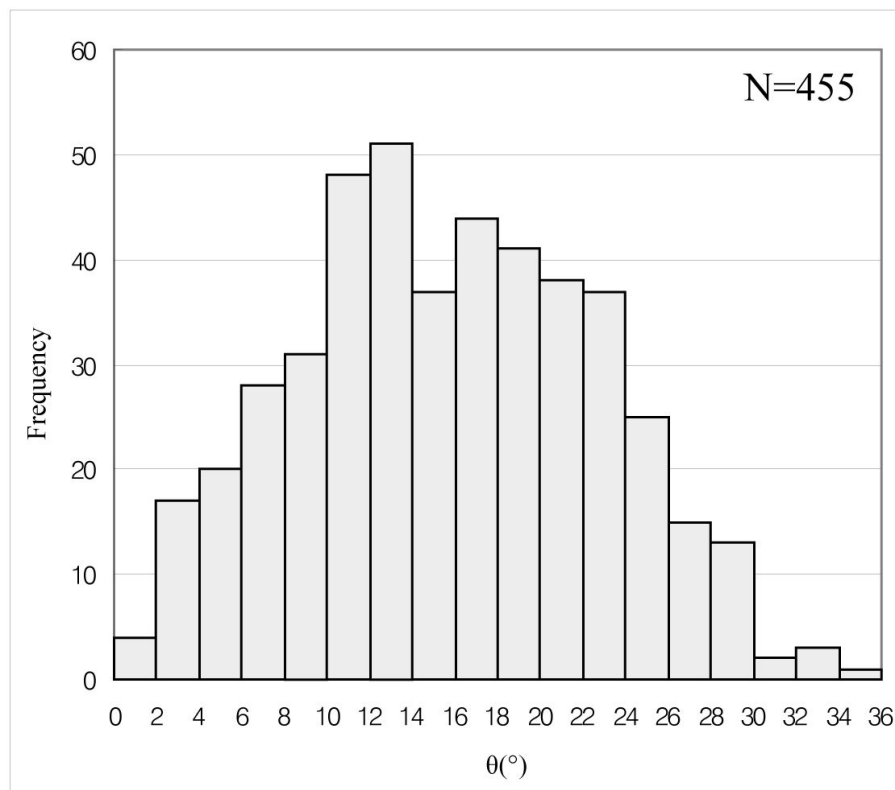


Fig. 15. Histogram of slope angle (θ) frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.

5) 단성화산체의 형태별 사면경사각

다음으로 단성화산체의 형태에 따른 사면경사각의 분포를 살펴보고자 한다. 단, 여기에서 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구, 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구, 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구, 초승달형 분석구, 불규칙한 형태의 분석구, 타원형 분석구, 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 속하는 분석구의 경우에는 사면경사각의 분포를 통해 화산체의 연령을 추정하는 데 이용될 것이므로 후에 따로 논의하기로 한다.

5-1) 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것의 사면경사각

정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것의 경우 높이가 8.4m에서 53.6m로 비교적 좁은 범위를 나타내었다(Fig. 16a). 또한 기저면의 직경의 경우 127.5m에서 566.7m로 비교적 넓은 범위를 나타내었으며, 분화구를 가지는 경우는 나타나지 않았다(Fig. 16b). 따라서 이들 지형 파라메타를 통해 계산된 사면경사각은 7.5°에서 16.9°의 범위로 나타났다. 대부분이 10°초과 ~ 14°이하의 경사각을 나타냈으며, 10°이하인 경우는 2개로 전체의 22.2%를 차지하였으며, 16°를 초과한 높은 경사각을 나타내는 경우는 1개로 11.1%를 차지하였다. 대부분이 10° ~ 16° 사이의 중간 정도의 경사각을 가졌으며 이는 6개로 전체의 66.7%를 차지한다.

전체 단성화산체를 대표적인 세 그룹으로 나누어 살펴보면, 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것의 경우에는 가장 큰 경사각의 범위인 24° 초과와 사면경사각을 보이는 경우는 나타나지 않았다(Fig. 16c). 이는

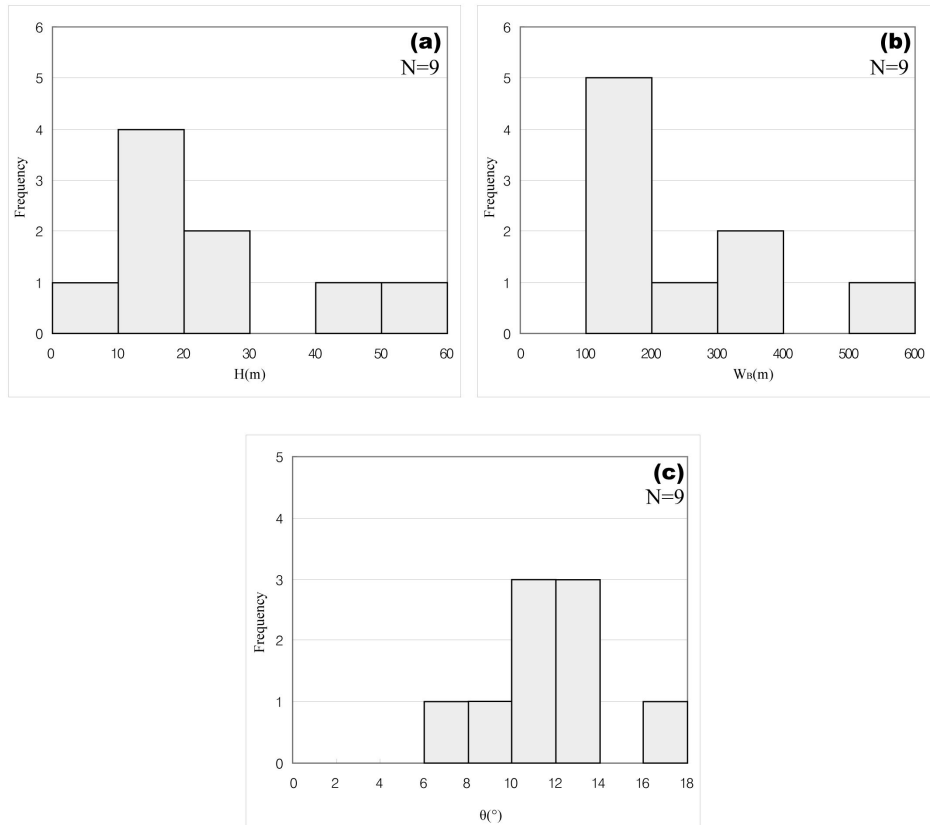


Fig. 16. Histogram of SP-L morphological parameter frequency in Jeju Island, Korea. (a) height, (b) basal diameter, (c) slope angle.

용암으로 구성된 경우에, 용암의 낮은 점성에 따른 큰 유동성에 의해 높은 화산체를 형성하기 보다는 완만한 형태의 화산체를 형성한 것으로 사료된다.

5-2) 순상화산체의 사면경사각

순상화산체의 경우에는 높이가 2.0m에서 143.5m로 비교적 넓은 범위의 분포를 나타냈으며(Fig. 17a), 기저면의 직경의 경우에도 최소 97.5m에서 최대 1792.5m까지 매우 넓은 범위의 분포를 나타내었다(Fig. 17b). 순상화산체는 대부분 분화구를 가지지 않는데, 한림도폭의 안오름이 분화구를 가지며, 이 경우의 분화구의 직경은 146.7m로 나타났다.

이들 지형 파라메타를 통해 계산된 순상화산체의 사면경사각은 1.5°에서 11.9°로 대체로 낮은 경사각의 범위를 나타내었다(Fig. 17c). 11.9°를 나타내는 1개를 제외하고는 모두 10°이하의 낮은 경사각을 나타냄으로써, 낮은 점성과 큰 유동성에 의해 낮은 구릉과 같은 형태의 전형적인 순상화산체의 특징을 나타내었다.

5-3) 응회환, 응회구, 마르의 사면경사각

응회환의 경우에는 높이가 14.0m에서 112.5m로 비교적 넓게 나타났다(Fig. 18a). 기저면의 직경의 경우에는 109.2m에서 2450.0m로 매우 넓은 범위의 분포 특징을 나타내었으며(Fig. 18b), 분화구의 직경 역시 153.3m에서 1608.3m로 넓은 범위의 분포 특징을 나타내었다(Fig. 18c). 이들 형태 파라메타를 통해 계산된 응회환의 사면경사각은 2.2°에서 29.6°로 매우 넓은 범위를 나타내었다(Fig. 18d).

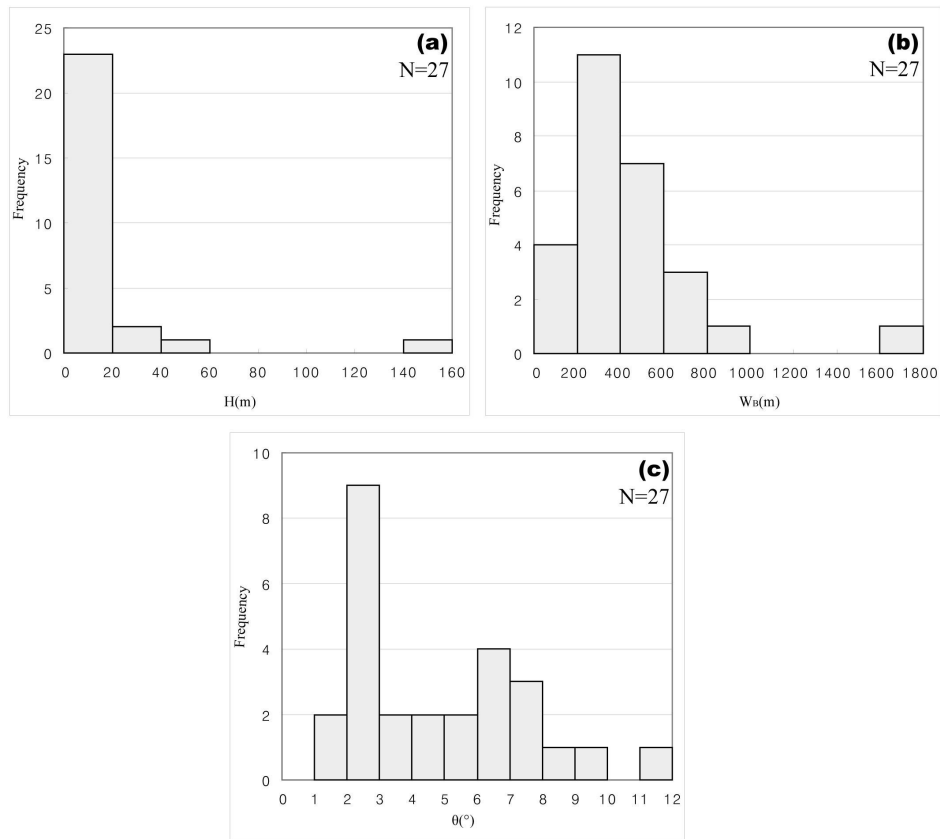


Fig. 17. Histogram of shield volcanoes morphological parameter frequency in Jeju Island, Korea. (a) height, (b) basal diameter, (c) slope angle.

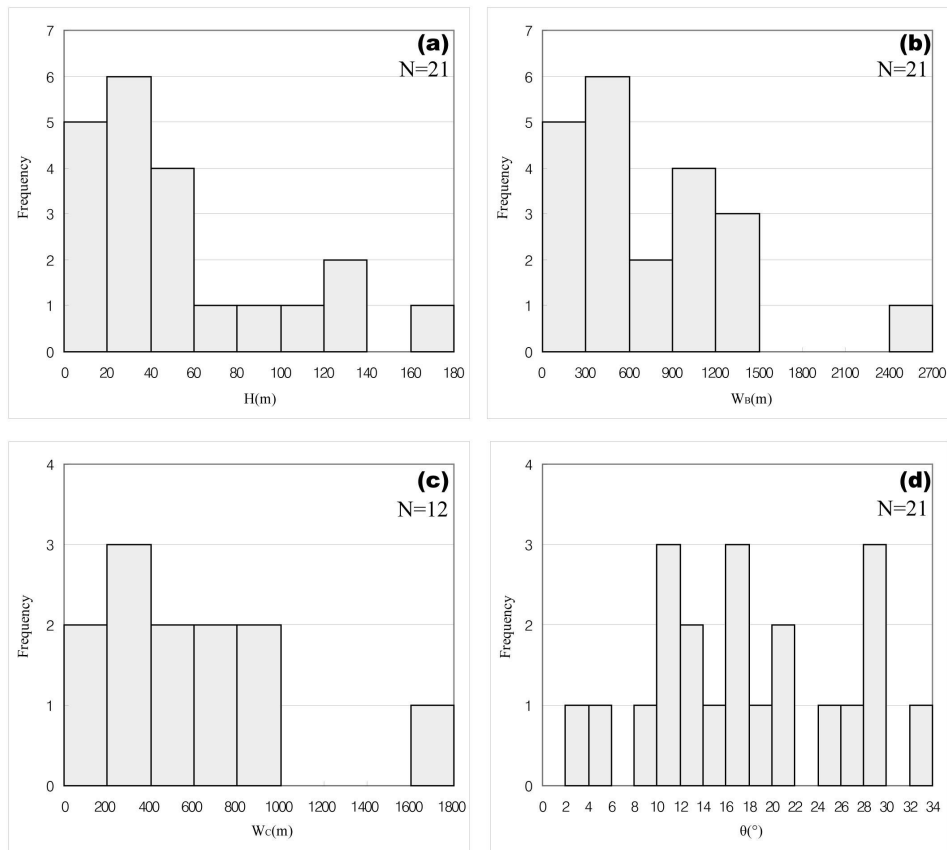


Fig. 18. Histogram of tuff ring, tuff cone and maar morphological parameter frequency in Jeju Island, Korea. (a) height, (b) basal diameter, (c) crater diameter, (d) slope angle.

응회구의 경우에는 높이가 120.5m에서 166.5m로 비교적 좁은 범위를 나타내었다(Fig. 18a). 기저면의 직경은 684.2m에서 1275.8m의 범위로 비교적 좁은 영역을 나타내었으며(Fig. 18b), 분화구의 직경 역시 530.0m에서 556.7m로 매우 한정된 범위를 나타내었다(Fig. 18c). 이들 지형 파라메타를 통해 계산된 응회구의 사면경사각은 19.5°에서 32.9°의 비교적 좁은 사면경사각의 범위를 나타내었다(Fig. 18d).

응회환과 응회구만을 비교해 보면, 대체적으로 응회구의 경우에 응회환보다 더 높은 경사각을 나타내며, 응회환과 응회구를 함께 살펴보면 전체적으로 2.2°, 5.1°와 8.8°를 나타내는 세 가지 경우를 제외하고는 모두 10°초과의 높은 경사각을 나타내었다. 특히 24°를 넘는 매우 큰 경사각을 가지는 경우가 모두 6개로 전체의 30.0%를 차지할 정도로 높게 나타났다.

단 한 개가 존재하는 마르의 경우 높이는 30.0m(Fig. 18a), 기저면의 직경은 1111.7m(Fig. 18b), 분화구의 직경은 815.8m(Fig. 18c)로 나타났으며, 이를 통해 계산된 사면경사각은 11.5°(Fig. 18d)를 나타내었다.

5-4) 용암돔의 사면경사각

용암돔의 경우 높이는 2.8m에서 350.2m로 비교적 넓은 분포 범위를 나타내었고(Fig. 19a), 기저면의 직경의 경우 역시 121.7m에서 1022.5m로 매우 넓은 분포 범위를 나타내었으며(Fig. 19b), 분화구는 가지지 않는다.

이들 지형 파라메타를 통해 계산된 용암돔의 사면경사각 역시 2.6°에서 32.1°의 넓은 범위의 분포를 보였다(Fig. 19c). 경사각의 분포 범위가 넓게 나타나지만 10°이하인 경우가 6개로 전체의 24.0%를 차지하며, 24°초과인 경우가 4개로 16.0%만을 차지하여, 대부분의 경우는 10°초과 ~ 24°이하의

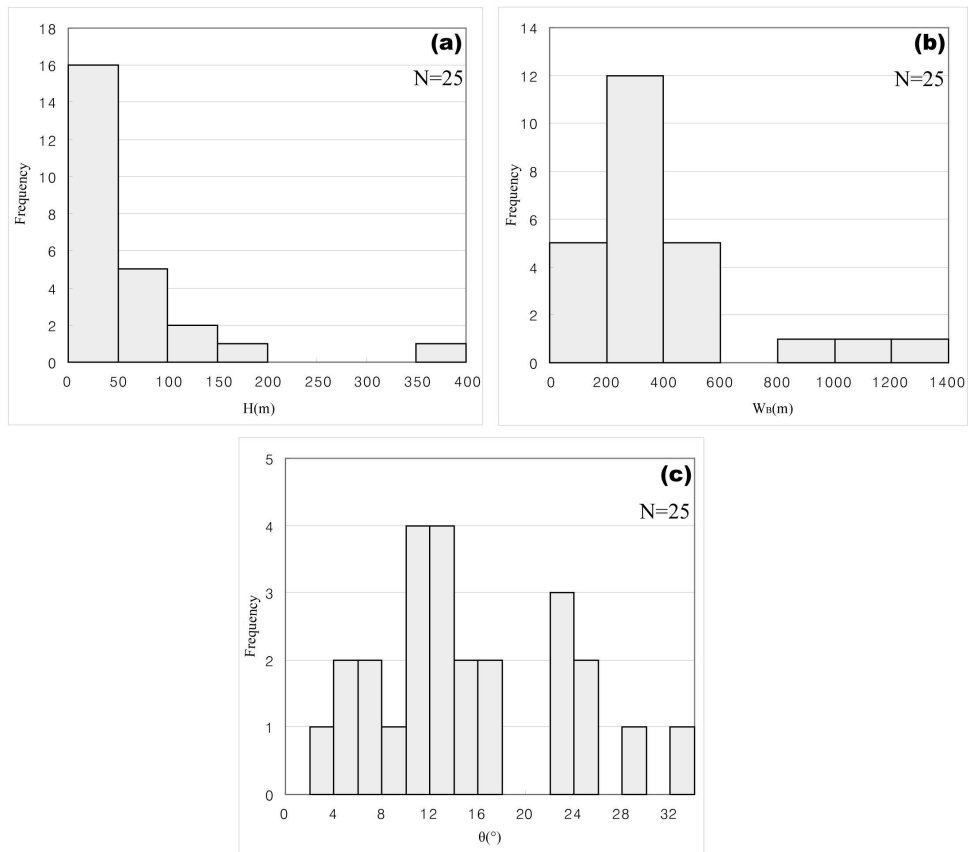


Fig. 19. Histogram of lava domes morphological parameter frequency in Jeju Island, Korea. (a) height, (b) basal diameter, (c) slope angle.

중간 정도의 경사각 범위에 속하며 이는 전체의 60.0%나 차지하는 것으로 나타났다. 용암돔의 경우 조면암이나 조면안산암으로 구성되어 물리화학적 으로 중간 정도의 점성을 가지는 용암이므로, 순산화산체와 달리 유동성이 적고 점성이 커서 순산화산체보다는 높은 경사각의 범위를 나타내었다.

VI. 제주도 분석구의 사면경사각의 계산

단성화산체의 사면경사각은 화산체의 연령 추정에 이용될 수 있다 (Hasenaka and Carmichael, 1985). 즉 화산체가 형성된 이후 시간이 경과하면 풍화작용과 침식작용 등에 의해 화산체가 점차 붕괴되어 화산체의 사면경사각이 낮아진다. 단성화산체가 용암으로 구성된 경우와 분석으로 구성된 경우를 비교해 보면, 용암은 풍화에 대한 저항 강도가 더 강해서 시간의 흐름에 따른 풍화와 침식에 의한 화산체의 사면경사각 변화가 분석으로 구성된 경우보다 훨씬 작다. 따라서 용암으로 구성된 경우에는 시간에 따른 사면경사각의 변화를 알아보기가 힘들다. 그러므로 이 연구에서는 화성쇄설물로 만들어진 원추형의 분석구를 위주로 시간에 따른 사면경사각의 변화를 고려하여 경사각을 통한 단성화산체의 연령을 추정해 보고자 한다.

먼저 분석구들을 따로 분류하였다. 분석구에 해당되는 것은 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구 41개, 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구 54개, 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구 136개, 초승달형 분석구 23개, 불규칙한 형태의 분석구 42개, 타원형 분석구 40개, 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것 37개로 총 373개이다. 분석구를 따로 분류하여 이들에 대해서도 역시 사면경사각을 계산하기 위해 분석구의 높이, 기저면의 직경, 분화구를 가진 경우 분화구의 직경을 측정하여 보았다. 총 455개의 단성화산체 중 분석구가 373개로 전체의 82.0%를 차지하므로, 분석구의 높이, 기저면의 직경, 분화구의 직경 분포와 이들 지형 파라메타를 통해 계산한 사면경사각의 분포가 전체 단성화산체의 높이, 기저면의 직경, 분화구의 직경 분포, 사면경사각의 분포와 큰 차

이를 보이지는 않았으나, 부분적으로 약간의 차이를 나타내었다.

1. 분석구의 높이

분석구의 높이는 최대값이 340.0m, 최소값은 2.4m이며, 평균 높이는 59.7m이다(Fig. 20). 도폭별 분포를 살펴보면, 한림도폭에서 최대 340.0m, 최소 11.9m, 제주도폭에서 최대 174.7m, 최소 7.9m, 성산도폭에서 최대 191.4m, 최소 3.5m, 모슬포도폭에서 최대 174.5m, 최소 2.4m, 서귀도폭에서 최대 205.7m, 최소 7.9m, 표선도폭에서 최대 131.0m, 최소 4.7m로 나타났다(Table 4).

2. 분석구의 기저면의 직경

전체 분석구에서 기저면의 직경은 최대값이 2410.8m, 최소값은 87.5m이며, 평균 기저면의 직경은 501.8m이다(Fig. 21). 도폭별 분포를 살펴보면, 한림도폭에서 최대 1925.0m, 최소 186.7m, 제주도폭에서 최대 1073.3m, 최소 87.5m, 성산도폭에서 최대 1225.0m, 최소 89.2m, 모슬포도폭에서 최대 2410.8m, 최소 117.5m, 서귀도폭에서 최대 1370.8m, 최소 135.8m, 표선도폭에서 최대 1024.2m, 최소 120.0m로 나타났다(Table 4).

3. 분석구의 분화구의 직경

분석구 중에서 중심에 분화구를 가지고 있거나 혹은 분화구의 형태는 침

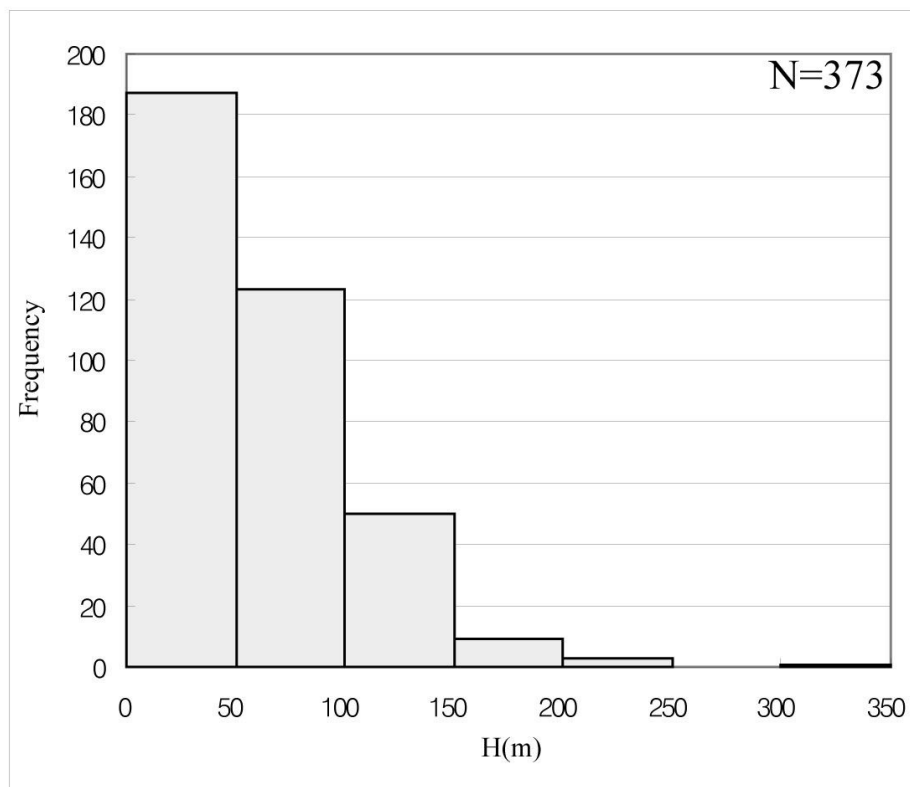


Fig. 20. Histogram of cinder cones height (H) frequency in Jeju Island, Korea.

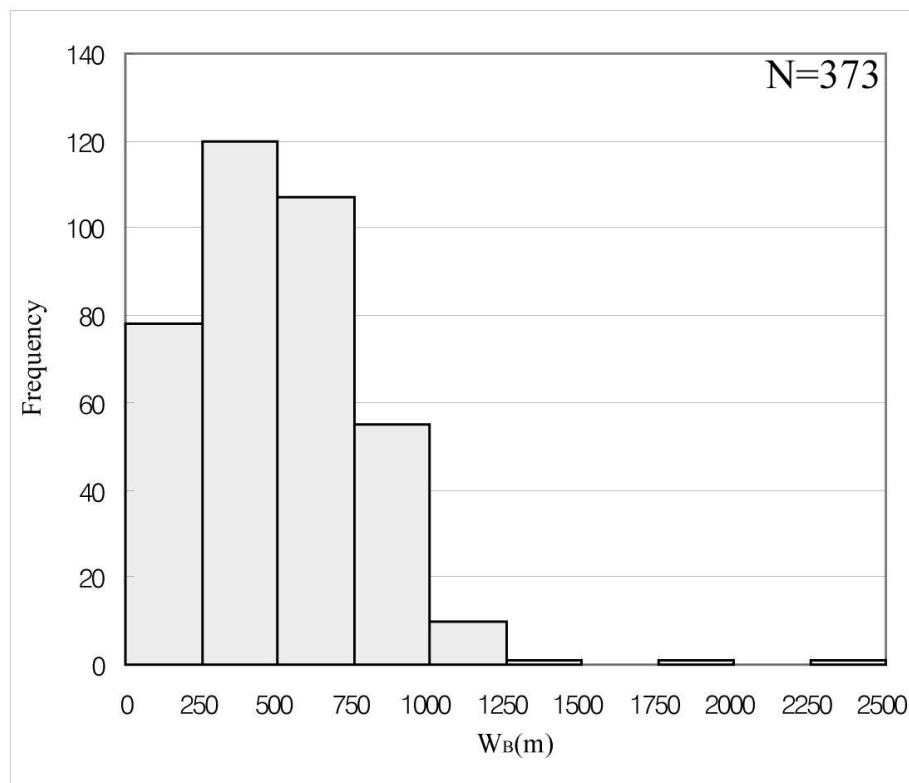


Fig. 21. Histogram of cinder cones basal diameter (W_B) frequency in Jeju Island, Korea.

식되어 사라지고 없더라도 분석구의 형태에서 분화구의 형태를 추정할 수 있는 경우에는 분화구의 직경을 측정하였다. 분화구 직경의 최대값은 602.5m, 최소값은 48.3m이며, 평균 분화구 직경은 114.2m로 나타났다(Fig. 22). 도폭별로 분화구 직경의 분포를 살펴보면, 한림도폭에서 최대 292.5m, 최소 99.2m, 제주도폭에서 최대 602.5m, 최소 69.2m, 성산도폭에서 최대 464.2m, 최소 50.0m, 모슬포도폭에서 최대 430.8m, 최소 48.3m, 서귀도폭에서 최대 505.0m, 최소 70.0m, 표선도폭에서 최대 346.7m, 최소 94.2m로 나타났다(Table 4).

4. 분석구의 사면경사각

분석구의 사면경사각은 1.5°에서 34.4°의 넓은 분포 범위를 나타내었으며, 평균 사면경사각은 16.5°로 나타났다(Fig. 23). 이 중 10°이하의 경사각을 가지는 경우는 63개로 전체의 16.9% 정도를 차지하였고, 24°초과의 경사각을 가지는 경우도 49개로 전체의 13.1% 정도를 차지하였다. 즉 대부분의 분석구가 10°초과 ~ 24°이하 사이의 경사각을 가지며 이는 모두 261개로 전체의 70.0%나 차지하는 것으로 나타났다.

따라서 제주도의 분석구는 대부분 사면경사각이 높은 편에 속하며, 10°이하의 작은 경사각을 가지는 경우는 생성된 후 시간이 경과되면서 풍화작용과 침식작용으로 사면이 붕괴되어 그 경사각이 작아진 것으로 해석되며, 그 생성 연대가 오래된 것으로 추정된다.

도폭별로 분석구의 사면경사각의 분포를 살펴보면, 한림도폭에서 최대 25.1°, 최소 4.8°, 제주도폭에서 최대 34.4°, 최소 1.5°, 성산도폭에서 최대

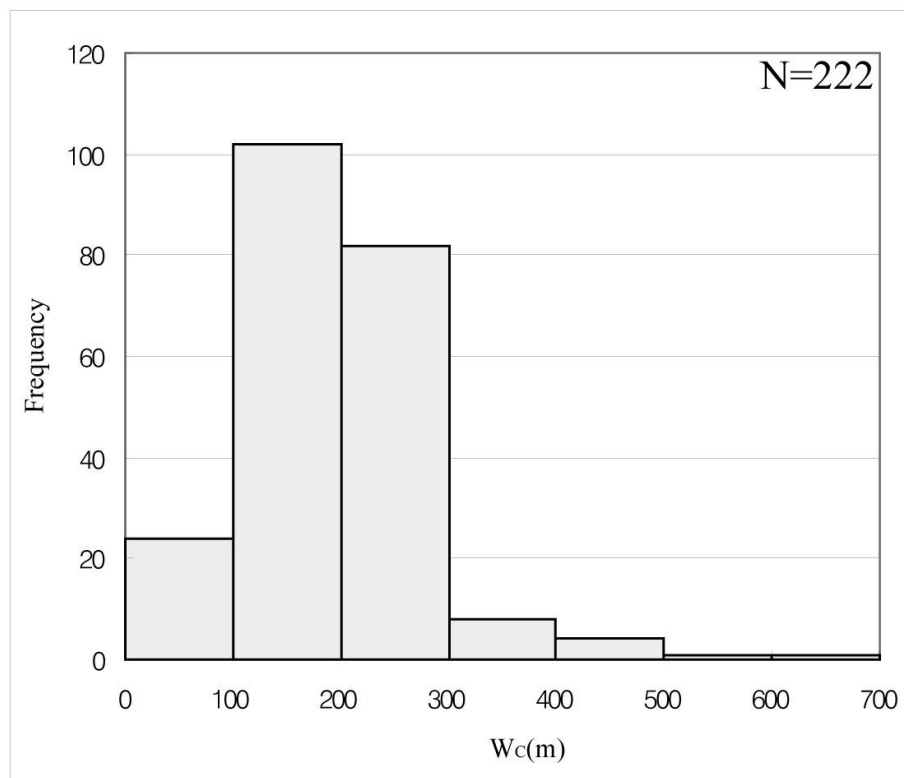


Fig. 22. Histogram of cinder cones crater diameter (W_c) frequency in Jeju Island, Korea.

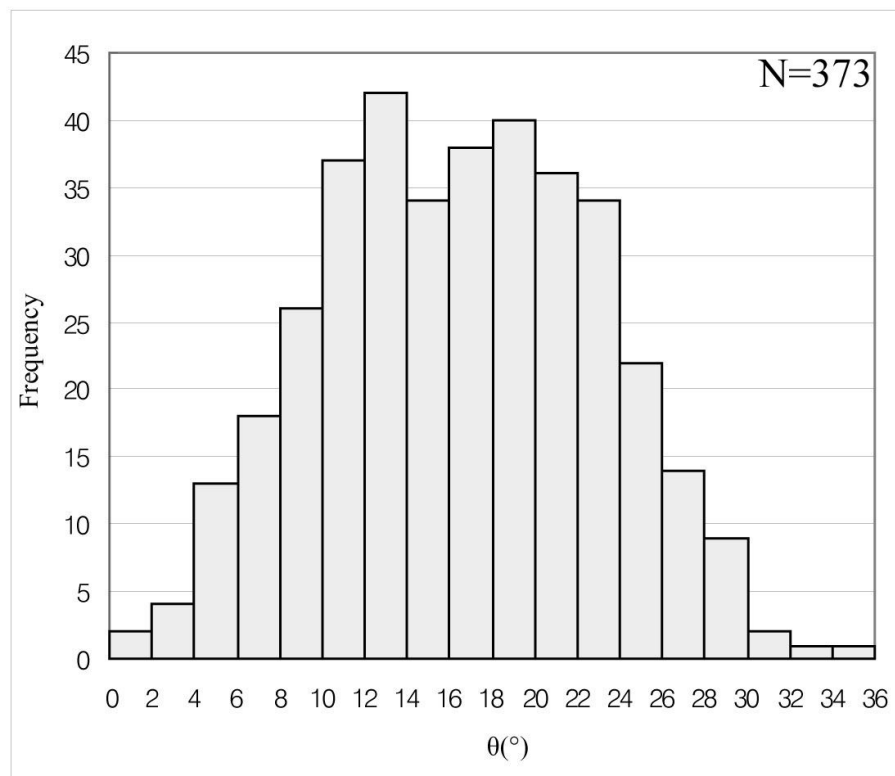


Fig. 23. Histogram of cinder cones slope angle (θ) frequency in Jeju Island, Korea.

32.8°, 최소 1.9°, 모슬포도폭에서 최대 29.7°, 최소 2.6°, 서귀도폭에서 최대 28.2°, 최소 5.1°, 표선도폭에서 최대 27.0°, 최소 4.2°로 나타났다(Table 4). 분석구의 사면경사각 분포 역시 전체 단성화산체의 사면경사각 분포와 마찬가지로 낮은 경사각 0° ~ 10°이하, 중간 정도의 경사각 10°초과 ~ 24°이하, 높은 경사각 24°초과 ~ 36°이하의 세 그룹으로 나눌 수 있다.

5. 분석구의 형태와 각 파라메타 간의 상관관계

Wood(1980a)는 생성 연대가 젊어서 거의 침식되지 않은 분석구의 경우에, 형태적 파라메타 즉, 높이(H)와 기저면의 직경(W_B), 분화구의 직경(W_C) 사이에는 다음과 같은 상관관계가 성립한다고 하였다(Fig. 24).

$$H = 0.18 \times W_B$$

$$W_C = 0.40 \times W_B$$

Wood(1980b)는 샌프란시스코 화산 지역(San Francisco Volcanic Field)의 분석구에 대해서 높이(H), 높이/기저면 직경(H/W_B) 비, 사면의 경사각은 시간이 흐름에 따라 감소한다고 하였다. 그러나 분화구의 직경/기저면 직경(W_C/W_B) 비는 붕괴나 화학적 조성 혹은 입자 크기와 관련하여 크게 변화되지 않는다고 하였으며, 네바다, 오레곤, 만주, 이탈리아 등지의 분석구에서도 이와 유사한 결과가 획득됨으로써, 붕괴에 의한 분석구 형태를 측정하기 위한 각 파라메타는 모든 분석구에 대해 유사하다고 제시하고 있다. 그러나 분석구의 붕괴 비율은 강수량, 기온에 따라 변한다고 한다(Wood, 1980b).

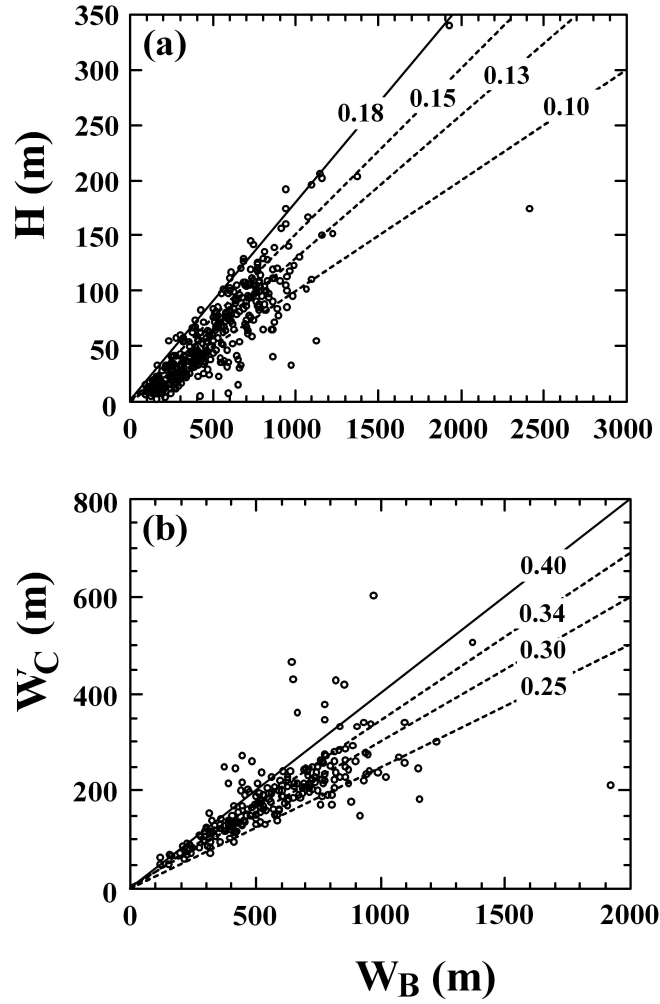


Fig. 24. (a) H vs. W_B diagram and (b) W_C vs. W_B diagram for cinder cones in Jeju Island, Korea. Straight line is by Wood(1980a) and dotted lines are by this study for cinder cones in Jeju Island, Korea.

본 연구지역인 제주도의 분석구에 대해서도 이들 파라메타 사이의 관계를 알아보기 위해 분석구의 높이와 기저면의 직경, 기저면의 직경과 분화구의 직경 사이의 상관관계를 그림으로 도시해 보았다(Fig. 24). 제주도에 나타나는 분석구의 경우 높이/기저면 직경 비가 0.18에서 0.10 사이의 값(회귀계수 0.12)을 가지는 것으로 나타났다. 연대가 젊은 분석구의 경우에는 H/W_B 의 비가 크게 나타나는 것에 비해, 연대가 오래된 분석구의 경우에는 H/W_B 의 비가 작게 나타났으며, H/W_B 의 비가 작다는 것은 침식의 영향을 훨씬 더 크게 받았다는 것을 시사한다.

그림 24a에서와 같이 제주도의 분석구에 대한 H/W_B 의 비가 Wood(1980a)의 비보다 더 낮게 나오는 것은, 샌프란시스코 화산 지역의 침식을 거의 받지 않은 젊은 연대의 분석구보다 태풍 등 기후적인 풍화요소를 가진 제주도에 분포하는 분석구가 전체적으로 침식의 영향을 좀 더 많이 받은 것으로 생각할 수 있다.

한편 분석구 중에서 분화구를 가지거나 혹은 분화구의 형태를 유추할 수 있는 경우, 분화구 직경/기저면 직경의 비는 0.40에서 0.25 사이의 값(회귀계수 0.31)을 가지는 것으로 나타나, 그림 24b의 Wood(1980a)가 제안한 비보다 제주도의 분석구에 대한 W_C/W_B 의 비가 더 작은 값을 가지는 것을 알 수 있다. Wood(1980b)는 W_C/W_B 의 비가 붕괴나 화학조성, 입자 크기와 관련하여 크게 변화하지 않으나, 분석구의 붕괴 비율이 강수량과 기온에 따라 변한다고 하였으므로 그림에서 나타나는 바와 같이 작은 정도의 W_C/W_B 의 차이는 제주도와 애리조나 샌프란시스코 화산지역의 지역적인 기후의 차이에 의한 붕괴 정도의 차이에서 기인한 것으로 생각된다. 즉, 기후의 차이에 따른 붕괴 정도가 달라지면서 이의 영향으로 W_C/W_B 의 비가 조금씩 변화되는 것으로 생각된다.

6. 분석구의 터진 방향

분석구 중에서 말발굽형 화구를 가진 분석구와 초승달형 분석구에 대해 분석구의 터진 방향의 경향성을 16방위로 구분하여 살펴보았으며, 이를 로즈 다이어그램으로 나타내어 보았다(Fig. 25). 북(N)이 전체의 9.5%, 북북동(NNE)이 5.1%, 북동(NE)이 16.5%, 북동동(NEE)이 1.3%, 동(E)이 4.4%, 남동동(SEE)이 1.3%, 남동(SE)이 8.2%, 남남동(SSE)이 1.3%, 남(S)이 3.8%, 남남서(SSW)가 1.3%, 남서(SW)가 10.1%, 서(W)가 12.0%, 북서서(NWW)가 3.8%, 북서(NW)가 17.1%, 북북서(NNW)가 4.4%로 나타났다. 북서 방향이 17.1%로 가장 빈번하게 나타났고, 남서서(SWW) 방향은 나타나지 않았다.

도폭별로 터진 방향을 살펴보면, 한림도폭에서는 북이 전체의 13.3%, 북북동이 6.7%, 북동이 6.7%, 남동이 13.3%, 남이 6.7%, 남서가 6.7%, 북서가 40.0%, 북북서가 6.7%로 나타나, 북서 방향이 매우 탁월하며, 북과 남동 방향 역시 많은 비율을 차지함을 알 수 있었다(Fig. 26a).

제주도폭에서는 북이 16.0%, 북북동이 4.0%, 북동이 22.0%, 북동동이 2.0%, 동이 2.0%, 남동동이 2.0%, 남동이 4.0%, 남남동이 2.0%, 남이 2.0%, 남남서가 2.0%, 남서가 14.0%, 서가 6.0%, 북서서가 2.0%, 북서가 16.0%, 북북서가 4.0%로 남서서를 제외한 모든 방향으로 터진 방향이 나타났다(Fig. 26b). 또한 북동 방향이 가장 우세하게 나타났으며, 북과 북서 방향이 두 번째로 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났다.

성산도폭에서는 북이 6.9%, 북북동이 3.4%, 북동이 20.7%, 북동동이 3.4%, 동이 10.3%, 남동이 6.9%, 남이 6.9%, 남남서가 3.4%, 서가 17.2%,

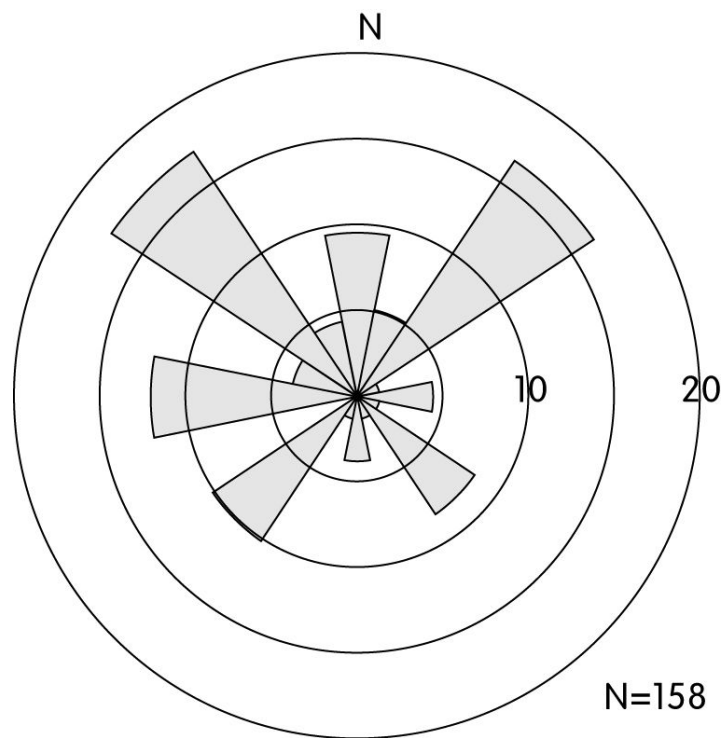


Fig. 25. Rose diagram of breached direction for BC and CC of Jeju Island, Korea. Abbreviations are the same as those in appendix 1.

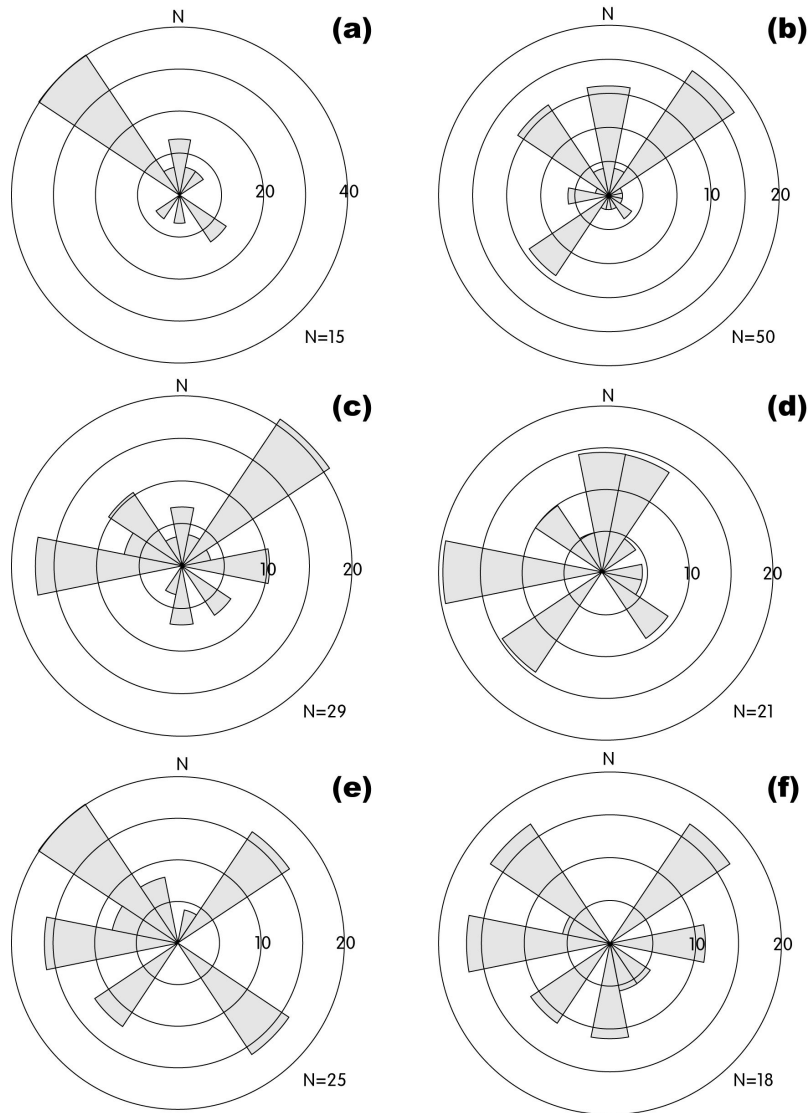


Fig 26. Rose diagram of breached direction of each topographic/geological map (1:50,000) in Jeju Island, Korea. (a) Hallim, (b) Jeju, (c) Seongsan, (d) Moseulpo, (e) Seogwi, (f) Pyoseon.

북서서가 6.9%, 북서가 10.3%, 북북서가 3.4%로 터진 방향이 나타나, 북동 방향이 탁월하며, 서 방향이 두 번째로 우세하게 나타나는 특징을 나타내었다(Fig. 26c).

모슬포도폭에서는 북이 14.3%, 북북동이 14.3%, 북동이 4.8%, 동이 4.8%, 남동동이 4.8%, 남동이 9.5%, 남서가 14.3%, 서가 19.0%, 북서가 9.5%, 북북서가 4.8%로 터진 방향이 나타났다(Fig. 26d). 모슬포도폭에서는 서 방향이 가장 탁월하게 나타나며, 북과 북북동, 남서 방향도 우세하게 나타났다.

서귀도폭에서는 북북동이 4.0%, 북동이 16.0%, 남동이 16.0%, 남서가 12.0%, 서가 16.0%, 북서서가 8.0%, 북서가 20.0%, 북북서가 8.0%로 터진 방향이 나타났다(Fig. 26e). 서귀도폭에서는 북서 방향이 가장 탁월하게 나타나며, 북동과 서 방향도 우세하게 나타난다.

표선도폭에서는 북동이 16.7%, 동이 11.1%, 남동이 5.6%, 남남동이 5.6%, 남이 11.1%, 남서가 11.1%, 서가 16.7%, 북서서가 5.6%, 북서가 16.7%로 터진 방향이 나타났다(Fig. 26f). 북동, 서, 북서 방향이 탁월하며, 남과 남서 방향의 비율도 높게 나타났다.

제주도를 다시 남북으로 크게 구분하여 터진 방향을 살펴보았다. 북쪽에 해당하는 한림도폭, 제주도폭, 성산도폭을 묶어 살펴보면, 터진 방향이 주로 북서 및 북동 방향으로써, 한라산 정상을 기준으로 하여 해안쪽을 향하는 경사방향이 우세함을 알 수 있다. 남쪽에 해당하는 모슬포도폭, 서귀도폭, 표선도폭을 묶어 살펴본 경우에는, 터진 방향이 주로 서, 북서, 북동 방향으로써, 한라산 정상을 기준으로 하여 한라산쪽을 향하는 경사방향이 주로 나타남을 알 수 있다. 이는 지형적인 경사와는 반대되는 경향이다.

원종관(1976b)은 화산구의 터진 방향은 첫째, 화성쇄설물이 분출할 때의

탁월풍, 둘째, 분출시의 지면경사방향, 셋째, 용암유출에 인한 유로에 따르는 침식 등에 기인한다고 하였으며, 그 중에서도 탁월풍의 영향이 가장 크게 작용하였을 것으로 생각하였다. 본 연구에서 제주도 전체를 살펴본 경우에도, 또 도폭별로 살펴본 경우에도 분석구의 터진 방향이 특별한 방향성을 가지지 않는 것으로 나타났으나, 제주도를 크게 남북으로 구분하여 살펴본 경우에는 약간의 방향성이 나타났다. 제주도 북부 지역은 주로 북쪽 방향이 우세하게 나타났으며, 제주도 남부 지역은 분산되는 경향이 우세하기는 하나 미약하게 북쪽 방향의 방향성이 나타났다. 따라서 이는 지형적인 영향보다는 남풍계열의 탁월풍의 영향을 우세하게 받았던 것으로 해석할 수 있다. 그러므로 제주도가 과거에도 현재와 같은 기후조건을 유지했다고 가정한다면, 이러한 남풍계열의 탁월풍의 영향을 받았다는 것은 이들 분석구의 형성 시기가 계절적으로 여름에 남동계절풍이 우세하게 부는 시기였음을 짐작하게 한다.

그러나 제주도를 남북으로 나누어 살펴보았을 때, 연평균기온이 1°C 미만의 차이를 나타내어 지역 간의 차이는 거의 없으며, 연평균최고기온 역시 지역 간의 차이가 $0.1^{\circ}\text{C}\sim 1.6^{\circ}\text{C}$, 연평균습도 역시 지역 간의 차이가 6% 이내로 거의 차이가 없는 것으로 보인다. 다만 연강수량이 북부 지역은 1456.9mm인 것에 비해 남부 지역은 1850.8mm로 월등히 많은 강수량을 보인다. 이러한 기후적인 요소가 분석구의 터진 방향을 결정하는데 중요한 변수가 될 수 있지만, 제주도가 생성된 시기가 전체적으로 1Ma 이하의 짧은 화산활동 시기이므로 이들이 크게 영향을 끼쳤다고 생각되지는 않는다.

7. 분석구에 대한 절대 연령과 형태적 연령의 상관관계

분석구의 형태에 관련된 파라메타를 이용하여 얻어진 분석구의 사면경사각으로 분석구의 연령을 추정할 수 있는지 알아보기 위해, 기존에 알려진 분석구의 절대 연령과 그에 해당되는 분석구의 사면경사각을 도식해 보았다.

먼저 제주도에 분포하는 분석구에서 유래된 현무암의 형성연대자료(K-Ar 및 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 전암연령; Table 5)를 가지고 절대 연령에 대한 사면경사각을 도식하고, 이 연령자료의 신뢰성을 위해 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 절대 연령 측정치(Joseph, G. M., 2006; Table 5)에 대한 사면경사각 값을 함께 도식해 보았다(Fig. 27). 그 결과, 각 분석구의 K-Ar 및 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 절대 연령이 오래된 것일수록 더 작은 사면경사각을 나타내었으며, 반면에 이들 연령이 젊은 것일수록 사면경사각은 더욱 크다는 것을 알 수 있었다. 또한 젊은 분석구의 경우에는 경사각의 변화가 가파르고, 오래된 분석구의 경사각의 변화는 비교적 완만한 경향을 보인다. 이는 생성된지 오래되지 않은 젊은 분석구의 경우 오래된 분석구 보다 상대적으로 더 빠른 붕괴율을 나타내는 것을 의미한다. 즉 젊은 분석구가 오래된 분석구보다 풍화와 침식으로 더 빠르게 붕괴하여 시간에 따른 붕괴율이 더 크게 나타난 것으로 해석된다.

분석구가 형성된 후 시간이 흐르면서 풍화작용과 침식작용을 거치면, 분석구의 사면이 점차 낮아져서 점점 더 낮은 경사각을 가지게 되므로, 이는 유용한 결과라고 생각된다. 즉, 분석구의 연령이 증가함에 따라 사면경사각이 작아지는 관계를 도출하여 증명함으로써, 분석구의 형태를 측정·분석하여 방사성 동위원소에 의한 연령을 측정하지 않고도 이들의 대략적인 형성 연대를 추정할 수 있음을 보여준다.

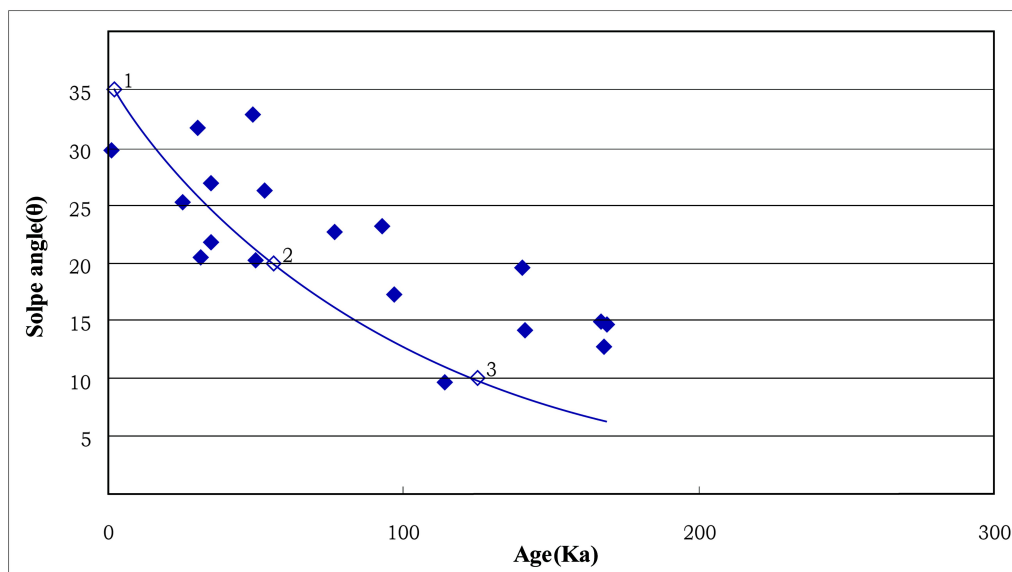


Fig. 27. Slope angle (θ) vs. geochronological data of cinder cones in Jeju Island, Korea(◆) and America(◇, 1; Paricutin, 2; Capulin, 3; Black Mountain).

VII. 제주도 단성화산체의 부피

각각의 단성화산체에 대해 마그마의 분출량을 추정하기 위해 아래의 식으로 부피를 계산하였으며, 단위는 km^3 이다(Appendix 1).

$$V = \frac{\pi \times H (W_B^2 + W_B W_C + W_C^2)}{12}$$

대부분의 단성화산체의 부피는 0.06km^3 이하로 나타났다. 전체 455개의 단성화산체 중 379개에 해당하는 83.3%가 가장 작은 부피인 0.02km^3 이하의 범위에 도시되었고, 96.7%에 해당하는 440개가 0.06km^3 이하의 범위에 속하는 것으로 나타났다(Fig. 28a). 0.06km^3 에서 0.16km^3 에 해당하는 것은 12개로 2.6%를 차지하였으며, 이들보다 더 큰 부피를 가지는 것은 한림도폭의 어승생(0.370262km^3), 모슬포도폭의 수월봉(0.213109km^3), 모슬포도폭의 군산(0.265386km^3) 등 3개로 전체의 0.7% 정도에 지나지 않았다. 가장 큰 부피를 차지하는 단성화산체는 한림도폭에 존재하는 어승생으로 0.37km^3 의 부피 값을 나타내었다. 전체 단성화산체 총 부피는 5.326359km^3 에 해당된다. 부피의 값이 너무 작은 단위로 계산되어 소수점 아래 6자리까지 표시를 해야지만 그 값을 비교할 수 있었다.

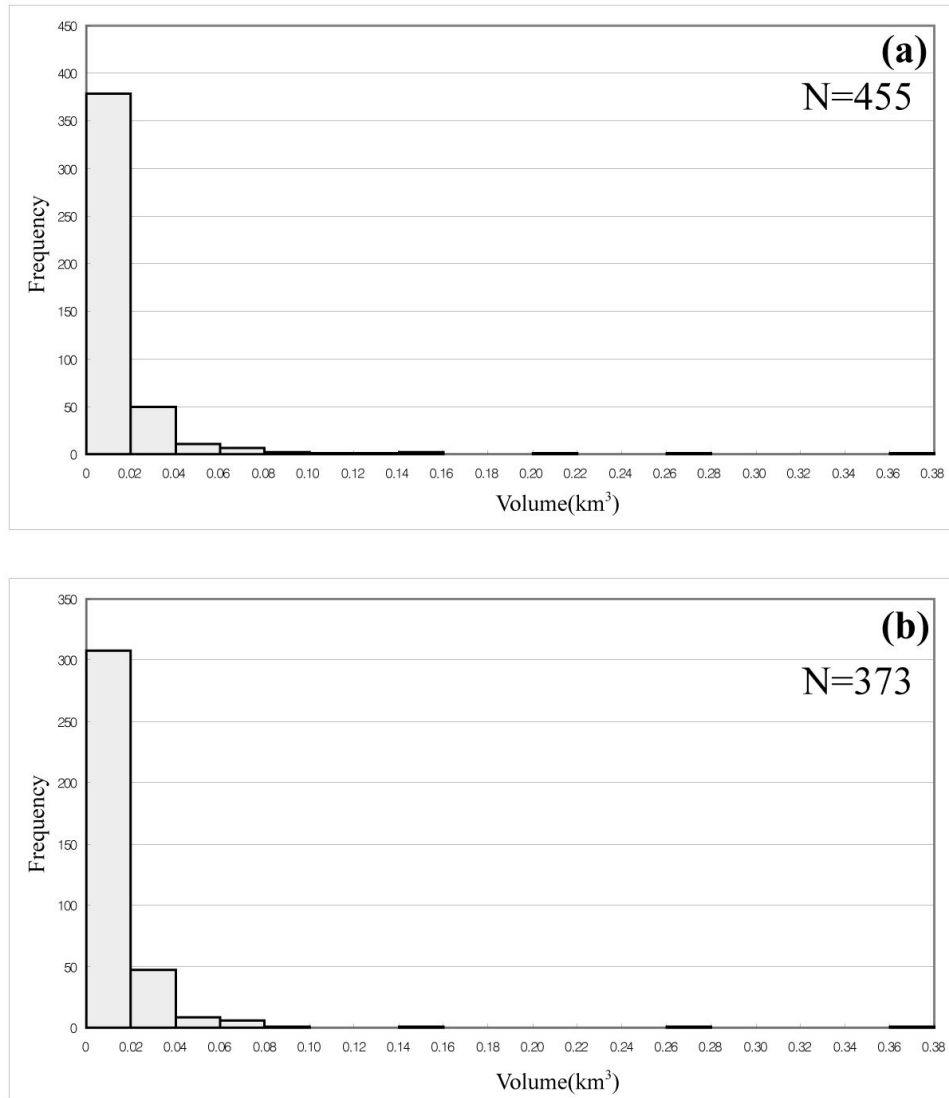


Fig. 28. Histogram of volume frequency of monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea. (a) monogenetic volcanoes, (b) cinder cones.

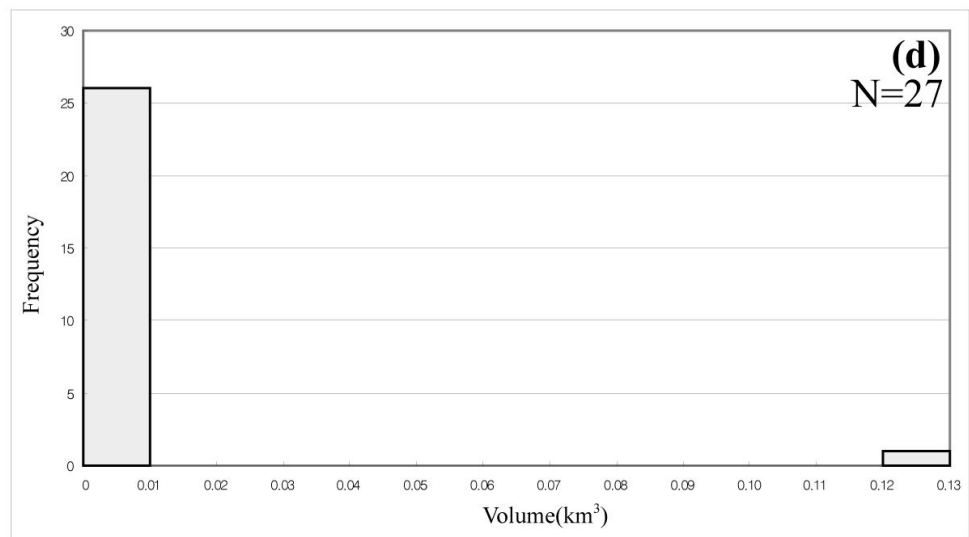
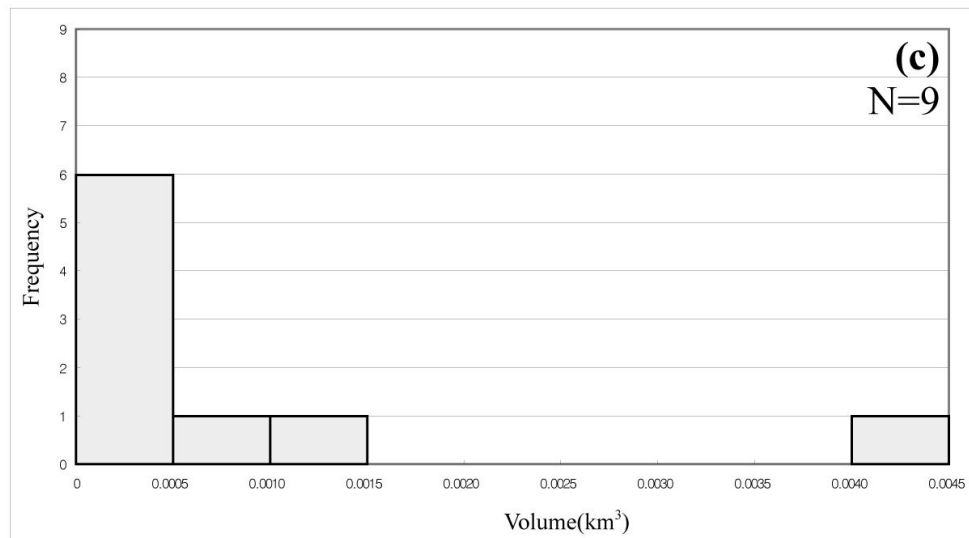


Fig. 28. Continued. (c) SP-L, (d) shield volcanoes.

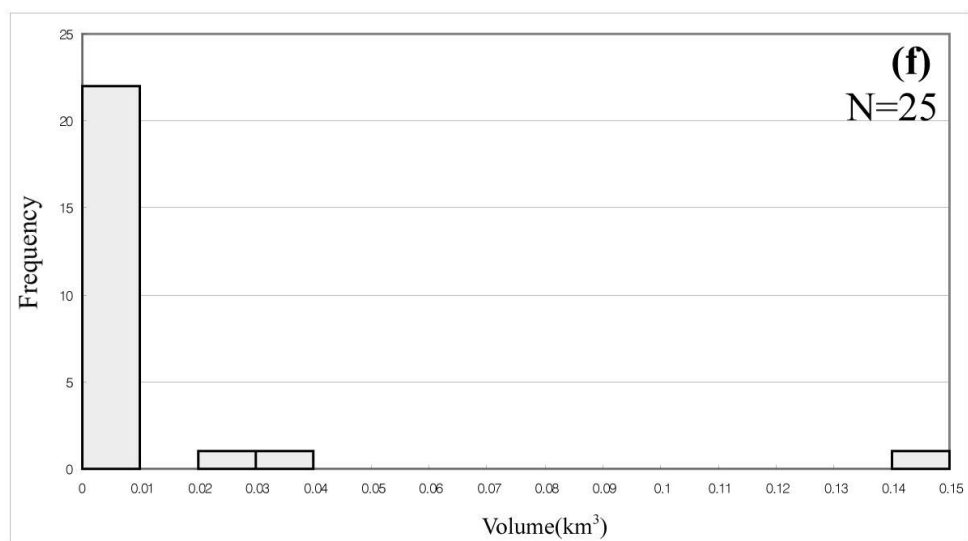
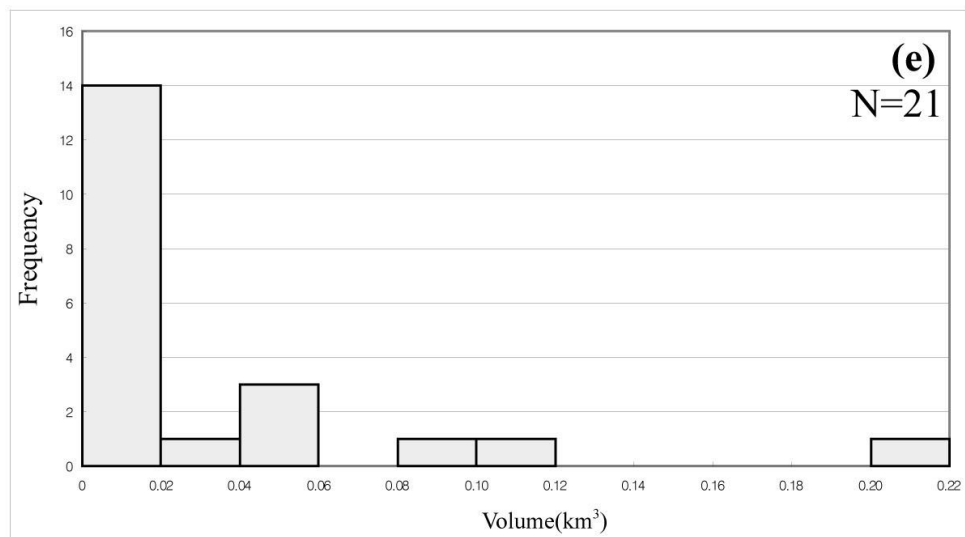


Fig. 28. Continued. (e) tuff ring, tuff cone and maar, (f) lava domes.

1. 단성화산체의 도폭별 부피

도폭별로 단성화산체의 부피의 분포를 살펴보면, 먼저 한림도폭에서는 어승생이 가장 큰 부피를 나타내며 그 값은 0.370262km^3 이고, 가장 작은 부피를 가지는 것은 방주오름으로 그 값이 0.000044km^3 에 해당되었다. 제주도폭에서는 물장오리가 가장 큰 부피를 차지하고 있으며, 그 값은 0.066211km^3 이고, 가장 작은 부피를 가지는 것은 논오름으로 그 값이 0.000018km^3 에 해당되었다. 성산도폭에서는 성산일출봉이 가장 큰 부피를 나타내며 그 값은 0.112615km^3 이며, 가장 작은 부피를 가지는 것은 소왕산으로 그 값은 0.000013km^3 이다. 모슬포도폭에서는 군산이 가장 큰 부피를 나타내며 그 값은 0.265386km^3 이며, 가장 작은 부피를 가지는 것은 송아오름으로 0.000013km^3 의 값을 나타내었다. 서귀도폭에서는 단연 백록담분화구의 부피가 가장 크게 나타났으며 그 값은 0.150582km^3 이고, 가장 작은 부피를 나타내는 것은 입석오름남동으로 그 값은 0.000011km^3 이었다. 마지막으로 표선도폭에서는 물영아리가 가장 큰 부피를 나타내었으며 그 값은 0.045801km^3 이며, 가장 작은 부피를 가지는 것은 수망리북동(경일산업)으로 그 값이 0.000020km^3 으로 나타났다.

2. 단성화산체의 형태별 부피

1) 분석구의 부피

계산된 분석구의 부피는 한림도폭의 어승생의 부피 값인 0.370262km^3 에

서 서귀도폭의 입석오름남동의 부피 값인 0.000011km^3 로 매우 넓은 범위의 분포를 나타내었다. 대부분의 분석구는 작은 부피를 가지고 있어, 82.6%에 해당하는 308개가 0.02km^3 이내의 부피 범위에 속하는 것으로 나타났다, 99.0%에 이르는 369개가 0.08km^3 이내의 범위에 속하는 것으로 나타났으며, 이보다 더 큰 부피를 가지는 것은 모두 4개로 전체의 1.1% 정도를 차지하는 것으로 나타났다(Fig. 28b). 분석구의 총 부피는 4.280995km^3 로 전체 부피의 80.4%를 차지하며, 이들 분석구의 평균 부피는 0.011477km^3 이다.

그러나 분석구를 이루고 있는 화산암의 부피 중, 대기 중으로 비산(飛散)된 양을 고려하면, 이 분석구를 형성한 마그마의 실제 양은 이들 분석구의 부피보다 훨씬 더 많은 양일 것이라고 해석된다.

또한 분석구의 테프라의 부피를 이용하여 제주도에 분포하는 분석구 각각의 화산폭발지수(VEI; Volcanic Explosivity Index)를 계산하고, 이를 그림으로 나타내었다(Fig. 29). 분석구 중에서 화산폭발지수가 4로 가장 큰 값을 나타내어 가장 큰 폭발 정도를 보이는 것은 한림도폭의 어승생(0.370262km^3), 서귀도폭의 백록담분화구(0.150582km^3), 모슬포도폭의 군산(0.265386km^3)으로, 그 부피가 0.1km^3 이상인 큰 화산체이다. 이들 3개 분석구를 제외한 나머지 분석구들은 화산폭발지수가 1~3 사이를 가지는 작은 폭발이나 중간 정도의 폭발에 속하는 것으로 나타났다.

2) 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것의 부피

정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것의 경우는 전체적으로 매우 작은 범위의 부피를 나타내었다. 전체의 66.7%에 해당하는 6개가

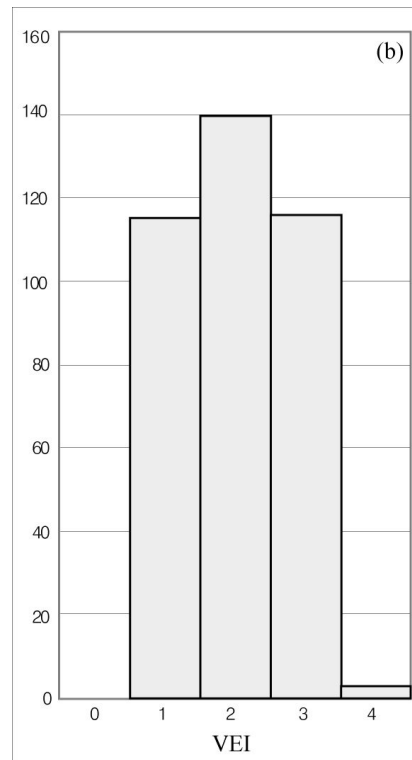
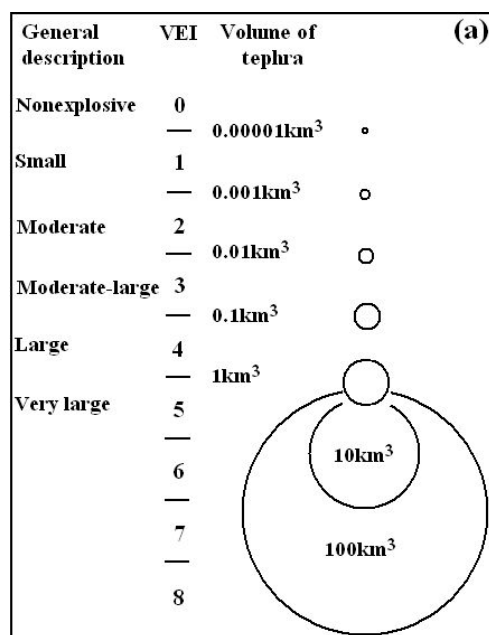


Fig. 29. (a) Volcanic Explosivity Index (VEI) (Newhall and Self, 1982) and (b) histogram of VEI frequency for cinder cones in Jeju Island, Korea.

0.00050km³ 이내의 부피 범위에 속하는 것으로 나타났으며, 88.9%에 해당하는 8개가 0.00150km³ 이내의 부피 범위에 속하는 것으로 나타났고, 이들 중 단 하나의 단성화산체가 0.0040km³에서 0.00450km³의 비교적 큰 부피 범위에 속하는 것으로 나타났다. 가장 작은 부피를 나타내는 것은 제주도폭의 서삼봉으로서 0.000015km³의 부피를 나타내었으며, 가장 큰 부피를 나타내는 것은 제주도폭의 큰두레왓으로 0.004499km³의 부피를 나타내었다 (Fig. 28c).

정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것의 총 부피는 0.007401km³로 단성화산체 전체 부피의 0.1%만을 차지하며, 이들의 평균 부피는 0.000822km³이다.

3) 순상화산체의 부피

순상화산체의 부피는 아주 극단적인 범위를 나타내었다. 이들의 부피는 0.01km³에서 0.13km³의 넓은 범위의 분포를 가짐에도 불구하고, 전체의 96.3%에 해당하는 26개가 0.01km³ 이내의 부피를 가지는 것으로 나타났으며, 오직 한 개의 순상화산체가 0.12km³~0.13km³의 부피 범위에 속하는 것으로 나타나 극단적인 양극화 분포를 나타내었다.

가장 작은 부피를 가지는 것은 모슬포도폭의 송아오름과 성산도폭의 소왕산으로 0.000013km³의 부피를 나타내었고, 가장 큰 부피를 나타내는 것은 모슬포도폭의 모슬봉으로 그 부피는 0.120648km³인 것으로 나타났다 (Fig. 28d).

순상화산체 전체의 부피는 0.144177km³로 단성화산체 전체 부피의 2.7% 정도를 차지하며, 이들 순상화산체 평균 부피는 0.005340km³이다.

4) 응회환, 응회구, 마르의 부피

응회환, 응회구, 마르를 통틀어 부피 분포를 살펴보면 전체적으로 0.02km^3 에서 0.22km^3 의 비교적 넓은 부피 분포 범위를 가지는 것으로 나타났다. 먼저 응회환의 경우 모슬포도폭의 석알오름이 0.000078km^3 의 값으로 가장 작은 부피를 나타내었고, 모슬포도폭의 수월봉이 0.213109km^3 의 값으로 가장 큰 부피를 나타내었다. 응회구의 경우에는 모슬포도폭의 단산이 0.014833km^3 의 값으로 가장 작은 부피를 나타내었으며, 성산도폭의 성산일출봉이 0.112615km^3 의 값으로 가장 큰 부피를 나타내었다. 단 한 개 밖에 없는 마르, 즉 서귀도폭의 하논의 부피는 0.022045km^3 의 값으로 나타났다 (Fig. 28e).

응회환, 응회구, 마르의 부피를 모두 합한 값은 0.650271km^3 로 단성화산체 전체 부피의 12.2%를 차지하며, 이는 분석구 다음으로 많은 부피를 가지는 것이다. 이들의 평균 부피는 0.030965km^3 에 해당된다.

5) 용암돔의 부피

용암돔의 부피 범위는 0.01km^3 에서 0.15km^3 로 비교적 넓은 분포 범위를 나타낸다. 그러나 전체의 88.0%에 해당하는 22개가 0.01km^3 이내의 범위에 해당하고, 96.0% 정도가 0.04km^3 이내의 범위에 해당하며, 단 하나의 용암돔이 0.14km^3 에서 0.15km^3 의 범위에 속하여, 용암돔은 전체적으로 작은 부피인 것으로 나타났다. 가장 작은 부피를 가지는 것은 서귀도폭의 입석오름남동으로 0.000011km^3 의 부피 값을 나타내며, 가장 큰 부피를 가지

는 것은 모슬포도폭의 삼방산으로 그 부피 값은 0.149511km^3 로 나타났다 (Fig. 28f).

이들 용암돔의 전체 부피는 0.243515km^3 로 단성화산체 전체 부피의 4.6%를 차지하며, 이들 용암돔의 평균 부피는 0.009741km^3 이다.

3. 제주도의 전체 부피

수 백 개의 단성화산체를 포함하고 있는 제주화산성을 만든 마그마 혹은 용암의 전체 부피는 얼마나 되는지 계산해 보았다. 단순히 해수면 위에 드러나 있는 제주화산성의 형태를 보면, 장축의 길이가 74km , 단축의 길이가 32km 이며, 높이가 제주도의 가장 높은 부분인 한라산 꼭대기의 고도인 1950m 이므로, 이를 이용하여 타원뿔의 부피를 계산하는 공식 즉, $V = \frac{1}{3}\pi abH$ 로 부피를 계산하였다. 계산 결과 해수면 위에 나타난 제주화산성의 전체 부피는 4835.539412km^3 로 계산되었다.

그리고 제주화산성 전체의 부피를 좀 더 정확하게 계산하기 위하여 해수면 아래 100m 까지를 제주화산성 전체 모양으로 가정하고(Fig. 30), 이를 통해 부피를 다시 계산해 보았다. 이 경우 제주화산성 전체의 크기는 장축 길이가 81km , 단축 길이가 41km 로 나타난다. 따라서 수심 100m 까지 확장된 제주화산성의 전체 부피는 높이를 한라산 꼭대기 고도에 해수면 아래의 평균 깊이 100m 를 더하여 2050m 로 하여 계산하였으며, 그 결과 제주화산성 전체의 부피는 7129.373288km^3 로 나타났다. 이 두 경우를 비교해 보면, 해수면 위만을 고려한 경우는 해수면 아래까지 고려한 경우의 67.8% 정도에 지나지 않는 것으로 나타났다.

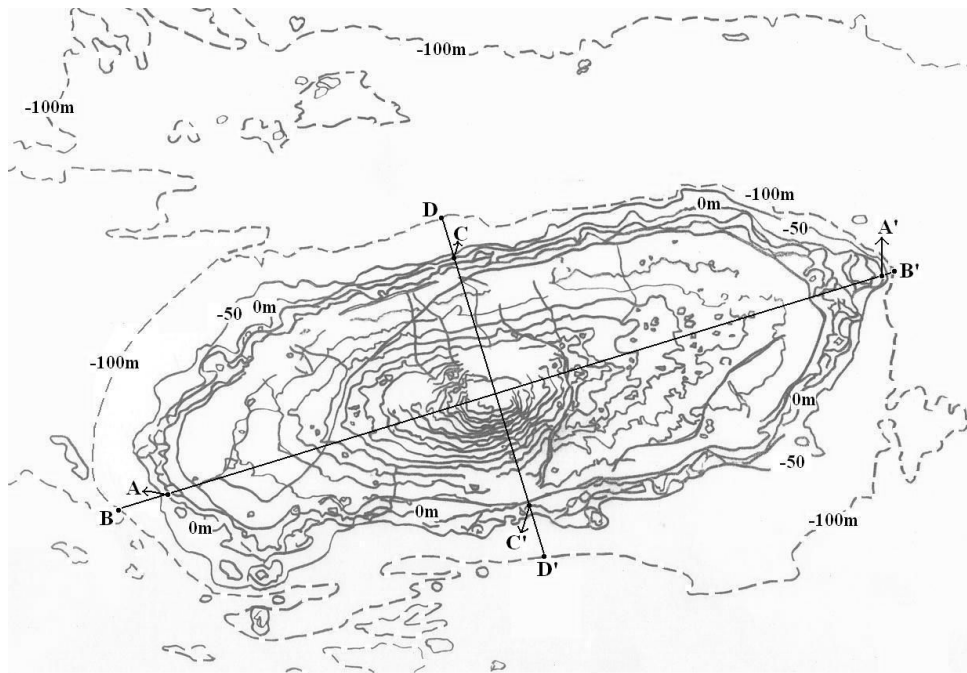


Fig. 30. Contour map showing submarine and aerial topography around Jeju Island, Korea. A-A'; the major axis, B-B'; the extended major axis, C-C'; the minor axis, D-D'; the extended minor axis.

따라서, 제주화산섬에 분포하는 단성화산체의 전체 부피가 5.326359km^3 이므로, 이들 단성화산체의 전체 부피는 제주화산섬 전체 부피의 약 0.1% 정도 밖에 안됨을 알 수 있다.

VIII. 지질구조와 응력장의 해석

한반도 남부에 위치하고 있는 제주도는 판구조론으로 보면 유라시아판과 필리핀판의 경계부에 가까운 판 내부에 위치하고 있다. 화산섬의 형태로 보아 제주도의 장축방향($N73^{\circ}E$)은 현생 최대 응력축에 평행하고 단축방향($N17^{\circ}W$)은 최소 응력축과 일치하고 있다고 알려져 있다(Choi, 1996). 이로 보아 제주도 형성을 지배한 구조는 현생 지구조 응력장과 관련될 것으로 추정된다.

제주도 주변 지역의 최근의 구조는 (1) 필리핀해판이 유라시아판 아래로 섭입하는 활동대에 연관되어 형성된 류큐열도(Ryukyu island arc), (2) 오키나와 곡분(Okinawa Trough), (3) 울릉분지 서측에서 오키나와 곡분 서측 경계로 연장이 예상되는 대한해협단층(Korea Strait Fault; Choi, 1996), (4) 대한해협에서 대만 북동부까지 발달하는 단층(대한-대만해협 단층, Korea-Taiwan Strait Fault)을 따라서 형성된 제주분지, (5) 제주분지와 오키나와 곡분 사이 horst에 해당하는 타이완-신지 습곡대 또는 융기대(Taiwan-Sinzi Fold Belt or Uplift) 등이 발달하며, 이러한 지구조적 영향 하에 제주도는 위치한다(제주도, 1997).

넓은 화산지대에서 분석구를 형성시킨 분출은 주로 틈새(fissure)를 따라 발생하며(Scarth, 1994), 이러한 틈새는 광역적인 지구조 응력장에서 장력(tension) 또는 전단응력(shear stress)의 영향으로 형성되었을 것으로 해석될 수 있다. 2백만 년 동안 연속되어 온 현생 지구조 체제를 고려해 볼 때, 이 지구조 체제에서는 $N40^{\circ}E$ 또는 $N80^{\circ}W$ 방향의 전단단열과 $N70^{\circ}E$ 방향의 인장단열이 형성될 수 있는 조건을 갖추고 있으며, 제주도에 분포되어

있는 분석구들은 공간적으로 단열 또는 단층과 관련되어 분출한 것으로 추정된다. 이와 같은 절리나 단층들은 반복된 분출 활동으로 용암 또는 암설 등으로 피복되어 발달양상에 대한 해석은 불가하며, 간접적으로 추정할 수 밖에 없다.

일반적으로 현무암질 용암의 분출은 단일 화구에서 분출한 경우(중심분출)와 지각의 틈을 따라 일어나는 틈새 분출(fissure eruption)로 구분되는데, 틈새 분출의 근거로는 거의 동일 시기에 형성된 분석구의 선상 배열 양상을 들 수 있다. 일반적으로 용암 분출은 1개월 이내에 종료되며, 분석구의 형성은 50%가 30일 이내에, 95%가 1년 이내에 종료되며, 대부분의 분석구는 틈새를 따라 분출하여 선상 배열 양상으로 나타나는 것으로 알려져 있다(Wood, 1988).

따라서 제주도에 분포하는 분석구 중, 거의 비슷한 경사각을 가지는 것 즉, 동시기에 분출하여 형성된 분석구들의 공간적인 배열을 통해 제주도에서의 응력장과 분석구의 분출 양상을 알아본다.

먼저 제주도 전역에 분포하고 있는 분석구를 제주지질도 위에 표시해 보았다(Fig. 31). 이들을 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 이하, 10° 초과 $\sim 24^{\circ}$ 이하, 24° 초과 $\sim 36^{\circ}$ 이하의 세 집단으로 나누어 표시하였다. 10° 이하의 범위나, 24° 를 초과하는 분석구들은 10° 초과에서 24° 이하의 범위에 속하는 분석구들에 비해 상대적으로 그 수가 적어서 뚜렷한 선상 배열을 표현하기가 어렵다. 따라서 이들 중에서 대표적으로 뚜렷한 선상의 배열을 보이는 것은 모두 10° 초과에서 24° 이하 범위의 중간 정도의 경사각을 나타내는 집단에 속하는 분석구들로, 대표적인 17개의 집단(a~q in Fig. 31)을 나타내어 보았다.

서귀 동박이 — 서귀 궤미오름 — 서귀 동물오름 — 서귀 작은바리메 — 한림 작은녹고메 — 한림 산세미오름으로 이어지는 선상의 배열은 $N45^{\circ}E$ 의 방향

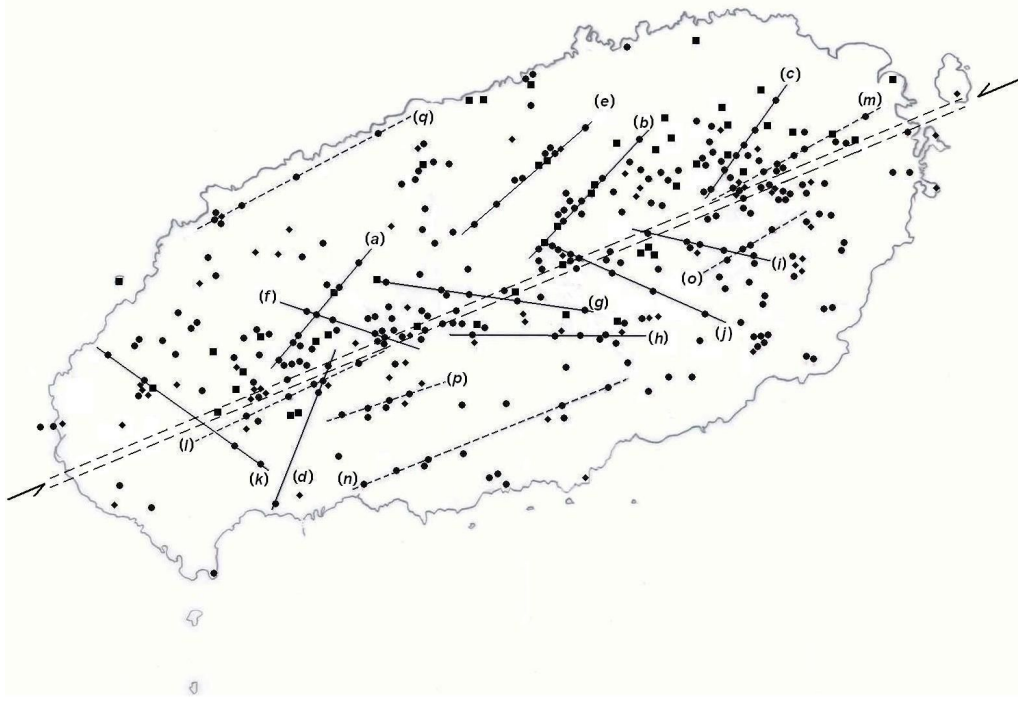


Fig. 31. Fracture forms of Jeju Island. N43°E or N77°W trends (straight lines) are the expected shear fracture and N73°E trends (dotted lines) are the expected extensional fracture. (a) N45°E, (b) N49°E, (c) N40°E, (d) N27°E, (e) N55°E, (f) N67°W, (g) N76°W, (h) N82°W, (i) N72°W, (j) N60°W, (k) N50°W, (l) N70°E, (m) N67°E, (n) N73°E, (o) N64°E, (p) N77°E, (q) N67°E. ◆; $\theta \leq 10^\circ$, ●; $10^\circ < \theta \leq 24^\circ$, ■; $\theta > 24^\circ$.

성(a in Fig. 31)을 나타낸다. 제주 살손장오름 — 제주 개월이오름 — 제주 큰절물오름 — 제주 민오름 — 제주 바농오름 — 제주 당오름으로 이어지는 선상 배열은 N49°E의 방향성 (b in Fig. 31)을 나타낸다. 성산 선족이오름 — 성산 새미오름 — 성산 밧돌오름동북 — 성산 당오름 — 성산 안천오름 — 성산 매매기로 이어지는 선상 배열은 N40°E의 방향성(c in Fig. 31)을 나타낸다. 모슬포 월라봉 — 서귀 마보기 — 서귀 용와이오름 — 서귀 이돈이오름으로 이어지는 선상 배열은 N27°E의 방향성(d in Fig. 31)을 나타낸다. 제주 들위오름 — 제주 세미양오름 — 제주 들레오름 — 제주 철오름(죽은 오름) — 제주 기시네오름으로 이어지는 선상 배열은 N55°E의 방향성(e in Fig. 31)을 나타낸다. 이들은 평균적으로 N43°E의 방향성을 나타낸다.

서귀 큰바리메 — 서귀 작은바리메 — 서귀 안천이오름 — 서귀 삼형제말젯오름 — 서귀 1100고지 남서로 이어지는 선상 배열은 N67°W의 방향성(f in Fig. 31)을 나타낸다. 한림 넷새오름 — 제주 작은두레왓 — 서귀 삼각봉 — 서귀 사라오름 — 표선 동수악으로 이어지는 선상 배열은 N76°W의 방향성(g in Fig. 31)을 나타낸다. 서귀 방애오름 — 서귀 보리악 — 서귀 이승이오름 — 표선 사려니로 이어지는 선상 배열은 N82°W의 방향성(h in Fig. 31)을 나타낸다. 제주 구두리오름 — 제주 소록산북 — 제주 대록산 — 성산 새끼오름 — 성산 장자오름으로 이어지는 선상 배열은 N72°W의 방향성(i in Fig. 31)을 나타낸다. 제주 물장오리 — 제주 물장오리남동 — 제주 넓거리오름 — 제주 궤펜이오름 — 제주 마은이 — 표선 물영아리 — 표선 여절악으로 이어지는 선상 배열은 N60°W의 방향성(j in Fig. 31)을 나타낸다. 모슬포 논오름 — 모슬포 광해악 — 모슬포 마오름 — 모슬포 널개오름으로 이어지는 선상 배열은 N50°W의 방향성(k in Fig. 31)을 나타낸다. 이들은 평균적으로 N68°W의 방향성을 나타낸다.

모슬포 북오름 — 모슬포 개오름 — 서귀 하늬오름 — 서귀 용와이오름 — 제주 돌오름으로 이어지는 선상 배열은 $N70^{\circ}E$ 의 방향성(l in Fig. 31)을 나타낸다. 성산 민오름 — 성산 죽은돌이미 — 성산 동검은이오름 — 성산 손지오름 — 성산 용눈이오름 — 성산 말산메(알오름)으로 이어지는 선상 배열은 $N67^{\circ}E$ 의 방향성(m in Fig. 31)을 나타낸다. 서귀 베릿내오름 — 서귀 굿산망 — 서귀 활오름 — 서귀 영천악 — 표선 생길이오름으로 이어지는 선상 배열은 $N73^{\circ}E$ 의 방향성(n in Fig. 31)을 나타낸다. 성산 따라비 — 성산 모지오름 — 성산 모지오름동 — 성산 영주산으로 이어지는 선상 배열은 $N64^{\circ}E$ 의 방향성(o in Fig. 31)을 나타낸다. 서귀 모라리오름 — 서귀 녹하지악 — 서귀 거린사슴 — 서귀 법정이오름으로 이어지는 선상 배열은 $N77^{\circ}E$ 의 방향성(p in Fig. 31)을 나타낸다. 한림 샛오름 — 한림 고내봉 — 한림 수산봉 — 한림 도두봉으로 이어지는 선상 배열은 $N67^{\circ}E$ 의 방향성(q in Fig. 31)을 나타낸다. 이들은 평균적으로 $N70^{\circ}E$ 의 방향성을 나타낸다.

이들의 선상 배열을 통해 평균적으로 계산된 이들의 지구조 체제에서는 $N43^{\circ}E$ 또는 $N77^{\circ}W$ 방향의 전단단열과 $N73^{\circ}E$ 방향의 인장단열이 형성될 수 있는 조건을 갖추고 있는 것으로 해석된다. 이는 선행연구(Choi, 1996)에서 추정된 $N40^{\circ}E$ 또는 $N80^{\circ}W$ 방향의 전단단열과 $N70^{\circ}E$ 방향의 인장단열과 거의 차이가 없다. 따라서 거의 비슷한 경사각을 가지면서 선상으로 배열되는 특징을 나타내는 이들 분석구들은 전단단열과 인장단열에 의한 틈새 분출의 산물이라고 해석된다.

그러나 제주화산섬에는 선상으로 배열되는 분석구의 방향성에서 벗어나 제주화산섬 전역에 흩어져서 분포하는 많은 분석구들을 관찰할 수 있다. 이들은 일정한 방향성을 가지고 선상으로 배열하는 것이 아니라, 흩어져서 독립적으로 분포하는 것으로 보인다. 이 분석구들은 응력장 안에서 생긴 단층

이나 틈새를 따라 분출한 것이 아니라, 이들 틈새와 상관없이 독립된 단일 화구를 통해 중심 분출의 형태로 분출된 것으로 생각된다. 따라서 제주화산 섬에서는 응력장 안에서 생긴 단층이나 틈새를 따라 분출한 틈새 분출과 이들 틈새와는 무관하게 독립된 단일 화구를 통한 중심 분출이 동시에 일어났다고 할 수 있다.

IX. 토 의

통계학적으로 화산지형 자료를 획득하기 최적의 화산분포지인 제주도에
는 360여 개의 단성화산체가 존재하고 있으며, 이들은 현재까지 알려진 한
반도의 화산활동 중 가장 젊은 화산활동기를 대표한다고 알려져 있다(이문
원, 1982). 그러나 본 연구를 수행한 결과, 제주도에에는 기존에 알려진 360
여 개 보다 100여 개가 더 많은 450여 개의 단성화산체가 존재하고 있음
을 확인하였다.

이들 단성화산체 각각에 대한 형태 파라메타 측정 결과, 이들은 세 개의
사면경사각 집단으로 구분되었다. 즉, 0° 에서 10° 이하의 낮은 경사각 집단,
 10° 초과에서 24° 미만의 중간 정도의 경사각 집단, 24° 이상에서 36° 미만의
큰 경사각 집단으로 구분된다.

이들 단성화산체 중 분석구는 특히 사면경사각을 통해 대략적인 연대 추
정이 가능하므로, 분석구에 대해 사면경사각을 분류해 본 결과, 분석구 역
시 세 개의 사면경사각 집단으로 구분되었다. $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 이하, 10° 초과 $\sim 24^{\circ}$
이하, 24° 초과 $\sim 36^{\circ}$ 미만의 세 집단으로 구분되며, 이들 각각은 거의 같은
시기에 형성된 것으로 추정할 수 있다.

단성화산체들은 모두 제주도의 제4 화산활동기에 형성된 것으로 알려져
있으나, 낮은 경사각과 파괴된 모양을 나타내는 오래된 제1 화산활동기로
부터 그 형태가 비교적 깨끗한 젊은 제4 화산활동기까지, 제1 단계로부터
제4 단계까지 골고루 형성된 것임을 알 수 있다.

분석구의 터진 방향은 제주도를 6개의 도폭으로 나누어 살펴본 경우에도,
또한 제주도를 남북으로 양분하여 살펴본 경우에도 뚜렷한 경향성을 찾아

볼 수 없었다. 다만, 남북으로 양분한 경우, 북부 지역은 비교적 뚜렷하게 북쪽 방향으로 터진 방향이 우세하게 나타나고, 남부 지역은 대체적으로 분산되지만 미약하게 북쪽 방향으로 터진 경향성을 나타낸다. 따라서 남풍 계열의 탁월풍이 분석구의 형성 당시에 우세하게 불었던 것으로 해석할 수 있다.

Wood(1980b)는 분석구의 높이, 높이/기저면 직경 비, 사면경사각은 시간이 흐름에 따라 감소한다고 하였다. 제주도에 분포하는 분석구 전체에 대해서 높이와 기저면 직경 사이에는 0.86의 상관도(r)를 나타내며, 분화구를 가지지 않는 정상부가 둥근 모양의 분석구는 0.77, 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구는 0.89, 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구는 0.82, 초승달형 분석구는 0.85, 불규칙한 형태의 분석구는 0.77, 타원형 분석구는 0.91, 정상부가 뾰족한 형태이면서 분석으로 구성된 것이 0.87의 상관도를 나타내었다. 전체적으로 분석구의 높이와 기저면의 직경이 높은 상관도를 가짐으로써, 높이의 변화와 기저면 직경의 변화가 유효한 상관관계를 가짐을 알 수 있다.

또한 Wood(1980b)는 분화구의 직경/기저면 직경 비는 붕괴나 화학적 조성 혹은 입자 크기와 관련하여 크게 변화되지 않는다고 하였다. 제주도에 분포하는 분석구의 분화구 직경과 기저면 직경 사이에는 분화구를 가지는 전체에 대해 0.72, 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구는 0.53, 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구는 0.88, 초승달형 분석구는 0.91, 불규칙한 형태의 분석구는 0.50의 상관도를 나타내었다. 분화구의 직경과 기저면 직경은 전체적으로는 비교적 높은 상관도를 나타내지만, 원형 분화구를 가진 둥근 모양의 분석구와 불규칙한 형태의 분석구에서는 비교적 낮은 상관도를 나타냄으로써, 이들과 같은 형태의 분석구에서는 분화구

직경과 기저면 직경 사이에 뚜렷한 상관관계를 가지지 않고 변화한다는 것을 알 수 있다. 즉, 분화구의 직경이 변화하는 것은 기저면의 직경이 변화하는 것과 물리적으로 큰 영향이 없다는 것을 의미한다. 이는 Wood (1980b)가 말한 것처럼 분화구의 직경/기저면의 직경 비가 붕괴나 화학조성 혹은 입자 크기와 관련하여 크게 변화되지 않는다는 것을 나타낸다. 그러나 비교적 높은 상관도를 나타내는 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구와 초승달형 분석구에서는 분화구의 직경과 기저면의 직경 사이에 유효한 상관관계를 가짐으로써, 이들 분석구에서의 변화는 풍화 조건에 의해 어느 정도 영향을 받는 것으로 생각할 수 있다.

분석구의 사면경사각과 절대 연령의 상관도에서 분석구의 생성 연대가 오래된 것일수록 사면경사각이 점차 감소하는 상관관계를 도출함으로써, 분석구의 사면경사각을 통해 분석구의 형성 시기를 대략적으로 추정할 수 있음을 확인하였다.

제4기에 제주도를 만든 용암 전체의 부피는 해수면 위에 드러나 있는 형태를 통해서는 4835.5km^3 , 해수면 아래 100m까지 연장한 형태를 통해서는 7129.4km^3 으로 계산되었다. 제주도를 흔히 하와이형 순상화산체라고 하는데, 하와이의 마우나 로아 순상화산체(Mauna Loa Shield Volcano)의 부피와 비교해 보면 제주도는 하와이의 순상화산체 부피의 약 12.1%~17.8% 정도를 차지한다.

제주도에 분포하는 분석구의 선상 배열을 통해 분석구 형성 당시의 응력장과 분석구 형성과의 관계를 알아보았다. 체계적으로 선상 배열된 분석구들은 $N43^\circ E$ 혹은 $N77^\circ W$ 의 전단단열과 $N73^\circ E$ 의 인장단열이 작용하는 응력장 내에서 틈새를 따라 분출한 것으로 판단된다. 이들 선상 배열된 분석구와 무관하게 제주도 전역에 흩어져서 분포하는 분석구들은 틈새와 관계

없이 독립된 별도의 화도를 따라 분출한 중심 분출의 결과물이라고 생각된다.

본 연구를 통해 얻은 이러한 결과를 보완하기 위해서는 제주도에 분포하는 각각의 분석구에 대한 방사성 동위원소 연령 자료의 확보가 무엇보다 시급하다. 분석구의 사면경사각과 형성연령 사이에 부(-負)의 상관관계를 도출하였으나, 이를 제주도의 단성화산체에 적용한다는 것은 약간 불충분하다. 이는 수 백 개의 분석구의 수에 비해 현재까지 발표된 암석연령 자료가 절대적으로 부족하기 때문이다. 지금보다 훨씬 더 많은 암석연령자료를 확보한다면, 사면경사각과 형성연대 사이의 더 높은 신뢰성을 갖는 상관관계를 도출할 수 있을 것으로 기대된다.

그러므로 앞으로의 연구에서는 분석구에 대한 보다 많은 절대 연령 데이터 확보에 주력할 것이며, 이를 통해 보다 높은 신뢰성을 가진 상관관계를 도출할 것이다.

X. 결 론

제주도에 분포하는 450여 개의 제 4기 단성화산체의 형태적 분석과 분류를 실시하고, 화산지형 파라메타를 이용하여 분석구의 연대 추정 및 개개의 단성화산체에 대한 마그마 분출량의 계산, 그리고 단성화산체의 분포와 배열로부터의 응력장과의 연관성을 해석한 결과는 다음과 같다.

1. 1:50,000 지질도와 지형도, 1:25,000 지형도, 1:5,000 지형도와 수치지형도 분석을 통해 기존에 알려진 350여 개 보다 100여 개가 더 많은 455개의 단성화산체들을 형태적으로 분류하였다.

2. 단성화산체를 형태학적으로 분석해 본 결과, 분석구가 373개로 전체의 82.0%로 가장 많은 비율을 차지하고 있었으며, 분석구 외에도 정상부가 뾰족한 형태이면서 용암으로 구성된 것이 9개(2.0%), 순상화산체가 27개(5.9%), 응회환이 17개(3.7%), 응회구가 3개(0.7%), 마르가 1개(0.2%), 용암돔이 25개(5.5%)가 분포하고 있다. 또한 알오름의 형태로 나타나는 것이 15개이다.

3. 단성화산체 중 응회구, 응회환과 마르는 주로 제주화산섬의 지하 또는 해안가의 저지대에 위치하며, 분석구는 대부분이 해안에서 떨어진 섬의 내륙부에 위치한다. 이는 제주도 단성화산체를 형성한 화산활동이 물(지하수 또는 얕은 바닷물)과의 접촉 유무에 따라 수성화산활동(수증기마그마분화)을 하거나, 육상화산활동(스트롬볼리안분화 혹은 하와이안분화)을 한 것임

을 알 수 있다.

4. 고도 300m 이하의 해안저지대에 253개(55.6%), 고도 300m~600m의 중산간지대에 110개(24.2%), 600m~900m 이상의 산악지대에 92개(20.2%)의 단성화산체가 분포한다.

5. 형태적 파라메타에는 단성화산체의 높이(H), 기저면의 직경(W_B), 분화구의 직경(W_C), 사면경사각(θ) 등이 포함된다. 단성화산체의 높이는 2.0m~350.2m이며, 평균 높이는 56.5m, 기저면의 직경은 87.5m~2450.0m이며, 평균 기저면의 직경은 496.8m, 분화구를 가지거나 분화구의 형태를 유추할 수 있는 경우 분화구의 직경은 48.3m~1608.3m이며, 평균 분화구의 직경은 110.1m, 사면경사각은 1.5°~34.4°의 범위이며, 평균 사면경사각은 15.7°를 나타내었다.

6. 단성화산체 중 분석구의 경우, 높이는 2.4m~340.0m이며, 평균 높이는 59.7m, 기저면의 직경은 87.5m~2410.8m이며, 평균 기저면의 직경은 501.8m, 분화구의 직경은 48.3m~602.5m이며, 평균 분화구의 직경은 114.2m, 사면경사각은 1.5°~34.4°의 범위이며, 평균 사면경사각은 16.5°를 나타내었다.

7. 분석구의 사면경사각은 10°이하의 낮은 경사각 집단 63개(16.9%), 10°초과 ~ 24°이하의 중간 정도의 경사각 집단 261개(70.0%), 24°초과 ~ 36°이하의 큰 경사각의 집단 49개(13.1%)로 세분할 수 있다.

8. 제주화산섬에 분포하는 분석구의 지형 파라메타 간의 상관관계를 보면, 높이/기저면 직경의 비가 0.18~0.10 사이의 값(회귀계수 0.12)을 가지며, 분화구 직경/기저면 직경의 비는 0.40~ 0.25 사이의 값(회귀계수 0.31)을 가진다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$H = 0.12 \times W_B$$

$$W_C = 0.31 \times W_B$$

9. 한 방향으로 터진 말발굽형 화구를 가진 분석구와 초승달형 분석구의 터진 방향의 경향성을 제주도를 남북으로 구분하여 분석해 보면, 북부지역은 주로 북쪽 방향이 우세하게 나타났으며, 남부지역은 분산되는 경향이 우세하나 미약하게 북쪽 방향의 방향성이 나타난다. 이는 지형적인 영향 이외에도 남풍계열의 탁월풍의 영향을 우세하게 받은 것으로 해석할 수 있다.

10. 분석구의 절대 연령과 형태적 연령의 상관관계를 알아보기 위해, 사면경사각에 대한 절대 연령의 관계를 살펴본 결과, 절대 연령이 높아질수록 즉 생성시기가 오래된 것일수록 더 낮은 사면경사각을 갖는다는 상관관계를 도출하였다. 이를 통해 분석구의 형태를 분석함으로써 절대 연령 데이터의 측정없이 이들의 대략적인 형성연대 추정이 가능하다는 것을 확인하였다. 이는 분석구가 형성된 후 시간이 흐르면서 풍화작용과 침식작용을 거치면, 분석구의 사면이 점차 낮아져서 점점 더 낮은 경사각을 가지기 때문이다.

11. 단성화산체의 부피를 계산해 본 결과, 이들은 주로 0.02km³ 이하의 작은 부피에 속하였으며, 큰 부피를 차지하는 것은 어승생, 수월봉, 군산

등 3개로 이들은 0.16km^3 이상의 큰 부피를 나타내었다.

12. 분석구에서 분출한 테프라의 부피를 이용하여 각각의 분석구의 화산 폭발지수를 계산할 수 있다. 제주도에 분포하는 분석구의 경우는 대체적으로 화산폭발지수가 1~3 사이의 작은 폭발이나 중간 정도의 폭발에 속하였으며, 어승생, 백록담분화구, 군산 등은 화산폭발지수가 4로 비교적 큰 폭발 정도를 가지는 것으로 나타났다.

13. 제주도 한라산 순상화산체 전체의 부피는 해수면 위에 드러나 있는 형태(장축 74km, 단축 32km, 높이 1950m)를 통해 계산된 값이 대략 4835.5km^3 이며, 해수면 아래 100m까지 연장한 형태(장축 81km, 단축 41km, 높이 2050m)를 통해 계산된 값이 대략 7129.4km^3 로 해수면 위에 드러나 있는 형태는 수심 100m까지 연장한 부피의 67.8% 정도를 차지한다.

14. 단성화산체 전체의 부피는 약 5.3km^3 이며, 이는 제주화산섬 전체 부피의 약 0.1%에 해당한다.

15. 제주도에 선상으로 배열하는 많은 분석구들의 분석을 통해 제주도의 지구조 응력장과 이들 분석구의 분화 간의 관계를 알아보았다. 같은 경사각을 가지는 즉 동일한 시기에 형성된 것으로 판단되는 분석구의 선상 배열의 방향성으로부터 분석구의 틈새 분출이 일어났고 이들이 선상으로 배열된 것으로 해석할 수 있다. 이들은 $N43^\circ E$ 혹은 $N77^\circ W$ 의 전단단열과 $N73^\circ E$ 의 인장단열의 조건에서 형성된 것으로 판단된다.

16. 직선상으로 배열되지 않고 제주도 전역에 흩어져서 분포하는 많은 분석구들은 이들 단열과 직접적으로 관계없이 독립된 별도의 화도를 통해 일어난 중심 분출의 결과물이다. 그러므로 제주도에서는 틈새 분출과 중심 분출이 동시에 일어났다고 할 수 있다.

참고문헌

- 고기원, 1991, 제주도 서귀포층의 지하분포와 지하수와의 관계. 요약문. 지질학회지, 27, 552.
- 고기원, 박윤석, 박원배, 2004, 제주도 동부 지역의 지하 지질분포와 ^{40}Ar - ^{39}Ar 연대. 2004년도 대한지질학회 춘계학술답사 가이드북, 지질학회지, 29-50.
- 고기원, 박윤석, 강봉래, 김봉석, 2005, 제주도 동부지역의 지하지질과 화산 활동. 제13회 세계 물의 날 기념 학술세미나, 제주도, 3-44.
- 고기원, 박준범, 박윤석, 2008, 제주도의 지질과 화산활동에 관한 연구 (I): 동부지역 저지대 시추코어 화산암류의 암석화학 및 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 절대 연대. 자원환경지질, 41, 93-113.
- 고정선, 윤성효, 강순석, 2003, 제주도 한라산 백록담 분화구 일대 화산암류의 암석학적 연구. 암석학회지, 12, 1-15.
- 고정선, 윤성효, 현경봉, 이문원, 길영우, 2005a, 제주도 우도 단성화산의 현무암에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 14, 45-60.
- 고정선, 윤성효, 홍현주, 2005b, 제주도 대포동현무암에 발달한 지삿개 주상절리의 형태학 및 암석학적 연구. 암석학회지, 14, 212-225.
- 고정선, 윤성효, 정은주, 2007a, 제주도 성산일출봉 일대 현무암에 대한 암석학적 연구. 한국지구과학회지, 28, 324-342.
- 고정선, 윤성효, 김석연, 2007b, 제주도 섭지코지 선돌 분석구의 화산작용과 현무암. 한국지구과학회, 28, 462-477.
- 농업진흥공사, 1971-1978, 제주도 지하수 개발을 위한 보고서 (지질주상도).

- 박기화, 2001, 제주의 지질. 제9회 세계 물의 날 기념 학술세미나, 제주도.
- 박기화, 2004, 제주도 형성사. 제주도 동부지역의 지하 지질분포와 ^{40}Ar - ^{39}Ar 연대. 2004년도 대한지질학회 춘계학술답사 가이드북, 지질학회지, 1-28.
- 박기화, 2005, 제주도 수성응회암체의 지하분포. 대한지질학회, 2005 대한 지질학회 추계학술발표회 초록집, 65.
- 박기화, 조등룡, 김정찬, 2000, 모슬포 · 한림도폭 지질보고서(1:50,000). 한국자원연구소, 56p.
- 박기화, 안주성, 기원서, 박원배, 2006, 제주도 지질여행 (증보판). 한국지질자원연구원, 제주발전연구원, 183p.
- 박준범, 권성택, 1991, 제주도 화산암의 암석화학적 진화 (2): 제주 동부 월라봉부근 시추코아 연구. 요약문. 지질학회지, 27, 531.
- 박준범, 권성택, 1993a, 제주도 화산암의 지화학적 진화: 제주 북부 지역의 화산층서에 따른 화산암류의 암석기재 및 암석화학적 특징. 지질학회지, 29, 39-60.
- 박준범, 권성택, 1993b, 제주도 화산암의 지화학적 진화(II): 제주 북부지역 화산암류의 미량원소적 특징. 지질학회지, 29, 477-492.
- 박준범, 권성택, 1993c, 제주 북부 화산암류의 광물화학. 암석학회지, 2, 139-155.
- 박준범, 권성택, 1996, 제주도의 솔리아이트 화산활동. 암석학회지, 5, 66-83.
- 손치무, 1968, 한라산 학술조사보고서. 문화공보부.
- 원종관, 1976a, 제주도 화산암류에 대한 암석학적 연구. 지질학회지, 12,

207-226.

원종관, 1976b, 제주도에 분포하는 화산구의 구조해석에 관한 연구. 이학논
집 (건국대학교 부설 응용과학연구소), 2, 33-44.

원종관, 이문원, 윤성효, 고보균, 1998, 제주도 남동부 표선 지역 화산암류
의 지구화학적 특징. 지질학회지, 34, 172-191.

윤상규, 김원영, 1984, 제주지역 지열조사 연구. 한국동력자원연구소, 연구
보고, 83-5-08, 109-134.

윤상규, 한대석, 이동영, 1986, 제주도 남부 지역의 제4기 지질 조사 연구.
동력자원연구소 지질보고서, KR-86-2-(B)-2, 223-278.

윤성효, 고정선, 박정미, 2002, 제주도 남동부 태흥리 용암에 대한 암석학
적 연구. 암석학회지, 11, 17-29.

이동영, 1996, 제주도에서 산출되는 현무암 연대측정 자료 (개인서신).

이동영, 윤상규, 김주용, 김윤종, 1987, 제주도 제4기 지질조사연구. 한국동
력자원연구소, 223-278.

이문원, 1982, 한국 제주화산도의 지질. 암석광물광상학회지(일본), 77,
55-64.

이문원, 1984, 제주 화산암류에 포함된 mafic 포획암. 지질학회지, 20,
306-313.

이문원, 1994, 제주도의 형성사와 지질구조. 대한지하수환경학회, 전략광물
자원 연구센터, 54-74.

이문원, 손인석, 1983, 제주도는 어떻게 만들어진 섬일까 - 제주 화산도의
지질과 암석 -. 도서출판 춘광, 135p.

이문원, 원종관, 이동영, 박계현, 김문섭, 1994, 제주도 남사면 화산암류의
화산층서 및 암석학적 연구. 지질학회지, 30(6), 521-541.

- 제주도, 1997, 제주의 오름. 제주도, 485p.
- 최순학, 김영기, 이동영, 1991, 제주도 임해지역에서의 해수침입. 광산지질, 24, 319-327.
- 한국자원연구소(KIGAM), 2000, 1:250,000 제주 (백아도, 진남포) 지질도폭 설명서. KR-00(B)-01. 59p.
- 황상구, 2000, 제주도 송악산 응회환 · 분석구 복합체의 화산형태. 지질학회지, 36, 473-486.
- 原口九萬, 1931, 濟州道の地質. 朝鮮總督府 地質調査要報, 10, 1-34.
- Choi, P.Y., 1996, Reconstitutions des pal ocontraintes en tectonique Choi, 1996; assante; methodes et application aux domaines cotinentaux deformes(Coree, Jura). Doctoral Dissertation of Universit P. & m. Curie, 257p.
- Haraldur, S., Bruce F.H., Stephen R.M., Hazel R. and John S., 2000, Encyclopedia of Volcanoes. Academic press, 1417p.
- Hasenaka, T. and Carmichael, I.S.E., 1985, The cinder cones of Michoacan-Guanajuato, central Mexico: their age, volume and distribution, and magma discharge rate. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 25, 105-124.
- Joseph, G.M., 2006, A morphological analysis of Quaternary cinder cones, Potrillo Volcanic Field, New Mexico, Thesis for Master of Science. Department of Geological Scences, The University of Texas at El Paso, El Paso, Texas, 63p.
- Lee, J.S., 1989, Petrology and tectonic setting of the Cretaceous to Cenozoic volcanics of South Korea; geodynamics implications on

- the East-Eurasian Margin. Thesis of Doctor Degree, University D'ORLEANS. 254p.
- Lee, M.W., 1982, Petrology and geochemistry of Jeju volcanic Island, Korea. Science Report Tohoku University, Series 3, 15, 177-256.
- McGetchin, T.R., Settle, M. and Chouet, B.A., 1974, Cinder cone growth modeled after Northeast crater, Mount Etna, Sicily. Journal of Geophysical Research, 79, 3257-3272.
- Miyake, Y., Furuyama, K., Yoon, S., Koh, G.W. and Nagao, K., 1993, Temporal chemical variation of Pleistocenes volcanic rocks from Jeju Island, Korea. In Geological correlation of southwest Japan and Korea Peninsula-tectonics for spreading of active continental margin. Science Report Shimane University, 106-111.
- Nakamura, K., 1977, Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientations. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2, 1-6.
- Nakamura, E., Campbell, I.H. and McCulloch, M.T., 1989, Chemical geodynamics in a back arc region around the Sea of Japan: implications for the genesis of alkaline basalts in Japan, Korea and China. Journal of Geophysical Research, 94, 4634-4654.
- Nakamura, E., McCulloch, M.T. and Campbell, I.H., 1990, (Review) Chemical geodynamics in a back arc region of Japan based on the trace element and Sr-Nd isotopic compositions. Tectonophysics, 174, 207-233.
- Newhall, C.G. and Self, S., 1982, The volcanic explosivity index (VEI):

- An estimate of explosive magnitude for historical volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87, 1231-1238.
- Pike, R.J., 1978, Volcanoes of the inner planets: some preliminary comparisons of gross topography. *Proceedings of Lunar and Planetary Science Conference*. 9th, 3239-3273.
- Porter, S.C., 1972, Distribution, morphology, and size frequency of cinder cones on Mauna Kea Volcano, Hawaii. *Geological Society of America*, 83, 3607-3612.
- Scarth, A., 1994, *Volcanoes*. University College London Press. 273p.
- Sohn, Y.K., 1996, Hydrovolcanic processes forming basaltic tuff rings and cones on Jeju Island, Korea. *Bulletin of the Geological Society of America*, 108, 1199-1211.
- Sohn, Y.K. Park, K.H. and Yoon S.H., 2008, Primary versus secondary and subaerial versus submarine hydrovolcanic deposits in the subsurface of Jeju Island, Korea. *Sedimentology*, 55, 899-924.
- Wohletz, K.H. and Sheridan, M.F., 1983, Hydrovolcanic explosions: II, Evolution of basaltic tuff rings and tuff cones. *American Journal of Science*, 283, 385-413.
- Won, J.K., Matsuda, J.I., Nagao, K., Kim, K.H. and Lee, M.W., 1986, Paleomagnetism and radiometric age of trachytes in Jeju island, Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 19, 25-33.
- Wood, C.A., 1980a, Morphometric evolution of cinder cones. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 7, 387-413.
- Wood, C.A., 1980b, Morphometric analyses of cinder cone degradation.

- Journal of Volcanology and Geothermal Research, 8, 137-160.
- Wood, C.A., 1988, Morphometric evolution of cinder cone. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 7, 387-413.
- Yun, S.H., Lee, M.W., Won, C.K. and Hwang, S.K., 2002, Short report for the age of volcanic activity of the Songaksan cinder cone. Research Report, Cultural Properties Administration, 20p.
- Yun, S.H., Lee, M.W., Won, C.K. and Jin, M.S., 2006, Short report for the age of volcanic activity of the Sangumburi pit crater. Cultural Properties Administration, 20p.

Morphological Analysis of Quarternary Monogenetic Volcanoes in Jeju Island, Korea.

Jeong Hyun Lee

Department of Earth Science, Graduate School
Pusan National University

Abstract

The Jeju Island resides over 455 Quaternary monogenetic volcanoes, of which approximately 82.0% are cinder cones. Other volcanic forms in the island include sharp-pointed lava cone without crater(2.0%), shield volcanoes(5.9%), tuff rings(3.7%), tuff cones(0.7%), maar(0.2%), and lava domes(5.5%). The monogenetic volcanoes include 15 small nested cinder cone(al-oreum). Morphometric parameters of monogenetic volcanoes were obtained from 1:50,000 topographic/ geological map, 1:25,000 topographic map and 1:5,000 topographic map. These parameters include height(H), basal diameter(W_B), crater

diameter(W_c), slope angle(θ) and volume(VOL). The height ranges from 2.0m to 350.2m. The basal diameter ranges from 87.5m to 2450.0m. The crater diameter ranges from 48.3m to 1608.3m. And the slope angle ranges from 1.5° to 34.4° . The breached direction of cinder cones appears N(9.5%), NNE(5.1%), NE(16.5%), NEE(1.3%), E(4.4%), SEE(1.3%), SE(8.2%), SSE(1.3%), S(3.8%), SSW(1.3%), SW(10.1%), W(12.0%), NWW(3.8%), NW(17.1%), and NNW(4.4%). The south wind has an effect on the breached direction. The study focused on the correlation between cinder cone slope angle and eruption age. 373 cinder cone slope angles were calculated. A histogram showing the frequency distribution of cinder cone slope angles revealed three age populations; an old population(16.9%) with slope angles ranging from 0° to 10° , an intermediate group(70.0%) with slope angles from 10° to 24° and a young group(13.1%) of cinder cones ranging from 24° to 36° . The results of this study indicate a regular relationship between cinder cone slope degradation and age in the Jeju Volcanic Island. In other words, cone slope angle decreased with age increase. The volume of Jeju Island is approximately 4835.5km^3 above the sea level and 7129.4km^3 under the sea level till -100m. The stress field of Jeju Island tends to expecting $N43^\circ\text{E}$ or $N77^\circ\text{W}$ shear fracture trends and $N73^\circ\text{E}$ extensional fracture trends from linear arrangement of cinder cones. This result indicates cinder cones arranged in line are erupted from fissures. But cinder cones not related linear arrangement are erupted from isolated central vent.

감사의 글

또 하나의 산을 넘어 온 것 같습니다. 참 많은 고비와 비탈길과 끝이 보이지 않는 동굴같은 어두운 길을 무사히 헤쳐나와 이 자리에 서서 보니, 고마운 분들이 수없이 많습니다.

학부때부터 석사과정을 거쳐 박사과정까지, 10여 년의 세월을 지도교수님으로 모신 윤성호 교수님께 먼저 무한한 감사와 존경의 마음으로 머리 숙여 감사드립니다. 교수님을 곁에서 모시면서 교수님의 학문에 대한 끊임없는 열정과 제자를 사랑하는 마음과 매사에 노력하면 되지 않을 일이 없다는 것을 배웠습니다. 무릎 수술과 해외 학회 참석 등 여러 가지 일들이 겹쳐 육체적으로 또 정신적으로 힘든 상황에도 불구하고, 논문을 꼼꼼하게 읽어주시고 부족한 부분을 채워주신 교수님께 다시 한번 감사드립니다. 교수님! 항상 건강하십시오!

또한 처음부터 끝까지 논문을 꼼꼼하게 읽으시고 틀린 글자 하나까지도 친절하게 수정해 주시고, 논문에 대한 지도와 조언을 아끼지 않으셨던 이상원 교수님과 멀리서 오시는 수고로움도 마다하지 않으시고 꼼꼼하게 논문 내용을 챙겨주셨던 진명식 박사님, 길영우 박사님, 바쁘신 일정에도 세세한 부분까지 신경써 주셨던 양경희 교수님께도 머리 숙여 감사드립니다.

학부 시절부터 항상 관심가져 주시고, 많은 가르침을 주셨던 황수진 교수님, 김상달 교수님, 최광선 교수님, 안홍배 교수님, 강혜성 교수님께도 감사드립니다. 일정을 꼼꼼하게 챙겨주고, 필요한 부분을 항상 먼저 알려주면서 많은 도움을 준 최주희 조교선생님께도 고맙다는 말을 전합니다.

학교에서 피곤한 하루를 보내고도 항상 실험실에 올라오셔서 부족한 부분을 채워주신 고정선 박사님께도 감사드립니다. 질문하고 부탁드리는 것이 죄송한데, 오히려 많이 도와주지 못해 미안하다고 하는 박사님의 따뜻한 마음 잊지 않겠습니다. 이번에 같이 논문을 쓰고 졸업할꺼라고 몇 학기를 같이 고생한 할매. 대학교까지 먼 거리를 와야하는 수고로움에도 불구하고 와서 같이 작업하자는 한마디에 한 걸음에 달려와 도와주었던 할매. 다음 번엔 할매 차례니까 힘 모아서 열심히 해보자구~! 전화로 안부 전해주시며, 항상 잘 지내는지 걱정해 주고 챙겨주시는 정미언니, 가끔 볼 때도 항상 논문에 대해 관심가져 주시고 신경써 주신 현숙언니, 민석선배, 시험 준비로 바쁜 와중에도 항상 도움을 청하면 바로 해결해 주었던 실험실의 막내 성철이, 수 백장의 지도 작업을 같이 하며 함께 고생한 상재씨와 준석이에게도 고마움을 전합니다. 또 실험실의 영현선배, 동현선배, 희정이, 지영언니, 향수언니, 유종선배, 예남희 선생님과도 이 기쁨을 함께하고 싶습니다.

필요한 프로그램을 선뜻 내어주신 지질환경과학전공의 손문 교수님, 많은 그림

작업을 함께 해주시고, 한번의 작업으로 끝나지 않아 시시때때로 수정을 해야하는 번거로움에도 항상 웃는 얼굴로 수정해 주신 송철우씨에게도 감사드립니다.

멀리 있어도 항상 곁에 있는 것 같은, 나의 분신같은 친구 옥아. 낯선 일본에서 공부하느라 아마도 몸이 많이 축났을꺼 같아 걱정이야. 항상 건강 챙겨가면서 공부해. 때마다 먼저 챙겨주고 연락하고 걱정해주는 내친구 묘정이. 내년에는 너한테서도 꼭 좋은 소식 들었으면 좋겠어. 맨날 뼈뺏하게 말하면서 만사가 귀찮다는 심각한 귀차니즘에 빠져있는 인집아. 내년에는 더 좋은 일들이 많이 생길테니 귀차니즘에서 좀 벗어나렴. 후배이지만 항상 언니처럼 챙겨주고 도와주는 인숙이, 멀리 있어 더 안타깝고 보고 싶은 민경이, 자주 못보지만 볼때마다 즐거움을 주는 경미. 우리 패밀리 내년에는 더 힘내서 좋은 열매 주렁주렁 맺어보자! 사랑해!

결혼을 통해 새롭게 맺어진 나의 새로운 가족. 공부하는 며느리 뒷바라지 하신다고 정작 당신이 아파도 아픈 티도 내시지 않고 항상 집에 일은 걱정말라며 집안일을 책임져주신 어머니. 감사해요. 건강하세요. 늦게 오는 엄마는 항상 공부한다고 이해하고, 주말에도 옷챙겨 입으면 학교가냐며 잘 다녀오라고 얘기해 주는 울아들 지민. 형아가 될꺼라고 요즘 많이 씩씩해졌어. 앞으로도 건강하고 씩씩하게 자라야해! 사랑해! 뒤에서 보이지 않게 항상 도와주시고 신경써주셨던 형님. 지금은 곁에 없지만 형님이 베풀어 주셨던 사랑은 영원히 제 가슴속에 새겨둘게요. 늦은 귀가를 걱정하며 신경써주시는 고모부, 항상 밝은 모습을 잃지 않아서 대견한 현지. 현지야 앞으로 숙모가 더 신경쓸게. 새로운 생명을 잉태하고도 신경도 제대로 못쓰고, 항상 내 일이 우선이어서 뱃속에서부터 너무 고생해서 너무 미안한 울둥이. 내년에 엄마랑 만나면 엄마가 그동안 못했던만큼 더 많은 사랑 듬뿍 줄게. 만나는 날까지 건강하게 쑥쑥 잘 자라서 이쁜 모습으로 만나자. 사랑해 둥이.

항상 이 날만을 손꼽아 기다려오신 엄마, 아빠께 이 논문을 바칩니다. 올해는 유난히 엄마, 아빠 속 많이 씩혀드려서 죄송해요. 그만큼 앞으로는 더 행복하게 잘 살고, 더 좋은 모습 많이 보여드릴게요. 점점 늙어가는 모습에 가슴이 아립니다. 항상 건강 생각하셔서 너무 무리하지 마시고, 건강하게 오래오래 저희 곁에 계셔주세요. 사랑합니다. 자신보다 내걱정이 먼저인 울언니. 언니야! 이제 즐겁게 언니 인생 즐겨! 사랑하는 울조카 가영이도 벌써 초등학생이 되네. 이모가 잘 못챙겨줘서 미안해. 가영이 예쁘게 건강하게 잘 자라줘서 고마워. 항상 언니같은 동생 수현아. 건강 생각해서 일은 적당히! 시집도 가야지. 아직도 어린 것만 같은 막내 영규. 이제 자신의 자리에서 자신의 일은 스스로 해낼 수 있는 진정한 어른이 되길!

이 논문이 있기까지 학교에서 같이 밤을 새우고, 신혼의 달콤함도 잠시 뒤로 미루면서 아내의 공부를 물심양면으로 뒷바라지 해준 남편에게도 사랑과 감사의 마음을 전합니다. 앞으로는 진정으로 신혼도 즐기고, 부부의 사랑도 돈독히 하는 멋진 생활이 펼쳐질꺼라 기대합니다. 지금처럼 서로 아끼고 배려하고 사랑하면서 오래오래 행복하게 살아요! 사랑합니다.

Table 1. Distribution of monogenetic volcanoes of each topographic/geological map (1:50,000) in Jeju Island, Korea.

	Hallim	Jeju	Seongsan	Moseulpo	Seogwi	Pyoseon	Total
RC	2	4	4	8	19	4	41
SC	2	15	12	12	11	2	54
BC	13	44	22	15	25	17	136
CC	2	6	8	6	0	1	23
DC	4	9	11	7	7	4	42
EC	5	10	12	1	9	3	40
SP-C	3	5	8	5	10	6	37
SP-L	1	5	0	0	3	0	9
SH	5	6	4	8	3	1	27
TR-TC	1+0	1+0	3+1	12+2	0	0	20
MR	0	0	0	0	1	0	1
LD	0	3	0	1	19	2	25
Total	38	108	85	77	107	40	455

Abbreviations are the same as those in appendix 1.

Table 2. Distribution of small nested cinder cone (al-oreum) of each topographic/geological map (1:50,000) in Jeju Island, Korea.

	Hallim	Jeju	Seongsan	Moseulpo	Seogwi	Pyoseon	Total
RC	0	0	3	3	1	1	8
DC	0	0	1	0	0	0	1
EC	1	0	2	1	1	0	5
SP-C	0	0	1	0	0	0	1
Total	1	0	7	4	2	1	15

Abbreviations are the same as those in appendix 1.

Table 3. Maximum and minimum of morphological parameters for monogenetic volcanoes in Jeju Island, Korea.

Monogenetic Volcano	H(m)		W _B (m)		W _C (m)		Θ(°)	
	max	min	max	min	max	min	max	min
Hallim	340.0	6.0	1925.0	141.7	292.5	99.2	25.1	2.5
Jeju	174.7	7.9	1073.3	87.5	602.5	69.2	34.4	1.5
Seongsan	191.4	2.0	1275.8	89.2	794.2	50.0	32.8	1.5
Moseulpo	350.2	2.4	2450.0	97.5	1608.3	48.3	32.9	2.2
Seogwi	205.7	2.8	1370.8	121.7	815.8	70.0	32.1	2.2
Pyoseon	131.0	4.7	1024.2	120.0	346.7	94.2	27.0	4.2

Abbreviations are the same as those in appendix 1.

Table 4. Maximum and minimum of morphological parameters for cinder cones in Jeju Island, Korea.

Cinder cone	H(m)		W _B (m)		W _C (m)		Slope Angle(°)	
	max	min	max	min	max	min	max	min
Hallim	340.0	11.9	1925.0	186.7	292.5	99.2	25.1	4.8
Jeju	174.7	7.9	1073.3	87.5	602.5	69.2	34.4	1.5
Seongsan	191.4	3.5	1225.0	89.2	464.2	50.0	32.8	1.9
Moseulpo	174.5	2.4	2410.8	117.5	430.8	48.3	29.7	2.6
Seogwi	205.7	7.9	1370.8	135.8	505.0	70.0	28.2	5.1
Pyoseon	131.0	4.7	1024.2	120.0	346.7	94.2	27.0	4.2

Abbreviations are the same as those in appendix 1.

Table 5. Comparison of slope angle and K-Ar and ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronological data of the monogenetic volcanoes.

Location		Name	Type	K-Ar Age (Ka)	Rock Type	Slope Angle	Reference
모슬포	고산	비양봉	SC	1	Basalt	29.7	Historic, 1002A.D.
모슬포	저지	병악	BC	35	Basalt	26.9	Yun, S.G. et al., 1886
모슬포	모슬포	송악산분석구	SC	50	Basalt	20.2	Yun, S. H. et al., 2002
서귀	회수	거린사슴	BC	93	Basalt	23.2	Lee, M.W. et al., 1994
서귀	회수	법정이오름	EC	167	Trachyte	14.9	Lee, D.Y., 1996
서귀	회수	우보름	BC	168	Trachyte	12.7	Lee, M.W. et al., 1994
서귀	회수	녹하지악	SP(C)	140	Basalt	19.5	Koh, J.S. et al., 2005b
서귀	한라산	백록담분화구	SC	25	Trachyte	25.2	Won, C.K. et al., 1986
서귀	한라산	고근산	SC	97	Basalt	17.2	Lee, M.W. et al., 1994
성산	송당	다랑쉬오름	SC	49	Basalt	32.8	Won, C.K., 1996
성산	송당	모지오름	SC	76.4	Basalt	22.7	Miyake et al., 1993
성산	송당	용눈이오름	DC	169	Basalt	14.7	Won, C.K., 1996
성산	신양	지미봉	BC	30	Basalt	31.6	Won, C.K., 1996
성산	신양	쇠머리알오름	RC	114	Basalt	9.6	Koh, J.S. et al., 2005a
Location		Name	Type	Ar-Ar Age (Ka)	Rock Type	Slope Angle	Reference
제주	와산	검은오름	DC	141	Basalt	14.2	Yun, S. H. et al., 2006
성산	송당	채오름	BC	31.5	Basalt	20.5	Koh, G.W. et al., 2005
성산	송당	은월봉	BC	53	Basalt	26.2	Koh, G.W. et al., 2005
성산	송당	따라비	SC	35	Basalt	21.8	Koh, G.W. et al., 2005
USA	USA	Paricutin		1.9	Basalt	35.0	Joseph, G.M., 2006
USA	USA	Capulin		56	Basalt	20.0	Joseph, G.M., 2006
USA	USA	Black Mountain		125	Basalt	10.0	Joseph, G.M., 2006

Abbreviations are the same as those in appendix 1.

Appendix 1. Morphological parameters for the monogenetic volcanoes in

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _B (m)			E _P (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
한림	한림	과오름	CC	21	44.94	137.07	NW	104	65	84.5	155
한림	한림	과오름알오름	EC	X145	45.44	136.95		91	85	88	102.5
한림	한림	고내봉	DC	22	46.38	138.76		80	45	62.5	175.3
한림	한림	상가리 남	SH	23	44.62	139.5		137	130	133.5	139.5
한림	한림	어도오름	DC	24	42.09	135.68		87	64	75.5	143.2
한림	한림	천아오름	EC	25	40.34	134.76		120	86	103	133.6
한림	한림	명월오름(밝은오름)	BC	26	37.9	132.92	S	143	106	124.5	148.5
한림	한림	말젓오름(과오름)	RC	X61	45.35	136.36		88	45	66.5	100
한림	한림	셋오름(과오름)	DC	X60	45.1	136.53		88	55	71.5	100
한림	한림	눈오름(본성)	BC	X42	40.66	136.04	N	123	100	111.5	131.1
한림	한림	가메오름	SH	X43	36.18	138.12		372	358	355	372
한림	한림	눈오름(용흥)	SP(L)	X59	44.17	141.44		206	180	193	212.8
한림	한림	남유리본석구	DC	X94	43.42	139.13		182	137	159.5	182
한림	한림	남유리동본석구	BC	X146	42.76	140.44	NW	225	169	197	230.3
한림	한림	방주오름	SH	X33	37.53	133.27		159	151	155	163.3
한림	귀일	수산봉	BC	62	47.88	142.8	SE	55	25	40	120
한림	귀일	바굼지오름	TR	63	48.49	145.43		49	40	44.5	84.5
한림	귀일	도두봉	RC	64	51.72	150.6		15	0	7.5	62.9
한림	귀일	남춧은오름	BC	65	47.77	153.28	NW	213	131	172	296.7
한림	귀일	광이오름	BC	66	47.27	153.05	SE	213	188	200.5	266.8
한림	귀일	상여오름	EC	67	47	152.76		223	215	219	245
한림	귀일	극락오름	BC	68	43.58	145.56	NW	308	245	276.5	313.5
한림	귀일	검은데기오름	SP(C)	69	41.86	142.9		369	350	359.5	401.5
한림	귀일	큰녹고메	BC	70	38.56	145.26	NW	675	600	637.5	833.8
한림	귀일	족은녹고메	SC	71	38.98	145.78		683	605	644	774.7
한림	귀일	갯물오름	BC	72	39.93	144.73	NE	577	510	543.5	597.2
한림	귀일	산세미오름	BC	73	40.75	147.35	N	590	545	567.5	651.6
한림	귀일	천아오름	BC	74	39.1	148.6	NW	735	690	712.5	796.3
한림	귀일	검은오름(연동산)	BC	75	44.49	153.38	NNW	378	348	363	438.8
한림	귀일	노루손이오름	BC	76	42.57	153.22	NNE	525	467	496	616.2
한림	귀일	여승생	SC	77	39.34	152.48		969	695	832	1172
한림	귀일	방일리오름	SH	X5	48.69	151.46		106	74.7	90.35	106
한림	귀일	밝은오름	SP(C)	X1	44.52	150.51		351	298	324.5	337
한림	귀일	눈오름	CC	X2	46.33	151.16	SW	197	136	166.5	203.5
한림	귀일	배두리	EC	X7	49.9	152.8		75	75	75	86.9
한림	귀일	안오름	SH	X36	45.54	145.62		181	165	173	186
한림	귀일	눈오름(소길)	EC	X39	45.32	141.95		115	110	112.5	127.5
한림	귀일	넋새오름	SP(C)	X115	38.89	149.91		804	674	739	807.1
제주	오라	족은두레왓	SP(C)	X3	38.22	154.06		1303	1275	1289	1343
제주	오라	족은두레왓남동	EC	X144	38.04	154.28		1303	1295	1298.8	1322
제주	오라	큰두레왓	SP(L)	X10	37.08	155.64		1623	1545	1584	1638
제주	오라	흙붉은오름북동	SP(L)	X116	38.46	160.07		1168	1160	1164.1	1180
제주	오라	흙붉은오름북	SP(L)	X117	38.79	159.71		1150	1145	1147.5	1156
제주	오라	민오름	DC	127	48.14	154.12		170	145	157.5	251.7
제주	오라	산천단 남서	SH	128	44.03	157.6		456	454	455	468.3
제주	오라	세미양오름	BC	129	44.03	159.3	SW	490	408	449	575
제주	오라	제주대학교 동	EC	130	45.98	159.8		326	300	313	325.6
제주	오라	밭세미오름	BC	131	46.92	163.12	NE	333	295	314	388.4
제주	오라	안세미오름	BC	132	47.16	163.49	NNE	333	305	319	396.3
제주	오라	열안지오름(NE)	EC	133	47.78	163.32		305	295	300	328.3

LAT.: latitude, LONG.: longitude, B.D.: breach direction, E_B: basal elevation, MAX.: maximum, MIN.: minimum, W_B: basal diameter, W_C: crater diameter, Θ : slope angle, VOL.: volume, RC: rounded cone without crater, SC: crescent shape cone, DC: disaggregated cone, EC: elongated cone, SP-C: sharp-pointed cinder cone, SH: shield volcano, TR: tuff ring, TC: tuff cone, MR: maar, LD: lava dome.

(to be continued)

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _B (m)			E _P (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
제주	오라	침오름(큰오름)	SP(C)	134	48.04	164		313	292	302.5	334.9
제주	오라	침오름(작은오름)	RC	135	47.92	164.11		313	285	299	327.4
제주	오라	큰노루손이	SP(L)	136	46.19	164.83		403	355	379	427.5
제주	오라	거친오름	BC	137	44.61	164.61	N	554	465	509.5	620.8
제주	오라	셋개월이	BC	138	43.35	164.37	NWW	615	551	583	663.9
제주	오라	작은개월이	EC	139	43.1	164.11		643	625	634	656.8
제주	오라	개월이오름	DC	140	42.52	164.19		643	592	617.5	740.4
제주	오라	성진이오름	SC	141	41.88	163.81		669	630	649.5	700
제주	오라	열안지오름(CW)	DC	142	42.58	155.47		547	465	506	583
제주	오라	걸석오름	BC	143	41.25	153.83	N	725	660	692.5	725
제주	오라	개미목	LD	144	38.12	157.24		1242	1065	1153.5	1242
제주	오라	홍분은오름	BC	145	37.45	159.07	E	1334	1230	1282	1383
제주	오라	돌오름	SC	146	37.5	159.8		1240	1205	1222.5	1278
제주	오라	어후오름	BC	147	38.72	162.19	NE	991.2	877	934.1	1016
제주	오라	불칸디오름	BC	148	39.37	162.09	SW	975.8	895	935.4	993.1
제주	오라	살손장오리	DC	149	40.4	162.39		840	800	820	912.6
제주	오라	물장오리	SC	150	40.35	163.41		843	700	771.5	938.4
제주	오라	테역장오리	BC	151	40.81	163.02	N	813	735	774	841.5
제주	오라	물장오리 남서	SH	152	39.93	162.87		848	845	846.5	854.6
제주	오라	물장오리 남동	BC	153	40.21	163.94	SEE	768	705	736.5	774.2
제주	오라	오등봉	BC	X15	47.48	155.38	N	185	140	162.5	206.4
제주	오라	오구시오름	LD	X16	47.47	156.78		181	159	170	188.4
제주	오라	권제오름	SH	X18	46.01	158.93		291	269	280	297.3
제주	오라	들레오름	CC	X19	46.23	161	SW	340	310	325	347.6
제주	오라	들위오름	CC	X14	40.05	153.75	NW	450	535	492.5	536.1
제주	오라	골머리오름	LD	X4	42.1	153.79		920	690	805	920
제주	오라	능화오름	BC	X11	39.73	156.66	N	954.7	925	939.85	971.7
제주	오라	진물굼부리	BC	X44	44.19	164.87	SW	558	525	541.5	571.9
제주	오라	고냉이솔	DC	X46	48.44	164.56		300	295	297.5	305.4
제주	오라	작은노루손이오름	SP(L)	X45	46.2	164.5		413	390	401.5	416.6
제주	오라	가삿기오름	RC	X12	49.61	153.89		104	95	99.5	116.4
제주	오라	봉개오름	EC	X20	50.05	162.04		155	150	152.5	162.9
제주	오라	넙거리오름서	RC	X131	39.34	164.72		744.7	724	734.35	759.8
제주	제주	사라봉	BC	124	52.89	157.72	NW	70	60	65	146.4
제주	제주	화북봉	BC	125	53.25	158.25	NW	70	35	52.5	135.3
제주	제주	원당봉	BC	126	53.59	162.81	N	81	50	65.5	170.7
제주	제주	원당봉북	EC	X127	54.15	162.69		67	50	58.5	92.8
제주	제주	원당봉북서	SP(C)	X128	53.86	162.41		80	70	75	93.5
제주	제주	알오름(별도봉)	SP(L)	X22	52.92	158.16		80	70	75	95.9
제주	제주	논오름	RC	X21	52.72	162.72		44	44	44	52.9
제주	함덕	서우봉	EC	188	55.86	170.06		20	0	10	111.3
제주	함덕	개죽은산(구사산)	SH	189	54.35	173.31		93	90	91.5	102
제주	함덕	개죽은산 서	SH	190	53.05	172.71		90	90	90	102
제주	함덕	개죽은산 동	SH	191	51.91	174.59		155	145	150	160.5
제주	함덕	괘살매	BC	192	55.53	176.36	SSW	55	35	45	116.3
제주	와산	기시네오름	CC	193	49.7	166.48	NW	219	190	204.5	236.6
제주	와산	샘미오름	BC	194	47.88	169.29	SW	350	295	322.5	421
제주	와산	당오름	BC	195	48.37	170.97	SSE	308	225	266.5	306.1
제주	와산	갯구리오름	BC	196	46.44	170.18	NW	380	355	367.5	429.8
제주	와산	우진제비	BC	197	47.17	172.06	NE	325	290	307.5	411.8
제주	와산	윗밤오름	BC	198	48.74	173.55	NNE	300	270	285	414.9
제주	와산	알밤오름	DC	199	49.76	173.3		240	195	217.5	392.2
제주	와산	북오름	BC	200	49.32	175.85	N	254	210	232	304.1
제주	와산	식은이오름	SC	201	47.63	176.53		257	243	250	286.8
제주	와산	거친오름	SC	202	46.48	175.87		330.1	285	307.55	350.7
제주	와산	검은오름	DC	203	45.72	173.8		395	350	372.5	457.9

(to be continued)

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _B (m)			E _P (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
제주	와산	부소오름	BC	204	44.33	173.74	SW	363	340	351.5	471.1
제주	와산	부대오름	BC	205	44.79	172.88	NE	375	370	372.5	471.9
제주	와산	골채오름	BC	206	45.27	172.52	W	372	365	368.5	396.7
제주	와산	민오름	BC	207	45.02	171.65	NW	427	395	411	519.9
제주	와산	대천이오름	CC	208	45.36	170.72	NE	400	385	392.5	448
제주	와산	방애오름	BC	209	44.53	170.66	NE	423	405	414	453.8
제주	와산	죽은방애오름	EC	210	44	170.62		423	409	416	437.5
제주	와산	산굼부리	SC	211	42.95	171.63		408	395	401.5	434.4
제주	와산	까끄래기오름	BC	212	43.16	172.39	S	388	380	384	426.9
제주	와산	돔배오름	BC	213	42.75	169.24	W	440	425	432.5	466.7
제주	와산	능서리오름	BC	214	44.3	168.65	NE	460	429	444.5	489.2
제주	와산	바농오름	SC	215	45.62	167.82		440	405	422.5	551.2
제주	와산	죽은지그리오름	CC	216	45.24	167.08	SE	455	430	442.5	505.7
제주	와산	큰지그리오름	BC	217	44.52	167.02	SW	510.9	465	487.95	595.9
제주	와산	민오름	BC	218	43.8	166.25	NE	520	485	502.5	641.8
제주	와산	큰질물오름	SC	219	43.33	165.51		629.2	535	582.1	655.8
제주	와산	죽은절물오름	BC	220	43.11	165.87	NE	629.2	520	574.6	655.4
제주	와산	물오름	BC	221	37.93	164.95	SE	754	710	732	837.1
제주	와산	괘편이오름	SC	222	39.02	165.94		722	630	676	790.9
제주	와산	괘편이오름 서1	SC	223	38.85	165.64		725.8	713	719.4	748.9
제주	와산	괘편이오름 서2	SC	224	38.74	165.4		725.8	708	716.9	771.1
제주	와산	넙거리오름	BC	225	39.26	165.18	NW	744.7	694	719.35	810.2
제주	와산	물чат오름	SC	226	39.09	167.71		610.2	545	577.6	718.5
제주	와산	말чат오름	BC	227	39.73	167.83	NEE	610.2	550	580.1	649.9
제주	와산	마은이엿	BC	228	38.75	168.95	NE	518	480	499	548.5
제주	와산	마은이	BC	229	37.42	168.23	NNW	522	504.6	513.3	548.4
제주	와산	붉은오름	SC	230	39.64	170.18		473	450	461.5	569
제주	와산	가문이오름	BC	231	39.9	170.96	W	433	392	412.5	489.8
제주	와산	구두리오름	BC	232	40.75	170.99	NE	444	385	414.5	514.8
제주	와산	햇망오름	SC	233	39.07	171.21		425	395	410	444.6
제주	와산	영아리	BC	234	37.73	171.55	N	440	380	410	514
제주	와산	소록산	DC	235	39.71	174.21		393	355	374	442.4
제주	와산	소록산북	SP(C)	236	40.01	174.21		393	348	370.5	414.3
제주	와산	대록산	SC	237	39.62	147.74		373	320	346.5	466
제주	와산	대록산남	EC	X95	38.97	174.59		333	305	319	345.4
제주	와산	감은이오름	CC	238	42.25	175.93	NW	303	280	291.5	316.8
제주	와산	웃선족이오름	EC	X54	44.32	176.61		285	280	282.5	308.8
제주	와산	가메혹	SP(C)	X53	45.82	176.08		311.1	293	302.05	324
제주	와산	바농오름동	DC	X129	45.6	169.69		408	398	403	419.8
제주	와산	서수모루	BC	X52	46.26	175.88	NNW	330.1	293	311.55	354.4
성산	김녕	임산봉	TR	255	56	177.54		40	20	30	86.6
성산	김녕	만장굴 남	SH	256	52.45	179.15		115	110	112.5	125.1
성산	송당	주채오름	SH	257	49.9	176.7		210	186.1	198.05	217.8
성산	송당	어대오름	BC	258	50.24	177.78	NW	165	160	162.5	209.3
성산	송당	둔지오름	BC	259	51.03	180.49	SSW	150	130	140	282.2
성산	송당	돛오름	SC	260	48.62	181.55		180	150	165	283
성산	송당	다랑쉬오름	SC	261	48.25	183.41		212	170	191	382.4
성산	송당	아끈다랑쉬오름	SC	262	47.85	184.26		158	128.7	143.35	198
성산	송당	은월봉	BC	263	47.29	186.6	NNE	115	105	110	180.1
성산	송당	대왕산	BC	264	45.85	188.18	NW	90	80	85	157.6
성산	송당	용눈이오름	DC	265	46.27	184.45		217	155	186	247.8
성산	송당	손지오름	DC	266	45.76	183.21		205	180	192.5	255.8
성산	송당	동검은이오름	DC	267	44.95	181.92		248	236	242	329.5
성산	송당	동검은이알오름1	RC	X141	44.48	181.45		250	245	247.5	264.9
성산	송당	동검은이알오름2	RC	X142	44.4	182.03		243	243	243	258

(to be continued)

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _a (m)			E _p (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
성산	송당	높은오름	SC	268	45.88	180.76	N	260	233	246.5	402.9
성산	송당	당오름	BC	269	47.01	179.39	NNW	225	215	220	270.4
성산	송당	체오름	BC	270	46.93	176.7	NE	300	277.8	288.9	383.1
성산	송당	중제기오름	SP(C)	271	48.43	177.3		229	215	222	254.9
성산	송당	밭돌오름	BC	272	46.38	177.69	NE	275	270	272.5	352.8
성산	송당	안돌오름	BC	273	46.05	177.3	E	280	270	275	368.1
성산	송당	새미오름	BC	274	45.2	177.68	W	282	243	262.5	380
성산	송당	아부오름	SC	275	44.91	179.52		269	250	259.5	301.4
성산	송당	참오름	EC	276	44.54	177.87		260	255	257.5	303.9
성산	송당	민오름	SC	277	43.67	177.93		266.5	255	260.75	362
성산	송당	민오름동1	RC	X135	44.3	178.6		258	255	256.5	272.1
성산	송당	민오름동2	EC	X136	44	178.61		259	250	254.5	268
성산	송당	민오름동3	EC	X137	44.09	178.92		255	245	250	274
성산	송당	돌이미오름	BC	278	43.17	178.89	NWW	258	235	246.5	311.9
성산	송당	죽은돌이미	EC	X56	43.38	178.31		263	250	256.5	271.6
성산	송당	비치미오름	DC	279	42.65	177.97		260	240	250	344.1
성산	송당	개오름	SP(C)	280	42.14	178.79		225	210	217.5	344.7
성산	송당	성불오름	BC	281	42.07	176.68	NE	277	265	271	361.1
성산	송당	백악이오름	SC	282	43.87	180.39		270	225	247.5	356.9
성산	송당	백악이오름동1	SP(C)	X138	43.83	181.27		250	245	247.5	260.9
성산	송당	백악이오름동2	DC	X139	43.49	181.17		250	240	245	267.1
성산	송당	좌보미	DC	283	43.63	182.05		268	240	254	342
성산	송당	좌보미알오름1	DC	X87	43.08	182.09		268	230	249	301.9
성산	송당	좌보미알오름2	EC	X88	42.87	181.91		253	225	239	297
성산	송당	좌보미서	DC	X140	43.47	181.36		256	250	253	272.5
성산	송당	월랑지	EC	284	43.96	182.29		228	220	224	260.2
성산	송당	궁대오름	BC	285	43.57	183.56	NWW	210	175	192.5	238.8
성산	송당	뿔굽으니오름	CC	286	42.89	183.88	W	183	170	176.5	206.2
성산	송당	남거니오름	EC	287	43.54	185.31		150	135	142.5	185.1
성산	송당	유건애오름	SC	288	41.09	185.83		133	120	126.5	190.2
성산	송당	나시리오름	BC	289	41.21	184.52	NW	140	135	137.5	164
성산	송당	모구리오름	CC	290	40.64	184.05	S	190	150	170	228
성산	송당	모구리알오름	SP(C)	X85	40.43	183.99		190	185	187.5	201.7
성산	송당	통오름	BC	291	38.86	186.61	W	110	99	104.5	140.2
성산	송당	독자봉	BC	292	38.31	186.38	SE	115	90	102.5	155.2
성산	송당	본지오름	CC	293	39.19	183.49	S	130	120	125	147.6
성산	송당	남산봉	SC	294	37.8	182.55		125	125	125	173.8
성산	송당	영주산	BC	295	40.14	181.04	SE	200	150	175	326.4
성산	송당	모지오름	SC	296	39.01	178.28		231	215	223	305.8
성산	송당	모지오름동	DC	X97	39.42	179.6		215	215	215	230.3
성산	송당	새끼오름	CC	297	39.27	176.84	W	270	245	257.5	301.2
성산	송당	따라비	SC	298	38.28	177.17		261	225	243	342
성산	송당	뒤굽은이오름	BC	X47	48.34	178.33	NE	220	200	210	251.4
성산	송당	안친오름	BC	X48	48.4	180.18	N	184	170	177	191.8
성산	송당	선죽이오름	BC	X55	44.39	176.89	E	283	268	275.5	292
성산	송당	장자오름	EC	X89	38.41	179.13		205	200	202.5	215.9
성산	송당	장자오름남	EC	X96	38.14	179.25		182.5	180	181.25	194.2
성산	송당	남산봉남	SP(C)	X99	37.32	182.53		120	120	120	126.6
성산	송당	문석이오름	DC	X51	44.9	181.05		253	225	239	291.8
성산	송당	매매기	CC	X57	50.87	181.65	NEE	130	125	127.5	136.2
성산	송당	중제기오름동남	SC	X132	48.08	177.96		240	234	237	242
성산	송당	밭돌오름동북	CC	X133	46.8	178.5	E	245	230	237.5	253.5
성산	송당	대물동산	EC	X50	46.89	180.09		222.7	220	221.35	232.3
성산	송당	괭이모루	CC	X49	46.5	179.59	NE	240	220	230	253.2
성산	송당	은월봉남	SP(C)	X134	46.35	186.76		135	130	132.5	151.5
성산	송당	돌산	EC	X84	43.85	184.1		178	170	174	186.4

(to be continued)

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _B (m)			E _P (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
성산	신양	소왕산	SH	X83	46.25	189.37		50	50	50	52
성산	신양	지미봉	BC	308	50.63	190.93	N	30	5	17.5	163.7
성산	신양	두산봉	TR	309	48.18	189.53		70	20	45	126.5
성산	신양	말산매(알오름)	DC	X82	48.54	189.35		103	98	100.5	145.9
성산	신양	전이미	BC	310	46.75	188.55	W	75	70	72.5	103
성산	신양	식산봉	SP(C)	311	46.9	192.55		5	0	2.5	60.2
성산	신양	소머리오름	TR	312	49.78	196.77		40	0	20	132.5
성산	신양	쇠머리알오름	RC	X58	49.99	196.47		74	58	66	87.5
성산	신양	성산일출봉	TC	313	46.3	194.45		25	0	12.5	179
성산	신양	성산리 북	CC	314	46.75	194.26	NE	20	0	10	13.5
성산	신양	대수산봉	EC	315	44.02	190.85		72	40	56	134.6
성산	신양	소수산봉	SP(C)	316	43.69	191.84		20	10	15	45.3
성산	신양	붉은오름(섬지코지)	BC	317	42.66	193.83		15	0	7.5	33
성산	신양	온평리 남	SH	318	39.12	190.33		26	24	25	41.3
모슬포	고산	비양도(비양봉)	SC	1	40.98	128.11		5	0	2.5	114.1
모슬포	고산	널개오름	BC	2	35.23	126.78	SEE	50	30	40	93.4
모슬포	고산	정월오름	BC	3	35.84	129.4	NNE	73	45	59	106.2
모슬포	고산	정월오름북동	RC	X112	36.12	129.49		75	50	62.5	85.5
모슬포	고산	차귀도	CC	5	30.24	120.9	SE	60	0	30	61.4
모슬포	고산	당산봉	TC	6	29.68	122.98		35	20	27.5	148
모슬포	고산	당산봉알봉	RC	X62	29.95	122.82		88	30	59	83
모슬포	고산	낙천리 남서	SH	7	30.44	127.53		77	74	75.5	85
모슬포	고산	고래모돌	SH	8	31.31	129.18		91	87	89	104
모슬포	고산	굵은오름	TR	9	28.73	127.07	SE	87	70	78.5	96
모슬포	고산	모란동산	RC	10	29.02	127.07		73	69	71	85.9
모슬포	고산	굵은오름 서	TR	11	28.7	126.63		83	70	76.5	90.5
모슬포	고산	새신오름(신서약)	TR	12	28.77	129.11		105	90	97.5	141.5
모슬포	고산	가메오름	TR	13	29.4	129.88	NE	110	83	96.5	140.5
모슬포	고산	신서약서	SH	14	28.72	128.49		103	95	99	108
모슬포	고산	마오름	CC	X66	33	129.58	SE	118	95	106.5	122
모슬포	고산	이제오름	SP(C)	X63	32.21	129.72		135	130	132.5	167.7
모슬포	고산	송아오름	SH	X64	31.99	128.81		98	95	96.5	101.8
모슬포	고산	와도	CC	X72	30.07	121.89	W	40	0	20	40.2
모슬포	고산	알채동산	RC	X111	32.67	129.48		128	125	126.5	136.1
모슬포	고산	현장이동산	SP(C)	X110	32.46	129.75		138	130	134	142.1
모슬포	무릉	수월봉	TR	15	28.25	122.05		26	0	13	78
모슬포	무릉	농남봉	SC	16	26.51	125.1		45	40	42.5	100.4
모슬포	무릉	보름이오름	RC	17	25.55	124.76		39	34	36.5	49
모슬포	무릉	성동이머루	TR	18	27.97	127.78		95	65	80	98.5
모슬포	무릉	돈두악	SH	19	23.23	126.41		27	20	23.5	41.9
모슬포	무릉	가서악	SP(C)	20	22.87	129.48		40	25	32.5	110.7
모슬포	저지	망오름(느지리오름)	SC	27	36.04	131.22		175	130	152.5	224.9
모슬포	저지	갓그리오름	BC	28	37.15	134.18	W	207	175	191	253.5
모슬포	저지	선소오름(갓그리남서)	SC	29	36.84	133.81		207	170	188.5	226
모슬포	저지	굵오름	SC	30	34.78	135.38		298	235	266.5	427.5
모슬포	저지	세미소오름(굵오름동)	SC	31	34.27	137.01		361	325	343	373.5
모슬포	저지	누운오름	DC	32	35.63	137.72		375	365	370	407
모슬포	저지	이달오름	BC	33	35.83	139.36	NW	419.1	355	387.05	488.7
모슬포	저지	새별오름	DC	34	36.05	140.22		434	385	409.5	519.3
모슬포	저지	정물오름	BC	35	32.99	137.59	NNW	355	305	330	466.1
모슬포	저지	정물알오름	EC	X35	33.23	137.1		348	340	344	355.5
모슬포	저지	당오름	DC	36	32.5	138.15		395	340	367.5	473
모슬포	저지	당알봉1	RC	X108	31.93	138.5		388	386	387	396.6
모슬포	저지	당알봉2	RC	X109	32.16	138.51		400	384	392	403.2
모슬포	저지	당오름 북동	SH	37	33.17	139.69		431	429	430	439.6

(to be continued)

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _B (m)			E _P (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
모슬포	저지	돌오름	BC	38	31.58	136.8	NW	340	305	322.5	439.6
모슬포	저지	원물오름 서	BC	39	31.13	138.61	W	405.1	385	395.05	412
모슬포	저지	원물오름	BC	40	31.29	139	SW	420.1	353	386.55	458.5
모슬포	저지	감낭오름(원물북동)	DC	41	31.48	139.49		420.1	397	408.55	439.8
모슬포	저지	조근대비악	SP(C)	42	32.08	141.26		495.4	452	473.7	541.2
모슬포	저지	저지오름	SC	43	32.56	130.26		165	130	147.5	239.3
모슬포	저지	마중오름	DC	44	32.6	132.08		150	120	135	168.6
모슬포	저지	문도지오름	BC	45	31.67	134.32	E	225	205	215	260.3
모슬포	저지	남송악	DC	46	30.09	135.45		248	190	219	339
모슬포	저지	거린오름	RC	47	29.08	137.77		273	215	244	298.2
모슬포	저지	북오름	CC	48	29.42	137.8	SW	273	230	251.5	314.3
모슬포	저지	밖은오름	CC	49	28.85	138.68	N	275	265	270	290
모슬포	저지	개오름	CC	50	30.48	141.27	SW	444	370	407	496.1
모슬포	저지	병악	BC	51	29.41	141.18	N	394	330	362	491.9
모슬포	저지	광해악	BC	52	27.36	136.43	W	195	180	187.5	246.5
모슬포	저지	논오름	SC	53	25.54	138.28		175.2	130	152.6	186.1
모슬포	저지	괴수치동	SC	X76	33.15	141.33		517	490	503.5	558.7
모슬포	저지	괴수치서	BC	X77	33.08	140.85	NNE	495.8	470	482.9	520.4
모슬포	저지	툼박이	SC	X114	33.3	140.58		470	465	467.5	476
모슬포	저지	신산오름	SH	X71	24.62	140.58		160	145	152.5	175
모슬포	저지	이달이촛대봉	SP(C)	X41	36.07	139.24		419.1	355	387.05	456
모슬포	저지	밖은오름	BC	X34	34.37	138.18	N	365	365	365	379.9
모슬포	저지	가매창	SC	X65	32.08	130.05		139.9	135	137.45	139.9
모슬포	저지	밖은오름	BC	X32	35.51	131.67	NNE	149	135	142	182.5
모슬포	모슬포	모슬봉	SH	54	21.96	130.88		52	22	37	180.5
모슬포	모슬포	단산	TC	55	22.42	133.68		45	29	37	158.1
모슬포	모슬포	삼방산	LD	56	22.27	136.03		70	20	45	395.2
모슬포	모슬포	용머리응회환	TR	57	21.17	136.12	E	20	9	14.5	48.5
모슬포	모슬포	월라봉	BC	59	22.49	139.38	NE	152	95	123.5	200.7
모슬포	모슬포	군산	DC	60	23.5	141.34		170	150	160	334.5
모슬포	모슬포	송악산응회환	TR	61	17.56	133.78		28	23	25.5	76.7
모슬포	모슬포	송악산분석구	SC	X113	13.56	133.78		55	20	37.5	104
모슬포	모슬포	금산	TR	X69	21.56	133.4		40	20	30	63.5
모슬포	모슬포	섯알오름	TR	X68	18.38	132.98		29	19	24	40.7
모슬포	모슬포	동알오름	TR	X67	18.48	133.63		34	25	29.5	49.2
모슬포	모슬포	썩은다리(사근다리)	TR	X70	22.19	137.55		24	0	12	42
서귀	회수	밭이오름(큰바리메)	SC	78	37.24	143.05		600	524	562	763.4
서귀	회수	죽은바리메	DC	79	37.09	144.19		651	590	620.5	725.8
서귀	회수	괘미오름	BC	80	34.95	141.72	NW	581	495	538	643
서귀	회수	동물오름	BC	81	35.2	142.27	NNE	581	555	568	653.3
서귀	회수	꼭낭오름	DC	82	34.48	142.47		575	525	550	645.5
서귀	회수	왕이매	SC	83	33.53	141.97		588	507	547.5	612.4
서귀	회수	왕이매 동(608)	SC	84	33.34	142.23		588	560	574	609
서귀	회수	다래오름(도래오름)	BC	85	35.11	143.5	NE	625	569	597	696.5
서귀	회수	빈네오름	BC	86	34.12	143.6	W	605.4	555.2	580.3	658.6
서귀	회수	용와이오름	BC	87	31.99	144.09	SW	630	600	615	693
서귀	회수	하늬오름(용와이알오름)	RC	X75	31.67	143.34		581.4	560	570.7	592.3
서귀	회수	용와이오름 동	SH	89	31.98	145.27		649	637	643	649
서귀	회수	이돌이오름	DC	88	33.1	144.37		634	590	612	663.2
서귀	회수	한대오름	DC	90	34.8	146.4		882	850	866	921.4
서귀	회수	안천이오름	BC	91	36.68	145.14	NW	701	663	682	742
서귀	회수	검은돌먹오름	BC	92	35.61	144.74	NNW	672.3	620	646.15	712.4
서귀	회수	돌오름	EC	93	32.77	146.91		800.4	752	776.2	866.5
서귀	회수	노로오름	DC	94	36.01	147.82		1005	950	977.5	1068
서귀	회수	죽은노로오름	SP(C)	95	36.31	148.35		1005	989	997	1022
서귀	회수	삼형제큰오름	BC	96	35.06	149.77	NWW	1100	1055	1077.5	1145

(to be continued)

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _B (m)			E _P (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
서귀	회수	삼형제셋오름	BC	97	35.11	149.04	NW	1024	985	1004.6	1114
서귀	회수	1100고지 서2-1	RC	98	34.6	148.58		997.1	970	983.55	1011
서귀	회수	1100고지 서2-2	SC	99	34.65	148.82		1019	980	999.6	1028
서귀	회수	삼형제말제오름	BC	100	35.11	148.3	NWW	1002	935	968.55	1077
서귀	회수	1100고지 남서	EC	101	34.21	149.09		1017	985	1001	1025
서귀	회수	살판오름	RC	102	36.18	149.95		1060	1027	1043.5	1080
서귀	회수	장오름	RC	103	34.9	150.4		1120	1109	1114.5	1132
서귀	회수	왕오름	RC	104	34.74	151.13		1210	1214	1212	1223
서귀	회수	붉은오름	BC	105	37.01	149.66	NW	988	925	956.5	1062
서귀	회수	침터동산	RC	106	37.02	151.04		1095	1085	1090.2	1104
서귀	회수	망체오름	BC	107	36.58	152.35	NNW	1337	1300	1318.6	1357
서귀	회수	사재비동산	RC	108	36.32	152.69		1384	1370	1377	1400
서귀	회수	이스령오름	SC	109	35.54	151.95		1295	1285	1290	1353
서귀	회수	볼레오름	BC	110	34.53	152.06	NW	1335	1195	1265	1375
서귀	회수	도레오름	BC	111	32.53	149.85	SW	973	920	946.5	984.3
서귀	회수	영실임구 동	DC	112	32.84	150.41		1046	984	1015	1051
서귀	회수	민모루오름	BC	113	31.48	149.31	W	865.7	845	855.35	884.1
서귀	회수	작은병악	BC	114	29.63	141.73	W	404.4	370	387.2	473
서귀	회수	모라리오름	RC	115	28.85	145.43		474	400	437	510.7
서귀	회수	녹하지악	SP(C)	116	29.18	147		553	495	524	621.5
서귀	회수	녹하지악남	RC	X123	28.81	147.19		525.7	520	522.85	539
서귀	회수	거린사슴	BC	117	29.72	149.18	SW	690.7	643	666.85	743.2
서귀	회수	거린사슴알오름	EC	X124	29.43	148.8		667	635	651	683
서귀	회수	법정이오름	EC	118	30.16	150.61		748	710	729	760.4
서귀	회수	더더오름	SP(L)	119	26.13	141.65		199	180	189.5	218.4
서귀	회수	상예2동 남	SP(L)	120	24.35	141.82		177	135	156	182.1
서귀	회수	우보름	BC	121	25.75	144.33	SE	279	195	237	301.8
서귀	회수	굿산망	BC	122	24.03	148.96	SE	140	105	122.5	169.5
서귀	회수	활오름	RC	123	24.61	151.56		163	125	144	188.1
서귀	회수	검은돌먹오름동부	BC	X40	35.46	145.2	NE	719	686	702.5	727.5
서귀	회수	갯거리오름	RC	X25	29.76	149.5		705	698	701.5	709.8
서귀	회수	어점오름	RC	X26	33.34	153.77		1306	1265	1285.5	1306
서귀	회수	어오름	EC	X73	31.37	144.64		625	595	610	638
서귀	회수	마보기	SC	X74	30.95	143.48		547.1	510	528.55	559.7
서귀	회수	으스령오름	SP(C)	X37	35.2	152.2		1324	1291	1307.5	1331
서귀	회수	괘사름	BC	X119	24.3	151.22	NE	133.1	100	116.55	138.9
서귀	한라산	민대가리오름	SP(C)	154	36.48	154.87		1620	1520	1569.8	1645
서귀	한라산	만세동산	SH	155	36.19	154.03		1596	1585	1590.6	1608
서귀	한라산	백록담분화구	SC	156	35.44	156.21		1803	1690	1746.4	1950
서귀	한라산	웃세붉은오름	SP(C)	157	35.4	155.4		1707	1646	1676.5	1741
서귀	한라산	웃세누운오름	SP(C)	158	35.41	154.77		1683	1655	1669	1712
서귀	한라산	방애오름	RC	159	34.64	156.02		1682	1550	1615.9	1700
서귀	한라산	알방애오름	RC	160	33.88	156.24		1571	1555	1562.8	1585
서귀	한라산	사라오름	SC	161	36.58	160.07		1307	1150	1228.5	1324
서귀	한라산	사라오름 남	RC	162	34.89	159.94		1181	1175	1177.8	1187
서귀	한라산	성널오름	DC	163	36.8	162.01		1061	958	1009.5	1215
서귀	한라산	논고악	SC	164	35.2	163.76		739.8	685	712.4	841
서귀	한라산	보리악	EC	165	33.81	162.87		720	640	680	740.9
서귀	한라산	이승오름	BC	166	33.04	164.83	SE	489	390	439.5	537.7
서귀	한라산	수악	SP(C)	167	31.32	163.63		433.6	310	371.8	472.1
서귀	한라산	시오름	SP(C)	168	29.29	154.99		723	600	661.5	758
서귀	한라산	쌀오름	BC	169	28.68	158.51	SE	488	420	454	565.7
서귀	한라산	영천악	EC	170	28.07	162.82		193	170	181.5	274.4
서귀	한라산	인정오름	RC	171	26.84	161.33		210.5	194	202.25	228.3
서귀	한라산	참오름	SC	172	26.82	163.02		175	135	155	267.2
서귀	한라산	동걸서악(동걸세)	LD	173	26.63	164.59		139	125	132	159.8

(to be continued)

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _B (m)			E _P (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
서귀	한라산	서걸서악(서걸세)	LD	174	26.45	164.41		138	85	111.5	155.6
서귀	한라산	포제동산	LD	175	25.55	163.34		120	100	110	152.3
서귀	한라산	포제동산 서	LD	176	25.38	162.98		115	102	108.5	132.3
서귀	한라산	월라봉	LD	177	24.97	163.26		104	55	79.5	117.3
서귀	한라산	고근산	SC	178	24.95	154.62		291	200	245.5	396.2
서귀	한라산	웃방애오름	SP(C)	X30	34.93	156.25		1740	1670	1705.1	1747
서귀	한라산	임석오름	LD	X120	35.22	158.77		1494	1451	1472.5	1494
서귀	한라산	흑악	LD	X80	34.01	164.54		592	555	573.5	596.3
서귀	한라산	장구목오름	SP(L)	X8	36.81	155.94		1686	1675	1680.5	1697
서귀	한라산	두수오름	LD	X125	29.17	163.23		210	195	202.5	222.8
서귀	한라산	왕관릉	LD	X13	36.37	156.51		1660	1510	1585	1660
서귀	한라산	영실	LD	X24	34.51	153.72		1645	1234	1439.5	1555
서귀	한라산	웃세죽은오름	SP(C)	X38	35.39	154.48		1683	1660	1671.5	1701
서귀	한라산	임석오름남동	LD	X121	34.97	159.2		1430	1425	1427.5	1430
서귀	한라산	보리악북동	EC	X122	34.17	163.27		724	720	722	743.3
서귀	한라산	각수바위	LD	X28	26.04	155.85		359.7	325	342.35	384.5
서귀	한라산	삼각봉	BC	X9	37.17	156.29	W	1525	1475	1500	1510
서귀	한라산	월산봉	SH	X27	24.09	153.37		205	125	165	212.2
서귀	한라산	임석오름1200	RC	X81	34.23	159.94		1192	1190	1191	1199
서귀	한라산	서리오름(설오름)	LD	X31	23.71	163.19		40	34	37	50.9
서귀	강정	베릿내오름	BC	X23	22.99	145.94	NE	88	40	64	100.2
서귀	서귀	망발	LD	179	22.19	155.67		40	35	37.5	52.6
서귀	서귀	삼매봉	EC	180	22.39	157.72		85	34	59.5	153.4
서귀	서귀	하논	MR	181	22.75	157		141.4	81.4	111.4	141.4
서귀	서귀	보름이오름	RC	X29	23.11	157.57		63	55	59	86.3
서귀	서귀	새섬	LD	183	21.62	159.19		0	0	0	18.7
서귀	서귀	제지기오름	LD	184	22.12	163.61		20	10	15	95
서귀	서귀	범섬	LD	185	19.39	154.86		0	0	0	85.3
서귀	서귀	문섬	LD	186	20.45	159.67		0	0	0	81.9
서귀	서귀	썰섬	LD	187	20.77	162.64		0	0	0	155.4
서귀	서귀	보름이서쪽83M	RC	X143	22.92	157.4		64	60	62	82.8
표선	위미	동수악	SC	239	35.4	165.35		650	570	610	694.8
표선	위미	사려니	BC	240	33.03	167.04	NE	476	444	460	523.6
표선	위미	넓거리오름	BC	241	32.45	167.64	E	403	309	356	437.5
표선	위미	마체악	SP(C)	242	33.05	168.32		402.7	308	355.35	427.2
표선	위미	거인악	BC	243	34.51	168.17	W	462.6	390	426.3	529.2
표선	위미	거린죽은오름	BC	244	34.07	168.48	SE	462.6	342	402.3	489.3
표선	위미	민오름	BC	245	34.13	169.94	E	360	342	351	446.8
표선	위미	민오름알오름	RC	X100	34.27	170.48		350	343	346.5	354.7
표선	위미	물영아리	DC	246	36.15	171.34		404	350	377	508
표선	위미	번널오름	DC	247	36.78	176.35		223	208	215.5	272.3
표선	위미	여절악	BC	248	33.99	175.44	S	197	159	178	209.8
표선	위미	생길이오름	BC	249	29.21	166.71	SW	224	173	198.5	259.6
표선	위미	고이오름	BC	250	30.69	168.39	NW	279.7	246	262.85	301.4
표선	위미	자배봉	SC	251	28.67	169.91		154	95	124.5	210.6
표선	위미	배리악	BC	252	29.21	173.42	NW	108	85	96.5	143
표선	위미	쇄개오름(웅악)	SP(C)	253	31.97	174.33		164	150	157	179.9
표선	위미	예촌망	RC	254	23.81	165.56		40	25	32.5	68
표선	위미	X126	LD	X126	29.95	165.45		269	244	256.5	267.1
표선	위미	늑거리오름	LD	X118	33.08	166.44		463	450	456.5	471.6
표선	위미	사려니남서	EC	X79	32.85	166.76		462.8	442	452.4	468.6
표선	위미	너터리머루	EC	X105	29.44	171.73		124	120	122	135.2
표선	위미	수망리북동(경일산업)	RC	X93	34.5	171.27		288	283	285.5	290.2
표선	표선	병곳오름	BC	299	35.98	176.58	NE	209	165	187	286.5
표선	표선	설오름	BC	300	36.43	178.85	W	170	140	155	238
표선	표선	갑산이오름	BC	301	35.26	179.71	SW	120	100	110	188.2

(to be continued)

1:50000	1:25000	NAME	TYPE	No.	LAT.	LONG.	B.D.	E _B (m)			E _P (m)
								MAX.	MIN.	AVE.	
표선	표선	소소름	BC	302	33.44	177.21	NWW	135	115	125	162.4
표선	표선	가세오름(알오름)	BC	303	31.89	179.64	W	125	80	102.5	200.5
표선	표선	알오름(북망산)	BC	304	31.64	179.31	S	113	91	102	141.9
표선	표선	토산망	DC	305	30.95	179.08		110	75	92.5	175.4
표선	표선	매오름	CC	306	30.5	182.65	NW	93	50	71.5	136.7
표선	표선	도청오름	BC	X92	30.2	182.8	SSE	93	25	59	100.5
표선	표선	달산봉	BC	307	33.64	184.31	NE	60	40	50	136.4
표선	표선	아심전지145	SH	X90	35.99	182.04		123	118.4	120.7	146.1
표선	표선	제석오름	SP(C)	X91	33.8	184.72		59	33	46	87.5
표선	표선	걸리오름	SP(C)	X86	37	182.84		119	115	117	127.4
표선	표선	이승그름모두	DC	X107	30.95	178.44		105	45	75	106.4
표선	표선	염통오름	SP(C)	X103	32	179.29		123	104	113.5	133.3
표선	표선	염통오름서	RC	X104	31.99	179.08		116	115	115.5	127.5
표선	표선	걸리오름서	SP(C)	X98	37.03	182.46		110	110	110	123.8
표선	표선	갑선이오름남	EC	X102	34.61	179.66		92	90	91	102

1 Jeju Island, Korea.

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
70.5	730	330	425	760	765	685	615.8	190	150	195	170	175	175
14.5	145	150	250	210	180	215	191.7						
112.8	1070	910	810	980	1010	895	945.8						
6	240	315	255	225	290	335	276.7						
67.7	660	820	740	695	640	660	702.5						
30.6	285	445	340	460	305	390	370.8						
24	330	325	325	340	350	350	336.7	125	115	115	125	125	120
33.5	400	260	345	350	255	255	310.8						
28.5	260	215	225	230	245	270	240.8						
19.6	340	200	315	325	365	230	295.8	105	90	95	100	105	100
17	180	140	155	180	150	165	161.7						
19.8	350	85	230	120	190	105	180.0						
22.5	745	310	470	605	430	650	535.0						
33.3	665	430	705	850	500	880	671.7						
8.3	140	145	145	140	140	140	141.7						
80	515	515	545	515	545	485	520.0	145	125	125	135	150	140
40	295	310	195	190	240	285	252.5						
55.4	290	380	315	300	350	325	326.7						
124.7	820	735	715	715	785	840	768.3	225	210	210	215	215	225
66.3	560	490	550	470	615	520	534.2	135	135	135	130	130	135
26	335	225	265	225	270	310	271.7						
37	415	395	375	365	415	440	400.8	125	120	125	125	115	115
42	310	265	225	215	235	285	255.8						
196.3	1000	1300	1100	1000	1200	985	###	265	240	255	265	265	255
84.7	950	865	875	815	950	865	886.7	320	265	275	295	310	290
53.7	400	525	545	400	480	395	457.5	130	135	130	135	145	150
84.1	710	540	590	665	550	705	626.7	175	160	175	175	160	170
83.8	500	520	510	515	490	485	503.3	130	135	130	130	140	135
75.8	540	625	520	620	515	730	591.7	165	160	160	160	165	160
120.2	1030	700	880	945	790	960	884.2	180	180	175	180	180	175
340	1965	1860	1860	1805	2005	2055	###	215	210	210	220	215	210
15.65	665	800	765	680	695	750	725.8						
12.5	280	260	260	250	270	305	270.8						
37	440	160	445	300	420	275	340.0	105	110	110	105	105	105
11.9	225	130	215	160	180	115	240.0						
13	365	340	375	375	335	325	352.5	145	150	185	155	120	125
15	120	255	240	140	225	140	186.7						
68.1	550	575	570	575	580	570	570.0						
54.1	320	295	345	395	380	375	351.7						
23.1	90	90	140	235	255	125	155.8						
53.55	750	590	530	500	500	530	566.7						
16.2	200	170	200	160	180	155	177.5						
8.4	105	135	150	150	115	110	127.5						
94.2	815	625	620	750	625	630	677.5	185	185	185	185	195	190
13.3	450	445	415	395	420	410	422.5						
126	840	730	725	800	725	785	767.5	190	185	185	190	200	195
12.6	120	110	275	200	75	75	142.5						
74.4	410	390	390	375	415	390	395.0	155	125	130	155	150	130
77.3	590	375	485	550	620	490	518.3	180	165	170	180	180	175
28.3	260	140	160	215	150	200	187.5						

μm, AVE.: average, E_p: peak elevation, H: height,
 C: symmetrical cone, BC: breached cone,
 without crater, SP-L: sharp-pointed lava cone without crater,

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
32.4	215	200	220	240	220	190	214.2						
28.4	250	250	270	270	235	270	257.5						
48.5	385	250	360	325	265	330	319.2						
111.3	895	880	845	840	845	845	858.3	235	225	240	245	220	220
80.9	450	680	615	700	480	535	576.7	150	155	155	150	150	155
22.8	185	165	225	265	310	285	239.2						
122.9	1220	995	855	730	1000	1115	985.8	245	225	230	240	240	245
50.5	345	375	375	350	350	340	355.8	135	135	135	135	130	130
77	920	610	585	830	825	595	727.5						
32.5	420	440	420	400	400	400	413.3	135	135	125	135	135	130
88.5	550	500	325	250	325	525	412.5						
100.5	1100	730	1005	810	940	1070	942.5	230	225	245	240	230	235
55.4	265	195	250	210	255	220	232.5	90	75	75	80	85	75
81.9	740	425	580	670	520	685	603.3	200	180	195	195	195	180
57.7	570	460	585	500	520	535	528.3	190	200	200	185	185	190
92.6	760	640	650	640	615	615	653.3	220	210	210	215	225	215
166.9	1040	1100	1270	1070	970	990	###	260	275	290	275	275	250
67.5	435	350	390	400	400	395	395.0	140	120	125	135	130	120
8.1	240	175	215	235	235	195	215.8						
37.7	400	420	420	420	465	440	427.5	165	155	155	165	160	150
43.9	435	490	540	490	520	540	502.5	155	145	155	160	150	145
18.4	260	140	250	200	210	115	195.8						
17.3	260	250	210	275	285	230	251.7						
22.6	210	385	245	330	335	250	292.5	105	110	110	105	105	110
43.6	515	550	320	340	490	540	459.2						
115	970	1075	1000	1000	1030	1060	###						
31.8	265	330	350	260	310	335	308.3	80	90	90	85	85	85
30.4	195	335	365	345	370	340	325.0	115	115	115	115	120	120
7.9	575	520	520	625	600	745	597.5						
15.1	160	150	150	150	175	150	155.8						
16.9	165	175	165	165	175	175	170.0						
10.4	210	55	200	70	150	70	125.8						
25.45	385	365	345	350	350	380	362.5						
81.4	585	425	500	590	560	450	518.3	165	170	165	175	165	165
82.8	320	405	525	525	380	400	425.8	120	115	115	120	125	120
105.2	695	585	700	650	600	650	646.7	190	180	195	190	175	185
34.3	240	215	275	375	210	260	262.5						
18.5	125	115	225	250	125	55	149.2						
20.9	120	100	100	125	100	110	109.2						
8.9	85	85	95	100	85	75	87.5						
101.3	1280	935	1175	910	970	1100	###						
10.5	520	375	455	425	505	375	442.5						
12	650	545	500	535	555	580	560.8						
10.5	1010	460	875	520	715	840	736.7						
71.3	500	310	500	480	475	410	445.8	165	180	155	160	185	175
32.1	145	240	220	200	270	265	223.3	70	70	70	70	65	70
98.5	700	510	650	525	650	525	593.3	175	155	150	155	170	175
39.6	560	500	570	550	560	510	541.7	145	130	145	180	190	170
62.3	460	390	505	445	570	510	480.0	155	140	150	155	155	145
104.3	715	685	720	675	725	675	699.2	255	235	255	250	250	235
129.9	785	590	785	550	675	735	686.7	210	200	200	210	220	205
174.7	1220	750	1020	760	870	985	934.2	225	220	220	220	225	215
72.1	585	325	485	470	620	550	505.8	170	175	175	175	180	175
36.8	490	395	405	470	470	415	440.8	205	195	200	205	205	205
43.1	340	550	450	535	335	455	444.2	165	100	110	150	145	110
85.4	475	870	1300	935	1245	875	950.0	270	275	280	275	275	270

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
119.6	815	775	700	605	710	755	726.7	210	200	190	205	210	205
99.4	585	860	815	790	820	820	781.7	280	255	255	270	295	285
28.2	245	260	240	220	220	255	240.0	75	70	75	70	75	70
108.9	800	780	785	765	765	755	775.0	225	220	215	220	225	225
55.5	330	595	550	615	435	500	504.2	195	180	185	190	200	190
39.8	625	1065	800	865	750	1060	860.8	270	265	260	270	260	255
21.5	350	300	300	275	400	400	337.5						
32.9	975	915	1050	900	950	1025	969.2	580	600	570	580	650	635
42.9	410	420	400	415	415	445	417.5	140	135	135	135	140	145
34.2	365	395	395	415	390	375	389.2	135	125	125	130	135	125
44.7	195	400	465	440	465	415	396.7	130	130	130	135	125	120
128.7	810	815	750	750	850	835	801.7	210	145	155	190	150	190
63.2	460	400	425	415	275	275	375.0	130	125	125	140	135	130
107.9	705	630	625	665	730	800	692.5	255	230	230	235	245	265
139.3	790	995	1000	1015	705	705	868.3	240	200	210	225	220	200
73.7	860	615	820	635	700	610	706.7	255	250	210	200	230	250
80.8	725	515	620	580	500	590	588.3	145	140	140	140	145	140
105.1	675	695	915	770	670	570	715.8	215	205	220	215	210	205
114.9	750	740	735	845	870	775	785.8	200	190	180	185	205	200
29.5	245	245	220	230	265	265	245.0	85	85	75	80	90	90
54.2	325	315	320	310	310	315	315.8	70	70	75	70	75	75
64.3	750	615	715	715	750	745	715.0	205	190	195	210	200	190
140.9	930	920	900	910	1065	1010	955.8	225	225	240	250	250	260
69.8	585	820	725	610	600	810	691.7	225	205	215	225	205	215
49.5	585	350	375	490	410	475	447.5	135	125	130	135	130	140
35.1	455	445	425	430	475	475	450.8	145	135	145	145	135	145
107.5	895	810	750	715	715	765	775.0	425	415	350	325	360	400
77.3	550	615	525	525	525	535	545.8	210	195	205	210	215	210
100.3	815	825	850	850	790	810	823.3	255	220	230	250	250	230
34.6	385	400	375	370	350	365	374.2	275	260	250	240	225	250
104	910	670	800	790	945	765	813.3	210	200	200	210	210	205
68.4	610	520	530	475	610	550	549.2						
43.8	470	265	410	325	305	450	370.8						
119.5	870	795	810	860	950	875	860.0	245	250	270	260	235	235
26.4	275	350	250	250	350	450	320.8						
25.3	130	395	510	175	400	395	334.2	125	135	130	130	125	135
26.3	300	350	225	325	280	250	288.3						
21.9	205	170	150	170	175	190	176.7						
16.8	250	200	225	175	265	280	232.5						
42.8	355	310	270	235	260	380	301.7	135	130	145	95	105	125
56.6	625	500	555	480	540	610	551.7	340	325	335	345	365	365
12.6	605	510	500	465	540	475	515.8						
19.75	360	300	325	345	320	280	321.7						
46.8	450	385	270	390	405	440	390.0	205	215	220	230	215	205
142.2	635	670	650	680	875	965	745.8	205	205	190	205	195	200
118	860	800	700	700	720	850	771.7	290	260	230	240	265	260
191.4	950	950	985	960	910	855	935.0	350	350	340	300	345	355
54.6	465	445	440	470	500	500	470.0	200	205	210	215	200	200
70.1	325	530	705	575	510	500	524.2	260	215	220	245	260	235
72.6	570	605	610	640	655	570	608.3	245	235	245	250	245	235
61.8	745	690	705	710	700	720	711.7	335	200	275	220	200	215
63.3	530	480	645	700	500	530	564.2	215	200	210	220	250	275
87.5	710	765	1110	925	705	660	812.5	280	310	295	265	265	270
17.4	115	115	125	115	100	110	113.3						
15	95	100	100	80	75	85	89.2						

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
156.4	830	915	1070	980	890	815	916.7	155	150	140	145	150	155
50.4	395	410	405	415	380	360	394.2	110	110	105	95	100	100
94.2	910	825	675	825	890	900	837.5	330	320	330	335	350	340
32.9	165	165	165	170	180	165	168.3						
80.3	435	590	610	500	450	490	512.5	260	220	140	125	185	250
93.1	595	615	705	605	690	700	651.7	250	210	180	180	200	230
117.5	910	1205	1080	795	845	920	959.2	375	370	320	285	315	360
41.9	650	625	610	615	680	660	640.0	475	450	440	460	480	480
46.4	615	500	405	310	385	535	458.3						
101.3	840	760	725	730	785	750	765.0	250	190	240	215	205	240
15.6	135	150	185	180	175	165	165.0						
13.5	105	130	170	225	200	150	163.3						
24	240	275	325	345	330	280	299.2						
65.4	425	710	585	700	650	685	625.8	220	225	230	220	225	225
15.1	185	210	280	305	360	240	263.3						
94.1	875	560	875	650	600	800	726.7	245	205	240	210	215	235
127.2	675	700	710	665	670	680	683.3						
90.1	710	715	710	680	695	705	702.5	210	205	210	215	210	215
109.4	1050	860	870	880	850	920	905.0	350	380	325	300	310	325
13.4	185	100	150	105	100	125	127.5						
22.1	290	145	260	315	225	275	251.7						
88	1025	800	700	540	775	815	775.8	260	290	290	270	265	280
52.9	500	450	455	385	420	400	435.0						
58	405	360	275	275	275	335	320.8						
19.5	350	275	340	165	215	180	254.2						
36.2	450	450	450	230	265	435	380.0						
46.3	655	560	365	425	425	310	456.7	195	185	190	195	195	200
29.7	100	340	315	250	300	330	272.5	105	110	115	110	105	105
42.6	450	400	275	320	350	415	368.3						
63.7	515	555	490	490	480	515	507.5	225	245	210	190	200	220
26.5	295	270	275	315	300	300	292.5	120	115	120	120	115	120
58	650	590	595	315	420	575	524.2	190	165	190	165	190	185
14.2	155	155	175	185	185	165	170.0						
35.7	490	640	615	610	620	605	596.7	205	235	245	215	210	225
52.7	980	455	655	495	675	475	622.5	185	180	175	175	180	190
22.6	155	450	465	440	510	450	411.7	100	90	90	95	100	90
48.8	500	450	450	475	450	575	483.3	250	275	250	250	275	275
151.4	1525	1295	1100	930	1050	1450	###	360	40	360	350	355	335
82.8	825	750	785	800	850	925	822.5	450	400	375	430	445	465
15.3	170	145	150	170	220	175	171.7						
43.7	470	460	430	390	295	440	414.2	110	115	115	115	115	115
99	860	730	800	740	715	705	758.3	225	300	250	310	225	275
41.4	265	190	375	300	260	270	276.7	110	105	105	110	110	105
14.8	160	240	245	220	250	230	224.2	95	90	90	95	95	95
16.5	145	320	330	375	365	340	312.5	155	155	150	155	155	155
13.4	125	150	125	125	175	215	152.5						
12.9	150	100	150	110	115	100	120.8						
6.6	150	25	110	35	160	65	90.8						
52.8	410	450	665	565	700	525	552.5	200	190	205	205	190	190
8.7	60	140	130	115	140	120	117.5	50	50	50	50	50	50
5	510	430	360	310	410	475	415.8	315	320	190	140	210	310
16	110	275	245	230	185	130	195.8	70	75	75	75	70	75
10.9	230	195	210	150	110	90	164.2						
23.2	140	590	345	240	175	400	315.0	115	110	115	120	105	110
19	105	110	120	135	145	155	128.3						
12.4	315	230	80	60	165	250	183.3						

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
2	145	160	160	155	155	170	157.5						
146.2	850	840	675	650	635	700	725.0	250	245	245	255	255	250
81.5	1105	1065	1030	1015	1135	1140	####	785	790	800	800	795	795
45.4	425	400	380	450	430	335	403.3						
30.5	130	155	190	255	250	260	206.7	85	85	85	85	85	90
57.7	275	325	300	260	255	255	278.3						
112.5	1300	1175	1060	1085	1185	1425	####	750	740	725	725	765	780
21.5	245	250	245	260	265	260	254.2						
166.5	1370	1565	1325	1135	1070	1190	####	520	500	515	555	565	525
3.5	200	215	215	215	200	210	209.2						
78.6	685	625	540	520	645	870	647.5						
30.3	205	225	205	220	245	215	219.2						
25.5	310	305	305	310	310	325	310.8						
16.3	650	575	700	725	575	550	629.2						
111.6	625	600	600	600	600	600	604.2	200	200	225	230	225	200
53.4	400	655	635	525	630	475	553.3	190	170	190	200	180	175
47.2	495	485	570	500	560	500	518.3	175	170	190	180	180	185
23	295	225	230	275	225	275	254.2						
31.4	135	300	300	140	150	280	217.5						
120.5	480	910	1075	945	1160	1005	929.2	580	525	550	585	560	540
24	495	465	465	505	480	465	479.2						
9.5	440	370	450	460	430	375	420.8						
15	400	360	390	370	375	350	374.2						
17.5	230	340	450	400	375	315	351.7	155	145	150	150	160	160
14.9	800	410	735	540	775	635	649.2						
14	300	340	300	295	345	290	311.7						
44	870	550	720	590	710	670	685.0	245	310	290	250	255	280
44	260	480	485	445	555	615	473.3	200	175	190	200	175	195
9	485	305	405	470	365	475	417.5						
15.5	280	150	125	250	210	245	210.0	75	70	75	7	70	75
35.2	225	230	300	235	280	225	249.2						
5.3	90	95	80	110	110	100	97.5						
20.2	155	165	160	165	165	155	160.8						
9.6	135	110	165	125	110	150	132.5						
8.1	240	135	165	215	150	240	190.8						
65	2550	2430	2390	2325	2440	2565	####	1700	1570	1485	1490	1690	1715
57.9	440	480	500	460	440	445	460.8	135	150	155	165	150	145
12.5	160	150	155	165	165	160	159.2						
18.5	1075	895	910	925	950	900	942.5						
18.4	395	385	385	400	390	375	388.3						
78.2	660	530	620	585	610	540	590.8						
72.4	580	880	510	485	510	500	577.5	215	215	215	200	200	205
62.5	550	300	415	450	420	425	426.7	150	140	110	150	125	135
37.5	900	525	660	550	680	575	648.3	435	420	420	440	440	430
161	1000	850	925	995	900	950	936.7	320	275	285	275	255	255
30.5	830	705	580	555	595	705	661.7	450	400	315	290	310	405
37	795	690	385	500	490	545	567.5	180	145	155	175	150	175
101.6	405	625	500	650	620	555	559.2	190	150	180	195	175	175
109.8	850	865	740	865	940	710	828.3						
136.1	875	800	750	845	865	745	813.3	265	265	250	255	270	270
11.5	200	400	230	200	260	345	272.5						
105.5	750	635	820	730	850	765	758.3	170	185	155	170	175	175
7.4	200	260	250	225	300	210	240.8						
10.4	150	205	210	250	150	245	201.7						
9.6	360	385	330	275	250	315	319.2						

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
117.1	545	695	705	675	595	435	608.3	195	175	190	195	195	185
14.4	260	260	350	295	300	285	291.7	95	100	90	90	100	105
46.9	640	555	650	590	570	525	588.3	170	130	160	140	165	150
31.25	305	460	435	360	300	445	384.2						
67.5	575	440	610	475	560	500	526.7						
91.8	640	635	650	620	630	650	637.5	245	250	240	240	240	240
33.6	540	385	430	400	370	355	413.3						
45.3	425	250	460	395	400	260	365.0	140	145	150	145	140	145
120	830	785	650	860	775	705	767.5	275	255	240	250	275	280
54.2	880	500	685	545	775	570	659.2						
62.8	525	290	550	305	480	375	420.8	120	110	110	115	120	115
20	95	255	285	280	145	250	218.3	75	75	75	75	75	75
89.1	460	675	770	555	740	595	632.5	175	190	190	185	175	185
120.2	605	585	670	825	680	640	667.5	195	200	205	200	175	185
59	815	650	740	685	840	680	735.0	225	240	235	230	215	240
33.5	525	515	410	385	385	460	446.7	290	250	235	255	275	330
55.2	490	360	415	390	375	425	409.2	135	120	115	130	140	125
37.5	330	310	285	360	280	340	317.5	85	80	85	85	80	85
8.5	160	80	140	95	140	90	117.5	100	90	25	20	90	50
22.5	285	315	295	290	320	285	298.3						
66.4	330	425	350	350	395	390	373.3						
14.9	85	135	190	155	170	165	150.0	50	45	50	50	50	45
2.4	160	160	160	160	165	160	160.8	75	75	65	55	60	70
40.5	300	325	355	315	330	310	322.5	145	135	150	140	140	130
143.5	1890	1735	1860	1760	1785	1725	#####						
121.1	925	460	935	505	790	490	684.2						
350.2	1295	1259	1515	975	1535	1085	#####						
34	460	505	550	550	520	465	508.3	360	385	405	415	375	360
77.2	550	490	700	600	735	535	601.7	185	185	190	190	190	195
174.5	2700	2725	2225	1365	2550	2900	#####						
51.2	1400	1425	1385	1410	1400	1375	#####	975	990	970	980	950	985
66.5	545	495	520	545	495	515	519.2	155	150	150	155	165	170
33.5	150	575	460	225	585	200	365.8						
16.7	130	130	135	135	135	135	133.3						
19.7	125	130	145	140	125	125	131.7						
30	115	180	205	160	150	120	155.0						
201.4	1465	930	1275	1020	1150	1080	#####	235	235	245	270	245	255
105.3	1125	1045	850	700	905	1025	941.7						
105	750	800	785	760	650	720	744.2	265	210	225	250	255	225
85.3	665	705	875	835	815	755	775.0	245	225	240	250	230	220
95.5	1090	995	1000	850	860	1075	978.3						
64.9	1060	615	990	760	935	775	855.8	395	440	440	425	415	395
35	300	345	330	310	320	315	320.0	100	90	90	100	90	95
99.5	680	450	595	650	685	705	627.5	210	200	200	210	220	220
78.3	820	600	805	700	675	700	716.7	210	200	205	200	210	215
78	915	950	985	790	820	935	899.2	260	260	265	265	255	260
21.6	165	160	165	175	175	165	167.5						
6	320	310	320	335	305	305	315.8						
51.2	620	430	540	450	705	625	561.7	205	190	180	190	205	200
55.4	1245	950	1225	980	1015	1310	#####						
60	485	305	495	420	620	510	472.5	210	185	190	205	205	195
66.25	400	320	375	370	500	360	387.5	140	140	140	140	140	140
90.3	1125	635	990	700	970	745	860.8						
90.9	875	600	875	650	835	730	760.8						
24.9	360	200	300	225	325	240	275.0						
67.4	610	440	555	475	465	560	517.5	195	175	185	190	180	185

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
109.7	675	785	810	720	800	700	748.3	210	195	205	210	200	190
27.05	240	305	290	265	275	300	279.2						
28.1	330	295	320	330	320	300	315.8	115	110	120	120	115	115
108.4	745	680	690	705	660	645	687.5	215	170	175	200	220	195
23.7	475	225	400	295	385	275	342.5						
36.2	295	375	365	320	300	340	332.5						
17.6	200	175	200	185	170	170	183.3						
10.6	190	160	160	150	180	175	169.2						
105.8	810	630	640	705	645	735	694.2	215	205	200	210	210	210
13.9	200	225	225	195	165	180	198.3						
38.3	490	465	525	480	470	485	485.8	175	160	170	165	170	165
22.9	230	260	195	255	210	250	233.3						
63.2	300	400	310	365	450	425	375.0	95	120	135	130	110	110
110	925	1225	1110	1005	1120	1175	####	345	330	335	345	345	355
37.8	410	440	425	415	425	450	427.5	140	140	140	135	140	140
35.9	665	490	565	500	585	510	552.5						
28.75	410	480	455	465	485	500	465.8						
85.8	550	475	620	450	530	550	529.2	165	165	170	165	155	160
73.7	850	905	640	510	700	840	740.8						
97.5	575	530	560	570	540	525	550.0						
16.15	185	125	135	175	165	145	155.0						
76.35	485	485	550	490	505	495	501.7	145	145	145	145	145	145
32	290	175	215	260	265	200	234.2						
31.4	265	200	240	215	270	230	236.7						
28.9	235	245	265	230	235	275	247.5						
26.1	350	250	270	320	285	335	301.7						
64.8	855	630	915	1115	855	805	862.5	300	270	275	285	305	290
47	505	385	330	315	400	480	402.5	130	150	140	140	135	140
44.1	400	410	385	360	340	365	376.7						
25	410	155	430	205	265	325	298.3	130	125	125	130	120	125
8.3	235	115	210	145	200	135	173.3						
20.5	335	260	305	335	320	270	304.2						
28	410	220	415	290	365	265	327.5						
31.1	270	270	275	265	280	285	274.2	80	80	80	85	90	80
23.3	220	270	255	225	255	225	241.7						
22.3	140	170	290	275	300	235	235.0	90	90	90	90	90	90
74.9	760	420	645	775	530	405	589.2						
17.5	320	250	275	305	295	275	286.7						
203.6	1670	1110	1180	1425	1515	1325	####	575	425	585	475	555	415
64	630	500	555	640	580	540	574.2						
42.7	350	400	390	475	350	365	388.3						
83.7	770	650	710	630	710	665	689.2						
22.2	310	325	315	315	330	350	324.2						
95.5	955	835	625	565	900	915	799.2	260	250	240	235	260	270
9.5	210	230	225	220	200	190	212.5						
205.7	960	1070	1385	1300	1025	1130	####						
128.6	935	770	790	860	840	800	832.5	300	270	270	290	280	300
60.9	325	210	450	300	275	230	298.3						
98.2	555	775	775	630	830	935	750.0	250	250	240	245	260	250
100.3	545	630	600	600	565	650	598.3						
96.5	870	475	750	525	770	585	662.5						
111.7	875	860	900	900	850	830	869.2	245	245	240	245	245	250
92.9	950	440	725	470	715	500	633.3						
25.5	450	435	445	430	445	435	440.0						
112.2	685	775	760	720	780	700	736.7	210	215	235	230	205	210
27.8	255	240	225	210	240	250	236.7						

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
44.1	320	325	325	320	315	300	317.5						
42.3	320	415	500	395	405	435	411.7						
23.8	450	145	350	195	335	175	275.0						
37.8	345	260	180	165	225	315	248.3						
150.7	1230	1150	1050	1090	1260	1165	####	185	170	195	205	175	175
41.9	345	295	330	350	340	300	326.7						
21.5	375	345	375	395	330	320	356.7						
22.8	270	180	200	235	235	190	218.3						
16.7	175	155	140	125	140	130	144.2						
20.3	200	125	180	145	185	130	160.8						
75	370	240	335	285	345	280	309.2						
115.9	1340	720	1215	900	990	725	981.7						
29.2	275	275	325	300	265	270	285.0						
2.8	130	110	130	125	120	115	121.7						
21.3	370	210	315	250	370	235	291.7						
42.1	400	200	300	225	280	210	269.2						
10.1	125	135	200	180	165	135	156.7	80	60	70	65	65	80
47.2	850	775	740	775	860	820	803.3						
7.9	120	130	150	155	140	120	135.8						
13.9	260	155	215	180	220	175	200.8						
36.2	360	370	400	380	525	425	410.0	175	165	175	175	170	165
15.1	160	110	145	120	160	140	139.2						
93.9	950	625	550	700	800	700	720.8						
30	1150	1040	1165	1095	1120	1100	####	765	890	830	750	800	860
27.3	195	240	255	240	230	210	228.3						
18.7	530	365	385	360	475	435	425.0						
80	410	320	315	370	335	330	346.7						
85.3	385	425	465	405	395	410	414.2						
81.9	520	505	300	280	270	425	383.3						
155.4	625	380	510	450	435	575	495.8						
20.8	195	165	140	135	150	135	153.3						
84.8	560	685	625	600	600	695	627.5	235	225	230	240	225	230
63.6	375	460	460	475	535	500	467.5	170	155	170	160	170	165
81.5	675	645	620	650	690	705	664.2	230	205	205	220	225	215
71.85	900	900	880	820	860	885	874.2						
102.9	450	680	715	545	640	600	605.0	200	200	185	195	210	215
87	575	785	715	680	705	735	699.2	215	205	200	210	215	215
95.8	675	675	715	815	720	690	715.0	230	185	190	225	235	220
8.2	150	165	150	145	165	190	160.8						
131	1145	975	910	1000	1115	1000	####	235	220	230	240	225	225
56.8	435	390	425	430	405	390	412.5						
31.8	420	230	405	430	405	380	378.3	120	115	115	115	120	115
61.1	630	445	480	435	540	445	495.8	165	180	175	165	165	180
38.55	370	320	365	375	370	355	359.2	130	120	120	125	125	125
86.1	825	610	920	780	780	725	773.3	320	375	360	335	340	350
46.5	325	390	440	510	370	360	399.2	125	125	130	130	120	125
22.9	150	155	155	175	150	150	155.8						
35.5	740	415	550	575	540	460	546.7						
10.6	275	185	240	225	200	200	220.8						
15.1	175	220	170	145	135	155	166.7						
16.2	180	105	155	115	160	125	140.0						
13.2	150	100	100	100	175	160	130.8						
4.7	120	130	125	115	145	130	127.5						
99.5	775	800	700	700	925	1000	816.7	225	215	230	225	225	225
83	530	590	650	650	585	595	600.0	185	190	175	180	200	210
78.2	580	410	570	475	540	590	527.5	165	175	165	165	170	180

H(m)	W _B (m)							W _C (m)					
	1	2	3	4	5	6	AVE.	1	2	3	4	5	6
37.4	375	425	375	400	425	450	408.3	150	145	155	155	145	140
98	740	935	845	850	800	850	836.7	240	210	225	240	235	220
39.9	425	285	375	340	320	400	357.5	100	85	90	95	100	95
82.9	1000	480	740	825	720	890	775.8						
65.2	850	330	1000	910	850	890	805.0	185	200	195	190	190	200
41.5	425	450	450	425	475	450	445.8	220	215	215	220	220	215
86.4	465	655	580	650	570	640	593.3	205	195	195	200	210	205
25.4	500	575	550	550	500	500	529.2						
41.5	325	310	275	275	410	375	328.3						
10.4	195	110	175	120	170	130	150.0						
31.4	450	700	425	500	750	675	583.3						
19.8	135	175	150	150	150	185	157.5						
12	125	125	125	125	125	175	133.3						
13.8	155	100	145	110	125	105	123.3						
11	165	95	135	95	100	130	120.0						

	$\Theta(^{\circ})$	VOL. (km ³)
AVE.		
175.8	17.8	0.009564
0.0	8.6	0.000139
0.0	13.4	0.026405
0.0	2.5	0.000120
0.0	10.9	0.008742
0.0	9.4	0.001101
120.8	12.5	0.001059
0.0	12.2	0.000847
0.0	13.3	0.000433
99.2	11.3	0.000650
0.0	11.9	0.000116
0.0	12.4	0.000168
0.0	4.8	0.001685
0.0	5.7	0.003931
0.0	6.7	0.000044
136.7	22.7	0.007539
0.0	17.6	0.000667
0.0	18.7	0.001547
216.7	24.3	0.026226
133.3	18.3	0.006494
0.0	10.8	0.000502
120.8	14.8	0.002166
0.0	18.2	0.000719
257.5	25.1	0.079792
292.5	15.9	0.025068
137.5	18.6	0.004091
169.2	20.2	0.011605
133.3	24.4	0.007417
161.7	19.4	0.009359
178.3	18.8	0.030547
213.3	21.7	0.370262
0.0	2.5	0.002157
0.0	5.3	0.000240
106.7	17.6	0.001580
0.0	5.7	0.000179
146.7	7.2	0.000672
0.0	9.1	0.000137
0.0	13.4	0.005790
0.0	17.1	0.001751
0.0	16.5	0.000147
0.0	10.7	0.004499
0.0	10.3	0.000134
0.0	7.5	0.000036
187.5	21.0	0.015312
0.0	3.6	0.000621
190.8	23.6	0.025451
0.0	10.0	0.000067
140.8	30.3	0.004507
175.0	24.2	0.007889
0.0	16.8	0.000260

	$\Theta(^{\circ})$	VOL.(km ³)
AVE.		
0.0	16.8	0.000389
0.0	12.4	0.000493
0.0	16.9	0.001293
230.8	19.5	0.028778
152.5	20.9	0.009394
0.0	10.8	0.000341
237.5	18.2	0.040598
133.3	24.4	0.002535
0.0	12.0	0.010664
132.5	13.0	0.002068
0.0	23.2	0.003940
234.2	15.8	0.030606
80.0	34.4	0.001146
190.8	21.7	0.011049
191.7	18.9	0.006298
215.8	22.9	0.014888
270.8	22.6	0.066211
128.3	26.9	0.003942
0.0	4.3	0.000099
158.3	15.6	0.002718
151.7	14.1	0.004040
0.0	10.6	0.000185
0.0	7.8	0.000287
107.5	13.7	0.000760
0.0	10.8	0.002405
0.0	12.7	0.031461
85.8	16.0	0.001073
116.7	16.3	0.001250
0.0	1.5	0.000738
0.0	11.0	0.000096
0.0	11.2	0.000128
0.0	9.4	0.000043
0.0	8.0	0.000875
167.5	24.9	0.008169
119.2	28.4	0.005336
185.8	24.5	0.015770
0.0	14.6	0.000618
0.0	13.9	0.000108
0.0	21.0	0.000065
0.0	11.5	0.000018
0.0	10.8	0.029877
0.0	2.7	0.000538
0.0	2.5	0.000988
0.0	1.6	0.001491
170.0	27.3	0.005662
69.2	22.6	0.000589
163.3	24.6	0.012259
160.0	11.7	0.004204
150.0	20.7	0.005296
246.7	24.7	0.019709
207.5	28.5	0.022333
220.8	26.1	0.051552
175.0	23.6	0.007075
202.5	17.2	0.003126
130.0	15.3	0.003067
274.2	14.2	0.027668

	$\Theta(^{\circ})$	VOL. (km ³)
AVE.		
203.3	24.6	0.022443
273.3	21.4	0.023392
72.5	18.6	0.000592
221.7	21.5	0.023411
190.0	19.5	0.005607
263.3	7.6	0.010800
0.0	7.3	0.000641
602.5	10.2	0.016238
138.3	17.1	0.002820
129.2	14.7	0.001954
128.3	18.4	0.002628
173.3	22.3	0.027334
130.8	27.4	0.003420
243.3	25.7	0.019969
215.8	23.1	0.036013
232.5	17.3	0.013841
141.7	19.9	0.009505
211.7	22.6	0.019491
193.3	21.2	0.024258
84.2	20.1	0.000677
72.5	24.0	0.001814
198.3	14.0	0.011649
241.7	21.5	0.044354
215.0	16.3	0.012298
132.5	17.4	0.003589
141.7	12.8	0.002638
379.2	28.5	0.029205
207.5	24.6	0.009188
239.2	19.0	0.024460
250.0	29.1	0.002680
205.8	18.9	0.023711
0.0	14.0	0.005398
0.0	13.3	0.001576
249.2	21.4	0.031768
0.0	9.3	0.000711
130.0	13.9	0.001139
0.0	10.3	0.000572
0.0	13.9	0.000179
0.0	8.2	0.000238
122.5	25.5	0.001601
345.8	28.8	0.009104
0.0	2.8	0.000877
0.0	7.0	0.000535
215.0	28.1	0.003456
200.0	27.5	0.027737
257.5	24.7	0.026569
340.0	32.8	0.065495
205.0	22.4	0.005133
239.2	26.2	0.008388
242.5	21.6	0.010950
240.8	14.7	0.011900
228.3	20.7	0.008269
280.8	18.2	0.022145
0.0	17.1	0.000058
0.0	18.6	0.000031

	$\Theta(^{\circ})$	VOL.(km ³)
AVE.		
149.2	22.2	0.040895
103.3	19.1	0.002727
334.2	20.5	0.026940
0.0	21.4	0.000244
196.7	27.0	0.008449
208.3	22.8	0.014710
337.5	20.7	0.041741
464.2	25.5	0.010110
0.0	11.4	0.002551
223.3	20.5	0.021353
0.0	10.7	0.000111
0.0	9.4	0.000094
0.0	9.1	0.000562
224.2	18.0	0.009963
0.0	6.5	0.000274
225.0	20.6	0.018274
0.0	20.4	0.015542
210.8	20.1	0.016175
331.7	20.9	0.035187
0.0	11.9	0.000057
0.0	10.0	0.000366
275.8	19.4	0.020540
0.0	13.7	0.002619
0.0	19.9	0.001562
0.0	8.7	0.000330
0.0	10.8	0.001368
193.3	19.4	0.004049
108.3	19.9	0.000898
0.0	13.0	0.001512
215.0	23.5	0.006882
118.3	16.9	0.000930
180.8	18.7	0.006105
0.0	9.5	0.000107
222.5	10.8	0.005028
180.8	13.4	0.007347
94.2	8.1	0.001284
262.5	23.8	0.005483
300.0	18.1	0.077574
427.5	22.7	0.026235
0.0	10.1	0.000118
114.2	16.2	0.002651
264.2	21.8	0.021894
107.5	26.1	0.001277
93.3	12.7	0.000309
154.2	11.8	0.000732
0.0	10.0	0.000082
0.0	12.1	0.000049
0.0	8.3	0.000014
196.7	16.5	0.006253
50.0	14.5	0.000050
247.5	3.4	0.000441
73.3	14.6	0.000243
0.0	7.6	0.000077
112.5	12.9	0.000894
0.0	16.5	0.000082
0.0	7.7	0.000109

	$\Theta(^{\circ})$	VOL. (km ³)
AVE.		
0.0	1.5	0.000013
250.0	31.6	0.029433
794.2	29.6	0.056721
0.0	12.7	0.001933
85.8	26.8	0.000541
0.0	22.5	0.001170
747.5	26.2	0.085708
0.0	9.6	0.000363
530.0	24.1	0.112615
0.0	1.9	0.000040
0.0	13.6	0.008623
0.0	15.5	0.000381
0.0	9.3	0.000645
0.0	3.0	0.001688
213.3	29.7	0.015752
184.2	16.1	0.006176
180.0	15.6	0.004871
0.0	10.3	0.000389
0.0	16.1	0.000389
556.7	32.9	0.053302
0.0	5.7	0.001442
0.0	2.6	0.000440
0.0	4.6	0.000550
153.3	10.0	0.000921
0.0	2.6	0.001643
0.0	5.1	0.000356
271.7	12.0	0.008395
189.2	17.2	0.004022
0.0	2.5	0.000410
62.0	11.8	0.000247
0.0	15.8	0.000572
0.0	6.2	0.000013
0.0	14.1	0.000137
0.0	8.2	0.000044
0.0	4.9	0.000077
#####	8.8	0.213109
150.0	20.4	0.004606
0.0	8.9	0.000083
0.0	2.2	0.004300
0.0	5.4	0.000726
0.0	14.8	0.007143
208.3	21.4	0.009420
135.0	23.2	0.004217
430.8	19.0	0.008687
277.5	26.0	0.051155
361.7	11.5	0.006448
163.3	10.4	0.004274
177.5	28.0	0.011789
0.0	14.8	0.019713
262.5	26.3	0.033616
0.0	4.8	0.000223
171.7	19.8	0.020283
0.0	3.5	0.000112
0.0	5.9	0.000111
0.0	3.4	0.000256

	$\Theta(^{\circ})$	VOL.(km ³)
AVE.		
189.2	29.2	0.015962
96.7	8.4	0.000462
152.5	12.1	0.005634
0.0	9.2	0.001207
0.0	14.4	0.004899
242.5	24.9	0.014888
0.0	9.2	0.001502
144.2	22.3	0.002449
262.5	25.4	0.026986
0.0	9.3	0.006162
115.0	22.3	0.003923
75.0	15.6	0.000365
183.3	21.6	0.012814
193.3	26.9	0.019248
230.8	13.2	0.011782
272.5	21.0	0.003467
127.5	21.4	0.003407
83.3	17.8	0.001317
62.5	17.2	0.000056
0.0	8.6	0.000524
0.0	19.6	0.002422
48.3	16.3	0.000125
66.7	2.9	0.000026
140.0	23.9	0.001788
0.0	9.1	0.120648
0.0	19.5	0.014833
0.0	28.7	0.149511
383.3	28.5	0.005340
189.2	20.5	0.010335
0.0	8.2	0.265386
975.0	13.6	0.057240
157.5	20.2	0.006545
0.0	10.4	0.001173
0.0	14.1	0.000078
0.0	16.7	0.000089
0.0	21.2	0.000189
247.5	24.0	0.088371
0.0	12.6	0.024433
238.3	22.5	0.021649
235.0	17.5	0.018704
0.0	11.0	0.023918
418.3	16.5	0.021491
94.2	17.2	0.001295
210.0	25.5	0.014831
206.7	17.1	0.014433
260.8	13.7	0.022677
0.0	14.5	0.000159
0.0	2.2	0.000157
195.0	15.6	0.006203
0.0	5.6	0.018211
198.3	23.6	0.005594
140.0	28.2	0.003883
0.0	11.8	0.017510
0.0	13.4	0.013769
0.0	10.3	0.000493
185.0	22.1	0.007015

	$\Theta(^{\circ})$	VOL.(km ³)
AVE.		
201.7	21.9	0.021574
0.0	11.0	0.000552
115.8	15.7	0.001101
195.8	23.8	0.018305
0.0	7.9	0.000727
0.0	12.3	0.001047
0.0	10.9	0.000155
0.0	7.1	0.000079
208.3	23.5	0.018545
0.0	8.0	0.000143
167.5	13.5	0.003462
0.0	11.1	0.000326
116.7	26.1	0.003274
342.5	16.3	0.048562
139.2	14.7	0.002588
0.0	7.4	0.002868
0.0	7.0	0.001632
163.3	25.1	0.008826
0.0	11.3	0.010584
0.0	19.5	0.007718
0.0	11.8	0.000102
145.0	23.2	0.006901
0.0	15.3	0.000459
0.0	14.9	0.000460
0.0	13.1	0.000463
0.0	9.8	0.000622
287.5	12.7	0.018220
139.2	19.6	0.002919
0.0	13.2	0.001637
125.8	16.2	0.000931
0.0	5.5	0.000065
0.0	7.7	0.000496
0.0	9.7	0.000786
82.5	18.0	0.000851
0.0	10.9	0.000356
90.0	17.1	0.000493
0.0	14.3	0.006803
0.0	7.0	0.000376
505.0	25.2	0.150582
0.0	12.6	0.005521
0.0	12.4	0.001685
0.0	13.7	0.010402
0.0	7.8	0.000610
252.5	19.3	0.022596
0.0	5.1	0.000112
0.0	19.8	0.070566
285.0	25.2	0.034039
0.0	22.2	0.001418
249.2	21.4	0.020851
0.0	18.5	0.009396
0.0	16.2	0.011083
245.0	19.7	0.030059
0.0	16.4	0.009751
0.0	6.6	0.001292
217.5	23.4	0.022025
0.0	13.2	0.000407

	$\Theta(^{\circ})$	VOL.(km ³)
AVE.		
0.0	15.5	0.001163
0.0	11.6	0.001876
0.0	9.8	0.000471
0.0	16.9	0.000610
184.2	17.2	0.062576
0.0	14.4	0.001170
0.0	6.9	0.000716
0.0	11.8	0.000284
0.0	13.0	0.000091
0.0	14.2	0.000137
0.0	25.9	0.001876
0.0	13.3	0.029225
0.0	11.6	0.000621
0.0	2.6	0.000011
0.0	8.3	0.000474
0.0	17.4	0.000798
70.0	13.1	0.000107
0.0	6.7	0.007970
0.0	6.6	0.000038
0.0	7.9	0.000147
170.8	16.8	0.002532
0.0	12.2	0.000077
0.0	14.6	0.012767
815.8	11.5	0.022045
0.0	13.4	0.000372
0.0	5.0	0.000884
0.0	24.8	0.002516
0.0	22.4	0.003829
0.0	23.1	0.003149
0.0	32.1	0.009997
0.0	15.2	0.000128
230.8	23.1	0.013134
165.0	22.8	0.005374
216.7	20.0	0.013477
0.0	9.3	0.014367
200.8	27.0	0.014213
210.0	19.6	0.015475
214.2	20.9	0.017804
0.0	5.8	0.000056
229.2	18.2	0.045801
0.0	15.4	0.002529
116.7	13.7	0.001672
171.7	20.7	0.005763
124.2	18.2	0.001907
346.7	22.0	0.022221
125.8	18.8	0.002743
0.0	16.4	0.000146
0.0	7.4	0.002776
0.0	5.5	0.000135
0.0	10.3	0.000110
0.0	13.0	0.000083
0.0	11.4	0.000059
0.0	4.2	0.000020
224.2	18.6	0.023439
190.0	22.0	0.011079
170.0	23.6	0.008120

	$\Theta(^{\circ})$	VOL. (km ³)
AVE.		
148.3	16.1	0.002440
228.3	17.9	0.024186
94.2	16.9	0.001778
0.0	12.1	0.013057
193.3	12.0	0.014349
217.5	20.0	0.003725
201.7	23.8	0.011584
0.0	5.5	0.001861
0.0	14.2	0.001171
0.0	7.9	0.000061
0.0	6.1	0.002796
0.0	14.1	0.000129
0.0	10.2	0.000056
0.0	12.6	0.000055
0.0	10.4	0.000041