

제주도 꽃자왈지대의 용암

No. 2. 애월 꽃자왈지대

송 시 태 *

I. 서 언

제주도의 동부와 서부지역에는 제주 방언으로 '꽃자왈(gotjawal)' 이라 부르는 지대가 비교적 넓게 분포하고 있다. 꽃자왈로 불리워지는 지대에는 꽃자왈용암(gotjawal lava; 송시태·윤선, 2002)이 분포함으로 말미암아 토양의 발달이 빈약하고 자연림과 가시덩굴 등이 혼합 식생하고 있어 경작지로 이용하지 못하는 불모지로 인식되어 왔으나 지하수의 오염에 취약할 뿐 아니라 지하수가 주로 함양되는 투수성이 높은 지역임을 인식하고, 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 송시태 외(1996), 송시태(2000), 송시태·윤선(2002)을 제외하면 전무한 실정이다.

본 논문은 제주도의 애월 꽃자왈지대에 분포하는 노꼬메꽃자왈용암에 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

* 서귀포고등학교사

제주대학교 교육과학연구소 연구원

(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 용암편 사이의 부분이 유동중에 각력질 암괴 크기로 파쇄되어 표면이 암설류의 양상을 이루는 것으로서 이러한 특징을 갖는 용암류를 송시태·윤선(2002)은 「꽃자왈 용암(gotjawal lava)」이라 하였다.

II-2 꽃자왈용암의 분포

제주도 서부지역의 애월 꽃자왈지대(Aeweol Gotjawal Terrain)에는 노꼬메 꽃자왈용암(Nokkome Gotjawal Lava)이 분포하고 있는데, 이 꽃자왈용암은 해발 833.8m에 위치한 노꼬메오름(지형도상에는 큰오름으로 표기되어 있으나 제주도에는 3개의 큰오름이 분포하고 있어 혼동할 우려가 있고 지역주민들 사이에는 '노꼬메'라는 고유의 이름으로 현재도 사용되고 있어 이를 사용함)에서 분출되어 해발 90m의 애월읍 납읍리와 원동지역까지 총 9.0km에 걸쳐 분포하고 있다(그림 1). 해발 200m까지는 2~3km의 폭으로 이어지다가 납읍리 동분석구(박기화 외 10인, 2000)를 기점으로 애월읍 납읍리와 하가리 방향으로 분기되고 있다. 이 꽃자왈용암은 지형경사가 비교적 급한 노꼬메오름 주변에서는 폭이 협소하지만, 지형경사가 완만한 해발 200~300m 사이의 지역에서는 폭이 3.2km로서 최대를 나타내고 있다.

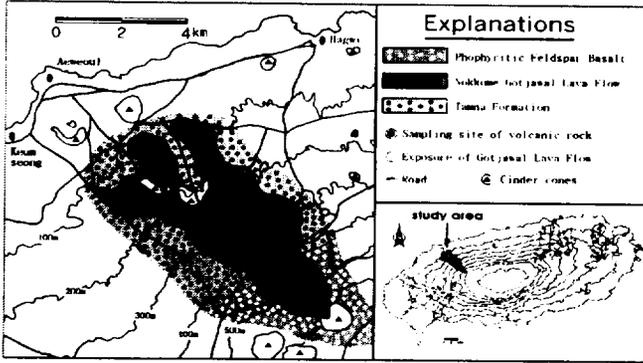


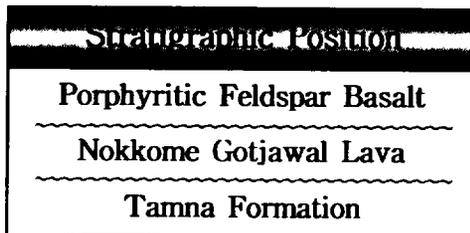
Fig. 1. Geologic map of the Aeweoul Gotjawal Terrain in the western area, Jeju Island.

II-3 꽃자왈용암의 층서상 위치

노꼬메꽃자왈용암은 하위에서 상위의 순서로 탐라층(Tamna Formation, 윤선 외, 2002), 노꼬메꽃자왈용암(Nokkome Gotjawal Lava) 및 한라산조면현무암군(Hallasan Trachybasalt, Yoon, S., 1997; Yoon et al., 2001)에 해당되는 반상장석현무암(Porphyritic Feldspar Basalt)의 층서를 나타낸다(그림 1; 표 1).

노꼬메꽃자왈용암의 하위에 탐라층(Tamna Formation)이 놓여 있는데, 이 탐라층은 흑갈색을 띠는 괴상의 이암을 기질로 원마도가 좋은 3~5cm의 역들이 산재된 역질이암으로 이루어져 있다.

Table 1. Stratigraphic position of the Nokkome Gotjawal Lava Flow in the Aeweoul Gotjawal Terrain.



II-4 꽃자왈용암의 암질

노꼬메꽃자왈용암을 구성하고 있는 암석은 주로 회색을 띠며, 0.5~3.0mm 크기의 장식 반정이 3~5%, 1~3mm(최대 5mm) 크기의 휘석 반정이 1~3%, 1mm 이하(최대 3mm)의 감람석 반정도 함유되어 있는 다공질의 장식휘석감람석현무암(Feldspr Augite Olivine Basalt)이다.

본 꽃자왈용암의 거리에 따른 두께 변화를 보면, 노꼬메오름 주변에서부터 해발 300m 까지는 평균 1.5m의 두께를 나타내며, 해발 300m 이하에는 기질이 없이 아각형 내지 아원형인 중력(64~256mm)과 소력(2~64mm; 송시대·윤선, 2002)이 대략 2.0m의 두께로 이루어져 있어 해안쪽으로 거리가 증가함에 따라 점차 두꺼워지는 양상을 보인다(그림 2).

주요 지점별 특징을 살펴보면, 서부산업도로에서 어승생 저수지로 이어지는 제1산록도로변(NW 6; 두께 3m 이상)에는 용암류의 상부에 대력(256mm 이상)과 중력으로 구성된 클린커층이 1m의 두께로 발달하고 있으며, 하부에는 중력과 소력으로 구성된 클린커층이 0.5m의 두께로 분포하고 있다. 노꼬메 오름에서 3.0km 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(그림 2와 3). 용암의 하부에는 상부의 클린커보다 큰 100~250mm의 중력으로 구성된 3m 두께의 클린커층이 발달하고 있는데, 이 층내에는 20×150cm 크기의 용암판이 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 아원형에서 원형의 대력이 분포하고 대력 사이에는 적색을 띤 2mm 이하 크기의 스코리아성 입자가

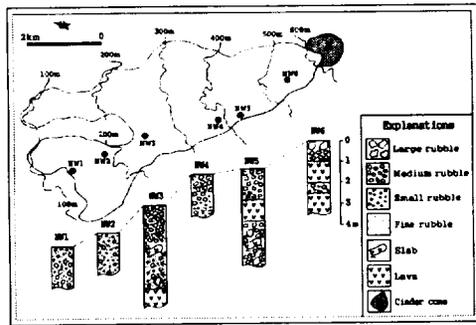


Fig. 2. Columnar sections of the Nokkome Gotjawal Lava Flow. A: Nokkomeoreum

1.2~2.1m의 두께로 분포하고 있다(그림 2와 3). 용암의 하부에는 상부의 클린커보다 큰 100~250mm의 중력으로 구성된 3m 두께의 클린커층이 발달하고 있는데, 이 층내에는 20×150cm 크기의 용암판이 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 아원형에서 원형의 대력이 분포하고 대력 사이에는 적색을 띤 2mm 이하 크기의 스코리아성 입자가

다량으로 분포하고 있을 뿐만 아니라, 아아 용암에 발달하는 특징적인 구조로서 눈사람이 만들어지는 원리와 같이 고체상태의 파편이 구르면서 고결되지 않은 용암을 반복해서 부착시킴으로서 내부에 나이테모양의 테두리 구조가 발달하는 부가용암구(Accretionary lava ball; Macdonald, 1943; Wentworth and Macdonald, 1953; Lipman and

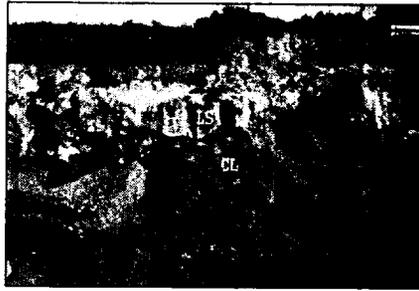


Fig. 3. Exposure of the Nokkome Gotjawal Lava at NW 5. CL, Clinker layer; LS, Lava slab.

Banks, 1987)가 직경 30cm 크기로 존재한다(그림 2와 4). 또한, 납읍리 소재, 유스호스텔 부근의 노두(NW 2)에서는 상부 클린커층의 두께가 2m 이상이며, 곳자왓용암이 유동하는 동안 용암판들이 맷돌과 같은 작용(송시태·윤선, 2002)에 의해 분쇄되어 만들어진 2mm이하 크기의 미세력(fine rubble)이 중력사이를 채우고 있어(그림 2와 5), 아아 용암류의 원거리형(distal type)에 해당된다.

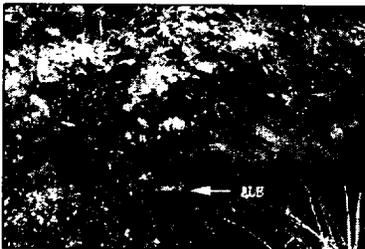


Fig. 4. Accretionary lava ball in the Nokkome Gotjawal Lava at NW 3.



Fig. 5. Distal part of the Nokkome Gotjawal Lava at NW 2.

이상의 결과를 종합해보면, 노꼬메곳자왓용암은 해발 150~300m 구간에서 상부 클린커층의 두께가 비교적 두꺼운 경향을 보이는 반면, 곳자왓용암의 시작지점인 노꼬메오름 부근에서는 얇아지는 특징을 보여주고 있는데 이는 이곳자왓용암의 분포 폭의 변화와도 비교적 일치하는 것이다. 즉, 곳자왓용암의 폭이 넓은 지역일 수록 상부 클린커층이 두껍게 발달되어 있는 반면, 폭이 좁은 지역에서는 얇아지는 경향을 보여주고 있다. 아울러, 고지대에서 해안쪽으

로 향하면서 암괴의 크기가 점차적으로 작아질 뿐만 아니라, 암괴 사이에 포함된 미세력의 양도 증가하고 있어 하와이에서 Rowland and Walker(1987)에 의해 보고된 아아 용암류의 거리에 따른 형태적 변화인 원거리형과 비교적 일치하고 있을 뿐만 아니라 제주도 꽃자왈용암의 경우 송시태·윤선(2002)에 의해 보고된 거문오름에서 분출된 선흘꽃자왈용암(Seonheul Gotjawal Lava)의 거리에 따른 형태적 변화와도 잘 일치하고 있다.

II-5 꽃자왈용암의 조성

노꼬메꽃자왈용암의 암석화학적 특성을 파악하기 위해 한국지질자원연구소에서 XRF-1700을 이용하여 분석하였으며, 그 결과는 표 2와 같다. 암석의 분류 및 명명은 $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ 를 이용한 IUGS 분류도(Le Bas et al., 1986)를 따른 결과, 애월 꽃자왈지대의 노꼬메꽃자왈용암은 조면현무암(그림 6)으로 이루어져 있는 반면, 조천-함덕 꽃자왈지대의 꽃자왈용암은 현무암(Basalt)으로 이루어져 있어 꽃자왈용암을 이루는 암석의 화학성분상의 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 2. Sampling number and major element abundances of the Nokkome Gotchawal Lava Flow from the Aeweoul 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	lgloss		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	99.7	Trachybasalt
NW3	42.02	140.74	50.7	15.78	11.37	7.68	5.71	1.93	3.59	2.16	0.15	0.55	-0.40	99.2	Trachybasalt
NW4	40.21	141.92	49.6	17.63	10.87	7.68	4.08	1.88	3.85	2.04	0.15	0.59	1.41	99.8	Trachybasalt
NW5	39.57	142.09	50.4	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	50.1	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

노꼬메꽃자왈용암의 SiO₂함량은 평균 50.4wt %(49.65~50.73wt %)으로 조천-함덕 꽃자왈지대의 조천-대흘꽃자왈용암(평균 50.0wt %), 함덕-와산꽃자왈용암(평균 50.3wt %)과 매우 비슷한 조성을 보이고 있어 비슷한 유동구조를 나타내고 있다.

II-6 곳자왈용암

조직의 유형과 분포

제주도의 곳자왈지대에 분포하는 곳자왈용암의 조직은 Lipman and Banks(1987)의 분류에 따르면 클린커성 아아용암과 암괴성 아아용암에 해당될 수 있으나, 송시대·윤선(2002)은 곳자왈용암 조직의 독자적 특징을 근거로, 슬래비-클린커성 조직(slabby-clinkery texture)과 클린커-암괴성 조직(clinkery-blocky texture)으로 세분하였다.

노꼬메곳자왈용암은 클린커와 중력~대력이 혼재하며 분포할 뿐만 아니라 곳자왈용암이 시작하는 지점으로부터 유동거리의 약 70~80%까지는 클린커가 중력~대력보다 많으나 보다 더 하류로 감에 따라 중력~대력의 양이 클린커보다 많아 클린커-암괴성 조직에 해당된다.

애월 곳자왈지대의 노꼬메곳자왈용암 조직의 분포는 다음과 같다(표 3).

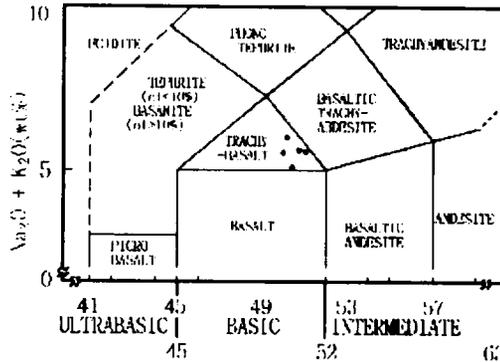


Fig. 6. Na_2O+K_2O (wt%) versus SiO_2 plot of the volcanic rocks from the Nokkome Gotjawal Lava Flow in the Aeweoul Gotjawal Terrain, Jeju Island. Solid lines are for classification of volcanic rocks(Le Bas et al., 1986).

Table 3. Morphological classification of the Nokkome Gotjawal Lava Flow in the Aeweoul Gotjawal Terrain.

Flow distance	Aeweoul Gotjawal Terrain
	Nokkome Gotjawal Lava
1~2km	Clinkery-Blocky
2~5km	Clinkery-Blocky
5~10km	Clinkery-Blocky
Total length	9.0km
Texture	Clinkery-Blocky

노꼬메오름에서 분출된 노꼬메꽃자왈용암은 전체가 클린커-암괴성 조직 (clinkery-blocky texture)을 갖는다(표 3; 그림 7). 본 꽃자왈용암의 총 유동거리는 9 km로서, 조천-함덕 꽃자왈지대의 슬래비-클린커성 조직을 갖는 조천-대흘꽃자왈용암(11.0km)과 함덕-와산꽃자왈용암(12.0km)보다는 유동거리가 적지만 본 꽃자왈용암과 같은 클린커-암괴성조직을 갖는 검은오름에서 분출된 선흘꽃자왈용암(7.0km)보다는 2km를 더 많이 유동하였다.

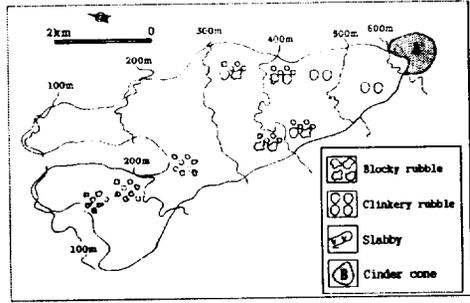


Fig. 7. Planar schematic diagram of the Nokkome Gotjawal Lava Flow in the Aeweoul Gotjawal Terrain, Jeju Island.

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 파호 이호이 용암에 비해 점성이 높은 경향이 있으나 화학성분에 있어서 차이가 없으며, 아아용암이 형성되는 것은 화학성분상의 차이가 아니라 용암이 격렬하게 뿜어져 나오거나 급경사면을 흘러내리거나 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.

노꼬메꽃자왈용암의 경우, 노꼬메오름에서 북동쪽으로 약 1km 떨어진 NW 6 지점에는 각형 내지 아각형의 대력과 중력이 주로 분포하고 있는 반면, 북쪽으로 약 3.5km 떨어진 지점(그림 8)에는 용암관이 유동하면서 하부의 암괴를 분

쇄하여 아각형 내지 아원형의 중력과 소력을 만듦과 동시에 미세력이 다량 포함되어 있는 것이 관찰된다.

따라서, 곳자왓지대를 이루고 있는 곳자왓용암의 성인은 파호이호이 용암이 유동과정 중에 점성이 증가하여 형성되는 것 외에, 용암이 작은 절벽 즉, 방해물을 넘어갈 때 형성된 것이다. 노꼬메곳자왓용암에 함유되어 있는 미세력 역시

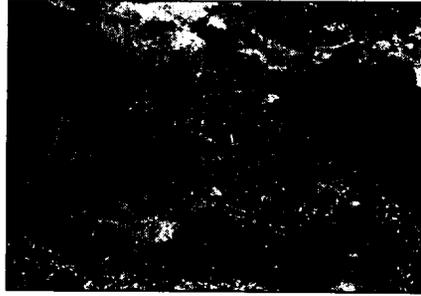


Fig. 8. Exposure of the Nokkome Gotjawal Lava.

함덕-와산곳자왓용암이나 조천-대흘곳자왓용암에서 관찰한 것과 같이 곳자왓용암이 유동하는 동안 용암판들이 멧돌(millstone)과 같은 작용을 하여 용암판 사이에 있는 암괴가 분쇄(milling)되어 형성된 것으로 해석된다.

IV. 결 론

- (1) 애월 곳자왓지대의 노꼬메곳자왓용암은 노꼬메오름에서 분출되어 9.0km의 거리에 걸쳐 분포하고 있는데, 지형경사가 급한 노꼬메오름 주변에서는 폭이 협소하지만, 경사가 완만한 지역에서는 넓어지는 경향을 보인다.
- (2) 노꼬메곳자왓용암의 조직은, 전반적으로 곳자왓용암이 시작되는 지점에서부터 해안쪽으로 거리가 멀어짐에 따라 암괴의 크기가 점차 감소할 뿐만 아니라, 암괴 사이에 포함되는 미세력의 양이 증가하는 경향을 보이며 클린커층의 두께는 말단부로 갈수록 얇아진다.
- (3) 노꼬메곳자왓용암 조직의 유형은 클린커-암괴성 조직(clinkery-blocky texture)으로 되어 있다.
- (4) 곳자왓용암의 구성 암석에 대해 주성분 원소 분석을 실시한 결과, SiO_2 함량이 평균 50.4wt %이고 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 의 함량이 평균 5.53wt %로서 노꼬메곳자왓용암은 조면현무암에 해당된다.

- (5) 노꼬메곶자왈용암이 유동하는 동안 곶자왈용암내에 들어있는 용암판들이 멧돌과 같은 작용을 함으로써 미세력이 생성되고 고지대에서부터 말단부인 해안쪽으로 갈수록 미세력의 양이 증가하는 경향을 보이고 있다.

참 고 문 헌

- 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, 고기원, 윤선, 1996, 제주도 지하수의 함양과 오염에 영향을 미치는 숭골구조와 곶자왈 지대에 관한 연구(1). 대한지하수환경학회 학술발표회 요지집, 68-69.
- 송시태, 윤선, 2002, 제주도 곶자왈지대의 용암 No. 1. 조천-함덕 곶자왈지대. 지질학회지, 28(3), 337-389.
- 윤 선, 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.