

한국 알비타이트-그라이젠형 광상의 소개

Introduction of Several Albitite-greisen Type Deposits of Korea

유 장 한(Jang Han Yoo) · 고 상 모(Sang Mo Koh)* · 문 동 혁(Dong Hyeok Moon)

한국지질자원연구원 광물자원연구본부

(Mineral Resources Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea)

요약 : 울진지역 석석(Sn)광상은 선캄브리아기의 왕피리(분천)화강편마암을 모암으로 하는 페그마타이트에 배태되는 것으로 기재되었지만, 실질적 기원암으로서 후기의 우백질화강암체의 존재는 간과되었다. 또한, 함께 산출되는 리튬광체도 같은 화강암의 분화산물이며, 리튬 포함 광물은 테니오라이트로 확인된다. 경북 봉화와 강원도 영월의 건운모광상은 함백향사 일대에 위치하며, 모암은 각기 시대미상 및 선캄브리아기 페그마타이트 미그마타이트 및 홍제사화강암류로 기재되었으나, 이들도 고기 화강암류와 구분되는 후기 화강암류와 관련이 있다. 흑운모 및 녹니석류를 흔히 포함하는 고기 화강암류와 달리, 후기 화강암류는 알비타이트와 백운모-3T형 등이 많이 포함되는 것이 특징이다. 즉, 후기 화강암류는 K_2O 및 Na_2O 함량이 각기 1.71~6.38 및 0.13~8.03 wt%로서 알칼리 함량이 높지만, CaO는 0.05~1.21 wt%에 불과하며, 그라이젠화와 알비타이트화가 뚜렷하다. 경기도 강화섬의 선캄브리아기 경기편마암복합체를 관입한 대보화강암으로 추정되는 마니산화강암을 관입한 우백질 화강암체도 농집된 미사장석이 고령토화되었다. 태백산 일대는 광상형성에 유리한 탄산염암의 분포가 넓으며 기반암류와 구분되는 분화 후기의 알카리화강암류가 산재하므로, 주변의 중석, 휘수연 및 석석광상 등에 대한 재조명과 함께 희유금속류 및 희토류원소류의 확인이 기대된다.

주요어 : 테니오라이트, 우백질 화강암, 그라이젠화, 알비타이트화

ABSTRACT : Uljin cassiterite deposit had been known to be a pegmatitic origin derived from the Wangpiri (Buncheon) granitic gneiss of Precambrian period. Lithium ore also shows the same origin and its lithium bearing mineral was ascertained to be a taeniolite. But the presence of leucocratic granites which played the role of host rocks haven't been clearly designated yet in these provinces. Even though Bonghwa and Youngweol sericite deposits situated in the vicinities of Hambaeg syncline had been known to have their host rocks as Hongjesa Granites of Precambrian period and Pegmatitic migmatite of unknown age respectively. But younger leucocratic granites are characterized by more amounts of albite and sericite (muscovite-3T type) than those of the older granitic rocks which contain plenty of biotite and chlorites. Although the younger granites show rather higher contents of alkalis such as Na_2O (0.13~8.03 wt%) and K_2O (1.71~6.38 wt%), but CaO (0.05~1.21 wt%) is very deficient due to the albitization and greisenization. Manisan granite, which is assumed to be Daebo granite which intruded the Gyunggi Gneiss Complex was again intruded by leucocratic granite whose microclinized part changed into kaolins. Taebaegsan region shows a wide distribution of carbonate

*Corresponding author: +82-42-868-3106, E-mail: kohsm@kigam.re.kr

rocks which are especially favorable to the ore depositions. And the presence of alkali granites which formed in the later magmatic evolution are well known to be worthwhile to the prospections of various rare metals and REEs resources.

Key words : taeniolite, leucocratic granite, greisenization, albitization

서 언

국내에서 알비타이트-그라이젠에 의한 광상은 울진 통고산지역 석석(Sn)광상에 대한 연구(Moon, 1983; Moon and Park, 1990; 1994, Moon *et al.*, 1996)가 그라이젠형 광상의 첫 소개였으며, 비금속 광상으로서의 첫 소개는 연화광산에 인접한 경북 봉화군 소천면 대현리의 대현 건운모광상(Kim *et al.*, 1984)이다. 석석과 유사한 기원을 가지는 리튬광상과 함께 경기도 강화섬의 고령토광상도 그라이젠 기원으로 추정된다.

통상적으로, 그라이젠은 알비타이트와 함께 나타나기 때문에 알비타이트-그라이젠 광상으로 묶어 사용하는 경우가 많다(Smirnov, 1976). 독일에서 유래한 그라이젠이란 용어는 운모류와 석영립을 주로 하고 전기석, 토파즈 및 형석 등을 포함하는 우백질 화강암류를 기원으로 하며, 알비타이트는 러시아 동부 트랜스바이칼에서 유래하며 알바이트(albite)를 주로 하고 석영, 미사장석, 운모류, 각섬석 등을 반정류로 하는 화강암류이다. 이들은 카자흐스탄, 러시아 등 구 소련에서 흔히 기재되었으며, 말레이시아, 인도네시아, 중국 남부 및 북한에서도 보고된다. 교과서적 접촉변성 광상으로 알려진 영국 콘월-데본 화강암 기원의 고령토-석석광상도 그라이젠형 광상으로도 보고된다(Bristow, 1987).

본 연구는 다소 흔치 않은 국내 알비타이트-그라이젠형 광상의 지질 및 성인 등에 대해 견해를 달리한 연구에 대한 차이점 제기를 위해 본 저자의 부분적인 연구와 함께 과거 자료들을 종합하여 기재하였다.

리튬광상

지질

경북 울진 통고산 일대는 선캠브리아기 변성퇴적암류인 원남층, 동수곡층, 장군석회암 및 울리층 등을 관입한 왕피리(분천)화강편마암류(Kim *et al.*,

1963)를 석석광상을 배태한 페그마타이트의 모암으로 기재하였으며(Moon *et al.*, 1996), 최근 주목을 받는 광물자원의 하나인 리튬은 일체시대에 그 산출이 화강암류와 관련된 것으로 알려졌다(Hong, 1996). 십수 년전 폐광된 석석광상은 지하채광이 활발했었지만, 현재는 입항이 가능한 곳이 거의 없으며, 빈약한 석석광체를 포함하는 노두가 한두 군데에서 확인되는 정도이다. 석석광체가 수반하는 건운모의 K-Ar연대로 측정된 광화시기는 중기 중생대-초기 백악기이며(Moon *et al.*, 1996), 후기 화강암체의 존재는 기재하지 않았다. 통고산 일대 석석과 리튬광체는 화강암질 페그마타이트에서 확인되고 있지만, 알바이트, 백운모 및 정장석류를 포함하는 우백질 화강암이 이들 페그마타이트의 실질적인 모암으로 확인된다(표 1). 페그마타이트 외에도 알비타이트-그라이젠화에 따른 열수작용으로 석영이 농집되거나 석영-장석, 또는 석영, 장석과 정장석류, 그리고 소량의 건운모 등으로 구성된 우백질화강암류가 보암광산 주변에서 넓게 분포된다.

광상 및 광물

리튬을 수반하는 광체는 크게 두 가지 형태로서, 맥폭 1.5 m 이내의 맥상 페그마타이트 리튬광체는 석영·장석과 함께 2~3 cm 크기의 거정질 백운모편과 유사한 결정을 포함하거나, 각력암의 형태의 리튬광석을 포함하는 두 가지이다. 페그마타이트형 광체는 3~5 cm 두께와 5~10 cm 넓이의 다소 불규칙한 패취(patch)상으로서 베이지색 장석과는 구별이 쉽지만 석영과의 구별은 쉽지 않고 경도가 낮아 햄머로 긁히는 것이 특징이며, 2~3 mm 폭으로 석영맥과 호층을 이루기도 한다. 각력질 광체는 페블(pebble) 및 보울더(boulder) 크기의 리튬광석, 석영 및 장석류가 점토, 실트(silt), 샌드(sand) 및 그레놀(granule)입자 등의 고화가 덜된 유백-베이지색 석기(matrix)에 포함된다. 각력 광체는 미사장석 및 알바이트장석 농집부위와 장군석회암층이 협제한 세일 경계부의 저각도 스러스트(thrust)로

Table 1. Geology of the Uljin Sn and lithium deposits (revised from Moon and Park, 1996). And alkali granite which accompanied by pegmatite was suggested as a new host rock in these deposits.

	Jurassic-Cretaceous (?) Alkali granite with Pegmatites - intrusion -
	Wangpiri granitic gneiss - intrusion -
Precambrian	Yuli formation --- unconformity ---
	Jangun limestone Dongsugog formation Wonnam formation

생성되었으며, 단층을 증명하는 2~3 cm 두께, 7~10 cm 넓이의 판상 각력들이 평행 배열을 나타내며 석기는 고화가 덜된 상태이다. 광체는 옅은 회색, 진회색, 녹색, 베이지색, 분홍 등의 다양한 색상이며, 일부 석석(cassiterite)결정에 맥석(gangue)으로 수반되는 백색-베이지색 리튬광석을 제외한 대부분은 반투명한 상태이다. 이밖에 구 광산터에서 1~3 cm 이내의 검은색 석석결정을 수반하는 페그마타이트노두는 맥상이나 폐취상의 리튬광석을 수반하기도 한다.

광체의 기원암으로서 유백색의 알비타이트장석, 미사장석, 석영 및 백운모로 구성되거나, 석영 및 백운모로 주로 구성된 우백질화강암과 페그마타이트는 후기 화강암질 마그마의 알칼리치환작용으로 (Dewaele *et al.*, 2011; Kinnaird, 1984; Kuster, 2009; Webster *et al.*, 1997) 형성되었다. 또한, 우백질화강암류는 미약한 옆리구조를 보이지만, 보다 뚜렷한 유색광물 배열의 고기 왕피리화강편마암을 관입하였으며, 보암광산보다 높은 600여 m 이상 능선부에서 노두가 흔히 확인된다. 각력상 리튬광체는 고기 장군석회암을 관입한 우백질화강암과의 접촉부에 생성되었다. 석회암과 세일류로 구성된 장군석회암층이 불투수층으로 작용하여 화강암질 마그마의 치환작용이 일어나도록 열수 방출을 막는 덮개암(capping rock) 등 광상형성을 위해 필요한 지질조건이 있음을 보여준다(그림 1). 석석과 함께 리튬을 수반하는 대부분의 화강암류는 S-형으로서 반암동 및 휘수연을 산출하는 I-형 화강암류와 구분되며, 대부분은 흑운모와 백운모를 수반하는 복운모 화강암으로 엽리가 특징적이며, 대륙지각이나 퇴적암류의 부분용융 기원으로 생성되며, 그라이젠이 광화작용과 관련이 깊다(Guilbert and Park, 2007).

X-선 회절분석에 의하면, 페그마타이트맥 내의 리튬광석과 주변 전석 중에서 채취한 옅은 회색, 진회색, 녹색, 베이지색 등 여러 색상의 광석 중에는 리튬운모류에 속하는 테니오라이트(taeniolite)

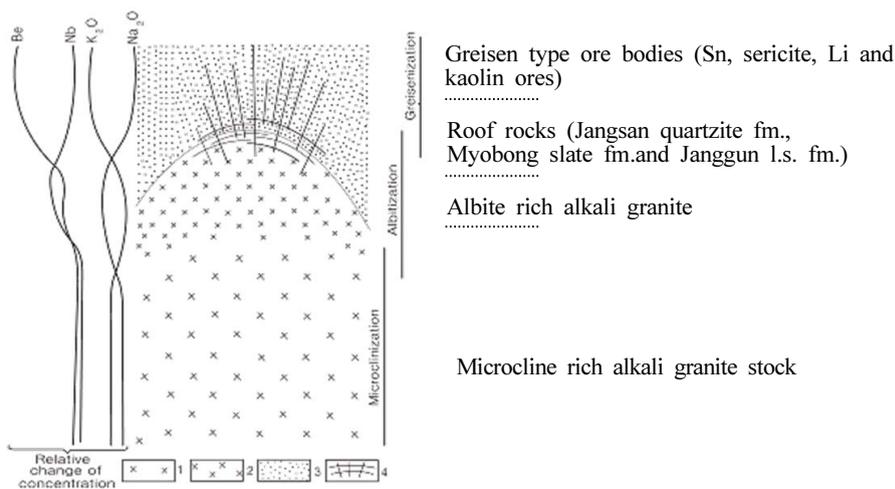


Fig. 1. Scheme of the lithologic conditions, formations and redistribution of certain elements and minerals during the metasomatic transformation of granites in the central region of Korea (revised and newly added from Smirnov, 1976). 1-microclinized granite, 2-albitite, 3-rocks of the roof, 4-greisen.

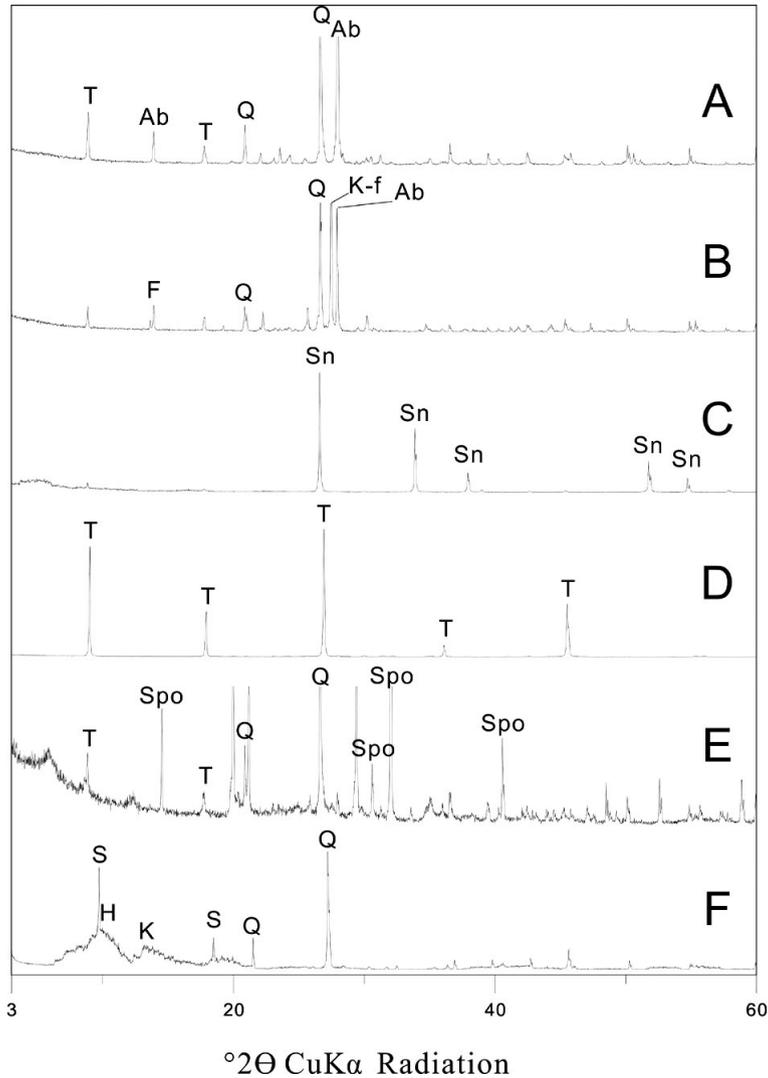


Fig. 2. XRD traces (Cu K α radiation) of lithium ores, kaolin and their related rocks in the study areas (S = sericite, Q = quartz, H = halloysite, K = kaolinite, F = feldspars, K-f = k-feldspars, Ab = albite, Spo = spodumene, T = taeniolite, Sn = cassiterite, H = halloysite).

가 확인(그림 2의 J, K)되며, 특징적 (00 ℓ) 피크의 d 값은 9.83, 4.94, 3.30, 2.48 및 1.99 Å 등이다 (LaLonde, 1963). X-선 회절분석에서 테니오라이트로 확인되는 시료는 페그마타이트에서 석석(Sn) 결정체를 포함하는 담황색의 맥석부분과 옅은 반투명한 담갈색의 백운모결정과 유사한 d 값과 강도(I/I₁)를 나타낸다(그림 2의 J). 후기 마그마분화과정에서 우백질 화강암류가 포함하는 장석류 및 철을 포함하는 운모류의 분해는 그라이젠화에 의한

것으로 기재한다(Stemprok, 1987). 테니오라이트는 구조적으로 활석, 백운모, 흑운모 및 레피도라이트와 유사하여 X-선 사진법(X-ray photograph)으로도 유사하게 확인되며, 점토광물의 2:1구조에서 팔면체 층(octahedral group)의 Al이 Li와 Mg로 채워지며, Al을 포함하지 않는 흔치 않은 독특한 운모류로 분류된다(Miser and Stevens, 1938). 특히, 테니오라이트는 운모류와 거의 같은 d 값을 나타내지만, 상대적 강도(I/I₁)차이에 의하여 이들을

Table 2. Geologies of the Youngweol and Bonghwa sericite deposits (revised from Kim *et al.*, 1963; Lee *et al.*, 1966). Pegmatitic migmatite constitutes the basement in the Youngweol area, and Hongjesa granite is also the basement of the Bonghwa area. And alkali granites were suggested as new host rocks in these deposits.

Jurassic-Cretaceous (?)	Alkali granites - intrusion -
Cambrian	Jangsan quartzite --- unconformity---
Precambrian	Pegmatitic migmatite (Hongjesa granite)

구분하며, 울진 및 견운모광상 일대에는 테니오라이트와 유사한 운모류인 백운모-3T형(muscovite-3T type)과 백운모-2M1형(muscovite-2M1 type)이 흔히 확인된다(Yoo and Chi, 2008). 또한, 각력암질 페그마타이트광체 상부의 세일층과의 접촉부에서 확인되는 1~2 cm 두께의 미고화 유백색물질은 리튬 페그마타이트에서 흔히 생성되는 리튬알미늄 규산염광물류인 스포듀민(spodumene $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$)으로서(그림 2의 K), 리튬을 포함하는 광물인 테니오라이트에 의한 2차적 생성물임을 암시한다. 페그마타이트의 실리카 부위는 주로 석영(low quartz)과 함께 극소량의 견운모류(백운모-3T형)를 포함하며, 장석부위는 주로 알비타이트이며 실리카 부위보다는 좀더 많은 양의 견운모를 포함한다.

견운모광상

지질

경북 봉화지역 대현광상에 대한 기존 연구에서 모암으로 기재한 홍제사화강암은 청-청회색의 미사장석이 우세하며(Na and Lee, 1978), 담회-회암회색 석영, 장석류 및 운모류의 편리구조에 의해 화강편마암으로 명명되거나, 울진광산 부근에서는 우백질 화강편마암의 특성을 기재하였지만(Kim and Lee, 1983), 대체적으로는 어두운 암색이 특징이다. 또한, 강원도 영월 견운모광상의 모암도 고기화강암질 암류로서 페그마타이트 미그마타이트를 광상의 모암으로 지적하였으나(Lee and Kim, 1998;

Oh *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 1986), 본 연구에서는 석영 및 장석류를 더 많이 포함하는 암주상 우백질 화강암체가 산재함을 기재하였다(표 2). 영월과 봉화지역 견운모광상 주변에서 확인되는 우백질 화강암체는 저반상으로 광범하게 분포하는 홍제사화강암류 및 페그마타이트질 미그마타이트 등 유색 광물류가 풍부한 고기 화강암류에 비하여 상대적으로 밝은 암색을 나타낸다.

광상 및 광물

고생대 변성퇴적암류와 홍제사화강암체를 관입한 암주상의 우백질 화강암은 분화를 거치면서 알비타이트와 미사장석류가 풍부하게 되고 지속적인 마그마 후기 알칼리치환작용으로 암체 상부(cupola)와 주변부(apophysis)에는 풍부한 K (potassium)에 의한 미사장석 농집 부위가 견운모광상을 형성한다. 견운모광체는 고기암과의 접촉부, 알칼리 화강암체의 상단부, 주변부 등에 괴상으로 산출되며 방향성이나 뚜렷한 연장성은 나타내지 않는다. 영월지역에는 장산규암층과 우백질 화강암체 경계부의 단층(thrust) 압쇄작용으로 화강암 기원의 미고결 점토층이 생성되기도 하였다.

X-선 회절분석에서 우백질화강암류는 대체적으로 석영과 알비타이트(미사장석류보다 풍부)를 주로 하고 소량의 백운모를 포함하며, 양질의 견운모광체는 대부분이 견운모로 변하였으며, 견운모화가 미비한 부분에서는 미사장석류가 확인되는 경향이 다. 영월지역 장산규암층 하부광체에서는 견운모와 함께 납석 및 고령토가 수반되어 봉화지역보다 다소 높은 온도 및 압력조건을 암시하며, 항내 우백질화강암체 내 단층점토는 고령토피크 강도가 다소 뚜렷하며, 소량의 스멕타이트류를 수반하므로 비교적 높지 않은 온도의 열수작용을 암시한다(Yoo and Chi, 2008). 현미경관찰에 의하면 홍제사화강암의 주구성광물은 석영, K-장석, 사장석, 견운모, 흑운모, 녹니석 등이며(그림 3의 A, B), 대현광상과 울진지역의 우백질 화강암류(그림 3의 C, D)는 사장석(알비타이트 및 퍼사이트), 석영과 함께 백운모를 흔히 포함하며, 흑운모와 녹니석류 등의 유색 광물류는 거의 확인되지 않으며, 마그마 치환작용이 진행됨에 따라 장석류와 석영류는 감소하고 견운모가 증가되는 경향이 다(그림 3의 E, F). 반면, 흑운모와 녹니석류가 흔히 관찰되는 홍제사화강암 및 페그마타이트질 미그마타이트에서 견운모화는

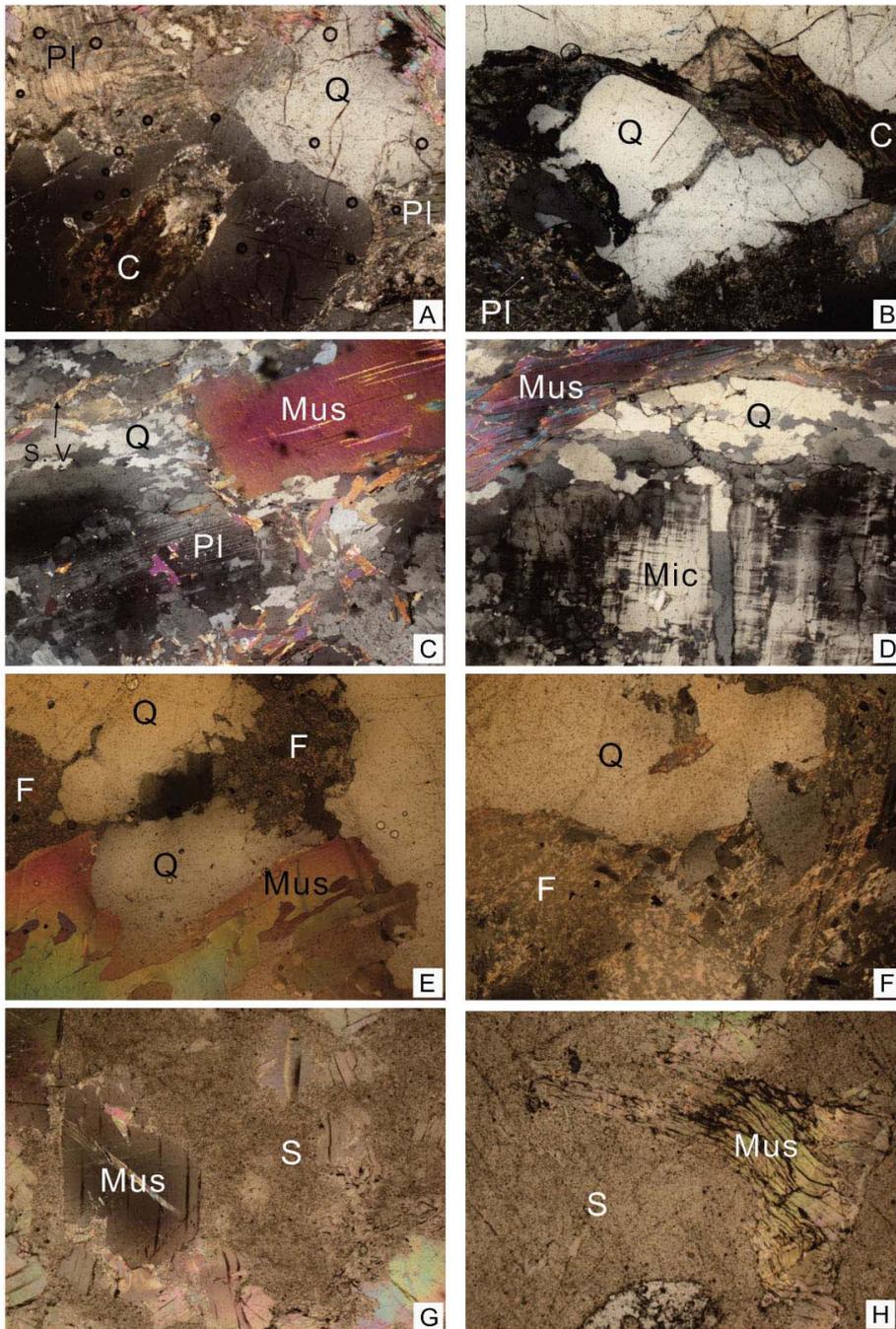


Fig. 3. ($\times 50$) Photomicrographs of the country rock, host rocks (leucocratic granites) and sericites in the Youngweol and Bonghwa areas. (A and B) Hongjesa granite with some chlorites: (C and D) Fine to medium grained leucocratic rock with some muscovite: (E and F) Leucocratic granite were partly changed into sericitized: (G and H) High grade sericite ores with muscovite flakes (S = sericite, Pl = plagioclase, Mus = muscovite, Q = quartz, C = chlorite, F = feldspars, Mic = microcline).

Table 3. Geology of the Ganghwa kaolin deposit. Alkali granite was suggested as a new host rock (revised from Yoo *et al.*, 1990).

after Jurassic (?)	Alkali granite - intrusion -
Jurassic	Manisan granite (Daebo gr. ?) - intrusion -
Precambrian	Gyunggi gneiss complex

확인되지 않는다. 양질의 견운모 광체는 석영 및 장석류가 거의 확인되지 않고 모든 미사장석류는 견운모화되었으며(그림 3의 G, H), 백운모편이 흔히 확인된다.

고령토광상

지질

경기도 강화군 길상면 길직리 및 온수리지역은 화강암질 편마암, 호상편마암 등으로 구성된 선캄브리아기 경기편마암복합체를 기반암으로 하고, 이들을 주라기 대보화강암으로 추정되는 마니산화강암이 관입하였으며, 그 후기에 암주상의 우백질화강암체가 관입하였다(표 3). 우백질 화강암체 상부 중 고령토화가 진척된 부분은 풍화도가 심하여 손으로 쉽게 부스러지는 정도의 약한 강도를 나타낸다.

광상, 광물

고령토광상은 경기편마암복합체를 대보화강암으로 추정되는 마니산화강암이 관입하고, 후기에 관입한 우백질화강암체 상부(cupola)에 농집되었던 미사장석이 고령토화한 것으로 추정된다. 고령토광체는 2~3 m에서 10여 m 내외의 현생퇴적층, 표토(regolith) 및 편마암 풍화대에 의하여 피복되었으며, 시료채취는 주로 인력에 의한 오거(auger)시추에 의하여였다(Yoo *et al.*, 1990).

표토 및 경기 편마암복합체하부 등에서 확인되는 양질 고령토광체는 X-선 회절분석에 의하면 석영, 견운모와 함께 고령토광물류(kaolin group)에 속하는 할로이사이트와 캐오리나이트를 수반하는 것으로 추정되며, 견운모는 백운모-3T 형에 속한다

(그림 3의 F). 회절분석에서 장석류가 거의 확인되지 않는 것은 견운모 및 고령토화에 의하여 소진된 때문이며, 고령토 광물류 (001) 피크가 넓게 나타나는 것은 토양층 및 고기 변성암류를 통과(percolation)한 우수와 지표수(meteoric water)의 순환 및 풍화 등에 의한 2차적 작용(supergene process)으로 결정도가 불량하게 되어 저면간격이 넓어진 것이다.

화학적 성분 분석

연구지역에 대한 분석치는 광체, 광상의 모암 및 주변의 기반암 등에 대한 기존 연구자료 중에서 선별적으로 취하여 인용한 주성분 10원소 값이다. 그리고 비교용 도표는 우백질화강암류의 후기 마그마 알칼리치환작용에 의한 알비타이트와 그라이젠화에 따른 광화작용 강약여부 추정을 위하여, 알비타이트화에 따른 Na의 증가와 Ca 감소, 그리고 그라이젠화에 따른 K₂O 증가 여부를 비교하기 위하여 SiO₂를 기준으로 세 가지 화학성분 증감을 비교하였다(표 4 및 그림 4). K₂O, Na₂O 및 CaO 성분의 상대적 비교에 의하면, 광상의 모암인 우백질화강암류는 그라이젠화가 알비타이트화보다 강하여 K (potassium)이, 가장 풍부하고 Na (sodium)도 부화되어 있으나, 후기 마그마 분화 시 알비타이트장석의 생성에 의해 Ca (calcium)은 상대적으로 결핍됨을 알 수 있다.

리튬광상

광상이 소재하는 일대의 분천(왕피리)화강편마암의 주성분 분석치는 SiO₂ 72.00~73.66%, Al₂O₃ 14.38~14.75%, Na₂O 2.63~2.93%, K₂O 5.42~5.38%, CaO 1.24~1.35% (Kim and Lee, 1986) 등이다(표 4 및 그림 4). 반면, 리튬광상의 모암인 울진지역 우백질화강암류의 K₂O는 4.07~4.69%로서 왕피리화강편마암류보다는 다소 낮지만, Na₂O (1.59~4.13%)는 다소 높으며, CaO (0.33~0.61%)는 아주 낮게(Moon and Park, 1994) 나타나므로, 후기에 관입한 화강암류의 알비타이트-그라이젠화 중에서 그라이젠화가 좀더 뚜렷하였으며, K (potassium) 함량이 Na (sodium)보다 우세하게 나타나는 것은 그라이젠화가 알비타이트화보다 우세하다는 것을 의미한다(Rub *et al.*, 1998). 이밖에 MgO와 TiO₂ 등도 결핍되어 나타나는 것이 Li, Sn

Table 4. Chemical analyses (oxides, wt%) of the lithium, sericite and kaolin ores and their related granitic rocks in the several albitite and greisen deposits.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Sample description	Reference
1	72.99	18.49	0.57	0.14	0.21	3.81	0.12	0.09	0.01	0.02	Youngweol sericite	(Yoo and Chi, 2008)
2	72.82	18.87	0.53	0.43	0.12	3.64	0.11	0.08	0.01	0.29		
3	73.81	15.41	1.37	0.36	0.30	2.45	4.51	0.07	0.08	0.10	Youngweol alkali granite	"
4	74.20	14.85	0.58	0.47	0.21	4.89	3.25	0.06	0.02	0.21		
5	72.30	18.97	0.66	0.50	0.11	3.38	0.26	0.07	0.01	0.38		
6	71.48	14.27	2.85	1.85	0.87	4.42	2.49	0.32	0.04	0.10	Emog granite	(Na and Lee, 1978)
7	69.30	14.78	3.38	2.70	1.14	4.09	2.70	0.39	0.04	0.13		
8	70.90	18.97	1.11	tr	0.85	5.33	0.18	-	-	-	Daehyun sericite	(Kim <i>et al.</i> , 1984)
9	73.26	15.90	1.14	tr	0.31	5.24	2.76	-	-	-		
10	62.16	24.73	1.25	tr	1.43	6.38	0.74	-	-	-		
11	72.00	14.38	0.15	1.35	0.07	5.48	2.93	0.13	0.05	0.21	Buncheon granite	(Kim and Lee, 1983)
12	73.66	14.75	0.69	1.24	0.24	5.42	2.63	0.05	0.03	0.26		
13	70.16	13.01	0.98	2.47	1.28	5.95	2.59	0.18	0.05	0.26	Hongjesa granite	"
14	71.10	14.90	1.33	1.81	1.41	3.35	3.54	0.31	0.03	0.05		
15	71.07	15.34	0.53	0.38	0.07	4.69	3.68	0.05	0.10	0.13	Uljin alkali granite	(Moon and Park, 1994)
16	74.08	14.63	0.36	0.33	0.70	4.07	1.59	0.10	0.07	0.11		
17	72.86	14.03	0.34	0.61	0.07	4.61	4.13	0.03	0.03	0.09		
18	69.22	15.07	3.55	0.04	0.1	5.44	0.25	0.04	0.18	0.12	Ganghwa kaolin	(Yoo <i>et al.</i> , 1990)
19	72.44	14.7	3.05	0.02	0.12	5.38	0.25	0.08	0.01	0.11		
20	70.04	15.34	3.01	0.01	0.08	5.76	0.24	0.06	0.02	0.11		
21	73.00	14.58	0.45	0.68	0.16	4.63	3.52	0.13	0.02	0.02	Ganghwa alkali granite	"

및 W을 포함하는 화강암류의 특성이다(Srivastava and Sinha, 1997; Teng *et al.*, 2006).

견운모광상

홍제사 및 이목화강암의 주성분 함량은 SiO₂ 69.30~72.42%, Al₂O₃ 13.01~14.90%, Na₂O 2.49~3.54%, K₂O 3.35~5.95%, CaO 1.81~2.70% 등이며(Kim and Lee, 1986; Na and Lee, 1978), 주변에 분포하는 우백질화강암류에서 K₂O (5.24~6.38%)는 뚜렷하게 증가되었으며, Na₂O (0.18~

2.76%)는 다소 감소하고, Ca는 tr~0.43로서 아주 적은 경향(Kim *et al.*, 1984)을 나타낸다. 화학성분 분석결과에서 후기관입 화강암류의 알비타이트-그라이젠화 중에서 그라이젠화가 보다 강력하였다.

고령토광상

광상 주변에서 채취한 신선한 우백질화강암의 주성분 함량은 SiO₂ 73.00%, Al₂O₃ 14.58%, Na₂O 3.52%, K₂O 4.63%, CaO 0.68% (Yoo *et al.*, 1990) 등으로서 그라이젠화에 따라 미사장석이 풍부해진

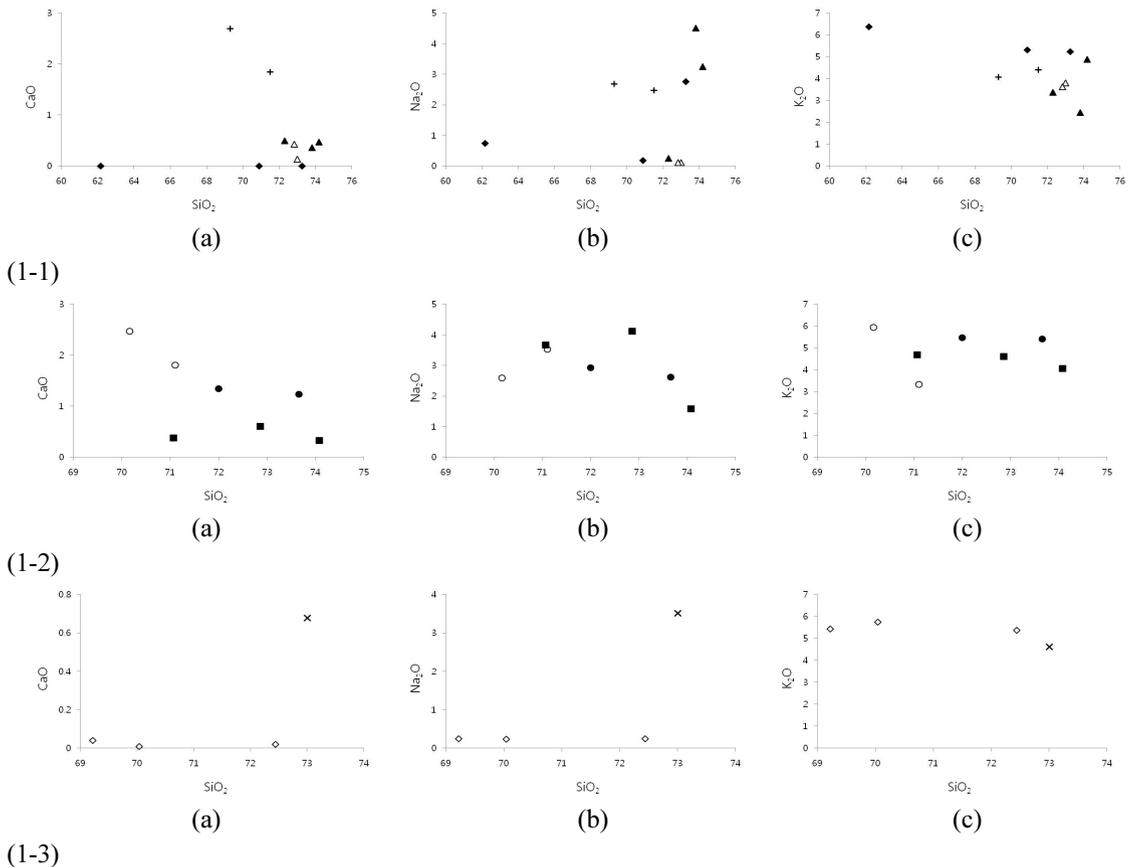


Fig. 4. Chemical variation of K_2O , Na_2O and CaO in sericite, lithium, kaolin ores and their related granitic rocks in the Taebaegsan region and Ganghwa-do. (1-1) Sericite deposits (Δ = Youngweol sericite ore, \blacktriangle = Leucocratic granite, \blacklozenge = Daehyun sericite ores, $+$ = Emog granite), (1-2) Uljin areas (\bullet = Hongjesa granite, \circ = Bunchon granite, \blacksquare = Tonggosan leucocratic granite), (1-3) Ganghwa-do area (\diamond = Kaolin ores, \times = Leucocratic granites).

화강암류임을 알 수 있다. 반면, 고령토광석류의 K_2O (5.38~5.76%)는 높으나, Na_2O (0.24~0.25%)와 Ca (0.01~0.04%)는 아주 낮다. 고령토광상은 우백질화강암의 알비타이트화를 이은 그라이젠화로 농집된 암체 상부의 미사장석 부위가 고령토화되었으나, 일반적인 고령토의 K_2O 함량이 1% 이내인 것에 비해 아주 높은 함량을 나타내므로, 그라이젠화에 의한 미사장석류의 농집이 있는 후에 백운모화 등으로 다량의 K_2O 가 보존된 것으로 추정된다.

결 언

경북 울진 통고산지역 석석(Sn)·리튬광상, 봉화군 소천면 대현리 및 강원도 영월의 건운모광상, 그리고 경기도 강화의 고령토광상은 기존연구에서 모암으로 기재한 고기 화강암질 암류와 구분되는 우백질 알칼리화강암류의 후기 마그마 치환작용에 의한 알비타이트-그라이젠화가 그 성인으로서 지질, 광상·광물 및 지화학적으로 고기화성암류와 구분된다.

1) 울진의 석석·리튬광상, 봉화 및 영월지역 건운모광상 주변에 넓게 분포하는 분천화강편마암, 홍제사 화강암 및 페그마타이틱 미그마타이트는

국부적으로 편마암의 특성을 나타내는 고기 화강암체로서, 알칼리 화강암주가 이들을 관입하였다. 알칼리화강암체는 마그마 후기 분화작용으로 미사장석의 백운모화와 알바이트 생성 등으로 유색 광물류가 상대적으로 감소하였으며, 풍부한 유색광물류에 의해 짙은 색상인 고기화강암에 비해 그 색상이 밝은 것이 특징이다.

2) 석석을 포함하는 리튬광체는 리튬 운모류에 속하는 테니올라이트(taeniolite)를 구성광물로 하고, 견운모광체는 백운모(muscovite-3T type)가 우세하며, 수반광물로는 석영, 알바이트 및 정장석류를 포함한다.

3) 경기도 강화에는 선캠브리아기 경기편마암복합체를 대보화강암으로 추정되는 마니산화강암이 관입하였고, 최후기에 우백질화강암체가 관입하였으며, 알비타이트화와 그라이젠화에 의해 농집된 미사장석이 고령토화되었다.

4) 국내 석석, 리튬, 견운모 및 고령토광상은 모암인 알카리화강암류로 분화되면서 알비타이트화에 비해 다소 우세한 그라이젠화에 의하여 K_2O 함량이 Na_2O 보다 좀더 풍부하게 나타나며, CaO 는 감소되어 나타난다.

5) 태백산 일대는 탄산염암의 분포가 넓으며 과거에 기재되지 않았던 알칼리화강암류가 산재하므로 주변부의 중석, 휘수연, 석석광상 등에 대한 재조명과 함께 최근 관심이 높아지는 다양한 희유금속류 및 희토류광상에 대한 확인이 기대된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원에서 수행하는 “해외 희유금속자원 탐사 및 부존잠재성 평가(과제 번호; 12-530292)” 연구의 일환으로 해외 희유금속광물자원탐사와 성인적으로 유사성을 가지는 국내 알카리심성암류 중에서 알비타이트-그라이젠화에 의한 리튬, 견운모 및 고령토광상의 제반자료를 종합하였다. 광물자원연구실 여러분들의 도움에 감사드린다.

참고문헌

Bristow, C.M. (1987) World kaolins-genesis, exploration and application. *Industrial Minerals*, 238, 45-59.
 Choi, Y.K., Hong, M.S., Kim, B.K., Yoon, S.K., Lee, D.S., Cheong, C.H., Son, C.M., and Kim, H.T. (1962) Geological map of Gyesanchon sheet, Report on the geology and mineral resources of the

Taebaegsan region. Geological Survey of Korea (in Korean).
 Dewaele, S., Henjes-Kunst, F., Melcher, F., Sitnikova, M., Burgess, R., Gerdes, A., Fernandez, M.A., De Clercq, F., Muchez, P., and Lehmann, B. (2011) Late Neoproterozoic overprinting of the cassiterite and columbite-tantalite bearing pegmatites of the Gatumba area Rwanda (Central Africa). *Journal of African Earth Science*, 61, 10-26.
 Guilbert, J.M. and Park, C.F. Jr. (2007) The geology of ore deposits. Waveland Press, Inc., Long Grove, Illinois, 397-509.
 Hong, J.K. (1996) Before the fact might not be forgotten (One of sections in the reality of Korean mining history), 52-60 (in Korean).
 Kim, O.J. (1963) Geological map of Samgun sheet (7024-IV) and explanatory text. Geological Survey of Korea (in Korean with English summary).
 Kim, Y.J. and Lee, D.S. (1983) Geochronology and petrogenetic processes of the so-called Hongjesa granite in the Seogpo-Deogku area. *Journal of the Korean Mining Geology*, 16, 163-221 (in Korean with English abstract).
 Kim, Y.J., Cho, D.L., and Hong, S.S. (1986) Petrochemical study of alkali granites in the northern area of the Uljin mine. *Journal of the Korean Mining Geology*, 19, 123-131 (in Korean with English abstract).
 Kim, J.H., Yoo, J.H., Park, Y.S., and Kim, Y.U. (1984) Investigation of the Daehyun sericite deposit. Korea Research Institute of Energy and Resources, (83-Mineral resources-4-13), 99-123 (in Korean with English abstract).
 Kinnaird, J.A. (1984) Contrasting styles of Sn-Nb-Ta-Zn mineralization in Nigeria. *Journal of African Earth Sciences*, 2, 81-90.
 Kuster, D. (2009) Granitoid-hosted Ta mineralization in the Arabian-Nubian Shield: Ore deposit types, tectono-metallogenetic setting and petrogenetic framework. *Ore Geology Reviews*, 35, 68-86.
 LaLonde, R.E. (1963) X-ray diffraction data for taeniolite. *American Mineralogist*, 48, 204-205.
 Lee, D.S. (1966) Ogdong sheet (6925-III) and explanatory text. Geological Survey of Korea (in Korean).
 Miser, H.D. and Stevens, R.E. (1938) Taeniolite from Magnet Cove, Arkansas. *American Mineralogist*, 23, 104-110.
 Moon, S.H., Park, H.I. Ripley E.M., and Lee I.S. (1996) Mineralogical and stable isotope studies of cassiterite greisen moneralization in the Uljin area, Korea. *Economic Geology*, 91, 916-933.
 Moon, S.H. and Park, H.I. (1994) Alteration of granite

- gneiss and their genetic relationship to tin mineralization in the Uljin area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 30, 125-139 (in Korean with English abstract).
- Na, K.C. and Lee, D.J. (1978) Petrological study of Hongjesa Granite. *Journal of the Geological Society of Korea*, 14, 103-112.
- Oh, J.H., Hwang, J.Y., Koh, S.M., Kwack, K.W., Lee, H.M., and Chi, S.J. (2008) Occurrence and mineralogy of sericite deposit in the Hongjesa granite from the Bonghwa area in Kyungsangbuk-do, Korea. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 21, 67-84 (in Korean with English abstract).
- Rhee, B.Y. and Kim, S.J. (1998) Mineralogical study of sericite in the Daehyun mine: formation, chemistry and polytype. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 11, 69-84 (in Korean with English abstract).
- Rub, A.K., Stemprok, M., and Rub, M.G. (1998) Tantalum mineralization in the apical part of the Cinovec (Zinnwald) granite stock. *Mineralogy and Petrology*, 63, 199-222.
- Smirnov, V.I. (1976) *Geology of mineral deposit*. Mir Publishers, Moscow, 197-210.
- Srivastava, P.K. and Sinha, A.K. (1997) Geochemical characterization of tungsten-bearing granites from Rajasthan, India. *Journal of Geochemical Exploration*, 60, 173-184.
- Stemprok, M. (1987) Greisenization (a review). *Geologische Rundschau* 76/1, 169-175.
- Teng, F.Z., McDonough, W.F., Rudnick, R.L., Walker, R.J., and Sirbescu, M.L.C. (2006) Lithium isotopic systematics of granites and pegmatites from the Black Hills, South Dakota. *American Mineralogist*, 91, 1488-1498.
- Webster, J.D., Thomas, R., Rhede, D., Forster, H.-J., and Seltmann, R. (1997) Melt inclusions in quartz from an evolved peraluminous pegmatite: Geochemical evidence for strong tin enrichment in fluorine-rich and phosphorus-rich residual liquids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 2589-2604.
- Yoo, J.H. and Chi, S.J. (2008) Genetic consideration of sericite deposits derived from granitic rocks in the Taebaegsan region. *Journal of the Mineralogical Society of Korea*, 21, 239-246 (in Korean with English abstract).
- Yoo, J.H., Hong, S.S., Lee, H.J., and Cho, H.I. (1990) Secondary kaolin deposits of Jeollabugdo and primary deposits of Kanghwa island, Kyunggido. Korea Research Institute of Energy and Resources, (KR-90-2B-1), 5-63 (in Korean with English abstract).

접수일(2012년 11월 22일), 수정일(1차 : 2012년 12월 18일),
 게재확정일(2012년 12월 24일), 책임편집위원 : 이영재