

## 평창-원주 지역의 경기육괴 기반암 편마암 복합체에 대한 SHRIMP 저어콘 연대 측정

송용선\* · 박계현<sup>1</sup> · 서재현<sup>1</sup> · 조희제<sup>1</sup> · 이기욱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 지구환경과학과, <sup>2</sup>한국기초과학지원연구원

### SHRIMP Zircon Ages of the Basement Gneiss Complex in the Pyeongchang-Wonju Area, Gyeonggi Massif, Korea

Yong-Sun Song<sup>1\*</sup>, Kye-Hun Park<sup>1</sup>, Jaehyeon Seo<sup>1</sup>, Hui Je Jo<sup>1</sup> and Keewook Yi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Environmental Sciences of Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

<sup>2</sup>Korea Basic Science Institute, Ochang 363-883, Korea

**요 약:** 영남육괴에 발달한 영월-태백지역의 고생대 퇴적분지의 서쪽에 위치한 평창-원주 일대의 선캄브리아 편마암 복합체는 경기육괴의 일부로 간주되고 있으나 정확한 생성시기 및 변성시기에 대하여는 잘 연구되지 않았다. 이 연구에서는 이 지역의 편마암 복합체에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정을 수행하였다. 분석 자료들을 저어콘의 내부 구조 특성과 연관지어 해석한 결과 약 1960 Ma의 화성연대와 약 1860 Ma의 변성연대를 구분하여 구하였다. 이 연대들은 지금까지 한반도에서 보고된 경기육괴, 영남육괴, 낭림육괴 등의 선캄브리아 화강편마암류들의 주 관입시기 및 주 변성작용의 시기와 일치한다. 저어콘의 상숙핵에서 얻어진 3200~3300, 2900, 2660, 2430, 2260, 2080~2070 Ma 등의 연령 역시 경기육괴 또는 영남육괴 기반암류에서 자주 보고되고 있는 연대들과 유사하다. 변성주변부에서는 고생대 후기의 변성작용(옥천조산운동)으로 해석될 수 있는 270 Ma 부근의 하부교점 연대를 구하였지만 이를 확인하기 위해서는 더 적절하고 충분한 자료가 요구된다. 이 연구의 연대측정 결과는 편마암 복합체위에 부정합으로 놓이는 방림층군의 시대는 고원생대 화성활동(약 1960 Ma)과 변성작용(약 1860 Ma) 이후임을 지시하고 있다.

**핵심어:** SHRIMP U-Pb 연령, 저어콘, 경기육괴, 박달령 편마암 복합체, 방림층군, 미그마타이트질 편마암, 화강암질 편마암

**Abstract:** Precambrian gneiss complex in the Pyeongchang-Wonju area, which lies west of the Paleozoic sedimentary basin of the Yeongwol-Taebaek area, is being considered as a part of the Gyeonggi massif, but its ages of formation and metamorphic events are not well defined yet. In this study, SHRIMP zircon U-Pb ages were determined from the gneiss complex in the area. We obtained the discrete ages of magmatic (ca. 1960 Ma) and metamorphic (ca. 1860 Ma) events through the interpretation of the SHRIMP data based on the internal structures of zircons. These are almost the same to the ages of main intrusion and metamorphism reported from the Precambrian basements of Gyeonggi, Yeongnam and Nangnim massifs of the Korean Peninsula. Ages of 3200~3300 Ma, 2900 Ma, 2660 Ma, 2430 Ma, 2260 Ma, and 2080~2070 Ma obtained from inherited cores of studied zircons are also very similar to the frequently reported ages from the basement rocks of the Gyeonggi and Yeongnam massifs. Lower intercept age of about 270 Ma calculated from the rim data seems to indicate that the study area suffered from a late Paleozoic metamorphism (Okcheon Orogeny), but we need more reasonable and sufficient data to confirm it. According to the results of this study, it is suggested that the Bangnim group unconformably overlying the gneiss complex was deposited after the Paleoproterozoic granitic magmatism (ca. 1960 Ma) and metamorphism (ca. 1860 Ma).

**Key words:** SHRIMP U-Pb age, zircon, Gyeonggi Massif, Bakdallyeong Gneiss Complex, Bangnim Group, Migmatitic Gneiss, Granite Gneiss

\*Corresponding author

Tel: 051-629-6627

E-mail: yssong@pknu.ac.kr

## 서 론

평창-원주 일대에는 경기육괴의 연장부로 알려진 기반암 편마암 복합체가 북북동 내지 북동 주향의 단층들(예, 방림단층)을 따라 그 동부의 영남육괴에 속하는 고생대 퇴적암층 위로 트러스트하고 있다. 따라서 이 지역은 경기육괴와 영남육괴가 직접 접촉하는 그 지구조적 의미가 매우 큰 지역이다. 편마암 복합체와 방림단층 사이인 단층의 서쪽 경계부를 따라서는 좁은 폭으로 변성퇴적암층이 발달되어 있는데, 그 암상의 변화와 층서, 지질시대 및 편마암류와의 관계는 오랫동안 많은 연구들(예, Kobayashi, 1953; 손치무와 정지곤, 1971; 김정환 외, 1999; 김유홍 외, 2010)이 수행되어온 흥미 있는 주제이다. 변성퇴적암층 중 최하부의 방림층군에 대해 선크브리아기 암층(손치무와 정지곤, 1971; 정창희 외, 1979; Lee, et al., 1990; 김정환 외, 1999 등) 또는 고생대 캄브리아기 지층(Kobayashi, 1953; 원종관 외, 1974; 김유홍 외, 2010)으로 보는 두 가지 견해가 대립되고 있다.

또한, 영남육괴 태백산 분지의 퇴적암층이 경기육괴 기반암과 바로 접촉하고 있어 그 지질학적 관계 역시 중요한 연구과제이다. Cho et al. (2000)은 이 경계 단층을 옥천분지와 태백산분지의 경계로 간주한 청산전단대와 연결하여 SKTL (South Korea Tectonic Line)을 설정하고 이를 남중국지괴인 경기지괴와 북중국지괴에 대비되는 영남육괴의 경계로 제안하였다. 이에 대해 김유홍 외(2010)는 방림단층은 단지 옥천분지 내에 발달된 여러 단층들 중의 하나와 유사한 성격의 트러스트 단층일 뿐 두 지괴 사이의 구조적 경계로 볼 수 없다고 주장하였다.

평창-원주 지역 편마암 복합체 중 상당한 부분이 화강편마암류인데 이들의 연대에 대해서도 일부(예, Lee, et al., 1990)는 선크브리아기로 일부는 고생대 이후(예, 원종관 외, 1974)로 보고 있어 해결해야 할 과제이다. 평창지역의 편마암류에 대해 주승환과 지세정(1989)은  $1735 \pm 37$  Ma의 전암 Rb/Sr 동위원소 연대를, 김정환 외(1997)는 납동위원소 분석으로  $1554 \pm 117$  Ma의 모두 선크브리아 연대를 보고하였으나 모두 측정연대의 오차가 크고 분산이 심하여 신뢰할 만한 연대는 아니었다. Sagong and Kwon(1998)은 옥천변성대 내의 부산편마암 복합체와 인접한 박달령 편마암 복합체 편마암류들에 대한 납동위원소 연대측정으로  $1939 \pm 56$  Ma의 연대를 얻었으며, 동위

원소적으로 두 암체는 동일한 기원을 가지는 경기육괴의 연장부이며 원래는 한 암체였을 것으로 해석하였다. Horie et al.(2009)는 부산편마암 복합체 중 미그마타이트질 편마암에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정으로 거의 동일한  $1937 \pm 6$  Ma의 연대를 구하였는데 이를 부분용융을 수반한 변성작용의 시기로 해석하였다.

편마암류와 방림층군과의 관계도 연구자들에 따라 부정함으로(Lee, et al., 1990, 김유홍 외, 2010 등), 방림층군을 편마암류의 기원암으로(손치무와 정지곤, 1971; 정창희 외, 1979; 김정환 외, 1997, 1999 등), 또 일부 화강편마암은 관입으로(이대성 외, 1985; Lee, et al., 1990 등) 보기도 하여 그 관계가 확실하게 밝혀져 있지 않다. 이 연구에서는 기반암 편마암 복합체에 대해 SHRIMP를 이용한 저어콘의 U-Pb 연대측정을 수행하여 편마암 복합체의 생성 및 화강편마암의 관입시기를 밝히고, 편마암 복합체와 방림층군 변성퇴적암층과의 관계와 그 시대에 대해 토의하고자 한다.

## 지질개요

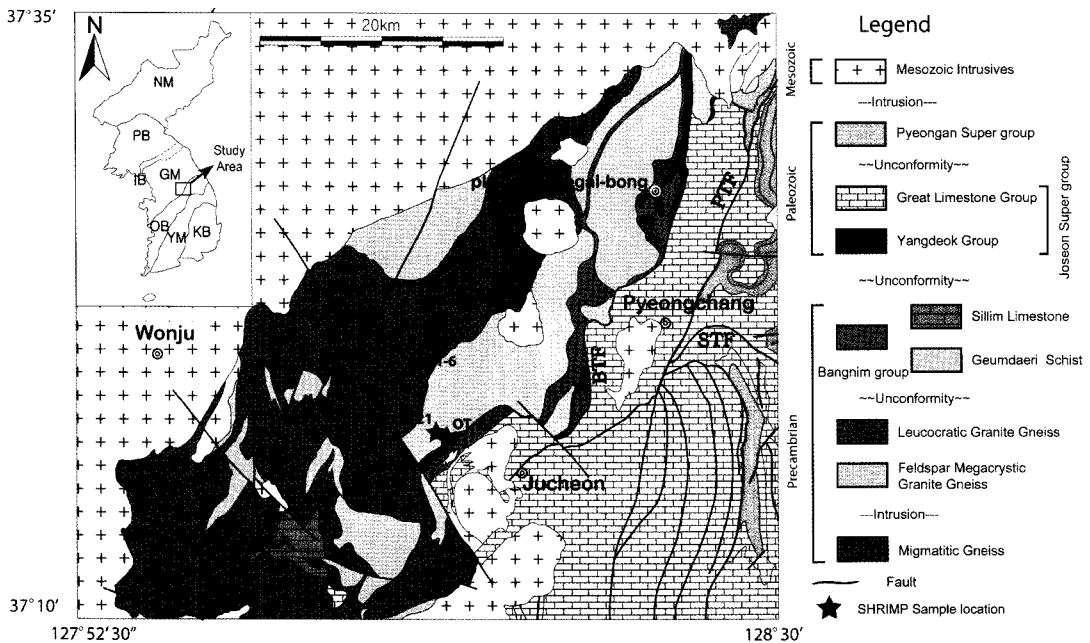
연구지역인 평창-원주 지역은 중앙부에 기반암 편마암 복합체가 북동-남서 방향으로 렌즈상으로 분포하며 동 내지 남동부는 주로 고생대 퇴적암층이, 북서부는 한반도를 북동-남서 방향으로 가로지르는 쥘라기 대보 화강암류가 편마암 복합체와 고생대 퇴적암층들을 관입하여 넓게 분포하고 있다. 편마암 복합체는 북북동 내지 북동 주향의 방림트러스트 단층에 의해 동쪽의 고생대 퇴적암층과 경계를 이루고 있다(정창희 외, 1979; 김정환 외 1999). 방림트러스트 동쪽의 퇴적암층 지역에는 방림트러스트와 거의 평행하게 발달된 평창단층과 동서주향의 상리트러스트 등 많은 트러스트 단층들이 발달되었고, 북서주향의 후기 단층들이 이들을 모두 절단하고 있다.

기반암 편마암 복합체는 제천도폭(김기완 외, 1969)의 박달령 변성암의 연장으로 기 발간 지질도폭들(원종관 외, 1974; 정창희 외, 1979; 지정만 외, 1989)에서 흑운모 편마암 또는 화강암질 편마암으로 표시되어 있는 호상편마암, 미그마타이트질 편마암, 화강암질 편마암 등으로 구성된 편마암 복합체이다. 원종관 외(1974)는 방림단층 주변의 변성퇴적암층과의 경계부와 신림면 일대에 분포된 일부 편마암류를 고생대

퇴적암층을 관입한 시대미상의 관입암체로 보고, 조직과 광물조성에 따라 반상변정질 편마암과 복운모 화강편마암으로 따로 구분하였다. Lee *et al.*(1990)은 편마암 복합체의 주 구성 암종은 부분적으로 미그마타이트질 내지 대상조직을 보이지만 특징적으로 괴상 조직을 보이는 것으로 기재하고 이들을 통합하여 미그마타이트질 편마암(migmatitic gneiss)으로 분류하였고, 평창-영월도곡 지역의 화강암질 편마암 중 일부와 안흥지역 편마암류의 일부를 반상변정질 편마암에 포함시켰다. 또한, 원종관 외(1974)의 복운모 화강편마암은 페그마타이트질-우백질 편마암으로 개칭하고 안흥과 평창-영월도곡 지역까지 연장하여 이들을 구분하여 표시하였다. Lee *et al.*(1990)은 반상변정질 편마암과 페그마타이트질-우백질 편마암을 선캄브리아기 편마암류로 간주하였다. 그러나 페그마타이트질-우백질 편마암이 다른 편마암체 내에도 부분적으로 관입하고 있지만 주로 반상변정질 편마암과 변성퇴적암층 사이에 관입한 것으로 기재하였다. 이번 연구에서 안흥지역을 횡단하여 조사한 결과 이 지역 편마암류는 부분적으로는 호상구조들이 잘 발달되어 있지만 대부분의 노두에서 미그마타이트화 작용 및 괴상의

화강암질암의 주입에 의해 호상구조들이 심하게 교란되고 단절되는 특성을 보이며, 때로는 화강암질 편마암의 구조가 우세하게 산출되었다. 가장 우세한 조직적 특징에 의해 Lee *et al.*(1990)의 분류를 따라 미그마타이트질 편마암으로 표시하였다. 반상변정질 편마암은 선캄브리아기에 관입한 정편마암류로 보고 성인 보다는 조직적 특징에 의해 장석 거정질 화강편마암으로, 페그마타이트질-우백질 편마암은 우백질 화강편마암으로 표시하였다(Fig. 1).

Lee *et al.*(1990)에 의하면 미그마타이트질 편마암의 주구성 광물은 석영, K-장석, 사장석, 흑운모, 백운모이며 섬유상 규선석, 석류석, 녹니석 등이 소량으로 수반된다. 녹니석은 갈색 흑운모와 석류석의 후퇴변성 광물로 산출되며, 반자형질-화강암질 조직을 이루고 있다. 장석 거정질 화강편마암은 석영, K-장석, 사장석, 흑운모와 백운모로 주로 구성되어 있으며, 수 cm 크기의 장석 거정들이 발달되었고 때로는 석영집합체가 거정질로 산출된다. 엽리구조가 비교적 잘 발달되어 있고 거정들은 대체로 엽리에 평행하게 배열되어 있고 국부적으로 안구상을 이루고 있다. 주로 규모가 큰 단층대 부근에서 압쇄암화된 특징을 보인



**Fig. 1.** Geological map of the Pyeongchang-Wonju area, Gyeonggi massif, Korea modified after Lee *et al.*(1990) and Kim *et al.*(2001). The inset shows major tectonic divisions of the Korean Peninsula. BTF: Bangnim thrust fault, DF: Danggol fault, GB: Gyeongsang basin, GM: Gyeonggi massif, IB: Imjingang belt, NM: Nangnim massif, OB: Okcheon belt, PB: Pyeongnam Basin, PTF: Pyeongchang thrust fault, STF: Sangni thrust fault, TB: Taebaeksan basin, YM: Yeongnam massif.

다. 페그마타이트질-우백질 화강편마암은 엽리가 미약하게 발달되었고, 조립질의 K-장석, 사장석, 석영, 흑운모, 백운모가 주 구성 광물이고 반자형질-화강암질 조직을 보이는 것이 특징이다. 또한, Lee *et al.*(1990)에 의하면 이 지역 편마암 복합체는 변성퇴적암류가 퇴적되기 전에 엠피볼라이트상의 광역변성작용을 받았으며 그 변성조건은 4~5 kb, 650~700°C 정도였고, 변성퇴적암류의 퇴적 이후에 녹색-엠피볼라이트 내지 녹색편암상의 2차례의 후퇴변성을 겪었다.

변성퇴적암층은 편마암류에 비해 비교적 변성도가 낮은 편암 내지 천매암질 암으로 주로 구성되어 있다. 당골단층 남서쪽의 편마암류 내에 곳곳에 협재되어 분포된 저변성도의 변성퇴적암층은 금대리편암층과 신림석회암층으로 분류되었고(원종관 외, 1974; 지정만 외, 1989), 북동쪽의 방림단층을 따라 분포된 것들은 Husakawa(1943)와 Kobayashi(1953)에 의해 고생대의 묘봉층에 대비되는 '송봉편암'으로 명명되었으나 손치무와 정지곤(1971)은 송봉편암층을 선캠브리아기로 보고 방림층군으로 개칭하였다. 그 상부에 놓이는 것으로 본 규암층(행화동규암층)과 상부 편암층(방학동편암층)을 묶어 안미리층군으로 명명하고 고생대의 장산규암과 묘봉층에 대비시켰다. 방림층군이 선캠브리아 지층인지 고생대 층인지에 대해서는 논란이 있지만 여기서는 손치무와 정지곤(1971)의 안미리층군만 고생대 조선누층군의 하부 양덕층군으로 표시하고 방림층군은 구별하여 표시하였다. 금대리편암층과 신림석회암층도 방림층군과의 관계가 분명하게 밝혀져 있지 않기 때문에 따로 표시하였다.

방림트러스트 동쪽에는 고생대 초기 조선누층군과 고생대 말기~중생대 초기 지층인 평안누층군의 퇴적암들이 분포하고 있다. 방림트러스트와 그 동쪽의 평창트러스트 사이에는 평창층군(평창형) 조선누층군 퇴적암들이 주로 분포하고, 평안누층군의 퇴적암들은 주로 평창트러스트 동쪽지역 중 북부지역에 분포한다.

평창층군과 평안누층군의 남쪽에선 영월층군(영월형) 조선누층군의 퇴적암들이 상리 트러스트 단층을 비롯하여 여러 조로 발달한 트러스트 단층들을 따라 이 층들 위로 북동 내지 동쪽 방향으로 오버트러스트하여 있다.

연구지역의 북서부에는 주라기 대보 화강암류가 광범위하게 관입하여 저반을 이루고 있으며, 편마암 복합체와 고생대 퇴적암층 내에는 소규모 암주상의 중생대 심성암체들이 곳곳에 관입하여 있다.

## 시료기재

편마암류에서 5 개의 시료를 선택하여 이들로부터 분리한 저어콘에 대해 SHRIMP 연대측정을 수행하였다. 미그마타이트질 편마암체에서 고변성 편마암류 내에 화강편마암이 관입되어 서로 밀접하게 수반되는 한 노두(OT-6)에서 조직과 광물조성이 다른 3 개의 시료(OT-6-1, OT-6-2 및 OT-6-3)를 채취하였고, 방림층군 변성퇴적암층에 인접한 부분의 장석 거정질 화강편마암(OT-22)과 우백질 화강편마암(OT-21)에서 각각 1 개씩의 시료를 채취하였다(Fig. 1). OT-6 노두는 도로공사로 절단된 단면을 따라 100여 m 정도 연속적으로 노출된 노두인데 중앙부는 화강편마암이고 양쪽 끝으로 가면서 미그마타이트질 편마암과 화강편마암 부분이 혼재되는 특징을 보인다(Fig. 2). 중앙부의 화강편마암은 엽리가 덜 규칙적이며 우백질이고 입도가 균질하지 않다. 유색광물을 거의 포함하지 않은 우백질 페그마타이트질 부분이 포켓형으로 발달되기도 한다. 부분적으로 크고 작은 편마암 잔류물 혹은 포획암을 포함하고 있지만 그 양은 매우 적다. 편마암과의 접촉부에선 편마암질 잔류체의 양도 증가하고 흑운모가 주성분인 유색광물의 함량도 높은 경향을 보이며 엽리도 더 뚜렷하다. 미그마타이트질 편마암과 화강편마암의 접촉부에선 화강편마암이 미그마타이트질 편마암층 사이에 주입되어 혼화되는 특성을 보인다.



Fig. 2. Photographs of OT-6 outcrop. See the text for details.

OT-6-1의 3 개의 시료 중 OT-6-1은 호상구조의 미그마타이트질 흑운모 편마암으로 중~조립질이고, 잘 발달된 엽리를 이루며 평행배열된 흑운모와 석영, 사장석, 미사장석으로 주로 구성되어 있다. 소량으로 산출되는 백운모들은 대체로 세립질이고 엽리에 큰 각으로 흑운모들을 절단하며 발달된 후퇴변성 내지 후기 변성광물로 산출된다. 엽리와 평행하게 수 mm 두께의 우백층이 중간중간에 불연속적으로 발달되어 있다. 부분에 따라 석류석이나 섬유상 규선석이 산출된다. OT-6-2는 편마구조가 잘 발달된 흑운모 편마암으로 석영과 사장석, 미사장석이 주성분 광물이다. 흑운모의 함량도 꽤 높지만 평행배열된 흑운모들이 연속적인 엽리층을 이루지 못하고 렌즈상으로 짧게 단속적으로 발달된 엽리를 이루고 있다. 섬유상 규선석들도 집합체를 이루거나 흑운모와 함께 집합체를 이루어 산출되는데 이들 렌즈상의 흑운모와 규선석 집합체들은 부분용융이나 동화작용 동안 화강암 용액 내에 포함된 변성잔류물로 보인다. 가끔 반자형의 사장석이나 미사장석이 비교적 큰 결정을 이루고 세립질인 기질부의 석영과 장석들은 다각상의 입상변정질 조직을 보이지만, 부분적으로 석영들은 약간의 불합상 경계를 이루기도 한다. OT-6-3은 우백질이고 입도가 불균질하고 편마구조가 덜 규칙적인 우백질의 화강암질 편마암 부분이다. 육안으로 구별되는 거정들은 산출되지 않지만 현미경하에서 반자형의 사장석과 타형의 미사장석이 반상변정으로 산출되고, 기질부의 세립질 석영들은 역시 다각상의 입상변정질 조직을 이루고 있는데 그 특성이 OT-6-2 보다 더 뚜렷하다.

OT-21은 흑운모 등 유색광물의 함량이 적어 보다 밝은 색을 띠며 엽리가 잘 발달되었고, 엽리와 평행하게 페그마타이트 층이 주입되어 있는 우백질 화강편마암 시료이다. 다각상이고 부분적으로 약간 불규칙한 경계를 가지며 군집을 이룬 세립질의 석영집합체들이 렌즈상 또는 층상으로 흑운모, 백운모와 함께 평행배열되어 엽리를 발달시키고 있다. 보통 장석들의 크기가 석영보다 커서 현미경하에서 미사장석들이 흔히 미반상변정을 이루고 있어 OT-6-3과 조직이 매우 유사하다. 사장석들은 부분적으로 안구상을 이루기도 한다. 세립의 석류석이 미량으로 포함되며 백운모들은 대부분 2mm 내외의 큰 결정으로 엽리를 따라 배열되어 있다. OT-22는 자형의 장석 거정이 발달되고 편마구조가 잘 발달된 장석 거정질 화강편마암 시료이다. 우백질 화강편마암에 비해 흑운모와 사

장석의 함량이 높고 자형의 사장석들이 2~3 cm 크기의 반상변정으로 산출되는 특징에서 우백질 화강편마암(OT-21)과 차이가 있지만 현미경적 조직은 매우 유사하다.

## 분석방법

연대측정에 사용된 저어콘의 분리 과정은 다음과 같다. 암석시료를 조분쇄기(Jaw crusher)로 분쇄 후, 표준 망체를 이용하여 #180-#230에 해당하는 부분을 회수하였다. 회수된 시료는 비커를 이용해 팬닝(panning)하여 중광물을 분리한 후 실체 현미경하에서 핀셋을 이용하여 비교적 깨끗한 저어콘을 선별하였고, 분리된 저어콘들은 표준물질과 함께 에폭시마운트를 제작하였다. 저어콘 마운트는 저어콘이 반쯤 드러날 때까지 갈아낸 후 다이아몬드 연마제로 광택연마를 하였으며, 분석을 위해 금으로 코팅하였다.

분리된 저어콘 중 OT-6-1, OT-6-2, OT-6-3의 것들은 모두 투명하고 열은 갈보라색을 띤다. OT-6-3의 저어콘은 거의 대부분 주상의 자형 결정을 이루고 있는데 반해, OT-6-1과 OT-6-2의 경우는 자형의 주상 결정 외에 둥글거나 짧고 뚱뚱한 결정들이 섞여 있다. 둥글거나 짧고 뚱뚱한 결정들의 함량은 OT-6-2에서 가장 높다. 장석 거정질 화강편마암(OT-22)과 우백질 화강편마암(OT-21)의 저어콘들은 모두 자형의 주상 결정인데 메타믹트 작용(metamictization)을 받아 우유빛의 반투명화 되어 있고 일부는 검게 불투명화 되었다.

한국기초과학지원연구원의 주사전자현미경(JEOL JSM-6610LV 모델)을 이용 음극선발광영상(CL; Cathodoluminescence image)과 후방산란전자영상(BSE; Backscattered Electron image)을 얻어 저어콘 내부구조를 관찰하고 분석 위치를 선정하였다. 연대측정은 한국기초과학지원연구원의 고감도 고분해능 이온미이크로프로브(SHRIMP IIe)를 이용하여 저어콘의 U-Pb 연대측정을 하였다. 이온빔의 직경은 25  $\mu\text{m}$ 이며, 분석 방법과 절차는 Williams(1998)과 Ireland and Williams(2003)의 방법을 따랐다. 분석에 사용한 저어콘 표준물질은 FC-1( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}=0.1859$ ; Paces and Miller, 1993)과 SL13( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}=0.0928$  및 U 농도 238 ppm; Claué-Long *et al.*, 1995)이며, 측정된 분석자료는 SQUID 2.0(Ludwig, 2008)과 Isoplot/Ex 3.0(Ludwig, 2003) 프로그램을 이용하여 처리하였다.

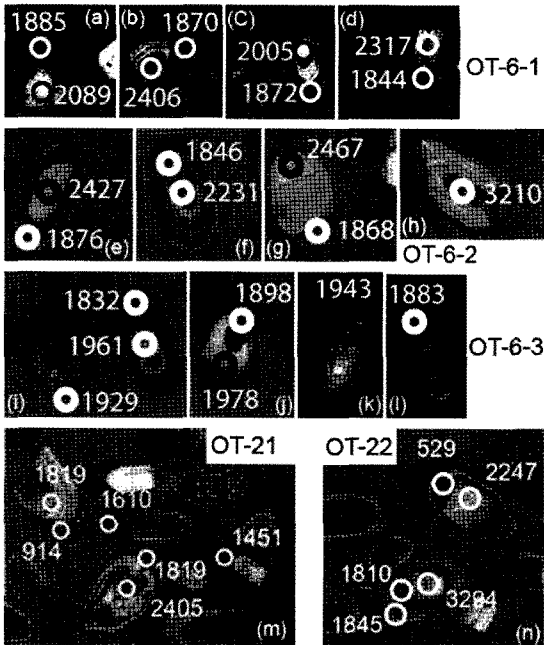


Fig. 3. Representative CL images of the analysed zircons with the spot U-Pb ages.

## 분석결과

음극선발광영상(CL image)에서 시료 OT-6-1에서 분리된 저어콘들은 가운데에 뚜렷하고 규칙적인 동심원상의 성장누대구조가 발달된 밝은 상속핵을 가지고 있으며, 주변부는 상대적으로 어둡고 누대구조가 미약한 특성을 보이는데 상속핵들은 주변부에 의해 절단되어 있다(Fig. 3 a-d). 15 개 입자의 상속핵과 주변부에서 20 점을 분석하였는데 대부분 약간의 불일치 연령을 보인다. 상속핵들은 Th/U 비가 0.3보다 높고 2000 Ma 보다 오래된 연대들을 보이는데 반해, 주변부는 그 비가 0.15 보다 낮고 대략 1850~1900 Ma 정도의 연대를 보인다(Table 1 & Fig. 4a). 상속핵에 대해서는 분석치들이 분산되고 분석자료도 충분치 못하여 의미있는 연대를 얻지는 못하였으나 대략 2400~2500 Ma와 2080 Ma 부근의 연대를 보인다. 주변부의 분석치들 중 불일치도(discordancy)가 10% 이내인 7 점에서 구해진  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  가중평균연령(weighted mean age)은  $1864 \pm 13$  Ma(Fig. 4a inset)이다.

OT-6-2의 저어콘들은 OT-6-1의 저어콘들과 대체로 유사한 내부구조 특성을 보인다(Fig. 3e-h). 19 개 입자에서 24 점을 분석하였는데 상속핵들은 역시 거의

대부분 Th/U 비가 0.4보다 높고 2100 Ma 보다 오래된 연대를 보이며 한 두 점이지만 3200~3300 Ma의 연대도 보인다(Table 1 & Fig. 4b). 상속핵 중 4 점의 분석치로부터  $2433 \pm 22$  Ma의  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  일치곡선(concordia)연령이 얻어진다(Fig. 4b inset a). Th/U 비가 0.1 이하이고 불일치도가 15% 이내인 10 점의 주변부 분석치로부터 구해진  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  가중평균연령은  $1867 \pm 13$  Ma (Fig. 4b inset b)로 OT-6-1에서 얻어진 값과 매우 유사하고 오차범위에서 일치한다. 일반적으로 변성작용 시 결정(재결정) 또는 덧성장한 저어콘들은 Th/U 비가 0.1 이하로 낮다(Hoskin and Black, 2000; Rubatto, 2002; Hoskin and Schaltegger, 2003). OT-6-1과 OT-6-2의 저어콘 주변부는 Th/U 비와 음극선발광영상에서의 특징으로 볼 때 변성 저어콘으로 해석되며, 따라서 이들로부터 측정된 1864~1867 Ma의 연대는 부분용융을 수반한 고원생대의 고도 변성작용의 시기를 나타낸다.

OT-6-3의 저어콘들은 대부분 동심원상 성장누대구조를 보이는 자형 결정으로, 상속핵은 작고 뚜렷하지 않으며 얇은 주변부가 발달된 내부구조 특성을 보인다(Fig. 3 i-l). 24 개 입자에서 27 점을 분석하였는데(Table 1) 주로 누대구조를 보이는 부분과 주변부를 분석하였다. 누대구조를 보이는 부분은 대부분 Th/U 비가 높고 불일치도가 낮으며,  $^{204}\text{Pb}$ 에 대해 보정한  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  연대로 1924~1990 Ma의 겹보기 연대를 보인다. 그러나 주변부들은 Th/U 비가 0.1보다 낮고 불일치도도 높으며 1664~1898 Ma의 연대를 보인다. 일치곡선 다이어그램에서 이들은 모두 하나의 불일치선을 이루는데 불일치선의 상부와 하부 교점은 각각  $1962 \pm 19$  및  $354 \pm 95$  Ma이다(Fig. 4c). 성장누대구조 부분에서 분석된, Th/U 비가 0.1보다 높고 불일치도가 13% 이내인 18 점의 분석치로부터 구해진  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  가중평균연령은  $1958 \pm 14$  Ma(Fig. 4c)이다. 이 중 3 점에 대해서는  $1988 \pm 12$  Ma의 일치곡선연령이 구해지지만(Fig 4c inset) 분석 자료의 수가 너무 적어 가중평균연령인 1958 Ma가 보다 의미 있는 연대일 것이다. 이 연대는 저어콘의 형태와 성장누대구조의 특성, Th/U 비로 볼 때 화성활동의 시기를 나타낸다. 주변부에서 측정된 겹보기 연령들은 OT-6-1과 OT-6-2에서 구해진 1864~1867 Ma의 변성연대와 유사해 보이지만, 일치곡선 다이어그램에서 보면 고원생대의 변성작용 보다는 하부교점 연대인 약 3억년 부근의 Pb 손실 사건의 영향을 받은 것으로 해석된다.

Table 1. SHRIMP U-Pb zircon data of the Pyeongchang-Wonju area, Korea

Spot	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> (%)	U (ppm)	Th (ppm)	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U Age	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Age	Discordant <sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb* (%)	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U ±%	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	±%	err corr
<b>OT-6-1</b>											
OT6-1_1.1	0.05	421	143	0.35	2302 ± 31	2425 ± 6	+6	0.1571	0.4292	1.60	0.98
OT6-1_1.2	0.05	997	146	0.15	1726 ± 27	1852 ± 6	+8	0.1132	0.3069	1.78	0.98
OT6-1_2.1	0.05	362	218	0.62	2136 ± 29	2316 ± 7	+9	0.1474	0.3928	1.62	0.97
OT6-1_2.2	0.04	764	19	0.03	1513 ± 23	1849 ± 7	+20	0.1131	0.2645	1.68	0.98
OT6-1_3.1	0.16	208	52	0.26	1955 ± 29	2016 ± 12	+3	0.1241	0.3544	1.70	0.93
OT6-1_3.2	0.04	194	0	0.14	1698 ± 27	1873 ± 8	+11	0.1146	0.3015	1.81	0.97
OT6-1_4.1	0.01	303	164	0.56	2332 ± 42	2385 ± 14	+3	0.1535	0.4359	2.14	0.93
OT6-1_4.2	0.04	660	5	0.01	1698 ± 23	1876 ± 7	+11	0.1147	0.3013	1.57	0.97
OT6-1_5.1	0.03	1165	166	0.15	1680 ± 23	1862 ± 14	+11	0.1139	0.2977	1.55	0.89
OT6-1_6.1	0.20	180	87	0.50	2065 ± 30	2088 ± 13	+1	0.1293	0.3775	1.72	0.92
OT6-1_7.1	0.00	758	4	0.01	1777 ± 24	1884 ± 7	+7	0.1153	0.3174	1.57	0.97
OT6-1_7.2	0.03	427	374	0.90	2266 ± 31	2356 ± 7	+5	0.1509	0.4212	1.64	0.97
OT6-1_8.1	0.08	299	126	0.43	2293 ± 32	2416 ± 9	+6	0.1563	0.4273	1.64	0.95
OT6-1_9.1	0.02	859	15	0.02	1697 ± 23	1856 ± 7	+10	0.1135	0.3012	1.56	0.97
OT6-1_10.1	0.07	356	104	0.30	1865 ± 31	2191 ± 18	+17	0.1371	0.3355	1.91	0.88
OT6-1_11.1	0.02	748	286	0.40	2407 ± 34	2479 ± 5	+3	0.1622	0.4527	1.68	0.99
OT6-1_12.1	0.03	5572	300	0.06	580 ± 8	1385 ± 5	+61	0.0881	0.0941	1.52	0.98
OT6-1_13.1	0.03	852	11	0.01	1796 ± 25	1910 ± 13	+7	0.1169	0.3212	1.58	0.91
OT6-1_14.1	0.05	5302	270	0.05	490 ± 8	1349 ± 6	+66	0.0865	0.0789	1.61	0.98
OT6-1_15.1	0.37	64	93	1.51	2574 ± 43	2469 ± 17	-5	0.1612	0.4909	2.03	0.90
<b>OT-6-2</b>											
OT6-2_1.1	0.02	914	5	0.01	1792 ± 24	1875 ± 6	+5	0.1147	0.3205	1.56	0.98
OT6-2_1.2	0.30	213	101	0.49	2389 ± 34	2446 ± 10	+3	0.1590	0.4487	1.68	0.95
OT6-2_2.1	0.06	624	5	0.01	1634 ± 23	1879 ± 8	+15	0.1149	0.2885	1.58	0.96
OT6-2_3.1	0.04	846	76	0.09	1666 ± 25	1911 ± 7	+15	0.1170	0.2949	1.73	0.98
OT6-2_4.1	0.06	588	28	0.05	1664 ± 26	1828 ± 8	+10	0.1117	0.2946	1.76	0.97
OT6-2_5.1	0.04	579	6	0.01	1733 ± 24	1882 ± 8	+9	0.1151	0.3084	1.59	0.96
OT6-2_6.1	0.04	666	11	0.02	1719 ± 24	1884 ± 20	+10	0.1153	0.3055	1.58	0.82
OT6-2_7.1	0.07	577	18	0.03	1637 ± 23	1865 ± 27	+14	0.1140	0.2891	1.61	0.73
OT6-2_8.1	0.16	185	71	0.40	2338 ± 34	2450 ± 10	+5	0.1595	0.4372	1.73	0.94
OT6-2_8.2	0.02	870	9	0.01	1707 ± 27	1873 ± 7	+10	0.1146	0.3032	1.83	0.98
OT6-2_9.1	0.01	769	86	0.12	1663 ± 29	1849 ± 18	+11	0.1130	0.2943	1.96	0.89

Table 1. Continued

Spot	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> (%)	U (ppm)	Th (ppm)	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U Age	<sup>207</sup> Pb/ <sup>210</sup> Pb Age	Discordant (%)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb* ±%	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U ±%	err. corr	
OT6-2_10.1	0.09	264	437	1.71	2312 ± 42	2354 ± 45	+2	0.1507	0.4314	2.17	0.64
OT6-2_11.1	--	1771	481	0.28	1881 ± 25	2237 ± 4	+18	0.1408	0.3387	1.55	0.99
OT6-2_12.1	0.05	603	28	0.05	1702 ± 24	1849 ± 13	+9	0.1131	0.3022	1.57	0.91
OT6-2_13.1	0.05	4011	198	0.05	689 ± 10	1532 ± 11	+58	0.0952	0.1129	1.58	0.93
OT6-2_13.2	0.13	99	58	0.60	2443 ± 38	2379 ± 20	-3	0.1530	0.4608	1.86	0.84
OT6-2_14.1	0.06	240	193	0.83	3019 ± 40	3202 ± 12	+7	0.2527	0.5974	1.66	0.92
OT6-2_14.2	0.03	242	159	0.68	3091 ± 52	3323 ± 47	+9	0.2730	0.6152	2.14	0.58
OT6-2_15.1	0.02	933	63	0.07	1614 ± 22	1792 ± 27	+11	0.1096	0.2845	1.57	0.72
OT6-2_15.2	0.06	1022	102	0.10	2034 ± 27	2253 ± 10	+11	0.1421	0.3710	1.55	0.94
OT6-2_16.1	0.03	633	7	0.01	1723 ± 28	1849 ± 22	+8	0.1130	0.3065	1.86	0.84
OT6-2_17.1	0.13	126	75	0.62	2438 ± 37	2432 ± 37	-0	0.1578	0.4598	1.80	0.64
OT6-2_18.1	0.03	240	156	0.67	2113 ± 30	2144 ± 10	+2	0.1335	0.3879	1.66	0.94
OT6-2_19.1	0.02	873	382	0.45	2413 ± 36	2457 ± 4	+2	0.1601	0.4540	1.78	0.99
<b>OT-6-3</b>											
OT6-3-1.1	0.06	482	173	0.37	1793 ± 28	1932 ± 15	+8	0.1184	0.3208	1.81	0.91
OT6-3-2.1	0.02	287	90	0.32	1824 ± 26	1936 ± 10	+7	0.1186	0.3271	1.64	0.94
OT6-3-3.1	0.09	303	101	0.35	1834 ± 27	1912 ± 10	+5	0.1171	0.3292	1.67	0.94
OT6-3-4.1	0.03	1109	31	0.03	1580 ± 22	1838 ± 11	+16	0.1123	0.2777	1.56	0.93
OT6-3-5.1	0.05	622	231	0.38	1951 ± 27	1980 ± 7	+2	0.1216	0.3535	1.58	0.97
OT6-3-7.1	0.03	826	423	0.53	2004 ± 30	1978 ± 6	-2	0.1215	0.3645	1.72	0.98
OT6-3-8.1	0.02	1115	272	0.25	1746 ± 24	1925 ± 5	+11	0.1179	0.3111	1.56	0.98
OT6-3-9.1	0.06	379	132	0.36	1835 ± 26	1963 ± 9	+7	0.1204	0.3292	1.61	0.95
OT6-3-9.2	--	1304	25	0.02	1424 ± 22	1824 ± 13	+24	0.1115	0.2472	1.75	0.93
OT6-3-10.1	0.02	774	194	0.26	1751 ± 24	1903 ± 11	+9	0.1165	0.3121	1.56	0.93
OT6-3-11.1	0.03	1503	61	0.04	1248 ± 17	1783 ± 7	+33	0.1090	0.2136	1.54	0.97
OT6-3-13.1	0.02	1660	8	0.01	1634 ± 23	1852 ± 8	+13	0.1132	0.2885	1.59	0.97
OT6-3-13.2	0.02	2618	36	0.01	788 ± 11	1669 ± 6	+56	0.1024	0.1301	1.53	0.98
OT6-3-14.1	0.04	583	307	0.54	1994 ± 27	1994 ± 7	+0	0.1226	0.3625	1.58	0.97
OT6-3-15.1	0.03	579	169	0.30	1852 ± 25	1915 ± 7	+4	0.1173	0.3329	1.58	0.97
OT6-3-16.1	0.04	524	161	0.32	1949 ± 27	1971 ± 7	+1	0.1210	0.3531	1.59	0.97
OT6-3-17.1	0.03	1021	113	0.11	1708 ± 23	1906 ± 6	+12	0.1167	0.3034	1.55	0.98
OT6-3-17.2	0.06	496	155	0.32	1864 ± 26	1968 ± 8	+6	0.1208	0.3353	1.59	0.96
OT6-3-18.1	0.01	716	336	0.48	1972 ± 29	1991 ± 6	+1	0.1224	0.3579	1.69	0.98



Table 1. Continued

Spot	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> (%)	U (ppm)	Th (ppm)	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U Age	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb Age	Discordant (%)	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb* ±%	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U ±%	err corr		
OT6-3-19.1	0.05	463	153	0.34	1881 ± 28	1944 ± 13	+4	0.1192	0.73	0.3389	1.75	0.92
OT6-3-20.1	0.06	463	144	0.32	1907 ± 26	1971 ± 8	+4	0.1210	0.44	0.3441	1.59	0.96
OT6-3-21.1	0.11	516	125	0.25	1725 ± 26	1933 ± 8	+12	0.1184	0.46	0.3068	1.74	0.97
OT6-3-22.1	0.03	423	195	0.48	1990 ± 27	1964 ± 8	-2	0.1205	0.45	0.3617	1.60	0.96
OT6-3-23.1	0.06	506	229	0.47	1841 ± 25	1959 ± 8	+7	0.1202	0.45	0.3306	1.59	0.96
OT6-3-24.1	0.05	1267	240	0.20	1152 ± 28	1878 ± 8	+42	0.1149	0.43	0.1957	2.68	0.99
<b>OT-21</b>												
OT_21-1.1	0.13	237	115	0.50	2543 ± 28	2667 ± 10	+6	0.1815	0.63	0.4836	1.35	0.91
OT_21-2.1	0.32	131	40	0.31	2187 ± 30	2264 ± 40	+4	0.1430	2.32	0.4039	1.60	0.57
OT_21-2.2	1.48	767	70	0.09	617 ± 7	1554 ± 39	+63	0.0963	2.06	0.1005	1.23	0.51
OT_21-3.1	0.17	588	19	0.03	1064 ± 11	1828 ± 15	+45	0.1117	0.83	0.1795	1.16	0.81
OT_21-4.1	0.53	746	138	0.19	552 ± 6	1455 ± 27	+65	0.0914	1.40	0.0893	1.13	0.63
OT_21-5.1	0.38	656	204	0.32	1291 ± 13	2154 ± 13	+44	0.1342	0.75	0.2216	1.15	0.84
OT_21-6.1	0.03	289	143	0.51	1990 ± 22	2451 ± 11	+22	0.1595	0.66	0.3616	1.30	0.89
OT_21-7.1	0.54	719	12	0.02	680 ± 7	1681 ± 23	+63	0.1031	1.22	0.1112	1.14	0.68
OT_21-8.1	0.90	944	63	0.07	527 ± 6	1451 ± 32	+66	0.0912	1.69	0.0851	1.11	0.55
OT_21-9.1	1.37	1705	27	0.02	604 ± 6	1610 ± 45	+65	0.0993	2.40	0.0982	1.12	0.42
OT_21-10.1	0.19	312	154	0.51	1591 ± 18	2405 ± 27	+38	0.1553	1.59	0.2799	1.27	0.62
OT_21-10.2	0.51	568	28	0.05	898 ± 10	1819 ± 23	+54	0.1112	1.26	0.1495	1.17	0.68
OT_21-11.1	0.21	343	67	0.20	1274 ± 15	1819 ± 18	+33	0.1112	1.00	0.2185	1.26	0.78
OT_21-11.2	6.64	1313	93	0.07	359 ± 4	914 ± 149	+62	0.0695	7.23	0.0572	1.16	0.16
OT_21-12.1	0.16	280	88	0.33	1540 ± 18	2554 ± 13	+44	0.1696	0.76	0.2699	1.28	0.86
OT_21-12.2	1.12	854	29	0.03	637 ± 7	1608 ± 28	+63	0.1696	0.76	0.1038	1.11	0.59
OT_21-13.1	0.37	171	121	0.73	1448 ± 19	3092 ± 14	+59	0.2359	0.91	0.2519	1.43	0.84
OT_21-13.2	0.37	676	73	0.11	650 ± 7	1586 ± 23	+62	0.0980	1.21	0.1060	1.12	0.68
OT_21-14.1	0.70	287	67	0.24	1613 ± 18	2287 ± 26	+33	0.1449	1.53	0.2842	1.28	0.64
OT_21-14.2	0.50	585	146	0.26	715 ± 8	1843 ± 21	+65	0.1126	1.15	0.1173	1.14	0.70
OT-21-15.1	0.88	34	41	1.25	2904 ± 58	2894 ± 27	-0	0.2085	1.64	0.5691	2.50	0.84
OT-21-16.1	1.30	662	7	0.01	565 ± 6	1526 ± 39	+66	0.0949	2.09	0.0917	1.13	0.48
OT-21-17.1	0.16	226	129	0.59	1830 ± 21	2441 ± 13	+29	0.1586	0.79	0.3282	1.32	0.86
OT-21-17.2	0.28	613	12	0.02	788 ± 8	1702 ± 19	+57	0.1043	1.01	0.1300	1.14	0.75
OT-21-18.1	0.31	209	66	0.33	1911 ± 22	2535 ± 27	+28	0.1677	1.63	0.3451	1.35	0.64
OT-21-18.2	0.67	625	18	0.03	1272 ± 13	1852 ± 16	+34	0.1132	0.91	0.2181	1.12	0.78

Table 1. Continued

Spot	$^{206}\text{Pb}_c$ (%)	U (ppm)	Th (ppm)	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ Age	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ Age	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Age	Discordant (%)	$^{207}\text{Pb}*/^{206}\text{Pb}*$ $\pm\%$	$^{206}\text{Pb}*/^{238}\text{U}$ $\pm\%$	err corr		
OT21-19.1	0.31	600	327	0.56	1027 $\pm$ 18	2186 $\pm$ 14	+57	0.1367	0.79	0.1727	1.92	0.92
OT21-19.2	0.41	921	32	0.04	544 $\pm$ 6	1391 $\pm$ 41	+63	0.0884	2.15	0.0880	1.15	0.47
OT21-20.1	0.54	1165	110	0.10	437 $\pm$ 8	1452 $\pm$ 25	+72	0.0913	1.34	0.0701	1.88	0.81
OT21-20.2	0.56	650	14	0.02	650 $\pm$ 7	1664 $\pm$ 26	+64	0.1022	1.38	0.1061	1.13	0.63
OT21-21.1	0.59	791	181	0.24	640 $\pm$ 7	1539 $\pm$ 25	+61	0.0955	1.32	0.1043	1.11	0.64
OT21-21.2	0.43	851	24	0.03	684 $\pm$ 7	1518 $\pm$ 21	+58	0.0945	1.10	0.1120	1.09	0.71
<b>OT22</b>												
OT22-1.1	0.42	164	79	0.49	2260 $\pm$ 27	2434 $\pm$ 15	+8	0.1580	0.88	0.4199	1.41	0.85
OT22-1.2	0.25	305	134	0.45	1833 $\pm$ 22	2162 $\pm$ 17	+17	0.1349	0.95	0.3290	1.39	0.83
OT22-2.1	0.12	445	25	0.06	1164 $\pm$ 12	1891 $\pm$ 14	+42	0.1157	0.79	0.1978	1.15	0.83
OT22-2.2	0.10	276	48	0.18	1694 $\pm$ 19	1905 $\pm$ 16	+13	0.1166	0.87	0.3005	1.28	0.83
OT22-3.1	0.07	304	115	0.39	1654 $\pm$ 18	2063 $\pm$ 13	+22	0.1275	0.74	0.2926	1.24	0.86
OT22-3.2	8.05	950	48	0.05	595 $\pm$ 9	1555 $\pm$ 205	+65	0.0964	10.94	0.0967	1.50	0.14
OT22-4.1	0.14	266	147	0.57	2443 $\pm$ 26	3295 $\pm$ 8	+31	0.2681	0.50	0.4607	1.27	0.93
OT22-4.2	0.14	688	12	0.02	740 $\pm$ 8	1810 $\pm$ 25	+62	0.1107	1.36	0.1217	1.12	0.64
OT22-4.3	0.20	407	39	0.10	1365 $\pm$ 15	1845 $\pm$ 16	+29	0.1128	0.91	0.2357	1.23	0.80
OT22-5.1	0.11	179	101	0.58	2311 $\pm$ 27	2430 $\pm$ 13	+6	0.1576	0.75	0.4311	1.38	0.88
OT22-5.2	0.46	642	25	0.04	749 $\pm$ 8	1691 $\pm$ 21	+59	0.1037	1.11	0.1232	1.13	0.71
OT22-6.1	0.13	83	47	0.58	3251 $\pm$ 45	3329 $\pm$ 11	+3	0.2741	0.73	0.6558	1.77	0.92
OT22-6.2	0.30	1358	81	0.06	661 $\pm$ 7	1619 $\pm$ 16	+62	0.0997	0.88	0.1079	1.08	0.78
OT22-7.1	0.17	296	44	0.15	1314 $\pm$ 15	1843 $\pm$ 17	+32	0.1096	0.95	0.2253	1.28	0.78
OT22-7.2	4.62	1360	45	0.03	446 $\pm$ 6	1229 $\pm$ 93	+66	0.0813	4.75	0.0716	1.30	0.26
OT22-8.1	0.19	624	444	0.74	982 $\pm$ 10	2077 $\pm$ 14	+57	0.1285	0.78	0.1645	1.13	0.82
OT22-8.2	0.95	1946	131	0.07	375 $\pm$ 5	1029 $\pm$ 43	+65	0.0735	2.14	0.0598	1.27	0.51
OT22-9.1	0.18	399	104	0.27	1418 $\pm$ 15	2049 $\pm$ 15	+34	0.1265	0.83	0.2460	1.22	0.83
OT22-9.2	1.00	1403	71	0.05	500 $\pm$ 6	1249 $\pm$ 39	+62	0.0821	1.99	0.0807	1.22	0.52
OT22-10.1	0.15	448	208	0.48	1432 $\pm$ 15	2089 $\pm$ 13	+35	0.1293	0.76	0.2488	1.18	0.84
OT22-10.2	1.24	1116	29	0.03	769 $\pm$ 9	1616 $\pm$ 29	+56	0.0996	1.57	0.1267	1.28	0.63
OT22-11.1	0.28	98	66	0.69	2013 $\pm$ 28	2074 $\pm$ 23	+3	0.1282	1.33	0.3666	1.64	0.78
OT22-12.1	0.15	458	8	0.02	1262 $\pm$ 13	1860 $\pm$ 14	+35	0.1137	0.80	0.2163	1.17	0.82
OT22-13.1	0.24	151	85	0.58	1685 $\pm$ 22	2108 $\pm$ 21	+23	0.1308	1.18	0.2988	1.48	0.78
OT22-13.2	0.38	865	15	0.02	566 $\pm$ 6	1511 $\pm$ 43	+65	0.0941	2.26	0.0918	1.19	0.47
OT22-14.1	0.27	103	16	0.16	1841 $\pm$ 26	1844 $\pm$ 27	+0	0.1127	1.47	0.3305	1.63	0.74
OT22-15.1	0.19	673	163	0.25	857 $\pm$ 9	1903 $\pm$ 15	+59	0.1165	0.82	0.1422	1.13	0.81

Errors are 1-sigma; Pb<sub>c</sub> and Pb\* indicate the common and radiogenic portions, respectively.\*: Common Pb corrected using measured  $^{204}\text{Pb}$ .

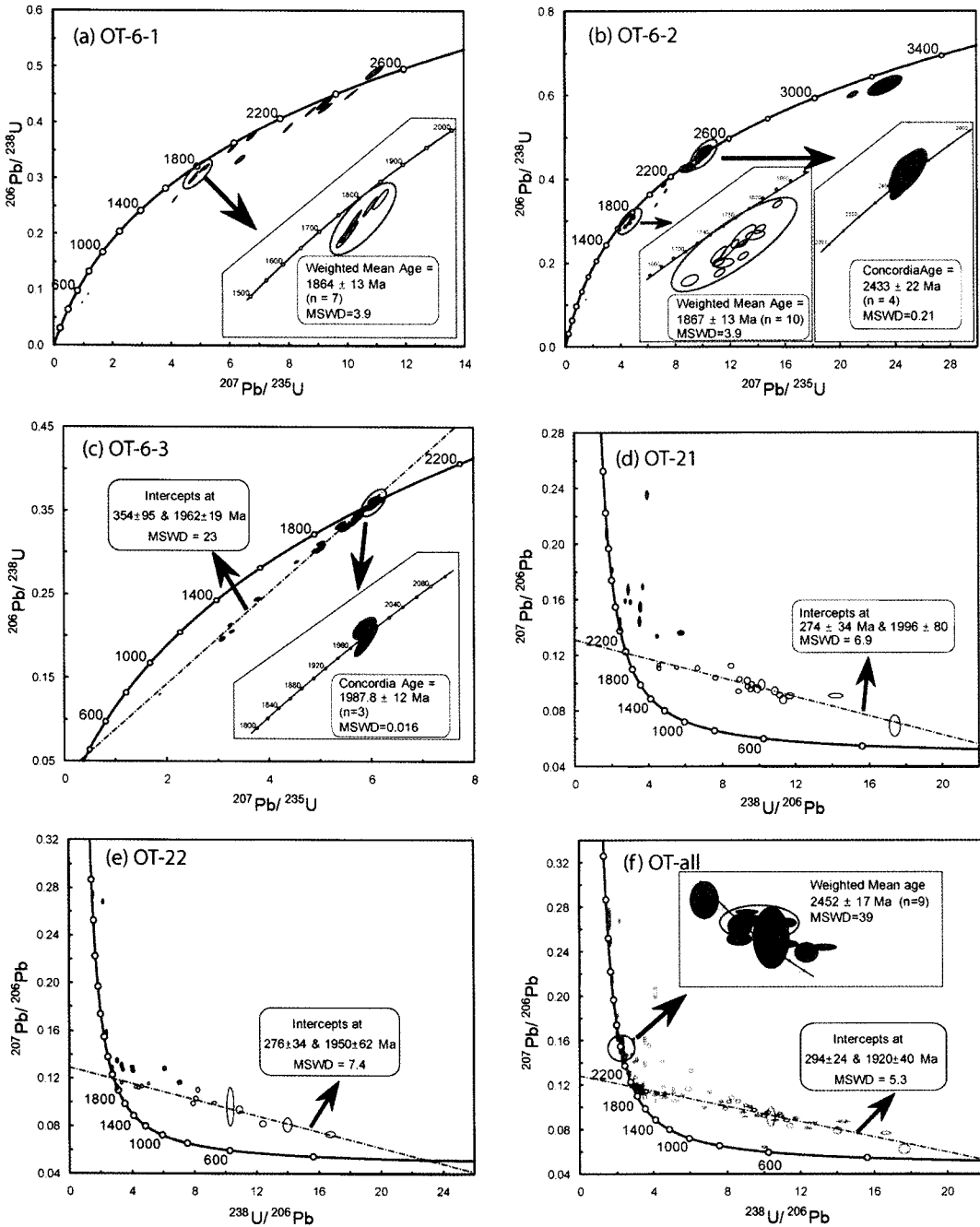


Fig. 4. Concordia diagrams for SHRIMP zircon U-Pb analyses. a) sample OT-6-1, b) sample OT-6-2, c) sample OT-6-3, d) sample OT-21, e) sample OT-22, and f) all SHRIMP data from this study. Open symbols represent the data for rims. For all these diagrams, the data-point error ellipses are plotted with 1 $\sigma$  errors.

OT-21(우백질 화강편마암)과 OT-22(장석 거정질 화강편마암)의 저어콘들은 상당히 유사한 형태와 내부 구조를 보인다. 대부분이 자형의 주상결정체이며 역

시 상속핵을 가지고 있는데 상속핵이 작거나 없는 경우 뚜렷한 성장누대구조를 보인다(Fig. 3 m and n). OT-21은 21 개 저어콘 입자에서 32 점을, OT-22는

15 개 저어콘 입자에서 27 점을 분석하였다(Table 1). 상속핵들은 Th/U 비가 높고 2000 Ma 보다 오래된 연대를 보이는데 대부분 불일치 연대이고, 일부 1~2 점씩 약 3300, 2900, 2660, 2430, 2260, 2070 Ma 의 일치곡선에 가까운 연대를 보인다. 상속핵을 제외한 분석 점 중 일부는 Th/U 비가 0.1 보다 약간 높지만 대부분은 0.1 이하로 낮고 대체로 불일치도가 크다. OT-21의 경우 상속핵을 제외한 나머지 분석 점들로부터 계산된 불일치선의 상부와 하부교점 연령은  $1996 \pm 80$  Ma와  $274 \pm 34$  Ma(Fig. 4d)이고, OT-22의 경우 분산이 조금 더 심하지만 불일치선의 상부와 하부교점 연령은  $1950 \pm 62$  Ma와  $276 \pm 34$  Ma(Fig. 4e)로 모두 OT-6-3의 것과 잘 일치하고 있다. 이로 볼 때 이들은 모두 동일 시기의 화성활동의 산물이며, 그 관입시기는 보다 신뢰도가 높은 OT-6-3의 가중평균연령을 고려하면 약 1960 Ma일 것이다. OT-21과 OT-22의 저어콘들처럼 메타믹트 작용을 받은 저어콘들은 용해 및 재침전작용에 취약하여 Th/U 비가 감소하고 연령이 젊어지는 경향이 강하다(Geisler et al., 2001, 2002). OT-21과 OT-22의 메타믹트된 저어콘들이 OT-6-3의 메타믹트되지 않은 저어콘과 동일하게 1860 Ma의 변성작용의 영향을 보이지 않고 비슷한 하부교점연령을 보이는 점은 이들의 메타믹트 작용이 이 변성작용 이후이며 약 3억년 부근에 함께 납(Pb)의 손실을 경험했음을 지시한다.

## 토 의

### 편마암류의 연대

주승환과 지세정(1989)은 평창지역 편마암류에 대해  $1735 \pm 37$  Ma의 전암 Rb/Sr 동위원소 연대를 구하였다. 김정환 외(1997)는 역시 이 지역 화강암질 편마암류에 대한 납동위원소 분석으로  $1554 \pm 117$  Ma 오차가 큰 연대를 얻었는데 이를 관입시기로 보았다. 그러나 이들이 구한 연대측정 자료는 오차가 크고 분산이 심하여 선택캠브리아기일 것으로 유추할 수 있을 뿐이다.

Sagong and Kwon(1998)은 옥천변성대 내의 부산편마암 복합체와 박달령 편마암 복합체 납단부의 미그마타이트질 편마암과 안구상 편마암(아마도 장석 거정질 화강편마암과 대비) 시료들에 대한 납동위원소 연대측정으로  $1939 \pm 56$  Ma의 연대를 얻었는데 이것이 생성연대인지 변성연대인지는 확정하지 않았으며, 단

지 부산편마암과 박달령편마암 복합체가 동일한 기원을 가지는 경기육괴의 연장부이며 원래는 한 암체였을 것으로 해석하였다. Horie et al.(2009)는 부산편마암 복합체에 대한 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정으로 약 3500~2200 Ma 사이의 다양한 상속(inherited) 연대와  $1937 \pm 6$  Ma의 주변부 연대를 구하였다. 이들은  $1937 \pm 6$  Ma의 연대가 Th/U 비가 0.1 이하인 저어콘의 주변부에서 측정된 것으로 모나자이트의 CHIME 연대측정으로 얻어진 것 중 가장 오래된 연대인 약 1938 Ma와 일치하므로 이 연대는 부분용융을 수반한 변성작용의 연대일 것으로 해석하고, 기원 퇴적암층의 생성연대는 2200~1937 Ma 사이라고 추정하였다. 또한 저어콘의 하부절편 연대인  $293 \pm 31$  Ma는 페름기 초기의 옥천조산운동기에 광역변성을 겪었음을 지시하며, 따라서 이 암체는 경기육괴의 일부라고 결론지었다.

Fig. 4f는 94 개 입자, 130 개 점에서 분석된 이 연구의 모든 분석자료를 함께 도시한 결과인데 부산편마암 복합체의 것(Horie et al., 2009의 Fig. 3a)과 아주 흡사하며, Th/U 비가 0.1 보다 낮은 분석 점들로부터 얻어지는 불일치선의 상부와 하부교점 연령( $1920 \pm 40$  Ma,  $294 \pm 24$  Ma, Fig. 4f inset a)도 거의 똑같다. 상속핵에서는 경기육괴와 영남육괴 한반도 선택캠브리아기 편마암류에서 흔하게 보고되는 3200~3300, 2900, 2660, 2430, 2260, 2070~2080 Ma 등의 연대들도 얻어졌다. 그렇지만 이번 연구에서 구한 저어콘의 연대측정 자료는 Horie et al.(2009)의 저어콘 자료와 몇 가지 점에서 중요한 차이가 있다.

우선, 약 1960 Ma의 화성연대이다. 이 연대는 영남육괴의 분천화강편마암(박계현 외, 1993; Chang et al., 2003), 홍제사화강편마암, 평해화강편마암과 하다화강편마암(Chang et al., 2003; 김남훈 외, 2009, 이호선 외 2010), 그리고 경기육괴에서 보고된 일부 화강편마암류의 관입시기(Kim et al., 1999; 송용선 외, 2001)와 일치한다. 또 하나는 약 1860 Ma의 변성연대인데 이는 경기육괴와 영남육괴 선택캠브리아기 기반암류에서 보고된 주 변성작용의 시기를 나타낸다(박계현 외, 2000; Cheong et al., 2000; Lee et al., 2000; Sagong et al., 2003). Horie et al.(2009)이 변성연대로 해석한 1937 Ma의 연대는 이 연구에서 구한 1960 Ma의 화성연대와 1860 Ma의 변성연대의 혼합연대일 가능성이 높다. 미그마타이트질 편마암의 기원 퇴적암층의 생성연대는 화강편마암류의 관입연

대인 1960 Ma 보다는 이전일 것이다. 상속핵 중에는 2080 Ma 같은 조금 젊은 연대도 있지만 그 자료가 충분하지 않아 Horie *et al.*(2009)의 2200 Ma를 상한으로 보면 기원 퇴적암층의 생성연대는 2200 Ma와 1960 Ma 사이일 것이다.

상속핵의 연대 중 가장 빈도수가 높은 것은 2400~2500 Ma로 전체 분석치 중 총 9 점으로부터 얻어진 가중평균연령은 2452±17 Ma(Fig. 4f inset)인데 성장 누대구조 특성과 Th/U 비로 볼 때 화성연대로 해석된다. 북한의 낭림육괴 선캠브리아기 기반암류들이 이 시기가 변성작용의 연대임이 보고된 바 있어(Zhao *et al.*, 2006) 대조적이다.

274~354 Ma의 하부교점 연대들은 부산편마암 복합체에서 구해진 293 Ma의 하부교점 연대(Horie *et al.*, 2010) 및 옥천변성대에서 보고된 변성작용의 연대(Cheong *et al.*, 2003)와 잘 일치하여 동일한 고생대 페름기 초기(옥천조산운동기)의 변성작용을 겪은 것으로 생각된다. 이대성 외(1985)는 화강암질 편마암과 중대갈봉층군 사이에 관입한 것으로 본 우백질 화강편마암에서 하부교점 연대와 유사한 274 Ma의 흑운모 K-Ar 연대를 측정하였는데, 이로 볼 때 이 시기, 고생대 말기에 이 지역에서 열적교란이 있었음을 지시한다. 그러나 일부 화강암질 편마암 중의 흑운모의 Rb/Sr 연대는 166 내지 162 Ma(김정환 외, 1997), 함석영천매암에서 분리한 백운모의 K-Ar 연대는 192 Ma(이대성 외, 1985)로 쥬라기 화성활동과 관련된 연대를 보이고 있어 이에 대해서는 보다 깊은 연구가 필요하다.

### 방림층군 문제

방림층군은 손치무와 정지군(1971)에 의해 평창 북서부 중대갈봉 지역에서 규암층 하부에 놓인 변성퇴적암층에 대해 붙여진 명칭인데 평창-영월도폭(정창희 외, 1979)에서 남서부로 연장되는 편암층에까지 확대하였다. 박노영 외(1978)는 평창 서부 지역 편암층을 녹색편암층으로 분류하고 고생대 양덕층군에 대비하였다. 이대성 외(1985)는 평창-영월도폭(정창희 외, 1979)에서 방림층군으로 분류한 박노영 외(1978)의 녹색편암층, 신림도폭(원종관 외, 1974)에서 고생대 최하부층으로 본 송봉층과 송계리층, 그리고 평창지역 묘봉층(안미리층군 중 방학동편암층)을 모두 합쳐 함석영천매암층이라 하고 묘봉층에 대비시켰다. 또한 이 함석영천매암층을 규암층(행화동규암층)과 함께 묶어

중대갈봉층군이라 명명하고 양덕층군에 대비시켰다. 최근에, 김유홍 외(2010)는 주천면 지역의 방림층군 변성퇴적암층에 대한 연구 결과 방림층군은 양덕층군에 대비되는 고생대 암층으로 암상의 차이는 단지 퇴적환경의 차이에 의한 것이라 주장하고 방림층군을 송봉층으로 부를 것을 제안하였다. 김유홍 외(2010)가 방림층군으로 보고 조사한 변성퇴적암층이 바로 이대성 외(1985)의 함석영천매암층의 일부이며 박노영 외(1978)의 녹색편암층에 해당된다. 그러나 이대성 외(1985)의 p. 385도 원래 손치무와 정지군(1971)이 방림층군으로 분류한 중대갈봉 지역의 하부 편암층을 그들의 중대갈봉층군에 의해 부정함으로 피복되는 선캠브리아기 암층으로 기재하였으나 지질도에는 다르게 표시하여 혼란을 준다.

김유홍 외(2010)는 그들의 조사지역 방림층군에는 1~3 매의 규암층이 협재된다고 기재하고 방림층군과 규암층과의 사교부정합 관계를 부정하였는데 이 규암층들을 장산규암층(행화동규암층)으로 본 결과인 것으로 보인다. 정창희 외(1979)는 평창지역의 장산규암층(행화동규암층)은 거의 순수한 석영으로 구성된 약 50 m 정도 두께의 비교적 두꺼운 층으로 남서부의 판윤리 계곡에 분포된 방림층군 내의 석영편암과는 쉽게 구별된다고 하였다. 김유홍 외(2010)가 기재한 규암층들은 평창-영월도폭에서 석영편암으로 기재한 층에 대비되는 층으로 장산규암층(행화동규암층)과는 구별되는 층일 수도 있다. 더욱이, 김정환 외(1999)는 중대갈봉 일대 방림단층 주변지역에 대한 상세한 구조적 연구로 방림층군의 지층 내에 발달된 소규모의 횡외습곡이 상위의 장산규암층(행화동규암층)에서는 관찰되지 않음으로 방림층군은 규암층 퇴적 이전에 이미 습곡작용을 받은 것으로 보고하였다. 결과적으로, 방림층군과 고생대 최하부층인 양덕층군과의 관계는 좀 더 연구가 필요하다고 본다.

### 방림층군과 편마암 복합체와의 관계 및 방림층군의 시대

방림층군을 선캠브리아기 지층으로 보는 연구자들 중 손치무와 정지군(1971), 정창희 외(1979), 김정환 외(1997, 1999) 등은 방림층군을 최고기 암층으로 보고 방림층군과 화강편마암의 관계를 관입 또는 화강암화 작용으로 해석하였다. Lee, *et al.*(1990)는 그 관계를 부정함으로 보았으나 페그마타이트질-우백질 편마암이 반상변정질 편마암과 변성퇴적암층 사이에

관입한 것으로 기재하여 좀 모호하게 기술하였다.

방림층군을 고생대 캄브리아기 지층으로 보는 경우 (Kobayashi, T., 1953; 원종관 외, 1974; 김유흥 외, 2010)는 당연히 부정합 관계로 해석하고 있지만 일부 화강편마암류는 관입관계로 설명하기도 한다. 원종관 외(1974)는 이 층과 직접 접촉하는 화강편마암류(장석 거정질 화강편마암과 우백질 화강편마암)가 고생대 지층들을 관입한 것으로 봤다. 이대성 외(1985)는 중대갈봉 지역에서 규암층 하위에 놓인 편암층은 선캄브리아기 지층으로 보고 편마암류에 비해 변성도가 낮은 부분으로 해석하였고, 함석영천매암층을 포함한 중대갈봉층군은 편마암류를 부정합으로 덮은 것으로 기재하였다. 또한, 편마암류 중 일부를 우백질 화강편마암으로 분류하고 이 편마암은 화강암질 편마암과 중대갈봉층군 사이에 관입한 것으로 기재하였는데 이는 아마도 Lee, et al.(1990)의 페그마타이트질-우백질 편마암과 같은 암체를 지칭하는 것으로 보이지만 지질도에 따로 표시하지 않아 확인할 수는 없다.

이 연구에서 측정된 편마암류들의 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대는 편마암 복합체의 모든 편마암류들이 19 억년 이전의 고원생대 암석들이며, 부분용융을 수반한 고도 변성작용의 시기도 고원생대임을 지시 한다. 방림층군 변성퇴적암들의 변성도는 편마암 복합체의 것과는 현저하게 차이가 나기 때문에(Lee, et al., 1990; 이대성 외, 1985) 편마암 복합체와 방림층군의 관계는 부정합으로 해석되어야 하지만, 야외에서 부정합 관계를 찾기 어려운 이유는 편마암류와 방림층군과의 접촉부를 따라서 강한 압쇄대가 발달(김유흥 외, 2010)하였기 때문일 것이다. 따라서, 방림층군의 시대는 1900 Ma 이후이지만, 그 퇴적시기의 상한에 대해서는 앞에서 기술한 바와 같이 많은 이견들이 있다. 중대갈봉 지역의 지질구조와 층서가 현재까지 알려진 것과 같은지, 주천면 지역 방림층군이 본래의 중대갈봉 지역 방림층군과 동일한 층인지 등에 대한 정밀한 연구가 수행되어야 방림층군의 문제를 보다 명확하게 해결할 수 있을 것으로 본다.

## 결 론

평창-원주 일대에서 동쪽의 영남육괴 고생대 퇴적암층과 주로 단층접촉을 하고 있는 경기육괴 선캄브리아기 기반암 편마암 복합체에 대해 SHRIMP 저어콘 U-Pb 연대측정을 수행하였다.

분석 자료들을 저어콘의 내부구조 특성과 연관지어 해석한 결과 약 1960 Ma의 화성연대와 약 1860 Ma의 변성연대를 구분하여 구하였다. 이 연대들은 지금까지 보고된 경기육괴, 영남육괴, 낭림육괴 등 한반도 선캄브리아기 화강편마암류들의 주 관입시기 및 주 변성작용의 시기와 일치한다.

또한, 저어콘들의 상속핵에서는 3200~3300, 2900, 2660, 2430, 2260, 2080~2070 Ma 등의 경기육괴 또는 영남육괴 기반암류에서 자주 보고되고 있는 연대들이 얻어졌다.

변성주변부에서 구해진 270 Ma 부근의 하부교점 연대는 고생대 후기의 변성작용(옥천조산운동)으로 해석되지만 이를 확인하기 위해서는 더 적절하고 충분한 자료가 요구된다.

이 연구의 연대측정 결과와 기존의 지질 및 지질구조에 대한 연구결과를 종합하면 연구지역의 편마암 복합체와 방림층군 변성퇴적암층의 관계는 부정합이며, 방림층군의 시대는 고원생대 화성활동(약 1960 Ma)과 변성작용(약 1860 Ma) 이후이지만 그 퇴적시기의 상한에 대해서는 앞으로 보다 상세한 연구가 필요하다.

## 사 사

이 논문은 2008학년도 부경대학교의 지원을 받아 수행된 연구임 (PK-2008-057). 이 논문의 심사과정 중에 건설적인 비평과 부족한 점들을 지적하여 논문의 질을 높여주신 이승렬 박사님과 기원서 박사님께 감사드립니다. 또한 야외조사와 분석 및 도표작성 등 논문의 작성과정에 많은 도움을 준 부경대학교 지구환경과학과 암석지구조환경연구실의 학생들과 SHRIMP U-Pb 분석에 도움을 준 한국기초과학지원연구원 관계자들도께도 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 김기완, 박봉순, 이흥규, 1969, 1 : 50,000 제천도폭 지질 보고서, 국립지질조사소.
- 김남훈, 송용선, 박계현, 이호선, 2009, 영남(소백산)육괴 북동부 평해지역 화강편마암류의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대. 암석학회지, 18, 31-47.
- 김유흥, 기원서, 진광민, 2010, 옥천대와 경기육괴의 경계부, 주천 지역의 지질구조. 자원환경지질, 43, 647-648.
- 김정찬, 고희제, 이승렬, 이창범, 최성자, 박기화, 2001, 1:250,000 강릉-속초 지질도폭 설명서. 한국지질자원연구원, 76p.

- 김정환, 손영철, 고희재, 1999, 평창지역에서 소위 방람단층의 특성과 주변지역의 지질구조. 지질학회지, 35, 99-116.
- 김정환, 정창식, 손영철, 고희재, 1997, 평창지역의 지질과 선캄브리아 화강암질암의 스트론튬, 니오디미움 및 납동위원소 조성. 지질학회지, 33, 27-35.
- 박계현, 송용선, 박맹언, 이승구, 류호정, 2000, 동북아시아 지역 선캄브리아 지괴에 대한 암석학, 지구화학 및 지구연대학적 연구: 1. 지리산 지역 변성암의 변성연대. 암석학회지, 9, 29-39.
- 박계현, 정창식, 이광식, 장호완, 1993, 태백산지역의 고기화강암 및 화강편마암류에 대한 납 동위원소 연구. 지질학회지, 29, 387-395
- 박노영, 오민수, 서정률, 김재형, 1978, 평창서부지역 지질광상 및 물리탐사. KIGAM Bulletin-03, 자원개발연구소, 59p.
- 손치무, 정지곤, 1971, 평창 북서부의 지질. 지질학회지, 7, 143-152.
- 원종관, 유환수, 이윤중, 김정진, 1974, 1 : 50,000 신림도폭 지질보고서., 국립지질광물연구소, 28p.
- 이대성, 나기창, 김용준, 1985, 옥천대의 지질 및 광물자원에 관한 연구 - 평창-제천간에 분포하는 옥천대 하부와 기반의 암상 및 화성 관입체의 암질에 대한 연구. 광산지질, 18, 381-397.
- 이호선, 박계현, 송용선, 김남훈, 2010, 영남육괴 북동부 홍제사 화강암의 LA-ICP-MS U-Pb 저어콘 연대. 암석학회지, 19, 103-108.
- 정창희, 이돈영, 유양수, 강기우, 1979, 1 : 50,000 평창·영월도폭 지질보고서. 자원개발연구소, 19p.
- 주승환, 지세정, 1989, 평창-문경일원에 분포하는 화강암체의 Rb/Sr 연령측정 연구. 동위원소지질연구 KR-89-1C, 한국동력자원연구소, 5-61.
- 지정만, 윤선, 이창진, 1989, 1 : 50,000 문막도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소
- Chang, H.-W., Turek, A. and Kim, C.-B., 2003, U-Pb zircon geochronology and Sm-Nd isotopic constraint for Precambrian plutonic rocks in the northeastern part of Ryeongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 37, 471-491.
- Cheong, C.S., Jeong, G.Y., Kim, H., Lee, S.H., Choi, M.S., and Cho, M., 2003, Early Permian peak metamorphism recorded in U-Pb system of black slates from the Ogcheon metamorphic belt, South Korea, and its tectonic implication. *Chemical Geology*, 193, 81-92.
- Cheong, C.-S., Kwon, S.-T., and Park, K.-H., 2000, Pb and Nd isotopic constraints on Paleoproterozoic crustal evolution of the northeastern Yeongnam massif, South Korea. *Precambrian Research*, 102, 207-220.
- Chough, S.K., Kwon, S.-T., Ree, J.-H. and Choi, D.K. 2000, Tectonic and sedimentary evolution of the Korean peninsula: a review and new view. *Earth-Science Review*, 52, 175-235.
- Claxson, S., Vetrin, V., Bayannova, T., and Downes, H., 2000, U-Pb zircon ages from a Devonian carbonatite dyke, Kola Peninsula, Russia: a record of geological evolution from the Archaean to the Palaeozoic. *Lithos*, 51, 95-108.
- Claué-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. In: Berggren, W.A., Kent, D.V., Aubrey, M.P. and Hardenbol, J. (eds.), *Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation*, SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication, vol. 54, 3-21.
- Horie K, Tsutsumi Y, Kim H, Cho M, Hidaka H, Terada K, 2009, A U-Pb geochronological study of migmatitic gneiss in the Busan gneiss complex, Gyeonggi massif, Korea. *Geosciences Journal*, 13, 205-215.
- Hoskin, P.W.O. and Black, L.P., 2000, Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon. *Jour. Metamor. Geol.*, 18, 423-439.
- Hoskin, P.W.O. and Schaltegger, U., 2003, The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. In: Hanchar, J.M. and Hoskin, P.W.O. (eds.), *Zircon: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America, 53, 27-62.
- Hukasawa, T., 1943, *Geology of Heisho District, Kogendo, Tyosen*. Journal of the Geological Society of Japan, 50, 29-43. (in Japanese)
- Ireland, T.R. and Williams, I.S., 2003, Considerations in zircon geochronology by SIMS. In: Hanchar, J.M. and Hoskin, P.W.O. (eds.), *Zircon: Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, Mineralogical Society of America, 53, 215-241.
- Kim, C.B., Turek, A., Chang, H.W., Park, Y.S. and Ahn, K.S., 1999, U-Pb zircon ages for Precambrian and Mesozoic plutonic rocks in the Seoul-Cheongju-Chooncheon area, Gyeonggi massif, Korea. *Geochemical Journal*, 33, 379-397.
- Kobayashi, T., 1953, The Cambro-Ordovician formations and the faunas of South Korea. part IV, *Geology of South Korea with special reference to the Limestone Plateau of Kogendo*. Jour. Fac. Sci. (Univ. Tokyo), Section II, 8, 145-293.
- Lee, S.M., Kim, H.S., Hong, S.T. and Park, C.S., 1990, Petrologic studies on the metamorphic rocks in Wonju-Pyeongchang area. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 26, 32-52.
- 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.
- Ludwig, K.R., 2008. *SQUID 2: A User's Manual*. Berkeley, CA, Berkeley Geochronology Center Special Publication, No 2, 100p.
- Ludwig, K.R., 2003. *User's Manual for Isoplot/EX Version 3.00*. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel,

- vol. 4. Berkeley Geochronology Center Special Publication. 71p.
- Paces, J.B. and Miller, J.D., 1993, Precise U-Pb ages of Duluth Complex and related mafic intrusions, northeastern Minnesota: geochronological insights to physical, petrogenetic, paleomagnetic and tectonomagmatic processes associated with the 1.1 Ga midcontinent rift system. *Journal of Geophysical Research*, 98, 13997-14013.
- Rubatto, D., 2002, Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. *Chemical Geology*, 184, 123-138.
- Rubatto, D., Williams, I.S., and Buick, I.S., 2001, Zircon and monazite response to prograde metamorphism in the Reynolds Range, central Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 140, 458-468.
- Sagong, H. and Kwon, S.T., 1998, Pb-Pb age and uplift history of the Busan gneiss complex in the Okchon Belt, Korea: a comparison with the Bagdalryeong gneiss complex in the Kyongki Massif. *Geosciences Journal*, 2, 99-106.
- Sagong, H., Cheong, C.-S., and Kwon, S.-T., 2003, Paleoproterozoic orogeny in South Korea: evidence from Sm-Nd and Pb step-leaching garnet ages of Precambrian basement rocks. *Precambrian Research*, 122, 275-295.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1996, U-Pb zircon ages for Precambrian rocks in southwestern Ryeongnam and southwestern Gyeonggi massifs, Korea. *Geochemical Journal*, 30, 231-249.
- Williams, Ian S. 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In McKibben, M. A., Shanks III, W. C., and Ridley, W. I. (eds.): Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes. *Reviews in Economic Geology*, 7, 1-35.
- Zhao, G., Cao, L., Wilde, S.A., Sun, M., Choe, W.J., and Li, S., 2006, Implications based on the first SHRIMP U-Pb zircon dating on Precambrian granitoid rocks in North Korea. *Earth and Planetary Science Letters*, 251, 365-379.

---

2011년 5월 19일 접수

2011년 5월 20일 심사개시

2011년 6월 20일 채택