

## 삼랑진 칼데라에 관련된 화성암류의 마그마 진화

황상구 · 정창식<sup>1</sup>

안동대학교 자연과학대학 지구환경과학과  
<sup>1</sup>기초과학지원연구소 동위원소분석그룹

**요 약** : 삼랑진 칼데라에는 칼데라를 형성시킨 삼랑진응회암이 보존되어 있고 여러 개의 칼데라내부 관입체가 노출된다. 이 관입체는 합몰후 중앙 및 환상관입체로서 정치된 유문암질암과, 후기 광역구조 관입체로서의 세립질 화강섬록암 및 흑운모 화강암이다. 환상관입체에서의 유문암질암은 유대상 유문암이 외연부에 정치되고 그 안쪽에 이 유문암 관입체를 따라 유문대사이트 반암 혹은 반상 대사이트 및 대사이트 반암이 순차적으로 정치되어 있다. 삼랑진응회암과 유문암질암은 삼랑진 마그마계에 속하며 유문암으로부터 유문대사이트, 대사이트 성분으로의 연속적인 조성분대를 나타낸다. 그리고 이들의 Rb-Sr 동위원소 자료는  $80.8 \pm 1.5(2\sigma)$  Ma의 연대와  $0.70521 \pm 0.00010(2\sigma)$ 의 초기치를 나타낸다. 이 연속적인 조성변화는 합몰 후에도 마그마챔버에서 지붕으로부터 하부로 유문암, 유문대사이트, 대사이트 성분 순으로 누대되었음을 지시하며, 상한 성분은 합몰된 후의 마그마챔버 지붕근처에서의 조성대를 지시하고 하한 성분은 가장 깊은 출조 심도를 지시한다. 이 조성누대와 Sr 동위원소 초기치는 삼랑진 마그마계의 화산암류가 마그마챔버에서 칼크알카리 마그마로부터 지각혼염없이 주로 분별결정작용에 의한 분화과정을 겪었음을 지시한다. 그러나 광역구조 관입체는 아마도 삼랑진 마그마계의 형성 이후에 다른 마그마매체로부터 유래되었을 것으로 생각된다.

**핵심어** : 칼데라내부 관입체, 삼랑진 마그마계, 조성분대, 마그마챔버, 분별결정작용

### 서 언

삼랑진 칼데라는 밀양 남부에 위치하며 밀양안산암과 원동응회암 속에 매몰되어 있는  $5.7 \times 7.9$  km 크기의 칼데라이다. 이 칼데라는 칼데라의 진화와 화산과정을 상세히 연구하는데 중요할 뿐만 아니라, 이 화산과정에 따라 형성된 분출암과 관입암은 삼랑진 마그마계라는 하나의 마그마계를 이루고 있어 중요하다.

본역은 백악기 이후 오랜 침식으로 심하게 절개되어 깊은 계곡들을 형성하여 본 마그마계의 하위 부분까지도 노출시키고 있다. 또한 본 칼데라는 북쪽으로 비대칭으로 합몰됨으로 인하여 본 마그마계의 여러 부위가 보존되고 내장부에서 뿔어나온 뿌리 부위까지도 노출되고 있다. 예를 들면 칼데라 내부의 삼랑진응회암은 칼데라 내부에 두껍게 보존되고 그 하부까지 노출시킨다. 그리고 칼데라 중앙부에는 중앙관입체를 들어내고 칼데라 경계부에는 환상관입체를 노출시키고 있다.

삼랑진 칼데라는 삼랑진응회암, 합몰후 중앙관입체와 환상관입체, 그리고 광역구조 관입체로 복합되어 있는 뚜껑문형 칼데라(trap-door type caldera)에 해당된다. 이 칼데라는 큰 용적의 회류응회암과 이에 동반된 관입암 간의 관계를 연구할 수 있는 우

수한 배경을 가진다. 왜냐하면 중앙관입체와 환상관입체는 회류응회암을 분출시킨 마그마챔버로 연결되는 뿌리부분을 나타내기 때문이다. 그러나 이러한 노출을 나타내는 칼데라도 흔히 여러 차례 화성활동의 중복으로 인하여 해석이 어려울 수도 있다. 하지만 삼랑진 칼데라는 하나의 단일 칼데라유희를 이루고 있음이 이미 밝혀졌고(황상구 외, 1998) 중앙관입체와 환상관입체의 노출로 마그마진화에 대한 좋은 모델을 제공할 것으로 기대된다. 또한 회류응회암과 이에 조합된 관입암 내에서 점이적인 조성변화는 이들을 유래시킨 마그마챔버 내의 일차적인 조성분대를 반영하며 주요 마그마과정을 기록하고 있다(Hildreth, 1979, 1981; Smith, 1979). 따라서 이러한 점들을 삼랑진 마그마계를 대상으로 하여 합몰 전후의 각 암석단위 내에서의 이들간의 조성변화를 검토함으로써 하나의 마그마챔버 내에서의 마그마진화를 고찰해 보고자 한다.

### 지질 개요

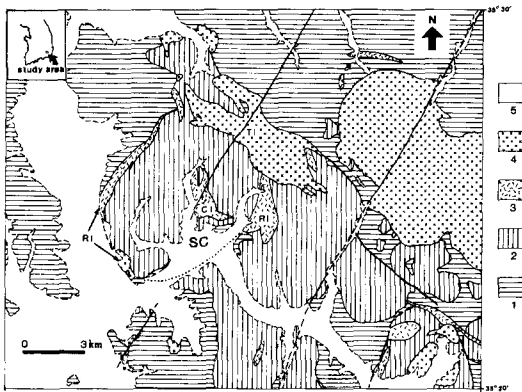
유천층군은 대부분 안산암질 내지 유문암질 용암과 화산쇄설암으로 구성되며 대체로 경상분지의 동부, 남동부와 남부에 분포되는 활모양의 화산호를 형

성한다. 이 광역적인 화산호의 암석들은 백악기에 유라시아대륙 동연변부에서 일어난 콜라판의 섭입과 관련된 암석학적 성질을 나타낸다(이상만 외, 1987; 황상구와 김상욱, 1994a). 이 화산암류는 일반적으로 안산암질 화산작용으로 시작되어 후에 흔히 칼데라를 형성하는 대규모 규질 화류분출 화산작용으로 대체되는 화산과정을 겪었다(김규봉과 황상구, 1988).

유천층군 화산암류는 유천소분지에 가장 집중되며 하부의 주사산 안산암질암류와 상부의 운문사 유문암질암류로 대분된다(김상욱과 이영길, 1981; Fig. 1). 이 중 운문사 유문암질암류는 밀양에서 양산에 이르는 지역에서 대부분 회류응회암들로 구성되며 양산, 원동, 삼랑진 칼데라와 조합되어 있다(황상구와 김상욱, 1990, 1992; 황상구, 1998, 황상구 외, 1998). 이 회류응회암들은 중간에 강하응회암이 협재되어 있고 암상과 구성성분의 차이가 다소 큰 3개의 암석단위로 구분된다. 이 회류응회암과 강하응회암이 칼데라 형성과 밀접히 관련되어 있음을 인식하여, 각 칼데라에 관련된 분출암을 하나로 묶어 각각 양산응회암, 원동응회암 및 삼랑진응회암의 층서단위로 칭한 바 있다(황상구와 김상욱, 1990). 그리고 각 칼데라는 형성 후속단계 산물로서 모두 중앙관입체와 환상관입체를 노출시키고 있다.

## 칼데라 지질

삼랑진 칼데라는 밀양 남부에서 5.7×7.9 km의

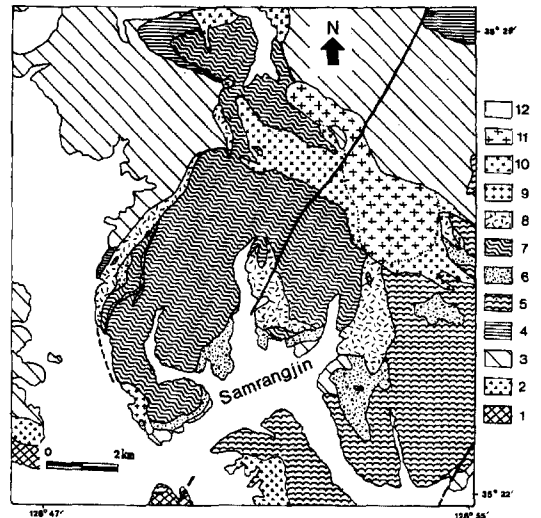


**Fig. 1.** Simplified geologic map, showing the distribution of the Chusasan andesitic rocks (1), Unmunsa rhyolitic rocks (2), volcanic intrusions (3), plutonic intrusions (4) and Alluvium (5) (compiled from Kim and Hwang, 1988). SC, Samrangjin caldera; CI, central intrusion; RI, ring intrusions; TI, regional tectonic intrusions.

크기로 발달된다(Fig. 1). 이 칼데라는 주사산 안산암질암류와 원동응회암을 기반으로 하여 대규모 화류분출에 따라 삼랑진응회암이 축적되면서 약 550m 이상의 깊이로 함몰되었다. 이에 뒤따라 유문암질암과 각섬석 흑운모 화강암이 중앙화구와 환상단열대를 따라 관입되었다. 그리고 칼데라 북동측에서 북서-남동방향의 어영단층대를 따라서 세립질 화강섬록암과 흑운모 화강암이 관입되었다(Fig. 2). 그러므로 삼랑진 칼데라 내에는 현재 다양한 분출암과 관입암이 존재하고 부근에 이후의 관입암이 노출된다.

분출암은 삼랑진응회암이며 수증기마그마성 강하응회암(phreatomagmatic fallout tuff)과 칼데라형성 회류응회암으로 구성된다(황상구 외 1998). 관입암은 칼데라와의 관련성 유무와 기하학적 위치에 따라서 중앙관입체(central intrusion), 환상관입체(ring intrusion)와 광역구조 관입체(regional tectonic intrusion)로 구분된다. 이들을 정치순서에 따라 간단히 기술해 본다.

삼랑진응회암은 최고 630m 이상의 두께를 이룬다. 이 중 강하응회암은 회류응회암 하위에 약 80m 두께로 놓이거나 이의 하부에 약 80m 두께로 협재되며 대개 청회색 내지 갈회색을 띠고 여러 가지 양



**Fig. 2.** Generalized geologic map of the Samrangjin caldera. 1, aphyric andesite; 2, andesitic lapilli tuff; 3, Miryang Andesite; 4, Cheonggaksan Formation; 5, Wondong Tuff; 6-7, Samrangjin Tuff (6, fallout tuff; 7, ash-flow tuff); 8-9, Central and ring intrusions (8, rhyolitic rocks; 9, hornblende biotite granite); 10-11, Regional tectonic intrusions (10, fine-grained granodiorite; 11, biotite granite); 12, Alluvium.

상의 퇴적상을 나타낸다. 회류용회암은 대체로 회색이며 대규모 회류분출로 인하여 칼데라 함몰을 일으켰고 함몰이 되면서도 계속 분출되어 칼데라 외부의 외류(outflow)보다 칼데라 내부에서 더 두껍게 축적되었다(Hwang and Kim, 1998).

이 회류용회암은 대부분 용결되어 있으며 사장석 반정이 비교적 풍부하고 대부분 유문암질에서 대사이트질 조성을 가진다.

중앙관입체는 유대상 유문암으로 구성된다. 이 유문암은 칼데라 중심부에서의 중앙화구를 따라 분출되어 상부에 용암도움을 형성하면서 마지막으로 화구에 채워져 플러그를 형성한 것이다. 이는 암홍회색을 띠며 대개 유상엽리와 소량의 사장석 반정을 가진다. 이 엽리는 대체로 관입체 중심부로 향하여 급경사를 이룬다.

환상관입체는 다양한 암상의 유문암질암과 각섬석 흑운모 화강암으로 구성되며, 이들은 칼데라 함몰 뒤에 칼데라의 환상단열대를 따라 환상암맥 형태로 정치되었다. 유문암질암은 암홍회색 내지 홍회색, 담홍회색 내지 회백색을 띠며 구성광물과 조직 등에 의하여 유대상 유문암, 유문대사이트 반암, 반상 대사이트 및 대사이트 반암 등의 암상으로 구분된다. 이들 간의 포유체 관계와 접촉 각력암에 따르면 유대상 유문암이 환상단열대를 따라 먼저 정치되고 이후에 동측부 환상관입체의 내연부를 따라 유문대사이트 반암이, 북서측 환상관입체의 내연부를 따라 순차적으로 반상 대사이트 및 대사이트 반암이 정치되었다. 그리고 남서측 환상단열대를 따라 각섬석 흑운모 화강암이 정치되었다. 이들 중앙관입체와 환상관입체는 아마도 삼랑진용회암과 동원일 것으로 생각된다. 왜냐하면 칼데라 내의 틈을 따른 화성작용은 칼데라 하위의 마그마가 고화되는 동안 짧은 기간 내에 칼데라 함몰에 뒤따라 일어나기 때문이다(Smith and Bailey, 1968).

광역구조 관입체는 세립질 화강섬록암과 흑운모 화강암으로 구성된다. 이들 암석은 북서-남동방향의 어영단층대를 따라 길게 관입하여 환상관입체의 북동측 일부를 끊었다. 이 관입체의 연변부에는 세립질 화강섬록암이 높이고 중심부에는 중립질 흑운모 화강암이 놓인다. 이 양자 간에는 점이적이고 중심상이 연변상을 관입한 흔적이 관찰되지 않는다. 이 관입체는 공간적으로 칼데라의 중앙화구나 환상단열대가 아닌 어영단층대를 따라 정치되어 있고 시간적으로도 삼랑진용회암과 유문암질암을 절단한 후기 암체이기 때문에, 칼데라의 화성작용이 거의 끝난 후에 정치된 것으로 해석된다. 이 광역구조

관입체는 아마도 삼랑진용회암과 선기의 여러 관입체들과 같은 삼랑진 마그마계의 산물이 아니거나 혹은 이더라도 이의 마그마챔버의 상부레벨 산물이 아닐 것으로 생각된다.

그러므로 삼랑진 칼데라에 관련된 마그마계의 마그마 진화를 이끌어낼 수 있도록 이에 조합된 분출암과 관입암은 삼랑진 칼데라의 화산과정에 따라 삼랑진용회암에서의 강하용회암과 회류용회암, 유문암질암에서의 유대상 유문암, 유문대사이트 반암, 반상 대사이트 및 대사이트 반암, 그리고 심성암은 각섬석 흑운모 화강암, 세립질 화강섬록암, 흑운모 화강암 순으로 구별시킨다.

## 시료 채취와 분석

마그마진화를 알아보기 위해서 각 암석단위를 대표할 수 있고 조성을 가장 잘 나타낼 수 있는 것을 선택하여 체계적으로 여러 층에서 신선한 시료를 채취하였다. 분출암에서는 대표적인 단면에서 상하로 횡단하면서 가능한 한 암편이 없는 곳에서 그리고 관입암에서는 연변부에서 중심부로 가면서 변질되지 않은 부분에서 시료를 채취하였다. 시료의 채취위치는 Table 1에 나타났다.

채취된 시료들 중에 먼저 풍화된 면과 암편 함유 부위를 시료로부터 제거하였다. 나머지 시료를 절편으로 잘라서 조분기로 5 mm 이하로 적당히 부수고 남아있는 나머지 암편을 골라냈다. 이러한 시료는 텅스텐카바이드 분쇄기를 이용하여 각 시료마다 200메쉬 이하의 분말시료를 약 10g씩 제조하였다. 이 시료의 화학분석은 기초과학연구소 서울본소에서 주원소를 XRF분석법으로 실시하였고, 미량원소와 희토류원소를 ICP-MS분석법으로 실시하였다. Rb-Sr 동위원소비는 양이온교환칼럼화학으로 시료를 전처리한 후 기초과학지원연구소 대덕본소의 열이온화질량분석기(VG 54-30 모델)로 측정되었다. 동위원소비 측정과 동시에 동위원소희석법으로 Rb, Sr의 농도를 정량하였다. 측정된  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비는 첨가된 스파이크에 의한 효과를 보정한 후 보고하였다. NBS 987 표준물질의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비 분석 평균치는  $0.710209 \pm 0.000009$  ( $N=12$ ,  $2\sigma$  표준오차)이었다. 실험과정의 Rb, Sr에 대한 총 바닥값은 0.3 ng 이하로 시료 내 이들 원소의 농도를 고려할 때 무시할 만한 수준이었다. 연대 계산은 Ludwig(1994)의 ISOPLOT 프로그램을 사용하였다. 연대 계산시에는 모델 3을 이용하였고  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 비의 오차는 0.0045% (=NBS 987 분석평균치의  $2\sigma$  표준편차),  $^{87}\text{Rb}/$

**Table 1.** Locations of the samples from the rock units associated with the Samrangjin caldera

Sp. No.	rock type	longitude	latitude	rock unit
HM914	fallout tuff	128° 52' 03"	35° 23' 21"	Samrangjin Tuff
HM943	ash-flow tuff	128° 52' 05"	35° 24' 08"	Samrangjin Tuff
HM951	ash-flow tuff	128° 52' 02"	35° 25' 18"	Samrangjin Tuff
HM959	ash-flow tuff	128° 52' 24"	35° 25' 41"	Samrangjin Tuff
HM167	flow-banded rhyolite	128° 50' 39"	35° 24' 53"	rhyolitic rocks
HM977	flow-banded rhyolite	128° 50' 20"	35° 25' 27"	rhyolitic rocks
HM7	flow-banded rhyolite	128° 48' 22"	35° 25' 41"	rhyolitic rocks
HM81	flow-banded rhyolite	128° 53' 20"	35° 24' 00"	rhyolitic rocks
HM978	flow-banded rhyolite	128° 48' 47"	35° 25' 06"	rhyolitic rocks
HM972	rhyodacite porphyry	128° 53' 21"	35° 25' 09"	rhyolitic rocks
HM974	rhyodacite porphyry	128° 52' 48"	35° 24' 32"	rhyolitic rocks
HM975	rhyodacite porphyry	128° 53' 08"	35° 24' 24"	rhyolitic rocks
HM979	dacite porphyry	128° 48' 30"	35° 25' 32"	rhyolitic rocks
HM980	porphyritic dacite	128° 48' 21"	35° 25' 37"	rhyolitic rocks
HM981	fine-grained granodiorite	128° 54' 03"	35° 25' 41"	fine-grained granodiorite
HM985	fine-grained granodiorite	128° 52' 13"	35° 26' 48"	fine-grained granodiorite
HM986	fine-grained granodiorite	128° 51' 09"	35° 27' 07"	fine-grained granodiorite
HM983	biotite granite	128° 53' 02"	35° 25' 50"	biotite granite

\*Sr비의 오차는 0.5%로 가정하였다.

파괴화되어 실리카와 알카리장석이 구과상 혹은 미문상으로 결정화되어 있는 곳도 있다.

**암석기재**

**중앙관입체와 환상관입체**

**삼랑진옹회암**

삼랑진옹회암은 강하옹회암과 회류옹회암으로 구성된다. 강하옹회암은 그 중에서 가장 혼한 암상을 기재하면 다음과 같다. 결정은 세립질이며 사장석이 월등히 우세하고 석영, 불투명광물, 흑운모, 각섬석 등이 포함된다. 이들은 모두 파열되거나 부식져 파편상이며 각상을 이룬다. 흑운모와 각섬석은 녹니석으로 상당히 변질되어 있다. 드물게 안산암 등의 압편도 함유되어 있다. 기질은 확인되지 않는 미립의 결정편과 유리질 혹은 은정질 물질로 이루어져 있다.

회류옹회암은 반정으로 대부분 사장석으로 구성되며 불투명광물, 흑운모, 각섬석, 석영과 K-장석이 작은 반정으로 소량 나타난다. 이 반정들은 부식져서 대부분 파편상이며 파열상인 것도 있다. 사장석 반정은 흔히 누대구조를 가지며 간혹 재용식되어 있는 것도 있다. 흑운모와 각섬석 반정은 흔히 녹니석으로 변질되어 있고 외곽과 벽계를 따라 산화철이 농집되어 있다. 그리고 암편은 안산암, 옹회암, 유문암편 등이 나타난다. 이의 조직은 심하게 용결되고 탈파리화(devitrification)되어 원래 화성쇄설 조직의 인지가 어려운 곳도 있다. 그러나 이미 확인된 박편과 비교하여 관찰하면 유리질의 부석과 샤아드가 인지되고 암편이 확인된다. 부석과 샤아드는 용결되고 편평화되어 유택시틱 석리와 파라텍시틱 석리를 발달시킨다. 편평화된 부석은 강하게 탈

중앙관입체와 환상관입체는 삼랑진 칼데라 내에서 정치위치에 따라서 다양한 암상의 유문암질암으로 구성된다. 중앙관입체는 유대상 유문암으로 구성되며, 환상관입체는 유대상 유문암, 유문대사이트 반암, 그리고 반상 대사이트 및 대사이트 반암으로 구성된다.

유대상 유문암은 반정으로 사장석과 석영이 드물게 나타나고 흑운모와 불투명광물이 극히 드물게 수반된다. 사장석 반정은 자기네끼리 취반정을 형성하거나 불투명광물과 취반정을 형성하기도 한다. 석영 반정은 육방복추 모양을 이루는 것도 있고 부분적으로 재용식되어 만입되어 있다. 흑운모 반정은 작지만 심히 산화되고 흔히 오파사이트 림을 형성한다. 석기는 유리질인 부분과 미정질 내지 은정질인 부분이 대상으로 교호된다.

유문대사이트 반암은 반정으로 사장석이 상당히 나타나고 석영, 흑운모와 불투명광물이 소량 수반된다. 이 반정들의 함량은 곳에 따라 상당히 다르다. 석기는 미정질로서 대부분 K-장석과 석영질로 되어 있고 흑운모, 불투명광물과 저어콘이 포함된다.

반상 대사이트 및 대사이트 반암은 반정으로 사장석이 대부분이고 각섬석, 흑운모와 불투명광물이 드물게 수반된다. 반정은 곳에 따라 함량 차이가 매우 큰 편이다. 사장석 반정은 자형이며 큰 것일수록 강한 누대구조를 가진다. 석기는 미정질이며 사장

석, 석영, K-장석, 각섬석, 흑운모, 인회석과 저어콘 등으로 이루어져 있다. 사장석은 라쓰상 미정을 이루며 석영과 K-장석은 미분상조직으로 연정을 이루는 곳도 있다.

**광역구조 관입체**

광역구조 관입체는 세립질 화강섬록암과 흑운모 화강암으로 구성된다. 세립질 화강섬록암은 사장석, 석영, K-장석, 각섬석, 흑운모, 불투명광물, 인회석 순으로 그 함량이 많아진다. 사장석은 대부분 자형으로서 누대구조를 가진다. 각섬석과 흑운모는 녹니석으로 다소 변질되어 있으며 불투명광물과 함께 서로 인접되어 있는 경우가 허다하다. 석영과 K-장석은 타형으로서 대부분 다른 광물 사이에 충전되어 있다.

흑운모 화강암은 대부분 K-장석, 석영과 사장석 등으로 이루어져 있으며 소량으로 흑운모와 불투명

광물을 함유한다. 사장석은 자형 내지 반자형이고 약한 누대구조를 가지며 간혹 흑운모, 불투명광물을 포유하기도 한다. K-장석과 석영은 타형으로서 다른 광물들 사이에 성장되어 있다. 특히 K-장석은 사장석 외곽을 종종 과성장 띠로 둘러싸고 있다.

**암석화학적 성질과 분류**

삼랑진 칼데라에 조합되어 있는 화성암류는 구조적으로 삼랑진응회암, 중앙관입체, 환상관입체와 광역구조 관입체로 구분된다. 이 중에서 광역구조 관입체를 제외하고는 공간적으로 모두 삼랑진 칼데라 내에 존재한다. 이들 화성암류에 대한 마그마진화를 살펴보기 전에 먼저 화학조성에 의한 화학적 성질부터 검토해 볼 필요가 있다. 왜냐하면 본역에는 시공간적으로 여러 암석단위가 산출되기 때문에 우선 화학적 성질이 다른 것을 찾아낼 필요성이 있

**Table 2.** Major element composition of the rock units associated with the Samrangjin caldera

	fallout tuff	ash-flow tuff				flow-banded rhyolite of central intrusion		flow-banded rhyolite of ring intrusion		
	HM914	HM943	HM951	HM959	HM167	HM977	HM7	HM81	HM978	
SiO <sub>2</sub>	61.91	68.05	65.52	67.09	71.29	70.38	76.42	74.68	70.89	
TiO <sub>2</sub>	0.66	0.35	0.43	0.35	0.25	0.20	0.12	0.23	0.15	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.32	14.38	15.05	14.52	15.78	13.45	13.45	13.46	13.16	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	5.20	3.48	4.21	3.77	2.57	3.35	1.44	1.76	2.44	
MnO	0.11	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.01	0.01	0.02	
MgO	1.61	0.33	0.70	0.44	0.32	0.03	n.d.	0.06	n.d.	
CaO	2.17	1.96	3.21	1.94	0.40	0.41	n.d.	0.51	0.09	
Na <sub>2</sub> O	5.02	3.18	3.07	3.28	3.53	2.90	2.69	2.59	2.28	
K <sub>2</sub> O	1.82	3.85	3.31	3.65	4.84	4.72	4.96	6.53	5.99	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.06	0.08	0.05	0.06	0.02	n.d.	0.02	0.01	
L.O.I	2.01	0.64	0.81	0.89	1.02	0.79	0.90	0.67	0.77	
total	96.96	96.33	96.45	96.03	100.11	96.26	99.99	100.52	95.79	
An%	17.81	24.60	35.81	23.97	4.77	6.80	9.34	1.82		
DI	77.43	84.30	77.01	83.50	90.27	91.82	94.78	94.56	94.35	

	rhyodacite porphyry			porphyritic dacite & dacite porphyry		fine-grained granodiorite			biotite granite
	HM972	HM974	HM975	HM979	HM980	HM981	HM985	HM986	HM983
SiO <sub>2</sub>	73.01	69.06	68.44	64.00	62.90	64.15	55.55	58.94	74.14
TiO <sub>2</sub>	0.05	0.30	0.30	0.50	0.52	0.67	0.88	0.75	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.89	13.38	14.20	14.72	13.54	14.92	17.20	15.86	13.35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	2.06	2.99	2.87	5.01	4.29	5.17	8.46	6.90	1.52
MnO	0.02	0.05	0.03	0.06	0.07	0.10	0.13	0.11	0.03
MgO	0.03	0.15	0.05	0.08	0.77	1.01	3.60	2.60	0.06
CaO	0.16	1.05	1.30	1.95	2.53	3.21	7.55	5.42	0.07
Na <sub>2</sub> O	n.d.	4.14	3.44	3.43	2.81	2.94	2.77	2.66	1.06
K <sub>2</sub> O	7.53	3.12	4.44	3.33	4.06	3.87	1.45	2.63	5.67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	n.d.	0.03	0.03	0.13	0.13	0.18	0.27	0.19	n.d.
L.O.I	0.76	0.95	1.04	2.26	1.06	0.53	0.44	1.18	0.33
total	95.51	95.22	96.14	95.46	92.67	96.75	98.29	97.24	96.27
An%	100.00	11.87	16.82	22.24	31.65	35.81	54.80	49.61	3.52
DI	93.28	90.04	89.08	82.90	80.26	76.08	48.53	60.36	92.00

\*Fe as total Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

기 때문이다. 즉 삼랑진 마그마계를 대표하는 화학적 성질과 다른 성질의 암석단위가 존재할 수도 있기 때문이다.

본역 화성암류의 주원소 조성은 Table 2에 나타났다. 이들은 Irvine and Baragar(1971)의 화학적 구분에서 모두 비알카리계열 영역에 도시되고(Fig. 3), AFM 삼각도(Irvine and Baragar, 1971)에서 대부분 암석단위가 칼크알카리계열의 진화경로를 밟는다(Fig. 4).

삼랑진 칼데라에 조합된 화성암류의 화학조성을 TAS도(Le Bas *et al.*, 1986)에 도시해 보면 대부분 유문암, 대사이트와 안산암 영역에 도시된다(Fig. 5).

그러나 이 분류만으로 하나의 화산암 내에서 좁은 폭의 조성변화를 가지면서 여러 암상으로 구분되는 암석단위를 연구하기에는 미흡하므로 광물과 주원소 조성에 따라 세분화시킨 분류표(황상구, 1996, Table 1 참조)에 본 화성암류를 적용시켜 보았다. 이 분류표에 따르면, 삼랑진용회암은 대부분 유문대사이트에서 대사이트 조성에 속하고, 유문암 질암은 유문암에서 대사이트 조성에 해당된다. 한편 광역구조 관입체는 세립질 화강섬록암이 대사이트(화강섬록암)에서 안산암(섬록암) 조성에 해당되고 흑운모 화강암이 유문암(화강암) 조성에 해당된다.

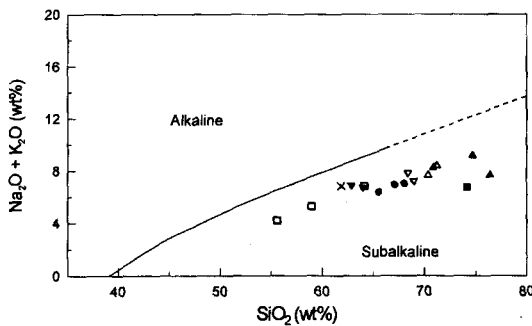


Fig. 3. Alkali versus SiO<sub>2</sub> diagram showing alkaline and subalkaline rocks from the Samrangjin caldera (after Irvine and Baragar, 1971). X's signs, fallout tuff of samrangjin Tuff; solid circles, ash-flow tuff of Samrangjin Tuff; normal open triangles, flow-banded rhyolite of central intrusion; normal solid triangles, flow-banded rhyolite in ring intrusions; reverse open triangles, rhyodacite porphyry in eastern side of ring intrusion; reverse solid triangles, porphyritic dacite and dacite porphyry in northwestern side of ring intrusion; open squares, fine-grained granodiorite in regional tectonic intrusion; solid squares, biotite granite in regional tectonic intrusion.

## 암석화학적 변화성

### 전체적인 변화경향

#### 주원소

삼랑진 칼데라에 조합된 화성암류에 대한 주원소 조성을 살펴보면(Table 2) SiO<sub>2</sub>의 조성은 55.55~76.42% 범위이고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 조성은 11.89~17.20% 범위이다. SiO<sub>2</sub>는 세립질 화강섬록암이 가장 낮고 유대상 유문암이 가장 높으며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 대체로 그 반대이다. TiO<sub>2</sub> 조성은 0.04~0.88% 범위이고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* 조성은 1.44~8.46% 범위로서 세립질 화강섬록암

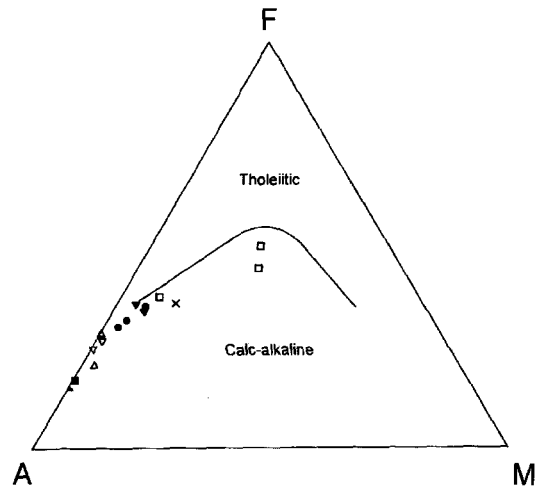


Fig. 4. AFM diagram showing calc-alkaline rocks from the Samrangjin caldera (after Irvine and Baragar, 1971). Symbols are as in Fig. 3.

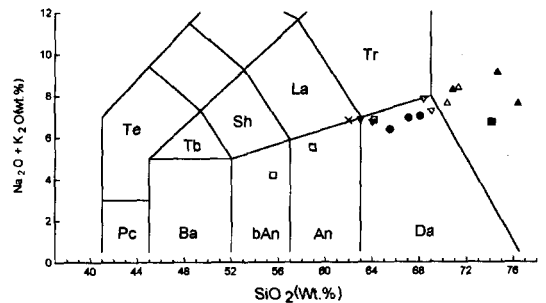


Fig. 5. Chemical classification and nomenclature of rock units associated with the Samrangjin caldera using the TAS diagram (after Le Bas *et al.*, 1986). Pc, picobasalt; Ba, basalt; bAn, basaltic andesite; An, andesite; Da, dacite; Te, tephrite; Tb, trachybasalt; Sh, shoshonite; La, latite; Tr, trachyte. Symbols are as in Fig. 3.

이 가장 높은 편이고 유대상 유문암이 가장 낮은 편이다. MnO 조성은 0.01~0.13% 범위이고 MgO 조성은 3.60% 이하 범위이며 CaO 조성은 7.55% 이하의 범위로서 세립질 화강섬록암이 가장 높고 유대상 유문암이 가장 낮다. Na<sub>2</sub>O 조성은 5.02% 이하 범위이며 강하응회암 일부가 가장 높고 유문대사이트 반암 일부가 가장 낮다. K<sub>2</sub>O 조성은 1.45~7.54% 범위로서 유문대사이트 반암이 가장 높고 세립질 화강섬록암이 가장 낮게 나타난다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 조성은 0.27% 이하 범위이며 세립질 화강섬록암이 가장 높고 흑운모 화강암, 유대상 유문암과 유문대사이트 반암이 각각 가장 낮다.

주원소 조성은 SiO<sub>2</sub>를 분화지시자로 사용하여 그린 하크도에서 그 변화경향을 나타낸다(Fig. 6). Na<sub>2</sub>O를 제외한 모든 원소의 조성 변화경향은 SiO<sub>2</sub> 조성에 대해 대체로 선형을 나타낸다. 그러나 강하응회암과 광역구조 관입체는 이 선형 변화경향으로부터 이탈되는 경향을 보인다. 즉 강하응회암은 Na<sub>2</sub>O가 훨씬 부화되고 K<sub>2</sub>O와 CaO가 결핍되어서 이들 변화경향으로부터 이탈된다. 이는 아마도 풍화나 변질작용에 의한 Na<sub>2</sub>O의 이동성이 큰데 기인하는 것으로 생각된다. 왜냐하면 강하응회암은 표면적과 투수성이 보다 커서 Na<sub>2</sub>O의 이동을 쉽게 할 수 있기 때문이다. 세립질 화강섬록암은 SiO<sub>2</sub>의 조성범위로부터 대개 왼쪽에 치우쳐서 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 TiO<sub>2</sub>가 높게 이탈되고 흑운모 화강암은 이 변화경향으로부터 Na<sub>2</sub>O가 다소 낮게 이탈된다.

이 변화경향 내에서 각 암석단위의 변화경향을 살펴 본다면 삼랑진응회암과 반상 대사이트 및 대사이트 반암은 SiO<sub>2</sub>가 중간 부분(64~65%)에서 각 주원소가 대부분 겹치며, 유대상 유문암과 유문대사이트 반암은 SiO<sub>2</sub>가 높은 부분에서 역시 각 주원소가 대부분 겹친다. 그러나 세립질 화강섬록암은 기타 관입암과 분출암보다 더 고철질 조성쪽으로 쏠리며 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*, MgO와 CaO의 구배가 SiO<sub>2</sub>의 감소에 따라 증가한다. 그러므로 광역구조 관입체는 다소 분산되지만, 칼데라 내부 관입체는 대체로 선형 변화경향을 형성하며 주어진 어떤 성분의 조성이 대체로 삼랑진응회암과 겹치거나 동시에 같은 변화경향을 나타낸다.

**희토류원소**

희토류원소의 함량은 Table 3과 같고 이들의 총 함량은 87.20~212.61 ppm 범위이다. 이들 원소를 콘드라이트로 표준화한 REE 패턴은 Fig. 7~10과 같다. 본역 화성암류는 전체적으로 REE 패턴은 큰 차이가 없다. 즉 모든 암석단위는 (La/Lu)<sub>n</sub>=4.6~

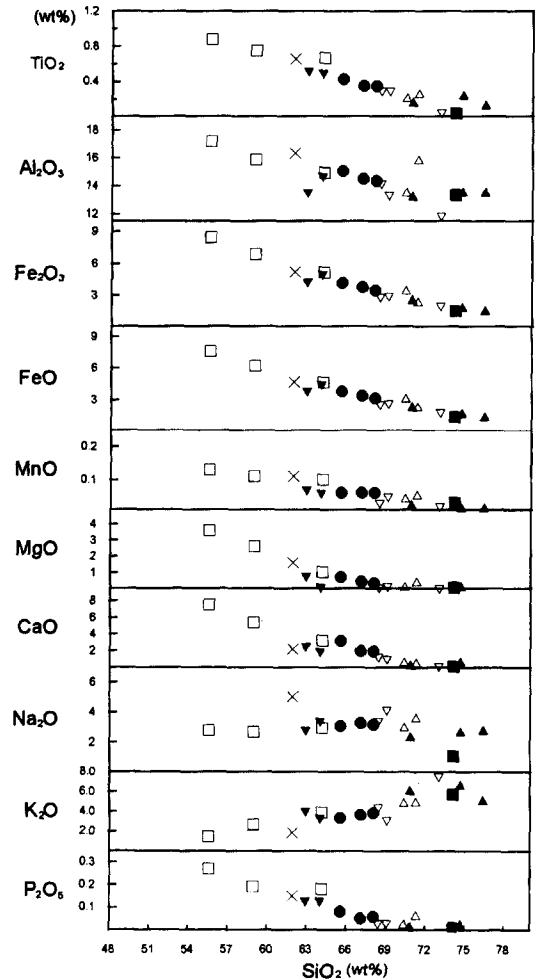


Fig. 6. Harker variation diagrams for rock units associated with the Samrangjin caldera. Symbols are as in Fig. 3.

11.1, (Eu/Eu\*)<sub>n</sub>=0.16~0.94으로서 LREE가 부화되고 HREE가 결핍되어 LREE/HREE 비가 강하게 분별된 양상을 보이며 Eu의 부 이상치를 나타낸다. 이러한 패턴은 경상분지의 다른 백악기 화산암류(김상욱 외, 1991, 1998; 김규한과 이진수, 1993; 이현구 외, 1993; 황상구와 김상욱, 1994a; 김춘식 외, 1998)와 유사한 양상을 가진다.

**Sr 동위원소비**

분석된 시료의 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 비와 Rb, Sr 함량을 Table 4에 나타내었다. 삼랑진응회암은 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr비가 0.7057~0.7069 범위이다. 중앙 및 환상관입체를 구성하는 유문암질암은 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr비(0.7078~0.7168)와 <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr비(2.26~10.09)가 삼랑진응회암

**Table 3.** Trace and rare earth element concentration(ppm) of the rock units associated with the Samrangjin caldera

	HM914	HM943	HM951	HM959	HM167	HM977	HM81	HM978	HM972
Cr	60	412	573	928	11	973	3	567	639
Co	16	8	17	10	5	7	3	11	14
Ni	8	30	38	44	12	68	5	47	45
Cu	25	24	29	26	5	37	4	36	241
Zn	71	45	60	35	57	71	22	171	63
Y	22	38	26	26	41	21	45	22	22
Zr	45	108	109	108	131	187	149	196	76
Nb	2	7	4	10	7	7	10	6	7
Cs	2	2	3	4	6	4	5	3	12
Ba	644	1033	833	680	1106	962	626	1347	2029
Hf	1	3	3	4	5	5	5	5	2
Pb	13	14	39	13		4		77	194
Th	10	14	13	13	16	15	24	14	15
U	2	3	3	2		4		3	3
La	25.81	41.19	30.82	26.67	47.40	31.24	39.60	42.82	31.10
Ce	56.30	83.60	67.09	58.07	79.12	58.28	83.52	79.14	52.36
Pr	6.45	9.47	7.79	6.53	10.77	6.77	9.23	8.60	6.02
Nd	25.60	39.49	29.30	24.42	41.60	22.78	35.30	27.99	18.56
Sm	5.37	7.47	5.77	5.24	8.07	4.09	6.57	5.27	3.40
Eu	1.52	1.72	1.65	1.21	1.10	0.89	0.33	1.04	0.64
Gd	5.27	6.50	5.86	5.43	7.51	3.62	5.86	4.92	2.75
Tb	0.77	0.94	0.87	0.89	0.54	0.67	0.37		
Dy	4.56	5.92	4.99	5.79	7.47	3.49	6.32	3.70	2.63
Ho	0.88	1.03	0.98	1.30	1.34	0.66	1.22	0.74	0.53
Er	2.59	3.16	2.89	3.87	3.87	2.20	3.80	2.26	1.66
Tm	0.39	0.44	0.42	0.61	0.33	0.35	0.25		
Yb	2.51	2.83	2.89	4.26	3.80	2.44	4.04	2.39	1.92
Lu	0.38	0.40	0.44	0.59	0.56	0.35	0.62	0.35	0.29
REEs	138.40	204.16	161.76	144.88	212.61	137.68	196.41	180.24	122.48
(La/Lu) <sub>n</sub>	6.9	10.6	7.2	4.6	8.7	9.0	6.6	12.6	11.1
	HM974	HM975	HM979	HM980	HM981	HM985	HM986	HM983	
Cr	483	847	394	356	606	463	571	622	
Co	12	9	12	19	34	25	25	29	
Ni	33	37	31	19	41	53	66	50	
Cu	19	21	22	12	28	72	53	106	
Zn	101	57	32	27	56	113	87	74	
Y	24	27	18	15	21	14	14	22	
Zr	159	168	128	68	39	16	13	37	
Nb	9	11	7	6	7	4	2	10	
Cs	3	7	5	4	9	5	3	9	
Ba	565	850	1606	691	552	285	411	503	
Hf	4	5	4	3	2	1	1	2	
Pb	2	28	5	7	27	7	13	21	
Th	15	15	9	20	20	5	8	16	
U	3	4	2	4	4	1	2	2	
La	27.99	31.07	21.88	23.25	31.28	17.54	20.22	29.41	
Ce	61.44	66.22	45.03	43.56	63.30	37.75	42.56	61.38	
Pr	7.18	7.72	5.21	5.58	7.20	0.47	5.05	7.02	
Nd	25.09	27.46	18.87	18.46	24.71	16.13	17.23	24.06	
Sm	4.64	5.18	3.56	3.68	4.79	3.28	3.21	4.61	
Eu	0.82	1.16	1.06	0.34	0.96	0.99	0.76	1.01	
Gd	4.58	4.77	3.32	3.15	4.21	3.09	2.91	4.28	
Tb	0.66	0.72	0.44	0.47	0.61	0.44	0.44	0.61	
Dy	3.95	4.42	2.91	2.98	3.63	2.78	2.49	3.74	
Ho	0.82	0.89	0.61	0.61	0.78	0.58	0.53	0.77	
Er	2.71	2.89	2.06	2.16	2.47	1.70	1.65	2.62	
Tm	0.41	0.39	0.30	0.35	0.36	0.27	0.24	0.38	
Yb	2.75	2.74	0.30	2.43	2.56	1.91	1.83	2.90	
Lu	0.42	0.42	0.35	0.37	0.39	0.27	0.27	0.42	
REEs	143.46	156.05	105.90	107.39	147.25	87.20	99.39	143.21	
(La/Lu) <sub>n</sub>	6.8	7.6	6.4	6.5	8.2	6.7	7.8	7.2	
(Eu/Eu*) <sub>n</sub>	0.54	0.71	0.93	0.30	0.64	0.94	0.75	0.68	



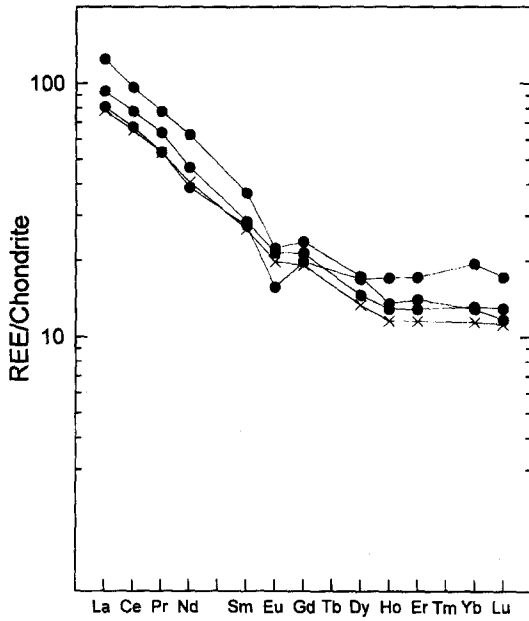


Fig. 7. Chondrite-normalized REE patterns of fallout tuff(X's sign) and ash-flow tuff (solid circle) in the Samrangjin Tuff.

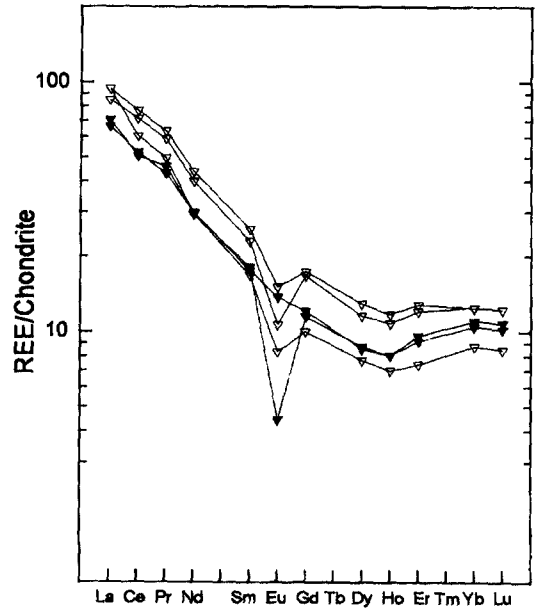


Fig. 9. Chondrite-normalized REE patterns of rhyodacite porphyry (reverse open triangle), and porphyritic dacite and dacite porphyry (reverse solid triangle) in the ring intrusions.

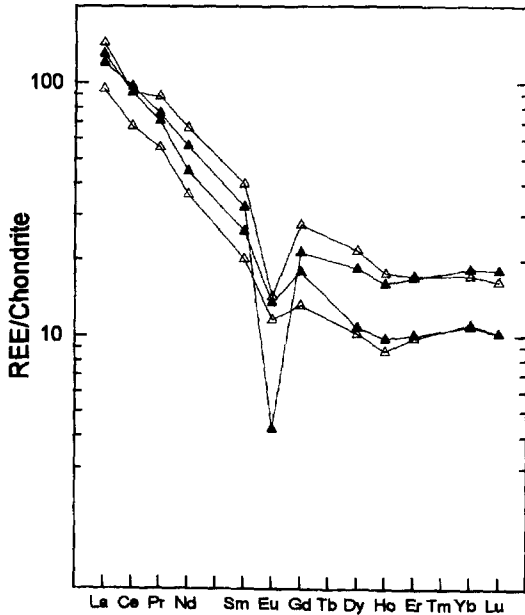


Fig. 8. Chondrite-normalized REE patterns of flow-banded rhyolites in the central intrusion (normal open triangle) and the ring intrusions (normal solid triangle).

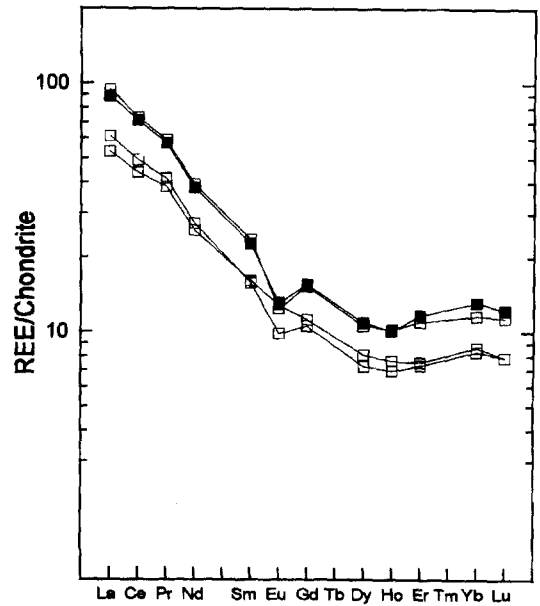


Fig. 10. Chondrite-normalized REE patterns of fine-grained granodiorite (open square) and biotite granite (solid square) in the regional tectonic intrusions.

에 비해 특징적으로 높다(Fig. 11). 삼랑진응회암의 Rb-Sr 동위원소 자료는 비교적 좁은 범위에서 변해

$74 \pm 27(2\sigma)$  Ma의 연대와  $0.7053 \pm 0.0004(2\sigma)$ 의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치가 계산된다. 유문암질암의 Rb-Sr

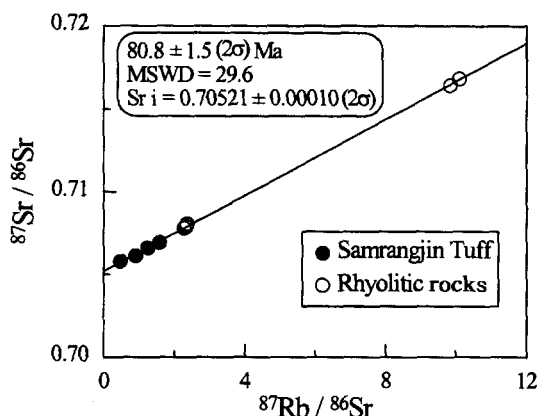
**Table 4.** Sr isotopic data for the typical samples of the rock units associated with the Samrangjin caldera

Sample	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}^*$	Rb(ppm)	Sr(ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$
HM914	0.705798 (6)	50.0	314.7	0.4593
HM943	0.706934 (6)	119.9	220.8	1.5703
HM951	0.706115 (5)	89.0	289.0	0.8906
HM959	0.706597 (6)	106.5	249.0	1.2375
HM972	0.716441 (8)	219.4	64.6	9.8399
HM974	0.707928 (5)	87.6	109.0	2.3252
HM975	0.707810 (6)	148.1	188.8	2.2697
HM977	0.708078 (6)	149.9	184.8	2.3472
HM980	0.716834 (6)	220.5	63.3	10.0926

\*Errors in parenthesis refer to least significant digits and  $\pm 2\sigma$  mean.

동위원소 자료는 비교적 넓은 변화폭을 보여  $80.0 \pm 2.4(2\sigma)$  Ma의 연대와  $0.7053 \pm 0.0002(2\sigma)$ 의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치가 계산된다. 삼랑진응회암과 유문암질암의 연대와  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치는 오차 범위 내에서 서로 같으며 두 암체의 자료를 같이 접시할 경우  $80.8 \pm 1.5(2\sigma)$  Ma의 연대와  $0.70521 \pm 0.00010(2\sigma)$ 의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치를 얻을 수 있다. 이로 보아 삼랑진응회암과 유문암질암의 정치시기는 다소 차이가 있겠지만 대체로 81 Ma로 거의 동시기인 것으로 판단된다. 따라서 이는 마그마의 분출시기를 나타낼 뿐만 아니라 동시에 삼랑진 칼데라의 형성시기로 생각할 수 있다. 또한 삼랑진 마그마체에 속하는 암석단위는 하나의 칼데라유희에 따라 형성되었음(황상구 외, 1998)을 고려할 때 동일한 마그마챔버에서 유래되었음을 지시한다.

### 삼랑진응회암의 변화경향



**Fig. 11.** Plots of Sr isotopic ratios of rock units from the Samrangjin caldera, showing measured  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  versus  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  with 80.8 Ma isochron.

삼랑진응회암은 이동과정 중에 구성물질이 많이 분별되고 속성과정 중에 강한 이동성으로 원소의 손실이 큰 강하응회암을 제외한다면  $\text{SiO}_2$  조성이 67~69% 범위이지만(Table 2) 본 암석단위의 더 자세한 자료에 의한다면 65-72% 범위(미발표자료) 대사이트에서 유문암 성분에 속한다. 본 응회암층은 상부로 가면서 덜 분화된 경향을 나타낸다. 즉 하부는 유문암 성분이고 상부로 가면서 유문대사이트, 대사이트 성분으로 점점 변화한다. 이 연속적인 조성변화는 아마도 하나의 마그마챔버 내에서의 조성분대를 지시한다(예, Smith, 1979; Hildreth, 1979, 1981).

본 삼랑진응회암에 대한 REE패턴은 외류와 칼데라 내부에서 LREE트렌드가 급경사되고 HREE트렌드가 평평하며 Eu의 부 이상이 미약하게 나타난다(Fig. 7). 삼랑진응회암 내에서 REE패턴의 분포차이는 약간의 조성구배를 의미한다. 또한 삼랑진응회암에서 Eu의 부 이상이 미약하게 나타나는 것은 사장석의 분별이 있었음을 지시한다. 이는 아마도 분출전에 챔버 내에서 마그마가 분별결정작용에 의해 조성이 분대되었음을 지시한다.

본 삼랑진응회암에서  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치는  $0.7053 \pm 0.0004$ 이며(Fig. 11), 이는 칼데라 내부의 관입체인 유문암질암의 초기치  $0.7053 \pm 0.0002$ 와 오차범위 내에서 서로 같다. 이와같이 이 두 암석단위 간의 초기치가 같고 화학조성의 변화를 보이는 것은 마그마 챔버 내에서 극부적인 혼염이 거의 없으며 주로 분별결정작용에 의한 분화가 지배하였음을 지시한다.

### 중앙관입체와 환상관입체의 변화경향

중앙관입체는 유대상 유문암으로 구성되며, 환상관입체는 유대상 유문암, 유문대사이트 반암, 그리고 반상 대사이트 및 대사이트 반암으로 구성된다.

중앙관입체의 유대상 유문암은 화학적으로  $\text{SiO}_2$  조성이 70~73% 범위로서 저규산 유문암 성분에 속한다. 환상관입체는  $\text{SiO}_2$  조성이 63~77% 범위로서 대사이트에서 유문암 성분에 속하며, 유대상 유문암(70~76%)이 저규산에서 중규산 유문암 성분, 유문대사이트 반암(68~73%)이 유문대사이트에서 저규산 유문암 성분, 반상 대사이트(63%) 및 대사이트 반암(64%)이 대사이트 성분에 속한다(Table 2). 환상관입체에서 이들 암상 간에는 서로 관입관계를 보여준다. 즉 동측부 환상관입체에서 외연부에 유대상 유문암이 정치되어 있고 내연부에서 유문대사이트 반암이 이를 관입하였다. 북서측 환상관입체에서 외연부에 역시 유대상 유문암이 높이고

그 안쪽으로 반상 대사이트가 관입하였으며 이를 다시 대사이트 반암이 관입하였다. 유대상 유문암이 먼저 관입한 것은 함몰 후에 챔버 내의 마그마의 결정작용이 진행되기 전에 챔버의 지붕 근처로부터 마그마가 중앙화구와 환상열극을 따라 정치되었음을 의미한다. 그러나 중규산 유문암 성분( $\text{SiO}_2$  73~76%)은 환상관입체에만 일부 존재하고 중앙관입체 뿐만 아니라 삼랑진 마그마계 어디에서도 존재하지 않는데, 이는 이미 진화된 마그마가 중앙화구로부터 먼 곳에서 국부적으로 갇혀 있다가 함몰 후에 환상열극을 따라 여과압축작용(filter pressing)으로 주입된 것을 시사하거나 아니면 함몰 후에 챔버 내에서 더 진화된 후에 정치된 것을 암시한다. 이 환상 및 중앙관입체에서 유대상 유문암은 반정이 드물고 결정화가 별로 진행되지 않은 것과 파국적인 화산사건을 고려한다면 전자에 그 원인이 있는 것으로 생각한다. 그리고 환상관입체에서 칼데라 안쪽의 암상이 더 나중에 관입되었으며 반정의 크기와 용적이 크지고 더 결정화된 것은 챔버에서 마그마가 외곽부로부터 점차 냉각고결이 진행된 후에 외연부로부터 보다 안쪽에서 관입되었음을 지시한다. 또한 내연부의 암상이 외연부의 암상보다 덜 규질 성분을 나타내는 것은 챔버에서 마그마의 냉각고결과 더불어 마그마의 출조심도(tapping depth)가 더 깊어졌음을 암시한다. 이러한 양상들은 관입 전에 화학적 조성누대를 보존하고 있던 마그마챔버에서 순차적으로 출조되었다기 때문에 성분이 다른 암석이 나타나게 된 증거인 것으로 생각된다. 그리고 이들 관입체는  $\text{SiO}_2$  조성이 63~76% 범위로서 중간에 조성 공백없이 대사이트에서 유문대사이트, 유문암 성분으로 상호 연속적인 조성변화를 나타낸다. 이 연속적인 조성변화는 아마도 동일한 마그마 챔버 내에서 마그마진화가 있었음을 암시한다.

이 관입체에서 암석단위들은 REE패턴에서도 조성구배와 마그마진화를 살펴볼 수 있다. 중앙관입체와 환상관입체에서 유대상 유문암은 LREE트렌드가 급경사되고 HREE트렌드가 평평하며, Eu의 부 이상이 깊게 나타난다(Fig. 8). 이러한 패턴은 유대상 유문암 내에서 거의 동일한 패턴으로 거의 평행하게 분포되면서 상하로 넓은 폭을 가지는데, 이는 유대상 유문암이 유래한 마그마챔버 상층부에서도 조성구배가 있었다는 것을 지시한다. 그리고 특히 동측부 환상관입체의 외연부에서 유대상 유문암은 Eu의 부 이상이  $(\text{Eu}/\text{Eu})_n=0.16$ 으로서 현저하게 강하는데 이는 아마도 이 암석에서 사장석이 심한 분별로 거의 나타나지 않기 때문인 것으로 보인다.

다. 그러므로 이 조성구배는 분별결정작용으로 일어난 결과라는 것을 유추할 수 있다.

또한 동측부 환상관입체에서 유문대사이트 반암도 마찬가지로 유대상 유문암의 패턴과 평행하며 이들의 하부와 그보다 낮은 부분에 다소 넓은 폭으로 분포된다(Fig. 9). 이는 유문대사이트 반암이 유래한 마그마챔버의 조성부위에서도 조성구배가 있었다는 것을 것을 의미한다. 이 조성부위는 아마도 마그마 챔버에서 유대상 유문암이 유래한 조성부위와 거의 같은 부위와 그 아랫 부위에서 유래되었다는 것으로 생각된다. 여기서도 Eu의 부 이상이 큰 것을 고려한다면 조성구배의 원인은 사장석 분별과 같은 분별결정작용에 의해 일어난 것으로 생각할 수 있다.

그리고 반상 대사이트 및 대사이트 반암 내에서 REE패턴도 마찬가지로 거의 동일한 패턴으로서 위의 암석단위에 평행하게 분포되지만 LREE가 이들보다 낮게 분포되고 HREE가 중간에 분포되어  $(\text{La}/\text{Lu})_n=6.3\sim 6.4$  범위로서 LREE/HREE 비가 삼랑진 마그마계의 어떤 암석단위보다 더 작은 편이며 좁은 폭의 분포를 보인다(Fig. 9). 여기서 이 반상 대사이트 및 대사이트 반암은 그 REE패턴이 다른 암석단위와 거의 같으면서 LREE/HREE 비가 다른 것보다 작은 것은 다른 암석단위보다 덜 진화되었음을 의미하고 동시에 선택적인 원소이동으로 설명될 수 있다. HREE는 특히  $\text{F}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$  이온이 풍부한 유체에서 용해도가 높다(Frynn and Burnham, 1978). 이런 점은 반상 대사이트 및 대사이트 반암이 다른 암석단위에 비해 L.O.I의 함량이 높은 점에서 설명된다. 휘발성분의 기원은 설명되기 어렵지만 산성 마그마챔버에서의 상향확산작용(upward diffusion)에 의해 이동하는 잔류휘발성분(Hidreth, 1981)이 국부적으로 많은데 기인하는 것으로 설명된다. 좁은 폭의 분포는 이 암석단위 내에서 조성구배가 거의 존재하지 않는다는 것을 의미한다. 이러한 사실들은 지금까지의 암석단위보다 더 깊은 조성부위에서 유래되었음을 반영한다.

종합한다면 관입체의 유문암질암은 삼랑진응회암과 화학조성의 변화경향이 중복되거나 거의 일치되며 REE패턴의 모양이 거의 일치되는 양상이고 그 변화폭도 일부 중복된다. 따라서 이 유문암질암은 삼랑진응회암 분출시에 출조되었던 마그마의 잔류체인 것으로 해석된다. 그리고 이 가운데 특히 반상 대사이트 및 대사이트 반암에서 REE패턴은 그 절대량이 삼랑진응회암과 기타 환상 및 중앙관입체에서보다 적기 때문에 이들 패턴과 거의 같은 양상을 보이면서 그 아래에 분포되지만 HREE가 이들

중간에 분포된다(Fig. 9). 이와 같이 HREE가 다소 풍부한 것은 아마도 반상 대사이트 및 대사이트 반암 보다도 다른 암석단위들이 보다 더 분별결정작용으로 분화된 산물임을 의미한다. 왜냐하면 이는  $\text{SiO}_2$ 가 풍부한 규질 마그마에서 분화가 진행될수록 HREE에 대한 분배상수가 상대적으로 큰 저어콘과 각섬석(Henderson, 1984)이 분별결정작용에 의해 분리됨으로서 HREE 절대량이 줄어들기 때문이다. 따라서 이는 세 암석단위 간의 정치의 연속성과 마그마챔버의 순차적인 출조를 고려한다면 분출 전에 마그마챔버의 상부에서 하부로 조성이 누대되었다는 것을 생각할 수 있다. 이 조성누대는 함몰되기 전에 마그마챔버에서 형성되었던 상부쪽으로 더 분화된 조성누대가 함몰 후에도 계속 유지되었을 것이다.

유문암질암에서의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치는 0.7053이며 이는 오차 범위 내에서 삼랑진응회암과 같다. 그러므로 이는 동일 기원의 마그마에서 유래되었음을 지지하며 동일 마그마챔버에서 분별결정작용에 의해 조성이 누대되었다는 것을 내포하고 있다.

### 광역구조 관입체의 변화경향

광역구조 관입체는 세립질 화강섬록암과 흑운모 화강암으로 구성된다. 이 관입체는  $\text{SiO}_2$  조성이 55~74% 정도이며(Table 2) 주원소가 본역의 다른 암석단위의 변화경향과 거의 일치한다. 그러나 이는  $\text{SiO}_2$ 가 감소되면서  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$ , MgO와 CaO 조성구배가 훨씬 커지고 세립질 화강섬록암에서 고철질 성분이 높고 규장질 성분이 매우 낮다(Fig. 5). 그리고 REE 패턴과 Eu 부 이상은 삼랑진응회암과 매우 유사하며 이들의 조성범위가 삼랑진응회암보다 낮고 칼데라 내의 관입체와 같은 범위이다(Fig. 10). 그러나 이 관입체는 삼랑진 마그마계의 다른 암석단위와 시공간적으로 다른 점을 고려한다면 삼랑진 칼데라 내에서의 칼데라유회에 따른 관입활동이 끝난 후에 삼랑진 마그마계와 시공간적으로 무관하게 정치된 관입체라는 것을 의미한다. 따라서 이 관입체는 삼랑진 칼데라에 인접하여 존재하고 그 화학적 성질과 변화경향이 유사할지라도 그 기원 혹은 진화과정이 다소 다를 것으로 생각되니 이에 대한 연구가 필요하다고 본다.

### 진화 고찰

삼랑진 마그마계는 삼랑진 칼데라를 형성하였고 이 칼데라를 형성한 대규모의 회류분출은 그 아래

마그마챔버의 칼크알카리 마그마로부터 유래되어 삼랑진응회암을 형성하였다. 이때 이 마그마는 조성이 총상으로 분대되어 있었다. 칼데라함몰 후에도 마그마챔버에서 조성누대가 유지되었으며 출조되는 조성범위가 좀 더 넓어졌다. 이렇게 조성누대된 마그마챔버 상측부로부터 유대상 유문암이 칼데라의 환상단열대를 따라 맥상으로 관입되었다. 그리고 이 칼데라 아래의 마그마챔버 외연부로부터 안쪽으로 냉각고결이 진행되면서 기존의 환상단열대가 다시 벌어져서 이 틈을 따라 유문대사이트, 반상 대사이트 및 대사이트 반암이 위치에 따라 여러 가지 암상의 맥상으로 정치되었다. 이러한 삼랑진 마그마계의 화성활동 후에 이 칼데라에 인접하여 삼랑진 마그마계와 다른 광역구조 관입체가 북서-남동 방향의 어영단층대를 따라 정치하였다.

그러면 이러한 주요 화성사건에 따라 나타났던 화성계(igneous system)를 중심으로 삼랑진 마그마계의 마그마챔버 내에서 존재했던 마그마의 조성누대와 진화에 대해 알아본다.

삼랑진응회암의  $\text{SiO}_2$  조성이 연속적인 스펙트럼을 이루는 것에 의하면 마그마챔버 내에서 조성누대는 이의 지붕에서 아래로 향하여 유문암, 유문대사이트와 대사이트 성분으로 마그마조성이 점이적으로 성층화되었음을 유추할 수 있다. 이러한 조성누대는 삼랑진 마그마계의 전부를 나타내지는 않는 것 같다. 왜냐하면 조성누대된 마그마기둥(magma column) 중에서 분출되지 않은 아랫부분이 크게 남아 있기 때문이다. 그러므로 함몰된 후의 마그마챔버로부터 출조된 여러 암석단위의 화학조성, 분포위치와 정치순서에 의하면 이때도 마그마챔버에서의 조성이 체계적으로 누대되어 있었다는 것 뿐만 아니라 이 마그마기둥의 더 깊은 부분까지의 정보와 함몰전에 출조하지 못한 윗부분의 정보를 제공한다. 마그마챔버로부터의 분출되각은 흔히 안정된 방출의 하향출조(downward tapping)에 의해서 일어나는 경우가 많지만 방출물의 급격한 증가로 전암층에서의 조성단절(compositional gap)을 초래하면서 일어날 경우도 있다(Spera *et al.*, 1986). 그러나 삼랑진응회암을 형성시켰던 대부분의 마그마는 함몰된 후에도 칼데라 아래 마그마챔버 내에 남아 있을 수 있었다.

삼랑진 칼데라 내의 관입체는 칼데라 함몰 후에 외연부에서 안쪽으로 순차적으로 정치되었고, 칼데라유회에 있어서 함몰 후에, 삼랑진응회암을 분출시킨 챔버 내에서의 마그마 정보에 대한 시료가 된다. 함몰후 관입체로서 유대상 유문암에서 나온 화

학적 자료는 이 관입체를 정치시킨 마그마가 챔버의 상부에서 출조되었다는 것을 앞에서 토의한 바 있다 이곳에서 유대상 유문암이 출조된 조성대는 이미 삼랑진용회암이 출조된 조성대(compositional zone)보다 윗 부분에서 출조된 것도 동시에 나타난다. 이 조성대의 출조는 마그마챔버의 상측부에서 쉽게 이루어질 것으로 생각된다. 왜냐하면 이 조성대는 상측부의 지붕 근처에 국부적으로 존재할 수도 있으며 이 부분이 칼데라함몰로 형성된 환상단열대의 아랫 입구에 해당되거나 중앙화구로 쉽게 연결되어 압력에 의해 쉽게 밀려 올라갈 수 있기 때문이다. 그리고 이후에 이 조성대는 다음 정치된 유문대사이트 반암의 화학조성( $\text{SiO}_2$ , 68~73%)으로부터 아래로 연속된다는 것을 알 수 있다. 유문대사이트 반암은 유대상 유문암이 출조되었던 조성대보다 더 아래에 존재했던 조성대로부터 출조되었다(Fig. 12). 이 조성대는 삼랑진용회암이 출조되었던 조성대와 거의 같은 부위이다. 이 부위의 마그마는 동측부 환상단열대가 유대상 유문암의 정치 후에 그 안쪽이 다시 벌어질 때 통로가 되어 쉽게 밀려 올라왔을 것이다.

또한 이 조성누대는 아마도 대사이트 성분으로 연속되었을 것으로 생각된다. 이의 증거로서는 북서측 환상단열대에 유대상 유문암이 정치된 후에 이 안쪽에 정치된 반상 대사이트 및 대사이트 반암이 된다. 이 관입체는 작지만  $\text{SiO}_2$  조성이 63~64% 범위로서 안산암에 가까운 대사이트 성분에 해당된다. 이들은 안쪽으로 향하여 반상 대사이트와 대사이트 반암 순으로 정치되어 있고 안쪽 관입체에서 결정이 매우 풍부하고 상대적으로 더 조립질이다. 이 양자 간에는 점이적이지 않고 각력암이 존재한다. 이러한 관계는 유대상 유문암이 먼저 정치한 후에 반상 대사이트와 대사이트 반암이 순차적으로 정치되었음을 암시한다. 그러므로 이 해석은 마그마챔버에서 유문암과 유문대사이트 조성대가 상부에 존재하고 그 아래에 대사이트 조성대가 존재한다는 것으로 유추할 수 있다. 이는 조성이 서로 다른 관입체가 정치 전에 화학적으로 조성누대된 하나의 마그마챔버에서의 다른 조성대에서 유래되었음을 의미할 뿐만 아니라 시간의 경과에 따라 출조 심도가 더 깊어졌다는 것을 의미한다. 이때 보다 심부에 존재하는 대사이트 조성대로부터 출조될려면

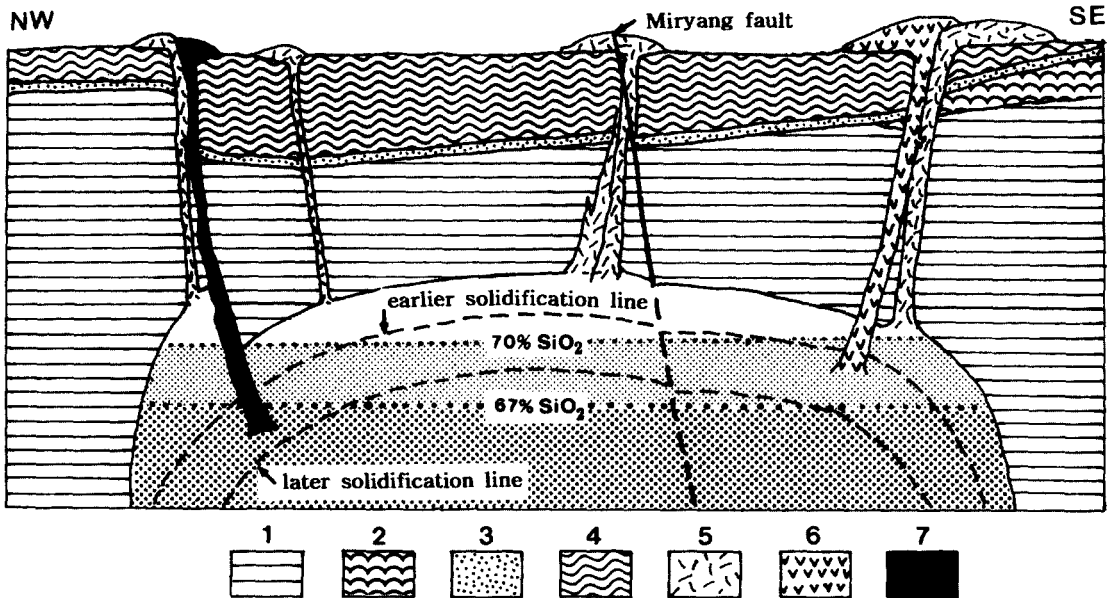


Fig. 12. Schematic NW-SE cross section through Samrangjin caldera and its subjacent magma chamber showing hypothetical changes in chemical composition and depth of crystallization with time. 1, Chusasan andesitic rocks; 2, Wondong Tuff; 3-4, Samrangjin Tuff (3, fallout tuff; 4, ash-flow tuff); 5-7, rhyolitic rocks (5, flow-banded rhyolite; 6, rhyodacite porphyry; 7, porphyritic dacite and dacite porphyry). The heavily dotted part of the chamber is dacitic magma; lightly dotted part is rhyodacitic magma; nondotted part is rhyolitic magma. Horizontal dotted lines show specific boundary of silica gradient in the vertically zoned chamber. Curved dashed lines show depth to residual magma with time.

환상단열대의 아랫 입구가 삼랑진응회암이나 기타 관입체가 출조될 때의 입구보다 더 깊었을 것으로 생각된다(Fig. 12).

삼랑진응회암, 중앙관입체와 환상관입체를 종합한다면 이는 마그마챔버 내에서 조성대가 수직으로 다르게 놓였을 것으로 생각된다. 즉 마그마챔버의 지붕에서 아래로 조성누대는 유문암, 유문대사이트와 대사이트 성분 순의 층상으로 누대되었을 것으로 생각된다. 여기서 이 조성대는 아마도 합몰전의 조성대가 유지되지만 윗 부분과 아랫 부분의 조성 범위가 더 확대된 양상을 나타낸다. 즉 합몰 후의 잔류마그마 조성 범위는 삼랑진응회암 분출에도 불구하고 윗 부분의 유문암 성분이 챔버의 지붕 근처에 국부적으로 남아 있었고 그 아랫 부분이 완전히 소모되지 않고 남아 있었으며 더 깊은 조성대로까지 출조될 기회가 제공되었다. 또한 반상 대사이트 및 대사이트 반암이 비록 소규모로 산출되지만 이와 같은 대사이트 조성을 갖는 마그마는 삼랑진 마그마계의 여러 암석단위를 출조시켰던 마그마챔버 아랫 부분에 보다 크게 존재했을 것으로 생각된다.

삼랑진 마그마계의 산성 마그마는 대사이트질 마그마로부터 진화된 것으로 생각되지만 이의 모그마는 더 고철질이라고 생각할 수도 있다. 삼랑진 마그마계에서  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치는 0.7053로서 맨틀 기원의 암석에 대한 최고한정값 0.706(Chappel and White, 1974)보다는 낮다. 이는 일차마그마가 아마도 맨틀 기원의 칼크알카리 마그마로부터 주로 분별결정작용에 의한 진화과정을 겪었다는 것을 지지한다(황상구와 김상욱, 1994b). 삼랑진 마그마계에서 각 암석단위의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치가 같고 조성 차이가 큰 것은 본 칼크알카리 마그마가 분별결정작용에 의해 분화되었음을 지지한다. 이러한 초기치는 더군다나 마그마가 챔버지붕(chamber roof) 혹은 챔버벽(chamber wall) 근처에서 출조되었어도 서로 같다. 이는 마그마가 챔버 내에서 분별결정작용 동안에도 벽암과 상호작용으로 국지적인 혼염이 거의 일어나지 않았음을 나타낸다. 왜냐하면 지역적으로 특히 마그마챔버의 지붕과 벽에서 유래된 암석에서조차도  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치가 동일한 값을 나타내기 때문이다.

지하천부 마그마챔버로 인도된 대사이트질 마그마는 마그마챔버 주변의 벽암보다 더 고온이고 부력이 있다. 여기서 계속적인 분별결정작용으로 각 섭석과 사장석 등의 조기 결정들은 가라앉아 하부에 자리잡고 상대적으로 후기에 알카리 장석과 석영으로 정출될 잔류 용융물은 상부로 이동하게 되

어 상하로 조성분리를 일으킨다. 따라서 이 마그마 챔버는 보다 고철질의 대사이트질 마그마가 하부에 자리잡고 보다 진화된 유문암질 마그마가 상부에 차례로 차지하여 성층화된 조성누대를 형성할 것이다. 이때 분별결정작용에 의한 결정분리로 용융물 내에는 Eu 원소가 고갈되고 기타 희토류원소가 농집되며 동시에 호정성원소가 고갈될 것이다. 이와 더불어 완전 결정화되기 전의 용융물은 부수적으로 챔버벽 가까이에서조차도 지각물질과의 동화작용을 무시할 정도이다. 이러한 과정이 연속적으로 일어난으로써 삼랑진 마그마계의 화성암류의 마그마 진화를 설명할 수 있다.

그러나 광역구조 관입체는 대개 화학적 성질과 변화경향에서 거의 같은 거동을 나타내지만 다른 암석단위들과 약간의 차별성을 보이고 칼데라 밖에서 삼랑진 마그마계보다 후기에 어영단층을 따라 정치되었다. 이러한 점을 고려한다면 이 관입체를 유래시킨 마그마의 성인과 진화가 다를 것으로 생각되며 앞으로 이를 설명하기 위해서 더 많은 자료가 요구된다.

## 결 론

삼랑진 칼데라에는 칼데라를 형성시킨 삼랑진응회암이 보존되어 있고 합몰후 중앙 및 환상관입체로서 정치된 유문암질암과, 후기 광역구조 관입체로서의 세립질 화강섬록암 및 흑운모 화강암이 노출된다. 환상관입체에서의 유문암질암은 유대상 유문암이 외연부에 정치되고 그 안쪽에 이 관입체를 따라 유문대사이트 반암 혹은 반상 유문암 및 대사이트 반암이 순차적으로 정치되어 있다.

삼랑진 마그마계에 속하는 삼랑진응회암과 유문암질암은 이들의 Rb-Sr 동위원소 자료로부터  $80.8 \pm 1.5(2\sigma)$  Ma의 연대와  $0.70521 \pm 0.00010(2\sigma)$ 의  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기치를 얻었으며 화학조성으로부터 유문암으로부터 유문대사이트, 대사이트 성분으로의 연속적인 조성변화를 읽을 수 있다. 이 연속적인 조성변화는 합몰된 후에 마그마챔버의 지붕에서 아래로 유문암, 유문대사이트, 대사이트 성분 순으로 누대되었음을 지지하며, 유문암 성분은 합몰 후 마그마챔버에서 지붕 근처의 조성대를 지지하고 대사이트 성분은 가장 깊은 출조 심도를 지지한다.

이러한 조성누대와 동위원소 초기치는 삼랑진 마그마계의 화성암류는 마그마챔버에서 칼크알카리 마그마가 지각혼염없이 주로 분별결정작용에 의한 분화과정을 겪었음을 지지한다. 그러나 광역구조

관입체는 시공간적으로 무관하게 정지되어 있는 점에 의하면 보다 후기에 삼랑진 마그마체와 다르다는 것을 의미하는데 앞으로 이에 대한 연구가 필요하다.

## 사 사

본 연구는 한국학술진흥재단 공모과제 연구비(과제번호: 1997-002-D00295)의 지원에 의해 수행되었다. 본 논문의 심사과정을 통하여 세심한 비평과 건설적인 의견을 해주신 연세대 권성택 교수님, 부산대 김진섭 교수님, 한자연 윤현수 박사님께 감사드린다. 그리고 실내실험에서 안동대학교 암석학실의 김상호 대학원생의 도움이 있었다.

## 참고문헌

- 김규봉, 황상구, 1988, 밀양도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소, 26p.
- 김규한, 이진수, 1993, 경상퇴적분지 내에 분포하는 백악기 화산암류의 암석지구화학적 연구. 지질학회지, 29, 84-96.
- 김상욱, 이영길, 1981, 유천분지 북동부 백악기 화산암류의 화산암석학 및 지질구조. 광산지질, 14, 35-49.
- 김상욱, 황상구, 이윤중, 이재영, 고인석, 1998, 북부 유천소분지에 분포하는 백악기 화산암류에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 7, 27-36.
- 김상욱, 이재영, 김영기, 고인석, 1991, 남부 유천소분지에 분포하는 백악기 화산암류의 암석학적 특징. 지질학회지, 27, 24-39.
- 김춘식, 윤성효, 정창식, 1998, 신불산-영취산 일대에 분포하는 백악기 화산암류의 화산 층서와 암석학적 연구. 지질학회지, 34, 136-154.
- 이상단, 김상욱, 진명식, 1987, 남한의 백악기 - 제삼기 화성활동과 지구조적 의의. 지질학회지, 23, 338-359.
- 이현구, 김상중, 윤혜수, 최위찬, 송영수, 板谷徹丸, 1993, 경북 의성 남동부에 분포하는 금성산 화산암류의 K-Ar연대와 그 주변의 광화시기. 광산지질, 26, 445-454.
- 황상구, 1996, 양산칼데라에 관련된 화산암류의 암석학적 진화. 지질학회지, 32, 22-36.
- 황상구, 1998, 양산서부 원동칼데라의 진화와 유형. 지질학회지, 34, 20-32.
- 황상구, 김상욱, 1990, 밀양-양산 간의 칼데라를 동반한 화쇄용회암. 지질학회지, 26, 329-340.
- 황상구, 김상욱, 1992, 양산칼데라의 규질 화산작용. 지질학회지, 28, 491-503.
- 황상구, 김상욱, 1994a, 밀양 - 양산지역 백악기 화산암류의 암석학적 연구(I): 암석조구조적 위치. 지질학회지, 30, 229-241.
- 황상구, 김상욱, 1994b, 밀양 - 양산지역 백악기 화산암류의 암석학적 연구(II): 암석성인. 지질학회지, 30, 563-577.
- 황상구, 김상욱, 이윤중, 1998, 삼랑진 칼데라의 화산작용과 화성과정, 암석학회지, 7, 146-159.
- Chappel, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite types. Pac. Geol., 8, 173-174.
- Flynn, R.T. and Burnham, C.W., 1978, An experimental determination of rare earth partition coefficients between a chloride containing vapor phase and silicate melts. Geochim. Cosmochim. Acta, 42, 679-684.
- Henderson, P. 1984, Rare earth element geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 510p.
- Hildreth, W., 1979, The Bishop Tuff: Evidence for the origin of compositional zonation in silicic magma chamber. Geol. Soc. Am. Special Paper 180, 43-75.
- Hildreth, W., 1981, Gradients in silicic magma chamber: Implications for lithospheric magmatism. J. Geophys. Res., 86, 10153-10192.
- Hwang, S.K. and Kim, S.W., 1998, Volcanic evolution of the Samrangjin caldera, southern Miryang, Korea. 7th Annual Meeting of the Petrol. Soc. Korea, p15.
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R., 1971, A guide to the chemical classification of the common igneous rocks. Can. J. Earth Sci., 8, 523-548.
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986, A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali - silica diagram. J. Petrol., 27, 745-750.
- Ludwig, K.R., 1994, ISOPLOT - A plotting and regression program for radiogenic isotope data. version 2.71. USGS Open File Rep., 91-445.
- Smith, R.L., 1979, Ash-flow magmatism. Geol. Soc. Am. Special Paper 180, 5-27.
- Smith, R.L. and Bailey, R.A., 1968, Resurgent cauldrons. Geol. Soc. Am. Mem., 116, 613-662.
- Spera, F.J., Yuen, D.A., Greer, J.C. and Sewell, G., 1986, Dynamics of magma withdrawal from stratified magma chambers. Geology, 14, 723-726.

### (책임편집 : 권성택)

(1998년 10월 5일 접수, 1998년 11월 15일 수리)

## Magmatic evolution of igneous rocks related with the Samrangjin caldera, southeastern Korea

Sang Koo Hwang and Chang Sik Cheong<sup>1</sup>

*Department of Geology, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

*<sup>1</sup>Korea Basic Science Institute, Eoeun-dong 52, Yuseong-gu, Taejeon, Korea*

**Abstract :** There are exposed Samrangjin Tuff and intracaldera intrusions, of which rhyolitic rocks emplaced as postcollapsed central and ring intrusions within the Samrangjin caldera, and fine-grained granodiorite and biotite granite as regional tectonic intrusions nearby. The Samrangjin Tuff and the rhyolitic rocks are of a single Samrangjin magmatic system. Flow-banded rhyolite among rhyolitic rocks was emplaced in the outer part of the ring intrusions, rhyodacite in the inner part of the eastern ring, and porphyritic dacite and dacite porphyry in the inner part of the northwestern ring. Totally the Samrangjin Tuff and the rhyolitic rocks range from rhyolite to dacite in chemical composition. The Rb-Sr isotopic data of the Samrangjin Tuff and the rhyolitic rocks yield an age of  $80.8 \pm 1.5 (2\sigma)$  Ma with the initial  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio of  $0.70521 \pm 0.00010 (2\sigma)$ . The continuous compositional zonations generally define a large stratified magma system in the postcollapse magma chamber. The Sr isotopic data suggest that the compositional zonations might have resulted from the fractional crystallization of a parental dacitic magma.

**Key words :** Intracaldera intrusions, Samrangjin magmatic system, compositional zonation, magma chamber, fractional crystallization.