

대홍활석광상 주위의 편마암류의 지화학적 특징과 공존광물의 화학적 평형

이상헌 · 최기주

강원대학교 자연과학대학 지질학과

요 약: 대홍활석광상의 주위에 넓게 발달하고 있는 화강암질편마암내에는 호상편마암이 잔류되어 있으며 이들은 녹색편암상과 녹염석-엠펜블라이트상에 해당되는 2회에 걸친 광역변성작용과 이에 수반된 화강암화작용에 의하여 규질-알루미나(silico-aluminous)암석으로 부터 형성된 동일기원의 변성암이다. 이들 편마암류의 주구성광물은 화강암질편마암에 다량 산출되는 퍼어사이트를 제외하고는 거의 동일하다. 즉 화강암질편마암내에도 2회에 걸친 광역변성작용에 의해 형성된 광물군집이 잔류되어 있다. 이 암석들의 주구성광물중 흑운모, 백운모 및 녹니석의 화학조성은 암석의 전체화학조성, 기원광물의 화학조성, 그리고 변성 및 변질작용 등의 환경에 의하여 규제되어졌다. 이들중 공존하는 광물들 사이에는 화학적평형이 잘 이루어져 있어 광역변성작용이 대체로 안정된 조건하에서 진행되었음을 나타내고 있다. 특히 공존하는 흑운모와 백운모의 화학조성은 치마크아이트(tschermakitic)와 펜자이트(phengitic)치환에 의하여 조절되어졌다. 녹니석은 변질작용이나 화강암화작용에 의하여 주로 흑운모나 백운모로 부터 생성되었으며 산상에 관계없이 화학조성은 비슷하다. 변성암류에 발달된 엽리과 절리, 그리고 석영맥의 방향성을 등적투영을 통하여 비교한 결과 절리와 석영맥은 거의 일치하고 있어 열수용액은 주로 절리를 따라 도입된 것임을 시사하고 있다.

핵심어: 화강암질편마암, 광역변성작용, 화강암화작용, 화학적 평형, 등적투영

서 언

대홍활석광상(공주군 신평면 조평리에 위치) 주위에는 화강암질편마암이 넓게 분포하고 있으며 이에는 호상흑운모편마암이 소규모로 여러 곳에 잔류되어 있다. 활석광체는 화강암질편마암내에 렌즈상으로 배태되어 있으며 그 방향은 잔류되어 있는 호상흑운모편마암의 엽리방향과 거의 일치한다. 대홍광상은 청양-유구 지역에 산재하여 있는 활석광상들중의 하나로 이들은 초염기성암을 모암으로 하여 열수변질작용에 의하여 생성된 것으로 알려져 있다(우영균 외, 1991). 그러나 대홍광상의 경우 노천광체 주변부에 대한 정밀조사에 의하면 광체를 배태하고 있는 상기한 편마암류와 광체를 불규칙하게 관입하는 후기의 염기성 및 규장질 암맥을 제외하고 광체와 연관성을 갖는 초염기성암류의 발달을 인지할 수 없다. 뿐만 아니라 광석내에도 활석의 기원광물로서의 감람석, 휘석, 또는 각섬석류의 잔류물을 발견할 수 없다. 광석은 주로 활석, 녹니석, 그리고 사문석으로 구성되어 있으며 활석의 함량은 특히 녹니석의 함량과 반비례하는 현상을 나타내고 있다.

이러한 광체의 산출상태, 주위 암석과의 연관성, 그리고 광석의 구성광물상의 특징들은 활석의 성인을 규명하는데 있어 반드시 고려하여야 할 문제라고 생각된다. Moine *et al.* (1989)는 돌로마이트나 사문암 및 감람암과 같은 초염기성암 외에 변성암체내에 발달되어 있는 석영-편암이나 편마암으로 부터도 변성교대작용에 의하여 녹니석이 풍부한 활석광상이 형성되어질 수 있으며 이때 모암속의 석영은 활석의 형성에, 또는 용해작용에 의하여 거의 소모되어진다고 보고한 바 있다. 이러한 점들을 서로 연관시켜 볼 때 대홍활석광상의 경우 그 성인을 광상을 부존시키고 있는 화강암질편마암의 특징 및 형성과정과 연관시킴으로써 알 수 있을 것으로 생각되며, 모암은 광체내에 잔류되어 있는 활석화된 광물과 활석의 형성과정을 규명함으로써 밝혀질 것으로 생각된다. 이것은 이 지역의 화강암질편마암 뿐만 아니라 화강암질편마암내에 잔류되어 있는 호상흑운모편마암의 지화학적 특징, 주구성광물의 광물화학적 특징 및 공존광물들의 상평형관계를 통하여 알 수 있을 것으로 생각된다.

이를 위하여 노천광체 주변에 대한 정밀 조사를

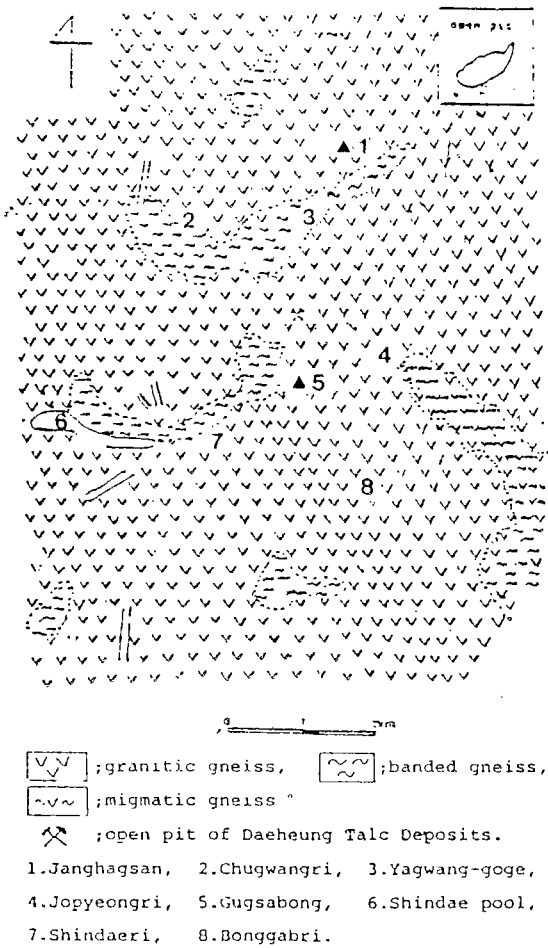


Fig. 1. Geological map around the Daeheung Talc Deposits.

포함한 변성암체에 대한 야외조사, 광물군집설정과 전암분석, 그리고 선정된 광물들에 대하여 EPMA를 이용한 점분석을 실시하였다. 그리고 활석화작용을 일으킨 열수용액의 이동통로로 이용된 구조선을 추정하기 위하여 열수용액의 도입시기와 동시성으로 생각되는 석영맥의 발달방향을 화강암질편마암의 절리 및 잔류되어 있는 엽리의 방향과 서로 비교하였으며 이를 위하여 특히 광체주변지역에 대하여 구조적 분석을 실시하였다.

지질배경

광상주위 지역은 거의 퇴적기원의 화강암질편마암으로 구성되어 있으며 이는 선캠브리아기의 경기 변성암복합체의 서남부에 해당된다(1 : 250,000 지

질도). 이외에 소규모의 염기성 및 규장질 화성암 맥이 국부적으로 화강암질편마암을 관입하고 있으며 이는 특히 활석광체 주변에서 잘 관찰할 수 있다. 또 화강암질편마암내에는 호상흑운모편마암의 잔류물이 소규모로 남아 있으며(Fig. 1) 이들 사이는 대체로 점이적인 관계를 나타내고 접촉부 부근에서는 때로는 미그마타이트질편마암상을 띄기도 한다. 화강암질편마암은 대체로 중립 내지 조립질로 괴상이지만 때로는 희미하게 엽리구조가 남아 있기도 하며, 장석의 반상변정이 발달하여 반상변정질편마암상을 띄기도 한다. 그러나 이 엽리의 방향은 주위에 잔류되어 있는 호상흑운모편마암 또는 미그마타이트질편마암상에서 관찰되는 엽리의 방향과 일치하는 것이 보통이다. 이러한 엽리의 주향과 경사는 변화가 심하여 일정한 방향성을 설정하기 어려우나 지역적으로는 주향은 거의 비슷하나 경사방향이 달라 소규모의 향사 및 배사습곡 구조의 발달을 인지할 수 있다. 이것은 특히 조평리에서 추광리로 넘어 가는 야광고개 부근에서 잘 관찰되어 진다. 즉 주향은 대체로 N15W~N20E로 변화하며 경사는 동 또는 서쪽으로 바뀌어 축이 거의 평행한 향사와 배사구조가 연속적으로 발달되어 있음을 알 수 있다. 그러나 조사지역의 서부지역으로 가면 N80W의 주향에 SW방향으로 경사가 바뀌어 배사습곡축이 매우 심하게 휘어져 있음을 인지할 수 있다. 이러한 습곡구조는 신대리 부근에 동서방향으로 길게 발달되어 있는 호상흑운모편마암에서도 잘 관찰된다. 그러나 전체적으로 볼 때 화강암질편마암내에 잔류되어 있는 호상흑운모편마암들의 분포방향은 불규칙하고(Fig. 1) 이러한 습곡구조와 일치하지 않기도 한다. 또 엽리의 방향도 국부적으로 매우 변화가 심하여 이들이 적어도 2회 이상 변형작용을 받았음을 시사하고 있다. 즉 국부적으로 인지되는 향사-배사 습곡 구조는 1차의 광역변성작용시에 형성되었으며 이들이 후기에 2차의 광역변성작용이나 또는 화강암질편마암을 형성시킨 화강암화작용시에 파괴되거나 교란되어 국부적으로 변형되어진 것으로 생각 된다.

호상흑운모편마암과 화강암질편마암은 접촉부 부근에서 국부적으로 석영과 K-장석이 반상변정으로 산출되는 반상변정질편마암상을 띄기도 하는데 이 경우 미그마타이트질편마암상이 주위에 발달하는 것이 보통이다. 그러나 이들을 이루는 주 구성 광물의 종류는 거의 일치한다. 이러한 현상들은 이

Table 1. Chemical composition of banded gneiss around the Daeheung talc deposits (wt %)

	D90-1	D90-17-4	B12	S3'	12	D9	D90-10	7	SD(7)	28	C3	C15	D15-4
SiO ₂	65.94	53.22	58.32	75.41	72.49	67.61	74.04	68.90	68.19	72.42	73.60	68.20	70.90
Al ₂ O ₃	14.96	16.48	17.30	12.02	11.86	14.90	14.18	15.40	16.33	13.37	14.00	15.00	15.90
FeO	5.45	6.03	6.88	2.72	4.63	6.47	1.39	5.20	2.50	4.08	3.70	5.30	4.00
MgO	1.68	8.88	3.74	0.90	1.52	1.98	0.27	1.60	0.68	1.25	1.10	1.60	1.20
MnO	0.05	0.05	0.11	0.04	0.04	0.08	0.01	—	0.04	0.03	—	—	—
TiO ₂	0.74	1.29	0.75	0.42	0.48	0.59	0.15	0.56	0.37	0.42	0.30	0.47	0.35
CaO	2.82	0.65	5.28	1.06	0.67	0.83	0.49	0.40	2.18	0.18	0.20	0.50	1.10
Na ₂ O	3.60	5.43	0.06	1.94	1.45	1.35	3.75	0.24	5.46	1.89	2.25	1.24	2.25
K ₂ O	2.74	4.78	5.11	2.39	2.65	4.17	3.58	4.78	1.76	3.69	3.25	5.11	2.86
P ₂ O ₅	0.21	0.36	0.21	0.13	0.06	0.11	0.21	0.06	0.23	0.07	0.08	0.07	0.10
ig. loss	—	—	—	—	—	—	—	1.70	—	—	1.60	2.40	1.30
Total	98.19	97.17	97.76	97.04	95.85	98.08	98.07	98.84	97.74	97.40	100.08	99.89	99.96
Fe/Fe+Mg	0.747	0.382	0.626	0.734	0.735	0.748	0.824	0.747	0.770	0.748	0.754	0.751	0.752

Table 2. Chemical composition of granitic gneiss around the Daeheung talc deposits (wt %)

	6	D702	A22	48	B26	E1	D15-3	C36	B3
SiO ₂	68.14	67.09	66.47	59.76	63.70	68.90	73.20	75.10	76.70
Al ₂ O ₃	15.78	11.68	15.76	16.53	18.70	15.40	14.90	15.70	13.60
FeO	6.27	3.78	4.42	5.25	7.00	5.20	2.40	1.70	2.10
MgO	1.76	1.66	1.67	2.75	2.00	1.60	0.80	0.60	0.60
MnO	0.07	0.05	0.05	0.06	—	—	—	—	—
TiO ₂	0.57	0.38	0.57	1.15	0.56	0.56	0.22	0.28	0.24
CaO	0.01	4.71	1.44	4.46	0.20	0.40	1.70	0.10	0.70
Na ₂ O	0.52	2.97	2.15	2.63	0.34	0.24	2.88	1.54	2.66
K ₂ O	3.68	2.40	4.46	4.47	3.91	4.78	2.29	3.04	2.30
P ₂ O ₅	0.07	0.18	0.15	0.79	0.12	0.06	0.07	0.11	0.09
ig.loss	—	—	—	—	3.40	1.70	1.60	1.70	1.00
Total	96.87	94.90	97.13	97.85	99.93	98.84	100.06	99.87	99.99
Fe/Fe+Mg	0.764	0.675	0.707	0.635	0.761	0.747	0.732	0.721	0.761

들이 성인적으로 연관성을 갖고 있음을 시사한다. 즉 세일과 같은 퇴적암이 광역변성작용에 의하여 호상흑운모편마암이 형성되고 이는 다시 화강암화작용에 의하여 화강암질편마암으로 변하고 이때 부분적으로 미그마타이트질 및 반상변정질 암상을 띄게 된 것으로 생각된다. 이들 변성암류들의 주구성 광물은 석영, 사장석, 피어사이트, 흑운모, 녹니석 및 백운모 등이며 녹염석, 인회석, 방해석, 미르메카이트 그리고 불투명광물등이 부성분광물로 산출된다. 석류석은 몇 개의 박편에서 관찰되는데 화강암질편

마암의 경우 광역변성작용 때 생성된 것이 잔류된 것으로 생각된다. 호상흑운모편마암의 경우 백운모와 녹니석이 국부적으로 함량이 증가하여(흑운모의 함량은 감소) 거의 백운모 또는 녹니석편마암상을 띄기도 한다.

편마암류의 지화학적 특징

활석광체와 직접 접하고 있는 암석은 화강암질 편마암, 호상흑운모편마암, 염기성 및 규장질 화성

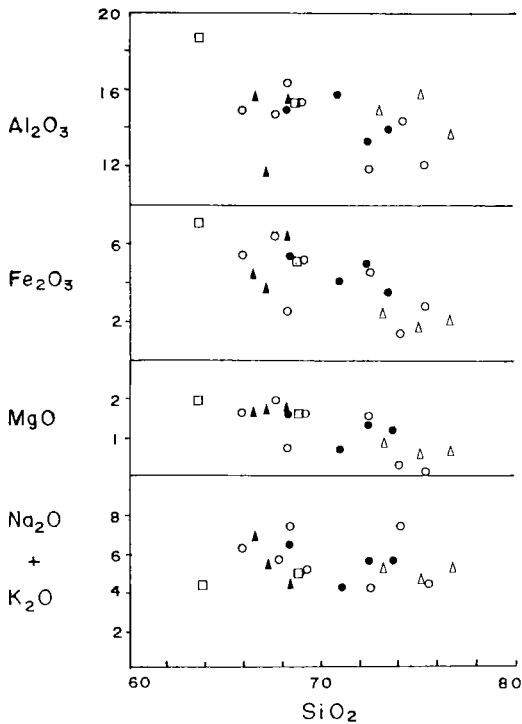


Fig. 2. Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO and Na_2O+K_2O versus SiO_2 (wt%) in the biotite banded gneiss and granitic gneiss around the Daeheung Talc Deposits: ○; banded gneiss, ●; banded gneiss included in granitic gneiss, ▲; biotite granitic gneiss, △; quartz-feldspathic granitic gneiss, □; muscovite-rich granitic gneiss.

암맥들이다. 이중 화성암맥은 광체를 불규칙하게 관입하고 있어 시기가 광상 형성 이후인 것으로 판단된다. 그러나 광체와의 접촉부 부근에서는 화성암맥도 열수변질에 의하여 활석화된 부분이 있는데 이는 활석광체의 주 생성시기와는 다른 것으로 생각된다. 화강암질편마암과 호상흑운모편마암은 광체를 배태시키며 서로 점이적으로 변화하고 있어 활석광상의 성인과 밀접한 연관성이 있음을 시사하고 있다. 따라서 이들의 기원암과 지화학적 특징을 알기 위하여 광물군집 또는 산출상태가 다른 시료들에 대하여 전암분석을 실시하였다(Table 1과 2).

화강암질편마암을 이루는 주 구성광물은 화강암 화작용에 의하여 생성된 것으로 생각되는 피어사이트 또는 미르메카이트등을 제외하고는 호상흑운모편마암과 거의 일치한다. 그러나 이러한 주구성광물의 종류나 상대적인 함량의 차이가 있어도 이들의 화학조성은 거의 비슷하다(Table 1과 2). Fig. 2에서 보는 바와 같이 화학조성이 암상에 따라 어떤 뚜렷한

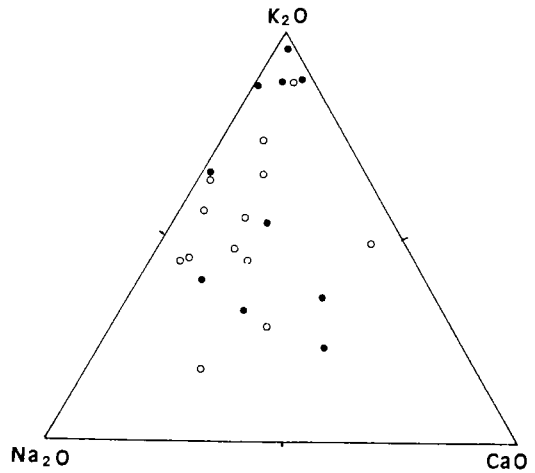


Fig. 3. K_2O - Na_2O - CaO triangular diagram showing chemical variations of the biotite banded gneiss(open) and granitic gneiss(solid).

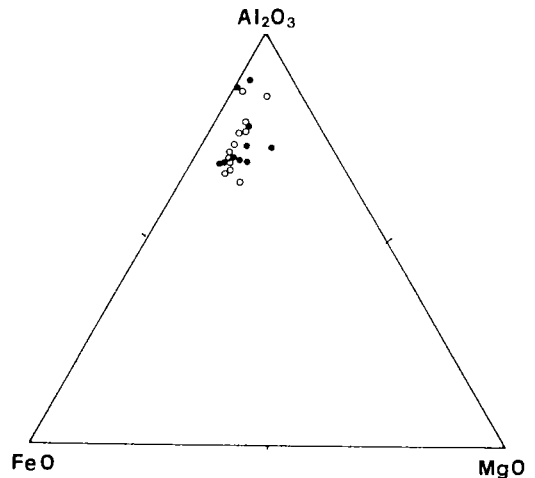


Fig. 4. Variation of banded(○) and granitic gneisses (●) in Al_2O_3 - FeO - MgO (wt%) system.

차이점을 보여 주지 않으나 Fe_2O_3 와 MgO 의 경우 같은 경향성을 나타내고 있다. 즉 SiO_2 의 증가에 따라 이들의 함량은 비슷하게 감소하고 있다. 그러나 Al_2O_3 와 K_2O+Na_2O 는 어떠한 변화양상을 보여 주지 않는다. 또 Table 1과 2에서 보는 바와 같이 이들의 $FeO/FeO+MgO$ 비가 몇 개의 시료를 제외하고는 암상과 산상에 관계없이 거의 비슷하다. 그러나 이들 성분들의 상대적인 변화양상은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 암상에 따라 약간 다르지만 호상흑운모편마암의 경우 대체로 CaO 의 함량비가 낮으며 K_2O-Na_2O

Table 3. Chemical composition of plagioclase and structural formula based on sum cation=5 in banded and granitic gneisses

	D90-17-4		D90-1				D90-10				SD(7)		48 (gr, gn)		
	5	8	5	6	7	16	2	5	6	12	8	9	3	5	7
SiO ₂	66.58	65.41	59.58	59.79	60.77	64.91	67.93	68.11	68.10	67.45	65.45	66.60	57.83	58.30	56.16
Al ₂ O ₃	19.38	19.55	24.69	24.67	24.97	21.26	20.35	19.67	19.76	20.06	19.44	19.20	26.76	26.25	27.64
CaO	0.12	0.39	4.92	4.60	4.68	1.47	0.71	0.37	0.07	0.42	0.54	0.42	6.66	6.02	7.71
Na ₂ O	12.13	11.83	8.58	8.33	8.62	9.11	11.00	11.93	11.48	11.78	11.45	11.52	7.03	7.37	6.50
K ₂ O	0.07	0.13	0.16	0.24	0.12	1.71	0.11	0.12	0.09	0.12	0.11	0.06	0.16	0.09	0.15
Total	98.28	97.31	97.93	97.63	99.16	98.46	100.10	100.17	99.50	99.83	96.98	97.80	98.43	98.03	98.16
Si	2.967	2.946	2.689	2.700	2.699	2.893	2.961	2.977	2.984	2.959	2.954	2.983	2.597	2.623	2.538
Al	1.033	1.054	1.311	1.300	1.301	1.107	1.039	1.023	1.016	1.041	1.046	1.017	1.403	1.377	1.462
Ca	0.033	0.054	0.311	0.300	0.301	0.107	0.039	0.023	0.016	0.041	0.046	0.017	0.403	0.377	0.462
Na	0.967	0.942	0.679	0.685	0.694	0.796	0.956	0.972	0.979	0.954	0.949	0.983	0.587	0.618	0.528
K	—	0.004	0.010	0.015	0.005	0.097	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	—	0.010	0.005	0.010
An	3.3	5.4	31.1	30.0	30.1	10.7	3.9	2.3	1.6	4.1	4.6	1.7	40.3	37.7	46.2

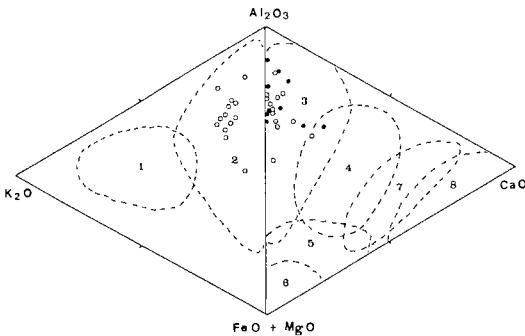


Fig. 5. Classification of the biotite banded(○), and granitic gneiss(●) according to their principal chemical constituents, Al₂O₃-K₂O-FeO+MgO-CaO(wt%) system.(Bard, 1986). 1. granitic orthogneiss(meta-arkose, meta-granitic), 2. silico-aluminous gneiss(meta-pelites, phyllite, schist), 3. silico-alumino paragneiss (phyllite, schist, meta-pelite), 4. plagioclasic paragneiss(meta-graywacke), 5. eclogites, orthoamphibolites(meta-basalt, basic meta-tuffs), 6. pyroxenites(talc schist, serpentinite, meta-peridotite) 7. calc schist (para-amphibolite) 8. marble.

선에 평행하게 분포하는데 이는 K₂O와 Na₂O가 상대적으로 변화함을 의미한다. 이는 구성광물의 함량의 차이 등, 예를 들면 호상흑운모편마암에 있어서 퍼어사이트와 같은 K-장석과 사장석의 함량이 상대적으로 변화하는 것과 잘 일치한다. 특히 화강암 질편마암내에 소규모로 잔류되어 있는 경우 다른 호상흑운모편마암 보다 CaO의 함량이 더 적으나

K₂O는 약간 많다. 이것은 화강암화작용의 영향을 받은 것임을 시사한다. CaO의 함량이 많은 암석들은 암상에 관계없이 사장석의 성분이 거의 An30~40에 가까운(Table 3)(Table 1과 2의 D90-1 및 48을 비교), 또는 녹염석이 풍부한 경우(B12)이다. 그러나 Al₂O₃, total FeO 그리고 MgO 세 성분 사이의 경우 암상에 관계없이 total FeO의 변화량은 MgO보다는 Al₂O₃와 더 밀접한 관계를 갖고 있음을 Fig. 4에서 알 수 있다. 이는 Fe⁺⁺=Mg⁺⁺ 치환을 고려할 때 Fe는 FeO보다 Fe₂O₃상태로 더 많이 함유되어 있음을 추정할 수 있다. 이로 부터 이들 암석들을 생성시킨 광역변성작용이나 화강암화작용등은 비교적 높은 fO₂ 조건에서 진행되어졌음이 시사되어 진다. 이러한 변화양상은 이들 성분들이 광역변성작용이나 화강암화작용시에도 큰 유동성을 갖지 않았던 것임을 나타내고 있다. 또 이들이 원래 거의 비슷한 화학조성을 갖는 암석으로 부터 기원한 것임을 성분들의 변화양상으로 부터 추정할 수 있으며 이는 Fig. 5에서 잘 나타난다. 즉 이들은 암상에 관계없이 혼재하며 모두 규질-알루미나준편마암(silico-aluminous paragneiss) 지역(Bard, 1986)내에 분포함으로 동일기원임을 잘 보여 주고 있다. 상기한 암상들의 변화양상과 상호 점이적인 관계, 광물조성의 특징, 그리고 지화학적 유사성으로 볼 때 화강암질 편마암을 형성시킨 화강암화작용은 외부에서 도입된 화강암질 물질에 의한 것이기 보다는 전체적으로는 화학적으로 닫힌계(closed system)의 환경하

Table 4. Chemical composition of biotite and structural formula based on sum cation = 8 in banded gneiss. (M: coexisting with muscovite) (wt %)

	D90-1										28								B12										
	2		3		5		8		9		9		11		20		21		23		24		26		5		6		
SiO ₂	34.70	34.29	35.04	34.82	34.96	35.06	36.90	33.44	32.84	33.92	32.78	33.25	33.63	33.06	33.88	36.01													
Al ₂ O ₃	18.36	17.82	18.24	18.31	17.78	17.76	17.64	18.20	17.71	18.64	18.71	18.02	18.59	18.33	18.33	18.25													
FeO	22.13	21.91	21.12	21.64	21.79	21.76	20.90	22.76	25.09	22.49	23.45	22.98	23.53	24.41	17.75	16.70													
MgO	7.92	7.77	8.23	8.08	7.70	8.23	8.37	7.57	7.12	8.42	9.03	7.27	7.67	7.71	11.17	11.75													
MnO	0.24	0.23	0.27	0.24	0.13	0.29	0.27	0.22	0.20	0.19	0.13	0.26	0.20	0.20	0.18	0.20													
TiO ₂	2.60	2.19	2.12	2.11	2.61	0.93	1.18	1.84	2.02	0.34	0.24	2.13	1.36	1.40	1.52	1.42													
CaO	-	-	-	-	0.01	0.05	0.09	0.04	0.12	0.05	0.16	0.01	0.07	0.03	0.03	1.01													
Na ₂ O	0.08	0.08	0.07	0.06	0.14	0.03	0.05	0.07	0.07	0.04	0.06	0.05	0.01	0.04	0.10	0.03													
K ₂ O	9.53	9.71	9.54	9.59	9.88	10.84	9.63	9.86	9.82	10.65	8.71	10.76	10.18	10.63	9.90	9.11													
Total	95.57	94.01	94.63	94.84	95.00	94.95	95.03	94.00	94.99	94.74	93.27	94.73	95.24	95.81	94.86	94.48													
			M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M													
Si	2.747	2.757	2.786	2.768	2.783	2.766	2.913	2.685	2.629	2.676	2.633	2.653	2.664	2.604	2.781	2.796													
Al ^{iv}	1.253	1.243	1.214	1.232	1.217	1.234	1.087	1.315	1.371	1.324	1.367	1.347	1.336	1.396	1.219	1.204													
Al ^{vi}	0.458	0.447	0.470	0.486	0.447	0.418	0.554	0.407	0.300	0.409	0.404	0.347	0.399	0.305	0.456	0.466													
Fe	1.464	1.473	1.405	1.437	1.449	1.436	1.380	1.528	1.680	1.484	1.575	1.533	1.558	1.608	1.151	1.085													
Mg	0.936	0.932	0.975	0.955	0.913	0.968	0.985	0.907	0.850	0.990	1.081	0.865	0.906	0.904	1.290	1.360													
Mn	0.014	0.014	0.019	0.014	0.010	0.019	0.018	0.015	0.013	0.013	0.009	0.018	0.013	0.013	0.012	0.013													
Ti	0.157	0.130	0.129	0.124	0.158	0.055	0.070	0.111	0.121	0.020	0.014	0.128	0.081	0.083	0.088	0.083													
Ca	-	-	-	-	-	0.004	0.007	0.003	0.010	0.004	0.013	0.001	0.006	0.003	0.002	0.084													
Na	0.010	0.010	0.010	0.010	0.019	0.005	0.008	0.011	0.011	0.007	0.009	0.008	0.001	0.005	0.015	0.004													
K	0.960	0.996	0.965	0.974	1.004	1.091	0.969	1.010	1.003	1.072	0.893	1.095	1.029	1.068	0.979	0.903													
Fe/Fe + Mg	0.610	0.612	0.590	0.601	0.613	0.597	0.584	0.628	0.664	0.600	0.593	0.639	0.632	0.640	0.472	0.444													

Table 5. Chemical composition of biotite and structural formula based on sum cation=8 in granitic gneiss (M : coexisting with muscovite) (wt %)

	D702					C31		E1		48	
	1	2	3	8	13	1	3	4	2	4	6
SiO ₂	35.27	35.83	34.54	34.93	34.90	32.69	35.17	35.15	36.66	36.86	36.57
Al ₂ O ₃	17.90	17.72	17.78	17.55	17.54	16.92	16.47	16.93	17.79	16.67	16.69
FeO	21.29	19.75	19.60	19.57	19.68	21.47	21.71	21.17	19.76	20.56	19.92
MgO	10.01	9.81	10.10	10.79	9.32	7.39	8.18	8.25	11.01	10.54	10.67
MnO	0.13	0.03	0.11	0.07	0.02	0.14	0.10	0.13	0.38	0.30	0.16
TiO ₂	2.29	2.53	2.53	1.76	2.65	2.83	2.04	1.99	0.51	1.75	2.12
CaO	—	0.01	—	—	—	0.06	—	—	0.02	0.05	0.31
Na ₂ O	0.06	0.07	—	0.06	0.11	0.12	—	0.05	0.07	0.05	0.04
K ₂ O	9.58	9.29	8.84	8.57	9.43	9.93	9.83	9.52	10.01	10.10	9.93
Total	96.53	95.04	93.50	93.30	93.65	91.55	93.50	93.19	96.21	96.88	96.41
						M	M	M			
Si	2.732	2.816	2.757	2.781	2.787	2.701	2.839	2.842	2.814	2.833	2.823
Al ^{iv}	1.268	1.184	1.243	1.219	1.213	1.299	1.161	1.158	1.186	1.167	1.177
Al ^{vi}	0.366	0.457	0.430	0.428	0.438	0.349	0.406	0.455	0.423	0.343	0.342
Fe	1.379	1.298	1.308	1.303	1.314	1.484	1.466	1.431	1.268	1.322	1.286
Mg	1.156	1.149	1.202	1.281	1.110	0.910	0.985	0.994	1.259	1.208	1.228
Mn	0.009	0.002	0.007	0.005	0.001	0.010	0.007	0.009	0.025	0.20	0.011
Ti	0.133	0.150	0.152	0.105	0.159	0.176	0.124	0.121	0.029	0.101	0.123
Ca	—	—	—	—	—	0.005	—	—	0.002	0.004	0.025
Na	0.009	0.009	—	0.009	0.017	0.019	—	0.008	0.011	0.007	0.006
K	0.947	0.932	0.900	0.870	0.961	1.047	1.012	0.982	0.980	0.991	0.978
Fe/Fe+Mg	0.544	0.530	0.521	0.504	0.542	0.620	0.598	0.590	0.502	0.523	0.512

에서 부분용융등에 의하여 진행되어졌음을 시사하는 것으로 생각된다.

광물화학

앞에서 설명한 바와 같이 흑운모, 백운모 및 녹니석은 호상흑운모편마암과 화강암질편마암을 이루는 주 구성광물이다. 이들의 공존양상, 광물간의 교대 및 변질현상, 그리고 조직등은 흑운모와 백운모는 주로 광역변성작용시에 생성되고 화강암화작용에 의하여 녹니석으로 변질되었으며, 녹니석은 광역변성작용시에 흑운모 및 백운모와 함께 형성되기도 하였으나 대부분이 화강암화작용시에 흑운모나 백운모로부터 변질되어 생성되었음을 나타내고 있다. 이러한 생성 및 변질과정을 거치는 동안 이들 광물들에 어떠한 화학조성상의 변화가 있었으며 또

암상에 따라 화학조성상 어떤 차이가 있는지 알기 위하여 선정된 결정들에 대하여 전자현미분석을 실시하였다. 각 표에서 동일시료내에서의 점번호는 각각 다른 결정들을 나타낸다.

흑운모

흑운모는 산출양상에 따라 크게 두 가지형으로 구분이 되어진다. 즉 주로 엽리를 이루고 갈색을 띄며 벽개면이 잘 발달된 판상의 것(P형)과 이런 흑운모와 백운모 및 녹니석들을 교대하며 엽리와 평행하지 않고 산재하여 발달하는 것(S형)들이다. 전자는 벽개면이나 결정의 가장자리를 따라 백운모나 녹니석들로 변질되어 있는 것이 보통이다. 후자는 대체로 갈색 내지 암갈색을 띄며 벽개면의 발달이 불량하며 결정형태가 불분명하다. 이러한 산출양상

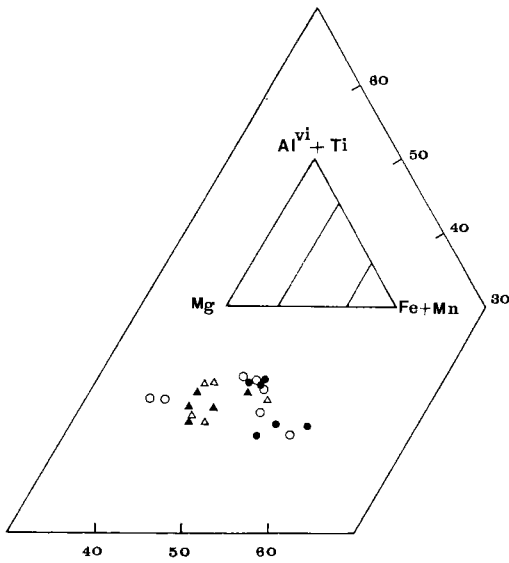


Fig. 6. Al(vi) + Ti : Mg; Fe + Mn triangular diagram illustrating tschermakitic substitution in biotite of the biotite banded and granitic gneisses. Symbols: ●, ○ and ▲, △ : P-type(solid) and S-type ones(open) in the banded and granitic gneiss, respectively.

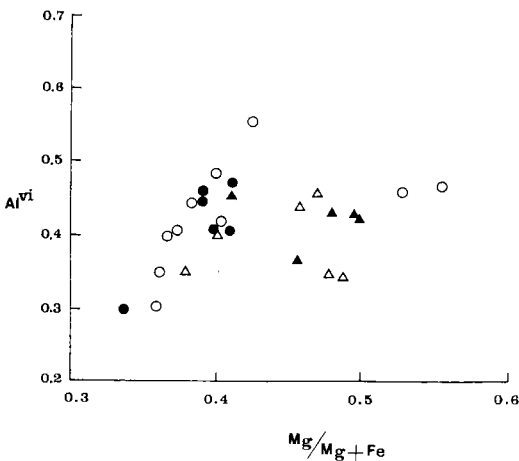


Fig. 7. Al(vi) versus Mg/Mg + Fe in biotite in the biotite banded and granitic gneisses. Symbols are same as in Fig. 6.

을 보이는 흑운모의 화학적 특징을 알기 위하여 암상과 공존광물들을 고려해 선정하여 점분석을 실시하였다(Table 4와 5). 이들은 산출양상에 따른 차이는 인지되지 않으나 암상에 따라서는 약간 상이하다. 이것은 Fig. 6에서 호상흑운모편마암과 화강암질편마암의 것들이 약간 다른 영역에 분포하는

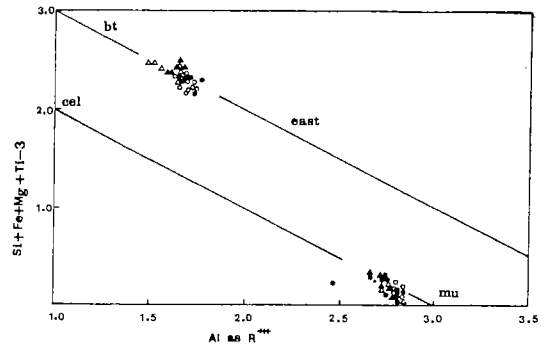


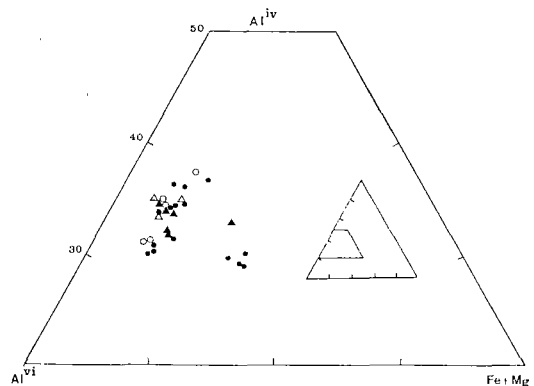
Fig. 8. Plot of total Al versus Si + Fe + Mg + Ti - 3 to illustrate the ideal dioctahedral and trioctahedral substitutions in biotite and muscovite in the biotite banded and granitic gneisses. Diagram based on plots by Brown(1968), Tracy(1978) and Guidotti (1984). Symbols are same as in Fig. 6, Abbr. : bt; biotite, cel; celadonite, east; eastonite, mu; muscovite.

것으로부터 알 수 있다. 대체로 화강암질편마암의 것들이 Fe + Mn의 함량비가 보다 낮은 대신에 Mg의 함량비는 높다. 또 호상흑운모편마암의 경우 Mg의 비가 크게 변화하지 않으나 화강암질편마암은 변화량이 보다 크다. 대체로 호상흑운모편마암은 Al(vi) + Ti와 Fe + Mn의 연결선에, 그리고 화강암질편마암은 Mg와 Fe + Mn의 연결선에 평행하게 분포하고 있어 후자에서는 Mg=Fe 치환이 주로 일어났음을 시사하고 있다. 이런 현상은 광역변성작용과 화강암화작용이 흑운모의 화학조성에 있어 각각 다른 영향을 끼쳤음을 시사하며 광역변성작용시에 흑운모에서 일반적으로 일어나는 처마카이트 치환(Si, FM=2Al) (tschermakitic substitution)(Brown, 1968; Tracy, 1978; Guidotti *et al.*, 1988; Guidotti, 1984; 이종혁과 이상헌, 1992)에 의하여 화학조성이 규제되어진 것이 아님을 나타낸다. 또 화강암질편마암의 흑운모는 이들이 화강암화작용에 의하여 영향을 받을 때 Mg와 Fe의 재배치가 비교적 안정되게 일어나서 Fe-흑운모가 Mg-흑운모로 변화하였음을 의미한다. 이것은 외부로부터 Mg의 도입에 의해서 또는 f_{O_2} 가 비교적 높은 열수환경에서 Fe의 유리작용이 우선적으로 일어났음을 시사한다. 후자는 S형의 흑운모내 또는 주위에 미립의 불투명광물들이 잘 수반되고 있는 것으로부터 뒷받침된다. 이러한 Mg와 Fe의 치환현상과 Al의 함량의 변화양상은 Fig. 7에서 잘 알 수 있다. 즉 화강암질편마암의 것들이 높은 Mg/Mg + Fe 비를 나타내고 있으며 호상흑운모편마암의 경우 Al(vi)의 변화량이

Table 7. Chemical composition of muscovite and structural formula based on sum cation=7 in granitic gneiss (B : coexisting with biotite) (wt %)

	C31		E1			6			
	3	5	1	2	5	2	7	10	11
SiO ₂	44.34	44.60	45.67	46.36	45.37	45.59	45.48	45.55	45.58
Al ₂ O ₃	33.35	33.55	33.74	34.15	34.82	35.23	35.96	35.46	36.74
FeO	2.46	0.91	1.45	0.96	1.11	1.46	0.91	1.14	0.80
MgO	1.50	0.81	0.83	0.95	0.79	0.90	0.53	0.71	0.45
MnO	—	—	0.07	—	—	0.04	0.07	—	0.02
TiO ₂	0.02	—	0.20	—	—	0.22	0.03	0.17	0.11
CaO	0.02	—	—	0.01	—	—	0.01	0.02	—
Na ₂ O	0.42	0.90	0.66	0.68	0.64	0.47	0.48	0.60	0.60
K ₂ O	11.24	10.85	11.06	10.51	11.30	12.37	12.36	11.86	12.29
Total	93.35	91.63	93.68	93.62	94.03	96.28	95.83	95.51	96.59
	B	B	B	B					
Si	3.010	3.070	3.089	3.133	3.049	2.995	2.998	3.014	2.977
Al ^{iv}	0.990	0.930	0.911	0.967	0.951	1.005	1.002	0.986	1.023
Al ^{vi}	1.678	1.792	1.779	1.753	1.807	1.723	1.791	1.779	1.805
Fe	0.140	0.054	0.082	0.054	0.062	0.080	0.050	0.063	0.044
Mg	0.152	0.083	0.084	0.096	0.079	0.088	0.052	0.070	0.044
Mn	—	—	0.004	—	—	0.002	0.004	—	0.001
Ti	0.001	—	0.010	—	—	0.011	0.002	0.008	0.006
Na	0.055	0.120	0.087	0.089	0.083	0.060	0.062	0.077	0.076
K	0.973	0.951	0.954	0.906	0.969	1.037	1.039	1.001	1.024
Fe/Fe+Mg	0.479	0.394	0.494	0.360	0.440	0.476	0.490	0.474	0.500

매우 크다. 호상흑운모편마암의 경우 S 형은 Al(vi) 뿐만 아니라 Mg/Mg+Fe의 변화량이 더 크다. 또 대체로 Al(vi)이 증가하면 Mg도 증가하는 것을 의미함으로 일반적인 처마카이트 치환과는 반대되는 현상이다. 화강암질편마암의 것보다 더 높은 Mg/Mg+Fe 비를 갖는 호상흑운모편마암의 두 점은 한 암석내의 것으로 거의 미그마타이트질암상을 나타내는 암석이다. 이로 부터 흑운모의 Mg/Mg+Fe 비는 화강암화작용에 의하여 영향을 받았으며 이 암석의 경우 Mg=Fe의 치환이 충분하게 진행되지 않은 것임을 알 수 있다. Guidotti(1984)에 의하면 광역변성작용의 경우 아엠피블라이트상에서 백립 암상변성상(subamphibolite to granulite facies)을 나타내는 여러 기원의 변성암류들은 Mg/Mg+Fe 비가 증가할 수록 Al의 함량은 대체로 감소하나 Mg/Mg+Fe비가 0.5 이하인 경우 어떠한 경향성도 나타내지 않는다고 하였다. 이 변성암류의 경우 이

**Fig. 9.** Relationship of Al(IV), Al(VI) and Fe+Mg of muscovite in the banded and granitic gneisses. Symbols are same as in Fig. 6.

러한 결과와는 일치하지 않는다. 이것은 호상흑운모편마암의 경우에도 화강암화작용에 의하여 약하

Table 8. Chemical composition of chlorite and structural formula based on sum cation=10 in banded and granitic gneiss (wt %)

	D-9					SD(7)		C31		6
	1	11	13	18	21	2	5	4	7	3
SiO ₂	25.50	26.91	25.43	28.13	25.67	24.24	24.49	23.44	28.42	26.67
Al ₂ O ₃	20.80	20.30	21.46	19.69	21.53	19.71	20.24	19.91	17.90	23.61
FeO	26.70	26.15	26.97	25.46	26.89	30.02	31.96	26.90	24.48	27.35
MgO	12.57	12.35	12.81	11.66	12.69	9.01	9.86	11.86	9.99	10.25
MnO	0.38	0.36	—	0.28	0.35	0.09	0.11	0.07	0.08	0.35
TiO ₂	0.02	0.25	0.09	0.61	0.04	0.04	0.04	0.06	1.32	0.36
CaO	—	0.01	—	—	—	—	—	—	—	0.09
Na ₂ O	0.04	—	0.04	0.09	0.06	—	0.04	0.02	0.02	0.05
K ₂ O	0.03	0.99	0.02	2.65	0.04	0.02	0.02	0.39	4.35	0.20
Total	86.04	87.31	86.82	88.57	87.27	83.13	86.76	82.65	86.56	88.93
Si	2.784	2.900	2.749	2.987	2.762	2.810	2.721	2.672	3.105	2.848
Al ^{iv}	1.216	1.100	1.251	1.013	1.238	1.190	1.279	1.328	0.895	1.152
Al ^{vi}	1.463	1.474	1.478	1.450	1.491	1.511	1.372	1.347	1.409	1.819
Fe	2.443	2.354	2.437	2.259	2.419	2.915	2.970	2.564	2.237	2.442
Mg	2.049	1.979	2.066	1.844	2.037	1.562	1.633	2.016	1.627	1.632
Mn	0.033	0.032	—	0.026	0.032	0.007	0.010	0.007	0.007	0.032
Ti	—	0.019	0.006	0.051	0.006	0.007	0.003	0.005	0.108	0.029
Ca	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.010
Na	0.013	—	0.013	0.013	0.013	—	0.009	0.004	0.04	0.010
K	—	0.142	—	0.357	—	—	0.003	0.057	0.606	0.027
Fe/Fe+Mg	0.544	0.543	0.541	0.551	0.543	0.652	0.645	0.560	0.579	0.598

지만 영향을 받은 것임을 의미한다. 그러나 이러한 치환양상은 8면체자리(octahedral site)내에서의 다른 원소들의 치환등에 의하여 조절되어져 전체적으로 볼 때 거의 비슷한 화학조성을 갖게 되었음을 알 수 있다 (Fig. 8). 즉 그림에서 보는 바와 같이 암상과 산출상태에 관계없이 흑운모와 이스토나이트(eastonite)의 중간에 해당되는 화학조성을 갖고 있다.

백운모

백운모는 벽개면의 발달이 양호하고 판상의 결정형태를 보여 주며 엽리를 이루는 흑운모와 공생하고 있는 것(P형)과 벽개면의 발달이 불량하고 결정형태가 불분명한 것(S형)으로 구분이 되어진다. 전자는 호상편마암에서 잘 관찰되는 것으로 광역변성작용에 의하여 생성된 것이며, 후자는 화강암질 편마암에서 잘 산출되며 흑운모와 공존하고 있으나

화강암화작용시에 생성된 것으로 생각된다. 이렇게 생성시기와 산출상태가 다른 백운모들의 화학적 특징을 알기 위하여 선정된 결정들에 대하여 전자현미분석을 실시하였다(Table 6과 7).

백운모의 경우 생성시기와 산출양상에 따른 화학조성의 뚜렷한 차이를 보여 주지 않는다. 이것은 특히 8면체 자리(octahedral site)의 원소들 사이의 치환양상(Fig. 8)에서 잘 나타나고 있다. 즉 거의 대부분이 매우 좁은 범위내에서 일정한 방향성을 보이며 백운모와 셀라도나이트의 연결선 보다 약간 낮은 곳에 분포하고 있다. 이는 백운모내에서 (Mg, Fe⁺⁺), Ti=2Al 치환(페자이트 치환) (Guidotti, 1984)이 Al 전체의 함량이 증가하는 방향으로 진행되었음을 나타낸다. 특히 동일암석내의 것들은 생성시기와 암상에 관계없이 각각 거의 비슷한 값을 갖고 있어 이러한 치환이 충분히 진행된 것임을 시사하고 있다. 그러나 이러한 현상은 Fig. 9에서 보는

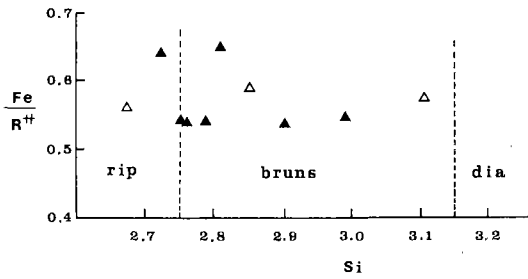


Fig. 10. Classification of chlorites based on two principal type of ionic replacement(after Foster, 1962). Symbols : ▲; biotite banded gneiss, △; granitic gneiss. Abbr. : rip; ripidolite, brun; brunsvigite, dia; diabantite.

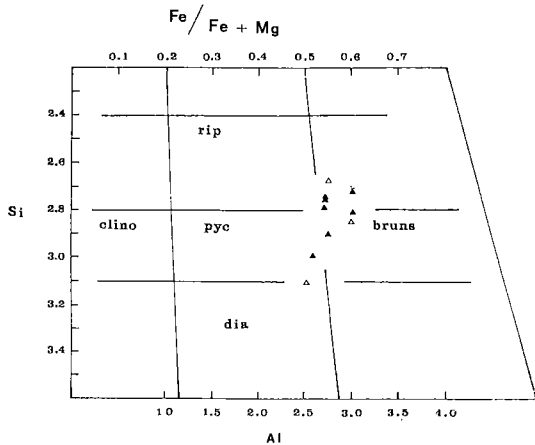


Fig. 11. Classification of chlorites according to relationships between Si, Fe/Fe + Mg and total Al (after Hey, 1954; Foster, 1962). Symbols are same as in Fig.10.

바와 같이 전체적으로 볼 때 Al^{IV} , Al^{VI} 및 $Fe+Mg$ 세 성분 사이의 경우 어떤 뚜렷한 경향성을 보여 주지 않는 것과는 잘 일치되지 않는다. 이는 백운모의 화학조성이 펜자이트치환 뿐만 아니라 처마카이트치환에 의해서도 조절되어졌음을 시사한다. 호상흑운모편마암의 경우 S형의 백운모는 $Fe+Mg$ 의 함량비는 거의 변화가 없으나 Al^{IV} , Al^{VI} 사이는 반비례하는 양상을 보이고 있다. 화강암질편마암의 것들은 호상흑운모편마암과 비교할 때 $Fe+Mg$ 함량비가 높거나 또는 낮은 것으로 구분이 되어진다. 호상흑운모편마암에 있어서는 S형의 백운모는 $Fe+Mg$ 함량비가 상대적으로 낮은 데 이것은 Al 의 함량이 높은 것(Fig. 8)과 화강암화작용의 영향에

기인하는 것으로 생각된다. 이러한 백운모의 화학 조성의 변화양상은 암석의 전체화학조성 뿐만 아니라 공존하고 있는 광물, 특히 흑운모나 녹니석의 화학조성에 의하여 많은 영향을 받은 결과인 것으로 생각된다.

녹니석

녹니석은 암상에 관계없이 대부분이 광역변성작용에 수반된 후퇴변질작용 및 화강암화작용의 영향에 의하여 흑운모나 백운모로부터 생성되었으며 산출양상도 암상에 관계없이 거의 비슷하다. 즉 흑운모의 벽개면을 따라 발달하거나 전운모가 군집을 이루고 있는 곳에 불분명한 결정모양을 보여 주며 섬유상으로 산출되는 것이 보통이다. 이들은 대체로 연녹색을 띄며 암적색 내지 암청색의 간섭색을 보여 주는 것이 특징이다(Kranidiotis and MacLean, 1987; Lee, 1987; 이종혁과 이상현, 1989, 1992). 그러나 호상흑운모편마암의 경우 엽리를 이루는 흑운모와 공존하는 1차생성의 것도 관찰된다. 이들의 화학적 특징을 알기 위하여 선정된 광물들에 대하여 전자현미분석을 실시하였다(Table 8).

표에서 알 수 있는 바와 같이 동일 암석내의 녹니석들은 거의 비슷한 화학조성을 갖고 있다. 이것은 화학조성에 따라 녹니석을 분류한 Fig. 10과 11에서 잘 나타난다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 Si의 함량은 낮으나 Fe^{++}/R^{++} 비는 비교적 높은 편으로 리피돌라이트(ripidolite)와 브룬스비자이트(brunsvigite) 사이의 화학조성을 갖고 있다(Foster, 1962). 그리고 Si의 함량변화는 크나 Fe/R 비는 거의 변화하지 않는다. 특히 화강암질편마암의 경우 Si의 함량이 암석에 따라 매우 큰 차이를 나타내고 있다. 다른 분류법(Hey, 1954)(Fig. 11)에 의하면 녹니석들은 암상에 관계없이 대체로 리피돌라이트, 브룬스비자이트, 그리고 피크노녹니석(pycnochlorite) 사이의 화학조성을 가지며 $Fe/Fe+Mg$ 비가 0.52 이상으로 높은 것이 특징이며 특히 화강암질편마암의 것이 약간 더 높다. 이와 같이 생성시기나 산출양상에 관계없이 녹니석의 화학조성이 동일 암석인 경우 거의 비슷하나 암상에 따라서는 약간 상이함을 알 수 있다. 이것은 녹니석의 화학성분은 주로 암석의 전체화학성분(Baily, 1988), 공존광물의 종류 또는 기원광물인 흑운모의 화학성분에 의해 규제되어졌음을 시사한다.

변성작용

니질기원의 퇴적암으로부터 광역변성작용과 화강암화작용에 의하여 생성된 것으로 생각되는 호상흑운모편마암과 화강암질편마암은 화학조성 뿐만 아니라 구성광물도 거의 비슷하다. 이들 편마암류를 이루는 가장 대표적인 유색광물은 흑운모, 백운모 및 녹니석이며 상기한 바와 같이 이들은 엽리를 이루며 서로 공존하는 것과 엽리를 이루는 것들을 다시 교대하거나 또는 이들의 변질물로 산출되는 것으로 구분이 되어진다. 이외에 석류석, 녹염석 또는 인회석 등이 호상흑운모편마암의 엽리를 이루는 유색광물들에 국부적으로 소량 수반되는데 이들은 화강암질편마암내에도 국부적으로 산출된다. 엽리를 이루는 흑운모, 백운모 및 녹니석은 벽개면이 잘 발달되고 대체로 판상으로 산출되며 서로 절단하거나 교대하기도 하여 동시생성임을 나타낸다. 그러나 엽리의 방향과 일치하지 않으며 이들을 교대하거나 또는 변질물로 나오는 것들은 결정모양이 불분명하거나 벽개면의 발달이 거의 없으며 모광물(host mineral)내에 산출되는 것이 보통이다. 때로는 모광물의 벽개면을 따라 산출되어 마치 벽개면을 따라 두 광물 또는 세 광물이 공생하고 있는 것 같은 양상을 보이기도 한다. 이러한 현상중 가장 대표적인 것은 백운모 및 녹니석의 흑운모에 의한 교대와 엽리를 이루는 흑운모의 녹니석 및 백운모로의, 그리고 녹니석의 견운모로의 변질이다. 간혹 함유되는 석류석은 호상흑운모편마암의 경우 엽리를 이루는 흑운모와 공존하고 있으나 때로는 변질 산물로 나오는 녹니석 군집위에 이들을 교대하며 반점상으로 산출되기도 한다.

이들의 대표적인 변성광물군집은 ①석영-사장석-백운모-녹니석-인회석, ②석영-사장석-흑운모-(백운모)-녹니석-불투명광물, ③석영-사장석-흑운모-녹니석-녹염석-불투명광물, ④석영-사장석-석류석-흑운모-백운모-녹니석-불투명광물, 그리고 ⑤석영-사장석-흑운모-백운모-녹니석-퍼어사이트-불투명광물 등이다. 이중 사장석은 크게 견운모화작용을 받은 것과 비교적 신선한 것으로 구분이 되어지는데 전자는 대체로 An_{30-40} , 그리고 후자는 An_{10} 의 화학 조성을 갖는다(Table 3). 후자는 독립적으로 산출되기도 하지만 전자의 위에 성장한 것과 같은 양상을 띄며 함께 산출하기도 한다. 또한 흑운모와 공존할 때는 높은 An 성분을, 그리고 백운모와 공존할 때는

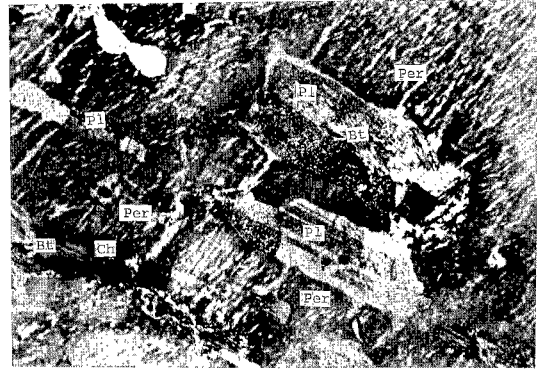


Photo 1. Relict of plagioclase in deformed perthite in the biotite granitic gneiss. Biotite and chlorite are secondarily formed at the sericitized part of the plagioclase. The direction of albite patch of perthite does not concordant to that of twin plane of plagioclase relicts. Per : perthite, Pl : plagioclase, Bt : biotite, Ch : chlorite.

낮은 An 성분을 갖는 것이 특징이다. 이러한 현상은 호상흑운모편마암과 화강암질편마암에서 일반적으로 관찰되는 현상이며 이는 사장석의 화학조성의 변화는 동일한 과정에 의하여 규제되어진 것임을 시사한다. 이러한 광물군집중 ①, ② 및 ⑤는 녹색편암상에, 그리고 ③과 ④는 녹염석-엠펜블라이트 변성상(Turner, 1981)에 해당되는 것으로 생각된다. 그리고 광물군집 ⑤의 퍼어사이트는 화강암화작용시에 생성된 것으로 생각된다.

이 지역의 변성암은 대부분이 녹색편암상에 해당되는 광물군집을 보이며 녹염석-엠펜블라이트 변성상의 것은 국부적으로 인지될 뿐이다. 그러나 유색광물들의 교대현상과 사장석의 An성분의 변화양상등으로 볼 때 녹염석-엠펜블라이트 변성상 위에 녹색편암상이 중첩된 것으로 생각된다.

화강암화작용

앞에서 설명한 바와 같이 화강암질편마암내에는 호상흑운모편마암이 점이적인 접촉양상을 보이며 여러 곳에 잔류되어 있고 접촉부 부근에서는 미그마타이트질 암상을 띄기도 한다. 이들은 전술한 바와 같이 지화학적 특징이 비슷할 뿐만 아니라 주 구성광물의 종류도 화강암질편마암내에 다량으로 산출되는 퍼어사이트를 제외하고는 거의 일치하고 있다. 화강암질편마암내의 유색광물들은 많이 변질되어

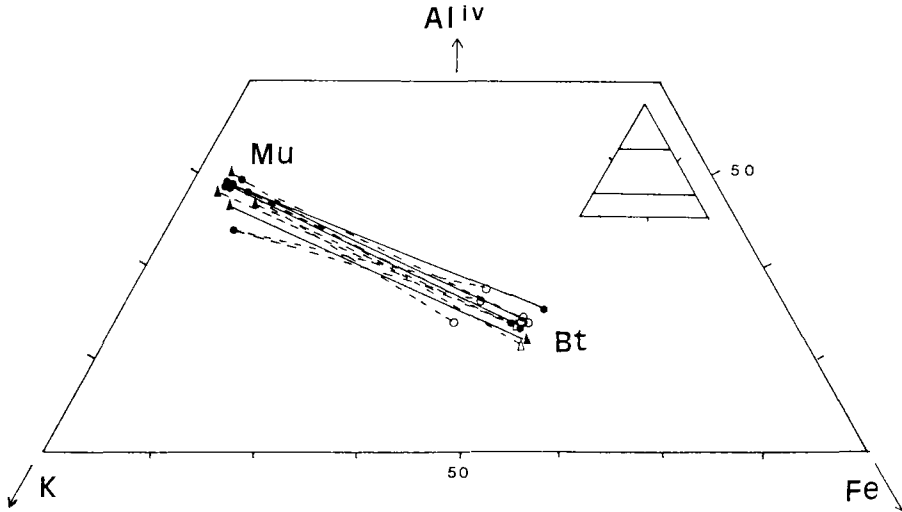


Fig. 12. Variation of chemical compositions in Al^{IV}-K-Fe system between coexisting biotite and muscovite in the biotite banded and granitic gneisses. Symbols : biotite; o, o; o,o; biotite, ▲, △, muscovite of ▲, △ P-type(solid) and S-type(open) in the biotite banded and granitic gneisses, respectively.

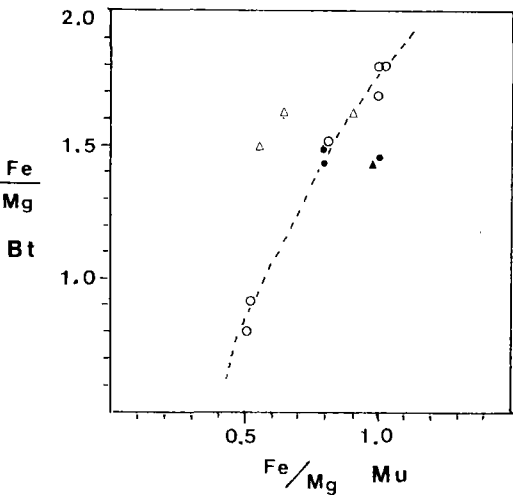


Fig. 13. Distribution of Fe and Mg between coexisting biotite and muscovite in the biotite banded and granitic gneisses. Symbols : biotite of P-type(solid) and S-type(open) in the biotite banded(circle) and granitic(triangle) gneisses, respectively.

있으나 많은 부분이 잔류되어 있어 원래의 광물 조성이나 조직은 쉽게 알 수 있다. 가장 대표적인 것은 흑운모가 녹니석이나 견운모로, 백운모가 녹니석으로, 그리고 석류석이 백운모나 녹색의 녹니석으로의 변질현상이다. 이렇게 2차적으로 생성된 변질광물

들은 대체로 불분명한 결정형태를 띄며 벽개면이 발달되어 있지 않으며 모광물의 벽개면이나 결정의 연을 따라 산출되는 것이 보통이다. 또 사장석의 경우 매우 심하게 견운모화되어 거의 견운모군집의 가상으로 산출되기도 한다. 이러한 유색광물의 파괴와 변질 이외에 석영, 미사장석 및 피어사이트등이 다량 생성되어 전체적으로 화강암질 조성을 띄게 된 것으로 생각된다. 특히 피어사이트는 원래의 사장석이나 정장석을 교대하여 생성된 것으로 생각되는데 이는 견운모화작용을 받은 사장석이나 정장석의 잔류물이 피어사이트내에 잔류되어 있는 것으로 부터 알 수 있다. 그러나 피어사이트의 리본조직의 알바이트와 잔류되어 있는 사장석의 쌍정면이 일치하지 않는 경우가 많아(사진 1) 피어사이트의 생성은 변성교대작용에 의하여 주로 이루어졌음을 시사하고 있다.

피어사이트는 때로는 큰 결정으로 성장하여 반상변정으로 산출되기도 한다. 또 화강암질 조직이 뚜렷한 곳이나 열수변질이 심하게 일어난 경우 방해석이 수반되기도 하는데 이는 화강암화작용의 말기에 생성된 것으로 생각된다. 이는 화강암질암내에 불규칙하게 발달되어 있는 방해석, 방해석-석영, 또는 방해석-녹니석으로 이루어진 세맥들로 부터 알 수 있다. 이러한 현상은 특히 미그마타이트질 암상을 나타내는 경우 잘 관찰할 수 있다. 또 국부적이지만

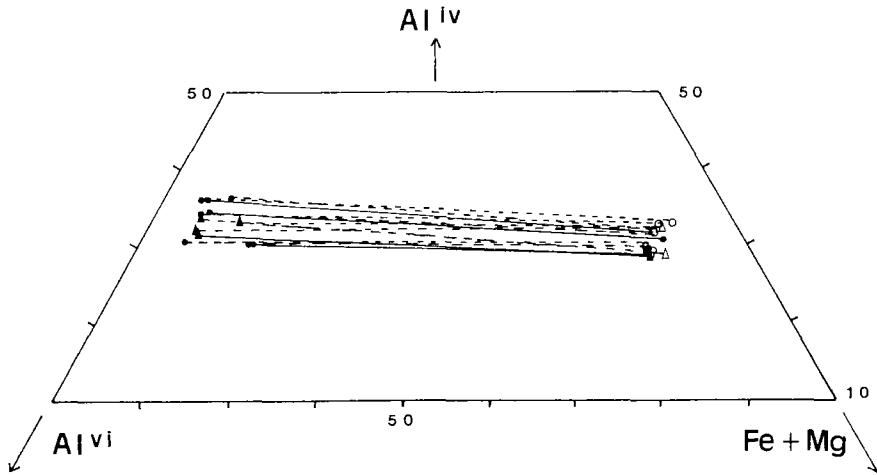


Fig. 14. Al(IV)-Al(VI)-Fe+Mg diagram showing a tschermakitic substitution between coexisting biotite and muscovite in the biotite banded and granitic gneisses. Symbols are same as in Fig. 12.

매우 심하게 열수변질을 받은 호상흑운모편마암의 경우 녹니석 또는 사장석이 심하게 견운모화된 곳에서 활석이 견운모를 교대하며 공존하고 있으며 소량의 방해석이 수반되기도 한다. 이는 Moine *et al.* (1989)과 Anderson *et al.* (1990)등이 녹니석이나 견운모가 풍부한 경우 화강암질 물질과의 반응에 의하여 활석이 형성될 수 있다고 한 것과 같은 현상이라고 생각된다. 또 화강암질편마암 뿐만 아니라 호상흑운모편마암내에 비교적 큰 규모의 석영맥이 여러 곳에 발달하기도 한다.

상기한 바와 같은 현상들은 이 지역의 화강암질 편마암은 잔류되어 있는 호상흑운모편마암과 동일한 암석으로 부터 다량의 열수를 수반한 화강암화작용에 의하여 생성된 퇴적기원의 것이라는 것을 시사한다. 이러한 화강암화작용을 일으킨 화강암질 물질이 위에서 설명한 변성작용에 따른 부분용융에 의한 것인지 또는 주위의 화성암체로 부터 도입된 것인지에 대해서는 동위원소 연구등이 수행되지 않아 확실하게 단정지를 수는 없으나 가까운 주위에 이러한 물질의 근원이 될 수 있는 큰 규모의 화성암체가 발달하고 있지 않아 부분용융에 의한 것이라는 생각을 갖게 한다.

흑운모와 백운모의 상평형

앞에서 설명한 바와 같이 편마암류내의 흑운모는 광역변성작용에 의하여 생성되었으며 화강암화작

용에 의하여 영향을 받은 것으로 생각된다. 백운모는 광역변성작용과 화강암화작용시에 생성되었으며 흑운모와 조직상 거의 평형을 이루며 공존하고 있다. 이는 흑운모와 백운모의 화학조성이 생성시기에 관계없이 서로 화학적 연관성을 가지고 있음을 시사하는 것이다. 이러한 화학적 평형관계를 알기 위하여 공존하고 있는 흑운모와 백운모사이의 Al, Fe, 및 K 성분들의 변화양상을 살펴 보았다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 P형의 흑운모와 백운모의 연결선은 거의 평행하나 S형의 연결선은 약간 사교하고 있다. 이러한 현상은 광역변성작용시의 흑운모와 백운모는 거의 화학적으로 평형을 유지하였으나 화강암화작용에 의하여 영향을 받은 경우에는 공존하고 있는 흑운모와 백운모 사이에 이들 성분들의 충분한 치환이 일어 나지 않았음을 나타낸다. 또 하나의 시료(B12)의 것은 다른 것들을 완전히 가로 지르고 있는데 이것은 다른 환경을 시사하는 것이 아니라 암석의 화학조성의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 그것은 이들의 화학조성이 다른 것들과 약간 다르며 또 백운모와 공존하고 있는 두 개의 흑운모는 서로 거의 비슷한 화학조성을 갖고 있는 것으로 부터 알 수 있다. Fig. 13은 공존하고 있는 흑운모와 백운모 사이의 Fe와 Mg의 변화양상을 나타내고 있다. 호상흑운모편마암의 경우 거의 한 방향성을 보이며 분포하고 있다. 이것은 공존하는 흑운모와 백운모내의 Fe/Mg비의 변화양상이 동일함을 의미하며 특히 S형의 흑운모의 경우 변화량은 매우 크다. 이러한

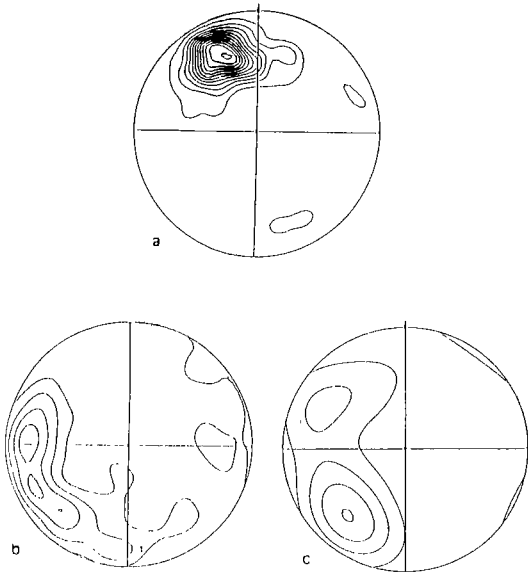


Fig. 15. Equal-area projection of foliation(a), joint(b), and quartz vein(c) developed in the biotite banded gneiss and granitic gneiss around the Daeheung Talc and Samkwang Gold Deposits.

양상은 흑운모와 백운모가 동시생성 또는 백운모를 교대하여 흑운모가 생성된 경우에 관계없이 이들 사이에 $Fe=Mg$ 치환이 매우 안정되게 진행되었음을 시사한다. 그러나 흑운모의 Fe/Mg 비가 더 큰 것으로 보아 $Mg(bt)=Fe(mu)$ 의 치환이 일어났음을 알 수 있다(Butler, 1965; Tracy, 1978; 이종혁과 이상현, 1992). 이러한 치환은 광역변성작용이 비교적 안정되게 진행되었음을 시사하는데 이는 화강암 질편마암의 경우 어떤 방향성도 없이 산재하고 있는 것으로 부터 뒷받침되어 진다. 화강암질편마암의 경우 4점뿐이지만 백운모의 Fe/Mg 비가 흑운모의 것 보다 더 크게 변화하고 있다. 이것은 흑운모가 화강암화작용에 의하여 더 많이 영향을 받은 것임을 시사하는 것으로 생각된다. Fig. 14는 공존하는 흑운모와 백운모 사이의 4면체(tetrahedral) 및 8면체 자리(octahedral site)의 원소들 사이의 치환양상을 나타내고 있다. 공존하는 흑운모와 백운모의 $Fe+Mg$ 함량비는 거의 변화하지 않으며 주로 Al^{IV} 와 Al^{VI} 의 함량비가 변화하며(Guidotti *et al.*, 1988) 그 양상도 비슷하여 이들의 연결선들은 거의 평행을 이루고 있다. 특히 한 암석내에서는 흑운모와 백운모가 각각 거의 같은 화학조성을 가지며 연결선도 거의 평행하다. 이러한 양상은 공존하는 흑운모와

백운모사이에 $Si, FM=2Al$ 치환(tschermakitic substitution)이 안정된 조건하에서 충분히 진행된 것임을 나타낸다. 화강암질편마암내의 흑운모의 경우 Fe/Mg 비는 변화가 크나(Fig. 13) $Fe+Mg$ 의 변화량은 큰 차이가 없는 것은 화강암화작용중에 치마 카이트 치환이 중첩되어 일어난 것임을 시사한다.

지질구조

활석광상을 형성시킨 열수용액의 도입 또는 생성 시기 및 이동 통로로 이용된 구조선을 추정하기 위하여 활석광상과 서쪽의 신대리에 위치해 있는 삼 광금광상을연결하는 지역에 발달하는 엽리, 절리 그리고 석영맥의 방향성들을 서로 비교하였다. 이를 위하여 이 지역에 대한 측량을 겸한 정밀조사시에 수집된 자료(광산에서 제공)를 토대로 구조분석을 하였으며 이의 결과를 주위 지역의 전체적인 구조와 비교하였다. 호상흑운모편마암과 화강암질편마암에 희미하게 잔류되어 있는 엽리(124개)와 주로 화강암질편마암내에 발달되어 있는 절리(178개), 그리고 이들을 관입하고 있는 소규모의 석영맥(32개)의 주향과 경사를 엽리나 절리와 같은 구조선으로 취급하여 같은 방법을 이용하여 등적투영을 하여 등고선의 밀집현상과 분포양상을 서로 비교하였다(Fig. 15). 등적투영도인 Fig. 15에서 알 수 있는 바와 같이 엽리구조는 매우 밀집되어 분포하고 있으나 절리와 석영맥은 점들이 산재하고 있다. 그리고 엽리구조는 NEE 주향에 SE의 경사를 보이는 하나의 강한 집중치를 보여 주나 절리와 석영맥은 약하지만 두 방향의 집중치를 나타낸다. 즉 엽리는 N68E, 57SE의 최대치를 나타내는(Fig. 15a) 반면에 절리는 일정한 방향성은 없으나 주향 N에 70E경사의 약한 최대치를, 그리고 N45E, 65NE의 차최대치를 보인다(Fig. 15b). 그리고 석영맥의 경우 자료의 개수가 부족하여 신빙성은 약하나 N50W, 60NE의 최대치와 N25E, 60SE의 차최대치를 보인다(Fig. 15c). 그리고 엽리의 경우 등적투영도에서 엽리등고선의 형태는 하나의 약한 대원의 원호(girdle) 형태를 보여 주어 등사습곡임을 시사하고 있다. 이것은 앞에서 설명한 바와 같이 비교적 큰 호상흑운모편마암체내에서 습곡구조가 인지되는 것과 일치하는 현상이다. 특히 신대리 입구의 신대 저수지 부근에서는 소규모의 향사구조가 발달되어 있음을 관찰할 수 있다. 뿐만 아니라 전 지역에 걸친 엽리구조의 방향성으로 부터도 습

곡구조가 인지되어 진다.

이러한 구조분석에 의하면 석영맥의 발달 방향중 최대치(N50W, 60NE)와 절리의 차최대치(N45W, 65NE)가 대체로 평행함을 나타내고 있어 석영맥이 주로 편마암류의 절리를 따라 형성된 것임을 시사한다. 이 지역에는 다른 뚜렷한 구조운동이 인지되지 않음으로 엽리와 절리구조는 광역변성작용에 의하여 형성되었음을 추정할 수 있다. 석영맥이 이러한 절리를 따라 발달하고 있음은 열수용액의 도입시기는 광역변성작용의 후기임을 나타내고 화강암화작용의 시기와 일치할 것으로 생각된다. 따라서 이 지역의 엽리나 절리 구조들은 화강암화작용에 의하여 파괴되거나 교란된 것으로 판단된다.

결 론

1) 대홍활석광상 주위 지역에 넓게 분포하고 있는 화강암질편마암내에는 호상흑운모편마암이 소규모로 잔류되어 있으며 이들은 동일기원으로 규질-알루미나(silico-aluminous) 암석으로부터 녹염석-엠펜블라이트상 및 녹색편암상에 해당되는 2회에 걸친 광역변성작용과 다음의 화강암화작용에 의하여 형성된 것으로 생각된다. 거의 대부분이 녹색편암상의 군집을 나타내며 녹염석-엠펜블라이트상은 국부적으로 인지되어질 뿐이다. 후자는 화강암질편마암내에도 잔류되어 있다.

2) 편마암류내의 공존하는 광물들 사이에는 화학적 평형이 비교적 잘 이루어져 있어 광역변성작용이 안정된 조건하에서 진행되었음을 나타내고 있으며 이들은 화강암화작용을 받은 화강암질편마암내에서도 잘 인지된다.

3) 호상흑운모편마암과 화강암질편마암을 이루는 주 구성광물인 흑운모와 백운모는 공존하고 있는 경우 주로 치마카이트(tschermakite) 및 펜자이트(phengite) 치환에 의하여 화학조성이 조절되어졌다.

4) 광역변성작용에 의하여 생성된 흑운모, 백운모 및 녹니석의 화학조성은 암석의 전체화학조성 뿐만 아니라 기원광물의 화학조성, 그리고 변질작용시의 환경등에 의하여 규제되어졌다.

5) 광상 주위의 편마암류에 발달되어 있는 석영맥의 발달방향은 편마암의 절리의 발달방향과 일치하고 있어 석영맥을 형성시킨 열수용액이 광역변성작용의 후기에 도입된 것임을 시사하며 이는 활석

화작용의 시기와 거의 일치할 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 1991년도 교육부 학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제의 학술연구조성비의 지원에 의하여 수행되어진 “대홍활석광상의 모암인 화강암질편마암의 상평형과 활석화작용”의 일부이다. 지질구조 분석을 도와준 강원대학교 이진한 교수와 전자현미분석을 도와준 연세대학교 EPMA분석실 담당자에게 감사의 뜻을 표하는 바이다. 그리고 이 논문의 초고를 세심하게 검토하고 유익한 비평을 해주신 김형식 교수와 이동진 박사, 그리고 익명의 심사위원회 감사드린다.

참고문헌

- 김규봉, 1972, 한국의 활석광상, 지질광상 조사연구보고 14, 5-121, 국립지질조사소.
 문희수, 김성태, 1988, 동양활석 광상에서 산출되는 활석에 대한 광물화학적 및 성인적 연구. 광산지질, 21, 235-215.
 박희인, 1982, 한국의 지질과 광물자원. 연세대학교 지질학과 동문회, 362-368.
 우영근, 최석원, 박기화, 1991, 충남예산지구 활석광상의 성인에 관한 연구. 광산지질, 24-4, 363-378.
 이민성, 박봉순, 1965, 한국지질도(1: 50,000), 황강리 도폭 설명서. 국립지질조사소.
 이종혁, 이상현, 1989, 흥천철광상의 성인에 대한 암석학적 연구. 지질학회지, 25-3, 239-258.
 이종혁, 이상현, 1992, 강원도 태백 일대의 지구조 및 암석학적 연구 중 기저변성복합체 연구. 122-212, KOSEF 88-1113-01, 한국과학재단.
 Anderson, D.L., Nogk, D.W., and Childs, J.F., 1990, Petrogenesis and timing of the talc formation in the Ruby Range, Southwestern Montana. Econ. Geol., 85-3, 585-600.
 Bailey, S.W., 1988, Chlorites : structures and crystal chemistry. In Rev. in Mineral., V.19 (ed. Ribbe, P.H), M.S.A., 347-404.
 Bailey, S.W., and Brown, B.E, 1962, Chlorite polytypism : I. Regular and semi random one-layer structure. Am. Mineral., 47, 819-850.
 Bard, J.P., 1986, Microtexture of igneous and metamorphic rocks. D. Reidel Pub. Co., 264p.
 Brown, E.H., 1968, The Si content of natural phengite; A discussion. Contrib. Mineral. Petrol., 17, 78-81.
 Butler, B.C.M., 1965, Composition of micas in metamorphic rocks. In Controls of Metamorphism (eds.

- Pitcher, W.S. and Flinn, G.W.), Oliver & Boyd Co. 291-297.
- Chernosky, Jr., J.V., Bermam, R.G., and Bryndzia, L.T., 1988, Stability, phase relations, and thermodynamic properties of chlorite and serpentine group minerals. In *Rev. in Mineral*, V.19 (ed. Ribbe, P.H.), M.S.A., 295-346.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1963, Rock-forming minerals, classification of the chlorites. U.S.G.S., Prof. Pap. 414-A, A-1~A-33.
- Guidotti, C.V., 1984, Mica in metamorphic rocks. In *Rev. in Mineralogy*, V.13. (ed. Bailey, S.W.), M.S.A., 357-468.
- Guidotti, C.V., Cheney, J.T, and Henry, D.J., 1988, Compositional variation of biotite as a function of metamorphic reactions and mineral assemblage in the pelitic schists of Western Maine. *Am. J. Sci.*, 288-A, 270-292.
- Hey, M.H., 1954, A new review of the chlorite. *Mineralog. Mag.*, 30, 277-292.
- Kranidiotis, P and MacLean, W.H., 1987, Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge Massive Sulfide Deposit, Matagami, Quebec. *Econ. Geol.*, 82, 1898-1911,
- Laird, J. 1988, Chlorites : metamorphic petrology. In *Rev. in Mineral.*, V.19 (ed. Ribbe, P.H.), M.S.A., 405-454.
- Lee, S.H., 1987, Comparison of phase relationships of the host rocks and magnetite ore deposits in the Yangyang Iron Deposits, Korea. *J. Geol. Soc. Korea*, 23-3, 242-256.
- Moine, B., Fortune, J.P., Moreau, P. and Viguiet, F., 1989, Comparative mineralogy, geochemistry and conditions of formation of two metamorphic talc and chlorite deposits : Trimouns (Pyreenes, France) and Rabenwald (Eastern Alps, Austria). *Econ. Geol.*, 84-5, 1398-1416.
- Tracy, R.C., 1978, High grade metamorphic reactions and partial melting in pelitic schist, West Central Massachusetts. *Am. J. Sci.*, 278, 150-178.
- Turner, F.J., 1981, *Metamorphic Petrology*. McGraw-Hill.

(초청책임편집 : 김형식)

Geochemistry and chemical equilibria of coexisting minerals in the gneisses around the Daeheung Talc Deposits, Korea

Sang Hun Lee and Gi Ju Choi

*Dept. of Geology, Kangweon National University
Chuncheon 200-701, Korea*

ABSTRACT : Granitic gneiss containing biotite banded gneiss relict around the Daeheung talc deposit are widely distributed which were formed by regional metamorphism of both epidote-amphibolite and later greenschist facies and granitization. They were derived from same silico-aluminous rocks of sedimentary origin. The mineral assemblages, which are common in the biotite banded gneiss, formed during regional metamorphisms, are survived in the granitic gneiss. The mineral assemblages of the latter greenschist facies may be formed retrogressively from the first epidote-amphibolite facies. The chemical compositions of biotite, muscovite, and chlorite, the important constituents of the gneisses, were controlled by the bulk composition, the chemical composition of the original mineral, and environment of the regional metamorphisms and granitization. The chemical equilibrium between coexisting minerals, especially biotite and muscovite, is relatively well established, which was controlled mainly by tschermakitic and phengitic substitutions. Chlorite was formed mainly from either biotite or muscovite by retrogressive alteration or granitization, and have nearly similar chemical compositions regardless of the occurrences. The orientation trend of the foliation, joint and quartz vein developed in the gneisses was analyzed by equal area projection which the latter two show nearly identical trend in the strike and dip. This may suggest that the hydrothermal solution was introduced along joint during wet granitization.

Key words : Granitic gneiss, regional metamorphism, granitization, chemical equilibrium, equal area projection