

중부 경기육괴와 동남부 옥천변성대의 각섬암에 대한 지화학적 비교 연구

나기창* · 정원석¹

¹충북대학교 지구환경과학과, 361-763 충북 청주시 개신동 산 48번지

Geochemical Comparison Study on the Amphibolite in the Central Gyeonggi massif and Southeastern Okcheon metamorphic belt

Ki Chang Na* and Won Seok Cheong¹

¹Department of Earth & Environmental Sciences, College of natural Science, Chungbuk National University, 48 Gaesin-dong, Cheongju, Chungbuk 361-763, Korea

요 약: 경기육괴 중부지역에 속하는 경기도 양수리 일대의 변성복합체 내에 분포하는 선캄브리아 각섬암과 옥천대의 동남부에 위치하는 경북 문경군 상내리 일대에 분포하는 각섬암에 대하여 주성분 원소, 미량 원소 분석을 통하여 이들 지역의 각섬암류의 성인을 규명하고 화성활동에 대한 지구조적 환경을 해석 및 비교하였다. 분석 결과 두 지역에 분포하는 각섬암은 화성기원으로 사료된다. 원암의 분류에서는 두 지역 모두 소레이트, 아알칼리, 알칼리질 현무암을 나타내었으며 주로 소레이트 영역에 해당되었다. Ti-Zr-Y 및 Zr-Nb-Y 자료를 도시하면 일반적으로 경기육괴의 각섬암은 중앙해령내지 화산호 현무암과 같은 해양성 현무암이고, 동남부 옥천대의 각섬암은 판내부 현무암으로 분류되어 두 지역의 생성환경차이가 뚜렷하게 나타난다. 옥천대의 경우 같은 지역의 기존의 연구 결과와 잘 일치하며, 양수리 각섬암의 경우는 경기육괴 서부 지역의 연구결과와 유사하여 경기 육괴 서부에 분포하는 각섬암과 비슷한 기원 마그마로부터 유래된 것으로 사료된다. 희토류원소의 분석치는 두 지역 모두 LREE가 HREE 보다 높으며 옴의 Eu 이상치가 확연하게 나타나지 않아 사장석의 분별정출이 마그마의 기원에 별다른 영향을 주지 않았음을 알 수 있다.

핵심어: 경기육괴, 옥천변성대, 각섬암, 판 내부 현무암, 해양성 현무암

Abstract: The Precambrian amphibolites in the central Gyeonggi massif, Yangsuri, Gyeonggido and southeastern Okcheon metamorphic belt, Mungyeonggun, Gyeongsangbukdo, Korea, were studied on the geochemical characteristics of major and trace elements, and discussed petrogenetically and geotectonically. The characteristics of major elements of the amphibolites in these study areas are igeous origin such as tholeiitic-, subalkaline and alkaline basalt. Geotectonic distinction diagrams of trace elements such as Ti-Zr-Y and Zr-Nb-Y show basaltic igneous activity of island arc and mid ocean ridge environment at central Gyunggi massif, and within plate environment at southeastern Okcheon metamorphic belt. This result shows that genetic environments of study areas are different. Especially, origin of amphibolites in central Gyeonggi massif is similar with that of western Gyeonggi massif but different with the amphibolites of Chuncheon area. Genetic environment estimated of fractional crystallization of plagioclase has no particular effect on the origin of magma because value of LREE is higher than that of HREE and Eu anomaly definitely don't be exposed.

Key words: Gyeonggi massif, Okcheon metamorphic belt, amphibolite, island arc and ocean ridge, within plate

서 론

각섬암의 기원은 야외 산출 상태가 주변암석의 방향

성과 비조화적인 관계를 보일 경우는 현무암질 관입암류와 같은 화성 기원 변성암으로 추측할 수 있으나, 조화적일 경우 근원암에 대한 여러 가지 가능성이 존재

*Corresponding author: Tel. 82-11-264-2731, E-mail. petrona@chungbuk.ac.kr

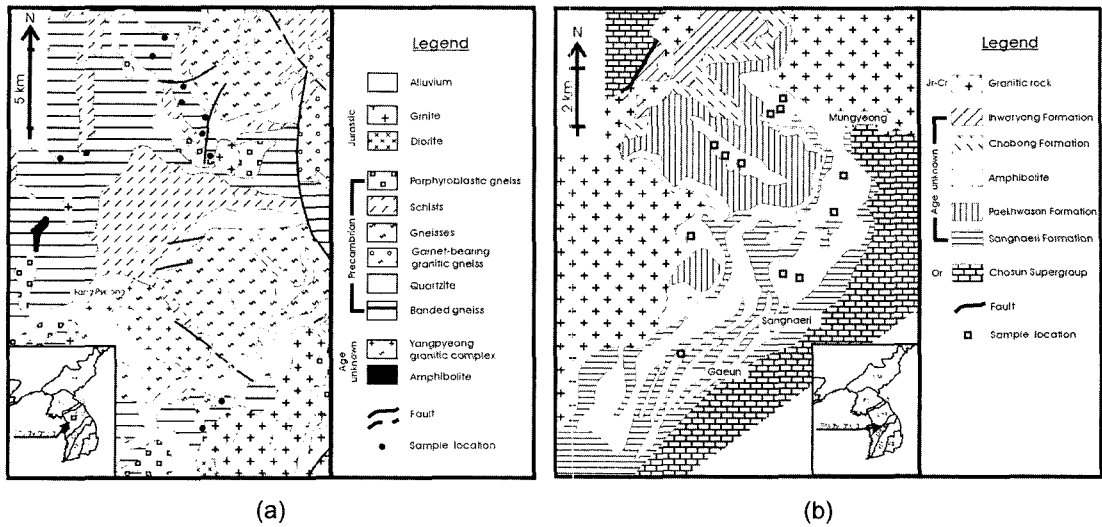


Fig. 1. The geological map and sampling site of study areas. (a) Central Gyeonggi massif. (b) Southeastern Okcheon metamorphic belt. In a map of Korea, NM: Nangrim Massif, PB: Pyeongan Basin, IB: Imjingang Belt, GM: Gyeonggi Massif, OB: Okcheon Belt, YM: Youngnam Massif, KB: Kyeongsang Basin. Gray rectangles in GM and OB are study areas.

한다. 후자의 경우, 화성기원의 현무암질 용암, 응회암 혹은 암상 등이 있을 수 있으며, 퇴적기원으로는 탄산염 성분이 풍부한 이질암이 해당될 수 있다. 또한 심한 변형작용을 받은 지역에서는 원래 비조화적인 화성기원의 각섬암이 치환작용에 의해 조화적으로 보일 가능성도 있다(Leake, 1964).

이러한 가능성들은 야외 조사만으로 각섬암의 기원을 판단하는데 불확실한 요소로 작용하기 때문에 화학적 특징으로 기원암을 밝히려는 시도가 과거로부터 계속 있어왔다(예를 들어 Pearce and Cann, 1973; Floyd and Winchester, 1975; 1978; Winchester and Floyd, 1977). 우리나라에도 여러 지역에서 각섬암이 발견되며 특히 옥천대와 경기육괴의 변성암지역에 흔히 산출된다. 옥천대의 경우 보은지역에 분포하는 각섬암(권성택과 이동호, 1992)과 문경지역의 각섬암(Ahn *et al.*, 1997)의 경우 화성기원으로 밝혀졌다. 이 외에도 여러 연구를 통하여 옥천 변성대 내의 각섬암류가 화성기원임이 밝혀졌다(So and Kim, 1975; Lee *et al.*, 1980; 신국선, 1987; 박종길 외, 2003). 경기육괴는 지금까지 주로 춘천지역의 각섬암이 연구되었으며 이 역시 화성기원으로 밝혀졌다(이문원, 1974; 권성택 외, 1995).

본 연구지역은 한반도의 지체구조에 의하면 경기육괴 및 옥천대 일부에 해당되는 지역이다. 본 지역에 존재하는 각섬암에 대한 전암 분석, 주성분원소 분석 및 미량성분 분석을 이용하여 각섬암의 기원과 화학적 특

징을 밝히고자 하였다. 또한 옥천대의 경우 기존 각섬암관련 연구 자료를 비교, 검토하였다.

지질 및 암석 개요

본 연구를 수행한 중부 경기 육괴 지역은 경기도 양평을 중심으로 조사하였고(Fig. 1a), 동남부 옥천변성대 지역은 경북 문경군 문경읍 상내리 일대(Fig. 1b)의 각섬암을 조사하였다.

중부 경기육괴 지역

중부 경기육괴 지역은 대부분 원생대 경기편마암복합체가 분포하며 이들을 대규모의 주라기 화강암체가 관입하고 있다. 경기변성암복합체는 Na(1978, 1979a, 1979b)에 의하여 주로 규선석이 안정한 저압형으로 상부 각섬암상까지 도달하는 변성작용이 우세하였음이 밝혀졌다. 또한 이러한 저압형 변성상은 남정석이 안정한 중압형의 변성작용 이후에 일어났음이 밝혀졌다(조문섭과 김종욱, 1993). 이러한 시계방향의 변성 압력-온도 경로는 경기변성암복합체가 주로 지각의 두께가 증가하는 조산운동에 의하여 형성되었음을 시사한다.

이 지역을 구성하는 암석으로는 각섬암, 화강암질 편마암, 호상편마암, 석영-장석질 편마암, 흑운모(규선석) 편마암, 석회질 편암, 각섬편암, 규암, 혼성편마암 등이 있다(Fig. 1a).

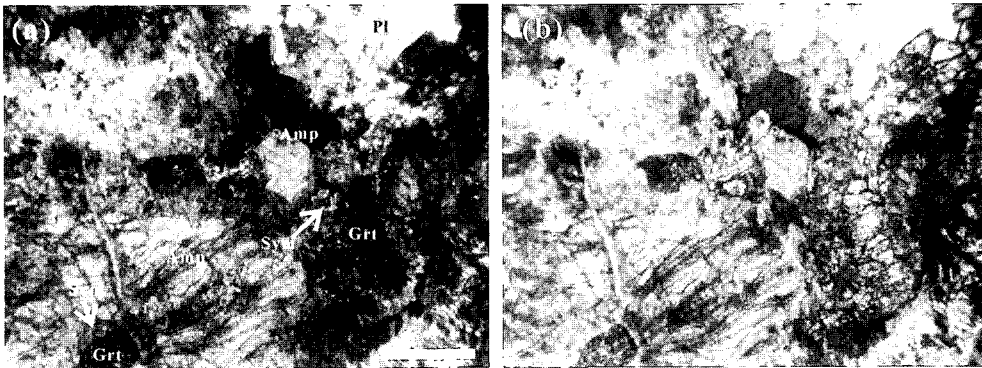


Fig. 2. Garnet-bearing amphibolite on polarizing microscope. (a) Cross nicol, (b) open nicol. Scale bar=0.5 mm. Abbreviations: Amp, Amphibole; Grt, garnet; Sym, symplektite; Pl, plagioclase.

용두리도폭(이상만 외, 1974)의 중동부 일대를 점유하고 있는 흑운모 호상 편마암은 주로 N30°~40°E의 방향성을 보이며, 그 분포가 양덕원도폭(홍만섭 외, 1974)까지 이르고 있다. 반월면 산음리 일대에 분포하는 각섬석 호상편마암은 석회질 편암 사이에 협재되어 있다. 호상구조의 발달은 미약한 편이지만 편리의 주향과 경사는 대체로 N10°~40°W, 40°~70°NE에 이른다. 본 암체에는 소규모 흑연광상이 다수 존재하는 것으로 보아 기원암이 습륙성층의 이질암 및 사질암이었다는 것을 알 수 있게 한다.

조사지역의 각섬암은 석류석의 존재 유무에 따라 두 종류로 분류할 수 있다. 석류석 각섬암은 각섬석, 사장석, 석영, 석류석, 흑운모이며, 석류석을 포함하지 않는 각섬암은 각섬석, 사장석, 석영, 흑운모, 투회석의 광물 조합을 보여준다. 부성분 광물로는 녹렴석, 녹니석, 스피넬, 방해석이 두 각섬암에 모두 나타난다. 많은 각섬암에서 녹색편암상의 후퇴변성작용 때문에 양기석, 녹렴석, 녹니석, 흑운모, 조장석, 포도석 등의 이차광물들이 관찰된다(권성택 외, 1997). 특히 석류석 각섬석에서는 현미경 관찰에서 석류석과 각섬석 사이의 심플렉타이트 조직(symplektitic texture)이 관찰된다(Fig. 2).

본 조사 지역에 나타나는 각섬암은 각종 편마암에서 관입암상으로 관찰된다. 양평군 옥천면의 고현계곡에서는 호상편마암과 접촉부는 토양에 가려져 있어 접촉관계의 명확한 관찰이 어렵지만 부근에서 발견되는 전석들로부터 관입관계를 확인 할 수 있다. 또한 이 지역의 각섬암들은 3~9 mm 정도의 석류석 결정도 다량 함유하고 있다. 이 암석은 주로 각섬석으로 구성되어 있는데, 각섬석은 암록색 세립 내지 중립질의 반자형 결정으로 산출하며, 이 외에 사장석, 흑운모, 불투명 광물도 포함되어 있다. 또한 일부 석류석과 각섬석 사이에는 후퇴변성작용으로 인한 재결정 현상도 관찰된다.

동남부 옥천변성대 지역

옥천변성대는 남한의 기저부인 선캄브리아기의 경기육괴와 영남육괴사이에 북동-남서방향으로 가로지르는 시대미상의 천매암, 운모편암, 규암, 변성사암, 점판암 및 변성염기성암 또는 각섬암 등 주로 변성퇴적암류로 구성되어 있다. 이들 중 본 연구지역은 1:5만 문경도폭(김남장, 1967) 및 함창도폭(이민성과 김상욱, 1968)의 영역에 해당한다. 이에 분포하는 변성염기성암류는 옥천대의 동남연변에 위치하며 옥천층군 상부 지층과 접하고 있다(Fig 1b). 변성염기성암류는 옥천대 전반에 걸친 광역 변성작용시에 형성되었으며 후기에 옥천대를 관입한 화강암질암에 의하여 부분적으로 접촉변성작용의 영향을 받은 것으로 알려져 있다(Kim, 1971; 이대성과 박종심, 1981). 옥천 층군의 지질시대에 관해서는 현재까지 많은 논란이 되고 있다.

연구 지역은 각섬암 및 변성퇴적암류와 함께 조선누층군의 암석과 유라기 또는 백악기의 화성암이 나타난다. 이 지역의 최하부층으로 생각되는 조선누층군 암석은 변성퇴적암류의 동남부와 북서부에서 층상단층 또는 관계미상으로 접하고 있다. 연구대상인 각섬암은 시대 미상의 변성퇴적암류내에서 점이적 또는 관입관계를 보여준다. 각섬암의 광물조성은 각섬석, 사장석, 녹니석, 흑운모, 녹염석, 석류석, 석영이다. 중생대 관입암류는 연구지역의 북동부 및 서부에 광범위하게 노출되어 있으며 조선계 암석과 옥천층군 변성퇴적암류를 관입하고 있다.

연구 방법 및 분석 결과

분석방법

분석은 경기육괴와 옥천대의 연구지역에 분포하는

Table 1. Major element data on the amphibolites of (a) central Gyeonggi massif and (b) southeastern Okcheon metamorphic belt.

(a)												
Sample	YD1a	YD2B	YD3	YD4	YD5	YD6A	YD7B	Yj1a	Yj2	YS1C	YS2Ca	YS3c
SiO ₂	44.26	44.19	48.21	47.91	46.43	49.74	48.28	46.96	46.0874	47.16	48.69	48.29
TiO ₂	2.37	1.37	2.60	2.10	2.99	3.03	1.78	1.95	0.9616	0.95	0.84	0.75
Al ₂ O ₃	14.01	12.10	12.78	15.50	13.08	13.82	15.40	10.90	15.0916	15.12	15.50	15.62
Fe ₂ O ₃	14.21	15.59	13.88	11.68	15.12	13.69	11.47	15.54	15.6568	14.04	12.07	12.28
MnO	0.20	0.24	0.20	0.15	0.22	0.22	0.20	0.25	0.2917	0.22	0.18	0.18
MgO	8.20	11.70	5.78	6.88	5.48	5.16	7.04	5.88	6.173	7.39	7.26	8.07
CaO	10.80	11.28	10.86	9.01	10.94	8.73	9.96	13.74	9.4032	10.24	10.14	11.25
Na ₂ O	2.45	1.58	2.88	3.69	2.72	3.05	2.57	1.80	2.3159	2.74	2.13	2.21
K ₂ O	1.03	0.67	1.02	1.41	1.02	0.89	1.57	1.42	2.0142	0.65	1.37	0.79
P ₂ O ₅	0.38	0.13	0.45	0.35	0.40	0.67	0.29	0.58	0.0929	0.12	0.11	0.10
L.O.I	1.55	1.00	0.61	1.85	1.06	0.75	1.36	1.30	1.4824	1.70	1.42	1.10
Total	99.46	99.84	99.26	100.51	99.47	99.74	99.93	100.31	99.5707	100.33	99.70	100.62

(b)												
Sample	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12
SiO ₂	45.73	47.18	48.99	47.85	45.13	50.22	56.42	52.58	49.81	47.24	52.29	48.60
TiO ₂	2.51	2.11	3.09	3.93	3.48	2.93	3.58	2.31	3.78	2.17	3.25	0.80
Al ₂ O ₃	16.21	15.82	14.10	14.79	15.38	13.30	14.57	13.92	12.95	14.89	12.79	7.89
Fe ₂ O ₃	13.64	13.65	12.52	14.26	14.79	14.19	12.32	10.72	14.08	13.18	8.88	13.40
MnO	0.15	0.21	0.21	0.15	0.27	0.20	0.19	0.11	0.25	0.18	0.28	0.32
MgO	4.67	7.06	4.89	4.47	3.16	7.23	3.10	3.08	4.25	7.78	4.61	9.33
CaO	11.66	5.92	9.44	6.82	11.93	5.32	4.38	13.40	8.25	5.23	11.03	16.86
Na ₂ O	2.86	4.09	4.53	3.53	3.93	2.14	1.85	0.68	4.51	4.51	4.01	0.69
K ₂ O	0.59	0.07	0.91	0.77	0.31	0.25	0.47	0.07	0.49	0.09	1.09	0.36
P ₂ O ₅	0.14	0.24	0.46	0.55	0.38	0.40	0.59	0.26	0.52	0.23	0.51	0.09
L.O.I	1.12	3.06	0.32	2.38	0.62	2.88	1.75	2.03	0.50	4.01	0.49	1.12
Total	99.28	99.41	99.46	99.50	99.38	99.06	99.22	99.16	99.39	99.51	99.23	99.46

변성암기성암류에서 각각 12개의 시료를 채취하여 변질이 가장 적게된 신선한 표본만을 현미경하에서 선취하여 실시하였다. 주성분 원소는 서울대학교 기초과학 교육연구 공동기기에 있는 X선 분광기(XRF; Simadzu 1700)를 이용하여 분석하였고(Table 1), 미량 원소는 한국 기초과학 연구소에서 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP/MS)를 이용했다(Table 2). 각석의 분석은 서울대학교 기초과학 교육연구 공동기기의 전자현미분석기(EPMA; 일본 JEOL사 JXA-8900R)를 이용하였다.

암석 및 광물 화학

본 연구에서 분화지수로 사용 가능한 조건은 변성작용을 받은 암석일 경우 변성작용 동안에 성분의 이동

이 일어나지 않고 마그마의 분화정도를 잘 나타내는 것이 필요하다. 일반적으로 현무암질암의 성분변화는 Bowen의 반응계열에 따라 분별정출되면서 일어나는데, 현무암질 마그마의 경우 SiO₂의 변화 정도가 작기 때문에 MgO를 분화지수로 이용하는 것이 보다 효과적일 뿐만 아니라 이중 감람석과 휘석의 정출은 MgO의 변화에 중요한 영향을 미쳐 마그마의 분화유형을 해석하는데 유용하므로 마그마의 분화지수로 MgO를 이용하여 다른 성분의 변화를 알아보았다. 본 연구지역의 각석암에 대한 주성분원소의 특징을 하커 도표(Harker diagram)에 도시하면 두 지역 모두 Fe₂O₃, K₂O, Al₂O₃, MnO 등은 현무암질 암석의 분화차표로 활용될 수 있는 MgO의 변화에 대해 뚜렷한 상관관계를 보이지 않지만 SiO₂, TiO₂, P₂O₅는 MgO의 감소에

Table 2. Trace element data on the amphibolites of (a) central Gyeonggi massif and (b) southeastern Okcheon meta-morphic belt.

(a)												
Sample	YD1a	YD2B	YD3	YD4	YD5	YD6A	YD7B	Yj1a	Yj2	YS1C	YS2Ca	YS3c
Ba	567	34	194	529	372	147	202	190	378	75	309	224
Rb	39	21	15	27	22	22	106	61	125	18	63	25
Sr	589	73	298	584	402	391	382	697	244	125	171	177
Y	29	28	33	30	35	44	33	50	32	23	21	20
Zr	45	30	63	51	65	61	43	152	51	53	37	44
Nb	36	7	23	13	26	34	31	29	10	5	4	4
Th	3.2	0.8	2.7	0.8	2.8	3.7	1.9	4.3	3.2	3.1	2.6	2.8
Pb	13	5	5	3	7	3	15	19	49	4	9	8
Zn	99	98	102	95	128	106	107	193	204	92	92	83
Cu	200	124	152	73	80	205	22	19	6	85	30	69
Ni	17	8	7	16	7	9	21	11	22	23	20	11
Cr	154	267	59	75	41	59	101	57	126	73	220	275
Hf	1.8	1.4	2.1	1.6	2.3	2.0	1.3	3.7	1.4	1.6	1.2	1.3
Cs	0.9	0.2	0.2	0.6	0.3	1.0	2.2	1.1	2.0	0.7	3.5	0.5
Sc	32.0	40.0	31.0	28.0	27	30.0	29	29.0	23.0	24.0	24.0	22.0
Ta	3.3	1.3	3.0	1.9	2.6	4.5	2.8	2.8	1.6	1.3	1.6	1.1
Co	71.0	78.0	60.0	52.0	60.0	46.0	58.0	49.0	54.0	69.0	63.0	64.0
La	58.5	10.1	24.8	14.3	26.5	33.2	18.2	29.6	16.9	14.3	14.0	13.2
Ce	126.1	26.5	54.3	32.6	58.5	71.7	39.0	67.5	31.0	28.8	25.7	25.2
Sample	YD1a	YD2B	YD3	YD4	YD5	YD6A	YD7B	Yj1a	Yj2	YS1C	YS2Ca	YS3c
Pr	15.9	3.8	6.9	4.6	7.5	9.4	5.3	8.9	3.7	3.5	3.2	3.2
Nd	63.5	16.8	29.9	20.2	32	39.6	22.1	38.2	14.0	13.9	13.0	12.9
Sm	10.7	4.5	6.3	4.8	6.9	8.9	5.2	9.0	3.3	3.2	3.0	2.9
Eu	4.0	1.4	2.1	1.7	2.3	2.6	1.8	2.8	1.3	0.9	1.0	0.9
Gd	9.1	5.2	7.1	5.8	7.6	9.5	5.9	10	4.3	4.0	3.7	3.7
Tb	1.2	0.9	1.1	0.9	1.1	1.5	0.9	1.5	0.7	0.6	0.6	0.6
Dy	6.3	5.2	6.2	5.5	6.5	8.6	5.5	8.9	5.0	4.0	3.6	3.7
Ho	1.1	1.1	1.3	1.1	1.2	1.8	1.2	1.8	1.1	0.8	0.7	0.7
Er	3.1	3.1	3.6	3.1	3.6	4.9	3.4	4.9	3.4	2.3	2.1	2.1
Yb	2.7	2.7	3.1	2.9	3.1	4.2	3.0	4.1	3.2	1.8	1.7	1.8
Lu	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.3	0.2	0.3

따라 전반적으로 증가하는 경향을 보인다(Fig. 3). 그러나 CaO의 경우 옥천변성대의 것은 비교적 MgO와 상관관계를 보이나 경기육괴의 것은 그렇지 못하였다(Fig. 3d).

이번 연구에서 정량 분석된 각섬석군의 자료들은 Robinson *et al.*(1981)에 의해 기술된 전하평형법(charge-balance method)를 사용한 민펫 프로그램(Min-pet program)을 이용하여 재분석 도형화 하였다. Leake (1978)의 Si-Mg/(Mg+Fe²⁺) 성분비에 의한 분류에 따르면 두 지역의 각섬암내의 각섬석군은 마그네시오 각섬석, 쳐마카이트 각섬석 및 페로안 쳐마카이트 각섬석의 영역에 속하여 유사한 조성을 보여주었다(Fig. 4). 특히

옥천대의 경우 같은 지역의 연구(오창환 외, 1993; 오창환과 이영엽, 2000)에서의 일부 각섬석군 분류와 비슷한 결과를 나타내었다.

전암 분석값을 이용한 SiO₂-(Na₂O + K₂O)에 따른 분류(Irvine and Barager, 1971)에서 두 지역의 SiO₂ 함량은 약 44~56 wt%, Na₂O + K₂O 약 2~5 wt%인 아알칼리질과 알칼리질의 영역에 속하나 옥천대의 것이 좀더 많은 시료가 아알칼리질 영역에 분포하였다. 또한 경기육괴 시료는 주로 현무암 영역에 도시되는 반면에 옥천대의 경우는 좀더 분산되어 현무암질 안산암영역까지 도시되었다(Fig. 5). (Na₂O + K₂O)-FeO_t-MgO 삼각도표(Irvine and Baragar, 1971)에 도시해보면 두 지역

Table 2. continued

(b)												
Sample	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12
Hf	1.80	1.48	4.29	6.97	4.58	3.46	4.21	1.56	2.78	1.98	2.12	0.27
Cs	7.99	0.84	3.94	8.99	1.42	2.42	0.57	0.13	2.93	0.25	1.16	4.06
Sc	15.30	13.60	16.00	16.80	17.40	13.50	19.80	20.30	15.40	17.80	-	20.20
Ta	1.65	2.65	4.60	6.31	4.02	3.39	4.63	3.22	5.65	2.01	8.08	1.62
Co	57.40	57.70	52.90	38.80	53.30	48.50	58.60	37.80	39.40	69.50	26.30	51.20
La	15.30	20.70	27.60	53.30	52.70	31.50	46.70	22.10	42.90	18.30	46.70	13.10
Ce	29.10	33.70	57.80	101.00	94.60	62.20	89.90	42.70	81.20	36.10	88.40	23.50
Pr	4.30	6.10	8.70	14.20	12.40	8.80	12.70	6.20	12.00	5.30	12.50	3.30
Nd	18.00	26.80	38.80	58.20	49.60	37.10	54.10	27.30	50.50	23.50	54.00	13.90
Sm	4.10	6.19	8.97	11.77	9.11	7.51	11.62	6.05	10.97	5.51	11.69	3.27
Eu	1.50	1.99	2.66	3.04	3.08	2.72	3.18	1.88	3.50	1.98	2.99	0.93
Gd	4.63	7.00	9.91	13.34	9.91	8.35	13.03	7.12	12.22	6.40	13.18	3.51
Ba	120.00	89.00	227.00	246.00	114.00	359.00	165.00	33.00	500.00	41.00	151.00	33.00
Rb	30.50	2.20	45.70	28.40	10.40	7.20	14.20	2.20	20.70	1.60	106.30	41.80
Sr	441.00	521.00	392.00	144.00	220.00	197.00	256.00	596.00	310.00	232.00	401.00	232.00
Y	18.70	23.40	36.60	50.50	33.10	30.00	52.70	27.10	43.50	28.00	46.90	11.30
Zr	79.00	84.00	135.00	275.00	174.00	152.00	167.00	84.00	96.00	82.00	60.80	9.00
Nb	14.10	17.90	31.78	52.80	33.70	27.60	40.80	18.50	44.00	17.00	38.80	5.20
Th	1.37	1.05	2.50	5.92	3.42	4.22	7.11	1.51	4.48	1.45	6.63	0.37
Sample	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6	N-7	N-8	N-9	N-10	N-11	N-12
Pb	4.60	46.50	9.20	7.30	29.50	8.40	5.90	10.90	20.20	4.20	7.30	3.90
Zn	107.00	124.00	150.00	103.00	262.00	113.00	149.00	64.00	205.00	147.00	88.90	129.00
Cu	184.70	92.10	28.30	11.60	89.90	9.90	13.70	4.30	7.10	3.60	33.50	28.90
Ni	74.20	74.00	64.60	6.00	52.60	47.70	8.70	121.30	1.70	130.90	22.10	77.40
Cr	41.00	76.00	68.00	35.00	107.00	59.00	75.00	269.00	43.00	221.00	101.00	111.00
Tb	0.69	0.96	1.44	1.86	1.36	1.15	1.92	1.02	1.72	0.99	1.89	0.50
Dy	3.89	5.29	8.07	10.79	7.32	6.68	10.97	5.96	9.81	6.00	10.29	2.67
Ho	0.77	0.96	1.47	2.07	1.37	1.22	2.12	1.66	1.81	1.09	1.93	0.53
Er	2.05	2.54	3.99	5.65	3.55	3.18	5.61	3.05	4.64	2.93	5.45	1.39
Yb	1.68	1.86	3.27	4.27	2.61	2.46	4.22	2.20	3.53	2.32	4.03	1.13
Lu	0.22	0.25	0.43	0.63	0.38	0.36	0.59	0.31	0.46	0.30	0.59	0.22

모두 대부분 슬레이트 계열에 분포하며 미약하지만 비슷한 분화 경로를 보여준다(Fig. 6).

Ti, Zr, Y, Nb, Sr 성분은 SiO₂ 함량이 45~51 wt%, CaO + MgO 함량이 12~20 wt%일 때 변성염기성 암석의 기원을 밝히는데 유용한 자료로 사용할 수 있는 불유동원소이다(Pearce and Cann, 1973; Pearce, 1975). 연구지역의 미량원소들은 대체적으로 폭넓은 값을 보여주나 Y, Nb, Zr, Ta 등과 같은 고장력 원소(HFSE: high field strength elements)는 큰 변화를 보여주지 않는다(Table 2).

각섬암의 TiO₂에 대한 La + Sm + Yb의 변화는 정적 상관관계를 갖는다. 이 도표에서 경기육괴 암석들은 일

부 영역에서 벗어나는 값도 있었으나 대부분 소레이트와 알칼리현무암영역에 고르게 분포하였고 옥천변성대의 것들은 주로 알칼리현무암영역에 분포하였다(Fig. 7).

암석내의 Zr의 성분은 조암광물속에 포함되지 않고 분화 말기에 생성물에 많이 함유되기 때문에 일반적으로 Zr/TiO₂ 값은 알칼리현무암질 마그마의 분화가 진행됨에 따라 초기에는 증가되는 정도가 미약하지만 안산암질 마그마 단계를 지나면 급격히 증가한다. SiO₂-Zr/TiO₂ 분류도에서는 옥천 변성대의 것이 경기 육괴의 것보다 SiO₂ 함량의 변화에 따른 Zr/TiO₂값의 변화가 좀 더 컸으나 대부분이 아알칼리 현무암에 도시되었다(Fig. 8).

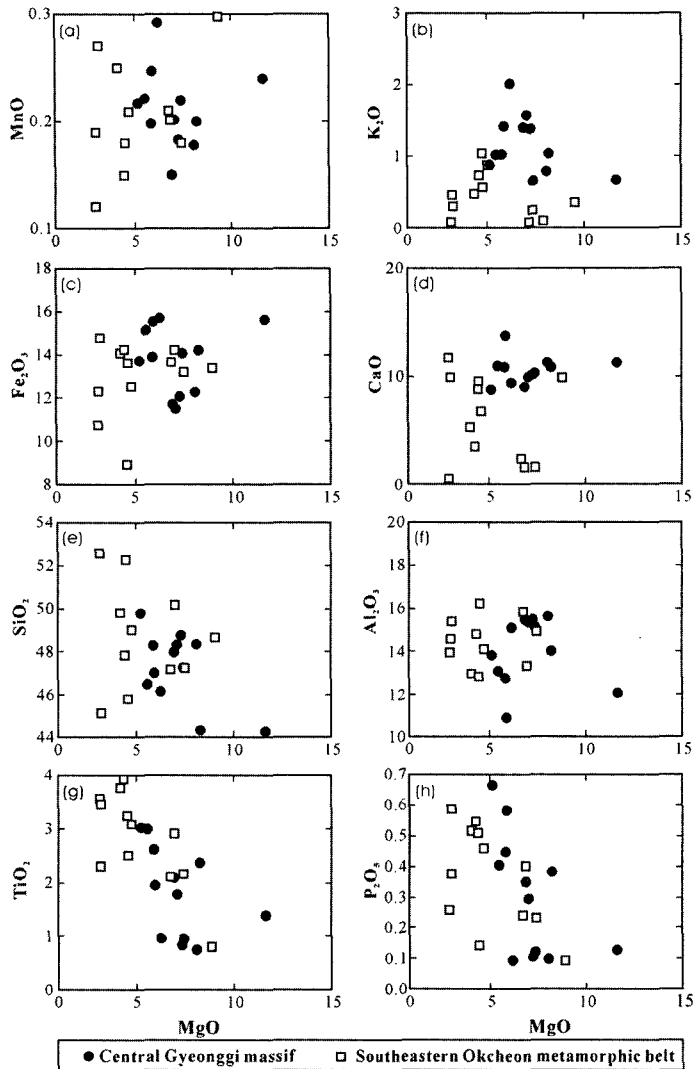


Fig. 3. Chemical variation of MgO-major element in study areas.

지구조환경 및 히트류 원소 분석

각섬암과 같은 변성염기성암은 지구화학적 특징이 잘 보존되기 때문에 화학조성을 이용하여 원암이 형성된 지구조 환경을 판단하기가 용이하다. Ti-Zr-Y 삼각도표(Pearce and Cann, 1973)에서는 경기육괴 각섬암은 일반적 지구조환경을 벗어나는 영역에 도시되기는 했지만 주로 저칼륨 솔레아이트나 해양저 현무암을 지시했으며 반면에 옥천변성대의 것은 대부분 판 내부 환경을 나타냈다(Fig. 9a). 또한 Nb-Zr-Y 조구조 삼각도표(Meschede, 1986)에 도시한 결과 역시 전자와 유사하게 옥천대의 경우 판 내부 환경에 도시되었고 경기육괴의 경우 일반적인 지구조 환경을 벗어난 값이 많

았으나 일부가 중앙해령 내지 화산호 현무암 환경을 지시하였다(Fig. 9b).

변성염기성암의 희토류원소 분석치에서 표준화된 콘드라이트 값으로 추정할 수 있는 암석의 양상은 두 지역이 모두 LREE가 HREE보다 높고, 경사기울기가 비슷하며, Eu 이상치가 확연히 나타나지 않았다(Table 2; Fig. 10).

토 의

일반적으로 변성작용 동안에 유체의 성분을 제외하고는 암석의 화학성분은 폐쇄계를 유지한다고 가정하

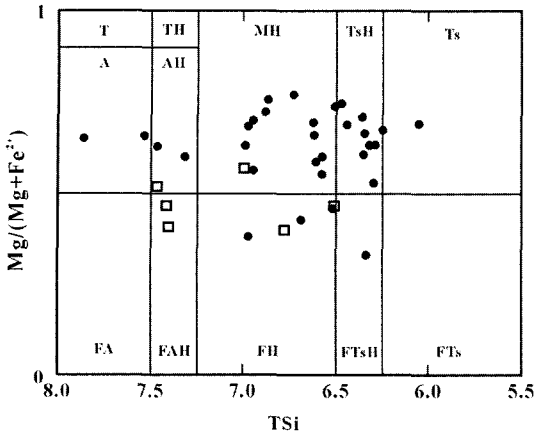


Fig. 4. Classification of amphiboles in amphibolites from study areas (Leake, 1978). Symbols are the same as Fig. 3.

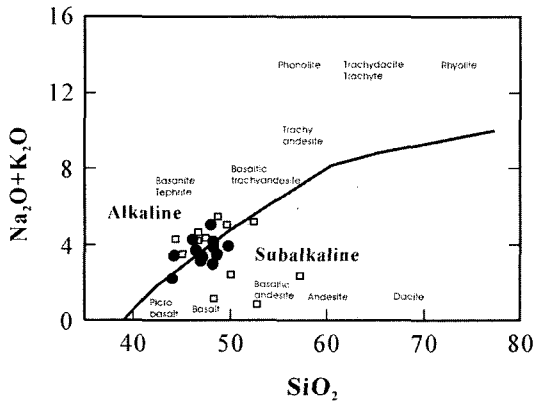


Fig. 5. Total alkali-SiO₂ diagram (Irvine and Barager, 1971) for classification of amphibolites from study areas. Symbols are the same as Fig. 3.

다. 물론, 유체/암석비가 매우 큰 탄산염암의 접촉변성 작용이나, 해양저 변성작용 같은 것은 원소의 이동이 매우 중요하다. 퇴적 기원 각섬암 중 가장 중요한 근원암으로 생각되는 탄산염질 이질암의 경우 기본적인 가정은 탄산염암과 이질암 성분의 적절한 조합으로부터 화성기원 각섬암의 현무암질 성분과 유사한 주성분 원소 조성이 만들어질 수 있다는 점이다. Fe, Na, Ti, P 등은 퇴적기원 암석들이 화성기원 암석보다 일률적으로 그 함량이 적게 나타난다. 이러한 현상들은 각섬암의 원암을 밝히는데 적용 가능하다. 이들 중 Ti와 P은 고장력원소로서 변성작용동안 불유동적이므로 특히 유용할 수 있다. 그러나, 현무암질 마그마의 성분은 매우 다양하여 위의 관계가 반드시 성립하는 것은 아니다. 예를 들어, 섭입대와 관련된 칼크알칼리 계열의 현

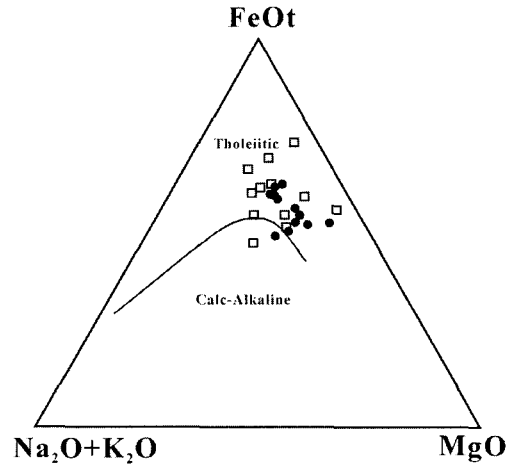


Fig. 6. The chemical compositions of amphibolite from study areas are plotted in K₂O+Na₂O-FeO*-MgO diagram. Symbols are the same as Fig. 3.

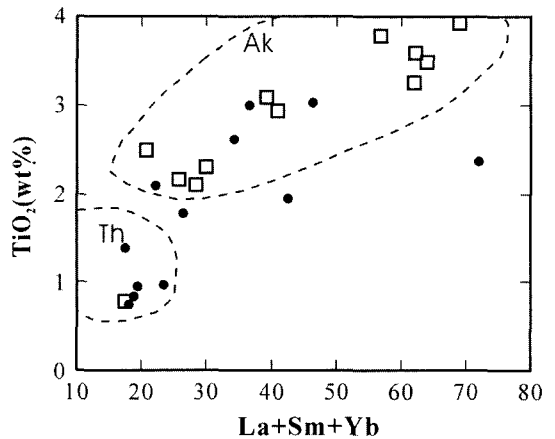


Fig. 7. Variation of TiO₂ with total La+Sm+Yb content from study areas (Basaltic Volcanic Study Project, 1981). Abbreviations: Ak, alkalic basalt; Th, tholeiitic basalt. Symbols are the same as Fig. 3.

무암질암은 다른 지구조 환경에서 산출되는 현무암에 비해 Ti, P 등의 함량이 낮다.

주성분원소의 지화학적 특징

화성암의 화학성분은 이들이 산출되는 지구조 환경에 따라 매우 독특하다고 알려져 있다. 일반적으로 변성작용을 받은 현무암질 마그마가 정치한 지구조 환경을 유추하기 위해서는 불유동적이며, 불호정적인 미량 원소가 많이 이용되지만(Pearce and Cann, 1973; Pearce and Norry, 1979), 주성분원소만을 이용한 시도도 가능하다(Pearce, 1975; Pearce *et al.*, 1977). 비록

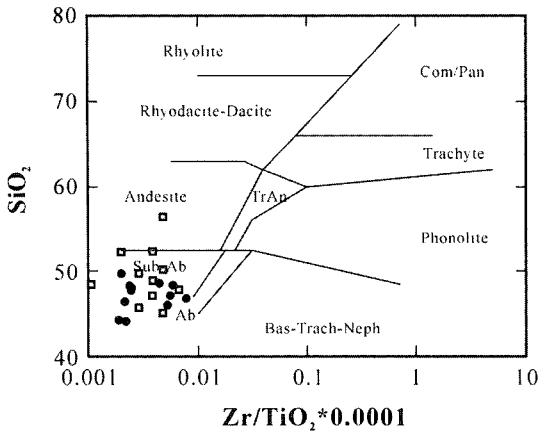


Fig. 8. Log (Zr/TiO₂)-SiO₂ diagram of study areas (Winchester and Floyd, 1977). Symbols are the same as Fig. 3.

주성분이 미량성분의 판별력보다 선택의 폭은 좁지만, 변성작용 동안 어느 정도 폐쇄계를 이루었을 경우 유용할 수 있다.

하커 도표에 따르면 SiO₂의 경우 MgO의 경향성과 상반되게 나타나 변성과정동안에 비교적 불유동 원소에 해당된다고 볼 수 있다. 경기육괴 중부지역 각섬암의 SiO₂ 함량은 44.19~49.94 wt%, 동남부 옥천대의 각섬암은 45.13~56.42 wt%로 대부분 현무암질 성분에 해당된다. 이들은 SiO₂-(Na₂O + K₂O) 다이어그램(Fig. 5)에서 아알칼리질과 알칼리질에 골고루 분포하며, (Na₂O + K₂O)-MgO-FeO 다이어그램(Fig. 6)에서는 대부분이 슬레이트 계열에 속한다. 특히 Fig. 5에서는 일부 표품 중 SiO₂ 함량이 낮은 것은 아알칼리질, 높은 것은

알칼리질을 보여주며 이러한 경향은 옥천대의 시료가 좀더 심하게 나타난다. 이것은 암석이 변성작용 동안에 Na₂O, K₂O의 성분이 어느 정도 유동적임을 나타내는 것으로 보여 진다. 이러한 결과는 분산이 심하게 나타난 K₂O의 하커 다이어그램(Fig. 3b)의 결과와 유사하다.

앞에서도 논했듯이 현무암질 마그마의 경우 SiO₂의 변화 정도가 작기 때문에 MgO 를 분화지수로 이용하는 것이 보다 효과적이다. 연구 대상인 두 지역 모두 MgO 양이 감소함에 따라 SiO₂는 전반적으로 증가하는 경향을 보이나 분산이 심하다(Fig. 3e). MnO, Fe₂O₃ 역시 크게 분산되는 경향을 보여 변성작용동안 이들 원소의 상대적인 이동이 심하였음을 지시한다(Fig. 3a, c). Al₂O₃는 옥천변성대의 경우 뚜렷한 경향성을 보여 주지 않으나 경기 육괴 각섬암의 경우 MgO 함량에 미약하게나마 비례하는 경향성을 보인다(Fig. 3f). 이와 같이 증가하는 경향은 사장석 집적으로 인한 것으로 보이나 현무암질 마그마에서 감람석이나 휘석 등과같은 MgO를 함유하는 광물이 빠져나가면서 자연적으로 증가하였다고 해석할 수도 있다. 두 지역 모두 TiO₂, P₂O₅와 같은 원소는 MgO와 반비례하는 경향을 보이는데, 이는 각각 티탄철석, 인회석이 정출하지 않았음을 지시한다(Fig. 3g, h). K₂O의 경우 경기육괴의 것은 반비례하나 옥천대의 것은 반비례 경향이 뚜렷하지 않고 오히려 약간 비례하는 경향이 보인다(Fig. 3e). 이는 경기육괴의 각섬암의 경우 알칼리 장석이 정출되지 않았을 확률이 높으나 옥천대의 각섬암의 경우 약간의 알칼리 장석이 출현했을 수도 있음을 나타낸다. 또한 경기육괴의 경우 유동성이 높은 원소로 알려진 K가 불

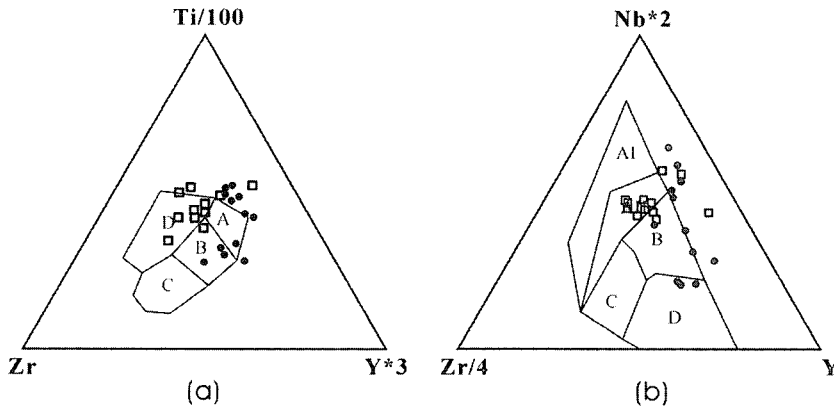


Fig. 9. Ti-Zr-Y diagram (a) and Zr-Nb-Y diagram (b) of study areas. Symbols are the same as Fig. 3. At (a) diagram, A, B: low potassium tholeiite, B: ocean floor basalts, C, D: calc-alkaline basalts and D: within plate basalts. At (b) diagram, AI, AII: within plate alkaline basalts, AII, C: within plate tholeiites, B: P MORB, D: N MORB and C, D: volcanic arc basalts.

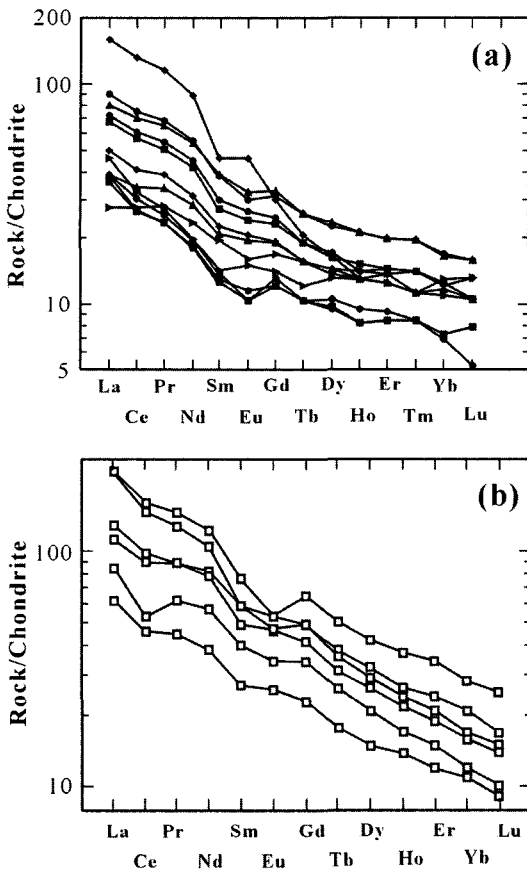


Fig. 10. Rare earth element (REE) abundance in the amphibolites of central Gyeonggi massif (a) and south-eastern Okcheon metamorphic belt (b) (after Haskin *et al.*, 1968).

유동적인 Ti, P 등과 유사한 변화를 보이는 것은 K가 변성작용 동안 비교적 폐쇄계로 거동했음을 지시한다. 따라서 전반적으로 위에서 기술한 주성분 원소의 변화는 솔레아이트질 마그마에서 혼한 광물인 감람석, 휘석, 사장석의 정출에 따른 분화로 해석이 가능하다. 변성염기성암의 주요원소 중 대부분은 낮은 정도의 변성작용 동안에 쉽게 성분이 유동할 수 있으며 특히 K_2O , CaO는 매우 유동성이 크다. 두 지역에서는 주요원소의 유동성에 대한 변화는 위의 결과에서처럼 MnO, K_2O , Fe_2O_3 , CaO는 변성작용 동안에 유동성이 있었다고 생각된다. 반면에 SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 는 비교적 불유동 원소로 나타나고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과로 비추어 볼때 조사지역인 경기육괴와 옥천대의 각섬암의 경우 화성기원으로 생각된다.

주 원소 분석 및 미량원소 분석에 의하여 두 지역의

각섬암은 많은 시료가 솔레아이트질 현무암에 속하며, 일부는 아알칼리 현무암, 저칼륨(low-K) 솔레아이트에 속한다(Fig. 6, 7, 8). 따라서, 연구 지역들의 각섬암에 대한 주성분 원소의 지구구조의 판별은 변성작용 동안 원소들이 유동적이었을 가능성 때문에 다소 제한적이긴 하지만, 경기육괴의 경우 전반적으로 춘천각섬암의 원암인 현무암질 마그마(권성택 외, 1995)와 유사한 것으로 보이며 옥천 변성대의 각섬암도 유사한 마그마였을 것으로 생각된다. 그러나 SiO_2 의 범위의 차이에 따라 옥천변성대의 것이 좀더 분화가 진행된 마그마 기원으로 생각된다.

경기육괴의 경우 각섬암은 석류석의 유무에 따라 구분될 수 있다. 그러나 이 두 종류의 각섬암의 화학성분은 대체적으로 비슷하다(권성택 외, 1995). 따라서 석류석의 유무가 전암의 화학성분에는 큰 영향을 미치지 않는다. 야외 조사에서 관찰된 결과 각섬암 내의 석류석은 주변암과의 접촉부에서 잘 발달하는 것이 여러 지역에서 관찰된다. 이는 각섬암 주변의 변성퇴적암에서 Al이 공급되었거나 유체의 존재와 관련 있을 것으로 사료된다. 특히, 각섬암의 주변에는 탄산염암이 공존하기 때문에 탄산염암의 변성작용시 방출되는 CO_2 의 존재는 유체의 성분을 변화시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다고 보이며 구체적인 증거를 얻기 위한 연구가 필요하다. 또한 현미경 관찰에서 발견되는 석류석과 각섬석 사이의 심플렉타이트로 사료되는 재결정의 흔적(Fig. 2)은 서부 경기육괴에서 관찰되는 것(오창환 외, 2002)과 매우 유사하며 이 지역에 강한 후퇴변성작용이 있었음을 나타낸다.

미량성분원소 및 희토류원소의 지화학적 특징

미량원소의 성분들은 변성작용 동안에 일반적으로 불유동원소로 나타나는 것으로 알려져 있으며 화성기원의 변성암에 대한 기원을 기술하는데 이용된다. 많은 연구에서 Ti, Zr, Y 및 몇 개의 REE는 변성작용 동안에 큰 변화를 보이지 않는다는 것이 밝혀졌다(Pearce and Cann, 1973; Ludden *et al.*, 1982). 이처럼 Ti, Zr, Y 등은 변성염기성암의 형성과정을 기술하는데 유용하다.

연구지역의 암석들은 기원암이 현무암에 속하는데 미량성분 원소를 분석한 자료들을 Ti/100-Zr-3Y 삼각도표(Fig. 9a)와 Zr/4-2Nb-Y 삼각도표(Fig. 9b)에 표시한 결과 일부 시료들이 다소 지구구조 환경에 벗어난다. 특히, 중부 경기육괴의 결과가 영역에서 많이 벗어나는 이유는 고장력 원소에 속하는 미량원소일지라도 추후의 변질 또는 변성과정 중에 어느 정도 유동했기 때문

으로 사료된다. 또한 Zr의 경우 암석 내의 Zr가 대부분 저온 광물에 포함되어있어 이들이 산처리에 잘 용해되지 않아 ICP-MS 분석에서 Zr의 농도가 상당히 낮게 측정되었을 가능성이 있어 Zr가 표시된 도형에서 Zr에서 먼쪽으로 도시 되었을 가능성이 많으나 이러한 편향이 있어도 본 연구에서 논의하는 결과에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 도형에서 이와 같이 영역에서는 일부 벗어나기는 했지만 결과에 따라 옥천대 각섬암은 판내부 현무암으로 분류되고 중부 경기육괴의 것은 중앙해령내지 화산호 현무암과 같은 해양성 현무암으로 분류될 수 있다. 이는 두 지역의 변성 이전의 관입활동이 서로 다른 기원의 마그마에 의해 형성했음을 반영한다. 또한 옥천대 각섬암의 경우는 그 기원이 같은 지역의 기존의 연구결과(Ahn *et al.*, 1997)와 아주 잘 일치 한다. 반면에 경기육괴의 경우 판내부 현무암으로 정의된 춘천지역의 각섬암(권성택 외, 1995)과 많은 차이를 보이지만 서남부 경기육괴의 연구 결과(오창환 외, 2002)와 비교적 잘 일치하고 있다. 따라서 본 연구지역을 포함하는 경기육괴의 중부 및 서부에 분포하는 각섬암과 춘천지역을 포함한 동부에 분포하는 각섬암의 기원 마그마가 차이가 있다고 사료된다.

두 지역의 희토류원소 값을 표준화된 콘드라이트 값과 비교한 결과(Fig. 10) 두 지역 모두 LREE 가 HREE 보다 높으며 그 기울기 또한 비슷하였다. 또한, 뚜렷한 Eu 이상치가 확인히 나타나지 않는 것으로 보아 사장석의 분별정출이 마그마의 기원에 별다른 영향을 주지 않았음을 알 수 있다. 경기육괴 시료의 일부는 HREE 가 증가하는 경향을 보이는데 이는 석류석이 농집된 부분일 가능성을 지시한다. 어떤 경우에는 La와 Ce, 그리고 LILE(large-ion lithophile elements)와 같은 LREE내의 고갈상태의 차이는 변형 또는 변질된 화성암에 의한 것과 그리고 변성작용과 2차적인 변질작용이 일어나는 동안 유체와 암석의 상호작용에 의한 것으로 해석된다(Jahn *et al.*, 1999). 따라서 본 지역에 분포하는 변성염기성암의 특징을 보다 정확히 판단하기 위해서는 인근지역의 시료를 채취하여 더욱 자세한 분석과 연구가 필요하다고 사료된다.

결 론

본 연구는 선캠브리아 경기육괴 중부지역에 산출하는 각섬암과 시대미상인 옥천변성대 동남부에 분포하는 각섬암의 주원소와 미량원소 분석을 통하여 성인 및 환경을 비교하고자 하였으며 다음과 같은 결론을

얻었다.

(1) 중부 경기 육괴와 동남부 옥천변성대의 각섬암에서 비교적 불유동원소로 알려진 MgO와 타 원소와의 비교에서 SiO₂, TiO₂, P₂O₅ 등의 원소가 마그마의 분화과정에서 서로 양립할 수 없는 원소로 존재하기 때문에 원암이 화성기원임을 지시한다. 따라서, 경기육괴에서 나타나는 조화적인 야의 산출상태는 암상으로서의 관입, 현무암질 용암류로 추측할 수 있다.

(2) 두 지역의 각섬석류의 종류는 마그네시오 각섬석, 처마카이트 각섬석 및 페로안처마카이트 각섬석으로 유사했다.

(3) 주원소 분석과 미량원소 분석을 이용한 원암의 분류에서는 두 지역 모두 소래아이트, 아알칼리, 알칼리질 현무암을 나타내었으며 주로 소래아이트 영역에 많이 분포하였다.

(4) Ti-Zr-Y 및 Zr-Nb-Y 자료를 도시하면 일부 시료들이 다소 지구조 환경에 벗어나지만 일반적으로 경기육괴의 각섬암은 중앙해령내지 화산호 현무암과 같은 해양성 현무암이고, 동남부 옥천대의 각섬암은 판내부 현무암으로 분류되어 두 지역의 생성환경차이가 뚜렷하게 나타난다. 이는 두 지역의 변성 이전 관입활동이 서로 다른 기원의 마그마에 의해 형성했음을 반영한다. 이러한 성인은 서남부 옥천대의 경우 같은 지역의 기존의 연구 결과와 잘 일치한다. 경기육괴의 경우는 춘천지역의 각섬암과 차이가 있으나 서남부 경기육괴의 연구결과와 유사하여 그 기원이 서남부지역의 것과 동일한 것으로 사료된다.

(5) 희토류원소의 분석치는 두 지역 모두 LREE가 HREE 보다 높으며 음의 Eu 이상치가 확인하게 나타나지 않아 사장석의 분별정출이 마그마의 기원에 별다른 영향을 주지 않았음을 알 수 있다.

사 사

이 논문을 자세히 보아주고 많은 문제점과 미비점을 지적하여 논문의 질을 높인 부경대학교의 박계현 책임 편집위원과 익명의 심사자에게 깊은 감사를 드린다. 또한 야의 조사시 도움을 준 충북대학교 암석학 연구실 연구조원들에게도 고마움을 표한다.

참고문헌

- 권성택, 이동호, 1992, 보은 지역의 옥천 변성염기성암에 대한 암석·지구화학적 연구. 암석학회지, 1, 104-123.
 권성택, 전은영, 이진한, 1997, 경기육괴 변성암의 흑운모

- Rb-Sr 연대: 지구조적 의미. 지질학회지, 33, 49-53.
- 권성택, 조문섭, 전은영, 이승렬, 이진한, 1995, 춘천 각섬암의 지구화학과 기원: (1) 주성분원소, 암석학회지, 4, 20-30
- 김남장, 최승오, 강필중, 1967, 한국지질도(1:50,000) 문경도폭 및 설명서. 국립 지질 조사소, 37p.
- 박종길, 김성원, 오창환, 김형식, 2003, 옥천변성대 북서부 계명산층 내 변성화성암류의 지구화학 및 지구연대학적 연구와 그 지구조적 의의. 암석학회지, 12, 155-169.
- 신국선, 1987, 충북 보은군 관기-화성간에 분포하는 변성염기성 암류의 암석학적 연구. 연세대학교 석사학위논문, 58p.
- 오창환, 김성원, 김종섭, 1993, 문경지역에 분포하는 변성염기성암과 변성 퇴적암에 대한 백악기 화강암의 열변성작용. 암석학회지, 2, 74-94.
- 오창환, 이영엽, 2000, 문경 및 보은지역의 저압형 열변성작용시 변성염기성암내 각섬석 성분의 변화. 지질학회지, 36, 383-410.
- 오창환, 최선규, 송석환, 2002, 백동지역의 변성염기성암과 주변 편마암의 변성진화과정과 그 지구조적 의미. 암석학회지, 3-4, 103-120.
- 이대성, 박종심, 1981, 보은화강섬록암 서남부 접촉대에 대한 암석학적 연구. 광산지질, 24, 287-299.
- 이문원, 1974, 춘천부근에 분포하는 각섬암의 성인에 관한 연구. 지질학회지, 10, 149-168.
- 이민성, 김상욱, 1968, 한국지질도(1:50,000) 함창도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 34p.
- 이상만, 김봉균, 소철섭, 신명식, 1974, 한국지질도(1:50,000) 용두리도폭 및 설명서. 국립 지질 광물 연구소, 16p.
- 조문섭, 김종욱, 1993, 춘천-홍천 지역 용두리 편마암 복합체내에 산출하는 납정석: 변성지구조적 의의. 암석학회지, 2, 1-8.
- 홍만섭, 신명우, 박봉순, 이유대, 1974, 한국지질도(1:50,000) 양덕원도폭 및 설명서. 국립 지질 광물 연구소, 20p.
- Ahn, K.S., Shin, I.H. and Kim, H.N., 1997, Petrology and amphibolites (meta-dolerite sill) in the Mungyong area, Korea. Jour. Korean Earth Sci. Soc., 18, 500-514.
- Basaltic Volcanic Study Project, 1981, Basaltic volcanism on the terrestrial planets. Pergamon, 1286p.
- Floyd, P.A. and Winchester, J.A., 1975, Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. Earth and Planetary Science Letters, 27, 211-218.
- Floyd, P.A. and Winchester, J.A., 1978, Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile Elements. Chem. Geol., 21, 291-306.
- Haskin, L.A., Schmitt, R.A. and Smith, R.H., 1968, Meteoritic, solar and terrestrial rare earth distributions. Physics and Chemistry of the Earth, 7, 167-321.
- Irvine T.N. and Barager W.R.A., 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Jour. Earth Sci., 8, 523-548.
- Jahn B.M., Wu, F., Lo, C.H. and Tsai, C.H., 1999, Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China. Chemical Geology, 157, 119-146.
- Kim, H.S., 1971, Metamorphic facies and regional metamorphism of Okcheon metamorphic belt. Jour. Geol. Soc. Korea, 7, 221-256
- Leake, B.E., 1964, The chemical composition between ortho- and para- amphibolite. Jour. Petrol., 5, 238-254.
- Leake, B.E., 1978, Nomenclature of amphiboles. Am. Mineral., 63, 1023-1052.
- Lee, H.Y., Lee, M.S. and Um, S.H., 1980, Geochemistry of amphibolites in the Hwanggangri Area, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, 16, 93-104.
- Ludden, J., Gelinas, L. and Trudel, P., 1982, Archean metavolcanics from the Touyn-Noranda district, Abitibi greenstone belt, Quebec: 2. Mobility of trace elements and petrogenetic constraints. Canadian Jour. Earth. Sci., 19, 2276-2287.
- 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., 56, 207-218.
- Na, K.C., 1978, Regional metamorphism in the Gyeonggi Massif with comparative studies on the Yeoncheon and Okcheon metamorphic belts (I). Jour. Geol. Soc. Korea, 14, 195-211.
- Na, K.C., 1979a, Regional metamorphism in Gyeonggi Massif with comparative studies between Yeoncheon and Okcheon metamorphic belts (II). Jour. Geol. Soc. Korea, 15, 67-88.
- Na, K.C., 1979b, Regional metamorphism in the Gyeonggi Massif with comparative studies on the Yeoncheon and Okcheon metamorphic belts (III). Jour. Geol. Soc. Korea, 15, 127-133.
- Pearce, J.A., 1975, Basalt geochemistry used to investigate past tectonic environments on Cyprus. Tectonophysics, 25, 41-67
- Pearce, J.A. and Cann, J. R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth and Planetary Sci., 19, 290-300.
- Pearce T.H., Gorman, B.E. and Birkett, T.C., 1977, The relationship between major element chemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. Earth and Planetary Sci. Letters, 36, 121-132.
- Pearce, J.A. and Norry M.J., 1979, Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks. Contrib. Mineral. Petrol., 69, 33-47
- Robinson, P., Spear, F.S., Schumacher, J.C. Laird, J., Klein, C., Evans, B.W. and Doolan, B.L., 1981, Phase relations of metamorphic amphiboles: Natural occurrence and theory. Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy, 10, 1-100.

alogy, 9B, 1-228.
So, C.S. and Kim, S.M., 1975, Geochemistry, origin and metamorphism of mafic metamorphic rocks in the Okcheon Geosynclinal Zone, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, 11, 115-138.
Winchester J.A. and Floyd, P.A., 1977, Geochemical dis-

crimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chem. Geol., 20, 325-343.

(2004년 11월 15일 접수; 2004년 12월 7일 채택)