

<Short Note>

포항분지 연일층군 두호층(마이오세)에서 발견된
생흔화석 *Chondrites* : 산상 및 고환경적 의미

김정민¹ · 백인성^{2,*}

¹진주교육대학교 지질유산연구센터

²부경대학교 지구환경과학과

요 약

포항분지 연일층군(마이오세) 최상부에 발달한 반원양성 기원의 두호층 이암에서 처음으로 생흔화석 *Chondrites* 3점(포항시 우현동에서 1점, 환호동에서 2점)이 발견되었다. 이들 *Chondrites*는 성층면에서는 가지형, 막대형, 점형 등으로, 퇴적단면에서는 주로 점형으로 나타나지만 간헐적으로 막대형과 가지형도 관찰된다. 두 지점에서 발견된 *Chondrites*는 직경 0.5 mm 내지 1 mm, 길이 2 mm 내지 10 mm 정도의 규모를 가진다. 우현동의 것은 환호동의 *Chondrites*보다 밀집도가 높고 보존 상태도 양호하며, 퇴적단면에서 퇴적층이 수 회 발달한 가운데에 *Chondrites*만 특정 층준을 따라 반복적으로 발달된 특징이 나타난다. 환호동의 표품에서는 *Chondrites* 뿐만 아니라 *Planolites*, *Palaeophycus*, *Taenidium* 등의 생흔화석이 함께 산출된다. 일반적으로 *Chondrites*는 고생대에서부터 현재, 육성 및 천해에서 심해에 이르기까지 다양한 지질시대와 환경에서 산출되며, 특히 심해퇴적층에서는 무산소대의 환경을 지시할 수 있는 특징적인 생흔화석이다. 우현동의 *Chondrites* 산출 퇴적층은 *Chondrites* 기원 생물 이외의 다른 해저생물들이 서식하기 어려운 산소부족 환경에서의 퇴적산물로 해석되며, 환호동의 *Chondrites* 산출 퇴적층은 다양한 해저생물들이 서식할 수 있는 산소가 비교적 풍부한 환경에서의 퇴적산물로 해석된다. 두호층 내에서의 이와 같은 심해기원 생흔화석의 산출 양상 변화는 육상으로부터의 담수 유입량을 변화시킨 해수면 변동에 의한 결과로 해석된다.

주요어: 포항분지, 두호층, *Chondrites*, 생흔화석, 심해퇴적층, 해수면 변동

Jungmin Kim and In Sung Paik, 2013, *Chondrites* from the Duho Formation (Miocene) in the Yeonil Group, Pohang Basin, Korea: Occurrences and paleoenvironmental implications. *Journal of the Geological Society of Korea*. v. 49, no. 3, p. 407-416

ABSTRACT: This study reports the occurrence of *Chondrites* for the first time from the hemipelgasic mudstones of the Miocene Duho Formation of the Yeonil Group in the Pohang Basin. The traces are found in Woohyeon-dong and Hwanho-dong in Pohang. The traces are bar-shaped and branched, and occur as circular or elliptical spots in bedding planes and cross-sections; they are 0.5 to 1 mm in diameter and 2 to 10 mm in length. The Woohyeon-dong *Chondrites* show exclusive and repetitive occurrences, and is characterized by the high density and good-preservation, while the Hwanho-dong *Chondrites* by the lower density and co-occurrence of *Planolites*, *Palaeophycus*, and *Taenidium*. *Chondrites* have been documented from the Paleozoic to the Recent and from the continental to the deep-water deposits, and they have been used as a trace fossil indicator of anoxia in deep-water sediments. The Woohyeon-dong *Chondrites*-bearing deposits are interpreted to have been formed under oxygen-depleted (dysoxic) condition. In contrast, the Hwanho-dong *Chondrites*-bearing deposits are interpreted to have been formed under somewhat oxygenated condition. Such variation of deep-water trace fossil occurrences in the Duho Formation might be attributable to sea-level fluctuations which in turn changed fresh-water input.

Key words: Pohang Basin, Duho Formation, *Chondrites*, trace fossils, deep-water deposits, sea-level fluctuation

* Corresponding author: +82-51-629-6625, E-mail: paikis@pknu.ac.kr

(Jungmin Kim, Institute of Geo-Heritages, Chinju National University of Education, Jinju 660-756, Korea; In Sung Paik, Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea)

1. 서 언

해성층이 두껍게 분포하는 포항분지 연일층군은 풍부한 동식물화석들이 산출되어 일찍부터 지질학자와 고생물학자들의 관심의 대상이 되어왔다. 특히 포항분지 연일층군의 두호층은 반원양성 환경에서 퇴적된 지층으로(Hwang *et al.*, 1995; Sohn *et al.*, 2001), 두호층에 대해서는 포유류(Lim, 2005; Lee *et al.*, 2012), 어류, 갑각류(Yun, 1985), 연체동물(Lee and Yoon, 2004; Kim and Lee, 2011), 극피동물(Seong *et al.*, 2009), 식물(Chung *et al.*, 1995; Koh, 2006; Kim, 2008, 2009, 2010; Jung and Lee, 2009; Kim *et al.*, 2009), 유공충(Jung, 1993), 와편모조류(Byun and Yun, 1992), 초미화석(Yi and Yun, 1995), 방산충(Bak *et al.*, 1996) 등 다양한 동식물 화석들에 대한 고생물학적 연구가 수행되어 왔다.

두호층의 고환경은 아열대 내지 온대 기후가 우세한(Chung *et al.*, 1995; Kim, 2008; Jung and Lee, 2009; Kim *et al.*, 2009) 가운데에 한류의 영향이 우세한 바다 환경(Bak *et al.*, 1996)으로 해석된 바 있으며, 미소 포낭류 화석(Koh, 2006)과 강돌고래화석(Lee *et al.*, 2012)에 의한 연구를 통해 두호층의 퇴적 당시 담수의 영향을 받았음이 제시되었다. 한편 갯가재 화석(Yun, 1985)과 연체동물화석(Lee and Yoon, 2004)의 분류학적 연구에서는 두호층의 퇴적환경이 천해의 환경으로 해석되기도 하였다.

이 연구에서는 두호층에서 처음으로 발견된 생흔

화석 *Chondrites*를 대상으로 이 화석의 산상을 기재하고 이 화석 산출의 고환경적 의미를 해석하였다. *Chondrites*는 Sternberg (1833)에 의해 처음으로 보고되어 여러 연구가 수행되어 왔다(e.g., Simpson, 1956; Shourd and Levin, 1976; Bromley, 1984; Fu, 1991). 국내의 경우 Chang and Park (1977)에 의해 옥천누층군에서 처음으로 보고되었고, 이 후에 여러 연구자들에 의해 여러 지질시대의 지층에서 보고되었다(표 1; Hwang *et al.*, 1992; Kim *et al.*, 1992, 1994, 2003; Kim, 1992; Kim and Heo, 1995). *Chondrites* 생흔화석은 일반적으로 성충류(Sipunculoid worm)가 퇴적물을 섭식하면서 만들어지는 흔적으로(Simpson, 1956) 사암, 셰일 그리고 석회암 등 다양한 암상에서 나타나며 고생대에서부터 현재, 육성환경 및 천해에서 심해에 이르기까지 다양한 지질시대와 환경에서 산출된다. 특히 심해퇴적층에서는 산소결핍의 환경을 지시하는 중요한 생흔기록으로 제시된 바 있다(Bromley, 1984; Savrda and Bottjer, 1987; Uchman *et al.*, 2008). 따라서 이 연구에서는 두호층에서 처음으로 발견된 생흔화석 *Chondrites*의 산상을 바탕으로 두호층의 고환경 해석에 도움이 될 기초자료를 제공코자 한다.

2. 연구 지역

남한의 신생대 퇴적분지 중 규모가 가장 큰 포항분지는 Tateiwa (1924)에 의해 처음으로 층서가 설정된 이후 여러 학자들에 의해 후속 연구가 수행되

Table 1. Record of *Chondrites* in South Korea.

Geological age	Formation	Depositional environment
Age unknown	Ungyori Fm (Ogcheon Supergroup) (Chang and Park, 1977)	deep marine
Ordovician	Yeongheung Fm (Kim <i>et al.</i> , 1992)	offshore shelf
Ordovician	Maggol Fm/Jigunsan Fm (Kim, 1992)	tidal flat/shelf
Miocene	Hagjeon Fm (Hwang <i>et al.</i> , 1992)	shallow marine
Ordovician	Mungok Fm (Kim <i>et al.</i> , 1994)	low-energy offshore
Pliocene to Pleistocene	Seogwipo Fm (Kim and Heo, 1995)	foreshore to offshore
Cretaceous	Hasandong Fm/Jinju Fm (Kim <i>et al.</i> , 2003)	marginal lake

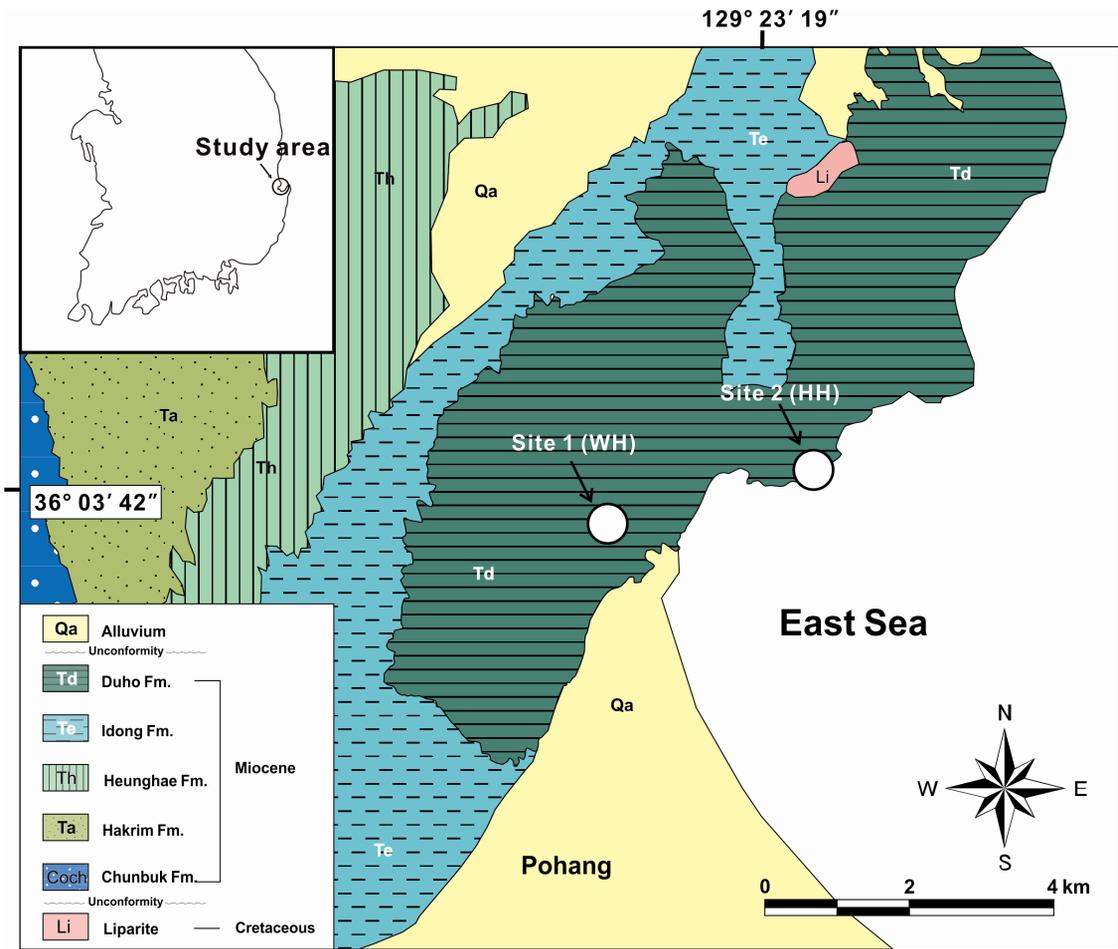


Fig. 1. Location and geological map of study area. Site 1 is Woohyeondong and Site 2 is Hwanhodong (after Um *et al.*, 1964).

어 왔으나(Um *et al.*, 1964; Kim, 1965; Yoon, 1975; Yun, 1986; Chough *et al.*, 1990; Noh, 1994), 층서 설정이 연구자들 간에 다소 다르게 이루어져 있다. Um *et al.* (1964)은 포항분지의 연일층군을 하부로 부터 천북역암, 학림층, 흥해층, 이동층, 두호층으로 구분하였다. 이 중 연구 대상인 두호층은 200m 내외의 두께를 가지고 이동층을 정합으로 피복하며, 전반적으로 반원양성의 두꺼운 이암이 반복적으로 나타나고 간헐적으로 얇은 사암이 협재하는 심해평원 기원의 퇴적층으로 해석되었다(Hwang *et al.*, 1995; Sohn *et al.*, 2001).

Chondrites 화석은 포항시 우현동과 환호동 부근에서 발견되었다(그림 1). 우현동 지역에서는 이암층의 전석에서 *Chondrites* 화석이 발견되었으며, 환

호동 지역에서는 이암층의 노두와 전석에서 각각 1점의 *Chondrites* 화석이 산출되었다. 이 두 지역에서 의 퇴적층 발달양상은 그림 2와 같다.

3. *Chondrites*

우현동의 밝은 갈색을 띠는 이암 전석에서는 생흔 화석 *Chondrites*만 산출된 반면 환호동의 회갈색을 띠는 이암에서는 *Chondrites*, *Planolites*, *Palaeophycus*, *Taenidium* 등의 생흔화석이 함께 산출되었다. 이들 생흔화석의 산상은 다음과 같다.

3.1 우현동 *Chondrites*

이 지점의 전석에서 관찰되는 *Chondrites*는 층리

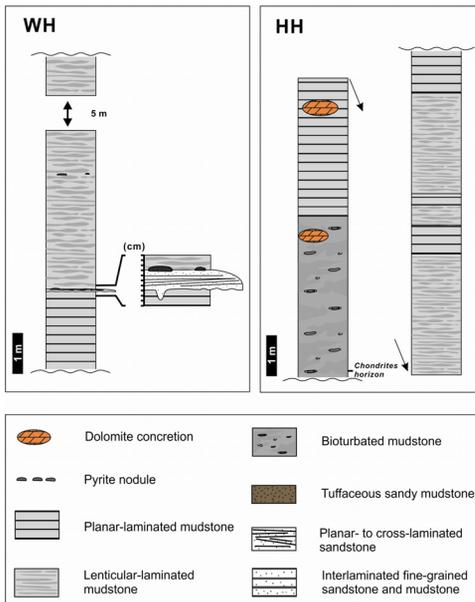


Fig. 2. Stratigraphic sections of study area.

면과 평행한 방향 내지 저각을 이루며, 기질보다 어두운 색을 띠어 전석의 표면에서 식별이 가능하다. 이 *Chondrites*는 평면상에서 대체적으로 직경 1 mm 내외의 원형 점들이 군집 또는 산포된 상태로 나타나며, 군집된 경우 직경 약 3 내지 5 cm 정도의 범위를 이룬다(그림 3). 이들 군집 내부에서는 주로 한 방향으로 발달하는 막대형과 여러 가지로 갈라지는 가지형으로 나타난다. 막대형은 종단면상에서 폭 1 mm 내외, 길이 5 mm 내외가 주를 이루며, 길이 10 mm 내외의 긴 형태도 간헐적으로 관찰된다. 가지형은 막대형과 길이 및 폭이 유사하지만 한 방향으로 발달하지 않고 두 개 내지 세 개의 방향으로 분지하는 형태를 가지며, 이들이 이루는 각은 약 45° 내외이다. 그러나 대부분 한 번의 분지를 하는 가지형이 우세하게 나타난다. 이들 막대형과 가지형은 공통적으로 끝부분이 뾰족하지 않고 대부분 둥근 형태로 나타난다.

*Chondrites*가 산출된 이암은 하부에서부터 점토질

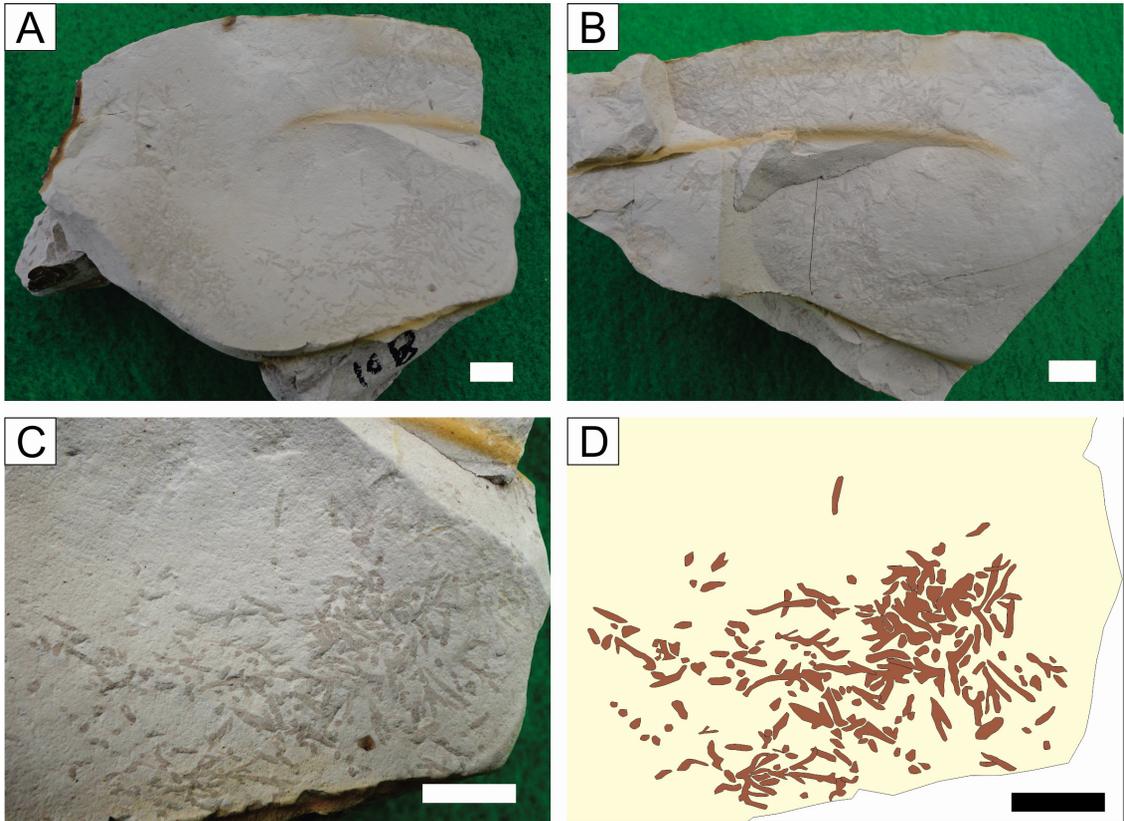


Fig. 3. Planar views of *Chondrites* from the Woohyeondong site. A, B. Planar views showing the *Chondrites* in patch. B is counterpart of A. C. Close view of B. D. Sketch of C. Scale bars are 1 cm.

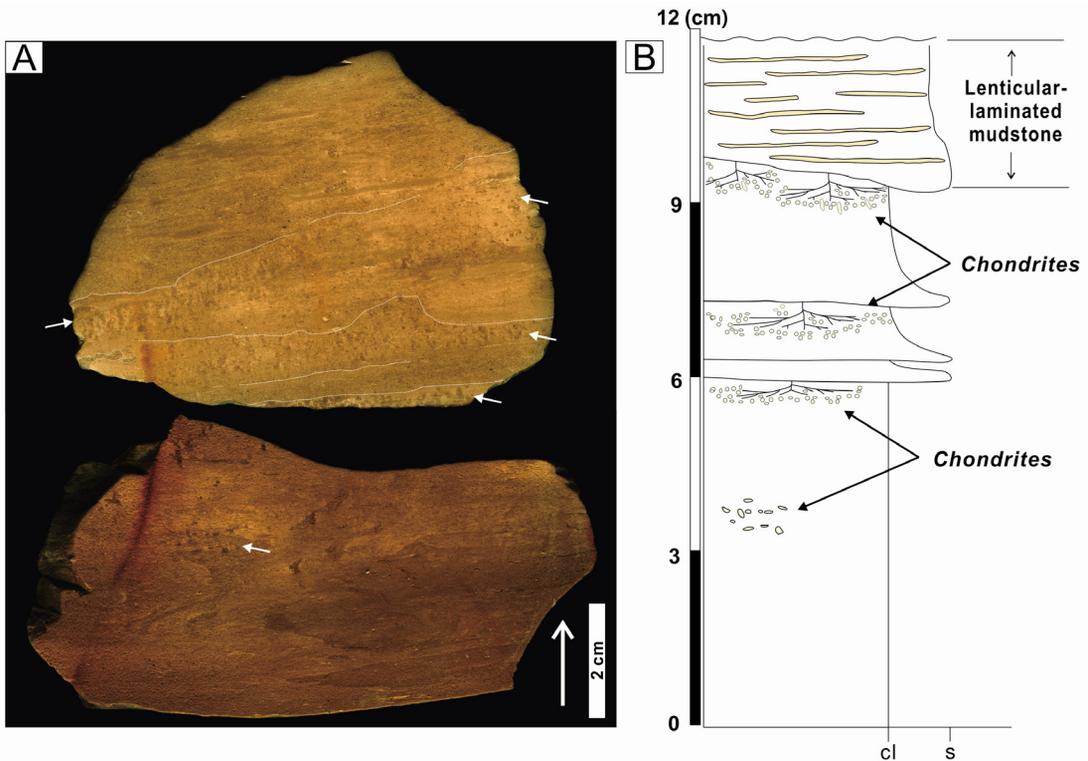


Fig. 4. Cross-section views of *Chondrites* from the Woohyeondong site. A is sectional view of *Chondrites* (white arrows) and B is a sketch of A.

이 우세한 퇴적층(약 5 cm 두께), 점이층리가 발달된 이질층(수 mm 내지 1 cm 내외의 두께)의 수 회 반복, 렌즈상의 층리를 보이는 실트와 점토의 교호층(2.5 cm 내외의 두께)의 순으로 이루어져 있다(그림 4). 이 중 *Chondrites*는 4개의 층준에서 나타나며 주로 점토질 부분에 발달한다(그림 4). 이와 함께 상위 퇴적층에 의해 하위에 있는 *Chondrites*의 일부가 침식을 받은 기록들이 확인되었다(그림 4). 한편 퇴적단면에서 나타나는 *Chondrites*의 형태는 대부분 직경 1 mm 내외의 점형으로 나타나지만, 부분적으로 직경 1 mm, 길이 3 mm 내외의 막대형으로도 나타난다.

3.2 환호동 *Chondrites*

3.2.1 환호동 *Chondrites* 1

이암 전석에서 발견되었으며, *Chondrites*의 평면상의 형태는 직경 1 mm 내외의 점형, 폭 1 mm 내외, 길이 10 mm 내외의 막대형과 가지형 등으로 나타난다. 이 화석 또한 바탕 암색보다 진한 색의 퇴적물로 채워져 있어 전석에서의 인지가 가능하다(그림

5). 이 전석의 퇴적단면에서는 상부 층준에서 2개의 *Chondrites*가 관찰된다(그림 6). 이들 *Chondrites*는 퇴적단면에서 대부분 직경 1 mm 내외의 점형으로 나타나지만 길이 5 mm 내외의 막대형과 가지형도 간헐적으로 관찰된다. 이와 함께 이 전석에서는 *Chondrites* 발달 층준의 하위에 직경 5 mm 내지 10 mm 정도의 타원형의 형태를 가진 *Palaeophycus*와 *Planolites* 생흔 화석이 관찰되며, 상위의 *Chondrites*는 하위의 생흔 화석을 부분적으로 관통하며 발달되어 있다(그림 6).

3.2.2 환호동 *Chondrites* 2

이암층의 노두에서 산출되었으며, *Chondrites*의 평면상의 형태는 주로 직경 1 mm 내외의 점형과 직경 0.5 내지 1 mm, 길이 2 내지 4 mm 정도의 막대형으로 나타난다. 가지형은 막대형과 길이 및 폭이 유사하며 대부분 한 개 내지 두 개의 방향으로 분지하는 형태를 보이고, 분기각은 약 45° 정도이다. 막대형과 가지형의 끝부분은 둥근 형태로 나타난다(그림 5). 퇴적단면에서 관찰되는 *Chondrites*는 직경 0.5

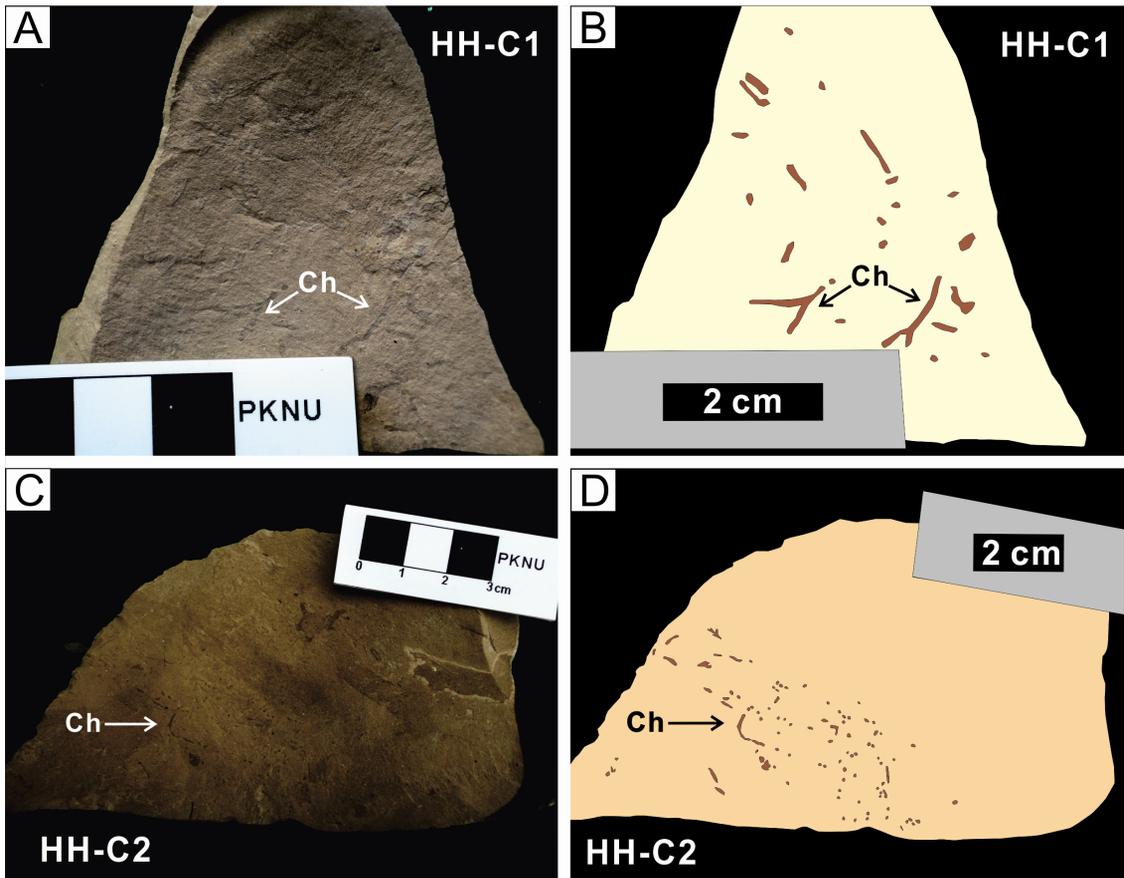


Fig. 5. Planar views of *Chondrites* (arrows) from the Hwanhodong site. A is the specimen Hwanhodong *Chondrites* 1 (HH-C1) and B is a sketch of A. C is the specimen Hwanhodong *Chondrites* 2 (HH-C2) and D is a sketch of C.

내지 1 mm 정도의 점형과 직경 0.5 내지 1 mm, 길이 2 mm 내외의 막대형으로 나타난다(그림 6). 이와 함께 5 내지 15 mm 정도의 직경을 가지는 타원형의 *Planolites*, 5 mm 내외의 직경을 가지는 *Palaeophycus*, 그리고 직경 3 mm 내외, 길이 10 mm 정도를 가지는 *Taenidium*도 관찰된다(그림 6).

3.2.3 기타 생흔화석

Planolites ichnosp.

환호동 이암 전석과 이암층의 퇴적단면에서 관찰되며 타원형으로 직경 5 내지 15 mm 정도를 가지며 나타난다(그림 6). 층리에 평행하게 나타나지만 비스듬히 산출되기도 하고 모암보다 진한 회색으로 채워져 있다.

Palaeophycus ichnosp.

환호동 이암 전석과 이암층의 퇴적단면에서 관찰

되며 타원형으로 직경 5 mm 정도를 가진다(그림 6). 층리에 평행하게 나타나며 기질보다 진한 색의 퇴적물로 채워져 있고 1 mm 정도 폭의 밝은 색을 띠는 내벽을 가지고 있음이 특징이다.

Taenidium ichnosp.

환호동 이암층의 퇴적단면에서 관찰되며 직경 3 mm, 길이 10 mm 정도의 관형의 형태를 이루고, 내부에서 굴곡이 있는 분절구조가 관찰된다(그림 6).

4. 토의 및 결론

서언에서 언급한 바와 같이 두호층으로부터 다양한 종류의 동식물화석이 산출됨에도 불구하고, 두호층은 전반적으로 단순한 암상, 즉 특별한 구조나 조직의 특성이 관찰되지 않는 괴상의 이질암으로 나타

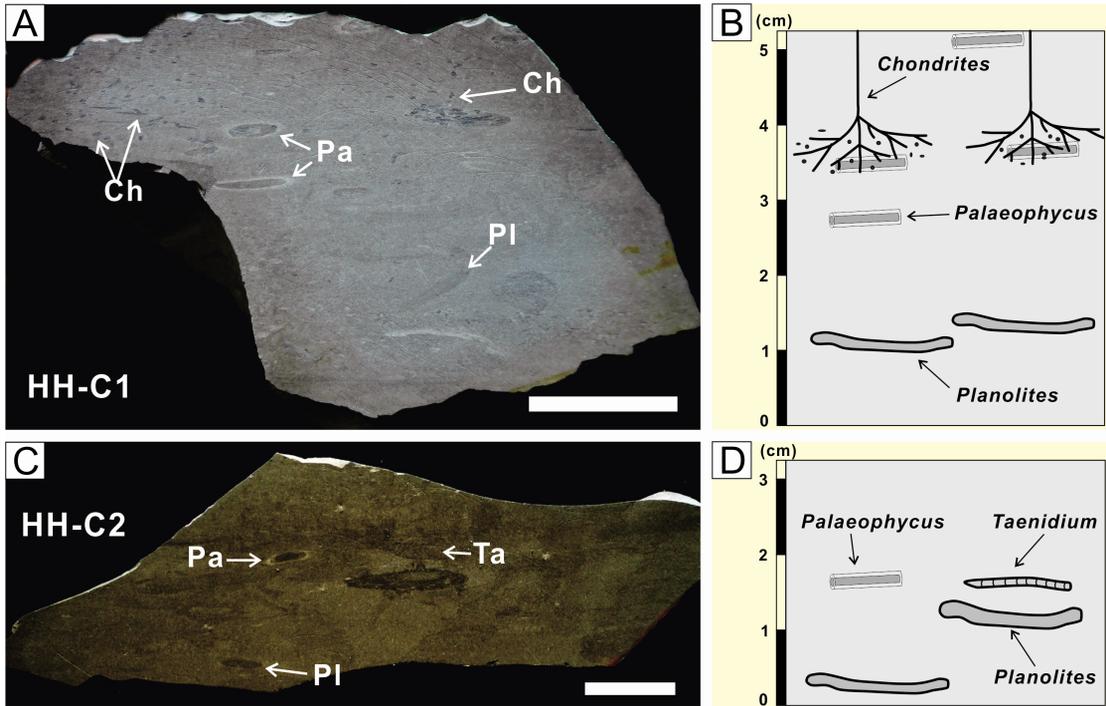


Fig. 6. Cross-section views of *Chondrites* from the Hwanhodong site. A is the specimen Hwanhodong *Chondrites* 1 (HH-C1) and B is a sketch of A. C is the specimen Hwanhodong *Chondrites* 2 (HH-C2) and D is a sketch of C (Ch: *Chondrites*, Pl: *Planolites*, Pa: *Palaeophycus*, Ta: *Taenidium*). Scale bars are 2 cm.

난다. 이와 같은 두호층의 외견적인 단순한 산상으로 인해 두호층의 구체적인 고생태나 고환경적 특성에 대한 이해는 매우 부족한 상태이다. 따라서 이 연구를 통해 두호층으로부터 *Chondrites*를 비롯한 생흔화석이 처음으로 확인됨은 두호층의 퇴적상과 고환경적 특성을 새로운 관점에서 이해하는 데에 매우 유용한 단서가 될 수 있다.

세립질의 저탁암층을 포함한 심해기원 퇴적층에서 산출되는 *Chondrites*는 심해환경 퇴적물 내의 산소 농도와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 즉 *Chondrites*와 여러 심해 기원 생흔화석들이 함께 수반되어 있는 경우로부터 다른 생흔화석의 수반 없이 *Chondrites*만 산출되는 경우로의 변화는 호기성에서 혐기성 환경으로의 변화를 지시하는 것으로 알려져 있다(Bromley, 1984; Encinas *et al.*, 2008; Uchman *et al.*, 2008).

우현동 전석의 경우 다른 생흔화석의 수반 없이 *Chondrites*만이 수 회 반복되어 나타남은 이 생흔화석의 형성 당시, 산소가 결핍된 환경이었음을 지시

한다. 이와 함께 *Chondrites*를 함유한 점이층리가 발달된 이질층이 각 층 간에 침식경계를 보이며 반복되어 나타남은 용존산소가 부족한 혐기성 환경의 상태에서 저탁류가 유입될 때, 비록 제한적이지만 *Chondrites*의 기원생물이 활동할 수 있을 정도의 영양분과 산소가 부분적으로 공급되었음을 지시한다(Uchman *et al.*, 2008). 이는 우현동 지역의 두호층 퇴적층에 수 cm 두께의 사질저탁암층이 간헐적으로 협재된 사실에 의해서도 뒷받침된다.

우현동 지역에 비해 분지에 보다 가까운 지역에 위치한 환호동 지역의 *Chondrites* 산출 이암의 경우, 우현동의 경우와는 달리 점이층리의 뚜렷한 발달 없이 전반적으로 이질의 퇴적물로 이루어져 있는데, 이는 환호동 *Chondrites* 산출 이암의 퇴적속도가 우현동의 것에 비해 상대적으로 느렸으며, 아울러 우현동의 것에 비해 저탁류의 영향을 상대적으로 덜 받았음을 지시한다. 이와 함께 환호동의 경우, *Chondrites*와 함께 *Planolites*, *Palaeophycus*, *Taenidium* 등의 생흔화석이 함께 수반되어 나타나는 사실은 우현동의 경우와

는 달리 환호동 *Chondrites* 산출 이암의 퇴적 당시, 어느 정도의 산소가 용존된 환경이었음을 시사한다.

이와 같은 두 지역의 이암에서 관찰되는 생흔화석의 산출특성은 이들 지역의 두호층 퇴적층이 천해 기원이 아닌 반원양성의 심해 기원임을 시사한다. 비록 제한된 관찰결과이지만 이와 같은 심해환경의 조건에서 생흔화석의 산출양상이 층준에 따라 다르게 나타나는 것은, 두호층의 퇴적과정을 통해 저층 퇴적환경의 용존산소량이 층서적으로 변화하였음을 보여주는 것으로 해석된다. Bahk *et al.* (2000)은 울릉분지의 심해기원 퇴적층(4만9천 년 전 - 만천 년 전) 내의 생흔기록을 바탕으로 이 기간 동안의 해수면 변동에 의한 저층수의 산소환경 변화를 해석하였다. 즉 생흔화석의 산출이 매우 제한적이고 저탁류 기원의 엽층리가 발달한 이질암층은 해수면 하강에 따른 육지로부터 담수의 유입이 늘어나면서 표층과 저층의 밀도차로 인한 저층수의 산소부족에 기인한 결과이며, 반면 생흔화석이 풍부하게 발달한 반원양 내지 원양성의 퇴적층은 해수면의 상승에 따른 저층수로의 산소유입 증가의 결과로 해석하였다.

점이층리가 발달된 *Chondrites*만이 나타나는 우현동 *Chondrites* 산출퇴적층은 Bahk *et al.* (2000)의 생흔화석의 발달이 매우 제한적인 저탁류 기원의 엽층리 발달 이질층에 비유될 수 있다. 한편 *Chondrites*를 포함하여 다양한 생흔화석이 나타나는 환호동 *Chondrites* 산출퇴적층은 Bahk *et al.* (2000)의 생흔화석이 풍부한 반원양 내지 원양성의 퇴적층에 비유될 수 있다. 따라서 플라이스토세말에 이루어진 동

해에서의 해수면 변동에 따른 심해 환경의 용존산소 변화 양상이 마이오세 중기에 동해가 열린 상태 (Kim *et al.*, 2007)에서 퇴적이 이루어진 두호층의 퇴적기간 동안에도 유사한 양상으로 일어났음을 시사한다(그림 7).

한편 두호층의 퇴적환경을 천해의 환경으로 해석한 근거가 된 갯가재 화석(Yun, 1985)과 연체동물화석(Lee and Yoon, 2004)은 저탁류에 의해 심해분지로 유입된 것으로 해석되며, 미소 포낭류 화석(Koh, 2006)과 강돌고래화석(Lee *et al.*, 2012)에 지시된 두호층의 퇴적에 일어난 담수의 영향은 두호층의 퇴적 당시 심해분지로 다량의 육상식물화석을 유입시킨 육상으로부터의 홍수에 의한 유입에 의한 결과로 해석된다. 이러한 현상 또한 두호층 발달 기간 동안의 해수면 하강과 관련 있을 것으로 보인다. 이와 같은 두호층의 해수면 변동에 따른 고환경 변화에 대한 이해에는 앞으로 이루어질 두호층 산출 화석들의 화석화과정 해석이 일조를 할 수 있을 것이다.

한편 외견상 균질하게 보이는 두호층 이암의 연마면으로부터 층리와 생흔 등 여러 유형의 퇴적구조가 이 연구에서 처음으로 확인되었다. 이는 두호층의 퇴적특성과 고환경을 이해하는 데에 열쇠가 되는 다양한 특성의 퇴적기록들이 이 방법에 의해 새로이 관찰될 수 있음을 보여준다.

사 사

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재

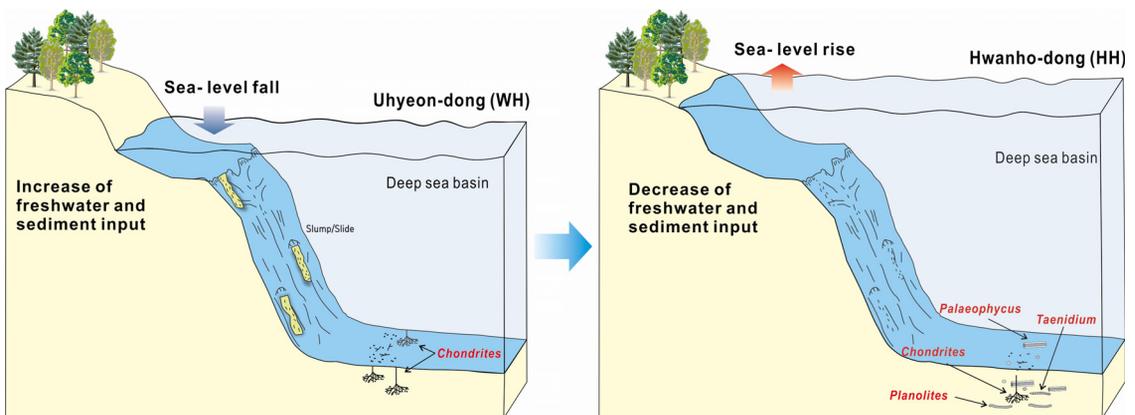


Fig. 7. Schematic diagram showing the difference in paleoenvironmental condition between Woohyeondong and Hwanhodong specimens including the trace fossils of *Chondrites*.

원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구결과이며(한국연구재단 2011-0027319) 이에 감사를 드린다. 이 연구의 수행에 도움을 준 부경대학교 김현주 박사와 한국전력기술의 이호일군에게 고마움을 전하며, 아울러 이 논문을 세심히 읽고 유익한 지적과 도움말을 주신 한국교원대학교 김정률 교수님, 안동대학교 이동진 교수님, 그리고 한국지질자원연구원 남옥현 박사님께 감사를 드린다.

REFERENCES

- Bahk, J.J., Chough, S.K. and Han, S.J., 2000, Origins and paleoceanographic significance of laminated muds from the Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). *Marine Geology*, 162, 459-477.
- Bak, Y., Lim, J.D. and Yun, H., 1996, Middle Miocene Radiolarians from the Duho Formation in the Pohang Basin, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 12, 225-261.
- Bromley, R.G., 1984, *Chondrites*: A trace fossil indicator of anoxia in sediment. *Science*, 224, 872-874.
- Byun, H. and Yun, H., 1992, Miocene Dinoflagellate cysts from the central part of the Pohang Basin, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 8, 164-235.
- Chang, K.H. and Park, B.S., 1977, Occurrence and significance of trace fossil *Chondrite* from age-debated dark gray low-grade metamorphic argillaceous rock of Ogcheon Supergroup, southern Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 13, 263-266 (in Korean with English abstract).
- Chough, S.K., Hwang, I.G. and Choe, M.Y., 1990, The Doumsan Fan-Delta system, Miocene Pohang Basin (SE Korea). Woosung Publishing Company, Seoul Korea, 95 p.
- Chung, C.H., Kim, J.Y. and Koh, Y.K., 1995, Paleocology of Miocene Palynoflora from the Yeonil Group, Pohang area, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 16, 215-221 (in Korean with English abstract).
- Encinas, A., Buatois, L.A. and Finger, K.L., 2008, Paleocological and paleoenvironmental implications of a high-density *Chondrites* association in slope deposits of the south-central Chile. *Ameghiniana (Rev. Asoc. Paleontol. Argent.)*, 45, 225-231.
- Fu, S., 1991, Funktion, Verhalten und Einteilung fucoider und lophoceniider Lebensspuren. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 135, 1-78
- Hwang, C.O., Lee, H.Y. and Yun, H., 1992, Paleocology of the Bomun Subbasin (Pohang Basin) based on trace fossils. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 8, 236-25 (in Korean with English abstract).
- Hwang, I.G., Chough, S.K., Hong, S.W. and Choe, M.Y., 1995, Controls and evolution of fan delta systems in the Miocene Pohang Basin, SE Korea. *Sedimentary Geology*, 98, 147-179.
- Jung, K.K., 1993, Benthic foraminiferal assemblages and paleoenvironmental analysis of the Miocene in the Pohang Basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 29, 464-476 (in Korean with English abstract).
- Jung, S.H. and Lee, S.J., 2009, Fossil-winged fruits of *Fraxinus* (Oleaceae) and *Liriodendron* (Magnoliaceae) from the Duho Formation, Pohang Basin, Korea. *Acta Geologica Sinica*, 83, 845-852.
- Kim, B.K., 1965, The stratigraphic and paleontologic studies on the Tertiary (Miocene) of the Pohang area, Korea. Seoul National University, *Journal of Science and Technology Series*, v. 15, 32-121.
- Kim, D.H. and Lee, S.J., 2011, Fossil scallops from the Hagjeon Formation and the Duho Formation, Pohang Basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 235-244 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J., Lee, G.H., Jou, H.T., Cho, H.M., Yoo, H.S., Park, G.T. and Kim, J.S., 2007, Evolution of the eastern margin of Korea: Constraints on the opening of the East Sea (Japan Sea). *Tectonophysics* 436, 37-55.
- Kim, J.H., 2008, A new species of *Acer* samaras from the Miocene Yeonil Group in the Pohang Basin, Korea. *Geosciences Journal*, 12, 331-336.
- Kim, J.H., 2009, Occurrence of *Pseudolarix* (Pinaceae) from the Miocene Duho Formation of the Yeonil Group in the Pohang Basin, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 30, 598-604.
- Kim, J.H., 2010, *Albizia miokalkora* Hu and Chaney. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 31, 691-697 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Lee, S., An, J., Lee, H. and Hong, H., 2009, *Albizia* fruit fossils from the Miocene Duho Formation of Yeonil Group in the Pohang Basin, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 30, 10-18 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.Y., 1992, Some trace fossils from the Joseon Supergroup in Jangseong-Dongjeom area, Kangweondo, Korea: Preliminary observations. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 13, 460-471.
- Kim, J.Y. and Heo, W.H., 1995, Paleoenvironmental implications of sedimentary structures and trace fossils from the Seogwipo Formation, Jeju Island, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 16, 232-246.

- Kim, J.Y., Hwang, K.S. and Park, S.I., 1994, Trace fossils and storm-influenced deposits of the Mungok Formation (Early Ordovician), Yeongweol, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 15, 115-125.
- Kim J.Y., Kim, K.S. and Pickerill, R.K., 2003, Cretaceous nonmarine trace fossils from the Hasandong and Jinju Formations of the Namhae area, Kyongsangnamdo, Southeast Korea. *Ichnos*, 9, 41-60.
- Kim, J.Y., Seo, Y.S. and Park, S.I., 1992, Trace fossils from the Yeongheung Formation, Yeongweol, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 13, 313-326.
- Koh, Y.K., 2006, Minor siliceous microfossil group and fossil cysts from the Yeonil Group (Tertiary) in the Northern Area of the Pohang Basin, Kyeongbuk Province, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 27, 95-117 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.G. and Yoon, S., 2004, Cenozoic bivalves and gastropods. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, Special Volume 7, 217-224 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.N., Ichishima, H. and Choi, D.K., 2012, First record of a Platanistoid Cetacean from the Middle Miocene of South Korea. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 32, 231-234.
- Lim, J.D., 2005, The first dolphin fossil from the Miocene of Korea. *Current Science*, 89, 939-940.
- Noh, J.H., 1994, Stratigraphy, lithology, and diagenetic mineral facies of the Tertiary Yeonil Group. *Korean Journal of Petroleum Geology*, 2, 91-99.
- Savrda, C.E. and Bottjer, D.D., 1987, Trace fossils as indicators of bottom-water redox conditions in ancient marine environments. In: Bottjer, D.J. (eds.), *New Concepts in the use of biogenic sedimentary structures for paleoenvironmental interpretation*, Volume and Guidebook, The Pacific Section, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Los Angeles, California, U.S.A., 2-26.
- Seong, M.N., Kong, D.Y., Lee, B.J. and Lee, S.J., 2009, Cenozoic brittle stars (Ophiuroidea) from the Hagjeon Formation and the Duho Formation, Pohang Basin, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 42, 367-376 (in Korean with English abstract).
- Simpson, S., 1956, On the trace-fossil *Chondrites*. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 112, 475-499.
- Shourd, M.L. and Levin, H.L., 1976, *Chondrites* in the Upper Plattin Subgroup (Middle Ordovician) of eastern Missouri. *Journal of Paleontology*, 50, 260-268
- Sohn, Y.K., Rhee, C.W. and Shon, H., 2001, Revised stratigraphy and reinterpretation of the Miocene Pohang basinfill, SE Korea: sequence development in response to tectonism and eustasy in a back-arc basin margin. *Sedimentary Geology*, 143, 265-285.
- Sternberg, G.K., 1833, Versuch einer geognostisch-botanischen Darstellung der Flora der Vorrvwelt, parts 5 and 6. Johann Spurny, Prague, 80 p.
- Tateiwa, I., 1924, Geological atlas of Chosen, no. 2, Ennich, Kyuryuho and Choyo sheets. Geological Survey, Government-General of Chosen (in Japanese).
- Uchman, A., Bak, K. and Rodriguez-Tovar, F.J., 2008, Ichnological record of deep-sea palaeoenvironmental changes around the Oceanic Anoxic Event 2 (Cenomanian-Turonian boundary): An example from the Barnasiowka section, Polish Outer Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 262, 61-71.
- Um, S.H., Lee, D.W. and Bak, B.S., 1964, Explanatory text of the geological map of Pohang sheet (scale. 1:50000): Seoul, South Korea. Geological Survey of Korea, 38.
- Woo, K.S. and Kim, B.K., 2006, Stable oxygen and carbon isotopes of carbonate concretions of the Miocene Yeonil Group in the Pohang Basin, Korea: Types of concretions and formation condition. *Sedimentary Geology*, 183, 15-30.
- Yi, S. and Yun, H., 1995, Miocene calcareous nannoplankton from the Pohang Basin, Korea. *Palaeontographica Abteilung B*, 237, 113-158.
- Yoon, S., 1975, Geology and paleontology of the Tertiary Pohang Basin, Pohang District, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 11, 187-214.
- Yun, H., 1985, Some fossil Squillidae (Stomatopoda) from the Pohang Tertiary Basin, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 1, 19-31.
- Yun, H., 1986, Emended stratigraphy of the Miocene Formations in the Pohang Basin, Part I. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 2, 54-69.

투 고 일 : 2013년 2월 26일

심 사 일 : 2013년 2월 27일

심사완료일 : 2013년 3월 23일