지질학회지 제 49권 제 4호, p. 437-452, (2013년 8월)
J. Geol. Soc. Korea, v. 49, no. 4, p. 437-452, (August 2013)

한중판 중기 고생대 퇴적구(區): 옥천변성대와의 관계

장기홍
경북대학교 지질학과

요 약

'중기 고생대'(후기오르도비스기-전기석탄기) 대결층(大缺層)은 한중판(板, 板塊, 剛塊)의 주요 특징이다. 한편 한중판의 연변부(plate margin)인 한반도-산동반도 일부에는 중기 고생대의 임의의 시기에 곳곳에 퇴적이 진행되어 본보에서 일컫는 '한중판 중기고생대 퇴적구(MPPr)'를 이루었다. 각 퇴적층의 퇴적기간을 다 합하면 중기 고생대 대결층 기간이 된다. 이 지층들의 분포면적의 합은 MPPr 면적의 약 2십 분의 1에 불과하므로, 중기 고생대 대결층은 MPPr에도 그대로 인정되나 불완전한 발달을 했다고 볼 수 있다. 쇄설성 저어컨 입자들에 대한 근래의 방사성연대 연구 결과를 필자 나름으로 해석하면 MPPr의 퇴적물은 인접 남중국판에서 주로 공급되었다. MPPr의 퇴적층들은 양쯔해(고 테티스해) 화석생물 요소를 함유한다고 보고되어 있어 그 바다가 한중판 위로 해침했음을 알 수 있다. 중국 측 논문들은 중기 고생대에 남중국판이 한중판에 부가(付加) 또는 가벼운 충돌을 했다고 보고한다. 중기고생대는 한중판에 대결층과 MPPr이 형성된 시기이므로 이 두 양상은 그 원인이 되기에 알맞은 지구조운동의 결과였다는 설정이 가능하다. 대결층과 MPPr의 형성은 경미하고 지속성 있던 충돌과정의 결과였다고 생각된다. 한반도-산동반도에 관한한 중기고생대의 두 지판의 접촉은 먼저 수루(Sulu) 봉합대에서 이루어졌다. 그런데 MPPr의 열곡들이 가장 밀집된 지역은 YSTF에 가까이 위치한 한반도 중서부이니 이는 특별한 설명을 요한다. 수루대(帶) 충돌에 기인한 압축력은 남중국판 북부를 융기시키는 동시에 동쪽으로도 횡압(橫壓)분력(分力)을 보내어 YSTF를 간접적 충돌봉합대로 전환시켰을 것이다. 두 지판의 충돌봉합대의 지각 상층부는 인장력이 작용하여 열곡들이 발달되어, 상대적으로 융기된 남중국판에서 한중판 위로 퇴적물이 공급되었다. 이 열곡들은 이른바 올라코젠(aulacogen)에 해당한다. MPPr의 올라코젠들만이 잘 보존되어 연구대상이 되고 있다. MPPr의 퇴적층들은 산재(散在)한 분지별로 시대가 다르지만 모두 고생대 대결층 기간의 범위 안에 한정되므로 그 모두는 조선속(束)과 평안속 사이에서 하나의 '두 부정합 사이의' 대단위지층을 이룬다. 이에 대하여 '한중판 중기고생대 속(束)(Sino-Korean M. Paleozoic Hiatal Synthem)'이라는 지층명을 붙여본다. 이로써 한반도의 지질계통표의 대결층은 메워졌다.

주요어: 한중판(강괴), 대결층, 중기 고생대 퇴적구, 올라코젠, 옥천변성대

Ki-Hong Chang, 2013, Middle Paleozoic Sedimentary Province within Sino-Korean Plate: Paleogeographic Implication for Okcheon Metamorphic Zone. Journal of the Geological Society of Korea. v. 49, no. 4, p. 437-452

ABSTRACT: The Middle Paleozoic Sedimentary Province (MPPr), a Korea-Shandong area, is located in the Sino-Korean Plate margin adjacent to the South China Plate. Here in MPPr, the expected 'Middle Paleozoic' (Upper Ordovician-Lower Carboniferous) hiatus characteristic of the Sino-Korean Plate is ambiguous because of the sporadic developments of the local sedimentary sequences within the Middle Paleozoic time scope. The outline of MPPr is drawn only for convenience, not an objective geological boundary. The adjacency of MPPr to the South China Plate suggests that its sedimentary basins were aulacogens formed near the suture zone. During the Middle Paleozoic time, a soft collision of the South China Plate against the Sino-Korean Plate in the Qinling-Dabie-Sulu suture zone is seen to have accumulated its compressional energy over the northern marginal area of the South China Plate. Supposedly, a natural consequence was an expansion upward and eastward of the northen margin of South China Plate; the compressed Sino-Korean plate margin of the Korean Peninsula might have formed an extensional upper crust that favored formations of aulacogens. The possible Middle Paleozoic aulacogens of the South China Plate margin may have either been coevally eroded away or, afterward, subducted in the Indosinian

‡ Corresponding author: E-mail: changkhong@hanmail.net

time under the Sulu (Shandong) suture zone or, even now, lain under the present Yellow Sea floor. The Middle Paleozoic sedimentations in MPPr were either continued upon the earlier Paleozoic sedimentary sequences or took place anew on the Precambrian rocks. But the total time span of the Middle Paleozoic sedimentations in various sedimentary basins of MPPr corresponds to the Middle Paleozoic Hiatus. Therefore the total composite sedimentary sequences form an unconformity-bounded stratigraphic unit that may be called 'the Sino-Korean Middle Paleozoic Hiatal Synthem.' The rift-fills of MPPr, rarely volcanic and contain Yangtze-akin shallow marine fossils, are characterized by containing clastic zircon grains with radiometric ages characteristic of the South China Plate. The adjacency of the South China Plate as the source terrane is supported by the frequently reported Middle Paleozoic soft collision of the the South China plate against the Sino-Korean Plate. Recently discovered Middle Paleozoic strata in the western Metamorphosed Okcheon Zone proves the latter area as a part of the MPPr. It suggests further discoveries of the Middle Paleozoic strata in the Metamorphosed Okcheon Zone. A comment is added regarding the mixed occurrence of the Sino-Korea-akin ca 1.8 Ga and the South China-akin ca 8 Ga magmatisms in the western South Korea, a part of the Sino-Korean Plate.

Key words: Sino-Korean Plate, Great Hiatus, Middle Paleozoic Sedimentary Province, aulacogens, Metamorphosed Okcheon Zone

(Ki-Hong Chang, Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

1. 서 론

중기고생대(후기오르도비스기-전기석탄기) 대결층(大缺層)은 한중판 전역의 고생대 분지의 특징적 양상으로 알려져 왔었는데, 한반도-산동반도 일부에는 그 기간에도 퇴적작용이 있었음이 알려졌다(Wang, 1985; Yang *et al*., 1986; Paik, 1993; Geol. Soc. Korea, 1998; Wan, 2010). 본보는 중기 고생대 퇴적작용이 있었던 지리적 범위를 '중기고생대 퇴적구(區)'(Middle Paleozoic Sedimentary province, MPPr)라 일컫는다.

필자는 산동반도의 삼첩기 수루 초고압(UHP) 변성대를 한반도로 연장되지 않게 원천적으로 제한시켰던 하나의 변환단층을 YSTF (Yellow Sea Transform Fault)라 했었다(Chang, 2000; Chang and Park, 2001). 그 우수향 변환단층이 삼첩기초에 친링-따비-수루 봉합대의 동쪽으로의 연장을 단절시키고 있었으므로 지금도 한반도에는 수루충돌봉합(縫合)대의 연장부가 존재하지 않는 것이다. 남중국판은 고생대 동안 황해(黃海) 지역에 존재하여 YSTF 건너 한반도와 인접해 있으므로 상황의 변동에 따라(남중국판이) MPPr의 공급원지가 될 수 있었다. 그림 1, 2에 표시된 고생대 황해변환단층(YSTF)은 지금은 변형되고 이동되어 남한 서변(西邊)단층(WMF)으로서 서해안 가까운 해저에서 발견되고 있다(Hao *et al*., 2005). YSTF (WMF) 서쪽의 황해저는 원생대 중엽부터 남중국판이 자리 잡아 현재에 이르렀다.

중기 고생대에 친링-따비-수루 조산대에서 북중국-남중국이 부가(付加) 또는 충돌을 겪었다는 보고는 많다(CAGS Inst. of Geol., 1993; Gao *et al*., 1995; Ren *et al*., 1996; Faure *et al*., 2007, 2009; Dong *et al*., 2013). 중국과학원 지질연구소에서 간행된 따비-수루 조산대 지질도 설명서는 칼레도니아 변동기에 북중국-남중국 두 지판이 대접(對接)했다고 했는데 대접은 부가(付加, accretion)의 뜻이다(CAGS Inst. of Geol., 1993). 여러 고지리도는 중기 고생대에 한중판과 남중국판이 멀리 떨어져 있었다고 나타내고 있으나 그 근거는 의심스럽다(Matcalfe, 1999). 고지자기학은 위도에 관한 정보와 지판의 회전운동에 관하여는 자료를 제공할 수 있으나 나머지는 고지리도 작성자의 주관이 섞이기 쉽다.

중기고생대에는 양쯔판에 대한 카타이시아판의 충돌로 남중국판이 생겨났고, 대략 동시에 남중국판이 한중판으로 부가(付加)되었는데 그것은 Ren *et al*. (1996)의 소위 연성(軟性) 충돌에 해당하는 특별한 충돌양상이었다. 그 저자들은 중국지사의 특징이 충돌과 분리가 교대하는 다윤회적 봉합(polycyclic suturing)이라고 했는데 양쯔판과 한중판의 관계가 그런 경우로 보인다. 한중판의 대결층과 MPPr의 열곡형성은 그러한 가벼운 대륙충돌의 결과로 밖에는 다른 원인을 찾을 수 없다.

한반도는 한중판의 한 부분이라는 것이 지금까지 필자가 내린 판단이다. 산동반도 북부는 한중(韓中)판에 속한다(Shandong Geol. Min. Survey, 1996). 산동반도 북동부의 팽라이 부근에서 발견된 연남층

군('烟南群')은 문헌조사에 의하면 중기고생대층임이 확인된다. 한반도 중서부는 중기고생대 분지들이 밀집한 지대인데, 여기다 연남층군 분지를 합하면 MPPr이 된다. 그림 1이 보여주는 바와 같은 'ㄱ' 자형 지대를 이룬다.

용어의 문제에 언급하자면, 고생대는 전반기와 후반기로도 나누이고, 전기(캄브리아기와 오르도비스기), 중기(사일루리아기와 데본기), 후기(석탄기와 페름기)로도 나누인다. 본보에서는 한중판의 사정에 따라 '후기오르도비스기-전기석탄기'를 '중기'라고 부르는 경우가 있으니 양해를 바란다. 사일루리안-데보니안을 좀더 전후로 확대하여 '중기고생대'라고 에누리를 하는 경우가 예상된다.

판(板)이란 용어는 한중판, 양쯔판 등 오랜 지질시대 동안 독립적으로 거동했음이 확실한 육괴(block)의 경우에 적용하였다. 본보는 남중국판이 합성된 중기고생대 이후에 관한 것이므로 남중국판이란 이름이 자주 사용되었다. 양쯔판은 남중국판 북부라고 이해하면 될 줄 안다. Luliang변동(ca 1.85 Ga)은 한중판에 특유하고, Sibao변동(ca 1 Ga)과 Jinning변동(ca 0.8 Ga)은 양쯔판에 특유하다. 이러한 지구조 발달사의 차이는 두 지판이 전혀 별개의 발달사를 가졌음을 나타낸다. Sibao변동과 Jinning변동은 YSTF 이서(以西)에서 진행했지만 이동(以東)의 경기지괴와 영남지괴는 그 충격을 흡수하여 충격변성과 마그마활동이 있었을 수 있다. YSTF의 오묘한 역할에 대한 이해가 요청된다.

본 논문의 주제는 '중기 고생대 퇴적구'이지만 그것이 자리잡은 기반이 한중판이라는 전제에는 의문이 있을 줄 아는 터이므로 이에 필자는 주제의 범위를 벗어나는 줄 알면서도 잠시 한중판과 남중국판의 교섭의 역사를 거슬러 올라갈 필요를 느낀다. 서로 이질

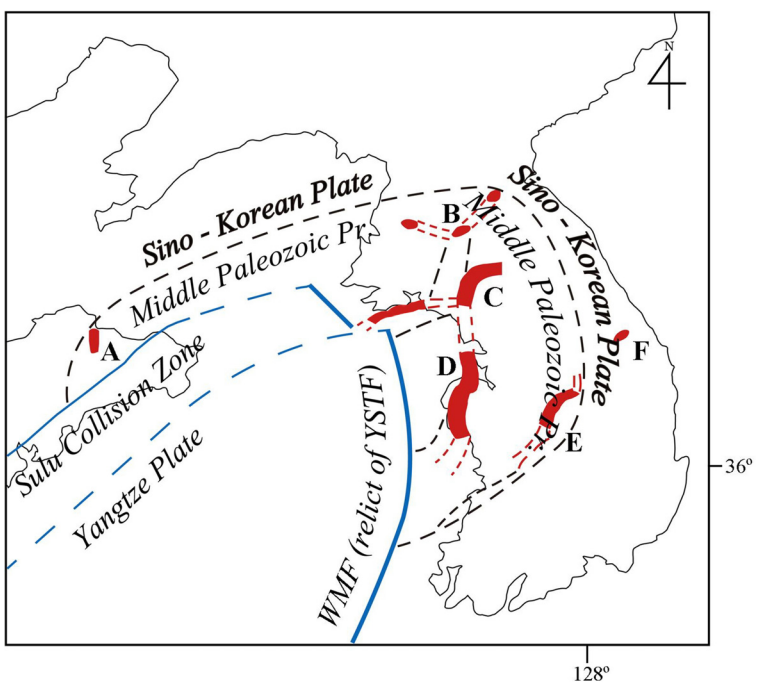

Fig. 1. A tectonic map showing 'the Middle Paleozoic Sedimentary Province' (MPPr) astride the Korean Peninsula and the Shandong Peninsula, China. The Sulu subduction-collision zone does not extend toward the Korean Peninsula due to the Paleozoic Yellow Sea Transform Fault (YSTF) now found as submarine fault zone (West Marginal Fault, WMF) shown as thick blue line. The Late Ordovician-Early Carboniferous 'Great Hiatus' of the Sino-Korean Plate was atypically developed over the Middle Paleozoic Sedimentary Province (MPPr), where aulacogens (shown in red) were developed. A, Devonian (-Carboniferous) strata; B, Late Ordovician-Silurian strata; C, Devonian (-Carboniferous) Imjin Group; D, Devonian (-Carboniferous) Taean Formation; E, Silurian-Devonian strata in the Metamorphosed Okcheon Zone; and F, the Hoedongni Formation which is excluded here from MPPr (see text for reason).

적인 두 지판이 최초로 수렴·충돌한 시기는 1.0-0.8 Ga 곧 중국지층명으로는 Qingbaikou기(紀)였다. 그 기간의 남중국판에는 Sibao(四堡, 1 Ga), Jinning (晋寧, 0.8 Ga) 두 '운동'이 분별되고, 또 친링(秦嶺), 따비(大別) 등 대륙충돌대(帶)에는 1-0.8 Ga에 걸친 방사성(radiometric) 화성 및 변성연대가 풍부히 기록되어 있다고 한다(CAGS Inst. of Geol., 2003; Wan, 2010). 로디니아 초대륙 형성기의 기록이다.

Qingbaikou (青白口) 기간의 대륙충돌이 친링-따비-수루대(帶)에서 수행되었을 때 그 동단(東端)의 수루(蘇魯)대에서의 충돌 에너지는 동쪽으로 분력(分力)을 보내게 마련이었다. 이러한 분력현상은 중기고생대와 중생대초에도 반복되던 하나의 지질학적 습관이었다. YSTF 넘어 동쪽으로 한반도에 충격을 가했을 때 그러한 간접적 충돌과 관련된 화성활동과 잇따른 로디니아 분산기의 화성 기록이 경기지괴에서 발견됨은 필연적이라고 필자는 생각한다(Sagong *et al*., 2003; Jeon *et al*., 2007; Kim *et al*., 2013). 이들 Qingbaikou 시기(1-8.0 Ga)와 직후의 암석생성 분포지는 대략 WMF (YSTF)와 평행한 한중판 연변부임이 주목된다. YSTF는 로디니아 대륙의 수렴과 분산의 과정에 있어서는 변환단층으로 제 구실을 하지만 충돌 즉시에는 일시적 충돌대로 바뀌었음에 틀림없다. 이상은 한중판 연변인 남한(南韓) 북서부 곧 경기지괴에 0.8 Ga 전후의 방사성 연대가 빈번히 보고되는 연유에 대한 필자의 해석이다(Cho and Kim, 2002; Jeon *et al*., 2007; Kim *et al*., 2013).

본보의 독자들은 이 논문이 추상적이라고 느끼거나 반대의견의 논문을 인용하지 않는 흠이 있다고 느낄 것이다. 세밀한 연구는 후진에게 미루어졌음을 강조하고 싶다. 땅 밑에 감추어지고 과거가 되어버려 알기 어려운 것이 지질학이므로 연구경력이 쌓이면 자연히 추상적인 일을 담당하게 마련이다. 본보는 60년 이상의 추구의 산물임에 이해 있으시기를 바란다.

2. 산동반도의 중기 고생대층

중국 산동반도의 한중판 남변(南邊)에는 시생대 기반암과 원생대 후기의 팽라이층군(蓬萊群)이 분포한다(Shandong Geol. Mineral. Survey, 1996). 1990년 Yang (楊志堅)은 산동반도 북동부의 서하(栖霞)지구에 있어서 과거에 팽라이층군으로 알려졌던 부분에서 중기고생대의 것으로 추측된 화석이 발견되었다는 보고에 기초하여 함화석층을 연남층군('烟南群')이라 명명했다(Ji and Zhao, 1992). 필자가 평가하기에는 연남군(烟南群)은 팽라이층군 위에 부정합으로 퇴적된 것임에 틀림없어 보인다. 북한의 Lee and Won (1992)에 의하면 연남군(烟南群)과 북한의 임진층군은 화석이 공통되어 동시대지층이라는 추측이 일찍부터 있었다. 다시 말하면 옹진반도 강령지방의 임진층군과 연남층군 분포지들이 서로 연결된다는 견해가 북한 지질학자들에 의하여 1980년대에 이미 발표되어 있었다 한다(Lee and Won, 1992).

연남층군(烟南群) 화석류는 팽라이층군 남장(南庄)점판암조로 알려졌던 부분의 대리암(결정질석회암)에서 발견되었고 지질시대는 중기데본기-전기석탄기라 동정되었다(Shandong Geol. Mineral. Survey, 1996). Ji and Zhao (1992)는 양지견(楊志堅)이 제공한 연남층군 화석들을 전문가에게 재검토시키고 그 도판을 자기네 논문에 실었다. 화석들은 보존이 불량하나 이매패(부족류)가 대부분이고 *Strophomenida, Athyridina* 등 완족류도 있다.

한편, Ji and Zhao (1992)는 팽라이층군 표산구조(豹山口組)의 6개 시료에서 417 Ma (데본기 최초기)의 Rb-Sr 등시선을 얻은 바 있다. 그들은 연남군의 지질시대를 417 Ma 이후의 데본기-석탄기일 것이라고 언급했다.

Zhu *et al*. (1994)은 팽라이층군의 점판암에서 473 Ma (오르도비스기)의 변성연령을 얻고 오르도비스기 이전의 지층이라고 했으니, 원생대 후기 팽라이층군의 개념과 부합한다. 그들은 299 Ma (페름기 최초기)의 Rb-Sr 및 K-Ar 연령을 얻고 그것이 팽라이층군이 겪은 '팽라이운동'이라 부르면서 그 시기에 중한강괴와 양쯔강괴의 충돌이 있었다고 보았다. '팽라이운동'의 개념은 한반도의 헤르시니안 '옥천변성작용'의 개념과 부합되나, '운동'이란 이름에 걸맞은 습곡작용이 있었는지에 대하여는 앞으로의 연구가 있어야 할 것이다.

3. 한반도의 중기 고생대층

3.1 상서리통(미루통)-後期오르도비스紀

본 지층은 상판산호 *Agetolites* 등 화석을 가지며, 평남분지의 중앙부 곡산(谷山) 남쪽 미루벌에 분포

한다(Kim, D.S., 1987; Paik, 1993; Chang 1995).

3.2 사일루리아기 곡산통(統)

일찍이 겸이포 부근의 전기 주라기 송림역암층에서 중기 사일루리아기-중기 데본기의 완족류, 사사산호, 개형충, 삼엽충, 복족류 등 화석이 발견되어(Park, 1966, 1967; Pak and Kang, 1991) 그 공급원암이 어디 있는지 문제였는데, 평남분지에서 사일루리아기 곡산통(谷山統)이 발견되어 해답이 얻어졌다.

곡산통(谷山統)은 상서리(미루)통 위에 정합적으로 퇴적되어 있으며, 평남분지 중앙부 곡산-신계(곡산 남쪽에 있음) 일대에서는 층후 280 m이다. 그 하부(약 60 m)는 실트암, 점판암, 석회암이며, 상부('월양리통', 214 m 이상)는 주로 석회암이다. 산호, 해백합, 복족류, 삼엽충, 완족류 등 화석을 함유한다. 산호화석은 7종의 사사(四射)산호와 32종의 상판산호[모두 6개 과(科)의 것들]를 포함하는데 이들은 '남중국' 근연(近緣) 종들이며, 함유화석에 의한 곡산통의 지질시대는 전기 사일루리아기-후기 사일루리아기 전기로 알려졌다(Kim, D.S., 1987; Paik, 1993; Chang, 1995; Lee *et al*., 2013).

3.3 임진층군과 연천층군

임진층군은 평남분지 남변의 경기육괴에 발달된 임진강 열곡에 퇴적되었다. 산호, 완족류 등 남중국의 바다동물과 유연관계가 있는 무척추동물 화석들 및 부근의 육상식물 잎사귀 화석들이 함께 산출된다(Lee and Won, 1992). 임진층군의 시대는 중기(中期) 데본기-전기(前期)석탄기(Park, 1993), 혹은 중기 및 후기 데본기로 알려졌다(Paik, 1993).

임진층군은 아래로부터 안협통, 부압통(부압산통) 및 삭녕통으로 나누이며 가벼운(低度) 변성작용을 받았다. 안협통(두께1000 m-)은 역암을 포함하는 세립 쇄설암과 석회암으로 구성되고, 부압통(두께 1000 m+)은 세립쇄설암과 석회암으로 구성되며, 삭녕통(1000 m+)은 세립쇄설암과 화산암류(현무암, 유문암 등)로 구성된다(Paik, 1993).

임진강 열곡의 임진층군은 서쪽의 강령지방(옹진반도남부와 섬들)으로 이어진다. 강령지방에서 임진층군은 캄브리아계 위에 현저한 경사부정합으로 놓여 있으며, 동서방향으로 연장 약 40 km, 폭 약 20 km이다(Lee and Won, 1992). 이곳에서 안협통은 두께 380-890 m이며 사암-점판암 호층 아래에 (어디에서나 특징적인) 기저역암이 분포하며 화석은 회록색 점판암에서 *Sycidium anhuaensis* 등 윤조가 발견되었다. 부압통의 하부는 두께 410-900 m의 점토질-사질암이며 복족류(*Latasetus* 등)와 해백합(*Pentagonocyclicus* 등) 화석들이 발견되었다. 부압산통 상부는 층후 약 1120 m이며 함분출암 해성층이 대부분인데, 편암, 석영-견운모편암 등으로 변성되어 있으며, 10여개의 함동(含銅)황화철광상과 염기성-중성의 분출기원 층상체들이 들어 있다. 삭녕통은 두께 3740-4030 m이며 세립쇄설암과 수중(水中)분출암으로 구성되나 최상부는 현재 바다에 잠겨 있다. 함동(含銅) 내지 다(多)금속 황화철광상이 산출한다. 또 본층에 끼어있는 암회색 석회암에는 조류(藻類) *Renakis deharisis* 등과 산호 *Parafavosites* 등 화석이 발견된다. Lee and Won (1992)에 의하면 임진층군의 퇴적분지는 헤르시니아 구조윤회(輪回)의 조기(早期) 심부단열(深部斷裂) 기원의 대상(帶狀) 열곡(裂谷)이다. 그들은 이 열곡이 철원-토산-금천 지방에서 서쪽으로 강령지방을 거쳐 산동반도로 연장된다고 보았다. 산동반도에서 팽라이층군('蓬萊群')으로 알려진 것 일부가 임진층군의 연장부라는 견해가 북한 지질학자들에 의해 이미 발표되었다고 소개했다(Lee and Won, 1992).

임진층군의 남쪽 연속부인 연천층군은 오랫동안 시대미상(未詳)층이었으나 근래 저어콘 연구에 의하여 데본계로 판명됨으로써 북쪽의 임진층군과 동일지층임이 인정된다. Cho *et al*. (2005)은 연천층군 준편마암의 저어콘 입자의 핵에서 SHRIMP U-Pb 연령 약 447-397 Ma (사일루리아기-전기데본기)를 얻었다. 이 시기의 화성암기원 입자가 연천층군으로 퇴적되었다가 후에 편마암화된 기록으로 해석된다. 따라서 연천층군은 데본기-전기석탄기 지층이라고 판단된다. 화석에 의해 알려진 임진층군의 시기와 저어콘 연구에 의한 연천층군의 시대는 대략 같다. 따라서 임진층군과 연천층군은 같은 지층의 이명(異名)임이 인정된다.

3.4 태안층

경기육괴의 태안반도와 영흥도 일대에 분포하는 태안층(泰安層)은 광역변성 탓인지 화석이 발견되지 않아 시대미상층으로 남아 있었으나, 최근 사암의 가장 젊은 쇄설성 저어콘 무리의 연대가 420-430 Ma

(사일루리아기 후기 내지 말기)로 알려져 그 퇴적시기가 데본기(-석탄기)로 좁혀졌다(Cho, 2009; Cho *et al*., 2010a; Cho *et al*., 2010b; Na *et al*., 2012). 태안층 퇴적분지는 임진층군의 그것과 서로 연결되어 있었던 것 같다(그림 1 참조).

태안층의 쇄설성 저어콘들은 그 연령 절정치들이 2.5-2.4 Ga, 1.0-0.9 Ga, 820-750 Ma 및 사일루리아기(-430 Ma)라고 보고되었다(Cho *et al*., 2010b). 그 저자들은 한중판 특유의 약 1.8 Ga의 저어컨 입자가 없고 남중국 특유의 820-750 Ma 저어콘들이 우세하다는 이유를 들어 태안층 퇴적분지(서부 경기육괴)가 남중국의 연장부일 것이라고 생각했으나 이 판단은 타당치 않다. 1.8 Ga 입자의 결핍과 남중국 특유의 820-750 Ma 저어콘들의 함유는 태안층의 퇴적물 공급원지가 남중국임을 의미할 뿐이므로, 남중국 침식물이 판경계를 넘어 한중판의 경기육괴 위에 퇴적되었다고 넉넉히 해석된다.

3.5 옥천변성대의 중기고생대층들

옥천변성대는 아래와 같이 차별적 침강을 보인 3개대(帶)로 나누인다. 중기고생대층은 서부대(帶)에 대표적으로 발달되어 있다.

동부대의 고생대 암상과 층서는 태백산분지 천해(淺海)대와 공통성을 보이지만비교적 불안정(不安定) 퇴적을 나타낸다. 한중판 특유의 고생대 중기 대결층(大缺層)은 확연하다.

중부대에는 고생대 퇴적층 위에 송림변동 동시기의 불안정 퇴적층인 수안보속(水安堡束)이 퇴적되어 있어 특이하다. 소위 함력천매암(pebble-bearing phyllitic rocks)은 옥천변성대의 가장 특징적인 암층인데 수안보속은 황강리층 등 함력천매암층과 그 아래 놓이는 문주리층-서창리층-상내리층(외래 원생대 화산암괴를 함유)으로 구성된다. 수안보속은 송림변동의 조산운동과 동시 내지 직전의 퇴적층으로 지질시대는 전기 삼첩기(트라이아스기)이다. 수안보속 하부인 전기삼첩기 문주리층-서창리층-상내리층에는 양쯔판 삼첩기초에 지각에서 떨어져나와 [탈피(脫皮)되어] 운반되어온 원생대 화산암괴들이 퇴적되어 있다(Chang and Zhao, 2012).

서부대 역시 동부대와는 달리 옥천변성대 특유의 옥천누층군으로 구성되는데 대향산규암과 운교리층 등 퇴적층 일부는 중기고생대층임이 밝혀졌으므로 서부대가 '한중판 중기고생대 퇴적구'에 속함은 확실하다. 서부대와 중부대는 전형적인 옥천변성대를 구성한다. 이 서부대에 있어서는 중기고생대 기간(적어도 부분적으로)에도 퇴적이 진행되었고 후속(後續)된 헤르시니아 시기(석탄기 및 전후)의 '국지적' 광역변성작용이 있었다. 서부대와 중부대의 경계는 Cluzel의 피반령, 보은 두 지괴의 상호경계에 해당한다(Cluzel *et al*., 1990).

옥천변성대 연구사 초기에 Son (1970a, 1970b)은 옥천변성대 일부의 시대가 중기고생대일 것이리라고 추측하여 누누이 의견을 피력했다. Kim, J.H. (1987)은 함우라늄 흑색 점판암의 속성(續成) 내지 변성 동위체연대가 데본기-석탄기임을 발표하여 중기고생대 퇴적을 예견했다. 근래에는 아래와 같이 저어콘 입자들의 U-Pb 연령에 의해 중기고생대 퇴적의 사실이 알려졌다.

(1) 옥천변성대의 대향산규암층은 종래 고생대초에 퇴적되었다고 추측되어왔으나 쇄설성 저어콘의 가장 젊은 무리의 U-Pb 연령이 약 410 Ma(데본기 전기)로 나타났다(Park *et al*., 2011). [이보다 더 젊은 약 400 Ma 것도 있는데 입자가 1개이기 때문에 추가적인 확인이 필요하다(Park, personal communication, 2012)] 즉, 대향산규암의 시대는 대략 데본기의 범위 안에 있다.

(2) 운교리층은 가장 젊은 저어콘 입자 무리의 연대가 440 Ma(초기 실루리아기)라는 연구결과가 얻어졌다(Cho *et al*., 2010a). 따라서 운교리층의 시대는 440 Ma 이후의 실루리아기-데본기 즉 중기고생대로 인정된다. 운교리층에서는 바다 생물의 흔적화석(생흔) *Chondrites*가 발견되었는데(Chang and Park, 1977) *Chondrites*의 알려진 시대범위는 캄브리아기(-오르도비스기)-신제3기이다(Haentzschel, 1975). 필자는 *Chondrites*가 발견된 운교리층이 오르도비스기 창리층의 인접 지층이라는 근거에서 전기고생대층일 것으로 보았으나 지금은 저어콘 연대에 따른다(Chang, 2008).

대향산규암은 원암(석영사암)에서 추리(推理)할 때 안정적(安定的) 천해(淺海) 환경의 퇴적물이다. 북한 여러 지역과 산동반도의 중기고생대층의 바다 화석들이 중기고생대의 해침을 증언하고 운교리층의 *Chondrites*도 바다 생물의 흔적화석(생흔)이다. 옥천변성대 퇴적분지도 그 바다의 일부였음에 틀림

Table 1. Simplified Stratigraphy of Okcheon Depression: Comparison of its metamorphosed part and unmetamorphosed part (Taebaeksan Basin).

Okcheon Metamorphosed Zone		Taebaeksan Basin
Jur.	Daebo Orogeny	
Lt.Tr.-Jur.	(hiatus)	Daedong Synthem
M.Tr.	Songnim Orogeny	
E.Tr.	pebble-br. phyllitic rocks (Hwanggangni Fm. etc.) (=U. Suanbo Synthem) Sangnaeri Fm., Seochangni Fm. etc. (=L. Suanbo Synthem)	(hiatus)
Carb.-Pm.	Pyeongan Synthem (Bibong Fm.)	Pyeongan Synthem
M.Paleoz.	Daehyangsan Quartzite, Ungyori Fm.	GREAT HIATUS
Ord.	Changni Fm. etc.	Choseon Synthem
Cam.	Hyangsanni Dolomite	
End Proteroz.	Jangamni Fm.	(hiatus)
Archaen-Proterozoic Basement		

없다.

고생대중기 퇴적구에 속하는 옥천변성대의 변성암층(예컨대 계명산층)에서는 장차 그 안에서 중기 고생대 지층이 더 밝혀질 것이 기대된다. 옥천변성대와 비변성대의 시대별 층서대조표를 만들어 보면 표 1과 같다.

3.6 태백산분지 회동리층

강원도 정선(旌善)읍 서쪽에 분포하는 본층은 코노돈트화석에 의해 사일루리아기 전기-중기초로 동정(同定)되었다(Cheong *et al.*, 1979). 화석감정을 한 Lee (1980)는 회동리층의 시대를 사일루리아기로 거듭 주장했으나 중국의 코노돈트 전문가 An *et al.* (1990, 1993)은 이하영의 코노돈트 도판을 보고 그것들이 중국 당산(唐山)지역의 Majiagou (馬家溝)층 상부 Badou (八徒)층원(오르도비스기 중기-후기 초)의 코노돈트와 일치한다고 지적했다. Lee *et al.* (2006)도 회동리층의 시대가 오르도비스기라고 판단했다. 회동리층(檜洞里層)의 시대에 관해 서로 의견이 달랐던 안태상과 이하영은 모두 고인이 되었으므로 문제 해결은 후진에게 넘겨졌다.

옥천대는 변성대(옥천변성대)와 비변성대(태백산분지)로 확연히 나누이는데 후자는 강괴(剛塊)적 성격을 띤 지각 부분에 발달했다. 중기고생대층의 산출이 이미 알려져 있는 불안정성(unstable) 옥천변성대와는 차별되는 안정성(stable) 태백산분지에서 중기고생대 퇴적이 있었다면 특기할 만하다.

회동리층은 Kobayashi (小林貞一, 1966)가 기재한 오르도비스기 정선석회암과 행매(行邁)층 위에 놓인다. 본층은 청회색-유백색 괴상 석회암과 수(數)매의 고회암으로 구성되며 층후 약 170 m이다. 사일루리아기의 퇴적층은 범세계적 지각운동 시기인 칼레도니안기(期)의 산물이므로 석회암-고회암층은 기대 밖이다. Lee *et al.* (2006)은 세계 각처의 사일루리아계의 암질에 쇄설물이 많다는 특징이 있다고 예를 들어 거론하고 탄산염암층인 회동리층은 암질에 있어서 부합되지 않는다고 했다. 회동리층의 시대가 사일루리아기라는 연구결과는 신진 코노돈트연구가에 의해 재검토되어야 할 것이므로 본보에서는 의문의 여지가 있다고 해두는 바이다.

그림 1에서 보듯이 필자는 코노돈트 전문가들 사이에 지질시대에 관해 의견일치가 없는 회동리층의 부분에 대하여 그 시대가 사일루리아기가 아닐 가능성을 인정하고 중기고생대 지질구에서 제외시켰다.

4. 판 연변부의 열곡 발달

Willis *et al.* (1907)이 북중국의 후기 오르도비스기-전기 석탄기 대결층(大缺層)을 보고한 이래 그것은 한중판 전역의 특징으로 널리 인정되어오던 중북한의 평남분지를 비롯하여 한반도-산동반도 일대에서 그 대결층 기간에 간간히 곳곳에서 퇴적이 진행되었음이 알려져 충격이 되었었다. 이 중기 고생대 퇴적층들은 구조적 중첩이 아닌 정상적 층서를 가졌음

도 알려졌다(Paik, 1993; Geol. Soc. Korea, 1998). 이들 중기 고생대 퇴적분지들은 한중(韓中)판 연변부(緣邊部)에 집중 분포하며, 한중판 '중기고생대 퇴적구(區)'(Middle Paleozoic Sedimentary province, MPPr)로 파악되었다. 한중판으로서는 대결층이 모호하게 발달된 이상(異常)지역이다. 중기 고생대는 세계 곳곳에서 소위 칼레도니아 조산운동이 있었던 시기인데 한중판 중앙부에는 그 시기에 대결층이 발달했을 뿐 조산운동이 있었다는 증거는 없다.

중기 고생대에 카타이시아판은 양쯔판에 충돌하여 남중국판을 이루었고 대략 동시에 남중국판은 북중국에 부가(付加)되었다(Wang, 1985; Yang *et al*., 1986; Faure *et al*. 2007; Wan, 2010). "400 Ma 이전에 친링-따비 조산대에서는 남중국지괴와 북중국지괴의 충돌사건이 있었다"(Faure *et al*., 2007). Gao *et al*. (1995)는 퇴적학적 증거를 들어 따비조산대에 있어서 사일루리아기-데본기 경계시기에 양쯔판이 한중판에 부가(accretion)되었다고 했다. 그 밖에도 Dong *et al*. (2013) 등 남중국과 북중국의 칼레도니아기(期) 충돌 및 부가에 관한 논문들은 다수 있다. 중국과학원 지질연구소에서 간행된 따비-수루 조산대 지질도와 설명서에는 중기고생대의 북중국-남중국 두 지판의 충돌 내지 부가(付加, accretion)를 대접(對接)이라고 표현했다. 접촉 또는 접합(接合)의 뜻이다(CAGS Inst. of Geol., 1993).

지질학사전에 의하면 1946년 러시아의 Shatsky는 강괴(탁상지) 위에 무리지어 발달된 옛 열곡들과 그 퇴적층을 올라코젠(aulacogen)이라 불렀는데, 후에 판구조론이 발달되면서 이들의 특성은 수렴하던 두 대륙 간의 대양이나 해협에 하구(河口)를 가졌던 열곡(裂谷)들임이 알려졌다. (후에 그 바다는 습곡산맥이 된다.) 다시 말하면 올라코젠들은 봉합대에서 생겨나 강괴(크라톤)에까지 뻗혀 발달하는 열곡들이다. 올라코젠(aulacogen) 형성이론에 의하면 두 판이 수렴·접합했을 때 봉합대 지하에는 열점(hot spot)들이 생겨나 그것들을 잇는 융기(doming) 축이 형성되고 그 축을 따라 지각 상층에서는 열곡[올라코젠(aulacogen)]들이 발달한다. 가장 극적인 경우 3지(三枝, triple) 열극이 되는데 그중 2지만이 계속 열리면 대양이 되고 나머지 1지는 올라코젠으로 남는다(Burke and Wilson, 1976).

MPPr의 열곡에는 육성층도 쌓이지만 해성층이 섞여 있는데 바다생물군에는 양쯔해 요소가 많다고 보고되어 있다. 이로 미루어 한중판-남중국판 봉합대는 대단한 충돌조산대가 아니라 해협이나 해로가 남아 있는 느슨한 부가대였음을 알 수 있다. 한중판에 대한 남중국판의 충돌이 격렬했다면 한중판 특유의 '중기 고생대 대결층'이 생겨나는 대신 경사부정합이 될 것이다. 그러므로 필자는 Ren *et al*. (1996)의 연성(軟性) 충돌이 남북중국 충돌의 특징이라고 생각한다. 수루(Sulu)대에서의 그 시기의 충돌은 남중국판을 MPPr의 공급원지가 될 수 있을 만큼만 융기시켰던 것으로 보인다. 가벼운 충돌이었기 때문에 한중판 연변부는 올라코젠(aulacogen)의 발달과 그 퇴적이 진행될 수 있었다.

올라코젠 발달이 봉합대의 속성이라면 친링-따비-수루대에는 왜 올라코젠의 발견이 희소한가? 삼첩기의 격렬한 충돌로 파괴되었는가? 한반도의 올라코젠 발달지역은 YSTF에 근접해 있는데 그 사실은 YSTF가 중기 고생대에 봉합대의 구실을 수행했다는 증거인가? 중기 고생대 동안 남중국판 북변부는 수루대에서의 충돌에너지를 동쪽으로 전달하여 그 힘을 받은 YSTF 부분은 봉합대의 역할을 했을 수 있다.

5. 칼레도니아 및 헤르시니아 시기의 변성작용

Kim, J.H. (1987)은 옥천변성대 덕평리의 함(含)우라늄 점판암의 Rb-Sr 전암연령 392 Ma를, 그리고 괴산 남쪽의 편암의 흑운모 Kr-Ar 연령 319 Ma를 근거로 중기 데본기(392 Ma) ~ 중기 석탄기(319 Ma)의 속성작용과 변성작용을 추정했다. 그리고 그것에 근거하여 '칼레도니아기(期) 옥천조산운동'을 제안했다. '옥천조산운동'을 답습한 Cluzel *et al*. (1990)도 칼레도니아 때에 옥천변성대의 주요 조산운동이 있었다고 해석했다. 그러나 중생대 전기의 송림변동과 대보변동이 옥천변성대를 포함하는 남한 지체의 주요 조산운동이라는 오랜 개념이 계속 지지되는 한편, 칼레도니아 시기(고생대 중기)에 (옥천변성대에서) 습곡운동이 왕성했다는 증거는 얻어지지 않았다(Cliff *et al*., 1985; Kim, J.H., 1996). 그리하여 '칼레도니아 옥천조산운동'은 지지받지 못했지만 그 때의 미약한 변성작용과 화성활동은 곳곳에서 그 절대연령을 보여주고 있다. 중기 고생대 대결층은 보통은 평행부정합을 보여주지만 때로는 저각

도의 경사부정합을 보이는 곳도 있다. 필자는 영월 부근에서 오르도비스계의 침식면 위에 저각도의 경사부정합으로 홍점층 기저역암이 놓인 예를 관찰했다. 비록 칼레도니아 시기의 조산운동은 부정된다 하더라도 중기 고생대의 변성과 변형은 인정된다. 필자는 중기 고생대의 수루충돌대에서의 가벼운 대륙충돌이 YSTF를 동쪽으로 압박하여 하나의 간접적 충돌대로 전환시킨 결과 한반도 남서부에서 그 방사성 연대가 발견된다고 생각한다. Kim and Kee (2010)는 홍성 지역의 변성 화산암류의 SHRIMP저어콘 연령이 440 Ma의 분출과 420-370 Ma의 고압변성을 지시한다고 밝혔다.

옥천대변성대는 삼첩기 송림변동을 받기 이전에도 고생대 후기에 가벼운 변성작용이 있었음이 근래의 절대연대 연구결과 알려졌다. 특히 저어콘의 U-Pb 등 신뢰성 높은 측정방법으로 전기페름기의 최고변성작용('peak-metamorphism')이 제안되었다(Cheong *et al*., 2003). 헤르시니아기(期)의 변성작용이라고 보아두고 싶다.

전기 페름기의 변성작용은 중국 산동반도에서도 주장된 바 있는데, 원생대 팽라이층군의 시료들에서 얻은 299 Ma (페름기 초)의 Rb-Sr 및 K-Ar 연령에 근거하여 '팽라이(蓬萊)운동'이 제안되었고 북중국에 대한 양쯔강괴의 충돌의 결과라 하였다(Zhu *et al*., 1994). 이 '팽라이운동'은 습곡운동의 연구에 근거한 것은 아니므로 현재로서는 '팽라이 변성작용'이라 불러야 마땅하며 옥천(沃川)변성대의 페름기 초의 변성작용에 해당되는 것으로 보인다.

한반도의 고생대 퇴적분지들은 석탄기 후반기에 해침의 기록인 해성층을 퇴적시켰다. 이 해침은 양쯔·한중 두 판의 일시적인 분리(divergence)의 결과였음에 틀림없다. 인도시니아(Indosinian)기의 본격적 대륙충돌을 위한 준비과정 같은 짧은 대륙분산기(分散期)의 기록이다.

이어 페름기에는 한중 두 판의 재(再)수렴(收斂)의 기록인 육성 적색층 발달이 있었다. 페름기초의 광역변성작용은 그러한 대륙 재수렴의 충격에 기인할 것이다. 이는 헤르시니아 시기의 변성작용이라 볼 수 있으며 한중강괴 내 중기고생대 퇴적구에 일반적으로 적용되는 것으로 보인다. 한중판(강괴)과 양쯔판의 본격적 충돌(인도지나운동) 이전의 헤르시니아기의 한 가벼운 충돌시기가 인정된다. 이 헤르시니아기(期) 변성작용에 수반하여 습곡운동이 있었는지 여부는 앞으로 연구가 되어야 할 것이다. 올라코젠의 중기고생대 퇴적물의 고화(固化)작용이 진행되던 고생대 후기에 헤르시니아기 변성과정이 있었을 것은 예상되는 일이다. 이어 페름기 말에는 인도시니아 대륙충돌 시기에 들어간다.

옥천변성대에는 페름기 식물화석과 빈약한 탄층을 가진 육성 비봉층이 퇴적되어 있다. 저어콘 연구에 의하면 비봉층(飛峰層)과 아울러 화산층(華山層)(화산부근의 변성사암)은 그 공급원지 화성암의 시대가 오르도비스기-석탄기였다. 비봉층과 화산층은 양쯔강괴 특유의 저어콘 U-Pb 연령군 조합을 보였다(Cho *et al*., 2005). 이는 양쯔강괴가 공급원지였다는 증거이며, 인접했던 양쯔판의 존재에 대한 입증이 된다.

6. 옥천변성대의 지구조적 측면

옥천변성대 서부가 MPPr의 범위 안에 들어간다는 본보의 이해는 옥천변성대 연구를 위한 새로운 단서이다. 옥천변성대에서 중기 고생대 지층이 더 발견될 전망이 얻어졌다.

고생대-전기 중생대 옥천침강대 충전물이 장축방향으로 3개 분대(分帶)가 된다는 사실에 대하여는 이미 언급되었거니와 이들 중 서부대와 중부대는 각각 Cluzel *et al*. (1990)의 '피반령지괴'와 '보은지괴'에 해당한다. 이 두 지괴 사이에 판경계가 있지 않나 하는(Cho *et al*., 2013) 문제가 제기되었으나, 저어콘 자료를 재검토하면 옥천변성대 분지의 퇴적물 모두가 남중국판을 공급원지로 하여 한중판에서 퇴적되었다는 결론에 이른다는 데 관하여는 위에서 이미 썼다. 옥천대는 한중강괴 내의(intra-cratonic) 단일 침강대(沈降帶)였다.

퇴적을 지배하던 장축방향의 정단층들은 삼첩기 송림변동으로 역단층이 되어 납페(nappe)로 쌓이면서 '옥천변성대'가 된다. 장축방향의 정단층과 그것에 수직으로 발달된 정단층이 만들었던 삼첩기초의 황강리분지(그림 2의 Hb)에는 담수(淡水) 암설류(debris-flow)가 급격히 쌓였었다. 그 퇴적물은 미(未)고결(固結) 함수(含水)상태에서 동력변성을 겪었기 때문에 역(礫)들은 극도로 변형되었다. 옥천변성대 중부대의 상내리층-문주리층-서창리층(Chang and Zhao, 2012)의 지질시대는 상내리층이 전기 삼첩기

(트라이아스기)임을 지시한 최근의 상내리층 연구에 의해서도 지지되었다(Park *et al.*, 2011). 이 전기 삼첩기층 안에는 원생대(약 7.5억년전의 것 등) 화산암종류(Cho *et al.*, 2004)의 대괴(大塊)들이 거대입자로서 함입·퇴적되어 있다. 이 화산암들은 남중국의 양쯔판에서 집단이동(mass-wasting)에 의해 옥천변성대 분지 안으로 반입·퇴적되었던 것이며 집단이동은 중력구조적(gravity tectonic) 지각탈피(delamination)에 유발되었던 것으로 해석된다(Chang and Zhao, 2012).

후기 오르도비스기-전기 석탄기('중기 고생대') 동안, 한반도-산동반도의 '한중(韓中) 중기 고생대 퇴적구'(MPPr)에는 한중판 특유의 중기 고생대 大결층이 훼손된 발달을 보인다고 이미 말했는데 이는 옥천변성대에도 그대로 적용된다. 중기 고생대층을 퇴적시킨 옥천대 서부대는 인접했던 양쯔판으로부터 퇴적물을 공급받고 있었기 때문에 양쯔판이 공급원임을 반영하는 저어콘 입자들이 퇴적물 속에서 발견된다. 경기지괴 위에 퇴적되었던 태안층에서 양쯔판 특유의 저어콘들이 발견되는 것과 같은 이치이다(Cho *et al.*, 2010b, 2013).

소위 계명산층은 중부대와 서부대 일부가 단층, 습곡, 관입 등으로 파괴되어 아직 층서가 밝혀지지 않은 복합층인데, 그 안에서 최근 8.7 억년전 생성된 화산암괴가 알려졌다(Kim *et al.*, 2011). 옥천변성대가 과연 원생대의 화산암 지대였던가? 필자는 화산

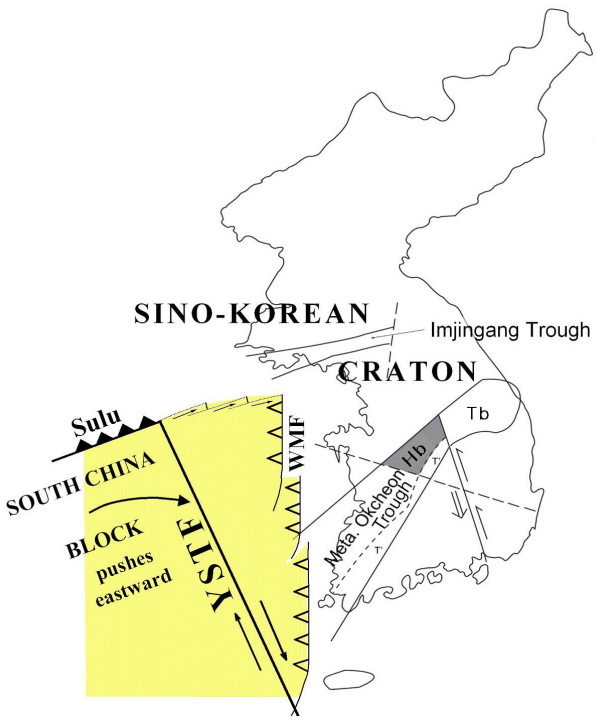

Fig. 2. Tectonic elements of South Korea. The Paleozoic Okcheon Trough (OT) was orogenized in the Early Mesozoic. OT is divided into Tb (Taebaeksan Basin) and MOT (Metamorphosed Okcheon Trough), the latter being relatively unstable in sedimentary facies and tectonism. The grey-shaded Hb represents the Early Triassic Hwanggangri Basin, a part of MOT. Division into MOT and the unmetamorphosed part (Tb) depends on the intensity of tectonism and metamorphism. A NW-SE-trending syn-sedimentary fault between MOT and Tb did, in the Early Triassic, a distinct role to form Hb, a fast subsided basin where the Early Triassic non-marine syn-orogenic flysch was deposited. In the mid-Triassic, the same NW-SE fault thrust upon the basin-fill of Tb. YSTF was a dextral transform fault that made the Korean peninsula exempted from the Permo-Triassic subduction and the associated UHP metamorphism which was confined in the Sulu zone, China. The Early Triassic Sulu orogen and the associated northernmost South China Plate used the orogenic energy to push YSTF toward the east resulting in its ca 30 degrees clockwise rotation. The geophysically detected deep fault zone (WMF) records the eastward migration and clockwise rotation (ca 30 degrees) of YSTF.

Table 2. A table showing that all the strata of MPPr compose an unconformity-bounded unit that corresponds in age to the Great Hiatus of the Sino-Korean Craton.

TRIASSIC		Indosinian Orogeny (Songrim Tectonism)
251		
PERMIAN	(U)	
260		
	(M)	
270		
	(L)	Hercynian Okcheon metamorphism
299		Bibong Formation with Permo-Carboniferous plant fossils
CARBONIFEROUS		
	(U)	
318		
	(L)	*Upper Limit of Great Hiatus*
359		M. Devonian-E. Carboniferous Yannan Group, Shandong, China
DEVONIAN	(U)	M. Devon.-E. Carbon. Imjin Gp./Yeoncheon Gp.
		Devonian Taean Formation
385		Devonian Daehyangsan Quartzite
	(M)	Silurian-Devonian Ungyori Formation
397.5		
	(L)	
416		
SILURIAN	(U)	
423		
	(M)	Silurian Goksan Series
428		
	(L)	
443.7		
ORDOVICIAN	(U)	
		Late Ordovician Sangseori Series
		Lower Limit of Great Hiatus
461		
	(M)	
472		
	(L)	
488		

암괴들이 삼첩기나 기타 시기에 양쯔판에서 집단이동되어 왔을 수 있다고 본다.

7. 연구사의 측면

한반도의 일부가 남중국판의 인덴트(indent)일 가능성이 있다는 논문이 발표되었고(Yin and Nie, 1993), 평남분지까지도 한중판에서 제외되어 마땅하다고도 발표되었으며(Glebovitsky *et al*., 1994), 삼첩기에 남한구조선(SKTL)을 따라 외래 지괴들이 모여들어 하나의 인덴트로서 정착했다는 주장도 발표되었다(Chough *et al*., 2000). 필자는 이러한 '한반도 내 인덴트'설의 어느 것에도

동의할 지질학적 사실을 발견하지 못하였다. 오히려 한반도 자체가 한중판의 한 돌출부로서 다른 하나의 인덴트[indent, 치괴(齒槐)]인 'Yellow-Sea Promontory' (YSP)와 서로 치합(齒合, indentation)을 했다는 견해를 발표했다(Chang, 2000).

SKTL을 비판하자면, 그것은 우수향 변위가 근소한 호남전단대와 우수향 변위가 의심스러운 역단층 하나를 인위적으로 합성한 가상적 선일 뿐이라고 필자는 생각한다. SKTL의 한 토막인 옥천변성대 경계단층은 본래 옥천변성대를 침강시키던 심부열극이었으며 그 연장선은 경상분지 바닥 곧 백악계 밑에 깔려 있다(그림 2). 삼첩기의 이 심부열극의 한 토막이 송림변동 때 역단층이 되었다. 멀리 있던 두 지체(地体)를 삼첩기에 만나게 한 전지구적(global) 구조선에 끼일 자격이 전혀 없는 구조선이다. 옥천대 그 자체가 본래 하나의 좁다란 강괴내(intra-cratonic) 침강곡(谷)이었으며 중생대에 습곡대가 되었다.

필자는 삼첩기 수안보속(束) 하부에 거대한 외래암괴로서 퇴적된 후 심하게 동력변성(動力變成)된 원생대 화산암체들을 남중국판 유래(由來)의 외래암괴로 보았다. 원생대 화산암체는 옥천변성대의 삼첩기 플릿쉬 속에 거대(巨大) 입자처럼 포함되어 있다(Chang and Zhao, 2012). 필자는 이 원생대화산암을 납폐의 잔재로 오판했던 때가 있었다(Chang, 1995). 이들 남중국판 유래의 화산암괴들은 심한 동력변성으로 인해 야외에서 마치 관입관계이듯 보이지만 삼첩기 육성층 속에 원생대의 대규모 각력(角礫)이 들어 있는 격이다. 이 지층은 옥천변성대의 황강리분지에 퇴적된 퇴적속도가 극히 빠른 육성퇴적물이며, 그 위에 황강리층 등 육성 '함력천매암층'이 퇴적되어 있다. 퇴적 후 지하심처에서 다량의 간극수(間隙水)와 함께 동력변성을 받았다.

한반도 내에 남중국 인덴트가 있다는 관념의 단서를 찾자면 태백산분지 영월지구의 캄브리아기 화석생물이 '황하분지'와 '양쯔분지'의 중간적 성격을 띤다고 발표했던 Kobayashi (1953, 1966)까지 거슬러가야 한다. 당시는 판구조이론 이전이었으므로 북중국과 남중국이 합하여 지금의 중국대륙이 되었다는 생각은 못하던 때였다. 그가 "옥천지향사는 양쯔분지의 북동부로서 한반도를 대각선으로 달린다"고 서술했던 것은 다만 생물지리적으로 말했을 뿐이었으므로 그것을 판구조적으로 이해하려 들면 오해에 이르기 쉽다. 그가 말한 양쯔분지는 양쯔형(型) 화석생물구(bio-province)를 의미했을 뿐, 양쯔판이 아니다. "옥천지향사는 양쯔분지의 북동부"라는 말을 "옥천대는 양쯔판의 북동부"라는 말로 고쳐 읽으면 그것이 남한에 남중국의 인덴트(indent)가 끼어있다는 그릇된 영감을 줄 수 있다. 그가 양쯔분지 북동부로서의 "옥천지향사가... 한반도를 대각선으로 달린다"고 서술했을 때 그것은 오해의 소지가 있는 문장이었다. 그가 만일 요즘의 학자라면 그의 말은 다음과 같이 고쳐 쓸 것이다. "옥천침강대는 한중판 내에 발달했지만 양쯔해의 해침을 받아 양쯔해 생물이 화석으로 발견된다."

Kobayashi는 타당하게도 옥천대(帶)를 하나의 고생대분지(그의 소위 옥천지향사)로 보았다. 옥천침강대의 북동부는 내륙 천해(Kobayashi의 황하분지) 특유의 '두위봉형(型)' 퇴적상-생물상(相)을 보였다. 옥천변성대에 가까이 위치한 영월형(型)의 깊은 캄브리아기 바다에는 양쯔해 특유의 화석생물 요소가 섞여 살았다(Kobayashi, 1966). 그러한 태백산분지를 포함하는 옥천침강대 전부는 하나의 기다란 해만(海灣)이었으며 서남단의 만구(灣口)를 통해 양쯔해[고(古) 테티스해(海)]의 해침을 받았던 것이다. 양쯔해 생물인 Archaeocyatha가 한중판 내의 '옥천변성대 분지'에서 발견된 것도 양쯔해와 통해 있었기 때문이라 생각된다(Lee *et al.*, 1972).

8. 결 론

'칼레도니아 조산운동'의 시기인 중기 고생대에 남중국판은 한중판에 부가(付加, accretion) 내지 연한 충돌을 했는데, 이는 삼첩기초에 중국 따비-수루대(帶)가 보여주는 초고압변성(UHPM)을 겸한 강렬한 충돌과정(Hacker *et al.*, 1996)과는 대조적이다. 중기 고생대 특유의 한중판의 대(大)결층의 형성과 MPPr의 열곡형성이라는 두 결과는 중기 고생대의 연성(軟性) 지속성 충돌과정에서 그 원인을 찾아볼 수밖에 없다. MPPr의 태안층, 옥천변성대 사암 등 그 쇄설성 저어콘 연령군 조합을 재해석하여 남중국판이 공급원지였음을 알게 되었는데 그 사실도 한중판-남중국판의 수렴과 부가를 입증하는 것이 된다.

MPPr의 발달은 한중판-남중국판의 봉합대인 산동반도의 수루대(帶)에 있어서보다 황해변환단층

(Yellow Sea Transform Fault, YSTF)에 가까운 한반도 중서부에서 더 잘 발달했음은 설명을 요한다. YSTF는 중기 고생대의 연성(軟性) 충돌로 인해 압축된 남중국판에 밀리어 충돌봉합대로 바뀌게 마련이었던 것으로 보인다. 수루(Sulu)대가 1차적 봉합대(縫合帶)라면 YSTF는 한반도를 향해 그 1차 충돌의 분력(分力)을 전달하던 2차적 봉합대였다. 후자와 관련하여 한반도에서의 전형적 MPPr 발달이 있었다. YSTF는 삼첩기 인도시니아 때의 대변동을 거쳐 현재에는 WMF 단층대로서 잔존하고 있다.

봉합대에 발달하는 열곡인 올라코젠(aulacogen)의 개념은 MPPr의 열곡 체계에 잘 적용된다. 충돌 후의 한중판이 받은 가볍고 지속적인 횡압력은 침강을 방해하여 대결층이 형성되면서 동시에 봉합대의 판 연변부에는 올라코젠들의 퇴적이 있었다. 남중국판 연변에도 육성(陸成) 올라코젠은 생겨났겠으나 비교적 높이 융기하여 침식으로 파괴되었거나 후에(삼첩기) 수루 섭입대에서 소멸되었거나 현 황해저에 남아 있을 것이다.

한중판 MPPr의 임진층군과 산동반도 연남(烟南)층군의 동물화석들이 양쯔해(海) 동물군과 근연(近緣)이라는 사실은 중기 고생대에 양쯔해가 한중판에 해침(海浸)했던 기록이므로 그때 한중·양쯔 두 판의 수렴(convergence)의 상황은 해협의 존재를 허용했던 느슨한 부가(accretion) 상태였을 것이다.

만일 고생대의 어느 기간에 따비-수루 봉합대의 자리에, 즉 한중판과 남중국판 사이에, 대양이 있었더라면 그 원양성 퇴적물의 변형·변성물이 삼첩기 충돌대에서 관찰될 것이나 그러한 보고는 접할 수 없다. 아마도 전기고생대 동안 두 지판은 비교적 근거리에 있다가 중기고생대에 수렴했던 것으로 보인다. 두 대륙의 수렴 내지 미약한 충돌상태는 중기 고생대 동안 지속되었다가 석탄기 후기에는 대륙분리(divergence)가 재개되어 해협이 생겨나 있었고 이 석탄기 후반(後半)의 해침은 오래가지 못하다가 페름기의 재(再)수렴 그리고 다음에는 인도시니아기의 강렬한 대륙섭입·충돌의 과정(Sulu조산운동 및 송림변동)이 뒤따르게 되었다.

MPPr의 열곡 충전(充塡)물은 퇴적에 이은 국지적 광역변성을 겪었는데 페름기초의 것이 가장 두드러진 것으로 알려졌다. 페름기초의 두 대륙의 재(再)수렴에 따른 광역변성이다. 이 광역변성작용은 全지구 조구조사에 비추어 헤르시니아(Hercynian) 변동이라고 볼 수 있다. 습곡작용의 동반은 보고되지 않았고 가벼운 광역변성작용의 증거만 얻어졌다.

방사성 연대를 포함하는 지화학적 자료에 입각하여 한반도 일부의 남중국설을 펴는 논문이 많으나, 한반도는 남중국판에 인접하여 청백구기(青白口紀, 1-0.8 Ga), 중기고생대, 인도지나기(期) 등 여러 지판 수렴·충돌의 시기에 간접적인 충돌을 겪어왔고 지판 분리의 초기에는 인장성 혹은 신장성 지질과정을 겪었다. YSTF의 오묘한 역할에 따라, 한중판 연변부인 한반도는 간접적 충돌대로서 각 시대의 (남중국 유사의) 방사성 기록을 간직하게 되었다.

사 사

필자는 1953년 학부학생으로서 김옥준 박사를 따라 처음 옥천변성대를 견학했다. 그 후 기회 있을 때마다 옥천변성대를 답사하면서 그 에니그마에 매료되었었다. 답사에 자주 동행했던 이는 박봉순 박사였고 이대성 교수와 Reedman박사와도 동행했다. 연구의 선구자이신 손치무교수와 이대성교수의 야외조사의 결과에 크게 힘입은 바 있다. 이 모든 분들께 감사드린다. 지질연구소에 근무할 때는 옥천대의 태백산지구에서 조사했으므로 변성대와 비변성대를 비교하는 데 기초경험이 되었다. 경북대학 재직중에는 거의 매년 문경 일대에서 실습지도를 했다. 지난 60년간 옥천대의 난해한 지질의 수수께끼를 풀고자 학계의 관련 연구를 주시해온 결과 중기고생대와 트라이아스기 지사에 대한 새로운 인식에 도달했다. 다행히 변성암, 화석, 동위체 연대연구 등 많은 학자들의 연구성과에 힘입어 오랜 단편적 답사결과들을 종합할 수 있었음에 대하여 감사한다. 무수한 자료와 보고서를 참고할 때마다 학자들의 노고에 심심한 사의를 표하게 된다. 원고정리를 도운 박순옥 박사와 장수범 박사에게 감사한다. 본보를 자세히 사독하신 심사자들에게 사의를 표한다.

REFERENCES

An, T.S. and Ma, W.P., 1993, Middle Ordovician-Lower Carboniferous of Sino-Korean Platform and its paleogeography and structural significance. Earth Science, 18(6), p. 777-791.

An, T.S. and Zheng, Z.C., 1990, The conodonts around the

Erduoshi Basin. Science Press Beijing, 201 pp.
Burke, K.C. and Wilson, J.W., 1976, Hot Spots on the Earth's Surface: Scientific. American. 235, 46-57.
CAGS Inst. of Geol., 1993, Explanatory Text of Geologic Map of Dabie-Sulu Orogenic Zone. Geol. Publishing Co., Beijing, 77 pp.
Chang, K.-H., 1995, Aspects of Geologic History of Korea. Journal of Geological Society of Korea, 31, 72-90.
Chang, K.-H., 2000, Paleozoic Yellow-Sea Transform Fault and Mesozoic Korea. Geosciences Journal, 4, 4-6.
Chang, K.H., 2008, Metamorphic Okcheon Zone: Fossil Discoveries and Geologic History. Journal of Paleontological Society of Korea, 24, 149-164 (in Korean with English abstract).
Chang, K.H. and Park, B.S., 1977, Occurrence and Significance of Trace Fossil *Chondrites* from Age-debated Dark Gray Low-grade Metamorphic Argillaceous Rock of Ogcheon Supergroup, Southern Korea. Journal of Geological Society of Korea, 13, 263-266 (in Korean with English abstract).
Chang, K.-H. and Park, S.-O., 2001, Paleozoic Yellow Sea Transform Fault: Its Role in the Tectonic History of Korea and Adjacent Regions. Gondwana Research, 4, 588-589.
Chang, K.-H. and Zhao, X., 2012, North and South China Suturing in the east end: What happened in Korean Peninsula. Gondwana Research, 22, 493-506.
Cheong, C.H., Lee, H.Y., Koh, I.S. and Lee, J.D., 1979, Lower Paleozoic Stratigraphy and Sedimentary Environment. Korean Academy Proceedings, 18, p. 123-169.
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, S. Korea, and its tectonic implication. Chemical Geology, 193, 81-92.
Cho, D.-L., 2009, The southwestern Gyeonggi massif: SHRIMP U-Pb zircon age and geotectonic implications of the supracrustals. The 8th Geology of Korea Symposium Proceedings, KIGAM, p. 28-37.
Cho, D.-L., Kwon, S.-T., Jeon, E.-Y. and Armstrong, R., 2005, SHRIMP U-Pb ages of metamorphic rocks from the Samgot unit, Yeoncheon complex in the Imjingang belt, Korea. implications for the Phanerozoic tectonics of East Asia: Geol. Soc. America Abstracts with Programs, Salt Lake City, p. 388.
Cho, M. and Kim, H., 2002, Metamorphic evolution of Middle Okcheon Metamorphic Belt: Review of recent study and remaining problems. Journal of Petrological Society of Korea, 11, 121-137 (in Korean with English abstract).
Cho, M., Kim, T. and Kim, H., 2004, SHRIMP U-Pb zircon age of felsic tuff of Metamorphic Okcheon Belt: Neoproterozoic volcanism (ca 0.75 Ga). Journal of Petrological Society of Korea, 13, 119-125 (in Korean with English abstract).
Cho, M., Cheong, W., Ernst, W.G., Yi, K. and Kim, J., 2013, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in metasedimentary rocks of the central Ogcheon fold-thrust belt, Korea: Evidence for tectonic assembly of Paleozoic sedimentary protoliths. Asian Earth Sciences, 63, 234-249.
Cho, M., Cheong, W. and Kim, J., 2010a, Geochronologic vs. lithotectonic subdivision of central Ogcheon Metamorphic Belt, Korea: Correlation with the Taean Formation and detrital zircon ages of the Hwanggangri Formation. 2010 Joint Conference of Geological Sciences Societies Abstract, p. 61 (in Korean with English abstract).
Cho, M., Na, J. and Yi, K., 2010b, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in metasandstones of the Taean Formation, western Gyeonggi massif, Korea: Tectonic implications. Geosciences Journal, 14, 99-109.
Chough, S.K., Kwon, S.-T., Ree, J.-H. and Choi, D.K., 2000, Tectonics and sedimentary evolution of the Korean peninsula: a review and new view. Earth-Science review, 52, 175-235.
Cliff, R.A., Jones, G., Choi, W.C. and Lee, T.J., 1985, Strontium Isotope Equilibrium during Metamorphism of Tillites from the Okcheon Belt, South Korea. Contributions to Mineralogy and Petrology, 90, 346-52.
Cluzel, D., Cadet, J.-P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon Belt (South Korea). Tectonophysics, 183, 41-56.
Dong, Y., Liu, X., Neubauer, F., Zhang, G., Tao, N. and Zhang, Y., 2013, Timing of Paleozoic amalgamation between the North China and South China Blocks: Evidence from detrital zircon U-Pb ages. Tectonophysics 586, 173-191.
Faure, M., Lin, W., Monie, P. and Meffre, S., 2007, Paleozoic collision between the North and South China blocks, Triassic intracontinental tectonics, and the problem of the unltrahigh-pressure metamorphism. C.R. Geoscience, 340, 139-150.
Faure, M., Shu, L., Wang, B., Charvet, J., Choulet, F. and Monie, P., 2009, Intracontinental subduction: a possible mechanism for the Early Paleozoic Orogen of SE China. Terra Nova, 21, 360-368.
Gao, S., Zhang, B., Gu, X., Xie, Q., Gao, C. and Guo, X., 1995, Silurian-Devonian provenance changes of South Qinling basins: implications for accretion of the Yangtze (South China) to the North China craton. Tectonophysics, 250, 183-197.

Geological Society of Korea, 1998, Geology of Korea. Sigma press, Seoul, 802 pp.

Glebovitsky, V.A., Sedona, I.S., Buchmin, S.A., Vapnik, Ye. A. and Buiko, A.K., 1994, Granulites of Northern Korea. Journal of Petrological Society of Korea, 3, 196-219.

Hacker, B.R., Wang, X., Aide, E.A. and Ratschbacher, L., 1996, The Qinling-Dabie UHP collisional orogen. in Tectonic Evolution of Asia ed. by Yin, A. and Harrison, T.M., pp. 345-370.

Haentzschel, W., 1975, Treatise on Invertebrate Paleontology W (Supplement 1, Trace Fossils): Ed. Teichert, Geol. Soc of America, Univ. of Texas, 269 pp.

Hao, T.-Y., Suh, M., Liu, J., Xu, Y., Zhang, L., Xu, Y. and Liu, G., 2005, Geophysical study of the location of boundary between Sino-Korean and Yangtze Blocks in Yellow Sea and adjacent area. 2005 Conf. Ser. Intern. Assoc., Gondwana Research, China, p. 1-3.

International Commission on Stratigraphy, 2008, International Stratigraphic Chart. Planet Earth Co.

Jeon, H., Cho, M., Kim, K., Horie, K. and Hidaka, H., 2007, Early Archean to Middle Jurassic Evolution of the Korean peninsula and Its Correlation with Chinese Cratons: SHRIMP U-Pb Zircon Age Constraints. The Journal of Geology, 115, 525-539.

Ji, Z. and Zhao, H., 1992, New evidence for the age of the Penglai Group in eastern Shandong. Journal of Stratigraphy, v. 16, no. 3, p. 237-238.

Kim, D.S., 1987, Geology of Korea. Science Encyclopedia Publishing Company, p. 58-85.

Kim, J.H., 1987, Caledonian Ogcheon Orogeny of Korea with special reference to the Ogcheon uraniferous marine black slate. Doctoral thesis, University of Tokyo, 208 pp.

Kim, J.H., 1996, Mesozoic Tectonics in Korea. Jour. SE Asian Earth Sci., 13, 251-265.

Kim, M.J., Park, G.H., Park, Y.J. and Choe, J.E, 2011, SHRIMP U-Pb zircon ages of Gyemeongsan Formation, Chungju, Korea. Mineralogical Society of Korea and Petrological Society of Korea, Joint Meeting Proceedings, p. 51.

Kim, S.W. and Kee, W.S., 2010, Geochronology and Geochemical characteristics of metavolcanics from the Weolhyeonri tectonic complex in the Hongseong area, SW Gyeongg Massif. Journal of Geological Society of Korea. v. 46, no. 5, p. 453-471 (in Korean with English abstract).

Kim, S.W., Kee, W.S., Lee, S.R., Santosh, M. and Kwon, S., 2013, Neoproterozoic plutonic rocks from the western Gyeonggi massif, South Korea: Implications for the amalgamation and break-up of the Rodinia supercontinent. Precambrian Research, 227, 349-367.

Kobayashi, T., 1953, Geology of South Korea with special reference to the Limestone Plateau of Kangwondo. Jour. Fac. Sciences, Univ. Tokyo Section II, Vol. III, part 8, p. 145-293.

Kobayashi, T., 1966, The Chosen Group of South Korea: The Cambro-Ordovician Formations and Faunas of South Korea. Part X. Section A. Jour. Fac. Sci. University of Tokyo Section II, Vol. XVI, part 1. 84 pp.

Lee, D.J., Choi, Y.M., Lee, D.C., Lee J.G., Kwon, Y.K., Cao, L. and Chou, S.J., 2013, Upper Ordovician and Silurian deposits in the Pyeongnam Basin: Songnim Conglomerate and its paleogeographic implication. Journal of Geological Society of Korea, Vol. 49, No. 1, p. 5-15 (in Korean with English abstract).

Lee, D.J., Un, J.G. and No, H.P., 2006, Silurian System of the Sino-Korean Craton. Global Geology, v. 25, no. 4, p. 323-331.

Lee, D.S., Chang, K.H. and Lee, H.Y., 1972, Discovery of Archaeocyatha in the Hyangsanri Dolomite of the Okcheon Supergroup and its significance. Journal of Geological Society of Korea, v. 8, no. 4, p. 191-197 (in Korean with English abstract).

Lee, H.Y., 1980, Discovery of Silurian conodont fauna from South Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 16, p. 114-123.

Lee, J.N. and Won, H.C., 1992, Volcanism and Mineralization of the Devonian Rimjin Group, Gangnyeong area, North Korea. Geological Sciences, v. 162, no. 2, p. 5-9, Science Publisher.

Metcalfe, I., ed., 1999, Gondwana Dispersion and Asian Accretion. Balkema Co., 361 pp.

Na, J., Kim, Y., Cho, M. and Yi, K., 2012, SHRIMP U-Pb Ages of Detrital Zircons from Metasedimentary Rocks in the Yeungheung-Seonjae-Daebu Islands, Northwestern Gyeonggi massif. Journal Petrological Society of Korea v. 21, no. 1, p. 31-45 (in Korean with English abstract).

Paik, Y.J. (ed.), 1993, Geology of Korea: Foreign Language Publisher, Pyeongyang, 619 pp.

Pak, Y.S. and Kang, J.G., 1991, On Fauna of Koksan Series (Lower-Early Upper Silurian). Chijilkwahak, no. 6, p. 35-40.

Park, K.-H., Lee, T.H. and Yi, K.U., 2011, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons of Daehyangsan Quartzite, Okcheon Metamorphic Zone. Jour. Geol. Society of Korea, v. 47, no. 4, p. 423-431 (in Korean with English abstract).

Park, K.-H., Yang, Y.-S. and Yi, K., 2011, Formation ages of the Sangnaeri Formation and Baekhwari amphibolites of the Okcheon metamorphic belt, Mungyeong area: evidence from SHRIMP U-Pb zircon ages. Jour.

Geol. Soc. Korea, v. 47, no. 2, p. 155-164 (in Korean with English abstract).

Park, Y.S., 1966, On brachiopod fossils discovered from pebbles of the Songrim Conglomerate. Geology and Geography, 2, p. 12-20.

Park, Y.S., 1967, On brachiopod fossils discovered from pebbles of the Songrim Conglomerate and their geologic age. Geology and Geography, 3, p. 26-33.

Park, U.K., 1993, Characteristics of the Sedimentary Rocks of the Rimjin System Distributed in the Kumchon-Tosan-Kaesong Areas. Chijilkwahak, no. 5, p. 17-22.

Ren, J., Baogui, N. and Zhigang, L., 1996, Microcontinents, Soft Collision and Polycyclic Suturing. Continental Dynamics, Institute of Geology, CAGS, v. 1, no. 1, p. 1-9.

Sagong, H., Cheong, C.S. and Kwon, S.Y., 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.

Shandong Geological and Mineralogical Survey, 1996, Lithostratigraphy of Shandong Prefecture. China University of Geology Press, 328 pp.

Son, C.M., 1970a, On Geologic Age of the Okcheon Group. Journal of Korean Inst. of Mining Geology, v. 3, no. 1, p. 9-16 (in Korean with English abstract).

Son, C.M., 1970b, Discussion on Geologic Age of the Okcheon Group. Journal of Korean Inst. of Mining Geology, v. 3, no. 4, p. 231-244 (in Korean with English abstract).

Wan, T.F., 2010, The Tectonics of China. Higher Education Press, Beijing, 501 pp.

Wang, H. (ed.), 1985, Atlas of Paleogeography of China: Cartographic Publishing House, Beijing, 143 sheets and explanations.

Willis, B., Blackwelder, E. and Sargent, R.H., 1907, Research in China. vol. 1, Part 1, 339 pp.

Yang, Z., Yuqi, C. and Wang, H., 1986, The Geology of China. Oxford University Press, 303 pp.

Yin, A. and Nie, S., 1993, An indentation model for the North and South China collision and the development of the Tan-Lu and the Honam Fault Systems, Eastern Asia. Tectonics, 12(4), 801-813.

Zhu, G., Xu, J., Fitches, W.R. and Fletcher, C.J.N., 1994, Isotopic Ages of the Penglai Group in the Jiaobei Belt and Their Geotectonic Implications. Acta Geologica Sinica, v. 7, no. 4, p. 417-433.

투 고 일 : 2013년 5월 22일
심 사 일 : 2013년 6월 13일
심사완료일 : 2013년 8월 6일