

## 옥천 각섬암의 Sm-Nd 동위원소연구 : 예비보고서

권 성 택\* · 藍 晶 瑩\*\*

### Sm-Nd Isotopic Study of the Ogcheon Amphibolite, Korea: Priliminary Report

Sung-Tack Kwon\* and Ching-Ying Lan\*\*

**ABSTRACT :** We applied Sm-Nd isotopic system to so-called amphibolites occurring within the Ogcheon group to provide constraints on the age of the metasedimentary rocks and to characterize tectonic environment of basaltic magmatism. An internal mineral isochron age of  $677 \pm 91 \text{ Ma}(1 \sigma)$  was obtained from a coarse-grained, intrusive, amphibolite near Mungyeong. Considering previous studies on the age of the Ogcheon group, we interpret that the isochron represents either early metamorphic or emplacement age. The depositional age of the metasedimentary rocks intruded by the amphibolite would be prior to late Proterozoic. The present study and Cambro-Ordovician fossil evidences of previous workers suggest that both Precambrian and Phanerozoic rocks are present in the Ogcheon group. Positive  $\epsilon \text{ Nd}$  values(+2.4 to +3.5) of four whole rocks indicate mantle origin for the amphibolite. These isotopic data, along with published immobile trace element data of Cluzel et al.(1989), strongly suggest that parental rocks of the amphibolite formed in an intraplate environment rather than in island arc or midocean ridge. The age and tectonic environment of amphibolites in the Ogcheon belt suggest that the basaltic magmatism may be related to the late Proterozoic break-up of a presumed supercontinent, but not to the Triassic(?) collision between North and South China continents.

### 서론

우리나라의 옥천층군 (주로 변성 퇴적암)은 한반도 지질 역사에 있어서 중요한 위치를 차지함에도 불구하고 퇴적후 변형 및 변성 작용때문에 그 퇴적 시기가 잘 밝혀지지 않았다. 따라서 우리나라의 지질 역사를 이해 하는데 하나의 걸림돌이 되어왔다. 현재까지 옥천층군의 시기에 대해서는 화석의 산출이 드물고 절대 연령의 측정 시도가 많지 않았기 때문에 구조 지질학적 해석에 따라 선캠브리아에서 현생 이연까지 이견이 많다 (김옥준, 1968; 이대성, 1974; Reedman et al., 1973; Lee et al., 1989의 Table 1에 잘 요약되어 있음).

이 문제의 옥천층군 안에는 소위 각섬암 (혹은 변성 염기성암)이 주로 남동부 경계부근을 따라 산출되는데 이 암석의 성인과 구조적 환경에 대해 논란이 많이 있어왔다. (Park and So, 1972 ; 김옥준, 김규한, 1976 ; Lee et al., 1980 ; 이대성, 1980 ; Cluzel et al., 1989). 특히 논란의 대상이 되는 것은 이들 각섬암이 대륙과 대륙의 충돌시 흔히 나타나는 오피올라이트군 (ophiolite assemblage)의 일부인가 하는 것이다. 이 논란의 중요성은 동아시아의 지구조 역사를 볼때 특히 북중국대륙 (혹은, Sino-Korean Platform)과 남중국대륙 (혹은, Yangtze Platform)이 충돌시 만들어졌다고 생각되는 트라이아스기(?)의 Qinling 습곡대가 한반도까지 연장되는가 하는 것이다 (Cluzel et al., 1990의 Fig. 1참조).

이 논문은 1989년도 문교부지원 학술진흥재단의 자유공모 과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

\* 연세대학교 (Department of Geology, Yonsei University, Seoul, 120-749) Korea,

\*\* 臺灣 中央研究院 地球科學研究所 (Institute of Earth Sciences, Academia Sinica, P. O. BOX 23-59, Taipei, TAIWAN 10764, Republic of China)

본 연구는 옥천층군과 관련되어 산출되는 화성기원 의 각섬암의 생성시기를 측정함으로써 문제의 옥천층군의 시기에 대한 상한을 제공하고 Sm-Nd 동위원소 자료를 이용하여 이들 각섬암의 성인과 지구조적 환경을 밝히는데 그 목적이 있다. 또한, 본 연구의 결과와 옥천층군의 시기에 대한 기존연구를 종합 비교함으로써

이에 대한 전반적인 문제점을 토론하고자 한다. 본 논문에서는 문경부근 상내리 지역의 각섬암에 대해서 보고하나 옥천층군의 보다 정확한 이해를 위해서 다른 여러지역에서 산출되는 각섬암에 대해서도 동위원소 및 지화학적 연구가 현재 진행 중이다.

### 지질배경과 시료

옥천 각섬암은 옥천층군의 남부와 동부 경계부근에서 천매암, 편암 및 대리석과 주로 관련되어 산출한다. 본 논문의 연구지역은 남동쪽 경계부근을 따라 산출되

는 3개의 넓은 각섬암 분포지역 중 가운데 것에 해당하는 문경부근의 것이다 (Fig. 1; 이대성, 1980). 이 지역의 옥천층군은 기존 연구에 의하면 주로 천매암질인 상내리층과 이 층과 관입 혹은 정합관계를 보이는 각섬암, 이들 위에 부정합으로 퇴적 되었다고 여겨지는 함력 천매암질인 백화산층, 주로 편암류인 조봉층 및 이 화령층으로 구성되어 있다 (김남장 등, 1967). 이 지역의 옥천층군과 남동쪽 경계부에 접하는 탄산염암층 (캠브로-오도비스기?)과의 관계는 불확실하다. 이들 퇴적층들은 중생대의 화강암질 심성암에 의해 관입되어 있다.

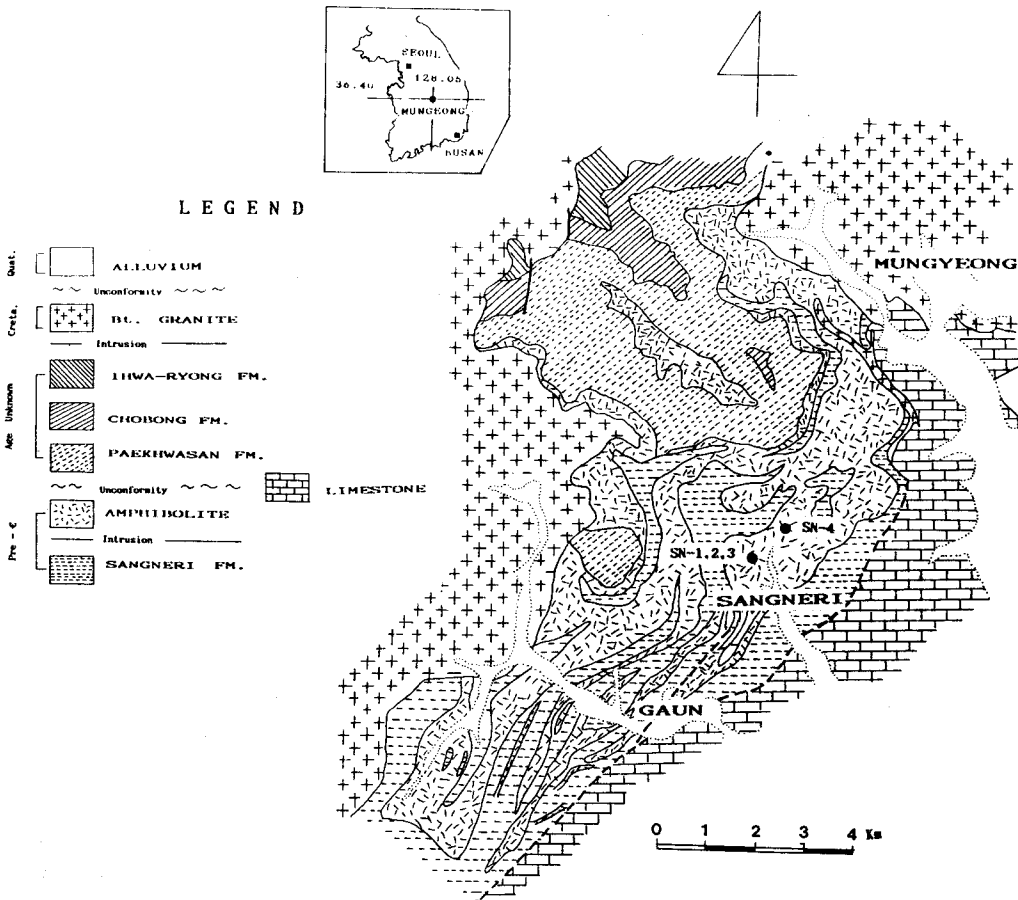


Fig. 1. Geologic map of the Sangneri area (after Ahn, 1984) and sample locations.

옥천층군내의 각섬암은 그동안 그 기원에 관한 암석학적 연구가 수행되어 왔으나 (이대성, 우영균, 1970; So and Kim, 1975; 김옥준, 김규환, 1974, 1976; 이대성, 1980), 대개 주성분 원소의 토의에 한정되었다. 이들 발표된 주성분원소의 특징은 이들 각섬암의 대부분이 화성기원의 현무암질암이라는 것을 보였다. 따라서, 이들의 원암은 현무암질 암맥, 암상, 암주, 용암류 혹은 응회암 등 어느 것에도 해당할 수 있다. 각섬암 중 많은 부분을 차지하는 세립의 것은 그 기원암의 산출 형태가 암상, 용암류 혹은 응회암등이었을 가능성이 있다. 변성 및 변형 작용때문에 이들 중 어느 것인지는 확실하지 않으나, 야외에서 암상 형태의 관입이 때때로 관찰된다. 반면, 그 산출지역은 많지 않으나 중립 및 조립의 것은 암맥 혹은 암주 형태로 산출되는 것을 야외에서 쉽게 확인할 수 있다 (이대성, 1980; 신국선, 1987; 안건상, 1986; 본 연구). 최근 Cluzel et al. (1989)은 옥천각섬암의 대표적인 시료에 대해 변성작용에 민감하지 않은 미량원소 자료를 이용함으로써 옥천 각섬암은 대륙내 열곡 (intracontinental rift) 환경에 정착된 솔리아이트질 변이 현무암 (tholeiitic transitional basalt)에 해당된다고 제안했다. 권성택과 이동호 (준비중)는 보은 지역의 각섬암에 대한 지화학적 연구에서 이와 유사한 결론을 얻었다.

연구지역의 각섬암 역시 세립질과 조립질형으로 구분될 수 있는데, 본 연구를 위해 조립질암과 세립질암 각각 2개를 채취하였다. 이들 각섬암은 대부분 녹색편암상 내지 녹색각섬석-각섬석암상의 변성작용을 받은 것으로 보인다 (Kim, 1971; 안건상, 1986; 권성택, 이동호, 준비중). 조립질 각섬암의 경우, 각섬석은 일반적으로 내부가 양기석으로 되어 있는 반면 벽개면이나 입자 주변부는 보통 각섬석으로 구성되어 있으며, 사장석도 내부가 알바이트로 되어 있는 반면 주변부에서는 보다 calcic 한 사장석으로 구성되어 있는 것이 흔히 관찰되는 것은 점진적인 변성 작용에 의한 것으로 사료된다 (권성택, 이동호, 준비중).

그동안 이들 각섬암에 대한 연대측정의 필요성은 인식되어 왔으나, 이들이 염기성 암석이고 변성작용 (특히 중생대)을 받았기 때문에 방사성 동위원소계를 이용한 연구는 드물었다. 단지, 최근 이민성 (1988)이 Ar-Ar 법으로 230 Ma를 보고한 바가 있을 따름이다. 본

연구에서는 소위 각섬암 중 옥천 변성 퇴적암을 관입한 것으로 여겨지는 조립 각섬암에 대해 Sm-Nd 동위원소계를 적용했다. 특히 문경 근처 상내리지역에 산출되는 조립 각섬암 내에는 장석의 양이 우세한 부분이 10-50 cm 크기로 불규칙한 형태로 분포되어 있는데 이 시료를 이용해 내부 동시선 (internal isochron)을 구하고자 하였다.

### 실험방법

본 연구를 위한 Sm과 Nd의 화학분리와 분리된 원소에 대한 동위원소 분석은 대만 중앙연구원 지구과학연구소에서 행하여졌다.

Sm과 Nd의 원소분리를 위하여 다음과 같은 전통적인 화학처리 방법을 이용하였다. 시료 약 100 mg에 적당량의 <sup>148</sup>Sm과 <sup>150</sup>Nd 스파이크를 섞은 다음, 농축 HF + HNO<sub>3</sub> 혼합물을 두번에서 세번정도 적용해 완전히 녹인 후 2N과 4N HCl을 매체로 이용한 양이온 교환 칼럼 화학 (cation exchange column chemistry)으로 희토류원소를 일차적으로 분리시켰다. 다음 0.2N di-methyl lactic acid (2ml)를 매체로 이용한 양이온 교환 칼럼 화학으로 Sm과 Nd를 다른 희토류 원소로부터 분리하였다.

분리된 Sm과 Nd의 동위원소비는 VG354 single-collector 질량분석기를 이용하여 산화물 형태 (NdO<sup>+</sup>)로 측정되었다. 측정된 Nd 동위원소비 (<sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd)는 산소동위원소비에 대한 교정을 한 후 <sup>146</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd = 0.7219에 대해 노멀라이즈 (normalize)된 값으로 보고되며, 그 오차는 평균표준오차의 2배값 (two standard errors of mean, 2σm)으로 보고된다 (Table 1). La Jolla 표준시료에 대한 <sup>143</sup>Nd/<sup>144</sup>Nd의 값은 0.511845이다. <sup>147</sup>Sm / <sup>144</sup>Nd의 오차는 0.5% 보다 좋다고 추정된다 (Lan, 1989). 동시선의 통계학적인 처리는 York (1969)에 따랐으며 동시선의 연대 계산에서 사용된 <sup>147</sup>Sm의 붕괴상수는 6.54 × 10<sup>-12</sup>/y이다. 계산된 동시선의 연대와 초생치는 1σ 오차로 보고되며, 가상된 지질학적 오차를 포함시키기 위해 평균 제곱가중 편차 (mean squared weighted deviation, MSWD)가 1보다 큰 경우에는 MSWD의 제곱근을 곱하였다. 실험방법의 보다 자세한 것은 Kwon (1986)에 기술되어 있다. 본 논문에서 사용된 ε Nd (T) 값의 정의는 Table 1에 나타나있다.

Table 1. Sm-Nd isotope data of the Ogcheon amphibolite from Sangneri area.

Sample No.	Sm(ppm)	Nd(ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon \text{ Nd}(T)^*$
SN-1 WR	6.04	25.83	0.1414	0.512518 (25)	+ 2.4
SN-2 WR	6.06	26.59	0.1378	0.512539 (28)	+ 3.2
SN-3 WR	8.63	39.60	0.1318	0.512487 (21)	+ 2.7
SN-4 WR	10.35	47.22	0.1325	0.512531 (32)	+ 3.5
SN-4 Am	0.81	2.63	0.1862	0.512810 (22)	
SN-4 Pl	4.40	22.25	0.1196	0.512524 (21)	

WR; whole rock, Am; amphibole separates, and Pl; plagioclase separates. \*  $\epsilon \text{ Nd}(T)$  is defined as follows (DePaolo and Wasserburg, 1976);  $\epsilon \text{ Nd}(T) = (R_s(T)/R_{BE}(T)-1) \times 10^4$ , where  $R_s(T)$  is the  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  ratio in the sample at time  $T$  and  $R_{BE}(T)$  is the ratio for the bulk earth at time  $T$ . The bulk earth values are estimated from present-day ( $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>BE</sub> = 0.1966 and ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ )<sub>BE</sub> = 0.512638 (Jacobsen and Wasserburg, 1980 and 1984).  $T$  is 680 Ma in this paper.

## 결 과

Sm과 Nd의 함량과 Nd 동위원소비는 Table 1에 나타나 있다. 전암의 Sm과 Nd의 함량은 각각 약 6-10 및 26-27 ppm으로 전형적인 중앙해령 현무암 (midocean ridge basalt, MORB) 값보다 크고, Cluzel et al. (1989) 이 발표한 옥천 각섬암의 희토류원소 자료의 범주내에 속한다.  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 의 비는 0.132-0.141로 좁은 범위를 보이기 때문에 전암자료는 의미있는 동시선을 정의하지 않는다. 그러나, SN-4의 현부분 (주로 사장석)과 유색 부분 (주로 각섬석)의 분석치는 전암 자료와 더불어 내부 동시선을 정의한다 (Fig. 2). 이 동시선의 연대는

$677 \pm 91 \text{ Ma}$  (MSWD = 1.7)이며, 초생치는 0.511980  $\pm$  0.000090 이다. 그러나, 동시선의 기울기는 각섬석 자료에 크게 좌우된다. 이 연대는 각섬암의 연대가  $1\sigma$ 의 오차 한계내에서는 선택브리아기말임을 나타내지만, 고생대 전기일 가능성을 전혀 배제하지는 않는다.

## 해 석

Sm-Nd 계는 K-Ar 혹은 Rb-Sr과는 달리 변성작용이나 변질작용에 대해서 잘 견딘다고 알려져 있다 (예를 들면, Jacobsen and Wasserburg, 1979). 이것은 주로 Sm과 Nd이 변성 혹은 변질 작용에 관련된 수용액에 대한 낮은 용해도와 두 원소의 지구화학적 거동이 지각에서 일어나는 지질작용에 대해 유사한 것에 기인한다고 생각되어지고 있다. Sm-Nd 계의 이러한 성질은 전암을 이용한 연대측정에 비교적 성공적으로 적용되어 왔다. 그러나, 본 연구에서처럼 변성광물인 각섬석이 동시선의 기울기를 좌우할 경우는 동시선의 해석이 그리 간단하지는 않다. 예를들어 변성전 광물의 Sm/Nd 비와 변성광물의 비가 어느 정도 차이가 나는가에 따라 동시선의 의미가 달라지기 때문이다.

시료 SN-4는 대부분 사장석 (주로 알바이트)와 각섬석 (주로 양기석)으로 구성된 변성암이다. 원래 이 암석을 구성한 광물은 거의 남아있지 않지만, 잔류조직은 변성전 광물이 calcic 사장석, 휘석, 감람석 (?) 등이었

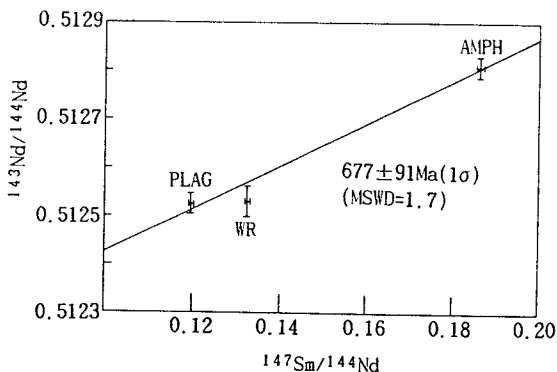


Fig. 2. Sm-Nd isochron diagram for the sample SN-4 (WR; Whole Rock, AMPH; amphibole separate, and PLAG; plagioclase separate).

을 것으로 보인다 (권성택, 이동호, 준비중). 특히 Fig. 2에서 기울기를 좌우하는 각섬석은 휘석을 치환한 변성 광물로 생각된다.

원래 광물인 calcic 사장석과 휘석이 변성광물인 albitic 사장석과 각섬석으로 각각 변할때 Sm/Nd비가 어떻게 변하는가를 잘 알려져 있지 않아 앞으로 연구가 필요하지만, 다음에서 몇가지 가능성을 토의하고자 한다. 첫째, 변성작용 동안 Nd 동위원소비와 Sm/Nd 비의 재균질화가 완전히 일어났을 경우 이 기울기는 변성 시기를 나타낼 것이다. 둘째, 변성광물의 형성시 재균질작용이 제한적이어서 원래 Sm/Nd 비를 유지했을 경우는 정치 (본 연구의 경우는 관입) 시기를 나타낼 것이다. 셋째, 만약 각섬암 원암의 정치후 곧 변성작용을 받았을 경우에는 정치시기와 변성시기는 유사할 것이다. 이 경우 두번째 가능성에서 문제된 변성작용 동안의 Sm/Nd 계의 변화는 그리 영향을 미치지 못할 것이다. 넷째, 변성작용동안의 재균질화가 불완전하게 일어났을 경우, 동시선이 정의되는 것은 우연일 것이다. 앞으로 독립적인 다른 연대측정 자료가 얻어질 수 있으면 이러한 가능성에 대한 판단을 할 수 있을 것이다.

위의 여러가지 해석 중에서 가장 타당성이 있는 것은 이 동시선이 변성시기를 나타낸다고 생각되지만, 일반적으로 희토류원소의 유동성이 적은 것을 고려하면 정치시기를 나타낼 가능성을 배제할 수는 없을 것이다. 또, 옥천층군 암석 중 우라늄을 함유하는 흑색 셰일에서 650-700 Ma 시기에 해당된다고 미화석과 유기잔류물은 옥천층군의 퇴적시기가 원생대말이었을 가능성을 시사하기 때문에 (Oh and trichet, 199) 세번째 경우도 고려대상을 말한다. 어쨌든, 이 연대가 옥천계 전체에 영향을 끼친 열작용 시기인 약 100-400 Ma (Cliff et al., 1985; Kim, 1987)와 비교할때 광물의 Sm-Nd 계가 나중의 변성작용에 대한 영향을 보이지 않는 것은 주목할 만 하다. 만약, 광물 조직에서 보이는 각섬석과 사장석의 내부 성분과 주변성분의 차이가 두 차례의 변성작용을 의미한다면 이 동시선은 내부성분의 광물조함인 양기석-알바이트 생성과 관련이 있을 것이다. 결론적으로, Sm-Nd 광물 동시선은 각섬암의 초기 변성작용 혹은 정치시기를 나타내는 것으로 생각된다.

측정된 연대를 이용한  $\epsilon$  Nd 값은 +2.4에서 +3.5로 각섬암이 맨틀 기원임을 지지하는데 (Table 1), 이 값

이 맨틀의 Nd 동위원소에 대한 진화 모델 (예를들어 De. Paolo, 1981)에서 유추되는 약 700 Ma 전의 맨틀유래 현무암질암, 특히 MOR나 호상열도 현무암 (island arc basalt, IAB)의  $\epsilon$ Nd 값 (+6에서 +7)과 비교해서 낮은 것은 각섬암 원암의 생성환경이 중앙해령이나 호상열도라기보다는 판내부환경 (intraplate environment)임을 시사한다. 본 연구의 Sm-Nd 계의 자료는 Cluzel et al. (1989)의 미량원소에 의한 해석과 잘 일치하나, 기존 연구중 각섬암의 성인이 전형적인 호상열도 (Park and So, 1972) 혹은 오피올라이트군의 일부 (김옥준, 김규한, 1976; 이대성, 1980)일 것이라는 해석을 지지하지 않는다.

### 옥천층군의 시기에 대한 토의

지금까지 행해진 옥천층군의 시기에 관한 연구는 1) 화석, 2) 암상대비 및 구조적 해석, 그리고 3) 절대연령에 의한 것 등으로 요약될 수 있다. 여기서 우리는 본 연구에서 얻은 각섬암의 연대를 기존 연구와 비교하고자 한다. 옥천층군의 시기와 관련된 연구결과가 Fig. 3에 요약되어 있다.

#### 화석에 의한 증거

이대성 등 (1972)이 발견한 향산리 돌로마이트층 내의 Archaeocyatha 화석은 이 돌로마이트층이 캄브리아기의 초기 내지 중기에 퇴적된 층임을 지지하며, Lee et al. (1989)이 최근 황강리 층내의 석회암질역에서 발견한 코노돈트의 화석은 황강리층이 이들 코노돈트가 지시하는 초기 오르도비스기와 비슷하거나 혹은 보다 젊은 층임을 나타낸다. 특히, 황강리층은 많은 학자들에 의해 옥천층군의 상부에 해당하는 것으로 생각되기 때문에 옥천층군의 시기에 대한 상한을 제시한다. 한편, Oh and Trichet (1990)은 괴산지역의 우라늄 광상과 관련된 미화석과 유기잔류물이 650-700 Ma로 알려진 중국의 Doushaintou층에서 산출되는 화석과 유사함에 주목하고 이들 화석을 함유하는 흑색 셰일의 퇴적시기가 선캄브리아 이연의 최후기에 해당됨을 시사했다. 이들 화석에 의한 증거는 옥천층군의 퇴적암 중 적어도 일부는 현생 이연에 퇴적되었음을 지지하지만, 선캄브리아

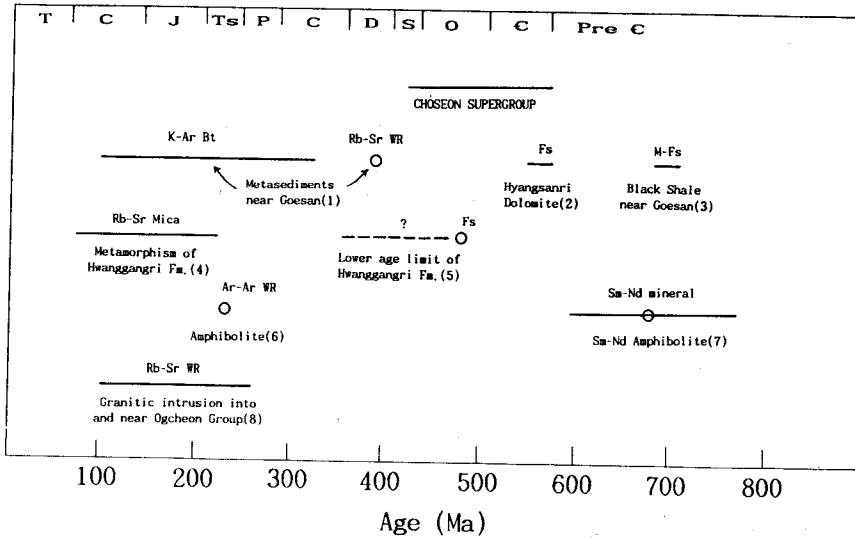


Fig. 3. A summary diagram showing controls on the age of the Ogcheon group rocks. Method of radiometric age determination is indicated above age range of each line, except for the fossil (Fs) and microfossil (M-Fs) evidences. The emplacement ages of the plutonic rocks intruding the Ogcheon group provide a minimum age of about 260 Ma for the group, while the metamorphic ages of the Ogcheon sediments indicate that the minimum age can be extended upto about 400 Ma ago. Fossil evidences suggest that the Ogcheon group consists of both Paleozoic and late Proterozoic sediments. The Sm-Nd mineral age for an amphibolite supports late Proterozoic age for a part of the Ogcheon group rocks, while Ar-Ar age of 230 Ma for the amphibolite probably represents resetting of the K-Ar clock during metamorphism. See text for more discussion. Numbers indicate references (1. Kim, 1987; 2. Lee et al., 1972; 3. Oh and Trichet, 1990; 4. Cliff et al., 1985; 5. Lee et al., 1989; 6. Lee, 1988; 7. this study; 8. Kwon, 1987, and Choo and Kim, 1985).

말기의 퇴적물의 존재 가능성을 배제하지는 않는다.

### 암상대비 및 구조 지질학적 해석

옥천층군의 시기에 대한 여러가지 다른 의견이 제안된 주요 원인은 바로 이 암상대비와 구조지질학적 해석에 기인한다. 이는 옥천층군의 시기를 선캠브리아 이언이라는 것과 현생 이언이라는 것 두가지로 나눌수 있다. 선캠브리아 이언이라는 생각은 옥천층군의 암석들이 동쪽에 산출되는 조선층군들에 비해 전반적으로 다른 암상을 보일 뿐만 아니라, 변성정도가 심하기 때문에 조선층군이 대표하는 캄브리아기-오도비스기보다 오래된 것이라는 데 유래하며, 옥천층군중 최상부층에 해당된다고 생각되어지는 황강리층 (김옥준, 1968; 이대성, 1969)의 기원이 빙하 퇴적물일 가능성과 황강리층이 중국의 원생대 말기의 빙하 퇴적층과 대비될 수 있

다는 이유로 옥천층군의 모든 혹은 대부분의 암석이 선캠브리아 이언에 속한다는 것이다 (김옥준, 1970; Reedman et al., 1973). 그러나 이러한 생각은 최근 황강리층이 debris flow에 의한 퇴적물이라는 재해석 (Chough, 1981)과 위에서 언급한 화석의 발견에 의하면 재고되어야 할 것 같다. 반면 옥천층군이 현생 이언의 퇴적물에 속한다고 하는 생각은 앞에서 언급된 하부 고생대 화석의 발견과 더불어 이 층군의 암석들이 조선층군의 탄산염암, 세립의 퇴적암 및 규암과는 다르나 같은 시기의 다른 퇴적환경 (예를들면, eugeosyncline과 miogeosyncline)에 의한 측면상변화 (lateral facies change)로 설명될 수 있다는 데서 유래한다 (이대성, 1980; Cluzel et al., 1990). 이와같은 생각은 옥천대의 복잡한 구조지질학적 해석의 차이에 의해 연구자에 따라 옥천층군의 층서에 대한 의견을 달리하는 결과를 초래했다 (Lee et al., 1989의 요약 Table). 특히 옥천층군

을 전체적으로 향사 혹은 배사 구조로 해석 하느냐에 따라 다를 뿐 아니라, 최근 Cluzel et al. (1989)이 옥천층군을 충상단층에 의해 정의되는 5개의 nappe 구조로 해석한 것은 옥천층군의 구조적 복잡성을 반증한다.

### 절대연령측정

옥천층군내의 암석에 대한 절대 연령측정은 다음 몇 가지만 알려져있다. Cliff et al. (1985)이 황강리층의 운모를 이용한 Rb-Sr 연대측정으로 약 200 Ma의 시기를 얻었으며 이를 변성 작용의 시기로 해석하였다. 이 결과는 Lee et al. (1989)의 화석에 의한 증거와 더불어 황강리층의 퇴적시기가 초기 오르도비스기와 트라이아스기 사이임을 지시한다. Kim(1987)은 괴산부근의 구룡산층의 점판암 K-Ar 전암 연대로 약 400 Ma를 얻고, 이를 속성작용의 시기라기보다는 변성작용의 시기를 시사하는 것으로 해석했으며, 한반도의 칼레도니아 (Caledonian) 조산운동이 있었음을 시사했다. 또, Kim (1987)은 구룡산층 및 운교리층의 변성퇴적암내 흑운모로부터 약 95-320 Ma의 K-Ar 연대를 얻고, 옥천층군의 변성작용이 소위 쥬라기의 대보 조산운동과 관련되었을 것이라는 종래 생각과는 달리 훨씬 이전에 시작되었음을 보였다. 위의 연구와는 달리 이민성 (1988)은 Ar-Ar법을 이용해 각섬암 시료의 연대로 230 Ma를 얻고 이 시기가 영남육괴와 경기육괴의 충돌시기를 나타내는 가능성에 대해 제안했다. 그렇지만 옥천층군을 관입하는 주위의 화강암질 심성암은 옥천층군의 시기에 대한 한계를 제공한다. 예를들어, 권 치순 (1988)의 대전 부근의 화강암에 대한 Rb-Sr 전암 연대는 약 230 Ma이고, 옥천층군과 직접 접촉하지는 않으나 주승환과 김성재 (1985)에 의한 청산 화강암의 Rb-Sr 전암 연대는 약 260 Ma이다. 이런 화강암의 연대는 Cliff et al. (1985)와 Kim (1987)의 변성연대와 더불어 이민성의 Ar-Ar 법에 의한 230 Ma가 K-Ar 지질시계의 재확립연대 (reset age)일 가능성을 강력히 시사한다. 따라서 기존의 절대 연령측정은 옥천층군의 시기에 대해 상한만 제시할 뿐이라고 생각되어진다.

### 고찰

본 연구에서 얻어진  $677 \pm 91$  Ma 연대는 각섬암의 모암의 초기 변성 혹은 관입 시기로 해석되기 때문에 옥천층군의 적어도 일부는 선캠브리아 이언임을 시사하며, 화석의 증거와 더불어 옥천층군이 선캠브리아 및 고생대의 암석이 공존할 가능성을 강력히 나타낸다. 이러한 자료는 단순히 암상에 의한 대비로 옥천층군을 이해하려고 하는것은 무리가 있음을 시사한다. 특히 Cluzel et al. (1990)이 주장하는 것처럼 옥천층군이 여러개의 nappe 단위로 이루어져 있다고 가정하면, 서로 다른 지역에서 산출하는 각섬암 역시 그 시기가 각각 다를 수 있을 것이다. 옥천층군의 지질 역사에 관한 문제를 보다 잘 해결하기 위해서는 구조지질학적 해석 뿐만 아니라 화석의 확인과 더불어 절대연령 측정과 같은 정량적인 연구가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

만약 옥천각섬암의 정치시기가 약 7억년전이라는 본 연구결과가 옳다면, 각섬암의 화학성분이 나타내는 지구조환경에 대한 해석은 옥천각섬암이 원생대 말기의 대륙열곡 환경에서 일어난 화성활동의 산물이었음을 지시하는데 (Cluzel et al., 1989; 권성택, 이동호, 준비중), 이는 원생대 말기에 존재했다고 생각되어지는 초대륙 (supercontinent)의 분리 (Morel and Irving, 1978)와 관련이 있을 수 있음을 시사한다.

### 결론

옥천층군 내 각섬암에 대한 Sm-Nd 동위원소계의 적용은 현재까지 문제가 되고있는 옥천층군의 시기 및 지질역사의 해석에 대해 다음과 같은 해결의 실마리를 제공한다.

1. 본 연구지역인 문경부근 상내리에 산출되며 관입암이라 추정되는 조립질 각섬암의 Sm-Nd 광물 동시선은  $677 \pm 91$  Ma 연대를 정의한다. 이 연대는 옥천층군에 전체적으로 영향을 끼친 것으로 생각되는 데본기에서 중생대에 이르는 변성시기보다 오랜 것이다. 따라서, 이 연대는 암석의 광물조직에서 유추되는 두 차례의 변성작용을 고려하면 각섬암의 초기 변성작용 혹은 정치시기를 나타낸다고 생각된다.

2. 본 연구에서 구해진 Sm-Nd 연대는 분석된 암석

이 관입암이기 때문에 옥천 변성 퇴적암 중 적어도 일부는 후기 원생대 이전의 것임을 시사하며, 화석의 증거와 더불어 옥천층군에는 선캠브리아 및 고생대의 암석이 공존한다는 것을 나타낸다. 만약 옥천층군의 흑색 셰일에서 발견된 미화석이 원생대 말임을 지지하는 것이 사실이면 (Oh and Trichet, 1990), 황강리층을 제외한 옥천층군 대부분의 퇴적물은 원생대말에서 고생대 초기사이에 퇴적되었을 것이다.

3. 각섬암의 전암에 대한 Nd 값은 +2.4에서 +3.5로 맨틀 기원임을 나타내고, 미량원소 자료 (Cluzel et al., 1989; 권성택과 이동호, 준비중)와 더불어 이 암석의 생성환경이 호상 열도 (island arc) 혹은 중앙해령 환경 이라기 보다는 판내부 (intraplate) 환경이었을 것을 강력히 시사한다.

4. 본 연구의 각섬암의 정치시기 및 지구조환경은 옥천층군내의 화성활동이 원생대 말기의 초대륙의 분리와 연관되었을 가능성을 시사하며, 이는 옥천대의 분지 발달이 트라이아스기로 생각되어지는 남중국과 북중국 대륙의 충돌 (Lin et al., 1985) 과는 직접적인 관련이 없음을 말한다.

## 감사의 글

권성택은 본 연구를 위해 재정지원을 해준 학술진흥재단에 심심한 사의를 표한다. 본 논문의 초고에 대하여 논평을 해준 서울대학교 지질학과 조문섭 박사과 옥천층군의 일반적인 문제점에 대해 충고를 해준 김옥준, 손치무 명예교수님께 감사드린다. 야외 조사를 도와준 연세대학교 지질학과 이동호 석사, 그리고 시료 채취 현장을 안내해 준 일본 동경대학교 지질학과 안건상 석사에서 감사드린다. 또한 제도를 도와준 연세대학교 지질학과 조동준에게도 감사드린다. 끝으로, 불의의 사고로 젊은 나이에 세상을 달리한 고 오천혁 박사를 위하여 본 논문을 바친다.

## 참고문헌

- 권치순 (1988) 대전-공주간에 분포하는 화강암류의 미량원소 함량과 그 지구조적 고찰. 지질학회지, 24권, 특별호, p. 147-162.
- 김남장, 최승오, 강필중 (1967) 문경도록 및 설명서, 국립지질조사소, 25p.
- 김옥준 (1968) 충주-문경간의 옥천계의 층서와 구조. 광산지질, 1권, p. 35-46.
- 김옥준 (1970) 남한 중부지역의 지질과 지구조. 광산지질, 2권, p. 73-90.
- 김옥준, 김규한 (1974) 수산리-황강리지역의 지질구조와 암석학적 연구. 광산지질, 7권, p. 101-122.
- 김옥준, 김규한 (1976) 옥천지향사대내에 분포하는 염기성 암류의 암석학적 연구. 광산지질, 9권, p. 13-26.
- 신국선 (1987) 충북 보은군 관기-화성간에 분포하는 변성 염기성 암류의 암석학적 연구. 연세대학교 미발간 석사학위논문, 69p.
- 안건상 (1986) 문경 서남부에 분포하는 각섬암에 관한 연구. 연세대학교 미발간 석사학위논문, 58p.
- 이대성 (1969) 옥천지향사대에서 밝혀진 몇가지 지질학적 증거. 광진 14, p. 1-7.
- 이대성 (1974) 옥천계 지질시대 결정을 위한 연구. 연세논총, 제 11집.
- 이대성, 우영균 (1970) 청산·옥천간 염기성변성암에 관하여. 지질학회지, 6권, p. 29-52.
- 이대성, 장기홍, 이하영 (1972) 옥천계내 향산리돌로마이트층에서의 Archaeocyatha의 발견과 그 의의. 지질학회지, 8권, p. 191-197.
- 이대성 (1980) 옥천지향사대의 화성활동과 지구조적 해석. 연세논총, p. 109-137.
- 이민성 (1988) 옥천대 각섬암의 화학조성과 그 성인. 제 34차 정기 학술발표회 요약, 지질학회지, 24권, p. 518-519.
- 주승환, 김성재 (1985) Rb-Sr 법에 의한 영남육괴 연대측정 연구 (1). 국토기초지질조사연구, 85-24, p. 7-40.
- Chough, S.K. (1981) Submarine debris flow deposits in the Ogcheon basin, Korean peninsula. UN ESCAP, CCOP Tech. Bull., v. 14, p. 17-29.
- Cliff, R.A., Jones, G., Choi, W.C. and Lee, T.J. (1985) Strontium isotopic equilibrium during metamorphism of tillites from the Ogcheon Belt, South Korea. Contrib. Mineral. Petrol., v. 90, p. 346-352.
- Cluzel, D., Lapierre, H. and Cadet, J.-P. (1989) Evidence for an early paleozoic rift magmatism in the Ogcheon belt (South Korea). C.R. Acad. Sci. Paris, v. 308, p. 1473-1480.
- Cluzel, D., Cadet, J.-P. and Lapierre, H. (1990) Geodynamics of the Ogcheon belt (South Korea). Tectonophys., v. 183, p. 41-56.
- DePaolo, D.J. (1981) Nd in the Colorado Front Range and implications for crust formation and mantle evolution in the Proterozoic. Nature, v. 291, p. 193-196.
- DePaolo, D.J. and Wasserburg, G.J. (1976) Inferences about magma sources and mantle structure from variations of  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ . Geophys. Res. Lett., v. 2, p. 743-746.
- Jacobsen S.B. and Wasserburg, G.J. (1979) Nd and Sr isotopic study of the Bay of Islands ophiolite complex and the evolution of the source of mid-ocean ridge basalts. J. Geophys. Res., v. 84, p. 7429-7445.
- Jacobsen, S.B. and Wasserburg, G.J. (1980) Sm-Nd



- isotope evolution of chondrites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 50, p. 139-150.
- Jacobsen, S.B. and Wasserburg, G.J. (1984) Sm-Nd isotope evolution of chondrites and achondrites II. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 67, p. 137-150.
- Kim, H.S. (1971) Metamorphic facies and regional metamorphism of Ogcheon metamorphic belt. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 7, p. 221-256.
- Kim, J.H. (1987) Caledonian Ogcheon orogeny of Korea with special reference to the Ogcheon uraniumiferous marine black slate. Unpublished Ph.D. Thesis, Univ. of Tokyo.
- Kwon, S.-T. (1986) Pb-Sr-Nd isotopic study of the 100 to 2700 Ma old alkalic rock-carbonatite complexes in the Canadian Shield: Inferences on the geochemical and structural evolution of the mantle. Unpublished Ph.D. thesis, University of California at Santa Barbara, 242p.
- Lee, H.Y., Lee, M.S. and Um, S.H. (1980)
- Lan, C. Y. (1989) Chronology and petrogenesis of Taiwan gneisses. Ph. D. Thesis, National Taiwan Univ., Taipei.
- Lee, H.Y., Lee, M.S. and Um, S.H. (1980) Geochemistry of amphibolites in the Hwanggangri area. *Korea. Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 16, p. 93-104.
- Lee, J.-H. Lee, H.Y., Yu, K.-M. and Lee, B.-S. (1989) Discovery of microfossils from limestone pebbles of the Hwanggangri formation and their stratigraphic significance. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 25, p. 1-15.
- Lin, J., Fuller, M. and Zhang, W. (1985) Preliminary Phanerozoic polar wander paths for the North and South China blocks. *Nature*, v. 313, p. 444-449.
- Morel and Irving (1978) Tentative paleocontinental maps for the early Phanerozoic. *Jour. Geol.*, v. 86, p. 535-561.
- Oh, C.-H. and Trichet, J. (1990) Uranium in the black slates of Goesan (Ogcheon, Korea) : relationships between organic matter and uranium. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t 310, Serie II, p. 241-245.
- Park, B.-K. and So, C.-S. (1972) The Ogcheon system in the central part of southern Korean peninsula as an ancient island arc. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 8, p. 198-210.
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B., Workman, D.R., Yoon, K.S., Rhyu, H.S., Jeon, S.H. and Park, N.Y. (1973) Geological, geophysical and geochemical investigations in the Hwanggangri area. *Chungcheongbudko, Geol. Min., Inst. Korea. Rep. Geol. Mineral. Explor.*, 1, pt 2, p. 1-119.
- So, C.-S. and Kim, S.-M. (1975) Geochemistry, origin and metamorphism of mafic metamorphic rocks in the Ogcheon Geosynclinal Zone, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, v. 11, p. 115-138.
- York, D. (1969) Least squares fitting of a straight line with correlated errors. *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 5, p. 320-324.