남원화강암과 순창화강암의 SHRIMP U-Pb 연령

조희제^{1,2} · 박계현^{3*} · 이기욱²

¹부경대학교 일반대학원 지구환경시스템과학부 지구환경과학전공,
²한국기초과학지원연구원 환경과학연구부, ³부경대학교 환경해양대학 지구환경과학과

SHRIMP U-Pb Ages of the Namwon and Sunchang Granites

Hui Je Jo^{1,2}, Kye-Hun Park^{3*} and Keewook Yi²

¹Division of Earth Environmental System, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
²Division of Earth and Environmental Science, Korea Basic Science Institute, Ochang 363-883, Korea
³Department of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

요 약: 남원화강암과 순창화강암은 한반도의 남서부에서 각각 영남육괴와 옥천변성대를 관입하고 있는 인접 암체이다. 이 연구에서는 가장 신뢰도가 높은 연령 분석방법으로 평가되는 SHRIMP를 이용하여 남원화강암과 순창화강암체의 저어콘 U-Pb 연대측정을 실시하였다. 그 결과 남원화강암체로부터 $185.8 \pm 0.9(2\sigma)$ Ma의 정지연령을 구하였다. 한편 순창화강암체의 북부지역으로부터는 $175.0 \pm 2.0(2\sigma)$ Ma, 그리고 중부지역으로부터는 $179.8 \pm 0.9(2\sigma)$ Ma의 연령을 구하였으며, 순창화강암체의 분석자료 전체로부터는 $177.4 \pm 1.3(2\sigma)$ Ma의 평균연령이 계산되었다. 이러한 결과는 순창화강암에 현저한 변형을 초래한 호남전단대의 활동이 약 175Ma 이후에도 일어났음을 확인해준다.

핵심어: 남원화강암, 순창화강암, SHRIMP, 저어콘, U-Pb 연령, 호남전단대

Abstract: The Namwon and Sunchang granites are neighbouring plutons intruding the Yeongnam massif and the Okcheon metamorphic belt, respectively in the southwestern part of the Korean peninsula. In this study, SHRIMP zircon U-Pb ages are determined from these plutons. The results show that the emplacement age of the Namwon granite is $185.8 \pm 0.9(2\sigma)$ Ma. We obtained $175.0 \pm 2.0(2\sigma)$ Ma from the northern part and $179.8 \pm 0.9(2\sigma)$ Ma from the central part of the Sunchang granite, yielding $177.4 \pm 1.3(2\sigma)$ Ma as the average age of the pluton. Such age results confirm that the Honam shear zone, which cause marked deformation of the Sunchang granite, was active after ca. 175 Ma.

Key words: Namwon granite, Sunchang granite, SHRIMP, zircon, U-Pb age, Honam shear zone

서 론

남원화강암, 순창화강암 및 대강화강암은 한반도 남서부에 서로 인접하여 관입해있는 중생대 화강암체들이다. 이 화강암체들이 주목을 받게 되었던 이유의 하나는 한반도를 가로질러 발달하고 있는 현저한 구조선인 호남전단대의 생성시기를 밝혀줄 수 있다는 가능성 때문이었다(예, Kwon and Lee, 1997;

Cheong *et al.*, 2005). 인접한 세 암체들 중에서 순창화강암과 대강화강암에는 호남전단대 활동시기의 연성전단작용에 의해 생성된 것으로 추정되는 변형엽리가 잘 발달되어 있으나 남원화강암에서는 그러한 흔적을 찾아보기 어려우며, 따라서 호남전단대의 운동시기가 순창화강암의 관입시기보다는 이후이고, 남원화강암은 이러한 구조운동보다 후기에 관입한 것이라는 추정의 근거로 제시되기도 하였다(Kim and Turek, 1996). 따라서 두 화강암체의 정밀한 연대측정 결과는 호남전단대의 운동시기를 아주 좁은 범위로 한정할 수 있는 가능성이 있어, 두 암체에 대한 여러

*Corresponding author
Tel: 051-629-6629
E-mail: khpark@pknu.ac.kr

차례의 연대측정이 시도되었다. 하지만 지금까지 여러 차례 보고된 연대측정 결과들이 서로 상이하여 (Turek and Kim, 1995; Na *et al.*, 1997; Cho *et al.*, 1999; Sagong *et al.*, 2005) 이에 대한 검증이 필요하다고 판단된다. 이 논문에서는 순창화강암과 남원화강암 두 암체에 대해 보고된 연대측정 자료들을 비교 논의한다. 이와 동시에 정확하고 정밀한 연대측정 방법인 초고분해능 이온현미분석기(Sensitive High Resolution Ion Micro Probe, SHRIMP)를 이용하여 새롭게 수행한 저어콘 U-Pb 연대측정 결과를 보고하며, 그 의미에 대하여 간략하게 논의한다.

기존 연대측정 결과 검토

순창화강암은 한반도 남서부에 위치한 임실과 순창을 잇는 지역에 북동-남서 방향으로 길게 분포하는 화강암체이다(Fig. 1). 이 암체의 명칭을 살펴보면 1:50,000 지질도 순창도폭(Park, 1966), 창평도폭(Son and Kim, 1966) 그리고 갈담도폭(Hong *et al.*, 1966)에서는 순창 편상화강암으로 표시되어 있으며, 남원도폭(Kim and Lee, 1984)에서는 순창 엽리상화강암이라고 표시되어 있다. 이처럼 대부분의 지역에서 연성전단작용의 영향으로 압쇄엽리가 잘 발달되어 있으며, 이 논문에서는 간략하게 순창화강암이라고 칭하기로 한다.

남원화강암은 남원 일대에 분포한다(Fig. 1). 1:50,000 지질도 남원도폭(Kim and Lee, 1984), 오수도폭(Kim *et al.*, 1984), 구례도폭(Hong and Hwang, 1984) 및 운봉도폭(Kim *et al.*, 1964)에 걸쳐서 분포하고 있으며, 남원도폭, 오수도폭, 구례도폭에서는 모두 남원화강암으로 명명되어 있고, 운봉도폭에서만 별도의 이름 없이 흑운모화강암으로 명명되었다.

순창화강암과 남원화강암은 여러 방법에 의한 연대측정 결과들이 보고되었다. K-Ar 및 Ar-Ar 연대측정법의 경우 심성암의 정치시기를 매우 정밀하게 알아낼 수 있는 잠재력이 있으나, 후기의 열적교란 또는 변질 등에 의해 원래의 연령을 잘 나타내지 못할 가능성이 있다. 따라서 다른 정밀한 연대측정자료가 가용한 경우에는 그 효용성이 떨어진다고 할 수 있다. 순창화강암과 남원화강암에 대한 K-Ar 및 Ar-Ar 연대측정 자료들은 대부분 20년 이상 오래 전에 보고된 자료들이다. 이러한 자료들은 보다 현대적인 분석자

료들에 비해서는 정밀도가 떨어진다고 판단하여 이 논문에서는 논의대상에서 제외하였으며, 일반적으로 더욱 정밀한 분석자료로 평가되는 최근에 보고된 자료들을 중심으로 논의한다. 최근 Park *et al.*(2010)은 열이온화질량분석기(Thermal Ionization Mass Spectrometer, TIMS)를 이용한 U-Pb 연대자료를 중심으로 그 결과에 대한 신뢰도를 간략하게 평가한바 있다. 여기서는 화학적 연대측정법(Chemical U-Th-total Pb isochron method, CHIME)과 Rb-Sr 연대측정 결과를 포함하여 논의한다.

CHIME 연대

Cho *et al.*(1999)은 순창화강암, 남원화강암, 대강화강암으로부터 분리한 모나자이트에 대하여 전자현미분석기(Electron Probe Micro Analyzer, EPMA)를 이용한 CHIME 연령을 측정하여 보고하였다. 그 결과 순창화강암은 179 ± 2 Ma, 대강화강암은 178 ± 2 Ma, 남원화강암은 암상에 따라 북운모화강암이 180 ± 10 Ma, 반상화강암이 181 ± 6 Ma, 흑운모화강암이 180 ± 3 Ma, 그리고 페그마타이트질 화강암이 178 ± 5 Ma의 연령을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 세 화강암체의 연령은 오차를 감안할 때 거의 동일한 시기라고 해석될 수 있다. Cho *et al.*(1999)은 모나자이트의 폐쇄온도가 $650-700^\circ\text{C}$ 이고 연성전단작용에 의한 변형시의 온도가 $300-550^\circ\text{C}$ 이기 때문에 이러한 연령은 이 세 암체의 동시적인 관입을 나타내는 것이라고 해석하였다. 하지만 대강화강암의 경우 Turek and Kim(1995)의 TIMS 저어콘 U-Pb 연대측정을 통해 이보다 훨씬 더 오래된 212.3 ± 8.2 Ma의 연령이 보고되었으며, 최근의 보다 정밀한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정에 의해 이러한 오래된 연령이 확인되었다(Cho *et al.*, 2008). 따라서 Cho *et al.*(1999)의 분석결과는 대강화강암의 원래 정치연령을 나타내지 않는 것으로 해석할 수 있다. Cho *et al.*(1999)의 모나자이트 CHIME 연령이 정치연령보다 훨씬 더 젊은 연령을 나타내는 것과, Cho *et al.*(1999)이 보고한 세 화강암체의 모나자이트 CHIME 연령이 모두 동일하게 나타나는 것은 아마도 모나자이트 CHIME 연령이 이 지역에 있었던 강력한 전단운동시기를 나타내기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 Cho *et al.*(1999)이 보고한 모나자이트 CHIME 연령은 세 화강암체의 정치시기로 볼 수 없으며, 원래 정치시기는 Cho *et al.*(1999)이 보고한 연령 이전 일 것으로 판단된다.

Fig. 1. Geologic map showing the Mesozoic plutonic bodies of the Namwon and Sunchang granites, modified after Lee *et al.* (1997).

Rb-Sr 연대

1990년대 이전에 보고되었던 Rb-Sr 연대는 그 이후에 보고된 연대자료들에 비해 그 신뢰도가 상당히 떨어지기 때문에 이 논문에서는 추가적인 언급을 생략하며, 그 이후의 자료에 대해서만 논의하기로 한다.

Na *et al.* (1997)은 순창 엽리상 화강암에 대하여 Rb-Sr 연대측정을 실시하였다. Na *et al.* (1997)은 순창암체가 두 집단으로 나뉘어 서쪽은 178 ± 16 Ma의 연령과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7163$ 의 초기치를 가지며, 동쪽은 152 ± 17 Ma, 연령과 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7146$ 의 초기치를 갖는다고 보고하였다. Na *et al.* (1997)의 결과는 비교적 큰 오차를 보이기 때문에 순창화강암체의 정밀한 정치연령을 나타내지는 못하며, 구해진 연령들의 오차 범위를 감안할 때 중첩되기 때문에 암체의 동쪽과 서

쪽 부분이 서로 다른 연대를 갖는다고 보기 어렵다. 다만 두 집단이 서로 다른 초기치를 갖는 동시선들에 놓일 가능성을 전적으로 배제할 수는 없다. 이는 Na *et al.* (1997)이 추정된 것처럼 지각으로부터의 오염 또는 원래 근원물질의 불균질성 등에 의하여 순창화강암체 내에서의 위치에 따라 다소 불균질한 동위원소 조성을 가졌을 가능성을 시사한다. 이러한 동위원소 불균질성 여부는 보다 정밀한 연대측정자료와 함께 추가적인 동위원소 분석을 통해 검증할 필요가 있다.

Park *et al.* (1996)은 남원화강암에 대한 Rb-Sr 연대측정을 시도하였으나, 전암분석 결과는 상당한 분산을 보이기 때문에 의미있는 연령을 나타내는 동시선을 구하지 못하였다. 전암과 분리한 사장석 및 흑운모를 이용한 광물연대는 4개의 표본으로부터

175±2 Ma, 177±6 Ma, 180±1 Ma 그리고 183±3 Ma의 결과를 보고하였다. 이러한 연대값은 주로 높은 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 값을 갖는 흑운모의 값에 의해 민감하게 변화할 수 있다. 앞에서 순창화강암, 남원화강암, 대강화강암에 대한 Cho *et al.*(1999)의 CHIME 연대측정 결과가 모두 동일한 약 180 Ma 내외의 연대를 나타내며, 이는 이 지역에서 일어난 연성전단운동의 시기 일 가능성을 논의한바 있다. 흑운모의 경우 400°C보다 낮은 비교적 낮은 폐쇄온도를 갖기 때문에(예, Dodson, 1973) 이러한 연성전단운동시에 Rb-Sr 동위원소계가 교란되었을 가능성이 매우 높다. 따라서 남원화강암에서 획득한 Rb-Sr 전암-흑운모 광물연령 역시 원래의 정치시기를 나타내지 못할 가능성이 높다고 판단된다.

U-Pb 연대

연대측정법 중에서 가장 신뢰도가 높다고 판단되는 U-Pb 연령측정을 중심으로 기존 연대측정자료를 살펴보면 다음과 같다. Turek and Kim(1995)은 TIMS를 이용한 저어콘 U-Pb 연대측정을 통해 순창 엽리상 화강암의 정치연령이 182.6±8.0 Ma이라고 보고하였다. 반면에 Sagong *et al.*(2005)는 TIMS 티타나이트-장석 광물쌍에 대한 U-Pb 연령측정을 통해 174.9±1.9 Ma의 값을 보고하였다. 두 연대자료를 비교해보면 Turek and Kim(1995)의 연령 값 182.6±8.0 Ma는 비교적 큰 오차값을 가지며 Sagong *et al.*(2005)이 보고한 연령인 174.9±1.9 Ma이 오차범위에 포함된다. 따라서 두 값을 전혀 다른 값이라고 볼 수는 없다. 티타나이트-장석 광물쌍의 경우 마그마로부터 정출되어 상속핵의 영향이 적을 것으로 판단되기 때문에 Sagong *et al.*(2005)이 보고한 값이 정치시기를 더 잘 나타내는 값으로 판단된다. Turek and Kim(1995)에 의하면 순창 엽리상 화강암에 대한 저어콘 U-Pb 원자료 중에서 일부 자료가 연령계산에서 제외되었다. 일치곡선에 비교적 가까이 놓이는 제외된 분석값을 연령계산에 포함한다면 보고된 값보다 더 젊은 하부교점 연령이 계산될 수 있다. 순창화강암과 마찬가지로 티타나이트-장석 광물쌍으로부터 분석된 상속핵의 영향이 적을 것으로 판단되는 Sagong *et al.*(2005)이 보고한 연령인 174.9±1.9 Ma를 순창 엽리상 화강암에 대한 더 타당한 연대로 평가한다.

Turek and Kim(1995)은 또한 TIMS 저어콘 U-Pb 연대측정을 통해 남원화강암의 정치연령은 176.0±2.8

Ma라고 보고하였으며, Sagong *et al.*(2005)는 183.1±1.6 Ma의 TIMS 티타나이트 U-Pb 연령을 보고하였다. 이 두 값은 오차범위를 감안할 때 서로 겹치지 않는다. Turek and Kim(1995)은 일치곡선(concordia)에 놓이는 분석값을 얻지 못하였기 때문에 분석된 값들 중 일부를 제외하고 작도된 불일치선(discordia)과 일치곡선의 하부교점으로부터 남원화강암의 연령을 구하였다. 이렇게 분석값들이 일치곡선에 놓이지 못하는 것은 분석된 저어콘 입자들의 상당수가 오래된 상속핵을 갖기 때문일 것으로 판단된다. Turek and Kim(1995)의 분석값을 보면 불일치선에 놓이는 분석값들이 일치곡선으로부터 비교적 멀리 떨어져 있는 지점에 위치하고 있기 때문에 정밀한 연령을 구하기엔 한계가 있다고 생각되며, 또한 여러 연령의 상속핵들을 포함하는 경우에는 불일치선으로부터 구한 연령에 상당한 오차가 있을 수 있다. 따라서 마그마로부터의 정출연령을 나타내는 것으로 판단되는 티타나이트에 대한 Sagong *et al.*(2005)의 U-Pb 연대측정 값인 183.1±1.6 Ma가 남원화강암의 정치연령을 더 잘 나타내는 것으로 판단한다.

SHRIMP 연대측정 및 결과 그리고 토의

표품채취

이 연구에서는 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정을 위해 순창화강암에서는 3개 지점(JGG-31=N35°30'57.0" E127°14'44.9", SCG-5=N35°37'42.9" E127°21'13.2", SCG-13=N35°26'41.2" E127°11'58.8"), 그리고 남원화강암에서는 4개 지점(NWG-1=N35°20'40.7" E127°22'38.1", NWG-3=N35°21'09.4" E127°22'39.8", NWG-5=N35°25'24.3" E127°27'23.6", NWG-6=N35°23'54.8" E127°18'18.3")에서 표품을 채취하였다(Fig. 1).

연령분석법

연대측정을 위해 암석을 파쇄한 뒤 1회용 망체를 이용하여 120 메쉬를 통과하고 180메쉬에 걸린 입자들을 저어콘 분리에 이용하였다. 비이커와 물을 이용하여 중광물 부분을 모은 뒤에 실체현미경을 이용하여 저어콘만을 골라내었다. 이렇게 분리한 저어콘을 에폭시를 이용하여 직경 1인치의 원통형 마운트로 제작하였다. 에폭시 마운트의 표면을 갈아내어 심어진 저어콘 두께의 약 절반이 드러날 때까지 갈아낸 뒤에

Fig. 2. Examples of the backscattered electron images (left) and cathodoluminescence images (right) for the zircons separated from the Sunchang Granite (upper) and the Namwon Granite (lower).

다이아몬드 연마제를 이용하여 광택이 날 정도로 평탄하게 연마하였다. 연마된 예폭시 마운트를 탄소 코팅한 뒤에 한국기초과학지원연구원의 주사전자현미경 (JEOL JSM-6610LV 모델)을 이용하여 후방산란전자 (backscattered electron, BSE) 및 음극선발광 (cathodoluminescence, CL) 영상을 획득하였다. BSE 및 CL 영상을 면밀하게 검토하여 저어콘 내부에 상속핵이 존재하는지 여부와 핵대구조의 특성들을 파악한 뒤 연대측정을 수행할 분석점의 위치를 선정하였다 (Fig. 2). 저어콘에 대한 연대측정은 한국기초과학지원 연구원에 설치되어 있는 SHRIMP-IIe 기종을 이용하였으며, 동위원소 분석을 위한 일차이온빔은 산소 음이온(O_2^-)을 이용하였다. 일차이온빔은 4-6 nA의 세기와 약 25 μm 직경을 갖도록 조절하였다. U함량측정과 U/Pb 연대보정을 위해 저어콘 표준물질은 SL13과 FC-1을 사용하였다. 이 기기를 이용한 일반적인 연대측정법은 Ireland and Williams(2003) 및 Williams *et al.*(2009) 등에 기술되어 있다. 분석점들에 대한 U-Pb 동위원소 분석결과는 Table 1에 1 σ 의 분석오차로 보고하고 가중평균연령은 2 σ 의 오차범위를

표시하였으며, 본문에서 이 연구의 결과로 보고 및 논의한 연대들은 모두 2 σ 의 오차범위를 사용하였다. 연령의 계산은 Isoplot/Ex와 Squid(Ludwig, 2008, 2009) 프로그램을 이용하였다.

연대측정 결과 및 의미

연구지역에서 채취한 암석에서 추출한 저어콘에 대한 표면 U-Pb 연대측정을 한국기초과학지원연구원의 SHRIMP-IIe를 이용하여 수행한 결과를 Table 1에 나타내었다. BSE 및 CL 영상을 통해 연대측정에 이용된 저어콘 입자들은 대부분 진동핵대구조를 잘 보이며, Th/U 비율이 0.14-0.74 값들을 보이기 때문에 분석된 U-Pb 연령은 모두 마그마로부터 정출된 화성 저어콘의 연령을 나타내는 것으로 판단된다.

남원화강암에서 분리한 저어콘의 SHRIMP U-Pb 분석결과를 일치곡선(condordia) 도형에 도시한 결과 (Fig. 3) 상당수의 분석점들은 정치연령으로 생각되는 약 180-190 Ma 범위의 일치곡선에 잘 놓인다. 그러나 몇 개의 분석점은 고원생대의 연령을 갖는 일치곡선

Table 1. U-Pb zircon isotopic data for the analyzed samples from the Namwon and Sunchang granites

Spot no.	U (ppm)	Th (ppm)	Common ²⁰⁶ Pb(%)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	Error (%)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	Error (%)	Apparent ages (Ma)
Sunchang Granite								
SCG-5_1.1	186	3	0.93	0.0476	2.1	36.6	1.8	174±3
SCG-5_1.2	197	61	0.65	0.0488	3.2	36.6	2.9	174±5
SCG-5_2.1	239	12	0.88	0.0507	1.7	35.5	1.8	179±3
SCG-5_2.2	302	60	0.52	0.0501	2.9	35.1	1.9	181±3
SCG-5_3.1	294	85	0.44	0.0502	2.6	36.0	1.9	176±3
SCG-5_4.1	436	182	0.24	0.0486	2.0	35.4	2.1	180±4
SCG-5_5.1	244	49	0.40	0.0478	3.0	35.8	2.1	178±4
SCG-5_6.1	231	4	1.84	0.8919	0.6	-13.2	-3.0	2803±63
SCG-5_7.1	222	30	0.34	0.0490	3.8	36.3	1.9	175±3
SCG-5_8.1	248	32	0.85	0.0488	3.0	36.2	2.3	176±4
SCG-5_9.1	310	96	0.42	0.0509	1.8	36.2	2.0	175±3
SCG-5_10.1	256	3	0.50	0.0502	1.8	37.8	1.8	168±3
SCG-5_10.2	247	36	0.46	0.0478	2.2	36.4	2.2	175±4
SCG-5_11.1	352	91	0.55	0.0480	1.7	36.4	2.1	175±3
SCG-13_1.1	396	72	0.40	0.0484	1.7	33.9	2.0	188±4
SCG-13_2.1	635	214	0.11	0.0502	1.6	35.7	2.0	178±3
SCG-13_3.1	315	116	0.39	0.0506	2.2	34.6	2.7	183±5
SCG-13_4.1	210	119	0.55	0.0515	2.6	34.4	2.1	184±3
SCG-13_5.1	321	112	0.48	0.0493	2.2	35.4	2.2	180±4
SCG-13_6.1	312	75	0.62	0.0503	2.1	35.6	1.9	178±3
SCG-13_7.1	52	1	0.18	0.1286	1.5	3.2	2.0	2082±26
SCG-13_7.2	322	50	0.52	0.0498	1.7	34.6	2.0	184±4
SCG-13_8.1	404	91	0.36	0.0507	2.5	36.1	2.0	176±3
SCG-13_9.1	403	101	0.26	0.0496	2.1	34.9	1.9	182±3
SCG-13_10.1	359	143	0.62	0.0493	2.0	35.6	2.3	179±4
SCG-13_11.1	290	109	0.35	0.0493	1.9	35.6	2.1	179±3
SCG-13_12.1	336	139	0.23	0.0491	1.9	35.8	2.2	178±4
SCG-13_13.1	277	109	0.55	0.0505	1.9	35.8	2.1	177±3
SCG-13_14.1	242	82	0.48	0.0478	2.8	35.5	2.0	179±3
SCG-13_15.1	311	82	0.44	0.0495	1.7	35.7	2.3	178±4
SCG-13_16.1	407	92	0.39	0.0476	1.8	35.6	2.0	179±3
SCG-13_17.1	525	161	0.22	0.0495	1.7	35.5	2.3	179±4
SCG-13_18.1	302	114	0.45	0.0488	1.9	35.6	1.9	179±3
SCG-13_19.1	320	67	0.46	0.0493	1.7	35.6	1.9	179±3
JGG31_1.1	309	60	0.47	0.0493	2.0	36.8	2.0	173±3
JGG31_1.2	225	12	0.04	0.1124	2.8	3.4	1.8	1832±50
JGG31_2.1	310	126	0.63	0.0514	1.9	37.3	2.2	170±3
JGG31_3.1	158	55	0.63	0.0483	3.9	38.0	2.1	168±3
JGG31_4.1	950	128	0.19	0.0480	0.9	35.7	1.8	179±3

Table 1. Continued

Spot no.	U (ppm)	Th (ppm)	Common ^{206}Pb (%)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Error (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error (%)	Apparent ages (Ma)
Sunchang Granite								
JGG31_4.2	305	68	0.65	0.0487	1.7	37.1	2.0	172±3
JGG31_5.1	283	100	0.55	0.0508	2.7	36.3	1.9	175±3
JGG31_6.1	220	81	0.26	0.0486	2.1	36.4	2.1	175±3
JGG31_7.1	93	43	1.15	0.0491	3.5	35.8	2.1	178±3
JGG31_7.2	123	46	0.89	0.0491	2.8	36.2	2.6	176±4
JGG31_8.1	1445	115	0.88	0.0489	1.0	33.9	1.8	188±3
JGG31_8.2	323	71	0.70	0.0522	1.5	36.3	1.9	175±3
JGG31_8.3	631	674	0.25	0.0482	3.0	35.4	2.3	180±3
JGG31_9.1	220	52	0.22	0.0483	2.3	36.8	1.9	173±3
JGG31_9.2	167	10	0.10	0.1067	0.6	4.0	3.7	1729±9
Namwon Granite								
NWG-1_1.1	1085	343	0.06	0.049	1.4	33.4	0.8	190±1
NWG-1_2.1	182	53	2.20	0.054	3.2	33.8	1.1	187±2
NWG-1_3.1	182	56	1.36	0.047	7.9	34.5	1.2	185±2
NWG-1_4.1	60	130	6.01	0.059	120.6	34.6	3.0	182±3
NWG-1_5.1	1136	548	0.17	0.048	1.3	32.2	0.8	198±4
NWG-1_6.1	954	395	0.39	0.051	1.4	34.1	0.9	186±1
NWG-1_7.1	877	176	0.39	0.049	1.5	33.6	0.8	189±2
NWG-1_8.1	832	433	0.26	0.049	1.7	34.4	0.9	185±1
NWG-1_9.1	340	112	6.29	0.121	1.5	10.7	2.2	1734±32
NWG-1_10.1	93	133	3.84	0.079	71.6	34.2	3.5	179±3
NWG-1_11.1	560	130	5.91	0.130	0.8	4.1	0.9	2179±13
NWG-1_12.1	295	235	0.87	0.045	4.7	34.4	1.1	186±2
NWG-3_1.1	1126	807	0.35	0.050	1.9	34.1	0.9	186±1
NWG-3_2.1	317	91	0.31	0.113	0.6	3.1	0.9	1862±8
NWG-3_3.1	1034	540	0.34	0.049	1.8	34.9	1.2	182±2
NWG-3_4.1	542	251	0.75	0.050	2.0	34.2	0.9	186±2
NWG-3_5.1	676	337	0.61	0.050	1.7	35.5	0.9	179±1
NWG-3_6.1	769	313	0.67	0.050	1.6	34.7	0.9	183±1
NWG-3_7.1	717	406	0.53	0.046	2.8	34.3	1.3	186±2
NWG-3_8.1	1073	389	0.49	0.049	1.5	34.5	0.8	184±1
NWG-3_9.1	1404	515	0.46	0.048	1.6	31.3	0.9	203±2
NWG-3_10.1	1030	323	0.39	0.050	1.6	34.9	0.8	182±1
NWG-3_11.1	719	538	0.39	0.049	2.4	33.0	1.2	193±2
NWG-3_12.1	953	170	0.39	0.049	1.5	33.5	0.8	190±1
NWG-5_1.1	661	132	0.76	0.049	1.7	34.5	0.8	184±1
NWG-5_2.1	764	222	0.69	0.050	1.7	34.7	0.8	183±1
NWG-5_3.1	1252	247	3.01	0.080	3.0	22.7	1.2	268±3
NWG-5_4.1	1594	220	0.23	0.051	1.1	35.5	0.8	179±1
NWG-5_5.1	643	123	0.81	0.051	1.7	34.3	0.9	185±2

Table 1. Continued

Spot no.	U (ppm)	Th (ppm)	Common ^{206}Pb (%)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Error (%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	Error (%)	Apparent ages (Ma)
Namwon Granite								
NWG-5_6.1	326	57	1.29	0.048	2.9	34.0	1.0	187±2
NWG-5_7.1	706	197	0.68	0.050	1.7	34.1	1.1	186±2
NWG-5_8.1	3356	600	0.41	0.049	0.8	32.0	0.8	199±4
NWG-5_9.1	195	41	3.04	0.113	3.8	4.2	3.3	1791±72
NWG-5_10.1	967	497	0.40	0.050	1.6	33.9	0.9	187±1
NWG-5_11.1	62	26	5.70	0.057	6.2	28.9	3.0	217±6
NWG-5_12.1	1065	215	0.34	0.049	1.3	33.7	0.8	188±1
NWG-6_1.1	738	321	0.63	0.049	1.8	34.0	1.1	187±2
NWG-6_2.1	60	93	7.90	0.046	63.1	35.6	2.6	179±3
NWG-6_3.1	82	90	4.06	0.037	29.5	32.6	2.0	198±3
NWG-6_4.1	184	67	2.40	0.043	10.0	36.3	1.2	177±2
NWG-6_5.1	402	167	0.94	0.050	4.1	34.2	1.0	186±2
NWG-6_6.1	165	106	2.57	0.042	13.7	34.1	1.5	188±2
NWG-6_7.1	596	222	1.05	0.050	2.1	35.2	1.6	180±3
NWG-6_8.1	481	215	-0.96	0.150	2.8	2.2	2.8	2368±44
NWG-6_9.1	38	54	8.33	-0.092	382.9	39.6	19.4	189±5

Errors are 1-sigma. Common lead correction was applied ^{207}Pb -method for the ages younger than 1,000 Ma and ^{204}Pb -method for the ages older than 1,000 Ma. Apparent ages were calculated based on $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ratios for the ages younger than 1,000 Ma and $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratios for the ages older than 1,000 Ma.

Fig. 3. Concordia diagram for the zircons separated from the (a) Namwon and (b) Sunchang granites showing clear evidences of the Paleoproterozoic inheritances.

상에 놓이거나, 주라기의 연령과 잇는 불일치선 (discordia)을 그릴 경우 상부교점이 고원생대에 해당하는 불일치(discordant) 영역에 놓인다(Fig. 3). 이와 같이 고원생대의 연령과 정치연령 사이의 불일치 영역에 놓이는 분석값들은 마그마 생성시 근원암의 잔류 저어콘으로부터의 납 손실 또는 마그마 생성 후

새롭게 정출한 저어콘과 근원물질에서 상속된 오래된 저어콘 영역이 혼합되어 분석된 값으로 해석된다.

남원화강암의 남부지역에서 채취한 두 표본 중에서 NWG-1은 $186.9 \pm 2.2 \text{ Ma}$ (n=8), NWG-3은 $184.2 \pm 1.8 \text{ Ma}$ (n=8)의 일치곡선연령을 보이며, 북동부 지역의 NWG-5는 $184.9 \pm 1.8 \text{ Ma}$ (n=8), 그리고 서부 지역의

NWG-6은 183.1 ± 3.3 Ma($n=6$, 오차가 큰 1개 분석점을 제외해도 일치곡선 연령은 유사함)의 연령이 계산된다(Fig. 4). 이러한 연령들은 오차를 감안할 때 거의 일치하는 값이라고 볼 수 있으며, 남원화강암이

암체 내의 위치에 따른 연령변화가 별로 없음을 나타낸다. 따라서 분석된 자료들을 모두 합하여 보다 정밀한 연령을 계산하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 전체 분석자료로 연령을 재계산한 결과는

Fig. 4. Concordia diagrams showing the calculated zircon U-Pb ages from the concordant results for the Namwon Granite. Concordia ages (light blue) are calculated for the each sample (a-d) and also for the all data (e).

185.8±0.9 Ma이며, 이 연령이 남원화강암의 정치연령을 대표하는 것으로 볼 수 있다(Fig. 4-e).

Sagong *et al.*(2005)이 보고한 TIMS 티타나이트-장석 U-Pb 연대측정값 183.1±1.6 Ma는 남원화강암

의 북동부지역에서 채취한 것이며, 이 연구에서 분석한 북동부지역의 표본 NWG-5로부터 구한 연령인 184.9±1.8 Ma와 오차범위 내에서 서로 일치함을 알 수 있으며, 이는 또 다시 남원화강암체가 전체적으로

Fig. 5. Concordia diagrams showing the calculated zircon U-Pb ages from the concordant results for the Sunchang Granite. Ages are calculated for the each sample (a-c), for the combination of northern samples (d) and also for the all data (e).

비교적 균질한 정치연령을 갖는 암체임을 말해준다.

순창화강암에서 분리한 저어콘들 역시 일부 저어콘들은 고원생대의 연령을 나타내는 일치곡선상 또는 고원생대를 향한 불일치선에 놓이는 분석점들이 나타난다(Fig. 3). 이러한 일부 분석점들을 제외하면 정치연령으로 해석되는 젊은 연령 위치의 일치곡선상에 밀집되는 양상을 보인다. 순창화강암에서 분석한 3개 지점의 암석들 중에서 북부지역에서 채취한 2개의 표본들의 분석값은 거의 동일한 연령을 보여준다(Fig. 5). 가장 북쪽의 표본인 SCG-5는 175.8 ± 1.0 Ma ($n=13$), 이보다 더 중앙부에 가까운 JGG-31은 174.2 ± 2.9 Ma ($n=13$)로 오차를 감안할 때 동일한 연령을 나타내며, 이 자료들을 모두 합하여 일치곡선 연령을 계산하면 175.0 ± 2.0 Ma ($n=20$)의 U-Pb 값이 계산되었다(Fig. 5-d). Sagong *et al.*(2005) 역시 순창화강암체의 북부지역에서 표본을 채취하여 TIMS 티타나이트-장석 U-Pb 연령을 구하였으며, 그 결과는 174.9 ± 1.9 Ma로 JGG-31과 SCG-5를 합한 결과와 매우 잘 일치한다.

한편 이들보다 남서쪽의 지점에서 채취한 SCG-13 표본은 이보다 다소 오래된 연령인 179.8 ± 0.9 Ma ($n=19$)의 일치곡선 연령을 보인다(Fig. 5-c). 이 값은 앞에서 언급한 순창화강암체 북부지역에서 구한 연령 결과와 비교할 때 오차범위를 약간 초과하게 오래된 값이다. 따라서 순창화강암체는 부분적으로 다소간의 시간적 차이를 두고 관입하여 정치한 부분들로 이루어졌을 가능성을 시사한다. 만약 순창화강암체로부터 채취된 3개 표본의 모든 저어콘 U-Pb 분석자료를 이용하여 일치곡선연령을 구하면 177.4 ± 1.3 Ma ($n=45$)의 결과가 구해진다(Fig. 5-e). 아주 정밀한 연대자료가 필요한 경우 순창화강암의 정치시기가 지역에 따라 정말 다소간 차이가 있는지 여부와 전체 자료를 합하여 구한 연대자료의 정당성 여부는 추가적인 연구를 통해 판단하여야 할 것이다. 하지만 순창화강암의 정치연령을 약 175 Ma 또는 177 Ma 어느 연령을 사용하여도 대부분의 논의에서는 별 문제가 없을 것으로 생각한다.

남원화강암과 순창화강암으로부터 새롭게 측정된 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연령은 이 암체들의 정치연령을 나타내며, Park *et al.*(2010)이 정리한 영남육괴 및 옥천변성대에서의 주된 쥐라기 화성암 관입시기와 합치한다.

순창화강암에 강한 압쇄엽리가 발달하고 있음은 이

암체의 생성시기인 쥐라기의 약 175 Ma 이후에도 호남전단대의 연성전단활동이 있었음을 말해준다. 한편 순창화강암보다 이른 약 185 Ma의 정치연령을 보이는 남원화강암이 지역에 따라 순창화강암에 비해 상대적으로 미약한 전단엽리를 보이거나 또는 전혀 전단작용의 영향을 보이지 않는 것은 호남전단대의 활동시기가 남원화강암의 정치보다 이후이기 때문이 아니라 전단대의 발달 위치가 남원화강암의 주분포지를 관통해 지나가지 않기 때문인 것으로 해석된다.

사 사

이 논문은 2010학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구이다(PK-2010-119). 논문을 읽고 여러 가지 세밀하고 유익한 조언을 해주신 익명의 심사자와 이종익 박사께 감사드립니다.

References

- Cheong, C.S., Kee, W.-S., Jeong, Y.-J., and Jeong, G.-Y., 2005, Multiple deformation along the Honam shear zone in southwestern Korea constrained by Rb-Sr dating of synkinematic fabrics: Implications for the mesozoic tectonic evolution of northeastern Asia. *Lithos*, 87, 289-299.
- Cho, D.-L., Lee, S.R., and Armstrong, R., 2008. Termination of the Permo-Triassic Songrim (Indosinian) orogeny in the Ogcheon belt, South Korea: Occurrence of ca. 220 Ma post-orogenic alkali granites and their tectonic implications. *Lithos* 105, 191-200.
- Cho, K.-H., Takagi, H., and Suzuki, K., 1999, CHIME monazite age of granitic rocks in the Sunchang shear zone, Korea: Timing of dextral ductile shear. *Geosciences Journal*, 3, 1-15.
- Dodson, M.H., 1973, Closure temperature in cooling geochronological and petrological systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 40, 259-274.
- Hong, M.S., Yun, S., and Gil, Y.J., 1966, Geological Report of the Galdam Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 36p.
- Hong, S.H. and Hwang, S.K., 1984, Geological Report of the Gurye Sheet (1:50,000). Korea Institute of Energy and Resources, 61p.
- Ireland, T.R. and Williams, I.S., 2003, Considerations in zircon geochronology by SIMS. In: Hanchar, J.M. and Hoskin, P.W.O. (eds.), *Zircon: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America, 53, 215-241.
- Kim, C.-B. and Turek, A., 1996, Advances in U-Pb zircon geochronology of Mesozoic Plutonism in the southwest-

- ern part of Ryeongnam massif, Korea: *Geochem. J.*, 30, 323-338.
- Kim, D.H. and Lee, B.J., 1984, Geological Report of the Namweon Sheet (1:50,000). Korea Institute of Energy and Resources, 68p.
- Kim, K.B., Choi, W., Hwang, J.H., and Kim, J.H., 1984, Geological Report of the Osu Sheet (1:50,000). Korea Institute of Energy and Resources, 62p.
- Kim, O.J., Hong, M.S., Yun, S.K., Park, H.I., Park, Y.D., Kim, K.T., Lee, H.Y., and Yoon, S., 1964, Geological Report of the Un Bong Sheet (1:50,000). Kyeong Sang Nam Do, Korea, 29p.
- Kwon, S.-T. and Lee, J.-H., 1997, A note on the age of the Honam Shear Zone. *Journal of the Geological Society of Korea*, 33, 183-188. (in Korean with English abstract)
- Lee, B.J., Kim, J.C., Kim, Y.B., Cho, D.-L., Choi, H.-I., Chun, H.Y., and Kim, B.C., 1997, Geological map and explanatory note of the Gwangju Sheet (1:250,000). Korea Institute of Energy and Resources, 82p.
- Ludwig, K.R., 2008, User's manual for Isoplot 3.6: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley, CA, Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4, 77p.
- Ludwig, K.R., 2009, SQUID 2: a user's manual. Berkeley, CA, Berkeley Geochronology Center Special Publication, No. 2, 100p.
- Na, C.-K., Lee, I.-S., and Chung, J.-I., 1997, Petrogenetic study of the foliated granitoids in the Chonju and the Sunchang area (II) -in the light of Sr and Nd isotopic properties-. *Econ. Environ. Geol.*, 30, 249-262. (in Korean with English abstract)
- Park, H.I., 1966, Geological Report of the Sunchang Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 43p.
- Park, K.-H., Kim, M.J., Yang, Y.S., and Cho, K.O., 2010, Age distribution of the Jurassic plutons in Korean peninsula. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 19, 269-281. (in Korean with English abstract)
- Park, Y.S., Park, C.Y., Kim, J., Ryu, J.S., and Kim, Y.J., 1996, Rb-Sr & Sm-Nd isotopic study on the granitoids in the Namweon area. *Journal of the Korean Institute of Mineral and Energy Resources Engineers*, 33, 40-60. (in Korean with English abstract)
- Sagong, H., Kwon, S.-T., and Ree, J.-H., 2005, Mesozoic episodic magmatism in South Korea and its tectonic implication. *Tectonics*, 24, TC5002, doi:10.1029/2004TC001720.
- Son, C.M. and Kim, S.J., 1966, Geological Report of the Changpyeong Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 50p.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area, Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 29, 243-258.
- Williams, I.S., Cho, D.-L., and Kim, S.W., 2009, Geochronology, and geochemical and Nd-Sr isotopic characteristics, of Triassic plutonic rocks in the Gyeonggi Massif, South Korea: Constraints on Triassic post-collisional magmatism. *Lithos*, 107, 239-256.

2013년 6월 5일 접수
 2013년 6월 7일 심사개시
 2013년 6월 26일 채택