

## 옥천변성대 북동부 황강리 지역내 앰피블라이트에 나타나는 대상(帶相) 각섬석의 광물화학 및 조직

유영복 · 권용완 · 김형식

고려대학교 이과대학 지구환경과학과

**요 약:** 황강리 지역내 앰피블라이트에 나타나는 대상 각섬석류의 Na(A), K, Na(M4), Al(IV) 그리고 Al(VI)+Fe<sup>3+</sup>+Ti+Cr의 함량변화를 치환작용의 관점에서 보면 처마카이트 치환과 에테나이트 치환 그리고 글로코페인 치환의 정도는 핵부위의 양기석질이 주변부로 감에 따라 각섬석으로 변하면서 핵부위보다 주변부에서 더 높다. 또한 투회석을 포함하거나 녹색색의 각섬석을 보이는 가장 높은 변성도의 세 시료(M29-2, M76-2, M78)에 존재하는 각섬석들의 치환성분 함량은 더 낮은 변성도의 주변부 각섬석보다는 낮고 양기석보다는 높은 것으로 나타나고 있어 치환작용의 정도가 전체 각섬석류중에서 중간 영역에 해당되고 있다. 대상 각섬석류의 성인에 대한 고찰을 해보면 첫째로 두 시료 R102-1와 R210-9가 서로 동일하게 각섬석류의 핵은 양기석질 각섬석이고 주변부는 마그네시안 헤스팅사이트에 해당되는데 사장석은 각각 알바이트(R102-1)와 라브라도라이트(R210-9)의 큰 성분격차를 보여주고 있다. 알바이트와 라브라도라이트가 한번의 변성작용으로 동시에 생성되기가 어렵기 때문에 대상 각섬석류는 불혼합 구간(Miscibility gap)이 아닌 다변성작용의 결과로 형성된 것으로 추정된다. 둘째로 양기석과 각섬석간의 접촉면이 광학적으로 뚜렷한 경우와 점이적일 경우 모두 화강암체와 떨어진 거리에 상관없이 본암에 형성되어 있다. 두 광물이 뚜렷한 접촉면을 보여주는 시료의(R210-9, M128, M130) 경우 사장석이 저변성도와 중변성도에서 생성되는 성분을 함께 보여주고 있다. 이런 다양한 성분의 사장석은 불혼합 구간이 형성되는 변성도보다 더 높은 변성도의 변성작용이 중첩되어 있음을 시사하기 때문에 대상 각섬석류가 다변성작용에 의해 성장한 것을 의미해 준다. 또한 광물간에 점이적인 접촉면을 갖는 경우도 이 조직이 주로 화강암체 주변에서 산출된다는 사실과 변성도의 고찰 등을 통해 다변성작용의 영향에 기인한 것으로 생각된다. 대상 각섬석류의 성분변화를 변성작용의 압력형과 연관지어 보면 핵부위의 양기석들은 중압형의 변성작용에 의해 성장한 것으로 볼 수 있고 주변부의 각섬석들은 저압형과 유사한 변성작용으로 인해 형성된 것임을 알 수 있다.

**핵심어:** 대상 각섬석류, 사장석, 불혼합 구간, 다변성작용, 압력형

### 서 언

선캠브리아대의 경기육괴와 영남육괴 사이에 위치하는 북동-남서 방향의 옥천변성대는 주로 시대 미상의 변성퇴적암으로 구성되어 있으며 여러 번의 습곡작용과 단층으로 인해 복잡한 지질구조를 띠고 있다. 변성퇴적암으로는 대체로 점판암, 천매암, 운모 편암 등으로 구성되며 여기에 변성사암류와 합력 천매암이 수반되어 있고 부분적으로 결정질 석회암과 변성염기성암이 분포하고 있다. 옥천변성대에 분포하고 있는 변성염기성암은 대표적으로 세 지역에서 산출되고 있는데 주로 황강리 지역에서는 서창리층에, 문경-가는 지역에서는 상내리층에, 그리고 보은-옥천 지역에서는 창리층내에 협재하고 있다. 이 암석은 본 변성대의 진화과정을 이해하는데 매우 중요함으로 모암의 정치시기와 변성시기 그리

고 지구조 환경에 대한 연구가 수행되어 왔다.

Lee and Woo(1970)는 변성염기성암을 일곱가지로 분류했고 그 기원암으로 화성기원, 퇴적기원, 그리고 부분적으로 혼합기원을 제안하였다. Kim(1971)은 이 염기성암을 포함하는 옥천변성대가 고생대말이나 중생대초기에 녹색편암상에서 앰피블라이트상의 광역변성작용을 받았고 부분적으로 대보화강암의 관입에 의해 약하게 접촉변성작용을 받았음을 보고한 바 있다. Ryu(1991)는 옥천변성대내 세 지역에 산출하고 있는 변성염기성암을 아홉종류로 분류했으며 잔류화성조직의 관찰을 통해 화성암에서 기원한 것으로 정의하였고 대상을 띠는 각섬석류가 중압형의 광역변성작용 이후에 더 높은 변성도의 접촉변성작용이 중첩된 것을 지시하는 것으로 제안했으나 이 연구에서는 대상 각섬석류의 성인에 대하여 구체적으로 다루어지지 않았다. 여기서 대상

각섬석류란 색 또는 간섭색과 같은 광학적 특성에 있어 차이를 보이고 화학성분이 서로 다른 두 가지 상으로 이루어진 한 입자의 각섬석류를 의미하는 것으로 연구지역의 앰피블라이트에서는 대체로 핵부위의 양기석과 주변부의 각섬석으로 이루어져 있으며 그 조직적 형태는 다양하다.

본 연구의 목적은 황강리 지역에서 산출되고 있는 앰피블라이트의 주구성 광물인 각섬석과 사장석의 광물화학적 특성을 알아보고 대상 각섬석류의 성인에 대해 변성작용과 관련하여 고찰하는 것이다. 이 대상 각섬석류의 형성 원인을 규명하는 것은 본암이 받은 변성작용을 인지하는데 매우 중요하다고 할 수 있다.

### 일반지질

옥천변성대는 변성니질암, 규암, 탄산염암, 앰피블라이트, 변성산성화산암등을 포함하는 일련의 변성퇴적암과 변성화성암으로 구성되어 있으며 송림변동과 대보조산운동을 포함하는 여러 번의 지구조 운동으로 심한 변형운동을 받았다. 옥천변성대의 지사를 알기 위해 옥천누층군의 층서를 알 필요가 있는데 층서를 정하는데 있어 주요 기준들이 없거나 서로 엇갈리고 있어 여러 연구자들에 의해 수많은 지층들과 그 층서들이 제안되어 왔지만 아직까지 일치된 결론에 이르지 못하여 각개의 층서들이 선

택적으로 사용되고 있는 실정이다. 근래에 Cluzel *et al.*(1990)는 미고생물학적 발견들을 바탕으로 옥천누층군이 고생대 초기에 단일 분지에서 형성되었을 것으로 제안한 바 있다. 층서에 관해서는 퇴적작용에 해당되므로 더 언급하지 않기로 한다.

옥천변성대내의 변성염기성암들은 변성대 중심의 남동부를 따라 폭 0.5-3.0 km에 90 km 가량의 길이로 좁고 불연속적으로 분포하며 주라기와 백악기 화강암질암에 의해 부분적으로 잘린 형태로 나타난다. 지금까지 본암은 각섬암, 녹색암, 앰피블라이트, 변성염기성암, 변성반려암등 여러 명칭으로 불려져 왔는데 여기서는 앰피블라이트로 통칭하고자 한다. 본 연구는 여러 지역 중 황강리 지역에 산출하고 있는 앰피블라이트들을 대상으로 한다.

황강리 지역은 문주리층, 황강리층, 명오리층, 북노리층, 서창리층, 계명산층, 향산리 돌로마이트, 대향산 규암층, 앰피블라이트, 흑운모 화강암, 조선계 대석회암통 등으로 구성되어 있다. 연구지역에서 앰피블라이트들은 대표적으로 서창리층과 오르도비스기의 대석회암통내에 관입 또는 분출의 형태로 존재하고 있는데 서창리층은 어두운 색의 점판암과 천매암으로 구성되어 있고 함력천매암질암인 북노리층에 의해 부정합적으로 덮혀있다. 앰피블라이트 열리면의 주향과 경사는 N20-30E, 30-50NW로 주변암의 편리방향과 평행하며 대체로 암상의 형태를 띠고 있다. 월악리 근처에서 본암은 저반상의 백악

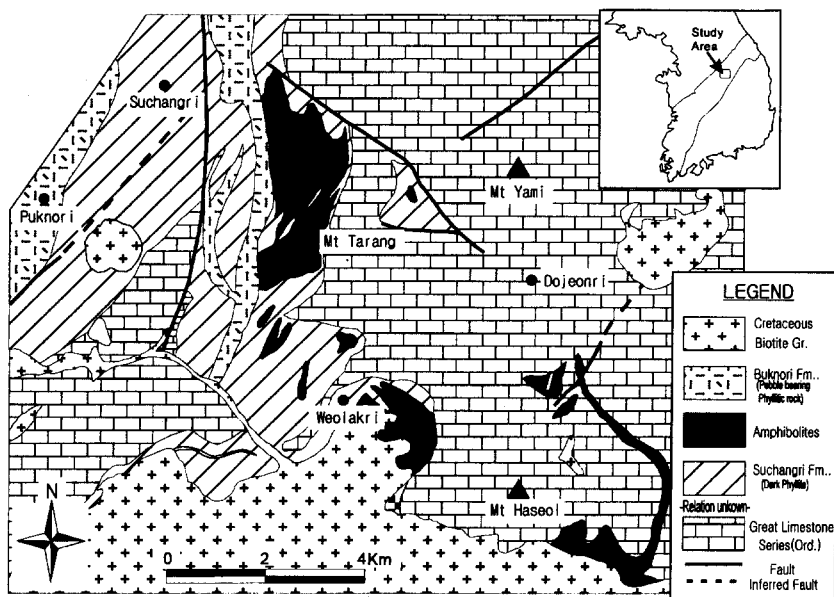


Fig. 1. Geologic map of the study area. Modified from Lee and Park(1965) and Ryu(1991).

기 화강암질암에 의해 관입을 받았으며 암맥형태의 흑운모 화강암이 연구지역내에 간헐적으로 분포하고 있다. 본 연구지역의 지질도는 Fig. 1과 같다.

### 서창리층

본층은 옥천계 지층중의 하위에 분포하는 것으로 기재되어 옥천층군에 포함되는 것으로 취급되어 왔다. 서창리층은 대체로 천매암으로 구성되며 옥천 변성대 남부의 창리층과 대비되기도 하는데 Lee *et al.*(1986)에 따르면 창리층에서는 우라늄이 산출되나 서창리층에서는 우라늄이 결핍되어 있다고 한다. 층중에 흑색점암에 가까운 협층을 포함하며 흑운모 화강암과의 접촉면부에 다변질작용에 의하여 비교적 광범위하게 생성된 암갈색 변질천매암 질대가 분포하며 대석회암통과의 접합면에 흑색점암과 15 m 내외의 규암층을 협재한다. 서창리층과 대석회암통과의 층서적 관계는 논쟁의 대상이 되어 왔고 현재 여러 의견이 상충되고 있는데 여기에는 드러스트 접촉(Kim, 1968; Kim and Yoon, 1980), 부정합(Reedman and Um, 1975) 또는 수평적 연장(Son, 1970, 1986; Cluzel *et al.*, 1990)이라는 주장들이 제기되어 왔다. 이민성과 박봉순(1965)의 조사에서는 옥천계와 대석회암통이 서로 부정합 관계인 것으로 규명되어 별개의 지층으로 설정되고 있다. 본층 상부에는 북노리층이 부정합으로 피복하는데 이층은 향사구조의 축선에 해당하는 부분이 분포하는 것으로 조사된 바 있으며(이민성과 박봉순, 1965) 꼬부랑재 및 금곡 부근에 앰피블라이트가 암상의 형태로 관입하고 있다.

### 북노리층

북노리층은 서창리층을 부정합으로 피복하며 거의 남북방향의 등사습곡의 향사축선에 해당된다(이민성과 박봉순, 1965). 본층은 암회색의 암색을 띠고 석회암, 규암, 편암의 역과 석영립을 함유하며 편리구조가 발달되어 있고 매트릭스는 천매암질에서 사질에 가까우며 부분적으로 탄산염광물인 방해석을 함유하여 신선한 부분에서는 염산에 반응을 일으키는 함역 석회질 천매암이 존재한다. 역은 대체로 5-25cm의 직경을 갖고 있다. 본층의 지배적인 주향과 경사는 N30-40E, 45-60NW이며 드물게 N20E, 20SE으로 경사의 변화를 보인다.

### 석회규산염암

연구지역내 석회규산염암은 조선계 대석회암통의 영월형으로서 결정질 석회암, 석회규산염암, 흑색 점판암등으로 이루어진 고운리층에 속하며 화강암 질암, 앰피블라이트 및 서창리층과 접하기도 하는데 특히 화강암 관입접촉부에 연하여 주변포를 보인다. 백악기 화강암과의 접촉부에서는 약 2.5 km 내외의 접촉변질대를 형성하여 불순석회암층이 석회규산염화되어 있는 암상을 보여주고 있으며 팽개 바위, 응두산, 넓은내 등지에서 앰피블라이트에 의해 관입받은 것이 관찰된다. 이 접촉변질대에서 본암은 부분적으로 서창리층의 천매암의 다변질상을 보이는 암석과 유사한 암상을 띠어서 구분이 곤란하기도 하다. 변질정도가 낮은 부분의 많은 노두에서 본암은 탄산퇴적물과 규산퇴적물이 교호하며 퇴적되면서 이루어진 것이 보존되어 있어 니질대와 석회질대가 교호되어 형성된 호상내지 판상구조를 나타낸다. 본암의 주향과 경사는 대체로 N40-60E, 40-65NW가 지배적인데 부분적으로 N50-60E를 보이며 경사에 있어서는 20SW의 상반된 변화를 보이기도 한다.

## 광물 화학

### 분석 방법

광물의 화학조성을 알기 위해 연마된 박편들에 대하여 전자현미분석(EPMA)을 실시하였다. 전자현미분석은 고려대학교 전략광물센터(CMR)에서 JEOL사의 JXA-733을 사용하였다. 분석조건인 가속전압은 15 kv, 빔 직경(Beam diameter)은 5  $\mu$ m, 그리고 빔 전류는 0.01  $\mu$ A이다. 분석치 보정은 ZAF방법을 사용하였다. 각 원소에 사용된 합성표준광물 또는 천연산 광물은 알바이트(albite; Na, Al, Si), 규회석(Ca), 정장석(K), 알만딘(Fe), 로도나이트(rhodonite; Mn), 파이로프(pyrope; Mg), 합성 TiO<sub>2</sub>(Ti)등이다.

### 각섬석류 광물의 분류

전자현미분석을 시도한 암석시료는 총 11개로서 이 중 7개는 조립질 앰피블라이트이고 3개는 중립질 앰피블라이트이며 1개는 세립질 앰피블라이트이다. 분석된 시료의 위치는 Fig. 2에 표시되어 있다. 각섬석류는 화학구조식이 매우 복잡하여 많은 학자에 의해 그 성분에 대한 다양한 표준화 모델이 제시되어 왔다. 본 연구에서는 각섬석류의 양이온 중 Ca, Na, K을 제외한 양이온 개수를 13으로 한

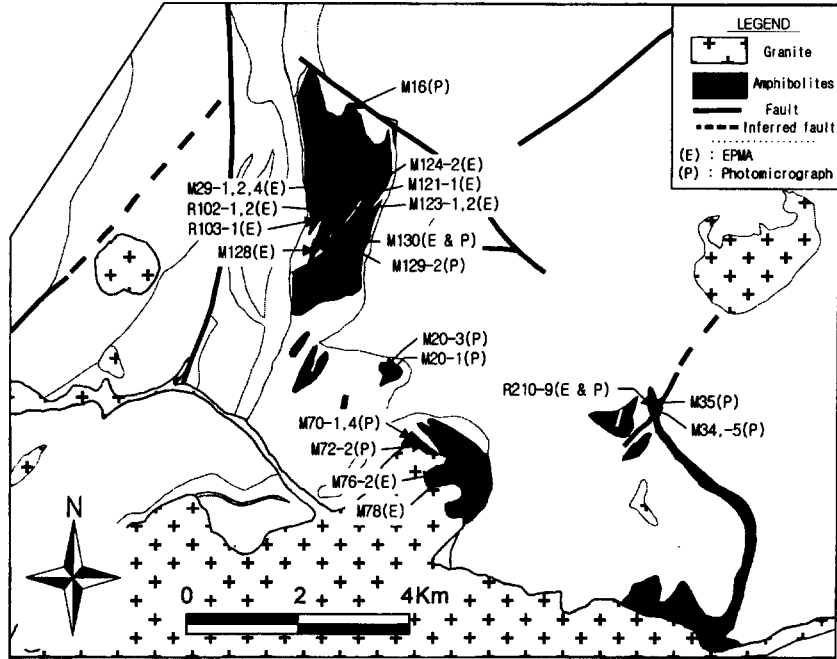


Fig. 2. Sample location map of the amphibolites for EPMA(E) and photomicrograph (P) in the Hwanggangri area.

Robinson *et al.*(1982)의 방법을 이용하여 표준화를 시도하였으며 그 계산과정은 다음과 같다. (1) 모든 양이온을 산소 23개로 놓고 계산한다. (2) 양이온들을 합산한다. (3) 각 양이온들을 (총합-Ca-Na-K)/13의 값으로 나눈다. (4)  $Fe^{3+}$ 는 총 양이온 전하값이 46이 되도록  $Fe^{2+}$ 와  $Fe^{3+}$ 를 배정하여 계산한다.

대부분 광학적으로 색이 다른 두 가지 각섬석류가 대상으로 공존하고 있는데 이들에 대한 화학 조성은 Table 1 과 같고 분류는 Hawthorne(1981)의 방법(Fig. 3)에 따라 시도되었으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

Fig. 3의 A는  $Na+K < 0.5$ ,  $Ti < 0.5$ , B는  $Na+K > 0.5$ ,  $Ti < 0.5$ ,  $Fe^{3+} > Al(VI)$ , C는  $Na+K > 0.5$ ,  $Ti < 0.5$ ,  $Fe^{3+} < Al(VI)$  등의 각각의 조건에 부합한 각섬석 성분을 도시한 것이다. 시료 M121-1의 경우 약간의 색차이를 보여주는 대상 각섬석류에서 무색의 부위는 양기석으로, 연녹색의 부위는 철질 양기석으로 분류되어 성분상 Al과 Mg의 작은 함량차이를 제외하면 대부분의 성분은 서로 유사한 것으로 나타났다. 시료 M123-2에서 연녹색의 핵부위는 양기석으로 분류되고 있으며 진한 녹색의 주변부와 매트릭스의 각섬석류들은 동일하게 철질 파카사이트로 분류되고 있다. 시료 M124-2에서 연갈색과 갈색의 각섬석류는 색의 차이에도 불구하고 양이온

규모가 각각 6.28, 6.20, 5.92의 값으로 작은 차이를 보여주면서 철질 파카사이트 각섬석(연갈색)과 마그네시오 헤스팅사이트와 마그네시안 헤스팅사이트(갈색)로 나타나고 있다. 시료 M128과 M130에서는 무색 내지 연녹색의 핵은 양기석에 속하고 녹색의 주변부는 시료 M128이 철질 파카사이트 각섬석으로, 시료 M130이 철질 파카사이트로 분류되었고 매트릭스내의 각섬석류는 마그네시안 헤스팅사이트 각섬석으로 분류된다.

투회석의 입자들과 갈색을 띤 거정의 각섬석류를 포함하고 있는 시료 M76-2는 광물 입자의 내부와 외부가 각각 에테나이트와 에테나이트질 각섬석으로 분류된다. 시료 M78의 경우 매우 작은 부위로 거정의 갈색 각섬석류내에 국부적으로 남아있는 무색의 부위는 Al(IV)값이 0.14이고 A-site의 알칼리 값이 0.08로 양기석에 해당되며 갈색부위의 각섬석은 마그네시오 각섬석으로, 매트릭스의 각섬석은 철질 에테나이트로 각각 분류되고 있다. 갈색의 주변부와 무색의 핵부위로 구성되어 색차이를 뚜렷하게 보이는 시료 M29-2는 핵부위는 철질 양기석으로 주변부는 마그네시오 각섬석과 에테나이트질 각섬석으로 나타나고 있다. 시료 R102-1과 R210-9에서의 각섬석류는 동일하게 핵은 양기석질 각섬석이고 주변부는 마그네시안 헤스팅사이트에 해당되는데 이

Table 1. Chemical compositions of the amphiboles in the amphibolites of the study area.

Sample	M121-1	M121-1	M123-2	M123-2	M124-2	M124-2	M124-2	M124-2	M124-2	M128	M128	M130	M130	M130	M130	M130	M29-2
Analysis	33	34	35	1	9	7	9	28	29	30	12	13	15	20	21	44	
Location	OP*	core	core	matrix	rim	core	core	OP	OP	IP	rim	core	matrix	rim	core	core1	
SiO <sub>2</sub>	49.75	53.13	51.50	38.37	37.83	37.83	52.19	41.24	41.83	40.31	42.13	52.95	42.31	40.03	50.50	52.81	
TiO <sub>2</sub>	n.d.	n.d.	n.d.	0.38	0.69	0.69	n.d.	0.86	0.68	2.45	0.47	n.d.	0.47	n.d.	n.d.	n.d.	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.01	2.29	2.88	15.84	15.29	15.29	3.11	13.12	13.41	13.54	12.24	2.56	11.11	14.84	2.52	0.54	
FeO	21.32	19.02	18.66	18.93	21.08	21.08	14.88	15.95	16.63	11.16	18.10	14.59	19.43	20.09	20.08	21.66	
MnO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.29	n.d.	n.d.	n.d.	0.39	n.d.	n.d.	0.33	0.38	0.30	
MgO	8.84	11.52	11.01	7.98	6.70	6.70	13.58	10.30	9.51	14.14	8.91	14.58	8.90	7.08	10.44	9.91	
CaO	11.52	12.19	11.85	11.47	11.40	12.09	11.48	11.56	11.56	11.55	11.71	11.81	11.55	11.39	11.71	11.69	
Na <sub>2</sub> O	0.53	0.59	0.53	2.97	2.76	2.76	0.45	2.42	2.43	2.61	2.02	0.54	2.27	2.54	0.53	0.38	
K <sub>2</sub> O	0.21	n.d.	0.17	0.38	0.51	0.51	0.15	0.35	0.40	0.78	0.34	n.d.	0.34	0.33	n.d.	n.d.	
Total	96.18	98.74	96.60	96.32	96.26	96.74	96.74	95.72	96.45	96.54	96.31	97.03	96.38	96.63	96.16	97.29	
Number of cations are calculated by Cation 13-CNK (Robinson <i>et al.</i> , 1982)																	
Si	7.57	7.77	7.70	5.87	5.86	5.86	7.64	6.20	6.28	5.92	6.40	7.66	6.45	6.11	7.62	7.93	
Al(IV)	0.43	0.23	0.30	2.13	2.14	2.14	0.36	1.80	1.72	2.08	1.61	0.34	1.55	1.89	0.38	0.07	
Al(VI)	0.28	0.16	0.21	0.72	0.64	0.64	0.18	0.52	0.65	0.26	0.58	0.09	0.45	0.78	0.07	0.02	
Fe <sup>3+</sup>	0.20	0.08	0.10	0.62	0.63	0.63	0.23	0.55	0.36	0.75	0.45	0.44	0.49	0.57	0.37	0.18	
Ti	-	-	-	0.04	0.08	0.08	-	0.10	0.08	0.27	0.05	-	0.05	-	-	-	
Mg <sup>2+</sup>	2.00	2.51	2.46	1.82	1.55	1.55	2.96	2.31	2.13	3.10	2.02	3.14	2.02	1.61	2.35	2.22	
Fe <sup>2+</sup>	2.51	2.24	2.23	1.80	2.10	2.10	1.59	1.46	1.73	0.62	1.85	1.33	1.99	2.00	2.17	2.54	
Mn	-	-	-	-	-	-	0.04	-	-	-	0.05	-	-	0.04	0.05	0.04	
Ca	1.88	1.91	1.90	1.88	1.89	1.89	1.90	1.85	1.86	1.82	1.90	1.83	1.89	1.86	1.89	1.88	
Na(M4)	0.12	0.09	0.10	0.12	0.11	0.11	0.10	0.15	0.14	0.18	0.10	0.15	0.11	0.14	0.11	0.11	
Na(A)	0.03	0.08	0.05	0.76	0.72	0.72	0.02	0.55	0.57	0.56	0.50	-	0.56	0.62	0.05	-	
K(A)	0.04	-	0.03	0.07	0.10	0.10	0.03	0.07	0.08	0.15	0.07	-	0.07	0.06	-	-	

\*OP = outer part, IP = inner part

Table 1. Continued

Sample Analysis Location	M29-2 rim1	M29-2 rim2	M29-2 core2	M76-2 IP	M76-2 OP	M78 matrix	M78 rim	M78 core	R102-1 rim	R102-1 core	R102-1 rim	R102-1 core	R210-9 rim	R210-9 core	R210-9 rim	R210-9 core
SiO <sub>2</sub>	43.46	43.13	51.06	43.90	45.37	45.63	45.93	53.18	41.16	49.10	48.73	39.92	39.34	50.81		
TiO <sub>2</sub>	2.50	2.46	n.d.	1.40	1.14	1.23	1.08	n.d.	0.21	0.06	0.08	0.38	0.20	0.06		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.58	8.59	2.37	8.91	8.56	7.8	7.04	1.32	14.42	5.34	5.98	14.25	14.79	3.28		
FeO	16.37	17.04	22.48	17.99	18.57	19.43	19.68	16.00	18.73	19.32	19.62	21.70	20.91	18.39		
MnO	0.36	0.36	0.29	0.34	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.14	0.25	0.26	0.33	0.11	0.30		
MgO	11.08	10.96	8.96	9.68	10.32	9.11	10.17	13.30	9.28	10.16	10.18	6.79	6.74	12.55		
CaO	10.92	11.03	11.82	11.36	11.87	11.60	11.13	11.94	11.61	12.30	11.86	11.29	11.00	11.78		
Na <sub>2</sub> O	1.82	1.82	0.43	1.98	1.90	1.84	1.76	0.64	2.57	0.68	0.72	2.37	2.43	0.74		
K <sub>2</sub> O	1.02	0.84	n.d.	0.72	0.42	0.63	0.55	n.d.	0.25	0.21	0.36	0.56	0.47	0.21		
Total	96.11	96.23	97.41	96.28	98.15	97.27	97.34	96.38	98.37	97.42	97.79	97.59	95.99	98.12		

Number of cations are calculated by Cation 13-CNK (Robinson <i>et al.</i> , 1982)																
Si	6.57	6.52	7.70	6.70	6.76	6.93	6.89	7.86	6.09	7.34	7.23	6.07	6.05	7.42		
Al(IV)	1.43	1.48	0.3	1.30	1.24	1.07	1.11	0.14	1.91	0.66	0.77	1.93	1.95	0.56		
Al(VI)	0.10	0.05	0.12	0.30	0.27	0.33	0.13	0.09	0.60	0.28	0.27	0.62	0.73	-		
Fe <sup>3+</sup>	0.49	0.60	0.25	0.24	0.30	0.02	0.54	0.08	0.81	0.19	0.44	0.75	0.73	0.64		
Ti	0.28	0.28	-	0.16	0.13	0.14	0.12	-	0.02	0.01	0.01	0.04	0.02	0.01		
Mg	2.50	2.47	2.01	2.20	2.29	2.06	2.28	2.93	2.05	2.27	2.25	1.54	1.55	2.73		
Fe <sup>2+</sup>	1.58	1.55	2.59	2.05	2.02	2.45	1.93	1.90	1.51	2.23	2.00	2.01	1.96	1.59		
Mn	0.05	0.05	0.04	0.04	-	-	-	-	0.02	0.03	0.03	0.04	0.01	0.04		
Ca	1.77	1.79	1.91	1.86	1.90	1.8	1.79	1.89	1.84	1.97	1.89	1.84	1.81	1.84		
Na(M4)	0.23	0.21	0.09	0.14	0.10	0.11	0.21	0.11	0.16	0.03	0.12	0.16	0.19	0.16		
Na(A)	0.30	0.32	0.03	0.44	0.45	0.43	0.30	0.08	0.58	0.17	0.09	0.54	0.54	0.05		
K(A)	0.20	0.16	-	0.14	0.08	0.12	0.11	-	0.05	0.04	0.07	0.11	0.09	0.04		

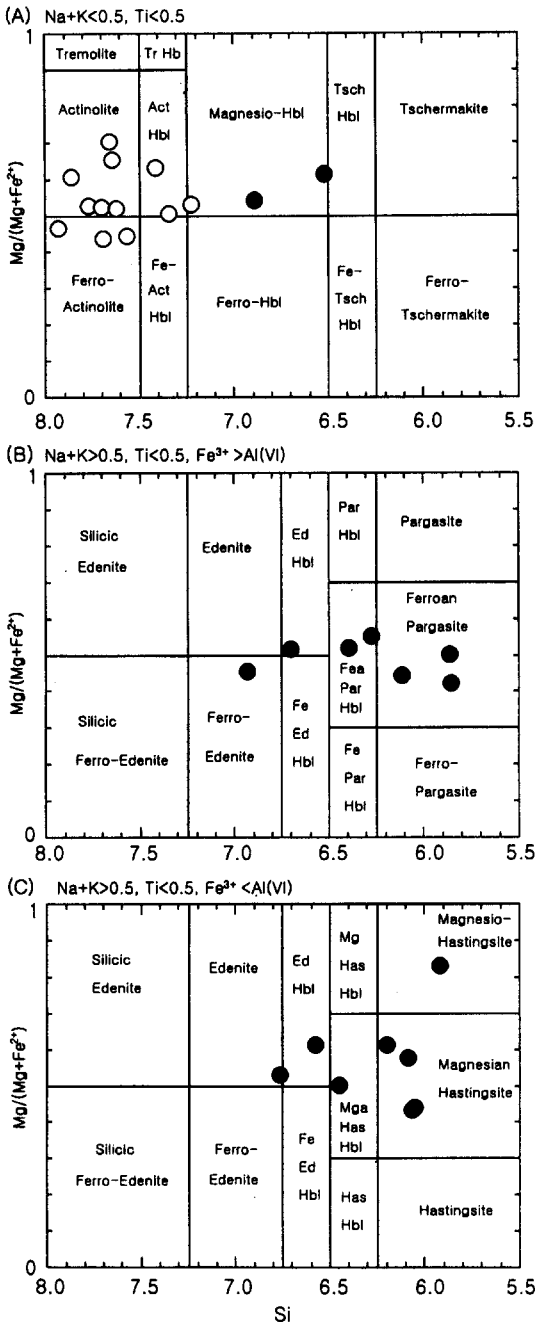


Fig. 3. Classification of the amphiboles from the amphiboles in the Hwanggangri area. (A)Na(A)+K<0.5; Ti<0.5, (B)Na(A)+K>0.5; Ti<0.5; Fe<sup>3+</sup>>Al(VI), (C)Na(A)+K>0.5; Ti<0.5; Fe<sup>3+</sup><Al(VI). Open circle=actinolitic core, Filled circle=hornblende rim.

두 시료의 사장석 성분을 비교해 보면 각각 알바이트(R102-1)와 라브라도라이트(R210-9)로 나타나고 있어 변성도가 유사한 시료간에 성분이 현격하게 차이가 나고 있다. 균질한 녹색의 각섬석류가 관찰되고 있는 시료 R103에서 각섬석류 광물들은 각각 마그네시오 각섬석과 철질 각섬석으로 확인되고 있다. 이 분류를 통해서 대상 각섬석류의 핵부위가 양기석이나 양기석질 각섬석으로 나타나 분류표에서 좁은 영역에 집중되어 단일한 분포를 보여주는 반면 주변부는 넓게 분포하며 비교적 다양한 성분의 각섬석으로 존재하고 있음을 알 수 있다.

**변성도의 효과: 각섬석류의 치환작용**

각섬석류의 화학성분은 변성도 및 광물군과 상관 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 본암내에 존재하는 각섬석류들의 성분을 변성도와 관계지어 알아보기 위해 화학구조식내 원소들의 함량 변화를 살펴서 치환작용의 특성을 알아보도록 하겠다.

각섬석류는 변성도가 증가할수록 점차 색깔이 짙어지는 것을 알 수 있는데(Hietanen, 1974; Laird and Albee, 1981) 본암에서 관찰되고 있는 무색 내지 연녹색의 핵부위와 녹색 내지 갈색을 띠는 주변부를 보게 되면 이들 광물간에 성분 차이가 나타나 는 것을 알 수 있다.

앞에서 분류된 각섬석의 구조식내 원소성분을 도 시하여 그 함량의 변화를 알아보았다(Fig. 4). Na(A), K, Na(M4), Al(VI), Ti, (Al(VI)+Fe<sup>3+</sup>+Ti+Cr) 그리고 Al(IV)의 함량을 보면 핵부위의 양기석들은 매우 낮은 값을 보여주고 있으며 주변부 각섬석에서는 높은 값을 보여주고 있다. 투회석을 포함하고 있거나 갈색의 각섬석을 함유하며 가장 높은 변성도를 보이는 시료인 M29-2, M76-2 그리고 M78에서 각섬석의 Na(A)+K, Al(IV), (Al(VI)+Fe<sup>3+</sup>+Ti+Cr)의 함량은 각각 0.41-0.58, 1.07-1.48, 0.50-0.96의 값을 가져 핵부위 양기석들의 함량보다는 높게 나타나지만 더 낮은 변성도의 주변부 각섬석의 함량(0.55-0.82, 1.54-2.20, 0.98-1.51)보다는 낮게 나타나고 있기 때문에 모든 시료들의 전체 도시영역 내에서 중간에 위치하게 된다. Na(M4)의 값은 핵에서 주변부까지 전체적으로 약간 증가되는 경향을 보이고 있으며 높은 변성도의 시료 M29-2, M76-2과 M78에서는 주변부가 0.10-0.23의 넓은 함량분포를 보이고 있다. Ti과 K의 경우도 핵에서 주변부까지

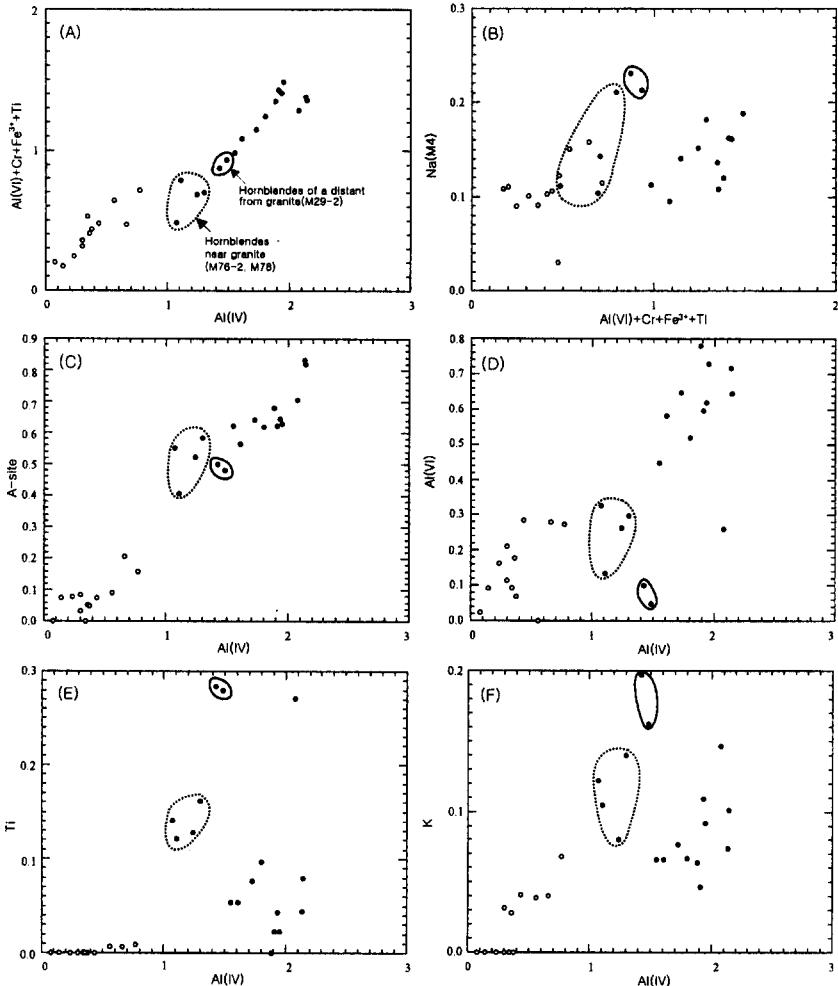


Fig. 4. Formular proportion variation diagrams of the amphiboles from the amphibolites in the Hwanggangri area. The plots within envelopes from (A) to (F), indicate the hornblendes of the highest metamorphic grade in study area(dotted: near granite, solid: distant from granite). Symbols are the same as in Fig. 3.

증가하는 경향을 보이고 있는데 핵부위의 양기석들은 각각 Ti이 0.02이하의 값과 K이 0.08이하의 값을 보이는 반면 시료 M29-2, M76-2, M78의 주변부 각섬석에서 Ti는 시료 M29-2가 0.28의 값을 가져 0.12-0.16의 범위를 갖는 시료 M76-2와 M78과는 큰 차이를 보여준다. K도 시료 M29-2가 0.16-0.20의 범위 그리고 시료 M76-2과 M78은 0.08-0.14의 범위를 나타내고 있어 Ti과 K가 넓고 불규칙한 함량분포를 보이고 있는데 이는 변성작용시 성분의 이동과 전암성분의 효과일 것으로 추정된다.

이상에서 살펴 본 성분변화를 치환작용의 관점에서 종합하여 보면 우선 처마카이트 치환( $Fe^{2+} +$

$Mg + Mn, Si \rightarrow Al(VI) + Fe^{3+} + Ti + Cr, Al(IV)$ )과 에테나이트 치환( $\square, Si \rightarrow Na(A) + K, Al(IV)$ ) 그리고 글로코페인 치환( $Ca, Fe^{2+} + Mg + Mn \rightarrow Na(M4), Al(VI) + Fe^{3+} + Ti + Cr$ )의 정도가 상기한 각 원소들의 함량들이 지시하듯이 양기석 핵보다 각섬석 주변부에서 더 높게 나타난다. 대상 각섬석류의 입자내부를 보게되면 깨진면을 나타내는 선구조(열개)가 양기석과 각섬석간에 연속적인 것(M210-9, M20-1, M72-2)과 벽계주변으로 각섬석이 발달하는 조직(M130, M70-1)을 보여주고 있다. 이것은 이미 형성된 양기석은 단중성분에 가까워 치환 성분의 함량이 미미한 정도인 상태인데 후기에 양기석 입자의 외각경계에서



Table 2. Chemical compositions of the plagioclases in the amphibolites of the study area.

Sample	M121-1	M121-1	M123-2	M123-2	M124-2	M124-2	M128	M128	M128	M128	M130	M130	M29-2	M29-2	M29-2	M29-2	M76-2	M76-2	M76-2	M76-2	M78	R102-1	R210-9	R210-9	R210-9		
Analysis	36	37	4	5	25	26	10	11	14	18	19	48	49	53	54	54	39	3	3	3	41	41	44	44			
SiO <sub>2</sub>	57.73	62.64	66.58	48.21	58.36	64.19	57.94	65.84	54.99	67.66	54.57	68.29	68.09	56.54	55.85	61.86	68.69	68.69	68.69	68.69	61.86	53.03	53.03	53.06	53.06		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26.65	23.20	19.70	32.76	25.93	22.14	25.83	21.08	27.88	19.82	28.13	19.34	19.65	26.80	26.88	23.70	19.44	19.44	19.44	19.44	23.70	28.47	28.47	29.54	29.54		
FeO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.35	n.d.	n.d.	n.d.	0.32	n.d.	0.10	0.10	0.10	0.10	n.d.	0.19	0.19	0.07	0.07		
CaO	8.42	4.71	0.78	15.37	7.49	3.14	7.40	2.18	9.99	0.59	10.45	0.16	0.18	8.80	9.04	5.49	0.21	0.21	0.21	0.21	5.49	11.75	11.75	12.39	12.39		
Na <sub>2</sub> O	6.69	9.28	11.30	2.47	7.31	9.84	7.09	10.64	5.80	11.25	5.81	11.86	11.70	6.47	6.28	8.73	11.88	11.88	11.88	11.88	8.73	4.98	4.98	4.04	4.04		
K <sub>2</sub> O	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.17	n.d.	0.16	n.d.	0.04	0.04	0.04	0.04	n.d.	0.09	0.09	0.12	0.12		
Total	99.49	99.83	98.36	98.81	99.09	99.31	98.26	99.74	98.66	99.32	99.31	99.65	99.79	98.61	98.53	99.78	100.36	100.36	100.36	100.36	99.78	98.51	98.51	99.22	99.22		
Number of ions on the basis of 80																											
Si	2.59	2.78	2.96	2.23	2.63	2.85	2.63	2.90	2.51	2.98	2.48	2.99	2.98	2.57	2.55	2.75	2.99	2.99	2.99	2.75	2.44	2.44	2.42	2.42			
Al	1.41	1.21	1.03	1.78	1.38	1.16	1.38	1.09	1.50	1.03	1.5	1.00	1.01	1.43	1.44	1.24	1.00	1.00	1.00	1.24	1.54	1.54	1.58	1.58			
Fe	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	0.01	-	0.00	0.00	0.00	-	0.01	0.01	0.00	0.00			
Ca	0.41	0.22	0.04	0.76	0.36	0.15	0.36	0.10	0.49	0.03	0.51	0.01	0.01	0.43	0.44	0.26	0.01	0.01	0.01	0.26	0.58	0.58	0.60	0.60			
Na	0.58	0.80	0.98	0.22	0.64	0.85	0.62	0.91	0.51	0.96	0.51	1.01	0.99	0.57	0.56	0.75	1.00	1.00	1.00	0.75	0.44	0.44	0.36	0.36			
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-	0.01	-	0.00	0.00	0.00	-	0.01	0.01	0.01	0.01			
Ab	59.00	78.10	96.30	22.50	63.90	85.00	63.40	89.80	51.20	97.20	50.10	99.20	98.20	57.10	55.20	74.20	98.80	98.80	98.80	74.20	43.20	43.20	36.90	36.90			
An	41.00	21.90	3.70	77.50	36.10	15.00	36.60	10.20	48.80	2.80	49.90	0.80	0.80	42.90	43.90	25.80	1.00	1.00	1.00	25.80	56.30	56.30	62.40	62.40			
Or	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	-	0.90	-	0.20	0.20	0.20	-	0.50	0.50	0.70	0.70			

Ab = 100\*Na/(Na+Ca+K), An = 100\*Ca/(Na+Ca+K), Or = 100\*K/(Na+Ca+K)

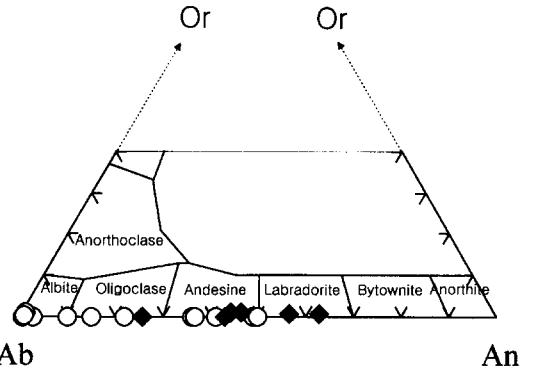
내부로 향하여 세가지 치환작용이 크게 일어나기 시작하면서 주연부에 각섬석을 형성하게 된 것을 의미해 준다. 또한 가장 높은 변성도의 세 시료(M29-2, M76-2, M78)에 존재하는 각섬석들의 치환된 성분함량이 타시료의 주연부 각섬석들보다는 낮고 양기석들 보다는 높아 전체 각섬석류의 함량중에서 중간 정도에 접하고 있다. 이는 연구지역의 앵피블라이트에서 변성도가 증가함에 따라 대상 각섬석류를 구성하는 각섬석이 점차 평형상태의 균질한 각섬석으로 변화해 가거나 투회석이 함께 성장하게 되는데 그 과정에서 치환작용의 정도는 더 낮은 변성도의 주연부 각섬석들보다 낮아지는 것을 의미한다.

사장석

각섬석류의 성분을 분석한 11개 시료에 존재하는 사장석의 화학성분을 알아보았는데 일반적으로 변성염기성암에서의 사장석은 변성도가 증가함에 따라 칼슘 성분(An)의 함량이 증가하는 경향이 있다. 이들 시료에서 분석된 사장석은 알바이트에서 라브라도라이트까지 넓고 다양한 성분 분포를 보여 주고 있다(Table 2). 사장석의 성분을 삼각도표에 도시해 보았다(Fig. 5).

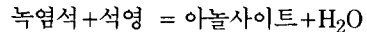
알바이트는 시료 R103(An<sub>0.1</sub>-An<sub>0.4</sub>), M123-2(An<sub>3.7</sub>), M130(An<sub>2.8</sub>), M29-2(An<sub>0.7</sub>, An<sub>0.8</sub>), R102-1(An<sub>1.0</sub>)등의 암석들에서 나타나고 있는데 이 시료들에는 각섬석이 포함되어 있어 양기석과 알바이트가 안정한 녹색편암상의 광물군이 아님을 시사해 준다. 또한 이 시료들에서는 올리고클레이즈(An<sub>10</sub>-An<sub>30</sub>)가 분석되지 않으므로 녹색편암상과 앵피블라이트상 사이의 점이상에서 나타날 수 있는 페리스터라이트 간격(Peristerite gap)의 인지가 어렵다. 이 사실로 두 가지 가능성을 추론해 볼 수 있는데 첫째로 이들 알바이트는 앵피블라이트가 녹색편암상의 변성작용을 받은 후 다른 변성도의 변성작용을 또 받았을 때 잔류된 준평형 상태의 광물상일 수 있다. 두 번째 가능성으로 초기의 녹색석-앵피블라이트상의 변성작용에 의해 사장석의 페리스터라이트 간격이 형성되었다가 변성도가 다른 후기의 변성작용에 의해서 올리고클레이즈와 알바이트가 부분적으로 소멸되어 페리스터라이트 간격이 붕괴된 경우를 생각할 수 있다.

시료 M123-2의 경우는 특이하게도 알바이트가 비토우나이트(An<sub>77.5</sub>)와 함께 나타나고 있다. 이것은 앵피블라이트의 모암인 현무암질암에 존재했던 Ca-사장석이 극소량 잔류한 것일 수도 있고 다른 한편



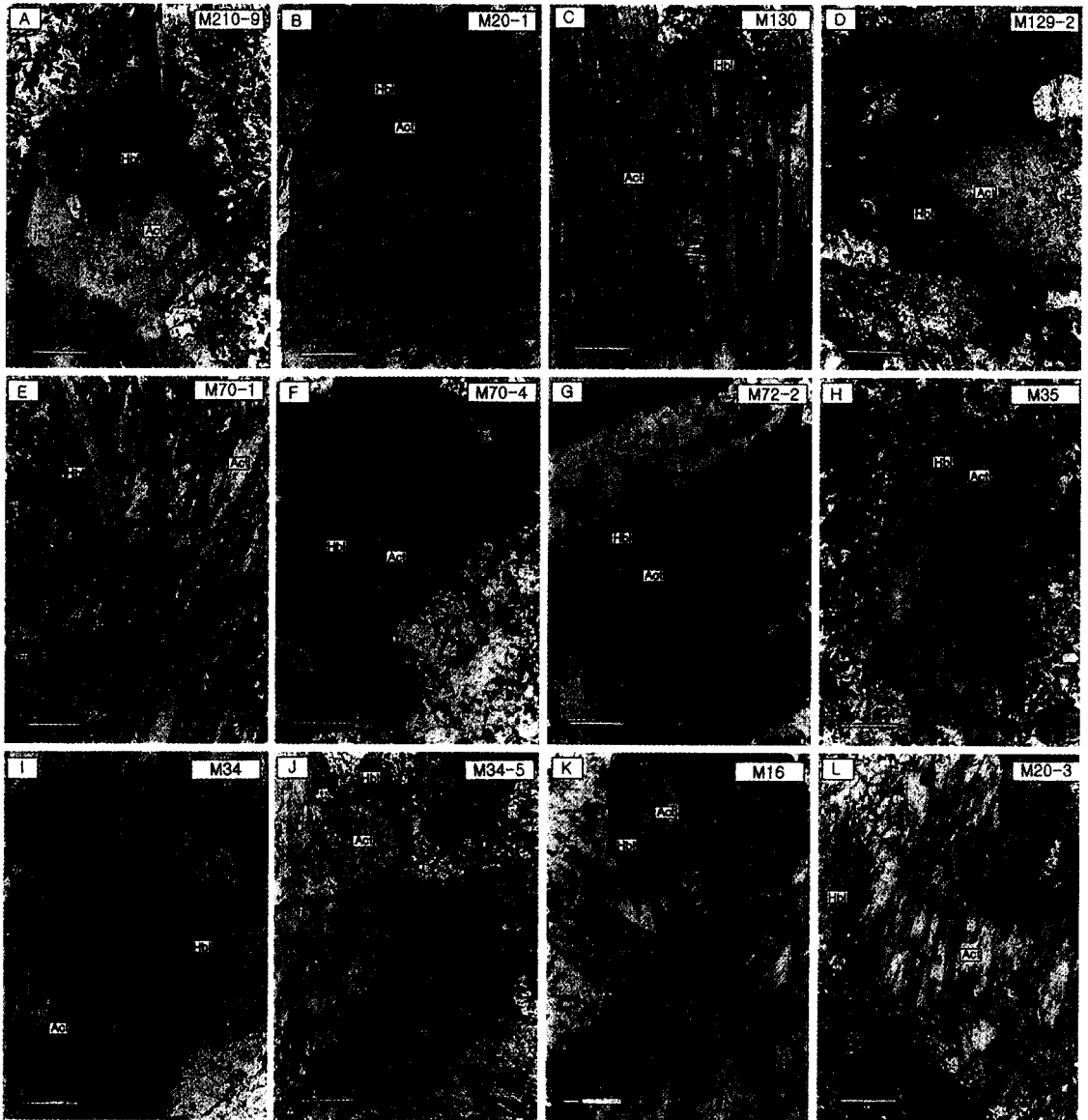
Ab An  
Fig. 5. Chemical composition of the plagioclases from the amphibolites in the Hwanggangri area. Open circle and filled diamond indicate plagioclases of diopside-free and diopside-in samples respectively.

변성도가 증가함에 따라 녹색석과 석영이 반응하여 아놀사이트가 부분적으로 형성됨으로서 칼슘 함량이 높은 사장석을 만드는 다음 반응(Spear, 1993)에 기인했을 가능성도 있다.



시료 M130에는 알바이트와 안데신(An<sub>49.9</sub>)의 사장석 성분이 있는데 이는 저변성도(녹색편암상)의 변성작용에 의해 알바이트가 생성되었고 중변성도의 변성작용이 중첩되면서 안데신이 형성되어 두 성분의 사장석이 함께 존재하게 된 것으로 보여진다.

투회석을 포함하고 갈색의 각섬석을 보이는 시료 M76-2, M78은 각각 An<sub>42.9-45.8</sub>과 An<sub>25.8</sub>의 사장석 성분을 보여주는데 광물군으로 보아 두 시료는 중변성도 이상의 변성작용을 받은 것으로 판단되며 이때 알바이트는 소멸되고 올리고클레이즈에서 안데신까지의 성분범위를 갖는 사장석이 성장한 것으로 생각된다. 한편 시료 M29-2에서의 각섬석은 시료 M76-2, M78의 각섬석들과 성분이 유사한데 알바이트 성분(An<sub>0.7</sub>, An<sub>0.8</sub>)의 사장석이 존재하고 있다. 각섬석 성분으로 보아 세 시료의 변성도는 중변성도로 서로 유사한 것으로 판단되므로 한 시료에서 나타나고 있는 저변성도의 알바이트는 준평형 상태의 상일 가능성이 있다. 녹니석과 양기석이 관찰되는 시료 M121(An<sub>21.9</sub>, An<sub>41</sub>), M124-2(An<sub>15</sub>, An<sub>36.1</sub>), M128(An<sub>10.2</sub>, An<sub>36.6</sub>-An<sub>48.8</sub>)에서는 알바이트가 없이 모두 올리고클레이즈와 안데신만이 나타나고 있어 중변성도의 사장석 성분을 보여준다. 시료 R210-9의 경우 라브라도라이트(An<sub>56.3</sub>, An<sub>62.4</sub>)성분의 사장석이 존재하는데 이것도 변성도의 증가에



**Fig. 6.** Photomicrographs of zoned amphibole grains from the amphibolites in the Hwanggangri area(10X4). Samples consist of the sharp interface and the gradational interface between two amphiboles. (A)R210-9, (B)M20-1, (C)M130, (D)M129-2 and (E)M70-1 show the sharp interface, and (F)M70-4, (G)M72-2, (H)M35, (I)M34, (J)M34-5 and (K)M16 show the gradational interface, and (L)M20-3 shows both the sharp and the gradational interfaces. Green hornblende develops at the interior of the amphibole grains in the samples M34, M34-5, and M35.

따라 이늘사이트 성분이 증가한 결과로 볼 수 있다.

결국 본 연구에서 광물군이 유사한 시료들로부터 분석된 사장석의 성분은 일정한 분포를 보여주지 않는 것으로 정리된다. 즉 알바이트만 분석되었거나 알바이트가 안테신, 비토우나이트, 이늘사이트와 함께 나타나거나 알바이트가 부재한 시료들에서 올

리고클레이즈, 안테신, 라브라도라이트 등이 존재하고 있는 것이다. 또한 각섬석류의 성분이 유사한 시료들간에 사장석 성분에 큰 차이가 존재하는 것은 준평형 상태의 광물이 존재하고 있는 것을 의미해주는 것이다. 본암에서는 알바이트와 올리고클레이즈가 공존하는 녹염석-앰피블라이트상의 페리스트

라이트 간격이 확실히 나타나지 않기 때문에 양기석과 각섬석을 포함하는 암석의 경우 단순히 관찰되는 광물군으로 변성상을 결정하는 것은 곤란하다.

### 대상 각섬석류 광물의 성인에 대한 고찰

연구지역의 앰피블라이트에서는 결정광학적으로 차이가 나며 성분이 다른 대상 각섬석류 들이 혼하게 관찰된다. 이 현상을 두 가지 관점에서 볼 수 있는데 첫째는 녹색-앰피블라이트상의 변성염기성 암에서 나타날 수 있는 불혼합 구간(miscibility gap)의 경우이고 둘째는 시대와 변성도를 달리하는 두 차례 이상의 변성작용의 결과로 암석내 핵부위의 양기석은 준평형 내지 불평형 상태로 남아 있으면서 이전의 변성작용을 지시하는 경우이다. 지난 다년간 양기석과 각섬석의 공존에 대한 많은 연구가 시도되어 왔다(Klein, 1969; Cooper and Lovering, 1970; Brady, 1974; Graham, 1974; Hietanen, 1974; Grapes, 1975; Sampson and Fawcett, 1977; Grapes and Graham, 1978; Maruyama et al., 1983; Smelik and Veblen, 1991; Begin and Carmichael, 1992). 오창환 외(1997)는 옥천-보은 지역의 변성염기성암의 접촉변성작용에 대한 연구에서 BSI의 관찰을 통해 각섬석류 광물 입자에서 성분의 다양성을 인지하고 불혼합 구간의 가능성을 피력한 바 있다. 이 장에서는 황강리 지역의 앰피블라이트에 나타나는 대상 각섬석류에 대해 세 가지 관점에서 고찰해 보고 그 성인을 알아보도록 한다.

### 사장석의 성분

각섬석류가 불혼합 구간을 형성하는 물리적 조건은 변성상으로 보면 녹색-앰피블라이트상에서이다. 이 변성상에서 각섬석류와 함께 주요 광물군을 형성하고 있는 사장석은 중간 성분( $An_3-An_{22}$ )이 없이 알바이트와 올리고클레이즈가 공존하는 페리스타이트 간격을 동시에 형성하는 것이 일반적이다. 이 관점에서 사장석 성분들의 특성을 가지고 대상 각섬석류를 형성케 한 원인에 대해 알아 보도록 한다.

두 시료 R102-1과 R210-9에서는 동일하게 핵은 양기석질 각섬석이고 주연부는 마그네시안 헤스팅사이트에 해당되어 이들의 변성도는 유사한 것으로 나타난다. 한편 두 시료에서 사장석은 각각 알바이트(R102-1)와 라브라도라이트(R210-9)로 큰 성분의

차이를 보여주고 있어 유사한 변성도의 암석간에 준평형상태로 존재하는 사장석이 있음을 지시한다. 즉 한번의 변성작용으로 알바이트와 라브라도라이트가 동시에 생성될 수 없으므로 이것은 다변성작용의 결과일 것으로 추정되고 아울러 앰피블라이트에서 사장석의 성분변화에는 각섬석류의 성분변화가 같이 수반되므로 대상 각섬석류 광물이 형성된 것도 다변성작용에 의한 것으로 생각할 수 있다. 또한 투회석을 포함하거나 각섬석이 갈색인 시료 M76-2, M78, M29-2는 주연부의 각섬석이 에테나이트질 각섬석(M76-2, M29-2)과 마그네시오 각섬석(M78, M29-2)으로 유사한 성분을 보여주는 반면 사장석 성분은 각각 안데신(M76-2), 올리고클레이즈(M78) 그리고 알바이트(M29-2)로 서로 다른 성분을 보여주고 있다. 두 시료 M76-2, M78은 중변성도의 변성작용에 의해 알바이트는 소멸되고 올리고클레이즈에서 안데신까지의 성분범위를 갖는 사장석이 성장한 것으로 생각된다. 한편 이들과 유사한 각섬석 성분을 보여주는 시료 M29-2에 존재하는 알바이트는 앞장에서의 설명과 같이 저변성도의 사장석으로서 양기석과 함께 준평형 상태로 잔류하고 있는 것으로 사료된다. 시료 M121, M124-2 그리고 M128에서는 녹니석과 양기석이 관찰되는데 사장석은 올리고클레이즈와 안데신으로 나타나고 있다. 녹니석과 양기석은 녹색편암상과 녹색-앰피블라이트상에서 안정한 반면 안데신은 그 보다 높은 변성상에서 형성될 수 있다. 즉 이 시료들은 저변성도와 중변성도의 광물을 동시에 보여주고 있기 때문에 대상 각섬석류가 존재하는 것은 변성도가 다른 두 차례의 변성작용에 연유할 것으로 판단된다.

이상에서 기술한 바와 같이 사장석의 성분이 알바이트로 분석되고 있는 시료 R102-1과 M29-2에서 대상 각섬석류는 핵부위의 양기석(R102-1; 양기석질 각섬석, M29-2; 철질 양기석)과 주연부의 각섬석(R102-1; 마그네시안 헤스팅사이트, M29-2; 마그네시오 각섬석과 에테나이트질 각섬석)으로 구성되고 있다. 이 두 시료에서는 올리고클레이즈의 성분이 부재하여 녹색-앰피블라이트상에서 나타날 수 있는 페리스타이트 간격의 존재는 불분명하다. 양기석과 철질 파카사이트가 공존하고 있는 시료 M130의 경우도 알바이트가 올리고클레이즈가 아닌 안데신과 함께 나타나고 있다. 광물군이 유사한 시료 R210-9과 M76-2, M78의 경우 사장석의 성분은 라브라도라이트나 안데신 또는 올리고클레이즈와 같이 아놀사이트 성분의 함량이 높으며 다양한 범위를 갖고 있다.

이렇게 사장석 성분의 관점에서 볼 때 저변성도와 중변성도의 성분이 함께 나타나고 있으므로 대상 각섬석류의 존재는 단일 변성작용의 녹염석-엠포블라이트상에서 보여질 수 있는 불혼합 구간을 지시하는 것이 아닌 변성도가 다르며 시대가 다른 두 차례의 변성작용을 의미하는 것으로 볼 수 있다. 다변성작용의 경우 초기에 형성된 녹염석-엠포블라이트상에서의 페리스타라이트 간격이 후기의 변성작용에 의해 사라지면서 다양하고 불규칙한 성분의 사장석이 형성될 수 있다. 이들 시료에 존재하는 사장석의 성분을 고려해 볼 때 핵부위의 거정의 양기석질 각섬석은 남아있는 알바이트와 함께 녹색편암상에서 녹염석-엠포블라이트상의 광역변성작용을 의미하고 이때 양기석+알바이트+녹니석±녹염석과 양기석+각섬석+알바이트+올리고클레이즈±녹니석±녹염석의 광물군이 형성됐을 것으로 볼 수 있고 주연부의 각섬석들은 칼슘이 풍부한 사장석을 생성시키고 광물군을 변화시킨 중변성도에 이르는 후기의 변성작용에 의해 성장한 것으로 설명될 수 있다. 이러한 두 번의 변성작용에서 초기 변성작용의 변성상이 녹색편암상이나 녹염석-엠포블라이트상이고 여기에 중첩한 후기의 변성작용의 변성상은 녹염석-엠포블라이트상인 경우의 암석을 생각해 볼 수 있다. 첫 번째 변성작용이 녹색편암상일 경우 후기의 녹염석-엠포블라이트상의 변성작용으로 인해 각섬석류와 함께 나타나는 사장석은 페리스타라이트 간격의 성분으로 존재하게 될 것이고 또한 두 번의 변성작용이 모두 녹염석-엠포블라이트상인 동일한 변성상으로 작용했을때도 페리스타라이트 간격을 보이는 사장석과 함께 각섬석류가 초기 변성작용시에 형성된 불혼합 구간에서의 성분을 유지할 수 있다. 상기한 바와 같이 분석된 암석 시료 중에는 페리스타라이트 간격이 확인되지 않았으나 시료 지역이 제한적인 것을 감안할 때 그 존재 가능성을 배제할 수는 없다. 상기한 두 경우처럼 복수의 변성작용에서도 불혼합 구간의 성분은 존재할 수도 있기 때문에 이를 통해 변성작용의 횟수에 대하여 단정하기 어려울 것으로 사료되며 따라서 불혼합 구간의 존재 여부와 다변성작용을 따로 구분지을 수 없을 것이다.

**조직적 특징**

Begin and Carmichael(1992)은 북 퀘벡에 분포하는 변성염기성암내 칼슘-각섬석의 조직적, 성분적 관계에 대한 연구에서 변성반정을 형성하고 있는

양기석과 각섬석간의 뚜렷한 불연속적인 접촉면 (Sharp Interface)은 성분상의 차이를 나타내는 동시에 두 각섬석류가 평형상태에서 공존하고 있음을 지시하는 것이며 이것을 불혼합 구간의 조직적 특징 중 하나라고 언급한 바 있다. 그들은 변성온도가 증가하면서 연녹색의 양기석 핵이 주연부의 진한 녹색의 각섬석으로 둘러싸이는 동심원상의 조직으로 변해가게 되는데 이 조직은 두 단계의 작용을 의미한다고 보았다. 그 첫째 단계는 양기석의 성장이고 둘째 단계는 주연부 각섬석의 형성으로 핵부위의 양기석은 주연부의 각섬석에 의해 매트릭스와 격리되면서 당시의 광물군과 불평형 상태로 잔류하게 되며 접촉하는 각섬석과는 극부적인 평형상태에 있게 되는 것이다. 연구지역 엠포블라이트의 각섬석류를 관찰해 보면 여러 조직들을 보여주는 것을 알 수 있다(Fig. 6). 현미경 사진의 시료들의 위치는 Fig. 2에 표시되어 있다. 본암에서는 Fig. 6A, B, C, D에서 보는 바와 같이 결정학적으로 뚜렷한 접촉면을 갖는 대상 각섬석류가 관찰되고 있는데 관입 화강암체 부근의 시료 M70-1(Fig. 6E)에서도 두 각섬석류간에 뚜렷한 접촉면을 보여주고 있다. 이 사실은 접촉변성작용이 중첩된 것으로 확실시되는 지역의 엠포블라이트에서도 이런 조직이 형성되어 질 수 있음을 보여주고 있는 것으로 광물상간에 불연속적인 접촉면을 띠는 현상이 한번의 변성작용으로 형성되는 불혼합 구간을 지시한다고 보기는 어렵다. 따라서 시료 M70-1에서의 주연부 각섬석은 핵부위의 양기석과 다른 시기에 화강암체의 열적 영향에 의해 형성된 것으로 볼 수 있기 때문에 단순히 Begin and Carmichael(1992)이 제의한 조직적 특징을 적용하여 대상 각섬석류의 형성 원인에 대해 단정하는 것은 옳지 않다. Laird and Albee (1981)의 연구에서도 보면 버몬트 지역의 염기성 편암에서 관찰되고 있는 광학적으로 불연속적인 조직의 각섬석류 입자는 광물 성장의 시기가 서로 다른 다변성작용에 기인하는 것으로 이것이 동위원소 연구와 야외 조사자료와 일치하다는 결론을 내린 바 있어 여러 측면에서의 검토가 요구된다고 할 수 있다.

이 조직을 띠는 암석에 대해 사장석 성분의 관점에서 살펴보면 시료 R210-9(Fig. 6A)는 대상 각섬석류가 불연속적인 접촉면을 보여주나 앞장의 설명에서와 같이 사장석의 성분이 라브라도라이트(An<sub>56.3</sub>, An<sub>62.4</sub>)로 나타나며 시료 M128에서는 올리고클레이즈와 안데신 그리고 시료 M130(Fig. 6C)에서는 알바이트와 안데신으로 나타나고 있다. 앞에서 언급

했듯이 불혼합 구간에서는 알바이트와 올리고클레이즈가 안정한 페리스테라이트 간격이 형성되는데 상기한 시료들에서 사장석 성분의 아놀사이트 함량이 이보다 높게 나타나고 있으므로 불혼합 구간이 형성되는 변성도보다 더 높은 변성도의 변성작용이 존재했음을 지시하고 있다. 사장석 성분의 관점에서 연구지역에서 이 조직을 띠는 대상 각섬석류에서의 두 광물상은 동시에 성장한 것이 아니라 각각 변성조건이 다른 두 번의 변성작용에 의해 형성된 것을 지지해 주고 아울러 변성작용의 횡수에 따라, 즉 한번이나 두 번이나에 따라 불연속적 접촉면이 만들어지는 변성도가 같지 않음을 추정해 볼 수 있다.

과거 연구들을 보면 광역변성작용이나 접촉변성작용에 의해서 야기된 양기석과 각섬석간의 성분적인 불연속성이 단순히 불혼합 구간임을 지지하는 예가 몇몇 지역에서 보고되기도 하였다(Shido and Miyashiro, 1959; Klein, 1969; Brady, 1974; Kuniyoshi and Liou, 1976). 그러나 Graham(1974)과 Grapes(1975)는 양기석에서 각섬석으로의 급작스런 변화가 불혼합 구간의 존재라기보다는 연속적이며 급속한 반응이 불완전했기 때문이라고 제의한 바 있다. 이 제의에 의하게 되면 본암에서 나타나는 대상을 띠는 두 각섬석류의 공존도 변성작용간의 시기 간격이 지질학적 시간으로 보아 거의 미미할 경우 초기의 변성작용이 일어난 이후 바로 연속하여 후기의 변성작용이 중첩되어 형성되었을 가능성이 있다. 이 경우 후기의 변성작용의 기간이 각섬석류와 사장석의 연속적인 반응들이 완결되기에 충분히 길지 않아 두 각섬석류 광물이 대상으로 함께 존재하게 되었고 더불어 준평형상태의 사장석이 남겨진 것으로 볼 수 있다.

각섬석류는 변성온도가 점차 높아지면서 세 개의 주요 치환작용, 즉 에테나이트 치환( $\text{Si}^{\text{IV}} = (\text{Na} + \text{K})_{\text{A}}$ ,  $\text{Al}^{\text{IV}}$ )과 처마카이트 치환( $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})\text{Si}^{\text{IV}} = (\text{Al}^{\text{VI}}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}^{\text{IV}}$ ) 그리고 사장석 치환( $\text{NaSi} = \text{CaAl}$ ) 등에 의해 연속적인 고용체로서 점차로 균질화가 진행되면서 양기석과 각섬석간의 접촉면이 점이적인 경계로 변하게 된다. Fig. 6F, G, H, I 등에서 보면 앰피블라이트의 경우 양기석과 주연부 각섬석의 접촉면이 불연속적이지 않고 점이적인 경계(gradational Interface)로 되어 있는 시료들을 관찰할 수가 있는데 주로 관입 화강암체 주변의 앰피블라이트가 이런 형태의 접촉면을 보여주고 있어 이런 조직을 이루는 주연부의 각섬석은 시기가 다른 더 높은 온도의 변성작용에 의해 발달하게 된 것으로 보여진다. 관입

화강암에서 떨어진 지역(~2.5km)에서도 대상 각섬석류가 점이적인 접촉면을 보여주고 있는 시료(Fig. 6H, I, J, K; M35, M34, M34-5, M16)들과 점이적인 접촉면과 불연속적인 접촉면 둘을 다 보여주는 시료(Fig. 6L)가 존재한다. 이런 접촉면들이 한번의 변성작용에 의해 형성됐을 가능성의 여부를 우선 점검해 볼 필요가 있다. 변성도의 관점에서 살펴보면 변성작용이 일회인 경우 온도의 증가로 각섬석류의 균질화가 시작되어 광물간 점이적인 접촉면이 형성되는 것은 아직 그 조건이 정확하게 규정되지는 않았을지라도 일반적으로 불연속적 접촉면이 형성되는 온도 이상으로 볼 수 있는데 앞장에서 언급한 바와 같이 초기광역변성작용의 변성도는 양기석과 알바이트의 존재로 녹색편암상부터 녹색석-앰피블라이트상에 이르는 저변성도에 해당하는 것으로 나타나고 있어 점이적인 접촉면을 발달시키는 변성도와는 차이가 있게 된다. 즉 초기변성작용의 변성도가 점이적 접촉면을 발달시키는 정도까지 이르는 못했으므로 후기에 더 높은 변성도의 변성작용이 일어나 이 조직이 비롯될 수 있다는 것이다. 그러므로 연구지역에서 관찰되는 이 조직은 화강암체 바로 근방에 위치하지 않을지라도 단일의 변성작용만으로 형성된 것이 아닌 것으로 판단된다. 따라서 광물간 점이적인 접촉면도 화강암체의 열적영향에 의한 변성작용이 중첩된 결과로 볼 수 있어 이 접촉변성작용은 곳에 따라 약 2.5 km에 이르는 영향 범위를 갖을 것으로 추정할 수 있으며 그 분포양상은 화강암체의 지하대 기하학적 구조 및 규모와 연관되었을 것으로 보인다.

이상의 설명을 종합해 보면 양기석과 각섬석간의 접촉면이 불연속적일 경우와 점이적인 경우 모두 화강암체와 떨어진 거리에 상관없이 산출되고 있고 불연속적 접촉면을 보이는 경우 단순히 기존연구(Begin and Carmichael, 1992)에서와 같이 대상 각섬석류의 성인을 단일 변성작용으로 규정하는 것은 곤란하다. 단일의 변성작용과 두 차례의 변성작용 동안 생성될 수 있는 대상 각섬석류 광물의 조직변화의 과정을 비교해 보면 다음과 같다. Begin and Carmichael(1992)에 의하면 한번의 변성작용동안 온도의 증가하면서 초기에 거정의 양기석이 존재하다가 녹색석-앰피블라이트상에서 양기석과 각섬석간에 불연속적인 접촉면을 띠며 두 광물이 공존하게 되고 온도가 더 증가하면 점차로 하나의 각섬석으로 균질화되는 과정에서 점이적인 접촉면을 보여지게 된다. 두 번의 변성작용이 중첩했을 경우로서 세 가지로 나누어 생각해 볼 수 있다. 이 경우에는 사

장석 성분의 관점에서 볼 때 주연부에 각섬석이 형성되는 변성도는 두 접촉면 모두 중변성도에서 형성될 수 있는데 첫째는 녹색편암상의 변성작용에 의해 거정의 양기석이 생성된 뒤 변성도가 더 높은 후기의 변성작용에 의해 주연부에 각섬석이 성장한 경우로 여기까지 두 광물간에는 불연속적인 접촉면을 갖는다. 두 번째는 첫째의 경우까지 발전한 이후 온도의 증가로 인하여 불연속적인 접촉면에서 점이적인 접촉면으로 변화되는 과정을 들 수 있다. 세 번째는 녹색-앰피블라이트상에 이르는 초기 변성작용으로 인해 두 광물간에 불연속적인 접촉면이 발달해 있고 이에 후기의 중변성도 이상의 변성작용이 중첩되어 두 광물간에 균질화가 진행됨으로서 접촉면이 점이적으로 되는 경우이다. 결국 두 광물간의 접촉면이 보여주는 두 가지 조직은 변성도는 동일하지 않을지라도 변성작용의 횟수와 상관없이 형성되어질 수 있는 것으로 볼 수 있으며 연구지역에서 대상 각섬석류의 생성은 조직적 특징에 상관없이 한 차례의 변성작용이 아닌 다변성작용에 기인한 것으로 판단된다. 다변성작용에 의한 경우 주연부 각섬석의 성분과 색깔은 후기 변성작용의 변성도의 범위가 좁은 영역에 제한되지 않고 넓은 영역을 가질 수 있으므로 한번의 변성작용에 의해 성장한 주연부 각섬석과 비교하여 분류표(Fig. 3)에서 보는 바와 같이 종류가 다양하게 나타날 수 있을 것이다. 또한 용리작용시의 관점에서 보면 이 작용에 의해 각섬석은 방향성을 갖는 엽편(lamella)조직을 보여주는 것이 일반적이는데 본암의 경우 각섬석류가 일정한 방향성을 갖는 엽편조직을 보이지 않는 것은 충분히 평형상태에 이르지 못한 것을 의미해 주기도 한다.

**화학적 특징**

Begin and Carmichael(1992)은 두 각섬석류가 Si, Al<sup>IV</sup>, A-site에 있어서 성분함량의 차이를 보이는데 특히 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 경우 두 광물간에 5-11wt%의 범위에서 성분의 간격을 갖는다고 보고 하였다. 또한 그들은 이렇게 각섬석과 양기석간에 중간 성분이 부재한 것은 그 지역의 각섬석류에서의 불혼합 구간의 존재를 의미한다고 제의하였다. 본암에서 대상 각섬석류가 불연속적인 접촉면을 갖는 암석의 경우를 보면 양기석은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 0.54-3.11 wt%의 범위를 갖고 주연부의 각섬석은 8.58-15.84 w%의 범위를 갖고 있어 3.11-8.58 wt%의 범위의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 부재하고 있다. 이런 성분상의 간격은 한번의 변성작

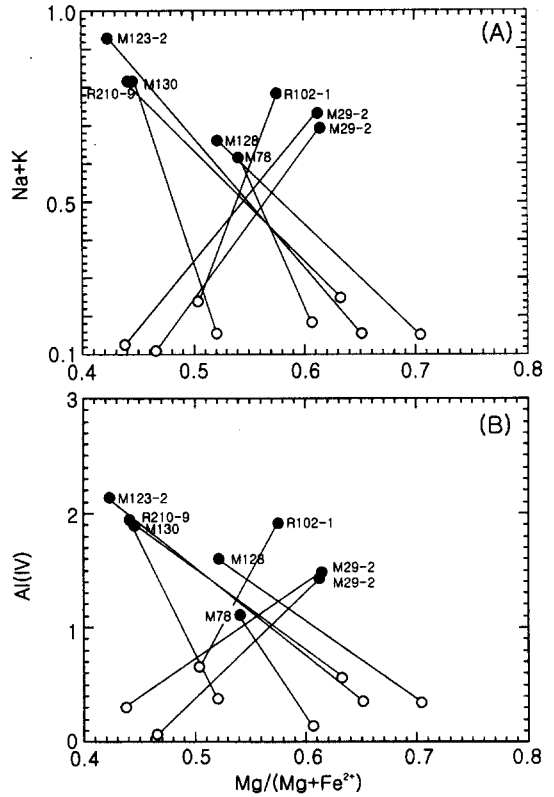


Fig. 7. (A)Amphibole compositions plotted in terms of Na+K vs. Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>). (B)Amphibole compositions plotted in terms of Al(IV) vs. Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>). Symbols are the same as in Fig. 3.

용에 의한 불혼합 구간이 아닌 두 번 이상의 변성작용의 경우 각각 변성도에 차이가 있을 때에도 형성될 수 있기 때문에 그 원인에 대한 단정은 무의미한 것으로 보여진다.

또한 Begin and Carmichael(1992)은 Na+K vs. Mg/(Mg+Fe)와 Al<sup>IV</sup> vs. Mg/(Mg+Fe)의 도표를 통해 불혼합 구간의 경우는 변성도의 증가에 따라 양기석-각섬석 쌍이 음의 기울기를 보이며 Mg함량이 체계적으로 증가하는 경향을 갖는다고 하였다. 연구지역의 앰피블라이트의 경우는 Mg함량의 증가가 변성도와 상관관계가 없는 것으로 나타나고 있고 양기석-각섬석 쌍이 양의 기울기와 음의 기울기로 혼합되어 불규칙하게 나타나고 있다(Fig. 7). 따라서 본암의 경우는 Begin and Carmichael(1992)의 보고에서와는 전혀 다른 특징을 띠고 있어 이는 변성도를 달리하는 복수의 변성작용이 중첩한 결과로 볼 수 있으며 또한 Mg함량의 변화는 변성도보다는 전

암성분과 산화도의 차이에 의존하는 것으로 사료된다.

토 의

앰피블라이트에서의 양기석과 각섬석의 존재에 대해 언급했던 기존 연구를 살펴보면 Kim(1971)은 옥천변성대에 산출하는 변성염기성암에서 함께 관찰되는 양기석과 각섬석은 녹염석-앰피블라이트상에 해당하는 한번의 광역변성작용에 의해 형성된 것으로 기재하였는 바 변성대 전체의 변성염기성암들에 대해 지역적 차이의 구분없이 획일적으로 규정하였다. 또한 Oh(1997)는 보은화강암 주변 변성염기성암내의 두 개의 각섬석 성분은 접촉변성작용에 의해 형성된 녹색편암상-각섬암상 점이대를 의미하는 것으로 보고하였다. 그러나 옥천변성대에는 황강리 지역을 비롯하여 문경 지역 그리고 보은-옥천 지역등 여러곳에서 앰피블라이트들이 산출하고 있고 이들 각 지역은 변성작용 중첩의 여부나 정도, 변성도, 변성사 및 구조운동과 화성활동의 특성 등이 동일하다고 볼 수 없으므로 각섬석류의 성분에 관해서 변성대 전체 지역의 암석들에 대해 획일적으로 규정하거나 한 지역의 결과를 타 지역에 확대 적용하는 것은 합당하지 않을 것이다. 나기창(1995)도 옥천변성대내에는 지역에 따라 변성작용이 중첩되는 양상에 변화가 많은 것을 지적한 바 있다. 황강리 지역에 나오는 대상 각섬석류 광물은 지금까지 알아보았듯이 대상지역이 다른 Kim(1971)과 Oh(1997)의 보고와 다르게 그 존재가 다변성작용의 결과인 것으로 사료되고 있는 바 이것을 각섬석류의 성분이 지시해 주는 각 변성작용의 압력형의 관점에서 검토해 볼 수 있을 것이다. 무색이나 연녹색을 띠는 핵부위의 양기석과 녹색이나 갈색을 띠는 주변부의 각섬석을 생성시킨 변성작용의 변성상계열이 각각 어떤 유형인지를 파악해 보기 위해 버몬트 지역의 유사한 광물군을 갖는 염기성 편암으로부터의 각섬석류 광물의 화학성분을 도시한 영역(Laird and Albee, 1981)에 황강리 지역내 앰피블라이트의 대상 각섬석류 광물의 화학성분을 도시하여 비교해 보았다(Fig. 8).

몇몇 연구자들은(Leake, 1965; Raase, 1974; Graham, 1974; Brown, 1977) 각섬석류의 성분, 특히 Al과 Na의 함량이 압력 지시자로 이용될 수 있는 것에 대해 논의를 해왔다. 각섬석류 광물에서 클로코페인 치환( $Ca, Fe^{2+} + Mg + Mn \rightarrow Na(M4), Al(VI) + Fe^{3+} + Ti + Cr$ )은 고압 상계열의 변성작용동안 우세하게 작용하고 에테나이트 치환( $\square, Si \rightarrow Na(A)$

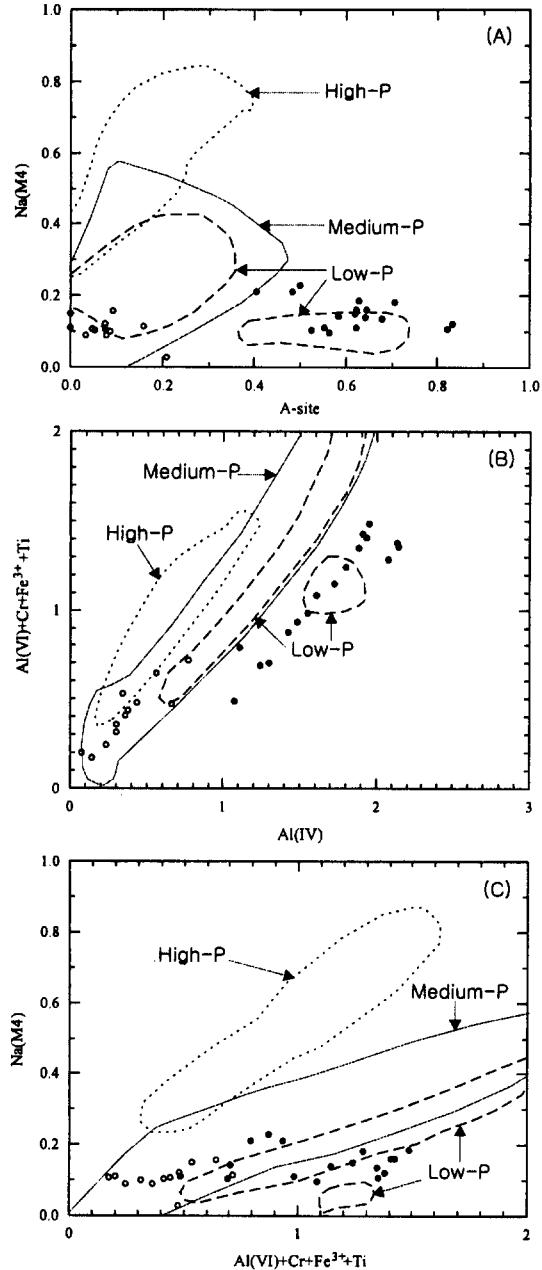


Fig. 8. Formular proportion diagrams of the amphiboles from the amphibolites in comparison with the envelopes which delimit the compositional space for high-P, medium-P, and low-P facies series for amphiboles in mafic schist from Vermont. Symbols are the same as in Fig. 3.

+K, Al(IV))과 쳐마카이트 치환( $Fe^{2+} + Mg + Mn, Si \rightarrow Al(VI) + Fe^{3+} + Ti + Cr, Al(IV)$ )은 저압 상계열의 변성작용동안 우세하게 일어난다. 중압 상계열은 일



반적으로 고압 상계열과 저압 상계열 사이의 각섬석 성분을 갖는다(Laird and Albee, 1981).

각 도표에서 압력의 증가는 대체로 수직축 성분의 증가로 나타나며 온도의 증가는 수평축 성분의 증가로 나타난다. 앰피블라이트내 각섬석 분석값의 특성을 살펴보면 핵부위의 양기석의 분석값 ( $Na(M4) < 0.16$ ,  $Al(IV) < 0.8$ ,  $Al(VI) + Fe^{3+} + Ti + Cr < 0.7$ )은 대체로 중압형의 영역(Fig. 8A, B, C)에 속하는 것으로 나타나며 소수가 저압형의 영역에 속하고 주연부의 각섬석들은( $0.096 < Na(M4) < 0.231$ ,  $Al(IV) < 2.143$ ,  $0.5 < Al(VI) + Fe^{3+} + Ti + Cr < 1.5$ ) 저압형 영역이나 그 경계부 근방에 도시(Fig. 8A, B, C)되고 있다. 이 도시된 영역을 살펴보면 대상으로 출현하는 두 각섬석류를 생성시킨 변성작용은 각각 서로 다른 유형으로 두 차례에 걸쳐 일어났으며 주연부의 각섬석은 핵부위의 양기석보다 더 높은 온도와 더 낮은 P/T값의 변성작용에 의해 성장한 것으로 볼 수 있다.

Kim(1971)은 육천변성대의 광역변성작용에 대한 연구에서 변성도에 따라 A, B, C 등 세가지 대로 나누었는데 이 중 C대에 해당되는 본 연구지역 부근인 중원군 동양면에서 규선석과 납정석이 공존하는 것이 관찰되고 있음을 보고한 바 있어 황강리 지역과 같은 이 지역 주변에서 중압형 광역변성작용의 영향이 인지되고 있음을 시사해 주었다. 또한 Cho *et al.*(1994)에 의해 육천변성대 충주지역의 변성암류는 바로비안(Barrovian)형의 흑운모 석류석대에 해당되는 광역변성작용을 받았으며 중생대 화강암류 주변부는 홍주석-규선석대에 해당되는 열변성대가 발달하는 것으로 규명된 바 있다. 육천변성대 전반에 걸쳐서도 Oh(1997)는 가장 우세하게 발달한 주변성작용은 중압형으로 알려진 중생대 트라이아스기의 M2 광역변성작용( $216 \pm 10Ma$ )으로 변성니질암을 보면 남동부에서 북서부로 가면서 흑운모대에서 석류석대를 지나 납정석대로 변성도가 증가하는 것으로 나타나고 류라기 화강암의 주변에서는 규선석대와 홍주석대가 분포하여 저압형의 M3접촉변성작용이 인지되고 있다고 보고하였다. 이러한 기존 연구와 함께 Fig. 7 에서의 도시 영역을 종합해 보면 다변성작용에 기인한 대상 각섬석류에서 거정의 양기석들은 육천대 전반에 우세했던 중압형의 광역변성작용에 의해 성장한 것으로 볼 수 있고 주연부 각섬석은 버몬트 지역에서도 나타났듯이 저압형과 유사한 변성작용에 의해 양기석의 성장 이후에 형성된 것으로 볼 수 있다.

## 결론

1. 대상 각섬석류의 성분변화를 치환작용의 측면에서 보면 핵부위 양기석보다 주연부 각섬석에서 세 가지 주요 치환작용(쳐마카이트 치환과 에데나이트 치환 그리고 글로코페인 치환)들의 정도는 더 높은 경향을 보여주고 있다. 또한 투휘석이 공존하는 가장 높은 변성도에서 생성된 각섬석에서의 이들 치환성분의 함량은 핵부위 양기석보다는 더 높으나 더 낮은 변성도에서 형성된 각섬석보다 낮은 것으로 나타나고 있다.

2. 사장석의 성분은 대체로 불규칙성을 가지며 알바이트에서 라브라도라이트까지 넓은 성분범위를 보여 주는데 이는 알바이트만 존재하거나 알바이트가 안테신과 함께 나타나고 있거나 알바이트가 부재하고 올리고클레이즈, 안테신, 라브라도라이트들이 존재하고 있는 것이다.

3. 두 시료 R102-1과 R210-9의 경우 각섬석류의 성분은 유사한데 사장석의 성분은 각각 알바이트(R102-1)와 라브라도라이트(R210-9)로서 큰 성분격차를 보여주고 있다. 이 사실은 유사한 변성도의 암석내에 준평형상태로 존재하는 사장석이 있음을 지시해 주어 다변성작용의 결과일 것으로 추정되며 대상 각섬석류가 형성된 것도 이에 의한 것으로 사료된다. 핵부위의 거정의 양기석질 각섬석은 남아 있는 알바이트와 함께 녹색편암상에서 녹색석-앰피블라이트상의 광역변성작용을 의미한다.

4. 양기석과 각섬석간의 접촉면이 뚜렷한 경우와 접이적일 경우 모두 화강암체와 떨어진 거리에 상관없이 산출되고 있다. 두 광물이 뚜렷한 접촉면을 보여주는 경우는 사장석 성분의 관점에서 불혼합구간이 형성되는 변성도보다 더 높은 변성도의 변성작용이 중첩했음을 지시하고 있다. 또한 광물간에 접이적인 접촉면을 갖는 경우는 이 조직이 주로 화강암체 주변의 특징인 사실과 화강암체와 떨어진 지역의 암석에 대해서는 변성도의 고찰 등을 통해 다변성작용의 결과인 것으로 보여진다.

5. 본암을 버몬트 지역의 염기성 편암과 비교한 결과와 기존 연구의 보고들을 바탕으로 대상 각섬석류를 변성작용의 압력형과 연관지어 보면 핵부위의 양기석들은 중압형의 변성작용에 의해 성장한 것으로 볼 수 있고 주연부의 각섬석들은 저압형의 변성작용에 기인한 것으로 볼 수 있어 대상으로 함께 나타나고 있는 각섬석류는 각기 P/T 값이 달랐음을 알 수 있다.

## 사 사

본 연구는 1998년도 과학재단 특정기초연구자금(96-07-03-07-01-3)에 의해 이루어졌으며 이에 사의를 표한다. 본 논문의 심사를 맡아 유익한 조언과 비평을 해주신 충북대학교 지구환경과학과 나기창 교수님과 안중호 교수님께 감사드린다.

## 부 록

전자현미분석을 실시한 앵피블라이트 시료들의 간단한 암석 기재는 아래와 같다.

M29-2: 조립질 앵피블라이트. 주구성광물로는 각섬석, 양기석, 사장석이며 부구성광물은 인회석, 흑운모, 스피, 자철석등으로 구성된다. 각섬석이 연녹색, 녹색, 갈색을 띠고 있다. 잔류 다이아베이지 조직(Diabasic texture)과 테쿠세이트 조직(Decussate texture)을 띠고 있다. 기원암은 휘록암내지 반려암인 것으로 사료된다.

M76-2: 조립질 앵피블라이트. 주구성광물로는 각섬석, 투회석, 사장석이고 부구성광물로는 인회석, 자철석등이다. 잔류 다이아베이지 조직과 테쿠세이트 조직을 띠고 있다. 기원암이 휘록암내지 반려암인 것으로 사료된다.

M78: 조립질 앵피블라이트. 주구성광물로는 각섬석, 양기석, 투회석, 사장석등이고 부구성광물은 인회석, 자철석등이다. 잔류 다이아베이지 조직과 테쿠세이트 조직을 띠고 있다. 기원암이 휘록암내지 반려암으로 사료된다.

M121-1: 조립질 앵피블라이트. 주구성광물은 양기석, 각섬석, 사장석, 녹니석등이고 부구성광물은 흑운모, 인회석, 녹염석, 자철석등이다. 잔류 다이아베이지 조직과 테쿠세이트 조직을 띠고 있다. 기원암은 휘록암내지 반려암인 것으로 사료된다.

M123-2: 중립질 앵피블라이트. 주구성광물로는 양기석, 각섬석, 사장석, 녹염석, 녹니석등이고 부구성광물로는 흑운모, 인회석, 스피, 저어콘, 자철석등이다. 테쿠세이트 조직을 띠고 있다.

M124-2: 중립질 앵피블라이트. 주구성광물로는 양기석, 각섬석, 사장석, 녹니석, 녹염석등으로 구성되며 부구성광물로는 방해석, 스피, 자철석으로 구성되어 있다. 각섬석이 갈색을 띠며 테쿠세이트 조직을 보여준다.

M128: 중립질 앵피블라이트. 주구성광물은 각섬석, 양기석, 사장석, 녹니석으로 구성되며 부구성광물로는 자철석이 있다. 테쿠세이트 조직과 입상변

정질 조직(Granoblastic texture)을 띠고 있다. 기원암이 반려암 내지 휘록암인 것으로 사료된다.

M130: 조립질 앵피블라이트. 주구성광물은 각섬석, 양기석, 사장석, 녹니석, 녹염석등이고 부구성광물은 흑운모, 인회석, 스피, 자철석등이다. 각섬석 입자는 최대 5 mm×2 mm 의 크기를 가지며 테쿠세이트 조직과 입상변정질 조직 그리고 잔류 다이아베이지 조직을 보여 주고 있다. 기원암이 반려암 내지 휘록암인 것으로 사료된다.

R102-1: 조립질 앵피블라이트. 주구성광물은 각섬석, 양기석, 사장석, 녹염석, 녹니석등이고 부구성광물은 흑운모, 인회석, 스피, 자철석등이다. 테쿠세이트 조직과 입상변정질 조직 그리고 잔류 다이아베이지 조직을 띠고 있다. 기원암이 반려암 내지 휘록암인 것으로 사료된다.

R103: 세립질 앵피블라이트. 주구성광물은 각섬석, 사장석, 녹니석등이고 부구성광물로는 자철석이 있다. 잔류오피틱 조직을 띠며 기원암이 현무암질암으로 사료된다.

R210-9: 조립질 앵피블라이트. 주구성광물로는 각섬석, 양기석, 사장석, 녹염석, 녹니석등이며 부구성광물로는 투회석, 흑운모, 인회석, 스피, 자철석등이다. 테쿠세이트 조직과 입상변정질 조직 그리고 잔류 다이아베이지 조직을 띠고 있다. 기원암이 반려암 내지 휘록암인 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- 나기창, 1995, 옥천변성대의 변성암 및 변성작용. 이종혁교수 정년퇴임기념논문집, 270-271.
- 오창환, 김창숙, 박영도, 1997, 옥천화강암과 보은화강암에 의한 접촉변성작용. 암석학회지, 6, 133-149.
- 이민성, 박봉순, 1965, 한국지질도(1:50,000), 황강리도 폭설명서, 국립지질조사소.
- Begin, N. J. and Carmichael, D. M., 1992, Textural and compositional relationships of Ca-amphiboles in metabasites of the Cape Smith Belt, Northern Quebec: Implications for a miscibility gap at medium pressure. *J. Petrol.*, 33, 1317-1333p.
- Brady, J. B., 1974, Coexisting actinolite and hornblende from west-central New Hampshire. *Amer. Mineral.*, 59, 529-535.
- Brown, E. H., 1977, The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism. *J. Petrol.*, 18, 53-72.
- Cho, M., Min, K. and Kim, H., 1994, Metamorphism in the central Ogcheon belt. IGCP project 321 Fourth International Symposium and Field Excursion, Field Trip Guidebook, 97-120.

- Cluzel, D., Cadet, J. P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon belt(South Korea). *Tectonophysics*, 183, 41-56.
- Cooper, A. F. and Lovering, J. F., 1970, Greenschist amphiboles from the Hasst River, New Zealand. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 27, 11-24.
- Graham, C. M., 1974, Metabasite amphiboles of the Scottish Dalradian. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 47, 165-185.
- Grapes, R. H., 1975, Actinolite-hornblende pairs in metamorphosed gabbros, Hidaka Mountains, Hokkaido. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 49, 125-140.
- Grapes, R. H. and Graham, C. M., 1978, The actinolite-hornblende series in metabasites and the so-called miscibility gap: A review. *Lithos*, 11, 85-97.
- Hawthorne, F., 1981, Crystal chemistry of the amphiboles. *Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy*, 9A, 1-102.
- Hietanen, A., 1974, Amphibole pairs, epidote minerals, chlorite, and plagioclase in metamorphic rocks, Northern Sierra Nevada, California. *Amer. Mineral.*, 59, 22-40.
- Kim, H. S., 1971, Metamorphic facies and regional metamorphism of Ogcheon Metamorphic Belt. *J. Geol. Soc. Korea*, 7, 221-256.
- Kim, O. J., 1968, Stratigraphy and tectonics of Ogcheon system in the area between Chungju and Munkyeong. *J. Korean Inst. Mining Geol.*, 1, 34-46.
- Kim, O. J. and Yoon, J. S., 1980, Study on lithologic and tectonic interpretation of the upper Okcheon members. *J. Korean Inst. Mining Geol.*, 13, 91-103, (in Korean with English abstract).
- Klein, C., 1969, Two-amphibole assemblages in the system actinolite-hornblende-glaucophane. *Amer. Mineral.*, 54, 212-237.
- Kuniyoshi, S. and Liou, J. G., 1976, Contact metamorphism of the Karnutsen Volcanics, Vancouver Island, British Columbia. *J. Petrol.*, 17, 73-99.
- Laird, J. and Albee, A. L., 1981, Pressure, temperature, and time indicators in mafic schist: their application to reconstructing the polymetamorphic history of Vermont. *Am. J. Sci.*, 281, 127-175.
- Leake, B. E., 1965, The relationship between composition of calciferous amphiboles and grade of metamorphism. In: Pitcher, W. S. and Flinn, G. W., (eds) *controls of Metamorphism*. Edinburgh and London, Oliver & Boyd, 299-318.
- Lee, D. S. and Woo, Y. K., 1970, A study of basic metamorphic rocks in the Chungsan-Okcheon area. *J. Geol. Soc. Korea*, 6, 29-52.
- Lee, D. S., Yun, S., Lee, J. H. and Kim, J. T., 1986, Lithologic and structural controls and geochemistry of uranium deposits in the Ogcheon black-slate formation. *J. Korean Inst. Mining Geol.*, 19, Spec. Issue, 19-41.
- Maruyama, S., Suzuki, K. and Liou, J. G., 1983, Greenschist-amphibolite transition equilibria at low pressure. *J. Petrol.*, 24, 583-604.
- Oh, C. H., 1997, The polymetamorphism and their metamorphic ages in the Okcheon metamorphic belt and its application to the interpretation of the tectonic evolution of the Okcheon metamorphic belt. *KOSEF*.
- Raase, P., 1974, Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 45, 231-236.
- Reedman, A. J. and Um, S. H., 1975, Geology of Korea. *Korean Inst. Energy Resour.*, Seoul, p139.
- Robinson, P., Spear, F. S., Schumacher, J. C., Laird, J., Klein, C., Evans, B. W. and Doolan, B. L., 1982, Phase relations of metamorphic amphiboles: Natural occurrence and theory. In *amphiboles: petrology and experimental phase relation* (ed. Veblen, D., and Ribbe, P), *Rev. Mineral. Soc. Am.*, 1-228.
- Ryu, Y. B., 1991, Metamorphism and tectonic environment of Ogcheon metabasites in the Ogcheon Metamorphic Belt, South Korea. *M.S. Thesis, Korea Univ.*, 1-66p.
- Sampson, G. A. and Fawcett, J. J., 1977, Coexisting amphiboles from the Hastings Region of Southeastern Ontario. *Can. Mineral.*, 15, 283-296.
- Shido, F. and Miyashiro, A., 1959, Hornblendes of basic metamorphic rocks. *J. Fac. Sci., University of Tokyo, Section II*, 12, 85-102.
- Smelik, E. A. and Veblen, D. R., 1991, Exsolution of cummingtonite from glaucophane: A orientation for exsolution lamellae in clin amphiboles. *Amer. Mineral.*, 76, 971-984.
- Son, C. M., 1970, A discussion on the geologic age of Ogcheon group. *J. Korean Inst. Mining*, 3, 231-244.
- Son, C. M., 1986, Notes on the Ogcheon metamorphic zone. *Memoirs in celebration of the 60th birthday of Prof. Lee, S. M.*, 65-71.
- Spear FS, 1993, *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. *Min. Soc. America*, Washington, D.C., 411p.

(책임편집: 나기창)

(2000년 4월 15일 접수, 2000년 6월 5일 수리)

## Mineral chemistry and texture of the zoned amphiboles of the amphibolites in the Hwanggangri area, the northeastern region of Ogcheon metamorphic belt, Korea

Young Bok Ryu, Yong Wan Kwon and Hyung Shik Kim

Department of Earth and Environmental Science, Korea University, Seoul 136-701, Korea

**Abstract:** The variation of Na(A), K, Na(M4), Al(IV) and Al(VI)+Fe<sup>3+</sup>+Ti+Cr in the zonal amphiboles from the amphibolites of the Hwanggangri area indicates that the *tschermakite*-, *edenite*- and *glaucophanite* substitutions are higher in the rim than in the core, in which actinolite changes to hornblende with going outward from core to rim. The contents of substitutional elements of hornblendes of three samples(M29-2, M76-2, M78), which include diopside and greenish brown hornblende and are thought to represent the highest metamorphic grade, are lower than those of rim hornblendes of the lower metamorphic grade and are higher than those of core actinolite that they conform to the middle domain in those of the whole amphiboles. Considerations about the origin of zonal amphiboles are as follows. Firstly, two samples(R102-1, R210-9) have the same amphibole composition like core is actinolitic hornblende, and rim is magnesian hastingsite although plagioclases such as albite(R102-1) and labradorite (R210-9) show the wide compositional difference. It is impossible to produce both albite and labradorite by one metamorphic event. Judging from this wide compositional difference, the existence of zonal amphiboles does not indicate the miscibility gap but is thought to be the result of the polymetamorphism. Secondly, the crystallographically sharp and gradational interfaces between actinolite and hornblende formed in the amphibolites regardless of the distance from the granite. In case of the samples(R210-9, M128, M130) having the sharp interface between two amphiboles, the plagioclase show the compositions produced at the low grade and the medium grade. Because such variable compositions of plagioclase indicates the overprinting of metamorphism of higher metamorphic grade than that of the formation of miscibility gap, it implies that zonal amphiboles were formed by polymetamorphism. In case of the gradational interface between two amphiboles, this texture is also thought to be the effect of polymetamorphism from the fact that this texture mainly occur near the granite and from the consideration of the metamorphic grade. The relationship between the compositional variations of the amphiboles and the pressure types of metamorphism suggests that actinolitic core is considered to be grown by the metamorphism of medium pressure, while hornblende rim is shown to have genetic relations with the metamorphism of low pressure type.

**Key words:** Zoned amphiboles, plagioclase, miscibility gap, polymetamorphism, pressure type