

구암산 칼데라의 분출유형과 과정

황상구¹ · 손진담² · 이병주³ · A.J. Reedman⁴

¹안동대학교 지구환경과학과 (hwangsk@andong.ac.kr)

²한국지질자원연구원 석유해저연구부

³한국지질자원연구원 지질연구부

⁴영국지질연구소 국제협력부

1. 서 언

의성소분지 중동부의 주왕산 화산지역은 중앙부에 구암산 칼데라가 존재하며 이에 연관된 분출상을 해석하고 그 과정을 엮어본다. 이 구암산 칼데라는 그 내부에 칼데라 형성의 구암산용회암(Guamsan Tuff)이 분포되고, 칼데라내부 관입체(intracaldera intrusion)와 환상암맥(ring dike)이 이에 조합되어있다. 이 분출암과 관입암들의 암상과 층서는 구암산 칼데라에 관련된 분출상과 그 과정을 복원하기에 충분하다. 이로부터 합몰 전후의 여러 분출상, 칼데라함몰, 칼데라후 화산작용 등을 토의한다.

주왕산 화산지역은 대부분 분출암류로 구성되지만 소규모 관입암류도 포함된다. 분출암류는 하양층군 퇴적암류 위에 놓이면서 하부의 염기성·중성 화산암류와 상부의 산성 화산암류로 대별된다. 전자는 대전사현무암, 입봉안산암과 죽장화산층 등의 층서단위가 있으며 이들은 상부의 산성 화산암류에 피복되어 지역적으로 고립되어 있다. 후자는 하부로부터 지품화산암, 주왕산용회암, 내연산용회암, 너구동층, 무포산용회암, 구암산용회암 등의 층서단위로 구분되고 대체로 북쪽에서 남쪽으로 분포된다. 관입암류는 칼데라와 관련된 유문암질 관입체(rhyolitic intrusion)와, 칼데라와 무관한 흑운모 화강암과 규장암맥이 있다. 이 중에서 구암산 칼데라에 관련된 층서단위는 구암산용회암과 유문암질 관입체가 있다.

2. 구암산용회암

구암산용회암은 그 공급지가 구암산 칼데라에서 유래된 화산각력암(volcanic breccia), 회류용회암(ash-flow tuff), 강하용회암(fallout tuff)을 묶어서 일컫는 하나의 층서단위이다. 이 층서단위는 대부분 회류용회암으로 구성되며 구암산 칼데라 내부에만 분포된다.

2.1. 화산각력암

화산각력암에는 무질서 괴상 각력암(disorganized massive breccia)과 혼돈 괴상 각력암(chaotic massive breccia) 등의 2개 암상이 있다.

혼돈 괴상 각력암(Fig. 2A)은 주로 유문암 암괴로 구성된 점을 고려하면 활동하고 있던 용암도움 붕괴에 의해 그 조각들이 산사면으로 흘러서 형성된 암괴회류각력암(block and ash-flow breccia)으로 분류된다. 이러한 암상은 아마도 근접화구상(near-vent facies)을 나타내며 구암산 지역에서 화산작용의 시작을 의미한다.

혼돈 괴상 각력암(Fig. 3B)은 지질도에 표기할 수 없지만 상부 용회암 멤버의 하부에서 산출되며 회류용회암 사이에 켜기상으로 협재된다. 또한 이 암상은 북부 환상단열대와 인접하여 경사진 부분의 계곡부에서 산발적으로 산출되며 층서적으로 구암산용회암의 중간 부분에 협재된다. 그러므로 이 각력암은 칼데라 함몰에 의한 암설류상(debris flow phase)으로 분류되는 칼데라함몰 각력암(caldera-collapse breccia)에 속한다. 또한 이 암상은 열극분출을 의미하는 화구 전이를 암시하는 것으로 생각된다.

2.2 회류응회암

회류응회암에 속하는 암상은 점이층리 응회암 및 라필리응회암층(graded tuff and lapilli tuff bed), 괴상 응회암층(massive tuff bed)과 용결엽리 응회암층(welding-foliated tuff bed)이 있다. 이들은 입도 분류도에서 응회암과 라필리응회암에 도시된다.

점이층리 응회암 및 라필리응회암층은 암편풍부 파리질응회암(lithic-rich vitric tuff)이며 단일층 내에서 암편에 의해서 라필리응회암에서 조립질응회암으로 점점 작아지는 정점이 현상을 보인다. 이 암상은 그 두께가 2~20m 범위이고 노두에서 측방으로 연속된다. 두꺼운 단일층은 그 중간부가 다소 용결되어 완배열상 석리(eutaxitic fabric)를 나타내고 그 하부가 암편이 밀집되어 있다. 이 암상이 점이현상을 나타내는 것은 큰 폭발에 의해 형성되는 높은 분연주의 붕괴로부터 발생하는 분연주 붕괴상(column collapse phase)일 것으로 생각된다.

괴상 응회암층은 화산회의 기질 속에 다양한 색의 암편과 소량의 부석으로 구성되는 암편풍부 파리질응회암이다. 암편은 매우 약하지만 점이현상을 나타내고 하부에 다소 밀집된다. 두께는 4~25m 범위이고 그 경계가 다소 불규칙하지만 단일층 내에서 암편의 하부 밀집에 의해 구분되며, 입도 분류도에서 대부분 응회암 영역에 투시된다(Fig 4). 최하부에서 거의 비용결 내지 부분용결로 파리쇄설상 석리(vitroclastic fabric)를 나타낸다. 이 암상은 다소 큰 폭발에 의해 형성된 다소 높은 분연주 붕괴로부터 밀집된 테프라가 회류로 정치된 것을 지시한다.

용결엽리 응회암층은 상부 응회암 멤버에서만 산출되고 파리질응회암에 속한다. 이 암상은 전체적으로 분급되어 있지 않고 층리가 없다. 그러나 대부분 심히 용결되어 있어 마치 용암과 유사한 용결엽리를 나타내는 내부 특징을 나타낸다. 그리고 부석은 암회색이고 두꺼운 상위의 누층에 의해 극히 심하게 편평화되어 있지만 작아서 인지하기가 어렵다. 그러나 암편은 비교적 작고 흐름단위의 하부에 다소 밀집되며 단일층의 구분에 이용된다. 경하에서 미반정으로 사장석, 정장석이 소량으로 나타나고 석영, 흑운모, 불투명광물이 드물게 나타난다. 피아메는 실리카와 장석의 미정질 모자익상으로 결정화되어 탈파리화됨으로써 부석으로 인지하기가 매우 어렵다. 이 암상은 조직적인 균질성, 큰 두께와 완전한 용결작용에 의하면 원래 높은 온도의 마그마에서 분출되어 속도가 느리고 유체화가 적으며 회운 속으로 화산회 손실이 적은 비팽창성 회류에 의해 일어난 퇴적상임을 반영한다(Wilson, 1980). 이러한 회류상은 맹렬하지 않은 대규모 분출에서 유래되었음을 암시하며, 이때의 분출은 폭발성이 약하게 연속적으로 일어나는 끓어넘침 분출(boiling-over eruption)이었다고 생각된다.

2.3. 강하응회암

강하응회암은 화성쇄설암과 층회암으로 구성된다. 여기서 입도와 퇴적구조에 따라 암상을 분류하면 화성쇄설암은 판상층리 응회암(planar-bedded tuff)에 해당되고 층회암은 판상층리 응회질사암(planar-bedded tuffaceous sandstone)과 괴상 응회질이암(massive tuffaceous mudstone)이 있다.

판상층리 응회암은 담청록색 혹은 회색으로서 중·세립질 화산회로 구성되며 측방으로 거의 층후변화 없이 평행으로 연장된다. 이 암상은 칼데라 북변부와 동변부의 중위부 혹은 말단부에서 회류응회암 사이에 대부분 1m 내외로 협재되고 그 하부 경계가 뚜렷하지 못한 편이다. 이 암상은 분급이 양호하지 못한 편이며 단일층 내에서 드물게 입도가 상향 세립화하는 정점이 현상을 나타내고 간혹 5~10mm 내외의 누적라필리(accretionary lapilli)를 함유하기 때문에 강하응회암이라는 것을 알 수 있다. 이 암상은 중·세립질이고 회류응회암 사이에 1m 내외로 협재되고 그 하부 경계가 뚜렷하지 못한 것은 회류에 뒤따라 발생하는 회운

으로부터 화산회가 공중에서 대류하다 낙하되어 형성되는 강하응회암임을 지시한다. 따라서 이 강하응회암은 회류응회암의 정규상(normal facies)에 뒤따르는 상단상(top facies)으로써 나타난다.

판상층리 응회질사암은 하부 응회암 멤버에서 강하응회암 상위에 소규모로 얇게 협재된다. 이 암상은 두께가 10~40cm이고 층리가 발달되며 상·하위의 응회암과 관계가 점이적인 양상을 보이지 않는다. 그러나 측방으로 괴상응회암으로 접이되는 것으로 보인다. 그러므로 이러한 암상은 화산회가 국부적으로 존재하는 수중으로 낙하되어 유수에 의해 더 분급된 것으로 생각된다.

괴상 응회질이암은 판상층리 응회질사암 상부에 국부적으로 존재한다. 암색이 홍회색 내지 갈회색이고 층리가 없이 괴상을 이루고 분급이 불량하다. 두께는 1m 내외이고 고결도가 불량한 편이다. 이 암상은 아마도 슬러리(slurry) 상태의 테프라가 수중에 흘러들어 퇴적되었음을 시사한다.

3. 함몰후 관입체

구암산 칼데라 함몰후에 형성된 관입체는 유문암질 관입체이다. 이 관입체들은 현재 여러 암상으로 노출되며 아마도 모두 지하로 동일 마그마챔버에 연결될 것으로 생각된다. 또한 이들의 암상은 화성구조와 화학조성 등의 차이 때문에 대체로 유대상 유문암(flow-banded rhyolite), 반상 유문암(porphyrific rhyolite), 반상 유문데사이트(porphyrific rhyodacite)와 석정상 유문암(stony rhyolite) 등으로 세분될 수 있다. 야외에서 같은 한 암체라도 측방으로 수 100m 내지 수 km 이내에서 암상 변화가 나타난다. 이런 경우에 본 칼데라 지역에서 침식 수준은 관입체의 원래지붕에 거의 접근될 것 같다. 그러므로 이 관입체들은 칼데라 형성에 관련하여 분포위치와 산출패턴에 따라 칼데라내부 관입체와 환상암맥으로 구분된다. 이들이 구암산응회암의 높은 부위까지 관입한 것은 함몰후 화산(postcollapse volcano)의 뿌리라는 증거가 된다. 왜냐하면 구암산응회암은 본역에서 최후 분출물이고 칼데라가 형성될 때 높은 위치에 놓여있었기 때문이다(Lipman, 1984).

칼데라내부 관입체는 구암산 칼데라 중앙부와 주변부 사이의 모우트에 구암산응회암을 관입하며 불규칙한 원형 플러그와 직선상 암맥을 형성하며 흔히 유상엽리와 구과상 구조를 발달시킨다. 이들은 칼데라의 모우트를 따라 환상 고리를 형성하며 분포하는 것이 특징적이다. 환상암맥은 칼데라 경계부를 따라 산출되며 내측 환상암맥(inner ring dike), 중간 환상암맥(intermediate ring dike)과 외측 환상암맥(outer ring dike)으로 구분된다.

4. 분출과정

구암산 칼데라 지역에서 일어난 화산작용들로부터 칼데라 운회에 따라 분출과정과 후화산 과정을 다음과 같이 엮을 수 있다. (1) 분출작용이 먼저 용암도움 붕괴를 일으키는 펠리언 분출의 암피회류상으로 시작되었으며 (2) 연이어 높은 분연주 붕괴로부터 강하게 유체화된 화쇄류상으로 전환되었다. 이때 분연주는 높이가 점차 낮아졌으며 화쇄류의 유체화도 줄어들었다. (3) 다시 뚫어넘침 분출에 의한 회류상으로 전환되어 고온의 화성쇄설 물질이 일시에 방출되어 정치됨으로써 매우 심하게 용결되었다. 뚫어넘침 분출은 칼데라 함몰과 함께 환상단열로의 화구 이동에 의해 본격화되었다. 분출초기에는 중앙화구로부터 화쇄류가 발생되었지만 후기에는 환상단열화구로의 위치가 변경되어 회류가 다량으로 발생하였다. 이 결과로 칼데라 내부에 최고 850m 이상 두께의 구암산응회암을 축적하였다. (4) 회류 분출 후

에 칼데라 내부 모우트의 갈라진 틈으로 마그마가 주입되어 유문암 플러그와 암맥을 형성하였으며, (5) 뒤따라 혹은 거의 동시에 환상단열대를 따라 순차적으로 주입되어 유문암 환상암맥을 형성하였다. (6) 마지막으로 남서측 환상암맥의 관절부위에 유문데사이트가 순차적으로 연속 관입되어 환상암맥의 일원이 되었다.

5. 참고문헌

- Lipman, P.W., 1984, Roots of ash-flow calderas in western North America: windows into the tops of granitic batholiths. *J. Geophys. Res.*, 89, 8801-8841.
- Wilson, C.J.N., 1980, The role of fluidisation in the emplacement of pyroclastic flows: An experimental approach. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 8, 231-249.