Econ. Environ. Geol.
Vol. 32, No. 3 p. 227-236, 1999.

대유 페그마타이트광상의 광물조성과 K-Ar 연대

신 홍 자*

Mineral Chemistry and K-Ar Age of the Daeyou Pegmatite Deposit

Hong-Ja Shin*

ABSTRACT: The Daeyou pegmatite mine is located at the central western part of the Korean peninsula. Geology of the mine area consists mainly of pre-Cambrian granite gneiss and leucocratic gneiss which are intruded by Mesozoic granites. The pegmatite deposits occur within granite gneiss. Most of pegmatites contain quartz, perthite, microcline-perthite, microcline, sodic plagioclase and tourmaline as dominant minerals with accessory minerals of mica (muscovite, biotite, sericite) and pyrite. Tourmaline occurs as four types: 1) unaltered single crystals, 2) partially sericitized grains bordered by sericite assemblage, 3) tourmaline intergrown with feldspar and quartz grains, and 4) tourmaline introduced by sericite veinlet. On the basis of optical, X-ray diffraction and chemical analysis, the composition of tourmaline mostly falls on the schorl-elbaite join, in the composition of schorl end member from 0 to about 50%. In spite of the different occurrences, chemical composition of tourmaline shows the limited ranges as follows: SiO_2 (34.53~35.01 wt.%), Al_2O_3 (33.58~34.26 wt.%), FeO (13.73~14.17 wt.%), Na_2O (1.60~1.72 wt.%), MgO (0.56~0.72 wt.%), MnO (0.12~0.18 wt.%), CaO (0.02~0.06 wt.%), K_2O (0.02~0.03 wt.%), TiO_2 (0.02~0.05 wt.%) and Cr_2O_3 (0.02~0.03 wt.%). K-Ar ages of the muscovite and sericite fall between 1010±15 and 1074±16 Ma and between 161.56±3.09 and 161.67±3.09 Ma, respectively. This means that hydrothermal alteration occurred during middle Jurassic, whereas the pegmatite was initially formed during the late Proterozoic age.

서 론

한반도 페그마타이트는 대부분 공간적으로 선캠브리아시대의 화강암 및 화강편마암과 연관되어 발달하고 있다. 페그마타이트의 산상과 성인에 대하여 국내외에서 많은 연구와 해석이 있었으며 (Shimakin, 1983; Cerny, 1985; Moller, Morteani, 1987; 오민수, 1988; 김수영, 1988, 서정율, 1990, 문상호, 1990, 전효택, 손창일 등, 1995), 특히 손창일 등 (1995)에 의해 희유금속을 함유하지 않는 비생산성 (barren) 페그마타이트와 Be, Li, Sn 및 Ta을 수반하는 희유금속 (rare-metal) 페그마타이트 사이의 지구화학적 연구가 수행된 바 있다.

한반도에서 산출되는 페그마타이트내의 전기석에 관한 연구로는 철원, 금화지역의 beryl를 함유한 희유금속 페그마타이트광상의 지구화학적 연구 (오민수 등, 1988), 무주지역의 Nb-Ta 페그마타이트광상과 단양지역의 Li 페그마타이트 광상에 대한 광물학적 연구 및 지구화학적연구 (김수영, 1990)가 있다. 또한 상동 및 울진지역 화강암질암과 페그마타이트의 광물화학 (전효택, 손창일, 1995) 등에 대해 보고된 바 있다.

대유 페그마타이트 광산은 중생대 쥬라기의 대보화강암과 백악기의 불국사 화강암에 의해 관입되어 있는 선캠브리아기의 화강암질 편마암과 우백질 화강편마암내에 발달한다. 광산 부근의 지질, 페그마타이트내의 장석 및 석영의 품위 등에 대하여는 대한광업진흥공사 (1989), 김대엽 등 (1989) 및 윤욱 (1993)의 연구가 있다.

본 연구에서는 대유광산에 분포하는 맥상의 페그마타이트를 대상으로 광물의 산출상태와 공생관계를 규명하

* Korea Institute of Geology, Mining and Materials (KIGAM), 30 Kajung-dong, Yusung-gu, Taejon 305-350, Korea, E-mail: shj@kigam.re.kr

고, 특히 페그마타이트와 밀접한 관계를 가진 전기석에 대하여 현미경적 연구, X-선 회절분석, 전자현미분석 등을 수행하여 광물의 물리화학적 특성을 검토하였다. 한편 페그마타이트내에 있는 백운모와 열수변질 광물인 견운모에 대한 광물학적 연구, K-Ar 연대측정 및 미량원소를 분석하였다. 이러한 결과로 이 지역에 분포하는 페그마타이트의 광물조성과 형성시기를 규명하였다.

지질 및 광상 개요

대유 페그마타이트 광상은 전북 장수군 계북면 임평리 (127° 36'E, 35° 48'N)에 위치하며, 광산 부근의 지질은 다양한 암상을 보이는 선캠브리아 시대의 소백산 편마암 변성암 복합체로 구성된다 (Fig. 1). 광산의 모암은 주로 흑운모 편마암, 우백질 편마암 및 화강암질 편마암으로서 중생대 화강암류와 페그마타이트 및 산성암맥에 의해 관입되고 있다. 광상 부근에는 북북서 방향의 불규칙한 산성 화산암맥이 여러개 발달되며, 편마구조는 N42°W의 주향과 79°SW의 경사를 나타낸다.

화강암질 편마암은 주로 석영, 사장석, 정장석 및 흑운모이며 녹니석, 백운모, 져어콘 등이 부성분광물로 수반된다. 흑운모 편마암은 가장 넓은 분포 면적을 차지하며, 광역변성작용을 받아 심한 재결정작용과 화강암화작용을 받았다 (홍승호, 윤욱, 1993). 주성분 광물은 석영, 칼리장석, 사장석, 흑운모이며, 부성분광물로서 백운모, 불투명광물, 스핀, 져어콘 등이 나타나고, 후기 화강암과의 접촉부에서는 석류석이 포함되기도 한다. 우백질 편마암은 흑운모 화강암의 크고 작은 포획체를 가지며, 구성광물로는 석영, 미사장석, 퍼어다이트, 칼리장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 각섬석, 불투명 광물, 녹니석, 인회석, 져어콘, 스핀 등이다. 반상 변정질 및 미르메카이트 (Myrmekite) 조직을 보이고 부분적으로 미약한 엽리구조를 보이기도 한다. 엽리의 방향은 주향 N10W~N30E 이며 경사는 60°~80°이다 (대한광업진흥공사, 1989). 설옥리층의 변성퇴적암류는 소규모의 석회암체로 나타나며 백색 결정질이고 방해석, 석영, 백운모, 불투명광물 등으로 구성되어 있다.

엽리상의 각섬석-흑운모 화강암은 석영, 칼리장석, 사장석, 흑운모, 각섬석, 불투명 광물 등으로 구성되며 엽리구조를 보인다. 본 지역에 분포하는 암맥류는 주로 페그마타이트맥과 안산암맥으로 구성되며 선캠브리아시대의 편마암류를 관입한다.

육십령 화강암 (양운모 화강암)은 육십령을 중심으로 대체로 원형으로 분포한다. 이 암석은 흑운모와 복운모를 모두 포함하며, 암체의 주변부에서는 반상구조를 보이기도 한다. 주 구성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 퍼어다이트, 흑운모, 백운모 등이며, 이차 내지 부성분 광물로는 녹렴석, 져어콘, 인회석, 불투명광물 등이 있다 (이병주 등, 1997).

페그마타이트의 구성광물은 거정의 석영, 장석, 백운모, 흑운모, 견운모 및 전기석이고, 안산암맥은 사장석, 탄산염광물, 휘석, 불투명광물, 정장석, 석영, 운모, 녹

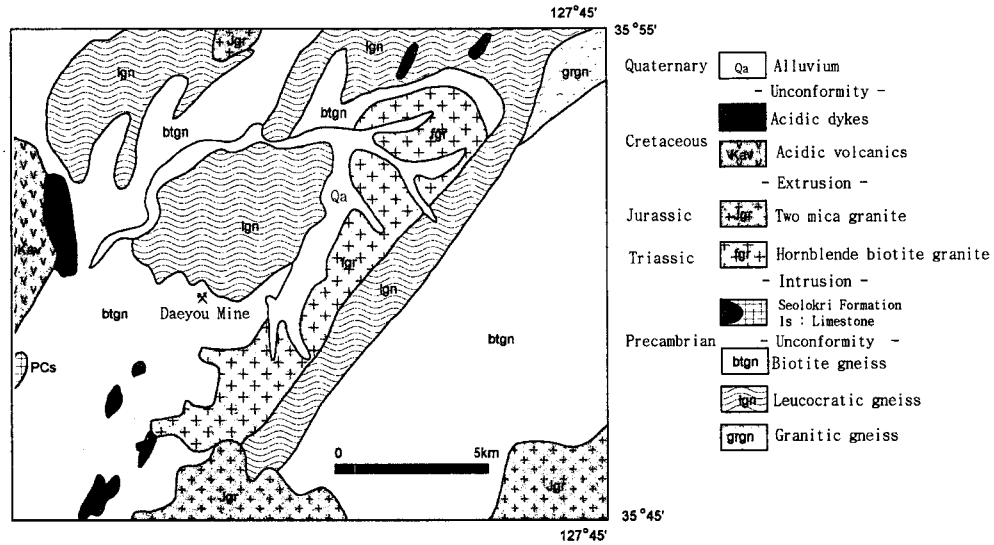

Fig. 1. Geologic map in the vicinity of the Daeyou pegmatite mine (modified from 1:250,000 Gwangju Sheet).

니석 등으로 구성되며 입간 (intergranular) 조직을 보인다.

김 대엽 등 (1989)에 의하면 본 지역의 페그마타이트 광상은 영구산을 중심으로 남서 방향으로 분포하는 8개의 암맥으로 구성된다. 8개의 노두 중 본 대유광산의 페그마타이트 암맥은 폭 20 m~50 m와 최대 700 m 이상의 연장이 확인된다 (대한광업진흥공사, 1989). 페그마타이트의 조성광물은 거정의 석영, 장석, 운모, 전기석으로서, 석영과 장석이 비교적 농집되어 나타나며 전반적으로 맥 좌측부에는 석영이, 우측부에는 장석이 우세하게 부존되는 양상을 보인다. 현재는 폭 50m, 심도 30 m, 연장 120 m의 대규모 채굴적에서 장석 (품위; SiO_2; 62.8~66.4%, Al_2O_3; 19.0~20.8%, K_2O; 0.8~13.0%, Na_2O; 3.1~13.8%, SK; 8-10)과 규석 (품위; SiO_2; 99.6~99.8%, Al_2O_3; 0.02~0.03%. CaO; 0.03%, Fe_2O_3; 0.01%; 대한광업진흥공사, 1989) 채광작업을 시행하고 있다. 본 맥의 주향과 경사는 N60~70E, 70SE 또는 N30~40E, 60~80E이다.

광물조성 및 광물화학

대유광산 페그마타이트의 광물조성은 주로 조립질의 석영, 장석 (perthite, microcline-perthite, microcline 및 sodic plagioclase), 백운모, 흑운모, 전기석으로 구성되며, 그밖에 부성분 광물로는 견운모, 불투명광물 (황철석), 알만딘 석류석, 래피돌라이트의 변종인 진왈다이트, 능철석, 방해석, 녹니석, 몬모릴로나이트, 고령토, 휘석, 형석, 인회석, 져어콘 등이 소량 관찰된다.

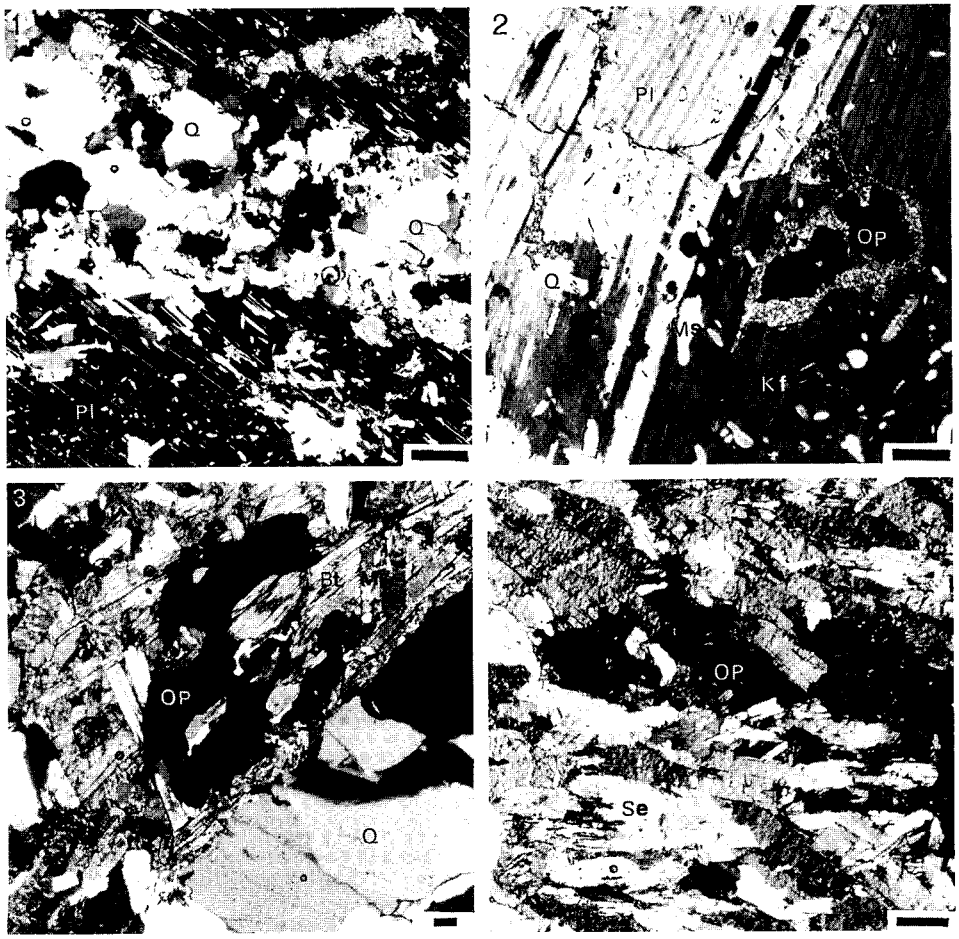

Fig. 2. Photomicrographs showing the mineral occurrences from the Daeyou mine. 1) Quartz (Q) intergrowth with plagioclase (Pl). 2) Plagioclase (Pl) replaced by K-feldspar (Kf) and muscovite (Ms). 3) Biotite (Bt) replaced by muscovite (Ms). 4) Relicts of opaque minerals (Op) in sericite (Se). Bar scales are 0.1 mm long.

광물의 산출상태 및 광물공생

석영

유백색 내지 백색의 석영은 가장 흔히 산출되는 광물로서 장석, 흑운모와 함께 다소 큰 결정으로 존재하나, 전기석과 함께 산출될때는 세립질 내지 등립질의 형태로도 나타난다. 또한 장석과 장석 입자 경계사이를 채우거나 세립질로 포획되기도 한다. 석영내에는 엽편상(flake)의 백운모 및 비정질의 녹니석이 포획되며 (Fig. 2-1), 간혹 장미석영도 관찰된다.

장석

주로 퍼어다이트, 퍼어다이트-미사장석, 미사장석, 알바이트로 산출되며 부분적으로 정장석도 소량 관찰된다. 전기석과 밀접한 관계를 가지며 알바이트 쌍정면을 따라 flake 상태의 백운모와 흑운모가 발달된다. 흔히 세립의 결정질 집합체를 이루는 견운모로 심하게 변질되어 있으며 일부는 몬모릴로나이트 및 고령토로 변질되기도 하였다. 간혹 장석의 가장자리 부분에 방사상의 집합체를 보이는 전기석이 산출되기도 한다.

칼리 장석은 알바이트화작용 등의 변질작용을 받거나 치환되었으며, 등립질의 석영, 불투명광물 (황철석) 및 탄산염광물 (능철석, 방해석)의 세맥을 포획하거나 변성작용을 받아 심히 굴곡되어 나타나기도 한다 (Fig. 2-2).

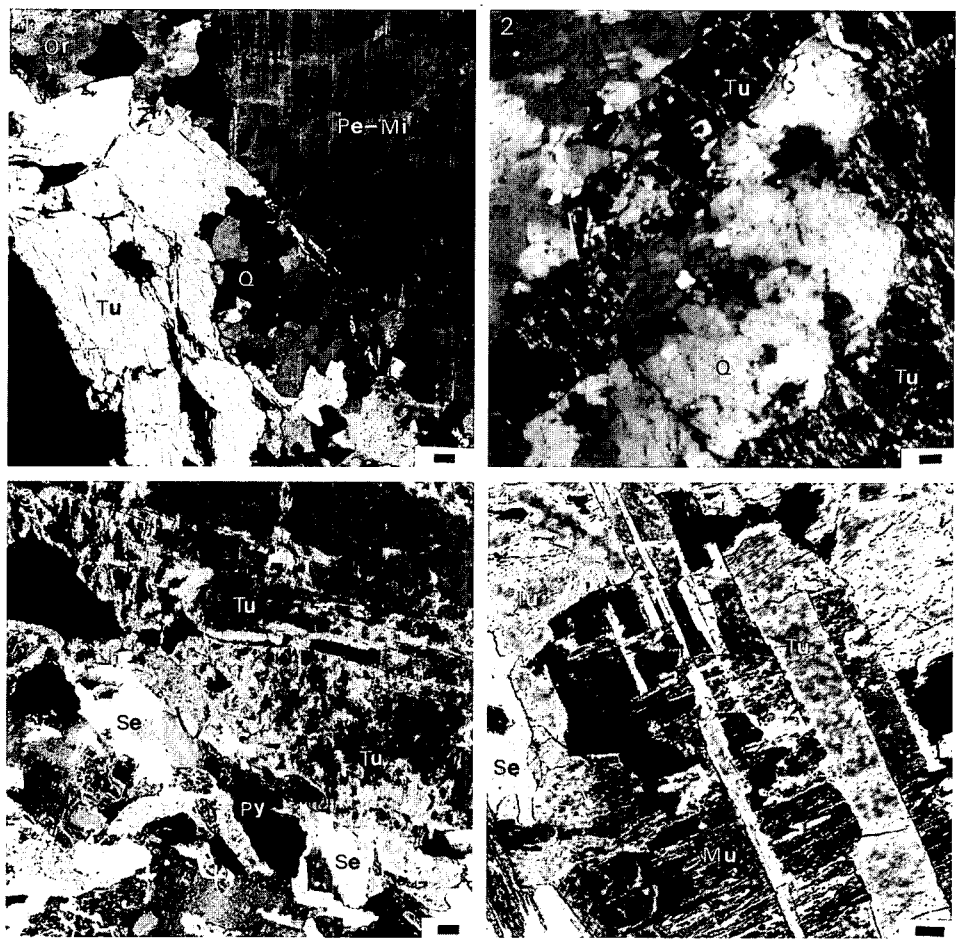

Fig. 3. Photomicrographs showing the occurrences of tourmaline from the Daeyou mine. 1) Tourmaline (Tu) coexisting with k-feldspar (Pe-Mi) and quartz (Q). Fine mouscovite veinlets are developed within tourmaline crystals. 2) Tourmaline (Tu) in quartz. 3) Tourmaline (Tu) partially altered to sericite (Se) and pyrite (Py). 4) Tourmaline (Tu) replaced by sericite (Se). Muscovite (Mu) are remained as relicts within tourmaline crystals generally along cleavage planes {110} and {100}. All bar scales are 0.1 mm long.

운모

주로 조립질의 백운모로 구성되며 장석, 석영과 intergrowth한다. 흑운모는 거정질 또는 flake 상태로 백운모와 공생되며 견운모로 변질되었다 (Fig. 2-3). 흑운모가 분해되면서 부성분 광물인 불투명광물 (황철석)이 이차적으로 생성되어 견운모내에 존재한다. 또한 능철석, 방해석, 인회석, 져어콘 등을 포획하며, 흑운모는 부분적으로 녹니석으로 변질 또는 교대된다.

전기석의 변질작용에 의해 주로 생성된 견운모는 그 변질정도에 따라 여러 형태를 보여주며, 세립질의 황철석과 능철석이 산점상으로 포획되는 것으로 보아 황철석화 및 탄산염화 작용을 받았다 (Fig. 2-4). 한편, 장석의 변질 내지 치환산물로 생성된 견운모는 몬모릴로나이트 및 고령토와 함께 집합체로 산출된다.

전기석

육안으로 볼 때 흑색 내지 흑회색의 단주 내지 장주상 결정으로 나타나며, 최대 수직축이 장경 15 cm로부터 1 cm 이하 까지 크기가 다양하다. 대부분 석영, 장석 및 백운모와 함께 공존되어 산출되며, 전혀 변질작용을 받지 않은 순수한 거정의 단결정 전기석, 견운모로 완전히 포위된 전기석, 장석 및 석영과 연속적으로 intergrowth되면서 부분적으로 변질된 전기석, 견운모화 작용을 심하게 받아 부분적으로 흔적만 남아 있는 전기석 및 견운모 세맥을 포획한 전기석 등 산출상

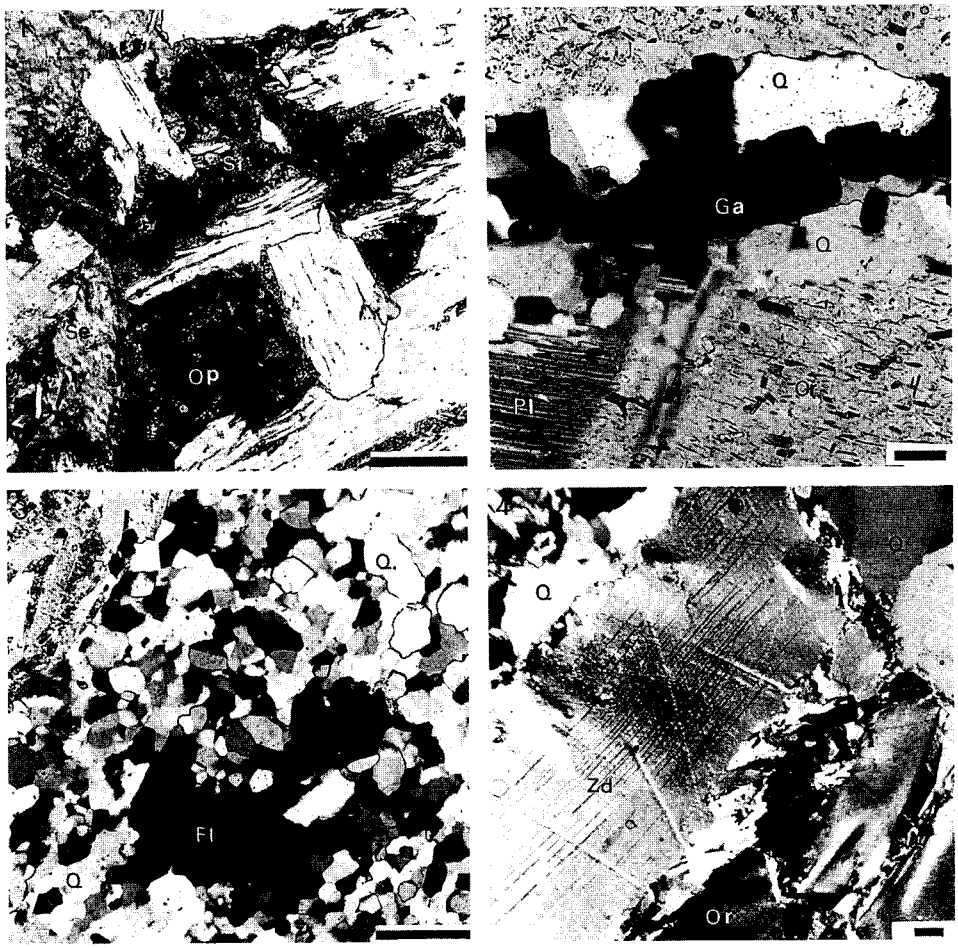

Fig. 4. Photomicrographs showing the occurrences of accessory minerals from the Daeyou mine. 1) Fine-grained opaque minerals (Op) in sericite (Se) flakes. Opaque minerals (pyrite) replaced by siderite (Si). 2) Almandine garnet (Ga), quartz (Q), orthoclase (Or) and plagioclase (Pl). 3) Fluorite (Fl) in equigranular quartz (Q). 4) Tabular zinnwaldite (Zd) grains intergrowth with quartz (Q) and orthoclase (Or). All bar scales are 0.1 mm long.

태가 다양하다 (Fig. 3-1~4).

현미경 open nicol하에서 전기석의 색은 주로 흑색이나 때때로 갈흑색, 청흑색, 황색, 녹색 내지 붉은색 등을 띄며, 다색성은 매우 강하고 강도도 다양하다.

현미경하에서 전기석의 일반적인 특징인 누대구조를 전혀 보여주지 않으며, 대부분 견운모로 심한 변질작용을 받고 있다. 두 광물은 변질작용시 결정구조에 의한 특별한 방향성을 나타내지는 않는다.

간혹 전기석은 백운모의 {110}와 {100} 벽개 방향을 따라 미세한 맥으로 잘 발달하고 있는데, 이는 전기석의 변질작용이 초기에 주로 벽개를 따라 진행되었음을 시사하고 있다.

X-선 회절분석은 High Resolution Multi-Purpose X-Ray Diffraction System (Philips Model X'PERT-MPD)를 사용하였으며, 분석조건은 Cu target, Ni filter를 사용, 가속전압 및 전류는 40 Kv/30 mA, receiving slit 0.3 mm로 5~55° 2θ 구간을 분석하였다.

X-선 회절분석 결과 전기석은 대부분 철 (Fe) 함량이 풍부한 schorl로 판명되었으나, 부분적으로는 Mn을 함유한 elbaite가 소량 존재함을 알 수 있다.

기타 부성분 광물

불투명광물로는 황철석이 주를 이루며 전기석의 변질산물인 견운모내에 세립질로 산재한다. 또한 황철석은 탄산염광물인 능철석으로 교대 또는 치환됨을 볼 수 있다 (Fig. 4-1). 몬모릴로나이트는 장석의 변질물로서 견운모, 고령토 및 망간 산화물과 함께 산출된다. 알만딘 석류석은 레피돌라이트의 변종인 진왈다이트와 함께 나타난다. (Fig. 4-2). 형석은 등립질의 석영내에 세립질로 포획된다 (Fig. 4-3). 한편 진왈다이트가 산출된다 (Fig. 4-4).

전기석의 광물화학

전기석은 전형적으로 붕소를 함유한 규산염광물로서, 일반식은 $XY_3Z_6(BO_3)_3Si_6O_{18}(OH)_4$로 알려져 있으며 X

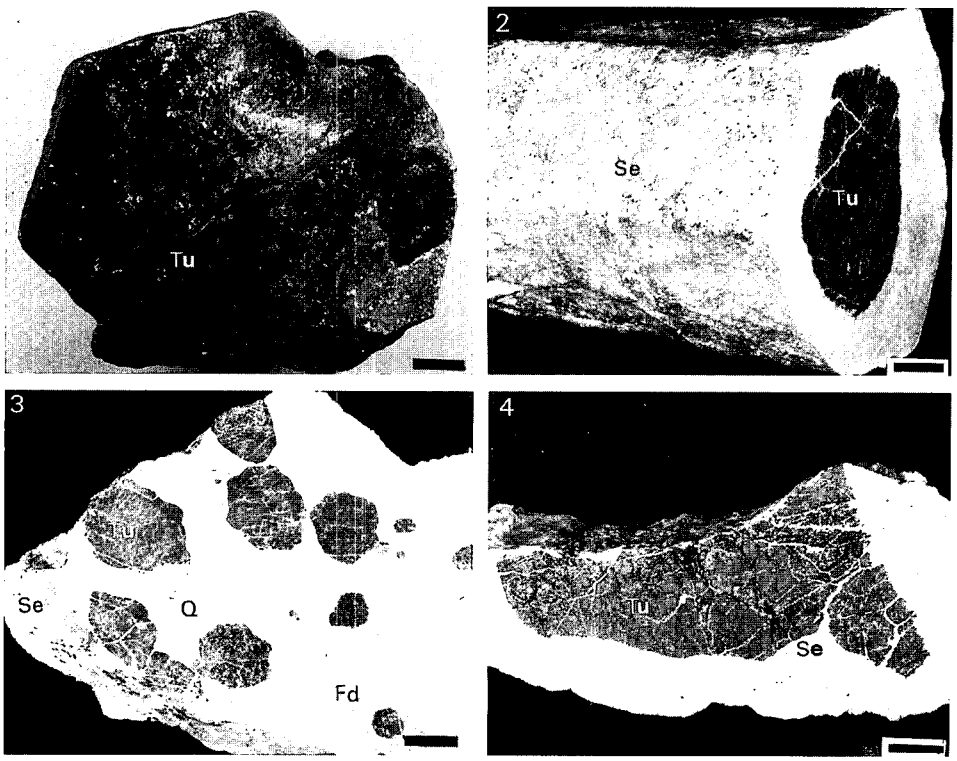

Fig. 5. Photographs showing the occurrences of tourmaline. 1) Type I : Single tourmaline crystal. Scale bar is 2.5 cm. 2) Type II : Partially sericitized tourmaline. Scale bar is 2 cm. 3) Type III : Tourmaline associated with feldspar and quartz in sericite. Scale bar is 3.5 cm. 4) Type IV : Tourmaline cut by sericite veinlets. Scale bar is 1.4 cm. Abbreviations : Tu-Tourmaline, Se; Sericite, Q; Quartz, Fd; Feldspar.

Table 1. Electron microprobe analyses of various types of tourmaline grains from the Daeyou mine. See text for the occurrence types.

		Type I (N=7)	Type II (N=6)	Type III (N=8)	Type IV (N=7)
wt.%	SiO_2	33.68~35.22	34.67~35.49	34.18~34.82	34.27~35.28
	Al_2O_3	31.05~34.25	34.01~34.39	30.43~34.29	33.80~34.53
	FeO	13.38~15.68	13.04~14.18	13.11~16.35	13.58~14.02
	Na_2O	1.52~1.87	1.53~1.73	1.53~2.19	1.46~1.66
	MgO	0.40~1.28	0.59~0.79	0.54~1.06	0.41~0.73
	MnO	0.0~0.34	0.0~0.30	0.15~0.23	0.14~0.25
	Cr_2O_3	0.0~0.13	0.0~0.14	–	0.0~0.22
	CaO	0.0~0.48	0.0~0.11	0.0~0.26	0.0~0.16
	TiO_2	–	0.0~0.15	–	0.0~0.13
	K_2O	–	–	0.0~0.09	0.0~0.13
	total	80.03~89.25	83.84~87.28	79.94~88.39	83.66~87.11
atomic %	Si	14.54~14.90	14.77~14.91	14.59~14.92	14.59~14.98
	Al	15.82~17.46	16.98~17.31	15.61~17.20	16.98~17.26
	Fe	4.83~5.66	4.70~5.05	4.74~5.95	4.87~4.98
	Na	1.26~1.57	1.25~1.41	1,27~1.85	1.21~1.37
	Mg	0.28~0.82	0.37~0.50	0.34~0.69	0.26~0.46
	Mn	0.0~0.13	0.0~0.11	0.0~0.08	0.05~0.09
	Cr	0.0~0.05	0.0~0.05	–	0.0~0.07
	Ca	0.0~0.22	0.0~0.05	0.0~0.12	0.0~0.08
	Ti	–	0.0~0,05	–	0.0~0.04
	K	-	-	0.0~0.05	0.0~0.07

자리에는 Na 성분이 주이나 때때로 K, Ca의 양이 불규칙하게 교대되고, Y자리는 (Mg, Fe^{3+}, Mn, Li, Al) 등으로 교대되기도 한다.

일반적으로 페그마타이트에 수반되는 전기석은 후마그마 단계 (Post magmatic stage) 동안 화강암의 초생변질작용에 의해 잔류용액과 vapor가 초기 성분을 치환시켜 생성되며, 기계적·화학적으로 안정하므로 암석의 상대적인 진화정도와 분화과정을 지시해 준다 (Henry, 1985).

앞서 언급한 바와 같이 본 연구지역에서 보여주는 전기석은 크게 4개의 유형으로 분류할 수 있다 (Fig. 5). 즉, (1) Type I: 전혀 변질받지 않은 순수한 거정의 단결정 전기석, (2) Type II: 부분적으로 견운모화 작용을 받아 견운모로 둘러쌓인 전기석, (3) Type III: 석영, 장석과 연속적으로 intergrowth된 전기석 및 (4) Type IV: 벽개 방향을 따라 견운모 세맥이 발달한 전기석이다.

전기석의 화학조성을 파악하기 위해 전자현미분석기 (EPMA)를 이용하여 분석을 실시하였다. 분석기기는 JEOL Superprobe JAX-8600SX, EDS mode는 Oxford Si (Li) detector 방식으로 하였으며, 분석의 적용전력은 가속전압 15 KeV, 전자빔 전류 3.0×10^{-9}A, 주사선 반경 2 μm 조건하에서 실시하였다. 산출 유형별 전기석의 분석결과는 Table 1에 정리되어 있다.

대유광산에서 산출되는 전기석의 주성분 원소의 함량 (wt.%) 변화는 SiO_2=34.53~35.01 wt.%, Al_2O_3=33.58~34.26 wt.% FeO=13.73~14.17 wt.%, Na_2O=1.60~1.72 wt.%, MgO=0.56~0.72 wt.%, MnO=0.12~0.18 wt.%, CaO=0.02~0.06 wt.%, K_2O=0.02~0.03 wt.%, TiO_2=0.02~0.05 wt.%, Cr_2O_3=0.02~0.03 wt.% 범위이며, 4가지 산출 유형별로 뚜렷한 함량변화를 보이지 않는다. 따라서 분석된 4가지 유형의 전기석 시료들이 조직에 있어 다소 차이를 보이긴 하나 EPMA 성분변

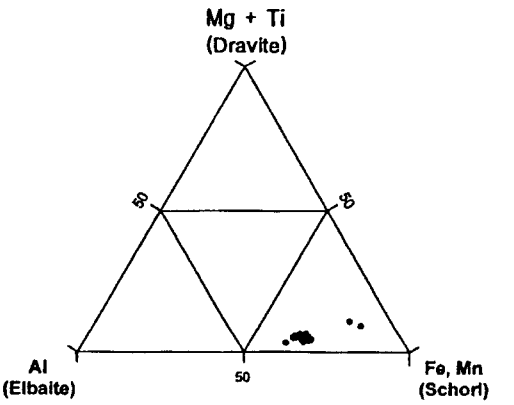

Fig. 6. Triangular diagram showing the Y-site occupancy in tourmalines from the Daeyou mine.

화 양상을 볼 때 비슷한 경향을 보이므로 같은 마그마에서 유래되었음을 시사한다.

한편, Y위치에 점유되는 원소로서는 Fe와 Mn의 함량이 상당히 높고 Mg, Al, Li의 값은 현저히 낮으므로 schorl end member에 가까운 조성을 보임을 알 수 있다 (Fig. 6).

백운모 및 견운모의 광물화학

백운모의 경우 순수한 단결정 입자를 선택하여 60~80 mesh 이하로 분말화 한 후 흡착된 이물질을 제거하기 위하여 ultra sonic cleaner를 사용하여 증류수로 세척하였다. 견운모는 250 mesh 이하로 파쇄하여 수비법을 이용하여 분리하였다. 이렇게 준비된 시료는 미량원소 분석 및 K-Ar 연대측정에 사용하였다.

분말화된 시료는 테프론 용기에서 HNO_3, $HClO_4$ 및 HF를 각각 2:1:5 ml비로 차례로 섞은 혼합산을 가해 금속블록 (metal block)에서 가열하여 완전분해하여 시료용액을 제조하여 ICP 분석으로 여러 원소들의 분석 자료를 구하였다. 페그마타이트로부터 분리한 백운모와 견운모의 미량원소 분석 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이, 백운모의 경우 Al (17.83%), K (8.00%), Na (0.52%) 및 Sr (15 ppm) 함량이 견운모보다 비교적 높다. 반면에 견운모는 Ca (237 ppm), Fe (2.61%), Mg (0.19%), Mn (283 ppm), B (148 ppm), Li (811 ppm) 등의 함량이 백운모에 비해 높음을 알 수 있다. 특히 견운모의 Li 함량이 백운모 보다 매우 높게 검출되는 사실은 페그마타이트 생성 당시 가졌던 1차적 특성이라기 보다는 후기 변질작용 결과 생긴 2차적 특성으로 해석할 수 있다.

Table 2. Major and trace element contents of muscovite and sericite from pegmatite of the Daeyou mine.

	Muscovite	Sericite
Al (%)	17.83%	16.26%
K	8.00%	7.50%
Fe	1.52%	2.61%
Mg	0.72%	0.19%
Na	0.52%	0.25%
Li	0.40%	0.81%
Ti	0.17%	0.18%
Mn	0.14%	0.28%
Ga	0.14%	0.08%
B (ppm)	84	148
Zn	84	74
Ca	48	237
Sr	15	2
Cu	11	19
Ge	6	3
Tl	3	–
Zr	2	1
As	–	10
Pb	–	5
Cd	–	–
Co	–	–
Cr	–	–
Ni	–	–
Mo	–	–
Ba	–	–

K-Ar 연대

국내산 페그마타이트 형성 시기에 대한 자료는 상당히 미흡하다. 강원도 상동지역의 농거리 및 내덕리지역

Table 3. Available radiometric ages of pegmatites in Korea.

Locality	Methods	Age (Ma±1σ)	References
Yeonhwa	muscovite	1749±53	Yun and Silberman (1979)
Sangdong	muscovite	1790±18	Yun (1985)
Sangdong	muscovite	1673±20-1802±18	Yun (1985)
Sangdong	muscovite	1842±55	Chon & Shimazaki (1990)
Sangdong	muscovite	1843±55	〃
Ssangjeon	muscovite	1480-1700	Park *et al.*, 1988
Taebaeg	muscovite	1546.94±29.4	Jin & Kim, 1988
Taebaeg	sericite	187.80±4.19	〃
Ogbang	biotite	1183±36	Shimazaki & Chon (unpub.)
Wangpiri	muscovite	735.65±10.4	Park *et al.*, 1988
Uljin	muscovite	696-778	Moon (1990) Moon & Park (1990)
Ogbang	biotite	248±4-257±8	Park *et al.*, 1988; Shimazaki *et al.*, (1987)
Maewol	muscovite	173.7±6.33	Moon (1988)
Uljin	lepidolite	127±3-158±3	Park *et al.*, (1988)
Uljin	muscovite	179±6-183±6	Chon & Shimazaki (1993)

Table 4. K-Ar ages of muscovite and sericite from the Daeyou pegmatite mine.

Mineral	K (wt.%)	wt. (g)	36Ar (10^{-10}ccSTP/g)	40Ar* (10^{-8}ccSTP/g)	Age (Ma±1σ)
sericite	9.680	0.01103	32.532	6355.708	161.7±3.1
		0.01147	21.772	6351.244	161.6±3.1
muscovite	8.688	0.01219	105.955	49527.708	1074±16
		0.01169	105.355	45698.947	1010±15

의 Sn을 함유한 페그마타이트의 백운모 K/Ar 지질연대 측정 결과 1,546±29.4 Ma (진명식, 김성재, 1988), 1,842±55 Ma (Chon and Shimazaki, 1993), 1,790±18Ma (윤현수, 1985), 순경광상의 함 석석 페그마타이트내 백운모의 K/Ar 절대연령은 1,773~1,792 Ma (김수영, 1988) 및 연화지역은 1,749±53 Ma (Yun, Silberman, 1979). 경북 울진지역의 Sn을 함유한 페그마타이트 광산의 갱맥내에 존재하는 백운모에 대한 연대는 696~778 Ma (문상호 등, 1996)의 시기를 보여 국내 페그마타이트의 형성 시기는 주로 선캠브리아시대임이 밝혀진 바 있다.

반면, 박희인 등 (1988), 이덕원 (1988), Chon과 Shimazaki (1993)의 자료에 의하면, 울진지역의 유창 Sn 광산 갱내에서 발견되는 백운모와 리튬운모의 K-Ar 연령은 각각 179~183, 126~157, 147~151 Ma로서 쥬라기 중기 내지 백악기초의 지질시대를 보이고 있다. 한편, 강원도 철원군 매월광산의 페그마타이트내에 산출되는 거정의 백운모는 173.7±6.3 Ma 로서 쥬라기 화성활동의 산물로 밝혀진 바 있다 (문건주, 1988). 강원도 상동지역의 견운모의 K/Ar 지질연대 측정 결과 187.80±4.19Ma (진명식, 김성재,1988)의 시기를 보여주므로서 후 열수작용에 의해 생성되었다고 보고 하였다.

그러나 박 희인 등 (1988), 문상호 (1990), 문상호, 박희인 (1990)에 의한 페그마타이트내 백운모 등의 K-Ar 연령 연구결과 페그마타이트의 생성시기간에는 매우 큰 시간차를 보여 문제점이 제기되었다고 보고한 바 있다.

본 연구지역에 분포하는 페그마타이트의 경우, 거정으로 산출되는 백운모의 K-Ar 연령은 1010±15~1074±16 Ma 인 반면 전기석과 함께 산출되는 변질광물 견운모의 K-Ar 연령은 161.56±3.09~161.67±3.09 Ma이다 (Table 3). 따라서 페그마타이트의 형성 연대는 원생대 후기로서 역시 국내 대부분의 페그마타이트 연대인 선캠브리아시대로 추정된다. 그러나, 전기석 관련 열수 변질시기는 쥬라기 중기로서 페그마타이트의 형성시기와 큰 차이가 있음을 나타내고 있다.

결 론

대유 페그마타이트광상은 장석과 규석을 주로 생산하고 있으며 거정의 석영, 장석, 운모 및 전기석이 산출되고 있다. 전기석은 그 결정이 최대 장경 15 cm로 부터 1 cm 이하까지 그 크기가 다양하며 그 산출상태도 전혀 변질을 받지 않은 순수한 거정의 단결정 형태 (type I), 견운모로 완전히 포획된 전기석 (type II), 장석 및 석영과 연속적으로 intergrowth 되면서 부분적으로 변질된 전기석 (type III), 그리고 견운모로 심하게 변질되어 (type IV) 부분적으로 전기석의 흔적만 남아 있거나 견운모 세맥으로 도입된 전기석 등으로 다양하다.

전기석의 EPMA 분석 결과 다양한 산출상태에도 불구하고 광물조성의 변화는 뚜렷하지 않으며 대부분 shorl에 해당된다. 페그마타이트내에서 거정으로 산출되는 백운모의 화학조성은 전기석과 함께 밀접하게 관련된 견운모의 화학조성과 상당히 상이하고 견운모 중 Li 함량은 특히 높아서 페그마타이트 생성 당시의 일차적 특성이라기 보다는 후기 열수 변질작용에 의한 이차적 특성으로 해석된다. 이러한 사실은 백운모와 견운모의 K/Ar 연대 결과를 보아도 백운모는 1,010~1,074 Ma로서 페그마타이트의 형성연대가 원생대 후기인 반면 견운모는 161 Ma로서 변질시기가 쥬라기 중기임이 확인되었다.

참고문헌

윤현수 (1985) 함백분지 남부 및 기반지역에 분포하는 화강암질암류의 암석학적 연구. 연세대학교 박사학위논문.

전효택, 이덕원 (1987) 울진지역 주석광화작용과 관련된 화강암류의 다원소 지구화학. 대한광산학회지, 제24권, p. 8-20.

전효택, 이덕원 (1987) 상동지역 주석광화작용과 관련된 선캠브리아시대 화강암류의 암석지구화학. 대한광산학회지, 제24권, p. 83-96.

문건주 (1988) 매월장석광산의 페그마타이트내 유체포유물과 그 성인에 관한 모델 연구. Jour. Korean Inst. Mining Geol., v. 21, No. 4, p. 381-387.

진명식, 김성재 (1988) K-Ar age of the Ti-bearing peg-

matite in Sungyeoong Mine. Jour. Korean Inst. Mining. Geol. v., 21, No. 2, p. 171-174.
김수영 (1988) 순경 페그마타이트와 이와 수반된 주석광물에 대한 성인적 연구 : 연세대학교 이학박사 학위논문, 163p.
박희인, 장호완, 진명식 (1988) 태백산 지역내 광상의 생성연령. 광산지질, v. 21, p. 57-67.
오민수, 서정율 (1988) 철원 금화지역내의 희유금속광상조사연구. 희유 금속광물 조사 연구, 한국동력자원연구소, p. 1-56.
진명식, 김성재 (1988) 순경 함주석 페그마타이트의 K-Ar 연령. 광산지질, v. 21, p. 171-174.
이덕원 (1988) 상동-울진지역의 주석광화작용과 관련된 화강암류의 암석지구화학적 특징과 탐사에의 응용에 관한 연구. 서울대학교 공학박사 학위논문, 153p.
김대엽, 이형재, 조한익, 임현철 (1989) 경남·북 전남·북 지역 고품위 규석 광상 조사연구, 비금속광상조사연구, KR-89-2B-1, p. 54-60.
대한광업진흥공사 (1989) 한국의 광상 제9호, p. 267-540.
서정율, 김수영 (1990) 무주 및 단양지역 Nb-Ta-Be-Li 페그마타이트에 대한 광상 및 시추탐사 연구. 희유금속 광물자원 조사 연구. 한국동력자원연구소, KR-89-7A-1, p. 107.
문상호 (1990) 울진지역의 석광화작용에 관한 연구. 서울대학교 이학박사 학위논문. 184p.
홍승호, 윤 욱 (1993) 장계도폭 지질보고서, p. 4-9.
김수영, 문희수 (1994) 상동지역 페그마타이트 및 관계 화성암의 전기적 분화 특성. Econ, Environ, Geol., v., 27, p. 441-449.
손창일, 전효택, 전용원 (1995) 국내 일부 희유금속 페그마타이트의 지구화학적 특징. 한국자원공학회지, 제32권, p. 182-191.
전효택, 손창일 (1995) 상동 및 울진지역 화강질암과 페그마타이트의 광물화학. 자원환경지질, 제28권, p. 33-41.
이병주, 김정찬, 김유봉, 조등룡, 최현일, 전희영, 김복철 (1997) 광주 지질도폭 설명서, p. 22-75.
Cerny, P. (1985) Wodginite and associated oxide minerals from the peerless pegmatites, Pennington country, south Dakota. Am. Min., v. 70, p. 1044-1049.
Chon, H.T and Shimazaki, H. (1993) K/Ar ages of tin mineralization in the Sangdong and Ulchin areas of Korea, Proceedings of the 8th IAGOD Symposium (ed.Y.T. Maurice), p. 323-330.
Henry, D.J.F and Guidotti, C.V. (1985) Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral : An example of the staurolite-grade metapelites of NW maine. Am. Min., v. 70, p. 1-15.
Moller, P and Morteani G. (1987) Geochemical exploration guide for tantalum pegmatites : Econ. Geol., v. 82, p. 1888-1897.
Moon, S.H., Park, H.I., Edward M. Ripley and Lee, I.S. (1996) Mineralogic and stabe isotope studies of cassiterite greisen mineralization in the Uljin area. Korea, Econ. Geol., v. 91, p. 916-933.
Shimakin, B.M. (1983) Geochemistry and origin of granitic pegmatites; Geokhimiya, v. 11, p. 1520-1528.
Yun, S.K. and Silberman, M.L. (1979) K-Ar geochronology of igneous rocks in the Yeonhwa-Ulchin zinc-lead district and southern margin of the Taebaesan Basin, Korea; J. Geol. Soc. Korea, v. 15, n.1, p. 89-100.

1998년 12월 19일 원고접수, 1999년 4월 16일 게재승인.