



2009년 2월 교육학석사(지구과학)학위논문

# 소백산육괴 장수지역에 분포하는 편마암류의 변성암석학적 연구

조선대학교 교육대학원 지구과학교육전공 손 정 모

## 소백산육괴 장수지역에 분포하는 편마암류의 변성암석학적 연구

Metamorphism of gneisses in the Jangsu area of the Sobaeksan Massif

2009년 2월

조선대학교 교육대학원 지구과학교육전공 손 정 모

### 소백산육괴 장수지역에 분포하는 편마암류의 변성암석학적 연구

지도교수 안건상

이 논문을 교육학석사(지구과학)학위 청구논문으로 제출합니다.

2008년 10월

조선대학교 교육대학원

지구과학교육전공

손 정 모

### 손정모의 교육학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장 조선대학교 교수 신 인 현

심사위원 조선대학교 교수 박 천 영

심사위원 조선대학교 교수 안 건 상

2008년 12월

### 조선대학교 교육대학원

List of Table	vi
List of Figures	vii
Abstract	ix

Ι.	서론	1
Π.	일반지질	5
Ш.	암석기재	7
IV.	광물화학	23
ν.	지온지압계	37
VI.	해석 및 토의	46
VII.	결론	47
VIII.	참고문헌	48

#### List of Tables

1. Geological sequences in the study area

2. Mineral assemblages of the samples selected for EPMA.

3. Representative compositions of garnet from gneiss of the Jangsu area

4. Representative compositions of biotite from gneiss of the Jangsu area

5. Representative compositions of plagioclase from gneiss of the Jangsu area

6. P-T estimates for gneisses of the Jangsu area.

#### List of Figures

1. The geology map of the Jangsu area.

2. The geology map of the Jangsu area showing sample location.

3. Photograph of the biotite gneiss in the Jangsu area as observed in the field.

4. Photograph of the porphyroblastic gneiss & leucocratic gneiss in the Jangsu area as observed in the field.

5. Photograph of the foilated coarse grained granite in the Jangsu area as observed in the field.

6. Photograph of the foilated granodiorite in the Jangsu area as observed in the field.

7. Photograph of the foilated porphyritic granite in the Jangsu area as observed in the field.

8. Photograph of the coarse grained granite in the Jangsu area as observed in the field.

9. Photograph of the hornblendite in the Jangsu area as observed in the field.

10. The compositions of garnets from the gneisses of the Jnagsu area in the Mg-Fe-(Ca+Mn) ternary diagram.

11. The compositional profile of garnet from the gneisses of the Jangsu area(MJ-8).

12. The compositional profile of garnet from the gneisses of the Jangsu area(MJ-133).

13. The compositional profile of garnet from the gneisses of the Jangsu area(MJ-137).

14. The compositional profile of garnet from the gneisses of the Jangsu area(MJ-137).

15. The composition of biotite from gneisses of the Jangsu area in Al  $^{\rm W}\text{-}X_{\rm Fe}$  diagram.

16. The compositions of plagioclase from the gneiss of the Jangsu area in the Or-Ab-An ternary diagram.

17. The P-T conditions of the gneisses in the Jangsu area.

18. P-T-t path of the study area deduced from the metamorphic conditions of the gneisses of the Jangsu area.

#### ABSTRACT

#### Metamorphism of gneisses in the Jangsu area of the Sobaeksan Massif

Son, Jeong Mo Advisor : Prof. Ahn, Kun Sang Major in Earthscience Education Graduate School of Education, Chosun University

We have analyzed garnet, biotite and plagioclase among precambrian gneisses through the EPMA analysis technique, and calculated the metamorphic temperature and pressure accordingly. The metamorphic temperature was estimated by the average of values from the garnet and biotite formulas, and the metamorphic pressure by value of the Hoisch(1990) geopressured on garnet-biotite-plagioclase.

The mineral sample we examined shows garnet-biotite-plagioclasequartz composite and garnet-plagioclase-orthoclase-quartz composite. Garnet shows almandine-pyrope solid solution in general, while porphyroblastic gneiss shows almandine-grossluar solid solution. The fact that the abundances, observed by garnet profile, are almost identical in both the central region and the outer region indicates that the crystal was developed uniformly. There is almost negligible variance in biotite on metamorphic grade, and andesine is observed in plagioclase.

The metamorphic temperature and pressure from EPMA analysis and its indications are as follows: the middle-temperature, high-pressure metamorphosis (T $\approx$ 500-650°C and P $\approx$ 6.9-10kbar) ensued in the beginning, and then was followed by the two-phase high-temperature, middle-pressure retrograde metamorphism, first under T $\approx$ 592-737°C, P $\approx$ 4.0-6.9kbar and later under T $\approx$ 600-740°C, P $\approx$ 2.7-5.9kbar. 본 연구는 선캠브리아대 편마암류 암석들에서 석류석, 흑운모, 사장석을 EPMA 분석을 통하여 정량분석하고 이를 토대로 변성-온도 압력을 추정했 다. 변성온도는 석류석-흑운모 계산식의 평균치를 이용하였고, 변성압력은 석류석-흑운모-사장석을 이용한 Hoisch(1990) 지압계를 이용하여 계산하였 다.

광물조합은 석류석-흑운모-사장석-석영, 석류석-사장석-정장석-석영의 조 합을 보인다. 석류석은 대체로 알만딘-파이로프 고용체를 보이며, 반상변정 질편마암에서 알만딘-그로슐라 고용체를 보인다. 석류석 누대구조 분석시 중 심부와 주변부의 성분차이가 거의 없는 것으로 보아 결정이 고르게 성장한 것으로 판단된다. 흑운모는 변성도에 따른 변화의 폭이 거의 없어보이며, 사 장석은 대체로 안데신영역을 나타낸다.

변성온도-압력은 석류석, 사장석, 흑운모의 EPMA 분석치를 이용하여 계산 하였다. 이를 통해 계산된 온도-압력은 중온 고압형의 변성작용(500-65 0℃, 6.9-10kbar)을 받은후 고온 중압형의 1차 후퇴변성작용(600-740℃, 2.7-5.9kbar) 및 중첩된 2차 후퇴변성작용(500-540℃, 3.1kbar)이 수반되었 음을 지시한다. I. 서론

소백산육괴는 한반도의 선캠브리아대의 기반으로 옥천습곡대를 중심으로 경기육 괴와 분리되어 있다. 소백산육괴는 경기육괴와는 달리 화성기원으로 보이는 편마암 류가 광범위하게 분포하여 있다(나기창, 1998). 소백산육괴(영남육괴)는 지리적으 로 태백산지역의 북동부, 김천일대의 중앙부, 지리산을 중심으로 하는 남서부로 나 눌 수 있다(송용선, 1986).

한반도의 선캠브리아기 기반은 최고 백립암상에 이르는 변성작용을 겪은 것으 로 보고되고 있다(이광진과 조문섭, 1992, 조문섭과 김종욱, 1993; 송용선과 류호 정, 1994; 조윤호 외, 1996; Lee et al., 1997; 권용완 외, 1997, 1999; 류호정, 2001).

소백산육괴 북동부와 남서부 지리산 일대의 변성암들은 상부 각섬암상에서 각 섬암상 그리고 녹염석-각섬암상이 차례로 중첩된 3회의 변성작용과 최고 백립암상 에 이르는 고도 변성작용을 받은 것으로 알려져 있다(이상만, 1980; 이상만 외, 1981; 이상만과 김형식, 1984; Lee et al., 1986; 송용선과 류호정, 1994; 송용선, 1999; 류호정, 2001). 소백산육괴 중앙부 역시 각섬암상에서 백립암상에 이르는 고도의 점진변성작용을 거쳐 각섬암 내지 녹색편암상의 후퇴변성작용이 중첩되었 으며, 이질암에 대한 변성온도 및 압력조건이 연구된 바 있다(송용선, 1986, 1989; 송용선과 이상만, 1989; 이호선, 2000).

본 연구는 소백산육괴 서남부에 해당하는 장수를 중심으로 북으로는 장계, 남으 로는 남원에 이르는 북북동-남남서 방향으로 분포하는 선캠브리아기 편마암류에 대한 변성암석학적 연구이다. 본 연구 지역의 북쪽에 해당하는 상주-김천-영동에 대한 변성암석학적연구는 송용선(1986, 1989)에 의해 수행된바 있으며, 남쪽에 해 당하는 구례-곡성-남원지역에 대한 연구는 이상원(1984a, 1984b, 1985, 1986)이 있으나 본역에 대한 변성암석학적 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 장계-장수-남원지역에 분포하는 선캠브리아기 편마암류의 분포와 광물조합을 이들에 대한 야외조사 결과를 기초로 하여 알아보고자 한다. 변성암의 구성광물을 EPMA를 통해 정량분석하고, 이들 값을 이용 온도와 압력을 계산하여 변성작용을 추적하였다.







Fig 1. The geology map of the Jangsu area.



Fig 2. The geology map of the Jangsu area showing sample location.

Ⅱ. 일반지질

본 연구지역은 소백산육괴 서남부에 속하는 전라북도 장수군 일대로 1:250,000 광주지질도폭(이병주 외, 1997) 동북부지역이며, 1:50,000 장계도폭(홍승호와 윤 옥, 1993)의 남부지역과 함양도폭(김규봉과 최위찬, 1994)의 서부지역, 오수도폭 (김주봉 외, 1984)의 동부지역, 남원도폭(김동학과 이병주, 1984)의 북동부지역, 운봉도폭(김옥준 외, 1964)의 북서부지역에 걸쳐있으며 본 조사를 기초로 지질도 폭을 수정 보완하여 연구지역에 대한 지질을 정리하였다(Fig. 1). 주로 선캠브리아 시대의 변성암류로 이루어져 있다. 이들 변성암류는 트라이아스기 화강암류에 의해 관입되고 있으며, 쥬라기 화산암류 및 화강암류에 의해 분출 내지 관입당했다.

변성암류는 대체로 북북동-남남서방향으로 발달하고 있으며 주로 흑운모편마암, 반상변정질편마암으로 구분되며 국부적으로 화강편마암이 관찰된다. 또한 일부 지 역에서는 압쇄화 작용에 의해 안구상편마암으로 분포하며 이들의 경계는 점이적으 로 나타난다.

흑운모편마암은 연구지역의 북부에서 남부까지 폭넓게 분포한다. 본 암은 미세하 게나마 광물들의 함량차이를 보이나 주로 흑운모에 의한 편마구조나 엽리가 관찰 된다. 본 암에서 나타나는 광물들은 석영, 사장석, 흑운모, 백운모, 석류석 등이다. 반상변정은 거의 나타나지 않으며 석류석은 암상의 중앙부 보다는 다른 암상과의 경계부에서 세립 내지 중립으로 나타난다. 흑운모편마암 중 북부 일부 지역에서는 홍색장석으로 이루어진 안구상편마암이 관찰되기도 한다.

반상변정질편마암은 연구지역의 중앙부와 북서부 일부에 분포한다. 전체적으로 우흑질 암상을 보이며 드물게 우백질 부분이 나타난다. 흑운모편마암과는 달리 호 상구조를 보이지 않으며 장석 반정들이 불규칙적으로 배열되어 있다.

화강암류는 연구지역 북부의 조립질화강암, 중서부의 엽리상조립질화강암, 중동 부의 엽리상반상화강암으로 구분된다. 전체적으로 화강암류의 입자는 거정질이며 부분적으로 압쇄화 작용에 의한 압쇄엽리 흔적이 관찰되기도 한다.

엽리상조립질화강암은 장수읍을 중심으로 남북으로 길게 분포하고 있다. 1:50,000 함양도폭(김규봉과 최위찬, 1994)에 의해 장수화강암으로 분류되어 있 다. 다음에서 언급할 엽리상반상변정질화강암과 암상구별이 뚜렷하지 않으나 그 사 이에 선캠브리아시대의 기반암체가 폭넓게 위치하고 있어 장수화강암으로 분류한 다고 되어 있다(김규봉과 최위찬, 1994).

엽리상화강섬록암은 연구지역 중 번암면 소재지로부터 남원시 아영면으로 이어 지는 도로변 절개지에서 관찰되었으며, 엽리상조립질화강암을 관입하고 각섬암에 의해 관입당한 것으로 보여진다. 암석분석을 진행하지 않아 확실하진 않지만 반려 암의 분포도 관찰되어 진다.

엽리상반상화강암은 조립질이기는 하나 엽리상조립질화강암에 비해 입자의 크기 가 비교적 작은편이며 엽리의 발달이 뚜렷하지는 않다. 본 연구지역의 지질도(Fig. 1)상에서는 동측에 넓게 분포하는 것으로 확인되었으나 1:50,000 함양도폭 지질보 고서에 의하면 편마암류를 맥상으로 관입하였다고 보고 되어있다(김규봉과 최위찬, 1994).

조립질화강암은 1:50,000 장계도폭(홍승호와 윤욱, 1993)에 의해 육십령화강암 으로 명명되어있다. 본 연구지역의 북부에 위치하며 지리적으로 육십령 부근을 전 후로 분포하며 남으로 엽리상반상변정질화강암과 접하고 있으나 그 경계는 불분명 하다.

각섬암은 본 연구지역에서 크게 두가지 암상으로 발견된다. 하나는 연구지역 남 쪽 귀정사 부근에서 발견되는 각섬석편마암과 그보다 조금 북쪽에 위치한 조립질 각섬암이다. 전자는 석류석을 다수 포함하며 석류석에 의한 엽리가 발달되어 있어 다음의 연구가 진행되어야 하겠다. 또한 엽리상화강섬록암에 맥상으로 관입한 것으 로 관찰된다. Ⅲ. 암석기재

연구지역은 북위, 동경 에 이르는 곳으로 표품 채취 장소는 Fig. 2에서 보는 바 와 같다. 2006년 8월부터 2008년 10월까지 연구지역과 그 주변에 대해 표품을 채취하였으며, 가급적 신선한 표품채취를 위해 도로변과 계곡을 중점적으로 하였 다.

1. 편마암류

1-1. 흑운모편마암

본 암석은 연구지역 전반에 걸쳐 가장 넓게 분포하고 있는 선캠브리아대의 가장 오래된 기반암체이다. 연구지역에서 북북동-남남서 방향으로 발달하고 있으며, 중 앙부에서 선캠브이라대의 반상변정질편마암과 중생대 화강암류 및 화산암류에 의 해 절단되어 있다(Fig.1).

암상은 흑운모가 주를 이루는 우흑질대와 석영, 장석류가 분포하는 우백질대가 서로 교차하며 나타나는 호상구조를 보이고 있으며, 엽리가 아주 잘 보인다. 김규 봉과 최위찬(1994)에 의하면 초기의 엽리는 동서방향이었으나 중기에 남북방향으 로 바뀌었던 것으로 보이며, 후기의 관입암체들에 의해서 화강암질물들이 대상으로 주입 되었다. 엽리의 방향은 대체로 N30°-60°E 방향을 유지한다고 하였다. 본 암 상의 분포지역에 국부적으로 반상변정질 조직인 안구상편마암이 관찰되고 있으며, 이는 중생대 화강암류의 관입에 의한 영향일 것으로 생각된다.

본 암을 구성하는 광물조합은 석영-정장석-사장석-흑운모가 다수를 이루며, 곳 에 따라 석류석이 포함되어 있는 표품도 관찰된다. 또한 석영-정장석-사장석-녹니 석의 광물조합을 보이는 포품도 관찰된다. 본 암을 구성하는 주구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모이며 세립의 석류석이 다량 분포하는 표품도 관찰된다. 부구 성광물로는 녹니석, 퍼사이트 등이며, 규선석이 관찰되는 표품도 있다. 석영은 파동 소광을 보이고 있고, 정장석은 견운모화 되어 있는 모습이 많이 관찰된다. 사장석 은 주로 알바이트쌍정을 보이며, 정장석과 마찬가지로 풍화에 의한 견운모화 현상 이 자주 관찰된다. 석류석은 1mm 내외의 크기로 관찰되며, 현미경 관찰에 의하면 흑운모에 의해 둘러쌓여있는 듯한 모습을 보인다. 흑운모는 개방니콜하에서 엷은 갈색의 다색성을 보이며, 직교니콜하에서 짙은갈색을 보이는 경우는 극히 드물며, 대부분 녹색 내지 적색을 보인다. 또한 부분적으로 녹니석화 되어 있는 모습을 관 찰할 수 있다. 규선석은 일반적으로 침상구조로 관찰되며 현미경하에서 관찰하기 힘든면이 있다.



Fig. 3. Photograph of the biotite gneiss in the Jangsu area as observed in the field((a),(b) : MJ-132, (c),(d) : MJ-158).

1-2. 반상변정질편마암

연구지역의 중앙부와 북부 일부지역에 분포하며 장계읍 동측의 논개생가에서부 터 번암면 동화댐에 이르는 지지계곡 옆을 지나는 도로변에서 잘 관찰된다. 본 암 류는 흑운모 편마암 및 엽리상반상화강암과 교차되며 나타난다.

본 암은 대부분 흑운모가 우세한 우흑질 암상을 나타내지만 엽리상반상화강암과 의 접경지에서는 우백질이 우세한 암상이 관찰되며, 외견상 우백질화강편마암으로 생각된다. 이는 성인적으로 주변의 화강암체로부터 주입된 것으로 판단된다. 뚜렷 한 엽리는 잘 관찰되지 않으며, 반상 변정들 또한 불규칙적으로 분포하고 있다. 안 구상편마암도 관찰되는데, 안구상반상변정들은 장축과 단축과의 비율이 대체로 3:1 정도로 신장되었으며, 수차례의 연성 전단작용을 받아 안구형의 회전 방향이 복잡 하게 형성되어 있다(김규봉과 최위찬, 1994).

주 구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모 등이고, 흑운모편마암과 마찬가지로

화강암체와 근접한 곳에서 소량의 석류석이 관찰된다. 외견상 우백질화강편마암으 로 판단되는 표품에서는 흑운모의 관찰이 힘들다. 대부분의 입자들은 반자형을 이 룬다. 현미경 하에서 미사장석과 퍼사이트가 다수 관찰되며 사장석과 정장석은 변 성에 의한 작용으로 견운모화 되어져 있는 것을 관찰 할 수 있다. 석류석은 환형으 로 균질한 모양이며, 석류석 주변부에서 표품 MJ-46을 제외하고는 사장석-흑운모 또는 사장석-정장석-흑운모의 광물 조합을 보인다. 표품 MJ-46에서는 석류석-정 장석-사장석-석영의 광물 조합을 보인다. 흑운모의 배열은 불규칙적이며 녹색 내 지 갈색으로 관찰되며 곳에 따라 붉은색으로 보이는 곳도 존재한다.

Fig. 4(a), (b)는 반상변정질편마암인 표품 MJ-46의 노두사진으로 우백질편마암 에 가깝다. Fig. 4(c)와 (d)는 안구상편마암의 암석 근접 촬영 사진으로 연구지역의 북부 성관사 뒷산에서 채취한 것으로 홍색장석이 안구상 반상 변정으로 신장되어 있다.



Fig. 4. Photograph of the porphyroblastic gneiss & leucocratic gneiss in the Jangsu area as observed in the field((a),(b) : leucocratic gneiss(MJ-46), (c) : porphyroblastic gneiss(MJ-17), (d) : porphyroblastic gneiss(MJ-18)).

1-3. 우백질편마암

본 암은 지질도(Fig. 1)에 도시하지 않았지만 반상변정질편마암의 기술에서 언급 하였듯이 연구지역의 중앙부 일부 지역에 국한하여 관찰되어 진다. 연구지역 중 지 지계곡을 따라 지나는 지방도변에서 관찰되며 지질구역상 반상변정질편마암과 흑 운모편마암의 경계부에서 지엽적으로 관찰되어 진다.

본 암의 암상은 전체적으로 밝은색을 띄며 흑운모가 한방향의 엽리를 보이는 구 조를 관찰할 수 있다. 풍화의 정도가 심해 암석의 강도는 매우 약한편이며, 신선한 노두의 관찰은 힘들다.

우백질화강편마암의 광물조합은 대부분 석영-정장석-사장석이며, 흑운모의 함유 량이 상대적으로 낮은 편이다. 주구성광물은 석영, 정장석, 사장석이며 부구성광물 은 석류석, 흑운모, 불투명광물 등이다. 석영은 파동소광을 보이며, 정장석은 미사 장석이 다수를 이룬다. 사장석은 알바이트쌍정과 누대구조가 관찰된다. 석류석은 0.1mm 내외의 크기를 보이며, 극히 드물게 관찰된다. 흑운모는 거의 녹니석화 되 어 있는 것으로 관찰된다.

1-4. 각섬석편마암

본 암은 남원시 산동면 대상리에 위치한 귀정사의 증축공사장에서 나온 직경 60cm 정도의 전석(MJ-155)이다. 주변 하상 노두에서 유사한 암석이 관찰되기도 하나 시료채취가 어려운 상태이다.

이 암석은 전체적으로 짙은 흑색을 나타내며 최대 직경 1cm 정도 구형의 반상 변정이 엽리를 이루며 배열되어 있다. 육안상으로 구형의 반상변정은 여러 개의 작 은 석류석의 집합체이며, 내부는 비교적 붉은 색을 나타내고, 주변부는 백색과 녹 색광물이 채우고 있다. 반상변정 이외에 무색광물은 거의 관찰되지 않는다.

구형의 석류석이 일정한 간격으로 늘어선 이외에 1mm이하의 석류석과 석영이 밝은 엽리를 이루며 늘어서 있는데 이 띠의 두께는 대략 5mm 이하이다. 유색광물 은 검게 보이며, 쌍정면에서 반짝이는 광택을 나타낸다.

본 역의 암석 중에 유사한 암석으로 각섬암이 보고되고 있으나, 석류석을 포함하 지 않은 후기의 관입암이다. 지리산 지역에서 각섬석을 다량으로 포함하는 편마암 으로는 단성도폭내의 각섬석편마암을 들 수 있다(최유구 외, 1964). 이 암석은 현 미경하에서 각섬석대와 장석 및 석영대가 명백히 구별되며, 석영과 장석이 매우 세 립화되어 압쇄조직을 보이는 반면, 각섬석은 비교적 큰 입자로서 래피도블라스틱조 직을 나타내는 것으로 보고되고 있다. 그러나 석류석의 부재가 단순히 변성도의 차 이인지는 알 수 없다. 한편 정증효(1997, 석사학위논문)는 산청군 단성면 위태마을 부근에서 보고한 각섬석편마암은 회장암과 인접하여 발달하는데 엽리가 잘 발달되 고 녹흑색은 나타낸다, 입상조직을 갖는 각섬석편마암은 회장암과 유사하나 보다 세립질이며 엽리가 현저한 점이 다르다고 보고했다. 이 암석은 대부분 사장석과 각 섬석으로 이루어져 있고, 소량의 K-장석, 석영, 양기석과 녹니석을 포함한다.

지리산지역에서의 편마암 내에 포획암 중에 석류석이 엽리를 이루는 시료가 보 고 되고 있으나(하동군 청암면 학동, 이춘희 외, 2001) 거정의 알칼리장석과 다량 의 흑운모를 포함한다.

이상과 같이 각섬석을 포함하는 편마암 중에 본 암석과 유사한 암석이 보고된 적이 없어 보다 상세한 지질조사와 생성과정을 추정할 필요가 있다.

2. 화성암류

2-1. 엽리상조립질화강암

본 암은 1/50,000 장계도폭 지질보고서(홍승호와 윤욱, 1993)와 1/50,000 함양 도폭 지질보고서(김규봉과 최위찬, 1994)에 각각 장수화강암과 함양화강암으로 기 재되어 있는 암상으로 함양도폭 지질보고서에 의하면 장수화강암이 함양화강암보 다 후기 인 것으로 추정하고 있지만 그 선후관계가 모호하며 암상의 차이점도 명 확하지 않아 엽리상조립질화강암이라 명명하였다.

연구지역의 동측에서는 조립질 화강암(육십령화강암)에 의해 관입당했으며, 서측 에서는 엽리상반상화강암에 의해 관입 당하고 있다. 또한 편마암류를 대상으로 관 입하거나 노두 규모의 세맥으로 편마암 속에 주입되어 있다(김규봉과 최위찬, 1994) 암석의 연령은 남원-오수 지역에서 220Ma로 측정된 바 있다(김용준 외, 1989).

암상은 Fig. 5과 같이 조립질 입상 조직이 가끔 희미한 엽리를 보이고 있으나 구 성입자의 크기가 1cm 내외로 균질한 경향이 있다. 반정은 주로 장방형 내지 정방 형을 보이는 퍼사이트와 미사장석을 함유하는 것이 특징이다. 구성 광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모 등이다.



Fig. 5. Photograph of the foilated coarse grained granite in the Jangsu area as observed in the field.

2-2. 엽리상화강섬록암

연구지역의 남서부에 분포하며 편마암류를 관입하고 있으며 남원화강암에 의해 관입당한다. 암상을 관찰할 수 있는 곳은 연구지역의 남부지역으로 번암면 소재지 에서 아영간 지방도 일부 지역과 번암-장수간 19번 국도변 일부 지역에 국한된다. 번암-아영간 지방도변 노두에서는 국부적으로 각섬암의 관입이 관찰되는 것으로 보아 본 암체는 각섬암에 의해 관입당하는 것으로 생각된다.

한편, 김용준과 이창신(1988)은 본 암체를 순창엽리상화강암으로 보고 남원화강 암류에 의해 관입당하는 점으로 미루어보아 선쥐라기 관입암체일 가능성을 제시하 였다.

암상은 중립질 내지 조립질이며 괴상암체로 암상은 대체로 균질하나, 곳에 따라 다소 변화가 있다. 색깔은 대체로 녹회색을 띄며 약하게 엽리를 발달시키며 석영이 나 각섬석의 반정을 함유한다(김규봉 외, 1984).

구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 각섬석 등으로 이루어져 있으며, 이중 석영과 장석, 각섬석은 반정으로 산출되는 경우가 많다.



Fig. 6. Photograph of the foilated granodiorite in the Jangsu area as observed in the field.

2-3. 엽리상반상화강암

본 암은 연구지역의 중앙부인 장수군 장안산 일대에 주로 분포하며 흑운모편마 암과 반상변정질편마암 및 엽리상조립질화강암을 관입하고 있다. 장수읍으로부터 N30°E 방향으로 맥상으로 분포하고 있으며, 본 암의 내에는 N40°E방향으로 편마 암이 포획되어 있는데, 이들의 분포나 배열된 모양은 안행상으로서, 송계-아영 간 을 절단한 연성 전단대에서 보여지는 모빌현상과 같은 것을 볼 수 있다(김규봉과 최위찬. 1994)

Fig. 7은 엽리상반상화강암의 표품 사진으로 장수읍 북쪽은 큰싸리재 노두인 MJ-19의 모습이다. 암상은 조립질 입상 조직을 갖고 있는 기질에 최대 3cm 정도 의 반정을 함유한다. 큰 싸리재 부근에서 관찰되는 암상에서 엽리구조는 발달하지 만 북쪽으로 갈수록 매우 희미해진다(홍승호와 윤욱, 1993).

구성광물은 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 불투명광물 등으로 되어 있다. 그 외 에 미사장석, 퍼사이트 등이 관찰되는 경우도 있다.



Fig. 7. Photograph of the foilated porphyritic granite in the Jangsu area as observed in the field.

#### 2-4. 조립질화강암

본 연구지역의 북쪽에 넓게 위치하는 화강암류로 1/50,000 장계도폭 지질보고서 와 1/50,000 함양도폭 지질보고서에 육십령 화강암으로 기재되어 있다. Fig. 8은 육십령에 위치한 노두를 촬영한 것으로 암상은 조립질 입상 조직을 보이는 것을 알 수 있다. 남쪽의 엽리상조립질화강암(함양화강암)을 관입하고 있으며, 각섬석의 K/Ar 절대연령 측정 결과 약 160Ma(홍승호와 윤욱, 1993)정도로 산출되었다.



Fig. 8. Photograph of the coarse grained granite in the Jangsu area as observed in the field.

2-6. 각섬암

본 연구지역의 서측에 나타나는 암상으로 1/50,000 오수 지질 도폭에 의하면 조 립질의 각섬석으로 주로 이루어지며 자형의 황철석을 포함한다고 설명 되어 있다. 표품 MJ-155 귀정사 각섬석 편마암과 유사하다고 생각된다. 귀정사 증축 공사장 에서 나온 전석들로서 전체적으로 짙은 흑색을 나타내며 최대 직경 1cm 정도로 구형의 반상변정이 엽리를 이루며 배열되어 있다. 육안상 반상변정은 석류석의 집 합체이며, 비교적 붉은색을 나타내고 주변부는 백색과 녹색광물이 채우고 있다.

귀정사에서 발견된 각섬석 편마암이 각섬암과 유사한 것으로 보고되어 있지만 본 역의 각섬암은 석류석을 포함하지 않은 후기의 관입암으로 대비시키기에는 무 리가 있다. 귀정사 각섬석 편마암과 유사한 암종으로 는 1/50,000 단성도폭 지질 보고서(최유구 외, 1964)에 보고 되었으나 본 역의 암과는 다르게 래피도블라스틱 조직을 타나내는 것으로 알려져 있다. 향후 연구를 통하여 귀정사 부근에 대한 지 질 조사와 생성과정을 추정할 필요가 있다.



Fig. 9. Photograph of the hornblendite in the Jangsu area as observed in the field. (a)hornblendite, (b) Hornblende gneiss in the Guijungsa(temple).

2-7. 남원화강암

본 연구지역에서 남원화강암에 대한 샘플 채취나 야외 조사는 이루어지지 않았 으나 연구지역의 남서쪽에 위치한 흑운모편마암과 접하고 있어 잠시 언급하고자 한다. 본 암에 관한 연구는 남원지역에 분포하는 남원화강암체에 대한 암석지화학 적 연구(홍세선,김용준,김정빈, 1988)에 잘 나와 있다. 소위 남원화강암체를 가리키 며 광물조성, 관입시기 및 포함되는 특징광물에 따라 각섬석-흑운모화강섬록암, 반 상화강섬록암, 흑운모화강섬록암, 복운모화강암으로 구분할 수 있다.

각섬석-흑운모화강섬록암은 다른 암상에 비해 입자가 크며 각섬석을 함유하고 있는 것이 특징이고 각섬석의 함량은 암체 중심부로 갈수록 증가하는 경향을 보인다. 석영, 사장석, K-장석, 흑운모, 각섬석이 주구성광물이며, 부수적으로 스펜, 녹니석, 저어콘 등이 나타난다.

반상화강섬록암은 주로 인월면과 번암면 일대에 분포하는 것으로 알려져 있으며 거창의 K-장석으로 된 반정을 포함함이 특징이다. 석영, 사장석, 미사장석, 흑운모 가 주구성광물이며, 부수적으로 각섬석, 녹니석, 스펜 등이 나타난다.

흑운모화강섬록암은 네가지 암상중 가장 넓은 분포를 보이는 중립내지 조립의 암상으로 부분적으로는 담홍색의 K-장석이 포함되어 있어 분홍색을 띄기도 한다. 본 연구지역과 접하는 부분에서 엽리가 나타지만 단순히 유색광물만이 엽리방향에 따라 배열되어 있으며 석영, 장석 등의 무색광물이 부서져 있지도 않은 점으로 미 루어 보아 화강암의 관입시 암체 연변부를 따라 형성되는 1차엽리구조로 생각된다. 주로 석영, 사장석, 미사장석, 퍼사이트와 흑운모로 구성되어 있고, 백운모, 스펜, 저어콘, 각섬석 등이 부수적으로 이루어져있다.

복운모화강암은 흑운모화강섬록암과 마찬가지로 K-장석을 포함하고 있으나 대체 로 백운모와 흑운모가 공존하여 나타난다는 것이 특징이다.

Sample No.	Qz	K-f	Pl	Bt	Gar	Sill	Mus	Chl
MJ-8	0	0	0	0	0			0
MJ-24	0	0	0	0	0			0
MJ-43	0	0	0	0	0			
MJ-46	0	0	0		0			
MJ-132	0	0	0	0	0			
MJ-133	0	0	0	0	0		0	
MJ-137	0	0	0	0	0			
MJ-138	0	0	0	0	0	0		
MJ-149	0	0	0	0	0			
MJ-150	0	0	0	0	0			
MJ-151	0	0	0	0	0			

Table 2. Mineral assemblages of the samples selected for EPMA.

Qz: Quartz, K-f: K-feldspar, Pl: Plagioclase, Bt: Biotite, Gar: Garnet, Sill: Sillimanite, Chl: Chlorite, Mus: Muscovite

	Biotite Gneiss												
sample					MJ-	-8							
No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
SiO <sub>2</sub>	38.09	37.98	37.50	38.26	37.86	37.61	37.67	37.75	37.35	38.09			
TiO <sub>2</sub>	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01			
$A1_{2}O_{3}$	21.51	21.45	21.69	21.13	21.48	21.47	21.28	21.32	21.75	20.53			
Fe0	33.24	32.64	33.11	32.78	33.55	33.06	33.40	33.59	33.17	33.34			
MnO	2.33	2.02	2.26	2.23	2.35	2.47	2.30	2.89	2.25	2.05			
MgO	4.27	4.55	4.50	4.57	3.99	4.05	4.22	3.71	4.17	4.45			
Ca0	1.55	2.11	1.76	1.61	1.46	1.58	1.51	1.32	1.90	1.45			
$Na_2O$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01			
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Total	101.00	100.75	100.83	100.58	100.70	100.23	100.39	100.60	100.62	99.93			
12(0)													
Si	3.01	3.00	2.97	3.03	3.00	3.00	3.00	3.01	2.97	3.04			
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Al	2.00	2.00	2.02	1.97	2.01	2.02	2.00	2.00	2.04	1.93			
Fe	2.19	2.16	2.19	2.17	2.23	2.20	2.22	2.24	2.20	2.23			
Mn	0.16	0.14	0.15	0.15	0.16	0.17	0.16	0.20	0.15	0.14			
Mg	0.50	0.53	0.53	0.54	0.47	0.48	0.50	0.44	0.49	0.53			
Ca	0.13	0.18	0.15	0.14	0.12	0.13	0.13	0.11	0.16	0.12			
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Κ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
$X_{\rm Fe}$	0.81	0.80	0.81	0.80	0.83	0.82	0.82	0.84	0.82	0.81			
Xalm	0.74	0.72	0.73	0.72	0.75	0.74	0.74	0.75	0.73	0.74			
X <sub>py</sub>	0.17	0.18	0.18	0.18	0.16	0.16	0.17	0.15	0.16	0.18			
X <sub>sps</sub>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.07	0.05	0.05			
Xgr	0.04	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04			

Table 3. Representative compositions of garnet from gneiss of the Jangsu area.

 $X_{Fe}$  represents Fe/(Fe+Mg).  $X_{alm}$ =Fe/D,  $X_{py}$ =Mg/D,  $X_{sps}$ =Mn/D and  $X_{gr}$ =Ca/D, where D=Fe+Mg+Mn+Ca. Compositions are shown as oxide weight percent and atomic proportions based on 24 oxygens.

	Biotite Gneiss												
sample			MJ-8			MJ-	24	MJ-4	43	MJ-132			
No.	11	12	13	14	15	1	6	1	4	1			
Si02	37.86	37.79	37.60	37.60	37.52	37.88	38.88	37.56	37.16	36.72			
TiO2	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02			
A1203	21.02	21.09	21.39	21.07	21.03	21.41	21.42	20.75	20.70	20.32			
FeO	33.61	33.11	33.70	34.07	33.88	34.13	31.05	34.61	34.88	25.78			
MnO	2.32	2.07	2.21	2.62	2.65	1.15	0.62	1.78	2.02	12.01			
MgO	4.36	4.71	4.04	3.60	3.51	4.05	6.83	3.00	2.98	3.01			
Ca0	1.45	1.54	1.70	1.71	1.82	1.36	1.37	2.17	2.21	2.43			
Na2O	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
K20	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00			
Total	100.62	100.34	100.63	100.69	100.43	100.03	100.21	99.91	99.98	100.29			
12(0)													
Si	3.01	3.00	2.99	3.00	3.00	3.02	3.03	3.02	3.00	2.97			
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Al	1.97	1.98	2.00	1.98	1.98	2.01	1.97	1.97	1.97	1.94			
Fe	2.23	2.20	2.24	2.27	2.27	2.27	2.03	2.33	2.35	1.74			
Mn	0.16	0.14	0.15	0.18	0.18	0.08	0.04	0.12	0.14	0.82			
Mg	0.52	0.56	0.48	0.43	0.42	0.48	0.79	0.36	0.36	0.36			
Ca	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.12	0.11	0.19	0.19	0.21			
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
Κ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
XFe	0.81	0.80	0.82	0.84	0.84	0.83	0.72	0.87	0.87	0.83			
Xalm	0.74	0.73	0.74	0.75	0.75	0.77	0.68	0.78	0.77	0.56			
Хру	0.17	0.18	0.16	0.14	0.14	0.16	0.27	0.12	0.12	0.12			
Xsps	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.03	0.01	0.04	0.05	0.26			
Xgr	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.07			

Table 3. Continued.

	Biotite Gneiss											
sample	MJ-1	132				MJ-1	33					
No.	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8		
Si02	36.51	36.54	36.55	36.82	36.65	36.78	36.80	37.00	36.61	36.81		
TiO2	0.01	0.04	0.02	0.02	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00		
A1203	20.82	20.57	20.99	20.83	21.06	20.90	20.94	20.92	21.07	21.03		
Fe0	24.40	23.31	33.45	34.30	34.62	29.86	34.11	34.35	34.67	34.34		
MnO	11.79	14.53	7.17	5.46	5.63	11.82	6.10	5.38	5.52	5.50		
MgO	2.32	2.42	0.65	1.02	0.94	0.30	0.79	1.03	1.01	1.00		
Ca0	4.67	3.22	1.12	1.19	1.25	1.21	1.19	1.34	1.12	1.25		
Na2O	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01		
K20	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		
Total	100.52	100.62	99.98	99.65	100.14	100.88	99.96	100.04	99.99	99.94		
12(0)												
Si	2.95	2.96	2.99	3.01	2.99	3.00	3.01	3.02	2.99	3.01		
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Al	1.98	1.96	2.03	2.01	2.03	2.01	2.02	2.01	2.03	2.02		
Fe	1.65	1.58	2.29	2.35	2.36	2.03	2.33	2.34	2.37	2.34		
Mn	0.81	1.00	0.50	0.38	0.39	0.82	0.42	0.37	0.38	0.38		
Mg	0.28	0.29	0.08	0.12	0.11	0.04	0.10	0.13	0.12	0.12		
Ca	0.40	0.28	0.10	0.10	0.11	0.11	0.10	0.12	0.10	0.11		
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
XFe	0.86	0.84	0.97	0.95	0.95	0.98	0.96	0.95	0.95	0.95		
Xalm	0.53	0.50	0.77	0.79	0.79	0.68	0.79	0.79	0.80	0.79		
Хру	0.09	0.09	0.03	0.04	0.04	0.01	0.03	0.04	0.04	0.04		
Xsps	0.26	0.32	0.17	0.13	0.13	0.27	0.14	0.13	0.13	0.13		
Xgr	0.13	0.09	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04		

Table 3. Continued.

		Biotite	Gneiss			Р	orphyroblas	stic Gneiss		
sample	MJ-1	33	MJ-1	151			MJ-46			MJ-137
No.	9	10	1	4	1	2	3	4	5	1
Si02	36.77	36.63	37.46	37.14	36.76	36.81	36.69	37.00	36.86	37.24
TiO2	0.00	0.01	0.05	0.04	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.12
A1203	21.00	20.96	21.32	21.62	20.23	19.80	20.39	20.20	20.28	20.35
Fe0	33.96	34.38	33.70	33.00	32.05	29.70	31.53	31.95	31.28	24.14
MnO	6.20	5.64	2.24	1.90	8.02	9.03	7.81	7.84	7.79	6.76
MgO	0.82	0.94	3.03	3.42	0.38	0.39	0.45	0.37	0.40	0.37
Ca0	1.09	1.35	2.64	3.27	3.40	4.06	3.27	3.50	3.87	11.44
Na2O	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.06	0.03	0.03	0.01	0.00
K20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Total	99.84	99.93	100.45	100.39	100.87	99.86	100.21	100.88	100.50	100.44
12(0)										
Si	3.01	3.00	2.99	2.96	3.00	3.02	3.00	3.01	3.01	2.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Al	2.02	2.02	2.01	2.03	1.94	1.92	1.97	1.94	1.95	1.93
Fe	2.32	2.35	2.25	2.20	2.19	2.04	2.16	2.17	2.13	1.62
Mn	0.43	0.39	0.15	0.13	0.55	0.63	0.54	0.54	0.54	0.46
Mg	0.10	0.11	0.36	0.41	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04
Ca	0.10	0.12	0.23	0.28	0.30	0.36	0.29	0.30	0.34	0.98
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Κ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
XFe	0.96	0.95	0.86	0.84	0.98	0.98	0.97	0.98	0.98	0.97
Xalm	0.79	0.79	0.75	0.73	0.71	0.66	0.71	0.71	0.70	0.52
Хру	0.03	0.04	0.12	0.13	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
Xsps	0.15	0.13	0.05	0.04	0.18	0.20	0.18	0.18	0.18	0.15
Xgr	0.03	0.04	0.08	0.09	0.10	0.12	0.09	0.10	0.11	0.32

Table 3. Continued.

	Porphyroblastic Gneiss										
sample			MJ-	137			MJ-138		MJ-149		MJ-150
No.	2	3	4	5	6	7	1	1	2	3	1
Si02	37.21	37.69	37.21	37.29	37.43	37.23	37.35	37.75	37.61	37.20	36.89
TiO2	0.12	0.14	0.17	0.05	0.14	0.11	0.07	0.04	0.05	0.10	0.22
A1203	20.30	20.25	20.46	20.62	20.18	20.40	21.20	21.27	20.38	20.54	21.08
Fe0	23.71	23.94	24.17	24.26	23.72	24.03	25.25	24.80	26.61	25.98	26.05
MnO	7.13	6.76	6.98	7.07	7.09	6.80	2.92	5.76	4.16	5.15	5.51
MgO	0.35	0.33	0.44	0.32	0.33	0.33	0.30	0.93	1.32	1.15	1.10
Ca0	11.44	11.43	11.00	10.96	11.49	11.41	14.11	11.23	10.06	9.85	9.85
Na2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03
K20	0.00	0.01	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	100.25	100.55	100.71	100.57	100.36	100.31	101.20	101.79	100.18	99.98	100.73
12(0)											
Si	2.99	3.02	2.99	2.99	3.01	2.99	2.96	2.98	3.01	2.99	2.95
Ti	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
A1	1.93	1.91	1.93	1.95	1.91	1.93	1.98	1.98	1.92	1.95	1.99
Fe	1.60	1.60	1.62	1.63	1.59	1.62	1.67	1.63	1.78	1.75	1.74
Mn	0.49	0.46	0.47	0.48	0.48	0.46	0.20	0.38	0.28	0.35	0.37
Mg	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.11	0.16	0.14	0.13
Ca	0.99	0.98	0.94	0.94	0.99	0.98	1.20	0.95	0.86	0.85	0.84
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Κ	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
XFe	0.97	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.94	0.92	0.93	0.93
Xalm	0.51	0.52	0.52	0.53	0.51	0.52	0.54	0.53	0.58	0.57	0.56
Хру	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.05	0.04	0.04
Xsps	0.16	0.15	0.15	0.16	0.16	0.15	0.06	0.12	0.09	0.11	0.12
Xgr	0.32	0.32	0.31	0.31	0.32	0.32	0.39	0.31	0.28	0.28	0.27

Table 3. Continued.

Ⅳ. 광물화학

EPMA분석은한국기초과학지원연구원전주분소에서EPMA-1600SHIMADZU(Japan)Electron Probe Micro Analyzer를사용하여 실시했으며, 분석조건은15-30kV, 1-5nm, focused beam dia, 20sec counting time이다. 광물성분의분석자료에서 Fe의 값은 모두 Fe<sup>2+</sup>로 계산되었다. 변성온도-압력 조건은 석류석주변부에서 석류석과 인접한 광물성분을광물조합을이용하여추정하였고경우는계산하지 않았다.

1. 석류석

Table 3은 본 연구지역에서 산출되는 석류석의 화학조성이다. 하나의 박편에서 여러개의 석류석 결정을 분석하였으며, 결정의 가로, 세로 방향을 따라 몇 개의 지 점을 분석하였다. 석류석 조성을 (Ca+Mn)-Mg-Fe 삼각도에 표시하여 보면(Fig. 10) 크게 2개의 그룹으로 나뉜다. 전반적으로 흑운모편마암내 석류석은 Fe 함량이 높고, 반상변정질편마암내 석류석은 흑운모편마암에 비해 상대적으로 Fe의 함량이 낮으며 Ca+Mn의 함량이 높은 경향을 보인다. 석류석 대부분이 X<sub>Ca</sub> + X<sub>Mn</sub> ≤ 0.2 인 알만딘-파이로프 고용체계열이며 X<sub>Fe</sub> = 0.80~0.98이다.

흑운모편마암에서 산출하는 석류석은 표품 MJ-8에서 72-75%의 알만딘, 14-18%의 파이로프, 5-7%의 스페살틴, 4-6%의 그로슐라와 0.80-0.84의 X<sub>Fe</sub> 함 량을 나타낸다(Table 3). Fig. 11은 표품 MJ-8의 석류석의 누대구조를 나타낸 그 림으로 주변부에서 중심부로 갈수록 미세하게 알만딘 성분이 증가하고 파이로프 성분이 감소하다가 다시 주변부로 가면서 소폭 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이러 한 경향 분포는 석류석의 성장이 비교적 고르게 되었음을 의미한다.

Fig. 12는 표품 MJ-133 내에 산출하는 석류석의 누대구조를 나타내는 그림이 다. 표품 MJ-133번의 경우 석류석의 고용체 관계가 다른 석류석과는 다른 경향을 보인다. 대부분의 석류석이 알만딘-파이로프 고용체인데 반해 MJ-133번의 경우 알만딘-스페살틴 고용체 관계로 세로축의 함량변화는 거의 없는 반면 가로축에서 그림상 왼편으로 가면서 알만딘의 함량이 줄어들고 스페살틴의 함량이 증가함을 보인다.

알만딘은 68-80%, 파이로프는 1-4%, 스페살틴은 13-27%, 그로슐라는 3-4%의 분포를 보이며, XFe의 값은 0.95-0.98의 값을 나타낸다.



Fig. 10 The compositions of garnets from the gneisses of the Jnagsu area in the Mg-Fe-(Ca+Mn) ternary diagram.



Fig. 11. The compositional profile of garnet from the gneisses of the Jangsu area(MJ-8).



Fig. 12. The compositional profile of garnet from the gneisses of the Jangsu area(MJ-133).



Fig. 13. The compositional profile of garnet from the gneisses of the Jangsu area(MJ-137).



Fig. 14. The compositional profile of garnet from the gneisses of the Jangsu area(MJ-46).

다른 석류석에 비해 일부분에서 알만딘과 스페살틴의 고용체 관계에 의한 함량 변화가 보이기는 하지만 결정이 고르게 성장했음을 판단 할 수 있다.

반상변정질편마암 표품인 MJ-137번의 분석결과는 흑운모편마암 표품인 MJ-8과 MJ-133과 다르게 나타난다. 앞서 MJ-133번이 알만딘-스페살틴 고용체 관계라면, MJ-137번은 알만딘-그로슐라 고용체라 할 수 있겠다. 이는 Fe-Mg-Ca+Mn의 삼 각도표(Fig. 10)에서 보여지는 바와 같이 반상변정질편마암에서 흑운모편마암에 비 해 상대적으로 Ca+Mn의 함량이 높은 점으로 미뤄 예견되었다. 또한 Fe의 함량은 흑운모편마암의 표품들에 비해 낮아 알만딘의 함량에 있어서 대부분의 석류석이 70%이상의 함량을 보이는데 반해 MJ-137번의 알만딘 함량은 51-53%로 작은 편 이다. 파이로프와 스페살틴의 함량은 합쳐서 20% 넘지 않는다. 그로슐라의 함량은 31-32%로 알만딘의 함량과 큰 차이를 보이지 않는다(Fig. 13).

Fig. 13에서 보는 바와 같이 주변와 중심부와의 함량차이는 크지 않으며 다른 석류석들과 마찬가지로 고르게 성장했음을 알 수 있다.

반상변정질편마암 표품인 MJ-46에 대한 석류석 누대구조는 Fig. 14에 표시하였 다. 석류석의 크기가 크지 않아 분석 포인트의 개수가 적은 편이다.

알만딘의 성분이 66-71%로 주 구성은 알만딘이라는 것을 보여준다. 그 외에 파 이로프 1-2%, 스페살틴 18-20%, 그로슐라 9-12%로 알만딘을 제외한 나머지 3 개의 성분은 큰 차이를 보이지 않는다.

Fig. 14에서 보여지는 바와 같이 중심부에서 알만딘의 성분이 소폭 감소하고 스 페살틴과 파이로프가 소폭 증가하는 경향을 보이기는 하지만 다른 석류석들에서도 비슷한 함량차이를 보이는 것으로 보아 고르게 성장했다고 판단해도 무리는 없을 것이다. 2. 흑운모

흑운모는 편마암류의 주 구성광물로서 운모편마암에서 호상구조의 엽리를 따라 배열되어 있다. 편마암의 흑운모 화학조성은 Table 4과 같다. 변성도에 따라 TiO2 및 MgO의 함량이 변화되는 것이 일반적인 경향이라고 알려져 있다. 본 지역의 변 성암류에서 산출되는 흑운모의 TiO2 함량은 암종의 변화에 따른 뚜렷한 차이는 인 지되지 않으나 MgO의 함량에서 흑운모편마암의 경우 변화폭이 넓다.

X<sub>Fe</sub>에 대한 Al<sup>™</sup>의 변화를 Fig. 15에 표시하였다. Fig. 15에서 흑운모들의 Al<sup>™</sup>의 값은 다른 값들과 많이 차이 나는 분석값을 제외하면, 1.2-1.5의 제한된 범위에 놓 이며, X<sub>Fe</sub>의 값은 0.5-0.9로 제한된 범위 내에 놓인다.

흑운모의 조성은 압력보다는 온도의 변화에 상대적으로 민감한 변화를 보이는데, 온도 증가에 따라 Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Mn 함량은 감소하고, Ti, Mg, Ba, Cr, V는 증가하 는 양상을 보인다(Guidotte, 1984). 반상변정질편마암내 흑운모의 X<sub>Fe</sub>의 값이 흑운 모편마암내 흑운모의 X<sub>Fe</sub>의 값보다 높은 것으로 보아 반상변정질편마암의 흑운모 가 상대적으로 흑운모편마암의 흑운모보다 저온에서 생성되었으리라 추정할 수 있 다.

Kertz(1959)에 따르면 규선석과 공생하는 흑운모들이 그렇지 않은 것들에 비해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 Al<sup>U</sup>의 값이 높은 경향이 있는데 Table 4에 제시된 것처럼 본 연구에서 는 암상 및 장소에 따른 차이와 규선석의 유무에 관계없이 큰 차이를 보이지 않는 다.



Fig 15. The composition of biotite from gneisses of the Jangsu area in  ${\rm Al}^{\rm W}\text{-}X_{\rm Fe}$  diagram.

	Biotite Gneiss												
sample	MJ-	8	MJ-2	24	MJ-4	43	MJ-132	MJ-1	33				
No.	16	17	2	5	3	6	5	11	12				
SiO <sub>2</sub>	35.67	35.27	34.01	34.25	34.81	35.16	35.61	33.26	30.51				
TiO <sub>2</sub>	1.66	1.82	2.10	1.88	1.80	1.44	2.30	1.81	0.61				
$A1_{2}O_{3}$	17.24	17.39	19.43	19.24	17.09	17.10	16.53	18.43	18.72				
Fe0	20.28	20.64	20.56	21.56	20.04	19.88	18.28	28.20	31.59				
MnO	0.13	0.16	0.15	0.15	0.17	0.19	0.43	0.38	0.63				
MgO	10.18	9.99	7.79	7.81	9.14	9.01	10.35	2.75	3.38				
Ca0	0.06	0.04	0.02	0.02	0.11	0.04	0.02	0.05	0.04				
$Na_2O$	0.13	0.11	0.18	0.18	0.04	0.05	0.07	0.02	0.03				
K <sub>2</sub> O	10.81	10.48	10.45	10.58	10.63	11.09	11.21	10.64	6.50				
Total	96.15	95.90	94.69	95.66	93.83	93.97	94.80	95.53	91.99				
11(0)													
Si	2.73	2.71	2.65	2.65	2.74	2.76	2.75	2.68	2.56				
Ti	0.10	0.11	0.12	0.11	0.11	0.09	0.13	0.11	0.04				
A1 <sup>IV</sup>	1.27	1.29	1.35	1.35	1.26	1.24	1.25	1.32	1.44				
A1 <sup>VI</sup>	0.29	0.29	0.43	0.41	0.32	0.34	0.26	0.43	0.41				
Fe	1.30	1.33	1.34	1.40	1.32	1.31	1.18	1.90	2.21				
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.04				
Mg	1.16	1.14	0.90	0.90	1.07	1.05	1.19	0.33	0.42				
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00				
Na	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00				
Κ	1.06	1.03	1.04	1.04	1.06	1.11	1.11	1.09	0.69				
$X_{\rm Fe}$	0.53	0.54	0.60	0.61	0.55	0.55	0.50	0.85	0.84				

Table 4. Representative compositions of biotite from gneiss of the Jangsu area.

 $X_{Fe}$  represents Fe/(Fe+Mg), mat: matrix. composition are shown as oxide weight percents and atomic proportions based on 11 oxygens.

	Biotite	Gneiss				Porphyı	oblastic	Gneiss			
sample	MJ-	151	MJ-	137	MJ-	138		MJ-	149		MJ-150
No.	2	5	8	9	2	4	4	5	6	7	2
SiO <sub>2</sub>	35.34	34.68	33.18	33.61	33.32	26.54	33.79	35.03	34.88	34.18	34.43
$TiO_2$	1.86	1.49	1.51	2.41	2.34	0.16	2.41	2.38	2.51	2.44	2.16
$A1_{2}O_{3}$	16.46	17.36	17.76	16.59	17.63	25.33	15.74	17.28	16.69	16.33	16.20
Fe0	21.14	21.39	28.41	28.25	29.36	22.73	24.90	25.20	26.03	24.86	27.14
MnO	0.20	0.19	0.36	0.40	0.36	6.28	0.39	0.33	0.38	0.40	0.42
MgO	9.31	9.50	3.28	2.98	2.45	0.21	5.99	5.82	5.98	5.94	4.89
Ca0	0.00	0.00	0.12	0.05	0.02	13.86	0.01	0.02	0.01	0.09	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.07	0.04	0.03	0.04	0.01	0.02	0.03	0.04	0.07	0.04
$K_2O$	10.85	10.64	10.39	10.81	10.47	0.00	10.83	10.57	10.85	10.72	10.75
Total	95.21	95.32	95.05	95.12	95.99	95.12	94.10	96.67	97.38	95.02	96.05
11(0)											
Si	2.75	2.70	2.69	2.73	2.68	2.12	2.73	2.73	2.72	2.73	2.74
Ti	0.11	0.09	0.09	0.15	0.14	0.01	0.15	0.14	0.15	0.15	0.13
A1 <sup>IV</sup>	1.25	1.30	1.31	1.27	1.32	1.88	1.27	1.27	1.28	1.27	1.26
A1 <sup>VI</sup>	0.26	0.29	0.38	0.31	0.36	0.51	0.23	0.32	0.26	0.26	0.27
Fe	1.38	1.39	1.92	1.92	1.98	1.52	1.68	1.64	1.70	1.66	1.81
Mn	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.43	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
Mg	1.08	1.10	0.40	0.36	0.29	0.03	0.72	0.68	0.69	0.71	0.58
Ca	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	1.19	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Na	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
K	1.08	1.06	1.07	1.12	1.08	0.00	1.12	1.05	1.08	1.09	1.09
$X_{\rm Fe}$	0.56	0.56	0.83	0.84	0.87	0.98	0.70	0.71	0.71	0.70	0.76

Table 4. Continued.

3. 사장석

연구지역 편마암류의 사장석은 전체적으로 An=17-43으로 좁은 범위를 보이고 있다(Table 5). 흑운모편마암류에서는 표품 MJ-8이 An=34-36, MJ-24에서 An=36-39, MJ-43에서 An=39-43, MJ-133에서 An=24, MJ-137에서 An=30-33, MJ-138에서 An=35의 분포를 보인다. 반상변정질편마암의 것들은 표 품 MJ-46에서 An-17, MJ-149에서 An=35-37, MJ-150에서 An=33의 분포를 보 인다(Fig. 16).

사장석은 변성도의 증가에 따라 Ca의 함량이 증가하는 변성환경을 잘 지시하는 광물이다. 사장석 성분의 범위의 변화는 변성온도의 변화보다는 변성압력의 변화에 많은 영향을 받으며 공존하고 있는 석류석내의 Ca 함량과 밀접한 관계를 가진다. 즉, 사장석 내의 Ca 함량의 점진적인 증가와 석류석 내의 Ca 함량의 점진적 감소, 또는 이들의 상대적 비율(XGar/XAn)의 감소는 압력의 감소를 지시한다(Sprear, 1993). 이를 통해 반상변정질편마암에서 흑운모편마암으로 압력이 감소했을을 추 정해 볼 수 있다.



Fig. 16. The compositions of plagioclase from the gneiss of the Jangsu area in the Or-Ab-An ternary diagram.

Biotite Gneiss												
sample		8			24	4	43	132	133		151	
No.	18	19	20	3	4	2	5	4	13	3	6	7
SiO2	58.97	59.99	58.46	57.82	58.95	56.36	57.49	47.11	61.70	53.46	52.24	57.87
TiO2	0.00	0.12	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02
A1203	25.68	26.00	25.61	27.06	25.95	26.58	25.85	32.64	24.39	29.56	29.31	25.89
Fe0	0.07	0.06	0.07	0.12	0.04	0.25	0.38	0.15	0.05	0.09	0.21	0.21
MnO	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.07	0.04	0.00	0.01	0.00
MgO	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca0	7.45	7.26	7.88	8.42	7.69	9.29	8.39	17.09	5.26	13.35	13.10	8.72
Na2O	7.98	7.88	7.60	7.36	7.63	6.82	7.31	2.17	9.00	4.44	4.67	7.13
K20	0.07	0.07	0.06	0.07	0.05	0.07	0.10	0.01	0.21	0.05	0.08	0.08
Total	100.23	101.44	99.72	100.87	100.32	99.38	99.55	99.24	100.66	100.95	99.63	99.93
8(0)												
Si	2.63	2.64	2.63	2.57	2.63	2.55	2.60	2.18	2.73	2.40	2.39	2.60
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
A1	1.35	1.35	1.36	1.42	1.36	1.42	1.38	1.78	1.27	1.57	1.58	1.37
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.36	0.34	0.38	0.40	0.37	0.45	0.41	0.85	0.25	0.64	0.64	0.42
Na	0.69	0.67	0.66	0.63	0.66	0.60	0.64	0.20	0.77	0.39	0.41	0.62
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
XAn	0.34	0.34	0.36	0.39	0.36	0.43	0.39	0.81	0.24	0.62	0.61	0.40
XAb	0.66	0.66	0.63	0.61	0.64	0.57	0.61	0.19	0.75	0.37	0.39	0.59
XOr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00

Table 5. Representative compositions of plagioclase from gneiss of the Jangsu area.

X<sub>Ab</sub>=Na/Q, X<sub>An</sub>=Ca/Q and X<sub>0r</sub>=K/Q, where Q=Na+Ca+K, Compositions are shown as oxide weight percents and atomic propositions based on 32 oxysens.

Porphyroblasric Gneiss											
sample	46		13	37	138		149	)		150	
No.	6	7	10	11	3	8	9	10	11	3	
Si02	64.47	64.14	58.57	61.12	59.62	59.56	59.52	58.08	58.46	59.35	
TiO2	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
A1203	21.87	21.97	24.90	23.60	25.44	26.11	26.71	25.63	24.86	25.52	
Fe0	0.04	0.05	0.13	0.08	0.20	0.07	0.05	0.06	0.08	0.15	
MnO	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	
Ca0	3.76	3.62	7.35	6.27	6.84	7.70	7.98	8.38	8.08	7.07	
Na20	9.76	9.84	8.01	8.05	6.78	7.78	7.41	7.75	7.96	7.99	
K20	0.09	0.08	0.11	0.18	0.18	0.16	0.15	0.09	0.13	0.10	
Total	100.01	99.69	99.08	99.31	99.07	101.37	101.84	99.98	99.57	100.23	
8(0)											
Si	2.85	2.84	2.65	2.74	2.67	2.63	2.61	2.61	2.64	2.65	
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
A1	1.14	1.15	1.33	1.25	1.34	1.36	1.38	1.36	1.32	1.34	
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Ca	0.18	0.17	0.36	0.30	0.33	0.36	0.38	0.40	0.39	0.34	
Na	0.84	0.84	0.70	0.70	0.59	0.67	0.63	0.68	0.70	0.69	
Κ	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	
XAn	0.17	0.17	0.33	0.30	0.35	0.35	0.37	0.37	0.36	0.33	
XAb	0.82	0.83	0.66	0.69	0.63	0.64	0.62	0.62	0.64	0.67	
XOr	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	

Table 5. Continued.

V. 지온지압계

1. 석류석-흑운모 지온계

이 지온계는 변성암석학에서 가장 널리 사용되는 지온계로 많은 학자들에 의하 여 연구되어 왔다. KFMAS계에서 석류석과 흑운모의 Fe, Mg 교환반응은 아래 식 으로 표현되며 이들간의 분배계수 K<sub>D</sub>는 (Fe/Mg)<sub>Bt</sub>/(Fe/Mg)<sub>Grt</sub>가 된다.

Ferry and Spear(1978)는 실험적 방법을 이용하여 석류석과 흑운모간의 Fe, Mg의 분배정도를 측정하여 아래의 계산식을 만들었다.

 $12.454 - 4.662T(^{\circ}K) + 0.057P(bars) + 3RTlnK_{D} = 0$ 

이들의 실험식은 제한된 시료를 사용하여 만들어져 그 이용에 있어서 다음과 같 은 제한 범위를 가진다. 즉, 석류석내의 Fe/(Fe+Mg)의 비는 0.8에서 1.0의 범위 에 속하고, (Ca+Mn)/(Ca+Mn+Fe+Mg)의 비는 0.2이하이고, 흑운모의 (Al<sup>\UT</sup> +Ti)/(Al<sup>\UT</sup>+Ti+Fe+Mg)비는 0.15이하로 석류석-흑운모 지온계 이용을 제한하였 다.

Indares and Martingnole(1985)는 백립암상의 변성암 내에서 적용이 가능한 석 류석-흑운모 지온계를 제안하였다. 이들은 석류석내의 Ca함량의 변화에 대하여 열 역학적 자료를 이용한 모델과 열역학적 자료와 경험적 자료를 결함한 모델을 이용 하여 계산식을 만들었다.

 $T(^{\circ}K) = 4301 + 3000X_{Ca}^{Grt} + 1300X_{Mn}^{Grt} - 495(X_{Mg} - X_{Fe})^{Grt} - 3595X_{Al(VI)}^{Bt} - 4423X_{Ti}^{Bt} + 1073(X_{Mg} - X_{Fe})^{Bt} + 0.0246P/(1.85 - RlnK_D)$ 

Dasgupta et al.(1991)는 각섬암과 백립암 등에서 적용하기 위해 새로운 계산식 으로 제안하였으며, 이 식은 Ferry and Spear(1978)식 보다 적용범위가 상대적으 로 넓다.

$$T(^{\circ}K) = \frac{2780 + 258X_{Ca}^{Grt}}{\ln K_D + 0.235X_{Ca}^{Grt} + 1.51}$$

Kretz(1994)는 2~6kb의 영역에서 석류석과 흑운모간의 Fe, Mg 분배정도에 따 른 자신의 계산식(Kretz, 1990 : lnK<sub>D</sub>=(2780/T)-1.51)에 대하여 석류석내의 Ca함 량 증가에 따른 변화를 고려하여 다음 식을 제안하였다.

$$T(^{\circ}K) = \frac{2780 + 258X_{Ca}^{Grt}}{\ln K_D + 0.235X_{Ca}^{Grt} + 1.51}$$

2. 석류석-흑운모-사장석 지압계

Hoisch(1990)은 퇴적기원의 변성암에서 흔히 관찰되는 석류석-흑운모-백운모-사장석-석영의 광물조합에 대하여 가능한 6개의 평형반응식을 고려하여 각각의 지 압계를 만들었다. 6개의 반응식 중 석류석-흑운모-사장석-석영이 반응에 참여하 며, 자주 이용되는 두 지압계의 반응식과 지압계 계산식은 다음과 같다.

 $2CaAl_2Si_2O_8$  +  $KMg_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ anorthite phlogopite

R2 : 1/3 Fe<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> + 2/3 Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub> + K(Fe<sub>2</sub>Al)(Si<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub> + 2SiO<sub>2</sub> = almandine grossular siderophylite quartz 2CaAl2Si2O8 + KFe3(AlSi3)O10(OH)2 anorthite ammite

R1의 반응식에서의 압력 P는 ;  $P(bar) = \frac{-31830.6 + 79.028 T - RTlnK_{Ri} - 26968.7(X_{Al}^B - X_{Mg}^B) + 32604.5X_{Fe}^B + 42855.4X_{Ti}^B}{3.8145 - 2/3\Delta V_{gr}}$   $X_{vi}(q_{ij})^2$ 

 $K_{Ri} = rac{X_{phl}(a_{an})^2}{(a_{py})^{1/3}(a_{gr})^{2/3}X_{eas}}$ 

R2의 반응식에서의 압력 P는 ;  

$$P(bar) = rac{-46707.2 + 85.5824 \, T - R T ln K_{R2} - 30960.2 (X_{Al}^B - X_{Fe}^B) + 24289.6 X_{Mg}^B + 37265.6 X_{Ti}^B}{3.8986 - 2/3 \Delta V_{gr}}$$

 $K_{Ri} = rac{X_{ann}(a_{an})^2}{(a_{al})^{1/3}(a_{gr})^{2/3}X_{sid}}$ 

Ⅵ. 변성작용의 온도와 압력 및 변성 진화 과정

흑운모와 석류석간의 Fe-Mg 분배가 온도의 지배를 받는다는 것은 이미 실험적 또는 이론적인 여러 연구들에 의해 명백해졌다. 특히 Thompson(1976), Holdaway & Lee(1977), Ferry & Spear(1978) 등은 이를 이용한 흑운모-석류석 지온계를 제안하였다. 흑운모와 석류석간의 Fe-Mg 교환반응과 분배계수는 다음과 같다.

 $\begin{array}{rll} \mathrm{KFe_3Si3AlO_{10}(OH)_2} + & \mathrm{Mg_3Al_2Si_3O_{12}} = & \mathrm{KMg_3Si_3AlO_{10}(OH)_2} + & \mathrm{Fe_3Al_2Si_3O_{12}} \\ & & \text{annite} & & \text{pyrope} & & \text{phlogopite} & & \text{almandine} \\ & & & \mathrm{K_D}\text{=} & (\mathrm{Mg/Fe})_{\mathrm{Bt}} \ / \ (\mathrm{Mg/Fe})_{\mathrm{Gar}} \end{array}$ 

Thompson(1976)은 상평형관계에 의해 조건이 알려진 자연산 광물에서의 K<sub>D</sub>변 화로부터 경험적인 지온계를 제안하였다. Holdway & Lee(1977)는 자연산 광물들 의 조성과 변성도를 관병시켜 운모와 석류석간의 Fe-Mg 교환에 대한 실험으로부 터 지온계를 제안하였다.

본 연구에선 공존하는 석류석-흑운모-사정석-석영의 광물 조합과 이들 광물 성 분을 이용하여 Biotite-Garnet 지온계(Rao, 1995 modified by Kwon, Y.W.)와 Hoisch(1990)의 지압계를 사용하였다. 변성 온도 계산은 Thompson(1976), Holdway & Lee(1977), Perchuk et al.(1991), Perchuk and Lavrent'eva(1983), Ferry & Spear(1978), Indares and Martingnole(1985), Indares and Martingnole(1985), Lavrent'eva and Prechuk(1981), Bhattacharya et al.(1992) 그리고 Bhattacharya et al.(1992)에 의해 제안된 10개의 흑운모-석 류석 지온계를 사용하여 변성온도를 추정한 후 그 평균치를 변성온도로 결정하였 다(Table 6). 온도계산시의 압력조건은 5kbar로 가정하였다. 이는 남정석이 함유되 어 있다는 가정하에 계산된 것이다.

흑운모편마암의 변성온도 평균치는 600~740℃이며, 연구지역의 북부에서부터

남부로 감에 따라 온도가 감소한다. 전반적으로 본지역의 변성퇴적암류들에서 측정 된 온도치는 광물조합에 비해 높은 경향이 있다. Thompson의 지온계에 비해 Holdaway & Lee의 것은 20~30℃ 정도 낮고, Ferry & Spear의 것은 20~30℃ 정도 높은 경향이 있다.

흑운모-석류석 지온계는 이 두 광물군의 Fe-Mg 교환을 ideal한 것으로 간주하 였으므로 다른 성분(특히 흑운모내의 Ti와 Al<sup>™</sup> 및 석류석내의 Ca와 Mn)의 존재는 이에 상당한 영향을 미치게된다. Ferry & Spear(1978)는 전연광물들에 대한 그들 의 지온계의 적용범위를 석류석에선(Ca+Mn)/(Ca+Mn+Mg+Fe)≤0.2, 흑운모는 (Ti-Al<sup>™</sup>)/(Ti+Al<sup>™</sup>+Fe+Mg)≤0.15인 것으로 제한하였다. 본 지역의 표품들은 모두 이 범위에서 크게 벗어나지 않는다. 따라서 흑운모-석류석 지온계를 적용해서 구 한 변성퇴적암류의 변성온도가 넒은 범위(140℃)를 가지며, 분포지역을 따라 점이 적으로 증가하는 경향은 광역변성작용의 실제적인 기록일 것으로 생각된다. 그러나 분석시의 오차, 또는 후퇴변성에 의해 영향을 받은 비평형의 광물쌍을 분석한데서 오는 오차 등의 가능성도 배제할 수 없으며, 이에 대해서는 앞으로 좀 더 연구할 필요가 있다.

1. 변성작용의 온도와 압력

본 지역의 편마암류에 대한 변성 온도와 압력은 Table 6에 표시하였다. 편마암 류는 표품 MJ-149에서 계산된 변성온도 562-625℃, 압력 8.2-9.1kbar의 고온 고압형의 변성작용을 받은 후 표품 MJ-24에서 온도 717-826℃, 압력 4.7kbar의 저압형 후퇴변성작용을 받았으며, 표품 MJ-138에서 계산된 온도 506-645℃, 압 력 3.0kbar의 중첩된 후퇴변성작용을 받았다(Fig. 17).

한편 표품 MJ-150에서 계산된 변성온도 595-674℃, 압력 10.2kbar는 다른 표 품들의 계산 결과와 달리 이상 고압으로 계산되었으며, 표품이 전석임을 감안하여 논외로 간주하였다.

이러한 온도 압력은 김천-상주지역(송용선과 이상만, 1989) 흑운모편마암의 변 성 온도 600-800℃와 비슷하며, 압력은 김천-상주지역의 흑운모편마암 6-7kbar 보다 조금 낮은 편이다.

Biotite Gneiss										
Sample	8		24	43		132	133		151	
number										
T76	703	708	775	613	611	636	680	702	633	674
HL77	671	675	732	594	592	614	652	670	611	646
P81	643	648	706	580	577	532	605	626	592	625
PL83	648	652	697	585	584	608	635	651	600	628
FS78	722	730	826	602	599	632	691	722	628	682
IM85	678	684	752	565	571	583	630	705	596	665
IM85	694	702	732	571	579	735	691	773	616	687
LP81	661	665	715	604	602	561	627	645	615	644
B92	664	669	717	603	600	581	580	604	617	651
B92	666	671	720	606	601	555	503	536	615	651
Avg	675	680	737	592	592	604	629	663	612	655
GBPQ	4584	5507	4771	3816	4039	5615	2746	4182	4198	5906

Table 6. P-T estimates for gneisses of the Jangsu area.

The number are same as Table 3, 4 and 5. T76- Thompsom(1976), HL77- Holdaway & Lee(1977), P81- Perchuk er al. (1991), PL83- Perchuk & Lavrent'eva(1983), FS78- Ferry & Spear(1978), IM85- Indares & Martignole(1985), IM85- Indares & Martignole(1985), LP81- Lavrent'eva & Perchuk(1981), B92- Bhattachaya et al. (1992), B92- Bhattachaya et al. (1992), BGPQ- biotite-garnet-plagioclase-quartz geobarometer(Hoisch, 1990).

	Porphyroblastic Gneiss										
Sample	Sample 137		138	149			150				
number											
Т76	527	522	537	573	636	606	674				
HL77	518	514	527	559	614	588	646				
P81	478	475	509	519	578	549	595				
PL83	532	529	532	563	605	585	631				
FS78	492	487	505	550	631	592	682				
IM85	558	532	574	594	661	621	714				
IM85	661	634	645	695	758	720	837				
LP81	511	508	540	549	603	576	618				
B92	472	465	506	547	609	576	618				
B92	351	339	388	470	550	509	538				
Avg	510	501	526	562	625	592	655				
GBPQ	6923	6984	3059	8226	9133	8640	10179				

Table 6. Continue.

The number are same as Table 3, 4 and 5. T76- Thompsom(1976), HL77- Holdaway & Lee(1977), P81- Perchuk er al. (1991), PL83- Perchuk & Lavrent'eva(1983), FS78- Ferry & Spear(1978), IM85- Indares & Martignole(1985), IM85- Indares & Martignole(1985), LP81- Lavrent'eva & Perchuk(1981), B92- Bhattachaya et al. (1992), B92- Bhattachaya et al. (1992), BGPQ- biotite-garnet-plagioclase-quartz geobarometer(Hoisch, 1990).

2. 변성 진화과정

연구지역 편마암류의 변성 온도-압력 조건과 이로부터 추정되는 진화과정을 Fig. 18에 표시하였다. 본 지역의 편마암류로 부터는 세 그룹의 변성 온도-압력이 추정 된다. Group I은 반상변정질편마암 표품 MJ-149와 흑운모편마암 표품 MJ-137 에서 계산된 500-625℃, 6.9-9.1kbar이다. Group II는 흑운모편마암 표품 MJ-8, 24, 43, 132, 151에서 계산된 592-737℃, 4.0-6.9kbar이다. Group III는 흑운모 편마암 MJ-138에서 계산된 388-645℃, 3.0kbar이다.

따라서 본 지역의 편마암류는 Group I에 해당되는 500-625℃, 6.9-9.1kbar의 중압형에 가까운 변성작용을 받았다. 다음으로 Group II에 해당하는 592-737℃, 4.0-6.9kbar의 변성 온도-압력조건으로 후퇴변성작용을 받았으며, 마지막으로 Group III에 해당하는 388-645℃, 3.0kbar의 저압형의 중첩된 후퇴변성작용을 받 았다.



Fig. 17. The P-T conditions of the gneisses in the Jangsu area.



Fig. 18. P-T-t path of the study area deduced from the metamorphic conditions of the gneisses of the Jangsu area.

Ⅵ. 해석 및 토의

연구지역의 석류석 조성은 중심부로 갈수록 알만딘의 함량이 소폭 감소하다가 다시 주변부로 갈수록 소폭 증가하는 경향을 보이고 있으며, 알만딘의 감소로 스페 살틴, 파이로프, 그로슐라의 양이 소폭 증가하는 경향을 보인다. X<sub>Fe</sub>값도 알만딘의 함량 변화와 마찬가지로 주변부 보다는 중심부에서 소폭 감소하는 경향을 보인다. 따라서 이러한 현상은 석류석 입자가 변성작용이 진행되면서 성장하였거나 후퇴 변성작용 시 석류석 주변부의 성분에 변화가 일어난 것으로 보이나 더욱더 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.

사장석의 An함량이 An=17-43으로 흑운모편마암의 경우 안데신 영역에 속하고, 반상변정질 편마암의 경우 올리고클레이스 영역에 속한다. 함량의 범위로 보아 김 천-상주지역(송용선과 이상만, 1989)의 An함량 An=27-39 보다는 넓은 범위를 보 인다. 이와 같이 사장석의 An 함량이 상당한 범위를 가지며 성분의 차이를 보이는 데 이는 1차 변성작용이나 후퇴 변성작용의 결과 형성된 것과의 차이로 보이나 이 에 대한 보다 더 구체적인 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

연구지역의 북쪽인 소백산육괴 중앙부 선캠브리아 변성암류의 연구에서는 앰피 볼라이트상에서 상부앰피볼라이트상에 설치는 고도의 점진 변성작용을 받았으며, 후기에 앰피볼라이트상 내지 녹색편마암상의 후퇴변성작용을 보고 한 바 있다(송용 선과 이상만, 1989). 또한 소백산 육괴 남서부인 산청지역에서 석류석 입자의 중심 부의 변성온도 761℃내외와 압력 7kbar, 석류석 입자 주변부에서 변성온도 653℃ 내외와 압력 6.4kbar를 기재하였으며(이영택 외, 2004) 고변성 작용과 후기의 저 변성 작용에 의한 재평형을 시사 하였다. 그러나 본 지역의 편마암류는 석류석 입 자 주변부에서 500-700℃, 압력 6kbar 이상의 고온 고압형의 변성작용을 받았으 며, 600℃, 4kbar의 변성 온도-압력 조건으로 후퇴변성작용을 받았다. 이는 김천-상주지역과 산청지역에서의 변성 조건과 더불어 연구지역내의 규선석이나 석류석 내부의 사장석과 흑운모에 대한 분석의 미비로 정확한 변성작용의 내용에 대해 확 신하기 어렵다.

따라서 연구지역을 포함한 주변의 변성암류에 대한 절대연령의 시간적인 차이에 의하여 분리하거나 암석의 변성 진화과정에 의한 분리는 어렵다고 할 수 있겠다. 그리하여 연구지역도 소백산육괴의 일부분이지만 인접한 지역이나 다른 지역에서 분석한 자료들과 상이한 변화를 나타내고 있어 암상의 변화에 따른 차이와 변성 진화 과정 및 후퇴 변성작용 등에 대한 연구가 더 필요하다고 생각된다. Ⅶ. 결론

1. 본 연구지역의 변성암류는 흑운모편마암, 반상변정질편마암으로 구분된다.

2. 석류석은 대부분 알만딘-파이로프 고용체를 보인다. 일부 석류석에서 알만딘-스페살틴, 알만딘-그로슐라의 고용체를 보이기도 한다.

3. 석류석의 성분에서 알만딘의 함량이 주변부와 중심부가 소폭의 변화를 보이고 있기는 하나 그 변화가 미미해 석류석의 성장은 거의 일정했다고 추정된다.

4. 사장석 성분은 올리고클레이스-안데신 영역(An=17-43)으로 연구지역의 북부에 위치한 김천-상주의 사장석 성분 범위보다 넓다.

5. 변성작용은 중온 고압형의 변성작용(500-650℃, 6.9-10kbar)을 받은후 고온 중압형의 1차 후퇴변성작용(600-740℃, 2.7-5.9kbar) 및 중첩된 2차 후퇴변성작 용(500-540℃, 3.1kbar)이 수반되었다. ₩. 참고문헌

이병주·김정찬·김유봉·조등룡·최현일·전희영·김복철, 1/250,000 광주지질도폭설명서, 과학기술부, 1997.

김규봉·최위찬, 1/50,000 함양도폭 지질보고서, 한국자원연구소, 1994.

홍승호·윤욱, 1/50,000 장계도폭 지질보고서, 한국자원연구소, 1993.

김동학·이병주, 1/50,000 남원도폭 지질보고서, 한국동력자원연구소, 1984.

김주봉·최위찬·황재하·김정환, 1/50,000 오수도폭 지질보고서, 한국동력자원연구소, 1984.

이광진·조문섭, 가평-청평지역 경기육괴의 변성작용, 암석학회지, vol.1, no.1, 1992, p1-24.

조문섭·김종욱, 춘천-홍천지역 용두리 편마암 복합체내에 산출하는 남정석, 암석학 회지, vol.2, no.1, 1993, p1-8.

조윤호·조문섭·이승렬, 청평-양평지역에 분포하는 근청석편마암의 백립암상 변성작 용과 P-T 진화 경로, 암석학회지, vol.5, no.1, 1996, p52-65.

권용완·김형식·오창환, 경기육괴 북동부지역에 분포하는 오대산편마암복합체의 다변 성작용, 암석학회지, vol.6, no.3, 1997, p226-243.

권용완·신의철·오창환·김형식·강지훈, 풍기지역 소백산편마암복합체의 백립암상 변성 작용, 암석학회지, vol.8, no.3, 1999, p183-202.

이상원, 소백산육괴 서남부(구례-곡성-남원)의 편마암복합체의 변성작용에 관한 연 구, 부산대학교 사범대학 논문집, vol.8, 1984, p285-303.

이상원, 지리산지역 편마암류의 변성작용에 관한 연구, 부산대학교 사범대학 논문 집, vol.9, 1984, p53-69.

이상원, 소백산육괴 서남부의 편마암복합체의 변성작용에 관한 연구, 부산대학교 사범대학 논문집, vol.10, 1985, p229-255.

이상원, 소백산육괴 서남부의 편마암복합체의 변성작용에 관한 연구, 이상만 교수 송수기념 논문집, 1986, p133-153.

이상원·정증효·이춘희·이영택, 지리산 지역 편마암류의 암석학 및 동위원소연대에 대 한 연구, 부산대학교 사범대학 논문집, vol.37, 1999, p187-221.

이춘희·이상원·옥수석·송용선, 소백산육괴 서남부의 잔류반상 화강편마암의 암석학적 연구, 한국지구과학회지, vol.22 no.6, 2001, p528~547.

이상만·나기창·이상헌·박배영·이상원, 소백산육괴(동남부)의 변성암복합체에 대한 변성작용에 관한 연구, 지질학회지, vol.20 no.3, 1981, p169~188.

송용선·이상만, 소백산육괴 중앙부 선캠브리아 변성암류의 암석학적 연구, 지질학회

지, vol.25 no.4, 1989, p451~468.

조규성·남기상, 소백산육괴 남서부지역(남원일대)에 분포하는 편마암류의 미량원소 함량과 지화학적 연구, 지질학회지, vol.26 no.3, 1990, p227~234.

이상만, 지리산(하동-산청)지역의 변성니질암의 변성작용에 관한 연구, 지질학회지, vol.16 no.1, 1980, p1-15.

정증효, 하동-산청지역의 정편마암류에 대한 암석학적 연구, 부산대학교 교육대학 원 석사학위 논문, 1997.

조규성, 소백산육괴 편마암류의 기원에 대한 지화학적 연구, 전북대학교 대학원 박 사학위 논문, 1992.

안건상·오창환·박배영, 승주-순천 지역에 분포하는 정편마암류의 지구화학적 특성, 한국지구과학회지, vol.22, no.3, 2001, p163-178.

안건상·김희남·신인현·박천영, 지질온도계와 지질압력계를 통해 해석한 경기육괴의 변성진화, 조선대학교 기초과학연구소 자연과학연구, vol.23, 2000.

송용선, 소백산육괴 중앙부 선캠브리아기 변성암류에서의 흑운모-석류석 지온계, 이상만교수 송수기념 논문집, 1986, p155-165.

박배영·서구원, 광양-하동지역에 분포하는 편마암류의 지구화학 및 변성작용, 한국 지구과학회지, vol.29 no.3, p221-245.

김용준·이창신, 장수-운봉지역에 분포하는 화성암류와 화성활동에 대한 연구, 지질 학회지, vol.24, 1988, p111-131.

홍세선·김용준·김정빈, 남원지역에 분포하는 남원화강암체에 대한 암석지화학적 연 구, 지질학회지, vol.24, 1988, p132-146.

Ferry, J.M. and Spear, F.S., Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet, 66, Contributions to the Mineralogy and Petrology, 1978, p113-117.

Hoisch, T.D., Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz+muscovite+biotite+plagioclase+garnet, 104, Contribution to the Mineralogy and Petrology, p225-234.

Holdaeay, M.J., Stability of andalusite and the aluminium silicate phase diagram, 271, American Journal of Science, p97-131.

Holdaway, M.J. and Lee, S.M., Fe-Mg cordierite stability in high-grade rocks based on experimental, theoretical and natral observations. 63, Contributions to the Mineralogy and Petrology, p175-198.

Indres, A. and Martingnole, J., Biotite-garnet geothermometry in the granulite facies: The influence of Ti and Al in biotite, 70, American

Mineralogist, p272-278.

Lavent'eva, I.V. and Perchuck, L.L., Phase correspondence in the system biotite-garnet experimental data, 260, Doklady Akademii nauk SSSR, p731-734.

Perchuck, L.L. and Lavrent'eva, I.V., Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite, In Saxena, S.K.,(ed.), Kinetics and Equilibrium in Mineral Reactions, Advances in Physical Geochemistry, Springer, New York, USA, p199-239.