



Short Note

진안 지역에 분포하는 변성퇴적암류의 지질연대 및 지질학적 의의

강민수¹, 서인아^{2,3,*}, 이병춘¹, 전지민⁴

¹ 전남대학교 지질환경과학과

² 전북대학교 지구환경과학과 및 지구환경시스템연구소

³ 전북대학교 기후환경에너지융합학과

⁴ 진안군청 관광과

Geochronology of the metasedimentary rocks in the Jinan area and its geological implications

Min Su Kang¹, Inah Seo^{2,3,*}, Byung Choon Lee¹, Ji Min Jeon⁴

¹ Department of Geological and Environmental Sciences, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

² Department of Earth and Environmental Sciences and the Earth and Environmental System Research Center, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

³ Department of Climate, Environment and Energy, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

⁴ Tourism Division, Jinan 55434, Republic of Korea

Received: March 10, 2026 / Revised: May 8, 2026 / Accepted: May 18, 2026

*Corresponding author: +82-63-270-3339 / E-mail: inahseo@jbnu.ac.kr

요약: 한반도 남부 영남육괴와 옥천대의 경계부를 따라 분포하는 시대미상의 변성퇴적암류의 층서적 의의 및 고생대 지층으로의 귀속 여부에 관한 논의가 지속되어 왔으나 이를 뒷받침할 지질연대학적 연구는 아직 부족하다. 본 연구는 전북 진안 지역에 분포하는 이질 및 사질 천매암에 대한 쇄설성 저어콘 U-Pb 연대분석 및 미량원소 분석을 실시하여 최대퇴적시기, 인접 지질단위와의 기원지적 연관성을 검토하였다. 쇄설성 저어콘 입자는 뚜렷한 화성기원의 내부구조 및 미량원소 특성을 나타내며 신시생대의 다소 약한 연대 피크(2.5 Ga)와 고원생대 라이악스기(2.3-2.1 Ga)부터 오로세이라기 말기(2.05-1.95 Ga)에 강한 연대 피크를 보이며, 가장 젊은 저어콘 연대 군집의 가중평균연대는 이질 천매암에서 약 1933 Ma, 사질 천매암에서 1956 Ma로 나타났다. 이러한 특성은 옥천대를 따라 분포하는 고생대 퇴적암 및 변성퇴적암류와 상이하여 상호간 기원지적 친화성이나 층서적 연관성이 확인되지 않았다. 한편 인접한 영남육괴의 변성퇴적암류 기반암과 일부 연대군 및 연대피크를 공유하나, 세부적 구성 비율에서는 차이를 보였다. 이러한 결과는 영남육괴-옥천대 경계를 따라 분포하는 변성퇴적암류의 층서적 연관성에 대한 면밀한 검토와 향후 영남육괴 고원생대 층서 재확립의 필요성을 시사한다.

주요어: 영남육괴, 옥천대, 지질연대, 변성퇴적암

ABSTRACT: Stratigraphic implications and the potential Paleozoic assignment of age-unknown metasedimentary rocks along the boundary along the Okcheon Belt in Korea have been subjects of ongoing debate. However, geochronological constraints remain insufficient. This study presents detrital zircon U-Pb and trace element data for pelitic and psammitic phyllites in the Jinan area to evaluate their maximum depositional age, provenance affinity, and geological implications. The analyzed zircon grains exhibit well-developed igneous zoning patterns and trace element compositions, typical of magmatic origin. The studied phyllites show a subordinate late Neoproterozoic peak (ca. 2.5 Ga) with strong Paleoproterozoic Rhyacian to Orosirian peaks (2.3-2.1 Ga and 2.05-1.95 Ga). The weighted mean age of the youngest zircon clusters are ca. 1933 Ma for the pelitic phyllite and ca. 1956 Ma for the psammitic phyllite. These geochronological characteristics are distinct from those of the Paleozoic sedimentary and metasedimentary rocks in the Okcheon Belt, indicating a lack of provenance affinity or stratigraphic correlation. Although the studied rocks share certain age groups and peaks with the Paleoproterozoic metasedimentary basement of the Yeongnam Massif, they differ in the relative proportions of these components. These results suggest the need for a detailed reassessment of the stratigraphic relationships among metasedimentary units along the Yeongnam Massif-Okcheon Belt boundary and a refined Paleoproterozoic stratigraphic framework for the Yeongnam Massif.

Key words: Yeongnam Massif, Okcheon Belt, geochronology, metasedimentary rocks

1. 서론

1990년대 이후 저어콘 U-Pb 연대측정 기법의 발전은 한반도 지질계통에 대한 기존의 틀을 보완하는 한편 새로운 해석을 가능하게 하였다. 예로써, 경기육괴와 영남육괴의 형성이 시생대 뿐만 아니라 고원생대에 걸쳐 이루어졌음이 밝혀졌고(e.g., Lee, S.R. *et al.*, 2000; Lee and Cho, 2012; Lee, B.C. *et al.*, 2014; Cho *et al.*, 2017; Kang *et al.*, 2023), 한반도 지질계통에서 부재하거나 매우 제한적이었다고 인식되었던 중원생대, 신원생대, 페름기 등의 화성활동 역시 활발히 보고되었다(e.g., Yi *et al.*, 2012; Kim, M.J. *et al.*, 2016; Kim, S.W. *et al.*, 2018; Lee, B.Y. *et al.*, 2023). 나아가 흔히 태백산 분지에 주로 분포하는 것으로 인지되어 온 고생대의 지층들 역시 옥천대를 따라 산출되며(e.g., Lim *et al.*, 2005, 2006, 2007; Jang *et al.*, 2024 and references therein), 홍성-임진강대와 경기육괴 및 영남육괴 내에서도 잇따라 확인됨에 따라 한반도 지질 진화사에 대한 포괄적 재해석이 요구되고 있다(Kee *et al.*, 2008; Cho *et al.*, 2010; Cho, 2014; Kim, S.W. *et al.*, 2017; Lee, B.C. *et al.*, 2024; Jeong *et al.*, 2025; Kwak *et al.*, 2025).

옥천대의 남서부에는 영남육괴와의 경계를 따라 북동-남서방향으로 변성퇴적암류가 널리 발달하며, 이 중 탄층 및 식물화석을 배태하는 지층들은 삼척 및 영월 등지에 나타나는 평안누층군과 대비된다(e.g., Kim, Y.B. *et al.*, 2001; Kim, D.Y. *et al.*, 2015; Kim and Lee, 2017, 2018 and references therein). 반면 이들과 인접하고 호남전단대를 따라 산재하는 운모편암, 석영-백운모편암, 규암, 대리암 등으로 구성된 변성퇴적암류는 층서가 불명확하였으며, 과거 시대 미상층으로 간주되거나 선캄브리아기에 형성되었을 것으로 추정되었다(e.g., Kinoshita, 1929; Chang and Kim, 1967; Choi and Yoon, 1968; Kim *et al.*, 2001). 이들은 지역에 따라 용암산층, 영진층, 갈두층, 설옥리층 등의 층명이 부여되었으나, 지역간 대비도 일관적으로 이루어지지 어려웠으며 비교적 변성퇴적암류의 노출이 양호한 해남 지역에서 일부 층서가 정리된 것에 그친다(Kim *et al.*, 2001).

최근 전남 영광-장성, 영암-강진-해남 지역의 갈두층(Kim *et al.*, 2001)에 해당하는 영역에서 쇄설성 저어콘 U-Pb 연대 측정 결과 약 379-246 Ma의 최대퇴적연령이 산출되고 연대분포 특성 또한 평안누층군과의 유사성을 보여 이들 중 일부는 후기 고생대 내지 중생대 전기 트라이아스기에 퇴적되었을 것으로 해석되었다(e.g., Ha, 2014; Choi *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2015). 그러나 이들과 인접한, 곡성-임실-진안으로 연장되는 변성퇴적암의 일부는 현재까지 층서적 단서가 부재하며, 최신 1:1,000,000 지질도에서 최대퇴적연대

(508 Ma)에 기반하여 상부 고생대층으로 추정되었다(Kee *et al.*, 2019).

상기 지층의 지리적 연장선상에 놓이는 진안 지역에도 유사한 산상을 보이는 변성퇴적암이 분포한다. 기존 연구에서는 이 변성퇴적암이 선캄브리아시대 선각산 화강편암(Kim, 1990)의 후기산물로 보이는 페그마타이트 암맥에 관입당하였다는 야외 관찰을 근거로 이 변성퇴적암을 선캄브리아시대로 해석하였다(Ahn *et al.*, 1997). 그러나 진안 지역의 변성퇴적암이 지역에 따라 천매암 수준의 낮은 변성도를 보이며, 상술하였듯 유사한 산상의 변성퇴적암류가 고생대 내지 전기 트라이아스기의 지층으로 재해석되는 최근의 연구 결과들과 상충한다. 아직까지 진안지역에 발달한 변성퇴적암류의 형성시기를 입증할 만한 지구연대학적 자료는 보고되지 않은 바, 본 연구는 해당 변성퇴적암류에 대한 저어콘 U-Pb 연대 자료를 제공하고자 한다. 이를 바탕으로 기존의 층서적 해석에 대해 재고찰하는 한편, 옥천대-영남육괴 경계부의 시대 미상 변성퇴적암류의 층서를 재검토하기 위한 단서를 제시한다.

2. 지질개요

한반도의 변성복합체는 북으로부터 남으로 관모육괴, 낭림육괴, 경기육괴 및 영남육괴로 구분된다(그림 1a). 가장 남부에 분포하는 영남육괴는 주로 선캄브리아시대 변성퇴적암류(이질, 사질, 석회질 기원 등)와 규장질 내지 고철질의 변성화성암류로 구성된다. 쇄설성 저어콘 연대측정 결과에 의하면, 변성퇴적암류들은 약 2000 Ma 이전에 퇴적되었으며(e.g., Lee *et al.*, 2011; Lee and Cho, 2012; Kee *et al.*, 2019), 약 2000-1860 Ma에 산성 내지 염기성의 변성화성암류가 관입하였다(e.g., Kim *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2019; Cheong *et al.*, 2020; Cho *et al.*, 2020). 이후 이 암석들은 약 1870-1840 Ma에 고도의 변성작용을 경험한 것으로 알려져 있다(e.g., Kim *et al.*, 1994; Oh *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2017; Lee and Cho, 2020).

연구 지역은 진안군 일대로 영남육괴 북중부에 위치하고 있으며, 1:50,000 지질도 기준 진안 도폭에 해당한다(Shimamura, 1924). 진안군의 기저부는 선캄브리아시대 변성퇴적암류 및 화강편암으로 구성되며, 이들을 백악기 화성암 및 퇴적암이 피복하고 있다(그림 1b). 연구 대상인 변성퇴적암류는 선캄브리아시대 화강편암 내 패치상으로 고립되어 분포하며 진안군 백운면 부근에서 진안군 평촌 부근에 걸쳐 북동-남서 방향으로 발달한다. 주로 운모편암으로 구성되나 일부에서는 변성도가 낮은 천매암으로 나타나며(Shimamura, 1924), 곡성군 옥곡면에 나타나

설옥리층의 연장으로 간주된 바 있다(Kim *et al.*, 1984; Ahn *et al.*, 1997).

주변의 화강편마암은 일부 페그마타이트 등의 조직이 연구대상 변성퇴적암을 관입하였다고 여겨지기도 하였으나(Shimamura, 1924; Kim *et al.*, 1984; Kim, 1990; Ahn *et al.*, 1997), 페그마타이트의 기원 등에 대한 암석학적 연구는 수행되지 않았으며, 변성퇴적암에 비해 변성도가 높아 기반암일 가능성이 있다고 판단된다. 화강편마암은 대개 조립질에 암회색 내지 담홍색을 띠나, 일부에서는 장식 반정 혹은 백운모를 함유하기도 한다(Shimamura, 1924). 이들 변성퇴적암 및 화강편마암은 백악기 복운모 화강암에 의해 관입당하였다. 이 암체는 진안군 백운면 부근에만 나타나며, 조립의 백운모 및 흑운모를 가지는 것이 특징이

다(Shimamura, 1924).

연구 지역의 서편에는 백악기 퇴적암류인 산수동층과 마이산 역암층이 나타난다. 산수동층은 세일 및 사암이 호층으로 나타나며, 마이산 역암층에 부정합으로 피복된다고 여겨졌으나(Shimamura, 1924), 이후 동시기에 쌓인 지층으로 해석되었다(Lee, 1992; Lee *et al.*, 2020). 마이산 역암층은 부귀산, 마이산 등의 고봉을 형성하고, 주로 역암으로 구성되며 얇은 중립질 사암이 협재한다. 역암의 역은 등글거나 각진 형태를 보이며, 그 종류는 화강암, 세일, 천매암 등으로 다양하다(Shimamura, 1924; Lee, 1992).

3. 암상기재

연구대상 암체는 전북특별자치도 진안군 백운면 노촌리

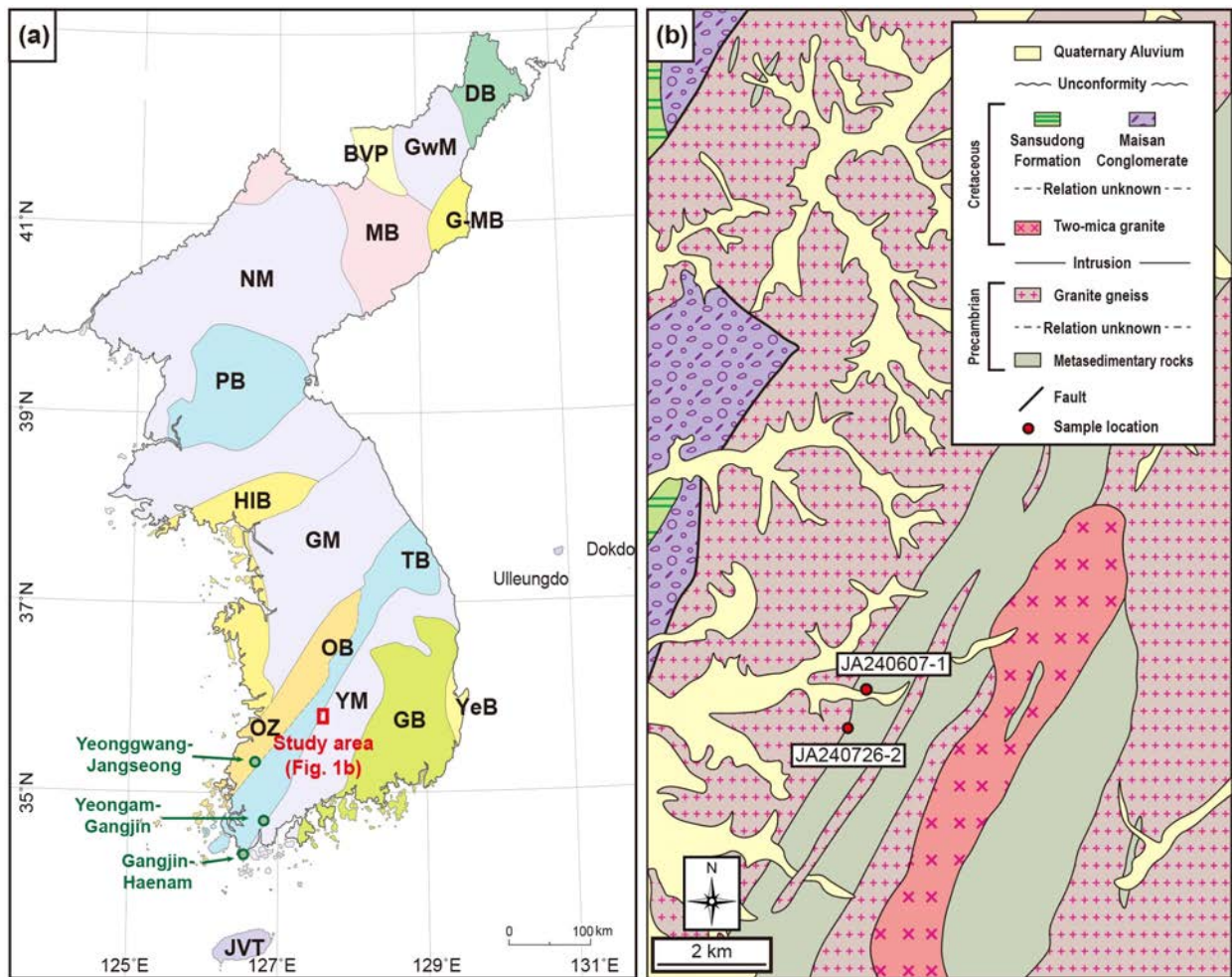


Fig. 1. (a) Tectonic province map of the Korean Peninsula (1:1,000,000 scale) (modified from Kee *et al.*, 2019). (b) Geological map of the Jinan area (modified from Shimamura, 1924). Red circles represent sample locations. Abbreviations: DB, Dumangang Belt; BVP, Baekdusan Volcanic Plateau; GwM, Gwanmo 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; OZ: Okcheon Zone; YB, Yeongnam Massif; GB, Gyeongsang Basin; YeB, Yeonil Basin; JVT, Jeju Volcanic Terrain.

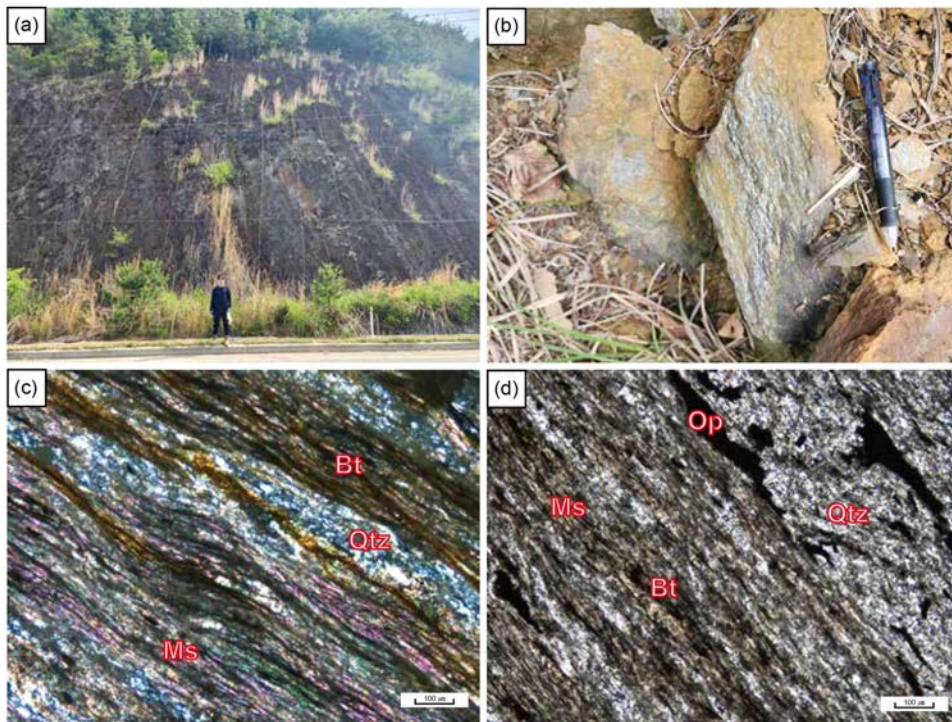


Fig. 2. Outcrop photographs (a, b) and thin-section photomicrographs (c, d) of pelitic phyllite (sample JA240607-1) in the Jinan area. (a) Field occurrence of the pelitic phyllite; (b) Close-up view showing nacreous luster and well-developed foliation; (c, d) Photomicrographs showing muscovite-quartz-biotite dominant layers under plane- and cross-polarized light, respectively. Abbreviations: Bt, biotite; Ms, muscovite; Qtz, quartz; Op, opaque minerals.

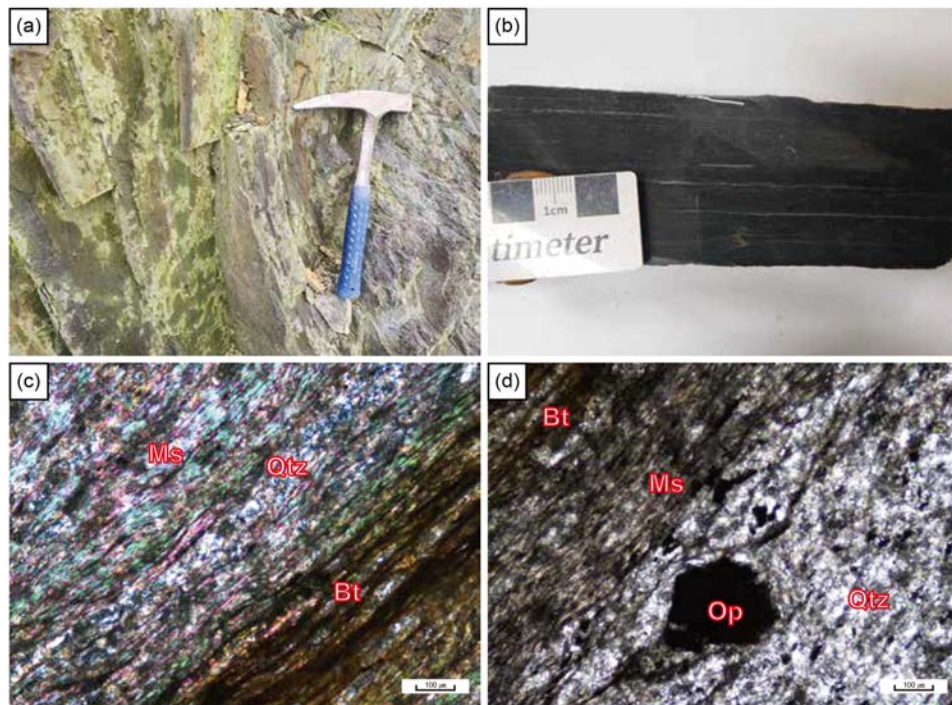


Fig. 3. Outcrop photographs (a, b) and thin-section photomicrographs (c, d) of psammitic phyllite (sample JA240726-2) in the Jinan area. (a) Outcrop showing prominent foliation; (b) Hand specimen showing thick quartz-rich layers intercalated with minor mica-rich layers; (c, d) Photomicrographs of quartz-rich and mica-rich layers under plane- and cross-polarized light, respectively. Abbreviations: Bt, biotite; Ms, muscovite; Qtz, quartz; Op, opaque minerals.

노촌저수지 일대에 분포하는 이질 천매암(시료 JA240607-1: 35°42'43.88"N, 127°25'50.81"E) 및 사질 천매암(시료 JA240726-2: 35°42'30.20"N, 127°25'45.70"E)이다.

이질 천매암(시료 JA240607-1)은 전체적으로 담회색 내지 암회색을 띠며, 벽개와 엽리가 잘 발달하고 진주 광택을 보이는 것이 특징이다(그림 2a, 2b). 엽리면의 주향은 북동(N25°E)이며, 경사는 북서(55°NW)이다. 야외관찰결과 세립질의 석영 및 운모류로 구성되어 있으며, 황철석이 함께 나타난다. 일부에서는 이질 기원의 층과 사질 기원의 층이 얇게 교호하며 나타난다. 박편 관찰결과 세립질의 석영, 흑운모, 백운모, 불투명광물이 주 구성광물로 나타나며, 백운모와 흑운모는 한방향으로 배열하여 뚜렷한 엽리 구조를 보인다(그림 2c, 2d). 흑운모와 백운모는 대개 서로 독립된 층에서 우세하게 발달하는 양상을 보이나, 부분적으로는 백운모가 우세한 층 내에 흑운모가 발달하는 양상을 보이기도 한다(그림 2c, 2d).

사질 천매암(시료 JA240726-2)은 전체적으로 담회색

내지 암회색을 띠며 뚜렷한 편리구조가 발달하였다(그림 3a, 3b). 박편 관찰결과 세립질의 석영, 흑운모, 백운모, 불투명광물이 주 구성광물로 나타나고, 사질 기원의 석영질 영역과 이질 기원의 운모질 영역이 분리되어 교호하는 엽리를 보인다(그림 3c, 3d). 특히 석영질 영역이 두껍게 발달하여, 이질 천매암 시료(JA240607-1)에 비해 운모질 영역의 발달이 미약하다. 백운모와 흑운모는 한방향으로 배열하여 뚜렷한 엽리구조를 보이며, 흑운모는 독립된 층으로 발달하지 못하고 백운모가 우세한 층 내에 발달하는 양상을 보인다(그림 3c, 3d).

4. 분석방법

저어콘 U-Pb 연대측정을 하기 위해서 Cho (2004)가 제시한 중광물 분리 방법을 따랐으며, 암석 시료를 조분쇄기(jaw crusher)로 분쇄한 이후 미분기(pulverizer)를 이용하여 분말로 만들고 물을 이용하여 가벼운 광물을 제거하였다. 이후 네오디뮴 자석을 이용하여 자성 광물 제거 후 중

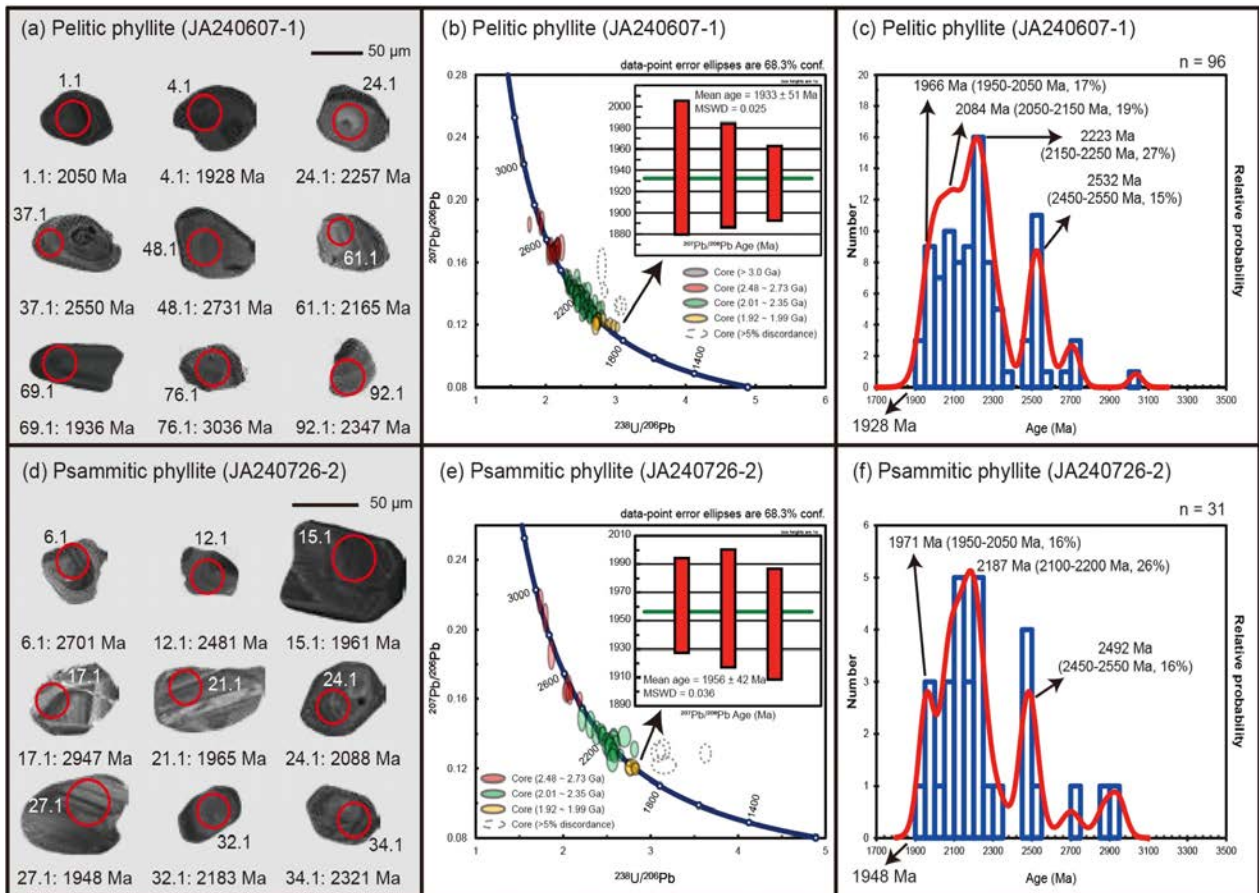


Fig. 4. LA-MC-ICP-MS U-Pb results for detrital zircons from the Jinan area. Pelitic phyllite (sample JA240607-1): (a) representative CL images, (b) Tera-Wasserburg concordia diagram, and (c) age probability density diagram. Psammitic phyllite (sample JA240726-2): (d) representative CL images, (e) Tera-Wasserburg concordia diagram, and (f) age probability density diagram.

광물만을 농집시켰으며, 실체현미경을 이용하여 수선별을 진행하였다. 선별된 저어콘은 저어콘 표준물질(standard zircon)과 함께 에폭시 수지에 고정하여 연마하였다. 이후 저어콘 내부구조를 확인하기 위해 주사현미경(JEOL JSM-6610LV)으로 음극발광(cathodoluminescence)과 후방산란전자(backscattered electron) 영상을 획득하였다.

이질 및 사질 천매암(시료 JA240607-1 및 JA240726-2)의 저어콘 U-Pb 및 미량원소 분석은 중국 후베이성 우한시에 위치한 우한 샘플 솔루션 분석 기술회사의 레이저사삭시스템(Laser ablation, LA; GeoLas HD)이 부착된 다검출기 유도결합플라즈마 질량분석기(Multi-collector Inductively Coupled-Plasma Mass Spectrometer, MC-ICPMS; Agilent 7700)를 이용하여 분석하였으며, GJ-1 (609 Ma; Jackson *et al.*, 2004), Plešovice (337.1 Ma; Sláma *et al.*, 2008) 및 Tanz (566.16 Ma; Hu *et al.*, 2021) 저어콘 표준물질과

NIST610 glass 표준물질을 이용하여 보정하였다. 분석된 저어콘 표준물질 연대는 각각 GJ-1에서 603.5 ± 1.2 Ma ($n = 34$, MSWD = 0.94, probability = 0.33), Plešovice에서 336.9 ± 0.79 Ma ($n = 24$, MSWD = 0.37, probability = 0.55) 및 Tanz에서 565.8 ± 1.3 Ma ($n = 23$, MSWD = 1.6, probability = 0.20)이며, 이는 앞서 언급한 각 표준물질에 대해 보고된 연대와 잘 일치한다. 저어콘 U-Pb 동위원소에 사용된 레이저 빔 직경은 24 μm 및 32 μm 이며, 주파수는 6 Hz이다. 보통 납 보정의 경우 ^{204}Pb 을 직접 측정하여 보정하였다. ^{204}Hg 에 의한 간섭효과는 LA 시스템에 wire signal-smoothing 및 mercury-removing 기기를 부착하여 제거하였다(Hu *et al.*, 2015).

분석된 데이터는 ICPMSDataCal 10.7 소프트웨어 프로그램을 이용하여 보정하였으며, Isoplot (ver. 4.15; Ludwig, 2012) 소프트웨어를 이용하여 연대계산을 실시하였다. 저어

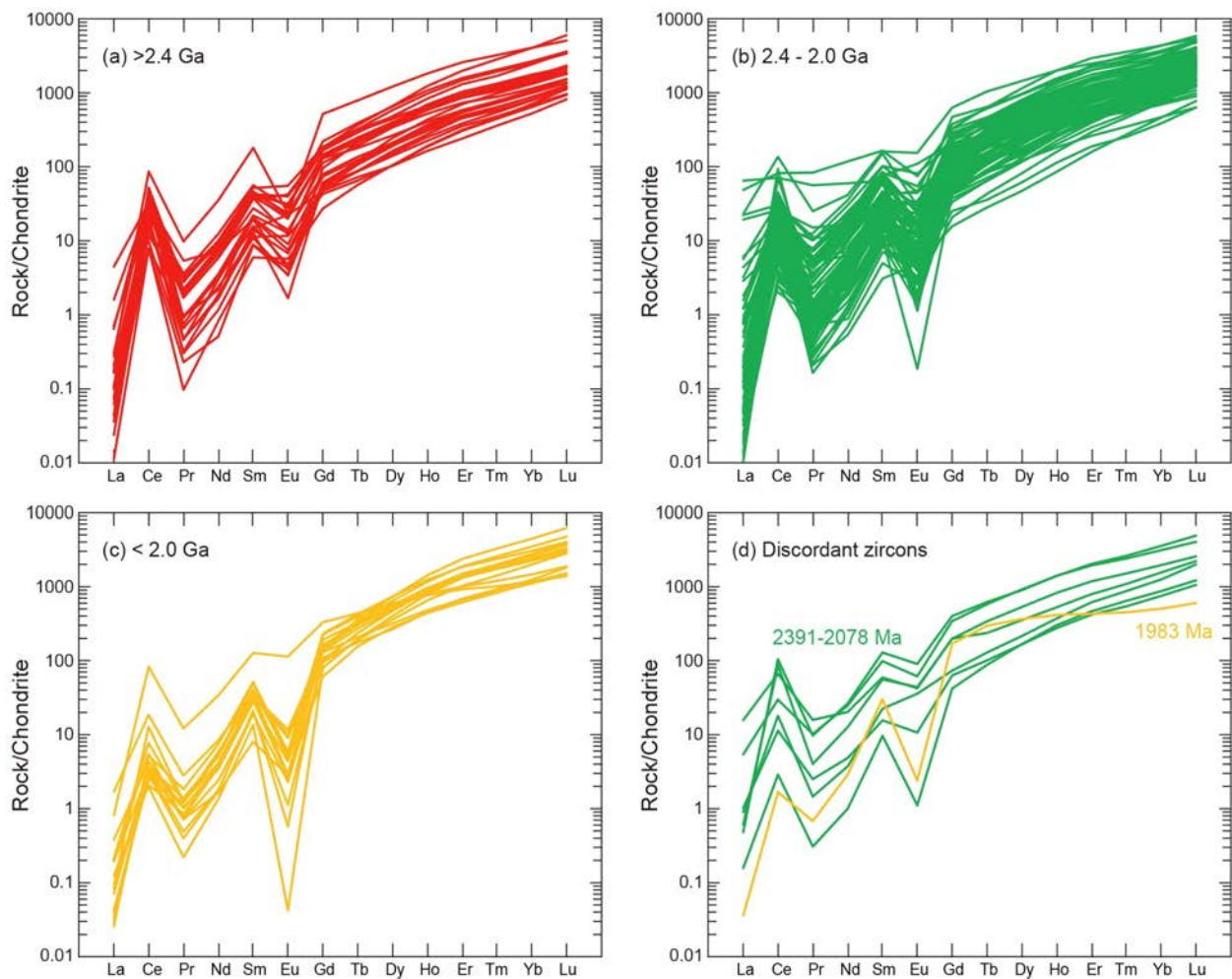


Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns of analyzed detrital zircons. Patterns for concordant zircons are categorized by age populations: (a) >2.4 Ga, (b) 2.4-2.0 Ga, and (c) <2.0 Ga. (d) REE patterns of discordant zircons from pelitic phyllite (JA240607-1) and psammitic phyllite (JA240726-2). Normalizing values for Chondrite are from McDonough and Sun (1995).

Table 1. LA-ICP-MS U - Pb zircon data for pelitic phyllite (JA240607-1), Jinan area.

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	rho	Apparent Age (Ma)				Discor- dance (%)
												²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U age	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb age	±	
Sample	Pelitic phyllite (JA240607-1)															
1.1	Core	171	55.5	0.32	0.1264	0.0024	6.8495	0.1413	0.3912	0.0034	0.4219	2128	16	2050	34	2
2.1	Core	56.4	44.7	0.79	0.1840	0.0037	14.3421	0.2842	0.5644	0.0053	0.4703	2885	22	2700	33	4
3.1	Core	27.6	22.0	0.80	0.1679	0.0048	11.1813	0.3520	0.4806	0.0062	0.4070	2530	27	2537	48	1
4.1	Core	319	70.0	0.22	0.1180	0.0023	5.4064	0.1031	0.3304	0.0024	0.3770	1840	12	1928	35	3
5.1	Core	201	119	0.60	0.1202	0.0027	5.7013	0.1268	0.3421	0.0032	0.4178	1897	15	1959	40	2
6.1	Core	203	53.1	0.26	0.1433	0.0037	8.5473	0.2287	0.4294	0.0053	0.4598	2303	24	2333	50	1
7.1	Core	150	67.6	0.45	0.1406	0.0034	7.9961	0.1989	0.4095	0.0046	0.4493	2213	21	2235	42	1
8.1	Core	220	53.3	0.24	0.1247	0.0028	6.5963	0.1482	0.3809	0.0036	0.4196	2081	17	2024	40	2
9.1	Core	148	54.4	0.37	0.1679	0.0050	10.7090	0.3197	0.4602	0.0071	0.5147	2441	31	2537	50	3
10.1	Core	290	178	0.61	0.1350	0.0029	7.4260	0.1583	0.3962	0.0033	0.3887	2151	15	2165	37	1
11.1	Core	180	123	0.68	0.1282	0.0029	6.8898	0.1562	0.3873	0.0034	0.3919	2110	16	2073	45	1
12.1	Core	93.0	193	2.08	0.1318	0.0034	7.0125	0.1879	0.3831	0.0041	0.3995	2091	19	2121	45	2
13.1	Core	328	188	0.57	0.1493	0.0037	8.8460	0.2173	0.4274	0.0041	0.3907	2294	19	2339	43	2
14.1	Core	123	90.4	0.74	0.1640	0.0046	11.1181	0.3086	0.4890	0.0049	0.3577	2566	21	2498	47	2
15.1	Core	137	68.6	0.50	0.1311	0.0037	6.9264	0.1993	0.3817	0.0055	0.5053	2084	26	2113	50	1
16.1	Core	206	86.8	0.42	0.1269	0.0033	6.5524	0.1758	0.3730	0.0046	0.4607	2044	22	2057	46	1
17.1	Core	255	133	0.52	0.1241	0.0030	6.5219	0.1572	0.3794	0.0036	0.3891	2073	17	2017	43	2
18.1	Core	77.4	26.9	0.35	0.1409	0.0033	8.2383	0.1927	0.4222	0.0042	0.4291	2271	19	2239	41	1
19.1	Core	219	388	1.77	0.1411	0.0030	6.8681	0.1437	0.3515	0.0035	0.4722	1942	17	2240	36	8
20.1	Core	101	51.8	0.51	0.1440	0.0031	8.4788	0.1810	0.4256	0.0043	0.4762	2286	20	2276	37	1
21.1	Core	124	36.9	0.30	0.1204	0.0028	6.0874	0.1386	0.3654	0.0040	0.4837	2008	19	1963	42	1
22.1	Core	111	77.3	0.69	0.1311	0.0032	6.9145	0.1655	0.3813	0.0045	0.4911	2082	21	2113	49	1
23.1	Core	63.9	23.3	0.37	0.1670	0.0037	10.9342	0.2402	0.4744	0.0050	0.4833	2503	22	2527	32	1
24.1	Core	108	52.8	0.49	0.1423	0.0029	8.2257	0.1669	0.4187	0.0041	0.4829	2254	19	2257	35	1
25.1	Core	278	75.4	0.27	0.1203	0.0023	5.7506	0.1105	0.3465	0.0030	0.4492	1918	14	1961	33	2
26.1	Core	111	44.2	0.40	0.1379	0.0041	7.6832	0.2245	0.4052	0.0060	0.5051	2193	27	2202	51	1
27.1	Core	314	66.2	0.21	0.1241	0.0025	6.2388	0.1334	0.3645	0.0037	0.4695	2003	17	2017	35	1
28.1	Core	310	161	0.52	0.1313	0.0027	6.4588	0.1444	0.3567	0.0034	0.4295	1966	16	2117	35	4
29.1	Core	177	85.1	0.48	0.1382	0.0031	7.8209	0.1913	0.4107	0.0042	0.4182	2218	19	2205	40	1
30.1	Core	42.7	40.8	0.96	0.1462	0.0041	8.5211	0.2537	0.4239	0.0054	0.4249	2278	24	2302	48	1
31.1	Core	159	76.8	0.48	0.1355	0.0029	7.5099	0.1764	0.4017	0.0039	0.4095	2177	18	2172	38	1
32.1	Core	31.5	26.5	0.84	0.1362	0.0036	7.5542	0.2192	0.4018	0.0049	0.4228	2177	23	2179	46	1
33.1	Core	135	70.7	0.52	0.1430	0.0043	8.1733	0.2551	0.4150	0.0058	0.4498	2238	27	2265	53	1
34.1	Core	106	161	1.52	0.1680	0.0036	10.9287	0.2410	0.4719	0.0046	0.4417	2492	20	2538	35	2

Table 1. Continued.

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	\pm	$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U	\pm	$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	\pm	rho	Apparent Age (Ma)				Discor- dance (%)
												$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U age	\pm	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb age	\pm	
Sample	Pelitic phyllite (JA240607-1)															
35.1	Core	290	61.8	0.21	0.1218	0.0024	6.1142	0.1256	0.3636	0.0031	0.4187	1999	15	1983	35	1
36.1	Core	250	103	0.41	0.1288	0.0026	6.8214	0.1398	0.3837	0.0034	0.4302	2093	16	2083	35	1
37.1	Core	128	88.4	0.69	0.1692	0.0056	10.4897	0.3665	0.4489	0.0058	0.3725	2390	26	2550	56	4
38.1	Core	193	176	0.91	0.1299	0.0026	6.7502	0.1421	0.3757	0.0032	0.4005	2056	15	2098	36	2
39.1	Core	213	94.2	0.44	0.1378	0.0030	7.4493	0.1612	0.3912	0.0039	0.4551	2129	18	2200	39	2
40.1	Core	224	72.0	0.32	0.1377	0.0031	7.3274	0.1588	0.3852	0.0037	0.4467	2100	17	2198	39	3
41.1	Core	94.7	37.4	0.40	0.1398	0.0035	7.6902	0.1888	0.3975	0.0042	0.4343	2157	20	2224	76	2
42.1	Core	96.5	58.4	0.60	0.1539	0.0064	7.7403	0.3921	0.3565	0.0049	0.2696	1965	23	2391	71	12
43.1	Core	162	83.8	0.52	0.1306	0.0035	6.9727	0.1848	0.3855	0.0047	0.4589	2102	22	2106	48	1
44.1	Core	98.1	103	1.05	0.1652	0.0040	10.8703	0.2660	0.4752	0.0051	0.4429	2506	23	2510	41	1
45.1	Core	303	154	0.51	0.1268	0.0026	6.4887	0.1367	0.3696	0.0035	0.4504	2027	17	2054	42	1
46.1	Core	315	53.6	0.17	0.1221	0.0036	6.1251	0.1870	0.3632	0.0045	0.4017	1997	21	1987	47	1
47.1	Core	201	40.4	0.20	0.1242	0.0027	6.2374	0.1410	0.3629	0.0039	0.4694	1996	18	2018	33	1
48.1	Core	101	51.8	0.51	0.1887	0.0040	13.7294	0.3011	0.5261	0.0053	0.4576	2725	22	2731	34	1
49.1	Core	160	79.9	0.50	0.1437	0.0032	8.3458	0.1993	0.4204	0.0047	0.4633	2262	21	2272	39	1
50.1	Core	203	299	1.47	0.1378	0.0038	7.7391	0.2170	0.4062	0.0047	0.4099	2198	21	2211	48	1
51.1	Core	237	77.9	0.33	0.1282	0.0031	6.7098	0.1719	0.3786	0.0042	0.4295	2070	20	2074	42	1
52.1	Core	67.0	27.7	0.41	0.1698	0.0039	10.7986	0.2686	0.4600	0.0054	0.4682	2440	24	2567	39	3
53.1	Core	342	218	0.64	0.1629	0.0032	10.5625	0.2147	0.4694	0.0044	0.4601	2481	19	2487	32	1
54.1	Core	132	298	2.25	0.1299	0.0028	6.8185	0.1637	0.3795	0.0044	0.4831	2074	21	2096	71	1
55.1	Core	123	19.7	0.16	0.1261	0.0036	6.5430	0.1945	0.3743	0.0048	0.4296	2049	22	2056	50	1
56.1	Core	248	100	0.40	0.1305	0.0028	6.5209	0.1434	0.3614	0.0033	0.4160	1989	16	2106	38	3
57.1	Core	168	58.2	0.35	0.1228	0.0030	6.0142	0.1487	0.3538	0.0033	0.3802	1953	16	1998	43	2
58.1	Core	98.5	49.0	0.50	0.1858	0.0047	13.2040	0.3427	0.5137	0.0058	0.4341	2672	25	2705	41	1
59.1	Core	81.0	62.7	0.77	0.1397	0.0036	7.7051	0.1957	0.3996	0.0047	0.4600	2167	22	2224	72	2
60.1	Core	189	159	0.84	0.1647	0.0035	10.5119	0.2260	0.4609	0.0042	0.4260	2444	19	2505	36	2
61.1	Core	114	29.8	0.26	0.1349	0.0040	7.2262	0.2119	0.3868	0.0046	0.4031	2108	21	2165	52	2
62.1	Core	136	54.8	0.40	0.1290	0.0039	6.9701	0.2086	0.3900	0.0049	0.4186	2123	23	2084	54	1
63.1	Core	246	107	0.43	0.1506	0.0032	8.5095	0.1830	0.4080	0.0041	0.4696	2206	19	2354	36	4
64.1	Core	356	197	0.55	0.1379	0.0030	7.6081	0.1677	0.3981	0.0039	0.4435	2160	18	2202	38	2
65.1	Core	139	70.2	0.50	0.1448	0.0037	8.1130	0.2019	0.4044	0.0038	0.3815	2189	18	2287	43	3
66.1	Core	185	171	0.92	0.1240	0.0035	6.1356	0.1726	0.3567	0.0039	0.3907	1967	19	2014	51	2
67.1	Core	299	217	0.73	0.1338	0.0035	6.8529	0.1723	0.3694	0.0036	0.3830	2027	17	2148	45	4
68.1	Core	337	47.4	0.14	0.1318	0.0032	5.9877	0.1406	0.3275	0.0029	0.3748	1826	14	2122	43	8

Table 1. Continued.

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	rho	Apparent Age (Ma)				Discor- dance (%)
												²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U age	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb age	±	
Sample	Pelitic phyllite (JA240607-1)															
69.1	Core	169	50.5	0.30	0.1186	0.0029	5.5210	0.1306	0.3360	0.0031	0.3892	1868	15	1936	49	2
70.1	Core	134	201	1.50	0.1419	0.0031	7.7106	0.1723	0.3922	0.0040	0.4569	2133	19	2250	38	3
71.1	Core	155	73.2	0.47	0.1691	0.0038	10.8253	0.2591	0.4603	0.0041	0.3692	2441	18	2549	32	3
72.1	Core	214	130	0.61	0.1449	0.0035	8.5738	0.2220	0.4278	0.0043	0.3838	2296	19	2287	36	1
73.1	Core	273	132	0.48	0.1826	0.0038	13.0420	0.2869	0.5171	0.0048	0.4177	2687	20	2677	40	1
74.1	Core	97.2	59.3	0.61	0.1394	0.0037	7.9114	0.2226	0.4105	0.0045	0.3874	2217	20	2220	46	1
75.1	Core	209	175	0.84	0.1383	0.0044	7.6687	0.2434	0.3988	0.0051	0.4052	2164	24	2206	55	2
76.1	Core	191	192	1.01	0.2277	0.0046	18.9374	0.4112	0.6018	0.0055	0.4234	3037	22	3036	33	1
77.1	Core	39.1	16.3	0.42	0.1341	0.0040	7.5056	0.2260	0.4072	0.0051	0.4144	2202	23	2154	52	2
78.1	Core	254	158	0.62	0.1310	0.0042	5.9347	0.2016	0.3256	0.0055	0.4951	1817	27	2111	57	8
79.1	Core	192	167	0.87	0.1668	0.0050	11.2604	0.3350	0.4855	0.0063	0.4366	2551	27	2528	50	1
80.1	Core	110	66.2	0.60	0.1341	0.0037	7.4991	0.2156	0.4051	0.0046	0.3948	2192	21	2154	54	1
81.1	Core	212	150	0.71	0.1640	0.0040	10.8723	0.2726	0.4795	0.0048	0.4014	2525	21	2498	41	1
82.1	Core	302	211	0.70	0.1407	0.0039	7.5166	0.2154	0.3840	0.0053	0.4786	2095	25	2236	48	4
83.1	Core	206	27.9	0.14	0.1200	0.0034	6.1239	0.1753	0.3667	0.0044	0.4196	2014	21	1955	50	2
84.1	Core	95.1	46.4	0.49	0.1292	0.0043	6.7583	0.2221	0.3767	0.0048	0.3887	2061	23	2087	59	1
85.1	Core	225	131	0.58	0.1312	0.0041	7.1923	0.2208	0.3948	0.0051	0.4206	2145	24	2114	55	1
86.2	Core	177	164	0.93	0.1492	0.0034	8.9413	0.2139	0.4334	0.0041	0.3993	2321	19	2337	39	1
87.1	Core	126	40.5	0.32	0.1262	0.0030	6.9055	0.1715	0.3958	0.0042	0.4315	2150	20	2046	42	3
88.1	Core	199	41.6	0.21	0.1222	0.0027	6.2285	0.1425	0.3682	0.0036	0.4271	2021	17	1989	39	1
89.1	Core	82.9	29.3	0.35	0.1375	0.0049	7.7983	0.2713	0.4087	0.0054	0.3832	2209	25	2195	61	1
90.1	Core	206	132	0.64	0.1392	0.0035	7.8062	0.1865	0.4057	0.0034	0.3527	2195	16	2217	44	1
91.2	Core	207	93.3	0.45	0.1227	0.0028	6.1541	0.1408	0.3624	0.0032	0.3803	1993	15	1995	41	1
92.1	Core	115	76.6	0.66	0.1501	0.0038	9.0404	0.2274	0.4349	0.0043	0.3901	2328	19	2347	44	1
93.1	Core	205	121	0.59	0.1672	0.0045	10.7908	0.2875	0.4656	0.0045	0.3653	2464	20	2529	45	2
94.1	Core	100	78.6	0.79	0.1659	0.0039	10.7886	0.2512	0.4703	0.0052	0.4746	2485	23	2517	45	1
95.1	Core	41.7	42.1	1.01	0.1380	0.0040	7.8636	0.2282	0.4119	0.0048	0.3981	2223	22	2202	51	1
96.1	Core	137	103	0.75	0.1425	0.0032	8.2597	0.1833	0.4183	0.0040	0.4267	2253	18	2258	40	1
97.1	Core	102	216	2.12	0.1191	0.0042	6.0770	0.2096	0.3681	0.0051	0.3994	2020	24	1943	63	2
98.1	Core	254	190	0.75	0.1406	0.0034	7.8773	0.1885	0.4044	0.0041	0.4274	2189	19	2235	42	2
99.1	Core	211	70.0	0.33	0.1387	0.0030	7.8087	0.1689	0.4064	0.0038	0.4313	2198	17	2210	38	1
100.1	Core	64.2	26.7	0.42	0.1410	0.0033	7.8722	0.1808	0.4038	0.0042	0.4488	2186	19	2240	40	2

Errors are 1-sigma

Table 2. LA-ICP-MS U - Pb zircon data for psammitic phyllite (JA240726-2), Jinan area.

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±	rho	Apparent Age (Ma)				Discor- dance (%)
												²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U age	±	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb age	±	
Sample	Psammitic phyllite (JA240726-2)															
1.1	Core	223	123	0.55	0.2062	0.0056	15.8569	0.4572	0.5560	0.0063	0.3931	2850	26	2876	44	1
2.1	Core	155	93.4	0.60	0.1302	0.0041	5.7762	0.1869	0.3235	0.0055	0.5283	1807	27	2102	50	8
3.1	Core	395	301	0.76	0.1305	0.0037	5.7462	0.1915	0.3180	0.0052	0.4950	1780	26	2106	50	9
4.1	Core	223	112	0.50	0.1661	0.0050	11.1469	0.3690	0.4861	0.0071	0.4404	2554	31	2520	46	1
5.1	Core	132	55.9	0.42	0.1246	0.0044	6.7070	0.2596	0.3898	0.0063	0.4194	2122	29	2033	62	3
6.1	Core	188	94.2	0.50	0.1853	0.0058	13.7077	0.4607	0.5355	0.0072	0.4021	2765	30	2701	51	2
7.1	Core	74.3	48.5	0.65	0.1403	0.0046	8.1277	0.2870	0.4195	0.0062	0.4174	2258	28	2232	57	1
8.1	Core	496	51.6	0.10	0.1218	0.0034	5.3298	0.2089	0.3168	0.0090	0.7275	1774	44	1983	50	6
9.1	Core	178	244	1.37	0.1272	0.0024	6.6202	0.1315	0.3761	0.0034	0.4494	2058	16	2061	34	1
10.1	Core	134	70.5	0.52	0.1366	0.0040	7.3123	0.2362	0.3883	0.0068	0.5416	2115	32	2184	52	2
11.1	Core	214	251	1.18	0.1636	0.0033	10.7820	0.2106	0.4770	0.0041	0.4394	2514	18	2494	34	1
12.1	Core	146	68.3	0.47	0.1624	0.0042	10.8400	0.2989	0.4816	0.0059	0.4446	2534	26	2481	44	1
13.1	Core	229	108	0.47	0.1344	0.0036	7.3649	0.2207	0.3954	0.0060	0.5042	2148	28	2167	46	1
14.1	Core	218	181	0.83	0.1627	0.0043	11.0868	0.2839	0.4910	0.0064	0.5072	2575	28	2484	44	2
15.1	Core	290	114	0.39	0.1203	0.0023	5.8984	0.1150	0.3547	0.0035	0.5022	1957	17	1961	33	1
16.1	Core	346	247	0.71	0.1401	0.0033	7.9928	0.2014	0.4108	0.0056	0.5442	2218	26	2229	41	1
17.1	Core	151	55.5	0.37	0.2154	0.0052	17.1514	0.4184	0.5751	0.0070	0.4956	2929	28	2947	39	1
18.1	Core	65.4	43.2	0.66	0.1454	0.0054	8.6564	0.3303	0.4320	0.0065	0.3939	2315	29	2292	64	1
19.1	Core	76.1	81.9	1.08	0.1597	0.0034	10.0536	0.2057	0.4565	0.0041	0.4444	2424	18	2454	36	1
20.1	Core	112	225	2.01	0.1334	0.0043	7.3968	0.2596	0.4001	0.0053	0.3776	2170	24	2144	56	1
21.1	Core	144	63.7	0.44	0.1205	0.0036	6.0166	0.1843	0.3614	0.0043	0.3880	1989	20	1965	54	1
22.1	Core	423	40.7	0.10	0.1202	0.0031	5.9805	0.1854	0.3587	0.0067	0.6059	1976	32	1959	42	1
23.1	Core	336	129	0.38	0.1303	0.0033	6.4140	0.1652	0.3549	0.0037	0.4050	1958	18	2102	44	4
24.1	Core	172	56.2	0.33	0.1293	0.0036	6.9613	0.1961	0.3884	0.0048	0.4427	2115	23	2088	49	1
25.1	Core	224	78.9	0.35	0.1277	0.0035	6.8570	0.1941	0.3866	0.0046	0.4159	2107	21	2078	49	1
26.1	Core	121	39.9	0.33	0.1382	0.0043	7.7776	0.2290	0.4071	0.0054	0.4510	2201	25	2206	54	1
27.1	Core	240	90.4	0.38	0.1194	0.0026	5.8269	0.1288	0.3529	0.0038	0.4933	1949	18	1948	39	1
28.1	Core	482	607	1.26	0.1277	0.0038	4.8874	0.1431	0.2753	0.0031	0.3799	1568	15	2078	54	14
29.1	Core	211	285	1.35	0.1389	0.0034	7.8297	0.1883	0.4081	0.0041	0.4190	2206	19	2213	43	1
30.1	Core	208	86.7	0.42	0.1323	0.0044	7.0519	0.2265	0.3839	0.0046	0.3752	2094	22	2128	58	2
31.1	Core	53.1	70.8	1.33	0.1310	0.0048	7.1293	0.2619	0.3937	0.0063	0.4356	2140	29	2122	65	1
32.1	Core	262	148	0.56	0.1364	0.0039	7.0568	0.2386	0.3700	0.0067	0.5336	2030	31	2183	50	5
33.1	Core	177	83.8	0.47	0.1320	0.0043	7.2473	0.2374	0.3954	0.0048	0.3703	2148	22	2124	56	1
34.1	Core	271	115	0.42	0.1478	0.0050	9.2528	0.3188	0.4511	0.0061	0.3916	2400	27	2321	58	2
35.1	Core	138	114	0.83	0.1380	0.0034	7.3829	0.1883	0.3873	0.0046	0.4707	2110	22	2202	49	3

Errors are 1-sigma

Table 3. LA-ICP-MS REE data for zircons from pelitic phyllite (JA240607-1) and psammitic phyllite (JA240726-2), Jinan area.

Spot number	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb age	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
JA240607-1	Pelitic phyllite														
76.1	3036	0.025	15.6	0.34	5.80	8.64	1.63	45.4	14.6	166	61.1	262	52.4	454	91.4
48.1	2731	0.0086	10.7	0.045	0.77	1.99	0.097	11.8	4.07	53.4	20.8	95.6	19.8	178	35.2
58.1	2705	0.0000	6.01	0.030	0.88	1.68	0.20	10.5	3.98	48.5	19.7	89.7	18.6	169	34.5
2.1	2700	0.039	7.79	0.30	4.38	5.81	0.70	28.1	7.99	86.7	29.5	122	22.6	195	39.0
73.1	2677	0.019	7.21	0.19	3.61	6.70	1.75	34.4	12.1	148	55.1	244	49.5	430	86.4
52.1	2567	0.010	4.82	0.091	1.02	3.13	0.52	15.1	4.64	49.2	17.4	74.9	14.9	136	28.3
71.1	2549	0.0057	9.56	0.092	1.43	2.43	0.27	12.6	4.38	53.4	19.8	90.3	18.7	174	34.6
34.1	2538	0.0000	23.4	0.071	1.63	2.28	1.29	9.75	2.72	26.2	9.28	39.9	9.18	89.2	20.9
3.1	2537	0.38	19.8	0.17	2.75	4.20	0.81	16.3	5.08	53.7	18.7	81.5	16.3	149	30.4
9.1	2537	0.042	4.64	0.022	0.24	1.33	0.21	10.9	4.46	62.1	24.5	116	25.0	224	45.9
93.1	2529	0.017	14.6	0.18	3.17	6.50	2.31	38.2	12.1	119	36.8	142	27.0	229	45.5
79.1	2528	0.0000	31.4	0.086	1.67	3.38	0.74	23.4	7.17	86.6	33.2	142	29.4	262	54.4
23.1	2527	0.0027	4.84	0.0092	0.39	0.91	0.33	5.62	2.12	26.7	10.6	50.5	11.4	109	23.7
94.1	2517	1.06	19.9	0.51	3.41	2.98	0.44	11.5	3.29	38.4	14.3	63.8	13.9	135	29.2
44.1	2510	0.072	28.3	0.21	3.17	6.77	1.35	26.8	6.72	67.5	22.9	96.5	19.7	183	38.6
60.1	2505	0.015	32.1	0.26	4.67	7.07	1.35	29.2	8.55	97.1	36.1	158	31.6	280	58.9
14.1	2498	0.010	17.8	0.062	1.12	1.73	0.67	8.83	2.44	26.5	10.8	52.2	11.7	120	28.6
81.1	2498	0.011	25.3	0.045	0.84	2.16	0.39	10.0	3.25	35.6	12.7	58.7	12.2	115	24.4
53.1	2487	0.065	52.5	0.94	16.6	27.6	1.36	106	29.6	309	103	429	82.4	692	128
63.1	2354	0.062	2.46	0.13	2.97	4.98	0.35	29.3	9.20	102	37.9	164	33.1	294	60.4
92.1	2347	0.066	6.12	0.44	7.34	11.5	0.92	46.9	13.0	136	46.0	184	34.6	294	57.9
13.1	2339	0.76	17.3	0.43	4.64	6.71	0.93	34.7	11.4	126	45.0	194	38.4	331	66.9
86.1	2337	0.050	21.7	0.41	5.27	6.25	2.74	24.7	7.33	81.4	31.8	152	35.5	368	88.3
6.1	2333	0.19	8.52	0.078	0.85	1.37	0.44	9.69	4.14	57.9	25.0	126	27.7	260	56.1
30.1	2302	0.030	6.11	0.27	4.54	7.18	1.05	27.2	7.68	76.5	25.5	105	19.9	169	33.9
72.1	2287	0.012	12.9	0.14	2.32	5.20	0.25	27.2	9.12	106	40.4	177	35.3	298	59.0
65.1	2287	0.0042	9.51	0.020	0.25	0.47	0.28	3.23	1.06	12.0	4.85	26.3	6.94	78.1	19.7
20.1	2276	0.012	6.87	0.069	1.38	3.12	0.68	15.9	5.01	56.6	21.2	94.6	19.2	179	38.4
49.1	2272	0.025	8.73	0.057	0.91	1.65	0.11	10.6	3.96	51.5	20.5	98.1	20.9	192	39.2
33.1	2265	0.026	15.8	0.043	1.03	2.11	0.70	9.26	3.44	36.4	14.5	68.4	15.8	161	37.5

Table 3. Continued.

Spot number	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
JA240607-1	Pelitic phyllite														
96.1	2258	0.029	15.0	0.13	1.62	3.73	0.79	17.7	5.12	56.6	21.7	99.2	21.2	203	44.0
24.1	2257	0.013	7.71	0.12	2.34	4.48	0.87	23.3	6.76	78.3	28.6	125	25.2	228	47.3
70.1	2250	0.29	15.1	0.68	9.04	12.8	1.44	56.6	16.9	176	62.4	264	49.3	415	81.6
100.1	2240	0.0000	1.52	0.042	0.96	1.91	0.15	12.5	4.33	52.8	19.7	86.8	17.8	160	32.8
18.1	2239	0.0025	8.40	0.016	0.32	0.76	0.15	4.27	1.61	20.6	9.08	48.7	11.8	127	31.5
82.1	2236	0.0087	21.0	0.18	3.04	5.73	0.88	24.2	7.83	95.7	38.7	190	43.2	419	95.8
98.1	2235	0.0088	18.1	0.30	5.66	10.2	1.54	53.7	17.3	204	76.0	333	66.5	592	122
7.1	2235	0.011	2.87	0.12	2.00	4.51	0.30	23.8	8.00	95.8	36.0	164	32.8	291	58.9
41.1	2224	0.0000	6.33	0.031	0.50	1.29	0.19	8.92	3.35	43.0	17.4	78.9	16.1	146	30.4
59.1	2224	0.0000	11.7	0.039	1.33	3.47	0.54	18.3	5.94	68.8	27.1	134	29.9	297	73.1
74.1	2220	5.26	18.7	1.07	4.62	5.59	1.83	26.2	6.76	60.5	18.9	73.8	14.3	125	25.0
90.1	2217	0.024	12.0	0.21	3.52	5.51	0.50	25.9	8.38	98.9	37.1	162	32.8	290	59.3
50.1	2211	0.0000	25.9	0.055	1.83	4.15	0.30	29.6	11.9	154	60.3	265	54.3	457	92.5
99.1	2210	0.0000	8.95	0.027	0.58	1.64	0.011	8.76	3.18	40.9	15.7	72.3	15.4	137	27.5
75.1	2206	0.19	10.6	0.96	10.6	13.1	0.85	59.7	16.0	167	58.2	236	45.9	369	73.5
29.1	2205	0.0000	9.21	0.034	0.96	1.80	0.30	12.0	4.00	51.6	19.9	95.7	20.1	182	38.8
95.1	2202	0.056	18.2	0.52	8.27	12.7	3.16	54.2	15.8	175	60.1	245	46.0	388	76.8
26.1	2202	0.012	1.50	0.092	2.42	5.09	0.32	23.3	7.80	89.2	33.9	154	31.0	285	61.2
64.1	2202	0.014	14.0	0.15	2.88	6.92	0.48	36.3	11.3	131	49.0	214	41.8	368	72.6
39.1	2200	0.012	3.20	0.14	2.06	4.49	0.24	24.9	8.10	94.2	35.9	157	30.4	264	53.8
40.1	2198	0.013	3.40	0.11	2.30	4.89	1.33	31.4	10.4	135	54.1	252	52.9	491	105
89.1	2195	0.0034	7.51	0.025	0.61	1.27	0.24	5.21	1.34	15.6	6.44	31.2	6.43	65.9	16.1
32.1	2179	0.011	22.9	0.12	1.86	2.79	1.24	11.3	3.13	31.2	10.3	43.5	8.86	79.4	16.1
31.1	2172	1.04	8.02	0.55	4.81	5.59	0.92	27.8	8.27	94.0	34.6	153	31.2	280	58.9
61.1	2165	0.0000	7.21	0.048	0.70	1.31	0.56	9.51	3.07	41.2	17.2	87.5	20.7	206	49.4
10.1	2165	0.0032	12.8	0.050	1.34	3.31	0.50	17.1	5.47	67.0	26.9	127	27.3	244	53.6
80.1	2154	0.017	18.3	0.32	5.18	9.21	1.74	32.8	9.14	90.6	30.7	129	24.7	217	43.7
77.1	2154	0.14	10.6	0.068	0.41	1.07	0.25	6.88	2.42	33.7	14.4	70.6	15.9	164	37.0
67.1	2148	0.37	17.8	0.44	6.49	12.2	1.35	55.8	16.8	188	68.9	292	56.6	495	99.4
12.1	2121	0.048	27.7	0.40	5.82	6.70	2.57	23.0	5.77	59.2	20.2	87.3	18.4	174	38.7

Table 3. Continued.

Spot number	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
JA240607-1	Pelitic phyllite														
28.1	2117	1.34	20.3	0.57	3.32	2.42	0.77	8.67	2.65	29.9	11.4	56.5	13.0	138	33.7
85.1	2114	0.036	42.9	0.26	4.51	9.72	0.92	68.2	23.7	293	113	486	91.2	741	137
15.1	2113	0.43	7.65	0.15	1.47	2.94	0.24	14.3	4.78	59.1	23.3	106	22.9	199	42.4
22.1	2113	0.088	10.7	0.73	9.88	15.5	2.65	77.6	22.9	241	83.1	337	62.5	527	103
43.1	2106	0.0089	4.25	0.088	1.19	1.71	0.65	10.0	3.11	38.5	15.2	77.1	18.2	189	45.0
56.1	2106	0.033	9.78	0.10	1.09	2.39	0.33	17.3	7.04	92.9	38.1	182	38.4	350	73.4
38.1	2098	0.12	18.1	0.97	14.1	15.6	4.69	41.8	9.23	75.7	21.5	78.7	13.9	118	22.8
62.1	2084	0.0000	5.55	0.047	0.98	1.73	0.58	13.9	4.79	61.8	24.7	118	25.9	238	51.2
36.1	2083	0.0000	12.1	0.064	1.00	2.58	0.23	15.1	5.72	72.2	28.9	133	27.9	250	51.6
51.1	2074	0.0047	1.97	0.066	1.22	3.36	0.15	19.4	6.96	83.6	34.2	163	34.9	325	70.8
11.1	2073	0.046	5.03	0.22	3.44	4.91	1.79	21.7	6.66	76.7	28.7	137	29.9	301	66.9
45.1	2054	0.0076	17.7	0.055	0.85	2.07	0.43	13.7	4.66	54.8	20.8	93.0	19.1	180	38.0
1.1	2050	4.59	15.9	1.43	7.82	4.22	0.42	16.0	4.63	53.5	20.8	93.5	19.0	175	37.9
87.1	2046	0.0000	2.07	0.079	1.47	3.11	0.29	20.7	7.42	97.0	38.8	178	35.9	330	68.3
8.1	2024	0.0000	5.45	0.021	0.50	1.38	0.080	9.25	3.40	45.4	17.8	83.0	17.4	158	32.5
47.1	2018	0.29	2.27	0.12	1.35	2.91	0.53	22.8	9.49	125	51.4	246	52.6	483	99.0
27.1	2017	0.18	2.41	0.11	1.51	4.24	0.15	35.6	14.6	195	80.2	387	80.7	738	149
17.1	2017	0.0000	5.32	0.074	1.99	5.46	0.066	30.2	10.1	116	42.2	185	35.7	311	62.4
66.1	2014	0.045	20.0	0.56	8.76	11.3	1.53	38.5	10.4	102	34.6	140	27.1	234	46.3
57.1	1998	0.090	2.63	0.099	1.61	4.27	0.25	27.6	10.1	124	47.7	218	44.7	405	84.7
91.1	1995	0.0061	3.18	0.17	3.47	7.96	0.34	47.8	16.0	187	70.4	305	60.4	517	103
88.1	1989	0.046	1.94	0.046	0.85	2.97	0.065	20.9	8.83	119	49.2	237	50.7	469	97.6
46.1	1987	0.0091	1.78	0.038	0.81	3.23	0.034	29.3	13.5	185	80.4	392	83.6	760	158
35.1	1983	0.0077	1.91	0.073	1.72	4.44	0.15	31.8	12.4	164	66.2	311	65.7	594	121
21.1	1963	0.017	2.09	0.068	1.12	2.91	0.13	19.4	7.09	91.1	36.9	170	35.9	340	71.9
25.1	1961	0.0068	2.19	0.097	1.77	4.50	0.16	30.3	11.3	139	53.7	248	51.2	463	93.8
5.1	1959	0.022	7.82	0.12	2.73	5.12	0.68	26.8	7.82	80.7	27.3	112	21.8	188	36.9
83.1	1955	0.0000	1.21	0.021	0.63	2.07	0.0024	16.5	7.29	102	44.7	218	48.2	444	93.8
97.1	1943	0.19	50.5	1.15	15.9	19.4	6.58	68.1	16.3	151	45.1	166	30.6	249	48.0

Table 3. Continued.

Spot number	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
JA240726-2	Psammitic phyllite														
69.1	1936	0.030	1.28	0.081	1.77	5.56	0.17	33.7	11.8	142	53.9	237	46.8	401	80.6
4.1	1928	0.010	1.56	0.11	2.43	7.69	0.27	46.1	14.8	146	43.5	153	25.7	200	35.5
17.1	2947	0.026	12.5	0.043	1.38	2.98	0.24	19.6	7.86	97.2	39.3	171	33.9	298	56.1
1.1	2876	0.049	15.4	0.16	2.73	5.53	2.44	37.6	13.5	168	69.6	327	72.1	686	152
4.1	2520	0.17	12.8	0.31	4.67	7.91	3.21	38.0	11.4	112	38.2	157	30.8	268	55.2
11.1	2494	0.041	13.4	0.31	4.27	6.27	1.16	30.2	9.22	102	35.4	146	27.8	236	46.8
14.1	2484	0.15	23.7	0.29	4.08	6.42	1.82	34.2	10.8	122	47.0	217	43.1	412	89.7
12.1	2481	0.0000	13.2	0.029	0.54	1.35	0.25	9.79	3.28	41.7	15.5	75.1	16.1	149	31.6
19.1	2454	0.024	20.0	0.21	3.77	5.97	1.26	27.3	8.39	90.7	33.1	141	28.1	244	50.1
34.1	2321	0.0059	5.04	0.096	2.54	4.48	0.23	25.0	7.87	87.8	33.6	149	29.8	273	56.3
18.1	2292	0.29	11.9	0.21	2.19	2.27	0.17	12.8	4.24	45.7	17.7	82.2	16.1	154	32.3
7.1	2232	0.0053	5.84	0.095	1.40	2.94	0.30	15.3	4.90	56.6	22.3	98.8	20.6	180	36.0
16.1	2229	0.047	26.4	0.14	2.60	4.52	0.73	23.2	7.39	87.9	34.5	160	32.6	312	64.9
29.1	2213	0.038	57.2	0.13	2.38	4.72	2.01	27.7	9.75	122	50.2	240	54.2	535	123
26.1	2206	1.46	10.5	0.49	2.91	1.67	0.47	10.0	4.05	50.5	22.3	108	23.6	244	56.7
35.1	2202	0.18	8.09	0.40	6.54	10.4	1.07	49.8	14.8	162	58.6	242	46.0	393	78.7
10.1	2184	0.68	5.06	0.36	3.87	4.80	0.35	24.4	8.06	91.1	33.2	141	28.0	246	50.0
13.1	2167	0.028	21.4	0.070	0.97	1.50	0.79	7.71	2.41	29.5	12.7	64.6	16.5	179	50.1
20.1	2144	0.23	6.46	1.20	16.5	23.2	1.71	97.1	24.1	246	88.4	371	69.9	631	131
30.1	2128	0.0000	2.39	0.076	1.84	5.16	0.76	27.7	9.94	120	47.0	207	42.4	392	80.8
33.1	2124	0.056	18.3	0.47	8.11	9.13	0.33	31.8	8.17	82.5	29.7	123	24.7	232	50.2
31.1	2122	0.20	9.43	0.74	11.5	11.6	6.34	43.1	10.3	103	37.0	154	30.3	271	59.7
24.1	2088	0.0000	1.23	0.089	1.38	4.91	0.098	31.6	12.2	142	55.3	243	47.5	428	86.1
25.1	2078	0.19	3.78	0.14	1.70	4.22	0.082	24.6	7.90	101	39.0	174	35.0	320	64.6
9.1	2061	5.47	83.2	2.39	19.4	24.6	8.94	129	39.1	366	113	411	75.9	623	121
5.1	2033	0.011	1.77	0.098	2.38	6.17	0.11	40.3	13.4	158	57.8	248	48.1	412	79.3
21.1	1965	0.020	2.25	0.13	2.35	6.21	0.30	39.2	12.3	141	54.9	237	45.2	408	82.9
15.1	1961	0.050	4.74	0.12	1.92	5.00	0.59	32.9	11.3	133	50.7	220	44.2	379	75.9
22.1	1959	0.049	3.37	0.068	0.77	1.23	0.16	12.5	5.80	72.3	24.9	102	21.1	196	38.7
27.1	1948	0.40	11.4	0.27	3.90	5.46	0.52	22.5	6.60	67.9	25.5	114	23.4	212	46.1

콘 U-Pb 연대는 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 연대를 적용하였으며, $\pm 5\%$ 이하의 불일치도를 보이는 분석결과만을 이용하였다.

5. 분석 결과

이질 천매암(시료 JA240607-1)에서 분리한 저어콘의 크기는 50-100 μm 에 해당하며, 아원형-아각형의 외형을 보이고 흔히 가장자리가 마모되어 있다(그림 4a). 음극선발 광영상에서 저어콘 중심부는 담회색 내지 밝은 색을 띠며, 진동누대구조, 호상구조 등 다양한 구조가 나타난다(그림 4a). 일부 저어콘 중심부 주변에는 과성장 또는 재결정 조직을 보이는 저어콘 외연부가 발달 되어있으나, 분석 가능한 수준의 면적을 확보하지 못했다. 저어콘 외연부는 흑색 혹은 옅은 회색을 보이며, 누대구조는 발달하지 않는다(그림 4a). 저어콘 중심부에서 100개의 분석점을 선택하여 분석을 진행하였다. 불일치도가 낮은 저어콘 중심부(96점)과 불일치도가 높은 저어콘 중심부(4점)의 U 농도는 각각 28-356 ppm 및 97-337 ppm, Th 농도는 각각 16-299 ppm 및 47-388 ppm이며, Th/U 비는 각각 0.14-2.25 및 0.14-1.77의 값을 가진다(표 1).

총 100개 점에 대한 분석결과를 Tera-Wasserburg 일치 곡선에 도시하였다(그림 4b). 불일치도가 낮은($<5\%$ discordance) 저어콘 중심부에서 3036-1928 Ma, 불일치도가 높은 저어콘 중심부에서 2391-2111 Ma의 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 겹보기 연대가 측정되었다(표 1). 가장 젊은 단일 저어콘 입자(4.1)의 연대는 1928 ± 35 Ma로 나타났으며, 이를 포함한 불일치도가 낮은 저어콘 중심부에서 얻은 가장 젊은 세 연대의 가중평균 연대는 1933 ± 51 Ma (MSWD = 0.025, $n = 3$)로 계산되었다(그림 4b). 불일치도가 낮은 저어콘 중심부를 이용하여 확률 밀도 다이어그램을 작도한 결과 2532 Ma (2550-2450 Ma 범위, 15%), 2223 Ma (2250-2150 Ma 범위, 27%) 및 2084 Ma (2050-1950 Ma 범위, 17%)의 연대 피크를 얻었다(그림 4c).

사질 천매암(시료 JA240726-2)에서 분리한 저어콘의 크기는 50-130 μm 에 해당하며, 아원상-아각형의 외형을 보이고 흔히 가장자리가 마모되어 있다(그림 4d). 음극선발 광 영상에서 저어콘 중심부는 담회색 내지 밝은 색을 띠며, 진동누대구조, 호상구조 등 다양한 구조가 나타난다(그림 4d). 저어콘 중심부에서 35개의 분석점을 선택하여 분석을 진행하였다. 불일치도가 낮은 저어콘 중심부(31점)와 불일치도가 높은 저어콘 중심부(4점)의 U 농도는 각각 53-423 ppm 및 155-496 ppm, Th 농도는 각각 40-285 ppm 및 52-607 ppm이며, Th/U 비는 각각 0.10-2.01 및 0.10-1.26의 값을 가진다(표 2).

총 35개 점에 대한 분석결과를 Tera-Wasserburg 일치곡

선에 도시하였다(그림 4e). 불일치도가 낮은 저어콘 중심부에서 2947-1948 Ma, 불일치도가 높은 저어콘 중심부에서 2106-1983 Ma의 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 겹보기 연대가 측정되었다(표 2). 가장 젊은 단일 저어콘 입자(27.1)의 연대는 1948 ± 39 Ma로 나타났으며, 이를 포함한 불일치도가 낮은 저어콘 중심부에서 얻은 가장 젊은 세 연대의 가중평균 연대는 1956 ± 42 Ma (MSWD = 0.036, $n = 3$)로 계산되었다(그림 4e). 불일치도가 낮은 저어콘 중심부를 이용하여 확률 밀도 다이어그램을 작도한 결과 2492 Ma (2550-2450 Ma 범위, 16%), 2187 Ma (2200-2100 Ma 범위, 26%) 및 1971 Ma (2050-1950 Ma 범위, 16%)의 연대 피크를 얻었다(그림 4c).

희토류 원소(rare earth elements; REE) 패턴으로 분석된 쇠철성 저어콘의 기원 및 불일치 연령을 갖는 입자들의 화학적 교란 여부를 확인하였다(그림 5; 표 3). C1 콘드라이트로 정규화하였을 때, 모든 연령군에서 일반적으로 음의 Eu 이상치($\text{Eu}/\text{Eu}^* = \text{Eu}_N/\sqrt{(\text{Sm}_N \times \text{Gd}_N)}$; >2.4 Ga: 0.06-0.84, 2.4-2.0 Ga: 0.01-0.87, <2.0 Ga: 0.00-0.55)와 양의 Ce 이상치($\text{Ce}/\text{Ce}^* = \text{Ce}_N/\sqrt{(\text{La}_N \times \text{Pr}_N)}$; >2.4 Ga: 6.6-281.7, 2.4-2.0 Ga: 1.5-329.3, <2.0 Ga: 6.40-37.66)가 나타났다(그림 5a-c). 더불어, 경희토류(light rare earth elements, LREE)의 결핍 및 중희토류(heavy rare earth elements, HREE)의 부화(Lu_N/Gd_N ; >2.4 Ga: 9.7-34.1, 2.4-2.0 Ga: 4.4-59.6, <2.0 Ga: 5.7-45.9)가 관찰되었다(그림 5a-c). 한편 불일치도가 높은 연령의 저어콘 중심부도 크게 다르지 않은 미량원소 패턴을 보이며(Ce/Ce^* : 4.0-55.6, Eu/Eu^* : 0.03-0.88; Lu_N/Gd_N : 3.6-29.0) 저어콘들 중 비교적 약한 HREE 부화를 보이는 1개의 입자(겹보기연령 1983 Ma)를 제외하면 모두 일치 연령 저어콘들과 동일한 화성 기원의 REE 정규화 패턴을 나타냈다(그림 5d).

6. 토 의

진안 지역 이질 천매암(시료 JA240607-1) 및 사질 천매암(시료 JA240726-2)에서 분리된 저어콘의 중심부에는 진동누대구조와 호상구조가 발달하며, Th/U 비 또한 0.1 이상의 높은 값을 보여, 전형적인 화성기원 저어콘의 특성을 보였다(Cox, 2002; Corfu *et al.*, 2003). 저어콘의 미량원소 패턴 또한 연령에 무관하게 음의 Eu 이상치, 양의 Ce 이상치 및 HREE의 부화 특성을 보여 이들이 변질받지 않은 화성기원 저어콘임을 뒷받침한다(그림 5a-c) (Hoskin and Schaltegger, 2003; Rubatto, 2017). 불일치연령을 보이는 저어콘 역시 하나의 입자(1983 Ma)를 제외하고 모두 이러한 화성기원의 미량원소 패턴을 나타내며(그림 5d), 이는 연대 측정의 불일치도를 야기한 납 손실 과정이 변성

재결정화 등 격자 내 희토류원소의 이동을 수반하는 심각한 화학적 교란에 기인한 것이 아님을 지시한다. 따라서 저어콘 중심부에서 획득한 가장 젊은 세 연령의 가중평균 연대인 1933 ± 51 Ma (시료 JA240607-1)와 1956 ± 42 Ma (시료 JA240726-2)를 최대퇴적시기로 간주할 수 있을 것으로 판단된다(Dickinson and Gehrels, 2009).

불일치도가 낮은 저어콘 중심부의 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 겹보기 연대는 이질 천매암(시료 JA240607-1)에서 1928-3036 Ma, 사질 천매암(시료 JA240726-2)에서 1948-2947 Ma의 연대분포를 보인다. 확률 밀도 다이어그램에서 이질 천매암(시료 JA240607-1)과 사질 천매암(시료 JA240726-2)은 모두 신시생대 말기에서 고원생대 초기(2550-2450 Ma, 14%)의 부수 연대군, 고원생대 시테로스기 말기-라이악스

기(2300-2100 Ma, 44%)의 주 연대군, 그리고 고원생대 오로세이라기의 부수 연대군(2050-1950 Ma, 15%)으로 구성되며, 각 연대군 내 강한 연대 피크를 보인다(그림 4c, 4f). 이는 두 시료가 유사한 지각물질의 공급을 받아 형성되었음을 시사하며, 특히 약 2.30-1.80 Ga 구간의 지각물질이 주요 기원지였을 가능성을 지시한다.

이러한 특성은 연구대상 변성퇴적암류와 유사한 자세 또는 산상을 보이는 영암-강진지역 변성사질암, 강진-해남 지역 및 영광-장성지역 규암의 연대분포양상과 뚜렷한 차이를 보인다. 전남 일대의 시료들은 약 1.85 Ga의 공통적인 주 피크(1900-1800 Ma, 65%)와 함께 신원생대에서 고생대-전기트라이아스기(약 0.9 Ga 및 511-246 Ma)에 이르는 다수의 젊은 부수 피크를 포함한다(그림 6a) (Ha,

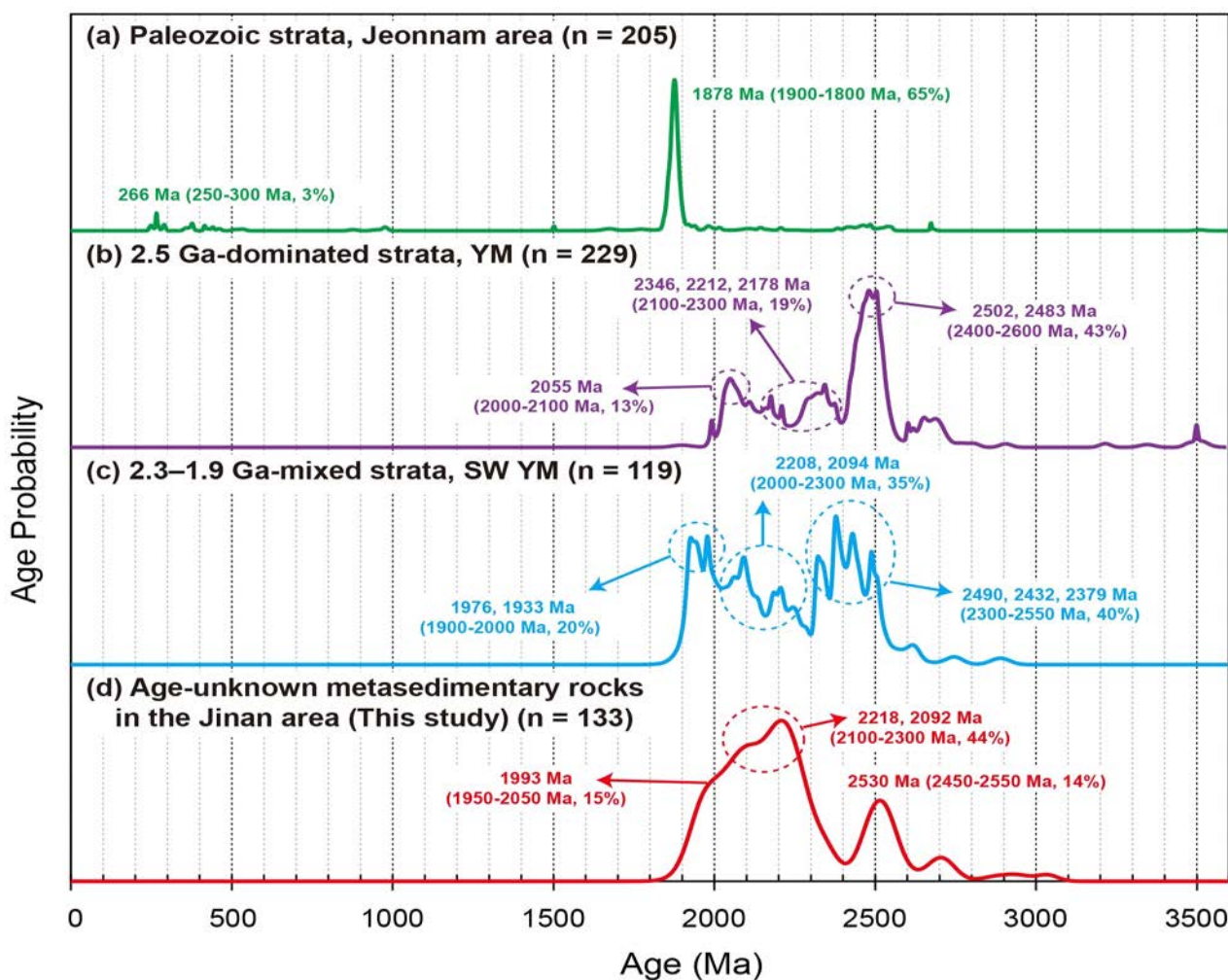


Fig. 6. Relative age probability plots for detrital zircon $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages of (a) Paleozoic metasedimentary rocks in the Jeonnam area (Ha, 2014; Kim *et al.*, 2015); (b) 2.5 Ga-dominated age group of the Yeongnam Massif (YM), representing Paleoproterozoic metasedimentary units in the eastern YM and the Gwangju-Jangseong area (Kim, 2010; Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012, 2014); (c) 2.3–1.9 Ga mixed age group, representing Paleoproterozoic metasedimentary units in the southwestern YM (Lee, B.C. *et al.*, 2014, 2022; Oh *et al.*, 2016; Lee, Y. *et al.*, 2018); (d) Age-unknown metasedimentary rocks in the Jinan area (this study).

2014; Kim *et al.*, 2015). 더불어 영광-장성 규암은 약 379 Ma (테본기), 강진-해남 규암은 약 265 Ma (페름기), 영암-강진 변성사질암은 약 246 Ma (전기 트라이아스기)의 가장 젊은 쇄설성 저어콘 연령을 바탕으로 고생대 이후 퇴적되었음이 확인되었다(Ha, 2014; Kim *et al.*, 2015). 이러한 연대분포는 옥천대에 분포하는 고생대-전기트라이아스기 퇴적암들에서 흔히 나타난다. 예로써 상부 고생대 태백산 분지 퇴적암은 대체로 약 2.5 Ga 및 2.0-1.8 Ga 부근에서 뚜렷한 주 연대 피크를 가지며, 약 510-480 Ma의 퇴적동시성 또는 그와 가까운 시기의 화성활동 연대를 포함하는 경우가 흔하고, 일부 층에서는 중원생대에서 신원생대에 걸친 다양한 연령이 분포함이 알려져 있다(e.g., Kim *et al.*, 2017; Cho, M. *et al.*, 2021; Jang *et al.*, 2024). 한편 옥천대를 따라 분포하는 상부 고생대의 평안누층군 역시 약 2.0-1.8 Ga에 주요 피크가 관찰되고 약 540-240 Ma에 걸친 고생대 및 중생대 트라이아스기의 부수 연대 피크가 흔하게 나타난다(Kim *et al.*, 2017, 2018). 종합해 볼 때, 태백산분지 및 옥천대를 따라 분포하는 고생대 퇴적암들은 지질연대학적 기원지 특성을 서로 상당 부분 공유하고 있으나, 본 연구지역의 변성퇴적암과 이들과의 기원지적 친화성은 확인하기 어렵다.

현재까지 태백산분지 이외 지역의 고생대 퇴적암에 대한 지질연대학적 자료는 현재 충분히 확보되었다고 보기 어려우며, 최근 한반도 육괴 내에서도 고생대 퇴적작용의 기록이 보고되는 등(e.g., Kim and Yi, 2015; Kim, 2019; Kwak *et al.*, 2025) 이들의 지리적 분포에 근거한 층서 대비는 불확실성을 내포한다. 연구지역의 변성퇴적암은 인근 암층서 단위와의 관계가 명확히 규명되지 않은 상태이므로 쇄설성 저어콘 연대 자료만으로 퇴적 시기를 추정하거나 그 층서적 의미를 정확히 해석하기는 어렵다. 다만 천매암-편암상을 보이는 외견상의 유사성과 지층의 자세 등으로 층서적으로 연관되어 있을 것으로 추정되어 온 전남 지역의 고생대층과 지질연대학적 특성을 공유하지는 않는 것으로 판단된다(Kee *et al.*, 2019). 이와 같은 차이는 시공간적 퇴적물 기원지의 차이를 함께 반영하는 바, 최근 고생대층으로 함께 분대된 옥천대 남서부 시대미상 변성퇴적암류와 연구지역의 변성퇴적암과의 층서적 상관관계에 대한 면밀한 검토의 필요성을 시사한다.

인접 고생대 지층들과의 기원지적 연관성이 배제됨에 따라, 획득한 쇄설성 저어콘 연대 스펙트럼은 연구 지역 변성퇴적암의 잠재적 배후지로서 영남육괴 내 선캄브리아시대 기반암류와의 기원지적 친화성을 평가하는 지시자로 활용될 수 있다. 영남육괴의 고원생대 변성퇴적암류는 쇄설성 저어콘 연대 특성에 따라 크게 두 그룹으로 대별된다. 먼저 영남육괴 동부의 평해층, 원남층 일부, 호산리층, 기

성층 및 울리층(Kim, 2010; Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012, 2014) 등과 영남육괴 서부 광주-장성지역(Lee *et al.*, 2022)의 변성퇴적암류는 약 2.18-1.98 Ga 범위의 최대퇴적연령을 가지고, 신시생대 말-고원생대 초기의 약 2.5 Ga 연대군이 지배적으로 우세하며, 고원생대 라이악스기에 해당하는 2.1-2.0 Ga 연대군과 2.3-2.1 Ga 연대군은 비교적 부수적으로 나타난다(그림 6b). 두 번째로, 영남육괴 남서부(무주-산청-화순-보성 등)에서 보고된 변성퇴적암류에서는 그보다 젊은 약 1.98-1.93 Ga의 최대퇴적연령과 2.0-1.9 Ga 및 2.3-2.0 Ga 구간의 연대군이 높은 비율로 혼재하며, 2.5 Ga 피크의 연령군은 비교적 미약하게 나타난다(그림 6c) (Oh *et al.*, 2016; Lee, B.C. *et al.*, 2017, 2022; Lee, Y. *et al.*, 2018). 영남육괴 동부 및 광주-장성 지역의, ~2.5 Ga 연대가 우세한 변성퇴적암류의 퇴적시기가 1.98 Ga 이전으로 제안된 것을 고려할 때(Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012, 2014), 이들 영남육괴 남서부의 변성퇴적암은 비교적 후기에 퇴적되었을 것으로 간주할 수 있다(Lee *et al.*, 2022).

연구 대상인 진안의 변성퇴적암은 약 1933 Ma의 최대 퇴적연령을 보이며, 오로세이라기의 연령군이 두드러지는 특성은 영남육괴 남서부의 ‘젊은’ 고원생대 퇴적단위와 유사하다. 또한 이러한 특성은 일본 오키-도고섬에서도 보고되는 등, 광역적인 기반암의 분포 가능성을 지시한다(Cho, D.-L. *et al.*, 2021). 그러나 세부적인 기원지 특성에서는 이들과 차이를 보이는데, 연구지역 변성퇴적암에서는 2.5 Ga 연대군(14%)이 부수적으로 나타나는 대신 고원생대 라이악스기(2.3-2.1 Ga) 연대군이 44%로 가장 우세하고, 오로세이라기(2.05-1.95 Ga) 연대군(15%)이 뒤따르는 뚜렷한 특징을 나타낸다(그림 6d). 따라서 퇴적분지로 쇄설물을 공급한 배후지의 구성 비율에 있어서는 다소 독립적이거나 국지적인 기원지 통제를 받았을 가능성이 있다. 다만, 본 연구의 제한된 시료 수와 국지성, 층서적 불확실성 등을 고려할 때 이를 영남육괴 서부의 기반암 특성으로 확장하여 해석하기는 어렵다. 향후 영남육괴 기반암 층서 체계 및 최근 보고되고 있는 고생대 퇴적암류의 분포에 대한 광역적인 재고찰을 바탕으로(e.g., Kim and Yi, 2015; Kim, 2019; Kwak *et al.*, 2025), 진안 지역 변성퇴적암의 지체구조적 위치와 진화사 또한 새롭게 재해석될 여지를 남긴다.

7. 결론

본 연구는 진안 지역에 분포하는 변성퇴적암류를 대상으로 쇄설성 저어콘 U-Pb 연대측정을 수행하여 퇴적 시기의 상한(최대퇴적연령)과 기원지 특성을 규명하고, 인접 지체구조 단위들과의 층서적 상관관계를 검토하였다. 변

성퇴적암의 쇄설성 저어콘으로부터 산출된 최대퇴적연령은 약 1956-1933 Ma이며, 고원생대 라이악스기에 가장 강한 피크를 보인다. 이는 외견상 암상 및 산상이 유사하여 층서적 연관성이 추정되었던 전남 일대의 변성퇴적암류나 옥천대에 분포하는 고생대 퇴적암류가 공통적으로 보이는 최대퇴적연령 및 연대 스펙트럼과도 뚜렷한 차이를 나타내므로, 이들과의 층서적 연관성 또는 기원지적 친화성은 확인되지 않았다. 본 시료의 연대 분포는 영남육괴의 선캄브리아시대 기반암류 중, 상대적으로 젊은 최대퇴적연령 (ca. 1.93 Ga)을 갖는 영남육괴 남서부(무주, 산청, 화순-보성 등)의 고원생대 퇴적단위들과 대조해 볼 수 있으나, 세부 기원지 구성 비율에 있어서 차이를 보였다. 본 연구결과는 해당 변성퇴적암이 인접한 고생대 퇴적암류나 영남육괴의 기존 고원생대 기반암 어느 쪽과도 기원지적 특성을 온전히 공유하지 않음을 보여주며, 진안 지역 및 인근의 시대미상 변성퇴적암의 정확한 지체구조적 위치와 층서적 의미를 규명하기 위해서는 향후 영남육괴 기반암 층서 체계 및 고생대 퇴적암류의 분포에 대한 광역적인 재고찰이 후속되어야 한다.

감사의 글

이 연구는 진안군 지질명소 가치 발굴 용역과제에 의해 지원받았습니다. 논문을 검토하고 개선 방향을 제시해 주신 지질학회지 편집위원과 두 분의 심사위원께 감사드립니다.

REFERENCES

- Ahn, K.-S., Kim, Y.J. and Shin, I.H., 1997, Metamorphism of the Meta-Sedimentary Rocks in the Osu-Jinan Area, Cheonrapuk-Do, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 30, 163-174 (in Korean with English abstract).
- Chang, K.H. and Kim, K.T., 1967, Geological Map and Explanatory Text of Gangjin sheet (scale 1:50,000). Geological Survey of Korea, 15 p.
- Cheong, W., Han, G., Kim, T., Aum, H.W. and Kim, Y., 2020, SHRIMP Zircon U-Pb Ages of Basement Rocks in the Danyang National Geopark. *Korean Journal of Mineralogy and Petrology*, 33, 339-347.
- Cho, D.-L., 2004, Mineral separation and sample preparation methods efficient for subgrain zircon analyses. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 13, 126-132 (in Korean with English abstract).
- Cho, D.-L., 2014, SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Guryong Group in Odesan area, east Gyeonggi Massif, Korea: A new identification of Late Paleozoic strata and its tectonic implication. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 23, 197-208 (in Korean with English abstract).
- Cho, D.-L., Lee, B.C. and Oh, C.W., 2020, Petrogenesis of paleoproterozoic (2.02-1.96 Ga) metagranitoids in the southwestern Yeongnam Massif, Korean Peninsula and their significance for the tectonic history of northeast Asia: Insights from zircon U-Pb-Hf isotope and whole-rock geochemical compositions. *Precambrian Research*, 340, 105631.
- Cho, D.-L., Takahashi, Y., Kim, S.W., Yi, K. and Lee, B. C., 2021, Zircon U-Pb-Hf and geochemical analyses of paragneiss and granitic gneiss from Oki-Dogo Island, Southwest Japan and its tectonic implications. *Lithos*, 396, 106217.
- Cho, M., Cheong, W., Ernst, W.G., Kim, Y. and Yi, K., 2021, U-Pb detrital zircon ages of Cambrian-Ordovician sandstones from the Taebaeksan Basin, Korea: Provenance variability in platform shelf sequences and paleogeographic implications. *GSA Bulletin*, 133, 488-504.
- Cho, M., Kim, T., Yang, S.Y. and Yi, K., 2017, Paleoproterozoic to Triassic crustal evolution of the Gyeonggi Massif, Korea: tectonic correlation with the North China craton. In: Law, R.D., Thigpen, J.R., Merschat, A.J. and Stowell, H.H. (Eds.), *Linkages and Feedbacks in Orogenic Systems*. Geological Society of America Memoir, 213, 165-197.
- Cho, M., Na, J. and Yi, K., 2010, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in metasandstones of the Taean Formation, western Gyeonggi massif, Korea: Tectonic implications. *Geosciences Journal*, 14, 99-109.
- Choi, S.J., Kim, D.-Y., Cho, D.-L. and Kim, Y.-B., 2015, Detrital zircon U-Pb Ages of the Metapelite on the Southwestern Part of the Ogcheon Belt and Its Stratigraphical Implication. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 24, 1-9 (in Korean with English abstract).
- Choi, Y.K. and Yoon, H.D., 1968, Geological Map and Explanatory Text of Jangheung sheet (scale 1:50,000). Geological Survey of Korea, 18 p.
- Corfu, F., Hanchar, J.M., Hoskin, P.W.O. and Kinny, P., 2003, Atlas of Zircon Textures. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, 469-500.
- Cox, R.A., 2002, Morphological, chemical and geochronological techniques for characterizing detrital zircons. In: Lentz, D.R. (ed.), *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments*. Geological Association of Canada GeoText Series 4, Geological Association of Canada, Newfoundland, 105-120.
- 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.
- Ha, Y.J., 2014, SHRIMP U-Pb age distribution of the zircons from the Precambrian basement and overlying meta-sedimentary rocks distributed in Homan Shear Zone and their geologic implications. M.S. thesis, Pukyong National University, Busan, 77 p.
- Hoskin, P.W. and Schaltegger, U., 2003, The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, 27-62.
- Hu, Z., Zhang, W., Liu, Y., Gao, S., Li, M., Zong, K., Che, H. and Hu, S., 2015, "Wave" signal-smoothing and mercury-removing device for laser ablation quadrupole and multiple collector

- ICPMS analysis: application to lead isotope analysis. *Analytical Chemistry*, 87, 1152-1157.
- Hu, Z., Li, X. H., Luo, T., Zhang, W., Crowley, J., Li, Q., Ling, X., Yang, C., Li, Y., Feng, L., Xia, X., Zhang, S.B., Wang, Z., Guo, J., Xu, L., Lin, J., Liu, X., Bao, Z., Liu, Y., Zong, K., Chen, W. and Hu, S., 2021, Tanz zircon megacrysts: A new zircon reference material for the microbeam determination of U-Pb ages and Zr-O isotopes. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 36, 2715-2734.
- Jackson, S.E., Pearson, N.J., Griffin, W.L. and Belousova, E.A., 2004, The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211, 47-69.
- Jang, Y., Kim, S.W., Samuel, V.O., Kwon, S., Park, S.-I., Santosh, M. and Yi, K., 2024, Paleozoic tectonic evolution of the proto-Korean Peninsula along the East Asian continental margin from detrital zircon U-Pb geochronology and Hf isotope geochemistry. *Geoscience Frontiers*, 15, 101700.
- Jeong, J.W., Nakano, N., Adachi, T. and Kawaguchi, K., 2025, Detrital zircon chronology of the Guryong Group, the eastern part of the Gyeonggi Massif, Korea: Implication for the Late Paleozoic pre-collisional evolution in the Korean Peninsula. *Lithos*, 496, 107972.
- Kang, M.S., Oh, C.W., Lee, B.C. and Lee, B.Y., 2023, The tectonic evolution from the Archean to Triassic in the north central Gyeonggi Massif (Hongcheon-Chuncheon areas) in the Korean Peninsula and its application to the tectonic evolution of the North China Craton. *Earth-Science Reviews*, 247, 104605.
- Kee, W.-S., Kim, S.W., Hong, P.S., Lee, B.C., Cho, D.-L., Byun, U.H., Ko, K., Kwon, C.W., Kim, H.C., Jang, Y., Song, K.-Y., Koh, H.J. and Lee, H.J., 2019, 1:1,000,000 Geological Map of Korea. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.
- Kee, W.-S., Lim, S.B., Kim, H., Kim, B.C., Hwang, S.K., Song, K.-Y. and Kihm, Y.H., 2008, Geological Report of the Yeoncheon Sheet (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, 83 p (in Korean with English abstracts).
- Kim, C.B., 1990, Petrochemical and geochronological study on the igneous rocks of the Jangsu area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 553-563 (in Korean with English abstracts).
- Kim, D.Y., Choi, S.J. and Yi, K., 2015, SHRIMP U-Pb Zircon Ages of the Metasandstone in the Yeongam-Gangjin Area. *Economic and Environmental Geology*, 48, 287-299 (in Korean with English abstract).
- 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., Cho, M. and Kim, H.S., 1994, Metamorphism of the Hongjesa granite and the adjacent metasedimentary rocks (Magmatism and metamorphism of the Proterozoic in the northeastern part of Korea). *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 3, 94-108.
- 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 (in Korean with English abstract).
- Kim, M.G. and Lee, Y.I., 2017, The stratigraphy and correlation of the upper Paleozoic Pyeongan Supergroup of southern Korean Peninsula-A review. *Journal of the Geological Society of Korea*, 53, 321-338 (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, M.J., Park, J.W., Lee, T.H., Song, Y.-S. and Park, K.-H., 2016, LA-MC-ICPMS U-Pb ages of the detrital zircons from the Baengnyeong Group: Implications of the dominance of the Mesoproterozoic zircons. *Economic and Environmental Geology*, 49, 433-444 (in Korean with English abstract).
- Kim, N., 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., 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 isotopic constraints on the Precambrian crustal evolution of the north-eastern Yeongnam Massif, Korea. *Precambrian Research*, 242, 1-21.
- Kim, N., Song, Y.-S., Park, K.-H. and Lee, H.S., 2009, SHRIMP U-Pb Zircon Ages of the Granite Gneisses from the Pyeonghae Area of the northeastern Yeongnam Massif (Sobaeksan Massif). *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 18, 31-47 (in Korean with English abstract).
- Kim, N.H., 2010, Petrology, geochemistry and geochronology study of the Precambrian basement rocks in the northeastern Yeongnam Massif, South Korea: their tectonic implications. Ph.D. thesis, Pukyong National University, Busan, 237 p.
- Kim, S.W., Cho, D.-L., Lee, S.B., Kwon, S., Park, S.I., Santosh, M. and Kee, W.-S., 2018, Mesoproterozoic magmatic suites from the central-western Korean Peninsula: Imprints of Columbia disruption in East Asia. *Precambrian Research*, 306, 155-173.
- Kim, S.W., Park, S.-I., Jang, Y., Kwon, S., Kim, S.J. and Santosh, M., 2017, Tracking Paleozoic evolution of the South Korean Peninsula from detrital zircon records: Implications for the tectonic history of East Asia. *Gondwana Research*, 50, 195-215.
- Kim, Y.B., Chun, H.Y., Lim, S.-B., Choi, H.I., Lee, C.B. and Kim, B.C., 2001, Plant Fossils and Stratigraphy of Metasedimentary Rocks of Southeastern Part of Haenam. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 17, 35-52 (in Korean with English abstract).
- Kinosaki, Y., 1929, Haenam sheet (1:50,000). Geological Survey of Chosun.
- Kwak, Y., Lee, S.-E., Choi, T. and Park, S.-I., 2025, Late Paleozoic detrital zircon ages from metasedimentary rocks of the Wonnam

- Formation in northeastern Yeongnam Massif. *Journal of the Geological Society of Korea*, 61, 423-435 (in Korean with English abstract).
- Lee, B.C., Kim, M.G. and Cho, D.-L., 2022, Zircon U-Pb ages from Paleoproterozoic migmatites in the western part of Yeongnam Massif: implication for the depositional ages of sedimentary protoliths. *Journal of the Geological Society of Korea*, 58, 51-66 (in Korean with English abstract).
- Lee, B.C., Kim, S.W., Lee, B.Y., Oh, C.W., Cho, D.-L. and Kee, W.-S., 2024, Middle Paleozoic metamorphic and sedimentary events in the central Korean Peninsula and their geological implications. *Geoscience Frontiers*, 15, 101840.
- Lee, B.C., Oh, C.W., Cho, D.-L. and Yi, K., 2019, Paleoproterozoic (2.0-1.97 Ga) subduction-related magmatism on the north-central margin of the Yeongnam Massif, Korean Peninsula and its tectonic implications for reconstruction of the Columbia supercontinent. *Gondwana Research*, 72, 34-53.
- Lee, B.C., Oh, C.W., Yengkhom, K.S. and Yi, K., 2014, Paleoproterozoic magmatic and metamorphic events in the Hongcheon area, southern margin of the Northern Gyeonggi Massif in the Korean Peninsula and their links to the Paleoproterozoic orogeny in the North China Craton. *Precambrian Research*, 248, 17-38.
- Lee, B.C., Park, J.H., Oh, C.W. and Yi, K., 2017, Metamorphic and magmatic evolution of the Paleoproterozoic gneisses in the Sancheong area, Yeongnam Massif, South Korea and their implications to the tectonics in the Northeast Asia. *Precambrian Research*, 298, 439-461.
- Lee, B.Y., Oh, C.W. and Lee, B.C., 2023, The Neoproterozoic continental extension tectonic event in the Chuncheon area of the northern Gyeonggi massif in the Korean Peninsula and its implication for the tectonic correlation between the Korean Peninsula and China. *Lithos*, 456, 107297.
- Lee S.H., Oh, C.W. and Park, J.W., 2020, The age and geochemistry of the mid-cretaceous volcanic rocks in the Jinan Basin: Implications for the mid-cretaceous tectonic environments of the Korean Peninsula and Northeast Asia. *Lithos*, 358, 105383.
- 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, 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.
- Lee, Y. and Cho, M., 2020, Fluid-present partial melting of Paleoproterozoic Okbang amphibolite in the Yeongnam Massif, Korea. *Lithosphere*, 2020, 8854615.
- Lee, Y., Cho, M., Cheong, W. and Yi, K., 2018, Prolonged high-temperature, low-pressure metamorphism associated with ~ 1.86 Ga Sancheong-Hadong anorthosite in the Yeongnam Massif, Korea: Paleoproterozoic hot orogenesis in the North China Craton. *Precambrian Research*, 307, 175-200.
- 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 with English abstract).
- Lee, Y.Y., 1992, Stratigraphy, depositional environments and evolution of the cretaceous Chinan basin. Ph.D thesis, Seoul National University, Seoul, 287 p.
- Lim S.-B., Chun, H.Y., Kim, Y.B., Kim, B.C. and Cho, D.-L., 2005, Geologic ages, stratigraphy and geological structures of the metasedimentary strata in Bibong ~ Yeonmu area, NW Okcheon belt, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 41, 335-368 (in Korean with English abstract).
- Lim, S.-B., Chun, H.Y., Kim, Y.B., Kim B.C. and Song, K.-Y., 2006, Stratigraphy and geological ages of the metasedimentary strata in Jinsan ~ Boksu area, Chungcheongnam-do, NW Okcheon belt. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 149-174 (in Korean with English abstract).
- Lim, S.-B., Chun, H.Y., Kim, Y.B., Lee, S.R. and Kee, W.-S., 2007, Geological ages and stratigraphy of the metasedimentary strata in Hoenam ~ Miwon area, NW Okcheon belt. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 125-150 (in Korean with English abstract).
- Ludwig, K.R., 2012, User's manual for Isoplot 3.75: A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 5, 75.
- McDonough, W.F. and Sun, S.S., 1995, The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120, 223-253.
- Oh, C.W., Jeon, E.Y., Park, B.Y., Ahn, K.-S. and Lee, J.H., 2000, Metamorphic evolution of granitic and porphyroblastic gneisses in the Seungju-Suncheon area, the southwestern part of the Sobacksan Massif. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 9, 121-141.
- Oh, C.W., Lee, B.C., Lee, S.H., Kim, M.D., Lee, B.Y. and Choi, S.H., 2016, The tectonic evolution and important geheritages in the Jinan and Muju area, Jeollabuk-do. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 709-738 (in Korean with English abstract).
- Oh, C.W., Lee, B.C., Yi, S.B. and Ryu, H.I., 2019, Correlation of Paleoproterozoic igneous and metamorphic events of the Korean Peninsula and China; Its implication to the tectonics of Northeast Asia. *Precambrian Research*, 326, 344-362.
- Park, K.-H., Song, Y.-S., Park, M.E., Lee, S.G. and Ryu, H.J., 2000, Petrological, Geochemical and Geochronological Studies of Precambrian Basement in Northeast Asia Region: 1. Age of the Metamorphism of Jirisan Area. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 10, 95-105 (in Korean with English abstract).
- Rubatto, D., 2017, Zircon: The metamorphic mineral. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 83, 261-295.
- Shimamura, S., 1924, Geological Atlas of Chosen (Korea: 1:50,000). Chinan and Cheonju sheets. Geological Survey of Korea, No. 5
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hancar, J.M., Horstwood, M.S.A., Morris, G.A., Nasdala, L., Norberg, N., Schaltegger, U., Schoene, B., Tubrett, M.N. and Whitehouse, M.J., 2008, Plešovice zircon-a new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249, 1-35.
- Yi, K., Cheong, C.S., Kim, J., Kim, N., Jeong, Y.J. and Cho, M., 2012, Late Paleozoic to Early Mesozoic arc-related magmatism in southeastern Korea: SHRIMP zircon geochronology and geochemistry. *Lithos*, 153, 129-141.