

논 평

옥천 변성대의 시기-우리는 얼마만큼 알고 있나?

권 성 택

연세대학교 지구시스템과학과

The Age of the Okcheon Metamorphic Belt -How Much Do We Know?

Sung-Tack Kwon

Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

요 약: 옥천변성대 암석의 생성시기는 화석의 발견과 동위원소 연대측정으로 대부분 고생대 및 신원생대인 것으로 밝혀지고 있다. 한편 동위원소 연대자료가 축적됨과 더불어 옥천변성대의 변성시기가 페름기 초기인가 혹은 페름기 말기-트라이아스기 초기인가 하는 문제가 대두되었다. 이 문제는 달리 표현하면 위의 두 시기에 해당하는 2번의 중요한 변성작용이 있었는가 혹은 후자 시기에 해당하는 한번의 변성작용인가 하는 것이다. 변성시기를 직접 지시할 수 있는 자료를 비교할 때 페름기 초기의 변성시기에 대한 자료(석류석 내 U-Pb 갈렘석 연대)는 전체적으로 오차가 클 뿐만 아니라 페름기 말기-트라이아스기 초기를 지시하는 자료(CHIME 갈렘석 연대 및 변성 저콘의 U-Pb 연대)와 어느 정도 중첩된다. 따라서 독립적인 두 종류의 자료에 의해 지지되는 후자가 보다 신빙성이 있는 것으로 생각되며, 이 시기는 임진강대와 경기육괴에서 대륙충돌과 관련되어 나타나는 중요한 변성시기와 유사하기 때문에 대륙충돌의 영향이 한반도 넓은 지역에 퍼져 있음을 시사한다.

핵심어: 옥천변성대, 변성시기, 생성시기, 광물연대, 대륙충돌

Abstract: The geologic age of the Okcheon metamorphic belt, used to be a longstanding puzzle, has been settled down to Neoproterozoic to Paleozoic with discovery of fossils and isotopic age dating of metavolcanic rocks. As isotopic ages become accumulated, there appeared a controversy over the age of peak metamorphism in the Okcheon metamorphic belt, i.e., a single late Permian-early Triassic metamorphism (CHIME allanite age and U-Pb age of metamorphic zircon), or earlier independent presence of early Permian metamorphism (U-Pb age of allanite within garnet porphyroblast). If we compare the isotopic ages that can represent metamorphism, the data for the latter have much larger error than those of the former with some overlap considering the error limits. It means that, the former, supported by two independent ages, is considered a better representation for the age of metamorphism of the Okcheon metamorphic belt. Therefore, I propose the idea of early Permian metamorphism should better be reserved until conclusive evidence appears. The late Permian-early Triassic metamorphic age suggest that the effect of continental collision influenced much of the middle part of Korean Peninsula, namely, the Imjingang belt, the Gyeonggi massif and the Okcheon belt.

Key words: Okcheon metamorphic belt, metamorphic age, formation age, mineral age, continental collision

서 론

남한의 중앙부를 북동-남서로 가로지르는 옥천대는 북동부의 태백분지와 남서부의 옥천변성대(혹은 옥천분지)로 나누어진다(Fig. 1). 태백분지는 변성변형작용

이 심하지 않은 고생대 퇴적암으로 주로 이루어져 있고 풍부한 화석 산출로 그 지질역사가 비교적 잘 알려져 있다. 한편 옥천변성대는 변성변형작용을 비교적 심하게 받은 변성퇴적암 및 변성화산암으로 주로 이루어져 있고 화석 산출도 드물어 그 지질역사가 그리 잘

*Corresponding author: kwonst@yonsei.ac.kr

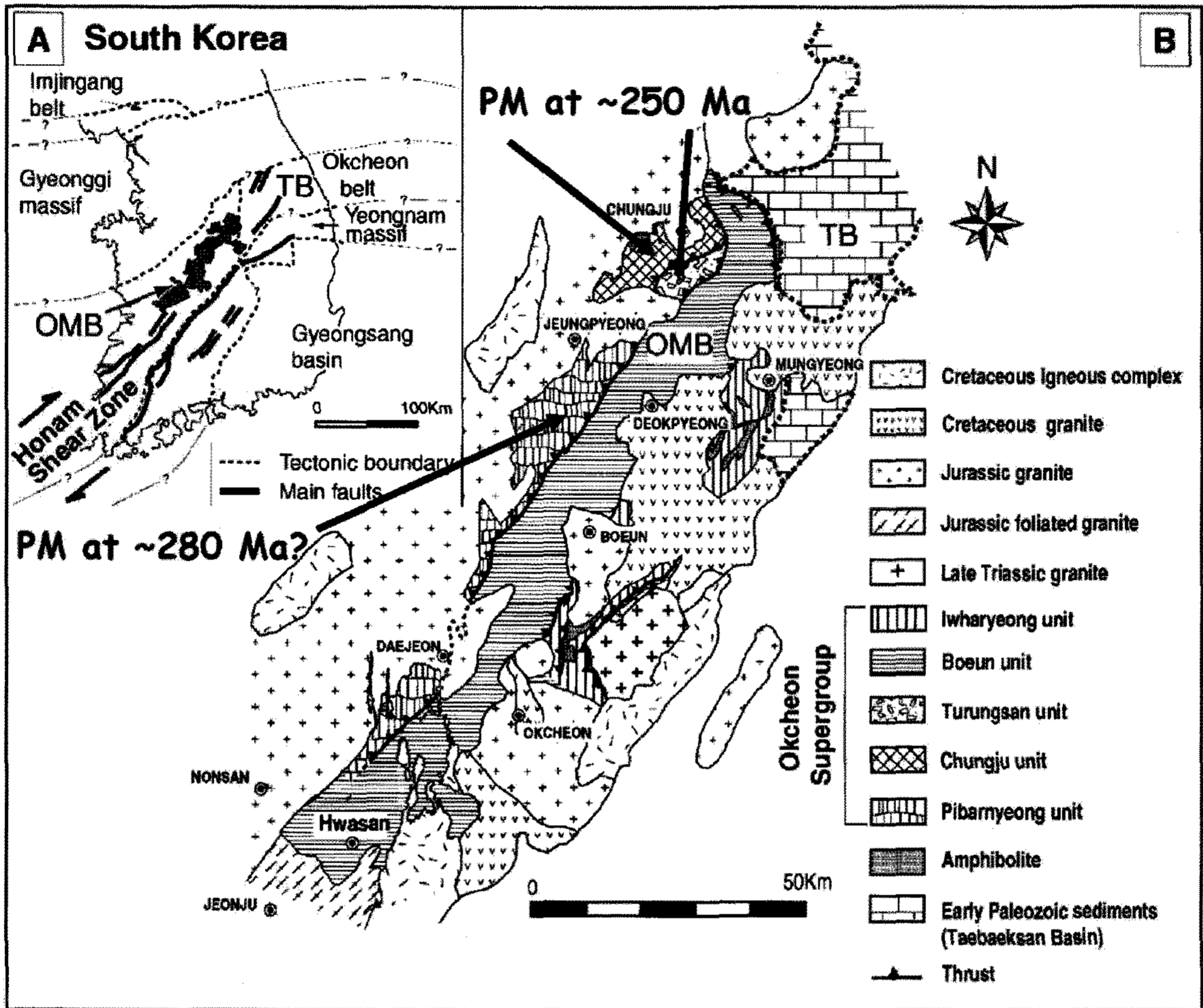


Fig. 1. A) Tectonic division of South Korea. B) Details of the Okcheon metamorphic belt. The unit division of the Okcheon Supergroup is from Cluzel *et al.* (1990). The whole figure has been slightly modified from Kim *et al.* (2005). Note that the peak metamorphic age (PM in the figure) of the Pibanryeong unit appears to be different from those of the Chungju and Turungsan units. See text for discussion.

알려져 있지 않았다. 옥천대 내에서 이들 두 지역 사이의 관계는 큰 문제점의 하나로 남아 있었다. 예를 들어, 손치무(1970a, 1970b)는 옥천변성대가 태백분지보다 젊은 것으로 간주한 반면, 김옥준(1970)은 옥천변성대가 태백분지 위로 올라탄 것으로 판단하여 전자가 후자보다 오래된 것으로 생각하였다. 이들의 주장은 두 지역의 경계가 정합적인가 혹은 역단층인가 하는 구조지질학적 해석의 차이에서 비롯된 것이라 생각할 수 있다. 이 문제는 옥천변성대 내 여러 지역에서 다양한 고생대 화석이 발견된 것과(이대성 외 1972; Lee JH *et al.*, 1989; Lee HY *et al.*, 1989; 장기홍과 박봉순, 1977; 임순복 외 2005, 2006, 2007) 일부 변성화산암에 대한 U-Pb 저콘 연대가 신원생대로 밝혀진 것으로(Lee

et al., 1998; Kim *et al.*, 2006a) 어느 정도 해결된 셈이다. 즉, 옥천변성대는 주로 신원생대 및 고생대에 생성된 암석으로 이루어진 것이다.

Cluzel *et al.*(1990)이 옥천대에 대하여 보다 현대적으로 지구조적인 해석을 한 이래, Yin and Nie(1993)은 옥천대의 태백분지는 영남육괴와 더불어 북중국 대륙에 속하는 반면 옥천변성대는 경기육괴와 더불어 남중국 대륙에 속하며, 이들 두 대륙은 페름기 말기-트라이아스기 초기에 충돌하였음을 제안하였다. 이 가설은 Chough *et al.*(2000)와 Ree *et al.*(2001)에 의하여 보다 구체적인 한국의 지질에 맞게 다듬어졌다.

옥천변성대에 관하여 새롭게 부각된 문제는 그 변성시기가 언제인가 하는 것이다. 1980년대 중반 이후 다

양한 동위원소 연대가 측정되었으나(조문섭과 김현철(2002)의 요약 참조) 대부분 폐쇄온도가 낮은 연대로 변성시기에 대한 직접적인 해답을 제공하지 못하였다. 조문섭과 김현철(2002)는 의미가 불분명한 동위원소 연대 자료를 이용하여 페름기 초기의 옥천조산운동과 트라이아스기의 송림조산운동 등 두 번의 독립적인 조산운동을 제안한 바 있는데 이는 옥천대의 변성-변형작용이 북중국-남중국 대륙의 충돌과 관련된 페름기 말기-트라이아스 초기에 일어났을 것이라는 기존 해석(Chough *et al.*, 2000)과 두드러지게 다르다. 나는 이 논문에서 옥천대의 변성시기에 대한 그 동안의 연구를 리뷰하고 문제점을 분명히 드러내어 앞으로의 연구 방향을 제안하고자 한다.

동위원소 연대의 폐쇄온도와 최대변성온도

어떤 변성암의 변성시기를 측정하기 위해서는 그 암석이 겪은 최대변성온도와 동위원소 광물 연대의 폐쇄온도(T_c)와 관계를 이해하는 것이 필요하다. Fig. 2는 어떤 암석이 겪는 온도-압력 경로에서 특정 변성광물이 만들어지는 온도(T_f)와 최대 변성온도(T_m)를 기준으로 3가지 경우가 있음을 보여준다. 물론 여기서 $T_m > T_f$ 이라 가정한다. (1) $T_c > T_f$ 이면 광물연대는 광물의 생성시기 (즉 변성시기)를 나타내고, (2) $T_m > T_c > T_f$ 이면 광물 연대는 T_m 와 T_f 사이의 냉각시기를 나타내는데 그림에서처럼 후퇴변성 경로에 해당되며, (3) $T_c < T_f$ 이면 T_f 아래의 후퇴변성 경로에 해당되는 냉각시기를 나타낸다. 간단하게 말하면 변성시기를 측정하기 위해서는 최대변성온도보다 높은 폐쇄온도를 가진 동위원소 연대가 필요하다.

따라서 아래에서는 옥천변성대의 변성작용을 간략하게 요약하고 최대변성온도보다 높은 폐쇄온도를 가지는 동위원소 연대를 이용하여 옥천변성대의 변성시기를 논할 것이다.

옥천변성대의 변성작용

Kim(1971)은 옥천변성대의 변성누대가 북동-남서 방향으로 옥천대의 모양과 거의 평행한 방향으로 발달하고 있으며, 북서쪽 방향으로 갈수록 변성도가 증가하는 것을 보였는데, 이는 나중의 보다 자세한 연구에 의해 확인되었다(Min and Cho, 1998; Kim and Cho, 1999; Kim *et al.*, 2005). 옥천변성대의 변성작용은 지역에 관계없이 전반적으로 중압형 시계방향의 압력-온도-시간 경로를 보여주는 것으로 해석되어 대륙충돌과 관련된 변성작용임을 시사하며, 최근까지 확인된 최대

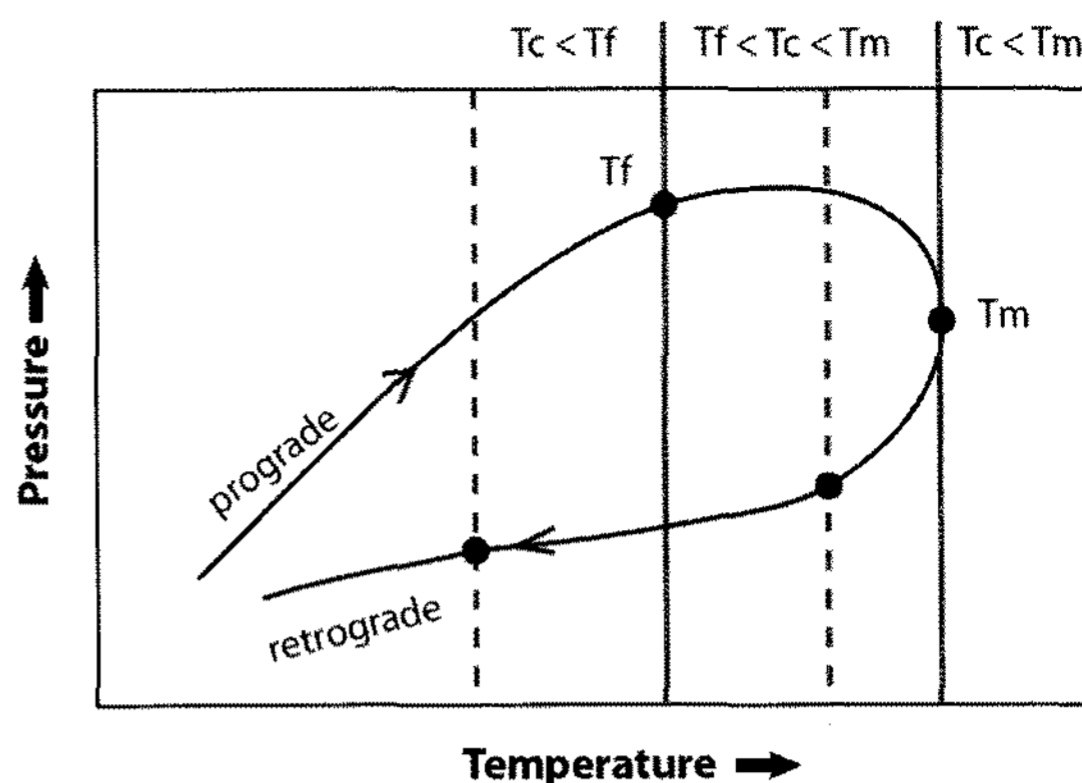


Fig. 2. Schematic diagram showing the relationship between the temperature of mineral formation (T_f), peak metamorphic temperature (T_m), and closure temperature of an isotopic mineral age for a metamorphic rock with a clockwise pressure-temperature-time (relative) path. An isotopic mineral age would represent a mineral formation age (metamorphic age) on the prograde path, if $T_c > T_m$. Otherwise, it would represent a cooling age on the retrograde path.

변성작용의 온도와 압력은 각각 약 500-600°C 및 약 5-9 kbar이다(Min and Cho, 1998; Kim and Cho, 1999; 조문섭과김현철, 2002; Kim *et al.*, 2005).

옥천변성대의 변성시기

옥천변성대의 변성시기를 논하기 위해서 옥천변성대의 최대변성온도인 500-600°C 보다 높은 폐쇄온도를 가지는 자료만 다루고자 한다. 즉, U-Pb 저콘($T_c > 900$ °C; Lee *et al.*, 1997), U-Th-Pb 갈럼석($T_c \geq 700$ °C; Oberli *et al.*, 2004) 등이다. 토의에서 연대 자료의 오차는 보고된 95% 신뢰도 수준으로 취급한다.

함우라늄 흑색 점판암의 U-Pb 연령

Cheong *et al.*(2003)은 함우라늄 흑색 점판암에서 페름기 초기의 Pb-Pb 전암 연대와 CHIME 우라니아이트 연대를 얻고 이를 옥천변성대의 최대변성시기로 해석하였다. 비록 이들 연대의 폐쇄온도는 잘 알려져 있지 않으나, 변성시기로 해석하였기 때문에 같이 다룬다. 이들이 얻은 Pb-Pb 전암연대는 283 ± 33 Ma, 291 ± 13 Ma이고, CHIME 우라니아이트 연대는 덕평리 지역의 283 ± 26 Ma, 보은 지역의 281 ± 27 Ma이다. 이들 연대는 분명히 페름기 초기에 속한다.

그러나, 박계현(2001)은 Cheong *et al.*(2003)과 같은 함우라늄 흑색 점판암의 단계용출 실험에서 220 ± 37 Ma, 253 ± 32 Ma의 Pb-Pb 연대를 얻었는데, 이들 자료

는 Cheong *et al.*(2003)의 전암 연대 보다 젊은 셈이다. 박계현(2001)의 자료가 Cheong *et al.*(2003)의 것과 유사한 범위의 Pb 동위원소비를 보이는 것을 고려하면 측정 연령이 다른 이유가 설명되어야 할 것이다. 물론 이들 자료는 전반적으로 오차가 큰 편이어서 보다 좋은 자료를 얻으면 해결될 수도 있을 것이다.

한편 Suzuki *et al.*(2006)은 이 페름기 초기 연대가 변성 연대라기보다는 속성작용 연대일 가능성을 제기하였다. 실제 이상만 외(1981)는 흑색 점판암 내의 우라늄 광상이 퇴적기원일 가능성을 제안한 바 있는데, 이는 속성작용 연대 가능성을 지지한다. 또한 임순복 외(2005, 2006, 2007)은 식물화석을 발견하고 옥천변성대 변성암의 일부가 페름기 초기에 퇴적되었다고 밝혔는데, 이는 그 가능성을 지지하는 상황적 증거가 될 수 있다.

최대 변성 시기에 대한 절대 연령

Kim *et al.*(2007)은 옥천변성대 중부 지역 변성암 내 석류석 반정에 대한 Pb 용출 실험에서 얻은 ^{238}U - ^{206}Pb 등시선 연대로 285 ± 12 Ma, 276 ± 29 Ma, 291 ± 41 Ma를 보고하였는데, 실제 이들 연대는 석류석의 U-Pb 연대라기 보다 석류석 내 갈륨석 포유물에서 주로 용출된 U과 Pb이기 때문에 U-Pb 갈륨석 연대로 해석하였다. 이 연대의 폐쇄온도는 최대변성온도보다 크기 때문에 갈륨석이 자란 변성시기로 해석할 수 있다. 그러나 보고된 3 연대 중 가장 오차가 적은 285 ± 12 Ma는 실제로는 2점 등시선과 마찬가지로 오차 평가가 잘못되었을 가능성이 큼으로 토의에서 배제한다. Kim *et al.*(2007)은 또한 이들 연대가 Cheong *et al.*(2003)에서 보고한 함우라늄 흑색 점판암에 대한 Pb-Pb 전암 연대 및 CHIME 우라니아이트 연대와 잘 일치하고 페름기 초기의 최대 변성작용을 지시한다고 해석하였다.

Kim *et al.*(2006a)은 계명산층 내 규장질 변성화산암의 SHRIMP U-Pb 저콘 연대를 측정하면서 변성작용 동안에 저콘의 가장자리에 새로 만들어진 변성 저콘의 연대로 3 자료를 보고하였는데 그 중 거의 조화적인 것의 ^{238}U - ^{206}Pb 연대는 246.5 ± 1.2 Ma이다. U-Pb 저콘 연대의 폐쇄온도를 고려하면 이는 분명히 변성시기를 나타낸다고 생각할 수 있다.

Suzuki *et al.*(2006)은 문주리층의 석류석-백운모-녹니석 편암 내 엽리방향과 평행하게 자란 녹렴석의 CHIME 연대로 246 ± 15 Ma를 얻었다. 녹렴석의 CHIME 연대는 본질적으로 U-Th-Pb계를 이용한 것으로 U-Pb 갈륨석의 폐쇄온도와 같다고 할 수 있기 때

문에 갈륨석이 자란 변성시기로 해석된다. 이 연대는 Kim *et al.*(2006a)의 변성 저콘 연대와 잘 일치하나 Kim *et al.*(2007)의 U-Pb 갈륨석 연대보다는 젊다.

최대 변성 시기에 대한 토의

앞에서 본 바와 같이 Kim *et al.*(2007)의 페름기 초기 연대는 Kim *et al.*(2006a) 및 Suzuki *et al.*(2006)의 페름기 말기-트라이아스 초기 연대 보다 젊다. 그러나 오차의 한계를 고려하면 이들 연대는 약 260-250 Ma에서 서로 중첩된다. Kim *et al.*(2007)의 연대 오차가 상당히 큰 편이기 때문에, 나는 독립적인 자료가 서로 일치하는 페름기 말기-트라이아스기 초기가 옥천변성대의 변성시기에 해당된다고 생각한다. 이 시기는 임진강대 및 경기육괴 변성암의 변성시기와도 유사한데(Sagong *et al.*, 2003; Cho *et al.*, 1996, 2005; Kim *et al.*, 2006b, 2008), 대륙충돌에 의한 변성작용이 임진강대, 경기육괴, 옥천대에 걸쳐 광역적으로 일어났음을 시사한다.

Cluzel *et al.*(1990)은 구조지질학적 연구로 옥천변성대를 5개의 나뉜 단위로 나누었다(Fig. 1). 이들 최대 변성 연대가 측정된 위치를 보면 페름기 말기-트라이아스 초기 연대는 충주 단위와 두릉산 단위에서 측정된 것이고, 페름기 초기 연대는 피반령 단위에서 측정된 것이다. 이들 구조 단위가 인접해 있고 앞에서 본 것처럼 전반적으로 유사한 변성 분대를 보여주기 때문에 서로 두드러지게 다른 변형-변성 역사를 가지고 있다고 생각하기 어렵다. 그러나, 서로 다른 구조 단위가 서로 다른 변성 역사를 가지고 있을 가능성도 배제할 수는 없으며, 이 가능성에 대한 앞으로의 연구가 기대된다.

현재 가장 문제가 되는 것은 페름기 초기의 변성작용이 독립적으로 존재하는가인데, 이는 이 자료가 가지는 큰 오차에서 발생한 문제인 만큼, 앞으로 이런 종류의 연대 측정 자료의 오차를 줄이고자 하는 노력이 필요할 것이다.

결론

옥천변성대 최대변성시기에 관한 연구를 종합하면 조문섭과 김현철(2002)가 제기한 페름기 초기의 옥천조산운동은 불확실한 연대 자료를 지나치게 확대 해석한 결과로 생각된다. 이러한 것을 Kim *et al.*(2005)에서도 따르고 있어 자료에 대한 편향적인 해석이 바른 것으로 평가되는 점이 우려된다.

원래 우리가 어떤 변성지역의 변성 역사를 제대로

이해하려면 변성 압력-온도-(상대)시간 경로가 잘 알려진 시료를 이용하여 그 경로에 해당되는 절대연령 자료가 필요하다. 옥천변성대의 변성역사를 잘 이해하기 위해서는 궁극적으로 이런 노력이 필요할 것이다. 물론 변형이 첨가된 압력-온도-절대시간-변형 경로를 얻을 수 있으면 더욱 좋을 것이다.

감사의 글

이 연구는 KOSEF 연구비(R14-2003-017-01003-0)에 의해 지원받았다. 또한 이 연구를가능하게 한 연세대학교 연구년 제도에 감사한다.

참고문헌

김옥준, 1970, "옥천층군의 지질시대에 관하여"에 대한 회답. 광산지질, 3, 187-191.
 박계현, 2001, 단계적 용해에 의한 연대측정법 연구. 암석학회지, 10, 133-147.
 손치무, 1970a, 옥천층군의 지질시대에 관하여. 광산지질, 3, 9-15.
 손치무, 1970b, 옥천층군의 지질시대에 관한 토론. 광산지질, 3, 231-244.
 이대성, 장기홍, 이하영, 1972, 옥천계내 향산리 돌로마이트층에서의 Archaeocyatha의 발견과 그 의의. 지질학회지, 4, 191-197.
 이상만, 박희인, 김수진, 박봉순, 이상현, 1981, 괴산군 덕평 지역 변성퇴적암내에 배태된 우라늄광상의 성인. 지질학회지, 17, 53-68.
 임순복, 전희영, 김유봉, 김복철, 송교영, 2006, 서북 옥천대 진산-복수 지역 변성퇴적암층의 층서 및 지질시대. 지질학회지, 42, 149-174.
 임순복, 전희영, 김유봉, 김복철, 조동룡, 2005, 서북 옥천대 비봉-연무 지역 변성퇴적암층의 지질시대, 층서 및 지질구조. 지질학회지, 41, 335-368.
 임순복, 전희영, 김유봉, 이승렬, 기원서, 2007, 서북 옥천대 회남-미원 지역 변성퇴적암층의 지질시대 및 층서. 지질학회지, 43, 125-150.
 장기홍, 박봉순 1977 옥천군 시대미상 암회색 저도 변성이질암에서의 흔적화석 콘드라이트의 산출과 의의. 지질학회지, 13, 263-266.
 조문섭, 김현철, 2002, 중부 옥천변성대의 변성진화: 최근의 연구결과 논평 및 문제점. 암석학회지, 11, 121-137.
 Cheong, C.-S., Jeong, G.Y., Kim, H., Choi, M.-S., Lee, S.-H. 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. Chem. Geol., 193, 81-92.
 Cho, D.-L., Kwon, S.-T., Jeon, E.-Y. and Armstrong, R., 2005. SHRIMP U-Pb zircon ages of metamorphic rocks

from the Samgot unit, Yeoncheon complex in the Imjingang belt, Korea: implications for the Phanerozoic tectonics of East Asia. Annual Meeting of the Geological Society of America, paper number 171-6.
 Cho, D.-L., Suzuki, K., Adachi, M. and Chwae, U., 1996. A preliminary CHIME age determination of monazite from metamorphic and granitic rocks in the Gyeonggi massif, Korea. Journal of Earth and Planetary Sciences, Nagoya University, 43, 49-65.
 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 Reviews, 52, 175-235.
 Cluzel, D., Cadet, J.-P. and Lapiere, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon belt (South Korea). Tectonophysics, 183, 41-56.
 Kim, H. and Cho, M., 1999, Polymetamorphism of Ogcheon Supergroup in the Miwon area, central Ogcheon metamorphic belt, South Korea. Geosci. J., 3, 151-162.
 Kim, H., Cheong, C.S. and Cho, M., 2007, The effect of allanite inclusions on U-Pb step-leaching ages and Sm-Nd isotope systematics of garnet from the Ogcheon metamorphic belt, South Korea. Chem. Geol., 236, 27-41.
 Kim, H.S., 1971, Metamorphic facies and regional metamorphism of Ogcheon metamorphic belt. Jour. Geol. Soc. Korea, 7, 221-256.
 Kim, S.W., Oh, C.W., Itaya, H.H.T. and Liou, J.G., 2005, Metamorphic evolution of the southwest Okcheon metamorphic belt in South Korea and its regional tectonic implications. Int. Geol. Rev., 47, 844-870.
 Kim, S.W., Oh, C.W., Ryu, I.-C., Williams, I.S., Sajeev, K., Santosh, M. and Rajesh, 2006a, Neoproterozoic bimodal volcanism in the Okcheon belt, South Korea, and its comparison with the Nahua rift, South China: Implications for rifting in Rodinia. Jour. Geol., 114, 717-733.
 Kim, S.W., Oh, C.W., Williams, I.S., Rubatto, D., Ryu, I.-C., Rajesh, V.J., Kim, D.-B., Guo, J. and Zhai, M., 2006b, Phanerozoic high-pressure eclogite and intermediate-pressure granulite facies metamorphism in the Gyeonggi massif, South Korea: Implications for the eastward extension of the Dabie-Sulu continental collision zone. Lithos, 92, 357-377.
 Kim, S.W., Williams, I.S., Kwon, S. and Oh, C.W., 2008, SHRIMP zircon geochronology, and geochemical characteristics of metaplutonic rocks from the southwestern Gyeonggi block, Korea: Implications for Palaeoproterozoic to Mesozoic tectonic links between the Korean Peninsula and eastern China. Prec. Res., 162, 475-497.
 Lee, H.-Y., Yu, K.M. and Lee, S.J., 1989, Microfossils from the limestone pebbles of the Hwanggangri Formation and the Hyangsanri Dolomite in the Okcheon zone, South Korea. J. Paleont. Soc. Korea, 5, 91-101.
 Lee, J.-H., Lee, H.-Y., Yu, K.-M. and Lee, B.-S., 1989, Dis-

- covery of microfossils from limestone pebbles of the Hwanggangri Formation and their stratigraphic significance. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 25, 1-15.
- Lee, J.K.W., Williams, I.S. and Ellis, D.J., 1997, Pb, U and Th diffusion in natural zircon. *Nature*, 390, 159-162.
- Lee, K.-S., Chang, H.-W. and Park, K.-H., 1998, Neoproterozoic bimodal volcanism in the central Okcheon belt, Korea: age and tectonic implication. *Prec. Res.* 89, 47-57.
- Min, K. and Cho, M., 1998, Metamorphic evolution of the northwestern Okcheon metamorphic belt, South Korea. *Lithos*, 43, 31-51.
- Oberli, F., Meier, M., Berger, A., Rosenberg, C.L., Giere, R., 2004, U-Th-Pb and ^{230}Th - ^{238}U disequilibrium isotope systematics: precise accessory mineral chronology and melt evolution tracing in the Alpine Bergell intrusion. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68, 2543-2560.
- Ree, J.-H., Kwon, S.-H., Park, Y., Kwon, S.-T. and Park, S.-H., 2001, Pre-tectonic and post-tectonic emplacements of the granitoids in the south central Okcheon belt, South Korea: Implications for the timing of strike-slip shearing and thrusting. *Tectonics*, 20, 850-867.
- Sagong, H., Kwon, S.-T., and Ree, J.-H., 2005, Mesozoic episodic magmatism in South Korea and its tectonic implication. *Tectonics*, 24, TC5002, doi:10.1029/2004TC001720.
- Suzuki, K., Dunkley, D., Adachi, M. and Chwae, U., 2006, Discovery of a c. 370 Ma granitic gneiss clast from the Hwanggangri pebble-bearing phyllite in the Okcheon metamorphic belt, Korea. *Gondwana Res.*, 9, 85-94.
- Yin, A. and Nie, S., 1993, An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and Honam fault systems, Eastern Asia. *Tectonics*, 12, 801-813.

2008년 6월 3일 접수

2008년 6월 6일 심사개시

2008년 6월 21일 채택