

북한 증산-평원지역 화강편마암의 LA-ICP-MS U-Pb 저콘 연대

송용선¹ · 박계현^{1,*} · 이호선¹ · Cao Lin² · Orihashi Yuji³

¹부경대학교 환경해양대학 환경지질과학과 대한민국, ²길림대학교, 중국, ³동경대학교 지진연구소 일본

LA-ICP-MS U-Pb Zircon Age of the Granite Gneiss from Jeung-san-Pyeongwon Area of North Korea

Yong-Sun Song¹, Kye-Hun Park^{1,*}, Ho-Sun Lee¹, Lin Cao² and Yuji Orihashi³

¹Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Jilin University of Science and Technology, Changchun 130026, China

³Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Tokyo 113-0032, Japan

요약: 북한의 평안분지 서부의 증산-평원지역에 분포하는 선캄브리아 기저를 이루는 화강편마암에서 분리한 저콘에 대하여 LA-ICP-MS U-Pb 연대측정을 실시하였다. 그 결과 1,873±19(2σ) Ma의 일치곡선연령을 구하였으며 이는 고원생대의 화강암질 화성활동을 나타낸다. 한반도의 선캄브리아 기저지각 암석들로부터 SHRIMP 및 LA-ICP-MS 등의 방법에 의해 구한 최근의 정밀한 연대자료를 살펴보면 영남육괴, 경기육괴, 남령육괴 등 한반도 전역에서 이 화강편마암과 마찬가지로 ~1870 Ma의 연령이 가장 빈도 높게 보고되고 있다. 이 시기의 지질사건들은 지역에 따라 화강암질 화성활동뿐만 아니라 고온의 광역변성작용도 함께 나타나는 것으로 해석되고 있다. 인접한 중국의 북중국과 남중국지괴들 역시 유사한 시기의 화성 및 변성활동들이 보고되고 있으며 한반도의 선캄브리아 육괴들이 북중국과 남중국 어느 지괴와 대비되는지는 더 많은 자료와 연구가 필요하다.

핵심어: 북한, 화강편마암, U-Pb 연대, LA-ICP-MS, 저콘

Abstract: LA-ICP-MS U-Pb zircon age was determined from the granite gneiss from Jeung-san-Pyeongwon area located to the west of Pyeongan Basin, North Korea, yielding concordant age of 1,873±19(2σ) Ma interpreted as Paleoproterozoic granitic magmatism. Considering relatively precise data reported recently using SHRIMP and LA-ICP-MS, ages around 1,870 Ma have been most frequently reported from Precambrian basement rocks of Korean peninsula, including Yeongnam, Gyeonggi, and Nangnim massifs altogether. Geologic events of this period are interpreted as not only granitic magmatism but also high-temperature regional metamorphism depending on their localities. The magmatic and regional metamorphic events of similar periods have also been reported from neighboring cratons of both North China and South China. Therefore, we need more data and efforts to decipher correlation between Precambrian basements between Korea and China.

Key words: North Korea, granite gneiss, U-Pb age, LA-ICP-MS, zircon

서 언

한반도의 상당히 넓은 지역에 걸쳐 선캄브리아기의 기저지각이 노출되어 있으며, 이러한 기저지각의 생

성시기와 변천사를 밝히는 것은 한반도의 지각진화사를 연구하는데 매우 중요하다. 이러한 선캄브리아 기저지각은 현생의 퇴적분지 및 긴 띠 모양으로 관입한 화강암 저반들에 의해 단절되어 있으며, 노출지역에 따라 영남육괴, 경기육괴, 남령육괴 등과 같은 이름이 붙여졌다. 이와 같이 단절된 선캄브리아 육괴들 사이의 대비 또는 인접한 중국의 선캄브리아 지괴들과의

*Corresponding author
Tel: 82-51-629-6629; Fax: 82-51-629-6623
E-mail: khpark@pknu.ac.kr

대비는 정밀한 연대측정 자료의 부족으로 어려움이 많았다. 그러나 1990년대 중반부터 비교적 정밀한 지질연대자료들이 자주 보고되기 시작하였다. 열이온화 질량분석기(Thermal Ionization Mass Spectrometer, TIMS)를 이용한 U-Pb 저콘 연대측정 결과(Turek and Kim, 1996; Kim et al., 1999; 송용선 외, 2001; Chang et al., 2003), Sm-Nd 연대(박계현 외, 2000, 2001; 이승구 외, 2005), Pb-Pb 연대(Kim and Cho, 2003; 정창식 외, 2004), 단계적 용해에 의한 Pb 연대(Sagong et al., 2003), 전자현미분석기를 이용한 화학연대(일명 CHIME, 조등룡 외, 2007), ^{40}Ar - ^{39}Ar 연대(박계현 외, 2004) 등 다양한 방법에 의한 연대자료들이 보고되었다. 더욱이 최근 2000년대에 들어와서는 SHRIMP(Sensitive High Resolution Ion Micro Probe)와 LA-ICP-MS(Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)를 이용하는 미세영역의 분석을 통한 정밀한 U-Pb 연대측정 결과들이 남한의 영남육괴와 경기육괴에서(박종길 외, 2003; 조문섭 외, 2004; Zhai et al., 2005; 조등룡 외, 2006; Oh et al., 2006) 뿐만 아니라 북한 지역의 암체들로부터도(Zhao et al., 2006; Zhai et al., 2007; Wu et al., 2007a, b) 상당수 보고되었다.

이러한 정밀한 연대측정 결과들은 중국의 선캄브리아 지괴들과의 대비에도 적용될 수 있으며 실제로 한반도와 북중국의 선캄브리아 지괴들이 대비된다는 주장을 가져오기도 하였다. 그러나 이러한 주장은 한국과 중국의 선캄브리아 연대자료들을 더욱 세밀하게 살펴볼 필요가 있으며, 지각대비 모델들의 가설을 검증하기 위한 연대자료의 수는 아직도 많이 부족하다고 판단된다. 이 논문에서는 북한의 평남분지 서측의 증산-평원지역에 위치한 화강편마암으로부터 분리한 저콘에 대하여 LA-ICP-MS U-Pb 연대측정을 실시한 결과를 보고하여 한반도의 선캄브리아 육괴들 사이의 비교와 한국과 중국의 선캄브리아 지괴들의 대비에 기여하고자 한다.

일반지질

평남분지 서쪽에 평원에서 증산을 거쳐 남포까지 서해안을 따라 대상으로 분포된 선캄브리아기 암류는 평원돌출대(emergence)에 분포된 시생대로 알려진 낭림층군, 고원생대의 변성퇴적암층인 증산층군, 그리고 이들을 관입한 선캄브리아기 화강암류로 구성되어 있

으며, 중생대 화강암류들이 이들을 관입하였다(Fig. 1). 이 지역 증산층군에 수반되는 선캄브리아기 화강암류는 편마구조가 잘 발달된 편마상 화강암(내지 화강편마암)으로 소위 '연화산 화강암 복합체' 중 제2기에 속한다. 중생대 화강암류는 주라기의 단천복합체에 속하는 것(Paek et al., 1996)으로 알려져 왔으나 최근의 연구(Wu, et al., 2007a)에서 많은 부분이 백악기 화강암류이고 트라이아스기 화강암도 있는 것으로 확인되었다.

낭림육괴를 비롯한 북한지역의 시생대~고원생대의 선캄브리아기 화강암류는 '연화산 복합체'로 분류되며, 암석기재적 및 지구화학적 특징에 의해 제1기, 제2기, 그리고 제3기의 세 그룹으로 구분된다. 연화산 복합체 제1기 화강암류는 낭림층군의 변성퇴적암과의 경계부분에 미그마타이트대가 발달된 점이적인 관계를 보이며, 화강암류 내에 변성퇴적암과 미그마타이트들이 잔류암으로 산출되고 석류석과 근정석, 흑연 등의 변성광물들이 포함된 과알루미나질이다. 제2기 화강암류는 반상변정질의 화강암 내지 편마상 화강암류로 조립질이고 거정질 장식변정이 발달된 특징에 의해 제1기 화강암류와 구별된다. 증산층군의 변성퇴적암과 점이적이거나 예리한 경계를 이루고 있으며, 제1기 화강암류에 비해 K가 풍부한 화학적 특징을 보인다. 제3기 화강암류는 우백질이며 화강암질 조직이 우세하고, 낭림과 증산층군의 변성퇴적암층은 물론 제1기와 제2기의 고기 화강암류들과 예리한 관입 관계를 보인다. 규모가 작은 저반이나 암맥상으로 산출되고 페그마타이트 같은 규장질 암맥을 수반하기도 한다(Paek et al. (eds), 1996).

시료 채취 및 분석

시료 S-548은 평안남도 평원군 상송리 부근(Fig. 1)에서 채취된 '연화산 복합체' 제2기 화강암류에 속하는 편마상 화강암이다. 이 암석에서 분리된 저콘은 자주색을 띠며 대체로 단주상의 자형으로 포유물이 거의 없는 특징을 보인다. 분리한 저콘은 박편 제작용 슬라이드 유리 위에 줄을 맞추어 배열한 다음 가열판 위에 올려놓고 300°C의 온도로 가열한 다음 1 cm×1 cm 크기로 자른 0.2 mm 두께의 테플론 시트를 얹어 뜨거운 저콘 입자들을 테플론 시트에 고착시킨 다음 바로 냉각시켰다. 이렇게 저콘을 심은 테플론 시트를 대략 저콘 두께의 절반 정도가 드러날 정

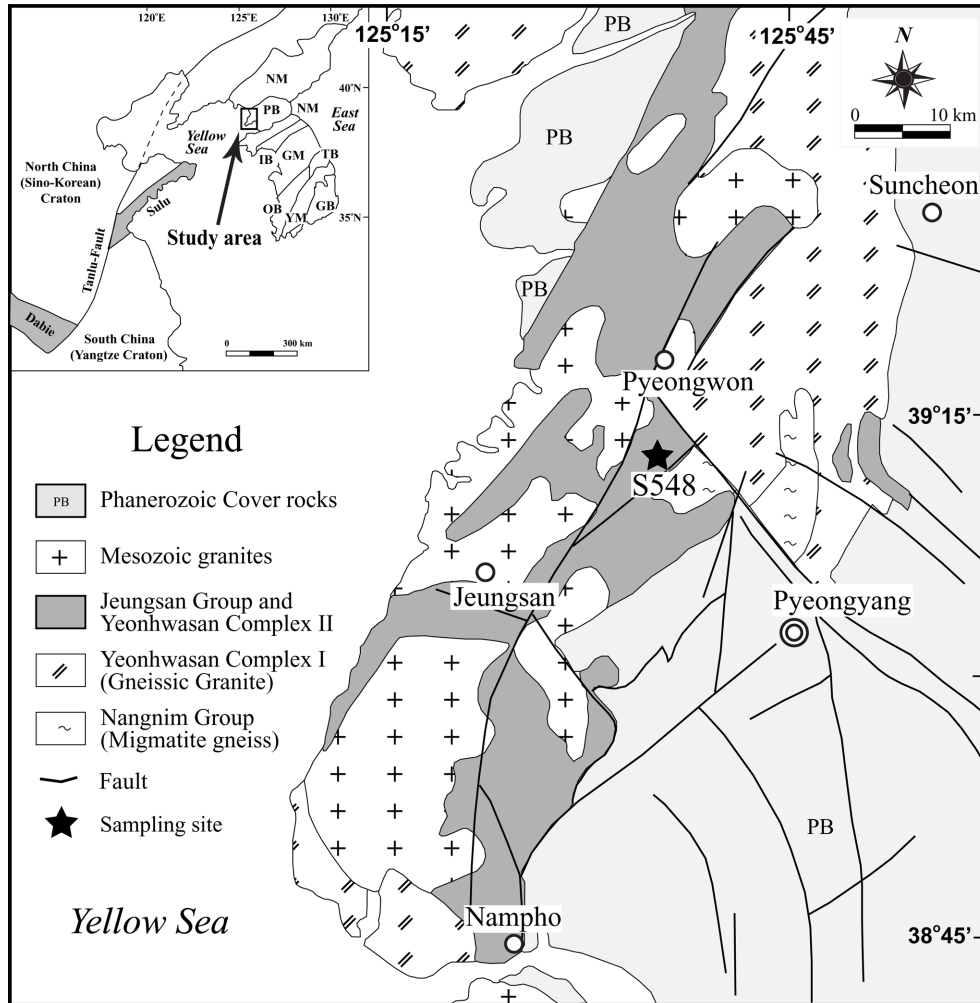


Fig. 1. Geological map of Jeung-san-Pyeongwon area, North Korea (NM, Nangnim Massif; PB, Pyeongan Basin; IB, Imjingang Belt; GM, Gyeonggi Massif; TB, Taebaeksan Basin; OB, Okcheon Belt; YM, Yeongnam Massif; GB, Gyeongsang Basin).

도로 1,000 및 2,000 메쉬 사포로 갈아냈다. 그 다음 3 μm와 1 μm의 다이아몬드 페이스트를 이용해 표면이 반짝거릴 정도로 평탄하게 추가적으로 연마하였다. 연마 정도는 실체현미경 및 반사현미경을 이용하여 검증하였고, 연마가 완료된 시료편은 세제와 증류수를 이용하여 표면을 세척하였다. 이렇게 준비된 저콘 표품에 대한 LA-ICP-MS U-Pb 연대측정은 일본 동경대학교 지진연구소에서 수행하였다. LA-ICP-MS U-Pb 연대측정 방법 및 분석 조건은 Orihashi et al.(2008)에 상세하게 나와 있다.

결과 및 토의

증산-평원지역의 편마상 화강암에서 분리한 저콘들의 Th/U 비를 살펴보면 분석된 20개 지점 중에서 뚜렷한 상속핵의 연령을 갖는 1개 지점의 값은 6.48이며, 0.07과 0.20의 비교적 낮은 값을 나타내는 두 개 지점을 제외하고는 0.31~0.80의 범위를 가지며 이는 전형적인 화성 저콘의 특징을 잘 보여주는 것으로 해석된다(Table 1). 저콘 U-Pb 동위원소 분석결과를 일직곡선(concordia) 도형에 도시하면 1개 지점이 다

Table 1. LA-ICP-MS U-Pb zircon data for the granite gneiss in Jeungsan-Pyeongwon area, North Korea.

Sequence number	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} \pm \text{Error } 2\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \pm \text{Error } 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U} \pm \text{Error } 2\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age (Ma) \pm Error 2σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ age (Ma) \pm Error 2σ	Th/U
S548-1*	0.1143 \pm 0.0017	0.3235 \pm 0.0207	5.0981 \pm 0.3345	1806.91 \pm 115.4	1835.73 \pm 120.44	0.53
S548-2	0.1144 \pm 0.0017	0.3106 \pm 0.0198	4.9001 \pm 0.3211	1743.72 \pm 111.3	1802.22 \pm 118.09	0.61
S548-3	0.1168 \pm 0.0016	0.3275 \pm 0.0209	5.2758 \pm 0.3449	1826.39 \pm 116.6	1864.89 \pm 121.90	0.69
S548-4	0.1142 \pm 0.0017	0.3249 \pm 0.0207	5.1182 \pm 0.3350	1813.76 \pm 115.8	1839.07 \pm 120.38	0.64
S548-5	0.1151 \pm 0.0016	0.3446 \pm 0.0220	5.4696 \pm 0.3574	1909.00 \pm 121.8	1895.77 \pm 123.86	0.60
S548-6	0.1155 \pm 0.0016	0.3426 \pm 0.0219	5.4563 \pm 0.3564	1899.26 \pm 121.2	1893.69 \pm 123.69	0.61
S548-7	0.1160 \pm 0.0016	0.3426 \pm 0.0219	5.4810 \pm 0.3578	1899.36 \pm 121.2	1897.56 \pm 123.87	0.63
S548-8	0.1142 \pm 0.0015	0.3320 \pm 0.0212	5.2293 \pm 0.3409	1848.13 \pm 117.9	1857.34 \pm 121.09	0.67
S548-9	0.1147 \pm 0.0015	0.3370 \pm 0.0215	5.3282 \pm 0.3472	1872.10 \pm 119.4	1873.33 \pm 122.08	0.72
S548-10	0.1138 \pm 0.0016	0.3545 \pm 0.0226	5.5602 \pm 0.3634	1956.06 \pm 124.9	1909.89 \pm 124.83	0.80
S548-11	0.1212 \pm 0.0017	0.3468 \pm 0.0076	5.7966 \pm 0.1516	1919.06 \pm 42.26	1945.83 \pm 50.88	0.07
S548-12	0.1137 \pm 0.0019	0.3245 \pm 0.0072	5.0865 \pm 0.1424	1811.87 \pm 40.35	1833.79 \pm 51.35	0.48
S548-13	0.1150 \pm 0.0017	0.3185 \pm 0.0070	5.0519 \pm 0.1356	1782.25 \pm 39.41	1827.99 \pm 49.06	0.20
S548-14	0.1528 \pm 0.0021	0.4320 \pm 0.0095	9.1032 \pm 0.2371	2314.94 \pm 51.00	2348.34 \pm 61.17	6.48
S548-15	0.1163 \pm 0.0017	0.3057 \pm 0.0067	4.9020 \pm 0.1301	1719.72 \pm 37.95	1802.54 \pm 47.82	0.43
S548-16	0.1175 \pm 0.0018	0.3115 \pm 0.0069	5.0457 \pm 0.1352	1747.98 \pm 38.64	1826.96 \pm 48.95	0.39
S548-17	0.1158 \pm 0.0019	0.3245 \pm 0.0072	5.1830 \pm 0.1443	1811.74 \pm 40.31	1849.76 \pm 51.49	0.40
S548-18	0.1159 \pm 0.0018	0.3138 \pm 0.0069	5.0147 \pm 0.1350	1759.41 \pm 38.92	1821.74 \pm 49.05	0.31
S548-19	0.1169 \pm 0.0018	0.3127 \pm 0.0069	5.0416 \pm 0.1360	1754.20 \pm 38.83	1826.28 \pm 49.27	0.69
S548-20	0.1163 \pm 0.0018	0.3093 \pm 0.0068	4.9615 \pm 0.1328	1737.38 \pm 38.40	1812.73 \pm 48.51	0.71

*Bold Characters, concordant data points.

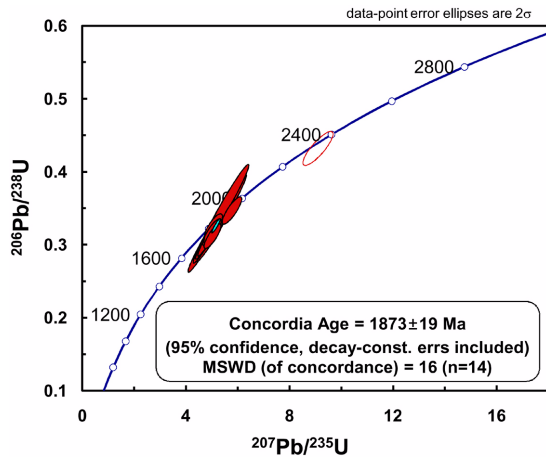


Fig. 2. Concordia plot of LA-ICP-MS U-Pb isotopic data for zircon from the granite gneiss in Jeungsan-Pyeongwon area, North Korea (solid circles: concordant data points).

른 지점과 달리 약 2348 Ma의 더 오래된 연령을 보이며, 14개 지점이 $1,873 \pm 19(2\sigma)$ Ma의 일치곡선 연령을 보인다(Fig. 2). 테플론 시트에 저콘을 심는 경우 저콘의 가장자리와 테플론 시트의 사이에 미세한 틈이 만들어진다. 이러한 이유로 탄소나 금을 이용한 전도층을 입히는 것이 용이하지 않았기 때문에 후방 산란전자(Bascattered electron, BSE) 영상이나 음극선 발광(Cathodoluminescence, CL) 영상을 얻지는 못하였다. 그러나 분석된 지점들의 대부분이 일치곡선에 놓이는 하나의 연령을 형성하는 것으로 보아 저콘 내의 상속핵 등에 의한 혼합연령이 산출되었을 가능성은 거의 없다고 판단된다.

LA-ICP-MS 저콘 U-Pb 분석의 결과는 증산-평원지역의 편마상 화강암이 고원생대 시기인 $1,873 \pm 19(2\sigma)$ Ma에 정지했음을 말해준다. 또한 이 연대는 한반도 다른 지역의 선캠브리아 기저 암석들에서 가장 빈번하게 보고된 연령과 동일하다. 최근에 보고된 연대자료들을 살펴보면 한반도의 기저암체들 중에서 논란이 있는 자료를 제외하고는(예, 박종길 외, 2004) 확실하게 시생대의 활동으로 밝혀진 것은 2508 ± 18 Ma로 보고된 대이작도의 미그마타이트질 토날라이트(Cho et al., 2008)가 유일하다고 할 수 있으며, 대부분이 고원생대의 비교적 좁은 범위 연대를 나타내는 화성 활동 및 변성작용에 의해 만들어진 것으로 나타난다. 특히 18-21억년 사이에 집중되는 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 남한의 영남육괴와 경기육괴 뿐만 아

니라 북한의 선캠브리아 기저암체들을 함께 포함하더라도 전체적인 연대 분포가 크게 달라지지는 않는 것으로 나타나고 있으며, 이 중에서도 특히 1.87 Ga 내외의 연대가 두드러진다(Table 2). Table 2에 종합한 결과를 살펴보면 영남육괴 남서부, 영남육괴 북동부, 경기육괴 화천지역, 북한의 기저암체들 등과 같이 상당히 많은 암석들이 동일하거나 매우 비슷한 연령을 나타낸다. 일부는 화성활동 시기를 나타내고 일부는 변성작용의 시기로 해석되고 있다. 이는 동일한 시기에 지역에 따라 매우 활발한 화성 및 변성작용이 있었음을 알 수 있다. 이와 같이 남북한을 통해 거의 대부분 지역에서 거의 동일한 시기의 화성 및 변성활동이 나타나는 것은 매우 중요한 의미를 갖는 것으로 생각된다.

~1.87 Ga의 화성 및 변성작용이 나타나는 것을 북중국 지괴와 대비되는 증거로 사용되는 경우도 있지만 단정적인 자료로 간주하는 것은 문제가 있다고 판단된다. 그 이유는 북중국지괴에서 시생대의 연령이 매우 특징적으로 보고되는 것에 반해 한국에서는 시생대의 연령이 거의 보고되지 않으며, 북중국에서는 1870 Ma 보다는 다소 젊은 시기의 활동이 보고되는 반면에 남중국에서도 1870 Ma의 시기와 거의 일치하는 화성활동이 보고되고 있기 때문에(Xu et al., 2007) 이러한 중국의 지괴들과의 대비는 좀 더 신중해야 할 것으로 판단된다.

결론

증산-평원지역의 편마상 화강암에서 구한 저콘의 U-Pb 일치곡선(concordia) 연령은 $1,873 \pm 19(2\sigma)$ Ma이며 고원생대에 정지한 화강암임을 나타낸다. 이러한 18~19억년의 연대는 경기육괴와 영남육괴에서 여러 암체에서 동일한 시기의 화성 및 변성연대가 보고되고 있는 것으로 볼 때, 한반도가 전체적으로 18~19억년 시기에 화성활동 또는 변성작용을 경험하였음을 나타낸다. 일반적으로 경기 및 영남 육괴의 기저암을 북중국과 대비시키고 있지만 북중국의 경우가 시기보다는 다소 젊은 연령이 주로 나타나는 반면에 북중국 지괴의 특징적인 시생대의 연령이 한반도에서는 거의 발견되지 않는다는 점과, 남중국에서는 비록 그 빈도가 드물기는 하지만 1870 Ma의 동일한 시기 활동이 보고되고 있다. 따라서 한반도와 중국의 지각대비에 대한 모델 설정은 좀 더 신중할 필요가

Table 2. Compilation of geologic ages close to ~1,870 Ma from Korean peninsula.

Locality	Rock Type	Method	Mineral	U-Pb Age (Ma)	Event	Reference
Yeongnam Massif						
Pyeonghae	Porphyroblastic gneiss	TIMS Pb SL	garnet	1840±26	Metamorphism	Sagong et al.(2003)
Yecheon	Garnet biotite gneiss	TIMS Pb SL	garnet	1835±56	Metamorphism	Sagong et al.(2003)
Sangju	Granitic gneiss	TIMS Pb SL	garnet	1845±41	Metamorphism	Sagong et al.(2003)
Jirisan	Porphyroblastic gneiss	TIMS Pb SL	garnet	1844±70	Metamorphism	Sagong et al.(2003)
Jirisan	Granitic gneiss	TIMS Pb SL	garnet	1906±11	Metamorphism	Sagong et al.(2003)
Gurye	Granitic gneiss	TIMS Pb SL	garnet	1850±9	Metamorphism	Sagong et al.(2003)
Jirisan	Leucogranite dike	SHRIMP	zircon	1864±5	Intrusion	Cho et al.(2002a)
Dongbok	Granite gneiss	SHRIMP	zircon	1873±3	Metamorphism	Cho et al.(2002b)
Samcheok	Migmatitic gneiss	SHRIMP	monazite	1877±5	Metamorphism	Yi et al.(2006)
Jangsu	Banded biotite gneiss	SHRIMP	zircon	1860±17	Metamorphism	Cho and Kim, Y.B.(2003)
Imwon	Leucogranite gneiss	TIMS	zircon	1826±20	Plutonic emplacement	Chang et al.(2003)
Naedeok-ri	Granite	TIMS Pb-Pb	WR	1825±86	Plutonic emplacement	Park et al.(1993)
Naedeongni-Nonggeori	Granite	TIMS Sm-Nd	WR	1865±120	Plutonic emplacement	Lee et al.(2005)
Pyeonghae	Wonnam Group metasediment	TIMS Pb SL	garnet	1840±26	Metamorphism	Cheong et al.(2000)
Juam	Porphyroblastic gneiss	TIMS	zircon	1890±6	Plutonic emplacement	Turek and Kim(1996)
Gyeonggi Massif						
Yangyang	Rapakivi granite	SHRIMP	zircon	1839±10		Zhai et al.(2005)
Odaesan	Granulite	SHRIMP	zircon	1852±14	Plutonic emplacement	Oh et al.(2006)
Hwacheon	Granulite	SHRIMP	monazite	1860±11	Metamorphism	Yi et al.(2008)
Hwacheon	mylonitic schist	SHRIMP	zircon	1858±17	Metamorphism	Yi et al.(2008)
Hwacheon	Granulite	SHRIMP	zircon	1872±7	Metamorphism	Lee et al.(2000)
Hwacheon	Granulite	TIMS Pb SL	garnet	1865±4	Metamorphism	Sagong et al.(2003)
Munsan	grt-bt banded gneiss	TIMS Pb SL	garnet	1862±34	Metamorphism	Sagong et al.(2003)
Pocheon	Biotite gneiss	SHRIMP	zircon	1867±14	Metamorphism	Cho and Kim, Y.J.(2003)
Pocheon	Leucogranite dyke	SHRIMP	zircon	1874±8	Partial Melting	Cho and Kim, Y.J.(2003)

Table 2. Continued

Locality	Rock Type	Method	Mineral	U-Pb Age (Ma)	Event	Reference
Hongseong	Sandstone of Nampo Group	SHRIMP	zircon	1853±12	Protolith age of sedimentary rock	Jeon et al.(2007)
Hongseong	Porphyroblastic gneiss	SHRIMP	zircon	1881±11	Plutonic emplacement	Kim et al.(2008)
Buyeo	Porphyroblastic gneiss	SHRIMP	zircon	1875±13	Plutonic emplacement	Kim et al.(2008)
North Korea						
Myohyangsan	Rapakivi granite	SHRIMP	zircon	1861±7	Plutonic emplacement	Zhai et al.(2007)
Myohyangsan	Massive porphyritic monzogranite	SHRIMP	zircon	1843±11	Plutonic emplacement	Zhao et al.(2006)
Jungsan	Sillimznite-garnet granite	SHRIMP	zircon	1908±12	Metamorphism	Zhao et al.(2006)
Goseong	Garnet monzogranite	SHRIMP	zircon	1903±49	Metamorphism	Zhao et al.(2006)
Icheon(Ichon)	Massive porphyritic monzogranite	SHRIMP	zircon	1868±10	Plutonic emplacement	Zhao et al.(2006)
NW ofPyeongyang	Massive porphyritic monzogranite	SHRIMP	zircon	1866±21	Plutonic emplacement	Zhao et al.(2006)
NW ofHaeju	Massive porphyritic monzogranite	SHRIMP	zircon	1854±12	Plutonic emplacement	Zhao et al.(2006)
Gosan	Two mica granite	LA-ICPMS	zircon	1885±9	Plutonic emplacement	Wu et al.(2007a)
Gosan	Foliated monzogranite	LA-ICPMS	zircon	1898±9	Plutonic emplacement	Wu et al.(2007a)
Daedong-gang	River sediment	LA-ICPMS	zircon	1809±4	Protolith event	Wu et al.(2007b)
Cheongcheon-gang	River sediment	LA-ICPMS	zircon	1811±7	Protolith event	Wu et al.(2007b)
Songcheon	River sediment	LA-ICPMS	zircon	1862±7	Protolith event	Wu et al.(2007b)

있으며, 여러 지역의 암체에 대한 추가적인 연대자료의 축적이 필요할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구이다 (KRF-2008-313-C00907). 원고를 준비하는 과정에서 수고해준 부경대학교 환경지질학과와 대학원생들과 작성된 원고를 읽고 건설적 비평을 해주신 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

- 박계현, 김동연, 송용선, 2001, 지리산 지역 차노카이트와 함티탄철석 회장암질암의 Sm-Nd 광물연대 및 성인적 관계. *암석학회지*, 10, 27-35.
- 박계현, 송용선, 박맹언, 이승구, 류호정, 2000, 동북아시아 지역 선캄브리아 지괴에 대한 암석학, 지구화학 및 지구연대학적 연구: 1. 지리산 지역 변성암의 변성연대. *암석학회지*, 9, 29-39.
- 박계현, 송용선, Cao Lin, Jin Wei, Zhang Xingzhou, 2004, 경기육괴 편마암의 흑운모와 사장석 ^{40}Ar - ^{39}Ar 연대. *암석학회지*, 13, 152-160.
- 박계현, 정창식, 이광식, 장호완, 1993, 태백산지역의 고기 화강암 및 화강편마암류에 대한 납 동위원소 연구. *지질학회지*, 29, 387-395.
- 박종길, 김성원, 오창환, 2004, 옥천변성대 북동부 계명산층 변성화성암에 대한 시생대 연령의 해석의 문제점 및 재해석. *암석학회지*, 13, 244-246.
- 박종길, 김성원, 오창환, 김형식, 2003, 옥천변성대 북서부 계명산층 내 변성화성암류의 지구화학 및 지구연대학적 연구와 그 지구조적 의미. *암석학회지*, 12, 155-169.
- 송용선, 박계현, 박맹언, Cao Lin, Jin Wei, Zhang Xingzhou, 류호정, 2001, 동북아시아지역 선캄브리아 지괴에 대한 암석학, 지구화학 및 지구연대학적 연구: 2. 경기육괴 일부 변성암의 저어콘 연대. *암석학회지*, 10, 95-105.
- 이기욱, 김정민, 정창식, 조문섭, Ian S. Williams, 2006, 영남육괴 북부지역 미그마타이트질 편마암에서 산출하는 모나자이트의 표면 U-Pb 연대 - 한반도 고원생대의 고온변성작용. 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, 4.
- 이기욱, 조문섭, Ian S. Williams, 안인수, 정창식, 2008, SHRIMP를 이용한 모나자이트 U-Th-Pb 연대측정 및 산소동위원소 예비분석. 한국암석학회한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 33.
- 이승구, 김용제, 김진환, 2005, 영남육괴 중부 무주 지역에 위치하는 선캄브리아기 화강편마암 및 앰피블라이트 시추코아의 Sm-Nd 연대 및 지구화학적 특징. *암석학회지*, 14, 127-140.
- 정창식, 길영우, 김정민, 정연중, 임창복, 2004, 영남육괴 북동부 죽변 지역 선캄브리아기 기반암류의 지구화학적 특징. *지질학회지*, 40, 481-499.
- 조동룡, 김용준, 2003, 경기육괴 포천 지역의 흑운모 편마암과 우백질 화강암맥에 대한 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 측정: 광역변성작용 연령 및 퇴적시기의 제한. 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, 76.
- 조동룡, 김용준, Richard Armstrong, 2002a, 영남육괴 지리산 지역에 분포하는 변성퇴적암과 우백대의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대측정: 원생대 전기 (2,002 Ma - 1,864 Ma)의 퇴적과 광역변성작용. 한국지원공학회대한지질학회 환경지질학회한국지구물리탐사학회대한지질학회 춘계 공동학술발표회 논문집, 283-285.
- 조동룡, 김용준, Richard Armstrong, 2002b, 영남육괴 지리산 지역의 동북 화강편마암에 대한 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대와 이의 선캄브리아 지체구조적 의미. 한국암석학회 한국광물학회 공동학술발표회 논문집, 31-33.
- 조동룡, 김용준, Richard Armstrong, 2006, 서산층군 함철규암의 쇄설성 저어콘에 대한 SHRIMP U-Pb 연대: 시대와 층서의 제한. *암석학회지*, 15, 119-127.
- 조동룡, 김유봉, 2003, 장계-장수 지역의 영남육괴 선캄브리아 기반암류에 대한 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 측정: 고원생대의 지질사건. 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, 77.
- 조동룡, Kazuhiro Suzuki, 최위찬, Maromu Adachi, 2007, 경기육괴 북동부 고성-간성 지역 선캄브리아 암석의 CHIME 연대와 그 지체구조적 의미. *암석학회지*, 16, 1-11.
- 조문섭, 김태훈, 김현철, 2004, 옥천변성대 규장질 변성응회암의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대: 신원생대(약 7.5억 년전) 화산활동. *암석학회지*, 13, 119-125.
- Chang, H.-W., Turek, A., and Kim, C.-B., 2003, U-Pb zircon geochronology and Sm-Nd isotopic constraint for Precambrian plutonic rocks in the northeastern part of Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 37, 471-491.
- Cheong, C.-S., Kwon, S.-T., and Park, K.-H., 2000, Pb and Nd isotopic constraints on Paleoproterozoic crustal evolution of the northeastern Yeongnam massif, South Korea. *Precambrian Research*, 102, 207-220.
- Cho, M., Kim, H., Lee, Y., Horie, K., and Hidaka, H., 2008, The oldest (ca. 2.51 Ga) rock in South Korea: U-Pb zircon age of a tonalitic migmatite, Daejok Island, western Gyeonggi massif. *Geosciences Journal*, 12, 1-6.
- Jeon, H., Cho, M., Kim, H., Horie, K., and Hidaka, H., 2007, Early Archean to Middle Jurassic evolution of the Korean Peninsula and its correlation with Chinese cratons: SHRIMP U-Pb zircon age constraints. *The Journal of Geology*, 115, 525-539.
- Kim, C.B., Turek, A., Chang, H.W., Park, Y.S. and Ahn, K.S., 1999, U-Pb zircon ages for Precambrian and Mesozoic plutonic rocks in the Seoul-Cheongju-Chooncheon area, Gyeonggi massif, Korea. *Geochem. J.* 33, 379-397.
- Kim, J. and Cho, M., 2003, Low-pressure metamorphism

- and leucogranic magmatism, northeastern Yeongnam Massif, Korea: implication for Paleoproterozoic crustal evolution. *Precambrian Research*, 122, 235-251.
- Kim, S.W., Williams, I.S., Kwon, S., and Oh, C.W., 2008, SHRIMP zircon geochronology, and geochemical characteristics of metaplutonic rocks from the south-western Gyeonggi Block, Korea: implications for Paleoproterozoic to Mesozoic tectonic links between the Korean Peninsula and eastern China. *Proceedings of the Annual Joint Conference, Petrological Society of Korea and Mineralogical Society of Korea*, 26-29.
- Lee, S.-G., Shin, S.-C., Jin, M.-S., Ogasawara, M., and Yang, M.K., 2005, Two Paleoproterozoic strongly peraluminous granitic plutons (Nonggeori and Naedeokri granites) at the northern part of Yeongnam Massif, Korea: geochemical and isotopic constraints in east Asian crustal formation history. *Precambrian Research*, 139, 101-120.
- Lee, S.R., Cho, M., Yi, K., and Stern, R.A., 2000, Early Proterozoic granulites in central Korea: tectonic correlation with Chinese cratons. *The Journal of Geology*, 108, 729-738.
- Oh, C.W., Kim, S.W., and Williams, I.S., 2006, Spinel granulite in Odesan area, South Korea: tectonic implications for the collision between the North and South China blocks. *Lithos*, 92, 557-575.
- Orihashi, Y., Nakai, S., and Hirata, T., 2008, U-Pb age determination for seven standard zircon using inductively coupled plasma-mass spectrometry coupled with frequency quintupled Nd-YAG ($\lambda=213$ nm) laser ablation system: comparison with LA-ICP-MS zircon analysis with a NIST glass reference material. *Resource Geology*, 58, 101-123.
- Paek, R.J., Kang, H.G., and Jon, G.P., 1996, *Geology of Korea*. Pyongyang Korea. 631.
- Sagong, H., Cheong, C.-S., and Kwon, S.-T., 2003, Paleoproterozoic orogeny in South Korea: evidence from Sm-Nd and Pb step-leaching garnet ages of Precambrian basement rocks. *Precambrian Research*, 122, 275-295.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1996, U-Pb zircon ages for Precambrian rocks in southwestern Ryeongnam and south-western Gyeonggi massifs, Korea. *Geochem. J.*, 30, 231-249.
- Wu, F.-Y., Han, R.-H., Yang, J.-H., Wilde, S.A., Zhai, M.-G., and Park, S.-C., 2007a, Initial constraints on the timing of granitic magmatism in North Korea using U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 238, 232-248.
- Wu, F.-Y., Yang, J.-H., Wilde, S.A., Liu, X.-M., Guo, J.-H., and Zhai, M.-G., 2007b, Detrital zircon U-Pb and Hf isotopic constraints on the crustal evolution of North Korea. *Precambrian Research*, 159, 155-177.
- Xu, X., O'Reilly, S.Y., Griffin, W.L., Wang, X., Pearson, N.J., and He, Z., 2007, The crust of Cathaysia: age, assembly and reworking of two terranes. *Precambrian Research*, 158, 51-78.
- Zhai, M., Guo, J., Peng, P., and Hu, B., 2007, U-Pb zircon age dating of a rapakivi granite batholith in Rangnim massif, North Korea. *Geological Magazine*, 144, 547-552.
- Zhai, M., Ni, Z., Oh, C.W., Guo, J., and Choi, S.G., 2005, SHRIMP zircon age of a Proterozoic rapakivi granite batholith in the Gyeonggi massif (South Korea) and its geological implications. *Geol. Mag.*, 142, 23-30.
- Zhao, G., Cao, L., Wilde, S.A., Sun, M., Choe, W.J., and Li, S., 2006, Implications based on the first SHRIMP U-Pb zircon dating on Precambrian granitoid rocks in North Korea. *Earth and Planetary Science Letters*, 251, 365-379.

2009년 2월 27일 접수
 2009년 3월 2일 심사개시
 2009년 4월 6일 채택