

충북 미원지역에서 산출하는 마가라이트의 변질양상 및 광물화학

Alteration Textures and Mineral Chemistry of Margarite from Miwon Area, Chungcheongbukdo

이승준 (Syngjoon Rhee)* · 안중호 (Jung Ho Ahn)* · 김현철 (Hyeoncheol Kim)** · 조문섭 (Moonsup Cho)***

*충북대학교 지구환경과학과
(Department of Earth and Environmental Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea)
**한국기초과학연구원 동위원소분석팀
(Isotope Research Team, Korea Basic Science Institute, Daejeon 305-333, Korea)
***서울대학교 지구환경과학부
(School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

요약 : 충청북도 미원지역의 운교리층내에 산출하는 마가라이트(margarite)를 편광현미경, 후방산란전자영상(BSEI), 그리고 전자현미분석기(EPMA)를 이용하여 변질양상 및 광물화학에 관하여 조사하였다. 편광현미경과 후방산란전자영상의 관찰에 의하면 대부분의 마가라이트는 순수한 단결정으로 구성되어 있지 않고 부분적으로 녹니석이 마가라이트 결정의 테두리 부근에 평행한 경계를 이루며 존재한다. 또한, 마가라이트를 가로질러 생긴 파쇄면을 따라서 녹니석이 교대하고 있기도 하며, 녹니석과 마가라이트가 교대로 층을 이루는 조직을 보여준다. 일부 마가라이트와 녹니석 결정내에는 미세한 흑운모와 백운모가 흔히 협재되어 있다. 이러한 광물조직은 마가라이트가 녹니석뿐만 아니라 흑운모와 백운모로도 변질되었음을 지시한다. 화학분석 결과 마가라이트는 파라고나이트 성분을 19.6 mol% 정도 함유하나, 콜린토나이트 성분은 극히 적거나 무시할 수 있을 정도의 양만이 존재한다. 운교리층에서 발견되는 마가라이트는 같은 시료내의 다른 변성기원 광물들을 관입하고 암석에 분포하는 흑운모의 엽리방향과는 무관하게 산출하는데, 이러한 조직관계는 마가라이트가 최고변성작용 이후에 생성된 이차광물임을 지시한다. 특히 주변에 대규모 화강암 관입암체가 분포하는 점은 이러한 관입암체에 기인한 열수용액이 마가라이트의 생성과 밀접한 연관이 있을 가능성을 시사한다.

주요어 : 마가라이트, 녹니석, 흑운모, 후방산란전자영상(BSEI), 충북 미원지역, 변질작용

ABSTRACT : Margarite, which occurs in the Unkyori Formation of Miwon area, Chungcheongbukdo, South Korea, was investigated using the petrographic microscope, back-scattered electron images (BSEI), and electron probe microanalyzer (EPMA) to characterize the alteration textures and mineral chemistries. Most margarite crystals are inhomogeneous, and chlorite was commonly observed to occur at the boundaries parallel to the rim of margarite. Cracks occur across the basal plane of the margarite, and margarite is partly replaced by chlorite along the cracks. In addition, muscovite and biotite are intergrown in margarite and chlorite crystals, suggesting that margarite was partially altered to chlorite as well as to muscovite and biotite. Chemical analysis data show that paragonite solid solution in the margarite is

approximately 19.6 mol%, but clintonite solid solution is negligible. Margarite crystals in the Unkyori Formation cut or penetrate other metamorphic minerals in the same thin sections and are oriented randomly without any relationship with the foliation of host rocks, indicating that margarite formed as a secondary mineral after peak metamorphism. Furthermore, it seems that hydrothermal fluids associated with the Mesozoic intrusions developed near the sample are closely related to the margarite formation.

Key words : margarite, chlorite, biotite, back-scattered electron (BSE) images, Miwon area, alteration

서 론

마가라이트(margarite)는 층간전하가 +2인 2:1 층상규산염광물의 하나로써, 다른 운모류 광물들과 비교하여 탄성력이 떨어지고 인장강도가 약한 물리적 취성을 띠고 있기 때문에 “브리틀 마이카(brittle mica)”로 흔히 알려져 있다 (Deer *et al.*, 1962; Takéuchi, 1965; Guggenheim and Bailey, 1975, 1978; Guggenheim, 1984; Rieder *et al.*, 1998). 화학조성상의 휘귀성과 산출빈도가 적기 때문에 초창기 연구에서 마가라이트는 주요 조암광물로 인식되지 못하였으나, 마가라이트의 다양한 산출 상태에 관하여 지속적으로 알려짐에 따라 이제는 주요 조암광물의 하나로 고려되고 있다. 현재까지 보고된 마가라이트의 산출양상은 크게 두 가지의 경우로 나눌 수 있다(Frey *et al.*, 1982; Guidotti, 1984). 첫 번째 산출양상은 변성정도가 하부 녹색 편암상에서부터 각섬암상까지의 암석에서 주로 기질을 구성하는 전진 변성광물로써 산출하고 좀더 높은 변성상에서는 반상변정의 특징을 보여준다. 변성 이회암과 석회질 변성 이질암에서의 마가라이트의 산출은 스위스와 오스트리아 알프스지역 등 여러 곳에서 보고되었다(Ackermann and Morteani, 1973; Höck, 1974; Frey and Orville, 1974; Frey, 1978; Hoinkes, 1978; Frey *et al.*, 1982; Frank, 1983; Bucher *et al.*, 1983). 두 번째 마가라이트 산출양상은 Al 성분이 많은 광물들의 가상 교대작용에 의하여 산출된다. 일반적으로 홍주석과 남정석의 반상변정들이 마가라이트화되는 경우가 흔하지만(Chinner, 1974; Guidotti and Cheney, 1976; Guidotti *et al.*, 1979; Cooper, 1980; Enami, 1980; Baltatzis and Katagas, 1981; Morand, 1988), 규선석, 강옥, 경녹니석, 십자석, 사장석, 클리노조이사이트(clinozoisite), 그리고 백운모가 마가라이트로 교대되는 경우도 알려져 있다(Gibson, 1979; Teale, 1979; Frey *et al.*, 1982; Yardley

and Baltatzis, 1985; Grew *et al.*, 1986; Stähle *et al.*, 1986). 이러한 산출상태의 마가라이트들의 공통적인 특징은 최고 변성작용에 의해 생긴 광물이 아니라 후퇴변성작용이나 다변성작용에 의하여 생성된 광물임을 지시하는 조직을 보인다는 점이다.

마가라이트는 Al 성분이 많은 이전의 광물과 Ca 성분이 풍부한 유체 사이의 이온치환작용에 의하여 비교적 큰 결정체로 형성된다. 홍주석, 남정석, 규선석, 경녹니석, 십자석 등과 같은 광물들은 마가라이트의 Al/Si 비와 유사한 값을 가지기 때문에 쉽게 마가라이트화 작용을 받는다. Al과 Ca 성분이 많은 암석에서 마가라이트는 점진적인 광역변성작용 뿐만 아니라 후퇴변성작용과 다변성작용 등 넓은 범위의 물리화학적 조건에서 형성된다. 국내에서는 Kim *et al.* (1995)과 Kim and Cho (1999)에 의하여 최초로 마가라이트의 산출이 충청북도 미원지역의 운교리층에서 보고되었는데, 이번 연구에서는 이 지역에서 산출하는 마가라이트를 편광현미경과 전자현미분석기의 후방산란전자영상을 이용하여 산출상태와 변질양상에 관하여 조사하였다.

지질환경

중부 옥천변성대에 해당하는 미원지역은 미동산층, 운교리층, 화전리층, 창리층, 그리고 황강리층으로 구성되어 있으며, 쥐라기의 청주화강암이 연구지역의 북서부에 관입하고 있고 소규모의 백악기 보은화강암은 연구지역의 운교리층 내부에 관입하고 있다(Fig. 1). Cluzel *et al.* (1991)은 옥천 누층군을 다섯 개의 지구조 단위로 분류하였다. 피반령과 충주 지구조 단위는 구조적으로 상부 단위에 해당하고, 두륜산, 보은과 이화령 지구조 단위는 하부 단위에 해당한다. Kim and Cho (1999)는 Cluzel *et al.* (1991)의 분류를 토대로 하여 미원일대의 지질

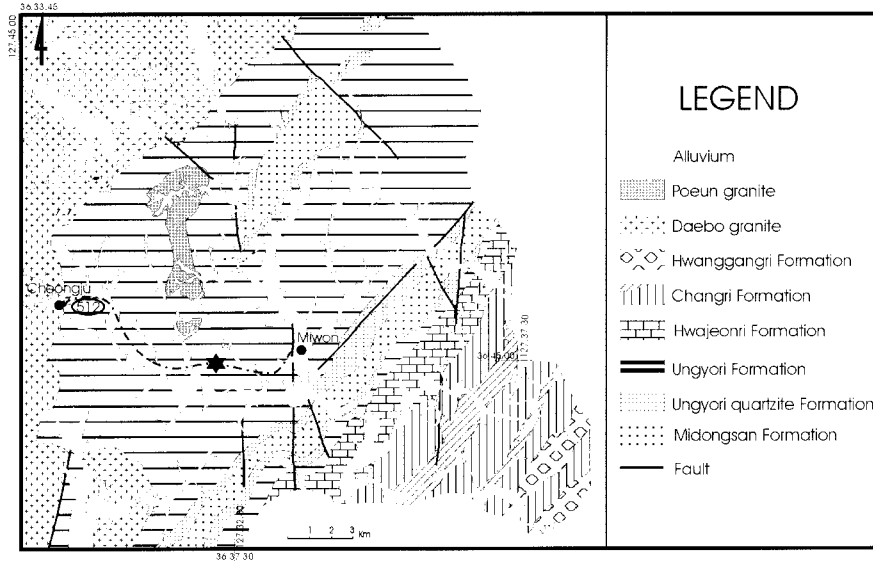


Fig. 1. Geological map of the study area. The location of sampled outcrop is marked by a star.

을 크게 상부 단위구인 피반령 지구조 단위와 하부 단위구인 보은 지구조 단위로 분류하였다. 하부 단위구는 주로 석회암, 점판암, 천매암, 백운모 편암, 그리고 역을 함유한 천매암으로 구성되어 있고, 상부 단위구는 석류석-흑운모 편암, 약간의 역들과 결정질 석회암을 함유하는 흑운모 편암 및 2~40 cm의 두께의 고철질층과 규산질층들로 구성되어 있다.

하부 단위구인 피반령 지구조 단위에 속하는 운교리층은 미원지역에서 가장 넓게 분포한다. 운교리층은 녹염석-각섬석상의 변성 이질 내지 사질암으로 구성되어 있으며, 대리암과 고철질층이 국부적으로 협재한다. 변성 이질 및 사질암은 주로 석류석-흑운모 편암으로 구성되어 있으며 십자석, 석류석, 흑운모, 백운모, 사장석, 석영과 소량의 녹염석, 마가라이트, 불투명 광물 등의 광물로 구성된다. 석류석이 운교리층에서 흔히 관찰되는 반면에 십자석은 국부적으로 관찰된다. 십자석은 0.3~4.0 mm 크기의 자형 또는 반자형 반상 변정으로 산출하며, 세립의 석영 및 티탄철석을 흔히 포획하고 있다. 십자석, 석류석, 흑운모 등은 후퇴 변성작용의 영향으로 백운모, 견운모, 녹니석에 의해서 치환된다. 고철질층은 3~10 cm의 폭으로 흔히 주변암과 점이적인 접촉 관계를 보이며 산출하거나 주변암과 명확한 경계부를 갖는 렌즈형태로 산

출한다. 화강암과의 경계부에서는 규선석과 홍주석이 관찰된다. 석류석-흑운모 지온계(Ferry and Spear, 1978; Berman, 1990)와 석류석-사장석-흑운모-백운모/석영 지압계(Hoisch, 1989, 1990)로 계산된 이 지역에 대한 최고 변성작용의 P-T 조건은 4.3~8 kbar, 510~620°C이며, 거의 남정석의 안정영역에 속한다(Kim and Cho, 1999).

마가라이트는 미원지역의 북서-남동의 대각선방향으로 넓게 분포되어 있는 운교리층에서 산출되는데, 미원읍에서 상당산성으로 가는 512번 지방도로상의 노두에서 발견된다(Fig. 1). 이 지역에 대한 지질, 구조 및 변성작용에 대해서는 Kim and Cho (1999)에 자세히 보고되었다.

연구방법

암석의 엽리에 수직으로 절단하여 제작한 연마박편을 편광현미경으로 관찰하고, 전자빔에 의한 시료 표면의 방전을 예방하기 위하여 시료를 탄소 코팅(carbon coating)하여 전자현미분석기(Electron probe microanalyzer, EPMA)를 이용하여 화학분석을 실시하였다. 분석은 기초과학연구원 연구원의 CAMECA SX51 전자현미분석기를 사용하여 화학분석을 수행하였는데, 이때의 분석조건은 가속전압 15 KeV, 가속전류 20

nA, 그리고 탐침 크기 직경 2 μm 로 주사하여 에너지분산형 분광분석법(energy-dispersive spectrometer, EDS)으로 분석하였다. 일부시료에 대한 정량분석은 파장분산형 분광분석법(wavelength-dispersive spectrometer, WDS)으로 수행하였다. 광물조직에 관한 연구는 박편을 투과한 편광된 빛을 이용한 편광현미경과 전자현미분석기를 이용한 후방산란전자영상(back-scattered electron image, BSEI)으로 관찰하였다. 각 원소의 정량분석을 위한 표준시료로 사용된 합성 또는 천연산 광물은 사장석(Na, Si), 강옥(Al), Mg-감람석(forsterite; Mg), 정장석(K), 규회석(Ca), 금홍석(Ti), Fe-감람석(fayalite; Fe) 등이며, 분석치 보정은 $\phi(\rho z)$ 방법을 사용하였다.

결 과

편광현미경 관찰

편광현미경 관찰에 의하면, 마가라이트는 무색 또는 옅은 분홍색의 다색성을 보이며, 최대

소광각(extinction angle)은 약 7° 이다. 또한 마가라이트의 산출상태는 길이가 1 mm 이내이고 두께는 약 0.1 mm 이내로 다른 운모류 광물들보다 훨씬 큰 결정체로 산출한다(Fig. 2a). 이전의 연구들과는 대조적으로 마가라이트의 일반적인 산출양상인 알루미늄 규산염광물의 동질 이상에 대한 가상 교대작용의 흔적을 찾아볼 수가 없다. 대부분의 마가라이트는 녹니석과 함께 결정을 이루고 있으며, 마가라이트 결정 내에 흑운모와 백운모 등 다른 운모류 광물들이 소량 협재되기도 한다. 녹니석은 마가라이트와 평행하게 성장하고 있으며, 매우 심하게 변질을 받은 모습을 확인할 수 있다. 녹니석 결정내에 다른 운모류 광물들이 존재하는데, 녹니석이 다른 운모류 광물들로 변질되었음을 시사한다(Fig. 2a). 운교리층에서 관찰되는 마가라이트는 부분적으로는 암석에 분포하는 흑운모의 엽리방향과 평행한 경우도 있지만, 대부분은 일정한 방향성이 없이 흑운모의 엽리방향을 자르거나 관입하고 있는 것이 확인된다(Fig. 2b). 그림 2c의 중간부분에 거의 직각으로 교차하는 두 개의

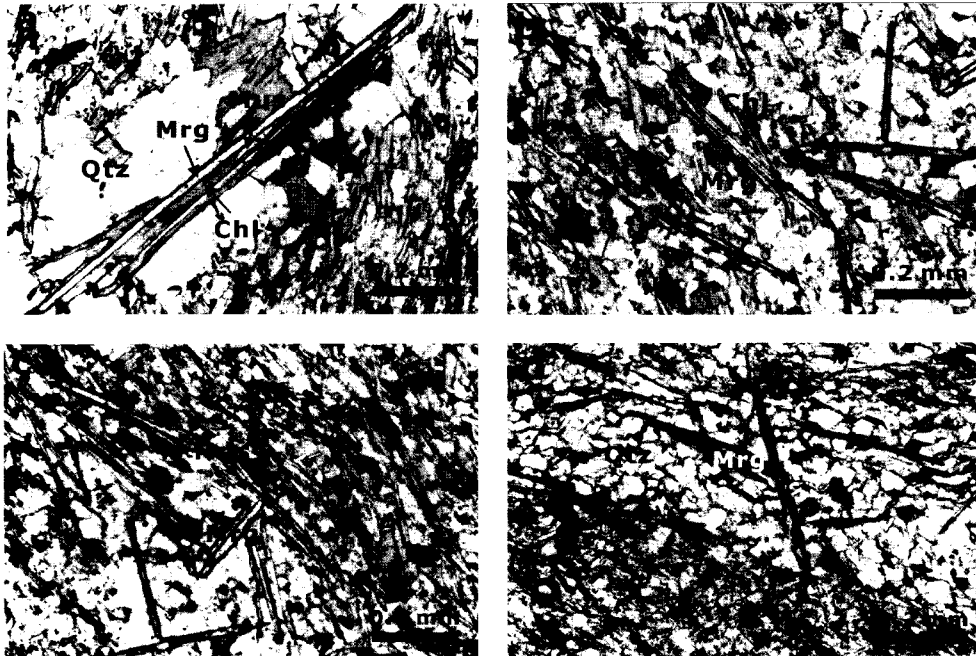


Fig. 2. (a) Photomicrograph showing margarite crystal intergrowth with chlorite. Muscovite and biotite are observed in margarite crystal. Mineral abbreviations are from Kretz (1983). (b) Most margarite crystals are intergrown with chlorite. (c) Photomicrograph showing margarite cut through other metamorphic minerals in random direction. (d) Margarite crystals observed in extensional quartz veinlet.

마가라이트 중 하나는 흑운모의 엽리방향과 대체로 평행하고 다른 하나는 그에 수직으로 발달한 경우로서, 두 마가라이트의 접촉부에는 백운모가 존재한다.

다른 산출상태로는 마가라이트가 석영맥내에서도 관찰되는데, 이것 또한 일정한 방향성을 보이지 않고 있다. 그림 2d에서 관찰되는 마가라이트의 길이가 약 0.5 mm이고 그 두께는 약 0.05 mm이다. 석영맥 주변으로는 열수에 의해 변질을 받은 매우 세립질의 운모류 광물들이 관찰된다.

현미경 관찰를 토대로 하여, 운교리층에서 관찰되는 마가라이트는 크게 두 가지 타입으로 분류할 수 있다. 첫 번째 타입의 마가라이트는 중간크기 입자이고 post-tectonic sheaf-like 집합체로 형성된다. 일부 집합체들은 단결정의 형태를 띠고 있는 반면에, 대부분의 마가라이트는 백운모, 녹니석, 그리고 흑운모가 협재되어 있다. 두 번째 타입의 마가라이트는 주로 칼슘과 실리카의 주입에 의하여 형성된 암맥에서 조립질의 얇은 조각으로 형성된다. 두 가지 타입의 마가라이트는 공통적으로 다른 운모류 광물들보다 커다란 결정으로 형성되고, 녹니석, 흑운모와 밀접히 관련되어 산출한다.

BSE Image 관찰

마가라이트내에 협재되어 있는 광물들의 조직을 보다 자세히 밝히기 위하여 전자현미분석기의 후방산란전자영상(BSEI)을 활용하여 마가라이트 결정들을 관찰하였다. 구성된 원소들의

원자번호 평균값이 높은 광물일수록 낮은 광물보다 더 많은 양의 후방산란전자를 발생하기 때문에 후방산란전자영상에서 광물들 간의 명암 차이가 생기므로, 이러한 현상은 광물의 미세한 협재조직을 관찰하는데 유용하게 사용된다(Reed, 1996). 마가라이트 결정들을 후방산란전자영상에서 관찰할 때 두 가지의 뚜렷한 명암차이를 보여준다. 비교적 어두운 명암을 보여주는 광물이 마가라이트이고, 밝은 명암을 보여주는 광물이 녹니석이다(Fig. 3a). 대부분의 마가라이트는 순수한 단결정으로 구성되어 있지 않고 녹니석이 마가라이트 결정의 테두리부근에 평행한 경계를 이루며 존재한다. 마가라이트의 벽개면을 가로질러 생긴 쪼개짐을 따라서 녹니석이 마가라이트를 교대하는 조직이 관찰되기도 하고, 녹니석의 외곽에는 흑운모가 녹니석을 교대하고 있다(Figs. 3b and 4). 후방산란전자영상으로 관찰한 마가라이트와 녹니석 결정들은 교대로 호층을 이루며 협재되기도 한다. 서로 협재되어 있는 두께는 매우 다양하며, 일반적으로 submicron 크기이다(Figs. 5 and 6). 녹니석보다 밝은 명암을 보이는 작은 입자들은 흑운모와 백운모로써, 이러한 운모류 광물들은 일반적으로 마가라이트 결정내에 협재되어 있다. 이러한 조직관계로 미루어 보아 마가라이트가 부분적으로 녹니석뿐만 아니라 흑운모와 백운모로 변질되었음을 지시한다(Fig. 6).

마가라이트를 전자현미분석기를 이용하여 화학분석을 실시한 결과, 마가라이트의 Si의 양은 $O_{10}(OH)_2$ 를 기준으로 하여 2.05~2.20의 값을 가지며, Na의 양도 K의 양보다 높게 나타나는

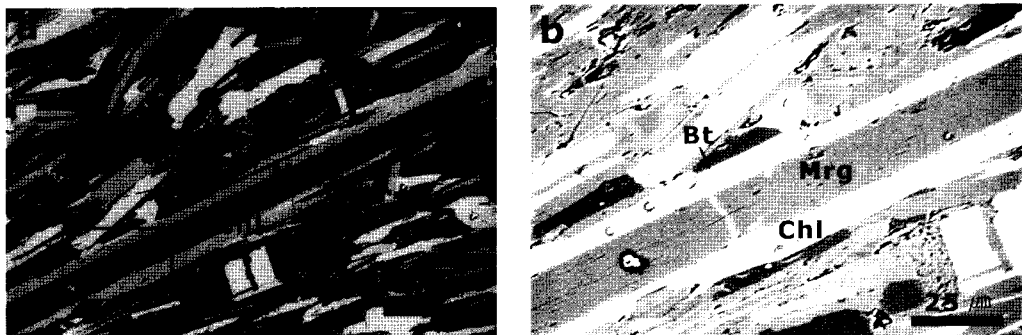


Fig. 3. (a) BSE image of margarite and chlorite. The areas with darker contrast corresponds to margarite and the areas with brighter contrast is chlorite. (b) Enlarged image of the square marked in Figure 3a, showing that margarite crystals are partly replaced by chlorite along the fracture.

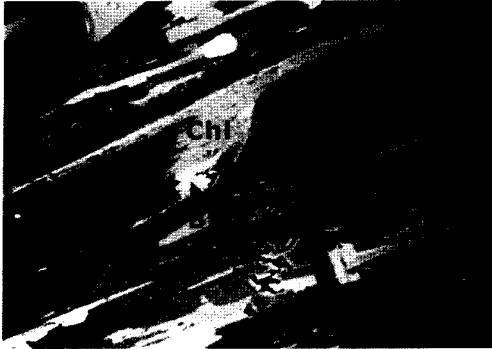


Fig. 4. BSE image showing margarite replaced by chlorite along the fracture.

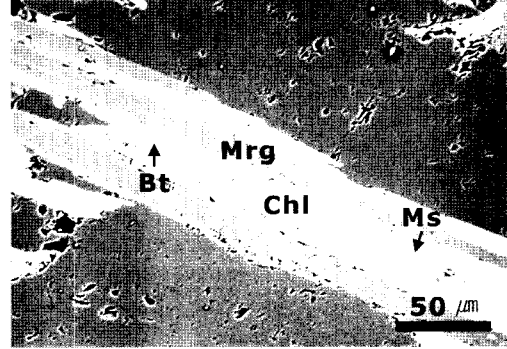


Fig. 6. BSE image of margarite crystal intergrown with biotite and muscovite.

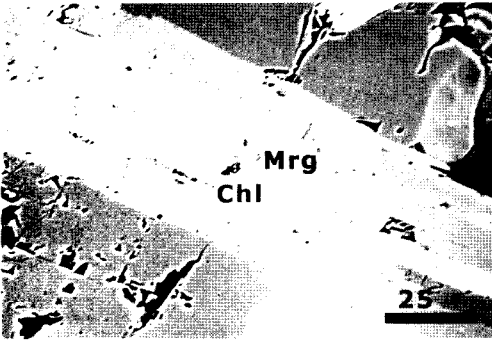


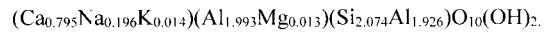
Fig. 5. BSE image intergrown margarite and chlorite crystals in parallel direction.

데 0.22~0.09의 값을 보인다(Table 1). 이러한 다양한 값은 $\text{NaSiCa}_1\text{Al}_1$ 치환의 결과로 발생하며, 마가라이트는 비교적 높은 값(17~24 mol%)의 파라고나이트(paragonite) 성분을 가진다. 이러한 결과는 증평-덕평지역과 이 지역에 대한 다른 연구들의 값과 거의 유사하거나 약간 높은 값을 가진다(Kim *et al.*, 1995; Kim and Cho, 1999). 또한, 마가라이트의 이팔면체 자리(octahedral site)의 Mg 성분이 매우 낮으며 클린토나이트(clintonite) 고용체는 거의 존재하지 않다. 일부 녹니석의 화학분석치에서 볼 수 있는 소량의 K은 녹니석 결정내에 전자현미분석기의 분해능보다 작은 미립의 흑운모가 협재되어 있을 가능성을 지시한다.

토의 및 결론

미원지역에서 산출되는 마가라이트는 1 mm 이하의 크기로 나타나는데, 같은 시료내의 다른

운모류 광물들 보다 비교적 커다란 결정으로 이루어져 있다. 전자현미분석을 이용한 화학분석 결과, 연구지역에서 산출되는 마가라이트의 평균화학식은 다음과 같다.



위 화학식에서 알 수 있듯이 마가라이트는 약 19.6 mol%의 파라고나이트 고용체를 가지고 있는 반면에 클린토나이트 고용체는 거의 존재하지 않는다. 후방산란전자영상으로 관찰한 마가라이트는 순수한 단결정으로 구성되어 있지 않고 녹니석이 주로 마가라이트 결정과 평행하게 경계를 이루고 있거나 마가라이트에 발달한 파쇄면을 따라서 교대하고 있다.

마가라이트가 흑운모 등 다른 변성광물들의 엽리조직과는 무관한 조직을 보이는 점은, 흑운모 등의 변성광물들이 최고변성작용을 받은 후기에 이차적으로 마가라이트가 생성되었음을 지시한다. 미원지역은 광역변성작용 이후 관입암체에 의한 접촉변성작용에 의해 영향을 받은 것으로 보이는데(Kim and Cho, 1999), 특히 주변에 대규모 화강암 관입암체가 분포하는 점으로 보아 마가라이트의 생성은 이러한 관입암체에 기인한 열수용액이 마가라이트의 생성과 밀접한 연관이 있는 것으로 보인다. 특히, 마가라이트가 암석내에 발달한 석영맥내에 산출하는 특징은 이러한 가능성을 더욱 지시한다.

마가라이트의 벽개면을 가로질러 생긴 파쇄면을 따라서 녹니석이 마가라이트를 교대하고 마가라이트 결정내에 소량의 녹니석, 흑운모, 백운모가 협재되어 있는 조직이 흔히 관찰된다.

Table 1. Representative electron microprobe analyses of margarite and chlorite.

Oxide	Margarite			Chlorite	
	H8-1	H8-3	H8-21	H8-1	H8-21
SiO ₂	31.35	33.32	30.68	25.24	25.08
Al ₂ O ₃	49.26	48.48	49.68	22.24	23.02
MgO	0.14	0.05	0.36	15.97	15.39
FeO	0.61	0.60	1.05	23.93	23.54
MnO	0.00	0.00	0.03	0.13	0.08
TiO ₂	0.09	0.10	0.13	0.10	0.10
K ₂ O	0.10	0.29	0.02	0.11	0.19
Na ₂ O	1.33	1.86	1.67	0.11	0.01
CaO	11.57	10.45	10.88	0.07	0.10
Total (wt%)	94.45	95.15	94.50	87.90	87.51
	Ions per formula unit				
Si	2.09	2.20	2.05	2.38	2.36
Al(IV)	1.91	1.80	1.95	1.62	1.64
∑Tet.	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Al(VI)	1.96	1.98	1.97	1.75	1.84
Mg	0.01	0.00	0.03	2.25	2.17
Fe	0.03	0.03	0.05	1.89	1.86
Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
∑Oct.	2.00	2.01	2.05	5.91	5.88
K	0.00	0.03	0.00	0.01	0.02
Na	0.17	0.23	0.21	0.02	0.00
Ca	0.83	0.73	0.78	0.01	0.01
∑Int.	1.00	0.99	0.99		

* Total Fe reported as FeO.

** Margarite and chlorite formulae normalized to O₁₀(OH)₂ and O₁₀(OH)₈, respectively.

이는 마가라이트가 녹니석으로 변질되었고 녹니석이 다시 흑운모와 백운모로 변질되었음을 시사한다. 녹니석은 마가라이트보다 높은 수산기 (OH)를 함유한 함수광물이고, 마가라이트 입자의 경계부를 따라서 생성되었거나 또는 마가라이트 결정의 파쇄면을 따라서 생성된 점으로 보아, 녹니석은 마가라이트의 수화반응의 결과로 해석된다.

마가라이트의 층상구조를 따라 교대하는 녹니석은 마가라이트의 결정구조를 부분적으로 유지하면서 반응하는 고체상태 반응(solid-state reaction)이 진행되었을 가능성을 지시하지만, 마가라이트를 가로질러 발달한 녹니석은 두 종류의 층상구조 광물들이 결정구조의 연속성이 없이 용해-침전 작용(dissolution-precipitation reaction)에 의해서 생성되었음을 지시한다. 특히, 마가라이트와 녹니석은 각각 이팔면체(dioctahedral)와 삼팔면체(trioctahedral) 구조를 가지므로, 후자의 경우가 더 우세할 것으로 고려된다. 끝으로, 편광현미경과 후방산란전자영상에서 관찰되는 마가라이트와 녹니석 사이의 변질작용 및 다른 운모류 광물들과의 보다 세부적인 상관

관계를 밝히기 위해서는 앞으로 투과전자현미경을 이용한 자세한 연구가 수반되어야 할 것이다.

사 사

이 연구의 분석을 도와주신 이석훈 박사께 감사드린다. 논문을 심사하여 중요한 지적을 하여주신 최진범, 이석훈 박사께 감사드린다. 이 연구는 교육부 연구과제(BSRI-98-5404)에 의해 지원되었다.

참 고 문 헌

- Ackermann, D. and Morteani, G. (1973) Occurrences and breakdown of paragonite and margarite in the Greiner Schiefer Series (Zillerthal Alps, Tyrol). *Contrib. Mineral. and Petrol.*, 40, 293-304.
- Baltatzis, E. and Katagas, C. (1981) Margarite pseudomorphs after kyanite in Glen Esk, Scotland. *Amer. Miner.*, 60, 265-272.
- Berman, R.G. (1990) Mixing properties of Ca-Mg-Fe-Mn garnets. *Amer. Mineral.*, 75, 328-344.
- Bucher, K., Frank, E. and Frey, M. (1983) A model for the progressive regional metamorphism of

- margarite-bearing rocks in the central Alps. *Amer. Jour. Sci.*, 283A, 370-395.
- Chinner, G.A. (1974) Dalradian margarite: A preliminary note. *Geol. Mag.*, 111, 699-709.
- Cluzel, D., Jolivet, L., and Cadet, J.P. (1991) Early Middle Paleozoic intraplate orogeny in the Ogcheon Belt (South Korea), a new insight on the Paleozoic buildup of East Asia. *Tectonics*, 10, 1130-1151.
- Cooper, A.F. (1980) Retrograde alteration of chromian kyanite in metachert and amphibolite whiteschist from the Southern Alps, New Zealand, with implications for uplift on the Alpine Fault. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 75, 153-164.
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J. (1962) *Rock-Forming Minerals*, vol. 3: Sheet Silicates. 270p. Longman, London.
- Enami, M., (1980) Note on petrography and rock-forming mineralogy (8): Margarite-bearing metagabbro from the Iratsu mass in the Sanbagawa Belt, Central Shikoku. *Jour. Jap. Asso. Mineral. Petrol. Eco. Geol.*, 75, 245-253.
- Frank, E. (1983) Alpine metamorphism of calcareous rocks along a cross-section in the Central Alps: occurrence and breakdown of muscovite, margarite and paragonite. *Schw. Mineral. Petro. Mitt.*, 63, 39-93.
- Ferry, J.M. and Spear, F.S. (1978) Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66, 113-117.
- Frey, M. (1978) Progressive low-grade metamorphism of a black shale formation, Central Swiss Alps, with special reference to pyrophyllite and margarite bearing assemblages. *Jour. Petrol.*, 19, 95-135.
- Frey, M. and Orville, P.M. (1974) Plagioclase in margarite-bearing rocks. *Amer. Jour. Sci.*, 274, 32-47.
- Frey, M., Bucher, K., Frank, E., and Schwander, H. (1982) Margarite in the central Alps. *Schw. Mineral. Petro. Mitt.*, 62, 21-45.
- Gibson, G.M. (1979) Margarite in kyanite and corundum-bearing anorthosite, amphibolite and hornblendite from Central Fiordland, New Zealand. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 68, 171-179.
- Grew, E.S., Hinthorne, J.R., and Marquez, N. (1986) Li, Be, B and Sr in margarite and paragonite from Antarctica. *Amer. Mineral.*, 71, 1129-1134.
- Guggenheim, S. (1984) The brittle micas. In : Bailey, S. W. (ed.), *Reviews in Mineralogy* 13. Micas. Washington, D.C. Mineralogical Society of America, 61-104.
- Guggenheim, S. and Bailey, S.W. (1975) Refinement of the margarite in subgroup symmetry. *Amer. Mineral.*, 60, 1023-1029.
- Guggenheim, S. and Bailey, S.W. (1978) Refinement of the margarite in subgroup symmetry: correction, further refinement, and comments. *Amer. Mineral.*, 63, 186-187.
- Guidotti, C.V. (1984) Micas in metamorphic rocks. In: Bailey, S. W. (ed.), *Reviews in Mineralogy* 13. Micas. Washington, D.C. Mineralogical Society of America, 357-467.
- Guidotti, C.V. and Cheney, J.T. (1976) Margarite pseudomorphs after chialstolite in the Rangeley area, Maine. *Amer. Mineral.*, 61, 431-434.
- Guidotti, C.V., Post, J.L., and Cheney, J.T. (1979) Margarite pseudomorphs after chialstolite in the Georgetown area, California. *Amer. Mineral.*, 64, 728-732.
- Höck, V. (1974) Coexisting phengite, paragonite and margarite in metasediments of the Mittlere Hohe Tauern, Austria. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 43, 261-273.
- Hoinkes, G. (1978) Zur Mineralchemie und Metamorphose toniger und mergeliger Zwischenlagen in Marmoren des südwestlichen Schneebergerzuges (Ötztaler Alpen, Südtirol). *Neues Jahrb. Mineral., Abh.*, 131, 272-303.
- Hoisch, T.D. (1989) A muscovite-biotite geothermometer. *Amer. Mineral.*, 67, 1118-1134.
- Hoisch, T.D. (1990) Experimental calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz + muscovite + biotite + plagioclase + garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 104, 225-234.
- Kim, H. and Cho, M. (1999) Polymetamorphism of Ogcheon supergroup in the Miwon area, central Ogcheon metamorphic belt, South Korea. *Geosciences Journal*, 3, 151-162.
- Kim, H., Cho, M., and Koh, H.-J. (1995) Tectono-metamorphic evolution of the central Ogcheon belt in the Jeungpyeong-Deokpyeong area. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 31, 299-314.
- Kretz, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. *Amer. Mineral.*, 68, 277-279.
- Morand, V.J. (1988) Vanadium-bearing margarite from the Lachlan Fold Belt, New South Wales, Australia. *Mineral. Mag.*, 52, 341-345.
- Reed, S.J.B. (1996) *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press. 201p.
- Rieder, M., Cavazzini, G., D'yakonov, Y.S., Frank-Kamenetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval', P.V., Müller, G., Neiva, A.M.R.,

- Radoslovich, E.W., Robert, J.L., Sassi, F.P., Takeda, H., Weiss, Z., and Wones, D.R., (1998) Nomenclature of the micas. *Clays Clay Min.*, 46, 586-595.
- Stähle, V., Frenzel, G., and Mertz, D.F. (1986) Retrograde metamorphism in anorthositic layers from Finero (Ivrea zone). *Schw. Mineral. Petro. Mitt.*, 66, 73-98.
- Takéuchi, Y. (1965) Structures of brittle micas. *Clays Clay Min.*, 13, 1-25.
- Teale, G.S. (1979) Margarite from the Olary Province of South Australia. *Min. Mag.*, 43, 433-435.
- Yardley, B.W.D., and Baltatzis, E. (1985) Retrogression of staurolite schists and the sources of infiltration fluids during metamorphism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 89, 59-68.
-
- 2002년 2월 10일 원고접수, 2002년 2월 18일 게재승인.