

## 경북 양북지역산 견운모광석의 물성 및 부존산상

### A Study on the Geological Occurrence, the Mineralogical and Physico-chemical Properties of the Sericite Ore from the Yangbuk Area, Kyungsangbuk-do

이동진 (Dong Jin Lee) · 고상모 (Sang Mo Koh)

한국자원연구소

(Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Taejeon 305-350, Korea)

**요약** : 양북지역산 견운모광석은 모암인 유문석영안산암질 용결응회암의 열수변질작용에 의해 형성되었다. 변질대는 견운모, 석영-견운모, 프로필라이트 및 규화대로 나누어지며 견운모광체는 석영-견운모변질대 내의 단층면 부근에서 맥상 또는 단층점토로 수십 cm 폭과 1~3 m 이상의 연장을 보이며 여러 개가 발달한다. 견운모광석은 주로 열상의 견운모 집합체로 산출되며 견운모 외에 소량의 강옥, 다이아스포아 및 황철석이 수반된다. 견운모 광석의 화학성분은 모암에 비해  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$  함량 및 작열감량이 크게 증가되었고  $SiO_2$  함량은 감소된 특성을 보이며 기타 주원소는 대체로 감소된 특징을 나타낸다. 이는 열수용액에 의한 여러 원소의 용탈 및 용해작용에 의한 것으로 견운모광체의 형성에 기인한다. 견운모광석은 1,200°C에서 결정질 플라이트와 비정질물을 형성하며 견운모는 1,200°C에서 완전히 분해된다. 한편 다이아스포어를 함유한 견운모광석은 1,200°C에서 강옥과 소량의 플라이트를 형성한다. 시차열분석 결과 견운모광석은 각각 645°C 내지 668°C에서 약한 흡열반응 곡선을 보이며 이는 견운모가 분해되면서 일어나는 결정수 탈수에 기인된 반응곡선으로 해석된다. 열무게분석에서 1,100°C까지 가열하였을 때 견운모광석은 4.70~4.81%의 무게감소를 나타낸다. 견운모광석은 900°C까지는 계속적으로 열팽창의 증가현상을 보이다가 900°C~1,000°C에서는 약한 수축을 나타내며 1,000°C~1,200°C에서는 강한 수축을 나타낸다. 시차열분석이나 열무게분석에서 확인되는 반응곡선이나 무게 감소는 견운모가 가열되었을 때 일어나는 분해에 따른 결정수의 탈수현상에 지배되고 있으며 이는 열팽창과 밀접한 관련성을 나타낸다.

**ABSTRACT** : The sericite ore is formed by the hydrothermal alteration of rhyodacitic welded tuff. The alteration zone of the host rock can be classified into four types based on the mineral assemblages : sericite, quartz-sericite, silicified and propylite zone. The sericite ore mainly occurs as vein types and fault clay along the fault plane in the quartz-sericite zone. Mineral components of the sericite ore are mainly sericite with minor diaspore, corundum and pyrite. The sericitic porcelaneous ore is mainly composed of quartz and sericite. Accessory minerals are muscovite, diaspore, sphene, corundum, pyrite, iron-oxides and etc. The chemical compositions of  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$  and ignition loss in the sericite ore increase largely than that of the host rock, while the compositions of  $SiO_2$ ,  $Na_2O$  and  $Fe_2O_3$  decrease. XRD patterns of the heat-treated sericite ores show the formation of mullite at 1,200°C. And the diaspore-bearing sericite ore forms mullite and corundum at 1,200°C. The differential thermal analysis of the sericite ores show small endothermic peak at 645°C~668°C. And the diaspore-bearing sericite ore shows a strong endothermic peak at 517°C. It indicates that the decomposition of diaspore

appear at lower temperature than that of sericite. The thermal expansivity of the sericite ores show the similar pattern. The sericite ores show the thermal expansivity of 3.3-4.7% at 900°C and 0.39-0.75% at 1,200°C, respectively. DTA-TG curves of the sericite ores show closely relations with the thermal expansivity.

## 서 언

국내 산업광물의 수요가 증가함에 따라 생산과 이에 필요한 수입도 점차 늘어 가고 있으며 원료광물의 활용면에 있어서도 새로운 용도로 사용되거나 개발되고 있는 실정이다. 견운모는 위생도기, 타일, 도자기, 내화물 및 충전제 등의 원료로 사용되어 왔으나 최근에는 바이오 세라믹 원료광물로 일부 사용되고 있으며 또한 수입에 전량 의존하던 화장품원료로 활용이 가능한 광물로 되고 있다. 견운모는 화장품용으로 쓰이는 것과 다른 용도로 쓰이는 것의 가격차이가 매우 크기 때문에 견운모광석의 국내 채광과 활용이 절실이 요구되고 있다.

본 연구지역 내에 부존하는 견운모광석은 현재 맥스텍광산에서 채굴 및 정제하여 화장품용으로 일부 활용하고 있으며 앞으로 화장품회사와 연계하여 수요를 더 넓히고 외국 수출에도 노력을 경주하고 있는 것으로 알려지고 있다. 견운모광석이 부존된 지역의 지질과 부존상상, 열수변질대, 광물특성 및 제반 물성에 대해 고찰하고자 한다.

## 지 질

본 연구지역은 행정구역상 경상북도 경주시 양북면 권이리에 속하며 위경도상에서는 북위 35° 51' 00"~35° 52' 00"와 동경 129° 25' 08"~129° 26' 09"에 해당된다. 경주 통합시로부터 20 km 동편에 위치하고 감포읍으로부터 북서 7 km 지점에 위치하며 연일지적 49호 지역이다. 연구지역은 화산암류가 대부분을 차지하고 북동편에 각섬석-흑운모 화강암 그리고 서편에 우백질 화강암이 화산암류를 관입하고 있다 (Fig. 1). 이지역 화산암류에 대해 Tateiwa (1922)는 각섬석-석영-장석-규장 반암으로 연일도폭에서 기재하였으며 1 : 250,000 부산도폭 (1973, 국립지질광물연구소)에서는 반암류로

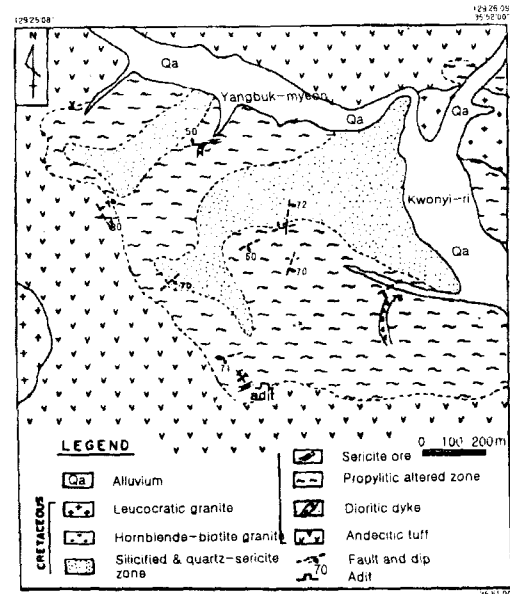


Fig. 1. Geologic map and alteration zoning of the sericite deposit in the Yangbuk area.

Fig. 1. Geologic map and alteration zoning of the sericite deposit in the Yangbuk area.

기재되었다. 그러나 본 연구에서 확인한 바 화산암류는 유문석영 안산암질 용결응회암 (rhyodacitic welded tuff) 및 유문석영 안산암질 결정질-석질 응회암 (rhyodacitic lithic crystal tuff)으로 구성되어 있다. 화산암류는 경상계 유천층군에 대비될 수 있으나 이는 절대연령 자료 및 광역적 지질 해석이 되어야 층의 대비가 더 확실해질 것이다. 또한 연구지역 내에 섬록암맥 및 안산암질 중성 암맥류가 화산암류를 관입하고 있다. 견운모광석의 모암은 유문석영 안산암질 응회암으로서 소규모 변질대 내에 맥상의 견운모 광체가 발달하고 있다.

## 화산암류

화산암류는 응회암질암이 대부분을 차지하며 용결구조를 특징적으로 보이는 유문석영 안산암질 용

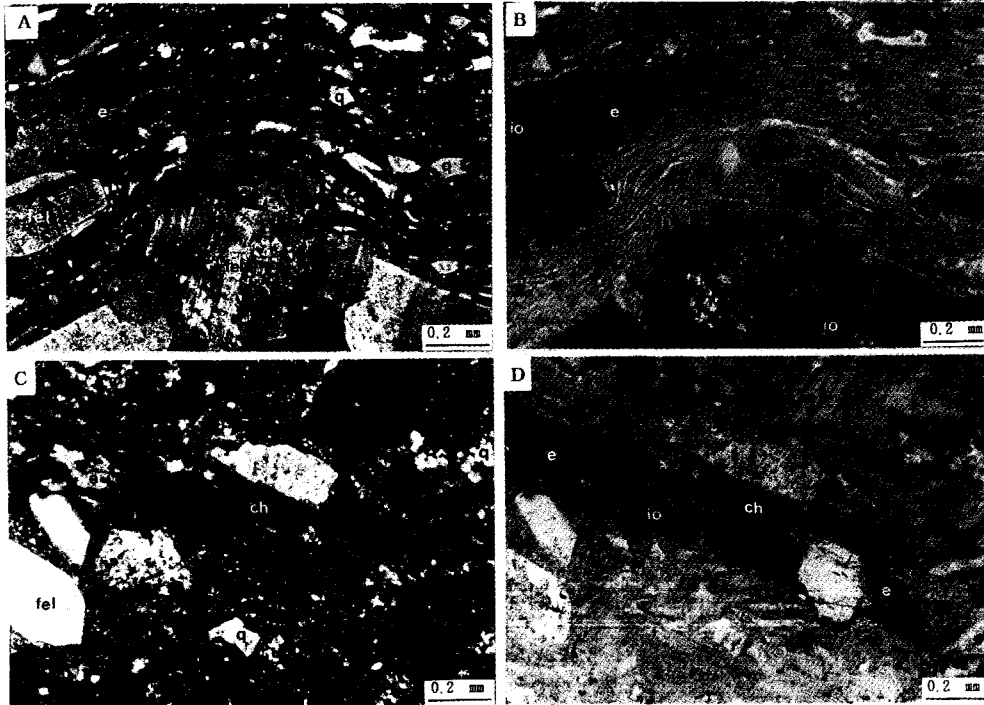


Fig. 2. Photomicrographs of rhyodacitic welded tuff and propylite. (A) Rhyodacitic welded tuff composed mainly of feldspar(fel), quartz(q), epidote(e), iron oxide(io) and glassy matrix. Note the glassy welded texture. Crossed Nicols. (B) Same as photograph A. Note welded continuous lamination. Open Nicols. (C) Propylite composed mainly of quartz(q), feldspar(fel), chlorite(ch), epidote(e) and iron oxide(io) in a matrix of fine-grained quartz and feldspar. Crossed Nicols. (D) Same as photograph C. Open Nicols.

결응회암 (Figs. 2-A and B)과 소량의 암편을 함유하는 결정질-석질 응회암으로 구성되어 있다. 용결 응회암은 석영, 장석, 흑운모, 녹니석, 인회석 및 불투명광물 등과 약간의 안산암 및 유문암편을 함유하며 석기부에서는 주로 유리-샤드 (glass shard)가 석영으로 탈유리화되어 있다. 또한 용결 구조를 보이지 않는 응회암은 석영, 장석, 흑운모, 녹니석 등과 안산암 및 유문암편을 함유하는 결정질-석질 응회암이 연구지역 남단부에서 주로 산출된다. 치밀질 안산암류도 드물게 산출되나 대부분 맥암류로 산출된다.

#### 화강암류

연구지역 북동편 소규모 암주로 산출되는 각섬석-

흑운모 화강암 및 흑운모화강암은 중립~조립질로서 석영, 사장석, K-장석, 흑운모, 각섬석 및 녹니석 등으로 구성되어 있으며 소량의 녹염석, 스펀, 인회석, 저어콘 및 불투명광물 등이 인지된다. 흑운모는 일부 녹니석화하였으며 장석은 녹염석으로 교대되어 산출되기도 한다. 또한 연구지역 서편의 우백질 화강암과 일부 흑운모 화강암으로 구성되는 화강암체는 조립질로서 석영, 사장석, K-장석 (퍼사이트 및 미사장석), 흑운모, 백운모 및 산화물로 구성되어 있으며 풍화가 심히 진행되어 있고 장석은 부분적으로 건운모화되어 있다. 본 화강암은 우백질이 우세하며 일부 흑운모를 함유하는 흑운모 화강암상을 띄기도 한다. 연구지역에 산출되는 이러한 화강암류는 화산암류를 관입한 백악기 화강암류로 해석된다.

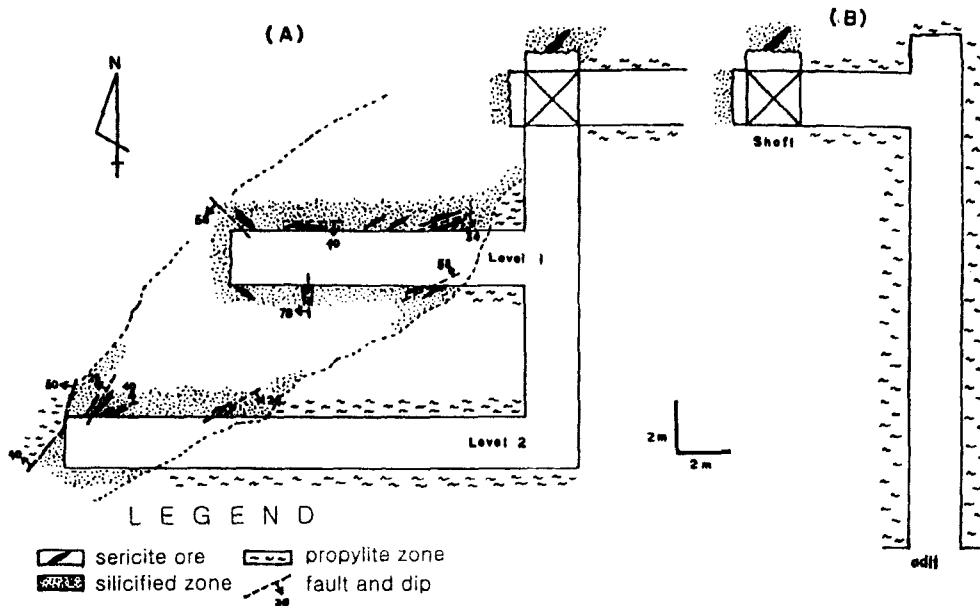


Fig. 3. Geologic and alteration zoning map in the underground cross section (A) and around adit (B).

섬록암맥

연구지역내 국부적으로 발달하며 다소 조립질로서 사장석, 흑운모로 주로 구성되어 있으며 소량의 녹니석, 녹염석, 인회석 및 불투명광물이 확인된다. 대체로 변질되어 프로필라이트화하였으며 부분적으로 녹니석, 녹염석 및 황철석을 함유한다.

부존상상

건운모광상은 유문석영 안산암질 용결응회암을 모암으로 하여 열수변질작용에 의해 형성된 열수변질광상이다. 건운모광체를 포함한 변질대는 렌즈상 광체로서 프로필라이트대에 의해 둘러싸여 있다. 건운모는 갱도가 개설된 지하에서 부존상상이 잘 확인되고 있다. 갱도 입구로부터 북쪽으로 약 20 m, 그리고 서쪽으로 약 6 m 수평갱도가 개설되었으며 이곳에서 건운모광체는 지하로 수직 8 m에 있는 level 1과 16 m 하부에 있는 level 2에서 맥상으로 산출된다(Fig. 3).

건운모광체는 규화대와 일부 석영-건운모대 (건

운모질 도석대)로 구성되는 변질대 내에서 주로 단층면 부근에서 수십 cm 폭과 1~3 m의 연장을 보이면서 소규모 광체로 여러 매가 발달하며 단층점도 역시 분말화된 건운모로 구성된다. 건운모 변질은 N 20~60°E의 단층에 주 지배된 특성을 나타내며 규화대 및 건운모질 도석대를 포함한 변질대의 주향은 N 40~50°E, 20~30°NW의 경사를 보이며 중심 변질대의 폭은 약 8 m이며 연장은 20 m 이상으로 추정된다 (Fig. 3). 이 변질대는 규화대, 석영-건운모 변질대, 건운모 변질대 및 프로필라이트대로 나누어진다.

변질대 및 광물조성

변질광물 및 광물조합에 의해 산출되는 변질대와 광석은 석영이 우세한 규화대 (규질암), 석영과 건운모 혼합체로 구성되는 석영-건운모대 (건운모질도석), 건운모로 주로 구성되는 건운모대 (건운모광석) 및 변질 외곽부에서 주로 발달하는 프로필라이트대로 나누어지며 각각의 광물학적 특징 및 산출상태는 다음과 같다.

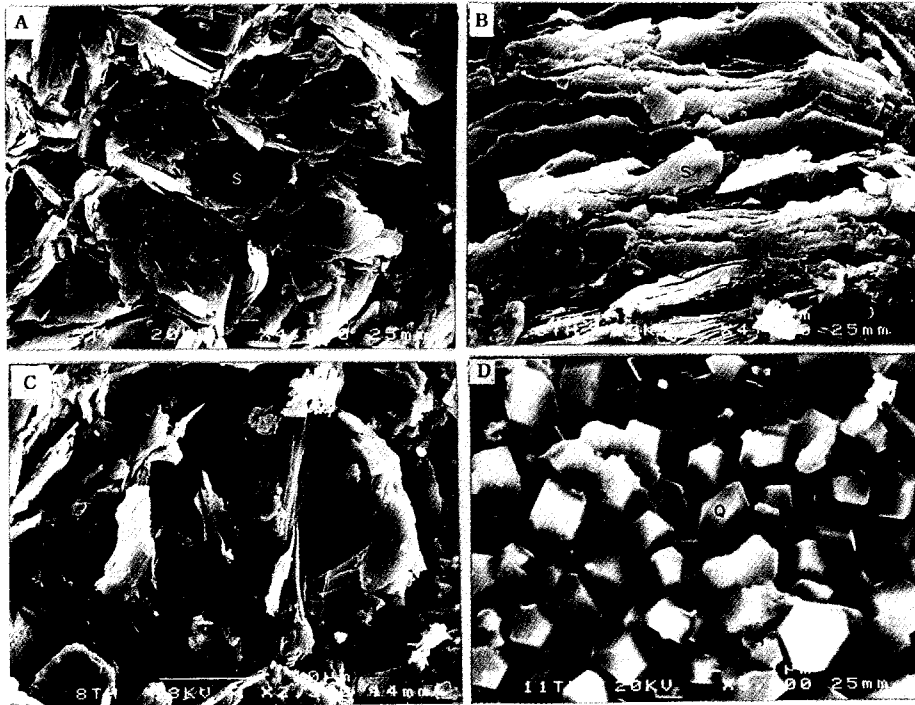


Fig. 4. Scanning electron micrographs of fine flaky sericite (A) aggregate, well layered sericite aggregate (B), flaky sericite and fine-grained quartz (C), and euhedral quartz grains in a vug (D). S : sericite, Q : quartz.

#### 프로필라이트대

견운모 광체를 포함하는 주 변질대의 외곽에서 발달하거나 연구지역 북편에 분포한 규화대의 외곽부에서 발달한다. 모암과 대단히 유사하나 모암인 유문석영 안산암질 응회암의 주 조암광물이 변질되어 녹염석, 녹니석 및 견운모 등이 주로 변질광물로 산출되는 변질암이다 (Figs. 2-C and D). 본 변질대에서는 황철석 세맥이 발달하거나 광염되어 산출하며 황철석 세맥이 망상조직을 띠며 흔히 석영세맥도 수반함이 특징이다. 이러한 변질대에서는 드물게 금 광화작용을 수반하기도 하는데 금 광화작용은 화산암을 모암으로 하는 열수변질대에서 수반되는 천연수 금광화작용으로서 석영 및 유화물 세맥 또는 광염상 유화물과 수반됨이 일반적 특징이다 (김종환 외, 1993).

#### 견운모대

응회암이 강한 견운모화작용에 의해 거의 견운모로 구성되는 변질대로서 대부분 담녹색의 견운모광석으로 구성된다. 단층점토도 견운모로 주로 구성되어 있어 견운모광석과 함께 채광 대상이 된다. 엽상의 견운모 집합체로 산출되며 견운모입자의 크기는 3~10 μm로 미정질이 대부분이다. 또한 book-type의 층상형을 보이는 견운모도 나타나는데 장경은 약 15 μm이다 (Figs. 4-A and B). 본대에서는 견운모 외에 소량의 강옥, 다이아스포아 및 황철석이 수반되며 다이아스포아는 주상 결정의 집합체로 산출된다.

#### 석영-견운모대

모암이 규화작용과 견운모화작용이 함께 일어난

변질대로서 건운모대 부근에서 국부적으로 수반되며 규화대로 둘러싸여 있다. 석영과 미립의 건운모로 구성되어 있으며 (Fig. 4-C 참조) 소량의 백운모, 다이아스포아, 스피넬, 강옥, 황철석 및 산화철 등이 확인된다. 본 변질대는 건운모대에서 불규칙하게 부분적으로 산출되며 규화대 그리고 프로필라이트대로 이화된다.

### 규화대

모암이 규화작용에 주 지배되는 변질암으로서 대부분 석영으로 구성되는 변질대로서 백색 내지 회백색을 띠며 치밀질이다. 미세공동이 발달하는 정동질 조직을 띄기도 하며 공동내에는 산화철이나 자형 또는 반자형의 석영이 산출한다 (Fig. 4-D).

### 물리화학적 특성

#### 모암의 화학성분

모암의 주성분원소분석 (XRF에 의한 분석) 결과  $\text{SiO}_2$  성분은 69.27~70.25 wt.% (Table 1 참조)로서 산성암질암의 영역에 해당된다. Le Bas *et al.* (1986)에 의해 고안된 TAS도 (total alkali silica diagram)에 도시해 보면 조면석영안산암 (trachydacite) 및 유문암 (rhyolite)의 영역에 속하며 구성광물 및 암상으로 보아 유문석영 안산암질 응회암에 해당된다. 반면 중성암맥류는  $\text{SiO}_2$  성분이 55.61 wt.%로서 TAS도에서 현무암질 안산암에 속한다.

#### 변질암 및 광석의 화학성분

##### 건운모광석

본 변질암은 모암이 강한 열수변질작용에 의해 모암의 주구성광물은 용해되고 새로이 건운모가 형성되는 건운모화작용의 결과이다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  성분은 36.44~38.54 wt.% 함량범위에 평균 37.38 wt.%를 나타내며  $\text{SiO}_2$ 는 45.24~46.92 wt.%의 함량범위에 45.92 wt.%의  $\text{SiO}_2$  평균함량을 보인다.

$\text{K}_2\text{O}$  성분은 평균 10 wt.%를 나타내고  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  성분은 평균 0.57 wt.%를 보인다. 모암에 비해  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  및 작열감량이 극히 증가되었고  $\text{SiO}_2$ 는 크게 감소된 특성을 보이며 이는 건운모 광물의 조성에 따른 결과이다. 기타 주원소는 대체로 감소된 특징을 나타내며 이는 열수용액에 의한 용탈 및 용해작용에 의한 결과이다.

##### 다이아스포아 광석

다이아스포아 함량이 높은 광석은  $\text{Al}_2\text{O}_3$  성분이 73.66 wt.%,  $\text{SiO}_2$  12.70 wt.% 및  $\text{K}_2\text{O}$  2.55 wt.%를 나타내는데 이는 다이아스포아, 건운모 및 석영의 광물 조성비에 기인된 결과이다.

##### 석영-건운모질 도석

모암이 약한 규화작용이나 건운모화작용에 의해 형성된 변질암이다.  $\text{SiO}_2$  성분은 70.80~77.32 wt.%의 범위에 72.81 wt.%의 평균함량을 나타내며  $\text{K}_2\text{O}$ 는 3.61~5.72 wt.%의 범위에 4.53 wt.%의 평균함량을 나타낸다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 는 13.23~19.24 wt.%의 함량범위 및 15.91 wt.%의 평균함량을 보인다. 본 광석은 모암에 비해  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  및  $\text{MgO}$ 는 유사한 함량을 보이나  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  및  $\text{P}_2\text{O}_5$  등은 다소 감소된 특징을 나타낸다.

##### 프로필라이트

모암이 약한 변질작용에 의해 형성된 변질암으로 대체로 모암과 유사한 주원소 함량을 나타내나  $\text{SiO}_2$  및 작열감량은 약간 증가되었으며 기타 주원소는 약간 감소된 특징을 보인다.

##### 규질암

모암이 규화작용에 의해 석영의 함량이 극히 증가된 변질암으로  $\text{SiO}_2$  성분은 87.49~93.12 wt.%의 범위에 90.31 wt.%의  $\text{SiO}_2$  평균함량을 나타낸다. 모암에 비해  $\text{SiO}_2$  함량이 크게 증가되었으며  $\text{TiO}_2$ 와 작열감량은 거의 변화를 보이지 않으나 기타 주원소는 대체로 감소되어 있다. 이러한 주원소의 감소현상은 열수용액에 의한 실리카를 제외한 원소들의 용탈 및 용해작용에 의한 결과이다.

**Table 1.** Chemical compositions of the host rock, dyke and altered rocks.

시료 번호	화 학 성 분(wt.%)											비	고
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.		
m-13	70.25	15.82	2.32	1.53	0.54	0.08	4.31	3.55	0.39	0.09	0.78	host rock	
m-45	69.27	17.03	2.50	1.03	0.49	0.06	4.55	3.72	0.37	0.09	0.74	"	
m-s1	46.92	37.16	0.33	0.17	0.09	0.005	0.31	9.59	0.24	0.03	5.12	sericite ore	
m-s3	45.24	38.54	0.22	0.15	0.07	0.008	0.32	9.81	0.24	0.023	4.97	"	
m-sh	45.61	36.44	1.17	0.25	0.35	0.007	0.32	10.61	0.22	0.007	4.86	"	
m-41	71.47	19.09	0.28	0.14	0.08	0.005	0.18	5.41	0.46	0.07	2.61	quartz-sericite ore	
m-19	71.62	14.60	2.36	1.56	0.52	0.10	4.17	3.61	0.37	0.08	0.78	"	
m-20	77.32	13.23	1.89	0.08	0.33	0.005	0.17	3.80	0.37	0.045	2.34	"	
m-29	70.08	19.24	0.25	0.12	0.66	0.028	0.20	5.72	0.94	0.032	2.87	"	
m-31	73.54	13.40	4.68	0.08	0.44	0.01	0.22	4.09	0.45	0.037	3.05	"	
m-06	73.59	14.55	2.08	0.47	0.53	0.05	4.50	2.03	0.35	0.06	1.62	prophyllite	
m-09	73.13	13.83	2.18	1.24	0.57	0.09	4.14	3.32	0.34	0.07	0.83	"	
m-08	93.12	4.21	0.30	0.06	0.004	0.012	0.06	1.10	0.37	0.027	0.75	silicified rock	
m-04	87.49	8.35	0.05	0.06	0.014	0.004	0.12	2.25	0.25	0.02	1.28	"	
m-d1	12.70	73.66	0.11	0.39	0.09	0.008	0.10	2.55	0.47	0.11	9.42	diaspore ore	
m-38	55.61	18.20	9.40	5.41	2.91	0.27	3.85	1.13	0.88	0.36	1.85	dyke	

**Table 2.** Composition range of the major ores and silicified rock.

(wt.%)

ore \ composition	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
sericite ore	45~55	>30	<1	>9
sericitic porcelaneous ore	55~80	>15	>1	3~9
silicified rock	>80	<8.4	<0.3	<2.3

모암 및 변질대 광석의 화학성분은 Table 1. 그리고 주요성분의 화학성분범위는 Table 2에 나타나 있다.

주성분원소와 모암 및 변질대광석과의 상관관계

모암 및 변질대광석과 주성분 원소와의 상관도는 Fig. 5에 나타나 있다. SiO<sub>2</sub>의 성분은 건운모, 석영-건운모, 프로필라이트 그리고 규질암으로 갈수록 증가하는 경향을 보이며 모암은 석영-건운모광석과 유사하게 나타난다. 반면에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분은 건운모광석에서 석영-건운모, 프로필라이트 그리고 규질암으로 갈수록 감소하는 경향을 보이며 모암은

석영-건운모광석과 유사하다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분은 모암이 가장 높고 규질암이 가장 적으며 건운모, 석영-건운모, 프로필라이트로 갈수록 증가하는 경향을 보인다. K<sub>2</sub>O는 건운모, 석영-건운모, 프로필라이트 그리고 규질암의 순으로 낮아지는 경향을 보이며 모암은 석영-건운모광석과 유사한 패턴을 보인다. Na<sub>2</sub>O는 모암에서 건운모, 석영-건운모, 규질암으로 급격히 낮아지며 모암과 프로필라이트는 유사한 패턴을 보인다. Ig.loss는 규질암, 프로필라이트, 석영-건운모, 건운모 그리고 모암으로 성분이 증가하는 경향을 보인다. CaO는 규질암, 건운모, 건운모-석영, 프로필라이트 그리고 모암의 순으로 증가하는 경향을 보인다. 이는 탄산염화 작용이 일어나지 않았음을 의미한다.

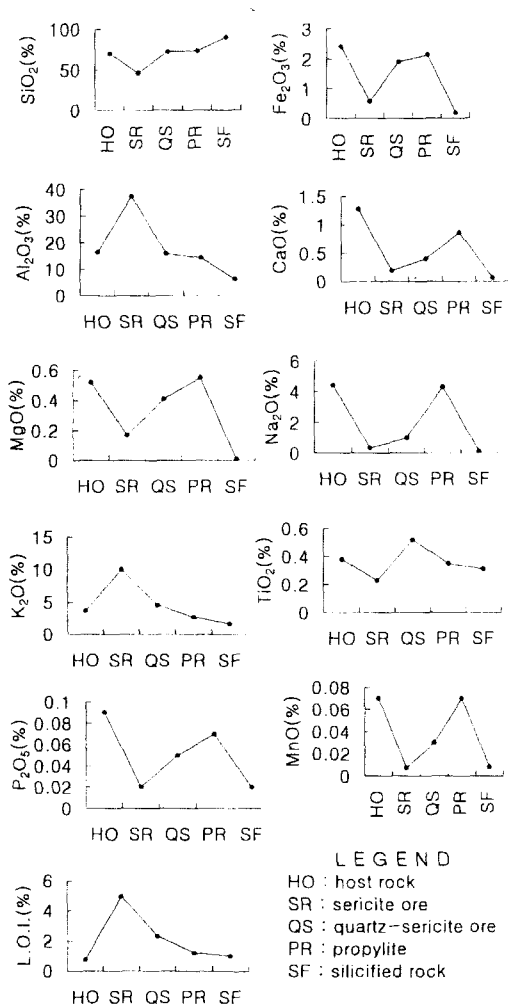


Fig. 5. Major element variation diagrams of the host rock and altered ores.

이 밖에 미량성분으로 존재하는 TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgO 및 MnO는 서로 불규칙한 패턴을 보이거나 건운모광석에서 가장 낮은 성분치를 나타내는 공통점을 지니고 있다. 이러한 주성분 원소와 모암 및 변질광석과의 상관 관계는 모암과 열수용액과의 반응에 의해 일어나는 현상으로 모암의 열수변질에 의해 일어나는 광물상의 변화와 일치하고 있다. 전체적으로 개관하면 열수변질작용에 의해 모암의 성분보다 변질대 광석에서는 K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ig.loss의 함량이 증가한 반면 SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등의 주원

소 성분은 감소하는 경향을 나타낸다.

### 물성

#### pH

건운모광석은 pH 8.48~8.72의 범위에 평균 8.65의 pH를 나타내며 다이아스포아를 함유하는 건운모광석은 pH 8.08로서 건운모광석과 유사한 값을 보인다. 석영과 건운모 혼합체로 구성되는 건운모질 도석은 6.32~8.38의 pH범위와 평균 7.14로서 거의 중성에 가까우며 건운모광석에 비해 낮은 pH를 보이며 규질암은 8.40의 약알카리성의 pH를 나타냄이 특징이다.

#### 비중

건운모광석은 2.34~2.81의 비중범위에 평균 비중 2.57을 나타내고 다이아스포아 함유광석은 2.82로서 건운모광석에 비해 다소 높으나 건운모질 도석은 2.41~2.54로서 건운모광석과 유사하다. 이러한 비중값은 본 광석에서 소량 수반되는 황철석에 의한 것으로 보이며 광석간의 차이는 크게 나타나지 않는다.

#### 점도

10% 농도 혼탁액의 점도를 측정된 결과 건운모광석은 4.38~5.46cP의 점도범위와 평균 5.09cP의 점도를 보이고 건운모질 도석은 2.48~4.08cP의 점도범위와 평균 3.51cP의 점도를 보인다. 다이아스포아 광석은 5.40cP의 높은 수치를 보이고 규질암은 낮은 2.58cP의 점도를 보인다. 이들 점도는 광석별로 큰 차이를 보이지는 않지만 대체로 건운모광석이 도석질이나 규질암에 비해 다소 높은 값을 보임이 특징이다.

건운모, 다이아스포아, 도석질 광석 및 규질암에 대한 물성은 Table 3에 나타나 있다.

### 열적 특성

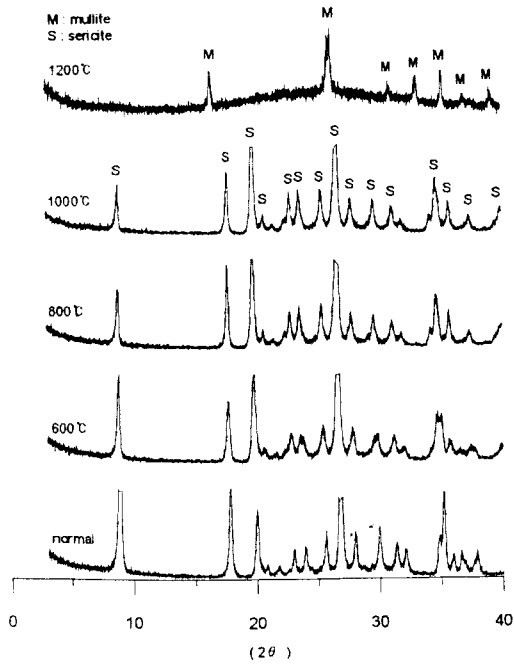
#### 광물상변화

각 광석들의 광물상변화를 알아보기 위해 분말

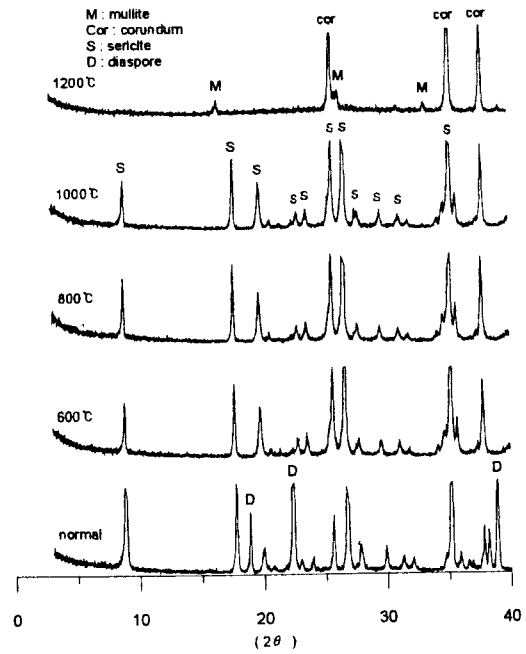


**Table 3.** Physico-chemical properties of sericite, sericitic porcelaineous ore and silicified rock.

sample no.	ore type	major mineral	S.G.	pH	viscosity(cP, 10%)
m-1	sericite ore	sericite	2.64	6.12	5.22
m-2	" "	sericite	2.34	5.71	4.38
m-3	" "	sericite	2.50	4.38	5.28
m-h	" "	sericite	2.81	5.92	5.46
m-d1	diaspore ore	diaspore sericite quartz	2.82	6.16	5.40
m-4	porcelaineous ore	quartz sericite	2.54	5.80	3.96
m-5	"	quartz sericite	2.49	6.19	4.08
m-7	"	quartz sericite	2.41	6.43	2.48
m-8	silicified rock	quartz	1.93	6.09	2.58



**Fig. 6.** XRD patterns of heat-treated sericite ore.



**Fig. 7.** XRD patterns of heat treated sericite and diaspore ores.

시료를 만들어 전가로에서 600, 800, 1000 및 1,200℃까지 광석들을 단계별로 가열처리 하였다. 각각의 온도에서 적절한 가열시간을 유지시켜 광물들의 상호반응이 일어날 수 있게 하였다. 견운모광

석은 1,200℃의 고온에서 거의 결정질 물라이트와 비정질물을 형성하였으며 견운모는 1200℃ 이상에서 완전히 분해되었다 (Fig. 6). 다이아스포아 함

유량이 높은 다이아스포아-건운모의 광물조성으로 구성되는 광석은 1,200℃의 고온에서 강옥과 물라이트를 생성하며 다이아스포아는 600℃에서 분해되나 건운모는 1,200℃ 이상에서 분해된다 (Fig. 7). 이러한 결과는 알루미늄 함량이 비교적 높은 건운모광석은 1,200℃의 고온에서 결정질 물라이트가 일반적으로 형성되며 아주 높은 알루미늄 함유광석은 1,200℃의 고온에서 강옥과 소량의 물라이트를 형성한다.

**내화도**

맥스텍 광산의 광석은 건운모광석, 다이아스포아 광석, 건운모질 도석 및 규질암으로 크게 나누어지며 건운모광석은 내화도가 평균 SK 23 (Equivalent 온도 1,530℃~1,580℃), 다이아스포아 광석이 SK 36 (Equivalent 온도 1,790℃), 건운모질 도석은 SK 20 (Equivalent 온도 1,530℃) 및 규질암이 SK 33 (Equivalent 온도 1,730℃)을 나타낸다 (Table 4). 이러한 내화도는 규질암을 제외한 광석들에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 정의 상관관계를 나타내며 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> 및 총알카리 (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 함량과는 부의 상관도를 보여 주는데 반해 규질암은 SiO<sub>2</sub>에 지배된 특성을 나타낸다. 다이아스포아 광석이나 규질암을 제외하면 대체로 낮은 내화도값을 보이는데 이는 건운모 함량에 의해 지배되는 K<sub>2</sub>O 함유량에 좌우된 결과이다 (Table 4 참조).

**시차열분석 및 열무게분석**

대표적인 건운모광석 (시료번호 : MXT-1, MXT

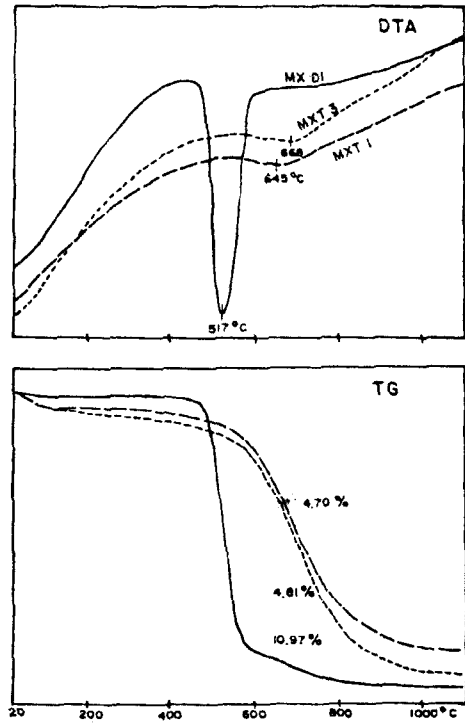


Fig. 8. DTA & TG curves of the sericite and diaspore ores.

-3)과 다이아스포아 함유량이 높고 건운모와 석영을 함유하는 광석 (시료번호 : MX-DI)에 대해 시차열 및 열무게분석 (Fig. 8)을 수행하였다. 시차열분석 결과 건운모광석은 각각 645℃와 668℃에서 약한 흡열반응 곡선을 보이며 이는 일반적으로 건운모가 600~650℃에서 보이는 약한 흡열곡선과

Table 4. Refractoriness of sericite, diaspore, sericitic porcelaineous and silicified ores.

sample no.	ore type	major mineral	chemical compositions(wt. %)					refractoriness (S.K.)
			SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
m-3	sericite	sericite	45.24	38.54	0.22	9.81	0.32	26
m-h	sericite	sericite	45.61	36.44	1.17	10.61	0.32	20
m-d1	diaspore	diaspore	12.70	73.66	0.11	2.55	0.10	36 <sup>+</sup>
mt-4	porcelaineous	sericite, quartz	71.47	19.09	0.28	5.41	0.18	20
mt-8	silicified	quartz	93.12	13.83	2.18	3.32	4.14	33

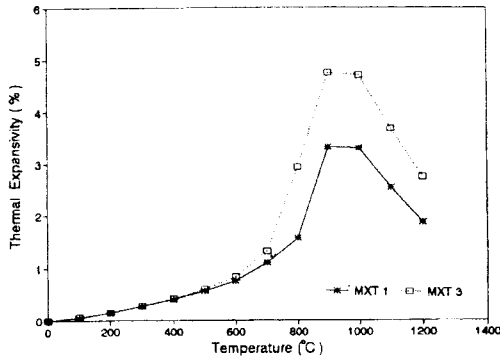


Fig. 9. Thermal expansivity of the sericite and diaspore ores.

대체로 일치하며 이는 건운모가 분해 되면서 일어나는 결정수 탈수에 기인된 반응곡선으로 해석된다. 디아스포아 함유량이 높은 광석은 517°C에서 강한 흡열곡선이 나타남이 특징이며 이는 디아스포아의 분해가 건운모보다 저온에서 일어나고 일반적인 알루미늄 수화광물이 보이는 500~550°C에서의 강한 흡열곡선과 대체로 일치한다. 열무게분석에서 1,100°C까지 가열하였을 때 건운모광석은 각각 4.70~4.81%의 무게감소를 나타내고 디아스포아 함유량이 높은 광석은 10.97%의 무게감소를 나타낸다. 이는 화학분석결과 확인되는 작열감량이 건운모광석에서 각각 5.12 wt.%와 4.97 wt.%, 디아스포아 함유량이 높은 광석에서의 작열감량 9.42 wt.%와 대체로 유사한 값을 보인다. 시차열분석이나 열무게분석에서 확인되는 반응곡선이나 무게감소는 건운모광물과 디아스포아 광물이 가열되었을 때 일어나는 분해에 따른 결정수의 탈수현상에 지배되고 있으며 이는 열팽창과 밀접한 관련성을 나타낸다.

#### 열팽창

건운모광석 (시료번호 : MXT-1, MXT-3)에 대해 열팽창측정 (Fig. 9)을 수행하였는데 대체로 유사한 패턴을 나타내나 MXT-3 시료가 다소 큰 팽창율을 보인다. MXT-1시료는 900°C까지는 계속적으로 팽창하여 3.31%의 팽창을 보이다가 900°C~1,000°C에서는 대단히 약한 수축을 나타내며

1,000°C~1,200°C까지는 강한 수축을 나타낸다. 900°C까지의 팽창현상은 건운모의 분해에 따른 결정수 탈수에 기인된 것으로 보인다. 가열 시료의 X-선회절분석 결과 건운모가 1,200°C에서 완전분해되는 것으로 보아서 건운모의 분해에 기인된 팽창현상으로 해석된다. 시차열분석에서 645°C에서 흡열곡선이 나타나고 열무게분석에서도 1,000°C에서 무게감소가 끝나는 것으로 보아 이러한 해석을 가능케 한다. 1,000°C~1,200°C까지의 강한 수축현상은 물라이트의 생성에 지배된 수축현상으로 이는 1,200°C 가열시료의 X-선회절분석에서도 잘 확인된다. MXT-3 시료는 MXT-1와 유사한 광석으로 MXT-1과 유사한 팽창 및 수축 패턴을 보인다. 900°C까지의 팽창율이 4.75%로서 MXT-1 시료와 비교해 볼 때 약간 높은 팽창율을 나타냄이 특징이다. 시차열분석결과 668°C에서 흡열곡선이 나타나고 열무게분석에서는 1,000°C까지의 무게감소가 4.81%로서 MXT-1시료가 나타내는 4.70%보다 큰 무게감소를 보이는데 이러한 차이가 보다 큰 팽창을 일으키는데 기인된 것으로 볼수있다. 900°C 이상에서의 수축 현상은 물라이트의 형성에 기인된 것으로 해석된다.

#### 결 언

본 연구지역은 중생대 경상계 유천층군의 유문석영 안산암질 응회암류와 이를 관입한 화강암 및 섬록암맥 등으로 구성되어 있다. 건운모광석은 모암인 유문석영안산암질 용결응회암의 열수변질작용에 의해 형성되었다. 변질대의 구분은 건운모, 석영-건운모, 규화대 및 프로펠라이트대로 나누어지며 변질대의 주향은 대체로 N40~50°E이며 20~30°NW의 경사를 보인다. 건운모광체는 석영-건운모 변질대 내에서 주로 단층면 부근에서 수십 cm 폭과 1~3 m의 연장을 보이며 소규모 광체로 여러 매가 발달한다. 건운모광석은 업상의 건운모 집합체로 산출되며 건운모입자의 크기는 3~10μm로 미정질이 대부분이다. 건운모광석의 화학성분은 SiO<sub>2</sub> : 45~55wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 30wt.% 이상, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 1% 미만, K<sub>2</sub>O : 9% 이상이다. 대체로 모암에 비해

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O 및 작열감량이 극히 증가되었고 SiO<sub>2</sub>는 크게 감소된 특성을 보이며 기타 주원소는 일반적으로 감소된 특징을 나타낸다. 이는 열수용액에 의한 제 원소의 용탈 및 용해작용에 의한 것으로 건운모의 형성에 따른 결과이다. 건운모광석은 평균 8.65의 pH를 나타내며 석영과 건운모로 구성되는 건운모질 도석은 평균 7.14로서 거의 중성에 가까우며 규질암은 8.40의 약알카리성의 pH를 나타낸다. 건운모광석의 비중은 평균 2.57이며 건운모질 도석은 2.41~2.54로서 건운모광석과 유사하다. 건운모광석의 점도는 평균 5.09cP, 건운모질 도석은 평균 3.51cP, 다이아스포아를 함유한 건운모광석은 5.40cP의 높은 수치를 보이고 규질암은 낮은 2.58cP의 점도를 보인다. 대체로 건운모질 광석이 도석질이나 규질암에 비해 다소 높은 값을 보임이 특징이다. 건운모광석은 1,200℃에서 거의 결정질 물라이트와 비정질물을 형성하며 건운모는 1,200℃ 이상에서 완전히 분해된다. 다이아스포아를 다량 함유한 건운모광석은 1,200℃에서 강옥과 물라이트를 생성하며 다이아스포아는 600℃에서 분해된다. 건운모광석은 내화도가 평균 SK 23, 다이아스포아 광석은 SK 36, 건운모질 도석은 SK 20 및 규질암이 SK 33을 나타낸다. 이러한 내화도는 규질암을 제외한 광석들에서는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 정의 상관관계를 나타내며 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> 및 총알카리(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 함량과는 부의 상관도를 보여 주는데 반해 규질암은 SiO<sub>2</sub>에 지배된 특성을 나타낸다. 다이아스포아 광석이나 규질암을 제외하면 대체로 낮은 내화도값을 보이는데 이는 건운모 함량에 의해 지배되는 K<sub>2</sub>O 함유량에 좌우된 결과이다. 시차열분석 결과 건운모광석은 645℃~665℃에서 약한 흡열반응 곡선을 보이며 이는 건운모가 분해되면서 일어나는 결정수 탈수에 기인된 반응곡선으로 해석된다. 다이아스포아 함유량이 높은 광석은 517℃에서 강한 흡열곡선이 나타나며 이는 다이아스포아의 분해가 건운모보다 저온에서 일어나고 일반적인 알루미늄이나 수화광물이 보이는 500~550℃에서의 강한 흡열곡선과 대체로 일치한다. 열무게분석에서 1,100℃까지 가열하였을 때 건운모광석은 각각 4.70~4.81%의 무게감소를 나타내고 다이아

스포아 함유량이 높은 광석은 10.97%의 무게감소를 나타낸다. 시차열분석이나 열무게분석에서 확인되는 반응곡선이나 무게감소는 건운모광물과 다이아스포아 광물이 가열되었을 때 일어나는 분해에 따른 결정수의 탈수현상에 지배되고 있으며 이는 열팽창과 밀접한 관련성을 나타낸다. 건운모광석은 900℃까지는 계속적으로 열팽창의 증가현상을 보이다가 900℃~1,000℃에서는 대단히 약한 수축을 나타내며 1,000℃~1,200℃에서는 강한 수축을 나타낸다. 900℃까지의 팽창현상은 건운모의 분해에 따른 결정수 탈수에 기인된 것으로 보인다. 1,000℃~1,200℃까지의 강한 수축현상은 물라이트의 생성에 의한 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

- 고상모 외(1994) 전남지역 세라믹 원료광물의 물리-화학적 특성, KR-94(B)-6, 과학기술처.  
 김남장 외(1971) 1:50,000 모량 지질도폭 및 설명서, 국립지질조사소.  
 김종환 외(1993) 화산원 천열수성 광상탐사 및 모델링, KR-92(T)-25, 과학기술처.  
 김종환 외(1990) 밀양-양산지역 납석광상의 광화작용에 관한 연구, KR-89-(B)-21, 과학기술처.  
 이동진 외(1994) 비금속광상 종합평가연구, KR-94(C)1-4, 한국자원연구소, pp. 1~67.  
 이재형 외(1992) 세라믹스의 열분석, 요업재료의 과학과 기술, Vol. 7, pp. 165~177.  
 한상목(1993) 세라믹스 원론, 반도출판사, pp. 78~104.  
 Le Bas, H. J. et al.(1986) A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram, Jour. Petrol. v.27, pp. 745~750.  
 Mackenzie, R. C.(1957) The differential thermal investigation of clays, Miner. Soc. London.  
 Tateiwa(1922) 1:50,000 Yeonil Geological Sheet.