

제주도 구조운동사

윤 선^{1,*} · 정차연² · 현원학³ · 송시태⁴

¹부산대학교 지질환경과학과

²한국농어촌공사 경남지역본부

³제주생태교육연구소

⁴제주서중학교

요 약

제주도의 지질층서는 하위로부터 상위로의 순서로 기반암, 고제주화산암, 서귀포층, 표선리현무암군, 탐라층, 현무암질 암맥복합체, 한라산현무암군, 백록담조면암군, 화산성암설사태층, 신양리층 및 고해빈-내만사층으로 구분된다. 이러한 지질층서를 기초로하여 다음과 같이 제주도의 구조운동사를 편찬한다. I 단계 분지의 형성과 해침-서귀포층 시대: 제주도지역에 분지가 형성되고 해침이 일어났다. 연대는 3.58 Ma (?)~0.78 Ma이다; II 단계 현무암질 화산활동 1-표선리현무암군 시대: 제주도지역은 용기하여 육화되었으며, 표선리현무암군의 파호에 호에 용암들이 분출하였다. 연대는 약 0.6 Ma이다. 이 시기에 전기분석구가 형성되었다; III 단계 하성환경-탐라층 시대: 2단계의 화산활동이 끝난 후 제주도지역은 하성환경에 놓이게 되어 탐라층이 퇴적되었는데, 특히 중부 지역은 침강하여 넓은 하곡을 이루었다. 탐라층의 연대는 약 0.5 Ma이며, 이 시대에는 한라산은 존재하지 않았었다; IV 단계 현무암의 화산활동 2-한라산현무암군 시대: 한라산현무암군의 파호에 호에 용암과 아이 용암이 분출하였고, 후기분석구가 형성되었다. 현무암질 암맥들(현무암질 암맥복합체)이 탐라층에 관입하였다; V 단계 조면암질 마그마의 관입-한라산의 돔(dome)상 용기 시대: 조면암질 마그마가 제주도의 중심부에 관입하여 백록담조면암군을 형성하였으며, 제주도의 중심부를 돔상으로 용기시켜 한라산을 형성하였는데, 정상부가 소규모 적으로 함몰하여 백록담이 형성되었다. 백록담조면암용암들의 연대는 0.07 Ma이다. 이와 같은 구조운동사를 갖는 제주도는 화산도도 아니고 순상화산도 아니다. 제주도는 조면암질 마그마의 관입과 분출에 의하여 형성된 용기화산체가 해수에 의하여 침수된 침수화산(submergent volcano)이며, 형체에 있어서는 복합화산과 유사하다.

주요어: 제주도, 한라산, 백록담, 탐라층, 돔상 용기산체

Sun Yoon, Cha Yeon Jung, Weon Hak Hyun and Shi Tae Song, 2014, Tectonic history of Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 4, p. 457-474

ABSTRACT: The geology of Jeju Island is generally divided into Basement, Paleo-Jeju Volcanics, Seogwipo Formation, Pyoseolli Basalt Group, Tamna Formation, Basaltic dyke complex, Hallasan Basalt Group, Baengnokdam Trachyte Group, Volcanic debris-avalanche deposits, Sinyangni Formation and Paleobeach-embayment sand deposit in ascending order. Paleo-Jeju Volcanics is only recognized by the basaltic and trachytic gravels in the gravelly sediments of the Seogwipo Formation. The Tectonic history is enumerated as follows in chronological order: (1) Stage I Basin formation and marine transgression: Seogwipo Formation time; (2) Stage II Basaltic volcanic activity-1: Pyoseolli Basalt Group time; (3) Stage III Fluvial environment: Tamna Formation time; (4) Stage IV Basaltic activity-2: Hallasan Basalt Group time; (5) Stage V Trachytic magma intrusion: Baengnokdam Trachyte Group and dome-like uplift of Hallasan time. Jeju Island having such a tectonic history is neither a volcanic island nor a shield volcano. Jeju Island is a submerged volcano, and its shape resembles to composite volcano.

Key words: Jeju Island, Hallasan, Baengnokdam, Tamna Formation, dome-like uplifted edifice

(Sun Yoon, Department of Geological Science, Pusan National University, Busan 609-735, Republic of Korea; Cha Yeon Jung, Gyeongnam Regional Headquarters, Korea Rural Community Corporation, Changwon 641-840, Republic of Korea; Weon Hak Hyun, Jeju Environmental Education and Research Institute, Jeju 690-150, Republic of Korea; Shi Tae Song, Jejuseo Middle School, Jeju 690-170, Republic of Korea)

* Corresponding author:

E-mail: sunyoon@pusan.ac.kr

1. 서 언

제주도는 대한해협을 서남측 입구에 위치하는 섬으로(그림 1), 화산도라고 알려져 왔다. 제주도의 지질에 관한 연구는 일본인 지질학자 Haraguchi (1930, 1931)에 의하여 최초로 조사되었는데, Haraguchi (1931)는 제주도의 화산활동을 다음과 같이 3단계로 구분하였다.

- (1) 제주도의 최초의 화산활동은 제3기 후기에 조면암질(trachytic) 마그마의 분출로 시작하였으며, 많은 돔상의 화산체가 형성되었다. 이 조면암질 마그마의 화산활동이 있을 후 휴식기에 서귀포층이 천해에서 퇴적되었다.
- (2) 플라이스토세 초에 화산활동이 점차로 증가하였으며 조면-안산암질 용암들이 분출하였다. 이 화산활동 후 화산활동은 크게 쇠퇴하였다.
- (3) 그 후 다시 화산활동은 격렬하여졌으며, 제주도 전역에 분포하는 많은 분석구들을 형성하였다. 이 화산활동은 다량의 현무암질(basaltic) 마그마를 분출하였다.

1965년과 1966년에 건설부에 제출한 (주)한국지하자원조사소의 제주도 지하수탐사를 위한 지질조사보고서(대표저자: 김옥준)는 지질층서에 있어서 최하위의 표선리현무암의 용암들을 제외한 모든 용암들은 한라산 정상에 백록담을 형성한 분화구로부터 분출하였으며, 많은 곳에 산재하여 있는 분석구들은 제주도 화산활동의 최후기에 형성되었다고 설명하였다(Yoon, 1970).

(주)한국지하자원조사소는 제주도의 용암들의 층서에 있어서 용암의 명칭에 지명을 사용하였으나 이 지질조사보고서를 인수한 농업진흥공사(현 한국농어촌공사)는 용암의 명칭을 조직에 바탕을 둔 암석명으로 바꾸었을 뿐 용암들의 층서는 (주)한국지하자원 조사소의 용암들의 층서와 기본적으로 동일하게 작성하였다(ADC, 1971).

Won (1975)와 Lee (1982)는 (주)한국지하자원조사소의 지질도와 농업진흥공사의 지질도(ADC, 1971)에 기초하여 화산암의 암석화학적 연구를 시행하였으며 용암들의 분출순서는 농업진흥공사의 결론(ADC, 1971)과 같다고 하였다.

Won *et al.* (1993, 1995), Park *et al.* (1998, 2000a, 2000b)에 의하여 작성된 1:50,000 축척의 제주도 지질도들에서는 용암들이 백록담 분화구에서뿐만 아

니라 많은 분석구에서도 분출하였다고 하였다. 서귀포-하효리지질도(Park *et al.*, 2000b)에는 한라산 정상 서측 해발고도 1700 m의 윗세오름 부근에 만세동산역암이라고 명명된 역암층이 화산층서에서 최상위에 놓여 있다. Park *et al.* (2000b)은 만세동산역암은 애추성 역암이며, 최후기의 암석으로 한라산 주변에 광활하게 분포하고 있으며 이전에 분출한 모든 암석을 피복한다고 하였다.

Brenna *et al.* (2012)은 제주도는 약 1.8 Ma에서 홀로세에 이르기까지 현무암질 화산활동이 일어난 화산지대의 드러난 일부라고 하였으며, Koh *et al.* (2013)은 제주도의 화산활동은 서귀포층을 층준으로 크게 퇴적동시기(약 1.88~0.5 Ma)와 퇴적이후 화산활동기(0.5 Ma~홀로세)로 구분된다고 하였다. 즉 약 0.5 Ma를 전후로 하여 그 전의 수성화산활동과 산발적인 육상화산활동시기와 그 후 전면적인 육상화산활동시기로 정의할 수 있다고 하였으며, 이러한 연구 결과는 제주도는 하와이섬과 같은 해양화산도인 하나의 순상화산체가 아니고 복합화산체론(Yoon *et al.*, 2009) 및 현무암질 화산지대론(Brenna *et al.*, 2012)과 부분적으로 부합한다고 하였다.

이러한 조사가 진행되는 동안에, Yoon *et al.* (2002, 2003)은 제주도의 지표에는 해안에서 한라산 정상에 이르기까지 탐라층이라고 하는 라하르(lahar) 기원의 하성 쇄설성 퇴적층이 넓게 분포하고 있는 데, 이 탐라층에 수많은 암맥들이 관입하여 있으며, 한라산은 백록담조면암군을 형성한 마그마의 관입에 의하여 탐라층이 돔상으로 융기되어 형성된 돔상 용기산체라고 하였다. 이러한 연구 결과를 근거로 하여 Yoon *et al.* (2005, 2006, 2009)은 제주도의 지질을 새로운 관점에서 정립하였으며, 본 논문은 이를 기초로 하여 제주도의 구조운동사를 편찬한 것이다.

2. 지 형

2.1 지형 개요

제주도는 평면도상에서 장축은 동북동-서남서 방향으로 길이 약 74 km, 단축은 북북서-남남동 방향으로 길이 약 32 km의 타원형이며, 중심부에는 해발고도 1950 m의 한라산이 솟아있다(그림 1). 제주도의 지형은 해안에서 내륙의 중심부를 향하여 3부분으로 나눌 수 있다(Yoon *et al.*, 2006). 해안에서 해발

고도 200 m에 이르는 지대는 낮은 구릉들이 있는 평탄한 해안지대(coastal area)이며, 200 m에서 500 m에 이르는 지대는 완만한 사면을 이루는 중산간지대(mid-mountainous area)이고, 500 m 부근에서부터는 사면이 급하여져서 한라산(Hallasan)의 정상에 이른다. Yoon *et al.* (2005)은 한라산의 산체를 “고려 시대에 조성된 목마장(牧馬場)의 최상부지역과 현재 산림청이 관리하고 있는 요존국유림(要存國有林)의 경계지역인 해발고도 약 500 m에서 1950 m에 이르는 제주도의 중심부”라고 정의하였다. 한라산의 정상에는 백록담이라고 부르는 원형구(圓形口)의 지형이 있는데, 이 원형구는 분화구로서 한라산과 제주도를 형성한 많은 용암들이 이 분화구로부터 분출하였다고 알려져 왔다. 제주도 전역에 걸쳐 약 350개의 분석구와 5개의 응회환 또는 응회구들이 분포하여 화산지대의 독특한 경관을 이루고 있다.

한라산의 북사면과 남사면은 경사가 급한 반면, 동사면과 서사면은 비교적 완경사를 이루고 있다. 한라산에는 계곡의 발달이 이루어져 있지 않으나, 정상으로부터 북쪽으로 2개(탐라계곡과 어리목계곡)와 남쪽으로 1개(효돈천계곡)의 깊고 긴 계곡이 발달되어 있다. 이 계곡들은 폭우가 쏟아질 경우 물이 흐르며 폭우가 끝나면 1~2 시간 정도 물이 흐른 후에는 물이 흐르지 않으며 그 후 평상시에는 물이 흐르지 않는 즉 유수가 없는 건곡(乾谷 dry valley)으로 된다. 건곡은 유수가 지하로 스며들어 물이 흐르지 않는 하천이다. 해발 1200 m에서 정상 직하(해발고도 1500 m)에 이르는 부분에서는 깊이가 200 m 이상에 달하나 해발고도 600~700 m 부근에서는 20~30 m 정도인 이 계곡들이 단지 유수의 침식에 의하여 형성된 침식곡이라고 해석하기가 어렵다. 계곡은 지표상에 형성된 약대(弱帶)를 따라 유수에 의하여 선택적으로 일어나게 된다. 한라산에는 방사상으로 발달한 세 개의 계곡들 외에는 계곡이라고 할 수 있는 것들이 없다는 사실은 한라산에는 방사상의 3개의 약대가 형성되었다는 사실을 의미한다. 돔(dome)상으로 융기된 용기산체의 정상에는 단열(fracture)들이 방사상으로 발달된다는 사실이 알려졌다(Komuro and Fujita, 1980). 그러므로 이 계곡들은 용기산체인 한라산의 정상에서부터 방사상으로 형성된 단열을 따라 형성된 단열곡(fracture valley; 열곡, Yoon *et al.*, 2005)들로 해석하는 것이 더욱 타당할 것이다.

2.2 한라산의 형성

Haraguchi (1930, 1931)는 제주도의 중심부에 위치하는 해발고도 1950 m에 이르는 한라산은 최초에는 조면암으로 구성된 종상화산(鐘狀火山)이었는데, 그 후 현무암질 용암이 분출피복한 후 침식·사박되어 현재의 모습이 되었으며 조면암은 백록담 서벽에서 장구목, 영실 등에 잔류되어 있다고 하였다.

농업진흥공사의 1971년도 제주도지하수보고서에서는 제주도의 지질은 “한라산과 기생화산들에서 분출된 화산분출암(火山噴出岩)으로서 현무암류, 조면암류, 조면질안산암류, 기생화산분출물 및 화성쇄설 퇴적암과 사구(砂丘)로 구성되어 있다”고 기술하르로서(ADC, 1971, p. 15), 한라산의 백록담은 분화구이며 이 분화구로부터 분출한 용암 등 화산분출물로 한라산이 형성되었다고 하였다. 또한 한라산을 포함하는 제주도는 “20여차에 걸친 화산분출활동과 용기작용에 의하여 생성된 화산도이며 유동성이 높은 용암류가 넓게 분포하는 사이사이를 화산사 화산회 등의 화성쇄설물이 퇴적되어 호층을 이루는 성층화산이다”라고 기술하였다(ADC, 1971, p. 40).

그 후 Won *et al.* (1993, 1995), Park *et al.* (1998, 2000a, 2000b)에 의하여 작성된 1:50,000축척의 제주도 지질도들에서도 한라산은 백록담에서 분출한 용암들이 축적되어 형성된 화산체로 인식되어져 있다.

그러나 Yoon *et al.* (2002, 2005)은 백록담을 구성하는 암석들을 조사한 결과 백록담은 화산폭발에 의하여 형성된 분화구가 아니고 지하의 마그마의 이동에 의하여 지반(地盤)이 함몰되어 형성된 함몰구이며, 한라산은 백록담으로부터 분출한 용암들이 쌓여

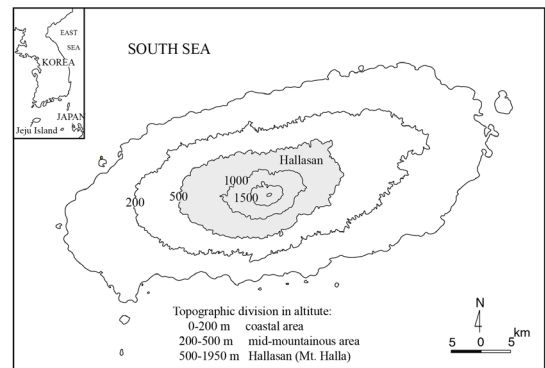


Fig. 1. Index map of Jeju Island with its topographic division.

Table 1. Geologic stratigraphy of Jeju Island, Korea. (modified from Yoon *et al.*, 2006).

Age	Stratigraphic unit	Remark	Cinder cone	Tuff ring
Holocene	Paleobeach-embayment sand deposit	sandstones intercalated by marine shell beds		
	Sinyangni Formation	marine conglomerates and sandstones		
Early Pleistocene	Volcanic debris-avalanche deposits -stratigraphic relation unknown- Baengnokdam Trachyte Group	mixtures of heterogeneous debris blocks and clasts lava domes and dykes	younger cinder cone	tuff ring
	Hallasan Basalt Group	pahoehoe and aa lavas		
	Basaltic dyke complex	solitary dykes and dyke swarms		
	Tamna Formation	fluvial beds consisting mainly of gravelly sediments		
	Pyoseolli Basalt Group	pahoehoe lavas		
	Seogwipo Formation	marine gravelly sandstones, sandstones and mudstones intercalated by hyaloclastites and tuff ring deposits in the upper part		
	Paleo-Jeju Volcanics	basaltic & trachytic gravels in the Seogwipo Formation		
Late Pliocene			older cinder cone	
Paleocene				
Precambrian	Basement	micrographic granites (Bulguksa Granite), volcanic sandstones and mudstones, welded tuffs, lapilli tuffs, biotite granites (Daebo Granite)		

서 형성된 성층화산(成層火山)이 아니고, 상승하는 마그마에 의하여 지반이 돔(dome)상으로 융기되어 형성된 돔상 융기산체(隆起山体)라고 하였다.

3. 지질개요

제주도의 지질층서는 하위로부터 상위로 기반암, 고제주화산암, 서귀포층, 표선리현무암군, 탐라층, 현무암질 암맥복합체, 한라산현무암군, 백록담조면암군, 화산성 암설사태층, 신양리층 및 고해빈-내만 사층으로 구분된다(표 1). 이들 중에서 기반암과 고제주화산암은 해수면하에 분포하고 있으며, 특히 고제주화산암은 서귀포층에 들어있는 현무암질과 조

면암질의 화산암력들에 의하여 그 존재를 알 수 있을 뿐이며 심부시추 자료에 의해서도 아직까지 그 활동지역과 분출규모에 관하여서는 알려진 바가 없다. 따라서 고제주화산활동이 제주도지역의 기반암 위에서 일어났었는 가, 혹은 제주도지역의 인근지역 기반암 위에서 일어났었는 가는 확인할 수가 없으므로 제주도 지질단면도에 그 위치를 표시하지 못하였다.

서귀포층(Haraguchi, 1930; Yoon *et al.*, 2004)은 지표에는 서귀포시 해안을 비롯하여 해안을 따라 점점히 소규모로 분포하고 있으나 지하에는 제주도 전역에 걸쳐 분포하고 있다. 연체동물화석 등 해양생물화석들이 산출하는 해성층이다.

표선리현무암군(Yoon *et al.*, 1995)은 서귀포층을 부

정합으로 피복하고 있는 현무암질의 파호에호에 용암들로 구성되어 있다. 본 용암들은 다공질이며, 침상의 장식과 직경 약 1 mm의 감람석 반정이 특징적이다. 침상의 장식 반정의 유무에 따라 함침상장식감람석 현무암과 감람석현무암의 2종류로 구분할 수 있다.

탐라층(Yoon *et al.*, 2002, 2005)은 표선리현무암군을 부정합으로 피복하며, 역암, 함력 사질 이암, 사암, 사질 이암, 이암 등으로 구성되어 있다. 역들은 현무암질과 조면암질이다. 본 층은 해안에서부터 한라산 정상부에 이르기까지 제주도 전역에 걸쳐 넓게 분포하고 있으며, 해안지역에서는 수 m에서 수십 m의 비교적 얇은 층후를 나타내지만 한라산에 접근할수록 두꺼워져 정상 직하(해발고도 1500 m 부근)에서는 약 200 m 이상에 이른다.

현무암질 암맥복합체(Yoon *et al.*, 2002, 2005)는 탐라층을 관입하고 있으며, 이들의 관입상은 크게 나누어, 저경사 내지 수평한 자세로 관입한 스위트(sheet)상의 단독암맥들과 다수의 암맥들로 구성되어 암맥군을 이루고 있는 것들로 구분할 수 있다. 암맥군을 이루고 있는 암맥들은 대부분 수직 내지 고경사의 자세를 취하고 있으며 두께는 0.5~1.5 m이다. 스위트상 단독암맥들은 두께가 수 m 내지 10여 m이다.

한라산현무암군(Yoon *et al.*, 2002, 2005)은 탐라층을 부정합으로 피복하며, 파호에호에 용암과 아아용암의 산상을 나타내는 현무암과 조면현무암으로 구성되어 있다. 파호에호에 용암에 속하는 용암들은 한라산의 고지대에 분포하고 있으며, 아아용암에 속하는 용암들은 중산간지대로부터 해안지대를 향하여 분포하고 있다. Song and Yoon (2002)은 아아용암을 “꽃자왈 용암”이라고 부르려 하였으나 그 후의 조사 결과 소위 “꽃자왈” 지대에는 아아용암 뿐만 아니라 파호에호에 용암도 분포하고 있음이 확인되어 “꽃자왈 용암”이라는 명칭은 사용하지 않기로 하였다.

백록담조면암군(Yoon *et al.*, 1995, 2005)은 한라산 정상 부근에 용암정구를 형성하고 있는 것을 비롯하여, 영실, 선작지왈 남측 능선 등에 분포하고 있으며, 99계곡의 산체, 모슬포의 산방산체를 이루고 있는 조면암들도 이에 속하는 것으로 생각된다.

화산성 암설사태층은 분석구의 산체붕괴로 생성된 것들로서 제주도 북동부지역에 주로 분포하고 있다(Yoon *et al.*, 2001).

신양리층(Kim, 1969)은 제주도 동단의 신양리와 성산 일출봉 사이의 해안에 분포하는데, 세력~소력 역암층과 조립사암층의 호층으로 이루어진 내만성 퇴적층이며 연체동물화석의 방사성 동위원소 연령(^{14}C)은 4780 ± 60 y.B.P. (Sameshima *et al.*, 1988)이다.

고해빈-내만사층(Yoon *et al.*, 2006)은 동북해안의 세화리 부근과 서북해안의 협재 부근에 분포하고 있는 패사층(貝砂層, Haraguchi, 1930)인데, 농업진흥공사의 제주도 지질도(ADC, 1971)에서 사구층으로 기재한 후 Won *et al.* (1993)와 Park *et al.* (2000a)에 이르기까지 사구층으로 기재되어 왔다. 이 층은 그 연변은 사구의 요소를 가지고 있으나 중심부에는 패사층을 협재하여 내만의 퇴적층임을 보여준다. 방사성 동위원소 연령(^{14}C)은 약 3500 y.B.P. (Woo and Kim, 2005)이다.

4. 지질각론

4.1 기반암

제주도의 제4기 화산암류와 퇴적암류의 기반암은 지표에는 분포하고 있지 않으며, 심부시추에 의하여 서만 확인할 수 있다. Koh (1997)에 의하면, 기반암은 화성쇄설암류와 화강암으로 구성되어 있으며, 해수면 하 -210 m에서 -312 m에 걸쳐 분포하고 있다. Koh (1997)는 화성쇄설암류는 화산성 사암 및 이암, 용결응회암, 화산력응회암으로 이루어져 있으며 백악기의 유천층군에 대비되는 것으로 추정하였다. Son *et al.* (1998)에 의하면, 화강암은 -321 m (연동), -679 m (종달), -805 m (중문)과 -950 m (덕천)에서 확인 되었으며, 응회암의 분포심도는 -177 m에서 -317 m 범위라고 하였다.

화강암의 방사성 동위원소 연령에 의하면, 기반암에는 두 시대의 화강암이 분포하고 있다. Ahn *et al.* (1995)은 만장굴 부근의 시추코아의 화강암은 미문상화강암이며 방사성 동위원소(K-Ar) 연령이 58.1 ± 1.4 Ma로서 남해안의 미문상화강암(불국사화강암)에 대비된다고 하였다. Kim *et al.* (2002)은 별도봉의 화성쇄설물에 들어 있는 흑운모화강암의 방사성 동위원소(K-Ar) 연령이 172.4 ± 5.2 Ma로서 주라기의 대보화강암에 대비되며, 옥천대가 제주도의 기반을 이루고 있다고 하였다.

미문상화강암(불국사화강암)과 흑운모화강암(대보화강암) 및 백악기의 용결응회암과 같은 화성쇄설

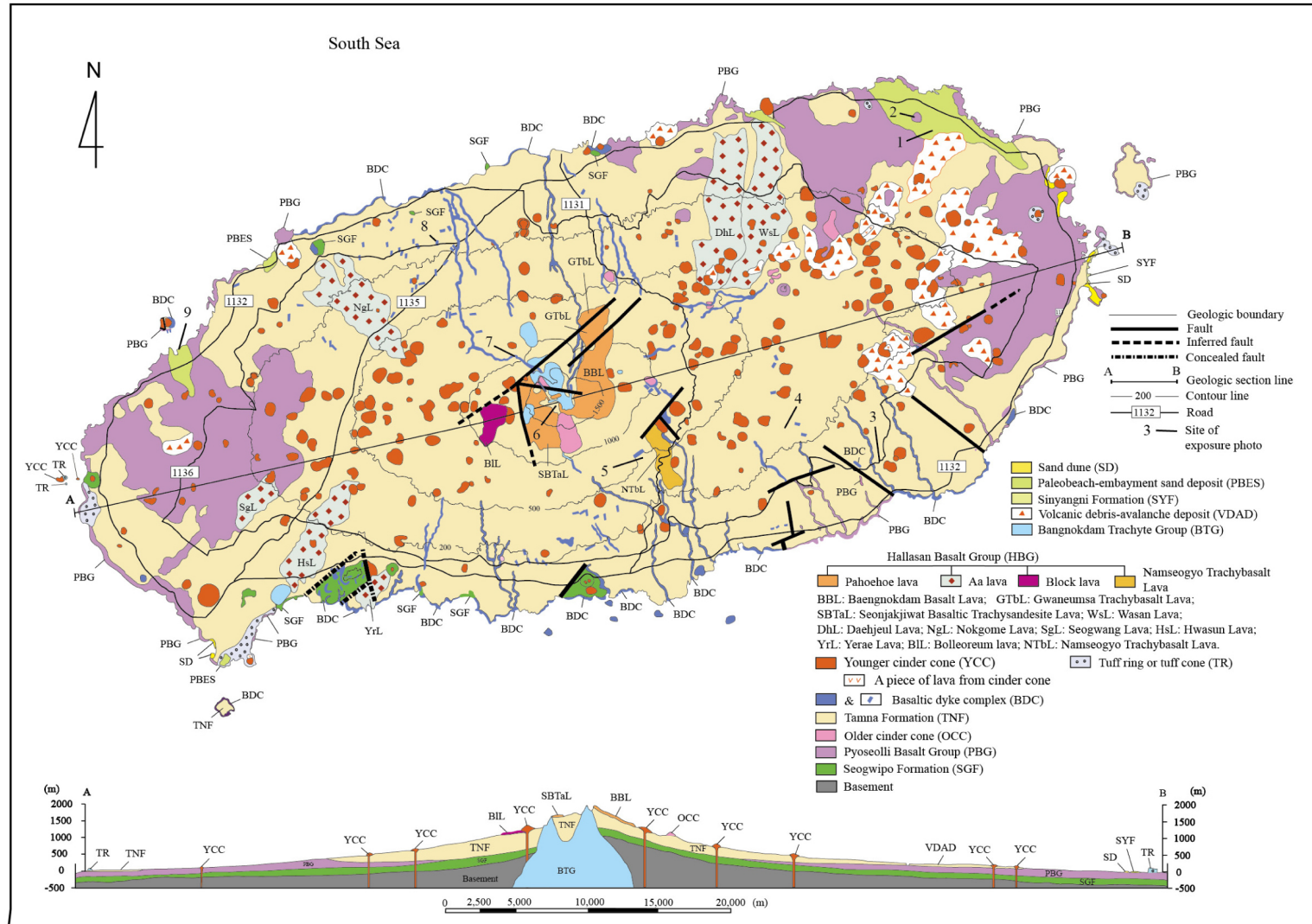


Fig. 2. Geologic map of Jeju Island, Korea. (modified from Yoon *et al.*, 2006).

암이 함께 분포하는 지역은 남해안에서도 옥천대의 서남단에 해당하는 해남~강진지역으로서 이 지역의 옥천대가 제주도까지 연장되어 있음을 시사한다. 이러한 추정은 후술하는 바와 같이 탐라층에서 맥석영의 역들이 산출하는 것으로서도 뒷받침된다.

4.2 서귀포층(Seogwipo Formation)

서귀포층(西歸浦層; Haraguchi, 1930; Seikiho Formation, Haraguchi, 1931)은 Haraguchi (1930)가 서귀포시 해안절벽에 노출되어 있는 해양생물화석이 풍부하게 산출하는 지층에 대하여 명명한 것이다. 서귀포층은 기반암위에 직접 놓이는 제주도 구성암석의 기저지층이며, 두께는 해안절벽에서는 지표상에서 65 m이나 해수면 하에서는 306 m로서 총 371 m이다(Yoon *et al.*, 2004). 지표에서는 서귀포 해안절벽에서 서쪽으로 망밭에 이르는 지대, 용머리, 군산, 월라봉, 단산, 당산봉, 파군봉 등에 해안을 따라 소규모로 산재하고 있으나 지하에서는 제주도 전역에서 표선리현무암군 또는 탐라층의 하위에 분포하고 있으며, 함력 사암, 사암, 사질 이암 및 이암으로 구성되어 있는 해성층이다. 함력 사암을 구성하는 역들은 현무암질과 조면암질이다. 연체동물, 성게, 완족류, 유공충, 석회질 조미화석 등의 해양생물화석이 풍부하게 산출한다.

이러한 서귀포층을 다음과 같이 정의할 수 있다. “서귀포층은 선캠브리아기~팔레오세의 기반암을 부정합으로 피복하고, 표선리현무암군 또는 탐라층에 의하여 부정합으로 피복되어 있는 연안성~천해성 퇴적층으로서, 함력 사암, 세립 사암, 사질 이암 및 이암으로 구성되어 있으며, 상부에는 유리질 쇄설암(hyaloclastite)과 수성화산쇄설층(hydrovolcaniclastic deposit: 응회환층)이 협재되어 있다(Yoon *et al.*, 2006, p. 13~14)”. 층리가 발달하고 탄낭이 들어있는 수성화산쇄설층은 육상환경에서 형성되는 바, 서귀포층에 이러한 수성화산쇄설층의 들어있다는 사실은 서귀포층이 해안에 노출되어 있었던 시기가 있었음을 의미한다.

서귀포층시대의 해양환경은 퇴적기간 전기(서귀포층의 하부)에는 한류와 난류의 혼합상이었으나 한류가 우세하였으며, 퇴적기간 중기(서귀포층의 중부)에는 한류가 우세하였다. 그 후 퇴적기간 후기(서귀포층 상부)에는 난류가 우세한 난류와 한류의 혼합상을 거쳐 난류환경으로 되었다. 서귀포층의 지질

시대는 3.58 Ma (?)~0.78 Ma이며 플라이오세 후기~플라이스토세 전기이다(Yoon *et al.*, 2004).

4.3 표선리현무암군(Pyoseolli Basalt Group)

표선리현무암군(表善里玄武岩群; Yoon *et al.*, 1995)은 서귀포층을 부정합으로 덮고 있는 현무암질의 파호에호에 용암으로 구성되어 있으며, 북부해안의 외도와 남부해안의 화순을 잇는 선과 북부해안의 일도와 남부해안의 위미를 잇는 선으로 둘러싸인 사다리꼴 형태의 제주도 중부지역을 제외하고 동부지역과 서부지역에 넓게 분포하고 있다. 그러므로 제주도를 표선리현무암군의 분포로 서부지역, 중부지역 및 동부지역으로 구분할 수 있다. 농업진흥공사의 제주도 지질도(ADC, 1971)에서 침상장석감람석현무암(FOB)으로 표기된 Suh *et al.* (1964)의 표선리현무암이 대표적인 용암으로서 알칼리 현무암(Lee, 1982)이다. 본 용암들은 다공질이고 침상의 장석 반정과 직경 약 1 mm의 감람석 반정이 있는 조직이 특징적인데, 침상의 장석 반정의 함유 여부에 따라 함침상장석감람석현무암(acicular feldspar-olivine basalt)과 감람석현무암(olivine basalt)의 두 종류로 분류할 수 있다. 표선리현무암군의 방사성 동위원소(K-Ar) 연령은 0.63±0.13 Ma (제주도 남동부 해안지역의 시료; Yun *et al.*, 1987)와 0.60±0.13 Ma (제주도 서부 해안지역의 시료; Yun *et al.*, 1987)이다.

표선리현무암군의 용암들에는 파호에호에 용암의 특징인 유동단위(flow unit; 그림 3), 새끼줄구조(ropy structure), 용암관(lava tube), 튜물러스(tumulus), 압축릉(pressure ridge) 등이 발달되어 있다. 이러한 특징을 갖는 5~10여 m 정도 두께의 용암들이 겹겹이 쌓여 넓은 범위에 걸쳐 평탄하게 분포되어 있다.

4.4 탐라층(Tamna Formation)

탐라층(耽羅層; Yoon *et al.*, 2005)은 제주도의 동부지역과 서부지역에서는 표선리현무암군을 부정합으로 피복하고 있으며 중부지역에서는 서귀포층을 부정합으로 피복하고 있다. 라하르(lahar) 기원의 하성 쇄설성 퇴적층으로 역암, 함력 사암, 사암, 함력 사질 이암, 사질 이암, 이암 등으로 구성되어 있으며, 역들은 현무암질과 조면암질이다. 본 층은 해안에서부터 한라산 정상부에 이르기까지 제주도 전역에 걸쳐 넓게 분포하고 있으며, 해안지역에서는 두께

가수 미터에서 수십 미터로 비교적 얇지만, 한라산에 접근할수록 두꺼워져 정상 직하(해발고도 1500 m 부근)에서는 약 200 m 이상에 이른다. Park *et al.* (1998)의 일도동퇴적층, 거로교퇴적층, 서김녕리퇴적층, 교래교퇴적층, 탐라교퇴적층과 하성자갈층, Park *et al.* (2000a)의 고산층, Park *et al.* (2000b)의 굴전동역암, 법호천역암과 만세동역암, Won *et al.* (1993)의 토양층, Yoon *et al.* (1995)의 탐라역암과 금덕층, Yoon *et al.* (2001)의 Seongeup epiclastic sediments가 본층에 포함된다.

Smith and Lowe (1991)는 라하르의 운반과 퇴적 작용을 (1) 저농도수류, (2) 고농도수류, (3) 암설류, (4) 암설사태로 구분하였다. 제주도의 라하르 퇴적물에는 이 4 종류의 퇴적물이 모두 분포하고 있는데, 이들 중 암설사태 퇴적물을 제외한 퇴적물을 총괄하여 탐라층으로 명명하였다. 탐라층에 있어서 Smith

(1986, 1987)와 Smith and Lowe (1991)가 제시한 이들 각 퇴적층의 특징을 기술하는데 있어서 퇴적물의 역의 크기는 대력(boulder), 중력(cobble), 소력(pebble) 및 세력(granule)으로 구분하여 사용하고자 한다.

4.4.1 암설류 퇴적층(Debris flow deposit)

대력 역암(boulder conglomerate): 아각력~원력의 대력과 이질 사암의 기질로 구성되어 있으며, 기질지지(matrix-supported) 조직을 이루고 있다(그림 4, 5). 대력들이 다량 밀집하게 퇴적된 것에서는 입자지지(clast-supported) 조직도 보인다. 층리의 발달은 매우 불량하며, 대력의 거친 평행배열에 의한 미약한 층리를 간혹 볼 수 있을 뿐이다. 역점이층리를 이루고 있기도 하다.

함력 사질 이암(gravelly sandy mudstone): 층리가 없는 사질 이암에 소력 내지 중력들이 산재하여 있는 퇴적층이다(그림 6). 성판악 등산로의 대부분을

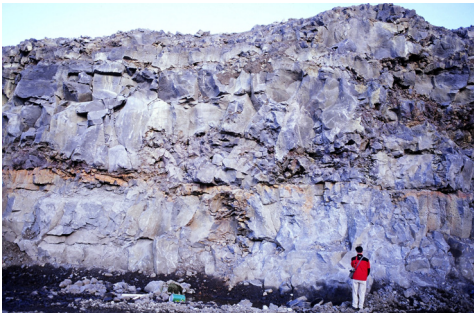


Fig. 3. Lava section of the Pyoseolli Basalt Group. Site: 2 in the quarry of Buil Industrial Co. Photograph Sun Yoon on November 22, 2001.



Fig. 4. Debris flow boulder conglomerate of the Tamna Formation. Site: 7 in Eorimok Valley. Altitude: about 920 m. Photograph by Sun Yoon on August 1, 1993.



Fig. 5. Debris flow boulder conglomerate of the Tamna Formation. Site: 7 in Eorimok Valley. Altitude: about 920 m. Photograph by Sun Yoon on June 5, 1994. D: Dyke.



Fig. 6. Debris flow gravelly sandy mudstone of the Tamna Formation. Site: 5 in Ipseok-dong. Altitude: about 470 m. Photograph by Sun Yoon on February 26, 2002.

이루고 있으며, 한라산의 많은 부분이 이러한 퇴적층으로 구성되어 있다고 추정된다.

4.4.2 고농도수류 퇴적층

(Hyperconcentrated flow deposit)

고농도수류 사암(hyperconcentrated flow sandstone): 사층리가 없고 수평층리가 발달하여 있는데, 이 층리는 분급이 양호 내지 불량한 수 mm 내지 5 cm 두께의 조립 사층(砂層)과 세립 사층(砂層)의 호층으로 이루어져 있다(그림 7). 층리의 접촉면은 세립 입자들이 조립의 층들에도 많이 들어 있어서 정의(定義)하기가 어려우며, 층리는 명확하게 선으로 구분되는 층들의 호층에 의한 것이 아니고 조립의 입자들의 존재 여부에 의하여 정의 된다.

4.4.3 저농도수류 퇴적층(dilute streamflow deposit)

판상 층리가 잘 발달되어 있는 함소력 중립~조립 사암층과 렌즈상의 세력~소력 역암층으로 구성되어 있는 층이다(그림 8).

4.4.4 탐라층의 지질시대

탐라층에서는 아직 화석이 발견 되지 않아 그 지질시대를 정확히 알 수가 없으나, 탐라층의 하위의 용암과 상위의 용암의 연령을 사용하여 추정할 수 있다. 탐라층 하위에 있는 표선리현무암군의 방사성 동위원소(K-Ar) 연령이 0.63±0.13 Ma (제주도 남동부 해안지역의 시료; Yun *et al.*, 1987)와 0.60±0.13

Ma (제주도 서부 해안지역의 시료; Yun *et al.*, 1987) 이고, 탐라층 상위에 있는 백록담현무암용암의 방사성 동위원소(K-Ar) 연령이 0.47±0.07 Ma (Tamanyu, 1990)이므로, 탐라층의 연령은 약 50~60만년 전후 이고 지질시대는 플라이스토세 중기이다.

4.4.5 탐라층에서 맥석영 산출의 고환경적 의의

제주도 동남부에 있는 표선면 토산리의 탐라층의 고농도수류 사암층(그림 7)에서 맥석영의 역들이 산출하고 있는데, 맥석영과 함께 규암의 역들도 산출한다 (Hyun *et al.*, 2005). 역들의 크기는 세력들이 대부분이나 가장 큰 것들은 10~15 mm에 달하여 소력인 것들도 있다. 탐라층이 퇴적되기 이전의 제주도를 구성하는 암석들 즉 서귀포층과 표선리현무암군으로 이루어져 있던 제주도지역에는 석영맥과 규암은 전혀 분포하고 있지 않았으므로 맥석영과 규암의 역들은 제주도가 아닌 다른 지역으로부터 운반되어져 온 것이 틀림없다. 석영맥과 규암이 분포하는 지역으로서 제주도에서 가장 가까운 지역은 전라남도 해남~강진지역이며, 이 지역은 옥천대의 서남단에 해당한다. 그러므로 하천에 의하여 퇴적된 탐라층에서 맥석영과 규암의 역들이 다량 산출한다는 사실은 탐라층이 퇴적될 당시 약 50만년전에는 옥천대가 제주도에서 해남~강진지역에 이르는 지대에 넓게 육지로 존재하였으며, 이 육지에서 제주도지역으로 흐르는 하천들이 있어서 이 하천들에 의하여 맥석영과 규암의 역들이 토산리로 운반되어 왔다는 것을 제시하여 준다. 이 역들과 함께 현무암질의



Fig. 7. Hyperconcentrated flow sandstone of the Tamna Formation. Site: 3 on Road 1136 in Tosan-ri. Altitude: about 70 m. Photograph by Sun Yoon on April 29, 2005.

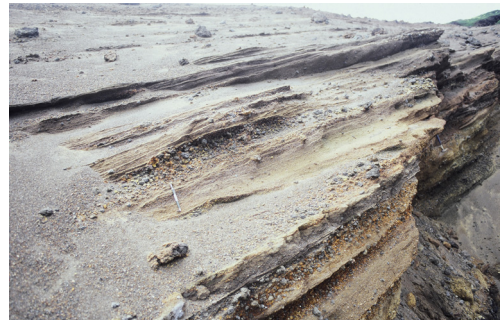


Fig. 8. Dilute streamflow plane bedded, pebble-bearing medium- to coarse-grained sandstones with granule-pebble conglomerate lenses of the Tamna Formation. Site: 6 on the south slope of Bulgeunoreum in Witseoreum. Altitude: about 1680 m. Photograph by Sun Yoon on September 17, 2003 (Yoon *et al.*, 2005; Fig. 14).

세력과 소력들이 산출하고 있는 것으로 보아 이 육지에는 현무암질 화산활동이 있었다.

토산리에서 맥석영과 규암의 역들의 산출은 다음 두 가지 중요한 사항을 제시하여 준다. 하나는 약 50만년 전에는 제주도는 섬이 아니었고 넓은 육지의 일부였으며, 다른 하나는 그 당시에는 한라산은 형성되어 있지 않았었다는 것이다. 토산리지역은 한라산의 남쪽에 있으므로 제주도의 북쪽에서 남쪽으로 흘러던 하천은 한라산이 있었으면 그 산체를 가로질러 토산리지역에 도달하는 것은 불가능하였었기 때문이다. 제주도에서 남쪽으로 향하여서는 지형고도가 계속하여 낮아지므로 이 하천들이 제주도의 남쪽으로부터 흘러왔을 수는 없다.

4.5 현무암질 암맥복합체(Basaltic dyke complex)

수많은 현무암질 암맥들이 탐라층을 관입하고 있는데 이들을 총괄하여 현무암질 암맥복합체(玄武岩質岩脈複合體; Yoon et al., 2002, 2005)라고 지칭한다. 현무암질 암맥의 산출상태는 크게 나누어 쉬트(sheet)상의 단독암맥(solitary dyke)인 것들과 암맥군(dyke swarm)을 이루는 것들로 구분할 수 있다. 쉬트상 단독암맥(그림 9, 10)들은 저경사 내지 수평한 자세로 관입하고 있으며 두께가 수 m 내지 10여 m 정도에 이르며, 특히 그 상위면에서 암맥이 가지를 쳐서 탐라층 속으로 관입하고 있어서 용암과 구별할 수 있다.

암맥군(그림 11)은 밀집하여 산출하는 다수의 암맥들로 구성되어 있으며, 각 암맥들은 대부분 수직 내지 고경사의 자세를 취하고 있으며 두께는 0.5~1.5 m이다.



Fig. 9. Solitary dyke of the Basaltic dyke complex. Site: 4 in the quarry of Gyeongil Industrial Co. Photograph by Sun Yoon on November 3, 2008.

4.6 한라산현무암군(Hallasan Basalt Group)

한라산현무암군(漢拏山玄武岩群; Yoon et al., 2002, 2005)은 탐라층을 부정합으로 피복하고 있는 현무암질 용암들이다. 이들 용암들은 파호에호에 용암과 아아 용암으로 크게 구분할 수 있으며, 그 외 파호에호에 용암에서 암괴상 용암으로의 전이상을 보이는 용암과 암괴상 용암이 있다.

4.6.1 파호에호에 용암(Pahoehoe lava)

파호에호에 용암들은 한라산 정상부와 그 산록에 분포하고 있으며, 분포지에 따라 백록담현무암용암, 관음사조면현무암용암과 선작지왓현무암질조면안산암용암으로 불리운다(Yoon et al., 2005).

(1) 백록담현무암용암(Baengnokdam Basalt Lava)

백록담현무암용암(白鹿潭玄武岩熔岩)은 백록담의 동릉 정상에서 북측 능선을 따라 분포하며 윗세오름 동쪽에도 소규모로 분포하며, 화학성분은 현무암에 해당한다(Yoon et al., 2005). 백록담 동릉 정상에서는 두께가 약 2~5 m이나 북측 능선상에서는 이보다 더 두꺼울 것으로 추정된다. 방사성 동위원소(K-Ar) 연령은 0.47±0.07 Ma (Tamanyu, 1990)이다.

(2) 관음사조면현무암용암

(Gwaneumsa Trachybasalt Lava)

관음사조면현무암용암(觀音寺粗面玄武岩熔岩)은 구린굴 계곡에서 잘 관찰할 수 있다. 많은 유동단위



Fig. 10. Solitary dyke of the Basaltic dyke complex. Site: 4 in the quarry of Gyeongil Industrial Co. Photograph by Sun Yoon on November 3, 2008. This photo is the right end part of the dyke of Fig. 9.

(flow unit)와 용암토우(lava toe)로 구성되어 있으며, 구린굴이라고 부르는 직경 3~4 m의 용암동굴을 비롯하여 용암관(lava tube)들과 튜물러스(tumulus) 등이 발달되어 있다. 화학성분은 조면현무암이다(Yoon *et al.*, 2005).

(3) 선작지왓현무암질조면안산암용암

(Seonjakjiwat Basaltic Trachyandesite Lava)

선작지왓현무암질조면안산암용암은 선작지왓에서 윗세오름의 북서쪽에 있는 만세동산을 지나 사제비동산에 이르는 지대에 분포하고 있는 데, 조직상으로는 장석 반정만을 갖는 것과 장석과 휘석의 두 종류의 반정을 갖는 것의 두 종류의 용암이 있으나 용암들이 직경 수 m 내지 10 m 정도의 암괴로 파괴되어 있어 이들을 구분하여 지질도에 표기할 수가 없다. 장석 반정만을 갖는 용암은 현무암질 조면안산암이다(Yoon *et al.*, 2005). 선작지왓에서 소규모의 용암관을 볼 수 있다.

4.6.2 아아 용암(Aa lava)

아아 용암들은 다량의 대·중소 크기의 클링커(clinker)로 구성되어 있으며, 용암판(lava slab)들이 협재되어 있으며, 용암구(lava ball)도 많이 발견된다.

(1) 와산용암(Wasan Lava)

와산용암(臥山熔岩)은 함덕-와산곶자왓용암류(Song, 2000; 함덕-와산곶자왓용암, Yoon *et al.*, 2006)의 개명이다. 돛배오름의 북쪽 해발고도 486 m 부근에서 시작하여 함덕해수욕장까지 평균 2~3 km의 폭으로



Fig. 11. Dyke swarm of the Basaltic dyke complex. Site: 8 at the entrance to Gwangnyeong-2ri on Road 1136. Photograph by Sun Yoon on March 19, 2000.

연장거리 12 km에 걸쳐 분포한다. 장석과 휘석의 반정을 갖고 있으며, 화학성분은 현무암(Song and Yoon, 2002)이다.

(2) 대흘용암(Daeheul Lava)

대흘용암(大屹熔岩)은 조천-대흘곶자왓용암류(Song, 2000; 조천-대흘곶자왓용암, Yoon *et al.*, 2006)을 개명한 것이다. 해발고도 500 m에 위치한 민오름 주변에서 시작하여 조천리 해발고도 20 m 부근까지 평균 2.3~4 km의 폭으로 연장거리 11 km에 걸쳐 분포한다. 휘석과 장석의 반정을 갖고 있으며, 화학성분은 현무암(Song and Yoon, 2002)이다.

(3) 녹고메용암(Nokgome Lava)

녹고메용암은 노꼬메곶자왓용암(Song, 2003; 납읍-원동곶자왓용암류, Song, 2000)의 개명이다. 해발고도 599.8 m에 위치한 큰녹고메에서 분출하여 해발고도 90 m의 애월읍 납읍리와 원동지역까지 연장거리 9.0 km에 걸쳐 분포하고 있다. 해발고도 200 m까지는 2~3 km의 폭으로 이어지다가 납읍리 동분석구에서 애월읍 납읍리와 하가리 방향으로 분기한다. 지형의 경사가 비교적 급한 큰노꼬메 부근에서는 폭이 좁지만 해발고도 200~300 m 사이의 완경사 지역에서는 폭이 3.2 km에 이른다. 장석과 휘석의 반정을 갖고 있으며, 화학성분은 조면현무암(Song, 2003)이다.

(4) 서광용암(Seogwang Lava)

서광용암(西廣熔岩)은 남송악에서 남쪽으로 서광서리에 이르는 지대에 연장 약 4 km, 폭 약 1~2 km로 분포하며 월림-신평곶자왓용암류(Song, 2000; 월림-신평곶자왓용암, Yoon *et al.*, 2006)의 동남연변부에 해당한다. 감람석 반정을 갖고 있으며 치밀하고 기공이 거의 없다. 월림-신평곶자왓용암의 여타 부분은 표선리현무암군의 파호에호에 용암류임이 밝혀졌다.

(5) 화순용암(Hwasun Lava)

화순용암(和順熔岩)은 상창-화순곶자왓용암류(Song, 2000; 상창-화순곶자왓용암, Yoon *et al.*, 2006)을 개명한 것이다. 해발고도 380 m에 위치한 병악에서 시작하여 화순리 방향으로 분포하고 있다. 구성암석은 주로 회색을 띠며 다공질이고 휘석과 장석의 반정을

갖고 있다. 화학성분은 조면현무암과 현무암질 조면 안산암의 두 종류가 있다(Song, 2000).

(6) 예래용암(Yerae Lava)

예래용암(猊來熔岩)은 예래동 동북측에 있는 소낭오름 부근에서 서남 방향으로 흘러 해안에 도달하고 있다. 연장은 약 3 km이며 폭은 약 1 km 정도이다. 휘석과 장석의 반정을 갖고 있으며 다공질이다.

4.6.3 파호에호에 용암에서 암괴상 용암으로의 전이상 (Transitional facies from pahoehoe lava to block lava)

파호에호에 용암에서 암괴상 용암(block lava)으로의 전이상을 보여주는 용암은 남서교조면현무암용암(南西橋粗面玄武岩熔岩, Namseogyo Trachybasalt Lava; Yoon *et al.*, 2005)이다. 이 용암은 한라산의 동남측 산록의 보리악 서쪽에서 수악을 지나 남서교에 이르는 능선에 분포하고 있다. 보리악 서쪽의 능선에서는 파호에호에 용암이나 남서교에 가까운 곳에서는 암괴상 용암으로 전이한다. 장석과 감람석의 반정을 갖고 있으며, 화학성분은 조면현무암이다(Yoon *et al.*, 2005).

4.6.4 암괴상 용암(Block Lava)

암괴상 용암은 한라산 서측 산록의 불레오름용암(불레오름용암; Yoon *et al.*, 2005)이다. 이 용암은 불레오름에서 분출하여 서남측 산능에 분포하고 있는데, 노출이 불량하나 암괴상 용암으로 추정된다. 장석과 휘석의 반정이 있다.

4.7 백록담조면암군

(Baengnokdam Trachyte Group)

백록담조면암군(白鹿潭粗面岩群; Yoon *et al.*, 1995, 2005)은 주로 한라산 정상과 그 주변에 분포하고 있으며, 해안지대에는 모슬포 동쪽의 산방산이 이 암석으로 이루어져 있다. 한라산 정상에서는 백록담 서벽의 용암돔(백록담용암돔)을 이루고 있으며, 백록담의 북측에는 장구목과 삼각봉을 거쳐 큰드레왓, 작은드레왓, 99계곡에 분포하고 있고, 서측에는 영실에, 남측에는 선작지왓 남측 능선과 효돈천계곡의 해발고도 900~1000 m 구간에, 동측에는 돌오름에 분포하고 있다. 이들은 모두 관입암체이며, 백록담

용암돔으로부터 장구목에서 삼각봉 부근까지 뻗어 나온 아포피시스(apophysis)를 잘 볼 수 있다.

백록담조면암군의 조면암 중에는 장석 반정을 갖고 있는 것과 장석 반정을 거의 갖고 있지 않는 것이 있다. 백록담용암돔조면암, 영실의 영실조면암, 99계곡의 조면암과 돌오름의 조면암은 장석 반정을 갖고 있으나, 효돈천계곡 해발고도 900~1000 m 구간의 조면암, 선돌의 조면암과 산방산의 조면암은 장석 반정을 갖고 있지 않다.

백록담용암돔조면암의 방사성 동위원소(K-Ar) 연령은 0.07 ± 0.01 Ma (Tamanyu, 1990)인데, 산방산조면암의 방사성 동위원소의 K-Ar 연령은 0.87 ± 0.13 Ma (Yun *et al.*, 1987)와 0.747 ± 0.023 Ma (Won *et al.*, 1986)으로 측정되었으나, Ar-Ar 연령은 93.7 ± 5.6 Ka (Park *et al.*, 2000b)으로 측정되었다.

4.8 화산성 암설사태층

(Volcanic debris-avalanche deposit)

분석구의 산체붕괴에 의하여 형성된 화산성 암설사태층은 제주도 동부의 중심부에 넓게 분포하고 있는데, 특히 제주도 동북해안의 북촌과 동남해안의 표선을 있는 선상의 분석구들과 그 동쪽의 분석구들에서 산체붕괴가 여러 곳에서 일어났다. 서부지역에는 저지오름과 과오름 주변에 분포하고 있는데, 과오름 주변의 화산성 암설사태층은 과오름의 산체붕괴에 의하여 형성되었으나 저지오름 주변의 화산성 암설사태층은 저지오름의 산체붕괴로 형성된 것이 아니고 사라진 다른 분석구의 산체붕괴로 형성되었다. Yoon *et al.* (2001)은 동부의 화산성 암설사태층들 중에서 4개의 암설사태층 (1) 좌보미화산성암설사태층, (2) 서남동거문이오름화산성암설사태층, (3) 모지오름화산성암설사태층과 (4) 따라비화산성암설사태층을 기재하였다.

Yoon *et al.* (2001)에 의하면, 산체붕괴가 일어난 분석구는 원형의 산능이 파괴되어 U자형으로 한쪽 측면이 열려져 있으며, 그 전면에는 암설구지형(hummocky topography)을 이루면서 암설사태층이 펼쳐져 있다. 암설구(岩屑丘, hummock)는 분석구의 산체붕괴에 의하여 떨어져 나온 암설이 작은 언덕을 이루고 있는 것들이다. 화산성 암설사태층의 특징은 암설구지형과 조각맞춤균열(jigsaw-fracture)을 보여 주는 암설괴(岩屑塊, debris block)가 있는 것이다.

4.9 신양리층(Sinyangri Formation)

신양리층(新陽里層, Sinyangri Formation; Kim, 1969)은 제주도 동남단의 신양리와 성산 일출봉 사이의 해안에 분포하는데, 세력~소력 역암층과 조립 사암층이 호층을 이루고 있으며, 두께는 약 10여 m 정도이다(Kim, 1969; Yun *et al.*, 1987). 유공층, 연체 동물, 개형층, 석회질 초미화석 등의 해양생물화석이 산출하는 데, 지질시대와 퇴적환경에 관한 연구가 이루어졌다. Kim (1969)은 유공층의 연구로 신양리층의 지질시대를 플라이스토세로 추정하였으며 퇴적환경은 내만이였다고 하였다. Yun *et al.* (1987)은 신양리층은 해변(beach and nearshore)에서 퇴적되었으며 형성 시기는 해수면이 현재보다 약 6 m (± 2 m) 더 높았던 시기인 0.125 Ma, 즉 플라이스토세 후기라고 추정하였다. Lee (1990)는 개형층의 연구로 본 층의 지질시대는 홀로세일 가능성이 있다고 하였으며, Yi *et al.* (1995)은 석회질 초미화석의 연구로 본 층의 지질시대는 플라이스토세 중기말~홀로세라고 하였다. Sameshima *et al.* (1988)은 본 층의 연체동물화석의 방사성 동위원소(^{14}C) 연령을 측정하여 본 층의 연대가 4780 \pm 60 y.B.P.라고 하였다. 본 논문에서는 신양리층의 지질시대는 홀로세이며 Sameshima *et al.* (1988)의 방사성 동위원소(^{14}C) 연령을 채택하고자 한다.

4.10 고해빈-내만사층

(Paleobeach-embayment sand deposit)

고해빈-내만사층(古海濱-內灣砂層; Yoon *et al.*,

2006)은 동북해안의 세화(細花) 부근과 서북해안의 협재(挾才) 부근에 분포하고 있는 패사층(貝砂層; Haraguchi, 1930)인데, 농업진흥공사의 제주도 지질도(ADC, 1971)에서 사구층으로 기재한 후 Won *et al.* (1993)와 Park *et al.* (2000a)에 이르기까지 사구층으로 기재되어 왔다. 본 층은 그 내륙에 접한 연변은 사구의 요소를 가지고 있으나, 협재고해빈-내만사층에는 패각층이 협재되어 있고(그림 12), 세화고해빈-내만사층에는 현무암질 대각력이 산재하고 있어(그림 13) 본 층이 해변-내만의 퇴적층임을 제시하여 준다.

Woo and Kim (2005)에 의하면, 협재고해빈-내만사층은 중립질 모래로 구성되어 있는데 모래를 구성하는 성분은 약 80% 이상이 연체동물과 홍조류의 파편이며 저서성 유공층, 성계류와 태선동물의 파편과 화산암편을 소량 포함하고 있다. 본 층의 탄산염퇴적물의 방사성 동위원소(^{14}C) 연대는 약 3500 y.B.P. (3280~3890 y.B.P.)이다(Woo and Kim, 2005). Lee (2005)에 의하면 남해해역의 최종빙하기 이후 해수면의 변동은 (1) 약 15,000년전 최종빙하기에는 현재 해수면보다 약 -150~-160 m, (2) 약 9,000년전에는 -60 m, (3) 약 5,000~4,000년전에는 -60~-50 m, (4) 4,000~3,000년전에는 -10~-20 m이었다. 이와 같은 남해해역의 해수면을 기준으로 하면, 고해빈-내만사층은 현재의 해발고도에 도달하기 위하여 약 15 m 융기하였다고 해석된다. 그러므로 제주도에 3500년전부터 현재에 이르는 기간 중에 융기운동이 있었다.



Fig. 12. Shell bed intercalated in the Hyupjae Paleobeach-embayment sand deposit. Site: 9 in Hyupjae Beach. Photograph by Sun Yoon on November 17, 2004.



Fig. 13. Basaltic boulders in the Sehwa Paleobeach-embayment sand deposit. Site: 1 in Hanmosal. Photograph by Sun Yoon on November 16, 2004.

5. 한라산의 돔상 용기구조

한라산은 백록담으로부터 분출한 용암이 쌓여 이

루어진 성층화산이라고 알려져 왔으나, Yoon *et al.* (2005)은 한라산은 성층화산으로서의 구조를 갖고 있지 않고 상승하는 마그마에 의하여 돔(dome)상의

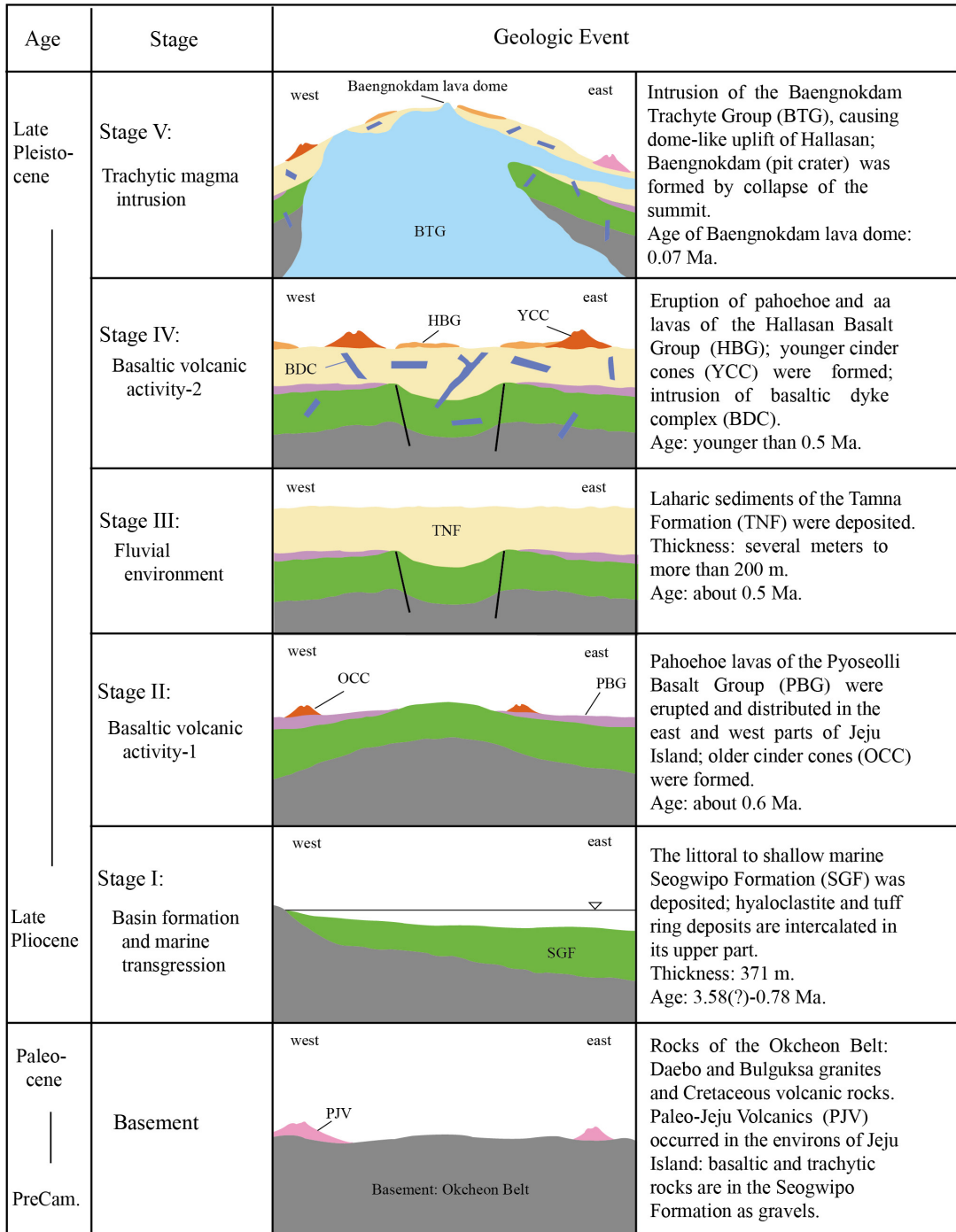


Fig. 14. Schematic diagram of the tectonic history of Jeju Island, Korea.

로 용기된 돔상(dome-like) 용기산체(uptifted edifice)라고 하였다. 이러한 사실은 백록담의 지질구조로 밝혀졌다. 또한 상승하는 마그마에 의하여 돔상 용기산체가 이루어진 것을 뒷세오름의 붉은오름에서도 잘 볼 수 있다(Yoon *et al.*, 2005).

Yoon *et al.* (2005)에 의하면, 백록담의 동륜과 서륜의 구성암석은 서로 다르다. 동륜은 그 정상에 두께 약 2 m 정도의 용암(백록담현무암용암)이 덮고 있으며 그 하위에는 탐라층의 퇴적층이 놓여 있는 반면에, 서륜은 용암돔(백록담조면암군)으로 되어 있다. 화산분화에 의하여 형성된 화구벽은 용암, 분석, 스파터 등으로 구성되어 있어야 하나, 동륜은 하성 쇄설성 함력 퇴적층으로 구성되어 있으므로 용암 분출에 의한 분화가 아니고 함몰구(pit crater)이다. 백록담조면암군을 형성한 조면암질 마그마의 상승에 의하여 탐라층이 돔상으로 용기하였으며 조면암질 마그마는 그 정상부에 용암돔을 형성하였다. 그 후 지하의 마그마가 다른 곳으로 이동하므로서 용암돔과 탐라층과의 경계 부근이 함몰되어 원형의 함몰지형이 형성된 것이 백록담이다. 한라산 정상으로부터 북측으로 2개와 남측으로 1개의 방향으로 발달한 깊고 긴 3개의 방사상 협곡들은 단순한 침식곡이 아니고 돔상 용기산체의 정상에서 방사상으로 형성된 단열곡들이다.

한라산 정상에서의 탐라층의 주향과 경사는 백록담 북쪽 아래 계곡에 있는 과거 용진각(대피소) 부근의 해발고도 1,580 m 부근에서 측정한 것은 주향 N10W, 경사 30NE이다.

6. 구조운동사

제주도의 지질층서는 하위로부터 상위로의 순서로 기반암, 고제주화산암, 서귀포층, 표선리현무암군, 탐라층, 현무암질 암맥복합체, 한라산현무암군, 백록담조면암군, 화산성 암설사태층, 신양리층 및 고해빈-내만사층으로 구분된다. 이들 중에서 기반암과 고제주화산암은 해수면하에 분포하고 있고, 고제주화산암은 서귀포층에 들어있는 화산암력들에 의하여 그 존재를 알 수 있을 뿐이며 제주도지역에서 실시된 심부시추에 의하여 확인되지 않고 있다. 따라서 고제주화산활동이 제주도지역 직하의 기반암 위에서 일어났었는가, 혹은 제주도지역의 인근지역

기반암 위에서 일어났었는가는 확인할 수가 없다. 그러므로 제주도지역의 구조운동사는 서귀포층의 퇴적시대부터 편찬하고자 한다.

•I 단계 분지의 형성과 해침: 서귀포층 시대

제주도지역에 분지가 형성되고 해침이 일어나 연안성~천해성 서귀포층이 퇴적되었는데, 서귀포층의 상부에 유리쇄설암과 응회환층이 협재되어 있는 것으로 보아 서귀포층 퇴적 후기에는 해저화산활동이 일어났었으며 일부분은 용기되어 해안지대로 노출되었었다. 서귀포층의 두께는 371 m이며, 지질시대는 플라이오세 후기~플라이스토세 전기이다.

•II 단계 현무암질 화산활동-1: 표선리현무암군 시대

제주도지역은 용기하여 육화되었으며, 표선리현무암군의 파호에호에 용암들이 분출하여 제주도의 동부지역(일도~위미선 이동 지역)과 서부지역(외도~화순선 이서 지역)에 분포하고 있다. 표선리현무암군의 용암이 중부지역에 분포하지 않는 것으로 보아 중부지역은 지형이 높았던 것으로 추정된다. 표선리현무암군의 연대는 약 0.6 Ma이다. 이 시기에 전기분석구가 형성되었다.

•III 단계 하성환경: 탐라층 시대

II 단계의 화산활동이 끝난 후 제주도지역은 하성 환경에 놓이게 되어 탐라층이 퇴적되었는데, 특히 중부지역은 침강하여 넓은 하곡을 이루었다. 이 시대에는 제주도에서 한반도 서남단의 해남~강진지역에 이르는 지역에 옥천대의 지질로 이루어진 넓은 육지가 존재하였었다. 탐라층의 연대는 약 0.5 Ma이며, 이 시대에는 한라산은 존재하지 않았다.

•IV 단계 현무암의 화산활동-2: 한라산현무암군 시대

한라산현무암군의 파호에호에 용암과 아아 용암이 분출하였고, 후기분석구가 형성되었다. 현무암질 암맥들(현무암질 암맥복합체)이 탐라층에 관입하였다.

•V 단계 조면암질 마그마의 관입: 한라산의 돔(dome) 상용기 시대

조면암질 마그마가 제주도의 중심부에 관입하여 백록담조면암용암돔, 영실조면암, 오백라한조면암 용암돔 등 백록담조면암군을 형성하였다. 이 조면암

질 마그마의 관입은 제주도의 중심부를 돛상으로 용기시켜 한라산을 형성하였는데, 정상부가 소규모적으로 함몰하여 백록담이 형성되었다. 한라산 정상으로부터 북측으로 2개와 남측으로 1개의 방향으로 발달한 깊고 긴 3개의 방사상 협곡들은 돛상 용기산체의 정상에서 방사상으로 형성된 단열곡들이다. 백록담조면암용암들의 연대는 0.07 Ma이다.

위와 같은 구조운동사를 갖는 제주도는 화산도도 아니고 순상화산도 아니다. 화산도(volcanic island)는 해저화산이 성장하여 해수면 위로 나타난 것이고, 순상화산(shield volcano)은 심해저의 해저화산과 그 성장체인 화산도에서 형성되거나 미국 아이다호(Idaho)주의 Snake River Plain과 같은 대륙의 열곡대(rift zone)에서 형성되며, 기타 대륙부와 그 연변에서는 복합화산(composite volcano)이 형성된다(Macdonald *et al.*, 1983; Schmincke, 2004). 제주도는 해저화산이 성장하여 해수면 위에 노출된 섬도 아니고 대륙의 열곡대에서 형성되지도 않았다. 화산은 지하의 마그마가 화도를 통하여 지표에 분출되는 장소를 일컫는다. 그러므로 제주도는 조면암질 마그마의 관입과 분출에 의하여 중심부가 용기되어 한라산을 형성한 용기화산체가 해수에 의하여 침수되어 만들어진 섬으로서 침수화산(submerged volcano)이라고 지칭할 수 있을 것이다. 제주도는 또한 복합화산(composite volcano, 성층화산은 동종이명)이 아니지만 형태는 복합화산과 유사하다.

REFERENCES

- Agriculture Development Corporation (ADC), 1971, Report of the Groundwater Resources, Jeju Island. 381 p, 1 map (1:100,000), 4 plates (in Korean, title translated).
- Ahn, K.S., Lee, H.K. and Lim, H.C., 1995, A petrological and geochemical study of granites in the Cheju Island. *Economic and Environmental Geology*, 28, 513-518 (in Korean with English abstract).
- Brenna, M., Cronin, S.J., Smith, I.E.M., Sohn, Y.K. and Maas, R., 2012, Spatio-temporal evolution of a dispersed magmatic system and its implications for volcanic growth, Jeju Island Volcanic Field, Korea. *Lithos*, 148, 337-352.
- Haraguchi, K., 1930, Jeju Volcanic Island. Professor Ogawa's Sixtieth Birthday Memorial Volume, 595-649, 1 map (1:250,000) (in Japanese, title translated).
- Haraguchi, K., 1931, Saishu Volcano. *Bulletin of the Geological Survey of Chosen (Korea)*, 10, 1-34, 10 pls. (in Japanese); 1-12, 1 pl. (in English).
- Hyun, W.H., Hwang, J.Y. and Yoon, S., 2005, On the occurrence of the fragments of quartz vein in the Tamna Formation, Jeju Island and their source area. *Annual Conference of the Geological Society of Korea*, (Abstracts), Jinju, October 28-29, 68 p (in Korean, title translated).
- Kim, B.K., 1969, A stratigraphic and paleontologic study of the Sinyangri Formation in the vicinity of Sinyangri and Gosanri, the Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 5, 103-121.
- Kim, K.H., Tanaka, T., Suzuki, K., Nagao, K. and Park, E.J., 2002, Evidences of the presence of old continental basement in Cheju Volcanic Island, South Korea. *Geochemical Journal*, 36, 421-441.
- Koh, G.W., 1997, Characteristic of the Groundwater and Hydrogeologic Implications of the Seoguiipo Formation in Cheju Island. Ph.D. thesis, Pusan National University, Pusan, 325 p (in Korean with English abstract).
- Koh, G.W., Park, J.B., Kang, B.-R., Kim, G.-P. and Moon, D.C., 2013, Volcanism in Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 209-230 (in Korean with English abstract).
- Komuro, H. and Fujita, Y., 1980, Experimental study on the formation of the collapse basin in the Green Tuff Orogenesis. *Journal of the Geological Society of Japan*, 86, 327-340 (in Japanese with English abstract).
- Lee, E.-H., 1990, Pleistocene Ostracoda from the marine sedimentary strata of the Cheju Island, Korea. Ph.D. thesis, Korea University, Seoul, 400 p, 36 pls.
- Lee, M.W., 1982, Petrology and geochemistry of Jeju Volcanic Island, Korea. *Science Report of Tohoku University, Sendai, Series 3*, 15, 177-256.
- Lee, Y.G., 2005, Post-last glacial sea-level change and time-averaging appeared from the molluscan thanatocoenoses in the southern Sea of Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26, 541-550 (in Korean with English abstract).
- Macdonald, G.A., Abott, A.T. and Peterson, F.L., 1983, *Volcanoes in the Sea: The Geology of Hawaii*, Second Edition. University of Hawaii Press, Honolulu, 517 p.
- Park, K.H., Cho, D.L. and Kim, J.C., 2000a, Geologic Report of the Moseulpo-Hanlim sheet (1:50,000), Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 56 p (in Korean with English abstract).
- Park, K.H., Lee, B.-J., Cho, D.L., Kim, J.C., Lee, S.-R., Choi, H.I., Hwang, J.H., Song, K.Y., Choi, P.-Y., Cho,

- B.W. and Kim, Y.B., 1998, Geologic report of the Cheju-Aewol sheet (1:50,000). Cheju Provincial Government, 237 p (in Korean with English abstract).
- Park, K.H., Lee, B.-J., Cho, D.L., Kim, J.C., Lee, S.-R., Kim, Y.B., Lee, H.Y., Cho, B.W., Jang, Y.N., Son, B.K., Cheon, H.Y. and Kim, Y.U., 2000b, Geologic Report of the Seogwipo-Hahyori sheet (1:50,000). Jeju Provincial Government, 139 p (in Korean with English abstract).
- Schmincke, H.-U., 2004, *Volcanism*, Springer, Berlin Heidelberg New York, 324 p.
- Sameshima, T., Ogawa, T. and Kashima, N., 1988, 5th International Symposium on Volcanospeleology Excursion Guide Book. Tokyo, 1-80.
- Smith, G.A., 1986, Coarse-grained nonmarine volcaniclastic sediment: Terminology and depositional process. *Geological Society of America Bulletin*, 97, 1-10.
- Smith, G.A., 1987, Sedimentology of volcanism-induced aggradation in fluvial basins: Examples from the Pacific Northwest, USA. In Ethridge, F.G., Flores, R.M. and Harvey, M.D. (eds.), *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 39, 217-228.
- Smith, G.A. and Lowe, D.R., 1991, Lahars: Volcano-hydrologic events and deposition in the debris flow-hyperconcentrated flow continuum. In Fisher, R.V. and Smith, G.A. (eds.), *Sedimentation in Volcanic Settings*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 45, 59-70.
- Son, I., Lee, M.W. and Youn, J.S., 1998, The subsurface Stratigraphy of Cheju Volcanic Island, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 19, 581-589 (in Korean with English abstract).
- Song, S.T., 2000, Distributions and Lithology of the Aa Rubble Flows in Cheju Island, Korea. Ph.D. thesis, Pusan National University, Pusan, 118 p (in Korean with English abstract).
- Song, S.T., 2003, Lavas in Gotjawal Terrain, Jeju Island, Korea. No. 2. Aewol Gotjawal Terrain. *Journal of Education Science, Educational Science Research Institute, Jeju National University*, 5, 253-263 (in Korean, title translated).
- Song, S.T. and Yoon, S., 2002, Lavas in Gotjawal Terrain, Jeju Island, Korea. No. 1. Jocheon-Hamdeok Gotjawal Terrain. *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 377-389 (in Korean with English abstract).
- Suh, H.G., Cho, H.K. and Nahm, G.Y., 1964, Geology and Ground-Water Resources of Cheju Island. *Geology and Ground-Water Resources, Geological Survey of Korea*, 1, 77-111, 1 map (1:50,000 scale) (in Korean with English abstract).
- Tamanyu, S., 1990, The K-Ar ages and their stratigraphic interpretation of the Cheju Volcanics, Korea. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 41, 527-537 (in Japanese with English abstract).
- Won, J.K., 1975, Study of geologic development and the volcanic activity of the Jeju Island. *Bulletin of Research Institute of Applied Sciences, Kon-Kuk University, Seoul*, 1, 7-42 (in Korean with English abstract).
- Won, J.K., Lee, M.W., Lee, D.Y. and Sohn, Y.K., 1993, Geologic report of the Seongsan sheet (1:50,000). Ministry of Construction, Jeju Provincial Government and Korea Water Resources Corporation, 104 p (in Korean).
- Won, J.K., Lee, M.W., Lee, D.Y. and Yun, S.H., 1995, Geologic report of the Pyoseon sheet (1:50,000). Ministry of Construction and Transportation and Korea Water Resources Corporation, 59 p (in Korean).
- Won, J.K., Matsuda, J.-I., Nagao, K., Kim, K.H. and Lee, M.W., 1986, Paleomagnetism and radiometric age of trachytes in Jeju Island, Korea. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, 19, 25-33.
- Woo, K.S. and Kim, J.K., 2005, The age and constituents of the carbonate sand dunes in Hyeopjae area, Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 41, 499-510 (in Korean with English abstract).
- Yi, S., Yun, H. and Yoon, S., 1995, Late Quaternary calcareous nannofossils from the Sinyangri Formation of Cheju (Jeju) Island, Korea. *Journal of Paleontological Society of Korea*, 11(2), 146-158.
- Yoon, S., 1970, On the order of the eruptions of lava flows and parasitic volcanoes in the Seongeup-ri-Daerog-san area, Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 6, 205-212 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S., Hyun, W.H. and Jung, C.Y., 2005, Geology of Hallasan (Mt. Halla), Jeju Island. *Journal of the Geological Society of Korea*, 41, 481-497 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S., Jung, C.J., Hyun, W.H. and Song, S.T., 2009, Tectonic History of Jeju Island. *Annual Conference of the Geological Society of Korea (Abstracts)*, Jeju, October 29-30, 31 p (in Korean, title translated).
- Yoon, S., Jung, C.J., 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.
- Yoon, S., Jung, C.J., Song, S.T. and Hyun, W.H., 2002, Mt. Halla, the main body of Jeju Island, Korea: an uplifted edifice. *Proceedings of International Symposium on New Concepts in Global Tectonics (NCGT)*, La Junta, Colorado, 165-170.
- Yoon, S., Jung, C.J., Song, S.T. and Hyun, W.H., 2003, Mt. Halla of Jeju Island: a dome-like uplifted edifice. 1st

- Symposium of Jeju Volcanological Institute (JEVI), 7-14 (in Korean).
- Yoon, S., Jung, C.J., Song, S.T. and Hyun, W.H., 2006, Geology of Jeju Island. Jeju Provincial Office, Korea Rural Community and Agriculture Corporation (KRC), 73 p, 1 map (1:150,000).
- Yoon, S., Koh, G. and Kim, I.T., 1995, Development history of Cheju Island. Bulletin of Cheju-do Provincial Government, 98, 148-164 (in Korean, title translated).
- Yoon, S., Yi, S., Bak, Y.-S., Jung, C.Y. and Lee, E.-H., 2004, Calcareous nannofossils and diatoms from the groundwater monitoring wells in the eastern part of Jeju Island. Journal of the Paleontological Society of Korea, 20, 99-119 (in Korean with English abstract).
- Yun, S.G., Han, D.S. and Lee, D.Y., 1987, Quaternary geology in the southern part of Jeju Island. Research Report KR-86-2-(B)-2, Korea Institute of Energy and Resources, 64 p (in Korean with English summary).
-
- 투 고 일 : 2014년 3월 23일
심 사 일 : 2014년 3월 31일
심사완료일 : 2014년 7월 4일