

# 경북 청송군 주왕산지역의 대전사 현무암의 암석학적 특성

고정선\* · 안지영 · 윤성호

부산대학교 대학원 지구과학과, 609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30

## <sup>1</sup>Petrological Characteristics of the Daejeonsa Basalt in the Mt. Juwang area, Cheongsong-gun, Gyeongsang buk-do, Korea

Jeong-Seon Koh\* · Ji-Young Ahn · Sung-Hyo Yun

Department of Earth Sciences, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

**Abstract:** Daejeonsa basalt in the Mt. Juwang area is composed of 12 lava flows alternate with 9 peperites, and each lava and peperite has variable thickness. Globular peperites yielded in Daejeonsa basalt are mixed basalt clasts with reddish shale. Based on field description, when lava flows over unconsolidated wet shale or injects into unconsolidated wet shale, peperites were formed at the contacts between lava and shale. Daejeonsa basalt are massive lava flows with rare vesicules: some vesicules are found in upper part of a flow unit. The basalt has mainly pseudomorphs of olivine as phenocryst, and also plagioclase and clinopyroxene phenocrysts in rocks with higher Mg-number. Matrix is mainly subophitic texture, sometimes showing ophitic and intergranular textures due to different cooling rate. Clinopyroxene is augite( $Wo_{41.6}En_{45.1}Fs_{13.3}$ ), and plagioclase is mostly labradorite( $An_{55.0-67.7}$ ), but some is andesine( $An_{44.3}$ ) and bytownite( $An_{74.5}$ ). Oxide minerals are composed of titanomagnetite and ilmenite.

Key words: Daejeonsa basalt, peperites, lava flows

**요약:** 본 연구에서는 경상북도 청송 주왕산지역 대전사 현무암의 산출 상태 및 분포 양상을 검토하고, 암석기재적 특성을 알아보았다. 야외 조사 결과, 주왕산 화산암체의 최하부층에 해당하는 대전사 현무암층은 전체적으로 12매의 용암과 9매의 페페라이트가 교호하며, 각 용암과 페페라이트의 암층의 두께는 다양하다. 본 층에서 나타나는 페페라이트는 현무암과 세일이 혼합되어 있으며, 현무암은 쇄설의 형태로 나타나고 세일은 현무암의 기질을 메우는 간극상을 이룬다. 이는 용암이 분출하여 고화되지 않은 젖은 세일층 위를 흐르거나, 관입으로 인해서 용암과 퇴적물 사이의 접촉부에서 생성된 것으로 사료되며, 이들 페페라이트는 조직상으로 구상 페페라이트로 분류할 수 있다. 현무암류는 육안으로 반정이 관찰되지 않으며 기공이 없는 치밀한 현무암이지만, 한 단위의 용암층 내에서 상부에는 다공질의 현무암이 발견되기도 한다. 경하에서의 현무암류는 주된 반정 광물로 가상의 감람석을 가지며, Mg#이 높은 암석에서는 사장석과 단사휘석의 반정도 보인다. 석기는 주로 서브 오피틱 조직을 보이지만, 국지적인 냉각률의 차이로 인한 오피틱 조직과 인터그래놀라 조직도 관찰된다. 사장석은 대부분 라브라도라이트( $An_{55.0-67.7}$ )이며, 일부 안데신( $An_{44.3}$ )과 바이토우나이트( $An_{74.5}$ )로 분류된다. 단사휘석의 평균 조성은  $Wo_{41.6}En_{45.1}Fs_{13.3}$ 으로써 보통 휘석에 해당한다. 불투명 광물은 티탄자철석과 티탄철석으로 구성되어 있다.

주요어: 대전사 현무암, 페페라이트, 용암류

## 서론

우리 나라에서 백악기에 화산활동이 가장 활발하게 일어났던 곳은 경상분지 동남부이다. 이 경상분지 동남부에는 백악기 후기 화산암류가 이와 관련된 화강암류

와 조합되어 넓게 분포되어 있으며, 경상분지 중에서도 유천소분지에 이들이 밀집되어 분포되며, 경상분지 동북부 일원(의성소분지 동단부와 영양소분지의 남단부 지역)에도 넓게 분포한다.

이들 화산활동은 지판운동과 밀접한 관계가 있는 것

\* E-mail: jskoh812@hotmail.com

으로 알려져 있다(Uyeda and Miyashiro, 1974, Hilde *et al.*, 1977). 경상분지는 분지 발달의 전기-중기(110-85Ma) 동안에 이자나기판(Izanagi plate)이 해구에서 사각 섭입(oblique subduction)된 후, 85Ma(콜라/태평양해령의 해구 도달)에서 백악기 말까지 태평양판은 해구에 직각으로 섭입될 때, 이들 해양판의 섭입과 관련된 구조적인 운동으로 형성되었다(Otsuki, 1992). 이 섭입 작용으로, 백악기 후기 경상분지에서는 여러 번의 화산 작용이 일어났다. 이들 화산작용에 따른 화산암류는 유천층군으로 대표되며 뒤따라 불국사 관입암류가 수반되고, 화산 중심지가 밀집됨에 따라서 지역적으로 분리되어 여러 개의 화산암 분포지를 형성하고 있다.

영양소분지 동남부에 해당하는 청송군, 영덕군, 영일군이 맞닿는 지역에도 화산암류가 넓게 분포하여 한 덩어리의 화산암 분포지를 이루고 있다. 이 지역에서 대표적인 주왕산 화산암체를 구성하는 화산암류는 크게 4개의 화산암층, 즉 최하부층인 현무암질 안산암 용암, 그 위에 얇은 두께의 라필리 응회암층, 이를 피복하는 두꺼운 용결 응회암층, 그리고 최상부의 라필리응회암층으로 분류된다(윤성호, 1996). 이후 황상구(1998)는 주왕산 일대의 암층 분류 작업을 토대로 주왕산 화산암체를 6개의 화산암층-최하부 대전사 현무암, 입봉 안산암, 지품 화산층, 주왕산 응회암, 너구동층, 무포산 응회암-으로 분류하였다. 또 황상구 등(1998)은 주왕산 응회암을 형성한 화류의 공급지를 압축 신장된 부석의 유상선구조 분석을 통해 추정하려는 시도를 하였다. 백악기 후기 화산암류와 이와 관련된 심성암류가 밀집되어 분포하고 있는 유천소분지의 화산암류가 하부의 중성 화산암류와 상부의 산성 화산암류로 대별되는데 반해서(김상욱·이영길, 1981), 주왕산 일대의 화산암류는 하부에 염기성과 중성 화산암류, 중부에 산성과 중성 화산암류, 상부에 산성 화산암류로 구성된다(황상구, 1998).

본 연구에서는 주왕산 화산암체 중에서 최하부 염기성 화산암류인 대전사 현무암을 주 연구 대상으로 다루고자 한다. 이에 관한 선행 연구는 안동도폭과 1998년 대한지질학회 춘계 학술답사 자료집(황상구, 1998)에 암상 기재만이 되어 있으며, 암석 화학적 특징은 안동도폭 내의 많은 화산암체들에 대한 개괄적인 특징(윤성호, 1996)만이 나열되어 있다. 본 연구 지역의 염기성 화산암류에 대한 산출 상태 및 암상에 따른 암석학적 연구는 현재까지 미비한 상태이다.

본 연구에서는 대전사 현무암의 산출 상태 및 분포 양상을 검토하여, 페페라이트의 생성 원인을 규명하고, 현무암질 용암의 구성광물의 조성을 알아보고자 한다.

## 지질 개요

본 연구의 대상인 대전사 현무암이 분포하는 청송 주왕산 일대는 백악기 유천층군의 여러 암층과 관입암이 분포하고 있으며, 동부에서 남북 방향으로 지나는 양산 단층이 접하고 있다. 주왕산 일대의 지질도는 Fig. 1과 같다. 영양소분지 남부 주왕산 일대는 화산암류가 넓게 분포하는 하나의 큰 화산암체를 이루고 있으며, 화산암체의 기반을 이루고 있는 퇴적암층은 경사가 주왕산체를 향해 경사진 분지상의 구조를 나타내며, 화산암층에 의해 피복된다. 주왕산 화산암체는 하부에 현무암질과

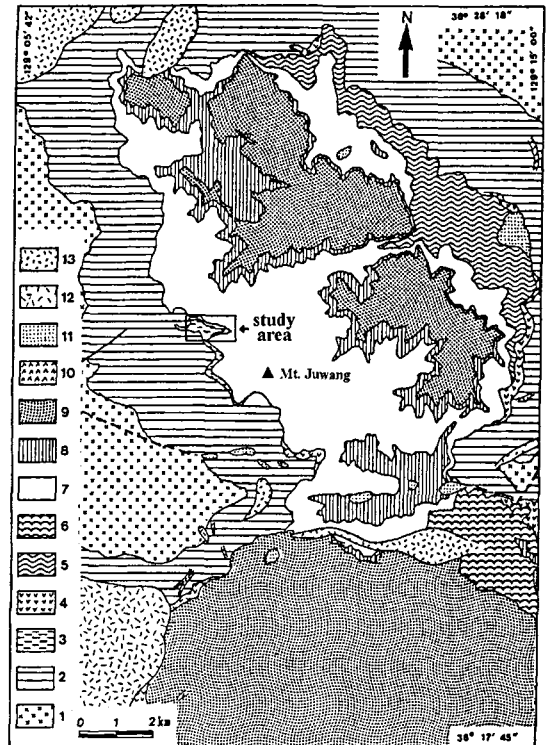


Fig. 1. Generalized geologic map of the Mt. Juwang area(Hwang, 1998). 1, Jurassic granitic rocks; 2, Cretaceous sedimentary rocks; 3, Dajeonsa Basalt; 4, Ipbong Andesite; 5, Jipum Volcanic Formation; 6, Naeyeonsan Tuff; 7, Juwangsan Tuff; 8, Neogudong Formation; 9, Muposan Tuff; 10, andesite intrusion; 11, rhyolite intrusion; 12, granite; 13, felsite.

안산암질 용암과 응회암으로 구성되어 있으며, 중부와 상부는 대부분 유문암질과 테사이트질 화쇄류에 의한 큰 용적의 응회암들로 구성된다. 그러나 중부와 상부에서 이 응회암들 사이에는 안산암질 용암층과 퇴적암층이 협재되어 있다. 그리고 이 화산암류들은 여러 곳의 분출 중심에서 유래되었으며 염기성 화산암류는 측방 분포가 제한적이어서 국지적인 분출 중심지에서 나왔음을 지시하고, 산성 화산암류는 일반적으로 측방으로 넓게 퍼져 있고 큰 용적으로 두꺼우며 여러 개의 분출 중심지에서 나왔음을 알 수 있다.

이처럼 주왕산 화산암체를 이루고 있는 화산암들은 암질 차이와 화산 중심지에 따라서 분류가 되며, 이들의 층서적인 관계는 Fig. 1과 같다. 하부로부터 대전사 현무암, 입봉 안산암, 지포 화산층, 내연산 응회암, 주왕산 응회암, 너구동층, 무포산 응회암 순으로 놓이고, 안산암 관입체와 유문암 관입체, 석영 몬조니암과 규장암이 여러 곳에 관입되어 있다(황상구, 1998).

### 암석기재

주왕산 화산암류 중에서 최하부 염기성 화산암층으로 분류되는 대전사 현무암은 주왕산 국립공원 입구에 자리하는 대전사에서 동쪽으로 800m까지 연속되고 측

방으로 북서쪽으로 새절재까지, 그리고 남동쪽으로 부일리 능선까지 길게 연장되어 있다(Fig. 2).

### 대전사 현무암층 상·하부의 퇴적층

대전사 현무암층은 퇴적암속에 협재되어 나타난다. 하부의 퇴적암은 Fig. 2의 19-1 지역에서 자색의 역질 사암과 사암이 호층을 이루고 있다. 자색 역암의 역은 신장된 셰일들이 평행 배열되어 있고, 화성암의 역들도 보인다. 기질부는 장식과 석영들로 이루어져 있다. 19-2 지역에서는 자색 사암과 셰일이 교호하고, 이들 퇴적층의 주향은 N10°W, 경사는 12°NE이다. 19-4 지역에서는 산성맥이 자색 사암층을 관입하고, 이 맥의 주향, 경사는 N80°W, 28°SW이다. 대전사 현무암층의 하한은 자색 사암과 셰일 위에 정합적으로 놓여 있고 부분적으로 단층 접촉을 하기도 한다.

상부의 퇴적암은 Fig. 2의 14-2 지역에서 응회질 역암층이 분포한다. 역은 대부분 현무암이며, 셰일의 역도 존재한다. 원마도는 좋으며, 분급은 불량하다. 14-3 지역으로 갈수록 역이 작아지며, 이 지역에서 자색 역암과 우백질의 역질 사암의 경계가 나타난다.

12-13 지역에서는 자색의 역질 사암과 사암이 호층을 이루고 그 위에 사암과 셰일이 호층을 이루고 분포한다. 그 상부에는 주왕산 응회암이 놓인다(Fig. 1). 본 암

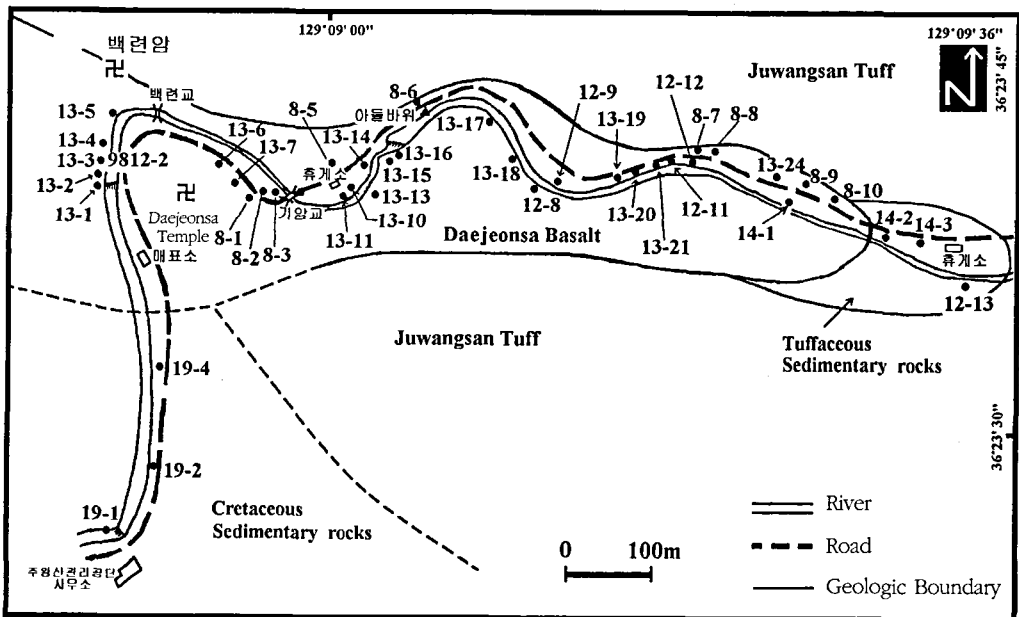


Fig. 2. Map showing sampling sites of study area.

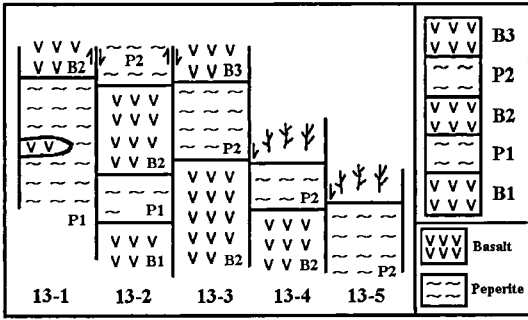


Fig. 3. Schematic columnar sections of sample sites(from 13-1 to 13-5) in Fig. 2.

의 상한은 응회질 역암층에 의해서 정합적으로 덮힌다.

### 대전사 현무암층

이 암층은 크게 현무암질 용암과 이들 용암에 세일이 혼합되어 있는 페페라이트(peperite)로 구성된다. 대전사 현무암층의 용암과 용암 사이에 페페라이트가 존재한다는 사실은 기존의 연구와 다른 점으로써, 본 역에서는 전체적으로 12매의 용암과 9매의 페페라이트가 관찰된다.

페페라이트는 Fisher(1960)와 Williams and McBirney (1979)에 의해서 용암이나 마그마가 고화되지 않고 수분이 있는 인접한 퇴적암과 혼합될 때 생성되는 암석으로 정의된다. 또한 이들은 관입체와 젖은 퇴적물 사이의 접촉부에서 산출되거나(Hanson and Schweickert, 1982; Hanson and Wilson, 1993), 고화되지 않은 퇴적물을 파고 들거나 덮고 있는 용암류의 기저 접촉부를 따라서 산출된다(Schmincke, 1967; Bull and Cas, 1989)고 보고되어 있다.

이 지역에 나타나는 용암과 페페라이트 층들은 두께가 다양하며, 용암과 페페라이트의 층서가 나타나는 노두의 위치는 Fig. 2에 나타나 있다.

13-1에서 13-5 지역에서의 산출상태: 대전사 현무암층의 하부 퇴적암이 분포하는 19-4 지역을 지나서 하천을 따라서 올라 가면, 매표소 옆 하천 부근에서 용암과 페페라이트의 경계가 뚜렷이 보여지는 전석이 있고, 매표소를 지나 13-1 지역에서 13-5 지역까지는 측방으로 연속되는 노두가 있다. 이 노두에서 용암과 용암 사이에 협재되어 있는 페페라이트를 관찰할 수 있고, 층서는 Fig. 3과 같다. 이 지역에서 전체적으로 현무암 3매와 페페

라이트 2매가 관찰된다. 가장 상부에 있는 B3 현무암은 기공이 없고 치밀하나, 페페라이트와의 경계에서는 현무암내에 세일이 관찰된다. 하부 B2와 B1의 현무암은 기공이 없고 치밀하다. P1 페페라이트는 노두가 불량하나, 현무암 쇄설과 세일이 있어 페페라이트로 인식된다.

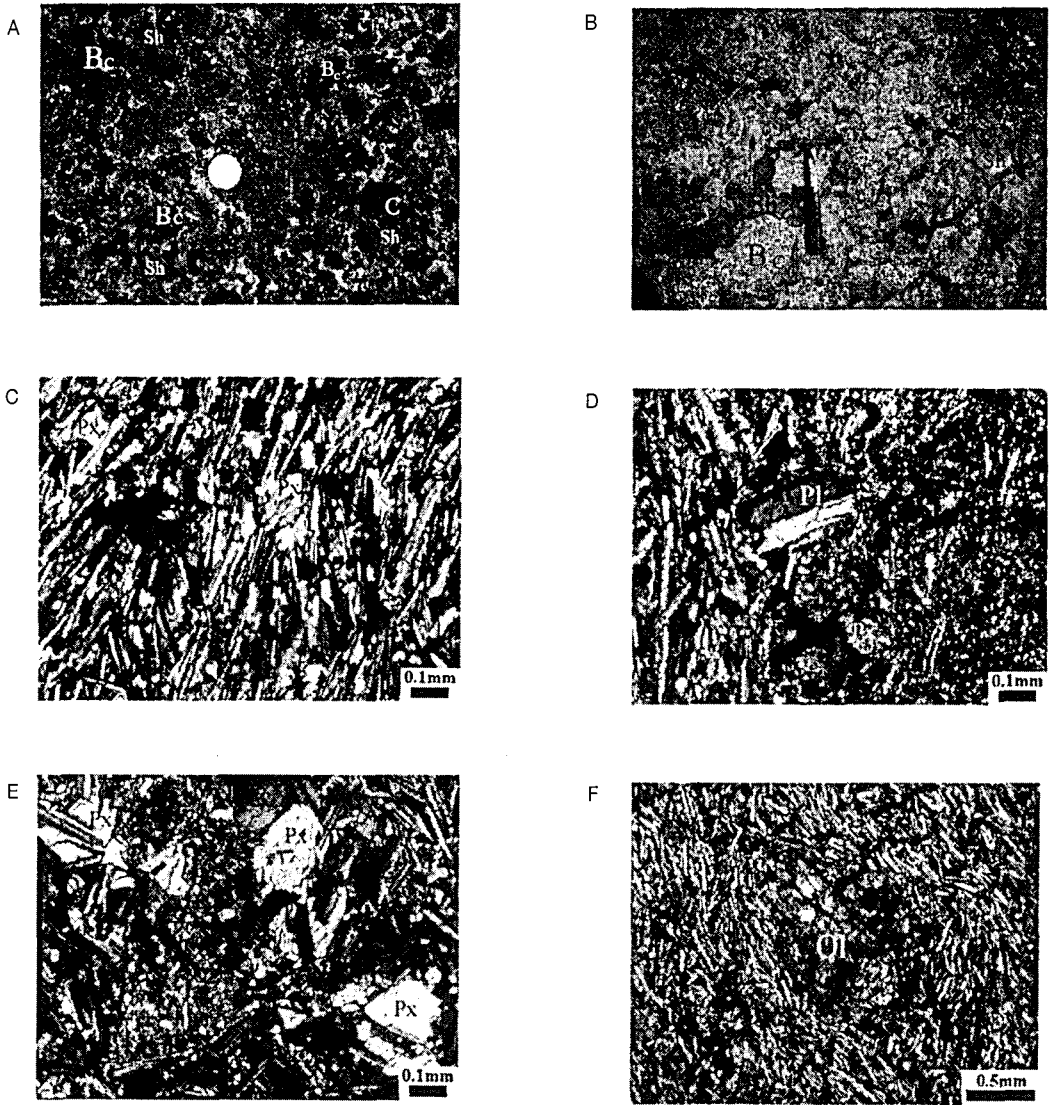
P2 페페라이트는 백련교 부근 13-5 지역의 노두에서 뚜렷하게 보여지며, 세일이 현무암 쇄설과 쇄설사이의 기질부를 이루고 있다(Fig. 4A). 현무암 쇄설은 행인상 조직의 암색 현무암과 산화된 붉은색 현무암이 다량 분포한다. 현무암 쇄설들의 크기는 다양하며, 형태가 불규칙하나 각을 가지고 있지 않다.

8-1에서 8-3 지역에서의 산출상태: 백련교를 지나서 하천을 따라 올라가면, 기암교 아래 8-3 지역의 노두에서 P2 페페라이트와 같은 층으로 대비되는 페페라이트가 분포한다. 이 지역에서의 층서 단면은 Fig. 5와 같으며, 8-1과 8-2 지역의 노두에서 관찰되는 층서도 Fig. 5에 같이 나타내었다.

8-1 지역 B4 현무암의 하부는 기공이 없고 치밀하며, 상부는 기공이 평행하게 배열되어 있는 다공상으로 한 단위의 용암류이다. 다공상 현무암 상부에 다른 용암류가 있어 B5 현무암으로 구분하였다. 이 지역에서는 B4 현무암과 B5 현무암의 경계에 아무것도 존재하지 않지만, 8-5 지역에서는 용암 내에 렌즈상으로 페페라이트가 있어 8-1 지역의 B4, B5와 대비된다.

8-3 지역의 P2 페페라이트는 하부 경계에 치밀한 현무암이 관찰되지만, 이 현무암 내에는 자각력화 작용에 의한 다공질 현무암의 쇄설이 들어 있다. 기공들은 2차 광물들로 메워져 있고, 쇄설들의 원마도는 좋다. 이 암석은 현무암 쇄설 사이의 기질을 세일이 메우고 있지 않고, 부분적으로 열극을 따라서 자색 세일이 주입되어 있다(Fig. 4B). 이러한 특징이 상부의 페페라이트와 구분되는 것이다. 이 현무암층은 백련교 부근의 B2 현무암에 대비된다.

13-10에서 8-6 지역에서의 산출상태: 기암교를 지나서 휴게소 옆 하천 부근의 13-10 지역에서는 하부의 페페라이트 1매와 상부 현무암 1매가 관찰되며, 이는 8-1과 8-5에서 관찰되는 P3, B4와 대비된다. B4 현무암은 상부에 기공이 현저하게 많고, 하부에 기공이 없다. P3 페페라이트는 P2 페페라이트와 같은 암상을 보인다. 아들바위 근처의 8-6 지역 노두에서 가장 하부에는 8-5 지



**Fig. 4.** Fig. 4A and B Globular peperite in Deajeonsa basalt. Shale clasts fill the interstitial spaces between basalt clasts, Basalt clasts is sub-rounded. (B<sub>c</sub>: basalt clast, Sh: shale clast). Fig. 4C. Subophitic texture of plagioclase and clinopyroxene in Deajeonsa basalt. (Px: clinopyroxene). Fig. 4D. Subophitic texture(left) and intergranular texture(right) of plagioclase and clinopyroxene in Deajeonsa basalt. Plagioclase microphenocryst is zoned weakly. (Pl: plagioclase, Px: clinopyroxene). Fig. 4E. Ophitic texture in Deajeonsa basalt. The plagioclase laths are enclosed in clinopyroxene. (Px: clinopyroxene). Fig. 4F. Pseudomorph of olivine in matrix, showing subophitic texture. (Ol: olivine).

역에서의 B5 현무암과 같은 층준의 현무암(B5)이 발견되며, 그 상부에 페페라이트(P5)-현무암(B6)-페페라이트(P6)-현무암(B8) 층이 순서대로 놓여있다. P6 페페라이트 내에서는 위로 갈수록 세일이 많아지며, 이 층내에 1매의 현무암(B7) 층이 렌즈상으로 존재한다.

8-7에서 8-10 지역에서의 산출상태: Fig. 6은 8-7과 8-8 지

역에서 나타나는 노두를 모식화한 것이다. 8-7 지역에서 B8 현무암의 하부는 치밀하고, 상부는 다공질이다. 기공이 위쪽으로 늘어져 있어 용암의 상단부임을 나타낸다. B9 현무암은 치밀하며, 수직 절리가 발달되어 있다.

8-7 지역의 노두 가장 아래쪽에서는 수평적으로 현무암(B8)과 현무암(B9) 사이에 P7 페페라이트가 존재한

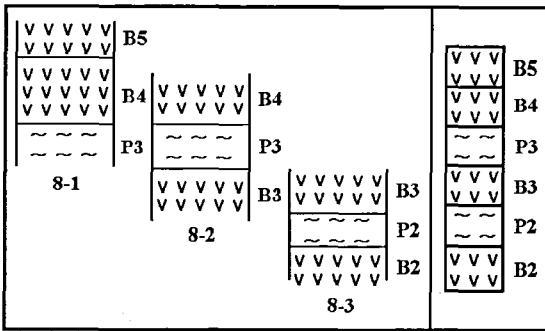


Fig. 5. Schematic columnar sections of 8-1, 8-2, and 8-3 area in Fig. 2. Symbols are same as Fig. 3.

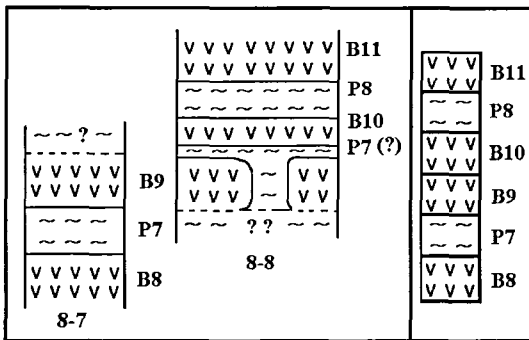


Fig. 6. Schematic columnar sections of 8-7 and 8-8 area in Fig. 2. Symbols are same as Fig. 3.

다. 이 현무암층 상부에 페페라이트가 존재한다. 88 지역 노두에서 B10 현무암 층은 완전히 산화되어 있어서, B9와는 구분이 되며, 그 상부에 P8 페페라이트가 놓이며, 그 위에 1매의 B11 현무암이 관찰된다. 89 지역에서는 하부에 페페라이트(P8)가 존재하고, 그 위를 현무암층(B11)이 덮고 있으며, 이들은 88 지역에서의 P8, B11과 대비된다. 특히 B11 현무암층은 위쪽에 기공이 산재되어 있지 않고, 특정 위치에 밀집되어 나타난다.

8-10 지역에서는 B11 현무암층 위에 1매의 페페라이트(P9)가 존재한다. 그 상부에는 대전사 현무암층의 최상위에 놓여 있는 현무암(B12)이 관찰되며, 이는 주왕산 용회암에 의해서 피복되어 있다.

페페라이트의 성인 고찰: 이상에서와 같이, 대전사 현무암층은 최소 12매의 현무암과 9매의 페페라이트로 구성되어 있다. 야외에서 관찰되는 페페라이트는 용암과 세일이 섞여 있고, 세일은 주로 원마도가 좋은 현무암 쇄설과 쇄설 사이의 간극을 충전하는 불규칙적인 형태

이다. Busby-Spera and White(1987)는 페페라이트를 조직의 특징에 따라서 암괴상(blocky)과 구상(globular) 페페라이트로 분류하였는데, 이 암층의 페페라이트는 현무암 쇄설이 각을 가지고 있지 않아 구상 페페라이트로 분류된다. 페페라이트는 구성하는 퇴적물 입자의 크기, 분급 및 입자의 팩킹(packing)에 따라서 달라지는데, 이 지역의 페페라이트는 세립질이며 분급이 좋고, 입자의 팩킹이 느슨한 세일로 구성되어 구상 페페라이트가 발달하기 쉽게 되었다(Busby-Spera and White, 1987).

이 지역에 산출되는 페페라이트는 대부분 그 상부 현무암사이의 접촉부가 점이적이나 하부의 현무암과 날카로운 접촉관계를 보이기 때문에, 용암이 고화되지 않고 젖은 세일층 위를 흘러서 용암의 하단 접촉부에서 페페라이트가 형성된 것으로 생각된다. 그러나 일부에서는 상부 현무암과의 접촉부가 날카로운 경계를 보이는 경우도 있다. 이러한 경우 대부분의 페페라이트는 현무암의 쇄설과 세일의 쇄설로 구성된다. 이러한 사실은 용암이 세일의 상부를 흘렀으나, 그 용암의 체적이 적어서 퇴적물과 완전하게 혼합이 되었음을 암시한다.

그리고 또 다른 노두에서는 하나의 페페라이트층 내에서 페페라이트가 다른 모습을 보여주는데, 13-13 지역이나, 13-15 지역에서는 페페라이트의 중간 부분에 현무암 쇄설과 세일이 상당히 있고, 그 상·하부로는 쇄설의 발달이 미약하나 관찰된다. 이는 용암이 상승하면서, 용암의 일부가 세일층을 만나서 세일층 내부를 관입함으로써 생성된 것이라 생각된다.

앞서 제시된 몇 가지 경우와는 다르게, 88 지역의 노두에서는 현무암과 페페라이트의 관계가 조금 다르게 나타나는데, 이것은 페페라이트가 형성된 후, 완전히 고결되기 전에 또 다른 용암이 흘러서 이들 용암의 압력으로 하부의 페페라이트가 상승하여 이루졌다고 생각된다.

이처럼 대전사 현무암층의 페페라이트는 현무암층과의 관계가 복잡하며, 앞에서 제시된 페페라이트 생성 과정은 단순하게 야외 노두에서 관찰되는 사실에만 근거로 세운 가설이다.

현무암의 조직 및 구성광물: 대전사 현무암층을 이루고 있는 12매의 현무암들은 노두에서 뚜렷한 차이가 없으며, 현미경하에서도 뚜렷한 차이가 없다. 그러나 분화가 적게 된 암석 즉,  $Mg\# = 100 \times Mg / (Mg + Fe)$  이 높게 나타나는 것일수록 사장석과 단사회석의 반정

이 많이 관찰되었다.

이 지역의 한 단위 용암류의 상층에서는 다공질의 현무암이 발견되기도 하지만 전체적으로 기공이 존재하지 않는 치밀한 현무암이다. 석기는 래쓰상 사장석과 미립의 휘석, 그리고 불투명 광물로 되어 있으며, 그 외에 이차적인 광물인 석영이나 방해석들이 간혹 관찰된다. 석기는 래쓰(lath)상 사장석 사이를 휘석이 채우고 있는 서브오피틱(subophitic) 조직을 보여준다(Fig. 4c). 국부적으로 오피틱(ophitic) 조직과 인터그래놀라(intergranular) 조직을 이루는데, 이러한 조직의 차이는 냉각률(cooling rate)에 기인하는 것으로, 냉각률이 크면 클수록 오피틱, 서브오피틱, 인터그래놀라, 그리고 유리가 래쓰의 간극을 채우는 인터스탈 조직으로 변화한다. 국부적으로 서브오피틱과 인터그래놀라 조직의 경계가 뚜렷하여(Fig. 4d) 부분적으로 열적 차이가 있음을 암시한다. 국부적으로 오피틱 조직을 보이며, 사장석이 단사휘석의 미반정을 침범하여 포획되어 있다(Fig. 4e).

현미경하에서 반정(>0.7mm)과 미반정(0.1-0.7mm)은 전체 3~10% 정도를 차지하며, 이 중 대부분의 반정 광물은 변질을 받아서 가상으로 존재하는 감람석이다(Fig. 4f). 감람석은 대부분 적갈색(reddish brown)의 이당사이트로 변질되어 있다. 변질이 많이 진행된 이당사이트는 감람석의 가장자리를 둘러싸거나 내부 틈을 따라서 존재하고, 이들은 여러 광물상이 혼합되어 있다고 보고되어지나(Sun, 1957; Wilshire, 1958), 광학적으로는 하나의 균질한 광물상으로 보여진다. 이외의 반정 광물로는 사장석, 단사휘석, 그리고 불투명 광물들이 있으며 대부분이 2% 이하이다. 단사휘석과 사장석 반정 역시 가상으로 존재하는게 일반적이며, 간혹 타형의 단사휘석 미반정이 한 방향의 벽개를 뚜렷이 보인다. 사장석은 대부분 타형이며 주로 래쓰상으로 석기를 구성하나, 약한 누대구조를 보이는 미반정이나 반정으로 존재한다. 간혹 반정은 가상으로 존재하며, 이들을 래쓰상의 사장석들이 채우고 있기도 한다. 불투명광물은 사장석, 감람석, 단사휘석 내에서 반정으로 존재하기도 하며 주로 미립의 석기를 구성한다. 또한 변질의 정도가 심할수록 불투명 광물이 석기를 차지하는 비가 크게 나타난다.

현무암 구성광물의 화학조성: 대전사 현무암층에서 나타

나는 대표적인 현무암을 택하여서, 이 암석에서 나타나는 주요 조암 광물들을 대상으로 그 화학성분을 알아보기 위하여 대덕연구단지 내 기초과학 지원연구소의 CAMECA SX-51 전자현미 분석기(EPMA: Electron Probe X-ray Micro Analyzer)를 이용하여 분석하였다. 분석 조건은 조사 전류 20nA, 가속 전압 15kV, 빔직경 1 $\mu$ m, 측정 시간은 10초, 그리고 배경치인 경우 5초간이다. 기기분석 오차는  $\pm 1\%$  미만이고, 측정 오차는  $\pm 0.3\%$  미만이다. 분석된 광물은 사장석, 휘석 및 소량의 불투명 광물이다. FeO<sup>T</sup>는 철의 총량이다.

### 사장석

사장석 반정, 미반정, 석기는 An<sub>44.3~74.5</sub>로 다소 넓은 범위를 보이며(Table 2), Or-Ab-An 단성분 분류도에 도시한 결과 대부분은 라브라도라이트(An<sub>55-An69</sub>)로 분류되나, 일부는 안데신(An<sub>44.3</sub>)과 바이토우나이트(An<sub>74.5-An74.1</sub>)에 해당한다(Fig. 7). 반정과 미반정의 사장석(Table 1, 2, 3, 4)은 상대적으로 An의 함량이 높은 바이토우나이트에서 라브라도라이트의 조성을 보이며, 석기를 구성하는(Table 1~7) 사장석은 라브라도라이트에서 상대적으로 An의 함량이 낮은 안데신의 범위를 보인다. 누대구조를 나타내는 사장석은 내부(c)에서 외부(r)로 갈수록 An의 함량이 감소하는(An<sub>74.5</sub>→An<sub>60.6</sub>, An<sub>69.0</sub>→An<sub>55.0</sub>, An<sub>66.3</sub>→An<sub>58.7</sub>) 정상 누대구조를 보인다.

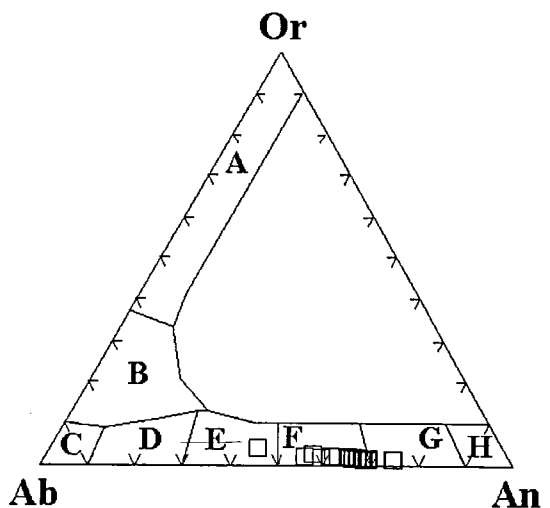


Fig. 7. Plagioclase compositions of the basaltic rocks in the study area. (A, sanidine; B, anorthoclase; C, albite; D, oligoclase; E, andesine; F, labradorite; G, bytownite; H, anorthite).

**Table 1.** Chemical compositions of representative plagioclase from Daejeonsa basalt.

Sample	1	2	3	4 <sup>Ⓒ</sup>	4 <sup>Ⓓ</sup>	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	52.49	48.94	54.26	51.61	53.27	56.15	50.89	51.85
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.04	0.12	0.04	0.06	0.14	0.07	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.33	30.79	26.99	29.77	28.70	25.41	29.55	28.85
FeO <sup>T</sup>	1.07	0.75	1.22	0.60	0.89	1.54	0.83	1.09
MnO	0.02	0.06	—	—	—	0.01	—	0.02
MgO	—	—	—	0.04	—	0.55	—	0.15
CaO	12.50	15.46	11.29	13.51	12.26	8.85	13.81	13.14
Na <sub>2</sub> O	4.18	2.80	4.87	3.61	4.56	5.72	3.49	3.80
K <sub>2</sub> O	0.32	0.19	0.37	0.28	0.32	0.63	0.24	0.34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.14	0.17	0.17	0.03	0.04	0.18	0.18	0.17
Total	99.14	99.20	99.29	99.49	100.09	99.17	99.07	99.51
Cations based on 8 oxygens								
Si	2.41	2.27	2.48	2.36	2.42	2.56	2.35	2.38
Al	1.53	1.68	1.45	1.61	1.54	1.37	1.60	1.56
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe <sup>2+</sup>	0.04	0.03	0.05	0.02	0.03	0.06	0.03	0.04
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	—	—	—	—	—	0.04	—	0.01
Ca	0.62	0.77	0.55	0.66	0.60	0.43	0.68	0.65
Na	1.49	0.25	0.43	0.32	0.40	0.51	0.31	0.34
K	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.02
Ab	37.0	24.4	42.9	32.1	39.5	51.9	31.0	33.7
An	61.1	74.5	55.0	66.3	58.7	44.3	67.7	64.3
Or	1.9	1.1	2.1	1.6	1.8	3.8	1.4	2.0

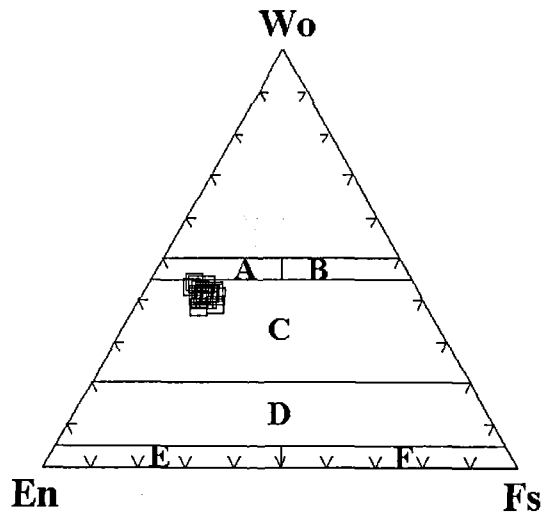
(<sup>Ⓒ</sup>, core; <sup>Ⓓ</sup>, rim)

**단사휘석**

단사휘석 미반정과 석기의 평균 조성은 Wo<sub>41.6</sub>En<sub>45.1</sub>Fs<sub>13.3</sub>로서 휘석 분류도에서 보통휘석(augite)에 해당한다(Table 2, Fig. 8). 단사휘석의 반정은 가상으로 존재하고, 변질을 받아서 분석을 할 수 없었다. Table 2에서 1~4는 미반정의 조성이며, 5~10은 석기의 조성이며, 특히 3의 조성은 부분적으로 오피티조직을 보이는 단사휘석이다. 이 광물의 Mg#은 60~74이고, CaO의 함량은 19~21wt.%으로 미반정이나 석기에 관계없이 균질한 조성을 보인다. TiO<sub>2</sub>와 Na<sub>2</sub>O의 함량은 각각 0.5~1.1wt.%, 0.2~0.4 wt.%이다.

**불투명 광물**

본 연구 지역의 현무암에서 나타나는 불투명 광물들은 TiO<sub>2</sub>를 3.6~10.3wt.% 함유하는 티탄자철석(titanomagnetite)과 Ti와 Fe의 함량이 1:1인 티탄철석



**Fig. 8.** Pyroxene compositions of the basaltic rocks in the study area. (A, diopside; B, hedenbergite; C, augite; D, pigeonite; E, clinoenstatite; F, clinoferrosillite). (Morimoto, 1988).



**Table 2.** Chemical compositions of representative clinopyroxene from Daejeonsa basalt.

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	51.31	51.28	52.27	51.76	51.64	51.20	51.00	51.20	52.37	52.39
TiO <sub>2</sub>	0.49	0.49	0.64	0.72	0.75	1.06	0.97	0.91	0.59	0.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.89	3.99	1.64	2.62	2.27	1.62	2.23	2.38	1.67	1.71
FeO <sup>T</sup>	5.77	6.33	7.97	7.33	7.19	10.24	9.09	8.60	7.81	8.42
MnO	0.20	0.13	0.19	0.22	0.27	0.38	0.23	0.26	0.29	0.27
MgO	15.75	15.90	16.43	15.86	16.27	15.39	14.85	15.36	16.46	17.12
CaO	21.28	21.07	19.57	20.71	20.14	18.97	20.15	20.07	19.92	19.06
Na <sub>2</sub> O	0.32	0.33	0.24	0.33	0.36	0.42	0.33	0.30	0.28	0.23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.26	0.25	0.28	0.11	0.24	0.22	0.26	0.07	0.07	0.03
Total	99.27	99.79	99.23	99.65	99.13	99.49	99.12	99.16	99.46	100.72
Cations based on 6 oxygens										
T Si	1.90	1.89	1.95	1.91	1.92	1.92	1.92	1.91	1.94	1.93
T Al	0.10	0.11	0.05	0.09	0.08	0.07	0.09	0.09	0.06	0.07
M1Al	0.07	0.06	0.02	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01
M1Ti	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
M1Fe <sup>3</sup>	0.03	0.05	0.02	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.05
M1Fe <sup>2</sup>	0.02	0.01	0.04	0.04	0.01	0.06	0.09	0.06	0.03	0.00
M1Mg	0.87	0.87	0.91	0.87	0.90	0.86	0.83	0.86	0.91	0.93
M2Fe <sup>2</sup>	0.13	0.14	0.20	0.15	0.16	0.20	0.16	0.17	0.18	0.21
M2Mn	0.01	—	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
M2Ca	0.84	0.83	0.78	0.82	0.80	0.76	0.81	0.80	0.79	0.75
M2Na	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
Wo	44.47	43.68	40.10	42.55	41.44	38.97	41.90	41.50	40.53	38.38
En	45.79	45.86	46.84	45.34	46.58	43.99	42.97	44.19	46.60	47.96
Fs	9.74	10.46	13.06	12.11	11.99	17.04	15.13	14.31	12.87	13.66
Mg#	73.19	71.52	67.34	68.39	69.35	60.05	62.03	64.11	67.82	67.03

Mg# = 100 \* Mg / (Mg + Fe)

**Table 3.** Chemical compositions of representative Fe-Ti oxide minerals from Daejeonsa basalt.

SAMPLE	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	0.07	0.05	0.08	0.08	0.86
TiO <sub>2</sub>	3.59	8.84	7.78	10.25	46.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63	3.07	3.10	1.75	0.20
FeO <sup>T</sup>	85.05	74.57	80.58	79.85	48.96
MnO	0.37	1.60	0.38	0.33	1.15
MgO	0.09	0.03	0.22	0.22	0.33
CaO	0.18	0.04	0.01	0.04	0.08
Total	91.06	88.19	92.17	92.52	97.93

(1-4, titanomagnetite; 5, ilmenite)

(ilmenite)으로 구성되어 있다(Table 3). 석기를 구성하는 자철석은 소량(3.6wt.%)의 TiO<sub>2</sub>를 함유하며, 감람석의 내부에 치환되어 존재하는 자철석의 경우 TiO<sub>2</sub>의

함량이 8.8 wt.%로써 높다. 석기의 휘석과 사장석 사이에서 반정, 미반정의 자철석 역시 TiO<sub>2</sub>(7.8, 10.3wt.%) 함량이 높다. FeO<sup>T</sup>의 함량은 자철석의 경우 74~

85wt.%이며, 티탄철석은 49wt.% 이다.  $Al_2O_3$ 의 함량은 티탄철석의 경우에는 1wt.% 이하로 거의 없는 반면에, 자철석의 경우는 1.6~3.1wt.%이다.

## 결론

주왕산 화산암체의 최하부층에 해당하는 대전사 현무암층은 전체적으로 12매의 용암과 9매의 페페라이트가 교호하고, 각 용암과 페페라이트의 암층의 두께는 다양하다.

페페라이트는 현무암과 세일이 혼합되어 있으며, 현무암은 쇄설의 형태로 나타나고 세일은 현무암의 기질을 메우는 간극상을 이룬다. 이는 용암이 분출하여 고화되지 않은 젖은 세일층 위를 흐르거나, 관입으로 인해서 용암과 퇴적물 사이의 접촉부에서 생성된 것이다.

페페라이트는 조직상으로 구상 페페라이트로 분류할 수 있다.

현무암류는 육안으로 반정이 관찰되지 않으며 기공이 없는 치밀한 현무암이지만, 한 단위의 용암층 내에서 상부에는 다공질의 현무암이 발견되기도 한다. 경하에서 현무암 용암은 주된 반정광물로 가상의 감람석, 사장석과 단사휘석이다. 석기는 주로 서브오피틱 조직을 보이고 일부 오피틱 조직과 인터그래놀라 조직도 관찰된다. 사장석은 대부분 라브라도라이트이며, 일부 안데신과 바이토우나이트로 분류된다. 단사휘석의 평균 조성은  $Wo_{41.6}En_{45.1}Fs_{13.3}$ 으로서 보통휘석에 해당한다. 불투명 광물은 티탄자철석과 티탄철석으로 구성되어 있다.

## 사사

본 논문을 읽고 많은 토의와 조언을 주신 한국자원연구소의 이한영 박사, 한국해양연구소 이종익 박사님께 감사드리며, 원고의 수정 과정에서 도움을 준 부산대학교 대학원 지구과학과 김향수에게 감사드립니다.

## 참고문헌

김상욱 · 이영길, 1981, 유천분지 북동부 백악기 화산암류의 화산암석학 및 지질구조. 광산지질, 14(1), 35-49.  
윤성효, 1996, 1/25만 안동도폭내 화산암 연구. 한국자원연구소, 60 p.

황상구, 1998, 청송 주왕산 일대의 화산지질, 대한지질학회 '98 춘계학술답사 자료집.

황상구 · 김상호 · 안응선, 1998, 주왕상용회암의 화산학적 연구: 회류의 공급지역. 제53차 대한지질학회 학술발표회 초록집, 87-88.

Bull, S.W. and Cas, R.A.F., 1989, Volcanic influences in a storm and tide dominated shallow marine depositional system: The Late Permian Broughton Formation, southern Sydney Basin, Kiama, NSW, Australia. Australian Journal of Earth Science, 36, 569-584.

Busby-Spera, C.J. and White, J.D.L., 1987, Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties. Bulletin of Volcanology, 49, 765-775.

Fisher, R.V., 1960, Classification of volcanic breccias. Geological Society of America Bulletin, 71, 973-982.

Hanson, R.E. and Schweickert, R.A., 1982, Chilling and brecciation of a Devonian rhyolitic sill intruded into wet sediments, northern Sierra Nevada, California. Journal of Geology, 90, 717-724.

Hanson, R.E. and Wilson, T.J., 1993, Large-scale rhyolite peperites. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 54, 247-264.

Hilde, T.W., Uyeda, C.S. and Kroenke, L., 1977, Evolution of the western Pacific and its margin. In: Bonnin, J. and Dietz, R.S.(eds.) Present Status of Plate Tectonics. Tectonophysics, 38, 145-165.

Morimoto, N., 1988, Nomenclature of pyroxenes. American Mineralogist, 73, 1123-1133.

Otsuki, K., 1992, Oblique subduction, collision of microcontinents and subduction of oceanic ridge: Their implications on the Cretaceous tectonics of Japan. The Island Arc, 1, 51-63.

Schmincke, H-U, 1967, Fused tuff and peperites in south central Washington. Geological Society of America Bulletin, 78, 319-330.

Sun, M.S., 1957, The nature of iddingsite in some basaltic rocks of New Mexico. American Mineralogist, 42, 525 p.

Uyeda, D. and Miyashiro, A., 1974, Plate tectonics and the Japanese islands: A synthesis. Geological Society of America Bulletin, 85, 1159-1170.

Williams, H. and McBirney, A.R., 1979, Volcanology. Freeman, Cooper and Company, San Francisco, 397 p.

Wilshire, H.G., 1958, Alteration of olivine and orthopyroxenes in basic lavas and shallow intrusions. American Mineralogist, 43, 120 p.