

보령 지역의 후기 트라이아스기 아미산층에서 산출된 화석 강도래 (Plecoptera) 유충의 분류와 생태학적 의미

남 기 수*

대전과학고등학교, 34142, 대전 유성구 과학로 46 (구성동 19-2)

Taxonomy and Ecological Implications of Stonefly (Order: Plecoptera) Nymphs from the Late Triassic Amisan Formation in the Boryeong region, Korea

Kye Soo Nam*

Daejeon Science Highschool for the Gifted, Daejeon 34142, Korea

Abstract: A large number of stonefly nymph fossils were discovered from the Late Triassic Amisan Formation in the Boryeong region, Korea. These Plecoptera were classified as Platyperlidae, Baleyopterygidae, and Siberioperlidae based on their external morphologies. The Baleyopterygidae were most abundant among the fossils. This suggests that the plecopteran has already been widely distributed in the Northeast Asian region including Russia, Mongolia and China during the Mesozoic. The fossils of these stoneflies imply that benthic habitats of flowing and fresh waters may have existed, given the fact that they are similar with the biology of extant species. These Plecoptera were found together with Ephemeroptera and Conchostraca and thus, they were presumed to be preying on these insects.

Keywords: Plecoptera, Amisan Formation, Late Triassic, Fossil Insect, Boryeong

요 약: 최근 보령 지역의 후기 트라이아스기 아미산층에서 다량의 화석 강도래 유충이 발견되었다. 이들의 유충은 그 형태적 특징에 의해 Platyperlidae과, Baleyopterygidae과, Siberioperlidae과 등으로 분류되었다. 이 중 양적으로 가장 많이 발견되는 종류는 Baleyopterygidae과의 화석 강도래이다. 이러한 사실은 강도래가 러시아, 몽골 및 중국을 비롯한 동북아시아 지역까지 이미 중생대부터 넓게 분포했음을 의미한다. 현생 강도래는 대부분 유수성이며 맑은 물에 서식하기 때문에 화석 강도래가 발견되는 보령 지역도 유사한 환경이었을 것으로 추정된다. 또한 강도래와 함께 발견되는 화석들로 미루어 볼 때 당시의 강도래는 하루살이나 패각류 등을 먹고 살았던 것으로 추정된다.

주요어: 강도래, 아미산층, 후기 트라이아스기, 곤충 화석, 보령

서 론

최근 충청남도 보령 지역에 분포하는 남포층군의 아미산층에서 여러 종류의 화석 강도래목 유충이 다

량 발견되었다. 현생 강도래목은 현생종과 화석종 모두를 포함한다. 이들은 모두 날개를 접을 수 있는 신시류에 속하고 불완전변태를 하는 특징을 갖는다. 현생 강도래목은 2개의 아목, 16개 과로 구성되며 전 세계적으로 약 3,500 종이 알려져 있다(Triplehorn and Johnson, 2005; Ren et al., 2010). 한편, 화석 강도래는 Nemourina와 Perlina의 두 아목으로 구성되며 총 19개 과 240여 종이 고생대층에서 신생대층에 이르기까지 세계 각지에서 보고되었다(Sinitshenkova, 1987; Grimaldi and Engel, 2005; Ren et al., 2010). 화석 강도래 중 가장 오래된 화석종은 우랄 지역의 전기 페름기 지층에서 보고되었으며(Sinitshenkova,

*Corresponding author: nks33@hanmail.net

Tel: +82-42-860-0263

Fax: +82-42-863-5488

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2007) 극지방을 제외한 거의 모든 대륙에서 발견되고 주로 러시아, 중앙아시아, 몽골 및 중국에 집중적으로 분포한다(Sinitshenkova, 1987, 2007; Carpenter, 1992; Grimaldi and Engel, 2005; Ren et al., 2010).

강도래 유충은 대부분 물에 사는 수서곤충이며 일부 종의 경우 습한 물가의 육상에 서식하는 경우도 있다. 날개가 있는 성충의 경우 다른 곤충에 비해 비행능력이 떨어져 주로 물가에 서식한다(Grimaldi and Engel, 2005; Won et al., 2005). 강도래 유충이 서식하는 호수나 강 등의 담수에서는 물고기, 수생 식물, 조류 등 다양한 생물이 함께 서식하면서 수생 생태계를 구성한다. 수생 생태계에서의 수서곤충은 하루살이, 잠자리, 강도래, 노린재, 날도래, 딱정벌레 등이 다(Yoon, 1995; Gullan and Cranston, 2003; Won et al., 2005). 보령에서 산출되는 화석 수서곤충의 종류는 하루살이, 잠자리, 강도래 등의 유충이 대부분이며 이 중 가장 많은 수를 차지하는 것이 강도래이다(Nam, 2015).

화석 강도래 유충이 산출되는 보령지역의 아미산층에서는 주로 화석 식물이 산출되지만(Kim, 1976; Kimura and Kim, 1984; Chun et al., 1988; Kim et al., 2002) 패갑류, 이매패, 어류 및 곤충 등의 화석도 함께 발견되고 있다(Hwang and Hwang, 1986; Nam and Kim, 2014; Kim and Lee, 2015; Kim et al., 2015; Nam et al., 2017).

곤충의 분류에서 가장 중요한 것은 날개의 형태와 시맥의 특징이지만, 아미산층에서 발견된 화석 강도래는 대부분 날개가 없는 작은 유충이다. 이들은 흑색 세일에 인상의 형태로 보존되었기 때문에 세밀히 관찰해야만 형태를 알아볼 수 있다. 유충을 날개의 특징에 근거한 분류체계에 적용시킬 경우 오동정의 가능성이 높다. 그러나 유충과 성충이 같이 산출되었을 경우는 적용이 가능하다. 한편 강도래목의 곤충은 종이 달라도 날개를 제외한 유충과 성충은 형태가 서로 비슷하기 때문에 구별하기 어렵지만 유충에 뚜렷한 특징이 있는 경우는 성충의 분류 체계에 적용시킬 수도 있다(Sinitshenkova, 1985, 1987; Gullan and Cranston, 2003).

보령 지역의 남포층군에서 화석 강도래 유충은 Hwang and Hwang (1986)에 의해 처음 보고되었다. 그 후 Pyo and Yang (1995)에 의해 화석 강도래의 날개와 유충이 추가적으로 발견되었다. 그러나 이들 화석은 화석 곤충에 대한 전문가의 부재로 체계적인

연구가 이루어지지 못했다. 최근에 Nam (2015)은 143개의 화석 강도래 유충에 대해 *Platyperla*속을 포함한 2속 3종으로 분류했지만 일부 오류가 있어 본 연구에서 재분류를 했다.

따라서 본 연구는 보령 지역에서 채집한 화석 강도래 유충의 형태적 특징에 의해 과 또는 속 수준까지 분류하고 이들이 서식했던 고생대 환경을 해석하는 데 그 목적이 있다.

아미산층의 지질 개요와 시대

보령 지역에 분포하는 중생대의 퇴적암은 Shimamura (1931)에 의해 처음 지질조사가 실시되었다. 그는 이 퇴적암을 6개 층으로 구분하고 남포층군이라 명명하였다. 그 후 국내 여러 학자들에 의한 층서학적인 연구가 이루어졌다. 그러나 층명과 층의 경계는 연구자마다 조금씩 서로 다르다(Son et al., 1967; Lee et al., 1974; Suh et al., 1980). 본 연구에서는 남포층군을 하부로부터 하조층, 아미산층, 조계리층, 백운사층, 성주리층의 5개 층으로 세분한 Suh et al. (1980)의 층서구분을 따랐다(Fig. 1). Suh et al. (1980)에 의하면, 아미산층은 암상의 특징에 의해 하부로부터 하부 사암대, 하부 세일대, 중부 사암대, 중부 세일대, 상부 사암대 등으로 세분된다. 아미산층에서는 주로 사암과 세일이 호층을 이루며 수 매의 탄층을 협재한다. 화석 강도래 유충은 아미산층의 중부 세일대에서 산출되었다. 중부 세일대는 하부로부터 하부 선상지, 중부 선상지 및 상부 선상지의 퇴적상 조합으로 구성되며 이런 호저 선상지는 하천에서 유래된 저밀도 저탁류와 경사면의 퇴적물 붕괴에 의해 형성된 고밀도 저탁류에 의해 형성된 것으로 해석한다(Choi, 1988).

남포층군에서는 화석 식물을 비롯하여 이매패, 곤충, 패갑류를 비롯한 다양한 종류의 동물화석이 산출되지만 이들 화석을 이용해 정확한 지질시대를 추정하는 데는 한계가 있다. 남포층군 식물군은 중국 남부의 후기 트라이아스기에 존재한 *Dictyophyllum-Clathropteris* 식물지리구에 속하는 대표적인 화석 식물을 많이 포함한다(Kimura and Kim, 1984, 1988, 1989; Chun et al., 1988; Kim, 2001). 그리고 절지동물에 속하는 화석 패갑류도 아미산층에서 풍부하게 산출되고 있는데 그중에서 *Cyclestherioides rampoensis* (Kobayashi), *Euestheria kawasaki* (Ozawa and

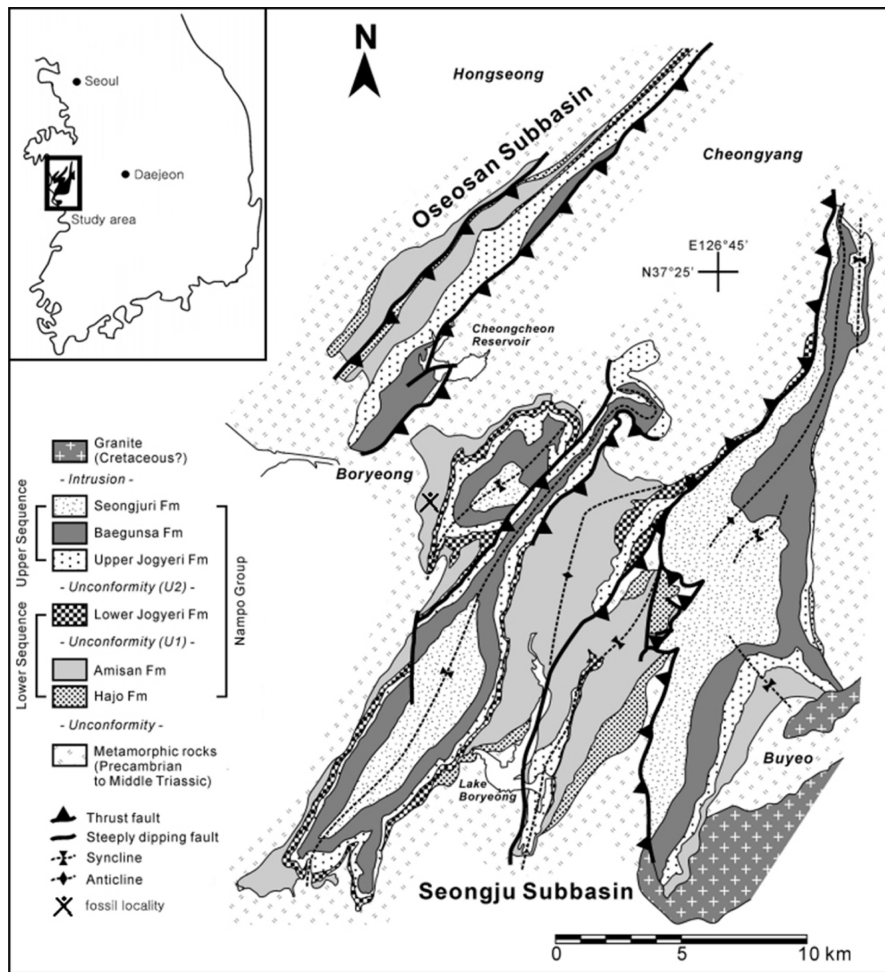


Fig. 1. Geological map of the study area (Egawa and Lee, 2009) and fossil locality.

Watanabe), *E. shimmmurai* (Kobayashi) 등은 동아시아에서 후기 트라이아스기의 지층에서 보고된 종들이다(Kobayashi, 1951, 1975; Zhang et al., 1976). 따라서 패갑류와 화석 식물에 의하면 남포층군의 지질 시대는 후기 트라이아스기일 가능성이 높다(Kobayashi, 1951, 1975; Kim and Lee, 2015). 한편, 고지자기 연구에서는 남포층군의 시대가 전기 트라이아스기에서 전기 쥐라기까지 나타난다(Min et al., 1992; Kim and Kim, 1998). 남포층군의 퇴적시기에 대한 절대연대 측정은 몇 차례 이루어졌지만 응회암층과 같이 직접적인 퇴적시기를 알 수 있는 연대측정은 수행되지 않았다. 아미산층의 퇴적 후 열변성에 의해 새로이 형성된 점토광물(Illite)에 대한 K-Ar 연대측정 결과가 157~140 Ma이기 때문에 아미산층의 퇴적 연대는 그 이전으로 해석할 수 있다(Egawa and Lee,

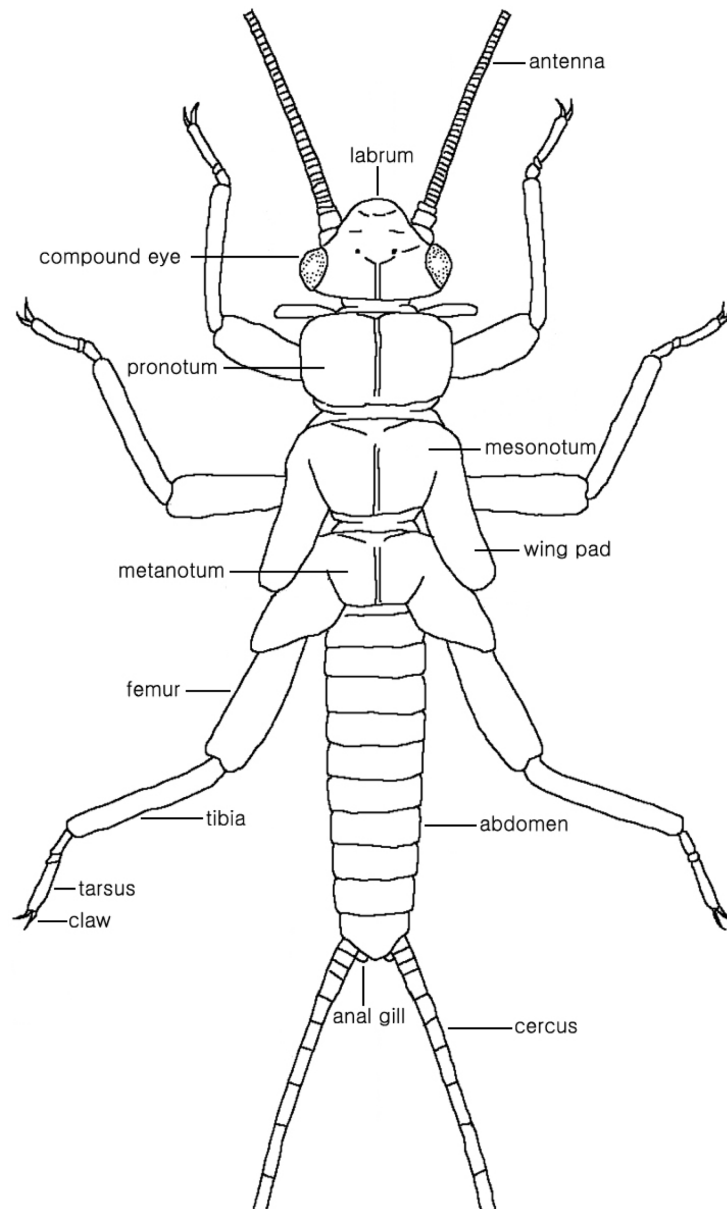
2011). 또한 남포층군의 상부에 해당하는 응회암층에서 저어콘의 SHRIMP U-Pb 절대연령은 172.2 ± 1.9 Ma로 나타났다(Koh, 2006). 남포층군의 퇴적 이전 시기를 지시하는 사암에서 측정한 최소 퇴적연령은 221 ± 7 Ma이다(Jeon et al., 2007). 이처럼 연구자마다 절대연대 측정값이 다를 뿐만 아니라 화석에 의한 고생물학적 연대, 고지자기에 의한 연대와도 상당한 차이가 있다. 본 연구에서는 상기한 화석 식물과 패갑류의 연구 결과를 토대로 아미산층의 시대를 후기 트라이아스기로 간주하였다.

재료 및 연구 방법

본 연구는 보령 지역에서 산출되는 다양한 화석 곤충 중 강도래 유충을 중심으로 연구를 진행하였다.

Table 1. Materials of Plecoptera in Boryeong area

Family	Reg. number	Main locality	Number	Percentage
Siberioperlidae	KNU-2009061~KNU-2009080	Dongdae-dong	20	27.4
Platyperlidae	KNU-2009081~KNU-2009095	Dongdae-dong	15	20.5
Baleopterygidae	KNU-2009096~KNU-2009123	Myungcheon-dong	38	52.1

**Fig. 2.** External morphology of Plecopteran nymph (modified after DeWalt et al., 2015).

화석 강도래 유충이 발견된 곳은 아미산층의 중부 세일대가 분포하는 명천동(128°37'33"E, 36°20'20"N)과 동대동 지역(128°37'49"E, 36°21'03"N)이다. 중부

세일대에는 얇게 쪼개지는 흑색 세일이 발달되어 있다. 강도래 유충은 흑색 세일에서 인상 화석으로 발견되며 동일 층리면에서 여러 개체가 함께 발견되는

경우도 있다.

선명한 화석 사진을 찍기 위해 표본의 표면에 물을 약간 묻힌 후 접사렌즈를 이용해 촬영하였다. 유충은 외형과 머리, 가슴, 배 등의 세부 구조, 형태 및 크기를 측정한 후 이들의 특징에 근거하여 분류하였다. 유충의 형태에 관한 기술은 DeWalt et al. (2015)의 방법을 따랐다(Fig. 2). 본 연구에 사용된 표본은 대전과학고등학교 표본실에 보관되어 있다.

분류 및 기재

Class Insecta Linnaeus, 1758

Order Perlida Latreille, 1810

Family Siberioperlidae Sinitshenkova, 1983

Genus indet.

Fig. 3a (KNU-2009061), 3b (KNU-2009062).

기재: 더듬이 길이는 평균 10.9 mm, 꼬리 길이는 평균 7.3 mm, 더듬이와 꼬리를 제외한 몸통의 길이는 평균 16.3 mm이다. 더듬이와 꼬리의 길이가 몸에 비해 상대적으로 짧다. 윗입술이 발달되어 있으며 머리는 폭(1.4 mm)에 비해 길이(0.9 mm)가 짧다. 앞가슴의 길이는 1.4 mm, 폭은 2.0 mm, 가운데가슴의 길이는 1.3 mm, 폭은 1.7 mm로 앞가슴이 직사각형 모양으로 발달되어 있다. 가운데가슴과 뒷가슴에는 날개주머니가 한 쌍씩 존재한다. 등가운데선이 뚜렷하며 가슴마디는 표면이 매끄럽지 않고 가두리 홈이 발달되어 있다. 넓적다리마디는 1.4~1.7 mm이고 종아리마디는 1.4~2.0 mm로 몸에 비해 짧은 편이다. 배마디의 길이는 0.8 mm, 폭은 2.3 mm로 다른 과에 비해 배마디의 폭에 대한 길이의 비율이 작다. 항문아가미는 존재하지 않는다.

비교: 이 과는 쥐라기 중기의 시베리아 트랜스바이칼리아(Transbaikalia) 지역에서 산출된 *Siberioperla*속을 포함하여 총 5속으로 구성되어 있다. Fig. 3a (KNU-2009061)와 Fig. 3b (KNU-2009062)는 Sinitshenkova (1983)가 시베리아의 전기 쥐라기 지층에서 보고한 *Siberioperla lacunosa*와 비교했을 때 얼굴과 앞가슴의 크기 비율 및 다리마디의 형태가 유사하다. 그러나 아미산충의 화석 강도래 표본에서 안테나의 세부 구조가 확인되지 않기 때문에 추가적인 비교는 어렵다. 또한 아미산충에서 산출된 *Siberioperlidae*과의 표

본은 Sinitshenkova (1983)가 시베리아의 전기 쥐라기 지층에서 보고한 *Siberioperla scobloi*와는 배마디의 형태가 유사하지만 마지막 배마디에 돌출된 부분에서 차이를 보인다.

이 과는 보령지역에서 발견되는 3개 과의 강도래 유충 중에서 크기가 가장 큰 분류군이다. 뚜렷하지 않은 안테나와 머리 및 항문아가미가 관찰되지 않아 속 수준의 분류는 어렵지만 배마디의 형태와 짧은 더듬이와 꼬리의 모양 등이 *Siberioperlidae*과의 특징과 일치한다.

Family Platyperlidae Sinitshenkova, 1982

Genus *Platyperla* Brauer, Redtenbacher and Ganglbauer, 1889

Fig. 3c (KNU-2009081), 3d (KNU-2009082)

기재: 더듬이 길이는 평균 9.0 mm, 꼬리 길이는 평균 6.0 mm, 더듬이와 꼬리를 제외한 몸통의 길이는 평균 15.5 mm이다. 머리 길이는 1.2 mm, 폭은 1.1 mm로 둥근 형태이며 다른 과에 비해 긴 더듬이는 머리에 한 쌍이 붙어있다. 앞가슴의 길이는 1.4 mm, 폭은 1.7 mm, 가운데 가슴의 길이는 1.3 mm, 폭은 1.6 mm로 머리가 앞가슴보다 약간 작으며 앞가슴과 가운데 가슴의 크기는 비슷하다. 가운데가슴과 뒷가슴마디에는 각각 한 쌍씩의 날개주머니를 갖고 있으며 날개주머니의 길이는 2.0 mm로 다른 과에 비해 길다. 넓적다리마디의 길이는 1.3 mm, 폭은 0.6 mm로 다른 과에 비해 짧고 굵다. 넓적다리마디와 종아리마디는 모두 앞다리보다 뒷다리가 더 길다. 항문 아가미는 유실되어 관찰이 안된다.

비교: 둥근 형태의 머리와 굵고 짧은 다리마디 등의 특징은 *Platyperlidae*과의 *Platyperla*속의 특징과 대체로 일치한다. Fig. 3c (KNU-2009081)와 Fig. 3d (KNU-2009082)는 시베리아지역의 전기 쥐라기 지층에서 발견된 *Platyperla platypoda*와는 길이에 비해 두꺼운 넓적다리마디와 종아리마디의 형태적 특징이 일치한다. 그러나 3개로 된 부절의 특징이 나타나지 않아 구체적인 비교는 불가능하다. 또한 시베리아 지역의 전기 쥐라기 지층에서 발견된 *Mesoleuctra gracilis*와는 안테나와 꼬리의 길이가 몸의 길이와 유사한 특징에서 일치하지만 얇고 긴 넓적다리마디와 종아리마디의 특징이 다르다.

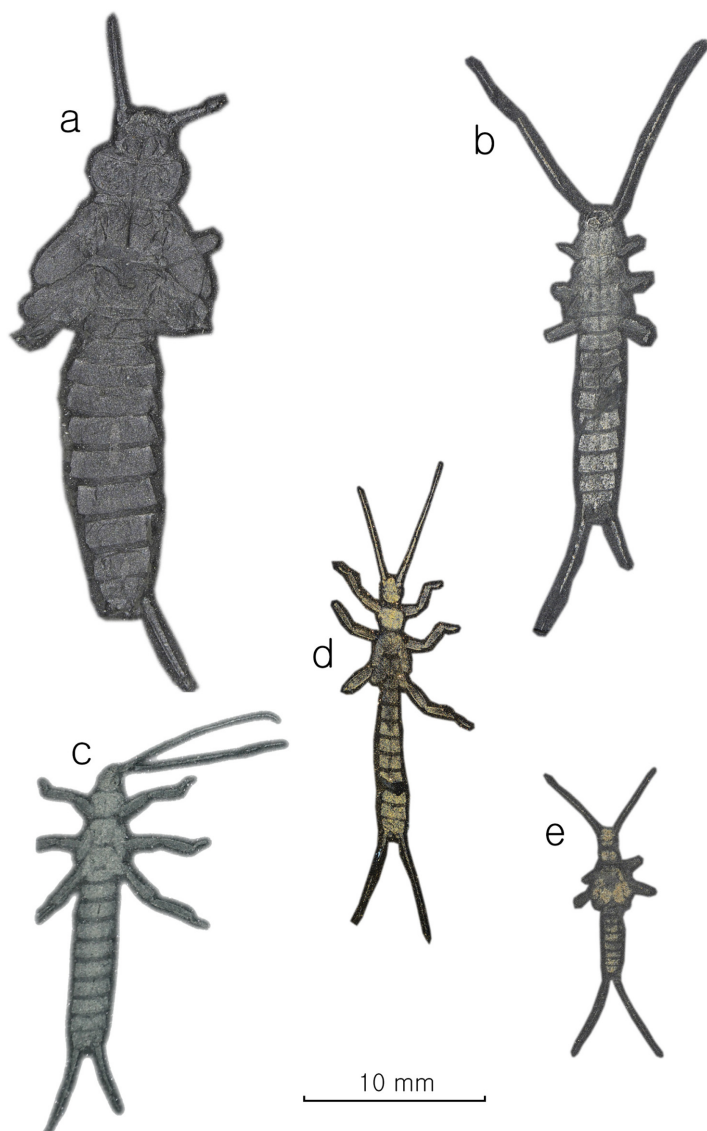


Fig. 3. The Stonefly (Plecoptera) nymphs from the Amisan Formation (a-b: Sibioperlidae, c-d: Platyperlidae, e: Baleopterygidae).

Family Baleopterygidae Sinitshenkova, 1985

Genus indet.

Fig. 3e (KNU-2009096)

기재: 더듬이 길이는 평균 5.0 mm, 꼬리 길이는 평균 5.5 mm, 더듬이와 꼬리를 제외한 몸통의 길이는 평균 8.3 mm이다. 머리의 평균 길이는 0.7 mm, 평균 폭은 0.7 mm로 머리의 폭이 길이와 같거나 약간 크며 머리에는 한 쌍의 더듬이가 있다. 앞가슴의 평균 길이는 0.7 mm, 평균 폭은 0.7 mm로 머리와 가슴의

크기가 비슷하다. 앞가슴의 앞부분은 직선이며 뒷부분은 볼록한 곡선이다. 날개주머니의 평균 길이는 1.6 mm이다. 다리마디 중 종아리마디(1.4 mm)가 넓적다리마디(1.2 mm)보다 약간 길다. 배마디의 길이는 0.2 mm, 폭은 0.8 mm로 길이에 비해 폭이 4배 정도 크다. 배의 총 길이는 가슴보다 약 2배 길다. 배마디 끝에는 한 쌍의 꼬리가 존재하며 꼬리 아가미는 유실되어 보존되지 않았다.

비교: Fig. 3e (KNU-2009096)는 Sinitshenkova (1983)에 의해 몽골의 후기 쥐라기 지층에서 보고한

*Baleopteryx bibula*와 둥근형태의 머리, 곧은 앞가슴 등판을 갖는 특징이 일치한다. 그러나 넓적다리마디와 종아리마디의 길이 비에서 차이를 보인다. 또한 Sinitshenkova (1983)가 시베리아의 전기-중기 쥐라기 지층에서 기재한 *Baleopteryx blanda*와 날개주머니의 형태와 배마디의 모양이 유사하지만 배마디의 길이에 대한 폭의 비율에서 차이를 보인다. Fig. 3e (KNU-2009096)는 안테나와 머리의 세부 구조가 선명하지 못하며 항문아가미가 존재하지 않아 속 수준의 분류는 어렵지만 머리와 가슴 모양 및 배마디의 형태 등은 *Baleopterygidae*과의 일반적인 특징과 일치한다.

논 의

화석 강도래는 전세계적으로 폐름기에 번성하다 멸종한 *Paleonemouridae*과, *Palaeoperlidae*과, *Perloperidae*과와 중생대에 번성하다 멸종한 *Euxenoperlidae*과, *Siberioperlidae*과, *Baleopterygidae*과, *Platyperlidae*과 등을 포함하여 총 19개 과 94속 240여 종이 알려져 있다(Grimaldi and Engel, 2005; Ren et al., 2010). 보령 지역의 아미산충에서 산출된 화석 강도래목 유충은 Fig. 3과 같이 형태적 특징에 의해 *Siberioperlidae*과, *Platyperlidae*과, *Baleopterygidae*과의 3개 과로 구분된다.

*Siberioperlidae*과는 Sinitshenkova (1983)에 의해 러시아의 트랜스바이칼리아 지역의 전기 쥐라기 지층에서 산출된 성충과 유충에 근거하여 설정되었다. 이 과에는 *Siberioperla*속, *Dahuroperla*속, *Flexoperla*속, *Sharaperla*속, *Uroperla*속 등의 5개 속 16종으로 구성된다. *Siberioperlidae*과의 화석종은 후기 트라이아스기부터 전기 백악기까지 번성하다 멸종한 그룹으로 러시아, 중국 및 몽골 등에서 보고되었다(Sinitshenkova, 1983, 1987; Liu et al., 2007).

*Platyperlidae*과는 Sinitshenkova (1982)에 의해 러시아의 시스바이칼리아(Cisbaikalia) 지역의 전기 쥐라기 지층에서 산출된 유충에 근거하여 설정되었으며 *Platyperla*속의 10종과 *Sinoephemera*속의 1종 등의 2개 속 11종으로 구성된다. *Platyperlidae*과의 화석은 후기 트라이아스기부터 전기 백악기까지 번성하다 멸종한 그룹으로 러시아, 중국, 몽골, 아르헨티나 등에서 보고되었다(Ren et al., 2010; Gallego et al., 2011).

*Baleopterygidae*과는 Sinitshenkova (1985)에 의해 러

시아의 이르쿠츠크 지역의 전기 쥐라기 지층에서 산출된 성충과 유충에 근거하여 설정되었으며 *Baleopteryx*속, *Aristoleuctra*속, *Baissoleuctra*속, *Plutopteryx*속, *Udopteryx*속 등 총 5개 속 15종으로 구성된다. *Baleopterygidae*과에 속하는 화석종은 전기 쥐라기부터 전기 백악기까지 나타나며 러시아, 중국, 몽골 등에서 보고되었다(Sinitshenkova, 1985). 한편, 아미산충과 대비되는 일본의 중생대 지층에서는 바퀴벌레, 갈브와 벌레, 매미, 딱정벌레 등의 화석 곤충이 산출되지만, 아미산충에서 산출된 *Siberioperlidae*과, *Platyperlidae*과, *Baleopterygidae*과의 화석 강도래는 발견된 적이 없다(Fujiyama, 1973). 이는 호수나 강가에서만 주로 서식하며 멀리 이동하지 않는 강도래의 습성상 러시아나 한반도에서 지리적으로 멀리 떨어져 있는 일본까지 서식지를 확대하지 못했을 것으로 추정된다.

보령 지역에서 화석 강도래의 발견은 지리적 분포에 중요한 의미를 갖는다. 이것은 중생대에 화석 강도래의 분포가 러시아, 중앙아시아, 몽골, 중국 등의 지역에 지리적으로 제한되었던 것이 한반도를 포함한 러시아 및 동북아시아 지역으로까지 확대되었다는 것을 의미한다.

현생 강도래목은 *Eustheniidae*과를 포함하여 총 16개 과의 약 2000종으로 구성되며 전체 곤충의 약 0.2%에 불과할 정도로 작은 분류군이다(Grimaldi and Engel, 2005). 우리나라에서는 강도래과를 포함하여 총 10개 과 28종의 강도래가 서식한다(Won et al., 2005). 강도래는 수서곤충에 속하는데, 이들은 호흡방법에 따라 공기 중의 산소를 직접 이용하는 무리와 물속의 용존산소를 아가미를 활용해 호흡하는 무리로 구분되는데 강도래는 후자에 속한다(Gullan and Cranston, 2003). 현생 강도래 유충은 연중 수온이 낮고 용존산소가 풍부한 하천의 바위나 돌, 나뭇잎, 퇴적물 등의 아래 등에 서식한다. 이들은 수서생태계에서 1차 또는 2차 소비자의 역할을 할 뿐 아니라 용존산소의 변화에 민감하기 때문에 수질평가의 지표종으로 매우 중요한 위치를 차지한다. 이들은 먹이를 섭식하는 방법에 따라 물속에 퇴적되어 있는 잔사물(residues)을 먹는 무리, 돌이나 퇴적물에 붙어있는 조류나 이끼를 긁어 먹는 무리, 강한 턱을 활용해 나뭇잎을 씹아먹거나 다른 무척추 동물을 잡아먹는 무리 등으로 구분한다(McCafferty and Provonsha, 1998; Gullan and Cranston, 2003; Triplehorn and Johnson, 2005).

페름기에 출현한 초기의 강도래 유충은 아가미가 없었으며 빠르게 흐르는 물에 저항하고 유영하기에 적절한 구조를 갖고 있지 않았다(Sinitshenkova, 2007). 그러나 중생대에 들어와 아가미를 통해 용존 산소를 호흡할 수 있게 되었으며 각각 한 쌍인 긴 더듬이와 꼬리는 흐르는 물에서 몸을 지탱하며 유영하는데 유리한 구조로 변하여 현재까지 이르고 있다(Sinitshenkova, 2003).

보령 지역에서 산출된 3개 과의 화석 강도래 유충은 모두 발달된 턱과 납작한 유선형의 몸통, 체절로 된 긴 한 쌍씩의 더듬이와 꼬리 등을 갖고 있어 빠른 유수환경에서도 고착, 유영 및 포식활동을 하는데 유리했을 것으로 추정된다. 또한 화석 강도래 유충이 발견되는 보령 지역에서는 다양한 종류의 화석 식물과 육상곤충, 어류, 패갑류 등이 발견된다. 일부 화석 강도래는 화석 식물 또는 하루살이와 함께 발견되기도 하며 여러 개체의 강도래 유충이 밀집되어 발견되기도 한다. 이런 원인은 곤충의 서식지로 갑자기 밀려오는 퇴적물에 퇴적되었거나 하천에서 서식하다가 죽은 후 퇴적물과 함께 호수로 운반되어 퇴적되었기 때문으로 추정된다. 또한 수서곤충 중에는 하루살이와 잠자리 유충도 발견되기 때문에 아미산충이 퇴적되던 당시에는 생산자와 1, 2차 소비자를 포함한 수생태계가 존재했음을 짐작할 수 있다. 특히 수생태계 내에서 현생 강도래의 생태적 지위를 통해 미루어 짐작할 때 아미산충이 퇴적될 당시는 강도래 유충이 용존산소가 풍부한 유수 지역에 서식했을 가능성이 높다. 또한 강도래는 강한 턱을 이용해 호수나 강에서 식물을 씹아먹거나 하루살이나 패갑류 등을 잡아먹는 1차 및 2차 소비자의 역할을 했을 것으로 추정된다.

결 론

보령 지역의 아미산충에서 산출된 화석 강도래 유충을 연구하고 형태적 특징에 의해 이들을 *Siberioperlidae* 과, *Platyperlidae*과, *Baleopterygidae*과의 3개 과로 분류하였다. 이들의 세 분류군은 모두 중생대에 멸종한 그룹이며 후기 트라이아스기에 시베리아, 몽골, 중국 및 한반도에 이르기까지 널리 분포하였다. 현생 강도래의 서식환경과 생활 습성을 통해볼 때 강도래 유충은 당시에 맑은 물과 유수가 존재하는 호수 또는 호수와 연결된 강가에 서식하다가 화석화된 것으

로 추정된다. 또한 식물, 패갑류, 하루살이 유충 등이 강도래와 함께 발견되는 것으로 보아 당시의 수생태계에서 강도래가 1차 또는 2차 소비자의 역할을 했을 것으로 추정된다.

사 사

본 논문의 미비점에 대하여 상세한 지적과 건설적인 비평을 해주신 공주대학교 김정헌 교수님과 한국교원대학교 김정률 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 강도래 유충에 대한 자료를 제공해주시고 분류에 도움을 주신 러시아의 Sinitshenkova 박사에게 감사사를 표합니다.

References

- Brauer, F., Redtenbacher, J., and Ganglbauer, L., 1889, Fossile Insekten aus der Juraformation Ost-Sibiriens. *Memoires de l'Academie Imperiale des Sciences de St. Petersburg*, 7, 36, 1-22.
- Carpenter, F.M., 1992, Superclass Hexapoda. *Treatise on invertebrate paleontology*, Part R, Arthropoda 3-4. Geological Society of America, Boulder, Colorado, 655 p.
- Choi, H.I., 1988, Lacustrine turbidite sequence in the Amisan Formation, Ogma area, Chungnam coalfield: A sublacustrine fan deposit. *Journal of the Geological Society of Korea*, 24, 376-387.
- Chun, H.Y., Bong, P.Y., Lee, H.Y., and Choi, S.J., 1988, Palaeontology and stratigraphy of the Chungnam coalfield. Korea Institute of Energy and Resources, KR-87-28, 52 p. (in Korean)
- DeWalt, R.E., Kondratieff, B.C., and Sandberg, J.B., 2015, Order Plecoptera. In: Thorp, J., Rogers, D.C. (Eds.), *Ecology and General Biology: Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates*, Academic Press, 933-949.
- Egawa, K. and Lee, Y.I., 2009, Jurassic synorogenic basin filling in western Korea: Sedimentary response to inception of the western Circum-Pacific orogeny. *Basin Research*, 21, 407-431.
- Egawa, K. and Lee, Y.I., 2011, K-Ar dating of illites for time constraint on tectonic burial metamorphism of the Jurassic Nampo Group (West Korea). *Geosciences Journal*, 15, 131-135.
- Fujiyama, I., 1973, Mesozoic insect fauna of East Asia. Part 1. Introduction and Upper Triassic faunas. *Bulletin of the Natural Sciences Museum, Tokyo*, 16, 331-386, pls. 1-5.
- Gallego, O.F., Rebori, L.O., Zavattieri, A.M., Sinitshenkova,

- N.D., Lara, M.B., and Martins-Neto, R.G., 2011, The most ancient Platyperlidae (Insecta, Perlida=Plecoptera) from Early Late Triassic deposits in southern South America. *Ameghiniana*, 48, 4, 447-461.
- Grimaldi, D. and Engel, M.S., 2005, Evolution of the Insects. Cambridge University Press, USA, 755 p.
- Gullan, P.J. and Cranston P.S., 2003, The insects, An Outline of Entomology Second edition. Blackwell Publishing, USA, 470 p.
- Hwang, S.H. and Hwang G.C., 1986, A Study on the fossils from the Amisan Formation in Nampo Group. *Journal of Korean Earth Science Society*, 7, 59-68. (in Korean)
- Jeon, H., Cho, M., Kim, H., Horie, K., and Hidaka, H., 2007, Early Archean to Middle Jurassic evolution of the Korean Peninsula and its correlation with Chinese cratons: SHRIMP U-Pb zircon age constraints. *The Journal of Geology*, 115, 5, 525-539.
- Kim, B.K., 1976, Geological and paleontological studies of Chungnam coalfield. *Journal of the Geological Society of Korea*, 12, 124-143. (in Korean)
- Kim, J.H., 2001, New fossil plants from the Nampo Group (Lower Mesozoic), Korea. *Geosciences Journal*, 5, 173-180.
- Kim, J.H., Kim, H.S., Lee, B.J., Kim, J.M., and Lee, H.K., 2002, A new species *Leptostrobus* from the Upper Triassic Amisan Formation of the Nampo Group in Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 23, 30-37.
- Kim, J.H., Lee, C.K., and Choi, D.Y., 2015, *Margarifera* cf. *isfarensis* (Chernishev) from the Amisan Formation, Nampo Group, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 51, 4, 357-362. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.H. and Lee, G.H., 2015, Fossil Conchostraca from the Amisan Formation of the Nampo Group, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 36, 181-189. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.W. and Kim, I.S., 1998, Palaeomagnetism of the Triassic Taedong Supergroup in the Chungnam coalfield Area, SW Okchon Belt. *Journal of the Geological Society of Korea*, 34, 1, 1-19. (in Korean with English abstract)
- Kimura, T. and Kim, B.K., 1984, Geological age of the Daedong flora in the Korean Peninsula and its phytogeographical significance in Asia. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 60, 337-340.
- Kimura, T. and Kim, B.K., 1988, New taxa in the Late Triassic Daedong flora, South Korea. Part 1. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan*, 152, 603-624.
- Kimura, T. and Kim, B.K., 1989, New taxa in the Late Triassic Daedong flora, South Korea. Part 2. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan*, 155, 141-158.
- Kobayashi, T., 1951, Older Mesozoic *Estherites* from Eastern Asia. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section 2*, 7, 431-440.
- Kobayashi, T., 1975, Upper Triassic estherids in Thailand and the conchostracan development in Asia in the Mesozoic Era. *Geological Palaeontology, SE-Asia*, 16, 57-90.
- Koh, H.J., 2006, Tectonic implication of the Mungyeong-Jeongseon tectonic line, the Yeongweol Nappe and the Bansong Group in the Ogcheon belt. In: Kee W.S. (ed.) *Mesozoic crustal evolution of Northeast Asia*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Report OAA2004009-2006(3), 228-259.
- Latreille, P.A., 1810, Considérations gnrales sur l'ordre naturel des animaux composant les classes des Crustacs, des arachnides, et des Insectes. Schoell, Paris, France, 444 p.
- Lee, D.Y., Ryu, Y.S., Kang, K.W., Yae, J.K., and Ryu, B.H., 1974, Geological Report on Chungnam coalfield. Dong-A Engineering Geology Consultant, 50 p. (in Korean)
- Linnaeus, C., 1758, *Systema naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordinus, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. Salviae, Stockholm, Sweden, 824 p.
- Liu, Y.S., Sinitshenkova, N.D., and Ren, D., 2007, A new genus and species of stonefly (Insecta: Plecoptera) from the Yixian Formation, Liaoning Province, China. *Cretaceous Research*, 28, 322-326.
- McCafferty, W.P. and Provonsha, A.V., 1998, *Aquatic entomology*. Jones and Bartlett Publishing, Boston, USA, 448 p.
- Min, K.D., Um, J.G., Kim, D.W., Choi, Y.H., Lee, Y.S., and Susumu, N., 1992, Paleomagnetic Study of the Daedong Group in the Chungnam Coal Field. *Journal of Korea Institute of Mining Geology*, 25, 1, 97-96. (in Korean with English abstract)
- Nam, K.S., 2015, Mesozoic fossil insect fauna from the Amisan Formation in Boryeong area, Korea and its geological implication. Ph. D. thesis, Kongju National University, Kongju, 135 p. (in Korean with English abstract)
- Nam, K.S. and Kim, J.H., 2014, Occurrence of the fossil *Mesopsyche dobrokhovae* in the Late Triassic Amisan Formation, Nampo Group, Korea and its Geological Implication. *Journal of Korean Earth Science Society*, 35, 161-167. (in Korean with English abstract)
- Nam, K.S., Wang, Y., Ren, D., Kim, J.H., and Szewo, J., 2017, An extraordinary palaeontinid from the Triassic of Korea and its significance. *Scientific Reports*, 7, 40691.

- Pyo, J.H. and Yang, I.M., 1995, Study on the venation of insect fossils from Amisan Formation in Boryeong, Chungnam. Report of the 41st National Science Contest, 33 p. (in Korean)
- Ren, D., Shih C.K., Gao, T., Yao Y.Z., and Zhao, Y.Y., 2010, Silent Story-Insect fossil treasures from dinosaur era of the Northeastern China. Science Press, Beijing, China, 322 p.
- Shimamura, S., 1931, Geological atlas of Chosen (1:50,000), Cheongyang, Daecheon, Buyeo and Nampo sheets and the explanatory text. Geological Survey of Chosen (Korea) 11 p.
- Sinitshenkova, N.D., 1982, Systematic position of the Jurassic stoneflies *Mesoleuctra gracilis* Brauer et al. *Platyperla platypoda* Brauer et al. and their stratigraphic distribution. *Byulleten Moskovskogo Obshchestva ispytateley prirody*, 57, 112-124. (in Russian)
- Sinitshenkova, N.D., 1983, New Jurassic stoneflies(Perlida) from transbaikalia. *Paleontological Journal*, 94-101.
- Sinitshenkova, N.D., 1985, The Jurassic stoneflies of South Siberia and adjoining territories (Perlida=Plecoptera). In: A.P. Rasnitsyn, (Ed), *The Jurassic Insects of Siberia and Mongolia*. Trudy Paleontologicheskogo Instituta, Akademiya Nauka SSSR 211, 148-171. (in Russian)
- Sinitshenkova, N.D., 1987, Historical development of the stoneflies. Trudy Paleontologicheskogo Instituta, Akademiya Nauk SSSR 221, 1-144. (in Russian)
- Sinitshenkova, N.D., 2003, Main ecological events in aquatic insects history. *Acta Zoologica Cracoviensia*, 46, 381-392.
- Sinitshenkova, N.D. 2007, Order Perlida. In: A.P. Rasnitsyn and D.L.J. Quicke (Eds.), *History of Insects*; Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 281-287.
- Son, C.M., Jeong, C.H., Kim, B.K., and Lee, S.M., 1967, Geological report on Chungnam Coalfield (VI). Geological Survey of Korea, 156 p. (in Korean)
- Suh, H.G., Kim, D.S., Park, S.H., Lim, S.B., Cho, M.C., Bae, D.J., Lee, C.B., Lee, D.Y., Ryu, Y.S., Park, J.S., and Chang, Y.H., 1980, Geology of the Seongju area, Chungnam Coalfield (I). KIER Researches of Coal Resources, 2, Korea Institute Energy and Resources, 42 p. (in Korean with English abstract)
- Triplehorn, C. and Johnson, N., 2005, Borror and Dellong's introduction to the study of insects. Thomson Brooks/cole, USA, 864 p.
- Won, D.H., Kwon, S.J., and Jun, Y.C., 2005, Aquatic insects of Korea. Korea Ecosystem Service, Seoul, Korea, 415 p.
- Yoon, I.B., 1995, An illustrated book of aquatic insects of Korea. Junghaengsa, Seoul, Korea, 262 p.
- Zhang, W.T., Chen, P.J., and Shen, Y.B., 1976, Fossil Conchostraca of China. Science Press, Beijing, China. 325 p. (in Chinese)

Manuscript received: July 19, 2017

Revised manuscript received: August 11, 2017

Manuscript accepted: August 19, 2017