

## 중평-덕평 지역 중부 옥천변성대에 분포하는 이질 편암의 K-Ar 흑운모 연대

조문섭<sup>1</sup> · 김인준<sup>1,2</sup> · 김현철<sup>1</sup> · 민경원<sup>1</sup> · 안중호<sup>3</sup> · 長尾敬介<sup>4</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지질학과, <sup>2</sup>한국자원연구소 광상연구부,  
<sup>3</sup>충북대학교 지구환경학과, <sup>4</sup>日本 岡山大學校 固體地球研究所

**요 약** : 중평-덕평 지역에서 산출하는 중부 옥천변성대의 13개 이질 편암에서 구한 K-Ar 흑운모 연대는 한 개 시료를 제외하고는 89-213 Ma의 범위에 속한다. 이들 K-Ar 연령은 쥬라기와 백악기 화강암체에 가까와 질수록 체계적으로 감소하는 경향을 보인다. 쥬라기와 백악기 화강암체 부근에서 얻은 K-Ar 흑운모 연대는 각각 166 Ma와 89 Ma이다. 따라서 연구 지역의 흑운모 연대는, 트라이아스기 후기 내지 쥬라기 초기의 광역-열 변성작용 이후, 중생대 화강암의 관입에 의한 열적 작용 때문에 부분적으로 또는 거의 완전히 재평형되었음을 알 수 있다.

**핵심어** : 옥천변성대, K-Ar 흑운모 연대, 광역변성작용, 열변성작용

### 서 언

경기육괴와 영남육괴 사이에 발달하는 옥천대는 흔히 봉화재 단층을 경계로 북동부의 소위 '비변성대'와 남서부의 소위 '변성대'로 나뉘어진다. 전자는 많은 화석의 산출로 지질학적인 특성이 비교적 잘 확립된 반면, 후자에 속하는 옥천누층군은 복잡한 변형 및 변성작용으로 인해 층서, 퇴적시기 및 지체구조 해석에 많은 문제점들을 안고 있다(김우준, 1968; Cluzel *et al.*, 1990; 권성택과 藍晶瑩, 1991; 이종혁, 1995). 옥천대의 광역변성작용에 대해서는 Kim(1971)에 의해 중압형으로 알려진 이래 최근 들어 정량적인 변성암석학적 연구가 수행되어 왔다(Cho, M. *et al.*, 1994; 김현철 외, 1995; Oh *et al.*, 1995). 또한 옥천대는 광역변성작용 뿐만이 아니라 중생대 화강암의 관입에 따른 열변성작용을 받았으며, Reedman *et al.*(1973), Ahn(1991), 오창환 외(1993), 노진환(1995) 등에 의해 연구된 바가 있다. 그러나 이들 변성작용의 시기를 밝히는데 필수적인 신뢰할만한 절대연령 자료는 극히 드물다(Cliff *et al.*, 1985; Kim, 1990; 권성택과 藍晶瑩, 1991; 민경원 외, 1995).

이 연구는 중평-덕평 지역에 대한 구조지질학적(Koh and Kim, 1995) 및 변성암석학적(김현철 외, 1995) 연구와 함께 중부 옥천변성대의 변성진화사를

정량적으로 규명하기 위한 공동연구의 일환으로 수행되었으며, 연구 지역에 산출하는 이질 편암의 K-Ar 흑운모 연대를 구하였다. 덕평 지역의 점판암질 시추공 시료에 대해서 Kim(1990)은 392 Ma의 Rb-Sr 전암 연령을 얻어 옥천대가 칼레도니아(Caledonian) 조산운동의 영향을 받았다고 주장하였다. 그의 결과는 Cluzel *et al.*(1990)에 의해 소위 옥천 조산운동의 시기를 고생대 중기로 설정하는데 이용된 바가 있다. 그러나 Kim(1990)의 전암 연령은 <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 초생치가 일정하다고 가정하였기 때문에 정확한 등시선 연령을 정의한다고 보기 어렵고(권성택, 개인통신), 따라서 옥천대의 칼레도니아 조산운동을 주장하기에는 아직 절대연령 자료가 불확실한 셈이다.

Kim(1990)은 또한 중평-덕평리 부근의 비교적 넓은 지역에서 얻은 연대 측정 결과를 바탕으로 K-Ar 흑운모 연대가 후기 관입암체에 의해 체계적으로 재평형되었음을 지적한 바가 있다. 이러한 연구 결과는 옥천변성대의 변성사를 논의하는데 중요하기 때문에, 우리는 Kim(1990)과 같은 지역에서 K-Ar 방법을 사용해 그의 연구 결과를 재현 및 검토해 보고자 하였다. 즉 우리의 연구 결과를 Kim(1990)의 것과 함께 고려하여 중부 옥천변성대에서 일어난 광역변성작용의 시기와 중생대 관입암체들이 변성암류에 미친 열적 영향을 규명하고자 시도하였다.

지질 개요

중부 옥천변성대에 해당하는 증평-덕평 지역은 시대미상의 대향산층, 운교리층, 문주리층과 황강리층으로 구성되어 있으며, 쥬라기의 증평-괴산 화강암과 백악기의 속리산 화강암이 연구 지역의 북서부와 남동부에 각각 관입하고 있다(Fig. 1). 연구 지역의 자세한 지질, 구조 및 변성작용에 대해서는 Koh and Kim(1995)와 김현철 외(1995)에 의해 보고된 바가 있으며, 각 구성암체의 특징들을 아래에 간단히 기술한다.

대향산층은 NE-SW의 주향 방향으로 길게 대상으로 분포하며, 석영 편암과 규암으로 구성된다. 석영 편암은 석영, 흑운모, 백운모, 녹니석, 마가라이트(margarite) 등으로 주로 구성되며, 남정석과 십자석이 드물게 산출한다. 규암은 석영 입자들의 모자이크(mosaic) 구조가 특징적이며 약간의 견운모를 포함하기도 한다.

운교리층은 연구 지역에서 가장 넓은 분포를 보이

며, 석류석-흑운모 편암, 변성 사질암, 그리고 소량의 변성 염기성암과 대리암으로 구성된다. 석류석-흑운모 편암의 주구성광물은 석영, 석류석, 흑운모와 백운모이며, 십자석, 사장석, 녹염석, 마가라이트, 티탄철석 등을 소량 포함한다.

연구 지역의 동쪽에 주로 분포하는 문주리층의 주구성암은 편암, 암회색 내지 흑색 점판암 또는 천매암이며, 소량의 대리암, 변성 사질암과 함탄층이 협재한다. 편암은 석영, 흑운모, 백운모, 녹니석, 석류석, 사장석, 남정석, 십자석 등으로 구성되는 반면, 점판암은 주로 석영, 백운모, 흑운모, 녹니석으로 구성된다.

황강리층은 주로 암회색의 함력천매암질암으로 구성되며, 다양한 크기와 성분을 보이는 역들이 특징적이다. 역은 주로 석회암과 흑색 석회질 점판암 및 소량의 규암, 사암, 화강편마암 등으로 구성되는 반면, 기질부는 탄산염질, 사질 및 이질의 다양한 조성을 보인다.

연구 지역의 북서부에 분포하는 쥬라기의 대보 화강암류는 점이적인 경계를 보이는 화강섬록암과 우백질 화강암으로 주로 구성된다. 이들 암석은 주로 조립질로 자형 내지 반자형의 장석 거정이 특징적이며, 석영, 정장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 약섬석 등으로 구성된다. 이 괴산-증평 화강암체에 대한 연대 측정 자료는 Kim(1990)이 구체적인 자료없이 간단히 160 Ma로 보고한 것 이외에는 아직 발표된 바가 없다. 그러나 이 암체와 인접한 충주 화강암의 K-Ar 흑운모 연대는 183±9 Ma로서(민경원 외, 1995) 전형적인 대보화강암의 연대를 보인다.

백악기의 속리산 화강암질암은 연구 지역의 남동부에 분포하며, 조립질 흑운모 화강암, 반상 흑운모 화강암 및 화강반암으로 구성된다(Cho, W.S. et al., 1994). 흑운모 화강암은 주로 석영, 정장석, 사장석과 흑운모로 구성되며, 부성분광물로 인회석, 저어콘, 자철석, 티탄철석 등이 산출한다. 이 화강암체의 주변부에는 키아스토라이트(chiastolite)를 비롯한 전형적인 접촉 변성광물들이 잘 발달한다. 속리산 화강암체의 관입 시기는 Rb-Sr 전암 방법에 의해 91 Ma로 보고된 바가 있다(정창식과 장호환, 1995). 이 연대는 좌용주 외(1995)가 발표한 72-90 Ma의 흑운모 K-Ar 연대와도 조화적이다.

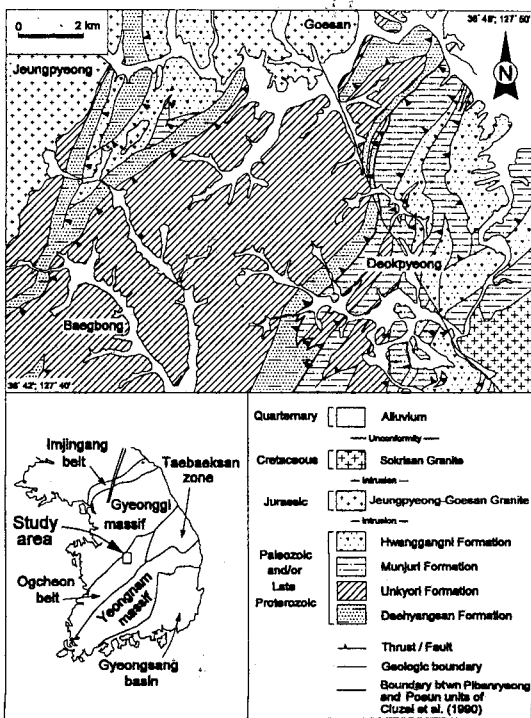


Fig. 1. Geologic map of the study area adopted from Kim et al. (1995).

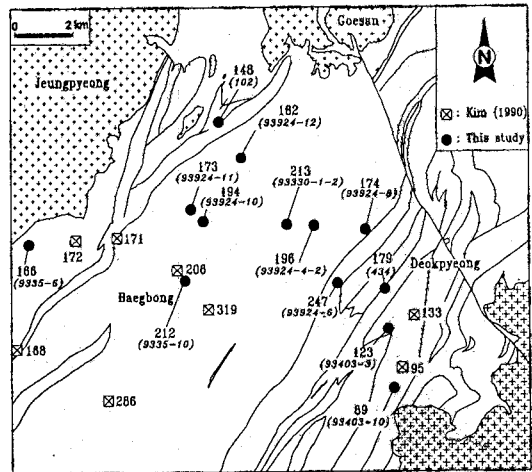
**분석 방법**

K-Ar 연대 측정에 사용된 시료는 운교리층 이질 편암 11개와 대향산층과 문주리층의 이질 편암 1개씩에서 각각 분리한 흑운모이다. 분석한 흑운모 시료의 위치는 Fig. 2에, 그리고 각 시료의 구성광물은 Table 1에 나타나 있다.

광물 분리를 위해서는 암석 시료의 깨끗한 부분을 취하여 망치로 잘게 부순 다음 체를 이용하여 63-125  $\mu\text{m}$  크기의 입자를 선택하였다. 선별된 시료는 2차 증류수 및 아세톤을 이용하여 3-4회 세척한 후 초음파 세척기로 불순물을 제거하였다. 최종적으로 자력 탁자 (magnetic table), 자력 분리기(magnetic separator) 및 손으로 정선하는(hand-picking) 방법 등을 이용하여 흑운모를 분리하였다. X-선 회절분석법(XRD)을 이용하여 분리된 흑운모의 순도를 확인한 결과, 흑운모 시료중의 일부는(102, 93924-6, 93924-8; Table 1) 세립의 녹니석과 자철석이 완전히 분리되지 않아 순도가 낮은 것으로 판명되었다. 분리된 각 광물에 대한 K-Ar 연대측정은 일본 오카야마대학 부설 고체지구

연구소에서 수행하였다.

K의 정량을 위해서는 시료 약 3-7 mg을 HF와



**Fig. 2.** An age-distribution map showing the spatial relationship of the K-Ar biotite ages from Kim (1990; crossed squares) and this study (solid dots). Numbers represent the biotite K-Ar age in Ma, and those in parentheses refer to the sample number of each specimen.

**Table 1.** Mineral assemblages of pelitic schists analyzed for the K-Ar biotite age

Sample no.	Mineral assemblages		Name of quadrangle*	Locality (National grid)
	Primary	Secondary		
<i>Daehyangsan Formation</i>				
93924-6	Gr <sub>t</sub> , Bt, Pl	Czo	Sokri	2688/3589
<i>Unkyori Formation</i>				
434	Gr <sub>t</sub> , Bt, Mus, Pl		Sokri	2704/3591
93330-1-2	Gr <sub>t</sub> , Bt, Mus, Pl	Mus, Wm	Sokri	2672/3609
9335-6	Hb, Bt, Pl		Sokri	2581/3605
9335-10	St, Gr <sub>t</sub> , Bt, Mus, Pl	Mus, Wm, Mrg	Sokri	2637/3593
93403-3	Gr <sub>t</sub> , Bt, Pl		Sokri	2706/3576
93403-10	Hb, Gr <sub>t</sub> , Bt, Gr		Sokri	2706/3555
93924-4-2	Gr <sub>t</sub> , Bt, Mus, Pl	Czo, Opq	Sokri	2696/3607
93924-8	Gr <sub>t</sub> , Bt, Mus, Pl		Sokri	2679/3609
93924-10	Gr <sub>t</sub> , Bt, Mus	Mus, Czo, Cc	Sokri	2641/3614
93924-11	Bt, Pl, Cc		Chungju	2638/3617
93924-12	Bt, Pl		Chungju	2657/3615
<i>Munjuri Formation</i>				
102	Ky, Bt, Mus	Mus, Czo, Cc	Chungju	2649/3644

Note: Quartz and opaque minerals together with secondary chlorite are ubiquitous.

\*Names of quadrangles are from those of newly-edited topographic maps (1 : 50,000).

Abbreviations: Bt, biotite; Cc, calcite; Czo, clinozoisite; Gr, graphite; Gr<sub>t</sub>, garnet; Hb, hornblende; Ky, kyanite; Mrg, margarite; Mus, muscovite; Opq, opaque mineral; Pl, plagioclase; St, staurolite; Wm, fine-grained white mica.

HClO<sub>4</sub>를 1:3으로 섞은 강산 용액으로 녹인 후, 다시 6N HCl 용액을 사용해 완전히 분해시켰다. 이 용액을 증류수로 희석하여 시마즈 원자 흡수 분광계 (Shimazu AA-670)를 이용하여 불꽃 광도측정법 (flame photometry)으로 정량하였다. 시료분석시의 정확도(accuracy)는 표준시료(JB-1)를 사용하여 추정하였다. K 측정의 오차범위는 2%이며, 이를 연령 계산시 오차에 반영하였다.

Ar의 정량은 시료 약 20-100 mg을 취하여 알루미늄 호일로 싸 후 약 하루동안 200°C에서 예비 가열하여 대기 기원의 Ar을 제거하였다. Ar 가스는 시료를 1500°C에서 가열하여 초진공상태(10<sup>-9</sup> Torr 이상)의 스테인레스강(stainless steel) 관에서 추출하였다 (Nagao and Itaya, 1988). 추출된 Ar 가스의 동위원소 비는 VG5400 질량분석기를 이용하여 측정하였고, 대기중의 <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 비율을 295.5로 하여(Nier, 1950) 계산하였다. 방사성 Ar의 정량은 <sup>38</sup>Ar 스파이크 (spike)를 사용한 동위원소 희석법(isotope dilution method)을 사용하였다. <sup>38</sup>Ar 스파이크의 보정은 Nagao and Itaya(1988) 및 Itaya *et al.*(1991)이 개발한 방법을 사용하였다. 분석중에 흑운모 표준시료(LP-6)를 이용해 분석의 정밀도 및 정확도를 측정하였으며, 그 결과는 기존에 보고된 오차 범위 안에 속한다.

K-Ar 연령 계산에 사용된 붕괴상수는  $\lambda_p=4.962 \times 10^{-10}/\text{yr}$ 와  $\lambda_n=0.581 \times 10^{-10}/\text{yr}$ (Steiger and Jäger, 1977)이며, 동위원소비는 <sup>40</sup>K/K=0.01167(원자 %)이다. K-Ar 연대 및 오차의 계산을 위해서는 Nagao and Itaya(1988)가 제안한 방법을 이용하였다.

**결과 및 토의**

이 연구에서 얻은 흑운모의 K-Ar 연대 측정 결과는 Fig. 2와 Table 2에 요약되어 있다. Fig. 2는 이 연구의 결과뿐만이 아니라 Kim(1990)이 보고한 K-Ar 및 Rb-Sr 연대의 공간적 분포를 보여준다.

분석한 11 개 운교리층 이질 편암의 흑운모는 89±2 Ma 내지 213±5 Ma의 K-Ar 연대를 보인다. 예외적으로 작은 연령을(89 Ma와 123 Ma) 보이는 남동부의 두개 흑운모는(93403-10와 93403-3) 속리산 화강암에 인접한 시료로서 백악기의 관입-열 작용에 의해 재평형된 결과로 해석된다. 이들 두 시료는 모두 편리 구조와 광역변성광물들을 잘 보존하고 있으며, 93403-10 에서는 각섬석 반상변정이(Table 1) 주엽 리면을 자르며 성장하고 있다. 따라서 화강암체에 가장 인접한 93403-10 편암에서는 상대적으로 열적 효과가 컸고, 폐쇄온도가 비교적 낮은 흑운모의 K-Ar

**Table 2.** K-Ar ages of biotite

Sample no.	K (wt %)	<sup>40</sup> Ar <sub>rad</sub> (10 <sup>-9</sup> mol/g)	<sup>40</sup> Ar/ <sup>36</sup> Ar	Air* (%)	Age (Ma)
<i>Daehyangsan Formation</i>					
93924-6**	1.31±0.03	0.60	7443±15	2.97	247±5
<i>Unkyori Formation</i>					
434	5.09±0.10	1.66	11210±51	2.43	179±4
93330-1-2	5.63±0.11	2.21	9719±43	2.83	213±5
9335-6	6.37±0.13	1.92	24407±346	1.07	166±4
9335-10	5.42±0.11	2.11	20419±180	1.31	212±5
93403-3	5.44±0.11	1.20	18737±171	1.38	123±3
93403-10	6.44±0.13	1.01	9271±29	2.63	89±2
93924-4-2	3.66±0.07	1.31	14230±79	1.66	196±4
93924-8**	1.65±0.03	0.52	5591±8	4.28	174±4
93924-10	4.98±0.10	1.77	16432±121	1.46	194±4
93924-11	6.22±0.12	1.96	15351±128	1.56	173±4
93924-12	5.67±0.11	1.88	17926±102	1.30	182±4
<i>Munjuri Formation</i>					
102**	1.87±0.03	0.50	7038±20	3.08	148±3

\* Air fraction

\*\* Biotite separates contain a significant amount of impurity phases.

계는 거의 완전히 재평형되었을 것으로 생각된다.

대향산 규암층 내에 산출하는 한개 이질 편암의 흑운모는  $247 \pm 5$  Ma의 큰 K-Ar 연대를 보인다. 그러나 이 흑운모 시료는 K의 함량이 낮기 때문에 다른 시료에 비해 큰 연령이 지질학적으로 의미가 있는지 판단하기는 쉽지 않다. 한편, 군주리층 내의 이질 편암에서 얻은 한개(102; Table 2)의 K-Ar 흑운모 연대는  $148 \pm 3$  Ma로서 인접한 화강암체의 열적 영향에 의해 비교적 젊은 연대를 나타내는 것으로 생각된다. 그러나 이 시료 역시 K 함량이 낮아 연대 측정 결과의 신뢰도는 떨어진다.

Kim(1990)이 연구 지역에서 보고한 흑운모의 K-Ar 연대는 2개의 시료를 제외하고는 95-206 Ma로서, 이번 연구에서 구한 운교리층의 K-Ar 흑운모 연대와 (89-213 Ma) 잘 일치한다(Fig. 2). 그러나 Kim(1990)이 두개 시료에서 보고한 286 Ma와 319 Ma의 큰 K-Ar 흑운모 연대는 이번 연구에서 확인되지 않았다.

이상에서 기술한 연구 결과는 동위원소 연령 자료를 연구 지역의 주향에 대체적으로 수직한 NW-SE 방향으로, 증평-괴산 화강암으로부터 지표상 거리에 대하여 비교 도시한 Fig. 3에 잘 나타나 있다. 예외적으로 큰 연대를 보이는 Kim(1990)의 두개 시료(Fig. 2)와 대향산층 편암의 K 함량이 낮은 한개 흑운모(93924-6)를 제외하고는 매우 규칙적인 변화 경향을 보인다. 즉 연구 지역의 중앙부에서 운교리층 이질 편암의 K-Ar 흑운모 연대는  $213 \pm 5$  Ma로 가장 크고, 양쪽 화강암에 가까이 갈수록 작아진다. 따라서 이러한 변화는 측정된 K-Ar 흑운모 연대가 단순한 냉각 연령(cooling age)이기 보다는 주변 화강암의 관입시 유입된 열류(heat flux)에 의해 부분적으로 또는 거의 완전히 재평형된 결과로 해석된다.

또한 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 화강암체로부터의 지표상 거리가 비슷할 경우 K-Ar 연대의 변화 폭은 약 20 Ma에 달한다. 이러한 연대 측정치의 변화는 분석된 변성이질암류의 암상뿐만이 아니라 흑운모의 입자 크기나 화학 조성이 서로 다른데 기인할 수 있다. 여하간 Fig. 3의 결과는 연구 지역에서 K-Ar 연대 측정 방법이 지닐 수 있는 경험적 오차 범위가 10 Ma에 근접함을 시사한다. 이는 계산된 측정오차의 (Table 2) 약 두 배에 해당된다.

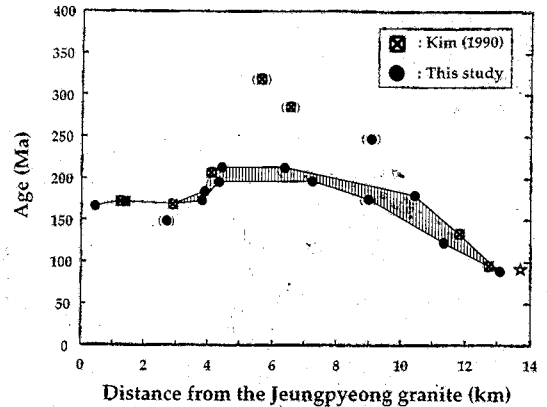


Fig. 3. A diagram showing the relationship between the age and the map distance of each sample from the Jeungpyeong granite along an NW-SE direction normal to the regional strike. Two data points of Kim (1990) showing anomalously old biotite K-Ar age as well as those of this study with low quality, shown in parentheses, are excluded for delineating the age vs. distance relationship shown in hatched pattern. Star denotes the Rb-Sr age of the Sokrisan granite reported by Cheong and Chang (1995). Symbols are same as those of Fig. 2.

연구 지역의 북서부에 분포하는 시료의 연대는 대부분 166-173 Ma로(Fig. 2) 인접 지역에 산출하는 증주 화강암의 K-Ar 흑운모 연대( $183 \pm 9$  Ma; 민경원 외, 1995) 보다 약간 젊거나 비슷하다. 따라서 이들 시료는 주라기 화강암의 관입에 따르는 K-Ar 연대의 재평형 결과를 잘 기록하고 있다고 생각된다. 실제로 화강암에 인접한 9335-6 시료에서는 호노펠스 조직과 각섬석 반상변정이 특징적이어서 열변성작용의 효과가 지배적이었음을 쉽게 알 수 있다.

열적 재평형의 효과는 특히 속리산 화강암체로 갈수록  $213 \pm 5$  Ma로부터  $89 \pm 2$  Ma까지, 넓은 지역에 걸쳐 체계적으로 감소하는 K-Ar 흑운모 연대에서 잘 보여진다(Fig. 3). 속리산 화강암체에 가장 인접한 시료의 연대는  $89 \pm 2$  Ma로서 91 Ma의 Rb-Sr 전암 연대(정창식과 장호완, 1995)와 거의 비슷하다. 이러한 결과는 속리산 화강암체가 천부 관입암체로서 빨리 고결되었다는 Cho, W.S. *et al.*(1994)의 제안과 일치한다. 급히 냉각된 화성암체임에도 불구하고 Fig. 3에 보여진 바와 같이 비교적 넓은 열적 효과가 흑운모의 K-Ar 계에서 관찰됨은 특기할만 하다.

육천대의 변성시기에 대해서는 권성택과 藍晶瑩(1991) 및 민경원 외(1995)에 의해 요약된 바와 같이

적어도 두 번의 광역적인 변성작용을 상징할 수 있다. 즉 원생대 말기(또는 고생대 중기?)의 광역변성작용과 중생대 초기의 광역-열변성작용을 들 수 있다. 중생대의 변성작용에 대해서는, Cliff *et al.* (1985)이 충주 북동부 지역에서 분리한 백운모와 흑운모의 Rb-Sr 연령 측정으로부터 200-220 Ma의 최고변성작용 연대를 제안한 바가 있다. 이 결과는 이민성(1988)이 문경 지역의 한 개 옥천대 각섬암 시료에서 구한 230 Ma의  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  연대와 조화적이며, 민경원 외(1995)가 얻은 203-209 Ma의 K-Ar 백운모 연대와도 잘 일치한다. 한편 이번 연구에서 얻은 흑운모의 K-Ar 연대 분포는(Fig. 3) 민경원 외(1995)가 제안한 트라이아스기 후기 내지 유라기 초기의 광역적인 열변성작용에 의해 설명될 수 있다. 흑운모의 K-Ar 계는 광역-열변성작용에 의해 평형을 이룬 이후 유라기와 백악기의 화강암체 관입에 수반된 열적작용에 의해 부분적으로 또는 거의 완전히 재평형되었다. 그 결과 화강암과의 접촉부로 갈수록 K-Ar 흑운모 연대가 감소하는 Fig. 3의 경향이 나타난다.

중생대 변성시기와는 달리 Kim(1990)은 덕평 지역의 점판암질 시료에서 392 Ma의 Rb-Sr 전암 연대와 최고 319 Ma의 K-Ar 흑운모 연대를 얻어 옥천대에서의 칼레도니아 조산운동을 제안하였다. Oh *et al.* (1995)는 옥천변성대 남서부 지역의 한 개 각섬암 시료에서 약 420 Ma의 K-Ar 각섬석 연대를 얻었고, 김옥준(1982) 또한 옥천변성대 중남부 지역에서 430 Ma의 K-Ar 흑운모 연대를 보고한 바가 있다. 한편 덕평 지역의 운교리층 내에 협재하는 각섬석 편암에서 구한 한 개의 K-Ar 각섬석 연대는  $431 \pm 9$  Ma(조문섭의, 미발표 자료)로서 위에 기술한 결과와 함께 사일루리아기의 변성작용을 지지하는 것처럼 보인다. 그러나, 이들 연령은 아직 넓은 지역에서 체계적으로 확인된 바가 없을 뿐만 아니라 과잉(excess) Ar 또는 Ar 유실(loss)의 문제를 배제할 수 없기 때문에, 지질학적 의미를 부여하기가 쉽지 않다. Kim(1990)의 Rb-Sr 전암 연대 역시 서론에서 언급한 바와 같이 등시선을 정의하지 않을 수 있고, 또한 연구 지역에서처럼 비교적 높은 온도에서 후퇴변성작용을 경험한 경우 지질학적 해석이 어렵기 때문에, 옥천변성대의 칼레도니아 조산운동을 주장하기에 앞서 더 확실한 절대연령 자료가 필요하다.

결론적으로 옥천변성대의 경우 두번에 걸친 광역변성작용뿐만 아니라 지역에 따라서는 유라기와 백악기 화성활동에 의해 폐쇄온도가 비교적 낮은 흑운모의 K-Ar 계는 넓은 지역에 걸쳐 부분적으로 또는 거의 완전히 재평형되었음을 알 수 있다. 재평형에 따르는 연대 측정의 문제점들을 극복하기 위해서는 좀 더 많은 숫자의 K-Ar 자료를 광역적으로 얻거나, 더 확실하게는  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  연대 측정을 옥천변성대 전지역에 걸쳐 체계적으로 시도해 보는 노력이 요구된다.

사 사

이 연구는 1995년도 교육부 기초과학 육성 연구비(BSRI-95-5404)에 의해 지원받았다. 김인준은 또한 한국과학재단의 박사후 과정 지원(인력 2311-854)에 감사한다. 논문 초고를 읽고 건설적인 비평을 제공해 준 권성택 교수와 박계현 박사, 그리고 연구 진행 과정에서 많은 조언을 준 진명식 박사에게 감사한다. 또한 K 측정시 도움을 준 오가야마대학의 T. Nagano 석사와 Figs. 2와 3을 멋지게 그려준 박혜준 학사에게도 감사한다.

참고문헌

권성택, 藍晶瑩, 1991, 옥천 각섬암의 Sm-Nd 동위원소 연구: 예비보고서. 광산지질, 24, 277-285.  
 김옥준, 1968, 충주-문경간의 옥천계의 층서와 구조. 광산지질, 1, 35-46.  
 김옥준, 1982, 한국의 지질과 광물자원. 김옥준 교수 정년퇴임 기념지, 15-18.  
 김현철, 조문섭, 고희재, 1995, 중평-덕평 지역에 분포하는 중부 옥천 변성대의 변성 지구조적 진화. 지질학회지, 31, 299-314.  
 노진환, 1995, 수안보 지역 옥천누층군 변성 이질암류의 접촉변성 분대와 반점상 근청석의 생성. 지질학회지, 31, 328-342.  
 민경원, 조문섭, 권성택, 김인준, K. Nagao, E. Nakamura, 1995, 충주 지역에 분포하는 변성암류의 K-Ar 연대: 원생대 말기(675 Ma)의 옥천대 변성작용. 지질학회지, 31, 315-327.  
 오창환, 김성원, 김중섭, 1993, 문경지역에 분포하는 변성 염기성암과 변성 퇴적암에 대한 백악기 화강암의 열변성작용. 암석학회지, 2, 74-94.  
 이민성, 1988, 옥천대의 각섬암의 화학조성과 그 성인. 지질학회지, 24, 518-519.  
 이종혁, 1995, 옥천누층군의 지질. 서남옥천대의 지질-

- 이중혁 교수 정년퇴임 기념 논집, 17-130.
- 정창식, 장호완, 1995, 보은지역에 분포하는 화강암류의 암석화학과 동위원소 지구화학. 제50차 정기학술발표회 요약집, 대한지질학회, 23-24.
- 좌용주, 이중익, H. Kagami, 1995, 중부 옥천대 화강암류의 새로운 연대. 제50차 정기학술발표회 요약집, 대한지질학회, 17.
- Ahn, K.S., 1991, New metamorphic reaction in low-pressure meta-pelitic rocks and petrological study on dolerite sills of Mungyong area, Korea. Ph.D. thesis, Univ. of Tokyo, 186 p.
- Cho, M., Min, K. and Kim, H., 1994, Metamorphism in the central Ogcheon belt. IGCP Project 321, Fourth International Symposium and field Excursion, Field Trip Guidebook, 97-120.
- Cho, W.S., Jwa, Y.-J., Lee, J.I. and Lee, M.S., 1994, Petrography and mineral chemistry of the granitic rocks in the Pooun-Sogrisan area, Korea. J. Petrol. Soc. Korea, 3, 220-233.
- Cliff, R.A., Jones, G., Choi, W.C. and Lee, T.J., 1985, Strontium isotopic equilibration during metamorphism of tillites from the Ogcheon Belt, South Korea. Contrib. Mineral. Petrol., 90, 346-352.
- Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon belt (South Korea). Tectonophys., 183, 41-56.
- Itaya, T., Nagao, K., Inoue, K., Honjou, Y., Okada, T. and Ogata, A., 1991, Argon isotope analysis by a newly developed mass spectrometric system for K-Ar dating. Mineral. J., 15, 203-221.
- Kim, H.S., 1971, Metamorphic facies and regional metamorphism of Ogcheon metamorphic belt. J. Geol. Soc. Korea, 7, 221-256.
- Kim, J.H., 1990, Middle Paleozoic isotopic ages of the Ogcheon Group in Korea and their significance. In: Aubouin, J. and Bourgois, J. (eds.) Tectonics of Circum-Pacific Continental Margins, VSP, Utrecht, 181-191.
- Koh, H.J. and Kim, J.H., 1995, Deformation sequence and characteristics of the Ogcheon Supergroup in the Goesan area, central Ogcheon belt, Korea. 31, J. Geol. Soc. Korea, 31, 271-298.
- Nagao, K. and Itaya, T., 1988, K-Ar age determination. Mem. Geol. Soc. Japan, 29, 5-21 (in Japanese).
- Nier, A.O., 1950, A redetermination of the relative abundances of the isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, argon and potassium. Phys. Rev., 77, 789-793.
- Oh, C.W., Kim, S.T. and Lee, J.H., 1995, The P-T condition and timing of the main metamorphism in the southwestern part of the Okchon metamorphic belt. J. Geol. Soc. Korea, 31, 343-361.
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B., Workman, D.R., Yoon, K.S., Rhyu, H.S., Jeong, S.H. and Park, J.N., 1973, The geology of the Hwanggangni mining district, Republic of Korea. Geol. Min. Inst. Korea, Rept. Geol. Mineral. Explor., 1, Pt. 2, 1-118.
- Steiger, R. and Jäger, E., 1977, Subcommittee on geochronology: Convention on the use of decay constants in geo- and cosmo-chronology. Earth Planet. Sci. Lett., 36, 359-362.

---

(책임편집 : 권성택)

## K-Ar biotite ages of pelitic schists in the Jeungpyeong-Deokpyeong area, central Ogcheon metamorphic belt, Korea

Moonsup Cho<sup>1</sup>, In Joon Kim<sup>1,2</sup>, Hyeoncheol Kim<sup>1</sup>,  
Kyoungwon Min<sup>1</sup>, Jung-Ho Ahn<sup>3</sup> and Keisuke Nagao<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Department of Geological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, KOREA,*

<sup>2</sup>*Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Daejeon 305-350, KOREA,*

<sup>3</sup>*Department of Earth and Environmental Sciences, Chungbuk National University,*

*Cheongju 360-763, KOREA and* <sup>4</sup>*Institute for Study of the Earth's Interior,*

*Okayama University, 827 Misasa, Tottori-Ken 682-02, JAPAN*

**ABSTRACT:** The K-Ar ages of biotites, obtained from thirteen pelitic schists in the Jeungpyeong-Deokpyeong area, central Ogcheon metamorphic belt, range from 89 Ma to 213 Ma except for one specimen. These K-Ar ages systematically decrease as the distance between the analyzed specimen and the Jurassic or Cretaceous granite decreases. The K-Ar ages of biotites adjacent to the Jurassic and Cretaceous granites are 166 Ma and 89 Ma, respectively. Thus, the biotite ages are interpreted to result from the partial or complete resetting by thermal activities in association with the intrusion of Mesozoic granites, following the regional-thermal metamorphism at Late Triassic to Early Jurassic times.

**Key Words:** Ogcheon metamorphic belt, K-Ar biotite age, regional metamorphism, thermal metamorphism