



Comments

“행매층의 새로운 정의와 이의 지질학적 중요성”에 대한 반론

이병수

전북대학교 지구과학교육과

Comments on “The new definition of Hangmae Formation and its geological significance” by Park *et al.* (2024)

Byung-Su Lee

Department of Earth Science Education, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

Received: July 31, 2024 / Revised: August 16, 2024 / Accepted: August 22, 2024

†Corresponding author: +82-63-270-2801 / E-mail: bslee@jbnu.ac.kr

요약: 이 비평은 Lee, B.S. (2018, 2019, 2010)의 코노돈트 연구에 대한 Park *et al.* (2024)의 자의적 평가를 논박하고, 당해 연구의 문제점을 지적한 것이다. Lee, H.Y. (1982)의 회동리층 화석군 전반을 분류학적으로 평가하고, 회동리층을 오르도비스계라고 주장한 Lee, B.S. (2018, 2019) 연구의 타당성을 검토하였다. Lee, H.Y. (1982)이 제시한 두 종의 실루리아기 ‘분대 지표 종’(zonal index species) 중 첫째, *Distomodus kentuckyensis* Branson and Branson는 Lee, H.Y. (1982)의 도판에 실린 깨진 2개체의 그림만으로는 종의 고유 특징을 확정할 수 없어 실루리아기 종으로서의 자격을 부여하기 어렵다. 둘째, *Pterospathodus celloni* (Walliser)는 복합요소 기구(multi-element apparatus) 자체가 불완전하며, 보존 불량한 개체를 제외한 나머지 요소들은 모두 오르도비스기 코노돈트들이다. 따라서 그 요소들은 또 다른 기구에 편입되거나 개체요소로 남아 실루리아기 종으로서의 지위를 잃게 되었다. 게다가 Lee, H.Y. (1982)의 나머지 회동리 화석군은 북중국과 동일한 오르도비스기 중-후기 다리윌절-샌드비절(Darriwilian-Sansbian) 종들로 구성되어 있음이 드러나 회동리층은 이 시기에 퇴적된 것으로 해석하는 것이 합리적이다. 회동리층 하부는 태백의 두위봉층에 대비되고, 상부는 영월의 영흥층 최상부에 대비된다. Lee, B.S. (2018, 2019)의 행매층과 회동리층의 오르도비스기 종들(*Eoplacognathus suecicus*, *Aurilobodus serratus*, *Plectodina onychodonta*, *Tasmanognathus sishuiensis*, *Erismodus asymmetricus* etc.)을 재검토한 결과 동정(identification)의 정당성이 인정되었다. 회동리층 상부에서 산출된 *Belodina* sp.는 전 지구적인 오르도비스기 지표 속(global Ordovician index genus)이므로 동 층의 시대를 지시하는 결정적인 단서이다. 정선석회암, 행매층 및 회동리층의 경계를 넘어 *E. suecicus*와 *A. serratus* 등이 연속적으로 산출되므로 세 지층 사이에 시간적 불연속(hiatus)은 인정되지 않는다. 이 비평이 여러분에게 분류학(taxonomy)의 중요성을 되새기는 계기가 되기를 희망한다.

주요어: 회동리층, 오르도비스계, 코노돈트 분류와 시대 할당

ABSTRACT: This discussion refutes Park *et al.* (2024) arbitrary assessment of Lee, B.S. (2018, 2019, 2020) conodont studies and points out the problems with the study. I taxonomically evaluated the Hoedongri conodont fauna of Lee, H.Y. (1982), and reviewed the validity of Lee, B.S. (2018, 2019) study that regarded the Hoedongri Formation as the Ordovician System. Lee, H.Y. (1982) Silurian zonal index species *Distomodus kentuckyensis* Branson and Branson cannot be taxonomically identified as unique characteristics of the species through two images of poorly preserved (broken) specimens. Another zonal species *Pterospathodus celloni* (Walliser) has an incomplete multi-element apparatus, and all elements are Ordovician conodonts, except for poorly preserved specimens. Thus, they should be placed in another multi-element species or remained as individual elements, losing their status as a Silurian species. In addition, most of the Hoedongri fauna have been identified as Ordovician species. In addition, the remaining fauna of Lee, H.Y. (1982) are composed of the same middle-to-late Ordovician (Darriwilian-Sandbian) species as in North China, so it is reasonable to interpret that the Hoedongri Formation was deposited during this period. The lower part of the Hoedongri Formation is correlated to the Duwibong Formation of Taebaek, and the upper part is correlated to the uppermost beds of the Yeongheung Formation of Yeongwol. Lee, B.S. (2018, 2019) review of the Ordovician species, i.e. *Eoplacognathus suecicus*, *Aurilobodus serratus*, *Plectodina onychodonta*, *Tasmanognathus sishuiensis*, *Erismodus asymmetricus* etc., of the Hangmae and Hoedongri formations justifies identification. *Belodina* sp., which is recovered from the upper part of the Hoedongri Formation, is a global Ordovician index genus (Zhen *et al.*, 2011; Zhang, 2013) and is therefore a decisive clue to the age of the formation.

This genus is a global guide genus of Ordovician. Beyond the boundaries of the Jeongseon, Haengmae, and Hoedongri formations, *E. suecicus* and *A. serratus* are recovered continuously, so no temporal discontinuity (hiatus) is recognized between the three units. I hope this critique will remind you of the importance of taxonomy.

Key words: Haengmae and Hoedongri formations, Ordovician, conodont taxonomy and age assignment

1. 머리말

Park *et al.* (2024)의 논평은 정선석회암과 행매층의 관계를 경사부정합으로 해석하고, 행매층의 쇄설성 저어콘에 대한 U-Pb 연대 값이 오르도비스기 후기를 지시하며, 행매층에서 산소 및 스트론튬 동위원소 값의 이상치를 보인다고 하였다. 이를 기반으로 행매층의 시대를 오르도비스기 후기로 판단하였으며, 상부 층인 회동리층은 실루리아계라고 주장하였다.

이 같은 주장에 반하는 Lee, B.S. (2018, 2019)의 연구에 대해 그들은 ‘두 연구가 같은 회동리층을 대상으로 하였음에도 불구하고 겹치는 종이 거의 없다. 샘플 채취 대상 층의 불확실성이 존재한다. 시기가 다른 지층을 대상으로 코노돈트 생층서 연구를 수행했다고 볼 수밖에 없다.’고 자의적으로 단언하고, Lee, B.S. (2018, 2019)는 Lee, H.Y. (1980, 1982)의 코노돈트 분류에 문제가 있다고 언급했으나 구체적인 증거를 제시하지 않았다’고 지적하였다.

본 비평은 Park *et al.* (2024)이 제기한 이슈들을 해소하고, 그들의 연구에 대해 반론할 목적으로 작성되었다. 먼저, 정선 서부의 하부 고생대층 연구사를 개괄한 뒤, Lee, H.Y. (1982)이 제시한 2종의 실루리아기 분대 지표 종을 비롯한 화석군 전반과 고지리적 관점에 대해 평가하고, 회동리층을 달리 해석한 Lee, B.S. (2018, 2019, 2020)의 주요 연구 내용에 대해 논의하려고 한다.

2. 정선 서부의 하부 고생대 층서와 코노돈트 연구사

Hisakoshi (1943)는 정선 서부의 하부 고생대층을 하부 석회암, 행매층(Haengmak Bed), 상부 석회암으로 구분하였고, 3개 지층은 정선석회암(GICTR, 1962), 행매층(Son and Cheong, 1977), 회동리층(Cheong *et al.*, 1979)으로 개명되어 오늘에 이르고 있다(그림 1).

Kobayashi (1966)는 상부 석회암을 두족류(actinoceroids) 화석에 의해 오르도비스계로 보았고, Lee, H.Y. (1976)은 정선석회암을 코노돈트 연구에 의해 오르도비스기 중기(다리월절, Darriwilian)에 대비하였다. Cheong *et al.* (1979)는 상부 석회암의 코노돈트 화석군을 오스트리아 실루리아기 전기의 *Celloni*대~*Sagitta*대(Walliser, 1964)에 대비하고 ‘상부 석회암’을 대체하는 새로운 지층명으로 ‘회동리층’을 제안하였다. Lee, H.Y. (1982)은 Cheong *et al.* (1979)의 화석군을 재분류하고 하부(*Distomodus kentuckyensis*대)와 상

부(*Pterospathodus celloni*대) 생층서대로 구분하였다. 그는 하부 대를 북미의 *Distomodus kentuckyensis*대에, 상부 대를 오스트리아의 *Celloni-amorphognathoides*대와 북미의 *Neospathognathodus celloni-Pterognathodus ranudiformis* 군집대에 각각 대비하였다.

An and Zheng (1990, Table 5, p. 118, 119)은 Lee, H.Y. (1982)의 코노돈트 종들을 수정하였는데, 그 중 *Pterospathodus celloni* (Walliser)를 *Tasmanognathus sishuiensis*라고 재동정하고, 회동리층을 북중국의 오르도비스계 Baduo층 또는 Fengfeng층(샌드비절, Sandbian)에 대비하였다. 이 같은 양자 간의 이견이 필자의 회동리층 연구의 계기가 되었다. 최근 Lee, B.S. (2018, 2019, 2020)는 회동리층의 코노돈트 화석군을 2개 생층서대로 분대한 뒤, 북중국의 오르도비스기 중-후기(다리월절, D3-샌드비절) 상층 대에 대비하였고, 행매층 상부(ca. 18 m)에서 회동리층 하부(36 m) 구간에서 동일 코노돈트 종이 연속 산출되므로 양 층 간 시간 격차(hiatus)가 없다고 하였다. 또 정선석회암(Hisakoshi의 ‘하부 석회암’)의 최상부에서 행매층 중부까지의 구간을 다리월절(D2)에 대비하고, 두 층 경계 양쪽에서 동일 코노돈트 종이 연속 산출되므로 역시 시간 격차가 없다고 하였다.

3. 회동리층의 과거 연구에 대한 평가

오르도비스기 중-후기와 실루리아기 전기(란도베리세, Llandovery) 코노돈트의 일부는 매우 흡사하여, 코노돈트가 어느 시대의 것인지를 두고 학자들 사이에서 논란이 된 적이 있었다(Walliser, 1964). 그래서 개개의 코노돈트에 집착하지 말고 화석군집 전체를 살펴보아야 실수가 없다고 회자된다. 바꿔 말하면, ‘나무 하나 보다 모든 나무 즉, 숲을 보라.’는 말과 상통한다. 회동리층 코노돈트들과 북중국의 오르도비스기 코노돈트들의 생김새는 마치 형제처럼 닮아 보인다(그림 5 참조).

3.1. 전반적 평가

Lee, H.Y. (1982)의 연구 재료로 쓰였던 코노돈트 수장 표본(original collection)을 살피는 것이 그의 연구를 직접 평가하는 바람직한 길이었으나 표본은 14년 전에 폐기되어, 불가피하게 필자가 간직해 온 화석 도판(plates)(그림 2)을 통해 평가하였다: 1) 화석군의 태반이 증명 미확정(열린 명명, open nomenclature)이거나(예, *Oulodus* sp.), 잠재적

종명(conferable species; 예, *Paltodus* cf. *dyscritus*)이었다. 2) 개체요소 종(disjunct-element species)이 압도적으로 많고, 복합요소 종은 2종(*Pterospathodus celloni*, *Panderodus unicostatus*)에 불과하였다. 이는 분류의 방법론적 차이인데, 세밀한 시대 해석을 위해서는 복합요소분류법을 채택하는 것이 현재의 추세이다. 복합요소 확보가 불가능할 정도로 산출량이 적었던 탓으로 추정된다. 3) 오스트리아 Carnic Alps와의 종별 산출과 대비 범위가 모호하다. 4) 생층서대가 2개대(*Distomodus kentuckyensis*대와 *Pterospathodus celloni*대)에 불과하다. 세계적 표준 분대(global standard biozones)는 두 대 사이에 한 대(*Distomodus staurogathoides*

대)가 더 있고(그림 6), 그마저도 두 대의 층서적 위치가 제시되지 않았으나, 산출표와 주상도를 통해 추정하면 *D. kentuckyensis*대는 기저 가까이, *P. celloni*대는 최상부에 설정된 것으로 보인다.

3.2. *Distomodus kentuckyensis*와 *Pterospathodus celloni*의 동정은 정당한가?

3.2.1. *Distomodus kentuckyensis* (Branson and Branson)

Lee, H.Y. (1982)이 분대지표 종으로 내세운 *Distomodus kentuckyensis* (Branson and Branson)는 정선읍 회동리(L1),

Age	Author		GICTR (1962)	Jeong, C.H. et al. (1979)	Lee, B.S. (2018,19,20)
	Hisakoshi (1943)	W. Jeongseon			
Silurian	Llandoveryan			Hoedongri Fm.	
	Hirnantian		Jeongseon Ls.		
Ordovician	Katian			Haengmae Fm.	Hoedongri Fm.
	Sandbian				
	Darriwilian	Upper Limestone	Maggol Fm.	Jeongseon Ls.	Haengmae Fm.
	Dapingian		Dumugol Fm.		Jeongseon Ls.
	Floian	Haengmae Fm.	Dongjeom Fm.		???
	Tremadocian				
Cambrian	Late	Lower Limestone	Hwajeol Fm.		
	Middle		Daegi Fm.		
	Early		Myobong Fm.		
			Jangsan Fm.		

Fig. 1. Lithostratigraphic division of the Lower Paleozoic strata in the western part of Jeongseon and age assignment of each unit.

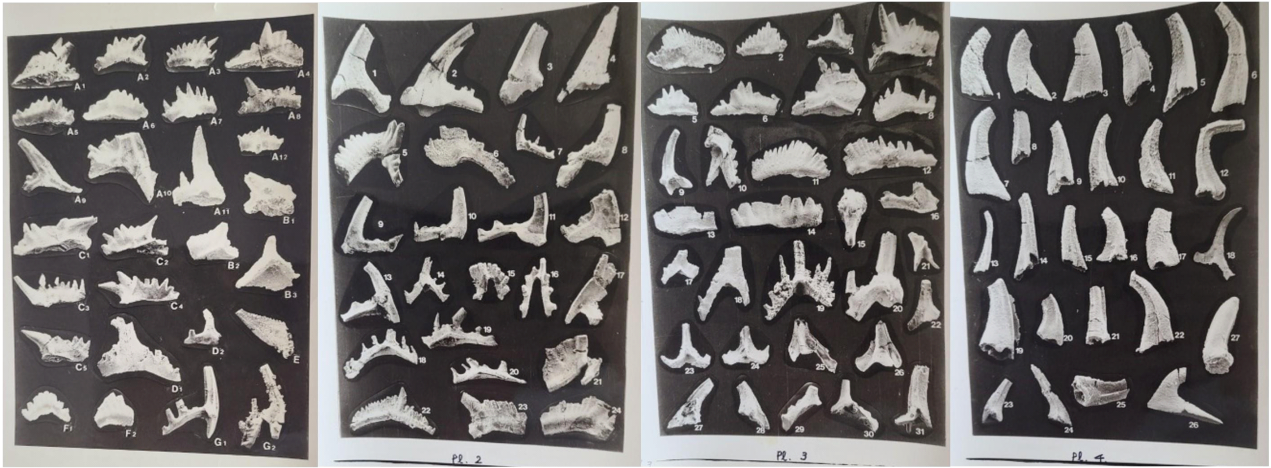


Fig. 2. Original photograph of the Hoedongri conodont plates (Lee, H.Y., 1982).

할미골(L3) 및 행매동 단면(L4) 하부에서 나온 것이다(그림 3). 그는 이 종이 나온 표본(sample)의 하부는 침식으로 인해 알 수 없으면서 산출 표본들을 북미의 실루리아기 전기 *D. kentuckyensis*대(Rexroad, 1967)에 대비하였다.

이 종은 오직 화석 도판(plate)에 실린 깨진 2개체의 사진을 통해 확인할 수 있다(Lee, H.Y., 1982, pl. 2, figs. 3,4; 그림 4a). 이 종은 여러 요소(elements)가 복합요소 기구(複合要素 機構, apparatus)를 이루는 복합요소 종(multielement species, 그림 4b)인데, 다른 요소 없이 보존 불량한 두 개체에 의존하여 종명을 단정하였다. 더욱이 두 개체의 형태도 다르다. 하나의 몸통(齒錐, cusp)은 둥글며 앞측면(anterolateral face)에 둥근 능(筋脊, carina)이 있고(그림 4a:1), 다른 하나는 납작(flat)하고 측면은 매끈(smooth)하다(그림 4a:2). 또 깨진 것이어서 기부(base)의 앞 뒤쪽 돌기체(anticusp/posterior process)의 본래 모습도 종잡기 어렵다. 거친 ‘한데 묶기’(grouping)이다. 아마 M 요소라고 판단한 듯한데, 몸통의 단면이 모식종과 다르고, 기부 상연(基部 上緣, upper margin of base)이 불명하여 부치(副齒, secondary denticles)의 존재 여부도 알 수 없다(그림 4b:3, 4c, 4d). 그러므로 독립된 복합요소 종으로서의 자격을 부여할 수 없다. An and Zheng (1990, p. 115)은 이 두 개체를 오르도비스기 샌드비절 종 *Tasmanognathus sishuiensis* (cordylodiform (M) 또는 cyrtionodiform (Sc) elements)라고 판단하였다. Lee, B.S. (2019, Fig. 6:20-24)도 회동리층 상부(성마령과 회동리 가리왕산 휴양림 입구 Ice cave section)에서 이 종을 확인하였다. 유럽, 중국, 북미에서 보고된 *D. kentuckyensis*의 그림들(그림 4b-d)도 예시하였다.

3.2.2. *Pterospathodus celloni* (Walliser)

또 다른 실루리아 전기 분대지표 종 *Pterospathodus cel-*

*loni*는 대부분 행매동 단면의 회동리층 최상부 2개 샘플(846, 847)에서 산출되었다(Lee, H.Y., 1982, text-fig. 3). 회동리층과 오스트리아 Carnic Alps (Walliser, 1964)의 요소들(elements)을 비교해 보자(그림 4e, g). 두 곳에 공통적인 요소는 Pb 뿐이고, 나머지는 형태가 서로 다르다. 더 눈에 띄는 것은, 회동리층 요소 중에 플랫폼 요소(平臺型 要素, platform element, P2, 그림 4g:pf)가 전무하다는 것이다. Lee, H.Y. (1982, p. 56)은 ‘산출 개체수가 적고 플랫폼 요소가 결여되어 회동리 화석군을 정의하기 쉽지 않았다’고 명기하였다.

Nowlan (1983)은 캐나다 동부 실루리아계의 사례로 볼 때 *P. celloni*의 희소성은 널리 분산하기에 불리할 정도로 전해화가 진행된 결과라고 추론하였다. Aldridge (1976)는 *P. celloni*가 영국 하부 실루리아계의 경우 외해(offshore) 환경에 더 흔하다고 하였고, Le Fèvre *et al.* (1976)도 허드슨만의 실루리아계 연구에서 비슷한 결론을 낸 바 있다. 과연 이 같은 고생태학적 이유로 *P. celloni*의 플랫폼 요소가 회동리층에 없는 것인지, 암석 속에 들어 있는데도 발견되지 못한 것인지 알 수는 없다. 그보다는 회동리층이 실루리아계가 아니라 오르도비스계이기 때문에 플랫폼 요소가 없는 것은 아닌가? 지금까지 세계적으로 오르도비스계에서 플랫폼 요소의 보고는 없었다. Lee, B.S. (2018, 2019)는 회동리층에서 315개 이상의 석회암 샘플을 채취하여 코노돈트를 선별하였으나 단 한 개체의 플랫폼 요소도 찾은 적이 없다.

복합요소의 일부 부재 이외에 더 큰 문제는 *P. celloni*의 요소들(Lee, H.Y., 1982)이 오르도비스기 코노돈트들로 이루어져 있다는 사실이다: 1) 이 종의 S 요소(그림 4e)는 모식표본(holotype, 그림 4g)과 형태적으로 다르다. 2) S 요소와 Pa/Pb 요소가 산출된 층준의 수직 척차(60 여 m)가 있



Fig. 3. (a) Late Prof. Lee, H.Y.'s topographic map (Yongtan, 1:25,000) used for field survey; (b) Refer to the sample section of Lee, H.Y. (1982).

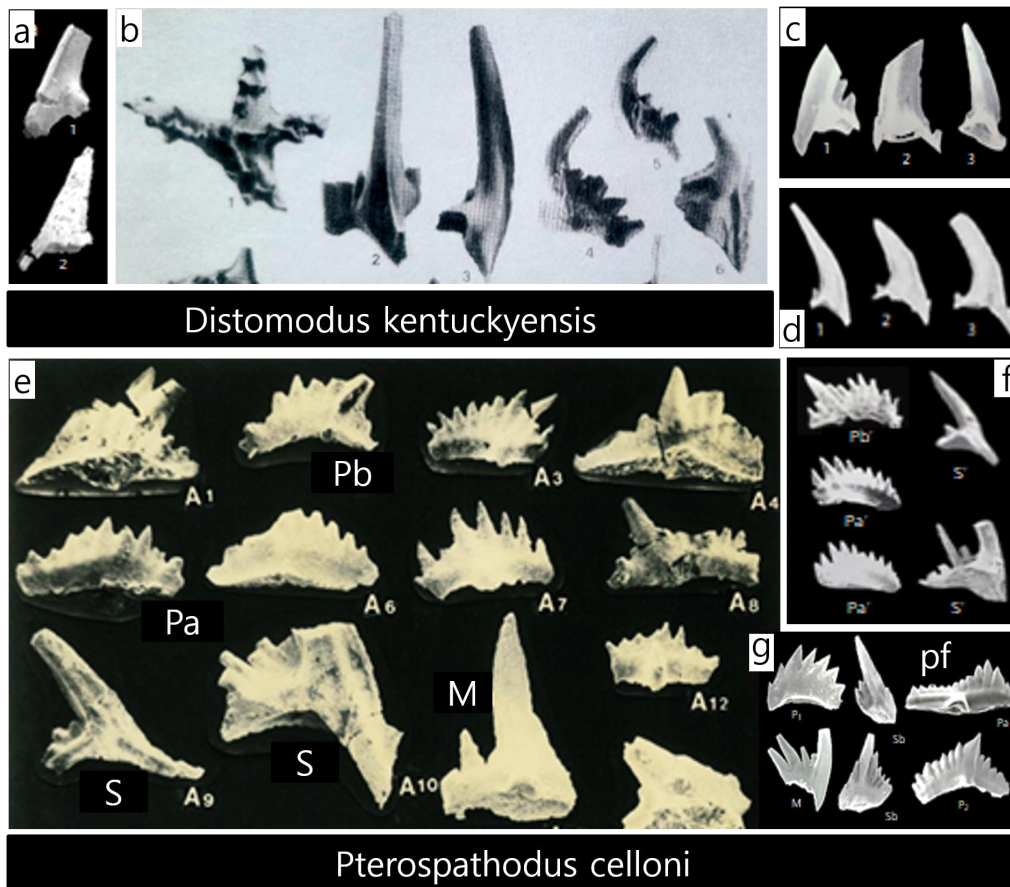


Fig. 4. (a-e) *Distomodus kentuckyensis*. (a) from the Hoedongri Formation (Lee, H.Y., 1982); (b) multi-element species *D. kentuckyensis*, from Norway (Idris, 1984); (c) M element from South China (An, 1987); (d) M element from North America (Rexroad, 1967); (e) *Pterospathodus celloni* from the Hoedongri Formation (Lee, H.Y., 1982); (f) Sandbian conodonts from North China (An *et al.*, 1983; An and Zheng, 1990; An, 1993); (g) *P. celloni* from Carnic Alps, Austria (Walliser, 1964). All figures about x35-50.

는데도 하나의 복합요소 종으로 묶은 것은 합리적인가? 3) 그림 4e의 회동리층 요소들(Pb, Pa, S, M)과 그림 4f의 북중국 오르도비스기 샌드비절 요소들(Pb', Pa' S' M')의 형태를 맞비교 해보라. 일례로 Pb와 Pb' 요소는 북중국 샌드비절 중 *Tasmanognathus sishuiensis* (An *et al.*, 1983, 1990; An, 1993)이나 호주 태즈메이니아(Tasmania)의 샌드비절 중 *T. careyi*의 Pa 요소(Zhen *et al.*, 2010; Fig. 14)와 같은 것이다. *P. celloni*의 다른 요소들도 마찬가지이다. 심지어 *P. celloni*의 S 요소(그림 4e, 좌2번째)는 동일 논문의 *Neoprioniodus subcarinus* Walliser (pl. 2:12)와 같은 종이다.

복합요소분류법으로는 ‘같은 형태’의 한 요소가 복수의 다른 복합요소 종의 요소(멤버)로도 흔히 채용된다. 특히 오르도비스기 후기~실루리아기 전기의 코노돈트 종들 중에 그러한 경우가 많다. 결론적으로, Lee, H.Y. (1982)이 제시한 *P. celloni*의 복합요소(Pa, Pb, S, M) 종으로서의 기구(apparatus)가 불완전해 보인다. 즉, 다른 종의 요소일 가능성(Pb, S), 다른 요소(Pb)의 미성숙(immature) 개체일 가능성(Pa)과 형태적인 차이(M)로 인해 기구의 구성력이 떨어져 복합요소 종으로 인정하기 어렵다. 따라서 각 요소는 다른 기구에 편입되거나 개체요소로 남게 되어 그들은 실루리아기 종이라는 과거의 지위를 잃게 되었다.

상기 2종의 산출 단면을 비교하면, *D. kentuckyensis*는 정선읍 회동마을 동쪽 능선(L1), 할미골(L3) 및 행매동 단면(L4)에서 산출되었는데(Lee, H.Y., 1982), L1과 L4는 Lee, B.S. (2018)의 단면 4, 3과 같은 곳이다(그림 3). *P. celloni*가 다량 산출된 행매동 단면(L4)은 Lee, B.S. (2019)의 단면 5와 같고 공통종도 다수 있다. 두 연구의 코노돈트는 공통적으로 깨진 코노돈트의 비율이 높다. 지층의 구조적

변형 탓으로 보인다. Park *et al.* (2024)은 고생물학자가 아니기 때문에 그저 종 목록만을 비교했을 뿐 코노돈트의 형태를 면밀히 살피지 않아 ‘겹치는 종이 거의 없다’고 했을 것이다.

3.3. 회동리층의 오르도비스기 코노돈트

회동리층의 코노돈트 화석군(Lee, H.Y., 1982) 중에는 북중국의 오르도비스기 샌드비절(Sandbian) 코노돈트들과 형태적으로 같은 종들이 많다. 그림 5a, 5b의 ‘윗줄(홀수 번호)은 Lee, H.Y. (1982)이 실루리아기 종’으로 보고한 코노돈트들이고, ‘아래 줄(짝수 번호)은 Lee, B.S. (2018, 2019), Wang *et al.* (2013)과 An *et al.* (1983)이 오르도비스기 종’으로 보고한 코노돈트들이다. 고생물학에서의 종개념은 형태중이고, 종은 약간의 변이 범위를 포괄하기 때문에 이를 감안하면 서로 같다고 해도 무방하다.

회동리층의 *Distomodus egregia*(그림 5a:1)는 북중국의 *Plectodina aculeata* (Wang *et al.*, 2013, Fig. 7A, 7D; 그림 5a:2)와 유사하고, 회동리층의 *Lonchodina walliseri*(그림 5a:3)도 *Erismodus quadridactylus*의 S 요소(Wang *et al.*, 2013, Fig. 5G, 5H; 그림 5a:4)와 같아서 동일 복합요소 종으로 묶어야 한다. 한편 회동리층의 *Exochognathus cf. caudatus*(그림 5a:5)는 *Erismodus typus* (An *et al.*, 1983, pl. 32, figs. 18, 19)나 *Tasmanognathus careyi*(그림 5a:6)의 깨진 표본이다(Zhen *et al.*, 2010). 회동리층의 *Neoprioniodus multififormis*(그림 5a:7)는 *Tasmanognathus sishuiensis*의 Sc 요소(그림 5a:8)와 같은 종이다. 그림 5b의 코노돈트들도 마찬가지이다(5b:1-2, 5b:3-4, 5b:5-6, 5b:7-8). 자세한 내용은 그림 설명을 참고하기 바란다. 그 밖에 회동리층 코

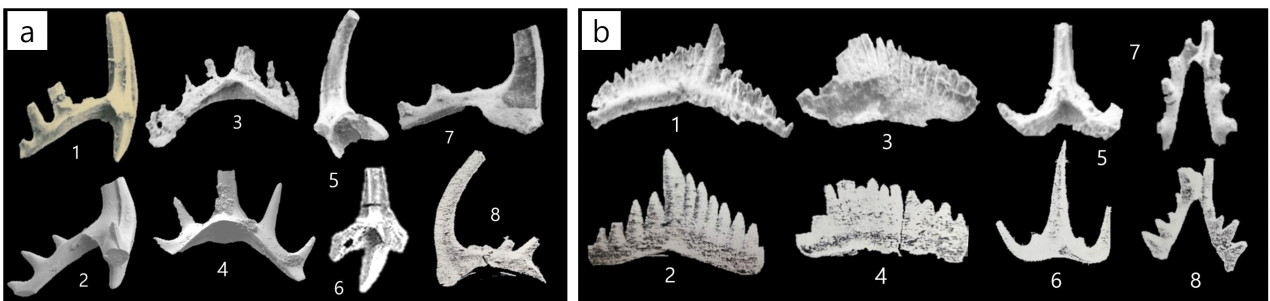


Fig. 5. Same conodonts or different conodonts?. (a) Top row from the Hoedongri Formation (Lee, H.Y., 1982), bottom row from the Middle-Upper Ordovician in North China and Korea (Zhen *et al.*, 2010; Wang *et al.*, 2013; Lee, B.S., 2019; An *et al.*, 1983). 1, *Distomodus egregia*; 2,4, *Tasmanognathus sishuiensis* and *T. careyi* (Sa and Pb elements) from the Fengfeng and Pingliang formations, North China; 3, *Lonchodina walliseri*; 5, *Exochognathus cf. caudatus*; 6, *Tasmanognathus careyi* from North China; 7, *Neoprioniodus multififormis*; 8, *Tasmanognathus sishuiensis* (or *Plectodina aculeata*) from the Fengfeng Formation. (b) Top row from the Hoedongri Formation (Lee, H.Y., 1982), bottom row from the Middle-Upper Ordovician of North China (An *et al.*, 1983). 1, *Ozarkodina cf. denckmanni*, 2, *Plectodina onychodontia* (Pb, element); 3, *Ozarkodina cf. edithae*, 4, *Plectodina* sp. A (Pb element); 5, *Trichonodella* n. sp., 6, *Tasmanognathus sisuiensis*; 7, *Pterospathodus celloni* (S element), 8, *Plectodina* sp. (?Pb2 element). All figures about x30.

노돈트(Lee, H.Y., 1982) 중에는 종명의 오류가 많다. 그것은 산출 표본 수가 적고 보존 불량한 표본을 동정한 결과로 보인다. 도판의 해상도가 낮아 일부만을 예시하였다.

3.4. 고지리 문제

코노돈트를 대비하려면 기본적으로 고지리와 고환경(고생태)을 고려해야 한다. 태백산분지는 중국대륙과 고지리적으로 밀접한데, Lee, H.Y. (1980, 1982)은 거리가 먼 유럽(Carnic Alps)과 북미의 실루리아계와 대비하였다. 회동리층과 북중국의 코노돈트 연구 시기가 달라서 생겨난 일일 것이다. Lee, H.Y. (1989, 1990, 1982)의 연구 이후에 북중국의 연구(An *et al.*, 1983)가 이루어져 회동리층 연구 당시 북중국의 데이터를 살피지 못하였을 것이다.

최근에 북중국 지괴 북단의 소규모 실루리아계가 알려졌으나 아직 체계적인 생층서 연구가 미흡하고, 남중국 지괴(Upper Yangtze Platform)의 실루리아계가 중국의 모식지로 인정된다(Rong *et al.*, 2019). 회동리층을 남중국 지괴와 대비하려면 실루리아기 전기에 양 지역이 바다로 연결되어 있어야 이론적인 설득력을 갖는데, Lee, H.Y. (1982)에는 고지리에 대한 설명이 전혀 없다.

회동리층과 남중국 지괴의 직접 대비는 여러 가지 면에서 난관에 부딪힌다. 남중국 지괴의 실루리아기 전기(란도

베리세) 코노돈트 생층서대는 *Ozarkodina aff. hassi*대로부터 *Pterospathodus celloni*대에 이르기까지 6대로 분대되어 있다(Wang and Aldridge, 2010; 그림 6). 회동리층의 생층서대는 *Distomodus kentuckyensis*대와 *Pterospathodus celloni*대뿐이다(Lee, H.Y., 1982).

회동리층의 퇴적상은 두꺼운 석회암상인데 반해, 남중국 지괴의 하부 실루리아계는 셰일상이 우세하고 석회암상은 60 여 m에 불과하다. 평남분지의 하부 실루리아계 곡산층은 실트암, 이암, 셰일과 같은 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있고, 산출되는 화석(산호를 비롯한 무척추동물화석)도 남중국 지괴의 속성(affinity)을 갖는다(Lee, D.C. *et al.*, 2017). 회동리층은 퇴적상이나 화석상(무척추동물화석의 보고 없이 코노돈트뿐이다.) 양면에서 남중국 지괴나 평남분지와는 판이하게 다르다.

회동리층을 오르도비스계라고 해석한 Lee, B.S. (2018, 2019)의 견해에 동의하면, 회동리층을 실루리아계라고 가정한 상기 고지리적 논의는 무의미한 일이다. 회동리층의 다리월절-샌드비절 코노돈트는 화석군집 자체 뿐 아니라 고지리적으로도 북중국 지괴와 아주 밀접하다. 북중국 지괴에서 전기 고생대에 두 차례의 hiatus가 알려져 있다(Wang *et al.*, 2016; 그림 7). 그 중 첫 번째 이벤트는 최근 태백산분지 막골층(플로절 *Paraserratognathus obesus*대-다리월

SERIES AND STAGES		'GLOBAL STANDARD'	ANTICOSTI ISLAND		SOUTH CHINA
		ZONES	ZONES		ZONES
Wenkock (base of)					
Llandovery	Telychian	<i>Pt. amorphognathoides</i>			<i>Pt. amorphognathoides</i>
		<i>Pt. celloni</i>			<i>Pt. celloni</i>
		<i>Distomodus staurogathodus</i>			<i>Pt. eopennatus</i>
	Aeronian		<i>Oz. aldridgei</i>		<i>Oz. guizouensis</i>
			<i>Oz. clavula</i>		
	Rhuddanian	<i>Distomodus kentuckyensis</i>	<i>Oz. strena</i>	<i>Ou. jeannae</i>	<i>Oz. obesa</i>
<i>Ou. panaurensis</i>					
			<i>Oz. hassi</i>		<i>Oz. aff. hassi</i>

Fig. 6. Llandovery standard biozones (Aldridge and Schönlaub, 1989). Biozones of Anticosti Island after Zhang and Barnes (2002). South China biozones after Wang and Aldridge (2010).

절 초기 *Tangshanodus tangshanensis*대 사이)에서 확인되었다(Lee, B.S. *et al.*, 2022). 두 번째 이벤트는 태백산분지

에서도 오래 전부터 인지되어 굳어진 사실이고 지속기간은 오르도비스기 후기~석탄기 전기(140 Ma)이다. Choi, D.K.

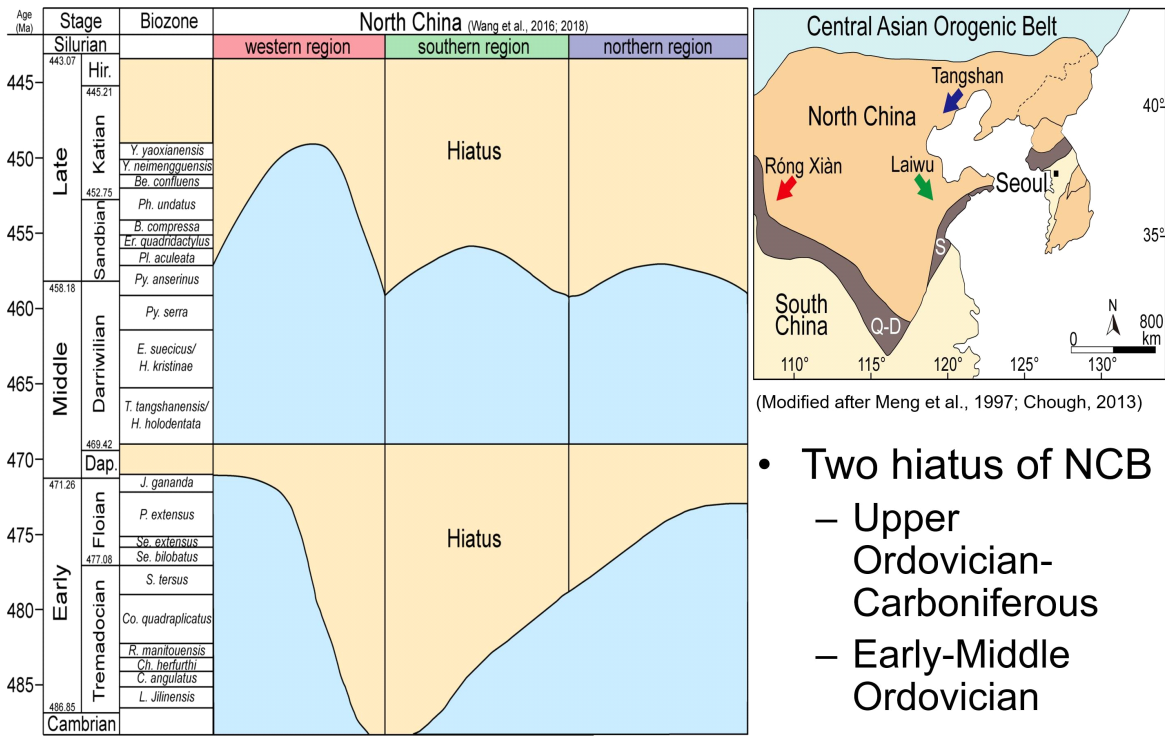


Fig. 7. Two events in the Ordovician of North China (Wang et al., 2016).

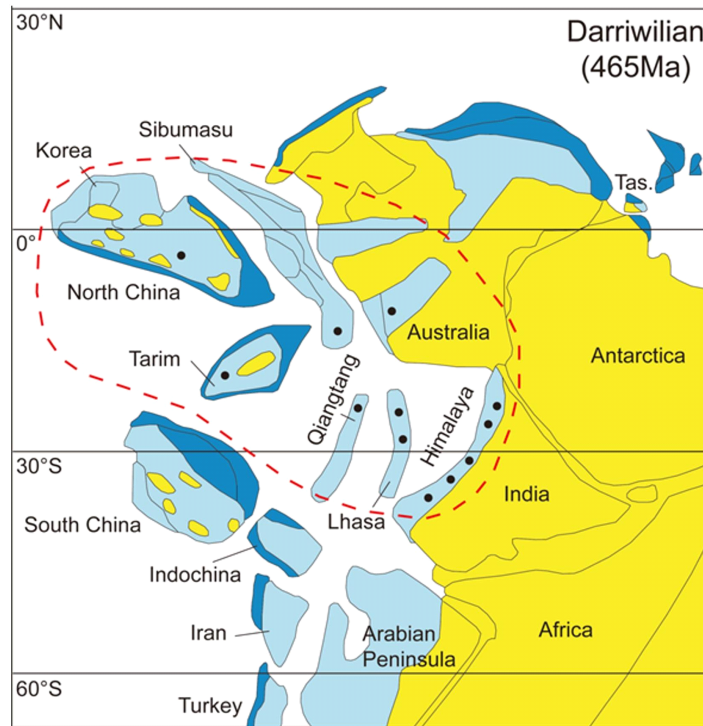


Fig. 8. Paleogeographic reconstruction of the north-eastern peri-Gondwana region in the Middle Ordovician (Darrivilian) (Yu et al., 2019).

(2019)은 고생대 초기에 중한지구가 해양분지에 의해 남중국지괴와 분리되기 시작하였고, 확장하는 해령과 변환단층이 조선해(조선누층군이 퇴적된 바다)의 용기를 촉진시켜 오르도비스기 말엽에 (조선누층군의) 퇴적이 중단되고 중한지괴가 곤드와나로부터 분리되었다고 추론하였다. 이 같은 논리를 받아들이면 실루리아기에 회동리층의 퇴적은 불가능했을 것이다. 그런데 태백산분지 내 태백이나 영월과 달리 정선 서부에만 실루리아계(회동리층)가 분포하는 이유는 무엇일까? 회동리층이 실루리아계라고 주장하려면 이 질문에 대한 논리적 추론이 필요하다.

Lee, B.S. (2018, 2019)가 해석한 회동리층 퇴적 시기(오르도비스기 중-후기)의 고지리도는 그림 8과 같다(Yu et al., 2019). 회동리층과 거의 같은 시대인 태백의 막골층-직운산층-두위봉층에 *Tangshanodus tangshanensis*-*Histiodella holodentata*대, *Eoplacognathus suecicus*대, *Plectodina onychodonta*대, *Aurilobodus serratus*대가 설정되어 있다(Lee, Y.N. and Lee, H.Y., 1986; Lee, K.W. and Lee, H.Y., 1990; Lee, B.S. et al., 2022). *T. tangshanensis*는 태백산분지와 북중국에서만 나오는 고유종(토착종, endemic species)인데 반해 *H. holodentata*는 범세계 분포 종(pandemic species)이므로 peri-Gondwana 지역(히말라야 남부, 인도 북부, 네팔, 부탄, 태국, 북중국, 태백산분지 등)에서 함께

산출되어 광역 대비(global correlation)가 가능하다. 마찬가지로 영월의 영흥층에서도 막골층-회동리층과 동시기의 코노돈트가 나오므로(Lee, S.J., 1990) 고지리적 해석도 다르지 않을 것이다. 실제로 회동리층에도 광역대비가 가능한 범세계 분포 종들(*Panderodus gracilis*, *P. nogamii*, *Drepanodus arcuatus*, *Drepanoistodus suberectus*, *Plectodina aculeata* 그리고 *Erismodus quadridactylus* 등)이 있으므로 추후 이들을 기반으로 한 고지리적 연구가 수행되기를 기대한다.

4. 정선석회암, 행매층 및 회동리층의 최근 연구 결과

4.1. 행매층 상부-회동리층 하부 연구

Lee, B.S. (2018)는 Lee, H.Y. (1982)의 4개 샘플채취 단면(행매동, 회동리1,2, 할미골)과 새로운 단면(성마령, 그림 9c)의 1번 등 5개 단면에서 석회암 샘플(노두에 빨간 샘플 번호가 남아 있을 것이다)을 채취하여 코노돈트 생층서를 연구하였다(그림 9c). 샘플을 채취한 층서 구간은 행매층 최상부 18 m~회동리층 하부 43 m 구간(그림 9a)으로, 이 구간에서 모두 12속 15종의 코노돈트를 찾아 *Aurilobodus serratus*대라 명명하고 이를 북중국 오르도비스기(다리월절, D3)의 동명의 생층서대에 대비하였다.

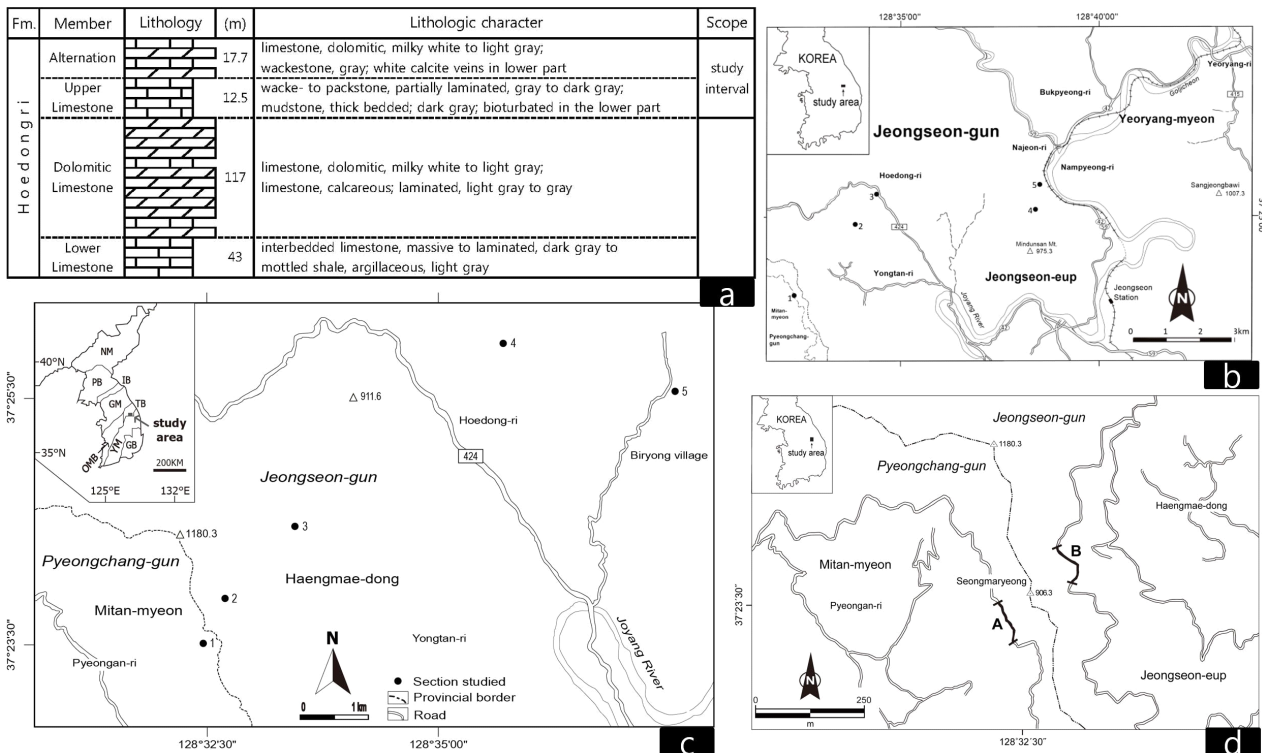


Fig. 9. (a) Subdivision of the Hoedongri Formation (Lee, B.S., 2019). (b-d), Sample locality maps of the Hoedongri Formation (upper/lower parts), and Jeongseon-Haegmae formations (Lee, B.S., 2018, 2019, 2020).

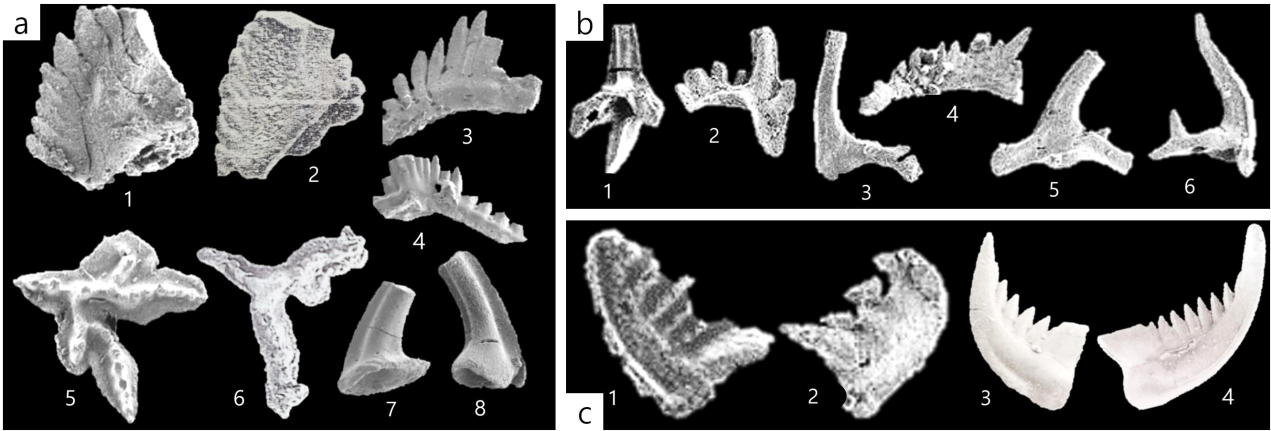


Fig. 10. Darriwilian conodonts from the Hoedongri Formation (Lee, B.S., 2018). (a) 1, *Aurilobodus serratus* from the upper Haengmae Formation to lower Hoedongri Formation; 2, *A. serratus* from the Darriwilian of North China (An *et al.*, 1983); 3,4, *Plectodina onychodonta* from the Haengmae Formation. Note that these specimens are very similar to those of *Ozarkodina cf. typica denckmanni* in Lee, H.Y. (1982, pl. 1, figs. 1-3); 5, *Eoplacognathus jigunsanensis* from the Hoedongri Formation; 6, *Eoplacognathus suecicus* (sinistral pastiniplanate (Pb) element) from the Haengmae Formation; 7,8, *Scandodus choii* from the Hoedongri Formation. (b) Sandbian conodonts from the upper Hoedongri Formation (Lee, B.S., 2019). (c) 1,2, *Belodina* sp. from the Hoedongri Formation; 3,4, *Belodina confluens* from the Sandbian of Canada (Zhang, 2013).

A. serratus An은 이 시기의 중요한 표준화석 종(그림 10a:1)으로, 북중국의 Majiagou 층에서 처음 산출된 종이다(An *et al.*, 1983, 그림 10a:2). 태백의 두위봉층 상부에서도 보고된 종이다(Lee, Y.N. and Lee, H.Y., 1986; Lee, K.W. and Lee, H.Y., 1990). Lee, H.Y. (1982)의 논문이 이 종으로 동정될 수 있는 표본이 수록되지 않은 것으로 보아 찾지 못했던 것 같다. 앞서 언급한 바와 같이, 이 종은 행매층 상부-회동리층 하부에 걸쳐 산출되므로, 양 층간 시간적 격차(hiatus)가 없음을 시사한다(Lee, B.S., 2018).

*A. serratus*대의 코노돈트 화석군 중 *A. serratus* 이외에, 직운산층에서 나온 *Eoplacognathus jigunsanensis*를 비롯한 여러 분지형(ramiforms)과, 두위봉층 하부에서 나온 *Plectodina onychodonta*, Choi, S.J. (1980)의 회동리층에서 나온 무수한 *Scandodus choii* 등이 포함되어 있다. 이 종들이 산출된 대표적인 단면은 평창군 미탄면 한치동 임도의 성마령 단면(행매동-미탄 사이 성마령고개, 37°38'52"/128°53'70")이다. 이 층서구간에서 Lee, H.Y. (1982)이 실루리아기 표준화석종으로 제시한 *Distomodus kentuckyensis*와 *Pterospatodus celloni*는 나오지 않았다. Lee, H.Y. (1982)은 성마령 단면에서 샘플을 채취한 바 없다.

4.2. 회동리층 상부 연구

Lee, B.S. (2019)는 성마령 단면(그림 9b의 1번)을 비롯한 5개 단면에서 회동리층 최상부 40.1 m 구간에 대한 코노돈트 연구를 수행하여 669 개체를 발견하고 10속 16종으로 동정, 보고하였다(그림 9b). 이 화석군은 *Tasmanognathus sishuiensis-Erismodus asymmetricus*대라 명명되었고 시

대는 샌드비절(Sa2)이다. 이 생층서대는 영흥층 최상부의 화석군(Lee, S.J., 1990)과 동일하다. 대표적인 코노돈트종은 그림 10b와 같다.

이 연구에서 회동리층이 오르도비스기임을 입증하는 또 다른 결정적인 사실은, 화석군에 *Belodina* sp.(그림 10c:1,2)가 포함되어 있다는 것이다. 이 속(genus)은 세계적으로 오르도비스기에서만 보고되었다(Zhen *et al.*, 2011; Zhang, 2013). 비록 보존이 불량하여 종명은 확정하지 못하였지만 *Belodina* 속이라는 사실은 분명해 보인다(주: 사진이 어둡고 선명하지 못한 것은 SEM 촬영용 얇은 양면테이프 속에 코노돈트가 빠졌기 때문이다). 비교를 위해 캐나다 샌드비절의 *Belodina confluens*를 나란히 실었다(그림 10c:3,4).

Park *et al.* (2024, p. 187)는 '두 연구가 같은 회동리층을 대상으로 하였음에도 불구하고 겹치는 종이 거의 없다. 샘플 채취 대상 층의 불확실성이 존재한다. 시기가 다른 지층을 대상으로 코노돈트 생층서 연구를 수행했다고 볼 수밖에 없다.'고 언급하였다. Lee, H.Y. (1982)은 회동리층의 코노돈트들을 실루리아기 초기 화석군으로 해석하였으나, Lee, B.S. (2018, 2019)는, 상기한 바와 같이, 회동리층의 코노돈트 중에 오르도비스기 종이 많이 들어 있음을 확인하고, 동 층을 오르도비스기 중-후기(다리월절-샌드비절)로 해석하였기 때문에 '겹치는 종'이 없었던 것이다. 즉, 동일 화석 표본이라 해도 표본의 보존 상태, 분류 방식 및 고지리적 유연 관계와 대비 등 연구자의 해석에 따라 종명을 달리 할당(assignment)할 수 있는 것이다. 회동리층이 아닌 타 지층에서 샘플을 채취한 것이 아닌가 하는 의문은 Lee, H.Y. (1982)과 Lee, B.S. (2018, 2019)의 샘플 위치도를 비

교해보면 풀릴 것이다.

4.3. 정선석회암 상부-행매층 중부 연구

Lee, B.S. (2020)는 정선석회암 상부에서 행매층 중부까지의 구간(그림 9d)을 연구하여, 2개의 오르도비스기 중기(다리월절, D2) 생층서대(*Erraticodon tangshanensis*대와 *Eoplacognathus suecicus*대)를 설정한 것이 이 연구의 핵심이다. *E. tangshanensis*대는 막골층 상부의 *Tangshanodus tangshanensis*-*Histiodela holodentata*대에 대비될 수 있고, *Eoplacognathus suecicus*대는 직운산층에 설정된 동명의 생층서대에 대비된다. 특히 후자는 층서대비에 매우 유용한 범세계 생층서대(pandemic or cosmopolitan biozone)이다.

Lee, B.S. (2018, 2019, 2020)의 연구에서 동정된 코노돈트종의 종과 생층서대의 구간 설정에 대해 면밀히 검토하였으나 아무런 문제점을 발견할 수 없었다. 정선석회암, 행매층, 회동리층 사이에 동종의 코노돈트가 연속적으로 산출되는 것으로 보아, 층간 시간의 불연속(hiatus)은 없는 것으로 확인되었다.

Park *et al.* (2024)는 Lee, B.S. (2020)가 제시한 행매층의 코노돈트가 마모와 파편화되었다는 점을 근거로 행매층이 재퇴적되었을 것이라고 주장하였다.

코노돈트도 화석생성과정(taphonomy)을 거쳐 화석화된 것이다. 따라서 운반작용과 다짐작용, 속성작용, 모암으로부터 추출 기법(모암의 파쇄, 산에 의한 용탈, 물/체를 사용한 잔류물 거르기) 등 일련의 과정을 거치면서 코노돈트가 마모, 용식 및 파손될 수 있다. 그러나 일반 무척추동물 화석과 달리 미세한 코노돈트의 크기(0.1~1.0 mm), 석영과 방해석(2.7 g/cm³)보다 큰 비중(2.84~3.10 g/cm³)을 고려하면 파편화나 형태적 변형도는 무시할 정도로 낮으므로 재퇴적된 이지성 화석이라고 단정할 수 없다(Corrandini *et al.*, 2024). 지난 40년 넘게 선별해 온 태백산 분지의 하부 고생대 코노돈트 중 파편상 코노돈트가 가장 많이 산출되는 곳이 정선지역이다. 행매층 뿐만 아니라 정선석회암과 회동리층의 코노돈트들도 마찬가지로이다(Lee, B.S., 2018, 2019, 2020 도판 참조). 상기한 이론적 및 실제적 양면에서 볼 때 코노돈트의 파편화는 정선지역에 작용한 극심한 구조적 변형운동의 결과라고 해석하는 것이 합리적이다. 그 예로 정선 중-동부지역의 코노돈트 산출량은 소수에 불과하며(Lee, H.Y., 1976, 1985; Woo, 1984), 정선읍 문곡리 스무골과 북실리 올창바우의 정선석회암 코노돈트들은 태반이 부서지거나 절단되어 파편으로 나오고 있다(Data from Lee, B.S.'s ongoing research).

4.4. Park *et al.* (2024)에 대한 기타 의견

1) Park *et al.* (2024, p. 186)는 “하부 정선석회암층과 상

부 행매층은 주향과 경사에서 뚜렷한 차이를 보인다. 이는 행매층에서는 관찰되지 않는 최소 2회 이상의 변형작용이 있었음을 지시하는 S형의 중첩습곡(F2) 형태들이 정선석회암층에서만 관찰된다는 점과 함께 정선석회암층과 행매층 사이에 큰 시간적 격차가 있었음을 지시하는 결정적인 증거다.”라고 기술하였다. 이 같은 설명은, 행매층이 퇴적되기 전에 정선석회암층이 습곡을 받고, 용기-침식되고, 카르스트 작용까지 겪었다면 그 사이는 엄청난 시간 차이가 나는 부정합이어야 한다는 뜻이 된다. 그들의 주장대로 행매층이 오르도비스기 최후기에 퇴적되기 시작했다고 인정하더라도 이 같은 일련의 작용까지 겪었을 정도라면, 정선석회암층의 퇴적 시기는 최소한 오르도비스기 전기 또는 그 이전이어야 한다고 본다. 그런데 코노돈트 연구(Lee, B.S., 2018, 2020)에 의하면, 정선석회암층과 행매층 사이에 큰 시간 간격이 없다.

또한 태백산분지를 통틀어서, 최소한 영월층군이든 태백층군에서 캄브리아기 후기~오르도비스기 중기 동안의 습곡, 용기-침식 등과 관련한 조산운동의 증거가 없다. 용탄층군에서만 조산운동이 있었다는 주장은 오히려 용탄층군은 태백산분지와 같은 지구조 체제(tectonic regime)가 아니었다고 봐야 하는데, 그들은 태백산분지의 일부라는 일관된 주장을 펴고 있다.

결정적인 것은, Park (2024, fig. A5.1D)은 정선석회암과 행매층 사이의 경계면을 경사부정합으로 해석한 결과를 기재하였는데, 이에 따르면 경계면 하부의 정선석회암은 평행한 반면 경계면 상부의 행매층은 경계면과 사교하고 있다. 경사부정합으로 해석하려면 층리방향이 이와 반대여야 한다.

2) 강원도 석회암 분포 지역에는 홍적세-충적세에 형성된 다양한 카르스트 동굴들이 분포하기 때문에 카르스트가 고생대 전기에 형성된 것인지 최근에 형성된 것인지를 판단은 신중해야 된다. 카르스트가 퇴적 당시 형성되었음을 입증하려면 불규칙한 용해 공극과 같은 미시적 특성과 고토양의 증거를 함께 제시하여야 한다.

5. 맺음말

회동리층의 코노돈트 화석군(Lee, H.Y., 1982; Lee, B.S., 2018, 2019)의 분류학적 정당성과 고지리적 문제점을 검토하였다. 아울러 코노돈트 연구에 대한 최근의 자의적 평가(Park *et al.*, 2024)를 논박하고 해당 연구의 문제점을 지적하였다.

Lee, H.Y. (1982)의 연구

1) 실루리아기 전기의 ‘분대 지표 중’으로 제시된 코노돈

트 2종 중 *Distomodus kentuckyensis* Branson and Branson는 도판에 실린 보존 불량한, 깨진 2개체의 그림만으로는 종의 고유 특징을 확정할 수 없어 독립된 종의 자격을 부여하기 어렵다.

2) 다른 분대 지표 중 *Pterospirifer celloni*는 4개의 요소(Pa, Pb, S, M)로 구성된 복합요소 종으로 제시되었는데, 플랫폼 요소(P2)가 전무하고, 다른 종의 요소일 가능성(Pa, Pb, S), 형태적인 차이(M)로 인해 기구의 신뢰도가 낮다. 따라서 각 요소는 또 다른 기구에 편입되거나 개체요소로 남게 되어 이 종은 실루리아기 종으로서의 지위를 잃게 되었다.

3) 그 밖의 회동리층 화석군 대부분은 오르도비스기 중-후기(다리윌절, D3-샌드비절, Sa2) 종들로 드러났다(예, *Plectodina onychodonta* (prinioidiniform and trichonodelliform elements), *Plectodina* sp. (prinioidiniform element), *Tasmanognathus sisuiensis*, *Plectodina* sp. (dichognathiform element), *Plectodina aculeata*, *Tasmanognathus careyi* 등).

4) Lee, H.Y. (1982)은 회동리층 화석군을 고지리적으로 가까운 중국 대신 거리가 먼 유럽(Carnic Alps)과 북미의 실루리아계에 대비하였다. 중국의 실루리아계는 주로 남중국지대에 분포되어 있으므로, 회동리층 퇴적시기에 남중국지대의 바다와 연결되어 있어야 이론적인 설득력을 갖는데, 이에 대한 설명이 전혀 없다. 고생대 중반의 대결충기 간 중에 태백산분지 내 다른 지역(태백, 영월)과 달리 정선서부에만 실루리아계가 어떻게 분포하는지 합리적인 설명이 필요하다.

Lee, B.S. (2018, 2019, 2020)의 연구

1) 회동리층 하부에 *Aurilobodus serratus*대를, 상부에 *Tasmanognathus sishuiensis-Erismodus asymmetricus*대를 신설하여, 각각 오르도비스기 중기 다리윌절(Darriwilian, D3)과 후기 샌드비절에 대비함으로써 회동리층의 시대를 새롭게 조명하였다. 회동리층 하부에서 태백의 두위봉층과, 상부는 영흥층 최상부와 동일 시대의 코노돈트가 산출되었다.

2) 회동리층이 오르도비스기임을 입증하는 또 다른 결정적인 증거는 *Belodina* sp.의 산출이다. 이는 세계적인 오르도비스기 속이다.

3) 정선석회암 상부 행매층 중부 구간에 대하여도 2개의 다리윌절 생층서대(*Erraticodon tangshanensis*대와 *Eoplacognathus suecicus*대)가 신설되었는데, 전자는 태백의 막골층 상부 *Tangshanodus tangshanensis-Histiodellella holodentata*대에 대비되고, 후자는 직은산층의 *E. suecicus*대에 대비되는 범세계적 생층서대(pandemic biozone)이다.

4) 정선석회암 최상부에서 행매층 중부까지 *E. suecicus*

가 연속적으로 산출되고, 행매층 상부에서 회동리층 하부 구간까지 *A. serratus*가 연속적으로 산출되므로 세 지층 사이에 시간의 불연속(hiatus)은 인정되지 않는다.

5) Lee, B.S. (2018, 2019)의 회동리층 연구 결과에 대해 중국의 많은 층서고생물학자들이 동의하였고, 2019년 북경 지질대학과 2020년 한국지질자원연구원에서 세미나 발표한 바 있다. 회동리층은 한국지질자원연구원 간행 1:100만 지질도에 오르도비스계(Oh)로 표기되어 있다.

감사의 글

이 글의 완성도 제고를 위해 건설적인 조언을 주신 편집 위원장과 두 분의 심사위원께 감사드립니다. 학자의 자제와 코노돈트 연구의 틀을 세워주신 고 이하영 교수님과 발표를 주저할 때 ‘과학적 사실은 바뀔 수 있다. 다른 사람이 아닌 제자에 의해 수정되었다면 하늘나라에 계신 선생님께서 좋아하실 것이다. 개의치 말고 깨끗이 연구에 정진하라.’고 격려해 주신 사모님 김조자 교수님께 감사드립니다. 회동리층 연구 당시 성마령 임도 조사에 동행해준 김남수 박사(연세대학교), 이정현 교수(충남대학교), 김규현 군(충남대학교)에게 감사드립니다. 이 글의 초고를 읽고 건설적인 지적과 의견을 주신 전희영 박사(한국지질자원연구원), 이용일 교수(서울대학교), 김인석 박사(연세대학교), 조석주 교수(고려대학교), 조세현 박사(고려대학교), 박진오 박사(강원대학교), 홍종선 교수(강원대학교), 이정현 교수(충남대학교), 이운수 교수(포항공과대학교), 고영구 교수(전남대학교), 박영숙 박사(전북대학교)에게 감사드립니다. 이 연구는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구사업이다(NRF-2020R1A2C1099624).

REFERENCES

- Aldridge, R.J., 1976, Comparison of macrofossil communities and conodont distribution in the British Silurian. In Barnes, C.R. (ed.): Conodont Paleoecology, 91-104, Geological Association of Canada, Special Paper, 15.
- Aldridge, R.J. and Schönlaub, H.P., 1989, Conodonts. In Bassett, M.G. and Holland, C.H. (eds.). A Global Standard for the Silurian System, 274-279. National Museum of Wales, Cardiff.
- An, T., 1987, The lower Paleozoic conodonts of South China. University of Beijing Press, 238 p (in Chinese with English abstract).
- An, T., 1993, Conodonts and conodont biostratigraphy of the Middle and Upper Ordovician in North China. Ph.D. Thesis, University of Tsukuba, 163 p.
- An, T. and Zheng, Z., 1990, The Conodonts of the Marginal Areas around the Ordos Basin, North China. Science Press, Beijing, 199 p (in Chinese with English abstract).

- An, T., Zhang, F., Xiang, W., Zhang, Y., Xu, W., Zhang, H., Jiang, D., Yang, C., Lin, L., Cui, Z. and Yang, X., 1983, The Conodonts of North China and the Adjacent Regions. Science Press of China, Beijing, 233 p (in Chinese with English abstract).
- Cheong, C.H., Lee, H.Y., Koh, I.S. and Lee, J.D., 1979, A study on stratigraphy and sedimentological environments of the Lower Paleozoic Sequences in South Korea. Journal of the National Academy of Sciences, Republic of Korea, Natural Science Series, 18, 123-159.
- Choi, D.K., 2019, Evolution of the Taebaeksan Basin, Korea: I, early Paleozoic sedimentation in an epeiric sea and break-up of the Sino-Korean Craton from Gondwana. Island Arc, 28, e12275.
- Choi, S.-J., 1980, A study on Biostratigraphy and Micropaleontology of the Hoedongri and Haengmae Formation in Pyeonganri Area, Pyeongchang-Gun, Gangweon-Do. M.S. Thesis, Yonsei University, 65 p (in Korean with English abstract).
- Corradini, C., Henderson, C., JBarrick, J.E. and Ferretti, A., 2024, Conodonts in Biostratigraphy. A 300-million-years long journey through geologic time. Newsletters on Stratigraphy, p. 1-40.
- GICTR (Geological Investigation Corps of Taebaegsan Region), 1962, Atlas of Taebaegsan region and explanation. Geological Society of Korea, 89 p.
- Hisakoshi, S., 1943, Geology of Seizen (Jeongseon) district, Kogendo, Tyosen. Journal of the Geological Society of Japan, 50, 269-277 (in Japanese).
- Idris, M.B., 1984, Local variations in the distribution of Silurian conodonts of the *Distomodus kentuckyensis* Zone of the Oslo Region, Norway. Norsk Geologisk Tidsskrift, 64, 181-191.
- Kobayashi, T., 1966, Stratigraphy of the Chosen Group in Korea and South Manchuria and its relations to the Cambro-Ordovician formations of other areas, Section D, The Ordovician of eastern Asia and other parts of the continent. Journal of Faculty of Science, University of Tokyo, Section 2, 17, 163-316.
- Le Fèvre, J., Barnes, C.R. and Tixier, M., 1976, Paleogeology of Late Ordovician and Early Silurian conodontophorids, Hudson Bay Basin. In Barnes, C.R. (ed.): Conodont Paleogeology, 70-89. Geological Association of Canada, Special Paper, 15.
- Lee, B.S., 2018, Recognition and significance of the *Aurilobodus serratus* conodont Zone (Darriwilian) in lower Paleozoic sequence of the Jeongseon-Pyeongchang area, Korea. Geosciences Journal, 22, 683-696.
- Lee, B.S., 2019, Upper Ordovician (Sandbian) conodonts from the Hoedongri Formation of western Jeongseon. Korea. Geosciences Journal, 23, 695-705.
- Lee, B.S., 2020, Conodonts from the Lower Limestone and Haengmae Formation in western Jeongseon, Korea and their implication for lithostratigraphic correlation. Geosciences Journal, 24, 113-120.
- Lee, B.S., Cho, S.H., Choh, S.-J. and Wang, X., 2022, Confirmation of the Floian-Darriwilian (Lower to Middle Ordovician) hiatus in the Taebaek Group, Korea: integration of conodont biostratigraphy and sedimentology. Geosciences Journal, 26, 649-667.
- Lee, D.C., Choh, S.-J., Lee, D.-J., Ree, J.H., Lee, J.-H. and Lee, S.-B., 2017, Where are thou “the great hiatus?” - review of Late Ordovician to Devonian fossil-bearing strata in the Korean Peninsula and its tectonostratigraphic implications. Geosciences Journal, 21, 913-931.
- Lee, H.Y., 1976, Conodonts from the Maggol and Jeongseon Formation (Ordovician), Kangweon-Do, South Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 12, 151-182.
- Lee, H.Y., 1980, Discovery of Silurian conodont fauna from South Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 16, 114-123.
- Lee, H.Y., 1982, Conodonts from the Hoedongri Formation (Silurian), western Jeongseon area, Kangweon-Do, South Korea. Journal of National Academy of Sciences, Republic of Korea, Natural Science Series, 21, 43-131.
- Lee, H.Y., 1985, Conodont fauna and its biostratigraphy in the Jeongseon area, Kangwondo. Yonsei Nonchong, 21, 181-200.
- Lee, K.W. and Lee, H.Y., 1990, Conodont biostratigraphy of the upper Cheoseon Supergroup in Jangseong-Dongjeom area, Gangweondo. Journal of the Paleontological Society of Korea, 6, 188-210.
- Lee, S.J., 1990, Conodont biostratigraphy and paleontology of the Lower Paleozoic Youngheung Formation in the Yeongweol Area, Kangweondo, Korea. M.S. Thesis, Yonsei University, Seoul, 107 p (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.N. and Lee, H.Y., 1986, Conodont biostratigraphy of the Jigunsan shale and Duwibong limestone in the Nokjeon-Sangdong area, Yeongweol-gun, Kangweondo, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, 2, 114-136.
- Nowlan, G.S., 1983, Early Silurian conodonts of eastern Canada. Fossils and Strata, 15, 95-110.
- Park, C., 2024, Lithological and chronostratigraphic significance of the Haengmae formation at the Ordovician-Silurian transition based on mineralogy and in-situ mineral chemistry. Ph.D Thesis, Yonsei University, Seoul, 203 p., https://dcollection.yonsei.ac.kr/public_resource/pdf/000000554271_20240601094016.pdf.
- Park, C., Song, Y., Kim, N., Choi, S.-J., Chwae, U. and Jang, Y., 2024, A new definition of the Haengmae Formation and its geological significance. Journal of Geological Society of Korea, 60, 181-190 (in Korean with English abstract).
- Rexroad, C.B., 1967, Stratigraphy and conodont paleontology of the Brassfield (Silurian) in the Cincinnati Arch. Geological Survey Bulletin, 36, 72 p.
- Rong, J., Wang, Y., Zhan, R., Fan, J., Huang, B., Tang, P., Li, Y., Zhang, X., Wu, R., Wang, G. and Wei, X., 2019, Silurian integrative stratigraphy and timescale of China. China Earth Sciences, 62, 89-111.
- Son, C.M. and Cheong, J.G., 1977, On the geologic structure of Pyeongchang-Jeongseon area. Journal of the Korean Institute of Mining Geology, 9, 165-176 (in Korean with English abstract).
- Walliser, O.H., 1964, Conodonten des Silurs. Abhandlungen des Hessische Landesamtes für Bodenforschung, 41, 106 p.
- Wang, C.-Y. and Aldridge, R.I., 2010, Silurian conodonts from the Yangtze Platform, South China. The Palaeontological Association London, Special Papers in Palaeontology, 83, 136 p.
- Wang, Z.-H., Bergsröm, S.M., Zhen, Y.Y., Chen, X. and Zhang, Y.D., 2013, On the integration of Ordovician and graptolite bio-

- stratigraphy: New examples from Gansu and Inner Mongolia in China. *Alcheringa*, 37, 510-528.
- Wang, Z., Zhen, Y., Zhang, Y. and Wu, R., 2016, Review of the Ordovician conodont biostratigraphy in the different facies of North China. *Journal of Stratigraphy*, 40, 1-16 (in Chinese with English abstract).
- Woo, N.C., 1984, Conodont fauna and its biostratigraphy of the Paleozoic strata (Hoedongri and Hongjeom formations) in the Bukpyeongri area, Jeongseon-gun, Kangwon-do. Yonsei University, Seoul, 56 p (in Korean with English abstract).
- Yu, S., Fang, X., Munnecke, A., Li, W., Zhen, Y., Li, Y., Wang, Z. and Zhen, Y., 2019, First documentation of Middle Ordovician warm-water carbonates in the Mount Jolmo Lungma (Mount Everest) area, southern Xizang (Tibet), China, and its paleogeographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 530, 136-151.
- Zhang, S., 2013, Ordovician conodont biostratigraphy and re-definition of the age of lithostratigraphic units on northeastern Melville Peninsula, Nunavut. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 50, 808-825.
- Zhang, S. and Barnes, C.R., 2002, A new Llandovery conodont biozonation and conodonts from the Becscie, Merrimack, and Gun River Formations, Anticosti Island, Quebec. *Journal of Paleontology*, 57, 1-46.
- Zhen, Y.Y., Burrett, C.F., Percival, I.G. and Lin, B.Y., 2010, A Late Ordovician conodont fauna from the Lower Limestone Member of the Benjamin Limestone in central Tasmania, and revision of *Tasmanognathus careyi* Burrett, 1979. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*, 131, 43-72.
- Zhen, Y., Wang, Z., Zhang, Y., Bergström, S.M., Percival, I.G. and Cheng, J., 2011, Middle to Late Ordovician (Darriwilian-Sandbian) conodonts from the Dawangou section, Kalpin area of the Tarim Basin, north-western China. *Records of the Australian Museum*, 63, 203-266.