

무주 구상편마암의 성인에 관한 연구

권용완 · 김형식 · 이설경

고려대학교 이과대학 지구환경과학과

요 약: 구상구조를 보이는 무주 구상편마암은 전북 무주군 왕정리일대에 분포하는 정편마암인 함전기석 복운모 화강편마암내에 배태되어 있다. 구상구조는 구상편마암의 기원암인 화강암내에 포획된 이질암이 변성분화작용을 받아 생성된 것으로 사료된다. 구상편마암은 각의 발달이 없는 초생암구로 구성된 Type I의 암구와 각의 발달이 있는 Type II로 구분 가능하다. Type II는 단각암구와 다각암구 그리고 핵의 구조에 따라 다양한 형태로 나눌 수 있다. 구상암은 내핵, 외핵, 각, 그리고 기질부로 구성된다. 핵의 장경은 보통 5 cm 내지 8 cm이며 구형 또는 타원형의 형태로 암구의 중심부를 이루고 있다. 핵의 화학성분은 Al_2O_3 , total Fe_2O_3 , MgO, K_2O , LREE가 풍부하고 반대로 Na_2O , CaO, HREE가 결핍된 것이 특징이며, 핵을 주로 구성하는 변성광물은 근청석-규선석-흑운모-올리고클레이스이다. 각은 운모류의 우축질 각과 장석류의 우백질 각으로 구분되며 수mm내지 수cm의 두께를 이루며 단일각 내지 다각구조를 이루고 있다. 이들은 핵에 비하여 Na_2O , CaO가 상대적으로 부화되어 있으며 기질부를 이루는 화강편마암의 조성과 유사하다. 기질부는 반상변정질로 되어 있고 장석 반상변정의 크기는 대략 2 내지 3 mm의 크기로 구성되어 있으며 부수적으로 운모류와 소량의 전기석과 규선석이 존재한다. 또한 후기에 유입된 많은 유체들에 의한 후퇴변성작용의 영향으로 장석은 견운모화내지 전기석화되고, 근청석은 피나이트화 되었다.

핵심어: 무주 구상편마암, 변성분화작용, 초생암구, 단각암구, 다각암구, 근청석, 규선석, 전기석, 피나이트

서 언

구상구조(orbicular structure)는 어떤 특징적인 광물들이나 포획물로 구성된 핵을 중심으로 유색광물들과 무색광물들이 교호되어 대상으로 배열되거나 방사상으로 배열됨으로써 해서 동심원상의 구를 형성하는 구조를 말한다. 구상구조를 보이는 암석은 지질학적으로 그 산출이 매우 희귀하고 암석의 성인 연구에 중요한 자료가 되며 미관상 그 형태가 매우 아름다운 것이 특징이다. 이러한 구상구조를 이루는 암석은 전세계적으로 약 100여 곳이 알려져 있으며, 한반도에서는 경상북도 상주군 운평리의 구상화강암(천연기념물 제 69호, 손치무 외, 1980; 김형식과 박찬수, 1992), 전라북도 무주군 왕정리의 구상편마암(천연기념물 제 249호, 손치무 외, 1980; 김형식과 임송태, 1992), 부산 전포동의 구상편리암(천연기념물 제 267호, 김형식 외, 1979; 손치무 외, 1980)과 부산 영도 일대의 구상호온펠스(김형식 외, 1985) 등이 알려져 있다.

구상구조를 가진 암석은 대체로 저반상의 관입체

의 가장자리나 소규모 관입체내에서 형성된 것이 대부분이지만 무주지역의 경우는 변성암체내에서 생성된 구상암으로서 그 산출상태와 형성과정은 타 지역의 화성암 기원의 것과는 차이가 있다. 무주 구상편마암의 산출지역은 전북 무주군 오산읍 왕정리 일대로 선캠브리아대의 소백산육괴의 중앙부에 해당하는 지역이다. 손치무 외(1980)는 전적으로 발견되었던 구상편마암의 구상구조의 형태적 분류와 화학분석을 통한 연구를 수행한 바 있다. 또한 김형식과 임송태(1992)에 의해 전적으로만 알려져 있던 구상편마암의 노두가 확인되었으나 분포지역이 매우 좁아 주변 암과의 상호관계가 명확히 규명되지는 않았다.

본 연구는 무주지역의 구상편마암에 대한 체계적 분류와 구상체의 화학조성 및 광물조성 분석을 통한 암석학적, 지화학적 특성을 밝히고, 구상암의 형성과정과 성인을 규명하고자 한다. 구상암의 형태를 체계적으로 분류하고 구상암의 각부분에 대해 편광현미경 관찰을 통한 특징을 기술하였다. 또한 핵부, 각부, 기질부에 대해 각각 X-선 형광분석법(XRF)을 이용한 전암성분 분석과 ICP/MS를 이용한 미량성분 및

회토류성분의 분석을 실시하였고, 주구성광물의 조성의 변화를 알아보기위해 전자현미분석(EPMA)을 실시하였다.

일반 지질

무주군 왕정리 일대의 구상암을 배태하고 있는 암석은 화강편마암으로 선캄브리아대의 흑운모 호상 편마암과 접하고 있으며, 이들 편마암류는 소백산 육괴의 중앙부에 해당한다(Fig. 1). 소백산 육괴의 변성암류들은 여러번의 변성작용을 받아 초기 고변성작용후에 저변성작용이 중첩된 것으로 알려져 있으며(이상만, 1988), 초기 변성작용은 상부 앰피블라이트상이 우세한 고변성작용으로 변성광물군의 변화와 각종 지은 지압계에 의해 결정된 변성조건은 5 Kb 내외의 압력에서 600-850℃이며, 후기에 앰피블라이트상 내지 녹염석-앰피블라이트상으로 후퇴 변성된 것이다(송용선과 이상만, 1989).

흑운모 호상 편마암은 여의리의 남대천 및 상장백마을의 북동쪽에서 나타나며, 오산리 북부 및 여의리계곡에서는 화강편마암 내에 소규모 암체들이 포함되어 있는 것이 발견된다. 흑운모 호상 편마암의 엽리면은 N 50° E/50° NW이다. 구성광물은 석영, 사장석, 흑운모가 대표적 광물군이며 석류석, 규선석, 녹

니석, 백운모 등을 수반한다. 석영과 장석들은 입자경계가 대체로 불규칙한 타형으로 보통 모자이크 조직을 이루기도 한다. 장석류는 건운모화한 부분도 가끔 보인다. 흑운모는 연속되어 엽리방향을 잘 나타낸다. 본암은 흑운모가 풍부하고 호상구조를 잘 보여주는 것이 일반적이지만 화강편마암과 경계부근으로 갈수록 흑운모의 양들이 적어지고, 호상구조가 불명확해지는 반면, 석영과 사장석의 양이 증가하고 방향성도 상당 부분 불명확해지는 경향을 보인다.

화강편마암은 준편마암류인 흑운모 호상 편마암과의 접촉부에서 다량의 암편들을 포획하고 심한 동화작용을 일으켰다(송용선과 이상만, 1989). 본 암에 대한 시대는 아직까지 밝혀진 바 없으며 현재까지는 일반적으로 선캄브리아대의 정편마암류로 분류되어 있다. 조립 내지 중립질로서 편리의 발달은 비교적 미약하나 흑운모 호상 편마암의 편리와 평행하게 발달한다. 구성 광물은 석영, 미사장석 및 사장석을 주로 하고 흑운모, 백운모, 녹니석, 규선석, 전기석 등으로 되어 있다. 석영은 파동 소광을 보이며 흑운모는 약간의 방향성을 보이고, 갈색이나 녹색을 띤 것이 많으며 벽개면을 따라 녹니석이나 백운모가 배태되어 있는 것도 보인다. 전기석은 중립 또는 조립질로서 자형을 보이며, 현저한 다색성을 나타내고 그 함량 또한 풍부하다. 무주 구상편마암의 노두는 왕정리 계

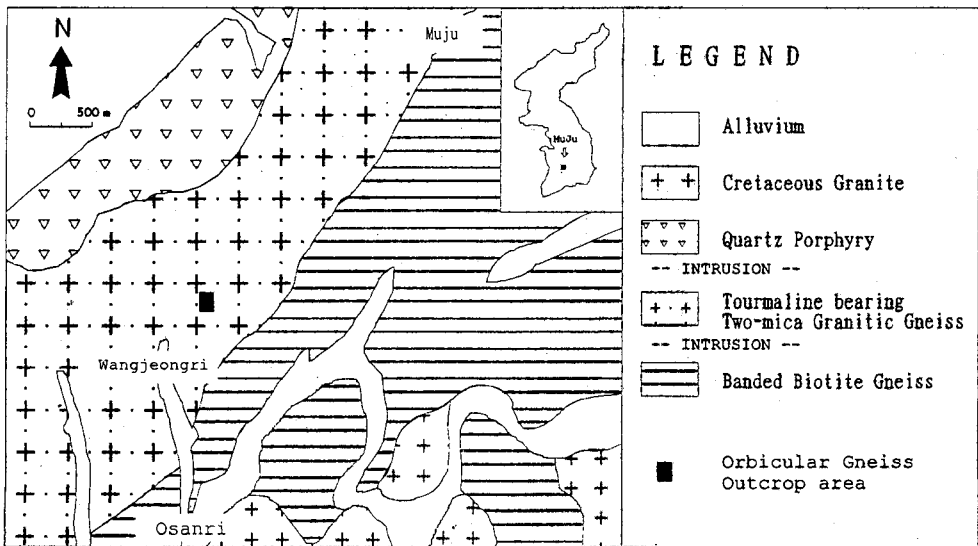


Fig. 1. The Geological Map of the Muju area.

꼭 북부 고도 약 320 m의 산 중턱에 존재한다. 선캠브리아대의 변성암류들은 백악기의 석영반암과 화강암에 의하여 각각 관입당하고 경상계의 퇴적층(영동분지)과는 단층접촉을 하고 있다.

구상편마암

구상편마암의 분류

무주 구상편마암은 중립 내지 조립질의 함전기 석 북운모 화강암질편마암내 포켓상으로 암구가 발달하였으며 기질부와 구상체를 둘러싸고 있는 모암은 화강암질암에 해당한다. 암구는 주로 암록색의 핵을 중심으로 동심원상의 석영-장석의 무색각과 운모류에 의한 유색각이 교대로 성장하며 구형 내지 타원형의 구상구조를 형성한다. Leveson(1966)은 세계적으로 분포하는 구상암에 대한 분류와 그 성인에 관한 이론을 제시한 바 있다. 또한 손치무 외(1980)는 무주지역에서 발견된 구상편마암의 형태학적 분류를

시도하였으며, 김형식과 임승태(1992)는 구상암의 구조에 관하여 자세한 기재를 하였다.

무주 구상편마암의 형태는 크게 두가지로 구분된다. Type I은 장경이 2 내지 3 cm의 크기를 가지는 초생암구로서 각의 발달이 없으며, 암록색의 핵만으로 이루어져 있다(사진 1-A). 초생암구는 다른 암구와는 달리 포유물이 비교적 적으며 그 산출은 구상편마암과 구상구조가 발달하지 않은 인접한 화강편마암과의 경계부에 국한되어 나타난다. Type II는 손치무 외(1980)에 의하여 분류된 일반적인 암구의 형태가 여기에 속하며 유각(有殼)암구에 해당한다. 즉 각이 발달한 암구로서 그 크기와 외관은 매우 다양하게 변화한다. 유각암구의 크기는 직경이 대체로 5 내지 8 cm의 구형 내지 타원형이며, 장경이 10 cm를 넘는 것도 발견된다. 대표적인 Type II의 암구를 세분하면 다음과 같다.

- A) 단각암구: 암록색의 핵에 대하여 동심원상으로 우백질 각이 둘러싸고 있는 암구로서 각의 두께는 수mm에서 1 내지 2 cm에 이르기까지 다

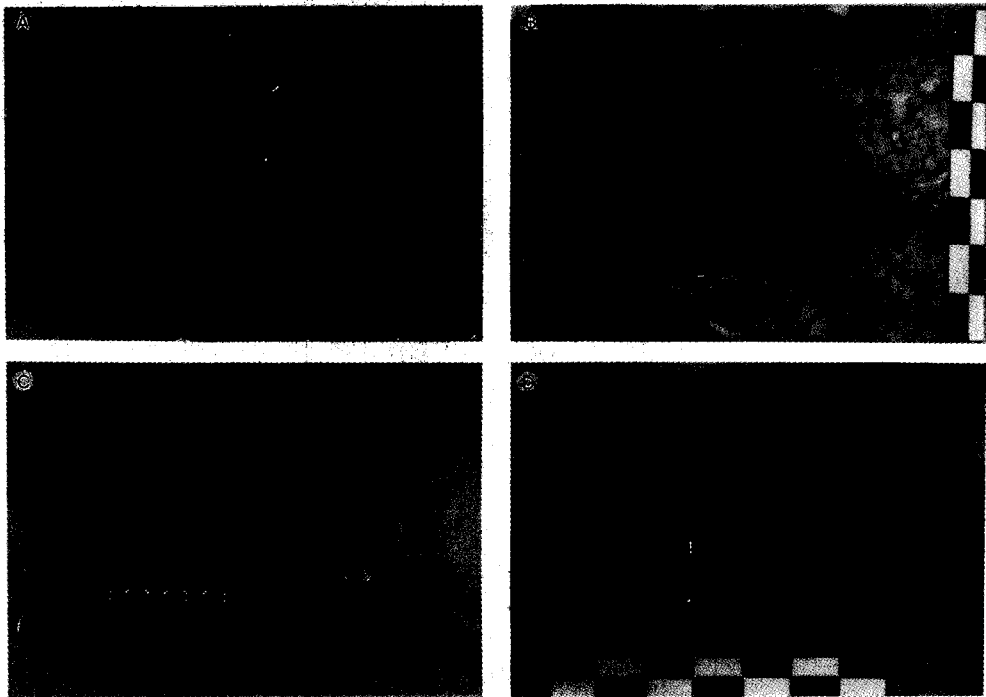


Photo 1. Various type of the orbicular rocks in the Muju area. (A) Non-shelled proto-orbicules(Type I), (B) Single shell-ed orbicules with wedge shaped leucocratic part(Type II), (C) Multishelled orbicules(1) and single shelled orbicules with well-developed mesocratic core(2, Type II). (D) Elongated orbicules with xenolith of mica schist(Type II).

양하다(사진 1-B).

- B) 다각암구: 단각구조에 비하여 각이 발달이 우수한 암구에서 발견되며 동심원상의 우백질각 내부에 흑운모의 유색각이 연속 내지 불연속적으로 형성된 구이다(사진 1-C).
- C) 핵부의 형태는 복합적이다. 즉 내부에 운모편암이 포유되어 있는 암구, 초생암구의 흔적이 남아 있는 암구, 외핵부에 우백질부분이 포획된 암구로 나뉜다(사진 1-C,D).

구상편마암의 구조

구상암의 구조는 그 크기에 관계없이 암구(orbicules), 기질부(matrix), 모암(country rocks)으로 구성된다. 암구는 중심부의 핵(core)과 핵 주위를 단각(single shell) 또는 다각(multi-shell)이 동심원상으로 둘러싸며, 기질부는 암구나 암구들 사이를 둘러싸고 있는 물질이다.

구상암구의 중심을 이루고 있는 핵은 구 내지 타원체 모양을 띠며 대체로 암록색 내지 암회색을 띠고 있다. 초생암구는 암록색으로 견운모화된 사장석과 피나이트화된 근청석으로 주로 이루어져 있으며 Type II는 일반적으로 녹색의 얇은 띠를 경계로 하여 내핵과 외핵으로 구분된다. 내핵은 초생암구처럼 암록색이며 때로는 운모편암의 포유물이 나타나기도 한다. 녹색의 얇은 띠는 주로 녹니석화된 흑운모의 대상 배열에 기인된다. 외핵은 암록색의 견운모화된 사장석과 피나이트화된 근청석이 계속적으로 성장하며 우백색의 화강암질암 부분이 썩기상내지 국지적으로 포획되어 있다. 피나이트화된 근청석은 노랑색의 환을 보이는 저어콘을 포함하고 있으며 방사상의 불규칙한 틈이 발달하였다. 또한 변질에 의해 견운모 및 녹니석화 되어있다. 이들은 대부분 입상이며 자형 내지 반자형으로 육각형의 가상을 이루고 있다(사진 2A). 석영은 근청석들 사이의 간극을 충전하고 있으며 석영결정들은 동일한 광축방향으로 배열되어 있

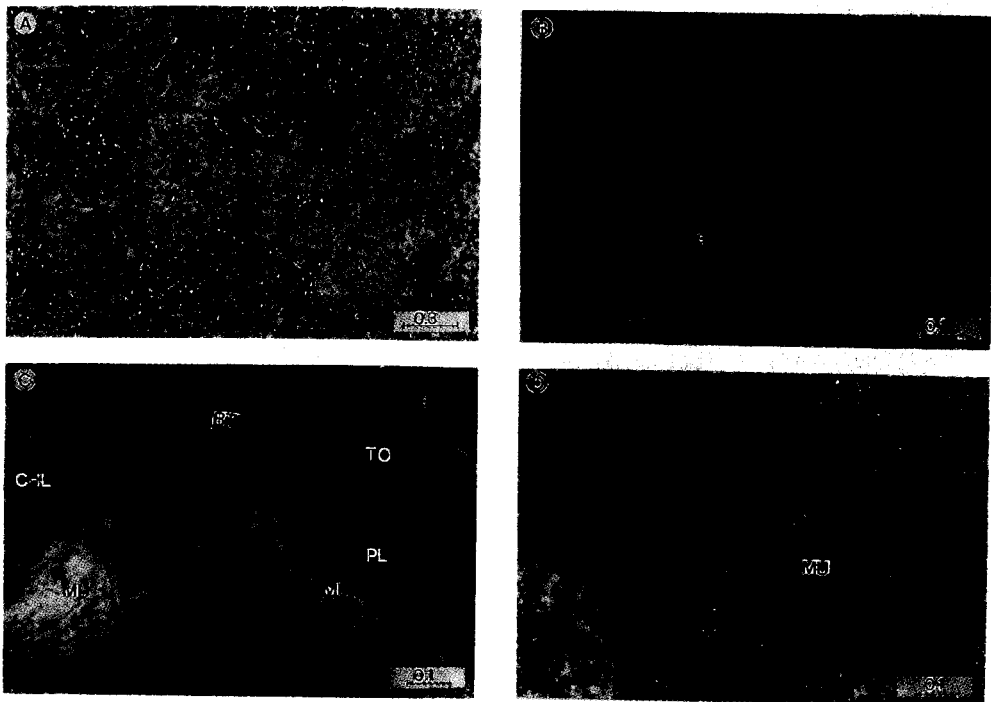


Photo 2. Photomicrographs of the core of the orbicular rocks in the Muju area. (scale units : mm) (A) Pseudo-hexagonal forms of the cordierites which is altered to pinite, (B) Interstitial phases of the cordierites are quartz(q), (C) Biotite(BT), chlorite(CHL), muscovite(MU), tourmaline(TO) assemblages in the intermediate core, (D) Kink-banded muscovite(MU) in xenolith of the mica schist in cluded in the gneiss.

다(사진 2B). 흑운모, 백운모, 전기석은 근정석의 내부에 포유되어 있으며 중핵부에서 동심원상으로 배열되어 있다(사진 2C). 사장석은 주로 올리고클래스에 해당하며 우백질 부분에서 방사상배열을 이루며 정장석은 희소하다. 포유된 운모편암은 주로 흑운모, 백운모, 규선석들로 이루어져 있으며, 조립질이며 불규칙한 형태를 보여준다(사진 2D).

작은 초생암구로 이루어진 Type I의 암구를 제외하고는 모든 암구에서 다양한 크기와 두께를 갖고 있다. 작은 무색각과 유색각으로 구분이 가능하다. 무색각의 경우 주로 사장석, 석영으로 이루어지며 소량의 정장석, 흑운모, 백운모, 전기석, 저어콘 등이 있다. 유색각의 경우 주로 흑운모로서 백운모, 녹니석과 전기석 등을 수반한다. 핵과 각의 경계부는 매우 명확하게 구분이 되며 이 원인은 핵부와 각부의 구성광물의 종류가 다르고, 견운모화작용, 피나이트화작용, 전기석화작용 등의 후퇴변성작용의 강도의 차이에 기인된다(사진 3A). 각부는 광물의 성장 방향을 지시하

는 구조를 보이고, 핵부에 인접한 각부에서는 세립질의 장석이 주를 이루나 각의 성장이 계속되는 경우 장석은 중립내지 조립질로 커지며 방사상으로 성장한다(사진 3B). 유색각은 비교적 두께가 좁으며 외각으로 가면서 흑운모의 크기가 증가한다.

기질부는 구상구조를 이루고 있는 지역을 제외한 지역으로 구와 구사이를 충전하는 우백질부분이다. 이들의 조성은 대체로 화강편마암과 동일한 조성을 보이고 있다. 주로 석영, 미사장석, 사장석, 흑운모, 녹니석, 백운모로 구성이 되며 소량의 전기석, 견운모, 불투명 광물 등을 포함한다. 석영은 조립질로서 여러 결정이 서로 집합된 형태를 가지며, 파동소광을 보이는 것이 보통이다. 알카리장석은 격자상 쌍정을 보이는 미사장석과 칼스바드 쌍정을 보이는 정장석이 관찰된다(사진 3C). 사장석은 그 크기가 석영이나 미사장석과 유사하며 알바이트 쌍정을 잘 보여주며 경계부는 심하게 변질되어 견운모화 되어 있다(사진 3D). 흑운모는 녹니석화 작용에 의해 변질되어있으

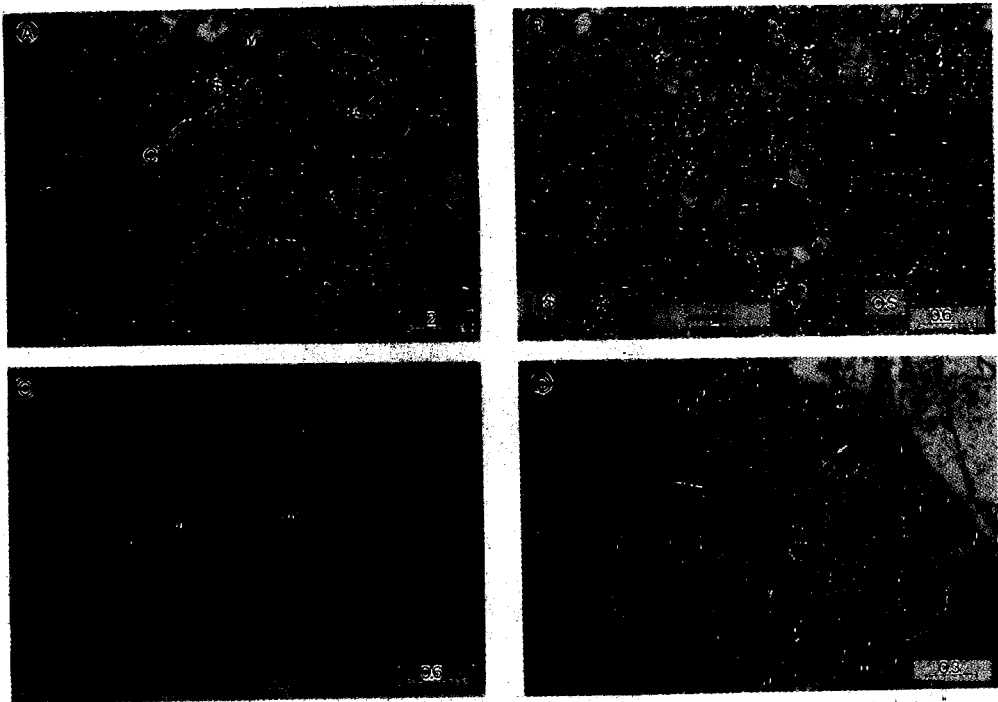


Photo 3. Photomicrographs of the shell and matrix of the orbicular rocks in the Muju area. (scale units : mm) (A) In the orbicular rocks, core(C)-shell(S)-matrix(M) parts are distinguished clearly by color and size of the mineral, (B) The grain size of the inner-shell(IS) to the outershell(OS) increase outward and perpendicular plagioclase are observed, (C) Carlsbad twinned orthoclase(Or) and grid twinned microcline(Mc) are observed in the matrix, (D) Mantled plagioclase are overgrown by late stage melt.

며, 백운모, 전기석, 규선석등과 결합하고 있다.

구상편마암의 화학성분

구상편마암내의 화학성분 변화를 관찰하기 위하여 Type II의 구상체중에서 암구의 발달이 양호한 시료를 각 부분별로 구분하여 Fig. 2의 형태로 절단하여 X선 형광분석법(XRF)을 이용하여 주성분을, ICP/MS를 이용하여 미량성분 및 희토류원소에 대한 성분분석을 실시하였다(Table 1). KA의 암구는 핵부를 내핵부(KAc1)-중핵부(KAc2)-외핵부(KAc3)로 구분하였고 각부(KAs)-기질부(KAm)로 구분하였다. 각의 발달이 미약한 암구(KB)는 내핵부(KBc1)-중핵부(KBc2)-외핵부(KBc3)-기질부(KBm)로 구분하였다. 내핵부에 운모편암이 포유되고 신장된 형태를 이루고 있는 암구를 핵부-각부-기질부 전체를 모두 포

함하여 성분분석을 실시하였다(KC).

전암분석의 결과, 모암의 성분에 해당하는 기질부는 화강섬록암의 영역에 도시되며 이는 송용선과 이상만(1986)의 결과와 잘 일치된다(Fig. 3). 핵부는 화강암의 영역에 도시되었으나 일반적인 화강암에 비하여 Al_2O_3 는 매우 부화되어 있고 K_2O , CaO , Na_2O 는 매우 적은 양을 함유하고 있다. SiO_2 에 대한 산화물의 변화는 SiO_2 의 증가에 따라 Al_2O_3 , total Fe_2O_3 , MgO , K_2O 는 감소하고, CaO , Na_2O 의 양은 증가한다(Fig. 4). 암구의 각부분에 따라 산화물의 변화를 관찰한 결과(Fig. 5), SiO_2 , Na_2O , CaO 는 핵에서 각으로 가면서 그 양이 증가되고, 반대로 Al_2O_3 , total Fe_2O_3 , K_2O , MgO 의 경우 감소하는 양상을 보이고 있다. 이는 각부분의 구성광물 성분에 크게 영향을 받은 것으로 생각된다. 핵의 주구성광물인 근청석과 이의 변질물인 견운모에 의하여 FeO , MgO , K_2O 의 함량이 높게 나타나고 근청석이 존재하지 않는 각부와 기질부에서는 상대적으로 장석의 양이 증가함으로 인하여 CaO , Na_2O 가 증가된 것으로 볼 수 있다. $FeO-Na_2O+K_2O-MgO$ 의 삼각도에 도시한 결과 본 암체는 칼크-알칼라인 계열의 마그마 분화와 유사하게 나타나며 H_2O 의 함량이 많은 것으로 추정된다(Fig. 6). 또한 $FeO/(FeO+MgO)$ 비는 거의 일정한 범위(평균 0.7)를 가지고 있다.

미량원소의 성분의 변화를 살펴보면 Zn , Rb , Th , Y 등은 핵에서 각으로 갈수록 감소하는 양상을 보이며 Sr 의 증가가 나타난다(Fig. 7). 희토류성분은 핵에서 상당히 부화되어 있으며 각부와 기질부는 화강섬록암의 형태와 유사하다. 희토류성분은 총 REE함량이 핵부의 경우 1093에서 1504(ppm)이며 각 및 기질부는 264에서 503(ppm)을 함유하고 있다. Eu/Eu^* 는 0.06-0.26으로 비교적 결핍된 음이상(negative anomalies)을 보이며, LREE가 부화되고 HREE는 결핍된 양상을 보인다(Fig. 8). Eu 의 이러한 현상은 사장석과 관계가 깊다. 구상암체내에 사장석의 양이 비교적 적으며 상대적으로 다른 희토류원소가 부화되어 있기 때문이다. 희토류성분은 내핵에서 외핵으로 가면서 희토류성분이 증가하다가 각부에서 급격한 감소를 거친 후 기질부에서 점차적으로 감소한다. 각을 지나면서 급격한 감소 양상을 보인다. Clark(1984)는 희토류성분의 특징적인 부화현상을

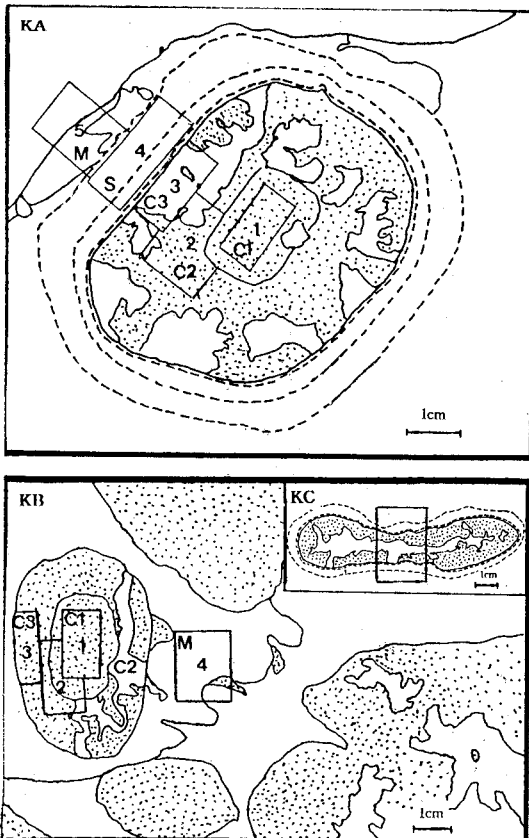


Fig. 2. Simplified sketch of analyzed orbicular gneiss.

Table 1. Major and trace elements and REE composition of the Muju Orbicular Gneisses

No.	KAc1	KAc2	KAs3	KAs	KAm	KBc1	KBc2	KBc3	KBm	KC
SiO ₂	43.90	47.90	48.14	59.36	50.22	45.50	52.09	49.41	64.12	58.30
TiO ₂	0.04	0.03	0.04	0.03	0.47	0.10	0.10	0.07	0.05	0.17
Al ₂ O ₃	30.46	28.55	28.74	24.67	25.72	27.53	25.65	26.87	22.16	23.69
Fe ₂ O ₃ *	8.89	8.59	8.11	3.27	9.29	10.73	7.67	9.26	2.66	4.47
MnO	0.13	0.12	0.12	0.05	0.12	0.13	0.10	0.12	0.04	0.05
MgO	3.95	3.72	3.48	1.26	3.72	4.92	3.22	3.92	0.98	1.33
CaO	0.15	0.29	0.43	1.07	0.62	0.17	0.77	0.33	1.38	2.59
Na ₂ O	1.35	1.83	2.15	4.75	2.29	1.16	2.56	1.10	4.03	5.54
K ₂ O	4.76	3.77	3.76	2.61	2.71	3.91	2.90	3.42	2.07	1.82
P ₂ O ₅	0.08	0.10	0.12	0.12	0.08	0.08	0.22	0.15	0.11	0.13
LOI	6.02	4.98	4.71	2.73	4.77	5.49	4.07	4.73	2.31	2.10
Total	99.73	99.88	99.80	99.92	100.01	99.72	99.35	99.38	99.91	100.19
Zn	235	201	194	94	192	251	209	191	72	95
Rb	489	363	357	226	266	393	324	266	192	166
Sr	49	71	92	163	130	41	50	87	119	142
Th	115	126	133	25	51	128	130	153	27	41
Y	31.10	35.70	37.60	14.10	19.50	35.10	37.90	46.70	12.80	18.20
La	248.00	275.00	292.00	81.80	113.00	282.00	271.00	340.20	59.10	77.80
Ce	509.00	568.00	593.00	161.00	228.00	580.00	562.00	690.20	118.00	161.00
Pr	55.70	62.10	65.50	18.20	25.90	63.20	61.60	75.50	13.50	17.90
Nd	193.00	218.00	230.00	64.60	91.00	224.00	219.00	270.00	47.00	61.80
Sm	38.20	42.90	45.40	13.70	18.10	43.50	44.00	53.50	10.00	13.50
Eu	0.78	0.95	1.15	0.94	0.86	0.83	0.98	1.40	0.81	1.08
Gd	32.30	36.80	38.50	12.00	15.66	37.80	37.70	46.10	8.75	11.60
Tb	3.13	3.56	3.76	1.28	1.70	3.70	3.80	4.60	1.01	1.36
Dy	8.71	11.60	12.00	4.39	5.88	11.50	12.10	15.20	3.78	5.16
Ho	1.11	1.29	1.37	0.50	0.75	1.29	1.41	1.76	0.47	0.62
Er	2.13	2.71	2.85	1.11	1.48	2.63	2.78	3.48	0.96	1.38
Tm	0.14	0.17	0.17	0.08	0.12	0.17	0.18	0.23	0.09	0.12
Yb	0.64	0.81	0.92	0.46	0.75	0.81	0.90	1.22	0.36	0.69
Lu	0.08	0.08	0.11	0.05	0.09	0.09	0.11	0.15	0.05	0.08
REE*	1093	1224	1287	360	503	1252	1218	1504	264	354
La _N /Lu _N	40	35	33	18	16	36	31	29	17	12
La _N /Sm _N	4.09	4.03	4.05	3.76	3.93	4.08	3.88	4.00	3.72	3.63
Eu/Eu*	0.07	0.07	0.00	0.22	0.16	0.06	0.07	0.09	0.26	0.26
Gd _N /Yb _N	40.90	36.82	33.92	21.14	16.92	37.82	33.95	30.62	19.70	13.63

Fe₂O₃* is sum of Fe₂O₃+FeO and REE* is total REE content

암석내에 특정 광물(인회석, 모나자이트)등으로 부화되는 경우와 잔류 마그마 유체내에서 농집된 REE가 페그마타이트내에 부화되어 나타나는 경우로 구분하였다. 본 지역은 REE성분을 부화시킬 수 있는 특정 광물이 적으므로 REE가 부화된 유체의 유입에 의한

것으로 추정된다.

구상편마암의 광물화학

구상편마암의 핵부는 조립질의 견운모화된 사장

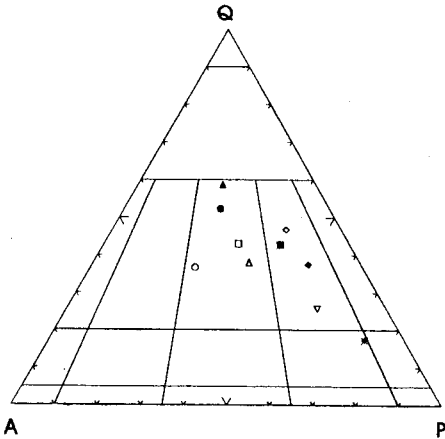


Fig. 3. Mineral composition plotted on the Q-A-P diagram from Le Maitre(1989). c1: inner core (○), c2: intermediate core (□), c3: outer core (△), s: shell (▽), matrix (◇). KA and KB used open and filled pattern respectively. Asterisk (*) used for KC.

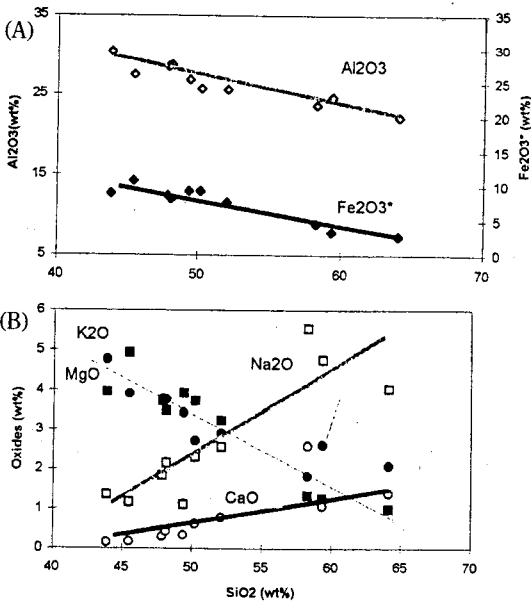


Fig. 4. Harker diagram for the Muju orbicular gneiss. (A) SiO₂ vs. Al₂O₃ and Fe₂O₃*; (B) SiO₂ vs. oxides. Filled square; MgO, open circle; CaO, open square; Na₂O, filled circle; K₂O

석과 피나이트화된 근청석이 주를 이루고 흑운모, 백운모, 석영, 전기석, 규선석이 이들에 포함되어 있으며, 각부는 주로 석영-사장석-운모류가 주를 이루고 있다. 구상편마암의 조성광물에 대한 화학성분 분석을 위하여 전자현미분석법(EPMA)을 실시하였

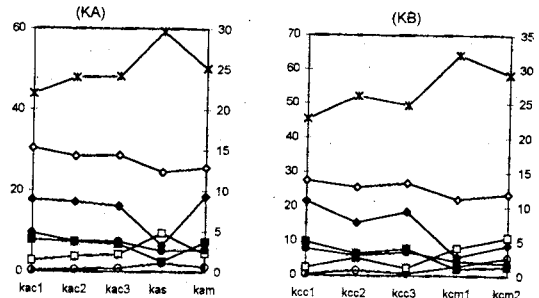


Fig. 5. Compositional variations of the major elements at each parts(core-shell-matrix). *: SiO₂, ◇: Al₂O₃, ◆: Fe₂O₃, ■: MgO, ○: CaO, □: Na₂O, ●: K₂O.

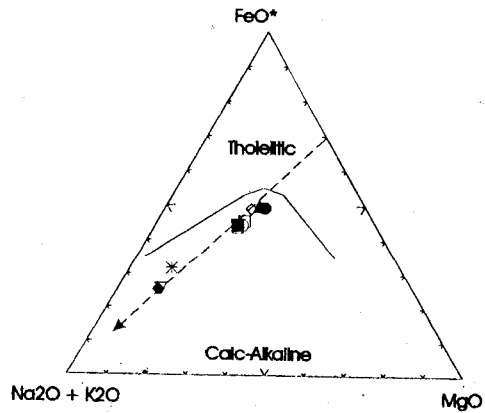


Fig. 6. FeO*-Na₂O+K₂O-MgO diagram. The solid line separates the tholeiitic series from the calc-alkaline series(after Irvine & Baragar, 1971). FeO/(FeO+MgO) ratio is 0.7 (dashed trend) Symbols are the same as in Fig. 3.

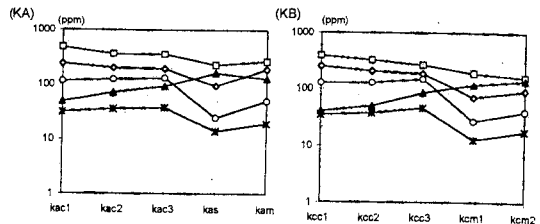


Fig. 7. Compositional variations of the trace elements at each parts(core-shell-matrix). ◇: Zn, □: Rb, ▲: Sr, ○: Th, *: Y.

다. 심한 변질작용에 의하여 근청석은 분석이 불가능하였고 흑운모의 경우도 분석결과 심한 녹니석화 작용을 받아 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다. 구상암의 주 구성광물들의 산출상태와 화학적 특성은 아래와 같다.

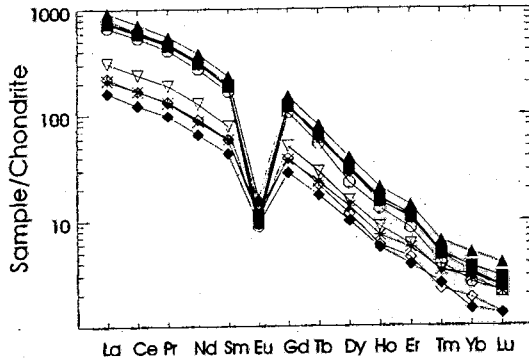


Fig. 8. Chondrite-normalized patterns of REE for the Muju orbicular gneisses. Symbols are the same as in Fig. 3.

사장석

사장석은 핵의 우백질부분과 각부 그리고 기질부에 존재한다. 대부분이 심한 견운모화작용을 받아 쌍정면이 전혀 보이지 않는 경우가 많지만 국부적으로 신선한 사장석이 잔류되어 나타나기도 한다. 이러한 신선한 것을 대상으로 분석된 사장석은 주로 An함량이 15.83-25.58로 올리고클레이스의 영역에 해당하며(Table 2), 희귀하게 알바이트에 해당하는 것도 나타난다. 손처무 외(1980)는 사장석의 성분이 핵에서 An₅₀을 이루고 각으로 가면서 An₃₀으로 낮아지는 분별정출작용을 보고하였으나, 본 분석결과는 암구의

Table 2. Chemical composition of plagioclase in the Muju orbicular gneiss

Site No.	c1 12	c1 34	c1 35	c1 36	c1 38	c1 39	c1 44	c1 45	c2 1
SiO ₂	62.79	63.33	62.85	62.63	62.51	61.89	69.40	62.58	62.90
Al ₂ O ₃	23.81	23.34	23.48	23.14	22.72	23.49	19.27	23.32	22.73
Na ₂ O	8.20	7.95	8.52	8.30	7.89	7.89	10.07	8.26	8.12
K ₂ O	-	0.12	0.10	-	-	0.07	-	0.08	-
CaO	5.01	4.74	4.63	4.71	4.44	4.94	0.08	4.76	4.55
Total	99.81	99.47	99.58	98.96	97.81	98.44	98.82	98.98	98.30
Cations per 8 oxygens									
Si	2.78	2.80	2.79	2.79	2.81	2.77	3.04	2.79	2.82
Al	1.24	1.22	1.23	1.22	1.20	1.24	0.99	1.22	1.20
Na	0.70	0.68	0.73	0.72	0.69	0.69	0.85	0.71	0.70
K	-	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-
Ca	0.24	0.22	0.22	0.23	0.21	0.24	-	0.23	0.22
Or	-	0.72	0.61	-	-	0.44	-	0.49	-
Ab	74.77	74.66	76.43	76.13	76.27	73.98	99.55	75.49	76.36
An	25.23	24.61	22.96	23.87	23.73	25.58	0.45	24.03	23.64

100 K/(K+Na+Ca), Ab=100 Na/(K+Na+Ca), An=100 Ca/(K+Na+Ca)

Table 2. Continued

Site No.	c2 2	c2 24	c2 25	c2 28	c3 13	c3 14	c3 15	c3 17	c3 21	c3 22
SiO ₂	61.26	63.07	62.59	63.39	62.28	62.90	63.68	63.16	62.27	69.14
Al ₂ O ₃	22.53	22.87	23.00	23.38	23.00	23.09	23.43	22.90	23.08	19.11
Na ₂ O	8.24	8.01	7.90	8.54	7.94	8.21	8.49	7.99	7.97	9.80
K ₂ O	0.15	0.16	-	0.08	0.12	0.09	0.14	0.08	-	-
CaO	4.78	4.39	4.58	4.72	4.97	4.73	4.63	4.49	4.93	-
Total	96.85	98.50	98.07	100.28	98.32	99.01	100.55	98.61	98.42	98.05
Cations per 8 oxygens										
Si	2.79	2.81	2.81	2.79	2.79	2.80	2.79	2.81	2.79	3.05
Al	1.21	1.20	1.22	1.21	1.22	1.21	1.21	1.20	1.22	0.99
Na	0.73	0.69	0.69	0.73	0.69	0.71	0.72	0.69	0.69	0.84
K	0.01	0.01	-	-	0.01	-	0.01	-	-	-
Ca	0.23	0.21	0.22	0.22	0.24	0.23	0.22	0.21	0.24	-
Or	0.91	1.02	-	0.49	0.75	0.84	0.84	0.51	-	-
Ab	75.03	75.95	75.74	76.22	73.72	75.45	76.17	75.90	74.54	100.00
An	24.06	23.03	24.26	23.29	25.54	24.02	22.99	23.58	25.56	-

100 K/(K+Na+Ca), Ab=100 Na/(K+Na+Ca), An=100 Ca/(K+Na+Ca)

Table 3. Compositional calculation of core components as cordierite

	KAc1	KAc2	KAc3	KBc1	KBc2	KBc3	Average	BACS**	BGCS**
SiO ₂	43.90	47.90	48.14	45.50	52.09	49.41	47.82	47.86	47.84
TiO ₂	0.04	0.03	0.04	0.10	0.10	0.07	0.06	0.00	0.10
Al ₂ O ₃	30.46	23.55	28.74	27.53	25.65	26.87	27.97	32.08	32.00
FeO	8.00	7.73	7.30	9.65	6.90	8.33	7.99	10.58	9.14
MnO	0.13	0.12	0.12	0.13	0.10	0.12	0.12	0.35	0.12
MgO	3.95	3.72	3.48	4.92	3.22	3.92	3.87	6.70	7.67
CaO	0.15	0.29	0.43	0.17	0.77	0.33	0.36	0.02	0.01
Na ₂ O	1.35	1.83	2.15	1.16	2.56	1.10	1.69	0.12	0.09
K ₂ O	4.76	3.77	3.76	3.91	2.90	3.42	3.75	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.08	0.10	0.12	0.08	0.22	0.15	0.13	n.d.	n.d.
Total	92.82	94.04	94.28	93.15	94.51	93.72	93.75	99.73	96.88
Cations per 18 oxygens									
Si IV	4.97	5.29	5.29	5.14	5.65	5.45	5.30	5.02	5.02
Al IV	1.03	0.71	0.71	0.86	0.35	0.55	0.70	0.98	0.98
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Al VI	3.03	3.00	3.02	2.81	2.93	2.94	2.95	2.98	2.98
Fe	0.76	0.71	0.67	0.91	0.63	0.77	0.74	0.93	0.80
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
Mg	0.67	0.61	0.57	0.83	0.52	0.64	0.64	1.05	1.20
Ca	0.02	0.03	0.05	0.02	0.09	0.04	0.04	0.00	0.00
Na	0.30	0.39	0.46	0.25	0.54	0.24	0.36	0.02	0.02
K	0.69	0.53	0.53	0.56	0.40	0.48	0.53	0.00	0.00
P	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
Mg*	46	46	46	47	45	45	46	52	60

Mg*=100 Mg/(Mg+Fe+Mn), n.d.=not detected

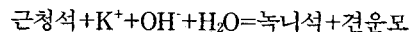
**chemical composition of the cordierites from Song and Lee(1989)

각부분에따라 체계적인 성분의 변화가 특별히 인지 되지 않는다. 사장석의 성분이 암구의 각 부분에 따라 대체로 일정하다는 것은 암구의 각 부분의 형성이 비슷한 환경에서 거의 동시에 생성되었다는 것을 의미한다.

근청석

근청석은 핵을 이루는 가장 중요한 광물임에도 불구하고 피나이트화되어 있어 전자현미분석법을 이용한 광물조성분석이 불가능하다. 그러나 핵부는 암록색의 피나이트화된 근청석이 주를 이루므로 전암분석의 결과를 이용하여 근청석의 화학조성을 대략적으로 살펴볼 수는 있다. 핵부의 산화물의 함량은 거의 일정하며, total Fe₂O₃를 total FeO의 함량으로 환산한 후(FeO=0.89981 Fe₂O₃), 18개의 산소를 가지는 근청석의 화학구조식과 비교하였다(Table 3). 그

결과, 일반적인 근청석에 비하여 상대적으로 K의 함량이 높게 나오며 이는 후기에 근청석을 피나이트화시키는 K-유체의 유입에 의하여 증가된 양으로 사료된다. 또한 Mg/(Mg+Fe+Mn)의 함량비는 0.46의 값을 가지며, 녹니석에서 나타나는 값(0.48)과 유사하다. 이는 근청석이 후퇴변성작용을 거치며 피나이트화 되는 아래 반응식과 밀접한 관련이 있음을 지시한다.



백운모(견운모)

백운모는 핵부에서 포유된 운모편암에서 흑운모와 결합하여 나타나거나 근청석의 후퇴변성작용의 산물로 녹니석과 결합하고 있으며, 유색각에서는 흑운모, 녹니석, 규선석, 전기석과 함께 떠상의 구조를 형성한다. 백운모의 조성은 이상적인 백운모 성분에 가까운

Table 4. Chemical composition of muscovites in the Muju orbicular gneiss

Site No.	Core						
	5	6	7	27	30	31	42
SiO ₂	45.92	45.94	46.60	47.67	46.94	46.63	47.56
TiO ₂	-	-	0.12	-	0.30	0.69	0.14
Al ₂ O ₃	35.38	35.89	35.64	36.89	36.34	35.65	35.86
FeO	4.24	1.07	1.05	0.62	0.97	0.79	0.65
MgO	0.50	0.34	0.38	0.25	0.26	0.56	0.21
CaO	-	-	-	-	-	0.09	0.09
Na ₂ O	0.79	0.75	0.72	1.24	0.78	0.74	1.20
K ₂ O	9.07	9.17	9.23	7.75	8.73	8.35	8.16
H ₂ O	4.56	4.56	4.56	4.61	4.58	4.59	4.60
Total	97.45	97.73	98.31	99.04	98.89	98.08	98.47
Cations per 11 oxygens							
SiIV	3.10	3.09	3.12	3.13	3.11	3.11	3.15
AlIV	0.90	0.91	0.88	0.87	0.89	0.89	0.85
AlVI	1.92	1.94	1.93	1.98	1.95	1.91	1.95
Ti	-	-	0.01	-	0.01	0.03	0.01
Fe	0.07	0.06	0.06	0.03	0.05	0.04	0.04
Mg	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03	0.06	0.02
Ca	-	-	-	-	-	0.01	0.10
Na	0.10	0.10	0.09	0.16	0.10	0.10	0.15
K	0.78	0.79	0.79	0.65	0.74	0.71	0.69

Table 4. Continued

Site No.	Core				Shell		
	43	54	55	57	16	19	23
SiO ₂	45.68	44.55	46.33	46.63	49.67	47.75	46.95
TiO ₂	-	0.16	0.19	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	35.08	34.11	35.69	36.77	34.31	35.33	36.16
FeO	2.39	0.76	1.28	0.78	0.92	0.97	0.76
MgO	1.14	0.47	0.60	0.30	0.52	0.54	0.36
CaO	-	-	-	0.12	-	-	-
Na ₂ O	0.70	0.48	0.64	1.72	0.26	0.68	1.18
K ₂ O	8.53	8.37	8.81	7.53	7.75	8.88	8.49
H ₂ O	4.54	4.59	4.57	4.60	4.64	4.58	4.59
Total	98.06	93.48	98.10	98.46	98.22	98.72	98.49
Cations per 11 oxygens							
SiIV	3.08	3.13	3.10	3.09	3.27	3.17	3.12
AlIV	0.92	0.87	0.09	0.91	0.73	0.83	0.88
AlVI	1.87	1.95	1.92	1.96	1.94	1.93	1.95
Ti	-	0.01	0.01	-	-	-	-
Fe	0.13	0.04	0.07	0.04	0.05	0.05	0.04
Mg	0.11	0.05	0.06	0.03	0.05	0.05	0.04
Ca	-	-	-	0.01	-	-	-
Na	0.09	0.07	0.08	0.22	0.03	0.09	0.15
K	0.73	0.75	0.75	0.64	0.65	0.75	0.72

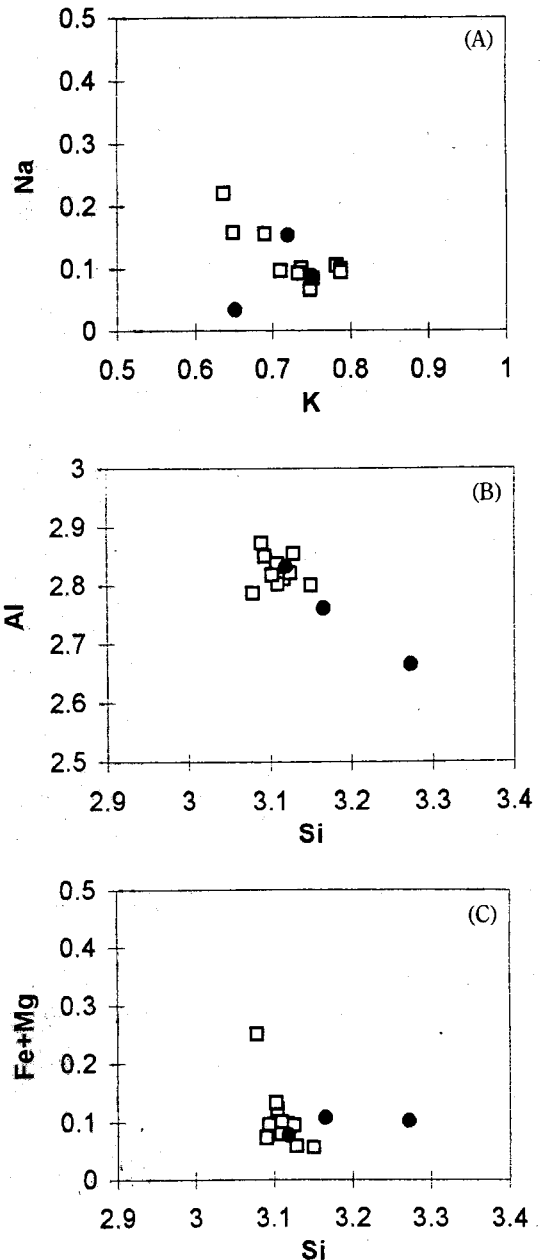


Fig. 9. Compositional diagrams of muscovites in the Muju orbicular gneisses plotted in terms of (A) Na vs. K; (B) Al vs. Si; (C) Fe+Mg vs. Si. Open squares are in the core and filled circles are in the shell.

조성을 보이며 (Table 4) K-Na 성분이 고용체를 이루고 있다 (Fig. 9A). Si와 Al의 함량은 서로 반비례의 관계를 보이며 핵부에서 각부로 갈수록 펜자이틱 (phengitic) 조성의 증가가 나타나며 (Fig. 9B), 철함량

이 높은 압석임에도 불구하고 쳐마카이트 (tschermakite)치환은 거의 일정한 양상을 보인다 (Fig. 9C).

녹니석

녹니석은 암구와 기질부 및 기반암에서 모두 관찰된다. 녹니석은 암구의 형성후 후퇴변성작용의 영향에 의하여 흑운모와 근청석으로부터 생성된다. 즉 흑운모의 벽개면을 따라 발달한 경우와 근청석내에서 견운모와 함께 존재하는 경우가 있다. 녹니석의 성분은 일정한 범위를 이루며 Mg/(Mg+Fe+Mn)은 0.48로 전암성분의 비와 유사하며, 녹니석의 생성은 K-함유유체의 유입과 깊은 관련이 있다(Table 5).

구상편마암의 성인적 고찰

Leveson(1966)은 세계적으로 분포하는 구상암 연구에 대한 여러 가지 가설들을 마그마기원과 변성기원으로 대분하였으며, Kirchmayer(1972)는 구상암의 성인 설명으로 마그마 기원, 변성기원, 교대변성기원, 그리고 확산작용기원등으로 제시한 바 있다. 또한 동일한 구상암에 대해서도 학자들에 따라 화성기원 (Enz *et al.*, 1979)과 변성교대작용(Thompson and Giles, 1974)으로 각각 달리 해석되기도 한다. 손치무 외(1980)는 일본 중부 히다변성대에서 보고된 구상암의 형성이론에 따라 본지역의 구상암의 생성은 쇠설성 퇴적물이 우백질 화강암질편마암으로 변성된 후 유동성이 높은 애그마타이트질 미그마타이트가 형성되어 운모편암, 전기석등 각종 포유물을 핵으로 초기 고결되고 점차 각부가 형성되며 핵에서 각으로 가면서 사장석의 성분이 An₅₀에서 An₃₅로 감소하는 분별정출작용에 의한 것으로 설명하였다.

구상편마암을 배태하는 함전기석 복운모 화강편마암은 손치무 외(1980)의 주장과는 다르게 그 기원암이 화강암에서 유래된 정편마암이다(송용선과 이상만, 1989). 이러한 사실은 야외에서 인접한 퇴적기원의 준편마암인 호상 흑운모편마암과의 관입접촉관계와 다량의 포획암의 존재, 그리고 광물학적, 암석학적, 지화학적 여러 증거들이 이를 잘 뒷받침해 준다. 또한 사장석의 성분이 핵에서부터 각으로 감에 따라

Table 5. Chemical composition of chlorites in the Muju orbicular gneiss

Site No.	Core						
	3	8	9	26	29	32	37
SiO ₂	33.12	26.63	27.19	25.39	26.13	28.15	33.76
TiO ₂	0.42	0.52	0.80	0.13	0.52	0.41	0.66
Al ₂ O ₃	23.35	21.52	21.61	23.86	22.35	22.99	22.43
FeO	16.27	23.83	22.49	24.52	25.01	22.66	19.10
MnO	0.41	0.46	0.42	0.44	0.24	0.51	0.39
MgO	9.33	12.83	11.75	13.42	13.24	12.90	10.73
CaO	0.19	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27
Na ₂ O	0.65	0.40	0.36	0.47	0.28	0.40	0.34
K ₂ O	2.62	0.50	0.83	0.00	0.24	0.41	1.70
H ₂ O	12.08	11.55	11.64	11.55	11.53	11.70	11.99
Total	98.42	98.34	97.07	99.79	99.53	100.13	101.36
Cations per 18 oxygens							
SiIV	3.35	2.82	2.90	2.64	2.73	2.88	3.32
AlVI	0.65	1.18	1.10	1.36	1.27	1.12	0.68
AlVI	2.13	1.50	1.61	1.57	1.49	1.65	1.93
Ti	0.03	0.04	0.06	0.01	0.04	0.03	0.05
Fe	1.38	2.11	2.01	2.13	2.19	1.94	1.57
Mn	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.03
Mg	1.41	2.02	1.87	2.08	2.06	1.97	1.58
Ca	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Na	0.13	0.08	0.07	0.09	0.06	0.08	0.06
K	0.34	0.07	0.11	0.00	0.03	0.05	0.21
Mg*	49.91	48.48	47.75	48.92	48.31	49.81	49.54

Mg* = 100 Mg / (Mg + Fe + Mn)

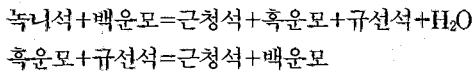
Table 5. Continued

Site No.	Core			Shell			
	40	56	58	59	18	20	46
SiO ₂	26.52	24.69	24.89	26.75	24.49	26.72	23.97
TiO ₂	0.00	0.24	0.00	0.56	0.00	0.57	0.00
Al ₂ O ₃	22.67	23.00	22.92	21.75	22.82	23.21	23.56
FeO	24.65	26.31	25.49	24.48	25.05	24.13	27.92
MnO	0.35	0.28	0.34	0.43	0.41	0.68	0.39
MgO	11.90	12.04	12.92	11.96	13.53	12.46	12.18
CaO	0.16	0.12	0.12	0.11	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.32	0.23	0.16	0.48	0.41	0.38	0.32
K ₂ O	0.12	0.36	0.00	0.61	0.00	0.55	0.00
H ₂ O	11.56	11.41	11.48	11.52	11.47	11.56	11.33
Total	98.25	98.67	98.33	98.65	98.16	100.27	99.67
Cations per 18 oxygens							
SiIV	2.81	2.64	2.65	2.83	2.61	2.76	2.55
AlVI	1.19	1.36	1.35	1.17	1.39	1.24	1.45
AlVI	1.63	1.53	1.53	1.54	1.48	1.59	1.50
Ti	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00
Fe	2.18	2.35	2.27	2.16	2.24	2.09	2.48
Mn	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.06	0.03
Mg	1.88	1.92	2.05	1.89	2.15	1.92	1.93
Ca	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Na	0.07	0.05	0.03	0.10	0.08	0.08	0.07
K	0.02	0.05	0.00	0.08	0.00	0.07	0.00
Mg*	45.89	44.66	47.12	46.12	48.64	47.22	43.41

Mg* = 100 Mg / (Mg + Fe + Mn)

라브라도라이트(labradorite)에서 안데신(andesine)으로 변하는 것이 아니라, 핵, 각, 그리고 기질에 이르기까지 거의 일정한 성분의 올리고클레이스로 되어 있다. 이는 핵이 초기에 고결되고, 그후 점차적으로 각이 형성된 것이 아니고 핵과 각이 거의 동시에 형성된 것을 암시한다.

핵부는 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , LREE가 부화되어 있고, CaO , Na_2O 가 결핍된 양상을 보이며 운모편암의 잔류물이 존재하는데, 이는 Al_2O_3 가 풍부한 이질기원 퇴적암을 기원물질로하여 형성되었음을 의미한다. 핵은 근청석, 사장석, 흑운모, 규선석, 석영등으로 구성되어 있다. 근청석의 생성과 석류석의 부재는 구상편마암의 핵부를 이루는 부분이 고온·저압의 광역변성작용과 관련됨을 지지한다. 이와같은 광물공생관계로 미루어 보아 다음과 같은 광물생성반응이 일어난 것으로 인지된다.



또한 구상암의 전암성분을 고온·저압형의 AFM 도표에 도시하여 보면 근청석-흑운모-규선석의 광물조합이 안정됨을 보여 상기한 광물생성반응과 잘 부합된다(Fig. 10). 송용선과 이상만(1989)에 의하면 본지역은 절진적 변성작용의 온도, 압력조건은 600-850°C, 4.5-7Kb이며 중첩된 후퇴변성작용은 500-600°C로 절진변성에 비해 200-300°C 후퇴되었다고 제시하였다. 그러나 핵부는 점진변성작용의 흔적이 명확히 관찰되지 않으며, 심한 변질작용에 의해 근청석이 피나이트화 되어 있어 Fe/Mg의 비는 알 수가 없었다.

각부는 핵에 비하여 Na_2O , CaO 의 양이 증가하며 화강섬록암질암의 조성과의 유사하다. 내각에서 외각으로 갈수록 입도가 커지며, 중심원상의 층에 대하여 수직방향으로 성장하는 장석이 존재한다. McBirney and Noyes(1979)는 이를 어떤 광물이 조성적으로 과냉각된(constitutinally supercooled) 마그마나 유체에서 인접광물에 비하여 급속히 성장하여 냉각면에 수직방향으로 성장하는 현상으로 설명하였다. 이러한 환경은 관입체의 경계부에서 제한적으로 발생하며 생성된 광물은 유체내에서 이동이 없는 제자리(*in situ*)성장으로 포획된 이질기원 퇴적암을 중심

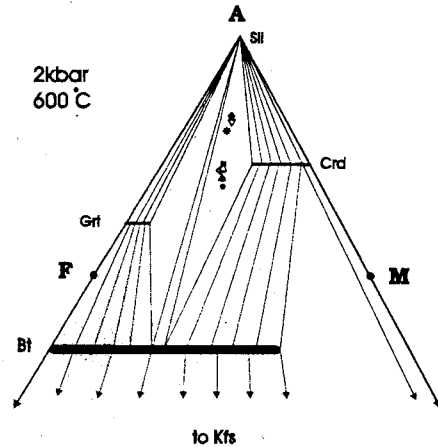


Fig. 10. Cordierite-sillimanite-Biotite assemblages at 2kbar, 600°C in AFM diagram. Symbols are the same as in Fig. 3.

으로 각의 성장이 이루어졌음을 지지한다. 장석질이 우세한 무색각은 운모류가 우세한 유색각에 의해 다각구조를 형성하는 경우도 있다.

구상편마암지역은 매우 심한 변질작용이 인지된다. 특히 핵부는 후기에 유입된 잔류 페그마타이트질 유체와 K-교대작용의 영향을 많이 받았다. 근청석은 K^+ 와 OH^- 이온에 의하여 피나이트화되어 녹니석과 견운모의 결합체로 변질되었으며, 흑운모 또한 심한 녹니석화 작용을 받았다. 전기석이 구상암은 물론 화강편마암에도 다량 함유되어 있다. 전기석의 생성은 페그마타이트질 마그마에 의한 경우와 화성암이나 변성암에 대한 붕소의 교대작용의 두가지 경우가 모두 타당하다. 붕소에 의한 교대작용은 흑운모를 노랑색의 전기석으로 만들고 장석들을 남색 내지 남녹색의 전기석으로 변화시킨다(Deer *et. al.*, 1992). 이러한 현상은 구상암과 화강편마암내에서 쉽게 관찰되며 본 지역에 광범위한 붕소교대작용이 수행되었음을 지지한다.

이상의 변성암석학적, 지화학적 연구결과로 미루어 보아 본역의 구상암은 정편마암인 화강편마암의 기원암인 화강섬록암중에 포획된 이질기원의 퇴적암이 앵피블라이트상에 해당하는 광역변성작용에 수반된 변성분화작용에 의해 생성된 것이며, 후기에 유입된 잔류페그마타이트질 유체에 의해 야기된 후퇴변성작용에 의해 구상구조가 더욱 확실하게 된 것으로 사료되는 바이다.

결 론

1) 구상편마암의 모암은 합전기석 흑운모 화강암 질편마암으로 화강섬록암에서 유래된 정편마암이며 인접한 흑운모 호상 편마암은 준편마암이다. 합전기석 흑운모 화강암질편마암의 관입시기는 불분명하나 선크브리아대로 인정된다.

2) 구상암은 각의 발달이 없는 초생암구로 구성된 Type I의 암구와 각의 발달이 있는 Type II로 구분 가능하다. Type II은 다시 단각암구, 다각암구, 핵의 구조에 따라 다양한 형태로 구분된다.

3) 핵은 Al_2O_3 , total Fe_2O_3 , MgO, K₂O, LREE가 부화되고 Na₂O, CaO, HREE는 결핍된 이질기원 변성암의 포획물을 기원으로 한다. 근청석-규선석-흑운모의 광물조합은 고온·저압의 광역변성작용에 의하여 핵이 형성되었음을 시사한다.

4) 작은 내각에서 외각으로 갈수록 입도가 커지며 장석류의 무색각과 운모류의 유색각으로 이루어져 있다. 암구와 암구를 충전하는 기질부는 구성광물과 구조를 살펴볼 때 화강편마암과 동일한 조성과 구조를 보여주고 있다.

5) 이 지역의 심한 변질작용을 일으킨 유체의 유입은 구상편마암의 생성중 또는 그 후기에 강하게 발생하였으며, 근청석의 피나이트화, 흑운모, 장석의 전기석화작용을 일으킨다.

6) 이 지역의 구상암은 정편마암의 화강암질편마암의 기원암인 화강섬록암중에 포획된 이질기원의 퇴적암이 앰피블라이트상에 해당하는 광역변성작용에 수반된 변성분화작용에 의해 생성된 것이며, 후기에 유입된 잔류페그마타이트질 유체에 의해 야기된 후퇴변성작용에 의해 구상구조가 더욱 확실하게 된 것으로 사료되는 바이다.

감사의 글

야외조사 자료 및 박편자료를 제공하여 준 임송태 박사에게 감사드리며 초고에 대하여 많은 충고를 아끼지 않으신 진명식부장님과 박영도박사에게 감사하며, 분석에 수고하여 주신 박찬수박사, 최인식씨, 고경석씨에게 감사드린다. 이 연구는 1992년도 문화재

관리국에 의하여 일부 지원되었다.

참고문헌

- 김형식, 김진섭, 김항목, 1979, 부산 황령산 일대의 구상 반려암질암에 대한 연구. 지질학회지, 15, 295-313.
- 김형식, 김영경, 정호중, 김항목, 1985, 부산 영도일대의 구상호운펠스에 대한 연구. 지질학회지 21, 50-62.
- 김형식, 박찬수, 1992, 상주 구상 석록암에 대한 암석 지화학적 연구. 천연기념물 및 공룡발자국 화석류 조사 보고서, 대한지질학회, 101-131.
- 김형식, 임송태. 1992. 무주 구상 편마암에 대한 암석학적 연구. 천연기념물 및 공룡발자국 화석류 조사보고서, 157-185.
- 손치무, 이대성, 정지곤, 강준남, 1980, 우리나라의 구상 구조를 나타내는 암석에 관하여. 한국자연보존연구서 제1집, 5-61.
- 송용선, 1989, 증부소백산육괴 선크브리아 변성암류의 지구화학적 연구. 광산지질, 22, 293-300.
- 송용선, 이상만, 1989, 소백산육괴 중앙부 선크브리아 변성암류의 암석학적 연구. 지질학회지, 25, 451-468.
- 이상만, 1989, 소백산육괴 종합변성상연구. KR-87-5 연구보고서, 자원연구소.
- Clark, A.M., 1984, Mineralogy of the rare earth elements. Rare Earth Element Geochemistry (ed. P. Henderson), Elsevier, 33-61.
- Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1992, An Introduction to the Rock-Forming Minerals. Longman Scientific & Technical, 696p.
- Enz, R.D., Kudo, A.M. and Brookins, D.G., 1979, "Igneous origin of the orbicular rocks of the Sandia Mountains, New Mexico: Summary". Geol. Soc. America Bull., 90, 138-140
- Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971, A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. Can. J. Earth Sci., 8, 523-548.
- Kirchmayer, M., 1972, Orbiculite und Orbiculit gesteine, Zbl. Geol. Paläont., Teil I, 248-343.
- Le Maitre, R.W., 1989, A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell, Oxford, 193p.
- Leveson, D.J. 1966, Orbicular rocks, A Review. Bull. Geol. Soc. Am., 77, 409-426.
- McBirney, A.R. and Noyes R.M., 1979, Crystallization and Layering of the Skaergaard Intrusion. Jour. of Petrol., 20, 487-554.
- Thompson, T.B. and Giles, D. L. 1974. Orbicular rocks of the Sandia Mountains, New Mexico, Bull. Geol. Soc. Am., 85, 911-916.

(책임편집 : 진명식)