

군위 동부 화북댐 유역의 화산암류와 화산과정

황상구¹⁾ · 김수정²⁾ · 윤운상³⁾ · 박정서¹⁾

1. 서 언

한반도 남부에는 환상 화산암복합체가 여러 군데 존재하는데 모두 화산암류구조를 가진다고 하면서 화산암류체라 하였다(차문성 · 윤성효, 1988). 따라서 이 암류체의 각각에 대해서 그 원인이 무엇이며 어떤 과정에 의해 형성되었는지에 대해 큰 과제를 던져주었다. 그러나 이전부터 의성소분지에는 몇 개의 화산암류 주위로 환상구조가 존재한다고 하고 그 내측부가 함락하여 화산암류가 중앙부에 현재까지 보존되었다고 언급하였다(원종관 등, 1978, 1980; 장기홍, 1978). 이후 주요 암류체에 대해 연구한 결과 화산 암류체는 그 원인이 칼데라 암류에 있다고 하고 그 암류과정을 엮어낸 바 있다(윤성효, 1988). 그러므로 이 암류체의 형성 원인이 콜드론 침하에 의하기보다 칼데라 암류에 있다고 밝혀진 이상 화산 암류체로 부르기보다 화산 칼데라로 부르는 것이 더 옳을 것이고 현장감을 더해준다.

화산 칼데라는 영천시 북부와 군위군 동부의 백악기 퇴적암류 속에 존재한다. 이 칼데라는 의성소분지의 규질 화산암류에 조합되는 칼데라 중의 하나로서 칼데라 형성과정을 확실하게 엮을 수 있는 점에서 매우 중요하다. 이 칼데라는 군위군 동부 고로면을 중심으로 거의 원형의 암류구조를 나타내며 그 중앙부에 두꺼운 회류응회암을 위시하여 여러 암상의 화산암류를 포함한다. 칼데라 암류에 따른 여러 구조들은 이미 상당히 수집되어 암류과정을 엮어냈지만 화산암류에 대한 정확한 조사가 이뤄지지 못해 아직까지 그 분출과정이 엮여지지 않았다. 따라서 금번의 화북댐 타당성조사에 참여하게 되어 이 화산암류에 대해 중점적으로 조사한 결과 이전의 결과와 상당히 다른 점을 발견하게 되었다. 이 화산암류는 칼데라 바닥의 퇴적암층 상위에서 3매의 회류응회암층, 2매의 얇은 강하응회암층, 2매의 안산암질 용암층, 화구지역에 응회각력암과 유문암 플러그, 북부 내측부에 유문암맥으로 구분되며, 각 회류응회암층은 하부에 얇은 강하응회암층을 동반하고 상부에 소규모 유문암질 용암층을 동반한다. 하부 회류응회암층은 북부의 선암산 화산암류의 남쪽 연장부이고, 중부와 상부 회류응회암층은 화산 칼데라 형성 분출에 의한 것이며, 응회각력암은 폭발 화구지역을 지시하고 유문암 플러그는 그 화구지역의 중앙관입체를 의미한다. 그리고 안산암질 용암층은 아마도 칼데라 동쪽의 다른 화구에서 분류되던 용암이 화산 칼데라의 화산휴지기에 서쪽으로 흘러 들어와 회류응회암을 덮은 것이다. 이들과 함께 본역에는 나타나는 칼데라 연변부의 환상관입체와 중심부의 중앙관입체 등이 잘 노출되기 때문에 이들의 층서와 구조는 화산 칼데라에서의 분출과정과 칼데라진화를 복원하기 위한 기초자료를 제공한다.

2. 지질개요

화산 칼데라는 의성소분지의 의성과 영천 사이에서 인식되는 3개 칼데라 중에서 남동쪽에 위치한다. 이 칼데라는 제삼기 초기에 형성된 화산암류 아래의 천부에 정치된 심성암류 위에 형성된 것으로 해석된다.

주변의 지질은 백악기 하양층군의 퇴적암류, 제삼기 분출암류와 관입암류로 구성된다. 퇴적암류는 하부로부터 점곡층, 사곡층, 춘산층(혹은 반야월층)과 신양동층(혹은 화산층)으로

1) 안동대학교 지구환경과학과 (hwangsk@andong.ac.kr)

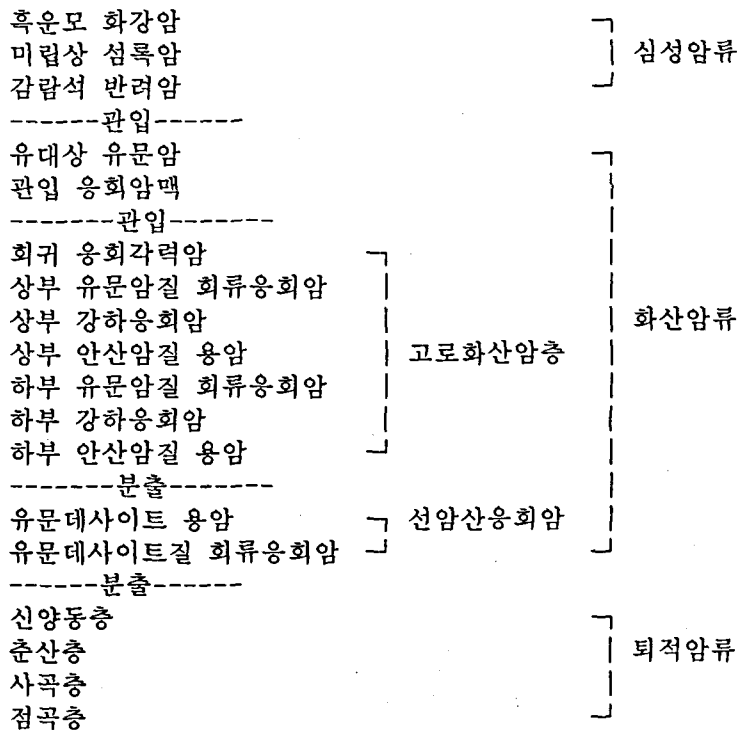
2) 현대엔지니어링(주) 지질지하수부

3) 주식회사 넥스지오

구성되고 남동쪽으로 갈수록 깊어지며 함몰구조 내측부를 상부층이 점령한다. 분출암류는 하부의 염기성 화산암류와 상부의 산성 및 중성 화산암류로 대별된다. 전자는 현무암질 용암과 화성쇄설암으로 구성되고 후자는 대부분 여러 개의 유문암질 회류용회암층으로 구성되고 그 사이에 유문암질 용암, 강하용회암과/혹은 안산암질 용암이 협재된다. 그리고 이 화산암류는 화구지역으로 연결되어 관입 용결용회암, 응회각력암과 같은 뿌리를 형성하고 혹은 유문암맥에 의해 관입된다.

화산 칼데라의 지질은 외곽부에 점곡층, 사곡층, 춘산층, 신양동층과 선암산용회암으로 구성되고, 그 내측부에 춘산층, 신양동층, 고로화산암층으로 구성되며, 유문암과 심성암류의 관입체로 구성된다. 고로화산암층은 대부분 유문암질 회류용회암으로 구성되지만 이들은 그 중간에 유문암질 강하용회암과 안산암질 용암이 협재되고 암상 차이가 있는 2개 단위로 구분됨으로 해서 하부로부터 하부 안산암질 용암, 하부 유문암질 회류용회암, 상부 안산암질 용암, 유문암질 강하용회암, 회귀용회각력암, 상부 유문암질 회류용회암 순으로 세분된다. 관입암류는 화산암류로서 유문암맥 및 플러그와 응회암맥이 있고 심성암류로서 반려암과 흑운모 화강암이 있다(표 1)

표 1. 지질계통표



3. 화산암류

본역에 분포하는 화산암류는 선암산용회암, 고로화산암층, 관입용회암맥, 유문암 등으로 구성되며 선암산용회암을 제외하고 모두 칼데라 내측에 분포된다.

(1) 선암산용회암

선암산용회암은 본역에서 신양동층 위에 직접 놓이지만 본 암층의 북서부와 남동부에서는 본 암층과 신양동층 사이에 현무암 용암을 끼고 있다고 한다(장기홍 등, 1977). 본 암층은

유문데사이트질 회류응회암과 유문데사이트 용암으로 구성된다.

(2) 고로화산암층

고로화산암층은 칼데라 내에서 선암산응회암 위에 직접 놓이며 유문암과 화강암에 의해 관입된다. 본층은 대부분 유문암질 회류응회암으로 구성되지만 이들은 그 중간에 유문암질 강하응회암과 안산암질 용암이 협재되고 암상 차이가 있는 2개 단위로 구분됨으로 해서 하부로부터 하부 안산암질 용암, 하부 강하응회암, 하부 유문암질 회류응회암, 상부 안산암질 용암, 상부 강하응회암, 상부 유문암질 회류응회암, 회귀응회각력암 순으로 세분된다. 여기서 암상이 같을지라도 층서적으로 다른 위치에 놓이면 서로 구별하고 혼란을 피하기 위하여 하부 혹은 상부를 덧붙여 사용한다.

4. 화산과정

화산 칼데라에서는 제삼기 초기에 대규모 분출활동으로 인하여 유문암질 화성쇄설물이 회류 형태로 화구로부터 쏟아져 나와 낮은 곳으로 흘러서 거의 사방으로 퍼져 나갔다. 이 결과의 분출물은 판상체의 회류응회암으로 칼데라 내에 일부 남아 있다. 이때 대규모 화산폭발의 결과로 마그마챔버 상부의 마그마가 빠져나감과 동시에 이의 지붕이 함몰되어 칼데라를 형성하는 것은 규질 화산활동에서 흔히 일어나는 일반적인 사건이다(Druitt and Sparks, 1985; Cas and Wright, 1987).

화산 칼데라 내부 암석단위의 공간적 관계는 지질도에서 보여준다. 함몰된 칼데라 블록을 경계짓는 환상단열대는 환상단층 혹은 환상암맥 등으로 노출되어 화산 칼데라의 범위를 가리켜준다. 칼데라 블록은 이 외측 환상단열대의 안쪽이며, 칼데라 중심부에는 회귀 응회각력암과 유문암 플러그가 자리잡고 있다.

화산 칼데라에서 화산과정을 살펴보면 다음과 같다. 본역에서 화산 칼데라의 분출활동은 선암산응회암의 마지막 유문데사이트 용암이 분출되고 다른 곳으로부터 안산암질 용암이 덮은 후에 일어나기 시작하였다. 이때부터 규질 응회암의 격렬한 분출은 회류응회암 아래의 강하응회암이 입증하는 바와 같이 마그마성 휘발성물질에 의해 야기되었을 것이다. 처음에 강하회 분출상을 시작으로 분출되었고 이후 본격적으로 회류 분출상으로 분출되었다. 강하응회암은 유문암에서 안산암에 이르는 상당히 큰 폭의 암편과 부석을 함유한다. 이는 아마도 화산 마그마계와 같이 규질 성분의 마그마계가 비정상적인 지각 조건이 허락될 때 초기에 규산 응회암 없이 격렬하게 분출될 수도 있다(Hildreth, 1981)는 것을 말해준다. 이러한 상황은 칼데라 인접부의 N60°W 방향의 단층대를 따라 일어나는 비정상적인 지각 조건으로 출조심도가 상당히 깊은 곳까지 도달될 수 있었음을 반영하는 수도 있다. 또한 강하응회암의 구성물질의 파동적인 변화는 아마도 분출유회(eruptive cycle)의 일시적인 휴식으로 마그마챔버의 레벨을 조정한 결과일 수도 있다. 그리고 강하응회암이 분출되어 공중에서 이동되는 중에 보다 무겁고 큰 반정광물과 보다 가볍고 작은 유리질 화산회가 비중에 의해 분별되어진 결과일 수도 있다.

회류응회암은 Sparks et al.(1973)에 의하면 화쇄류의 본체에 해당되는 흐름단위는 layer 2에 해당되고 회운 강하상은 layer 3에 해당되며 지면 써지상은 최하부의 layer 1에 해당된다고 하는데 본역에서는 회류 본체만 나타난다. 이는 시간차 없이 회류가 연속적으로 일어나 미처 회운으로부터 강하회가 축적될 여유가 없었거나 혹은 분화구와 가까이에서 강력한 화쇄류에 의해 깔렸기 때문일 것이다. 또한 비팽창류이기 때문에 강하회가 거의 없을 수도 있다. 화쇄류는 유체화 거동을 기초로 하면 비팽창류(non-expanded flow), 팽창류(expanded flow), 분리류(segregating flow) 등의 3 유형으로 분류된다(Wilson, 1980). 고로화산암층에서 하부 및 상부 회류응회암들은 대부분 비팽창류에 의해서 정치된 것으로 생각된다. 본역

의 회류응회암에서 암편의 점이현상이 없고 괴상을 띠는데 이는 화쇄류의 팽창 정도가 매우 적을 때 심하게 나타난다. 유체화작용 중에 포함된 가스흐름 과정은 세립질 화산회의 점이와 분급을 일으킨다. 저팽창류라도 화산회를 소량 이탈시킬 수 있지만 비팽창류는 세립질 화산회를 상위로 거의 이탈시키지 못하는 것으로 알려져 있다. 이러한 회류 분출작용은 연속적으로 일어났을 것이고 이때 화쇄류의 형성기구는 분연주의 붕괴에 의해 일어났을 것이다.

본역에서 하부 회류응회암을 형성한 후에는 화산휴지기가 도래하여 동쪽 가까운 곳에서 안산암질 용암이 본역을 덮었다. 이 기간을 얼마나 되는지 구체적으로 알 수는 없지만 상당한 기간이 흘렀을 것으로 보인다. 그리고 다시 칼데라 중앙부의 중앙화구에서 강하회가 소량 분출되고 연이어 회류 분출작용이 재개되었다. 이때도 마찬가지로 비팽창류에 의해 축적되어 매우 괴상을 띠는 암상을 나타내고 회류단위 사이에 강하회가 협재되지 않았다. 상부 회류응회암의 암상이 거의 변화없이 한정된 것은 아마도 하나의 중앙화구에서의 분출이 일어났다는 것을 의미하고 거의 계속적으로 분출되었다는 것을 의미한다. 본 회류응회암의 조직적 균질성과 두꺼운 층후는 화쇄류가 보다 낮은 속도와 불량한 유체화(fluidization)를 반영한다. 따라서 이 화쇄류는 별로 맹렬하지 않은 큰 규모의 분출에서 유래되었음을 암시한다. 그리고 상부 회류응회암이 분출된 화구지역에는 거대한 암괴를 포함하는 회귀 응회각암을 형성하였다.

그리고 점차 마그마 방출량이 방대해짐으로서 마그마챔버의 상위가 환상으로 함몰되기 시작하였다. 마그마챔버는 마그마의 분출로 인해 점차 압력 감소가 일어나며, 마그마챔버 내의 부족압력(underpressure)이 상위 암석의 강도를 초과할 때 함몰이 일어난다고 생각된다. 지붕의 함몰은 챔버의 상단에서의 정암압(lithostatic pressure)을 복구시키게 된다. 이와 같이 칼데라 형성이 처음 시작될 때 동시에 중앙화도는 그 역할이 급격히 축소되었다. 후기의 회류는 환상단열대를 따라 수많은 화도로부터 분출되었으며 칼데라 함몰은 계속 더 깊게 함몰되었다. 이러한 두 단계의 칼데라 형성 회류분출상은 이미 Druitt and Sparks(1985)에 의해 제안된 바 있다.

이와 같이 화쇄류 분출과 관련해서 화산 칼데라가 함몰되었다는 것은 환상단열대에서 응회암맥의 관입이 이를 입증해 준다. 이 응회암맥은 칼데라 함몰에 따르는 환상단층 속으로 관입된 것으로 열극분출을 의미하는 화구 전이를 암시한다. 따라서 이 응회암맥의 출현은 칼데라함몰의 시작을 지시할 뿐만 아니라 단일 중앙화구의 역할 축소를 의미하고 복수의 환상열극화구(ring fissure vent)의 시작을 의미한다. 그러므로 중앙화구로부터의 화쇄류 분출이 일어나는 도중에 칼데라함몰에 의한 하나 이상의 환상단열이 발달됨으로서 단일화구(single vent)의 역할 축소와 동시에 환상단열을 따라 복수화구(multiple vent)로의 위치변경이 자연스럽게 진행된 것으로 판단된다.

이러한 환상열극분출은 분출량이 급격히 늘어남으로서 폭발력이 소진되고 칼데라 함몰은 계속되어 틈을 이용한 조용한 마그마 주입으로 전환되었다. 환상관입체들의 형태와 위치에 의하면 이들의 정치는 칼데라블록의 연변부에서 구조적인 환상단열대에 의해 지배되었음을 알 수 있다. 즉 구체적으로 말하면 칼데라 함몰후에 남측부 환상단열대에 응회암이 관입되었으며, 뒤이어 북측부와 중앙화구를 따라서 유대상 유문암이 관입되었다. 그리고 이후에 감람석 반려암이 동측부 단열대에 소규모로 관입되고 흑운모 화강암이 남부 안쪽 환상단열대를 따라 관입되어 환상관입체의 일원이 되었다. 마지막으로 가움단층대를 따라 미립상 섬록암과 흑운모 화강암 암주가 북서-남동 방향으로 여러 곳에 관입되고 현재 심하게 침식되어 노출된다. 이 관입체들은 지표에서 여러개로 고립되어 노출되지만 아마도 북동부의 큰 암주를 제외하고 지하에서 하나의 마그마챔버에서 규칙적으로 뻗어나온 화성암체 가지에 해당될 것이다. 이런 경우에 본역에서 현재의 침식레벨은 분명히 마그마챔버의 원래 지붕과 거의 일치될 것으로 생각된다.

또한 칼데라 함몰을 일으켰던 큰 용적의 분출활동은 이후 마그마공급이 정지될 정도로 고갈되지 않고 칼데라후의 작은 마그마활동을 유도할 수 있을 만큼 마그마챔버에 마그마가 풍부하게 잔류되어 있었다. 본역에서 적어도 환상관입체와 중앙관입체는 칼데라의 아래 부위에 해당될 것이고, 침식에 의해 나타난 이의 중간 부위이다. 화산 칼데라의 중앙관입체와 환상관입체는 이 칼데라 운화에 시공간적으로 밀접히 조합되어 있는 마그마활동 산물이며 이미 침식삭박된 중앙도움과 이 주위 화산도움들의 고리에 대한 뿌리 부분에 해당되는 것으로 생각된다.

5. 참 고 문 헌

- 윤성효, 1988, 화산 환상화성암복합체의 발달사 및 콜드론구조. 지질학회지, 24(3), 267-288.
- 원종관, 강필중, 이상현, 1978, 경상분지의 구조해석과 Igneous Pluton에 관한 연구. 지질학회지, 14(3), 79-92.
- 원종관, 윤선, 소철섭, 1980, 한국지질도 신령도폭. 자원개발연구소, 21p.
- 장기홍, 1978, 경상분지의 층서·퇴적 및 지구조(II). 지질학회지, 14(3), 120-135.
- 장기홍, 김상욱, 이재영, 고인석, 1977, 한국지질도 구산동도폭. 자원개발연구소, 22p.
- 차문성, 윤성효, 1988, 한반도의 화산암물구조 및 환상복합암체에 관한 연구. 지질학회지, 24 특별호, 67-86.
- 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.
- Hildreth, W., 1981, Gradients in silicic magma chambers: Implication for lithospheric magmatism. Journal of Geophysical Research, 86, 10153-10192.
- Sparks, R.S.J., Self, S. and Walker, G.P.L., 1973, Products of ignimbrite eruptions. Geology, 1, 115-118.
- 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.