



Reply

박채원 외(2024, *지질학회지*, 60, 181-190)“행매층에 대한 새로운 정의와 이의 지질학적 중요성”의 비평에 대한 답변

송윤구

연세대학교

Reply to Comments on “A new definition of the Haengmae Formation and its geological significance” by Park *et al.* (2024, *Journal of the Geological Society of Korea*, 60, 181-190)

Yungoo Song

Department of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul 03722, Republic of Korea

Received: August 19, 2024

*Corresponding author: +82-2-2123-2671 / E-mail: yugoo@yonsei.ac.kr

요약: Park *et al.* (2024) 논평에 대한 Cho (2024)의 비평은 ‘카세이시아 터레인 (Cathaysia terrane)’을 잘못 이해해서 왜곡된 기술을 하고 있다. 논평 어디에도 ‘카세이시아 터레인’을 남중국 블록으로 기술하지도 않았으며, 행매층을 남중국 기원이라고도 기술한 바 없음을 분명히 밝힌다. Cho (2024)는 행매층과 회동리층에 대한 동일한 코노돈트 생층서 연구 중 뚜렷한 근거 없이 Lee (2018, 2019, 2020)의 결과만을 선택적으로 인정하여 회동리층을 실루리아기 지층으로 처음 보고한 Lee (1980, 1982)의 결과를 부정한다. 그러나 두 연구자가 회동리층으로 판단한 지층에서 분류한 코노돈트 화석군의 종이 거의 중복되지 않아 동일시기의 지층을 대상으로 한 결과로 볼 수 없으며, Lee (1980, 1982)의 결과를 부정할 근거가 될 수 없다. 정선석회암층과 부정합 관계임이 밝혀진 쇄설성암인 행매층에서 Lee (2018, 2020)에 의해 기재된 오르도비스기 다리월절 코노돈트 화석군과, Cho (2024)가 남 손실 문제를 고려하여 수정 제시한 U-Pb 연대 (464.9 ± 5.4 Ma; $n=13$)를 갖는 저어콘은 모두 이차 유입된 쇄설성 기원이며, 이는 행매층의 형성시기가 최후기 오르도비스기 이후였을 가능성을 강력히 지시하는 확실한 증거이다. 따라서 행매층의 새로운 암층서적 및 시층서적 정의를 통해 회동리층이 실루리아기 지층임을 재확인한 Park *et al.* (2024) 논평은 유효하며, 이에 대한 Cho (2024)의 비평은 충분히 소명된다.

주요어: 행매층, 회동리층, 코노돈트 생층서, 저어콘 U-Pb 연대, 실루리아기

ABSTRACT: Cho (2024)'s comments on the review by Park *et al.* (2024) are distorted descriptions based on a misunderstanding of the ‘Cathaysia terrane’ as the South China block. It should be made clear that nowhere in this review is the ‘Cathaysia terrane’ described as the South China block, nor is the Haengmae Formation described as having a South Chinese origin. Cho (2024) selectively accepted only the results of Lee (2018, 2019, 2020) among the same conodont biostratigraphic studies on the Haengmae and Hoedongri Formations without clear evidence, thereby denying the results of Lee (1980, 1982), who first reported the Hoedongri Formation as a Silurian layer. However, the species of conodont fossils classified from the strata that the two researchers judged to be the Hoedongri Formation hardly overlap, so it cannot be considered that the results targeted the same strata, nor can serve as a basis for denying the results of Lee (1980, 1982). In the Haengmae Formation, a clastic rock that has been found to be unconformable with the Jeongseon Limestone Formation, the Ordovician Darriwilian conodont fossils described by Lee (2018, 2020) and the zircon with a U-Pb age (464.9 ± 5.4 Ma; $n=13$) revised by Cho (2024) considering the Pb loss problem are all of secondary clastic origin, which strongly indicates that the formation period of the Haengmae Formation was after the Latest Ordovician. Therefore, the review of Park *et al.* (2024), who reconfirmed that the Hoedongri Formation is a Silurian layer through a new litho-stratigraphic and chrono-stratigraphic definition of the Haengmae Formation, is valid, and the critique of Cho (2024) on this is sufficiently explained.

Key words: Haengmae Formation, Hoedongri Formation, Conodont biostratigraphy, Zircon U-Pb age, Silurian

1. 서 언

최근 지질학회지 60권 2호에 게재된 Park *et al.* (2024)의 행매층 관련 논평에 대해 Cho (2024)의 반박 의견을 기술한 비평 논문이 본 학회지에 게재되었다. 그 반박 의견에는 Park *et al.* (2024)의 논평 내용을 충분히 이해하지 않았다고 생각되는 부분이 있고, 태백산분지 내 실루리아기 지층의 존재를 부정하는 시각에서 판단하는 비판 내용에 논리성이 부족한 점이 있었으며, 또한 논평의 원문 내용을 틀리게 기술하여 내용이 왜곡된 부분이 확인되었다. 이에 대해 좀 더 논리적인 부연 설명과 재반론을 통해 Park *et al.* (2024) 논평의 핵심내용을 정확히 전달하고, 잘못 작성된 부분에 대해서는 무엇이 잘못되었는지를 지적하여 이를 바로 잡고자 답변 의견을 게재한다.

2. Cho (2024)의 비평 시각의 문제점

이 논평에 대한 Cho (2024) 비평 서두에서 Lee (1980, 1982)가 코노돈트 화석군 생층서 연구를 통해 용탄층군 회동리층이 실루리아기 지층임을 지질학회지에 처음으로 보고한 연구는 인정하지 않고, 실루리아기 지층의 존재 여부를 국내 지질학계의 미해결 과제인 것으로 취급하다가, 동일한 코노돈트 생층서 연구를 통해 회동리층이 오르도비스기 지층이라는 Lee (2018, 2019)의 연구만을 뚜렷한 과학적 근거 제시 없이 인정하여, 이미 결론이 난 문제를 Park *et al.* (2023, 2024)가 다른 의견을 제시하여 지질학계에 혼란을 일으키고 있다고 비평의 의도를 언급하였다. 이는 Cho (2024)의 비평이 북중국에 대비되는 태백산분지 내에는 실루리아기 지층이 존재하지 않는다는 특정 시각에서 기술되었음을 단적으로 보여준다. 그 이유는 다음과 같다.

(1) 회동리층을 대상으로 한 Lee (1980, 1982)와 Lee (2018, 2019)의 코노돈트 생층서 연구 결과를 상세히 살펴보면, 두 연구자가 분류한 코노돈트 화석군 중에서 중복되는 종이 거의 없음을 확인할 수 있다. 이는 두 연구자가 생층서적 환경이 다른 지층을 대상으로 연구했음을 지시한다. 용탄층군 분포 지역은 현재까지도 1:50,000 지질도에 정선석회암층으로만 기재되어 있어, 행매층과 회동리층 분포가 불분명하므로, 각 연구자의 시료채취 대상층의 불확실성이 존재한다. 즉, 두 연구자의 코노돈트 생층서 결과는 모두 존중되어야 하며, 다만, 두 연구자의 생층서 연대 차이는 그 대상층이 달랐고, 이에 따른 화석군의 차이에 기인했다고 보는 것이 합리적인 판단일 것이다. 따라서 Lee (2018, 2019)의 결과는 실루리아기 지층의 존재를 제시한 Lee (1980, 1982)의 결과를 부정하는 근거가 될 수 없다.

(2) 회동리층이 실루리아기 지층이라는 Lee (1980, 1982)의 해석을 부정하기 위해서는 실루리아기로 해석된 코노-

트 화석군 분류의 오류를 체계적으로 입증해야 한다. 이는 Lee (1980, 1982)에 제시된 코노돈트 개체별 사진에 나타난 형태 특성 분석을 통해 분류의 오류 여부를 확인할 수 있을 것이다. 그러나 Lee (2018, 2019)는 그 구체적인 근거를 제시하지 못하고, Lee (1982)가 제시한 코노돈트 복합형 16속 43종 가운데 일부인 실루리아기 17종이 ‘실질적으로 (actually) 오르도비스기 중이며, 따라서 회동리층이 오르도비스기 층’이라고 이의를 제기한 An and Zheng (1990)의 내용만을 인용하였다. 그렇다면, 나머지 코노돈트 26종은 실루리아기임을 부정할 뚜렷한 근거가 없다는 의미도 된다. 즉, An and Zheng (1990)의 의견은 회동리층이 실루리아기 지층임을 밝힌 Lee (1980, 1982)의 결과를 부정할 근거가 되지 않는다.

위의 이유로, Lee (1980, 1982)의 코노돈트 생층서 결과로 정의된 실루리아기 회동리층의 존재는 인정하는 것이 논리적으로 타당하다. 그럼에도 불구하고, 근거가 부족한 특정 연구자의 결과만을 인정하여 실루리아기 지층이 존재하지 않는다는 관점에서 작성한 Cho (2024)의 비평은 그 타당성이 부족함을 강조하고 싶다.

3. Cho (2024) 비평에 잘못 서술된 내용 수정

Cho (2024)의 비평은 Park *et al.* (2024) 논평이 남중국의 ‘카세이시아 터레인 (Cathaysia terrane)’으로부터 기원한 쇄설성 퇴적암이라 추론했다고 서술했다. 그러나 이는 잘못된 내용이다. Park *et al.* (2023, 2024) 논문 어디에도 ‘카세이시아 터레인(Cathaysia terrane)’을 남중국 블록으로 언급한 바가 없다. ‘카세이시아 터레인(Cathaysia terrane)’은 남중국 블록이 아닌, 북중국 블록과 남중국 블록이 분리되기 이전의 블록에 대해 쓰여진 용어이다 (Scotese, 2018, 2021). 논평에는 행매층에 대한 Park *et al.* (2023)의 연구가 태백산분지가 속한 북중국 블록에도 실루리아기 지층이 형성될 수 있었음을 보여주는 증거라고 그 지질학적 의미를 분명히 언급하였다. Cho (2024)의 비평 서두에 이렇게 논평의 기술 내용을 원문과 다르게 전달하면서 그 내용을 비판하는 것은 독자들에게 Park *et al.* (2024) 논평을 부정적으로 보게 하는 매우 심각한 왜곡이며, 반드시 정정되어야 할 것이다.

4. 행매층 코노돈트 생층서 관련 비평에 대한 반론

Cho (2024)는 비평에서 『(중략) 행매층이 OST 시기의 퇴적물이라면, Lee (2018, 2020)이 행매층과 정선석회암을 대상으로 자세히 기재한 다리윌절 (469.4-458.2 Ma; Gradstein and Ogg, 2020) 코노돈트 화석군의 산출과 완전히 배치되기 때문이다.』라고 주장하였다.

그러나 Cho (2024)는 중요한 점을 간과하고 있다. Kim *et al.* (2020)과 Park *et al.* (2023)은 다년간 정밀지질조사를 수행하여 행매층이 하부 정선석회암층과 큰 시간적 간극을 갖는 부정합 관계의 쇄설성암층이라는 점을 부정할 수 없게 하는 지질학적 증거들을 다수 제시하였다. 이는 행매층에서 Lee (2018, 2020)에 의해 기재된 오르도비스기 다리월절 코노돈트 화석군 또한 이차 유입된 쇄설성 기원임을 분명히 지시한다. 이전 연구도 행매층 코노돈트 화석군이 이차 유입된 특성을 갖는다고 보고한 바 있다(Choi, 1980; Lee, 1982). 따라서 정선석회암층과 매우 큰 시간적 차이를 갖는 부정합 관계인 행매층의 형성시기는 다리월절과는 상당한 시차를 갖는 오르도비스기 최후기, 또는 그 이후임을 합리적으로 유추할 수 있다. Cho (2024)의 『(중략) 수백 미터 이상 정교하게 쌓였을 뿐만 아니라 하부층인 정선석회암으로부터 행매층-회동리층까지 상위층준으로 갈수록 체계적으로 변화하는 코노돈트 화석군을 설명하기 어렵다.』라는 주장은 매우 주관적인 판단이다.

결론적으로 Lee (2018, 2020)의 코노돈트 생층서 연구에서 결정한 정선석회암층과 행매층의 코노돈트 화석군을 다리월절로 분류한 결과는 유효하며, Park *et al.* (2023, 2024) 해석과 배치되지 않고, 오히려 이를 강력히 뒷받침해 주는 증거이다.

5. 저어콘 U-Pb 연대의 Pb 손실 문제에 대한 반론

행매층 내 쇄설성 저어콘 대상의 U-Pb 연대측정 결과가 Pb 손실에 의한 왜곡된 연대일 수 있다는 자료의 신뢰성 문제는 Cho (2024)의 비평 의견대로 납 손실에 의해 달라질 수 있는 저어콘이 충분히 있을 수 있다. 특히 쇄설성암인 행매층의 저어콘 연대 범위는 얼마든지 다양한 범위로 나올 수 있고, Park *et al.* (2023)에서 제시된 바와 같이 실루리아기에 근접한 젊은 연대까지 나오는 것이 이를 증명한다. Cho (2024)가 비평에서 『(중략) 좀 더 오래된 U-Pb 값들 (Table S5-2; Park *et al.*, 2023)을 사용해 임의로 계산한 연대(464.9±5.4 Ma; n=13)가 오히려 더 참값에 가까울 수 있다.』라고 제시한 연대자료에 동의한다. 이 연대자료는 Lee (2018, 2020)의 행매층 코노돈트 생층서 연대로 제시한 다리월절에 해당한다. 또한 행매층의 MDA는 470~450 Ma의 중-후기 오르도비스기라는 Kim *et al.* (2020)의 의견에 Cho (2024)도 동의하였다. 이러한 저어콘 연대측정 결과들은, 앞서 언급한 바와 같이 행매층이 하부 정선석회암층과 부정합 관계인 쇄설성암층임을 고려한다면, 행매층 형성시기가 최후기 오르도비스기 이후일 것이라는 합리적 해석을 강력히 지시해 주는 또 하나의 뚜렷한 증거이다.

더불어 Jang (2018)의 저어콘 U-Pb 연대측정 자료는

Concordia line에 충분한 개체 수(n=18)가 도시되고 있어 납 손실을 의심할 근거가 없고, 이로부터 결정된 449.5±1.5 Ma 연대를 고려한다면 행매층이 이 시기 이후에 형성되었음을 주장한 Park *et al.* (2023, 2024)의 의견은 매우 합리적이다.

정리하면, Cho (2024)의 비평에서 제기한 저어콘 U-Pb 연대자료는 납 손실에 따른 왜곡된 연대일 가능성이 높다는 Cho (2024)의 의견에 동의하지만, 행매층이 정선석회암층과 부정합관계임(Park *et al.*, 2023)이 확인되었기에 Cho (2024)가 제시한 저어콘 재계산 연대(464.9±5.4 Ma; n=13)는 오히려 행매층이 최후기 오르도비스기 이후에 형성된 OST 쇄설성암층임이며, 따라서 그 상부 회동리층이 실루리아기 지층이라는 Park *et al.* (2023, 2024)의 의견이 타당함을 뒷받침한다.

6. 태백산분지 형성에 대한 Park *et al.* (2024) 논평의 견해

전기고생대 태백산분지의 형성에 대해서 국내에서는 북중국과 남중국의 두 블록이 이미 분리된 것으로 보는 시각이 우세하였지만, Scotese (2018, 2021)는 두 블록이 아직 분리되지 않은 고지리 복원모델을 제시하였다. 분명한 점은 Park *et al.* (2024) 논평은 분리 여부를 판단한 바 없으며, 태백산분지는 북중국 블록에 대비되는 것을 부정하지도 않았다. 다만, 분리 여부와 관계없이 북중국 블록에 해당하는 태백산분지 내에 실루리아기 회동리층의 형성이 Park *et al.* (2023)에 의해 재확인되었기 때문에 북중국 블록 전체가 오르도비스기 이후 퇴적암층의 형성이 이루어지지 않았다는 기존의 전제는 논리적 근거가 부족하다는 점을 Park *et al.* (2024)의 논평에서 분명히 밝혔다. 따라서 이 논평은 캄브리아기-오르도비스기에 국한되었던 태백산분지의 정선형 조선누층군 탄산염암층 형성과정을 실루리아기까지 확대한 모델의 재설정이 요구된다는 점과 더 나아가 태백산분지 전체의 형성 모델을 새롭게 제안된 모델에 기반하여 분지 진화과정을 해석하는 지속적 연구가 필요하다는 점을 강조하였다.

7. 맺음말

결론적으로, Cho (2024)의 비평에서 제기한 문제점들에 대해 저자는 본 답변 논문을 통해 충분히 설명하였다. Park *et al.* (2024)의 논평을 잘못 이해한 부분을 지적하고 정확한 내용으로 바로잡았으며, 코노돈트 생층서 결과의 불일치 논란에 대해서도 상세히 설명하였다. 또한 행매층의 쇄설성 저어콘 U-Pb 연대자료에서 제기된 Pb 손실에 의한 분

석값의 왜곡 문제는 Cho (2024)의 의견이 합리적임을 인정 하였지만, 수정 제시된 연대는 행매층의 형성시기가 최후 기 오르도비스기 이후임을 지지하고 있어, Park *et al.* (2023, 2024)의 결과를 뒷받침하는 또 하나의 증거가 된다는 점을 충분히 소명하였다.

따라서 Lee (1980)에 의해 처음으로 확인된 실루리아기 회동리층의 존재를 행매층의 암층서적 및 시층서적 정의를 통해 재확인한 Park *et al.* (2023, 2024)의 결과는 충분히 존중되어야 하며, 태백산분지 진화연구의 새로운 자료로 활용되기를 바란다.

감사의 글

행매층의 지질학적 중요성의 인지하고 좋은 의견을 제시해 주셔서 다시 한번 진지하게 고민하는 시간을 갖게 해주신 조문섭 교수님께 감사드립니다. 비평 논문에 대해 반론의 기회를 주신 지질학회 편집위원회에도 감사의 마음을 전합니다.

REFERENCES

- An, T.X. and Zheng, Z.C., 1990, The Conodonts of the Marginal Areas around the Ordos Basin, North China. Science Press, Beijing, 199 p (in Chinese with English abstract).
- Cho, M., 2024, Comments on “A new definition of the Haengmae Formation and its geological significance” by Park *et al.* (2024, Journal of the Geological Society of Korea, 60, 181-190). Journal of the Geological Society of Korea, 60, 337-340, <http://dx.doi.org/10.14770/jgsk.2024.018> (in Korean with English abstract) (in press).
- Choi, S.-J., 1980, A study on biostratigraphy and micropaleontology of the Hoedongri and Haengmae formations in Pyeonganri Area, Pyeongchang-Gun, Gangweon-Do. M.S. Thesis, Yonsei University, Seoul, 65 p (in Korean with English abstract).
- Gradstein, F.M. and Ogg, J.G., 2020, Chapter 2 - The Chronostratigraphic Scale. In: Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D. and Ogg, G.M. (eds.) Geologic Time Scale 2020. Elsevier, 1, 21-32.
- Jang, Y., 2018, Structural style of the Phanerozoic polyphase orogenic belt in the western Taebaeksan Zone, Okcheon Belt, Korea: Insights from multidisciplinary analyses. Ph.D. Thesis, Yonsei University, Seoul, 220 p, https://dcollection.yonsei.ac.kr/public_resource/pdf/000000514860_20240605113701.pdf.
- Kim, N., Choi, S.-J., Song, Y., Park, C., Chwae, U. and Yi, K., 2020, Distribution and Stratigraphical Significance of the Haengmae Formation in Pyeongchang and Jeongseon areas, South Korea. Economic and Environmental Geology, 53, 383-395, <https://doi.org/10.9719/EEG.2020.53.4.383> (in Korean with English abstract).
- 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, <https://doi.org/10.1007/s12303-018-0032-1>.
- Lee, B.S., 2019, Upper Ordovician (Sandbian) conodonts from the Hoedongri Formation of western Jeongseon. Korea. Geosciences Journal, 23, 695-705, <https://doi.org/10.1007/s12303-019-0009-8>.
- 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, <https://doi.org/10.1007/s12303-019-0034-7>.
- 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.
- 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 the Geological Society of Korea, 60, 181-190, <https://dx.doi.org/10.14770/jgsk.2024.012> (in Korean with English abstract).
- Park, C., Song, Y., Kim, N., Choi, S.-J., Chwae, U., Jang, Y., Kwon, S., Kim, J., Kim, H. and Jeong, Y.-J., 2023, In-situ $\delta^{18}\text{O}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ proxies in an unconformable clastic unit at the Ordovician-Silurian transition. Scientific Reports, 13, 15174, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42200-3>.
- Scotese, C.R., 2018, Plate tectonic evolution during the last 1.5 billion years: the movie. Paper presented at the Geological Society of America Annual Meeting, Indianapolis, November 5, No. 93-1, <https://doi.org/10.1130/abs/2018AM-320136>.
- Scotese, C.R., 2021, An atlas of Phanerozoic paleogeographic maps: The seas come in and the seas go out. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 49, 679-728, <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-081320-064052>.