

노화납석광산에서 산출되는 명반석대에 대한 지구화학적 연구

신상은* · 박홍봉*

A Geochemical Study on the Alunite Zone of the Nohwa Pyrophyllite Deposits

Sang Eun Shin* and Hong Bong Park*

ABSTRACT: Ores of the Nohwa Pyrophyllite Deposits are composed mainly of pyrophyllite, kaolinite (dickite), quartz, pyrite, alunite and diasporite, etc. Alunite ore zone is located in the middle-lower parts of the deposits. Alunite ore zone with thickness of 20~30 cm is divided into two parts according to alunite contents: reddish and white greyish zone in the upper and lower parts, respectively. And the reddish alunitic ore has higher contents Al_2O_3 , K_2O , Na_2O and Ig , loss than the white greyish alunitic ore. Perhaps alunization of the deposits occurred in the vicinity of paleo-ground water table. EPMA data shows that sodium replaces potassium considerably in alunite structures and that the hydrothermal solution probably contains considerable amounts of sodium.

서 론

본 논문은 전남 완도군 노화읍 구목리에 위치한 노화 납석광산의 광상과 광상 내에 형성되어 있는 명반석층에 대한 광물 및 화학조성 그리고 명반석층의 생성성인을 연구한 것이다. 노화납석광산은 납석 및 고능석질 광석을 생산하는 광산인데 지금까지는 이 광산에서 산출되는 명반석에 대한 연구는 거의 없었다. 전남지역에서 명반석이 산출되는 광산은 해남군 황산면에 위치한 성산광산, 옥매산광산, 영암군 학산면에 위치한 독천광산, 진도군 녹진면에 위치한 녹진광산, 무안군 장산도의 장산도, 중용리광산, 진도군 조도면의 가사도광산 등이며, 전남지역의 명반석에 대한 연구로는 김규봉 (1970), 박병철 (1974), 문희수 (1975), 조한익 et al. (1978), 신상은 (1990), 김영희 (1990) 등의 연구가 있다.

본 논문을 위한 실험으로는 편광현미경관찰, X-선 회절분석, 화학성분분석 그리고 시차열분석, 전자현미분석 및 관찰을 시행하였다. X-선 회절분석 조건으로는 30 KV, 15 mA, Cu Target, 4°/min Scan speed, $2\theta = 5^\circ \sim 40^\circ$ 였고, 전자현미분석 조건으로는 15 KV, 1×10^{-8} A, Beam Dia.

10 μ m 였으며, 시차열분석 조건으로는 sample weight 20~30 mg, 20~50 mV, 10°C/min, 1100°C 까지 분석되었다.

전남지역에는 노화납석광산을 비롯한 많은 납석광상들이 분포하는데 이 광상들은 대부분 중생대 백악기말에 분출한 응회암층의 일부가 후기의 화성활동의 영향으로 열수변질되어 생성된 것으로 알려져 있다 (박희인, 1982; 신상은, 1990).

노화광산 주변에는 주로 응회암이 분포하며 광산의 지하채굴장 하부에서 응회암의 하위층인 암회색의 유문암층이 발견되나 지표상에서는 산출되지 않는다. 또 염기성 맥암이 광상을 부분적으로 관입하고 있다. 노화광산의 지질에 대해서는 대한광업진흥공사 (1987, 1988), 신상은 (1990)의 연구에 잘 기술되어 있다.

명반석층은 광상의 중하부에 형성되어 있는데 그 두께는 20~30 cm 정도이고 저색을 보이는 상부와 회백색의 하부로 구분된다. 본 논문에서는 저색부분과 회백색 부분을 따로 채취하여 실험에 사용하였다.

실험 및 결과

광석들은 대개 담황색 또는 담회색이며 광석내에서 부분적으로 세립의 황철석 결정들이 집합체를 이루어 회색을 보이는 부분도 있다. 납석을 비교적 많이 함유하고

* 전남대학교 자연과학대학 지질학과 (Department of Geology, College of Natural Sciences, Chonnam National University, Kwangju, 500-757, Korea)

있는 납석질광석은 지방감을 가지므로 고능석질광석과는 구분된다. 또한 폐석들은 대부분 황철석의 함량이 많으며 암색도 암흑색을 나타낸다.

편광현미경 관찰에 의하면 납석질광석들은 주로 세립질 납석과 세립질의 석영 등이 구성하는 바탕물질로 이루어진다. 또한 세립질의 황철석 결정들이 다수 분포하는데 부분적으로 작은 황철석 결정들이 집합체를 이루고 있어 황철석 함량이 상당히 많은 시료도 있다. 명반석질 광석들은 작은 명반석결정들과 세립의 납석, 석영, 고능석(딕카이트)과 간혹 포함된 조립의 다이아스포아 결정들, 그리고 세립질의 황철석 결정들로 이루어진다. 다이아스포아 결정들은 가장자리가 변질되어 있다. 저색의 명반석질광석에는 명반석의 함량이 많고 회백색의 광석에는 명반석 함량이 감소하는 대신 세립의 석영과 고능석(딕카이트)으로 구성된 바탕물질이 증가한다. 고능석질광석에는 납석함량은 감소하고 대신에 석영과 고능석(딕카이트)의 함량이 증가한다. 특히 조립의 석영결정들이 상당량 관찰되며 세립의 황철석 결정들이 포함되어 있다. 폐석질시료에서는 석영과 황철석의 함량이 크게 증가하며 그외의 다른 광물로는 견운모와 소량의 고능석(딕카이트)를 볼 수 있다. 견운모는 작은 결정들이 맥상의 집합체를 이루며 고능석(딕카이트)은 근원암에 포함되어있던 암편이 변질된 자리에서 황철석 집합체와 함께 소량 발견된다.

Fig. 1은 광석들의 X-선 회절분석 결과이다. A1은 납석질광석 시료이고 A3과 A4는 명반석질 시료이며 A5는 고능석질 시료이고 A7은 폐석시료이다. 납석질 시료에서는 d 값 9.17, 4.60, 3.07 Å에서 납석의 높은 peak를 볼 수 있다. 명반석질 시료인 A3 시료는 저색, A4 시료는 회백색의 시료이며 X-선 회절분석에서는 d 값 4.96, 2.99 Å에서 명반석의 peak가 나타나며 또한 납석질 시료와 같은 위치에서 납석 peak가 높게 나타나고 d 값 7.16 Å에서는 고능석(딕카이트)의 peak도 나타난다. 그러나 A3 시료와 A4 시료 사이에는 광물들의 함량에 차이가 있어서 저색인 A3 시료에서는 명반석, 납석의 intensity가 회백색인 A4 시료에서 보다 높은 반면 고능석과 석영의 intensity는 낮다. 고능석질 시료인 A5 시료에서는 d 값 7.16, 4.47, 3.58 Å 등에서 고능석이나 딕카이트의 peak가 나타난다. 그 반면에 납석의 peak들은 다소 낮아진다. 폐석시료들에는 주로 석영의 peak들이 d 값 4.26, 3.343 Å 등에서 매우 높게 나타나며 그 외의 광물들의 peak는 매우 낮지만 d 값 10.08, 5.03 Å에서는 견운모의 peak와 4.47, 3.09 Å에서는 고능석(딕카이트) 그리고 2.61 Å에서는 녹니석의

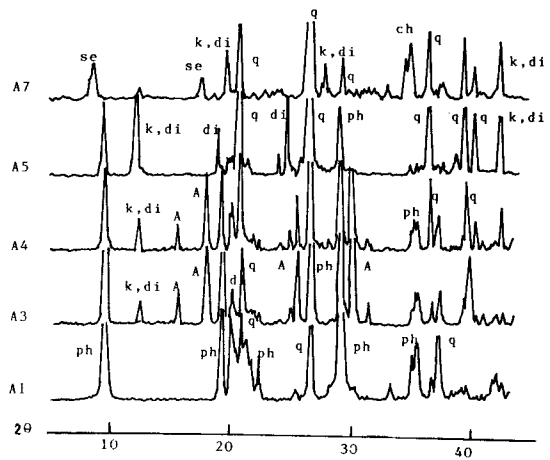


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of Ore minerals. A1; pyrophyllitic ore, A3; reddish parts of alunitic ore, A4; white greyish parts of alunitic ore, A5; kaolinitic ore, and A7; waste samples. ph; pyrophyllite, k; kaolinite, di; dickite, q; quartz, A; alunite, se; sericite, and ch; chlorite.

peak가 나타난다.

Table 1은 광석들의 화학분석표이다. 납석질 광석들의 경우 Al_2O_3 함량이 18~20% 정도이며 고능석질 광석에서는 Al_2O_3 함량이 7~10%이다. 명반석질 시료에서의 Al_2O_3 함량은 저색인 A3 시료는 20.92%, A4 시료에서는 14.15%의 함량을 보인다. Fe_2O_3 함량의 경우에는 A1 시료와 폐석시료에서 2% 이상이며 그 외의 시료에서는 0.5% 이하이다. K_2O 의 함량은 A3, A4에서 1.47, 0.97%로 높고, 또 A7, A8에서도 1.20, 2.49%로 매우 높다. Ig.loss의 경우에는 명반석질 시료에서 매우 높아서 A3에서 15.79%, A4에서 11.25%이며 그 외에 A1 시료에서 4.84%, A7 시료에서는 4.62%, A8 시료에서는 5.50%의 함유량을 보인다.

Table 2는 명반석의 전자현미분석 결과이다. A3, A4 시료에서 모두 20 points의 명반석이 분석되었는데 분석치에 의하면 Al_2O_3 함량은 36.74~37.92%, K_2O 함량은 7.31~9.01%, Na_2O 의 함량은 1.38~2.62%가 함유되어 있다.

Fig. 2는 시차열분석 결과를 나타낸 것이다. A3 시료로부터 명반석을 정제한 것이 A3-1, A4 시료를 정제한 시료가 A4-1이다. A3-1 시료에서는 약 17%의 감량이 있었으며 A4-1 시료에서는 약 12%의 감량이 있었다. 두 시료에서는 모두 545°C 부근과 740°C 부근에서 강한 흡열반응이 나타났다.

Table 1. Chemical compositions of ores.

(%)	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
SiO ₂	70.53	77.80	59.38	71.61	84.71	87.87	85.27	78.61
Al ₂ O ₃	20.98	18.70	20.92	14.15	10.45	7.38	6.10	5.22
Fe ₂ O ₃	2.18	0.12	0.06	0.09	0.06	0.16	2.37	2.57
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	1.38
CaO	0.07	0.24	0.08	0.07	0.04	0.01	0.03	1.84
Na ₂ O	0.09	0.06	0.47	0.33	0.03	0.02	0.04	0.49
K ₂ O	0.04	0.07	1.47	0.97	0.02	0.02	1.20	2.49
TiO ₂	0.58	0.19	0.31	0.14	0.78	0.25	0.21	0.45
P ₂ O ₅	0.08	0.59	0.24	0.18	0.06	0.05	0.03	0.35
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
H ₂ O	0.45	0.68	0.88	0.86	0.43	0.54	0.62	0.63
Ig. loss	4.84	1.11	15.79	11.25	3.14	3.63	4.62	5.50
Total	99.84	99.56	99.60	99.65	99.72	99.94	99.51	99.60

A1 and A2; pyrophyllitic ore, A3; reddish parts of alunitic ore, A4; white greyish parts of alunitic ore, A5 and A6; kaolinitic ore, and A7 and A8; waste samples.

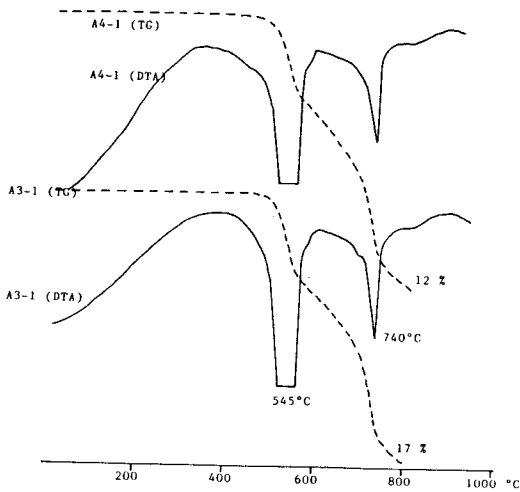


Fig. 2. D.T.A. and D.T.G. curves of purified alunitic. A3-1; purified alunitic sample from A3 (reddish parts of alunitic ores) and A4-1; purified alunitic sample from A4 (white greyish parts of alunitic ores).

결과 고찰

Hemley et al. (1969), Cunningham et al. (1976, 1984)에 의하면 명반석은 황산염이 상당량 포함된 매우 낮은 PH의 수용액에서 생성된다고 했다. 또한 Hemley et al. (1969)에 의하면 명반석 광상에는 고능석 (딕카이트), 견운모, 납석과 잔혹 다이아스포아가 수반된다고 했다.

편광현미경관찰과 X-선 회절분석결과 광석들의 주구성 광물들은 납석, 명반석, 석영, 고능석 (딕카이트), 황철석

등이다. 특히 명반석질 광석에는 명반석 뿐만아니라 납석, 고능석 (딕카이트), 다이아스포아 등이 같이 산출되어 Hemley et al. (1969)의 연구와 거의 같은 결과를 보인다. 편광현미경 관찰에 의하면 저색의 명반석 시료에는 회백색의 명반석 시료보다 명반석의 함량이 많다. 즉 명반석질 광석이 저색과 회백색으로 구분되는 것은 명반석의 함량 차이 때문으로 생각되는데 이러한 현상에 대해서는 김규봉 (1970)도 언급한 바 있다. 광석들의 화학분석에서 납석질광석들은 높은 Al₂O₃ 함량으로 다른 시료들과 구분된다. 납석질광석들이 높은 Al₂O₃ 함량을 가지는 이유는 광석들이 주로 납석으로 구성되며 그 외의 다른 광물 특히 석영의 함량이 적은것 때문으로 생각된다. 그런데 A1 시료에는 Al₂O₃ 함량뿐만 아니라 Fe₂O₃ 함량도 높다. 그것은 A1 시료가 납석질 시료지만 황철석이 상당량 함유되어 있기 때문이다. A1 시료에 황철석이 많이 함유된 것은 A1 시료의 분석치에서 Ig.loss 함량이 A2 시료에 비하여 월등히 높은 것으로도 알 수 있다. 황철석의 구성성분인 S가 약 538~550°C에서 빠져나가기 때문에 황철석 함량이 많은 시료에서는 Ig.loss가 많아지게 된다 (Hutchison, 1974). 명반석의 화학식은 KAl₃(SO₄)₂(OH)₆이며 이론적인 화학분석치는 Al₂O₃ 37.0%, K₂O 11.4%, SO₃ 38.6%, H₂O 13.0%이다. 따라서 명반석이 많이 함유된 시료들의 분석치에서는 Al₂O₃, K₂O, Ig.loss 함량이 높을 것이다. A3와 A4의 명반석질 시료의 분석치에서도 비슷한 결과를 볼 수 있다. Al₂O₃ 함량은 20.92, 14.15%로 높은편이며 K₂O, H₂O의 함량도 다른 시료들에 비하여 상당히 높다. Ig.loss는 다른 시료들에 비하여 월등히 높다. 다만 Al₂O₃

Table 2. Electron microprobe analysis of alunites.

	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
Al ₂ O ₃	37.38	37.35	37.22	37.03	36.85	37.43	37.03	37.57	37.28	36.81	37.41	37.92	37.75	37.55	37.24	37.41	37.45	36.99	37.02	36.74
Fe ₂ O ₃ *	0.00	0.08	0.08	0.06	0.09	0.07	0.11	0.03	0.03	0.09	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.04	0.00
Na ₂ O	2.20	1.89	2.10	2.13	1.93	2.29	1.72	1.53	2.50	2.62	1.63	1.74	1.57	1.54	1.59	1.85	1.38	1.71	1.66	1.48
K ₂ O	8.01	8.57	8.04	8.08	8.56	7.60	8.45	8.53	7.71	7.31	8.67	8.47	8.67	8.77	8.67	8.76	9.01	8.56	8.71	8.78
P ₂ O ₅	0.72	0.74	0.60	0.74	0.80	0.68	0.60	0.26	0.61	0.56	0.19	0.24	0.16	0.29	0.19	0.02	0.07	0.08	0.20	0.13
SO ₃	37.46	37.79	37.63	38.23	38.19	37.53	38.38	37.87	37.56	38.01	38.81	38.24	38.20	38.25	38.43	39.15	37.77	38.21	38.50	38.53
Total	85.47	86.12	85.67	86.27	86.42	85.60	86.27	85.79	85.69	85.39	86.71	86.61	86.39	86.40	86.13	87.22	85.71	85.56	86.13	85.66
Al	3.030	3.011	3.034	2.993	2.981	3.047	2.995	3.060	3.037	2.999	3.012	3.059	3.055	3.039	3.021	2.998	3.063	3.021	3.004	2.996
Fe	0.000	0.004	0.004	0.003	0.005	0.003	0.006	0.002	0.002	0.005	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.002	0.000
Na	0.296	0.253	0.282	0.283	0.257	0.307	0.228	0.205	0.336	0.351	0.216	0.230	0.209	0.205	0.212	0.244	0.186	0.230	0.222	0.198
K	0.708	0.754	0.709	0.707	0.749	0.670	0.739	0.752	0.680	0.645	0.756	0.739	0.760	0.768	0.761	0.760	0.798	0.757	0.765	0.775
P	0.042	0.043	0.035	0.043	0.046	0.040	0.035	0.015	0.035	0.033	0.011	0.014	0.009	0.017	0.011	0.001	0.004	0.005	0.012	0.008
S	1.949	1.955	1.953	1.968	1.967	1.946	1.976	1.964	1.948	1.972	1.990	1.964	1.969	1.971	1.985	1.998	1.967	1.987	1.989	2.000
Al+Fe	3.030	3.015	3.038	2.996	2.986	3.051	3.000	3.062	3.039	3.004	3.012	3.059	3.057	3.039	3.021	3.000	3.065	3.021	3.006	2.996
Na+K	1.004	1.006	0.991	0.990	1.006	0.976	0.968	0.957	1.016	0.995	0.971	0.970	0.969	0.973	0.973	1.004	0.983	0.987	0.987	0.973
P+S	1.991	1.999	1.988	2.011	2.014	1.985	2.011	1.979	1.984	2.004	2.001	1.978	1.978	1.988	1.996	2.000	1.971	1.992	2.001	2.008

*All iron reported as Fe₂O₃.

함량이 명반석의 이론치보다 낮은 것은 명반석질 시료에 명반석 이외에 석영, 납석 등의 광물들이 상당량 함유되어 있기 때문이다. 이러한 현상은 Fig. 1의 X-선 회절도에서 잘 볼 수 있는데 특히 석영의 함량은 시료들의 Al_2O_3 함량을 감소시키는데 많은 영향을 주고 있어서 석영이 보다 많이 함유된 A4 시료의 Al_2O_3 함량이 A3 시료보다 더 낮다. 고능석질 광석들의 분석치는 다소 낮은 Al_2O_3 함량을 보이는데 이 경우에도 석영이 많은 역할을 하고 있다. 노화광산의 광상내에서는 하부로 갈수록 석영의 함량이 많아지고 광석의 품질도 저하하는 경향을 보이는데 고능석질 광석들의 경우 납석질광석들에 비하여 석영 함량이 많고 납석함량은 감소하기 때문에 낮은 Al_2O_3 함량을 가지며 광석의 품질도 낮아진다고 생각된다. 고능석질광석에 석영함량이 많은것은 X-선 회절도에서도 잘 볼 수 있다. 폐석질 시료들의 경우 낮은 Al_2O_3 , 높은 Fe_2O_3 함량으로 특징지어진다. 이것은 폐석질시료에 석영과 황철석이 많이 들어있기 때문이다. 또한 K_2O 의 함량도 납석질시료나 고능석질시료에 비하여 많은것은 X-선 회절도에서 보는바와 같이 폐석질시료에 견운모가 함유되어 있기 때문으로 생각된다.

Todor (1976)는 명반석의 열분석에서는 탈수로 인한 두 단계의 흡열반응이 $500\sim 565^\circ C$, $565\sim 640^\circ C$ 에서 나타나며 SO_3 의 이탈로 인한 흡열반응이 $640\sim 800^\circ C$ 에서 나타나고 $640\sim 750^\circ C$ 에서는 명반석내의 결정구조 변화로 인한 발열반응이 나타난다고 했다. Fig. 2의 열분석 결과를 보면 명반석 정제시료인 A3-1과 A4-1에서는 545 , $740^\circ C$ 에서 강한 흡열반응을 볼 수 있다. $545^\circ C$ 의 흡열반응은 탈수에 따른 반응으로 생각되는데 이때는 명반석의 탈수 뿐만아니라 명반석의 정제시 미처 제거되지 않은채 남아있던 소량의 고능석 ($500\sim 700^\circ C$), 석영 ($573^\circ C$) 등의 흡열반응이 동시에 발생하여 강한 반응이 나타난 것으로 보이며 $740^\circ C$ 의 흡열반응은 SO_3 의 이탈로 인한 것으로 생각된다. 또 A3-1이 A4-1보다 강한 반응이 나타나는 것은 앞서 여러 실험들에서 본 것처럼 명반석의 함량차이 때문으로 생각된다.

Hemley et al. (1969)는 다양한 상태의 명반석과 명반석의 유질동상체인 Natroalunite ($NaAl_3(SO_4)_2(OH)_6$)을 비교, 연구한 후에 Natroalunite는 명반석 보다는 덜 안정하며, 또 Na 함량이 매우 높은 수용액으로부터 생성되었을 것이라고 했다. 또 명반석이 생성될때 K의 공급은 모암의 K-장석이나 volcanic glass로부터 이루어 진다고 했다. Cunningham et al. (1976)는 순수한 명반석은 자연상태에서

는 존재하지 않으며 대부분의 명반석은 K:Na가 9:1 이상이며, Natroalunite는 K:Na가 3:7이라고 했다.

Table 2의 전자현미분석 자료에서 K:Na의 비는 7.98:1.86부터 6.54:3.51의 범위에 분포해 있다. 이 값은 앞서의 Cunningham et al. (1976)에 의하여 지시된 값에 비하면 Na의 값이 상당히 높은 것이다. 명반석의 구성성분중 K와 Na 성분의 공급은 Hemley et al. (1969)가 설명한 것처럼 광상의 모암인 응회암의 장석질 물질로부터 공급이 이루어졌을 것으로 생각되나 위에서 지적한 것처럼 명반석내에 Na의 함량이 다소 많은 것을 고려한다면 광상 생성시 광상에 작용한 열수내에 원래부터 상당량의 Na가 포함되어 있었을 것으로 생각된다.

명반석화작용이 진행되는 동안 광상의 상부에서는 열수는 지하수와 혼합되어 강한 산성환경이 형성되기 때문에 SiO_2 , Al_2O_3 와 일부 Fe_2O_3 이외의 다른성분 특히 K, Na 등은 광상의 하부로 이동하여 고지하수면 (paleo-ground water table) 부근에 집적하는 현상이 일어난다 (Cunningham et al. (1984)). 그런데 명반석이 형성되는데는 K, Na 등이 필수적이기 때문에 광화작용이 진행되는 동안 명반석대는 K, Na 등이 집적하는 고지하수면 (paleo-ground water table)의 위치인 광상의 하부에 위치한 것으로 생각된다.

결 론

노화납석광산에서 산출되는 광석들을 구성하는 광물들은 납석, 고능석 (딕카이트), 석영, 황철석, 명반석, 다이아스포아 등이다. 명반석질 광석은 광상의 중하부에서 산출되며 저색과 회백색으로 구분되는데 색깔의 차이는 명반석의 함량 때문이다. 명반석의 함량차이는 명반석질광석들의 화학조성에도 영향을 주어서 저색의 명반석질광석의 Al_2O_3 , K_2O , Na_2O 그리고 Ig.loss 함량이 회백색 명반석질 광석보다 상당히 높다.

노화납석광산의 명반석을 전자현미분석 해보면 상당히 많은양의 Na가 K를 치환하고 있는데 이것은 광화작용시 광상에 작용한 열수에 Na가 상당량 함유되어 있었음을 반영한 것으로 생각되며 명반석대가 광상의 중하부에 위치한 것은 고지하수면 (paleo-ground water table) 부근에서 명반석화작용이 진행되었기 때문이다.

사 사

본 연구는 전략광물자원연구센터의 부분적인 연구비

지원에 수행되었음을 밝히고 이에 감사한다.

참고문헌

- 김영희 (1990) 옥매산 명반석광상의 광물, 광상학적연구. 연세대학교대학원 석사논문.
- 김규봉 (1970) 전남일대 명반석광상 조사보고. 지질광상 조사보고, 12권, p. 171-234.
- 대한광업진흥공사 (1987) 납석광, 광상시추조사보고. 10권, p. 486-508.
- 대한광업진흥공사 (1988) 납석, 고령토, 한국의광상. 11권, 비금속편, p. 81-269.
- 문희수 (1975) 전남지역 명반석광상의 성인에 관한연구. 광상지질학회지, 8권, p. 183-202.
- 박병철 (1974) 독천지역 명반석광상 조사보고. 지질광상조사보고, pt. 2, 광상조사 연구편, p. 141-160.
- 박희인 (1982) 활석 및 납석광상. 한국의 지질과 광물자원. 연세대학교 지질학과 동문회, p. 367-373.
- 조한익, 문희수 (1978) 한국의 명반석광상 조사보고. 조사특보 02, 자원개발연구소.
- 신상은 (1990) 전남서남부지역의 백악기 화산활동에 수반된 납석, 고능석, 명반석광상에 대한 광물 및 지구화학적 연구. 전남대학교 대학원 박사학위 논문.
- Brindley, G.W. and Brown, G. (1980) Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray identification. Mineralogical Society.
- Cunningham, C.G. and Hall, Jr. R.B. (1976) Field and Laboratory tests for detection of alunite and determination of atomic percent potassium. Econ. Geol., v. 71, p. 1596-1598.
- Cunningham, C.G., Rye, R.O., Steven, T.A. and Mehmert, H.H. (1984) Origins and Exploration Significance of Replacement and Vein-Type Alunite Deposits in the Marysvale Volcanic Field, West Central Utah. Econ. Geol., v. 79, p. 50-79.
- Hemley, J.J., Hostetler, P.B., Gude, A.J. and Mountjoy, W.T. (1969) Some stability relations of Alunite. Econ. Geol., v. 64, p. 599-612.
- Hutchisons, C.S. (1974) Laboratory handbook of petrographic techniques. John Wiley & Sons Inc, p. 438-484.
- Todor, D.N. (1976) Thermal Analysis of minerals. Abacus Press Co.

1992년 6월 20일 원고접수