



Short Note

영남육괴 북동부 원남층 변성퇴적암에서 발견된 후기 고생대 저어콘 연령

곽유정¹, 이승은¹, 최태진², 박승익^{1,*}

¹경북대학교 지질학과

²한국교원대학교 지구과학교육과

Late Paleozoic detrital zircon ages from metasedimentary rocks of the Wonnam Formation in northeastern Yeongnam Massif

Yujung Kwak¹, Seung-Eun Lee¹, Taejin Choi², Seung-Ik Park^{1,*}

¹Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea

²Department of Earth Science Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Republic of Korea

Received: June 12, 2025 / Revised: July 29, 2025 / Accepted: August 4, 2025

*Corresponding author: +82-53-950-5361 / E-mail: psi@knu.ac.kr

요약: 영남육괴 북동부 원남층의 기존 연대 해석이 쇄설성 저어콘 U-Pb 연령 분석을 통해 재검토되었다. 기존에 선캄브리아시대 지층으로 분류되었던 봉화군 재산면 일대 원남층에서 운모편암과 석영-백운모편암을 채취하여 LA-ICP-MS 분석을 수행하였다. 운모편암에서는 1901, 1864 Ma의 고원생대 피크와 함께 332 Ma (석탄기)의 고생대 연령이 나타났으며, 석영-백운모편암에서는 2336, 1866 Ma의 고원생대 피크와 더불어 530, 498 Ma (캄브리아기), 401, 375 Ma (데본기), 331, 309 Ma (석탄기), 275 Ma (페름기)의 현생누대 피크가 확인되었다. 이 결과는 기존에 선캄브리아시대 원남층으로 분류된 변성퇴적암 중 적어도 일부가 후기 고생대 또는 그 이후에 퇴적되었음을 지시한다. 또한 영남육괴 내 고생대 변성퇴적암의 분포가 기존에 알려진 것보다 광범위할 가능성을 제시하며, 영남육괴의 층서 체계와 지사에 대한 근본적 재검토가 필요함을 시사한다.

주요어: 원남층, 영남육괴, 쇄설성 저어콘, LA-ICP-MS, 후기 고생대

ABSTRACT: The Precambrian age of the Wonnam Formation in the northeastern Yeongnam Massif has been re-examined through detrital zircon U-Pb age analysis. LA-ICP-MS analysis was performed on mica schist and quartz-muscovite schist samples collected from the Wonnam Formation in the Jaesan-myeon, Bonghwa-gun, which had been previously classified as Precambrian strata. The mica schist revealed Paleoproterozoic age peaks at 1901, 1864 Ma along with a Paleozoic peak at 332 Ma (Carboniferous), while the quartz-muscovite schist exhibited Paleoproterozoic peaks at 2336 and 1866 Ma as well as Phanerozoic peaks at 530 and 498 Ma (Cambrian), 401 and 375 Ma (Devonian), 331 and 309 Ma (Carboniferous), and 275 Ma (Permian). These results indicate that at least some of the metasedimentary rocks previously classified as the Precambrian Wonnam Formation were deposited during the Late Paleozoic or later. Furthermore, this suggests that Paleozoic metasedimentary rocks in the Yeongnam Massif may be distributed more extensively than previously known, and implies that reconsideration of the stratigraphic framework and geological history of the Yeongnam Massif is necessary.

Key words: Wonnam Formation, Yeongnam Massif, detrital zircon, LA-ICP-MS, late paleozoic

1. 서론

한반도의 기반암은 전통적으로 세 개의 육괴(남령, 경기, 영남육괴)로 구분되어 왔으며(Kobayashi, 1933), 이러한 분류 체계는 다수의 국내 연구에서 보편적으로 사용되고 있다(Lee *et al.*, 1992; Lee and Cho, 2012; Kee *et al.*, 2019). 그러나 선캄브리아시대 암석으로 주로 구성된 것으로 알려졌던 한반도 육괴 내부에서 최근 고생대 퇴적작용 및 그 이후 변성·변형작용 기록들이 발견됨에 따라(e.g., Yang and Cho, 1995; Cheong *et al.*, 2015; Kim and Yi, 2015; Kim, 2019), 기존 육괴의 정의와 영역에 대한 재검토가 필요한 상황이다.

영남육괴는 한반도를 구성하는 육괴 중 가장 남쪽에 분포하며, 백악기 경상분지와 고생대 태백산분지의 기반암을 이룬다(그림 1a; Choi, 2019a, 2019b; Kee *et al.*, 2019). 영남육괴는 주로 고원생대 혼성암질 편마암, 화강암질 편마암, 호상편마암, 결정질 편암, 그리고 화강암류로 구성된 것으로 알려져 있다(Lee and Cho, 2012). 영남육괴 북동부에는 선캄브리아시대 고원생대 변성퇴적암으로 분류된 원남층이 넓게 분포한다(그림 1b; Kim and Cho, 2003; Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2014). 그러나 원남층 내에는 화성암과 퇴적암 기원의 암석들이 혼재하고 있어(Kim, O.J. *et al.*, 1963a, 1963b; Son and Kim, 1963; Kim, S.W. *et al.*, 2009;

Kim, N. *et al.*, 2014), 암상 재분류와 각 암상의 원암 형성 시기 규명을 통한 암층서 재정의가 요구된다. 본 연구에서는 원남층을 구성하는 변성퇴적암의 형성시기를 규명하기 위해 봉화군 재산면 일대 시료에서 쇄설성 저어콘의 LA-ICP-MS 연령측정을 수행하였다. 이를 통해 확인된 고생대 쇄설성 저어콘 연령은 영남육괴 북동부의 층서 및 지사 해석에 중요한 기초자료를 제공할 것으로 기대한다.

2. 지질개요

영남육괴 북동부는 주로 선캄브리아시대 변성퇴적암과 화강암질 암석으로 구성되어 있다(그림 1b; Kim *et al.*, 2014; Kee *et al.*, 2019). 이 지역 남부의 암석들은 최초로 하부로부터 평해통, 기성통, 원남통, 울리통 및 이를 관입한 분천화강편마암으로 구분되었다(Kim *et al.*, 1963a, 1963b). 그러나 후속 연구에서는 이러한 층서 구분에 대한 재해석이 이루어졌다. 일부 연구자들은 기성통을 별개의 지층이 아닌 연성전단운동에 의해 압쇄암화된 암석으로 해석하였으며, 평해통과 원남통의 암상 유사성을 근거로 이들을 동일한 층서 단위로 간주하였다(Kim *et al.*, 2002). 한편 최근 연구에서는 시층서 단위인 ‘통(series)’ 대신 암층서 단위인 ‘층군(group)’을 사용하여 해당 층서 단위를 재명명하고 있다. 후술할 암층서 단위 지층명의 경우 일부

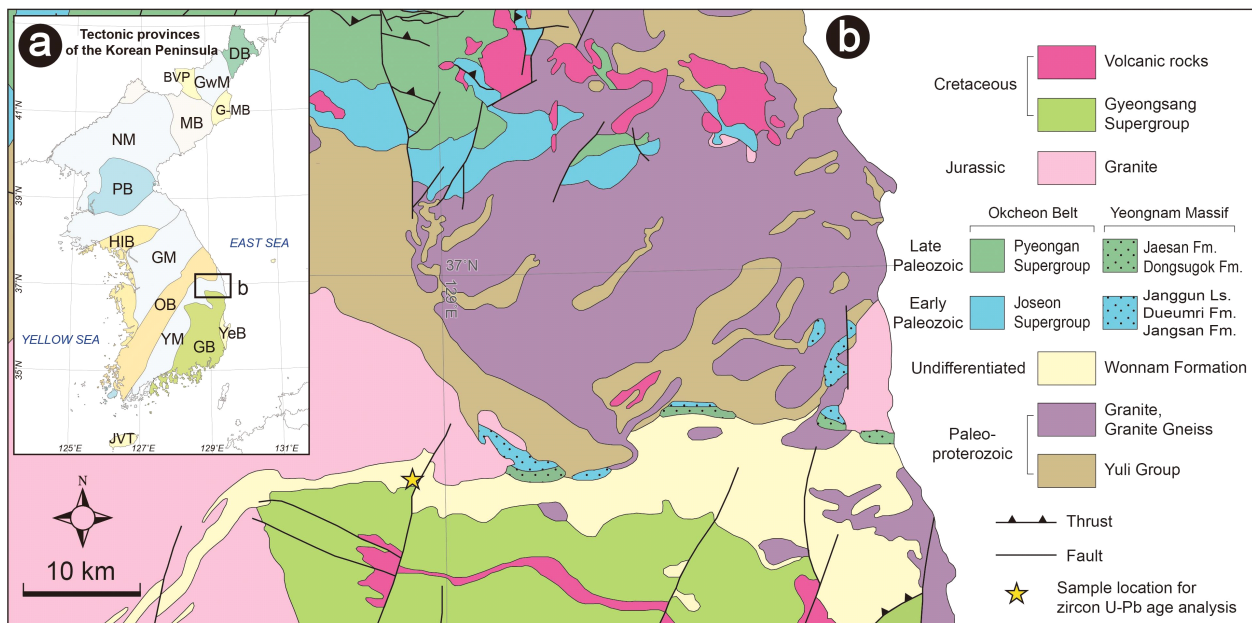


Fig. 1. (a) Tectonic provinces of the Korean Peninsula (Modified after Kee *et al.*, 2019). Abbreviations: DB, Dumangang Belt; BVP, Baekdusan Volcanic Plateau; GwM, Gwanmo Massif; G-MB, Gilju-Myeongcheon Basin; MB, Macheollyeong Belt; NM, Nangrim Massif; PB, Pyeongnam Basin; HIB, Hongseong-Imjingang Belt; GM, Gyeonggi Massif; OB, Okcheon Belt; YB, Yeongnam Massif; GB, Gyeongsang Basin; YeB, Yeonil Basin; JVT, Jeju Volcanic Terrain. (b) The geological map of the northeastern Yeongnam Massif (Modified after Kee *et al.*, 2019). The sample location for zircon U-Pb age analysis is indicated. Abbreviations: Fm, Formation; Ls, Limestone.

원래 제안된 명칭과 차이를 보이더라도 International stratigraphic guide (Salvador, 1994)의 지침 및 최근 발간된 논문을 고려하여 ‘지역명+층’ 또는 ‘지역명+대표암상’으로 기술하였다.

본래 원남층으로 정의되었고 현재 원남층군으로 불리는 변성퇴적암류는 원남층, 동수곡층, 장군석회암, 그리고 두음리층으로 구성된다(Kim *et al.*, 1963a). 각 층의 암상적 특징을 살펴보면, 본 연구의 대상인 원남층은 주로 변성사질암과 변성이질암의 호층으로 이루어져 있으며, 석회암, 규암, 다양한 편암 및 편마암을 포함한다(Son and Kim, 1963). 동수곡층은 담갈색 천매암, 견운모 편암, 근청색 편암과 얇은 석회암층을 포함한다. 장군석회암은 주로 석회암으로 구성되며 일부 규암층을 포함한다. 두음리층은 운모편암, 천매암, 근청색 편암, 그리고 사질 슬레이트로 구성된다.

주목할 점은 선캄브리아시대로 간주되었던 원남층군이 하부 고생대 장산층 및 상부 고생대 재산층과 인접하여 분포한다는 것이다(Kim *et al.*, 1963a, 1963b). 봉화군 소천면 장군봉 일대에 분포하는 장산층은 백색, 담황색, 담갈색을 띠는 조립 규암층으로, 편암화된 부분과 견운모를 포함하는 부분이 많다. 재산층은 암회색 또는 흑색의 세일과 사암을 포함하며, 천매암화 또는 편암화를 겪은 부분도 있다. 이 지층은 평안누층군과의 대비를 통해 페름기 지층으로 분류되었다(Kim *et al.*, 1963a).

이후 태백산분지 고생대 지층과의 대비 연구를 통해 원남층군을 구성하는 변성퇴적암의 시대 해석에 변화가 있었다. 일부 연구에서는 암상 대비와 지층 역전 해석을 통해 원남층군 내 동수곡층, 장군석회암, 두음리층을 모두 고생대층으로 재해석하였다(그림 1b; Ahn *et al.*, 1993; Yang and Cho, 1995; Kang *et al.*, 1997). 이러한 해석은 최근 동수곡층의 절대연령 측정 결과에 의해 뒷받침된다. 장군봉 지역 동수곡층은 후기 트라이아스기-페름기(210-285 Ma) U-Pb 연령을 보이는 쇠설성 저어콘을 함유한다(Kim and Yi, 2015; Kim, 2019). 동수곡층은 재산층과 더불어 태백산분지 내 평안누층군보다 높은 변성도를 보이지만(Kim *et al.*, 1996; Kim and Yi, 2015), 시기적으로는 서로 대비될 수 있다. 현재 원남층군을 구성하는 지층 중 동수곡층, 장군석회암, 그리고 두음리층은 고생대층으로 인식되고 있으나, 원남층만은 여전히 선캄브리아시대 고원생대 지층으로 기재되고 있다(Kee *et al.*, 2019). 이는 원남층으로 분류된 변성퇴적암에서 수행된 쇠설성 저어콘 U-Pb 연령측정 결과, 현생이연 저어콘 없이 고원생대 연대 피크가 지배적으로 관찰되었고, 주변 고원생대 화강암이 관입했다는 해석 아래 2.1-1.98 Ga의 퇴적시기가 제안되었기 때문이다(Kim *et al.*, 2012, 2014).

3. 쇠설성 저어콘 U-Pb 연령

3.1. 분석 시료

경상북도 봉화군 재산면 일대에서 기존에 선캄브리아시대 원남층으로 분류되었던 운모편암(MG033-1: N36°50'41.04", E128°58'7.85")과 석영-백운모편암(MG033-2: N36°50'41.18", E128°58'7.96")에 대해 쇠설성 저어콘 U-Pb 연대측정을 수행하였다. 분석된 운모편암과 석영-백운모편암은 연속적인 노두에서 산출되며, 규암 및 석회암과 교호한다. 이들은 모두 동-서 방향의 주향을 가지고 북쪽으로 경사하며, 비대칭 습곡과 파랑벽개를 보인다. 노두에서 담회색-암회색을 보이는 운모 편암은 주로 석영과 백운모로 구성되며 운모류의 비율이 높다(그림 2a). 석영 입자는 대부분 0.01-0.06 mm 직경을 가지며, 백운모 입자는 약 0.3 mm의 장축 길이를 보인다(그림 2b). 열은 황갈색에서 회백색을 띠는 석영-백운모 편암은 석영과 백운모를 주요 구성광물로 하며, 일부 구간에서 석류석 반상변정을 포함한다(그림 2c). 석영 입자의 직경은 0.03-0.25 mm이며, 백운모는 최대 0.4 mm의 얇은 판상으로 산출된다(그림 2d). 두 암상 모두 박편상에서 석영이 파동소광하고 신장된 형태로 관찰되며, 운모는 엽리면을 정의하고 운모 물고기(mica fish) 형태로 관찰되기도 한다(그림 2b, 2d).

3.2. 분석 방법

쇠설성 저어콘 U-Pb 연대측정을 위해 운모편암과 석영-백운모편암 시료를 각각 약 2 kg 씩 채취하였다. 채취된 시료를 실험실에서 분쇄한 후 자성 분리와 중액 분리를 통해 중광물을 농집시키고, 수작업으로 저어콘 입자들을 분리하였다. 분리된 저어콘 중 무작위로 선택한 약 200개 입자를 기준 저어콘(reference zircons)과 함께 에폭시 디스크에 마운트하고 연마하였다. 저어콘 형태와 내부구조는 후방산란 전자(backscattered electron) 및 음극선발광(cathodoluminescence) 이미지를 통해 관찰하였다. 내부구조 분석을 바탕으로 주로 입자 가장자리(rim) 부분에서 각 시료당 190개와 197개의 분석 지점을 선정하였다. U-Pb 연대측정은 WuhanSampleSolution Analytical Technology Co., Ltd.의 Agilent 7900 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS; induced coupled plasma-mass spectrometry)와 GeoLas HD 레이저 식마 시스템을 이용하여 수행하였다. 미량원소 보정을 위해 NIST610 표준시료를, 동위원소 비율 보정을 위해 91500 표준시료를 사용하였다. LA-ICP-MS 분석 조건은 레이저 빔 직경 24 μm , 주파수 5 Hz, 레이저 에너지 80 mJ로 설정하였다. 분석 자료는 ISOPLOT 소프트웨어(Ludwig, 2012)를 이용하여 처리하였다. 저어콘의 U-Pb 연령은 1000 Ma 이하인 경우 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 연령을, 1000 Ma 이상인 경우

$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 연령을 적용하였다. 쇄설성 저어콘 해석에는 $\pm 10\%$ 이하의 불일치도를 보이는 분석결과만을 사용하였다.

3.3. 분석 결과

MG033-1(운모편암)과 MG033-2(석영-백운모편암)의 저어콘 입자들은 대부분 반자형에서 타형의 형태를 보인다

(그림 3). 많은 입자들이 중심부에 상속핵을 포함하며, 진동누대구조(oscillatory zoning) 또는 카오틱(chaotic)한 조직을 보인다. 대부분의 입자에서 재결정 또는 과성장된 부분이 관찰되며, 이러한 부분들은 특별한 조직을 보이지 않는 경우가 많다. 저어콘의 장축 길이는 운모편암에서 약 82-190 μm , 석영-백운모 편암에서 약 82-231 μm 범위를

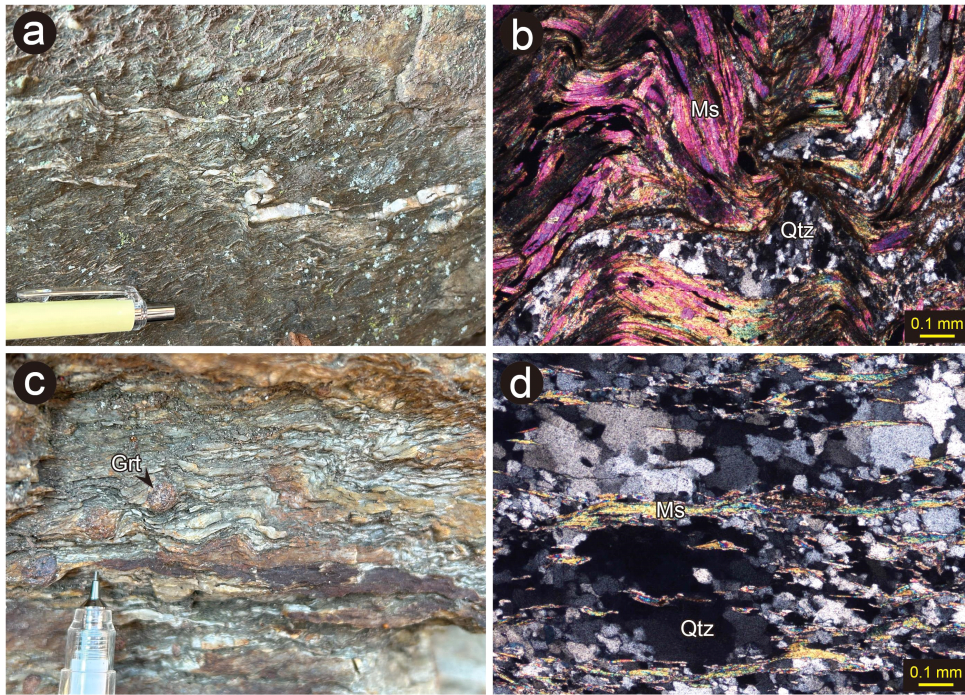


Fig. 2. (a) Outcrop photograph of the mica schist. (b) Cross-polarized light (XPL) photomicrograph of the mica schist. (c) Outcrop photograph of the quartz-muscovite schist. (d) Cross-polarized light (XPL) photomicrograph of the quartz-muscovite schist. Abbreviations: Ms, Muscovite; Qtz, Quartz; Grt, Garnet.

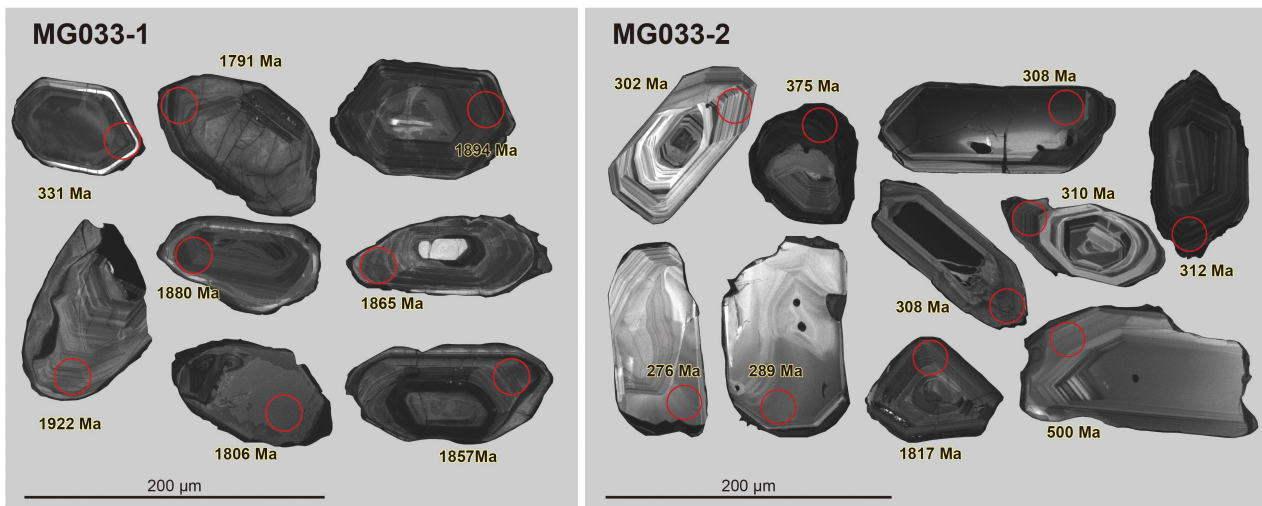


Fig. 3. Scanning electron microscope cathodoluminescence (SEM-CL) images of representative sectioned zircon grains from the mica schist (MG033-1) and quartz-muscovite schist (MG033-2). Red circles indicate analytical spots with corresponding U-Pb ages.

Table 1. Detrital zircon U-Pb isotopic data from sample MG033-1.

Sample name	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb- ²⁰⁶ Pb age (Ma)	1σ	²³⁵ U- ²⁰⁷ Pb age (Ma)	1σ	²³⁸ U- ²⁰⁶ Pb age (Ma)	1σ	Disc. (%)
MG033-1-23	0.59	0.05152	0.00138	0.37464	0.01084	0.05272	0.00066	265	56	323.1	8.0	331.2	4.0	-2.5%
MG033-1-85	0.16	0.10939	0.00178	4.31826	0.08334	0.28520	0.00321	1791	31	1696.9	16.0	1617.5	16.1	9.7%
MG033-1-83	0.09	0.11035	0.00164	4.66096	0.07628	0.30572	0.00304	1806	21	1760.3	13.7	1719.6	15.0	4.8%
MG033-1-82	0.12	0.11081	0.00147	4.51195	0.07249	0.29413	0.00279	1813	24	1733.2	13.4	1662.1	13.9	8.3%
MG033-1-88	0.31	0.11082	0.00163	5.07474	0.07601	0.33084	0.00268	1813	26	1831.9	12.8	1842.4	13.0	-1.6%
MG033-1-05	0.41	0.11092	0.00186	5.39390	0.09162	0.35159	0.00316	1815	36	1883.9	14.6	1942.2	15.1	-7.0%
MG033-1-19	0.09	0.11099	0.00179	5.32614	0.09454	0.34700	0.00355	1817	34	1873.1	15.2	1920.3	17.0	-5.7%
MG033-1-04	0.16	0.11110	0.00153	5.18894	0.08010	0.33715	0.00291	1818	25	1850.8	13.2	1872.9	14.1	-3.0%
MG033-1-06	0.17	0.11126	0.00180	5.02796	0.07985	0.32662	0.00274	1820	30	1824.0	13.5	1822.0	13.4	-0.1%
MG033-1-02	0.15	0.11122	0.00161	5.14385	0.07903	0.33458	0.00305	1820	31	1843.4	13.1	1860.6	14.8	-2.2%
MG033-1-133	0.13	0.11138	0.00184	4.58664	0.07664	0.29782	0.00263	1822	30	1746.8	14.0	1680.5	13.1	7.8%
MG033-1-20	0.14	0.11159	0.00178	5.13451	0.08390	0.33288	0.00277	1826	29	1841.8	13.9	1852.3	13.4	-1.5%
MG033-1-18	0.24	0.11176	0.00196	5.12625	0.09468	0.33191	0.00321	1828	33	1840.5	15.7	1847.6	15.6	-1.1%
MG033-1-87	0.15	0.11186	0.00169	4.93125	0.07808	0.31871	0.00284	1831	28	1807.6	13.4	1783.4	13.9	2.6%
MG033-1-78	0.14	0.11197	0.00198	5.17592	0.08985	0.33459	0.00283	1832	33	1848.7	14.8	1860.6	13.7	-1.6%
MG033-1-01	0.08	0.11147	0.00179	4.98801	0.08333	0.32349	0.00260	1833	30	1817.3	14.2	1806.7	12.7	1.5%
MG033-1-102	0.18	0.11219	0.00197	5.08095	0.09302	0.32749	0.00316	1835	32	1832.9	15.6	1826.2	15.4	0.5%
MG033-1-21	0.16	0.11224	0.00174	5.00666	0.08001	0.32261	0.00249	1836	28	1820.4	13.6	1802.5	12.2	1.8%
MG033-1-58	0.34	0.11227	0.00325	4.91744	0.08633	0.31598	0.00280	1837	52	1805.3	14.9	1770.1	13.8	3.6%
MG033-1-99	0.18	0.11232	0.00164	5.05365	0.07321	0.32537	0.00206	1839	27	1828.4	12.3	1815.9	10.1	1.3%
MG033-1-141	0.26	0.11243	0.00166	4.97890	0.07480	0.32049	0.00272	1839	26	1815.7	12.8	1792.1	13.3	2.6%
MG033-1-90	0.19	0.11243	0.00193	5.18601	0.09125	0.33259	0.00286	1839	30	1850.3	15.0	1850.9	13.9	-0.6%
MG033-1-130	0.14	0.11247	0.00157	5.08709	0.07606	0.32675	0.00270	1840	25	1834.0	12.7	1822.6	13.2	0.9%
MG033-1-116	0.16	0.11253	0.00179	4.81988	0.08143	0.30935	0.00287	1840	28	1788.4	14.3	1737.5	14.1	5.6%
MG033-1-103	0.19	0.11264	0.00172	4.99915	0.07757	0.32096	0.00256	1842	28	1819.2	13.2	1794.4	12.5	2.6%
MG033-1-37	0.32	0.11260	0.00189	4.60585	0.08171	0.29504	0.00259	1843	31	1750.3	14.8	1666.7	12.9	9.5%
MG033-1-125	0.20	0.11263	0.00183	4.86169	0.08135	0.31210	0.00241	1843	30	1795.6	14.1	1751.0	11.9	5.0%
MG033-1-86	0.14	0.11259	0.00165	5.10539	0.07985	0.32778	0.00270	1843	59	1837.0	13.3	1827.6	13.1	0.8%
MG033-1-29	0.20	0.11260	0.00176	5.11278	0.08837	0.32845	0.00292	1843	28	1838.2	14.7	1830.9	14.2	0.6%
MG033-1-39	0.19	0.11268	0.00175	5.20928	0.08431	0.33369	0.00273	1843	29	1854.1	13.8	1856.2	13.2	-0.7%
MG033-1-109	0.15	0.11272	0.00183	5.02889	0.08862	0.32255	0.00289	1844	29	1824.2	15.0	1802.2	14.1	2.2%
MG033-1-146	0.24	0.11290	0.00181	5.06846	0.08116	0.32404	0.00245	1847	29	1830.8	13.6	1809.4	12.0	2.0%
MG033-1-104	0.20	0.11289	0.00178	5.21327	0.09128	0.33362	0.00289	1847	29	1854.8	15.0	1855.9	14.0	-0.5%
MG033-1-81	0.16	0.11297	0.00163	4.56879	0.07168	0.29287	0.00305	1848	26	1743.6	13.1	1655.9	15.2	10.4%
MG033-1-16	0.12	0.11300	0.00150	5.02825	0.07815	0.32196	0.00305	1850	24	1824.1	13.2	1799.3	14.9	2.7%
MG033-1-77	0.12	0.11308	0.00183	5.05981	0.10473	0.32287	0.00407	1850	30	1829.4	17.6	1803.7	19.9	2.5%
MG033-1-106	0.16	0.11307	0.00161	5.21356	0.08035	0.33344	0.00282	1850	21	1854.8	13.2	1855.0	13.7	-0.3%
MG033-1-79	0.13	0.11317	0.00189	5.07729	0.08918	0.32473	0.00328	1851	30	1832.3	15.0	1812.8	16.0	2.1%
MG033-1-163	0.84	0.11318	0.00223	5.24928	0.10227	0.33571	0.00292	1851	35	1860.7	16.7	1866.0	14.1	-0.8%
MG033-1-145	0.16	0.11320	0.00188	4.67912	0.08565	0.29794	0.00290	1852	30	1763.5	15.4	1681.1	14.4	9.2%
MG033-1-62	0.14	0.11322	0.00159	5.11771	0.07466	0.32647	0.00281	1852	25	1839.0	12.5	1821.3	13.7	1.6%
MG033-1-176	0.14	0.11323	0.00214	5.40040	0.11399	0.34428	0.00355	1852	35	1884.9	18.1	1907.2	17.0	-3.0%
MG033-1-40	0.11	0.11331	0.00163	4.83004	0.09791	0.30698	0.00434	1854	26	1790.1	17.1	1725.8	21.4	6.9%
MG033-1-69	0.15	0.11329	0.00168	5.22608	0.08038	0.33363	0.00256	1854	27	1856.9	13.2	1856.0	12.4	-0.1%
MG033-1-101	0.25	0.11328	0.00179	5.30936	0.08486	0.33885	0.00258	1854	29	1870.4	13.7	1881.1	12.5	-1.5%
MG033-1-117	0.13	0.11327	0.00167	5.42139	0.08351	0.34572	0.00289	1854	27	1888.2	13.3	1914.1	13.9	-3.3%
MG033-1-97	0.12	0.11338	0.00184	4.68765	0.09712	0.29889	0.00430	1855	29	1765.0	17.4	1685.8	21.4	9.1%
MG033-1-73	0.12	0.11342	0.00191	4.95139	0.09160	0.31602	0.00298	1855	30	1811.1	15.7	1770.3	14.6	4.5%
MG033-1-114	0.14	0.11341	0.00174	5.26412	0.08695	0.33556	0.00354	1855	28	1863.1	14.2	1865.3	17.1	-0.6%
MG033-1-115	0.12	0.11341	0.00196	5.42366	0.09891	0.34562	0.00368	1855	27	1888.6	15.7	1913.7	17.6	-3.2%
MG033-1-113	0.19	0.11341	0.00190	5.58150	0.10318	0.35596	0.00409	1855	30	1913.2	16.0	1963.0	19.5	-5.8%

Table 1. continued.

Sample name	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	^{207}Pb - ^{206}Pb age (Ma)	1 σ	^{235}U - ^{207}Pb age (Ma)	1 σ	^{238}U - ^{206}Pb age (Ma)	1 σ	Disc. (%)
MG033-1-126	1.43	0.11284	0.00182	4.71589	0.07573	0.30222	0.00230	1856	30	1770.1	13.5	1702.3	11.4	8.3%
MG033-1-07	0.10	0.11283	0.00174	5.01089	0.08001	0.32083	0.00278	1856	28	1821.2	13.6	1793.8	13.6	3.3%
MG033-1-98	0.17	0.11280	0.00168	5.28182	0.08303	0.33865	0.00286	1856	27	1865.9	13.5	1880.2	13.8	-1.3%
MG033-1-100	0.60	0.11357	0.00166	5.06865	0.08161	0.32274	0.00311	1857	26	1830.9	13.7	1803.1	15.2	2.9%
MG033-1-26	0.14	0.11350	0.00163	5.09044	0.07855	0.32478	0.00291	1857	26	1834.5	13.2	1813.0	14.2	2.4%
MG033-1-124	0.15	0.11355	0.00160	5.10311	0.07851	0.32491	0.00274	1857	26	1836.6	13.1	1813.7	13.4	2.4%
MG033-1-17	0.17	0.11352	0.00187	5.31328	0.09397	0.33870	0.00302	1857	30	1871.0	15.2	1880.4	14.6	-1.2%
MG033-1-03	0.26	0.11346	0.00183	5.34532	0.09008	0.34062	0.00300	1857	28	1876.1	14.5	1889.7	14.5	-1.7%
MG033-1-27	0.14	0.11362	0.00172	5.42534	0.08762	0.34591	0.00331	1858	27	1888.9	13.9	1915.0	15.9	-3.1%
MG033-1-08	0.15	0.11369	0.00184	4.69281	0.07702	0.29871	0.00264	1859	28	1766.0	13.8	1684.9	13.2	9.4%
MG033-1-91	0.09	0.11367	0.00211	5.13909	0.09887	0.32570	0.00272	1859	34	1842.6	16.4	1817.5	13.3	2.2%
MG033-1-119	0.26	0.11380	0.00161	5.31383	0.07963	0.33752	0.00296	1861	26	1871.1	12.9	1874.8	14.3	-0.7%
MG033-1-179	0.21	0.11374	0.00200	4.96817	0.08546	0.31595	0.00250	1861	32	1813.9	14.6	1769.9	12.3	4.9%
MG033-1-120	0.16	0.11374	0.00159	5.08761	0.07693	0.32346	0.00312	1861	25	1834.0	12.9	1806.6	15.2	2.9%
MG033-1-95	0.16	0.11377	0.00165	5.11239	0.07705	0.32469	0.00248	1861	26	1838.2	12.9	1812.6	12.1	2.6%
MG033-1-132	0.06	0.11374	0.00178	5.26965	0.08755	0.33469	0.00314	1861	28	1864.0	14.2	1861.1	15.2	0.0%
MG033-1-66	0.14	0.11370	0.00194	5.31438	0.09383	0.33757	0.00290	1861	36	1871.2	15.1	1875.0	14.0	-0.7%
MG033-1-142	0.14	0.11384	0.00156	4.82589	0.07363	0.30598	0.00246	1861	25	1789.4	12.9	1720.9	12.2	7.5%
MG033-1-180	0.09	0.11383	0.00180	5.28850	0.08490	0.33583	0.00290	1861	34	1867.0	13.8	1866.6	14.0	-0.3%
MG033-1-111	0.20	0.11388	0.00160	5.31380	0.07677	0.33739	0.00250	1862	25	1871.1	12.4	1874.1	12.1	-0.6%
MG033-1-38	0.15	0.11403	0.00170	5.12480	0.08474	0.32422	0.00303	1865	26	1840.2	14.1	1810.3	14.8	2.9%
MG033-1-71	0.20	0.11403	0.00175	5.16396	0.08198	0.32802	0.00284	1865	28	1846.7	13.6	1828.8	13.8	1.9%
MG033-1-10	0.18	0.11404	0.00158	5.22237	0.07899	0.33161	0.00281	1865	30	1856.3	13.0	1846.2	13.7	1.0%
MG033-1-75	0.46	0.11393	0.00160	4.81699	0.08297	0.30545	0.00305	1865	25	1787.9	14.5	1718.3	15.1	7.9%
MG033-1-96	0.14	0.11408	0.00194	5.18588	0.09523	0.32862	0.00313	1865	30	1850.3	15.7	1831.7	15.2	1.8%
MG033-1-22	0.33	0.11416	0.00181	4.86230	0.08168	0.30796	0.00244	1866	28	1795.7	14.2	1730.7	12.0	7.3%
MG033-1-94	0.15	0.11426	0.00158	4.98598	0.07301	0.31504	0.00244	1868	26	1816.9	12.4	1765.4	12.0	5.5%
MG033-1-92	0.17	0.11427	0.00183	5.03694	0.08399	0.31807	0.00283	1868	29	1825.6	14.2	1780.3	13.9	4.7%
MG033-1-143	0.13	0.11427	0.00178	5.08494	0.08271	0.32133	0.00265	1868	28	1833.6	13.9	1796.2	12.9	3.9%
MG033-1-131	0.14	0.11431	0.00172	4.70126	0.07138	0.29742	0.00259	1869	27	1767.5	12.8	1678.5	12.9	10.2%
MG033-1-128	0.15	0.11439	0.00174	5.10234	0.07780	0.32287	0.00297	1870	28	1836.5	13.0	1803.7	14.5	3.5%
MG033-1-13	0.08	0.11446	0.00175	4.85778	0.09014	0.30800	0.00383	1872	28	1795.0	15.7	1730.9	18.9	7.5%
MG033-1-32	0.17	0.11444	0.00168	4.91646	0.08032	0.31099	0.00312	1872	27	1805.1	13.8	1745.6	15.4	6.8%
MG033-1-112	0.18	0.11440	0.00160	5.23543	0.08062	0.33059	0.00277	1872	20	1858.4	13.2	1841.2	13.4	1.7%
MG033-1-24	0.19	0.11445	0.00160	5.30672	0.08345	0.33523	0.00296	1872	20	1869.9	13.5	1863.7	14.3	0.5%
MG033-1-36	0.16	0.11453	0.00190	5.25187	0.09084	0.33080	0.00258	1873	30	1861.1	14.8	1842.3	12.5	1.6%
MG033-1-89	0.15	0.11456	0.00185	5.04808	0.08602	0.31789	0.00277	1873	29	1827.4	14.5	1779.4	13.6	5.0%
MG033-1-93	0.13	0.11469	0.00163	5.23297	0.07675	0.32922	0.00237	1876	26	1858.0	12.6	1834.6	11.5	2.2%
MG033-1-105	0.15	0.11492	0.00164	5.29694	0.07985	0.33332	0.00262	1880	26	1868.4	12.9	1854.4	12.7	1.3%
MG033-1-15	0.17	0.11487	0.00153	5.31291	0.08715	0.33491	0.00358	1880	24	1870.9	14.1	1862.1	17.3	0.9%
MG033-1-28	0.17	0.11494	0.00165	5.38002	0.08357	0.33878	0.00292	1880	26	1881.7	13.4	1880.8	14.1	-0.1%
MG033-1-65	0.13	0.11500	0.00181	5.19600	0.08546	0.32635	0.00276	1880	29	1852.0	14.1	1820.7	13.5	3.2%
MG033-1-56	0.17	0.11518	0.00209	5.21842	0.09585	0.32753	0.00247	1883	33	1855.6	15.7	1826.4	12.0	3.0%
MG033-1-31	0.08	0.11534	0.00172	5.01199	0.07984	0.31434	0.00251	1885	32	1821.3	13.5	1762.0	12.4	6.5%
MG033-1-139	0.15	0.11533	0.00192	5.04067	0.09548	0.31616	0.00342	1885	30	1826.2	16.1	1770.9	16.8	6.0%
MG033-1-107	0.11	0.11542	0.00187	5.15484	0.08487	0.32348	0.00290	1887	30	1845.2	14.1	1806.7	14.2	4.3%
MG033-1-136	0.66	0.11549	0.00163	5.17054	0.07665	0.32386	0.00252	1887	25	1847.8	12.7	1808.5	12.3	4.2%
MG033-1-121	0.20	0.11548	0.00198	5.19801	0.09467	0.32576	0.00288	1887	30	1852.3	15.6	1817.8	14.1	3.7%
MG033-1-76	0.17	0.11546	0.00163	5.25262	0.07631	0.32940	0.00275	1887	30	1861.2	12.5	1835.5	13.4	2.7%
MG033-1-182	0.26	0.11551	0.00201	5.08920	0.09144	0.31880	0.00267	1888	31	1834.3	15.3	1783.9	13.1	5.5%
MG033-1-177	0.15	0.11552	0.00195	5.40167	0.09435	0.33811	0.00295	1888	31	1885.1	15.0	1877.6	14.2	0.6%
MG033-1-57	0.09	0.11569	0.00188	5.28189	0.09372	0.32999	0.00321	1890	30	1865.9	15.2	1838.4	15.6	2.8%

Table 1. continued.

Sample name	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb- ²⁰⁶ Pb age (Ma)	1σ	²³⁵ U- ²⁰⁷ Pb age (Ma)	1σ	²³⁸ U- ²⁰⁶ Pb age (Ma)	1σ	Disc. (%)
MG033-1-159	0.18	0.11570	0.00195	5.05531	0.10399	0.31614	0.00401	1891	30	1828.6	17.5	1770.9	19.7	6.4%
MG033-1-140	0.12	0.11580	0.00165	5.02754	0.07712	0.31387	0.00251	1892	26	1824.0	13.1	1759.7	12.3	7.0%
MG033-1-178	0.23	0.11579	0.00204	5.16104	0.08769	0.32247	0.00233	1892	31	1846.2	14.5	1801.8	11.4	4.8%
MG033-1-138	0.14	0.11579	0.00189	5.26867	0.09026	0.32928	0.00263	1892	29	1863.8	14.7	1834.9	12.8	3.0%
MG033-1-51	0.17	0.11579	0.00168	5.32023	0.08468	0.33169	0.00262	1892	26	1872.1	13.7	1846.5	12.7	2.4%
MG033-1-187	0.14	0.11577	0.00220	5.32793	0.10371	0.33255	0.00306	1892	34	1873.4	16.7	1850.7	14.9	2.2%
MG033-1-164	0.11	0.11585	0.00175	5.29336	0.08760	0.32989	0.00274	1894	27	1867.8	14.2	1837.9	13.3	3.0%
MG033-1-169	0.15	0.11583	0.00199	5.42590	0.09358	0.33823	0.00269	1894	31	1889.0	14.8	1878.2	13.0	0.9%
MG033-1-59	0.11	0.11603	0.00175	5.23950	0.08221	0.32632	0.00248	1896	28	1859.1	13.4	1820.5	12.1	4.0%
MG033-1-67	0.14	0.11616	0.00200	5.13869	0.09713	0.31985	0.00361	1898	31	1842.5	16.1	1789.0	17.7	5.7%
MG033-1-151	1.60	0.11613	0.00213	4.88744	0.09362	0.30381	0.00272	1898	33	1800.1	16.2	1710.2	13.5	9.9%
MG033-1-53	0.22	0.11611	0.00183	5.41440	0.09044	0.33710	0.00291	1898	28	1887.1	14.4	1872.7	14.1	1.3%
MG033-1-152	0.14	0.11618	0.00188	5.35890	0.08758	0.33341	0.00255	1898	29	1878.3	14.0	1854.9	12.4	2.3%
MG033-1-185	0.12	0.11621	0.00190	5.36667	0.09598	0.33356	0.00309	1898	30	1879.6	15.4	1855.6	15.0	2.3%
MG033-1-166	0.15	0.11558	0.00173	5.37928	0.08611	0.33627	0.00312	1900	27	1881.6	13.8	1868.7	15.1	1.6%
MG033-1-147	0.16	0.11558	0.00166	5.40989	0.08117	0.33777	0.00279	1900	26	1886.4	12.9	1875.9	13.5	1.3%
MG033-1-122	0.14	0.11641	0.00180	4.89682	0.07613	0.30445	0.00200	1902	28	1801.7	13.2	1713.4	9.9	9.9%
MG033-1-123	0.16	0.11639	0.00164	5.16123	0.08529	0.32060	0.00316	1902	26	1846.2	14.1	1792.7	15.5	5.7%
MG033-1-162	0.22	0.11640	0.00187	5.18134	0.08285	0.32205	0.00238	1902	29	1849.6	13.7	1799.7	11.7	5.4%
MG033-1-174	0.16	0.11641	0.00205	5.54132	0.10505	0.34386	0.00331	1902	31	1907.0	16.4	1905.2	15.9	-0.2%
MG033-1-110	0.10	0.11632	0.00172	5.26439	0.08245	0.32723	0.00260	1902	27	1863.1	13.4	1825.0	12.7	4.0%
MG033-1-175	0.14	0.11648	0.00230	5.33092	0.10720	0.33097	0.00310	1903	3	1873.8	17.2	1843.1	15.1	3.1%
MG033-1-45	0.24	0.11667	0.00165	5.58543	0.08419	0.34589	0.00327	1906	26	1913.9	13.0	1914.9	15.7	-0.5%
MG033-1-60	0.16	0.11675	0.00165	5.10723	0.07733	0.31596	0.00235	1907	26	1837.3	12.9	1770.0	11.6	7.2%
MG033-1-52	0.10	0.11688	0.00162	5.25741	0.07604	0.32514	0.00256	1909	30	1862.0	12.4	1814.8	12.5	4.9%
MG033-1-137	0.13	0.11686	0.00185	5.45114	0.09486	0.33749	0.00309	1909	28	1892.9	15.0	1874.6	14.9	1.8%
MG033-1-30	0.12	0.11701	0.00193	5.28589	0.09334	0.32694	0.00285	1911	30	1866.6	15.1	1823.5	13.9	4.6%
MG033-1-46	0.39	0.11712	0.00183	5.46848	0.08481	0.33747	0.00284	1913	28	1895.7	13.4	1874.5	13.7	2.0%
MG033-1-14	0.20	0.11720	0.00190	5.17145	0.09473	0.31967	0.00304	1914	29	1847.9	15.6	1788.1	14.9	6.6%
MG033-1-155	0.15	0.11729	0.00192	5.25158	0.09166	0.32427	0.00268	1917	30	1861.0	14.9	1810.5	13.1	5.5%
MG033-1-186	0.23	0.11727	0.00215	5.38587	0.10359	0.33185	0.00305	1917	32	1882.6	16.5	1847.3	14.8	3.6%
MG033-1-157	0.16	0.11731	0.00217	5.51976	0.10895	0.34125	0.00310	1917	33	1903.7	17.0	1892.7	14.9	1.3%
MG033-1-55	0.13	0.11738	0.00218	5.41185	0.10342	0.33351	0.00307	1917	33	1886.7	16.4	1855.4	14.9	3.2%
MG033-1-172	0.14	0.11749	0.00175	5.45221	0.08725	0.33525	0.00295	1918	27	1893.1	13.8	1863.8	14.3	2.8%
MG033-1-154	0.18	0.11767	0.00181	5.53261	0.09145	0.34032	0.00288	1921	28	1905.7	14.3	1888.2	13.9	1.7%
MG033-1-168	0.21	0.11771	0.00213	5.48185	0.10146	0.33627	0.00295	1922	27	1897.8	15.9	1868.7	14.2	2.8%
MG033-1-50	0.12	0.11702	0.00179	5.39115	0.08866	0.33286	0.00305	1922	28	1883.4	14.1	1852.2	14.8	3.6%
MG033-1-161	0.19	0.11798	0.00181	5.17033	0.08131	0.31701	0.00213	1926	28	1847.7	13.4	1775.1	10.5	7.8%
MG033-1-49	0.19	0.11804	0.00197	5.51392	0.09816	0.33716	0.00294	1928	34	1902.8	15.4	1873.0	14.2	2.8%
MG033-1-47	0.19	0.11821	0.00201	5.45984	0.09588	0.33370	0.00310	1929	31	1894.3	15.1	1856.3	15.0	3.8%
MG033-1-170	0.16	0.11825	0.00209	5.46095	0.10590	0.33348	0.00348	1931	32	1894.5	16.7	1855.2	16.9	3.9%
MG033-1-181	0.15	0.11845	0.00206	5.42254	0.09931	0.33103	0.00270	1933	31	1888.4	15.8	1843.4	13.1	4.6%
MG033-1-70	0.25	0.11419	0.00182	5.17777	0.08376	0.32823	0.00266	1933	28	1849.0	13.8	1829.8	12.9	5.4%
MG033-1-156	0.15	0.11861	0.00208	5.37653	0.10071	0.32861	0.00286	1936	30	1881.1	16.1	1831.7	13.9	5.4%
MG033-1-183	0.43	0.11868	0.00203	5.24589	0.08980	0.32051	0.00316	1936	32	1860.1	14.7	1792.2	15.5	7.4%
MG033-1-165	0.14	0.11872	0.00181	5.64645	0.09657	0.34353	0.00326	1939	28	1923.2	14.8	1903.6	15.7	1.8%
MG033-1-150	0.21	0.11887	0.00218	5.35049	0.10180	0.32442	0.00261	1939	33	1877.0	16.3	1811.3	12.7	6.6%
MG033-1-48	0.13	0.11853	0.00206	5.31439	0.09362	0.32384	0.00278	1944	31	1871.2	15.1	1808.5	13.6	7.0%
MG033-1-167	0.13	0.11932	0.00210	5.32737	0.09386	0.32255	0.00257	1946	31	1873.3	15.1	1802.2	12.6	7.4%
MG033-1-33	0.17	0.12089	0.00170	5.92517	0.12038	0.35311	0.00465	1969	25	1964.9	17.7	1949.4	22.2	1.0%
MG033-1-149	0.36	0.12537	0.00193	6.22561	0.10198	0.35812	0.00303	2035	27	2008.1	14.4	1973.3	14.4	3.0%

Table 2. Detrital zircon U-Pb isotopic data from sample MG033-2.

Sample name	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	^{207}Pb - ^{206}Pb age (Ma)	1 σ	^{235}U - ^{207}Pb age (Ma)	1 σ	^{238}U - ^{206}Pb age (Ma)	1 σ	Disc. (%)
MG033-2-179	0.70	0.052615	0.002565	0.3194	0.015654	0.043761	0.000677	322	111	281.4	12.0	276.1	4.2	1.9%
MG033-2-110	0.74	0.058124	0.002761	0.369659	0.01816	0.04591	0.00064	600	104	319.4	13.5	289.4	4.0	9.4%
MG033-2-146	0.67	0.053491	0.002252	0.352279	0.014241	0.047987	0.000567	350	96	306.4	10.7	302.2	3.5	1.4%
MG033-2-40	0.61	0.054683	0.001724	0.369068	0.011261	0.048931	0.000485	398	75	319.0	8.4	308.0	3.0	3.5%
MG033-2-72	1.52	0.053119	0.001421	0.359757	0.009161	0.048961	0.000443	345	61	312.0	6.8	308.1	2.7	1.2%
MG033-2-134	0.66	0.053727	0.001832	0.367891	0.012528	0.049341	0.000551	367	78	318.1	9.3	310.5	3.4	2.4%
MG033-2-108	0.95	0.05275	0.00138	0.361522	0.009557	0.049546	0.000487	317	59	313.4	7.1	311.7	3.0	0.5%
MG033-2-103	0.70	0.05404	0.002215	0.368953	0.014673	0.049889	0.000624	372	93	318.9	10.9	313.8	3.8	1.6%
MG033-2-190	0.44	0.049271	0.002547	0.343016	0.016889	0.050693	0.000583	161	120	299.5	12.8	318.8	3.6	-6.5%
MG033-2-171	1.83	0.052072	0.001572	0.367391	0.010921	0.05093	0.000497	287	75	317.7	8.1	320.2	3.1	-0.8%
MG033-2-55	0.82	0.055288	0.002286	0.396935	0.016068	0.052506	0.000639	433	97	339.4	11.7	329.9	3.9	2.8%
MG033-2-106	0.57	0.05427	0.001285	0.394428	0.009375	0.052519	0.000485	383	54	337.6	6.8	330.0	3.0	2.3%
MG033-2-130	0.81	0.055589	0.002962	0.397427	0.019839	0.052663	0.000847	435	114	339.8	14.4	330.9	5.2	2.6%
MG033-2-22	0.73	0.052976	0.001234	0.386746	0.008912	0.05286	0.0004	328	58	332.0	6.5	332.1	2.5	0.0%
MG033-2-33	0.92	0.056681	0.001784	0.415363	0.013676	0.052976	0.000592	480	69	352.7	9.8	332.8	3.6	5.7%
MG033-2-59	0.66	0.050346	0.001712	0.373161	0.012456	0.053854	0.000584	209	78	322.0	9.2	338.1	3.6	-5.0%
MG033-2-157	0.44	0.052399	0.00138	0.392694	0.010203	0.054291	0.000413	302	59	336.3	7.4	340.8	2.5	-1.3%
MG033-2-96	0.17	0.05653	0.001394	0.466093	0.012344	0.059931	0.000709	472	56	388.5	8.6	375.2	4.3	3.4%
MG033-2-141	0.29	0.056366	0.002123	0.503249	0.018481	0.064683	0.000656	478	79	413.9	12.5	404.0	4.0	2.4%
MG033-2-184	0.43	0.059634	0.00186	0.667029	0.021136	0.080595	0.000818	591	69	518.9	12.9	499.7	4.9	3.7%
MG033-2-140	1.08	0.057032	0.001765	0.671315	0.019755	0.085486	0.001045	500	64	521.5	12.0	528.8	6.2	-1.4%
MG033-2-66	0.88	0.057433	0.003791	0.681407	0.04146	0.087427	0.00159	509	144	527.6	25.0	540.3	9.4	-2.4%
MG033-2-144	0.95	0.107846	0.002844	4.9019	0.123009	0.32964	0.003629	1765	48	1802.6	21.2	1836.6	17.6	-4.1%
MG033-2-100	1.01	0.109508	0.002784	5.138573	0.129924	0.341563	0.003594	1791	46	1842.5	21.5	1894.2	17.3	-5.8%
MG033-2-63	0.83	0.109601	0.002879	4.692352	0.123028	0.31014	0.00323	1794	48	1765.9	22.0	1741.4	15.9	3.0%
MG033-2-78	0.78	0.109754	0.002191	4.839872	0.094444	0.318433	0.003036	1795	37	1791.9	16.5	1782.1	14.9	0.7%
MG033-2-56	1.53	0.109888	0.002548	4.891972	0.115024	0.323339	0.003182	1798	42	1800.9	19.9	1806.0	15.5	-0.4%
MG033-2-70	0.74	0.110705	0.002164	4.92217	0.098857	0.320984	0.003479	1811	35	1806.1	17.0	1794.5	17.0	0.9%
MG033-2-89	0.08	0.110998	0.001607	4.556662	0.084502	0.29652	0.003706	1817	26	1741.4	15.5	1674.0	18.4	7.9%
MG033-2-91	0.97	0.110993	0.00279	5.092633	0.135061	0.33238	0.00366	1817	46	1834.9	22.5	1849.9	17.7	-1.8%
MG033-2-162	0.73	0.111083	0.002373	4.500209	0.098606	0.292829	0.00255	1817	33	1731.0	18.2	1655.7	12.7	8.9%
MG033-2-92	0.47	0.111218	0.002214	4.90449	0.10303	0.318995	0.003091	1820	36	1803.0	17.8	1784.8	15.1	2.0%
MG033-2-151	0.81	0.111205	0.002075	5.116612	0.102927	0.33259	0.003126	1820	34	1838.9	17.1	1850.9	15.2	-1.7%
MG033-2-69	0.22	0.111305	0.002005	5.005121	0.091135	0.324428	0.003067	1821	33	1820.2	15.5	1811.3	15.0	0.5%
MG033-2-07	0.92	0.111283	0.002397	5.078931	0.112141	0.32993	0.003483	1821	39	1832.6	18.8	1838.0	16.9	-1.0%
MG033-2-27	0.20	0.111279	0.002031	5.301081	0.098007	0.343945	0.0028	1821	33	1869.0	15.8	1905.6	13.5	-4.7%
MG033-2-178	0.93	0.111537	0.00314	5.137693	0.145406	0.332224	0.00384	1824	52	1842.4	24.1	1849.2	18.6	-1.4%
MG033-2-148	0.66	0.111715	0.002081	5.290893	0.107159	0.341762	0.003467	1828	33	1867.4	17.3	1895.1	16.7	-3.7%
MG033-2-10	0.82	0.111737	0.002729	4.970969	0.116167	0.322595	0.003197	1828	44	1814.4	19.8	1802.4	15.6	1.4%
MG033-2-64	0.18	0.111755	0.001937	5.157166	0.092077	0.333605	0.002893	1828	30	1845.6	15.2	1855.8	14.0	-1.5%
MG033-2-26	0.27	0.111741	0.002146	5.200902	0.100053	0.336312	0.002962	1828	34	1852.8	16.4	1868.9	14.3	-2.2%
MG033-2-182	0.94	0.111784	0.003379	5.094098	0.158664	0.327467	0.003967	1829	55	1835.1	26.5	1826.1	19.3	0.1%
MG033-2-163	0.14	0.111947	0.002592	5.297616	0.127	0.341799	0.003123	1831	42	1868.5	20.5	1895.3	15.0	-3.5%
MG033-2-62	0.16	0.111986	0.002068	5.200923	0.099818	0.336033	0.00304	1832	34	1852.8	16.4	1867.6	14.7	-2.0%
MG033-2-44	1.53	0.112005	0.002339	4.991923	0.10302	0.322247	0.003022	1832	38	1818.0	17.5	1800.7	14.8	1.7%
MG033-2-143	1.00	0.112079	0.002473	5.340433	0.120559	0.344118	0.003447	1835	39	1875.4	19.3	1906.5	16.6	-3.9%
MG033-2-99	0.92	0.112504	0.002056	4.682863	0.093313	0.302269	0.002715	1840	33	1764.2	16.7	1702.5	13.5	7.5%
MG033-2-42	0.16	0.112645	0.001838	5.361731	0.091939	0.34361	0.003026	1842	30	1878.8	14.7	1904.0	14.6	-3.4%
MG033-2-52	0.17	0.112609	0.001841	4.750624	0.081865	0.305305	0.002462	1843	30	1776.2	14.5	1717.6	12.2	6.8%
MG033-2-71	0.94	0.11259	0.00304	4.994757	0.129598	0.321061	0.003006	1843	54	1818.4	22.0	1794.9	14.7	2.6%
MG033-2-173	1.31	0.112634	0.003112	5.194721	0.143219	0.332961	0.003717	1843	50	1851.8	23.5	1852.7	18.0	-0.5%
MG033-2-142	0.20	0.112537	0.002297	5.32025	0.115484	0.341553	0.004237	1843	37	1872.1	18.6	1894.1	20.4	-2.8%

Table 2. continued.

Sample name	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb- ²⁰⁶ Pb age (Ma)	1σ	²³⁵ U- ²⁰⁷ Pb age (Ma)	1σ	²³⁸ U- ²⁰⁶ Pb age (Ma)	1σ	Disc. (%)
MG033-2-58	0.15	0.112547	0.001904	5.315133	0.096116	0.342261	0.003175	1843	31	1871.3	15.5	1897.5	15.3	-3.0%
MG033-2-115	0.74	0.112878	0.001992	4.998057	0.100644	0.319924	0.003565	1846	33	1819.0	17.1	1789.4	17.4	3.1%
MG033-2-29	0.20	0.1129	0.001684	5.144775	0.082275	0.329011	0.002868	1847	26	1843.5	13.7	1833.6	13.9	0.7%
MG033-2-160	0.15	0.112904	0.002184	5.20873	0.103275	0.33354	0.002959	1847	34	1854.0	16.9	1855.5	14.3	-0.5%
MG033-2-81	0.29	0.112946	0.001914	5.163017	0.088561	0.330027	0.002605	1847	30	1846.5	14.6	1838.5	12.7	0.5%
MG033-2-93	1.05	0.112982	0.002873	4.639094	0.180092	0.296167	0.008459	1848	42	1756.3	32.4	1672.3	42.1	9.5%
MG033-2-35	0.17	0.112964	0.001803	5.293513	0.087548	0.338422	0.002828	1848	29	1867.8	14.2	1879.1	13.7	-1.7%
MG033-2-43	0.16	0.113105	0.001947	4.881573	0.082661	0.311614	0.002147	1850	31	1799.1	14.3	1748.6	10.6	5.5%
MG033-2-138	0.21	0.11309	0.001901	4.686337	0.078197	0.298335	0.002029	1850	30	1764.8	14.0	1683.0	10.1	9.0%
MG033-2-125	0.67	0.113075	0.002047	5.098594	0.096536	0.325675	0.002753	1850	33	1835.9	16.1	1817.4	13.4	1.8%
MG033-2-189	0.09	0.113135	0.002265	4.920169	0.106451	0.313862	0.003603	1850	37	1805.7	18.3	1759.7	17.7	4.9%
MG033-2-34	0.15	0.113128	0.001755	5.307512	0.082525	0.339	0.00273	1850	29	1870.1	13.3	1881.9	13.2	-1.7%
MG033-2-175	0.14	0.11317	0.002661	5.019719	0.121121	0.319383	0.002981	1851	43	1822.7	20.5	1786.7	14.6	3.5%
MG033-2-153	0.18	0.113182	0.002304	5.053949	0.107512	0.322743	0.002561	1851	37	1828.4	18.1	1803.1	12.5	2.6%
MG033-2-30	0.12	0.1132	0.001675	4.982977	0.072308	0.317992	0.002092	1852	28	1816.4	12.3	1779.9	10.3	3.9%
MG033-2-09	0.21	0.113224	0.00194	5.136683	0.088167	0.327889	0.002792	1852	31	1842.2	14.6	1828.1	13.6	1.3%
MG033-2-95	0.15	0.113343	0.001925	5.400645	0.097868	0.34554	0.002826	1853	25	1885.0	15.6	1913.3	13.6	-3.2%
MG033-2-53	0.19	0.113295	0.00182	4.906272	0.079566	0.313583	0.002058	1854	25	1803.3	13.7	1758.3	10.1	5.1%
MG033-2-90	0.15	0.113321	0.001814	5.342653	0.090264	0.341149	0.003152	1854	29	1875.7	14.5	1892.2	15.2	-2.1%
MG033-2-168	0.80	0.113357	0.002956	5.317693	0.139972	0.338584	0.003376	1854	48	1871.7	22.5	1879.9	16.3	-1.4%
MG033-2-86	0.69	0.113439	0.002222	5.120106	0.0994	0.326349	0.002732	1855	40	1839.4	16.5	1820.7	13.3	1.9%
MG033-2-68	0.14	0.113451	0.001945	5.295219	0.093932	0.336651	0.00321	1855	31	1868.1	15.2	1870.5	15.5	-0.8%
MG033-2-161	0.17	0.112823	0.002171	4.956153	0.102129	0.317486	0.003199	1856	35	1811.9	17.5	1777.4	15.7	4.2%
MG033-2-149	0.15	0.113572	0.002025	5.338577	0.09383	0.33999	0.002787	1857	38	1875.1	15.1	1886.6	13.4	-1.6%
MG033-2-187	0.19	0.113535	0.002687	5.00281	0.120264	0.318153	0.002804	1857	43	1819.8	20.4	1780.7	13.7	4.1%
MG033-2-154	0.11	0.113549	0.00206	5.062097	0.097809	0.322501	0.002996	1857	33	1829.8	16.4	1801.9	14.6	3.0%
MG033-2-01	0.18	0.113626	0.001831	4.998695	0.086072	0.317695	0.002753	1858	29	1819.1	14.6	1778.5	13.5	4.3%
MG033-2-24	0.14	0.113678	0.001709	5.192914	0.079307	0.330044	0.002316	1859	28	1851.5	13.1	1838.6	11.3	1.1%
MG033-2-46	0.13	0.113714	0.001996	4.758969	0.084602	0.302421	0.002669	1861	32	1777.7	15.0	1703.3	13.2	8.5%
MG033-2-18	0.18	0.113763	0.00185	5.050602	0.08368	0.320958	0.002393	1861	34	1827.8	14.1	1794.4	11.7	3.6%
MG033-2-32	0.16	0.113699	0.002101	5.226734	0.098381	0.33227	0.003078	1861	33	1857.0	16.1	1849.4	14.9	0.6%
MG033-2-03	0.16	0.113878	0.001789	5.074594	0.082303	0.322022	0.00267	1862	32	1831.9	13.8	1799.6	13.1	3.4%
MG033-2-49	0.15	0.113851	0.001738	5.2621	0.082083	0.334105	0.002653	1862	32	1862.7	13.4	1858.2	12.9	0.2%
MG033-2-45	0.12	0.113925	0.002146	4.79369	0.090151	0.303921	0.002569	1863	35	1783.8	15.8	1710.7	12.7	8.2%
MG033-2-156	0.90	0.113915	0.002482	5.069505	0.111604	0.32275	0.003338	1863	34	1831.0	18.7	1803.1	16.3	3.2%
MG033-2-176	0.38	0.11391	0.002605	5.456194	0.125259	0.34526	0.00335	1863	41	1893.7	19.7	1911.9	16.1	-2.6%
MG033-2-37	0.79	0.113949	0.002827	5.142974	0.13183	0.326499	0.003506	1865	46	1843.2	21.8	1821.4	17.1	2.3%
MG033-2-165	0.22	0.113957	0.002559	5.227606	0.12469	0.330917	0.003162	1865	35	1857.1	20.4	1842.8	15.3	1.2%
MG033-2-117	0.18	0.113977	0.002287	5.363015	0.110594	0.340623	0.00297	1865	36	1879.0	17.7	1889.7	14.3	-1.3%
MG033-2-124	0.16	0.114282	0.001926	5.485748	0.096584	0.346361	0.002838	1869	30	1898.4	15.2	1917.2	13.6	-2.6%
MG033-2-194	0.91	0.114505	0.002793	5.260487	0.124718	0.330293	0.003408	1872	44	1862.5	20.3	1839.8	16.5	1.7%
MG033-2-196	0.20	0.11443	0.002262	5.158864	0.100438	0.323911	0.002781	1872	35	1845.9	16.6	1808.8	13.6	3.4%
MG033-2-85	0.17	0.114453	0.001995	5.331403	0.096489	0.33674	0.003277	1872	31	1873.9	15.5	1871.0	15.8	0.1%
MG033-2-186	0.24	0.114397	0.002424	5.403555	0.117806	0.340634	0.002953	1872	39	1885.4	18.7	1889.7	14.2	-0.9%
MG033-2-195	0.20	0.114457	0.002422	5.426241	0.111417	0.340985	0.003473	1872	38	1889.0	17.7	1891.4	16.7	-1.0%
MG033-2-197	0.18	0.114417	0.002293	5.466663	0.106954	0.34388	0.003178	1872	36	1895.4	16.8	1905.3	15.3	-1.8%
MG033-2-152	0.21	0.114519	0.002295	4.774399	0.105141	0.301855	0.003695	1873	37	1780.4	18.5	1700.5	18.3	9.2%
MG033-2-02	0.14	0.114567	0.001726	5.177923	0.08946	0.32623	0.003229	1873	23	1849.0	14.8	1820.1	15.7	2.8%
MG033-2-180	0.15	0.114625	0.002516	5.3574	0.114957	0.336271	0.003402	1874	39	1878.1	18.4	1868.7	16.4	0.3%
MG033-2-25	0.10	0.11473	0.001868	5.308954	0.08939	0.334376	0.002941	1876	25	1870.3	14.4	1859.6	14.2	0.9%
MG033-2-118	0.22	0.11485	0.00223	5.35786	0.107594	0.337673	0.003	1877	40	1878.1	17.2	1875.5	14.5	0.1%
MG033-2-166	0.37	0.114973	0.002666	5.434316	0.124885	0.341857	0.003346	1879	41	1890.3	19.7	1895.6	16.1	-0.9%

Table 2. continued.

Sample name	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1 σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	^{207}Pb - ^{206}Pb age (Ma)	1 σ	^{235}U - ^{207}Pb age (Ma)	1 σ	^{238}U - ^{206}Pb age (Ma)	1 σ	Disc. (%)
MG033-2-05	0.24	0.114946	0.002036	5.365311	0.096447	0.337656	0.003264	1880	32	1879.3	15.4	1875.4	15.8	0.2%
MG033-2-177	0.10	0.115209	0.002353	5.348176	0.111468	0.333977	0.002874	1883	32	1876.6	17.9	1857.6	13.9	1.3%
MG033-2-39	0.10	0.115182	0.002079	5.197323	0.096333	0.325614	0.002867	1883	33	1852.2	15.8	1817.1	14.0	3.5%
MG033-2-77	0.11	0.115109	0.002185	5.308773	0.101787	0.332491	0.003095	1883	35	1870.3	16.4	1850.4	15.0	1.7%
MG033-2-185	0.14	0.115339	0.002214	5.419985	0.104292	0.338951	0.003024	1885	35	1888.0	16.5	1881.6	14.6	0.2%
MG033-2-15	0.35	0.115368	0.002098	5.052646	0.106089	0.315954	0.003875	1887	32	1828.2	17.8	1769.9	19.0	6.2%
MG033-2-21	0.17	0.115574	0.001998	5.35963	0.094234	0.335685	0.00299	1889	32	1878.4	15.1	1865.9	14.5	1.2%
MG033-2-101	0.18	0.115866	0.001892	5.188221	0.118546	0.323553	0.004738	1894	30	1850.7	19.5	1807.1	23.1	4.6%
MG033-2-84	0.97	0.115871	0.003369	5.291935	0.152454	0.331034	0.003623	1894	53	1867.6	24.6	1843.4	17.6	2.7%
MG033-2-139	0.18	0.115842	0.002258	5.61893	0.110277	0.349663	0.003174	1894	35	1919.0	17.0	1933.0	15.2	-2.0%
MG033-2-88	0.17	0.115951	0.001858	4.837022	0.07619	0.301671	0.002013	1895	29	1791.4	13.3	1699.6	10.0	10.3%
MG033-2-97	0.20	0.115968	0.001904	5.299604	0.097899	0.331807	0.003187	1895	30	1868.8	15.8	1847.1	15.5	2.5%
MG033-2-14	0.20	0.115977	0.002198	5.199314	0.098638	0.32386	0.002776	1895	34	1852.5	16.2	1808.6	13.6	4.6%
MG033-2-159	0.98	0.116158	0.002895	5.436064	0.132692	0.33946	0.003853	1898	44	1890.6	21.0	1884.1	18.6	0.7%
MG033-2-73	0.15	0.116123	0.002102	5.475394	0.101169	0.339765	0.003181	1898	32	1896.7	15.9	1885.5	15.3	0.7%
MG033-2-17	0.26	0.116242	0.001844	5.588235	0.095712	0.34708	0.002865	1899	28	1914.3	14.8	1920.6	13.7	-1.1%
MG033-2-23	1.20	0.116269	0.003028	5.312236	0.141246	0.331138	0.003569	1900	46	1870.8	22.8	1843.9	17.3	2.9%
MG033-2-82	0.22	0.116286	0.00193	5.341886	0.093572	0.331425	0.002663	1900	30	1875.6	15.0	1845.3	12.9	2.9%
MG033-2-65	0.13	0.11563	0.00191	5.460264	0.092135	0.341456	0.003143	1900	30	1894.4	14.5	1893.7	15.1	0.3%
MG033-2-170	0.34	0.115622	0.002843	5.581988	0.135999	0.348166	0.00356	1900	39	1913.3	21.0	1925.8	17.1	-1.4%
MG033-2-181	0.11	0.116389	0.002858	5.417502	0.127215	0.334806	0.003414	1902	44	1887.6	20.2	1861.6	16.5	2.1%
MG033-2-126	0.23	0.116312	0.001816	5.47646	0.101626	0.340127	0.003928	1902	28	1896.9	16.0	1887.3	18.9	0.8%
MG033-2-192	0.15	0.116414	0.002271	5.465026	0.101959	0.337847	0.00273	1902	35	1895.1	16.1	1876.3	13.2	1.4%
MG033-2-137	0.14	0.116507	0.002032	4.994845	0.107013	0.30811	0.004106	1903	36	1818.4	18.2	1731.4	20.3	9.0%
MG033-2-28	0.34	0.116545	0.002067	5.10047	0.091031	0.316294	0.002759	1906	32	1836.2	15.2	1771.6	13.5	7.0%
MG033-2-131	0.14	0.116669	0.001904	5.420724	0.093107	0.33521	0.002819	1906	34	1888.1	14.8	1863.6	13.6	2.2%
MG033-2-104	0.30	0.116725	0.002076	5.179721	0.094205	0.320917	0.003113	1906	31	1849.3	15.5	1794.2	15.2	5.9%
MG033-2-174	0.16	0.116768	0.002535	5.308066	0.117119	0.327672	0.003096	1907	6	1870.2	18.9	1827.1	15.1	4.2%
MG033-2-112	0.15	0.117147	0.002064	5.320642	0.095609	0.328119	0.003218	1913	31	1872.2	15.4	1829.3	15.7	4.4%
MG033-2-169	0.21	0.117533	0.002652	5.568207	0.124882	0.341389	0.003066	1920	40	1911.2	19.3	1893.3	14.8	1.4%
MG033-2-133	0.14	0.117586	0.002311	5.568744	0.109418	0.341456	0.003206	1920	35	1911.3	17.0	1893.7	15.4	1.4%
MG033-2-105	0.22	0.117019	0.002191	5.39648	0.104224	0.332813	0.002965	1922	33	1884.3	16.6	1852.0	14.4	3.7%
MG033-2-123	0.20	0.117853	0.002312	5.467152	0.110177	0.335072	0.003385	1924	35	1895.5	17.3	1862.9	16.4	3.2%
MG033-2-114	0.94	0.118002	0.002924	5.33344	0.135111	0.327274	0.003454	1928	44	1874.2	21.7	1825.2	16.8	5.3%
MG033-2-109	0.16	0.118258	0.001863	5.519088	0.089633	0.336988	0.002749	1931	28	1903.6	14.0	1872.2	13.3	3.1%
MG033-2-38	0.16	0.114244	0.002021	5.363419	0.100369	0.338901	0.003419	1933	32	1879.0	16.1	1881.4	16.5	2.7%
MG033-2-164	0.33	0.114213	0.003208	5.434706	0.152479	0.344516	0.003679	1933	50	1890.3	24.1	1908.4	17.7	1.3%
MG033-2-122	0.27	0.119435	0.002337	5.533308	0.108287	0.334953	0.003345	1948	31	1905.8	16.9	1862.3	16.2	4.4%
MG033-2-57	0.51	0.149436	0.002462	8.779831	0.159675	0.425283	0.003611	2339	29	2315.4	16.7	2284.4	16.4	2.3%
MG033-2-04	0.79	0.161804	0.003059	10.14931	0.193473	0.453445	0.00376	2476	32	2448.5	17.7	2410.5	16.7	2.6%
MG033-2-167	0.57	0.168881	0.003306	10.95329	0.21867	0.467787	0.004232	2547	33	2519.2	18.7	2473.8	18.6	2.9%
MG033-2-20	0.44	0.171112	0.003084	11.55162	0.214793	0.488286	0.004112	2569	30	2568.8	17.5	2563.3	17.9	0.2%

보이며, 종횡비는 각각 1.15-3.19와 1.16-3.43이다. 음극선 발광(CL) 이미지에서 대부분의 입자들은 어두운 색을 띠지만, MG033-2는 MG033-1에 비해 밝은 회색-흰색 입자들이 상대적으로 많이 포함되어 있다.

저어콘의 Th/U 비는 운모편암과 석영-백운모편암에서 각각 0.06-1.60, 0.08-1.83의 범위를 보인다(표 1, 2). 운모편암에서 불일치도가 낮은 154개 데이터 중 144개(93.5%)가 Th/U 비 0.1 이상의 값을 보이며, 석영-백운모편암에서

는 146개 데이터 중 143개(97.9%)가 0.1 이상의 값을 가져, 두 시료 모두 화성 기원 저어콘이 우세함을 지시한다(Hoskin and Black, 2000).

MG033-1의 쇄설성 저어콘 U-Pb 연령은 대부분 고원생대에 해당하며, 1901 Ma와 1864 Ma의 주요 피크가 식별된다(그림 4). 다만 하나의 저어콘 입자에서 332 Ma(석탄기)의 연령이 획득되었다. MG033-2의 경우 530 Ma와 498 Ma(캄브리아기), 401 Ma와 375 Ma(데본기), 331 Ma와

309 Ma (석탄기), 275 Ma (페름기) 등 다수의 현생누대 피크 연령이 확인된다. 또한 2563 Ma (신시생대) 및 2336 Ma, 1866 Ma (고원생대) 피크가 확인된다. MG033-1과 MG033-2에서 분석된 가장 젊은 저어콘 입자 연대는 각각 331 Ma (석탄기)와 276 Ma (페름기)이다.

4. 토의 및 결론

본 연구의 새로운 저어콘 연령 분석 결과는 기존에 선캄브리아시대 원남층으로 분류되었던 변성퇴적암 중 적어도 일부의 원암이 상부 고생대(석탄기-페름기) 내지는 그 이후에 퇴적되었음을 지시한다(Dickinson and Gehrels, 2009). 원남층군을 구성하는 동수곡층 및 인근에 분포하는 재산층이 옥천대에 발달하는 상부 고생대-하부 트라이아스기 평안누층군과 대비되는 지층으로 해석되고 있다는 점을 고려하면(Kim *et al.*, 1963a, 1963b; Kim and Yi, 2015; Kim, 2019), 본 연구에서 분석한 원남층 내 변성퇴적암 또한 동일한 관점에서 해석할 수 있다. 이는 쇄설성 저어콘 연령 분포로도 뒷받침된다. 평안누층군의 쇄설성 저어콘은 2.5-2.3 Ga, 2.0-1.8 Ga, 400-250 Ma의 주된 연령 분포를 나타내는데(Kim and Lee, 2018), 본 연구 시료에서도 이와 유사한

연령 피크가 명확히 관찰된다(그림 4). 하지만 원남층이 평안누층군과 시기적으로 대비되는 변성퇴적암으로만 구성되는 것은 아니다. Kim *et al.* (2009)은 본 연구 지역에서 서쪽으로 약 10 km 떨어진 원남층 분포지 내에서 대상으로 발달하는 압쇄된 고원생대 규장질 정편마암과 쥐라기 압쇄 화강암을 보고하였다. 과성장된 저어콘 주변부(rim)의 U-Pb 분석을 통해 해석된 압쇄작용의 시기는 쥐라기 약 178 Ma이다. 즉, 과거 지질도폭에서 원남층으로 분류된 변성사질암, 변성이질암, 석회암, 규암, 편암, 편마암 내에 평안누층군과 대비되는 변성퇴적암과 변형·변성된 고원생대 및 쥐라기 화강암이 포함된다. 따라서 추후 연구에서는 원남층에 대한 상세한 지질조사 및 지질도 작성을 통한 암상 재분대가 필요하다.

한편, 원남층 내 변성퇴적암과 함께 발달하는 고원생대 및 쥐라기 화강암류에서 보고된 쥐라기 압쇄작용은 중요한 의미를 갖는다. 이는 연구지역에 발달하는 고생대 변성퇴적암류가 쥐라기 호남전단대의 연장부로 해석될 가능성을 제시한다. 실제로 운모편암, 석영-백운모편암, 규암, 석회암 등으로 이루어진 변성퇴적암류가 연구지역인 봉화군 재산면에서 남서쪽으로 최소 20 km 이상 대상으로 연장되며, 호남전단대의 궤적을 따라 충청북도 영동군, 전라북도 진

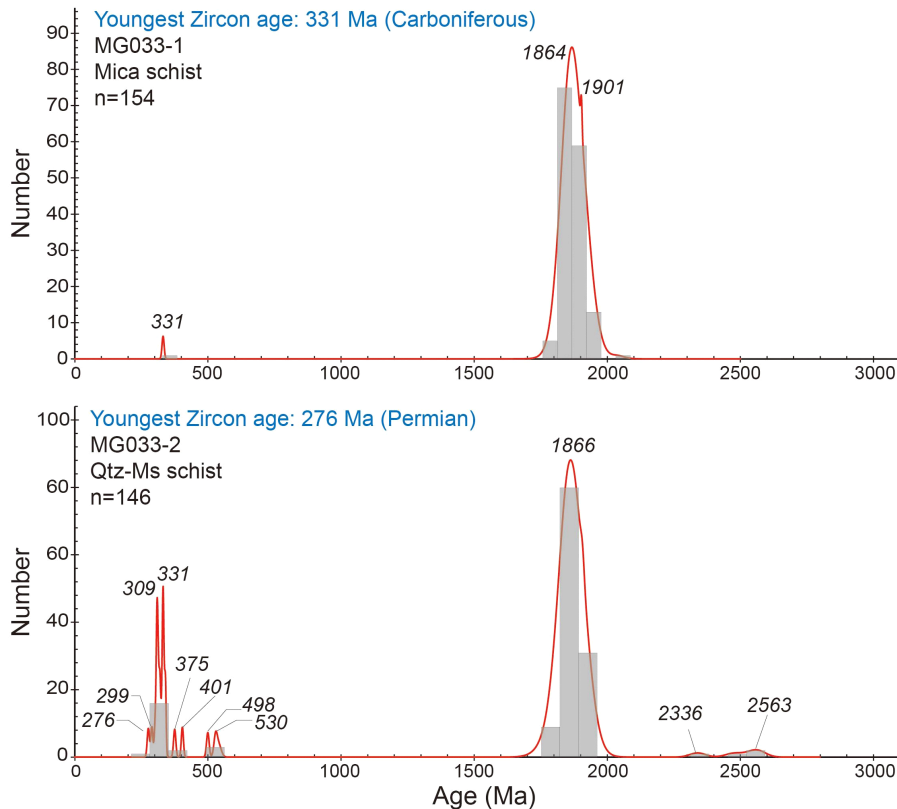


Fig. 4. Probability-density plots and histograms of detrital zircon U-Pb ages from the mica schist (MG033-1) and quartz-muscovite schist (MG033-2). Numbers indicate peak ages in Ma.

안군-임실군-곡성군, 전라남도 화순군-순천시-보성군-강진군 등에서도 유사한 대상의 변성퇴적암류가 산출된다(Kee *et al.*, 2019). 이들 중 일부는 고생대 지층으로 재정의된 바 있으며(Kee *et al.*, 2019), 원암의 퇴적시기에 대한 추가적인 연구가 반드시 필요한 상황이다. 더불어 변성작용의 시기 및 원인 규명 역시 해결해야 할 중요한 과제이다. 연구지역 동쪽 장군봉 일대에서 수행된 변성암석학적 연구에 따르면, 하부 고생대 두음리층과 상부 고생대 동수곡층은 페름기-트라이아스기 송림조산운동과 관련된 두 차례의 광역 변성작용을 받은 후, 쥐라기 화성활동에 수반된 접촉변성작용을 추가로 경험한 것으로 해석되었다(Yang and Cho, 1995; Kim and Yi, 2015). 이러한 복잡한 변성사를 고려할 때, 소위 영남육괴 내부에 발달하는 고생대 지층이 다른 지역에 비해 상대적으로 높은 변성을 경험한 원인을 규명하는 것은 영남육괴 지역의 현생이인 지질 진화사를 이해하는 데 매우 중요한 정보를 제공할 것이다. 이는 더 나아가 전통적으로 받아들여졌던 영남육괴의 정의를 재정립하는 데 중요한 단서를 제공할 것이다.

마지막으로 본 단보에서는 층서학적 관점에서 원남층군이라는 암층서 단위의 사용을 지양할 것을 제안한다. 본 연구 결과를 포함한 최근의 연대측정 및 암상 대비 연구는 원남층군 내 원남층, 동수곡층, 장군석회암, 두음리층이 하부-상부 고생대 지층으로 구성된다는 해석을 뒷받침한다. 이는 기존 원남층군으로 분류된 층들과 인근에 발달하는 하부 고생대 장산층, 상부 고생대 재산층을 모두 아우르는 체계적인 고생대 층서 체계의 구축이 필요함을 의미한다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 개인기초연구사업(RS-2023-00208180)과 한국에너지기술평가원 방사성폐기물관리기술 개발사업(RS-2024-00426295)의 지원으로 수행되었습니다. 논문의 질적 향상에 기여해 주신 익명의 심사위원 세 분과 편집위원회에 깊은 감사를 드립니다.

REFERENCES

- Ahn, K.-S., Jeong, H.-H. and Lee, H.K., 1993, Prograde Reaction Series in Metapelites around the Janggun Mine. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, 26, 473-587 (in Korean with English abstract).
- Cheong, C.-S., Kim, N., Kim, J. and Cho, M., 2015, The Silurian-Devonian magmatism recorded in detrital zircons from the Andong area, northeastern Yeongnam Massif, Korea. *Geosciences Journal*, 19, 393-405.
- Choi, D.K., 2019a, Evolution of the Taebaeksan Basin, Korea: I, early Paleozoic sedimentation in an epeiric sea and break-up of the Sino-Korean Craton from Gondwana. *Island Arc*, 28, e12275.
- Choi, D.K., 2019b, Evolution of the Taebaeksan Basin, Korea: II, late Paleozoic sedimentation in a retroarc foreland basin and assembly of the proto-Korean Peninsula. *Island Arc*, 28, e12277.
- Dickinson, W.R. and Gehrels, G.E., 2009, Use of U-Pb ages of detrital zircons to infer maximum depositional ages of strata: A test against a Colorado Plateau Mesozoic database. *Earth and Planetary Science Letters*, 288, 115-125.
- Hoskin, P.W.O. and Black, L.P., 2000, Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Journal of Metamorphic Geology*, 18, 423-439.
- Kang, J.H., Kim, H.S. and Oh, S.B., 1997, Geological Structure of Precambrian to Paleozoic metasedimentary rocks in the Janggunbong area, Korea-Crustal evolution and environmental geology of the central part of the North Sobaegsan Massif, Korea. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 6, 244-259 (in Korean with English abstract).
- Kee, W.-S., Kim, S.W., Kim, H., Hong, P.S., Kwon, C.W., Lee, H.-J., Cho, D.-L., Koh, H.J., Song, K., Uh, B., Jang, Y. and Lee, B., 2019, 1:1,000,000 Geological Map of Korea. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon (in Korean).
- Kim, H.S., 2019, Reassessment of the Pyeongan Supergroup: Metamorphism and Deformation of the Songrim Orogeny. *Economic and Environmental Geology*, 52, 367-379 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.S. and Yi, K., 2015, Multiple metamorphic episodes recorded in the Paleozoic Pyeongan Supergroup on the northeastern margin of the Yeongnam massif, South Korea: Implications for the Songrim (Indosinian) orogeny. *Journal of Asian Earth Sciences*, 113, 883-896.
- Kim, J. and Cho, M., 2003, Low-pressure metamorphism and leucogranite magmatism, northeastern Yeongnam Massif, Korea: implication for Paleoproterozoic crustal evolution. *Precambrian Research*, 122, 235-251.
- Kim, K.Y., Kim, H.S., Oh, C.W., Park, C.S., Kang, J.H. and Ryu, Y.B., 1996, Poly-metamorphism of Pre-Cambrian to Paleozoic metasedimentary rocks in Janggunbong area, Korea -Crustal evolution and environmental geology of the central part of the North Sobaegsan Massif, Korea-. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 5, 168-187 (in Korean with English abstract).
- Kim, M.G. and Lee, Y.I., 2018, The Pyeongan Supergroup (upper Paleozoic-Lower Triassic) in the Okcheon Belt, Korea: A review of stratigraphy and detrital zircon provenance, and its implications for the tectonic setting of the eastern Sino-Korean Block. *Earth-Science Reviews*, 185, 1170-1186.
- Kim, N., Cheong, C.-S., Yi, K., Song, Y.-S., Park, K.-H., Geng, J.-Z. and Li, H.-K., 2014, Zircon U-Pb geochronological and Hf isotope constraints on the Precambrian crustal evolution of the north-eastern Yeongnam Massif, Korea. *Precambrian Research*, 242, 1-21.
- Kim, N.H., Cheong, C.-S., Park, K.-H., Kim, J. and Song, Y.-S., 2012, Crustal evolution of northeastern Yeongnam Massif, Korea, revealed by SHRIMP U-Pb zircon geochronology and geochemistry. *Gondwana Research*, 21, 865-875.
- Kim, N.H., Park, K.-H., Song, Y.S. and Kang, J.-H., 2002, A note on absence of Giseong Series and relation of Precambrian

- Pyeonghae Series and Wonnam Series of Pyeonghae-Uljin area. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 11, 271-277 (in Korean with English abstract).
- Kim, O.J., Hong, M.S., Park, H.I. and Kim, K.T., 1963a, Explanatory text of the geological map of Sam Gun Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 36 p (in Korean with English abstract).
- Kim, O.J., Hong, M.S., Park, H.I., Won, J.K., Park, Y.D. and Kim, K.T., 1963b, Explanatory text of the geological map of Pyong Hae Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 28 p (in Korean with English abstract).
- 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.
- Kobayashi, T., 1933, A sketch of Korean geology. *American Journal of Science*, 156, 585-606.
- Lee, S.-G., Shimizu, H., Masuda, A. and Song, Y.-S., 1992, Crustal evolution of the Precambrian basement in the Korean Peninsula. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 1, 124-131.
- Lee, S.R. and Cho, K.-O., 2012, Precambrian Crustal Evolution of the Korean Peninsula. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 21, 89-112 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.I., Choi, T. and Orihashi, Y., 2011, LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of the Precambrian Yuli Group. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 81-87 (in Korean).
- Ludwig, K.R., 2012, User's manual for Isoplot 3.75: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 5, 75 p.
- Salvador, A. (Ed.), 1994, International stratigraphic guide: a guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure (No. 30). Geological Society of America, 214 p.
- Son, C.M. and Kim, S.J., 1963, Explanatory text of the geological map of Chun Yang Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 28 p (in Korean with English abstract).
- Yang, P. and Cho, M., 1995, The SBAG assemblage in the Dueumri Formation near the Chunyang granite: Algebraic analysis. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 4, 49-60 (in Korean with English abstract).