

옥천대 남서부지역에 분포하는 화강암류의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 각섬석-백운모 연령에 대한 지구조적 의미

김용준¹ · 박재봉¹ · 박영석²

¹전남대학교 지질학과, ²조선대학교 자원공학과

요 약 : 옥천대 남서부지역에 분포하는 화강편마암과 광주화강암에서 분리한 각섬석과 백운모의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 분석자료는 다음과 같은 지구조적 의미를 가진다. 이들 시료의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 분석치는 모두 뚜렷한 연령 스펙트럼을 보이며 특히 방출된 ^{39}Ar 가스의 60% 이상으로 만들어진 $^{37}\text{Ar}_{ca}/^{39}\text{Ar}_k$ 과 $^{38}\text{Ar}_{cl}/^{39}\text{Ar}_k$ 프라토우(plateau)가 뚜렷하다. 각섬석에 대한 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 대 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 의 대비도는 시료 HN-100을 제외하고는 모두 뚜렷한 하나의 선분상 배열을 보인다. 백운모(PKJ-44)도 방출된 $^{39}\text{Ar}_k$ 가스 60% 이상으로 이루어진 뚜렷한 연령 프라토우를 보여준다. 고온단계에서 $^{37}\text{Ar}_{ca}/^{39}\text{Ar}_k$ 값은 $^{38}\text{Ar}_{cl}/^{39}\text{Ar}_k$ 값의 상대적인 증가에 따른 불규칙성은 판상광물 사이에 들어있던 알곤 가스의 방출에 의한 것으로 추정된다. HN-100은 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 전체 알곤가스 연령이 918 Ma로서 저온단계에서 알곤 방출이 있었고 고온단계에서 1360 Ma를 보인다. 전자는 대보운동에 의한 영향을 받은 시기이며, 후자는 선크브리아기 화강편마암에 포획된 각섬석 결정이 폐쇄온도(약 $500\pm 50^\circ\text{C}$)에 도달한 시기를 보여준다. 광주화강암류의 세 암상(각섬석 흑운모 화강섬록암, 흑운모 화강섬록암과 복운모 화강암)이 보이는 165 Ma를 전후한 연령은 저온단계에서 얼마간의 알곤가스 방출이 있었으며 또 기발표된 Rb/Sr 전암년령과 비교하여 젊은 연령을 보이는 것으로 미루어 이 시기는 대보운동의 영향을 받은 시기로 생각된다. 이들 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 광물년령과 기발표된 Rb/Sr 전암년령 및 K/Ar 광물년령은 옥천대 남서부지역이 100~150 m/m.y.의 느린 속도로 그리고 산이반도 지역은 100 m/m.y. 이하의 보다 느린 속도로 상승했음을 알려준다. 이 지역에서 가장 강력했던 지각변동 또는 화성활동은 원생대 중기(1360 Ma 전후)와 중생대 쥐라기 중기(약 165 Ma 전후)에 있었다.

핵심어 : $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, 옥천대 남서지역, 암석연령, 지구조적 의미

서 언

옥천대는 한반도 중부를 북동-남서향으로 가로질러 분포하는 한반도 지체구조(김옥준 외, 1980)의 하나로서 이 지역에는 시기를 달리하는 여러 화성암류가 분포되어 있다. 옥천대 남서부에 해당하는 광주-목포지역은 대보조산 운동과 밀접한 관계를 갖는 호남전단대에 속하는 곳으로서 이곳에 분포하는 선쥬라기 암층의 대부분과 쥬라기 화강암의 일부가 변형되어있고 특히 선쥬라기 화강암류의 상당부분은 변형된 열리상화강암류로서 분포하고 있어, 이들 암층에 남아있는 변형과 수반된 구조운동과 화성-변성작용에 대한 증거는 선쥬라기 화강암류에 의한 열구조운동사와 함께 암석과 광물내에 보존되어 있을 것으로 생각된다.

이 연구의 목적은 중생대 화성활동이 활발했던 옥천대 남서부 즉 광주와 목포 사이에 분포하는 선크브리아기 화강편마암류와 트라이아스기-쥬라기

화강암류에 대한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 동위원소 자료로부터 옥천대 남서부에서의 열구조운동사와 구조운동시기를 밝히는데 있다. 이 연구목적에 달성키 위하여 이 암석학적 연구가 완료된 광주-나주-영암-목포지역에 대한 야외조사와 각 암상에 대한 암석시료 채취 및 선별된 시료에 대한 암석시편과 화학분석에 대한 자료는 기발표된 논문에서 인용(김용준 외, 1991a, 1991b, 1993a, 1993b, 1994a, 1994b, 1995) 하였으며 추가로 선별된 암석 시료에 대하여 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 동위원소 분석을 실시 하였다.

지질개요

광주-목포지역은 옥천지향사대(D.S. Lee, 1971)의 남서부에 해당하는 지역으로서 선크브리아기인 편마암복합체를 기저로 고생대 변성퇴적암류와 이들을 관입하는 트라이아스기-쥬라기 화강암류와 백악기 화강암류 그리고 선크브리아기 화성암류를 부정합

적으로 덮는 백악기 화산암류-퇴적암류로 이루어져 있다. 이들 화산암류에서 비교적 넓은 분포를 보이는 백악기 화산암류와 화강암류는 이 지역에서 백악기 화성활동이 활발하였음을 보여준다(김용준 외, 1991b).

편마암복합체는 선캠브리아기의 준편마암류와 정편마암류로 구성된다. 전자는 화강암질 편마암과 반상변정 편마암으로 이루어져 있으며, 이에 포획되어 나타나는 결정 편암류의 각섬석 편암과 흑운모 편암은 대부분 동화되고, 그 남은 흔적이 드물게 흑운모와 각섬석 등의 유색광물이 밀집되어 나타나는 슈리렌(schlieren) 구조를 이룬다. 후자인 정편마암류의 관입 시기는 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 각섬석 연령이 1330.2 ± 1.5 Ma(김용준, 1988) 그리고 Rb-Sr 전암 연령이 2230 ± 50 Ma(주승환과 김성재, 1986)로 모두 선캠브리아기에 해당된다.

변성퇴적암류는 운모 편암, 견운모-석영 편암, 석회암과 규암으로 구성되며 북북동-남남서 방향으로 배열된 대상분포를 보이고, 창평지질도폭(손치무와 김수진, 1965), 갈담지질도폭(홍만섭, 윤선과 길영준, 1965)과 순창지질도폭(박희인, 1965)에서 이들 중 규암을 제외한 암층을 설운리층으로 그리고 규암을 주로한 암층을 용암산층으로 명명한 바 있다. 이들 암류에 속하는 암층들은 분포 형태와 거의 평행하게 달리는 변성분화에 의한 엽리구조가 잘 발달되어 있으나 구조운동을 받아 만들어진 단층이나 습곡대 부근에서는 다소 교란되거나 전위되어 나타난다.

평안누층군은 화순군 구암부터 해남군 송지면 토말까지 대상분포를 보이거나 후기 관입암체인 선백악기 화강암류에 관입되거나 경상누층군의 퇴적암류에 의해 부정합의 관계로 덮여 연속적인 분포를 보이지 않는 곳도 있다.

엽리상 화강암류는 옥천대의 상주-남원지역(김용준 외, 1989)이나 진안-나주지역(김용준 외, 1990)과 비교할 때 분포면적이 좁아서 광주 동북부와 해남 부근에서만 산출된다. 특히 나주-남창지역에서 엽리상 화강암류의 좁은 분포는 이 지역에서 쥬라기의 전단작용이 미약했거나 후기 암류들에 의해 관입 및 부정합의 관계로 덮일 경우를 생각할 수 있으며 엽리상 화강암류의 구성암상은 엽리상 흑운모 화강섬록암상이 대부분을 차지하나 소규모의 암주나 맥상으로 관입하는 엽리상 반상 화강섬록암상도 출현한다.

광주화강암류는 광주-나주-영암 사이에 분포하는 저반상 광주 암체, 산이반도의 대부분을 차지하

는 산이암체와 이들 암체 주위에 분포하는 소규모 암주상 관입체인 영광 암체, 장성 암체와 신복 암체 등으로 이루어져 있다. 광주화강암류를 구성하는 암상은 구성광물과 조직과 관입시기에 따라 각섬석 흑운모 화강섬록암, 흑운모 화강섬록암, 반상 화강암과 복운모 화강암의 네가지 암상으로 구분되며, 이들중 광주암체는 주로 흑운모 화강섬록암상과 각섬석 흑운모 화강섬록암상으로 구성되나 산이 암체, 영광 암체와 신복 암체는 주로 흑운모 화강섬록암상과 약간의 각섬석 흑운모 화강섬록암상으로 그리고 장성암체는 흑운모 화강섬록암상과 복운모 화강암상으로 이루어져 있다(김용준 외, 1991b, 1993a, 1993b, 1995).

광주 화강암체의 지질시대는 각섬석 흑운모 화강섬록암상의 Rb-Sr 전암연령이 222 ± 5 Ma(주승환, 지세정, 1990)와 K/Ar 각섬석 연령이 172 ± 5 Ma(김중환 외, 1993)로, 흑운모 화강섬록암상의 Rb-Sr 전암연령은 210 ± 3 Ma로, 그리고 복운모 화강암의 Rb-Sr 전암연령이 196 ± 3 Ma와 K/Ar 백운모 연령이 166 ± 4 Ma(김중환 외, 1993)로 Rb/Sr 전암연령은 모두 트라이아스기 말기에서 쥬라기 초기에 그리고 K/Ar 각섬석 연령은 모두 쥬라기 중기인 것으로 보고되었다. 광주화강암류는 순창엽리상화강암이나 남원화강암류의 관입-정지-고결시기와 유사한 지질시대를 보여준다. 이는 한반도 서남부에 트라이아스기 말기에서 쥬라기 초기 사이에 화성암의 관입과 수반된 비교적 활발한 지각변동이 있었음을 시사한다.

반려암-섬록암은 중립질 암회색 내지 암청색을 띤 조립 내지 중립질 소규모 암주와 맥상 관입체들로서 출현하며 화강편마암, 변성퇴적암류와 엽리상 화강암류를 관입한다. 담양군 대치 남부지역에서는 반려암상이 그리고 광주 동부지역과 해남 동부 지역에서는 섬록암상이 우세하나 비교적 큰 암체는 동일 암체에서도 중앙부는 섬록암상이 연변부는 반려암상으로 이루어져 있는 것도 관찰되어 두암상을 묶어 반려암-섬록암으로 표시했다. 이들과 유사한 암상과 층서를 보이는 남원-거창지역의 반려암과 섬록암의 지질시대는 K-Ar 각섬석 연령이 204~179 Ma(김용준 외, 1989b; 김용준과 이창신, 1988), U-Pb 저어콘 연령이 177 ± 6 Ma(Turek and Kim, 1995)이다.

쥬라기 화강암류는 고창과 영광지역에 걸쳐 분포하는 저반상 화강암류로서 주로 반상 화강암으로 이루어져 있다. 반상 화강암은 반정을 제거한다면 흑운모 화강암과 거의 유사하고, 장석(미사장석)

반정의 크기는 대개 $1 \times 2 \text{ cm}$ 가 우세하나 큰 것은 $2 \times 4 \text{ cm}$ 이상 되는 것도 있다. 반정의 분포는 모양인 변성퇴적암류에 인접한 부분과 암체 하부 보다는 상부에 많은 경향을 보여준다. 이는 이들 반정들이 관입-정지시 변성퇴적암류로부터 칼륨을 공급받아 K-장석을 빠른 속도로 성장시켰고, 또 가벼운 칼륨이 분산시 암체 상부에 모이게 된 결과로 사료된다.

이 지역의 백악기 퇴적암인 경상누층은 화순-강진 지역과 해남군 화원반도에 널리 분포하며, 주로 화산성 쇄설물과 화산재 등으로 이루어져 있다. 이들은 경상분지의 육천층군에 대비될 것으로 사료된다. 이 경상누층의 화산암류는 응회암류와 용암류로 이루어져 있다. 응회암류는 유문암질 산성 응회암과 안산암질 중성 응회암으로 되어 있으며, 용암류는 안산암과 유문암으로 구성되어 있다.

백악기 화강암은 영암군 월출산 부근과 연구지역 도처에서 소규모 암주상 관입체로 분포하며 주구성암상은 홍색 장석 화강암과 미문상 화강암이다.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 동위원소분석

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 동위원소 분석을 위하여 화강암류 중에서 가장 분포가 넓은 광주 화강암류의 세 암상에서 4개 시료 그리고 정편마암류인 화강편마암내에 포획되어 있는 각섬석 편암 1개 시료 총 5개 시료를 선별하였다.

분석과정

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 동위원소 분석을 위해 우선 선별된 암석시료에서 광물을 분리한다. 광물 분리 과정은 암석을 파쇄하여 60, 80, 100과 120 메쉬로 체질하여 각 크기의 광물립으로 분리하였다. 이들 광물립은 깨끗한 물로 세척하여 상온에서 건조한 후 입체 현미경하에서 선별코자 하는 광물립 중에서 타광물과 연정을 이루지 않는 입자중에서 가장 큰 것을 선택했다. 이렇게 선별된 시료는 구성광물들의 비중을 고려하여 분리에 가장 적당한 비중을 갖는 중액을 선택하여, 1차 비중 분리하였다. 일차 분리된 광물립은 물과 알콜-아세톤 등의 용매를 써서 세척하고 다시 2차 비중분리를 실시하여 특정 광물의 순도를 높인후 세척-건조하였다. 3차 분리는 자력선풍기(isodynamic magnetic separator)를 사용하여 자성분리를 실시하였다.

이렇게 분리된 입자는 입체 현미경하에서 분리

정도를 확인한 후, 분리 정도가 만족스럽지 못하면 2차 자성분리를 실시하였고, 만일 분리 상태가 좋으면 태핑(tapping)에 의한 분리작업과 입체 현미경 하에서 손으로 불순물을 골라내는 작업을 거쳐서 광물의 순도를 99% 이상으로 만든 후, 최종적으로 증류수, 아세톤과 알콜로 여러차례씩 세척-건조시켰다.

이렇게 분리된 광물시료를 Chicago 대학에 설치되어 있는 원자로내에서 중성자로 조사(irradiation)시킨후, Ohio 주립대학 Kenneth A. Foland 교수에 의해 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 동위원소 분석(Dallmeyer, 1979)이 실시되었다.

분석결과

분석된 각섬석과 백운모 시료는 뚜렷한 연령 스펙트럼(Fig. 1)을 보이며, 그리고 방출된 ^{39}Ar 가스의 60% 이상으로 만들어진 $^{37}\text{Ar}_{ca}/^{39}\text{Ar}_K$ 과 $^{38}\text{Ar}_{cl}/^{39}\text{Ar}_K$ 프라토우(plateau)를 보여준다(Fig. 2). 알콘 동위원소의 프라토우 값에 해당하는 이들 K/Ca와 K/Cl 값은 Table 1에서 보여주는 분석값과 일치한다. 프라토우 값에서 벗어나는 뚜렷한 연령들을 갖는 저온과 고온 단계에서의 편차는 늘어지든 짧아지든 간에 $^{37}\text{Ar}_{ca}/^{39}\text{Ar}_K$ 과 $^{38}\text{Ar}_{cl}/^{39}\text{Ar}_K$ 값과 유사한 편차를 반영한다. 이같이 프라토우에서 벗어나는 편차값은 외부에서 들어온 과잉의 알콘으로 늙은 연령을 만드는 경우와 후퇴 재배치되는 $^{39}\text{Ar}_K$ 를 함유하는 녹니석, 흑운모, 티탄철석과 녹염석의 변질과 포유물의 함유가스 방출로 인하여 젊은 연령을 반영하는 경우가 있다(Lo and Onstott, 1989).

이들 광물시료의 각섬석에 대한 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 대 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 대비도(Roddick 외, 1980)는 시료 HN-100을 제외하고는 모두 뚜렷한 하나의 선상 배열을 보인다. 이 선은 변하는 $^{37}\text{Ar}_{ca}/^{39}\text{Ar}_K$ 과 $^{38}\text{Ar}_{cl}/^{39}\text{Ar}_K$ 에 따른 저온과 고온 단계에서 만들어진 것으로 연령 프라토우와 $^{37}\text{Ar}_{ca}/^{39}\text{Ar}_K$ 과 $^{38}\text{Ar}_{cl}/^{39}\text{Ar}_K$ 값을 이루는 이들 여러 단계의 온도를 포함한다. 각 시료에서 최소자승법에 의해 만들어진 선분은 대기 알콘과 구분할 수 없는 양 성분에 대한 초기 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 값을 만든다. 시료 K-11, HN-105와 HN-113은 최소자승법으로 선을 만드는데 적당치 못한 분석값을 빼고 선을 그렸으며 이들 제외시킨 분석값은 대기 알콘이나 포획된 잉여의 ^{40}Ar 을 갖는 광물립 분석치에 해당한다. 백운모의 시료 PKJ-44도 방출된 $^{39}\text{Ar}_K$ 가스 60% 이상으로 이루어진 뚜렷한 연령 프라토우를 보여준다. $^{37}\text{Ar}_{ca}/^{39}\text{Ar}_K$ 은 0.0363~4.644 그리고 $^{38}\text{Ar}_{cl}/$

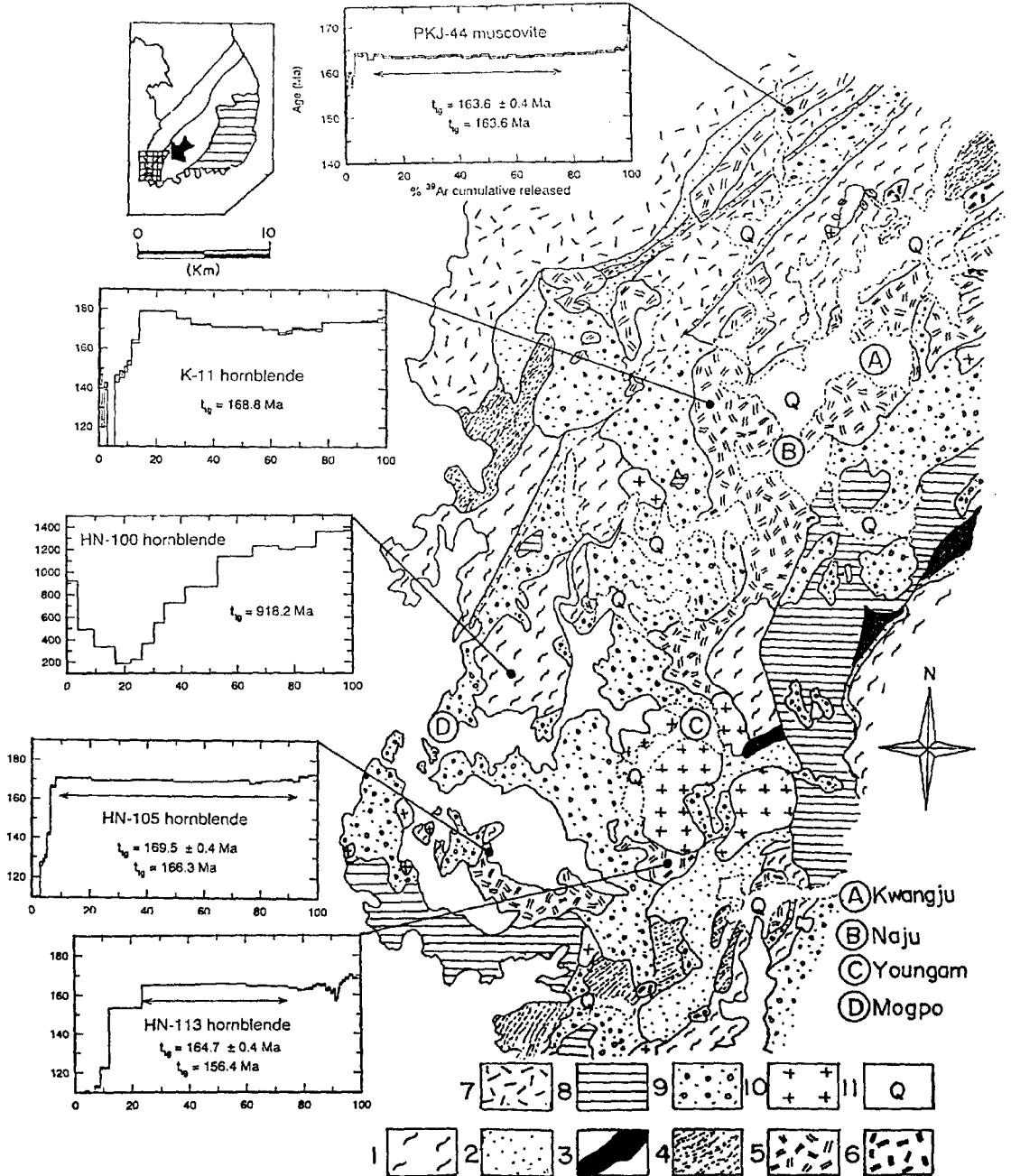


Fig. 1. ^{40}Ar - ^{39}Ar age spectra of hornblende-muscovite from granitic rocks in the southeastern region of Ogcheon geosynclinal belt, south Korea. 1) gneiss complex, 2) Metasediments, 3) Pyeongan supergroup, 4) Foliated granites, 5) Kwangju granites, 6) Gabbro-diorite, 7) Jurassic granite, 8) Gyeongsang sediments, 9) Gyeongsang volcanics, 10) Cretaceous granites, 11) Alluvium.

$^{39}\text{Ar}_K$ 는 0.0119~0.0613 범위에서 변하며, 특히 고온단계에서 $^{37}\text{Ar}_{Ca}/^{39}\text{Ar}_K$ 값은 $^{38}\text{Ar}_{Cl}/^{39}\text{Ar}_K$ 값의 상관

적인 증가에 따라 3.7 만큼 높은 값을 가지며, 이는 인회석 같이 Ca와 Cl이 풍부한 광물상에서 방출된

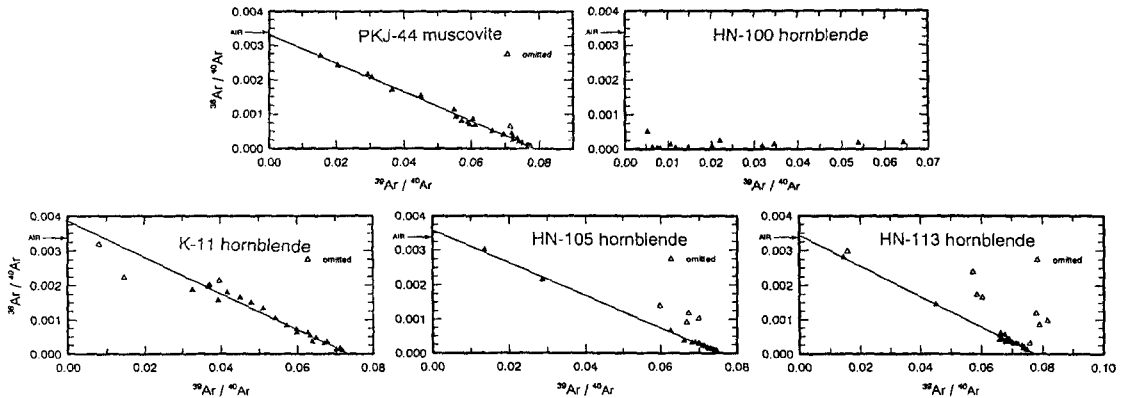


Fig. 2. $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ versus $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ correlation diagrams for hornblende and muscovite samples. Error ellipses are ± 1 standard deviation.

Table 1. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analytical data of hornblende and muscovite for granitic rocks in southwestern region of Ogcheon belt

sample	mineral* used	integrated** (Ma)	plateau*** (Ma)	intercept**** (Ma)	($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$)
PKJ-44	Mv	163.6 \pm 0.4	163.6	163.5	13.25
K-11	Hb	168.8	168.8	174.2	14.80
HN-100	Hb	918.2	918.2	-	90.21
HN-105	Hb	169.5 \pm 0.4	166.3	170.3	14.78
HN-113	Hb	164.7 \pm 0.4	156.4	164.1	14.80

* Mv : Muscovity. Hb : Hornblende. ** calculated from the sum of all temperature steps. *** calculated from the sum of those consecutive temperature steps for which the $^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_K$ and $^{37}\text{Ar}_{Ca}/^{39}\text{Ar}_K$ are within 2 standard deviation of the mean values. **** calculated from the least squares fit derived intercept on $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ versus $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ correlation plot. All error are ± 1 standard deviation.

알곤가스가 운모같은 판상 규산염 광물 사이에 잡혀 있었던 것(excess Ar)으로 추정된다(Onstott and Peacock, 1987). 이같이 운모류에 함유된 특정광물은 고온 단계에서 관찰되는 뚜렷한 연령 스펙트럼에서 가장 큰 불규칙성을 유발하는 원인이 된다.

화강편마암내에 포획되어 있는 각섬석 편암을 구성하는 각섬석(HN-100)은 전체 알곤가스 연령에 의한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연령이 918.2 Ma 이나 각 온도별 연령은 700~1025°C에서 186.6~921.7 Ma로 상대적으로 매우 낮고 또 변화가 심하다. 이같이 낮은 연령들은 지각변동시 특정 온도에서 알곤의 일부가 방출되어 얻어진 연령들이나 1250°C~1400°C 사이에서 보여주는 약 1360 Ma의 알곤 연령은 각섬석 편암이 화강편마암에 포획되어 심하게 가열된 후, 다시 냉각되어 각섬석이 폐쇄온도(약 500 \pm 50°C)에 도달되었을 때의 시기를 나타내는 것으로 해석된다. 따라서 옥천대 서남부에서의 선캠브리아기 지각변동과 화성활동은 원생대 중기에 해당하는 1360 Ma 이전에 있었고, 그리고 알곤가스를 재방

출시킨 지각변동은 다른 나머지 4개 시료가 보여주는 약 165 Ma 이전 즉 주라기 중기 이전에 있었던 지각변동 (즉 대보운동)을 받은 시기로 사료된다. 각섬석 혹은 흑운모 화강섬록암상(K-11)이나 흑운모 화강섬록암상(HN-105와 HN-113)에 함유되어 있는 각섬석의 전체 알곤가스 연령은 모두 165 Ma 전후의 값을 보인다. 이들의 온도별 알곤가스 연령은 500~800°C에서는 60~150 Ma 정도로 짧고 매우 변화가 심한 값을 보여준다. 이는 지각변동으로 인해 각섬석이 가열 분산되어 알곤가스를 방출시킨 결과로 사료된다. 백운모는 복운모 화강암상(PKJ-44)의 주조성 광물로서 전체 알곤가스 연령이 163.6 Ma 이며 이는 각섬석 혹은 흑운모 화강섬록암상과 거의 유사한 암석 연령을 보인다. 이는 Rb/Sr 전암연령이 보여주는 196 \pm 3 Ma와 비교하여 볼 때 젊은 연령이다. PKJ-44가 보이는 각 온도단계에서 알곤가스 연령은 300°C 일 때 208.4 \pm 2.6 Ma를 제외하고는 대부분 163 Ma 전후의 알곤가스 연령을 보인다. 이는 저온에서 약간의 알곤가스가 주위에서 얼마간 주입 되

있음을 보여주나 전체 알콘가스 연령에는 큰 영향을 주지 못한 것으로 생각되며 전체 알콘가스 연령도 Rb/Sr 전암연령보다 젊어진 것은 이 암상 역시 165 Ma를 전후하여 일어난 지각변동에 영향을 받았음을 알려준다.

옥천대 남서부지역은 화강편마암을 관입-정치시킨 선캠브리아기 화성활동, 엽리상 화강암류와 광주 화강암류를 관입-정치시킨 트리아스기 말기의 화성활동, 쥐라기 중기에서 말기 사이에 있었던 대보운동에 따른 3차례 이상의 지각변동과 이와 동시 기성인 화성활동 그리고 경상누층에 속하는 화산암류와 불국사화강암류를 분출-관입시킨 백악기 불국사 변동과 이에 따른 화성활동 등의 다양한 지구조 운동과 화성활동이 있었던 곳이다.

이들 화강암류에 대한 지화학적 특성에서 보여주는 지질환경은 마그마의 유형과 형성과정을 고찰하면 다음과 같다. 마그마의 유형에 관한 연구는 많은 암석학자들(Chappell White, 1974; Tsusue와 Ishihara, 1974; Ishihara, 1977; Pearce, Harris와 Tindle, 1984; Pitcher, 1979)에 의하여 이루어졌다. 이 연구지역에 분포하는 엽리상 화강암류, 광주 화강암류, 쥐라기 화강암류 등은 대부분 syn-COLG 형 그리고 헤르시아노형 화강암에 해당한다(김용준 외, 1991b, 1993a, 1994b).

마그마의 형성과정은 석탄-데본기에 시작된 해양저의 수축운동으로 트리아스기 중기에 두 지괴가 충돌하면서 형성된 응력장으로 주향이동단층과 스투스트 단층운동이 유발되고 이 때 수반된 화성활동의 산물로는 엽리상 화강암류와 광주 화강암류가 있다. 이들 화강암류는 쥐라기 초기에서 중기에 걸친 대보 조산운동으로 북동-남서향의 구조선을 형성시켜 호남전단대를 만들었고 이들 구조선을 따라 구조 동시성 화강암류인 대보화강암류의 관입이 있었다. 이 대보조산운동은 엽리상 화강암류의 특징적인 압쇄엽리를 형성시켰고 물을 포함하므로 유연성을 가지고 있던 광주화강암은 불규칙한 응력의 분포로 변형되지 않고 남게 되었다(김용준 외, 1993a, 1994a).

지구조적 의미

옥천대에서의 지구조적 진화 운동사는 선석탄기 구조운동, 인도시니안 구조운동과 연산 구조운동의 영향을 받았으며 이 결과 각 구조운동에 따른 여러 가지 변형 조직과 구조(압쇄엽리조직 등)를 보여준다(Cluzel 외, 1990).

선석탄기(pre-Carboniferous) 구조운동은 적어도 2차례의 변형운동을 받은 결과로 만들어진 엽리와 변형구조가 관찰되며 이는 후사이쿠리안 중기-선석탄기 중기(post-middle Silurian~pre-mid Carboniferous) 구조운동과 관계있는 초기 연성 전단운동에 의한 것임을 제안했다(Cluzel, 1990). 인도시니안 구조운동은 NNE-SSW 방향의 엽리조직을 형성시켰고 호남전단대(Yanai 외, 1985)에서 우수향 전단운동에 의한 NE-SW 단층으로 엽리상 화강암류를 형성시켰다. 연산 구조운동은 E-W 습곡과 NE-SW 좌수향 스투스트 단층을 만든 대보조산운동으로 기존 단층대 부근에 국한된 연성변형 운동이 수반되어 압쇄암류를 형성시켰다.

이 연구지역은 옥천대 남서부에 속하며 또 호남전단대에 속하므로 이들 구조운동 중에서 인도시니안 구조운동에 대비되는 송림운동과 연산 구조운동에 대비되는 대보운동이 강력한 화성활동과 변형운동을 일으켰던 곳으로 백악기 말기에는 Kula 판의 운동과 밀접한 관계를 갖는 화산활동과 불국사화강암의 관입이 있었다.

결론

옥천대 남서부지역에 분포하는 화강암류에서 채취된 5시료에 대하여 실시된 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 광물연령은 다음과 같은 지구조적 의미를 알려준다.

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 분석치는 모두 뚜렷한 연령 스펙트럼을 보이며 특히 방출된 ^{39}Ar 가스의 60% 이상으로 만들어진 $^{37}\text{Ar}_a/^{39}\text{Ar}_k$ 과 $^{38}\text{Ar}_a/^{39}\text{Ar}_k$ 프라토우(plateau)가 뚜렷하다. 각섬석에 대한 $^{36}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 대 $^{38}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 대 비도는 시료 HN-100을 제외하고는 모두 뚜렷한 하나의 선분상의 배열을 보인다. 백운모(PKJ-44)도 방출된 $^{39}\text{Ar}_k$ 가스 60% 이상으로 이루어진 뚜렷한 연령 프라토우를 보여준다. 고온단계에서 $^{37}\text{Ar}_a/^{39}\text{Ar}_k$ 값은 $^{38}\text{Ar}_a/^{39}\text{Ar}_k$ 값의 상대적인 증가에 따른 불규칙성은 특정광물에서 방출된 알콘 가스에 의한 것으로 추정된다. HN-100은 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 전체 알콘가스 연령이 918 Ma로서 저온단계에서 알콘 방출이 있었고 고온단계에서 1360 Ma 연령을 보인다. 전자는 대보운동에 의한 탈 $^{40}\text{Ar}^*$ 가스 영향을 받은 시기이며 후자는 선캠브리아기 화강편마암에 포획된 각섬석 결정이 폐쇄온도(약 $500 \pm 50^\circ\text{C}$) 부터의 시기를 보여준다. 광주화강암류의 세 암상(각섬석 혹은 모 화강섬록암 혹은 모 화강섬록암과 북운모 화강암)이 보이는 165 Ma를 전후한 연령은 저온 단계에서 얼마간의 알콘가스 방출이 있었으며 또 기발표된

Rb/Sr 전암 연령과 비교하여 젊은 연령을 보이는 것으로 미루어 이 시기는 탈 $^{40}\text{Ar}^*$ 가스 영향을 받은 시기로 생각된다.

감사의 글

이 연구를 수행하는데 야외지질조사를 도와준 조선대학교 박천영 교수와 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 동위원소 분석을 수행해 주신 오하이오 주립대학의 Kenneth A. Folland 교수에게 감사드립니다. 또 이 논문을 자세히 읽고 많은 조언을 해주신 자원연구소 진명식 박사 와 연세대학교 시스템과학과 권성택 교수에게도 사의를 표하며, 이 연구가 이루어 질 수 있도록 기초과학연구소 학술연구조성비(BSRI-97-5417)를 지원해 준 교육부에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

김옥준, 박봉순 외, 1980, 한반도의 지진지체구조 분석에 관한 연구, 과학기술처, 159p.
 김용준, 이창신, 1988, 장수-운봉지역에 분포하는 화강암류와 그의 화성활동에 대한 연구, 지질학회지, 24권, 특별호, 111-131.
 김용준, 박영석, 주승환, 오민수, 박재봉, 1990, 옥천지향사대 동남대에서의 화성활동(2) : 진안-나주 사이 지역을 중심으로, 한국지구과학회지, 11권, 120-138.
 김용준, 김정빈과 박재봉, 1991a, 호남전단대내에 분포하는 열리상화강암류의 암석지화학과 성인, 지질학회지, 제 27권 1호, 52-63.
 김용준, 박영석, 주승환, 오민수와 박재봉, 1991b, 옥천지향사대 동남대에서의 화성활동(3) : 나주-남창지역을 중심으로, 광산지질, 24권 3호, 261-276.
 김용준, 오민수와 박재봉, 1993a, 광주화강암체에 대한 암석화학적 연구, 광산지질, 26권 1호, 83-96.
 김용준, 오민수와 박재봉, 1993b, 나주-해남 지역에 분포하는 화성암류의 암석화학, 한국지구과학회지, 14권 3호, 300-315.
 김용준, 박영석과 강상원, 1994a, 호남전단대내에 분포하는 열리상화강암류의 지질시대와 생성과정에 관한 연구, 자원환경지질, 27권 3호, 247-261.
 김용준, 오민수와 강상원, 1994b, 해남-강진지역에 분포하는 화성암류에 대한 암석화학적 연구, 한국지구과학회지, 15권 5호, 341-355.
 김용준, 박영석, 박천영과 김진, 1995, 나주-영암-목포 지역에 분포하는 화성암류의 암석화학과 생성과정에 관한 연구, 한국지구과학회지, 16권 6호, 442-461.
 박희인, 1965, 한국지질도(1/50,000), 순창도폭, 국립지질조사소, 30p.
 손치무, 김수진, 1965, 한국지질도(1/50,000), 창평도폭,

국립지질조사소, 30p.
 홍만섭, 윤선, 김영준, 1965, 한국지질도(1/50,000), 갈담도폭, 국립지질조사소, 30p.
 Chappel, B.W. and White, A.R.J., 1974, Two contrasting granite types: pacific geology, V.B. 173-174.
 Cluzel, D., 1990, La zone d'Ogcheon(Coree du sud), une chaine intraplaque nee de la fermeture au Silurian superieur-Devonian inferieur d'un rift cambro-silurien. C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. 2, 310 : 59-65.
 Cluzel, D., Jean-Paul Cadet and Henriette Lapierrre, 1990, Geodynamic of Ogcheon Belt(South Korea). Tectonophysics, 183, 41-56.
 Dallmeyer, R.D., 1979, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Dating : Principles, technics, and applications in orogenic terranes : Lecture in Isotope Geology. 75-152.
 Ishihara, S., 1977, The magnetite series and ilmenite series granitic rocks. Mining Geol., v. 27, 293-305.
 Lo, C.H. and Onstott, T.C., 1989, ^{39}Ar recoil artifacts in chloritized biotite : Geochemica et Cosmochemica Acta, v. 53, p. 2697-2711.
 Onstott, P.C. and Peacock, M.W., 1987, Argon reventivity of hornblende : A field experiment in a slowly cooled metamorphic terrane : Geochemica et Cosmochemica Acta, v. 51, p. 2891-2903.
 Pearce, J.A., Harris, N.B. and Tindle, A.G., 1984, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petro., v. 25, 956-983.
 Pitcher, W.S., 1979, A commentary on the nature ascent and emplacement of granitic magma. J. Geol. soc. London.
 Roddick, J.C., Cliff, R.A., and Rex, D.C., 1980, The evolution of excess argon in Alpine biotite-A $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analysis : Earth and planetary science letters, v. 48, p. 185-208.
 Tsusue, A. and Ishihara, S., 1975, The iron-titanium oxide in the granitic rocks of southwest Japan. Mining Geol., v. 24, 13-30.
 Turek,A. and Kim, C.B., 1995, U-Pb zircon ages of mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryongnam massif, Korea. Geochemical Journal, v. 29, no. 4, 243-258.
 Ynai, S., Park, B.S. and Otoh, S., 1985, The Honam shear zone (S. Korea) : deformation and tectonic implication in the Far East. Sci. Pap. Coll. Arts Sci., Univ. Tokyo, 35(2), 181-210.

(책임편집 : 권성택)

(1998년 3월 11일 접수, 1998년 8월 14일 수리)

Tectonic Implication of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Hornblende and Muscovite Ages for Granitic Rocks in Southwestern Region of Ogcheon Belt, South Korea

Yong Jun Kim¹, Jae Bong Park¹ and Young Seog Park²

¹*Department of Geology, Chonnam National University, Kwangju 500-757,*

²*Department of Min. and Petrol. Eng., Chosun University, Kwangju, 500-759.*

ABSTRACT : $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ analytical data of hornblende and muscovite separates from granitic rocks in southwestern region of Ogcheon belt shows following tectonic implication. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ data of 5 samples yield apparent age spectra and $^{37}\text{Ar}_a/^{39}\text{Ar}_k$ and $^{38}\text{Ar}_c/^{39}\text{Ar}_k$ plateaus for more than 60% of the ^{39}Ar release. Except for HN-100, the $^{38}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ versus $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ corelation diagrams indicate the presence of one distinct line. Muscovite of sample PKJ-44 yield flate apparent age plateau for > 60% of the $^{39}\text{Ar}_k$ release. In the high temperature steps, the $^{37}\text{Ar}_a/^{39}\text{Ar}_k$ values are irregular with a correlative increase in $^{38}\text{Ar}_c/^{39}\text{Ar}_k$, suggesting some Ca and Cl rich phase, tapped between the silicate sheet is being argon degassed. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ total gas age and the high temperature age of HN-100 is 918.2 Ma and 1360 Ma, respectively. The former affected by recrystallized age of Daebo Orogeny, and the latter indicated age of hornblende closure temperature for cooling stage of amphibole xenolith in granite gneiss. Three rock types of Kwangju granites show about 165 Ma hornblende and muscovite ages with some degassed argon at low temperature steps. These ages of 4 samples indicate also recrystallized age by Daebo Orogeny. In $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral age, Rb/Sr whole age and K/Ar mineral age, discordant ages of southwestern region of Ogcheon belt suggesting cooling rates approaching 3–4°C/m. y. Such slow cooling rates can be produced by uplift rate of 100m/m.y. or slightly slower than isotherm-migration rate derived from the hornblende samples. We conclude that the strongest Orogeny and igneous activity of southwestern region of Ogcheon belt are middle proterozoic era (about 1360 Ma) and middle Jurassic period (about 165 Ma).

Key words : $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Southwestern region of Ogcheon belt, Age dating, Tectonic implication.