

韓國 北東部地域 原生代の 火成活動과 變成作用： 臨溪 角閃岩의 岩石成因과 造構造的 特徵

張浩完* · 李東和*

Magmatism and Metamorphism of the Proterozoic in the Northeastern Part of Korea: Tectonomagmatic Characteristics of the Imgye Hornblendites

Ho Wan Chang* and Dong Hwa Lee*

ABSTRACT: The Imgye hornblendites occur as intrusive sills or dykes within the mylonite zone developed along the contact boundary between Precambrian Jungbongsan granite and Cambrian Jangsan quartzite or Myobong slate formations. The hornblendites belong to the subalkaline and tholeiitic series. In tectonomagmatic discrimination diagrams such as $TiO_2-K_2O-P_2O_5$, $2Nb-Zr/4-Y$ and $TiO_2-10MnO-10P_2O_5$, the hornblendites are classified into continental- and island-arc tholeiites. The hornblendites show fractionated REE patterns with $(La/Yb)_{CN}$ ranging from 3.73-4.56. In incompatible element abundance variations, the hornblendites show distinctive positive and negative anomalies for Rb and Nb, respectively, and unfractionated patterns of immobile incompatible elements such as Y and Yb. The REE patterns of the hornblendites are also similar to those of typical continental back-arc tholeiites and those of the Precambrian Okbang amphibolites in the Socheon-meon, Bonghwa-gun. According to geochemical characteristics above-mentioned, the hornblendites seem to have been formed from tholeiitic magmas of depleted upper mantle source, contaminated by crustal material en route to continental back-arc basin.

序 言

연구대상은 강원도 정선군 임계면에 분포하고 있는 각섬암으로 이 각섬암이 분포하고 있는 임계지역에 대해서는 태백산지구 지하자원조사단 (1962)에 의해 도폭조사가 이루어진 바 있다. 임계지역에 대한 연구로는 각섬암의 성인에 관한 연구 (소철섭 등, 1981; 조동룡, 이대성, 1985)와 금·은 광상에 관한 연구 (박희인 등, 1992) 및 이 지역의 지질구조에 관한 연구 (김정환, 기원서, 1991)가 있고 그의 화강암류에 대한 암석의 절대연령 측정연구 (김용준 등, 1984; 주승환, 김성재, 1985)가 있다.

이 연구의 목적은 각섬암의 암석 성인을 보다 명확히 밝혀 각섬암 형성시의 구조조적 특징을 규명하고자 하는데 있다.

一般地質

임계각섬암이 분포하는 이 지역에는 선캠브리아기의

태백산통에 해당되는 편암 복합체와 이를 관입한 중봉산 화강암체를 기반암으로 하여 장산규암층과 묘봉층 및 풍촌석회암이 분포하고 있으며, 중봉산화강암과 장산규암층 혹은 묘봉층 경계 부위의 압쇄대를 따라 관입암상의 각섬암이 분포하고 있다 (Fig. 1).

태백산통의 편암 복합체는 연구대상지역을 벗어난 남측부에서 넓게 분포하고 있으나, 연구지역에서는 중봉산 화강암내에 포획암의 형태로 분포하고 있다. 이 편암 복합체는 석영·운모 편암이 주종을 이루며 대부분 규질화되어 있고 암색은 암회색을 띤다.

중봉산화강암은 알카리장석이 반정을 이루며 사장석, 흑운모 및 백운모가 주구성광물로 되어 있는 조립질 암석이다. 지역에 따라서는 석류석의 발달이 관찰되기도 한다. Rb/Sr법에 의한 중봉산화강암의 절대연령 측정결과는 1837 ± 21 Ma (주승환, 김성재, 1985)이었다. 이 중봉산화강암은 북서부에서 넓게 분포하는 임계화강암과 접하며 암상의 변화는 점이적이다.

연구지역에는 포함되어 있지 않지만, 본 지역의 북서부에 분포하는 임계화강암은 장산규암층을 관입한 것으로 해석되어 고생대 또는 백악기 화성암류로 취급되어 왔으나

* 서울대학교 지질학과 (Dept. of Geological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

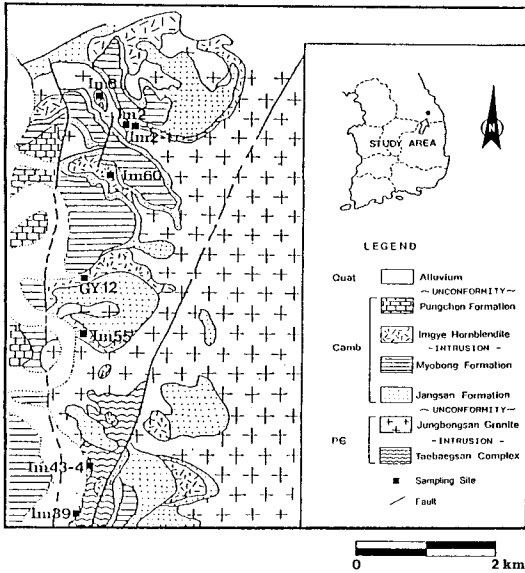


Fig. 1. Geologic map of the Imagy area.

(태백산지구 지하자원조사단, 1962), 김정환, 기원서 (1991)의 지질구조 연구에 의해 중봉산화강암체와 유사한 선캄브리아 시대의 화강암류로 분류되었다. 그러나 중봉산화강암체와의 동일암류 여부는 여전히 미정으로 암석 지구화학적 연구가 병행되어야 할 것으로 여겨진다.

장산규암층은 중봉산화강암과 부정합으로 접하나 그 경계부를 따라 발달된 압쇄대의 영향으로 기저 역암층을 발견하기 어렵다. 단지 송계리 구미동에서만 기저역암층이 관찰되는 것으로 보고되어 있다 (김정환, 기원서, 1991). 장산규암과 중봉산화강암과의 경계부에는 편암 및 화강암편들의 압쇄된 특징을 쉽사리 관찰할 수 있다. 장산규암층과 정합적 관계에 있는 묘봉층은 곳에 따라 관입암상의 각섬암에 의해 장산규암층과 분리되거나 압쇄대에 의해 중봉산 화강암과 직접 접하기도 한다 (Fig. 1). 묘봉층과 정합관계에 있는 풍촌석회암층은 연구 지역을 벗어난 서부에 넓게 분포하고 있다.

각섬암은 입계면의 목원리로부터 하장면의 강동리에 걸쳐 남북방향으로 길게 분포되어 있으며, 기반암을 이루는 중봉산 화강암체와 압쇄대로 접하는 장산규암층 또는 묘봉층의 경계부위를 따라 관입암상 또는 맥상으로 노출되어 있으며 지역에 따라 장산규암층과 묘봉층의 경계부 또는 중봉산 화강암체와 포획된 편암사이에도 관입되어 있다. 그러나 이 각섬암과 풍촌석회암과의 관입 접촉관계는 파악할 수가 없었다. 따라서 이 각섬암의 관입시기를 풍촌석회암층 퇴적 이전이라고 생각할 수도 있으나 각섬

암이 물성을 달리하는 암층 사이, 특히 압쇄대를 따라 관입암상으로 분포하는 것으로 보아 그 상위의 풍촌석회암층을 관입하지 않았다고 해서 풍촌석회암층 퇴적 이전이라고 판단하기에는 난점이 있다. 각섬암은 괴상의 조립질 내지는 세립질의 암회색 암석이지만 중봉산화강암이나 장산규암 또는 묘봉층과 접하는 압쇄대에서는 흔히 잘 발달된 엽리를 보여주기도 한다.

岩石學的 考察

각섬암은 주로 각섬석과 사장석 및 석영으로 주구성되어 있고 휘석, 녹염석, 스피넬 및 침장석 등이 부구성광물로 관찰된다. 각섬석이 흑운모화된 변질현상도 이따금 관찰된다. 각섬암의 모드분석결과는 각섬석 53%, 사장석 19%, 석영 10%, 휘석 3%, 흑운모 6%, 녹염석 2%, 스피넬 1%, 침장석 1% 및 기타 5%로서 사장석-휘석-각섬석 삼각도에서는 각섬석 현무암질암에 속하게 된다.

서울대학교 소재 전자현미분석 (EPMA) 결과에 의하면, 사장석의 화학조성은 $An_{24} \sim An_{32}$ 이고 각섬석은 마그네슘 각섬석 (magnesian-hornblende)에 속하였다. 이 두 광물은 단일 광물내에서도 결정 중심부와 연변부의 화학조성에 차이가 있음을 보여주었는데 사장석의 경우 연변부로 갈수록 알바이트 성분이 증가하며 각섬석은 중심부와 연변부에서 $Mg/Mg + Fe^{2+}$ 가 감소됨을 나타내었다. 이는 정출분화의 특징을 나타내는 것으로 여겨진다.

地球化學的 特徵

시료채취 및 분석

각섬암의 지구화학적 특징을 파악하기 위하여 괴상의 신선한 암석을 선택하였고, 현미경 관찰에 의해 변질현상이 관찰되지 않는 8개의 시료를 선정하였다. SiO_2 를 제외한 주성분, 미량성분 및 희토류원소는 기초과학교육연구공동기기원의 유도결합플라즈마 질량분석기기 (ICP-MS)에 의해 분석하였고, SiO_2 는 대한광업진흥공사의 X선 형광분석기기 (XRF)에 의해 분석하였다. 희토류원소 분석은 2개의 시료에 대해서만 이루어졌으며 양이온교환반응에 의해 이들 원소들을 농집한 후 분석하였다.

주성분 및 미량 성분의 분석결과는 Table 1과 같고 희토류원소의 분석결과는 Table 2와 같다.

주성분 및 미량성분

Table 1. Major and trace element data for the Imgye hornblendites.

Sample	Im6	Im2-1	Im43-4	Im39	Im2	Im60	GY12	Im55	Average
wt. %									
SiO ₂	52.40	51.50	55.80	62.30	51.50	52.30	46.20	47.90	52.49
Al ₂ O ₃	14.48	14.27	12.80	14.24	14.01	14.23	16.43	15.38	14.48
Fe ₂ O ₃	3.41	4.05	3.21	3.72	3.84	3.61	3.05	4.05	3.62
FeO	7.32	9.06	9.26	8.47	8.18	8.22	7.68	8.83	8.38
MgO	6.09	4.41	6.11	5.51	5.38	7.00	5.95	6.51	5.87
CaO	8.01	7.28	7.89	7.90	7.93	8.01	10.75	7.82	8.20
Na ₂ O	2.96	2.89	0.95	2.54	2.89	2.65	2.19	2.82	2.49
K ₂ O	1.26	1.07	0.83	1.21	1.45	1.10	1.16	1.55	1.20
TiO ₂	1.30	1.34	0.88	1.20	1.14	1.04	1.38	1.21	1.19
P ₂ O ₅	0.19	0.19	0.08	0.17	0.16	0.15	0.19	0.16	0.16
MnO	0.15	0.15	0.18	0.16	0.17	0.19	0.42	0.21	0.21
Total	98.39	97.25	99.02	98.36	97.56	98.61	96.25	97.43	97.86
ppm									
Rb	104	86	64	69	126	54	73	125	88.0
Ba	276	244	58	295	168	231	193	342	238.4
Co	36	37	32	37	37	43	34	42	37.3
Cr	173	245	408	177	173	185	190	144	211.9
Cu	66	97	5	93	85	95	3	433	109.6
Li	34	40	20	42	55	22	43	70	40.8
Nb	7	7	3	6	6	6	7	6	6.0
Ni	79	48	99	63	62	115	68	78	76.5
Sc	32	37	51	35	35	31	40	37	37.3
Sr	226	243	71	219	182	210	212	231	199.3
V	254	278	342	267	262	229	302	275	276.1
Y	34	37	24	32	30	27	48	31	32.9
Zn	86	113	277	98	98	95	137	117	127.6
Zr	122	127	137	110	106	101	140	109	119.0
Ti/Zr	63.86	63.23	38.49	65.37	64.45	61.71	59.07	66.52	59.74
Zr/Y	3.59	3.43	5.71	3.44	3.53	3.74	2.92	3.52	3.62
K/Rb	100.58	103.29	107.66	145.58	95.53	169.11	131.92	102.94	114.04
K/Ba	37.90	36.40	118.80	34.05	44.92	39.53	49.90	37.62	41.92
Sr/Ba	0.82	1.00	1.22	0.74	0.68	0.91	1.10	0.68	0.84
Rb/Sr	0.46	0.35	0.90	0.32	0.69	0.26	0.34	0.54	0.44

비교적 비유동성이며 친철상성 원소인 TiO₂가 증가함에 따라 Al₂O₃와 P₂O₅는 증가하며 SiO₂와 MgO는 감소하는 경향을 보여주고 그의 CaO, Na₂O 및 K₂O는 뚜렷한 경향을 보여주지 않는다 (Table 1). 분화가 진행됨에 따른 SiO₂의 감소는 초생마그마의 특성을 나타낸 것으로 초기 정출분화에 따른 SiO₂의 소모를 뜻하며 분화말기로 갈수록 석영에 대해 과포화 상태가 아님을 의미한다고 할 수 있다. 또한 Al₂O₃의 증가는 사장석의 정출에 기인하는 것으로 여겨진다.

Na₂O+K₂O의 총알카리 함량은 5 wt.% 미만으로 비알카리 계열에 속한다. SiO₂의 함량은 46.20 wt.%에서 62.30 wt.%의 범위에 걸쳐 변하며 이에 대한 FeO*/MgO (FeO* : all iron as FeO)비는 1.5에서 3.0 미만으로 Miya-

shiro (1975)의 분류에 의하면 쏘레라이트질 암석에 속하고 Irvine and Baragar (1971)가 제안한 AFM 그림 (Fig. 2)에서도 쏘레라이트의 분화경향을 따르고 있다. 임계각섬암의 MgO 함량은 최저 4.4 wt.%에서 최고 7.0 wt.%로서 비교적 낮은 편이며, Al₂O₃ 함량은 최저 12.80 wt.%에서 최고 16.43 wt.%로서 균질한 편으로 쏘레라이트질 암석중 마그네슘 쏘레라이트 혹은 철질 쏘레라이트에 속하지 않는 중간 조성의 쏘레라이트 (normal tholeiite)라고 할 수 있다. 쏘레라이트질 암석은 해양 쏘레라이트 (oceanic tholeiite)와 대륙 쏘레라이트 (continental tholeiite)로 나뉘어진다. 일반적으로 해양 쏘레라이트는 해양지각관이 확장하면서 생성되는 중앙 해령이나 해양지각관 위의 열점 또는 대륙지각의 열개를 따라 관입 또는 분출하여 생성된

Table 2. Rare earth element abundances for the Imgye hornblendites.

sample (ppm)	Gy12	Im60	Average
La	19.85	16.70	18.28
Ce	55.24	36.42	45.83
Pr	7.95	4.28	6.12
Nd	36.70	19.10	27.90
Sm	8.28	3.95	6.12
Eu	2.05	1.19	1.62
Gd	9.38	4.44	6.91
Dy	8.16	4.70	6.43
Ho	1.50	0.89	1.20
Er	4.05	2.78	3.42
Yb	3.56	2.45	3.01
Lu	0.56	0.38	0.47
Σ REE	157.28	97.28	127.28
Σ LREE	130.07	81.64	105.86
Σ HREE	27.21	15.64	21.43
(CN)			
La	60.33	50.76	55.55
Ce	63.86	42.10	52.98
Pr	61.15	32.92	44.29
Nd	58.25	30.32	44.29
Sm	40.79	19.46	30.12
Eu	26.62	15.45	21.04
Gd	33.99	16.09	25.04
Dy	23.79	13.70	18.75
Ho	19.48	11.56	15.52
Er	18.00	12.36	15.18
Yb	16.18	11.14	13.66
Lu	16.52	11.21	13.86
(La/Sm) _{CN}	1.48	2.61	2.04
(La/Yb) _{CN}	3.73	4.56	4.14
Eu/Eu*	0.71	0.87	0.79

Σ LREE; La to Eu and Σ HREE; Gd to Lu
CN; Chondrite-normalized values using chondrite abundance data from Sun (1980).

암석으로 그 화학조성은 친액상원소가 결핍 (N-type)되었거나 부화 (E-type)된 맨틀 기원의 중앙해령 쏘레라이트 (MORB)와 같다. 한편 대륙 쏘레라이트는 두터운 대륙 지각의 화학조성적 특징이 부가된 맨틀 기원의 쏘레라이트로서 흔히 대륙지각의 초기 열개지역 (initial rifting regime)이나 대륙지각의 하부로 해양지각이 섭입하면서 대륙지각 연변부의 전열도 분지 (fore-arc basin) 혹은 후열도 분지 또는 배호 분지 (back-arc basin)에 발달하는 쏘레라이트질 암석을 말한다.

해양 및 대륙 쏘레라이트를 구분하는 TiO_2 - K_2O - P_2O_5 삼각도 (Pearce et al., 1975)에 임계 각섬암의 분석결과를 점시하면 임계 각섬암은 대륙 쏘레라이트질 암석으로 분

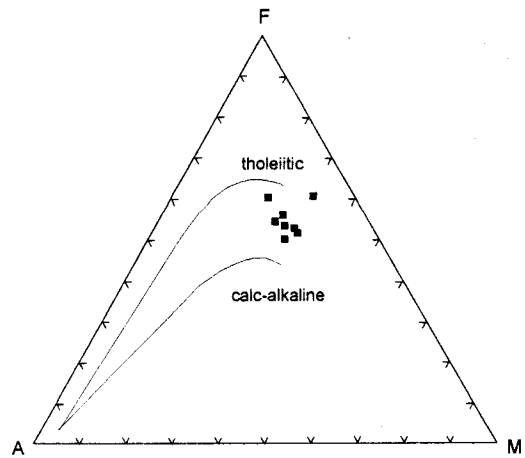


Fig. 2. AFM diagram for the Imgye hornblendites. The solid lines show typical tholeiitic and calc-alkaline differentiation trends. A; Na_2O+K_2O , F; total FeO, and M; MgO (after Irvine and Baragar, 1971).

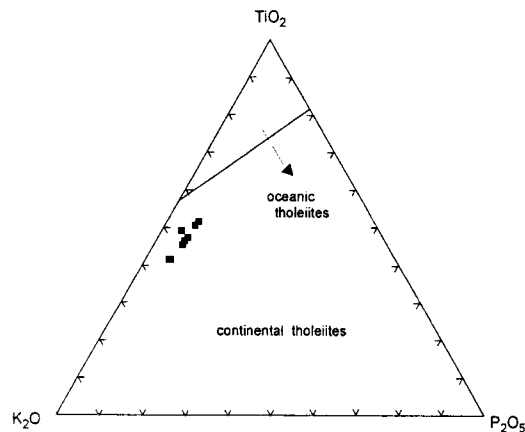


Fig. 3. TiO_2 - K_2O - P_2O_5 diagram, discriminating between oceanic and continental tholeiites (after Pearce et al., 1975).

류된다 (Fig. 3). 대륙 쏘레라이트질 암석에 속하는 임계 각섬암의 조구조적 마그마 성인을 보다 명확히 하기 위하여 유동성 친액상원소 (Mn, Nb)와 비유동성 친액상원소 (Ti, P, Zr, Y)로 구성된 TiO_2 -10MnO-10P₂O₅ 삼각도 (Mullen, 1983)와 2Nb-Zr/4-Y 삼각도 (Meschede, 1986)에 분석결과를 점시한 결과 (Fig. 4a, 4b) 두 그림에서 모두 대륙 연변부의 호상 열도에 분포하는 쏘레라이트 (VAB, IAT)의 특징과 중앙 해령에서 산출되는 쏘레라이트 (MORB, N-type MORB)의 특징을 함께 갖고 있는 것으로 나타난다. 이는 친액상원소들이 결핍된 상부맨틀 기원의 N-type MORB가 대륙지각물질에 의해 혼연되었다는 것을 의미

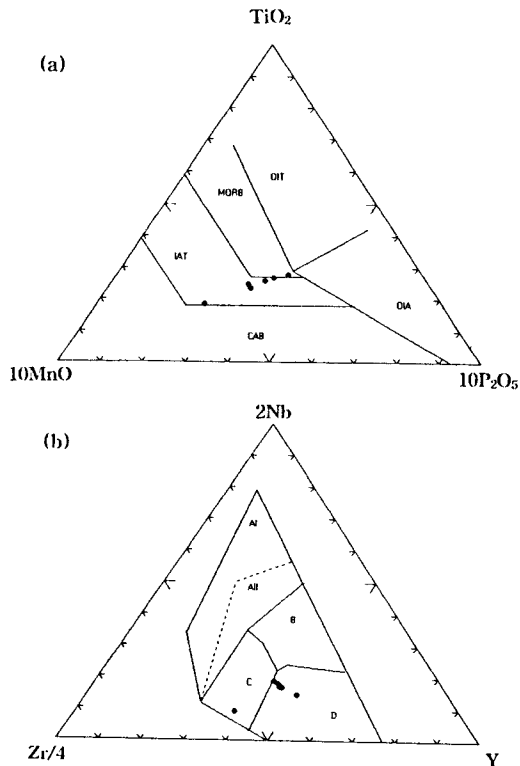


Fig. 4. Tectonomagmatic discrimination diagrams for basaltic rocks. (a) TiO_2 - $10MnO$ - $10P_2O_5$ diagram (after Mullen, 1983). Compositional fields are: OIT; oceanic island tholeiites, OIA; oceanic island alkalic, MORB; midocean ridge basalt, IAT; island-arc basalt, and CAB; island arc calc-alkaline basalt. (b) $2Nb$ - $Zr/4$ - Y diagram (after Meschede, 1986). Compositional fields are: AI; within-plate alkalic, All; within-plate tholeiite (WPT), B; enriched MORB (E-type MORB), C; volcanic-arc basalt (VAB) and WPT, and D; normal MORB (N-type MORB) and VAB.

한다고 할 수 있다.

임계각섬암의 K/Rb 평균비가 114 (Table 1)로서 N-type MORB의 44 또는 해양호상열도 쓰레라이트의 비 400보다 훨씬 낮다 (Basaltic Volcanism Study Project, 1981). 또한 임계각섬암의 Rb/Sr 평균비가 0.44인데 반하여 N-type MORB는 0.008, E-type MORB는 0.04 및 해양호상열도 쓰레라이트는 0.04~0.01로서 임계각섬암의 Rb/Sr의 비가 매우 높음을 알 수 있다 (Basaltic Volcanism Study Project, 1981). 이는 임계각섬암의 구조조적 마그마 성인이 해양 쓰레라이트류가 아님을 단적으로 나타낸다고 할 수 있다.

희토류 원소

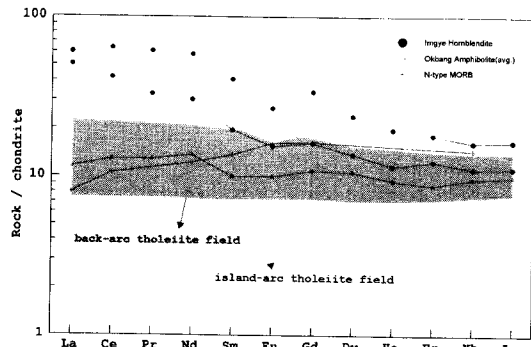


Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns for the Imgye hornblendites, compared to fields for Okbang amphibolites (Chang et al., 1993), island-arc tholeiites (IAT) from the South Sandwich island arc (after Hawkesworth et al., 1977) and for back-arc tholeiites (BAT) from the associated marginal basin, the East Scotia Sea (after Saunders and Tarney, 1979). Data for N-type MORB are from Sun (1980).

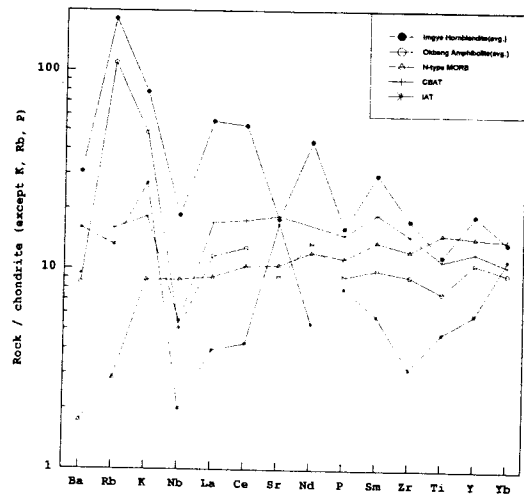


Fig. 6. Incompatible element abundance patterns, normalized to chondrite and primordial mantle values for K, Rb, and P (after Thompson et al., 1984), in the Imgye hornblendites, compared to those in tholeiitic basalts of modern tectonic settings. Data for N-type MORB from Sun (1980), IAT and CBAT from Holm (1985), and Okbang amphibolites from Chang et al. (1993).

임계각섬암을 콘드라이트에 표준화시킨 희토류원소 (REE)의 분포양상은 Fig. 5와 같다. 이 그림에서는 임계각섬암의 희토류원소 분포양상을 비교 검토하기 위하여 N-type MORB, Back-arc tholeiite, Island-arc tholeiite 및 정암피블라이트로서 continental back-arc tholeiite의 특징을 갖고 있는 옥방 암피블라이트의 REE 평균 조성

(Chang et al., 1993)도 표준화한 후 함께 도시하였다.

임계각섬암의 $(La/Yb)_{CN}$ 은 3.73에서 4.56으로서 가벼운 희토류원소 (LREE)가 무거운 희토류원소 (HREE)에 비해 3~5배 가량 더 부화된 특징을 어느 정도 보여주고 있다. 콘드라이트에 비해 LREE는 50~60배, HREE는 12~20배 정도 더 부화되어 있다. 그러나 호상열도의 칼크-알카리 계열에서 관찰되는 전형적 정출분화양상과는 많은 차이가 있다. Eu/Eu^* 는 0.71에서 0.87로서 사장석의 분별 정출에 의한 Eu의 부이상대 (negative Eu anomalies)를 보여 준다. 임계각섬암의 REE 변화양상은 후열도분지 (배호분지, back-arc tholeiite)의 쏘레라이트와 옥방암피롤라이트의 REE 변화양상과 거의 유사하다. 그러나 후열도분지의 쏘레라이트와 옥방암피롤라이트에 비해 임계각섬암의 LREE가 평균 4배 정도 더 부화되어 있고 HREE는 1.3배 정도로 거의 같은 편이다 (Table 2). 이는 임계각섬암을 형성한 마그마가 옥방암피롤라이트 또는 후열도 분지 쏘레라이트를 형성한 마그마보다 더 부화되어진 상태이거나 대륙지각물질의 혼입의 영향을 보다 더 받았다는 것을 의미한다.

임계각섬암의 조구조적 마그마의 특징은 Fig. 6의 친액상원소들의 상대적 분포양상에서도 나타난다. 이 그림은 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 친액상원소들의 유동성이 감소되도록 원소들을 배열하였다. 원소들중 K, Rb 및 P는 primordial mantle values (Thompson et al., 1984)에 표준화하였고, 다른 원소들은 콘드라이트에 표준화하였다. 이 그림에서 임계각섬암내 친액상원소의 분포양상은 후열도분지 쏘레라이트 및 후열도분지 쏘레라이트로 고려되는 옥방 암피롤라이트의 변화양상 (Chang et al., 1993)과 극히 유사하다. 즉 유동성 친액상원소인 Ba, Rb 및 K의 부화와 Rb의 정이상대 및 Nb의 부이상대는 상기의 암석들에서 모두 관찰되고 대륙지각물질의 혼입이 있었음을 뚜렷이 나타내고 있다. 임계각섬암내 비유동성 친액상원소인 Ti, Y 및 Yb의 값이 MORB와 거의 유사하다는 것은 (Fig. 5, Fig. 6) 각섬암의 마그마 기원이 맨틀기원이라는 것을 뜻한다. 각섬암의 친액상원소들이 후열도분지 쏘레라이트 기원의 옥방암피롤라이트보다 높은 값을 나타내는 것은 전술한 바처럼 맨틀 기원의 마그마가 후열도분지로서 상승 관입시 대륙지각물질에 의한 혼입의 영향을 옥방암피롤라이트보다 더 받았다는 것을 다시 한번 확인시켜 준다.

結 論

임계지역에서 선캠브리아기의 중봉산화강암과 캠브리

아기의 기저층들인 장산규암층 및 묘봉층 사이의 압쇄대를 따라, 관입암상 또는 맥상으로 발달된 임계각섬암은 중간 조성의 쏘레라이트질 암석이다. 이 각섬암은 대륙지각 하부로 해양지각이 섭입하면서 발달하게 되는 섭입관련 대륙 쏘레라이트류에 속하며 옥방 암피롤라이트의 근원암처럼 후열도분지 쏘레라이트질 암석 (continental back-arc tholeiite)으로 분류되어진다. 미량원소 및 희토류원소의 상대적 분포양상은 옥방 암피롤라이트의 근원암보다 지각 혼입의 영향을 더 받은 것으로 판단된다. 선캠브리아기의 옥방 암피롤라이트와 캠브리아기의 임계각섬암이 거의 유사한 조구조적 마그마 성인을 갖고 있다는 것은 태백산 지역일대의 지각진화를 연구하는데 매우 중요한 의미를 갖는 것으로 판단된다.

謝 辭

본 연구는 교육부 지원 기초과학연구소 학술 연구 조성비 (BSR1 91-504) 지원에 의해 이루어졌음을 감사드린다. 미량성분 및 희토류원소의 분석에 협조하여준 기초과학교육연구공동기원에 심심한 사의를 표한다.

본 연구를 수행하는 과정에서 도움 말씀을 주신 김정환 교수에게 감사드리며, 논문의 타이핑과 제도 등을 맡아 도움을 준 고경석, 고동찬 및 지구화학연구실 학생들에게 감사드린다. 이 연구는 또한 전략광물자원연구센터의 지원에 의하여 이루어졌음도 아울러 밝히며 감사드린다.

참고문헌

- 김용준, 주승환, 조동룡 (1984) 삼척지역에 분포하는 우백질 화강암의 Rb/Sr 연령에 관한 연구. 광산지질, 17권, p. 231-236.
- 김정환, 기원서 (1991) 강원도 임계지역의 지질구조. 광산지질, 24권, p. 43-55.
- 박희인, 황정, 허순도 (1992) 임계지역의 금·은 광화작용. 광산지질, 25권, p. 379-395.
- 소철섭, 김연기, 지세정, 박맹언 (1981) 임계지역에 분포하는 각섬질암의 성인. 광산지질, 14권, p. 183-191.
- 조동룡, 이대성 (1985) 강원도 임계지역에 분포하는 화강암 및 각섬암에 대한 암석학적 연구. 지질학회지, 21권, p. 330.
- 주승환, 김성재 (1985) Rb/Sr 법에 의한 영남육괴 연대 측정 연구 (I): 평해, 분천, 김천 화강편마암류 및 화강암류. 국토기초지질조사 연구 (연구보고서 85-24), p. 7-40, 한국동력자원연구소.
- 태백산지구 지하자원조사단 (1962) 태백산지구 지질도. Basaltic Volcanism Study Project (1981) Basaltic volcanism on the terrestrial plates. Pergamon Press, New York, 1286 p.
- Chang, H. W., Lee, D. H. and Park, K. H. (1993) Magmatism and metamorphism of the Proterozoic in the northeastern part of Korea: petrogenetic and geochemical characteristics of the Okbang amphibolite. Jour. Korean Inst. Mining

- Geol., v. 26 (in press).
- Hawkesworth, C. J., O'Nions, R. K., Pankhurst, R. J., Hamilton, P. J. and Evensen, N. M. (1977) A geochemical study of island arc and back-arc tholeiites from the Scotia Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 36, p. 253-262.
- Holm, P. E. (1985) The geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hygromagmatophile element abundances of tholeiitic basalts and basaltic andesites. *Chem. Geol.*, v. 51, p. 303-323.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. Jour. Earth Sci.*, v. 8, p. 523-548.
- Meschede, M. (1986) A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, v. 56, p. 207-218.
- Miyashiro, A. (1975) Classification, characteristics and origin of ophiolites. *Jour. Geol.*, v. 83, p. 249-281.
- Mullen, E. D. (1983) $MnO/TiO_2/P_2O_5$: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 62, p. 53-62.
- Pearce, T. H., Gorman, B. E. and Birkett, T. C. (1975) The $TiO_2-K_2O-P_2O_5$ diagram; a method of discrimination between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 24, p. 419-426.
- Saunders, A. D. and Tarney, J. (1979) The geochemistry of basalts from a back-arc spreading center in the East Scotia Sea. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 43, p. 555-572.
- Sun, S. S. (1980) Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Phil. Trans. R. Soc. London*, A297, p. 409-445.
- Thompson, R. N., Morrison, M. A., Hendry, G. L. and Parry, S. T. (1984) An assessment of the relative roles of a crust and mantle genesis: an elemental approach. *Phil. Trans. R. Soc. London*, A310, p. 549-590.

1993년 11월 16일 원고접수