

## 제 3기 포항분지의 학전층과 두호층에서 산출된 거미불가사리 화석

성미나<sup>1</sup> · 공달용<sup>2</sup> · 이봉진<sup>1</sup> · 이성주<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 자연과학대학 지질학과, <sup>2</sup>문화재청 국립문화재연구소

### Cenozoic Brittle Stars (Ophiuroidea) from the Hageon Formation and the Duho Formation, Pohang Basin, Korea

Mi Na Seong<sup>1</sup>, Dal-Yong Kong<sup>2</sup>, Bong Jin Lee<sup>1</sup> and Seong-Joo Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, Kyungpook National University

<sup>2</sup>National Research Institute of Cultural Heritage, Cultural Heritage Administration

Forty specimens of fossil ophiuroids were collected from two formations of the Cenozoic marine deposits, Duho Formation and Hageon Formation, Pohang Basin, Korea. A few specimens were three-dimensionally preserved: most of them were remained flattened and articulated. Although a gross morphology is well preserved in some specimens, the details such as disk shape and plates which is the most important diagnostic features were not observed. Most of the arms are disarticulated, and thus arm vertebra, arm spines and/or arm plates are separately preserved. Only an oral side is recognized in an attached specimens because crossing arms into disk are clearly visible. It is, thus almost impossible to identify Korean ophiuroid fossils as a species level or even a genus level. The fossils were classified into 3 groups by gross morphology of disk and arm, and architecture of vertebra. The most abundant fossils (32 specimens), were found only in the Hageon Formation. The majority of specimens are partially disarticulated, having only proximal and median portions of their arms preserved. Arm plates are disarticulated from arm vertebra: most of them show structure of arm vertebra. It has long and well-preserved arm spines, and large tentacle pore. Some specimens (4 specimens) from the Duho Formation is characterized by short and conical arm spines, and well-developed arm plates. Lateral arm plates are small in compared to dorsal and ventral arm plates. The others (4 specimens) is poor in preservation state showing circular oral disk and relatively short sinuous arms. No arm plates are either identified.

**Key words :** Duho Formation, Hageon Formation, Ophiuroidea, Pohang Basin, Tertiary

신생대 제3기 포항분지의 두호층과 학전층으로부터 총 40점의 거미불가사리 화석을 채집하였다. 학전층에서 총 32 개체, 두호층 8개체로 학전층에서 상대적으로 많은 개체가 발견되었다. 하지만 보존 상태는 오히려 두호층에서 더 완전한 보존 상태를 보이며 전체적으로 보존 상태가 불량하여 종 수준까지의 감정은 불가능하다. 즉, 대부분의 표본들은 분절된 형태로 발견되었고, 분류학상으로 중요한 중심판(disk)과 판(plate)등의 세부적인 구조는 나타나지 않는다. 따라서, 발견된 거미불가사리 화석은 중심판과 팔의 형태나 완절의 구조 등에 따라 크게 3개의 그룹으로 구분하였다. 그룹 1은 학전층에서 산출된 거미불가사리 화석들로 대부분 분절된 팔만이 보존되어 있고, 완판은 팔로부터 분리되어 완절이 드러나 있으며, 완극은 길고 곧게 뻗어 있으며, 촉수공(tentacle pores)이 보존된 특징을 갖는다. 그룹 2는 두호층에서 산출된 표본들로(4 개체) 짧고 원뿔 형태의 완극을 가지며 완판이 잘 보존되어 있는 특징을 갖는다. 이 화석들은 측완판(lateral arm plates)이 복완판(ventral arm plates)이나 배완판(dorsal arm plates)에 비해 크기가 작다. 그룹 3은 외형은 회미하나 원형의 중심판이 뚜렷하게 보존되어 있는 것들로 두호층에서만 4 개체가 발견되었다. 포항분지에서 발견된 거미불가사리 화석의 보존 특징과 각 지층의 이미 알려진 퇴적학적 조건 및 암상관계를 비교·검토해 본 결과 이들이 상호 연관성이 있음이 확인되었다. 즉 학전층에서 발견된 거미불가사리 화석들(그룹 1)은 상대적으로 보존상태가 불량한데, 이는 사암 또는 사질 이암이 우세한 역질 사암이 퇴적되었던 상대적으로 좀 더 고 에너지의 퇴적환경의 영향 때문으로 해석된다. 반면 두호층의 표본(그룹 2, 3)들은 개체 수는 적지만 상대적으로 완전한 보

\*Corresponding author: sjl@knu.ac.kr

존 상태를 보이는데, 이는 세립질의 이암이 퇴적되는 상대적으로 저에너지 환경에서 재퇴적 및 이동 없이 퇴적되었기 때문으로 추정된다. 또한 학전층에서 거미불가사리 화석의 산출량이 더 높은 이유는 이들이 상대적으로 얇은 수심에 많이 모여 살았던 것으로 판단된다.

**주요어** : 거미불가사리, 포항분지, 학전층, 두호층, 제 3기

## 1. 서 언

거미불가사리는 해삼, 성게, 불가사리 및 바다나리 등이 속해 있는 극피동물의 일종으로 전체적인 모양은 불가사리와 유사하나 각각의 팔이 좀 더 자유롭게 움직일 수 있는 구조를 가지고 있다. 이들은 오르도비스기 전기에 처음 출현하여 트라이아스기 전기에 하나의 분기군으로써 빠르게 번성하였고 현재는 약 2000종의 거미불가사리가 보고되어 있다(Smith *et al.*, 1995; Chen and Mcnamara, 2006). 거미불가사리 성체의 형태는 불가사리와 매우 유사하여 과거에는 불가사리강에 속하는 하나의 아강으로 거미불가사리를 분류하기도 하였다(Linne, 1758). 하지만 거미불가사리는 유생 단계인 푸로테우스(pluteus) 단계에서 성체와 유연관계를 보이고 성체의 해부학적인 구조나 골격의 배열도 불가사리와는 확연한 차이를 보여 오히려 성체와 가깝다고 여겨진다. 외부 형태 또한 불가사리와 달리 중심판(disk)과 팔(arm)이 명확히 구분되며 성체 표면은 여러 종류의 판으로 덮혀 있다. 거미불가사리는 탄산염 광물 성분의 판(plate)들이 연결되어 하나의 골격을 이루고 5개의 팔과 중심판 또한 약하게 연결되어 있어서 화석화과정 동안 대부분의 판들은 분리되고, 팔들은 중심판으로부터 떨어져서 마디는 분절된다. 따라서 거미불가사리 화석은 중심판과 팔이 연결되어 있는 온전한 모습으로 보존되기 힘들며 3차원적으로 보존된 화석 또한 극히 드물게 산출된다(Twitchett *et al.*, 2005).

현재까지 국내의 현생 거미불가사리에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있으나, 거미불가사리 화석에 대해서는 보고된 바가 없다. 본 연구에서는 포항분지의 두 지층(두호층, 학전층)에서 발견된 40여 점의 거미불가사리 화석을 최초로 보고한다. 대부분의 거미불가사리 화석들의 팔들은 중심판과 떨어져서 팔에 붙어있던 가시(arm spine)들은 팔과 분리되어 산출되며, 완판이 떨어져 나가 완질의 형태가 드러난 표본들이다. 거미불가사리의 팔과 중심판이 온전하게 보존된 화석도 발견되나 분류의 핵심적 특징[예, 폭순(radial shield), 구순(oral shield), 구극(oral papilla) 등]이 함께 보존된 경우는 드물다. 따라서 국내에서 최초로 발견된 거미불

가사리 화석에 대한 중 수준의 감정은 어려우나 포항분지에서 기존에 보고된 부족류(Lee, 1992), 부족류 등(Lee and Yoon, 2004)의 화석과 더불어 신생대 제 3기 동안 동해 저서생태계의 생물다양성에 대한 많은 정보를 제공하리라 생각한다. 또한 거미불가사리의 분포는 퇴적환경보다는 수심에 의해서 결정되고, 수심에 따라 종의 풍부도와 다양성의 차이를 보이기 때문에(Shin, 1989), 거미불가사리 화석의 연구가 꾸준히 진행된다면, 두 지층에 대한 고환경 해석에도 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2. 지질개요

한반도 남동부에 위치한 포항 분지는 남한의 신생대 퇴적분지 중 규모가 가장 크며, 신생대 마이오세에 반폐쇄된 만의 환경이었던 해양성 퇴적분지이다(Yoon, 1975). Tateiwa(1924)에 의하여 처음으로 연구된 이래 많은 학자들에 의해 층서, 암상, 퇴적 환경, 고생물학적인 연구가 활발하게 진행되었고, 분지의 지층명에 대한 체계 또한 다양하게 제안되었으나 현재까지 포괄적 지지를 받는 층서 체계는 확립되지 않았다(Um *et al.*, 1964; Kim, 1965; Yoon, 1975; Yun, 1986). Yun(1986)은 구조, 암상 및 미고생물학 연구를 통해 구분이 모호한 층을 통합하여 포항 분지에 분포하는 연일층군을 세 개의 지층(천북역암, 학전층, 두호층)으로 구분하였으며, 본 연구에서 사용되는 지층명과 층서체계는 Yun(1986)의 체계를 따른다.

천북역암을 정합으로 덮고 있는 학전층은 기존의 지층(예, 흥해층, 일동층 및 천곡사층, Yoon, 1975)들을 통합한 지층으로 층의 두께는 약 280~400 m정도이다. 주로 암회색 내지 회색의 사암과 이암으로 구성되어 있으며, 층의 상부에는 간혹 분급이 불량한 역암층들이 렌즈상으로 협재된다. 전반적으로 사암 및 이암의 층리는 매우 불량하며 전체적인 암상의 수평적, 수직적 변화가 심하여 지층의 연속성을 확인하기가 쉽지 않다.

150~200 m정도의 두께를 지닌 두호층은 포항분지의 최상부 지층으로 하부의 학전층을 정합적으로 피복하고 있다. 학전층과 달리 두호층은 대부분이 얇은 회

색이며 층리나 특징적인 퇴적구조가 발달되지 않은 균질한 이암으로 구성되어 있으며 얇은 사암이 협재되기도 한다. 이암층에는 다양한 크기의 결핵체가 발견되는데, 특히 두호층의 노두가 잘 발달된 북부해수욕장 주변에서는 규모가 큰(장반경 약 1 m) 결핵체가 층리면을 따라 발달되어 있다.

두 지층을 포함하는 연일층군의 시대는 일반적으로 신생대 제 3기의 마이오세로 알려져 있으나 방사성동위원소를 이용한 절대연령 연구는 아직 없는 실정이다. 하지만 다양한 화석(Lee, 1988; Yun, 1986)과 고지자기(Kim *et al.*, 1993) 연구 결과는 두호층이 중기 마이오세(ca. 14.5~11.5 Ma) 동안에 퇴적되었음을 지시한다. 연일층군의 퇴적환경 또한 일반적으로 온난한 환경으로 해석되지만 지층의 위치에 따른 연구자들의 해석은 다소 다른 결과를 보인다. 특히 미고생물학연구[예, 규조화석(Lee, 1986), 초미화석(Kim *et al.*, 1982; Koh, 1986), 외편포류(Yun, 1986)]는 연일층군의 하부는 난류의 영향이 우세한 반면 상부로 갈수록 한류의 영향이 강해지는 환경으로 해석하였으나 식물화석(Chun, 1982; Huzioka, 1972)과 화분포자화석(Chung and Choi, 1993; Chung and Koh, 2005) 연구는 연일층군의 식물화석을 온난한 기후에 서식하는 식물군으로 해석하

여 이를 일본의 다이지마형(Daijima type) 식물군과 대비하였다.

### 3. 거미불가사리 화석

포항 제 4산업단지 지역에 분포하는 학전층과 북부해수욕장 부근의 두호층에서 40점의 거미불가사리 화석이 발견되었다(Fig. 1). 이러한 화석들은 암회색 내지 옅은 회색의 이암층 및 실트질의 이암층에서 발견되었다. 거미불가사리 화석은 화석화과정을 겪는 동안의 변화 때문에 대부분의 팔들은 중심판으로부터 떨어지고 팔의 마디 또한 분절되어 흩어져서 발견되었다. 또한 팔에 대칭적으로 붙어있던 가시들도 팔과 분리되어 팔의 주변에 산재되어 있으며, 팔을 구성하는 작은 판들이 뜯겨져나가 팔마디(완결)의 형태가 드러나 있는 화석들도 관찰되었다. 개체 수는 적지만(40개체 중 6개체) 분절되지 않고 전체적인 외형이 보존된 거미불가사리 화석들도 발견되었다.

32개체가 발견된 학전층의 거미불가사리 화석의 대부분은 중심판으로부터 분리된 팔의 일부만이 대부분이며(30개체), 팔이 중심판에 붙어있는 완전한 형태의 거미불가사리 화석은 2점만이 발견되었다(Fig. 2). 외부

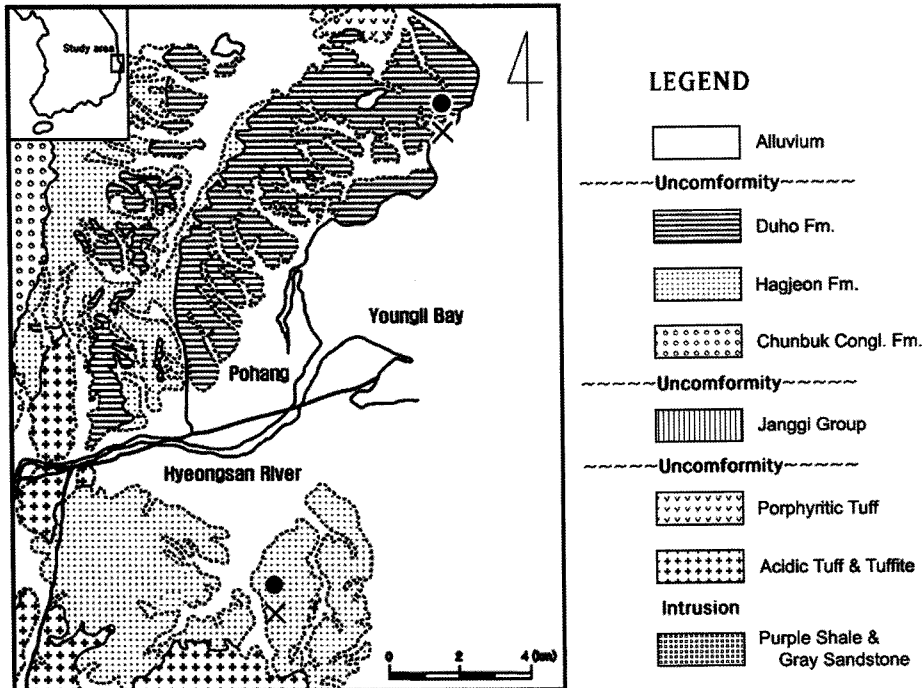
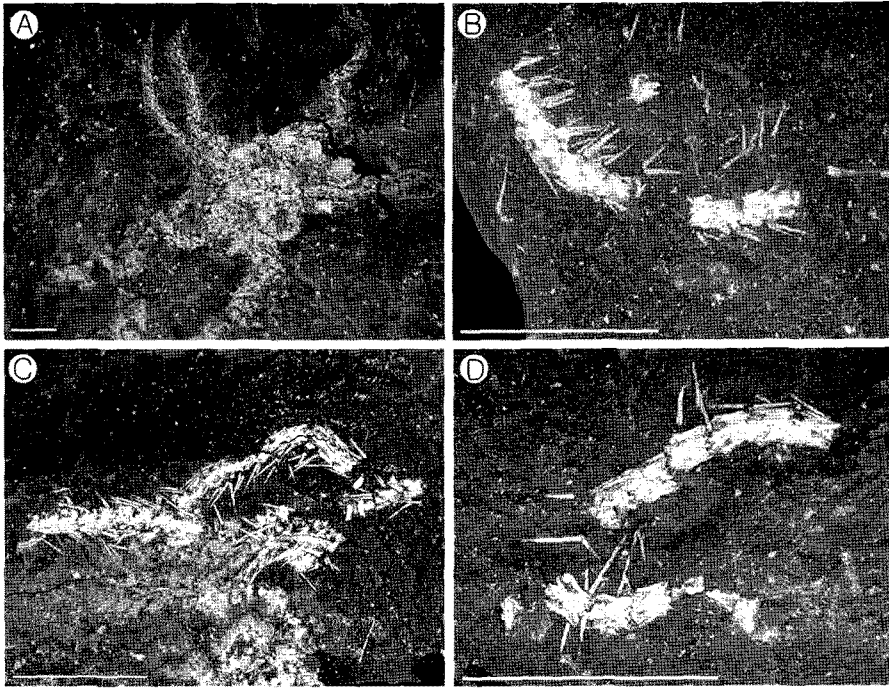


Fig. 1. Geologic map of the study area. X-points represent sampling sites.



**Fig. 2.** Ophiuroid fossils from the Hagejeon Formation. (A) Relatively complete ophiuroid fossil with 5 radiating arms attached to disk. Note that only an oral side is recognized in an attached specimens because crossing arms into disk are clearly visible. (B), (C), (D) Detached arms containing a series of arm vertebra. Arm plates are disarticulated from arm vertebra and arm spines are attached to arms (C) or scattered in the matrix (B, D). Scale bars in all figures represent 10 mm.

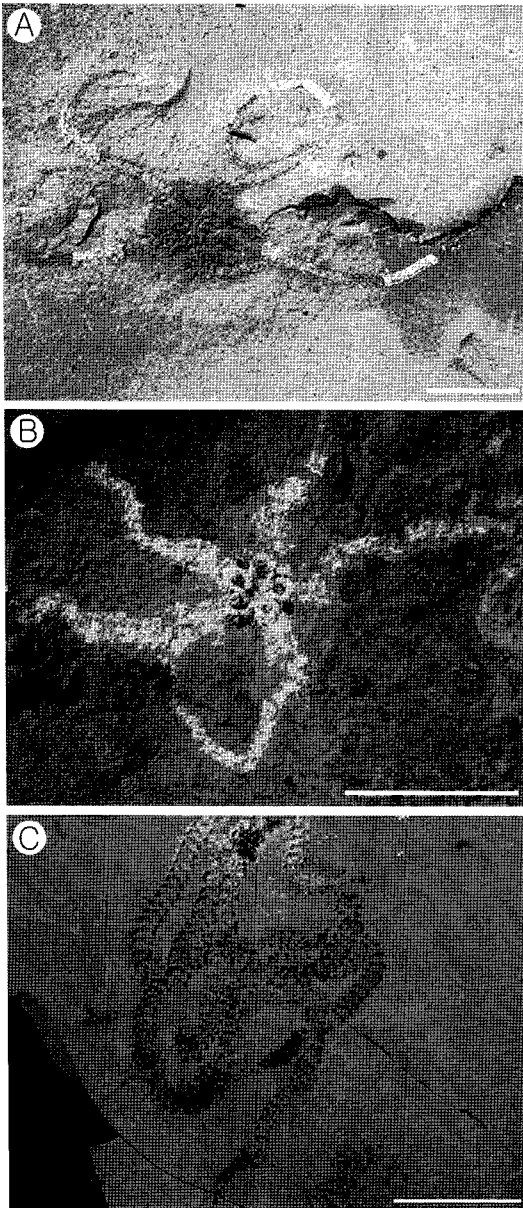
형태가 온전히 보존된 화석의 경우 원형의 중심판에 5개의 가늘고 긴 팔이 방사상으로 뻗어있는 거미불가사리의 전형적 특징인 5각 대칭을 보인다(Fig. 2A). 중심판의 세부적 구조는 희미하게 보존되어 있어 구분 어렵지 않으나 입은 잘 발달되어 있고 중앙에 위치하여 보존된 화석이 복측(oral side)임을 나타낸다. 방사상으로 뻗어있는 5개 팔이 입 주변까지 깊숙이 삽입되어 있으며 입 주변으로는 여러 종류의 판들이나 이(teeth), 구순(oral shield), 구극(oral papilla)들이 발달하고 있는데, 학전층에서 발견된 표본의 경우 이러한 판들은 대부분이 떨어져 나가 그 흔적만 남아있는 상태이다. 팔에는 가시와 완절(vertebra)이 비교적 잘 보존되어 있으나 팔을 둘러싸고 있는 완판(arm plates)은 대부분 남아있지 않다. 하나의 완절은 가로(ca. 1.5 mm)와 세로의 길이가 거의 비슷하고, 완극은 완절의 측면에 대칭적으로 각각 2개씩 붙어 있으며 끝이 뾰족하며 직선적으로 뻗어있다(Fig. 2B-D).

두호층에서는 학전층과 달리 많은 화석(8 개체)이 발견되지는 않았으나, 발견된 화석의 일반적 보존 형태와 전체적인 모양은 학전층에서 발견된 화석보다 우수

하다(Fig. 3). 즉, 중심판에 5개의 팔이 방사상으로 붙어있는 완전한 형태의 거미불가사리 화석이 4개체 발견되었으며, 이들도 학전층에서 산출된 개체들처럼 입의 형태가 남아있는 복측 부분이 화석화된 것이다. 중심판에 붙어있는 5개의 팔들은 방사상으로 발달하여 거미불가사리의 전형적인 모습을 잘 나타낸다. 학전층에서 발견된 화석들과 달리 팔들은 부드럽게 휘어져 있거나(Fig. 3A) 또는 불규칙하게 휘어져 있고(Fig. 3B, C), 끝으로 갈수록 가늘어지는 양상을 보인다. 하지만 전체적인 외부 형태와는 달리 보존 상태는 매우 불량하여 입의 형태 이외에 중심판에서 나타나는 다른 특징들은 거의 찾아 볼 수 없다. 또한 두호층 거미불가사리 화석의 팔 부분에는 학전층 표본들과는 달리 완절을 둘러싸고 있는 완판들의 형태가 잘 보존되어 있어 내부 완절의 형태는 관찰되지 않는다.

#### 4. 거미불가사리 화석의 기재

일반적으로 거미불가사리는 중심판과 방사상으로 뻗어 있는 5개의 팔로 구성되어 있다. 원형의 중심판 한



**Fig. 3.** Ophiuroid fossils from the Duho Formation. A characteristic gross morphology is beautifully preserved in all samples. A central disk is clearly visible in (A) and (B), while arm plates are well preserved only in (C). Note that arm spines are remained attached to arms and no scattered spines are observed unlike those in the Hagejeon Formation. Scale bar is 10 mm.

가운데에 입이 발달되어 있으며(복측에서 볼 경우) 5개의 팔은 입 주변에 나사처럼 박혀 있다. 입 주위에는 다양한 형태의 판이 발달해 있으며, 기저부에는 이(teeth)와 구극(oral papilla)이 있다. 팔은 보통 여러

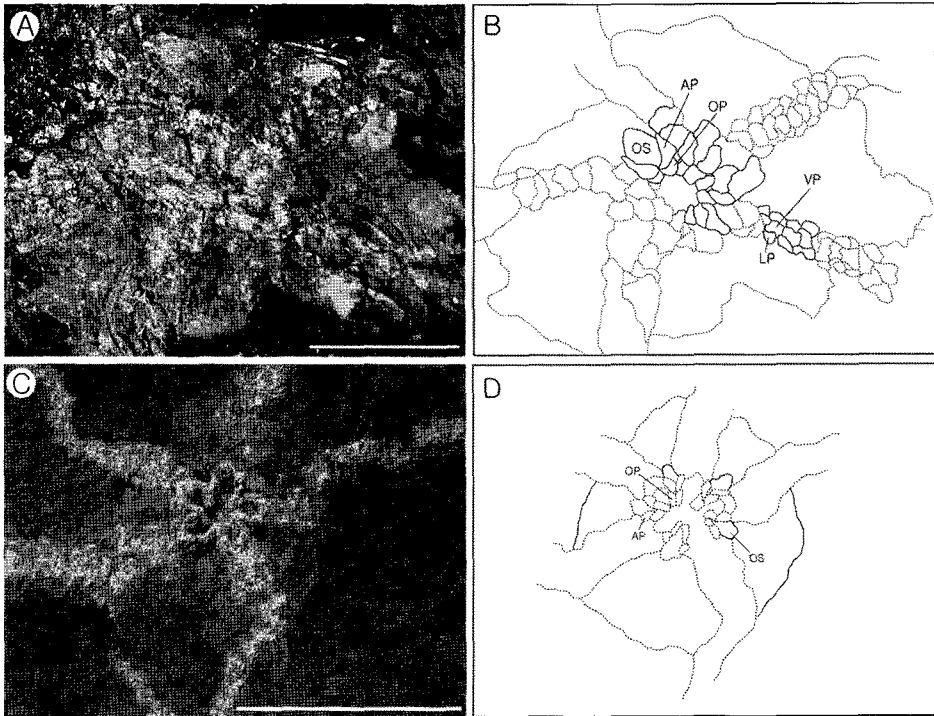
마디의 완절로 이루어져 있으며, 다양한 종류의 완절이 완골을 둘러싸고 있고 각각의 완절에는 완극이 붙어있다(Shin and No, 1996). 현생 거미불가사리의 분류는 이러한 형태적 요소뿐 아니라 거미불가사리의 내부 구조 및 조직 등도 중요한 분류 기준이 된다. 하지만 화석은 석회질 성분의 판과 골격만이 남아있기 때문에 화석을 분류하는데 있어서는 화석의 전체적인 모양이나 판의 형태 및 유무, 완절의 모양, 완극과 촉수공(tentacle pore)의 수 등이 분류 기준이 된다(Spencer and Wright, 1956). 예를 들어 팔이 3종류의 판으로 덮여 있는 거미불가사리는 폐사미목(order Ophiurida, Müller and Troschel, 1840)으로 분류되며 판 대신에 두꺼운 피부조직으로 덮여 있는 경우는 혁사미목(order Phrynophiurida, Matsumoto, 1915)에 속한다. 또한 팔의 복완판(ventral arm plate)과 측완판(lateral arm plate) 사이에 관족(podia)이 나오는 촉수공이 두 쌍 씩 나 있는데 촉수공의 개수도 종에 따라 차이를 보인다. 두호층과 학전층에서 발견된 거미불가사리 화석은 위에서 설명한 전체적인 형태 이외에 분류의 기준이 되는 중심판, 완절, 완극, 완판 및 촉수공 등이 관찰된다.

#### 4.1. 중심판(Disk)

중심판이 보존된 거미불가사리 화석은 6개체가 발견되었다(학전층 2개체, 두호층 4개체). 이들은 완벽한 모양을 갖추어 전체적인 거미불가사리의 형태를 띠지만 보존 상태가 좋지 않아 세부적인 구조들은 희미하게 관찰된다. 학전층에서 발견된 화석의 중심판은 다소 불규칙한 다각형 구조를 띠는(Fig. 4A, B) 반면 두호층 화석의 중심판은 원형의 모양을 잘 보존하고 있다(Fig. 4C, D). 두 경우 모두 입의 형태와 중심판까지 삼입된 팔의 형태는 잘 나타나지만 입을 둘러싸고 있는 다양한 구조의 판들은 명확히 구분되지 않는다. 학전층의 경우 인접한 두 팔 사이의 간폭부(interbrachial area)의 기부에는 입을 둘러싸고 있는 5개의 구순(oral shield)과 구순의 기부 밑쪽으로 긴 막대 모양의 구판(oral plate)이 흔적으로 남아있다. 구판과 구순 사이에는 꽃받침 모양의 측구판(aboral plate)이 발달되어 있다. 두호층의 화석에서 역시 입 주변까지 삼입된 팔의 사이사이에 구순이 붙어 있던 흔적이 남아있다. 구판과 측구판의 흔적 역시 희미하게 나타나 있긴 하지만 학전층 화석에 비해 그 보존 상태가 좋지 못하다.

#### 4.2. 완절(Vertebra)과 완판(Arm Plates)

폐사미목에 속하는 거미불가사리 팔의 완절은 서로

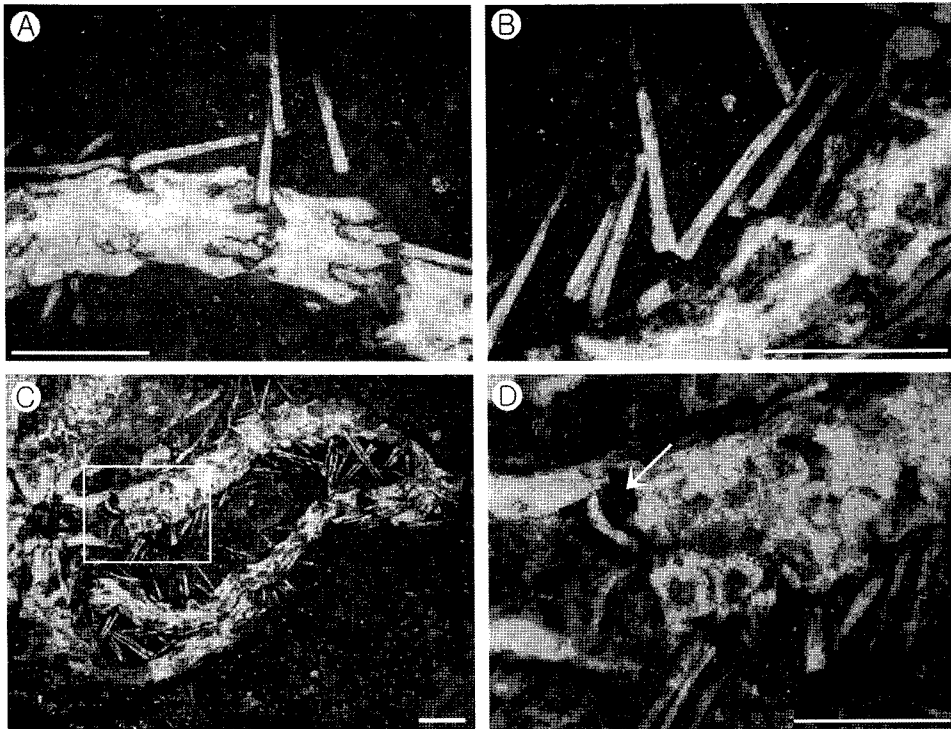


**Fig. 4.** Details and sketches of central disk of the Hageon (A, B) and Duho (C, D) fossils. (A, C) Close-up of Fig. 2A and Fig. 3B showing ventral side disks. (B, D) Different types of arm plates are developed in the Hageon fossils (B), while plates surrounding mouth are only preserved in the Duho fossils (D). (AP: Adoral plate, OP: Oral plate, OS: Oral shield, VP: Ventral arm plate, LP: Lateral arm plate). Scale bar is 10mm.

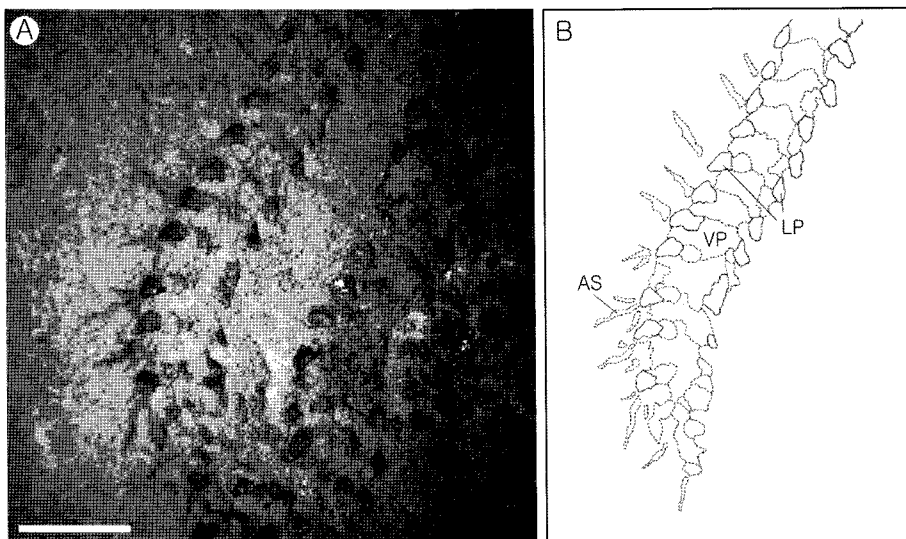
다른 3 종류의 완판(복완판, 배완판, 측완판)으로 피복되어 있고, 이러한 완판들이 나사처럼 서로 연결되어 자유롭게 움직이는 긴 팔을 구성한다. 따라서 완판을 둘러싸고 있는 완판이 완판에서 분리되지 않은 화석에서는 완판을 관찰할 수 없으나 화석화과정에서 완판이 완판과 분리되어 보존된 경우는 팔을 연결해주는 완판이 관찰된다. 학전층에서 발견된 화석들은 3종류의 완판이 모두 떨어져 나가 내부 완판의 형태가 선명하게 관찰된다(Fig. 5). 완판의 기부와 말단 부분은 톱니모양으로 결합되어 서로 맞물려 있으며, 완판 중앙으로 수관계(radial canal)가 위치하였던 홈이 일렬로 나타난다(Fig. 5A). 완판 한마디의 길이는 두께와 거의 일치하며, 복측으로 관측이 나왔던 축수공의 흔적 또한 남아 있다. 팔을 구성하는 이러한 완판들은 기부와 말단부에서 서로 다른 모양으로 연결되어있는데, 이는 팔이 수평이나 수직 방향으로 자유롭게 움직이게 하기 때문이다(Shin and No, 1996). 또한 완판은 단순한 원통 형태가 아니라 보는 방향에 따라 모양이 다르게 나타나기 때문에 화석에 나타나는 완판의 형태에 따라 완

판이 누워있는 방향을 알 수 있다. 예를 들어, Fig. 5A의 경우는 축수공의 흔적으로 보아 완판의 복측이 남아있는 것이며, 왼쪽이 중심판과 가까운 기부임을 알 수 있다.

반면에 두호층에서 발견된 거미불가사리 화석의 팔들은 완판과 완판이 붙어있는 상태로 발견되어 폐사미목의 특징인 3종류의 완판이 뚜렷이 구분된다(Fig. 6). 복완판과 배완판은 길이에 비해 넓이가 넓은 형태의 다소 불규칙한 사각형 모양을 띠고 있다. 복완판과 배완판 사이에 발달한 측완판은 크기가 작고 복측에 치우쳐서 발달되어 있으며 인접한 측완판들은 서로 연결되어 있지 않다. 측완판의 측면으로 가는 원뿔형의 완극이 3개씩 돌출되어 있다. 두호층 화석의 경우 완판의 형태로 미루어 볼 때 완판 한마디의 길이가 완의 두께에 비해 짧고 굵은 것으로 판단된다. 학전층에서 발견된 화석들은 이러한 완판이 떨어져 나가 내부의 완판이 드러나 있기 때문에 완판의 형태를 알 수 없으나 완판의 표면에 완판들이 붙어있던 흔적들은 희미하게 관찰된다.



**Fig. 5.** Detailed arm structures of ophiuroid fossils from the Hagjeon Formation. (A) Close-up of Fig. 2D, a series of arm vertebra is connected each other to form an arm of ophiuroids: the anterior vertebra indenting its distal neighbor. (B) Close-up of Fig. 2C, two pointed arm spines extending outwards from a single point of arms. (C, D) Arm structures showing mouth and tentacle pores. (D) Close-up of C in which tentacle pores are clearly recognizable in ventral view; the first podial basin may be largely hidden, and face radially towards the center. Scale bar is 2 mm.



**Fig. 6.** Detail and drawing of arm structure of a Duho ophiuroid fossil, characterized by short and conical arm spines, and well-developed arm plates. (AS: Arm spine, VP: Ventral arm plate, LP: Lateral arm plate). Note that all spines are attached to the arm and no spines are found scattered within the matrix. Scale bar is 2 mm.



### 4.3. 완극(Arm Spines)과 촉수공(Tentacle Pore)

거미불가사리 몸체의 표면은 여러 종류의 가시모양 돌기들로 덮여 있는데, 이들 중 팔에 돋아 있는 가시들이 완극이다. 완극은 완절의 측면에 붙어있는 측완판에서 돋아나 있으며 일반적으로 측완판이 복측에 치우쳐져 있기 때문에 완극도 복측에 가까운 쪽에서 발달한다. 완극은 거미불가사리가 죽으면 측완판으로부터 쉽게 떨어져 나오기 때문에 완극이 측완판에 연결되어 있는 화석은 매우 드물게 관찰된다. 두 지층에서 발견된 화석 표본들에서도 대부분의 완극들은 팔의 주변에 흩어져 있는 형태로 산출되었다(Fig. 2). 몇몇 표본에서는 완극들이 완절들 사이에 본래의 형태로 보존되어 있는 경우도 관찰되는데 이러한 것들로 살아있을 당시 측완판에 붙어있던 완극들의 개수를 추정 할 수 있다. 학전층에서 산출된 거미불가사리 화석들에서 완극은 완절의 측면으로 2개씩 나와 있으며, 표면이 매끈하고 완의 축에 거의 수직으로 곧게 뻗어있다(Fig. 5B). 완극의 길이는 완절의 길이에 비해 길며 끝이 뾰족하다. 완극의 기부는 둥근 형태로 중앙에 홈이 나 있으며 팔의 기부에서 말단에 이르기까지 모든 완극의 크기나 두께, 길이는 거의 일정하다. 반면, 두호층에서 산출된 화석들은 완극이 완절의 측면으로 3개씩 나와 있으며, 둥근 원뿔 형태로 완의 축에 거의 수직으로 나 있다(Fig. 6). 완극의 길이는 가장 긴 것이 완절의 길이와 거의 같으며 3개의 완극 중 가운데 있는 완극이 가장 길고, 대체적으로 학전층 화석의 완극에 비해 짧다.

촉수공은 관족(podia)이 나오는 구멍으로 팔의 복완판과 측완판 사이에 한 쌍씩 발달되어 있으며 학전층과 두호층에서 산출된 화석들 모두 이러한 촉수공의 흔적이 남아있다. 표본들에서는 완판이나 촉수공을 덮고 있는 촉수인(tentacle pore scale)은 남아 있지 않으나 촉수공의 위치를 알 수 있는 흔적은 남아있다. 특히 학전층 표본의 경우 일렬로 배열된 촉수공의 흔적이 뚜렷이 관찰되는데, 중심판의 복측에서 볼 때, 입 주위의 첫 번째 촉수공은 좀 더 안쪽으로 치우쳐져 있으며 더 크고 뚜렷하게 발달되어 있다. 입에서 멀어질수록 촉수공의 크기는 작아지는 경향이 있다(Fig. 5C, D).

## 5. 토 의

### 5.1. 거미불가사리 화석의 분류

일반적으로 현생 거미불가사리의 분류는 내부 골격과 생물학적 구조에 따른다(Smith *et al.*, 1995; Cisternas *et al.*, 2004). 하지만 이러한 구조들은 화석에서 잘 보

존되지 않아 현생 분류체계로 거미불가사리 화석을 종(species) 단위까지 분류하는 것은 쉽지 않기 때문에 몇몇 학자(예, Spencer and Wright, 1956)들은 화석 종과 현생종을 포함하는 분류체계를 제시하였다. 본 연구에서는 최근 Smith, Paterson and Lafay(1995)에 의해 수정된 분류체계를 사용하였다.

포항분지에서 산출된 화석들은 크게 3종류의 형태적 그룹으로 분류된다. 우선, 학전층에서 산출된 모든 화석(32개체)은 유사한 특징을 지닌 동일한 종으로 판단된다. 이들은 전체적으로 원형의 중심판에 5개의 가늘고 긴 팔이 방사상으로 뻗어 있다. 복측의 중심판 중앙부에는 입의 형태가 잘 나타나 있으며 팔이 입 가까운 곳까지 삽입되어 있다. 팔은 분지되지 않으며 끝에 가지를 가지거나 말려 있지 않다. 모든 표본에서 완판은 떨어져서 완절만이 관찰되나 희미하게 남아있는 완판의 개수로 보아 학전층의 화석은 폐사미목(order Ophiurida, Müller and Troschel, 1840)에 속하는 거미불가사리로 판단된다. 완절은 복측에서 보면 기부와 말단 부분이 툰니모양으로 서로 맞물려 있으며, 각각의 완절마다 2개의 완극이 끝이 뾰족한 형태로 곧게 뻗어 나있다. 또한 팔의 복측 부분에서 볼 때 완절의 마디에서 한 쌍의 촉수공이 관찰되는데, 특히 입에 가까이 발달된 첫 번째 촉수공이 가장 크고 뚜렷하다. 이러한 특징으로 미루어 보아 학전층에서 발견된 화석들은 Ophionerecidae과에 속하는 것임을 알 수 있다.

두호층에서 발견된 화석들은 학전층과 비교하여 분류의 기준이 되는 특징들의 보존상태가 좋지 않다. 또한 중심판의 모양, 완절의 형태, 완극의 수 등에 있어서 학전층의 화석과는 다르고, 이러한 두호층 화석들은 크게 두 가지 형태적 그룹으로 분류된다. 그 중 분절된 팔이 나타나는 4점의 화석은 학전층에서 나타나는 개체들과는 달리 원뿔 형태의 완극이 3개씩 나 있다. 학전층의 표본들과는 달리 완판이 완절에서 분리되지 않아 그 형태가 비교적 잘 보존되어 있으며, 완극 역시 팔에서 분리되지 않은 상태로 그 형태가 보존되어 있다. 3종류의 완판 중 측완판은 비교적 그 크기가 작다. 두호층에서 산출된 나머지 4점의 표본들은 하나의 개체가 완전히 보존되어 있으나 보존 상태가 매우 좋지 않아 전체적인 형태를 제외한 세부 구조는 거의 나타나지 않는다. 중심판은 원형으로 복측이며 중심에는 입의 형태가 잘 나타나고, 팔은 입 주변까지 깊이 삽입되어 방사상으로 뻗어 있다. 팔은 가늘고 길며, 기부에서 말단으로 갈수록 점점 더 가늘어진다. 완극은 흔적조차도 거의 남아 있지 않으며 완판의 형태



나 흔적 또한 거의 남아 있지 않다.

안타깝게도 두 지층에서 발견된 거미불가사리 화석은 종 단계까지 분류될 수 있는 형태적 특징이 관찰되지 않았다. 하지만 최근에 좀 더 넓은 지역에서 거미불가사리 화석이 보고되고 있어서 보존이 양호한 화석의 발견이 기대된다.

## 5.2. 퇴적환경

연구지역에서 발견된 거미불가사리 화석은 주로 몰드(mold)의 형태로 산출된다. 중심판과 5개의 팔이 붙어서 완벽하게 보존되어 있는 표본은 그 수가 적는데 이러한 현상은 거미불가사리가 죽게 되면 일반적으로 팔들은 쉽게 중심판에서 떨어져나가고, 몸을 구성하는 판들이 분리되고 완절들은 분절되어지기 때문이다. 따라서 연구 지역에서 발견된 대부분의 화석들도 분절된 팔의 형태로 나타난다. 하지만 화석의 산출 양상은 두 지층의 경우가 다소 다르며, 이러한 이유는 거미불가사리 화석이 퇴적될 당시의 환경차이 때문으로 판단된다. 즉 중심판과 팔이 붙어 있는 상태의 온전한 화석은 학전층(32개체 중 2개체)에 비해 두호층(8개체 중 4개체)에서 월등하게 많이 산출된다. 온전하게 산출된 화석의 모양 및 보존 상태 또한 두호층의 경우가 더 우수하다(Fig. 2 와 3 비교). 이러한 현상은 아마도 거미불가사리가 서식하던 당시에 두호층의 환경이 학전층의 환경에 비해 좀 더 안정된 환경(저에너지 환경)이었기 때문으로 판단된다. 화석이 발견된 두 지층의 암상 차이도 이러한 해석을 뒷받침하는데, 두호층의 이암은 균질한 양상을 보이는 반면 학전층은 사암이나 사질의 이암이 우수하고 렌즈상으로 역질 사암이 협재하는 것으로 보아 학전층이 좀 더 강한 해류의 흐름에서 퇴적되었음을 지시한다. 따라서 화석이 산출된 층준에서의 학전층의 퇴적환경은 두호층에 비해 좀 더 고에너지의 환경이었음을 알 수 있다.

거미불가사리 화석의 완판과 완극의 보존 및 산출상태도 두 지층의 경우 판이하게 다르다. 학전층에서 산출된 화석의 대부분은 완판이 떨어져 나간 형태로 완절이 드러나 있고 완극들 역시 대부분 팔에서 분리되어 주변에 흩어져 나타나는 반면 두호층에서 산출된 화석들은 완판이 완절에 붙어 있는 상태로 보존되어 완절을 관찰할 수 없다(Fig. 2와 3 비교). 또한 두호층의 모든 표품에서는 팔 주변에 흩어져 있는 완극이 관찰되지 않고 대신 완극은 팔에 온전하게 붙어 있는 상태로 산출된다(Fig. 3, 6). 이러한 현상들 또한 두호층의 퇴적환경이 학전층에 비하여 좀 더 안정적이었음을 시

사한다. 결과적으로 두호층에서 서식하던 거미불가사리는 죽은 직후 멀리 이동하지 않고 그 장소에 바로 매몰된 것이라고 볼 수 있는 반면 고에너지 환경하에서 서식하던 학전층 거미불가사리는 죽은 후 다소 멀리 이동되고, 이 과정에서 팔과 중심판이 분리되고 완절들이 분절되어 매몰된 것으로 판단된다.

현생 거미불가사리는 암초 지대의 돌 밑, 진흙이나 모래 밑바닥 또는 먼 바다의 모래나 진흙바닥 등 다양한 지역에 서식하며, 수심도 대륙붕에서 심해에 이르기까지 다양하다(Shin, 1989). 종에 따른 거미불가사리의 분포 양상은 일반적으로 수심에 의해 결정되며, 수심에 따라 서식하고 있는 거미불가사리의 종이 달라지고 종의 풍부도 역시 수심에 따라 큰 차이가 있다(Shin, 1989). 학전층과 두호층에서 산출된 화석의 보존 상태가 좋지 않기 때문에 종 단위까지의 분류가 불가능하여 이러한 결과만을 바탕으로 연구지역의 수심에 대하여 해석하는 것은 어렵지만, 거미불가사리 화석의 연구가 계속되어 진다면 신생대 마이오세 동안 동해안에서의 수심을 비롯한 고환경을 해석하는데 많은 도움이 될 것이다.

## 6. 결 론

1. 신생대 제 3기 퇴적분지인 포항분지의 두호층과 학전층에서 40개체의 거미불가사리 화석이 발견되었다. 채집된 거미불가사리 화석들은 대부분 보존 상태가 불량하며 하나의 개체로 완전히 보존된 것이 드물었다. 이러한 화석들을 채집하고 이 표본들을 관찰한 결과 화석들은 보존상태에 따라 크게 3개의 그룹으로 구분하였다.

2. 학전층에서 산출된 화석은 분절된 완(arm)과 완에서 떨어져 나온 완극(arm spine)의 형태가 잘 남아 있다. 이러한 특징으로 학전층에서 채집된 개체들은 과(family Ophionereididae) 단계까지의 분류가 가능하다. 하지만, 완판(arm plate)이나 반(disk)의 세부 형태가 잘 보존되어 있지 않아 속 단계까지의 분류는 불가능하다.

3. 두호층에서 산출된 화석은 크게 두 종류로 구분되어지며, 학전층에 비해 보존 상태가 좋지 않다. 하지만 완의 외부를 둘러싸고 있는 완판이나 완극의 형태가 보존되어 있어, 이러한 특징으로 미루어 학전층의 표본과는 다른 개체임을 알 수 있다.

4. 현재까지 우리나라의 거미불가사리 화석에 대한 연구는 보고된 바가 없으나, 거미불가사리는 동해안

에서 서식하고 있는 대표 종 중의 하나로써, 서식 당시의 고환경 연구에도 많은 도움이 될 것이다. 따라서 이러한 화석에 대한 연구가 앞으로도 꾸준히 진행되어야 할 것이다.

### 감사의 글

본 논문은 2단계 두뇌한국(BK)21 사업 경북대학교 에너지 자원 및 환경지질 사업팀의 지원을 받아 수행된 연구이다. 이 연구를 수행하는 과정에서 많은 도움을 준 경북대학교 고생물학 연구실 연구생들과 심사과정에서 세심한 검토와 지적으로 논문의 질을 높여주신 변현숙 박사와 익명의 심사위원에게 깊은 감사를 드립니다.

### 참고문헌

- Chen, Z.Q. and McNamara, K.J. (2006) End-Permian extinction and subsequent recovery of the Ophiuroidea (Echinodermata). *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, p. 321-344.
- Chun, H.Y. (1982) Plant fossils from the Tertiary Pohang sedimentary basin, Korea. KIGAM Report on geoscience and Mineral Resource, v. 14, p. 7-24.
- Chung, C.H. and Choi, D.K. (1993) Paleoclimatic implication of palynoflora from the Yeonil Group (Miocene), Pohang Area, Korea. *Journal of the Paleontological society of Korea*, v. 9, p. 143-154.
- Chung, C.H. and Koh, Y.K. (2005) Palynostratigraphic and palaeoclimatic investigations on the Miocene deposits in Pohang area, South Korea. *Review of Palaeobotany and Palynology*, v. 135, p. 1-11.
- Cisternas, P., Selvakumaraswamy, P. and Byrne, M. (2004) Evolution of development and the Ophiuroidea-revisited. Heinzeller T. and Nebelsick, J.H. editors. Taylor and Francis Group, London, UK, p. 521-526.
- Huzioka, K. (1972) The Tertiary floras of Korea. *Journal of the Mining College, Akita University, Series A*, v. 3, p. 1-105.
- Kim, B.K. (1965) The stratigraphic and paleontologic studies on the Tertiary (Miocene) of the Pohang area, Korea. *Seoul University Journal Science and Technology Series*, v. 15, p. 32-121.
- Kim, B.K., Cheong, C.H., Koh, I.S., Paik, K.H. and Koh, Y.K. (1982) Micropaleontological and sedimentological studies of the Neogene Tertiary in Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, v. 18, p. 19-36.
- Kim, K.H., Doh, S.J., Hwang, C.S. and Lim, D.S. (1993) Paleomagnetic study of the Yeonil Group in Pohang basin. *The Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, v. 26, p. 507-518.
- Koh, Y.K. (1986) Silicoflagellates, Ebridians and Nannofossils from the Pohang (Neogene) and the Ulleung (late Quarternary) Basin, Korea. Ph. D. thesis, Seoul National University, 220p.
- Lee, Y.G. (1986) Micropaleontological study of Neogene strata of southeastern Korea and adjacent sea floor. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, v. 2, p. 83-113.
- Lee, Y.G. (1988) Neogene paleotemperature oscillations in the Pohang Basin, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, v. 9, p. 203-216.
- Lee, Y.G. and Yoon, S. (2004) The paleontological society of Korea special, Special Publication. No. 7, p. 217-224.
- Lee, Y.G. (1992) Paleontological study of the Tertiary molluscan fauna in Korea. *Science Reports of Institution of Geoscience, University of Tsukuba, Section B*, v. 13, p. 15-125.
- Linne, C. (1758) *Systema Naturae per Regna Tria Naturae, Secundum Classes, Ordines, Genera, Species, Cum Characteribus, Differentiis, Synonymis, Locis Tomus I. Editio decima, reformata*, 827p.
- Matsumoto, H. (1915) A new classification of the Ophiuroidea. With description of new genera and species. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, v. 67, p.43-92.
- Müller, J. and Troschel, F.H. (1840) Über die Gattungen der Ophiuren. *Archiv für Naturgeschichte*, v. 6, p. 326-330.
- Shin, H.C. (1989) Distribution of Ophiurids on the Continental Shelf and Slope of the East Sea, Korea. Ms thesis, Seoul National University, 59p.
- Shin, S. and No, B.J. (1996) *Illustrated Encyclopedia of Fauna and Flora of Korea*, v. 36, Echinodermata. Ministry of Education, 780p.
- Smith, A.B., paterson, G.L.J. and Lafay, B. (1995) Ophiuroid phylogeny and higher taxonomy - morphological, molecular and paleontological perspectives. *Zoological Journal of the Linnean Society*, v. 114, p. 213-243.
- Spencer, W.K. and Wright, C. W. (1956) *Asterozoans, Treatise on Invertebrate Paleontology: Part U Echinodermata 3*, 695p.
- Tateiwa, I. (1924) Geological atlas of Chosen no. 2. Ennichi, Kyuryuho and Choyo sheets. Geological Survey of Government, General of Chosen, 6p.
- Twitchett, R.J., Feinberg, J.M., O'Connor, D.D., Alvarez, W. and McCollum, L. (2005) Early Triassic ophiuroids: their paleoecology, taphonomy and distribution. *Palaios*, v. 20, p. 213-223.
- 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, 38p.
- Yoon, S. (1975) Geology and paleontology of the Tertiary Pohang Basin, Pohang District, Korea. Part 1. Geology. *The Journal of the Geological Society of Korea*, v. 11, p. 187-214.
- Yun, H.S. (1986) Emended stratigraphy of the Miocene formations in the Pohang Basin, part I. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, v. 2, p. 54-69.