

金城山 칼데라내의 貫入熔結凝灰岩의 產出形態

黃尚九* · 李基銅* · 金相旭** · 李在英** · 李倫鍾*** · 黃載河**** · 金東鶴****

Occurrence Form of an Intrusive Welded Tuff in Geumseongsan Caldera

Sang Koo Hwang*, Gi-Dong Lee*, Sang Wook Kim**, Jae Young Lee**,
Yoon Jong Lee***, Jae Ha Hwang**** and Dong Hak Kim****

ABSTRACT : A welded tuff with a near-vertical parataxitic fabric crops out as an elliptical shape(500×350 m) in horizontal section, the Geumseongsan volcanic field. It intrudes the Cretaceous sedimentary rocks of the upper Hayang Group, surge tuff and rhyolite of the Geumseongsan volcanic complex. Generally it displays an ubiquitous, steeply inward-dipping welding foliation, subparallel to the margins of the intrusion, and a subvertically inward-inclined lineation defined by extremely stretched fiammes on the welding foliation plane. These fabrics suggest its overall form may be of an inverted cone-shaped plug representing a flared vent that served as a feeder for extrusive welded ash-flow tuff sheets.

序 言

우리나라 백악기 火山地域(volcanic field)은 심하게 침식
삭박되어 대부분 火山岩들이 이들을 유래시킨 起源地域
(source area)에 해당하는 칼데라와 같은 陷沒地에 몰려 있는
경우가 많다. 여기서 산출되는 火山地質은 지하에서부터 지
표까지에 걸쳐서 일어난 여러 地質作用에 의한 것들이 한
꺼번에 겹쳐서 노출되기 때문에 어떤 다른 지역의 地質보다도
복잡하다. 그러므로 이런 곳에서 火山地質은 분출에 의한
것도 중요하지만 관입에 의한 것도 매우 중요하다. 왜냐하면
貫入 火山岩이야말로 어느 噴出岩의 起源地(source)로서 供
給通路 역할을 하였기 때문이다. 이에 대한 예로서 미국 오
레곤주에서 제삼기의 熔結凝灰岩脈은 지하로 流紋岩과 연
결되고 상위로 지표의 熔結凝灰岩床으로 합체되는 것(Smith,
1960)과, 역시 미국의 이다호주에서 貫入 熔結凝灰岩脈이
분출된 熔結凝灰岩과 합체되는 것이 있다(Coats, 1976). 그
리고 수단의 사발로카 콜드론에서 거대한 용결 이그니브라
이트암맥(ignimbrite dyke)은 상위의 이그니브라이트암상(ig-

nimbrite sheet)으로 접이되어 이의 供給路(feeder) 역할을
하였다(Almond, 1971).

義城에서 남쪽으로 약 9 km 정도에 위치하는 金城山 火
山地域(Geumseongsan volcanic field)은 대부분 鹼基性和 酸性
火山岩類로 구성되어 있으며 콜드론과 조합되어 있음이 잘
알려져 있다(Park, 1986; 윤성효, 1987, 1993). 이 火山岩類는
대부분 비교적 규모가 큰 콜드론의 중앙부에 독립된 火山
岩複合體로 소규모로 분포한다. 이 콜드론은 酸性 火山岩類를
형성시켰던 火山作用의 후기에 이에 뒤따라 발생된 칼데라
陷沒의 마지막 흔적인 것으로 밝혀졌다(Park, 1986; 윤성효,
1987, 1993; 이현구의, 1993a). 그리고 이러한 火山岩類를 형
성한 사건은 백악기 후기에 일어났음이 확인되었다(이현구
의, 1993b). 그러므로 본 火山地域은 백악기 이후에 장구한
침식으로 인하여 큰 규모의 칼데라 밖에 존재했을 것으로
믿어지는 火山岩類가 완전히 삭박되어 없어지고 더구나 陷
沒된 칼데라 내부에도 거의 대부분 삭박되어 칼데라 중앙
부에만 소규모로 잔류되어 있다(Fig. 1).

이 산성 火山岩類에는 칼데라 陷沒의 원인이 되었던 灰
流凝灰岩이 대부분을 차지하며 이 가운데 상부의 灰流凝灰
岩은 심하게 용결되어 넓게 분포한다(Park, 1986). 그러나
중앙부의 火山岩複合體의 북단에는 熔結灰流凝灰岩으로부터
격리된 채로 熔結凝灰岩이 橢圓狀으로 소규모로 노출된다.
특히 넓은 熔結灰流凝灰岩은 전부 噴出岩床을 형성하는 반
면에 이 소규모 熔結凝灰岩은 周邊地質과의 關係, 立體模樣,

*안동대학교 지질학과(Dept. of Geology, Andong Nat'l Univ., Andong
760-749, Korea)

**경북대학교 지질학과(Dept. of Geology, Kyungpook Nat'l Univ., Taegu
702-701, Korea)

***경북대학교 지구과학교육학과(Dept. of Earth Science Education,
Kyungpook Nat'l Univ., Taegu 702-701, Korea)

****한국자원연구소(Korea Institute of Geology, Mining and Mineral,
Taejon 305-350, Korea)

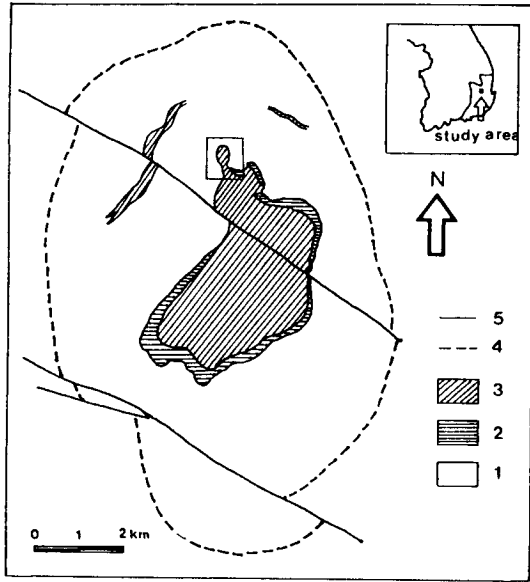


Fig. 1. Simplified geological map of the Geumseongsan volcanic field with an inset that shows location of the intrusive welded tuff (Fig. 2). 1, sedimentary rocks; 2, basaltic rocks; 3, rhyolitic rocks; 4, caldera margin; 5, faults.

암질과 내부構造 등에 의하면貫入狀을 나타낸다. 따라서 본암은金城山火山地域에 잔류하는火山岩類 중에서 기저부에 노출되는 것으로서熔結灰流凝灰岩에 직접 관계되는貫入熔結凝灰岩(intrusive welded tuff)인 것으로 생각된다. 즉 이는熔結灰流凝灰岩과 마그마 챔버 부분의 암석과 연결되는 지하의火道부분에 해당되는貫入岩으로 해석된다. 이는 도로에서 떨어져 산릉부에 매우 적은 면적으로 극히 제한적으로 노출되기 때문에 연구로부터 소외된 채로 남아 있었다. 따라서 이熔結凝灰岩의周邊地質에 대한岩相을 상세히 기재하고 해석하므로써 이들의정체를 밝히고,貫入熔結凝灰岩은이들과 어떠한關係에 있는지와그立體模樣이 어떠한지를 보고하고자 한다.

地質概要

金城山火山地域은慶尙盆地的 중북부에 해당되는義城小盆地 중앙부에 위치한다.慶尙盆地에는堆積岩類와火山岩類로 구성되는慶尙累層群이 자리잡고 있으며, 일반적으로慶尙盆地에는하부로부터新洞層群,河陽層群과楡川層群으로 구분되는慶尙累層群이 놓인다.義城小盆地에는이 가운데火山性堆積岩이 협재되는중부의河陽層群과, 대부분火山岩으로 구성되는상부의楡川層群으로 구성된다.楡川層群은소량의玄武岩質과 대부분安山岩質 내지流紋岩質의熔岩과

火碎岩으로 구성되며 한반도 해안선에 거의 평행하게 활요양으로 넓게 분포한다. 이 광역적인火山分布帶는 백악기에 유라시아대륙 동연변부 아래로 쿨라판의 섭입에 관련된 대륙연변부의火山弧에 해당된다(황상구와 김상옥, 1994; Hwang and Kim, 1994). 이들의火山活動은 초기에 국부적인玄武岩質火山作用으로 시작되고, 점차 이보다 훨씬 넓은安山岩質火山作用으로 대체되었으며, 다시 흔히 칼데라를 형성하는 대규모 규질灰流噴出의極烈相으로 바뀌는 양상을 보인다(Reedman and Um, 1975).

義城小盆地 중앙부에는義城으로부터 남쪽 약 9 km 위치에金城山火山地域이 놓인다. 이火山地域에서金城山칼데라와 함께金城山火山岩複合體가 조합되어 있다(윤성효, 1993). 이 칼데라는 그 직경이 대체로 8×10 km이며 장축방향이 남북방향으로 놓인다. 이 칼데라 내에는河陽層群에 속하는堆積岩類와 이를 부정합으로 덮거나 국부적으로 관입하는楡川層群에 속하는金城山火山岩複合體가 양호한 상태로 산출된다(Fig. 1).

堆積岩類는 칼데라 밖에서河陽層群의 최하부층인一直層과 최상부층인新陽洞層을 제외한 거의 모든 층이 인접되어 있으나 칼데라 내에서는舍谷層,春山層과新陽洞層의河陽層群의 상부층만 존재한다. 또한 이들은 칼데라 밖에서 N5~35°E 혹은 N70°E~EW 주향에 약 10~20°SE로 완만한 경사를 이루나 칼데라 내에서 이의 경계를 따라 주향이 대략橢圓形으로 분포하고火山岩複合體의 중심을 향하여 안쪽으로 30~90°로 급한 경사를 이루는 현저한盆狀構造를 나타낸다.

金城山火山岩複合體는 이堆積岩類를 기반으로 하여 대부분 칼데라의 중앙부에 부정합으로 피복되어 있다. 이는 북동-남서 방향으로 장경이 약 5 km 정도이고 단경이 북서-남동 방향으로 약 2.5 km 정도되는 심장을 닮은 모양을 이루고 있다.

金城山火山岩複合體는 본火山地域에서 산출되는噴出岩과貫入岩 등의火山岩類를 총칭한 것이며, 화학조성에 의하면安山岩質 성분이 결여된玄武岩質과流紋岩質의 성분으로 나타낸다(윤성효, 1987, 1993). 따라서 이火山岩複合體는 산출상태에 의하여金城山火山岩層(Park, 1987)과 여러 타입의貫入火山岩들로 나누어 생각할 수 있다.

金城山火山岩層은 약 400 m의 두께를 가지며 화학적인 성분에서玄武岩質岩類와流紋岩質岩類로 나뉘어 진다.玄武岩質岩類는 대부분流紋岩質岩類에 의해 덮히므로 본火山岩複合體의 외측부에만 대체로 얇게 노출되고 내측부에는流紋岩質岩類가 두껍게 놓인다(Fig. 1). 이玄武岩質岩類는熔岩, 스킨리아층과 화산쇄설층으로 구성되고,流紋岩質岩類는썩지응회암,非熔結灰流凝灰岩,流紋岩과熔結

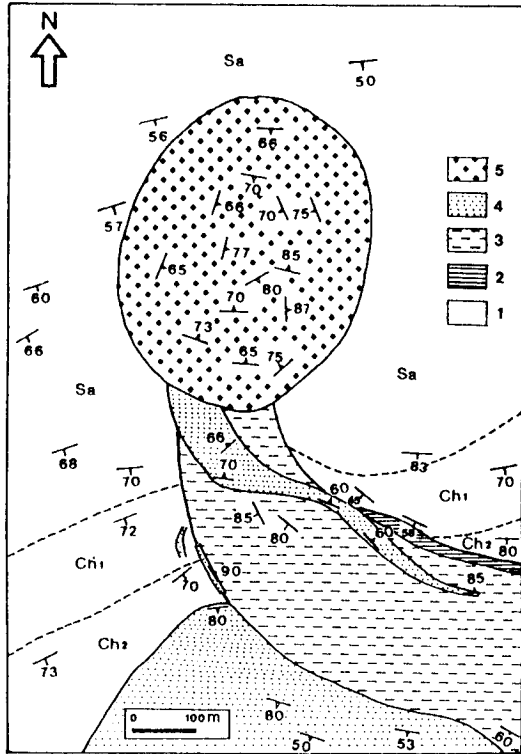


Fig. 2. Geological map around the intrusive welded tuff. 1, sedimentary rocks(Sa, Sagok Formation; Ch1, greenish grey zone of Chunsan Formation; Ch2, purple zone of Chunsan Formation); 2, basalt; 3, surge tuff; 4, rhyolite; 5, intrusive welded tuff. Symbols within it represent the strike and dip of bedding or welding foliation.



Fig. 3. Intrusive welded tuff scarp exposed in the boundary zone between Mancheon-ri and Tohyeon-ri, 4.2 km north of the submit of Geumseongsan, Euseong-gun. The visible steep slope of the scarp represents the intrusive welded tuff, and the invisible gentle slope, debris-covered sedimentary rocks. Letters represent the central part(C) of the welded tuff intrusion, the boundary zone(B) between the welded tuff and rhyolite, and location of Heul-gogae hill(H) over which a local road is crossed.

灰流凝灰岩으로 구성된다. 이 중에서 玄武岩의 연대는 71.4 Ma이고 流紋岩의 연대는 66.8 Ma이다(이현구 외, 1993b).

貫入火山岩은 貫入角礫岩, 貫入流紋岩, 貫入熔結凝灰岩과

中性脈岩이 있으며, 이들은 암맥, 파이프 혹은 플러그 모양의 貫入體를 형성한다. 이 중에서 貫入流紋岩은 그 연대가 67.3 Ma이고 中性脈岩의 연대는 52~46 Ma이다(이현구 외, 1993b). 그리고 이 貫入火山岩 중에서 연구대상인 貫入熔結凝灰岩은 오도산 남쪽 약 1.5 km 위치에, 금성면 만천리와 사곡면 토현리 사이의 산릉부에 金城山 火山岩層의 최북단에 인접하여 노출되며, 周邊地質보다 가파른 산사면을 형성하고 있다(Fig. 3). 이 貫入熔結凝灰岩에 대한 연구는 전무한 상태이므로 이와 함께 주변에 접촉되거나 인접된 堆積岩類, 玄武岩, 썩지응회암과 流紋岩 등의 地質(Fig. 2)에 대하여 立體模樣(geometry), 岩質(lithology)과 內部構造(internal structure) 등의 岩相(lithofacies)을 상세히 기재하고 해석한다.

周邊 地質의 記載와 解析

堆積岩類

堆積岩類는 대부분 저색 셰일과 사암으로 구성되며, 이들 중에는 녹회색 셰일대가 후지골과 모나골의 남서측에 약 140 m의 두께로 협재된다. 이 녹회색대의 기저에는 九山洞凝灰岩이 협재되어 있어 이를 기준으로 하위의 畝谷層과 상위의 春山層으로 구분하였으나(장기홍 외, 1977, 1981) 이곳에는 九山洞凝灰岩이 발견되지 않는다. 그러므로 본역에서 畝谷層은 모두 상부의 저색대만이 산출되고 春山層은 하부의 녹회색대와 중부의 저색대가 나타난다(Fig. 2). 본역 堆積岩類의 연장부에서는 흔히 연흔, 건열, 벌레구멍 등의 퇴적구조가 관찰된다. 그리고 河陽層群의 최상부층인 新陽洞層은 본역에서 전혀 발견되지 않는다. 그러므로 본역의 火山岩類는 堆積岩類를 기반암으로 하지만 新陽洞層이 결여된 채로 春山層 혹은 畝谷層 위에 직접 놓인다. 또한 본역 堆積岩類는 대부분 N65°-85°E 주향에 50°-75°SE 경사를 나타내며 이는 金城山 칼데라 내에서의 광역구조에 일치된다. 그러나 홀고개 동쪽 후지골과 실골 부근에서는 이와 약간 다른 N60°~88°W 주향에 45°~85°SW 경사를 갖는다. 여기서 주향은 火山岩類로 접근할수록 거의 동서 방향에서 북서-남동 방향으로 회전되고, 경사는 火山岩類와 100~200 m 떨어진 곳에서 80°~85°로 급한 경사를 이루다가 火山岩類와 인접부에서 45°~60°로 보다 완만한 경사를 이룬다(Fig. 2). 그리고 홀고개 서쪽의 썩지응회암과 貫入熔結凝灰岩에 인접한 곳에서 堆積岩類의 주향과 경사는 위에서 말한 N65°~85°E 주향과 60°~75°SE 경사의 광역구조와 별다른 양상을 보이지 않는다.

본역에서 堆積岩類 상위의 火山岩類가 新陽洞層없이 직접 春山層 혹은 畝谷層을 경사지게 피복하는 것은 火山활동이

전에 퇴적분지가 건육상태로 육화되어 新陽洞層이 침식되고난 후에 火山岩類가 덜히므로서 발생한 경사부정합을 의미한다. 그리고 堆積岩類의 대체적인 주향과 경사가 북동동-남서서 방향에 남동으로 심하게 기울어 있는 것은 칼데라의 중심부에 가까운 곳으로서 그 북단에 해당되기 때문이다. 홀고개 동쪽의 火山岩類와 가까운 곳에서 堆積岩類의 주향이 북서서-남동동 방향을 이루는 것은 아마도 남남서에 분포하는 火山岩類의 荷重이 직접적으로 미쳤음을 암시한다. 이와 더불어 경사가 火山岩類로부터 100~200 m 떨어진 곳에서 급한 것은 아마도 火山岩類의 荷重이 보다 심하게 미쳤음을 의미하고, 반면에 火山岩類와 인접부에서 보다 완만한 경사를 보이는 것은 火山岩類의 기저부의 경사면을 반영한다. 이와는 달리 홀고개 서쪽 씨지응회암과 貫入 灰流凝灰岩 가까이에서 堆積岩類의 주향과 경사가 火山岩類의 분포에 따르는 변화를 보이지 않는 것은 아마도 斷層에 의하거나 火道를 통한 관입을 암시하는 것 같다.

玄武岩

玄武岩은 후지골과 실골의 상류부에 북서-남동 방향으로 대상으로 분포된다. 이는 春山層의 녹회색대와 저색대를 각각도로 사교되고 상위의 씨지응회암에 의해 피복되어 있으며 이들 사이에서 약 20 m 두께를 갖는다(Fig. 2). 이는 두께가 얇기 때문에 노출범위가 한정되어 있으나 일반적인 岩質은 다음과 같다. 이는 보통 암회색을 띠고 휘석과 간혹 사장석이 반정으로 존재하고 방해석이나 녹니석으로 채워진 행인이 드물게 관찰된다. 간혹 이의 상하부에서 직각색으로 산화된 클린커물질이 발견된다. 경하에서 괴상의 본암은 사장석, 휘석, 감람석과 산화철로 구성된다. 라쓰상의 사장석 미정들이 불규칙하나마 다소 일정한 방향으로 배열된 필로텍시틱 조직을 보이고 이들 사이는 다소 변질된 양상을 보이지만 유리질 물질로 혹은 세립질 휘석과 감람석 등의 고철질광물로 채워진 間塵狀 組織(intersertal texture) 혹은 間粒狀 組織(intergranular texture)을 보여준다.

본암이 하위의 堆積岩類와 사교로 접촉하지만 이는 앞에서 설명한 바와같이 본암에 인접되는 곳에서의 堆積岩類의 주향이 경계선과 거의 평행하게 이루는 것이 荷重에 의한 것이라면 본암과 堆積岩類의 관계는 사교부정합이어야만 한다. 이와 함께 본암에서 산화된 클린커물질이 관찰되는 것은 본암이 관입된 것이 아니고 분출되어 지표에 노출된 熔岩이었음을 지시한다. 그리고 산화철이 많이 관찰되는 것은 분출되었음을 조금이나마 반영해주며, 間塵狀 組織 혹은 間粒狀 組織을 갖는 것은 다소 빨리 냉각되었음을 암시한다. 이들 모두는 본암이 熔岩이었음을 지지해 준다.

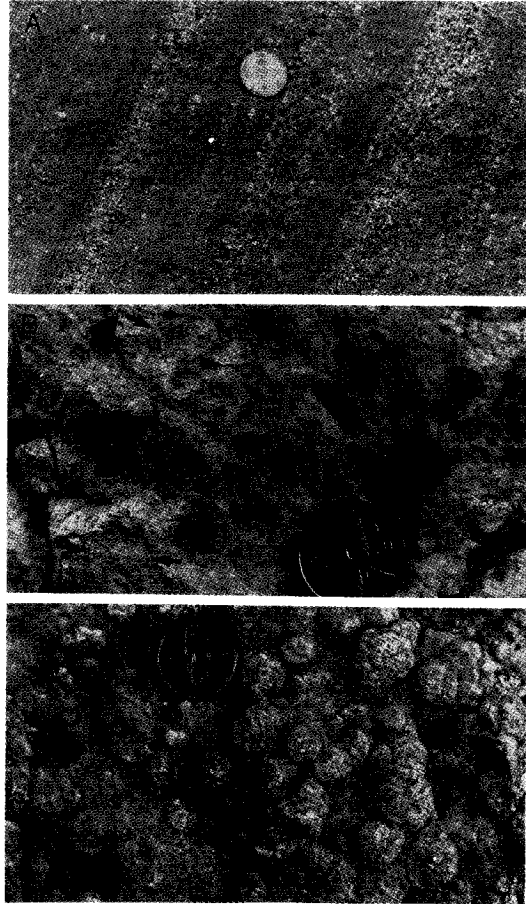


Fig. 4. surge tuff showing the reversely graded beddings(A). It is silicified to be locally crystallized into a few spherulites(B) or sherulite aggregates(C) in the contact zone of rhyolite intrusion.

씨지응회암

씨지응회암은 홀고개를 지나는 능선부와 북측 사면에 북서-남동 방향으로 분포되어 대상으로 연장된다. 본암은 玄武岩 상위에 거의 평행하게 정합으로 놓이고 畝谷層 최상부와 春山層의 최하부를 사교부정합으로 놓인다. 그리고 이의 상위인 서쪽에서 畝谷層의 최상부 저색대와, 春山層의 하부 녹회색대와 중부 저색대와 斷層 접촉을 하며, 본역 남쪽에서 流紋岩에 의해 피복되거나 혹은 관입되어 북서-남동 방향으로 경계선을 이룬다. 이들 사이에서 본암은 약 250 m의 두께를 갖는다(Fig. 2). 또한 본암의 북측이 熔結凝灰岩에 잘리는 貫入樣相을 나타낸다. 그리고 본암은 폭 1 m 내외의 중성암맥에 의해 관입된다. 본암은 회백색 내지 담록회색을 띠며 다소 뚜렷한 층리를 보인다. 이 층리는 응회암에서 라필리응회암

사이의 입도차이와 구성원의 색도차이로부터 인식된다(Fig. 4). 이 층리에 의하면 10 cm에서 3 m에 달하는 두께의 수많은 홑층(bed)들로 구성되며 수 10 cm의 얇은 층이 훨씬 우세하다. 본암은 다량의 부석편과 사암, 셰일과 玄武岩 등의 암편과 석영과 장석 등의 결정들이 화산회와 기질 속에 존재한다. 경하에서조차도 부석편과 샤아드들이 용결되어 있지 않고 파리쇄설 조직(vitroclastic texture)을 나타낸다. 부석편은 흔히 유백색 내지 회백색으로서 기질보다 밝은 색을 띠며, 암편은 저색, 갈색, 암회색, 암록색 등 다양한 색으로서 기질보다 어두운 색을 나타낸다. 이 부석편과 암편은 홑층 내에서 흔히 점이적인 입도변화를 보인다. 즉 이 부석편들은 10 cm 가까이 얇은 층에서는 흔히 상향조립화되는 뚜렷한 역점이 현상을 보인다(Fig. 4A). 그러나 수m에 달하는 두꺼운 층에서는 이 역점이 현상이 확실하지 않지만 암편들이 하나의 홑층 하부에서 보다 더 밀집되고 상향세립화되는 정점이 현상을 보인다. 이 씨지응회암은 流紋岩에 의해 관입되었으며 이와 인접부의 3 m 정도가 규화되어 있고 간혹 球顆狀 構造가 생성되어 있다(Fig. 4B, C). 본암에서 층리는 N40°W~NS 주향에 80~85°SW 경사를 갖는다(Fig. 2).

부석편이 얇은 층에서 역점이 현상을 보이는 것은 측방으로 확산되는 씨지에 의해 형성되었음을 지시한다. 이와 더불어 역점이 현상의 홑층이 우세하고 파리쇄설 조직을 보이는 것은 본암이 수증기마그마성 분출로부터 씨지에 의해 형성되었음을 암시한다. 이와같이 噴出岩이고 N40°W-NS 주향과 80~85°SW 경사의 층리를 갖는 본암이 이의 최상부가 N70°E, 70°SE의 층리를 갖는 堆積岩類와 직접 접촉하는 것은 본암의 서쪽 경계가 斷層접촉임을 지시한다. 그리고 이 斷層과 함께 본암의 층리가 급경사를 이루는 것은 화산중심지의 陷沒로 인한 북서-남동 방향의 裂隙과 이후에 본암의 북동 연변부를 따라 流紋岩脈의 관입이 거의 동시에 순차적으로 일어날 때 본암의 북동부가 상승하고 남서부가 하강하는 틸팅에 의한 것임을 암시한다.

流紋岩

流紋岩은 대부분 본역 남부에 분포되고 남쪽으로 넓게 연장된다. 또한 이는 씨지응회암의 중간에 북서-남동 방향으로 다소 굴곡된 脈狀으로 폭 15~70 m 정도로 관입되어 있고(Fig. 5A), 씨지응회암의 상위 경계부를 따라서와 또 이의 바깥 堆積岩類 속에도 폭 2~4 m 정도의 수괴가 脈狀으로 관입되어 있다(Fig. 2). 북쪽의 脈狀 流紋岩은 북측이 熔結凝灰岩에 의해 절단되는 貫入樣相을 나타낸다. 본암은 전체적으로 회백색 내지 도홍색을 띠며, 간혹 사장석과 석영 반정을 포함한다. 부분적으로 5 mm 내외의 구과를 드물게 함

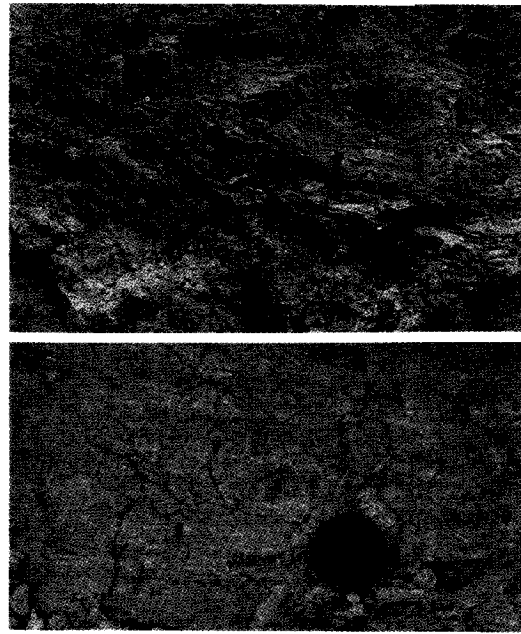


Fig. 5. Rhyolite that shows the contact with the silicified surge tuff(A) and weakly flow-banding(B).

유하는 곳도 있다. 또한 1 mm 내외의 유백색대와 암홍색대가 교호되는 流狀構造를 희미하게 발달시킨다(Fig. 5B). 이 流狀構造는 일반적으로 반정을 감싸면서 굴곡되어 있고 구과에 대해 잘려 있다. 그리고 이 流狀構造는 대체로 남측 암체에서 N70~85°W 주향에 50~80°SW 경사를 보이고, 큰 岩脈에서 N40°W~EW 주향에 60~85°N 경사를 보이며 이 주향이 경계선을 따르는 경향을 보인다(Fig. 2).

밝은 계통의 암색을 갖는 것은 본암이 서서히 냉각되었음을 시사하며, 이는 관입되었거나 혹은 큰 덩치로 분출되어 멀리 이동하지 않고 火口 근처에서 냉각되었음을 암시한다. 流狀構造의 형성은 본암의 정치시에 층류를 일으킬 만큼 유동성이 있었음을 시사한다. 流狀構造의 주향이 대체로 북서-남동 방향이고 경사가 급한 것은 아마도 분출 당시의 화산중심지의 陷沒로 인한 북서-남동 방향의 국부적인 斷層과 이에 평행한 裂隙을 따라 관입되거나 분출될 때 씨지응회암 내외에서 북서-남동 방향으로 脈狀으로 잔류된 것으로 판단된다.

貫入熔結凝灰岩의 記載와 解析

본 암체의 지형과 형태를 살펴 본다면 본 熔結凝灰岩은 주변보다 두드러진 산릉을 형성하며 이의 최고높이가 348.7 m이고 이 봉우리로부터 모든 방향으로 매우 가파르다. 본암과 주변의 堆積岩類와 流紋岩과의 사이는 거의 수직에 가깝게

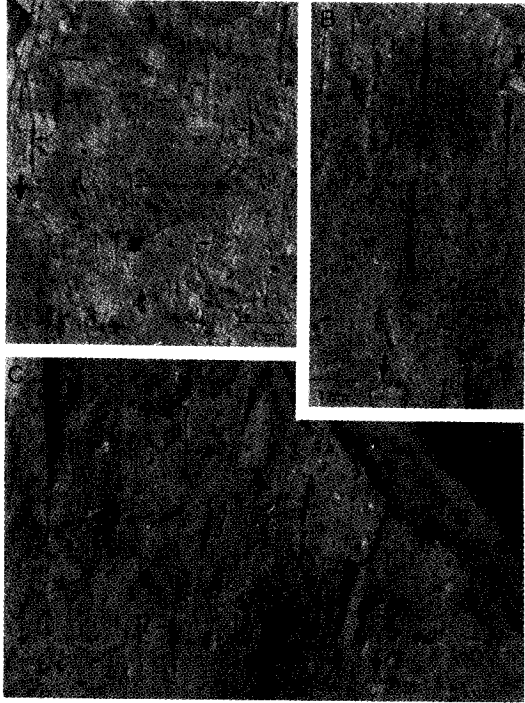


Fig. 6. Intrusive welded tuff that shows extremely flattened and stretched fiammes (small arrow) simulating welding foliation, and lithic fragments (large arrow). Outcrop faces parallel to flow direction and crossing through the central part.

관입접촉하며 이 경계선을 사이에 두고 산사면의 구배가 심한 차이를 보여준다(Fig. 3). 즉 관입 용결凝灰岩에서의 산사면은 매우 가파른 반면에 특히 堆積岩類에서의 산사면은 매우 완만하면서 작은 계곡이 본암의 중앙부로부터 放射狀으로 무수히 형성되어 있다. 용결凝灰岩의 貫入體는 평면상에서 장경이 약 500 m이고 단경이 약 350 m되는 남북 방향으로 약간 길쭉한 타원 모양을 이루고 있다(Fig. 2). 수직상으로 볼 때 이 貫入體는 348.7 m에서 약 240 m사이의 고도에서 노출되고 거의 수직에 가깝게 지하로 연장된다.

본암의 岩質에 대해 살펴 본다면 다음과 같다. 본 貫入 용결凝灰岩은 기질, 피아메와 암편으로 구성된다. 기질과 피아메가 대부분을 차지하며, 암편과 결정이 드물게 함유된다. 그러므로 본암은 마그마의 火成碎屑性組織(pyroclastic texture)을 나타낸다(Fig. 6). 본암의 기질은 풍화면에서 회백색 내지 황갈색을 나타내지만 신선한 면에서 대체로 갈회색 내지 회색을 나타낸다. 이 기질은 조립질에서 세립질 크기의 화산회로 구성되며, 이들 사이에 존재하던 공극이 거의 없을 정도로 치밀하고 겉으로 보기에는 용결岩과 같은 양상을 보여준다. 보다 큰 입자들은 상하방향으로 평편화되고 신장되어 피아메와 함께 희미하게 엽상구조를 이

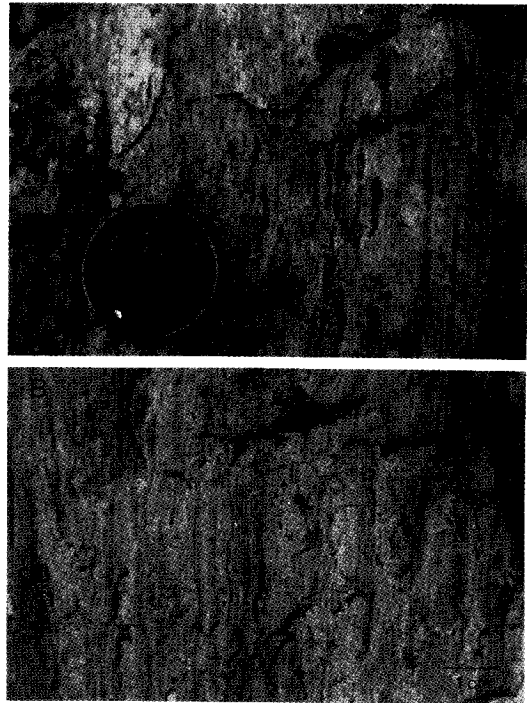


Fig. 7. Extremely stretched fiammes within a foliation plane showing conspicuous lineation in the intrusive welded tuff. The fiammes are mostly 2 mm wide and 20~30 mm long.

루는 것이 인식된다. 이 엽상구조는 상하로 계속 연속되어 하나의 葉理를 형성하고 있다. 피아메는 대부분 본암의 10% 이상을 차지하고 본 암체의 어디에서나 골고루 분포되며, 담색의 기질과 대조적으로 대체로 암회색을 띠고 부분적으로 암갈색을 띤다. 이들은 상하로 배열되어 流紋岩의 流狀葉理와 유사한 파라택시틱 석리(parataxitic fabric)를 이루며 葉理를 더 뚜렷하게 한다(Fig. 6A,B,C). 또한 이 피아메는 도처에서 평균 $1 \times 3 \times 35$ mm의 크기로 매우 길다란 렌즈모양을 나타내며, 이들은 서로 평행하게 배열되어 거의 수직에 가까운 방향으로 경사되는 뚜렷한 線構造를 이룬다(Fig. 7A,B). 암편은 최고직경이 4.5 cm이며 貫入體의 연변에서 풍부하게 나타난다. 암편의 종류로는 사암, 셰일, 유문암과 응회암 등이 있고 이들 각각은 周邊地質에 인접되는 곳에서 높은 빈도로 산출된다. 이들의 입도와 함량 변화는 貫入體의 연변부에서 중심부로 갈수록 급격히 감소한다. 이들은 대부분 둥근 모양의 덩어리이며 피아메와 같이 변형된 흔적은 없다. 하물며 유문암편조차도 기공을 갖지 않으므로 본암과의 일차적인 관계는 보이지 않는다.

이의 内部構造를 살펴볼 때 일반적으로 貫入體의 연변에 일치되는 용결葉理(welding foliation)와 거의 수직에 가까운

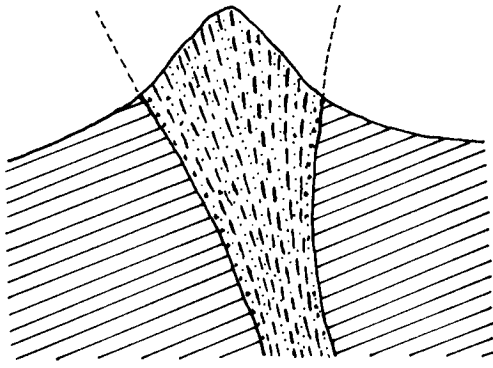


Fig. 8. Schematic diagram representing the geometry of the welded tuff intrusion. It shows vertical section that crosses west(left) to east(right).

伸張線構造(stretched lineation)를 도처에서 보여준다. 熔結葉理는 대체로 橢圓狀 貫入體의 外緣부를 따라 同心圓狀으로 주향을 형성하고 貫入體 중심부로 약간 동쪽으로 치우친 곳을 향하여 약 60~85°로 급경사를 이룬다(Fig. 2). 이와 함께 伸張線構造도 熔結葉理와 일치하여 55~85°로 급경사를 나타낸다(황상구와 김상욱, 1995).

본암이 원래 火成碎屑性 組織을 보이면서 회색을 띠고 공극이 없이 치밀한 양상을 보여주는 것은 기질을 구성하는 물질들 사이에 원래부터 존재하던 작은 공극들이 熔結作用(welding)에 의해 거의 전부 제거되었음을 반영한다. 따라서 이 葉理는 熔結葉理임을 지시한다. 본암에서의 피아메가 암색이고 공극이 없는 것과 파라텍시틱 석리는 火道 내에서 정지되기 직전에 압축작용에 의해 고온의 끈적한 상태에서 밀착되어 변형된 것임을 지시하고 동시에 기공벽이 용결되었음을 반영한다. 기질보다 더 암색인 것은 피아메가 휘발성물질을 더 많이 함유하므로서 점성이 상대적으로 더 낮아서 熔結作用이 더 용이했음을 암시한다(Smith, 1960). 또한 거의 수직으로 길다란 모양을 하는 것은 고온의 끈적한 상태에서 熔結作用과 동시에 상하방향으로 流動作用이 있었음을 암시한다. 따라서 이에 조합된 線構造는 流動作用에 의해 늘어난 伸張線構造임을 지시한다. 암편이 변형된 흔적이 없고 본암과 일차적인 관계를 보이지 않는 것은 이 암편들이 본암 형성시의 마그마로부터 직접 유래된 것이 아니고 火道壁의 기존 암석들로부터 유래되었음을 지시한다. 周邊地質과 인접한 곳에서 이와 동일한 암편의 산출빈도가 높고 이들의 입도와 함량이 중심부로 갈수록 재빨리 감소하는 것은 본암편이 주로 본 암체의 火道壁에서 떨어진 것임을 시사하고 동시에 본 암체가 관입했음을 지시한다. 그리고 본 암체에서 熔結葉理가 본 암체의 外緣부를 따라 同心圓狀으로 주향을

형성하고 거의 수직으로 급경사를 이루며, 이에 일치하여 伸張線構造가 거의 수직으로 급경사를 이루는 것은 본 암체의 전반적인 立體模樣이 逆錐狀의 貫入體라는 것을 지시한다. 熔結葉理와 伸張線構造의 경사가 본 암체의 중심부로부터 약간 동쪽으로 치우친 것은 貫入體가 지표로부터 하부로 연속되는 방향성을 지시한다.

討 論

본 熔結凝灰岩과 직접 접촉하는 암석 중에 써지응회암과 流紋岩은 이들의 접촉부에서 熔結凝灰岩에 의해 관입당한 양상을 보인다. 왜냐하면 熔結凝灰岩은 써지응회암과 流紋岩의 층준을 끊고 자라잡음으로서 이들이 북쪽으로 연속되지 않게 하였고, 써지응회암과 流紋岩보다 더 높은 수준까지 존재하면서 이들을 피복한 흔적이 없으며, 이들의 층준 아래부분까지 연장되고 火山岩類의 기반암인 堆積岩類 속으로 연속되기 때문이다. 따라서 이와같은 熔結凝灰岩과 두 火山岩과의 관계를 斷層에 의한 결과라고 생각할 수도 있겠으나, 斷層관계는 전혀 아닌 것으로 판단된다. 왜냐하면 접촉부에서 斷層에 의한 직접적인 과쇄현상이 전혀 나타나지 않고 풍화에 대한 강도차이를 보이지 않으며, 또한 간접적이거나 접촉부의 경계선이 熔結凝灰岩의 경계선을 따라 橢圓形을 형성하기(Fig. 2) 때문이다.

그러나 본암과 가장 넓게 접촉하는 堆積岩類의 접촉부는 테일러스에 덮히므로서 직접적인 접촉도구가 관찰되지 않는다. 그렇지만 본암 외곽의 堆積岩類에서 나타나는 구조적 변화가 의미하는 것으로부터 본암의 산출상태를 간접적으로나마 알아볼 수가 있다. 앞에서 본 熔結凝灰岩과 접촉하거나 인접된 火山岩類는 流紋岩 일부를 제외하고 熔岩과, 수증기 마그마성 분출에 의한 써지응회암 등의 噴出岩이라고 해석하였다. 이로 인하여 이 噴出岩은 하위의 기반 堆積岩類에 이들에 의한 荷重의 영향으로 주향과 경사의 뚜렷한 변화를 일으켰다고 해석하였다. 반면에 荷重에 의한 주향과 경사의 변화를 보이지 않는 곳은 陷沒과 裂隙에 따른 斷層의 영향에 의하여 荷重 영향의 상쇄와, 혹은 裂隙이나 火道를 통한 마지막 관입의 영향에 의한 것으로 해석되었다. 따라서 貫入 熔結凝灰岩의 외곽 인접부에서 堆積岩類의 주향과 경사는 위에서 말한 N65°~85°E 주향과 60°~75°SE 경사의 광역 구조와 일치된 양상을 보이지 荷重에 의한 주향 경사의 변화를 보이지 않는데, 이는 바로 본 熔結凝灰岩이 분출에 의한 것이 아니고 이와 다르게 火道를 통한 관입에 의한 것임을 간접적으로 시사하는 것 같다.

이와같이 본 熔結凝灰岩의 외부에서 시사하는 바가 噴出岩體가 아니라면 내부에서 지시하는 바가 어떤한지를 알아

보자. 본암은 흔히 원래 火成碎屑性 組織을 보이면서 회색을 띠고 공극이 없이 치밀하고 피아메가 암색이고 기공이 없는데, 이는 기질을 구성하는 물질들 사이에 원래부터 존재하던 작은 공극들과 피아메내의 기공들이 熔結作用에 의해 거의 전부 제거되었음을 의미한다. 그리고 橢圓狀의 본 암체에는 이에 일치하여 거의 同心圓狀으로 葉理가 발달되는데, 이는 위의 추리에 따르면 熔結葉理라는 것을 지시하며 본 암체 전반에서 관찰된다. 이 熔結葉理는 암체의 모양에 따라 주향이 同心圓狀을 이루면서 경사가 약 60~85°로 거의 수직방향의 급경사를 이룬다. 또한 길다란 렌즈모양을 하는 피아메가 본 암체의 어느 곳에서나 관찰되며 이들은 상하방향으로 평행하게 배열되어 線構造를 이룬다. 이 線構造도 熔結葉理의 경사와 함께 약 55~85°로 거의 수직방향으로 급경사를 이룬다. 이들은 본암이 火道를 따라 거의 수직방향으로 관입했다는 직접적 증거가 되며, 동시에 고온의 끈적한 상태에서 熔結作用과 동시에 상하방향으로 流動作用이 있었음을 지시한다. 따라서 이에 조합된 線構造는 流動作用에 의해 늘어난 伸張線構造임이 틀림없다. 왜냐하면 이 伸張線構造가 원통상의 熔結葉理에 포함되면서 거의 수직방향으로 신장되어 있기 때문에 이 방향성은 본 熔結凝灰岩이 마그마 챔버에서 火道를 통해 위로 관입해 가는 방향과 일치되는 것을 내포하고 있기 때문이다. 그리고 암편이 변형된 흔적이 없고 본암과 일치적인 관계를 보이지 않는데, 이는 이 암편들이 본암 형성시의 마그마로부터 직접 유래된 것이 아니고 火道壁의 기존 암석들로부터 떨어져 나왔다는 것을 지시한다. 또한 周邊地質과 인접한 곳에서 이와 동일한 암편의 산출 빈도가 높고 이들의 입도와 함량이 중심부로 갈수록 갑자기 감소하는데, 이들도 암편이 주로 본 암체의 火道壁에서 나온 壁岩(wall rock)이라는 것을 지시하고 동시에 본 암체가 火道를 따라 관입했음을 강력히 지시한다. 이들은 최근 본 암체에 대한 대자율 이방타원체 측정에 의해서도 火道라고 해석한 바(석동우와 도성재, 1994)와도 일치된다. 왜냐하면 대자율 이방타원체의 최대 방향의 수렴점은 본 熔結凝灰岩내에 존재하고 이들의 최대 방향의 복각은 42°~82°를 나타내므로 다른 복각과 비교할때 상당히 큰 값을 보이기 때문이었다. 그러므로 이 貫入熔結凝灰岩은 金城山火山岩複合體 가운데 가장 큰 용적을 갖는 噴出狀의 熔結灰流凝灰岩床(welded ash-flow tuff sheet)의 주요한 供給路로서의 마지막 잔류물인 것으로 생각된다. 이와같은 貫入 熔結凝灰岩은 세계 여러 火山地域에서 관찰되는 熔結凝灰岩 貫入體가 지표의 다양한 熔結灰流凝灰岩으로 직접 연결되는 경우(Almond, 1971; Smith, 1960; Coats, 1976; Reedman *et al.*, 1987)와도 매우 유사하다. 또한 同心圓狀의 熔結葉理와 伸張線構造는 火道 내에서 灰流物質이 상승할때 거의 수직방향으로 형성된다는

모델(Wolff, 1986)과도 일치되는 것 같다. 왜냐하면 이 熔結葉理와 伸張線構造는 火道를 채운 灰流物質이 정지된 후에 自體荷重에 의해 수직방향으로 생성될 수 없기 때문이다.

그러면 본 암체가 관입에 의한 것이라면 이의 立體模樣은 어떠한지 알아보자. 앞에서 설명한 바와 같이 본 암체는 평편상에서 橢圓狀을 이루고 熔結葉理가 본 암체의 관입 접촉부를 따라 同心圓狀으로 주향을 형성한다. 또한 수직단면에서 熔結葉理가 거의 수직으로 급경사를 이루며, 이에 일치하여 伸張線構造가 거의 수직으로 급경사를 이룬다. 이러한 熔結葉理와 伸張線構造의 構造의 樣相은 본 암체의 전반적인 모양이 윗쪽으로 나팔모양으로 약간 벌어진 火口를 나타내는 逆錐模樣의 플러그(plug)라는 것을 지시한다. 흔히 회류가 火口를 중심으로 放射狀으로 흘러갈 경우에 火道내에서는 수직에 가깝게 熔結葉理와 伸張線構造 등의 流狀構造를 형성할 것이고, 火口 아랫 부분에서 내측부로 기우는 급경사의 流狀構造를, 火口 윗 부분에서 이보다 완만한 流狀構造를, 그리고 火口 외곽부에서 거의 수평에 가까운 경사를 보이다가 결국 외측부로 완만한 경사를 보인다는 것을 생각할 수 있다. 그러므로 본 熔結凝灰岩에서 보여주는 逆錐模樣의 플러그는 火口 아랫 부분의 火道에서 거의 수직에 가까운 수직방향의 熔結葉理와 伸張線構造가 점점 위로 갈수록 윗쪽으로 약간 벌어진 나팔모양을 형성한 것으로 판단된다(Fig. 8). 그리고 熔結葉理와 伸張線構造의 전체적인 경사가 본 암체의 중심부로부터 약간 동쪽으로 치우치는데, 이는 逆錐模樣의 플러그 뿐만아니라 이 아랫 부분 火道の 전반적인 기울기가 이곳으로부터 약간 동쪽으로 기울어져 연속됨을 지시하는 것으로 생각된다(Fig. 8).

結 言

金城山 칼데라 중앙부에는 거의 수직방향으로 파라텍시틱 석리를 갖는 熔結凝灰岩이 평단면에서 橢圓狀으로 산출된다. 본 熔結凝灰岩에 인접하여 玄武岩은 熔岩으로, 씨지옹회암은 수증기마그마성의 씨지옹회암으로, 流紋岩은 貫入狀과 噴出狀으로 산출된다. 본 熔結凝灰岩은 주변의 씨지옹회암과 流紋岩과의 접촉부에서 이들을 직접 절단한 貫入樣相을 보이며, 또한 이의 외곽 인접부의 堆積岩類에서 噴出岩의 증거로서 荷重에 의한 주향과 경사의 변화를 보이지 않고 貫入岩을 시사하는 간접적인 증거를 나타낸다.

본암내에서 熔結葉理는 同心圓狀으로 연결되고 중심부로 향하여 거의 수직방향으로 경사진다. 伸張線構造는 주로 길다랗게 신장된 피아메에 의하며 역시 수직에 가깝게 중심부로 경사진다. 이러한 構造의 樣相들에 의하면, 본 熔結凝灰岩은 주변의 堆積岩類, 씨지옹회암과 流紋岩을 圓筒形으로 뚫은

하나의 貫入熔結凝灰岩(intrusive welded tuff)이며, 이 貫入體의 전체모양은 위로 약간 벌어진 나팔모양의 火口를 나타내는 플러그를 형성한다.

謝 辭

본 연구는 1991년 학술진흥재단 기초과학지원 연구비에 의해 수행되고 한국자원연구소의 1:25만 안동도폭 지질조사 연구의 일환으로 얻어진 결과이다. 그리고 야외조사에서 김효진 군이 적극적으로 도왔다.

參考文獻

석동우, 도성재 (1994) 의성지역에 분포하는 백악기 화산암류에 대한 대자율 이방성 연구. *자원환경지질*, 27, p. 411-420.
 尹成孝 (1987) 慶尙盆地 北部의 火山陷沒構造. 釜山大學校 大學院, 理學博士 學位論文, 74p.
 윤성효 (1993) 의성분지 중앙부 금성산 화산암복합체의 화산활동과 콜드론구조. *지질학회지*, 19, p. 309-323.
 이현구, 김상중, 윤혜수, 송영수, 김인수 (1993a) 경북 의성 동남부 오토산 주변의 동광화작용. *광산지질*, 26, p. 311-325.
 이현구, 김상중, 윤혜수, 최위찬, 송영수, 板谷 澈丸 (1993b) 경북 의성 동남부에 분포하는 금성산 화산암류의 K-Ar연대와 광화시기. *광산지질*, 26, p. 445-454.
 장기홍, 고인석, 이재영, 김상욱 (1977) 한국지질도 구산동도폭.

자원개발연구소, 25p.
 장기홍, 이윤종, 박병권 (1981) 한국지질도 군위도폭. 한국동력자원연구소, 20p.
 황상구, 김상욱 (1994) 밀양-양산지역 백악기 화산암류의 암석학적 연구(I): 암석조구조적 위치. *지질학회지*, 30, p. 229-241.
 황상구, 김상욱 (1995) 금성산칼데라내 관입용결응회암의 유상구조. *지질학회지*, 31.
 Almond, D.C. (1971) Ignimbrite vents in the Sabaloka cauldron, Sudan. *Geol. Mag.*, 108, p. 159-176.
 Coats, R.P. (1976) Pyroclastic dyke feeders of welded tuffs and primary surficial deformation in welded tuffs on the south margin of the Owyhee Plateau, Elks County, Nevada. *Geol. Soc. Am. Abstr.*, 8, 578.
 Hwang, S.H and Kim, S.W., (1994) Petrochemistry of trace and rare earth elements as an indicator of tectonic setting for the Cretaceous volcanic rocks, Miryang-Yangsan area. *Econ. Environ. Geol. Abstr.*, 27, 31.
 Park, K.W. (1986) The Keumseongsan caldera, its evolution and related mineralization. KR-86-10, p. 319-337.
 Reedman, A.J., Park, K.H., Merriman, R.J. and Kim, S.E. (1987) Welded tuff infilling a volcanic vent at Weolseong, Republic of Korea. *Bull. Volcanol.*, 49, 541-546.
 Reedman, A.J. and Um, S.H. (1975) Geology of Korea. Geological and Mineral Institute of Korea, 139p.
 Smith, R.H. (1960) Ash flows. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 71, 795-842.
 Wolff, J.A. (1986) Welded tuff dykes, conduit closure, and lava dome growth at the end of explosive eruptions. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 28, p. 379-384.

1995년 6월 19일 원고접수