

신생대 제4기 백의리층의 특성과 역 기원지

안효리¹ · 이기창¹ · 정대교¹ · 채용운² · 김대우³ · 김기업⁴ · 김희정¹ · 신승원^{5,†}

¹강원대학교 지질·지구물리학과

²부산대학교 지질환경과학과

³연천군청 관광과 지질생태팀

⁴(주)지오메카이엔지

⁵강원대학교 지구자원연구소

Characteristics and gravel provenance of the Quaternary Baekuri Formation

Hyori Ahn¹ · Gi Chang Lee¹ · Daekyo Cheong¹ · Yong-Un Chae² · Daewoo Kim³ · Keyup Kim⁴ ·
Heejung Kim¹ · Seungwon Shin^{5,†}

¹Division of Geology and Geophysics, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

²Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea

³Geopark & BR Team, Division of Tourism, Yeoncheon County Office, Yeoncheon 11017, Republic of Korea

⁴Geo Mecca Engineering, Yongin 16827, Republic of Korea

⁵Research Institute for Earth Resources, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

요 약

신생대 제4기 백의리층은 국내 내륙에서 관찰되는 유일한 미고결 퇴적층으로 고생대 데본기의 미산층을 경사부정합으로 덮고 있고, 신생대 제4기 현무암에 의해 덮여 있다. 그리고 최근 한탄강 유네스코 세계지질공원의 명소로 활용되면서 학술적 가치에 대한 관심이 커지고 있다. 이번 연구는 연천군 전곡읍 은대리 판상절리 지질명소 하부에 분포하는 백의리층을 대상으로 수평 길이 7.5 m 구간에서 총 758개의 역을 개별 관찰하여 역의 암상, 크기, 원마도, 구형도를 분류했다. 백의리층은 역지 역암상으로 원마도가 양호한 자갈과 모래 기질로 구성되고, 자갈의 조성은 다양한 암석으로 되어 있으며, 위치에 따라 기질지지의 자갈층과 엽층리가 발달하는 모래층이 분포하고 있다. 역을 구성하는 암석 조성은 편암, 화강암, 편마암 역들이 80% 이상을 차지하고 있으며, 응회암, 화산각력암, 석영맥, 규암 등이 분포한다. 백의리층이 분포하는 주변에는 중생대의 다양한 시기에 관입한 화강암들이 분포하고 있어 이를 추적하고자 백의리층 내의 화강암 역을 대상으로 LA-MC-ICP-MS 저어콘 U-Pb 연대측정을 수행하였다. 이를 통하여 화강암 역들은 백악기의 약 111 Ma, 쥐라기의 약 171 Ma와 179 Ma, 트라이아스기의 약 236 Ma 연령을 갖는 것으로 밝혀졌다. 역의 종류별 기원지를 추정해보면, 편암과 편마암, 규암, 석영맥 등은 북쪽 일대에서 주로 분포하는 고생대 미산층 혹은 대광리층과 고원생대 장락층군의 암석에서 기원한 것으로 보인다. 그리고 화강암은 동쪽과 동북쪽 일대의 산지에서 기원한 것으로 최소 30 km 반경 혹은 그 이상의 거리에서 고한탄강을 통해 유입된 것으로 해석된다. 이 밖에 응회암과 화산각력암은 비교적 근거리의 동쪽 백악기 철원분지 화산암에서 기원한 것으로 추정되는데, 역의 산출 빈도가 낮은 것이 특징적이다. 기존 연구에 의하면 백의리층의 퇴적 시기는 약 0.5 Ma 이전인 것으로 추정되지만, 앞으로 백의리층에 대한 보다 명확한 정의와 추가연구가 필요하다.

주요어: 백의리층, 한탄강 현무암, 기원지, 미고결 퇴적층, 지질공원

ABSTRACT: The Quaternary Baekuri Formation, which is the only unconsolidated sedimentary layer observed inland in Korea, covers the Devonian Misan Formation of the Paleozoic with unconformity and is overlaid by Quaternary basalt of the Cenozoic. Recently, interest in its academic value has been growing as it is being featured as a landmark of the Hantan River UNESCO Global Geopark. In this present study of the Baekuri Formation

[†]Corresponding author: +82-33-250-8559, E-mail: ssw7304@kangwon.ac.kr

distributed in the lower part of the sheeting joint in Eundae-ri, Jeongok, a total of 758 gravels in a horizontal section of 7.5 m were individually observed, and their components, size, roundness, and sphericity were classified. In the Baekuri Formation, gravel with good support roundness is distributed mainly as various rock types, and the matrix-supported gravel layer and the sand layer with developed lamination are distributed depending on the location. Schist, granite, and gneiss account for more than 80% of the gravel components, and tuff, quartz vein, and quartzite are also distributed in the studied area. Because granites that intruded at various geological periods of the Mesozoic are distributed in the surroundings of the Baekuri Formation, dating was performed to track them. As a result, the granite gravels were dated to approximately 111 Ma of the Cretaceous, 171 Ma and 179 Ma of the Jurassic, and 236 Ma of the Triassic periods. By estimating the origin of each gravel type, the schist, gneiss, quartzite, quartz vein, and other rock types seem to have originated from the Misan Formation or Daegwangni Layer of the Paleozoic and the Jangrak Formation of the Paleoproterozoic located in the northern area. Moreover, it is interpreted that the granite originated from the mountains in the eastern and northeastern regions and flowed in through the ancient Hantang River over a radius of up to 30 km. Additionally, the tuff and volcanic breccia originated from volcanic rocks of the relatively close-by eastern Cheorwon Basin in the Cretaceous period and are characterized by their low production frequency. The deposition period of the Baekuri Formation is estimated to be approximately 0.5 Ma ago, and its clear definition is needed in the future.

Key words: Baekuri Formation, Hantang basalt, provenance, unconsolidated sediment, Geopark

1. 서론

백의리층은 경기도 연천군 일대에 분포하는 현무암 아래에 놓여 있는 제4기 미고결 퇴적층으로 제주도과 울릉도를 제외한 육상 지역에서 고화된 암석 아래의 미고결 퇴적층은 한반도에서 백의리층이 유일하다. 이러한 백의리층은 Lee *et al.* (1983)에 의하여 최초로 보고된 것으로 알려져 있으며, 연천군 백의리 일대 영평천 하상에서 전곡현무암 아래에 발달하는 고화되지 않은 고기층적층으로 설명되었다. 또한, 연천도폭 지질조사보고서에서는 연천 일대 여러 지역에서 단속적으로 분포하며, 층후는 5 m 미만으로 현무암 직하부에 위치하기 때문에 도면화하기 어려워 지질도에 표기되지 않았다(Kee *et al.*, 2008). 그러나 한반도 육상지역에서 관찰하기 어렵고, 특이성이 높은 제4기 퇴적층임에도 불구하고 그동안 층의 특성 및 분포 등에 대한 지질학적 연구는 거의 진행되지 않았다.

백의리층에 대한 연구는 지형학적인 관점에서 상대적으로 많은 연구가 진행되었다. 특히, 백의리층 직상부를 덮고 있는 현무암의 분출시기를 추정하고자, 연대학적인 관점에서 ^{10}Be , TL (thermoluminescence) 등의 방법을 사용하여 현무암의 연대를 제시하기도 하였다(Seong, 2007; Lee and Lee, 2013; Lee *et al.*, 2020). 그리고 연천군 전곡리를 크게 사행하는 한탄강의 침식사면에서 발견된 백의리층에 대하여 OSL 연대측정 뿐만 아니라, 퇴적물의 입도분석, 주원소,

희토류 원소 분석 등이 적용되었다(Lee and Lee, 2013). 또한, 백의리층 내의 모래를 대상으로 피션트랙(fission track)을 이용한 연구도 진행된 바 있다(Danbara *et al.*, 2002). 그동안 한탄강의 지질학적 연구는 현무암의 암석학적 혹은 연대학적 연구가 진행된 바 있으며, 지역에 따라 연대에 대한 결과가 다양한 편으로 현무암의 정확한 분포와 분출시기에 대한 연구는 계속 진행중에 있다(Won, 1983; Won and Lee, 1988; Park *et al.*, 2005; Ryu *et al.*, 2011; Choi *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2014).

백의리층이 분포하는 연천 일대는 대표적인 한반도 구석기 유적이 분포하는 지역으로 그동안 현무암의 분출 시기는 구석기 유적을 해석하는데 있어 매우 중요한 이슈에 해당한다(Bae, 1993; Shin *et al.*, 2004; Bae *et al.*, 2012). 또한, 현무암과 전곡리 구석기 유적을 설명하는데 있어 백의리층은 주요 고려 대상으로 전곡리의 제4기 층서를 해석하는데 많은 도움이 된다. 그리고 백의리층은 한탄강 유네스코 세계지질공원 지질명소로 지정되어 학술적 연구 가치가 높다. 따라서 이번 연구에서는 백의리층의 특성과 역 조성 등을 통하여 기원지를 추정하고 고한탄강의 지질 특성을 파악하고자 한다.

2. 연구지역과 연구방법

2.1 연구지역

백의리층이 분포하는 연천군은 경기도 최북단에

위치하고 있으며, 동북 지역 일대의 고대산과 보개산, 종자산 등의 높은 산악지형에는 주로 중생대 화산쇄설성 퇴적암과 화산암(철원분지)이 분포하고 있다. 그리고 군남면과 전곡읍 일대는 한탄강 현무암이 넓은 평원을 이루는 연천평야와 비교적 평탄한 저지대가 발달하고 있다. 또한 대표적인 수계인 한탄강은 북한 지역에서 발원하여 철원군과 포천시를 지나 연천군에서 임진강과 합류하게 되며, 서해로 유입된다. 특히, 한탄강을 따라 흘렀던 용암이 영평천과 차탄천, 임진강 하류를 매우게 되고 다시 하천의 침식으로 협곡을 형성하게 되는데, 국내 다른 지역에서 찾아보기 어려운 매우 특이한 하천 침식 지형에 해당한다(그림 1). 그리고 백의리층은 현재 다섯 지점이 보고되었으며, 한탄강 유네스코 세계지질공원의 지질명소로 지정된 고문리 양수장 아래와 장진교 아래 차탄천 상류 방향의 서쪽 노두, 전곡리 한탄강 우안에 분포하는 절개지, 영평천 분포지역인 백의교 하부지점 그리고 이번 연구 지역인 은대리 판상절리 하부 지점이 있다(Lee and Lee, 2013). 그러나 이 밖에도 지금까지 보고되지 않은 백의리층이 여러 지점에 분포할 것으로 추정가능하다. 한편, 백의리층은 한탄강의 중, 상류 지역인 포천시과 철원군 지역에서 잘 관찰되지 않는데, 이는 고한탄강의 모래와 자갈 사주 퇴적층을 덮고 있는 용암층이 아직 하천 침식에 노출되지 않았기 때문인 것으로 추정된다.

연천군의 지질은 고원생대에서 신생대 제4기까지

다양한 시기의 지층이 분포하고 있다(그림 2). 연천군 일대는 한반도의 대표적인 지체구조대인 임진강대와 경기육괴의 경계가 지나고 있으며, 연구지역의 북쪽일대는 주로 선캄브리아시대의 편암과 편마암, 규암 등이 분포하고 있다. 그리고 차탄천 백의리층 주변으로 넓게 분포하고 있는 고생대 미산층은 퇴적기원의 변성암으로 알려져 있으며, 천매암과 석회질 이암 등으로 구성되어있다(Ku *et al.*, 2008). 그리고 중생대 트라이아스기-쥐라기 시대의 적성층은 연구 지역 남쪽 일대에 대상 분포하고 있으며, 하성-호수 환경으로 식물화석이 잘 보존되어 있고 현재도 함탄층은 노천 채광을 하고 있다(Yu *et al.*, 1992). 중생대 암석은 쥐라기 시대의 대보화강암류인 화강섬록암, 흑운모화강암 등은 남쪽과 동쪽 일대에 넓게 분포하고 있다. 그리고 연구지역의 동쪽 일대는 백악기로 보고된 명성산 화강암이 한탄강 일대와 주변에서 관찰된다(Hwang and Kihm, 2007). 또한, 백악기 철원분지에 해당하는 안산암, 응회암, 각력암, 현무암 등이 분포한다. 마지막으로 신생대 제4기 암석으로 미고결 퇴적층인 백의리층을 덮고 있는 한탄강 현무암이 분포한다(Kil *et al.*, 2018).

2.2 연구 방법

차탄천 변에 분포하는 백의리층의 특성과 기원지를 추정하기 위하여 약 7.5 m 구간에 해당하는 노두를 선정하였고, 기본적인 퇴적학적 스케치를 하고 기

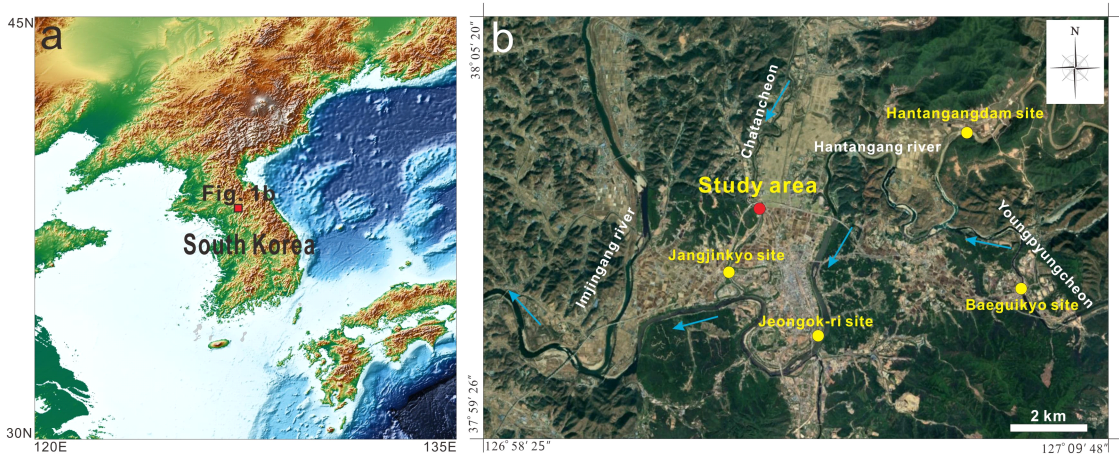


Fig. 1. (a) Study site map around the Korean Peninsula, (b) Baekuri Formation view site map around Hantangang River. The blue arrow is direction of river flow. The tributaries Imjingang river, Chatancheon and Youngpyungcheon flow into Hantangang River.

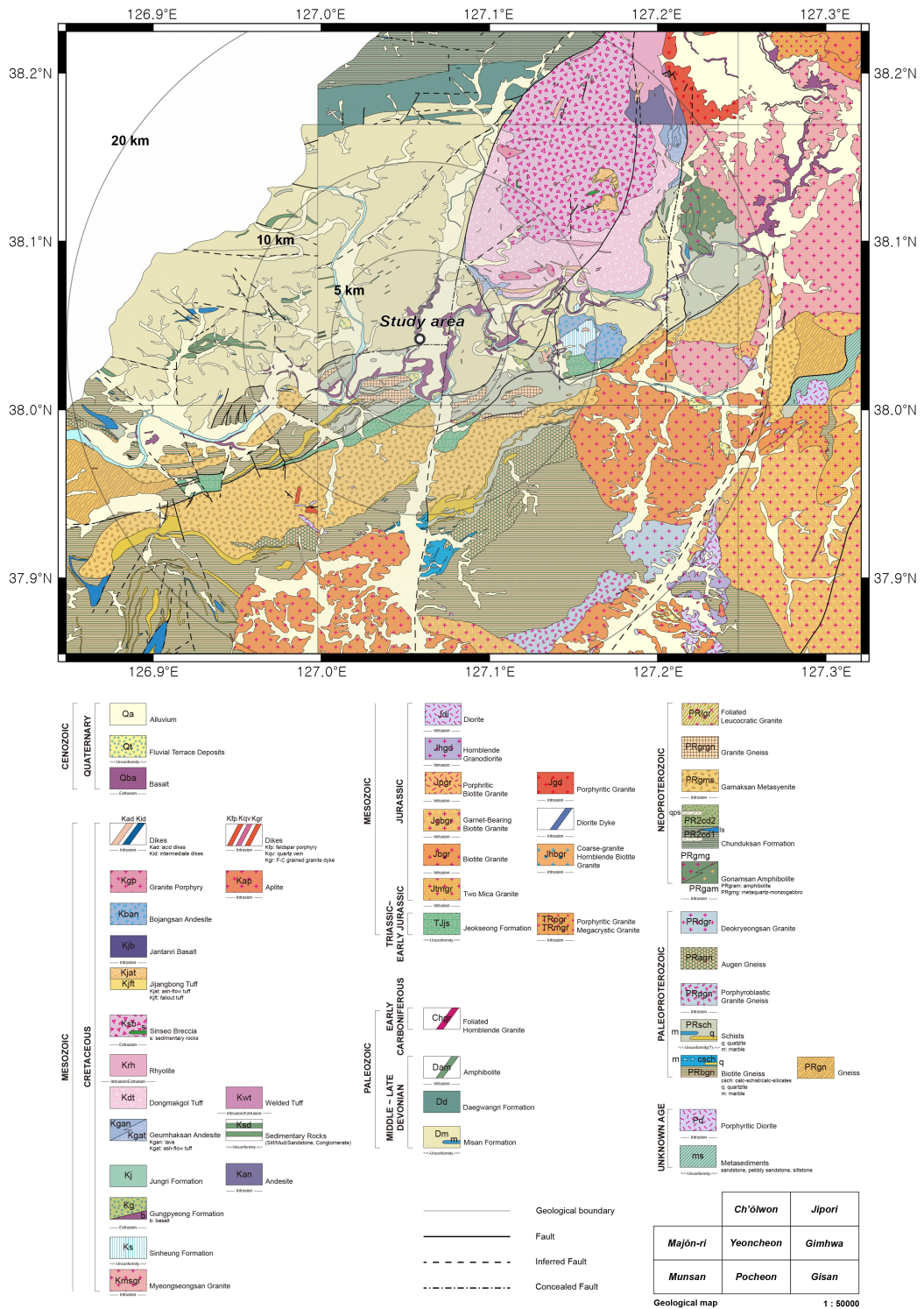


Fig. 2. Geological map of study site around the Hantangang River (modified from Chwae *et al.*, 1996; Choi *et al.*, 1998; Kee *et al.*, 2005, 2008; Lee *et al.*, 2006; Hwang and Kihm, 2007). Circles indicate a radius of 5 km, 10 km, and 20 km from the study area.

재사황을 정리하였다. 노두에서 자갈은 총 758개에 대하여 장축과 단축의 크기를 측정하고, 원마도, 구형도 및 암상을 분류하였다. 그리고 야외에서 기재하기 어려운 역들은 일부 시료를 채취하여 실내에서 슬랩을 제작하고, 일부 박편을 제작하여 현미경 관찰을 하였다.

화강암의 기원지를 파악하기 위해 7개의 화강암 역들을 채취하였다. 이중 YC-1, 2, 3 시료는 하나의 화강암을 대상으로 분석했으며, YC-4는 작은 크기

의 화강암 4개를 섞어 LA-MC-ICP-MS 저어콘 U-Pb 연대측정을 수행하였다. 채취한 시료들에서 저어콘 광물을 분리해 에폭시에 마운팅 후 연마편을 제작하였다. 분석 전 저어콘 입자의 내부구조를 파악하기 위해 주사전자현미경(SEM)을 이용해 후방산란전자(BSE)와 음극선 발광(CL)영상을 획득했다. 영상을 토대로 저어콘 입자 내 크랙(crack) 및 포유물(inclusion)을 피해 분석점의 위치를 결정했다. 저어콘 입자들의 U-Pb 연대측정은 한국기초과학지원연구원(KBSI)

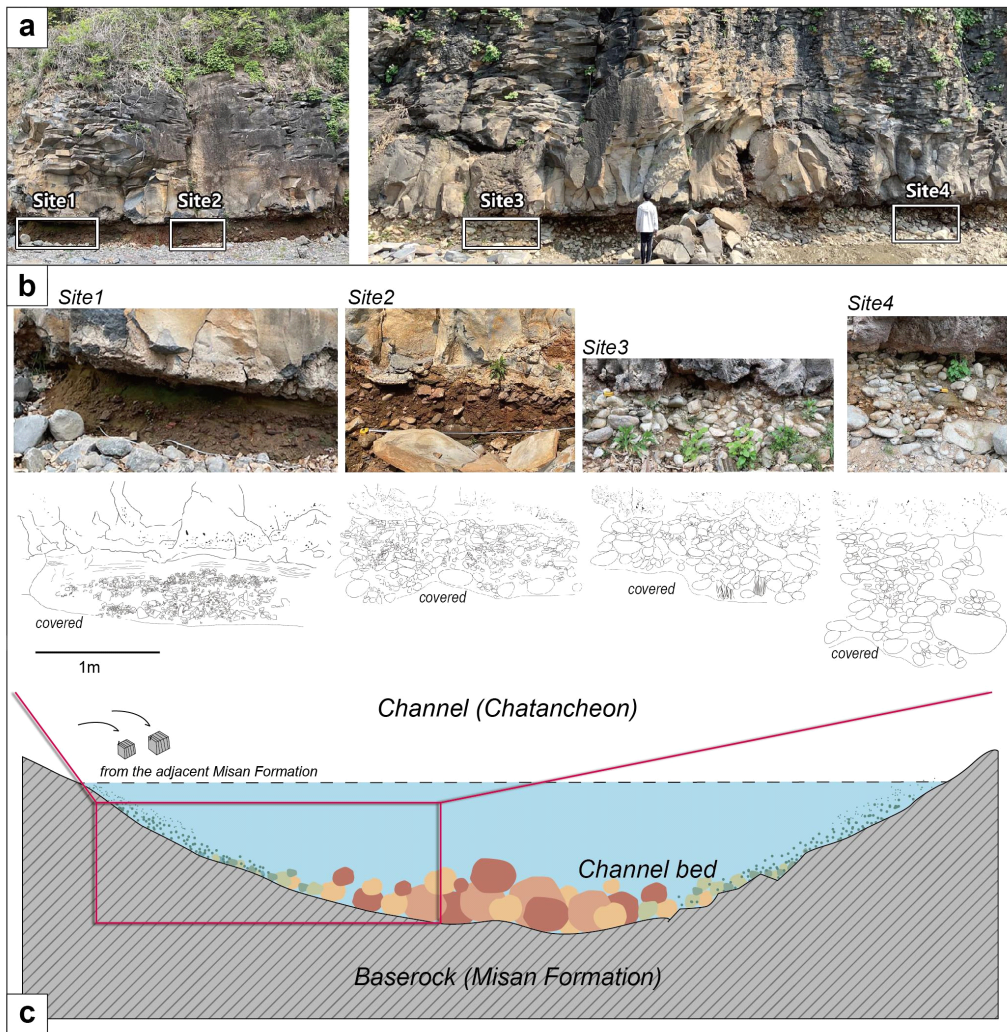


Fig. 3. (a) Baekui Formation outcrop photographic. (b) Photos and sketches of the main sites in the Baekui Formation. the Baekui Formation is overlaid by Quaternary basalt of the Cenozoic. the covered area is a part of modern channel sediment. (c) Schematic diagram cross-section related to the Baekui Formation. The size of the channel sediment decreases toward the edge of channel. The angular gravels come into channel from the adjacent Misan Formation.

의 LA-MC-ICP-MS 장비(Nu Plasma II, Nu instruments+NWR193^{UC}, ESI)로 수행되었다. 분석에는 직경 20 μm의 에너지밀도 3.6 J/cm로 설정된 레이저를 이용해 하나의 분석점 당 30초 동안 분석을 진행하였다. 표준 제어콘으로는 91500콘(1065.4±0.3 Ma; Wiedenbeck *et al.*, 1995)과 Plešovice (337.13±0.37 Ma; Sláma *et al.*, 2008)를 이용하여 각각 5개와 10개의 시료분석점 당 하나의 표준 제어콘들을 분석하였다. 얻어진 원자료는 Iolite 2.5 (Ludwig, 2008)와 ISOPLOT (Paton *et al.*, 2011) 프로그램을 사용해 처리하였다. 10% 이상의 불일치 연령을 보이는 분석점들은 제외되었으며, 화강암의 정치연령은 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 가중평균연령을 통해 계산되었다.

3. 차탄천 백의리층 특성

3.1 차탄천 백의리층 퇴적층 특성

야외 퇴적층 단면은 유네스코 한탄강 세계지질공원 은대리 판상절리 지점의 직하부 노두로 차탄천변을 따라 수평길이 약 7.5 m 구간으로 노출되어 있으며 상부 한탄강 현무암에 의해 부정합으로 덮여있다(그림 3a). 백의리층을 덮고 있는 한탄강현무암은 높이가 약 15-20 m로 최하부는 괴상이며, 두꺼운 판상절리 형태의 수평 구조가 관찰되고, 최상부 구간

은 다시 괴상의 현무암이 분포한다. 백의리층과 접촉하는 현무암은 대부분 괴상으로 클링커, 베개용암 등이 관찰되고, 형성 당시 바닥면에 놓인 차가운 하천 퇴적층과 용암의 접촉반응으로 인해 표면이 거칠고 기공이 많이 포함되어 있다. 노두의 가장 북쪽인 차탄천의 상류 방향에 위치한 Site 1은 최하부는 원마도가 양호하고 다양한 암석으로 구성된 입자지 지지갈층이 분포한다(그림 3b). 이를 덮고 있는 자갈층은 원마도가 불량한 각형으로 미산층에 해당하는 암석이 분포하고 있으며, 상부로 가면서 세립화되는 경향성이 관찰된다. 그리고 상부 이질 모래층에서는 엽층리가 발달하고 있다. 그리고 남쪽인 하류 방향으로 가면서 역의 비중이 증가하며 기질의 함량은 감소한다(Site 2). 하부는 원마도가 양호하고 다양한 역조성을 보이는 역지 지갈층이 분포하고 있으며, 상부는 기질의 함량이 높은 자갈층으로 기질은 산화된 모래로 구성되었다(Site 3, 4). 또한, Site 3, 4의 가장 넓게 분포하는 자갈층은 원형에서 아원형의 원마도를 갖는 다양한 암석으로 구성된 역지 지갈층으로 상부 현무암층과 접촉하고 있다. 역의 크기는 평균 5 cm이고, 최대 30 cm 이상의 역들이 혼재되어 분포한다. 그리고 자갈은 희미한 인편구조(imbrication)가 관찰되며, 현재의 하천 방향인 N-S가 아닌 E-W 방향으로 측정되었다.

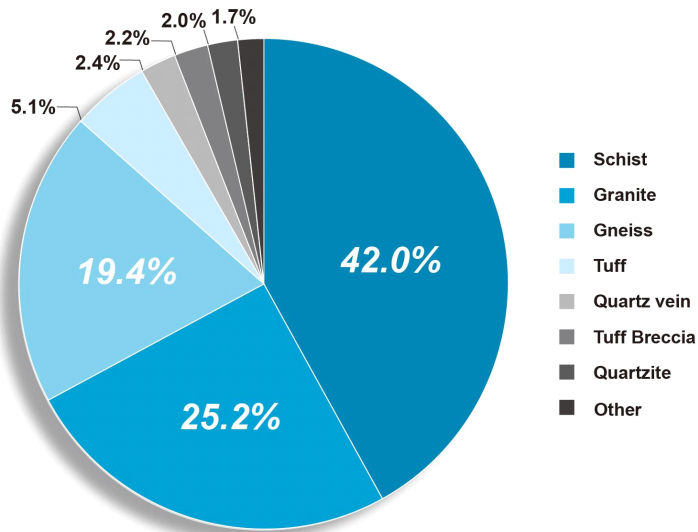


Fig. 4. Diagram of the gravel composition of the Baekuri Formation. The most abundant gravels are schist, granite and gneiss.

3.2 백의리층 역 분류 및 특성

백의리층에는 다양한 기원지로부터 하천을 따라 이동했을 것으로 추정되는 자갈들이 분포한다. 역의 크기와 원마도는 역의 성분과 크기에 따라 일정한 상관관계를 가지며, 수평 수직적 역의 배열은 퇴적 당시의 하천 유수 세기와 방향을 잘 지시해주고 있다. 차탄천변을 따라 노출되어 있는 백의리층의 7.5 m 구간에서 총 758개의 역을 개별 관찰하여 역의 성분, 크기, 원마도, 구형도를 분류하였고 역의 성분과 조직의 상관관계를 분석해보았다(그림 4). 백의리층 내에 포함되어 있는 역의 성분들은 편암, 화강암, 편마암, 응회암, 석영맥, 화산각력암, 규암 순으로 포함되어 있으며, 원마도는 대부분 아원형(Sub-rounded)-원형(Rounded)으로 양호한 원마도를 보인다(그림 5). 그리고 편암, 화강암, 편마암 기원 역은 656개로 전체 역의 86.5%를 차지하고 있으며, 주로 자갈(pebble)-왕자갈(cobble) 크기가 우세하다. 편암과 편마암의 구형도는 판상(oblite)과 긴 타원형(bladed)이 우세하며, 원마도는 매우 양호한 원형이다. 또한, 거력(boulder)에 해당하는 역들은 편암 10개, 편마암 15개가 분포한다. 화강암의 구형도는 입

방체(equant)가 우세하며, 원마도는 양호하나 거력 크기의 역은 관찰되지 않는다(그림 6).

3.3 화강암 연대측정

화강암 역 시료들(YC-1, 2, 3, 4)에서 분리된 저어콘들로부터 분석한 총 150점 중 114점의 유효분석점을 얻었다. 이로부터 얻어진 연대결과는 모두 선캄브리아시대의 고원생대에서 쥐라기 혹은 백악기까지의 넓은 연대분포를 보여준다(부록 1). 각각의 연령 범위는 YC-1 시료에서 약 171-2,059 Ma (n=21), YC-2 시료에서 110-2,452 Ma (n=20), YC-3 시료에서 169-2,048 Ma (n=24), YC-4 시료에서 170-2,307 Ma (n=49)로 나타났다(부록 1). 각 시료에서 가장 젊은 저어콘 군집들의 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 가중평균연령은 차례로 171.5±0.3 Ma (n=15, MSWD=0.46), 111.1±0.4 Ma (n=9, MSWD=0.68), 171.3±0.5 Ma (n=14, MSWD=1.3), 170.6±0.8 Ma (n=4, MSWD=0.42)로 계산되었다(그림 7). 단일 화강암 역에서 분리된 저어콘들인 YC-2 시료에서는 약 111 Ma인 백악기의 연대를 제외하고 약 171.5±0.7 Ma (n=7, MSWD=0.11)의 쥐라기 연대도 함께 산출되었다(그림 7). 4개의 화강

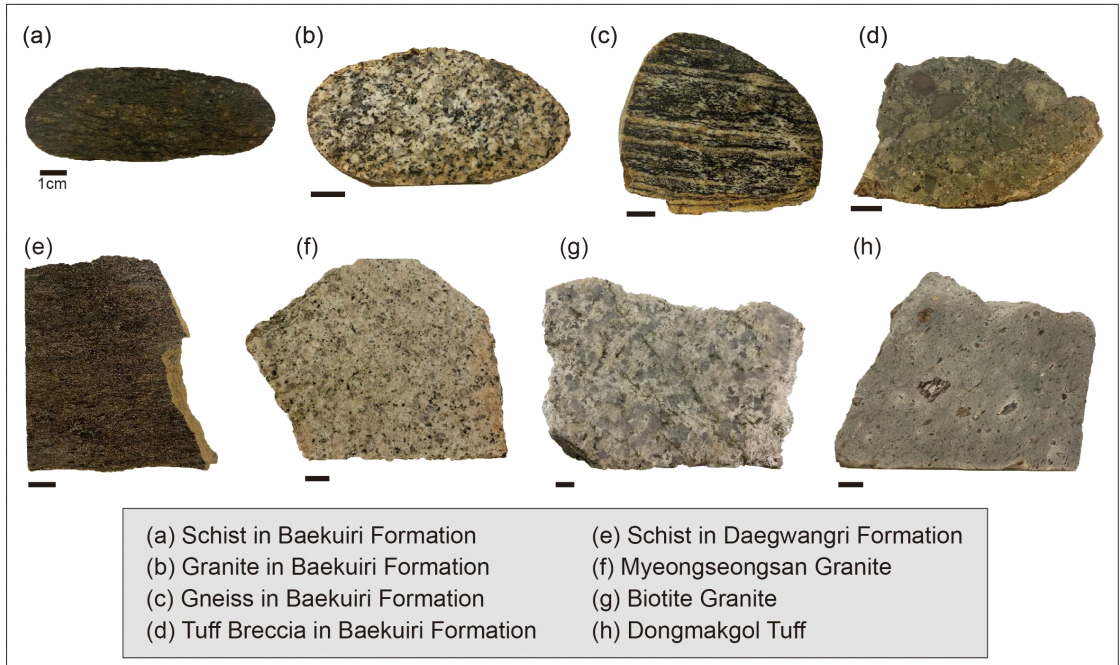


Fig. 5. Rock Slab-section of the Baekuri Formation and rock estimated to be the provenance area. (a)~(d) Samples collected in the Baekuri Formation located in Eundaeri, Jeongok. (e)~(h) Sample were taken from out crock.

암 역들로부터 분리된 저어콘들을 포함하는 YC-4 시료의 경우 가장 젊은 약 171 Ma를 제외하고, 178.9 ± 0.6 Ma ($n=6$, MSWD=0.75)와 235.5 ± 0.4 Ma ($n=26$, MSWD=0.59)로 쥐라기와 트라이아스기 연대를 나타내는 군집들이 나타났다(그림 7).

4. 토의 및 제언

4.1 백의리층 역의 기원지 추정

과거 하성 퇴적층인 백의리층의 분포양상은 이를 덮은 현무암체에 의해 현재 하천의 유로와 차이가

| Pebble | | Sphericity | | | |
|-----------|-------------|------------|---------|---------|---------|
| | | Bladed | Oblate | Prolate | Equant |
| Roundness | Rounded | | | | |
| | Sub Rounded | | | | |
| Schist | | 27(24%) | 75(67%) | 0 | 10(9%) |
| Gneiss | | 13(31%) | 20(48%) | 0 | 9(21%) |
| Granite | | 12(16%) | 24(31%) | 2(3%) | 39(50%) |

| Cobble | | Sphericity | | | |
|-----------|-------------|------------|----------|---------|---------|
| | | Bladed | Oblate | Prolate | Equant |
| Roundness | Rounded | | | | |
| | Sub Rounded | | | | |
| Schist | | 82(43%) | 120(53%) | 1(1%) | 6(3%) |
| Gneiss | | 52(55%) | 35(36%) | 0 | 8(9%) |
| Granite | | 28(29%) | 29(31%) | 5(5%) | 33(35%) |

Fig. 6. Roundness and sphericity for pebble and cobble showing frequency according to type of gravel (schist, gneiss, granite). The most of the total gravel size is pebble and cobble. The sphericity of schist and gneiss is mainly bladed and oblate. The granite has more equant gravel than schist and gneiss.

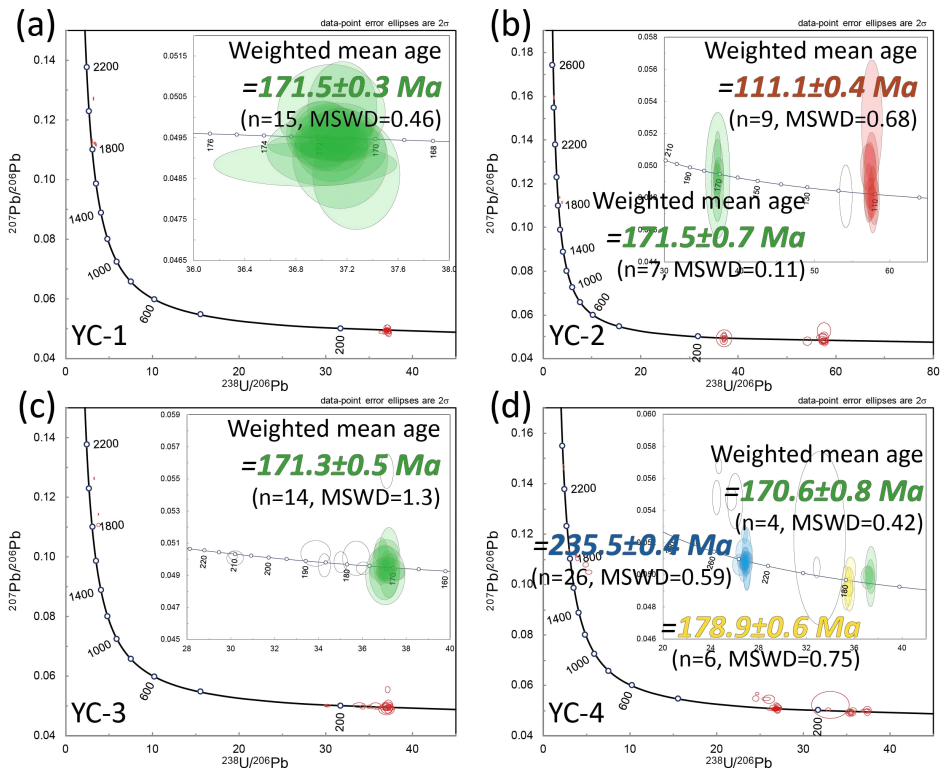


Fig. 7. Concordia diagrams for the granite gravels from the Beakuri Formation showing representative $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ weighted mean ages of clusters. The ages represent about 111 Ma in the Cretaceous period, 171 Ma and 179 Ma in the Jurassic period, and 236 Ma Triassic period.

있다. 그러나 현무암의 분출 이전에 백의리층을 퇴적시킨 하천은 거시적(보다 큰 규모)으로 분출 당시 낮은 곳을 매우며 흘러간 현무암과 매우 유사한 하천계(channel system)를 유지하고 있었을 것으로 추론할 수 있다. 백의리층 내 역의 기원지는 주로 현재의 북에서 남으로 흐르는 차탄천과 연천일대를 가로지르며 동에서 서쪽으로 흐르는 한탄강과 밀접한 연관성이 있으며, 현재의 하도보다는 고하도의 고수류 방향과 연관되었을 것이다. 기존에 보고된 한탄강의 고수류 방향은 Jun (1979)에 의해 현무암질 용암의 유출은 주로 고한탄강 유로를 따라 이루어졌으며 신형의 유로를 우선 메운 이후 주변 평지로 이동하여 흘렀을 것으로 추정된다. 용암은 본래의 하곡을 완전히 매적하였기 때문에 용암 분출 이후 형성된 현재의 한탄강이나 지류인 차탄천 유로는 침식에 의한 주변 기반암과의 접촉부 또는 단열대나 단층대를 따라 침식하며 흐르기 시작하여 점차 현재의 한탄강 또는 차탄천 유로가 되었을 것으로 추정된다. 이를 바탕으로 역의 기원지를 추정하면 가장 많이 분포하는 암상인 편암과 편마암은 차탄천 상류지역에서 기원한 것으로 추정되며, 현재 노두에서 북쪽으로 직선거리 약 14 km 거리에 위치한 고생대 대광리층 혹은 미산층, 고원생대 장락층군 편암으로 추정하였다. 이들은 기원지와 가까워 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 이동거리가 짧아 거력 이상의 역들이 분포하고 있다. 또한, 암석 내 엽리구조의 발달로 인하여 판상과 긴 타원형의 구형도를 보이는 것으로 추정된다. 화강암 기원 역들(YC-1, 2, 3, 4)의 기원 암 정지연령은 대체로 백악기의 약 111 Ma, 쥐라기의 약 171 Ma와 179 Ma, 트라이아스기의 약 236 Ma를 지시한다. 연구지역을 중심으로 중생대 화강암류는 대체로 남부, 동부, 북동부 지역에 대규모로 분포한다(그림 8). 트라이아스기 반상화강암(237±1 Ma와 232.2±1.8 Ma)은 연구지역에서 직선거리로 18 km 떨어진 지점에 분포하고 있으며, 현재 한탄강의 하도와 비교적 가까운 지점에 위치한다. 그리고 트라이아스기 화강암은 크기가 작은 암석에서만 관찰되어 한탄강을 따라 이동하면서 침식이 많이 된 것으로 사료된다. 가장 넓은 분포를 보이는 쥐라기 북운모화강암(172±5 Ma; Park *et al.*, 1997)은 포천에서 철원을 지나 북한지역까지 남북방향으로 길게 분포하고 있으며, 고한탄강을 따라 비교적 많은 암

석이 유입된 것으로 해석된다. 그리고 백악기 명성산 화강암(112±2 Ma; Hwang and Kihm, 2007)은 연구지역 동쪽 일대에 발달하고 있으며, 철원과 포천 지역의 한탄강 화강암 분포지역의 암석이 명성산 화강암으로 이루어져 연구지역까지 쉽게 유입되었을 것으로 추정된다. 또한, 연구지역 백의리층과 거리가 가장 가까워 비교적 큰 암석이 명성산 화강암으로 이루어질 가능성이 높다. 따라서 연구지역에 관찰되는 많은 화강암은 차탄천 북쪽에는 분포하지 않기 때문에 한탄강으로 부터 유입된 것으로 해석된다.

용회암, 화산각력암의 기원지는 현재의 백의리층 분포지에서 차탄천 상류의 북동쪽 방향으로 수평거리 9 km 거리에 위치한 백악기 동막골용회암과 신서각력암으로 추정된다. 그러나 암체의 분포가 비교적 넓고, 많은 암석이 하천으로 유입되지만 산출 빈도가 낮은 것은 동쪽에서 유입되는 소하천이 연구지역으로 직접 영향을 주지 않았기 때문으로 해석된다. 이 밖에 소량으로 산출되는 석영맥과 규암 등은 북쪽의 고생대 미산층과 장락층군에 협재하는 암석에서 유래되었을 것으로 사료된다. 이상의 역들을 이용하여 기원지를 추정한 결과 편암과 편마암 등의 변성암류는 주로 북쪽 일대에서 근거리 이동으로 유입되었고, 화강암들은 고한탄강을 따라 유입된 것으로 해석된다. 이를 통하여 은대리 백의리층은 현재 차탄천의 영향을 주로 받고 있으나 과거 퇴적층이 형성된 것은 고(古)한탄강과 고(古)차탄천이 함께 퇴적된 것으로 해석된다.

4.2 백의리층 형성시기와 지층명에 대한 고찰

그동안 백의리층을 직접 연대 측정된 자료는 Danhara *et al.* (2002)에 의하여 전곡과 은대리에서 FT 측정이 이루어진 바 있다. 총 6개 지점에서 11개의 시료를 측정하였는데, 0.51-94.3 Ma로 매우 넓은 범위의 결과가 제시되었다. 그리고 은대리 백의리층 상부에 놓이는 한탄강 현무암에 대한 ^{40}Ar - ^{39}Ar 연대측정에서는 직상부에서 0.54±0.07 Ma로 측정되었다. 또한, 최근 전곡리와 은대리 일대의 현무암에 대한 ^{40}Ar - ^{39}Ar 연대측정에서는 0.5 Ma와 0.18 Ma 두 시기에 집중된 결과 값들이 제시된 바 있다(Kim *et al.*, 2022). 따라서 백의리층의 형성시기는 0.5 Ma 보다 이전인 것으로 해석된다.

백의리층은 한반도 내륙에서 유일한 신생대 제4

기 현무암층 아래에 분포하는 미고결 퇴적층으로 지질학적 가치가 높다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 백의리층에 대한 연구는 그동안 미비한 편이며, 최근 한탄강 지질공원이 유네스코에 등재되면서 다시 한 번 관심을 가지게 되었다. 그동안 백의리층은 현무암 아래의 미고결 하천 퇴적층인 모래와 자갈로 이루어진 하상 퇴적층으로 설명되었다. 그러나 최근 전곡을 비롯한 한탄강 주변에서는 현무암 사이에 분포하는 미고결 이질 퇴적층을 비롯하여 포천의 웅장굴과 같이 이질 퇴적층을 현무암이 직접 덮고 있는 지역도 보고되고 있다(Kwon, 2011). 또한, 현무암의 연대측정을 통하여 여러 번에 걸쳐 용암이 흘렀고, 현무암과 현무암 사이 혹은 범람원 및 소하천을 덮는 현무암층이 존재하는 것이 알려졌다. 따라서 현무암의 가장 하부에 모래와 자갈이 중심이 되는 하천 퇴적층에 대해서만 백의리층으로 정의할건지와 현무암 아래의 미고결 퇴적층 전체를 백의리층으로 명명할 것에 대한 추가적인 논의가 필요하다.

5. 결론

1) 전곡 은대리 백의리층에서 수평 길이 7.5 m 구간에서 총 758개의 역을 개별 관찰하였고, 편암, 화강암, 편마암(이상 86.5%)이 우세하며, 응회암, 화산 각력암, 석영맥, 규암 순으로 암석의 분포를 확인하였다.

2) 백의리층 내 포함된 화강암 역의 기원지를 추적하고자 LA-MC-ICP-MS 저어콘 U-Pb 연대측정을 수행한 결과, 연령은 대체로 백악기의 약 111 Ma, 쥐라기의 약 171 Ma와 179 Ma, 트라이아스기의 약 236 Ma를 지시한다.

3) 편암과 편마암의 기원지는 북쪽 일대의 차탄천 상류의 데본기 대광리층 또는 고원생대 장락층군 암석으로 비교적 기원지와 가까워 다양한 크기의 암석이 분포하고 있다. 그리고 화강암은 동부와 동북부 일대에서 기원한 것으로 반경이 최소 30 km 혹은 그 이상의 지역에서 한탄강을 따라 이동한 것

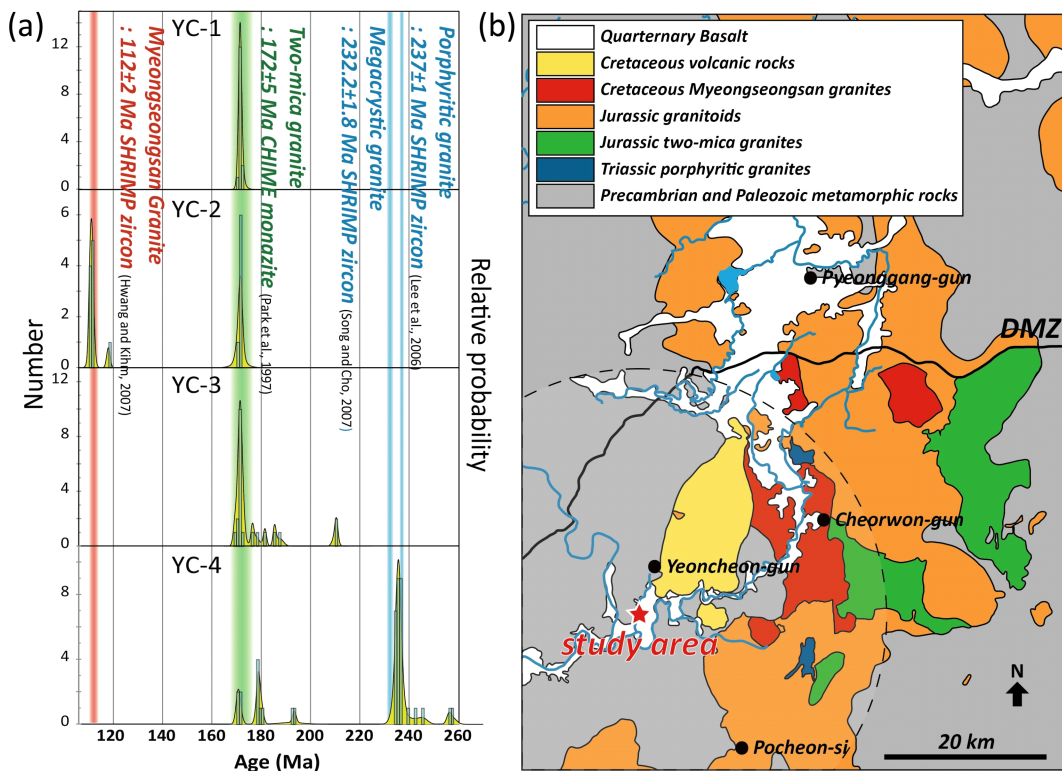


Fig. 8. (a) Histograms and probability density diagrams for the granite gravels from the Beakui Formation and (b) a geological map showing potential provenance area (dashed circle).

로 해석된다. 이 밖에 응회암과 화산각력암은 동쪽 일대의 백악기 철원분지에서 기원한 것으로 소하도의 영향이 적어 비교적 산출이 적은 편이다. 마지막으로 규암과 석영맥은 편암과 편마암과 같은 지역에서 기원한 것으로 분포지가 적어 산출량도 적은 것으로 해석된다.

4) 백의리층의 역 조성 중에서 많은 부분을 차지하는 화강암은 주로 동쪽과 동북쪽 일대의 화강암 분포지에서 유래한 것으로 고 한탄강의 영향으로 현재의 백의리층이 형성되었을 가능성이 높다.

5) 백의리층의 형성시기에 대한 기존 연구에서는 FT을 이용하여 0.51-94.3 Ma 연대가 제시된 바 있으며, 은대리 백의리층 직상부의 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 연대가 0.54±0.07 Ma로 측정되어 적어도 0.5 Ma 이전에 형성된 것으로 해석된다. 또한, 현무암 아래 하천 퇴적물인 모래와 자갈층에 대하여 백의리층이라 명명하였는데, 현무암 사이에 분포하는 이질 퇴적층 혹은 범람원과 같은 이질 퇴적층 상부에 현무암이 분포하는 지역 등이 보고되면서 백의리층에 대한 보다 명확한 정의가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이번 연구는 2021년도 경기도청의 “한탄강 세계 지질공원 지질명소의 국제적 가치규명 학술연구 용역”의 일환으로 진행되었으며, 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2019R1A6A1A03033167)으로 부터 일부 지원 받았다. 또한, 심사과정에서 유익한 조언을 해 주신 익명의 심사위원 분들께 감사드린다.

REFERENCES

Bae, K., 1993, Pleistocene environment and palaeolithic stone industries of the Korean peninsula. In: Aikens, C.M. and Rhee, S.N. (eds.), Pacific Northeast Asia in prehistory. Washington State University Press, Pullman, p. 13-23.

Bae, K., Bae, C.J. and Kim, K., 2012, The age of the Paleolithic hand axes from the Imjingang Hantangang River basins, South Korea. *Quaternary International*, 281, 14-25.

Choi, H.O., Choi, S.H. and Yu, Y., 2014, Isotope geochemistry of Jeongok basalts, northernmost South Korea: im-

plications for the enriched mantle end-member component. *Journal of Asian Earth Sciences*, 91, 56-68.

Choi, S.J., Lee, S.R., Kim, K.B., Kim, J.R. and Kim, B.C., 1998, Explanatory text of the geological map of Munsan (1:50,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 6 p (in Korean with English abstract).

Chwae, U.C., Choi, S.J., Park, K.W. and Kim, K.B., 1996, Explanatory text of the geological map of Cheolwon-Majeonri sheets (scale 1:50,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 31 p (in Korean with English abstract).

Danhara, T., Bae, K., Okada, T., Matsufuji, K. and Hwang, S., 2002, What is the real age of the Chongokni Paleolithic site?. In: Bae, K. and Lee, J. (eds.), Paleolithic archaeology in Northeast Asia, Yeoncheon County and The Institute of Cultural Properties, Seoul and Yeoncheon County, 77-116.

Hwang, J.H. and Kihm, Y.H., 2007, Geological report of the Jipori sheet (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 54 p (in Korean with English abstract).

Jun, Y.M., 1979, A study on topographical development along the shore of Hantan River. *Konkuk University Graduate School Proceedings*, 11, 241-265 (in Korean).

Kee, W.S., Cho, D.L., Kim, B.C. and Jin, K., 2005, Geological report of the Yeoncheon Sheet scale 1:50,000. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 6 p (in Korean with English abstract).

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 scale 1:50,000. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 83 p (in Korean with English abstract).

Kil, Y., Ahn, K.S., Woo, K.S., Lee, K.C., Jwa, Y.J., Jung, W. and Sohn, Y.K., 2018, Geoheritage Values of the Quaternary Hantangang River Volcanic Field in the Central Korean Peninsula. *Geoheritage*, 11, 765-782.

Kim, J., Choi, J.H., Jeon, S.I., Park, U.J. and Nam, S.S., 2014, ⁴⁰Ar-³⁹Ar age determination for the quaternary basaltic rocks in Jeongok area. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 23, 385-391 (in Korean with English abstract).

Kim, J.C., Cheong, D., Shin, S., Lee, J.Y., Hong, S.S., Choi, H., Lee, T.H. and Lee, H., 2022, A study of formation period of unconsolidated sediments in Yeongcheon area. *Joint Fall Meeting of Korean Geological Societies (Abstracts)*, Changwon, October 25-28, 118 p (in Korean).

Kwon, D.H., 2011, Possibility of Creating a Geopark in the Volcanic Landform of Hantan-gang. *Journal of the Association of Korean Photo-Graphers*, 21, 33-42 (in Korean with English abstract).

Lee, B.J., Kim, Y.B. and Kee, W.S., 2006, Geological report of the Gisan Sheet (Scale 1:50,000). Korea Institute

- of Geoscience and Mineral Resources, 6 p (in Korean with English abstract).
- Lee, D.S., Ryu, K.J. and Kim, G.H., 1983, Geotectonic interpretation of Choogaryong Rift Valley, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 19, 19-38 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B. and Lee, G.R., 2013, Stratigraphic Analysis on Paleofluvial Outcrop under Jeongok Basalt Layer in the Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 20, 55-63 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B., Seong, Y.B. and Lee, G.R., 2020, Formative Age and Process on Basalt of Lava Plateau in the Cheolwon and Yeoncheon Areas, Central Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 27, 41-51 (in Korean with English abstract).
- Ludwig, K.R., 2008, User's manual for ISOPLOT 3.6: a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley, CA, Berkeley Geochronology Center Special Publication, 4, 77.
- Park, K.H., Park, J.B., Cheong, C.S. and Oh, C.W., 2005, Sr, Nd and Pb isotopic systematics of the Cenozoic basalts of the Korean peninsula and their implications for the Permo-Triassic continental collision boundary. *Gondwana Research*, 8, 529-538.
- Park, K.W., Lee, B.J., Cho, D.L. and Kim, C.B., 1997, Geologic report of the Hwacheon Sheet (Scale 1:50,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 25 p (in Korean with English abstract).
- Paton, C., Hellstrom, J., Paul, B., Woodhead, J. and Hergt, J., 2011, Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 26, 2508-2518
- Ryu, S., Oka, M., Yagi, K., Sakuyama, T. and Itaya, T., 2011, K-Ar ages of the Quaternary basalts in the Jeongok area, the central part of Korean Peninsula. *Geoscience Journal*, 15, 1-8.
- Seong, Y.B., 2007, Burial age dating of geomorphic event using multiple cosmogenic radioactive nuclides: a case study on the first flow of Jeongok basalt over Baekuiiri Formation. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 14, 101-107 (in Korean with English abstract).
- Shin, J.B., Yu, K.M., Naruse, T. and Hayashida, A., 2004, Study on loess-paleosol stratigraphy of Quaternary unconsolidated sediments at E55S20-IV pit of Chongokni Paleolithic site. *Journal of the Geological Society of Korea*, 40, 369-381 (in Korean with English abstract).
- Sláma, J., Košler, J., Condon, D.J., Crowley, J.L., Gerdes, A., Hanchar, 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.
- Song, K.Y. and Cho, D.-L., 2007, Geological report of the Gimhwa sheet (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 18 p (in Korean with English abstract).
- Wiedenbeck, M.A.P.C., Alle, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., Von Quadt, A. and Spiegel, W., 1995, Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses. *Geostandards and Geoanalytical Research*, 19, 1-23.
- Won, C.K., 1983, A study on the quaternary volcanism in the Korean peninsula: in the Choogaryong rift valley. *Journal of the Geological Society of Korea*, 19, 159-168 (in Korean with English abstract).
- Won, C.K. and Lee, M.W., 1988, The study on petrology for the Quaternary alkali volcanic rock of the Korean peninsula. *Journal of the Geological Society of Korea*, 24, 181-193 (in Korean with English abstract).
- Yu, K.M., Kwon, Y.I. and Chun, H.Y., 1992, Stratigraphy and mineral composition of sandstones from the Daedong Group in Yeoncheon area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 28, 152-166 (in Korean with English abstract).

Received : August 29, 2022
 Revised : March 1, 2023
 Accepted : March 22, 2023

Appendix 1. LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb ages of the granite clasts from the Baekuiiri Formation.

| Sample Name | Th/U | ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb Error 2σ | ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U Error 2σ | ²⁰⁷ Pb/ ²³⁸ U Error 2σ | *Disc. (%) | ²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U age Error (Ma) 2σ | ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U age Error (Ma) 2σ | ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb age Error (Ma) 2σ |
|-------------|------|--|---|---|------------|--|--|---|
| YC-1 | | | | | | | | |
| YC-1-15 | 0.97 | 0.0486±0.0011 | 0.02683±0.0002 | 0.182±0.0045 | | 170.7±1.3 | 170.1±3.9 | 191±26.0 |
| YC-1-21 | 0.90 | 0.05023±0.00093 | 0.02691±0.00016 | 0.1864±0.0033 | | 171.19±0.98 | 173.7±2.9 | 218±22.0 |
| YC-1-8 | 1.06 | 0.049±0.001 | 0.02692±0.00022 | 0.1822±0.0037 | | 171.2±1.4 | 169.9±3.2 | 156±22.0 |
| YC-1-25 | 0.89 | 0.04958±0.00054 | 0.02692±0.00015 | 0.1839±0.0023 | | 171.24±0.96 | 171.3±2.0 | 185±13.0 |
| YC-1-14 | 0.32 | 0.04923±0.00026 | 0.02693±0.00018 | 0.1819±0.0017 | | 171.3±1.1 | 169.7±1.5 | 149.1±7.3 |
| YC-1-6 | 0.36 | 0.04944±0.00041 | 0.02694±0.0002 | 0.1827±0.002 | | 171.4±1.3 | 170.3±1.7 | 171±12.0 |
| YC-1-19 | 1.17 | 0.04984±0.00042 | 0.02694±0.00018 | 0.185±0.0022 | | 171.4±1.1 | 172.3±1.9 | 181±13.0 |
| YC-1-23 | 1.08 | 0.04933±0.00053 | 0.02696±0.00016 | 0.1836±0.0023 | | 171.5±1.0 | 171.1±2.0 | 172±14.0 |
| YC-1-12 | 1.22 | 0.04936±0.00076 | 0.02697±0.00017 | 0.1832±0.0029 | | 171.6±1.0 | 170.7±2.5 | 167±18.0 |
| YC-1-29 | 1.11 | 0.05012±0.00096 | 0.02697±0.00025 | 0.185±0.0039 | | 171.6±1.6 | 172.3±3.4 | 231±25.0 |
| YC-1-13 | 0.34 | 0.0492±0.00071 | 0.027±0.00028 | 0.1836±0.0034 | | 171.7±1.7 | 171.1±2.9 | 168±19.0 |
| YC-1-5 | 0.33 | 0.04958±0.00066 | 0.02702±0.00017 | 0.1837±0.0025 | | 171.8±1.1 | 171.2±2.1 | 177±17.0 |
| YC-1-28 | 0.15 | 0.04955±0.0007 | 0.02702±0.00015 | 0.1842±0.0026 | | 171.86±0.94 | 171.6±2.2 | 184±18.0 |
| YC-1-30 | 0.12 | 0.0493±0.00024 | 0.0271±0.00019 | 0.185±0.0015 | | 172.4±1.2 | 172.3±1.3 | 162.3±6.1 |
| YC-1-22 | 0.25 | 0.04885±0.00043 | 0.02712±0.00043 | 0.1815±0.0038 | | 172.5±2.7 | 169.3±3.3 | 147±18.0 |
| YC-1-20 | 0.20 | 0.05798±0.00048 | 0.03137±0.00042 | 0.2497±0.0045 | -10.4 | 199.1±2.6 | 226.1±3.7 | 527±13.0 |
| YC-1-7 | 0.15 | 0.07263±0.00062 | 0.04595±0.00033 | 0.4606±0.0051 | -30.9 | 289.6±2.0 | 384.6±3.5 | 1002.6±7.8 |
| YC-1-24 | 0.09 | 0.0989±0.0007 | 0.0918±0.0017 | 1.255±0.029 | -41.5 | 566±10.0 | 824±13.0 | 1600±11.0 |
| YC-1-17 | 0.12 | 0.10229±0.00054 | 0.1202±0.003 | 1.698±0.049 | -33.0 | 731±17.0 | 1007±18.0 | 1670±7.1 |
| YC-1-26 | 0.23 | 0.10087±0.00036 | 0.1548±0.003 | 2.165±0.05 | -22.2 | 927±17.0 | 1166±16.0 | 1641.9±5.7 |
| YC-1-10 | 0.19 | 0.13632±0.00064 | 0.1864±0.0025 | 3.511±0.044 | -36.8 | 1102±14.0 | 1531±9.5 | 2182.6±7.1 |
| YC-1-18 | 0.30 | 0.1089±0.00055 | 0.2128±0.0075 | 3.21±0.12 | -11.6 | 1240±40.0 | 1454±30.0 | 1781.8±7.2 |
| YC-1-9 | 0.39 | 0.10943±0.0003 | 0.2221±0.0026 | 3.345±0.043 | -13.5 | 1293±14.0 | 1491.3±9.9 | 1791.1±3.6 |
| YC-1-11 | 0.01 | 0.11084±0.00023 | 0.2288±0.0017 | 3.495±0.03 | -13.8 | 1328.2±8.7 | 1526.8±6.7 | 1813.4±2.2 |
| YC-1-27 | 0.41 | 0.1116±0.00034 | 0.2789±0.0017 | 4.3±0.027 | -5.9 | 1585.5±8.8 | 1693.5±5.2 | 1826.4±3.6 |
| YC-1-3 | 0.16 | 0.11193±0.00051 | 0.2869±0.0021 | 4.454±0.03 | -4.9 | 1626±11.0 | 1723.1±5.8 | 1832.1±4.9 |
| YC-1-4 | 0.27 | 0.11235±0.00032 | 0.306±0.0032 | 4.738±0.053 | -1.6 | 1720±16.0 | 1773.8±9.5 | 1839.6±3.0 |
| YC-1-16 | 0.28 | 0.12725±0.00045 | 0.3068±0.0033 | 5.387±0.075 | -7.5 | 1724±16.0 | 1881±12.0 | 2059.4±5.1 |
| YC-1-2 | 0.22 | 0.11304±0.00055 | 0.3276±0.0029 | 5.122±0.043 | | 1826±14.0 | 1840.7±7.4 | 1846.6±4.0 |
| YC-1-1 | 0.22 | 0.11258±0.00078 | 0.3301±0.003 | 5.157±0.05 | | 1839±15.0 | 1845.2±8.2 | 1844.9±9.9 |
| YC-2 | | | | | | | | |
| YC-2-2 | 0.58 | 0.0478±0.0012 | 0.01726±0.00016 | 0.1128±0.0027 | | 110.3±1.0 | 108.8±2.4 | 142.0±23.0 |
| YC-2-6 | 1.17 | 0.0479±0.0017 | 0.01732±0.00017 | 0.1158±0.0043 | | 110.7±1.1 | 111.1±3.9 | 257.0±44.0 |
| YC-2-13 | 1.22 | 0.0528±0.0031 | 0.01736±0.00034 | 0.1245±0.0069 | | 110.9±2.2 | 118.9±6.2 | 405.0±69.0 |
| YC-2-24 | 0.29 | 0.04799±0.00066 | 0.01736±0.00017 | 0.115±0.002 | | 110.9±1.1 | 110.8±1.8 | 125.0±17.0 |
| YC-2-5 | 1.09 | 0.0494±0.0022 | 0.01736±0.00024 | 0.1173±0.005 | | 111.0±1.5 | 112.4±4.5 | 289.0±47.0 |
| YC-2-10 | 0.60 | 0.0479±0.0011 | 0.01743±0.00018 | 0.1139±0.0029 | | 111.4±1.1 | 109.5±2.6 | 146.0±26.0 |
| YC-2-4 | 0.81 | 0.0494±0.0017 | 0.01744±0.00022 | 0.1186±0.0041 | | 111.5±1.4 | 113.7±3.8 | 241.0±37.0 |
| YC-2-20 | 1.33 | 0.0483±0.0015 | 0.01747±0.00017 | 0.1164±0.0039 | | 111.6±1.1 | 111.7±3.5 | 227.0±31.0 |
| YC-2-30 | 1.68 | 0.0499±0.0012 | 0.0175±0.00026 | 0.1206±0.0038 | | 111.8±1.6 | 115.4±3.4 | 232.0±28.0 |
| YC-2-17 | 1.08 | 0.0481±0.0016 | 0.01847±0.00023 | 0.1209±0.0037 | | 118.0±1.4 | 115.7±3.4 | 250.0±37.0 |
| YC-2-19 | 0.76 | 0.04959±0.00074 | 0.02686±0.00038 | 0.1831±0.0031 | | 170.8±2.4 | 170.7±2.7 | 173.0±19.0 |

Appendix 1. continued.

| Sample Name | Th/U | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | Error | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | Error | $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | Error | *Disc. | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | Error | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | Error | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | Error |
|-------------|------|-----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|--------|----------------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------|
| | | | 2σ | | 2σ | | 2σ | (%) | (Ma) | 2σ | (Ma) | 2σ | (Ma) | 2σ |
| YC-2-9 | 0.71 | 0.0508±0.0011 | | 0.02695±0.00023 | | 0.1891±0.004 | | | 171.4±1.5 | | 175.7±3.4 | | 242.0±31.0 | |
| YC-2-12 | 0.52 | 0.04916±0.00078 | | 0.02694±0.00033 | | 0.1833±0.0038 | | | 171.4±2.1 | | 170.7±3.2 | | 180.0±20.0 | |
| YC-2-29 | 0.77 | 0.0494±0.0032 | | 0.02695±0.00096 | | 0.18±0.011 | | | 171.4±6.1 | | 167.8±9 | | 195.0±59.0 | |
| YC-2-15 | 0.47 | 0.0491±0.0021 | | 0.02697±0.00048 | | 0.1825±0.0071 | | | 171.5±3.0 | | 170±6.1 | | 256.0±52.0 | |
| YC-2-21 | 1.07 | 0.049±0.0011 | | 0.02699±0.00026 | | 0.1822±0.0044 | | | 171.7±1.6 | | 169.8±3.8 | | 188.0±23.0 | |
| YC-2-3 | 0.56 | 0.0488±0.0011 | | 0.02701±0.00021 | | 0.1843±0.0039 | | | 171.8±1.3 | | 171.6±3.3 | | 219.0±26.0 | |
| YC-2-7 | 0.64 | 0.09781±0.0006 | | 0.08793±0.00098 | | 1.191±0.018 | | -44.0 | 543.9±5.7 | | 797.5±8.4 | | 1584.5±8.6 | |
| YC-2-25 | 0.13 | 0.10415±0.00047 | | 0.1216±0.0022 | | 1.742±0.035 | | -34.9 | 739.0±13.0 | | 1023.0±13.0 | | 1697.4±5.7 | |
| YC-2-11 | 0.46 | 0.10481±0.00061 | | 0.1279±0.0052 | | 1.848±0.084 | | -28.9 | 774.0±30.0 | | 1057.0±29.0 | | 1710.2±9.0 | |
| YC-2-23 | 0.02 | 0.1168±0.0013 | | 0.1537±0.0021 | | 2.479±0.045 | | -34.5 | 922.0±12.0 | | 1265.0±13.0 | | 1914.0±19.0 | |
| YC-2-8 | 0.11 | 0.10815±0.00051 | | 0.18±0.0048 | | 2.687±0.079 | | -19.4 | 1066.0±26.0 | | 1320.0±21.0 | | 1770.0±5.7 | |
| YC-2-22 | 0.07 | 0.11264±0.00064 | | 0.1906±0.003 | | 2.932±0.05 | | -21.3 | 1124.0±16.0 | | 1392.0±13.0 | | 1841.9±8.9 | |
| YC-2-26 | 0.24 | 0.10767±0.00047 | | 0.1958±0.0065 | | 2.91±0.1 | | -14.4 | 1157.0±35.0 | | 1385.0±26.0 | | 1762.2±5.0 | |
| YC-2-27 | 0.29 | 0.12543±0.00064 | | 0.2025±0.0039 | | 3.512±0.075 | | -24.8 | 1192.0±21.0 | | 1526.0±17.0 | | 2032.8±6.7 | |
| YC-2-28 | 0.51 | 0.11159±0.00039 | | 0.2569±0.006 | | 3.949±0.098 | | -6.5 | 1475.0±31.0 | | 1623.0±21.0 | | 1823.7±4.6 | |
| YC-2-18 | 0.06 | 0.12952±0.00052 | | 0.259±0.0024 | | 4.634±0.052 | | -16.5 | 1486.0±13.0 | | 1754.2±9.3 | | 2090.0±5.7 | |
| YC-2-16 | 0.40 | 0.11373±0.00038 | | 0.2968±0.0033 | | 4.657±0.057 | | -3.4 | 1675.0±16.0 | | 1758.0±10.0 | | 1858.1±4.0 | |
| YC-2-1 | 0.68 | 0.14925±0.00068 | | 0.309±0.0048 | | 6.38±0.12 | | -14.4 | 1735.0±24.0 | | 2025.0±17.0 | | 2335.3±6.2 | |
| YC-2-14 | 0.93 | 0.15944±0.00086 | | 0.4433±0.0052 | | 9.78±0.16 | | -0.4 | 2364.0±23.0 | | 2411.0±14.0 | | 2451.6±8.1 | |
| YC-3 | | | | | | | | | | | | | | |
| YC-3-20 | 0.57 | 0.0491±0.00031 | | 0.02661±0.00021 | | 0.1805±0.0019 | | | 169.3±1.3 | | 168.5±1.7 | | 159.0±10.0 | |
| YC-3-23 | 1.51 | 0.04972±0.00054 | | 0.02682±0.0002 | | 0.1847±0.0025 | | | 170.6±1.3 | | 172.3±2.1 | | 180.0±17.0 | |
| YC-3-30 | 0.69 | 0.0498±0.0018 | | 0.02687±0.0003 | | 0.1874±0.0063 | | | 170.9±1.9 | | 174.3±5.4 | | 220.0±48.0 | |
| YC-3-13 | 1.51 | 0.04952±0.00084 | | 0.02692±0.00019 | | 0.1853±0.0033 | | | 171.2±1.2 | | 172.9±2.8 | | 186.0±19.0 | |
| YC-3-19 | 0.20 | 0.04932±0.00063 | | 0.02692±0.00048 | | 0.184±0.0044 | | | 171.2±3.0 | | 171.4±3.7 | | 176.0±23.0 | |
| YC-3-21 | 0.53 | 0.05549±0.00088 | | 0.02694±0.00018 | | 0.2056±0.0032 | | -8.6 | 171.3±1.1 | | 189.8±2.7 | | 439.0±24.0 | |
| YC-3-5 | 0.58 | 0.04973±0.00036 | | 0.02696±0.00027 | | 0.1857±0.0023 | | | 171.5±1.7 | | 172.9±1.9 | | 178.7±9.4 | |
| YC-3-10 | 0.55 | 0.05041±0.00067 | | 0.02696±0.00034 | | 0.1882±0.0038 | | | 171.5±2.1 | | 175.1±3.3 | | 204.0±22.0 | |
| YC-3-27 | 0.11 | 0.04916±0.00041 | | 0.02697±0.00028 | | 0.1842±0.0028 | | | 171.5±1.8 | | 171.9±2.3 | | 151.0±11.0 | |
| YC-3-22 | 0.05 | 0.04934±0.00046 | | 0.02697±0.00026 | | 0.1828±0.0024 | | | 171.6±1.6 | | 170.5±2.1 | | 160.0±13.0 | |
| YC-3-16 | 0.48 | 0.049±0.0015 | | 0.02699±0.00054 | | 0.1809±0.0049 | | | 171.7±3.4 | | 168.8±4.3 | | 199.0±50.0 | |
| YC-3-17 | 0.30 | 0.0492±0.0014 | | 0.02701±0.00041 | | 0.1861±0.0059 | | | 171.8±2.6 | | 173.2±5.0 | | 221.0±39.0 | |
| YC-3-15 | 0.61 | 0.04911±0.00037 | | 0.02703±0.00018 | | 0.1826±0.002 | | | 171.9±1.1 | | 170.3±1.7 | | 155.1±9.5 | |
| YC-3-14 | 0.05 | 0.0499±0.0012 | | 0.02713±0.00021 | | 0.1879±0.0048 | | | 172.6±1.3 | | 174.8±4.1 | | 186.0±36.0 | |
| YC-3-1 | 0.28 | 0.04945±0.00033 | | 0.02774±0.0002 | | 0.1906±0.0019 | | | 176.4±1.2 | | 177.1±1.6 | | 167.8±8.1 | |
| YC-3-2 | 0.56 | 0.05006±0.00088 | | 0.02799±0.0004 | | 0.1929±0.0041 | | | 178.0±2.5 | | 179.0±3.5 | | 191.0±24.0 | |
| YC-3-25 | 0.16 | 0.04983±0.00053 | | 0.02856±0.00021 | | 0.1963±0.0028 | | | 181.5±1.3 | | 181.9±2.4 | | 189.0±14.0 | |
| YC-3-8 | 0.04 | 0.04962±0.00059 | | 0.02918±0.00019 | | 0.2003±0.003 | | | 185.4±1.2 | | 185.4±2.5 | | 172.0±18.0 | |
| YC-3-7 | 0.21 | 0.05037±0.00066 | | 0.02952±0.00048 | | 0.2049±0.0037 | | | 187.5±3.0 | | 189.1±3.1 | | 209.0±20.0 | |
| YC-3-26 | 0.04 | 0.05009±0.00037 | | 0.03312±0.00034 | | 0.2304±0.0024 | | | 210.0±2.1 | | 210.5±2.0 | | 197.0±13.0 | |
| YC-3-18 | 0.01 | 0.05024±0.00019 | | 0.0332±0.00019 | | 0.2307±0.0018 | | | 210.5±1.2 | | 210.7±1.5 | | 202.7±5.1 | |
| YC-3-29 | 0.02 | 0.07268±0.00068 | | 0.04365±0.00056 | | 0.4361±0.0087 | | -30.3 | 275.4±3.5 | | 368.3±6.0 | | 1004.0±14.0 | |
| YC-3-11 | 0.06 | 0.07589±0.00051 | | 0.051±0.0012 | | 0.538±0.015 | | -31.6 | 320.6±7.3 | | 438.8±9.6 | | 1092.0±11.0 | |

Appendix 1. continued.

| Sample Name | Th/U | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | Error | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | Error | $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | Error | *Disc. | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | Error | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ | Error | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | Error |
|-------------|------|-----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|--------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | | | 2 σ | | 2 σ | | 2 σ | (%) | (Ma) | 2 σ | (Ma) | 2 σ | (Ma) | 2 σ |
| YC-3-4 | 0.39 | 0.10332±0.00029 | | 0.1533±0.0014 | | 2.191±0.021 | | -26.5 | 919.5±7.9 | | 1177.6±6.8 | | 1685.3±3.2 | |
| YC-3-28 | 0.02 | 0.10761±0.00019 | | 0.1872±0.0023 | | 2.794±0.035 | | -20.0 | 1109.0±12.0 | | 1352.6±9.4 | | 1760.8±2.2 | |
| YC-3-3 | 0.07 | 0.12846±0.00087 | | 0.2328±0.0049 | | 4.16±0.11 | | -19.6 | 1348.0±26.0 | | 1661.0±23.0 | | 2078.0±11.0 | |
| YC-3-24 | 0.02 | 0.11181±0.00031 | | 0.2421±0.0041 | | 3.726±0.072 | | -10.4 | 1397.0±21.0 | | 1578.0±15.0 | | 1828.1±3.7 | |
| YC-3-9 | 0.20 | 0.1107±0.00049 | | 0.264±0.0099 | | 4.05±0.16 | | -2.7 | 1509.0±51.0 | | 1634.0±34.0 | | 1810.1±5.5 | |
| YC-3-12 | 0.01 | 0.11434±0.00027 | | 0.2637±0.003 | | 4.155±0.049 | | -8.7 | 1510.0±16.0 | | 1667.0±10.0 | | 1871.9±2.6 | |
| YC-3-6 | 0.19 | 0.12639±0.00033 | | 0.3024±0.0042 | | 5.281±0.08 | | -7.8 | 1702.0±21.0 | | 1868.0±13.0 | | 2047.8±3.7 | |
| YC-4 | | | | | | | | | | | | | | |
| YC-4-43 | 1.01 | 0.0503±0.0012 | | 0.02673±0.00027 | | 0.1871±0.0048 | | | 170.1±1.7 | | 174.0±4.1 | | 217.0±34.0 | |
| YC-4-54 | 1.19 | 0.0495±0.0012 | | 0.02677±0.00022 | | 0.1822±0.0045 | | | 170.3±1.4 | | 169.7±3.9 | | 223.0±29.0 | |
| YC-4-28 | 0.42 | 0.04995±0.00049 | | 0.0269±0.00023 | | 0.1851±0.0025 | | | 171.1±1.5 | | 172.4±2.1 | | 191.0±16.0 | |
| YC-4-30 | 0.21 | 0.04985±0.00059 | | 0.02692±0.00034 | | 0.1833±0.0033 | | | 171.2±2.2 | | 170.9±2.8 | | 188.0±15.0 | |
| YC-4-1 | 0.38 | 0.05032±0.00065 | | 0.02802±0.00027 | | 0.1955±0.0025 | | | 178.1±1.7 | | 181.3±2.1 | | 210.0±14.0 | |
| YC-4-16 | 1.78 | 0.0491±0.0011 | | 0.02809±0.00029 | | 0.1925±0.0048 | | | 178.6±1.8 | | 178.7±4.1 | | 179.0±22.0 | |
| YC-4-21 | 0.31 | 0.04928±0.00049 | | 0.02809±0.00019 | | 0.1923±0.0025 | | | 178.6±1.2 | | 178.8±2.1 | | 160.0±17.0 | |
| YC-4-50 | 1.68 | 0.0493±0.00099 | | 0.02815±0.0002 | | 0.1911±0.0036 | | | 178.9±1.3 | | 177.5±3.1 | | 197.0±24.0 | |
| YC-4-60 | 0.14 | 0.0491±0.00037 | | 0.02822±0.00031 | | 0.1892±0.0024 | | | 179.4±1.9 | | 176.2±2.1 | | 157.5±9.2 | |
| YC-4-27 | 1.37 | 0.0492±0.0011 | | 0.02832±0.00025 | | 0.1929±0.0044 | | | 180.1±1.6 | | 179.0±3.8 | | 217.0±23.0 | |
| YC-4-41 | 0.69 | 0.0523±0.0044 | | 0.0302±0.0016 | | 0.217±0.025 | | | 192.0±10.0 | | 198.0±21.0 | | 321.0±72.0 | |
| YC-4-18 | 0.74 | 0.05046±0.00053 | | 0.03043±0.00023 | | 0.2124±0.0026 | | | 193.3±1.5 | | 195.7±2.1 | | 213.0±12.0 | |
| YC-4-31 | 2.24 | 0.102±0.013 | | 0.0324±0.0011 | | 0.485±0.082 | | -56.1 | 205.3±6.6 | | 374.0±47.0 | | 1450.0±200.0 | |
| YC-4-33 | 0.22 | 0.05076±0.00058 | | 0.03698±0.00052 | | 0.2573±0.0042 | | | 234.1±3.2 | | 232.5±3.4 | | 221.0±13.0 | |
| YC-4-37 | 0.88 | 0.051±0.0016 | | 0.03699±0.00043 | | 0.2627±0.0073 | | | 234.2±2.7 | | 236.7±5.9 | | 241.0±44.0 | |
| YC-4-20 | 0.70 | 0.04991±0.00068 | | 0.03702±0.00029 | | 0.2556±0.0041 | | | 234.3±1.8 | | 230.9±3.3 | | 218.0±18.0 | |
| YC-4-22 | 0.17 | 0.05101±0.00032 | | 0.03702±0.00058 | | 0.2599±0.0042 | | | 234.4±3.6 | | 235.0±3.5 | | 239.9±8.2 | |
| YC-4-35 | 0.06 | 0.05082±0.0003 | | 0.03709±0.00024 | | 0.2602±0.0022 | | | 234.7±1.5 | | 234.8±1.8 | | 227.7±7.5 | |
| YC-4-32 | 1.31 | 0.05094±0.00044 | | 0.03712±0.00042 | | 0.2612±0.0037 | | | 234.9±2.6 | | 235.5±3.0 | | 251.0±14.0 | |
| YC-4-40 | 0.21 | 0.05096±0.00024 | | 0.03711±0.00021 | | 0.261±0.0018 | | | 234.9±1.3 | | 235.5±1.5 | | 243.1±6.5 | |
| YC-4-46 | 0.46 | 0.05071±0.00042 | | 0.03713±0.00023 | | 0.26±0.0024 | | | 235.0±1.4 | | 234.6±2.0 | | 224.0±10.0 | |
| YC-4-47 | 0.32 | 0.05103±0.00035 | | 0.03716±0.0003 | | 0.2611±0.0029 | | | 235.2±1.9 | | 235.4±2.4 | | 238.0±9.5 | |
| YC-4-29 | 0.42 | 0.0504±0.0004 | | 0.03717±0.00025 | | 0.2588±0.0026 | | | 235.3±1.5 | | 233.7±2.1 | | 216.0±10.0 | |
| YC-4-17 | 0.85 | 0.05082±0.00076 | | 0.03715±0.00042 | | 0.2622±0.0043 | | | 235.4±2.7 | | 236.3±3.5 | | 245.0±19.0 | |
| YC-4-42 | 1.00 | 0.05124±0.00038 | | 0.03721±0.00031 | | 0.2631±0.0027 | | | 235.5±1.9 | | 237.1±2.2 | | 250.0±10.0 | |
| YC-4-13 | 0.03 | 0.05076±0.00039 | | 0.03725±0.00068 | | 0.2586±0.0052 | | | 235.7±4.2 | | 234.2±4.3 | | 229.0±11.0 | |
| YC-4-45 | 0.16 | 0.05252±0.00046 | | 0.03724±0.00028 | | 0.2713±0.0037 | | -1.4 | 235.7±1.7 | | 243.6±3.0 | | 313.0±12.0 | |
| YC-4-12 | 0.07 | 0.05094±0.00023 | | 0.03726±0.00018 | | 0.2626±0.0016 | | | 235.8±1.1 | | 236.7±1.3 | | 235.1±6.8 | |
| YC-4-23 | 0.25 | 0.05066±0.00038 | | 0.03726±0.00042 | | 0.26±0.0039 | | | 235.8±2.6 | | 234.6±3.1 | | 226.0±11.0 | |
| YC-4-49 | 0.26 | 0.05075±0.00039 | | 0.03729±0.00025 | | 0.2614±0.003 | | | 236.0±1.5 | | 235.8±2.4 | | 223.0±10.0 | |
| YC-4-36 | 0.45 | 0.05066±0.0005 | | 0.03733±0.00036 | | 0.2602±0.0037 | | | 236.2±2.2 | | 234.8±3.0 | | 214.0±12.0 | |
| YC-4-53 | 0.70 | 0.05141±0.00071 | | 0.03732±0.00078 | | 0.2618±0.007 | | | 236.2±4.8 | | 235.9±5.7 | | 247.0±20.0 | |
| YC-4-14 | 0.15 | 0.05098±0.00032 | | 0.03734±0.00037 | | 0.2624±0.0024 | | | 236.3±2.3 | | 236.6±2.0 | | 241.0±11.0 | |
| YC-4-19 | 0.05 | 0.0507±0.00029 | | 0.03734±0.00051 | | 0.2605±0.0037 | | | 236.3±3.2 | | 235±3.0 | | 225.4±5.7 | |
| YC-4-57 | 0.66 | 0.05077±0.00041 | | 0.03734±0.00031 | | 0.2611±0.003 | | | 236.3±1.9 | | 235.6±2.4 | | 232.0±11.0 | |

Appendix 1. continued.

| Sample Name | Th/U | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ | Error | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | Error | $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ | Error | *Disc. (%) | $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age (Ma) | Error | $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ age (Ma) | Error | $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ age (Ma) | Error |
|-------------|------|-----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|------------|------------|---|------------|---|------------|--|------------|
| | | | 2 σ | | 2 σ | | 2 σ | | | 2 σ | | 2 σ | | 2 σ |
| YC-4-51 | 0.45 | 0.05075±0.00036 | | 0.03736±0.0004 | | 0.2603±0.003 | | | 236.4±2.5 | | 234.9±2.4 | | 230.7±5.8 | |
| YC-4-52 | 1.10 | 0.05109±0.00033 | | 0.03735±0.00024 | | 0.2649±0.0023 | | | 236.4±1.5 | | 238.6±1.8 | | 247.5±9.4 | |
| YC-4-48 | 0.39 | 0.05036±0.00061 | | 0.03742±0.00041 | | 0.2595±0.0043 | | | 236.8±2.5 | | 234.2±3.5 | | 217.0±21.0 | |
| YC-4-7 | 0.11 | 0.05063±0.00054 | | 0.03777±0.00077 | | 0.264±0.0056 | | | 239.0±4.8 | | 237.8±4.5 | | 229.0±14.0 | |
| YC-4-3 | 0.37 | 0.0546±0.0014 | | 0.03839±0.00075 | | 0.296±0.01 | | -3.7 | 242.8±4.7 | | 264.3±7.8 | | 410.0±39.0 | |
| YC-4-4 | 0.33 | 0.05471±0.00057 | | 0.03887±0.00058 | | 0.2941±0.0063 | | -3.3 | 245.8±3.6 | | 262.3±4.8 | | 409.0±18.0 | |
| YC-4-39 | 0.12 | 0.05678±0.0004 | | 0.04052±0.00031 | | 0.3176±0.0042 | | -7.4 | 256.1±1.9 | | 280.2±3.3 | | 487.0±14.0 | |
| YC-4-15 | 0.31 | 0.05482±0.00088 | | 0.04081±0.00048 | | 0.3123±0.0047 | | -4.5 | 257.8±3.0 | | 276.0±3.6 | | 396.0±28.0 | |
| YC-4-58 | 0.25 | 0.06268±0.00036 | | 0.04393±0.00028 | | 0.3785±0.0033 | | -16.1 | 277.2±1.8 | | 325.9±2.4 | | 695.2±7.6 | |
| YC-4-10 | 0.16 | 0.06722±0.00071 | | 0.05122±0.0008 | | 0.475±0.01 | | -18.7 | 322.0±4.9 | | 394.2±7 | | 840.0±15.0 | |
| YC-4-5 | 0.07 | 0.08844±0.00074 | | 0.0634±0.0014 | | 0.768±0.023 | | -41.0 | 396.0±8.5 | | 581.0±14.0 | | 1395.0±14.0 | |
| YC-4-34 | 0.36 | 0.08504±0.00065 | | 0.0789±0.0012 | | 0.925±0.019 | | -32.0 | 489.4±7.0 | | 663.0±10.0 | | 1317.0±13.0 | |
| YC-4-44 | 0.42 | 0.099±0.0012 | | 0.0955±0.0028 | | 1.304±0.054 | | -36.6 | 587.0±16.0 | | 842.0±24.0 | | 1602.0±22.0 | |
| YC-4-56 | 0.26 | 0.09504±0.00048 | | 0.0961±0.0011 | | 1.261±0.019 | | -37.4 | 591.5±6.3 | | 827.3±8.3 | | 1530.2±7.9 | |
| YC-4-24 | 0.39 | 0.0924±0.0011 | | 0.1021±0.004 | | 1.321±0.068 | | -25.5 | 628.0±24.0 | | 842.0±30.0 | | 1468.0±23.0 | |
| YC-4-6 | 0.50 | 0.09441±0.00086 | | 0.1028±0.0032 | | 1.354±0.055 | | -29.7 | 632.0±19.0 | | 863.0±24.0 | | 1507.0±17.0 | |
| YC-4-25 | 0.26 | 0.10825±0.00038 | | 0.1638±0.0017 | | 2.447±0.029 | | -26.7 | 977.4±9.3 | | 1256.5±8.6 | | 1769.8±4.6 | |
| YC-4-55 | 0.51 | 0.10487±0.00072 | | 0.19±0.011 | | 2.76±0.17 | | -8.7 | 1125.0±59.0 | | 1329.0±47.0 | | 1709.0±11.0 | |
| YC-4-38 | 0.34 | 0.10802±0.00081 | | 0.204±0.01 | | 3.06±0.18 | | -8.9 | 1196.0±56.0 | | 1405.0±47.0 | | 1768.0±13.0 | |
| YC-4-59 | 0.03 | 0.11209±0.00027 | | 0.2418±0.0017 | | 3.723±0.028 | | -11.9 | 1395.6±9.1 | | 1576.6±6.1 | | 1832.4±2.6 | |
| YC-4-26 | 0.69 | 0.11034±0.00065 | | 0.253±0.011 | | 3.88±0.18 | | -4.0 | 1467.0±55.0 | | 1618.0±38.0 | | 1804.4±8.3 | |
| YC-4-8 | 0.16 | 0.11177±0.00024 | | 0.2625±0.0018 | | 4.059±0.029 | | -8.5 | 1502.6±9.0 | | 1645.7±5.8 | | 1828.5±2.1 | |
| YC-4-9 | 0.28 | 0.11141±0.00047 | | 0.2643±0.0081 | | 4.08±0.14 | | -4.4 | 1508.0±42.0 | | 1645.0±29.0 | | 1825.0±6.4 | |
| YC-4-2 | 0.47 | 0.11347±0.00029 | | 0.3392±0.0029 | | 5.324±0.052 | | | 1884.0±14.0 | | 1872.7±8.3 | | 1855.6±2.7 | |
| YC-4-11 | 0.63 | 0.14668±0.00094 | | 0.422±0.014 | | 8.55±0.31 | | | 2269.0±62.0 | | 2289.0±33.0 | | 2306.7±7.3 | |

*Degree of discordance (%): negative numbers and blanks show normal discordant and concordant within 2 σ of the analytical error, respectively.