

방어진 화강암에 나타나는 라파키비 조직의 성인에 관한 연구

진미정* · 김종선 · 이준동

부산대학교 지질학과

Study on the Origin of Rapakivi Texture in Bangeojin Granite

Mi-Jeong Jeon*, Jong-Sun Kim and Joon-Dong Lee

Department of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

요약: 울산시 동구에 위치하는 방어진 지역의 화강암에는 라파키비 조직의 장석반정이 산출된다. 라파키비 조직의 알칼리 장석 부분은 분홍색을 띠고 이를 둘러싸는 사장석 부분은 하얀색을 띠기 때문에 육안으로도 라파키비 조직을 쉽게 관찰할 수가 있다. 또한 방어진 화강암에는 특징적으로 염기성 미립포획암이 많이 포함되어 있는데 이를 포함한 5가지의 암상, (1) 염기성 미립 포획암이 거의 없는 지역에서의 화강암(EPG), (2) 염기성 미립 포획암이 풍부한 지역에서의 화강암(ERG), (3) 염기성 미립 포획암(MME), (4) 염기성 미립 포획암과 화강암사이의 혼성대(HZ), (5) 혼성대와 유사하지만 독립된 형태로 나타나는 포획암(HLE)이 관찰된다. 그리고 라파키비 조직은 이 5가지 암상 모두에서 나타나며 형태와 크기는 각 암상에서 차이가 없다. 조직에 있어서도 2 mm 이내의 두께로 나타나는 사장석 맨틀이 덴드리틱 조직을 보이는 점이 5개의 암상에서 모두 관찰된다. 이는 라파키비의 형성환경에 대한 중요한 지시자로서 맨틀링이 일어나던 당사가 과냉각 환경이었음을 의미한다. 한편, 화강암 내에 염기성 미립 포획암이 나타나는 것은 마그마 혼합환경이었음을 지지하고 MME내에 라파키비와 유사한 다른 광물의 맨틀링 현상이 관찰되는 것은 마그마 혼합환경이 맨틀링을 일으키기 적절한 환경이었음을 나타낸다. 또한 혼성대(HZ)에서 라파키비 반정이 풍부하며 이 반정들이 MME로 유입되는 현상이 관찰되는 점은 혼합시 물질의 이동 및 성분의 이동이 있었음을 지시한다. 이러한 마그마 혼합성인은 5개의 암상내에 불균질하게 분포하는 라파키비 반정의 분포를 잘 설명해 준다. 그러므로 방어진 지역 화강암 내의 라파키비 조직은 이 지역에 일어났던 마그마 불균질 혼합작용과 이 작용에 수반된 과냉각 및 물질의 이동에 의해 형성된 결과로 판단된다.

핵심어: 라파키비, 혼성대, 덴드리틱, 과냉각, 마그마 혼합

Abstract: Phenocrysts with rapakivi texture are easily observed in Bangeojin granite. The rapakivi texture is composed of inner pinkish alkali feldspars and white-colored mantling plagioclase. The Bangeojin granite distinctively includes lots of mafic microgranular enclaves and can be divided into five rock facies: (1) enclave-poor granite (EPG); (2) enclave-rich granite (ERG); (3) mafic microgranular enclave (MME); (4) hybrid zone between mafic microgranular enclave and granite (HZ); (5) hybrid zone-like enclaves (HLE). The rapakivi textures are observed in these five rock facies with no difference in shape and size. Plagioclase mantle commonly shows dendritic texture that is an important indicator to know the rapakivi genesis. The mantling texture would indicate supercooling condition during magma solidification process. In addition, mafic microgranular enclaves would imply the magma mingling environment. The magma mixing process had possibly caused the mantling texture. An abundance of rapakivi phenocrysts in HZ and the influxing phenomenon of the phenocrysts into MME support that there were physical chemical exchanges during the mingling. And this model of the magma mixing/mingling explain well the heterogeneous distribution of the rapakivi phenocrysts in the five rock facies. Therefore the rapakivi textures in the Bangeojin granite would have been formed by magma mixing process.

Key words: rapakivi, hybrid zone, dendritic, supercooling, magma mixing

*Corresponding author: Tel. 82-51-510-2184, E-mail. mjjeon@popdesk.co.kr

서 론

라파키비(rapakivi) 조직이란 알칼리 장석 반정을 사장석이 둘러싸고 있는 조직을 말하며 그동안 경상분지에 분포하는 여러 화강암체(연양 화강암: 김재영, 1991; 양산 화강암: 김창호, 1993, 진미정 외, 2000; 남해 화강암: 이미려, 1997; 거제도 화강암: 김종선 외, 1998; 방어진 화강암: 김종선 외, 2000; 보현산 화강암: 좌용주와 김건기, 2000; 유천 화강암: Shin, 2001)에서 라파키비 조직이 보고되었다. 라파키비 조직에 대한 연구는 Sederholm(1891)이 페노스칸디안(Fennoscandian) 라파키비 화강암에서 라파키비 조직을 보고함으로써 진행되어왔고 그 이후 라파키비 조직을 형성시키는 과정에 대한 다양한 성인들이 제시되었다. 퇴적구조의 변형(Elliston, 1985), 재흡수-내부충진(resorption-infilling: Stull, 1978, 1979), 신뉴시스(syneusis) 모델(Holmquist, 1901; Wahl, 1925; Hibbard, 1979), 알칼리 장석의 치환(Hawkes, 1967), 평형상태의 이동(von Wolf, 1932; Wager *et al.*, 1965), 휘발성분의 결핍(Terzaghi, 1940; Stewart, 1956), P_{H_2O} 의 증가(Tuttle and Bowen, 1958), 등압결정화(isobaric crystallization: McDowell, 1978), 부분적인 재흡수와 결정화(Whitney, 1975) 등의 성인이 논의되어 왔다.

그동안 보고된 라파키비 조직에 대한 성인들은, Hibbard(1981)와 Emslie(1991) 및 Rämö and Haapala(1995)에 의해 재검토됨으로써 아래에 제시된 몇가지 성인으로 정리되었다. Haapala and Rämö(1999)는 라파키비의 성인을 크게 2가지, 마그마 혼합(magma mixing)과 아등온 감압(sub-isothermal decompression)의 결과로 보았으며, Eklund and Shebanov(1999)는 마그마 혼합, 용리(exsolution), 아등온 감압의 3가지 성인으로 논의하였다.

방어진 화강암체에는 경상분지에 분포하는 다른 화강암체에 비해 라파키비 조직이 잘 나타난다. 육안으로 구별할 수 있을 정도(5~20 mm)의 크기를 가지고 있으며 알칼리 장석과 이를 둘러싼 사장석이 색깔구별이 되므로, 이 지역에서 라파키비 조직을 찾는 것은 무척 용이하다. 또한 방어진 화강암은 기존의 연구(김종선 외, 2000)에서 밝힌 것처럼 다양한 크기의 염기성 미립 포획암(mafic microgranular enclave, 이하 MME)을 다량 함유하고 있는 지역인데, 이 MME 내에도 라파키비 조직의 반정들이 함유되어 있다. 위에서 제시된 성인적 논의를 재고하기 위해 (1) 염기성 미립 포획암이 거의 없는 지역에서의 화강암(EPG), (2) 염기성 미립 포획암이 풍부한 지역에서의 화강암(ERG), (3)

MME, (4) MME와 화강암 사이의 혼성대(HZ) (5) 혼성대와 유사하지만 독립된 형태로 나타나는 포획암(HLE), 이렇게 5가지로 암상을 구별하여 관찰하였다(Fig. 1, Fig. 2). 일반적으로 라파키비 조직은 화강암에 흔하게 관찰되는 조직은 아니지만(Nekvasil, 1991) 경상분지 여러 지역에서 라파키비 조직이 발견된다는 것은 라파키비 조직이 경상분지 화강암의 성인 연구에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 그러므로 이번 연구는 라파키비 조직 연구를 통해 경상분지 화강암의 성인을 해석하는 계기가 될 것이다.

지질개요

연구 지역은 경상분지의 동남부해안에 위치하고 있다. 경상누층군 하양층군의 울산층과 이를 관입 또는 분출한 유천층군의 유문데사이트, 그리고 불국사 화강암류인 반상 혹은모화강암으로 구성되어 있으며, 이를 제3기의 당사 안산암과 정자역암이 관입 및 피복하고 있다. 울산층은 적색 및 회색세일, 사암, 니질암, 역암 등의 호층과 백악기 말엽의 화성활동에 의한 집축변성 작용으로 변질된 호온펠스로 구성되어 있다(박양대와 윤형대, 1968a, b)(Fig. 1).

연구지역에 분포하는 반상 혹은모화강암은 길이 7 km, 평균폭 3 km의 암주상 암체로서 모드 분석시 화강암 영역에 도시되는 칼크-알칼리 계열의 I형 화강암이다(김종선 외, 2000). 손문과 김인수(1994)의 연구에 의하면 방어진 화강암은 주향이동성 남서방향의 단층(미포단층)에 의해 잘려지며 약 1 km 우향변위 되어있다고 보고하였다. 그리고 이 단층을 경계로 서편에는 포획암이 거의 나타나지 않지만 동편에는 포획암(enclave)이 밀집되어 있으며, 포획암에는 염기성 미립 포획암에 해당하는 A-형 및 B-형 포획암과 산성 미립 포획암이 나타남을 소개하였다(김종선 외, 2000). 이들 중 반정을 포함하지 않는 A-형 포획암과 반정을 포함하는 B-형포획암은 염기성 미립 포획암이며 산성 마그마와 염기성 마그마의 불균질 혼합에 의해 형성된 것(김종선 외, 1998; 김종선 외, 2000)으로 보고되었다. 반면 방어진에 나타나는 산성미립 포획암의 성인은 화강암질 마그마의 관입시 급냉된 연변부가 붕괴되면서 모암에 다시 포획되어 형성되었을 가능성과 B-형 포획암의 산성태두리일 가능성 2가지가 제시되었다(김종선 외, 2000).

또한 특성잔류자기 방향연구(손문 외, 1996)에 의한 방어진 화강암의 정치시기는 백악기 말 내지 제 3기초로 알려져 있고, 울산-경주 지역의 화강암체에 대한 K-Ar연대 측정(이종익 외, 1997)결과에 의하면 연구지역

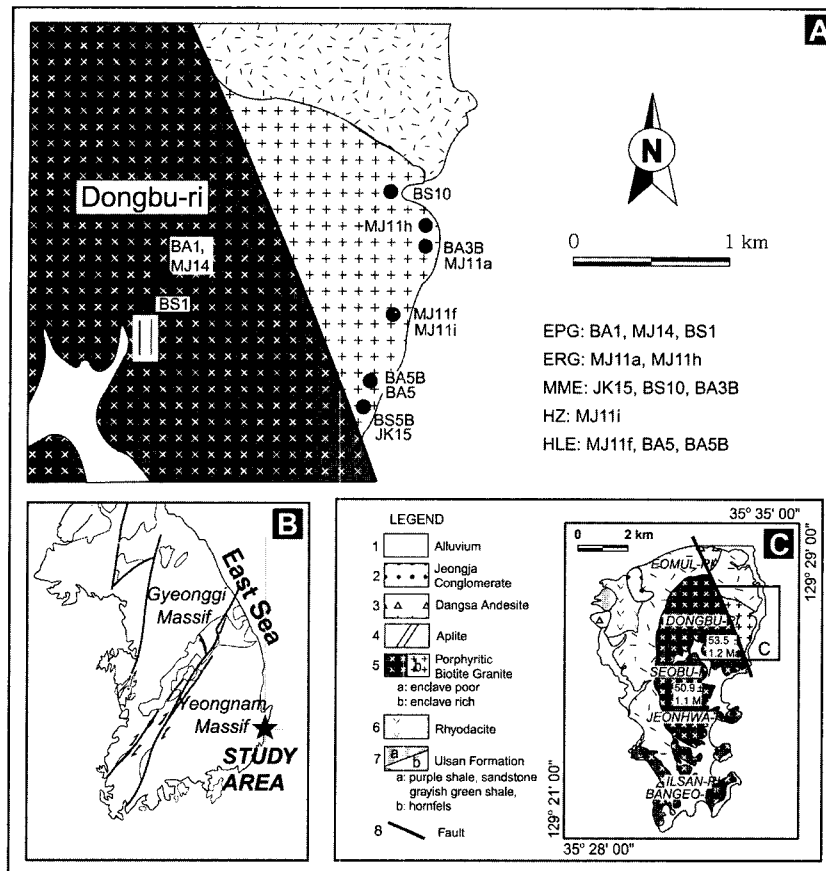


Fig. 1. Geological map of Bangeojin area(modified from Kim *et al.*, 2000). A: site map. B: index map. C: geological map(K-Ar isotope data: from Lee *et al.*, 1997). EPG: enclave-poor granite; ERG: enclave-rich granite; MME: mafic microgranular enclave; HZ: hybrid zone; HLE: hybrid zone-like enclave.

의 주전고개 일원에서 53.5 ± 1.2 Ma, 서부리 일원에서 50.9 ± 1.1 Ma가 보고되었다.

연구방법

다양한 암상에서 나타나는 라파키비 조직의 성인적 연관성을 찾기 위해 5개의 암상(ERG, EPG, MME, HZ, HLE)에 대해 시료를 채취하고 전자현미분석(EPMA)용 박편으로 제작하였다. 제작된 박편은 기초과학연구소 대전본소와 서울대학교 기초과학 교육연구공동기기에 의뢰하여 탄소코팅을 한 후 전자현미분석기에서 분석하였다. 시료번호 182에서 251번은 기초과학연구소 대전본소에서 CAMECA사의 SX51을 사용하여 가속전압 15 kV, 전류값 20 nA에서 측정하였다. 시료번호 1-181번은 서울대학교 기초과학 교육연구 공

동기원에서 JEOL사의 JXA-8900R을 사용하였으며 가속전압은 15 kV, 전류값은 10 nA에서 측정하였다.

전자현미분석기는 가속화된 전자빔을 시료에 충돌시킬 때 발생하는 특성 X-선의 스펙트럼을 측정하여 원소의 함량을 결정하는 방법이다. 이 방법은 원하는 부분의 성분 분석이 가능하므로 라파키비 반정과 같은 광물 조직 연구에 적절한 방법이다. 그리고 사장석과 알칼리 장석은 각각 알바이트와 아놀사이트의 고용체, 알바이트와 울썬클래스의 고용체로 되어있어 성분영역의 변화를 통해 결정화 환경의 변화를 인지하는데 유용한 광물이다. 그러므로 광물 성분의 변화를 통해 형성 환경을 밝히려는 이번 논문의 연구방법에 적합한 광물로 판단되었다.

라파키비 반정의 형성에 관한 성인은, 알칼리 장석 반정이 형성된 이후 알칼리 장석 반정이 재흡수되면서

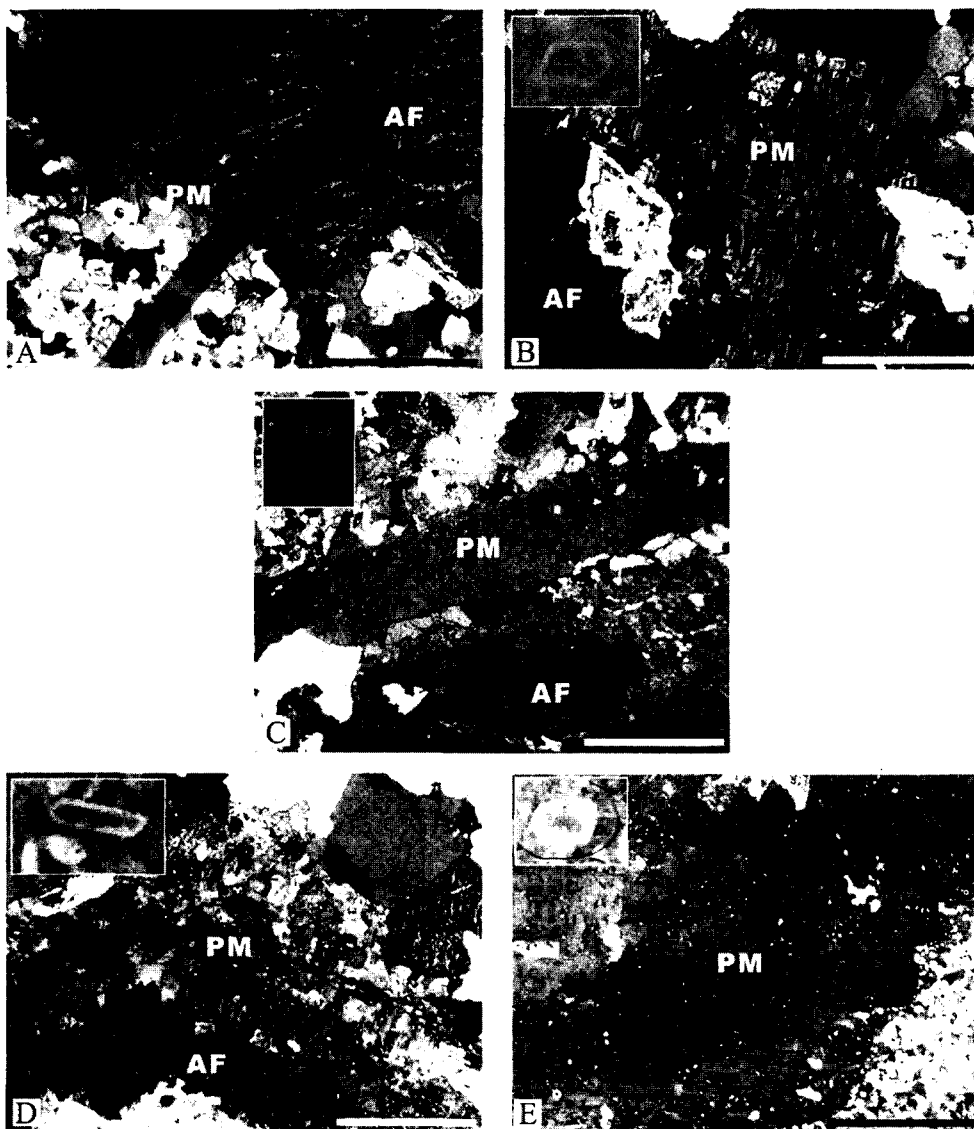


Fig. 2. Dendritic texture of the PM. A: EPG, B: ERG(diameter of the rapakivi phenocryst = 11 mm), C: MME(11 mm), D: HZ(16 mm), E: HLE(12 mm). PM: Plagioclase mantles, AF: Alkali feldspar core of the mantled feldspar Bar scale = 1 mm.

사장석의 정출이 일어난다는 이론이 지배적이다(Emslie, 1991; Rämö and Haapala, 1995). 그러므로 라파키비 반정을 형성시킨 마그마는, 반정 형성 → 반정의 재흡수 및 표면연정(overgrowth)의 형성 → 기질의 형성이라는 3단계를 겪을 것이다. 그리고 이러한 단계 중 표면연정의 형성 단계에서 단지 알칼리 장석에만 사장석의 표면연정이 일어날 것인지에 대한 검증이 필요하므로

사장석 반정의 중심부(core)와 연변부(rim)의 성분을 분석해 보았다. 방어진 화강암을 형성시킨 마그마가 어떤 단계에서 전반적인 표면연정 단계를 거쳤다면 라파키비 반정 뿐 아니라 사장석과 같은 다른 반정에도 표면연정이 일어났을 것이므로 사장석의 연변부 성분이 라파키비의 사장석 부분(plagioclase mantles, 이하 PM)과 조직·성분 면에서 유사한지 함께 분석해 보았다.

대표암상의 암석기재

방어진 화강암은 반상 흑운모 화강암으로써 미포단층을 경계로 서편의 EPG와 동편의 ERG, MME, HZ, HLE를 포함해 5개의 암상이 존재한다.

(1) EPG(MME를 거의 포함하지 않는 화강암)

신선한 곳에서는 유백색, 풍화된 곳에서는 담황색을 띤다. 알칼리 장석, 사장석, 석영, 라파키비를 반정으로 포함하는 반상화강암으로 반정의 함량은 약 5% 정도이다. 사장석 반정은 누대조직이 나타나고 연변부가 중심부에 비해 변질을 적게 받았으며 가끔 취반상 조직(*glomeroporphyritic texture*)을 보이는 경우도 있다. 알칼리 장석은 퍼싸이트 조직이 잘 나타난다. 사장석과 석영 반정의 연변부는 세립의 석영이 둘러싸거나 반정의 연변부를 용식시켜 충전해 있는 듯한 현상이 관찰된다. 기질 사장석은 반자형이며 알바이트 쌍정을 보인다. 라파키비 반정의 PM은 덴드리틱 조직(*dendritic texture*)을 보인다(Fig. 2A).

(2) ERG(MME를 풍부하게 포함하는 화강암)

담적색의 암석이다. 1 mm의 기질에 3~21 mm 크기의 반정을 포함하고 있는 반상조직을 나타낸다. 반정의 함량은 약 10% 가량 되며 사장석, 석영, 알칼리 장석, 라파키비 반정으로 구성된다. 사장석 반정은 비교적 깨끗한 연변부를 가지며 크기가 다양하다. 석영 또한 다양한 크기의 반정으로 포함되어 있다. 알칼리 장석은, 사장석과 석영에 비해 함량이 적지만 비교적 큰 크기로 나타나며 가끔 자형의 것들이 관찰된다. 라파키비 반정의 PM은 덴드리틱 조직을 보인다(Fig. 2B). 기질을 이루는 사장석은 반자형 내지 타형이다.

화강암내에는 미아롤리틱 구조가 관찰되기도 하며 MME 주변으로 페그마타이트 포켓이 많이 관찰된다.

(3) MME(염기성 미립 포획암)

ERG의 모암에 1~1500 cm의 크기로 포함되어 있는 암녹색의 포획암이다. 입자크기는 0.2 mm 이하의 입상 조직이며 사장석의 대부분이 골격 조직(*skeletal texture*)을 보인다. MME는 사장석, 석영, 알칼리 장석, 라파키비 반정을 포함하기도 하는데 반정을 포함하지 않는 것도 있으며 어떤 것은 부분적으로 반정을 포함하는 경우도 있다. 사장석 반정의 성분은 다른 암상에 비해 약간 매퓌하지만 기재적 특성이 화강암 반정 및 혼성대 반정과 유사하고 혼성대에서 MME로 반정이 유입되는 양상이 관찰되는 것으로 볼 때 이 두 암상으로부터

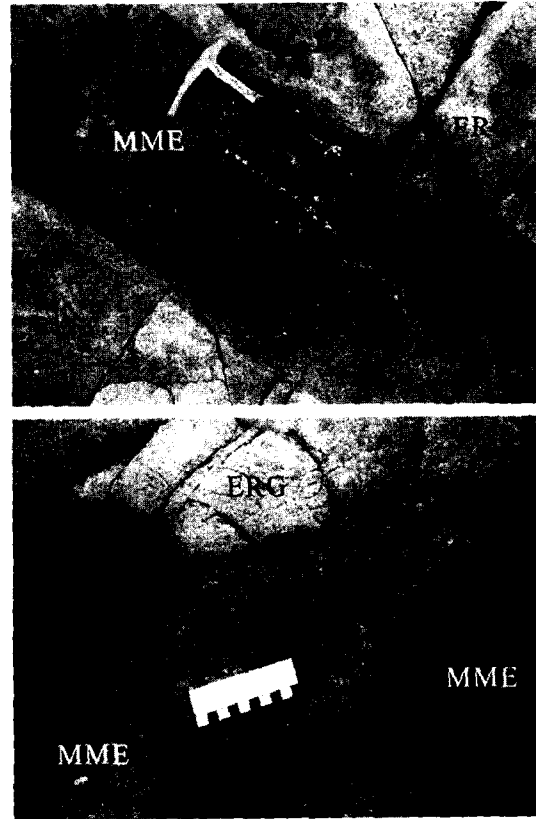


Fig. 3. Transport of phenocrysts from HZ to MME. Abbreviations are same as those Fig. 1.

터 유입된 것으로 보이는 사장석과 알칼리장석, 석영의 반정이 포함되어 있다(Fig. 3). 이 중 사장석은 취반상조직과 세포 조직(*cellular texture*) 및 골격 조직을 보인다. 또한 반정을 많이 포함한 MME일수록 혼성대와 더욱더 유사해지는 경향을 보인다.

MME에 나타나는 라파키비 조직은 다른 암상과 달리 PM이 두가지 양상으로 나타난다(Fig. 4). 덴드리틱 조직을 보이는 사장석의 단일결정이 알칼리 장석을 맨들링하고 있는 양상(Fig. 4A)과 여러개의 자형 사장석들이 알칼리 장석을 맨들링 하고 있는 양상(Fig. 4B)이다. 후자는 Vance(1969)에 의해 신뉴시스 맨들로 보고된 바 있다.

(4) HZ(혼성대)

반정의 밀도가 높은 암상이며 MME를 둘러싸고 있는 형태로 산출된다. 석영, 사장석, 알칼리 장석, 라파키비 반정을 포함하는 반상조직을 보이며 기질부는 0.25~1 mm의 석영, 알칼리 장석, 사장석, 흑운모를 포

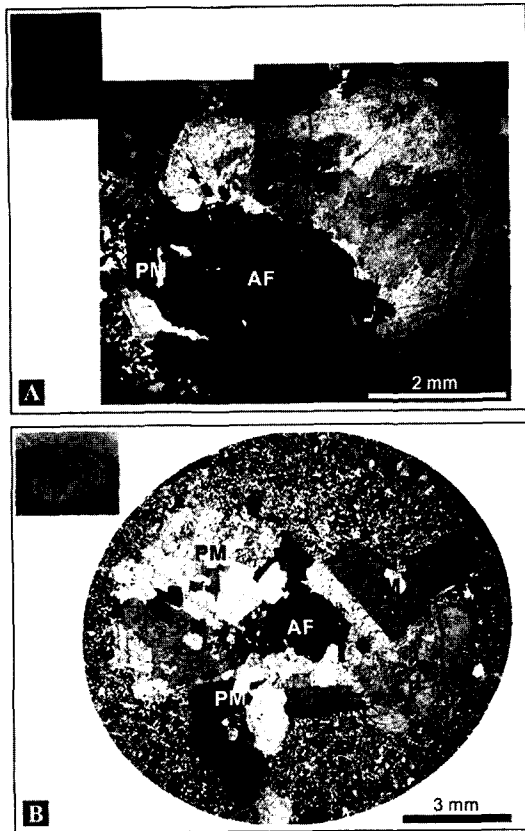


Fig 4. Two type of plagioclase mantle in the MME. A: single crystal mantle, B: synnecrosis mantle. Abbreviations are same as those Fig. 1 and 2.

함한다. 석영반정 주위로는 미문상조직이 발달되어 있다. 사장석 반정은 규모가 큰 박스 형태의 세포조직을 보여주며(Fig. 5A) 사장석 내에는 흑운모와 석영의 포유물을 가지는 것도 있다. 또한 라파키비 조직을 이루는 알칼리 장석과 사장석의 경계부에는 유리(glass)로 추정되는 물질로 채워진 얇은 공간이 형성되어 있다. 다른 어떤 시료보다 라파키비 함량이 높고 형태가 다양하다. 반정 중에는 반자형의 알칼리장석과 장방형(lath)의 사장석이 서로 붙어있는 형태도 관찰되고, 몇 개의 라파키비 반정이 붙어 있는 경우도 관찰되며 알칼리 장석을 사장석이 부분적으로 맨틀링 하는 경우도 관찰된다. PM은 덴드리틱 조직을 보이며(Fig. 2D) 알칼리 장석 반정에는 퍼사이트 조직과 누대가 관찰된다.

(5) HLE(혼성대와 유사하지만 독립된 형태의 포획암) 화강암에 포함되어 있는 포획암의 한 형태이다. HZ

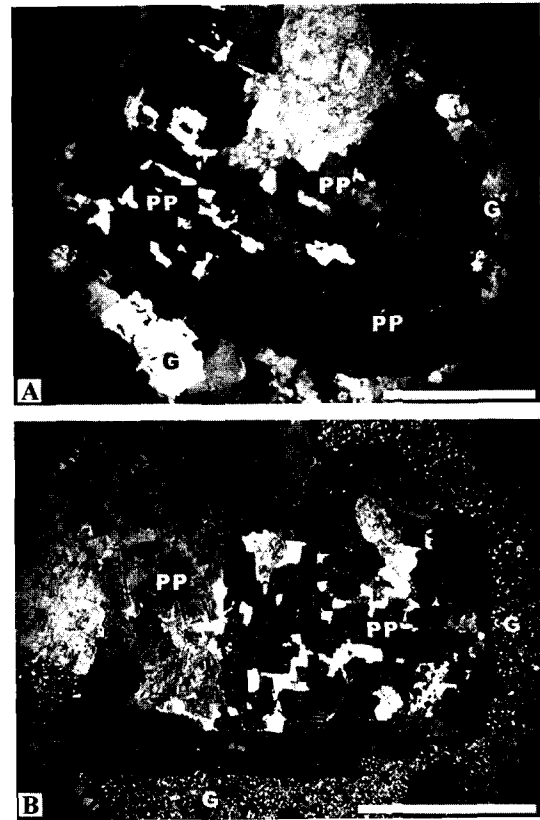


Fig. 5. Box like cellular texture of plagioclase phenocryst in HZ and HLE. A: hybrid zone, B: hybrid zone-like enclave, PP: plagioclase phenocryst, G: groundmass. Bar scale = 2 mm.

과 유사한 색, 그리고 유사한 광물조합을 가지지만 기질의 입자크기가 훨씬 작다. 반정의 함량은 약 25%이며 반정 광물에는 라파키비 장석, 알칼리 장석, 석영, 사장석을 포함하며 사장석 반정은 취방상 조직을 보인다. 알칼리 장석 반정은 10~16 mm의 입자크기를 보이며 반자형 및 자형의 형태를 보인다. 라파키비 반정은 알 모양(ovoid)의 형태와 자형 형태의 것이 나타나며 PM은 중심부의 알칼리 장석의 형태를 일정한 두께의 연변부로 둘러싸기 때문에 중심부의 알칼리장석의 형태를 보존한다. 또한 PM은 덴드리틱 조직을 보인다(Fig. 2E). 그리고 사장석 반정은 중심부에서 변질이 심한 반면 연변부는 비교적 깨끗해서 중심부와 구별되는 영역을 형성한다. 또한 과냉각을 지시하는(Hibbard, 1995) 박스 형태의 세포조직을 가지는 사장석 반정이 발견되며, 백운모가 소량 함유되어 있다(Fig. 5B). 기질은 50~100 μm의 입상조직이며 타형의 석영으로 주로

Table 1. Petrographical features of rapakivi phenocrysts for five rock types.

sample number	EPG	ERG	MME	HZ	HLE
	MJ14, BA1	MJ11a, MJ11h	JK15, BS10, BA3B	MJ11i, BS5B, BA5	MJ11f, BA5, BA5B
texture	more thin plagioclase mantle	euhedral and ovoid shape	synneusis mantle, single crystal mantle	partly mantling plagioclase, dendritic texture., weak albite twin	ovoid or square shape
grain size	10~20 mm	11~21 mm	8~22 mm	6~20 mm	7~20 mm
PM	0.5~2 mm	1~2 mm	1~2 mm	1~2 mm	1~2 mm
An content of the PM	8.3-10.7	9.8-10.7	10.6-20.4	10.6-24.3	11.5-19.6
Or content of the mantled feldspar core	76.4-92.7	75.8-92.0	82.3-93.2	76.2-91.2	88.7-91.6
An content of perthitic albite	0.8-5.8	1-8.6		0.8	2.5-9.5

구성되고 반정 인접부의 기질이 더 세립화 되는 경향이 있다. 기질광물 중 사장석은 반자형으로 알바이트 쌍정을 보인다.

(1) 라파키비 반정

연구지역에서 나타나는 라파키비 조직은 알 형태이거나 자형형태의 알칼리 장석을 0.2~2 mm의 PM이 둘러싸고 있다(Table 1). 알 형태의 것에 비해 자형 형태의 것이 PM의 두께가 얇은 편이다. 라파키비 반정의

대표광물의 기재 및 분석 결과

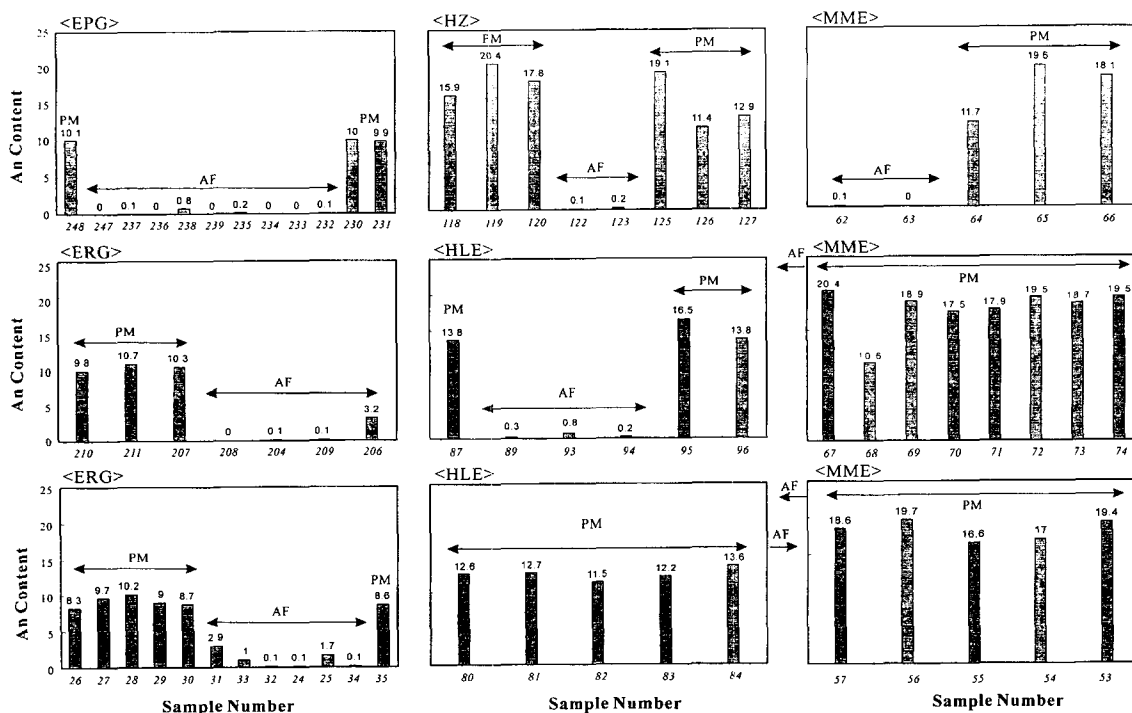


Fig. 6. Compositional variation diagrams from alkali feldspar core to plagioclase-mantled rim in EPG, ERG, MME, HZ and HLE. PM: plagioclase mantles, AF: alkali-feldspar core of the mantled feldspar. Abbreviations are same as those Fig. 1.

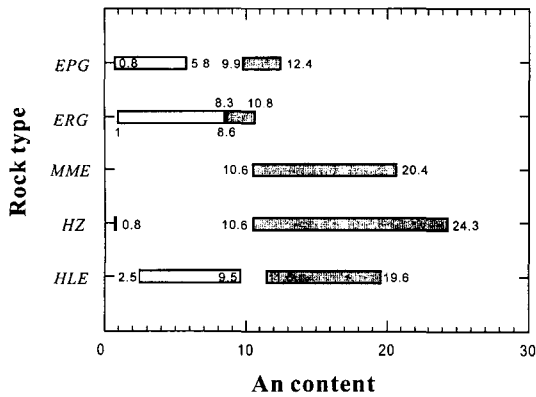


Fig. 7. Comparison of An content of plagioclase mantle and perthitic albite. Open rectangle: perthitic albite, filled rectangle: plagioclase mantle. Abbreviations are same as those Fig. 1.

암에서는 8.3-10.7로 알바이트 성분이며 MME와 혼성대 및 HLE에서는 10.6-24.3으로 올리고클래스 성분을 보인다(Fig. 7, Appendix 5). 화강암에서 보이는 PM은 성분이 알바이트 영역을 넘지 않으며 퍼싸이트 조직을 보인다. 이는 Dempster *et al.*(1994)의 주장처럼 알칼리 장석의 용리된 성분이 재배열하여 PM을 형성하게 되었다고 하는 용리 성인을 지지하는 것처럼 보인다. 그러므로 알칼리 장석 반정의 용리 사장석 성분과 비교함으로써 그 진위 여부를 살펴보았다. 성분은 그림 7에서 보는 것처럼 각 암상에서 용리 사장석과 PM성분 영역이 분리되어 도시되었는데 이는 용리된 사장석이 PM을 형성한 것이 아님을 의미한다.

(2) 알칼리 장석 반정

5개의 암상에서 자형 내지 반자형의 알칼리 장석 반정이 나타나며 크기는 4~22 mm이다. HZ과 HLE에는 반정의 함량이 많으며 성분은 EPG에서 Or_{82.7-91.2}, ERG에서 Or_{77.9-93.7}, MME에서 Or_{79.7-89.4}, HLE에서 Or_{62.6-76.6}이다. 이것은 맨틀링 된 알칼리 장석의 Or성분과 비교했을 때 화강암에서는 Or의 함량이 약간 높고, MME에서는 약간 낮았으며 HLE에서는 성분영역이 완전히 분리되었다(Fig. 8, Appendix 2, Appendix 4). 이것은, HLE의 알칼리 장석 반정이 누대 조직을 보이므로써 알칼리 장석 반정의 누대를 보지 않는 다른 암상들과 차이를 보이는 것과도 일치한다. 이렇게 화강암과 MME에서 맨틀링 된 알칼리 장석과 맨틀링 되지 않은 알칼리 장석 반정의 성분이 약간의 차이만 있고 성분영역이 겹쳐지는 것은, 두 알칼리 장석의 형성 환경이 같으며 단지 맨틀링이 일어난 곳과 일어나지 않은 반정

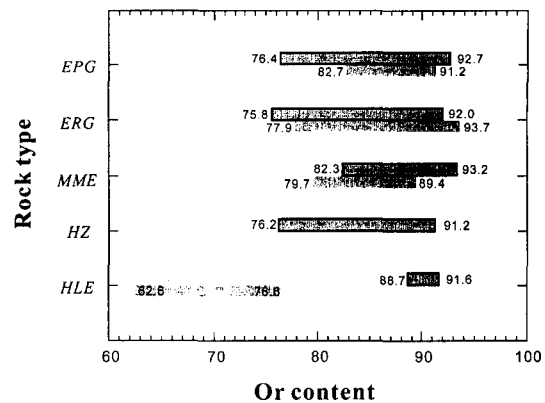


Fig. 8. Compositional comparison diagrams. Rectangle with border: Or content of the plagioclase mantled alkali feldspar phenocryst; rectangle without border: Or content of the alkali feldspar phenocryst. Abbreviations are same as those Fig. 1.

의 차이가 있는 것으로 보인다. 하지만 HLE에서는 성분이 2개의 영역으로 나뉘는데, 이는 맨틀링 된 알칼리 장석 반정과 맨틀링 되지 않은 알칼리 장석 반정이 각각 다른 곳에서 결정화된 것으로 보인다.

(3) 사장석

연구지역의 사장석 반정은 약 4~20 mm의 크기를 가지며 노두상에서 자형에서 타형까지의 형태를 보인다. 하지만 육안 관찰 시 타형으로 보이는 사장석 반정은 현미경하에서 여러개의 자형 사장석 반정이 군집(aggregate)되어 있다. 또한 사장석은 변질을 심하게 받은 얇은 대를 경계로 중심부와 연변부로 구별된다. 그러므로 사장석 반정에서도 같은 사장석의 맨틀링이 일어났을 가능성을 고려해 보았지만 그림 9과 그림 10에서 보는 것처럼 연변부에서 약간 소독해 지지만 성분영역이 거의 겹치며 큰 변화는 없었다. 그러므로 비교적 깨끗한 연변부가 사장석의 맨틀링 결과인지는 확실하지 않다(Appendix 1).

또한 HZ과 HLE에서는 사장석 반정이 박스 형태의 세포 조직을 보인다. 세포조직은 비교적 높은 결정 성장률(growth rate)과 낮은 핵형성(nucleation) 속도의 결과로 형성되는데(Lofgren, 1974, 1980) 주로 화산환경에서 나타나는 조직이다. 심성암에서는 사장석이 세포 조직을 갖지 않는 것이 일반적인 현상이지만 예외적으로 맨틀링 장석을 가진 심성암에서는 세포 모양의 형태가 잘 나타난다(Hibbard, 1981). 박스 형태의 세포 조직 형성이 잘되는 환경은 마그마 혼합체처럼 뜨거운 마그마에서 차가운 마그마로의 열이동이 일어나는 환

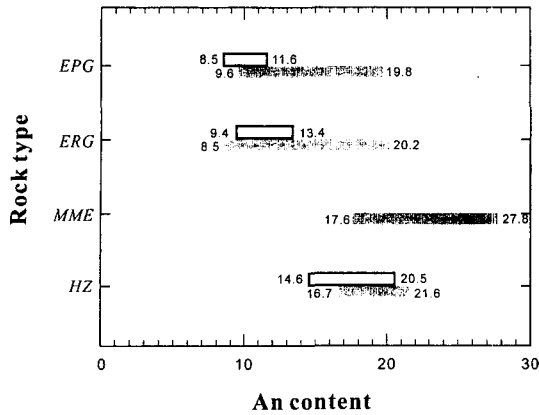


Fig. 9. Comparison of rim composition range and core one of the plagioclase phenocrysts. Open square: rim composition, filled square: core composition. Abbreviations are same as those Fig. 1.

경이다(Hibbard, 1995). 또한 Hibbard(1981)에 의하면 빠르고 일시적인 열의 조절에 의해 매픽 성분으로부터 세포 조직의 사장석의 성장이 잘 일어나기 때문에 특히 혼성암(hybrid rocks)에서 세포 조직의 사장석 성장을 기대할 수 있다고 한다. 그가 언급한 '혼성암(hybrid rock)'은 방어진 지역의 HZ에 해당할 것으로 보이며, 이 지역에서 나타나는 박스 형태의 세포 조직도 마그마 혼합에 의한 부분적인 냉각현상에 의해 형성된 것으로 보인다.

사장석 기질의 성분은 사장석 반정의 연변부 성분 및 라파키비 반정의 PM성분과 유사성을 비교하기 위해 분석을 했다. EPG에서 $An_{7.1-8.5}$, ERG에서 $An_{1.5-13.2}$, MME에서 $An_{1.3-7.33.1}$ 로 포획암에서 약간 칼식하고 라파키비 반정의 성분영역과 겹치는 부분이 있다(Appendix 6).

해석 및 고찰

(1) 용리 모델

용리모델은 Gate(1953), Elders(1966), Dempster *et al.*(1991, 1994)에 의해 선캠브리아(precambrian) 라파키비 화강암에서 주장된 성인이다. 이 모델은 알칼리 장석에서 용리되어 나온 알바이트 성분이 알칼리 장석 주변부로 배열하여 라파키비 조직을 형성했다는 주장이다. Dempster *et al.*(1991)는 남그린랜드(South Greenland)의 라파키비 화강암에서 퍼사이트 조직이 잘 나타난다고 보고하였으며 용리 성인을 지지하는 Rb-Sr 성분과 안정동위원소 자료를 제시했다. 화강암 외에도 차노카이트(chamockite) 계열의 암석에서도 라파키비

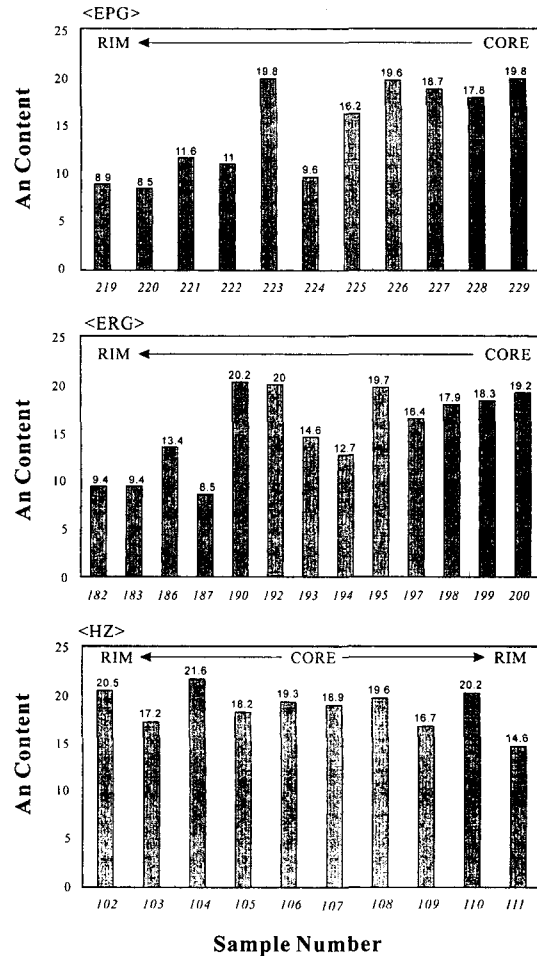


Fig. 10. Compositional variation diagram from core to rim of plagioclase phenocrysts. Abbreviations are same as those Fig. 1.

조직이 보고된 바 있다(Hubbard, 1965).

라파키비 조직의 성인 중 용리성인은 화강암 내의 PM성분이 알바이트에 지나지 않으며 알칼리 장석에 퍼사이트 조직이 잘 발달되어 있다는 면에서 가능성 있는 성인이다. 그러므로 퍼사이트 성분과 PM성분의 일치성 여부를 알아보기 위해 성분 비교를 했고 조직적 특성을 관찰하였다. 그 결과, 용리 사장석 성분이 EPG에서는 $An_{0.8-1.3}$ 으로 PM성분($An_{8.3-10.7}$)과 영역이 분리되었고, ERG에서도 $An_{1-8.6}$ 으로 PM($An_{9.8-10.7}$)과 역시 영역이 분리되었다(Fig. 7, Appendix 3, Appendix 5). 이뿐 아니라 HZ, MME, HLE에서는 용리 사장석의 성분이 An_{10} 정도였지만, PM의 성분은 $An_{10.6-24.3}$ 으로 같은 암상 내에서 용리 사장석과 PM성분이 구별되었다.

이외에도 핀란드와 스웨덴의 라파키비 연구과정에서, PM이 형성될 때의 온도가 720~780°C로써 고상선 위의 온도에서 정출되었으며(Eklund and Shebanov, 1999) PM과 알칼리장석의 경계부에 나타나는 패치(patchy) 표면연정은 멜트에서 직접 결정화한 것(Lofgren, 1980; Morse and Lofgren, 1978)이므로 라파키비 조직은 용리에 의한 것이 아님을 증명하였다. 또한 방어진 화강암의 PM은 덴드리틱 조직을 보인다. 덴드리틱 조직은 과냉각 환경에서 형성되는 조직으로써(Lofgren, 1974) PM이 형성될 당시가 서브솔부스가 아닌 멜트 환경이었음을 의미한다. 그러므로 용리성인은 방어진 지역의 라파키비 성인으로는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

(2) 아등온 감압 모델

라파키비 반정의 알칼리 장석부분은 알모양의 형태를 보여주며 이것은 알칼리 장석 반정과 멜트 사이에 일어나는 알칼리 장석의 재흡수(resorption)와 사장석의 결정화에 의해 형성된 것으로 보고하였다. 그리고 알칼리 장석의 재흡수와 사장석의 결정화가 동시에 일어날 수 있는 조건을 4가지로 제시하였다. (1) 휘발성분으로 불포화되어 있고 (2) 알칼리 장석과 사장석이 함께 포화되어 있으며 (3) 감압의 초기 단계에서 알칼리 장석을 재흡수 하지 않을 정도의 낮은 온도의 마그마가 (4) 5~10°C/kbar로 상승하는 경우, 라파키비 조직을 형성한다는 것이다. 또한 Eklund and Shebanov(1999)는 비보르크(Wiborg, Russian), 살미(Salmi, Finland), 윌란드(Åland, Sweden) 화강암체의 라파키비 반정에서 중심부와 연변부 및 기질의 압력·온도를 구했다. 그 결과는 각각 4.5~6.5 kbar, 720~780°C와 1~2.5 kbar, 650~750°C였다. 이 성인을 주장하는 연구자들은 온도의 변화가 적은 마그마가 5~10°C/kbar의 냉각률을 가지고 천천히 냉각될 때 형성된다고 주장한다. 그러나 방어진 지역의 PM이 가지는 과냉각 조직은 이 모델에서 제시하는 경로를 따라 냉각했을때에 형성되기 어려운 조직이다. 또한 방어진 화강암에는 라파키비 반정 이외에도 알칼리 장석 반정이 포함되어 있다. 아등온감압 모델처럼 마그마가 상승하는 동안 마그마 내에서 알칼리 장석의 재흡수와 사장석의 침전이 일어나는 곳에서 라파키비 조직이 형성되었다면 모든 알칼리 장석 반정에 맨틀링이 일어나야 할 것이다. 그러나 방어진 화강암에는 맨틀링이 된 알칼리 장석(즉 라파키비 반정) 반정과 맨틀링이 되지 않은 알칼리 장석 반정이 동시에 관찰된다. 그러므로 아등온 감압 모델은 방어진 화강암의 라파키비 조직의 성인으로는 부적합한 것으로 판단된다.

(3) 마그마 혼합 모델

마지막 모델은 마그마혼합 모델이다(Wilcox, 1944; MacDonald and Katsura, 1965; Hibbard, 1981; Bussy, 1990; Stimac and Wark, 1992; Wark and Stimac, 1992). 연구 지역에 나타나는 라파키비 조직은 MME와 화강암 사이에 형성되어 있는 혼성대에서 가장 많이 발견된다. 혼성대는 MME의 가장자리에 발달한 부분으로 화강암과 MME의 부분을 포함한다. 또한 반정을 많이 포함하는 MME는 혼성대와 유사해 지는 경향을 보인다. MME와 ERG사이에 발달하는 혼성대에서 라파키비 반정이 가장 많이 나타난다고 하는 것은 마그마 혼합과 직접적인 관련성이 있음을 암시한다. 그리고 Fig. 3에서 보는 것처럼 HZ에서 MME로 반정이 유입되는 양상은 혼성대에서 만들어진 반정들이 MME로 유입되었음을 보여준다. 또한 MME에서는 라파키비와 같은 맨틀링 조직이 다른 종류의 반정광물에도 나타나는데 이는 마그마 혼합이 맨틀링을 일으키기에 좋은 환경을 제공함을 암시한다. 그리고 PM의 조직이 과냉각 환경에서 형성되는 덴드리틱 조직을 보이는데 마그마 혼합시 일어나는 염기성마그마와 산성 마그마의 온도차를 감안한다면 충분히 과냉각을 일으킬 수 있다. 그 외 마그마 혼합 모델을 지지하는 몇가지 내용은 아래에서 보다 자세히 논의할 것이다.

덴드리틱 조직에 관한 고찰: EPG, ERG, HZ, MME, HLE의 PM에서는 모두 덴드리틱 조직이 잘 발달하는데 이는 Lofgren(1974)의 '사장석 결정형태의 실험연구'에서 ΔT 가 140~220°C/2~3 days의 과냉각 환경에서 형성되는 조직으로 보고하였다(Fig. 2). Hibbard (1981)는 화강암에서 사장석이 덴드리틱 조직을 가지기 위한 조건으로 화강암질 마그마의 상승시 주위 모암(wall rock)과의 온도차이에서 오는 냉각으로는 형성되기 어려우며 이러한 조직을 형성시키기 가능한 환경으로 마그마 혼합환경을 제시하였다. 덴드리틱 조직은 과냉각 환경에서 형성되는데 사장석의 과냉각 조직을 일으키는 원인으로 Smith and Brown(1988)은 4가지의 원인을 들었다. ① 빠른 온도 하강, ② 압력의 증가, ③ 물의 결핍(loss), ④ 멜트성분의 변화에 의한 매핑한 성분의 과포화(oversaturation)이다. Castro(2001)는 이 4가지 조건들 중 ①의 경우 심성환경에서는 빠른 냉각률을 생각할 수 없으며 ②의 경우, 큰 압력차에서도 과냉각의 효과가 적었으며 ③의 경우에는 사장석뿐 아니라 다른 광물에도 과냉각 조직이 나타나야 하는 반면 ④의 조건이 심성암의 사장석 반정이 과냉각 조직을 만들수 있는 가장 적합한 환경이라고 언급했다. 또한

④의 조건을 만족하는 환경으로서 맨트의 성분이 더욱 매끄럽게 지는 마그마혼합작용과 동화작용을 제시했다. 또한 방어진 지역은 MME가 다량 나타나는 지역으로서 MME의 형성당시 성분의 이동과 빠른 온도의 변화가 있었던 지역이므로 마그마 혼합환경이 덴드리틱 조직의 PM형성에 가장 적합한 환경이었던 것으로 보인다.

맨틀링의 의미: MME내에는 라파키비 반정뿐 아니라 석영을 매입광물이 둘러싸고 있는 형태의 맨틀 조직(mantled texture)도 관찰된다. 그리고 MME와 화강암의 혼합암상인 혼성대에서는, 라파키비 반정의 함량이 가장 높고 라파키비 조직을 형성하는 중간단계로 보이는 부분적인 맨틀링현상도 관찰된다. 그러므로 마그마 혼합의 결과로 판단되는 MME와 HZ에서 라파키비 반정이 풍부하며 라파키비와 유사한 맨틀링 현상이 관찰되는 것은, 마그마 혼합현상이 맨틀 조직을 형성하기 유리한 환경을 조성했음을 의미한다.

또한 라파키비 조직은 맨틀링 된 알칼리 장석이라는 점을 주의해서 보면 같은 암상에 나타나는 반정일지라도 맨틀링 된 알칼리 장석과 맨틀링 되지 않은 알칼리 장석 반정이 공존하고 있음을 알 수 있다. 아등은 감압 모델과 같이 마그마의 전반적인 환경(온도, 압력, 조성)변화에 의해 이미 형성된 반정에 맨틀링이 일어나는 것이라면 맨틀링 단계에서는 모든 알칼리 장석 반정에 맨틀링이 일어나야 할 것이다. 하지만 맨틀링이 모든 알칼리 장석에 일어나지 않았으며 맨틀링 된 반정과 맨틀링 되지 않은 반정 사이에는 형태와 크기의 차이가 발견되지 않았다. 단지 이미 형성된 알칼리 장석 반정에 맨틀링이 일어났거나 일어나지 않았음의 차이일 뿐이다. 이것은, 마그마 혼합시에 매입물질이 화강암속으로 이동하여 화강암의 반정주위에서 냉각되어 침전되는데 이때 점성, 온도, 밀도, 조성 등의 차이로 인하여 불혼화(immiscibility)가 발생되고 매입물질의 공급은 화강암속에서 불균질하게 일어난다고 하는 마그마 불균질 혼합의 현상과 잘 일치한다. 이러한 결과로 매입물질의 공급지에서는 라파키비가 형성되며 비공급지에서는 PM으로 싸여지지 않은 알칼리 장석이 그대로 남겨질 수 있는 결과를 일으키는 것이다. 그렇지만 매입물질이 침전되어 PM을 형성했다고 한다면 여전히 화강암의 PM성분이 알바이트에 지나지 않는다는 단점이 있다. 그러나 이것은 화강암의 냉각이 상당히 느린 것을 감안할 때 미리 형성된 라파키비 반정이 잔류 맨틀과 계속 반응해서 재평형을 취한 결과로 화강암성분과 유사하게 된 것으로 판단된다.

HZ과 HLE의 관련성: HLE는 기질부의 조직이 다른 것을 제외하고는 반정의 함량과 구성광물에서 HZ

과 유사하다. 하지만 혼성대는 반드시 MME에 인접해서 분포하며 HLE는 화강암내에 독립적인 엔클레이브로 존재를 한다. 산출량은 적고 MME의 몇 십 cm 근처에 발견되는 경우도 있다. PM의 성분도 HZ($An_{10.6-24.3}$)과 HLE($An_{11.5-19.6}$) 사이에 차이가 거의 없다. HLE에서 반정광물의 함량과 형태 등을 고려한다면 혼성대가 화강암쪽으로 분리되어 나와 형성된 것이 HLE이 가능성도 있다. Sparks *et al.*(1977)과 Eichelberger(1980)는 마그마 혼합시 염기성 마그마로부터 휘발성분의 분리가 일어난다고 보고 하였으며 Sparks *et al.*(1977)에 의하면 혼합시 마그마 내의 증가된 유체압력(Pfluid)은 마그마를 분출시키는 촉매 역할을 한다고 보고한 바 있다. 그러므로 마그마 혼합시 마그마 내에 유체압력 증가에 의해 휘발성분의 분리에 수반된 것이 HZ과 HLE일 수 있음을 암시한다. 마그마 혼합시 압력이 증가되고 분리된 유체가 모일 수 있는 곳이 혼성대라면 혼성대에 반정의 함량이 많은 것 또한 이해가 가능하고 혼성대의 분리에 의한 HLE의 형성 또한 가능하다. 휘발성분은 광물의 성장을 촉진시키므로 혼성대에 반정이 다량 만들어 질 수 있었을 것이다. 또한 휘발성분의 높은 압력으로 인해 혼성대가 분리되었다면 HLE에서 보이는 현상처럼 화강암의 차가운 온도로 인해 기질부가 빠르게 냉각하여 세립질의 조직을 형성할 수 있었을 것이다. 혼성대에서 백운모가 출현하는 것도 이를 지지한다. 하지만 HLE가 분리된 HZ라는 것을 증명하기 위해서는 더 많은 연구가 필요할 것이다.

HZ에 반정이 많은 이유: 혼성대에서는 다른 암상에 비해 반정의 함량이 높다. 반정의 함량이 높아질 수 있는 조건으로써 2가지 경우를 생각해 볼 수가 있다. 우선 혼성대 자체에서 반정을 많이 만들어낸 경우와 화강암내의 반정을 끌어 모은 경우가 있다. 우선 혼성대 자체에서 반정이 많이 만들어 졌다면 MME에서 분리되는 휘발성분의 역할이 필요하다. 마그마 혼합시 염기성 마그마로부터 MME에서 휘발성분의 분리가 일어난다는 보고(Sparks *et al.*, 1977; Eichelberger, 1980)는 혼성대에 반정들이 많이 형성될 수 있음을 암시한다. 또 다른 경우는, 화강암내의 반정이 HZ으로 모여 든 것을 생각해 볼 수 있다. 이러한 경우, 혼성대에서는 유입된 반정을 맨틀링 시키는 과정만을 고려하면 된다. 그러나 반정의 근원지를 화강암으로 볼때 화강암에 비해 혼성대의 반정 함량 비율이 높은 것은 설명하기 어렵다.

그림 8에서 보는 것처럼 HLE에서 맨틀링 된 알칼리 장석과 맨틀링 되지 않은 알칼리 장석의 성분영역이 구별되며 맨틀링 된 알칼리 장석의 Or함량은 다른

3가지 암상의 Or함량과 유사하다. 이는 HLE에 나타나는 맨틀링 된 알칼리 장석이, 인접한 화강암 및 MME와 유사한 환경에서 형성된 것으로 첫번째 가능성인 유입에 의해 형성된 것으로 보인다. 또한 HLE에 나타나는 맨틀링 되지 않은 알칼리 장석의 Or함량이 다른 3가지 암상에서 나타나는 알칼리 장석의 Or함량과 차이는, 두번째 가능성인 HLE자체에서 형성된 반정인 것으로 보인다. 이로서 혼성대에 반정의 함량이 높은 것은 화강암에서도 반정이 유입되었으며 혼성대 자체에서도 반정을 형성한 결과 그 함량이 많아진 것으로 보인다.

MME에 나타나는 신뉴시스 맨틀: MME는 0.2 mm 이하의 세립질의 암상이며 8~22 mm 크기의 반정을 포함하고 있다. 혼성대에서는 반정들이 MME로 유입되고 있는 현상이 관찰되며(Fig. 3), 15 m 가량의 큰 MME의 중앙에서도 라파키비 반정이 나타나는 것은 그림 3에서 보는 것처럼 혼성대의 만입과 같은 현상이 반정의 유입을 용이하게 만들었던 것으로 보인다. 이러한 이유로 MME내의 라파키비 반정은 MME자체에서 형성된 것이 아니며 HZ과 화강암에서 형성된 후 유입되었거나 또는 알칼리 장석 반정단계에서 유입되어 사장석으로 맨틀링 된 것으로 볼 수 있다.

MME에는 이것을 지시하는 것처럼 보이는 라파키비 조직이 두가지 양상으로 나타난다. PM이 단일 광물의 맨틀인 경우와 신뉴시스 맨틀인 경우이다. 신뉴시스 맨틀은 MME에서 주로 나타나는 양상이므로 이는 라파키비가 아닌 반정이 MME로 유입될 때 외래반정주위로 정출된 MME 자체형성 맨틀인 것으로 보인다. 또한 단일광물의 맨틀은 HZ에서 형성된 라파키비 반정이 단순히 MME로 이동한 것으로 보인다. 이렇게 2종류의 맨틀이 관찰되는 것은 HZ에서 성분이 다른 두 종류의 알칼리 장석 반정이 발견되는 것과도 연관되어 이해될 수 있다.

결 론

라파키비 조직의 성인연구를 위해서 라파키비 반정을 포함하고 있는 방어진 지역의 화강암을 EPG, ERG, MME, HZ, HLE로 나누었다 그리고 각각에 나타나는 라파키비 반정의 조직과 성분을 살펴본 결과 5개의 암

상에서 라파키비 반정의 조직변화는 거의 없었다. 그러나 성분에는 변화가 있었는데 PM의 성분은 MME와 HZ 및 HLE에서 화강암보다 맵혀했다. 중심부의 알칼리 장석은 용리조직을 잘 나타내었고 용리 사장석과 PM의 성분분석은 이들의 영역이 각각의 암상에서 구별되어 용리성인의 가능성을 배제할 수 있었다. 또한 알칼리 장석을 둘러싼 PM은 덴드리틱 조직이 공통적인 특징이었고 이는 PM이 형성될 당시에 과냉각 환경이었음을 지시하므로써 화강암과 MME에서의 맵혀물질의 과냉각 가능성을 보여주었다.

또한 ERG에서 혼성대가 많이 관찰되었는데, 혼성대는 MME를 둘러싸는 1 m 이하의 영역으로써 화강암의 특성과 MME의 특성을 모두 가지고 있었다. 혼성대에서는 반정의 함량이 많으며 완전한 라파키비의 형태뿐 아니라 알칼리 장석을 부분적으로 맨틀시키고 있는 양상도 많이 관찰되었다. 이는 라파키비 반정을 만들고 있는 중간단계를 의미하는 것으로 판단되어 혼성대에서 라파키비 반정의 형성이 활발했던 것으로 보인다. 또한 혼성대에서는 반정들이 MME로 유입되는 양상이 발견되었는데, 이들 혼성대가 MME에 반정을 전달해주는 역할을 했으며 이러한 반정의 이동을 통해 라파키비 반정들도 MME로 유입된 것으로 보인다. 또한 이것은, PM의 An함량 및 반정의 조직적 특성이 혼성대와 MME에서 유사한 값을 보이는 것과 잘 일치한다.

물론 혼성대에서 라파키비 반정이 많이 형성할 수 있었던 원인에 대한 구체적인 증거는 여기서는 제시되지 않았다. 그렇지만 라파키비 반정 함량이 혼성대에 많은 것과 5가지 암상에서 모두 과냉각의 덴드리틱 조직을 보이는 것, 모든 알칼리 장석 반정에 맨틀링이 일어나지는 않았다는 맨틀링의 불균질성 등은, 방어진 지역에 나타나는 라파키비 조직이 MME를 형성시켰던 마그마 불균질 혼합에 의해 형성되었음을 지지한다.

사 사

본 연구는 부산대학교 학술연구조성비(4년과제)에 의해 수행된 연구이다. 그리고 이 논문의 심사과정에서 세심한 지적과 도움말을 주신 좌용주 교수와 박계현 교수께 감사드린다.

Appendix 1. Chemical composition of plagioclase phenocryst. Sample site is presented in Fig. 1.

Rock type	EPG									
Sample	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228
Location	MJ14									
SiO ₂	65.56	65.61	64.81	65.11	62.47	65.40	63.69	62.41	62.9	63.24
Al ₂ O ₃	20.87	20.86	21.49	21.35	22.90	21.03	22.11	22.41	22.75	22.37
FeO	0.09	0.11	0.04	0.04	0.10	0.03	0.00	0.04	0.03	0.01
CaO	1.87	1.79	2.41	2.31	4.16	2.03	3.36	4.09	3.83	3.71
Na ₂ O	10.42	10.41	9.93	10.17	9.13	10.40	9.38	9.05	8.98	9.26
K ₂ O	0.27	0.27	0.38	0.26	0.30	0.27	0.34	0.36	0.35	0.30
Total	99.11	99.06	99.05	99.24	99.07	99.18	98.89	98.36	98.88	98.89
Ab	89.6	89.9	86.2	87.5	78.5	88.9	81.9	78.4	79.3	80.5
An	8.9	8.5	11.6	11.0	19.8	9.6	16.2	19.6	18.7	17.8
Or	1.5	1.5	2.2	1.5	1.7	1.5	1.9	2.0	2.0	1.7
Rock type	EPG					ERG				
Sample	229	182	183	186	187	190	192	193	194	195
Location	MJ14					MJ11a				
SiO ₂	62.85	66.28	66.01	65.32	66.48	63.18	63.27	65.09	64.85	63.15
Al ₂ O ₃	22.83	21.20	20.85	21.71	20.94	22.64	23.14	22.41	21.81	22.71
FeO	0.03	0.06	0.03	0.05	0.11	0.09	0.05	0.08	0.11	0.15
CaO	4.12	2.01	1.98	2.80	1.81	4.27	4.23	3.13	2.62	4.10
Na ₂ O	9.06	10.60	10.29	9.68	10.47	9.08	9.07	10.05	9.92	8.97
K ₂ O	0.23	0.13	0.36	0.48	0.33	0.36	0.37	0.08	0.05	0.39
Total	99.12	100.27	99.53	100.05	100.14	99.61	100.13	100.85	99.36	99.46
Ab	78.9	89.9	88.5	83.9	89.6	77.7	77.9	84.9	87.0	78.1
An	19.8	9.4	9.4	13.4	8.5	20.2	20.0	14.6	12.7	19.7
Or	1.3	0.7	2.0	2.7	1.9	2.0	2.1	0.4	0.3	2.2
Rock type	ERG				HZ					
Sample	197	198	199	200	102	103	104	105	106	107
Location	MJ11a				MJ11i					
SiO ₂	64.03	63.30	63.35	63.21	61.88	62.94	61.17	62.41	62.14	62.47
Al ₂ O ₃	21.78	22.54	22.43	22.79	23.89	22.96	23.31	23.29	23.37	23.03
FeO	0.05	0.04	0.15	0.05	0.05	0.08	0.10	0.20	0.12	0.12
CaO	3.34	3.70	3.76	4.08	4.43	3.53	4.65	3.92	4.12	4.03
Na ₂ O	7.77	9.11	9.05	9.19	9.33	9.14	8.99	9.36	9.18	9.23
K ₂ O	2.46	0.41	0.39	0.43	0.22	0.37	0.51	0.57	0.50	0.45
Total	99.42	99.09	99.13	99.74	99.80	99.02	98.72	99.73	99.43	99.33
Ab	69.2	79.7	79.5	78.4	78.3	80.6	75.6	78.7	77.9	78.6
An	16.4	17.9	18.3	19.2	20.5	17.2	21.6	18.2	19.3	18.9
Or	14.4	2.4	2.2	2.4	1.2	2.1	2.8	3.1	2.8	2.5
Rock type	HZ				MME					
Sample	108	109	110	111	BS10					
Location	MJ11i				(Kim <i>et al.</i> , 2000)					
SiO ₂	62.18	63.24	62.41	62.80	61.11	62.83	61.76	62.95	63.50	62.67
Al ₂ O ₃	23.57	22.78	23.65	22.59	23.78	22.58	23.49	22.50	22.44	23.20
FeO	0.05	0.12	0.09	0.05						
CaO	4.19	3.61	4.35	3.14	5.53	4.19	5.78	4.38	3.66	4.63
Na ₂ O	9.27	9.66	9.25	9.98	8.05	8.66	8.13	8.59	9.11	8.79
K ₂ O	0.37	0.39	0.36	0.26	0.30	0.55	0.23	0.37	0.57	0.25
Total	99.61	99.80	100.11	98.82	98.77	98.81	99.39	98.79	99.28	99.54
Ab	78.4	81.1	77.8	84.0	71.2	76.4	70.9	76.3	79.2	76.3
An	19.6	16.7	20.2	14.6	27.0	20.4	27.8	21.5	17.6	22.2
Or	2.0	2.2	2.0	1.4	1.8	3.2	1.3	2.2	3.2	1.4

Appendix 2. EPMA data for alkali feldspar phenocryst. Sample site is presented in Fig. 1.

Rock type	EPG						ERG					
Sample	173	174	175	177	178	153	155	157	158	159	160	
Location	MJ14						MJ11a					
SiO ₂	63.98	64.13	63.96	63.33	63.97	63.45	63.42	63.26	64.14	63.20	64.20	
Al ₂ O ₃	18.84	19.09	18.90	18.89	18.69	18.86	19.05	18.92	19.09	18.97	18.81	
FeO	0.01	0.07	0.08	0.08	0.07	0.04	0.09	0.06	0.06	0.05	0.07	
CaO	0.00	0.01	0.06	0.00	0.01	0.00	0.09	0.03	0.03	0.10	0.03	
Na ₂ O	1.03	1.52	1.62	1.86	1.37	0.75	2.34	1.25	2.45	2.42	2.35	
K ₂ O	16.33	15.88	15.41	13.52	15.76	16.86	14.22	16.23	14.03	13.89	13.62	
Total	100.19	100.70	100.02	97.68	99.88	99.96	99.20	99.77	99.79	98.63	99.07	
Ab	8.8	12.7	13.7	17.3	11.7	6.3	19.9	10.5	20.9	20.9	20.7	
An	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2	0.1	0.5	0.2	
Or	91.2	87.2	86.0	82.7	88.3	93.7	79.6	89.4	79.0	78.7	79.1	

Rock type	ERG					MME		HLE			
Sample	161	162	163	168	169	170	75	76	77	179	181
Location	MJ11a					JK15		MJ11f			
SiO ₂	63.38	63.41	63.97	65.14	63.72	64.09	63.10	63.73	63.60	66.12	64.41
Al ₂ O ₃	19.10	18.52	18.47	18.65	19.07	19.22	18.88	18.92	18.59	19.32	18.89
FeO	0.10	0.11	0.12	0.11	0.07	0.08	0.06	0.07	0.05	0.11	0.08
CaO	0.08	0.01	0.04	0.01	0.04	0.08	0.03	0.03	0.06	0.03	0.05
Na ₂ O	2.49	2.21	2.22	1.48	1.92	2.44	1.21	1.92	2.26	4.16	2.73
K ₂ O	13.59	14.05	14.37	15.82	13.85	14.21	15.68	14.49	13.65	10.61	13.78
Total	98.73	98.31	99.19	101.21	98.67	100.11	98.95	99.16	98.20	100.35	99.92
Ab	21.7	19.3	19.0	12.4	17.3	20.6	10.5	16.7	20.0	37.3	23.1
An	0.4	0.0	0.2	0.0	0.2	0.4	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2
Or	77.9	80.7	80.8	87.5	82.5	79.0	89.4	83.1	79.7	62.6	76.6

Appendix 3. Chemical composition of perthitic albite within alkali feldspar phenocryst. Sample site is presented in Fig. 1.

Rock type	EPG					ERG				
Sample	214	218	238	BA1	145	151	154	156	206	
Location	MJ14		(Kim <i>et al.</i> , 2000)			MJ11a			MJ11a	
SiO ₂	67.11	66.92	67.66	67.57	66.53	66.14	65.81	65.47	67.67	
Al ₂ O ₃	20.15	20.38	19.51	19.67	21.31	20.58	20.98	21.05	20.26	
FeO	0.10	0.00	0.01	0.04	0.03	0.01	0.06	0.01	0.70	
CaO	0.76	1.24	0.16	0.27	1.24	0.78	1.361.21			
Na ₂ O	11.23	10.95	11.08	10.95	10.80	10.72	10.26	11.32	10.46	
K ₂ O	0.11	0.14	0.72	0.21	0.13	0.67	0.15	0.14	1.82	
Total	99.45	99.62	99.15	98.67	100.05	98.92	98.56	99.26	100.92	
Ab	95.8	93.4	95.2	97.5	93.3	92.5	92.4	93.7	86.8	
An	3.6	5.8	0.8	1.3	5.9	3.7	6.8	5.5	3.2	
Or	0.6	0.8	4.1	1.2	0.8	3.8	0.9	0.8	9.9	

Rock type	ERG					HZ	HLE		
Sample	25	33	35	36	39	42	93	BA5	BA5B
Location	MJ11h					MJ11f		(Kim <i>et al.</i> , 2000)	
SiO ₂	67.37	66.69	64.52	67.06	66.42	66.61	67.70	66.17	68.55
Al ₂ O ₃	19.75	19.87	21.32	20.23	19.97	20.30	20.28	21.12	19.83
FeO	0.04	0.03	0.05	0.10	0.07	0.00	0.00		

Appendix 3. Continued.

CaO	0.37	0.21	1.87	0.25	0.33	0.63	0.18	1.94	0.52
Na ₂ O	11.55	11.34	10.85	11.84	11.19	11.54	12.09	10.27	11.25
K ₂ O	0.32	0.52	0.16	0.18	0.14	0.14	0.14		
Total	99.39	98.66	98.76	99.66	98.12	99.22	100.39	99.50	100.15
Ab	96.6	96.1	90.5	97.9	97.6	96.3	98.4	90.5	97.5
An	1.7	1	8.6	1.1	1.6	2.9	0.8	9.5	2.5
Or	1.7	2.9	0.8	0.9	0.8	0.8	0.7	0	0

Appendix 4. Chemical composition of alkali feldspar within rapakivi phenocryst. Sample site is presented in Fig. 1.

Rock type	EPG											
Sample	215	216	217	232	233	234	235	236	237	239	244	245
Location	MJ14											
SiO ₂	63.98	64.05	64.20	64.10	64.15	63.54	64.04	63.97	64.01	64.18	63.89	64.17
Al ₂ O ₃	18.15	18.49	18.27	18.66	18.20	18.33	18.37	18.32	18.05	18.12	18.27	18.42
FeO	0.05	0.08	0.02	0.01	0.06	0.07	0.11	0.10	0.02	0.03	0.08	0.08
CaO	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	0.96	1.33	1.20	2.61	1.55	1.36	1.53	1.56	1.41	1.52	0.80	1.02
K ₂ O	15.58	14.80	14.98	12.94	14.53	14.77	14.63	14.65	14.73	14.57	15.53	15.30
Total	98.73	98.78	98.67	98.35	98.48	98.08	98.72	98.60	98.23	98.42	98.57	98.99
Ab	8.6	12.0	10.8	23.4	13.9	12.3	13.6	13.9	12.7	13.7	7.2	9.2
An	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0
Or	91.4	87.9	89.2	76.4	86.0	87.7	86.2	86.1	87.2	86.3	92.7	90.8
Rock type	EPG				ERG							
Sample	246	247	204	207	208	24	31	32	34	38	40	
Location	MJ14				MJ11a			MJ11h				
SiO ₂	63.61	64.06	64.50	64.10	63.77	62.57	62.52	62.99	64.03	62.87	64.46	
Al ₂ O ₃	18.20	18.32	18.26	18.14	18.24	18.92	18.35	18.92	19.08	18.62	18.82	
FeO	0.08	0.07	0.01	0.08	0.05	0.04	0.00	0.07	0.02	0.05	0.12	
CaO	0.03	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.61	0.02	0.03	0.02	0.03	
Na ₂ O	0.86	1.24	1.15	0.98	1.04	1.60	1.46	1.17	2.79	1.84	2.25	
K ₂ O	15.50	15.05	15.11	15.42	15.27	15.49	15.08	15.68	13.37	14.78	13.17	
Total	98.29	98.74	99.05	98.72	98.38	98.64	98.02	98.84	99.33	98.18	98.85	
Ab	7.8	11.2	10.4	8.8	9.3	13.6	12.5	10.2	24.0	15.9	20.6	
An	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	2.9	0.1	0.1	0.1	0.2	
Or	92.1	88.8	89.5	91.2	90.6	86.4	84.7	89.7	75.8	84.0	79.3	
Rock type	ERG				HZ			MME		HLE		
Sample	41	43	44	45	122	123	137	62	63	89	94	
Location	MJ11h				MJ11i			JK15		MJ11f		
SiO ₂	63.15	63.19	62.83	63.04	63.20	64.51	62.50	62.64	62.97	63.29	63.81	
Al ₂ O ₃	18.50	18.71	18.56	18.82	18.69	19.23	18.88	18.96	18.85	18.82	19.04	
FeO	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.03	0.06	0.03	0.01	0.11	0.06	
CaO	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05	0.01	0.03	0.00	0.06	0.04	
Na ₂ O	1.29	1.37	0.91	0.93	1.01	2.73	1.65	2.01	0.78	0.93	1.31	
K ₂ O	15.33	15.57	16.05	16.03	16.16	13.42	15.36	14.31	16.20	15.92	15.81	
Total	98.36	98.91	98.42	98.89	99.15	99.97	98.46	97.98	98.80	99.13	100.07	
Ab	11.3	11.7	7.9	8.1	8.7	23.6	14.0	17.6	6.8	8.1	11.1	
An	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	
Or	88.5	88.1	92.0	91.8	91.2	76.2	85.9	82.3	93.2	91.6	88.7	

Appendix 5. Chemical composition of plagioclase mantle. Sample site is presented in Fig. 1.

Rock type	EPG											ERG	
Sample	210	211	230	231	240	241	242	243	248	209	19	20	
Location	MJ14										MJ11a	MJ11h	
SiO ₂	65.48	65.06	65.05	65.28	63.18	65.02	65.91	65.89	65.24	65.59	64.07	64.49	
Al ₂ O ₃	20.97	21.20	22.07	21.08	20.59	21.31	20.89	20.61	20.98	20.92	21.05	20.91	
FeO	0.06	0.05	0.07	0.00	0.15	0.03	0.00	0.05	0.03	0.01	0.03	0.06	
CaO	2.04	2.25	2.09	2.06	2.45	2.29	1.57	1.47	2.09	2.17	1.94	2.06	
Na ₂ O	10.27	10.19	10.29	10.25	9.39	10.23	10.68	10.73	10.27	10.24	9.98	10.10	
K ₂ O	0.22	0.32	0.18	0.20	0.31	0.15	0.13	0.12	0.09	0.27	0.34	0.16	
Total	99.04	99.06	99.74	98.87	96.05	99.02	99.18	98.86	98.70	99.18	97.42	97.76	
Ab	89.0	87.5	89.0	89.0	85.8	88.2	91.8	92.4	89.4	88.2	88.5	89.1	
An	9.8	10.7	10.0	9.9	12.4	10.9	7.5	7.0	10.1	10.3	9.5	10.0	
Or	1.3	1.8	1.0	1.2	1.8	0.9	0.8	0.7	0.5	1.5	2.0	0.9	
Rock type	ERG											HZ	
Sample	21	22	23	26	27	28	29	30	118	119	120	125	
Location	MJ11h										MJ11i		
SiO ₂	64.90	64.06	64.90	64.22	64.73	64.15	64.47	64.80	63.58	62.23	62.55	62.51	
Al ₂ O ₃	21.50	21.76	21.67	21.38	21.58	21.53	21.46	21.63	23.02	23.78	23.14	23.42	
FeO	0.05	0.02	0.08	0.04	0.04	0.05	0.04	0.06	0.03	0.02	0.05	0.02	
CaO	2.04	2.30	1.83	1.75	2.06	2.18	1.95	1.84	3.42	4.35	3.82	4.14	
Na ₂ O	10.68	10.37	10.35	10.53	10.47	10.48	10.79	10.53	9.90	9.31	9.54	9.61	
K ₂ O	0.19	0.17	0.18	0.20	0.15	0.22	0.13	0.24	0.15	0.14	0.29	0.16	
Total	99.36	98.67	99.00	98.12	99.04	98.61	98.83	99.09	100.11	99.82	99.39	99.87	
Ab	89.5	88.2	90.2Q	90.6	89.4	88.6	90.3	90.0	83.3	78.9	80.5	80.0	
An	9.5	10.8	8.8	8.3	9.7	10.2	9.0	8.7	15.9	20.4	17.8	19.1	
Or	1.0	1.0	1.0	1.1	0.9	1.2	0.7	1.3	0.8	0.8	1.6	0.9	
Rock type	HZ											MME	
Sample	126	127	129	130	131	132	133	134	135	136	138	53	
Location	MJ11i											JK15R	
SiO ₂	64.55	64.45	61.19	64.56	64.52	62.40	62.82	63.30	62.51	62.83	63.38	62.29	
Al ₂ O ₃	22.17	22.27	22.22	23.03	21.70	24.06	23.22	22.93	22.91	23.10	23.00	23.30	
FeO	0.03	0.03	0.09	0.00	0.01	0.05	0.09	0.05	0.03	0.06	0.04	0.05	
CaO	2.53	2.81	2.54	3.18	2.29	5.42	4.12	3.45	3.70	3.81	3.54	4.16	
Na ₂ O	10.62	10.36	10.01	10.64	10.37	9.27	9.48	9.89	9.57	9.51	9.89	9.36	
K ₂ O	0.29	0.18	0.32	0.21	0.43	0.12	0.31	0.17	0.20	0.37	0.27	0.30	
Total	100.18	100.09	96.37	101.62	99.31	101.31	100.04	99.79	98.91	99.68	100.11	99.46	
Ab	87.0	86.1	86.1	84.9	87.0	75.1	79.2	83.1	81.5	80.2	82.3	79.0	
An	11.4	12.9	12.1	14.0	10.6	24.3	19.0	16.0	17.4	17.7	16.3	19.4	
Or	1.6	1.0	1.8	1.1	2.4	0.7	1.7	1.0	1.2	2.1	1.5	1.7	
Rock type	MME												
Sample	54	55	56	57	64	65	66	67	68	69	70	71	
Location	JK15												
SiO ₂	62.44	62.07	61.16	61.90	63.81	61.77	62.22	61.75	64.02	62.26	62.43	62.56	
Al ₂ O ₃	23.15	23.45	23.33	23.44	22.22	23.39	23.14	23.81	22.02	23.44	22.95	23.41	
FeO	0.09	0.11	0.10	0.11	0.05	0.03	0.11	0.07	0.04	0.09	0.11	0.08	
CaO	3.62	3.39	4.21	3.92	2.53	4.27	3.87	4.35	2.28	4.04	3.69	3.84	
Na ₂ O	9.53	9.22	9.22	9.28	10.35	9.49	9.39	9.13	10.39	9.29	9.28	9.54	
K ₂ O	0.43	0.32	0.37	0.36	0.25	0.30	0.41	0.33	0.34	0.42	0.47	0.34	

Appendix 5. Continued.

Total	99.26	98.56	98.39	99.00	99.21	99.25	99.15	99.44	99.10	99.54	98.94	99.76
Ab	80.7	81.6	78.2	79.4	86.9	78.8	79.6	77.7	87.5	78.7	79.8	80.3
An	17.0	16.6	19.7	18.6	11.7	19.6	18.1	20.4	10.6	18.9	17.5	17.9
Or	2.4	1.9	2.1	2.0	1.4	1.6	2.3	1.9	1.9	2.3	2.7	1.9
Rock type	MME						HLE					
Sample	72	73	74	78	79	80	81	82	83	84	85	87
Location	JK15						MJ11f					
SiO ₂	62.21	62.30	61.79	62.01	63.79	62.90	63.54	63.34	64.63	63.88	62.88	64.20
Al ₂ O ₃	23.71	23.36	23.68	23.42	22.60	22.29	22.31	21.92	22.27	22.40	22.70	22.75
FeO	0.10	0.09	0.07	0.03	0.04	0.06	0.05	0.03	0.03	0.04	0.03	0.01
CaO	4.23	3.92	4.25	4.26	2.87	2.73	2.74	2.37	2.56	2.99	3.10	3.00
Na ₂ O	9.38	9.10	9.45	9.50	10.29	10.32	10.27	10.00	10.05	10.33	9.53	10.22
K ₂ O	0.46	0.45	0.38	0.28	0.38	0.24	0.25	0.18	0.16	0.20	0.37	0.21
Total	100.09	99.20	99.62	99.51	99.97	98.54	99.16	97.84	99.70	99.84	98.61	100.38
Ab	78.0	78.7	78.4	78.9	84.8	86.1	86.0	87.5	86.8	85.3	83.0	85.0
An	19.5	18.7	19.5	19.6	13.1	12.6	12.7	11.5	12.2	13.6	14.9	13.8
Or	2.5	2.6	2.1	1.6	2.1	1.3	1.4	1.1	0.9	1.1	2.1	1.1
Rock type	HLE						HLE					
Sample	88	90	91	92	95	96	88	90	91	91	91	91
Location	MJ11f						MJ11f					
SiO ₂	63.42	63.19	64.05	62.78	64.25	63.95	63.42	63.19	64.05	64.05	64.05	64.05
Al ₂ O ₃	23.15	22.94	22.76	23.69	23.00	21.51	23.15	22.94	22.76	22.76	22.76	22.76
FeO	0.03	0.08	0.10	0.07	0.00	0.02	0.03	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
CaO	3.83	3.43	2.90	3.95	3.43	3.02	3.83	3.43	2.90	2.90	2.90	2.90
Na ₂ O	9.80	9.78	10.08	9.78	9.50	10.27	9.80	9.78	10.08	10.08	10.08	10.08
K ₂ O	0.36	0.39	0.47	0.39	0.09	0.20	0.36	0.39	0.47	0.47	0.47	0.47
Total	100.59	99.81	100.36	100.66	100.26	98.97	100.59	99.81	100.36	100.36	100.36	100.36
Ab	80.6	81.9	84.0	80.0	82.9	85.1	80.6	81.9	84.0	84.0	84.0	84.0
An	17.4	15.9	13.4	17.9	16.5	13.8	17.4	15.9	13.4	13.4	13.4	13.4
Or	1.9	2.2	2.6	2.1	0.5	1.1	1.9	2.2	2.6	2.6	2.6	2.6

Appendix 6. Chemical composition of matrix plagioclase. Sample site is presented in Fig. 1.

Rock type	EPG				ERG				MME							
Sample	172	249	250	12	13	14	164	165	167	47	48	49	50	51		
Location	MJ14				MJ11h				MJ11a				JK15			
SiO ₂	65.42	65.56	65.90	66.51	62.90	67.16	65.78	63.56	64.12	63.57	63.37	63.16	57.95	63.44		
Al ₂ O ₃	21.07	20.96	20.66	20.33	21.82	20.02	20.60	22.04	22.15	22.53	22.60	22.34	25.84	22.46		
FeO	0.11	0.06	0.11	0.01	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.09	0.13	0.08	0.08	0.11		
CaO	1.53	1.78	1.74	0.43	2.73	0.31	0.91	2.77	2.74	2.93	3.27	3.03	6.84	2.95		
Na ₂ O	10.77	10.31	10.49	11.87	10.00	11.53	11.29	9.78	10.08	9.97	10.15	9.69	7.52	10.11		
K ₂ O	0.35	0.34	0.33	0.13	0.34	0.10	0.19	0.42	0.55	0.14	0.18	0.29	0.19	0.29		
Total	99.24	99.00	99.22	99.29	97.81	99.15	98.81	98.60	99.66	99.22	99.69	98.58	98.41	99.36		
Ab	90.9	89.5	89.9	97.3	85.2	98.0	94.7	84.4	84.3	85.4	84.1	83.9	65.8	84.7		
An	7.1	8.5	8.2	2.0	12.9	1.5	4.2	13.2	12.6	13.9	14.9	14.5	33.1	13.7		
Or	1.9	1.9	1.8	0.7	1.9	0.5	1.0	2.4	3.0	0.8	1.0	1.6	1.1	1.6		

참고문헌

- 김재영, 1991, 경남 언양일대의 언양화강암체에 관한 암석학적 연구. 부산대학교 석사 학위논문, 38p.
- 김종선, 이준동, 윤성효, 1998, 거제도 화강암질암의 마그마 불균질 혼합 증거: 1. 그 기재적 특성. 지질학회지, 34, 105-121.
- 김종선, 이준동, 김인수, 백인성, 최보심, 2000, 울산 방어진일대 화강암내에 산출되는 포획암의 암석학적 연구. 지질학회지, 36, 73-92.
- 김창호, 1993, 경남 양산군 배태고개-석계 일대에 분포하는 화강암류에 관한 연구. 부산대학교 석사 학위논문, 68p.
- 박양대, 윤형대, 1968a, 한국지질도(1:50,000), 울산도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 45p.
- 박양대, 윤형대, 1968b, 한국지질도(1:50,000), 방어진도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 42p.
- 손문, 김인수, 1994, 울산군 강동면 제3기 정자분지의 지질구조와 분지발달. 자원환경지질학회지, 27, 65-80.
- 손문, 강희철, 김인수, 1996, 남한 제3기 분지지역에 대한 고자기 연구: 3. 정자-울산분지와 그 일원. 자원환경지질학회지, 29, 509-522.
- 이미려, 1997, 경남 남해군 일원에 분포하는 화강암질암에 관한 암석학적 연구. 부산대학교 석사 학위논문, 75p.
- 이종익, 이미정, 두경택, 이민성, Keisuke Nagao, 1997, 경상분지 중동부 울산-경주 지역의 화강암체에 대한 K-Ar 연대 측정. 지구과학회지, 18, 379-389.
- 좌용주, 김건기, 2000, 의성분지 보현산 일대 화강암류와 포획암에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 9, 187-203.
- 진미정, 김종선, 이준동, 김인수, 백인성, 2000, 양산시 원효산 화강암에 산출되는 포획암에 대한 암석학적 연구. 암석학회지, 9, 142-168.
- Bussy, F., 1990, The rapakivi texture of feldspars in a plutonic mixing environment: a dissolution-recrystallization process? *Geol. J.*, 25, 319-324.
- Castro, A., 2001, Plagioclase morphologies in assimilation experiments. Implications for disequilibrium melting in the generation of granodiorite rocks. *Mineral. Petro.*, 71, 31-49.
- Dempster, T.J., Hutton, D.H.W., Harrison, T.N., Brown, P.E. and Jenkin, G.R.T., 1991, Textural evolution of the rapakivi granites, south Greenland-Sr, O and H isotopic investigations. *Contrib. Miner. Petrol.*, 107, 459-471.
- Dempster, T.J., Jenkin, G.R.T. and Rogers, G., 1994, The origin of rapakivi texture. *J. Petrol.*, 35, 963-981.
- Eichelberger, J.C., 1980, Vesiculation of mafic magma during replenishment of silicic magma reservoirs. *Nature*, 288, 446-450.
- Eklund, O. and Shebanov, A.D., 1999, The origin of rapakivi texture by sub-isothermal decompression. *Precambrian Res.*, 95, 129-146.
- Elders, W.A., 1966, Mantled feldspars from the granites of Wisconsin. *J. Geol.*, 76, 37-49.
- Elliston, J.N., 1985, Rapakivi texture: An indication of the crystallization of hydrosilicates, II. *Earth Science Review*, 22, 1-92.
- Emslie, R.F., 1991, Granitoids of rapakivi granite-anorthosites and related associations. *Precambrian Res.*, 51, 173-192.
- Gate, R.M., 1953, Petrogenetic significance of perthite. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 52, 55-69.
- Haapala, I. and Rämö, O.T., 1999, Rapakivi granites and related rocks: an introduction. *Precambrian Res.*, 95, 1-7.
- Hawkes, J., 1967, Rapakivi texture in the Dartmoor granite. *Ussher Soc. Proc.*, 1, 270-271.
- Hibbard, M.J., 1979, Synneis stacking of plagioclase and the mantling of alkali feldspar. *Geol. Soc. Am. Abstr. Progr.*, 11, 84.
- Hibbard, M.J., 1981, The magma mixing origin of mantled feldspars. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 76, 158-170.
- Hibbard, M.J., 1995, Petrography and Petrogenesis, Prentice Hall, New Jersey, 587p.
- Holmquist, P.J., 1901, Rapakivistruktur och granitstruktur. *Geol. Foren. Forth.*, 23, 150-161.
- Hubbard, F.H., 1965, Antiperthite and mantled feldspar textures in charnockite (enderbite) from SW Nigeria. *Am. Mineral.*, 50, 2040-2051.
- Lofgren, G., 1974, An experimental study of plagioclase crystal morphology: isothermal crystallization. *Am. J. Sci.*, 274, 243-273.
- Lofgren, G., 1980, Experimental studies on the dynamic crystallization of silicate melts. In physics of Magmatic Processes, R.B. Hargraves, ed. Princeton, NJ: Princeton University Press, 551
- MacDonald, G.A. and Katsura, T., 1965, Eruption of Lassen Park, Cascade Range, California, in 1915: Example of mixed magmas. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 76, 475-482.
- McDowell, S.D., 1978, Little Chief granite porphyry: feldspar crystallization history. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89, 33-49.
- Morse, S.A. and Lofgren, G.E., 1978, Simultaneous crystallization of feldspar intergrowths from the melt: a discussion. *Am. Miner.*, 63, 419-421
- Nekvasil, H., 1991, Ascent of felsic magmas and formation of rapakivi. *Am. Mineral.*, 76, 1279-1290.
- Rämö, O.T. and Haapala, I., 1995, One hundred years of rapakivi granite. *Miner. Petrol.*, 52, 129-185.
- Sederholm, J.J., 1891, Über die finnländischen Rapakivigesteine. *Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt.*, 12, 1-31.
- Shin, K.C., 2001, Petrological study on the Yucheon granite in the Cheongdo-Miryang district: -with emphasis on felsic and mafic magma interactions-. M.S. Dissertation, Pusan National University, Korea, 106p.
- Smith, J.V. and Brown, W.L., 1988, Feldspar minerals. Springer, Berlin Heidelberg New York, 828p.
- Sparks, S.R.J., Sigurdsson, H. and Wilson, L., 1977, Magma mixing: a mechanism for explosive eruptions. *Nature*,

- 267, 315-318.
- Stewart, D.B., 1956, Rapakivi granite from eastern Penobscot Bay, Maine. *Internat. Geol. Cong. 20th Mexico Proc.*, 11A, 293-320.
- Stimac, J.A. and Wark, D.A., 1992, Plagioclase mantles on sanidine in silicic lavas, Clear Lake, California: Implications for the origin of rapakivi texture. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 104, 728-744.
- Stull, R.J., 1978, Mantled feldspars from the Golden Horn batholith, Washington. *Lithos* 11, 243-249.
- Stull, R.J., 1979, Mantled feldspars and synneusis. *Am. Mineral.*, 64, 514-518.
- Terzaghi, R.D., 1940, The Rapakivi of Head Harbor Island, Maine. *Am. Mineral.*, 25, 111-122.
- Tuttle, O.F. and Bowen, N.L., 1958, Origin of granite the light of experimental studies in the system of $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - SiO_2 - H_2O . *Geol. Soc. Am. Mem.*, 74, 1-153.
- Vance, J.A., 1969, On synneusis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 24, 7-29.
- von Wolf F., 1932, Das praekambrium Finnlands. *Geol. Rundsch.*, 23, 89-122.
- Wager, L.R., Bailey, E.B., Brown, C.M. and Bell, J.D., 1965, Marscoite and related rocks of the western Red Hills complex, Isle of Skye. *Philos. Trans. R. Soc. London ser. A.*, 257, 273-307.
- Wahl, W., 1925, Die Gesteine des Wiborger Rapakivigebietes. *Fennia*, 45, 1-127.
- Wark, D.A. and Stimac, J.A., 1992, Origin of mantled (rapakivi) feldspar: experimental evidence of a dissolution- and diffusion-controlled mechanism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 111, 345-361.
- Whitney, J.A., 1975, The effects of pressure, temperature, and XH_2O on phase assemblage in four synthetic rock compositions. *J. Geol.*, 83, 1-31.
- Wilcox, R.E., 1944, Rhyolite-basalt complex on Gardiner River, Yellowstone Park, Wyoming. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 55, 1047-1080.

(2001년 12월 17일 접수, 2002년 3월 6일 채택)