

제주도 꽃자왈지대의 용암

No. 4. 병악꽃자왈용암

송 시 태

서귀포고등학교 · 제주대학교 사범대학 교육과학연구소 특별연구원

요 약

제주도에서 꽃자왈이라 부르는 지대는 암괴상 아아 용암류의 특징을 잘 보여주는 "꽃자왈 용암(gotjawal lava)"이 놓여 있어 강수가 곧바로 지하수로 유입되는 투수성이 매우 높은 지역이다. 한경-안덕 꽃자왈지대에 분포하는 병악꽃자왈용암은 평균 1.5km의 폭으로 9.0km를 유동하였다. 병악꽃자왈용암의 조직은 클린커-암괴성 조직(clinkery-blocky texture)으로 되어 있는데, 중력과 대력으로 구성되어 있으며 현무암질조면안산암(Basaltic trachyandesite)으로 되어 있다. 병악꽃자왈용암이 유동하는 동안 용암판들의 멧돌과 같은 작용으로 인하여 미세력이 형성되었으며, 미세력의 양은 원거리형에 이룰수록 증가한다.

I. 서 언

제주도의 동부와 서부지역에는 제주어로 '꽃자왈(gotjawal)'이라 불리워지는 지대가 비교적 넓게 분포하고 있다. 꽃자왈로 불리워지는 지대에는 꽃자왈용암(gotjawal lava: 송시대·윤선, 2002)이 분포하므로 말미암아 토양발달이 빈약하여 자연림과 가시덩굴 등이 혼재되어 자라고 있어 경작지로 이용하지 못하는 불모지로 인식되어 왔으나 투수성이 높은 지역이어서 지하수 오염에 취약할 뿐 아니라 지하수가 함양되는 지역임이 밝혀짐에 따라 이 지대에 각종 시설물의 설치를 제한하는 시책을 시행하고 있다. 이처럼 최근에 들어서면서부터 꽃자왈지대에 대한 사회적 인식이 바뀌어 가고 있을 뿐만 아니라, 체계적인 보전·관리의 필요성이 제기되고 있지만 지금까지 꽃자왈지대에 대한 지질학적인 연구는 송시대 외(1996), 송시대(2000), 송시대·윤선(2002), 송시대(2003)에 한정되어 있는 실정이다.

본 논문은 제주도 한경-안덕 꽃자왈지대에 분포하는 병악꽃자왈용암(송시대(2000)는 '상창-화순꽃

자왈'이라 명명하였음.)에 대한 야외지질학적 연구를 통하여 꽃자왈용암의 분포상태를 비롯한 꽃자왈용암의 구성암석, 조직, 유형 및 성인 등을 밝히고자 한 것이다.

II. 꽃자왈용암의 분포와 암질

II-1 제주도 현무암질 용암의 2대 구분

제주도의 현무암질 용암은 그 형질에 있어서 파호이호이(Pahoehoe)와 아아(Aa)로 구분할 수 있는데, 연구지역의 표선리 현무암군을 구성하는 용암은 파호이호이에 해당되고 한라산현무암군으로 기재된 용암은 파호이호이 용암과 아아용암으로 되어 있다.

특히, 제주도에 분포하는 아아 용암 중에서도 주로 암괴로 이루어진 것을 암괴상 아아 용암류(aa rubble flow)라 하는데(Williams and McBirney, 1979) 이는 용암류 내부의 용암판과 용암판 사이의 부분이 유동 중에 각력질 암괴 크기로 파쇄되어 표면이 암쇄류의

양상을 이루는 것으로서 이러한 특징을 갖는 용암류를 송시태·윤선(2002)은 「꽃자왈용암(gotjawal lava)」이라 하였으며, 송시태(2003)는 용암류의 표면에 새끼줄구조를 나타내며 편평한 지대를 이루고 있는 용암을 빌레용암(bille lava)이라 하였다.

II-2 꽃자왈용암의 분포

제주도 서부지역의 한경-안덕 꽃자왈지대(Hangyeong-Andeog Gotjawal Terrain)에는 도너리꽃자왈용암(Doneori gotjawal lava)과 병악꽃자왈용암(Byeongak gotjawal lava)이 분포하고 있는데, 본 논문에서는 병악꽃자왈용암에 대해 연구하고자 한다.

해발표고가 473m이며 비고가 93m인 소병악에서 분출된 병악꽃자왈용암은 안덕면 화순리 방향으로 총 9km에 걸쳐 분포하고 있다(그림 1). 이 꽃자왈용암은 한경-안덕 꽃자왈지대의 도너리꽃자왈용암(송시태, 2000)이나 애월 꽃자왈지대(Aeweoul Gotjawal Terrain)의 노꼬메꽃자왈용암(Nokkome Gotjawal

Lava: 송시태, 2003)과는 달리 조천-함덕지대(Jocheon-Hamdeog Gotjawal Terrain)의 조천-대흘꽃자왈용암(Jocheon-Daeheul Gotjawal Lava: 송시태, 2000): 송시태·윤선, 2002), 함덕-와산꽃자왈용암(Hamdeog-Wasan Gotjawal Lava: 송시태, 2000): 송시태·윤선, 2002) 및 선흘꽃자왈용암(Seonheul Gotjawal Lava: 송시태, 2000: 송시태·윤선, 2002)과 마찬가지로 분기(分岐)하지 않은 상태로 유동한 꽃자왈용암으로서 평균 1.5km의 폭으로 산방산 근처의 해안 지역까지 이어지고 있다.

II-3 꽃자왈용암의 층서상 위치

병악꽃자왈용암이 분포하는 지역은 하위에서 상위의 순서로 탐라층(Tamna Formation, 윤선 외, 2002), 한라산현무암 그룹(Hallasan-Basalt Group, 윤선 외, 2002), 병악꽃자왈용암(Byeongak Gotjawal Lava) 및 한라산현무암 그룹의 층서를 나타낸다(그림 1: 표 1).

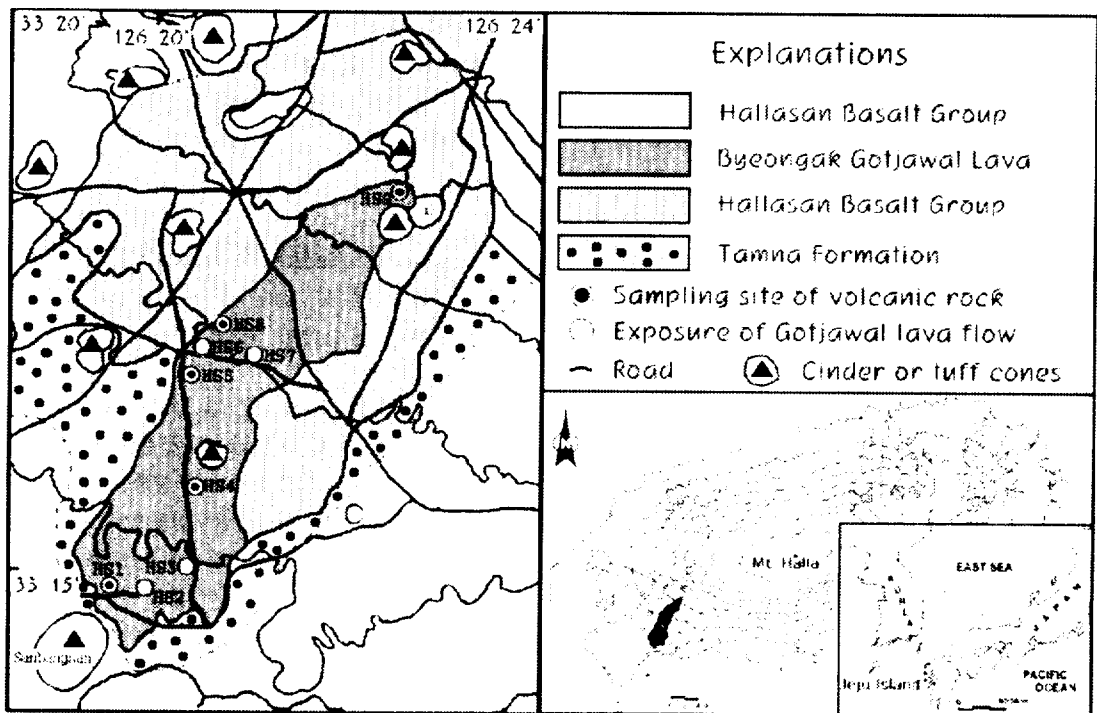


Fig. 1. Geologic map of the Byeongak Gotjawal Lava in the western area, Jeju Island. 1 : Byeongak

Table 1. Stratigraphic position of the Byeongak Gotjawal Lava Flow in the Hangyeong-Andeog Gotjawal Terrain.

Stratigraphic Position
Hallasan Basalt Group

Byeongak Gotjawal Lava

Hallasan Basalt Group

Tamna Formation

병악꽃자왈용암 하위에 분포하는 탐라층은 황갈색을 띠는 괴상의 이암을 기질로 원마도가 좋은 1~2cm의 역들이 산재된 역질이암으로 구성되어 있다. 이 탐라층은 침상장석감람석현무암(Acicular Feldspar Olivine Basalt)으로 이루어진 한라산현무암 그룹이 형성된 이후 병악꽃자왈용암이 피복할 때까지 침식 기간동안에 형성된 것으로서 시간적 불연속면을 의미한다. 또한, 병악꽃자왈용암을 부정합으로 피복한 한라산현무암 그룹은 반상의 장석과 휘석을 포함하는 반상장석휘석현무암(Porphry Feldspar Augite Basalt)이다.

II-4 꽃자왈용암의 암질

병악꽃자왈용암을 구성하고 있는 암석은 주로 회색을 띠며 다공질인 장석휘석감람석현무암(Feldspar Augite Olivine Basalt)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 꽃자왈용암의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 병악에서 논오름이 위치한 해발 200m까지는 기질이 없이 아각형 내지 아원형인 대력과 중력이 0.3~1m 크기의 용암편을 포함한 상태로 평균 2m 두께로 분포하고 있으며, 해발 200m 이하에서 말단부까지는 기질이 없이 아각형 내지 아원형인 중·소암괴가 평균 3m의 두께로 분포하고 있다(그림 2).

주요 지점별 특징을 살펴보면, 이 꽃자왈용암이

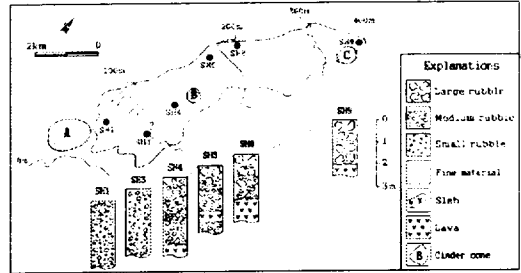


Fig. 2. Columnar sections of the Byeongak Gotjawal Lava Flow. A: Sanbangsan. B: Nonoreum. C: Byeongak

시작되는 병악 인근에 위치한 SH 9 지점에는 25~50cm 크기를 갖는 각이 진 대력이 영성하게 모여 있으며 지표 하 2m까지 연속되고 있다. 병악에서 3.7km 떨어진 안덕면 서광동리의 SH 8 지점과 SH 6 지점에는 중력 크기의 클린커가 0.3~1.0m 크기의 용암편을 포함하기도 한 상태로 지표 하 2.0m까지 분포(그림 3)하고 있을 뿐 아니라, 논오름에서 0.8km 떨어진 SH 3과 1.6km 떨어진 지점(SH 4)에는 아각형 내지 아원형인 중력과 소력이 지표 하 3.0m 까지 분포하고 있다.



Fig. 3. Medium rubbles(MR) and small rubbles(SR) at SH 6 in the Byeongak Gotjawal Lava.

특히, 이 꽃자왈용암의 말단부인 제주 조각공원 근처에 노출된 노두(두께 3m 이상)에서는 거의 대부분이 아각형 내지 아원형의 중력과 소력으로 이루어져 있는데, 암괴 사이에는 2mm 이하의 분쇄물이 다량 포함되어 있어 Rowland and Walker(1987)

가 제시한 아아 용암류의 말단부 유형(distal part)에 해당하는 것으로 해석된다(그림 4).



Fig. 4. Lava slab(LS) at SH 1 in the Byeongak Gotjawal Lava.

이상 서술한 병악 꽃자왈용암의 수직단면에서 나타난 특징을 요약하면, 꽃자왈용암이 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.

II-5 꽃자왈용암의 조성

병악꽃자왈용암의 암석화학적 특성을 파악하기 위해 한국지질자원연구원에서 XRF-1700을 이용하여 분석한 결과 표 2와 같이 나타났다. 암석의 분류 및 명명은 (Na₂O+K₂O) - SiO₂를 이용한 IUGS 분

류도(Le Bas et al., 1986)를 따른 결과, 병악꽃자왈용암은 현무암질조면안산암(그림 5)으로 이루어져 있어 조면현무암으로 이루어진 애월 꽃자왈지대의 노꼬메꽃자왈용암과 다른 화학성분으로 나타났다.

병악꽃자왈용암의 SiO₂ 함량은 평균 51.3wt % (50.41~52.05wt %)으로 애월꽃자왈지대의 노꼬메꽃자왈용암(평균 50.4wt %: 송시태, 2002: 송시태, 2003), 조천-함덕 꽃자왈지대의 조천-대흘꽃자왈용암(평균 50.0wt %: 송시태, 2000: 송시태·윤선, 2002), 함덕-와산꽃자왈용암(평균 50.3wt %: 송시태, 2000: 송시태·윤선, 2002)보다 약 1% 정도 많은 함량을 보이고 있지만 매우 비슷한 유동구조를 나타내고 있다.

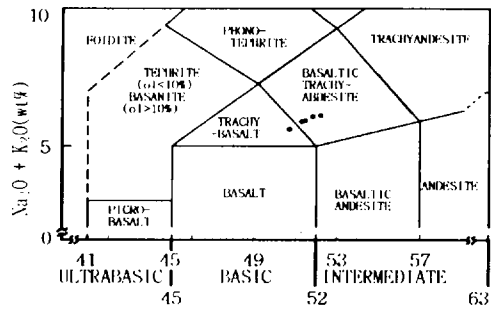


Fig. 5. Na₂O+K₂O(wt%) versus SiO₂ plot of the volcanic rocks from the Byeongak Gotjawal Lava Flow. Solid lines are for classification of volcanic rocks.

II-6 꽃자왈용암 조직의 유형과 분포

제주도 꽃자왈지대에 분포하는 꽃자왈용암의 조직을 송시태(2000)는 꽃자왈용암 조직의 독자적 특

Table 2. Sampling number and major element abundances of the Byeongak Gotjawal Lava Flow from the Hangeong-Andeog Gotjawal Terrain(Analyzed by X-ray fluoresces 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	
SH1	22.89	136.80	50.41	15.79	12.10	7.36	5.26	1.98	3.61	2.30	0.15	0.68	0.26	99.90	Trachybasalt
SH4	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
SH5	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
SH8	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
SH9	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

KIGAM: Korea Institute of Geology, Mining & Materials

징을 근거로 하여 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)과 클린커-암괴성 조직(clinkery-blocky texture)으로 세분하였다.

병악에서 분출된 병악꽃자왈용암의 조직은 안산암질 용암이 만드는 암괴용암(block lava)의 형질과 유사하나 클린커-암괴성 조직(clinkery-blocky texture)을 갖는 꽃자왈용암으로서 꽃자왈용암이 시작하는 지점으로부터 클린커와 중력-대력이 혼재하며 하류로 내려감에 따라 중력-소력의 양이 많아진다(그림 6).

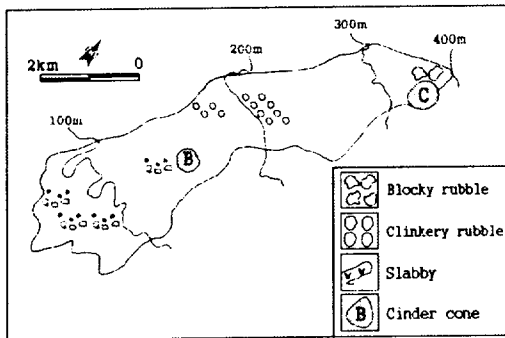


Fig. 6. Planar schematic diagram of the Byeongak Gotjawal Lava Flow in the Hangeong-Andeog Gotjawal Terrain, Jeju Island. B: Nonoreum. C: Byeongak

한경-안덕 꽃자왈지대의 병악꽃자왈용암 조직의 분포는 다음과 같다(표 3).

Table 3. Morphological classification of the Byeongak Gotjawal Lava Flow in the Hangeong-Andeog Gotjawal Terrain.

Flow distance	Hangyeong-Andeog Gotjawal Terrain
	Byeongak Gotjawal Lava
1~2km	Clinkery-Blocky
2~5km	Clinkery-Blocky
5~10km	Clinkery-Blocky
Total length	9.0km
Texture	Clinkery-Blocky

병악에서 분출된 병악꽃자왈용암은 전체가 클린커-암괴성 조직(clinkery-blocky texture)을 갖는다.

본 꽃자왈용암의 총 유동거리는 9km로서, 본 꽃자왈용암과 같은 클린커-암괴성조직을 갖는 검은오름에서 분출된 선흘꽃자왈용암(송시대, 2000; 송시대·윤선, 2002)보다는 2km를 더 많이 유동하였으며 애월 꽃자왈지대의 노꼬메오름에서 분출된 노꼬메꽃자왈용암(송시대, 2000; 송시대, 2003)과는 같은 거리를 유동하였다.

III. 꽃자왈용암의 성인에 관한 고찰

아아용암의 성인에 관한 연구로는 Macdonald (1953)와 Peterson and Tilling (1980)가 지연현상을 관찰하고 심도있는 연구를 수행한 바 있다. 전자는 파호이호이 용암에 비해 점성이 높은 경향이 있으나 화학성분에 있어서 차이가 없으며, 아아용암이 형성되는 것은 화학성분상의 차이가 아니라 용암이 격렬하게 뿜어져 나오거나 급경사면을 흘러 내리거나 절벽을 넘어갈 때 일어나는 난류와 내부 전단력에 의해 생성된다는 것을 고찰했으며 후자는 용암류의 내부에 전단력이 가장 강한 용암류의 주변부에서 자연적으로 전이되기도 하고 용암이 급경사의 절벽으로 떨어질 때 형성되거나 용암류의 표면에 각(殼)이 파쇄되어 밀려가 용암류의 전선에 쌓여 형성된다는 관점에서 고찰했다.

병악꽃자왈용암이 시작되는 병악 인근에는 25~50cm 크기를 갖는 각이 진 대력이 지표 하 2.0m까지 연속되지만, 논오름에서 0.8km 떨어진 지점에서부터 이 꽃자왈용암의 말단부인 제주 조각공원 근처까지 아각형 내지 아원형인 중력과 소력이 지표 하 3.0m 까지 분포하고 있으며, 암괴 사이에는 2mm 이하의 분쇄물이 다량 포함되어 있어 Rowland and Walker(1987)가 제시한 아아 용암류의 말단부 유형(distal part)에 해당하는 것으로 해석된다.

이상 서술한 병악 꽃자왈용암의 수직단면에서 나타난 특징을 요약하면, 꽃자왈용암이 시작되는 지점에서부터 해안쪽으로 내려감에 따라 각력의 크기는 점차 감소하지만 각력층의 두께는 두꺼워지는 경향을 보이고 있다.

따라서, 꽃자왈지대를 이루고 있는 꽃자왈용암의

성인은 파호이호이 용암이 유동과정 중에 점성이 증가하여 형성되는 것 외에, 용암이 작은 절벽 즉, 방해물을 넘어갈 때 형성된 것이다. 병악꽃자왈용암에 함유되어 있는 미세력 역시 함덕-와산꽃자왈용암이나 조천-대흘꽃자왈용암에서 관찰한 것과 같이 꽃자왈용암이 유동하는 동안 용암판들이 멧돌(millstone)과 같은 작용을 하여 용암판 사이에 있는 암괴가 분쇄(milling)되어 형성된 것으로 해석된다.

IV. 결 론

1. 병악꽃자왈용암은 병악에서 분출되어 평균 1.5km의 폭으로 총 9km에 걸쳐 분포하고 있다.
2. 꽃자왈용암의 조직은, 전반적으로 꽃자왈용암이 시작되는 지점에서부터 해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 암괴의 크기가 점차 감소할 뿐만 아니라, 암괴 사이에 포함되는 미세력의 양이 증가하는 경향을 보이며, 클린커층의 두께는 말단부로 갈수록 두꺼워지는 경향을 뚜렷이 보이고 있다.
3. 꽃자왈용암의 구성 암석에 대해 주성분 원소 분석을 실시한 결과, 병악꽃자왈용암은 현무암질조면안산암에 해당되었다.
4. 꽃자왈용암에 함유되어 있는 직경 2mm 이하의 준고결된 미세력은 꽃자왈용암이 유동하는 동안 용암판들이 멧돌과 같은 작용을 하여 용암판 사이에 있는 암괴들이 분쇄되어 형성된 것으로 해석된다.

참고문헌

박기화, 이병주, 조등룡, 김정찬, 이승렬, 최현일, 황재하, 송교영, 최범영, 조병욱, 김유봉, 1998. 제주·애월도폭 지질보고서. 제주도, 290p.
 송시태, 2000. 제주도 암괴상 아아용암류의 분포 및 암질에 관한 연구. 부산대학교 박사학위논문, 118p.
 송시태, 2003. 제주도 꽃자왈지대의 용암 - No. 2. 노꼬메꽃자왈용암. 제주대학교 교육과학연구소, 백록논총, 편집중.
 송시태, 2003. 제주도 꽃자왈지대의 용암 - No. 3. 도너리꽃자왈용암. 제주대학교 기초과학연구소,

기초과학연구, 16(1) 편집중.
 송시태, 고기원, 윤선, 1996. 제주도 지하수의 함양과 오염에 영향을 미치는 습골구조와 꽃자왈지대에 관한 연구(1). 대한지하수환경학회 학술발표회 요지집, 68-69.
 송시태, 윤선, 2002. 제주도 꽃자왈지대의 용암 No. 1. 조천-함덕 꽃자왈지대. 지질학회지, 28(3), 337-389.
 윤선, 정차연, 송시태, 현원학, 2002. 제주도 형성사에 있어서 탐라층의 의의. 한국고생물학회 제18차 학술발표회 요약집, 17-18.
 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.*, 27, 745-750.
 Lipman, P. W. and Banks, N. G., 1987. Aa flow dynamics, Mauna Loa 1984. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper 1350: 1527-1567.
 Macdonald, G. A., 1943. The 1942 eruption of Mauna Loa Hawaii. *Am. Jour. Sci.* 241, 241-256.
 Macdonald, G. A., 1953. Pahoehoe, aa, and block lava. *Am. J. Sci.*, 251, 169-191.
 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.*, 7, 271-293.
 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.*, 49, 631-641.
 Wentworth, C. K. and Macdonard, G. A., 1953. Structures and formes of basaltic rocks in Hawaii. *US Geol. Surv. Bull.* 994: 98p.
 Yoon, S., 1997. Miocene-Pleistocene volcanism and tectonics in southern Korea and their relationship to the opening of the Japan Sea. *Tectonophysics*, 281, 53-70.
 Yoon, S., Jung, C.Y., Song, S.T. and Yang, K.H., 2001. Volcanic debris-avalanche and epiclastic deposits in the Seongeup area, Jeju Island, Korea. *Geosciences Journal*, 5, 47-55.

Lavas in Gotjawal Terrain, Jeju Island, Korea No. 4. Byeongak Gotjawal Lava

Shi Tae Song

Seogwipo High School. Jeju. 697-804

ABSTRACT : "Gotjawal" is the terrain which is covered by aa rubble flow and is so permeable that rain water easily penetrates into groundwater. Gotjawal lava of the gotjawal terrain is adopted as an administrative term for the development and preservation of groundwaters. Byeongak Gotjawal Lava was erupted in the Byeongak. Byeongak Gotjawal Lava is distributed in the Hangeong-Andeog Gotjawal Terrain is 9km long and 2~3km wide. Byeongak Gotjawal Lava is consist of trachybasalt. The texture of gotjawal lava is made up of the clinkery-blocky types and large and medium rubbles. The fine rubbles might have been formed by millstone effect of moving lava slabs. The content of fine rubbles increases as approaching towards the distal type.