

## 상동 및 울진지역 화강암질암과 페그마타이트의 광물화학

전효택\* · 손창일\*

### Mineralogical Chemistry of Granitoids and Pegmatites in the Sangdong and the Ulchin Areas

Hyo-Taek Chon\* and Chang-Il Son\*

**ABSTRACT:** Tin mineralizations in South Korea have been found only in the Ulchin and the Sangdong areas. The Wangpiri and the Yuchang Sn pegmatites appear to be in close spatial and genetical relation to the Wangpiri granitoid in the Ulchin area, and the Soonkyeong Sn pegmatite be in close association with the Nonggeori granites in the Sangdong area from geochemical viewpoint. The electron-microprobe analysis of muscovite, biotite, tourmaline and cassiterite from the granitoids and pegmatites in the Ulchin and the Sangdong areas has revealed a distinct differences of geochemical compositions. The Wangpiri and the Yuchang Sn pegmatites show an enrichment of MnO and a depletion of TiO<sub>2</sub>, FeO and MgO in comparison with the Soonkyeong Sn pegmatite. This result coincides with the geochemical compositions of granitoid rocks in these areas. Enrichment of MnO and depletion of TiO<sub>2</sub>, FeO and MgO are characteristic in muscovite, biotite and tourmaline of pegmatites compared with those of granitoids. These geochemical differences of muscovite, biotite and tourmaline between granitoids and pegmatites in these areas implies that pegmatites are more fractionated than granitoids.

## 서 론

주석은 세계 여러곳에서 주석광화작용과 관련된 화강암류중에 부화되는 원소로 알려져 있으며, 이러한 화강암들은 주석화강암, 합주석 화강암, 고도분화 우백질화강암, 저 Ca화강암, plumbatic leucogranite, 희유금속 Li-F화강암 등으로 불리어 왔다(Flinter, 1971; Tauson and Kozlov, 1973; Chappell and White, 1974; Antipin et al., 1982).

국내의 주석광화작용은 선캄브리아시대의 화강암질암과 공간적으로 밀접히 관련된 것으로 알려져 왔다. 국내의 주석광상은 광범위한 선캄브리아시대의 화강암질암 분포지역중 일부지역인 경북 울진지역과 강원도 상동지역에만 국한되어 분포되어 있다. 이러한 지역적인 편재현상은 암석지구화학 혹은 탐광지구화학적 관점에서 볼 때 주석에 대한 metallogenic province 혹은 productive environment에 해당된다고 할 수 있다. 울진 및 상동지역 합주석 화강암은 지구화학적으로 친화강암원소들, 예를들면 Sn, Li, Rb, Be, F(특히 울진지역) 및 B(특히 상동지역) 등의 원소

함량이 부화되어 있으며(전효택 이덕원, 1987a,b) 석석은 각각 그라이젠, 알비타이트, 석영맥(울진지역) 및 페그마타이트(상동 지역)에 배태되어 Manning(1986)의 분류에 의할때 울진지역 주석광상은 Cornish style로, 상동지역의 경우는 Thai style로 구분된다(이덕원, 1988).

현재까지 국내 주석광상에 대해 수행된 연구는 주석광상의 광물, 지질 및 합주석 화강암질암의 분화정출과정에 초점을 맞춘 주석광상의 성인 및 모델링 연구(문상호, 1990; 김수영, 1988), 주석광화작용과 관련된 화강암류에 대한 지질연대 측정(박희인 등, 1988; 진명식 김성재, 1988; Chon and Shimazaki, 1993)과 합주석화강암의 부화원소들 혹은 서로 수반관계에 있거나 치환 관계에 있는 원소들의 대비를 이용한 암석지구화학적 연구(전효택 등, 1986; 전효택 이덕원, 1987 a,b; 이덕원, 1988; Chon et al., 1988)들로 구분할 수 있다.

본 연구의 목적은 울진지역의 분천화강편마암, 왕피리화강암 질암 및 왕피리Sn 광산과 상동지역의 농거리화강암, 내덕리화강암 및 순경 Sn 광산중에 분포하는 맥석광물인 백운모, 흑운모 및 전기석과 광석광물인 석석에 대하여 광물화학조성을 연구하고 이로부터 이지역들에 분포하는 화강암질암의 지구화학적 특징과 마그마 분화과정을 규명함에 있다.

\*서울대학교 공과대학 자원공학과 (Department of Mineral & Petroleum Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

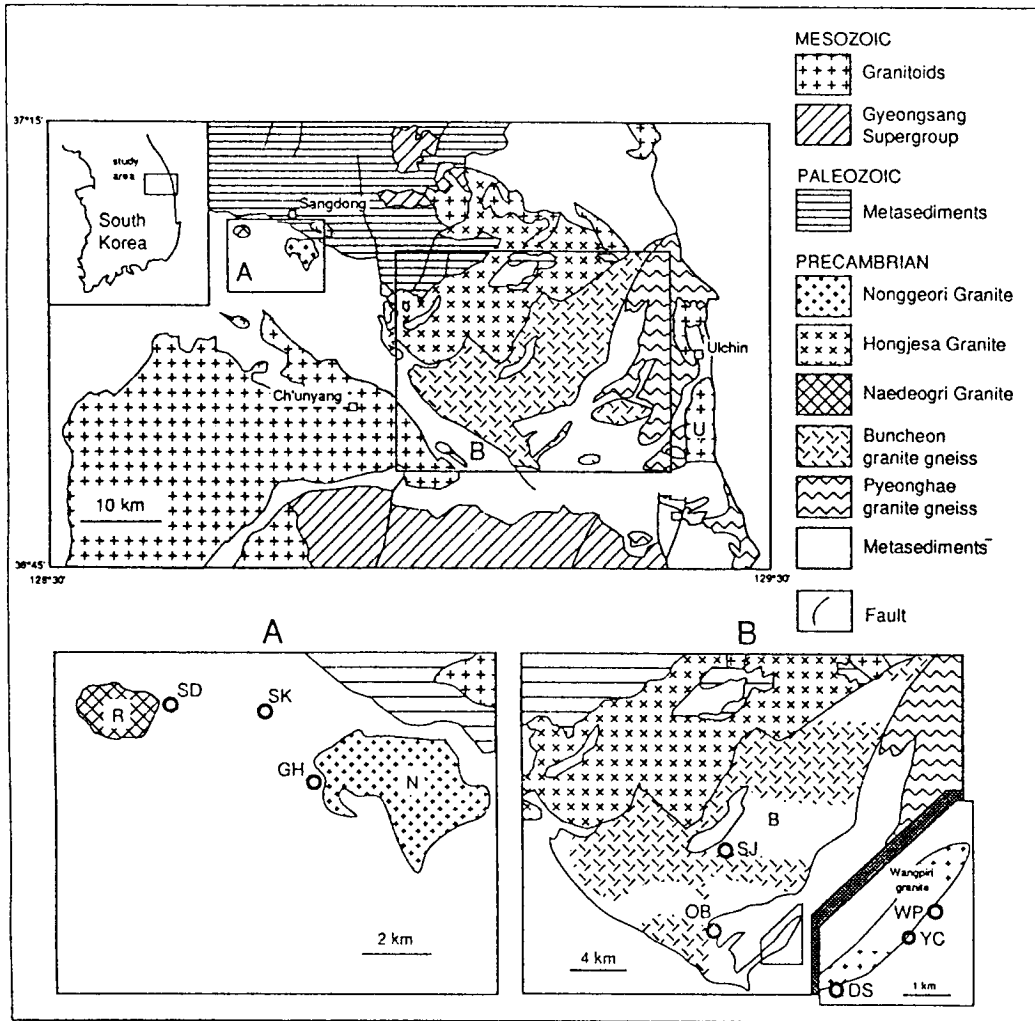


Fig. 1. Geological map of the Sangdong (A) and the Ulchin (B) areas. SD (Seongdug Sn mine); SK (Soonkyeong Sn mine); GH (Gakhi Sn mine); SJ (Ssangjeon W mine); OB (Ogbang W-F mine); WP (Wangpiri Sn mine); YC (Yuchang Sn mine); DS (Dongseog Sn mine); U (Ulchin granite); R (Naedeogri granite); N (Nonggeori granite); B (Buncheon granite gneiss).

주석광화작용과 관련된 화강암류에 대한 암석학적 기재

강원도 상동지역의 농거리 및 내덕리화강암과 경상북도 울진 지역의 분천화강편마암 및 왕피리화강암질암 등 4개의 연구대상암체들(Fig. 1)은 모두 선캄브리아시대의 화강암질 암석이나 각각의 규모, 형태, 구조 및 조직 등이 서로 다르며 광물조성 특히 수반광물들의 종류 및 함량에 있어서 상당한 차이를 보인다. 이 덕원(1988)에 의한 각 암체의 mode분석 결과 석영, K-장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 녹니석, 인회석 및 불투명광물은 4개 암체의 공통적인 조암광물들이나 각각의 함량은 다소 다르다. 4개 암체의 시료는 대부분 화강암영역에 속하며 왕피리화강암질암,

내덕리화강암 및 분천화강편마암의 일부 시료가 화강섬록암 영역에 속하는데 이는 왕피리화강암질암과 내덕리화강암의 경우는 알바이트화작용에 기인하며 분천화강편마암의 경우는 원래 화강섬록암의 조성에 해당되기 때문이다. 농거리화강암은 K-장석이 부화되어있고 왕피리화강암질암과 분천화강편마암은 석영 함량이 현저히 높다. 왕피리화강암질암은 높은 백운모 함량과 형석, 황옥 및 석석 등을 수반광물로 함유하는 사실이 특징적이다. 이는 암체가 알바이트화작용 외에 그라이젠화작용을 받았음을 나타낸다. 상동지역의 화강암류에는 전기석이 상당량 함유되어 있는데 반하여 울진지역 화강암류에서는 전기석이 관찰되지 않으며 석류석은 울진지역 화강암류에서만 확인된다.

Table 1. Microprobe analysis of muscovite from granitoids and pegmatites in the Sangdong and the Ulchin areas. (unit : wt.%)

	WW1	WW1	WW1	WW1	WW2	WW13	WW13	WW22	WW22	WM1	WM1	WM1	WM1	WM2	WM2	WM2	WM3	WM3
SiO <sub>2</sub>	45.19	44.60	44.57	46.03	46.63	46.84	45.74	46.64	46.37	51.43	52.85	46.64	51.82	46.53	47.45	46.05	46.37	47.03
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.07	0.08	0.09	0.06	0.27	0.22	0.13	0.35	0.04	0.00	0.05	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.59	31.38	31.42	31.89	34.02	30.26	29.13	32.63	30.54	23.36	20.87	37.40	21.73	33.95	31.98	35.42	38.45	38.78
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
FeO	4.26	4.04	4.15	3.67	3.77	5.64	7.57	5.77	7.76	1.56	1.42	0.34	1.68	2.48	3.37	1.88	0.00	0.08
MgO	0.65	0.64	0.69	0.60	0.45	1.00	1.12	0.60	0.77	0.23	0.17	0.05	0.20	0.96	1.41	0.56	0.00	0.00
MnO	0.26	0.29	0.12	0.22	0.13	0.22	0.37	0.14	0.21	3.79	3.95	0.56	3.39	0.25	0.28	0.20	0.53	0.56
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	0.52	0.61	0.66	0.55	0.62	0.23	0.20	0.28	0.21	0.28	0.24	0.50	0.15	0.51	0.46	0.55	0.64	0.62
K <sub>2</sub> O	9.10	8.87	8.86	9.35	10.41	10.57	10.30	10.87	10.92	10.99	10.63	10.87	10.85	10.59	10.66	10.54	10.60	10.53
Total	91.68	90.53	90.60	92.43	96.12	95.09	94.69	97.10	97.17	91.73	90.16	96.45	89.85	95.32	95.67	95.21	96.64	97.69
$\frac{Na}{(Na+K)}$	0.080	0.096	0.103	0.082	0.084	0.033	0.030	0.038	0.030	0.038	0.030	0.066	0.021	0.069	0.060	0.074	0.084	0.083
	WW23	WW23	WW23	NN2	NN2	NN2	RR1	RR1	WM1	WM3	WM4	WM4	SM1	SM1	SM1	SM3	SM3	
SiO <sub>2</sub>	44.24	46.38	45.69	43.96	44.04	41.88	45.19	45.29	47.01	46.77	46.46	46.51	45.21	45.15	48.72	45.81	45.45	
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.04	0.01	0.44	0.45	0.33	0.38	0.21	0.01	0.00	0.03	0.00	0.38	0.40	0.23	0.13	0.14	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.57	34.36	34.32	32.71	35.46	34.31	35.98	35.97	36.55	38.04	38.60	38.03	37.65	37.42	37.53	37.01	36.30	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.05	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	
FeO	3.67	3.81	3.61	1.44	1.13	1.38	1.32	0.92	0.44	0.05	0.00	0.04	0.77	0.89	0.93	0.83	0.85	
MgO	0.17	0.19	0.18	0.61	0.53	0.54	0.44	0.37	0.08	0.05	0.00	0.00	0.24	0.23	0.22	0.09	0.10	
MnO	0.50	0.41	0.44	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.97	0.47	0.47	0.54	0.05	0.05	0.00	0.04	0.03	
CaO	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	
Na <sub>2</sub> O	0.29	0.34	0.29	0.45	0.69	0.59	0.53	0.52	0.40	0.47	0.71	0.68	0.56	0.92	0.60	0.89	0.94	
K <sub>2</sub> O	9.63	10.80	11.16	10.18	10.49	10.70	10.12	9.75	11.15	11.08	10.41	10.59	10.83	10.35	10.73	9.93	9.79	
Total	91.19	96.38	95.76	89.81	92.82	89.79	93.99	93.13	96.68	97.01	96.71	96.44	95.76	95.46	99.01	94.77	93.62	
$\frac{Na}{(Na+K)}$	0.045	0.046	0.039	0.064	0.091	0.077	0.074	0.076	0.052	0.062	0.094	0.090	0.073	0.120	0.079	0.120	0.128	

WW; Wangpiri granitoid, NW; Nonggeori granite, RR; Naedeogri granite, WM; Wangpiri Sn mine, SM; Soonkyeong Sn mine.

울진 및 상동지역에 분포하는 화강암질암들에 대한 암석지구 화학적 연구(Chon et al., 1988; 전효택 이덕원, 1987b; 이덕원, 1988)에 따르면 울진지역의 경우 왕피리화강암질암이 Sn(평균 함량 : 97 ppm), Li(396 ppm), Rb(677 ppm), Be(19.7 ppm) 및 F(3,300 ppm)이 부화된 특징을 보였으며, 상동지역의 경우 농거리화강암이 내덕리화강암에 비해 높은 Sn(평균함량 : 14.9 ppm), Li(121 ppm), Rb(323 ppm), Be(4.2 ppm) 및 F(960 ppm)함량과 낮은 Ba/Rb, Li/K, K/Rb 및 Mg/Li 값을 보여 왕피리화강암질암과 농거리화강암이 합주석화강암으로서의 지구화학적 특징을 보였다. 또한 이덕원(1988)에 의해 제시된 특수화지수(specialization index = log(Li×Rb×Be×F×Sn))를 이용한 연구결과에서도 왕피리 및 농거리화강암이 9 이상의 높은 값을 보여 주석광화작용과 관련된 생산성 심성암으로 분류되었다.

대자율 측정결과 농거리, 내덕리, 왕피리화강암질암들은 티탄철석계열(티탄철석계열의 경우;  $1 \times 10^{-4}$  emu/g 이하)로 분류되는 반면 분천화강편마암의 대자율은 편별기준 부근에서 최빈치를 보이면서 양계열의 영역에 걸쳐 있다(이덕원, 1988). 상동 및 울진지역의 주석광화작용의 시기를 알기위해 이들지역에 배태된

화강암질암들에 대한 K/Ar 지질연대 측정 연구가 많이 수행되었다. 상동지역의 경우 순경 Sn 광산의 광맥에 존재하는 백운모에 대한 K/Ar 지질연대 측정결과 각각 1547 Ma(진명식 김성재, 1988),  $1842 \pm 55$  Ma(Chon and Shimazaki, 1993)의 시기를 보여 상동지역의 주석광화작용의 시기는 선캄브리아시대인 것으로 밝혀진 바 있다. 반면 울진지역의 경우 왕피리 Sn 광산 및 동석 Sn 광산의 광맥내에 존재하는 lepidolite와 백운모에 대한 K/Ar 지질연대 측정결과 각각  $127 \pm 3$  Ma,  $158 \pm 3$  Ma,  $736 \pm 10$  Ma(박희인 등, 1988)의 시기를, 또한 유창 Sn 광산 갱내에서 발견된 왕피리화강암질암과 합석석 광맥중에서 산출되는 백운모는  $147 \sim 151$  Ma(Chon and Shimazaki, 1993)의 시기를 보여 매우 넓은 범위의 광화시기를 보이고 있어 울진지역의 광역변성작용, 중생대 화강암질암들의 관입 그리고 열수변질작용의 영향을 제한한 바 있다(Chon and Shimazaki, 1993).

백운모, 흑운모, 전기석 및 석석에 대한 광물화학

분천화강편마암, 왕피리화강암질암, 농거리 및 내덕리화강암

그리고 순경광산 페그마타이트, 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트를 구성하고 있는 광물 중 백운모, 흑운모, 전기석 및 석석에 대하여 각 입자마다 1~4 point를 선정하여 전자현미분석(EPMA)을 실시하였다. 백운모, 흑운모 및 전기석에 대한 EPMA의 분석조건은 가속전압 15 kv, 주사선반경 5 μm의 조건하에서 실행하였다(Jeol, JXA Super Probe 733 Link system software). 정량분석시 표준시료는 Si, Na 및 Al은 albite, Ti은 TiO<sub>2</sub>, Fe은 almandine, Mn는 rhodonite, Cr은 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K은 정장석, Ca은 wollastonite, Mg은 pyrope에 의하였다. 그리고 석석에 대한 EPMA의 분석조건(Jeol, Superprobe 8600 SX)은 가속전압 15 kv, 주사선반경 5 μm의 조건하에서 Sn은 cassiterite, Ti은 TiO<sub>2</sub>, Fe은 hematite, Mn는 metal Mn, Mg은 MgO, Ta은 metal Ta, Nb은 LiNbO<sub>3</sub>를 표준시료로 이용하였다.

**백운모**

백운모는 울진 및 상동지역 화강암질암, 순경광산 페그마타이트 및 왕피리광산 석영맥과 페그마타이트에서 공통적으로 산출되는 풍부한 광물로서 지구화학적 분화특성을 규명하는데 중요한 정보를 제공한다. 여기서 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트시료는 왕피리 동수곡 잠재터계곡 dump에서 채취된 시료를 지칭한다.

분석된 백운모는 왕피리화강암질암(WW), 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트(WM), 농거리화강암(NN), 내덕리화강암(RR) 및 순경 페그마타이트(SM)로 부터 선정되었다(Table 1).

왕피리화강암질암의 백운모의 산상은 조립질의 독립입자와 사장석을 교대한 세립질의 백운모 그리고 흑운모로부터 변질된 백운모(WW13, WW22) 등으로 구분된다. 이에 반해 농거리 및 내덕리화강암의 백운모의 산상은 비교적 신선한 조립의 백운모이다. 연구대상 암체에 포함된 백운모내의 원소들 가운데 두드러지게 함량차이가 나타나는 원소는 FeO, MnO, TiO<sub>2</sub> 등이다. 왕피리화강암질암중 백운모의 평균 FeO 함량은 4.83%로서 내덕리화강암 및 농거리화강암중의 백운모에서의 평균함량(각각 1.12% 및 1.32%)보다도 상당히 부화되어 있다. 특히 WW13과 WW22시료에서는 5%이상 높은 함량을 보이는데 이는 백운모가 흑운모로부터 변질된 시료이기 때문이다. 하지만 전반적으로 왕피리화강암질암이 농거리 및 내덕리화강암에 비해 높은 FeO 함량값을 보이는 이유는 백운모와 공존하는 Fe을 주성분으로 하는 흑운모나 전기석의 존재유무에 관계되는 것으로 사료된다. 즉 농거리 및 내덕리화강암의 경우 백운모가 흑운모나 전기석과 공존하며 따라서 대부분의 Fe은 이들 광물내에 포획되고 상대적으로 백운모에는 소량의 Fe이 포획되었기 때문이다. 그러나 왕피리광산의 석영맥과 페그마타이트내에서 산출되는 백운모의 경우 WM2와 같이 석영맥과 모암과의 경계부에서 산출되는 백

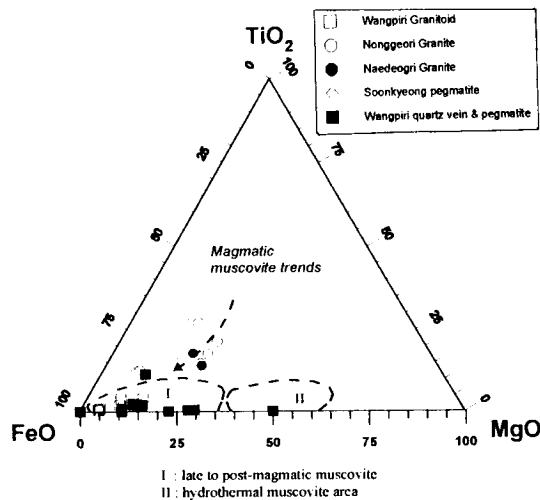


Fig. 2. Triangular TiO<sub>2</sub>-FeO(Total Fe)-MgO diagram of muscovites from the granitoids, quartz veins and pegmatites. The arrow shows the changing composition of the magmatic evolution of the granite (Monier et al., 1984).

운모 시료에서는 2.58%로 다소 높은 FeO 함량값을 보이나 이 시료를 제외한 나머지 시료에서의 FeO 함량은 0.56%로서 낮은 값을 보인다. TiO<sub>2</sub>의 경우 왕피리화강암질암(0.12%)이 농거리(0.41%) 및 내덕리화강암(0.30%)에 비해 낮은 함량값을 보인다. 반면 MnO의 경우는 왕피리화강암질암(0.28%)이 농거리(0.01%) 및 내덕리화강암(0.01%)에 비해 높은 함량값을 보여 이들 지역에 배대된 화강암질암의 암석시료에 대한 화학분석 결과와도 잘 일치한다. 울진지역의 경우 왕피리화강암질암과 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트에서 산출되는 백운모를 비교해 보면 왕피리광산의 백운모가 SiO<sub>2</sub>, MnO 함량값이 높게 나타나고, TiO<sub>2</sub>, FeO, MgO 함량값이 낮게 나타나 왕피리화강암질암에서 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트로 분화가 진행되었음을 알 수 있다. 또한 상동지역의 경우도 농거리 및 내덕리화강암에 비해 순경광산 페그마타이트가 낮은 FeO, MgO 함량값을 보여 순경광산 페그마타이트가 농거리 및 내덕리화강암에 비해서 분화가 더욱 진행된 것임을 알 수 있다.

백운모의 팔면체자리의 Al을 치환하는 원소들중 Fe, Mg, Ti 등 3성분도형을 이용하여(Miller et al.,1981) 암체에 포함된 백운모가 화성기원의 1차기원인가 혹은 2차기원인가를 규명하였다. 1차기원의 백운모는 2차기원의 백운모에 비해서 Ti, Al, Na이 부화되는 반면 Mg, Si은 적게 함유된다. 왕피리화강암질암과 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트에서 산출되는 백운모내의 Ti 함량은 낮게 나타나고 상동지역 순경광산 페그마타이트, 농거리 및 내덕리화강암의 백운모에서는 Ti 함량이 높게 나타난다. 따라서 울진지역의 왕피리화강암질암과 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트의 백운모는 2차기원으로, 상동지역 순경광산 페그

Table 2. Microprobe analysis of biotite from granitoids in the Sangdong and the Ulchin areas. (unit : wt.%)

	BB4	BB4	BB4	WW13	WW13	NN2	NN2	NN2	RR1	RR1
SiO <sub>2</sub>	36.63	35.53	35.91	39.81	39.61	35.00	32.44	32.13	33.35	34.25
TiO <sub>2</sub>	2.51	2.12	2.06	1.31	1.25	2.19	2.02	1.64	1.49	1.60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.46	16.53	16.90	22.33	22.31	20.42	19.96	19.44	20.27	21.12
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	25.61	25.37	25.64	18.88	18.94	26.15	25.94	27.27	25.82	25.15
MgO	7.68	7.49	7.50	1.90	1.94	4.63	5.09	5.09	5.44	5.29
MnO	0.15	0.20	0.24	0.63	0.76	0.15	0.24	0.15	0.22	0.19
CaO	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.10	0.05	0.06	0.09	0.01	0.05	0.02	0.12	0.16
K <sub>2</sub> O	9.50	9.41	9.55	8.86	8.93	9.28	9.26	9.20	8.79	8.77
Total	98.63	96.78	97.88	93.89	94.52	97.86	95.08	94.97	95.53	96.59
Number of cations on the basis of 22(O)										
Si	5.548	5.499	5.494	5.996	5.961	5.338	5.145	5.140	5.226	5.265
Al	2.452	2.501	2.506	2.004	2.039	2.662	2.855	2.860	2.774	2.735
Tet.	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al	0.487	0.515	0.542	1.961	1.919	1.009	0.876	0.806	0.969	1.091
Ti	0.287	0.248	0.237	0.149	0.142	0.251	0.241	0.197	0.177	0.186
Cr	0.000	0.000	0.000	0.003	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	3.244	3.283	3.281	2.379	2.384	3.335	3.441	3.649	3.383	3.233
Mn	0.019	0.026	0.032	0.081	0.098	0.020	0.033	0.020	0.029	0.025
Mg	1.734	1.729	1.712	0.429	0.436	1.053	1.204	1.215	1.271	1.213
Oct.	5.771	5.801	5.804	5.002	4.985	5.668	5.795	5.887	5.829	5.748
Ca	0.000	0.000	0.000	0.008	0.003	0.000	0.008	0.000	0.000	0.004
Na	0.016	0.031	0.017	0.018	0.027	0.004	0.018	0.008	0.037	0.049
K	1.835	1.858	1.864	1.704	1.831	1.806	1.873	1.879	1.758	1.720
Int.	1.851	1.889	1.881	1.730	1.861	1.810	1.899	1.887	1.795	1.773

BB; Buncheon granitoid, WW; Wangpiri granitoid, NN; Nonggeori granite, RR; Naedeogri granite

마타이트, 농거리 및 내덕리화강암은 화성기원의 1차기원으로 해석된다. Monier et al.(1984)은 화성기원의 백운모를 성인에 따라 마그마성, 후마그마성, 열수성으로 3분하였다(Fig. 2). 마그마성 백운모는 후마그마성 및 열수성 백운모에 비해 Ti이 풍부하고, 후마그마성 백운모는 열수성 백운모에 비해 Fe이 풍부하며 마그마성 백운모에 비해 Ti이 결핍된 특징을 보이는데 농거리 및 내덕리화강암 그리고 순경광산 페그마타이트의 백운모는 마그마성 백운모로, 왕피리화강암질암 및 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트의 백운모는 후마그마성 및 열수성 백운모로 분류된다. 또한 Monier et al.(1984)은 interlayer 자리의 성분에서 근거하여 백운모내 Na/(Na+K)비가 마그마 기원일때 0.06~0.12, 후마그마 기원일때 0.01~0.07, 열수 기원일때 0.04이하로 구분하였다. 연구결과 순경광산 페그마타이트(Na/(Na+K)비값; 0.073~0.128)와 농거리(0.064~0.091) 및 내덕리화강암(0.074~0.076)의 백운모는 마그마 기원으로 해석되는 반면 왕피리화강암질암(0.030~0.103)과 왕피리광산 석영맥 및 페그마타이트(0.021~0.094)는 마그마 기원에서 열수 기원까지 다양하게 나타나는데 이는 이지역에서 관찰되는 여러가지 변질작용을 받

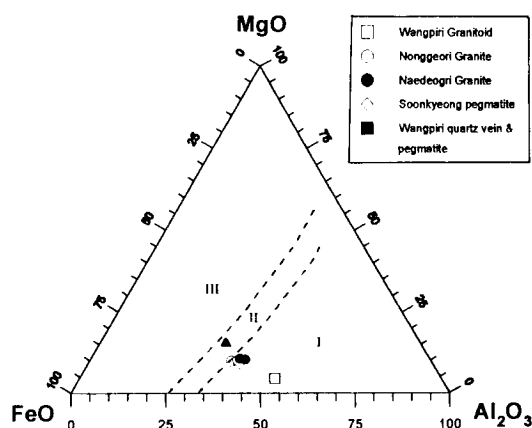


Fig. 3. Triangular MgO-FeO(Total Fe)-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diagram of biotite from the granitic rock. I; The field of biotite associated with muscovite and topaz, II; Unaccompanied by other mafic minerals, III; Biotites associated with hornblende, pyroxene or olivine.

영한다고 할 수 있다.

### 흑운모

분천화강편마암, 왕피리화강암질암, 농거리 및 내덕리화강암에 함유된 흑운모에 대한 EPMA 분석자료가 Table 2에 나타나 있다. 이들 화강암질암중의 흑운모들은 중·조립질로서 주변부는 견운모화되어 있기도 하며 특히 농거리화강암중의 흑운모는 철물질의 오침현상이 심하게 나타난다.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO(total)-MgO 삼각도(Nockolds, 1947)에 점시한 결과 분천화강편마암중의 흑운모가 흑운모 이외의 유색광물이 수반되지 않는 영역(II)의 경계부에 도시되는 것을 제외하면 대부분의 화강암질암 시료에서 분석된 흑운모들은 백운모 혹은 황옥과 공존하는 화학조성을 갖는 영역에 도시된다(Fig. 3). 이와같은 흑운모의 광물화학적 특징은 울진지역 왕피리화강암질암과 상동지역 농거리 및 내덕리화강암에서 풍부하게 산출되는 백운모의 암석기재적 특징과 일치한다. 흑운모의 경우도 백운모와 마찬가지로 왕피리화강암질암이 다른 화강암질암에 비해 낮은 TiO<sub>2</sub>, FeO, MgO 함량값과 높은 MnO 함량값을 보인다. 흑운모의 팔면체자리의 Al과 Ti, Fe, Mg 및 Mn의 관계를 보면 Al이 증가함에 따라 Ti, Fe 및 Mg은 감소하고 Mn은 증가하는 경향을 보인다(Fig. 4). 이러한 흑운모의 조성은 온도, 압력, 산소 및 물 플루가시비에 따라서 변하며 또한 흑운모와 공존하는 광물의 종류에 따라서도 변하게 된다. 일반적으로 흑운모내의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>성분은 흑운모와 공존하는 광물이 휘석, 각섬석, 흑운모만 존재, 백운모, 알루미늄 규산염광물로 감에 따라 증가한다. 포르투갈 Aregos 지역의 암석연구에 의하면(De Albuquerque, 1973) 흑

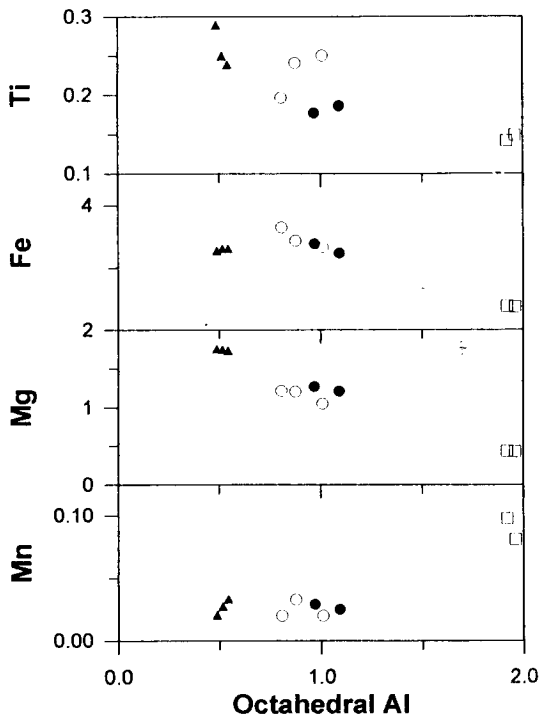


Fig. 4. Chemical data for biotite plotted in Ti, Fe, Mg and Mn vs. octahedral Al plot. Symbols are the same as in Fig. 3.

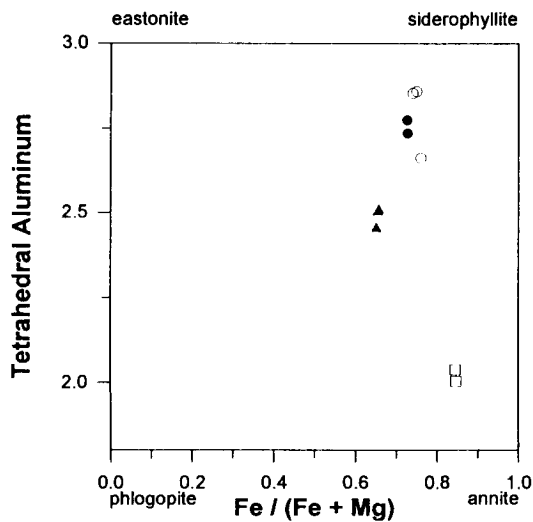


Fig. 5. Biotite in the granitic rocks projected onto the phlogopite-annite-siderophyllite-eastonite. Symbols are the same as in Fig. 3.

운모의 화학조성은 같이 수반되는 광물에 따라 달라지는데 각 섬석, 백운모 및 알루미늄 규산염광물로 감에 따라 흑운모의 Fe/(Fe+Mg) 및 Al 함량은 증가한다. 상동지역의 화강암들은

Table 3. Microprobe analysis of tourmaline from granitoids and pegmatite in the Sangdong area. (unit : wt.%)

	RRI	NN2	SM2	SM2	SM2	SM4	SM4	SM4	SM5	SM5	SM5
SiO <sub>2</sub>	36.05	36.84	36.78	36.84	36.74	36.52	36.82	36.53	36.49	36.67	37.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35.22	35.04	38.66	38.75	38.20	37.61	37.94	38.01	38.50	37.97	36.87
TiO <sub>2</sub>	0.30	0.49	0.06	0.02	0.06	0.29	0.16	0.19	0.01	0.03	0.15
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.06	0.00
FeO	8.84	9.19	7.57	8.23	9.88	9.01	8.13	8.54	8.50	8.67	8.70
MnO	0.00	0.01	0.31	0.60	0.40	0.18	0.18	0.23	0.29	0.14	0.06
MgO	4.14	4.19	0.15	0.07	0.15	0.77	0.60	0.74	0.45	0.34	0.96
CaO	0.26	0.21	0.06	0.02	0.00	0.07	0.08	0.05	0.08	0.05	0.06
Na <sub>2</sub> O	1.85	1.95	2.43	2.11	1.71	2.31	2.44	2.24	2.33	2.10	2.41
K <sub>2</sub> O	0.04	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Total	86.73	87.96	86.07	86.68	87.21	86.82	86.39	86.57	86.74	86.08	86.62
Number of cations on the basis of 29 oxygens											
Si	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Al	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Z-site	2.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Al	0.910	0.419	1.433	1.439	1.355	1.284	1.287	1.359	1.461	1.322	0.965
Ti	0.038	0.060	0.008	0.003	0.008	0.037	0.020	0.024	0.002	0.005	0.018
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.005	0.009	0.000
Fe	1.230	1.253	1.033	1.121	1.349	1.238	1.109	1.174	1.169	1.187	1.166
Mn	0.000	0.002	0.044	0.083	0.059	0.025	0.025	0.033	0.040	0.020	0.009
Mg	1.029	1.019	0.038	0.019	0.038	0.190	0.146	0.182	0.112	0.083	0.230
Y-site	3.206	2.752	2.556	2.664	2.809	2.774	2.587	2.771	2.790	2.627	2.389
Ca	0.048	0.037	0.010	0.056	0.001	0.012	0.015	0.009	0.015	0.010	0.012
Na	0.597	0.616	0.769	0.667	0.542	0.737	0.772	0.715	0.745	0.668	0.750
K	0.010	0.003	0.004	0.004	0.003	0.007	0.000	0.003	0.003	0.003	0.003
Y-site	0.655	0.656	0.784	0.727	0.546	0.756	0.787	0.728	0.762	0.681	0.764
Fe	0.545	0.551	0.964	0.984	0.972	0.867	0.883	0.866	0.913	0.934	0.835
Fe+Mg											

Cations formulae normalized to 6 silicons, RR; Naedeogri granite, NN; Nonggeori granite, SM; Soonkyeong Sn pegmatite.

포르투갈의 Aregos 지역의 백운모 + 흑운모 화강암질암과, 그리고 분천 화강편마암은 Aregos 지역의 각섬석 + 흑운모 화강암질암과 유사한 영역에 도시됨을 보인다(Fig. 5).

전기석

전기석은 대표적인 함붕소 규산염 광물로서 암석종의 전기석의 생성시기는 광석 광물들의 생성과 밀접한 관계가 있다. 전기석의 Fe/(Fe+Mg)비는 농거리 및 내덕리 화강암의 경우 각각 0.545, 0.551, 순경광산 페그마타이트에서는 0.913으로 나타나 농거리 및 내덕리 화강암중에 산출되는 전기석은 dravite-schorl의 고용체로서 해석되는 반면 순경 페그마타이트의 전기석은 schorl에 가깝다(Table 3). Fig. 6은 Ca-Fe-Mg의 삼각도형으로 농거리 및 내덕리 화강암의 전기석은 Ca이 고갈된 변성니토암에서 유래되는 전기석의 영역에 도시되며 순경광산 페그마타이트의 전기석은 Li이 고갈된 화강암질암이나 이와 연관된 페그마타이트 영역에

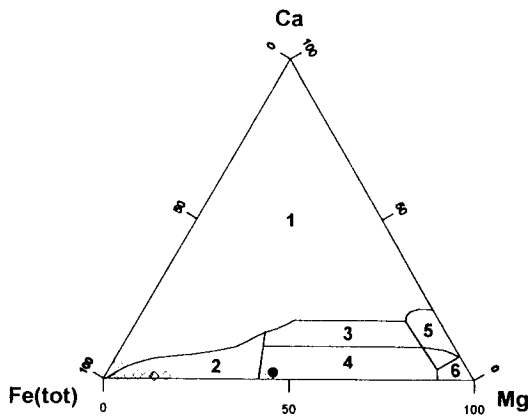


Fig. 6. Ca-Fe-Mg diagram of tourmaline from the Nonggeori, the Naedeogri granites and the Soonkyeong Sn pegmatite. The diagram proposed by Henry(1985). Symbols are the same as in Fig. 2. (1); Li-rich granitoids pegmatite and aplite, (2); Li-poor granitoids and associated pegmatite and aplite, (3); Ca-poor metapelite, calc-silicate rocks, (4); Ca-poor metapelite, quartz-tourmaline rocks, (5); Metacarbonates, (6); Metaultramafics

도시된다. 이는 순경광산 페그마타이트의 백운모에 대한 미량 원소 분석결과와도 잘 일치한다(Table 4). 즉 Table 4에서 보는 바와 같이 왕피리광산 페그마타이트의 백운모는 높은 Li함량(756~1590 ppm)을 보이는 반면 순경광산 페그마타이트의 백

운모는 낮은 Li함량(39~105 ppm)을 보인다. Jolliff et al.(1986)에 의하면 결정화가 진행되고 온도가 감소함에 따라 전기석의 Y위치에 포유되는 원소 중 Ti, Fe, Mg 등은 감소하며 Mn는 증가하는 것으로 연구되었는데 상기한 바와 같이 농거리 및 내덕리화강암과 순경광산 페그마타이트사이의 Ti, Fe, Mg 및 Mn성분의 차이는 분화가 화강암에서 페그마타이트로 진행됨을 의미한다고 할 수 있다.

석 석

광석광물을 대상으로한 광물학 및 광물화학에 대한 철저한 연구는 탐사, 채광 및 선광과정에 있어서 필수적이다. 단순한 광석광물이라 할지라도 조직관계, 조성분, 부성분 및 미량성분 원소에 대한 함량변화 연구를 수행함으로써 광석광물을 최대한으로 이용할 수 있다(Cabri, 1987). 화강암질 페그마타이트에서 산출되는 석석중의 Sn은 일반적으로 Fe, Nb, Ta, Mn 등의 원소에 의해서 치환되며 그 치환정도는 다양하다. Fe, Nb, Ta, Mn 등의 원소들은 석석의 다색성, 색깔, 비중, 자성 등에 영향을 미치는데 Voronina et al.(1978)과 Fabiani(1974)의 연구에 의하면 Fe, Nb, Ta, Mn 및 W의 함량이 증가할수록 색깔은 짙어지고, 비중과 대자율은 증가한다. 일반적으로 석석은 작고 비균질한 포유물들을 많이 포함한다.

상동지역 순경 Sn 광산과 울진지역 왕피리 및 유창 Sn 광산

Table 4. Chemical composition of muscovite, lepidolite and zinnwaldite selected from the pegmatites. (unit : oxides : wt.%, trace : ppm)

Pegmatite type	Li* and Sn**(8)		Ta-bearing(9)		Be(35)		Mo(3)		barren(19)	
	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
TiO <sub>2</sub>	0.06	0.03~0.07	0.18	0.11~0.28	0.12	0.02~0.46	0.33	0.30~0.37	0.07	0.00~0.15
FeO	6.52	3.29~12.17	4.70	4.18~5.22	3.89	2.52~5.41	3.70	3.54~3.87	2.22	1.47~3.45
MnO	2.51	2.16~3.46	0.14	0.08~0.21	0.11	0.04~0.23	0.10	0.09~0.10	0.02	0.01~0.04
MgO	0.03	0.01~0.11	0.28	0.09~0.49	0.23	0.03~0.60	0.67	0.61~0.77	0.35	0.21~0.56
CaO	0.01	0.00~0.03	0.01	0.01~0.02	0.03	0.00~0.30	0.003	0.00~0.01	0.01	0.00~0.06
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.19~0.34	0.52	0.39~0.60	0.56	0.40~0.69	0.40	0.29~0.47	0.64	0.55~0.86
K <sub>2</sub> O	9.04	7.46~10.64	9.61	6.09~10.86	9.13	6.95~10.99	8.83	8.07~9.27	8.88	6.12~10.75
Li	25375	22000~29000	869	517~1750	797	330~2100	857	780~900	161	54~590
Rb	19981	13390~23000	8580	4430~11670	7479	3750~10810	4000	3700~4200	5391	2900~7400
Ba	48	30~81	302	109~570	345	43~2847	728	361~1305	83	7~321
Sr	13.4	2.9~30.0	5.6	4.6~6.7	5.7	3.5~11.0	11.9	10.0~14.0	8.3	2.5~16.8
P	225	156~317	424	394~468	396	230~512	236	232~241	381	225~555
Nb	139	75~307	277	156~435	263	145~360	151	143~158	165	62~422
Ta	75	52~105	117	87~142	46.3	25.2~85.6	47.6	43.1~50.9	13.7	0.0~27.3
Mo	25	22~29	69	25~117	55	17~145	218	144~359	79	112~178
Ga	84	80~93	251	208~273	188	149~236	170	166~176	142	112~169
Zn	491	335~660	216	115~312	277	93~450	306	285~320	92	29~172
Cr	26	22~33	8	5~12	9	3~19	18	16~20	9	6~12
V	11	8~17	24	15~42	14	3~43	44	41~46	9	0~18
Ge	35	25~55	29	25~36	21	15~29	20	20~21	13	1~23

( ) ; Number of analyzed specimens, \*; zinnwaldite, \*\*; lepidolite.

**Table 5. Microprobe analysis of cassiterites from the Soonkyeong, the Wangpiri and the Yuchang Sn mines.**

		Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (wt.%)	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (wt.%)	FeO(wt.%)	MnO(wt.%)
Soonkyeong Sn mine (17 samples)	Range	0.54~4.83	0.00~1.64	0.00~0.98	0.00~0.36
	Mean	1.68	0.48	0.33	0.05
Wangpiri and Yuchang Sn mine (16 samples)	Range	0.48~5.36	0.00~1.24	0.00~0.67	0.00~0.85
	Mean	1.55	0.29	0.17	0.11

에서 산출되는 석석에 대한 육안 및 현미경관찰 결과 결정의 크기는 1 mm 이하의 미립에서부터 수 cm에 이르기까지 다양하다. 순경 Sn 광산의 경우 석석은 대개 albite, 백운모 및 석영으로 구성된 암석 시료에서 잘 산출되며, 거정의 석영, 백운모 및 전기석으로 구성된 시료에서는 잘 산출되지 않는다. 반면 왕피리 및 유창 Sn 광산의 경우는 석석이 석영맥에서 다량으로 산출되는 것이 특징적이다. 순경 Sn 광산에서는 Nb-Ta oxides가 자형 및 반자형의 비교적 결정형태를 갖춘 반면 왕피리 및 유창 Sn 광산에서는 Nb-Ta oxides가 수포모양의 불규칙한 모양으로 밀집하게 분포하는데 이는 석석구조로 부터 exsolution된 것임을 의미한다.

상동지역 순경 Sn 광산과 울진지역 왕피리 및 유창 Sn 광산에서 산출되는 석석에 대한 EPMA분석 결과가 Table 5에 나타나 있다. Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>함량의 경우 순경 Sn 광산과 왕피리 및 유창 Sn 광산에서 평균함량이 각각 1.68 wt.%, 1.55 wt.%으로 유사한 값을 보인다. Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>와 FeO함량의 경우는 순경 Sn 광산에서 각각 0.48 wt.%, 0.33 wt.%로 왕피리 및 유창 Sn 광산(각각 0.29 wt.%, 0.17 wt.%)보다 두배 가까이 높은 값을 보이는 반면 MnO의 경우는 왕피리 및 유창 Sn 광산에서 0.11 wt.%로 순경 Sn 광산(0.05 wt.%)보다 오히려 두배 가까이 높은 값을 보인다. 이러한 결과는 이들 지역에 배태된 화강암질암과 맥석광물에 대한 화학분석 결과와 동일한 양상을 보인다.

## 결 론

국내의 주석광화지역인 강원도 상동지역과 경상북도 울진지역에 배태된 화강암질암과 페그마타이트에서 산출되는 백운모, 흑운모, 전기석 및 석석에 대한 광물화학적 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

상동지역에 분포하는 희유금속 페그마타이트 광상인 순경 Sn 광산과 울진지역에 분포하는 희유금속 페그마타이트 광상인 왕피리 및 유창 Sn 광산에서 산출되는 맥석 및 광석광물인 백운모, 흑운모, 전기석 및 석석에 대한 광물화학적 연구 결과 울진지역 페그마타이트가 상동지역 페그마타이트에 비해서 MnO가 부화되고 TiO<sub>2</sub>, FeO, MgO가 결핍된 광물화학적 특징을 보여준다.

이러한 지구 화학적 특징은 이들 지역에 분포하는 농거리 및 내덕리화강암과 분천화강편마암 및 왕피리 화강암질암에 대한 지구화학적 특징과 잘 일치한다.

상동지역 및 울진지역에 분포하는 화강암질암들과 이들 화강암질암들과 공간적으로 밀접한 관계가 있는 순경 및 왕피리 Sn 광산 페그마타이트에서 산출되는 백운모, 전기석에 대한 지구 화학적 연구 결과 페그마타이트가 화강암질암들에 비해 낮은 TiO<sub>2</sub>, FeO, MgO 함량과 높은 MnO 함량을 보여 화강암질암에서 페그마타이트로의 분화의 특징을 보였다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단 전략광물자원연구센터의 지원으로 수행되었다.

## 참고문헌

- 김수영 (1988) 순경 페그마타이트와 이와 수반된 주석광물에 대한 성인적 연구. 연세대학교 이학박사 학위논문, 163p.
- 문상호 (1990) 울진지역의 석광화작용에 관한 연구. 서울대학교 이학박사 학위논문, 184p.
- 박희인, 장호관, 진명식 (1988) 태백산지역내 광상의 생성연령. 광산 지질, v. 21, p. 57-67.
- 이덕원 (1988) 상동-울진지역의 주석광화작용과 관련된 화강암류의 암석지구화학적 특징과 탐사에의 응용에 관한 연구. 서울대학교 공학박사 학위논문, 153p.
- 전효택, 이덕원, 홍영국, 김문영, 전용원 (1986) 국내일부 선캄브리아 시대 화강암류의 주석함량. 대한광산학회지, v. 23, p. 62-71.
- 전효택, 이덕원 (1987a) 울진지역 주석광화작용과 관련된 화강암류의 다 원소 지구화학. 대한광산학회지, v. 23, p. 8-20.
- 전효택, 이덕원 (1987b) 상동지역 주석광화작용과 관련된 선캄브리아 시대 화강암류의 암석지구화학. 대한광산학회지, v. 24, p. 83-96.
- 진명식, 김성재 (1988) 순경 합주석 페그마타이트의 K-Ar연령. 광산 지질, v. 21, p. 171-174.
- Antipin, V.S., Kovalenco, V.I., Kuznetsova, A.I. and Persikova, L.A. (1982) Distribution coefficient for tin and tungsten in ore-bearing acid igneous rocks. *Geochem. Int.*, v. 18, p. 92-105.
- Cabri, L.J. (1987) The mineralogy of precious metals: new developments and metallurgical implications. *Can. Mineral.*, v. 25, p. 1-7.
- Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, v. 8, p. 173-174.
- Chon, H.T., Ri, D.W., Kim, M.Y., Hong, Y.K. and John, Y.W. (1988) Multi-element geochemistry of Pre-cambrian granitoids in relation to tin mineralization in Korea. in E. Zachrisson(ed.), *Proc. 7th IAGOD Symposium E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchandlung, Stuttgart*, p. 547-558.
- Chon, H.T., Shimazaki, H. (1993) K/Ar ages of tin mineralization in the Sangdong and Ulchin areas of Korea. in E.Y.T. Maurice(ed.), *Proc. 8th IAGOD Symposium E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchandlung, Stuttgart*, p. 323-330.
- De Albuquerque, C.A.R. (1973) Geochemistry of biotites from granites rocks, northern Portugal. *Geochim. Cosmochim. Acta.* v. 37, p. 1779-1802.



- Fabiani, L.V. (1974) Propriedades físicas de algumas cassiteritas. *Acta Univ. Carolinae-Geologica*, No. 1, p. 45-73.
- Flinter, B.H. (1971) Tin in acid granitoids: The search for a geochemical scheme of mineral exploration; in *Geochemical exploration 1970*(ed., R.W.Boyle & J.I. McGerrigle). *Can. Inst. Min. Metall.*, v. 11, p. 323-330.
- Jolliff, B.L., Papike, J.J. and Shearer, C.K. (1986) Tourmaline as a recorder of pegmatite evolution: Bob Ingersoll pegmatite, Black Hills, South Dakota. *Amer. Mineral.*, v. 71, p. 472-500.
- Manning, D.A.C. (1986) Contrasting styles of Sn-W mineralization in peninsular Thailand and SW England. *Mineral. Deposita*, v. 21, p. 44-52.
- Miller, C.F., Stoddard, E.F., Bradfish, L.J. and Dollase, W.A. (1981) Composition of plutonic muscovite: genetic implications. *Canadian Mineral.*, v. 19, p. 25-34.
- Monier, G., Mergoil-Daniel, J. and Labernardière, H. (1984) Générations successives de muscovites et feldspaths potassiques dans les leucogranite du massif de Millevaches (Massif Central français). *Bull. Min. ral.*, v. 107, p.55-68.
- Nockolds, S.R. (1947) The relation between chemical composition and paragenesis in the biotite micas of igneous rock. *Am. J. Sci.*, v. 245, p. 401-420.
- Tauson, L.V. and Kozlov, V.D. (1973) Distribution functions and ratios of trace element concentrations as estimators of the ore-bearing potential of granites; in *Geochemical Exploration 1972*. *Inst. Min. Metall.*, London, p. 41-52.
- Voronina, L.B., Gaydukova, V.S., Dobrobolskaya, N.V. and Korovushkin, V.V. (1978) Forms of occurrence of iron in cassiterite. *Geochem. Int.*, v. 10, p. 128-143.

---

1995년 1월 6일 원고접수