

몽골 서부 할잔-부룩테이 페그마타이트에 대한 지화학적 예비 연구

A Preliminary Geochemical Study on the Khaldzan-Buregtei Pegmatite, Western Mongolia

박 상 준(Pak Sang Joon) · 허 철 호(Heo Chul-Ho)* · 김 유 동(Kim You-dong)

한국지질자원연구원 지질기반정보연구부 광물자원연구실
Mineral Resources Group, Geology & Geoinformation Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral
Resources, Daejeon 305-350, Korea

요약 : 몽골 서부 할잔-부룩테이 알칼리 복합체에서 산출되는 페그마타이트는 Nb-Y-Zr-F의 부화가 특징적인 NYF 유형의 합희유금속 페그마타이트이다. 이들 합희유금속 페그마타이트는 할잔-부룩테이 섬장암 및 알칼리 장석 화강암의 분화물로서 알칼리 화강암류에 비해 십 배 이상의 희유금속이 농집되어 있다. 할잔-부룩테이 합희유금속 페그마타이트의 경제성은 페그마타이트맥의 연장성 및 국부적 품위 변화에 의해 좌우될 것으로 생각된다.

주요어 : 몽골, 할잔-부룩테이, 희유금속, 페그마타이트

ABSTRACT: A NYF-type (Nb-Y-Zr-F) Khaldzan-Buregtei pegmatite containing rare-earth metals occurs within alkali granitoid complex of the western Mongolia. The pegmatites are considered as differentiates of syenites and alkali feldspar granitic rocks, showing that their rare-earth element concentrations are enriched tens times higher than those from the adjacent alkali granitic rocks. It is suggested that economic aspects of the pegmatites can be controlled by the magnitude of lateral and vertical extensions and local grade variation of REE-bearing pegmatites.

Key words : Mongolia, Khaldzan-Buregtei, rare-earth metals, pegmatite

서 언

전 세계적으로 산출되는 Nb, Zr, REE, Ta 등의 희유금속 광상은 크게 알칼리 화강암을 대상으로 한 알칼리 화강암 유형과 페그마타이트를 대상으로 하는 페그마타이트 유형으로 구분된다(Cerny, 1993). 이외에 알칼리 화강암로부터 이차적으로 풍화·농집되는 사광 형태의 희유금속광상이 부

존하기도 한다(Kovalenko *et al.*, 2007). 알칼리 화강암체와 관련된 희유금속 광상은 튜바(Tuva), 트랜스바이칼(Transbaikal) 등의 유라시아 북부 북미에 주로 분포한다. 희유금속을 수반하는 페그마타이트 유형은 미국, 캐나다, 브라질 등의 남 북미 및 짐바브웨, 나미비아, 자이레 등의 아프리카 또는 호주 등의 다양한 지역에 분포하며 알칼리 화강암 유형보다 다소 높은 품위를 보인다

*교신저자: chheo@kigam.re.kr

(Cerny, 1993).

할잔-부룩테이(Khaldzan-Buregtei) 희유금속 광체는 몽골 서북부 할잔-부룩테이 알칼리 암체 일부에 배태되는 것으로, 1984년 러시아 지질학자들에 의해 알려졌다(Kovalenko *et al.*, 1985). 할잔-부룩테이 희유광체에 대한 최근까지의 연구는 주로 광체와 밀접한 관련을 보이는 알칼리 화강암 복합체의 성인 연구에 집중되어 왔다(Kovalenko *et al.*, 1986; 1995; 2007). 그러나 현재까지 알칼리 화강암류의 분화물로 추정되는 함희유금속 페그마타이트에 대한 자세한 연구는 수행된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 할잔-부룩테이 알칼리 화강암복합체에 배태되는 페그마타이트 및 일부 알칼리 화강암체에 대한 예비 연구를 통해 알칼리 화강암체 및 함희유금속 페그마타이트의 지화학적 특성을 규명하고자 하였다.

할잔-부룩테이 지역

위치 및 현황

몽골 서부에 위치하는 할잔-부룩테이 지역에서 산출되는 알칼리 암체는 러시아 지질학자들에 의해 처음 발견되었다(Kovalenko *et al.*, 1985). 이후 1990년까지 차지르-할잔 지역에 대한 1:200,000 및 1:50,000의 광역 지질도가 작성되었으며, 지구물리 탐사도도 함께 작성되었다(Kovalenko *et al.*, 1995). 같은 시기에 할잔지역에 분포하는 함희유 알칼리암체에 대한 보다 상세한 규모의(1:10,000 및 1:5,000) 광체 탐사가 실시되었다. 1997년 이후 광산업체들에 의해 자료의 분석, 선광예비시험 등 광상개발을 위한 탐광 및 광상의 재평가작업이 단속적으로 수행되었다(Kovalenko *et al.*, 1995). 연구 지역은 몽골 서부의 코브도(Kobdo) 마을에서 약 45 km 북쪽에 위치하고 있다. 코브도에서 할잔-부룩테이 알칼리 암체까지는 자동차로 약 1시간 30분이 소요되며, 알칼리 암체 인근까지 포장도로가 개설되어 있다.

지역 지질

몽골은 시베리아 강괴와 알타이-타림 강괴 사이에 위치하며 원생대 이후 두 강괴 사이에 계속적으로 부가되는 오피올라이트·호상열도 등의 지질 부가체와 이에 수반된 화성활동에 의해 형

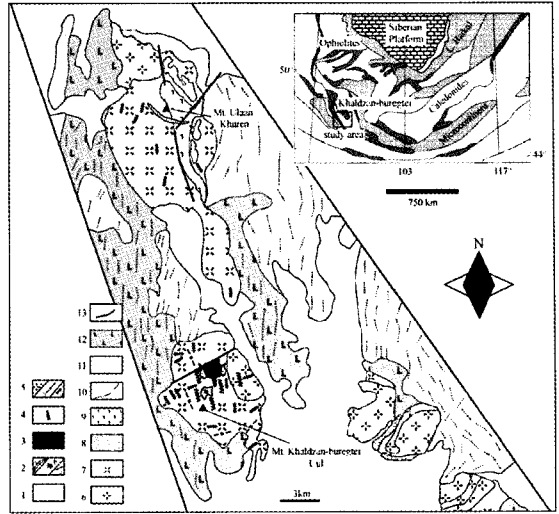


Fig. 1. Geological map of the Khaldzan-buregtei group of alkali plutons and their framework and their location in the Caledonides of the Central Asian Foldbelt(modified from Kovalenko *et al.*, 1995). (1) Loose sediments; (2a) alkali basalt and (2b) syenite and (2c) alkali syenite dike; (3) rare-metal alkali granites; (4) pantellerite; (5a) ekerite, (5b) alkali granitic pegmatites, and (5c) alkali granite; (6) alkali granite; (7) nordmarkite; (8) alkali trachydacite, pantellerite, comendite, and alkali granite porphyry of roof pendants (volcanic vents); (9) dolerite and gabbro; (10) basalt, diorite, monzonite, and granite (dikes); (11) normal biotite-amphibole granite; (12) Early Paleozoic ophiolites; (13) faults.

성된 지질로 구성된다(Kovalenko *et al.*, 2007). 할잔-부룩테이 알칼리 암체 및 함희유금속 페그마타이트는 몽골 서북부에 분포하는 칼레도나이드(Caledonides)와 몽골의 알타이(Mongolian Altai)의 경계부에 분포한다(그림 1).

이 지역의 기반암은 칼레도나이드의 오피올라이트(570~520 Ma) 및 충돌대 전후에 형성된 다양한 화강암류(546~495 Ma)들로 구성된다. 이들 기반암에는 염기성 및 산성 암맥군이 NS의 주향을 보이며 집중적으로 분포하는 특징을 보인다(그림 1). 이들 화강암류 중 알칼리 암체는 크게 NS 방향성을 보이며 관입 분포하며, 희유금속을 국부적으로 함유하는 알칼리 암체와 희유금속을 전반적으로 다량 수반하는 암체, 그리고 희유금속을 함유하지 않는 암체로 구성된다(Kovalenko *et al.*, 2007).

할잔-부룩테이 알칼리 암체는 희유금속을 국부적으로 배태하는 암체로 연구 지역 남측의 할잔-부룩테이 산 부근에 분포한다(그림 1). 본 알칼리 화강암류는 0.85 km²의 크기를 보이며 둥근 형태의 야외 분포상을 보인다(그림 1). 이 암체는 주로 노드마크이트(nordmarkite)로 구성되며 일부는 탄산염광물을 수반하는 전단화강암류(sheared granitoid)가 수반되기도 한다(Kempe *et al.*, 1999). 광체 중 일부는 알칼리질 또는 규산질 교대작용을 매우 강하게 받았으며 대체적으로 저어콘, 파이로클로어(pyrochlore), 퍼거소나이트(fergusonite) 등의 함 희토류(Nb, Ta, Zr) 광물로 구성된다(Kovalenko *et al.*, 1995). 할잔-부룩테이 산 부근에 분포하는 알칼리 암체 중 희유금속 광체를 수반하지 않는 화강암류는 주로 섬장암 또는 다양한 알칼리질 화강암으로 구성된다(Kempe *et al.*, 1999).

함 희유금속 페그마타이트는 희유금속을 수반하지 않는 알칼리 화강암류에 우세하게 분포하나, 일부 페그마타이트는 함희유금속 알칼리 화강암 광체 주변부에 분포하기도 한다(그림 1). 이들 페그마타이트의 주향은, NS의 주향을 보이는 이 지역 여타의 암맥군 또는 알칼리 암체의 방향성과는 달리, 다양한 주향을 보이며 폭(>1 m)과 연장(>10 m)에 있어서도 다양성을 보인다(그림 1).

암석 화학

할잔-부룩테이 알칼리 화강암류에 배태되는 페그마타이트에 대한 예비적인 지화학적 연구를 위해 희유금속을 수반하는 알칼리 화강암류, 섬장암 및 페그마타이트에 대해서 약 10여 개의 신선한 샘플을 채취하였다(그림 2). 채취된 시료들은 지화학적 특성을 연구하기 위하여 증류수로 수회 세척하여 풍화에 의한 잔류 성분들을 제거하고 전암 분석을 실시하였다. 시료는 세라믹 Miller와 아게이트를 이용하여 최종 미분말로 제작되었다. 주성분원소, 미량원소 및 희토류원소의 분석은 한국기초과학지원연구원에서 수행되었으며 주성분원소는 X-선형광분석기(XRF)를 이용하여 분석하였고(Philips사, PW2404), 미량원소 및 희토류원소의 분석은 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)를 사용하여 분석하였으며 분석기기는 Perkin elmer사의 Elan 6100이었다. 일부 미량원소 중 함량이 비교적 높을 것으로 생각되는 Ba, Cr, Sc, Sr, V, Zn, Zr에 대하여서는 유도결합 플

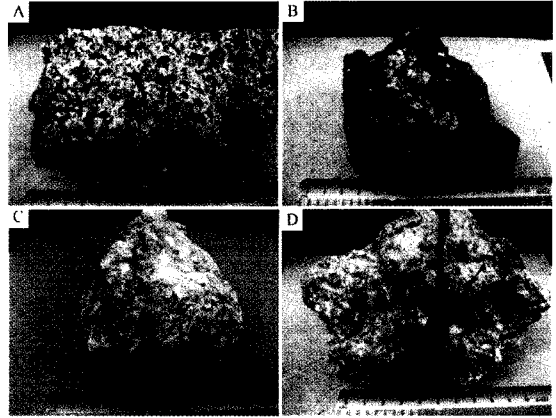


Fig. 2. Photographs of alkaline granitoids and pegmatite of the Khaldzan-Buregtei massif. (A) typical fresh alkaline feldspar granite showing equigranular textures; (B) coarse grained syenite tarnished with Fe-hydroxide; (C) pegmatite with pinkish large feldspar grains; (D) fluorite-bearing coarse grained pegmatite. Black arrows indicate fluorite grain.

라즈마 방출분광기(ICP-AES)를 사용하여 분석하였다(Jobin Yvon사, 138 Ultrace).

주원소 성분

할잔 부룩테이 화강암류의 전반적인 SiO₂함량은 60.8~71.3 wt%으로 비교적 넓은 범위를 보인다(표 1). 반면 페그마타이트는 70.9~74.2 wt%를 보여 알칼리 화강암류보다 높은 실리카 함량을 보이며 실리카 함량의 변화 범위도 다소 좁은 특징을 보인다. 화강암류들은 CIPW 노옴값에 의한 암석 분별도에서 섬장암과 알칼리 장석 화강암으로 구분된다(그림 3). 할잔-부룩테이 화강암류의 A/CNK 값은 0.83~0.96으로 메타알루미너스 I-type 화강암의 특성을 보이며(Chappell and White, 1992), A/CNK 값은 0.95에서 1.20을 보여 대체로 알칼리질 및 과알칼리질 경계부에 해당하는 특성을 보인다(그림 3). 알칼리 화강암류 및 페그마타이트의 SiO₂함량에 대한 주원소들의 변화도를 살펴보면 SiO₂가 증가하면서 주 원소들은 대체로 감소하는 경향을 보인다(그림 4). 반면 작열감량(LOI)은 섬장암, 알칼리 장석 화강암, 페그마타이트 순으로 증가하는 경향을 보이며, 특히 페그마타이트에서 높은 작열감량 값을 보여주어 F, Cl 등과 같은 휘발성 원소가 상대적으로 부화

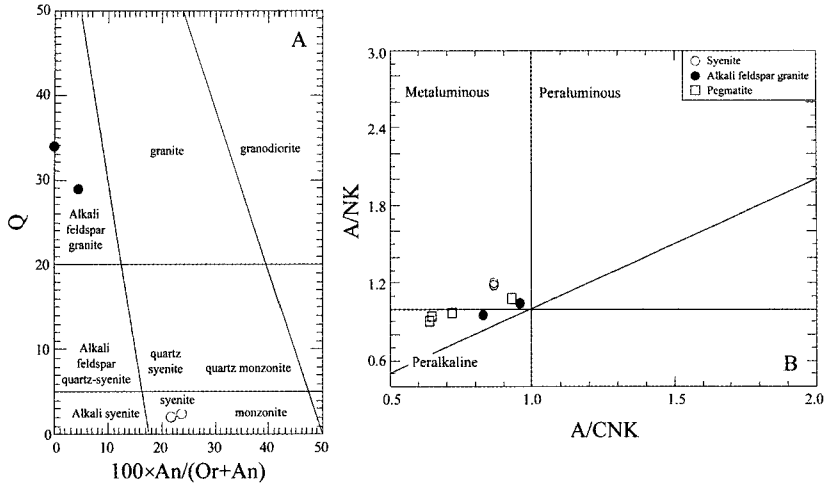


Fig. 3. Classification diagram applied to samples. (A) Q-An-Or diagram (after Streckeisen and LeMaitre, 1979) (B) A/CNK vs. A/NK diagram [$A/NK = \text{molar ratio of } Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$; $A/CNK = \text{molar ratio of } Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$; after Maniar and Piccoli, 1989].

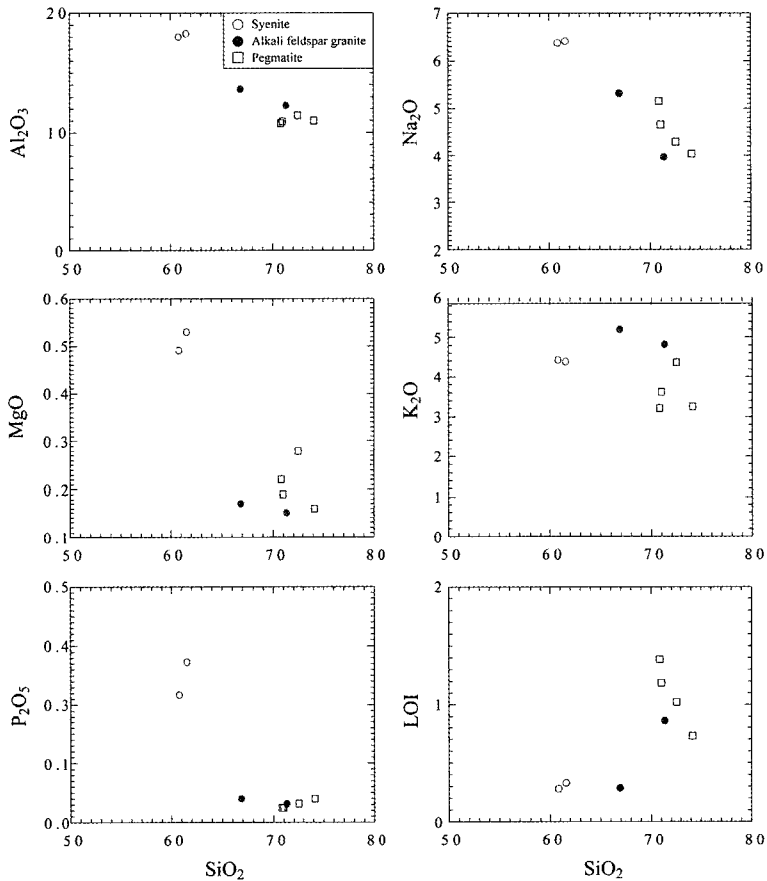


Fig. 4. Harker variation diagrams for major elements versus SiO_2 .

Table 1. Major and trace element compositions of the Khaldzan-Buregtei granitoids and pegmatite

Sample	Syenite		Alkali feldspar granite		Pegmatite			
	HB10-1	HB10-2	HB-3	HB-5	HB-2	HB-6	HB-7	HB-8
Major element (wt.%)								
SiO ₂	61.57	60.83	71.34	66.90	74.17	71.02	72.58	70.86
TiO ₂	0.45	0.62	0.26	0.26	0.21	0.58	0.31	0.60
Al ₂ O ₃	18.31	17.99	12.25	13.64	10.98	10.91	11.41	10.77
Fe ₂ O ₃ ^T	4.14	5.10	5.58	6.33	4.72	4.13	2.55	4.40
MnO	0.14	0.16	0.12	0.20	0.06	0.21	0.09	0.11
MgO	0.53	0.49	0.15	0.17	0.16	0.19	0.28	0.22
CaO	3.21	2.96	0.56	1.16	0.90	2.92	2.23	2.68
Na ₂ O	6.41	6.38	3.97	5.31	4.05	4.66	4.29	5.15
K ₂ O	4.38	4.43	4.82	5.21	3.24	3.61	4.36	3.20
P ₂ O ₅	0.34	0.27	0.04	0.05	0.05	0.03	0.04	0.03
LOI ¹⁾	0.33	0.28	0.86	0.29	0.73	1.18	1.02	1.38
Total	99.81	99.50	99.95	99.51	99.28	99.44	99.16	99.39
A/CNK ²⁾	0.87	0.87	0.96	0.83	0.93	0.65	0.72	0.64
A/NK ³⁾	1.20	1.18	1.04	0.95	1.08	0.94	0.97	0.90
Trace element (ppm)								
Ba	2192.03	1732.79	97.06	117.83	37.59	92.00	35.10	49.71
Rb	12.16	12.22	79.74	83.55	358.31	304.41	363.47	420.03
Sr	381.70	282.29	11.64	13.40	8.74	339.66	113.66	275.50
Y	18.50	15.08	58.03	63.52	459.58	644.74	566.77	690.56
Zr	115.90	59.65	705.24	662.45	219.88	6846.61	14951.21	9418.96
Nb	11.39	7.66	50.71	46.16	346.33	1174.30	748.11	1340.30
Th	0.63	0.54	8.36	8.67	114.86	52.47	39.43	57.60
Pb	2.82	2.78	15.54	14.82	16.74	121.51	71.42	270.62
Zn	62.58	68.55	182.08	214.38	446.05	702.53	532.38	1158.93
Cu	4.00	5.88	3.15	3.33	2.69	3.38	3.72	4.98
Ni	184.56	219.46	237.76	277.68	172.99	181.88	111.87	190.62
V	2.62	3.24	4.93	4.53	9.55	3.77	5.31	6.24
Cr	0.50	0.50	0.50	0.50	1.22	0.50	0.50	0.50
Hf	5.40	5.33	15.16	21.06	4.06	184.42	389.35	233.05
Cs	0.09	0.09	0.60	1.11	0.26	0.36	0.38	0.86
Sc	13.48	9.71	1.18	3.35	0.50	0.50	0.50	0.50
Co	505.94	560.63	246.27	702.34	329.29	351.05	892.62	274.17
Li	5.71	4.94	13.68	17.80	9.17	88.82	16.11	12.51
Be	0.87	0.81	6.37	7.25	10.33	61.92	66.41	168.97
U	0.36	0.31	3.28	3.68	15.09	31.02	42.94	50.32
Sn	1.83	1.12	4.40	4.95	19.28	104.59	118.66	153.00
Au	0.14	0.16	0.47	0.62	2.13	10.27	7.88	11.38
Rare earth element (ppm)								
La	13.6	11.5	41.03	49.74	523.16	282.04	188.63	275.38
Ce	35.72	28.98	111.83	117.85	1451.05	742.48	473.91	777.69
Pr	4.88	4.01	11.44	14.33	167.07	77.95	58.92	90.22
Nd	26.97	21.88	63.72	75	852.32	397.41	285.31	439.55
Sm	7.43	6.45	10.33	13.01	162.17	76.51	54.37	83.8
Eu	8.24	7.86	1.74	2.38	9.37	4.83	3.89	5.39
Gd	6.95	5.53	13	15.71	176.78	107.41	66.95	96.94
Tb	0.86	0.71	1.95	2.25	24.13	19.74	13.82	18.7
Dy	4.57	3.7	12.08	13.37	124.38	130.88	111.79	136.45
Ho	0.88	0.71	2.61	2.82	22.32	29.04	28.66	33.57
Er	2.37	1.89	7.94	8.45	55.59	89.58	99.9	117.12
Yb	2.03	1.71	8.18	8.49	28.89	91.84	108.59	135.22
Lu	0.33	0.29	1.23	1.29	2.94	12.72	14.8	18.94
ΣREE	114.8	95.2	287.1	324.7	3600.2	2062.4	1509.5	2229.0
Eu/Eu*	0.35	0.40	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02
(La/Yb) _N	4.8	4.8	3.6	4.2	13.0	2.2	1.2	1.5

Fe₂O₃^T as total FeO, ¹⁾ Loss on ignition, ²⁾ molar ratio of Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O), ³⁾ molar ratio of Al₂O₃/(Na₂O+K₂O)

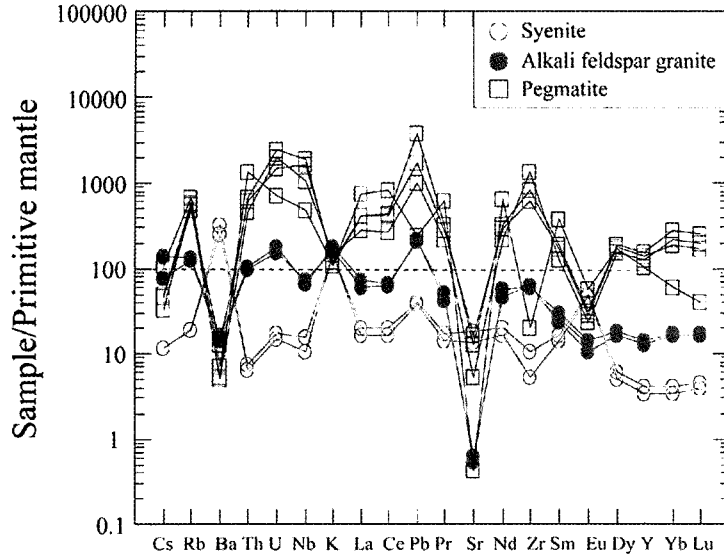


Fig. 5. Primitive mantle-normalized trace element patterns of the Khaldzan-Buregtei alkaline granitoids and pegmatite (Sun and McDonough, 1989). Dot lines are presented here to compare granitoids with pegmatite.

되어 있음을 시사한다(그림 4).

미량원소 성분

연구지역에 분포하는 섬장암과 알칼리 장석 화강암에 대한 미량원소인 Zr의 함량은 각각 59.7~116.0 ppm과 335.6~705.2 ppm으로 일반적 화강암의 Zr 함량에 비해 높은 값을 보이며 알칼리 장석 화강암에서 좀 더 부화되는 경향을 보인다(표 1). 특히 페그마타이트의 Zr 함량은 219.9~14951.2 ppm (평균 7859.2 ppm)으로 섬장암(59.7~115.9 ppm; 평균 87.8 ppm), 알칼리 장석 화강암(662.5~705.2 ppm; 평균 683.8 ppm)에 비해 평균치 대비 각각 89배 및 11배 이상의 높은 함량을 보인다. Nb, Y 및 REE의 함량 역시 섬장암, 알칼리 장석 화강암, 페그마타이트의 순으로 급격하게 증가하는 경향을 보인다(표 1). 대표적인 불호정원소인 Th, U, Cs, Rb 등의 함량은 알칼리 장석 화강암에서 증가하는 경향을 보이며 페그마타이트에서는 십 배 이상 농집되는 경향을 보인다. 특히 일부 페그마타이트에서는 금이 2~11.4 ppm까지 농집되고 있는 특징을 보인다(표 1).

미량원소 함량을 원시맨틀(Primitive mantle) 값에 대하여 표준화한 함량분포 특성을 살펴보면 대체적인 불호정원소들의 함량이 페그마타이트

에서 증가하는 특징을 보인다(그림 5). 알칼리 장석 화강암과 페그마타이트의 Ba 및 Sr은 장석류의 분별정출에 기인한 뚜렷한 음(-)의 이상을 보이는 반면 섬장암의 Ba 및 Sr은 뚜렷한 음(-)의 이상을 보이지 않는다.

희토류 함량을 콘드라이트(Chondrite) 값으로 표준화하여 도시하여 보면, 희토류 함량 역시 섬장암, 알칼리 장석 화강암, 페그마타이트 순으로 증가하며 알칼리 장석 화강암에 비하여 페그마타이트에서 십 배 이상 증가하는 특징을 보인다(그림 6). 섬장암에 함유된 다량의 사장석에 의해 Eu은 양(+)의 이상을 보이나 알칼리 장석 화강암 및 페그마타이트의 Eu은 이들 사장석의 분별정출에 의한 음(-)의 이상을 보이고 있어 미량원소 거동과도 조화적인 관계를 보인다(그림 6).

토의 및 결론

할잔-부룩테이에서 산출되는 섬장암 및 알칼리 장석 화강암 그리고 페그마타이트의 Nb에 대한 Zr 및 Y의 함량을 도시해 보면 이들 섬장암, 알칼리 장석 화강암 및 페그마타이트는 일련의 분화과정에 점시되어 이들이 동일 마그마의 분화산물일 가능성을 시사한다(그림 7; Kovalenko et al., 1995). 섬장암과 알칼리 장석 화강암의 Ba,

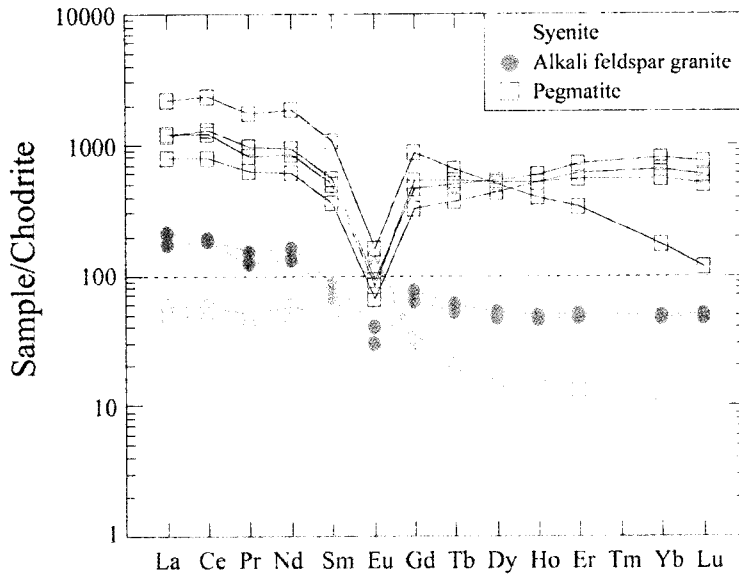


Fig. 6. Chondrite normalized REE patterns for the Khaldzan-Buregtei alkaline granitoids and pegmatite. Normalizing values are after Sun and McDonough, (1989). Dot lines are presented here to compare granitoids with pegmatite.

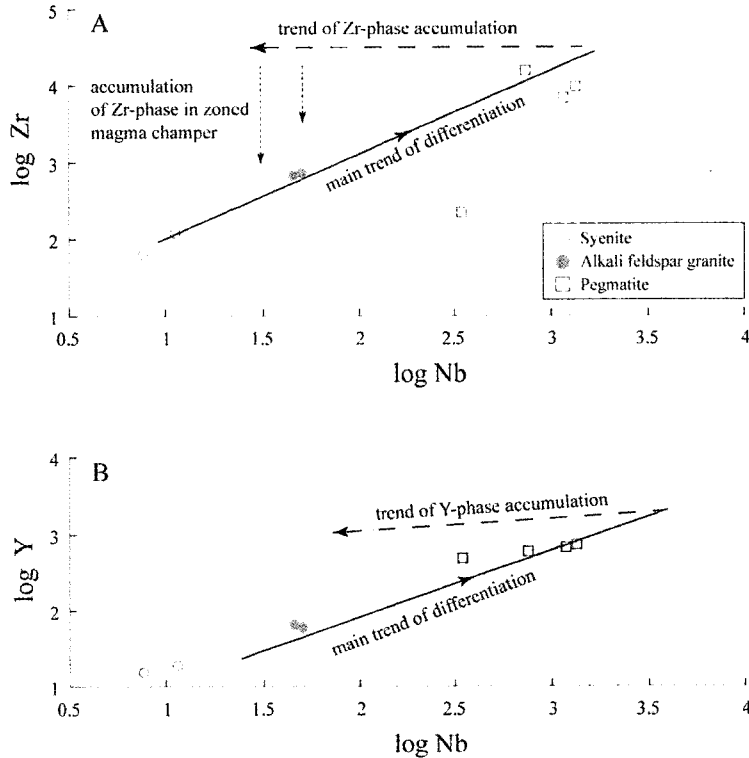


Fig. 7. Correlation of Nb, Zr and Y contents (ppm) in rocks from the Khaldzan-Buregtei granitoids and pegmatite (after Kovalenko *et al.*, 1995).

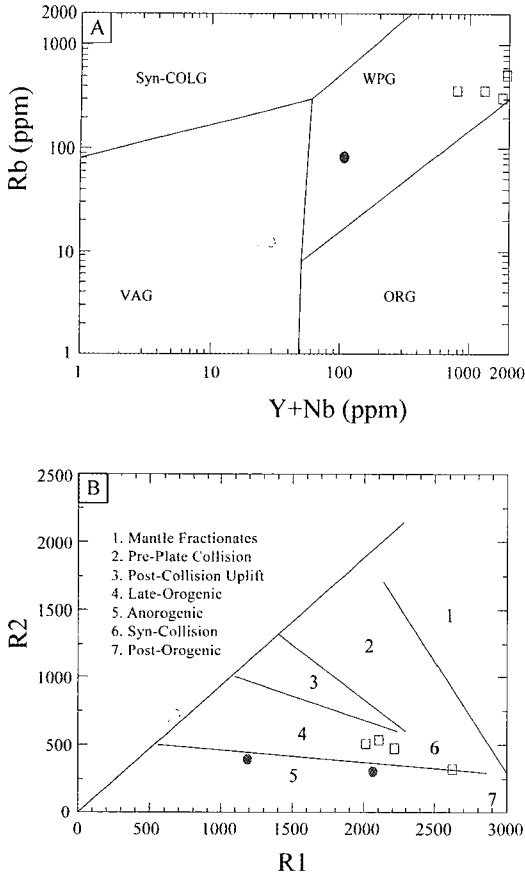


Fig. 8. Granitoid discrimination diagrams used by (A) Pearce *et al.* (1984) and (B) Bacheloret and Bowden (1985). ORG; ocean-ridge granitoids, Syn-COLG; syn-collisional granitoids, VAG; volcanic- arc granitoids, WPG; within-plate granitoids. $R1 = 4Si-211(Na+K)-2(Fe+Ti)$, $R2 = 6Ca+2Mg+Al$. Symbols are the same as in Fig. 7.

Sr, Eu의 이상치가 서로 반대가 되며 도시되고 있어 두 암석의 분화 과정에서 사장석의 분별 정출이 뚜렷했음을 시사한다(그림 5).

페그마타이트의 미량원소 및 희토류 원소의 함량은 알칼리 장석 화강암에 비하여 페그마타이트에서 십 배 이상 농집되며, 희토류 원소의 분포 패턴은 그림 5에서 보는 바와 같이 서로 유사한 패턴을 보이고 있어, 합회유금속 페그마타이트는 알칼리 장석 화강암과 성인적으로 밀접한 관계가 있을 것으로 추정된다. 또한 페그마타이트의 미량원소 및 희토류 원소의 함량비는 >100을 보이고 있어 합 회유금속 페그마타이트는 마그마 분

화 말기 H_2O , F, Cl 등의 휘발성원소가 급격히 증가하면서 이들 불호정 원소가 집중적으로 부화된 것에 기인한 것으로 생각된다(그림 5).

일부 페그마타이트에서는 금이 일반적 암석의 금품위(< 2 ppm)에 비해 농집되어(< 11 ppm) 산출된다. 일반적으로 금은 친동원소(Chalcophile element)로 유체 내에서 황의 착이온 복합체로 이동하며 유체 내의 황분압 변화에 영향을 받는다(Seward, 1973, 1984). 따라서 황화광물의 정출이 드문 페그마타이트에서 산출되는 금은 흔치 않은 경우로 판단된다. 따라서 추후 금의 산상에 대한 상세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

할잔-부록테이에 분포하는 알칼리 암석류의 조구조적 위치를 알아보기 위해 Pearce *et al.* (1984)이 제안한 분류도 및 Bacheloret and Bowden (1985)이 제안한 분류도에 이들을 점시하여 보면 알칼리 장석 화강암과 페그마타이트는 판내부 화강암류 및 비조산대와 관련된 화강암류에 점시된다(그림 8). 섬장암의 경우 화산도호 유형의 화강암에 점시되며 Bacheloret and Bowden (1985)이 제안한 분류도에서는 제시된 지구조환경에 점시되지 않는다(그림 8). 이는 섬장암, 알칼리 장석 화강암, 페그마타이트로의 일련의 분화 과정에 의한 영향으로 판단된다.

전 세계에 분포하는 합회유금속 페그마타이트는 LCT (Li-Cs-Ta), NYF (Nb-Y-Zr-F) 및 이들의 혼합 유형 등 세 가지로 분류된다(Cerny, 1993). 할잔-부록테이 알칼리 암체에서 산출되는 페그마타이트는 Nb, Zr, Y, REE 등이 부화되어 있으며 (표 1; 그림 5; 그림 6), 일부 페그마타이트에서는 거정의 형석이 산출되기도 한다(Kovalenko *et al.*, 1995). 이들 합회유금속 페그마타이트는 메타알루미너스한 알칼리 내지 약한 과알칼리질 특성을 보인다. 페그마타이트와 성인적으로 밀접한 관련성이 있는 것으로 생각되는 알칼리 장석 화강암 역시 I-type의 알칼리질 암석의 특징을 보인다(그림 3). 할잔-부록테이 페그마타이트의 지화학적 특성 및 관련 화강암류의 암석화학적 특성은 Cerny (1993)에 의해 제안된 합회유금속 페그마타이트 유형 중 Nb, Y, Zr, F가 부화되어 있는 NYF 유형에 해당하는 것으로 판단된다(표 2).

결론적으로 할잔-부록테이 페그마타이트는 Nb-Y-Zr-F의 부화가 특징적인 NYF 유형의 합회유금속 페그마타이트로서 주변에 분포하는 알칼리 화강암류에 비해 십 배 이상의 회유금속이 농집

Table 2. A comparison between the representative Nb-Y-Zr-F pegmatite (NYF type) and the Khalzan-Buregtei pegmatite in Mongolia

Geochemical Signature	Nb>Ta, Ti Y, Sc, REE Zr, U, Th F	Nb, Y Zr, REE F
Pegmatite bulk composition	subaluminous to metaluminous (to subalkaline)	metaluminous slightly peralkaline
Granite bulk composition	metaluminous (rarely peralkaline); A and/or I types	metaluminous slightly peralkaline I type
Tectonic regime	Anorogenic	Anorogenic

¹⁾ Data compiled from Cerny (1993)

되어 있다. 본 연구에서 제시된 결과는 할잔-부룩테이에 분포하는 일부 페그마타이트를 대상으로 한 예비적 연구결과로 광체 여부를 판단할 상세한 탐사 및 연구가 추후 필요할 것으로 생각된다. 이를 위해 페그마타이트에 대한 광물·암석학적인 성인 연구 및 연장성, 품위, 분포 및 개발 여건 등에 대한 자료 수집 및 탐사가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 지식경제부 출연사업인 “해외광물자원협력 및 기술정보 구축”과제 및 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2005-214-C00241)을 받아 수행된 연구이며, 논문심사시 유익하고 건설적인 조언을 주신 익명의 심사위원들께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

Bachelor, R.A. and Bowden, P. (1985) Petrologic interpretation of granitoid rocks series using multicationic parameters. *Chemical Geol.*, 48, 43-55.
 Cerny, P. (1993) Rare-element granitic pegmatites: Part I, Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. In: Sheahan, P.A. and Cherry, P. (eds.) *Ore deposit models*. Geological Association of Canada, Geoscience Canada Reprint Series, 6, 49-62.
 Chappell, B.W. and White, A.J.R. (1992) I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of*

the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences. 83, 1-26.
 Kempe, U., Gotze, J., Dandar, S. and Habermann, D. (1999) Magmatic and metasomatic processes during formation of the Nb-Zr-REE deposits Khaldzan Buregte and Tsakhir (Mongolian Altai): Indications from a combined CL-SEM study. *Min. Mag.* 63, 165-177.
 Kovalenko, V.L., Goreglyad, A.V., and Tsaryeva, G.M. (1985) Khalzan-brugtei massif; a new manifestation of rare-metal peralkaline granitoids of MPR: *Academia Nauk SSSR Doklady*, 280, 954-959.
 Kovalenko, V.I., Koval, P.V., Yakimov, V.M. and Sherchan, O. (1986) Metallogeny of the Mongolian Peoples's Republic (tungsten, tin, rare-earth elements): UUSR Academy of Sciences, Siberian Branch, 52. (in Russian)
 Kovalenko, V.I., Tsaryeva, G.M., and Goreglyad, A.V., Yarmolyuk, V.V., Troitsky, V.A., Hervig, R.L. and Farmer, G.L. (1995) The peralkaline granite-related Khaldzan-Buregtey rare metal (Zr, Nb, REE) deposit, Western Mongolia, *Econ. Geol.* 90, 530-547.
 Kovalenko, V.I., Yarmolyuk, V.V., Kozlovsky, A.M., Kovach, V.P., Sal'nikova, E.B., Kotov, A.B. and Vladykin, N.V. (2007) Two types of magma sources of rare-metal alkali granites. *Geol. Ore Deposits*, 49, 442-466.
 Maniar, P.D. and Piccoli, P.M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. soc. Amer. Bull.*, 101, 635-643.
 Pearce, J.A., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G. (1984) Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, 25, 956-983.
 Seward, T.M. (1973) Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 37, 337-399.
 Seward, T.M. (1984) The transport and deposition of gold in hydrothermal systems. In: Foster, RP (eds.), *Gold 82*. Rotterdam, A.A. Balkema Pub. 165-182.
 Streckeisen, A.L. and LeMaitre, R.W. (1979) A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks. *Neues Jahrb. Mineral. Abh.*, 136, 169-206.
 Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalt: Implication for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the ocean basins*. *Geol. Soc. Spec. Pub.* 42, 313-345.

접수일(2008년 5월 19일), 수정일(1차 : 2008년 8월 20일, 2차 : 2008년 9월 3일), 게재확정일(2008년 9월 3일)