

## 청송남부 면봉산 칼데라의 유형과 진화

황상구 · 김성규

안동대학교 자연과학대학 지구환경과학과

**요약** : 면봉산 칼데라는 경상북도 청송군 남부에서 백악기 퇴적암류와 중성 화산암류 속에 직경 10.2 × 8.0 km 의 크기로 존재한다. 면봉산 칼데라 지역은 하부의 중성 화산암류, 중부의 응회질 퇴적암과 상부의 면봉산응회암으로 구성된다. 칼데라를 형성케 한 면봉산응회암은 하부 회류응회암, 층리응회암과 상부 회류응회암으로 나누어지며, 칼데라 북동부에서 최고 1,030 m 의 두께이고 남서부로 갈수록 얇아진다. 면봉산 칼데라는 칼데라 북측에서 최고 820 m 내려앉았고 남서측에서 함몰되지 않은 비대칭 칼데라로 분류된다. 본 칼데라는 면봉산 지역에서 폭발적인 회류 분출로 인해 마그마 챔버의 지붕이 갑자기 침몰됨으로서 형성되었다. 칼데라 연변부의 환상단열대는 유문암이 맥상으로 관입되고 칼데라 중앙부는 유문암이 플러그상으로 관입되어있다. 그리고 환상단열대의 남부와 북서부는 심성암류의 관입에 의해 잘려 있다. 이와 같은 증거들을 종합하면, 면봉산 칼데라는 기하학적 뚜껑문형 칼데라로 분류되고 하나의 칼데라 순회를 따르는 진화를 밟았다.

**핵심어** : 면봉산응회암, 환상단열대, 함몰심도, 비대칭 함몰, 뚜껑문형 칼데라

### 서 언

면봉산 칼데라는 경상북도 청송군 남부 면봉산 일대의 백악기 화산암류 내에 존재한다. 이 칼데라는 황상구와 김성규(1997)가 면봉산 일대에서 나타나는 반원형의 함몰구조를 인식하고 그 원인을 큰 용적의 회류응회암의 분출로 인해 일어났음을 인정하여 면봉산 칼데라로 명명하면서부터 알려지기 시작하였다. 이곳에는 칼데라 형성 전의 중성 화산암류, 칼데라 형성 시기의 산성 응회암류 그리고 칼데라 중앙부의 중앙관입체, 칼데라 연변부의 환상관입체 등이 잘 노출된다. 이 암석들의 층서와 구조는 후술하는 바와 같이 면봉산 칼데라의 진화를 유추하기 위한 기초자료를 제공한다.

청송 남부에서 이 함몰구조는 칼데라 함몰에 의한 것이라고 이미 인식되었음에도 불구하고, 이 칼데라는 아직도 명확하게 정의되지 않은 상태로 남아있었다. 그래서 필자들은 본역에서의 화산층서와 구조를 자세히 기재함으로써 면봉산 칼데라의 구조와 진화 양상이 한반도에서의 다른 백악기 칼데라의 보고들(Park, 1990; 황상구와 김상욱, 1992; 윤성효, 1993; 황상구, 1998, 1999)과 다른 양상임을 발견하고, 이 칼데라의 특징적인 구조와 진화를 설명하고자 한다.

깊게 침식된 고기의 칼데라는 내부관계 연구에 적합한 노두를 제공하기 때문에 층서관계와 구조관

계를 확실하게 읽어낼 수 있다. 청송남부의 면봉산 칼데라는 칼데라 내부 깊숙히 절개된 단면을 제공하므로 Smith and Bailey(1968)가 정의한 바와 같이 칼데라 발달의 여러 단계를 연구할 기회를 제공한다.

함몰칼데라는 일반적으로 대규모의 화산회나 부석이 빠른 속도로 분출되어 마그마가 퇴각될 때 형성된다(Williams and McBirney, 1979). 다시 말하면 대량의 분출로 인하여 마그마 챔버의 윗부분에 빈공간이 생길 정도로 마그마 레벨이 낮아짐으로써, 마그마챔버 상위에 있는 블록이 함몰되는 결과로 형성된다(Billings, 1954, 1972). 칼데라는 기하학적 모양에 따라 피스톤형 칼데라(piston-type caldera), 뚜껑문형 칼데라(trapdoor-type caldera), 하향자루형 칼데라(downsag-type caldera), 깔때기형 칼데라(funnel-type caldera), 둥지 칼데라(nested caldera)와 소생 칼데라(resurgent caldera) 등으로 나뉘질 수도 있다(황상구, 1998).

면봉산 칼데라는 위의 기하학적 분류 중에서 어느 유형에 속하는지를 규명할 필요가 있다. 이를 위해서는 면봉산 칼데라에 관련된 화산암류의 층서와 그 속에 포함된 암상을 해석하고 그 속에 기록된 구조적인 자료를 종합함으로써 면봉산 칼데라의 화산과정에 수반되어 있는 칼데라 진화를 추론할 수 있다. 면봉산 칼데라는 강하응회암, 회류응회암, 환상관입체와 중앙관입체 등이 조합되어 있어 칼데라

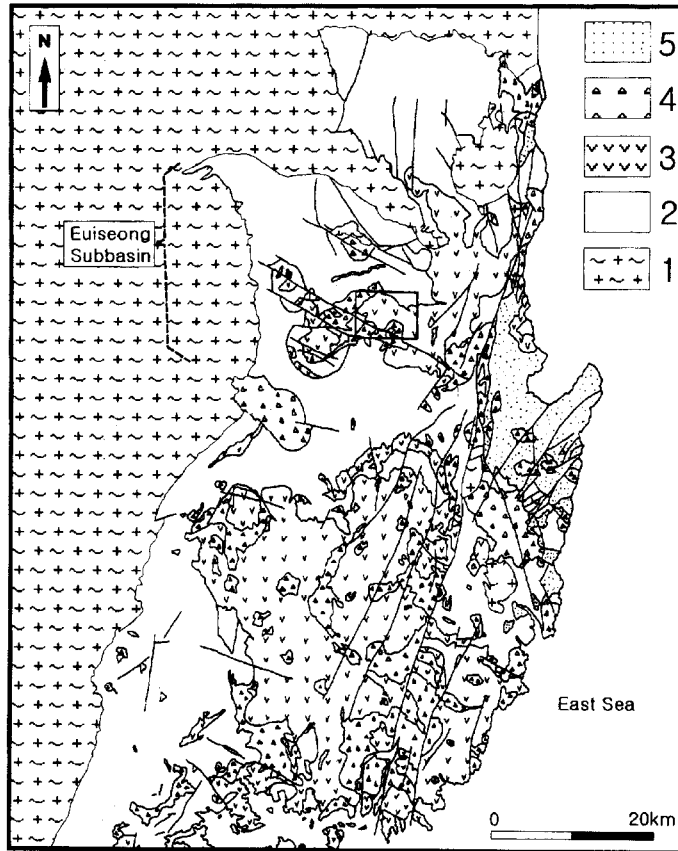


Fig. 1. Generalized geological map of Kyeongsang basin with an inset showing the study area. 1, Pre-Cretaceous metamorphic and plutonic rocks; 2, Cretaceous sedimentary rocks; 3, Cretaceous volcanic rocks; 4, Cretaceous plutonic rocks; 5, Tertiary sedimentary rocks. (modified form Choi *et al.*, 1996)

의 유형과 진화를 밝히는데 있어 매우 적절한 지역이라고 본다.

### 지질개요

면봉산 칼데라는 경상분지의 북부에 위치한 의성소분지의 중앙부에 자리잡고 있다(Fig. 1). 이 칼데라는 백악기 퇴적암류인 춘산층, 신양동층과, 그 위에 넓게 퍼져 있는 중성 화산암류가 합몰의 주요 사건에 선행되어 발달해 있다. 본역의 지질은 크게 나누어 보면 백악기 하양층군의 퇴적암류, 유천층군의 화산암류, 불국사관입암군의 심성암류로 구분된다.

퇴적암류는 하부의 춘산층과 상부의 신양동층 순으로 세분된다(장기홍 외, 1977). 춘산층은 의성소분지에서 흔히 사용되는 지층명이지만 이는 본역

남서쪽의 신령도폭에서와 같이 유천소분지에서 흔히 사용되는 반야월층에 대비된다(원종관 외, 1980). 이 두 지층명은 각 소분지에서 다르게 명명되었으나 두 소분지가 국지적으로 연결된 부분에서 동일층이기 때문에 야기된 혼란이라 할 수 있다. 그러나 본역은 의성소분지에 속하기 때문에 춘산층으로 하는 것이 마땅할 것으로 생각된다. 신양동층은 춘산층의 상위에서 지역에 따라 국부적으로 발견되며 이는 칼데라의 합몰심도와 유형을 결정하는데 큰 역할을 한다.

화산암류는 하부의 중성 화산암류, 중부의 응회질 퇴적암과 상부의 산성 화산암류 순으로 구분된다(황상구와 김성규, 1997). 중성 화산암류는 도평도폭에서 처음으로 안산암류로 묶여 기재하였고(권영일과 이인기, 1973) 기계도폭에서 화산각력암으로 묶여 하나로 취급하였다(오인섭과 정국성, 1975). 그

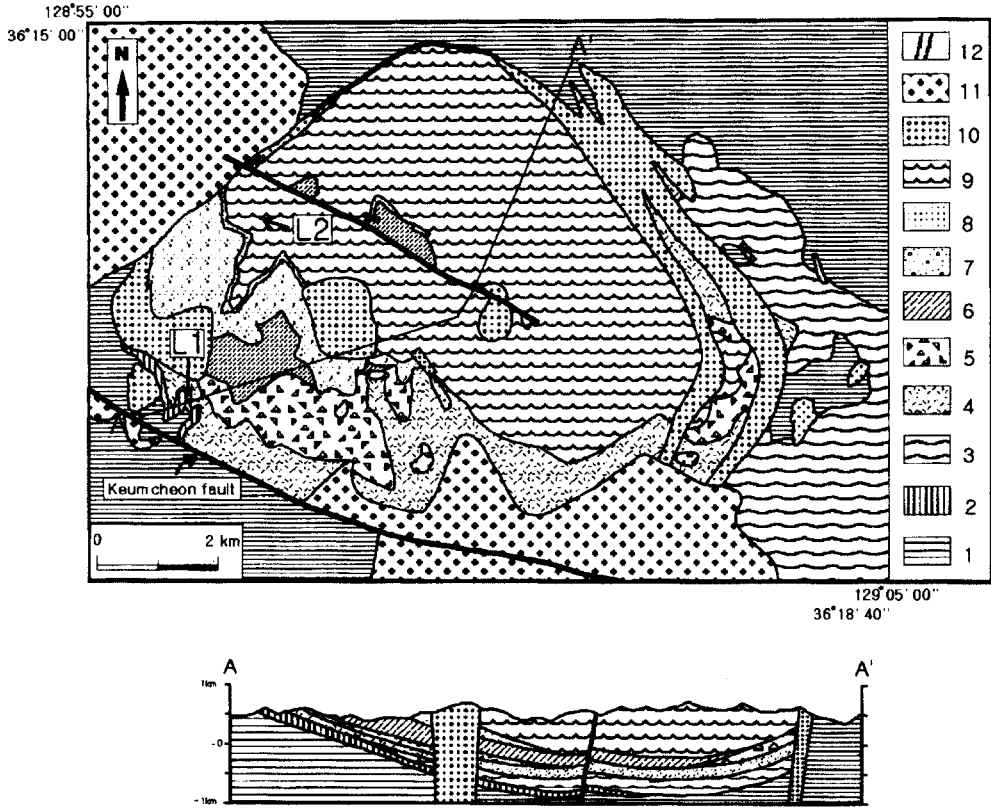


Fig. 2. Generalized geologic map and geological section of Myeonbongsan caldera. 1, Chunsan Formation; 2, Shinyangdong Formation; 3, acidic and intermediate pyroclastic rock; 4, andesite lava; 5, andesitic ash-flow tuff; 6, tuffaceous sedimentary rock; 7-9, Myeonbongsan Tuff (7, lower ash-flow tuff; 8, bedded tuff; 9, upper ash-flow tuff); 10, rhyolite; 11, plutonic rocks; 12, acidic dike.

러나 이 중성 화산암류는 신양동층을 부정합으로 덮고 있으며 하부로부터 산성 및 중성 화성쇄설암 (acidic and intermediate pyroclastic rock), 안산암 용암 (andesite lava) 및 안산암질 회류응회암 (andesitic ash-flow tuff) 순으로 세분된다. 산성 화산암류는 도평도폭과 구산동도폭에서 분출암과 관입암을 총칭하여 기재하였지만(권영일과 이인기, 1973; 장기홍 외, 1977) 여기서 관입암을 제외한 응회암을 칼데라와 관련된 분출암임을 인식하여 면봉산응회암(Myeonbongsan Tuff)으로 명명한다. 이 면봉산응회암은 하부 회류응회암(lower ash-flow tuff), 층리 응회암(bedded tuff) 및 상부 회류응회암(upper ash-flow tuff)의 순으로 세분시킬 수 있다. 그리고 관입암은 유문암이 있으며 이는 환상관입체와 중앙관입체로 노출된다.

심성암류는 암주상으로 노출되는 보현산 심성암체와 구산동 화강암체가 있다(최원희와 좌용주,

1999). 전자는 기계도폭과 도평도폭에서 백악기 혹은 오인섭과 정국성, 1975), 신령도폭에서 백악기 화강암류로 기재하고 암체마다 연변상으로서 곳에 따라 암질을 달리 하기도 하나 중심부로 갈수록 화강섬록암에서 화강암으로 점진된다고 하였다(원종관 외, 1980). 후자는 석영몬조니암으로부터 몬조 화강암(혹은 아다멜라이트)에 이르는 변화를 나타낸다고 하였다(장기홍 외, 1977).

이 모든 지질은 북서서-남동동 방향의 주향이동 단층인 금천단층과 기타 단층에 의해 잘려 있다(Fig. 2).

### 칼데라 이전의 지질

본역에서 면봉산 칼데라 이전에 형성된 지질은 크게 퇴적암류, 중성화산암류와 응회질 퇴적암으로

구분된다.

### 퇴적암류

#### 춘산층

춘산층은 본역 남서부와 북동부에 분포된다(Fig. 2). 본층은 남서부에서 주로 녹회색 내지 회색의 세일과 사암으로 구성되는 것이 특징이지만 북동부에서는 이들이 저색 사암과 세일과 교호된다. 이러한 지역적인 차이는 동일한 분지 내에서 공급지의 차이에 의한 것으로 볼 수 있으나, 여기서는 동일층 내에서 층위의 차이에 기인되는 것으로 생각된다. 왜냐하면 남서부에서는 본층의 하한이 본역에서 먼 곳에서 나타나고 본층 상위에서 신양동층이 발견되지만, 반면에 북동부에서는 본층의 하한이 본역 북부의 인접부에서 사곡층과 경계되며 상한에 있어야 할 신양동층이 발견되지 않고 직접 중성 화산암류와 접하기 때문이다. 그러므로 남서부에서 본층은 그 상부에 해당되고 북동부에서 그 하부에 해당된 것으로 생각된다. 이들의 경사는 대체로 남남동 방향으로 10~20° 정도로 기운다. 그러나 남서부에서는 화산암류 근처에서 북동 방향으로 기울어진다.

#### 신양동층

신양동층은 본역 서부에서 소규모로 얇고 길다랗게 분포되고 본역 북부의 환상단열대를 따라 극히 소규모로 발견된다(Fig. 2). 본층은 하위에서 춘산층과는 정합적인 관계이고 상위에서 안산암 용암과 직접 덮힌다. 환상단열대 내에 존재하는 본층은 N50° E, 67° SE의 고각도를 나타내기 때문에 칼데라 함몰시에 단열대의 틈을 따라 떨어진 큰 블록인 것으로 생각된다. 이러한 본층도 동쪽에서는 발견되지 않고 결층되어 있기 때문에 퇴적암류와 화산암류의 관계가 국부적인 부정합인 것으로 생각할 수도 있다. 본층은 대부분 암회색 내지 흑색의 세일로 구성되며 매우 얇은 엽층리를 잘 발달 시킨다. 그리고 본층 내에서 스트로마톨라이트의 화석체가 발견되기도 한다(Fig. 3).

### 중성 화산암류

안산암질 화산암류는 산성 및 중성 화성쇄설암, 안산암 용암과 안산암질 회류응회암으로 세분된다.

#### 산성 및 중성 화성쇄설암

산성 및 중성 화성쇄설암은 칼데라 외부의 동부

에 넓게 분포하며 동남부로 크게 연장된다(Fig. 2). 본암은 층서적으로 신양동층의 상위에 놓이지만 동부에서 춘산층 상위에 바로 놓이고, 안산암 용암의 하위에 놓인다. 본 암층은 본역에서 최고 두께가 약 450 m를 보여주며 서쪽으로 침멸된다.

본암은 칼데라 동측부의 유문암맥 근처에서 심하게 변질되어 산성질로만 판단하기 쉽다. 본암은 사장석 반정이 10% 내외의 정도이며, K-장석과 석영은 1% 내외로 나타난다. 전체적으로 피상을 띠는 부분이 있으나, 주로 납작해진 부석(pumice)이 최대 4×0.2 cm 크기의 피아메(fiamme)를 형성하여 다소 용결되어 나타난다. 암편들은 기저부에서 풍부한 양상인데, 최대 15×8 cm의 크기로 나타난다. 안산암 암편이 대부분이고 테사이트 암편이 소량 함유되어 있다.

경하에서 반정으로는 사장석이 우세하고, K-장석이 다소 함유되어 있으며, 흑운모와 각섬석이 소규모로 나타난다. 사장석은 부취지고 깨어진 파편상이며, 쌍정을 보여준다. 이들은 견운모로 변질되어 나타나는 것도 있으며 11% 내외의 함량을 보인다. 부석은 곳에 따라 상당히 심하게 편평화되어 있다. 이는 재결정되어 중심부가 미정질의 석영과 K-장석으로 성장하여 있고, 경계부에는 침상의 결정이 방사상 혹은 수직으로 성장되어 액시올리틱(axiolitic) 조질을 이루고 있기도 한다. 이들은 12% 내외의 함량을 보인다. 기질은 신장된 샤아드가 다수 인지되고 있으며, 피아메와 함께 유타시틱(eutaxitic) 석리를 보이고 있다.

#### 안산암 용암

안산암 용암은 본역의 남서부에서 동서방향으로 대상으로 나타난다(Fig. 2). 본암은 동부에서 산성 및 중성 화성쇄설암의 상위에 놓이는 반면에 서부에서 신양동층 상위에 직접 놓이고 안산암질 회류응회암의 의해 덮힌다. 이의 두께는 최고 약 300 m이며 서쪽으로 갈수록 얇아진다. 본암은 서쪽과 동쪽에서 환상 유문암맥에 의해 관입되어 있으며, 남쪽에서는 심성암류에 의해서 관입 절단되어 있다.

본암은 주로 암회색을 띠며, 전반적으로 피상이지만 국부적으로 유상구조를 보이는 곳도 있다. 본암은 반상조질을 갖는 것이 특징적이며 하부에서 각력암을 협제한다. 본암은 상부에서 반정이 풍부한 편이지만 하부로 갈수록 반정이 줄어들고 비반상을 이루는 곳도 흔하게 나타난다. 반정은 대부분 사장석이며 대략 1~2 mm 내외이다.

경하에서도 반정으로는 사장석이 흔하게 나타나고,

그 외에 흑운모, 각섬석, 석영과 K-장석이 소량 함유되어 있다. 사장석 반정은 대부분 자형의 래스(lath)상을 이루고 있으며 여러 개가 조합된 취반정을 이루는 경우도 있다. 이들은 누대구조를 보이는 것도 있고, 대개 알바이트 쌍정으로 흔히 나타나는데, 부분적으로 방해석으로 변질되어 있다. 흑운모와 각섬석이 소량 발견되는데, 크기가 작으며 변질되어 나타난다. 석기는 래스상 사장석 미정이 흔하며 흔히 필로택시틱(pilotaxitic) 조직을 이룬다. 이들 사이에는 연녹색을 띠는 녹니석 변질물이 나타나고, 간혹 석영 미정이 관찰된다.

**안산암질 회류응회암**

안산암질 회류응회암은 반드시 안산암용암의 상위에 놓이고 응회질 퇴적암의 하위에 존재하지만 동쪽에서는 면봉산응회암에 의해 덮힌다(Fig. 2). 본암은 본역의 중서부와 동부에 소규모로 분산되어 분포하며, 서로 연결되지 않고 이내 침멸되는 양상을 보인다. 본암은 최대 약 150 m 정도의 두께를 가진다.

본암은 주로 암회색 내지 녹회색을 띠며 풍화면에서는 암갈색 표피를 형성한다. 본암은 대부분 사장석을 반정으로 함유하며 최대 6×1 cm 크기의 피아메를 가진다. 본암의 하부에는 라필리(lapilli) 크기의 암편이 우세하게 나타난다. 이 암편은 대부분 안산암이며, 대개 각상으로 분급이 불량하고 최대 30×20 cm의 크기를 가진다.

경하에서 사장석 반정이 다수 인지되는데, 주로 자형 내지 반자형의 양상이며, 파편상이거나 혹은 만곡형을 보이기도 한다. 사장석은 최고 40% 내외의 함량을 나타낸다. 암편은 대다수 반상 안산암편이며 대부분 기질과의 경계가 뚜렷하고, 매우 불규칙한 형태를 보이고 있으며, 2% 내외의 함량을 보인다. 피아메는 기질과의 경계가 다소 불분명하게 나타나며, 석영과 K-장석결정으로 탈파리화되어 있다. 기질은 전체적으로 연녹색 내지 암회색을 띠는 변질물이며, 미약하게나마 유택시틱 석리를 나타내 주는 곳도 있다.

**응회질 퇴적암**

응회질 퇴적암은 본역 중서부와 중앙부에 소규모로 세 곳에 분포되며, 안산암질 회류응회암의 상위와, 하부 회류응회암의 하위에 놓인다(Fig. 2). 중서부에서 나타나는 본 암층은 동서방향으로 발달하여 나타나는데, 최고 약 300 m의 두께를 보여준다. 이

는 서쪽에서는 후기의 유문암의 관입에 의해서 절단되어 있지만 동쪽으로 갈수록 점차 침멸되는 양상을 보여주고 있다. 그리고 중앙부에 위치하는 본 암층은 단층으로 상승한 북쪽 블록의 계곡부에 국부적으로 노출된다. 본 암층은 녹회색을 띠고 세립질 사암이 가장 우세하며 층리가 잘 발달되어 있다. 이들은 주향과 경사가 남쪽에서 N65° E, 30° NW 방향으로 가장 우세하지만 북쪽으로 갈수록 점차 완만해진다.

경하에서 이 사암은 석영이 불규칙한 파편상을 보이고 있으며, 다소 분산된 양상으로 분포하고 있다. 사장석은 대개 방해석으로 심히 변질되어 나타나며, 흑운모가 소량 인지된다.

**칼데라 관련 지질**

면봉산 칼데라에 관련되어 있는 지질은 면봉산응회암과 유문암으로 대부분되고, 그 외에 칼데라의 남측부와 북서측에 심성암류가 있다.

**면봉산응회암**

면봉산응회암은 칼데라 내부에만 분포되며, 이 응회암은 하부 회류응회암, 층리응회암과 상부 회류응회암으로 세분된다.

**하부 회류응회암**

하부 회류응회암은 본역의 중서부에 분포되며 응회질 퇴적암 혹은 안산암질 회류응회암의 상위, 층리응회암의 하위에 놓인다(Fig. 2). 본암은 최고 약 300 m 두께를 나타내며 동쪽으로 갈수록 점차 침멸된다. 특히 본암의 하부에는 결정들이 풍부하게 나타나는 양상을 보여주고 있다.

본암은 특징적으로 결정들이 매우 풍부하여 결정응회암(crystal tuff)에 가깝다. 특히 석영은 큰 결정의 형태로서 가장 풍부하게 포함되고 사장석도 다소 풍부한 함량을 보이며, 그 외에 K-장석도 인지된다. 부석이 결정들 사이에서 소규모로 발견되며, 암편은 드물게 나타난다. 기질은 주로 녹회색을 띤다. 이들은 분급되지 않고 피상으로 나타난다. 그래서 결정만 있는 곳에서는 석영반암의 양상을 보여 주기도 한다.

경하에서 반정들은 석영, 사장석, K-장석이 있다. 석영은 큰 결정의 형태로 발견되며, 융식되어 만곡형의 모양을 보여주시기도 하며, 간혹 파편상으로 나타나고 파열되어 있기도 하다. 이는 21% 내외의 함

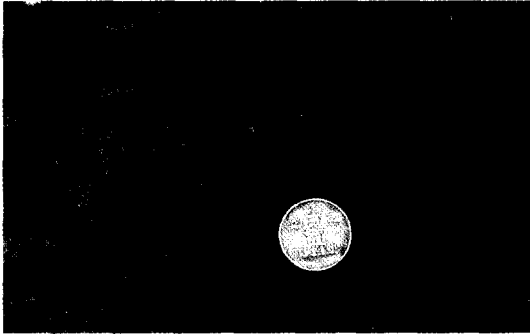


Fig. 3. Stromatolite observed in Shinyangdong Formation. This occurs in locality L1. Diameter of coin is 23mm.

량을 보인다. 사장석은 심하게 변질된 양상으로 나타나고, 주로 파편상인데 흔히 쌍정을 보여주고 있으며, 이는 13% 내외의 함량을 보인다. 부석은 결정들 사이에서 희미한 방향성을 보여주며, 기질과 얽혀 있어 경계가 불명확하다. 또한 부석의 내부에 K-장석이 가끔 인지된다. 부석은 10% 내외의 함량을 보인다. 암편으로는 필로택시틱 조직을 보이는 안산암과 응회질 사암 등이 관찰되며 1% 내외의 함량을 보인다. 기질은 녹회색을 띠며 미립의 K-장석과 사장석 등과 다량의 변질물로 되어 있다.

### 층리 응회암

층리 응회암은 본역의 중서부에서 하부 회류응회암과 상부 회류응회암과의 사이에 얇게 협재된다 (Fig. 2). 본암은 최대 약 30 m 정도의 얇은 두께를 가지며, 주향과 경사가 대체로 N20° E, 18° NW로 나타나는데, 동쪽으로 가면서 얇아지며 유문암 플러그에 의해 관입 절단된다. 본 암층은 대개 3~4 cm, 최대 20~25 cm 두께의 다수의 층으로 구성된다. 두꺼운 층에서는 부석과 암편이 우세하게 산출되는데, 부석은 두꺼운 렌즈상을 보여주고, 암편은 최대 45×50 cm 정도의 유문암 블록을 간혹 함유하고 있다. 기질은 대체로 담녹회색을 띠며 다양한 유리편과 결정편으로 구성되어 있다.

경하에서 반정으로 사장석과 석영이 나타난다. 사장석은 쌍정을 잘 보여주며, 드물게 파편상을 이룬다. 이는 4% 내외의 함량을 보인다. 석영은 대개 반자형 내지 타형인데, 큰 자형 결정으로 나타나는 것도 있고 파편상인 것도 있다. 또한 매우 작은 석영편이 기질 내에 산재되어 있으며, 4% 내외의 함량을 보인다. 부석은 탈파리화되어 내부에 미정질의 석영과 K-장석으로 생성되어 있으며 간혹 이들이 구과상으로 생성되어 있고, 경계부에는 액시올리틱



Fig. 4. Photograph showing welding foliation in the upper ash-flow tuff. This photograph is taken from locality L2. Diameter of coin is 23mm.

하게 수직으로 생성되어 있다. 이는 18% 내외의 함량을 보인다. 암편은 필로택시틱 조직의 안산암편과 구과상의 유문암편이 나타나며, 30% 내외의 함량을 보인다. 기질은 대체로 갈색 내지 녹회색을 띠며, 파편상의 작은 석영과 사장석이 가끔 인지되고 드물게 흑운모가 관찰된다.

### 상부 회류응회암

상부 회류응회암은 본역의 북동부에 넓게 분포하며 (Fig. 2), 층리 응회암의 상위에 놓이고 약 700 m 이상의 두께로 나타난다. 본암은 하부 회류응회암에 비해 결정을 적게 함유하고 화산회가 풍부한 유리질 응회암(vitric tuff)에 속한다. 본암은 결정이 적은 편이지만 이중에 사장석 반정이 가장 풍부하고, 석영 반정이 소량 나타난다. 부석은 변질되어 녹색을 띠는 곳도 있으나, 대체로 약 12×2 cm 정도로 편평화되어 대개 용결염리를 잘 나타낸다 (Fig. 4). 암편은 약 2×1 cm의 유문암과, 최대 약 5×2.5 cm의 적색 세일과 녹회색 사암 등이 드물게 포함된다. 기질은 풍화된 노두에서 밝은 회색 내지 녹회색 또는 적갈색으로 나타나며 심히 용결되어 입자의 인지가 어렵다.

경하에서 반정은 사장석, 석영과 K-장석으로 구성된다. 사장석 반정은 대체로 파편상으로 나타나는 것이 많고 견운모로 변질되기도 하지만 쌍정이 흔히 인지되며, 최고 33% 내외의 함량을 보인다. 석영 반정은 응식되어 만곡형의 모양을 보이고, 입자 경계가 대개 둥근 모양을 이루며 10% 내외의 함량을 보인다. K-장석 반정은 소량 발견되며 대개 변질되어 있으며 최고 4% 내외의 함량을 보인다. 부석은 석영이나 사장석과 같은 반정 사이에서 끼여서 다소 납작한 모양으로 변형되어 있으며, 용결이

심한 곳에서는 렌즈상으로 늘어나 있다. 이들은 내부에 미정질의 석영으로 결정화되어 있고, 경계부에는 침상 결정들이 수직하게 성장되어 액시올리틱 조직을 나타낸다. 이들은 용결이 심한 곳에서는 반정의 함량이 상대적으로 줄어들고 부석의 함량이 상대적으로 많아지는 경향인데, 최고 32% 내외의 함량을 보인다. 그리고 암편은 필로택시틱 조직의 안산암과 구과상의 유문암으로 구성되고 응회질 사암이 소량 포함된다. 이들은 6% 이내의 함량을 보인다. 기질은 대개 연녹회색 내지 연갈색을 띠고, 용결이 심한 곳에서는 용결엽리를 흔히 발달시키고 있다.

### 유문암

본암은 본역의 동부, 중앙부와 서부에 플러그상의 중앙관입체 혹은 맥상의 환상관입체로 산출된다(Fig. 2). 이는 최후기의 상부 회류응회암을 관입하였다. 중앙관입체의 유문암은 원통상을 이루어 화구를 따라서 관입한 것으로 생각된다. 동부와 서부에 노출되는 환상관입체의 유문암은 맥상을 이루어 환상단열대를 따라서 관입한 것으로 판단된다.

본암은 대개 담회색 내지 회백색을 띠고, 사장석이 드물게 반정으로 나타난다. 암체의 주변부에서는 유상구조를 나타내기도 하고 국부적으로 최고 30×40 cm 정도 크기의 관입각력암(intrusion breccia)을 형성하는 곳도 있으나 대부분 괴상으로 산출된다.

경하에서 사장석이 드물게 반정으로 산출되며 자형 내지 반자형이고 쌍정을 이룬다. 이들은 가끔 방해석으로 변질되어 있다. 석영은 미립으로 산재되어 있으며, 간혹 과성장(overgrowth)된 것도 있다.

### 심성암류

본 암류는 본역의 북서부와 남부에 분포되는데 북서부에서는 춘산층, 유문암과 면봉산응회암을 관입하고 있으며, 남부에서는 춘산층, 산성 및 중성 화성쇄설암, 안산암용암과 유문암을 관입하고 있다(Fig. 2). 그리고 본 암류는 대부분 화강암과 석영몬조니암 영역에 도시되거나 혹은 화강섬록암의 영역에 도시된다(최원희와 좌용주, 1999).

본 암류는 담홍색을 띠고 중립질이며, 석영, 사장석과 K-장석으로 구성되고 흑운모와 각섬석이 소량 함유된다. 사장석은 다른 결정보다 크게 나타나서 반정을 이루는 것도 있으며, 흑운모나 각섬석이 몰

려 있어 취반정을 나타내기도 한다. 그리고 남부에서는 세립질 섬록암과 석영몬조섬록암이 본 암류의 주변부에 선기 관입체 혹은 그 내부에 포유체로 산출되기도 한다.

경하에서 본 암류는 입상조직(granular texture)을 보이며, 석영, 사장석, K-장석이 대부분이고 소량으로 흑운모가 나타난다. 석영은 타형 내지 반자형이며 간혹 K-장석과 함께 미문상조직(micrographic texture)을 보이기도 한다. 사장석은 보다 큰 결정으로서 자형 내지 반자형이며 주로 쌍정으로 나타나고, K-장석은 반자형 내지 타형으로 나타난다. 그 외에 흑운모가 국부적으로 몰려 있으며, 입자가 큰 자형으로 나타나는 경우가 있는데 대부분 녹니석으로 변질되어 있다.

### 칼데라의 기하학적 모양

면봉산 칼데라 지역의 백악기 화산암류는 주로 관입, 단층과 침식에 의해 영향을 받았다. 특히 본역의 남부의 심성암류의 관입으로 인해 기존의 화산구조가 부분적으로 수정되었다. 그러나 현재 면봉산 칼데라의 모양은 일차적인 형성과정과 화성활동에 따른 변형작용이 지배적으로 나타나고 있다. 구조적인 정보는 면봉산 칼데라 내의 엽리나 층리 축정과 칼데라 경계추적에 근거를 두고 있다. 이러한 정보는 면봉산 칼데라의 입체모양(geometry)을 파악하는데 충분하다.

면봉산 칼데라의 구조적 경계는 환상 유문암맥의 중간선과 환상단층을 따라 구획되는데, 북서측 일부와 남측은 심성암류의 관입에 의해 지워졌다. 그래서 필자는 암맥의 중간선을 이상적으로 연결하여 그 내부를 면봉산 칼데라 영역으로 정의한다. 그리고 이의 남서측은 신앙동층의 상위에 안산암용암이 피복되어 있는 것으로 보아 단열대가 형성되지 않았음을 알 수 있다. 칼데라 내부는 중성화산암류와 응회질 퇴적암 및 면봉산응회암이 있으며, 북서측과 동측에서 환상 유문암맥이 관입되고 중앙부에 유문암 플러그가 형성되어 있다. 또한 북서측과 남측에 심성암류가 관입되어 있다.

### 환상단열대

본역에서 환상단층과 환상암맥으로 둘러싸인 환상단열대 내측을 면봉산 칼데라로 칭한 바 있다(황상구와 김성규, 1997). 환상단층은 칼데라 북측부에서 약 수 km로 연장되며, 주향과 경사가 N42° W,

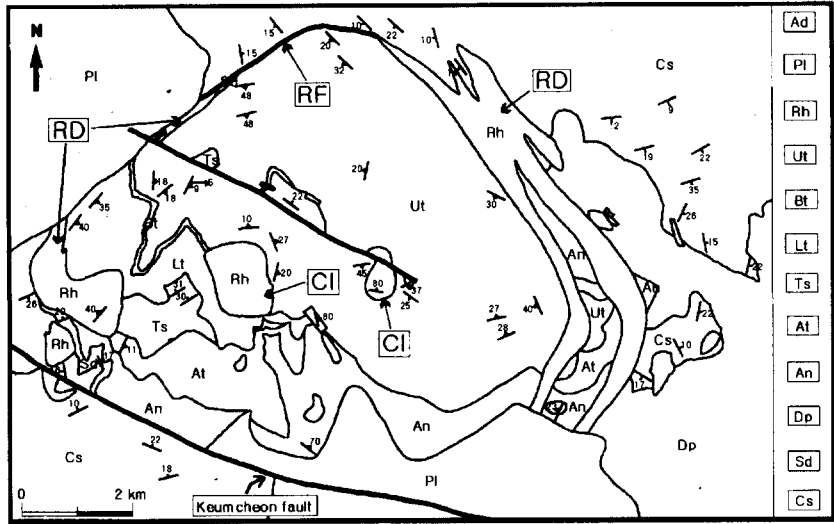


Fig. 5. Structural map of the study area. Cs, Chunsan Formation; Sd, Shinyangdong Formation; Dp, acidic and intermediate pyroclastic rock; An, andesite lava; At, andesitic ash-flow tuff; Ts, tuffaceous sedimentary rock; Lt, lower ash-flow tuff; Bt, bedded tuff; Ut, upper ash-flow tuff; Rh, rhyolite; PI, plutonic rocks; Ad, acidic dike; RD, ring dike; RF, ring fault; CI, central in trition.

10° SW인 춘산층이 단절되고 거의 수직으로 상부 회류용회암과 접함으로써 인지된다(Fig. 5).

북서측에서는 환상 유문암맥이 관입되어 있어 환상단층과 연속된다. 이 유문암맥은 N50° E, 72° SE의 엽리와 N40° W, 55° SE의 선구조를 보여주고 있다(Fig. 5). 이 환상암맥 사이에는 층리가 N55° E, 60° SE를 보이는 암회색 세일로 구성된 신양동층이 노출된다. 이 신양동층은 환상단열대를 따라서 함몰된 것이고, 다시 환상암맥에 의해 관입 당한 것으로 생각된다. 그리고 동측부에서도 환상 유문암맥으로 둘러싸인다. 이 유문암맥은 외측부에서 대부분 산성 및 중성 화성쇄설암과 접촉하고 부분적으로 춘산층과 접촉하고 있다. 이는 동쪽으로 불룩한 호를 형성하며, 폭이 최고 약 1.3 km이고 북쪽으로나 남쪽으로 세 갈래 혹은 두 갈래로 길게 갈라진다. 그리고 이는 내측부에서 안산암용암, 안산암질 회류용회암, 상부 회류용회암과 접촉한다. 이는 드물지만 N40° W, 80° SW의 유상엽리를 보이는 곳도 있다(Fig. 5). 그러나 이 환상단열대는 남측부에서 심성암류의 관입으로 크게 절단되어 있다.

**칼데라 면적과 함몰심도**

면봉산 칼데라 영역은 환상단열대와 남서측의 힌지대로 구획되는 구역을 말한다. 이 구역은 직경이 약 10.2×8.0 km의 동서 방향으로 장축을 가진 타

원형 모양을 보이며(Fig. 2, 5), 그 면적이 대략 59 km<sup>2</sup>로 산출된다.

면봉산 칼데라의 함몰 심도는 칼데라 내외곽에 동시에 분포하는 암상의 주향과 경사를 이용하여 그 층후를 계산한 뒤, 고도차를 고려하여 대략적으로 구할 수 있는데, 남서측에서는 함몰이 일어나지 않은 반면 북동쪽으로 갈수록 커져 북동측 근처에서 최고가 된다. 따라서 이를 고려하여 보면 동측에 분포하는 안산암용암이 칼데라 외부와 내부에서 동시에 나타나는데, 외부에 나타나는 것은 하한을 나타내지만 환상단열대를 따라서 관입한 유문암맥에 의해서 상한을 가늠하기가 어렵고, 내부에 나타나는 것은 상한이 나타나지만 심성암류의 관입에 의해서 그 하한을 가늠하기가 어렵다. 그래서 우선 내부에 분포하는 안산암용암의 상위층인 상부 회류용회암의 주향과 경사를 보면 N45° E, 28° NW이므로 이를 톨링 이전으로 복원하고, 외부에 분포하는 안산암의 주향과 경사를 고려하여 대략적으로 계산하였다. 내부에 위치하는 안산암용암의 층후는 330 m이고, 그 상위에 놓이는 상부 회류용회암의 층후는 700 m이므로 안산암용암을 포함한 그 상위의 층후가 1030 m이다. 그런데 외부에 분포하는 안산암용암의 하한의 고도는 620 m이고, 내부에 분포하는 상부 회류용회암의 고도는 830 m이다. 즉 고도차가 210 m이므로, 안산암용암을 포함한 그 상위의 층후에서 고도차를 빼주면 820 m의 함몰심도를 구



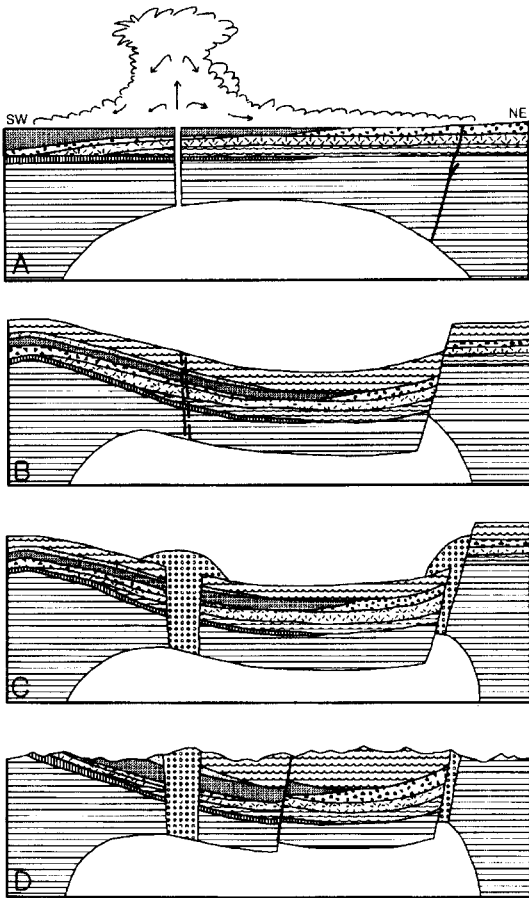


Fig. 6. Schematic sections showing the evolution of the Myeonbongsan caldera. A, Eruption of Myeonbongsan Tuff; B, Caldera collapse; C, Intrusion of rhyolites; D, Long-term weathering after developing the Myeonbongsan caldera. Symbols are the same as Fig. 2.

할 수 있다.

면봉산 칼데라에서 분출된 회류응회암의 용적은 이의 총후와 칼데라 내의 면적으로부터 구할 수 있다. 즉 칼데라 내부에 축적된 용적은 칼데라 내부 면적 59 km<sup>2</sup>에다 칼데라 내부에서의 면봉산응회암의 최고층후 1030 m를 곱한 것의 절반이며 이는 외류와 같다고 하므로 총용적은 61 km<sup>3</sup> 이상이 된다.

### 비대칭 함몰구조

면봉산 칼데라 내부에서 화산암류의 분포를 살펴 보면 타원형 모양을 나타내고 있는데, 환상단열대 내측에 분포하는 화산암류에서의 용결열리나, 응회질 퇴적암에서 나타나는 층리의 주향과 경사를 중

합해 보면, 주향은 대체로 칼데라 경계와 평행하고, 경사는 칼데라 중심부로 향하고 있는 분상구조를 인지할 수 있다(Fig. 5).

자세히 살펴보면 칼데라 남부에서 심성암류와 인접한 안산암용암은 유상엽리가 N70° W, 70° NE로 나타나는데, 이는 심성암류에 의해서 본역이 전반적으로 북쪽으로 틸팅되었음을 시사하고 있다. 칼데라 내부에 분포하는 화산암류 중에서 상부 회류응회암의 용결열리를 보면, 북부에서는 N45° W, 32° SW를 보여주고 있고, 북서부에서는 N80° E, 48° SE, 서부에서는 N20° E, 10° SE, 동부에서는 N80° W, 40° SW, 동남부에서는 N45° E, 28° NW를 보여주고 있다. 하부 회류응회암은 N65° E, 30° NW를 보여주고 있다. 그리고 응회질 퇴적암은 N65° E, 30° NW를 보여주고 있다(Fig. 5). 이들은 대체로 경사가 칼데라 중심부로 향하고 있음을 알 수 있다.

면봉산응회암은 칼데라 내부에만 존재하는데, 본역 서측에서는 응회질 퇴적암과 직접 접촉하고 있고 북측과 북동측에서는 춘산층, 사곡층 및 유문암과 단층 혹은 관입 접촉하고 있다. 면봉산응회암과 정합적으로 놓여있는 응회질 퇴적암이나 그 하위층인 안산암질 회류응회암 및 안산암용암 등에서 나타나는 경사는 대개 10~31° 정도 경사지는 양상인데 반해, 면봉산응회암 내에서 나타나는 경사들은 앞에서 제시한 바와 같이 면봉산 칼데라의 내부의 북쪽 중심부로 경사지고 있다. 따라서 남서측에서는 함몰이 일어나지 않았고 단지 경사만 대개 북쪽으로 향해 있는데 북쪽으로 갈수록 경사가 완만해지다가 북쪽에서는 남측으로 급경사하므로 함몰이 남서측을 제외한 모든 곳에서 일어났고 북동측 근처에서 가장 컸었다는 것을 알 수 있다.

이러한 함몰 증거들을 볼 때 면봉산 칼데라의 구조적 블록이 남서측에서는 함몰되지 않았고 북측에서 가장 심하게 함몰하는 비대칭 양상임을 알 수 있다. 이러한 비대칭 함몰은 기하학적으로 삼량진 칼데라(황상구, 1999)와 유사한 뚜껍뚱형 칼데라임을 의미한다.

### 토 의

면봉산 칼데라 지역은 백악기 후기의 대규모 분출활동으로 인하여 61 km<sup>3</sup> 정도의 유문암질 화쇄물질이 회류형태로 쏟아져 나와 거의 사방으로 퍼져나갔다. 이 결과의 분출물은 현재 대부분 판상체의 회류응회암으로 인지되는 면봉산응회암으로 남아 있다. 이때 대규모의 화산폭발의 결과로 마그마 챔

버의 상부가 빠져나감과 동시에 이의 지붕이 함몰되어 면봉산 칼데라를 형성하는 것은 규질 화산활동에서 흔히 일어나는 일반적인 사건이다(Druitt and Sparks, 1985; Cas and Wright, 1987).

면봉산 칼데라 내부 암석단위의 공간적 관계는 이미 지질도에서 보여주었고 구조관계는 앞에서 해석되었다. 함몰된 칼데라 블록을 경계짓는 환상단열대는 환상단층 혹은 환상암맥 등으로 노출되어 면봉산 칼데라의 범위를 한정시켜 준다. 칼데라 블록은 이 환상단열대의 내측부이며, 칼데라 중심부에는 두 개의 중앙관입체가 자리잡고 있다. 면봉산 칼데라는 전술한 바와 같이 기하학적 분류에 의하면 뚜껍문형 칼데라에 속한다.

우선 칼데라 형성 이전의 면봉산 일대의 상황을 보면 춘산층과 신양동층이 존재하였고, 그 위에 유문암질 내지 안산암질 화산활동에 의해서 산성 및 중성 화성쇄설암, 안산암용암, 안산암질 화류용회암이 형성되었으며, 화산 휴지기 동안에 응회질 퇴적암이 형성되어 있었다. 그 후 유문암질 화산작용에 의해서 면봉산용회암이 집적되면서 이 칼데라가 형성되었다.

따라서 면봉산 칼데라의 진화를 살펴보면 다음과 같다. 면봉산용회암은 1차 화류분출, 강하분출, 2차 화류분출로 형성된다(Fig. 6A). 1차 화류분출은 지금의 칼데라 중심부에 해당되는 지역에서 아마도 중앙화구(central vent)로부터 화산활동이 시작되어, 1차 화류분출이 일어났다. 이는 마그마챔버 최상부에 위치하는 결정이 풍부한 규질 마그마 물질들이 초기 폭발시에 화류로 흘러나와서 형성되었을 것이다. 왜냐하면 유문암질 화산암류 중에서 최하부에 놓이는 하부 화류용회암은 석영과 장식 등의 결정이 매우 풍부하기 때문이다. 이는 마그마챔버 상부에서 결정들이 풍부했음을 지시하는데, 이는 분출이 시작되면서 이 부분이 가장 먼저 뿜어져 나오기 때문이다. 1차 화류분출로 인해 형성된 하부 화류용회암은 두께가 약 320 m 정도이고 측방으로 침멸되기 때문에 그 분출량이 그렇게 많지 않아서 칼데라 함몰과의 직접적인 관계는 없을 것으로 사료된다. 강하분출은 1차 화류분출이 일어난 뒤 어떤 연유로 폭발력이 증가되어 중앙화구로부터 보다 높은 분연주(eruption column)를 일으키는 화산활동이 시작되었다. 이로 인하여 얇은 강하퇴적물(fallout deposit)을 형성하였지만 오래 지속되지 못하고 분연주 붕괴가 일어나 다시 화류분출로 전환되었다. 즉 2차 화류분출이 중앙화구로부터 대규모로 장기간 지속되었다. 이러한 대규모 화류가 사방으로 퍼

져나가서 두꺼운 상부 화류용회암을 형성했을 것이다. 이 상부 화류용회암은 대부분 용결되어 흔히 유택시틱 석리를 형성하였다. 이러한 석리를 발달시키려면 고온이어야 하고 두껍게 빨리 축적되어 열손실을 막아야만 가능하다. 그러려면 분출시의 개스함량이 적고 개스확산속도가 느려서 분연주의 높이가 낮고 마그마의 방출이 커져야만 한다. 이런 상태에서 화류는 덜 퍼져나가고 유리질 화산회의 손실이 적게 된다. 이러한 대규모 화류분출로 인하여 약 700 m의 두꺼운 상부 화류용회암이 축적되고 용결될 수가 있었다.

이렇게 면봉산 지역에서 폭발적인 분출로 인해서 마그마가 충분한 양으로 제거되어 마그마챔버의 지붕이 갑자기 침몰됨으로서 함몰에 의한 면봉산 칼데라가 형성되었을 것이다(Fig. 6B). 면봉산용회암은 북측에서 가장 많이 함몰한데 비하여 남서측에서는 함몰되지 않았다. 따라서 칼데라 블록은 비대칭 함몰을 일으켜 이에 따라 뚜껍문형 칼데라를 형성하였다.

칼데라 아래에서 제거된 물질의 용적은 칼데라 면적과 응회암의 두께를 이용하여 계산할 수 있었다. 뚜껍문형 칼데라 모양과 응회암의 최고두께를 고려한다면, 61 km<sup>3</sup> 이상의 물질이 제거되었다. 이 용적은 침식으로 응회암의 상한을 모르기 때문에 최소한의 수치이다. 면봉산 칼데라의 뚜껍문형 함몰은 화류용회암의 적은 용적 때문이다. Varga and Smith(1984)는 산주왕(San Juan) 화산지역에서 100 km<sup>3</sup> 이하의 적은 용적 분출에서 뚜껍문형 칼데라가 형성될 수 있다고 하였다. 따라서 화구로부터 면봉산용회암의 분출이 비교적 적어 완전한 함몰을 일으키지 못하고 불완전한 비대칭 함몰을 형성하게 된 것으로 생각된다.

환상관입체들의 형태와 위치에 의하면 이들의 정치는 칼데라 블록의 연변부에서 구조적인 환상단열대를 따라 형성되었음을 알 수 있다. 따라서 이 환상단열대와 기존의 화구를 따라서 잔류마그마가 채워지거나 이동함으로써 유문암의 환상 및 중앙관입체를 형성하였으며 아마도 이때 지표에 유문암도움을 형성하였을 것이다(Fig. 6C). 왜냐하면 환상단열대의 동측부와 서측부에 유문암이 맥상으로 관입하고 있고 기존의 중앙화구의 위치에서도 유문암이 원통상으로 관입하고 있기 때문이다.

환상관입체와 중앙관입체는 면봉산 칼데라에서 일어났던 함몰후 마그마 활동의 대표적인 표시이다. Smith and Bailey(1968)에 의하면 칼데라 형성 분출에 관련된 환상관입체는 조성상으로 화류용

회암과 같다고 하였다. 따라서 면봉산응회암의 회류응회암과 환상관입체 혹은 중앙관입체 간에 성인적으로 관련이 있음을 암시한다.

면봉산 칼데라에 관련된 활동이 종료된 이후에 본역 남부와 북서부에서 비교적 큰 규모의 심성활동이 일어나 심성암류가 정치되었다. 그리고, 본역 남서부에 위치한 금천단층과 같은 방향으로 중앙부에서도 단층작용으로 인한 블록의 변위가 일어났으며, 현재 칼데라의 상부는 침식 삭박되어 있다(Fig. 6D).

### 결 론

면봉산응회암은 대부분 백악기 후기 회류응회암으로서 청송군 남부의 면봉산 일대에 잘 노출된다. 이의 공급지는 하나의 칼데라 운회를 나타내는 면봉산 칼데라이다.

면봉산 칼데라는 청송군 남부에서 회류응회암-칼데라 환상관입체로 연결되는 연속체를 이루며 큰 용적의 회류응회암의 분출로 인하여 형성되었다. 이 칼데라의 크기는 직경 10.2×8.0 km로서 환상단층과 환상관입체로 둘러싸이고 칼데라 내에 두군데의 중앙관입체를 가지고 있다. 칼데라 내부 응회암에서 층리와 용결엽리의 주향은 환상단열대와 대체로 평행하고 경사는 칼데라 내부로 향하는 분상구조를 나타낸다. 칼데라 블록은 북동측에서 820 m 내려앉았고 남서측에서는 함몰되지 않은 비대칭 함몰구조를 나타낸다. 칼데라 연변부를 따르는 환상단열대는 유문암이 맥상으로 관입되고 칼데라 중앙부에도 플러그상으로 관입되어 있다. 이와 같은 사실을 종합하면 면봉산 칼데라는 하나의 칼데라 운회를 따르는 기하학상 뚜껑문형 칼데라로 분류되고 비교적 적은 용적의 제거로 인해 비대칭 함몰을 발생시켰다.

### 사 사

본 연구는 1998년도 한국학술진흥재단의 학술연구구조성비(1998-015-D00277)에 의해 지원되었다. 야외에서 화산학 실험실의 김상호와 안웅산 군의 도움이 있었다.

### 참고문헌

권영일, 이인기, 1973, 한국지질도 도평도폭, 국립지질

광물연구소, 9p.  
 오인섭, 정국성, 1975, 한국지질도 기계도폭, 국립지질광물연구소, 25p.  
 원종관, 윤선, 소철섭, 1980, 한국지질도 신령도폭, 자원개발연구소, 21p.  
 윤성효, 1993, 의성분지 중앙부 금성산화산암복합체의 화산활동과 콜드몬구조. 지질학회지, 29, 309~323.  
 장기홍, 고인석, 이재영, 김상욱, 1977, 한국지질도 구산동도폭, 자원개발연구소, 25p.  
 최원희, 좌용주, 1999, 의성분지에 분포하는 백악기 화강암류의 암석학적 및 암석화학적 연구. 1999년도 대한지질학회지질학회 학술발표회 논문집, p160.  
 최위찬, 김규봉, 홍승호 외 7인, 1995, 한국지질도(1/1,000,000), 한국자원연구소.  
 황상구, 1998, 양산서부 원동 칼데라의 진화와 유형. 지질학회지, 34, 20-32.  
 황상구, 1999, 밀양남부 삼랑진 칼데라의 유형과 진화. 지질학회지, 34, 35-45.  
 황상구, 김상욱, 1992, 양산칼데라의 규질 화산작용. 지질학회지, 28, 491-503.  
 황상구, 김성규, 1997, 청송남부 면봉산 일대의 화산지질과 칼데라구조, 한국암석학회 제6차 학술발표회 요약집, p16.  
 Billings, M.P., 1954, Structural geology. Prentice-Hall, Inc., 2nd ed., 276-317.  
 Billings, M.P., 1972, Structural geology. Prentice-Hall, Inc., 3rd ed., 314-360.  
 Cas, R.A.F and Wright, J.V., 1987, Volcanic successions. Chapman & Hall, London, 528p.  
 Druitt, T.H. and Sparks, R.S.J., 1985, On the formation of calderas during ignimbrite eruptions, Nature, 310, 679~681.  
 Park, K.H., 1990, A downsag caldera associated with the Chisulyoung volcanic formation, near Kyeongju city, southern Korea. J. Geol. Soc. Korea, 26, 213~226.  
 Schmid, R., 1981, Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, Geology, 9, 41~43.  
 Smith, R.L. and Bailey, R.A., 1968, Resurgent cauldrons. In Coats et al., (eds.), Studies in Volcanology, 613~662.  
 Varga, R.J. and Smith, B.M., 1984, Evolution of the early Oligocene Bonanza caldera, northeast San Juan volcanic field, Colorado. J. Geophys. Res., 89, 8679~8694.  
 Williams, H. and McBirney, A.R., 1979, Volcanology. Freeman, Cooper & Co., San Francisco, 207p.

(책임편집 : 김진섭)

(1999년 11월 15일 접수, 1999년 12월 7일 수리)

## **Type and Evolution of the Myeonbongsan Caldera in Southern Cheongsong, Korea**

**Sang Koo Hwang and Seong-Kyu Kim**

Department of Earth and Environmental Science, Andong National University 760-749

**Abstract:** The Myeonbongsan caldera, 10.2×8.0 km, developed within older sequences of sedimentary formations and intermediate composition volcanics in the southern Cheongsong area. Volcanic rocks in the caldera block include lower intermediate volcanics, middle tuffaceous sequences and upper silicic ones. The silicic volcanics, which is named Myeonbongsan Tuff, are composed of crystal-rich ash-flow tuff(300 m), bedded tuff(30 m) and pumice-rich ash-flow tuff(700 m) in ascending order. Several intrusions dominate the early sequences within the caldera. The caldera collapsed in a trapdoor type when silicic ash-flow tuffs erupted from major vent area in the caldera. Normal faulting along a ring fault system except the southwestern part dropped the tuffs down to the northeast with a maximum displacement of about 820 m. The Myeonbongsan Tuff is just about 1,030 m thick inside the northeastern caldera, with its base not exposed, and southwestward thinning down. Rhyolitic plug and ring dikes are emplaced along the central vent and the caldera margins, and the ring dikes are cut by plutonic stocks in the southeastern and northwestern parts. The caldera volcanism eviscerated the magma chamber by a series of explosive eruptions during which silicic magma was erupted to form the Myeonbongsan Tuff. Following the last ash-flow eruption, collapse of the chamber roof resulted in the formation of the Myeonbongsan caldera, a subcircular trapdoor-type depression subsiding about 820 m deep. After the collapse, stony to flow-banded rhyolites were emplaced as circular plugs and ring dikes along the central vent and the caldera margins respectively. Finally after the intrusions, another plutons were emplaced as stocks outside the caldera.

**Key words :** Myeonbongsan Tuff, Ring fracture zone, Collapse depth, Asymmetric collapse, Trapdoor-type caldera.