

SDT
552.2
5592

理學博士 學位論文

제주도 암괴상 아아용암류의
분포 및 암질에 관한 연구

指導教授 尹 鉉

2000年 2月

釜山大學校 一般大學院

地 質 學 科

宋 時 泰

545845

宋時泰의 理學博士 學位論文을 認准함

1999년 12월 일

主審 황 진현 (인)

副審 윤 서 (인)

委員 김 진섭 (인)

委員 윤 혜수 (인)

委員 고 가원 (인)

목 차

List of figures

List of tables

제 1 장 서 론	1
1-1. 연구배경 및 목적	1
1-2. 연구사	2
1-3. 연구방법	4
제 2 장 제주도 화산층서 개요	6
2-1. 기반암	6
2-2. 제 I 단계 화산활동의 화산암	11
2-3. 제 II 단계 쇄설성 퇴적층	11
2-3-1. U층	11
2-3-2. 서귀포층	12
2-4. 제 III 단계 화산활동의 화산암	12
2-4-1. 중문조면현무암군	13
2-4-2. 표선리현무암군	13
2-4-3. 한라산조면현무암군	14
2-4-4. 백록담조면암군	14

제 3 장 꽃자왈 용암류의 분포와 암질	15
3-1. 제주도 현무암질 용암류의 2대 구분	15
3-1-1. 파호이호이 용암류	15
3-1-2. 아아 용암류	16
3-2. 꽃자왈용암류의 분포상태	18
3-2-1. 한경-안덕 꽃자왈지대	21
3-2-2. 애월 꽃자왈지대	21
3-2-3. 조천-함덕 꽃자왈지대	23
3-2-4. 구좌-성산 꽃자왈지대	26
3-3. 꽃자왈용암류의 층서위치	28
3-3-1. 한경-안덕 꽃자왈지대	28
3-3-2. 애월 꽃자왈지대	29
3-3-3. 조천-함덕 꽃자왈지대	30
3-3-4. 구좌-성산 꽃자왈지대	31
3-4. 꽃자왈 용암류의 암질	32
3-4-1. 한경-안덕 꽃자왈지대	32
3-4-1-1. 월림-신평 꽃자왈용암류	32
3-4-1-2. 상창-화순 꽃자왈용암류	39
3-4-2. 애월 꽃자왈지대	42
3-4-2-1. 납읍-원동 꽃자왈용암류	42
3-4-3. 조천-함덕 꽃자왈지대	47
3-4-3-1. 조천-대흘 꽃자왈용암류	47

3-4-3-2. 함덕-와산 꽃자왈용암류	50
3-4-3-3. 선홍 꽃자왈용암류	54
3-4-4. 구좌-성산 꽃자왈지대	57
3-4-4-1. 종달-한동 꽃자왈용암류	57
3-4-4-2. 세화 꽃자왈용암류	60
3-4-4-3. 수산 꽃자왈용암류	63
3-4-4-4. 상도-하도 꽃자왈용암류	66
3-5. 꽃자왈용암류의 구성 암석	70
3-6. 꽃자왈용암류 조직의 유형과 분포	79
3-6-1. 꽃자왈용암류의 조직의 분류	79
3-6-2. 꽃자왈용암류의 조직의 분포	82
3-6-2-1. 한경-안덕 꽃자왈지대	82
3-6-2-2. 애월 꽃자왈지대	86
3-6-2-3. 조천-함덕 꽃자왈지대	86
3-6-2-4. 구좌-성산 꽃자왈지대	91
3-7. 꽃자왈용암류의 성인에 관한 고찰	99
 제 4 장 결 론	 107
 참고문헌	 109
Abstract	116
감사의 글	

List of figures

Fig. 1. Index map of Cheju Island.	7
Fig. 2. Geologic map of Cheju Island.	9
Fig. 3. Index map of the Gotchawal terrains, Cheju Island.	20
Fig. 4. Geologic map of Hangyeong-Andeog Gotchawal Terrain in the western area, Cheju Island.	22
Fig. 5. Geologic map of Aeweol Gotchawal Terrain in the western area, Cheju Island.	24
Fig. 6. Geologic map of Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain in the eastern area, Cheju Island.	25
Fig. 7. Geologic map of Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain in the eastern area, Cheju Island.	27
Fig. 8. Columnar sections of Weollim-Sinpyeong Aa Rubble Flow.	35
Fig. 9. Lava slab at WS 21 in the Weollim-Sinpyung Gotchawal Lava Flow.	37
Fig. 10. Accretionary lava ball at WS 1 in the Weollim-Sinpyung Gotchawal Lava Flow.	37
Fig. 11. Clinker-blocky lava(BL) at WS 15 in the Weollim-Sinpyung Gotchawal Lava Flow.	38
Fig. 12. Clinker layer(CL) at WS 12 in the Weollim-Sinpyung Gotchawal Lava Flow.	38

Fig. 13. Columnar sections of Sangchang-Hwasun Gotchawal Lava Flow. .	40
Fig. 14. Medium rubbles(MR) and small rubbles(SR) at HS 6 in the Hwasun Gotchawal Lava Flow.	41
Fig. 15. Lava slab(LS) at HS 1 in the Hwasun Gotchawal Lava Flow.	41
Fig. 16. Columnar sections of Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow. ...	43
Fig. 17. Exposure of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 5.	45
Fig. 18. Accretionary lava ball(ALB) in the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 3.	45
Fig. 19. Distal part of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 2.	46
Fig. 20. Distal part NW 1 of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 1.	46
Fig. 21. Columnar sections of Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow.	48
Fig. 22. Lava slab in the Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow at JD 5.	49
Fig. 23. Typical distal type of the Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow at JD 3.	49
Fig. 24. Columnar sections of Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow.	51
Fig. 25. Accretionary lava ball(ALB) in Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.	52
Fig. 26. Blocky lava(BL) in Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at	

HW 5.	52
Fig. 27. Lava slabs(LS) in Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.	53
Fig. 28. Distal part of the Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 1.	53
Fig. 29. Columnar sections of Seonheul Gotchawal Lava Flow.	55
Fig. 30. Exposure of the Seonheul Gotchawal Lava Flow at SL 6.	56
Fig. 31. Lava slab(LS) in the Seonheul Gotchawal Lava Flow at SL 2.	56
Fig. 32. Columnar sections of Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow.	58
Fig. 33. Exposure of the Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow at JH 8.	59
Fig. 34. Vertically stacked rubbles of the Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow at JH 3.	59
Fig. 35. Columnar sections of Sehwa Gotchawal Lava Flow.	61
Fig. 36. Exposure of the Sehwa Gotchawal Lava Flow at SA 3.	62
Fig. 37. Columnar sections of Susan Gotchawal Lava Flow.	64
Fig. 38. Toothpaste lava of the Susan Gotchawal Lava Flow at Su 6.	66
Fig. 39. Columnar sections of Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow.	67
Fig. 40. Lava slab(LS) in the Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow at SH 8.	68
Fig. 41. Exposure of the Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow at SH 8.	69
Fig. 42. Lava slab(LS) in the Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow at	

SH 4.	69
Fig. 43. Distal part in the Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow at SH 2. ...	70
Fig. 44. Na ₂ O+K ₂ O(wt%) versus SiO ₂ plot of the volcanic rocks from the Gotchawal Lava Flows of Hangyeong-Andeog Gotchawal Terrain in Cheju Island.	75
Fig. 45. Na ₂ O+K ₂ O(wt%) versus SiO ₂ plot of the volcanic rocks from the Gotchawal Lava Flow of Aeweoul Gotchawal Terrain in Cheju Island.	76
Fig. 46. Na ₂ O+K ₂ O(wt%) versus SiO ₂ plot of the volcanic rocks from the Gotchawal Lava Flows of Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain in Cheju Island.	77
Fig. 47. Na ₂ O+K ₂ O(wt%) versus SiO ₂ plot of the volcanic rocks from the Gotchawal Lava Flows of Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain in Cheju Island.	78
Fig. 48. Planar schematic diagram of Weollim-Sinpyeong Gotchawal Lava Flow(slabby-clinkery texture) in Cheju Island.	84
Fig. 49. Planar schematic diagram of Sangchang-Hwasun Gotchawal Lava Flow(clinkery-blocky texture) in Cheju Island.	85
Fig. 50. Planar schematic diagram of Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow(clinkery-blocky texture) in Cheju Island.	87
Fig. 51. Planar schematic diagram of Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow(slabby-clinkery texture) in Cheju Island.	89

Fig. 52. Planar schematic diagram of Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow(slabby-clinkery texture) in Cheju Island.	90
Fig. 53. Planar schematic diagram of Sunheul Gotchawal Lava Flow (clinkery-blocky texture) in Cheju Island.	92
Fig. 54. Planar schematic diagram of Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow(clinkery-blocky texture) in Cheju Island.	94
Fig. 55. Planar schematic diagram of Sehwa Gotchawal Lava Flow (slabby-clinkery texture) in Cheju Island.	95
Fig. 56. Planar schematic diagram of Susan Gotchawal Lava Flow (slabby-clinkery texture) in Cheju Island.	97
Fig. 57. Planar schematic diagram of Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow(clinkery-blocky texture) in Cheju Island.	98
Fig. 58. Pahoe-hoe lava changed to aa lava where it over a small cliff, that is, an obstacle, at WS 18 in Hangyeong-Andeog Gotchawal Lava Flow.	101
Fig. 59. Exposure of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 6.	105
Fig. 60. Exposure of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow.	105
Fig. 61. Exposure of lava slab in the Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.	106
Fig. 62. Exposure of lava slab in the Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.	106

List of tables

Table 1. Correlation of volcano-stratigraphy of Cheju Island.	8
Table 2. Volcano-stratigraphy and geologic events of Cheju Island.	10
Table 3. Classification of Gotchawal Lava Flow in Cheju Island.	19
Table 4. Stratigraphic position of the Gotchawal lava flows in Hangyeong-Andeog Gotchawal Terrain.	29
Table 5. Stratigraphic position of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow in Aeweol Gotchawal Terrain.	30
Table 6. Stratigraphic position of the Gotchawal lava flows in Jocheon- Hamdeog Gotchawal Terrain.	31
Table 7. Stratigraphic position of the Gotchawal lava flows in Gujwa- Sungsan Gotchawal Terrain.	32
Table 8. Sampling number and major element abundances in the Gotchawal Lava Flows from the Hangyeong-Andeog Gotchawal Terrain.	71
Table 9. Sampling number and major element abundances in the Gotchawal Lava Flow from the Aeweol Gotchawal Terrain.	72
Table 10. Sampling number and major element abundances in the Gotchawal Lava Flows from the Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain Gotchawal Terrain.	73
Table 11. Sampling number and major element abundances in the	

Gotchawal Lava Flows from the Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain Gotchawal Terrain Gotchawal Terrain.	74
Table 12. Morphological classification of the Gotchawal Lava Flows in the western area.	83
Table 13. Morphological classification of the Gotchawal Lava Flows in Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain.	88
Table 14. Morphological classification of the Gotchawal Lava Flows in Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain.	93

제 1 장 서 론

1-1. 연구배경 및 목적

제주도는 알카리현무암류에서부터 조면암류에 이르는 비교적 다양한 화산암류가 산출되는 지역으로서 지질시대적으로 볼 때, 형성시기가 그렇게 오래되지 않은 지역인 관계로 화산활동에 따른 원지형이 대체로 잘 보존되어 있다. 섬의 곳곳에 분포하고 있는 분석구·용회구·용회환을 비롯하여 용암의 유동지형(features of lava flows), 용암류의 표면에 발달한 여러 가지 구조, 용암류 사이에 협재된 화산성 쇄설암 등은 제주도의 화산활동 과정과 화산분출물 연구에 매우 귀중한 정보를 제공해 줄 수 있는 대상이 되고 있다

제주도의 동부와 서부지역에는 속칭 “꽃자왈(Gotchawal)” 이라 부르는 지대가 비교적 넓게 분포하고 있다. 이 지대는 축척 1/25,000의 제주도 정밀 토양도(농촌진흥청, 1975)에서는 용암류지(熔岩流地: 용암이 풍화로 인하여 돌이나 바위 조각이 중력에 의하여 쌓여 있는 곳과 화산분출시 화산력이 비산(飛散)에 의하여 운반 퇴적된 지역으로서 부분적으로 관목 및 야생초가 자생하거나 농업적·임업적으로 이용할 수 없는 지역)로 분류되어 있다. 또한, 제주어 사전(제주도, 1995)에는 “나무와 덩굴 따위가 마구 엉클어져 수풀같이 어수선하게 된 곳”을 꽃자왈이라 정의하고 있다. 이와 같이 꽃자왈지대는 토양의 발달이 빈약하고 크고 작은 암괴들로 이루어져 있을 뿐만 아니라, 자연림과 가시 덩굴 등이 혼합 식생하고 있어 경작지로 이용하지 못하는 불모지로 인식되어 왔다. 그러나 지하수의 보전과 오염방지에 관한 사회적 관심이 높아지면서 제주도에서는 꽃자왈지대가 지하수의 오염에 취약할 뿐 아니라 지하수가 주로

함양되는 투수성이 높은 지역임을 인식하고, 이 지대에 각종 시설물의 설치를 제한하는 정책을 시행(제주도, 1997) 하고 있다. 이처럼 최근에 들어오면서부터 꽃자왈지대에 대한 사회적 인식이 바뀌어 가고 있을 뿐만 아니라, 체계적인 보전·관리의 필요성이 제기되고 있지만 지금까지 꽃자왈지대에 대한 지질학적인 기초연구는 송시태외 2인(1996)을 제외하면 전무한 실정이다.

제주도의 지질에 관한 조사·연구는 1921년 Yokoyama가 처음 시행하였으며, 고기원(1999)은 1998년까지 총 206편의 보고서와 연구논문이 발표되었음을 보고하였다. 이들 연구 중 용암류와 관련된 조사·연구의 대부분은 용암류에 대한 암석화학적·광물학적 특징과 절대연령 파악에 중점을 두고 이루어져 왔다(Haraguchi, 1928; Nakamura, 1925; 이상만, 1966; 원종관, 1976; 이문원, 1994; 박준범, 1994; 장광화, 1997, 최성희, 1998). 꽃자왈지대는 지형적으로 잘 구분되고 내부구조가 특이함에도 불구하고 제주도지질도(농업진흥공사, 1971), 성산·표선도폭(한국수자원공사, 1993, 1995), 제주·애월도폭(제주도, 1998)에서는 꽃자왈지대를 일반적인 용암류 단위로 기재하고 있다.

본 연구에서는 제주도의 동·서부지역에 분포하는 꽃자왈지대에 대한 야외 지질학적 연구를 통하여 꽃자왈의 분포상태를 비롯하여 꽃자왈의 구성암석, 조직, 유형 및 성인 등을 밝히고자 하였다.

1-2. 연구사

제주도에 분포하는 용암류에 대한 지질학적인 조사·연구는 1920년대 말부터 시작되었다. 原口九萬(1928)은 제주도의 광역적인 지질조사를 최초로 실시한 사람으로서, 제주도의 화산활동 과정을 조면암류(플라오세 중기)→조면질 안산암류(플라이스토세 전기)→현무암류(플라이스토세 후기)로 구분하였으며, 7개의 화산구조선(중앙선, 삼도선, 남해안선, 북해안선, 마라도-비

양도선, 김녕-토산리선, 한라산-김녕선)을 제시하였다. 種子田定勝 外 2人 (1970)은 제주도화산의 지질학적·암석학적·고자기학적인 연구에서 화산활동의 초기에 조면암류, 후기 I 단계에 조면안산암류 그리고 후기 II 단계에 조면현무암류 순으로 용암을 분출시킨 화성활동에 의해 제주도가 형성된 것으로 해석하였다.

이상만(1966)은 암석화학적 연구를 통하여 제주도의 화산암은 현무암, 안산암, 조면안산암, 조면암으로 구성되어 있음을 보고한 바 있으며, 윤선(1970)은 표선면 성읍리-대륙산지역에 대한 지질조사를 실시하여 이 지역에 대한 용암류의 분출과 기생화산구의 형성순서를 밝혔다.

농업진흥공사는 1970년부터 1971년까지 제주도 전역에 대한 지질조사를 실시하여 1971년에 1/10만 지질도를 처음으로 발간하였다. 농업진흥공사는 제주도를 제3기말에서 제4기초에 걸친 20여회의 화산 분출에 의해 생성된 화산도로 해석하였을 뿐만 아니라, 지질은 현무암, 조면암, 조면질안산암 등의 분출용암류와 화성쇄설성퇴적층으로 구성되어 있는데, 동서방향의 구열대(龜裂帶)를 따라 광범위한 용암분출과 화산폭발로 제주도의 기저부가 형성되고 그 후 중앙화구에서 20여 회의 용암이 분출하여 원추형의 지형을 이룬 것으로 해석하였다.

원종관(1976)은 제주도 화산암의 화학조성이 내태평양형과 유사하나 알칼리와 철 성분의 함량이 많은 알칼리암계에 속하며 대륙연변 환경에서의 판의 섭입과 관련된 화성활동의 산물로 해석하였다. Lee(1982)는 화산암류의 암석화학적 분석을 실시하여 암석화학적인 측면에서의 지질계통을 제시한 바 있는데, 그는 제주도 화산암이 열점과 관련된 알칼리 감람석 현무암질 마그마의 단순 결정분화작용에 의해 형성된 것으로 해석하였다.

Miyake et al. (1993)은 노두 및 시추코아의 화산암 시료를 채취하여 암

석화화적인 분석과 함께 절대연대를 측정하고 제주도 화산암의 화학조성과 시대적 변화에 대한 연구를 실시하였다. Tamanyu(1990)는 한라산 현무암을 비롯한 5개 지점의 암석시료에 대한 K-Ar 연대측정을 실시하여 제주도의 형성단계를 제1단계; Early Pleistocene, 제2단계; Middle Pleistocene, 제3단계; Late Pleistocene으로 구분하였다.

박준범과 권성택(1991, 1993a, 1993b), 박준범(1994)은 제주도 화산활동의 진화과정을 밝히기 위하여 암석학적 및 암석화학적 연구를 실시하고, 제주도 북부와 남부지역에서는 전반적으로 하위에서 상위의 순서로, 함패류화석 퇴적층, 하와이아이트, 뮤저라이트, 하와이아이트(알카리 현무암 협재), 조면암, 뮤저라이트의 수직적인 층서를 제시하였다. 한국수자원공사(1993, 1995)는 1/5만의 성산·표선도폭을 작성하였으며, 제주도(1998)는 한국자원연구소에 의뢰하여 1/5만의 제주·애월도폭을 발간하였다. 송시대 외 2인(1996)은 제주도 지하수의 함양과 오염에 영향을 미치는 숨골구조와 꽃자왈지대에 대한 연구를 실시한 바 있다.

1-3. 연구방법

1/25,000 지형도를 기본도로 사용하여 꽃자왈지대에 대한 현장조사를 실시하였다. 현장조사에 앞서 항공사진과 음영도를 이용하여 꽃자왈지대의 분포 경계를 1/25,000 지형도에 개략적으로 표시한 후 현장조사에서 꽃자왈지대의 분포 경계를 직접 확인하고 꽃자왈 분포도를 작성하였다. 또한, 꽃자왈의 암질을 파악하기 위해 노두의 발달이 양호하거나 도로공사 등에 의해 단면이 노출된 지점에 대한 조사를 중점적으로 실시하고 이들 지점에 대한 주상도를 작성하였다. 현장조사시 꽃자왈지대의 구성암석은 광물반정의 종류와 함량에 의해 구분하였으며(예; 휘석감람석현무암, 장석휘석감람석현무

암 등), 주상도 작성시에는 암괴의 크기와 원마도, 두께, 구성암괴의 동질성 여부 등을 면밀히 관찰하여 기재하였다. 꽃자왈을 구성하고 있는 암괴는 아아 용암류가 유동 중에 파쇄되어 형성된 암편들로서 화구로부터 분출된 화산쇄설물과는 그 성인을 달리하므로 화산쇄설물의 크기 분류(Fisher, 1966)를 적용하는 것은 의미가 없다. 따라서 본 연구에서는 화산쇄설물의 입자의 분류 기준을 응용하여 2mm 이하를 미세암편(fine materials), 2~64mm를 소암괴(small rubble), 64~256mm를 중암괴(medium rubble) 그리고 256mm이상을 대암괴(large rubble)로 분류하여 암괴상 아아 용암류를 기재하였다. 꽃자왈의 거리에 따른 암괴의 크기와 형태적 변화를 파악하기 위하여 꽃자왈이 시작되는 지점에서부터 말단부까지 장·단축 방향으로 횡단조사도 실시하였다.

또한, 꽃자왈 용암류의 암석화학적 성분을 파악하기 위해 각각의 꽃자왈을 대표 할 수 있는 노두에서 총 40개의 시료를 채취해 한국자원연구소에서 XRF 분석을 실시하였다.

제 2 장 제주도 화산층서 개요

제주도는 한반도와 일본열도사이에 있는 대한해협-쓰시마해협의 남서쪽에 위치하고 있다(Fig 1). 제주도는 주로 제3기말 플라이오세로부터 제4기 플라이스토세에 걸쳐 일어난 화산활동에 의하여 분출된 알카리현무암인 현무암질 용암류로 구성되어 있으며, 소량의 화산성 쇄설암(volcaniclastic rock)으로 분포되어 있다(윤선 외 2인, 1995). 제주도의 화산층서에 관해서는 原口九萬(1928), 원종관(1975), 이문원(1982, 1994), 윤선 외 2인(1995) 및 Yoon(1997)등에 의해 제시되었다(Table 1).

Yoon(1997)은 제주도의 형성과정을 4단계로 구분하였는데, 제 I 단계를 전기 화산활동시기, 제 II 단계를 화산활동휴식기, 제 III 단계와 제 IV 단계를 후기 화산활동시기라고 하였다. 본 연구에서는 Yoon(1997)이 제시한 화산층서를 일부 수정하여 간략히 기술하고자 한다(Table 2, Fig. 2).

2-1. 기반암

제주도의 기반암은 화산쇄설암류와 화강암으로 구성되어 있으며, 해수면하 약 250~300m에 분포하고 있다(고기원, 1991a). 화산쇄설암류는 화산성 사암 및 이암, 석영조면암질 용결응회암과 화산력응회암 등으로 이루어져 있다. 화강암의 연대는 58.14Ma(안건상 외 2인, 1995)이고, 화산쇄설암류는 한반도 남부의 백악기의 유천층군 혹은 에오세의 왕산층에 대비될 것으로 추정되고 있다.

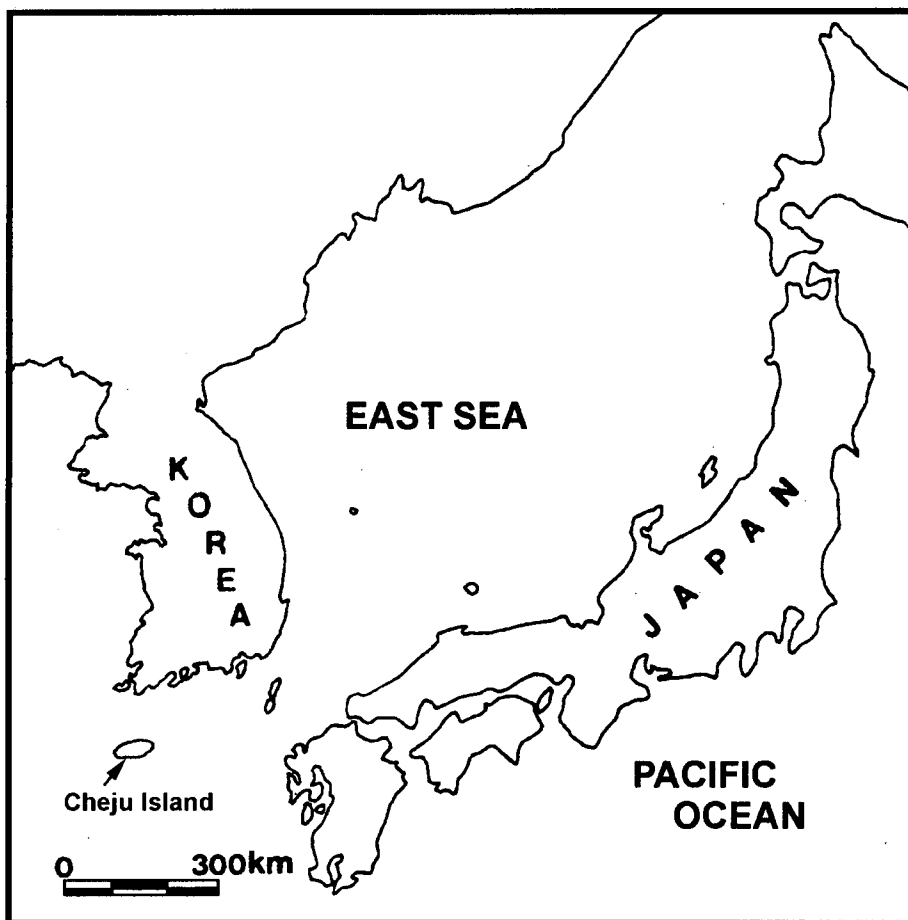


Fig. 1. Index map of Cheju Island.

Table 1. Correlation of volcano-stratigraphy of Cheju Island.

Age	Haraguchi, K.(1931)	Won, C.K.(1975)	Lee, M.W.(1982)	Tamanyu, S.(1990)	Yoon, S. et al.(1995)
Holo.	Flood Deposits Shell-Sand Bed Wacke Bed	Shell-sand Formation Parastic volcanic ejectas	1002,1002 activities Small basalt cones	1002, 1007 activities Shellsand Formation Scoria vol. cones	Sinvangri Formation[4780 ± 60y.B.P.]
P l i o c e n e	Gunzan Basalt	Bacnrogdam Basalt	Sinvangri Formation	Packnoktam Hawaiite[0.47 ± 0.07Ma]	Bacnrogdam Trachyte
	Suluido Basalt	Hallasan Trachy-andesite	Hallasan Trachyte	Hallasan Trachyte[0.07 ± 0.01Ma]	Yongsil Trachyte Group
	Kanrasan Basalt	Hallasan Basalt			
	Aphanitic Basalt	Hallasan Basalt			
	Augite Basalt	Seongpanak Basalt	Hallasan hawaiiite		
	Feldspar Basalt	Shungri Basalt	Seongpanak hawaiiite		Hallasan Trachybasalt Group
	Saishu Basalt	Beobjeongri Trachyte	Shungri hawaiiite		Seongpanak Trachybasalt Group
	Alkali-Basalt	Hahyonri Basalt	Beobjeongri mugearite		Cheju Trachybasalt
	Trachy-andesite	Jeju Basalt	Hahyonri hawaiiite Jeju hawaiiite		
	Homblende-bearing Trachy-andesite		Homblende mugearite	Pyoseonri Alkali basalt[0.31 ± 0.04Ma]	
E a r l y	Gyoioseigaku Lava	Sinvangri Formation	Sanbangsan Trachyte	Hallasan Hawaiite[0.52 ± 0.03Ma] Sogwip'o Hawaiite[0.52 ± 0.04Ma]	Pyoseonri Basalt Group
	Kakushugan Lava	Jungmun Seongsanpo Fm. Trachyte Hwasun Fm.	Jungmun hawaiiite		Shieungri Trachybasalt
	Sanbosan Lava	Seogwipo Trachyte	Seongsanpo Formation		Pyoseonli Basalt[0.63 ± 0.03Ma]
		Pyoseonri Basalt	Seogwipo hawaiiite	Sanbangsan Trachyte Sogwip'o Formation	Seogwipo Trachybasalt
	Seikho Formation		Pyoseonri alkali basalt	Basal Basalt	Jungmun Trachybasalt
					Sanbangsan Trachyte[0.733 ± 0.056Ma]
					Gaksuam Trachyte[0.893 ± 0.027Ma]
					Seogwipo Formation
					Uncemented Sediment Formation
					Geumdeog Formation
Plio-cene	Shinto Lava	Seogwipo Formation	Seogwipo Formation		Cheju Group
	Johangaku Lava				
	Gyoioseigaku Lava	Basal basalt	Basal basalt		Tanna Conglomerate
Cret(?)-Paleo-gene	Kanrasan Lava				Sanghyo Trachyte
	Granite Blocks-bearing				Donnaeoko Basalt
	Volcani Detritus Bed				Pampo Basalt[2.22 ± 0.16Ma]
					Granite[58.14 ± 1.4Ma]
	Granite?		Granite?	Granite?	Volcanic sandstones and mudstones Welded tuffs Lapilli tuffs

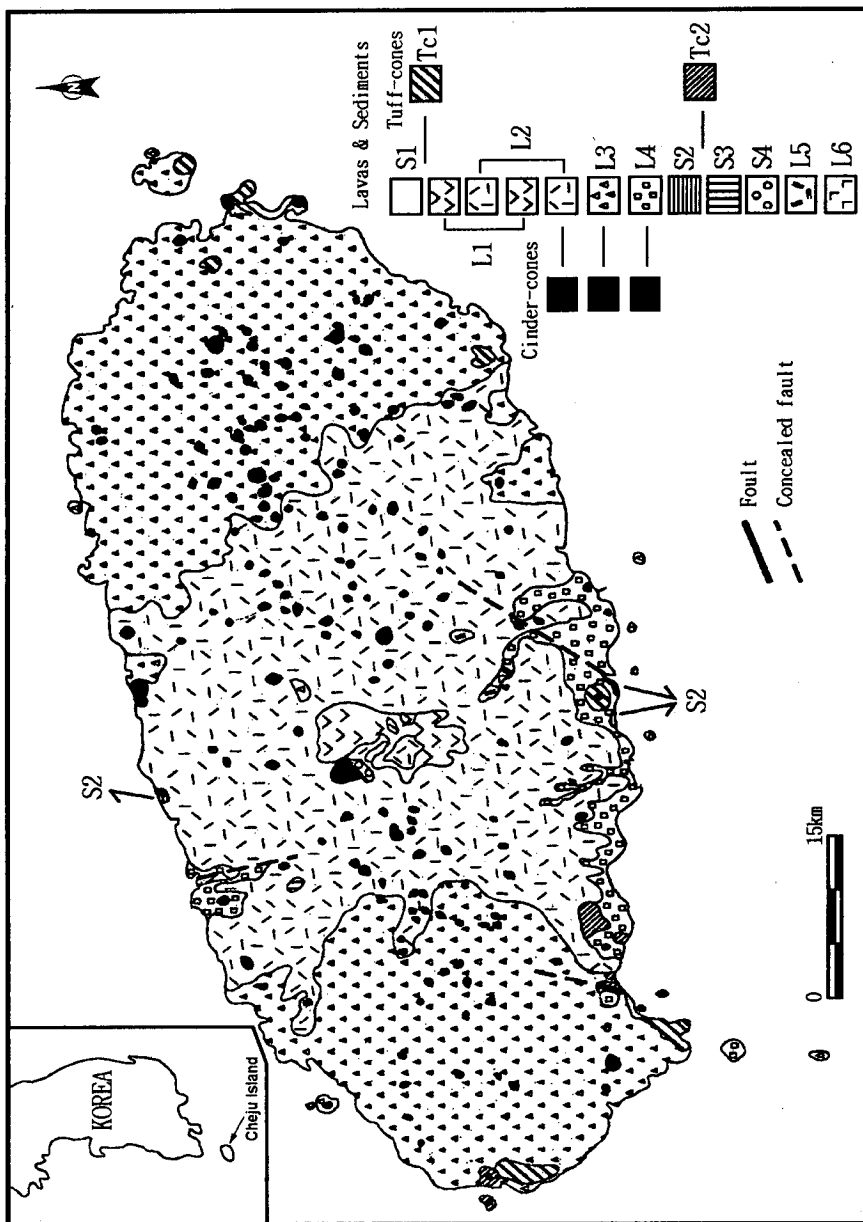


Fig. 2. Geologic map of Cheju Island. L1=Baegnodam Trachyte Group; L2=Hallasan Trachybasalt Group; L3=Pyoseolli Basalt Group; L4=Jungmun Trachybasalt Group; L5=Sanghyo Trachyte; L6=Donnae Basalt; S1=Sinyangni Formation; S2=Seoguipo Formation; S3=Geumdeog Formation; S4=Tamna Conglomerate; Tc1=tuff cones(Suweol bong etc.); Tc2=tuff cones(Dangsan bong etc.)(Yoon, S., 1997).

Table 2. Volcano-stratigraphy and geologic events of Cheju Island (Yoon, 1997). Partly modified.

Age	Stage	Volcano-stratigraphy	Event
Pliocene - Pleistocene	IV	Baegnogdam Trachyte Group Baegnogdam Trachyte Yeongsil Trachyte 0.07Ma	marine transgression, formation of tuff-cones (Suweol-bong etc.), formation of summit of Halla-san
	III	Hallasan Trachybasalt Group Hallasan Trachybasalt 0.47 ~ 0.52Ma Seongpanag Trachybasalt Cheju Trachybasalt	formation of cinder-cones
		Pyoseolli Basalt Group Siheungni Trachybasalt Pyoseolli Basalt 0.63Ma	formation of cinder-cones
		Jungmun Trachybasalt Group Seoguipo Trachybasalt 0.55Ma Jungmun Trachybasalt 0.74Ma Sanbongsan Trachyte 0.89Ma Gaksuam Trachyte	formation of cinder-cones
	II	Seoguipo Formation Uncemented Sediments	formation of cinder-cones (Dangsang-bong etc.)
Cret(?) - Paleog.	I	Sanghyo Trachyte Donnaeko Basalt Panpo Basalt 2.22Ma	
	Basement rocks	granite 58.14Ma volcanic sandstones and mudstones welded tuffs lapilli tuffs	

2-2. 제 I 단계 화산활동의 화산암

제주도에 분포하는 화산암류 중 현재까지 가장 오래된 화산암으로 알려진 현무암은 판포현무암(Panpo Basalt, 윤선 외 2인, 1995), 돈내코현무암(Donnaeco Basalt, 윤선 외 2인, 1995), 상호조면암(Sanghyo Trachyte, 윤선 외 2인, 1995)과 같은 용암과 관입암으로 구성되어 있다(윤선 외 2인, 1995; Yoon, 1997). 이들 화산암들은 후기의 화산암에 의해 피복되어 있어, 돈내코현무암은 단지 한 곳에서만 관찰되었고, 상호조면암은 네 곳에서, 그리고 판포현무암은 시추코아에서만 관찰되어진다. 이러한 전기화산활동의 화산암은 육상에서 고제주화산체를 형성하였다. 판포현무암의 K-Ar 연령은 $2.22 \pm 0.16\text{Ma}$.

2-3. 제 II 단계 쇄설성 퇴적층

제 II 단계의 퇴적층은 제 I 단계 화산활동의 화산암을 부정합으로 덮고 있으며, 하위의 U층(U Formation)과 상위의 서귀포층(Seogupo Formation)으로 구분된다.

2-3-1. U층

U층(고기원, 1997; 미교결층, 윤선외 2인, 1995; Uncemented Sediment Formation, Yoon, 1997)은 제주도 서귀포층의 하부에 전반적으로 분포하고 있으며 지표에서는 확인할 수 없고 단지 시추코아에 의해서만 확인할 수 있다. 이 층은 석영과 장석을 포함한 세립질사암과 실트질사암으로 구성되어 있으며 교결되어 있지 않다. 이 층에서는 아직 화석이 발견되지 않았다. U층은 제주도의

기반암을 직접 피복하고 있으며, 층의 두께는 평균 150m 정도이다.

2-3-2. 서귀포층

서귀포층(原口九萬, 1931)은 서귀포시 천지연폭포 남측 해안을 따라 높이 약 30m, 연장 1km 규모로 분포하고 있으나 지하에는 북촌-표선선의 서쪽지역의 해발표고 400m 이하의 지역에 광범위하게 분포하고 있음이 확인되었다(고기원, 1997). 서귀포층은 역질사암, 사암, 사질이암, 이암 및 유리질쇄설암(hyaloclastite)을 함유한 해양퇴적물로 구성되었으며, 그 두께는 평균 100m 정도이다. 제주도 남동부 남원읍 위미리에서 시추코아로 채취된 서귀포층의 역암에는 상호조면암에서 유래된 역(礫)들이 다량으로 함유되어 있어 서귀포층이 상호조면암을 부정합으로 피복하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 서귀포층은 제주도의 전기화산활동과 후기화산활동을 구분하는 중요한 지층이다. 서귀포층에는 성게, 완족류, 유공충, 개형충, 석회질초미화석 등을 다량으로 포함하고 있다. 서귀포층은 초미화석대(1.88~0.46Ma)에 속하며 플라이오세 최후기에서 플라이스토세 중기에 걸치는 지층이다(이성숙외 3인, 1995; Yi et al., 1998).

2-4. 제Ⅲ단계 화산활동의 화산암

제Ⅲ단계의 화산암은 전기의 중문조면현무암군(Jungmun Trachybasalt Group), 표선리현무암군(Pyoseolli Basalt Group), 후기의 한라산조면현무암군(Hallasan Trachybasalt Group) 및 백록담조면암군(Baegnogdam Trachyte Group)으로 되어 있다.

2-4-1. 중문조면현무암군

중문조면현무암군(윤선 외 2인, 1995)은 각수암조면암(Gagsuam Trachyte, 角秀岩熔岩, 原田, 1931), 산방산조면암(Sanbangsan Trachyte, 山房山熔岩, 原田, 1931; Sanbangsan Trachyte, Lee, 1982), 중문조면현무암(Jungmun Trachybasalt, 윤선 외 2인, 1995; 중문조면암, 원종관, 1976; Chungmun Hawaiite, Lee, 1982) 및 서귀포조면현무암(Seoguipo Trachybasalt, 윤선 외 2인, 1995; 西歸浦熔岩, 原田, 1931; 서귀포조면암, 원종관, 1976; Seoguipo Hawaiite, Lee, 1982)을 포함한다. 중문조면현무암군은 제주도 남서부지역에 넓게 분포하고 있으며 북서부의 중부 해안지역에 점점히 소규모로 분포한다. 중문조면현무암군을 구성하는 화산암은 치밀 견고하고 반정의 양이 적으며 기공의 발달이 빈약한 것이 특징이다.

2-4-2. 표선리현무암군

표선리현무암군은 표선리현무암(Pyoseolli Basalt, 서해길 외 2인, 1964; FOB, 이돈영 외 25인, 1970)과 시흥리조면현무암(Siheungni Trachybasalt, 윤선외 2인, 1995; 시흥리현무암, 원종관, 1976; Sihungri Hawaiite, Lee, 1982)을 포함하며, 제주도의 북동부와 남서부 지역에 대칭적으로 분포하고 있다. 표선리현무암군의 화산암은 파호이호이(Pahoehoe) 유형에 속하며 표면이 매끄럽고 새끼줄구조(ropy structure)가 잘 발달되어 있다. 표선리현무암은 다공질이며 침상의 장석을 다량포함하며 직경이 약 1mm인 감람석반정이 들어 있다. 반면에 시흥리조면현무암은 기공의 발달이 빈약하며 침상의 장석반정을 갖고 있지만 직경이 약 1mm인 감람석과 휘석의 반정이 들어 있다.

2-4-3. 한라산조면현무암군

한라산조면현무암군(Hallasan Trachybasalt Group, 윤선 외 2인, 1995)은 제주조면현무암(Cheju Trachybasalt, 윤선 외 2인, 1995; 제주현무암, 원종관, 1976; Hallasan Trachyte, Lee, 1982), 성판악조면현무암(Seongpanag Trachybasalt)과 한라산조면현무암(Hallasan Trachybasalt, 윤선 외 2인, 1995; 한라산현무암, 원종관, 1976; Hanlasan Hawaiite, Lee, 1982)을 포함한다. 한라산조면현무암군의 화산암은 아아(aa) 유형에 속하며 제주도의 중앙부에 분포하고 있다. 한라산조면현무암군은 다공질 조직이 잘 발달되어 있으며 장식과 휘석의 반정을 다량으로 포함하고 있다.

2-4-4. 백록담조면암군

백록담조면암군(Baegnogdam Trachyte Group, 윤선 외 2인, 1995)은 한라산의 정상부 주위에 분포하고 있으며 백록담조면암(Baegnogdam Trachyte, 윤선 외 2인, 1995)과 영실조면암(Yeongsil Trachyte, 윤선 외 2인, 1995)으로 구성되어 있다. 암석은 담회색내지 회색을 띠며 기공이 거의 없고 장식반정을 갖고 있다. 백록담조면암이 한라산 정상부 백록담의 용암돔(lava dome)을 형성하였다.

제 3 장 곳자왓 용암류의 분포와 암질

3-1. 제주도 현무암질 용암류의 2대 구분

제주도는 알카리현무암류에서부터 조면암류에 이르는 비교적 다양한 화산암류가 산출되는 지역으로서 제주도의 현무암질 용암류는 그 형질에 있어서 크게 파호이호이(Pah'-ho-eh-ho-eh; Pahoehoe)와 아아(Ah Ah; Aa)로 구분할 수 있으며, 이들의 특징을 설명하면 다음과 같다.

3-1-1. 파호이호이 용암류

파호이호이라는 말은 하와이 원주민의 방언으로서 “매우 잔인한”이란 뜻을 지니고 있으나 Dutton이 1884년 처음으로 사용한 이후 지질학 및 화산학의 학술용어로 쓰여지고 있다. 파호이호이 용암류는 점성이 작아 유동성이 크며, 용암류의 표면이 편평하고 매끄러우며, 새끼줄 구조(ropy structure) 등이 발달하는 것이 특징이다(Macdonald, 1953, p160; Scarth, 1994). 이 용암류는 표면의 형태와 단위 두께에 따라 S-type과 P-type으로 나눌 수 있는데, S-type은 표면이 소용돌이치는 형태 또는 새끼줄구조가 발달하는 반면, P-type은 표면이 매우 매끄럽고 두께가 아주 얇은 것이 특징이다(Wilmuth & Walker, 1993). 또한, 이 용암류에는 용암토우(lava toes)라 불리는 수많은 작은 유동단위들이 발달하는데, 용암토우는 대개 두께가 30cm이하이고 길이가 1~2m 정도이며, 폭은 30~50cm 정도이다. 특히, 이 용암류는 점성이 낮기 때문에 50km 이상까지 유동할 뿐만 아니라 크고 작은 용암관과 용암터널의 발달을 수반한다.

제주도에 있어서 파호이호이 용암류는 지형경사가 완만한 동·서부지역의 해발 300m 이하지역에 주로 분포하고 있는데 용암류 단위의 평균 두께는 2~3m 정도이

고, 만장굴·협재굴 등의 크고 작은 용암터널들이 발달한다. 대표적인 파호이호이 용암류로서는 표선리현무암(서해길 외 2인, 1964)을 들 수 있는데, 이 용암류는 해안저지대에서 용암대지를 이루며, 표면에는 새끼줄구조를 비롯하여 용암토우와 주상절리 등이 발달한다. 제주도 동부지역의 시추코아에서는 용암류단위가 대체로 1~3m 두께이고 10~20매의 유동단위를 관찰할 수 있다. 하부에는 클린커층이 아주 얇거나 없으며 용암류의 상·하부가 산화된 상태로 산출되는 경우도 있다. 제주도에 분포하는 파호이호이 용암류는 대부분 열극분출과 분석구를 형성시킨 화산활동으로부터 비롯된 것으로 해석되고 있는데(이돈영 외 25인, 1970), 항공사진 분석에 의하면, 분석구에서 분출한 용암류들은 대부분 수 km 미만의 짧은 거리를 유동한 것으로 나타나고 있다.

3-1-2. 아아 용암류

아아(Aa)라는 용어도 역시 하와이 원주민 방언에서 유래된 말이다. 이 용암류는 파호이호이 용암류와는 달리 점성이 커서 표면이 거칠고 상부와 하부에 1~2m 두께의 클린커층을 형성하며 중앙부는 비교적 치밀한 용암 상태를 이루는 것이 특징이다(Macdonald, 1953; Macdonald et al., 1983). 또한 중앙부의 치밀한 용암으로부터 돌출한 용암판(lava slab)이 상부에 존재하기도 하며 하부에 흐름의 전면부에서 상부의 클린커들이 떨어져 밑면으로 깔림으로서 비교적 두꺼운 클린커층을 형성한다. 아아 용암류의 단위 두께는 통상적으로 1~10m를 나타내며 50km 이하의 유동거리를 나타내나 예외적으로 cascades에서는 80km까지 이동한 사례도 보고된 바 있다(Waters, 1961).

Rowland and Walker(1987)는 하와이의 아아 용암류를 화구로부터의 흘러간 거리에 따라 근거리형(proximal type)과 원거리형(distal type)으로 구분한 바 있다. 근거리형은 분당 수 미터의 비교적 빠른 속도로 유동하며, 1

0~20cm 두께의 얇은 상부 클린커층과 비교적 다공질의 내부를 갖는다. 용암류의 두께는 대체로 1~3m 정도이다. 이와는 달리 원거리형의 아아는 두께가 3~10m 정도이고 감지할 수 없을 만큼 매우 느리게 유동한다. 이 유형의 상부는 모래 및 먼지 크기의 세립질 물질과 치밀한 암괴가 뒤섞여 두꺼운 클린커층을 이루며 내부(중상부)는 기공이 거의 없는 치밀한 상태를 이룬다.

한편, 아아 용암류는 파호이호이에서 전이를 통해서도 형성되는데, 전이를 일으키는 요인으로서 용암이 분출할 당시의 기후, 휘발성분의 함량, 용암의 분출률과 지속시간, 채널의 형태, 용암의 기공과 결정도, 지면의 경사 등이다 (Swanson et al., 1979; Peterson et al., 1976). Peterson and Tilling(1980)은 파호이호이에서 아아로 전이가 일어난다고 하더라도, 두 형태간의 화학적인 성분상의 차이는 발생하지 않는다고 보고하였다. 또한 Emerson(1926)은 용암이 지속적으로 유동하는 동안 휘발성 성분의 손실로 인하여 파호이호이에서 아아로의 변화를 가져오는데, 이러한 경향은 경사가 급한 지역일 수록 더 뚜렷하게 나타나는 것으로 보고하기도 하였다.

제주도에 있어서 아아용암류는 주로 지형경사가 급한 남·북사면을 중심으로 분포하고 있다. 용암류의 단위 두께는 평균 5~10m이고 상부와 하부에 클린커층이 발달하고 있으며, 기공은 크기가 크고 길쭉하게 신장된 형태를 이룬다. 남·북사면이 지형경사가 급한 이유 중의 하나는 장식현무암·휘석현무암·장석휘석현무암·조면암 등의 아아용암류가 분포하기 때문이며, 이 지역에서 계곡은 협곡을 이루는 것이 특징이다. 이들 용암류가 지하에 존재하는 경우에는 클린커층이 좋은 대수층이 되고 있다. 제주도의 동부와 서부의 일부지역에는 파호이호이 용암류에서 아아용암류로 전이한 형태의 것도 관찰된다.

Williams and McBirney(1979)는 아아 용암류 중에서도 주로 암괴로 이루어

진 것을 암괴상 아아 용암류(aa rubble flow)라 정의 하였다. 즉, 「암괴상 아아 용암류란 용암류 내부의 용암판과 용암판 사이의 부분이 유동중에 각력질 암괴 크기로 파쇄되어 표면이 암설류의 양상을 이루는 것」을 말한다. 제주도에서 속칭 “곶자왈”이라 부르는 지대는 암괴상 아아 용암류의 특징을 잘 보여주고 이하의 서술에서는 곶자왈을 구성하는 암괴상 아아 용암류란 용어 대신 「곶자왈용암류(Gotchawal Lava Flow)」라는 용어를 사용하고자 한다.

3-2. 곶자왈용암류의 분포상태

곶자왈용암류는 한라산체의 남·북사면을 제외한 동·서부지역에 비교적 넓게 분포하고 있다(Fig. 3).

Table 3은 본 연구에서 확인된 곶자왈용암류를 지역별로 구분한 것으로서, 각 지역의 곶자왈용암류 분포지를 각각의 분포 지역명에 따라 서부지역의 한경-안덕 곶자왈지대와 애월 곶자왈지대, 동부지역의 조천-함덕 곶자왈지대와 구좌-성산 곶자왈지대로 명명하였다. 이들 각각의 곶자왈지대에서 모두 10개의 곶자왈용암류가 분포하고 있는데, 이를 설명하면 다음과 같다.

Table 3. Classification of Gotchawal Lava Flow in Cheju Island.

Western Area	Central Area	Eastern Area
<p>◎ Hangeong-Andeog Gotchawal Terrain (Fig. 3, A)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sangchang-Hwasun Gotchawal Lava Flow • Weollim-Sinpyeong Gotchawal Lava Flow <p>◎ Aeweol Gotchawal Terrain (Fig. 3, B)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow 		<p>◎ Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain (Fig. 3, C)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seonheul Gotchawal Lava Flow • Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow • Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow <p>◎ Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain (Fig. 3, D)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow • Susan Gotchawal Lava Flow • Sehwa Gotchawal Lava Flow • Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow

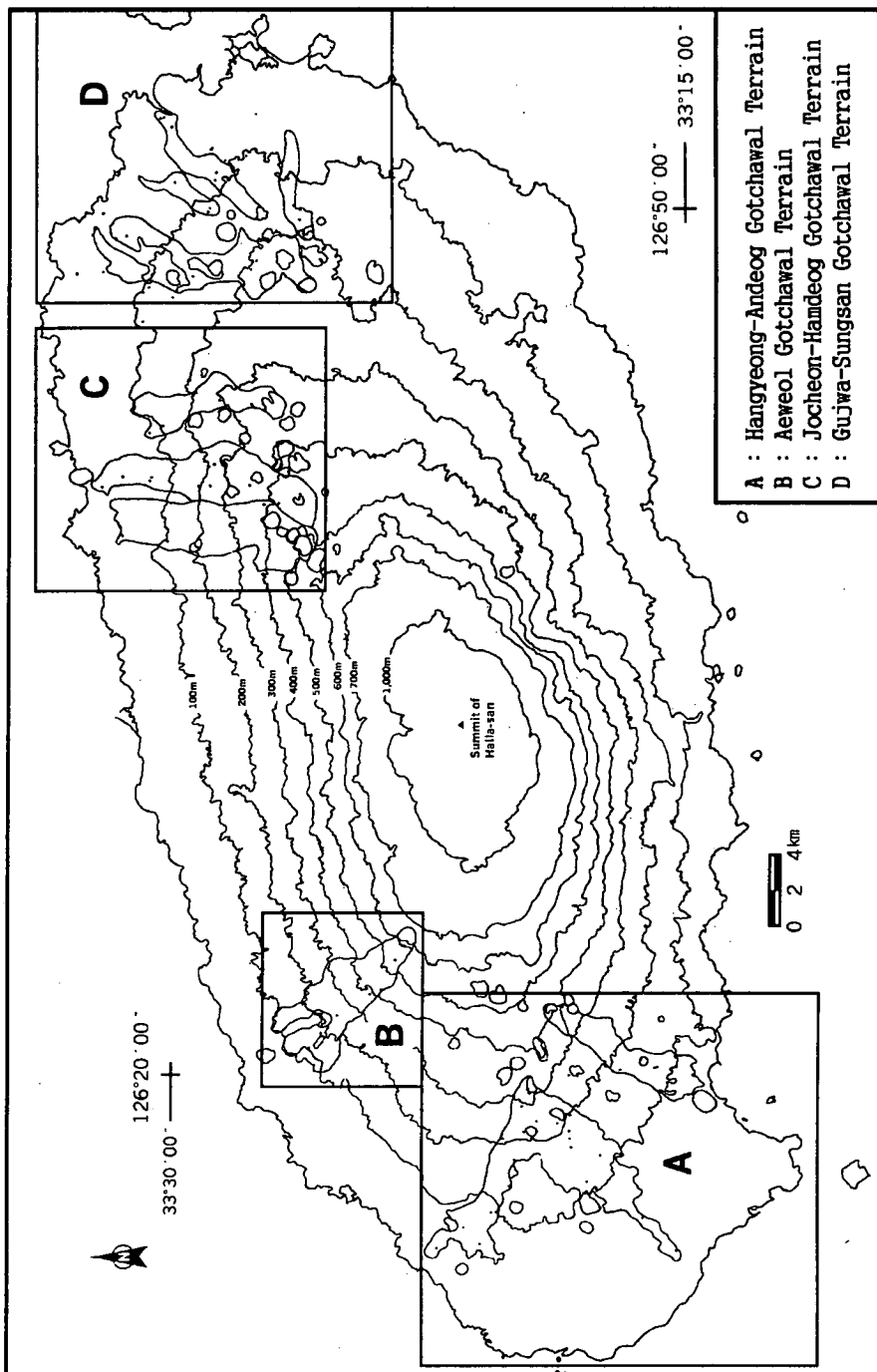


Fig. 3. Index map of the Gotchawal terrains, Cheju Island.

3-2-1. 한경-안덕 꽃자왈지대

이 꽃자왈지대는 제주도 서부의 한경과 안덕 지역에 위치하고 있으며, 월림-신평 꽃자왈용암류와 상창-화순 꽃자왈용암류의 2개의 용암류가 분포하고 있다.

월림-신평 꽃자왈용암류는 한림읍 금악리 지경의 해발 329.6m에 위치한 돌오름 주변지역에서부터 시작되어 한림읍 월령리와 대정읍 영락리의 해발 20m 지역까지 두 갈래로 나뉘어져 분포하고 있다(Fig. 4). 돌오름에서 영락리 방향으로 분기(分岐)된 꽃자왈용암류의 최대 연장거리는 약 12.5km로서 본 연구대상 꽃자왈용암류 중 연장거리가 최대이다. 돌오름에서 월령리 방향으로 분기된 꽃자왈용암류도 연장거리가 11.5km에 이르고 있어 월림-신평 꽃자왈용암류가 다른 지역의 꽃자왈용암류에 비해 연장거리가 긴 편이다. 또한, 월림-신평 꽃자왈용암류의 거리에 따른 분포 모습을 보면, 돌오름에서 해발 180m 사이 지역은 폭이 6.2km로 비교적 넓게 분포하고 있으나 거리가 멀어질수록 폭이 점차적으로 좁아져 인향동 WS 13 지점에서는 폭이 0.5km에 불과하다.

상창-화순 꽃자왈은 해발 380m에 위치한 병악에서 시작되어 화순리 방향으로 총 9km에 걸쳐 분포하고 있다(Fig. 4). 이 꽃자왈용암류는 월림-신평 꽃자왈용암류와는 달리 분기하지 않고 평균 1.5km의 폭으로 산방산 근처의 해안지역까지 이어지고 있다.

3-2-2. 애월 꽃자왈지대

애월 꽃자왈지대는 남읍-원동 꽃자왈용암류만이 분포하고 있다. 이 꽃자왈용암류는 해발 599.8m에 위치한 큰오름에서 시작되어 해발 90m의 애월읍 남읍리

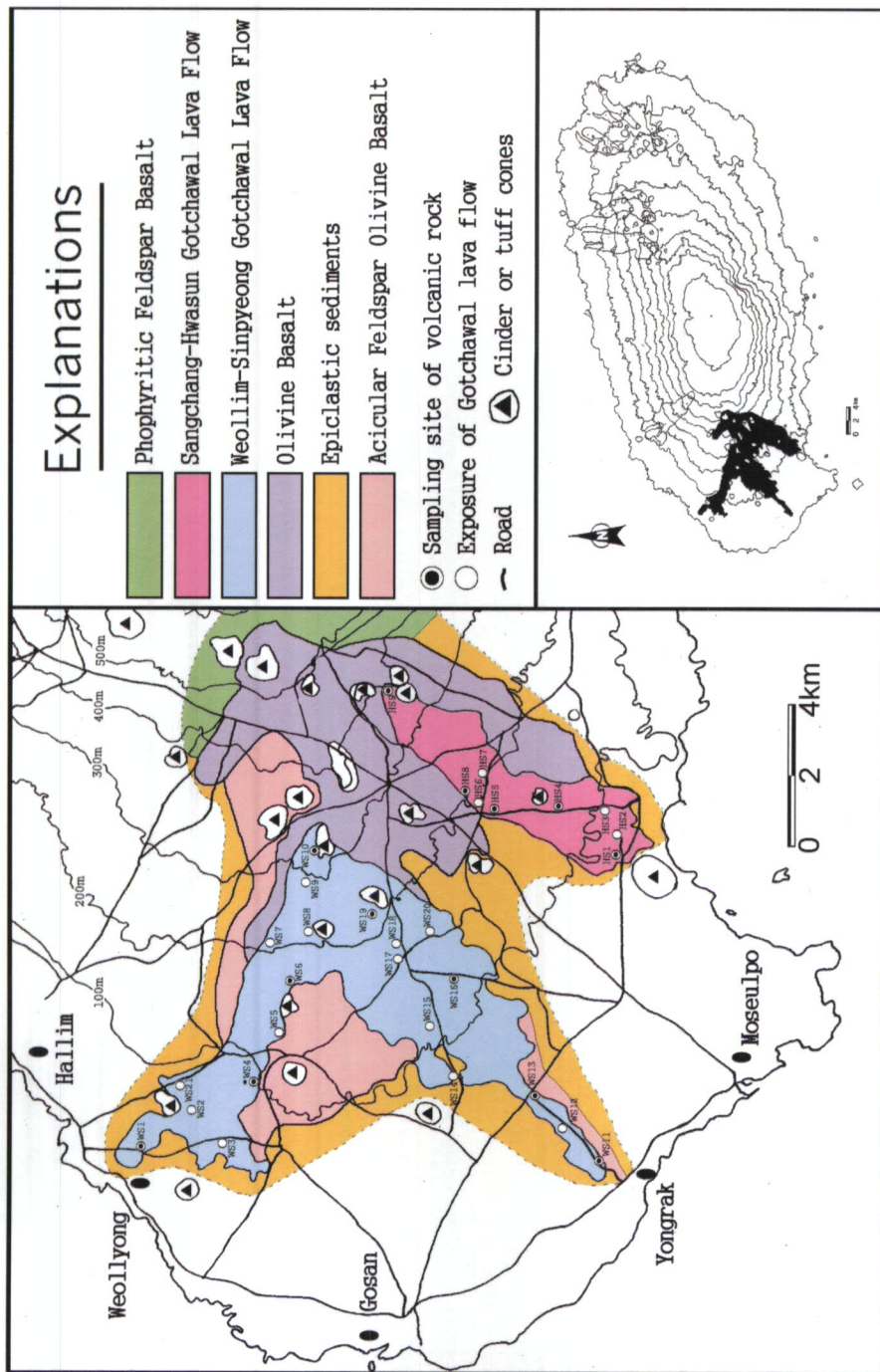


Fig. 4. Geologic map of Hangyeong-Andeog Gotchawal Terrain in the western area, Cheju Island.

와 원동지역까지 총 9.0km에 걸쳐 분포하고 있는데(Fig. 5), 해발 200m까지는 2~3km의 폭으로 이어지다가 납읍리 동분석구(박기화 외 10인, 1998)를 기점으로 애월읍 납읍리와 하가리 방향으로 분기되고 있다. 이 꽃자왈은 지형의 경사가 비교적 급한 큰오름 주변에서는 폭이 협소하지만, 해발 200~300m 사이의 완경사 지역에서는 폭이 3.2km로서 최대를 나타내고 있다.

3-2-3. 조천-함덕 꽃자왈지대

조천-함덕 꽃자왈지대는 제주도 북부의 조천과 함덕일대 지역에 분포하고 있는 꽃자왈용암류로서 함덕-와산 꽃자왈용암류, 조천-대흘 꽃자왈용암류, 선흘 꽃자왈용암류로 구분 할 수 있으며(Table 3, Fig. 6), 이들 꽃자왈용암류의 분포상태를 서술하면 다음과 같다.

조천-대흘 꽃자왈용암류는 해발 500m에 위치한 민오름 주변에서부터 시작되어 큰지그리오름, 작은지그리오름 그리고 바늘 오름 주변을 거쳐 조천리 해발 20m 지점까지 총 11km에 걸쳐 분포하고 있다(Fig. 6). 이 꽃자왈용암류가 시작되는 민오름 주변에는 5개의 분석구들이 집중적으로 분포하고 있으며, 거의 일정한 폭으로 분포하고 있다.

함덕-와산 꽃자왈용암류는 돛배오름의 북측 해발 486m 지점에서부터 시작되어 함덕해수욕장 부근까지 평균 2~3km의 폭으로 총 연장 12km 지역에 걸쳐 분포하고있어 월림-신평 꽃자왈용암류 다음으로 연장거리가 길다. 이 꽃자왈용암류는 해발 200~300m 사이 지역이 가장 넓은 폭을 보이고 있으며, 말단부인 함덕리 부근으로 오면서 점차 좁아지는 분포상태를 보인다(Fig. 6).

선흘 꽃자왈용암류는 해발 340m에 위치한 거문오름 북쪽에서부터 시작되어

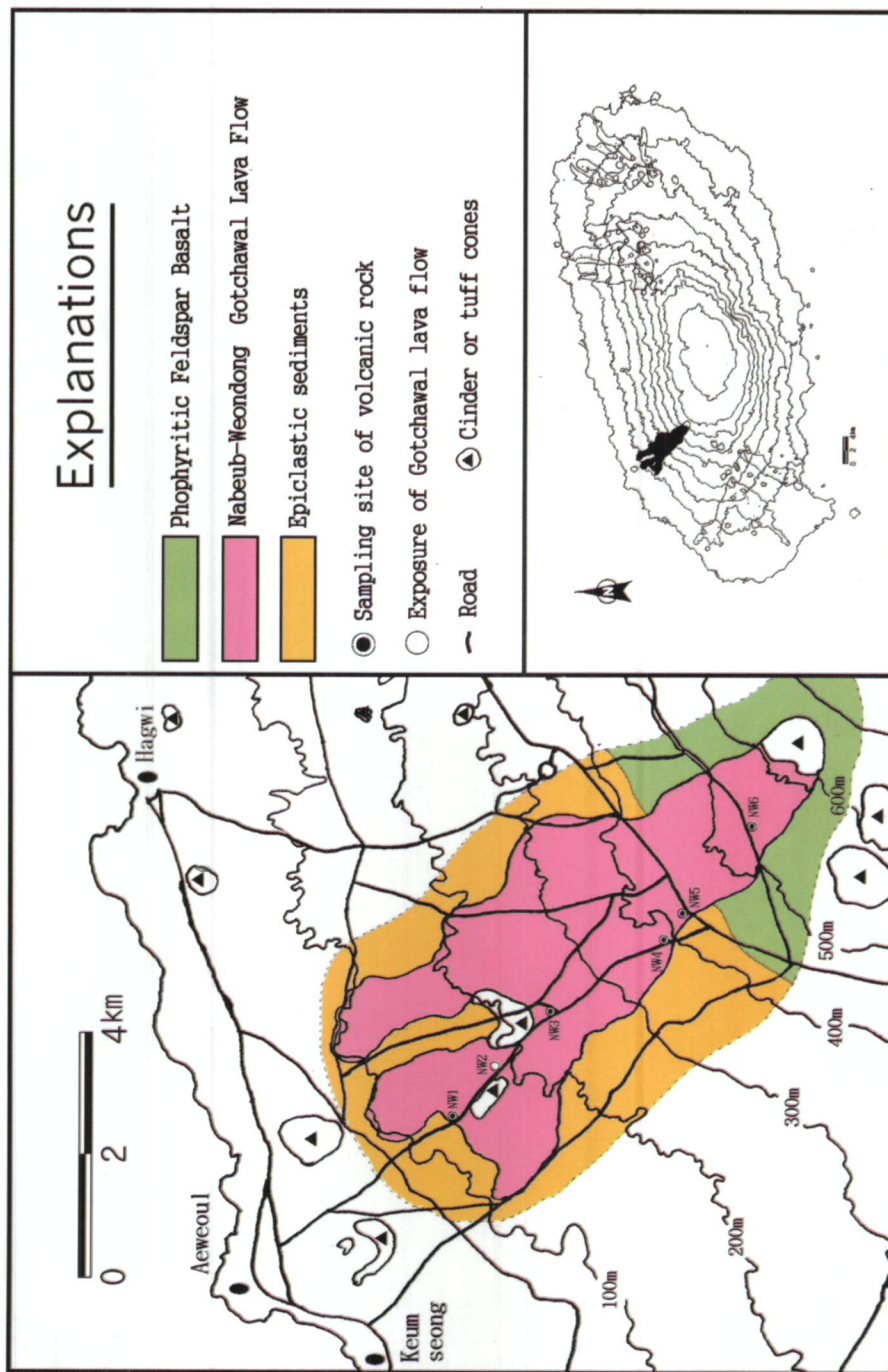


Fig. 5. Geologic map of Aewoul Gotchawal Terrain in the western area, Cheju Island.

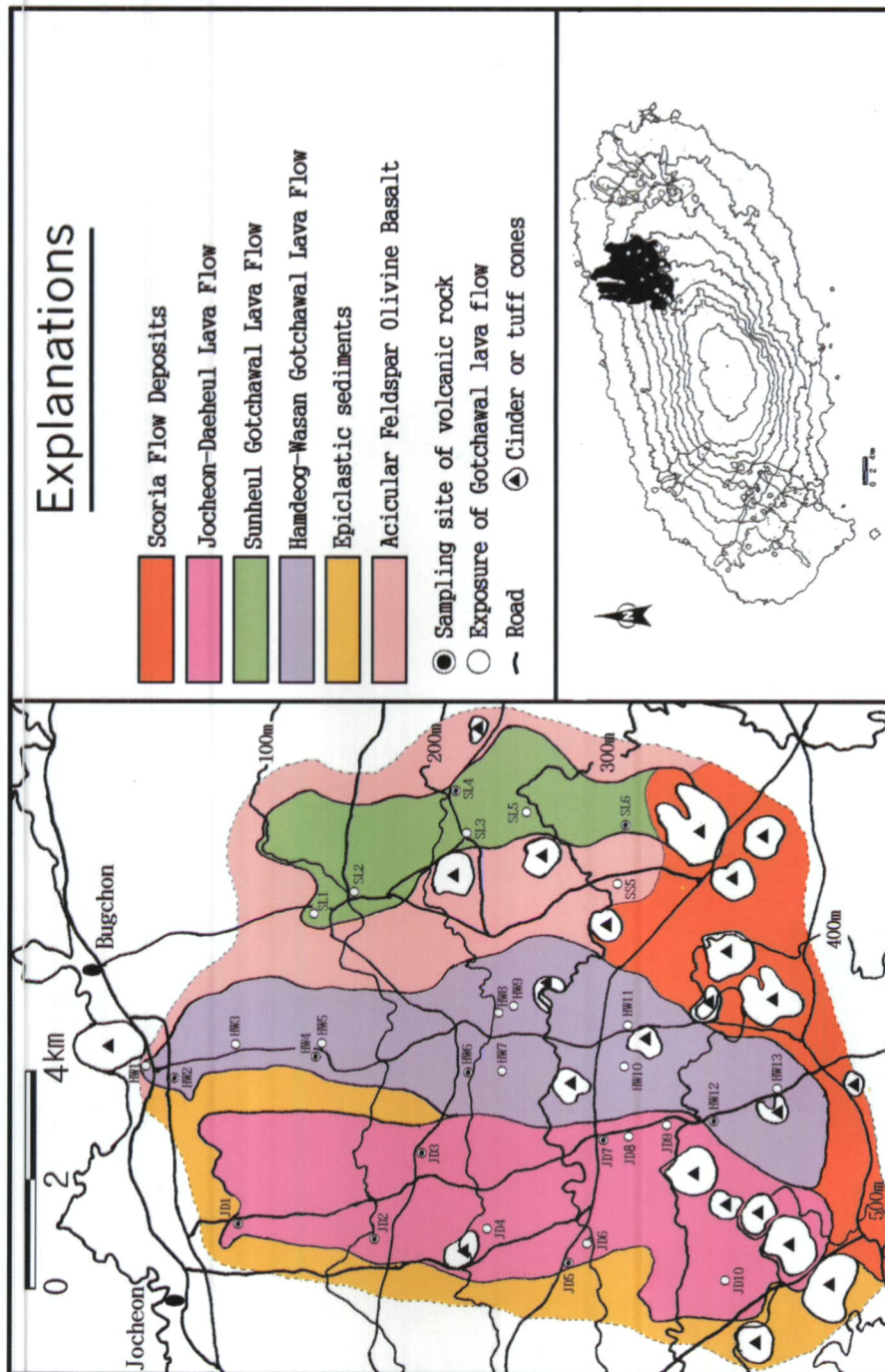


Fig. 6. Geologic map of Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain in the eastern area, Cheju Island.

알밤오름과 북오름 사이를 지나 해발 80~100m 지점에 있는 속칭 “선흘곶”까지 연속되고 있다. 이 곶자왈용암류의 총 연장거리는 7km이며, 폭은 1~2km 정도이다(Fig. 6).

3-2-4. 구좌-성산 곶자왈지대

구좌-성산 곶자왈지대는 제주도 동부의 구좌와 성산 일대 지역에 분포하고 있는 곶자왈용암류로서 종달-한동 곶자왈용암류, 세화 곶자왈용암류, 상도-하도 곶자왈용암류 및 수산 곶자왈용암류로 구분 할 수 있으며(Table 3, Fig. 7), 이들 곶자왈용암류의 분포상태를 서술하면 다음과 같다.

종달-한동 곶자왈용암류는 해발 225m에 위치한 동거문오름에서 시작되어 한동리 방향으로 높은오름, 손자봉, 돛오름 등의 분석구 주위를 거쳐 해발 30m의 해안저지대까지 총 연장 11km 지역에 걸쳐 분포하고 있다. 이 곶자왈용암류는 돛오름과 둔지봉의 분석구에서 유래된 것으로 보이는 스코리아 퇴적층에 의해 부분적으로 단절되거나 분포 폭이 좁아지는 현상을 보이고 있다. 또한, 이 곶자왈용암류는 높은오름과 월랑봉 사이 지역에서 최대의 분포 폭을 나타내지만 해안쪽으로 내려오면서 분석구들의 영향에 의해 분포 폭의 변화가 비교적 심한 편이다(Fig. 7).

세화 곶자왈용암류는 월랑봉 북측 해발 155.4m 지점에서부터 시작되어 세화리의 해발 20m 지점까지 4.7km의 지역에 걸쳐 분포하고 있는데, 말단부 쪽에서 폭이 급격히 좁아지는 모습을 보이고 있다.

상도-하도 곶자왈용암류는 해발 159.2m에 위치한 용눈이오름 북동쪽 2km 지점에서부터 시작되어 지미봉 근처까지 분포하고 있다. 이 곶자왈용암류의 총

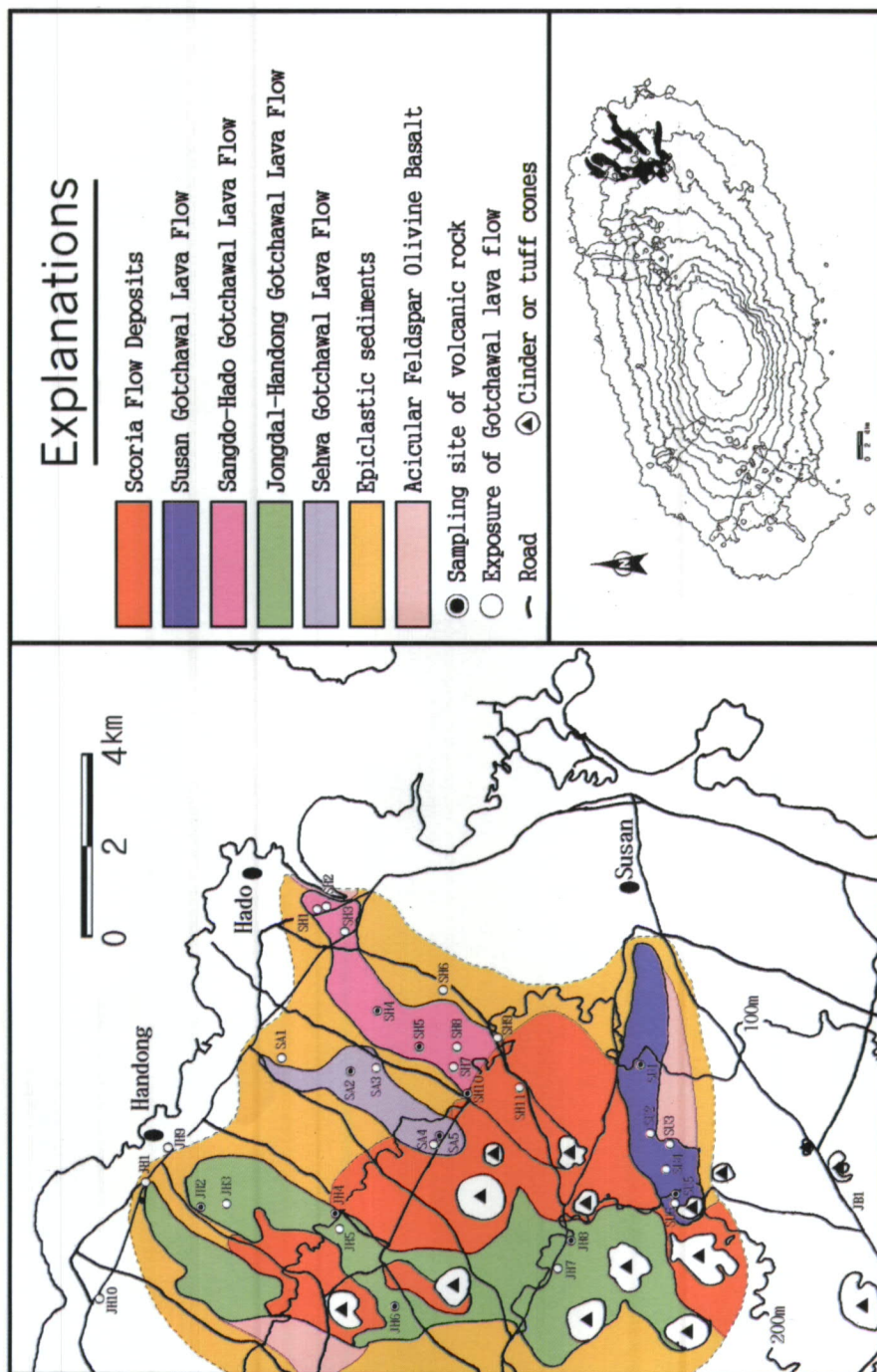


Fig. 7. Geologic map of Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain in the eastern area, Cheju Island.

연장거리는 용눈이오름을 중심으로 넓게 분포하고 있는 스코리아 퇴적층에 의해 많은 부분이 피복 되어 있는 관계로 정확히 알 수는 없지만 야외에서 측정 가능한 거리는 5.6km이다. 이 꽃자왈용암류는 해안 쪽으로 가면서 약간의 사행하는 형태를 보여주고 있다. 수산 꽃자왈용암류는 해발 184.8m에 위치한 궁대악 주위에서부터 수산리 마을 서쪽 해발 50m 지점까지 총 5.5km 지역에 걸쳐 분포하고 있다(Fig. 40). 특히 이 꽃자왈용암류는 분포 폭이 1km 미만으로서 본 연구대상 10개 꽃자왈용암류 중에서 가장 폭이 좁은 꽃자왈용암류에 해당한다.

3-3. 꽃자왈용암류의 층서위치

3-3-1. 한경-안덕 꽃자왈지대

한경-안덕 꽃자왈지대를 이루고 있는 월림-신평 꽃자왈용암류와 상창-화순 꽃자왈용암류의 층서적 위치를 보면 하위에서 상위의 순서로 침상장석감람석현무암(Acicular Feldspar Olivine Basalt), 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments), 감람석현무암(Olivine Basalt), 월림-신평 꽃자왈용암류, 상창-화순 꽃자왈용암류, 반상장석현무암(Porphyritic Feldspar Basalt)순의 층서를 나타낸다(Fig. 4; Table 4).

월림-신평 꽃자왈용암류 및 상창-화순 꽃자왈용암류의 하위에 분포하는 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments)은 황갈색을 띠는 괴상의 이암을 기질로 원마도가 좋은 1~2cm의 역들이 산재된 역질이암으로 구성되어 있다. 이 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments)은 침상장석감람석현무암이 형성된 이후 월림-신평 꽃자왈용암류가 피복할 때까지 침식기간동안에 형성된 것으로서 시간적 불연속면

을 의미한다.

Table 4. Stratigraphic position of the Gotchawal lava flows in the Hangeong-Andeog Gotchawal Terrain.

Stratigraphic Position
Porphyritic Feldspar Basalt
Sangchang-Hwasun Gotchawal Lava Flow
Weollim-Sinpyeong Gotchawal Lava Flow
Olivine Basalt
Epiclastic Sediments
Acicular Feldspar Olivine Basalt

3-3-2. 애월 꽃자왈지대

애월 꽃자왈지대에 분포하고 있는 납읍-원동 꽃자왈용암류는 하위에서 상위의 순서로 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments), 납읍-원동 암괴상 아아 용암류 및 반상장석현무암(Porphyritic Feldspar Basalt)의 층서를 나타낸다(Fig. 5; Table 5).

납읍-원동 꽃자왈용암류의 하위에도 한경-안덕 꽃자왈지대의 경우처럼 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments)이 협재되어 있는데, 이 쇄설성 퇴적층

(epiclastic sediments)은 흑갈색을 띠는 괴상의 이암을 기질로 원마도가 좋은 3~5cm의 역들이 산재된 역질이암으로 이루어져 있다.

Table 5. Stratigraphic position of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow in the Aeweol Gotchawal Terrain.

Stratigraphic Position
Porphyritic Feldspar Basalt
Nabeub- Weondong Gotchawal Lava Flow
Epiclastic Sediments

3-3-3. 조천-함덕 꽃자왈지대

조천-함덕 꽃자왈지대에 분포하고 있는 조천-대흘 꽃자왈용암류와 함덕-와산 꽃자왈용암류 및 선흘 꽃자왈용암류는 하위에서 상위의 순서로 침상장석감람석현무암(Acicular Feldspar Olivine Basalt), 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments), 함덕-와산 꽃자왈용암류/선흘 꽃자왈용암류, 조천-대흘 꽃자왈용암류, 스코리아층이 놓여 있다(Fig.6; Table 6).

꽃자왈용암류의 하위에는 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments)이 놓여 있는데, 이 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments)은 흑갈색을 띠며 기질은 괴상의 이질사암으로 이루어져 있고 원마도가 비교적 좋은 5~10cm의 역들도 소량 함유되어 있다.

Table 6. Stratigraphic position of the Gotchawal lava flows in the Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain.

Stratigraphic Position
Scoria Deposits
Jocheon-Dacheul Gotchawal Lava Flow
Hamdeog-Wasan / Sunheul Gotchawal Lava Flow
Epiclastic Sediments
Acicular Feldspar Olivine Basalt

3-3-4. 구좌-성산 꽃자왈지대

구좌-성산 꽃자왈지대에 분포하고 있는 세화 꽃자왈용암류, 종달-한동 꽃자왈용암류, 상도-하도 꽃자왈용암류 및 수산 꽃자왈용암류의 층서적 위치는 하위에서 상위의 순서로 침상장석감람석현무암(Acicular Feldspar Olivine Basalt), 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments), 세화 꽃자왈용암류, 종달-한동 꽃자왈용암류, 상도-하도 꽃자왈용암류, 수산 꽃자왈용암류, 스크리아층이 놓여 있다(Fig. 7; Table 7).

꽃자왈용암류의 하위에 분포하는 쇄설성 퇴적층(epiclastic sediments)은 황갈색을 띠며 분급이 매우 불량하고 기질은 괴상의 이암으로 되어 있다.

Table 7. Stratigraphic position of the Gotchawal lava flows in the Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain.

Stratigraphic Position
Scoria Deposits
Susan Gotchawal Lava Flow
Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow
Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow
Sehwa Gotchawal Lava Flow
Epiclastic Sediments
Acicular Feldspar Olivine Basalt

3-4. 꽃자왈 용암류의 암질

3-4-1. 한경-안덕 꽃자왈지대

3-4-1-1. 월림-신평 꽃자왈용암류

월림-신평 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 회색에서 암회색을 띠는 휘석감람석현무암(Augite Olivine Basalt; 이하 AOB라 한다)이다. 이 암석은 육안 관찰에 의하면, 0.1~0.5mm(최대 4mm)크기의 감람석 반정이 5~15% 정도 분포하고 1.5~2mm(최대 4mm) 크기의 휘석 반정도 1~3% 함유되어 있다. 전반적으로

이 암석은 다공질이다. 월림-신평 꽃자왈용암류는 해발 160m 지점에서부터 월령리와 영락리 쪽으로 분기하고 있는데, 이들의 암질과 조직을 구분하여 설명하면 다음과 같다(Fig. 8).

① 월령리 방향 꽃자왈용암류

거리에 따른 두께 변화를 보면, 돌오름 주변에서부터 해발 200m 지점까지는 평균 1~2m의 두께로 분포하고 있으며, 해발 200m 이하 지역에서는 두께가 약 2.5m로서 다소 두꺼워지는 경향을 보이고 있다. 특히, 해발 50m 이하지역의 경우, 암괴 사이에 2mm 이하 크기의 분쇄물을 다량 함유하며 무질서한 상태를 보이는 것으로 미루어 볼 때, Rowland and Walker(1987)가 제시한 아아 용암류의 말단부 유형에 해당하는 것으로 해석된다(Fig. 9).

주요 지점별 특징을 살펴보면, 이 꽃자왈용암류가 시작되는 돌오름에서 약 1km 떨어진 지점에 위치한 WS 9 지점에 노출된 수직단면(두께 3.5m)에서는 지표로부터 약 1m 까지는 조금 원형이거나 조금 각이 진 중암괴와 소암괴로 이루어진 클린커가 엉성하게 모여 있으며, 그 하부 약 1m 구간은 수직절리가 발달한 비교적 다공질의 용암으로 이루어져 있다. 또한, 용암의 하부에는 주로 소암괴로 이루어진 클린커층이 약 1.5m 두께로 분포하고 있다(Fig. 8). Wenthworth and Macdonald(1953)에 의하면, 아아 용암류의 상부에는 수십 cm에서 2m 두께의 클린커층이 연속적으로 형성된 반면, 하부의 클린커층은 상부의 클린커층 보다 얇고 덜 연속적으로 형성되는데, 클린커의 비율은 일반적으로 15~65%의 범위이지만 주로 50% 이하인 것으로 알려졌다. 전술한 WS 9지점의 클린커층의 비율은 상·하부를 합해 약 40%를 차지하고 있어 Wenthworth and Macdonald(1953)가 보고한 일반적인 경향과 대체로 일치하고

있다.

마중 오름과 문도지 오름 사이에 위치한 WS 6과 한경면 저지리 WS 4 지점의 수직단면을 보면, 지표로부터 2~3m 구간은 주로 중암괴 크기의 각력으로 이루어져 있으나, 부분적으로 용암판이 협재되어 있는 양상을 나타내고 있다. 이 꽃자왈용암류의 가장 말단부에 해당하는 한림읍 월령리 WS 1 지점에서는 소암괴로 이루어진 각력층내에 침착증대성 용암구(Accretionary lava boll)가 포함되어 있는데, 이와 같은 침착증대성 용암구에 대해서는 Macdonald(1943)와 Wentworth and Macdonard(1953)에 의해 기재된 바 있다. 침착증대성 용암구(Accretionary lava ball)는 아아 용암류에 발달하는 특징적인 구조로서, 눈사람이 만들어지는 원리와 같이 고체상태의 파편이 구르면서 고결되지 않은 용암을 반복해서 부착시킴으로서 둥근 모양의 용암구가 형성되는데, 내부에는 용암의 부착에 의해 생겨난 나이테 모양의 테두리 구조가 발달한다. Fig. 10에 제시되어 있는바와 같이, 본 연구에서 확인된 침착증대성 용암구의 경우에도 나무테 모양의 내부구조가 비교적 선명하게 발달되어 있다. 이러한 침착증대성 용암구(Accretionary lava ball)를 Lipman and Banks(1987)은 용암보트(lava boats)라 기재한바 있으며, Chichay and Rowland(1995)는 층상용암구(layered lava ball)라는 용어를 사용하기도 하였다.

② 영락리 방향 꽃자왈용암류

월림-신평 꽃자왈용암류 중 영락리로 분기한 꽃자왈의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 돌오름 주변에서부터 해발 100m 까지는 평균 2m의 두께를 나타내지만, 해발 100m 이하 지역에서는 두께가 2.5m로 비교적 두꺼운 편

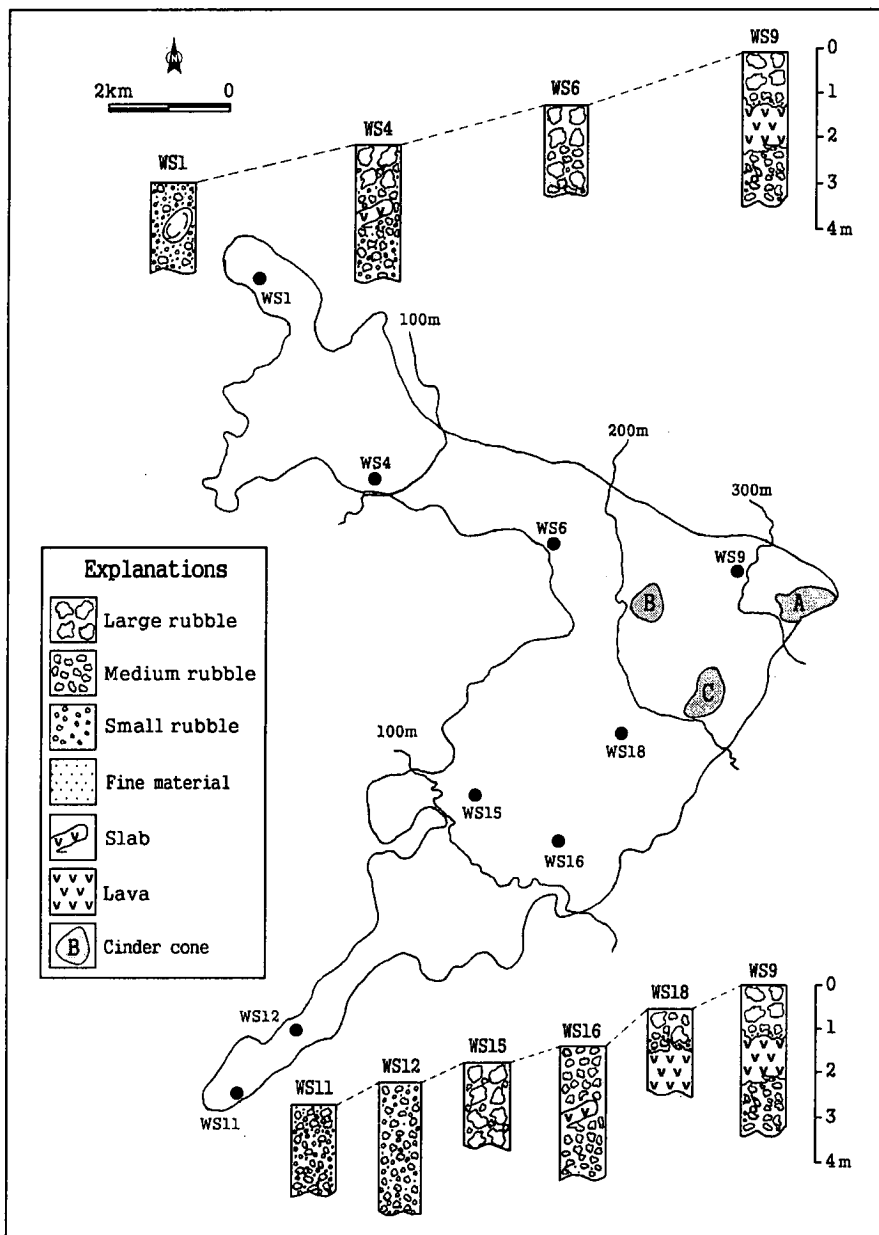


Fig. 8. Columnar sections of Weollim-Sinpyeong Aa Rubble Flow.
A; Dolorem, B; Mundojiorem, C; Namsongag.

이다. 돌오름에서 월령리로 이어지는 꽃자왈과 마찬가지로 대부분의 노두에는 0.6~1.0m 크기의 용암판(slab)이 분포하고 있으며 용암판 사이에는 파쇄된 크고 작은 암괴들도 분포하고 있다.

주요 지점별 특징을 살펴보면, 돌오름에서 3.5km 떨어진 서광리 녹차재배단지 WS 18 지점의 수직단면에서는 중·소암괴로 이루어진 클린커층이 지표하 1.0m 까지 분포하고, 그 하부는 약 1.0m 두께의 다공질 용암이 존재하며, 하부 클린커층은 거의 발달하지 않은 상태를 보여주고 있다. 그리고, 돌오름에서 부터 약 6km 떨어진 지점에 위치한 산양리 월광동 목장의 지표(WS 15)에는 2m 이상의 두께를 갖는 블록성 아아(blocky aa)가 분포(Fig. 11)하고 있으나, 대정읍 체육관 주위의 WS 12와 대정농공단지 주위의 WS 11 지점의 단면에서는 모두 중·소암괴 크기의 각력층으로 이루어져 있다. 특히, 이 꽃자왈용암류의 말단부에 해당하는 WS 12 지점의 경우, 지표하 약 3m 구간이 모두 클린커층으로 이루어져 있어(Fig. 12) 전술한 월령리 방향으로 분기한 꽃자왈의 경우와 동일한 양상을 나타내고 있다.

이상과 같이 월림-신평 꽃자왈용암류는 시작되는 시점에서부터 해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 각력층의 두께와 암괴의 크기 및 내부 조직에서 점이적인 변화를 보여주고 있다. 또한 꽃자왈용암류가 시작되는 돌오름 인근에는 중앙부에 비교적 치밀한 용암이 포함되어 있지만 해안쪽으로 향하면서 용암은 없어지거나 용암판으로 바뀌는 양상을 보여주고 있어, 이 꽃자왈용암류는 파호이호이 용암류에서 아아 용암류로의 전이를 통해 형성된 것으로 해석된다.



Fig. 9. Lava slab(LS) at WS 21 in the Weollim-Sinpyung Gotchawal Lava Flow.



Fig. 10. Accretionary lava ball at WS 1 in the Weollim-Sinpyung Gotchawal Lava Flow.



Fig. 11. Clinker-blocky lava(BL) at WS 15 in the Weollim-Sinpyung Gotchawal Lava Flow.

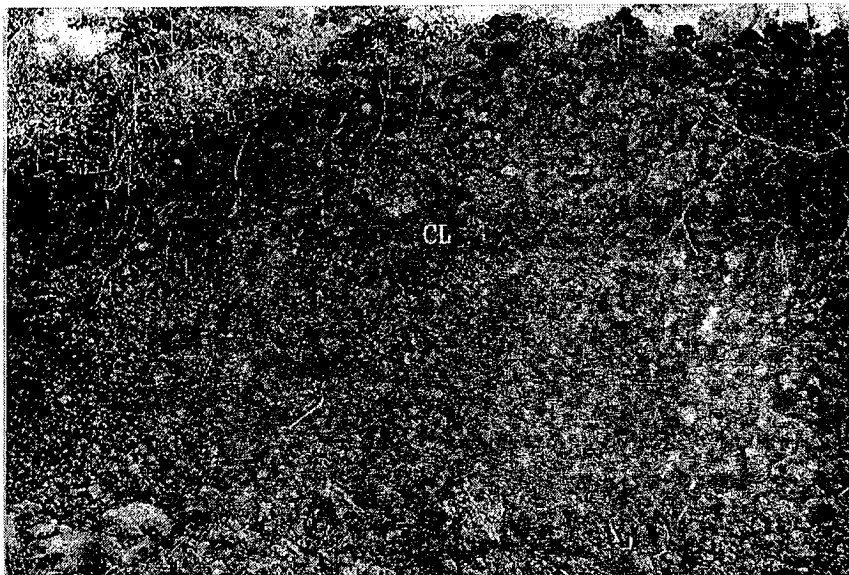


Fig. 12. Clinker layer(CL) at WS 12 in the Weollim-Sinpyung Gotchawal Lava Flow.

3-4-1-2. 상창-화순 꽃자왈용암류

상창-화순 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 주로 회색을 띠며 다공질인 장석회석감람석현무암(Feldspar Augite Olivine Basalt; 이하 FAOB라 한다)이다. 이 암석은 육안 관찰에 의하면, 1.0~2.0mm 크기의 장석 반정이 2~5%정도 함유하고 있을 뿐 아니라, 1~5mm 크기의 감람석 반정(0.1~5%)과 1~3mm 크기의 휘석 반정(1~3%)을 함유하고 있다.

이 꽃자왈용암류의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 병악 주변에서부터 논오름이 위치한 해발 200m 까지는 기질이 없이 각형내지 아각형인 대·중암괴가 0.3~1m 크기의 용암판을 포함한 상태로 평균 2m 두께로 분포하고 있으며, 해발 200m 이하에서 말단부 까지는 기질이 없이 아각형 내지 아원형인 중·소암괴가 평균 3m의 두께로 분포하고 있다(Fig. 13).

주요 지점별 특징을 살펴보면, 이 꽃자왈용암류가 시작되는 병악 인근에 위치한 HS 9 지점에는 25~50cm 크기를 갖는 각이 진 대암괴가 영성하게 모여 있으며 지표 하 2m까지 연속되고 있다. 병악에서 3.7km 떨어진 안덕면 서광동리의 HS 8 지점과 HS 6 지점에는 중암괴 크기의 클린커가 0.3~1.0m 크기의 용암판을 포함하기도 한 상태로 지표 하 2.0m까지 분포(Fig. 14)하고 있을 뿐 아니라, 논오름에서 0.8km 떨어진 HS 3과 1.6km 떨어진 지점(HS 4)에는 아각형 내지 아원형인 중·소암괴가 지표 하 3.0m 까지 분포하고 있다.

특히, 이 꽃자왈 용암류의 말단부인 제주 조각공원 근처에 노출된 노두(두께 3m 이상)에서는 거의 대부분이 아각형 내지 아원형의 중·소암괴로 이루어져 있는데, 암괴 사이에는 2mm 이하의 분쇄물이 다량 포함되어 있어 Rowland and Walker(1987)가 제시한 아아 용암류의 말단부 유형(distal part)

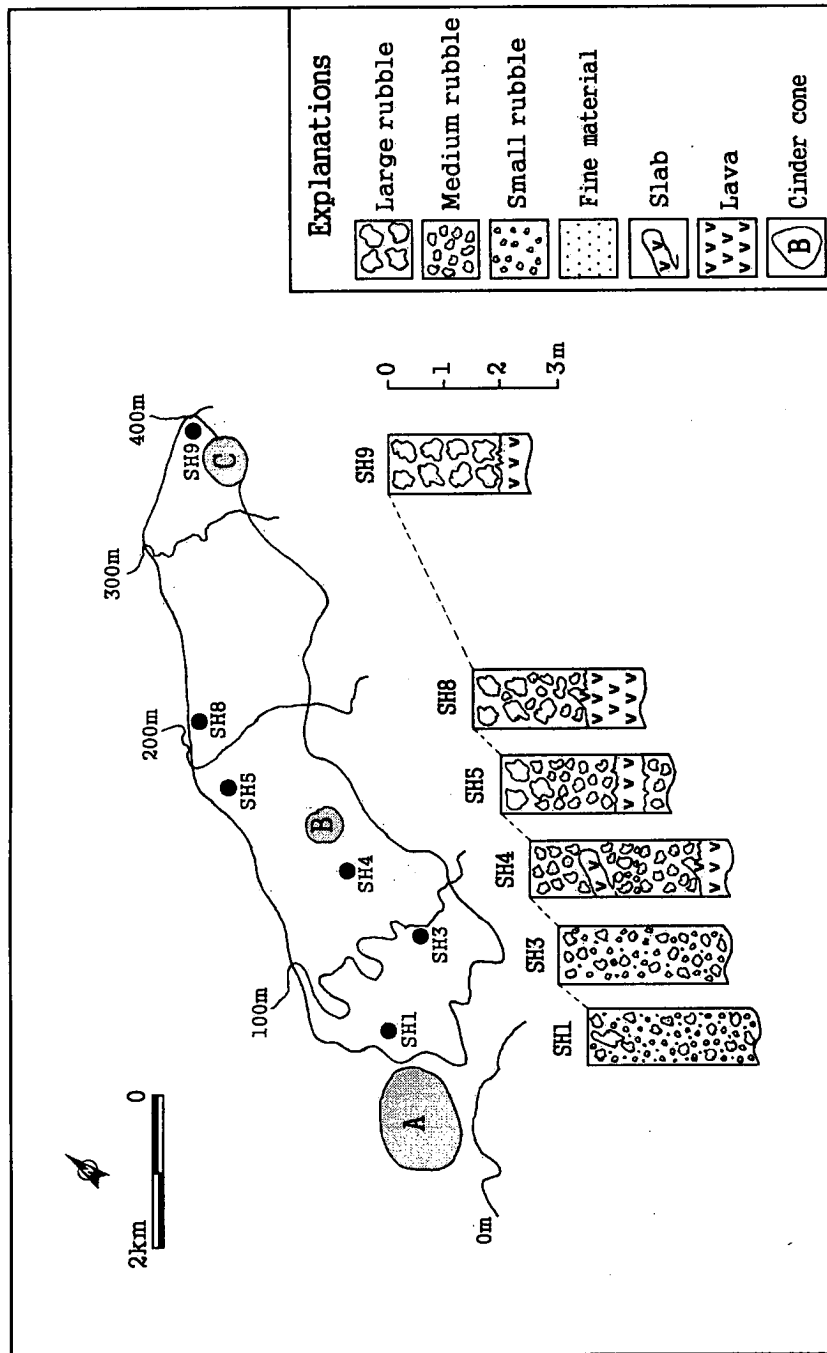


Fig. 13. Columnar sections of Sangchang-Hwasun Gotchawal Lava Flow. A: Sanbangsan, B: Nonoren, C: Byungag.



Fig. 14. Medium rubbles(MR) and small rubbles(SR) at HS 6 in the Hwasun Gotchawal Lava Flow.



Fig. 15. Lava slab(LS) at HS 1 in the Hwasun Gotchawal Lava Flow.

에 해당하는 것으로 해석된다(Fig. 15).

이상 서술한 상창-화순 꽃자왈용암류의 수직단면에서 나타난 특징을 요약하면, 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터 해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라, 전반적으로 거리에 따른 각력의 크기와 각력층의 두께에서 변화를 보여주고 있는데, 해안쪽으로 내려감에 따라 각력의 크기는 점차 감소하지만 각력층의 두께는 두꺼워지는 경향을 보이고 있다.

3-4-2. 애월 꽃자왈지대

3-4-2-1. 납읍-원동 꽃자왈용암류

납읍-원동 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 주로 회색을 띠는 다공질의 FAOB로 이루어져 있다. 이 암석은 육안 관찰에 의하면, 0.5~3.0mm 크기의 장석 반정이 3~5%정도, 1~3mm(최대 5mm) 크기의 휘석 반정이 1~3%, 1mm 이하(최대 3mm)의 감람석 반정도 함유되어 있다.

이 꽃자왈용암류의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 큰오름 주변에서부터 해발 300m 까지는 평균 1.5m의 두께를 나타내며, 해발 300m 이하에는 기질이 없이 아각형 내지 아원형인 중·소암괴가 대략 2.0m의 두께로 이루어져 있어 해안쪽으로 거리가 증가함에 따라 점차 두꺼워지는 양상을 보인다(Fig. 16).

주요 지점별 특징을 살펴보면, 서부산업도로에서 어승생 저수지로 이어지는 제1산록도로변(NW 6; 두께 3m 이상)에는 용암류의 상부에는 대암괴로 구성된 클린커층이 1m의 두께로 발달하고 있으며, 하부에는 중암괴와 소암괴로 구성된 클린커층이 0.5m의 두께로 분포하고 있다. 큰 오름에서 3.0km

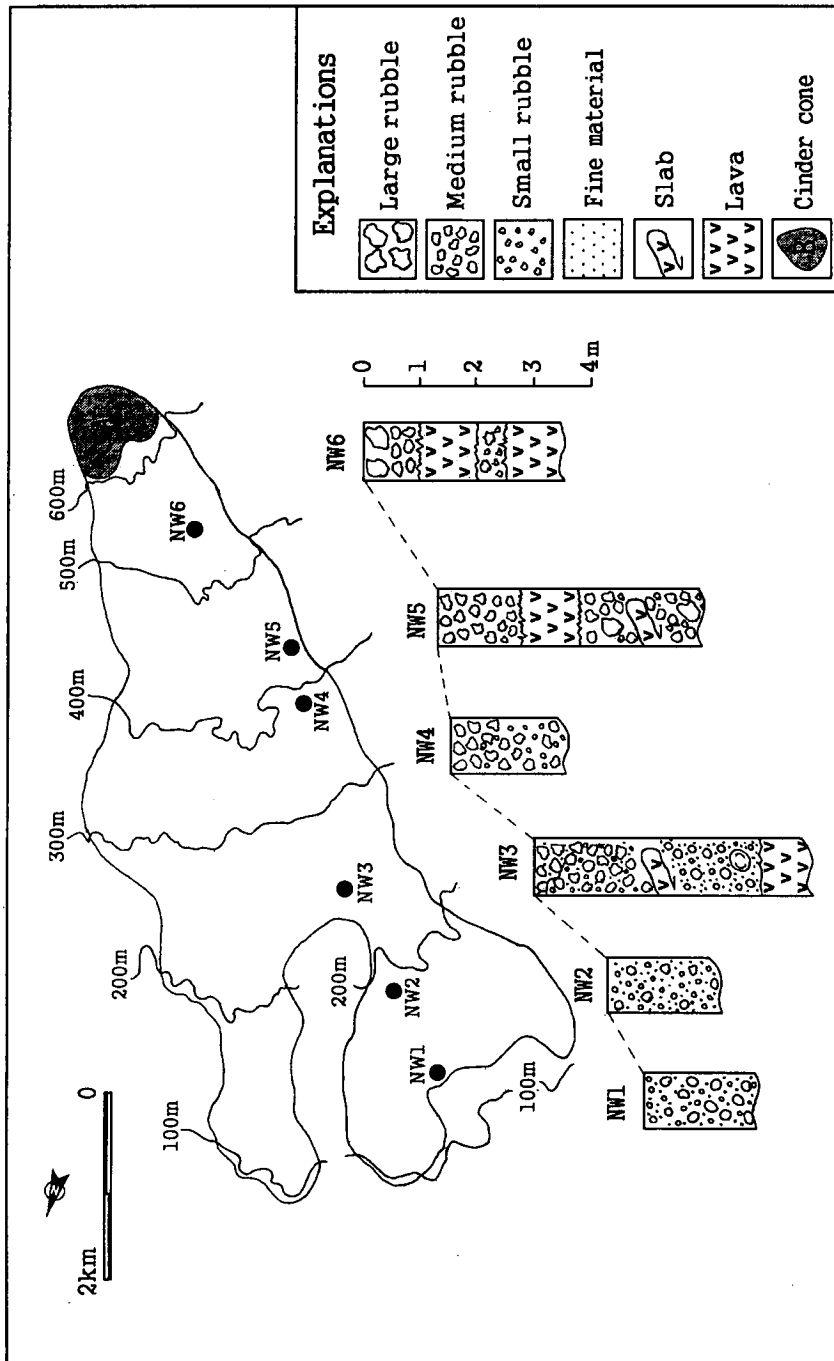


Fig. 16. Columnar sections of Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow. A: Chenoren.

떨어진 지점에 위치한 서부산업도로 터파기 공사 현장(NW 5)에서는 지표에서 1~1.5m 구간은 60~200mm의 클린커성 암괴로 이루어져 있고 그 하부에는 절리가 발달된 비교적 치밀한 용암이 1.2~2.1m의 두께로 분포하고 있다(Fig. 17). 용암의 하부에는 상부의 클린커 크기보다 큰 100~250mm의 중암괴로 구성된 3m 두께의 클린커층이 발달하고 있는데, 이 층내에는 20×150cm 크기의 용암편이 다수 포함되어 있다. 특히, 하부의 클린커층 중 중앙부 용암의 절리와 연결된 부분은 절리 틈을 통한 우수의 유입에 의해 황갈색으로 변질되어 있는 모습도 관찰된다. 남읍리 동분석구 북쪽 300m 지점인 NW 3에서는 300~600mm 크기를 갖는 조금 원형에서 원형의 대암괴가 분포하고 대암괴 사이에는 적색을 띤 2mm 이하 크기의 스코리아성 입자가 다량으로 분포하고 있을 뿐만 아니라, 직경 30cm 크기의 침착증대성 용암구(Accretionary lava ball)도 존재한다(Fig. 18). 또한, 남읍리 소재, 유스호스텔 부근의 노두(NW 2와 NW 1)에서는 상부 클린커층의 두께가 2m 이상이며 용암류의 유동중에 갈려서 만들어진 2mm이하 크기의 미세암편(fine materials)이 중암괴 사이를 채우고 있어(Fig. 11 and 20), 아아 용암류의 말단부 유형에 해당하는 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합해보면, 남읍-원동 꽃자왈용암류는 해발 150~300m 구간에서 상부 클린커층의 두께가 비교적 두꺼운 경향을 보이는 반면, 꽃자왈용암류의 시작지점인 높은오름과 말단부에서는 얇아지는 특징을 보여주고 있는데 이는 이 꽃자왈 용암류의 분포 폭의 변화와도 비교적 일치하는 것이다. 즉, 꽃자왈 용암류의 폭이 넓은 지역일 수록 상부 클린커층이 두껍게 발달되어 있는 반면, 폭이 좁은 지역에서는 얇아지는 경향을 보여주고 있다. 아울러, 해발이 높은 곳에서 해안쪽으로 향하면서 각력의 크기가 점차적으로 작아질 뿐만 아니

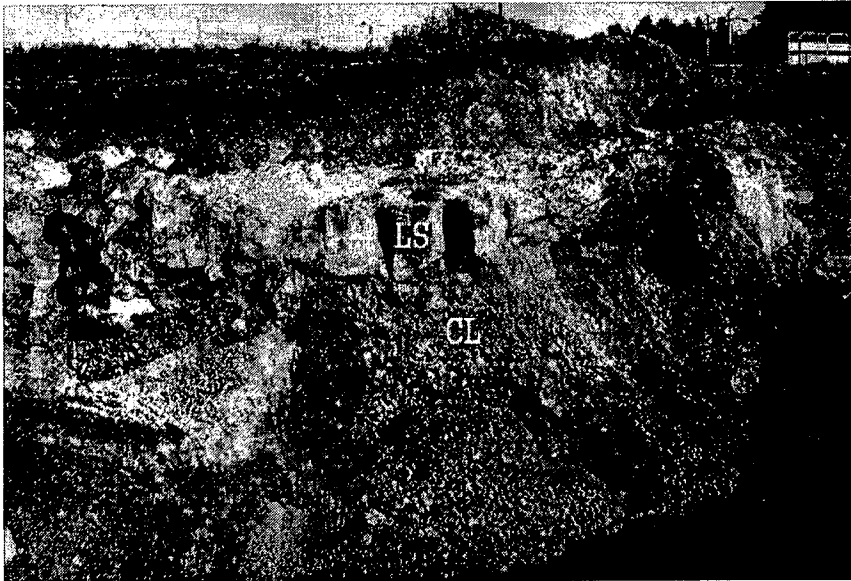


Fig. 17. Exposure of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 5. CL, Clinker layer; LS, Lava slab.

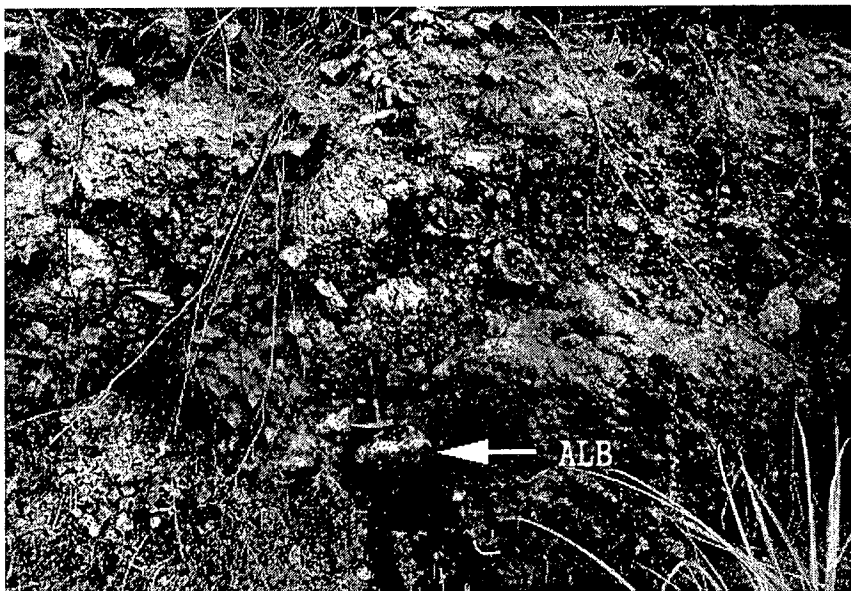


Fig. 18. Accretionary lava ball(ALB) in the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 3.

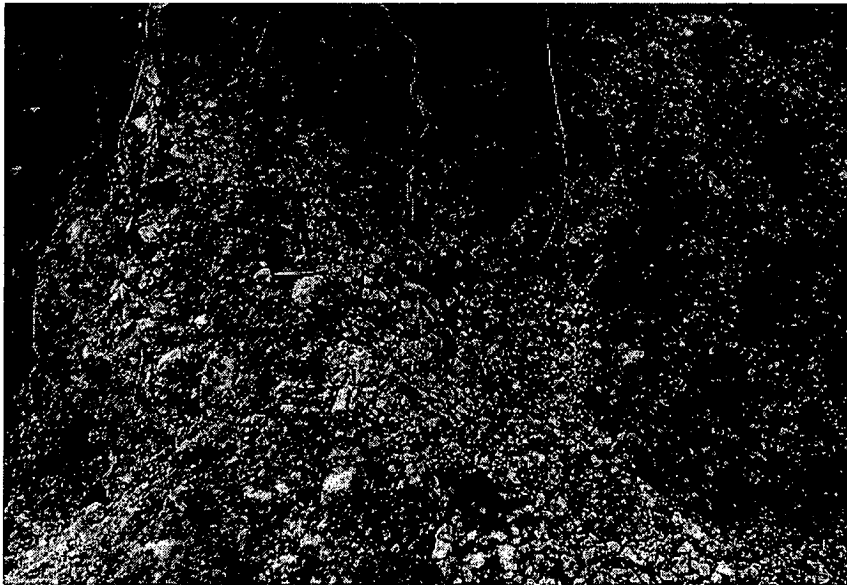


Fig. 19. Distal part of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 2.



Fig. 20. Distal part NW 1 of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 1.

라, 각력 사이에 포함되는 2mm 이하 크기의 미세암편(fine materials)의 양도 증가하고 있어 하와이에서 Rowland and Walker(1987)에 의해 보고된 아아 용암류의 거리에 따른 형태적 변화와 비교적 일치하고 있다.

3-4-3. 조천-함덕 꽃자왈지대

3-4-3-1. 조천-대흘 꽃자왈용암류

이 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 주로 암회색을 띠는 다공질의 FAOB이다. 이 암석은 육안 관찰에 의하면, 1.0~5.0mm 크기의 장석 반정이 0.2~1.5%정도 산출되고 0.1~2.0mm의 크기의 감람석 반정이 1.0%, 1~5mm 크기의 휘석 반정도 1~3% 함유되어 있다.

이 꽃자왈용암류의 주요 지점별 특징을 파악하기 위하여 수직단면이 노출된 7개 지점을 조사한 결과(Fig. 21), 해발 330m 지점(JD 8)에 위치한 지점에서는 지표 하 1m 구간은 중암괴로 이루어진 클린커층으로 형성되어 있으며, 그 하부 약 0.5m 구간은 수직절리가 발달한 다공질의 용암으로 이루어져 있고, 용암의 하부에는 중암괴 크기의 각력으로 이루어진 클린커층이 0.5m 두께로 분포하고 있으며, 대흘초등학교 옆(JD 3)에는 클린커층이 2m의 두께로 분포하고 있다. 동부산업도로의 JD 5지점(Fig. 22)과 조천리(JD 1)에서는 중앙부의 용암은 나타나지 않고 중·소암괴 크기의 각력으로 이루어진 특징을 나타내는데, JD 5 지점의 경우에는 용암판이 각력사이에 포함되어 있는 모습(Fig. 23)도 관찰된다.

이 꽃자왈용암류의 경우도 전술한 월림-신평 꽃자왈용암류에서 처럼 각력의 크기는 해안쪽으로 내려오면서 감소하는 반면, 암괴사이에 포함된 세립질 물질의 함량은 증가하는 경향을 보여주고 있어 Rowland and Walker(1987)가 제시

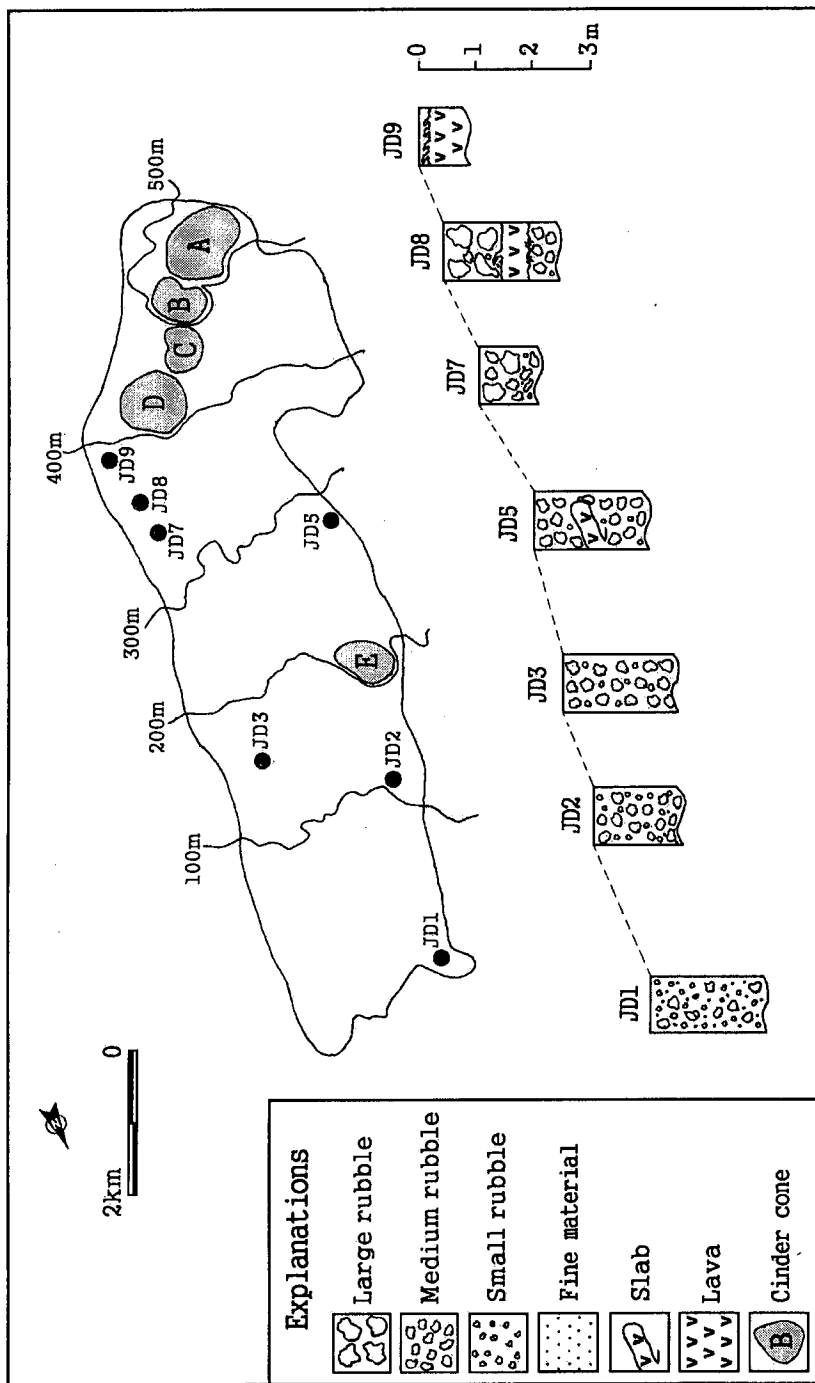


Fig. 21. Columnar sections of Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow. A: Minorem, B: Cheungigriorem, C: Jogeungigriorem, D: Baneulorem



Fig. 22. Lava slab in the Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow at JD 5.

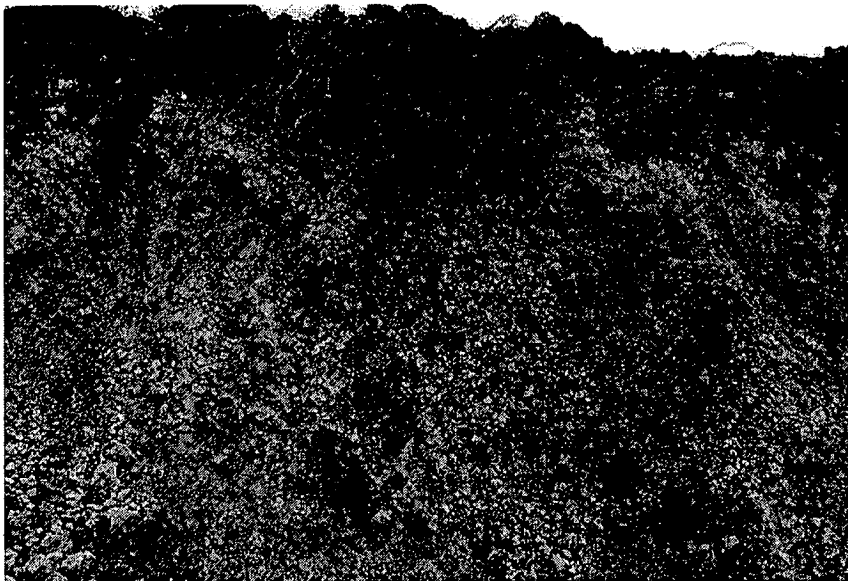


Fig. 23. Typical distal type of the Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow at JD 3.

한 아아 용암류의 말단부 유형에 해당될 뿐만 아니라, 꽃자왈용암류가 시작되는 부근에서만 중앙부에 용암이 존재하고 거리가 멀어질 수록 용암이 존재하지 않는 특징을 보여주고 있어 파호이호이 용암류에서 아아 용암류로 전이하는 과정을 통해 형성된 것으로 판단된다. 한 아아 용암류의 말단부 유형에 해당될 뿐만 아니라, 꽃자왈용암류가 시작되는 부근에서만 중앙부에 용암이 존재하고 거리가 멀어질 수록 용암이 존재하지 않는 특징을 보여주고 있어 파호이호이 용암류에서 아아 용암류로 전이하는 과정을 통해 형성된 것으로 판단된다.

3-4-3-2. 함덕-와산 꽃자왈용암류

함덕-와산 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 주로 암회색을 띠는 다공질의 FAOB이다. 이 암석은 육안 관찰에 의하면, 1~5mm 크기(최대 11mm)의 장석 반정이 1~2%정도 산출되고 0.2~0.5mm(최대 2.0mm) 크기의 감람석 반정이 1.0%, 2~4mm 크기의 휘석 반정도 0.5~1.5% 함유되어 있다.

주요 지점별 특징을 파악하기 위하여 수직단면이 노출된 7개 지점에 대하여 조사를 실시한 결과(Fig. 24), 해발 420~300m 사이에 위치한 지점(HW 12와 HW 11)에서는 지표 하 1~3m 구간은 중암괴의 클린커층으로 이루어져 있으며, 그 하부 약 1m 구간은 수직절리가 발달한 다공질의 용암으로 이루어져 있다. 해발 300m 이하에 위치한 지점(HW 7, HW 6, HW 5, HW 2와 HW 1)에서는 중앙부의 용암은 나타나지 않고 암괴의 크기가 중·소암괴로 작아질 뿐만 아니라, 상부 클린커의 두께는 증가하고 있다. 조천가압장(HW 5)에는 전술한 침착 증대성 용암구(Accretionary lava ball; Fig. 25)와 블록성 아아(Fig. 26)가 분포하고 있을 뿐만 아니라, 용암관 사이에서 갈린 암괴의 모습(Fig. 27)도 잘

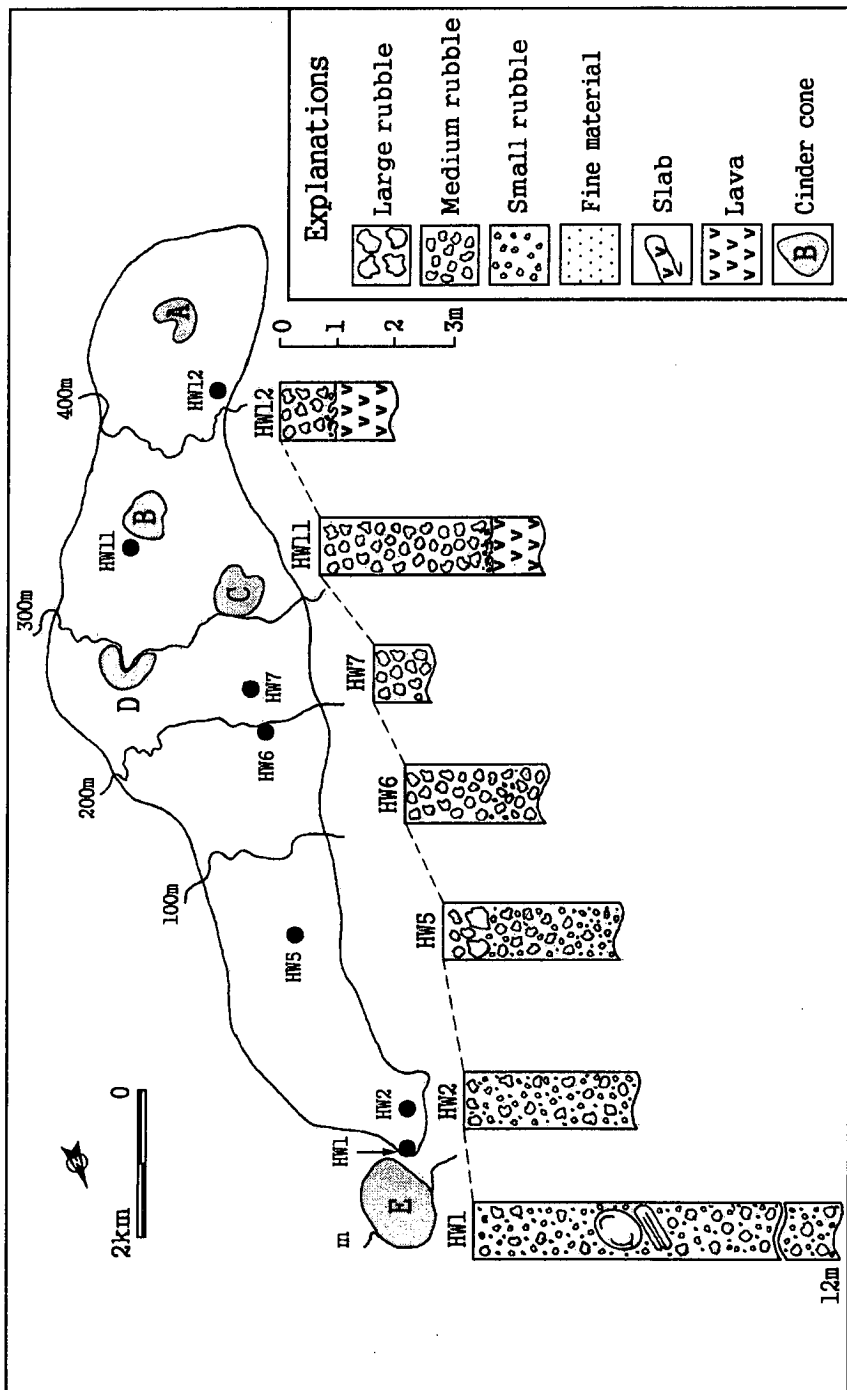


Fig. 24. Columnar sections of Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow. A: Neubseori, B: Coeoriore, C: Saemioire, D: Dangorem, E: Seoubong



Fig. 25. Accretionary lava ball(ALB) in Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.



Fig. 26. Blocky lava(BL) in Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.

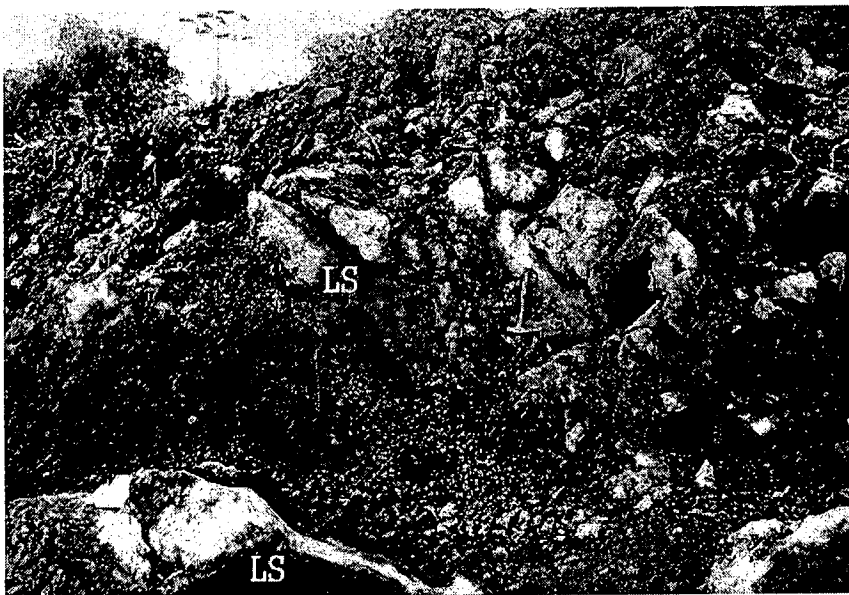


Fig. 27. Lava slabs(LS) in Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.



Fig. 28. Distal part of the Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 1. LS, lava slab.

관찰할 수 있다. 이 꽃자왈용암류의 말단부인 함덕해수욕장 입구(HW 1)에서는 본 연구대상 꽃자왈 중에서 가장 두께가 두꺼운 12m를 나타내고 있을 뿐만 아니라, 암괴 사이에는 2mm 이하 크기의 미세암편을 다량 함유하고 있어 아아 용암류의 말단부 유형에 해당된다. 함덕해수욕장 입구의 노두(HW 1)에는 3m 길이의 투쓰페이스트 용암 슬랩(Toothpaste lava slab)이 존재하고 있다(Fig. 28).

이상과 같은 결과를 종합하면, 이 꽃자왈용암류의 경우도 전술한 월림-신평 꽃자왈용암류의 경우처럼 각력의 크기는 해안쪽으로 내려오면서 감소하는 반면, 암괴사이에 포함된 세립질 물질의 함량은 증가하는 경향을 보여주고 있어, 하와이에서 Rowland and Walker (1987)가 제시한 말단부 유형에 포함될 뿐만 아니라, 꽃자왈용암류가 시작되는 부근에서만 중앙부에 용암이 존재하고 거리가 멀어질 수록 용암이 존재하지 않는 특징을 보여주고 있어 파호이호이에서 아아로 전이하는 과정을 통해서 형성된 것으로 판단된다.

3-4-3-3. 선홀 꽃자왈용암류

선홀 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 주로 암회색을 띠는 다공질의 FAOB이다. 이 암석은 육안 관찰에 의하면, 미립질의 장석 반정은 드물게 산출되고, 0.5~2.0mm 크기의 감람석 반정이 1.0%, 0.2~2mm(최대 4mm) 크기의 휘석 반정이 1% 정도 함유되어 있다.

이 꽃자왈용암류의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 거문오름 주변에서부터 해발 250m 까지는 평균 3m의 두께를 보이나 말단부인 해발 90m 지역에서는 두께가 1~2m로 다소 얇아지는 경향을 보이고 있다(Fig. 29).

주요 지점별 특징을 살펴보면, 이 꽃자왈용암류가 시작되는 거문오름에서부

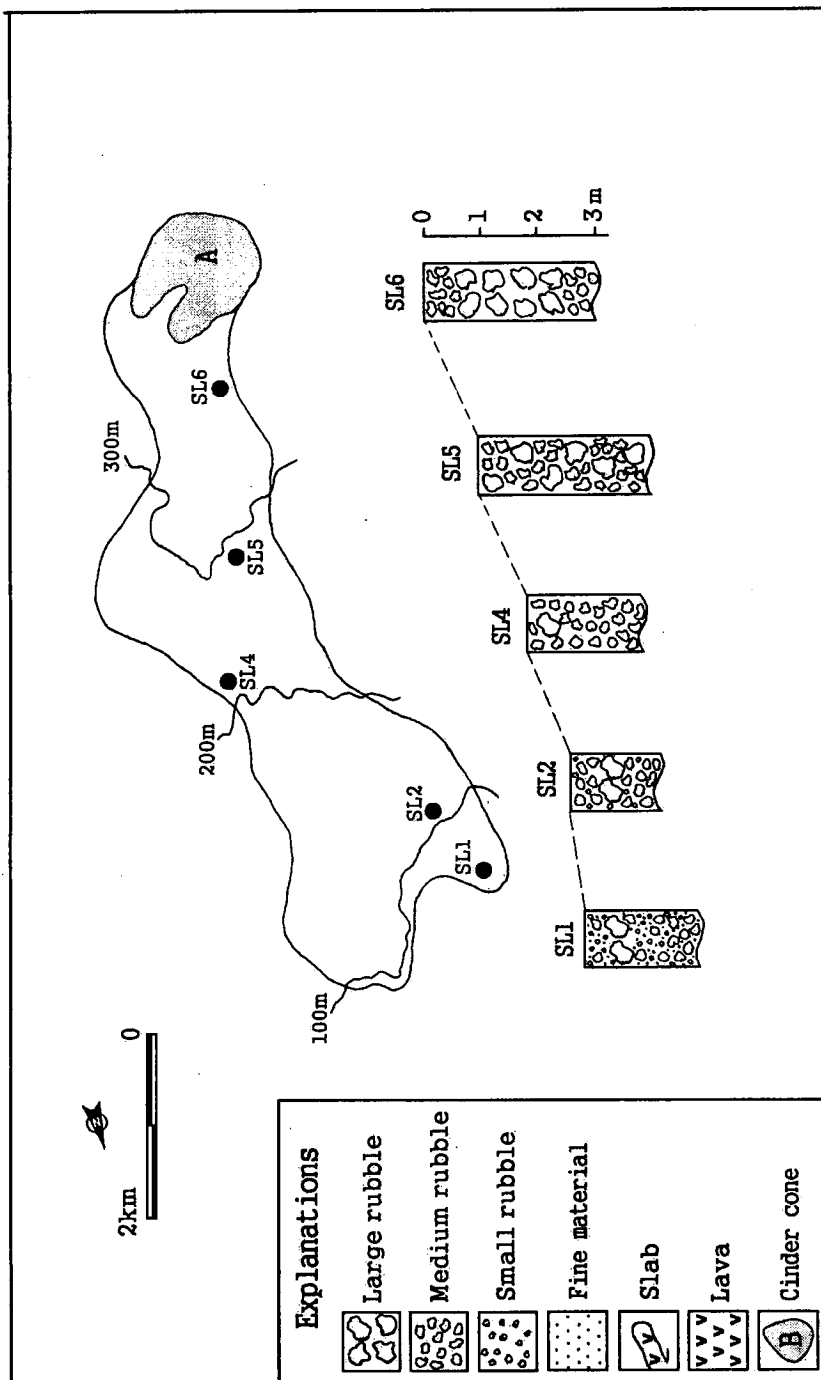


Fig. 29. Columnar sections of Seonheul Gotchawal Lava Flow. A: Geomunoreum

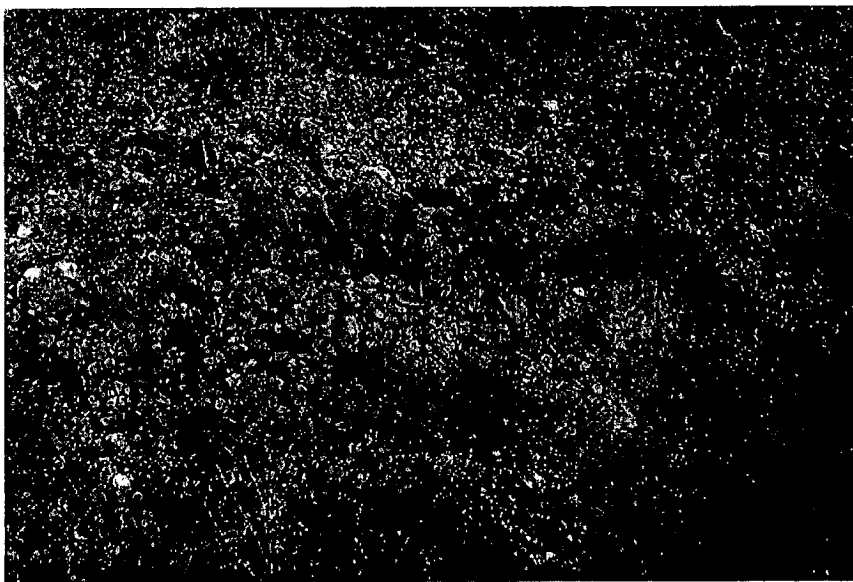


Fig. 30. Exposure of the Seonheul Gotchawal Lava Flow at SL 6.

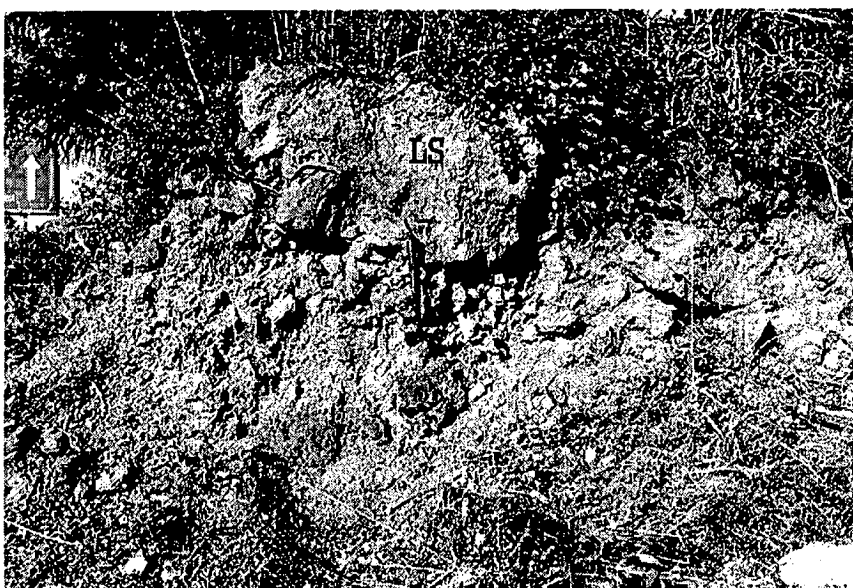


Fig. 31. Lava slab(LS) in the Seonheul Gotchawal Lava Flow at SL 2.

터 약 1.0km에 위치한 SL 6 지점에 노출된 수직단면에서는 상·하부에 중암괴가 엉성하게 모여 있으며, 그 사이에 용암판이 협재되어 있다(Fig. 30). 또한, 선홀에서 덕천방향 삼거리 도로변(SL 2)과 선홀초등학교 노두(SL 1)에는 최상부에 1m 이상되는 대암괴가 분포하고 있으며 대암괴 하부에는 아각형 내지 아원형인 40~250mm(평균100mm)의 중·소암괴들이 분포하고 있다(Fig. 31).

이상 서술한 선홀 꽃자왈용암류의 수직단면에서 나타난 특징을 요약하면, 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터 해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 각력의 크기가 점차 감소할 뿐만아니라 두께가 얇아지는 경향을 보여주고 있다.

3-4-4. 구좌-성산 꽃자왈지대

3-4-4-1. 종달-한동 꽃자왈용암류

종달-한동 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 주로 암회색을 띠는 다공질의 AOB이다. 육안으로 관찰할 수 있는 휘석 반정(0.1~1mm)이 1.0% 정도 산출되며, 0.2~0.5mm의 크기를 갖는 감람석 반정도 2.0~3.0% 산출된다.

이 꽃자왈용암류의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 해발 100m 지점에 위치한 둔지봉까지는 두께가 1.0~1.5m를 나타내고, 해발 100~30m 사이에는 2m로서 거리에 따른 현저한 변화는 보이지 않고 있다. 특히, 해발 30m이하 지역인 경우, 중암괴와 소암괴 사이에 2mm 이하 크기의 미세암편(fine materials)을 다량 함유하며 무질서하게 분포하는 것으로 보아 아아 용암류의 말단부 유형(distal part)에 해당하는 것으로 해석된다(Fig. 32).

주요 지점별 특징을 살펴보면, 이 꽃자왈용암류가 시작되는 동거문오름에서 약 0.9km 떨어진 지점에 위치한 JH 8 지점의 수직단면(두께 2.5m)에서는 지표

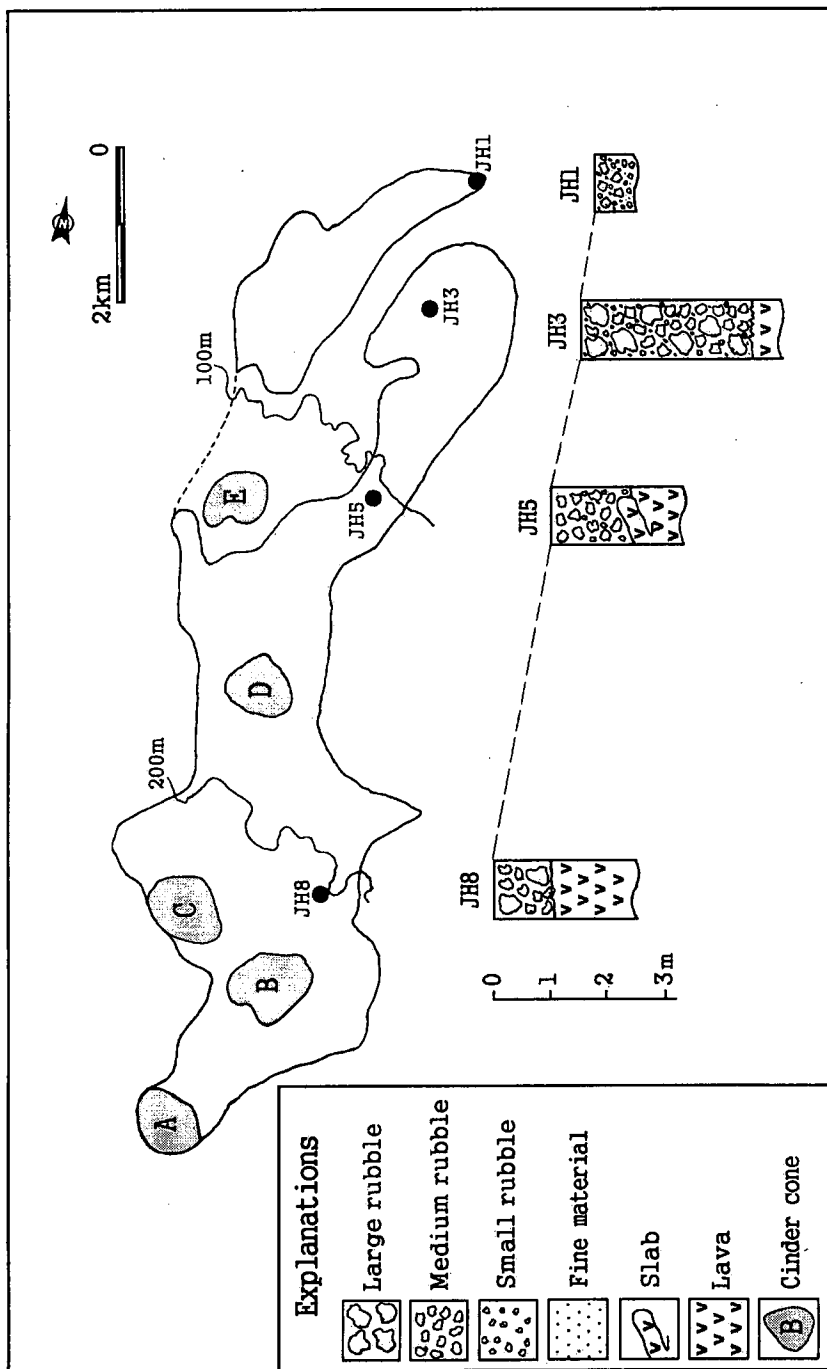


Fig. 32. Columnar sections of Jongdal-Handong Gotchaval Lava Flow. A: Donggeomunoream, B: Nopeunoream, C: Sonjabong, D: Dotoream



Fig. 33. Exposure of the Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow at JH 8.



Fig. 34. Vertically stacked rubbles of the Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow at JH 3.

로부터 약 0.5m 까지는 아각형 내지 아원형의 대·중암괴가 용암판과 함께 분포하고 있으며(Fig. 33), 그 하부는 약 0.5m 크기의 중암괴로 이루어져 있다. 둔지봉 동쪽(JH 5)의 수직단면에서는 상부에 대암괴가 분포하지만 하부에는 중·소암괴가 2mm 크기 이하의 미세암편(fine materials)을 함유한 상태로 분포하고 있어 거리에 따른 각력의 크기 변화를 보여주고 있다(Fig. 32). 또한, 메인동산(JH 3)에는 아아용암류가 유동할 때 전면부에 분포하고 있는 거대한 블록이 제방의 역할을 하여 용암류의 흐름을 방해하기 때문에 암괴들이 수직상으로 배열되어 있기도 하다(Fig. 34).

3-4-4-2. 세화 꽃자왈용암류

세화 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석의 색은 주로 회색을 띤 다공질의 AFOB(Acicular Feldspar Olivine Basalt)로 구성되어 있다. 육안 관찰에 의하면 1~2.0mm 크기의 침상장석 반정이 2~3 산출되며, 1mm 크기의 휘석반정과 감람석반정(0.5~3.0%)을 함유하고 있다.

이 꽃자왈용암류의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 월랑봉 북쪽 해발 50m 지점까지는 1~2m의 두께를 나타내나, 해발 50m 이하 지역에서는 2~3m로 두꺼워지는 양상을 나타내고 있다(Fig. 35).

주요 지점별 특징을 살펴보면, 월랑봉에서 0.9km 떨어진 SA 5 지점의 수직단면에서는 대암괴와 중암괴로 이루어진 클린커층이 지표하 1m 두께로 분포하고, 그 하부는 약 1m 두께의 다공질 용암이 존재하며, 하부 클린커층은 거의 발달하지 않은 상태를 보여주고 있다. 그리고 월랑봉에서부터 약 3.2km 떨어진 지점에 위치한 SA 3에서는 중·소암괴 크기의 각력층이 2.5m 이상의 두께로 분포

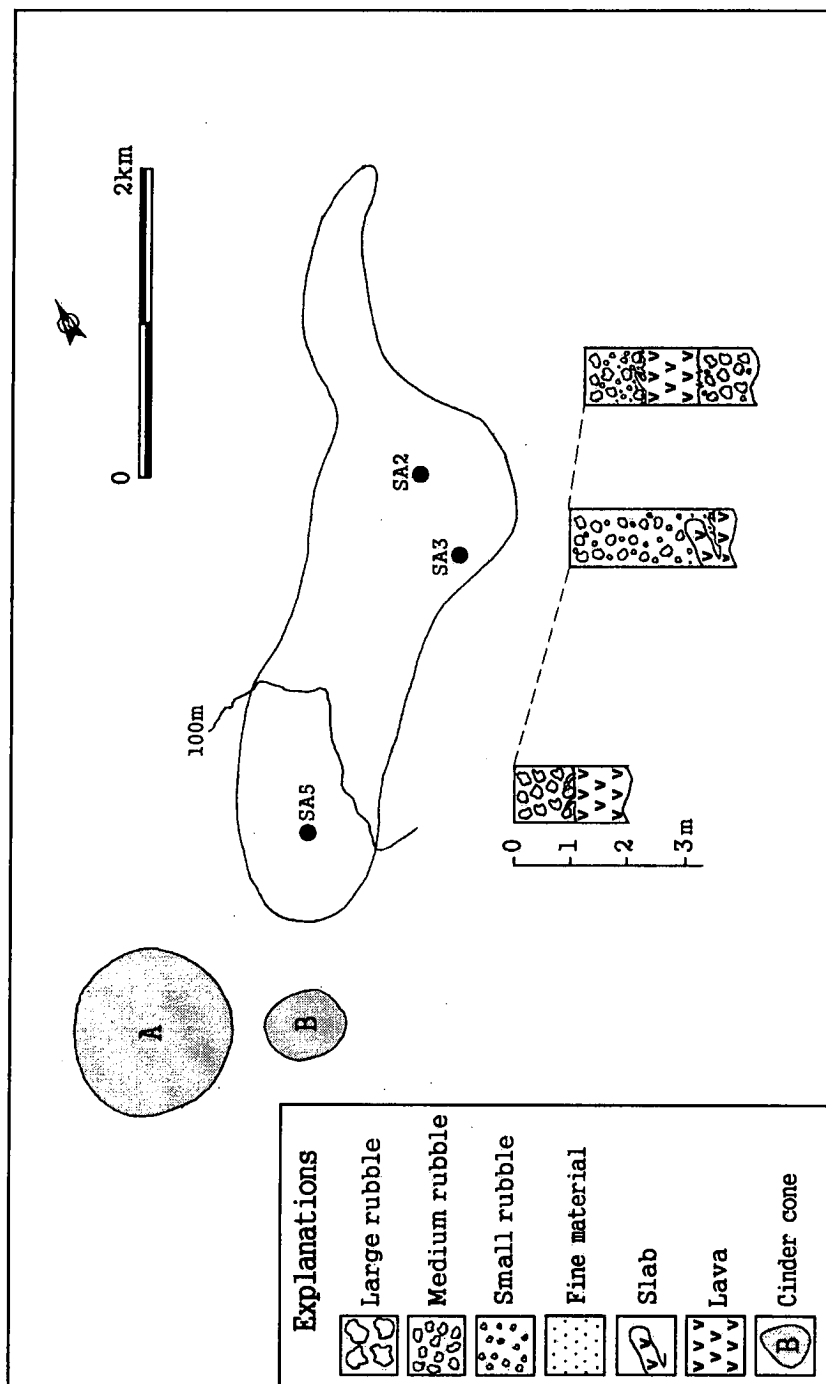


Fig. 35. Columnar sections of Seoha Gotchawal Lava Flow. A: Weolrangbong, B: Jageunweolrangbong.



Fig. 36. Exposure of the Sehwa Gotchawal Lava Flow at SA 3.
MR, medium rubble; SR, small rubble.

하고 있다(Fig. 36 and 37).

이상과 같이 세화 꽃자왈용암류는 꽃자왈용암류가 시작되는 시점에서부터 해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 각력의 크기가 점차 감소할 뿐만 아니라, 클린 커층의 두께가 중앙부에서 두꺼워졌다가 말단부에서 얇아지는 경향을 보여주고 있다. 또한 꽃자왈용암류가 시작되는 월랑봉 인근에는 하부에 비교적 치밀한 용암이 포함되어 있지만 해안쪽으로 향하면서 용암은 없어지거나 용암판으로 바뀌는 양상을 보여주고 있어, 이 꽃자왈은 파호이호이 용암류에서 아아 용암류로 전이하는 과정에서 형성된 것으로 해석된다.

3-4-4-3. 수산 꽃자왈용암류

수산 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 회색에서 암회색을 띤 AOB로 구성되어 있다. 육안 관찰에 의하면, 2mm(최대 2.5mm) 크기의 휘석 반정이 매우 드물게 산출되며, 감람석 반정은 1% 정도이다. 전반적으로 이 암석은 다공질이며, 궁대악 인근 지역에서는 용암의 표면에서 새끼줄 구조도 관찰된다.

이 꽃자왈용암류는 다른 꽃자왈용암류들과는 달리, 거리에 따른 두께의 변화를 나타내지 않고 있으나 각력의 크기와 내부조직에서는 비교적 차이를 나타내고 있다. 즉, 궁대악 동쪽 해발 100m 지점에서는 기질이 없이 각이 지거나 조금 각이 진 대암괴와 중암괴가 엉성하게 모여 있으며, 해발 100m 이하 지역에서는 중·소암괴가 2mm 이하 크기의 미세암편(fine materials)을 함유한 상태로 분포하고 있다(Fig. 37).

궁대악에서 약 200m 떨어진 지점(SU 6)에서는 파호이호이에서 아아로 전이되는 지점에서 산출되는 투쓰페이스트 용암(Toothpaste lava; Bullard, 1947; Einarsson, 1949; Macdonald, 1967; Rowland and Walker, 1987)이 관찰된다(Fig. 38). 이 지점에서 수직적인 단면이 잘 노출되지 않아 전체적인 두께는 알 수 없으나 지표면에 나타난 전이대의 폭은 1.2m 이고 두 갈래로 분기되어 있다. 두 갈래로 분기된 지점에는 마치, 치약을 짰 듯한 형태로 40~50cm 크기의 슬랩들이 길게 늘어서 분포하고 있으며, 분기된 중간부와 바깥쪽에는 각형 내지 아각형의 중암괴들이 분포하고 있다.

투쓰페이스트 용암(Toothpaste lava)은 하와이를 비롯한 세계 도처의 현무암질 용암류 분포지역에서 보고되고 있는데, Forster and Mason(1955)는 drawn-surface pahoehoe로, Peterson and Tilling(1980)은 spiny pahoehoe로 그

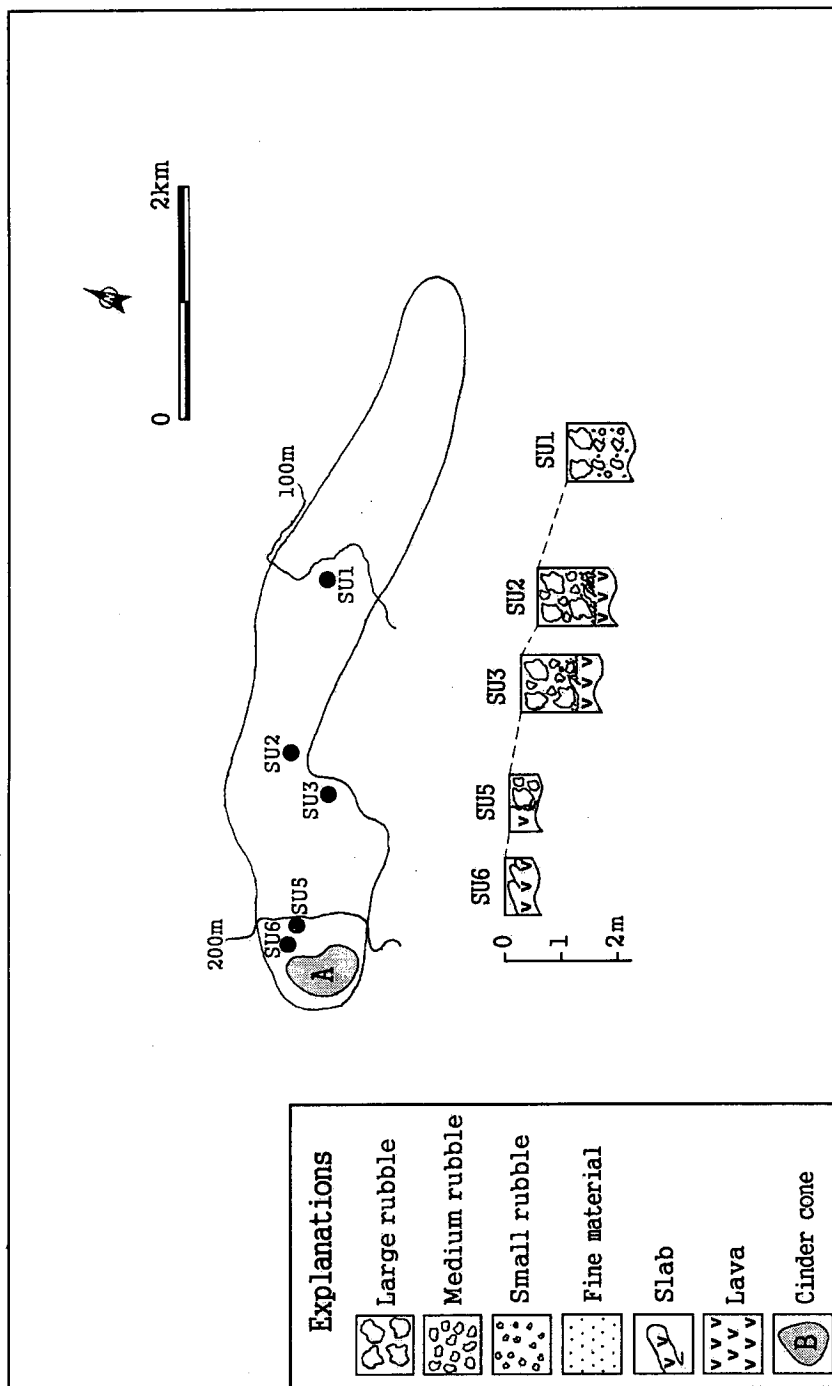


Fig. 37. Columnar sections of Susan Gotchawal Lava Flow. A: Gungdaeag.

리고 Malin(1980)은 Semi-hoe로 명명한 바 있다.

또한, SU 6 지점에서 하부로 100m 떨어진 지점(SU 5)과 600m 떨어진 지점(SU 4)에는 파호이호이 용암에서 아아 용암으로 전이된 전이시점이 존재하고 있다.

궁대악에서 1.3km 떨어진 지점의 SU 2와 SU 3의 수직단면에는 대·중암괴로 이루어진 클린커층이 지표 하 1m 까지 분포하고, 그 하부는 약 1m 두께의 다공질 용암이 존재하고 있다. 또한, 수산 꽃자왈용암류의 중간 지점에 위치한 도로변(SU 1) 터파기 공사장에서는 중앙부에 용암이 존재하지 않으며, 상부에는 500mm 크기의 대암괴가 분포하고, 하부에는 64~256mm 사이의 중암괴가 약간의 기질을 포함하여 엉성하게 모여 분포하고 있다(Fig. 39).

이상과 같이 수산 꽃자왈용암류는 다른 꽃자왈용암류와는 달리 거리에 따른 두께 변화가 뚜렷하지는 않지만 해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 각력의 크기는 점진적으로 감소하는 양상을 보이고 있다. 특히, 꽃자왈용암류가 시작되는 궁대악 부근을 비롯한 3개 지점에서는 파호이호이 용암류에서 아아 용암류로 전이되는 전이대가 분포하고 있어, 이 꽃자왈용암류는 파호이호이 용암류에서 아아 용암류로 전이하는 과정에서 형성된 것으로 해석된다.



Fig. 38. Toothpaste lava(TL) of the Susan Gotchawal Lava Flow at Su 6.

3-4-4-4. 상도-하도 꽃자왈용암류

상도-하도 꽃자왈용암류를 구성하고 있는 암석은 주로 암회색을 띤 다공질의 FAOB이다. 이 암석은 육안 관찰에 의하면, 2~3mm 크기(최대 4mm)의 장석 반정이 극소량 산출되고 0.2~0.5mm(최대 4.0mm) 크기의 감람석 반정이 3.0~5.0%, 0.5~1mm 크기의 휘석 반정이 1% 함유되어 있다.

이 꽃자왈용암류의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 용눈이오름 북쪽 해발 50m 지점까지는 1.5~2.5m의 두께를 나타내는 반면, 해발 50m 이하 지역에서는 2~3m의 두께를 보여 거리에 따른 두께 변화가 뚜렷하지는 않으나 대체로 말단부 지역이 두꺼운 편이다(Fig. 39).

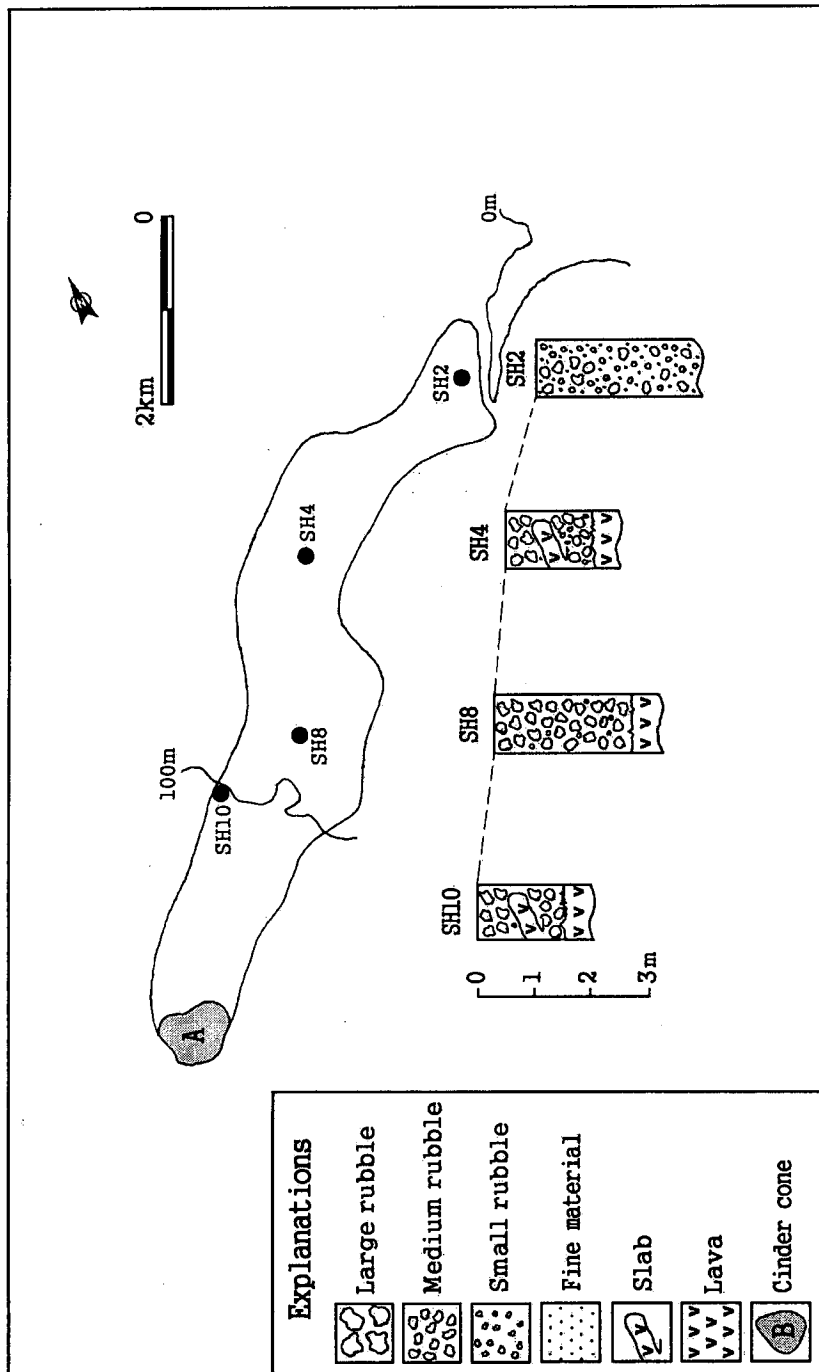


Fig. 39. Columnar sections of Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow. A: Yongnunioream.

주요 지점별 특징을 살펴보면, 용눈이 오름에서 2.4km 떨어진 SH 10 지점의 수직단면에서는 매우 각이진 대암괴로 이루어진 클린커층이 지표하 1.5m까지 분포하고, 멀세운 동산의 중간 지점인 SH 8과 말단부 지점(Fig. 42 and 43)인 SH 4에서는 1.5~2.5m 두께에 대·중·소암괴가 무질서하게 혼합된 상태로 배열되어 있다(Fig. 44). 특히, 명법사에서 동쪽으로 50m 떨어진 지점에 위치한 SH 2에는 중·소암괴 크기의 각력층이 3m의 두께로 2mm 크기 이하의 미세암편을 다량 함유한 상태로 분포하고 있다(Fig. 45).

이상과 같이 상도-하도 꽃자왈용암류는 꽃자왈용암류가 시작되는 시점에서부터 해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 말단부에서 각력층의 두께가 다소 두꺼워지는 경향은 있으나 암괴의 크기는 점차 감소하는 특징을 보여주고 있다.



Fig. 40. Lava slab(LS) in the Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow at SH 8.



Fig. 41. Exposure of the Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow at SH 8.



Fig. 42. Lava slab(LS) in the Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow at SH 4.



Fig. 43. Distal part in the Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow at SH 2.

3-5. 꽃자왈용암류의 구성 암석

본 연구대상 10개 꽃자왈용암류의 구성암석을 파악하기 위해 주성분 원소를 XRF법으로 분석하였으며, 그 결과는 Table 8에서 11과 같다. 암석의 분류 및 명명은 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 를 이용한 IUGS 분류도(Le Bas et al., 1986)에 따랐다.

구성 암석을 보면, 서부지역의 한경-안덕 꽃자왈지대의 경우 상창-화순 꽃자왈용암류는 조면현무암 및 현무암질조면암산암으로 이루어져 있는 반면, 월림-신평 꽃자왈용암류는 현무암으로 이루어져 있으며(Table 8; Fig. 44). 애월 꽃자왈지대의 남읍-원동 꽃자왈용암류는 조면현무암으로 이루어져 있다(Table 9; Fig. 45).

Table 8. Sampling number and major element abundances of the Gotchawal Lava Flows from the Hangyeong-Andeog Gotchawal Terrain(Analyzed by X-ray fluorescence method, KIGAM).

Sampling number	National grid.		Major element abundances												Rock name	
			latitude	longitude	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅		Igloss
HS1	22.89	136.80	50.41	15.79	12.1	7.36	5.26	1.98	3.61	2.30	0.15	0.68	0.26	99.90	Trachybasalt	
HS4	24.63	137.78	51.24	15.93	11.94	6.81	4.70	2.20	3.82	2.11	0.16	0.71	-0.07	99.55	Basaltic trachyandesite	
HS5	26.44	137.71	51.75	16.17	11.73	6.64	4.10	2.25	3.95	2.08	0.15	0.73	0.03	99.58	Basaltic trachyandesite	
HS8	27.34	138.23	52.05	16.30	11.57	6.43	3.85	2.33	3.92	2.02	0.15	0.74	0.29	99.65	Basaltic trachyandesite	
HS9	29.61	141.49	51.18	15.83	11.87	6.89	4.79	2.18	3.82	2.13	0.15	0.70	0.01	99.55	Basaltic trachyandesite	
WS1	36.61	128.07	47.98	14.26	12.42	8.80	8.38	1.62	2.79	2.48	0.15	0.46	0.24	99.58	Basalt	
WS4	33.08	130.02	48.39	14.02	12.14	8.61	9.02	1.59	3.00	2.23	0.15	0.42	-0.38	99.19	Basalt	
WS6	32.15	132.91	47.96	14.17	12.62	8.91	8.36	1.64	2.78	2.51	0.15	0.42	-0.39	99.13	Basalt	
WS10	31.47	136.61	48.18	14.07	12.25	8.88	8.48	1.66	3.03	2.44	0.15	0.44	-0.30	99.28	Basalt	
WS11	23.60	127.90	48.14	14.34	12.47	8.82	7.99	1.66	2.84	2.54	0.15	0.44	0.20	99.59	Basalt	
WS13	25.21	129.73	48.51	14.13	12.27	8.96	8.03	1.68	2.95	2.46	0.15	0.44	-0.22	99.36	Basalt	
WS16	27.62	133.14	48.39	14.03	12.29	8.85	8.54	1.65	2.94	2.42	0.15	0.43	-0.19	99.50	Basalt	
WS19	29.81	134.69	48.94	14.86	12.71	8.46	7.13	1.43	3.09	2.45	0.15	0.41	-0.18	99.45	Basalt	

KIGAM; Korea Institute of Geology, Mining & Materials

Table 9. Sampling number and major element abundances of the Gotchawal Lava Flow from the Aeweol Gotchawal Terrain Gotchawal Terrain(Analyzed by X-ray fluorescence method, KIGAM).

Sampling number	National grid.		Major element abundances												Rock name
	latitude	longitude	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Igloss	total	
NW1	43.61	138.92	50.71	16.29	11.13	7.69	5.11	1.86	3.63	2.06	0.14	0.58	0.53	99.73	Trachybasalt
NW3	42.02	140.74	50.73	15.78	11.37	7.68	5.71	1.93	3.59	2.16	0.15	0.55	-0.40	99.25	Trachybasalt
NW4	40.21	141.92	49.65	17.63	10.87	7.68	4.08	1.88	3.85	2.04	0.15	0.59	1.41	99.83	Trachybasalt
NW5	39.57	142.09	50.46	14.82	12.38	7.92	6.00	1.64	3.38	2.43	0.15	0.50	-0.51	99.17	Trachybasalt
NW6	38.79	143.70	50.19	15.86	11.78	7.81	5.67	1.87	3.59	2.22	0.15	0.57	-0.34	99.37	Trachybasalt

KIGAM; Korea Institute of Geology, Mining & Materials

Table 10. Sampling number and major element abundances of the Gotchawal Lava Flows from the Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain(Analyzed by X-ray fluorescence method, KIGAM).

Sampling number	national grid.		Major element abundances											Rock name	
	latitude	longitude	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Igloss		total
HW2	54.50	169.35	50.37	14.55	13.11	8.43	6.33	0.97	3.00	2.26	0.16	0.40	-0.04	99.54	Basalt
HW4	52.05	169.95	50.49	14.55	13.08	8.50	6.21	0.95	3.06	2.24	0.16	0.39	-0.17	99.46	Basalt
HW6	49.35	169.57	50.02	15.21	12.92	8.26	5.79	1.21	3.33	2.34	0.16	0.46	-0.32	99.38	Basalt
HW12	45.07	168.57	50.12	15.07	13.07	8.18	5.77	1.23	3.30	2.35	0.16	0.47	-0.44	99.28	Basalt
JD1	53.52	166.92	49.86	14.69	13.33	8.27	6.20	1.07	3.05	2.39	0.16	0.44	0.22	99.68	Basalt
JD2	51.05	166.53	49.76	15.67	12.77	7.93	5.19	1.30	3.36	2.32	0.16	0.49	0.74	99.69	Basalt
JD3	50.26	168.09	49.77	14.73	13.26	8.5	6.37	0.91	3.02	2.30	0.16	0.42	0.13	99.57	Basalt
JD5	47.61	166.00	49.99	14.71	13.23	8.65	6.23	0.80	2.97	2.27	0.16	0.38	0.23	99.62	Basalt
JD8	45.90	168.49	50.37	15.14	12.86	8.09	5.61	1.35	3.38	2.35	0.16	0.48	-0.51	99.28	Basalt
SL4	49.50	174.65	47.27	14.36	12.88	8.64	8.21	1.58	2.78	2.60	0.16	0.51	0.62	99.61	Basalt
SL6	46.75	173.92	47.64	13.73	12.76	8.71	8.5	1.75	2.88	2.55	0.16	0.58	0.28	99.54	Basalt

KIGAM; Korea Institute of Geology, Mining & Materials

Table 11. Sampling number and major element abundances of the Gotchawal Lava Flows from the Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain(Analyzed by X-ray fluorescence method, KIGAM).

Sampling number	National grid.		Major element abundances												Rock name
			latitude	longitude	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	
JH2	53.77	182.97	49.52	14.93	11.48	8.20	6.68	1.67	3.43	2.46	0.15	0.55	-0.24	98.83	Trachybasalt
JH3	53.20	183.13	50.01	14.59	12.10	8.09	6.50	1.84	3.35	2.40	0.15	0.52	-0.70	98.85	Trachybasalt
JH6	49.63	180.89	49.20	14.60	11.59	8.16	6.94	1.70	3.53	2.49	0.16	0.57	0.33	99.27	Trachybasalt
JH8	45.91	182.39	49.60	15.76	11.87	7.91	5.98	1.83	3.41	2.28	0.15	0.55	0.26	99.60	Trachybasalt
SA2	50.51	186.02	49.80	13.86	12.21	8.50	8.12	1.42	2.93	2.24	0.15	0.40	-0.63	99.00	Basalt
SA5	48.66	184.62	48.80	13.82	12.48	8.66	8.71	1.37	2.93	2.23	0.15	0.39	-0.27	99.27	Basalt
SH4	50.01	187.34	49.97	15.77	11.91	7.86	5.87	1.85	3.37	2.26	0.15	0.54	0.11	99.66	Trachybasalt
SH5	48.44	186.07	50.13	15.35	11.14	7.75	6.10	1.88	3.71	2.35	0.15	0.59	-0.33	98.82	Trachybasalt
SH10	48.10	185.56	49.32	15.91	11.89	7.89	5.82	1.89	3.42	2.34	0.15	0.55	0.69	99.87	Trachybasalt
SU1	44.46	186.18	48.67	14.84	12.25	8.63	7.37	1.63	3.07	2.42	0.15	0.52	-0.05	99.50	Basalt
SU5	43.66	183.32	49.73	14.88	12.19	8.18	6.87	1.68	3.15	2.30	0.15	0.53	-0.08	99.58	Basalt

KIGAM; Korea Institute of Geology, Mining & Materials

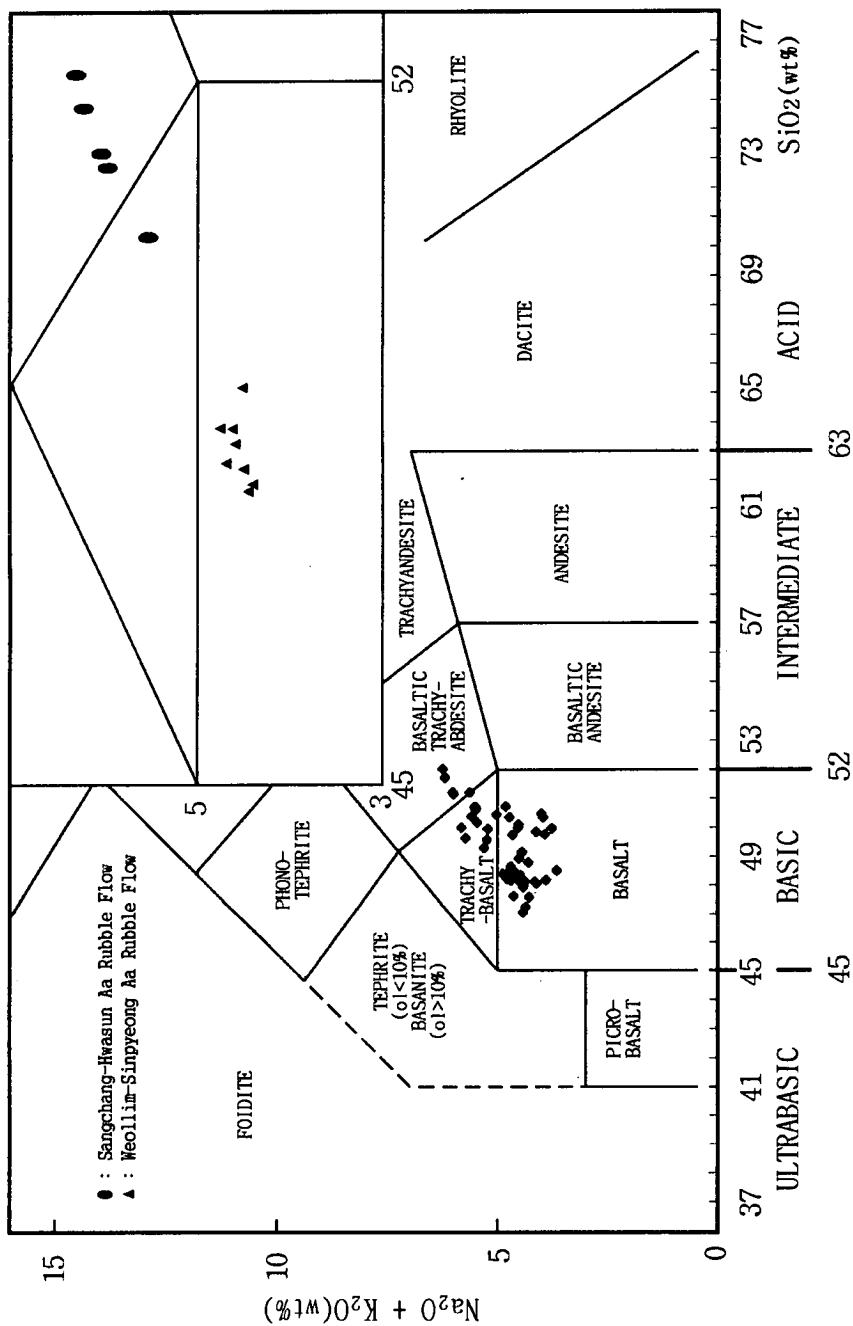


Fig. 44. Na₂O+K₂O(wt%) versus SiO₂ plot of the volcanic rocks from the Gotchawal Lava Flows of Hangeong-Andeog Gotchawal Terrain in Cheju Island. Solid lines are for classification of volcanic rocks (Le Bas et al., 1986).

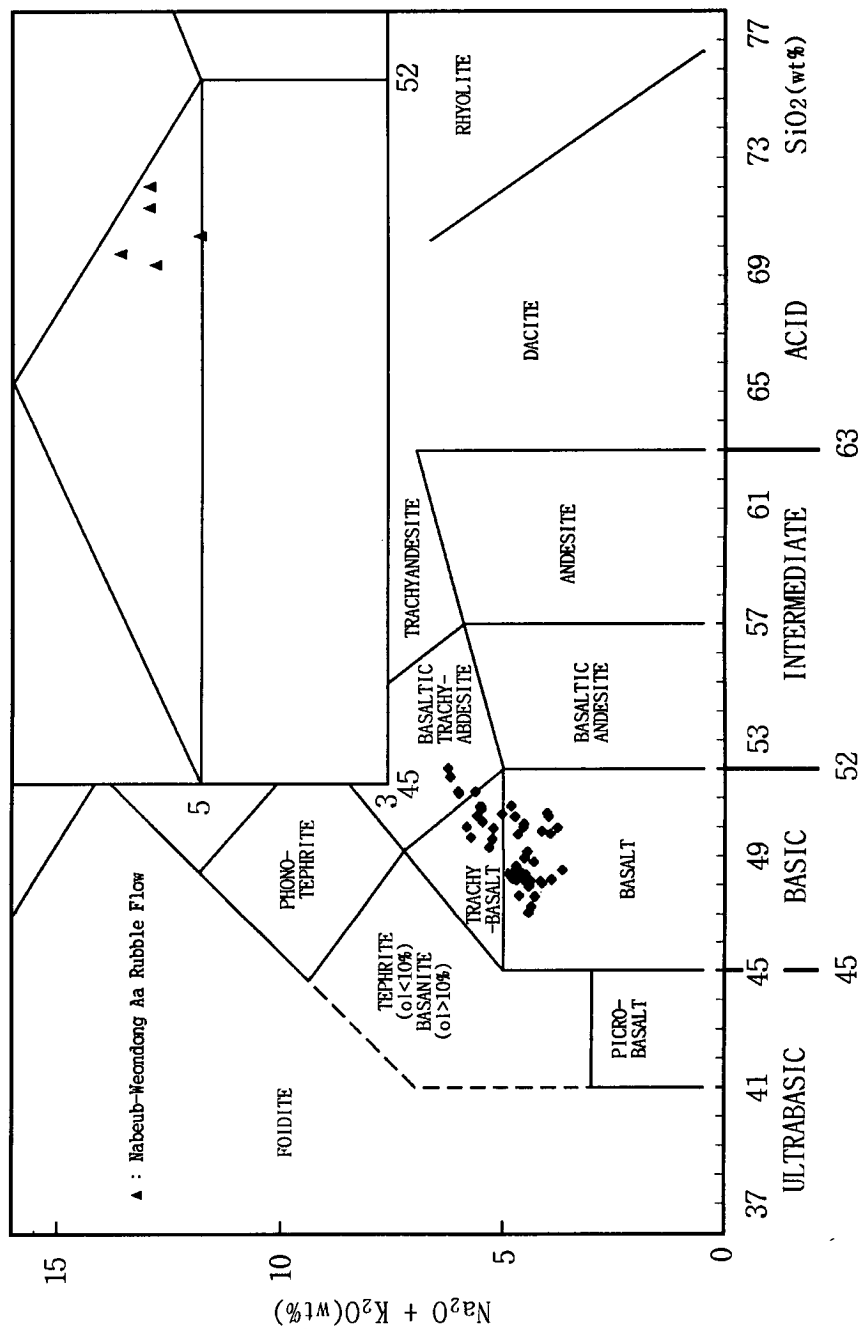


Fig. 45. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} (\text{wt}\%)$ versus SiO_2 plot of the volcanic rocks from the Gotchawal Lava Flows of Aewoul Gotchawal Terrain in Cheju Island. Solid lines are for classification of volcanic rocks (Le Bas et al., 1986).

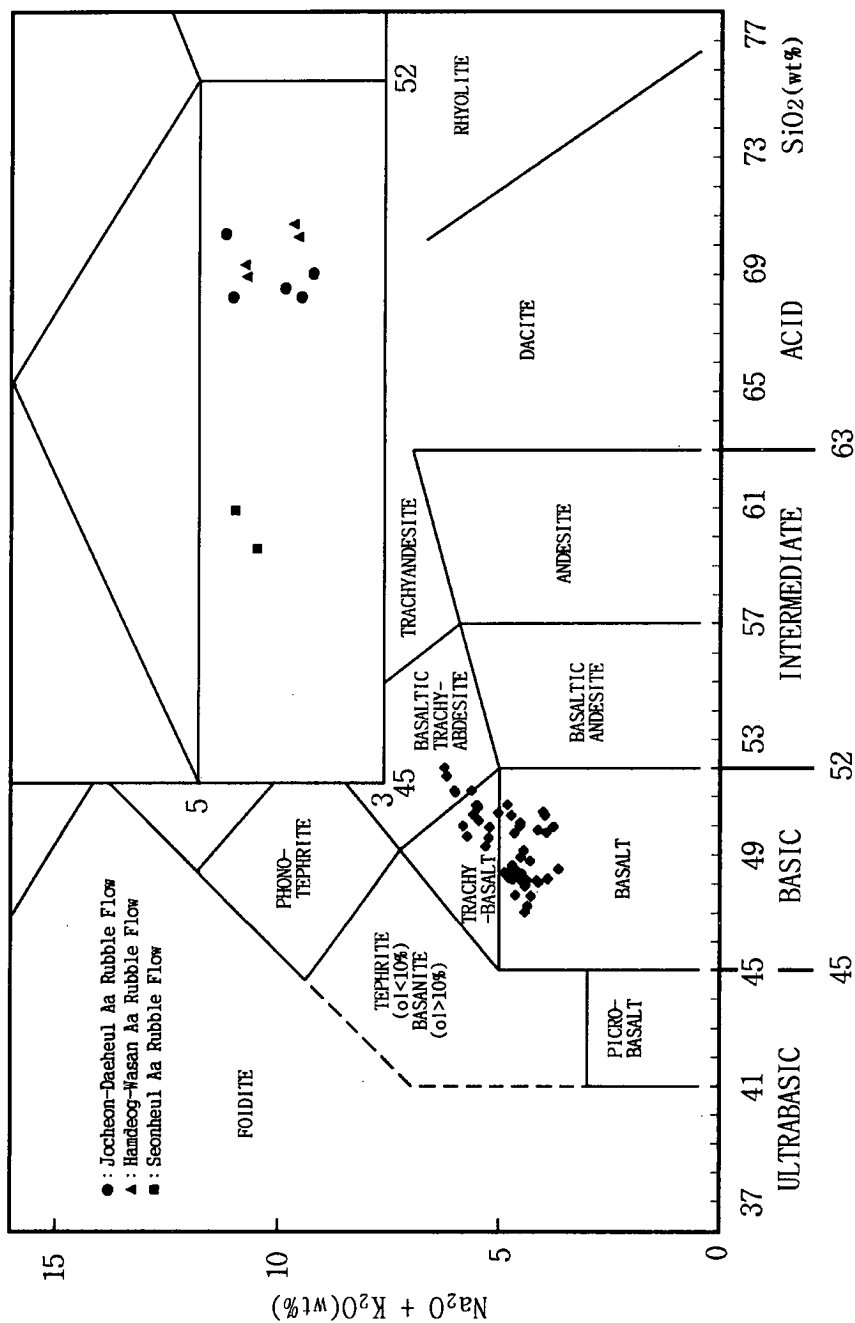


Fig. 46. Na₂O+K₂O(wt%) versus SiO₂ plot of the volcanic rocks from the Gotchawal Lava Flows of Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain in Cheju Island. Solid lines are for classification of volcanic rocks (Le Bas et al., 1986).

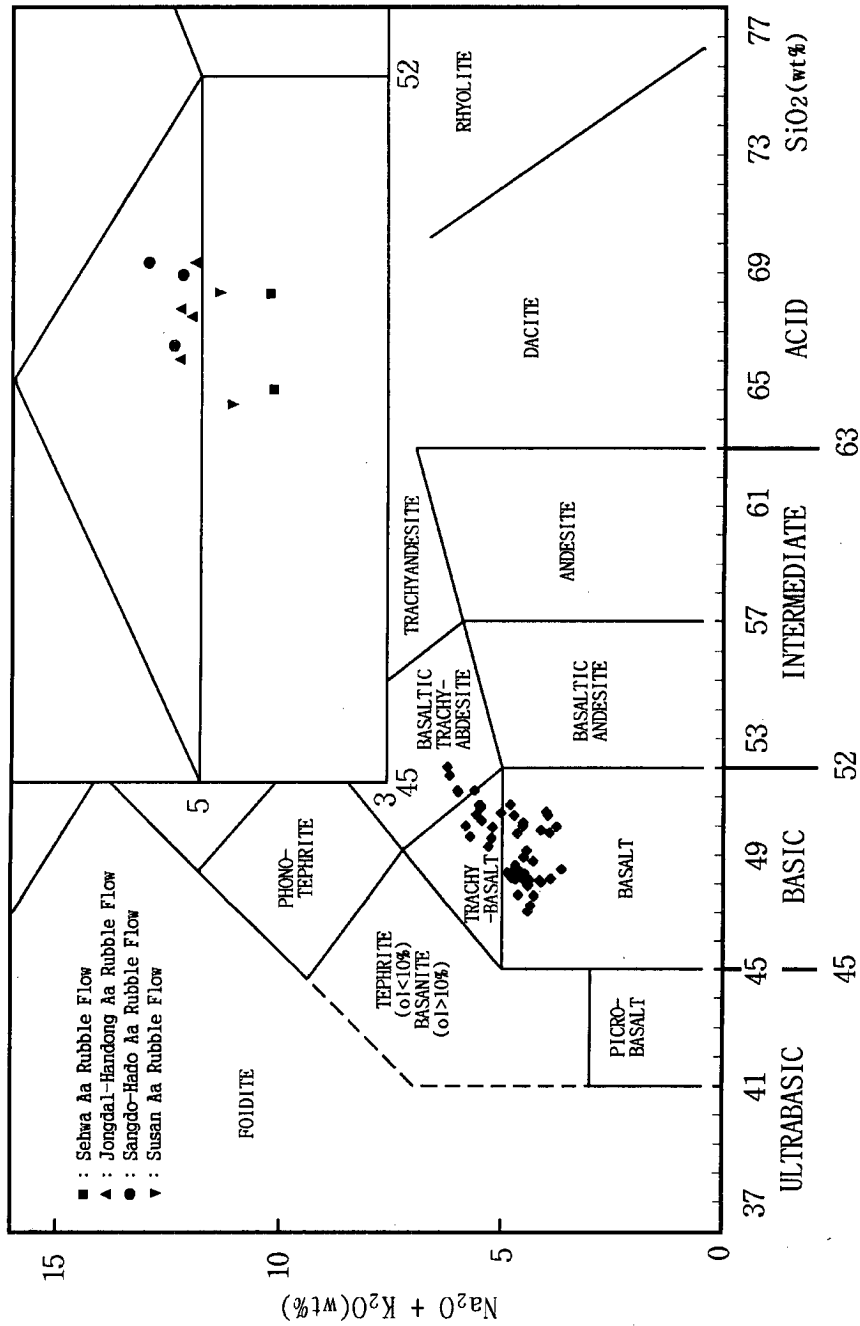


Fig. 47. Na₂O+K₂O(wt%) versus SiO₂ plot of the volcanic rocks from the Gotchawal Lava Flows of Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain in Cheju Island. Solid lines are for classification of volcanic rocks (Le Bas et al., 1986).

또한, 동부지역의 조천-함덕 꽃자왈지대의 경우 조천-대흘 꽃자왈용암류, 함덕-와산 꽃자왈용암류 및 선흘 꽃자왈용암류는 모두 현무암으로 이루어져 있으며(Table 10; Fig. 46), 구좌-성산 꽃자왈지대의 종달-한동 꽃자왈용암류와 상도-하도 꽃자왈용암류는 조면현무암으로 이루어져 있는 반면, 세화 꽃자왈용암류와 수산 꽃자왈용암류는 현무암으로 이루어져 있다(Table 11; Fig. 47).

3-6. 꽃자왈용암류 조직의 유형과 분포

3-6-1. 꽃자왈용암류의 조직의 분류

Lipman and Banks(1987)은 하와이에서 형성되는 아아용암류를 관찰하고 다음과 같이 조직에 따라 4가지의 아아용암류로 분류하였다.

① 판상 아아용암 (slabby aa lava)

파호이호이 용암의 각(殼, crust)이 용암이 흐르는 힘을 이겨내지 못하고 붕괴되어 판상으로 섞여 있는 아아용암이다. 분화구에 가장 가까운 곳에서 형성되는데, 분화구로부터 3~5km 되는 곳에 형성되는 것이 관찰되었다. 본 용암류의 조직의 특징은 용암판만 용암 속에 들어 있는 것이다.

② 스코리아성 아아용암 (scoriaceous aa lava)

판상 용암이 형성되는 곳보다 하류로 내려옴에 따라 용암의 밀도와 점성이 약간 높아지는데, 그 곳에서는 파호이호이 용암의 각의 표면은 매끄럽지가 못하고 스코리아성 응괴(凝塊)로 구성되게 된다. 이러한 용암을 스코리아성 아아용암이라 한다. 응괴들은 보다 더 유동적인 백열(白熱)의 파호이호이 용암의 특징을 갖는 유체와 분리되어 있다.

스코리아성 아아용암이 용암유로부터 천천히 넘쳐흐르거나 터져나와 분속

(分速) 1~2m의 속도로 흐르다가 냉각되면, 응괴상 조직(clotted texture)을 유지한다. 암회색의 매끄럽고 덜 다공질인 용암 속에 적갈색으로 산화된 직경 5~30cm의 스코리아성 암괴들이 거품같이 응고되어 있다.

용암유로의 제방이 터진 곳으로 급격히 흘러나오는 층상 용암류(sheet-flow)와 같이 빠른 유속으로 흐르는 경우에는 용암류의 표면이 전부 흘러진 스코리아성 암괴로 구성되며 내부의 치밀한 용암을 전부 덮게 된다.

이러한 용암류는 스코리아성 암괴들의 깔쭉깔쭉한 표면 때문에 때때로 침상 아아용암(spiny aa)이라고 불리기도 하였는데, 분화구로부터 5~12km 되는 곳에 형성되는 것이 관찰되었다. 본 용암류의 조직의 특징은 암회색의 매끄럽고 덜 다공질인 용암 속에 직경 5~30cm의 암괴(응괴)들이 섞여 있는 응괴상 조직(clotted texture)을 유지하고 암괴들의 표면이 깔쭉깔쭉(작은 침과 같은 돌기물이 있다는 뜻임)하다.

③ 클링커성 아아용암

분화구로부터 비교적 멀리 떨어진 곳(12~15km)에 형성되었는데, 유로를 흐르는 용암류의 표면이 비교적 치밀한 용암의 응괴로 대부분 구성되어 있다. 응괴들은 보다 유동적인 유로 속의 용암의 상위로 올라올 때 서로 부딪쳐 갈아진다. 이러한 용암류가 유로 밖으로 터져 나오거나 넘쳐 나오면, 암회색의 클링커성 아아용암을 형성하는데, 이들은 스코리아성 아아용암보다 표면이 더 각력질이고, 덜 산화되어 색이 더 검은색을 나타내고 덜 다공질이다. 본 용암류의 조직의 특징은 비교적 치밀한 용암의 암괴(응괴)로 대부분 구성되어 있고 암괴들은 부딪쳐 갈아져 표면은 깔쭉깔쭉하지 않다. 또한, 암괴들은 스코리아성 아아용암류의 암괴보다 더 각력질이고, 덜 산화되어 색이 더 검고, 덜 다공질이다.

④ 암괴성 아아용암

분화구로부터 보다 더 하류(약 20km) 되는 지점에 형성되었는데, 용암은 치밀하고 암회색의 암괴 더미(rubble cover)로 덮여 있다. 암괴성 아아용암은 안산암질 용암이 만드는 소위 암괴용암(block lava)의 형질과 유사하나, 암괴성 아아용암의 암괴들의 표면은 다공질 조직 때문에 암괴용암의 표면보다 덜 매끄럽다. 암괴의 크기는 직경이 수 m에 달하는 것들도 있다. 이 암괴들은 스코리아성 클링커와 암괴들과 섞여서 그 밑에 있는 용암류를 타고 더 하류로 흘러 내려와 용암류의 주변이나 돌출부(toe)에 여러 가지 암괴들이 섞인 집합체로 쌓이게 된다. 본 용암류의 조직의 특징은 암괴성 아아용암의 암괴들의 표면은 다공질이기 때문에 암괴용암의 암괴들보다 덜 매끄럽고 암괴의 크기는 직경이 수 m에 달하는 것들도 있다.

제주도에 분포하는 꽃자왈용암류의 조직은 위의 분류에 따르면 ③ 클린커성 아아용암과 ④ 암괴성 아아용암에 해당될 수 있으나, 꽃자왈용암류의 조직의 독자적 특징을 근거로 할 때, 슬래비-클린커성 조직과 클린커-블록성 조직으로 세분할 수 있다.

1. 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)

이 조직은 용암판과 클린커가 혼재하는 조직으로서, 일반적으로 꽃자왈용암이 시작되는 지점에서부터 약 2km까지의 부분에 형성되어 있으며, 하류로 감에 따라 클린커-블록성 조직으로 전이한다.

이 조직을 보여주는 꽃자왈용암류는 서부지역의 월림-신평 꽃자왈용암류, 동부지역의 조천-대흘 꽃자왈용암류, 함덕-와산 꽃자왈용암류, 선흘 꽃자왈용암류, 수산 꽃자왈용암류 및 세화 꽃자왈용암류이다.

2. 클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)

이 조직은 클린커와 중~대암괴가 혼재하는 것으로서, 꽃자왈용암류가 시작하는 지점으로부터 유동거리의 약 70~80%까지는 클린커가 중~대암괴보다 많으나 보다 더 하류로 감에 따라 중~대암괴의 양이 클린커보다 많아진다.

이 조직을 보여주는 꽃자왈용암류는 서부지역의 상창-화순 꽃자왈용암류와 남읍-원동 꽃자왈용암류, 동부지역의 상도-하도 꽃자왈용암류와 종달-한동 꽃자왈용암류이다.

3-6-2. 꽃자왈용암류의 조직의 분포

각 꽃자왈용암류에 있어서의 조직의 분포는 다음과 같다.

3-6-2-1. 한경-안덕 꽃자왈지대

한경-안덕 꽃자왈지대에는 2개의 꽃자왈용암류가 분포하며 조직의 분포는 다음과 같다(Table 12).

1. 월림-신평 꽃자왈용암류는 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터 1~2km 지점까지는 용암판과 클린커가 혼재하며 분포하고 있으며, 월령리 방향과 영락리 방향으로 내려감에 따라 클린커-블록성 조직으로 전이(Fig. 15)하는데 더 하류로 내려감에 따라 중암괴와 소암괴의 양이 많아진다(Fig. 48).

2. 상창-화순 꽃자왈용암류는 클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작하는 지점으로부터 클린커와 중~대암괴가 혼재하며(Fig. 15) 하류로 내려감에 따라 중~소암괴의 양이 많아진다(Fig. 49).

Table 12. Morphological classification of the Gotchawal Lava Flows in the western area.

Flow distance	Hangyeong-Andeog Gotchawal Terrain		Aeweol Gotchawal Terrain
	Weollim-Sinpyeong Gotchawal Lava Flow	Sangchang-Hwasun Gotchawal Lava Flow	Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow
1~2km	Slabby-Clinkery	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky
2~5km	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky
5~10km	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky
> 10km	Clinkery-Blocky		
Total length	12.5km	9.0km	9.0km
Texture	Slabby-Clinkery	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky

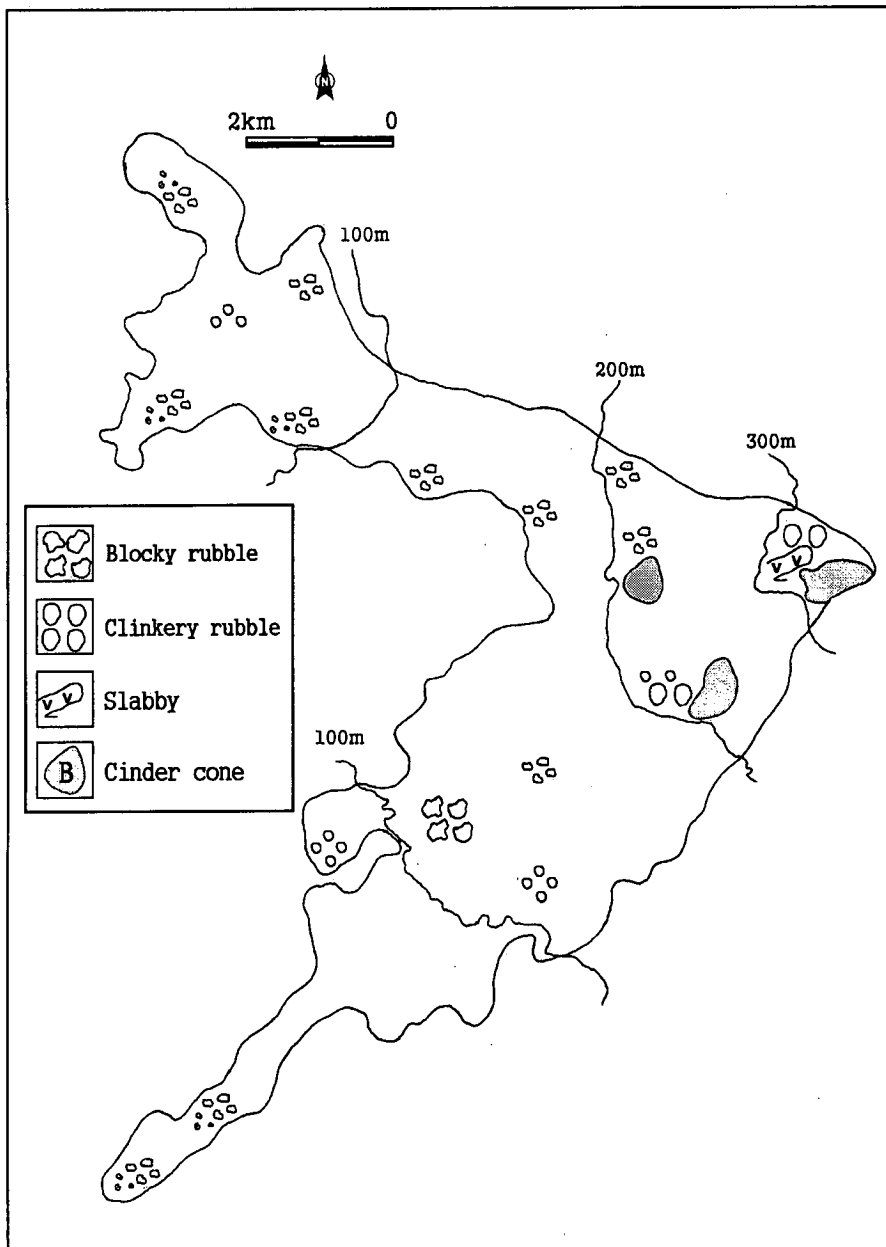


Fig. 48. Planar schematic diagram of Weollim-Sinpyeong Gotchawal Lava Flow(slabby-clinkery texture) in Cheju Island.

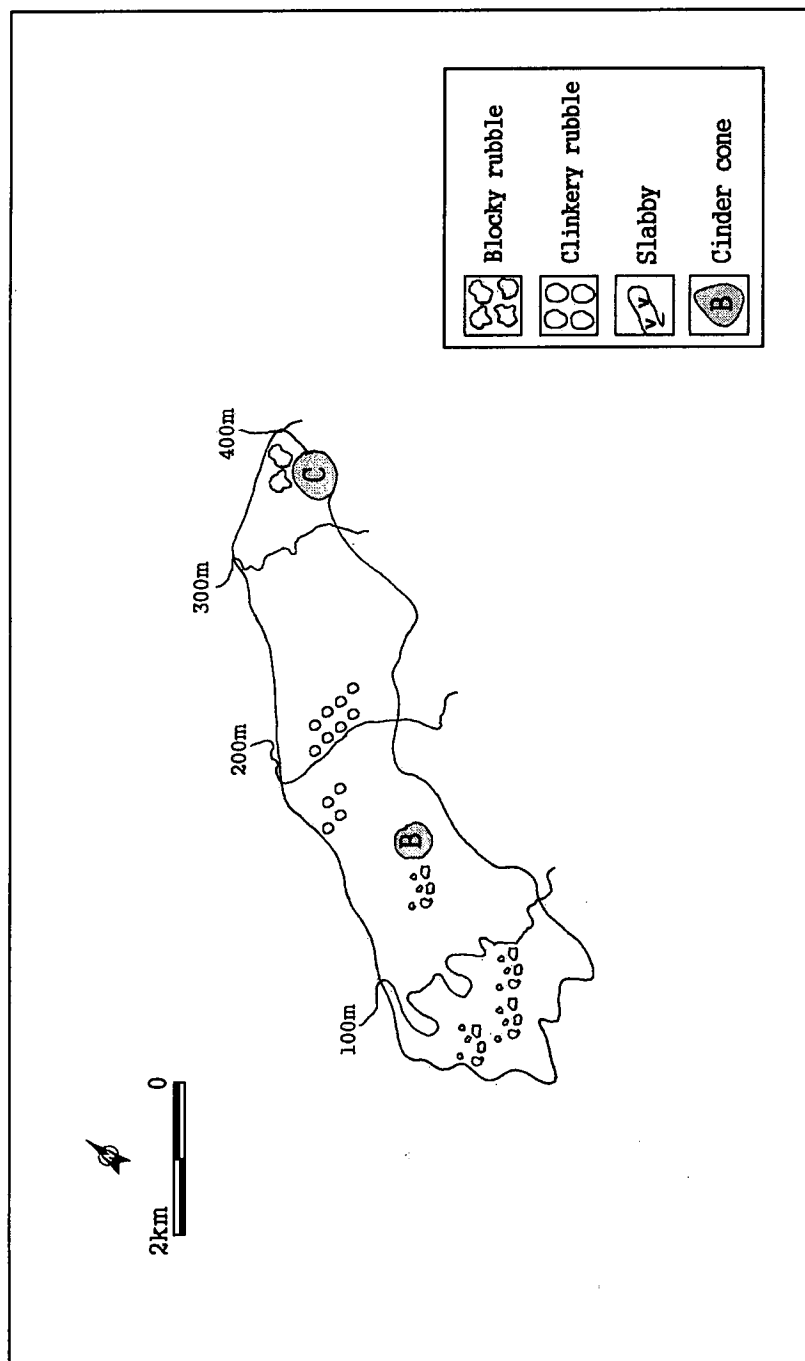


Fig. 49. Planar schematic diagram of Sangchang-Hwasun Gotchawal Lava Flow (clinkery-blocky texture) in Cheju Island.

3-6-2-2. 애월 꽃자왈지대

애월 꽃자왈지대에는 납읍-원동 꽃자왈용암류가 분포하며 조직의 분포는 다음과 같다(Table 12).

1. 납읍-원동 꽃자왈용암류도 상창-화순 꽃자왈용암류와 마찬가지로 클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작하는 지점으로부터 클린커와 중~대암피가 혼재하며 하류로 내려감에 따라 중~소암피의 양이 많아진다(Fig. 19, Fig. 50).

3-6-2-3. 조천-함덕 꽃자왈지대

조천-함덕 꽃자왈지대에는 3개의 꽃자왈용암류가 분포하며 조직의 분포는 다음과 같다(Table 13).

1. 조천-대흘 꽃자왈용암류도 월림-신평 꽃자왈용암류와 마찬가지로 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터 1~3km 지점까지는 용암판과 클린커가 혼재하며 분포하고 있으며(Fig. 22), 이후에는 클린커-블록성 조직으로 전이하는데 더 하류로 내려감에 따라 중암피와 소암피의 양이 많아진다(Fig. 51).
2. 함덕-와산 꽃자왈용암류도 월림-신평 꽃자왈용암류와 마찬가지로 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터 약 1km 지점까지는 용암판과 클린커가 혼재하며 분포하고 있으며, 이후에는 클린커-블록성 조직으로 전이하는데 더 하류로 내려감에 따라 중암피와 소암피의 양이 많아진다(Fig. 28, Fig. 52).

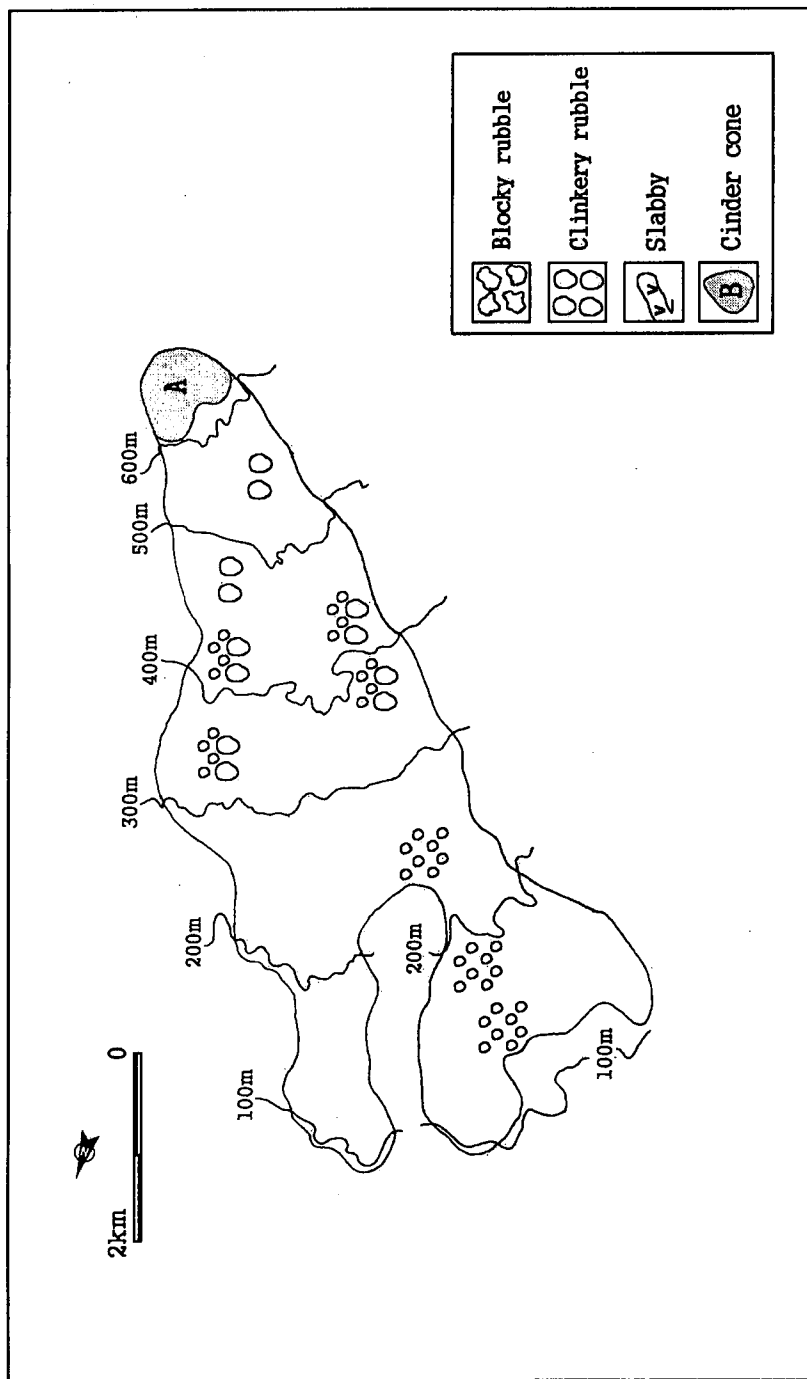


Fig. 50. Planar schematic diagram of Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow (clinkery-blocky texture) in Cheju Island.

Table 13. Morphological classification of the Gotchawal Lava Flows in the Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain.

Flow distance	Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain		
	Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow	Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow	Seonheul Gotchawal Lava Flow
1 ~ 2km	Slabby-Clinkery	Slabby-Clinkery	Clinkery-Blocky
2 ~ 5km	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky
5 ~ 10km	Clinkery-Blocky	Clinkery/Blocky	Clinkery-Blocky
> 10km	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky	
Total Length	11.0km	12.0km	7.0km
Texture	Slabby-Clinkery	Slabby-Clinkery	Clinkery-Blocky

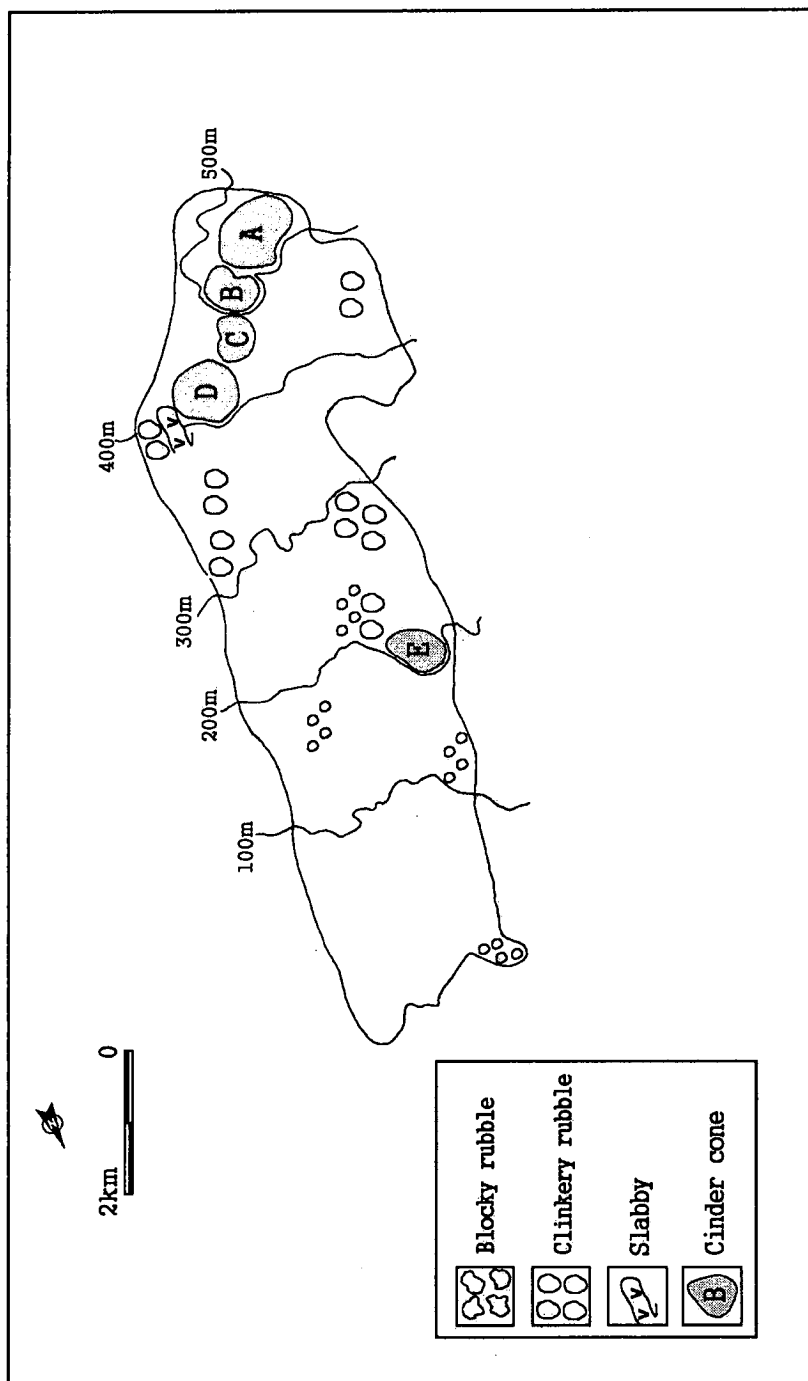


Fig. S1. Planar schematic diagram of Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow (slabby-clinkery texture) in Cheju Island.

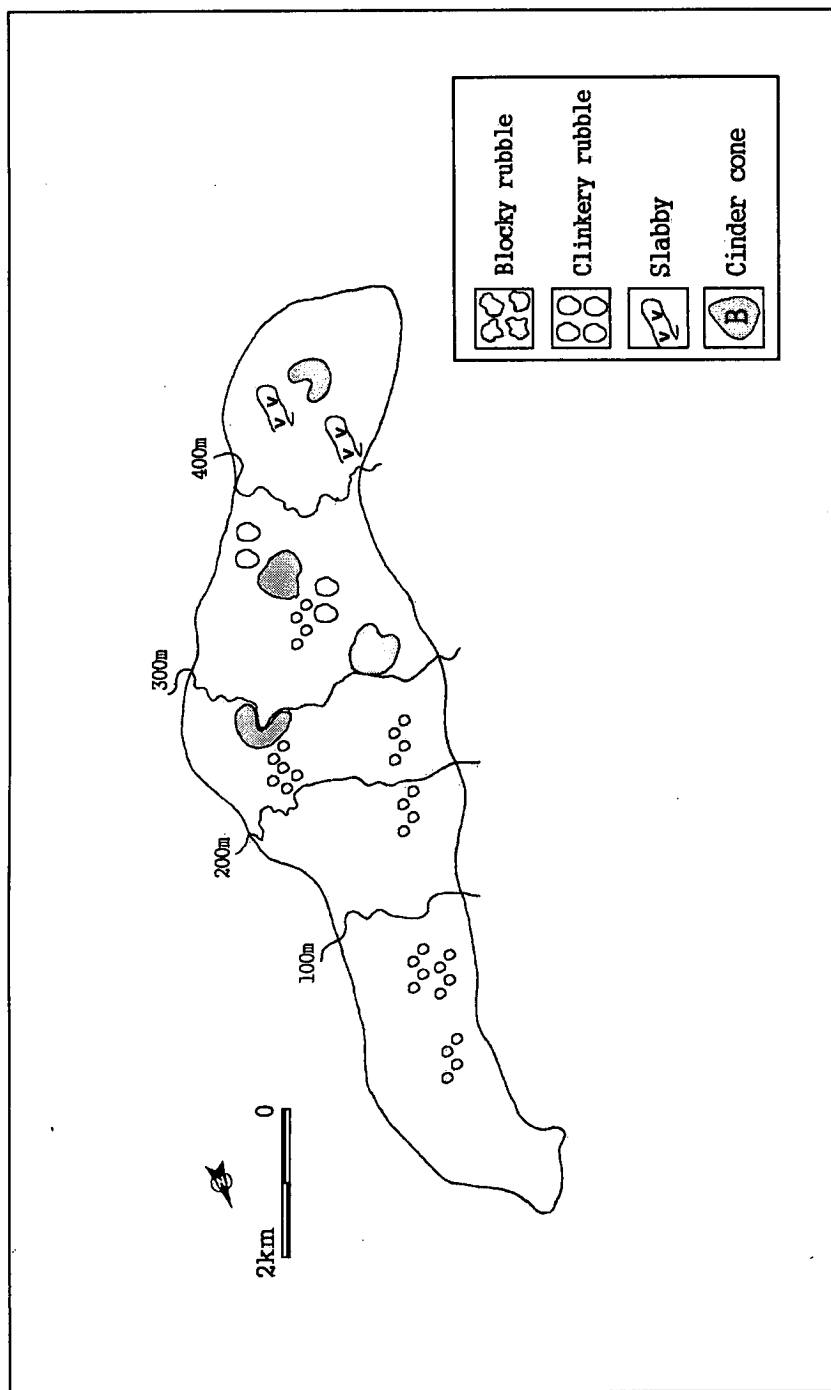


Fig. 52. Planar schematic diagram of Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow (slabby-clinkery texture) in Cheju Island.

3. 선홍 꽃자왈용암류는 꽃자왈용암류가 시작되는 부분이 스코리아로 덮여 있어(Fig. 6) 슬래비의 구조가 확인되지 않아 클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)을 보이고 있다. 스코리아로 피복된 부분을 제외한 지점에서부터 클린커-블록성 조직이 분포하고 있으며(Fig. 30) 하류로 내려감에 따라 중암괴와 소암괴의 양이 많아진다(Fig. 53).

3-6-2-4. 구좌-성산 꽃자왈지대

구좌-성산 꽃자왈지대에는 4개의 꽃자왈용암류가 분포하며 조직의 분포는 다음과 같다(Table 14).

1. 종달-한동 꽃자왈용암류도 상창-화순 꽃자왈용암류와 마찬가지로 클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작하는 지점으로부터 약 4km까지는 클린커와 중~대암괴가 혼재하며(Fig. 33) 하류로 내려감에 따라 중~소암괴의 양이 많아진다(Fig. 54).
2. 세화 꽃자왈용암류는 꽃자왈용암류가 시작되는 부분이 스코리아로 덮여 있지만(Fig. 7) 월림-신평 꽃자왈용암류와 마찬가지로 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터 약 1km 지점에는 용암판과 클린커가 혼재하며 분포하고 이후에는 클린커-블록성 조직으로 전이하는데 더 하류로 내려감에 따라 중암괴와 소암괴의 양이 많아진다(Fig. 36, Fig. 55).
3. 수산 꽃자왈용암류도 월림-신평 꽃자왈용암류와 마찬가지로 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터 약 1km 지점까지는 용암판과 클린커가 혼재하며 분포하고

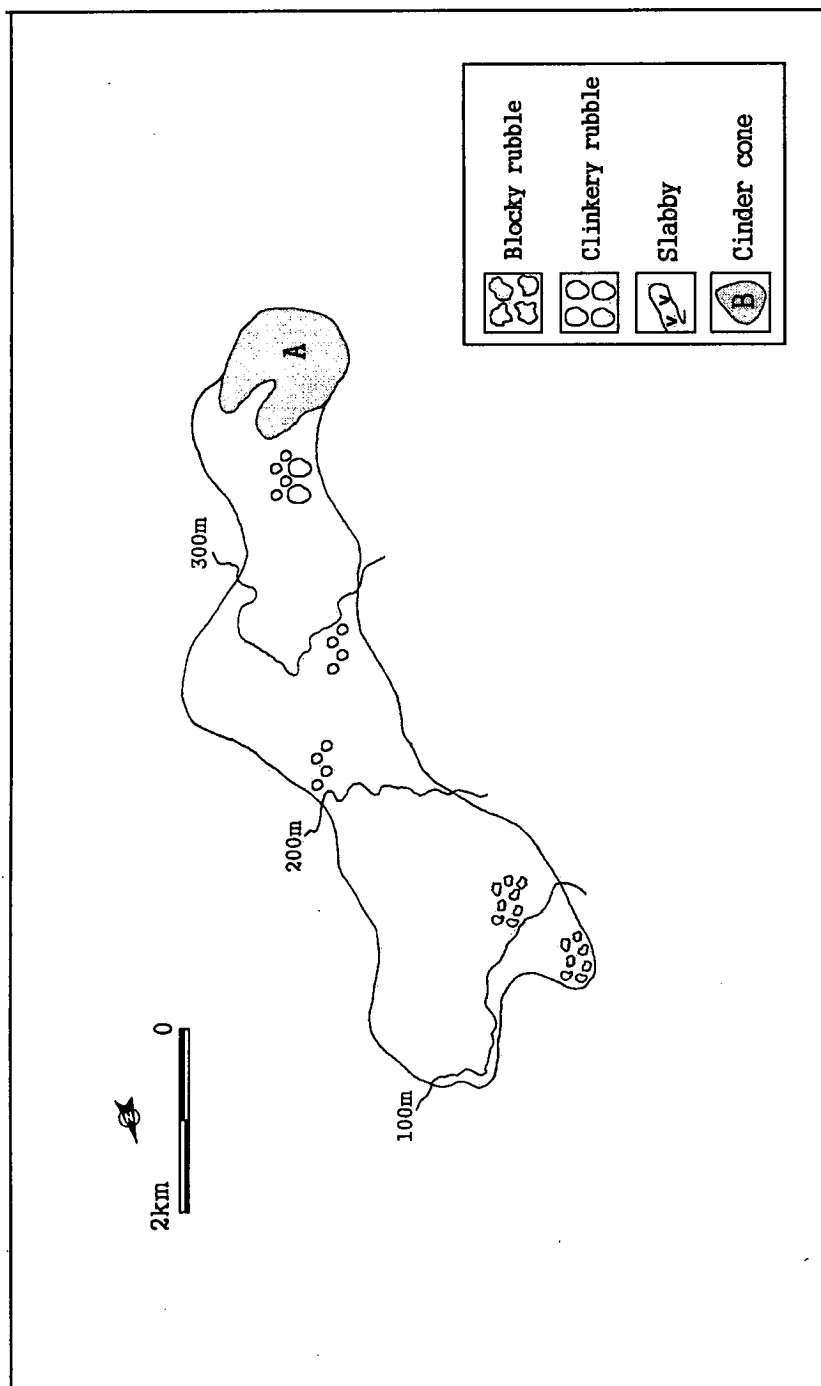


Fig. 53. Planar schematic diagram of Sunheul Gotchawal Lava Flow (clinkery-blocky texture) in Cheju Island.

Table 14. Morphological classification of the Gotchawal Lava Flows in the Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain.

Flow distance	Gujwa-Sungsan Gotchawal Terrain			
	Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow	Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow	Susan Gotchawal Lava Flow	Sehwa Gotchawal Lava Flow
1 ~ 2km	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky	Slabby-Clinkery	Slabby-Clinkery
2 ~ 5km	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky
5 ~ 10km	Blocky	Clinkery-Blocky	Blocky	
> 10km		Blocky		
Total Length	5.6km	11.0km	5.5km	4.7km
Texture	Clinkery-Blocky	Clinkery-Blocky	Slabby-Clinkery	Slabby-Clinkery

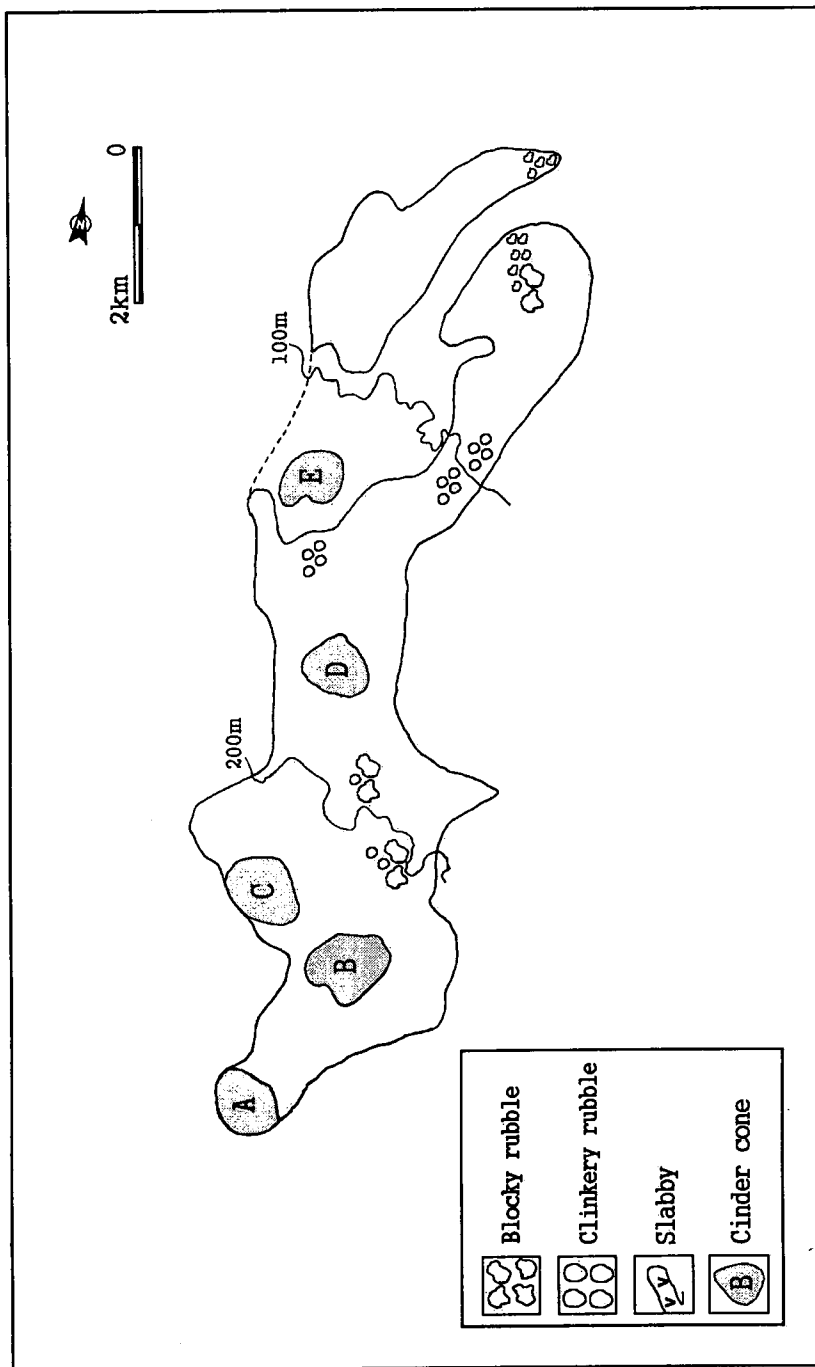


Fig. 54. Planar schematic diagram of Jongdal-Handong Gotchaval Lava Flow (clinkery-blocky texture) in Cheju Island.

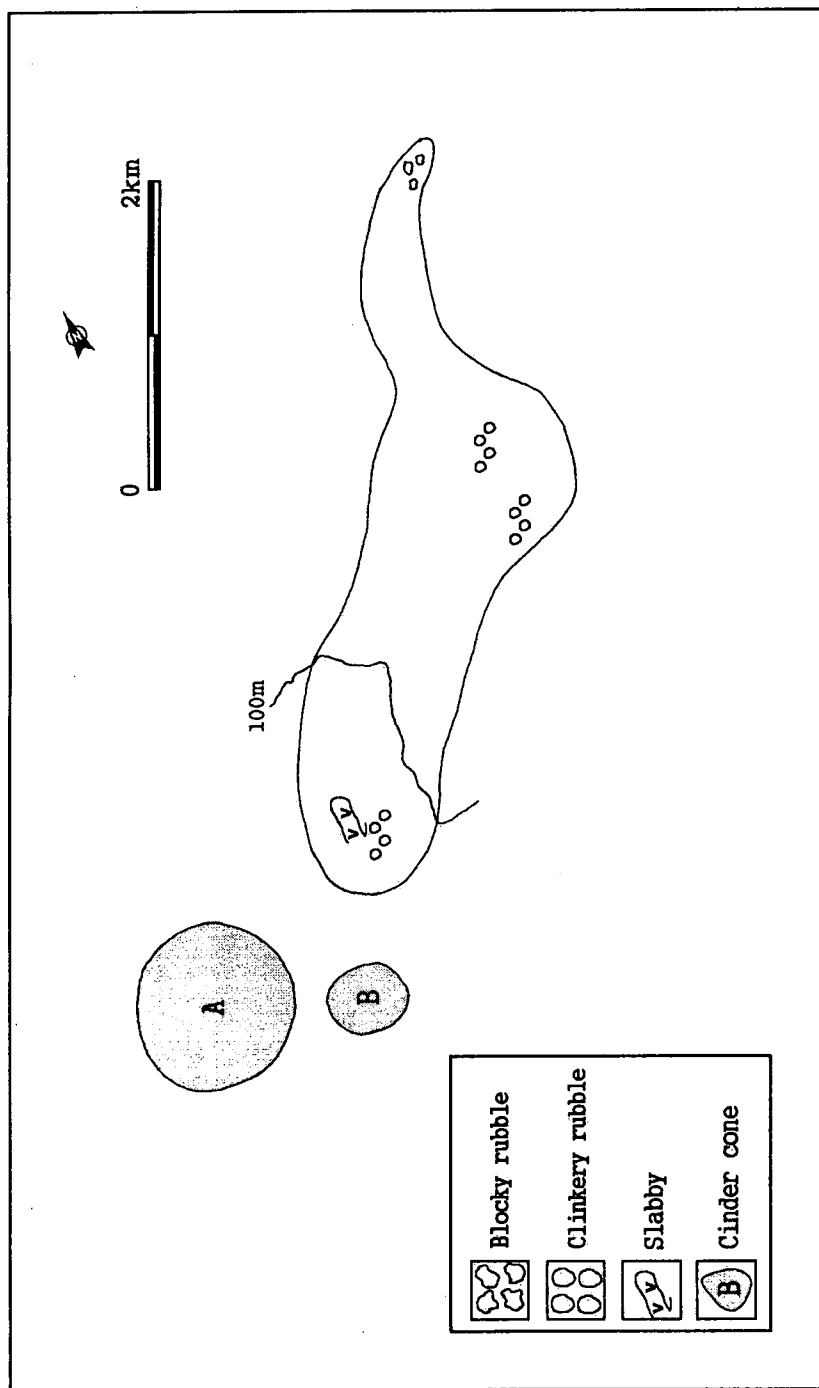


Fig. 55. Planar schematic diagram of Selwa Gotchawal Lava Flow (slabby-clinkery texture) in Cheju Island.

있고 이후에는 클린커-블록성 조직으로 전이하는데(Fig. 38) 더 하류로 내려감에 따라 중암괴와 소암괴의 양이 많아진다(Fig. 56).

4. 상도-하도 꽃자왈용암류도 세화 꽃자왈용암류처럼 꽃자왈용암류가 시작되는 부분이 스코리아로 덮여 있지만(Fig. 7) 상창-화순 꽃자왈용암류와 마찬가지로 클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)을 갖는 꽃자왈용암류로서 꽃자왈용암류가 시작하는 지점으로부터 약 3km까지는 클린커와 중~대암괴가 혼재하며(Fig. 40) 하류로 내려감에 따라 중~소암괴의 양이 많아진다(Fig. 57).

대체적으로 조면현무암과 현무암질조면암으로 이루어진 상창-화순 꽃자왈용암류, 납읍-원동 꽃자왈용암류, 종달-한동 꽃자왈용암류, 상도-하도 꽃자왈용암류는 클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)의 유형이 지배적인 반면, 현무암으로 이루어진 월림-신평 꽃자왈용암류, 조천-대흘 꽃자왈용암류, 함덕-와산 꽃자왈용암류, 세화 꽃자왈용암류, 수산 꽃자왈용암류는 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)의 유형을 보이고 있다.

클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)의 유형을 갖는 꽃자왈용암류는 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터 말단부까지 클린커성 아아에서 블록형 아아의 각형의 암괴로 이루어져 있는데 이는 이들을 구성하는 암석이 용암판-클린커 혼합 유형보다 점성이 비교적 높은 조면현무암 및 현무암질 조면안산암으로 구성된 것과 관련성이 있는 것으로 보인다. 즉, 점성이 비교적 높은 상태로 분출한 용암이 지형경사를 따라 유동하는 과정에서 방사에 의한 열 손실과 가스 방출에 의해 점성이 더욱 높아지게 되므로 용암류의 상부 부분에서 각력화 작용이 활발하게 진행되면서 다량의 각형의 암괴가 형성되게 된다. 그렇지만, 상층 암괴의 내부에는 유동성이 있는 액체 상태의 용암이 계속해서 하류로

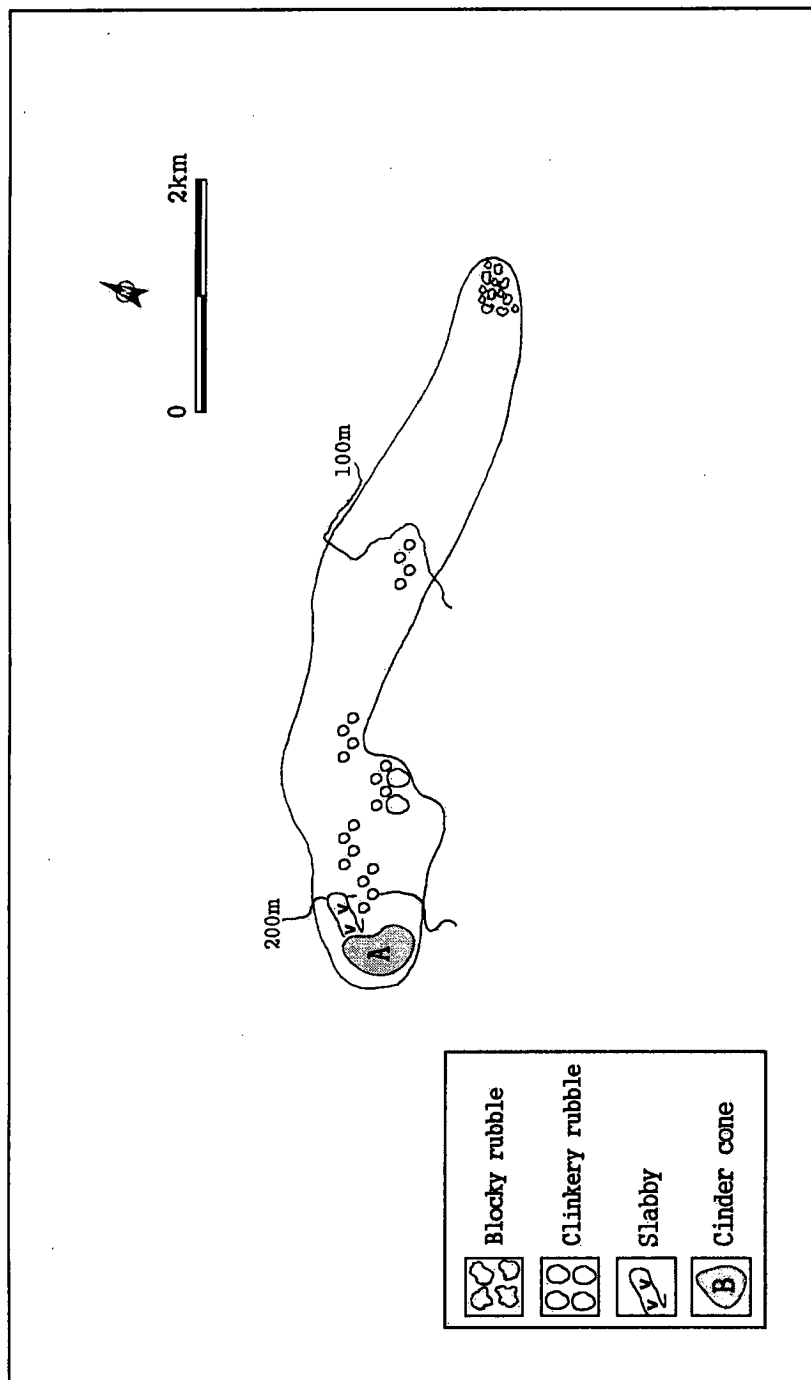


Fig. 56. Planar schematic diagram of Susan Gotchawal Lava Flow (slabby-clinkery texture) in Cheju Island.

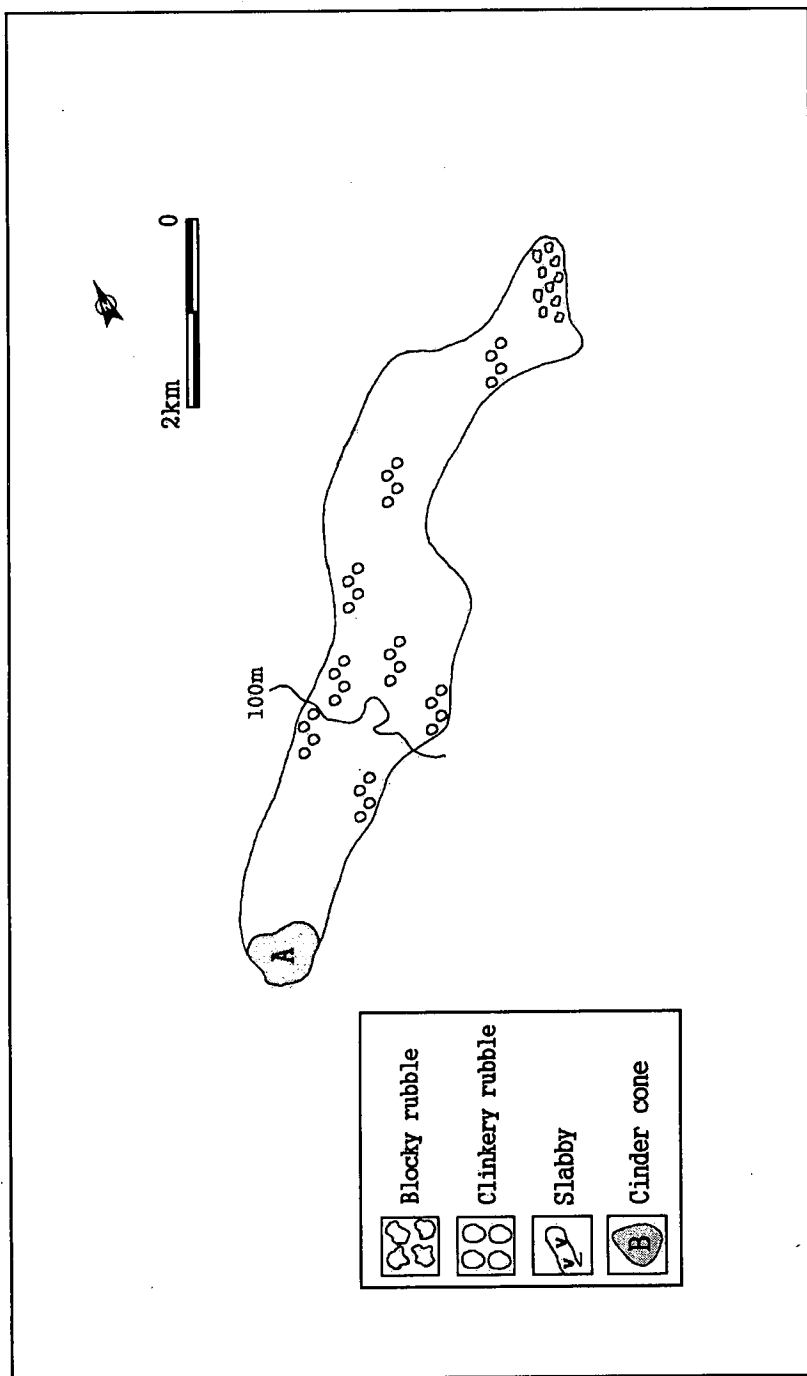


Fig. 57. Planar schematic diagram of Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow (clinkery-blocky texture) in Cheju Island.

이동하기 때문에 넓은 지역에 걸쳐 블록성 각력들이 분포할 수 있는 여건이 조성될 수 있는데, 이와 같은 현상은 종달-한동 꽃자왈용암류의 연장이 11km에 이르고 있는 데서도 유추해 볼 수 있다.

꽃자왈용암류의 거리에 따른 조직의 유형에서 스코리아성 아아용암은 확인되지 않지만, 판상 아아용암, 클린커성 아아용암 및 블록성 아아용암은 관찰되고 있다. 이는 본 연구대상 꽃자왈용암류의 경우, 고지형의 경사가 완만하고 용암의 유출률이 적어서 용암류가 빠른 속력으로 흐르지 못하였거나, 시대적으로 오래되어 꽃자왈 면적의 많은 부분이 후기에 분출한 용암류에 의해 피복되었기 때문에 분화구 근처에서 형성되는 스코리아형 아아용암의 관찰이 불가능한데서 연유된 것으로 판단된다. 그렇지만, 하류지역에서는 클린커형에서 블록형 아아로 바뀌는 형태적 변화가 뚜렷하게 나타나는 것으로 미루어 볼 때, 이들 꽃자왈용암류들은 상류지역의 상당부분이 후기 용암류에 의해 피복된 것으로 해석된다.

3-7. 꽃자왈용암류의 성인에 관한 고찰

전술한 바와 같이, 현무암질 용암류는 형태적 특징에 따라 파호이호이 용암류와 아아 용암류로 구분된다. 이 두 용암류는 별개의 독립된 용암류로 분출되기도 하지만, 파호이호이 용암류가 유동과정에서 아아 용암류로 전이되기도 한다. 그러나, 아아 용암류는 파호이호이 용암류로 전이되지는 않는다. 파호이호이 용암류와 아아 용암류의 형태적 상이(相異)를 결정짓는 요소들을 파악하기 위해 파호이호이 용암류가 아아 용암류로 전이하는 과정에서의 요소들을 검토하여야 하는데, Macdonald (1953)는 하와이에서 관찰한 바에 의하여 그 일반적 요소로 다음 사항들을 제시하

였다.

- (1) 파호이호이 용암류와 아아 용암류는 하나의 용암류에서 발견할 수 있는데, 이 두 형태 사이에 화학성분에 있어서 별 차이가 없다.
- (2) 파호이호이 용암류는 아아 용암류로 변하나 그 반대로의 변화는 없다.
- (3) 대부분의 활발한 파호이호이 용암류는 아아 용암류보다 점성이 낮고 온도가 높다.
- (4) 파호이호이 용암류에서의 기공은 규칙적인 구형을 이루는 경향이 있으나, 아아 용암류의 기공은 불규칙적인데 이는 고결의 최종단계에서 계속적인 움직임에 의하여 변형되었음을 의미한다.
- (5) 아아 용암류가 점성이 더 높은 경향이 있으나 초기에는 거의 같은 점성을 갖는 유체용암이기 때문에 파호이호이 용암류와 아아 용암류를 만들 수 있다.
- (6) 증가하는 점성의 효과 외에도, 용암이 격렬하게 뿜어져 나오거나, 급경사의 사면을 흘러내리거나, 또는 절벽을 넘어갈 때(Fig. 58, : 파호이호이 용암이 작은 절벽 즉 방해물을 넘어 갈 때 아아로 변한 상태) 일어나는 난류와 내부 전단력에 의하여 아아 용암류로 변하는 경향이 있다.

Macdonald (1953)는 위와 같은 사항들로부터, 파호이호이 용암류로 될 것인가, 아아 용암류로 될 것인가를 결정하는 요소는 점성과 유동에 의하여 일어나는 용암류 내부에서 일어나는 난류의 양(量)과의 임계관계(critical relation)라고 결론짓고 있다.

Peterson and Tilling (1980)은 용암류의 내부에서 일어나는 난류 즉, 이웃하는 부분들이 서로 다른 운동을 하는 것이 점성과 함께 아아 용암류로의 전이를 일으키는 요소라고 하는데 이 난류를 전단변형이라고 하고, 파호이호이 용암류에서 아아 용



Fig. 58. Pahoehoe lava changed to aa lava where it over a small cliff, that is, an obstacle, at WS 18 in the Hangyeong-Andeog Gotchawal Lava Flow.

암류로의 전이의 기본요소(key factor)는 전단변형율(rate of stress strain)이라고 하였으며, 파호이호이-아아 용암류 전이에 있어서 중요한 것은 점성과 전단변형율과의 관계라고 하였다. Peterson and Tilling (1980)은 킬라우에아 화산에서의 관찰 결과, 파호이호이 용암류로 되는가 아아 용암류로 되는가를 결정하는 조건은

- (1) 용암류가 증가하는 점성에 직접 대응하여 유속이 느려지고 냉각되어 정지한다면, 파호이호이 용암류로 되고,
- (2) 용암류가 점성과 전단변형율 사이의 임계관계를 넘어서 이후에도 계속하여 흐르도록 힘을 받는다면, 아아 용암류로 된다고

하였으며, 이 임계관계를 전이시점(轉移始点 transition threshold)이라고 하였다. 점

성도가 낮으면 높은 전단변형율에서 전이시점에 도달하지만 점성도가 높으면 낮은 전단 변형율에서도 전이시점에 도달한다.

어떤 한 주어진 시간에 있어서, 유동하는 하나의 용암류에 있어서 점성은 부분에 따라 다르며 또, 각각의 부분들은 여러 가지 다른 전단변형율을 받게 된다. Peterson and Tilling (1980)은 아아 용암류로의 전이가 일어나는 경우를 다음과 같이 보고하고 있다.

(1) 용암류의 전선(flow front)에서의 형성

기존의 유로를 따라 흐르는 용암류의 표면에 각(殼)이 형성되고, 이 각이 파쇄되어 밀려가 용암류의 전선에 쌓여 아아 용암류를 형성한다.

(2) 유로 내부에서의 형성

준고체상태의 용암괴가 용암류의 내부에 표면의 각편(殼片)들과는 관계없이 전단력이 가장 강한 용암류의 주변부에서 자연적으로 생성된다. 이 용암괴는 회전을 하며 크기가 증대한다. 이 용암괴들의 수가 증대하고, 유동하는 용암의 양이 감소함에 따라 준고체상태의 용암괴들은 거의 고체와 같이 행동하게 되는데, 최후로 용암류의 전이시점을 넘어서게 되어 아아 용암류를 형성한다.

(3) 경사면(傾斜面)의 효과

파호이호이 용암이 급경사의 절벽으로 떨어질 때 아아 용암류로 급변한다. 이는 급한 경사면을 따라 흐를 때 전단변형율이 급격히 증가하기 때문이다.

(4) 냉각 안정된 용암류의 재유동

용암못(lava pool)과 같은 곳의 냉각 안정되어 있는 용암류에 새로운 용암류가 주입하면서 냉각되었던 용암류를 파쇄하여 혼합하므로써 아아 용암류

가 형성된다.

제주도의 꽃자왈용암류의 특징의 하나는 2mm 이하의 입자들이 기질을 구성하는 부분들이 있다는 것이다. 2mm 이하의 입자들의 형성은 점성과 전단변형율과의 관계만으로는 설명하기가 어렵다. 용암류의 내부에서 용암괴가 형성되는 것은 위의 항목 중에서 (2)번 즉, 유로 내부에서 전단력이 가장 강한 부분에서 생기는 경우인데, 2mm 이하의 용암 분쇄 입자가 형성되기 위하여서는 (1) 점성을 달리하는 용암류의 부분의 크기가 수 mm 이하로 형성되어야 하며 (2) 이 입자들은 각자 독립된 운동을 하여 이 입자들 사이의 전단변형율이 이들의 흡착력보다 더 커야 하는데, 지표면을 흐르는 용암류에서는 이러한 현상은 일어날 수가 없다. 유체의 입자화는 유속에 의하여 일어나게 되는데, 마그마가 2mm 이하 크기의 입자로 분리되기 위하여서는 화구에서 초속 수 100km의 속도로 분출될 때 일어난다(Wilson, 1980; Fisher and Schmincke, 1984). 그러므로 지표면을 흐르는 용암류가 점성과 전단변형율과의 관계로 수 mm 이하의 입자로 된다는 것은 불가능하다.

꽃자왈용암류에 함유되어 있는 직경 2mm 이하의 미세암편(fine material)의 생성은 꽃자왈용암류가 유동하는 동안 용암판들이 멧돌(millstone)과 같은 작용을 하여 용암판 사이에 있는 암괴들을 분쇄(milling)하므로써 세암괴로 만들어질 수 있는데 본 연구에서 이와 같은 현상에 의해 생성된 미세암편이 관찰된 지역에 대하여 설명하면 다음과 같다.

- ① 서부지역에 위치한 남읍-원동 꽃자왈용암류의 경우, 큰오름에서 북동쪽으로 약 1km 떨어진 NW 6지점(Fig. 59)에는 각형 내지 아각형의 대암괴와 중암괴가 주로 분포하고 있는 반면, 북쪽으로 약 3.5km 떨어진 지점(Fig. 60)에는

용암판이 유동하면서 하부의 암괴를 분쇄하여 아각형 내지 아원형의 중암괴와 소암괴를 만듦과 동시에 직경 2mm 이하의 미세암편이 다량 포함되어 있는 것이 관찰된다.

- ② 동부지역에 위치한 함덕-와산 꽃자왈용암류의 경우, HW 5지점에는 두께가 0.3m, 높이가 1.0m, 길이가 1.3m되는 용암판(Fig. 61)의 하부에는 용암판이 유동할 때 갈려서 형성된 미세암편을 관찰할 수 있으며, 두께가 0.4m, 높이가 1.0m, 길이가 4.0m 되는 아치형의 용암판(Fig. 62) 하부에도 미세암편이 다량 분포하고 있다. 또한, 이 지역에는 두께가 0.4~1.0m, 높이가 0.6~1.5m, 길이는 3.0~6.0m의 크기로 다수가 분포하고 있는데, 용암판이 방향성 없이 매우 불규칙적으로 분포하고 있다. 이 지점 역시 위에서 언급한 납읍-원동 꽃자왈용암류의 경우와 마찬가지로 유동하는 용암판 사이에서의 마찰에 의해 생성된 직경 2mm 이하의 미세암편을 관찰할 수 있다.

따라서, 꽃자왈지대를 이루고 있는 꽃자왈용암류의 성인은 파호이호이 용암이 유동과정 중에 점성이 증가하여 형성되는 것 외에, 용암이 작은 절벽 즉, 방해물을 넘어갈 때 형성된 것이다. 또한, 꽃자왈용암류에 함유되어 있는 직경 2mm 이하의 미세암편은 꽃자왈용암류가 유동하는 동안 용암판들이 멧돌과 같은 작용을 하여 용암판 사이에 있는 암괴가 분쇄되어 형성된 것으로 해석된다.



Fig. 59. Exposure of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow at NW 6.

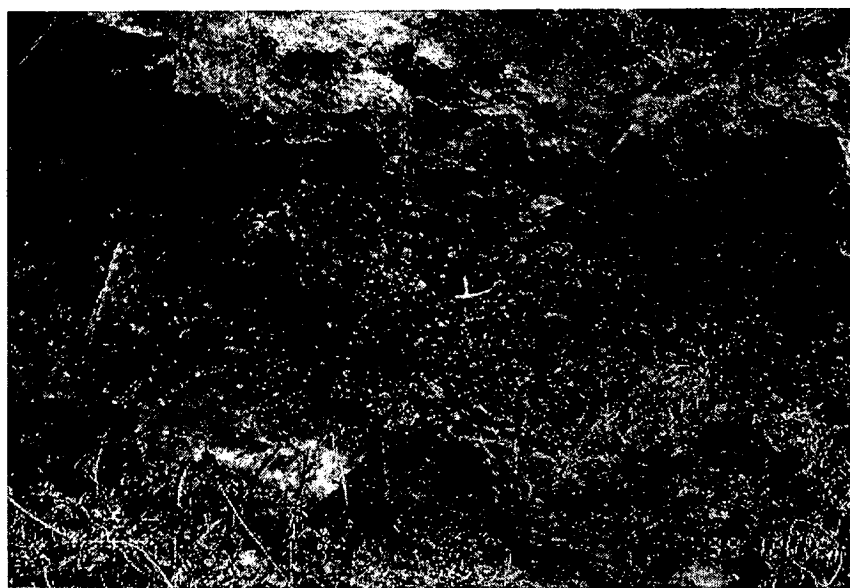


Fig. 60. Exposure of the Nabeub-Weondong Gotchawal Lava Flow.



Fig. 61. Exposure of lava slab in the Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.



Fig. 62. Exposure of lava slab in the Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow at HW 5.

제 4 장 결 론

1. 제주도에서 「꽃자왈」이라 부르는 지대는 아아 용암류 중의 암괴상 아아 용암류가 분포하고 있는 지대이며, 이 용암류들을 꽃자왈용암류(Gotchawal Lava Flow)라고 부르고자 한다.
2. 꽃자왈용암류는 동·서부지역에만 분포하며, 경사가 급한 제주도 중앙부의 남·북지역에는 분포하지 않는다.
3. 꽃자왈용암류가 분포하는 곳은 한경-안덕 꽃자왈지대, 애월 꽃자왈지대, 조천-함덕 꽃자왈지대 및 구좌-성산 꽃자왈지대로서, 한경-안덕 꽃자왈지대에는 2개, 애월 꽃자왈지대에는 1개, 조천-함덕 꽃자왈지대에는 3개, 구좌-성산 꽃자왈지대에는 4개의 꽃자왈용암류가 분포하고 있다.
4. 서부지역의 월림-신평 꽃자왈용암류는 돌오름 주변에서부터 시작되어 월령리와 영락리로 분기하였으며, 연장 거리가 12.5km로 본 연구대상 꽃자왈용암류 중 연장거리가 최장이며, 상창-화순 꽃자왈용암류는 병악부터 평균 1.5km의 폭으로 총 9km에 걸쳐 분포하고 있다. 남읍-원동 꽃자왈용암류는 큰오름에서 시작되어 9.0km에 분포하고 있는데, 지형의 경사가 급한 큰오름 주변에서는 폭이 협소하지만, 경사가 완만한 지역에서는 넓어지는 경향을 보인다.
5. 동부지역의 조천-대흘 꽃자왈용암류는 민오름 주변에서부터 시작되어 총 11km에 걸쳐 분포하고 있으며, 함덕-와산 꽃자왈용암류는 12.0km, 선흘 꽃자왈용암류는 7.0km, 종달-한동 꽃자왈용암류는 11km, 세화 꽃자왈용암류는 4.7km의 연장을 나타낸다.
6. 꽃자왈용암류의 조직은, 전반적으로 꽃자왈용암류가 시작되는 지점에서부터

해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 암괴의 크기가 점차 감소할 뿐만 아니라, 암괴 사이에 포함되는 미세암편의 양이 증가하는 경향을 보이고 있다. 그렇지만, 클린커층의 두께는 말단부로 갈수록 두꺼워지는 용암류(상창-화순 곳자왈용암류, 조천-대흘 곳자왈용암류, 함덕-와산 곳자왈용암류, 상도-하도 곳자왈용암류 및 수산 곳자왈용암류)와 얇아지는 용암류(월림-신평 곳자왈용암류, 납읍-원동 곳자왈용암류, 선흘 곳자왈용암류, 종달-한동 곳자왈용암류, 세화 곳자왈용암류 및 수산 곳자왈용암류)가 있다.

7. 곳자왈용암류의 구성 암석에 대해 주성분 원소 분석을 실시한 결과, 상창-화순 곳자왈용암류는 조면현무암과 현무암질 조면안산암이고, 납읍-원동 곳자왈용암류, 종달-한동 곳자왈용암류와 상도-하도 곳자왈용암류는 조면현무암이고 월림-신평 곳자왈용암류, 조천-대흘 곳자왈용암류, 선흘 곳자왈용암류, 함덕-와산 곳자왈용암류, 세화 곳자왈용암류 및 수산 곳자왈용암류는 현무암이다.
8. 곳자왈용암류 조직의 유형은 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)과 클린커-블록성 조직(clinkery-blocky texture)으로 구분된다.
9. 곳자왈용암류에 함유되어 있는 직경 2mm 이하의 준고결된 미세암편은 곳자왈용암류가 유동하는 동안 용암판들이 멧돌과 같은 작용을 하여 용암판 사이에 있는 암괴들이 분쇄되어 형성된 것으로 해석된다.

참고문헌

- 고기원, 1991a. 제주도 서귀포층의 지하분포상태, 제주대학교 해양연구소 연구보고 제15권, pp. 81~92.
- 고기원, 1997. 제주도의 지하수 부존 특성과 서귀포층의 수문지질학적 관련성, 부산대학교 박사학위 논문, 325 P.
- 고기원, 1999. 제주도 수문지질에 관한 조사·연구 연혁과 지하수의 합리적 이용을 위한 과제, 제주발전연구원·제주대학교 환경연구소 학술세미나, 제주 지하수 영원한 자원인가?, pp. 47~97.
- 농업진흥공사, 1971. 제주도 지하수 보고서.
- 농촌진흥청, 1976. 토양조사보고서, 138P.
- 박기화, 이병주, 조동룡, 김정찬, 이승렬, 최현일, 황재하, 송교영, 최범영, 조병욱, 김유봉, 1998. 제주·애월도폭 지질보고서, 제주도, 290 P.
- 박준범, 권성택, 1991. 제주도 화산암의 암석화학적 진화(2): 제주 동부 월라봉 부근 시추코아 연구. 요약문. 지질학회지, 27, pp. 531.
- 박준범, 권성택, 1993a. 제주도 화산암의 지화학적 진화: 제주 북부지역의 화산층서에 따른 암석기재 및 암석화학적 특징. 지질학회지, 29, p. 39~60.
- 박준범, 권성택, 1993b. 제주도 화산암의 지화학적 진화(II): 제주 북부지역의 화산암류의 미량원소적 특징. 지질학회지, 29, p. 477~492.
- 박준범, 1994. 제주도 화산암의 지화학적 진화, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 303 P.
- 서해길, 조한익, 남기영, 1964. 국립지질조사소 지하수원조사보고, 제1호, pp. 7

6~111.

송시대, 고기원, 윤선, 1996. 제주도 지하수의 함양과 오염에 영향을 미치는 숨
골구조와 꽃자왈 지대에 관한 연구(1), 대한지하수환경학회 학술발표회 요
지집, pp. 68~69.

안건상, 이현구, 임형철, 1995. 제주도에 산출되는 화강암에 관한 연구, 자원환
경지질, 28(5), p. 513~519.

원종관, 1975. 제주도의 형성과정과 화산활동에 관한 연구, 건국대학교 응용과
학연구소 이학논집 1, pp. 7~14.

원종관, 1976. 제주도의 화산암류에 대한 암석화학적인 연구, 지질학회지 제12
권 제4호, pp. 207~226.

윤선, 고기원, 김인탁, 1995. 제주도 형성사, 제주도지 제98호, pp. 148~164.

윤선, 1970. 제주도 성읍리-대륙산 지역의 용암류 분출 및 기생화산구 형성의
순서에 관하여, 지질학회지, 6, p. 205~212.

이돈영 외 25인, 1970. 70년도 농업용수개발 지하수조사 중간보고서(제주도), 농
업진흥공사, 161 P.

이문원, 1994. 제주도 형성사와 지질구조, 대한지하수환경학회, 전략광물자원연
구센터 공동 학술심포지움 논문집, 제주도 지하수원의 환경학적 보전과 개
발 이용, p. 54~74.

이상만, 1966. 제주도의 화산암류(영문), 지질학회지 제2권 제2호, pp. 1~7.

이성숙, 윤선, 윤혜수, 고기원, 1995. 제주도 신생대 지층에서 산출된 석회질 초
미화석, 한국고생물학회 제11차 정기총회 및 학술발표회 요약집, pp. 14~
16.

- 장광화, 1997. 제주 화산도의 조면암류에 대한 암석 성인적 연구, 연세대학교 대학원 박사학위논문, 188 P.
- 제주도, 1998. 제주·애월도폭 지질보고서(1:50,000), 290 P.
- 제주도, 1995. 제주어사전, 625 P.
- 최성희, 1998. 제주도의 현무암내에 포획되어 있는 초염기성암에 대한 지구화학적 연구, 서울대학교 대학원 박사학위논문, 203 P.
- 한국수자원공사, 1993. 제주도 수자원종합개발계획수립 성산도폭 지질도 설명서, 104 P.
- 한국수자원공사, 1995. 제주도 광역상수도 I 단계 기본 및 실시설계 표선도폭 지질도 설명서, 59 P.
- 中村新太郎, 1925. 濟州火山島 雜記, 地球, P. 325.
- 種子田定勝, 辻和毅, 中村眞人, 1970. 濟州島火山地質學的·岩石學的·古磁氣學的性格, 火山 第2輯 第15卷 第2号, pp. 96~108.
- 原口九萬, 1928. 濟州島 火山岩中の斑晶 및 第3紀 化石, 地球 10-5, pp. 34~40.
- 原口九萬, 1930. 濟州火山島. 小川教授還曆記念論文集, pp. 595-649, 1 地質圖. (日文).
- 原口九萬, 1931. 濟州島の地質. 朝鮮總督府 地質調査所, 朝鮮地質調査要報 10 (1), pp. 1~34, 圖版 1-9; 1-12, 圖版 1 (日文+英文).
- 橫山又次郎, 1921. 濟州島の 貝化石, 日本地質學雜誌, 28-339, pp. 465~467.
- Cas, R. A. F. and Wright, J. V., 1987. Volcanic successions; Modern and ancient, Allen & Unwin Ltd., London, pp. 528.
- Chichay, Z. J. and Rowland, S. K., 1995. Channel overflow of the Pohue Bay

- flow, Mauna Loa, Hawaii: examples of the contrast between surface and interior lava. *Bull. Volcanol.*, v. 57, pp. 117~126.
- Einarsson, T., 1949. The eruption of Hekla 1947-1948: IV. 3. The flowing lava. Studies of its main physical & chemical properties. *Soc. Scientarium Islandica*, Reykjavik, pp. 1~70.
- Emerson, O. H., 1926. The formation of a'a and pahoehoe. *Am. J. Sci. Ser.* v. 5, pp. 109~114.
- Fisher, R. V., 1966. Rocks composed of volcanic fragments and their classification: *Earth-Science Reviews*, v. 1. pp. 287~298.
- Foster, H. L., Mason, A. C., 1955. 1950 and 1951 Eruptions of Mihara yama, Oshima volcano, Japan. *Geol. Soc. Am. Bull.*, v. 66, pp. 731~762.
- Krauskopf, K. B., 1948. Lava movement at Paricutin volcano, Mexico. *Bull. of the Geological society of America*, Vol. 59, pp. 1267-1284
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, v. 27. pp. 745~750.
- Lee, M. W., 1982. Petrology and geochemistry of Jeju volcanic Island, Korea. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, Series 3, v. 15, pp. 177~256.
- Lee, M. W. 1984. Petrology of mafic inclusion in Jeju volcanic Island. *J. Geol. Soc. Korea*, 20, p. 306~313.
- Lipman, P. W. and Banks, N. G., 1987. Aa flow dynamics, Mauna Loa 1984. *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 1350*: pp. 1527~1567.

- Macdonald, G. A., 1943. The 1942 eruption of Mauna Loa Hawaii. Am. Jour. Sci. v. 241, No. 4. pp. 241~256.
- Macdonald, G. A., 1945. Summit and northeast rift zone of Mauna Loa. Volcano Lett. 489: 4 pp.
- Macdonald, G. A., 1953. Pahoehoe, aa, and block lava. Am. J. Sci., v. 251, pp. 169~191.
- Macdonald, G. A., 1972. Volcanoes, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 510 P.
- Macdonald, G. A., Abbott, A. T., and Peterson, F. L., 1983. Volcanoes in the Sea. The Geology of Hawaii. University of Hawaii Press. 517 P.
- Malin, M. C., 1980, Lengths of Hawaiian lava flows: Geology, v. 8, pp. 306~308.
- Miyake, Y., Furuyama, K., Yoon, S., Koh, G. W., and Nagao, K., 1993. Temporal chemical variation of Pleistocenes volcanic rocks from Cheju Island Korea, In geological correlation of southwest Japan and Korea Peninsular-tectonics for spreading of active continental margin. Sci. Report, Shimane Univ., pp. 106~111.
- Peterson, D. W. and Tilling, R. I., 1980. Transition of basaltic lava from pahoehoe to aa, Kilauea volcano, Hawaii: field observations and key factors. J. Volcanol. Geotherm. Res., v. 7, pp. 271~293.
- Peterson, D. W., Christiansen, R. L., Duffield, W. A., Holcomb, R. T. and Tilling, R. I., 1976. Recent activity of Kilauea volcano, Hawaii. In: O.

- Gonzales- Ferran (Editor), Proc. Symp. on Andean and Antarctic Volcanology Problems. International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, Rome, pp. 646~656.
- Rowland, S. K. and Walker, G. PL., 1987, Toothpaste lava: characteristics and origin of a lava structural type transitional between pahoehoe and aa. Bull. Volcanol., v. 49, pp. 631~641.
- Scarth, A., 1994. Volcanoes. University College London Press. 273 P.
- Swanson, D. A., Duffield, W. A., Jackson, D. B. and Peterson, D. W., 1979. Cronological narrative of the 1969-71 Mauna Ulu eruption of Kilauea volcano. Hawaii. US Geol. Soc. Prof. Pap. 1056: 55 P.
- Tamanyu, S., 1990. The K-Ar ages ane their stratigraphic interpretation of the Cheju Island volcanics, Korea. Bull. Geol. Surv. Japan, 41: pp. 527~537(in Japanese with English abstract).
- Waters, A. C., Stratigraphic and lithologic variations in the Columbia River Basalt, Am. J. Sci., 259, pp 583~611.
- Wentworth, C. K. and Macdonard, G. A., 1953. Structures and formes of basaltic rocks in Hawaii. US Geol. Surv. Bull. 994: 98 P.
- Williams, H. and McBirney, A. R., 1979. Volcanology, Freeman, Cooper and Co., USA, 397 P.
- Wilmuth, R. A. and Walker, G. P. L., 1993. P-type and s-type pahoehoe: a study of vesicle distribution patterns in Hawaiian lava flows. J. Volcanol. Geotherm. Res.? in press

- Wilson, C. J. N., 1980. The role of fluidization in the emplacement of pyroclastic flows: an experimental approach. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 8, pp. 231~249.
- Yi, S., Yun, H. and Yoon, S., 1998. Calcareous nannoplankton from the Seoguipo Formation of Cheju Island, Korea and its paleoceanographic implications. *Paleontological Society of Japan, Paleontological Research*, vol. 2, No. 4, pp. 253~265.
- Yoon, Sun, 1997. Miocene-Pleistocene volcanism and tectonics in southern Korea and their relationship to the opening of the Japan Sea. *Tectonophysics* 281, pp. 53~70.

Distributions and Lithology of the Aa Rubble Flows in Cheju Island, Korea

SHI-TAE SONG

Department of Geology, Graduate School

Pusan National University

Abstract

Aa rubble flows, so called "Gotchawal" in Cheju Island, shows the characteristics of debris flow in aa lava flows and these rubble flows has been named as Gotchawal Lava Flow in this study. Gotchawal Lava Flows are distributed only in the eastern and western area of the island, whereas they do not occur in the southern and northern area of the central island where the slope is steep. Gothawal in Cheju Island can be classified as Hangyeong-Andeo, Aeweoul, Jocheon-Hamdeog and Kuchaw-Sungsan Gotchawal Terrains. Hangyeong-Andeo Gotchawal Terrain contains two Gotchawal Lava Flows, Aeweoul Gotchawal Terrain contains one Gotchawal Lava Flow, Jocheon-Hamdeog Gotchawal Terrain contains three Gotchawal Lava Flows and Kuchaw-Sungsan Gotchawal Terrain contains four

Gotchawal Lava Flows consisting of total 10 flows.

In the western area, the Wueollim-Shinpyeong Gotchawal Lava Flow in the Hangyeong-Andeog Terrain begins from the vicinity of Dolorem and is branched off at Weolneongri and Yongrangri with distance 12.5 km, which is longest of the Gotchawal Lava Flows in Cheju Island. The Sangchang-Hwasoon Gotchawal Lava Flow in the Hangyeong-Andeog Terrain reaches to 9 km with the average width of 1.5 km from Byungag. Also, one of Nabeub-Wueondong Gotchawal Lava Flows in the Aeweoul Terrain is 9 km from Chenorem. Its width becomes narrow at the steep slope area of Chenorem, whereas it has the tendency to get wide around the gentle slope area.

In the eastern area, Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow in Jocheon-Hamdeog Terrain begins from the vicinity of Minorem. It's total flow distance extends 11 km. Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow of Jocheon-Hamdeog Terrain is 12.5 km, Sunheul Gotchawal Lava Flow is 7 km. And Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow of Kuchaw-Sungsan Terrain is 11 km, Sehwa Gotchawal Lava Flow is 4.7 km, Susan Gotchawal Lava Flow is 5.5 km and Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow is 5.6 km.

Based on the study of the lithology and internal textures of Gotchawal Lava Flows, the sizes of rubbles, in general, get not only smaller but abundance of the fine materials gets increased as the distance is longer from the beginning point of the Gotchawal Lava Flow toward the coastal line.

However, the Gotchawal Lava Flow can be divided into two types according to the thickness difference of clinker layer: One type thickens (Sangchang-Hwasoon Gotchawal Lava Flow, Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow, Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow and Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow) and the other thins (Wueollim-Shinpyeong Gotchawal Lava Flow, Nabeub-Wueondong Gotchawal Lava Flow, Sunheul Gotchawal Lava Flow, Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow, Sehwa Gotchawal Lava Flow and Susan Gotchawal Lava Flow) toward the coastal line.

The major elements of Gotchawal Lava Flows indicate that Sangchang-Hwasoon Gotchawal Lava Flow are trachybasalt, whereas Nabeub-Wueondong Gotchawal Lava Flow, Jongdal-Handong Gotchawal Lava Flow and Sangdo-Hado Gotchawal Lava Flow are basaltic trachyandesite, and Wueollim-Shinpyeong Gotchawal Lava Flow, Jocheon-Daeheul Gotchawal Lava Flow, Hamdeog-Wasan Gotchawal Lava Flow, Sunheul Gotchawal Lava Flow, Sehwa Gotchawal Lava Flow and Susan Gotchawal Lava Flow are basalt. The types of these flows can be divided into slabby-clinkery and clinkery-blocky texture. The fine, unconsolidated materials ($> 2\text{mm}$) within Gotchawal Lava Flows may be formed by the milling owing to the movement of lava slabs similar to millstone effect during the Gotchawal Lava Flows.

감사의 글

새로운 천년을 맞이하기 위해 온 세상이 하얗게 물든 오늘, 두근거리고 송구스러운 마음으로 마무리하면서, 이 작은 보람을 위해 도움을 주신 분들께 감사의 글을 올립니다.

우선 학문의 길로 인도하여 주시고 여러 모로 부족한 저에게 항상 넉넉한 가르침과 자상하고 세심한 지도로 보살펴 주신 윤선 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 일정 속에서 많은 시간을 할애하여 심사를 하여주신 황진연 교수님, 김진섭 교수님, 윤희수 교수님, 고기원 박사님께 감사를 드립니다. 아울러, 부족한 저에게 많은 지식을 전수하여 주신 김정진·이준동·김항목·김인수·함세영 교수님, 특히 영문 요약문을 수정하여 주신 양경희 교수님께 고마운 마음을 전합니다. 그리고 교단 생활과 연구 생활을 병행할 수 있도록 배려해 주신 김무종 교장 선생님과 강창범 교장 선생님 이하 고산중학교 교직원 여러분들에게 감사드립니다.

야외 조사와 암석화학 분석을 도와주신 한국자원연구소의 박기화 박사님, 용기를 북돋아 준 제주발전연구원 박원배 박사, 제주도청 수자원사업소 박윤석 학우, 현대근 선생, (주) 우성엔지니어링 기술사사무소의 김호원 사장님 이하 직원 여러분, 주식회사 진산의 김봉상 사장님 이하 직원 여러분, 또한 고향 친구들에게 감사의 마음을 전합니다.

이 작은 결실이 맺어지기까지 늘 애정어린 눈으로 지켜보며 물심양면으로 도움을 주셨던 어머니, 장인·장모님, 형님·누님·동생·처남·처형 내외분께 감사드립니다. 또한 자신의 힘든 일을 내색하지 않고 인내하며 오로지 사랑으로 뒷바라지를 아끼지 않았던 아내 경연, 야외 조사시 동행했던 세 자매 준협·현정·준한이와 더불어 논문 완성의 기쁨을 함께 나누고 싶고, 내 작은 마음의 결실인 이 논문을 아버지의 영전에 바칩니다.

새천년을 열기 위해 몸부림치는 날