

## 춘천-홍천 지역 용두리 편마암 복합체내에 산출하는 남정석 : 변성지구조적 의의

조문섭 · 김종욱

서울대학교 자연과학대학 지질학과

**요 약 :** 이 연구는 경기육괴의 기반암인 춘천-홍천지역의 용두리 편마암 복합체내에서 처음으로 관찰된 남정석에 대해 보고한다. 연구 지역 석영-장석질 편마암의 주된 광물조합은 흑운모+석류석+규선석+사장석+석영±남정석±K-장석±백운모이다. 남정석은 모두 4개의 표본에서 산출하며, 그 중 3개에서는 규선석과 공존한다. 남정석은 대부분 1 mm 크기 이하의 타형 내지 반자형의 결정으로, 그리고 잔류물 형태의 준안정 광물로 산출한다. 따라서 연구 지역의 용두리 편마암 복합체는 중압형의 변성작용을 경험했으며, 후기에 규선석+K-장석 분대에 해당하는 저압형 변성작용을 받았다. 기존의 변성광물 분석자료를 재해석할 경우, 최고 변성작용의 평균 온도-압력 조건은  $683 \pm 62^\circ\text{C}$ 와  $4.9 \sim 5.5$  kbar이다. 청평-가평 지역의 변성작용(이광진과 조문섭, 1992)과 이번 연구를 종합하면 중부 경기 편마암 복합체내에서 남정석이 비교적 광역적으로 산출함이 밝혀졌다. 더 나아가 남정석이 후기의 높은 변성온도에도 불구하고 보존되어 있음은 중부 경기육괴가 빠른 속도의 용기로 특징지워지는 변성지구조적 진화를 경험했음을 시사한다.

**핵심어 :** 남정석, 중압형 변성작용, 변성지구조적 진화, 용두리 편마암 복합체

### 서 론

남정석(kyanite)은 경기육괴내에서 드물게 보고되어 왔다(Yamaguchi, 1951; Miyashiro, 1961; Na, 1978, 1979, 1992; Song *et al.*, 1989; 이광진과 조문섭, 1992). Na(1978, 1979)는 경기육괴의 기반암인 경기 편마암 복합체와 그 상위에 놓이는 소위 연천층군의 변성암류가 각각 저압형과 중압형 변성상계에 속한다고 보고하였다. 그는 더 나아가 고압광물인 남정석의 산출로부터 연천층군이 경기 편마암 복합체와는 상이한 변성시기와 변성조건을 갖는 것으로 생각하였다. 그러나 이광진과 조문섭(1992)은 청평지역의 경기 편마암 복합체내에서 남정석이 산출함을 처음 보고하였고, 적어도 경기 편마암 복합체의 일부가 중압형 변성작용을 경험했음을 밝혔다. 이번 연구 결과 홍천지역의 경기 편마암 복합체내에도 남정석이 산출함이 관찰되었고, 따라서 경기 편마암 복합체가 비교적 광역적으로 중압형 변성작용을 받았음을 시사한다.

연구 지역은 강원도 홍천군과 춘성군의 일부를 포함하며, 경기육괴의 기반암인 용두리 편마암 복합체로 구성된다(Fig. 1). 이 지역의 북동쪽에는 춘천 각섬암을 포함하는 시대 미상의 구봉산층군이 분포

하고(박희인 외, 1974), 남쪽의 홍천군 지역에는 중생대 화강암류가 용두리 편마암 복합체를 관입하였다. Jwa *et al.*(1990)은 이들 화강암류 중 각섬석-흑운모 화강섬록암의 Rb-Sr 전암연령이  $212 \pm 27$  Ma라고 보고하였다. 또한 Lee *et al.*(1991)은 홍천군 지역 용두리 편마암 복합체의 변성온도와 압력을 석류석-흑운모 지온계와 석류석+Al-규산염 광물+석영+사장석(GASP) 지압계를 이용하여  $653 \pm 60^\circ\text{C}$ 와  $4.7 \pm 1.0$  kbar로 추정된 바가 있다.

이 연구는 본래 춘천-홍천간의 56번 국도변에 분포하는 변성암류에 대한 광역 변성작용과 중생대 화강암류의 관입에 따른 접촉 변성작용의 상호 관계를 밝히고자 시작되었다. 연구가 진행되던 중 남정석이 4개의 표본에서 새로이 발견되었기 때문에, 우리는 이들에 대한 기재와 함께 남정석의 산출이 갖는 변성지구조적(tectonometamorphic) 의미를 논하고자 한다.

### 용두리 편마암 복합체

용두리 편마암 복합체는 화강암질 편마암, 석영장석질 편마암, 석류석 편마암, 그리고 대상 흑운모 편마암으로 구성되어 있으며(Fig. 1), 각각의 관계는

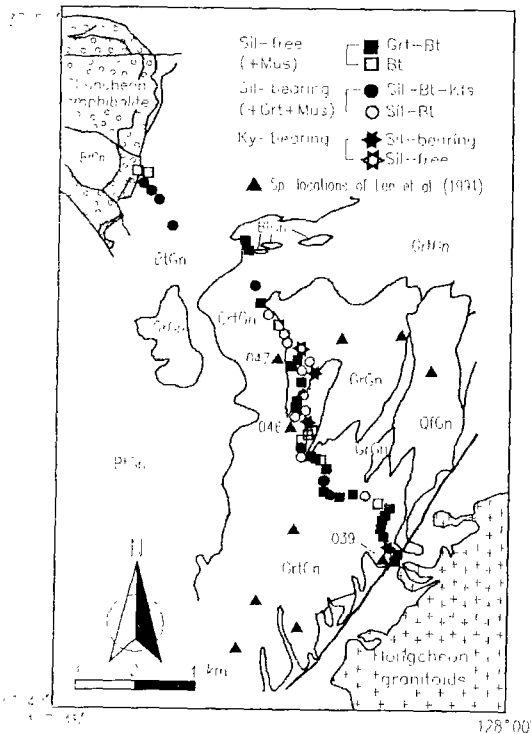


Fig. 1. Mineral assemblage map of the study area. Geologic map is adopted from Park *et al.* (1974) and Son *et al.* (1975). Sample locations of Lee *et al.* (1991) are shown as solid triangles. Numbers represent those of three samples which occur in the vicinity of kyanite-bearing samples of this study. For mineral abbreviations, see the footnote of Table 1. Other abbreviations are: BtGn=biotite gneiss; GrGn=granitic gneiss; GrtGn=garnetiferous gneiss; and QfGn=quartzfeldspathic gneiss.

점이적이다(손치무 외, 1975). 연구된 표품의 대부분을 차지하는 석류석 편마암내에는 직경 3~10 mm 크기의 석류석 반상변정이 많이 관찰되며, 다른 편마암류내에도 부분적으로 석류석이 반상 변정으로 나타난다. 석류석이 녹니석이나 흑운모로 치환되는 후퇴 변성작용이 모든 편마암류에서 관찰되며, 석류석 편마암에서는 육안으로도 흔히 관찰된다. 대상 흑운모 편마암과 석류석 편마암은 소규모의 각섬암과 규암을 협재함이 특징적이다.

연구 지역 용두리 편마암 복합체의 특징적인 광물조합은 석영+K-장석+사장석+흑운모+석류석+규선석+녹니석+백운모+불투명광물±남정석±스핀(sphene)±저어콘이다. 광물조합은 규선석의 존재 유무에 따라 두 종류로 나뉜다(Fig. 1). 규선석이

있는 광물조합은 흔히 K-장석을 포함하며, 전 지역에 걸쳐 고루 산출되며, 따라서 연구 지역의 변성도는 규선석+K-장석 분대에 달한다(Yardley, 1989). 중생대 화강암류의 관입에 의한 접촉변성대의 발달은 뚜렷하지 않으며, 광역 변성광물조합에 큰 영향을 미치지 못했음을 알 수 있다. 또한 네 개의 석류석 편마암내에서 남정석이 특징적으로 산출되며, 그 중 세 표품에서는 남정석과 규선석이 공존한다.

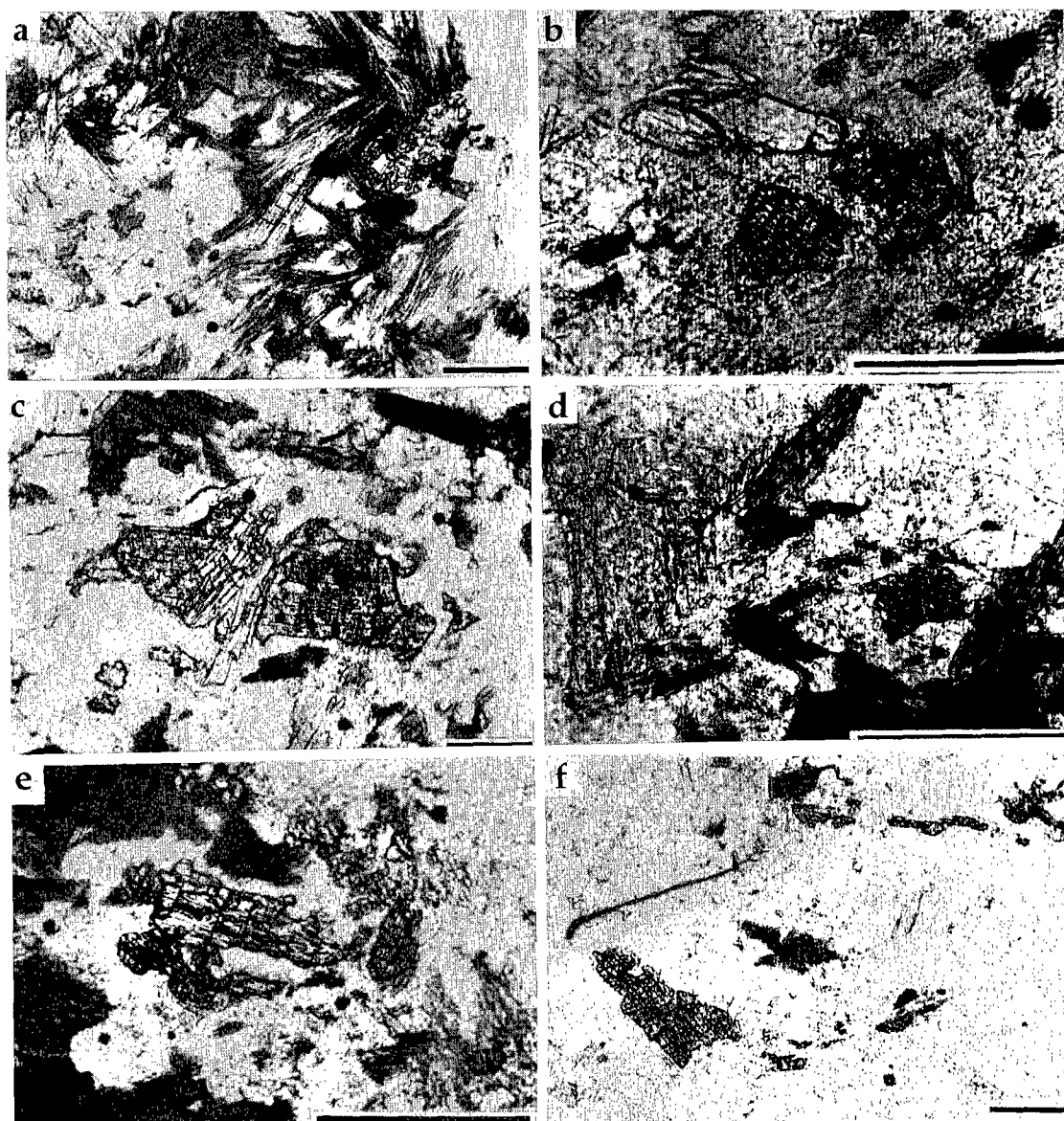
## Al-규산염 광물

연구 지역의 Al-규산염 광물은 규선석과 남정석으로서 이들의 산출은 변성조건에 대한 중요한 정보를 제공한다. 이들 중 남정석이 산출하는 표품의 광물조합 및 1000점 계수(point counting)에 의거한 모드(mode) 값은 Table 1과 같다.

남정석은 4개의 표품(25, 67, 75-A, 80)에서 산출한다. 이들 표품은 석영, 흑운모, 석류석, 정장석, 사장석 등으로 구성되어 있으며, 소량의 녹니석과 백운모가 2차 광물로 관찰된다. 남정석은 다른 광물에 비해 큰 기복(relief)과 두 방향의 벽개가 특징적이고(Fig. 2), 잘린 면에 따라 0~30°의 소광각을 보인다. 남정석은 단독으로 산출하거나(80), 규선석과 공존한다(25, 67, 75-A). 남정석 결정들은 대부분 후기 변성작용에 의해 불안정해져서 잔류물로 남아 있거나 백운모에 의해 치환된다.

규선석은 대부분 침상의 파이버로라이트(fibrolite)로 나타나며 흑운모, 백운모 등과 밀접하게 수반된다. 그러나 일부의 표품들에서 규선석은 침상과 프리즘형(prismatic)이 모두 관찰된다(Fig. 2a).

표품 25는 5.8 모달(modal)%의 규선석과 연구 지역내에서는 가장 많은 0.5 모달%의 남정석이 관찰된다. 남정석은 대부분 0.25~1 mm 크기의 타형 결정으로 규선석과 공존하며(Fig. 2b), 드물게는 규선석이 반자형의 남정석을 자르며 성장하는 형태가(Fig. 2c) 특징적으로 관찰된다. 또한 규선석과 접촉하지 않고 단독으로 존재하거나, 후기 변성작용의 영향으로 인해 석영내에 작은 잔류물로 산출하기도 한다. 규선석은 약 4.1 모달%의 파이버로라이트와 약 1.7 모달%의 프리즘형 결정이 관찰되는데, 대부분 자형이며 남정석에 비해 후기 변성작용의 영향을 적게 받았다. 따라서 표품 25에서 공존하는 Al-규산염 광물들은 열역학적 평형관계를 보이지는 않으며, 규선석이 안정한 반면 남정석은 준안정(meta-



**Fig. 2.** Photomicrographs of kyanite-bearing samples: (a) Sillimanite occurring as both fibrous and prismatic (center) forms in sp. 25; (b) Two fine grains of anhedral kyanite grains coexisting with sillimanite (top left; sp. 25); (c) Sillimanite cross-cutting the subhedral grain of kyanite (sp. 25); (d) Kyanite (right center) occurring as fine relict grain, together with sillimanite (left) and biotite (dark plates) in sp. 67; (e) Relict kyanite grain replaced by sillimanite (sp. 67); (f) Kyanite and biotite occurring as relict grains (sp. 75-A). All scales represent 0.5 mm.

stable) 광물로 존재한다.

표본 67에서는 2.2~4.6 모달 %의 규선석과 0.1~0.3 모달 %의 남정석이 관찰된다(Table 1). 남정석은 대부분 잔류물로 남아 있으며(Fig. 2d), 규선석에 의해 치환되는 경우도 (Fig. 2e) 드물게 관찰된다.

규선석은 자형으로 침상과 프리즘형이 모두 관찰된다. 표본 67에서도 규선석과 남정석이 공존하지만 남정석은 준안정 광물로 산출한다.

표본 75-A의 석류석은 대부분 백운모와 녹니석에 의해 치환되어 있다. 이 표본에서는 0.1~0.2 모달

**Table 1.** Mineral modes of the kyanite-bearing samples

Sample no.	Fib	Sil	Ky	Grt	Bt	Pl	Kfs	Qtz	Chl	Mus	Opaq
25	4.1	1.7	0.5	10.6	34.3	5.5	13.3	21.9	2.2	3.4	2.5
67-1*	3.9	0.7	0.3	1.7	14.5	3.2	12.9	58.2	2.9	1.8	tr
67-2*	1.8	0.4	0.1	1.1	23.3	4.9	14.4	50.5	0.9	1.9	0.4
75-A1*	n.d.**	n.d.	0.1	1.8	11.5	5.4	26.8	49.4	2.9	1.9	tr
75-A2*	0.5	0.4	0.2	3.6	12.2	11.6	20.7	46.1	0.4	4.2	0.2
80	n.d.	n.d.	0.2	0.4	2.2	1.6	29.4	43.5	16.5	6.3	tr

\*Two thin sections are respectively examined for modal analyses of sp. 67 and 75-A. \*\*n.d.=not detected. [Abbreviations (adopted from Kretz, 1983)]

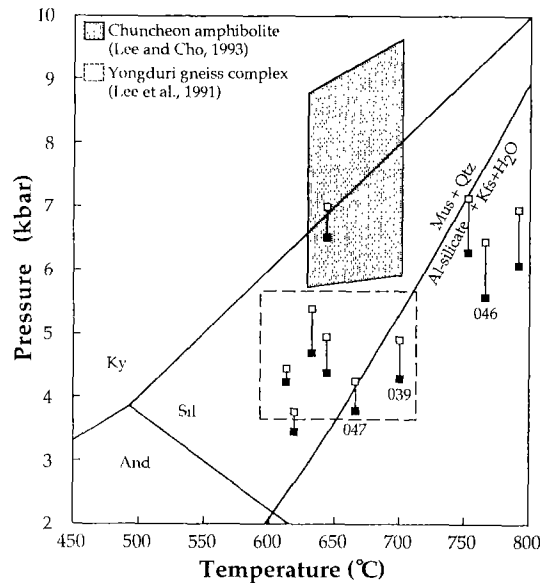
Bt: biotite, Chl: chlorite, Fib: fibrolite, Grt: garnet, Kfs: K-feldspar, Ky: kyanite, Mus: muscovite, Opaq: opaque mineral, Pl: plagioclase, Sil: sillimanite, Qtz: quartz.

%의 남정석이 규선석과 함께 또는 단독으로 산출한다(Fig. 2f). 남정석은 잔류물로 남아 있으며, 대부분 후퇴 변성작용의 영향으로 백운모에 의해 치환된다. 규선석은 침상과 프리즘형이 모두 관찰되며, 백운모 등에 의해 치환되기도 한다. 따라서 표품 75-A에서는 남정석과 규선석 모두 후퇴 변성작용의 영향을 받았다.

표품 80은 후퇴 변성작용 때문에 석류석이 녹니석과 백운모에 의해 심하게 치환되었으며 소량(0.4 모달%)만이 잔류물로 남아 있다. 이 표품에서 규선석은 관찰되지 않으며 0.2 모달%의 남정석만 관찰된다. 타형의 남정석 결정 주변에 얇은 백운모의 띠가 특징적으로 발달하며, 남정석은 역시 준안정 광물로 산출한다.

### 변성온도와 압력

연구 지역의 대략적인 변성조건은 Fig. 1에 보여진 광물조합의 분포로부터 추정할 수 있다. 용두리 편마암 복합체는 대부분 석영-장석질 또는 화강암질 편마암으로 구성되어 있기 때문에 변성조건을 명확히 규정해 줄 수 있는 광물조합의 산출은 많지가 않다. 예외적으로 규선석+흑운모+K-장석+석류석+백운모+석영의 광물 조합은 연구 지역의 변성조건이 백운모+석영=K-장석+규선석+H<sub>2</sub>O의 반응곡선(Fig. 3)에 의해 규정되는 온도-압력 범위에 근접함을 지시한다. 그러나 변성용액내의 H<sub>2</sub>O 활동도를 비롯한 정확한 광물화학 분석자료는 물론이고 변성압력 값에 대한 독립적인 증거가 없을 경우, 위 반응식을 이용하여 변성조건을 정량적으로 추정하기는 힘들다. 따라서 연구 지역의 편마암류에 대한 Lee *et al.*(1991)의 분석자료를 이용하여 광역 변성작용의 온도-압력 조건을 얻고자 한다.



**Fig. 3.** Pressure and temperature estimates of ten samples from the Yongduri gneiss complex. Analytical data of Lee *et al.* (1991) are used together with the garnet-biotite geothermometry of Kretz (1990) and the GASP geobarometry of Newton and Haselton (1981; solid square) and Koziol and Newton (1989; open square). Patterned and dashed boxes represent the P-T conditions of Chuncheon amphibolite and Yongduri gneiss complex, estimated by Lee and Cho (1993) and Lee *et al.* (1991), respectively. All of the reaction curves are calculated using the GEO-CALC program of Berman (1988). Sample numbers designate three samples of Lee *et al.* (1991) occurring in the vicinity of kyanite-bearing samples of this study.

Lee *et al.*(1991)은 Ferry and Spear(1978), Ganguly and Saxena(1984) 등의 석류석-흑운모 지온계를 사용하여 10개 표품에 대한 변성온도를 구했다. 이들은 몇개의 표품에서 계산된 비정상적으로 높은 온도를 설명하기 위해 두 지온계로부터 얻어진 값

**Table 2.** Temperatures (in °C) estimated from the garnet-biotite geothermometry. Chemical data of garnet and biotite are from Lee *et al.* (1991)

Sample no.	212	046	039	244	241	066	047	151	200	205	Mean T (± 1σ)
X <sub>Fe, Grt</sub>	0.753	0.743	0.835	0.875	0.830	0.884	0.855	0.823	0.692	0.771	
X <sub>Alm*</sub>	0.721	0.712	0.783	0.752	0.761	0.767	0.779	0.763	0.664	0.736	
X <sub>Prp*</sub>	0.237	0.246	0.155	0.108	0.156	0.101	0.132	0.164	0.295	0.218	
X <sub>Grs*</sub>	0.028	0.027	0.027	0.027	0.029	0.047	0.024	0.044	0.030	0.012	
X <sub>Sps*</sub>	0.015	0.016	0.036	0.113	0.053	0.085	0.065	0.030	0.012	0.016	
X <sub>Fe, Bt</sub>	0.503	0.474	0.568	0.585	0.516	0.599	0.581	0.504	0.404	0.415	
K <sub>D</sub>	3.006	3.212	3.842	4.972	4.576	5.084	4.256	4.579	3.321	4.759	
Kretz (1990)	792	766	700	620	644	613	667	644	753	633	683.1± 62.1
Ferry and Spear (1978)	873	834	741	631	664	623	694	663	815	648	718.5± 86.8
Ganguly and Saxena (1984)	660	617	660	629	591	628	652	580	543	499	605.8± 50.5

\*X<sub>Alm</sub>=100Fe/∑M; X<sub>Prp</sub>=100Mg/∑M; X<sub>Grs</sub>=100Ca/∑M; and X<sub>Sps</sub>=100Mn/∑M, where ∑M=Fe+Mg+Ca+Mn.

들의 평균치를 사용하여 653± 60°C의 변성온도를 제시하였다. 그러나 이러한 시도는 각각의 지온계를 사용하여 얻은 719± 87°C와 606± 51°C의 값(Table 2)을 제각기 따로 해석한 경우보다 바람직하지 못하다고 생각한다. 왜냐하면 Ganguly and Saxena (1984)가 제안한 석류석 고용체의 열역학적 모델을 사용할 경우 상 관계로부터 얻은 변성도에 훨씬 못 미치는 500~590°C의 낮은 온도가 4개 표품에서 얻어지기 때문이다. 비슷한 결과가 이미 Hoinkes (1986), Edwards and Essene(1988) 등에 의해 지적된 바가 있다. 따라서 우리는 최근 Kretz(1990)가 제시한, 기존의 실험 결과들을(Ferry and Spear, 1978; Perchuck and Lavrent'eva, 1983) 모두 만족시키는 석류석-흑운모 지온계를 사용하여 변성온도를 얻었다.

Kretz(1990)의 지온계는 아래 식으로 표현된다:

$$\ln K_D = (2780/T) - 1.51$$

단 K<sub>D</sub>는  $\frac{X_{Fe, Grt}}{(1 - X_{Fe, Grt})} \cdot \frac{(1 - X_{Fe, Bt})}{X_{Fe, Bt}}$  로 정의되고,

X<sub>Fe, Grt</sub>와 X<sub>Fe, Bt</sub>는 각각 흑운모와 석류석의 Fe/(Fe+Mg) 비율이며, T는 절대온도이다. Kretz(1990)는 X<sub>Fe, Bt</sub>의 값이 0.35 내지 0.68에 해당하는 흑운모를 사용하였고, X<sub>Fe, Grt</sub>의 값이 0.66 내지 0.93이고 그로슬라(grossular)의 함량이 1~24 mol%, 스페사틴(spessartine)의 함량이 1~12 mol%인 석류석을 사용하였다. 연구 지역의 흑운모와 석류석의 성분은 모두 이들 범위에 속하므로 위의 식을 적용할 수 있다. Kretz(1990)의 지온계를 사용하여 계산한 변성온도는 Table 2에 수록되어 있으며, 평균온도는 683± 62°C이다. 그러나 Lee *et al.*(1990)의 지적처럼

3개의 표품에서는 Ferry and Spear(1978)의 지온계로부터 얻은 온도(815~873°C) 보다는 낮지만 753~792°C의 높은 온도가 계산된다. 나머지 7개 표품에서는 613~700°C의 비교적 일치된 온도 범위가 구해진다.

변성압력은 Kretz(1990)의 지온계로부터 얻은 온도와 석류석+Al-규산염 광물+석영+사장석(GASP) 지압계(Newton and Haselton, 1981; Hodges and Spear, 1982; Koziol and Newton, 1989)를 사용해 구하였다. 이들 지압계는 각각 4.9± 1.0 kbar, 5.5± 1.0 kbar 그리고 5.5± 1.2 kbar의 압력값을 제공하며 (Table 3), 서로 다른 그로슬라와 아노사이트(anorthite)의 활동도 모델들을 사용했음에도 불구하고 비교적 일치하는 결과를 보여준다. 따라서 연구지역의 평균압력은 4.9~5.5 kbar로 추정된다.

Fig. 3은 Kretz(1990)의 지온계와 함께 Newton and Haselton(1981)과 Koziol and Newton(1989)의 지압계를 사용하여 얻은 각 표품에 대한 온도-압력의 분포를 보여 준다. Berman(1988)의 Al-규산염 광물에 대한 상 관계를 이용할 경우, 표품 151을 제외한 모든 표품이 규선석의 안정영역에 속한다. 이러한 결과는 남정석=규선석의 반응에 대한 최근의 실험 결과(Bohlen *et al.*, 1991)를 적용하여도 마찬가지이다. Fig. 3에서 남정석이 발견된 표품과 가까운 곳에서 채취된 Lee *et al.*(1991)의 3개 표품은(039, 046, 047; Fig. 1) 모두 남정석과 규선석의 상 경계 곡선으로부터 최대 150°C 정도 떨어진 높은 변성온도를 보인다. Al-규산염 광물간의 느린 반응속도를 감안하더라도 (Kerrick, 1990) 남정석이 이처럼 상당히 큰 초과온도(temperature overstepping)를 겪으면서 분해되지 않고 오랜 기간동안 남아 있으리

**Table 3.** Pressures estimated from the GASP geobarometry. Chemical data are from Lee *et al.* (1991)

Sample no.	212	046	039	244	241	066	047	151	200	205	Mean P ( $\pm 1\sigma$ )
X <sub>An</sub>	0.306	0.303	0.293	0.289	0.257	0.346	0.260	0.240	0.290	0.260	
X <sub>Gr</sub>	0.028	0.027	0.027	0.027	0.029	0.047	0.024	0.044	0.030	0.012	
T (°C) <sup>a</sup>	792	766	700	620	644	613	667	644	753	633	
P (kbar) <sup>b</sup>	6.06	5.56	4.27	3.44	4.36	4.21	3.78	6.49	6.26	4.67	4.91 $\pm$ 1.04
P (kbar) <sup>c</sup>	6.43	5.98	4.82	4.16	4.94	4.97	4.32	7.00	6.68	5.28	5.46 $\pm$ 0.95
P (kbar) <sup>d</sup>	6.94	6.44	4.88	3.75	4.92	4.42	4.24	6.99	7.13	5.37	5.51 $\pm$ 1.20

<sup>a</sup>Calculated from the garnet-biotite geothermometry of Kretz (1990); <sup>b</sup>Calculated from the GASP geobarometry of Newton and Haselton (1981); <sup>c</sup>Calculated from the GASP geobarometry of Hodges and Spear (1982); <sup>d</sup>Calculated from the GASP geobarometry of Koziol and Newton (1989).

라고 믿기가 힘들다. 따라서 약 150°C의 초과온도를 보이는 남정석의 출현은 남정석 → 규선석으로의 전이가 비교적 짧은 지질시간내에 이루어졌을 가능성을 시사한다. 물론 이러한 가설을 뒷받침하기 위해서는 남정석을 함유하는 표품에 대한 자세한 변성암석학적 연구가 앞으로 수행되어야 할 것이다.

### 토의 및 결론

춘천-홍천 지역에서 남정석이 잔류물로 산출함은 용두리 편마암 복합체를 포함하는 경기육괴의 변성진화 과정을 밝히는데 중요한 정보를 제공한다. 이 광진과 조문섭(1992)의 연구 결과와 함께 이번 연구는 경기육괴의 적어도 일부가 남정석이 안정한 중압형의 변성작용을 겪었음을 보여준다. 이러한 중압형 변성작용은 연구 지역의 북쪽에 분포하는 춘천 각섬암과 구봉산층군의 변성조건에서도(Fig. 3; Lee and Cho, 1993) 인지된다. 따라서 중부 경기육괴의 상당한 부분이 광역적인 중압형 변성작용을 경험했을 가능성을 시사한다.

앞으로 더 자세한 변성암석학적 연구가 요구되지만, Lee *et al.*(1991)의 분석자료를 사용한 온도-압력 추정치는 연구 지역의 최고 변성작용(peak metamorphism)이 683 $\pm$ 62°C와 4.9~5.5 kbar에 해당하는 규선석+K-장석 분대에 도달했음을 보인다. 이들 온도-압력 자료는 연속적이기 보다는 서로 분리된 분포 양상을 띤다(Fig. 3). 따라서 높은 온도를 보이는 세 표품의 경우, 일반적으로 석류석-흑운모 지온계가 고온에서는 잘 적용되기 어렵다(Essene, 1982)는 사실로부터 설명될 수 있지만, 한편 중생대 화성암체의 관입에 따른 지역적인 열 유입(heat flux)의 효과로 해석될 수도 있다. 후자의 해석은

홍천 화강섬록암에 대해 각섬석 지압계(Hollister *et al.*, 1987)를 적용해 조동룡(1992)이 얻은 5.4 kbar의 압력이 이들 세 표품의 것과 유사한 사실로부터 지지된다.

앞에서 언급한 남정석 잔류물의 산출은 용두리 편마암 복합체의 변성진화 과정을 논함에 있어서 중요한 의미를 지닌다. 남정석 → 규선석으로의 전이는 크게 보아 (1) 동일한 압력 하에서의 온도 증가(isobaric heating) 또는 (2) 동일한 온도 하에서의 압력 감소(isothermal decompression)에 의해 설명될 수 있다. 그러나 용두리 편마암 복합체와 인접한 춘천 각섬암과 구봉산층군의 변성니질암에 대한 연구 결과는(Fig. 3; Lee and Cho, 1993) 후자의 가능성을 지지한다. 특히 변성니질암내에 산출하는 석류석의 성분 변화로부터 얻은 온도-압력값은 거의 일정한 온도 조건(607°C~699°C) 아래에서 약 5 kbar의 압력 하강이 일어났음을 보여준다. 더 나아가 약 150°C의 초과온도에도 불구하고 남정석이 잔류물로 보존되어 있음은 남정석을 생성시킨 중압형 변성작용 이후 규선석+K-장석 분대로 규정되는 저압형 변성작용이 비교적 짧은 지질시간 동안에 중첩되었을 가능성을 시사한다. 만약 이러한 가능성이 사실일 경우, 중부 경기육괴는 남정석의 형성 이후 상당히 빠른 응기과정±열유입을 겪은 변성지구조적 환경에서 생성되었으리라 생각된다. 이러한 환경은, 예를 들어 현재의 알프스나 히말라야 충돌대와 같은 대륙 충돌대에서 찾아 볼 수 있다(Thompson and England, 1984). 이상에서 제시한 가설은 앞으로 더욱 많은 암석학적 및 지질연대학적 연구에 의해 검토되어야 하며, 특히 변성작용의 시기를 밝히는 한반도의 지각진화를 규명하는데 관련이라고 할 수 있다.

## 사 사

이 연구는 1991년도 교육부 기초과학육성연구비 (BSRI-91-504)에 의해 지원되었으며, 김종욱의 서울대학교 지질학과 1992년도 학사 학위논문을 바탕으로 쓰여졌다. 논문 초고를 읽고 유익한 비평을 제공해 주신 권성택, 오창환, 이한영 박사께 감사드리며, 또한 야외조사와 실내작업시 도움을 준 이승렬 석사와 암석학 연구실 동료들을 비롯해 박편제작사 정성껏 도와주신 김석곤씨에게 감사드립니다.

## 참고문헌

- 박학인, 장기홍, 지정만, 고인석, 1974, 한국지질도(1 : 50,000), 내평 도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 13 p.
- 손치우, 김영기, 김상욱, 김형식, 1975, 한국지질도 (1 : 50,000), 홍천 도폭 및 설명서. 국립지질광물연구소, 23 p.
- 이광진, 조문섭, 1992, 가평-청평 지역 경기육괴의 변성작용. 암석학회지, 1, 1-24.
- 조동룡, 1992, 남한에 분포하는 현생 화강암류의 기원에 대한 광물 및 암석화학적 연구. 연세대학교 박사 학위논문, 189 p.
- Berman, R.G., 1988, Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system  $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{TiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ . *Jour. Petrol.*, 29, 445-522.
- Bohlen, S.R., Montana, A. and Kerrick, D.M., 1991, Precise determination of the equilibria kyanite=sillimanite and sillimanite=andalusite and a revised triple point for  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  polymorphs. *Am. Mineral.*, 76, 677-680.
- Edwards, R.L. and Essene, E.J., 1988, Pressure, temperature and C-O-H fluid fugacities across the amphibolite-granulite transition, northwest Adirondack mountains, New York. *Jour. Petrol.*, 29, 39-72.
- Essene, E.J., 1982, Geologic thermometry and barometry. *Rev. Mineral.*, 10, Mineral. Soc. Am., 153-206.
- Ferry, J.M. and Spear, F.S., 1978, Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66, 113-117.
- Ganguly, J. and Saxena, S.K., 1984, Mixing properties of aluminosilicate garnets: Constraints from natural and experimental data, and applications to geothermo-barometry. *Am. Mineral.*, 69, 88-97.
- Hodges, K.V. and Spear, F.S., 1982, Geothermometry, geobarometry and  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire. *Am. Jour. Sci.*, 271, 97-131.
- Hoinkes, G., 1986, Effect of grossular-content in garnet on the partitioning of Fe and Mg between garnet and biotite. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 92, 393-399.
- Hollister, L.S., Grissom, G.C., Peters, E.K., Stowell, H.H. and Sisson, V.B., 1987, Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *Am. Mineral.*, 72, 231-239.
- Jwa, Y.J., Nakajima, T., Uchiumi, S. and Shibata, K., 1990, Geochronology and cooling history of Mesozoic granitic rocks in the Inje-Hongcheon district, South Korea. *Geochem. Jour.*, 24, 93-103.
- Kerrick, D.M., 1990, The  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  polymorphs. *Rev. Mineral.*, 22, Mineral. Soc. Am., 406 p.
- Koziol, A.M. and Newton, R.C., 1989, Grossular activity-composition relationships in ternary garnets determined by reversed displaced-equilibrium experiments. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 103, 423-433.
- Kretz, R., 1983, Symbols for rock-forming minerals. *Am. Mineral.*, 68, 277-279.
- Kretz, R., 1990, Biotite and garnet compositional variation and mineral equilibria in Grenville gneisses of the Otter Lake area, Quebec. *Jour. Metamorphic Geol.*, 8, 493-506.
- Lee, H.Y., Koh, S.M., Hong, S.S. and Kim, J.H., 1991, Metamorphism in the Hongcheon area, Korea. 1. Petrology, pressure and temperature. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 27, 339-356.
- Lee, S.R. and Cho, M., 1993, Tectonometamorphic evolution of the Chuncheon amphibolite (abstract). *Jour. Petrol. Soc. Korea*, Abstr. vol., 24-25.
- Miyashiro, A., 1961, Evolution of metamorphic belts. *J. Petrol.*, 2, 227-311.
- Na, K.C., 1978, Regional metamorphism in the Gyeonggi massif with comparative studies on the Yeoncheon and Ogcheon metamorphic belts (I). *Jour. Geol. Soc. Korea*, 14, 195-211.
- Na, K.C., 1979, Regional metamorphism in the Gyeonggi massif with comparative studies between Yeoncheon and Ogcheon metamorphic belts (II). *Jour. Geol. Soc. Korea*, 15, 67-88.
- Na, K.C., 1992, A study on the metamorphism in the southwestern part of Gyeonggi massif. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, 1, 25-33.
- Newton, R.C. and Haselton, H.T., 1981, Thermodynamics of the plagioclase-garnet- $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ -quartz geobarometer. In *Advances in physical geochemistry* (eds. R.C. Newton, A. Navrotsky, and B.J. Wood), 1, Springer-Verlag, New York, 131-147.
- Perchuck, L.L. and Lavrent'eva, I.V., 1983, Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite. In *Advances in physical geochemistry* (ed. S.K. Saxena), 2, Springer-Verlag, New York, 199-239.
- Song, Y.-G., Moon, H.-S. and Lee, H.Y., 1989, Temperature-pressure estimation of metasediments in Seosan area. *Jour. Korean Inst. Mining Geol.*, 22, 371-379.
- Thompson, A.B. and England, P.C., 1984, Pressure-temperature-time paths of regional metamorphism:

II. Their inference and interpretation using mineral assemblages in metamorphic rocks. *Jour. Petrol.*, 25, 929-955.

Yamaguchi, T., 1951. On the so-called Yeoncheon system and its regional metamorphism. *Jour. Geol.*

*Soc. Japan*, 57, 419-438.

Yardley, B.W.D., 1989, *An Introduction to Metamorphic Petrology*. Longman, Essex, 248 p.

(책임편집 : 오창환)

## Occurrence of kyanite in the Yongduri gneiss complex of the Chuncheon-Hongcheon area: its tectonometamorphic implication

Moonsup Cho and Jongwook Kim

*Department of Geological Sciences, Seoul National University,  
Seoul, 151-742 Korea*

**ABSTRACT** : We report on kyanite newly found in the Yongduri gneiss complex of the Chuncheon-Hongcheon area, central Gyeonggi massif. Major mineral assemblage of quartzofeldspathic gneisses in the study area consists of biotite + garnet + sillimanite + plagioclase + quartz ± kyanite ± K-feldspar ± muscovite. Kyanite occurs in four samples, and coexists with sillimanite in three of these samples. In most cases, kyanite is anhedral to subhedral, ranges up to 1 mm in the maximum dimension, and occurs as metastable relict grains. These observations indicate that the Yongduri gneiss complex has experienced a medium-pressure type metamorphism, followed by low-pressure type one belonging to the sillimanite + K-feldspar zone. Average temperature and pressure of the peak metamorphism are  $683 \pm 62^\circ\text{C}$  and 4.9~5.5 kbar, respectively, when the existing chemical data are re-interpreted. In conjunction with the finding of kyanite in the Cheongpyeong-Gapyeong area (Lee and Cho, 1992), this study demonstrates that kyanite may occur regionally in central Gyeonggi gneiss complex. Moreover, the persistence of kyanite even after the high-T metamorphism of the sillimanite + K-feldspar zone suggests that the central Gyeonggi massif has experienced a tectonometamorphic evolution characterized by a rapid uplift.

**Key Words** : Kyanite, medium-P type metamorphism, tectonometamorphic evolution, Yongduri gneiss complex