

2002년도 학술답사

---

**옥천변성대 서남부지역 변성퇴적암**

---

오창환·김성원·유인창·이덕수

주최 : 한국 암석학회

한국 광물학회

후원 : 한국 과학기술단체총연합회

학술진흥재단

전북대학교

목차

서론

옥천변성대 서남부 지역의 지질개요

야외조사 지점의 암석기재 및 설명

STOP-1: 탄질을 포함한 변성이질암

STOP-2: 고산단면 (저변성지역의 변성퇴적암류)

STOP-3: 십자석-석류석을 포함한 변성이질암

STOP-4: 소릉고개 단면 (하부 고변성지역의 변성퇴적암류)

STOP-5: 십자석-석류석 및 홍주석을 포함한 변성이질암

STOP-6: 황룡재 단면 (상부 고변성지역의 변성퇴적암류)

옥천변성대 서남부 주변 화강암류의 K-Ar 연대

토론

결론

참고문헌

## 서론

옥천변성대는 제천-괴산-대전-전주를 잇는 지구조대로 선캠브리아 경기육괴와 영남육괴 사이를 북동에서 남동방향으로 가로질러 발달하고 있다. 옥천변성대는 현재까지 층서, 구조, 지질연대 연구가 매우 미흡하며 변성작용에 관한 연구만이 비교적 자세히 수행되어 왔다. 하지만 옥천변성대에 대한 변성작용 연구도 층서와 구조에 대한 연구의 미비로 정확히 해석이 되지 못한 상태이며 특히 변성시기 측정등에 자료가 부족하며 일부 기존 연령 측정 자료는 부정확하다.

옥천변성대에 대한 변성암석학적 연구는 많은 연구자들에 의해 연구가 수행되어 왔다 (Kim, 1971; Kim et al., 1995; Oh et al., 1995a, 1995b, 1998; Min and Cho, 1998; Kim and Cho, 1999; Oh et al., 1999; Kim et al., 2000). 옥천변성대는 북동에서 남동 방향으로 대규모로 관입한 저반상의 화강암체에 의해 둘러싸여 있으며 이들에 의해 접촉변성작용을 받았다. Oh et al. (1995a, 1998)은 처음으로 옥천변성대의 서남부지역에서 광역변성작용과 접촉변성작용을 분리하여 3회의 변성작용을 구분하였다. 옥천변성대 남서부는 주 변성작용인 중압형의 M2 변성작용에 의해 녹니석대, 흑운모대, 석류석대, 남정석대의 변성분대로 구분되어지며, 변성정도가 남동쪽에서 북서쪽으로 증가함을 밝혔다. 그러나 Oh et al. (1995a)의 연구에서 보고된 남정석대에서 남정석은 산출되지 않으며, 녹니석대에서 암석내에 세립질의 흑운모가 산출되는 것이 확인되어 Kim (2002)은 변성분대를 흑운모대, 석류석대, 십자석대로 재 구분하였다. 흑운모대에서 광물조합으로 보고가 되어오지 않는 흑운모 + 백운모 + K-장석 + 사장석이 특징적으로 연장성을 가지고 산출되는 것이 관찰된다. 이들 광물조합은 흑운모대에서 변성작용의 압력을 추

정하였다. 또한 십자석대 변성이질암에 흔히 나타나는 석류석들은 흑운모, 사장석, 금홍석, 일메나이트, 백운모등 많은 포유물을 함유하고 있어 이들 광물들의 성분을 이용하여 점진적인 변성 진화사를 정량적으로 추정하였다.

중부 옥천변성대내의 운모류 K-Ar 연대의 문제점 해결과 옥천변성대 서남부 지역에서 얻어진 K-Ar 과  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대분포를 재검토의 일환으로 산출되는 변성이질암에 대해서 저변성지역부터 고변성지역에 걸쳐서 횡단선을 설정하여 체계적으로 암석을 채취하고 암석내의 흑운모와 백운모 K-Ar 과  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대측정을 수행하였고, 옥천변성대의 변성초기 혹은 주 변성시기를 지시한다고 해석되어져온 각섬석 편암의 각섬석  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대측정을 수행하였다.

옥천대의 층서퇴적 연구는 매우 미약하여 인접한 지역간 층들의 대비에 있어 많은 문제점이 있어 왔으며, 옥천대내 도폭별로 동일명의 퇴적층들의 정의 또한 다르다. 이러한 이유는 아직까지 확립된 층서가 제시되지 못하고 있다는데 있다. 이는 옥천대의 퇴적층들이 심한 변형을 받아 구조적으로 매우 복잡할 뿐만이 아니라 퇴적 시기를 결정할 수 있는 화석들의 산출이 빈약하다는데 있다. 또한 기존에 제시된 층서들도 주로 암상만을 기준으로 하는 기재적 층서단위 (예: 암층서단위)의 한계를 벗어나지 못하고 있는 실정이다. 이러한 기재적 층서단위들은 퇴적층의 동정 및 지역간 대비에 있어 시공간상에서 일어날 수 있는 퇴적작용의 다양성에 대한 개념이 본질적으로 결여되어 있어 퇴적분지 전반에 걸쳐 일어나는 퇴적 양상의 시공간적 변화 및 성인적 층서관계 등, 실체적 퇴적분지 발달사를 연구하는데 적절하지 못하다고 지적되고 있다. 이러한 문제점은 기존의 기재적 층서단위를 기본으로 한 그 동안의 옥천대 퇴적층에 대한 연구 결과에 있어서 심각한 해석적 오류가 있을 수 있음을 반영한다. 최근에 제기된 옥천대 북동부에 분포하는 고

생대 퇴적층의 층서 및 퇴적작용에 대한 재 고찰의 필요성 (유인창 외, 1997; 2002)도 바로 같은 문제점을 인식한 것으로 볼 수 있다. 이러한 기재적 층서단위의 문제점은 퇴적층들을 punctuated aggradational cycle (PAC; Goodwin and Andreson, 1985) 또는 parasequence (Van Wagoner, 1985)와 같은 성인적 층서단위 (genetic unit)로 나누어 퇴적층들에 대한 보다 성인적 접근을 함으로써 풀려 질 수 있으며, 이와 같은 퇴적층들에 대한 성인적 접근은 90년대에 들어와 새로운 층서적 사고의 틀로 꾸준히 발전되어 오고 있는 순차층서학의 개념을 적용함으로써 가능해 질 수 있다.

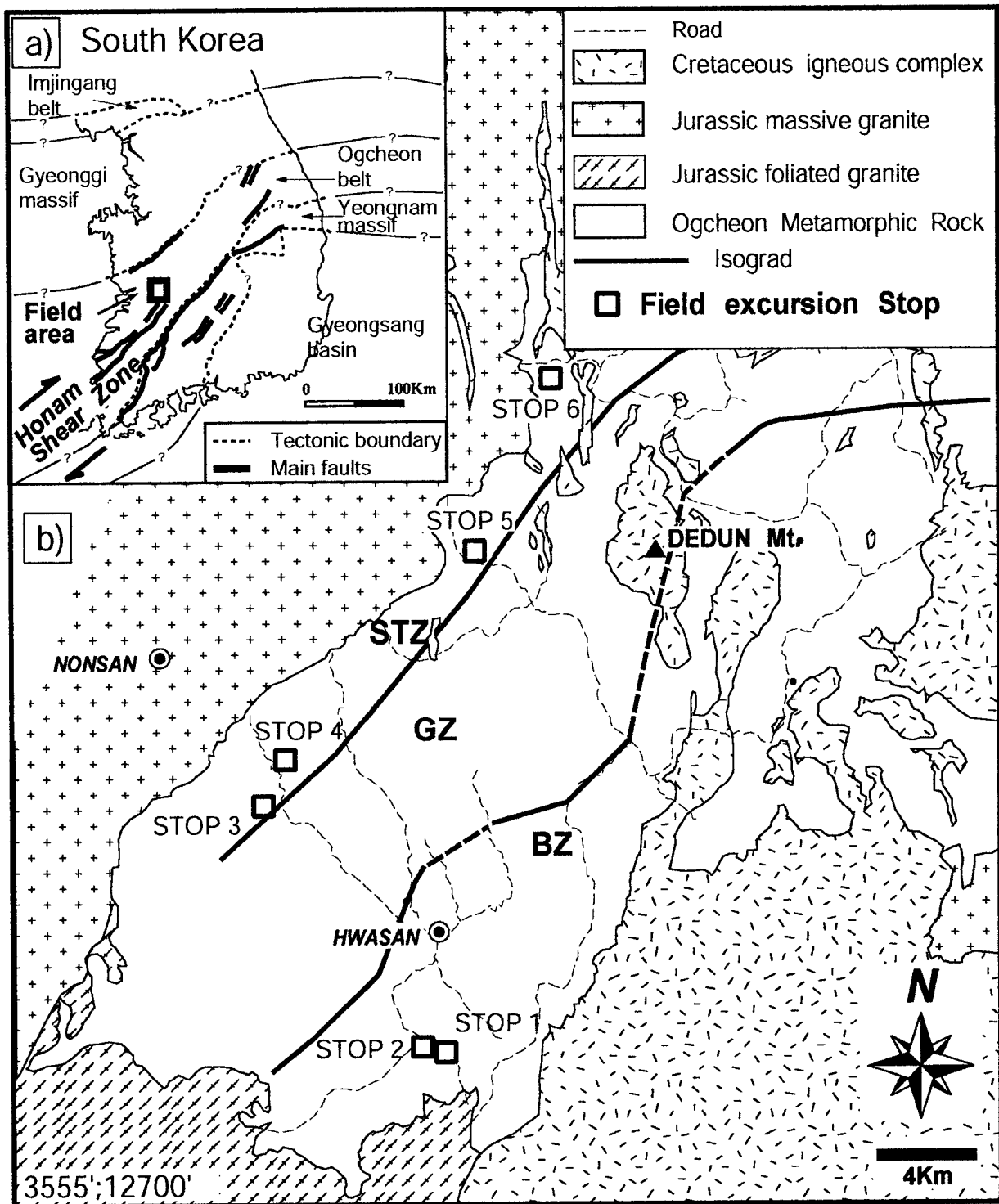
본 연구에서는 옥천대 퇴적층들에 대한 순차 층서학적 개념의 적용 가능성을 타진하기 위해 구조적 변형이 비교적 심하지 않은 옥천변성대 서남측 경계부인 전주시 북쪽 지역에 분포하는 옥천층군을 대상으로 연구를 수행하였다. 옥천변성대의 서남측 경계부인 전주지역에 분포하는 옥천층군은 암상을 기준으로 하부의 변성사질암대 (Og1)와 상부의 천매암대 (Og2)로 구분되어 왔으며, 구조적으로 변성사질암대의 경사 방향이 북서쪽에서는 남동쪽, 남동쪽에서는 북서쪽으로 되어 있어 습곡에 의해 반복되어진 것으로 해석되어 왔다 (이병주 외, 1996). 본 연구를 위하여 일차적으로 연구지역에 대한 광범위한 지질조사를 수행하였으며, 비교적 야외 노두의 발달 상태가 양호하고 1차 퇴적구조가 잘 발달되어 있는 3개 지점 (고산, 소릉고개 및 황룡재)의 신선한 노두를 선정하여 각 단면에 대한 정밀 기재를 실시하였다. 각 단면의 정밀 기재를 통하여 수직적 퇴적환경 변화를 해석하였으며, 아울러 각 층서 단면의 공간상의 분포를 기준으로 분지형성 구조운동을 유추하였다.

## 옥천변성대 서남부 지역의 지질개요

학술 야외답사지역은 옥천변성대의 서남부지역에 위치하며 전라북도 완주군과 익산군일대 및 충청남도 논산군의 일부지역이 포함된다. 옥천변성대의 서남부지역 주변부에는 북측과 서측에는 괴상과 엽리를 가지는 두 종류 화강암들이 변성암류를 관입하거나 변성암류와 단층 접촉을 하고 있으며, 동부에는 백악기 화성복합체에 의해 덮여있으며 일부분은 관입 되어 있다 (그림 1).

옥천변성대 서남부 지역은 Cluzel et al. (1990)에 의해 제시된 북서부의 피반령과 남동부의 보은의 2 개의 암상구조단위로 나누어지며, 두 단위는 주로 변성퇴적암인 이질암, 사질암, 규암과 석회암, 석회질규산염암으로 구성된다. 변성퇴적암류들은 대체적으로  $N20^{\circ} E-N70^{\circ} E$ 의 주향을 보이며, 북서쪽에서 남동쪽으로의 경사가 우세한 반면 남동부에서는 북서쪽으로의 경사가 우세하다. 두 암상구조단위의 경계는 트러스트가 존재하는 것으로 알려져 있으나 (Cluzel et al., 1990) 아직까지 명확히 확인된 바는 없다. 그리고 경계의 주향은 옥천변성대내 변성퇴적암류의 주향과 유사하다.

옥천변성대 서남부지역은 중압형의 광역변성작용을 받았으며 광역변성작용시 연구지역은 변성이질암의 광물조합을 바탕으로 남동부부터 북동방향으로 3개의 분대로 (흑운모대, 석류석대와 십자석대) 나누어 진다. 변성도는 북서방향으로 흑운모대에서 십자석대로 갈수록 증가한다. 흑운모와 석류석대는 보은단위 그리고 십자석대는 피반령단위에 속한다. 흑운모대의 특징적인 광물조합은 흑운모 + 백운모 + 녹니석 + 사장석이며 드물게 좁은지역에 걸쳐서 연장성을 가지고 흑운모 + 백운모 + K-장석 + 사장석이 산출된다. 흑운모대의 변성이질사질암류내에는 기질의 세립질의 흑운모외에 야외에서 육



**Fig. 1.** Tectonic division in South Korea (a) after Chough et al. (2000) and geologic sketch map of the field area, SW Ogcheon metamorphic belt (b). BZ, boitite zone; GZ, garnet zone; STZ, staurolite zone.

안으로 식별이 가능한 흑운모 반상변정이 산출된다. 석류석대의 특징적인 광물조합은 석류석 + 흑운모 + 백운모 + 녹니석 + 사장석이며 십자석대의 특징적인 광물조합은 십자석 + 석류석 + 흑운모 + 백운모 + 녹니석 + 사장석이다. 화강암 접촉부의 국부적인 변성암류에서 화강암의 접촉변성작용 영향으로 형성된 홍주석, 규선석, 근청석등이 관찰된다.

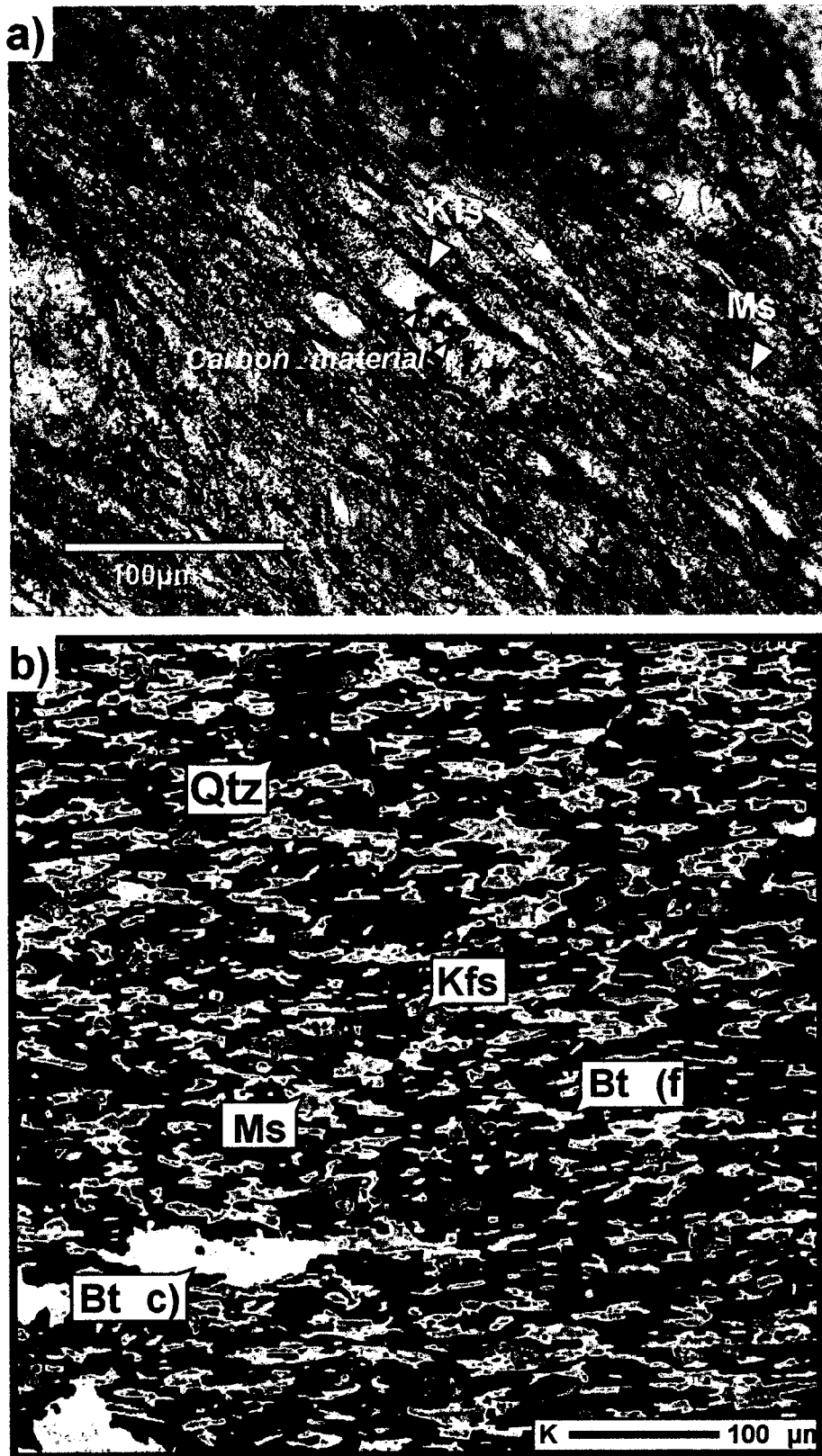
## 야외조사 지점의 암석기재

### STOP-1: 탄질을 포함한 변성이질암

탄질을 포함하는 이질암은 전라북도 고산면 북부 와룡리에 해당하는 지역 (N36° 00'05.4"E127° 12'36.5")에 폭 50 - 70 m 길이로 산재한다. 이 암상은 주변의 사질암과 탄질을 포함하지 않는 이질암들과 조화적으로 존재하며 흑운모대의 변성작용을 받았다. 일반적으로 야외에서 이들 암석은 기질의 입자가 매우 세립질로 운모질 벽개를 보여주며 암청색을 띤다. 육안으로 일부 흑운모반상변정, 산화물 및 황화물이 관찰된다. 이들 암상은 창리층 흑색 점판암에 대비되며 서남부지역의 저변성지역에서 좁은 지역에 걸쳐서 연장성을 가지고 산재하는 것이 특징이다.

주 광물군을 살펴보면 K-장석, 흑운모, 백운모, 사장석, 석영등 구성되며 산화물과 황화물등이 부구성광물군으로 관찰된다. 그림 2는 K-장석을 포함하는 이질암에 대한 현미경관찰사진과 K의 X-ray mapping 결과를 보여준다. K-장석은 극히 세립질의 결정 (10 - 20  $\mu\text{m}$ )으로 산출되며  $X_{\text{Or}} = 0.94 - 0.97$ 로 균질하다. 또한 이들 K-장석은 기질의 세립질 (10 - 20  $\mu\text{m}$ )들의 흑운모, 백운모, 사장석등과 같은 방향성을 가지며, 밀접히 공존하는 것으로 보아 변성작용시 안정된 상으로 판단된다. 흑운모들은 일부 조립질의 반상변정이





**Fig. 2.** Photomicrograph and X-ray mapping image (K content) by an EPMA showing mode of occurrence of coarse-grained K-feldspar and plagioclase from the pelitic rocks in STOP2. (a) an elongated K-feldspar (Kfs) contains carbonaceous material in the central part of crystal and its orientation is parallel to the foliation. (b) extremely fine-grained K-feldspar (Kfs) closely associate with muscovite (Ms), biotite (Bt) and quartz (Qtz). Bt (c) and Bt (f) are coarse- and fine-grained biotites, respectively.

관찰되며, 이들의 화학성분은 기질의 세립질의 흑운모와 동일하다. 흑운모와 백운모의  $Mg/(Mg+Fe) = 0.78 - 0.85$ 이며 Ba을 포함하는 것이 특징이다.

본 노두의 탄질을 포함하는 이질암의 광물군 K-장석-흑운모-백운모-석영의 광물공생관계를 이용하여 변성압력조건을 추정하였다. 육천변성대의 보은단위 즉 흑운모대는 광물공생관계 및 천매암내의 일라이트에 대한  $b_0$  파라미터 및 결정도지수등의 연구 (Kim et al., 2000)등을 근거해 최고 변성온도 조건 약 400 - 500 °C정도를 경험한 것으로 예상된다. 일반적으로 K-장석-석영-흑운모와 공존하는 백운모의 펜자이트성분은 압력에 매우 민감하게 의존하는 것으로 알려져 있다 (Massonne and Schreyer, 1987). 이러한 사실을 적용하여 Holland and Powell (1998)의 내부적 일치 열역학자료(the internally consistent thermodynamic data set)를 사용한 THERMOCALC version 3.1 (Powell and Holland, 1988; Powell et al., 1998) 프로그램의 열역학적인 계산을 통하여 변성압력을 구하였다. K-장석-석영-흑운모와 공존하는 백운모의 가장 높은 Si 성분 (Si p.f.u. = 6.5, O = 22) 과 추정된 온도인 400-500 °C를 이용하여 구한 압력은 약 4.2 - 5.1 kb이다.

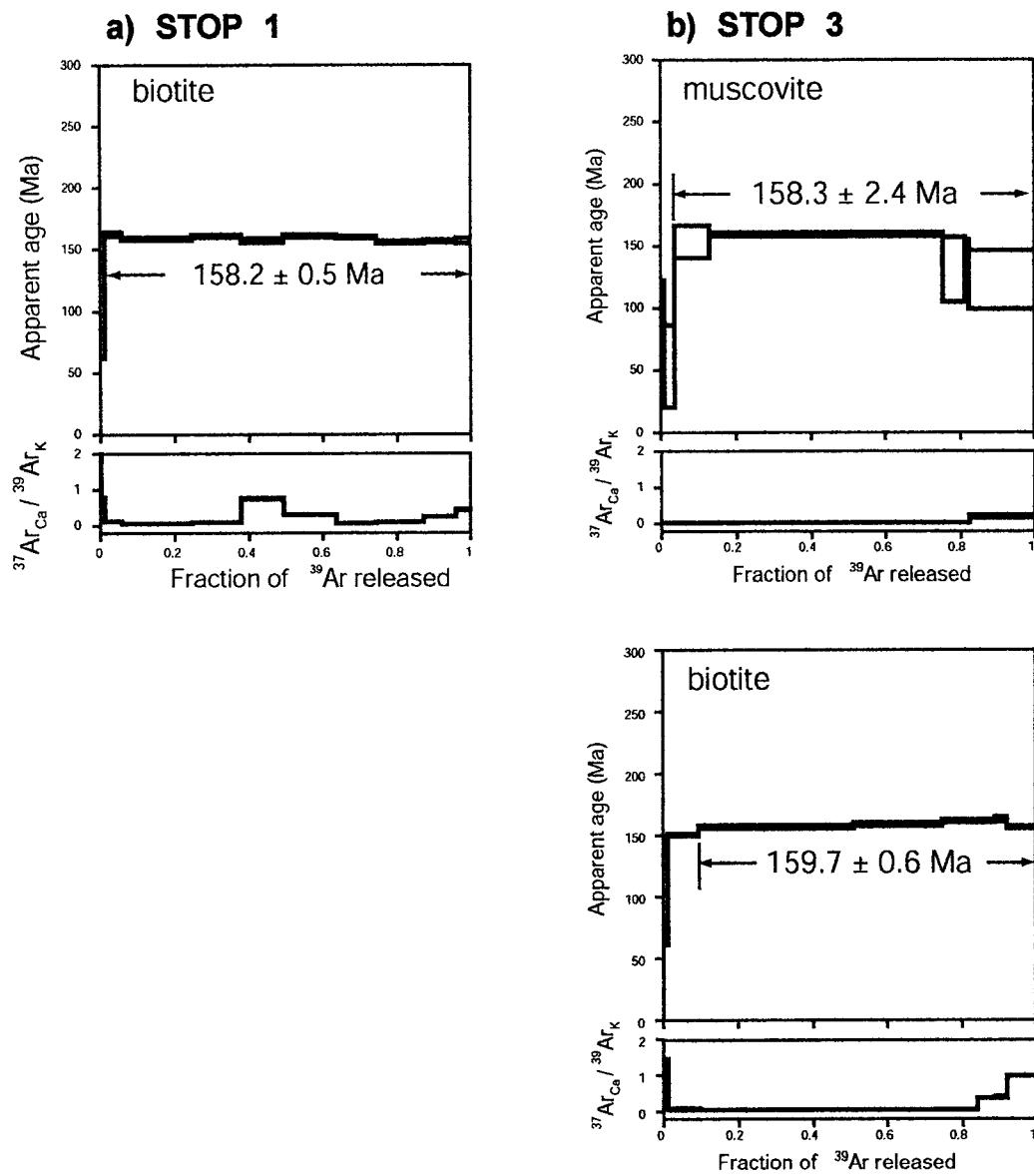
탄질을 포함한 변성이질암으로부터 흑운모를 분리하여 측정한 K-Ar 연대는  $156.5 \pm 3.3$  Ma이다 (표 1). 같은 암석내의 조립질의 흑운모  $^{40}Ar/^{39}Ar$  연대는  $158.2 \pm 0.5$  Ma의 평형연대를 얻었다. 흑운모에 대한 K-Ar 과  $^{40}Ar/^{39}Ar$  연대치가 동일함은 연대자료가 신뢰성이 높음을 지시한다 (그림 3).

#### **STOP-2: 고산단면 (저변성지역의 변성퇴적암류)**

본 노두는 전라북도 고산면 북부 와룡리에 해당하는 지역으로 (N36° 00'05.4"E127° 12'36.5") 폭 170 m길이를 노출된다. 노두 단면은 북동-남서

**Table 1. K-Ar age data of metamorphic and granitic rocks in the study area.**

Zone.	Sample No.	Mineral	Fraction	Potassium (Wt.%)	Rad. <sup>40</sup> Ar (10 <sup>-8</sup> ccSTP/g)	Age (Ma)	Non-Rad. <sup>40</sup> Ar (%)
<b>BZ</b>	<b>STOP 1</b>	Biotite	61-74µm	6.59±0.13	4179±41	156.5±3.3	1.4
	<b>STOP 2</b>	Muscovite	2-4µm	5.65±0.12	3510±36	153.4±3.3	3.6
	<b>STOP 2</b>	Muscovite	4-8µm	6.37±0.13	4043±41	156.7±3.4	2.0
<b>STZ</b>	<b>STOP 3</b>	Muscovite	104-147µm	6.19±0.12	4043±41	156.7±3.4	2.2
	<b>STOP 4</b>	Muscovite	61-74µm	7.94±0.16	5134±52	159.4±3.4	2.3
	<b>STOP 5</b>	Muscovite	61-74µm	5.91±0.12	3826±37	159.7±3.4	1.1
	<b>STOP 5</b>	Biotite	61-74µm	5.35±0.11	3402±34	156.8±3.4	3.1
	<b>STOP 5</b>	Muscovite	61-74µm	3.29±0.07	2098±21	157.6±3.4	3.5
<b>Granite</b>	<b>Massive Gr.</b>	Biotite	104-147µm	6.25±0.13	3953±39	155.9±3.3	1.7
	<b>Massive Gr.</b>	Biotite	104-147µm	7.33±0.15	4626±45	155.7±3.3	0.7
	<b>Foliated Gr.</b>	Muscovite	104-147µm	8.43±0.17	5396±53	155.7±3.4	0.8



**Fig. 3**  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age spectra and Ca/K ratios for single biotite and muscovite grains from (a) STOP 1 and (b) STOP 3.

방향의 주향을 따라 북서쪽으로 경사되어 있다. 본 단면의 하부 층준에는 이질암이 우세하나 상부로 갈수록 주로 규암역을 포함하는 역암과 규암이 우세해 지며, 일부 이질암 및 탄층이 협재한다. 본 단면의 퇴적층들은 1:25만 지질도에 변성사질암대 (Og1)로 표시되어 있으며, 미원 지역의 운교리층이나 계명산층에 대비되는 것으로 해석되었다 (이병주 외, 1996).

정밀 기재에 따라 본 단면 (그림 4) 내에서 이질암상, 함력 이질암상, 탄질암상, 규암상 및 역암상 등의 5개 암상이 인지되었다. 이 중 탄질암은 극히 일부 구간에서만 박층으로 협재하기 때문에 일반적이지 못하며, 대체적으로 본 단면의 하부에는 이질 및 함력 이질암이 우세하고 상부로 갈수록 규암과 역암이 우세해진다. 우세한 암상과 퇴적구조, 각 암상의 두께 변화 및 이들이 교호하는 양상을 기준으로 고산 단면의 퇴적층은 10개의 특징적인 단위층으로 세분된다.

수직층서상 최하부 0 - 30 m 구간의 단위층 (cycle 0)은 피상의 이질암이 우세하며, 일부 역점이 (inverse grading)를 보이는 박층(10 - 40 cm)의 역암이 간헐적으로 협재한다. 일부 이질암 내에 평행 엽층리가 발달하나 일반적이지 못하며, 간혹 규암 역을 포함하는 함력 이질암이 본 단위층 내에 발달한다. 그러나, 본 단위층 상위의 30 - 50 m 구간 (cycle 1)은 주로 규암이 우세하며, 상부로 갈수록 역암에서 규암으로 정점이 (normal grading)하는 층들이 우세해진다. 한편, 50 m 상위의 단위층들 (cycle 2 - cycle 9)은 공히 하부에는 이질암이 우세하고 상위로 갈수록 점차 규암이 우세해지다가 피상 또는 역점을 보이는 역암상으로 전이되며, 다시 그 다음 상위 단위층들의 이질암에 의해 피복되는 특징적인 교호 양상을 보인다. 아울러, 각 단위층들의 상부 층준에 우세하게 나타나는 규암 및 역암층에는 1차 퇴적구조로 보이는 평행층리 (parallel stratification) 및 사층리 (cross-stratification)

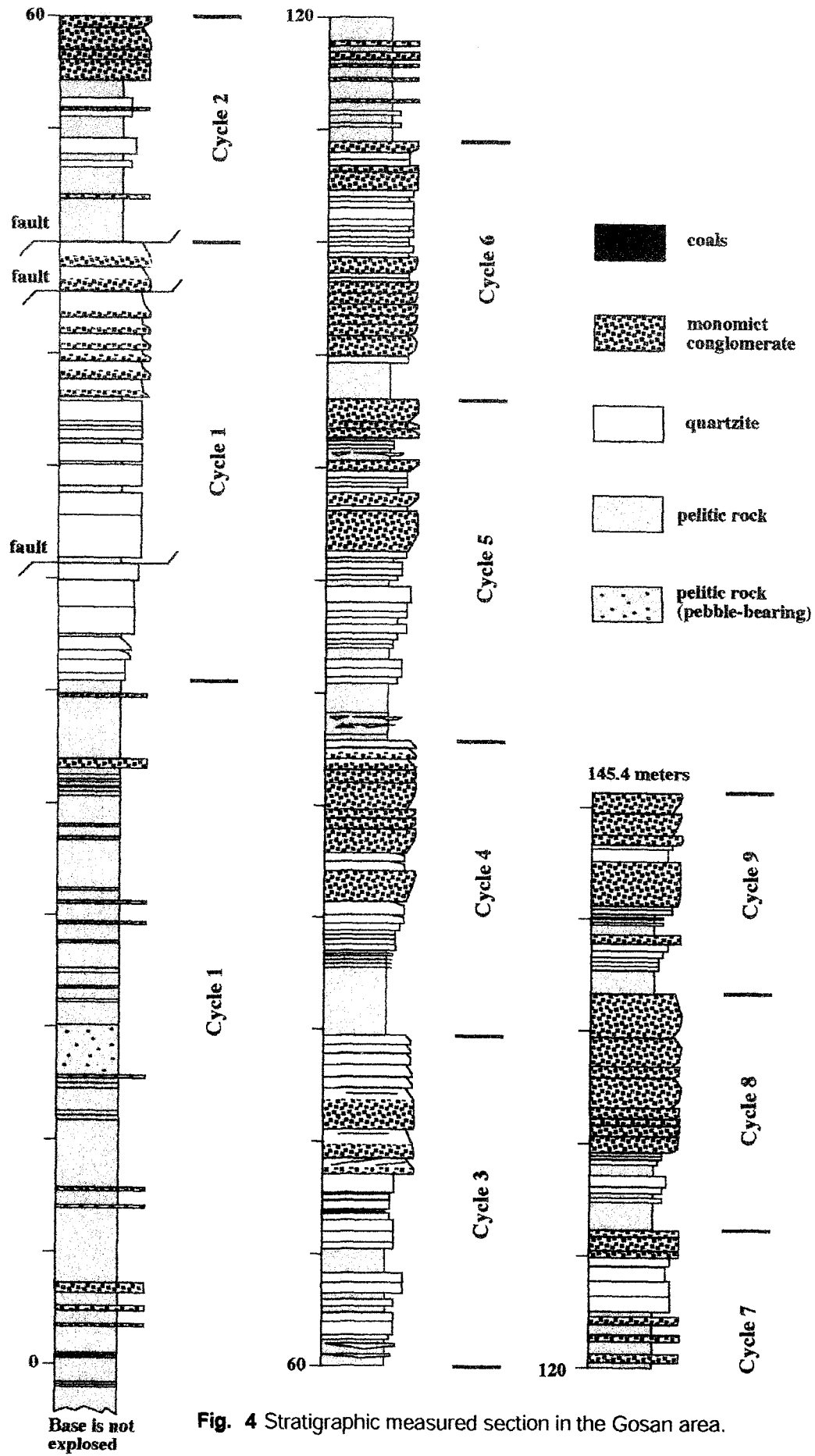


Fig. 4 Stratigraphic measured section in the Gosan area.

들이 뚜렷이 발달한다. 특히, 50 m 상위의 단위층들은 각 단위층들의 두께가 10 - 15 m 정도를 유지하면서 상위로 갈수록 체계적으로 감소하는 경향이 인지된다.

30 m 상위의 각 단위층들은 단위층 내의 구성 암상의 체계적인 교호 양상에 비추어 상대적 해수면 변동에 따른 해침과 해퇴의 층서적 기록인 퇴적 윤회로 해석될 수 있으며, 따라서 성인적 층서단위의 하나인 준연계층(parasequence)에 대비된다고 볼 수 있다. 즉 하나의 단위층은 최초에 상대적인 해수면이 상승함에 따라 수심이 깊어져 각 단위층들의 하부에는 저 에너지 환경이 형성되어 이질암들의 퇴적이 선행된 후, 상대적 해수면이 하강함에 따라 점차적으로 수심이 낮아지게 되어 고 에너지 환경이 형성되어 평행층리 및 사층리를 보이는 규암과 역암들이 순차적으로 퇴적된 상향 천심화(shallowing-upward)의 퇴적층으로 해석될 수가 있다. 이러한 상향천심화의 퇴적층들은 대체적으로 상대적 해수면의 변화에 퇴적이 민감하게 반응하는 해안 전면부나 천해 환경을 따라 잘 발달되는 것으로 보고되고 있으며, 해안 전면부를 따라 발달한 삼각주 퇴적체가 상대적 해수면의 상승과 하강에 의해 천해 환경 속으로 전진과 후퇴를 반복함에 따라 퇴적된 것으로 판단된다. 따라서, 각 단위층들의 경계면은 수심이 갑자기 깊어지는 해침면(marine flooding surface)에 해당되며, 아울러 각 단위층들의 두께가 상위로 갈수록 체계적으로 감소하는 경향으로 보아 시간이 경과함에 따라 삼각주 퇴적체들이 점차적으로 천해 환경 속으로 전진 구축(progradation) 하였던 것으로 해석된다. 한편, 본 고산 단면 하부 30 m 구간에 나타나는 단위층은 주로 이질암으로 구성되어 있어 대체적으로 저 에너지의 천해 환경하에서 퇴적된 단위층으로 해석되며, 박층의 역암들이 협재되는 양상으로 보아 간헐적으로 고 에너지 환경의 암설류들이 유입되었던 것으로 판단된다. 따라서,

본 고산 단면 상에서 나타나는 수직층서상의 변화는 비교적 수심이 깊은 저 에너지의 천해 환경이 형성된 후 간헐적으로 암설류들이 유입된 후, 해안 전면부를 따라 발달한 고 에너지 환경의 삼각주 퇴적체가 상대적 해수면의 변동에 따라 전진과 후퇴를 반복하면서 점차적으로 천해 환경 속으로 전진 구축 하였던 것으로 해석 될 수 있다.

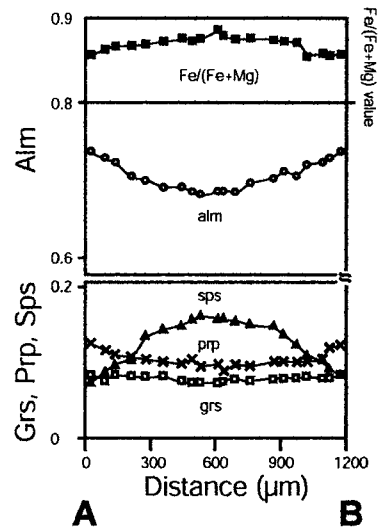
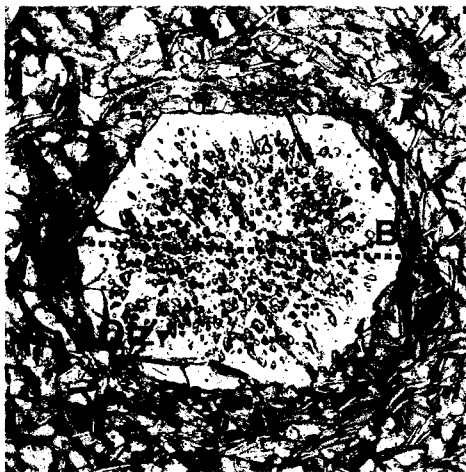
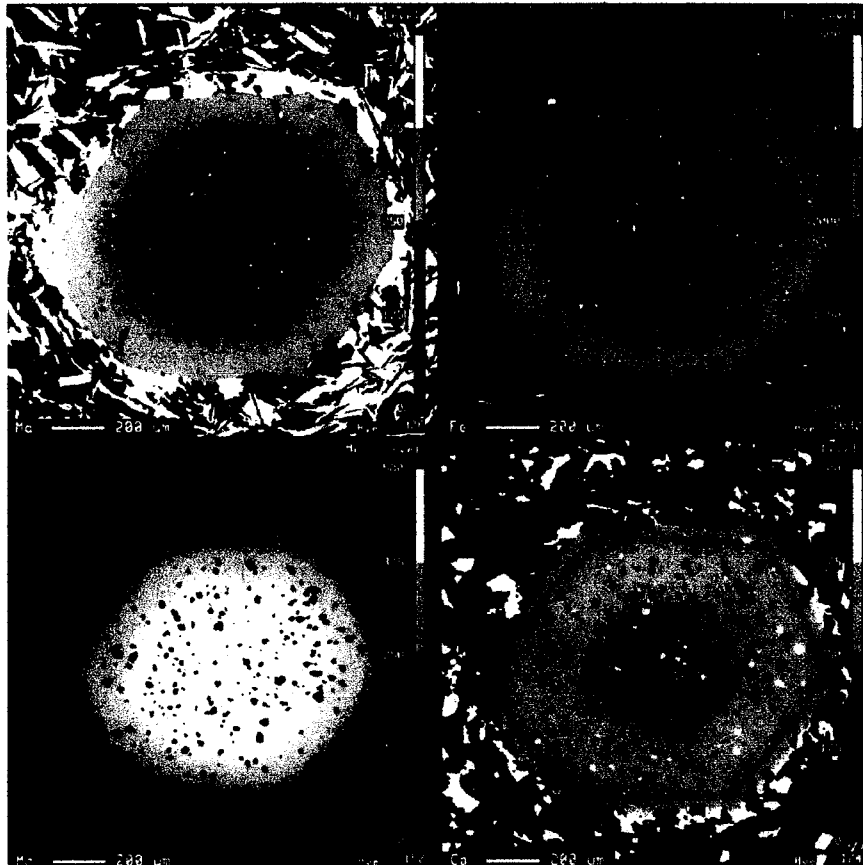
세립질의 이질암으로부터 분리된 2 - 4  $\mu\text{m}$ 과 4 - 8  $\mu\text{m}$  입자크기의 백운모로부터 각각  $153.4 \pm 3.3$  과  $156.7 \pm 3.4$  Ma의 K-Ar 연대를 구하였다 (표 1).

### STOP-3: 십자석-석류석을 포함한 변성이질암

본 노두 (N36° 04'25.9"E127° 08'02.8")는 전라북도 익산군 고내리 동부 고내곡재에 30 m 길이로 노출 되어 있다. 이 노두의 암상은 십자석-석류석을 포함하는 조립질 이질암으로 십자석대의 변성작용을 받았다. 대부분의 십자석들은 큰 반상변정으로 육안으로 식별이 가능하며 일부 십자석은 석류석을 포유물로 가지고 있다.

본 암은 십자석, 석류석, 흑운모, 백운모, 녹니석, 사장석, 일메나이트, 석영등으로 구성되어 있다. 십자석들은 포이킬로블라스틱 조직을 보여주며, 성분적으로 균질하다. 그림 5는 석류석에 대한 Fe, Mg, Mn, Ca 의 X-ray mapping 결과, 현미경사진, 성분단면도를 보여준다. 석류석들은 자형 변정질로 석류석 중심부에서 가장자리로 갈수록 알만딘은 증가하며 스페사르틴은 감소하는 종모양의 정누대성장구조를 보여준다. 석류석입자내에 전체적으로 석영 포획물이 나타나며 일부 석류석 가장자리부분에서 사장석, 흑운모, 일메나이트의 포유물들이 관찰된다. 석류석가장자리성분과 석류석에 포함된 사장석과 흑운모의 성분을 사용하여 최고 변성 압력-온도 조건을 구하였다. 이





**Fig. 5.** X-ray mapping image, photomicrograph and compositional profile of garnet in the sample (STOP 3) from the staurolite zone.

는 최고 변성조건에 해당하는 기질의 흑운모와 사장석성분 설정에 대한 어려움을 극복하기 위한 시도이다. 지질온도계로는 Hodges and Spear (1982), Berman (1990) 활동도 모델을 적용한 Ferry and Spear (1978) 의 석류석-흑운모 지온계를 사용하였다. 지질압력계로는 Hoisch (1990)의 석류석-사장석-흑운모-석영 지압계를 사용하였다. 구해진 압력-온도조건은 590 - 615 °C, 5.8 - 6.9 kb이다 (그림 6a). 이 결과는 기질의 십자석-석류석-흑운모-백운모-녹니석-사장석-석영의 광물군이 지시하는 압력-온도조건 (Spear et al., 1995)과 잘 일치한다.

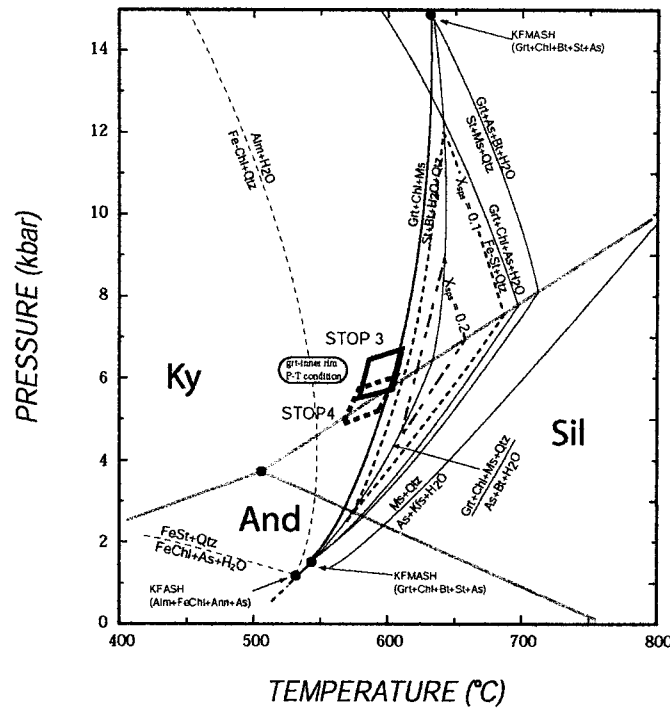
본 암상으로부터 분리된 백운모의 K-Ar 연대는  $156.7 \pm 3.4$  Ma이다. 같은 암석내의 조립질의 백운모와 흑운모는  $158.3 \pm 2.4$ 과  $159.7 \pm 0.6$ Ma 의  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  평형연대를 보여준다 (그림 3). 이들 연령은 흑운모대 STOP-1의 탄질을 포함한 변성이질암의 K-Ar 과  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대결과와 일치한다 (표 1).

#### **STOP-4: 소릉고개 단면 (하부 고변성지역의 변성퇴적암류)**

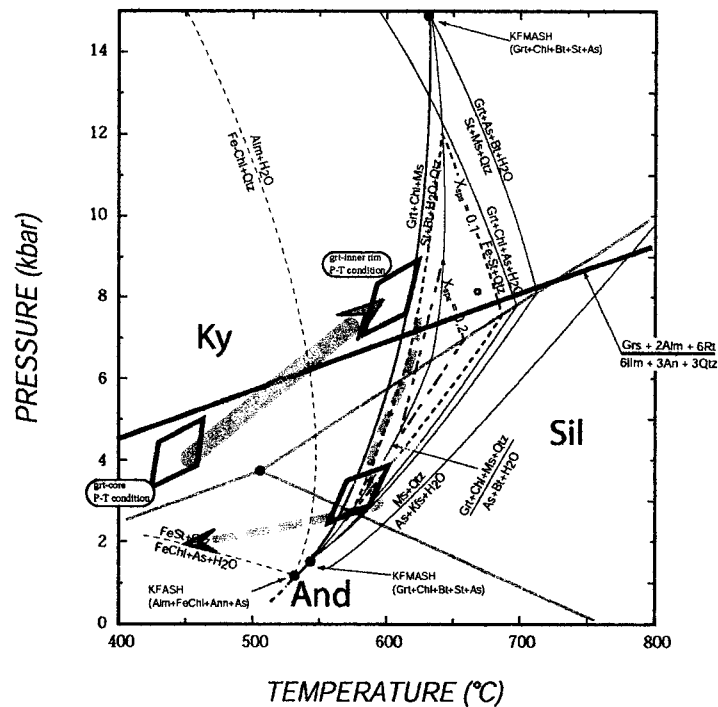
연구지역의 북서쪽인 전라북도 익산군 황화정리 동부 소릉고개에는 300 m 길이의 노두 (N36° 05'19.1"E127° 08'20."0)가 나타난다. 본 단면의 주 구성 암석은 이질암이며, 간헐적으로 각섬석 편암이나 박층의 규암층들이 협재한다. 본 단면의 퇴적층들은 1:25만 지질도에 변성사질암대 (Og1)로 표시되어 있으며, 역시 미원 지역의 운교리층이나 계명산층에 대비되는 것으로 해석되었다 (이병주 외, 1996).

정밀 기재에 따라 본 단면 (그림 7) 내에서 이질암상, 엽리를 보이는 이질암상, 각섬석 편암상, 규암상 등의 4개 암상이 인지되었다. 이러한 암상들은 고산 단면에서와 같이 수직층서상 규칙적인 변화를 보이지는 않으며, 불

a) STOP 3 and STOP4



b) STOP 5



**Fig. 6.** The diagrams showing the P-T ranges estimated from five pelitic schists in the (a) lower grade of the staurolite zone (samples STOP 3 and STOP 4) and (b) higher grade of the staurolite zone (sample STOP 5). Thin curves denote the reactions in the KFMASH system adopted from Spear et al. (1995). Dashed curves represent the displacement of reactions, garnet + chlorite + muscovite = staurolite + biotite + quartz + H<sub>2</sub>O and staurolite + muscovite + quartz = garnet + Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> + biotite + H<sub>2</sub>O, when the X<sub>sps</sub> values are 0.1 and 0.2, respectively (Spear et al., 1995). Dotted curve represents the reaction of Fe-chlorite + quartz = almandine + H<sub>2</sub>O. Reaction curves among Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> are from Holdway (1971).

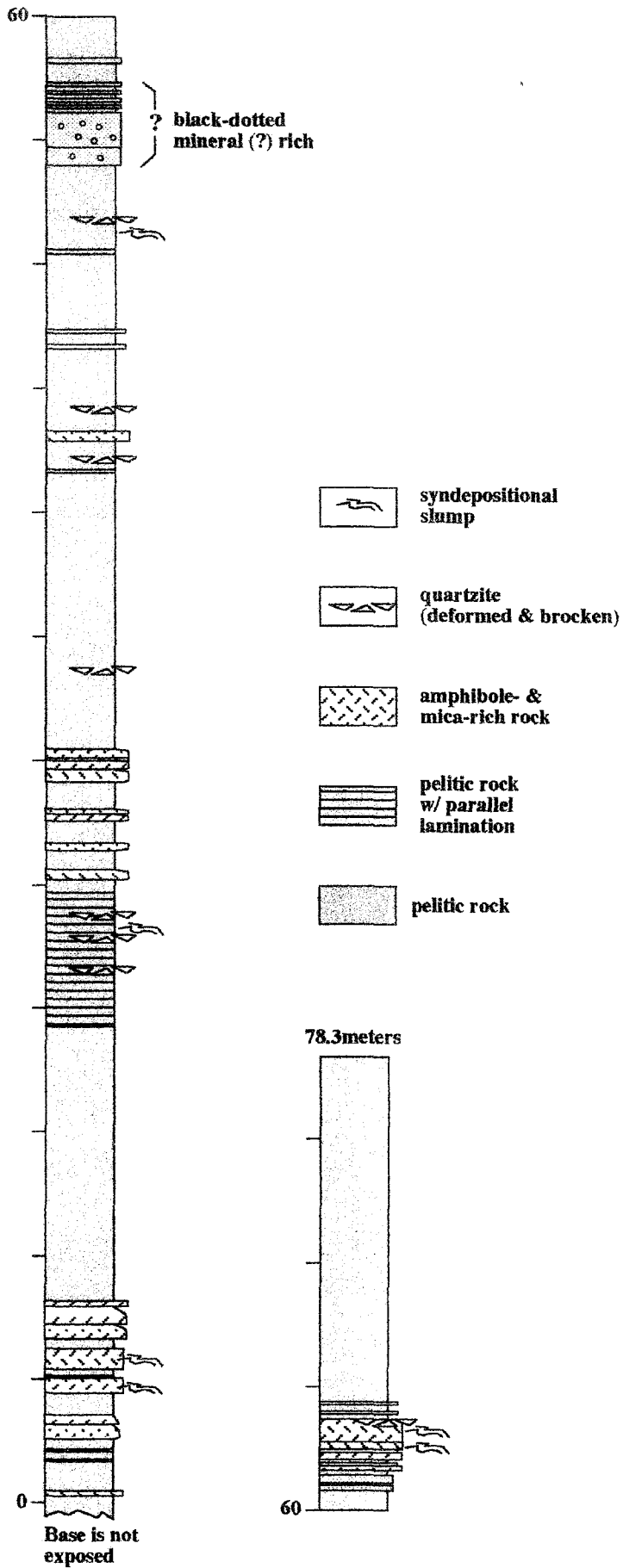
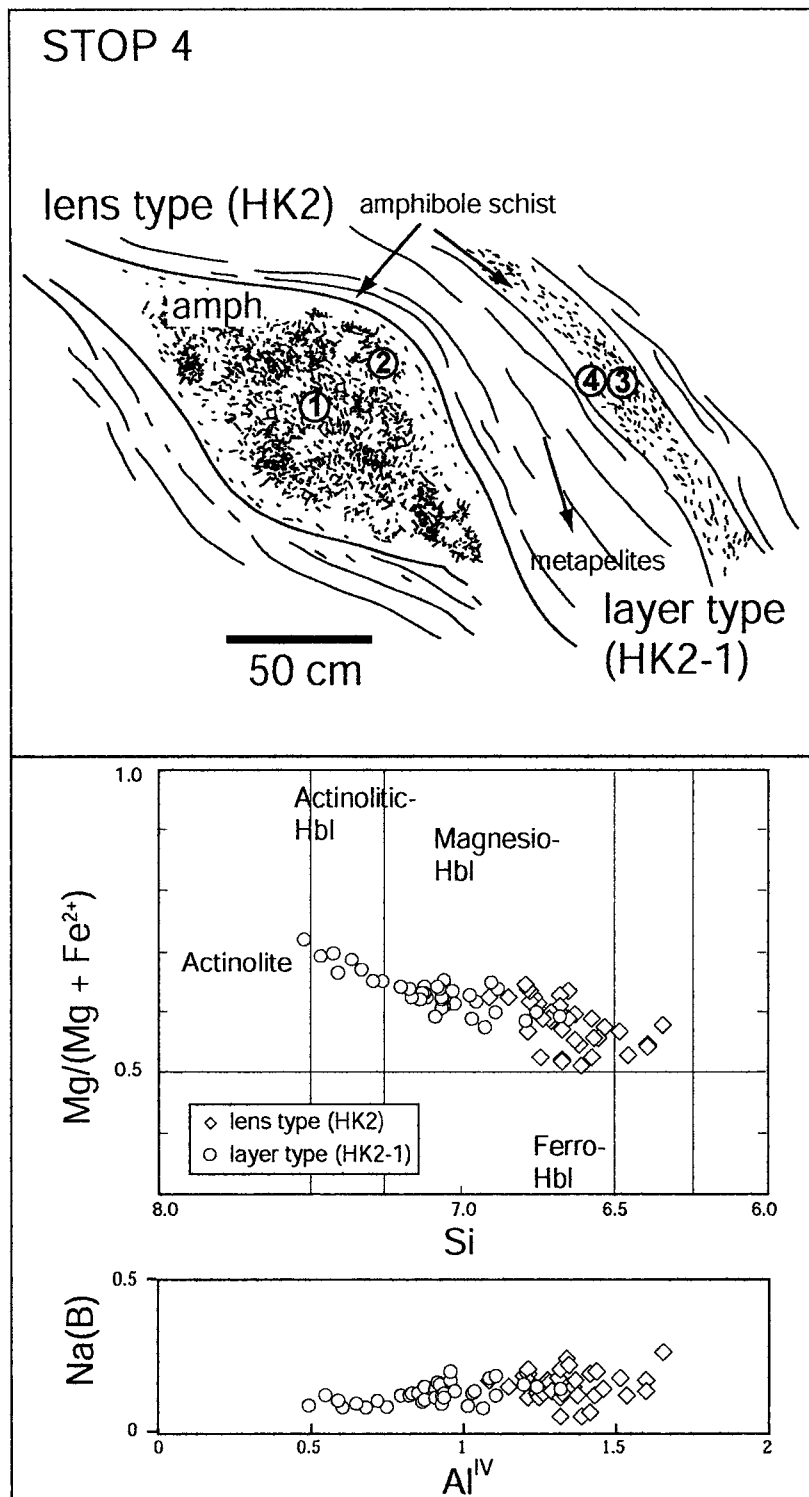


Fig. 7 Stratigraphic measured section in the Sorung Pass.

규칙적으로 교호하는 양상을 보인다. 특히 협재되어 있는 각섬석 편암이나 규암층들이 심하게 교란되어 있으며, 심한 경우에는 박층의 규암층들이 깨져 있어 이질암 내에 각력이나 부딘 (boudine)과 같은 형태로 존재한다. 또한, 이질암의 일부 구간에서도 슬럼프 (slump)와 같은 퇴적동시성 변형구조가 관찰되기도 한다. 따라서, 본 단면상에서의 퇴적층들은 대체적으로 불안정한 사면을 따라 퇴적된 것으로 판단되며, 천해성 환경으로부터 수심이 갑자기 깊어지는 대륙사면 환경하에서 주로 이질암과 함께 간간히 박층의 저탁류성 퇴적층들이 퇴적된 후 이러한 퇴적층들이 덜 고화된 상태로 사면을 따라 미끄러지면서 퇴적동시성의 슬럼프와 같은 연성 변형을 일으켰던 것으로 해석된다.

세립질의 변성이질암류는 흑운모, 백운모, 사장석, 일메나이트, 석영과 소량의 석류석으로 구성된다. 이들 석류석들은 자형 변정질로 STOP-3의 석류석과 마찬가지로 알만딘은 석류석 중심부에서 가장자리로 갈수록 증가하며 스페사르틴은 감소하는 종모양의 정누대성장구조를 보여준다. 석류석 가장자리성분과 석류석에 포함된 사장석과 흑운모의 성분을 사용하여 구한 압력-온도조건은 5.0 - 5.8 kb, 575 - 600 °C이다 (그림 6a). 이 암상에서 백운모를 분리하여 측정한 K-Ar 연대는  $159.4 \pm 3.4$  Ma이다 (표 1).

각섬석 편암은 대부분 층상으로 나타나며 한 장소에서 렌즈상으로 나타난다. 렌즈상의 각섬석 편암은 방향성을 보이지 않는 거정질 (0.5 - 2 cm)의 각섬석을 포함하며, 층상의 각섬석 편암내의 조립질 각섬석들 (0.5 - 5 mm)은 주변 변성이질암의 엽리방향과 평행하게 배열된다. 각섬석 편암의 특징적인 광물조합은 각섬석 + 사장석 + 녹염석 + 티탄철석 + 석영이며 소량의 흑운모, 녹니석, 방해석, 인회석, 티탄철석과 Fe-Ti 산화물들이 나타난다 (그림 8). 렌즈상과 층상내의 각섬석들의 화학조성은 각각 Magnesian hornblende이



**Fig. 8.** The occurrence type (a) and amphibole chemistry (b) from amphibole schist (STOP 4). amph, amphibole; Hbl, hornblende.

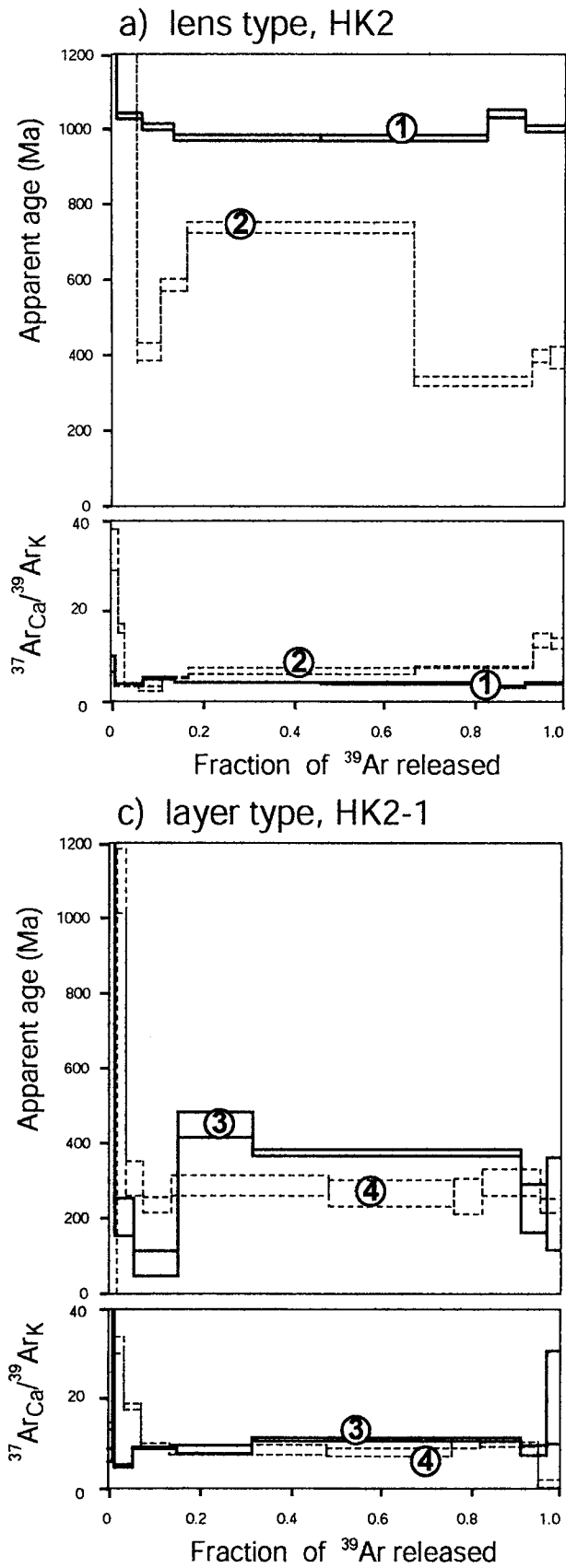
며 이들 각섬석 가장자리 성분은 actinolitic hornblende이다 (그림 8).

이들 렌즈상과 층상형태의 암상들에서 채취한 각섬석 단결정들의 단계가 열  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대는 평형연대 혹은 스펙트라가 평형연대를 보여주지 않고 크게 분산된 형태를 보여준다 (그림 9). 렌즈상의 안쪽에서 채집한 각섬석 단결정의 연대는  $975.2 \pm 74$  Ma의 높은 평형연대를 지시하고 렌즈상 가장 자리는 분산된 스펙트라 연대를 보여준다. 층상형의 각섬석은 반대로 가장 자리에서 채집한 각섬석이  $260.8 \pm 26.4$  Ma의 평형연대를 지시하고 안쪽에서 채집한 입자는 분산된 스펙트라를 보여준다. 또한 렌즈상의 암상박편을 이용한 각섬석 단결정에 대한 레이저 점 분석연대는 한 입자내에서 1억 2천만년 부터 12억년의 넓은 연대의 불균질성을 보여준다 (그림 10). 현재, 렌즈상과 층상에서 측정된 일부 각섬석 연대들은 평형연대를 보여주지만 같은 암상에서 얻어진 분산된 스펙트라 연대들을 볼 때 이들 연대에 특별한 지질학적 의미를 부여하기는 아직 힘들다. 이들 불규칙적인 연대 경향이 과잉 아르곤의 영향에 의해 발생하였을 가능성이 높지만 독자적인 결론을 내리기에 연구가 불충분하다.

#### **STOP-5: 십자석-석류석 및 홍주석을 포함한 변성이질암**

충청남도 논산군 양촌면 모촌리 남동부에 200 m 길이의 노두 (N36° 08'93.3"E127° 07'67.2")가 나타난다. 본 노두는 주로 변성이질암으로 구성되어 있으며 화강암의 접촉부에 근접한 부분에서 홍주석이 관찰된다. 본 노두에서 Oh et al. (1995a)은 남정석이 산출된다고 보고하였지만 연구결과 산출되지 않는 것이 확인되었다.

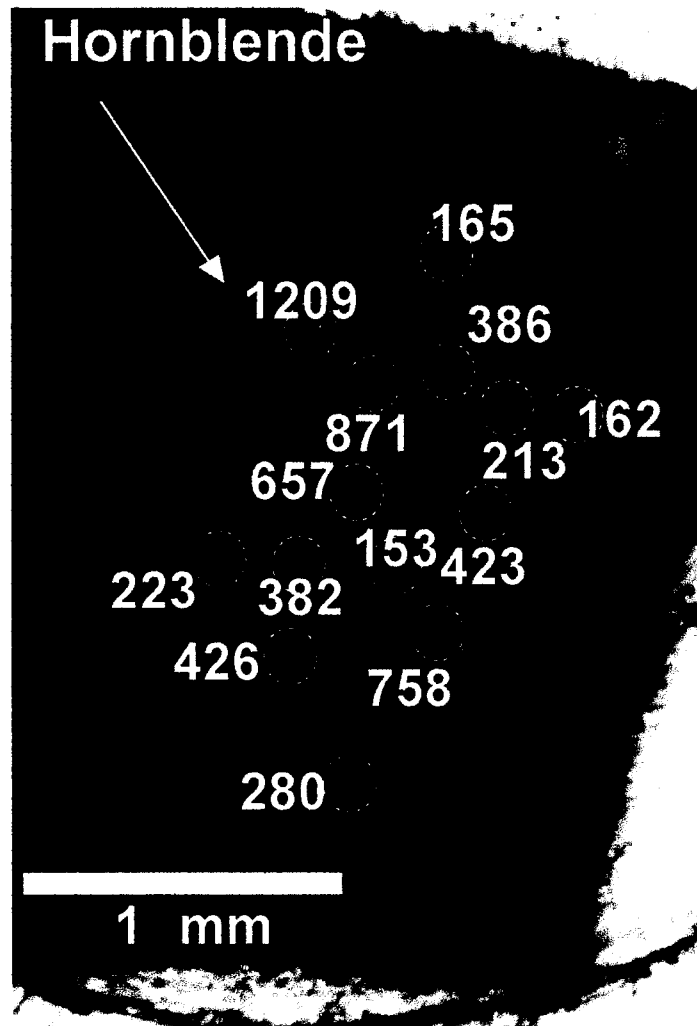
변성이질암은 십자석, 석류석, 흑운모, 백운모, 녹니석, 사장석, 일메나이트, 석영등으로 구성된다. 하지만 화강암 접촉부의 변성이질암에는 홍주석,



**Fig. 9**  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age spectra and Ca/K ratios for single amphibole grain from lens and layer types amphibole schist.



Spot dating (lens type in STOP 4)



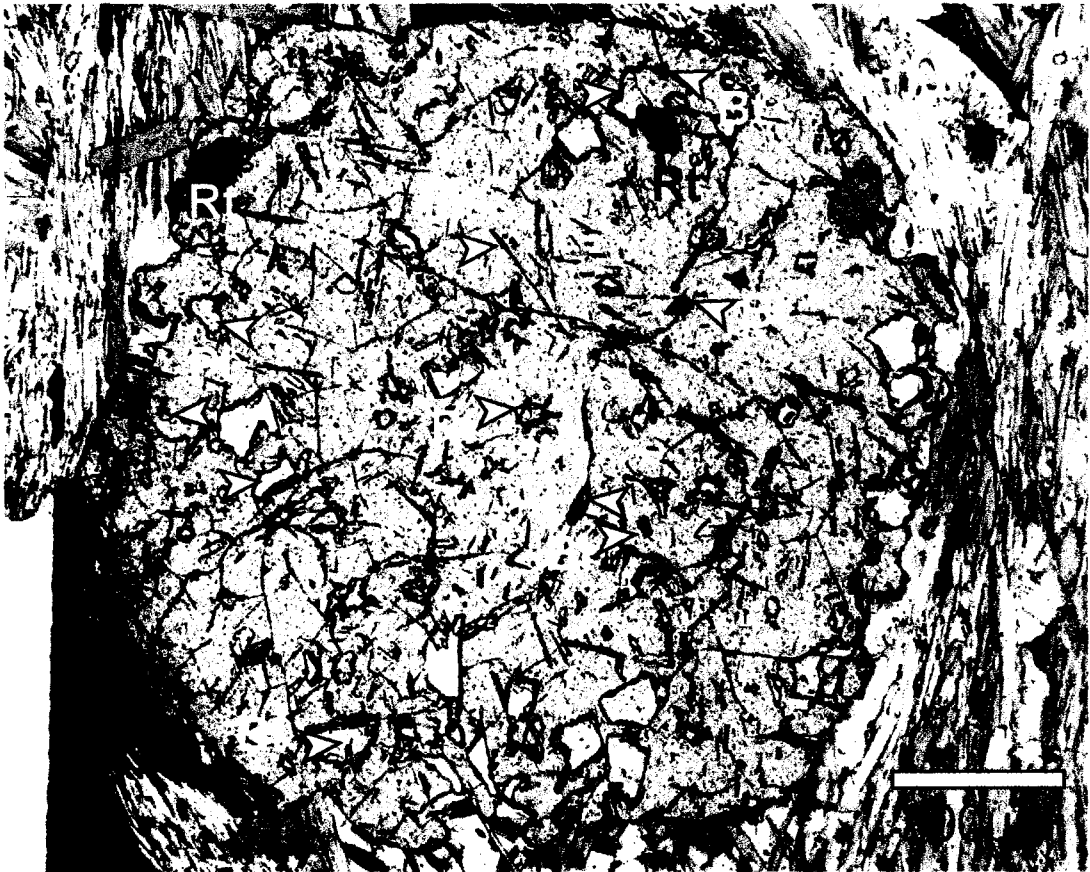
**Fig. 10** Age distribution of spot fusion  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating using laser probe of single grain hornblend from lens type amphibole schist.

근청석, 전기석등이 관찰된다. 대부분의 십자석들은 큰 반상변정으로 육안으로 식별이 가능하지만 대부분 가상의 형태로 존재한다. 석류석들은 자형변정질로 종모양의 정누대성장구조를 보여준다. 일부 석류석들은 STOP-3의 십자석-석류석을 포함한 변성이질암의 석류석들과 달리 입자 전체내에 사장석, 흑운모, 일메나이트의 포유물들을 포함하고 있으며 석류석 가장자리부분에서 금홍석 포획물들이 산출되는 것이 특징이다 (그림 11).

십자석대의 정누대구조를 가지는 석류석과 석류석안의 사장석, 흑운모 포유광물의 공생관계를 이용하여 온도-압력을 계산한 결과 석류석 주변부에 기록된 압력-온도 조건 (7.0 - 8.0 kb, 550 - 620 °C) 은 중심부에 기록된 온도-압력조건 (4.0 - 5.0 kb, 420 - 520 °C) 보다 고온-고압을 지시하며, 연구 지역에서 점진변성작용이 일어났음을 잘 대변한다 (그림 6b). 또한 석류석과 석류석안의 사장석-흑운모-금홍석-일메나이트 포유광물의 공생관계를 이용한 지질압력계 (Bohlen and Liotta, 1986)의 계산 결과는 앞에서의 결과와 잘 일치한다 (그림 6b). 본 노두의 암상내에서는 후퇴변성작용 및 접촉변성작용이 여러 형태로 관찰된다. 십자석의 경우 가상의 조직에 대부분이 백운모, 녹니석으로의 치환이 특징적이며 중심부에만 십자석의 잔유물이 관찰된다. 어떤 경우에는 타형의 근청석이 십자석의 일부를 치환하는 것이 관찰된다. 화강암의 접촉부에서는 다량의 벽개의 발달이 미약하고 타형이며 2-4 mm 크기의 홍주석이 관찰된다. 홍주석이 관찰되는 시료내 석류석 주변부로부터 추정된 압력-온도 조건은 약 2.0 - 3.0 kb, 450 - 550 °C이다. 제시된 광물군의 변화와 압력-온도 조건은 십자석대의 변성이질암이 시계방향의 압력-온도 경로를 경험했을 것으로 추정 할 수 있다 (그림 6b).

본 노두의 두개의 암석으로부터 백운모와 흑운모를 분리하여 측정한 K-Ar 연대는  $159.7 \pm 3.4$  Ma,  $157.6 \pm 3.4$  Ma와  $156.8 \pm 3.4$  Ma이다 (표

## Garnet, Stop 5



**Fig. 11** Photomicrograph showing rutile, biotite, plagioclase and ilmenite inclusions in garnet from the STOP 5.

1).

#### STOP-6: 황룡재 단면 (상부 고변성지역의 변성퇴적암류)

황룡재 단면은 충청남도 논산군 벌곡면 한삼천리에 해당하는 지역 (N36° 12'28.4"E127° 14'54.5")에 500 m 길이로 북동-남서 방향의 주향을 따라 남동쪽으로 경사되어 노출되어 있다. 본 단면은 주로 규암과 각섬석 편암으로 구성되어 있으며, 간헐적으로 박층의 이질암들이 규암과 각섬석 편암 사이에 협재한다. 본 단면의 퇴적층들은 1:25만 지질도에 변성사질암대 (Og1)로 표시되어 있으며, 역시 미원 지역의 운교리층이나 계명산층에 대비되는 것으로 해석되었다 (이병주 외, 1996). 그러나 구성 암상만을 기준으로 미원 지역의 운교리층과 비슷하다고 할 수는 있지만, 야외 노두 관찰시 여러 면에 있어서 미원 지역의 운교리층과는 현격한 차이를 보이고 있어 본 단면의 퇴적층을 운교리층과 대비시키는데 있어서 문제가 있는 것으로 판단된다. 이러한 문제점이 바로 기재적 층서단위 (예: 암층서단위)를 기준으로 퇴적층을 대비할 때 발생하는 공간상에서 일어나는 퇴적작용의 다양성을 무시한 전형적인 기재적 층서단위의 문제점이라 할 수 있다. 본 단면의 퇴적층들은 암상을 포함, 여러 면에서 미원 지역의 운교리층보다는 운교리층 하위의 중평층과 잘 대비되는 것으로 판단된다.

정밀 기재에 따라 본 단면 (그림 12) 내에서는 각섬석 편암상, 규암상 및 이질암상 등의 3개 암상이 인지된다. 각섬석 편암들은 약 20 - 50 cm의 두께를 가지며, 각섬석이 우세한 하부 부분과 운모들이 우세한 상부 부분의 두 부분으로 나눌 수 있다. 운모들이 우세한 상부 부분에는 평행 엽리의 발달이 현저하며, 각섬석이 우세한 하부로부터 운모들이 우세한 상부까지 뚜렷하지는 않지만 희미한 정점이 인지되기도 한다. 이러한 각섬석 편암들은 단면

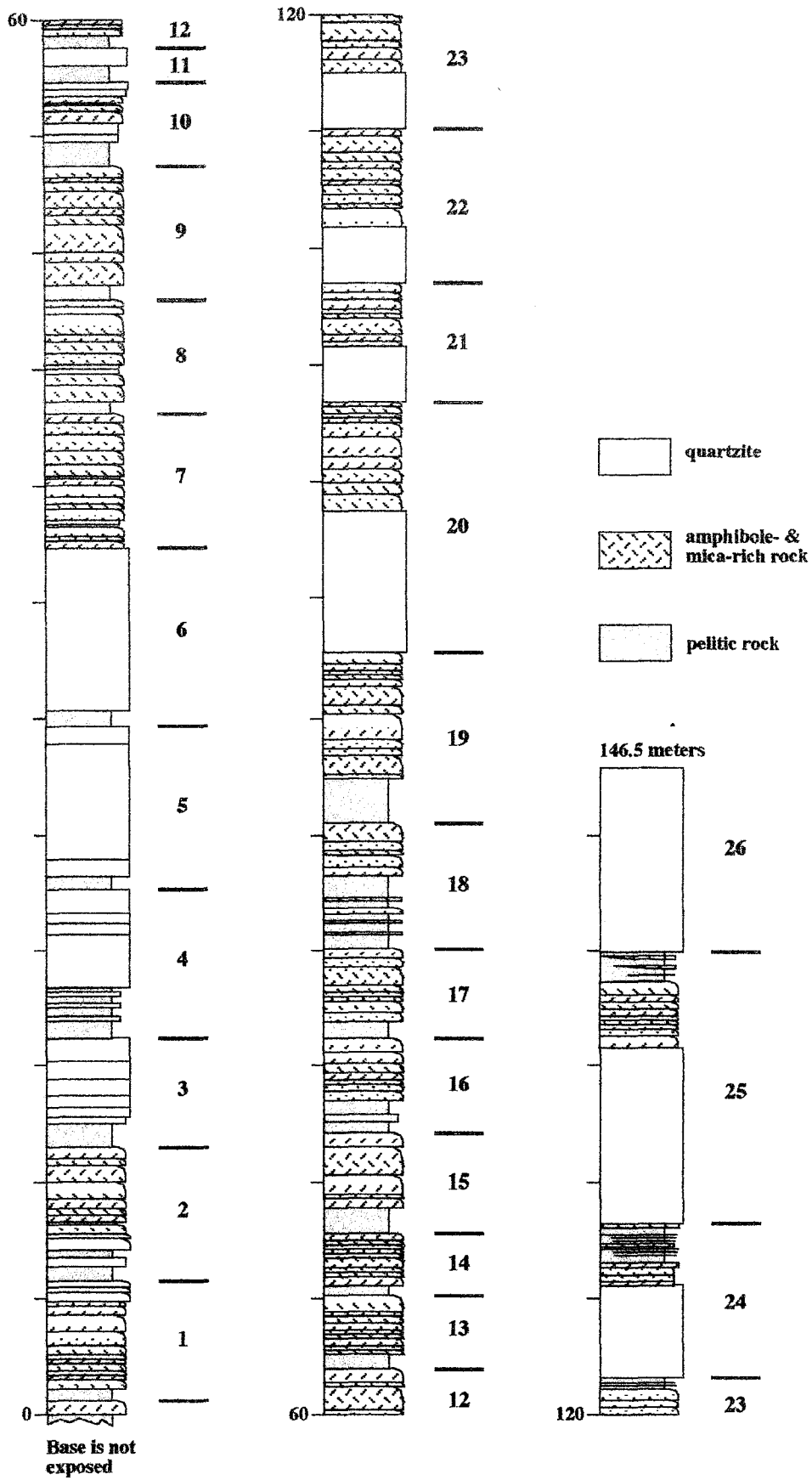


Fig. 12 Stratigraphic measured section in the Hwangryong Pass.

상에서 반복적으로 나타나며, 일부 구간에서는 박층의 이질암들을 협재한다. 규암상은 괴상이며, 대체적으로 3 - 8 m 의 두께를 가지면서 수직층서상 각섬석 편암이 우세한 구간과 규칙적으로 교호한다. 우세한 암상과 퇴적구조, 각 암상의 두께 변화 및 이들이 교호하는 양상을 기준으로 본 단면의 퇴적층은 26 개의 특징적인 단위층으로 세분될 수 있다. 단위층 1로부터 단위층 19까지는 각 단위층들의 기저부에 20 - 100 cm의 이질암이 나타나며, 그 상위에 각섬석 편암이나 괴상의 규암들이 반복되는 특징을 보이거나, 단위층 20으로부터 단위층 26까지는 괴상의 규암층을 기저로 하여 그 상위에 각섬석 편암들이 반복되어 나타난다. 일부 단위층 (예: 단위층 23, 24 및 25)에는 규암층을 기저로 각섬석 편암들이 반복된 후 5 cm 미만의 박층의 각섬석 편암들을 포함하는 이질암이 나타나기도 한다.

각 단위층 내에서 이질암을 기저로 하여 그 상위에 각섬석 편암들이 반복적으로 교호되는 양상을 보면 대체적으로 동 단위층들은 대륙사면의 끝부분으로부터 경사가 다시 급격히 완만해지는 분지 바닥의 환경하에서 저탁류들에 의해 퇴적된 것으로 판단된다. 특히, 단위층 1로부터 단위층 6까지의 퇴적 양상을 보면 단위층들의 두께가 체계적으로 두꺼워짐과 동시에 괴상의 규암층들이 층서적 상위로 갈수록 증가하는 경향이 인지되는데 이는 분지 바닥을 따라 전진 구축하는 분지 바닥 선상지 (basin floor fan)의 퇴적 양상인 것으로 해석될 수 있다. 아울러, 단위층 7로부터 단위층 19까지는 주로 각섬석 편암이 교호하는 단위층으로 구성되어 있으며, 각 단위층들의 두께 변화가 단위층 11까지는 점차적으로 감소하나 단위층 12로부터는 점차적으로 증가하는 현상이 인지된다. 이러한 현상은 분지 바닥 선상지가 전진 구축되면서 시간이 흐름에 따라 점차적으로 퇴적 중심을 횡적으로 이동 (lateral migration) 시켰던 것으로 판단된다. 그러나, 단위층 20부터는 규암층을 기저

로 그 상위에 각섬석 편암들이 나타난다. 이러한 단위층들은 주로 분지 바닥 선상지가 퇴적된 후 상대적 해수면이 상승하면서 퇴적되는 channel-levee complex의 양상을 보이는 것으로 해석되며, 괴상의 규암층은 channel을, 각섬석 편암층은 channel이 충전된 후, inter-channel 지역에 overflow하는 저탁류성의 퇴적체들이므로 보인다.

### 옥천변성대 서남부주변 화강암의 K-Ar 연대

변성이질암류에 대한 화강암의 영향을 조사하기 위해 화산지역 옥천 변성대의 주변 부에 산출되는 3 개의 화강암류에서도 K-Ar 백운모와 흑운모 연대들을 구하였다. 백운모와 흑운모들의 연대는 모두 156 Ma로써 화산지역의 변성이질암의 백운모와 흑운모 K-Ar 및  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대와 유사하다 (표 1).

### 토론

옥천변성대 서남부지역의 경우 남동부부터 북동방향으로 3개의 변성광물 분대로 (흑운모대, 석류석대와 십자석대) 나누어지며, 변성도는 흑운모대부터 십자석대에 걸쳐서 상승한다. 또한 변성온도-압력은 남동부부터 북서방향으로 걸쳐서 상승한다. 연구지역 변성암류의 압력-온도조건과 압력-온도 경로는 현재까지 보고된 옥천변성대의 변성암석학적 연구결과와 잘 일치한다. 연구지역에서는 남정석이 나타나지 않으며 옥천변성대 중부지역에 대한 Kim et al. (1995, 1999)의 연구에서도 남정석들은 드물게 보고되고 있다. 따라서 옥천변성대가 중압형의 변성작용을 받았음에도 불구하고 남정석이 없던가

드물게 나타나는 이유에 대한 좀더 체계적인 연구가 필요하다.

옥천변성대 서남부지역의 북동에서 남동 방향으로 대규모로 관입한 화강암 접촉부의 변성암류에서는 화강암에 의한 접촉변성작용에 의해 형성된 홍주석과 침상의 규선석, 근청석등이 관찰되며 이들 암류에서의 추정된 압력-온도조건은 접촉변성작용을 잘 지시한다. 하지만 화강암체들이 옥천변성대의 변성암류에 미친 열적 작용을 정량적으로 규명하기에는 좀 더 자세한 연구가 요구된다.

연구지역 내에서 정밀 기재된 단면들에 대한 퇴적환경을 종합하면 대체적으로 남동부에서는 천해성 환경이 인지되나, 북서쪽으로 갈수록 대륙사면을 거쳐 분지 중심의 환경으로 전이되는 경향을 보인다. 이러한 퇴적상의 공간적 분포는 분지의 남동쪽보다 북서쪽의 침강이 우세하였던 것으로 해석될 수 있으며, 이는 곧 분지가 형성될 때 반지구대 (half graben) 형태로 분지가 열개 (rifting) 되었음을 의미한다.

연구지역 내에서 인지된 퇴적상들의 공간적 분포는 기재적 층서단위를 기준으로 한 옥천층군에 대한 기존의 연구에 있어 해석적 오류가 있음을 잘 보여준다. 이병주 외 (1996)에 의한 1:25만 대전 지질 도폭에서 연구지역 내에 남동부와 북서부에 분포하는 옥천층군의 변성사질암대 (Og1)를 운교리층에 대비시켜 같은 층으로 판단하여 습곡에 의해 반복된 것으로 해석하였다. 그러나, 본 연구 결과는 남동부의 변성사질암대는 미원 지역의 운교리층에, 북서부의 변성사질암대는 운교리층보다 층서적으로 하위에 있는 중평층에 각기 대비되며, 남동부와 북서부의 변성사질암대가 시공간상에서 일어날 수 있는 퇴적작용의 다양성에 기인함을 잘 보여주고 있다. 아울러, 현재 진행 중인 미원 지역의 옥천층군 (예: 중평층 및 운교리층)에 대한 퇴적지질학적 연구도 전주 북부 지역에서 인지된 공간상의 퇴적상 분포와 상응하는 퇴적



상의 변화가 시공간상에서 일어나고 있는 것으로 판단된다.

현재까지 보고된 옥천변성대 중부 및 북부지역에서 백악기부터 석탄기 (89 - 319 Ma)에 걸친 넓은 범위와 비교할 때 옥천변성대 서남부지역에서 얻어진 변성이질암과 화강암류내 흑운모와 백운모의 K-Ar 과  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대는 유라기 중기 (149 - 167 Ma)의 짧은 시기가 집중된다. 이들 냉각연대 해석에는 두 가지 가능성이 있다. 첫 번째 가능성은 화산지역 옥천 변성대 주변에 분포되는 중생대 화강암의 관입에 의한 열 변성작용 때문에 변성퇴적암내의 흑운모와 백운모들이 완전히 재평형된후 화강암과 변성퇴적암이 함께 냉각됨으로써 동일한 냉각연대를 보여주는 것이다. 하지만 아직까지는 화산지역 변성이질암들 전체가 화강암 관입시 광역적 열변성작용을 받았는가에 대한 체계적인 연구가 수행되지 않았다. 두 번째 가능성은 변성퇴적암의 용기시 운모류의 냉각연대와 화강암의 냉각연대가 유사하다는 것이다. 흑운모와 백운모의 K-Ar 과  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대들이 유사하게 나타나는 사실은 옥천변성대의 용기속도가 매우 빨랐으며, 주 변성시기가 냉각연대와 그리 많은 차이를 보여주지 않을 가능성을 지시한다. 이 경우 옥천변성대의 중압형 변성작용이 유라기 초기에 일어났을 가능성을 배제할 수 없다.

옥천변성대의 변성퇴적암내에 조화적 혹은 비조화적으로 협재되는 각섬석 편암에서 분리된 각섬석의 K-Ar (Min et al., 1995)과  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대 (Oh et al., 1997; Min and Cho, 1998; Cho et al., 1999) 및 각섬암에 대한  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대연구 (Lee, 1988)를 통하여 얻어진 지금까지의 연대는 삼첩기부터 원생대까지의 넓은 범위의 연대가 보고되고 있다. 본 연구에서 수행된 옥천변성대의 각섬석편암내의 각섬석  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대결과는 지금까지 보고된 K-Ar,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  의 변성시기를 지시하는 평형연대가 아닐 가능성을 지시한다. 주변성작용동안 주변 암석들로부터 과잉 아르곤을 획득하거나 다변성작

용에 의해 혼란된 연대를 보여주는 것으로 판단된다. 이와 같은 문제들을 극복하고 옥천변성대의 변성시기를 결정하기 위해 옥천변성대 지역에 여러 가지 정밀하고 정확한 연대방법을 적용하고 이들 연대들간의 비교를 통한 연대적 신뢰성을 확보하여야 한다.

## 결론

옥천변성대 서남부지역은 변성이질암의 광물조합을 기준으로 남동부부터 북서방향으로 흑운모대, 석류석대, 십자석대의 3개의 변성광물분대로 나누어진다. Oh et al. (1995a)의 연구에서 보고된 남정석들은 산출되지 않는 것이 확인되었고 변성도는 흑운모대에서 석류석대를 거쳐 십자석대로 갈수록 증가한다. 유라기 화강암 접촉부의 국부적인 변성암류에서는 화강암에 의한 접촉변성작용에 의해 형성된 홍주석과 규선석이 산출된다.

흑운모대의 변성 압력-온도는 4.2 - 5.1 kb, 400 - 500 °C이다. 십자석대의 정누대구조를 가지는 석류석과 석류석안의 사장석, 흑운모, 금홍석, 일메 나이트포유광물의 공생관계로 추정된 압력-온도 (석류석 주변부: 7.0 - 8.0 kb, 550 - 620 °C; 석류석 중심부: 4.0 - 5.0 kb, 420 - 520 °C) 및 십자석대 내에서 후퇴변성작용 및 접촉변성작용 받은 석류석 주변부에 기록된 압력-온도 조건(약 2.0 - 3.0kb, 450 - 550 °C)과 함께 옥천변성대 서남부지역의 변성암류가 시계방향의 압력-온도 경로를 겪었음을 지시한다.

연구지역 내에서 정밀 기재된 단면들에 대한 퇴적환경을 종합하면 대체적으로 남동부에서는 천해성 환경이 인지되나 북서쪽으로 갈수록 대륙사면을 거쳐 분지 중심의 환경으로 전이되는 경향을 보인다. 이러한 퇴적상의 공간적 분포는 분지의 남동쪽보다 북서쪽의 침강이 우세하였던 것으로 해석

될 수 있으며, 이는 곧 분지가 형성될 때 반지구대 (half graben) 형태로 분지가 열개 (rifting) 되었음을 의미한다.

각 변성분대에서 채취한 변성이질암으로부터 측정된 K-Ar 과  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  흑운모와 백운모 연대들은 149 - 167 Ma에 집중된다. 그리고 각 변성분대에서 동일시료에 대한 K-Ar 과  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대들은 동일시기를 지시함으로 연대적인 신뢰성을 확인 할 수 있었다. 옥천변성대 서남부지역의 변성암류를 관입하는 2개의 피상의 화강암과 1개의 엽리화강암에서 얻어진 백운모와 흑운모들의 K-Ar 연대는 모두 156 Ma이며 옥천변성대 서남부지역의 변성이질암의 연대와 유사하다. 이는 연구지역의 변성암류와 화강암류는  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  과 K-Ar 계의 흑운모와 백운모의 폐쇄온도 (약 300 - 350 °C) 까지 동시에 냉각된 사실을 지시한다. 각섬석 편암내의 각섬석들은 복잡한  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  연대를 보여주며 일부가 평형연대를 보여주지만 특별한 의미 부여가 힘들다.

## 참고문헌

- 유인창, 도성재, 백광호, 최선규, 1997, 삼척탄전 장성 지역에 분포하는 페름기 장성층의 층서에 대한 재고찰, 대한지질학회지 제33권, p. 78-86.
- 이병주, 김동학, 최현일, 기원서, 박기화, 1996, 한국지질도(1:250,000) 대전 지질 도폭 지질도 및 설명서. 한국자원연구소, 59p.
- Berman, R.G., 1990. Thermobarometry using multi-equilibrium calculations: a new technique, with petrological applications. *Can. Mineral.* 29, 833-855.
- Bohlen S.R., Liotta, J.J., 1986, A barometer for garnet amphibolites and garnet granulites. *J. Petrol.* 27, 1025-1034.
- Cho, M., Kim, H., Lo. C.-H., Min. K., Ahn, J. H., 1999, Ordovician (or Caledonian) Okchon orogeny: Evidence from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  hornblende ages. Abstract volume for the confernece of Geol. Soc. Korea, 66-67.
- Cho, M., Kim, I.J., Kim, H., Min, K., Ahn, J., 1995, K-Ar biotite ages of pelitic schists in the Jeungpyeong-Deokpyeon area, central Ogcheon metamorphic belt, Korea. *J. Petrol. Soc. Korea*, 4, 178-185, (in Korean with English abstract).
- Cluzel, D., Cadet, J. P., Lapierre, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon belt (South Korea). *Tectonophysics* 183, 41-56.
- Ferry, J.M., Spear, F.S., 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contirb. Mineral. Petrol.* 66, 113-117.
- Goodwin, P.W., and Anderson, E.J., 1985, Punctuated aggradational cycles: A general hypothesis of episodic stratigraphic

- accumulation: *J. Geol.* 93, 515-533.
- Hodges, K.V., Spear, F.S., 1982. Geothermometry, geobarometry and  $Al_2SiO_5$  triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire. *Am. Mineral.*, 67, 1118-1134.
- Hoisch, T.D., 1990. Empirical calibration of six geobarometers for the mineral assemblage quartz+muscovite+biotite+plagioclase+garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.* 104, 225-234.
- Holdaway, M.J., 1971. Stability of andalusite and the aluminum silicate phase diagrams. *Am. J. Sci.* 271, 97-131.
- Holland, T. J. B. and Powell, R., 1998. An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Jour. Metamor. Geol.*, 19, 309-343.
- Kim, H.S., 1971, Metamorphic facies and regional metamorphism of Ogcheon metamorphic belt. *J. Geol. Soc. Korea* 7, 221-256.
- Kim, J. H., 1987, Caledonian Ogcheon orogeny of Korea with special reference to the Ogcheon uraniferous marine black slate. PhD Thesis, Univ. of Tokyo.
- Kim, H., Cho., M., Koh, H.J., 1995. Tectonometamorphic evolution of the central Ogcheon belt in the Jeungpyeong-Deokpyeong area. *J. Geol. Soc. Korea* 31, 299-314 (in Korean with English abstract).
- Kim, H., Cho, M., 1999, Polymetamorphism of Ogcheon Supergroup in the Miwon area, central Ogcheon metamorphic belt, South Korea. *Geosci. J.* 3, 151-162.
- Kim, H., Cho. M., Ahn, J.H., 2000, A study on the  $b_0$  parameter and

- crystallinity index of K-white micas from low-grade metapelites in Deokpyeong and Miwon areas, central Ogcheon metamorphic belt, Korea. *Geosci. J.* 4, 201-210.
- Kim, S.W., 2002, Petrology and geochronology of Ogcheon metamorphic rocks in Hwasan area, South Korea. ph. D. thesis, Kobe. Univ.
- Lee, M. S., 1988. Geochemistry and petrogenesis of the Ogcheon amphibolites in the Ogcheon Belt. *J. Geol. Soc. Korea*, abstract 24, 518-519.
- Min. K., Cho, M., 1998, Metamorphic evolution of the northwestern Ogcheon metamorphic belt, South Korea. *Lithos* 43, 31-51.
- Massonne, H.J., Schreyer. W., 1987, Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite, and quartz. *Contrib. Mineral. Petrol.* 96, 212-224.
- Min, K., Cho, M., 1998, Metamorphic evolution of the northwestern Ogcheon metamorphic belt, South Korea. *Lithos* 43, 31-51.
- Min. K., Cho, M., Kwon, S.-T., Kim, I.J., Nagao, K. and Nakamura, E., 1995, K-Ar ages of metamorphic rocks in the Chungju area: Late Precambrian (675Ma) metamorphism of the Ogcheon Belt. . *J. Geol. Soc. Korea*, 31, 315-327, (in Korean with English abstract).
- Oh, C.W., Kim S.T., Lee, J.H., 1995a, The metamorphic evolution in the southwestern part of the Ogcheon metamorphic belt. *J. Geol. Soc. Korea* 31, 21-31 (in Korean with English abstract).
- Oh, C.W., Kim, S.T., Lee, J.H., 1995b, The P-T Condition and Timing of the Main Metamorphism in the Southern Part of the Ogcheon

- Metamorphic Belt. J. Geol. Soc. Korea 31, 343-361.
- Oh, C.W., Kim S.W., Lee J.H., 1998, A study on the regional and contact metamorphism in the southwestern part of the Ogcheon Metamorphic Belt, J. Geol. Soc. Korea 34, 311-332 (in Korean with English abstract).
- Oh, C.W., Kim S.W., Kwon, S.T., 1997. Tectonic interpretation based on  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  amphibole ages from the Ogcheon metamorphic belt, Korea. EOS, F785.
- Oh, C.W., Kwon, Y.W., Kim, S.W., 1999. Metamorphic evolution of the central Ogcheon Metamorphic Belt in the Cheongju-Miwon area, J. Petrol. Soc. Korea. 8, 106-124.
- Powell, R., Holland, T. J. B., 1988, An internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: 3. Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. Jour. Metamor. Geol. 6, 173-204.
- Powell, R., Holland, T. J. B., Worley, B., 1998, Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. Jour. Metamor. Geol. 16, 577-588.
- Ryu, In-Chang, Doh, Seong-Jae, and Choi, Seon-Gyu, 2002, Carbonate breccias in the Lower-Middle Ordovician Maggol Limestone (Taebaeksan Basin, South Korea): Implications for regional tectonism. *Facies* 46, 35-56.
- Spear, F. S., Kohn, M. J., Paetzold, S., 1995, Petrology of the regional sillimanite zone, west-central New Hampshire, U.S.A., with

implications for the development of inverted isograds. *Am. Mineral.* 80, 361-376.

Van Wagoner, J.C., 1985, Reservoir facies distribution as controlled by sea-level change (Abs. and poster session): SEPM Mid-Year Meeting, Golden, Colorado, p. 91-92.