

## 청하지역 유천 견운모의 산상 및 물성

### A Study on the Geological Occurrence, the Mineralogical and Physico-Chemical Properties of the Yucheon Sericite Ore in Chungha Area, Kyung-sangbuk-do

이동진 (Dong Jin Lee)

한국자원연구소

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

**요약 :** 유천 견운모는 백악기 경상누층군의 가송동층에 속하는 혼펠스와 규장반암의 접촉부에서 흔히 산출되며 파쇄대나 단층이 형성된 곳에서 맥상, 렌즈상 또는 구상의 형태로 부존되어 있다. 견운모광체는 중앙강내에서 규장반암과 혼펠스와의 접촉부나 단층과 같은 구조선 또는 규장반암내의 열극부위를 따라 형성되어 있으며 신장된 렌즈상 또는 구상의 산출상태를 보인다. 광체의 주향과 경사는 N25~30° E, 70~80° SE로 0.2~1m 내외의 맥폭과 10m 이상의 연장을 보이고 있으나 연장방향으로 계속 추적하면 침멸되어 구조선만 확인된다. 견운모가 함유된 광체를 광물조합에 의해 구분하면 견운모광석, 견운모-석영광석, 석영-견운모광석 그리고 석영이 우세한 규질광석으로 나눌 수 있다. 열수변질작용에 의해 모암의 성분보다 변질대 광석에서는  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ ,  $ig.loss$ 의 함량이 증가한 반면  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$  등의 주원소 성분은 감소하는 경향을 나타낸다. 미량 함유되어 있는  $TiO_2$ 나  $P_2O_5$  그리고  $MgO$ 는 대체로 변질대 광석이 모암보다 증가한 반면  $Na_2O$ 는 감소한 경향을 보이고 있다. 견운모 광석은 pH 6.47, 진비중 2.35, 그리고 점도는 평균 4.36 cP를 나타낸다. 분상 견운모에 대한 입도분석 결과 12.9~11.1 $\mu m$  입도에 11.3%가 분포되어 가장 높게 나타나고 있으며 9.6~12.9 $\mu m$  사이에 32.2%가 분포되어 있다. 6.2~17.4 $\mu m$  사이에는 각 size별마다 7% 이상 분포되어 있으며 전체의 73.9%가 분포되어 있다. 견운모광석은 1,000°C에서 0.75%의 열팽창율을 보이며 1,100°C에서는 0.74%의 열팽창율을 나타낸다. 1,000°C까지 대체로 일정하게 상승하는 양상을 나타내며 평균 상승율은 0.08%이다. 1,000°C에서 1,100°C로 온도가 상승할 때 0.01%의 수축율을 보이는데 새로운 광물상의 형성에 기인하는 것으로 판단된다.

**ABSTRACT :** The purpose of this study is to clarify the geological occurrence, mineralogical, physico-chemical and thermal properties of the sericite ore which located in Chungha area, Kyung-sangbuk-do. The geology of this area are composed mainly of hornfels and some felsite porphyry. The hornfels, altered sedimentary rock, belongs to upper stratigraphic horizon in Gasongdong Formation. The sericite deposit is formed by hydrothermal alteration after intrusion activity of the felsite porphyry. The sericitic ore is classified into sericite, sericite-quartz and quartz-sericite ore according to mineral assemblages. Mineral components in sericite ore are mainly sericite with minor quartz, apatite, sphene, zircon, ilmenite, bismuthinite, iron oxide and etc. Sericite-quartz ore are mainly composed of sericite and quartz. Accessary minerals are muscovite, epidote, zircon, sphene, iron oxide and etc. The chemical compositions of  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ , & Ignition loss in sericite and sericite-quartz ore increase than that of the host rock, while the composition of  $SiO_2$ ,  $Na_2O$  &  $Fe_2O_3$  decrease. Sericite and sericite-quartz ore are characterized by the specific gravity of 2.35 and 2.44, the pH of 4.36 cP and 2.36 cP respectively. The result of size analyses of sericite ore is 11.3% in grain volume concentration between 12.9  $\mu m$  and 11.1  $\mu m$ , and 32.3% between 9.6  $\mu m$

## 청하지역 유천 건운모의 산상 및 물성

and 12.9  $\mu\text{m}$ . The thermal expansivity of sericite and sericite-quartz ore show the similar pattern. The sericite ore shows the thermal expansivity of 0.31% at 500°C, 0.39~0.75% at 600~1,000°C and 0.74% at 1,100°C. The sericite-quartz ore shows the thermal expansivity of 0.29% at 500°C, 0.36~0.72% at 600~1,000°C and 0.71% at 1,100°C.

## 서 언

산업이 발달함에 따라 원료광물자원의 활용이 더 늘어나고 있으며 국내에서도 산업광물의 수요가 점차로 증가하고 있는 실정이다. 본 연구의 대상이 되는 건운모는 경상북도 영일군 청하면 유계리에 위치한 유천광산에서 산출되고 있다. 건운모광물이 부존된 지역의 지질, 광상 그리고 건운모광석에 대한 광물학적 및 물리화학적 특성을 밝히고자 한다. 건운모는 국내에서 위생도기, 내화물, 타일, 도자기, 용접봉 용착재, 페인트나 고무제조시의 충전재 그리고 화장품용 등에 활용되고 있으며 최근에는 바이오 세라믹 원료광물로 일부 쓰여지고 있다.

유천광산은 '67년도에 광업권이 설정되어 '69년 개발이 착수된 이래 본갱, 중앙갱, 구갱, 유계갱 및 상갱을 개설하여 상당량의 건운모와 창연을 채굴하였다. 생산된 건운모광석은 자체 수비공장에서 정제하여 용접봉용으로 판매하였으며 '85년도에는 319톤의 건운모를 생산한 실적이 있다. 그러나 '73년도 이후 창연의 국제시세 하락으로 휴광상태로 오다가 '90년 2월부터 봉락갱도에 대한 보수와 함께 건운모광에 대한 탐광을 현재 진행 중에 있다.

국내에서 생산되는 운모는 대부분 요업용으로 납품되고 있으며 국내가격은 용도와 품질에 따라 차이가 심하나 대체로 요업용 원료로 사용되는 것은 톤당 4만~6만원 선이고 정제한 것은 25만원 선 그리고 찹질방용으로는 8만원~13만원대로 나타나고 있다.

건운모는 주로 화장품용으로 전량 수입되고 있는데 '94년도에는 수입 물량이 86톤, 금액으로는 134,000\$ 그리고 '95년도에는 물량 330톤에 금액 421,800\$을 수입하여 '94년보다 '95년도에 수입물량이 284% 증가하였으며 금액상으로는 315% 증가하였다. 운모분은 충전재, 화장품 또는 용접봉

용착재 등으로 사용되고 있는데 수입물량은 '94년도에 3,711톤 그리고 '95년도에는 5,057톤으로 121% 증가하였으며 금액상으로는 '94년도에 2,280,000\$ 그리고 '95년도에 2,862,000\$을 나타내고 있다.

건운모나 운모분은 화장품용으로 쓰이는 것과 다른 용도에 쓰이는 것의 가격차이가 매우 크기 때문에 화장품용으로 사용되는 건운모광석의 국내 채굴과 정제가 절실히 요구되고 있다. 국내에 부존된 원광석의 광물학적 연구로 제반 광물특성이 종합적으로 규명되고 정제기술이 개발된다면 원료광물의 고부가가치화와 활용의 다변화를 기해 수입대체 효과를 기대할 수 있을 것이다.

## 지 질

건운모가 부존된 지역은 행정구역상으로 경북 영일군 청하면 유계리에 속하며 광구상으로는 청하지적 128호에 해당된다. 이 일대의 지질은 백악기 경상누층군의 가송동층(김옥준 외, 청하도폭, 1968)에 속하는 암석과 후기에 이를 관입한 규장암질 및 염기성암맥 그리고 북천역암층에 속하는 암석으로 구성되어 있다(Fig. 1). 가송동층은 경상누층군의 하부인 낙동층군의 상부에 해당하는 층으로서 하부 청계리 멤버와 상부 도천리 멤버로 구분된다. 청계리멤버의 암석은 도천리 멤버에 의하여 정합적으로 피복되어 있으며 암상은 점이적이다. 암석은 주로 경질 점토암, 사암, 셰일 및 역암으로 구성되어 있으며 상부는 경질 점토암과 셰일 그리고 하부는 사암과 역암이 우세하다. 본 암층의 주향과 경사는 N3~10° E 내지 N3~10° W 이고 경사는 20~30° SW 내지 10~20° SE가 우세하며 층후는 200~500m이다. 도천리멤버의 암석은 주로 알코즈사암, 도색셰일 및 응회질사암으로 구성되어 있으며 주향과 경사는 N10~30° E, 30~50° E가 보편적이다.

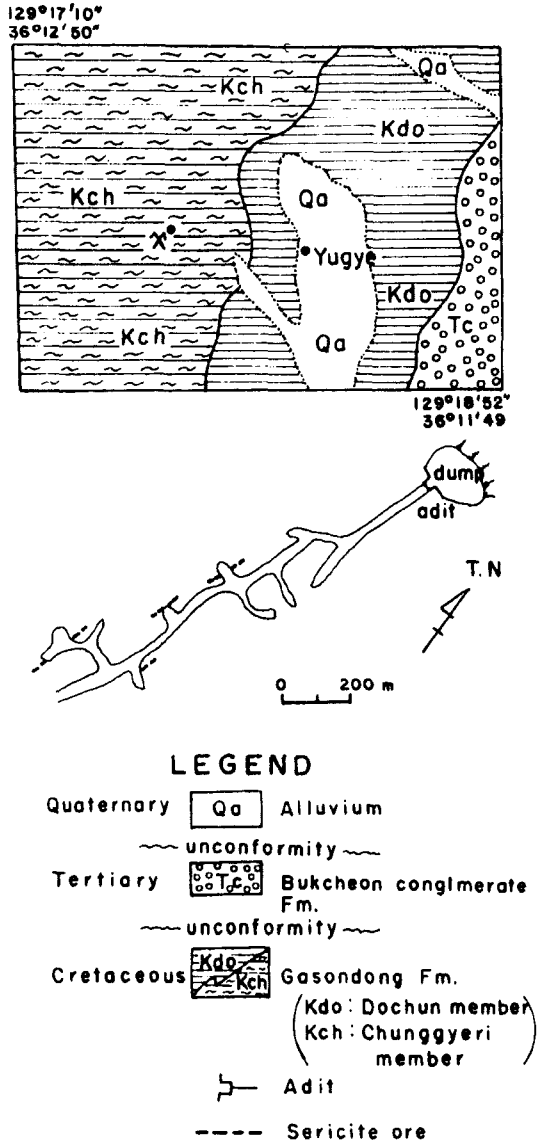


Fig. 1. Geologic map(upper part) of Yugye area and underground adit map(lower part) of the Yucheon mine.

견운모가 부존하는 지역의 암층은 청계리 멤버에 속하며 거의 대부분 변질되어 혼펠스화 되어 있다. 혼펠스는 흑색 내지 흑갈색을 보이며 암질은 대단히 치밀 견고하며 육안으로 변질광물인 녹염석이 관찰되기도 한다. 혼펠스를 주로 하는 암층의 주향과 경사는 대체적으로 N40~80° W이고 경사는 10~15° SW 또는 10~20° NE가 지배

적이다. 본 지역에는 규장암질 암맥과 염기성 암맥이 여러곳에 분포되어 있으며 규장암질 암맥은 유백색 내지 회백색을 띠우며 미정질이다. 염기성 암맥은 암청색을 보이며 황반암으로 구성되어 있다. 이들 암맥들은 대체로 N30~50° E의 방향을 나타내며 폭은 2m 내외가 일반적이나 규장암질 암맥은 10m가 넘는 것도 나타난다.

광 상

견운모 광상은 경상누층군의 가송동층에 관입된 규장반암에 배태된 열수변질 광상이다. 규장반암과 황반암의 관입암맥을 본역에서 흔히 관찰할 수 있으며 견운모와 금속광물을 광화시킨 암석은 규장반암과 밀접한 관계를 보여 준다. 견운모의 산상은 가송동층에 속하는 혼펠스와 규장반암의 접촉부에서 흔히 나타나며 파쇄대나 단층이 형성된 곳에서 맥상, 렌즈상 또는 구상의 형태로 부존되어 있는 것이 일반적이다. 규장반암의 관입후에 초래되는 잔여 열수용액의 상승으로 열수 대류계가 형성되어 단층이나 파쇄대 또는 구조적으로 약한 약선대나 열극을 따라 열수용액이 상승되어 모암을 용해시키거나 화학적인 변화를 일으켜 변질작용을 일으키게 된 것이다.

견운모와 더불어 수반되는 비금속광물로는 석영외에 형석을 들 수 있으며 금속광물로는 창연, 방연석, 섬아연석, 황동석 및 황철석 등의 광물이 인지된다.

본 지역에서 산출되는 견운모 광체는 본갱과 중앙갱내에서 확인되는 수개조의 광체와 중앙갱 서측부의 노두상에 위치하는 광체가 확인되고 있다. 본갱과 중앙갱 외에 구갱, 상갱 및 유계갱 등이 있으나 본갱과 중앙갱 외에는 대부분 봉락되어 출입이 되지 못하고 있다. 본갱과 중앙갱에서 확인되는 광체는 규장반암과 혼펠스와의 접촉부나 단층과 같은 구조선 또는 규장반암내의 열극 부위를 따라 형성되어 있으며 신장된 렌즈상, 맥상 또는 구상의 산출상태를 보인다. 중앙갱(Fig. 1 참조)내에서 확인되는 광체는 4개조로서 N25~30°E의 주향과 70~80°SE의 경사로 발달하고 있으며 0.2~1m 내외의 맥폭과 10~35m의 연장을 보이고 있으나 연장방향으로 계속 추적하면 침멸

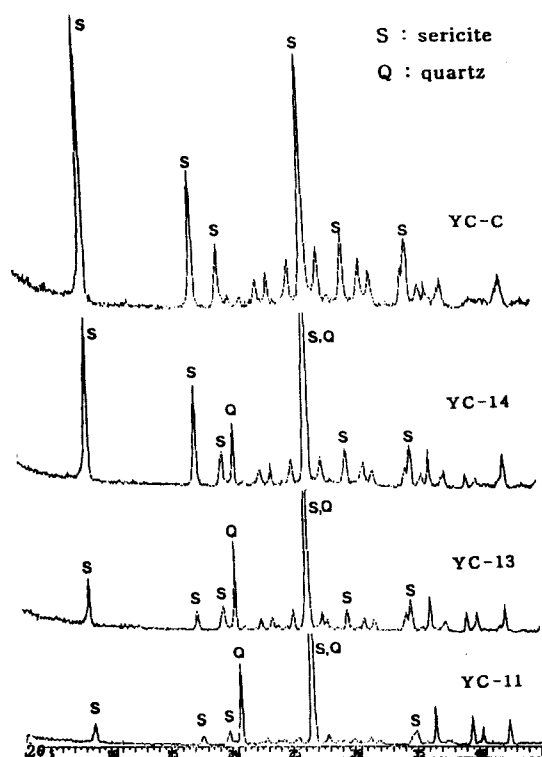


Fig. 2. X-ray diffraction pattern of sericite(YC-C), sericitequartz(YC-13 and YC-14) and quartz-sericite (YC-11) ore in the altered zone.

되어 구조선만 확인된다. 갱내에서 확인된 견운모 광석은 백색 내지 연회색으로 지방감이 있으며 견사광택을 띠고 수분을 함유하고 있다. 견운모광석은 분상으로 산출되거나 고화된 견운모의 작은 암편으로 구성되어 있다. 중앙갱 서측부의 노두상에 발달된 견운모 광체는 규장반암내의 열극을 따라 배태되어 있으나 발달상태가 매우 미미하다.

### 광물특성

#### 광물의 조성 및 조직

유천 견운모광상에서 산출되는 광물은 견운모와 석영외에 부성분 광물로서 백운모, 형석, 방해석, 인회석, 스피넬, 저어콘, 로오몬타이트, 녹염석, 휘석 등이 나타난다. 금속광물로는 창연석, 황철석, 황동석, 방연석, 섬아연석 그리고 철산화물등이 산출된

다. 본역에서 산출되는 변질광물들을 광물조합에 의해 광석의 유형을 구분하면 견운모, 견운모-석영, 석영-견운모 그리고 규질광석으로 나눌 수 있다. 여러 유형의 광석에 대한 x-선회절분석도는 Fig. 2에 나타나 있다. 시료번호 yc-c는 견운모, yc-14는 견운모-석영, yc-13은 석영-견운모광석 그리고 yc-11은 규질대에서의 시료이다. 시료번호 yc-c 시료의 x- 선회절패턴에서 보여주는 바와 같이 모든 회절선은 견운모(백운모 또는 일라이트)의 회절선과 거의 일치하고 있으며 002면과 006면에서 강한 회절 피크를 형성한다. 시료번호 yc-14, yc-13 및 yc-11은 견운모 외에 석영이 함유된 시료이다. yc-c의 견운모 회절선과 비교해서 견운모의 회절강도가 가장 약한 것이 yc-11이며 yc-12 그리고 yc-14로 갈수록 강하게 나타남을 알 수 있다. 006 면에서는 yc-c를 제외하고는 모두 견운모와 석영의 회절선이 중복되어 나타나고 있다.

각 변질광석에서 산출되는 광물들의 조성과 조직에 대해 기술하면 다음과 같다.

#### 견운모 광석

견운모는 분상 또는 고화되거나 덜 고화된 조각으로 산출되는데 분상의 광석은 백색 그리고 고화된 것은 연한 초록색을 띠운다. 덜 고화된 것은 분상으로 화하면서 백색을 나타낸다. 고화된 견운모는 육안으로 볼 때 입자의 크기가 다양하게 나타나는 데 작은 것은 1mm 이하로부터 큰 것은 직경이 수cm에 이르는 것까지 여러 가지로 산출되고 있다. 광석의 주성분광물은 견운모이며 부성분광물로는 스피넬, 저어콘, 인회석 등과 같은 미립광물을 들 수 있다. 그 외 금속광물로서 Bi 및 pb 계통의 광물, 티탄철석, 그리고 다른 철산화물 등의 광물이 극미립으로 아주 소량 함유되어 있다. Fig. 3은 견운모광석의 주사전자현미경 사진으로 견운모, 저어콘, 인회석 및 스피넬을 보여 준다. 견운모는 비늘같은 형태를 보이며 입자의 크기는 균질하지는 않으나 대체로 직경이 10 $\mu$ m 이하이다. 입자의 가장자리는 매끄럽지 못하고 톱니와 같은 모양을 보이는 것도 보여 준다. 자형의 저어콘과 반자형의 인회석 및 스피넬 입자가 견운모 집

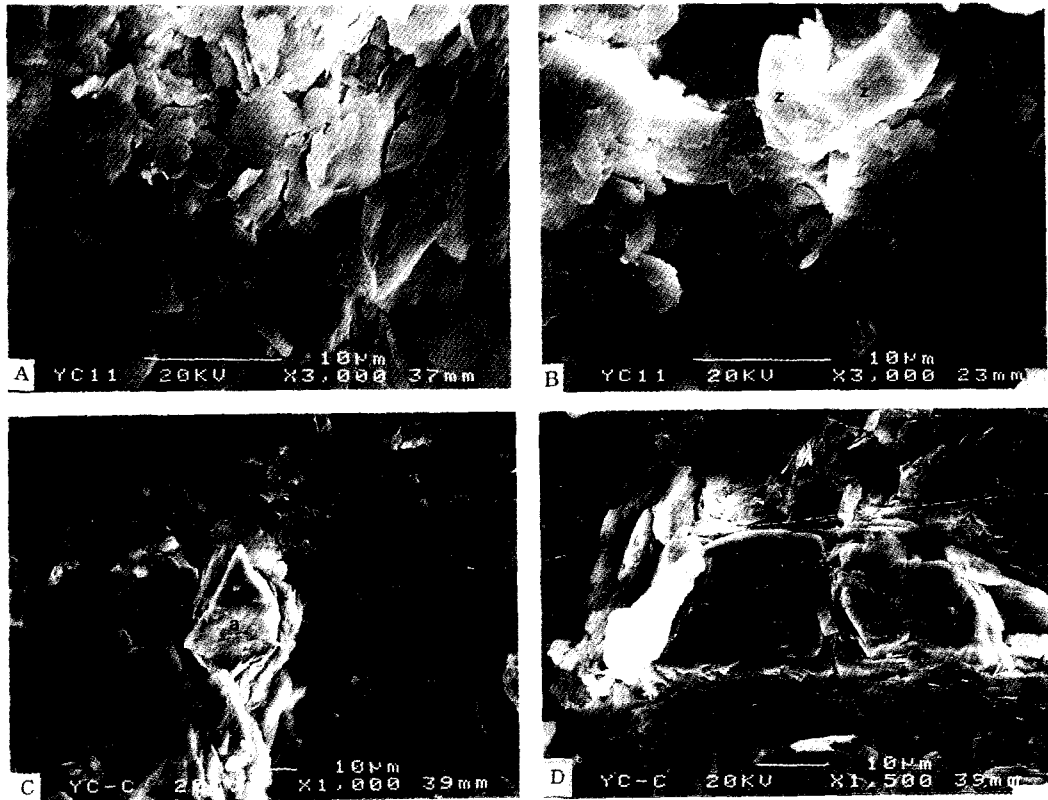


Fig. 3. Scanning electron micrographs of flaky sericite(A), fine euhedral zircon(B), subhedral apatite(C) and sphene (D) in the sericitic matrix.

합체내에 존재하는데 인회석과 스피렌은 썰기같은 미립으로 크기는 각각 15 $\mu$ m와 20 $\mu$ m 내외이다. 기질부를 이루는 견운모보다 입자의 크기가 크게 나타난다.

견운모-석영 광석

견운모-석영 광석은 백색 또는 연한 회백색을 띄우며 촉감이 매끄럽고 반짝거리는 입자가 보이기도 한다. 광석은 고화되어 단단한 것으로부터 덜 고화된 것까지 나타난다. 주성분광물은 견운모이며 부성분광물로는 석영, 백운모, 녹염석, 저어콘, 스피렌 그리고 철산화물 등이 존재한다. 견운모는 극미립의 비늘같은 형태로 집합체상을 형성하며 석영은 타형으로서 입자의 크기가 다양하게 나타나는데 큰 것은 0.2mm로부터 작은 것은 수십

$\mu$ m까지 여러 가지로 존재한다. 백운모는 견운모와 더불어 부분적으로 집합체를 이루며 산출되는데 입자의 크기는 대체로 직경이 0.1mm 내에 해당된다. 녹염석은 광석내에 형성된 새맥에 폭 0.04-0.1mm, 길이 0.3mm 내의 크기로 주상의 형태로 존재한다(Fig. 4-A).

석영-견운모 광석

석영-견운모 변질대의 광석은 견운모-석영대의 광석과 경계가 정확하지 않은 점이적인 관계를 보인다. 석영이 견운모보다 양적으로 우세하게 나타나며 석영과 견운모 외에 수반되는 부성분광물은 대체로 유사하다. 석영은 대체로 1mm 이하의 입도를 지닌 타형으로 입자가 비교적 큰 석영내에 육면체의 작은 인회석 결정들이 발달되어 있

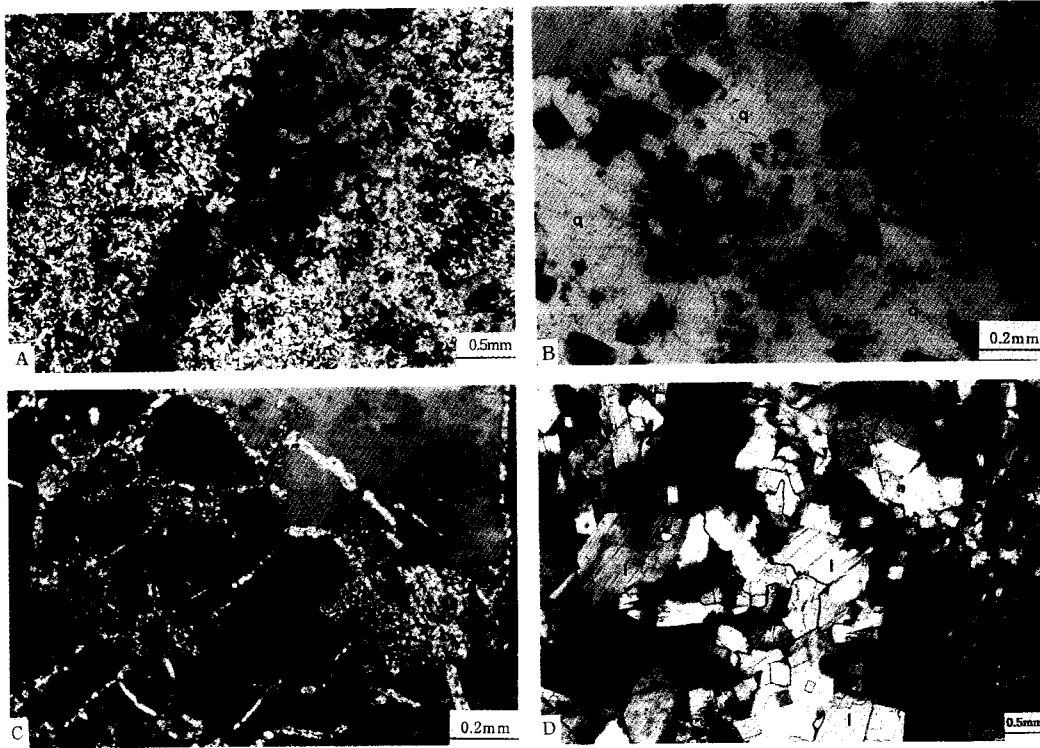


Fig. 4. Photomicrographs of sericite(s), quartz(q) and laumontite(l). A) Fine columnar epidote aggregate in a matrix of sericite and quartz B) Minute six-sided apatite crystals in quartz grain. C) sericite filling along the boundaries of quartz grains. D) Laumontite existing in a small cavity of the silicified rock.

으며 인회석 결정은 부분적으로 건운모화되어 있다(Fig.4-B 참조).

#### 규질 광석

본 광석의 주성분광물은 석영이며 수반되는 광물로서는 건운모, 백운모, 형석, 녹염석, 수정, 로오몬타이트 그리고 철산화물 등이 있다. 석영-건운모 광석과는 점이적인 산상을 보이며 경계를 명확히 설정하기 어렵다. 석영은 대체로 미립으로 입자의 크기는 0.05mm 이하의 크기이나 일부는 0.4mm 이상의 비교적 큰 입자가 나타나기도 한다. 건운모는 미립의 석영이 기질을 형성한 가운데 부분적으로 산재해 있으며 특히 석영립들의 경계부를 따라 채워져 있다(Fig. 4-C). 또한 파쇄대나 틈과 같은 약선대에는 주상의 로오몬타이트 광물이 형성되어 있다(Fig. 4-D). 조그만 공동내에는 결정이 잘 이

루어진 육각 주상의 수정이 발달되어 있으며 아코디온 타입의 건운모 편들이 수정과 함께 형성되어 있다. 또한 공동내에는 연한 초록색을 띠는 포도상의 형석이 발달되어 있으며 자수정의 결정들이 확인되기도 한다. 석영-건운모 및 건운모-석영광석과 점이적인 산상을 이루며 주성분광물은 크게 차이를 보이나 부성분광물에 있어서는 커다란 차이를 보이지 않는다. Bi 및 Pb를 함유한 미립광물이 극소량 함유되어 있다.

#### 건운모광석의 물리화학적 특성

##### 모암의 화학성분

유천건운모광석의 모암은 반상조직을 보이는 규장반암으로서 치밀 견고하며 기질부는 주로 석영과 장석으로 구성되어 있다. 부성분광물로는 방

**Table 1.** 유천광상의 모암 및 변질대 시료의 화학성분

시료 번호	화 학 성 분(wt.%)											비고
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ig.loss	
yc-h	73.63	13.09	2.53	0.54	0.21	5.99	2.92	0.21	0.04	0.03	0.52	모암
yc-11	66.91	18.40	0.91	1.93	1.61	5.89	0.18	0.64	0.02	0.13	3.21	변질대
yc-12	66.85	14.00	2.59	5.38	1.00	1.30	2.45	0.36	0.06	0.06	5.53	"
yc-13	63.15	17.54	1.10	5.65	1.67	5.61	0.15	0.66	0.02	0.14	3.71	"
yc-14	47.80	30.17	1.38	1.30	2.41	10.1	0.22	1.07	0.06	0.28	4.67	"
yc-15	50.32	31.23	0.50	0.64	1.39	9.55	0.25	0.92	0.01	0.17	4.51	"
yc-c1	48.35	32.38	1.06	1.00	1.35	9.51	0.41	0.49	0.03	0.06	5.01	견운모
yc-c2	48.16	32.21	1.44	1.07	1.43	9.40	0.43	0.46	0.06	0.05	5.01	"
yc-c3	48.58	31.94	1.36	0.85	1.50	9.37	0.36	0.34	0.06	0.05	5.24	"
yc-L	54.29	15.66	9.96	4.65	2.96	3.28	4.22	1.97	0.12	0.87	1.62	황반암

\* yc-c : feldspar porphyry

\* yc-11, 12 and yc-13 : quartz-sericite ore

\* yc-14 and 15 : sericite ore

\* yc-c1, c-2 and c-3 : almost sericite after ore dressing

\* yc-L : lamprophyre

해석, 운모류, 저어콘, 휘석 및 철산화물이 소량 포함되어 있다. 반정은 카리장석이 주를 이루며 기질부의 석영과 장석은 그라노피릭(granophyric)조적을 보인다. Table 1은 모암 및 변질대의 견운모광석 그리고 맥상의 염기성 암석에 대한 화학성분 분석결과로서 XRF분석법에 의해 수행되었다. 시료번호 yc-h에서와 같이 모암의 화학성분은 SiO<sub>2</sub>가 73.63wt.%로서 산성암의 반심성암의 영역에 속하며 SiO<sub>2</sub>의 성분은 석영과 다른 규산염광물로부터 기인된다. K<sub>2</sub>O와 Na<sub>2</sub>O는 각각 5.99wt.% 및 2.92wt.%로서 이는 장석류와 소량 함유되어 있는 운모류로부터 나온 것이다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 2.53wt.%로서 다른 변질대의 시료보다 비교적 높은 수치를 나타내는데 이는 모암중에 함유되어 있는 철산화물로부터 기인된 것이다. CaO, TiO<sub>2</sub> 및 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 다른 변질대의 시료보다 비교적 적게 나타나고 있으며 연유되는 광물은 방해석, 스피노 또는 티탄철석, 인회석 등이다. 한편 본 연구지역에서 산출되는 염기성 암석인 황반암의 화학성분은 시료번호 yc-L에 나타나 있다. SiO<sub>2</sub> 54.29wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 15.66%, K<sub>2</sub>O 3.28%, Na<sub>2</sub>O 4.22% 그리고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 9.96%로서 철분의 함량이 비교적 높은 염기성암이다.

#### 변질대 광석의 화학성분

##### 석영-견운모광석

Table 1의 시료번호 중에서 yc-11과 yc-13이 석영-견운모광석에 속한다. 본 변질광석은 모암의 열수변질에 의해 규질화 및 견운모화 작용을 받은 광석이다. 견운모는 견운모화작용에 의해 새로이 형성되었으며 석영은 규질화작용에 의해 새롭게 형성되거나 모암의 성분으로부터 재결정되었다. SiO<sub>2</sub>는 63.15~66.91wt.%의 함량범위에 평균 65.03wt.%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 18.40~17.54wt.%의 함량범위에 평균 17.97wt.%, K<sub>2</sub>O는 5.61~5.89wt.%의 함량범위에 평균 5.75wt.% 그리고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 0.91~1.10wt.%의 함량범위에 평균 1.01wt.%를 나타낸다. CaO는 1.93wt.%와 5.65wt.%의 함량을 보이고 있어 일부 광석은 약간의 탄산염화작용을 받은 것으로 간주된다. 또한 본 광석의 다른 주원소 화학성분의 평균 함량은 MgO:1.64wt.%, Na<sub>2</sub>O:0.17wt.%, TiO<sub>2</sub>:0.65wt.%, MnO:0.02wt.%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:0.14wt.%를 보이며 작열감량은 3.21~3.71wt.%의 함량범위에 평균 3.46wt.%를 나타낸다. 모암에 비해 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ig.loss 및 CaO는 증가하였으며 K<sub>2</sub>O는 비슷한 성분함량을 보이고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Na<sub>2</sub>O는 감소하였다. 이러한 성분의 증가 및 감소현상은 모암과 열수용

액의 반응에 의한 용해 및 용탈작용에 기인한다.

견운모광석

견운모광석은 시료번호 yc-14 및 yc-15와 yc-c1, yc-c2 그리고 yc-c3가 이에 속하는 광석이다. 각 시료에 대한 화학성분 분석결과는 표1)에 나타나 있다. 시료번호 yc-14 및 yc-15는 견운모대에서 산출되는 시료이며 yc-c1, c2 및 c3는 견운모광석의 마광 및 자선을 거친 후 얻어진 거의 견운모로 구성된 시료이다. yc-14 및 yc-15시료는 SiO<sub>2</sub>의 함량범위가 47.80~50.32wt.%로서 평균 49.06wt.%이며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량범위는 30.17~31.23wt.%로서 평균 30.7wt.%이다. K<sub>2</sub>O는 10.1~9.55wt.%의 함량범위에 평균 9.83wt.%를 나타내며 Ig.loss는 4.51~4.67wt.%에 평균 4.59wt.%를 보인다. 한편 yc-c1,2,3 시료는 SiO<sub>2</sub>의 함량범위가 48.35~48.58wt.%로서 평균 48.36wt.%이며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 함량범위는 31.94~32.38wt.%로서 평균 32.18wt.%이다. K<sub>2</sub>O는 9.37~9.51wt.%의 함량범위에 평균 9.43wt.%를 나타내며 Ig.loss는 5.01~5.24wt.%에 평균 5.09wt.%를 보인다. 상기 시료들은 거의 견운모로 구성되어 있으며 아주 소량의 부성분 광물이 함유된 시료들이다. 화학성분상의 약간의 차이는 견운모 외에 극소량 함유되어 있는 부성분광물에 기인한다. 모암의 화학성분과 비교할 때 SiO<sub>2</sub>는 크게 감소하였으며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O 및 Ig.loss는 크게 증가한 특징을 보여 주고 있다. 이는 모암의 열수변질에 의한 견운모화작용에 기인한 것으로 판단된다.

주성분원소와 모암 및 변질대 광석과의 상관관계

모암 및 변질대광석과 주성분 원소와의 상관도는 Fig. 5에 나타나 있다. SiO<sub>2</sub>의 성분은 모암에서 석영-견운모, 견운모-석영 그리고 견운모광석으로 갈수록 감소하는 경향을 보인다. 반면에 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 반대로 모암에서 견운모광석으로 갈수록 증가하는 경향을 나타낸다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 모암에서 견운모광석으로 갈수록 대체로 감소하는 추세를 보이며 CaO는 모암에서 견운모-석영으로 구성된 광석까지는 증가하는 추세를 보이다가 견운모로 가면서 감소하는 경향을 보인다. CaO는 함량이 비교적

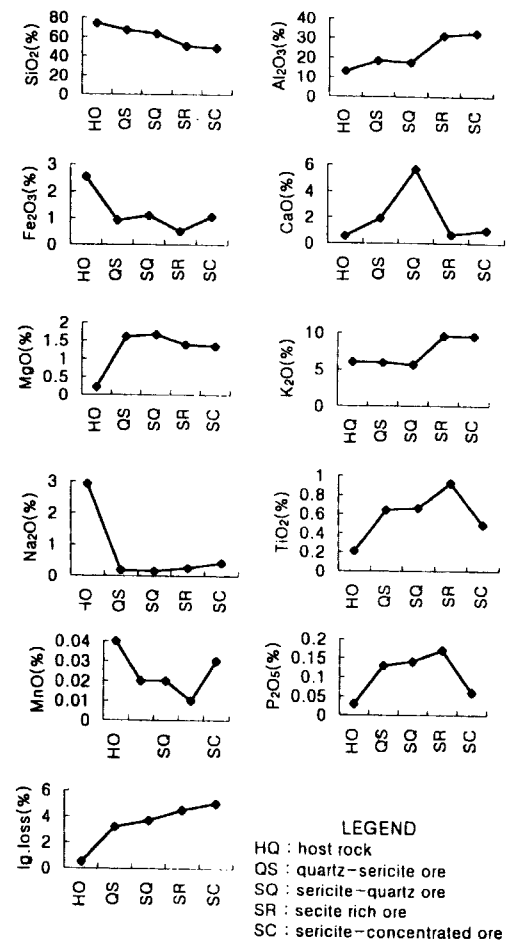


Fig. 5. Major element variation diagrams of the host rock and altered ores in the Yucheon sericite deposit.

적게 포함되어 있으나 변질대광석이 모암보다 상대적으로 높게 나타나고 있으며 석영-견운모 광석으로부터 견운모광석은 비슷한 경향을 나타내고 있다. MgO는 변질대 광석이 모암보다 높은 경향을 보이며 K<sub>2</sub>O는 모암이나 석영-견운모 또는 견운모-석영광석과 비슷한 패턴을 유지하다가 견운모 광석에서는 증가되는 경향을 보인다. Na<sub>2</sub>O는 모암에서 변질대 광석으로 급격히 낮아지며 TiO<sub>2</sub>와 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 모암에서 변질대광석으로 증가되는 추세를 보인다. MnO는 미량 포함되어 있으나 대체로 모암에서 변질대 광석으로 감소하는 패턴을 보이며 Ig.loss는 증가하는 경향을 보인다. 이러한



주성분 원소들의 변화상은 모암과 열수용액과의 반응에 의해 일어 나는 현상으로 모암의 열수변질에 의해 일어 나는 광물상의 변화와 일치하고 있다. 전체적으로 개관하면 열수변질작용에 의해 모암의 성분보다 변질대 광석에서는  $K_2O$ ,  $Al_2O_3$ , lg.loss의 함량이 증가한 반면  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$  등의 주원소 성분은 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 미량 함유되어 있는  $TiO_2$ 나  $P_2O_5$  그리고  $MgO$ 는 대체로 변질대 광석이 모암보다 증가한 반면  $Na_2O$ 는 감소한 경향을 보이고 있다.

견운모광석의 물성

pH

견운모, 견운모-석영, 석영-견운모 광석에 대한 pH측정 결과 주로 견운모로 구성된 광석은 pH 5.72~7.07의 범위에 평균 pH 6.47을 나타내며 견운모-석영 광석은 pH 6.72를 나타낸다. 석영-견운모 광석은 pH 6.48~7.00의 범위에 평균 pH 6.69를 나타내며 로오몬타이트가 함유된 석영-견운모 광석은 pH 8.75를 보인다. 이러한 pH 값은 견운모로 구성된 광석이 견운모와 석영으로 구성된 광석보다 약간 높은 수치를 보이고 있으며 로오몬타이트가 함유된 석영-견운모 보다는 낮은 수치를 보인다.

비 중

견운모 광석의 진비중은 2.22~2.45의 범위에 평균 2.35를 나타내며 석영-견운모광석은 2.29~

2.64의 범위에 2.44를 나타낸다. 또한 로오몬타이트가 함유된 석영-견운모광석은 비중이 2.29이며 견운모-석영 광석은 비중이 2.32를 나타낸다. 이러한 광석들의 비중값은 서로 유사하여 차이가 크게 나타나지 않고 있는데 약간의 차이는 광물들의 조성 과 소량 함유되어 있는 부성분광물에 기인된다.

점 도

광석의 농도 함유율을 10%로 하여 혼탁액을 만들어 점도를 측정된 결과 견운모광석의 점도는 4.34~4.39cP의 범위에 평균 4.36cP를 나타내며 석영-견운모 광석은 2.30~2.41cP의 범위를 보여 준다. 견운모-석영 광석은 2.35cP의 점도를 나타내며 로오몬타이트가 함유된 석영-견운모는 2.34cP 값을 나타낸다. 대체로 주로 견운모로 되어 있는 시료가 석영이 포함된 시료보다 점도가 높게 나타나고 있다.

각 광석들에 대한 비중, pH 및 점도는 Table 2)에 나타나 있다.

입도분석

견운모대에서 산출되는 분상의 견운모에 대한 입도분석 결과는 Table 3)과 Fig. 6에 나타나 있다. 분상의 견운모에 대한 입도분석 결과 12.9~11.1  $\mu m$  입도에 11.3%가 분포되어 가장 높게 나타나고 있으며 9.6~12.9  $\mu m$  사이에 32.2%가 분포되어 있다. 6.2~17.4  $\mu m$  사이에는 각 size 별마다 7%

Table 2. 견운모, 견운모-석영 및 석영-견운모 광석의 물성

sample no.	ore type	S.G.	pH	viscosity (cP)10%
yc-o	sericite	2.22	5.72	4.39
yc-c	sericite	2.45	6.62	4.34
yc-11	quartz-sericite	2.64	6.58	2.30
yc-12	quartz-sericite	2.29	8.75	2.34
yc-13	quartz-sericite	2.30	7.00	2.32
yc-14	sericite-quartz	2.32	6.72	2.35
yc-15	sericite	2.39	7.07	4.36
yc-21	quartz-sericite	2.29	6.48	2.41

Table 3. 견운모 광석의 입도분석

size ( $\mu$ )	% (vol.)	accu.% (vol.)	size ( $\mu$ )	% (vol.)	accu.% (vol.)
2.2	0.2	0.2	9.6	10.2	54.5
2.6	0.6	0.8	11.1	10.7	65.3
3.0	2.8	3.6	12.9	11.3	76.6
3.4	3.0	6.6	15.0	9.8	86.4
4.0	3.1	9.7	17.4	7.0	93.3
4.6	4.0	13.7	20.1	3.9	97.2
5.3	5.8	19.5	23.3	1.6	98.8
6.2	7.5	27.0	27.0	0.5	99.3
7.2	8.3	35.3	31.3	0.5	99.8
8.3	9.1	44.4	36.3	0.2	100

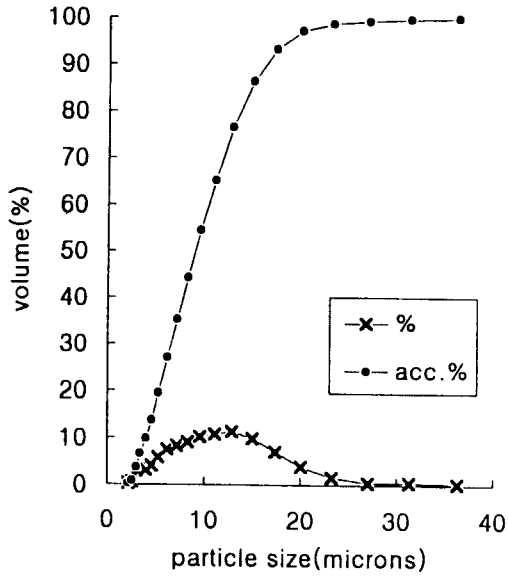


Fig. 6. The distribution diagram of particle size of the sericite ore. 이상 분포되어 있으며 전체의 73.9%가 분포되어 있다.

건운모 광석의 열적 특성

열 팽 창

열팽창 분석을 위해 사용된 시료는 건운모-석영 광석과 건운모 광석의 두 종류가 선택되었다. 건운모-석영 광석은 주로 건운모와 석영으로 구성되어 있으나 건운모가 우세하게 포함되어 있고 극소량의 부성분광물이 함유된 광석이다. 건운모 광석은 주로 건운모로 구성되어 있으며 수반광물은 극히 적은 광석이다. 열팽창 및 수축을 측정은 Dilatometer를 이용하여 선팽창을 또는 선수축을 측정하는데 금번에 사용된 기기는 미국 Theta사 기기인 Model HD-52가 사용되었다. 가열온도는 1100℃까지 분당 4℃의 가열속도로 이루어 졌다. 건운모-석영 및 건운모 광석에 대한 열팽창 data는 Table 4)에 나타나 있으며 diagram은 Fig. 7에 나타나 있다.

건운모-석영 광석은 1,100℃까지 0.71%의 열팽

Table 4. 건운모-석영 및 건운모 광석의 열팽창(%)

건운모-석영		건 운 모	
온도(℃)	열팽창(%)	온도(℃)	열팽창(%)
100	0.02	100	0.03
200	0.08	200	0.09
300	0.15	300	0.16
400	0.24	400	0.25
500	0.29	500	0.31
600	0.36	600	0.39
700	0.45	700	0.46
800	0.54	800	0.56
900	0.64	900	0.66
1,000	0.72	1,000	0.75
1,100	0.71	1,100	0.74

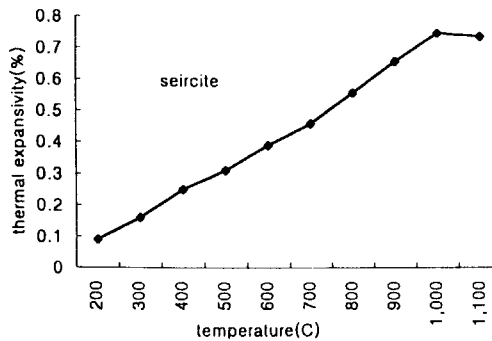
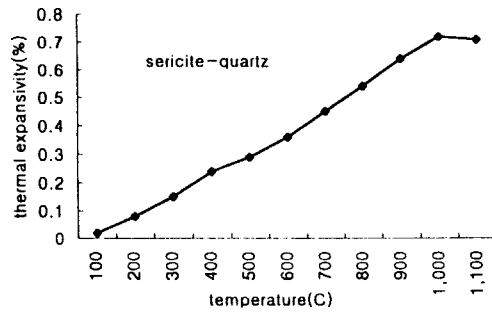


Fig. 7. Thermal expansivity diagram of sericite-quartz and sericite ore in the Yuchon sericite deposit.

창을 보이고 있으며 대체로 1,000℃까지 열팽창이 일정하게 증가하는 양상을 보여 준다. 1,000℃에서는 0.72%의 열팽창을 보이고 있으며 1,000℃까지 100℃ 온도를 상승할 때마다 0.05~0.1%의 열팽창의 상승이 있으며 평균 상승율은 0.078%

이다. 1,000℃에서 1,100℃로 온도가 상승할 때 0.01%의 미미한 수축현상이 일어 나는데 새로운 광물상의 형성에 기인하는 것으로 판단된다. 일반적으로 1,000~1,200℃ 사이에서 견운모는 물라이트로 광물상의 변화가 일어 나는데 수축현상은 이러한 변화와 일치하는 것으로 판단된다.

견운모광석의 열팽창율은 견운모-석영 광석과 유사한 패턴을 보이고 있다. 1,000℃에서 0.75%의 열팽창율을 보이며 1,100℃에서는 0.74%의 열팽창율을 나타낸다. 1,000℃까지 대체로 일정하게 상승하는 양상을 나타내며 평균 상승율은 0.08%이다. 1,000℃에서 1,100℃로 온도가 상승할 때 0.01%의 수축율을 보이며 견운모-석영 광석과 일치한다. 전체적으로 볼 때 견운모 광석이 견운모-석영 광석보다 열팽창율이 미미하게 더 일어나고 있으며 1,000℃ 이상에서 수축현상이 일어 나기 시작하는 것은 견운모 및 견운모-석영 광석이 서로 일치하고 있다.

### 광물상 변화

견운모광석의 분말시료를 상온, 400℃, 800℃, 1,000℃ 그리고 1,200℃로 단계별로 처리 하였을 때 나타나는 광물상의 변화는 1,000℃까지는 견운모의 광물상을 나타내고 있으나 002 및 006면의 회절강도는 온도가 상승되는데 따라 상대적으로 약해지며 1,200℃에서는 견운모에서 물라이트로 광물상이 변화한다. 견운모는 대체로 1,000℃에서 분해되기 시작하여 1,200℃에서는 결정질의 물라이트로 화합을 알 수 있다.

### 결 언

견운모광상이 부존된 일대의 지질은 백악기 경상누층군의 가송동층에 속하는 암석과 후기에 이를 관입한 규장 반암 및 염기성암맥으로 구성되어 있다. 가송동층은 경상누층군의 하부인 낙동층군의 상부에 해당하는 층으로서 하부 청계리 멤버와 상부 도천리 멤버로 구분된다. 견운모가 부존하는 암층은 청계리 멤버에 속하며 거의 대부분 변질되어 혼펠스화 되어 있다. 중앙향 향내의

규장반암은 혼펠스와 접촉부에서 파쇄대를 형성하고 있으며 파쇄대에 분상 또는 작은 고화된 견운모의 집합체가 부존되어 있다. 견운모 광상은 경상누층군의 가송동층에 관입된 규장반암에 배태된 열수변질 광상이다. 견운모의 산상은 가송동층에 속하는 혼펠스와 규장반암의 접촉부에서 흔히 나타나며 파쇄대나 단층이 형성된 곳에서 맥상, 렌즈상 또는 구상의 형태로 부존되어 있는 것이 일반적이다. 견운모광체는 중앙향내에서 확인되는 수개조를 들 수 있는데 규장반암과 혼펠스와의 접촉부나 단층과 같은 구조선 또는 규장반암내의 열극부위를 따라 형성되어 있으며 신장된 렌즈상, 맥상 또는 구상의 산출상태를 보인다. 광체의 주향과 경사는 N25~30°E, 70~80°SE로 0.2~1m 내외의 맥폭과 10~35m의 연장을 보이고 있으나 연장방향으로 계속 추적하면 침멸되어 구조선만 확인된다. 견운모가 함유된 광체를 광물조합에 의해 구분하면 견운모광석, 견운모가 우세하게 함유되어 있고 석영이 산출되는 견운모-석영광석, 석영이 우세하고 견운모가 함유된 석영-견운모광석 그리고 석영 우세하게 나타나는 규질광석으로 나눌 수 있다.

견운모광석은 분상 또는 고화된 미립의 편으로 산출되는데 분상의 광석은 백색 그리고 고화된 것은 연한 초록색을 띠운다. 주성분광물은 견운모이며 부성분광물로는 스피넬, 저어콘, 인회석 등과 같은 미립광물을 들 수 있다. 그 외 금속광물로서 Bi 및 pb 계통의 광물, 티탄철석, 그리고 다른 철산화물 등의 광물이 극미립으로 아주 소량 함유되어 있다. 견운모-석영광석은 백색 또는 연한 회백색을 띄우며 견운모외에 부성분광물로 석영, 백운모, 녹염석, 저어콘, 스피넬 그리고 철산화물 등이 존재한다.

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 주원소 성분은 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 미량 함유되어 있는 TiO<sub>2</sub>나 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 그리고 MgO는 대체로 변질대 광석이 모암보다 증가한 반면 Na<sub>2</sub>O는 감소한 경향을 보이고 있다.

견운모, 견운모-석영, 석영-견운모 광석에 대한

pH측정 결과 주로 견운모로 구성된 광석은 평균 pH 6.47을 나타내며 견운모-석영 광석은 pH 6.72를 나타낸다. 석영-견운모 광석은 평균 pH 6.69를 나타내며 로오몬타이트가 함유된 석영-견운모 광석은 pH 8.75를 보인다. 이러한 pH 값은 견운모로 구성된 광석이 견운모와 석영으로 구성된 광석보다 약간 높은 수치를 보이고 있으며 로오몬타이트가 함유된 석영-견운모 보다는 낮은 수치를 보인다.

견운모 광석의 진비중은 평균 2.35를 나타내며 석영-견운모광석은 2.44, 로오몬타이트가 함유된 석영-견운모광석은 2.29 그리고 견운모-석영 광석은 비중이 2.32를 나타낸다. 견운모광석의 점도는 평균 4.36 cP를 나타내며 석영-견운모 광석은 2.30~2.41 cP의 범위를 보여 준다. 견운모-석영 광석은 2.35 cP의 점도를 나타내며 로오몬타이트가 함유된 석영-견운모는 2.34 cP 값을 나타낸다. 대체로 주로 견운모로 되어 있는 시료가 석영이 포함된 시료보다 점도가 높게 나타나고 있다.

분상의 견운모에 대한 입도분석 결과 12.9~11.1  $\mu\text{m}$  입도에 11.3%가 분포되어 가장 높게 나타나고 있으며 9.6~12.9  $\mu\text{m}$  사이에 32.2%가 분포되어 있다. 6.2~17.4  $\mu\text{m}$  사이에는 각 size 별마다 7% 이상 분포되어 있으며 전체의 73.9%가 분포되어 있다.

견운모-석영 광석은 1,100 $^{\circ}\text{C}$ 까지 0.71%의 열팽창을 보이고 있으며 대체로 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 까지 열팽창이 일정하게 증가하는 양상을 보여 준다. 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 0.72%의 열팽창율을 보이고 있으며 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 까지 100 $^{\circ}\text{C}$  온도를 상승할 때 마다 0.05~0.1%의 열팽창율의 상승이 있으며 평균 상승율은 0.078%이다. 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1,100 $^{\circ}\text{C}$ 로 온도가 상승할 때 0.01%의 미미한 수축현상이 일어나는데 새로운

광물상의 형성에 기인하는 것으로 판단된다. 일반적으로 1,000~1,200 $^{\circ}\text{C}$  사이에서 견운모는 몰라이트로 광물상의 변화가 일어나는데 수축현상은 이러한 변화와 일치하는 것으로 판단된다. 견운모 광석의 열팽창율은 견운모-석영 광석과 유사한 패턴을 보이고 있다. 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 0.75%의 열팽창율을 보이며 1,100 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 0.74%의 열팽창율을 나타낸다. 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 까지 대체로 일정하게 상승하는 양상을 나타내며 평균 상승율은 0.08%이다. 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1,100 $^{\circ}\text{C}$ 로 온도가 상승할 때 0.01%의 수축율을 보인다. 견운모 광석이 견운모-석영 광석보다 열팽창율이 미미하게 더 일어나고 있으며 1,000 $^{\circ}\text{C}$  이상에서 수축현상이 일어나기 시작하는 것은 견운모 및 견운모-석영 광석이 서로 일치하고 있다.

## 참고 문헌

- 양정일, 신희영, 황선국, 배광현(1996) 정밀화학  
공업원료 제조기술연구 (운모,견운모), KR-  
95(C)-17, KIGAM research report. pp. 348-  
357.
- 이동진, 고상모, 김문영 (1996) 산업소재 원료광  
물 특성연구, 비금속광상 종합평가연구, KR-  
96(C)-6, KIGAM research report. pp. 199-  
240.
- 이병임(1991) 대현광산의 견운모에 대한 광물학  
적 연구, 서울대 이학박사 학위논문.
- KMPC(1990) 유천광산, 한국의 광상, 광업진흥공  
사, 금속편 제12호.
- 김옥준, 윤선, 길영준(1968) 한국지질도, 청하도폭  
(1:50,000).