

홍제사 화강암질편마암체의 성인과 공존하는 흑운모, 백운모 및 녹니석 사이의 화학적 평형

이 상 현

강원대학교 지질학과

요 약 : 홍제사화강암질암체는 구성광물의 함량과 조직의 특징에 따라 크게 흑운모화강암질편마암과 미사장석-피어사이트화강암질편마암으로 구성되어 있으며 이들은 서로 점이적으로 변화하는 양상을 보이고 있다. 이들을 이루는 주구성광물은 흑운모, 백운모, 녹니석, 사장석, 미사장석, 피어사이트 및 석영 등이며 국부적으로 규선석, 석류석 그리고 전기석이 산출된다. 이들 광물들의 교대 및 공존 관계 등으로 볼 때 이 편마암류들은 상부엠펜블라이트의 광역변성작용, 이에 수반된 부분용융에 의한 화강암화작용, 그리고 다시 녹염석-엠펜블라이트 내지 녹색편암상에 해당되는 광역변성작용을 받아 형성된 것으로 생각된다. 이러한 변성작용 중에 생성된 흑운모, 백운모 및 녹니석의 화학조성은 암상이나 생성시기에 관계없이 각각 거의 비슷하며 공존하는 광물들 사이의 화학적 평형관계도 거의 안정되어 있다. 화강암질편마암체를 형성시킨 화강암화작용은 광역변성작용에 수반된 부분용융에 의하여 일어난 것으로 생각되며 이것은 비교적 오랜 기간에 걸쳐 광범위한 지역에서 안정되게 진행되었을 것으로 생각된다.

핵심어 : 흑운모화강암질편마암, 미사장석-피어사이트화강암질편마암, 광역변성작용, 화강암화작용, 화학적 평형

서 론

영남육괴의 북동부 지역에 위치하는 소위 홍제사 화강암질암체는 고생대의 퇴적암류에 의해 부정합으로 피복되어 있으며 중생대의 화성암류에 의하여 관입되어 있다(Fig. 1). 뿐만 아니라 화성기원의 변성암으로 알려져 있는 분천화강편마암(손치무와 김수진, 1963; 윤석규 외, 1976)과 부분적으로 점이적인 관계를 보이며 접촉하고 있으며, 울리층군 또는 원남층군에 속하는 것으로 생각되는 퇴적기원의 편암류 및 호상편마암류들이 암체내에 잔류물 또는 포획물과 같은 양상으로 발달하고 있다(손치무와 김수진, 1963; 윤석규 외, 1967). 기존의 연구에 의하면 이 암체는 화강암질편마암과 퇴적암류의 부분용융에 의하여 생성된 화강암질 물질로부터 형성된 화강암류(Palingenic granite)로 구성되어 있으며(김용준과 이대성, 1983; Na and Lee, 1983; Chang *et al.*, 1988) 또는 퇴적기원의 재용융물인 S-Type의 화강암질암체(Hong, 1985)라고 결론지어지고 있다. 그러나 이러한 분류에 따른 암상들 사이의 정확한 분포상의 분류나 암상의 특징들에 있어서 뚜렷한 차이가 명확히 제시되어 있지 못하고 있다. 이것은 이 암체가

화강암화작용이 매우 넓은 지역에 걸쳐 심하게 진행되어 기원암의 여러 특징들이 대부분 파괴되어진 것에 기인하는 것으로 생각된다.

이 연구는 봉화군 석포면과 삼척군 노곡면 일대에 분포하고 있는 홍제사화강암질암체를 암상에 따라 분류하고 암석들의 지화학적 특징, 그리고 이들을 이루고 있는 주구성광물들의 광물화학 및 공존광물들 사이의 화학적 평형관계를 규명함으로써 암석의 형성과정을 추정하고자 하는데 그 목적이 있다. 이를 위하여 암석을 구성광물과 조직에 따라 구분하고 이들에 공통적으로 산출되는 광물들을 선정하여 화학조성의 특징들을 규명하였다. 화강암질암체의 기원암을 추정하기 위하여 홍제사화강암질암체내에 발달되어 있는 울리층군 또는 원남층군에 대비되는 것으로 생각되는 퇴적기원의 호상편마암을 화강암질편마암류와 비교하였다.

지질개요

이 연구에 따르면 홍제사화강암질암체는 흑운모가 풍부한 흑운모화강암질편마암과 미사장석과 피어사이트가 풍부하며 흑운모가 거의 함유되지 않는 미

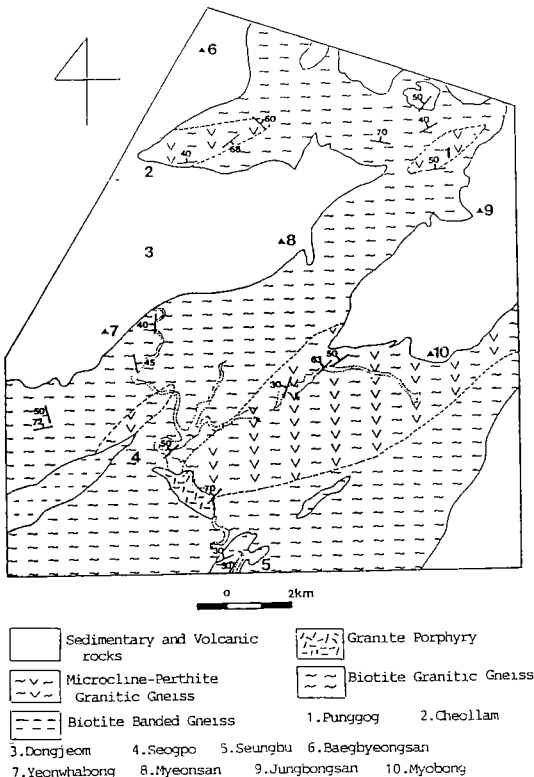


Fig. 1. Geological map of the studied area.

사장석-피어사이트화강암질편마암으로 크게 구분되어지며 이들은 서로 점이적으로 변화한다.

홍제사화강암질편마암체를 이루는 주 암상인 흑운모화강암질편마암은 조립질로 때로는 거의 페그마타이트질을 나타내기도 하며 이 경우 흑운모의 함량이 적어져 우백질을 띄기도 한다. 이는 미사장석-피어사이트화강암질편마암과 매우 유사한 암상이며 또 점이적으로 변화하기도 한다. 이 암상내에는 때로는 녹니석이나 백운모의 함량이 증가하여 흑운모-녹니석 또는 백운모-흑운모화강암질편마암상을 보이기도 한다.

흑운모화강암질편마암과 점이적인 관계를 보이며 비교적 넓은 분포를 보이고 있는 미사장석-피어사이트화강암질편마암은 지역적으로 산출되지만 Fig. 1에서 보는 바와 같이 북동방향의 분포양상을 나타내고 있다. 이것은 이 복합체내에 잔류되어 있는 소위 울리통에 속하는 호상흑운모편마암(손치무 외, 1963; 윤석규 외, 1967)의 주 분포방향과 거의 비슷하다. 호상흑운모편마암은 연구지역 밖으로 계속 분포하여 남부에 매우 넓게 발달하고 있다. 미사장석-피어사

이트화강암질편마암도 국부적으로 암상의 변화를 나타낸다. 비교적 흔하게 관찰되는 것은 백운모의 함량이 많은 미사장석-백운모화강암질편마암과 미사장석과 피어사이트가 반상변정으로 나오는 반상변정질편마암이다.

소위 울리통에 속하는 것으로 생각되는 호상흑운모편마암은 이 지역에서는 화강암질편마암복합체내에 북동방향의 분포상을 보이며 매우 소규모로 발달하고 있다. 이 편마암체도 부분적으로 광물의 함량이 변화하여 국부적으로 흑운모-녹니석 호상편마암과 석영-장석-녹니석 호상편마암상을 나타내기도 한다. 호상흑운모편마암은 흑운모화강암질편마암과는 대체로 뚜렷한 경계를 나타내나 미사장석-피어사이트화강암질편마암과는 점이적인 양상을 보이는 곳이 많다. 이와 같은 것은 석포에서 분천으로 가는 국도상에서 잘 관찰되어진다.

흑운모화강암질편마암과 미사장석-피어사이트화강암질편마암에는 특히 남서부 지역에서는 전기석이 산출된다. 전기석은 암석내에 산점상으로 또는 페그마타이트맥내에 큰 결정으로 산출되는 것이 보통이며 이와 같은 양상은 특히 미사장석-피어사이트화강암질편마암이 발달된 지역에서 잘 관찰된다. 전기석이 함유되는 경우 사장석의 견운모화작용이나 흑운모의 녹니석화작용들이 진행된 것을 관찰할 수 있다. 합전기석페그마타이트맥은 호상흑운모편마암내에도 불규칙한 방향성을 보이며 발달되기도 한다.

흑운모화강암질편마암과 이를 부정합으로 피복하고 있는 고생대의 퇴적암류와의 접촉부에서는, 특히 동점에서 현동으로 가는 국도변 주위에서는 단층면이나 파쇄대를 따라 매우 심한 변질작용이 편마암과 퇴적암류에 똑같이 영향을 주고 있는 것으로 보아 고생대의 퇴적암류가 형성되고 난 뒤에 국부적인 변형작용이 일어났으며 이때 만들어진 소규모의 단층, 절리, 또는 파쇄대를 따라 열수변질작용이 일어난 것으로 생각된다. 이러한 열수변질대에는 간혹 미립의 불투명광물이 산출되는 것으로 보아 미약하나 광화작용이 동시에 일어난 것으로 생각된다. 그러나 이러한 광화작용-변질작용은 주로 퇴적암류와의 접촉부에서만 관찰되고 편마암체내에서는 관찰하기가 어렵다.

암석 기재

호상흑운모편마암

소위 울리통에 속하는 것으로 생각되는(윤석규 외, 1976; 김용준과 이대성, 1983) 호상흑운모편마암은 홍제사화강암질편마암체내에 북동방향의 분포상을 보이며 소규모로 협재되어 있다(Fig. 1). 엽리가 잘 발달되어 있으며 이는 주로 흑운모, 흑운모-녹니석, 그리고 흑운모-백운모가 우세한 부분과 석영-장석이 우세한 부분이 교호하여 형성된 것으로 주향과 경사는 지역적으로 변화하나 대체로 NE/S를 나타낸다. 주구성광물은 흑운모, 석영 및 사장석으로 되어 있으나 곳에 따라 녹니석과 백운모가 주구성광물로 산출되기도 한다. 그 외에 녹염석, 인회석, 스피, 그리고 석류석 등이 미량으로 함유되기도 한다. 가장 대표적인 광물군집은 흑운모-백운모-스핀-사장석-석영으로 구성되어 있으며 이들은 광역변성작용시에 생성된 것으로 생각된다.

흑운모는 대체로 갈색 내지 암갈색을 나타내며 벽개면이나 결정의 외연을 따라 녹니석이나 백운모로 변질되어 있기도 하며 때로는 녹니석이나 백운모를 교대하기도 한다. 또한 흑운모-녹니석-백운모로 구성된 엽리가 판상의 백운모와 흑운모-녹니석이 공존하는 결정들에 의하여 절단되기도 하는데 이러한 현상은 흑운모가 적어도 2회 이상에 걸쳐 생성되었음을 시사하는 것이다. 이와 같은 변질양상은 특히 사장석에서 잘 관찰된다. 즉 사장석은 심한 견운모화작용을 받아 많은 부분이 견운모로 변질되어 있으며 이 위에 다시 미립의 판상의 백운모가 발달하여 사장석→견운모화작용→백운모화작용 등의 과정을 거친 것으로 생각된다. 때로는 이와 같은 백운모가 흑운모와 공존하거나 교대되기도 하여 이러한 흑운모는 엽리를 이루고 있는 것과는 생성시기가 다름을 시사한다. 사장석의 심한 견운모화작용과 함께 국부적으로 산출되는 미사장석 또는 퍼어사이트와 또 이들과 함께 공존하고 있으며 변질되지 않은 알바이트 쌍정을 보이는 사장석도 산출된다. 이러한 것은 호상흑운모편마암이 광역변성작용 이후에 미약하나 국부적으로 화강암화작용의 영향을 받은 것임을 시사한다. 이러한 생각은 사장석의 심한 견운모화작용, 흑운모의 부분적인 녹니석화 현상, 퍼어사이트의 산출, 견운모화작용을 받은 사장석 주위에 가끔 산출되는 미르메카이트의 존재, 세립의 재결정된 석영들에 의한 다른 광물들의 용식작용에 의하여 강하게 시사되어진다. 또한 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암과의 점이적인 관계 등도 이를 뒷받침하는 것으로 생각된다.

흑운모화강암질편마암

홍제사화강암질편마암체의 주 암상으로 조립질이며 때로는 페그마타이트질을 나타내거나 흑운모의 함량이 현저하게 감소하여 우백질을 나타내기도 한다. 이 경우 대체로 백운모나 미사장석의 함량이 증가하는 것이 보통이며 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암과 매우 비슷한 암상을 나타내게 된다. 특히 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암과의 접촉부에서는 매우 점이적으로 변화하는 것을 잘 관찰할 수 있다. 주구성광물은 흑운모, 미사장석, 퍼어사이트, 사장석, 그리고 석영으로 구성되어 있으며 국부적으로 백운모와 녹니석이 많이 함유되기도 한다. 그외 부성분 또는 지역적으로 함유되는 광물은 녹염석, 규선석, 저어콘, 인회석, 미르메카이트, 전기석, 방해석, 금홍석, 그리고 불투명광물 등이다. 흑운모는 판상으로 벽개면이 잘 발달되어 있으며 연한 갈색에서 갈색의 다색성을 보이는 것과 벽개면이 없으며 갈색에서 암갈색의 다색성을 나타내는 것으로 크게 구분할 수 있다. 전자는 대체로 녹니석이나 백운모와 공존하거나 또는 벽개면이나 결정의 외연을 따라 변질되어 있는 것이 보통이며, 후자는 뚜렷한 간섭색을 나타내지 않으며 현저한 변질작용의 흔적을 나타내지 않는 것이 특징이다. 따라서 이러한 특징들의 차이는 이들의 생성시기가 상이함을 시사하는 것으로 생각된다. 흑운모의 녹니석화작용은 매우 흔하게 관찰되며 이 경우 녹니석은 대체로 청색 또는 암청색의 간섭색을 보이는 것이 특징적이다. 또한 녹니석은 흑운모나 백운모와 공존하고 있는 것들도 있으며 이들은 대체로 연한 녹색을 띠며 벽개면이 잘 발달되어 있는 것이 보통이다. 일반적으로 녹니석이 풍부할 경우 사장석의 견운모화작용 또는 흑운모의 백운모화 내지 녹니석화 등의 변질작용이 더 심한 것이 보통이다. 백운모는 대체로 흑운모나 녹니석과 공존하며 판상으로 산출되나 사장석이 심하게 견운모화 되어 있는 바탕위에 생성되어 있기도 한다. 이러한 경우 사장석내 또는 주위에 방해석 세맥이 발달할 때도 있다.

화강암화작용시에 생성된 것으로 생각되는 미사장석과 퍼어사이트는 때로는 쌍정이 변형되어 있기도 하며 미사장석과 퍼어사이트가 한 결정내에서 점이적으로 변화해 가는 현상도 관찰된다. 때로는 이들 내에 심하게 견운모화되어 있는 사장석과 세립의 석영이 포획되어 있기도 하여 이러한 알칼리

장석들은 화강암화작용시에 대부분 생성되었음을 나타내는 것으로 생각된다. 또한 변형작용을 받은 피어사이트는 때로 신선한 사장석(An10 이하)과 세립의 석영을 함유하기도 하여 알칼리장석이 생성된 후에 약간의 변형작용이 수반되어진 것임을 나타낸다. 이때 알칼리장석 주위에 미르메카이트가 산출되기도 한다. 몇 곳에서 관찰되는 소량의 석류석은 심하게 파쇄되어 있으며 틈을 따라 백운모나 녹니석으로 변질되어 있으며 심하게 변질되어 있는 사장석과 공존하는 것이 보통이다. 또한 규석은 매우 국부적으로 산출되며 보통 백운모 및 흑운모와 공존하고 있다.

상기한 바와 같은 광물들의 군집 및 공존관계, 그리고 변질작용 등으로 볼 때 본암은 광역변성작용에 이은 화강암화작용을 받아 형성된 것으로 생각된다.

미사장석-피어사이트화강암질편마암

흑운모화강암질편마암과는 매우 점이적인 관계를 보이며 대체로 북동방향의 분포상을 나타내며 산재하여 발달한다(Fig. 1). 이 분포 방향은 호상흑운모편마암의 분포방향과 거의 일치한다. 이 암석은 지역적으로 광물의 종류 및 함량에 따라 미사장석-백운모-미사장석, 그리고 반상변정화강암질편마암상을 나타내나 이들은 모두 점이적으로 변화한다.

주구성광물은 흑운모화강암질편마암과 거의 비슷하나 흑운모가 없거나 대단히 미량으로 함유되어 있는 것이 다르다. 따라서 우백질을 나타낸다. 이 암석내에 많이 함유되어 있는 알칼리장석은 때로는 사장석을 교대하기도 하는데 이는 심하게 변질된 사장석이 알칼리장석내에 잔류되어 있는 것으로 부터 알 수 있다. 또한 잔류되어 있는 사장석의 쌍정면의 방향과 피어사이트내의 알바이트(albite patch)의 방향이 거의 일치하고 있는 것은 알칼리 장석이 알칼리변성교대작용에 의하여 사장석으로 부터 생성된 것임을 시사하는 것이다. 유색광물로 백운모가 풍부하다는 것은 열수환경하에서 주로 K-변성교대작용이 진행된 것임을 역시 나타낸다(Speer, 1984).

미사장석과 피어사이트는 때로는 한 결정내에서 점이적으로 변하고 있는데 이는 흑운모화강암질편마암의 경우와 같은 현상이다. 사장석은 심하게 견운모로 변질되어 있으며 이러한 견운모 바탕위에 판상의 백운모나 흑운모가 생성되어 있음을 관찰할

수 있다. 이러한 현상은 백운모, 흑운모, 그리고 녹니석 등의 생성이 적어도 2회 이상에 걸쳐 일어난 것임을 나타내는 것이다. 백운모가 중요한 유색광물이나 흑운모와 녹니석도 소량이지만 산출된다. 이들의 산출 양상, 교대관계 및 공존관계 등은 흑운모화강암질편마암과 거의 비슷하다. 또한 전기석이 함유되는 경우 변질작용이 더 심하게 일어난 것도 같은 현상이다.

암석지화학적 특징

홍제사화강암질편마암체를 이루고 있는 주 암상인 흑운모화강암질편마암과 미사장석-피어사이트화강암질편마암은 대단히 점이적으로 변화한다. 이는 구성광물의 종류, 군집, 그리고 교대 또는 변질 등의 양상이 거의 비슷한 것에 기인하며 이는 이들이 동일기원의 암석으로 부터 동일한 과정에 의하여 생성되어진 것임을 시사한다. 또한 이 암체내에 잔류되어 있는 호상흑운모편마암과도 뚜렷한 경계를 보이는 곳도 있으나 대체로 매우 점이적으로 변화하며, 흑운모의 함량과 조직의 차이를 제외하고는 거의 비슷한 양상을 보이고 있다.

이들 암상의 대표적인 암석들에 대하여 화학분석을 실시하였으며 이를 Table 1, 2 및 3에 각각 표시하였다. SiO₂의 변화에 따른 Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O 및 K₂O의 변화 양상은 표들에서 보는 바와 같이 흑운모화강암질편마암은 대단히 넓은 범위의 SiO₂ 값을 가지며 (약 63-76 wt%), 미사장석-피어사이트화강암질편마암은 약 70에서 76 wt%까지 변화하여 전자보다 비교적 SiO₂ 값이 높다. 반면에 호상흑운모편마암은 52-73 wt%까지 변화하나 그중 3개의 시료는 68-73 wt%로 화강암질편마암류의 중간값에 가깝다(Fig. 2, 매우 낮은 2개의 시료는 표시되어 있지 않음). 이와 같은 SiO₂의 변화에 대하여 Fig. 2(각 그림에서는 Fe₂O₃를 FeO로 환산하여 사용)에서 보는 같이 두 화강암질편마암류는 SiO₂의 증가에 따라 Al₂O₃, FeO, MgO는 대체로 감소하는 경향을, K₂O는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 호상흑운모편마암은 이들 산화물들이 거의 변화되지 않아 화강암질편마암과는 다른 양상을 보이고 있다. 따라서 화강암질편마암류는 같은 과정에 의하여, 그리고 호상흑운모편마암은 적어도 화강암화작용의 영향을 심하게 받지 않았음을 나타낸다. 두 화강암질편마암을 비교하여 보면 SiO₂값이 비슷할 경우

Table 1. Chemical composition of biotite granitic gneiss consisting the Hongjesa granitic gneiss. (wt%)

	A-3	A-39	A-46	A-9	T-14	T-15	T-24	T-38	T-39	T-57	T-70	T-72	T-74	T-77	T-87	S-15	S-77
SiO ₂	71.98	73.45	73.39	74.78	70.58	72.09	73.38	65.33	69.40	67.98	66.50	63.48	74.94	75.96	67.90	70.73	73.61
Al ₂ O ₃	14.67	14.31	14.56	14.43	13.69	13.67	13.43	14.22	15.88	11.50	16.68	16.63	12.65	12.42	15.93	15.20	15.24
Fe ₂ O ₃	2.42	1.81	1.21	0.45	1.91	3.18	1.85	3.72	2.66	6.07	4.17	5.91	1.27	1.27	4.07	2.55	0.57
MgO	1.07	0.40	0.24	0.20	0.47	0.97	0.46	1.55	0.90	2.04	1.18	1.88	0.17	0.18	1.27	0.62	0.11
MnO	0.05	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.07	0.03	0.04	0.06	0.04	0.03
TiO ₂	0.38	0.20	0.14	0.07	0.22	0.48	0.23	0.42	0.32	1.00	0.58	0.75	0.08	0.09	0.53	0.37	0.04
CaO	0.82	0.27	0.29	0.25	0.86	1.87	0.35	1.57	2.26	0.38	2.12	3.47	0.53	0.43	2.68	1.71	0.42
Na ₂ O	1.96	2.68	2.92	3.80	2.80	2.83	2.08	2.73	3.80	1.22	3.60	3.11	1.81	2.12	3.10	3.66	3.45
K ₂ O	3.78	5.80	5.80	3.15	5.66	2.84	6.46	4.60	2.88	2.73	3.13	3.03	5.79	5.77	3.13	3.64	4.16
P ₂ O ₅	0.14	0.20	0.20	0.20	0.07	0.13	0.11	0.19	0.08	0.04	0.16	0.37	0.06	0.08	0.30	0.11	0.38
Total	97.27	99.15	98.78	97.36	96.22	98.06	98.37	93.88	98.22	93.01	91.28	98.69	97.33	98.36	98.98	98.63	98.00

(Location: National Grid 1:50,000 Jangseong: A-3; 20493930, A-39; 21213954, A-46; 21103962, A-9; 20663915, T-14; 20403961, T-15; 20373960, T-24; 20633947, T-38; 20713941, T-39; 20783943, T-57; 20454025, T-70; 20784038, T-72; 21334035, T-74; 21284036, T-77; 21174031, T-87; 21324050, S-15; 21033936, S-77; 20443941).

Table 2. Chemical composition of microcline-perthite granitic gneiss consisting the Hongjesa granitic gneiss (wt%)

	A-12	A-17	A-31	A-35	A-36	T-55	S-60
SiO ₂	74.84	76.04	71.13	73.11	73.11	70.35	72.60
Al ₂ O ₃	11.99	12.96	13.99	14.31	14.63	15.63	14.04
Fe ₂ O ₃	1.48	1.98	2.14	1.17	1.48	2.24	2.20
MgO	0.03	0.18	0.32	0.23	0.28	0.53	0.43
MnO	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
TiO ₂	0.06	0.17	0.17	0.19	0.17	0.23	0.27
CaO	0.63	0.81	0.93	0.70	0.98	1.02	0.65
Na ₂ O	2.81	3.04	2.41	2.69	3.24	4.18	2.74
K ₂ O	4.98	4.06	6.00	5.76	4.91	3.63	4.57
P ₂ O ₅	0.02	0.05	0.12	0.22	0.18	0.07	0.19
Total	96.87	99.31	97.23	98.41	99.01	97.91	97.72

(Location: National Grid 1:50,000 Jangseong: A-12; 20723890, A-17; 20663894, A-31; 21323949, A-35; 21423955, A-36; 21283945, T-55; 21053958, S-60; 21304007).

미사장석-퍼어사이트화강암질편마암이 Al₂O₃, Na₂O 및 K₂O의 함량은 높고, 반면에 FeO와 MgO는 낮은 값을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 흑운모화강암질 편마암 중 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암 보다 높은 SiO₂와 Al₂O₃, Na₂O 및 K₂O를 갖는 것은 규 선석을 함유하며 동시에 비교적 많은 백운모가 산출되는 경우이다. 이것은 구성광물의 함량을 그대로 반영하고 있는 것임을 알 수 있다. 반면에 호상흑운모편마암은 대체로 높은 FeO와 MgO, 그리고 낮은 Al₂O₃와 K₂O의 값을 보이고 있다. 그리고 Na₂O는 SiO₂의 함량과 암상에 관계없이 거의 비슷한 값을 갖는 것은 이들을 구성하고 있는 사장석의 함량 정도와 An 성분에서 기인하는 것으로 생각된다. Table

Table 3. Chemical composition of biotite banded gneiss compared to the Yulri Series, which is contained in the Hongjesa granitic gneiss (wt%)

	A-13	A-18	A-20
SiO ₂	68.02	72.65	72.08
Al ₂ O ₃	13.64	12.51	13.75
Fe ₂ O ₃	3.27	4.36	3.97
MgO	0.78	1.59	1.38
MnO	0.05	0.06	0.06
TiO ₂	0.37	0.47	0.45
CaO	2.05	1.98	1.17
Na ₂ O	3.27	3.30	3.06
K ₂ O	2.75	1.80	2.81
P ₂ O ₅	0.09	0.13	0.06
Total	94.74	98.85	98.79

(Location: National Grid 1:50,000 Jangseong: A-13; 20693891, A-18; 20633893, A-20; 20643895).

10과 11에서 보는 바와 같이 사장석은 알바이트에서 Na-안테신의 조성을 나타내고 있다. 그러나 실제로 알바이트에 가까운 것은 2차적으로 생성된 것이며 그 산출량이 많지 않으며 대부분이 심한 견운모화 작용을 받은 Ca-올리고클레이즈 내지 Na-안테신의 조성을 갖는 1차적인 사장석으로 구성되어 있다. 따라서 이들 암석들의 중요한 Na 광물인 사장석의 함량에 의하여 암석의 Na₂O 함량이 규제되어진 것이라고 생각된다. 이것은 K₂O의 변화와 연관시켜 볼 때 화강암질편마암류를 생성시킨 것으로 생각되는 화강암화작용은 주로 K-변성교대작용에 의한 것임을 시사하는 것으로 생각된다. 이와 같은 생각은 Al₂O₃, FMO(FeO+MgO), (NK)₂O 및 CaO 사이의 분자량비의 변화 관계를 나타낸 Fig. 3에서도 잘

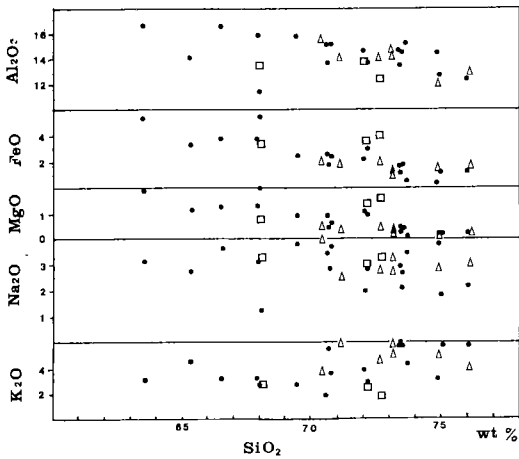


Fig. 2. Variations of oxides versus SiO₂ in the gneiss consisting the Hongjesa granitic gneiss. Symbols: dot; biotite granitic gneiss, triangle; microcline-perthite granitic gneiss, square; biotite banded gneiss.

관찰할 수 있다. FMO-Al₂O₃-CaO 3성분계에서 보는 바와 같이 주로 FMO와 Al₂O₃ 성분 사이에 변화 양상이 있음을 볼 수 있으며 이에 따른 CaO의 변화량은 크지 않다. 이것은 FMO-(NK)₂O-CaO 3성분계에서도 거의 비슷한 양상을 나타낸다. 즉 Al₂O₃와 (NK)₂O의 증가에 따라 상대적으로 주로 FMO의 함량이 감소하는 것으로 특히 흑운모화강암질편마암에서 잘 나타난다. 또한 흑운모화강암질편마암은

전자의 (NK)₂O와 Al₂O₃의 증가에 따라 주로 FMO의 감소가 일어났음을 의미한다. 그러나 Al₂O₃-FMO-(NK)₂O 3성분계에서는 Al₂O₃의 함량변화가 크지 않다. 따라서 화강암화작용은 주로 (NK)₂O 성분의 도입에 의하여 일어났음을 시사한다. 또한 CaO의 함량변화가 크지 않는 것은 이들 암석들의 중요한 함CaO광물인 사장석의 성분과 함량, 그리고 녹염석 및 부분적으로 산출되는 방해석의 함량에 기인하는 것으로 생각된다. 앞에서 설명한 바와 같이 1차 생성의 사장석은 주로 Ca-올리고클레이즈 내지 Na-안데신에 해당되며 알바이트는 1차 사장석의 전운모화작용과 화강암화작용에 의하여 2차적으로 생성된 것으로 생각되며 전자의 경우 방해석이 산출되는 것으로 보아 암석내의 CaO의 전체함량은 변성작용이 진행되는 동안 크게 변화하지 않았음을 시사한다. 또한 변질작용이 심한 경우 녹염석이 산출되는데 이것도 CaO의 함량이 크게 변화하지 않는 근거가 되는 것으로 생각된다. 실제로 녹염석이 함유되는 경우 CaO의 함량이 비교적 높음을 알 수 있다. 또 Al₂O₃-FMO-(NK)₂O 3성분계에는 FMO의 함량비가 흑운모화강암질편마암은 (NK)₂O-FMO에 거의 평행한 직선적으로 큰 변화를, 미사장석-퍼어 사이트화강암질편마암은 거의 비슷하며 낮은 비율, 그리고 흑운모화강암질편마암은 높은 함량비를 보인다. 이들은 FMO-(NK)₂O-CaO 3성분계에 있어서

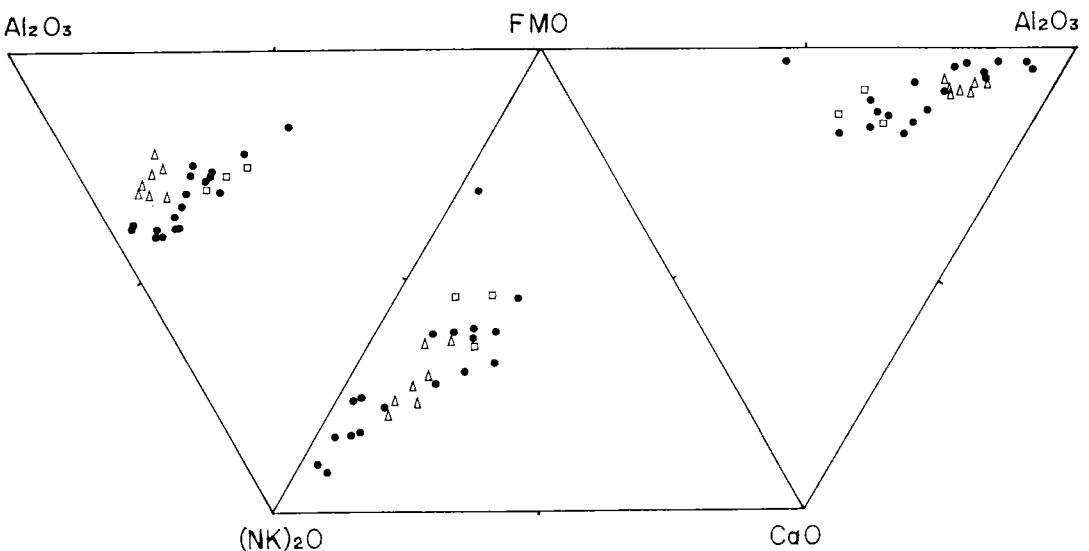


Fig. 3. Variations of the molecular Al₂O₃-(NK)₂O-FMO-CaO system for the Hongjesa granitic gneiss. Symbols are same as in Fig. 2.

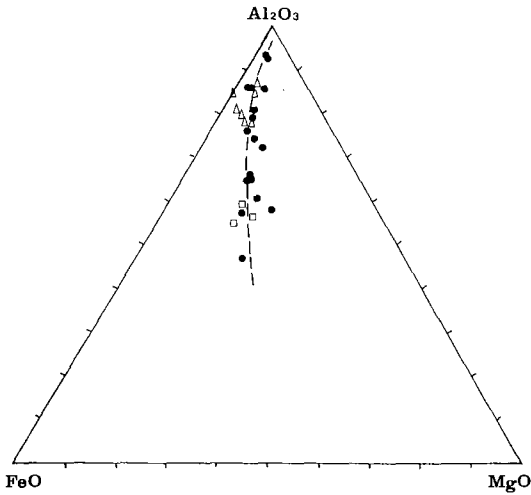


Fig. 4. Variations of bulk chemical compositions of the Hongjesa granitic gneiss in the molecular Al_2O_3 -FeO-MgO system. Symbols are same as in Fig. 2.

미사장석-피어사이트화강암질편마암 보다 높은 $(NK)_2O$, 그리고 낮은 CaO 함량비를 나타내는 것과 동일한 암석이다. FMO- $(NK)_2O$ -CaO 3성분계에서의 특징으로 부터 Al_2O_3 나 $(NK)_2O$ 의 변화와 CaO의 함량이 직접적인 상관관계를 갖고 있지 않음을 시사한다. 즉 CaO는 자생적(autochthonous)임을 나타낸다고 생각된다.

Fig. 4는 Al_2O_3 , FeO 그리고 MgO의 분자량비를 나타낸 것으로 Al_2O_3 의 변화 양상을 잘 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 FeO와 MgO 사이의 변화는 거의 없으며 주로 Al_2O_3 의 함량비가 변화한다. 이와 같은 양상은 특히 흑운모화강암질편마암에서 잘 나타난다. 미사장석-피어사이트화강암질편마암과 호상흑운모편마암 역시 FeO-MgO 사이의 상대비는 크지 않으나 좁은 범위이지만 Al_2O_3 의 함량비는 변화하고 있음을 나타낸다. 이는 Al_2O_3 가 증가해 감에 따라 FeO와 MgO는 공통적으로 감소됨을 의미한다. 그러나 MgO보다 FeO의 감소량이 더 크음을 알 수 있다. 이것은 이와 같은 변화가 일어났을 때의 온도의 조건을 간접적으로 시사하는 것으로 생각된다. 전체적으로 볼 때 이들 암석들은 점선으로 표시된 곡선을 따라 Al_2O_3 의 함량비가 변화하고 있음을 나타내며 호상흑운모편마암은 낮은 Al_2O_3 함량비를, 미사장석-피어사이트화강암질편마암은 비교적 높은 Al_2O_3 함량비를, 그리고 흑운모화강암질편마암은 전체에 걸쳐서 변화하고 있음을 보인다. 이것은 Fig.

2와 3에서 나타난 현상과 동일하며 화강암화작용이 주로 K_2O 와 Al_2O_3 의 증가와 FeO와 MgO의 감소를 가져 왔음을 시사하고 있음을 의미한다.

광물화학

홍제사화강암질편마암체를 이루는 중요한 암상인 흑운모화강암질편마암과 미사장석-피어사이트화강암질편마암은 구성광물의 종류와 상호관계는 거의 비슷하나 흑운모, 백운모, 녹니석, 미사장석 그리고 피어사이트의 함량에 있어서 차이가 난다. 또한 사장석의 경우 심하게 변질을 받은 것과 비교적 신선한 것으로 나눌 수 있으며 전자는 1차적, 그리고 후자는 2차적으로 생성된 것으로 생각되며 실제로 An성분의 차이를 나타내고 있다. 그 외에 소량으로 흔하게 산출되는 것은 녹염석이며 석류석은 매우 드물게 관찰되어진다. 그리고 몇개의 암석에서 규선석이 관찰되어지는 바 주로 백운모와 공존하고 있다. 상기한 광물들은 화강암질편마암을 이루는 주구성광물로서 이들 편마암류를 형성시킨 변성작용을 규명하기 위하여 선정된 광물들에 대하여 화학조성의 변화양상을 살펴보았다. 이 중 미사장석, 피어사이트 및 규선석은 거의 일정한 화학조성을 나타내고 있어 이들이 매우 안정된 조건하에서 생성되었음을 시사하고 있다.

흑운모

흑운모는 산출상태에 따라 분류할 수 있다. 즉 담갈색에서 갈색의 다색성을 나타내며 벽개면이 잘 발달되어 있는 것과 갈색에서 암갈색을 띄며 벽개면의 발달이 없으며 뚜렷한 결정면도 나타내지 않는 것으로 구분된다. 전자는 주로 백운모나 심한 견운모화작용을 받은 사장석과 공존하며 또는 벽개면을 따라 녹니석이나 백운모로 변질되어 있기도 한다. 후자는 판상의 백운모나 흑운모를 또는 사장석을 교대하기도 하며 세립의 불투명광물이 벽개면이나 결정외연을 따라 수반되기도 한다. 어떤 것은 녹색의 녹니석 군집 위에 생성되어 있기도 한다. 이와 같은 산출상태는 흑운모의 생성이 적어도 2회 이상에 걸쳐 이루어졌음을 시사한다. 즉 화강암화작용 이전의 광역변성작용시에 생성된 것과 화강암화작용시 또는 그 후기에 생성되어진 것으로 생각된다. 1차적으로 생성된 흑운모의 경우 화강암질편마암류에서는 백

운모나 녹니석과 공존하고 있으며 또는 이들로 변질되어 있기도 하다. 규선석이나 석류석이 함유되는 경우 이들과 공존하기도 하며 저어콘이 내포되기도 한다. 호상흑운모편마암에서는 백운모나 녹니석과 함께 엽리를 이루고 있다. 이들은 화강암화작용시에 생성된 것으로 생각되는 석영 입자들에 의하여 용식되어 있기도 하며 백운모나 녹니석 결정에 의하여 교대되어 있기도 한다. 2차적으로 생성된 것은 1차의 흑운모, 백운모, 녹니석 또는 심하게 견운모화작용을 받은 사장석을 그리고 간혹 피어사이트를 교대하기도 한다.

이와 같은 흑운모의 산출 특징은 암상에 관계없이 거의 비슷하다. 판상의 결정으로 산출되는 흑운모의 화학적 특징을 알아보기 위하여 선정된 암석시료에 대하여 EPMA를 이용하여 화학분석을 실시하였으며 그 결과는 Table 4와 5에 나타난 바와 같다. 표에서 보는 바와 같이 SiO_2 의 함량은 흑운모화강암질편마암의 경우 33-40%, 미사장석-피어사이트화강암질편마암은 약 33-34%, 그리고 호상흑운모편마암은 약 33-36% 범위내에서 변하고 있어 흑운모화강암질편마암이 가장 넓은 범위에 걸쳐 변화하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 변화양상은 다른 원소들의 경우에도 거의 비슷하게 나타난다. 특히 $\text{Fe}/\text{Fe}+\text{Mg}$ 비는 흑운모화강암질편마암은 0.51-0.84, 미사장석-피어사이트화강암질편마암은 0.74-0.75, 그리고 호상흑운모편마암은 0.58-0.62 사이로 변화하여 흑운모화강암질편마암은 매우 넓은 범위에 걸쳐서 변화하고 있음을 알 수 있다. 이것은 흑운모화강암질편마암을 이루는 흑운모가 다른 물리 화학적 조건하에서 생성되었음을 시사한다. 이것은 생성 당시의 온도와 압력의 조건 뿐만 아니라 공존하고 있는 다른 광물들에 의해서도 영향을 받은 것으로 생각된다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 흑운모화강암질편마암이 $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 비가 0.2에서 0.5, 그리고 Al의 함량은 0.4에서 0.8까지 변화한다. 그러나 미사장석-피어사이트화강암질편마암과 호상흑운모편마암은 $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 비는 큰 차이가 없으나 Al은 크게 변화한다. 특히 흑운모화강암질편마암은 $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 비가 증가할 수록 Al의 함량도 크게 증가하는 양상을 나타낸다. Guidotti(1984)에 의하면 아엠포블라이트(sub-amphibolite)에서 백립암상(granulite) 변성상을 나타내는 여러 기원의 변성암류들은 $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 비가 증가할 수록 Al의 함량은 대체로 감소하고 있음을 나타내고 있다. 그러나 이와 같은 변화양상은 변성

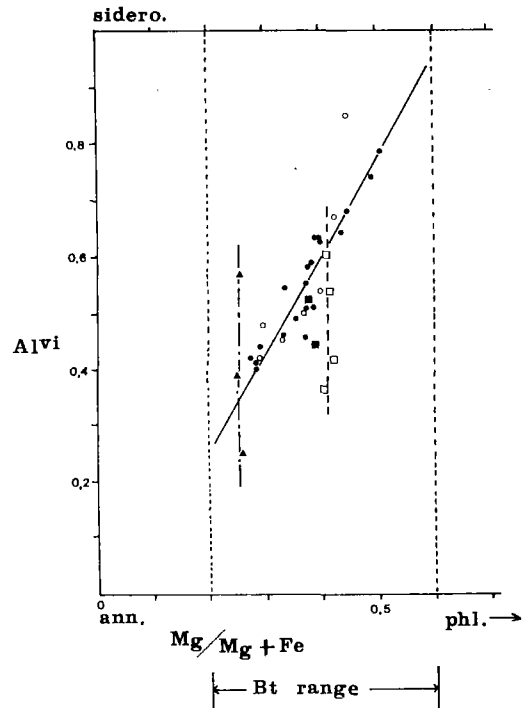


Fig. 5. Al versus $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ in biotite in the Hongjesa granitic gneiss. Symbols: full; primary, open; secondary or alteration product. circle; biotite granitic gneiss, triangle; microcline-perthite granitic gneiss, square; biotite banded gneiss. Abbr.: sidero; siderophyllite, ann; annite, phl; phlogophite. Bt; biotite.

도가 증가함에 따라 뚜렷하게 나타나지만 엠포블라이트상 보다 낮은 경우는 뚜렷하지 않다고 하였다. 특히 $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 비가 0.5 이하인 경우 어떠한 경향성도 나타내지 않는다. 그러나 Guidotti(1975)는 $\text{Mg}/\text{Fe}^{++}+\text{Mn}$ 비와 Al함량 사이에는 일반적인 상관관계가 없다고 하였다. 이와 같은 연구 결과는 본 연구의 결과와 상이하다. 이것은 본 연구의 대상 암석들이 광역변성작용 뿐만 아니라 화강암화작용의 영향도 받은 것에 기인하는 것으로 생각된다. 전체적으로 볼 때 $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 비는 흑운모의 이상적 값인 0.2-0.6 범위내에 모두 위치한다. 그리고 Al함량은 대부분이 0.4에서 0.7 사이를 나타내고 있어 시테로필라이트(siderophyllite)와 앤라이트(annite)의 중간 성분에 해당된다. 이들은 생성시기나 암상과는 상관관계를 나타내지 않으나 미사장석-피어사이트화강암질편마암인 경우 $\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe}$ 비가 매우 낮다는 것이 특징이다. 이와 같은 Mg와 Fe의 치환의 정도는 생성환경과 모암의 Fe/Mg 비에 의해서도 영향을

Table 4. Chemical composition of biotite and structural formula based on sum cation=8 in biotite granitic gneiss consisting the Hongjesa granitic gneiss (wt%).

	A-3				S-15					T-87			
	8	12	34	37	6	11	16	17	20	23	5	8	13
SiO ₂	34.21	39.61	35.16	33.75	32.97	32.60	32.98	33.61	32.90	33.14	33.74	33.65	33.82
Al ₂ O ₃	21.10	24.63	20.77	20.03	18.51	17.96	18.27	18.50	18.49	18.71	18.86	19.05	19.28
FeO	18.80	13.82	17.13	19.49	25.36	25.02	25.18	25.44	24.83	24.51	18.80	18.46	19.44
MgO	8.41	6.24	9.21	8.65	5.64	5.53	5.43	5.88	5.75	5.86	6.99	6.76	6.93
MnO	0.15	0.10	0.11	0.08	0.18	0.22	0.29	0.24	0.28	0.16	0.25	0.27	0.27
TiO ₂	1.68	1.19	1.82	1.99	2.61	2.56	2.83	1.67	2.42	1.79	2.55	2.79	2.59
CaO	0.04	0.01			0.22	0.25	0.75	0.13	0.05	0.39	0.01	0.02	0.02
K ₂ O	6.81	5.47	7.99	7.39	9.83	9.68	9.54	9.91	9.92	9.52	9.60	9.78	9.53
Na ₂ O	0.09	0.05	0.12	0.06	0.06	0.08	0.07	0.04	0.08	0.05	0.10	0.17	0.09
Total	91.29	91.12	92.31	91.44	95.38	93.90	95.34	95.42	94.72	94.13	90.90	90.96	91.97
Si	2.806	3.248	2.821	2.750	2.652	2.670	2.665	2.695	2.663	2.694	2.791	2.779	2.773
Al ^{IV}	1.194	0.752	1.179	1.250	1.348	1.330	1.335	1.305	1.337	1.306	1.209	1.221	1.227
Al ^{VI}	0.848	1.629	0.788	0.741	0.410	0.401	0.403	0.441	0.422	0.480	0.628	0.635	0.635
Fe	1.292	0.946	1.148	1.165	1.705	1.711	1.699	1.707	1.682	1.664	1.301	1.275	1.335
Mg	1.036	0.764	1.104	1.120	0.676	0.674	0.655	0.704	0.695	0.708	0.859	0.834	0.847
Mn	0.010	0.005	0.010	0.010	0.014	0.015	0.019	0.014	0.019	0.010	0.020	0.020	0.020
Ti	0.104	0.074	0.111	0.113	0.159	0.157	0.170	0.101	0.146	0.107	0.159	0.174	0.158
Ca					0.019	0.020	0.063	0.010	0.005	0.034			
Na			0.019	0.020	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.020	0.030	0.010
K	0.710	0.572	0.820	0.832	1.005	1.013	0.981	1.013	1.021	0.986	1.013	1.032	0.995
	T-24				T-39				T-70				
	74	76	89	92	94	12	19	1	5	10	13	30	42
SiO ₂	33.06	33.44	34.82	34.13	34.24	34.79	36.56	34.35	33.94	33.41	33.19	33.41	33.76
Al ₂ O ₃	17.77	17.59	16.83	17.87	17.77	18.22	17.26	18.07	18.06	16.23	17.17	18.63	18.22
FeO	24.78	23.49	23.06	23.24	24.37	22.65	20.14	22.37	22.52	16.97	20.82	20.91	20.45
MgO	6.88	7.25	2.50	6.47	6.70	7.91	9.25	7.48	6.96	7.39	6.79	7.04	7.16
MnO	0.31	0.12	6.45	0.32	0.29	0.73	0.20	0.23	0.28	0.16		0.18	0.17
TiO ₂	2.49	2.86	0.17	2.56	2.34	1.87	0.71	1.53	2.14	7.52	2.68	1.31	2.07
CaO	0.01		0.05	0.02	0.01		0.01	0.04		4.61	0.93	0.30	0.60
K ₂ O	7.75	7.25	9.31	8.27	8.89	7.10	7.10	9.26	9.29	7.92	9.01	9.25	9.67
Na ₂ O	0.03	0.06	0.10	0.02	0.07	0.04	0.07	0.08	0.10	0.08	0.08	0.09	0.11
Total	93.08	92.14	93.28	92.95	94.69	93.31	91.30	93.41	93.29	94.29	90.88	91.12	90.21
Si	2.728	2.776	2.920	2.814	2.770	2.837	3.002	2.783	2.759	2.711	2.770	2.763	2.755
Al ^{IV}	1.272	1.224	1.080	1.286	1.230	1.163	0.998	1.217	1.241	1.189	1.230	1.237	1.245
Al ^{VI}	0.454	1.500	0.582	0.546	0.461	0.591	0.671	0.506	0.488	0.361	1.456	0.582	0.510
Fe	1.711	1.630	1.616	1.600	1.648	1.543	1.383	1.513	1.529	1.151	1.456	1.446	1.397
Mg	0.848	0.897	0.312	0.798	0.807	0.960	1.136	0.905	0.845	0.892	0.843	0.870	0.873
Mn	0.020	0.015	0.458	0.025	0.019	0.049	0.015	0.015	0.020	0.010	0.015	0.015	0.010
Ti	0.154	0.179	0.010	0.159	0.141	0.113	0.044	0.092	0.132	0.458	0.171	0.080	0.127
Ca			0.005					0.005		0.400	0.085	0.025	0.054
Na		0.010	0.020		0.010	0.010	0.010	0.010	0.020	0.010	0.010	0.010	0.020
K	0.813	0.768	0.997	0.872	0.914	0.735	0.741	0.954	0.967	0.819	0.964	0.974	1.101

Table 5. Chemical composition of biotite and structural formula based on sum cation=8 in microcline-perthite granitic gneiss (A-36, S-60) and biotite banded gneiss (A-20, A-22, S-59) (wt%)

	A-36		S-60		A-20		A-22		S-59	
	2	17	1	6	68	73	12	13	15	
SiO ₂	33.67	32.58	35.64	35.17	33.76	35.92	33.45	33.65	33.83	
Al ₂ O ₃	18.95	17.91	17.91	17.88	17.29	16.40	19.54	19.64	19.95	
FeO	24.11	27.20	22.45	22.13	22.16	21.72	20.40	20.20	19.80	
MgO	4.52	5.06	7.95	9.47	8.48	8.85	7.06	7.17	9.93	
MnO	0.28	0.06	0.23	0.16	0.16	0.23	0.13	0.14	0.07	
TiO ₂	2.07	1.92	1.39	1.35	1.82	1.72	3.70	3.61	2.93	
CaO	0.01	0.02		0.02	0.04	0.01	0.01			
K ₂ O	8.79	9.40	8.87	8.30	9.73	9.23	9.92	9.87	9.99	
Na ₂ O	0.03	0.07	0.07	0.09	0.05	0.08	0.20	0.21	0.14	
Total	92.43	94.10	94.51	92.57	93.13	94.18	94.41	94.49	94.64	
Si	2.807	2.673	2.851	2.880	2.718	2.873	2.678	2.686	2.678	
Al ^{IV}	1.193	1.327	1.249	1.120	1.282	1.127	1.322	1.314	1.322	
Al ^{VI}	0.672	0.389	0.443	0.603	0.363	0.420	0.524	0.537	0.542	
Fe	1.684	1.869	1.500	1.516	1.490	1.451	1.365	1.348	1.313	
Mg	0.561	0.621	0.947	0.911	0.016	1.057	0.841	0.854	0.937	
Mn	0.020	0.005	0.014	0.010	0.010	0.014	0.010	0.010	0.005	
Ti	0.130	0.118	0.082	0.084	0.111	0.106	0.221	0.216	0.176	
Ca					0.005					
Na		0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.029	0.029	0.019	
K	0.932	0.986	0.904	0.866	0.996	0.942	0.010	1.007	1.008	

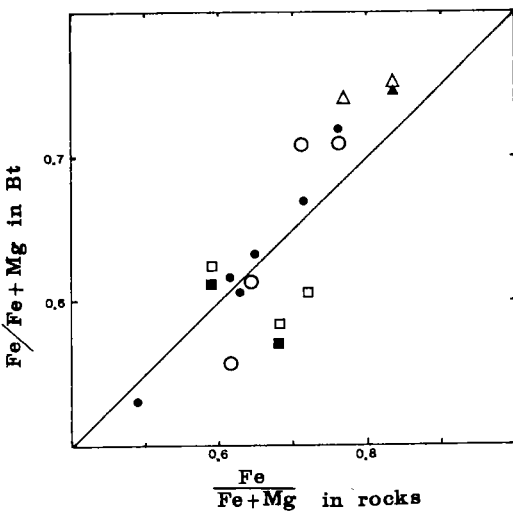


Fig. 6. Relationship of Fe/Fe+Mg in the representative biotite and rocks in the Hongjesa granitic gneiss. Symbols are same as in Fig. 5.

받은 것으로 생각된다. Fig. 6는 암석의 Fe/Fe+Mg비와 이에 함유되어 있는 대표적인 흑운모의 Fe/Fe+Mg비의 상호관계를 나타내고 있다. Spear (1984)에 의하면 화성암인 경우 흑운모의 Fe/Fe+

Mg 비는 모암의 화학조성, 결정 당시의 물리적 조건, 공존광물, 그리고 이차적인 변질작용 등에 의하여 영향을 받으나 대체로 모암의 Fe/Fe+Mg비가 증가하면 흑운모의 Fe/Fe+Mg비도 증가한다고 하였다. 모암이 변성암인 본 연구에 있어서도 흑운모의 Fe/Fe+Mg비는 모암의 것이 증가함에 따라 같이 증가하는 양상을 보이고 있다. 이러한 것은 변성작용, 특히 이 경우 화강암화작용에 의하여 크게 영향을 받은 것으로 생각된다. 즉 화강암화작용시 주로 Mg성분이 빠져 나갔음을 시사하는 것이다. 이것은 Fig. 5에서 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암이 가장 낮은 Mg/Fe+Mg비를 나타내는 것에서도 잘 알 수 있다. 이와 같은 성분의 재배치 및 흑운모의 생성시의 성분들 사이의 치환관계를 알아보기 위하여 Fig. 7을 이용하였다. Fig. 7은 흑운모의 경우 Al, Al=(Fe⁺⁺, Mg), Si의 치환관계를 나타낸다(Brown 1968; Tracy, 1978; Guidotti, 1984). 그림에서 보는 바와 같이 대부분의 점들이 Bt-Est를 연결하는 흑운모선에 연해서 위치하나 높은 Si+Fe+Mg+Ti-3 값을 나타내는 것들도 있다. 그러나 대체로 Al이 증가함에 따라 Si+Fe+Mg+Ti-3 값이 점진적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 즉 흑운모들은 대

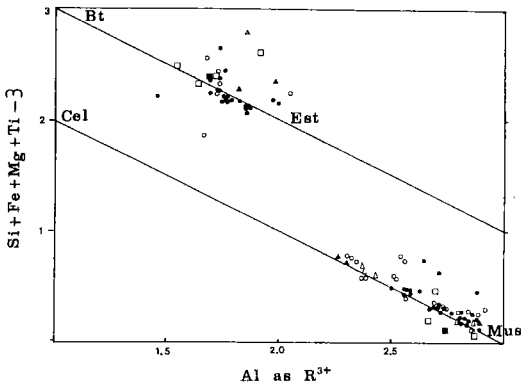


Fig. 7. Si+Fe+Mg+Ti-3 versus Al as R³⁺ in coexisting biotite and muscovite in the Hongjesa granitic gneiss. Symbols are same as in Fig. 5. Bt; biotite, Cel; celadonite, Est, eastonite. Mus; muscovite.

체로 높은 Al값을 가지고 있으며 이스토나이트(Eastonite: $KMg_{2.5}Al_{0.5}Si_{2.5}Al_{1.5}O_{10}(OH)_2$)에 가까운 성분을 가지고 있음을 알 수 있다. 흑운모선에서 떨어져 불규칙하게 분포하고 있는 점들은 모든 Fe를 Fe⁺⁺로 취급한 것에 또는 화강암화작용의 영향을 반영하고 있는 것으로 생각된다.

백운모

흑운모화강암질편마암과 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암내에 주구성광물로 산출되며 함량의 차이는 있으나 산출 양상은 거의 비슷하다. 백운모는 흑운모와 공존하고 있는 것, 흑운모로부터 변질되어 생성된 것, 그리고 견운모화작용을 받은 사장석의 견운모 집합체에서 이들을 교대하며 생성된 것들로 구분이 되어진다. 그러나 후자의 두 경우는 화강암화작용 또는 그 후기에 생성되어진 2차적인 것으로 생각되며 전자는 화강암화작용 이전에 광역변성작용시에 생성되어진 1차적인 것으로 생각된다. 이것은 백운모가 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암내에 더 많이 함유되고 있으며 미사장석이나 퍼어사이트와 함께 공존하고 있는 현상과 흑운모화강암질편마암의 경우 흑운모가 판상의 백운모에 의하여 절단되거나 교대되어 있는 현상 등으로 부터 시사되어지는 것이다. 1차적인 것으로 생각되는 흑운모와 공존하고 있거나 교대되어 있는 것들과 규선석과 공존하고 있는 것들로 부터 이들이 화강암화작용 이전에 이미 생성되어 있었던 것으로 판단되며 광

물군집 등으로 볼 때 광역변성작용에 의한 것으로 알 수 있다. 이와 같은 백운모는 생성시기가 상이할 뿐만 아니라 교대나 변질되었을 경우 흑운모나 녹니석과 공존하고 있는 바 이들의 화학조성을 알아 보기 위하여 선정된 광물들에 대하여 화학분석을 실시하여 Table 6과 7에 표시하였다. 표에서 보는 바와 같이 암상에 관계없이 대부분의 백운모들이 3.0 이상의 Si 값을 반면에 2.0보다 작은 Al 값을 갖고 있다. 이것은 백운모가 생성시기와는 관계없이 Si가 풍부하고 Al이 비교적 모자라는 화학적 환경에서 생성되어졌음을 시사한다. 또한 Fe/Fe+Mg비는 변화의 범위가 흑운모와 비교할 때 매우 크다. 이것은 백운모의 생성시에는 Fe와 Mg 치환이 충분히 진행되지 못하였거나 화강암화작용에 의하여 Fe와 Mg의 재배치의 정도가 변화하였음을 반영하는 것으로 생각된다. 이것은 흑운모의 경우 동일 암석내에서는 거의 비슷한 Fe/Fe+Mg비(Table 4, 5)를 나타내나 백운모의 경우 차이가 큰 것으로 부터도 알 수 있다. 그러나 결정구조내의 위치에 따른 치환관계를 살펴 보면 Fig. 7에서 보는 바와 같이 대부분이 셀라도나이트-백운모(celadonite-muscovite) 연결선상을 따라 위치하고 있다. 이것은 백운모가 생성될 때 적어도 (Mg, Fe⁺⁺), Ti=2Al 및 Ti, Al=Al, Si 치환(phengite substitution)이 잘 진행되었음을 의미한다 (Brown, 1968; Tracy, 1978; Guidotti, 1984). 점들의 위치가 흑운모의 것들 보다 좁은 범위내에 분포하는 것은 백운모내의 Fe성분이 많지 않으며 또 백운모가 자철석 또는 적철석과 공존하고 있는 경우에 대체로 Fe⁺⁺가 풍부하기 때문이며(Guidotti, 1984) 이 경우 대부분의 Fe성분은 Fe⁺⁺로 존재하고 있음을 추정할 수 있다. 그러나 2차적으로 생성된 것들은 거의 Mus-Cel선을 따라서 위치하며 이것은 실제로 Fe²⁺ >> Fe³⁺인 것을 시사하며 생성 당시에 펜자이트(phengitic) 치환이 잘 일어났거나 또는 (Fe⁺⁺), H=(Fe³⁺), (Guidotti, 1984)의 치환이 가능하였음을 나타낸다. 그리고 2차 생성의 백운모는 1차의 것과 비교할 때 많거나 또는 적으며 이것은 모암의 암상과는 관계가 없다. 특히 흑운모화강암질편마암과 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암은 매우 비슷한 값들을 보여 주고 있으며 호상흑운모편마암은 자료의 수가 제한되어 있지만 큰 상관관계가 없음을 보여주고 있다.

백운모가 주로 흑운모와 공존하고 있든가 또는 흑운모와 변질관계를 나타내고 있음으로 공존하고

있는 흑운모와 백운모 사이의 Fe/Mg비를 비교하여 보았다(Fig. 8). Fig. 8에서 보는 바와 같이 공존하거나 교대 관계에 있는 흑운모와 백운모는 어떠한 경향성도 나타내지 않는다. 호상흑운모편마암은 비교적 좁은 범위내에서 변화하나 흑운모화강암질편마암은 대단히 넓은 범위의 값을 갖는다. 그러나 대체로 기울기가 1.73에서 1.50 사이에서 (Fe/Mg)

Mu가 증가하는데 따라 (Fe/Mg)Bt는 급격하게 증가하는 양상을 보인다. 대체로 공존하고 있는 경우 흑운모는 Fe/Mg비가 1.0 이상을 나타내며 백운모는 0.6에서 1.1 사이의 값을 나타내고 있어 Fe는 흑운모에 더 농집되어지는 것으로 생각된다. 이것은 전암 화학조성과 생성 당시의 온도나 압력에 영향을 받은 것으로 생각된다. 자료가 2개 밖에 되지 않지만 미

Table 6. Chemical composition of muscovite and structural formula based on sum cation=7 in biotite granitic gneiss consisting the Hongjesa granitic gneiss (wt%)

	A-3			S-15				S-43		
	11	33	36	14	15	18	19	22	2	6
SiO ₂	45.19	45.33	45.15	44.87	45.10	45.49	44.90	45.52	44.10	43.85
Al ₂ O ₃	34.96	35.67	35.67	33.39	33.06	32.70	31.64	29.24	35.73	35.97
FeO	2.71	0.90	0.73	1.74	1.59	2.20	4.39	3.69	0.83	1.03
MgO	1.13	0.59	0.60	0.85	0.77	2.24	1.97	1.95	0.46	0.48
MnO				0.01	0.02					
TiO ₂	0.10	0.79	0.76	1.36	1.06	0.25	0.41	0.09	0.40	0.20
CaO	0.06								0.01	0.01
K ₂ O	7.11	8.08	9.08	11.25	11.35	11.76	11.24	11.43	11.11	11.13
Na ₂ O	0.14	0.35	0.51	0.41	0.42	0.30	0.29	0.18	0.47	0.45
Total	91.40	91.71	92.50	93.88	94.37	94.94	94.84	92.10	93.11	93.12
Si	3.171	3.149	3.103	3.049	3.044	3.029	3.022	3.158	2.998	2.980
Al ^{IV}	0.829	0.851	0.897	0.951	0.956	0.971	0.978	0.842	1.002	1.020
Al ^{VI}	2.064	2.073	1.996	1.719	1.751	1.598	1.530	1.550	1.857	1.862
Fe	0.160	0.053	0.041	0.098	0.089	0.124	0.247	0.212	0.049	0.057
Mg	0.118	0.063	0.062	0.086	0.077	0.224	0.198	0.200	0.045	0.049
Ti		0.042	0.041	0.069	0.053	0.012	0.020		0.020	0.012
Na	0.017	0.050	0.066	0.057	0.057	0.040	0.040	0.025	0.065	0.057
K	0.633	0.718	0.793	0.972	0.973	1.001	0.963	1.008	0.964	0.963
	S-43		S-49		T-15			T-24		
	9	1	7	12	5	8	11	75	90	91
SiO ₂	44.78	44.43	43.49	45.85	44.47	46.54	45.57	46.09	46.59	46.90
Al ₂ O ₃	36.68	31.71	31.51	32.06	31.78	31.13	32.64	33.70	32.39	35.44
FeO	0.38	3.62	4.41	2.66	3.92	3.07	2.75	1.01	1.26	0.95
MgO	0.53	1.60	2.05	1.65	1.85	1.74	1.74	0.59	0.72	0.63
MnO				0.01		0.05	0.01	0.05	0.09	0.06
TiO ₂	0.15	0.55	0.64	0.39	0.48	0.83	0.54	1.48	1.89	0.61
CaO						0.03	0.20		0.03	
K ₂ O	10.88	11.34	10.87	10.65	10.86	10.05	10.26	10.54	10.89	10.43
Na ₂ O	0.46	0.19	0.20	0.18	0.21	0.12	0.21	0.56	0.22	0.57
Total	94.31	93.44	93.08	93.45	93.57	93.56	93.74	94.02	94.08	95.60
Si	3.001	3.036	2.988	3.131	3.035	3.189	3.103	3.122	3.167	3.115
Al ^{IV}	0.999	0.964	1.012	0.869	0.965	0.911	0.897	0.878	0.833	0.885
Al ^{VI}	1.901	1.591	1.538	1.708	1.594	1.599	1.723	1.816	1.766	1.891
Fe	0.048	0.205	0.252	0.152	0.226	0.177	0.155	0.057	0.074	0.052
Mg	0.052	0.164	0.210	0.168	0.189	0.177	0.176	0.061	0.074	0.064
Ti	0.008	0.029	0.033	0.021	0.025	0.040	0.029	0.077	0.098	0.032
Na	0.056	0.025	0.025	0.025	0.025	0.016	0.024	0.073	0.033	0.072
K	0.934	0.986	0.941	0.927	0.943	0.881	0.892	0.912	0.948	0.886

Table 6. Continued

	T-24		T-39				T-57			T-70		
	95	3	5	16	126	139	143	2	6	11		
SiO ₂	47.58	47.07	46.74	47.30	47.16	45.68	47.16	45.13	44.27	45.05		
Al ₂ O ₃	34.90	32.24	32.75	30.29	34.92	34.19	35.36	35.21	34.85	34.62		
FeO	1.41	1.55	2.12	2.60	1.09	1.33	1.18	1.08	1.05	1.03		
MgO	0.79	1.73	1.62	2.09	0.69	0.72	0.75	0.51	0.54	1.20		
MnO								0.01	0.05	0.03		
TiO ₂	1.69	1.12	0.61	0.76	0.17	2.13	1.71	0.82	1.00	1.75		
CaO	0.03			0.01		0.02		0.03				
K ₂ O	10.63	7.74	7.06	7.73	10.76	10.50	10.86	10.27	10.66	10.75		
Na ₂ O	0.38	0.15	0.22	0.11	0.33	0.35	0.40	0.48	0.44	0.16		
Total	97.42	91.33	91.12	91.52	96.12	94.92	97.41	93.90	92.86	94.59		
Si	3.121	3.310	3.289	3.320	3.133	3.080	3.092	3.054	3.029	3.530		
Al ^{IV}	0.879	0.690	0.711	0.680	0.867	0.920	0.908	0.946	0.971	0.965		
Al ^{VI}	1.187	1.981	2.003	1.877	1.863	1.794	1.826	1.885	1.840	1.786		
Fe	0.079	0.093	0.127	0.152	0.060	0.077	0.063	0.061	0.062	0.057		
Mg	0.079	0.182	0.169	0.219	0.068	0.073	0.075	0.057	0.053	0.121		
Ti	0.083	0.059	0.034	0.042	0.060	0.110	0.083	0.041	0.053	0.089		
Na	0.047	0.017	0.034	0.017	0.040	0.049	0.047	0.066	0.058	0.024		
K	0.891	0.668	0.634	0.692	0.910	0.900	0.906	0.887	0.929	0.922		
	T-70					T-87						
	14	26	31	40	41	4	9	10	14			
SiO ₂	46.63	44.42	46.27	44.63	45.12	45.37	44.98	45.46	45.45			
Al ₂ O ₃	28.51	29.30	32.45	35.65	35.60	34.36	34.42	34.22	34.98			
FeO	3.58	4.55	2.04	0.92	1.11	1.06	1.05	1.15	1.19			
MgO	2.38	2.46	1.65	0.46	0.59	0.72	0.72	0.87	0.68			
MnO	0.05	0.04	0.01	0.01	0.59	0.03	0.02	0.09	0.03			
TiO ₂	0.15	0.12	0.33	0.95	0.70	1.62	1.65	1.56	1.32			
CaO	0.04	0.03	0.04	0.02		0.01	0.01	0.02	0.01			
K ₂ O	10.37	11.70	10.91	10.84	10.69	11.19	10.63	10.99	10.97			
Na ₂ O	0.11	0.11	0.23	0.48	0.45	0.35	0.40	0.25	0.36			
Total	91.82	92.73	93.93	93.96	94.85	94.71	93.88	94.61	94.99			
Si	3.247	3.056	3.134	3.015	3.028	3.052	3.054	3.063	3.047			
Al ^{IV}	0.753	0.944	0.866	0.985	0.972	0.948	0.946	0.937	0.953			
Al ^{VI}	1.550	1.429	1.722	1.856	1.842	1.776	1.810	1.782	1.811			
Fe	0.209	0.260	0.114	0.053	0.060	0.061	0.061	0.065	0.068			
Mg	0.247	0.252	0.167	0.045	0.060	0.073	0.083	0.089	0.068			
Ti	0.008	0.008	0.016	0.049	0.036	0.081	0.086	0.081	0.068			
Na	0.017	0.016	0.032	0.065	0.056	0.048	0.049	0.032	0.048			
K	0.920	1.025	0.944	0.933	0.911	0.962	0.921	0.947	0.953			

사장석-피어사이트화강암질편마암의 경우 흑운모는 대단히 높은 Fe/Mg비를 나타내고 있다. 이것은 미 사장석-피어사이트화강암질편마암의 생성시 즉 화강암화작용이 진행되는 동안 흑운모로 부터 주로 Mg가 빠져 나갔음을 시사한다. 이것은 호상흑운모 편마암의 것과 잘 비교되어진다. 흑운모화강암질편마암의 경우 대단히 넓은 범위를 나타내는 것은 1차적인 것과 2차적인 것이 공존하고 있음을 나타낸

다.

녹니석

녹니석은 일반적으로 녹색을 나타내나 간섭색은 적색, 갈색, 그리고 회색 등 여러 가지로 변화한다. 대체로 흑운모나 백운모와 공존하거나 이들을 교대하기도 하며 때로는 흑운모의 변질물로 산출되기도

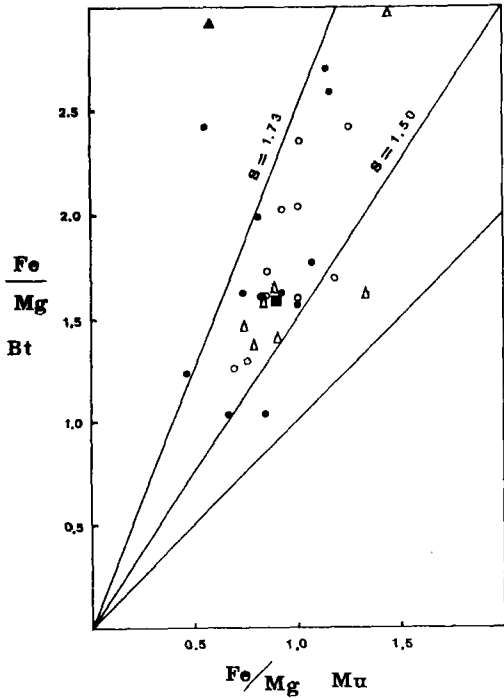


Fig. 8. Relationship of Fe/Mg in coexisting biotite and muscovite in the Hongjesa granitic gneiss. S means slope. Symbols are same as in Fig. 5.

하며 산출상태가 다양하다. 벽개면이 비교적 잘 발달되며 판상의 결정으로 나오는 것, 진한 녹색을 띠며 벽개면이 없고 뚜렷한 결정면을 가지지 않는 것, 그리고 흑운모의 변질물로 흑운모의 벽개면을 따라 생성되어 있는 것 등이다. 이 중 전자는 광역변성 작용시에 흑운모나 백운모와 함께 생성된 것이며

후자들은 화강암화작용에 의하여 기존의 흑운모 또는 백운모로부터 생성되어진 것으로 생각된다. 이는 이들 녹니석들이 흑운모나 백운모를 교대하고 있는 현상으로부터 알 수 있다. 특히 전운모화작용을 받은 사장석내의 전운모 바탕 위에 생성된 백운모를 교대하고 있는 것과 1차적으로 생성된 녹니석이 2차적으로 생성된 갈색의 흑운모에 의하여 교대되어 있기도 한다. 따라서 녹니석은 단일 결정으로 흑운모의 벽개면을 따라 형성되어 흑운모와 공존하고 있는 것, 그리고 백운모를 교대하고 있는 것으로 구분되어진다. 이러한 현상은 녹니석이 광역변성작용 때와 화강암화작용에 의한 2회 이상에 걸쳐 생성되어진 것임을 시사한다. 이와 같은 생성시기가 다르며 또한 공존하는 광물이 다른 경우 녹니석들의 화학조성상의 차이를 알아보기 위하여 EPMA를 이용하여 화학분석을 실시하여 그 결과를 Table 8과 9에 표시하였다. 이들이 녹니석의 여러 종류 중 어디에 해당되는지 알아보기 위하여 Fig. 9에 표시하여 보았다. Forster(1962)에 의하면 녹니석은 Fe_2O_3 의 함량을 4%를 기준으로 할 때 크게 2형으로 구분되어지며 $Fe_2O_3 > 4\%$ 인 경우 $Fe^{++} : R^{2+}$ 비가 대체로 0.40 이상이며 $Fe_2O_3 < 4\%$ 인 경우 $Fe^{++} : R^{2+}$ 비가 0.40 이하이나 이상인 경우도 많이 있다고 하였다. 본 연구의 경우 Fig. 9에서 보는 바와 같이 모든 녹니석들이 $Fe^{++} : R^{2+}$ 비가 0.55 이상을 나타내고 있다. 여기에서 Fe는 모두 Fe^{++} 로 취급하였지만 이중 Fe^{3+} 로 존재하는 것을 고려한다고 하더라도 대체로 $Fe^{++} : R^{2+}$ 비가 0.40 이상에 해당될 것으로 추정된다. 이와 같은 녹니석의 분류는 Hey의 그림

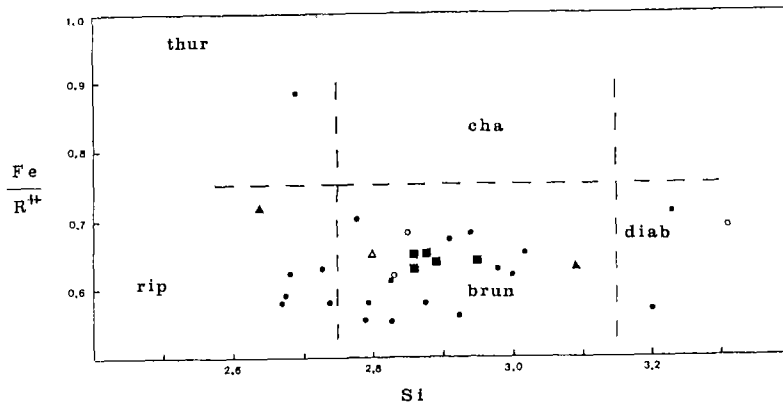


Fig. 9. Classification of chlorite based on two principal types of ionic replacement (after Foster, 1962). Abb.: thur; thuringite, cha; chamosite, rip; ripidolite, brun; brunsvigite, diab; diabantite. Symbols are same as in Fig. 5.

Table 7. Chemical composition of muscovite and structural formula based on sum cation=7 in microcline-perthite granitic gneiss (A-36, A-39, S-60, T-55) and biotite banded gneiss (A-19, A-20, A-22, S-59) (wt%)

	A-36		A-39			S-60		T-55				
	17	1	6	9	13	2	5	98	108	109		
SiO ₂	46.52	45.05	45.89	44.34	44.90	44.32	44.44	46.51	49.16	46.18		
Al ₂ O ₃	29.17	35.54	35.16	35.25	34.53	34.85	35.14	35.89	28.28	28.36		
FeO	4.03	1.24	1.29	1.02	1.40	1.55	1.58	0.38	3.68	5.18		
MgO	1.70	0.56	0.57	0.51	0.64	0.53	0.61	0.06	2.26	2.30		
MnO								0.11		0.07		
TiO ₂	0.06	0.48	0.60	0.42	0.67	0.40	0.47	0.14	0.06	0.13		
CaO	0.01					0.01			0.05	0.03		
K ₂ O	10.90	10.28	10.05	9.66	10.06	10.95	10.92	10.51	10.91	11.01		
Na ₂ O	0.22	0.44	0.36	0.28	0.40	0.52	0.50	0.25	0.13	0.10		
Total	92.61	93.59	93.92	91.48	92.60	93.13	93.66	93.84	94.51	93.34		
Si	3.214	3.058	3.109	3.079	3.087	3.021	3.010	3.150	3.335	3.174		
Al ^{IV}	0.786	0.942	0.891	0.921	0.913	0.979	0.990	0.085	0.665	0.826		
Al ^{VI}	1.589	1.904	1.917	1.966	1.888	1.821	1.816	2.780	1.594	1.469		
Fe	0.233	0.069	0.073	0.058	0.079	0.090	0.089	0.020	0.208	0.297		
Mg	0.174	0.057	0.057	0.054	0.066	0.053	0.061	0.004	0.227	0.235		
Ti	0.004		0.032	0.021	0.033	0.021	0.024	0.008	0.004	0.008		
Na	0.033	0.057	0.049	0.042	0.050	0.066	0.065	0.033	0.016	0.017		
K	0.963	0.889	0.871	0.859	0.884	0.950	0.944	0.912	0.946	0.966		
	T-55		A-19			A-20		A-22		S-59		
	117	118	16	19	24	26	2	7	69	72	11	14
SiO ₂	48.21	47.97	47.05	43.99	46.83	46.71	47.15	46.26	45.04	45.60	44.47	44.09
Al ₂ O ₃	30.44	29.31	32.59	34.27	31.55	34.99	31.18	33.31	32.80	35.16	36.04	36.19
FeO	2.38	3.16	1.87	3.08	2.51	1.42	2.54	2.37	0.77	0.80	0.91	0.65
MgO	1.78	1.97	1.03	0.63	1.54	0.73	1.71	1.51	0.59	0.58	0.41	0.40
MnO		0.05		0.09	0.02			0.02	0.10			0.03
TiO ₂	0.57	0.12	0.53	2.80	0.43	0.24	0.27	0.08	2.09	0.23	0.45	0.33
CaO		0.01							0.01		0.01	0.01
K ₂ O	11.20	10.69	7.68	7.11	7.06	7.28	10.05	9.23	10.55	10.37	11.21	10.98
Na ₂ O	0.14	0.04	0.45	0.36	0.14	0.58	0.18	0.26	0.47	0.65	0.59	0.64
Total	94.72	93.31	91.20	92.33	90.08	91.95	93.08	93.03	92.41	93.38	94.09	93.32
Si	3.253	3.293	3.302	3.085	3.347	3.246	3.238	3.172	3.112	3.094	2.989	2.985
Al ^{IV}	0.744	0.707	0.698	0.915	0.653	0.654	0.762	0.828	0.888	0.906	1.011	1.015
Al ^{VI}	1.678	1.662	2.001	1.917	2.003	2.211	1.736	1.866	0.784	1.907	1.740	1.873
Fe	0.134	0.182	0.110	0.181	0.150	0.084	0.144	0.136	0.046	0.045	0.053	0.037
Mg	0.178	0.202	0.110	0.067	0.163	0.075	0.173	0.152	0.062	0.057	0.040	0.041
Ti	0.028	0.008	0.030	0.148	0.021	0.012	0.012		0.108	0.012	0.024	0.016
Na	0.016	0.008	0.059	0.051	0.017	0.075	0.025	0.033	0.066	0.082	0.081	0.081
K	0.965	0.933	0.690	0.632	0.645	0.643	0.883	0.808	0.929	0.897	0.961	0.952

(Hey, 1954)에 의해서도 구분을 할 수 있는 바 Fig. 10은 이를 나타내고 있다. Hey(1954)도 녹니석을 Fe₂O₃의 함량을 4%를 기준으로 2형으로 구분하여 각각 분류하는 방법을 사용하였다. 따라서 Fig. 9와 10을 함께 고려한다면 본 연구대상의 녹니석은 Fe₂O₃<4%의 형에 속하며 그 중에서 주로 브룬스비자이트(brunsvigite)에 해당되며 리피돌라이트(ri-

pidolite), 피크노녹니석(pycnochlorite) 또는 다이아반타이트(diabantite)에 해당되는 것이 소량 산출됨을 알 수 있다. Fe₂O₃가 4% 이하라고 추정하는 것은 Kim *et al.*(1986)의 모암의 분석에 의하면 Fe₂O₃가 거의 1% 이하이며 Fe₂O₃/FeO비도 변화가 심하나 대체로 0.30 이하로서 산화율(oxidation ratio)이 대단히 낮은 결과에서 뒷받침되어 진다. Fig. 10에서

Table 8. Chemical composition of chlorite and sturctural formula based on sum cation=10 in biotite granitic gneiss consisting the Hongjesa granitic gneiss (wt%)

	S-15		S-43			S-49			T-15
	14	15	1	7	11	2	6	13	6
SiO ₂	26.35	28.63	24.66	24.29	27.04	25.48	26.80	26.61	23.95
Al ₂ O ₃	19.75	18.32	20.34	20.35	21.03	19.02	17.24	16.94	21.60
FeO	31.42	30.28	28.54	30.20	24.90	30.89	30.66	30.02	28.75
MgO	8.08	7.70	11.34	10.94	10.85	10.64	10.76	9.82	9.48
MnO	0.34	0.30	0.34	0.39	0.32	0.22	0.22	0.15	0.25
TiO ₂	0.36	0.37	0.06	0.06	0.06	0.13	0.13	1.62	0.09
CaO		0.05	0.02	0.04	0.01	0.06	0.01	1.41	0.03
K ₂ O	1.08	3.66	0.32	0.01	2.64	0.02	0.30	0.20	
N ₂ O		0.03			0.02				
Total	87.38	89.34	85.62	86.28	86.87	86.46	86.12	86.77	84.15
Si	2.934	3.099	2.737	2.690	2.922	2.831	2.995	2.977	2.726
Al ^{IV}	1.066	1.901	1.263	1.310	1.078	1.269	1.005	1.023	1.274
Al ^{VI}	1.527	0.443	1.394	1.353	1.598	1.228	1.265	1.208	1.622
Fe	2.921	2.741	2.650	2.796	2.253	2.871	2.868	2.809	2.732
Mg	1.337	1.243	1.876	1.804	1.747	1.762	1.793	1.640	1.605
Mn	0.033	0.026	0.033	0.033	0.032	0.020	0.020	0.013	0.027
Ti	0.033	0.033	0.007	0.007	0.006	0.013	0.013	0.134	0.007
Ca		0.007		0.007		0.007		0.168	0.007
Na									
K	0.147	0.508	0.004		0.364		0.040	0.027	
	T-15		T-39			T-57			
	7	112	4	11	15	125	140	142	144
SiO ₂	25.34	24.01	26.33	24.47	24.47	27.57	25.70	29.32	26.91
Al ₂ O ₃	20.09	21.83	20.06	22.21	22.18	20.66	19.20	20.73	20.36
FeO	29.34	29.52	28.45	28.89	28.23	30.04	30.10	24.72	28.88
MgO	10.60	10.00	12.76	10.94	11.35	9.05	12.21	10.60	11.73
MnO	0.22	0.21	0.30	0.40	0.43	0.23	0.21	0.10	0.25
TiO ₂	0.12	0.08		0.01	0.02	0.06	0.07	0.13	0.24
CaO	0.05	0.04			0.01	0.05	0.01		
K ₂ O	0.02	0.03	0.01		0.02	0.35		0.89	0.29
N ₂ O		0.02	0.02		0.02			0.01	0.10
Total	85.78	85.74	87.93	86.92	86.73	88.00	87.50	86.49	88.76
Si	2.827	2.681	2.828	2.674	2.671	3.018	2.797	3.206	2.875
Al ^{IV}	1.173	1.319	1.172	1.326	1.329	0.982	1.203	0.794	1.125
Al ^{VI}	1.446	1.549	1.372	1.539	1.532	1.687	1.255	1.873	1.442
Fe	2.733	2.755	2.557	2.641	2.579	2.748	2.739	2.260	2.580
Mg	1.762	1.662	2.047	1.780	1.850	1.479	1.980	1.728	1.868
Mn	0.020	0.020	0.026	0.039	0.039	0.020	0.020	0.007	0.026
Ti	0.013	0.007				0.007	0.007	0.013	0.019
Ca	0.007	0.007				0.007			
Na									0.026
K						0.053		0.118	0.039

보는 바와 같이 Fe/Fe+Mg비는 암상에 관계없이 대단히 좁은 범위내에서 변화하고 있으며 Table 8과 9에서 나타난 바와 같이 동일 암석인 경우 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. 이것은 녹니석이 생성될

당시의 환경이 Fe=Mg 치환이 충분히 안정되게 일어날 수 있었음을 시사한다. 그러나 흑운모화강암 질편마암이 암석에 따라 차이가 있는 것으로 보아 장소에 따라 약간 다른 환경 또는 암석의 화학조성에

Table 9. Chemical composition of chlorite and structural formula based on sum cation=10 in microcline-perthite granitic gneiss (A-39, T-55, A-36) and biotite banded gneiss (A-19) consisting the Hongjesa granitic gneiss (wt%)

	A-39				T-55	
	2	5	10	12	107	111
SiO ₂	25.72	24.29	25.37	29.71	27.89	24.70
Al ₂ O ₃	19.51	20.86	20.55	18.85	17.93	18.98
FeO	30.75	32.41	29.11	27.06	29.35	31.74
MgO	8.29	7.44	7.61	6.23	9.32	9.61
MnO	0.29	0.36	0.23	0.18	0.33	0.22
TiO ₂	0.35	0.04	3.49	1.30	0.44	0.03
CaO		0.02	0.06	0.02	0.03	0.03
K ₂ O	0.90	0.04	0.63	5.36	1.52	0.01
Na ₂ O		0.02		0.20	0.03	0.05
Total	85.81	85.49	87.08	88.76	86.85	85.34
Si	2.326	2.770	2.278	2.585	3.093	2.800
Al ^{IV}	1.674	1.230	1.722	1.415	0.907	1.200
Al ^{VI}	0.402	1.590	0.459	0.521	1.440	1.334
Fe	2.326	3.100	2.186	1.972	2.727	3.011
Mg	1.120	1.270	1.020	0.811	1.540	1.621
Mn	0.022	0.030	0.016	0.026	0.033	0.020
Ti	0.022	0.010	0.238	0.084	0.040	
Ca			0.005		0.007	
Na						0.014
K	0.109		0.076	0.596	0.213	
	A-36		A-19			
	14	14	17	20	23	27
SiO ₂	23.00	26.03	26.48	26.22	26.81	26.14
Al ₂ O ₃	21.39	29.82	20.79	19.77	19.29	19.92
FeO	32.04	28.75	28.36	29.54	28.49	29.65
MgO	6.66	11.04	11.44	11.01	11.14	11.12
MnO	0.57	0.17	0.29	0.20	0.21	0.24
TiO ₂	1.86	0.03	0.24		0.40	
CaO	0.45	0.02	0.13	0.04	0.14	0.04
K ₂ O	0.02	0.01	0.09	0.02	0.19	0.02
Na ₂ O	0.02	0.01	0.07	0.05	0.04	0.05
Total	86.01	85.88	87.89	86.85	86.71	87.18
Si	2.636	2.892	2.862	2.880	2.948	2.862
Al ^{IV}	1.364	1.108	1.138	1.120	1.052	1.138
Al ^{VI}	1.526	1.484	1.510	1.443	1.446	1.428
Fe	3.069	2.672	2.563	2.715	2.624	2.717
Mg	1.136	1.830	1.843	1.803	1.824	1.816
Mn	0.055	0.013	0.026	0.020	0.020	0.020
Ti	0.158		0.019		0.033	
Ca			0.013	0.007	0.013	0.007
Na			0.013	0.013	0.013	0.013
K	0.055		0.013		0.026	

의하여 영향을 받은 것으로 생각된다.

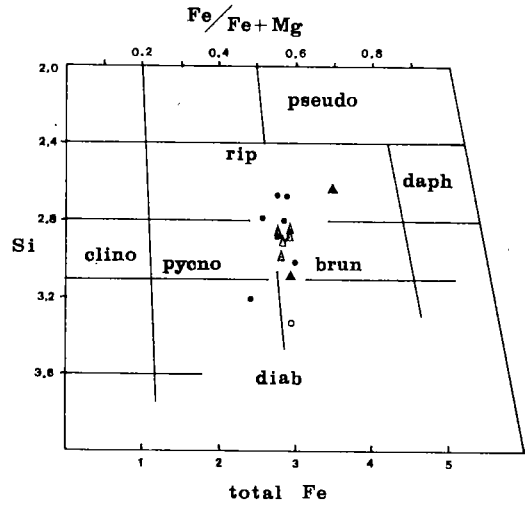


Fig. 10. Classification of chlorite according to relationship between Si, Fe/Fe+Mg and total Fe (after Hey, 1954). Symbols are same as in Fig. 5. Abb.: pseudo; pseudothuringite, rip; ripidolite, daph; daphnite, clino; clinochlore, pycno; pycnochlorite, brun; brunsvigite, diab; diabantite.

사장석

사장석은 함량의 차이는 있으나 이들 편마암류의 주구성광물이며 그 산출상태도 대단히 비슷하다. 일반적으로 심하게 건운모화작용을 받은 것과 비교적 신선한 것으로 크게 구분할 수 있으며 이들은 산출 상태나 공존광물 등에 있어서 약간의 차이를 나타낸다. 건운모화작용을 심하게 받은 것은 흑운모 등과 같은 유색광물에 의하여 교대를 받았으며, 미사장석이나 피어사이트 또는 재결정된 석영에 의하여 용식되어 있는 양상을 보이기도 한다. 이와 같은 경우 때로는 방해석이나 미르메카이트가 수반되기도 한다. 건운모화작용이 대단히 심하게 진행된 경우 건운모 군집의 바탕위에 백운모나 흑운모가 생성되어 있기도 하는데 이것은 화강암화작용에 의하여 생성된 것으로 생각되며 이것은 앞에서 설명한 바와 같다. 때로는 건운모화작용을 받은 사장석이 미사장석이나 피어사이트내에 포획되어 있기도 하는데 이때 사장석의 알바이트 쌍정면과 피어사이트내의 알바이트의 배열방향이 거의 일치하고 있는 현상을 보인다. 이와 같은 것은 사장석의 K-변성교대작용에 의하여 피어사이트가 생성된 것임을 시사한다. 때로는 건운모화된 사장석 주위에 알바이트가 성장되어 있는 것을 볼 수 있는데 이 알바이트는 변질작용을 거의 받지

Table 10. Chemical composition of plagioclase and structural formula based on sum cation=5 in biotite granitic gneiss (wt%)

	A-3		S-15			S-43	S-49	T-15		T-24
	19	7	21	27	28	13	4	13	14	77
SiO ₂	62.29	61.09	65.72	61.75	61.66	66.59	66.24	65.48	67.73	67.82
Al ₂ O ₃	23.22	24.12	19.60	23.62	24.06	20.34	20.83	22.04	19.68	19.57
FeO		0.06	0.02		0.02	0.09	0.07	0.06	0.01	0.11
MgO					0.02	0.01		0.01		
MnO			0.01		0.04	0.05	0.03		0.02	
TiO ₂	0.01		0.01	0.02	5.07	0.05	0.01		0.02	
CaO	3.81	4.90	0.28	4.70	0.27	0.78	1.36	1.50	0.10	0.06
K ₂ O	0.15	0.19	0.10	0.33	0.06	0.04	0.07	0.21	0.04	0.06
Na ₂ O	9.93	8.81	11.60	9.02	0.03	11.52	11.33	10.89	12.22	11.49
Total	99.41	99.17	97.34	99.44	100.23	99.47	99.94	100.19	99.82	99.72
Si	2.778	2.728	2.955	2.752	2.734	2.937	2.905	2.863	2.951	2.973
Al	1.222	1.272	1.045	1.248	1.266	1.063	1.095	1.137	1.029	1.027
Ca	0.222	0.272	0.045	0.248	0.266	0.063	0.095	0.137	0.029	0.027
Na	0.768	0.718	0.950	0.732	0.719	0.937	0.090	0.854	0.971	0.973
K	0.010	0.010	0.005	0.020	0.015		0.005	0.009		
An	22.2	27.2	4.5	24.8	26.6	9.5	9.5	13.7	2.9	2.7
	T-24		T-39			T-70			T-87	
	81	7	8	9	12	19	21	29	43	6
SiO ₂	68.51	61.04	59.52	67.56	65.83	65.31	60.20	65.55	67.05	59.23
Al ₂ O ₃	20.75	24.15	24.71	20.00	20.37	21.46	24.09	21.30	19.88	25.40
FeO	0.02	0.07	0.56	0.01	0.07	0.02			0.06	
MgO					0.01	0.01	0.01		0.01	
MnO		0.06	0.02	0.09		0.01	0.02	0.04		0.08
TiO ₂	0.03	0.03		0.03						
CaO	0.58	4.91	5.78	0.06	0.93	1.67	3.76	1.48	0.11	6.24
K ₂ O	0.12	0.20	0.25	0.07	0.12	0.09	0.27	0.09	0.23	0.25
Na ₂ O	11.42	0.16	8.53	12.28	11.13	10.40	8.83	11.00	11.45	7.65
Total	101.41	99.62	99.37	100.10	98.46	98.97	97.18	99.46	98.79	98.85
Si	2.940	2.721	2.679	2.956	2.928	2.890	2.724	2.890	2.964	2.660
Al	1.060	1.279	1.321	1.044	1.072	1.110	1.276	1.110	1.036	0.340
Ca	0.026	0.279	0.321	0.044	0.072	0.110	0.276	0.110	0.036	0.340
Na	0.949	0.711	0.665	0.951	0.923	0.885	0.709	0.885	0.953	0.645
K	0.005	0.010	0.014	0.005	0.005	0.005	0.015	0.005	0.011	0.015
An	2.6	27.9	32.1	4.4	7.2	11.0	27.6	11.0	3.6	34.0

않아 생성시기가 다르다는 것을 나타낸다. 이와 같은 견운모화작용은 전기석이 함유될 때 그 정도가 더 심하게 나타나는데 이것은 견운모화작용과 같은 변질작용이 주로 화강암화작용에 수반되어 일어난 것임을 시사한다. 변질작용을 거의 받지 않은 사장석은 대체로 알바이트 쌍정을 나타내며 세립이며 함량도 적은 편이다. 이와 같은 사장석들의 An성분을 알아보기 위하여 선정된 입자들에 대하여 EPMA를 이용하여 화학분석을 하였다(Table 10, 11). 화학조성

으로 부터 구조식을 구할 때 전하의 균형을 보정하여 계산하였다. 표에서 보는 바와 같이 흑운모화강암질 편마암의 경우 대체로 An10 이하이거나 An20 이상을 나타내고 있으며 한 암석내에서도 그 값이 상이하다. 즉 알바이트 또는 Ca-올리고클레이즈 내지 Na-안데신의 조성을 나타내고 있어 An성분이 다양함을 나타낸다. 그러나 미사장석-피어사이트화강암질 편마암의 경우 거의 An10에 가까운 값을 나타내고 있으며 호상흑운모편마암인 경우 An26-30까지 대

Table 11. Chemical composition of plagioclase and structural formula based on sum cation=5 in microcline-perthite granitic gneiss (A-36, S-60, T-55), and biotite banded gneiss (A-19, A-22, S-59) consisting the Hongjesa granitic gneiss (wt%)

	A-36		S-60		T-55		A-19	A-22		S-59
	13	1	11	99	116	119	21	67	70	1
SiO ₂	64.71	65.42	64.16	64.96	63.67	63.90	59.17	60.68	59.84	61.34
Al ₂ O ₃	20.63	21.24	22.41	18.98	19.57	19.92	24.04	23.84	24.15	23.87
FeO	0.07	0.03	0.13	0.04			0.05		0.11	0.05
MgO		0.01	0.01		0.01			0.01		
MnO	0.07	0.03	0.01	0.04	0.06		0.04		0.09	
TiO ₂		0.02			0.05		0.03			
CaO	0.67	1.88	2.73	0.82	1.50	2.25	5.60	5.86	5.80	4.84
K ₂ O	0.06	0.11	0.16	0.10	0.16	0.09	0.11	0.11	0.28	0.06
Na ₂ O	11.90	10.94	10.51	9.72	10.15	8.82	8.44	8.34	7.29	9.30
Total	98.11	99.68	100.12	94.66	95.17	94.97	97.48	98.84	98.19	99.49
Si	2.895	2.888	2.825	3.027	2.936	2.988	2.700	2.724	2.710	2.736
Al	1.105	1.112	1.175	0.973	1.064	1.012	1.300	1.276	1.290	1.264
Ca	0.105	0.112	0.175	0.042	0.075	0.112	0.300	0.280	0.280	0.264
Na	0.890	0.883	0.815	0.879	0.909	0.798	0.695	0.728	0.696	0.731
K	0.005	0.005	0.010	0.060	0.011	0.006	0.005	0.005	0.016	0.005
An	10.5	11.2	17.5	4.2	7.5	11.2	30.0	28.0	28.0	26.4

단히 높은 값을 보인다. 이와 같은 사장석의 An성분의 특징으로 볼 때 호상흑운모편마암은 적어도 앰피블라이트상에 가까운 광역변성작용을 받았음을 알 수 있다. 이것은 호상흑운모편마암과 화강암질편마암내에 간혹 잔류되어 있는 석류석과 흑운모나 백운모와 공존하고 있는 규선석으로부터도 추정할 수 있다. 그러나 미사장석-페어사이트화강암질편마암의 경우 알바이트가 산출되어 화강암화작용에 의하여 기존의 사장석의 화학조성이 파괴되었음을 시사한다. 이것은 화강암화작용이 충분히 진행되지 않은 것으로 생각되는 흑운모화강암질편마암내에는 알바이트와 An₃₀에 가까운 사장석이 혼재하여 있는 것으로부터도 알 수 있다. 흑운모화강암질편마암의 경우 An₁₀ 이하의 사장석은 주로 흑운모-백운모와 공존하고 있는 것이 특징적이다. 그러나 호상흑운모편마암의 경우 흑운모-백운모와 공존하고 있는 경우에도 An₂₈을 나타내고 있다. 따라서 이와 같은 사장석의 산출상태와 An성분의 다양성 등으로부터 사장석은 적어도 2회 이상에 걸쳐서 생성되었으며 화강암화작용에 의하여 심하게 변질작용을 받은 것으로 생각된다.

녹염석

화강암질편마암류에 미량이나마 흔하게 함유되어

있는 녹염석은 세립으로서 누대구조를 보이는 것도 있으며 주로 흑운모나 백운모와 함께 산출되며 특히 심하게 사장석이 견운모화작용을 받아 여기에 백운모가 생성되어 있을 때에도 이들과 공존을 하고 있는 것으로 보아 녹염석도 2회에 걸쳐 생성된 것으로 생각된다. 이러한 녹염석들은 대체로 흑운모를 교대하거나 절단하고 있는 것이 보통이다. 이들이 세립으로 산출되기 때문에 화학분석을 하기 위하여 결정들을 선정하기가 어려우나 화강암질편마암 중에서 대표적인 것으로 생각되는 암석에서 선택하여 EPMA를 이용하여 화학분석을 실시하였다(Table 12). 녹염석에 함유되어 있는 Fe는 대부분이 Fe³⁺ 상태로 존재하기 때문에 FeO로 분석된 값을 환산하여 사용하였다. 녹염석에 함유된 Fe³⁺와 Al³⁺의 함량정도를 측정하는 Ps(pistacite)값은 일반적으로 100Fe³⁺/Fe³⁺+total Al 값을 이용하나 여기에서는 Fe³⁺/Fe³⁺+Al의 값(Maruyama *et al.*, 1983; Lee and Stout, 1989)을 이용하였다. 양자간에 큰 차이는 나지 않지만 녹염석이 Si가 비포화된 경우 Al의 함량은 큰 영향을 받게 될 것이다. Table 12에서 나타난 바와 같이 녹염석의 Si값은 거의 3에 가까운 값을 나타내고 있어 이들은 Si-saturation 조건에서 생성된 것으로 생각된다. Ps값을 이에 따라 구하면 대체로 20% 미만을 보인다. 이와 같은 낮은 Ps값은 이들이 비교적 낮은 온도나 또는 fo₂ 조건하에서

Table 12. Chemical composition of epidote and structural formula based on sum cation=8 (treating Fe as Fe₂O₃) in biotite granitic gneiss (T-39) and microcline-perthite granitic gneiss (A-36, T-55) consisting the Hongjesa granitic gneiss (wt%)

	T-39		A-36		T-55	
	1	2	15	97	101	114
SiO ₂	37.62	37.20	37.99	36.81	37.83	37.83
Al ₂ O ₃	28.10	27.82	27.56	25.17	25.16	24.07
Fe ₂ O ₃	7.67	8.02	8.14	7.50	8.71	9.37
MgO	0.03	0.04	0.01			
MnO	0.16	0.07	0.07	0.17	0.61	0.01
TiO ₂	0.02	0.04	0.03	0.08	0.03	0.13
CaO	24.24	24.44	22.51	22.09	21.77	21.51
K ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Na ₂ O			0.02	0.06	0.04	0.05
Total	97.86	97.64	96.34	91.90	93.71	92.99
Si	2.932	2.911	3.019	3.071	3.105	3.138
Al ^{IV}	0.068	0.089				
Al ^{VI}	2.518	2.479	2.579	2.475	2.433	2.351
Fe	0.450	0.470	0.487	0.471	0.542	0.588
Ca	2.023	0.051	1.915	1.973	1.910	1.913
Mn	0.009			0.010	0.010	0.010
Ps	15.2	15.9	15.9	16.0	18.2	20.0

(T-39; biotite granitic gneiss, A-36, T-55, microcline-perthite granitic gneiss).

생성된 것임을 시사한다(Maruyama *et al.*, 1983). 작은 차이이지만 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암의 경우 약간 높은 Ps값을 나타내고 있는 바 이것은 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암에 함유되어 있는 흑운모나 백운모의 Fe/Mg비가 흑운모화강암질편마암보다 약간 높은 것(Fig. 5와 8, Table 4-7) 과 비교될 수 있다.

석류석

화강암질편마암류에 함유되어 있는 석류석은 전운모화작용을 받은 사장석을 교대하며 1차적으로 생성된 것으로 생각되는 흑운모나 백운모와 공존을 하고 있다. 그러나 이들은 심하게 균열되어 있으며 이 틈들을 따라 다시 흑운모, 백운모, 또는 녹니석으로 2차적으로 변질되어 있어 흔적만이 찾아 볼 수 있는 경우가 많다. 이러한 석류석은 일반적으로 등방성을 나타내며 누대구조를 나타내지 않는다. 따라서 석류석은 화강암화작용 이전의 광역변성작용에 의하여 생성되어졌으며 후기의 화강암화작용에 의

Table 13. Chemical composition and structural formula based on sum cation =8 of garnet in biotite granitic gneiss consisting the Hongjesa granitic gneiss (wt%)

	T-77		
	2 8	3 0	3 1
SiO ₂	36.14	37.43	37.68
Al ₂ O ₃	20.08	20.83	21.00
FeO	31.86	32.30	32.93
MgO	1.56	1.98	1.88
MnO	8.06	6.30	6.67
CaO	0.92	0.86	0.87
K ₂ O		0.01	
Na ₂ O	0.09	0.07	
Total	99.42	99.70	101.02
Si	2.962	3.050	3.033
Al ^{IV}	0.038		
Al ^{VI}	1.937	2.998	2.993
Fe	2.184	2.193	2.215
Mg	0.192	0.240	0.227
Mn	0.562	0.436	0.455
Ca	0.097	0.073	0.077
Na	0.010		
Al	72.39	74.54	74.48
Py	6.36	8.16	7.63
Sp	18.63	14.82	15.30
Gr	2.62	2.48	2.59

(Al; almandine, Py; pyrope, Sp; spessartine, Gr; grossular).

하여 거의 파괴되어 현재는 소량만이 잔존되어 있는 것으로 생각된다. 이것은 잔존되어 있는 석류석들도 심하게 깨어져 있을 뿐만 아니라 틈이나 결정 외연을 따라 백운모나 녹니석, 또는 전운모로 심하게 변질되어 있는 것으로 부터 알 수 있다. 이들 중에서 비교적 큰 결정으로 남아 있는 암석에서 하나의 결정을 선정하여 화학분석을 실시하여 Table 13에 표시하였다. 표에서 보는 바와 같이 석류석은 한 결정내에서 위치에 관계없이 거의 비슷한 화학조성을 나타내고 있다. 그리고 Si-saturation 조건에서 생성되어진 것임을 나타내며 주로 Fe가 풍부한 알만딘(almandine)에 해당되는 것으로 생각된다. 이와 같은 Fe가 풍부한 조건이라는 것은 흑운모, 백운모 및 녹니석 등의 Fe/Fe+Mg비가 대부분이 0.5 이상인 것과 일치하는 현상이다. 또 다른 광물들이나 모암의 Mn함량이 대단히 적은 것에 비하여 석류석은 비교적 많은 Mn을 함유하고 있어 스페사틴(spessartine) 성분이 14.82-18.63%가 함유되어 있음을 나타낸다.

따라서 석류석들은 알만딘-스페사틴(almandine-spessartine) 고용체 상태의 것임을 나타낸다.

공존광물의 상평형

홍제사화강암질편마암류와 호상흑운모편마암을 이루는 중요한 유색광물 중 흑운모, 백운모, 그리고 녹니석은 흔히 공존하거나 서로 교대 또는 변질관계를 나타내며 산출되고 있다. 이들은 광역변성작용과 화강암화작용에 의하여 생성되었거나 영향을 받은 것들이다. 따라서 이들 중에서 공존하는 광물들 사이의 화학적 평형관계를 규명하여 이들의 생성과정에 대하여 살펴보고자 한다. 흔하게 관찰되는 공존관계는 흑운모-백운모와 백운모-녹니석이며 이들의 화학적 평형관계를 광물구조식의 원소의 수를 이용하여 알아 보았다. 세 광물들 사이의 공존관계 중 흑운모-녹니석은 흔하게 관찰되나 대부분이 벽개면을 따라 교호하며 발달하거나 녹니석이 완전한 결정을 이루지 않고 흑운모의 변질물로 산출되기 때문에 주로 흑운모-백운모 그리고 백운모-녹니석 사이의 평형관계를 중심으로 규명해 보고자 한다. 공존광물들 사이의 관계는 크게 1차 생성의 공존, 2차 생성의 공존, 그리고 변질 내지 교대관계를 나타내고 있으며 이들은 그림들에서 각각 실선, 점선, 그리고 끊어진 선들로써 표시되어 있다. 따라서 이들 점들의 위치와 연결선 사이의 특징들로 부터 공존광물들 사이의 화학적 평형관계를 알 수 있을 것으로 생각된다.

흑운모-백운모

공존하고 있는 흑운모와 백운모 사이의 Al, Mg, 그리고 Fe 사이의 치환관계와 K의 변화양상을 알아 보기 위하여 Al-K-Fe 3성분계에 표시하여 보았다 (Fig. 11). Fig. 11에서 보는 바와 같이 흑운모화강암질편마암내의 흑운모와 백운모는 상호관계에 관계없이 거의 비슷한 화학적 공존양상을 나타낸다. 1차 생성 흑운모는 세 성분들이 모두 비교적 넓은 범위에 걸쳐서 변화되는 반면에 백운모는 몇 점들을 제외하고는 거의 비슷한 값들을 갖는다. 2차 생성의 흑운모는 대체로 Al비가 낮으나 백운모는 제일 낮거나 또는 높은 편으로 구분되어진다. 따라서 전체적으로 볼 때 변질쌍들이 높은 Al-낮은 K비를, 그리고 2차 생성쌍들이 낮은 Al-높은 K비를 나타낸다.

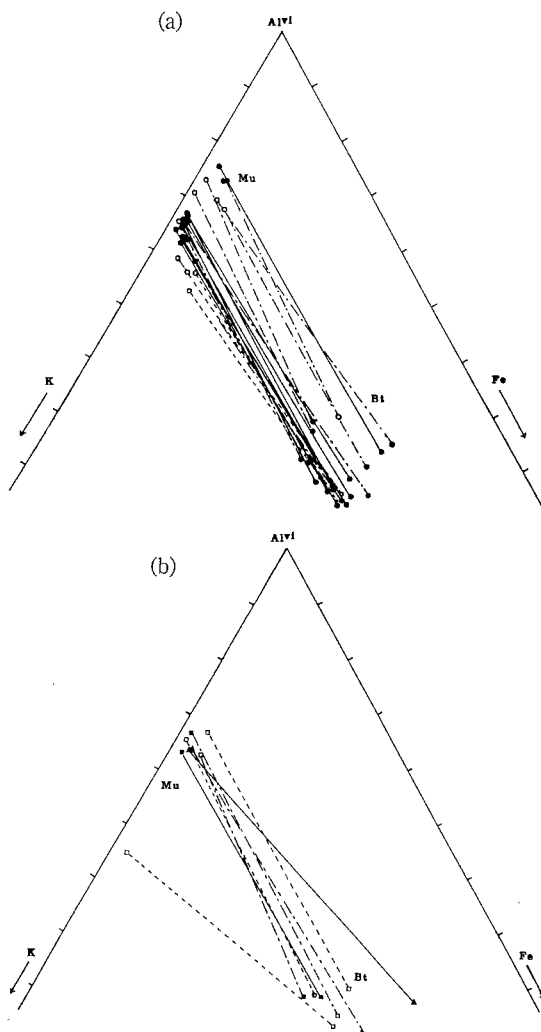


Fig. 11. Variation in the $Al^{(IV)}$ -K-Fe system in the structural formula for coexisting biotite (Bt) and muscovite (Mu) in the (a) biotite granitic gneiss and (b) microcline-perthite granitic gneiss and biotite banded gneiss.

그러나 2차 생성 흑운모는 약간 낮은 비를 가짐으로 1차 및 2차 생성쌍들의 연결선이 약간 사교하는 결과를 가져온다. 이와 같은 것은 동시에 생성되었을 때에는 흑운모의 Al, Fe와 백운모의 Si, Mg 사이의 치환이 비교적 안정되게 진행되었으나 변질이나 교대에 의한 경우 그러하지 못하였음을 시사한다. 이것을 미사장석-페어사이트화강암질편마암의 것과 비교하여 보면 자료의 수가 적지만 미사장석-페어사이트화강암질편마암의 흑운모는 보다 높은 Fe비를 나타내나 백운모는 흑운모화강암질편마암의 것과 세

성분 사이의 비가 거의 같다. 따라서 두 화강암질 편마암은 흑운모-백운모 공존인 경우 상기의 치환이 같은 양상으로는 진행되지 못하였음을 나타내며 이것은 화강암화작용의 영향에 의한 것이 아닌가 생각된다. 이와 반면에 호상흑운모편마암은 하나의 2차 생성쌍을 제외하고는 공존하는 경우 모든 경우에 연결선이 대체로 평행하여 상기의 치환이 매우 안정되게 진행되었음을 나타낸다. 호상흑운모편마암의 흑운모는 흑운모화강암질편마암의 비교적 높은 Fe 비를 보이는 것과 비슷하며 백운모는 거의 같은 값을 보인다. 또 상기한 Al, Fe, 그리고 Mg 사이의 평형 관계는 $Al^{IV}-Al^{VI}-(Mg+Fe)$ 성분 사이의 변화양상에서도 잘 나타난다(Fig. 12). Fig. 12a에서 보는 바와 같이 흑운모화강암질편마암의 흑운모는 생성양상에 관계없이 매우 비슷한 성분비를 나타내나 백운모는 넓은 범위로 변화하고 있음을 알 수 있다. 대체로 Al^{VI} 비가 높은 흑운모가 역시 Al^{VI} 비가 높은 백운모와 공존하는 양상을 보이거나 Fe+Mg비는 어떤 경향을 나타내지 않는다. 그러나 각각의 공존쌍들 끼리는 비슷한 평형관계를 보이거나 생성양상이 다른 쌍들끼리는 연결선들이 사교하는 것으로 보아 생성과정에 있어서 이들 성분들 사이의 평형관계가 일치하게 유지되지는 않았음을 나타낸다. 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암과 호상흑운모편마암은 각각 공존 양상에 관계없이 거의 일정한 평형관계를 보인다(Fig. 12b). 일반적으로 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암과 호상흑운모편마암의 백운모는 흑운모화강암질편마암의 것과 백운모 중 낮은 Al^{VI} 의 것들과 비슷한 값을 갖는다. 흑운모의 경우 흑운모화강암질편마암의 것들이 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암과 호상흑운모편마암 것들 보다 대체로 Al^{VI} 비가 낮으며 Fe+Mg비는 약간 높은 편이다. 이는 생성 시기와 양상에 따라 주위의 환경이 약간 다름을 나타낸다. 이러한 현상은 Fig. 11에서의 결과와 매우 비슷함을 알 수 있다.

Fig. 13은 공존하는 흑운모와 백운모 사이의 Al, Fe, 그리고 Mg 사이의 변화량과 치환관계를 나타내고 있다. Fig. 12a에서 보는 바와 같이 흑운모화강암질편마암의 흑운모는 Al의 변화량 보다 Fe-Mg 사이의 변화폭이 더 크나 생성시기에 따라 뚜렷한 차이는 나타나지 않는다. 그러나 백운모의 경우 Fe/Mg비는 거의 변화가 없으나 Al의 비는 많은 변화를 보인다. 특히 1차 생성의 것과 2차 생성의 것이 Al의 함량비가 큼을 알 수 있다. 즉 1차 생성의 백운모가

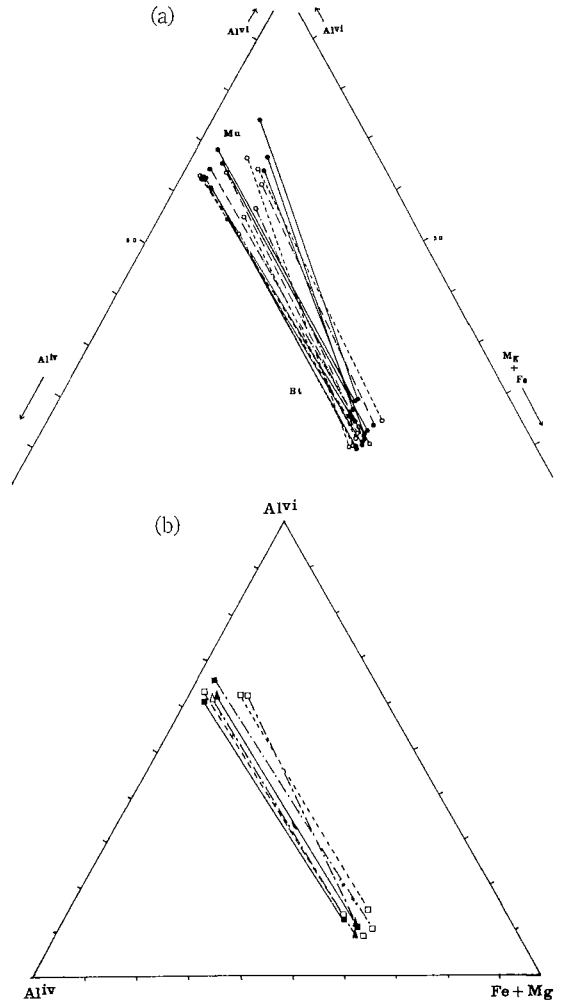


Fig. 12. Variation in the $Al^{IV}-Al^{VI}-(Fe+Mg)$ system in the structural formula for coexisting biotite and muscovite in the (a) biotite granitic gneiss and (b) microcline-perthite granitic gneiss and biotite banded gneiss. Symbols are same as in Fig. 5.

더 Al이 풍부하며, 2차 생성의 백운모는 몇 개를 제외하고는 대체로 낮은 Al함량비를 나타낸다. 이것은 1차 생성시 백운모는 대체로 Al이 포화된 환경에서, 그리고 2차 생성시 Si가 포화된 환경에서 생성되어진 것임을 시사한다. 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암인 경우 Fig. 13b에서 보는 바와 같이 생성시기에 관계없이 거의 같은 성분비를 나타내며 흑운모는 다른 것들 보다 높은 Fe/Mg비를 나타내는데 이것은 흑운모의 화학적 특징에서 나타난 바와 같다. 백운모의 경우 Al이 대단히 풍부한 환경이었

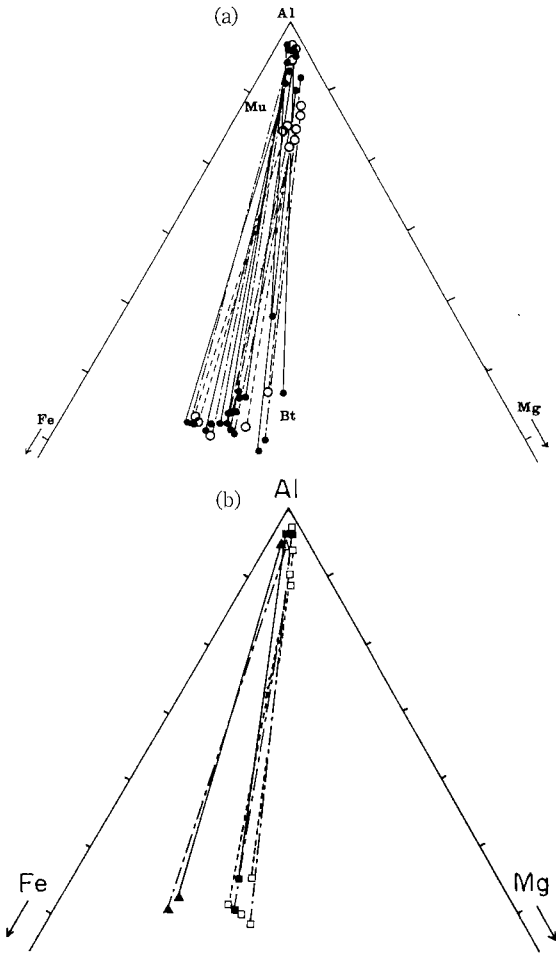


Fig. 13. Variation in the Al-Fe-Mg system in the structural formula for coexisting biotite (Bt) and muscovite (Mu) in the (a) biotite granitic gneiss and (b) microcline-perthite granitic gneiss and biotite banded gneiss. Symbols are same as in Fig. 5.

음을 시사한다. 호상흑운모편마암의 경우 흑운모는 거의 비슷한 함량비를 보이거나 백운모는 흑운모화강암질편마암에서와 같이 2차 생성의 것들이 보다 낮은 Al함량비를 갖는다. 그러나 이들을 흑운모화강암질편마암의 백운모와 비교하면 높은 Al비를 갖는 것과 일치함을 알 수 있다. 이들 사이의 성분의 변화양상을 보면 1차 생성쌍의 경우 낮은 Fe비의 백운모와 공존하고 있다. 따라서 1차 생성쌍의 연결선이 더 급한 경사를 보이거나 각 흑운모와 백운모의 분포범위가 대단히 좁기 때문에 이와 같은 양상을 특징적이라고 하기는 어렵다. 특히 위에서 설명한 바와 같이 Fe와 Mg의 비는 큰 변화를 나타내지 않고 Al의 변화만을

보이고 있기 때문에 연결선들이 어떤 경향성을 나타내고 있다고 하기는 어렵다. 그러나 2차 생성쌍인 경우 암상에 관계없이 연결선들이 각각 거의 평행하나 1차 생성쌍인 경우 암상에 따라, 그리고 암석에 따라 약간 사교하는 현상을 알 수 있다. 따라서 이것은 적어도 Fe=Mg 치환관계에서 볼 때 1차 생성쌍은 불안정한 환경이거나 전체적으로 동일한 조건이 아니며 또는 원래의 화학조성이 매우 다양한 것에 기인하는 것이 아닌가 생각된다. 그러나 화강암화작용에 수반되어진 것으로 생각되는 2차 생성쌍은 비교적 안정된 환경에서 생성되어진 것으로 생각된다.

백운모-녹니석

공존하고 있는 백운모와 녹니석 사이의 Al, Fe 그리고 Mg 사이의 평형관계를 알아보기 위하여 AFM계에서 분포상태를 살펴보았다. Fig. 14에서 보는 바와 같이 흑운모화강암질편마암의 녹니석은 대단히 좁은 범위내에 모여 있으며 생성시기나 산출상태에 따라서도 큰 차이를 보이지 않는다. 그러나 미사장석-퍼어사이트화강암질편마암의 녹니석은 Al의 함량비는 비슷하나 Fe의 함량비가 조금 높다. 호상흑운모편마암은 흑운모화강암질편마암의 것과 대단히 비슷하여 1차 또는 2차 생성에 따른 어떤 차이가 인지되지 않는다. 백운모의 경우는 2차 생성의 것이 1차 생성의 것보다 Al의 비가 높거나 또는 낮은 양상을 보인다. 이와 같은 Al함량비의 특징은 Fig. 12와 비교하여 볼 때 흑운모와 공존하고 있는 것과도 비슷한 현상이다. 백운모의 Fe와 Mg의 함량비는 Al과는 관계없이 변화하고 있다. 그러나 Al의 함량비를 보면 Al이 풍부한 녹니석은 Al이 풍부한 백운모와 공존하고 있음을 알 수 있다. 이것은 공존하고 있는 백운모와 녹니석 사이에 $2FM, Al=Al, Si$ 및 $Fe=Mg$ 치환에 의하여 이들의 화학조성이 규제되어졌음을 시사한다. 그러나 이러한 치환이 충분히 안정되게 진행된 것은 아니라고 생각한다. 그것은 공존하고 있는 광물쌍의 연결선이 약간씩 사교하고 있으며 또 녹니석의 Fe성분비가 증가해 감에 따라 백운모는 증가하다가 다시 감소하는 양상을 나타내기 때문이다. 이러한 양상은 산출상태나 공존양상, 그리고 생성시기에 따라 어떤 차이가 일어난 것이라기 보다는 생성당시의 온도나 압력 등 환경에 의하여 지역적으로 다른 평형관계를 나타내게 된

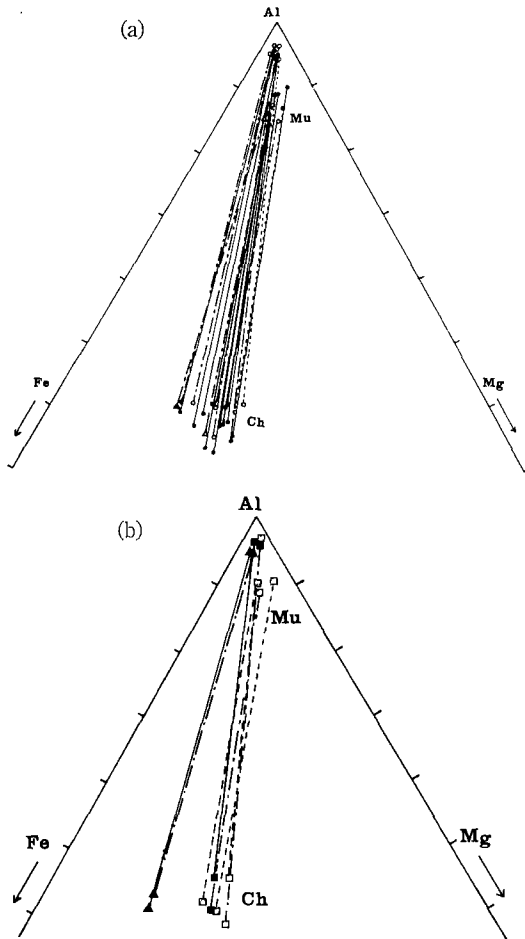


Fig. 14. Variation in the Al-Fe-Mg system in the structural formula for coexisting chlorite (Ch) and muscovite (Mu) in the (a) biotite granitic gneiss and (b) microcline-perthite granitic gneiss (square). Symbols are same as in Fig. 5.

것이라고 생각된다.

변성작용 및 변성상

홍제사화강암질편마암체를 이루는 주 암상인 흑운모화강암질편마암과 미사장석-피어사이트화강암질편마암은 앞에서 설명한 바와 같이 광물들의 함량에는 차이가 있지만 구성광물의 종류나 광물들 상호관계는 거의 비슷하다. 이들을 이루는 주구성광물은 흑운모, 백운모, 녹니석, 사장석, 미사장석, 피어사이트 및 석영이며, 부성분광물로는 녹염석, 스피, 인회석, 방해석, 미르메카이트 및 불투명광물이다.

그리고 규선석, 석류석, 및 전기석이 국부적으로 산출된다. 이들은 전기석을 제외하고는 변성작용에 의하여 생성되었던 것으로 생각되며, 특히 흑운모, 백운모 및 녹니석, 그리고 미사장석, 피어사이트 등의 산출상태와 사장석의 견운모화작용의 정도와 An 성분 등이 상이하게 나타남으로 이들이 생성시기가 다르다는 것을 시사하는 것으로 생각된다. 특히 흑운모, 백운모, 그리고 녹니석들은 서로 공존, 교대, 그리고 변질되어 있는 양상을 보이고 있어 이들이 적어도 2회 이상의 시기에 걸쳐 생성되었음을 나타낸다. 두 암상은 여러 광물군집을 나타내고 있으나 그 생성시기에 있어 가장 오래된 것으로 생각되는 대표적인 군집은 (1) 흑운모-녹니석-백운모-규선석-사장석(An30)-석영, (2) 흑운모-녹니석-백운모-석류석-사장석(An30)-석영, 그리고 (3) 흑운모-규선석-사장석(An30)-석영이며 이들은 녹염석이나 불투명광물 등을 수반하기도 한다. 이와 같은 광물군집은 주로 흑운모화강암질편마암에 나타나며 여기에 미사장석과 피어사이트가 증가함에 따라 흑운모, 녹니석, 백운모, 그리고 사장석 등이 변질되어 있으며 녹염석, 인회석, 미르메카이트 등이 잘 수반된다. 이러한 변질작용에 의하여 흑운모로부터 백운모나 녹니석이, 그리고 녹니석이나 백운모 및 사장석으로부터 견운모 등이 생성되어 있다. 심하게 견운모화작용을 받은 사장석이 피어사이트내에 잔류되어 있기도 하는데 이러한 것은 사장석의 K-변성교대작용에 의하여 피어사이트가 생성되었던 것임을 나타낸다(Lee, 1979, 1980; Lee and Stout, 1989). 이렇게 생성된 백운모나 녹니석은 다시 흑운모에 의하여 교대되어 있으며, 또 흑운모도 벽개면이 없으며 갈색 내지 암갈색을 띄는 흑운모에 의해 다시 교대되어 있다. 즉 새로운 흑운모-백운모-녹니석 등이 생성되어 처음의 것들과 함께 산출되고 있다. 때로는 사장석이 심하게 견운모화되어 있는 부분에 판상의 백운모나 흑운모가 생성되어 있는 것 등은 이들이 적어도 미사장석이나 피어사이트 보다 뒤에 생성되었던 것임을 나타낸다. 이러한 생각은 전자의 것들이 심하게 변형되어 있기도 하며 때로는 후자의 것들보다 더 심한 파동소광을 나타내고 있는 것으로부터도 시사되어진다. 또한 이들과 공존하고 있는 사장석의 An성분도 상이하다. 즉 전자들과 공존하는 사장석은 대체로 An25-30까지 변화하며 후자는 대체로 An10 이하로 견운모화작용을 거의 받지 않은 알바이트로 되어 있다. 이와 같은 양상은 사장석도

전자는 미사장석-피어사이트 생성 이전에, 그리고 후자는 그 이후에 새로운 흑운모 등과 함께 생성되어진 것임을 시사한다. 상기한 바와 같이 변성광물 군집 등으로 볼 때 이들은 적어도 3회에 걸쳐 형성되어졌음을 시사한다. 즉 광물군집 (1), (2) 및 (3)은 최초의 변성작용에 의하여 생성되어졌으며 이것들은 다시 미사장석이나 피어사이트 등을 생성시킨 화강암화작용에 의하여 거의 대부분이 파괴되어진 것으로 생각된다. 그 후기에 다시 흑운모, 백운모, 녹니석, 그리고 An₁₀ 이하의 사장석들을 생성시킨 광역변성작용이 이들에 영향을 준 것으로 생각된다. 그러나 두번째의 광역변성작용이 1차의 광역변성작용보다 그 정도가 약한 것으로 생각되며 따라서 1차의 흑운모가 약간 변성되거나 백운모나 녹니석으로 부터 흑운모가 생성되어진 정도라고 생각된다. 1차의 광역변성작용의 정도는 엠피블라이트 내지 상부엠피블라이트변성상에, 그리고 후자는 녹염석-엠피블라이트 내지 녹색편암상에 해당되어지는 것으로 생각된다. 이와 같은 결과는 Kim *et al.*(1986)의 연구결과와 일치한다. Kim *et al.*(1986)은 홍제사화강암질암체와 이들에 잔류되어 있는 편암류와 편마암류들이 선캠브리아기에 3회에 걸쳐 변성작용을 받았으며 홍제사화강암질암체는 니질기원의 암석이 부분용융에 의하여 생성되어졌다고 하였다. 그리고 이러한 부분용융에 의한 작용 이후에 다시 광역변성작용이 가해졌다고 하여 본 연구와 일치하고 있다.

화강암화작용

홍제사화강암질암체는 화학조성의 특징과 Sr의 초생치 등에 의한 연구결과 (Kim *et al.*, 1986; 김용준, 이대성, 1983; Na and Lee, 1978; Chang *et al.*, 1988)에 의하여 니질기원의 암석이 부분용융에 의하여 생성되어졌다고 하였다. 이와 같은 부분용융은 광역변성작용이 진행되어감에 따라 H₂O의 압력이 3.5 kb 이상인 경우 초변성작용의 결과로(Winkler, 1979) 일어나게 된다. 특히 니질기원의 암석인 경우 부분용융이 진행되어 감에 따라 탈수화작용과 CO₂나 CH₄와 같은 휘발성 물질이 광물들로 부터 빠져나오게 되며 용융되어진 물질들은 화강암질 조성을 띠게 된다(Mysen *et al.*, 1976). 또한 Lappin과 Hollister(1980)에 의하면 흑운모+사장석(An₂₈)+석영=각섬석+사장석(An₃₂)+스핀 반응에 의하여, 그리고 Kenah와 Hollister(1983)는 흑운모+사장석₁+석영

=커밍토나이트+사장석₂+일메나이트의 반응에 의하여서도 화강암질 물질이 생성되어질 수 있다고 하였다. 또한 Thompson(1982)에 의하면 흑운모+규선석+석영=코디에라이트+K-장석+H₂O의 반응에 의하여서도 부분용융이 일어날 수 있음을 시사하였다. 일반적으로 니질기원의 암석이 부분용융에 의하여 영향을 받게 되면 그 정도에 따라 미그마타이트 등의 단계를 거치면서 기존의 암석들이 잔류되는 경우가 많으나(Atherton and Gribble ed, 1983) 홍제사화강암질편마암체의 경우 원암의 잔류나 미그마타이트의 발달이 거의 없으며 대부분이 화강암질 암상을 나타내고 있어 화강암화작용이 매우 오랫동안 전지역에 걸쳐 진행되어진 것으로 생각된다. 그리고 K성분이 국부적으로 많이 작용을 한 경우 미사장석-피어사이트화강암질편마암상을 나타내게 된 것으로 생각된다. 지역적으로 페그마타이트 맥에 함유되어 나오는 전기석 등이 화강암화작용에 수반되어진 것이라면 부분용융에 의하여 생성된 화강암질 물질에는 많은 양의 휘발성 물질이 함유되어져 있었을 것으로 생각되며 이것은 홍제사화강암질편마암체를 형성시킨 화강암화작용은 습한조건(wet condition)이었음을 시사한다. 이것은 많은 사장석이 심하게 견운모화작용을 받은 것과 흑운모, 백운모 및 녹니석 등이 벽개면이나 결정 외연을 따라 많이 변질되어 있는 현상 등에 의해서도 시사되어진다고 생각된다. 또한 거의 대부분의 흑운모, 백운모, 그리고 녹니석 등이 화학조성에 있어서 큰 차이를 나타내지 않고 있는 것 등은 화강암화작용에 의하여 원소들의 재배치가 안정되게 진행되어졌음을 나타낸다고 생각된다.

결론

- 1) 홍제사화강암질암체는 주로 흑운모화강암질편마암과 미사장석-피어사이트화강암질편마암으로 구성되어 있으며, 국부적으로 소규모로 여러 화강암질편마암상이 발달되어 있는 화강암질편마암복합체로 분류할 수 있다.
- 2) 화강암질편마암류들을 이루는 주구성광물은 흑운모, 백운모, 녹니석, 사장석, 미사장석, 피어사이트 및 석영 등이며 녹염석, 인회석, 미르메카이트, 방해석, 불투명광물들이 소량 함유된다. 국부적으로 규선석, 석류석, 그리고 전기석이 산출된다.
- 3) 흑운모, 백운모 및 녹니석의 화학조성은 암상과

생성시기에 관계없이 각각 거의 비슷하며 공존하는 광물들 사이의 화학적 평형관계도 거의 안정되어 있는 것이 특징이다.

4) 홍제사화강암질편마암복합체는 적어도 3회 이상에 걸쳐 변성작용을 받았다. 즉 1차로 상부앰피볼라이트의 광역변성작용을, 그리고 이에 수반되어진 것으로 생각되는 부분용융에 의한 화강암화작용이 광범위하게 일어났으며, 그 후에 다시 녹염석-앰피볼라이트 내지 녹색편암상에 해당되는 광역변성작용이 일어난 것으로 생각된다.

5) 화강암질편마암복합체를 형성시킨 화강암화작용은 광역변성작용에 수반된 부분용융에 의하여 일어난 것으로 생각되며 이것은 광범위하게 비교적 오랜 기간에 걸쳐 안정되게 진행된 것으로 생각된다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단에서 1988-1991년 사이에 목격기초연구로 지원한 “강원도 태백일대의 지구조 및 암석학적 연구”의 “기저 변성복합체 연구”의 일부분을 밝혀 두며 과학재단에 감사한다. 그리고 야외조사시 많은 도움을 준 최기주 석사와 이종선 석사에게도 감사의 말을 전한다. 초고를 세심하게 읽고 유익한 비평을 해주신 나기창 교수와 익명의 심사위원께 감사드립니다.

참고문헌

- 김용준, 이대성, 1983, 석포-덕구간에 분포하는 소위 홍제사화강암의 지질 연대와 생성과정에 대한 연구. 광산지질, 16-3, 163-221.
- 손치무, 김수진, 1963, 1:50,000 춘양도폭설명서. 지질조사소.
- 윤석규 외, 1967, 1:50,000 장성도폭설명서. 지질조사소.
- Atherton, M.P. and Gribble, C.D. (ed.), 1983, Migmatites, melting and metamorphism. Shiva Pub. Ltd.
- Brown, E.H. 1968, The Si^{4+} content of natural phengite; A discussion. Contrib. Mineral. Petrol., 17, 78-81.
- Chang, H.W., Lee, M.S. and Lee, J.M., 1988, The origin of geochemical variations in the Hongjesa Granite Gneiss. J. Geol. Soc. Korea, 24-4, 500-510.
- Foster, M.D., 1962, Interpretation of the composition and a classification of the chlorite. Geol. Surv. Prof. Paper, 414-A, A1-A33.
- Guidotti, C.V., 1984, Mica in Metamorphic Rocks. ed. Bailey, Reviews in Mineralogy. Vol. 13, M.S.A., 357-468.
- Guidotti, C.V., Cheney, J.T. and Conatore, P.D., 1975, Interrelationship between Mg/Fe ratio and octahedral Al content in Biotite. Am. Mineral., 60, 849-853.
- Hey, M.H., 1954, A new review of the chlorites. Mineralog. Mag., 30, 277-292.
- Hong, Y.K., 1985, Petrogenesis of the Proterozoic Granitic Rocks on the Buncheon-Seogpo area. J. Geol. Soc. Korea, 21-3, 196-209.
- 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.
- Kenah, C. and Hollister, L.S., 1983, Anatexis in the Central Gneiss Complex, British Columbia. in Atherton & Gribble ed., Migmatites, melting and metamorphism, Shiva Pub. Ltb., 142-162.
- Kim, H.S., Lee, S.M., Lee, B.N., 1986, Petrogenesis of the Hongjesa Granitic Gneiss in the Eastern Part of Mt. Taebaeg Area, Korea. Memoirs for Prof. S.M. Lee's 60th Birthday, 107-132.
- Lappin, A.R. and Hollister, L.S., 1980, partial melting in the Central Gneiss Complex near Prince Rupert, British Columbia. Am. J. Sci., 280, 455-479.
- Lee, S.H., 1979, 1980, Ore petrological studies on the genesis of the Metamorphic Iron deposits in the Southern Korea, with special reference to the Yangyang, Pocheon and Chungju Iron Deposits, Part II, Geochemistry. J. Geol. Soc. Korea, 15-4, 267-281; Part III, Genesis, J. Geol. Soc. Korea, 16-1, 61-72.
- Lee, S.H., 1987, Comparison of phase relationship of the host rocks and magnetite ore deposits in the Yangyang Iron Deposits, Korea. J. Geol. Soc. Korea, 23-3, 242-256.
- Lee, S.H. and Stout, J.H., 1989, Phase equilibria of coexisting minerals from amphibolites and syenitic rocks in the Yangyang Magnetite Deposits, Korea. J. Geol. Soc. Korea. 25-4, 365-380.
- Maruyama, S., Suzuki, K. and Liou, J.G., 1983, Greenschist-amphibolite transition equilibria at low pressures. J. Petrol., 24, 583-604.
- Mysen, B.O., 1976, Carbon dioxide in silicate melts and crystals. I. solubility measurements. Am. J. Sci., 276, 455-545.
- Na, K.C. and Lee, D.J., 1978, Petrological study of Hongjesa Granite. J. Geol. Soc. Korea, 14-3, 103-112.
- Speer, J.A. 1984, Micas in Igneous Rocks, (ed. Bailey) Reviews in Mineralogy, Vol. 13, M.S.A., 299-356.
- Thompson, A.B., 1982, Dehydration melting of pelitic rocks and the generation of H_2O -undersaturated granitic liquids. Am. J. Sci., 282, 1567-1595.
- Winkler, H.G.F., 1979, Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag.
- Zoltai, T. and Stout, J.H., 1984, Mineralogy, Burgess.

(책임편집 : 나기창)

Petrogenesis of the Hongjesa granitic gneisses and chemical equilibrium of coexisting biotite, muscovite and chlorite

Sang Hun Lee

Department of Geology, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea

ABSTRACT : The Hognjesa granitic rocks can be subdivided into biotite granitic gneiss and microcline-perthite granitic gneiss according to their mineralogy and textures, which change gradationally each other. They consist mainly of biotite, muscovite, chlorite, microcline, plagioclase, perthite and quartz accompanied with sillimanite, garnet, and tourmaline in places. The replacement and/or alteration phenomena and relationships of coexisting minerals suggest that the granitic gneisses might be formed by regional metamorphism of upper amphibolite facies and granitization by partial melting accompanied to the regional metamorphism, and again at later effected by regional metamorphism of epidote-amphibolite or greenschist facies. The biotite, muscovite and chlorite formed during these metamorphism, show nearly similar chemical compositions, respectively, regardless to the rock phases and stages of formation. They show relatively stable chemical equilibrium between coexisting pairs. The granitization which formed granitic gneisses may be seemed to occur regionally by partial melting accompanied to the first regional metamorphism.

Key Words : biotite granitic gneiss, microcline-perthite granitic gneiss, regional metamorphism, granitization, chemical equilibrium