

경상분지 화강암류에서 발견되는 엔클레이브(포유암)에 대한 암석기재적 연구

김종선^{1,*} · 김건기² · 좌용주² · 이준동¹

¹부산대학교 지질환경과학전공, ²경상대학교 지구환경과학과

Petrographical study for the enclaves of the granitic rocks, in the Gyeongsang Basin, Korea

Jong-Sun Kim^{1,*}, Kun-Ki Kim², Yong-Joo Jwa² and Joon-Dong Lee¹

¹Department of Geology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²Department of Earth & Environmental Sciences, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

요약: 이 연구에서는 화강암 내에 산출되는 ‘엔클레이브’를 ‘포유암’으로 번역할 것을 제안한다. 그리고 경상분지 화강암 내에 산출되는 심성암, 화산암, 퇴적암의 포획암과 염기성 미립 포유암의 암석기재학적 연구를 통하여 포유암의 종류를 쉽게 구별할 수 있는 수단을 제공하고자 한다. 염기성 미립 포유암의 색깔은 짙은 회록색-암회색으로 입자크기는 세립의 등립질이며, 외형은 대체로 타원형이 우세하고, 분포는 화강암체의 전 반에 분포하며, 접촉변성작용의 흔적이 관찰되지 않는다. 그러나 포획암은 각진 형태가 보편적이며, 주변에 포획암의 모양이 존재하고, 관입접촉부에 집중적으로 분포하며, 접촉변성작용을 받았을 가능성이 있다. 심성암의 포획암인 경우에는 야외에서 각진 외형, 조립의 입자크기 등에서 염기성 미립 포유암과 뚜렷한 차이를 보이고 있었으며, 경하관찰에 의하면 접촉변성 작용의 흔적이 관찰되지 않는다. 그리고 용회암의 포획암인 경우에도 야외에서 각진 외형과 반상조직을 보이고, 경하에서 화산쇄설암의 조직을 그대로 유지하고 있었다. 한편, 퇴적암의 포획암인 경우에는, 포획암의 크기가 큰 경우에는 화강암이 층리면을 따라 주입되어 층리가 남아 있는 경우가 많으나, 크기가 작은 경우에는 염기성 미립 포유암과 구별이 어려운 경우가 많다. 그러나 경하관찰에 의하면, 접촉변성작용에 의한 변성광물의 출현과 더불어 퇴적암의 조직이 남아 있는 경우가 많다. 따라서 포획암은 일반적으로 색깔, 외형, 입자크기, 구조 등으로부터 야외에서 염기성 미립 포유암과 쉽게 구별이 가능하며, 작은 크기의 퇴적암인 경우에는 변성광물 조합과 조직의 현미경관찰로 염기성 미립 포유암과 구별이 가능하다.

주요어: 화강암, 암석기재학, 포유암, 염기성 미립 포유암, 포획암

Abstract: In this study we propose that the ‘enclaves’ which occur in the granites should be translated into ‘Po-yu-am’ in Korean. Also we suggest some criteria to discriminate the mafic microgranular enclaves (MME) of igneous origin from the xenoliths, which possibly come from the plutonic, volcanic and sedimentary country rocks. The color of the MME is gray green-dark gray and the mineral grains are fine and equigranular. The MME are generally of ellipsoidal shape and can be easily found within the granites. They do not show any evidence of contact metamorphism by granite host. On the other hand, the xenoliths are generally of angular shape and are of the same mineral assemblage and texture as the country rocks around the granites. The distribution of the xenoliths is mostly concentrated along the intruding plane of the granites near the country rocks. The xenoliths were partly metamorphosed by the granite intrusion. The xenoliths from the plutonic rocks are easily distinguished from the MME in terms of their angular shape and coarser grain size, but they do not have any metamorphic mineral assemblage and texture. The xenoliths from the tuffaceous rocks show angular shape and porphyritic and pyroclastic textures. Large size xenoliths from the sedimentary rocks specifically preserve bedding structure which are indicative of the sedimentary strata. However, the sedimentary xenoliths of small size are often difficult to distinguish from the MME. Metamorphic minerals and texture are a useful key to discriminate the small-sized sedimentary xenoliths from the MME. In summary the xenoliths in the granites can be megascopically distinguished

*Corresponding author: Tel: 82-51-510-2184, E-mail: kjsun@pusan.ac.kr

from the MME by comparing their color, shape, grain size and remnant original structure like bedding. Additionally the metamorphic mineral assemblage and texture are microscopic discriminators between the xenoliths and the MME in the granites.

Key words: granite, petrography, enclave, MME, xenolith

서 론

새로운 용어의 제안

경상분지에 분포하는 화강암류는 엔클레이브(enclave)로 알려진 모암과는 다른 암석들을 포함하고 있다(김종선, 2001). 엔클레이브의 사전적인 의미는 다른 것에 의해 완전히 둘러싸인 지역 또는 영토의 일부라는 뜻이다. 지질학에서는 Hutton(1795)이 최초로 사용하였고, 마그마 기원의 암석(magmatic rocks)에 포함되어 있는 이질(異質)의 물질을 의미한다. 그리고 프랑스의 광물학자인 Lacroix(1890)에 의해서 화산암에 포함되어 있는 다양한 엔클레이브가 보고되었으며, Didier(1973)에 의해서 널리 사용되게 되었다. 우리나라에서는 조동룡과 권성택(1994)에 의해 ‘염기성 포획체(mafic enclave)’라는 용어가 사용되기 시작했다. 김종선(1996)은 엔클레이브에 대하여 우리말로 ‘포획암’이라는 용어를 사용했고, MME(mafic microgranular enclave)를 ‘염기성 미립 포획암’으로 명명한 바 있으며 그 후 좌용주와 김건기(2000)에 의해 같은 용어가 계속 사용되었다. 그러나 황상구 외(2002)는 MME를 ‘고철질 미립상 내포체’로 번역한 바 있다. 이렇듯 여러 저자들에게 의해 엔클레이브의 우리말로 포획암, 포획체, 내포체 등의 다양한 용어가 사용되어 왔으나, 이미 국내 지질학 용어 사전(홍영국, 1989; 양승영, 2001)에 포획암은 ‘xenolith’를 의미하는 말로 사용되고 있어서 용어의 사용에 있어서 혼란을 가져왔다. 내포체의 경우 ‘내포’의 사전적 의미는 어떤 개념의 내용이 되는 여러 속성을 가진다는 것으로 지질학적 내용에는 적합하지 않다. 또한 엔클레이브가 기계적 특징과 성인이 분명하게 규정되는 암석이므로 접미어로 ‘체’보다는 ‘암’을 붙여야 타당할 것으로 생각된다. 한편 포획암과 포획체에서 포획(捕獲)이라는 의미는 ‘사로잡다’는 의미를 나타내므로 주변 모암의 암편을 의미하는 ‘xenolith’의 우리말에 더욱 적합할 것으로 판단된다. 따라서 엔클레이브에 대한 우리말로 ‘포유암(包有岩)’을 제안하고자 한다. 포유암에서 포유(包有)란 ‘둘러싸서 가지고 있는’을 의미하므로 다른 것에 의해 완전히 둘러싸인 지역 또는 영토의 일부라는 엔클레이브의 뜻과도 잘 일치한다 하겠다. 한편 중국의 지질학 용어 사전에서는 엔클레이브

를 ‘포체(包體)’로 번역하고 있으며, 일본의 경우에는 엔클레이브를 포유암, MME를 고철질 화성 포유암으로 의견이 모아지고 있다고 한다(Yoshikura, 사견). 국내에서도 엔클레이브에 대한 연구가 점차 활성화되고 있는 점을 감안한다면 엔클레이브의 우리말 용어 정의가 필요한 시점임에는 분명하다. 따라서 아시아권에서 용어의 사용을 통일한다는 부분까지를 고려하여, 엔클레이브의 우리말 용어로 그 산출상태를 정확히 표현할 수 있는 ‘포유암’과, MME를 ‘염기성 미립 포유암’으로 각각 제안하고자 한다.

화강암류내에 산출되는 다양한 종류의 포유암은 여러 연구자들에 의해 연구되었다(Chappell *et al.*, 1987; Chen *et al.*, 1989; Dodge and Kistler, 1990; Didier and Barbarin, 1991a; Barbarin and Didier, 1992; Elburg, 1996; Mass *et al.*, 1997). 경상분지 화강암류내에 산출되는 대부분의 포유암은 짙은 회록색-암회색의 세립질이며 대체로 타원형(ellipsoid)이 우세한데, 이는 소위 염기성 미립 포유암에 해당된다(김종선 외, 1998, 2000; 김춘식 외, 1999; 김종선과 이준동, 2000). 이러한 염기성 미립 포유암은 세계 여러 지역의 화강암류내에 포함되어 있는 것으로 보고되고 있다(Grout, 1937; Didier, 1973; Chappell, 1978; Vernon, 1984, 1990; Reid *et al.*, 1983; Holden *et al.*, 1987, 1991; Barbarin, 1988; Chen *et al.*, 1989, 1990; Didier and Barbarin, 1991b; Barbarin and Didier, 1992).

그러나 이들의 기원에 관해서는 아직 논의가 되고 있으며, 현재까지의 보고에 의하면 그들의 성인을 4가지로 나눌 수 있다. 첫째, 주변 기반암의 암편으로, 규장질(felsic) 마그마가 관입 정지하는 동안 주변에 분포하던 모암의 암편을 포함하면서 고화되어 형성된 것이다. 이런 경우 모암의 성분이 혼입될 가능성을 가진다. 둘째, 모(host) 마그마 그 자체에서 초기에 형성된 결정들이 집적(cumulation) 또는 마그마 챔버의 급냉 연변부가 붕괴(disrupted borders)된 것으로(Phillips *et al.*, 1981; Clemens and Wall, 1988; Dodge and Kistler, 1990), 이런 경우 포유암은 천부에서의 마그마 챔버 과정에 대한 정보를 제공할 수 있다. 셋째, 마그마 불균질 혼합(mingling)에 따른 것으로, 화강암류 내의 염기성 미립 포유암은 규장질 마그마와 그에 주입된 고철

질(mafic) 마그마 사이의 불균질 혼합의 결과로 해석된다. 이때 고철질 마그마의 과냉각(supercooling)에 따라 포유암은 세립질 조직을 가지게 되며, 두 마그마의 밀도와 점성 차이에 의해 타원형의 외형을 가지게 되는 것으로 해석된다(Didier, 1973; Didier and Barbarin, 1991a). 넷째, 잔류암(restite) 기원에 의한 것(Chappell, 1978; Chen *et al.*, 1989, 1990)으로, 염기성 미립 포유암은 화강암의 기원이 되는 암석 중 녹지 않은 포드(pod)로 해석된다. 이러한 포드는 용융이 일어나는 동안 용융상태에 이르지 못하고 응집되어 남아 있는 것

이다. 만약 염기성 미립 포유암이 잔류암 포드라면 White and Chappell(1977)의 잔류암 불혼합(unmixing) 모델과 일치할 것이며 화강암류의 기원에 관한 중요한 정보를 우리에게 제공할 수 있다. 이러한 성인들 중 최근의 연구자들은 세 번째와 네 번째 모델에 가장 많은 관심을 가지고 있다.

미국과 호주, 스코틀랜드, 히말라야 등지에서 염기성 미립 포유암의 산출이 보고되었으며 이들에 대한 기재적인 특징과 기원은 Didier(1973), Babarin(1988), Vernon(1984, 1990), Hibbard(1995) 등에 의해 보고되었다. 또

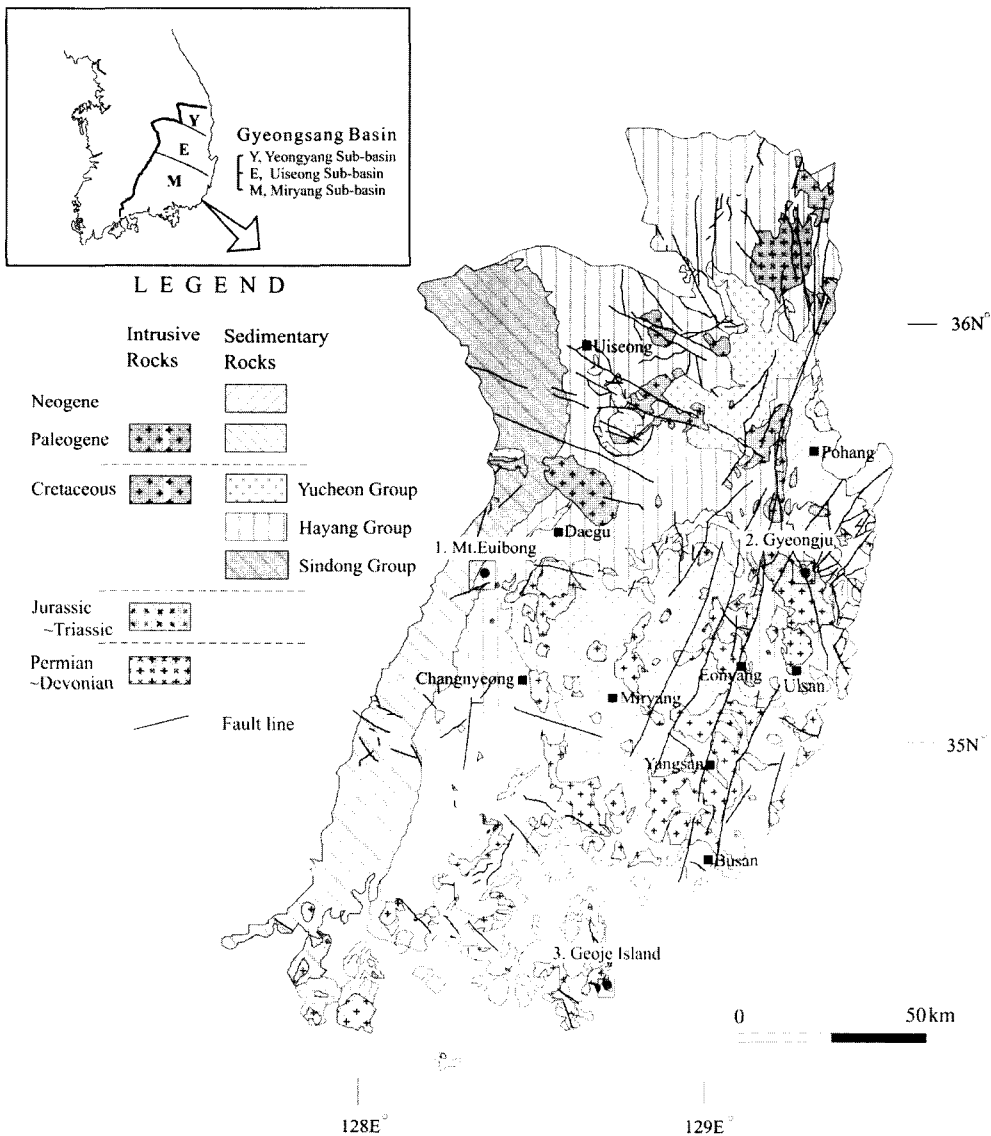


Fig. 1. Study areas and simplified geological map of the Gyeongsang Basin (modified from KIGAM, 1995).

한 경상분지 화강암류 중 양산(진미정 외, 2000; 김종선, 2001), 보현산(좌용주와 김건기, 2000), 거제도(김종선과 이준동, 2000; 김종선 외, 1998), 방어진(김종선 외, 2000), 유천(신기철, 2001; Kim *et al.*, 2002), 연양(김종선, 2001) 화강암류에 포함된 포유암은 앞의 연구자들에 의해 밝혀진 MME의 기재적 특성을 가지고 있다. 뿐만 아니라 고철질 마그마와 규장질 마그마의 혼합경향을 보여주는 지화학학적 특성들이 보고되었는데(Poli and Tommasini, 1991; Vincenzo and Rocchi, 1999) 이들 또한 경상분지의 염기성 미립 포유암의 양상과 잘 일치한다(김종선, 2001). 그러나 현재까지의 연구는 염기성 미립 포유암의 암석학적 연구에만 집중되어 있는 경향이 있다.

따라서 이번 연구에서는 화성암의 관입시 주변 모암의 암편으로 판단되는 포획암에 대한 기재암석학적 연구에 중점을 두었다. 한편 여기에서 획득된 자료와 기존의 염기성 미립 포유암에 대한 자료와 비교 검토함으로써 화강암류내에 산출되는 다양한 포유암에 대한 중요한 자료가 획득될 것으로 판단된다. 특히 심성암, 퇴적암, 화산암의 각 종류에 해당하는 다양한 포획암을 채취하여 비교 검토함으로써 염기성 미립 포유암과 어떻게 다른 지와 어떻게 구별할 수 있는 지에 관한 기준을 제공하고자 하였다.

지질 배경

연구지역은 경상분지에 속하는 고령(고령군 운수면 의봉산), 경주(경주시 외동읍 신계리 계곡), 거제도(거제시 일운면 옥림리 하촌)에 해당하는 지역이다(Fig. 1). 경상분지에 분포하는 백악기~제3기 화강암류에서 포획암이 발견되는 지역은 주변 기반암과 화강암류의 접촉부에 한정되며, 화강암류 내에서는 염기성 미립 포유암이 함께 산출된다. 아래에서는 각 지역별로 일반 지질을 간략히 살펴보기로 한다.

고령지역은 선캠브리아기의 편마암을 기반암으로 하여 그 상부에 백악기 신동층군의 낙동층, 하산동층, 진주층이 분포하며, 하양층군의 철곡층, 신라역암층, 함안층, 진동층의 퇴적암과 유천층군의 주사산 안산암질암이 분포하고, 흑운모 화강암이 이들을 관입하였다(김기완과 여상철, 1970).

고령군 운수면 의봉산 일원(Fig. 1)은 진주층과 이들을 관입한 흑운모 화강암으로 구성되어 있다. 연구지역에 분포하는 진주층은 하산동층을 정합적으로 피복하고 있으며, 주로 회색, 녹회색의 사암, 이암, 셰일, 암회색 또는 흑색의 셰일, 사질셰일과 역질사암, 석회암



Fig. 2. Occurrence of MME and xenoliths as enclaves in the Mt. Euibong.

결핵체등으로 구성되어 있고 자색의 사암이 진주층과 하산동층을 구별하는 건층이다(김기완과 여상철, 1970). 이번 조사에서는 의봉산 일원에 주로 분포하는 심성암류는 석영섬록암에 해당하고, 흑운모 화강암에 해당될 것으로 판단되는 소규모의 화강암류는 석영섬록암을 관입하여 분포함이 밝혀졌다(Fig. 2). 화강암류 내에는 심성암의 암편인 석영섬록암의 포획암과 염기성 미립 포유암이 함께 산출된다.

경주지역의 경우에는 화강암류 내에 퇴적암의 암편이 특징적으로 산출된다. 주변의 지질은 하양층군의 대구층을 하부층으로, 유천층군의 화산암류와 이들을 관입한 백악기~제3기의 화강암류가 분포한다(윤성효와 황인호, 1990). 화강암류는 토함산 화강섬록암, 흑운모(또는 등립질) 화강암, 남산 알칼리화강암의 세 가지 구별되는 암상의 화강암이 분포한다(이종익 외, 1997, 고정선, 2001, 황병훈, 2004). 그리고 이들에 대한 관입 시기와 성인에 대한 다양한 연구가 수행된 바 있다(이미정 외, 1995, 이준동과 황병훈, 1999, 고정선, 2001, 황병훈, 2004). 퇴적암의 암편이 산출되는 지역은 경주시 외동읍 신계리 계곡일원(Fig. 1)과 불국사에서 석굴암으로 가는 도로변에 일부 노출되어 있다. 퇴적암 암편은 하양층군의 대구층으로 판단되며, 일부만이 토함산 화강섬록암내에 현수체(roof pendant)의 형태로 고립되어 산출된다. 이 지역의 화강섬록암 내에는 퇴적암의 포획암과 염기성 미립 포유암이 함께 산출된다.

거제도지역은 하부로부터 백악기 하양층군의 장목리층과 성포리층, 이들을 관입 또는 분출한 유천층군의 화산암류(안산암질암 및 데사이트질 화류용회암), 그리고 다시 이들을 관입한 화강암류와 섬록암으로 구성되어 있으며(원종관 외, 1980), 화산암류와 심성암체에 관

해서는 암석학적인 연구가 수행된 바 있다(윤성호 외 1997, 김종선 외 1998, 이춘희와 이상원, 1999). 연구지역인 거제시 일운면 옥림리 하촌일원(Fig. 1)에는 소규모의 안산암질 화산력 응회암과 이를 관입한 화강섬록암이 분포한다. 이들의 접촉부에 분포하는 화강섬록암 내에는 화산력 응회암의 포획암과 염기성 미립 포유암이 산출된다.

암석기재

화강암류 내의 포획암들에서 원래 암석의 조직과 광물조성이 어떻게 변화했는지를 알아보고, 또 이러한 변화양상이 염기성 미립 포유암과 구별되는 점은 무엇인지 알아보기 위해 모암인 화강암류에서 포획암의 접촉부를 지나 중심부를 가로지르는 방향으로 일정한 간격

Table 1. Modal compositions of the igneous rocks in the study area.

Area		Mt. Euibong							
Rock type	Qd				Granitic rocks				MME
Sample	QB-25	QB-27	GB-04	GB-10	GB-19	GB-28	GB-33	GB-36	MB-03
Quartz	8.1	7.9	32.4	28.5	40.9	30.8	49.1	43.0	4.8
Plagioclase	73.9	75.5	56.1	37.8	40.4	58.1	26.5	39.3	58.3
K-feldspar	2.40	2.5	4.3	22.3	12.4	0.5	15.4	11.0	2.7
Biotite	7.20	4.8	1.9	9.5	2.0	7.9	7.0	2.0	2.5
Amphibole	4.7	2.5	3.5	-	2.8	0.1	0.1	2.1	5.6
Chlorite	2.5	4.9	0.8	1.7	0.9	2.5	1.1	1.9	23.0
Opaque	1.2	1.9	1.0	0.2	0.6	0.1	0.8	0.7	3.1
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Area		Mt. Euibong							
Rock type	MME				Xen				
Sample	MB-13	MB-14	MB-15	MB-16	MB-30	MB-35	XB-06	XB-07	XB-08
Quartz	4.9	0.9	0.9	2.4	0.7	2.1	16.0	5.6	7.5
Plagioclase	55.8	60.2	65.6	58.7	63.6	69.6	71.6	70.7	64.8
K-feldspar	8.7	3.6	1.9	5.3	6.4	0.5	1.8	2.3	1.9
Biotite	8.1	5.5	4.3	7.7	4.5	0.7	2.1	3.7	10.6
Amphibole	0.5	5.9	7.3	17.1	6.6	7.3	6.6	2.4	7.8
Chlorite	21.7	22.3	19.1	8.2	16.5	19.5	0.4	11.8	5.1
Opaque	0.3	1.6	0.9	0.6	1.7	0.3	1.5	3.5	2.3
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Area	Mt. Euibong				Geojedo				Gyeongju			
Rock type	Xen		Gd		MME		Gd		MME			
Sample	XB-31	GE-01	GE-02	GE-03	GJ-01	GJ-02	GJ-03	GJ-04				
Quartz	4.8	33.2	23.9	5.3	25.6	26.4	27.3	15.3				
Plagioclase	73.2	38.0	44.2	60.1	49.2	47.2	42.3	58.3				
K-feldspar	6.1	20.5	23.2	21.1	16.8	16.1	24.3	15.2				
Biotite	3.3	2.4	1.5	2.1	3.5	6.5	3.7	7.2				
Amphibole	2.8	5.2	5.9	8.2	2.9	2.7	1.1	2.2				
Chlorite	8.5	0.1	0.1	0.1	0.7	0.2	0.2	0.3				
Opaque	1.3	0.4	1.1	2.5	0.5	0.6	0.4	1.3				
Others	-	0.2	0.1	0.6	0.8	0.3	0.7	0.2				
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100				

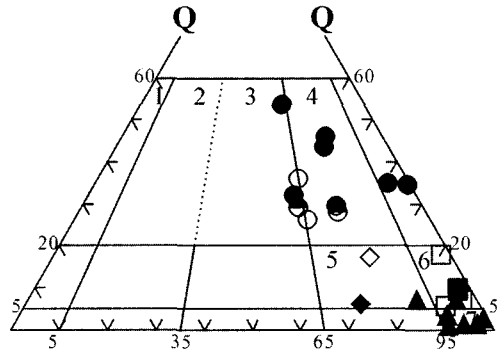
Abbreviation; Qd: quartz diorite, MME: mafic microgranular enclave, Xen: xenolith, Gd: granodiorite.

의 시료를 채취하였다. 시료는 고지자기용 코어 샘플 채취기를 이용하여 채취하였으며, 경하에서 박편을 관찰하여 광물조합과 조직을 판단하였고, 모드분석을 실시하였다. 연구 지역에 산출되는 암석들의 모드분석 결과는 Table 1과 같고, 이 결과에 근거하여 Q-A-P 삼각도에 도시하면 Fig. 3과 같다.

고령지역(심성암의 포획암)

이 지역에서는 석영섬록암을 모암으로 폭 2 m 내외의 화강암류가 이를 관입한 양상이 잘 관찰된다(Fig. 2). 화강암류내에는 크기가 20~50 cm 정도의 석영섬록암의 포획암과 5~80 cm 정도의 염기성 미립 포유암이 포함되어있다. 각 포유암과의 경계는 뚜렷한 편이며, 야외에서 염기성 미립 포유암은 타원형 또는 불규칙하게 만곡된 형태와 짙은 녹색을 띠며, 세립질의 치밀한 조직을 가진다. 포획암은 적어도 두면 이상의 각진 면을 가지고 암회색을 띠며, 중립에서 조립의 등립질 조직을 가진다. 그리고 인접한 모암과 포획암은 거의 동일한 색깔과 조직을 가지고 있다. 이와 같이 암석의 외형이나 색깔, 또는 조직에 의해 쉽게 심성암의 포획암과 염기성 미립 포유암은 구별이 된다.

경하관찰에 의하면 모암인 석영섬록암은 중립질의 등립질조직을 보이며, 주구성광물은 사장석, 흑운모, 석영이 있으며, 소량의 불투명 광물이 나타난다. 사장석은 자형으로 0.5~2.7 mm 크기의 반정으로 나타나며, 알바이트쌍정과 누대조직이 관찰된다. 흑운모는 0.7~2 mm 크기의 타형으로 결정 내에 불투명 광물을 포함하고 있다. 석영은 0.5~1 mm 크기의 타형으로 나타나고 파동소광을 잘 보이지 않는다(Fig. 4). 모드분석결과 석영섬록암의 영역에 도시된다(Fig. 3). 화강암류는 신선한 면에서는 회색을 띠며, 풍화면에서는 약한 분홍색을 보이고, 세립질의 등립질 조직을 보인다. 석영섬록암과의 경계부분에서 관입체의 중심부로 가면서 입자가 약간 증가하는 양상이 관찰되는데, 이는 화강암류가 석영섬록암을 관입한 결과로 판단된다. 주구성광물로는 사장석, 석영, 알칼리장석, 그리고 흑운모가 있으며, 소량의 녹니석, 각섬석 등이 관찰된다. 사장석은 0.5~1.5 mm 크기의 크기로 자형을 나타내며 알바이트쌍정, 누대구조를 보인다. 누대구조를 보이는 사장석은 안쪽에서부터 견운모화 과정을 보인다. 석영은 0.5~1 mm 크기의 타형으로 직소광, 파동소광을 보이고, 흑운모는 0.5~1 mm 크기의 타형으로 벽개가 뚜렷이 관찰되었다. 모드 분석결과 몬조니화강암, 화강섬록암 그리고 토날라이트 영역에 도시된다. 포획암은 주변암으로 존재하는 석영섬록암과 동일한 암색, 입자크기, 조



A P
Fig. 3. Q-A-P diagram of the igneous rocks in the study area.

직 및 구성광물을 가진다. 화강암류와의 경계부에서 나타나는 조직 및 광물의 변화를 관찰하기 위하여 중심부, 화강암류와의 인접부와 경계부의 시료를 채취해 경하관찰을 한 결과(Fig. 5) 입자변화와 광물의 조직과 함량 등에 있어서 거의 차이가 없었으며, 또한 주변암인 석영섬록암과도 큰 차이가 나타나지 않았다. 다만 포획암과 경계부에 있는 화강암류의 조직이 중심부의 화강암류에 비해 입자크기가 좀 더 세립인 점은 다르다. 모드분석 결과도 주변암인 석영섬록암과 인접한 영역에 도시된다(Fig. 3). 하지만, 염기성 미립 포유암은 세립의 등립질조직을 가지며, 구성광물은 사장석, 각섬석, 흑운모, 석영이 나타난다. 드물게 반정으로 1~2 mm 크기의 자형의 사장석이 나타나며, 래스상의 사장석은 0.5~1 mm 크기의 반자형 내지 자형을 띠고, 알바이트쌍정과 파상 누대가 나타난다. 석영은 0.3~0.5 mm 크기의 타형으로 직소광을 하고, 각섬석은 침상으로 0.3~1 mm 크기를 가진다. 모드분석 결과 섬록암 영역에 도시된다(Fig. 3). 포획암과 같은 방법으로 등 간격으로 화강암질 모암으로부터 염기성 미립 포유암을 가로질러 나타나는 조직의 변화를 살펴보면 경계부에서 약간 입자의 크기가 작은 양상이 관찰되나 광물의 조직과 함량 등에 있어서 거의 차이가 없었다(Fig. 6).

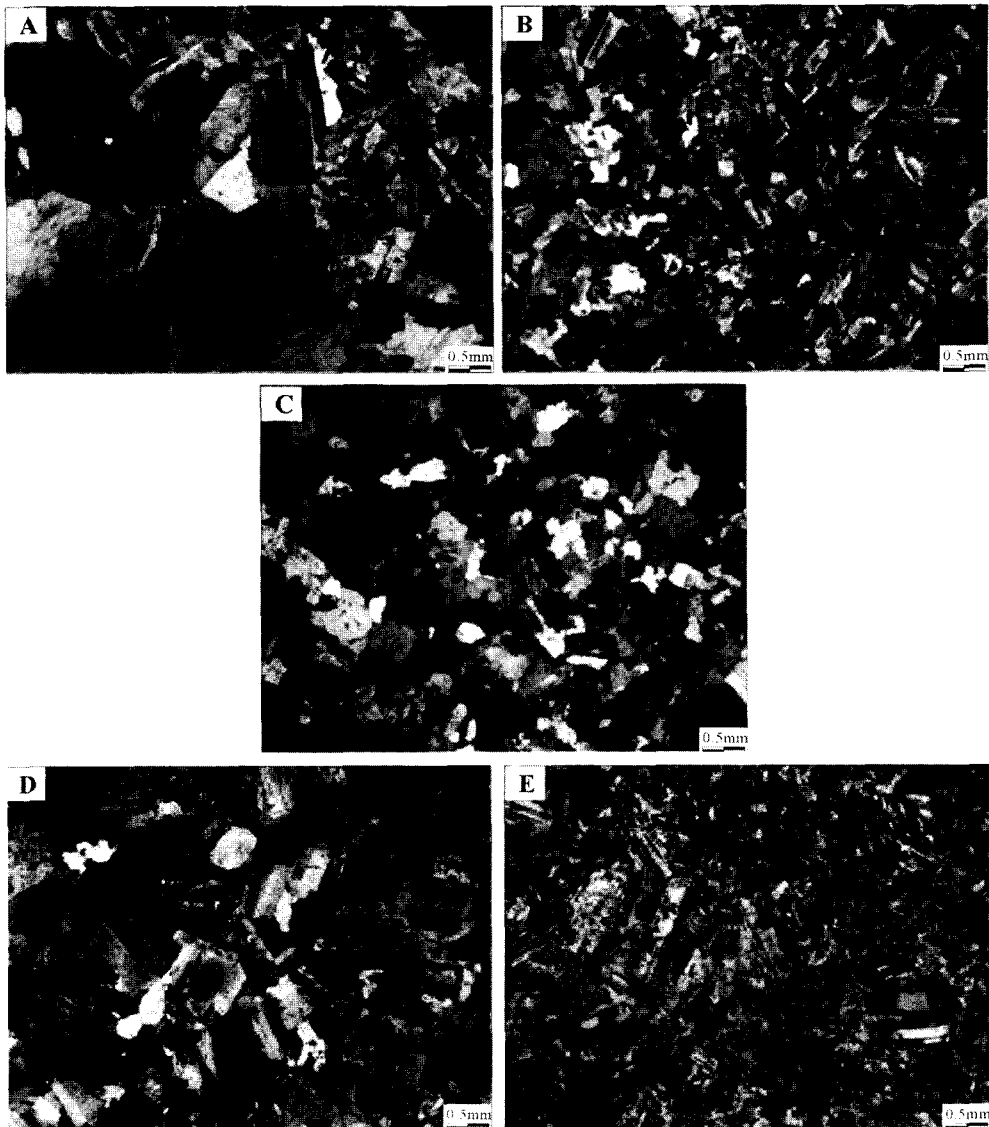


Fig. 4. Photomicrographs of quartz diorite, contacts of granite and hybrid zone, granitic rock, xenolith, and MME in the Mt. Euibong (Crossed polars, X20). (A) Quartz diorite. (B) Contact of granite and hybrid zone. (C) Granite. (D) Xenolith (quartz diorite). (E) MME.

경주지역(퇴적암의 포획암)

경주지역에는 토함산 화강섬록암내에 대구층의 포획암과 염기성 미립 포유암이 산출된다(Fig. 7). 이번 연구에서 야외에서 가장 구별하기 힘든 포획암이 퇴적암의 포획암이었다. 포획암의 크기가 큰 경우에는 대부분 화강섬록암이 퇴적암의 층리면을 따라 주입되면서 층리가 남아 있는 경우가 많아서 구별이 용이했다. 그러나, 크기가 작은 경우(2~7 cm)에는 암석의 색이나 외형, 조직 등이 염기성 미립 포유암과 유사해서 구별이

어려운 경우가 많았다. 특히 크기가 작은 퇴적암의 포획암에서 외형이 타원형에 가까운 것이 많아서, 이는 야외에서 염기성 미립 포유암과 구별할 때 외형이 중요한 지시자가 되지 못함을 의미하는 것으로 판단된다. 토함산 화강섬록암은 암회색 내지 암녹색을 띠며, 중립질의 등립 내지 반상조직을 나타낸다. 현미경하에서는 사장석, 석영, 정장석, 각섬석, 흑운모 등이 주구성광물이며, 부정분광물로 녹염석, 인회석, 갈염석, 녹니석, 불투명 광물 등이 관찰된다. 유색광물의 함량에

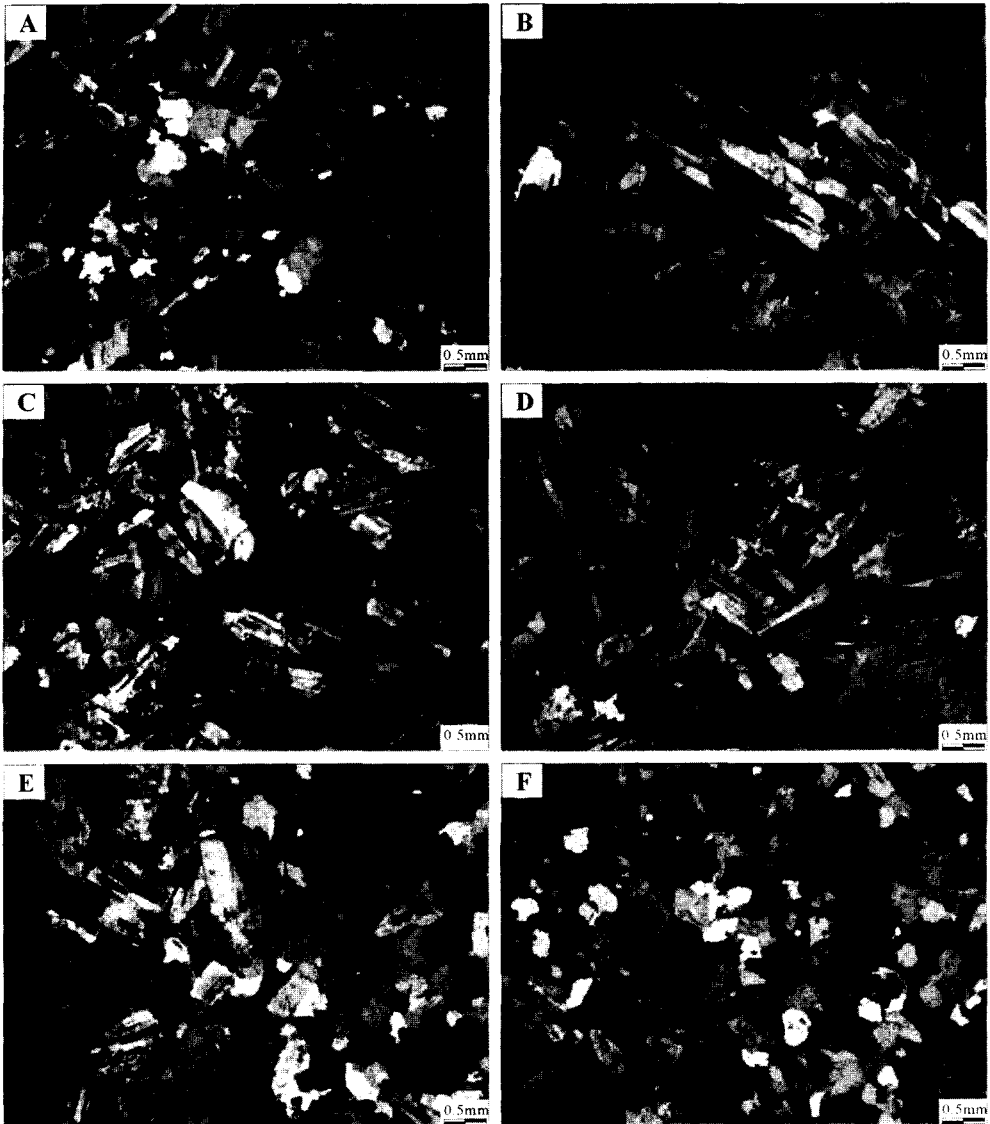


Fig. 5. Photomicrographs of crossing samples from granitoid rock to quartz diorite xenolith in the Mt. Euibong (Crossed polars, X20). (A) Granite. (B) Xenolith (quartz diorite, rim). (C) Xenolith (quartz diorite, core). (D) Xenolith (quartz diorite, rim). (E) Contact of xenolith and granite. (F) Granite.

서 흑운모와 각섬석의 양이 암체에 따라 변화를 보인다. 석영은 대체로 타형이 우세하며, 석영입자 내에 사장석, 흑운모, 각섬석의 포유물이 있으며 파동소광을 보인다. 사장석은 누대구조를 보이는 것들이 관찰되고 알바이트쌍정, 알바이트-칼스바드쌍정, 그리고 간혹 페리클린쌍정을 보인다. 크기는 0.5~5 mm 내외의 변화를 보이고 누대구조의 중심부가 견운모화된 것들이 관찰된다. 각섬석의 포유물을 가지는 것도 있으며, 벽개면을 따라 세립의 녹니석이 밀집되어 있는 부분도 있다.

정장석 내에는 흑운모, 사장석, 녹염석의 포유물이 관찰되고 1~3 mm 내외의 입자크기 변화를 보인다. 그리고 간혹 피사이트상의 용리조직이 관찰되기도 한다. 흑운모의 크기는 0.3~2 mm의 크기를 가지고 황갈색에서 녹갈색의 다색성을 보이며, 석영, 사장석, 불투명광물의 포유물을 가진다. 각섬석은 간혹 칼스바드쌍정을 보이는 것들이 있으며, 흑운모나 녹니석으로 교대되는 것들이 관찰된다. 불투명광물은 타형으로 주로 흑운모와 같이 산출되거나 간혹 각섬석과 함께 산출되기도 한다

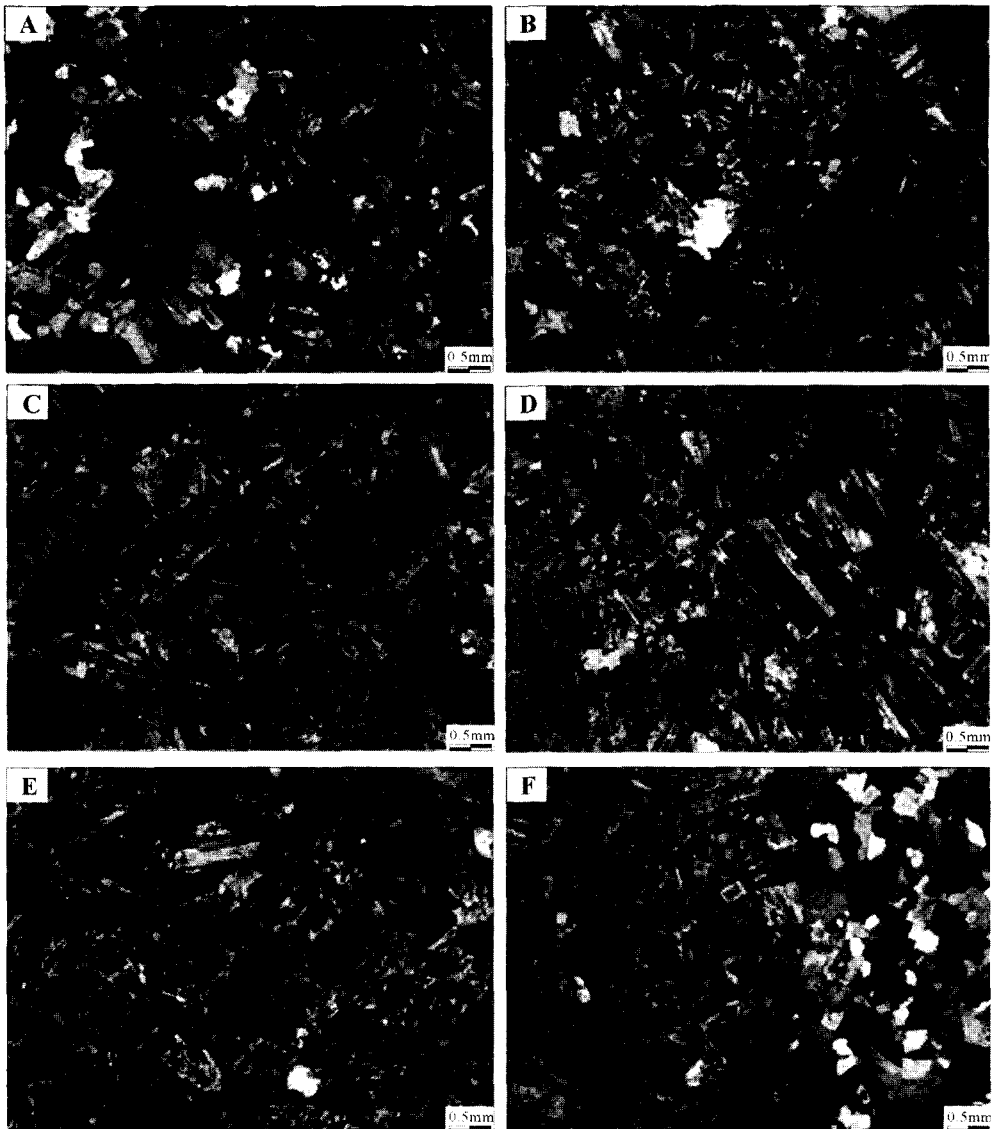


Fig. 6. Photomicrographs of crossing samples from granitoid rock to MME in the Mt. Euibong (Crossed polars, X20). (A) Contact of granitic rock and MME. (B) MME (rim). (C) MME (core). (D) MME (core). (E) MME (rim). (F) Contact of MME and granitic rock.

(Fig. 8). 염기성 미립 포유암은 암회색을 띠며, 타원형에 크기는 2~10 cm 이내의 것들이 우세하다. 경하에서 세립의 등립질조직을 보이며, 주구성광물은 사장석, 정장석, 석영, 흑운모, 각섬석 등이며, 소량의 녹니석, 녹염석, 저어콘, 인회석, 불투명광물이 수반된다.

퇴적암의 포획암을 경하에서 관찰하면, 전반적으로 0.5 mm 이하의 입자 크기를 가지며, 석영이 가장 풍부하고 흑운모와 정장석이 관찰된다. 한편, 화강섬록암의 화학적, 열적 영향을 많이 받은 것으로 추정되는 포획

암의 시료일수록 흑운모의 양이 증가하는 양상이 관찰되었다. 그리고 주변의 퇴적암에 비해 포획암의 흑운모 양이 더욱 풍부한 경향이 있다(Fig. 8). 한편 기질부 퇴적물의 입자크기가 상대적으로 큰 경우, 가령 사암과 셰일을 비교했을 때 이들 암석의 포획암인 경우, 흑운모의 크기도 상대적으로 더 큰 경향이 있다. 그러나 이는 사암과 셰일로 판단한 기준이 암석의 색깔과 입도였으나, 접촉변성과정동안 변성작용이 더 진행된 경우, 기질부의 입자 크기와 함께 흑운모의 크기도 함

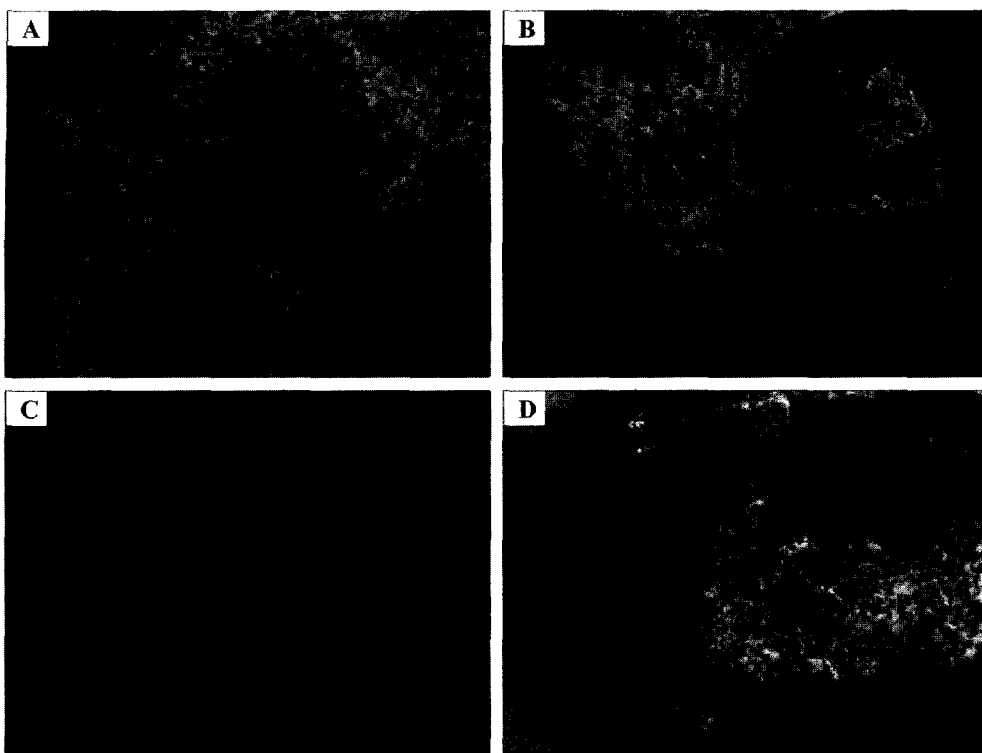


Fig. 7. Various petrographic features of sedimentary xenolith and MME in the Gyeongju area. (A) Xenolith and MME. (B) Xenolith (sedimentary rock). (C) Xenolith and MME. (D) Xenolith (sedimentary rock).

게 커질 가능성이 있을 것으로 판단되기 때문에, 원암의 입자 크기가 포획암내 흑운모의 크기와 관련성이 있는지는 확실치 않다. 그리고 포획암내 산출되는 흑운모는 상당히 신선한 양상을 보이고 다른 변질 광물들이 관찰되지 않는 점에서, 대부분 접촉변성과정 동안 재결정화된 것들로 판단된다(Fig. 9).

거제도지역(화강암의 포획암)

거제도 지역의 화강섬록암은 지세포 일원에서 가장 잘 노출되어 있으며, 암체의 대부분에서 염기성 미립 포유암이 다양 관찰된다(Fig. 10). 일운면 옥림리 하촌 일원에는 소규모의 안산암질 화산력 응회암과 이를 관입한 화강섬록암이 분포한다. 이들의 접촉부에 분포하는 화강섬록암내에는 화산력질 응회암의 포획암과 염기성 미립 포유암이 산출된다. 화강섬록암은 대체로 암회색 내지 암녹색을 띠고, 비교적 유색광물의 함량이 높은 편이며 중립질의 반상조직을 보이는데, 단층을 경계로 등립질로 변화된다. 화산력질 응회암의 포획암은 사장석을 반정으로 하는 반상조직을 잘 보인다. 포획암은 화강섬록암의 관입접촉부에서 약 20m 이내에 주

로 분포하며, 접촉부에 인접할수록 양이 증가하는 경향이 있다. 크기는 대체로 2~5 cm 범위가 우세하며, 10 cm가 넘는 것들은 드문 편이다. 외형은 각진 것들이 우세하며, 적어도 한 면 이상의 각진 면을 가지고 있고, 두 면이 이루는 각 중, 한 개 이상 예각을 가진다. 특히, 표면이 약간 풍화된 암석일수록 반상조직이 잘 관찰되어 염기성 미립 포유암과 구별이 쉬웠다. 그러나 주변 기반암으로 존재하는 화산력질 응회암에는 암편으로 포함되어 있는 안산암질 화산력들이 간혹 관찰되었으나, 포획암 내에서는 발견하기 어려웠다. 염기성 미립 포유암은 암녹색 내지 암회색을 가지며, 2~10 cm 이내의 것들이 많고, 외형은 타원형의 것들이 우세하며, 화강섬록암에서 기원되었다고 판단되는 석영과 사장석 반정들을 제외하면 세립의 등립질조직을 가진다. 화산력 응회암의 포획암과는 달리 암석 전체에서 광물의 입자가 뚜렷이 관찰되기 때문에 쉽게 구별이 가능하며, 풍화면의 색에서도 포획암이 보다 짙은 녹색을 띠는 경향이 있다(Fig. 10).

화강섬록암의 주구성광물로는 사장석, 석영, 정장석, 각섬석 등이 있으며 소량의 흑운모, 녹염석, 인회석, 녹

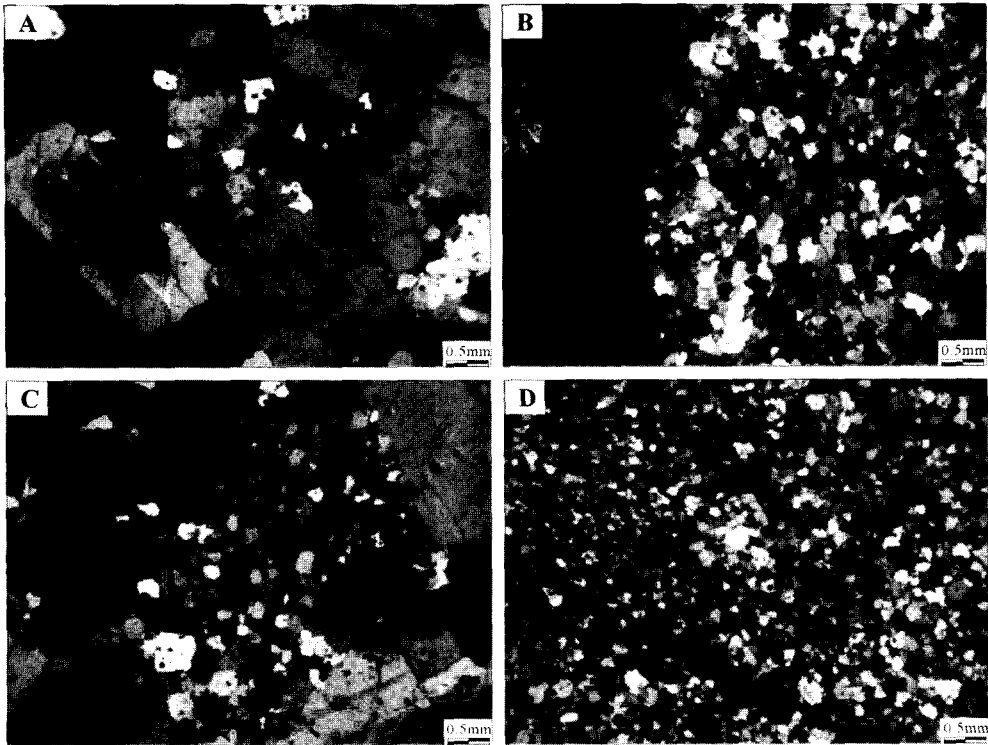


Fig. 8. Photomicrographs of granodiorite, contacts of granodiorite and xenolith, xenolithic part in granodiorite, and sedimentary xenolith in the Gyeongju area (Crossed polars, X20). (A) Granodiorite. (B) Contact of granodiorite and xenolith. (C) Xenolithic part in granodiorite. (D) Sedimentary rock (country rock).

니석, 휘석, 불투명광물 등이 관찰된다. 사장석은 가장 풍부한 광물로 2~4 mm 크기의 자형 내지 반자형으로 산출되고, 알바이트쌍정, 페리클린쌍정을 보인다. 누대 구조를 보이는 것들의 일부는 중심부에 녹니석, 녹염석의 포유물을 가진다. 석영은 대부분 반자형 내지 타형으로 2~3 mm 정도이나, 입간을 충전하고 있는 1 mm 이하의 것들도 관찰된다. 정장석은 2 mm 내외의 타형으로 퍼싸이트조직을 가지며, 드물게 칼스바드쌍정을 보이는 것도 있다. 각섬석은 쌍정을 가지는 것도 관찰되며, 흑운모와 함께 그 함량이 6~20% 정도의 값을 가지면서 변화된다. 인회석은 침상의 외형을 보인다(Fig. 11). 포획암은 반정 광물로 사장석, 정장석, 흑운모 등이 관찰되고, 1~2 mm 정도 크기를 가지는 래스상의 사장석이 잘 발달한다. 한편, 기질부는 세립에서 유리질의 조직을 가지고 미약한 용결(welded)구조가 관찰된다. 전반적으로 약하게 변질된 양상을 보이는데, 이는 주변에 있는 화산력질 응회암의 양상과 비교할 때 큰 차이가 없다. 이는 안산암질 화산력 응회암이 화강섬록암내에 완전히 포획된다 할지라도 열적인 영향은 크게 받지 않았음을 의미한다. 또한 포획암과 화강섬록

암의 접촉부에서도 유사한 조직을 보이는 것이 이를 지지하는 결과로 판단된다. 한동안 염기성 미립 포유암이 주변 화산암의 암편일 가능성이 제기 되었는데, 화산력 응회암에서 나타나는 양상으로 판단할 때, 안산암질 또는 현무암질 용암의 암편인 경우에는 더욱 열적인 안정성이 높아서 화강암류 내에 포획된다 할지라도 그 조직에 큰 변화가 없을 것으로 기대된다. 한편, 유천화강암내에 포획된 안산암질 포획암의 경우, 그 조직에 거의 변화가 없음을 확인한 바 있다. 염기성 미립 포유암은 화성암의 조직을 가지며, 주구성광물은 사장석과 각섬석이 우세하고 소량의 석영, 정장석, 흑운모, 단사회석 등이 관찰된다. 부성분광물로는 침상의 인회석, 저어콘, 불투명 광물 등이 관찰된다. 입자의 크기는 1 mm 이하의 것들이 대부분이며, 사장석은 자형 내지 반자형이고, 파상 누대구조와 알바이트, 알바이트-칼스바드쌍정이 잘 관찰된다. 석영은 반자형 내지 타형으로 입자의 크기는 사장석과 유사하며, 외형이 용식된 양상을 보이는 것도 있다. 어떤 것들은 각섬석과 흑운모로 구성된 미립의 입자들로 둘러싸인 망토조직이 관찰된다.

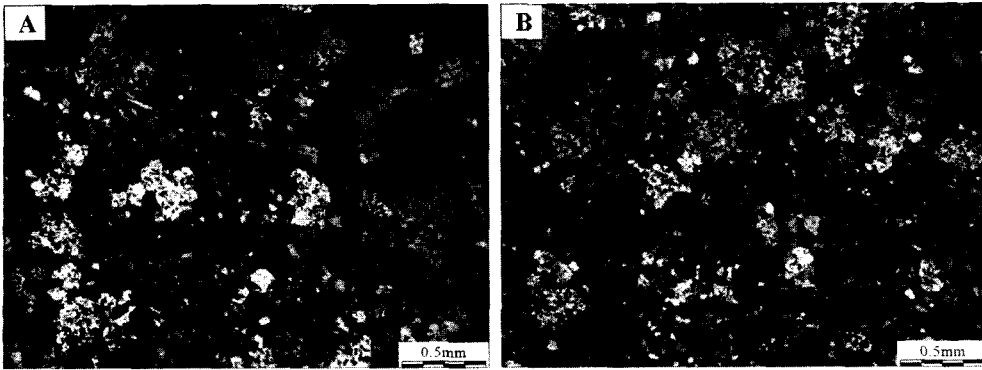


Fig. 9. Photomicrographs of coarser and finer parts of the sedimentary xenolith in the Gyeongju area (Crossed polars, X40). (A) Xenolith (more coarser part). (B) Xenolith (more finer part).

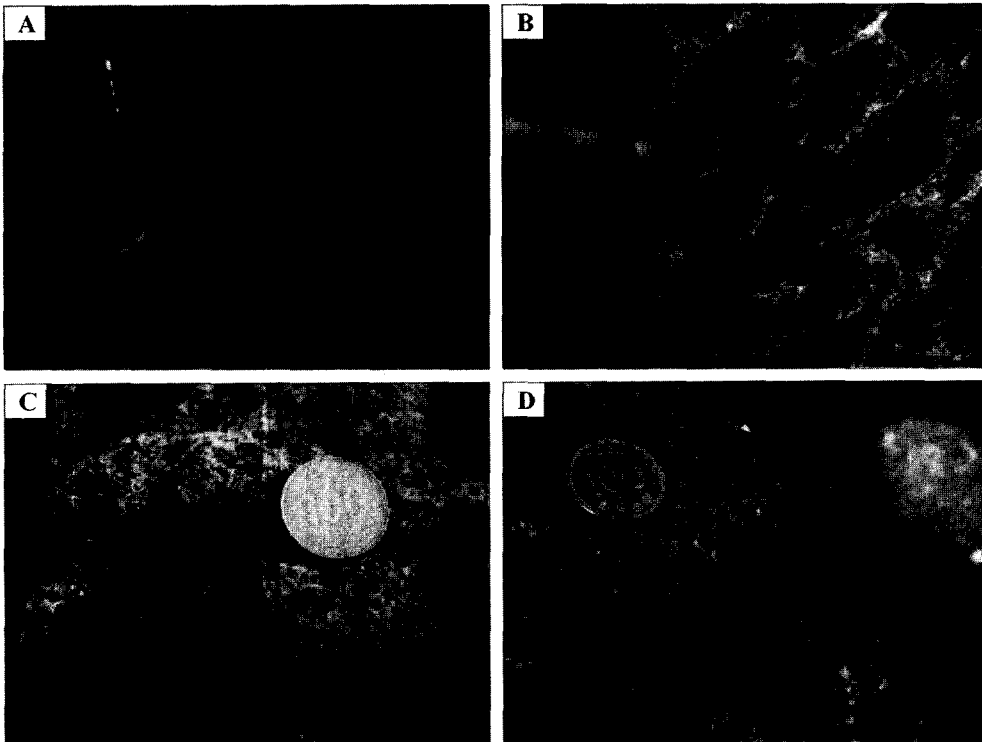


Fig. 10. Various petrographic features of volcanic xenolith and MME in the Geojeodo area. (A) Enclaves in the Geojeodo. (B) Volcanic xenolith and MME. (C) Porphyritic texture of the xenolith. (D) Angular shape of the xenolith.

결과 및 토의

화강암류 내에 산출되는 포유암은 화강암류의 연구만으로는 알기 어려운 많은 정보를 제공할 수 있다. 그러나 그 동안 경상분지 화강암류를 대상으로 한 포유암의 연구는 마그마 혼합이 일어날 때 형성되는 염기성 미립 포유암에 관한 연구가 주를 이루었으나, 포획

암에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 따라서 이번 연구에서는 염기성 미립 포유암과 포획암이 함께 산출되는 지역들을 대상으로 화강암류 내에 산출되는 심성암, 화산암, 퇴적암의 포획암과 염기성 미립 포유암의 암석기재학적 연구를 통하여 이들을 쉽게 구별할 수 있는 수단을 제공하고자 하였다. 경상분지의 화강암류에 산출되는 포유암 중 염기성 미립 포유암의 암석기재학적

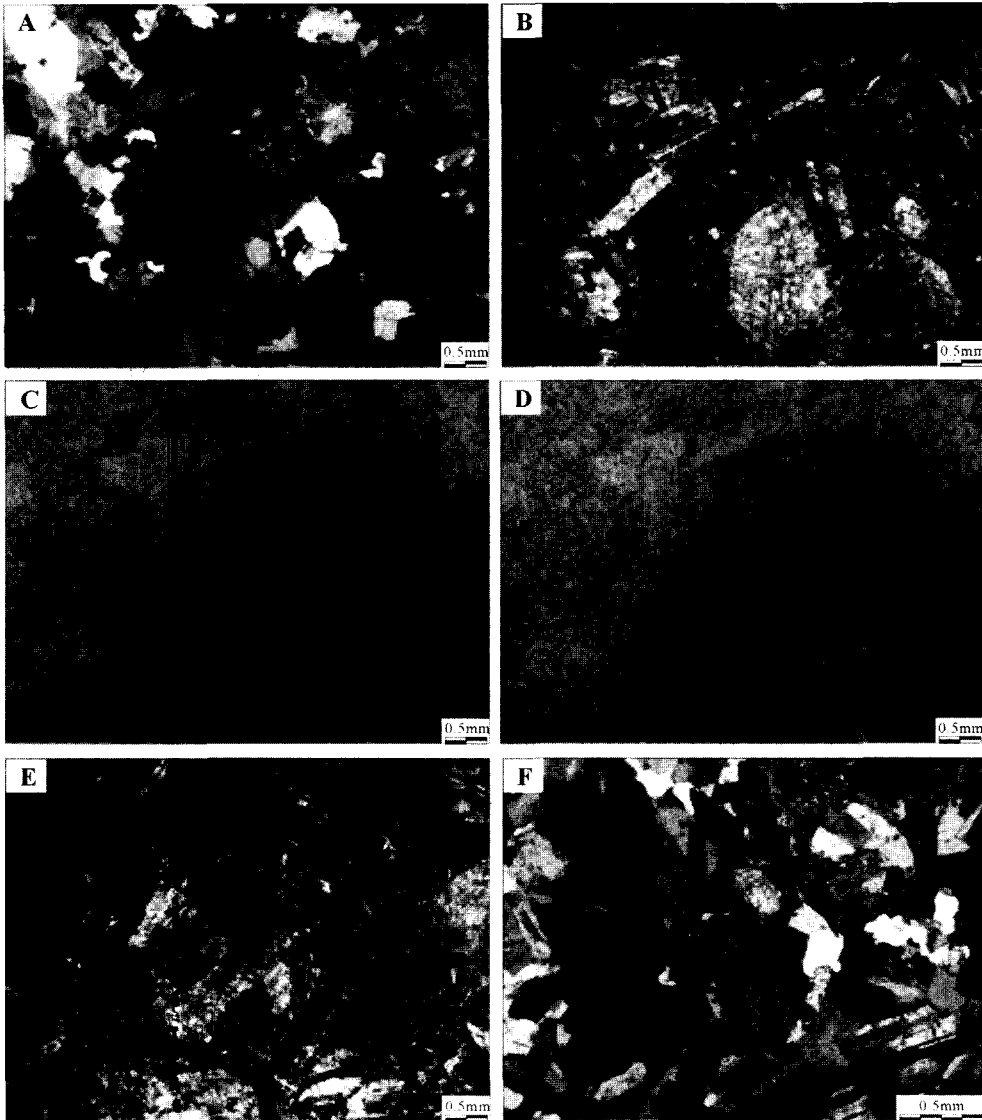


Fig. 11. Photomicrographs of granodiorite, xenolith of lapilli tuff, contacts of xenolith and granodiorite, lapilli tuff as country rock, and MME in the Geojedo (Crossed polars, X20, MME: X40). (A) Granodiorite. (B) Xenolith of lapilli tuff. (C) Xenolith of lapilli tuff (open). (D) Contact of xenolith and granodiorite. (E) Lapilli tuff (country rock). (F) MME.

특징은 첫째, 모암보다 어두운 색을 가지며, 타원형의 외형이 우세하다. 둘째, 화강암류 내에 전반적으로 분포하며, 셋째, 화강암류 주변에 염기성 미립 포유암의 모암으로 추정되는 암체가 발견되지 않는다. 넷째, 모암인 화강암류에서 유입된 것으로 추정되는 반정을 제외하면 반정을 가지지 않는 세립의 등립질조직이다. 다섯째, 모암과의 접촉부에서 접촉변성작용의 흔적이 관찰되지 않는다. 마지막으로 화성암임을 지시하는 조직

과 과냉각에 의해 형성된 광물들임을 지시하는 조직을 가진다. 그러나 포획암은 각진 형태가 보편적이며, 주변에 포획암의 모암이 존재하고, 관입접촉부에 집중적으로 분포하며, 접촉변성작용을 받았을 가능성이 있다. 심성암의 포획암인 경우에는 야외에서 각진 외형, 조립의 입자크기 등에서 염기성 미립 포유암과 뚜렷한 차이를 보이고 있었으며, 경하관찰에 의하면 접촉변성작용의 흔적이 관찰되지 않는다. 그리고 응회암의 포

확압인 경우에도 야외에서 각진 외형과 반상조직을 보이고, 경하관찰에 의하면 화산쇄설암의 조직을 그대로 유지하고 있었다. 한편, 퇴적암의 포획암인 경우에는, 포획암의 크기가 큰 경우에는 화강암류가 층리면을 따라 주입되어 층리가 남아 있는 경우가 많았으나, 크기가 작은 경우에는 염기성 미립 포유암과 구별이 어려운 경우가 많았다. 그러나 경하관찰에 의하면, 접촉변성작용에 의한 변성광물의 출현과 퇴적암의 조직이 남아 있었다. 따라서 심성암과 화산암의 포획암은 색깔, 외형, 조직에 의해 야외에서 염기성 미립 포유암과 쉽게 구별이 가능하며, 퇴적암의 경우에는 현미경관찰에 의하면 구별이 가능하다.

그러나 한가지 지적하고자 하는 것은 이번 연구 지역이 경상분지 화강암류에 국한되어 있고, 경상분지에 분포하는 백악기~제3기 화강암류가 천소 관입암체로 알려져 있기 때문에, 상대적으로 주변 모암과의 상호작용도 제한적으로 일어났을 것으로 기대된다. 한편, 이번 연구결과가 여러 화강암류에 보편적으로 적용되기 위해서는 다양한 깊이에 정치한 화강암류와 이에 포유된 다양한 종류의 포유암에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: 2000-2-13100-003-5) 지원으로 수행되었다. 그리고 이 논문은 2003년 부산대학교 기초과학연구소 기초과학연구기반조성연구비 지원에 의하여 연구되었음을 밝히며 이에 감사한다. 논문의 심사과정에서 다양한 의견과 세심한 지적을 해 주신 한국지질자원연구원의 진명식 박사님과 안동대학교의 황상구 교수님께 감사드린다.

참고문헌

- 고정선, 2001, 경상분지내 남산 A-형 화강암과 경주 I-형 화강암류에 대한 광물학적, 지화학적 및 Sr-Nd 동위원소 연구. 부산대학교 박사 학위논문, 173p.
- 김기완, 여상철, 1970, 한국지질도 1:5만 현풍 지질도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 22p.
- 김종선, 1996, 거제도의 화강암질암에 관한 암석학적 연구: 마그마 혼합에 관한 고찰. 부산대학교 석사 학위논문, 82p.
- 김종선, 2001, 경상분지 남부 지역의 화강암류에 산출되는 포유체의 암석학적 연구: 마그마 불균질 혼합에 관한 고찰. 부산대학교 박사 학위논문, 211p.
- 김종선, 이준동, 2000, 거제도의 화강암질암의 지화학적 특성에 의한 마그마 불균질혼합 증거. 지질학회지, 36, 19-38.
- 김중선, 이준동, 김인수, 백인성, 최보심, 2000, 울산 방어 진일대 화강암내에 산출되는 포획암의 암석학적 연구. 지질학회지, 36, 73-92.
- 김중선, 이준동, 윤성효, 1998, 거제도 화강암질암의 마그마 불균질혼합 증거: 1. 그 기계적 특성. 지질학회지, 34, 105-121.
- 김춘식, 김성욱, 김근수, 김국락, 손 문, 김종선, 1999, 경남 양산 원동칼데라 중앙부의 각섬석-흑운모 화강암에 나타나는 포획암의 기원: 1. 암석기재학적 및 고자기학적 연구. 자원환경지질학회지, 32, 339-351.
- 신기철, 2001, 청도-밀양 일대에 분포하는 유천화강암에 대한 암석학적 연구: 염기성-산성 마그마의 상호작용에 관한 고찰. 부산대학교 석사 학위논문, 104p.
- 양승영, 2001, 지질학사전. 교학연구사, 서울, 1111p.
- 원종관, 지정만, 김수진, 윤선, 소철섭, 김형식, 1980, 한국 지질도(1:5만), 거제-울포지질도폭 및 설명서. 자원개발연구소, 45p.
- 윤성효, 이준동, 이상원, 고정선, 서운지, 1997, 거제도 화산암의 암석학적 연구. 암석학회지, 6, 1-18.
- 윤성효, 황인호, 1990, 경주 남산일대의 화강암의 암석학 및 지구화학의 특성. 한국지구과학회지, 11, 51-66.
- 이미정, 이종익, 이민성, 1995, 경주지역의 A-형 알카리장석 화강암에 대한 광물학 및 주성분원소 지구화학. 지질학회지, 31, 583-607.
- 이종익, 이미정, 두경택, 이민성, Keisuke Nagao, 1997, 경상분지 중동부 울산-경주 지역의 화강암체에 대한 K-Ar 연대 측정. 한국지구과학회지, 18, 379-389.
- 이준동, 황병훈, 1999, 경주 남산-토함산 일원의 화강암류에 관한 암석학적 연구. 한국지구과학회지, 20, 80-95.
- 이준희, 이상원, 1999, 거제도에 분포하는 화강암류에 대한 암석학 및 암석화학적 연구. 한국지구과학회지, 20, 61-79.
- 조동룡, 권성택, 1994, 남한의 중생대 화강암에 대한 각섬석 지압계와 지각 두께의 진화. 지질학회지, 30, 41-61.
- 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.
- 홍영국, 1989, 지질학용어사전. 형설출판사, 서울, 223p.
- 황병훈, 2004, 경상분지 남부지역의 화강암질암에 대한 암석학, 동위원소 및 성인. 부산대학교 박사 학위논문. 306p.
- 황상구, 장태우, 김정민, 안웅산, 이보현, 2002, 안동저반의 암상과 다상 정치. 지질학회지, 38, 51-56.
- Barbarin, B., 1988, Field evidence for successive mixing and mingling between the Piolard Diorite and the Saint-Julien-la-Vêtre Monzogranite (Nord-Forez. Massif Central. France). Canadian Journal of Earth Science, 25, 49-59.
- Barbarin, B. and Didier, J., 1992, Genesis and evolution of mafic microgranular enclaves through various types of interaction between coexisting felsic and mafic magmas.

- Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences, 83, 145-153.
- Chappell, B.W., 1978, Granitoids from the Moonbi District, New England Batholith, Eastern Australia. *Journal of Geological Society of Australia*, 25, 267-283.
- Chappell, B.W., White, A.J.R. and Wyborn, D., 1987, The importance of residual source material (restite) in granite petrogenesis. *Journal of Petrology*, 28, 1111-1138.
- Chen, Y.D., Price, R.C. and White, A.J.R., 1989, Inclusion in three S-type granites from Southeastern Australia. *Journal of Petrology*, 30, 1181-1218.
- Chen, Y.D., Price, R.C., White, A.J.R. and Chappell, B.W., 1990, Mafic inclusion from the Glenborg and Blue Gum Granite Suites, southeastern Australia. *Journal of Geophysical Research*, 95, 17757-17785.
- Clemens, J.D. and Wall, V.J., 1988, Controls on the mineralogy of S-type volcanic and plutonic rocks. *Lithos*, 21, 53-66.
- Didier, J., 1973, Granites and their enclaves: The bearing of Enclaves on the Origin of Granites. *Development in Petrology*, 3. Elsevier, Amsterdam, 393p.
- Didier, J. and Barbarin, B., 1991a, Enclaves and Granite Petrology. Elsevier, Amsterdam, 625p.
- Didier, J. and Barbarin, B., 1991b, The different types of enclave in granites- Nomenclature. In *Enclaves and Granite Petrology* (ed. J. Didier and B. Barbarin), Elsevier, Amsterdam, 19-23.
- Dodge, F.C.W. and Kistler, R.W., 1990, Some additional observations on inclusions in the granitic rocks of the Sierra Nevada. *Journal of Geophysical Research*, 95, 17841-17848.
- Elburg, M.A., 1996, Evidence of isotopic equilibration between microgranitoid enclaves and host granodiorite, Warburton Granodiorite, Lachlan Fold Belt, Australia. *Lithos*, 38, 1-22.
- Grout, F.F., 1937, Criteria of origin of inclusions in plutonic rocks. *Geological Society of America Bulletin*, 48, 1521-1572.
- Hibbard, M.J., 1995, *Petrography to Petrogenesis*. Prentice Hall, New Jersey, 587p.
- Holden, P., Halliday, A.N. and Stephens, W.E., 1987, Neodymium and strontium isotope content of microdiorite enclaves points to mantle input to granitoid production. *Nature*, 330, 53-56.
- Holden, P., Halliday, A.N., Stephens, W.E. and Henney, P.J., 1991, Chemical and isotopic evidence for major mass transfer between mafic enclaves and felsic magma. *Chemical Geology*, 92, 135-152.
- Hutton, J., 1795, *The Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*. Edinburgh: William Creech.
- Kim, J.S., Shin, K.C. and Lee, J.D., 2002, Petrographical study on the Yucheon granite and its enclaves. *Geoscience Journal*, 6, 289-302.
- Lacroix, A., 1890, Sur les enclaves acides des roches volcaniques d'Auvergne. *Bull. Serv. Carte Geol. Fr.*, 2, 25-56.
- Mass, R., Nicholls, I.A. and Legg, C., 1997, Igneous and metamorphic enclaves in the S-type Deddick Granodiorite, Lachlan Fold Belt, SE Australia: petrographic, geochemical and Nd-Sr isotopic evidence for crustal melting and magma mixing. *Journal of Petrology*, 38, 815-841.
- Phillips, G.N., Wall, V.J. and Clemens, J.D., 1981, Petrology of the Strathbogie Batholith: a cordierite-bearing granite. *Canadian Mineralogist*, 19, 47-63.
- Poli, G.E. and Tommasini, S., 1991, Model for the origin and significance of microgranular enclaves in calc-alkaline granitoids. *Journal of Petrology*, 32, 657-666.
- Reid, J.R., Evans, O.C. and Fates, D.G., 1983, Magma mixing in granitic rocks of the central Sierra Nevada, California. *Earth and Planetary Science Letters*, 66, 243-261.
- Vernon, R.H., 1984, Microgranitoid enclave in granites-globules of hybrid magma quenched in plutonic environment. *Nature*, 309, 438-439.
- Vernon, R.H., 1990, Crystallization and hybridism in microgranitoid enclave magmas: Microstructural evidence. *Journal of Geophysical Research*, 95, 17849-17859.
- Vincenzo, Gianfranco Di and Rocchi, Sergio, 1999, Origin an interaction of mafic and felsic magmas in an evolving late orogenic setting: the Early Paleozoic Terra Nova Intrusive Complex, Antarctica. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 137, 15-35.
- White, A.J.R. and Chappell, B.W., 1977, Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, 43, 7-22.

(2003년 12월 2일 접수, 2004년 3월 8일 채택)