

## 삼성광산 일대의 건운모광화작용에 대한 광물학적 및 성인적 연구

김원사\* · 최준규

충남대학교 지질환경과학과, 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220번지

### Mineralogy and Genesis of the Sericite Ore from the Samsung Mine Area

Won-Sa Kim\* and Jun-Kyu Choi

Department of Geology and Earth Environmental Sciences, Chungnam National University,  
Daejeon 305-764, Korea

**Abstract:** The Samsung mine is located in Jeongsan-myeon, Cheongyang-gun, Chungcheongnam-do, and is produces sericite ores. The purpose of this study is to investigate the geology and mineralogy of sericite ore and its host-rock together with the alteration processes and age of sericitization. Geological survey, polarizing microscopy, X-ray powder diffraction, electron microprobe analysis, X-ray fluorescent analysis, differential thermal analysis, and K/Ar isotope study have been employed for this study. The mine area is composed of Precambrian granite-gneiss and mica schist, and also Jurassic biotite granite. Sericitization has occurred within the granite-gneiss, and is interpreted to be formed by hydrothermal alteration. The sericite was formed by the breakdown of orthoclase, plagioclase, and biotite, respectively. With sericitization intensity increase, SiO<sub>2</sub> and Na<sub>2</sub>O contents are decreased, while Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>O increased. The formation age of sericite has been determined to be Jurassic, which corresponds well to the intrusion age of the biotite granite nearby.

**Keywords:** Samsung mine, sericite, sericitization, hydrothermal alteration

**요약:** 충남 청양군 정산면에 위치한 삼성광산은 건운모를 생산하고 있는 광산으로서, 이 광산 및 주변지역에서 산출되는 건운모에 대해 지질학적 및 광물학적 연구를 실시하였다. 이 연구를 위해 야외지질조사 및 편광현미경 관찰, X선회절 분석, 전자현미분석, X선형광분석, 시차열분석, K/Ar 동위원소분석 등의 실내연구를 실시하였다. 삼성광산 지역은 선캄브리아기의 화강편마암이 넓게 분포하고 있으며, 같은 시기의 운모편암이 발달하고 있다. 건운모는 화강편마암의 열수변질작용에 의해 생성된 것으로 사료되며, 원암의 주요 구성광물인 정장석, 사장석, 흑운모의 순서로 변질된다. 건운모화가 진행되어 깊에 따라 석영의 외곽부분에서 용해작용에 의한 만곡현상이 심화되다가 점차 사라진다. 건운모로의 변질작용이 진행됨에 따라 모암의 화학성분은 SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O 함량은 감소하는 반면, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O는 증가하는 양상을 나타낸다. 건운모의 생성시기는 중생대 주라기이며, 이 시기는 화강편마암을 관입한 흑운모화강암의 관입시기와 잘 일치한다.

**주요어:** 삼성광산, 건운모, 건운모작용, 열수변질작용

## 서론

실트광물류의 하나인 건운모(sericite)는 광물학적 특성으로 인해 산업적으로 다양하게 활용되고 있는 중요한 비금속 광물자원이다. 건운모란 일반적으로 이팔면체(dioctahedral) 구조를 가지며 섬유상 조직을 나타내는 미립질의 백운모(muscovite)를 지칭하는 용

어로서, 백운모와 셀라도나이트(celadonite)의 고용체에 해당한다. 건운모에는 알칼리 원소의 양이 10-11% 정도로 높기 때문에 준장석 혹은 장석 등 고가의 플럭스(flux)를 첨가하지 않고서도 완전히 유리질 화로 만들 수 있기 때문에 위생도기, 전기 단자, 나일, 기와 등을 제조하는데 많이 사용되고 있다(Robinson, 1984). 또한 입자 크기가 작기 때문에 광택과 미끄러움이 필수 요건인 제지용 충전재 및 코팅재, 또 유연성과 강한 내식성이 필요한 페인트의 충전재 등으로 쓰이며, 전기성과 흡착성이 탁월하여 고가의 화상품의 주요 원료로도 사용되고 있다(Tokubo, 1986;

\*Corresponding author: kimw@enu.ac.kr  
Tel: 82-42-821-6428  
Fax: 82-42-822-7661



Fig. 1. A view of the Samsung mine area.

양정일 외, 1996).

국내의 대표적인 건운모광상으로는 경북 봉화군에 소재한 대현광산과 경북 경주시 양북면에 있는 맥스택광산, 유광광산 등이 있다. 또한, 비립질의 석영과 건운모가 혼합된 도석광산은 경남, 경북, 전남 일대의 유문암질 화산암대에 발달하고 있으며, 그 대표적인 광상으로는 보매도석광산과 지도도석광산, 상동광산 등이 있다. 그동안 국내 건운모를 생산하는 광상을 대상으로 연구발표된 주요 사례를 요약하면, 대현광산의 건운모화 광화작용에 대한 김종환 외(1984), 이병익(1991), 이병익과 김수진(1998), 고상모 외(2000) 등의 연구자료가 있으며, 경북 양북 지역에 산출하는 건운모광석을 대상으로 물성 및 부존 산상 특징에 관한 이동진과 고상모(1998)의 연구가 있으며, 김해 지역의 상동광산에서 산출되는 건운모에 대하여는 김종대(1992) 등이 연구가 있다. 또한 부산 보매 건운모광산에서 산출되는 건운모에 대한 산출상태 및 생성환경에 관한 문지원과 문희수(1991), 추왕호와 김수진(1992, 1996), 황진연 외(1993) 등의 연구논문이 있으며, 유광 건운모 광산의 성인에 대하여는 박영언(1992)이, 그리고 지도 도석광산에 대하여는 박영석과 김진(1993) 등이 연구한 바가 있다.

삼성광산은 충청남도 청양군의 정산면에 있으며 (Fig. 1) 청양읍내에서 북동방향으로 약 7.7 km 떨어진 곳에 위치하고 있다. 광산은 비교적 신생광산으로서, 현재 월 평균 100여 톤의 생산량을 보이고 있는 건운모광산임에도 불구하고 아직까지 지질학적, 광물학적 연구가 전혀 이루어지지 않은 곳이다. 이 광산은 채광 작업을 시작할지 불과 수년 밖에 되지 않으며, 노천채굴 방식을 통해 활발하게 채광 중에 있다.

## 연구 목적 및 방법

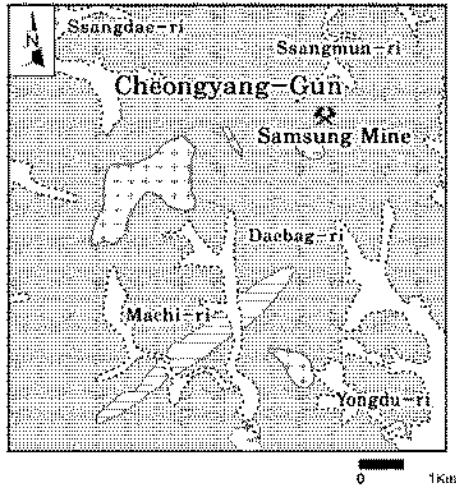
이 연구의 목적은 삼성광산에서 채광되고 있는 건운모 광석에 대한 지질학적 및 광물학적 연구를 실시하고, 이 건운모 광상의 형성에 대해 밝히고자 함에 있다. 이 연구를 위해 삼성광산 및 주변 일대에 대한 지질조사를 실시하였으며, 건운모 광석에 대한 광물학적 실험을 실시하였으며, 건운모광화작용의 생성기구를 밝히기 위해 관련 화성암에 대한 암석화학 및 동위원소 연구를 실시하였다.

이번 실시된 구체적인 연구방법으로는 광산일대에 분포하고 있는 주변 암석의 조암광물의 종류 및 조적을 관찰하기 위해, 그리고 신선한 모암으로부터 건운모화가 되어가는 과정을 규명하기 위해 편광현미경을 사용하였다. 건운모 광석 및 주변 암체를 구성하는 주구성 원소의 종류와 그 함량을 규명하기 위해 X선형광분석을 실시하였다. 아울러, 모암에 들어있는 주요 조암광물과 건운모의 화학성분을 규명하기 위해 전자현미분석을 실시하였다. 또한, 건운모에 대한 광물학적 연구를 위해 시차열분석 및 적외선흡수분광분석 등을 실시하였다. 그리고, 광물의 결정구조 및 건운모 광화작용의 단계별 특징을 밝히기 위해 X선회절분석을 실시하였으며, 모암으로부터 건운모가 형성된 시기를 규명하기 위해 K/Ar 동위원소분석 등을 실시하였다.

## 지질 및 암석 기재

연구지역의 대부분은 선캄브리아기의 화강편마암으로 구성되어 있으며, 정산면 일부 지역에 선캄브리아기의 운모편암이 대상으로 분포하고 있다. 그리고 중생대의 흑운모화강암이 화강편마암을 곳곳에서 관입하고 있으며, 저지대를 중심으로 총적층이 그 위를 피복하고 있다(Fig. 2).

화강편마암은 연구지역에서 가장 넓게 분포되어 있는 암석으로서, 건운모광체의 모암이다. 신선한 암석 노부는 담회색을 띠며 편마구조가 뚜렷하게 나타난다 (Fig. 3). 주요 구성광물은 석영, 정장석, 사장석이며, 소량의 흑운모, 자철석 등이 존재한다. 신선한 노부에서는 백운모와 사장석이 비약하게 건운모화 되어 있다. 화강편마암의 전암분석 결과는 Table 1과 같다. 운모편암은 풍화작용을 심하게 받아 전체적으로 갈



**Fig. 2.** Geological map of the Samsung mine area.



**Fig. 3.** An outcrop of granite-gneiss showing prominent gneissic structure.

색을 띠고 있다. 이 암체는 북동방향으로 발달하고 있으며, 편리구조가 잘 발달하고 있다(Fig. 4). 석영, 정장석 및 흑운모가 주구성광물이다. 이 암석의 전암 화학분석값은 Table 1과 같다.

흑운모화강암은 화강편마암을 관입한 암체로서, 담갈색을 띤다(Fig. 5). 이 암석은 중립 또는 조립질이며 대부분 풍화를 심하게 받았다. 주요 구성광물은



**Fig. 4.** An outcrop of mica schist showing well schistosity.

**Table 1.** Bulk chemical compositions (wt.%) of various rocks in the Samsung mine area

	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	73.96	54.50	70.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.96	19.67	7.06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.27	9.18	2.25
CaO	0.77	0.54	0.24
MgO	0.77	3.37	0.48
K <sub>2</sub> O	4.86	6.42	2.94
Na <sub>2</sub> O	2.39	0.69	4.02
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.06	0.18
MnO	0.01	0.23	0.03
L.O.I.*	1.61	3.57	2.45

\*L.O.I.: Loss of ignition.

1: granite-gneiss, 2: mica schist, 3: biotite granite. Each composition is averaged value of 4 analyses.

석영, 정장석, 사장석, 흑운모이며, 미사장석, 백운모, 자철석 등이 소량 함유되어 있다. 이 암석의 전암 화학분석결과는 Table 1과 같다.

### 견운모 광석

#### 광물학적 특징

삼성광산에서 생산되는 견운모 광석은 회색 내지 암회색을 띠고 있으며, 경도가 낮고 감촉이 부드러우며, (001) 벽계와 낮은 경도로 인해 표면이 매우 비끌 비끌하다(Fig. 6), 견운모화가 완전하게 진행된 광석은 옅은 노란색을 띠며, 경도는 오히려 강하게 느껴진다. 견운모는 비립질의 다결정질 상태로 산출되며, 대부분 섬유상 혹은 비립의 판상 조직을 나타낸다. 개방니켈 하에서는 무색이며 다색성이 관찰되지 않는다. 교차니켈에서는 대부분 1등급에 해당하는 옅은 황색(150-250 μm)의 간섭색을 띠며, 평행소광을 한다.

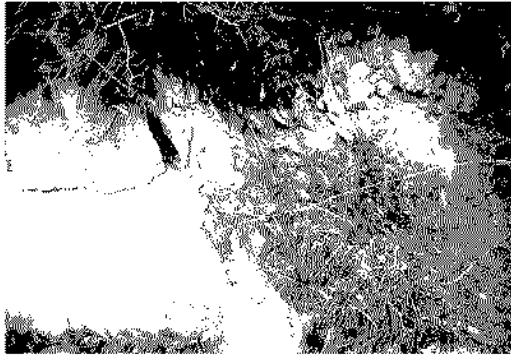


Fig. 5. An outcrop of biotite granite in the Samsung mine area.



Fig. 6. Sericite ores showing gray in color. They are soft and yield whitish streak.

모양을 구성하고 있는 광물의 종류에 따라 건운모로 변질되는 강도에 따라 양상에 차이가 있음을 알 수가 있다. 또한 순도가 높은 건운모 광석은 전체적으로 비립질의 건운모로 되어 있으며, 극미량의 석영, 자철석, 방해석 등이 함유되어 있다.

#### 화학적 성분

건운모에 대한 전자현미분석 결과는 Table 2와 같다.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ 의 평균 함량은 각각 47.37wt.%, 34.30wt.%, 1.23wt.%, 0.99wt.%, 11.84wt.%를 나타내고 있다.  $\text{CaO}$  함량은 평균 0.49wt.%으로 매우 작다. 화학분석 자료에 의하면 중간원소는 대부분  $\text{K}^+$ 임을 알 수 있으며,  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Ca}^{2+}$  함량은 매우 적다. 이러한 사실은 건운모가 common mica임을 확인시켜준다. 사면체 배위구조 내의  $\text{Al}^{3+}$ 은 상당량  $\text{Fe}^{3+}$ 의 의해 치환되어 있음을 알 수 있다. 팔면체 다면체 구조 내에 위치하고 있는  $\text{Si}^{4+}$  역시  $\text{Al}^{3+}$ 에 의해 일부 치환되어 그 산화수 보정을 위해

Table 2. Electron microprobe analyses (wt.%) of sericites from Samsung mine

	1	2	3	4
$\text{SiO}_2$	48.00	47.78	48.12	48.14
$\text{Al}_2\text{O}_3$	33.40	33.42	32.98	33.92
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.25	1.26	1.30	1.31
$\text{CaO}$	0.50	0.46	0.53	0.47
$\text{MgO}$	0.82	0.78	0.85	0.79
$\text{K}_2\text{O}$	10.42	10.45	10.38	11.07
$\text{Na}_2\text{O}$	0.39	0.35	0.38	0.36
$\text{TiO}_2$	0.03	0.02	0.04	0.03
$\text{MnO}$	0.00	0.00	0.00	0.00
L.O.I <sup>*</sup>	5.10	5.09	5.11	5.14
Total	99.91	99.61	99.7	101.23

\*L.O.I: Loss of ignition.

$\text{K}^+$ 이 중간원소로 존재하고 있다.

#### 적외선흡수분광분석

건운모에 대해 적외선흡수분광분석을 실시한 결과, 3634, 3400, 1642, 1015, 934, 825, 752, 694, 530, 474, 408  $\text{cm}^{-1}$ 에서 흡수 피크를 나타낸다. 응상구조 광물인 경우 구조수인 OH는 3600-3700  $\text{cm}^{-1}$ 에서 강한 흡수피크를 나타내는 경향이 있으며, 따라서 3634  $\text{cm}^{-1}$ 는 이에 기인된 것으로 해석된다. 또한, 3400  $\text{cm}^{-1}$ 에서 나타나는 약한 흡수현상은 흡착수에 의한 것으로 사료된다. 한편 1640  $\text{cm}^{-1}$  부근에서 관찰되는 흡수피크는 물분자의 파파에 기인하는 것으로 해석되고 있다. 이 광산에서 산출되는 건운모에서 관찰되는 흡수 피크의 발생 원인은 Al-O-H stretching vibration (3634  $\text{cm}^{-1}$ ), H-O-H stretching (3400  $\text{cm}^{-1}$ ), H-O-O bending vibration (1642  $\text{cm}^{-1}$ ), Si-O stretching vibration (1015  $\text{cm}^{-1}$ ), Al-O-H bending vibration (934  $\text{cm}^{-1}$ ), Al-O-H stretching vibration (825  $\text{cm}^{-1}$ ), Si-O-Al stretching vibration (752  $\text{cm}^{-1}$ ), Si-O-Al stretching vibration (694  $\text{cm}^{-1}$ ), Si-O-Al bending vibration (530  $\text{cm}^{-1}$ ), Si-O bending vibration (474  $\text{cm}^{-1}$ ), Si-O bending vibration (408  $\text{cm}^{-1}$ ) 등에 기인된 것으로 해석된다.

#### 시차열분석

시차열분석 결과에 의하면, 700-750°C와 1100-1150°C에서 주된 흡열피크가 나타난다. 700-750°C에서 일어나는 흡열피크는 건운모 내에서의 결정수의 탈수현상에 기인된 것으로 해석되며, 1100-1150°C에서 나타나는 흡열피크는 건운모의 결정구조가 파괴된 것과 관련된 현상으로 해석된다. 건운모는 1200°C에

**Table 3.** X-ray powder diffraction data of sericite from the Samsung mine

1					2		
h	k	l	d (Å)	I <sub>r</sub>	d (Å)	I <sub>r</sub>	
0	0	2	10.15	75	9.95	95	
0	0	4	5.00	47	4.97	30	
1	1	0	4.48	61	4.30	4	
0	2	4	3.342	100	3.32	100	
1	1	5	2.877	56	2.859	25	
2	0	2	2.568	74	2.566	55	
0	0	10	1.998	70	1.993	45	
3	1	2	1.651	30	1.646	25	
0	6	0	1.503	53	1.504	12	
0	1	2	1.352	23	1.352	12	
4	0	0	1.292	16	1.292	6	

1, sericite from Samsung mine, 2, muscovite 2M<sub>1</sub> (PDF 6-263).

시 플라이트와 비정질물질로 형성되는 것으로 알려져 있으나 이 분석실험에서는 측정한계(1170°C)를 초과하였기에 확인이 불가능하였다. 100°C 부근에서 흔히 관찰되는 표면 흡착수의 증발에 따른 흡열피크는 이 실험에서는 관찰되지 않았다.

#### X선회절분석

삼성광산에서 산출되는 견운모의 X선분말회절분석 자료에 따르면(Table 3)  $2\theta = 22\text{--}30^\circ$  범위인  $26.65^\circ$  ( $3.342\text{Å}$ )에서 최대 강도의 선명한 회절선을 나타낸다. 또한, 이 견운모는 1M, 2M<sub>1</sub>, 2M<sub>2</sub>, 3T 등의 동상 동질이상체(polytype)중에서 2M<sub>1</sub>의 X선회절분석 자료와 잘 일치함을 알 수가 있다(Mineral Powder Diffraction File, 6-263). 이러한 결과는 2M<sub>1</sub>형의 경우  $825\text{cm}^{-1}$ 에서 적외선 흡수피크를 나타내는 현상과 아울러 이 견운모의 결정구조가 2M<sub>1</sub>임을 알 수가 있다. 이 견운모의 기저면(002)의 층간거리는  $10.156\text{Å}$ 이며,  $5.00(47)$ ,  $4.48(61)$ ,  $3.342(100)$ ,  $2.877(56)$ ,  $2.568(74)$ ,  $1.998(70)$ ,  $1.651(30)$ ,  $1.503(53)$ ,  $1.352(23)$ ,  $1.292\text{Å}$  (16) 피크의 강도가 높게 나타나고 있다.  $3.342\text{Å}$  피크는 석영의 최대 피크인  $3.343\text{Å}$  과도 일치하기 때문에 이 실험으로부터 도출된 X선회절분말 양상에서 나타나는 피크의 강도가 견운모 광체 속에 소량으로 존재하는 석영 입자로 인해 다소 영향을 받았을 가능성이 배제할 수 없다.

#### 비중, 흡수율, 공극율

삼성광산에서 채취한 고순위 광석인 경우 비중이



**Fig. 7.** Excavating site of Samsung mine. Sericite orebody is developed in the 5-10 m level below the surface.

2.81이며, 흡수율이 0.43%, 공극율은 1.21%이다. 한편, 삼성광산 인근지역에 존재하는 고순도의 견운모 광석에 대해 동일한 실험을 한 결과에 의하면, 비중이 2.83, 흡수율이 0.25%, 공극율은 0.71%로 나타났다. 이러한 사실은 삼성광산 인근지역에 산출하는 견운모광체는 현재 삼성광산에서 생산 중에 있는 견운모광석에 비해 비중은 더 크고, 흡수율과 공극율은 적음을 알 수가 있다. 이러한 현상은 삼성광산에서 채취한 광석이 인근 지역에 발달한 견운모 광체에 비해 견운모화가 덜 진행된 결과로, 광물입자가 더 조립질이며 다소 느슨하게 결합되어 있음을 추측할 수 있다.

#### 견운모 광석의 산상과 제반 양상

##### 산출상태

삼성광산(Fig. 7)에서는 견운모 광석이 화강편마암 내에 형성되어 있으며, 지표면 하부 5-10 m 구간까지 주로 형성되어 있다. 광체 폭은 약 20 m 정도이다. 삼성광산에서 견운모광체가 형성된 것은 광산 인근에 분포하는 흑운모화강암의 관입과 성인적으로 관련이 있는 것으로 추정된다. 즉, 흑운모화강암체를 형성한 마그마에서 비롯된 열수용액이 화강편마암을

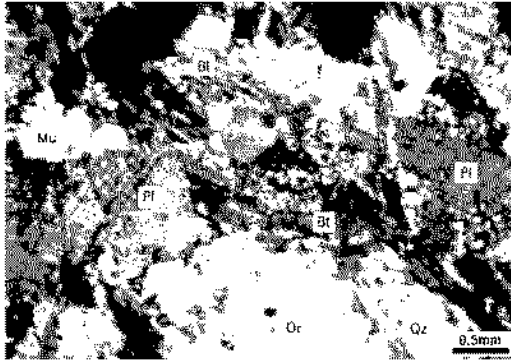


Fig. 8. Photomicrograph of granite-gneiss showing slight alteration of feldspars. Orthoclase (Or), quartz (Qz), plagioclase (Pl), biotite (Bt) are observed. Orthoclase is partly altered to sericite. Crossed nicols.



Fig. 9. Photomicrograph of granite-gneiss showing moderate alteration of feldspars. Quartz (Qz), plagioclase (Pl), biotite (Bt) are observed. Orthoclase is entirely altered to sericite (Sr). Crossed nicols.

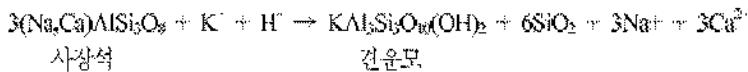
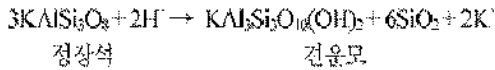
구성하는 조암광물과 화학반응하여 열수변질을 일으킨 것으로 사료된다. 이러한 가능성은 건운모 광체 내부 또는 주변에 석영맥이 빈번하게 발달되고 있는 사실로 뒷받침된다. 한편, 석영맥 관입이 없는 곳 또는 흑운모화강암체와 공간적으로 멀리 떨어져 있는 화강편마암 내에서도 양질의 건운모 광상이 형성되어 있는 것으로 보아 건운모 광상 근처의 지하에 흑운모화강암이 존재할 것이라는 추측을 가능케 한다.

건운모 형성의 변질 강도별 양상

모암이 건운모 광체로 변화하는 과정은 화강편마암을 구성하는 광물의 종류에 따라 변질되는 강도에 따라 광물 종류 및 조직에 차이를 나타낸다. 건운모

광석을 편광현미경으로 관찰하면 변질작용의 강도에 따라 대체로 5가지 양상을 나타낸다.

- ① 비교적 신선한 화강편마암 내에는 정장석, 석영, 사장석, 정장석이 주요 구성광물로 존재하며, 정장석의 일부가 건운모로 변질되어 있다(Fig. 8).
- ② 모암 중 정장석은 거의 건운모로 변질되어 있으며, 사장석은 비교적 미약하게 건운모로 변질되어 있다(Fig. 9). 사장석의 경우 결정 내부에서 벽계방향을 따라 건운모화가 일어나고 있으며, 외곽부는 비교적 신선하다. 사장석과 정장석이 건운모화되기 위해서는 열수용액으로부터 공급되는 원소 즉, K<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>가 있어야 한다. 사장석과 정장석이 건운모로 변질되는 반응은 다음과 같이 나타낼 수가 있다.



③ 사장석의 결정 내부는 물론 결정 외곽부에서도 건운모로 변질되는 현상이 뚜렷하게 나타남을 알 수가 있다(Fig. 10). 석영은 변질되지 않은 상태로 있다.

④ 정장석과 사장석은 거의 건운모로 변질되어 있으며, 흑운모 역시 건운모로 변질되고 있다(Fig. 11). 또한 석영은 외곽부를 따라 만곡한 구조를 이루며 변질되며 그 내부는 신선하게 보존되어 있다(Fig. 12).

⑤ 석영 결정까지 모두 소멸된 양상을 나타낸다.

그러나 규비립의 석영, 방해석, 자철석 등이 소량 존재한다(Fig. 13).

변질 강도별 X선회절분석 양상

건운모화 진행 단계별로 분석한 X선회절 분할양상에 따르면(Fig. 14), 신선한 모암인 경우 사장석(P), 정장석(O), 석영(Q) 등에 의한 회절선이 잘 나타나고 있다. 하지만, 건운모로의 변질 정도가 증가할수록

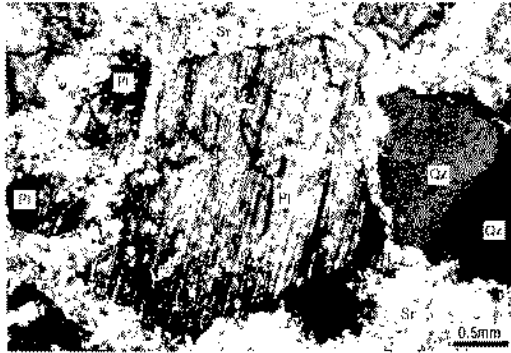


Fig. 10. Photomicrograph of granite-gneiss showing moderate sericitization. Plagioclase(Pl) is strongly altered to sericite. Quartz(Qz) is seen. Crossed nicols.

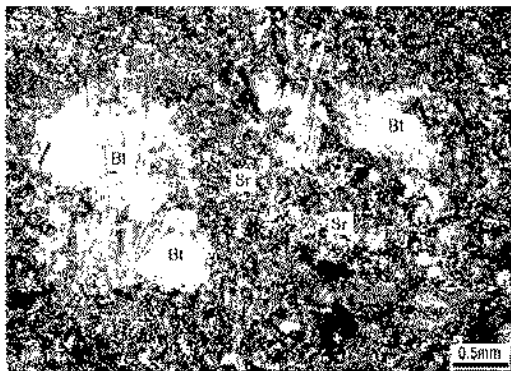


Fig. 11. Photomicrograph of granite-gneiss with intensive alteration. Remnants of biotite(Bt) flakes are seen in the sericite matrix. Crossed nicols.

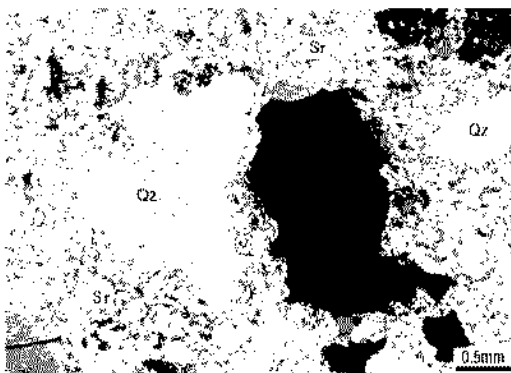


Fig. 12. Another photomicrograph of granite-gneiss showing the intensive sericitization. Quartz(Qz) grains have been dissolved along the outlines of quartz grains. Crossed nicols.

정장석의 회절선(3.35Å)이 가장 먼저 소멸되며, 그 다음으로 사장석이 소멸됨을 알 수 있다. 다음으로는

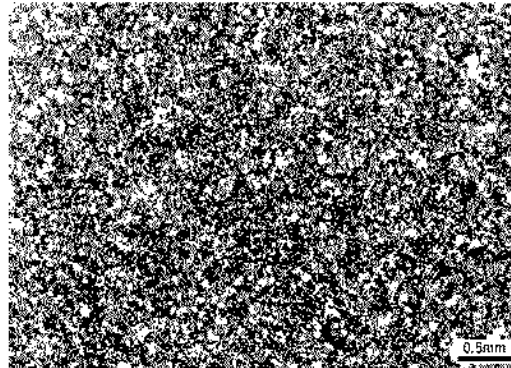


Fig. 13. Photomicrograph of sericite ore. Most of the host rock-forming minerals have been altered to sericite. Numerous minute grains of quartz, calcite, and some opaque minerals are visible within the matrix. Crossed nicols.

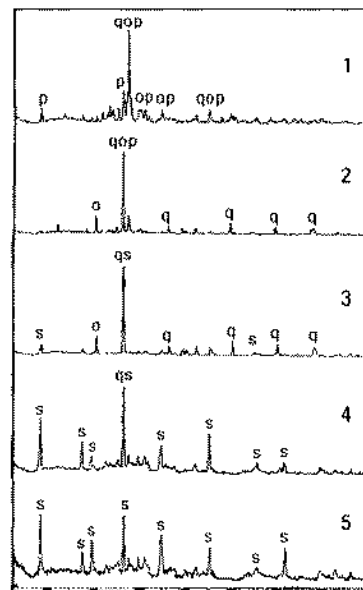


Fig. 14. X-ray powder diffractograms showing the gradual changes with alteration intensity of host rocks. 1: unaltered granite-gneiss, 2: slightly altered granite-gneiss, 3: moderately altered granite-gneiss, 4: intensively altered granite-gneiss, 5: sericite ore. p: plagioclase, o: orthoclase, q: quartz, s: sericite.

석영이 주로 잔존하고, 동시에 건운모에 의한 회절선이 뚜렷하게 생성됨을 알 수가 있다. 그 다음 단계에서는 석영의 외곽을 따라 반곡한 용해구조를 나타낸다. 건운모화가 원성분 단계에서는 건운모에 해당하는 회절선만 존재함을 알 수가 있다. 이러한 사실은 편광현미경으로 바편을 관찰할 결과와도 잘 일치한다

**Table 4.** Chemical compositions (wt.%) of host rock (granite-gneiss) and different altered sericite ores

	1	2	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	73.96	73.58	59.11	46.42	47.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.96	15.05	18.51	31.28	34.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.27	0.28	8.13	1.50	1.23
CaO	0.77	0.62	0.68	2.88	0.39
MgO	0.77	0.16	2.62	0.93	0.99
K <sub>2</sub> O	4.86	5.12	4.30	9.90	11.845
Na <sub>2</sub> O	2.39	3.76	2.90	0.39	0.14
TiO <sub>2</sub>	0.25	0.00	0.81	0.05	0.02
MnO	0.01	0.00	0.05	0.02	0.00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.13	0.09	0.24	0.34
L.O.I	1.61	1.28	2.75	6.39	3.36

1: unaltered granite-gneiss, 2: slightly altered granite-gneiss, 3: moderately altered granitic gneiss, 4: intensively altered granite-gneiss, 5: sericite ore.

견운모화 진행정도에 따른 모암의 화학적 변화 양상 신선한 모암으로부터 고품위 견운모광체로 가까워짐에 따라 화학성분의 변화양상을 알아보기 위해 단계별로 화학분석하였다(Table 4). 견운모로 변질되는 현상이 현저해 질 수록 SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O 함량은 뚜렷하게 감소하는 반면, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O는 증가하는 양상을 나타낸다. CaO는 대체로 감소하는데, 그 이유는 모암의 사장석 내에 있던 Ca 원소가 이 견운모로 변질될 때 Ca<sup>2+</sup>가 존재할 수 있는 위치 즉, 중간원소에는 1가의 양이온만 차지 할 수가 있으므로 이 중간원소 자리를 차지하고 초과되는 양만큼 외부로 유출된 결과로 보인다. 사장석 내에 풍부하게 존재하던 Na<sup>+</sup>은 같은 산화수를 가지는 K<sup>+</sup>를 소량 치환하고 있음을 알 수가 있다.

#### 견운모의 생성 연대

견운모광체 내에 있는 견운모를 대상으로 실시한 K/Ar 동위원소분석 결과에 의하면, 견운모의 형성시기가 153,530±2,945 Ma, 153,480±2,895 Ma로서 중생대 주라기에 해당함을 알 수가 있다. 이러한 분석 결과는 이 지역에 분포하고 있는 흑운모화강암의 관입시기인 중생대 주라기와 잘 일치하고 있다. 따라서, 이 지역에 발달하는 견운모광체는 화강편마암을 관입한 중생대 주라기의 흑운모화강암과 연관된 열수용액이 기반암과 반응하여 견운모광상을 형성시킨 것으로 해석된다.

## 고 찰

삼성광산의 연구자료를 국내의 대표적인 견운모 광산인 대현광산 및 백스택광산과 비교해 보면, 대현광산의 경우 전캠브리아기 홍제사화상암 내에 견운모광상이 배태되어 있으며(이병임, 김수진, 1998), 백스택광산의 경우는 제3기 마이오세의 유문석영안산암질 용건용회암이 열수변질작용을 받은 곳에 형성되어있다(이동진, 고상모, 1998). 이에 비해 삼성광산의 경우는 견운모광상이 전캠브리아기의 화강편마암 내에 발달하고 있어 서로 차이를 나타낸다. 견운모의 모광물에 대해서도 대현광산의 경우에는 백운모, 전기석, 상석, 석영 등으로부터 변질된 것이라 하였으나, 삼성광산의 경우는 정상석, 사장석, 흑운모 등이 변질되어 견운모를 형성하였으며, 전기석은 발견되지 않는다. 한편, 백스택광산의 경우 견운모광체의 주구성 광물이 견운모 뿐만 아니라 다이아스포라, 상용 등이 함유되어 있는 점이 또한 차이를 나타낸다.

광화작용 시기는 대현광산의 경우 중생대 주라기 초기(이병임 1991; 이병임, 김수진, 1998; Koh et al., 2000), 혹은 고생대 페름기-석탄기(Koh et al., 2000), 그리고 백스택광산은 제3기 마이오세로 보고된 바가 있다(이동진, 고상모, 1998; Koh et al., 2000). 한편 삼성광산의 견운모 형성시기는 중생대의 중기 주라기(153.5±2.9 Ma)인 것으로 밝혀졌다. 따라서 이들 광상에 형성되어 있는 견운모는 모두 중생대에 생성되었음을 알 수가 있다.

이러한 국내 주요 견운모 광상들이 모암의 종류 및 구성광물에 차이를 나타낼 뿐만 아니라, 견운모화 광화작용의 시기에 있어서도 상당한 차이를 나타내고 있음을 알 수가 있다.

## 결 론

이번 연구로부터 도출된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 삼성광산과 그 주변일대에는 전캠브리아기의 화강편마암을 모암으로 한 견운모광체가 발달하고 있으며, 견운모 광화작용은 중생대 주라기에 일어났다.
2. 삼성광산의 경우, 모암을 구성하는 주요 광물별로 견운모로 변질되는 속도가 다르며, 정상석 → 사장



석 → 흑운모 순서로 건운모로 변질된다.  
 3. 삼성광산에서 산출되는 건운모는 2M 형이네, 주요 화학성분의 평균값은  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , MgO,  $K_2O$ 의 평균 함량은 각각 47.37wt%, 34.30wt%, 1.23wt%, 0.99wt%, 11.84wt%를 나타내고 있다.  
 4. 건운모화 작용이 진행되는 단계에 따라 모암의 화학성분이 변하는데,  $SiO_2$ , Na<sub>2</sub>O 함량은 감소하는 반면,  $Al_2O_3$ ,  $K_2O$ 는 증가하는 양상을 나타낸다.  
 5. 삼성광산과 그 주변 암석에서 관찰되는 건운모 광화작용의 시기는 중생대 쥐라기로서, 이 시기는 광산 주변에 산출하고 있는 흑운모화강암의 관입시기와 동일하다. 따라서, 이 지역에서의 건운모 광화작용은 화강편마암이 흑운모화강암의 관입에 따른 열수에 의해 변질되어 생성된 것으로 판단된다.

### 사 사

이 연구는 한국과학재단의 지역대학 우수과학자 육성지원연구사업(과제번호: R05-2002-000-01313-0)에 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다. 또한, 야외 및 실내연구에 도움을 준 충남대학교 지구환경과학부 광물학실의 신현숙 연구원에게 감사드립니다. K/Ar 동위원소분석과 XRF 분석은 기초과학지원연구원 본원과 부산 분원에서, 그리고 전자현미분석 및 X선회절분석은 충남대학교 공충실현실습관에서 각각 실시하였다. 이 논문 연구과정에서 건운모의 물성을 측정해 주시고 또 원고를 정독하시고 교정해 주신 대전보건대학의 이동진 교수님, 그리고 한국지질자원연구원원의 고상모 박사님께도 깊이 감사드립니다.

### 참고문헌

김종래, 1992, 김해지역 상동광산 건운모의 광물화학 및 인

정동위원소 조성, 광산 지질, 25 (3), 275-282.  
 김종환, 유장환, 박용순, 김용욱, 1984, 괴현 건운모광상 조사, 비금속광상연구(한국 동력자원연구소), 99-128.  
 문지원, 문희수, 1995, 부산 모베 건운모광산의 산출상태와 생성환경, 자원환경지 질, 28 (2), 93-107.  
 박영연, 1992, 유문암-열수반응과 유광 건운모광상의 성인, 광산지질, 25 (3), 225-232.  
 박영석, 김진, 1993, 지도 도석광상에 대한 광물학적 및 지구화학적 연구, 한국광물 학회지, 6 (2), 80-93.  
 양정인, 신희민, 황선국, 배경현, 1996, 산업원료광물의 고 부가 가치 연구(운모, 장석 을 중심으로), 산업광물, 74-88.  
 이동진, 1994, 국내 산업소재광물의 수급 및 부존 특성, 한국광물학회지, 7 (1), 1-13.  
 이동진, 고상모, 1998, 경북 양산지역산 건운모 광석의 물 성 및 부존상상, 한국광물 학회지, 11 (2) 85-96.  
 이병일, 1991, 괴현광산의 건운모에 대한 광물학적 연구, 서울대학교 석사학위논문, 143 p.  
 이병일, 김수진, 1998, 괴현광산 건운모의 생성과정과 화학 조성 및 polytype, 한국 광물학회지 11 (2), 69-84.  
 조선총독부 지질조사소, 1931, 정양도지.  
 추창호, 김수진, 1992, 모베광산의 열수변질 점토광상의  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 계에서 의 일리이트 형성에 관한 연구, 한국광물학회지, 5 (1), 6-13.  
 황산연, 김광혜, 정운영, 1993, 부산 모베도석광산에서 산출 하는 점토광물의 산상, 한국광물학회지, 6 (1), 27-37.  
 PDF, 1980, Mineral X-ray Powder Diffraction File (Muscovite, 2M1), #6-263, International Center for Diffraction Data, 1168 p.  
 Koh, S.M., 2000, Geological, geochemical characteristics of the hydrothermal clay alteration in South Korea, SO, 4, 229-242.  
 Tokube, K., 1986, Application of powders to cosmetics-their properties and reform of their function, Fran-grance Jour., 80, 60-66.

2005년 7월 7일 원고 접수  
 2005년 9월 1일 수정원고 접수  
 2005년 9월 1일 원고 채택