

Tectono-metamorphic evolution of the Okcheon Metamorphic Belt: its tectonic implications to East Asia

Sung Won Kim

Basic Science Research Institute, Chonbuk National University, Chonju 561-756, South Korea,

e-mail: sungwon@chonbuk.ac.kr

1. 서언

옥천변성대의 지구조역사는 남한, 중국 및 일본의 지구조관계를 이해하는데 중요하다. 옥천변성대는 제천-괴산-대전-전주를 잇는 지구조대로 선캠브리안 경기육괴와 영남육괴 사이를 북동에서 남서방향으로 가로질러 발달하고 있다. 옥천변성대에 대한 변성암석학적 연구는 1990년대 중반이후부터 활발히 진행되어 왔다 (김현철 외, 1995; Oh *et al.*, 1995; 오창환 외, 1995, 1998, 1999; Min and Cho, 1998; Kim and Cho, 1999; Cho and Kim, 2005; Kim *et al.*, 2005b). 하지만, 변성 및 냉각시기 측정 등에 자료 부족, 일부 기존 연대 측정 자료의 부정확성 그리고 옥천변성대의 남서-북동방향으로 대규모로 저반상의 중생대 화강암체의 관입에 따른 열적 영향 인한 동위원소계의 교란에 의해 변성진화과정을 정확히 규명하지 못한 실정이다.

최근 2000년대 들어와 많은 연구자들의 옥천변성대 암석에 대한 새로운 암석학적 연구, 선진 연대 측정기술과 순차층서학적 연구 및 그 결과를 이용한 분지해석 등으로 인하여 옥천변성대의 지구조역사 해석에 많은 진보를 가져왔다 (e.g. Kim *et al.*, 2001; 조문섭과 김현철, 2002; Cheong *et al.*, 2003; Oh *et al.*, 2004; 유인창 외, 2004; Cho and Kim, 2005; Kim *et al.*, 2005b; 임순복 외, 2005).

이번 연구에서는 옥천변성대의 기원을 알아보기 위하여 분지가 형성되었을 당시에 생성된 암석들에 대해 SHRIMP U-Pb 저어콘 분석과 지화학 분석을 수행하여 기존의 연구 결과와 비교하였으며 남중국판의 남중국의 난후아 열곡대 (후아난 알로코젠)과도 연결될 가능성에 대하여 비교 검토하였다. 열개 이후 옥천변성대에서 퇴적양상을 알아보기 위하여 옥천변성대 저변성대인 남동쪽에서 고변성대인 북동쪽으로 체계적으로 암석을 채집하여 전암화학 분석을 수행하였으며 대표 정밀기재 단면들을 선정하였다. 옥천변성대의 변성진화과정을 알아보기 위하여 변성암석학적 연구와 연대학적 연구를 병행하여 수행하였다. 또한 주변성 시기 이후의 냉각역사를 알아보기 위해 각섬석을 포함한 암석의 각섬석 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대를 측정하였으며 옥천변성대 내의 흑운모와 백운모의 넓은 K-Ar 연대분포의 의미를 재검토하며 주변성 시기 이후의 냉각역사를 정확히 규명하기 위하여 옥천변성대 서남부 화산지역과 중부 미원-증평 변성퇴적암에 대해서 저변성지역부터 고변성지역에 걸쳐서 횡단선을 설정하여 체계적으로 암석을 채취하고 암석내의 흑운모와 백운모에 대한 K-Ar 과 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정을 수행하였다. 또한, 변성암류에 광역적으로 관입한 주라기 화강암의 열적 영향을 정량적으로 추정하기 위하여 서남부 화산지역과 중부 미원-증평 지역의 보은과 피반령 지구조 단위 (lithotectonic unit)에서 채취한 변성

이질-사질암으로부터 X-ray 회절분석을 통한 탄질물의 흑연화도 d_{002} 값을 구하였으며 그 결과에 대하여 논의하였으며 이들 결과들을 종합하여 옥천변성대의 지구조-변성 진화는 추정하였다.

2. 연구내용 및 결과

옥천변성대에서 퇴적양상을 알아보기 위하여 옥천변성대 서남부 화산지역과 중부 미원-덕평지역에서 저변성대인 남동쪽에서 고변성대인 북동쪽으로 체계적으로 암석을 채집하여 전암화학분석을 수행하였으며 남동쪽에서 1개지점 (고산지점) 북서쪽에서 3 개지점 (소릉지점, 황룡재 지점 및 갈마재 지점)에 대해 정밀기재단면을 수행하였다. 정밀 기재단면 결과 남동부 지역에서는 천해환경에서 인지되는 해변 퇴적물이 북서부지역에서는 대륙사면의 슬럼프와 분지중심의 퇴적물이 인지되며 북서쪽으로 갈수록 점진적으로 깊어지는 퇴적환경 즉 천해환경에서 대륙사면 분지중심으로 전이하는 환경으로 지시하며 또한 채집한 변성퇴적암 150여개의 암석화학성분은 이들 자료는 산화물 및 탄질물질의 분포양상과 함께 옥천변성대의 반지구대 모델과 잘 부합된다 (그림 1).

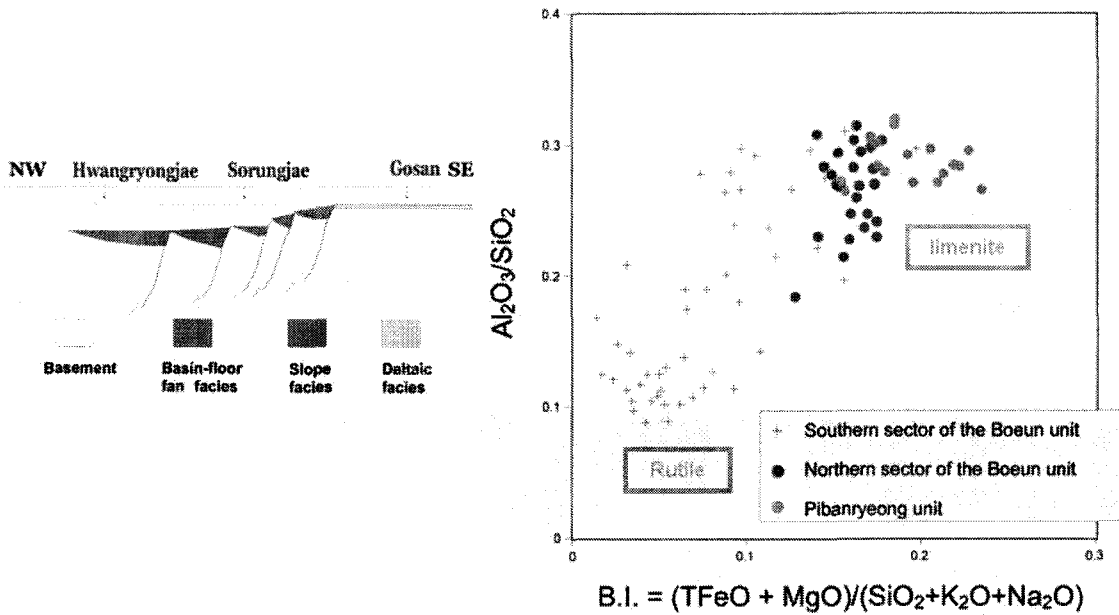


그림 1. Schematic diagram showing the depositional environment of the Okcheon Metamorphic Belt. Note the stratigraphic relationships between the Gosan, Sorungjae, and Hwangryeongjae sections. Discrimination diagram of Al_2O_3/SiO_2 versus $B.I. = (Fe_2O_3^* + MgO)/(SiO_2 + K_2O + Na_2O)$ and (b) A'KF diagram for bulk rock chemistry in metapelitic and psammitic rocks from the Gosan section of the Boeun unit and the Sorungjae section of the Pibanryeong unit in the study area.

옥천변성대의 형성시기 즉 분지가 형성된 시기를 추정하기 위하여 옥천분지가 형성되었을 당시 만들어졌을 것으로 추정되는 옥천변성대 북동부 산성질 변성화산암에 대한 SHRIMP U-Pb 지어콘 연대는 762 Ma (그림 2)로 이들 연대는 분지가 형성되었을 시기로 추정되며 기존 연구자들의 연대결과 (Lee et al., 1998; Cho and Kim, 2005) 와 잘 일치한다. 이들 충주지역은 쌍모식 화산작용의 연속성을 야외산상에서 잘 보여주며 이들 암석들의 지화학적 특징은 대륙 내 열개로 인한 판내부 환경을 잘 지시한다 (그림 3). 또한 충주 지역의 변성 화산암류의 지화학적 특징 및 변성 쌍모식 화산암의 산출양상은 남중국의 난후아 열곡대와 매우 유사하다. 난후아 열곡대에는 원생대 후기 (Neoproterozoic)의 로디니아 초대륙 분열과 관련된 비조산형 화산암이 넓게 산출되며 난후아 열곡대는 충서적, 암석학 및 연대학적으로 옥천변성대와 비슷한 양상을 보여준다. 이는 옥천대와 남중국의 난후아 열곡대의 연결가능성이 높음을 지시한다. 난후아 열곡대에서도 쌍모식 화산작용이 관찰되며 그 시기가 800 - 750 Ma인 사실 (Wang and Li, 2003) 또한 충주지역과 유사하다. 즉 충주 지역은 원생대 후기 (Neoproterozoic) 맨틀의 거대 plume으로 인한 로디니아 초대륙의 분열로 대륙내 열곡에서 형성되었으며 그 결과 암석학적, 지화학 및 연대학적인 특징이 남중국의 난후아 열곡대 (Nanhua rift)와 두드러지게 유사한 것으로 생각된다.

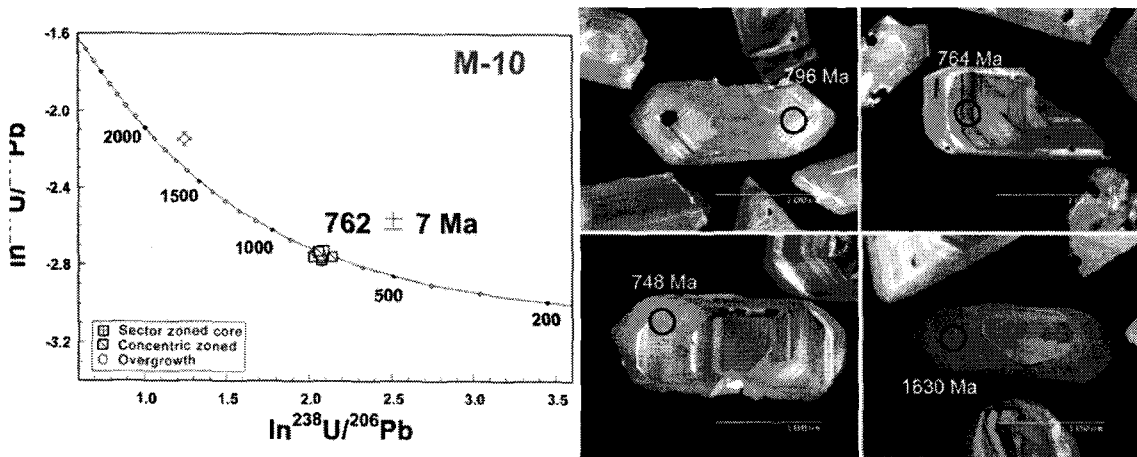


그림 2. Tera-Wasserburg concordia plots of the SHRIMP U-Pb zircon isotopic analyses and cathodoluminescence (CL) image of zircons analyzed from felsic volcanic rock (M-10) from the Munjuri Formation in the Chungju area.

옥천변성대 내 변성퇴적암류들의 층상광물들은 대체적으로 북동-남서방향의 주엽리면을 보이며, 남동부 지역에서는 북서쪽으로의 경사가 우세한 반면 북서쪽 지역에서는 남동쪽으로의 경사가 우세하다. 옥천변성대 주변부에는 류라기 화강체들이 변성암류를 관입하며, 남동부에는 백

약기 화성복합체에 의해 관입 되거나 덮여있다. 옥천변성대는 중압형의 광역변성작용을 받았으며 광역변성작용시 옥천변성대는 변성이질암의 광물조합을 바탕으로 남동부부터 북서방향으로 2개 혹은 3개의 분대로 (서남부: 흑운모대, 석류석대 와 십자석대; 중부: 흑운모대와 석류석대) 나누어진다. 대체적으로 흑운모대는 남동부지역 그리고 십자석대는 북서부지역에 속하며 석류석대는 전체 지역에 걸쳐서 나타나기도 한다. 광물군 및 광물의 재결정도의 변화에 의해 지시되는 광역적인 변성도는 남동에서 북서방향으로 갈수록 증가한다. 주라기 화강암 접촉부의 변성암류에서 화강암의 접촉변성작용 영향으로 형성된 홍주석, 규선석, 근청석등이 관찰된다. 옥천변성대에서 중압형 광역변성작용에 의해 제시되는 변성 압력-온도조건은 4.2-9.4 kb, 490-630 °C 이며 (김현철 외, 1995; 오창환 외, 1997, 1998. 1999: Kim and Cho, 1999; Kim et al., 2005b) 저압변성작용에 의해 제시되는 변성 압력-온도조건은 2.1-5.0 kb, 540-698 °C 이다. 최근 옥천변성대의 주변성시기는 Cheong et al. (2003)의 연대결과에 의해 약 2억 8천만년에서 3억년사이에 일어난 것으로 추정된다.

주변성시기 이후에 냉각역사를 알아보기 위하여 옥천변성대 내 각섬석을 포함한 암석에 대해 각섬석 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대를 측정하였다. 옥천변성대의 각섬석을 포함한 암석의 산출형태는 퇴적기원의 변성사질암 내 석회질규산염암의 얇은 층이나 렌즈형태, 각섬석 변성사질암과 화성기원의 염기성 변성화산암과 변성염기성암의 형태로 구분되어 산출된다. (그림 3).

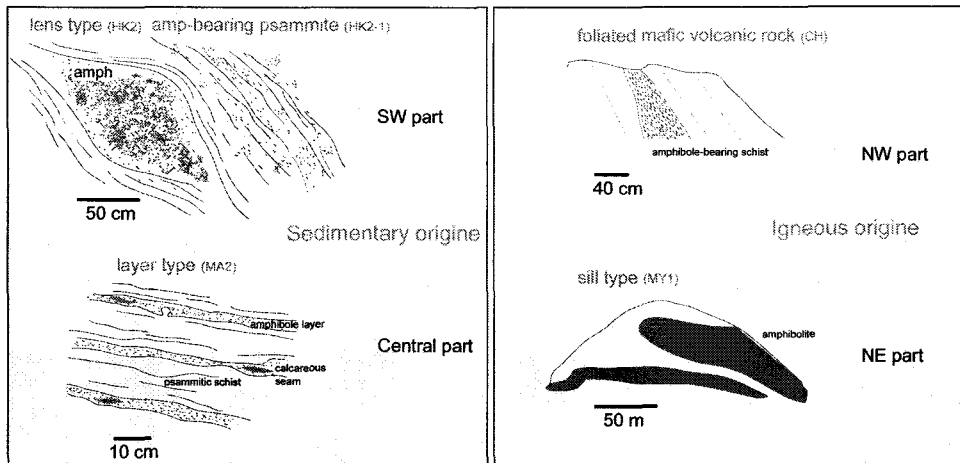


그림 3. Occurrence types of amphibole-bearing rocks in the Okcheon Metamorphic Belt.

이들 암석 내 각섬석들의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대들은 대부분 평형연대를 지시하지 않으며 132 Ma-975 Ma의 넓은 연대를 보여준다. 가장 늙은 연대 (975 Ma)는 옥천분지 퇴적이전의 오래된 화성 및 변성연대 혹은 과잉 아르곤에 의한 겉보기 연대로 해석될 수 있다. 이에 반해 가장 젊은 연대인 132 Ma와 젊은 분산된 연대 스펙트라 패턴은 주라기 화강암의 관입에 의한 후퇴 열변성 작용에 기인한다. 일부 석회질규산염암 내 중립질 및 조립질 각섬석은 균집형태로 산출되며 과잉아르곤의 존재를 뚜렷이 지시한다. 하지만 고변성 지역의 변성 사질암과 일부 각섬석의 성분이 균질한 석회질규산염암내 각섬석들의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대는 237-261 Ma의 평형연대를 지시한다. 이러한 연대는

주변성시기 이후의 냉각연대를 잘 지시한다. 또한 옥천변성대의 각섬석을 포함한 암석은 여러 시기의 변성작용을 경험하였으며 이들 복잡한 각섬석 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대해석은 자세한 암석학적 연구와 각섬석 화학연구를 수반해야만 밝힐 수 있다 (Kim, 2005).

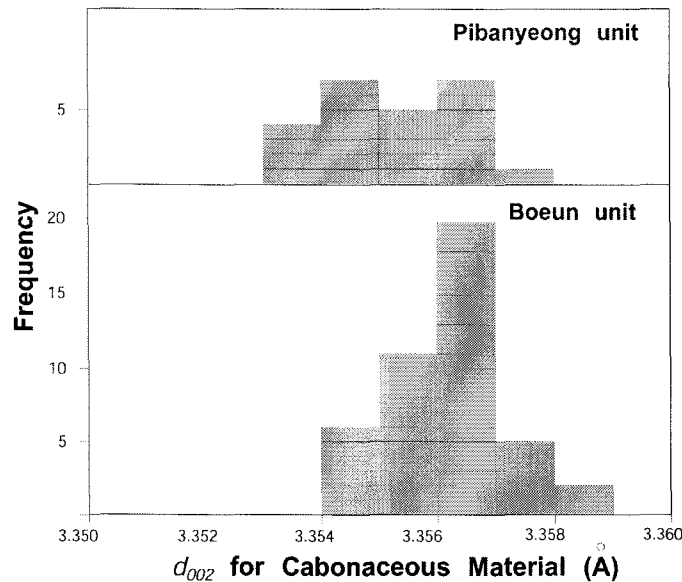


그림 4. Frequency distribution of d_{002} values for carbonaceous materials from pelitic and psammitic rocks in both the Boeun (southeastern part) and Pibanryeong (northwestern part) units in the study areas.

옥천변성대 주변에 분포하는 주라기 화강암의 광역적인 열변성작용을 알아보기 위해 옥천변성대 내에 분포하는 변성퇴적암의 운모류에 대한 K-Ar 및 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정 그리고 변성퇴적암 내 탄질물을 추출하여 탄질물의 흑연화를 알아보았다. 중부옥천변성대의 변성퇴적암으로부터 구한 흑운모 및 백운모 K-Ar 연대 102-277 Ma 범위이다. 주라기 연대를 지시하는 142-194 Ma의 K-Ar 연대는 연구지역 전범위에 일반적이며 폐름기중기에서 삼첩기 초기까지의 범위를 지시하는 216-277 Ma의 늙은 연대는 옥천변성대 중앙부에서만 구해진다 (김성원 외, 2003; Oh et al., 2004; Kim et al., 2005b). 한편, 백악기의 젊은 연대는 백악기 화강암 주변부 변성퇴적암에만 국한된다. 주라기 화강암의 대규모 관입시 관입에 의해 구조적으로 덜 변형된 옥천변성대 중앙부에서 얻어진 216-277 Ma는 옥천변성대의 주변성시기인 M1 중압형 변성작용을 잘 지시한다. 하지만 연구지역의 전반적인 주라기 연대분포와 주라기 화강암 주변부의 변형양상의 관계를 근거로 주라기를 지시하는 흑운모, 백운모 연대는 주라기 화강암의 열적 영향과 관입에 의한 변형에 의해 야기된 완전히 재평형된 연대로 해석될 수 있다. 연구지역의 변성퇴적암과 화강암의 흑운모와 백운모로부터 얻어진 155-169 Ma의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 평형연대는 142-194 Ma의 K-Ar 운모연대와 잘 부합된다. 서남부 옥천변성대

의 흑운모 화강암으로부터 구한 U-Pb 저어콘 연대는 167-169 Ma의 관입정치시기를 지시한다. 이와 같이 연구지역은 우세한 쥐라기 화성 및 변성연대를 지시한다. 또한 옥천변성대 변성퇴적암으로부터 분리된 탄질물질의 d_{002} 값은 모두 각섬암상 범위의 흑연화를 지시하는 3.353-3.359 Å의 매우 좁은범위에 집중된다 (그림 4). 옥천변성대의 변성광물군으로 볼때 녹색편암상의 변성작용을 받은 저변성지역의 변성퇴적암의 탄질물질의 d_{002} 값도 모두 각섬암상 이상의 고온을 지시하는 것으로 보아 옥천변성대가 M1 중압형 변성작용 이후 저압형의 M2 변성작용을 강력하게 받았음을 지시한다. 저압형의 M2 변성작용은 쥐라기 화강암의 광역적인 관입에 의해 야기되었을 것으로 추정된다.

3. 토의

기존의 연구와 현재까지 보고된 옥천변성대의 지구조-변성사를 논의해보면 옥천변성대는 원생대 후기 대륙내 열 개에 의한 분지형성 이후 퇴적시기에 대한 많은 논란을 가져오지만 두 번의 광역적인 변성작용을 경험한 것으로 보고 되고 있다 (e.g. Kim et al., 2001; 조문섭과 김현철, 2002; Cheong et al., 2003; Oh et al., 2004; 유인창 외, 2004; Cho and Kim, 2005; Kim et al., 2005b; 임순복 외, 2005). 최근 옥천변성대 중부지역에서 Cheong et al. (2003)는 흑색점판암 시료들로부터 Pb-Pb 전암과 CHIME 우라니나이트 (uraninite) 연대측정법을 이용하여 281-291 Ma를 구하였고, 또한, Kim et al. (2001)은 석류석-각섬석 편암으로부터 단계적 용해법을 사용한 석류석 U-Pb 연대측정법에서 281-300 Ma를 구하였다. 조문섭과 김현철 (2002)는 이들 연대를 근거로 옥천분지 (옥천변성대)가 어떤 힘에 의해 닫히게 되었는지 밝히지 않았지만 최고 변성작용기간을 석탄기후기부터 페름기초기까지 옥천변성대의 주변성시기로 해석하였다.

옥천변성대 중부지역 일부 중앙부 5개 시료에 대해 구한 241-277 Ma의 운모류 K-Ar 연대와 백악기 화강암 접촉부의 연대를 제외하고는 거의 모든 지역의 운모류 연대가 쥐라기중기 연대를 보여준다. 이러한 흑운모 및 백운모 K-Ar 과 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대자료들은 앞에서 언급된 탄질물질에 대한 연구결과, 화강암의 관입정치 및 냉각연대 그리고 쥐라기 화강암 주변의 저압형 변성광물대와 함께 쥐라기 화강암저반의 광역적인 관입에 의한 저압형의 광역적인 열변성작용이 일어났음을 지시한다. 한편, 옥천변성대 서남부지역에서 얻어진 변성이질-사질암과 화강암류 내 흑운모와 백운모의 K-Ar 과 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대들은 화강암체 접촉부로 갈수록 연대가 감소하는 경향을 보여주지 않고 쥐라기중기 (약 160 - 170 Ma)의 짧은 시기에 집중된다. 또한 이 시기는 연구지역의 화강암체의 관입정치 및 냉각시기와 동일하다 (Kim et al., 2005a). 이들 백운모와 흑운모 연대해석에는 두 가지 가능성이 있다. 첫 번째 가능성은 쥐라기 화강암체가 옥천변성대에 단지 열적영향을 주었을 경우이다. 즉, 서남부지역이 중부지역과 같이 석탄기후기와 페름기사이에 중압변성작용을 받은 후 300 °C 이하까지 식은 후 쥐라기중기 화강암체가 광역적으로 관입하여 전체지역에 480 °C 이상의 지온상승의 열적조건을 준 후 다시 빨리 식어 화강암과 옥천변성대 내 흑운모와 백운모가 동일한 냉각연대를 보여주는 것이다. 이는 이미 옥천변성대가 쥐라기중기 이전까지 지표면 가까이 (2.1-5.0 kb, 약 7-17 km) 상승한 후 화강암체가 광역적으로 관입하였음을 전제한다. 두 번째 가능성은 변

성퇴적암이 중압형의 변성환경조건에 쥬라기초기까지 계속 머물다가 쥬라기 중기에 지표근처로 상승하면서 광역적인 화강암체의 관입이 수반되어 변성퇴적암과 화강암체가 거의 같은 시기에 냉각사를 경험했을 가능성이 있다. 화산지역에서 얻은 연대결과는 화산지역 서부 금산사지역의 전주전단대에서 170-173 Ma 일어난 호남전단대의 우수향 연성전단운동 (이승렬 외 2003) 시기와 유사하며 이는 비록 호남전단대의 우수향 연성전단운동이 옥천변성대에 구조적으로 사소한 영향을 주었을지라도 쥬라기중기에 대규모 화강암체의 관입으로 인한 광역적 열 변성작용 외에 이들 화강암체의 관입과 함께 일어난 구조운동들이 옥천변성대 서남부에 영향을 준 것은 배제할 수 없음을 지시한다.

결과적으로 옥천변성대의 지구조-변성 진화는 다음과 같이 진화한 것으로 추정된다. 1) 옥천변성대의 기원은 원생대 말기 로디니아 초대륙의 분열에 의한 대륙 내 열개에 의해 형성되었고 남중국판의 남중국의 난후아 열곡대(후아난 알로코젠)과도 연결될 가능성이 있다. 2) 열개 이후 원생대 말기부터 오로도비스기 혹은 페름기까지 여러 부정합 관계를 가지고 퇴적된 후, 3) 고생대 말기 남중국판과 북중국판의 대륙충돌대 주변부에서 대륙충돌로 발생한 M1 중압형 변성작용을 받았을 가능성이 높으며, 4) 쥬라기 초기부터 중기동안 아시아판 아래로 파라레온-이자나기판의 북서방향 섭입에 의한 대규모 화강암의 관입으로 옥천변성대는 저압형의 M2 변성작용을 받았으며 이시기에 Farallon-Izanagi 판의 북서방향 섭입은 옥천변성대와 선캠브리아기의 영남육괴사이의 우수향 호남전단대를 형성하였을 가능성이 있다.

참고문헌

- 김성원, 오창환, 이덕수, 이정후, 2003, 옥천변성대 변성퇴적암의 K-Ar 및 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대와 그 의미, 암석학회지, 12, 79-99.
- 김현철, 조문섭, 고희재, 1995, 증평-덕평지역에 분포하는 중부 옥천 변성대의 변성 지구조적 진화. 지질학회지, 31, 299-314.
- 이승렬, 이병주, 조동룡, 기원서, 고희재, 김복철, 송교영, 황재하, 최범영, 2003, 전주전단대 화강암류의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연령측정: 호남전단대의 운동시기에 대한 고찰, 한국암석학회·한국광물 학회 공동학술발표회 요약집, 53.
- 임순복, 전희영, 김유봉, 김복철, 조동룡, 2005, 서부 옥천대 비봉~연무지역 변성퇴적암층의 지질 시대, 층서 및 지질구조. 지질학회지, 41, 335-268.
- 오창환, 김창숙, 박영도, 1997, 옥천화강암과 보은화강암 관입에 의한 접촉변성작용, 암석학회지, 6, 133-149.
- 오창환, 김성원, 이정후, 1998, 옥천변성대 남서부지역의 광역변성작용과 접촉변성작용에 관한 연구, 지질학회지, 34, 311-332.
- 오창환, 권용완, 김성원, 1999, 청주-미원지역 중부옥천대의 변성진화과정, 암석학회지, 8, 106-124.
- 유인창, 김성원, 오창환, 이덕수, "서남 옥천변성대 옥천층군의 층서 및 암석화학에 대한 예비연구", 자원환경지질, 36, 511-525
- 조문섭, 김현철, 2002, 중부 옥천변성대의 변성진화: 최근의 연구결과 논평 및 문제점. 암석학회지,

11, 121-137.

- Cheong, C. S., Cheong, K. Y., Kim, H., Choi, M. S., Lee, 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. *Chem. Geol.*, 193. 81-92.
- Cho, M., and Kim, H. 2005. Metamorphic Evolution of the Ogcheon Belt, Korea. A Review and New Age Constraints. *International Geology Rev.* 47: 41-57.
- Kim, H., Cheong, C. S., Cho, M., Jeong, G. Y., and Choi, M. S., 2001, Geochronological evidence for late Paleozoic orogeny in the Ogcheon metamorphic belt, South Korea (abstract). *Annu. Meet. Geol. Soc. Am.*, Abstr. with Program, 33.
- Kim, H., and Cho, M., 1999, Polymetamorphism of Ogcheon Supergroup in the Miwon area, central Ogcheon metamorphic belt, South Korea. *Geosci. Jour.*, 3, 151-162.
- Kim, S.W., 2005. "Amphibole $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology from the Okcheon Metamorphic Belt, South Korea: A discussion on Precautions and Pitfall", *Gondwana Research* 8, 385-405.
- Kim, S.W., Oh, C. W., Choi, S.G., Ryu, I.C., and Itaya, T. 2005a, Ridge Subduction-related Jurassic Plutonism in and around the Okcheon Metamorphic Belt, South Korea, and Implications for Northeast Asian Tectonics. *International Geology Review*, 47, 248-269.
- Kim, S.W., Oh, C. W., Hyodo, H., Itaya, T. and Liou, J. G. 2005b, Metamorphic evolution of the SW Okcheon metamorphic belt in South Korea and its regional implications. *International Geology Review*, 47, 344-370.
- Lee, K.S., Chang, H.W., and Park, K.H. 1998. Neoproterozoic bimodal volcanism in the central Ogcheon belt, Korea: age and tectonic implication. *Precam. Res.* 89: 47-57.
- Min, K., and Cho, M., 1998, Metamorphic evolution of the northwestern Ogcheon metamorphic belt, South Korea. *Lithos* 43, 31-51.
- Oh, C.W., Kim S.T., and Lee, J.H., 1995, The P-T Condition and Timing of the Main Metamorphism in the Southwestern Part of the Okchon Metamorphic Belt. *J. Geol. Soc. Korea*, 31, 343-361.
- C. W. Oh, S. W. Kim, I.-C. Ryu, T. Okada, H. Hyodo and T. Itaya, 2004. Tectono-metamorphic Evolution of the Ogcheon Metamorphic Belt, South Korea: Tectonic Implications in East Asia. *The Island Arc*, 13, 387-409.
- Wang, J., and Li, Z.-X. 2003. History of Neoproterozoic rift basins in South China: implications for Rodinia break-up. *Precam. Res.* 122: 141-158.