

암석학회지

Jour. Petrol. Soc. Korea Vol. 24, No. 2, p. 107~124, 2015

<http://dx.doi.org/10.7854/JPSK.2015.24.2.107>

임진강대의 중부 고생대층: 임진계

최용미¹ · 조석주² · 이정현² · 이동찬³ · 이정구⁴ · 권이균⁵ · 조 림⁶ · 이동진^{1,6*}

¹안동대학교 지구환경과학과, ²고려대학교 지구환경과학과, ³충북대학교 지구과학교육과

⁴미래창조과학부, ⁵공주대학교 지질환경과학과, ⁶중국길림대학 지구과학학원

Devonian Strata in Imjingang Belt of the Central Korean Peninsula: Imjin System

Yong-Mi Choi¹, Suk-Joo Choh², Jeong-Hyun Lee², Dong-Chan Lee³, Jeong-Gu Lee⁴,
Yi-Kyun Kwon⁵, Lin Cao⁶, and Dong-Jin Lee^{1,6*}

¹Department of Earth & Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea

²Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea

³Department of Earth Science Education, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

⁴Ministry of Science, ICT and Future Planning, Gwacheon 427-700, Korea

⁵Department of Geoenvironmental Sciences, Kongju National University, Gongju 314-701, Korea

⁶College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, PR China

요 약: 1962년 북한 연구자들은 휴전선 이북에 분포된 임진강 유역의 상부고생대 평안계 지층에서 데본기의 것으로 추정되는 완족동물과 극피동물 화석을 찾아 이 화석들을 포함하는 지층을 평안계로부터 분리하여 ‘임진계’로 설정하였다. 이후 임진계의 여러 분포지에서 발견된 중기 데본기의 차축조(車軸藻, 윤조(輪藻)와 동의어)화석은 그 지질시대를 확정하는 결정적 요소가 되었다. 평남분지와 경기육괴 사이에 분포하는 임진계는 강원도 철원군, 황해북도 금천군, 판문군 및 토산군에 걸치는 동부와, 황해남도 강령군과 웅진군 일원의 서부 지역에 대상으로 분포하며, 경기도 북부의 연천층군(변성암복합체)을 포함한다. 해성 무척추 동물화석만 산출되는 하부 고생대층과는 달리 임진계는 다양한 육상 식물화석을 포함한다. 임진계에서 흔히 산출되는 완족동물화석은 남중국대지 데본기 지층에서 알려진 것과 종의 구성에서 유사할 뿐 아니라 남중국대지의 풍토종을 포함하고 있어 두 지역 사이의 고지리적 근연관계를 지시한다. 임진계의 지질시대는 연구자에 따라 견해차가 있으나, 데본기 중-후기로 보는 견해가 지배적이며, 일부 연구자는 데본기 중기-석탄기로 추정하기도 한다. 북한의 연구자들은 데본기에 남중국의 바다가 한반도까지 확장된 ‘임진해’가 존재하였으며, 따라서 임진계가 현 위치에서 퇴적된 것으로 해석하였다. 임진계는 분포 지역에 따라 심한 층서적 편차를 보이며 국지적으로 두꺼운 층후를 보인다. 최근 북한의 임진계 분포지 도처에서 층상에 의한 지층의 역전과 반복이 보고되었으며, 남한에 분포한 임진계의 연장부인 연천층군의 퇴적기원 변성암 또한 고도의 압축변형작용에 기인한 것으로 알려져, 임진계 분포지 전반에 걸쳐 광범위한 습곡-충상단층대가 형성되었음을 시사한다. 연천층군이 임진강대의 북부로 가면서 점진적으로 고변성대에서 저변성대로 바뀌는 사실로 미루어볼 때, 경기육괴의 북부지역 및 임진강대는 다비-술루(Dabie-Sulu) 벨트의 연장부로 남중국대지와 한중대지의 충돌대였으며, 임진계는 남중국대지의 연장선상에 있었던 경기육괴에서 발달한 퇴적층으로, 남중국대지와 한중대지가 충돌하면서 침합(accretion)된 잔재로 해석된다. 향후 한반도와 동아시아의 고생대 고지리의 복원과 지각진화사를 심도 있게 이해하기 위하여 임진계의 층서, 퇴적 및 조구조적 진화에 대하여 남북한 관련분야 연구자들이 함께 참여하는 후속연구가 필요하다.

핵심어: 평남분지, 임진강대, 임진계, 연천층군, 데본기

Abstract: The ‘Imjin System’ (or Rimjin System) was established in 1962 as a new stratigraphic unit

*Corresponding author

Tel: 054-823-4257

E-mail: djlee@andong.ac.kr

separated from the Upper Paleozoic Pyeongan System based on the discovery of brachiopods and echinoderms of possible Devonian age. Subsequent discoveries of the Middle Devonian charophytes confirmed the Devonian age of the system. The Imjin System is distributed in the Imjingang Belt between the Pyongnam Basin and the Gyeonggi Massif, spans from the eastern areas including Cholwon-gun of the Gangwon Province, Gumchon-gun, Phanmun-gun, and Tosan-gun of the Hwanghaebuk Province, to the western areas of Gangryong-gun and Ongjin-gun of the Hwanghaenam Province, and includes the Yeoncheon Group (metamorphic complex) to the south. Unlike the lower Paleozoic strata in the Pyongnam Basin which solely produce marine invertebrate fossils, the Imjin System yields diverse non-marine plant and algal fossils. Brachiopods of the system are similar to those from the Devonian of the South China Block and include taxa endemic to the platform, implying a close paleogeographic affinity to the South China Block. The Imjin System is generally considered as of Middle to Late Devonian in age, although there have been suggestions that the system is of the Middle Devonian to Carboniferous in age. North Korean workers postulated that the Imjin System was deposited in the current geographic position, where the "Imjin Sea" (an extension of the South China Platform) was located during the Devonian. The Imjin System displays strong local variations in stratigraphy and its thickness. It has recently been reported that the strata are repeated and overturned by thrust faults in many exposures. The Yeoncheon Group a southward extension of the Imjin System, also experienced intense tight folding and contractional deformation. Northward decrease in metamorphic grade within the system suggests that the northern part of the Gyeonggi Massif and the Imjingang Belt are probably an extension of the Dabie-Sulu Belt between the South China and Sino-Korean blocks, and the Imjin System is a remnant of accretion resulted from the collision between the two blocks. In order to understand tectonic evolution and Paleozoic paleogeography of eastern Asia, further studies on stratigraphic, sedimentologic and tectonic evolution of the Imjin System involving scientists from the two Koreas are urgently needed.

Keywords: Pyongnam Basin, Imjingang Belt, Imjin System, Yeoncheon Group, Devonian

서 언

이 보고는 한반도에서 중기 고생대층의 분포 가능성을 처음으로 제기한 송림역암(Lee *et al.*, 2013a)과 평남분지의 후기 오르도비스기 상서리통 및 사일루리아기 곡산통의 기술과 평가(Lee *et al.*, 2013b)에 이어 최근까지 수집된 남북의 자료를 바탕으로 한반도 중서부에 분포하는 데본기 임진계의 암석, 층서와 화석구성을 종합하고 그 의미를 평가하기 위한 것이다.

1930년대 중반 일본 연구자들에 의하여 당시 황해도 검이포(현 송정시) 지역에서 주라기 대동계의 기저부를 이루는 두꺼운 각력암층(송림역암)의 역에 사일루리아기를 지시하는 산호화석이 포함된 사실이 알려지면서(Shimizu *et al.*, 1934; Kobayashi, 1935; Yabe and Sugiyama, 1937), 그 주변에 이러한 화석력(化石礫)의 공급원이 되었을 퇴적층이 존재할 것으로 기대되었다. 1960년대 이후 수행된 송림역암에 대한 북한 연구자들의 후속연구로 송림역암의 역에서 사일루리아기 뿐만 아니라 데본기 또는 석탄기 전기를 지시하는 화석도 포함되어 있는 사실이 알려졌으며(Pak, 1976; Kim, 1990; Lee *et al.*, 2013a), 이

는 최근 평양시 인근에서 발견된 데본기의 산호화석(Kim *et al.*, 2011) 등과 함께 중기 고생대층의 분포지가 그간 알려졌던 것보다 더 넓었음을 시사한다.

1960년대 초 황해북도와 강원도 일원에 대한 지질조사 과정에서 발견한 데본기 무척추동물 화석에 기초하여 '임진계'(북한에서는 림진계(Rimjin System)라고 하나, 남한의 두음법칙을 따라 임진계로 표기함)가 설정된 이후, 임진계의 화석 구성과 지질시대 및 기원에 관한 여러 후속연구가 수행되었다. 1965년 황해북도 금천군 일원에서 발견된 데본기 중기의 차축조 화석은(Ham, 1981) 임진계의 지질시대를 확정하는 결정적 역할을 하였으며, 1980년대에 들어 임진계의 여러 분포지에서 해성 무척추동물 화석과(Ham, 1981) 함께 처음으로 데본기의 육상 식물 화석이 발견되었다(Kang, 1984). 1990년대에는 강원도와 황해북도 일원에 분포하는 임진계의 상부 층준에서 석탄기 전기의 것으로 추정되는 완족동물 화석이 발견되어 임진계의 지질시대가 석탄기를 포함할 가능성도 제시되었다(Pak, 1996).

한반도 남부에서는 과거 임진계 또는 이와 대비되는 중기 고생대 지층이 알려져 있지 않았으나, 최근

저어콘 입자의 연대측정에 의하여 충칭남도 안면도 일대의 태안층 및 경기도 북부 연천층군의 생성연대가 데본기로 추정된 바 있다(Cho *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2009; Cho *et al.*, 2010; So *et al.*, 2013). 북한의 연구자들은 평남분지 남부의 후기 오르도비스기 상서리통부터 데본기 임진계까지 모든 지층들이 정합적 관계를 이루며, 따라서 종래 전체 한반도가 속한다고 생각해 온 한중대지(Sino-Korean Platform)의 층서적 특징인 고생대 중기의 대결층(오르도비스기 후기-석탄기 전기)이 적어도 한반도 북부에는 나타나지 않는다고 주장한다(e.g., Pak, 1996). 따라서 임진계의 기원과 정체성에 대한 심층적 이해는 평남분지의 상서리통 및 곡산통과 함께 한반도의 고생대 고지리 복원과 지각 진화의 해석에 새로운 시야를 제시할 것으로 전망된다.

현재 북한에서 사용하는 층서단위 체계는 1966년에 제정된 ‘지층단위규범’을 바탕으로(Kim, 1990) 시간층서단위(time-stratigraphic unit)와 암석층서단위(lithostratigraphic unit)를 혼합한 ‘지방지층구분단위’이다. 이 층서단위에 의한 명칭은 광복 이전 일체의 층서체계가 남긴 유산으로 향후 국제층서규준(Murphy and Salvador, 1999)의 권고에 부합하는 암석층서단위로 개정되어야 할 것이다. 최근 북한의 층서명에도 약간의 변화가 감지된다. 예를 들어, 일부 출판물에서 ‘임진계’를 ‘임진층군(Imjin Group)’으로, 안협통, 부압통, 삭녕통을 각각 ‘안협층’, ‘부압층’, ‘삭녕층’으로 표기한 경우가 있으나(Kim *et al.*, 2012) 이는 암석층서단위의 명칭을 단순 차용한 것으로 기존 층서체계의 수정을 의미하는 것은 아니다. 남북한 사이의 상이한 층서단위 사용에 기인한 혼란은 북한의 층서단위가 개정되기 전까지는 피할 수 없는 문제이며, 따라서 필자들은 현 시점에서는 북한에서 현재 사용되는 층서단위를 그대로 사용하는 것이 혼란을 키우지 않을 것으로 판단한다(Lee *et al.*, 2013b). 남북한 층서단위 사용의 이질성은 한반도의 지층 대비와 세분에 큰 걸림돌이 되고 있으며, 앞으로 가장 우선적으로 해결되어야 할 과제다.

임진계 연구사

1962년 황해북도 금천과 강원도 철원 일원에서 축척 1:200,000 지질도폭 조사 과정 중 북한 연구자들은 종래 상부고생대의 평안계로 알려져 왔던 지층에

서 데본기를 지시하는 완족동물과 극피동물 화석을 발견하고, 이 화석들이 산출되는 지층을 평안계로부터 분리하여 ‘임진계’로 설정하였다(Kang, 1984; Pak, 1987; Riu *et al.*, 1990; Om *et al.*, 1996; Pak, 1996; Kim *et al.*, 2012). 이어 1965년 황해북도 토산-삭녕 구간의 1:50,000 지질도 작성과정에서 다수의 해성 무척추동물 화석과 함께 데본기를 지시하는 차축조 화석 *Sycidium melo* var. *puskowensis* Karpinsky를 찾아 임진계의 시대를 데본기로 확정하였다(Pak, 1987; Riu *et al.*, 1990; Om *et al.*, 1996; Pak, 1996; Kim *et al.*, 2012). 현재 임진계의 층서는 하부로부터 안협통, 부압통 및 삭녕통으로 구분된다(Kang, 1984; Om *et al.*, 1996; Pak, 1996; Kim *et al.*, 2012).

Riu *et al.*(1990)은 황해북도 금천군 현내리에 분포하는 임진계 지층 가운데 화석을 산출하는 두 층서구간, 즉 해성 동물화석을 산출하는 안협통의 상부 구간을 ‘인봉통’으로, 육상 식물 화석을 포함하는 부압통의 하부를 ‘현내통’으로 분리 설정하였다. 그는 설정된 구간 외의 지층들은 데본기 이전의 지층으로 보았으며, 따라서 인봉통과 현내통만으로 구성된 데본기 중-후기의 ‘금천계’를 설정하였다. 그러나 이 제안은 널리 수용되고 있지 않으며, 따라서 이 논문에서는 사용하지 않는다.

Ham(1981)은 황해남도 강령군, 황해북도 금천군과 강원도 철원군에 분포하는 임진계의 하부가 후기 원생대의 상원계 또는 전기 고생대의 황주계 지층과 부정합 또는 충상단층으로 접해 있으며, 그 상부는 삭박되거나 서해의 해저에 있어 관계미상으로 기재하였다. 이 지역 임진계 지층에서 산출되는 화석들은 대부분이 데본기 중기를 지시하는 해성 무척추동물로, 화석의 구성에 기초하여 안협통, 부압통, 삭녕통의 시대를 각각 전기 데본기 말, 중기 데본기, 후기 데본기 초로 보았다(Ham, 1981). Kang(1984)은 이 지역에서 산출된 화석의 추가 분석을 통하여 Ham(1981)이 전기 데본기로 추정한 임진계의 하부 한계를 중기 데본기로 수정하였다. 또한 그는 당시까지 임진계에서 알려진 완족동물, 극피동물, 복족류 등의 해성 무척추동물 화석 이외에 데본기의 고솔잎란류, 고양치류, 고석송류를 포함하는 다양한 육상 식물 화석들을 처음으로 보고하였다. Kang(1984)은 특히 전 세계적으로 광범위한 분포를 가진 데본기 중-후기의 목본형 식물화석 *Leptophloeum rhombicum* Dawson이 임진

계에서도 산출되는 사실에 주목하여 임진계의 지질시대를 데본기 중-후기로 추정하였다.

Pak and Kang(1987)은 임진계와 남중국대지의 데본기 중기-석탄기 전기 Wutong Formation(五通層)의 화석 구성을 비교하고, 이를 바탕으로 평남분지와 Jiangsu(江苏), Zhejiang(浙江), Anhui(安徽) 성(省) 지역 사이에 고지리적 근연관계가 성립함을 제시하였다. 또한 이들은 평남분지의 상서리통(오르도비스기 후기), 곡산통(사일루리아기) 및 임진계가 모두 현 위치에서 퇴적된 '원적층(原積層)'이라는 가정 하에 오르도비스기 후기에서 데본기까지 남중국에서 한반도 북부를 잇는 얇은 바다가 간헐적으로 존재하였으며, 이를 바탕으로 각 시대별 해침에 따른 퇴적층의 형성과 해침의 방향, 남중국과의 고지리적 관계를 해석하였다. Kang(1987)은 특히 평남분지에는 사일루리아기 후기에서 데본기 전기 사이에 퇴적된 지층이 분포하지 않는 사실을 근거로 데본기의 바다(임진해)는 사일루리아기의 바다(송림-곡산해; cf. Lee *et al.*, 2013b)로부터 연속된 것이 아니며, 시간적 간격을 두고 각각 다른 두 바다가 존재하였다고 제안하였다.

한편, Ro and Pak(1987)은 임진계를 포함한 평남분지에 분포하는 중기 고생대층이 Pak and Kang(1987)의 주장과는 달리 각 시대에 존재했던 바다의 위치에서 퇴적된 것이 아니라, 고생대 중기의 구조 활동에 의하여 이동한 것으로 해석하였다. 그는 임진계가 남중국대지 양자강습곡대의 연장으로 한중대지의 북부판(평남분지와 낭림육괴)과 남부판(경기육괴 이남) 사이에 존재했던 '임진강준지항사'에 의해 형성된 것으로 보았다. 그는 또한 삭녕통 상부의 '화산분출암'을 임진계 하부와 부정합적 관계로 접한 상원계 지층이 변성을 받아 생성된 산물로 유추하였다.

Pak(1996)은 강원도 철원, 황해북도 금천, 황해남도 강령 지역의 삭녕통 하부에서 석탄기 전기를 지시하는 것으로 추정되는 원족동물 화석을 발견하였으며, 이와 함께 삭녕통 하부와 상부가 정합적 관계에 있음에 근거하여 임진계의 지질시대를 데본기 중기-석탄기 전기로 추정하였다. 또한 그는 임진계가 상원계나 황주계 위에 '부정합'적으로 놓일 뿐 아니라, 임진계 지층이 남반구에서 퇴적된 후 현재의 위치로 이동하여 놓이게 되었다는 일부 선행연구의 가정(Kim and Kang, 1993)을 배척하고, 임진계를 현 위치에서 퇴적된 '원지성(原地性)' 지층으로 해석하였는데, 이는 Pak(1996)을 비롯한 많은 북한 연구자들이 대륙의 이

동 등을 포함하는 판구조론을 수용하지 않는 데 기인한 것이다. Pak(1996)은 또한 이 지역에 분포하는 임진계에서 당시까지 알려지지 않았던 새로운 화석들을 찾아 이를 토대로 임진계를 세분하였다: 강령지역의 차축조 화석이 지시하는 시대를 데본기 중기로 확인하고, 그 산출 층위를 금천지역에서 동일한 차축조 화석이 산출된 안협통에 대비시켰으며, 따라서 강령지역의 부암통 하부에서 안협통을 분리하여 금천지역과 대비하였다.

최근 Kim *et al.*(2012)은 황해북도 금천군 현내리 지역에 분포하는 임진계의 하부에 데본기 후기를 지시하는 화석들이, 그리고 상부에는 데본기 중기를 지시하는 화석들이 포함되는 사실을 적시하고 이러한 현상이 임진계의 다른 분포지에서도 관찰되는 것으로 보아 임진계의 층서가 충상단층에 의하여 역전되어 있을 가능성을 제기하였다. 또한 임진계의 하부를 구성하는 암석들은 상부의 암석들에 비하여 상대적으로 더 높은 변성작용을 받았음을 인지하고, 이 역시 지구조적 활동에 의한 결과로 해석하였다. 그러나 Kim *et al.*(2012)은 남중국판과 북중국판의 충돌대인 다비-술루 벨트(Dabie-Sulu Belt)와 임진강대를 비교하여, 양 지역에서 나타내는 변성암의 연대와 구조적 차이에 따라 임진강대는 두 대륙의 충돌대가 될 수 없다고 주장하였다.

임진계의 분포와 층서

임진계는 평남분지 남서부의 임진강 유역을 중심으로 분포하며, 예성강 단층대를 경계로 크게 서부와 동부로 나뉜다(Pak, 1987; Om *et al.*, 1996; Fig. 1). 서부는 동부에 비하여 협소한 면적으로, 서해에 접한 황해남도 강령군과 옹진군의 일부를 포함한다. 동부는 강원도 철원군, 황해북도 금천군, 판문군, 토산군 일대를 포함하며, 남쪽으로 경기도 북부의 연천층군으로 연장된다(Ree *et al.*, 1996). 연천변성암복합체로도 불리는 연천층군의 정의와 시대에 대하여는 연구자에 따라 심한 의견의 대립이 있다(Cho *et al.*, 1995; Chwae and Choi, 2009). 이 논문에서는 연천층군을 경기도 연천 지역을 중심으로 분포하는 고온 및 고압변성을 받은 퇴적기원의 변성암체로 국한한 Cho *et al.*(1995)의 제안을 따른다. 연천층군의 지질 시대에 관하여 Yamaguchi(1951)는 발견된 화석을 근거로 실루리아기-데본기로 추정하였으며, Cho *et*

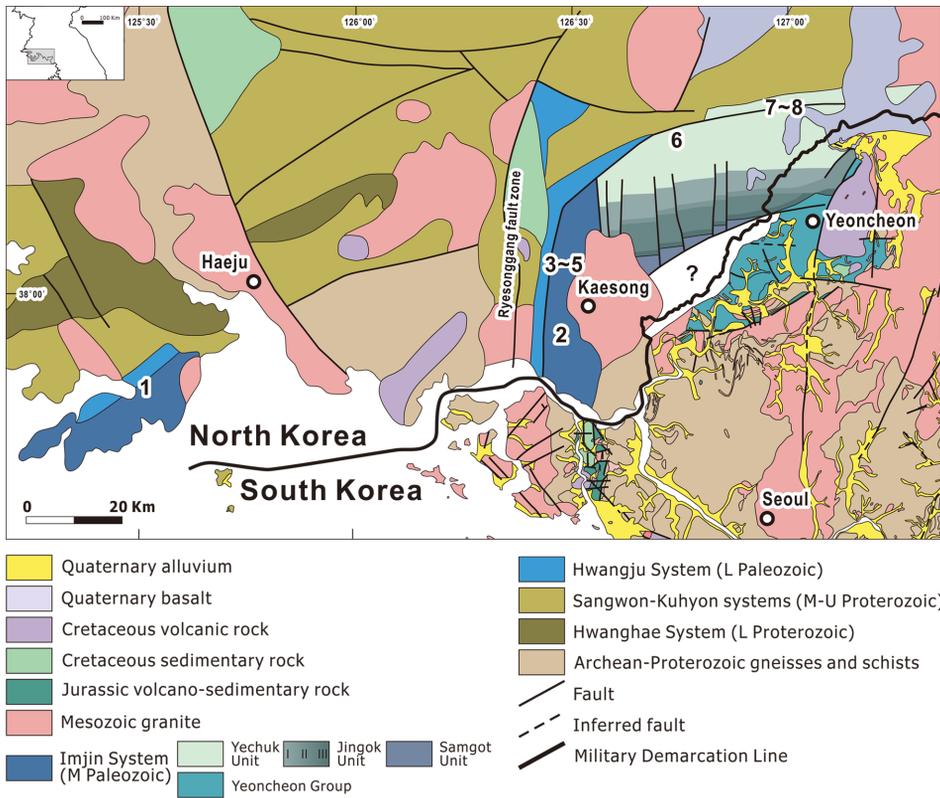


Fig. 1. Distribution of the Devonian deposits in the central Korean Peninsula. Modified after Om *et al.* (1996) and Lee *et al.* (1999) for geologic map of North and South Korea, respectively. Yamaguchi (1951), Ree *et al.* (1996), and Kim *et al.* (2000) were used for detailed geologic map of the Imjin System in North and South Korea. Yechuk, Jingok, and Samgot units are part of the Imjin System which experienced differential metamorphism; darker color corresponds to higher grade metamorphism (cf. Yamaguchi, 1951; Ree *et al.*, 1996). The Yeoncheon Group is depicted as the southern extension of the Imjin System in South Korea. Numbers indicate section locations in Fig. 2.

al.(1995)은 연천층군의 변성이질암류가 후기 데본기 (Ham, 1981) 또는 전기 석탄기에 해당하는 임진계 북부 분포지의 삭녕통에 대비될 것으로 추론하였다. 연천층군은 경기육괴에 포함되는 경기도 서북부의 연천과 포천 일원에 주로 분포하는데(Fig. 1), 그 북부는 변성이질암이 우세하며 남부는 석회규질암과 각섬암(amphibolite)이 우세한 변성상으로 북부에서 남부로 갈수록 변성도가 증가한다(Yamaguchi, 1951; Cho *et al.*, 1995; Ree *et al.*, 1996; Choi and Chwae, 2007).

임진계의 층후는 강령군 식여리, 인봉리, 용연리와 금천군 현내리, 철원군 부암리 등에 드러난 임진계의 전체 층서를 바탕으로 최대 약 3000~4000 m로 추정하고 있으나(Figs. 1, 2; Kang, 1984; Pak, 1996; Kim *et al.*, 2012), 심하게 습곡되고 층상되어 있는

임진계 지층의 특성으로 미루어볼 때 이 층후가 과장된 것이라는 가능성을 배제할 수 없다. 또한 임진계의 남부 분포지(연천층군)에서의 층후는 기능할 수 없다. 다음은 예성강 단층대의 서부지역과 동부지역에 발달한 임진계의 암상과 층서를 Kang(1984), Kim and Kang(1993), Pak(1996)과 Om *et al.*(1996)의 기술을 종합하여 요약한 것이다.

예성강 단층대 서부에서 임진계의 분포지는 서해에 인접한 황해남도 강령군 식여리, 인봉리와 용연리 일대에 걸쳐있다. 이 지역에서 안협통은 하부가 상원계의 목천통과 구조적으로 접하며(Pak, 1996) 그 상부는 석회암, 석회질 사암, 석회질 실트암, 점판암, 천매암, 규암 등으로 구성된다. 황해남도 강령군 인봉리의 안협통에서는 데본기 중기의 차축조 *Sycidium melo var. puskowensis* Karpinsky 화석이 산출된다. 부암통

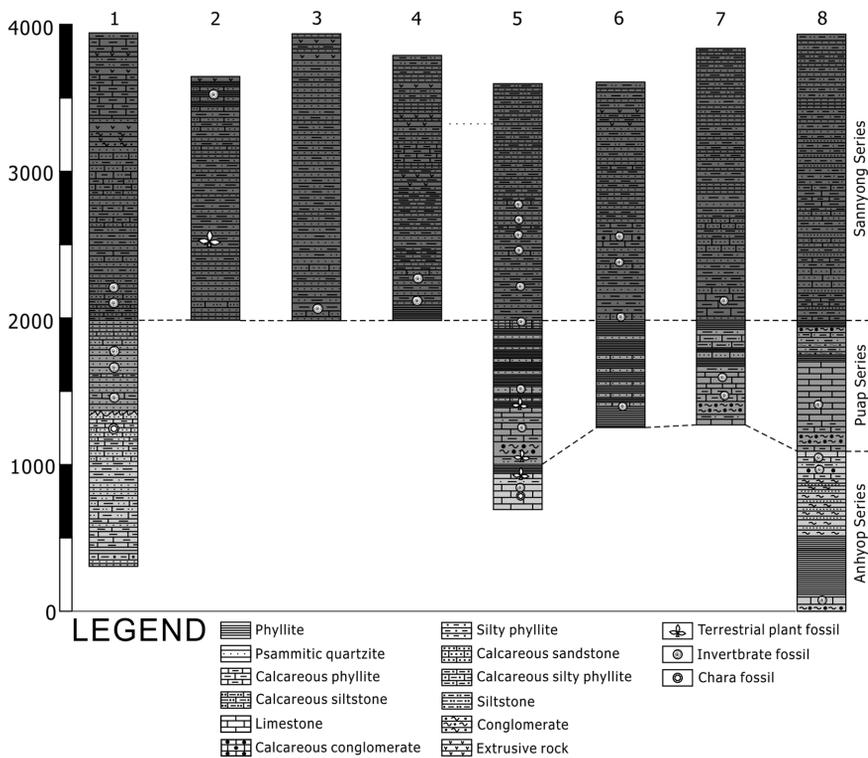


Fig. 2. Stratigraphic correlation of the Devonian strata across the Imjingang belt area. Localities 1. Kangryong-gun 2. Gaepung-gun 3. Kumchon-gun Kyejung-ri 4. Kumchon-gun Wolam-ri 5. Kumchon-gun Hyunnae-ri 6. Tosan-gun Midang-ri 7. Cholwon-gun Puap-ri 8. Cholwon-gun Daejon-ri. Modified after Pak(1996). For location, see Fig. 1.

의 하부는 주로 규암질 역으로 구성된 역암층으로 되어 있으며, 그 위로 석회질 사암, 석회질 천매암, 편암, 규암 등이 놓인다. 사녕통은 하부로부터 석회질 사암, 실트암, 편암, 규암, 천매암, 안산반암(andesitic porphyry), 변회록암(meta-diabase), 석류석-녹니석 편암으로 이루어져 있으며, 하부 층준에서 복족류 및 완족류를 포함하는 몇 종의 해성 무척추동물 화석이 보고되었다. 사녕통 상부의 암석들은 심한 변성을 받았으며, 주라기 분출암에 피복되거나(Pak, 1996) 선캄브리아기 화강암과 구조적으로 접촉한다.

임진계의 동부 분포지인 황해북도 금천군 현내리의 현내향사와 우봉골배사에는 안협통, 부압통 및 사녕통이 노출되어 있다. 이 지역의 임진계는 황주계의 무진통(캄브리아기 중기)과 단층으로 접하며(Pak, 1996), 경계부에 함력 천매암층이 발달한다. 이 지역에서 안협통과 부압통은 현내향사와 우봉골배사의 남북 양익에서 모두 나타나며, 사녕통은 남쪽에만 분포한다. 안협통은 석회암, 석회질 사암, 석회질 실트암,

이회암, 점판암 등으로 구성되어 있으며, 대부분 중기를 지시하는 차축조와 개형층이 산출된다. 특히 차축조 화석은 황해북도 금천군 현내리의 안협통에서 보고된 것과 동일한 종이 산출된다. 부압통은 석회암, 석회질 실트암, 석회질 사암, 천매암 등으로 구성되고, 육상 식물화석과 해성 무척추동물의 화석이 풍부하게 산출된다. 사녕통은 기저부의 규암과 상부의 천매암 및 천매암과 사암의 호층으로 이루어져 있다.

북한의 행정구역인 강원도 철원군 대전리의 임진계 분포지에는 안협통의 최하부가 상원계의 멸약산통과 부정합으로 접하고 있다. 이 지역의 안협통은 사질역암을 기저로 석회암, 석회질 실트암, 사암, 점판암, 천매암, 규암으로 이루어져 있다. 안협통 기저의 사질역암은 이 지역 부압통의 하부에서도 나타나며, 그 위로 규암, 천매암, 석회질 사암이 놓인다. 사녕통은 하부로부터 석회질 사암, 규암, 실트암, 편암, 천매암으로 이루어져 있다. 황해북도 금천군 현내리의 부압통 하부에 발달하는 함력 천매암층은 이 지역에서는 사

녕통의 하부에 발달한다.

임진계의 분포가 종래 알려진 것보다 광범위하였음을 시사하는 여러 보고가 있다. 앞서 언급한 평남분지 남서부 임진계 화석들 이외에도 송림역암의 석회질 역에 포함된 유공충과 산호, 식물 화석 가운데 그 시기가 데본기 또는 석탄기로 추정되는 것들이 보고된 바 있다(Pak, 1976; Ham, 1982; Riu *et al.*, 1990; Kim, 1990; Lee *et al.*, 2013a). 최근 Kim *et al.*(2011)이 평남분지의 중앙부에 위치한 평양시 승호리에 분포하는 만달통(오르도비스기 중기) 상부의 층후 약 40-50 m의 돌로스톤에서 보고한 단체형 사사산호 *Calceola* 또한 이 가능성을 뒷받침한다. 이 *Calceola* 종은 남중국 대지의 Yunnan(云南) 및 Guangxi(广西) 지역에서 보고된 *C. sandalina* (Linnaeus)와 유사하며, 데본기 중기를 지시하는 것으로 추정된다(Zhang and Pojeta, 1986; Galle and Ficner, 2004; Kim and Kim, 2007; Yu, 2007). 그 밖에 임진계 지층이 산재하는 개성시 개풍군, 금천군 계정리, 금천군 월암리의 분포지에는 삭녕통의 일부가 노출되어 있다. 황해북도 토산군 미당리와 강원도 철원군 부암리에는 부암통이 상원계의 멸약산통과 부정합 관계로 접해있으며, 안협통은 분포하지 않는다(Fig. 2).

임진계의 화석구성과 지질시대

임진계에서 산출된 화석들은 완족류(brachiopods)(Table 1), 복족류(gastropods), 태선동물(bryozoan), 바다나리(crinoids), 이매패류(bivalves), 개형충(ostracods), 사사산호(rugose corals)를 포함하는 해성 무척추동물(Table 2), 그리고 조류(algae), 차축조(chara)와 육상 식물(Table 3) 등으로 구성된다(Kang, 1984; Pak and Kang, 1984, 1985, 1986; Pak, 1987; Riu *et al.*, 1990; Pak, 1996; Kim, 2012; Kim *et al.*, 2012).

Ham(1981)이 임진계에서 기재한 14속 24종의 해성 무척추동물 화석에 추가하여 Kang(1984)은 17속 24종에 이르는 다양한 육상 식물화석과 해성 무척추동물 화석들을 보고하였으며, Pak and Kang(1984, 1985, 1986)의 후속연구에서 14속 18종의 육상 식물 화석을 새로 기재하였다. Pak(1996)은 철원, 금천, 강령 지역에 분포하는 임진계에서 사사산호로 추정되는 화석을 포함하여 모두 32속 49종의 해성 무척추동물

화석과 육상 식물화석을 기재하였다. 지금까지 임진계에서 보고된 화석은 Kim(2012) 및 Kim *et al.*(2012)의 최근 연구에서 추가된 21속 22종의 해성 무척추동물 화석을 포함하여 해성 무척추동물 60속 115종(Table 1, 2a, 2b)과 조류 및 육상 식물 29속 47종(Table 3) 등 모두 89속 162종이 알려져 있다. Table 1-3은 최근까지 출간된 북한의 문헌자료를 종합한 것이나, 분류에서의 오류는 차치하더라도 기재된 화석명에서조차 오기가 흔히 발견되며, 따라서 향후 이 화석들에 대한 신뢰성을 담보하기 위해서는 자료의 재검토 및 재분류가 필요할 것으로 보인다.

임진계에서 산출되는 화석 가운데 양적으로 가장 풍부하며 임진계의 지질시대 결정에 중요하게 사용된 완족동물은 지금까지 25속 46종이 알려져 있다(Table 1; Fig. 3). Pak(1996)은 황해북도 금천과 강원도 철원 일원에서 산출된 데본기 중기의 완족동물 화석 외에 삭녕통에서 석탄기 전기를 지시하는 *Camarotoechia panderi* (Semenow et Moeller), *Schizophoria* cf. *upensis* Sarytcheva, *Glyptospirifer chui* (Grabau), *Punctospirifer kusbassicus* Besnossova가 산출되며, 따라서 임진계의 지질시대가 데본기 중기에서 석탄기 전기까지를 지시한다고 보았다(Om *et al.*, 1996; Pak, 1996). 그러나 Kim *et al.*(2012)은 Pak(1996)이 석탄기 전기를 지시하는 완족동물 화석을 보고한 층준에서 데본기 중-후기를 지시하는 *Yunnanellina triplicata* Grabau, *Tenticospirifer vilis* var. *kwangsiensis* Tien, *Eoreticularia maureri* var. *altirhynchus* (Grabau), *Athyris huddlestoni* var. *sinensis* Tien, *A. gurdoni* var. *trasversalis* Tien을 기재하였다. Kim *et al.*(2012)은 특히 삭녕통 상부에서 데본기 후기에 세계적으로 분포하는 육상 식물화석 *Leptophloeum rhombicum* Dawson과 데본기의 표준화석인 개형충류 *Cavellina devoniana* Egorov, *C.?* *dushanensis* Shi, *Bairdia dushanensis* Shi, *Knoxiella compressa* Rozhd 등을 보고하여 임진계의 지질시대 상한을 데본기 말까지로 국한하였다(Kim, 2012; Kim *et al.*, 2012).

남중국대지의 데본기 중-후기 지층이 잘 발달된 Hunan(湖南) 지역에서 완족동물의 군집대(Assemblage Zone)는 5개로 분대된다(Ma and Zong, 2010). 특히, 데본기 후기의 Xikuangshan Formation(山層) 상부에서 산출되는 *Yunnanellina-Sinospirifer* 군집대와 *Yunnanella-Hunanospirifer* 군집대에는 남중국대지 특유의 강한 풍토성(endemism)을 가지는 *Yunnanella*와

Table 1. List of brachiopods fossils known from the Devonian Imjin System

Genus	Species	Localities			Age				Re-mark	References
		A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃	C ₁		
<i>Camarotoechia</i>	<i>panderi</i> (Semenow et Moeller)	x					x	x		6, 7
	<i>shetienchiaensis</i> (Tien)		x				x			6, 7, 8
	sp.	x								6, 7
	sp.1		x							6
<i>Pleuropugnoides</i>	<i>cf. kinlingensis</i> (Grabau)	x						x		6
<i>Spinatrypina</i>	<i>lungkouchungensis</i> (Tien)		x				x			6
	<i>semilukiana</i> Ljaschenko	x					x			6, 7
<i>Retzia</i>	sp.	x								6, 7
<i>Arctospirifer</i>	sp.	x								6
<i>Hunanospirifer</i>	<i>cf. ninghsiangensis</i>		x				x			6, 8
	<i>ninghsiangensis</i> (Tien)		?				x			7
<i>Cleiothyridina</i>	<i>cf. seriata</i> Grant	x								6, 7
<i>Punctospirifer</i>	<i>kusbassicus</i> Besnossova	x						x		6, 7, 8
<i>Kosmoclimenia?</i>	sp.		x				?			6
<i>Atrypa</i>	<i>cf. richthofeni</i> (Kayser)	x				x				6, 7
	<i>cf. hunanensis</i> (Grabau)	x				x				6
	<i>hunanensis</i> (Tien)		?			x				7
	sp.	x								3, 6, 7
	<i>douvilli</i> var. <i>lungkouchungensis</i> (Mansuy)		x			x				1, 3, 7
	<i>desquamata</i> mut. <i>hunanensis</i> Grabau		?			x				8
<i>Spirifer</i>	<i>tersiensis</i> Rotay	x					x			6, 7, 8
	sp.		x							1, 3, 6, 7
<i>Schizophoria</i>	<i>cf. upensis</i> Sarytcheva	x					x	x		6, 8
	sp.	x				x				1, 3, 6, 7
<i>Cyrtospirifer</i>	<i>sinensis</i> (Grabau)		x			x				6, 7, 8
	<i>cf. rudkinensis</i> Ljaschenko		x			x				6
	<i>hsichiawaensis</i> (Ozaki)	x					x			6, 8
	sp.		x							6, 7
<i>Tenticospirifer</i>	<i>tenticulum</i> (De Verneuil)	x					x			6, 7, 8
	<i>vilis</i> var. <i>kwangsiensis</i> Tien		?				x			7
<i>Schuchertella</i>	<i>matyrica</i> Nalivkin	x					x			6, 7
<i>Glyptospirifer</i>	<i>chui</i> (Grabau)		x					x		6, 7
<i>Athyris</i>	<i>huddlestoni</i> var. <i>sinensis</i> Tien		?				x			7, 8
	<i>gurdoni</i> var. <i>transversalis</i> Tien		?					x		7, 8
	<i>cf. pauca</i> Wang et Rong		?				x			7
	<i>grandis</i> (Davison)		?				x			7
	<i>cf. elongata</i> Wang et Rong		?				x			7
<i>Eosophragmophora</i>	<i>cf. parva</i> Wang et Rong		?				x			7
<i>Eoreticularis</i>	<i>maureri</i> var. <i>altirhynchus</i> (Grabau.)		?				x			7, 8
<i>Yunnanellina</i>	<i>triplicata</i> Grabau		?				x		*	7, 8
<i>Emanuella</i>	<i>cf. transversa</i> Grabau		?				x			7
<i>Meristella</i>	<i>athyrisformis</i> Grabau		?				x			7
<i>Buchanathyris</i>	<i>subplana</i> (Tien)		?				x			7
<i>Lingula</i>	sp.		x				x			3, 6, 7
<i>Ptychomaletoechia</i>	<i>shetienchiaensis</i> (Tien)		x					x		6
	sp.1		x					x		6

Localities A. Cholwon area; B. Kumchon area; C. Kangryong area; References 1. Ham, 1981; 2. Pak and Kang, 1984; 3. Kang, 1984; 4. Pak and Kang, 1985; 5. Pak and Kang, 1986; 6. Pak, 1996; 7. Kim, 2012; 8. Kim *et al.*, 2012. Remark * = only found in Hunan, South China.

Table 2a. List of marine invertebrate fossils known from the Devonian Imjin System

	Genus	Species	Localities			Age			References	
			A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃		C ₁
O s t r a c o d s	<i>Leperditia</i>	<i>severa</i> Shi	x					x	3, 6, 7, 8	
		sp.	x				x		6	
		<i>guangxiensis</i> Sun	x				x		3, 6, 7	
		<i>mansueta</i> Shi			?			x	7, 8	
		<i>equiangularis</i> Hou et Sun			?			x	7	
	<i>Guangxinia</i>	<i>ovata</i> Sun	x			x			6, 7	
	<i>Healdianella</i>	<i>mutica</i> Abushik	x				x		3, 6, 7, 8	
		cf. <i>usualis</i> Sun	x					x	6	
	<i>Bythocypris</i>	cf. <i>hilaris</i> Shi	x					x	3, 6	
		<i>hilaris</i> Shi			?			x	7	
	<i>Quadraticavellina</i>	<i>pulchra</i> Shi	x				x		3, 6, 7, 8	
	<i>Bairdia</i>	<i>fabaeforma</i> Polenova			?			x	7, 8	
		<i>cestriensis</i> Ulrich			?				x	7, 8
		<i>dushanensis</i> Shi			?		x		7, 8	
	<i>Orthobairdia</i>	<i>oklahomaensis</i> (Harlton)			?				x	7, 8
		<i>squalida</i> Li			?			x	x	7
	<i>Dipinnaria</i>	<i>triangularis</i> Shi			?			x		7
		<i>semicircularis</i> Shi			?			x		7
	<i>Acratia</i>	<i>gibba</i> Zaspelova			?			x		7
		<i>mayselae</i> Egorov			?			x		7
<i>Cavellina</i>	<i>dushanensis</i> Shi			?			x		7, 8	
	<i>hunanensis</i> Sun			?		x			7	
	<i>devoniana</i> Egorov			?		x			7, 8	
<i>Acratinella</i>	<i>valida</i> Shi			?			x		7, 8	
<i>Carbonita</i>	<i>lentiforma</i> Shi			?			x		7	
<i>Bolbozoe</i>	<i>largiglobosa</i> Wang et Zhang			?			x		7	
<i>Chamishaella</i>	<i>anhuiensis</i> Chen et Bao			?			x		7	
<i>Alatacavellina</i>	<i>parva</i> Li			?			x	x	7, 8	
<i>Knoxiella</i>	<i>compressa</i> Rozhd			?			x		7, 8	
<i>Eukloedenella</i>	<i>shizikouensis</i> Chen et Bao			?			x		7	
<i>Pseudobythocypris</i>	<i>lunata</i> Li			?			x	x	7, 8	
<i>Necrateria</i>	<i>rectagona</i> Grundel			?				x	7, 8	
<i>Aparchites</i>	<i>auriculiferus</i> Rozhd			?		x			7, 8	
<i>Tropidodiscus</i>	<i>curvilineatus</i> Conad		x		x				3, 7	
G a s t r o p o d s	<i>Phragmolites</i>	<i>sygyriensis</i> Lee et Ham			x		x			1, 3, 6, 7
		<i>sygyriensis</i> var. <i>similis</i> Lee et Ham			x		x			1, 3, 6, 7
		<i>gangryongensis</i> Lee et Ham			x		x			1, 3, 6, 7
		cf. <i>gangryongensis</i> Lee et Ham			x		x			1, 3, 6, 7
		sp.			x		x			1, 3, 6, 7
<i>Euomphalus</i>	sp.		x						6, 7	
	<i>laevis</i> d'Archiac et de Verneuil	x					x		6	
<i>Hormotoma</i>	sp.	x							6	
<i>Porcellia</i>	sp. 1				x				6	
	sp. 2				x				6	
	sp. 3		x						6	
	cf. <i>primordialis</i> Schlotheim				x			x	6	

A. Cholwon area; B. Kumchon area; C. Kangryong area; References 1. Ham, 1981; 2. Pak and Kang, 1984; 3. Kang, 1984; 4. Pak and Kang, 1985; 5. Pak and Kang, 1986; 6. Pak, 1996; 7. Kim, 2012; 8. Kim *et al.*, 2012.

Table 2b. List of marine invertebrate fossils known from the Devonian Imjin System

	Genus	Speciespecies	Localities			Age				Re-mark	References	
			A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃	C ₁			
Mollusca (Bivalvia)	<i>Ctenodonta</i>	<i>coreanica</i> Kobayashi		?					?	*	1, 3, 7	
	<i>Thysanophyllum</i>	sp.		?						x	7	
Cnidaria (Anthozoa)	<i>Peneckiella</i>	sp.		x						x	6, 7	
		cf. <i>raritabulata</i> Fan		x						x	6	
	<i>Stringophyllum</i>	cf. <i>isactis</i> (Frech)		x				x			6	
Bryozoa	<i>Monotrypa</i>	<i>hsui</i> Yang		x				x			1, 3, 6, 7, 8	
	<i>Pentagonocyclicus</i>	<i>paucus</i> Dubatolov		x					x		1, 3, 6, 7	
		<i>imatschensis</i> Yelt et Dubatolov		x				x			1, 3, 6, 7	
		<i>mundus</i> Dubatolov		x				x			1, 3, 6, 7	
		<i>jucundus</i> Dubatolov		x				x			1, 3, 6, 7	
		<i>glaber</i> Yelt		x				x			3, 6, 7	
		<i>levidensis</i> Dubatolov			x			x			3, 6, 7	
		sp. 1		x						x		7
Echino- dermata (Crinoidea)		sp. 2		x						x	7	
		sp. 3		x						x	7	
		sp. 4		x						x	7	
		<i>Pentagonopentagonalis</i>	sp. 1		?				x			7
			sp. 2		?							7
		<i>Anthinocrinus</i>	aff. <i>floreus</i> Yelt		x				x			1, 6, 7
			sp.		?							7
	<i>Hexacrinites</i>	? <i>humilicarinatus</i> Yelt		x				x			1, 3, 6, 7	
		sp.		?							1, 7	
	<i>Cyclocyclicus</i>	sp.		x				x			1, 3, 6, 7	

Localities A. Cholwon area; B. Kumchon area; C. Kangryong area; References 1. Ham, 1981; 2. Pak and Kang, 1984; 3. Kang, 1984; 4. Pak and Kang, 1985; 5. Pak and Kang, 1986; 6. Pak, 1996; 7. Kim, 2012; 8. Kim *et al.*, 2012. Remark * = Ordovician.

Yunnanellina가 산출된다(Pak, 1996; Ma and Zong, 2010). 이 화석들은 매우 좁은 지리적 분포를 가지며, 데본기 말에는 멸종하므로 데본기와 석탄기의 경계를 판단하는데 유용하다(Pak, 1996; Ma and Zong, 2010). Pak(1996)은 임진계의 부압통과 남중국대지의 Hunan지역 데본기 중-후기 지층에서 산출되는 완족류 화석은 상호 대비되나, 남중국대지의 풍토종은 임진계에서는 보고되지 않는다고 주장하였다. 그러나 Kim (2012)은 최근 삭녕통 상부에서 남중국대지 Hunan 지역의 데본기 후기 풍토종 Yunnanellina triplicata Grabau의 산출을 보고하여 임진계가 남중국대지와 고지리적 근연관계에 있음을 밝혔다.

완족류 다음으로 임진계에서 양적으로 풍부하게 산출되는 육상 식물화석(Table 3)은 황해북도 금천군 현내리에 분포하는 부압통과 안협통 내의 수 개 층준에

서 보고되었다(Kang, 1984; Pak, 1996; Fig. 4). Pak and Kang(1987)은 식물화석이 풍부하게 산출되는 남중국대지의 데본기 Wutong Formation과 임진계에서 산출되는 식물화석의 구성을 비교하여 두 지역 사이의 고지리적 근연관계가 성립한다고 주장하였다. Wutong Formation의 식물화석은 세계적으로 광범위한 분포를 가지는 데본기 중-후기 식물화석 *Leptophloeum rhombicum* Dawson과 함께 남중국대지 특유의 풍토종 *Hamatophyton verticillatum* Ghu et Zhi를 포함한다(Li and Wu, 1996; Klavins, 2004; Wang *et al.*, 2005; Taylor *et al.*, 2009). 임진계에서 산출되는 화석식물과 Wutong Formation의 식물화석 구성이 일치하지는 않으나, 상당한 유사성을 가지는 것으로 알려져 있으며(Kang, 1984; Pak and Kang, 1987), 이는 두 지역 간의 고지리적 유연관계를 뒷받침하는

Table 3. List of algae and terrestrial plant fossils known from the Devonian Imjin System

	Genus	Species	Localities							Age	Re- marks	References	
			A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃	C ₁				
Algae	<i>Litanaia</i>	<i>radiosa</i> Shuysky	x					x				3, 6, 7, 8	
	<i>Girvanella</i>	sp.	x						x			6	
	<i>Koninckopora</i>	cf. <i>inflata</i> De Koninck	x					x				3, 6, 7	
Chara	<i>Sycidium</i>	<i>reticulatum</i> Sandberger	x			x	x	x	x			7, 8	
		<i>anhuaense</i> Wang	x					x				7	
		<i>melo</i> var. <i>puskowsensis</i> Karpinsky	x		x			x				6, 7	
	<i>Trochiliscus</i>	sp.	x					x	x			3, 6, 7, 8	
		<i>ingricus</i> Karpinsky	x						x			6	
		<i>zhanyiensis</i> Wang et Lu	x						x			3, 6	
	<i>Hostimella</i>	<i>hostimensis</i> Potonie et Bernard	x	x				x				3, 6, 7	
	<i>Aneurophyton</i>	<i>germanicum</i> Krausel et Weyland	x					x				3, 6, 7	
	<i>Lycopodites</i>	<i>oosensis</i> Krausel et Weyland	x					x	x			3, 6, 7	
	<i>Leptophloeum</i>	<i>suzhouense</i> Chang	x						x			6, 7	
		<i>rhombicum</i> Dawson	x						x	x		2, 3, 6, 7, 8	
	<i>Tomiphyton</i>	<i>primaevum</i> Zalessky	x					x				4, 7	
	<i>Hamatophyton</i>	<i>verticillatum</i> Ghu et Zhi	x					x	x	x	*	4, 7	
	<i>Sublepidodendron</i>	<i>shimenense</i> Feng et Meng	x							x		4, 7, 8	
		<i>wusihense</i> (Sze)	x							x		6, 7	
	<i>Blasaria</i>	<i>sibirica</i> Kryshiofovich	x		x			x			+	4, 7	
	<i>Cyclostigma</i>	<i>kiltorkense</i> Haughton	x						x			4, 7	
	<i>Psilophyton</i>	<i>goldschmidtii</i> (Halle)				x						6, 7	
		<i>princeps</i> Dawson	x			x	x					3, 6, 7, 8	
	<i>Plicochonetes?</i>	var. <i>transversa</i> (Nalivkin)	x					x				6	
	<i>Taeniochrada</i>	<i>decheniana</i> (Goepfert) Krausel et Weyland	x			x						2, 3, 6, 7, 8	
		<i>dubia</i> Krausel et Weyland	x			x	x					5, 7	
		cf. <i>dubia</i> Krausel et Weyland	x					x				3, 6	
		<i>decheniana</i> cf. <i>langi</i> Stockmans	x			x						3, 6, 7	
		sp.	x			x	x	x				6	
Plant	<i>Pseudosporochnus</i>	<i>krejicii</i> Potonii et Bernard						x				6, 7	
	<i>Asteroxylon</i>	<i>elberfeldense</i> Krausel et Weyland	x					x				2, 3, 6, 7, 8	
	<i>Protopteridium</i>	<i>minutum</i> (Halle)	x						x			2, 3, 6, 7, 8	
		<i>hostimense</i> Krausel et Weyland	x						x			2, 3, 6, 7	
	<i>Hyenia</i>	<i>elegans</i> Krausel et Weyland	x			x	x	x				3, 6, 7	
	<i>Pseudouralia</i>	<i>sibirica</i> Petroxian	x					x				3, 4, 7	
	<i>Protocephalopteris</i>	<i>praecox</i> (Hoeg) Ananiev	x					x				3, 6, 7	
	<i>Archaeopteris</i>	<i>archetypus</i> Schmalheim	x							x			3, 4, 6, 7, 8
		<i>sibirica</i> Zalessky	x							x			3, 4, 6, 7
		sp. 1	x							x	x		6, 7
		sp. 2	x							x	x		6, 7
	<i>Aphylopteris</i>	sp.	x							x		2, 3, 7	
	<i>Archaeocalamites</i> (<i>Asterocalamites</i>)	<i>scrobiculatus</i> (Schmalheim) Zeiller	x								x		3, 4, 6, 7, 8
	<i>Lepidodendropsis</i>	? <i>dzungariensis</i> Sze	x							x			3, 6, 7
		<i>guangzhuangensis</i> Feng et Meng	x						x	x			3, 4, 6, 7
		<i>sinensis</i> (Hsu) Ghu et Zhi	x						x				4, 7, 8
		<i>hirmeri</i> Lutz	x								x		4, 7
? sp.		x						x	x	x		6	

Localities A. Cholwon area; B. Kumchon area; C. Kangryong area; References 1. Ham, 1981; 2. Pak and Kang, 1984; 3. Kang, 1984; 4. Pak and Kang, 1985; 5. Pak and Kang, 1986; 6. Pak, 1996; 7. Kim, 2012; 8. Kim *et al.*, 2012. Remarks * = only found in China; + = only found in Kazakhstan.

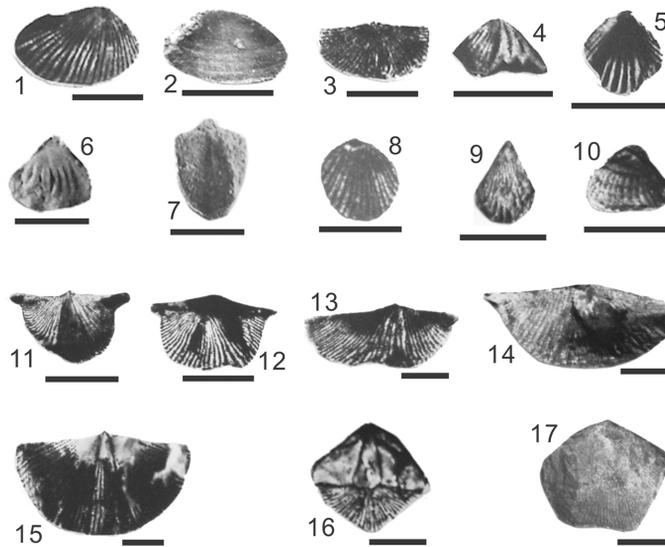


Fig. 3. Brachiopods of the Imjin System. Modified after Pak (1996). 1. *Schizophoria* cf. *upensis* Sarytcheva; 2. *Schizophoria* sp.; 3. *Schucertella* cf. *matyrica* Nalivkin; 4. *Camarotoechia* *panderi* (Semenow et Moeller); 5. *Ptychomaletoechia* *shetienchiaoensis* (Tien); 6. *Pleuropugnoides* cf. *kinlingensis* (Grabau); 7. *Atrypa* cf. *richthofeni* (Kayser); 8. *Spinatrypa* *lungkouchungensis* (Tien); 9. *Retzia* sp.; 10. *Spinatrypa* *semilukiana* Ljaschenko; 11, 12. *Cyrtospirifer* *sinensis* (Grabau); 13. *Cyrtospirifer* cf. *rudkinensis* Ljaschenko; 14. *Cyrtospirifer* sp.; 15. *Hunanospirifer* cf. *ninghsiangensis* (Tien); 16. *Tenticospirifer* *tenticulum* de Verneul; 17. *Spirifer*? sp. All scale bars are 1 cm in length.

것으로 해석된다.

Pak(1996)은 황해북도 금천군 현내리의 안협통에서 산출되는 식물화석들은 데본기 중기를, 이 화석대의 상부인 부압통 하부에서 산출되는 식물화석들은 데본기 후기를 지시하므로 안협통과 부압통이 정합적인 관계임을 주장하고, 따라서 임진계의 지질시대를 데본기 중기부터 석탄기 전기까지로 추론하였다. 그러나 Om *et al.*(1996)과 Kim *et al.*(2012)은 임진계의 육상 식물화석 구성을 분석하여 부압통의 하부에서 데본기 중기를 지시하는 초기 양치식물 *Psilophyton princeps* Dawson과 *Protopteridium minutum*(Halle)이, 안협통의 상부에서는 데본기 후기를 지시하는 목본형 석송식물 *Leptophloeum rhombicum* Dawson, *Asterocalamites scrobiculatus*(Schloehiem) Zeiller와 *Sublepidodendron shimenense* Feng et Meng이 산출됨을 근거로 임진계의 층서가 역전되었을 가능성을 제기하는 한편, 그 지질시대를 데본기 중~후기로 추정하였다.

임진계의 시대를 확정하는 데 결정적 역할을 한 차축조(*Chara*, 윤조) 화석은 지금까지 모두 2속 6종이 알려져 있다(Kang, 1984; Pak, 1987; Riu *et al.*,

1990; Pak, 1996; Om *et al.*, 1996; Fig. 5). 줄기 마디 부분에서 작은 가지들이 방사상을 이루며 둘러 나는 모양에서 이름이 유래한 차축조는 사일루리아기의 녹조류에서 기원한 것으로 알려져 있으며 (Grambast, 1974; McCourt *et al.*, 2004), 데본기와 석탄기를 거치는 동안 그 다양성이 크게 증가하였다 (Grambast, 1974). 차축조는 양치식물의 쇠뜨기와 비슷한 형태를 가진 다세포 대형 조류로서, 조류(algae)에서 육상 식물로 진화해 나가는 중간단계로 생각되며(Graham, 1996; Feist *et al.*, 2005), 현생에는 주로 담수와 드물게 기수 환경에 서식한다. 차축조는 특히 형태와 생태 면에서 녹조류와 많은 유사성을 공유하나 성장 방법이나 생식 기관의 구조와 형태 등이 매우 독특한 까닭에 다른 조류나 식물과 구별하여 독립된 분류군으로 취급되기도 하며, 지금까지 화석종을 포함하여 6속 250종 정도가 알려져 있다. 차축조의 장란기(藏卵器, nucule; 차축조, 이끼식물, 양치식물에서 배우체 위에 생기는 타원형의 암생식기관으로 조란기(造卵器)라고도 함)는 탄산칼슘질로 되어있어 화석으로 보존되기 용이한 까닭에, 층서의 대비와 지질시대의 유추에 매우 유용하다(Choi *et al.*, 1995).

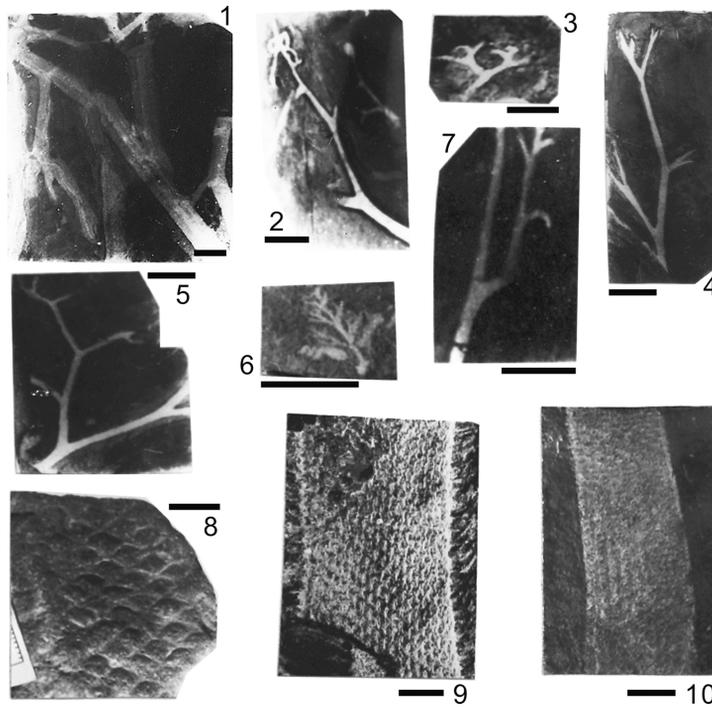


Fig. 4. Terrestrial plant fossils from the Imjin System. 1. *Taeniochrada decheniana* cf. *lata* Tsch., from Kang (1984); 2. *Psilophyton* cf. *princeps* Dawson, from Kang (1984); 3. *Asteroxylon elberfeldense* Krausel et Weyland, from Kang (1984); 4. *Protopteridium hostimense* Krausel et Weyland, from Kang (1984); 5. *Pseudouralia sibirica* Petrosjan, from Kang (1984); 6. *Protopteridium minutum* Halle, from Kang (1984); 7. *Hostimella hostimensis* Potonie et Bernard, from Pak (1996); 8. *Leptophloeum suzhouense* Chang, from Pak (1996); 9. *Leptophloeum rhombicum* var. *rhombicum* Jum. 10. *Leptophloeum rhombicum* var. *minutum* Jum. from Pak (1996). All scale bars are 1 cm in length.

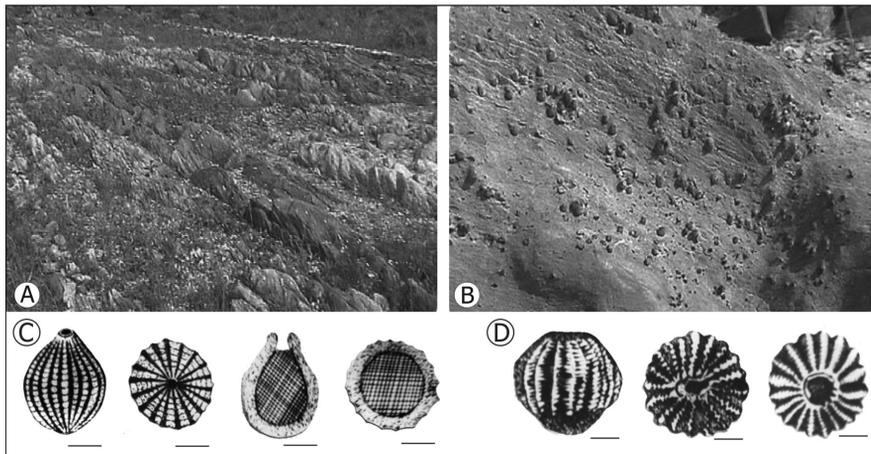


Fig. 5. Chara fossils from the Imjin System. A. Chara-bearing outcrop natural monument in Kangryong-gun, Hwanghaenam Province; B. Close-up view of the Chara-bearing strata in the vicinity of the natural monument. C. *Sycidium reticulatum* Sandberger. Lateral, apical, longitudinal and cross view of gyrogonite, from Kang (1984); D. *Sycidium anhuaensis* Wang. Front, apical and bottom view of gyrogonite, from Kang (1984). All scale bars are 0.5 mm in length.

황해남도 강령군의 차축조 산지에서는 직경 0.2~0.3 mm 정도의 작고 둥근 형태의 장란기가 회록색 석회질 실트암 기질에 드러나 있으며(Institute for Peace Affairs, 2008), 1980년 북한의 천연기념물 제132호로 지정되었다(Fig. 5). 황해남도 강령 및 황해북도 금천과 강원도 철원 지역의 안협통에서 산출된 차축조 *Sycidium melo* var. *puskowensis* Karpinsky의 장란기는 양회형 또는 구형(sphere)으로 특징적인 격자무늬 표면을 가지며 대본기 중기를 지시한다(Kang, 1984; Feist *et al.*, 2005; Fig. 5). 이 화석종이 산출된 층에서는 *S. reticulatum* Sandberger, *S. anhuaeense* Wang, *Trochiliscus ingricus* Karpinsky, *T. zharyiensis* Wang *et al.*를 포함하는 다른 차축조 화석이 함께 산출된다(Kang, 1984; Pak, 1996; Kim, 2012; Kim *et al.*, 2012).

임진계에서 보고된 화석의 구성을 종합하면, 임진계의 지질시대는 완족동물과 차축조 및 일부 육상 식물화석이 지시하는 데본기 중~후기로 보는 견해(Kang, 1984; Kim *et al.*, 2012)가 우세하며, 필자들 역시 이 보편적 결론에 동의한다. 그러나 일부 석탄기를 지시한다고 알려진 화석들도 임진계 분포지 여러 지역에서 보고된 바 있으며, 층상단층에 기인한 것으로 추정되는 층서의 역전이 알려지고 있는 점으로 보아 임진계의 보다 정확한 지질시대를 특정하기 위한 추후 연구가 필요하다.

토의와 결론

한중대지의 모든 지역에서 나타나는 가장 뚜렷한 층서적 특징은 오르도비스기 후기에서 석탄기 전기에 이르는 고생대 중기 퇴적층의 결층으로, 이러한 현상은 한반도에서도 예외 없이 적용되는 것으로 여겨져 왔다(Chough *et al.*, 2000). 그러나 1930년대 평남분지에서 대동계의 기저부를 이루는 송림역암의 역에 사일루리아기를 지시하는 화석 산호가 포함된 사실이 확인되면서, 한반도에 중기 고생대층이 존재할 가능성이 처음으로 제기되었다. 1960년대 이후 북한 지질학자들의 연구 결과 그동안 한반도에서 알려지지 않았던 오르도비스기 상부에서 석탄기를 지시하는 화석을 포함하는 중기 고생대층이 평남분지와 그 남쪽 인근의 여러 지역에서 잇달아 알려지면서 평남분지와 그 일대에는 한반도 남부와는 달리 대결층 시기의 퇴적층이 분포하는 사실이 확인되었다. 현재 이러한 퇴

적층의 기원에 관한 남북 연구자들의 해석은 크게 엇갈리며, 이는 앞으로 한반도를 중심으로 하는 동아시아의 지각진화사를 이해하기 위해서 우선적으로 풀어야 할 과제이다.

북한의 연구자들은 임진계가 상서리통 및 곡산통과 함께 현재의 위치에서 퇴적된 ‘원지성(原地成)’ 지층으로 해석한다. 이는 지금까지 대부분의 북한 연구자들이 견지하는 일관된 견해로서 남한 연구자들과 가장 큰 이견을 보이는 부분이다. 북한 연구자들은 대본기 중기 당시의 바다인 ‘임진해(또는 금천해)’가 한반도로 확장되어 퇴적분지를 형성하였으며, 대본기 말에는 바다가 동쪽으로 후퇴하면서 임진계 하부의 해성층과 상부의 육성층이 퇴적된 것으로 보고 있다(Pak and Kang, 1987). 그들은 임진해는 대본기 전기에는 존재하지 않았으며, 이후에도 한반도의 일부 지역에만 해침이 일어난 결과로 평남분지에 하부 대본기층이 결여된 이유를 설명하였으며, 임진계가 황주계 지층이 아닌 하부 원생대 상원계 및 구원계 위에 퇴적된 것으로 해석하였다(Pak and Kang, 1987; Pak, 1996). 또한 임진계 지층이 현재의 분포지에서 퇴적되었다는 주장에 대한 근거로 강원도 철원군 대전리에 분포하는 안협통 하부의 사질역암층을 기저역암으로 해석하였다(Pak and Kang, 1987; Pak, 1996). 그러나 다른 북한 연구자들은 이러한 사질역암층이 기저역암이 아닌 구조 활동에 의해 생성된 각력암일 가능성을 제기하였으며(Kim and Kang, 1993), 최근 황해북도 금천군 현내리에서 제안된 층상단층의 존재는(Kim *et al.*, 2012) 이러한 가능성을 뒷받침하는 것으로 보인다. 또한 평남분지의 남서부에 제한적으로 분포하는 임진계는 곡산통의 분포지역에서 떨어져 있을 뿐 아니라 두 지층이 부정합 또는 단층으로 직접 접촉하지 않으며, 임진계의 안협통과 부암통 및 남중국대지 지역에서 공통적으로 산출되는 풍토성 육상 식물화석 *Hamatophyton verticillatum* Ghu *et al.*와 완족동물 *Yunnanellina triplicata* Grabau 또한 임진계가 현재의 위치에서 퇴적된 것이 아님을 강하게 암시하며, 따라서 ‘임진계 원지성설’은 수용하기 어렵다.

임진계를 포함하여 평남분지에 분포하는 중기 고생대층이 모두 현재 위치에서 퇴적되었다는 북한 연구자들의 주장은 이들이 지구조적 운동을 통하여 이동되었을 것이라고 생각하는 남한 연구자들의 해석(Chang, 1997; Oh, 2006; Kwon *et al.*, 2009)과

크게 다르다. 필자들은 최근의 보고(Lee *et al.*, 2013a, 2013b)에서 평남분지에 분포하는 오르도비스기 후기 상서리통과 사일루리아기 곡산통, 그리고 중생대 송림역암의 공급지였던 중기 고생대 지층들은 모두 남중국대지에서 퇴적된 후에 지구조운동에 의해 현재의 위치로 이동된 추복체일 가능성을 제시하였다 (cf. Kwon *et al.*, 2009; Sajeev *et al.*, 2010).

1990년대 이래 남중국과 한중대지의 충돌과 접합 과정이 한반도의 지질구성에 어떤 결과를 남겼는지에 대한 많은 연구가 수행되었으며, 한반도와 동아시아 지사의 복원을 둘러싸고 초미의 관심을 끌어들였다. 여러 연구자들에 의해 송림조산운동이 남중국대지와 한중대지의 충돌과 접합에 밀접한 연관이 있을 것으로 추정되었으며(Cluzel *et al.*, 1990, 1991; Cluzel, 1992a, 1992b; Chough *et al.*, 2000), 이와 함께 임진강대와 평남분지의 동서 방향 습곡과 충상단층이 압축력에 의한 변형을 지지하며(Kim, 1993; Chough *et al.*, 2000), 이 사실에 근거하여 임진강대를 중국의 다비-솔루 벨트의 동쪽 연장선으로 보는 다수의 의견들이 제시되었다(Yin and Nie, 1993; Cho *et al.*, 1995, 2007; Ree *et al.*, 1996; Kwon *et al.*, 2009).

남한 지역의 임진계 분포지(연천층군)가 북쪽에서 남쪽 방향으로 천매암, 편암, 규암, 석회규질암과 각섬암으로 이루어진 변성대를 구성하는데 비해, 북한 지역에 분포하는 임진계는 지역적 편차가 있기는 하나 전반적으로 변성도가 낮은 점판암 및 천매암과 함께 거의 변성을 받지 않은 석회암, 실트암, 이회암, 석회질 사암 등으로 구성되어 그 지질시대를 특정할 수 있으며, 고지리 해석에 의미가 큰 화석을 포함한다. 임진계에서 산출된 화석의 시대는 데본기 초에서 데본기 말(석탄기 초?)을 지시하는 것으로 이는 한중대지에서 보고된 바 없을 뿐 아니라 이들 중 일부 완족동물 및 육상 식물 화석은 남중국대지 고유의 풍토성을 띠는 것으로 알려져 있다. 임진계의 남부 연장부인 연천층군의 변성이질암(*metapelites*)이 매우 강한 압축변형작용으로 밀착-등사습곡(*tight to isoclinal fold*)을 이루는 사실로 미루어 볼 때(Ree *et al.*, 1996) 변성도의 편차가 있으나 임진계 전반에 걸쳐 광범위한 압축변형에 의한 습곡-충상단층대의 발달했던 것으로 추정된다. 임진강대 북부에서 임진계의 층서가 분포지에 따라 편차가 심하며 지역적으로 비정상적으로 두꺼운 층후를 나타내는 현상은 최근 임진계의 여러 분포지에서 보고된 충상단층에 의한 지층

의 역전 및 반복 현상과 연관되는 것으로 추정된다.

임진강대의 지질을 처음 연구한 Yamaguchi(1951)는 경기도 연천 일대에서 북쪽으로 갈수록 변성도가 감소하는 것을 보고하였으며(변성도가 높은 순서대로 삼곡대, 진곡대 I~III, 여척대), 후속 연구에서는 경기도 연천 및 신탄리 일대의 경기육괴와 접촉하고 있는 연천층군(연천변성암복합체)에서 북쪽 방향으로 연성 변형을 받은 변형화강암, 석회규질암(*calc-silicate*) 및 각섬암으로 구성된 고변성대(삼곡대), 중변성도와 고변성도의 경계부를 지시하는 남정석 변성광물대(진곡대III), 그리고 중변성도의 십자석과 석류석 변성광물대가 차례로 인지되었다(진곡대I-II)(Ree *et al.*, 1996)(Fig. 1). 이는 경기육괴의 북부 및 임진강대의 남부가 남중국과 한중대지가 충돌하는 과정에서 깊게 매몰되어 고압-석류석 변성상에 이르는 고변성작용을 받았으나, 이 지역으로부터 먼 임진계 분포지의 중부와 북부는 상대적으로 낮은 정도의 변성작용을 받은 전형적인 바로비안형(*Barrovian sequence*)의 전진변성작용(*prograde metamorphism*)을 나타내는 것으로 해석되었다(Ree *et al.*, 1996; Chwae and Choi, 2009). 이 사실은 북한 지역에 분포된 임진계 지층에서 인지가 가능한 화석이 다수 존재하며(여척대), 점판암과 천매암 등의 저변성암이 주로 안협통과 부압통에서 산출되고, 편암과 같은 중변성도 변성암은 예정강단층대 서쪽 지역의 삭녕통에서 천매암과 함께 일부 산출되는 것으로 보고된 북한의 최근 연구 결과와도 잘 부합한다(Kang, 1984; Om *et al.*, 1996; Pak, 1996)(Fig. 1).

지금까지 검토된 일련의 증거들로 미루어볼 때, 임진계는 한중대지에 속하지 않는 것으로 사료된다. 임진강대를 다비-솔루 벨트의 동쪽 연장선으로 남중국과 한중대륙의 충돌과 접합 과정에서 생성된 충돌대라고 가정하면, 임진계는 대륙의 충돌에 따른 충상에 기인한 단순한 추복체가 아니며, 남중국대지 또는 남중국대지의 한중대지에 면한 주변부에 위치해 있었던 경기육괴에(Cho *et al.*, 1995; Ree *et al.*, 1996; Chough *et al.*, 2000) 쌓인 데본기 퇴적층으로 남중국대지(또는 경기육괴)가 한중대지와 충돌하는 과정에서 압축 전단력에 의해 심한 변형작용을 받으며 침합(*accretion*)된 잔재라는 해석이 가능하다. 하지만 이 결론은 임진계의 기원과 발달에 관련한 북한의 연구 결과와 상충될 뿐만 아니라, 최근 남한의 변성암과 구조지질학 분야의 일부 연구 결과를 반영하지 못하

고 있기 때문에 임진계의 기원과 한반도의 지각진화 과정을 이해하는데 큰 걸림돌이 되고 있다. 이 논문에서는 임진계의 분포와 산출화석, 고지리적 근연관계에 관하여 남북한의 연구 결과를 검토하고 취합하였으나, 자료의 취득과 종합 과정에서 많은 제약과 한계를 절감하였다. 임진계의 정체성, 한반도와 동아시아 지역의 고생대 고지리의 복원과 지각진화사의 심도 있는 해석을 위해서는 향후 특히 층서, 고생물, 퇴적, 변성 및 구조지질학 분야의 남북 연구자들이 함께 참여하는 후속연구를 통한 자료의 보완과 재검토가 필요하다.

사 사

임진강대의 변형과 변성에 관한 심도 있는 논거를 제공한 고려대학교의 이진환 교수와 초기 원고를 세심하게 검토해주신 지질자원연구원의 전희영 박사께 감사드립니다. 또한 논문의 심사과정에서 건설적인 비평과 유익한 조언으로 논문의 오류와 부정확한 표현을 바로잡아 주신 서울대학교 조성권 교수와 최덕근 교수께 감사드립니다. 이 논문은 2011년도 한국연구재단의 과학기술국제화사업 남북과학기술 및 학술협력사업(K2090300113811D010000810)과 일반연구자지원사업(KRF-R1A4007-2010-0011026과 KRF-R1A4007-2010-0011026)의 지원을 받아 수행되었다.

References

- Chang, K.H., 1997, Korean Peninsula. In Encyclopedia of European and Asia Regional Geology (eds. Moores, E.M. and Fairbridge, R.W.). Chapman & Hall, London, 465-473.
- 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: implication for the Phanerozoic tectonics of East Asia (abstract). Geological Society of America, Abstracts with Programs, 388.
- Cho, M.S., Kim, Y.S. and Ahn, J.H., 2007, Metamorphic evolution of the Imjingang belt, Korea: Implications for Permo-Triassic collisional orogeny. International Geology Review, 49, 30-51.
- Cho, M.S., Kwon, S.-T., Ree, J.-H. and Nakamura, E., 1995, High-pressure amphibolite of the Imjingang belt in the Yeoncheon-Cheongok area. Journal of Petrological Society Korea, 4, 1-19 (in Korean with English abstract).
- Cho, M.S., Na, J.S. and Yi, K.W., 2010, SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons in metasediments of the Taean Formation, western Gyeonggi massif, Korea: Tectonic implications. Geosciences Journal, 14, 99-109.
- Choi, S.-J. and Chwae, U., 2007, A review of Yeoncheon Group-with Yamaguchi D. (1951)'s thesis "On the so-called Yeoncheon System and its regional metamorphism". Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources(KIGAM) Bulletin, 11, 85-97.
- Choi S.-J., Kim, B.C., Chun, H.Y. and Kim, Y.B., 1995, Charophytes from the Chopyeong Formation(Cretaceous) of the Eumsung Basin, Korea. Journal of Geological Society of Korea, 31, 523-528 (in Korean and English abstract).
- 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, 101, 225-249.
- Chwae, U. and Choi, S.-J., 2009, Stratigraphic and structural review of Yeongcheon Group and Imjingang fold belt, and its edge of distribution. Economic and Environmental Geology, 42, 627-634 (in Korean with English abstract).
- Cluzel, D., 1992a, Formation and tectonic evolution of early Mesozoic intramontane basins in the Ogcheon Belt (South Korea): A reappraisal of the Jurassic "Daeboroogeny". Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 223-235.
- Cluzel, D., 1992b, Late Paleozoic to early Mesozoic geodynamic evolution of the Circum-Pacific orogenic belt in South Korea and Southwest Japan. Earth and Planetary Science Letters, 108, 289-305.
- Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamic of the Ogcheon Belt (South Korea). Tectonophysics, 183, 41-56.
- Cluzel, D., Jolivet, L. and Cadet, J. P., 1991, Early middle Paleozoic intraplate orogeny in the Ogcheon Belt(South Korea): A new insight on the Paleozoic buildup of East Asia. Tectonics, 10, 1130-1151.
- Feist, M., Liu, J. and Tafforeau, P., 2005, New insights into Paleozoic charophyte morphology and phylogeny. American Journal of Botany, 92, 1152-1160.
- Galle, A. and Ficner, F., 2004, Middle Devonian *Calceola sandalina* (Linnaeus, 1771) (Anthozoa, Rugosa) from Moravia (Czech Republic): aspects of functional morphology, gerontic growth patterns, and epibionts. Geodiversitas, 26, 17-31.
- Graham, L.E., 1996, Green algae to land plants: an evolutionary transition. Journal of Plant Research, 109, 241-251.
- Grambast, L.J., 1974, Phylogeny of the Charophyta. Taxon, 23, 463-481.
- Ham, B.S., 1981, Stratigraphy of the upper Ordovician and Middle Paleozoic formations of Korea. A collection of

- papers presented at the national seminar of geologists. Industrial Publishing House, 50-69 (in Korean).
- Ham, B.S., 1982, Upper Ordovician strata of Korea. Ph.D. dissertation, Kim Il Sung University, 74p (in Korean).
- Institute for Peace Affairs, 2008, North Korean Human geography. <http://www.cybernk.net/infoText/InfoNature-CultureDetail.aspx?mc=BN0107&id=BN040300008679>.
- Kang, J.G., 1984, The fossils of Silurian to Devonian strata and their stratigraphic significance. Ph.D. dissertation, Kim Il Sung University, 159p (in Korean).
- Kim, B.S., 2012, Characteristics of Paleozoic sedimentary from east China-Korean Peninsula and its tectonic significance. Ph.D. dissertation, Jilin University, 123p (in Chinese with English abstract).
- Kim, B.S., Liu, Y.J., Li, W.M., Liang, D.J., Kim, M.H. and Chae, Y.S., 2012, Correlation between Rimjingang belt and Dabie-Sulu orogenic belt. *Global Geology*, 15, 97-104.
- Kim, B.S., Liu, Y.J. and Yang, W.M., 2011, The new finding of Paleozoic Devonian fossils in Pyongnam Basin, Korean Peninsula and its geological significance. *Journal of the Jilin University (Earth Science Edition)*, 41, 79-85.
- Kim, D.S., 1990, Biostratigraphy. Kim Il Sung University Press, Pyongyang, 287p (in Korean).
- Kim, D.S. and Kang, J.G., 1993, On some problems of Rimjin System in Korea. *Jijilkwahak (Geoscience)*, 5, 23-31 (not seen by author).
- Kim, H.C., Horie, K., Kee, W.-S., Hidaka, H. and Cho, D.-L., 2009, Middle Devonian SHRIMP U-Pb age of the hornblende granite and its implication on the depositional age of the Yeoncheon Group (abstract). *Proceedings of the Annual Joint Conference, Mineralogical Society of Korea and Petrological Society of Korea*, 78 (in Korean).
- Kim, J.-N., Ree, J.-H., Kwon, S.-T., Park, Y., Choi, S.-J. and Cheong, C.-S., 2000, The Kyonggi shear zone of the central Korean Peninsula: late orogenic imprint of the North and South China Collision. *The Journal of Geology*, 108, 469-478.
- Kim, M.H. and Kim, M.G., 2007, The new coral fossils from the upper part of Mandal Formation in Pyongyang district. *Jijilgwajiri (Geology and Geography)*, 4, 29-30 (in Korean).
- Kim, R.C., 1993, New consideration of folded deposits of Pyongnam Basin. *Jijilkwahak (Geoscience)*, 2, 45-48 (in Korean).
- Klavins, S.D., 2004, Re-interpretation of *Wexfordia hookense* from the Upper Devonian of Ireland as an arborescent lycophyte. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 144, 275-287.
- Kobayashi, K., 1935, The Cambro-Ordovician formations and faunas of south Chosen, *Paleontology*, Part 3. Cambrian faunas of south Chosen with a special study on the Cambrian trilobite genera and families. *Journal of the Faculty of Sciences, Imperial University of Tokyo*, Section II, 4, 49-344.
- Kwon, S.H., Sajeew, K., Mitra, G., Park, Y.D., Kim, S.W. and Ryu, I.C., 2009, Evidence for Permo-Triassic collision in Far East Asia: The Korean collisional orogen. *Earth and Planetary Science Letters*, 279, 340-349.
- Lee, B.-J., Kim, Y.B., Lee, S.L., Kim, J.C., Kang, P.-C., Choi, H.-I. and Jin M.-S., 1999, Seoul-Namcheonjum sheet, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-99 (5)-1, 64p.
- Lee, D.-J., Choi, Y.-M., Lee, D.-C., Lee, J.-G., Kwon, Y.-K., Lin, C. and Choh, S.-J., 2013a, Upper Ordovician and Silurian deposits in the Pyeongnam Basin: 1. Songrim Conglomerate and its paleogeographic implication. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 5-15 (in Korean with English abstract).
- Lee, D.-J., Choi, Y.-M., Lee, D.-C., Lee, J.-G., Kwon, Y.-K., Lin, C. and Choh, S.-J., 2013b, Upper Ordovician and Silurian deposits in the Pyeongnam Basin: 2. Sangsori and Koksan series. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 181-195 (in Korean with English abstract).
- Li, X. and Wu, X., 1996, Late Paleozoic phytogeographic provinces in China and its adjacent regions. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 90, 41-62.
- Ma, X.P. and Zong, P., 2010, Middle and Late Devonian brachiopod assemblages, sea level change and paleogeography of Hunan, China. *Science China Earth Sciences*, 53, 1849-1863.
- McCourt, R.M., Delwiche, C.F. and Karol, K.G., 2004, Charophyte algae and land plants origins. *Trends in Ecology and Evolution*, 19, 661-666.
- Murphy, M.A. and Salvador, A., 1999, *International Stratigraphic Guide - An abridged version*. *Episodes*, 22, 255-271.
- Oh, C.W., 2006, A new concept on tectonic correlation between Korea, China and Japan: histories from the late Proterozoic to Cretaceous. *Gondwana Research*, 9, 47-61.
- Om, H.Y., Kim, Y.H. and Ryang, C.C., 1996, Paleozoic Era. In *Geology of Korea* (eds. Paek, R.J., Kang, H.G. and Jon, G.P.). Foreign Languages Book Publishing House, Pyongyang, 80-164.
- Pak, M.H., 1996, Biostratigraphy of Middle Devonian to Early Carboniferous Strata in Korean Peninsula. Ph.D. dissertation, Central Commission for Mineralogical Resources, 175p (in Korean).
- Pak, Y.S., 1976, Lower and Middle Paleozoic corals from the Pyeongnam Basin. Ph.D. dissertation, Kim Il Sung University, 93p (in Korean).
- Pak, Y.S., 1987, Middle to Late Devonian Strata. In *Geology of Korea* (eds. Ro, S.W. and Pak, S.U.). Science Press, Pyongyang, 86-91 (in Korean).
- Pak, Y.S. and Kang, J.G., 1984, On some new plant fossils from the Kumchon area. *Gwahakwontongbo (Academy*

- of Science Report of D.P.R. Korea), 5, 50-53 (in Korean).
- Pak, Y.S. and Kang, J.G., 1985, On some new plant fossils from the Devonian strata of Korea. *Jijiltamsa* (Geological Survey), 5, 24-26 (in Korean).
- Pak, Y.S. and Kang J.G., 1986, Several species of fossil Lycopsidea from the Devonian strata of Korea. *Jijiltamsa* (Geological Survey), 4, 15-16 (in Korean).
- Pak, Y.S. and Kang, J.G., 1987, Upper Ordovician to Devonian paleogeography in Korea. *Jijilgwajiri* (Geology and Geography), 3, 44-48 (in Korean).
- Ree, J.-H., Cho, M., Kwon, S.-T. and Nakamura, E., 1996, Possible eastward extension of Chinese collision belt in South Korea: The Imjingang belt. *Geology*, 24, 1071-1074.
- Riu, J.R., Paek, Y.S. and Ham, B.S., 1990, Geological composition of Korea (2 Paleozoic Strata). Pyongyang, Industry Press, 352p (in Korean).
- Sajeev, K., Jeong, J.H., Kwon, S.H., Kee, W.S., Kim, S.W., Komiya, T., Itaya, T., Jung, H.-S. and Park, Y.D., 2010, High P-T granulite relicts from the Imjingang belt, South Korea: tectonic significance. *Gondwana Research*, 17, 75-86.
- Shimizu, S., Ozaki, K. and Obata, T., 1934, Gotlandian deposits of northwest Korea. *Journal of the Shanghai Science Institute, Section II*, 1, 59-85.
- So, Y.S., Rhee, C.W., Choi, P.-Y., Seo, J.Y. and Lee E.-J., 2013, Distal turbidite fan/lobe succession of the Late Paleozoic Tae'an Formation, western Korea. *Geosciences Journal*, 17, 9-25.
- Taylor, E.L., Talyor, T.N. and Krings, M., 2009, Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants. Academic Press. 1049p.
- Wang, Q., Geng, B.-Y. and Dilcher, D.L., 2005, New perspective on the architecture of the Late Devonian arborescent lycopsid *Leptophloeum rhombicum* (Leptophloeaceae). *American Journal of Botany*, 92, 83-91.
- Yabe, H. and Sugiyama, T., 1937, Gotlandian *Clathrodictyon* from Tyosen (Korea). *Transactions of the Palaeontological Society of Japan*, 44, 154-157.
- Yamaguchi, T., 1951, On the so-called Yeoncheon System and its regional metamorphism. *Journal of the Geological Society of Japan*, 57, 419-438 (in Japanese with English abstract).
- 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.
- Yu, C.M., 2007, Dimorphism in *Calceola sandalina* (Linnee, 1771). *Science in China Earth Sciences*, 50, 1761-1766.
- Zhang, R. and Pojeta, J., 1986, Chapter D. Devonian sections in Guangxi from which pelecypods were collected. In *Devonian rocks and Lower and Middle pelecypods of Guangxi, China and the Traverse Group of Michigan* (ed. Pojeta, J.). United States Geological Survey Professional Paper, 1394-A-G, 33-43.

2015년 6월 3일 접수

2015년 6월 8일 심사개시

2015년 6월 15일 채택