

김해지역 상동광상산 견운모의 광물화학 및 안정동위원소 조성

김종대* · 문희수** · 김생금*** · 김인준****

Mineral Chemistry and Stable Isotope Composition of Sericite from the Sangdong Sericite Mine in the Kimhae Area.

Jong Dae Kim*, Hi-Soo Moon**, Sheng-Jin Jin*** and In Joon Kim****

ABSTRACT: Mineral chemistry and stable isotope compositions of sericites from the Sangdong mine in the Kimhae area, Kyungsangnamdo, were studied. The Sangdong sericite deposit occurs in rhyolitic tuff of late Cretaceous age and considers to have been formed by the hydrothermal alteration.

The sericites are classified as $2M_1$ polytype and are characterized by less celadonite substitution indicating muscovite-phengite series. Their compositions are very close to that of the ideal muscovite but net layer charge ranges 1.71~1.91 which is less than 2 per formula unit of ideal muscovite. Predominant interlayer cation is K and K/(K+Na) ratio ranges 0.91 and 0.93.

$\delta^{18}O$ values of sericites and quartz separated from the ore range 7.70~9.07 and 8.20~10.87‰, respectively. The formation temperature of sericite can be estimated as 315~340°C based on $\delta^{18}O$ value of sericite and δD value of of Cretaceous meteoric water. Their formation temperature discrepancy between coexisting sericite and quartz indicates that they are in isotopically inequilibrium. Two types of quartz, coarse grained phenocrysts and microcrystalline aggregates are observed and the former must have been formed during volcanic eruption and remained isotopically unexchanged during hydrothermal alteration period. $\delta^{34}S$ values of pyrites range 1.9~4.5‰ which is within a range of volcanogenic sulfur, indicating magmatic source.

서 언

경남 양산 및 밀양지역에서는 화산암류의 열수변질 작용에 의하여 형성된 비금속 광물자원으로서 납석, 도석 및 견운모광상이 여러곳에서 산출된다. 본 연구대상 광상인 상동견운모광상은 경남 김해군 상동면 여차리 일대에 위치하며, 요업원료 광물자원으로서 견운모를 채광하고 있으나, 이 광상의 광석광물인 견운모에 대한 광물·광상학적인 연구는 수행된 바가 없다.

견운모는 열수기원의 광상에서 흔하게, 특히 phyllic alteration zone에서 모암변질 산물로서, 산출되는 광물로서

미립에서 세립으로 산출되는 운모류를 칭하는 암석학적 용어로 사용되고 있다. 이들 광물에 대한 광물화학적 및 결정학적 연구는 많은 연구결과가 발표되고 있으며 (Eberl et al., 1987; Cathelineau, 1983, ; Horton, 1985; Parry et al., 1984), 최근 국내에서는 이와 관련된 연구로서 대한견운모광상에 대한 연구가 (김중환 등, 1984; Rhee, 1991) 있다. 일반적으로 이들 연구결과는 백운모, 펜자이트, 일라이트와 운모/스멕타이트 혼합층상광물 등으로 구성되고 있음이 밝혀졌고, 견운모의 경우 층간 양이온인 K의 양이 이론치보다 적게 함유되는 것으로 알려져 있다.

본 연구에서는 상동견운모광상의 광석광물인 견운모의 EPMA 및 X-선회절분석을 이용하여 광물학적 특성을 규명하고, 이의 안정동위원소 조성 및 변질산물로 산출되는 석영과 황철석의 안정동위원소 조성을 통하여 이의 생성 환경을 고찰하고, 다른지역에서 산출되는 견운모의 이미 알려진 광물학적 특성과 비교하는데 그 목적이 있다.

* 동아대학교 자원공학과 (Department of Mineral and Mining Engineering, 840 Hadandong, Sahaku, Pusan 604-714, Korea)

** 연세대학교 지질학과 (Department of Geology, Yonsei University, 134 Shinchon-dong, Seodaemun-ku, Seoul 120-749, Korea)

*** 지질광산부 광상지질연구소 (Institute of Mineral Deposits, Baiwanzhung Road 26, Beijing, China)

**** 전략광물자원 연구센터 (Center for Mineral Resources Research, Anam-dong, Seongbuk-ku, Seoul 136-701, Korea)

광상지질 개요

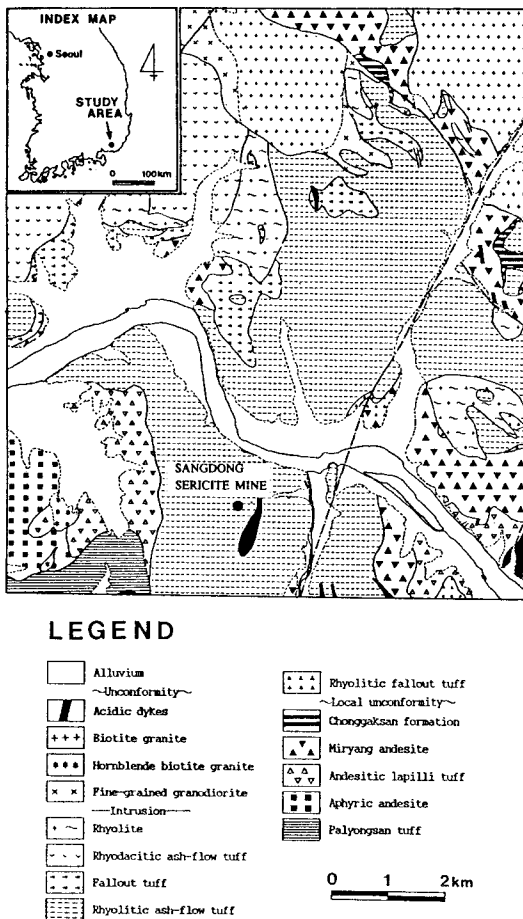


Fig. 1. Location and geological map of around the Sangdong sericite mine after Kim and Hwang (1988) and Lee and Kim (1964).

상동광산이 위치하는 김해지역은 소위 유천소분지의 향심구조 중심부에 위치하며 (김상욱, 1986; 김상욱, 이영길, 1981; 김규봉, 황상구, 1988), 경상계 유천층군의 하부에 해당하는 주사산안산암류가 광산의 동부에 분포되며, 광산 주변에는 유천층군의 상부에 해당하는 운문사 유문암질암류 중 유문암질회유용회암이 넓게 분포된다 (Fig. 1). 본 광산의 주변에서는 백악기 말의 판경계부에서 침강된 지각의 부분용융으로부터 기원된 불국사 화강암류가 이를 관입하고 있다 (Jin, 1985; 홍영국, 1985).

유문암질회암류를 모암으로하는 상동견운모광상은 장경 1000 m, 단경 500 m의 변질대를 갖는 대규모 견운모광상으로서, 광체의 경계부는 점이적인 변질대를 동반한다. 이 광체의 중심부에서는 N35°W, 75°SW의 주향과

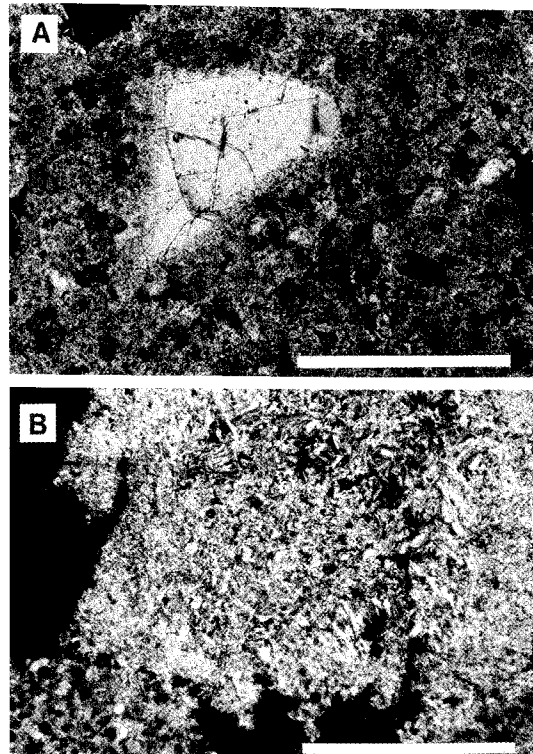


Fig. 2. Photomicrographs of sericite ore. A; well crystallized volcanic quartz showing partial sericitization along the crack and edge of the grain and B; sericite occurs with fine grained quartz.

경사를 갖는 단층이 발달하며, 이 단층에 연관된 수조의 절리와 수반되는 소규모 단층들을 중심으로 부광체를 형성한다. 이 주단층은 10~30 Cm의 단층점도를 갖고 있으며, 이의 주구성광물은 홍미롭게도 할로이사이트로 구성되어 있다. 기타 절리면을 따라 단속적으로 망간광물, 중정석, 황동석, 적철석 등이 소량 발견되고, 드물게 방연석, 섬아연석과 황동석이 세맥으로 산출되기도 한다.

견운모광체는 견운모와 석영으로 구성되고, 미립의 황철석이 광염상으로 광체내에 산출된다. 드물게 이들 황철석은 절리를 따라 농집되기도 한다. 절개된 채굴적에서 지표에 가까운 상부는 산화에 의하여 황철석이 적철석으로 변한 결과로 광석의 색의 차이를 식별할 수 있다. 광석 자체는 비교적 순수한 견운모로 구성된 부위와 처트질 석영 혹은 세립의 석영과 혼재되기도 한다. 드물게 이들 모암인 응회암들은 암설을 함유하기도 하는데, 이 암설들 또한 견운모화되어 있으며 (Fig. 2), 조립의 석영입자는 원형을 보존하고 있는 경우가 대부분이나, 광체의 부위에

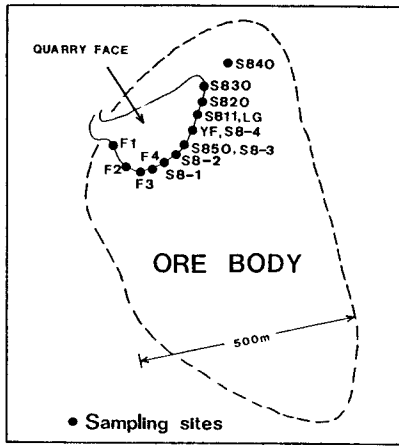


Fig. 3. Map showing sampling sites at Sangdong mine.

따라서 이 조립질 석영 또한 깨진면이나 입자의 표면으로부터 견운모화 되고 있다 (Fig. 2). 이들 변질되지 않은 석영입자는 대체로 자형 혹은 반자형으로 모암에서 관찰되는 석영의 결정형과 일치된다. 이러한 조립질 석영과는 달리 처트질 석영은 견운모와 혼재되어 현정질 석기를 이루고 산출되는데 (Fig. 2), 이러한 석영의 대부분은 변질작용시 견운모와 동시에 형성된 것으로 보인다. 광체의 중심부로부터 외각으로 가면서 압설로 포함된 응회암력이 견운모화 되면서 원래의 구조를 보이기도 한다. 이러한 잔류구조는 변질대의 중심부에 해당되는 광체구간에서는 찾아 보기가 힘들다. 변질받지 않은 모암에서 흔히 발견되는 사장석 (안테신에 해당) 또한 변질대의 중심부에서는 전혀 발견되지 않는다.

시료 및 연구방법

시료는 광체 주변 변질대에서 모암과, 견운모의 연구를 위하여 채굴지에서 순수한 견운모광석을 대상으로 채취하였다 (Fig. 3). 순수한 견운모광석중 한 개는 (시료번호 840) 지표 근처의 산화대에서 채취하였다. 산화대에서 산출되는 견운모를 제외하고 대부분의 시료는 밝은 베이지 색이거나 백색으로 산출된다.

견운모의 광물화학자료는 EPMA 분석결과로부터 얻었으며, 분석조건은 가속전압 15 Kv, 시료전류 1.5×10^{-8} A, 빔의 직경은 10 μ m, 측정시간은 120초였으며, Bence and Albee (1968) 방법에 의거 보정하였다. 표준물질로는 Si 및 Ca는 투취석을, Al 및 Fe는 알만딘석류석을, Ti는 금홍석을, Mn은 장미회석을, Mg는 감람석을, Na는 알바이

트를, 그리고 K는 새니딘을 각기 사용하였다.

X-선회절분석은 MAX를 이용하였으며, 40 Kv 30 mA의 조건으로 Cu-tube와 흑연-모노크로메이터를 사용하여 분석하였으며, 기기의 피크 위치의 재현성은 $\pm 0.02^\circ 2\theta$ 로 보정하여 사용하였다. 분석을 위해서는 원시료와 2 μ 이하의 입자를 분리하여 사용하였으며, 혼합층상광물의 인지를 위하여 유기물 및 열처리 후 각기 분석하였다. 글리콜 처리된 방향성시료판 (oriented mount)은 글리콜 증기로 포화된 용기내에서 65 $^\circ$ C로 하루저녁 방치하여 만들었다.

안정동위원소 (산소 및 수소) 분석을 위한 견운모의 시료는 견운모 광체로부터 채취된 원시료로부터 퇴적법에 의한 입도분리 방법으로 정제한 시료를 사용하였다. 정제된 시료는 X-선회절분석에 의하여 불순물이 검출되지 않거나 소량함유하는 것을 선택하여 사용하였다. 석영은 $\delta^{18}O$ 을 측정하였으며, 견운모와 공존하는 석영을 분리하여 사용하였다. 황철석은 수비방법에 의하여 분리 정제한 후 황동위원소 분석을 하였다. 견운모광체 시료로부터 황철석을 분리하였으며, 한개의 시료 (PLG)는 견운모 광체내의 열극을 따라서 황철석이 농집된 부위에서 선별적으로 채취하였다.

결과 및 토의

견운모의 광물학적 특성

견운모 혹은 일라이트는 AIPEA 명명위원회에서도 아직은 분류기준에서도 명확히 구분하지 못한상태이다 (Bailey, 1980). 그러나 Newman and Brown (1987)은 열수변질 산물로 산출하는 백색의 세립질 판상물질로서 K를 함유하는 광물의 야외명으로서 견운모를 사용할 것을 제안하고 있다. 이러한 관점에서 본 광상에서 열수변질 산물로서 산출되는 이 광물을 견운모라고 하였다.

정제된 (2 μ 이하로 입도분리된) 견운모의 분말 X-선회절분석 결과 아주 소량의 석영을 부성분 광물로 함유하고 있었다. 이 결과로서 본 광상에서 산출되고 있는 견운모가 2-팔면체 (dioctahedral)에 해당되고, 2M₁ 형에 해당되는 견운모와 일라이트로 구성되나, 대부분은 견운모이고 시료번호 S-830만이 일라이트의 회절 결과와 더 잘 일치되고 있다. 시료번호 S-830을 제외한 모든 시료의 회절결과는 모두 거의 동일하다. 이들 중 대표적인 견운모 (시료번호 881)와 일라이트 (S-830)의 X-선회절분석 결과는 Table 1과 같다. 시료번호 811은 2M₁ 폴리타일의 특징적인 4.29,

Table 1. X-ray powder diffraction data for sericite (Sample No. 811) and illite (Sample No. S-830) from the Sangdong sericite mine.

Sericite (811*)				Illite (S-830*)			
hkl	d _{cal}	d _{obs}	I(cps)	hkl	d _{cal}	d _{obs}	I(cps)
002	9.995	9.938	670	002	10.037	10.085	641
004	4.997	4.987	360	004	5.018	5.023	365
110	4.467	4.457	396	110	4.483	4.471	283
111	4.280	4.093	126	111	4.459	4.316	81
112	3.955	4.090	113	113	3.884	3.890	166
113	3.871	3.873	256	023	3.733	3.735	155
023	3.725	3.724	276	114	3.498	3.503	246
114	3.486	3.488	340	006	3.345	3.343	900
006	3.331	3.335	1386	114	3.207	3.210	256
114	3.194	3.195	366	025	2.995	2.995	302
025	2.986	2.984	423	116	2.800	2.797	185
115	2.857	2.857	270	131	2.589	2.561	428
116	2.790	2.790	243	008	2.509	2.508	103
131	2.584	2.583	243	133	2.461	2.460	136
202	2.556	2.553	503	221	2.206	2.245	62
132	2.475	2.496	146				
202	2.434	2.455	226				
204	2.389	2.389	93				
133	2.372	2.373	143				
135	2.225	2.235	113				
221	2.193	2.199	83				
206	2.144	2.146	123				
135	2.124	2.125	230				
010	1.999	1.998	406				
224	1.975	1.967	133				
228	1.743	1.728	86				

4.09, 3.88, 3.72, 3.49, 3.20, 2.98 Å 등의 (Bailey, 1980) 피크가 잘 나타나는데 반하여 S-830은 (002) 저면간격이 10.037 Å으로 백운모에 비하여 약간 클 뿐만아니라, 전체적으로 (hkl) 회절결과로서 쉽게 구분할 수 있다. Appleman and Evance (1973)의 방법에 의하여 계산된 단위 격자의 체적 또한 백운모의 929 Å³에 비하여 견운모가 938 Å³으로 다소 크게 나타난다. 정제된 시료라 할지라도 일부 시료는 석영을 함유하고 있으며, 시료의 석영함량은 시료에 따라 조금씩 차이를 보이거나 수% 이내로 추정된다.

견운모의 방향성시료 (oriented mount)를 이용한 X-선 회절 결과는 10 Å의 저면간격을 보이며, 글리콜 처리 후에도 저면간격의 팽창은 전혀 일어나지 않는 것으로 보아 (Fig. 4), 적어도 시료를 채취한 광체 구간내에서는 팽창층의 함유가 전혀 없거나, 있더라도 아주 미미한 정도임을 알 수 있다. 그러나 변질대의 외곽에서는 이들이 스펙트이트와 혼합층상광물로 산출될 가능성은 있으나 이번 시료채취시에서 변질대 외곽에서 채취된 시료는 정제시키지

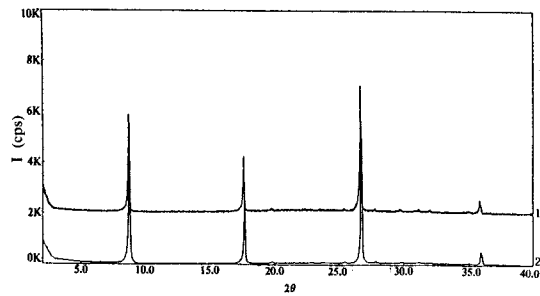


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of sericite with untreated original sample (A), glycolated sample (B), and heat treated sample (H).

않았다.

견운모의 EPMA 분석결과와 이로부터 계산한 구조식은 Table 2와 같다. 이 결과 팔면체자리의 양이온의 수는 3.98에서 4.01으로 2-팔면체의 이상적인 양이온수인 4에 일치된다. 사면체자리에서의 Si를 치환한 Al은 1.67에서 1.87로서 이상적인 백운모의 2에는 다소 부족하다. 일반적으로 trisilicic에서 tetrasilicic으로 가면서 사면체에서의 Al의 치환이 증가하는데 상동광상산 견운모 또한 팔면체에서의 2가 이온은 3가인 Al로 치환된 상태로 가면서, 전체 층준전하만 감소된 경향을 보인다. 이러한 결과는 계산된 구조식으로부터 Mg+Fe의 합, 사면체자리의 Al과 팔면체자리의 Al의 양적관계로서 도출한 결과 (Fig. 5)에서도 알 수 있다. 흔히 2-팔면체 운모류는 팔면체내에서 Fe 양이온수가 0.25개 이상이면 백운모-펜자이트족으로, 그 이하이면 셀라도나이트-글라코나이트족으로 구분하는데 (Newman and Brown, 1987), 이 분류 기준에 의하면 이들 견운모는 백운모-펜자이트족에 해당되고 이상적인 백운모에 가까운 화학조성을 갖고 있는 2M₁ polytype이다. 이들 모두가 백운모의 영역에 집중되어 도출되나 약간의 수직적인 관계로 도출된다. 이는 이들 상동광상산 견운모가 갖는 부전하의 원인이 팔면체층에서의 치환과의 관계를 시사하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 이들의 변화폭이 너무 작아서 일반화 시키기에는 어렵다. 층준전하를 나타내는 층간양이온은 1.71에서 1.91로서 이상적인 2에는 부족하다. 그러나 우세한 양이온의 종류는 K이온이며, 그 구성비 (K/(K+Na+Ca)) 91.5에서 93.9%로서 K이온이 절대적으로 우세하다. 응회암류를 모암으로하는 상동견운모광상산 견운모와 화강암류를 모암으로하여 열수변질산물로서 형성된 대현견운모광상산 견운모와 (Rhee, 1991) 비교하면, 이들이 백운모-펜자이트계의 2M₁ polytype의 운모로서 동일하나, 대현견운모광상은 1M과 3T의 폴리

Table 2. Electron microprobe analyses and structural formulae for sericites from the Sangdong sericite mine.

Sample Name	S6-4			S6-4-1		S4-5			S4-8			F-5	
	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3	1	2
SiO ₂	46.19	46.66	46.57	45.11	46.13	45.75	45.98	46.61	46.47	46.39	45.42	50.14	52.38
TiO ₂	0.11	0.12	0.11	0.17	0.15	0.20	0.23	0.13	0.20	0.12	0.15	0.01	0.00
Al ₂ O ₃	36.27	35.75	36.33	34.73	37.11	35.90	36.31	36.67	35.20	35.45	33.32	35.97	33.06
FeO	0.20	0.00	0.11	0.12	0.04	0.08	0.02	0.02	0.59	0.21	1.03	0.75	1.23
MnO	0.19	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03	0.10	0.09	0.00	0.00
MgO	0.14	0.04	0.08	0.19	0.02	0.12	0.11	0.13	0.27	0.13	0.62	0.45	1.05
CaO	0.05	0.06	0.03	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.09	0.06
Na ₂ O	0.41	0.38	0.41	0.43	0.47	0.42	0.49	0.52	0.45	0.55	0.41	0.07	0.07
K ₂ O	9.84	9.63	9.94	9.81	10.55	9.71	9.56	9.84	9.71	9.16	9.02	8.21	8.02
Total	93.40	92.64	93.59	90.62	94.52	92.18	92.70	93.93	92.92	92.12	90.07	95.69	95.87
Number of ions on the basis of O(22)													
Si	6.199	6.285	6.227	6.242	6.136	6.209	6.196	6.206	6.271	6.282	6.325	6.466	6.737
Al(IV)	1.801	1.775	1.773	1.758	1.864	1.791	1.804	1.794	1.729	1.718	1.675	1.534	1.263
Al(VI)	3.936	3.960	3.953	3.906	3.954	3.951	3.963	3.960	3.870	3.939	3.793	3.934	3.749
Ti	0.011	0.012	0.011	0.018	0.015	0.020	0.023	0.013	0.020	0.012	0.016	0.001	0.000
Fe	0.022	0.000	0.012	0.014	0.004	0.009	0.002	0.002	0.067	0.024	0.120	0.081	0.132
Mn	0.022	0.000	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001	0.003	0.011	0.011	0.000	0.000
Mg	0.028	0.008	0.016	0.039	0.004	0.024	0.022	0.026	0.054	0.026	0.129	0.087	0.201
	4.019	3.980	3.993	3.979	3.9800	4.004	4.011	4.002	4.014	4.013	4.068	4.102	4.082
Ca	0.007	0.009	0.004	0.006	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.012	0.008
Na	0.107	0.099	0.106	0.115	0.121	0.111	0.128	0.134	0.118	0.144	0.111	0.018	0.017
K	1.685	1.655	1.696	1.732	1.790	1.681	1.643	1.671	1.672	1.582	1.602	1.351	1.316
	1.798	1.762	1.806	1.853	1.916	1.791	1.771	1.805	1.789	1.728	1.714	1.381	1.342

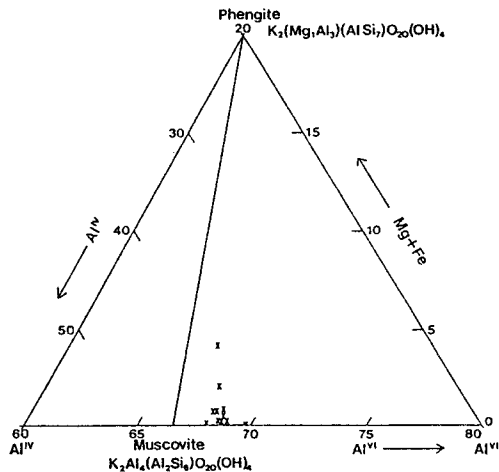


Fig. 5. Plot of sericite in terms of amount of Al^{VI}, Al^{IV}, and Mg + Fe_T in the diagram of Guidotti (1984). Right diagram is an enlargement of the circled area with dotted line of upper left one. FMu; ferrimuscovite, *FMu; ferrimuscovite, Mu; muscovite, Ph; phengite, FPh; ferriphengite, Cd; celadonite, Lc; leucophyllite, and Cross; present samples.

타일을 갖는데 반하여 상동견운모광상에서는 이러한 타일이 관찰되지 않는다. 또한 팔면체내에서의 내부치환도 대현광상산 견운모에 비하여 상동견운모광상산의 경우가 매우 제한된 범위에서 극소량의 치환만이 관찰된다. 이러한 결과는 비교적 상대적으로 균질한 화산유리질로부터의 변질작용의 결과로 해석된다. 그러나, 화산유리질로부터 별질된 견운모와는 달리 변질대의 외각에서 채취한 시료중 장석반정으로부터 변질된 견운모와는 약간의 차이점이 발견된다. 전체적으로 사면체내에서 Si를 치환한 Al이 적고 따라서 층부전하가 낮은 결과를 보여준다. 그러나 장석반정으로부터 변질된 견운모의 시료수가 적어서 이 결과를 일반화시키기에는 어렵다. 변질대의 중심부에서는 거의 완전한 견운모화 때문에 장석반정의 변질산물로 산출되는 견운모를 찾아낼 수가 없다.

이들 견운모의 광물화학적 결과는 매우 좁은 범위에서의 변화를 보일 뿐만 아니라, X-선회절분석 결과에서도 모두 동일한 2M₁ 폴리타일 (polytype)인 백운모로 산출되는데 이러한 사실은 광체를 이루는 부위에서의 광화작용이 동

Table 3. Oxygen and Hydrogen isotope data for Sericite and quartz from the Sangdong mine, in the Kimhae area.

Samples	Sericite		Quartz	
	δD_{V-SM}	$\delta^{18}O_{V-SM}$	$\delta^{18}O_{V-SM}$	
840	-67.98	7.91		
850	-78.65	8.98	10.87	
830	-69.33	7.97	8.20	
820	-70.22	9.07	8.82	
811	-68.96	8.94	8.73	
6-1	-71.67	7.76	8.76	
R4S		7.80		hand picked sample
R3S		7.66		"
R2S		8.35		"
R1S		7.82		"
S850S		7.70		"
R4Q			8.40	quartz phenocryst from sericite ore
R3Q			8.75	"
R2Q			8.57	"
R1Q			8.62	"
S850Q			8.11	"
L1		8.18	8.24	"
S811		8.36	8.87	"
S6-1		7.76	8.79	"
S820		8.02	9.00	"
L3		7.96	8.11	"
VF	-69.45	11.33		vein halloysite

Table 4. Sulfur isotope data for pyrite from the Sangdong mine.

Sample	Pyrite
	$\delta^{34}S_{CDT}$
811	1.90
6-1	2.83
841	1.94
842	2.29
PLG	4.53

시기의 동일한 변질작용에 의하여 평형상태하에서 이루어졌음을 시사하는 증거가 된다.

안정동위원소 조성

상동광상에서 공존하는 석영과 견운모에 대해 이를 각각 분리한 후 견운모에 대해서는 산소 및 수소안정동위원소, 석영에 대해서는 산소안정동위원소 분석을 실시한 결과는 Table 3과 같다.

견운모의 산소안정동위원소 조성은 ($\delta^{18}O$) 시료번호

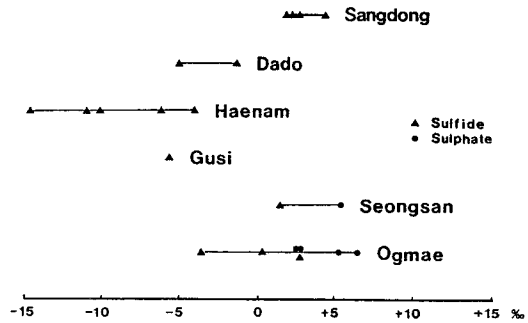


Fig. 6. $\delta^{34}S$ values of sulfides (pyrite) from the Sangdong sericite mine and $\delta^{34}S$ values of sulfides (pyrite) and sulfates (alunite) from various hydrothermal pyrophyllite-dickite-alunite deposits occurred in Cretaceous volcanic rocks such as the Gusi, Seongsan, Ogmae (Kim et al., 1990), Haenam (Kim et al., 1990; Kim, 1991), Dado (Chun et al., 1991), and Milyang (Chun et al., 1991) deposits.

VF를 제외하면 모두 7.76과 9.07‰ (SMOW)의 제한된 범위의 값을 갖고 있다. 이러한 제한된 범위의 동위원소 조성은 동일한 조건하에서 형성되었을 가능성을 시사하며, 만약 이들 견운모들이 모두 열수변질작용시 열수와 평형 조건하에서 형성되었음을 가정한다면 견운모 형성온도가 매우 유사함을 지시한다. 견운모와 수반되는 석영이 견운모와 동시 생성물임을 가정하고 Eslinger and Savin (1973 a) 가 제시한 일라이트-물 분별작용요소와, Matsuhisa et al. (1972)이 제시한 석영-물 분별작용요소를 이용하여, 당시의 생성온도를 추정한 결과 그 온도 범위가 1000°C 내외로 계산되는 것으로 보아 이들 석영과 견운모가 비평형상태에서 형성되었음을 지시한다. 박편상에서 관찰할 때 견운모와 혼재되는 석영의 경우 두 가지 기원이 (즉 화산암의 형성과정에서 생성된 석영입자와 견운모화가 진행될 당시에 형성된 것으로 보이는 미립의 석영 집합체) 있는데 석영의 분리 정제시에 미립의 석영을 분리하려고 하였으나 상당량의 화산기원의 석영이 혼재된 결과로 여겨진다. 이러한 사실은 미립으로 견운모와 혼재되는 석영의 상당량이 화산기원의 석영임을 지시한다. 석영의 $\delta^{18}O$ 또한 8.20에서 10.87‰의 제한된 범위의 값을 갖는것은 이들 기원이 다른 석영의 구성비가 광체구간에서는 매우 유사한 것으로 생각할 수 있다.

Lee (1991)에 의하면 백악기의 이 지역의 순환수 (meteoric water)의 δD 값이 -60‰로 추정하였으며, 이 값을 근거로 견운모의 생성온도를 추정하면 315~340°C로 나타난다. 이는 본 광상에서 산출되는 광물조합을 고려하면,

추정된 온도의 범위는 어느 정도 타당성이 있는 것으로 생각되며, 수소 이온 농도가 납석 또는 고령토 광상에 비하여 다소 높았던 것으로 추정할 수 있다.

견운모와 공존하는 황철석의 측정된 $\delta^{34}\text{S}$ 는 Table 4와 같다. 지금까지 보고된 경남 및 전남지역의 유사한 환경에서 형성된 광상의 자료들과 함께 Fig. 6에 도시하였다. Fig. 6에 도시된 바와 같이 황철석의 $\delta^{34}\text{S}$ (CDT) 값은 1.9에서 4.5‰의 값을 보이며, 이는 Henderson (1982)이 열수성기원의 황화광물의 $\delta^{34}\text{S}$ (CDT) 값이 -7에서 +15‰로 보고된 바 있어 이는 황철석의 기원이 화성기원임을 지지한다. Fig. 3에서 나타난 바와 같이, 문희수와 송윤구 (1992)는 해남 지역의 점토광상들에서 산출되는 황철석의 황 동위원소분석을 실시하였으며, 이것과 비교하여 볼 때 성산이나 옥매산광상에 나타나는 화성기원의 황철석과 유사한 값을 갖는다. 또한, 전효택 등 (1991)은 본 광상의 인근지역에 나타나는 점토광상들의 황철석에 대해서 황 동위원소 분석을 실시하였으며, 이들 광상들이 화성기원이라고 보고하였다. 본 광상은 이들 값과 같거나 약간 높은 경향을 보이나 이 역시 같은 화성기원임을 나타내고 있다. 본 역의 시료들의 $\delta^{34}\text{S}$ 값이 약간의 변화폭을 보이는데, 이러한 차이는 황철석의 생성 당시 수소이온 농도의 변화에 기인되는 것으로 (Ohomoto, 1972) 사료된다.

결 론

김해지역의 상동견운모광상은 유천층군의 상부에 해당하는 운문사유문암류 중 배태된다. 광체는 약 장경 1,000 m와 단경 500 m의 비교적 큰 규모의 견운모 광상으로서 단층을 중심으로 부광체가 형성되어 있다.

견운모의 부광체는 주로 견운모와 소량의 석영으로 구성되며, 미립의 황철석이 광염상으로 산출된다. 응회암은 암설을 함유하기도 하나 이들 암설 또한 견운모화되어 있다. 비교적 부광체에서는 세립의 석영이 혼재되며, 화산암 기원의 석영반정 또한 깨진편을 따라 견운모화 되어 있다. 견운모는 2-판면체이며 2 M₁ polytype에 해당되며, 이들의 구조식은 이상적인 백운모의 화학조성에 가까운 백운모-펜자이트족에 해당된다. K/(K+Na+Ca)가 91.5에서 93.9%로서 K이온이 절대적으로 우세하고 사면체 자리의 Si를 치환하는 Al이온의 수는 1.67에서 1.87로서 이상적인 백운모의 그보다는 다소 낮다.

견운모와 세립의 집합체로 산출되는 석영 등은 안정동위원소 분석결과나 광물조합으로 보아 이들이 대체로 유

사한 생성환경하에서 형성되었음을 지지한다.

견운모의 $\delta^{18}\text{O}$ 7.76과 9.07‰의 제한된 범위이며, 이들 모두가 변질작용시 평형조건 하에서 형성되었음을 가정한다면 형성온도가 매우 유사함을 지지하며, Lee (1991) 등의 백악기 meteoric water의 δD 값은 -60‰을 근거로 견운모의 생성온도를 추정하면 약 315~340°C 정도로 나타난다. 견운모와 공존하는 황철석의 $\delta^{34}\text{S}$ 는 1.9에서 4.5‰로서 이들 황의 기원이 화성기원일 가능성을 보여준다.

이러한 일련의 자료들은 이들의 생성환경이 지금까지 알려졌던 경남 및 전남 지역의 화산암을 모암으로한 열수변질작용에 의한 일련의 비금속광상들의 형성기구와 매우 유사한 변질작용의 결과임을 말해준다.

사 사

본 원고의 도면과 원고 타이핑을 도와준 연세대 대학원의 이수정 양과 문지원 군, 야외조사 및 시료준비를 도와준 동아대 대학원의 임태우 군과, 견운모 시료의 EPMA분석을 해준 송윤구 군에게 감사하며, 이 논문의 초고를 읽고 조언을 주신 이화여대의 김구한 교수에게 감사사를 드린다. 본 연구는 과학재단과 전략광물자원 연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음을 밝히고 이에 감사드린다.

참고문헌

- 김규봉, 황상구 (1988) 밀양도록 지질보고서. 한국동력원연구소.
- 김상욱 (1986) 경상분지에서의 후기 백악기 화산활동에 관한 연구. 이상만교수총수기념논문집, p. 167-194.
- 김상욱, 이영길 (1981) 유천분지 북동부 백악기 화산암류의 화산암석학 및 지질구조. 광산지질, 14권, p. 35-49.
- 김종환, 유장한, 박용순, 고상모 (1984) 대한견운모광상 조사. 비금속광상연구, 한국동력자원연구소, p. 99-128.
- 문희수, 송윤구 (1992) 전남 해남지역 납석, 명반석 및 도석 광상의 분포, 광물조성 및 형성기구. 광산지질, 25권, p. 41-50.
- 전효택, 정영욱, 김인준 (1991) 경남 및 전남 일부 납석광상의 산소-황 동위원소 조성 및 광상성인. 광산지질, 24권, p. 97-105.
- 홍영국 (1985) 한국 동남부에 분포하는 백악기 언양 및 유천 화강암의 지화학적 연구. 지질학회지, 21권, p.90-108.
- Appleman, D.E. and Evance, H.T. (1973) Job 9214: Indexing and least-squares refinement of powder diffraction data. U.S. Geol. Surv., Computer Contrib., 20, U.S. Nat. Tech. Inform. Surv., Doc. PB 2-16188.
- Bailey, S.W. (1980) Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee. Clay Minerals, v. 15, p. 85-93.
- Bence, A.E. and Albee, A.L. (1968) Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides.

- J. Geology, v. 76, p. 382-403.
- Eberl, D.D., Srodon, J., Lee, M., Nadeau, P.H. and Northrop, H.R. (1987) Sericite from the Silverton caldera, Colorado: Correlation among structure, composition, origin, and particle thickness. *Am. Miner.*, v. 72, p. 914-934.
- Eslinger, E.V. and Savin, S.M. (1973) Mineralogy and oxygen isotope geochemistry of the hydrothermally altered rock of the Ohaki-Broadlands, New Zealand geothermal area. *Am. J. Sci.*, v. 273, p. 240-267.
- Henderson, P. (1982) *Inorganic geochemistry*. Pergamon press, Oxford, P. 236-250.
- Jin Myung-Shik (1985) A relationship between tectonic setting and chemical composition of the Cretaceous granitic rocks in southern Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, v. 21, p. 67-73.
- Lee, Jong Ik (1991) Petrology, mineralogy and isotopic study of the Shallow-depth inplated granitic rocks, southern part of the Kyoungsang Basin, Korea. -Origin of micrographic granite-. D.S. Thesis, University of Tokyo, 197p.
- Matsuhisa, Y., Goldsmith, J.R. and Clayton, R.N. (1979) Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-anorthite-water. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, p. 1131-1140.
- Newman, A.C.D. and Brown, G. (1987) The chemical constitution of clays. In Newman, A.C.D. (ed.) *Chemistry of clays and clay minerals*, Mineralogical Society, p. 63-83.
- Ohomoto, H (1972) Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits. *Econ. Geol.*, v. 67, p. 551-578.
- Rhee, B.Y. (1991) Mineralogy of sericites in the Daehyun mine, Korea. Ph. D. Thesis, Seoul National University (unpublished).

1992년 6월 18일 원고접수

