

## 영남육괴 서부 고원생대 혼성암의 저어콘 U-Pb 연령: 퇴적기원 모암의 퇴적시기 고찰

이병춘 · 김문기\* · 조등룡  
한국지질자원연구원 국토지질연구본부 지질연구센터

### Zircon U-Pb ages from Paleoproterozoic migmatites in the western part of Yeongnam Massif: implication for the depositional ages of sedimentary protoliths

Byung Choon Lee · Mun Gi Kim\* · Deung-Lyong Cho

*Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea*

#### 요 약

영남육괴 서부 광주광역시-장성군과 화순-보성군일대에 분포하는 고원생대 다이아텍사이트 혼성암에 대한 저어콘 U-Pb 연령측정을 토대로 영남육괴 고원생대 퇴적기원 변성암 모암의 퇴적시기에 대해 검토하였다. 광주광역시-장성군 일대에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암의 저어콘 상속핵 연령은 약 2478 Ma의 연령 피크가 두드러지며 퇴적시기 상한은 약 2085 Ma로 추정된다. 이와 달리 화순-보성군 일대에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암에서는 약 2506 Ma, 2338 Ma, 2205 Ma, 1985 Ma, 1945 Ma의 다양한 저어콘 상속핵 연령 피크가 나타나며 퇴적시기 상한은 약 1971 Ma로 추정된다. 두 지역 모두에서 퇴적시기 하한은 저어콘 외연부가 지시하는 변성연대를 토대로 1880 Ma 내외로 제한된다. 광주광역시-장성군지역에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암의 모암은 퇴적시기와 저어콘 연령 특성이 울리층군, 원남층군 등 영남육괴 동부에 분포하는 고원생대 지층들과 유사하며 서로 대비될 가능성이 있다. 반면 화순-보성군 일대에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암 모암의 퇴적시기는 영남육괴 동부에 분포하는 고원생대 지층들보다 후기에 해당하며 저어콘 연령 특성 역시 구별된다. 이는 영남육괴 서부 일부 지역에 기존에 논의되지 않았던 새로운 고원생대 지층의 분포 가능성을 의미한다.

**주요어:** 영남육괴, 고원생대, 혼성암, 퇴적기원 모암, 저어콘 U-Pb 연령

**ABSTRACT:** In this study, the U-Pb dating of zircon was conducted on the Paleoproterozoic diatexite migmatite distributed in the Gwangju-Jangseong and Hwasun-Boseong areas in the western Yeongnam Massif. The inherited-core ages of zircon from the migmatites in the former area show a predominant age peak at ca. 2478 Ma, and yield the maximum depositional age of ca. 2085 Ma where as those in the latter area show several age peaks at ca. 2506 Ma, 2338 Ma, 2205 Ma, 1985 Ma, 1945 Ma, respectively, and yield the maximum depositional age of ca. 1944 Ma. The minimum depositional age is constrained to be at ca. 1880 Ma in both areas, based on the metamorphic age of overgrown zircon rims. The inferred depositional ages as well as the singular U-Pb age peak at ~2.5 Ga of inherited-core of zircon in the Gwangju-Jangseong migmatites resemble those of the Paleoproterozoic metasedimentary units in the eastern Yeongnam Massif, suggesting possible correlation between each other. On the other hand, the depositional age of sedimentary protoliths of the Hwasun-Boseong migmatite postdates that of the Paleoproterozoic metasedimentary units in the eastern Yeongnam Massif, and their U-Pb age distribution pattern is also distinct. Our results suggest the presence of Paleoproterozoic strata in the western Yeongnam Massif which is yet unknown so far.

**Key words:** Yeongnam Massif, Paleoproterozoic, migmatites, sedimentary protolith, depositional age, zircon U-Pb age

\* Corresponding author: +82-42-868-3177, E-mail: [mgkim@kigam.re.kr](mailto:mgkim@kigam.re.kr)

## 1. 서 언

한반도는 지질시대 전체에 걸쳐 복잡하고 다양한 지질학적 사건들을 기록하고 있으며, 그 대부분은 한반도를 포함한 동북아시아의 지구조 진화와 깊이 관련된다(Cho *et al.*, 2017; Jo *et al.*, 2018; Kim and Lee, 2018; Oh *et al.*, 2018; Lee, B.Y. *et al.*, 2019; Oh and Lee, 2019; Zhai *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2020; Oh, 2021). 최근에는 이들 사건이 동북아시아뿐 아니라 과거 지구상에 존재했던 초대륙들(콜롬비아, 로디니아, 곤드와나, 판게아)의 형성 및 분열과도 관련 있는 것으로 해석되며 한반도의 지질 정보에 대한 국제적 관심이 높아지고 있다(Cho *et al.*, 2014; Choi, 2018; Oh *et al.*, 2019; Xu and Liu, 2019; Kwon and Kwon, 2020).

한반도의 기저를 이루는 낭림육괴, 경기육괴, 영남육괴에서는 고원생대(약 2.00-1.84 Ga) 동안 상부 각섬암상에서 백립암상에 해당하는 광역 변성작용과 함께 광범위한 화성작용이 보고된다(Cho *et al.*, 2017; Oh *et al.*, 2019). 낭림육괴에서는 약 1950-1900 Ma에 중압형 변성작용이 일어난 뒤 1880-1860 Ma 경에 저압형 변성작용이 일어났으며, 저압형 변성작용의 시기에 지각이 얇아지는 환경에서 광범위한 화성작용이 일어난 것으로 제시되고 있다(Peng *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2021). 이러한 변성 및 화성작용은 낭림육괴가 북중국강괴 동부에 위치한 용강판과 충돌하여 리아오-지조산대(마천령대)를 형성하는 과정에서 발생한 것으로 해석되고 있다(Xu and Liu, 2019; Wang *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2021). 경기육괴에서도 낭림육괴와 유사하게 약 1930-1920 Ma에 중압형 변성작용이 일어난 뒤 1880-1860 Ma 경에 저압형 변성작용과 지각이 얇아지는 환경에서는 화성작용이 일어난 것으로 제시되고 있다(Lee *et al.*, 2014, 2016; Oh *et al.*, 2015, 2019). 그러나 이들 사건이 낭림육괴의 경우처럼 북중국강괴 용강판과의 충돌에 의해 발생하였는지 아니면 단순히 하부지각의 융기에 따른 결과인지는 논쟁이 있다(Zhao *et al.*, 2021). 영남육괴의 경우 섭입 관련 환경에서 광범위한 저압형 변성작용과 화성작용이 일어난 것으로 알려진 가운데(2000-1840 Ma; Kim, 2012, 214; Lee, Y. *et al.*, 2014, 2018, 2021; Lee, B.C. *et al.*, 2017, 2019, 2020; Cho *et al.*, 2020; Lee and Cho, 2020),

이들 사건이 한중지괴의 연변부에서 일어났다는 의견과 북중국강괴와는 무관하게 영남육괴에서 독자적으로 발생했다는 의견이 있다(Lee, Y. *et al.*, 2014, 2021; Lee, B.C., 2019, 2020; Cho *et al.*, 2020). 또한 최근에는 영남육괴와 일본의 히다-오키 지역의 고원생대 지질학적 사건이 서로 대비될 가능성도 제기되었다(Cho *et al.*, 2021). 이처럼 한반도에서 고원생대 동안 광범위하게 일어난 변성 및 화성작용, 그리고 이들의 중국 혹은 일본과의 대비는 동북아시아 지구조 진화과정 해석에 중요한 정보를 제공한다.

한편, 퇴적기록은 서로 다른 지체구조 단위의 지질학적 대비에 역시 유용하게 쓰일 수 있다(Kim and Lee, 2018; Kim *et al.*, 2019; Kwon and Kwon, 2020). 한반도의 낭림육괴, 경기육괴, 영남육괴에는 선캠브리아 시대 변성퇴적암류가 넓게 분포하고 있어 이들의 퇴적 시기 및 지구조 환경 해석은 한반도의 고원생대 지구조 진화와 한중일간 지질대비에 또다른 관점을 제공할 것으로 기대된다. 영남육괴에서는 북동부의 변성퇴적암류에 대해 평해통, 기성통, 원남통, 울리통의 층서가 처음 제안되고 이후 수정되어 온 가운데(Geological Society of Korea, 1999), 공통적으로 퇴적 시기는 이들을 관입하는 화강암류의 연대가 약 2000-1960 Ma임을 토대로 그 이전으로 추정되었다(Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012, 2014). 그러나 최근 영남육괴 기저의 변성퇴적암류로부터 2000-1960 Ma 화강암보다 젊은 연령의 쇄설성 저어콘을 보고한 사례가 도처에서 확인된다(Oh *et al.*, 2016; Lee, B.C. *et al.*, 2017, 2020; Lee, Y. *et al.*, 2018; Lee and Cho, 2020). 이는 기존에 알려진 변성퇴적암류보다 더 젊은 퇴적단위가 존재할 가능성을 시사하지만, 아직 이를 구체적으로 토의한 연구는 없다. 또한 오랜 지질시대에 걸친 광역변성작용과 화성작용으로 기반암류의 단위 구분이나 상호관계 파악이 까다로운 상황에서 절대연령 자료가 큰 도움이 될 수 있으나, 영남육괴 선캠브리아 시대 기반암의 절대연령 자료는 주로 동부 및 중부에 집중되고 서부에서는 상대적으로 드물어 영남육괴 전반에 걸친 층서관계 확인에 어려움이 있어 왔다. 따라서 본 연구에서는 영남육괴 서부(광주광역시-장성군, 화순군-보성군) 일대에 분포하는 선캠브리아 시대 다이아텍사이트 혼성암에 대해 고분해능 이차이온 질량분석기(SHRIMP) 및 레이저박막 다검출기

유도결합플라즈마 질량분석기(LA-MC-ICP-MS)를 이용한 저어콘 연대측정을 실시하여 그 퇴적시기를 제한하고, 영남육괴에서 기존 보고된 자료와의 비교를 통해 지질연대 관점에서 영남육괴 전반의 선캄브리아 시대 층서를 검토하고자 한다.

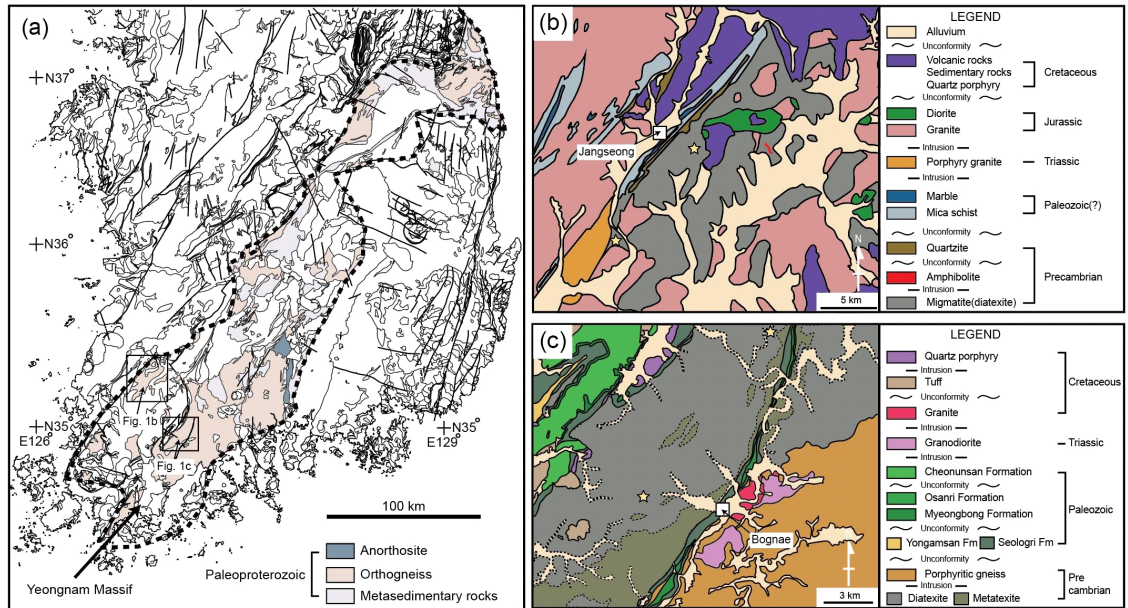
## 2. 일반지질 및 암상기재

### 2.1 일반지질

영남육괴의 기반암은 지역에 따라 태백산편마암 복합체, 지리산편마암복합체, 소백산편마암복합체, 호남편마암복합체 등으로 구분되며 다양한 성분의 준편마암류(이질, 사질, 석회질 등)와 정편마암류(산성-염기성)로 구성된다(Geological Society of Korea, 1999). 최근 보고된 쇄설성 저어콘 연대측정 결과에 따르면 준편마암류는 대부분 약 2000 Ma 이전에 퇴적된 고원생대 지층에 해당한다(Lee and Cho, 2012; Kee *et al.*, 2020). 이들은 약 2000-1860 Ma의 화강암, 섬록암, 각섬암에 의해 관입당하며(Oh *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2014; Lee, Y. *et al.*, 2014, 2021; Lee, B.C. *et al.*, 2019, 2020; Cho *et al.*, 2020; Kim *et al.*,

2021) 이후 1870-1840 Ma경 상부 각섬암상 내지 백립암상의 변성작용을 경험한 것으로 알려져 있다(Lee, B.C. *et al.*, 2017, 2020; Lee, Y. *et al.*, 2018, 2021).

연구 지역은 광주광역시-장성군 일대와 화순군-보성군 일대로 1:50,000 지질도 기준 각각 송정-영광 도폭(Choi *et al.*, 1986; Hong and Yun, 1986)과 북내 도폭(Lee and Kim, 1966)에 해당한다(그림 1a). 광주광역시-장성군 지역의 기저부는 선캄브리아 시대의 혼성질 조직을 보이는 소규모 흑운모 편마암과 화강암질 편마암으로 구성되어있는 것으로 제시되었다(Choi *et al.*, 1986; Hong and Yun, 1986). 흑운모 편마암은 일반적으로 부분용융에 의해 형성된 우흑대와 우백대가 발달되어 있는 것이 특징이다(Choi *et al.*, 1986). 화강암질 편마암은 변성작용에 의해 기존에 존재했던 암석들이 부분용융 되어 화강암과 유사한 조직을 갖게 되는 화강암화(granitization) 작용을 경험한 것으로 제시되었다(Hong and Yun, 1986). 한편, 화강암질 편마암 내에 소규모의 흑운모 편마암이 존재함을 근거로 화강암질 편마암이 흑운모 편마암을 관입하는 것으로 추정된 바 있다(Hong and Yun, 1986). 그러나 두 암체가 용융체의 발달 정도



**Fig. 1.** (a) Geological map of the Yeongnam Massif (1:1,000,000 scale) (from Kee *et al.*, 2020); (b) Geological map of the Gwangju-Jangseong area (modified from Choi *et al.*, 1986; Hong and Yun, 1986; Lee, B *et al.*, 2021); (c) Geological map of the Hwasun-Boseong area (modified from Lee and Kim, 1966). Yellow stars represent sample locations.

에 차이가 있지만 모두 혼성질 조직을 보인다는 점과 접촉 경계부가 대부분 점이적으로 나타난다는 점을 고려할 때 이들이 선후관계를 갖기 보다는 동일 암체가 부분용융 정도의 차이에 따라서 외견상 다른 조직을 보이는 것으로 보는 것이 합당할 듯하다. 포획체로 추정된 흑운모 편마암의 경우 화강암질 편마암 내에 빈번하게 나타나는 이질, 사질, 석회질 잔류체중 이질 기원 잔류인 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 두 암체를 별개의 암층으로 구분하지 않고 혼성암(migmatite)으로 재분류하였다(그림 1b). 선캠브리아 시대 혼성암 상위로는 관계미상의 규암과 편암류가 놓이며, 쇠설성 저어콘 연대분석 결과 규암의 퇴적 상한은 약 1800 Ma이고 연대분포 양상은 조선누층군 최하부 장산규암과 유사함이 보고되었다(Ha *et al.*, 2014). 선캠브리아 시대 편마암류와 규암 및 편암류는 이후 중생대(트라이아스기, 쥐라기, 백악기) 화성암 및 백악기 화산암에 관입당한다(Hong and Yun, 1986; Lee, B *et al.*, 2021).

화순-보성군 지역의 기저부는 시대미상의 화강암질 편마암, 반상변정질 편마암, 메타텍틱 편마암(metatectic gneiss), 페그마타이트질 편마암으로 구성된다(Lee and Kim, 1966). 화강암질 편마암, 메타텍틱 편마암 그리고 페그마타이트질 편마암은 화강암화의 정도에 따라 각각의 개별적인 암체로 구분되었다(Lee and Kim, 1966). 그러나 부분용융정도의 차이가 있지만 세 암체 모두 혼성질 조직을 나타내며, 서로 점이적인 접촉 경계를 갖는다(Lee and Kim, 1966). 따라서 본 연구에서는 유사한 조직과 광물군을 갖는 화강암질 편마암과 페그마타이트질 편마암을 다이아텍사이트 혼성암(diatexite migmatite)으로 재분류 하였다. 한편, 메타텍사이트 혼성암(metatectic migmatite)은 야외에서 다이아텍사이트 혼성암과 뚜렷하게 구별되고 상대적으로 넓은 면적을 차지하고 있는 관계로 기존의 분포 범위를 그대로 인용했다(그림 1c). 시대미상의 편마암류는 Rb/Sr 전암 및 저어콘 연대를 통해 고원생대에 형성된 것으로 확인되었으며, 상부각섬암상에 해당하는 변성작용을 경험하였다(Oh *et al.*, 2000 and reference therein). 고원생대 편마암류 상위에는 규암(용암산층)과 편암류(설옥리층 일부)가 놓인다. 이들은 고원생대 편마암류와 점이적 관계를 갖는 것으로 제안된 바 있다(Lee and Kim, 1966). 그러나 쇠설성 저어콘의 연대

측정을 통해 설옥리층이 전기 고생대(<508 Ma) 지층에 해당함이 확인되었으므로 편마암류와는 부정합 관계임이 확인되었다(Kee *et al.*, 2020). 고원생대 편마암류와 고생대 퇴적층은 트라이아스기 화강섬록암에 관입 당한 뒤(Oh *et al.*, 2016) 백악기 응회암 및 용암류에 피복되고, 이후 백악기 화성암류(화강암, 섬록암)에 관입당하는 것으로 알려져 있다(Lee and Kim, 1966).

## 2.2 암상기재

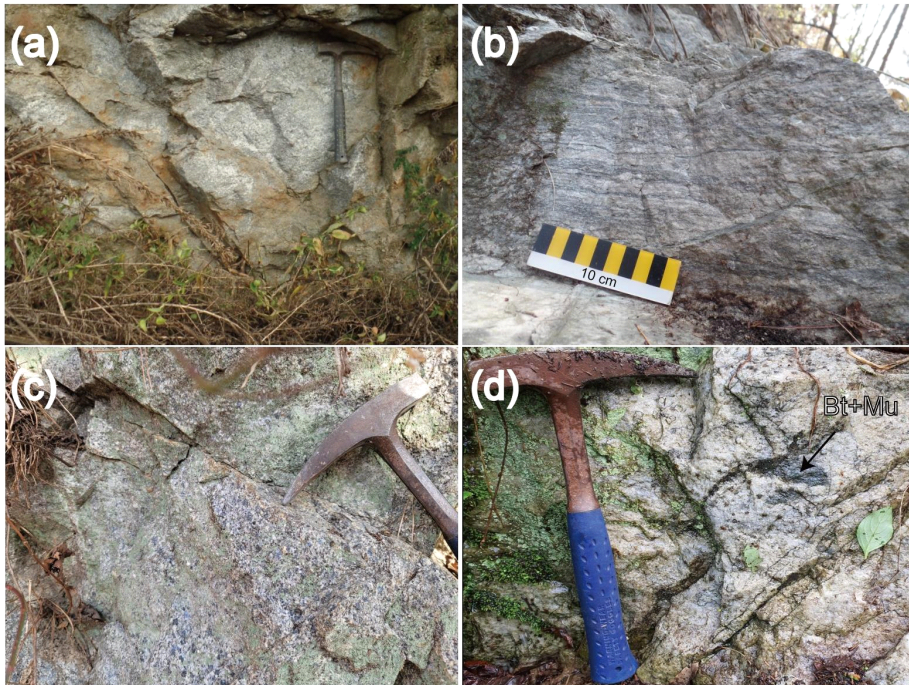
광주광역시와-장성군에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암(기존 화강암질 편마암)은 주로 조립질의 입상변정질 조직을 보이고 암석을 구성하는 광물들이 불균질하게 배열되어 있다(그림 2a). 다이아텍사이트 혼성암 내에는 다양한 성분(이질, 사질, 석회질)의 변성퇴적암 잔류체가 렌즈상으로 불규칙적으로 분포하며 다이아텍사이트 혼성암과는 점이적인 경계를 갖는다. 지역에 따라 다이아텍사이트 혼성암은 중립질 내지 조립질의 석영과 장석류가 집적되어 형성된 반정들을 갖기도 한다. 일부 노두에서는 다이아텍사이트 혼성암 내에 미약한 엽리구조가 나타나고 부분용융에 의해 형성된 우흑대와 우백대가 호층을 이루는 호상구조가 나타나기도 한다(그림 2b). 다이아텍사이트 혼성암의 주 구성광물은 흑운모, 알칼리장석, 사장석, 석영이며 이외 백운모와 불투명 광물 등이 관찰된다(그림 3a). 흑운모는 대부분 타형이며, 장석류와 석영 사이의 간극을 채우거나 군집을 이루며 분포하고, 일부는 녹니석으로 변질되었다. 알칼리장석은 반자형 내지 타형으로 나타나고 정장석, 미사장석, 세니딘으로 구성된다. 일부 정장석 주변에는 석영과 사장석으로 구성된 미르메카이트 조직이 발달되어 있다. 사장석은 대부분 반자형 내지 타형이며 주로 알바이트 쌍정을 보이고 부분적으로 견운모화 되어 있다. 소량의 백운모는 엽리와 평행하게 배열된 흑운모를 가로질러 성장하고 있어 2차적으로 형성된 것으로 보인다.

화순-보성군 일대에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암은 주로 조립질의 입상변정질 조직을 보이며 지역에 따라 흑운모와 백운모가 군집을 이루며 나타나기도 한다(그림 2c, 2d). 연구지역내에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암은 광주광역시-장성군에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암과 마찬가지로 다양한

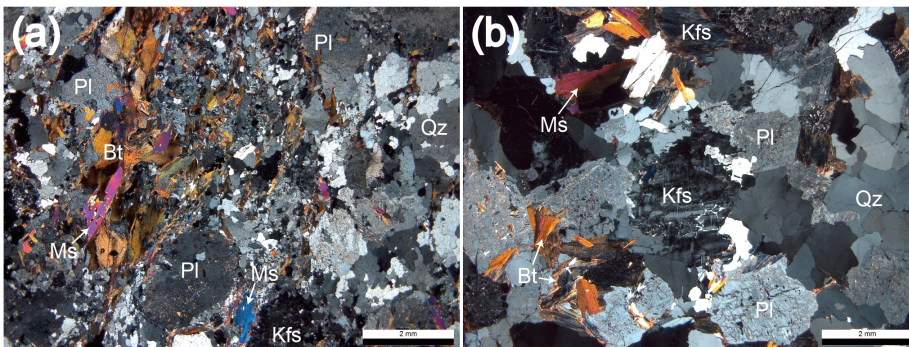
성분(이질, 사질, 석회질)의 변성퇴적암 잔류체가 렌즈상으로 불규칙적으로 분포하며 서로 점이적인 접촉관계를 가지고 있다. 이 암체의 주 구성광물은 흑운모, 알칼리장석, 사장석, 석영, 백운모이며 이외 불투명 광물 등이 관찰된다(그림 3b). 흑운모는 대부분 타형이며 백운모와 함께 알칼리장석, 사장석, 석영의 간극을 채우며 주로 나타난다. 알칼리장석은

주로 정장석, 미사장석으로 구성되어 있으며 일부 견운모화 되어 있다. 사장석은 대부분 알바이트 쌍정을 보이며 알칼리 장석과 마찬가지로 일부 견운모화 되어 있다.

다이아텍사이트 혼성암의 저어콘 연대측정을 위해 광주광역시-장성군 지역(KJ72, KJ146)과 화순-보성 지역(HS1, AU22)에서 각각 두개의 시료를 채



**Fig. 2.** (a) Photograph of diatexite migmatite(KJ146) in the Jangseong area; (b) photograph showing banded texture in the Jangseong migmatites; (c) Photograph of diatexite migmatite(HS1) in the Hwasun area; (d) Photograph showing biotite and muscovite aggregation texture in the Hwasun migmatites. Abbreviations: Bt, biotite; Mu, muscovite.



**Fig. 3.** (a) Photomicrograph of diatexite migmatite(KJ146) in the Jangseong area; (b) Photomicrograph of diatexite migmatite(HS1) in the Hwasun area. Abbreviations: Kfs, K-feldspar; Pl, plagioclase; Bt, biotite; Qz, quartz; Ms, muscovite.

취하였으며 시료 채취지점의 좌표는 표 1과 같다.

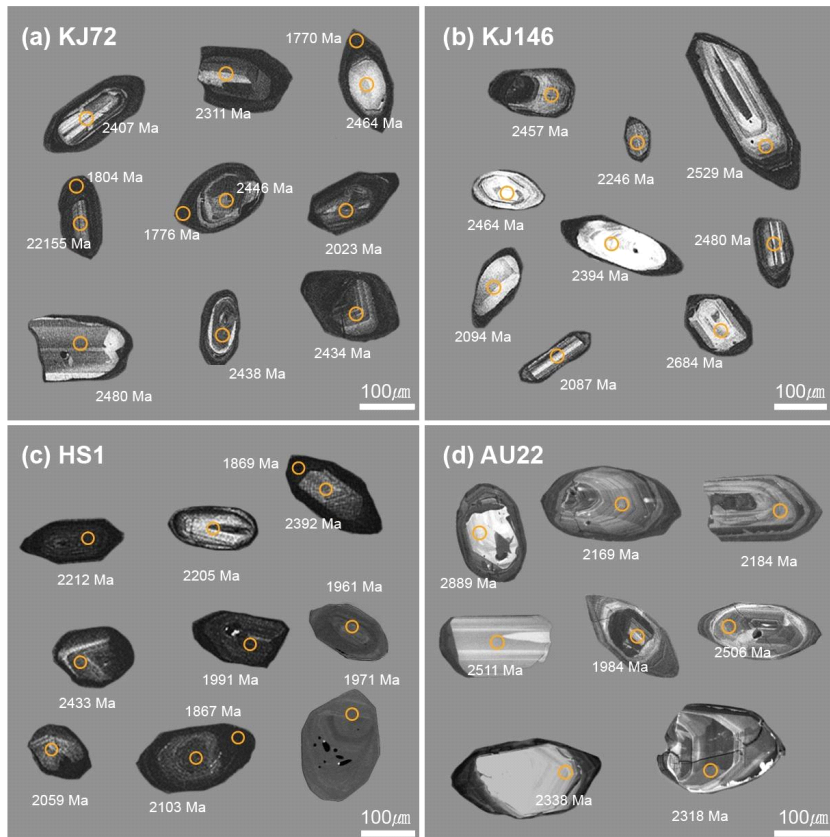
### 3. 분석 방법

각각의 암석시료는 조분쇄기로 파쇄한 뒤 표준 망체를 이용해 180 메시(80  $\mu\text{m}$ )에서 회수하였다. 회수된 입자들은 Cheong *et al.* (2013)에 상술된 방법에 따라 물을 이용하여 일차적으로 분리한 다음 자력분리기와 중액을 이용하여 이차 분리하였으며, 실

체현미경 하에서 핀셋을 이용해 농집된 중광물로부터 저어콘 입자들을 선별하였다. 선별된 저어콘은 SL13 ( $U = 238$  ppm; Claué-Long *et al.*, 1995), FC1(1099 Ma; Paces and Miller Jr., 1993) 표준물질과 함께 예폭시 수지에 고정한 뒤 연마하였고, 한국기초과학지원연구원 오창센터의 주사전자현미경(JEOL JSM-6610LV)을 이용하여 음극선발광(cathodoluminescence)과 후방산란전자(backscattered electron) 영상을 획득하고 내부구조를 검토하였다.

**Table 1.** The coordinates of the global positioning system for zircon age dating samples.

Sample number	Rock type	Longitude (°N)	Latitude (°E)
KJ72	Diatexite migmatite	126.739324	35.203575
KJ146	Diatexite migmatite	126.812336	35.281644
HS1	Diatexite migmatite	127.074945	34.901391
AU22	Diatexite migmatite	127.169803	35.002017



**Fig. 4.** (a, b) Cathodoluminescence images of zircon grains from diatexite migmatite in the Jangseong area; (c) back-scattered electron and (d) cathodoluminescence images of zircon grains from diatexite migmatite in the Hwasun area.

**Table 2.** The zircon age data of diatexite migmatite in Jangseong and Hawsun area.

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb age (Ma)	<sup>207</sup> Pb* / <sup>206</sup> Pb*	±%	<sup>207</sup> Pb* / <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb* / <sup>238</sup> U	±%	
KJ72 (diatexite migmatite)												
KJ072-19.1	Core	288	125	0.45	2300	±15	0.146	0.9	7.9	1.7	0.392	1.5
KJ072-27.1	Core	231	269	1.20	2473	±24	0.162	1.4	10.1	2.1	0.455	1.5
KJ072-28.1	Core	270	199	0.76	2073	±17	0.128	1.0	6.2	1.8	0.351	1.5
KJ072-1.1	Core	73	27	0.39	2160	±130	0.135	7.4	7.0	9.2	0.378	5.5
KJ072-3-1	Core	235	353	1.55	2023	±16	0.125	0.9	5.9	1.5	0.346	1.2
KJ072-4.1	Core	156	189	1.25	2480	±13	0.162	0.8	10.5	1.5	0.468	1.3
KJ072-5.1	Core	159	87	0.56	2580	±34	0.172	2.1	12.2	2.5	0.512	1.5
KJ072-10.1	Core	97	77	0.82	2464	±17	0.161	1.0	10.2	1.8	0.460	1.5
KJ072-14.1	Core	372	314	0.87	2430	±12	0.158	0.7	9.2	1.5	0.424	1.3
KJ072-16.1	Core	237	152	0.66	2486	±17	0.163	1.0	10.1	1.8	0.449	1.5
KJ072-8.2	Rim	1056	9	0.01	1752	±16	0.107	0.9	2.6	1.5	0.178	1.3
KJ072-9.2	Rim	1003	8	0.01	1776	±13	0.109	0.7	2.4	1.3	0.162	1.1
KJ072-10.2	Rim	1050	7	0.01	1770	±29	0.108	1.6	2.5	2.4	0.171	1.8
KJ072-12.2	Rim	1088	9	0.01	1804	±17	0.110	0.9	2.7	1.4	0.179	1.1
KJ072-14.2	Rim	915	15	0.02	1795	±12	0.110	0.6	2.6	1.3	0.172	1.1
KJ072-32.2	Rim	1037	7	0.01	1734	±12	0.106	0.6	2.4	1.2	0.166	1.1
KJ072-17.2	Rim	1054	13	0.01	1709	±13	0.105	0.7	2.0	2.9	0.137	2.8
KJ072-1.2	Rim	882	7	0.01	1773	±20	0.108	1.1	3.0	2.4	0.203	2.2
KJ072-11.2	Rim	1606	18	0.01	966	±26	0.071	1.3	0.5	1.6	0.051	1.0
KJ072-13.2	Rim	858	11	0.01	1853	±45	0.113	2.5	3.7	3.2	0.237	2.1
KJ072-31.1	Rim	1138	11	0.01	1704	±13	0.104	0.7	2.0	1.3	0.138	1.1
KJ072-6.1	Rim	108	47	0.45	1874	±41	0.115	2.3	3.8	2.7	0.240	1.5
KJ072-18.1	Rim	29	8	0.30	1915	±188	0.117	10	2.9	11.0	0.178	3.2

Errors are 1-sigma; Pb\* indicates radiogenic portions. Common Pb corrected using <sup>204</sup>Pb.

장성지역 시료들(KJ72, KJ146)의 저어콘 U-Pb 분석에는 한국기초과학지원연구원 오창센터의 SHRIMP IIe/MC 기기를 이용하였다. 이용된 일차 산소 이온 빔(O<sub>2</sub><sup>+</sup>)의 직경과 세기는 각각 25 μm, 4-6 nA였다. 분석 절차는 Williams (1998)를 따랐으며 필요한 원소 및 분자들에 대해 5회 반복 측정했고, 미지의 시료 3점마다 FC-1 표준 저어콘을 1회 측정해 보정에 이용했다. 자료 보정 및 연령 계산에는 SQUID 2.50와 Isoplot 3.75 소프트웨어를 활용하였다. 화순지역 시료 중 HS1시료의 저어콘 U-Pb 분석에는 한국기초과학지원연구원 오창센터의 LA-MC-ICP-MS (Nu Plasma II)를 이용하였다. 우라늄 농도와 연령 보정에는 91500 저어콘 표준물질(Goolaerts *et al.*, 2004)을 이용하였으며, 획득한 자료는 Iolite 2.5와 Isoplot 3.75 소프트웨어를 활용하여 처리하였다. 상세한 분

석 조건과 자료 처리 방법은 Kim *et al.* (2016)에 기재되어 있다. 화순지역 시료 중 AU22 시료의 저어콘 U-Pb 분석에는 호주국립대학교의 SHRIMP I 기기를 이용하였고, 상세한 분석 절차는 Cho *et al.* (2006)에 기재되어 있다. 자료의 보정 및 연령 계산에는 SQUID 2.50와 Isoplot 3.75 소프트웨어를 활용하였다. 전체 저어콘 U-Pb 분석결과는 표 2에 제시하였으며 이들을 Tera-Wasserburg 일직곡선에 도시하였다(그림 4). 각 분석치와 겉보기연령의 오차는 1σ이다.

#### 4. 결 과

KJ72(장성지역)에서 선별한 저어콘 입자들의 크기는 일반적으로 150-200 μm이며, 2:1 내외의 종횡비를 갖는 주상의 저어콘이 대다수지만 1:1 내외의

Table 2. Continued.

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb age (Ma)	<sup>207</sup> Pb* / <sup>206</sup> Pb*	±%	<sup>207</sup> Pb* / <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb* / <sup>238</sup> U	±%	
KJ146 (diatexite migmatite)												
KJ146-4.1	Core	138	81	0.60	2687	±13	0.184	0.8	13.3	3.2	0.524	3.1
KJ146-5.1	Core	153	198	1.34	2094	±18	0.130	1.0	6.7	1.7	0.375	1.4
KJ146-8.1	Core	250	215	0.89	2480	±12	0.162	0.7	10.0	1.5	0.447	1.4
KJ146-11.1	Core	357	169	0.49	2087	±14	0.129	0.8	6.5	1.5	0.365	1.3
KJ146-12.1	Core	287	166	0.60	2457	±12	0.160	0.7	9.6	1.5	0.433	1.3
KJ146-13.1	Core	164	58	0.37	2371	±17	0.152	1.0	8.5	1.8	0.405	1.5
KJ146-15.1	Core	129	37	0.30	2394	±17	0.154	1.0	9.7	1.9	0.457	1.6
KJ146-19.1	Core	192	116	0.63	2529	±32	0.167	1.9	10.6	2.4	0.458	1.5
KJ146-21.1	Core	161	135	0.87	2464	±17	0.161	1.0	9.6	1.9	0.432	1.6
KJ146-22.1	Core	249	132	0.55	2483	±13	0.163	0.8	10.0	1.6	0.448	1.4
KJ146-23.1	Core	259	161	0.64	2246	±15	0.142	0.9	7.6	1.7	0.387	1.5
KJ146-25.1	Core	228	285	1.29	2424	±17	0.157	1.0	9.4	1.8	0.435	1.5
KJ146-26.1	Core	153	166	1.12	2468	±16	0.161	1.0	9.7	1.9	0.438	1.6

Errors are 1-sigma; Pb\* indicates radiogenic portions. Common Pb corrected using <sup>204</sup>Pb.

중횡비를 갖는 구형의 저어콘도 드물게 존재한다. 음극선발광 영상에서 저어콘 중심부에는 진동누대 구조 또는 호상구조가 보이며 이들 주변에 검정색 또는 진한 회색의 누대구조가 없는 저어콘 외연부가 과성장 내지 재결정된 형태로 발달되어 있다(그림 4a). KJ72시료의 분석점은 총 25개로 이들 중 10개는 진동누대구조를 보이는 저어콘 중심부에서, 나머지 15개는 검정색 또는 진한 회색의 누대구조가 없는 저어콘 외연부에서 실시되었다. 저어콘 중심부는 높은 Th/U비(0.39-1.55)를 갖는 반면 외연부는 2개의 분석점을 제외하고 대부분 낮은 Th/U비(0.01-0.02)를 보인다. 저어콘 중심부에서는 2580-2023 Ma의 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb연령이 측정되었고 외연부에서는 1915-966 Ma의 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb연령이 측정되었다(표 2). 저어콘 외연부의 자료를 Tera-Wasserburg 일치곡선에 도시하여 계산한 결과 1920 ± 40 Ma의 상부 교차연령과 241 ± 31 Ma (MSWD = 1.9)의 하부 교차연령이 확인된다(그림 5a).

KJ146(장성지역)에서 선별한 저어콘 입자들의 크기는 80-350 μm까지 다양하며 크기에 상관없이 2:1 내지 3:1의 중횡비를 갖는 주상의 저어콘이 대부분이다. 음극선발광 영상에서 저어콘 중심부에는 진동누대구조가 주로 보이며 이들 주변에 검정색 또는 진한 회색의 누대구조가 없는 저어콘 외연부가 과성

장 내지 재결정된 형태로 발달되어 있다(그림 4b). KJ146시료에서는 저어콘 중심부를 대상으로 총 13점의 분석을 진행하였다. 저어콘 중심부에서는 높은 Th/U비(0.39-1.55)와 2687-2087 Ma의 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb연령이 측정되었다(표 2; 그림 5b).

HS1(화순지역)에서 선별한 저어콘 입자들의 크기는 100-200 μm이며, 2:1내지 3:1의 중횡비를 갖는 주상 혹은 타원형의 저어콘이 대부분이다. 음극선발광 영상에서 저어콘 중심부에는 진동누대구조가 주로 보이며 이들 주변에 검정색 또는 진한 회색의 누대구조가 없는 저어콘 외연부가 과성장 내지 재결정된 형태로 발달되어 있다(그림 4c). HS1시료의 분석점은 총 61개로 이들 중 52개는 저어콘 중심부에서, 나머지 9개는 외연부에서 실시되었다. 저어콘 중심부는 대체로 0.10-1.43의 높은 Th/U비를 보이거나 드물게 0.1 이하의 Th/U비를 보이고, 외연부는 대개 0.02-0.09의 낮은 Th/U비를 보이지만 일부 0.1 이상의 Th/U비를 보이는 경우도 있다. 저어콘 중심부에서는 2621-1940 Ma의 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb연령이 측정되었으며 외연부에서는 1908-1864 Ma의 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb연령이 측정되었다(표 2). 저어콘 외연부의 자료를 Tera-Wasserburg 일치곡선에 도시하여 계산한 결과 1882 ± 5.1 Ma (MSWD = 2.4)의 일치연령이 확인된다(그림 5c).



Table 2. Continued.

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb age (Ma)	<sup>207</sup> Pb* / <sup>206</sup> Pb*	±	<sup>207</sup> Pb* / <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb* / <sup>238</sup> U	±%	
HS1 (diatexite migmatite)												
HS1-7	Core	335	157	0.46	2432	±7.1	0.158	0.0011	10.6	0.220	0.487	0.011
HS1-8	Core	150	37	0.22	2212	±15	0.140	0.0029	8.4	0.310	0.422	0.013
HS1-12	Core	349	437	1.43	2482	±15	0.163	0.0024	11.6	0.220	0.497	0.008
HS1-15	Core	398	56	0.16	2060	±5.4	0.127	0.0009	7.3	0.097	0.406	0.005
HS1-19	Core	238	15	0.07	2388	±7.4	0.154	0.0016	10.1	0.190	0.465	0.010
HS1-20	Core	58	32	0.60	2446	±15	0.159	0.0027	10.4	0.440	0.483	0.020
HS1-25	Core	377	19	0.05	1986	±9.7	0.122	0.0010	6.2	0.085	0.366	0.005
HS1-27	Core	148	62	0.45	2449	±9.1	0.159	0.0012	10.5	0.170	0.471	0.007
HS1-28	Core	907	173	0.21	2337	±7.7	0.149	0.0007	9.5	0.320	0.442	0.015
HS1-29	Core	162	59	0.31	2216	±11	0.139	0.0013	8.6	0.410	0.448	0.020
HS1-31	Core	436	89	0.21	2206	±4.1	0.138	0.0007	8.0	0.097	0.410	0.006
HS1-32	Core	296	24	0.06	1945	±6	0.119	0.0007	6.2	0.059	0.367	0.003
HS1-33	Core	171	24	0.12	2086	±8.9	0.130	0.0010	7.2	0.160	0.392	0.009
HS1-34	Core	224	153	0.69	1961	±10	0.120	0.0016	6.4	0.180	0.372	0.008
HS1-35	Core	65	46	0.69	2621	±8.7	0.176	0.0015	12.2	0.470	0.496	0.017
HS1-36	Core	309	78	0.27	2462	±15	0.160	0.0018	10.6	0.480	0.470	0.020
HS1-40	Core	133	57	0.44	2392	±16	0.154	0.0019	9.3	0.230	0.443	0.009
HS1-41	Core	254	43	0.17	2386	±5.7	0.153	0.0009	10.2	0.650	0.487	0.030
HS1-43	Core	300	70	0.26	2437	±17	0.158	0.0017	10.0	0.210	0.463	0.008
HS1-45	Core	163	121	0.90	2488	±11	0.163	0.0019	10.9	0.250	0.475	0.009
HS1-46	Core	208	32	0.18	2089	±7.9	0.129	0.0010	7.4	0.110	0.417	0.005
HS1-47	Core	365	127	0.40	2009	±8.4	0.123	0.0011	6.4	0.150	0.371	0.009
HS1-50	Core	489	145	0.33	2244	±7.3	0.142	0.0014	8.4	0.180	0.418	0.008
HS1-52	Core	185	186	1.04	2418	±9.4	0.156	0.0013	9.8	0.150	0.451	0.006
HS1-53	Core	542	16	0.02	2104	±8.9	0.130	0.0012	7.5	0.140	0.401	0.005
HS1-55	Core	217	30	0.11	2276	±7.4	0.144	0.0013	9.3	0.200	0.461	0.008
HS1-56	Core	306	36	0.13	2257	±6.5	0.143	0.0008	8.4	0.360	0.428	0.018
HS1-57	Core	303	50	0.18	1940	±7.4	0.119	0.0010	6.2	0.099	0.378	0.005
HS1-58	Core	593	34	0.06	2006	±16	0.123	0.0013	6.3	0.090	0.367	0.006
HS1-61	Core	244	160	0.81	2449	±4.9	0.159	0.0007	11.1	0.640	0.507	0.029
HS1-65	Core	57	1	0.01	1946	±17	0.119	0.0021	5.9	0.460	0.357	0.026
HS1-66	Core	497	155	0.37	2244	±8.2	0.141	0.0009	8.3	0.120	0.419	0.006
HS1-67	Core	508	23	0.07	2088	±6.5	0.129	0.0008	7.0	0.200	0.392	0.012
HS1-68	Core	340	100	0.33	2433	±8.2	0.158	0.0012	10.1	0.200	0.467	0.009
HS1-69	Core	231	29	0.12	2095	±6.6	0.130	0.0007	7.2	0.310	0.400	0.017
HS1-71	Core	383	186	0.52	2288	±5.7	0.145	0.0011	8.9	0.110	0.442	0.005
HS1-72	Core	691	83	0.13	2329	±5	0.148	0.0006	9.2	0.180	0.442	0.008
HS1-73	Core	383	67	0.19	2330	±9.1	0.149	0.0009	9.0	0.200	0.445	0.009
HS1-76	Core	333	18	0.07	2064	±6.3	0.128	0.0007	6.6	0.120	0.378	0.007
HS1-81	Core	174	53	0.36	2401	±12	0.155	0.0014	9.5	0.180	0.450	0.010
HS1-82	Core	115	16	0.22	1971	±17	0.121	0.0015	6.3	0.490	0.383	0.027
HS1-83	Core	314	169	0.61	2056	±7.5	0.127	0.0009	6.6	0.220	0.381	0.012

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb age (Ma)	<sup>207</sup> Pb* / <sup>206</sup> Pb*	±	<sup>207</sup> Pb* / <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb* / <sup>238</sup> U	±%	
HS1-84	Core	232	16	0.07	1991	±12	0.122	0.0011	6.1	0.120	0.364	0.006
HS1-86	Core	593	17	0.04	2340	±5.6	0.149	0.0018	9.3	0.180	0.448	0.006
HS1-87	Core	312	19	0.08	2067	±9.5	0.127	0.0011	6.8	0.140	0.385	0.008
HS1-88	Core	323	99	0.32	2499	±11	0.164	0.0019	11.1	0.350	0.490	0.015
HS1-92	Core	220	44	0.21	2416	±8.4	0.156	0.0014	9.5	0.180	0.453	0.008
HS1-93	Core	525	49	0.10	2114	±5.4	0.131	0.0008	7.5	0.086	0.411	0.005
HS1-95	Core	66	39	0.64	2587	±20	0.172	0.0032	13.2	1.200	0.545	0.045
HS1-96	Core	52	23	0.42	2112	±15	0.131	0.0017	7.4	0.230	0.408	0.011
HS1-98	Core	103	30	0.53	2115	±23	0.132	0.0022	7.5	0.580	0.410	0.028
HS1-100	Core	203	10	0.10	2385	±8.2	0.154	0.0010	9.9	0.500	0.463	0.024
HS1-2	Rim	141	6	0.10	1903	±13	0.116	0.0015	5.5	0.170	0.348	0.011
HS1-10	Rim	301	16	0.04	1883	±8.3	0.115	0.0011	5.6	0.230	0.345	0.014
HS1-30	Rim	387	47	0.13	1908	±12	0.117	0.0013	5.7	0.140	0.349	0.009
HS1-44	Rim	559	21	0.03	1907	±12	0.116	0.0013	5.7	0.150	0.349	0.010
HS1-54	Rim	245	9	0.02	1900	±8.9	0.116	0.0009	5.6	0.190	0.347	0.012
HS1-59	Rim	510	41	0.09	1868	±9.8	0.114	0.0012	5.5	0.180	0.344	0.012
HS1-62	Rim	214	6	0.08	1869	±7	0.114	0.0014	5.5	0.110	0.345	0.006
HS1-70	Rim	377	14	0.07	1864	±6	0.114	0.0007	5.4	0.100	0.341	0.006
HS1-75	Rim	659	7	0.03	1868	±5.2	0.114	0.0006	5.2	0.070	0.336	0.004

Errors are 1 $\sigma$ ; Pb\* indicates the radiogenic portions.

AU22(화순지역)에서 선별한 저어콘의 입자 크기는 주로 180-250  $\mu\text{m}$ 이며 2:1내지 3:1의 종횡비를 갖는 주상 혹은 타원형의 저어콘이 대부분이다. 음극선발광 영상에서 저어콘 중심부에는 진동누대구조가 주로 보이며 이들 주변에 검정색 또는 진한 회색의 누대구조가 없는 저어콘 외연부가 과성장 내지 재결정된 형태로 발달되어 있다(그림 4d). AU22시료에서는 저어콘 중심부를 대상으로 총 14점의 분석이 진행되었다. 저어콘 중심부에서는 비교적 높은 Th/U비(0.15-0.84)와 2889-1984 Ma의 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 연령이 측정되었다(표 2; 그림 5d).

## 5. 토의 및 결론

영남육괴 서부 장성지역과 화순지역에 분포하는 다이아텍사이트 혼성암에서 분리된 저어콘의 중심부는 일반적으로 진동누대구조 또는 호상구조를 보이며, 0.1 이상의 높은 Th/U비를 갖는다. 반면 그 주변에 과성장 내지 재결정 형태로 발달하는 저어콘 외연부는 일반적으로 누대구조를 보이지 않으며 0.1 이하의 낮은 Th/U비를 갖는다. 저어콘 내부구조와

Th/U비의 특징을 고려하면 저어콘 중심부와 외연부에서 얻어진 연령은 각각 화성작용과 변성작용의 시기를 지시하는 것으로 판단된다(Hoskin and Schaltegger, 2003). 장성지역 다이아텍사이트 혼성암의 저어콘 중심부에서는 2478 Ma의 뚜렷한 연대 피크를 비롯하여 2687-2023 Ma의 다양한 연대가 확인되며(그림 6a), 저어콘 외연부에서는 1920 $\pm$ 40 Ma의 상부 교차연령이 확인된다(그림 5a). 화순지역 다이아텍사이트 혼성암의 경우 저어콘 중심부에서는 2506 Ma, 2338 Ma, 2205 Ma, 1985 Ma, 1945 Ma 등 다수의 연대 피크가 확인되고(그림 5b), 저어콘 외연부에서는 1882  $\pm$  5.1 Ma의 일치연령이 확인된다(그림 5c). 따라서 과거 영남육괴 혹은 주변부에 신시생대부터 고원생대 오로시리아기(Orosirian Period)의 현재까지 확인되지 않은 화성작용이 여러 차례 발생하였음이 추정되며, 장성과 화순지역의 다이아텍사이트 혼성암은 이러한 고기 화성암체들을 근원물질로 하는 퇴적기원의 준편마암으로 볼 수 있다. 퇴적 이후 이들은 오로시리아기 중기(약 1920-1882 Ma)의 변성을 겪었다.

한편 장성과 화순 두 지역에 분포하는 다이아텍

Table 2. Continued.

Spot	Location	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb age (Ma)	<sup>207</sup> Pb* / <sup>206</sup> Pb*	±	<sup>207</sup> Pb* / <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb* / <sup>238</sup> U	±%	
AU22 (diatexite migmatite)												
AU22-1.1	Core	108	56	0.52	2889	±14.84	0.208	0.0019	16.4	0.326	1.751	0.009
AU22-2.1	Core	835	170	0.20	2184	±4.22	0.137	0.0003	7.2	0.085	2.598	0.004
AU22-3.1	Core	229	78	0.34	2205	±8.21	0.138	0.0007	8.0	0.112	2.389	0.005
AU22-4.1	Core	110	50	0.46	2185	±18.59	0.137	0.0015	7.8	0.172	2.402	0.007
AU22-5.2	Core	105	65	0.62	2518	±11.92	0.166	0.0012	11.0	0.190	2.089	0.007
AU22-6.1	Core	330	101	0.31	2169	±8.69	0.135	0.0007	7.7	0.112	2.437	0.005
AU22-7.2	Core	222	106	0.48	2338	±8.17	0.149	0.0007	9.2	0.134	2.232	0.006
AU22-8.1	Core	1343	196	0.15	1984	±5.4	0.122	0.0004	6.2	0.075	2.719	0.004
AU22-9.1	Core	169	142	0.84	2511	±8.53	0.165	0.0008	11.2	0.158	2.037	0.006
AU22-10.1	Core	241	148	0.61	2176	±11.21	0.136	0.0009	7.6	0.109	2.456	0.005
AU22-11.2	Core	551	175	0.32	2337	±8.16	0.149	0.0007	9.1	0.124	2.267	0.005
AU22-15.1	Core	840	430	0.51	2506	±3.72	0.165	0.0004	11.1	0.128	2.042	0.005
AU22-16.1	Core	640	249	0.39	2318	±4.88	0.148	0.0004	9.0	0.108	2.269	0.005
AU22-17.2	Core	498	193	0.39	2396	±6.83	0.154	0.0006	9.3	0.119	2.287	0.005
AU22-5.1	Rim	800	4	0.01	1864	±7.29	0.114	0.0005	5.5	0.069	2.850	0.004
AU22-7.1	Rim	1138	6	0.005	1878	±6.15	0.115	0.0004	5.5	0.066	2.866	0.004
AU22-8.2	Rim	968	35	0.04	1869	±4.91	0.114	0.0003	5.5	0.063	2.857	0.004
AU22-10.1	Rim	971	17	0.02	1876	±5.68	0.115	0.0004	5.6	0.065	2.843	0.004
AU22-11.1	Rim	1062	5	0.00	1877	±5.2	0.115	0.0003	5.4	0.061	2.909	0.004
AU22-12.1	Rim	900	6	0.01	1874	±6.86	0.115	0.0004	5.5	0.073	2.862	0.004
AU22-13.1	Rim	1302	5	0.00	1868	±3.48	0.114	0.0002	5.4	0.059	2.894	0.004
AU22-15.2	Rim	1097	8	0.01	1874	±4.3	0.115	0.0003	5.5	0.064	2.864	0.004
AU22-17.1	Rim	944	9	0.01	1876	±6.02	0.115	0.0004	5.4	0.065	2.915	0.004

Errors are 1σ; Pb\* indicates the radiogenic portions.

사이트 혼성암의 저어콘 연대 분포 양상에는 차이가 있다. 먼저 장성지역 다이아텍사이트 혼성암의 경우 분석점의 수는 다소 적지만 약 2478 Ma의 연대 피크가 두드러지는데(그림 6a), 이는 영남육괴 동부 울리층군과 원남층군(및 호산리층)에서 각각 2491 Ma, 2493 Ma의 지배적인 연대 피크를 보고한 저어콘 연대 분석 결과(Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012, 2014)와 유사하다. 장성지역 다이아텍사이트 혼성암의 퇴적시기 상한은 가장 젊은 단일 저어콘 입자의 연대를 기준으로  $2023 \pm 16$  Ma이며, 신중하게 가장 젊은 저어콘 연대군의 가중평균연대  $YGC \pm 2\sigma$  (Dickinson and Gehrels, 2009; Coutts *et al.*, 2019)를 적용한다면  $2085 \pm 18$  Ma ( $n=3$ )이다. 퇴적시기의 하한은 확인된 상부교차연령을 기준으로  $1920 \pm 40$  Ma이며, 이 연령의 정확도가 떨어진다는 점을 감안

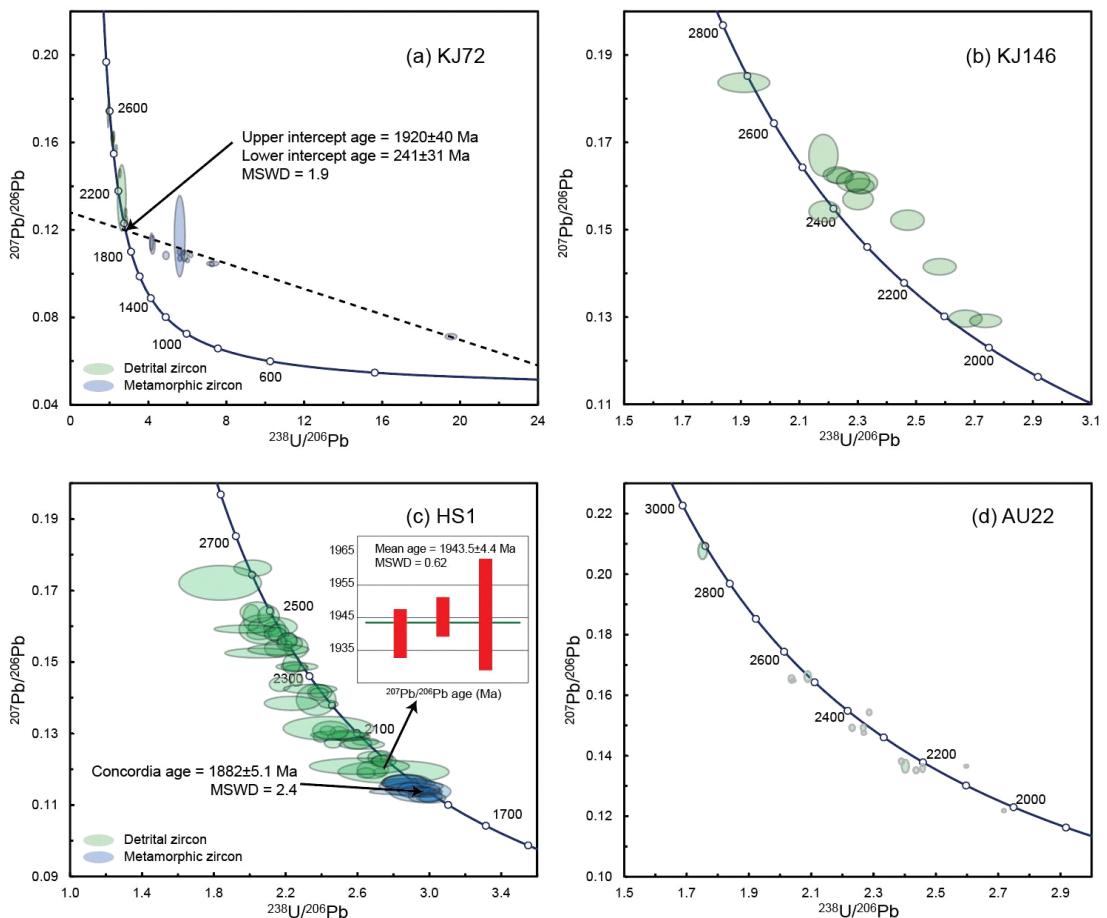
하여 화순지역에서의 결과와 영남육괴 서부에서 광역적으로 보고되는 변성연대(Lee *et al.*, 2018 and references therein)를 바탕으로 보수적으로 설정한다면 약 1880-1860 Ma이다. 울리층군과 원남층군(및 호산리층)의 퇴적시기는 각각 2.18-2.01 Ga, 2.1-1.98 Ga로 제안된 바 있으므로(Lee *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2012, 2014), 장성지역 다이아텍사이트 혼성암은 영남육괴 동부의 기저를 이루는 변성퇴적암류와 같은 시기에 쌓였거나 혹은 다소 젊은 퇴적단위일 것이다. 이들의 상호 대비 여부는 향후 암상과 성분 등을 종합 고려하여 확인될 필요가 있으나, 쇄설성 저어콘 연대의 유사성은 우선 퇴적물 기원지의 공유 가능성을 시사한다.

화순지역 다이아텍사이트 혼성암의 경우 앞선 단위들과 유사한 약 2506 Ma의 연대 피크가 감지되기

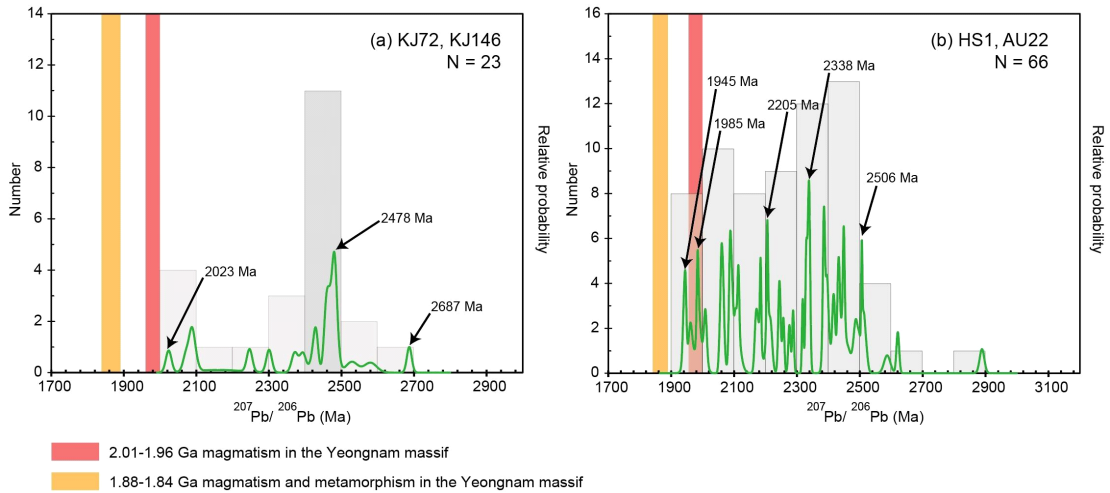
는 하지만, 그와 비슷하거나 더 두드러지는 연대 피크 다수가 1.9-2.5 Ga 구간에 걸쳐 나타난다는 점에서 확연히 구분된다(그림 6b). 또한 가장 젊은 1945 Ma, 1981 Ma의 연대 피크가 보여주듯 영남육괴 동부의 2000-1960 Ma 관입화강암류와 같거나 혹은 젊은 화성암체들로부터 유래한 저어콘 입자들이 상당수 존재함이 주목된다. 가장 젊은 저어콘 연대군의 가중평균을 기준으로 퇴적시 상한은  $1943 \pm 4.4$  Ma (MSWD = 0.62, n=3)로 제한된다. 변성작용의 시기를 지시하는 저어콘 외연부의 일치연령을 함께 고려한 화순지역 다이아텍사이트 혼성암의 퇴적시기는 약 1.94-1.88 Ga이며 울리층군, 원남층군 및 호산리층보다 후기에 쌓인 것으로 보는 데 무리가 없다. 또한 현저하게 다른 저어콘 연대 분포 패

턴으로 미루어 퇴적물 기원지와 지구조 환경에도 상당한 차이가 있었음이 유추된다.

종합하면 영남육괴 서부에는 영남육괴 동부의 기저를 이루는 변성퇴적암류와 시대적으로 상호 대비될 가능성이 있고 저어콘 연대 분포 특성이 유사한 퇴적단위가 존재하지만(장성지역), 영남육괴 동부 변성퇴적암류의 알려진 연대보다 젊으며 저어콘 연대 분포 특성 또한 구별되는 퇴적단위 역시 존재한다(화순지역). 앞서 언급하였듯 후자에 해당하는 퇴적단위의 존재를 구체적으로 토의하지는 않았지만 이미 무주, 산청 등지에서도 2000 Ma보다 젊은 쇄설성 저어콘을 포함하고 1880-1860 Ma 내외의 변성작용을 경험한 것으로 보이는 변성퇴적암류의 사례가 연대자료를 통해 보고된 바 있으며(Oh *et al.*,



**Fig. 5.** (a, b) Tera-Wasserburg concordia diagrams showing results of zircon U-Pb analysis from diatexite migmatite in the Gwangju-Jangseong area; (c, d) Tera-Wasserburg concordia diagrams showing results of zircon U-Pb analysis from diatexite migmatite in the Hwasun-Boseong area.



**Fig. 6.** Zircon U-Pb age distribution patterns of diatexite migmatite (a, b) in the Gwangju-Jangseong area and (c, d) in the Hwasun-Boseong area.

2016; Lee, B.C. *et al.*, 2017, 2020; Lee, Y. *et al.*, 2018, 2021), 이는 오로시리아기 중엽에 쌓인 퇴적 단위가 영남육괴 서부에 상당히 넓게 분포할 가능성을 암시하므로 향후 절대연령 자료의 보강과 정밀한 지질도 제작이 촉구된다. 나아가 Cho *et al.* (2021) 에서 제안하였듯 이들은 일본 히다대의 혼성편마암 및 준편마암류와도 쇄설성 저어콘 연대 분포 특성을 흥미롭게 공유하는바 영남육괴 고원생대 지층의 분대는 동북아시아 지구조 해석에도 중요한 단서를 제공할 것으로 기대된다.

**감사의 글**

논문의 부족한 부분을 개선하도록 의견을 주신 두 분의 심사위원과 편집위원, 편집위원장께 감사드립니다. 본 연구는 한국지질자원연구원의 주요과제 “국토 지질조사 및 지질도·지질주제도 발간(GP2020-003)” 및 한국연구재단의 NRF-2018R1D1A1A020 85880과제 일환으로 수행되었습니다. 장성지역 시료채취에 도움을 주신 한국지질자원연구원의 고정태 박사과 변육환 박사에게 감사드립니다.

**REFERENCES**

Chen, M., Jiao, S., Zou, Y., Zhao, L., Liu, B., Li, Q. and Zhai, M., 2021, Zircon and monazite petrochronology

studies reveal Mesozoic amphibolite-facies metamorphism overprinting Paleoproterozoic granulite-facies metamorphism: A case study from Rangnim Massif, North Korea. *Lithos*, 398-399, 106303.

Cheong, W., Cho, M. and Kim, Y., 2013, An Efficient Method for Zircon Separation Using the Gold Pan. *The Journal of Petrological Society of Korea*, 22, 63-70.

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 north-east Asia: Insights from zircon U-Pb-Hf isotope and whole-rock geochemical compositions. *Precambrian Research*, 340, 105631.

Cho, D.-L., Lee, S.R., Koh, H.J., Park, J.-B., Armstrong, R. and Choi, D.K., 2014, Late Ordovician volcanism in Korea constrains the timing for breakup of Sino-Korean Craton from Gondwana. *Journal of Asian Earth Sciences*, 96, 279-286.

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*, 396-397, 106217.

Cho, M., Kim, T., Yang, S. 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. (Eds.), *Linkages and Feedbacks in Orogenic Systems*. Geological Society of America Memoir, 213, 165-197.

Choi, D.K., 2018, 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.
- Choi, W.C., Hwang, S.K. and Kim, Y.B., 1986, Geological Report of the Yonggwang Sheet (1:50,000). Korea Institute of Energy and Resources, Daejeon, 68 p.
- Claoué-Long, J.C., Compston, W., Roberts, J. and Fanning, C.M., 1995, Two Carboniferous ages: a comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Analysis. *Geochronology Time Scales and Global Strati-graphic Correlation*. SEPM Special Publication, 54, 3-21.
- Coutts, D.S., Matthews, W.A. and Hubbard, S.M., 2019, Assessment of widely used methods to derive depositional ages from detrital zircon populations. *Geoscience Frontiers*, 10, 1421-1435.
- 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.
- Geological Society of Korea, 1999, *Geology of Korea*. Sigmaphress, Seoul (in Korean).
- Goolaerts, A., Mattielli, N., de Jong, J., Weis, D., Scoates, J., 2004, Hf and Lu isotopic reference values for the zircon standard 91500 by MC-ICP-MS. *Chemical Geology*, 206, 1-9.
- Hong, S.H. and Yun, U., 1986, Geological Report of the Songjong Sheet. Korea Institute of Energy and Resources (in Korean with English abstract).
- Hoskin, P.W.O. and Schaltegger, U., 2003, The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53, 27-62.
- Ha, Y., Song, Y.S. and Kim, J.M., 2014, Gwangju Shear Zone: Is it the Tectonic Boundary between the Yeongnam Massif and Okcheon Metamorphic Belt?. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 23, 17-30 (in Korean with English abstract).
- Jo, H.J., Cheong, A.C., Yi, K. and Li, X.-H., 2018, Juxtaposition of allochthonous terranes in the central Korean Peninsula: Evidence from zircon U-Pb ages and O-Hf isotopes in Jurassic granitoids. *Chemical Geology*, 484, 136-147.
- Kee, W.S., Kim, S.W., Hong, P.S., Lee, B.C., Cho, D.R., Byun, U.H., Ko, K., Kwon, C.W., Kim, H.C., Jang, Y., Song, K.Y., Koh, H.J. and Lee, H.J., 2020, 1:1,000,000 Geological Map of Korea. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.
- Kim, H.S., Choh, S., Lee, J. and Kim, S.J., 2019, Sediment grain size does matter: implications of spatiotemporal variations in detrital zircon provenance for early Paleozoic peri-Gondwana reconstructions. *International Journal of Earth Sciences*, 108, 1509-1526.
- 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., Park, K., Kim, J. and Song, Y., 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, S.W., Kee, W.-S., Lee, S., Lee, B.C. and Byun, U.H., 2021, Tracking and Evaluating the Concentrations of Natural Radioactivity According to Chemical Composition in the Precambrian and Mesozoic Granitic Rocks in the Jangsu-gun Area, Central Southwestern South Korea. *Minerals*, 11, 684.
- Kim, S.W., Kee, W.-S., Santosh, M., Cho, D.-L., Hong, P.S., Ko, K., Lee, B.C., Byun, U.H. and Jang, Y., 2020, Tracing the Precambrian tectonic history of East Asia from Neoproterozoic sedimentation and magmatism in the Korean Peninsula. *Earth-Science Reviews*, 209, 103311.
- Kwon, Y.J. and Kwon, Y.K., 2020, Sequence stratigraphy in the Middle Ordovician carbonate successions (Yeongheung Formation), mid-east Korea: Paleogeographic implications for a land-detached ramp-type platform. *Journal of Asian Earth Sciences*, 193, 104263.
- Lee, B.C., Jo, H.J., Lee, S.H. and Jeong, Y., 2021, Geochronology and petrogenesis of the Late Triassic A-type granitoids in the Yeongnam Massif and its implication for Late Triassic geodynamics of northeast Asia. *Lithos*, 386-387, 106018.
- Lee, B.C., Oh, C.W., Cho, D. 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., Oh, C.W. and Yi, K., 2016, Geochemistry, zircon U-Pb ages, and Hf isotopic compositions of Precambrian gneisses in the Wonju-Jechon area of the southern Gyeonggi Massif: implications for the Precambrian tectonic evolution of Korea and northeast Asia. *Precambrian Research*, 283, 169-189.
- Lee, B.C., Oh, C.W. and Wang, X., 2020, Paleoproterozoic (ca. 1.87-1.69 Ga) arc-related tectonothermal events on northcentral Yeongnam Massif, South Korea and its tectonic implications: Insights from metamorphism, geochemistry and geochronology. *Precambrian Research*, 338, 105562.
- 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 tectonic in the Northeast Asia. *Precambrian Research*, 298, 439-461.
- Lee, B.Y., Oh, C.W., Cho, D.L., Zhai, M., Lee, B.C., Peng, P. and Yi, K., 2019, The Devonian back-arc basin and Triassic arc-continent collision along the Imjingang belt in the Korean Peninsula and their tectonic meaning. *Lithos*, 328-329, 276-296.
- Lee, S.M. and Kim, H.S., 1966, Geologic report of the Bongnae sheet (1: 250,000). Geological Survey of Korea, 44 p (in Korean with English abstract).
- Lee, S.R. and Cho, K., 2012, Precambrian Crustal Evolution of the Korean Peninsula. *The Journal of Petrological Society of Korea*, 21, 89-112.
- Lee, Y. and Cho, M., 2020, Fluid-Present Partial Melting of wkrkshwjd Yeongnam Massif, Korea. *Lithosphere*, 2020, 8854615.
- Lee, Y., Cho, M., Cheong, W. and Yi, K., 2014, A massif-type (1.86 Ga) anorthosite complex in the Yeongnam Massif, Korea: late-orogenic emplacement associated with the mantle delamination in the North China Craton. *Terra Nova*, 26, 408-416.
- 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., Cho, M., Kim, T. and Kim, H., 2021, Incipient charnockite formation at the waning stage of Paleoproterozoic hot orogenesis, Yeongnam Massif, Korea. *Precambrian Research*, 365, 106388.
- 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).
- Oh, C.W., 2021, The tectonic evolution of the Korean Peninsula from Paleoproterozoic to Cretaceous and the geologic correlation between the Korean Peninsula and China. *Journal of the Geological Society of Korea*, 57, 365-368 (in Korean with English abstract).
- Oh, C.W., Imayama, T., Lee, S.Y., Yi, S.B., Yi, K. and Lee, B.C., 2015, Permo-Triassic and Paleoproterozoic metamorphism related to continental collision in Yangpyeong, South Korea. *Lithos*, 216-217, 264-284.
- Oh, C.W., Jeon, E., Park, B., 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 Petrological Society of Korea*, 9, 121-141 (in Korean with English abstract).
- Oh, C.W., Lee, B., Lee, S., Kim, M., Lee, B. and Choi, S., 2016, The tectonic evolution and important geoheritages in the Jinan and Muju area, Jeollabuk-do. *Journal of Geological Society of Korea*, 52, 709-738 (in Korean with English abstract).
- Oh, C.W. and Lee, B.C., 2019, The relationship between systematic metamorphic patterns and collisional processes along the Qinling-Sulu-Odesan collisional belt between the North and South China Cratons. *Geological Society, London, Special Publications*, 478, 449-475.
- Oh, C.W., Lee, B.C. and Yi, K., 2013, The Origin and Age of the Orbicular Granite Gneiss in Wangjungr, Muju. *The Journal of Petrological Society of Korea*, 22, 117-135 (in Korean with English abstract).
- Oh, C.W., Lee, B.C., Yi, S. 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.
- Oh, C.W., Lee, J.Y., Yengkhom, K.S., Lee, B.C. and Ryu, H.I., 2018, Neoproterozoic igneous activity and Permo-Triassic metamorphism in the Gapyeong area within the Gyeonggi Massif, South Korea, and their implication for the tectonics of northeastern Asia. *Lithos*, 322, 1-19.
- Oh, J.I., Choi, S.H. and Yi, K., 2016, Origin of adakite-like plutons in southern Korea. *Lithos* 262, 620-635.
- Paces, J.B. and Miller Jr., J.D., 1993, Precise U-Pb ages of Duluth complex and related mafic intrusions, Northeastern Minnesota: geochronological insights to physical, petrogenic, paleomagnetic, and tectonomagmatic processes associated with the 1.1 Ga midcontinent rift system. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 98, 13997-

- 14013.
- Peng, P., Wang, C., Yang, J.H. and Kim, J.N., 2016, A preliminary study on the rock series and tectonic environment of the 1.9 Ga plutonic rocks in DPR Korea. *Acta Petrologica Sinica*, 32, 2993-3018 (in Chinese with English abstract).
- Xu, W. and Liu, F., 2019, Geochronological and geochemical insights into the tectonic evolution of the Paleoproterozoic Jiao-Liao-Ji Belt, Sino-Korean Craton. *Earth-Science Reviews*, 193, 162-198.
- Wang, X., Oh, C.W., Lee, B.C. and Liu, F., 2020, Paleoproterozoic postcollisional metamorphic and igneous activities in the Jinan area of the Jiao-Liao-Ji Belt in the North China Craton and their tectonic implications. *Precambrian Research*, 346, 105793.
- Williams, I.S., 1998, U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: Mckibben, M.A., Shanks, W.C. (Eds.), *Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes*. *Reviews in Economic Geology*, 7, 1-35.
- Zhai, M., Zhang, X., Zhang, Y., Wu, F., Peng, P., Li, Q., Li, Z., Guo, J., Li, T., Zhao, L., Zhou, L. and Zhu, X., 2019, The geology of North Korea: an overview. *Earth-Science Reviews*, 194, 57-96.
- Zhao, L., Zhai, M., Nutman, A.P., Oh, C.W., Bennet, V.C. and Zhang, Y., 2020, Archean basement components and metamorphic overprints of the Rangnim Massif in the northern part of the Korean Peninsula and tectonic implications for the Sino-Korean Craton. *Precambrian Research*, 344, 105735.
- Zhao, L., Zhai, M., Zhang, X., Zhang, Y., Peng, P. and Li, Q., 2021, A brief review of the Precambrian geology of the northern Korean Peninsula. *Journal of the Geological Society of Korea*, 57, 437-466.

---

Received : January 5, 2022

Revised : February 9, 2022

Accepted : February 23, 2022