

<Short Note>

영남육괴 북동부 춘양화강암의 SHRIMP U-Pb 연대

송용선^{1,*} · 이기욱²

¹부경대학교 환경·해양대학 지구환경과학과

²한국기초과학지원연구원 환경과학연구부

요 약

최근에 Yoon *et al.* (2014)의 연구로 영주화강암 저반의 북동 연변부를 이루고 있는 춘양화강암의 정치연령이 174.38 ± 1.4 Ma ($n=3, 2\sigma$)로 보고된 바 있지만, 연대를 신뢰할 만하게 한정하기에는 사용된 분석점의 수가 충분하지 못하고, 납손실에 의한 연령일 가능성을 배제할 수 없다. 우리는 관입시기를 보다 정밀하게 결정하기 위해 SHRIMP를 이용하여 저어콘 U-Pb 연령측정을 재실시하였다. 진동누대구조를 보이며 대체로 비교적 높은 Th/U 비를 보이는 부분들에서 얻어진 새로운 분석 자료들에 의해 185.3 ± 2.7 Ma ($n=10, 2\sigma$)의 일치연령이 구해졌다. 이 연대는 춘양화강암의 정치시기를 나타내는 것으로 해석된다.

주요어: 춘양화강암, 영주화강암, SHRIMP, 저어콘, U-Pb 연령, 영남육괴

Yong-Sun Song and Keewook Yi, 2015, SHRIMP U-Pb age of the Chunyang granite, NE Yeongnam massif, Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 51, no. 4, p. 397-402

ABSTRACT: The U-Pb age of zircon from the Chunyang granite, located in the northeastern part of the Yeongju granite batholith, by Yoon *et al.* (2014) is unreliable because of insufficient analytical data. We carried out the SHRIMP U-Pb age dating of zircon from this granite again to better constrain its emplacement age. The new data obtained from oscillatory-zoned domains of zircon with relatively high Th/U ratios yielded a concordant age of 185.3 ± 2.7 Ma ($n=10, 2\sigma$) which is interpreted as the emplacement age of the Chunyang granite.

Key words: Chunyang granite, Yeongju granite, SHRIMP, Zircon, U-Pb age, Yeongnam Massif

(Yong-Sun Song, Department of Earth Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 46241, Republic of Korea; Keewook Yi, Division of Earth and Environmental Science, Korea Basic Science Institute, Ochang 28119, Republic of Korea)

1. 서 론

춘양화강암은 영주저반의 북동부 연변부를 이루며 북서-남동 방향으로 분포된 화강암체로, 주로 등립질이고 중-세립질인 복운모 화강암으로 구성되어 있다. 주변의 영남육괴 선캄브리아 암체인 울리층과 원남층군 및 고생대의 장군석회암층, 두음리층, 장산규암층들을 관입접촉하고 있다(그림 1). 중-조립질이고 흔히 각섬석을 함유하는 영주화강암의 다른 부분들과는 암석기재적 특징에서 차이를 보이므로 춘양도폭(Son and Kim, 1963)과 삼근리도폭(Kim

et al., 1963)에서 춘양화강암으로 구분되어 명명되었다. 일반적으로 복운모 화강암이지만 부분적으로 흑운모 또는 백운모만 함유하기도 하고, 곳에 따라 장석 반정이 발달된 반상조직을 띠기도 한다.

춘양화강암은 각섬석-흑운모 토날라이트를 비롯한 영주저반의 다른 화강암류들을 후기에 관입한 것으로 간주되고 있다. 초기 지질도폭 조사에서는 백악기 화강암으로 분류되기도 하였지만(Kim *et al.*, 1963; Son and Kim, 1963), 춘양화강암체에 대한 이후의 연대측정 결과들은 비교적 폐쇄온도가 낮은 흑운모와 백운모의 K-Ar 연대이긴 하지만 그 관입시기가

* Corresponding author: +82-51-629-6627, E-mail: yssong@pknu.ac.kr

쥬라기임을 지시하고 있다(e.g., Kim, 1971; Hwang *et al.*, 1999; Jin and Jang, 1999). 최근에 Yoon *et al.* (2014)은 영주와 안동저반의 화강암류들에 대해 보다 정밀한 SHRIMP (Sensitive High Resolution Ion Micro Probe, 초고분해능 이온현미분석기) 연대측정 연구를 수행하여 영주저반의 주 화강암들의 관입시기는 약 186~187 Ma임에 반해 춘양화강암은 174.8 ± 1.4 Ma ($n=3, 2\sigma$)로 11 Ma 정도 젊은 것으로 보고한 바 있다. 그러나 이 연대는 불과 3 점으로부터 얻어진 일치곡선연령으로 재측정해 볼 필요가 있다. 이 연구에선 춘양화강암의 보다 정확한 관입시기를 결정하고자 이에 대한 SHRIMP 연대측정을 보충적으로 재실시하여 수정된 연대측정 결과를 보고한다.

2. SHRIMP 연대측정 시료 및 분석방법

2.1 시료준비

이번 연구에서 분석에 사용된 시료는 Yoon *et al.*

(2014)의 춘양화강암 시료(시료번호 ADG-19, 채취위치의 WGS-84 경위도 좌표 $N36^{\circ}55'00.0'' E128^{\circ}57'24.7''$)와 동일한 것으로 이를 다시 분쇄하여 저어콘을 분리하였다. 암석 시료의 파쇄 및 저어콘 분리는 Yoon *et al.* (2014)의 것과 같은 방법을 사용하였다. 분리된 저어콘들은 일반적인 방법에 따라 SHRIMP 마운트로 제작하였다. SL13과 FC1 저어콘 스탠다드와 함께 에폭시 몰드에 심어 마운트를 만들었고, 대략 입자의 반이 드러날 때까지 사포에 갈아낸 후, 다이아몬드 연마제(6, 3, 1 μm)를 이용하여 표면을 광택, 연마하였다.

2.2 분석방법

마운트를 금으로 코팅한 후, SHRIMP 분석 전에 음극광(CL) 탐지장치가 부착된 주사전자현미경(SEM)에서 후방산란전자(BSE) 영상과 음극광 영상을 얻어 결정형태와 내부구조를 분석한 후 분석 점들을 선정하였다. 후방산란전자 영상과 음극광 영상은 한

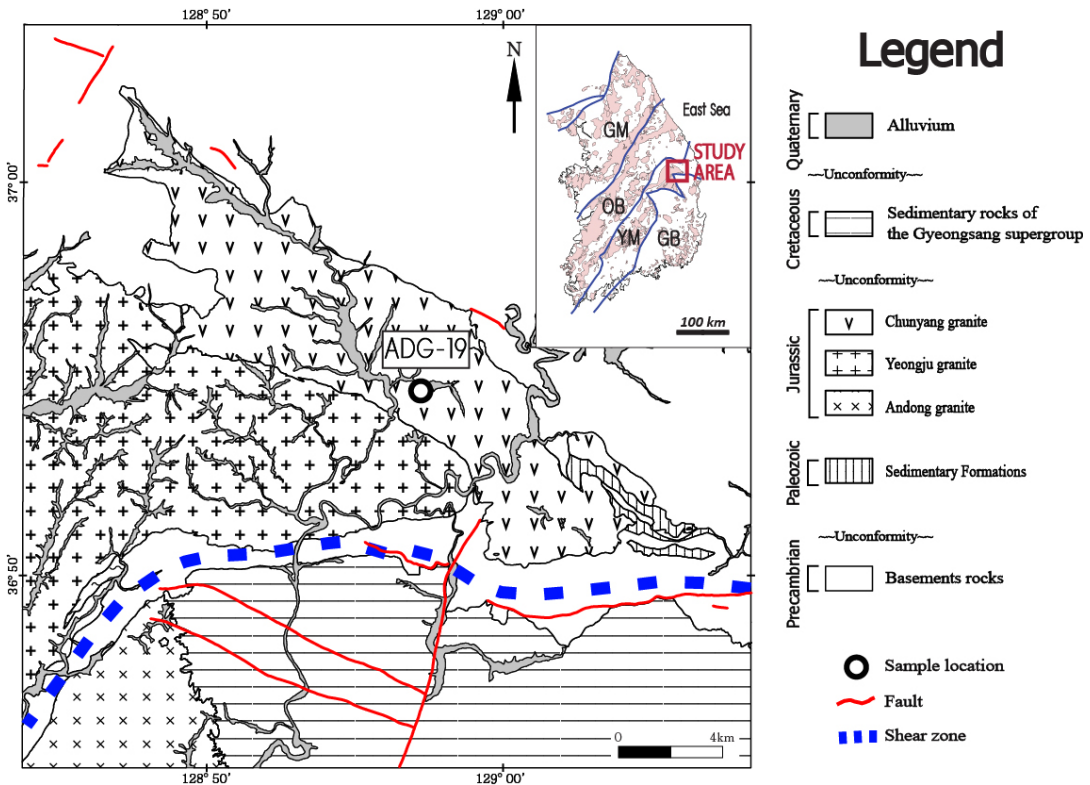


Fig. 1. (a) Tectonic map of the south of the Korean Peninsula showing distribution of Phanerozoic granites and the location of the study area. (b) Geological map of the study area modified after Hwang *et al.* (1999), Son and Kim (1963) and Kim *et al.* (1963).

국기초과학지원연구원 환경연구부의 JEOL 모델 6610LV 주사전자현미경을 이용하여 얻었다.

저어콘에 대한 SHRIMP U-Pb 분석은 한국기초과학지원연구원에 있는 SHRIMP IIe를 사용해 실시하였고, 측정조건과 방법은 Yoon *et al.* (2014)의 것과 동일하다. SQUID version 2.5 및 Isoplot/Ex v. 3.6 (Ludwig, 2008, 2009)을 이용하여 연대측정 자료의 보정 및 연대 계산을 하였다. 이 연구에서의 연대측정 결과는 모두 95%의 신뢰도로 나타내었다.

3. 연대측정 결과

연대측정에 이용된 춘양화강암의 저어콘 입자들은 대부분 자형 내지 반자형의 주상 결정을 이루고

있고, BSE 및 CL 영상에서 진동누대구조를 잘 보이며 흔히 내부에 크고 작은 상속핵을 가지고 있다(그림 2). 이번 분석에서는 상속핵 바깥쪽의 진동누대를 보이는 부분에 대해 15 점을 분석하였다. 분석된 저어콘들의 SHRIMP U-Pb 연대측정 결과를 Yoon *et al.* (2014)의 것과 함께 표 1에 나타내었고, 분석점의 위치와 겹보기 연대를 그림 2에 표시하였다. 그림 3은 분석결과를 Yoon *et al.* (2014)의 것과 함께 일치곡선(condordia) 도형에 도시한 것이다. 이번에 분석된 저어콘들의 Th/U 비율은 0.04~0.55이며, 오래된 불일치 연대를 보이는 2 점을 제외하고 일치곡선을 따라 대략 210 Ma에서 170 Ma 사이에 도시된다.

Yoon *et al.* (2014)의 10 개 분석치 중 3 개는 상속핵의 것이며 나머지 7 개는 진동누대를 보이는 외곽

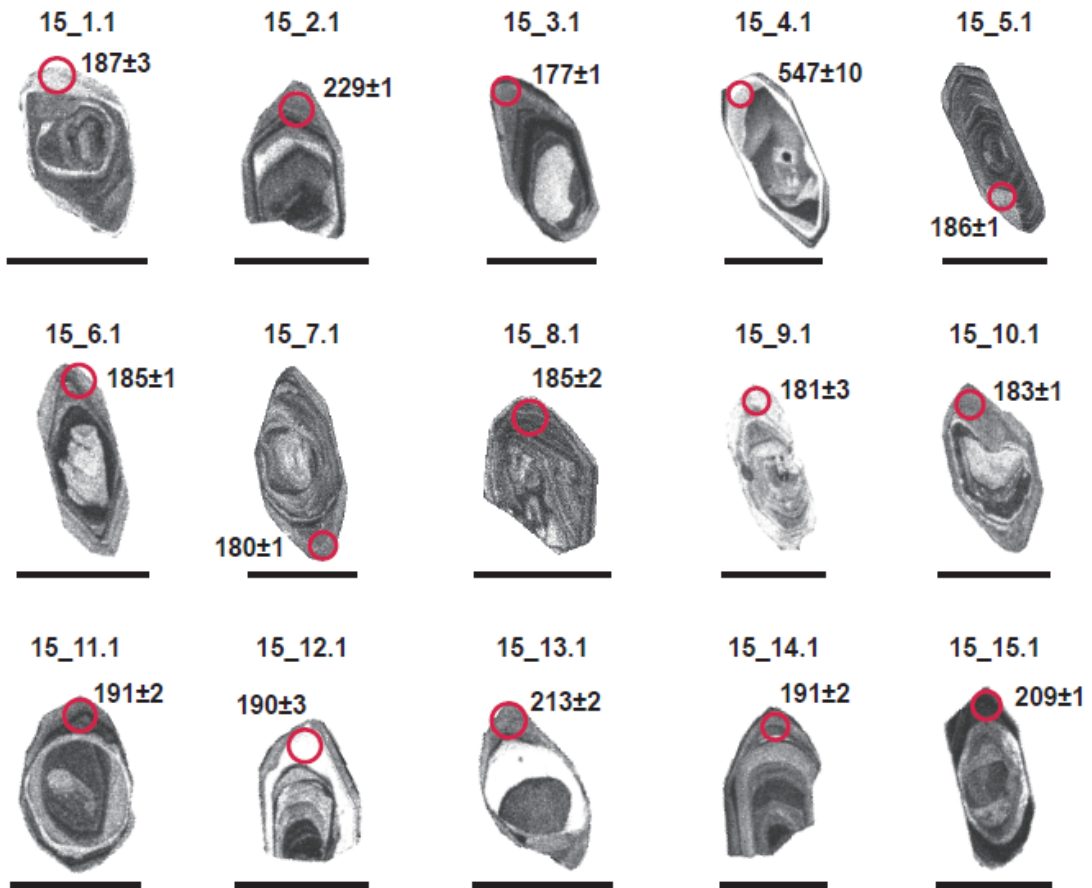


Fig. 2. Cathodoluminescence (CL) images for the analysed zircon grains separated from the Chunyang Granite with locations of analysing spots and their apparent ages in Ma. Spots are 25 μm in diameter. Scale bars are 100 μm in length.

Table 1. U-Pb zircon isotopic data for the analyzed sample from the Chunyang Granite.

Sample No.	Spot No.	Common ^{206}Pb (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	Error ($\pm\%$)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	Error ($\pm\%$)	Apparent age (Ma)	Discordant (%)
	1.1 ^{a, b}	0.39	348	67	0.19	34.66	1.5	0.0482	2.2	183 \pm 3	-29
	2.1 ^a	0.19	711	276	0.39	31.85	1.4	0.0451	1.9	199 \pm 3	-39
	3.1 ^a	1.11	232	81	0.35	2.22	1.5	0.1620	1.1	2477 \pm 18	+4
	4.1 ^a	6.24	370	160	0.43	8.84	1.7	0.1101	0.8	1801 \pm 15	+65
	5.1 ^{a, b}	--	985	236	0.24	33.79	1.1	0.0519	1.2	188 \pm 2	-67
	6.1 ^a	1.7	76	85	1.12	33.21	2.0	0.0627	13.0	191 \pm 4	--
	7.1 ^a	0.58	172	118	0.68	36.65	1.5	0.0510	4.3	174 \pm 2	+42
	8.1 ^a	2.91	445	90	0.20	4.07	1.1	0.1121	0.4	1834 \pm 8	+25
	9.1 ^a	1.06	191	168	0.88	36.55	1.5	0.0520	5.7	174 \pm 3	+152
	10.1 ^a	0.45	437	137	0.31	36.10	1.2	0.0497	2.0	176 \pm 2	-201
	15.1.1	0.56	171	17	0.10	33.98	1.7	0.0497	2.9	187 \pm 3	+257
	15.2.1	3.02	670	49	0.08	27.70	0.7	0.0660	1.8	229 \pm 1	+79
ADG-19	15.3.1	--	377	45	0.12	35.90	0.7	0.0473	1.8	177 \pm 1	-4094
	15.4.1	5.11	231	47	0.21	11.29	1.9	0.0562	2.3	547 \pm 10	+66
	15.5.1 ^b	0.03	375	151	0.41	34.17	0.8	0.0492	1.8	186 \pm 1	-16
	15.6.1 ^b	0.13	607	156	0.26	34.44	0.7	0.0500	1.4	185 \pm 1	-38
	15.7.1 ^b	1.00	333	56	0.18	35.35	0.8	0.0500	2.0	180 \pm 1	+22
	15.8.1 ^b	0.03	751	397	0.55	34.26	1.2	0.0514	6.0	185 \pm 2	-20
	15.9.1	--	178	77	0.45	35.17	1.9	0.0458	3.1	181 \pm 3	+169
	15.10.1 ^b	0.21	306	38	0.13	34.73	0.8	0.0506	1.9	183 \pm 1	+46
	15.11.1 ^b	0.13	1018	138	0.14	33.25	0.9	0.0516	1.1	191 \pm 2	-20
	15.12.1 ^b	0.52	182	77	0.44	33.52	1.6	0.0503	3.2	190 \pm 3	+44
	15.13.1	0.26	580	82	0.15	29.77	1.2	0.0489	2.0	213 \pm 2	-133
	15.14.1 ^b	0.09	528	24	0.05	33.20	1.0	0.0501	1.6	191 \pm 2	+10
	15.15.1	0.06	3188	118	0.04	30.32	0.6	0.0503	1.0	209 \pm 1	+1

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.

* after Yoon *et al.* (2014) and b used for age calculation.

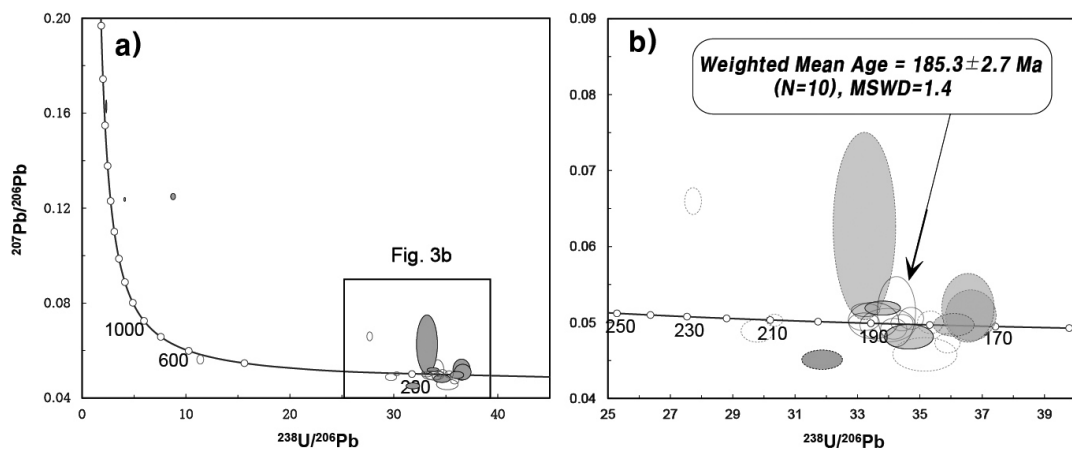


Fig. 3. Concordia diagrams for the zircons separated from the Chunyang granite. Error ellipses are at 1 σ level and the calculated ages are at 95% confidence. The solid ellipses indicate data used for age calculation and the filled ellipses data from Yoon *et al.* (2004).

부의 분석치인데, 이 중 가장 젊은 연대를 보이는 3 점이 일치곡선 상에 잘 놓여 이들로부터 174.8 ± 1.4 Ma (2σ , MSWD = 0.37)의 일치곡선연령을 얻은 바 있다. 그러나 이번 분석에선 불일치도가 높은 한 점 (spot no. 15_3.1)을 제외하고는 이렇게 젊은 연대는 측정되지 않았다. 일치곡선에 도시된 분석점들은 190 Ma에서 180 Ma 사이에 주 집중점을 이룬다. 이 중 비교적 오차가 작고 일치도가 높은 10 개의 분석치로부터 얻어진 가중평균연령(weighted mean age)은 185.3 ± 2.7 Ma (MSWD = 1.4)이며, 일치도가 높은 9 개의 분석점에선 거의 동일한 185.5 ± 1.8 Ma (MSWD=3.1)의 일치곡선연령이 구해진다(그림 3). 연령계산에 이용된 분석치들은 저어콘에서 성장형 진동누대구조를 보이는 부분들에서 얻어졌으며, 이들 거의 대부분이 0.1 이상의 비교적 높은 Th/U 비율을 보이는 것은 이 연대가 화성연대로 춘양화강암의 정치시기를 나타냄을 지시한다.

4. 결과 및 토의

영주저반의 북동 연변부를 이루고 있는 춘양화강암의 보다 정확한 관입시기를 결정하고자 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정을 재수행하였다. 보충적으로 수행된 이번 연구의 결과, 영주화강암의 주 암체들에 비해 11 Ma 정도 젊은 약 175 Ma의 연대가 보고되었던 춘양화강암의 정치시기는 185.3 ± 2.7 Ma ($n=10$, MSWD=1.4)인 것으로 밝혀졌다. 이 연대는 영주저반의 주 화강암들의 관입시기인 약 186~187 Ma와 오차범위에서 동일하여 영주저반을 이룬 화강암체들의 정치시기가 거의 동일하거나 그 시간 간격이 매우 작다는 것을 지시한다.

일치곡선 상에서 175 Ma 부근에 3 점의 분석치들이 집중점을 이루어 Yoon *et al.* (2014)에 의해 관입시기로 해석되었는데, 이들 저어콘들의 연령은 납손실에 의한 것으로 해석된다. Kim *et al.* (2009)은 영주화강암과 안동화강암 사이의 예천전단대 내에 분포된 압쇄화강암에서 분리된 저어콘의 외연부에서 측정된 178~179 Ma의 연대를 전단운동 시에 과성장된 연대로 해석하였으나, 이번 연구 결과 납손실 연령일 것으로 추정된다.

춘양화강암에 의해 접촉변성된 고생대 퇴적암층에서 측정된 변성압력조건(An *et al.*, 1993; Yang and

Cho, 1994)은 4 kbar 이하(3.5~3.8 kbar)임에 반해, 영주저반의 화강암류 중 춘양화강암과 바로 인접한 부분에서 각섬석 지압계에 의해 측정된 마그마 정치시의 압력조건은 7 kbar 이상이다(Hong, 2001). 화강암 지역에 비해 접촉변성대 지역이 고도가 높은 지역이지만 그 해발고도의 차이는 300~400 m 정도로 이로 인한 압력 차이는 대략 0.1 kbar에 불과하다. Hong (2001)은 영주화강암 내에서의 지역에 따른 정치압력에서의 차이(1.5 kbar 내외)를 정치 이후에 일어난 구조운동으로 북서부에 비해 남쪽이 5 km 정도 더 높고 상승한 결과로 해석하였다. 춘양화강암의 관입시기가 다른 영주화강암체들과 동일한데 비해 측정된 정치압력은 상당한 차이(3 kbar 이상)를 보이고 있어 그 이유가, 지압계(특히 각섬석 지압계) 적용의 문제점 때문인지 혹은 구조운동에 의한 차별적 상승 때문인지에 대한 연구도 필요해 보인다.

사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의기술연구비(2014)에 의하여 연구되었음. 연구기간 동안 시료처리, 분석 및 도면작성 등에 도움을 준 부경대학교 암석지구조연구실 서재현, 하영지 석사에게 감사를 표한다. 또한 논문을 읽고 여러 가지 유익한 조언을 해주신 이승렬 박사님과 익명의 심사자에게 감사드린다.

REFERENCES

- Ahn, K.-S., Jeong, H.-H. and Lee, H.-G., 1993, Prograde Reaction Series in Metapelites around the Janggun Mine. *Jour. Korean Inst. Mining Geology*, 26, 473-487 (in Korean with English abstract).
- Hong, S.-S., 2001, Implication for the emplacement depth of the granites in the Yeongnam Massif, using the aluminum-in-hornblende barometry. *Jour. Petrol. Soc. Korea*, 10, 36-55 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.-K., Kim, S.-W., Chang, T.-W., Kim, J.-M. and Lee, S.-K., 1999, Intrusive Phases and Igneous Processes in the Yeongju Batholith. *Econ. Environ. Geol.*, 32, 669-688 (in Korean with English abstract).
- Jin, M.-S. and Jang, B.-A., 1999, Thermal history of the Late Triassic to Early Jurassic Yeongju-Chunyang Granitoid in the Sobaegsan Massif, South Korea, and its Tectonic Implication. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 35, 189-200 (in Korean with English abstract).

- Kim, O.-J., 1971, Study on the Intrusion Epochs of Younger Granites and their Bearing to Orogenies in South Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geology, 4, 1-9 (in Korean with English abstract).
- Kim, O.-J., Hong, M.-S., Park, H.-I. and Kim, G.-T., 1963, Explanatory Text of the Geological Map of Samgun-ri Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea.
- Kim, S.W., Kwon, S. and Ryu, I.-C., 2009, Geochronological constraints on multiple deformations of the Honam Shear Zone, South Korea and its tectonic implication. Gondwana Research, 16, 82-89.
- Ludwig, K.R., 2008, User's manual for Isoplot 3.6: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4, Berkeley, CA. 77 p.
- Ludwig, K.R., 2009, SQUID 2.50: A User's manual. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 5, Berkeley, CA. 100 p.
- Son, C.-M. and Kim, S.-J., 1963, Explanatory Text of the Geological Map of Chunyang Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea.
- Yang, P. and Cho, M., 1994, The SBAG assemblage in the Dueumri Formation near the Chunyang granite : Algebraic analysis. Jour. Petrol. Soc. Korea, 4, 49-60 (in Korean with English abstract).
- Yoon, R., Song, Y.-S. and Yi, K., 2014, SHRIMP U-Pb Ages of the Yeongju and Andong Granites, Korea and their Implications. Jour. Petrol. Soc. Korea, 23, 209-220 (in Korean with English abstract).

Received : June 29, 2015

Revised : August 14, 2015

Accepted : August 19, 2015