



### 저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

慶北大學校 理學碩士學位論文

신생대 제3기 두호층과 학전층에서  
산출된 거미불가사리 화석의  
분류 및 고생태

大學院 地質學科 古生物學專攻

成美娜

2012年 6月

慶北大學校 大學院

# 신생대 제3기 두호층과 학전층에서 산출된 거미불가사리 화석의 분류 및 고생태

이 論文을 理學碩士 學位論文으로 提出함

大學院 地質學科 古生物學專攻

成 美 娜

指導教授 李 成 周

成全美娜의 理學碩士 學位論文을 認准함

2012年 6月

委員長 \_\_\_\_\_ ㉠

\_\_\_\_\_ ㉡

\_\_\_\_\_ ㉢

慶北大學校 大學院委員會

# 목 차

목차	i
List of figures	iii
List of tables	v
1. 서언	1
2. 지질개요	4
2.1. 천북역암층	5
2.2. 학전층	5
2.3. 두호층	6
3. 거미불가사리 일반	9
3.1. 외부형태와 내부구조	9
3.2. 섭식과 생태	13
4. 거미불가사리 화석	16
4.1. 거미불가사리 화석의 산출 상태	16
4.2. 거미불가사리 화석의 기재	23
4.2.1. 중심판(disk)	24
4.2.2. 완골(vertebra)과 완판(arm plates)	26
4.2.3. 완극(Arm spines)과 촉수공(tentacle pore)	29

5. 거미불가사리 화석의 분류 -----	31
6. 토의 -----	39
6.1. 퇴적 환경 및 고생태 -----	39
6.2. 화석의 분류 -----	43
7. 결론 -----	47
참고문헌 -----	49
Abstract -----	59

## List of Figures

Fig. 1.	Geologic map of the study area. -----	7
Fig. 2.	General morphology of a brittle star consisting mainly of a central disk and five radiating arms. -----	10
Fig. 3.	Detailed illustration of morphological characters of an ophiuroid, -----	12
Fig. 4.	Details of vertebral articulation surfaces. Proximal and distal of single vertebra. -----	14
Fig. 5.	Species composition and population density of ophiuroid species according to the depth of the East Sea (Shin, 1989). -----	15
Fig. 6.	Outcrops where fossil ophiuroids were collected. -----	17
Fig. 7.	Relatively complete ophiuroid fossil from the Hagjeon Formation with 5 radiating arms attached to disk. -----	19
Fig. 8.	Detached arms containing a partial series of arm vertebrae in ophiuroid fossils from the Hagjeon Formation. -----	20

Fig. 9. Ophiuroid fossils from the Duho Formation. -----	22
Fig. 10. Details and sketches of central disk of the Hagjeon and Duho fossils. -----	25
Fig. 11. Detailed arm structures of ophiuroid fossils from the Hagjeon Formation. -----	28
Fig. 12. Detail and drawing of arm structure of a Duho ophiuroid fossil, characterized by short and conical arm spines, and well-developed arm plates. -----	30
Fig. 13. The relationship between disk diameter and basal arm width of recent <i>Ophiura sarsii sarsii</i> , <i>Ophiura</i> <i>leptoctenia</i> and fossil <i>Ophiura sarsii sarsii</i> from Hachioji Formation in Niigata Prefecture, Central Japan (Yoshiaki, 1998). -----	45

## List of Tables

Table.1. Various stratigraphic systems of the Cenozoic Pohang Basin, Korea. -----	8
Table. 2. Four dominant ophiuroid species in different depth zones of the East Sea (Shin and Koh, 1993). -----	15



## 1. 서언

거미불가사리(Class Ophiuroidea)는 해삼(Class Holothuroidea), 성게(Class Echinoidea), 불가사리(Class Asteroidea) 및 바다나리(Class Crinoidea) 등이 속해 있는 극피동물(Phylum Echinodermata)의 일종으로 전체적인 모양은 불가사리와 유사하나 각각의 팔이 좀 더 자유롭게 움직일 수 있는 구조를 가진 무척추 저서생물이다(Sprinkle, 1978). 이들은 오르도비스기 전기에 처음 출현하여 트라이어스기 전기에 하나의 분기군으로써 빠르게 번성하였으며 현재는 전 지구상의 바다에 걸쳐 널리 분포하고 있다. 극피동물 중에서 종의 수가 가장 많아 현재까지 약 2000종 이상의 거미불가사리가 보고되고 있으며(Smith et al., 1995) 이들 중 대부분의 종은 군집 생활을 하는 습성이 있다.

거미불가사리는 성체의 형태가 불가사리와 매우 유사하여 과거에는 불가사리강에 속하는 하나의 아강으로 거미불가사리를 분류하기도 하였다(Linne, 1758). 하지만 거미불가사리는 유생단계인 푸로테우스(pluteus) 단계에서 성체와 유연관계를 보이고 성체의 해부학적인 구조나 골격의 배열도 불가사리와는 확연한 차이를 보이기 때문에 불가사리보다는 오히려 성체와 가깝다고 여겨진다. 외부 형태 또한 불가사리와 달리 중심판(disk)과 팔(arm)이 명확히 구분되고 성체의 표면은 여러 종류의 판(ossicle or plate)이나 비늘 혹은 큐티클(cuticle)로 덮여 있으며 그 위에 둥근 과립 또는 침상의 극(spine)이 나 있기도 하다. 거미불가사리의 골격은 탄산염광물 성분의 판(plate)들이 서로 맞물린 형태로 이

루져 있으며 5개의 팔은 중심판에 약하게 연결되어 있기 때문에 개체가 죽은 직후 이러한 판들은 즉시 분리되기 시작한다(Twitchett et al., 2005). 따라서 화석화과정 동안 대부분의 판들은 떨어져 나가게 되고 팔들이 중심판으로부터 분리되며 팔의 마디는 분절된다. 이러한 이유 때문에 거미불가사리 화석은 중심판과 팔이 연결되어 있는 온전한 모습으로 보존되기 힘들며, 대부분의 경우 골격이나 판들이 사방으로 흩어지고 납작하게 압착되어 3차원적으로 보존된 화석 또한 극히 드물게 산출된다(성미나 외, 2009).

거미불가사리는 그 밀도나 생체량의 면에서 현재 해양 저서생태계의 큰 부분을 차지하고 있으며, 이러한 이유로 해외에서는 19세기 중반부터 이들에 관한 분류학적 연구가 진행되어 왔다. 우리나라에서 역시 1960년대 말부터 거미불가사리 분류에 관한 연구가 시작되었으며(Rho and Kim, 1966; Rho, 1979) 1990년대 초에 이들의 분포에 관한 연구가 수행되어(Shin and Koh, 1993) 현재까지도 현생 거미불가사리에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 하지만 국내의 거미불가사리 화석에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있으며 거미불가사리 종의 분류체계 역시도 명확히 정립되어 있지 않은 실정이다(성미나 외, 2009).

본 연구에서는 신생대 제3기 포항분지의 두 지층(두호층, 학전층)에서 발견되어 이미 발표한 40여 점의 거미불가사리 화석(성미나 외, 2009)과 추가로 발견된 거미불가사리 화석에 대한 새로운 분류를 시도하였으며 더불어 이들의 서식지나 생태와 관련한 연구 지역의 고생태에 관해 보고한다(성미나 외, 2009 참조). 추가로 발견된 거미불가사리 화석을 포함하여 대부분의 거미불가사리 화석들은 대부분 팔들이 중심판과 떨어져 분리되어 있으며 팔에 붙어있던 가시(arm spine)들은 팔과 분리

된 상태로 산출되고, 완판들이 뜯겨져 나가 완절의 형태가 드러난 표본들이다. 따라서 분지된 팔들과 팔에서 떨어져 나온 가지들이 흩어져서 나타나는 표본들이 대부분이며, 팔이 떨어져 나간 화석들에서는 중심판의 흔적이 남아있지 않다. 드물게 거미불가사리의 팔과 중심판이 보존되어 전체적인 형태가 온전하게 보존된 화석도 발견되나 분류의 핵심적 특징[예, 폭순(radial shield), 구순(oral shield), 구극(oral papilla) 등]들은 거의 보존되어 있지 않다. 따라서 거미불가사리 화석에 대하여 정확한 종 수준의 감정은 어려우나, 화석에 남아있는 판의 흔적들과 여러 특징들을 종합하여 포함 분지 거미불가사리 화석에 대한 새로운 분류학적 시도를 하였다.

거미불가사리는 천해에서 심해에 이르기까지 다양하게 분포하고 있으며 종에 따라 선호하는 서식지의 환경이 달라진다(Shin and Koh, 1993). 이들의 분포는 퇴적환경보다는 수심에 의해서 결정되고 수심에 따라 종의 풍부도와 다양성의 차이를 보이기 때문에(신형철, 1989), 거미불가사리 화석의 연구가 꾸준히 진행된다면 포함 분지 내의 두 지층에 대한 고환경 해석에도 많은 도움이 될 것으로 기대된다. 또한 본 논문에서 시도된 거미불가사리에 대한 분류와 생태 연구는 포함분지에서 기존에 보고된 부족류(김덕환 외, 2011; Kim, 1987; Kim et al., 1974; Lee, 1992; Kanehara, 1936), 복족류 등(이연규 외, 2004; Yoon and Rhee, 1982)의 화석 연구와 더불어 신생대 제3기 동안 동해 저서생태계의 생물다양성에 대한 많은 정보를 제공하리라 생각된다.

## 2. 지질개요

한반도 남동부에 분포하는 포항 분지는 영일만을 중심으로 대략 북북동-남남서 방향으로 분포하고 있으며, 남한에 분포하고 있는 제3기 퇴적분지 중에 그 규모가 가장 크다(김중헌 외, 2008). 이는 국내 신생대 지층을 대표하는 지역으로 다양한 고지자기학적, 구조적 연구 결과들을 바탕으로 하여, 동해안을 따라 분포하고 있는 북평 분지, 영해 분지, 장기분지, 어일-울산 분지들과 함께 올리고세(Oligocene)에서 마이오세(Miocene) 사이의 동해 열림과 관련되는 퇴적분지로 보는 견해가 일반적이다(Han, 1989; 김인수 외, 1996, 장태우 외, 2007).

포항 분지는 Tateiwa(1924)에 의하여 처음으로 연구된 이래 많은 학자들에 의해 층서, 암상, 퇴적 환경, 고생물학적인 연구가 활발하게 진행되어 왔고(엄상호 외, 1964; 김봉균, 1970; Lee, 1975; 장세용, 1976; 김봉균 외, 1977; Takahashi and Kim, 1979; 백광호 외, 1979; Yoon, 1975, 1976, 1982; 전희영, 1982; Yun, 1986; 전희영 외, 1990), 분지의 지층명에 대한 체계 또한 다양하게 제안되었으나 현재까지 포괄적 지지를 받는 층서 체계는 확립되지 않은 현실이다(엄상호 외, 1964; Kim, 1965; Yoon, 1975; Yun, 1986). Tateiwa(1924)는 신생대 제3기 층을 하부의 장기통과 상부의 연일통으로 구분하고 장기통을 다시 장기층군과 범곡리층군으로 세분하였다. 김봉균(1970, 1975)과 Yoon(1982)은 제3기층을 장기층군, 범곡리층군, 연일층군으로 구분하였으며, 그 후 Kim(1984)은 범곡리층군을 장기층군의 최상부 층으로 간주하여 이를 합쳐 양북층군이라 하고 상부의

연일층군과 함께 제3기층을 구분 지었다. 하지만 Yun(1986)은 구조, 암상 및 미고생물학 연구를 통해 구분이 모호한 층을 통합하여 포항 분지에 분포하는 연일층군을 세 개의 지층(천북역암, 학전층, 두호층)으로 구분하였다. 본 연구에서 사용되는 지층명과 층서체계는 Yun(1986)의 체계를 따른다 (Table 1).

## 2.1. 천북역암층

포항분지 연일층군의 최하부층인 천북역암은 층의 두께가 약 150~400m 정도이다. 천북역암의 하부와 중부는 역암이 주를 이루며 상부로 갈수록 역의 크기가 작아지고, 사암층과 이암층이 자주 협재되어 있다 (엄상호 외, 1964). 천북역암의 상부에는 연체동물 화석 및 유공층과 개형층 화석이 풍부하게 산출된다(Huh and Paik, 1992a, b; Huh et al., 1994).

## 2.2. 학전층

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

## 2.3. 두호층

150~200m 정도의 두께를 지닌 두호층은 포항분지의 최상부 지층으로 하부의 학전층을 정합적으로 피복하고 있다. 학전층과 달리 두호층은 대부분이 옅은 회색이며 층리나 특징적인 퇴적구조가 발달되지 않은 균질한 이암으로 구성되어 있고 얇은 사암이 협재되기도 한다. 이암층에는 다양한 크기의 결핵체가 발견되는데, 특히 두호층의 노두가 잘 발달된 북부해수욕장 주변에는 바둑알 모양의 규모가 큰(장반경 약 1m) 결핵체가 층리면을 따라 발달되어 있다.

포항 분지의 학전층과 두호층을 포함하는 연일층군의 시대는 일반적으로 신생대 제3기의 마이오세로 알려져 있으나 방사성 동위원소를 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 ~ 11.5Ma) 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), 와편모조류(Yun, 1986)]는 연일층군의 하부는 난류의 영향이 우세한 반면 상부로 갈수록 한류의 영향이 강해지는 환경으로 해석하였으나, 식물화석(Chun, 1982; Huzioka, 1972)과 화분포자화석(정철환 외, 1993; Chung and Koh, 2005)의 연구는 연일층군의 식물화석을 온난한 기후에 서식하는 식물군으로 해석하여 이를 일본의 다이시마형(Daijima type) 식물군과 대비하였다(참조, Jung and Lee, 2009).

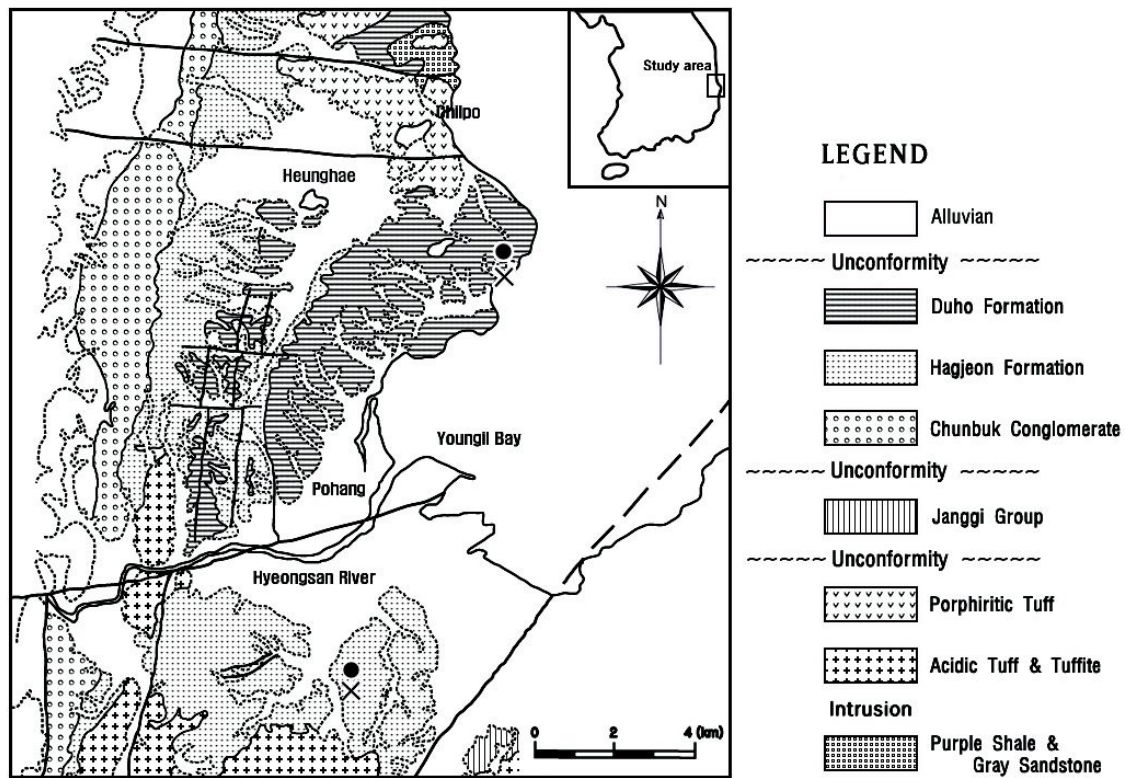


Fig. 1. Geologic map of the study area. X-points represent sampling sites for fossil ophiuroids.

**Table 1.** Various stratigraphic systems of the Cenozoic Pohang Basin, Korea.

<b>Tateiwa (1924)</b>	<b>Um et al (1964)</b>	<b>Kim (1965)</b>	<b>Yoon (1975)</b>	<b>Yun (1986)</b>
Yeonil Shale	Duho Formation	Pohang Formation	Duho Formation	Duho Formation
	Idong Formation	Eedong Formation	Idong Formation	
	Heunghae Formation	Daegock Formation	Heunghae Formation	Hagjeon Formation
	Hakrim Formation	Songhakdong Formation	Hagjeon Formation	
Chunbuk Conglomerate	Chunbuk Conglomerate	Seoam Conglomerate	Cheongogsa Formation	Chunbuk Conglomerate
			Danguri Conglomerate	

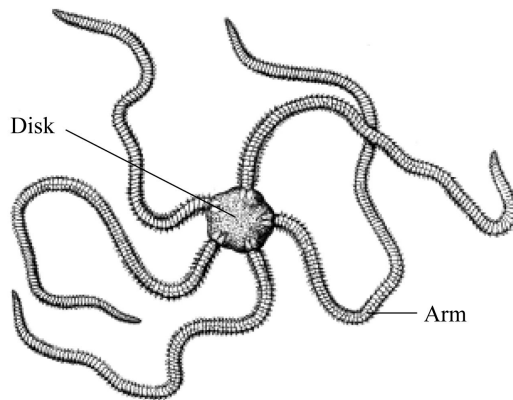


### 3. 거미불가사리 일반

#### 3.1. 외부형태와 내부구조

일반적으로 거미불가사리는 중심판과 방사상으로 뻗어 있는 5개의 팔로 구성되어 있다(Fig 2). 중심판의 직경은 보통 1.5-60mm 정도로 원형 또는 오각형 형태이며, 팔의 길이는 중심판의 직경의 5~9배 정도로 길다. 팔은 보통 관절이 있는 완골(*arm vertevrae*)의 형태로 길게 맞물려져 있어 이동을 하거나 먹이를 감싸는 등 자유롭게 움직이며, 삼천발이류처럼 도중에 분지를 되풀이하여 말단에서 많은 가지를 가지게 되는 것도 있다(예, 곰거미불가사리, 나무거미불가사리, 흑삼천발이 등). 일반적으로 거미불가사리는 팔을 덮고 있는 판의 유무에 따라 혁사미류(*Phrynophiurida*)와 폐사미류(*Ophiurida*)로 나뉘게 되는데, 혁사미류의 팔은 두터운 피부로 덮여져 있으며 길고 단순하거나 가지를 치며 입을 향해 감는다(예, 둥근거미불가사리, 코치양비늘거미불가사리, 덧니거미불가사리 등). 폐사미류의 팔은 가지를 치지 않으며 배완판(*dorsal arm plate*)과 좌우의 측완판(*lateral arm plate*), 복완판(*ventral arm plate*) 등이 길이로 줄지어 있다. 또한 종에 따라서 배완판과 측완판 사이에 보조 완판(*supplementary arm plate*)을 가지기도 한다. 배쪽(*ventral side*)에서 볼 때 배완판과 측완판 사이에는 1쌍의 촉수공(*tentacle pore*)이 있어 이곳으로 관족(*podia*)이 나오며, 측완판에는 2-15 개의 완극(*arm spine*)이 붙어 있다(Fig. 3).

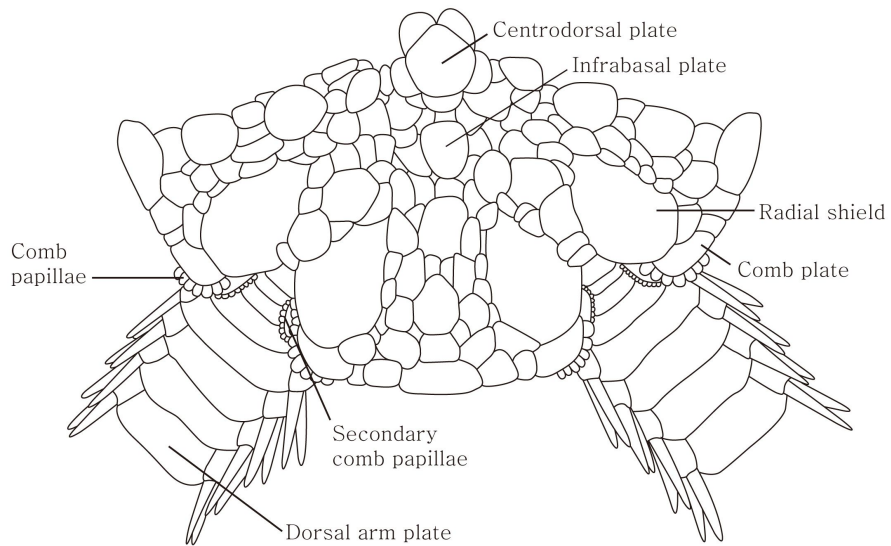
중심판의 등쪽(dorsal side)은 보통 큐티클이나 비늘로 덮여있고 그 위에 과립 또는 침상의 극이 돌아 있다. 어린 불가사리의 경우 중배판(centrodorsal plate)과 이를 둘러싼 5개의 하지판(infrabasal plate)으로 형성된 제 1차판(primary plate)이 있으며, 성장이 진행됨에 따라 제 2차판(secondary plate)이 생기기도 한다. 또한 5쌍의 폭순이 존재하며 폭순의 모양이나 노출 정도, 폭순판(radial plate)과 생식판(genital plate) 사이의 관절 면에 따라 거미불가사리의 여러 종이 구분되어 진다(Matsumoto, 1917). 중심판의 배쪽에는 팔이 입 주변까지 발달하여 팔과 팔 사이의 간폭부(interbrachial area)를 둘러싸고 있으며 입 주변에는 많은 판들이 발달해 있다. 각 간폭부 쪽의 기부에는 입을 둘러싼 5개의 구순이 있으며 구순의 기부에 1쌍의 측구판(adoral plate)이고 그 끝에 1쌍의 구판(oral plate)이 있다. 구순, 측구판, 구판이 있는 삼각형 부분을 악(jaw)이라 하며 그 끝에는 치판이 있고, 치판에 이(teeth)가 1열로 나있다(Fig. 3-B).



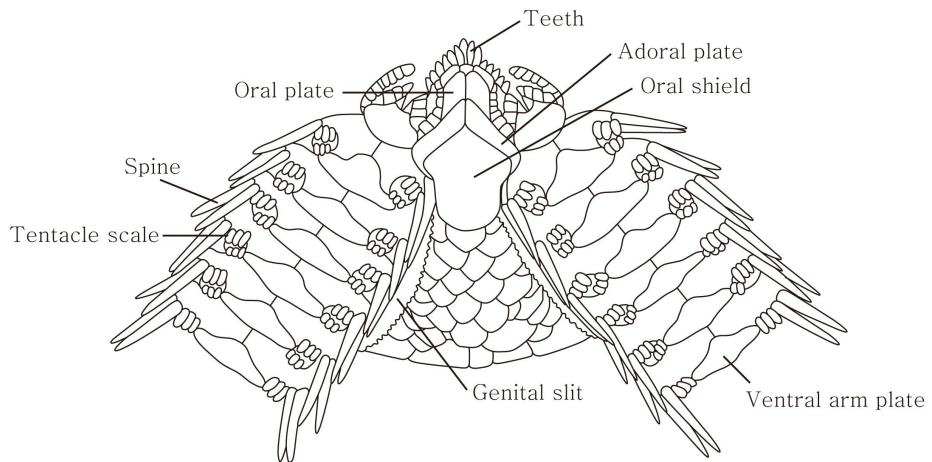
**Fig. 2.** General morphology of a brittle star consisting mainly of a central disk and five radiating arms.

내골격으로는 폭순, 구순, 악기(jaw apparatus), 생식관, 완골 등이 있으며 완골은 서로 중첩된 관절을 이루어 팔을 수평 또는 수직으로 굽힐 수 있도록 한다. 거미불가사리류의 소화 기관은 다른 극피동물과는 달리 항문이 없는 맹낭 형식으로 중심관의 체벽 안쪽을 따라 있는 넓은 주머니 모양의 위 밖에는 없다. 수관계(radial canal)는 입을 둘러싸고 있는 5개의 악기의 등쪽 표면과 식도 가장자리 체강 사이에 있다. 이는 천공관의 소공을 통해 외부 바닷물과 접하고 수압을 조절하며, 방사수관은 환수관을 나와 완골의 배쪽을 지나 팔의 끝까지 뻗어있다. 완절의 좌우에는 방사수관에서 측수공을 통해 밖으로 나와 있는 1쌍의 관족이 있다.

A



B



**Figure 3.** Detailed illustration of morphological characters of an ophiuroid, showing complicated plate morphology and interconnection of plates. (A) Dorsal side view and (B) ventral side view (modified from Yoo et al., 1995).

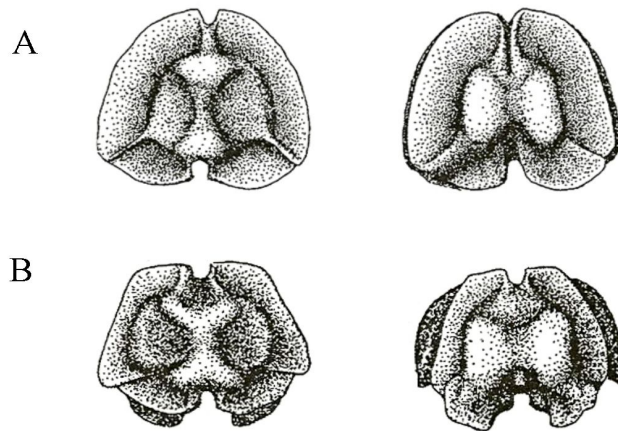
### 3.2. 섭식과 생태

거미불가사리는 작은 입과 위의 구조상 보통 부유성 플랑크톤이나 유기침전물, 저서동물, 어류나 갑각류의 유생들을 섭식하며 가끔 큰 동물도 잡아 포식하는 잡식성이다. 먹이의 종류와 섭식 방법은 팔의 구조나 기능과 밀접한 관계가 있어 종에 따라 섭식 방법이 차이를 보이며 먹이의 종류 또한 달라진다(Fontaine, 1965). 예를 들어 가시거미불가사리과(Family Ophiothricidae)에 속하는 종들과 같이 팔이 길고 유연한 종들은 돌이나 흙 아래 숨어 팔을 2, 3개 내어 물의 흐름에 따라 흔들며 부유성 플랑크톤을 섭식하는 특징을 보이는 반면, 단단한 팔과 짧고 완축에 평행으로 붙어 있는 완극을 가지는 종들(예, 뱀거미불가사리(*Ophiarachnella gorgonia*), 빗거미불가사리(*Pectinura anchista*))은 대개 성구동물을 잡아먹는 습성을 보인다. 또한 팔에 있는 완골의 형태는 거미불가사리류의 운동에도 영향을 미치는데 팔이 수평면뿐 아니라 수직면으로도 휘어질 수 있는 안상관절(streptospondyloous articulation)을 가진 종들은 비교적 빠르게 이동하는 것에 반해, 팔이 수평 방향으로만 휘어지는 계상관절(zygospondyloous articulation)을 가진 종들은 좀 더 느리게 운동한다(Fig. 4).

거미불가사리는 보통 천해와 심해에 널리 분포하며 수심에 따라 종의 풍부도와 비율의 차이를 보인다(Fig. 5). 특히 암초 지대의 돌 밑, 진흙 또는 모래 밑바닥에 다양한 종들이 서식하고 있으며, 내만과 외양의 모래, 진흙 바닥에도 분포한다. 주로 군집을 형성하여 생활하지만 그렇지 않은 종들도 있다. 우리나라에서도 황해와 남해, 대한해협 그리고 동해 등 한반도 주변의 전 해역에 걸쳐 50종 이상의 거미불가사리가 서식하

고 있으며 특히 연구 지역인 동해안의 대륙붕과 대륙사면에서는 양편거미불가사리류(*Aphiodia craterodomete*), 양거미불가사리류(*Aphioplus macraspis*), 빗살거미불가사리류(*Ophiura leptoctenia*, *Ophiura sarsi*)가 거의 98% 이상을 점유하고 있다(Table 2, Shin and Koh, 1993).

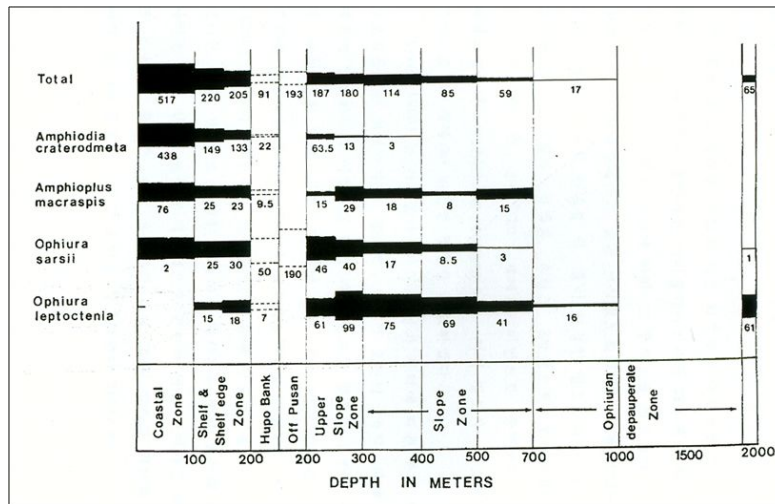
거미불가사리에는 부착, 공생, 기생하는 동물이 매우 많다(Smirnov, 2010). 단세포 녹조류가 표피와 외골격에 기생하고 있으며, 연체동물 중에서는 복족류가 거미불가사리의 외부에 기생하는 경우가 많다. 또한 요각류(copepods)의 많은 종이 거미불가사리와 공생하고 있으며, 다른 극피동물과 공생하는 예로는 바다나리류인 *Comantula*와 *Comanthus*를 들 수 있다. 이러한 거미불가사리를 포식하는 동물로는 해저 바닥에 사는 어류와 불가사리류, 갑각류 등이 알려져 있다.



**Figure 4.** Details of vertebral articulation surfaces. Proximal and distal of single vertebra. (A) zygospondylous articulation and (B) intermediate articulation. (redrawn from Lyman, 1882).

**Table 2.** Four dominant ophiuroid species in different depth zones of the East Sea (Shin and Koh, 1993).

Depth (m)	Species				Total mean (ind. m <sup>-2</sup> )
	<i>Amphiodia craterodmeta</i>	<i>Amphioplus macraspis</i>	<i>Ophiura leptoctenia</i>	<i>Ophiura sarsi</i>	
43-100 (n=9)	261 (±354) (8)	27 (±31) (6)	0 (0)	24 (±26) (7)	312 (±364)
101-150 (n=32)	128 (±147) (26)	19 (±20) (24)	14 (±24) (16)	23 (±25) (24)	188 (±168)
151-200 (n=15)	78 (±62) (13)	17 (±14) (12)	21 (±19) (9)	34 (±28) (14)	155 (±83)
201-250 (n=22)	61 (±66) (18)	17 (±18) (14)	68 (±59) (18)	479 (±27) (20)	195 (±89)
251-300 (n=10)	14 (±14) (6)	24 (±20) (10)	76 (±90) (9)	39 (±40) (8)	153 (±92)
301-400 (n=11)	3 (±5) (3)	18 (±22) (8)	75 (±58) (10)	17 (±16) (8)	114 (±82)
401-500 (n=11)	0 (0)	9 (±9) (7)	66 (±46) (10)	109 (±6) (9)	85 (±49)
501-700 (n=5)	0 (0)	5 (±14) (4)	41 (±32) (4)	3 (±4) (2)	59 (±30)
701-1 000 (n=5)	0 (0)	0 (0)	16 (±27) (2)	0 (0)	19 (±29)
1 001-2 000 (n=5)	0 (0)	0 (0)	49 (±61) (2)	1 (±2) (1)	52 (±65)



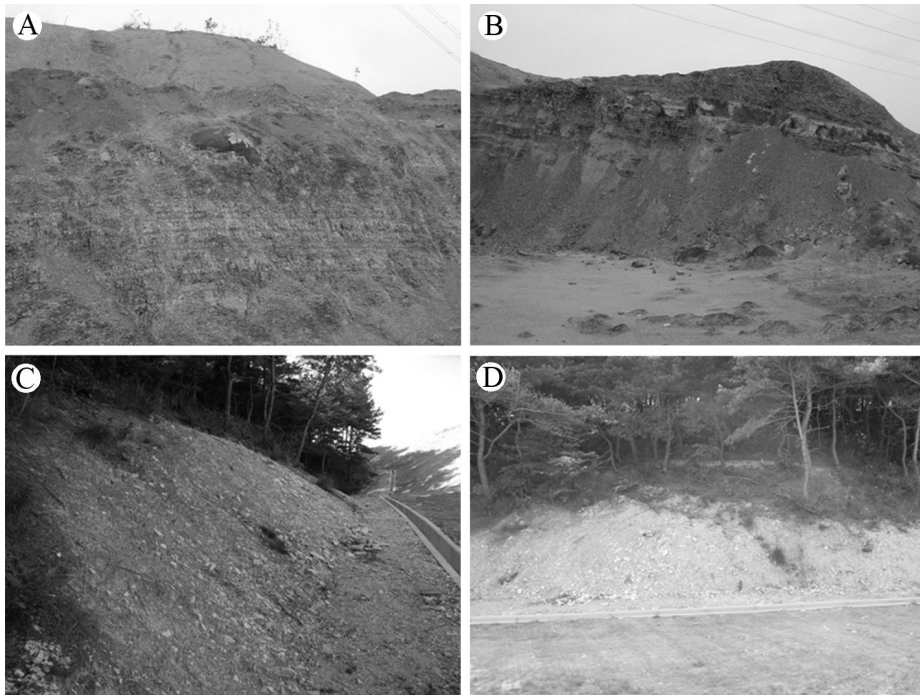
**Figure 5.** Species composition and population density of ophiuroid species according to the depth of the East Sea (Shin, 1989).

## 4. 거미불가사리 화석

### 4.1. 거미불가사리 화석의 산출 상태

포항 남구 대송면에 위치한 제4산업단지 지역 내의 학전층과 포항 북부 흥해읍 우목리 지역의 두호층에서 약 50 여점의 거미불가사리 화석을 채집하였다(Fig. 6). 거미불가사리 화석은 암회색 내지 옅은 회색의 이암층 및 실트질의 이암층에서 발견되었으며, 화석화과정을 겪는 동안의 변화에 의해 대부분 팔들이 중심판으로부터 떨어져 나가고, 팔의 마디 또한 여러 개로 분절되어 흩어져서 있는 상태로 발견되었다. 또한 팔에 대칭적으로 붙어있던 가시들도 팔과 분리되어 팔의 주변에 산재되어 있으며, 분절된 팔들의 대부분은 팔을 구성하는 작은 판들이 뜯겨져나가 완절(arm vertebra)의 모양이 드러나 있는 형태로 관찰되었다. 개체 수는 적지만(50체 중 12개체) 팔이 분절되지 않고 전체적인 외형이 비교적 잘 보존된 거미불가사리 화석들도 발견되었다. 하지만 이러한 화석들 역시 분류의 핵심이 되는 중심판의 구조들이 온전히 보존되어 있지 않으며, 평면상으로 압착되어 중심판과 팔을 구성하는 외부 판들은 그 흔적만 희미하게 남아있는 상태이다.

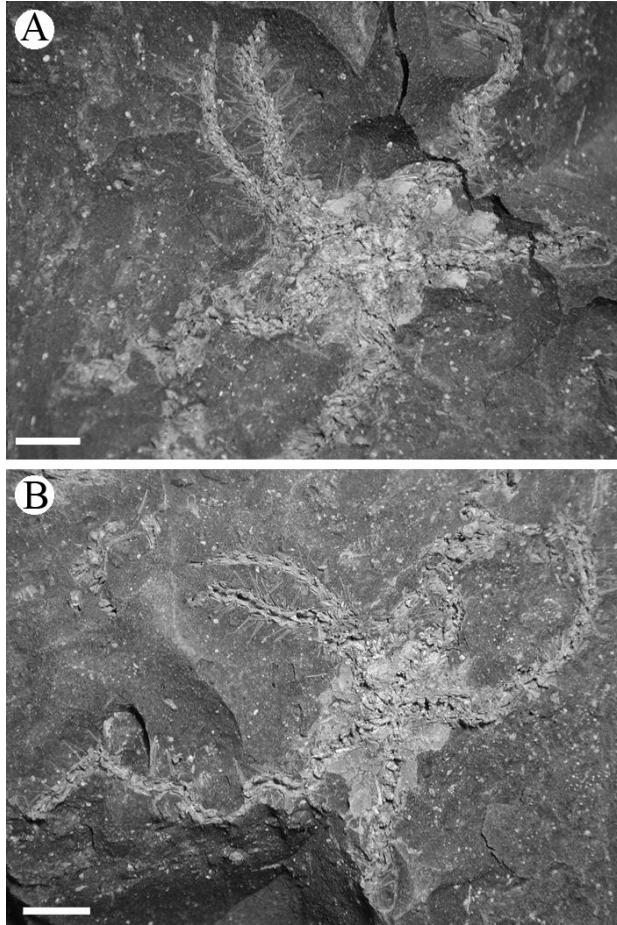




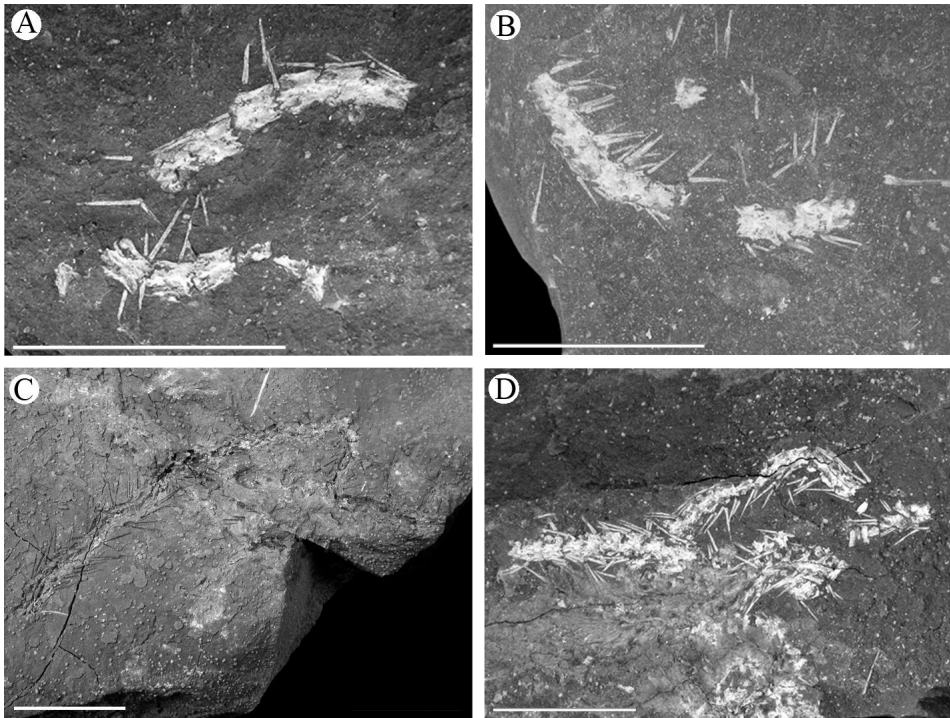
**Figure 6.** Outcrops where fossil ophiuroids were collected. (A) and (B) are sites from the Duho Formation, and (C) and (D) are sites of Hagjeon Formation. Note that all sites are composed of fine mudstones.

38개체가 발견된 학전층의 거미불가사리 화석의 대부분은 중심판으로부터 분리된 팔의 조각들이 대부분이며(36개체), 팔이 중심판에 붙어 있는 완전한 형태의 거미불가사리 화석은 2점만이 발견되었다. 외부 형태가 온전히 보존된 화석의 경우 원형의 중심판에 5개의 가늘고 긴 팔이 방사상으로 뻗어있는 거미불가사리의 전형적 특징인 5각 대칭을 보인다(Fig. 7). 중심판의 세부적 구조는 희미하게 보존되어 있어 구분이

쉽지 않으나 거미불가사리의 구면(oral side)에서 나타나는 입과 그 주변의 구조가 비교적 잘 발달되어 있다. 방사상으로 뻗어있는 5개 팔이 입 주변까지 깊숙이 삽입되어 있으며 입 주변으로는 여러 종류의 판들이나 이, 구순, 위구순(adoral shield), 구극들이 발달하고 있는데, 학전층에서 발견된 표본의 경우 이러한 판들은 대부분이 뜯겨져 나가 그 흔적만 남아있는 상태이다. 팔에는 가시와 완골(vertebra)이 비교적 잘 보존되어 있으나 팔을 둘러싸고 있는 완판(arm plates)들은 거의 남아있지 않다. 하나의 완절은 가로(ca. 1.5mm)와 세로의 길이가 거의 비슷하고, 완극은 완절의 측면에 대칭적으로 각각 2개씩 붙어 있으며 끝이 뾰족하며 직선적으로 뻗어있다(Fig.8).

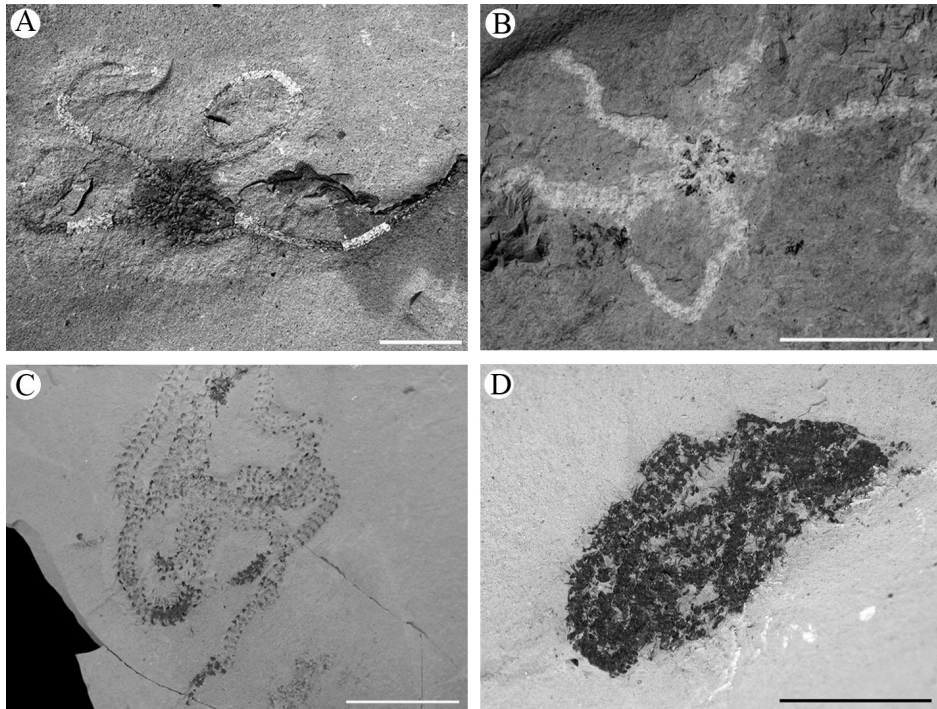


**Figure 7.** Relatively complete ophiuroid fossil from the Hagjeon Formation with 5 radiating arms attached to disk (Sample number in (A) and (B) are PKNU-Oph10 and PKNU-Oph11). (A) and (B) are counter parts. Note that only an oral side is recognized in an attached specimens because inserting arms into disk are clearly visible. Scale bars in figures represent 10mm



**Figure 8.** Detached arms containing a partial series of arm vertebrae in ophiuroid fossils from the Hagjeon Formation. Sample numbers in (A), (B), (C), and (D), are PKNU-Oph2, PKNU-Oph3, PKNU-Oph4 and PKNU-Oph7, respectively. Arm vertebra split horizontally and arm spines are attached to arms (C), (D) or scattered in the matrix (A), (B). Scale bars in all figures represent 10mm.

두호층에서는 학전층과 달리 많은 화석이 발견되지는 않았으나(12 개체), 발견된 화석의 일반적 보존형태와 전체적인 모양은 학전층에서 발견된 화석보다 우수하다(Fig. 9). 즉, 중심판에 5개의 팔이 방사상으로 붙어있는 완전한 형태의 거미불가사리 화석이 10개체 발견되었으며, 이들도 학전층에서 산출된 개체들처럼 배쪽에서 발달하는 입의 형태가 잘 남아있다. 중심판에 붙어있는 5개의 팔들은 방사상으로 발달하여 거미불가사리의 전형적인 모습을 잘 나타낸다. 학전층에서 발견된 화석들과 달리 팔들은 부드럽게 휘어져 있거나(Fig. 9-A, B) 또는 불규칙하게 휘어져 있고(Fig. 9-C, D), 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 보존 되어 있어 내부 완절의 형태는 관찰되지 않는다.



**Figure 9.** Ophiuroid fossils from the Duho Formation (Sample numbers in (A), (B), (C), and (D), are PKNU-Opd1, PKNU-Opd3, PKNU-Opd4 and PKNU-Opd7, respectively). A gross morphology is well-preserved in all samples. A central disk is clearly visible in (A) and (B), while arm plates are well preserved in (C), (D). Note that arm spines are remained attached to arms and no scattered spines are observed unlike those in the Hageon Formation. Scale bars are 10mm.

## 4.2. 거미불가사리 화석의 기재

제 3.1장에서 언급한 바와 같이, 거미불가사리는 중심판과 그에 붙어 있는 팔들로 구분되며 원형의 중심판 한가운데에 입이 발달되어 있고(배쪽에서 볼 경우) 5개의 팔은 입 주변에 나사처럼 박혀 있다. 입 주위에는 다양한 형태의 판이 발달해 있으며 이러한 판들은 거미불가사리 종들을 분류하는데 있어 중요한 요소이다(성미나 외, 2009; Mastumoto, 1917).

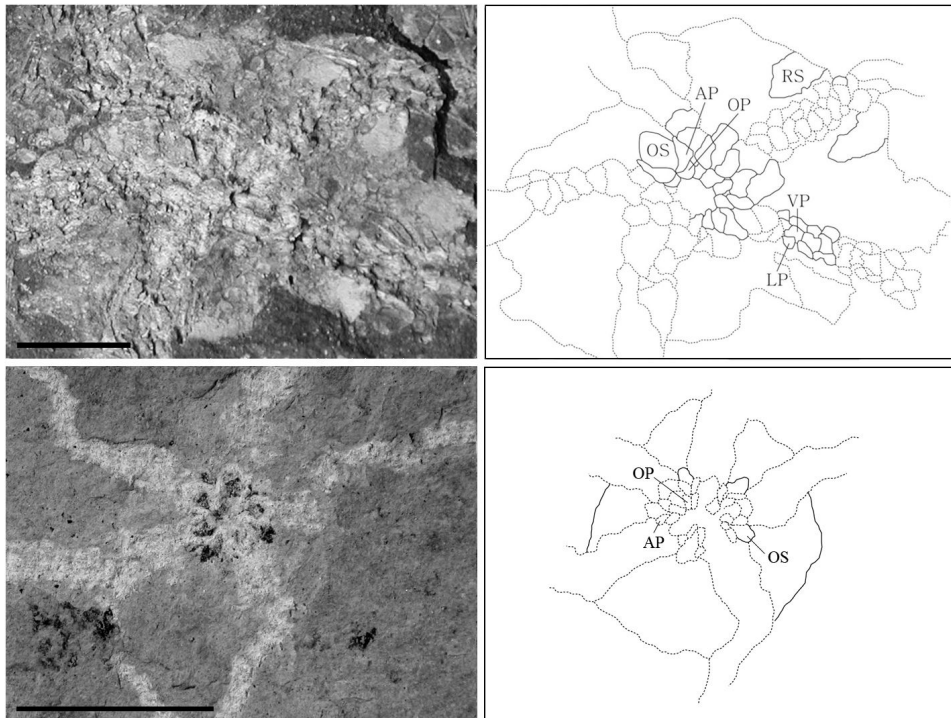
중심판의 배쪽에는 이와 구극이 있다. 팔은 보통 여러 마디의 완절로 이루어져 있으며, 다양한 종류의 완판이 완골을 둘러싸고 있고 각각의 완절에는 완극이 붙어있다(신숙 외, 1996). 현생 거미불가사리의 분류는 이러한 형태적 요소뿐 아니라 거미불가사리의 내부 구조 및 조직 등도 중요한 분류 기준이 된다. 하지만 화석은 석회질 성분의 판과 골격만이 남아있기 때문에 화석을 분류하는데 있어서 화석의 전체적인 모양이나 판의 형태 및 유무, 완절의 모양, 완극과 축수공의 수 등을 분류 기준으로 삼는 경우가 대부분이다(Spencer and Wright, 1956). 예를 들어 팔이 3종류의 판으로 덮여 있는 거미불가사리는 폐사미류로 분류되며 판 대신에 두꺼운 피부조직으로 덮여 있는 경우는 혁사미류에 속한다. 또한 팔의 복완판과 측완판 사이에 관족이 나오는 축수공이 두 쌍 씩 나 있는데 축수공의 개수도 종에 따라 차이를 보인다. 두호층과 학전층에서 발견된 거미불가사리 화석은 위에서 설명한 전체적인 형태 이외에도 분류의 기준이 되는 중심판, 폭순, 완절, 완극, 완판 등이 관찰된다.

#### 4.2.1. 중심판(disk)

중심판이 보존된 거미불가사리 화석은 학전층에서 2개체, 두호층에서 10개체로 총 12개체가 발견되었다. 이들은 전체적인 모양이 완벽한 거미불가사리의 형태를 보이지만, 보존 상태가 좋지 않아 중심판을 덮고 있는 여러 판들은 모두 뜯겨 나간 상태(채집 과정에서 카운트파트로 불규칙하게 뜯겨지기 때문)이며 그 구조들의 흔적만 희미하게 관찰된다. 학전층에서 발견된 화석의 중심판은 다소 불규칙한 다각형 구조를 띄며 간폭부의 중앙부분이 오목하게 들어가 있고 팔 쪽으로 가면서 불룩하게 올라와 있는 형태를 보이는 반면(Fig. 10-A, B), 두호층 화석의 중심판은 거의 원형에 가까운 형태로 보존되어 있다(Fig. 10-C, D). 두 경우 모두 입의 모양이나 중심판까지 삼입된 팔의 형태는 잘 나타나지만 입을 둘러싸고 있는 다양한 구조의 판들은 명확히 구분되지 않는다.

학전층의 경우 인접한 두 팔 사이의 간폭부에 넓은 삼각형 모양의 폭순이 흔적으로 남아있으며 기부에는 입을 둘러싸고 있는 5개의 구순과 구순의 기부 밑쪽으로 긴 막대 모양의 구판의 흔적이 보인다. 구판과 구순 사이에는 꽃받침 모양의 측구판(aboral plate)이 발달되어 있는데, 측구판은 구순보다 짧고 두꺼우며 구순이 측구판을 지나서 중심 쪽으로 돌출해 있는 특징을 보인다(Fig. 10-A, B). 두호층의 화석에서 역시 입 주변까지 삼입된 팔의 사이사이에 구순이 붙어 있던 흔적이 남아있다. 구판과 측구판의 흔적 역시 희미하게 나타나 있으며 학전층 화석과 마찬가지로 측구판이 구순보다 돌출된 형태를 보인다. 하지만 학전층 화석에 비해 그 보존 상태가 좋지 못하여 입 주변에 발달되어 있는 다른 판들이나 폭순 등의 흔적은 찾아보기 힘들다(Fig. 10-C, D).





**Fig. 10.** Details and sketches of central disk of the Hagjeon (A, B) and Duho (C, D) fossils. (A, C) Close-up of Fig. 7A and Fig. 9B showing ventral side disks. (B, D) Different types of arm plates are developed in the Hagjeon 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 bars are 10mm.

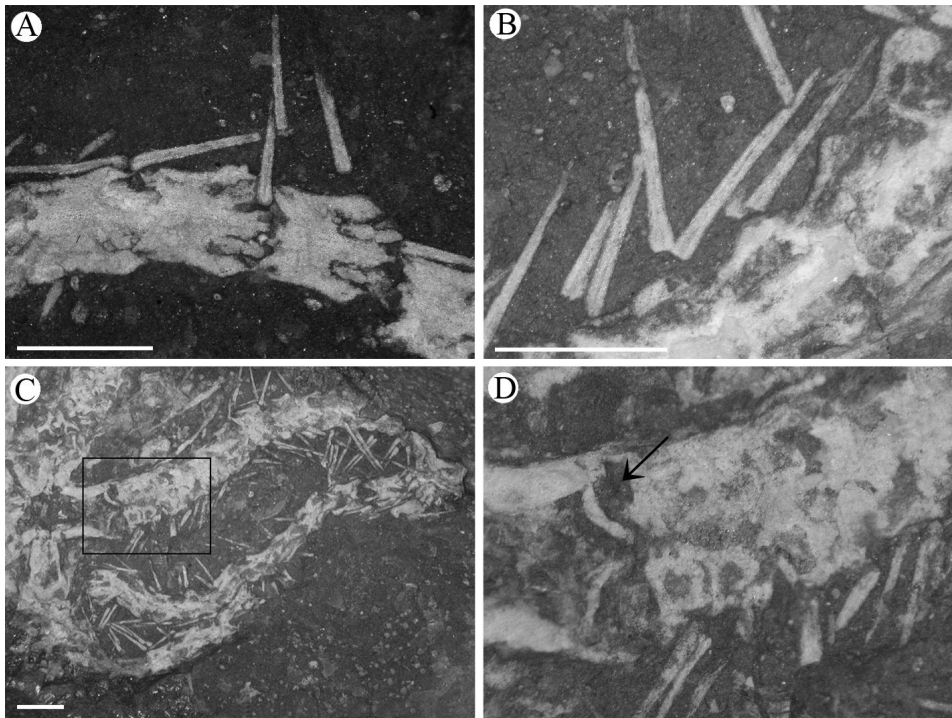
#### 4.2.2. 완골(vertebra)과 완판(arm plates)

폐사미류에 속하는 거미불가사리 팔의 완골은 서로 다른 3 종류의 완판(복완판, 배완판, 측완판)으로 피복되어 있고, 이러한 완골들이 나사처럼 서로 연결되어 자유롭게 움직이는 긴 팔을 구성한다. 따라서 완골을 둘러싸고 있는 완판이 완절에서 분리되지 않은 화석에서는 완골을 관찰할 수 없으나 화석화과정에서 완판이 완절과 분리되어 보존된 경우는 팔을 연결해주는 완절이 드러나게 된다.

학전층에서 발견된 화석들은 3종류의 완판이 모두 떨어져 나가 내부 완골의 형태가 선명하게 관찰된다(Fig. 11). 완골의 기부와 말단 부분은 톱니모양으로 결각되어 서로 맞물려 있으며, 완골 중앙으로 수관계가 위치하였던 홈이 일렬로 나타난다(Fig. 11-A). 완골 한마디의 길이는 두께와 거의 일치하며, 배쪽으로 관족이 나왔던 측수공의 흔적 또한 남아있다. 팔을 구성하는 이러한 완골은 기부와 말단 쪽에서 서로 다른 모양으로 연결되어있는데, 이로 인하여 팔은 수평이나 수직 방향으로 자유롭게 움직일 수 있다(신숙 외, 1996). 또한 완골은 단순한 원통형태가 아니라 보는 방향에 따라 모양이 다르게 나타나기 때문에 화석에 나타나는 완골의 형태에 따라 완골이 누워있는 방향을 알 수 있다. 예를 들어, 그림 11-C의 경우는 측수공의 흔적으로 보아 완골의 배쪽이 남아있는 것이며, 왼쪽이 중심판 방향임을 알 수 있다.

반면에 두호층에서 발견된 거미불가사리 화석의 팔들은 완판과 완골이 붙어있는 상태로 발견되어 폐사미목의 특징인 3종류의 완판이 뚜렷이 구분된다(Fig. 12). 복완판과 배완판은 길이에 비해 넓이가 넓은 형태의 다소 불규칙한 사각형 모양을 띠고 있다. 복완판과 배완판 사이에

발달한 측완판은 크기가 작고 배쪽에 치우쳐 있으며 인접한 측완판들은 서로 연결되어 있지 않다. 측완판의 측면으로 가는 원뿔형의 완극이 3개씩 돌출되어 있다. 두호층 화석의 경우 완판의 형태로 미루어 볼 때 완골 한 마디의 길이가 팔의 두께에 비해 짧고 굽은 것으로 판단된다. 학전층에서 발견된 화석들은 이러한 완판이 뜯겨져 나가 내부의 완골이 드러나 있기 때문에 완판의 형태를 알 수 없으나 완골의 표면에 완판들이 붙어있던 흔적들은 희미하게 관찰된다.



**Figure 11.** Detailed arm structures of ophiuroid fossils from the Hagjeon Formation. (A) Close-up of Fig. 8-A, each arm vertebra is connected to form an series of arm vertebrae : the anterior vertebra indenting its distal neighbor. (B) Close-up of Fig. 8-B, 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 bars are 2mm.

#### 4.2.3. 완극(arm spines)과 촉수공(tentacle pore)

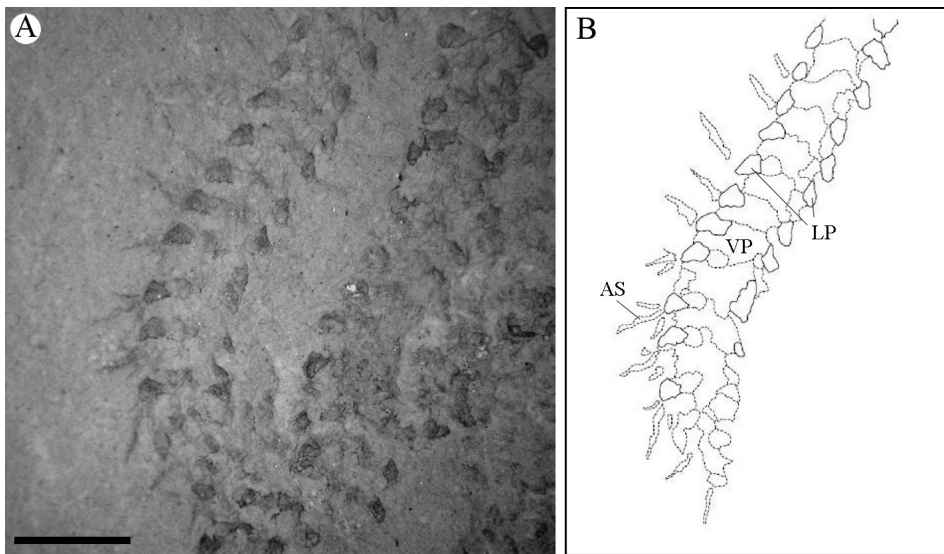
거미불가사리 몸체의 표면은 여러 종류의 가시 모양 돌기들로 덮여 있는데, 이들 중 팔에 돋아 있는 가시들이 완극이다. 완극은 완골의 측면에 붙어있는 측완판에서 돋아나 있으며 일반적으로 측완판이 배쪽에 치우쳐져 있기 때문에 완극도 배쪽에 가까운 쪽에서 발달한다. 완극은 거미불가사리가 죽으면 측완판으로부터 쉽게 떨어져 나오기 때문에 완극이 측완판에 연결되어 있는 화석은 매우 드물게 관찰된다. 두 지층에서 발견된 화석 표본들에서도 대부분의 완극들이 팔의 주변에 흩어져 있는 형태로 산출되었다(Fig. 8). 몇몇 표본에서는 완극들이 완골들 사이에 본래의 형태로 보존되어 있는 경우도 관찰되는데 이러한 것들로 살아있을 당시 측완판에 붙어있던 완극들의 개수를 추정 할 수 있다.

학전층에서 산출된 거미불가사리 화석들에서 완극은 완골의 측면으로 2개 이상씩 나와 있으며, 표면이 매끈하고 팔의 축에 거의 수직으로 곧게 뻗어있다(Fig. 11-B). 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 완골의 측면으로 3개씩 나와 있으며, 둥근 원뿔 형태로 팔의 축에 거의 수직으로 나 있다(Fig. 12). 완극의 길이는 가장 긴 것이 완절의 길이와 거의 같으며 3개의 완극 중 가운데 있는 것이 가장 길고, 대체적으로 학전층 화석의 완극에 비해 짧다.

촉수공은 관족이 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 표품의 경우 일렬로 배열된 촉수공의 흔적이 뚜렷이 관찰되는데, 중심관의 배쪽에서 볼 때, 입 주위의 촉수공은 좀 더 안쪽으로 치우쳐져 있으며 더 크고 뚜렷하게 발달되어 있다(Fig. 11-C, D).



**Figure 12.** 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 2mm.

## 5. 거미불가사리의 분류

거미불가사리는 성체의 형태가 불가사리와 매우 유사하여 과거에는 불가사리강에 속하는 하나의 아강으로 분류되었다(Linne, 1758). 하지만 그 이후에 거미불가사리에 관한 연구가 진행됨에 따라 Lamarck(1816)는 거미불가사리류를 팔의 분기 유무에 따라 절완류(Ophiura)와 지완류(Euryalae)의 2속으로 나누었으며, 이는 Hyman(1955)에 의해 절완목(Ophiuridae)과 지완목(Euryalea)으로 나누어졌다. 이러한 분류를 바탕으로 Müller and Troschel(1842), Ljungman(1866), Lütken(1869)은 거미불가사리목을 좀 더 세분화하였으며, 세분화 된 분류 체계는 Lyman(1882)과 Perrier(1891)에 의해서도 사용되어졌다. Bell(1892)도 이와 거의 유사한 방법으로 거미불가사리를 분류하였으나, 처음으로 내골격이나 완골의 관절 모양을 취급하였다.

Matsumoto(1915, 1917)는 이러한 분류체계를 크게 변경하여 거미불가사리류의 내부 형태, 특히 완골의 관절 모양, 폭순과 생식관의 관절 모양에 따라 새로운 분류법을 제창하였으며, 이것이 오늘날 분류 방법의 기초가 되었다고 할 수 있다. 그의 분류법은 Clark(1915), Koehler(1922a, b, 1930)에 의해 지지되었으며, Murakami(1963)는 이를 좀 더 보강한 분류 체계를 사용하고 있다. Fell(1960)은 Matsumoto의 분류 체계를 어느 정도 인정하면서 거미불가사리류를 불가사리강(Class Asterozoa)의 하위의 거미불가사리아강(Subclass Ophiuroidea)으로 분류하였으며, 거미불가사리류 전체에 대한 속 검색표를 발표하였다.

거미불가사리류의 화석종에 대해서는 Spencer(1951)가 처음으로 다루면서 혁사미목(Order Stenurida)을 만들고, 이를 바탕으로 Spencer and Wright(1966)는 화석과 현생 거미불가사리를 합쳐서 4개의 목(Order Stenurida, order Oegophiurida, order Phrynophiurida and order Ophiurida)으로 구분하였다. Smith et al.(1995)는 거미불가사리의 여러 형태적 특징에 기인하여 이를 분기학적인 분석을 한 후에 좀 더 수정된 거미불가사리의 분류를 개괄하였으며, 특이한 종인 *Ophiocanops fugiens*(see Fell, 1962, 1963)를 Oegophiuridea로 분류하고, 다른 모든 거미불가사리류를 Ophiuridea로 묶었다. 현재 거미불가사리류의 분류는 Matsumoto(1915, 1917)와 Fell(1960), 그 외의 여러 전문가에 의해 보충되고 정정된 체계를 사용하고 있다.

거미불가사리의 분류적 특징은 중심판과 팔을 구성하고 있는 외부 판들의 유무, 모양과 더불어 완골의 관절 모양이나 생식판과 같은 내부 골격 구조까지도 포함하고 있다. 이러한 분류적 특징들은 현생의 거미불가사리 종들에서는 쉽게 찾아볼 수 있으나, 관족이나 구극, 구열과 같이 매우 작거나 화석으로 보존되기 힘든 부분이 많아 이러한 기준을 그대로 화석에 적용시키기가 쉽지 않다. 특히 본 논문에서 사용된 표본은 보존 상태가 좋지 않고 거미불가사리 중심판과 팔을 덮고 있는 대부분의 판들이 뜯겨져 나간 상태여서 이러한 구조들이 남긴 흔적을 중심으로 화석의 분류를 시행하였으며 본 연구에서는 Smith et al.(1995)에 의한 분류 체계를 중심으로 하여 거미불가사리 화석에 대한 종 분류를 진행하였다.

따라서 포항분지의 화석들은 크게 3개의 형태적 그룹으로 분류할 수 있으며, 이들은 총 2과의 3종으로 분류될 수 있다.



Class OPHIUROIDEA Gray, 1840  
Order OPHIURIDA Müller and Troschel, 1840  
Family AMPHIURIDAE Ljungman, 1867

Fig. 7, Fig. 8, and Fig. 9-C, D

**Materials:** PKNU-Oph1-38 from the Hagjeon Formation and PKNU-Opd3, PKNU-Opd5, PKNU-Opd7 PKNU-Opd8, PKNU-Opd9 and PKNU-Opd10 from the Duho Formation.

**Diagnosis:** Dorsal surface covered with imbricated scales or rarely exposed. Arms are generally long and horizontality flexible. Radial shields are highly-developed. Articulation between the radial and genital plates is an articular pit on the radial shield and a ball-like condyle on the genital plate. The genital plate is fused to proximal vertebra and overlying so that it almost meet radially. Genital spine seems to flattened pabble- or ear-shaped. Adoral shields that meet adorally are narrow and oral shield is diamond-shaped in external aspect; adoral shields shorter and thicker, with oral shield projecting proximally well beyond the adoral shields. Dental plate is a single undivided element. Tooth papillae arranged on dental plate are multiple and irregularly arranged scattering. Arm spines are moderately well-developed erect and extending outwards from arms. Tube feet are

retractable and protected by a scale or scales that can completely cover the tube-foot.

**Description:** In fossil from the Hagjeon Formation, disk is subcircular to subpentagonal and the central part of interradius is recessed. Traces of large and triangular-shaped radial shields remain in the interbrachial area. Short and stout adoral shield is between a oral shield and two oral plates in each jaw around the mouth. A oral shield projecting proximally well beyond the adoral shields. all three types of arm plates fall away, only traces remain and arm vertebrae are exposed. The proximal and distal of each vertebra are serrated and connected in a row. A arm vertebra is wider than long, but in the more distal part of arm is longer than wide. Lined grooves where the radial canal was located appear in the center of a series of arm vertebra. The arm spines are needle-like, long and acute.

On the other hand, the disk of the specimen from the Duho Formation is left with little. Three kinds of arm plate (dorsal arm plate, ventral arm plate and lateral arm plate) are well preserved. Dorsal and ventral arm plates are irregularly quadrangular and wider than long. Lateral arm plates developed between dorsal and ventral arm plates are small, and developed toward the ventral side; each lateral arm plate is not connected with neighbors. Three arm spines are conical, short and almost vertical with a

series of arm vertebra; middle one is longer than the others.

**Remark:** 38 specimens from the Hagjeon Formation (Fig. 7) are classified by details of disk and arm plate such as shape of the radial shield, connection between a oral shield and adoral shields, arrangement of arm plates and feature of spines. Although details of arms are well preserved in 6 specimens from the Duho Formation (Fig. 8-C, D), detail shape of disk and setting of plate on the disk are not observed. Based on these criteria, all specimens from the Hagjeon Formation and 6 specimens from the Doho Formation are classified the same family (family Amphiuridea). However they have different characteristics in detail, identifying as other species respectively.

When the viewing features (the overall appearance of the disk or arm plate and arm spine characteristic), specimens from Hagjeon Formation are regarded as the *Amphiura koreae* (modern species) and the like. They are currently inhabits in the South Sea, Yellow Sea and Jeju Island of Korea and distributed worldwide such as Japan, China, Philippines, India, the Western Pacific and Central America.

6 specimens from the Duho Formation are characterized by a small disk and very long arm than the Hagjeon specimens. Arm spines are conical and middle spine of them is slightly longer than others. Therefore, temporary species of this group is the

*Amphioplus tricoides* (modern species) and they mainly inhabit in southern sea of Korea and Japanese sea.

Class OPHIUROIDEA Gray, 1840  
Order OPHIURIDA Müller & Troschel, 1840  
Family OPHIURIDAE Lyman, 1865  
subfamily OPHIURINAE Lyman, 1865

Fig. 9-A, B

**Material:** Sample #: PKNU-Opd1, PKNU-Opd2, PKNU-Opd4, PKNU-Opd6, PKNU-Opd11 and PKNU-Opd12 from the Duho Formation.

**Diagnosis:** Dorsal surface covered with imbricated scales or plates. The Radial shields and centrodorsal plate are well-developed. Arms are generally stout and short. Arm is the biggest at the base of the one. Oral papillae are organized row of tightly-fitting plate-like spines. Dental plate is a single undivided element. Tooth papillae arrange on dental plate as a single uniserial column, with or without a double or triple row adorally. Second oral tentacle pore is basically external and outward-facing, with or without tentacle scales. Arm spines are short and always adpressed against the arms.

**Description:** Although general form of disk is well preserved as close to a nearly circular, characteristic details are not visible.

Traces of oral shield and adoral shields remain faintly in the jaw around the mouth and a oral shield projecting proximally well beyond the adoral shields. While plates surrounding mouth are only preserved, several types of arm plates are not developed in specimens belonging to this group from the Duho Formation.

**Remark:** Although the details such as disk and plates which is the most important diagnostic features are not observed, a gross morphology is well preserved in some specimens (6 specimens) from Duho Formation. Thus, the fossils were classified based on the overall appearance of fossil and trace of the plate remained in the center of plates around the mouth. One of the largest group, subfamily Ophiurinae includes more than 45% of the currently alive species in the East Sea in Korea. Most of them are *Ophiura sarsii* or *Ophiura leptoctenia* (Shin and Koh, 1993) and the biggest differences between two species is the ratio of the width and length of arm vertebra. As the length and width of the arm vertebra, some specimens (6 specimens) from Duho Formation are regarded as *Ophiura sarsii*) and the like. They are currently inhabits in the East Sea, South Sea, Yellow Sea and Jeju Island of Korea and distributed worldwide such as Japan, North Europe, North African,

## 6. 토의

### 6.1. 퇴적환경 및 고생태

연구지역에서 발견된 대부분의 거미불가사리 화석은 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 지층이 경우가 다소 다르며, 이러한 이유는 거미불가사리 화석이 퇴적될 당시의 환경차이 때문으로 판단된다. 즉 중심판과 팔이 붙어 있는 상태의 온전한 화석은 학전층(38개체 중 2개체)에 비해 두호층(12개체 중 10개체)에서 월등하게 많이 산출된다. 온전하게 산출된 화석의 모양 및 보존 상태 또한 두호층의 경우가 더 우세하다(Fig. 7과 8 비교). 이러한 현상은 아마도 거미 불가사리가 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 우세하고 렌즈상으로 역질 사암이 협재하는 것으로 보아 학전층이 좀 더 강한 해류의 흐름에서 퇴적되었음을 지시한다. 따라서 화석이 산출된 층준에서의 학전층의 퇴적환경은 두호층에 비

해 좀 더 고에너지의 환경이었음을 알 수 있다.

거미불가사리 화석의 완판과 완극의 보존 및 산출상태도 두 지층의 경우 판이하게 다르다. 학전층에서 산출된 화석의 대부분은 완판이 뜯겨 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. 7과 8 비교). 또한 두호층의 모든 표품에서는 팔 주변에 흩어져 있는 완극이 관찰되지 않고 대신 완극은 팔에 온전하게 붙어 있는 상태로 산출된다(Fig. 8, 11). 이러한 현상들 또한 두호층의 퇴적환경이 학전층에 비하여 좀 더 안정적이었음을 시사한다. 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 완절 등이 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(신형철, 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(신형철, 1989). 또한 각기 다른 환경에 적응하며 살아가는 거미불가사리 종들은 수심이나 먹이의 종류, 섭식 방법에 따라 형태적인 차이를 보이는데, 이러한 거미불가사리의 형태적 특징들을 기준으로 거미불가사리의 서식환경에 대한 포괄적인 유추가 가능하다.

현생 거미불가사리의 경우 중심판의 직경과 팔 길이의 비율에 따라



생활양식에 차이를 보이는데, 팔 길이 대 중심판 직경의 비율이 비교적 큰 종의 경우(>9) 진흙이나 모래 바닥을 파고 들어가 2, 3개의 팔을 내어 물의 흐름에 따라 흔들며 부유성 플랑크톤을 섭식하는 특징을 보이는 반면, 비율이 비교적 작은 종들의 경우(<5) 해저 바닥을 기어다니며 바닥에 떨어진 유기물을 먹고 살아가는 것들이다(Twitchett et al., 2005). 두호층에서 발견된 종들 중 양편거미불가사리과(Family Amphiuridae Ljungman, 1867)에 속하는 종들의 경우 팔이 중심판에 비해 매우 발달해 있으며(팔 길이와 중심판 직경의 비가 9이상), 진흙이나 모래 바닥에 자신의 몸(중심판)을 숨긴 상태로 길고 유연한 팔을 밖으로 뻗어 유기물을 접촉시켜 먹으며 살아가는 것들이다. 이러한 생활 양식의 경우 바닷물에 떠다니는 부유성 유기물이 풍부한 얕은 바다에서 살아가기 적합한 형태이며, 현재 우리나라 주변에서 서식하고 있는 긴팔거미불가사리(*Amphiura sinicola*), 연안거미불가사리(*Amphiura vadicola*) 등이 이러한 생활 양식을 보인다.

학전층에서 발견된 거미불가사리의 경우 팔의 길이는 길지 않은 반면 팔에 완곡이 매우 발달되어 있다. 현생 거미 불가사리 종들 중 이와 형태가 비슷한 종인 턱뱀거미불가사리(*Amphiura koreae*), 코치양비늘거미불가사리(*Amphiura kochii*), 네가시양비늘거미불가사리(*Amphipholis tetracavtha*) 등의 경우 유기물이 풍부한 얕은 연안에 서식하고 있으며 길고 뾰족한 완곡이 발달되어 있어 천적들이 많은 환경에서 천적들로부터 자신들을 보호한다.

두호층에서 발견된 나머지 종들은 가시가 거의 발달하지 않으며 팔의 길이 역시 중심판에 비해 아주 길거나 유연하지 않다. 현생 동들 중에서 이와 유사한 형태적 특징을 보이는 살시거미불가사리(*Ophiura sarsi*),

가는빗살거미불가사리(*Ophiura leptoctenia*) 등과 같은 종들의 경우, 좀 더 깊은 바다환경(약 200-2,000m)에서 바닥에 떨어진 동물의 사체 혹은 소형 유영동물, 작은 물고기 등을 잡아먹으며 살아가는 종들이다. 이들은 다른 거미불가사리 종들에 비해 사냥 능력이 뛰어나고 좀 더 다양한 먹이를 섭식하는 특징을 보이며 따라서 좀 더 깊은 환경(유기물이 비교적 풍부하지 않은 환경)에 잘 적응하며 살아가는 것들이다. 이러한 종들이 두호층에서만 발견된 것으로 보아 생물이 살아있을 당시 두호층에서의 수심이 학전층에 비해 좀 더 깊은 환경이었다고 생각할 수 있다.

학전층과 두호층에서 산출된 화석의 보존 상태가 좋지 않기 때문에 종 단위까지의 분류가 불가능하여 이러한 결과만을 바탕으로 연구지역의 수심에 대하여 정확한 수치를 제시하는 것은 어렵지만, 거미불가사리 화석의 연구가 계속되어 진다면 신생대 마이오세 동안 동해안에서의 수심을 비롯한 고환경을 좀 더 명확하게 해석하는데 많은 도움이 될 것이다.

## 6.2. 화석의 분류

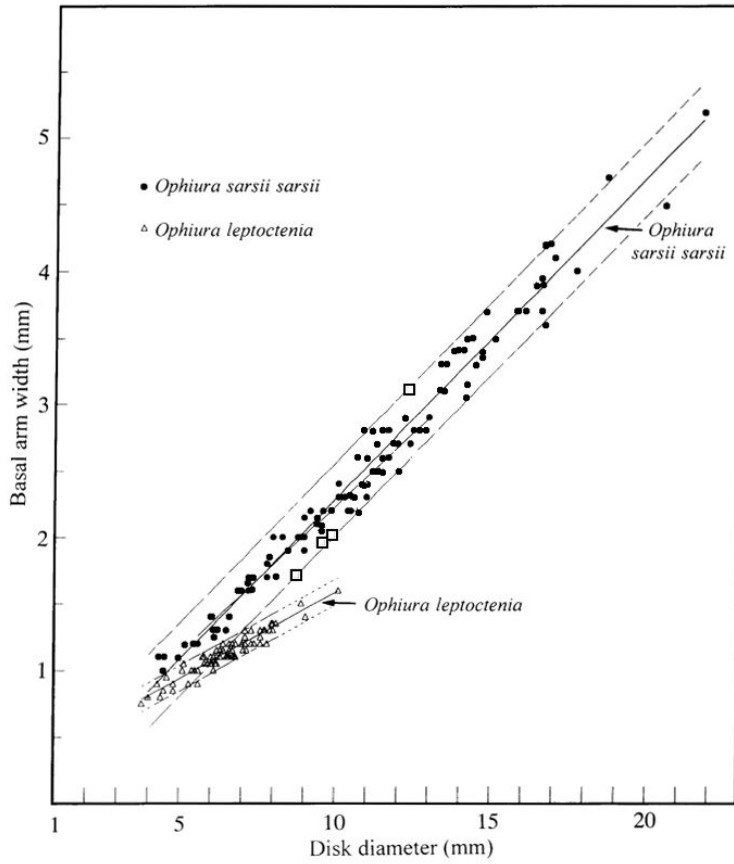
일반적으로 현생 거미불가사리의 분류는 내부 골격과 생물학적 구조에 따른다(Smith et al., 1995; Cisternas et al., 2004). 하지만 이러한 구조들은 화석에서 잘 보존되지 않아 현생 분류체계로 거미불가사리 화석을 종(species) 단위까지 분류하는 것은 쉽지 않기 때문에 몇몇 학자(예, Spencer and Wright, 1956)들은 화석종과 현생종을 포함하는 분류체계를 제시하였다. 본 연구에서는 최근 Smith et al.(1995)에 의해 수정된 분류체계를 사용하였다.

포항분지에서 산출된 화석들은 크게 3종류의 형태적 그룹으로 분류된다. 우선, 학전층에서 산출된 모든 화석(38개체)은 유사한 특징을 지닌 동일한 종으로 판단된다. 전체적으로 원형의 중심판에 5개의 가늘고 긴 팔이 방사상으로 뻗어 있다. 배쪽의 중심판 중앙부에는 입의 형태가 잘 나타나 있으며 팔이 입 가까운 곳까지 삽입되어 있다. 팔은 분지되지 않으며 끝에 가지를 가지거나 말려 있지 않다. 모든 표품에서 완판은 떨어져서 완절만이 관찰되나 희미하게 남아있는 완판의 개수로 보아 학전층의 화석은 폐사미류에 속하는 거미불가사리로 판단된다. 완절은 배쪽에서 보면 기부와 말단 부분이 톱니모양으로 서로 맞물려 있으며, 각각의 완절마다 2개이상의 완극이 끝이 뾰족한 형태로 곧게 뻗어 나있다. 중심판에는 삼각형 모양의 폭순의 흔적이 남아있으며 중심판의 배쪽 부분에서 볼 때 되어 구순에 비해 위구순들은 짧고 두꺼우며 서로 접하고 구순이 위구순들을 지나서 중심 쪽으로 돌출되어 있다. 이러한 특징으로 미루어 보아 학전층에서 발견된 화석들은 양편거미불가사리과(Family Amphiuridae Ljungman, 1867)에 속하는 것임을 알 수 있으며, 현생종

인 턱뱀거미불가사리(*Amphiura koreae*)와 유사한 종으로 판단된다.

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 팔의 특징이 잘 보존되어 있는 6점의 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. 이들은 학전층에서 산출된 화석과 같은 과에 속하고 있으나 팔의 길이가 매우 길고 중심판의 직경이 작은 특징을 보이며 따라서 현생종인 덧니거미불가사리(*Amphioplus tricoides*)류에 속하는 종으로 보여진다.

두호층에서 산출된 나머지 6점의 표본들은 하나의 개체가 완전히 보존되어 있으나 보존 상태가 매우 좋지 않아 전체적인 형태를 제외한 세부 구조는 거의 나타나지 않는다. 중심판은 원형으로 중심에는 입의 형태가 잘 나타나고, 팔은 입 주변까지 깊이 삽입되어 방사상으로 뻗어 있다. 팔은 가늘고 길며, 기부에서 말단으로 갈수록 점점 더 가늘어진다. 하나의 완절은 그 길이와 폭이 거의 비슷한 특징을 보이고 있지만 완극은 흔적조차도 거의 남아 있지 않으며 완판의 형태나 흔적 또한 거의 남아 있지 않다. 화석에 나타나는 거미불가사리의 전체적인 형태로 미루어 보아 이들은 빗살거미불가사리아과(subfamily Ophiurinae Lyman, 1865)에 속한다고 볼 수 있다. 현재 우리나라 연안에 서식하고 있는 거미불가사리 중 빗살거미불가사리아과(subfamily Ophiurinae Lyman,



**Figure 13.** The relationship between disk diameter and basal arm width of recent *Ophiura sarsii sarsii*, *Ophiura leptoctenia* and fossil *Ophiura sarsii sarsii* in Japan (Yoshiaki, 1998). Solid lines show linear regression and broken lines show 95% confidence limits. Square marks represent some specimens from the Duho Formation.

1865)에 속하는 종의 97% 이상이 살시거미불가사리(*Ophiura sarsii*)와 가는빗살거미불가사리(*Ophiura leptoctenia*) 종이며 (Shin and Koh, 1993) 이들은 두호층에서 발견된 종들과 형태적으로 유사한 특징을 보인다. 살시거미불가사리(*Ophiura sarsii*)와 가는빗살거미불가사리(*Ophiura leptoctenia*)는 외부의 형태적인 특징이 매우 유사하여 구분이 쉽지 않지만, 두호층에서 발견된 종들의 중심판 직경과 팔 기부에서 너비의 비를 측정해 본 결과 이들은 살시거미불가사리(*Ophiura sarsii*)와 좀 더 유사한 종으로 판단되어진다(Fig. 13).

## 7. 결론

- (1) 신생대 제3기 퇴적분지인 포항분지의 두호층과 학전층에서 50개체의 거미불가사리 화석이 발견되었다. 대부분의 화석은 채집된 거미불가사리 화석들은 온전한 하나의 개체로 보존된 것이 드물게 나타났으며, 보존 상태가 좋지 못하다. 이러한 화석들을 채집하고 이 표본들을 관찰한 결과 화석들은 크게 3종류로 분류되었다.
- (2) 학전층에서 산출된 화석은 분절된 팔과 팔에서 떨어져 나온 완극의 형태가 잘 남아 있다. 이러한 특징으로 학전층에서 채집된 개체들은 양편거미불가사리과(Family Amphiuridae Ljungman, 1867)에 속하는 것임을 알 수 있으며, 현생종인 턱뱀거미불가사리(*Amphiura koreae*)와 유사한 종으로 판단된다.
- (3) 두호층에서 산출된 화석은 크게 두 종류로 구분되어지며, 학전층에 비해 보존 상태가 좋지 않다. 하지만 팔의 외부를 둘러싸고 있는 완판이나 완극의 형태가 보존되어 있으며, 따라서 첫 번째 그룹에 속하는 화석종들은 학전층에서 산출된 화석과 같은 과(양편거미불가사리과, family Amphiuridae Ljungman, 1867)에 속하며. 현생종인 덧니거미불가사리(*Amphioplus tricoides*)류에 속하는 종으로 보인다. 두호층에서 산출된 나머지 6점의 표본들은 빗살거미불가사리아과(subfamily Ophiurinae Lyman, 1865)에 속하며, 살시거미불가사리

(*Ophiura sarsii*)와 유사한 종들로 판단된다.

(4) 거미불가사리 화석의 산출양상을 보면 학전층에서 산출된 화석들은 대부분 팔이 중심판으로부터 분리되고 팔의 마디가 분절되어 나타나는 반면, 두호층 화석들은 대부분 온전한 상태로 산출된다. 이러한 양상으로 미루어 보아 거미 불가사리가 서식하던 당시에 두호층의 환경이 학전층의 환경에 비해 좀 더 안정된 환경(저에너지 환경)이었기 때문으로 판단된다.

(5) 현재까지 우리나라의 거미불가사리 화석에 대한 연구가 활발히 이루어져 있지 않지만 거미불가사리는 동해안에서 서식하고 있는 대표 종 중의 하나로써, 서식 당시의 고환경 연구에도 많은 도움이 될 것이다. 따라서 이러한 화석에 대한 연구가 앞으로도 꾸준히 진행되어야 할 것이다.



## 참고문헌

- 김덕환, 이성주, 2011, 포항분지 연일층군의 학전층과 두호층에서 산출된 가리비 화석. 지질학회지, 47, 235-244.
- 김봉균, 1970, 한국의 신 제3기 퇴적층에 관한 연구. 지질학회지, 6, 77-96.
- 김봉균, 정창희, 김수진, 1975, 경북 영일지역에 발달하는 갈탄층의 층서적 연구. 지질학회지, 11, 240-252.
- 김봉균, 최덕근, 1977, 포항 지역 제3기층 저서성 유공충의 Species Diversity. 지질학회지, 13, 111-120.
- 김인수, 강희철, 1996, 남한 제3기 분지지역에 대한 고지자기 연구: 1. 장기지역. 자원환경지질, 29, 357-367.
- 김종현, 최성일, 2008, 포항분지의 마이오세 장기층군의 금광동층에서 산출된 메타세콰이아(*Metasequoia*) 화석에 대한 고찰. 한국지구과학회지, 29, 319-327.
- 백광호, 봉필윤, 최덕근, 1979, 포항지역의 마이오세 (Miocene) 지층의 미고생물학적 연구. 자원개발연구소 조사연구보고, 6, 9-46.
- 성미나, 공달용, 이봉진, 이성주, 2009, 제3기 포항분지의 학전층과 두호층에서 산출된 거미불가사리 화석. 자원환경지질, 42, 1-10.
- 신숙, 노분조, 1996, 한국동식물도감. 동물편(극피동물). 교육부, 36, 775p.
- 신형철, 1989, 한국 동해 대륙붕과 대륙사면에서의 거미불가사리의 분포. 서울대학교 석사학위논문, 48-59.

- 엄상호, 이동우, 박봉순, 1964, 포항도폭설명서(1:50,000). 국립지질조사소, 1-21.
- 이연규, 윤선, 2004, 이매패류, 복족류-신생대를 중심으로. 한국 고생물학회 창립 20주년 기념 한국 고생물, 한국고생물학회, 7, 217-224.
- 장세용, 1976, 포항의 제3기층과 일본지질의 층서대비연구. 광산지질, 9, 1-11.
- 장태우, 정재혁, 장천중, 2007, 한반도 동남부 제3기 어일분지 및 와읍 분지의 지구조 운동. 지질공학회지, 17, 27-40.
- 전희영, 1982, 포항지역에 분포하는 제3기층군의 고식물군 연구. 한국동력자원연구소 조사연구보고, 14, 7p.
- 전희영, 김동학, 엄상호, 봉필윤, 이호영, 최성자, 김유봉, 김복철, 권영인, 이동영, 박영수, 최영섭, 1990, 한반도 진화생물에 의한 퇴적분지 연구(III). 과학기술처, KR-91-(T)-17, 145p.
- 정철환, 최덕근, 1993, 포항지역 연일층군(마이오세)에서 산출된 초자화분 화석군의 고기후적 의미. 한국고생물학회지, 9, 143-154.
- Bell, F.J., 1892, Catalogue of the British Echinodermes in the British Museum of Natural History. British Museum, London, 202p.
- Chun, H.Y., 1982, Plant fossils from the Tertiary Pohang sedimentary basin, Korea. KIGAM Report on geoscience and Mineral Resource, 14, 7-24.
- 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,

135, 1-11.

- Cisternas, P., Selvakumaraswamy, P. and Byrne, M., 2004  
Evolution of development and the Ophiuroidea-revisited. Taylor  
and Francis Group, London, UK, 521-526.
- Clark, H.L., 1915, Catalogue of recent Ophiurans based on  
collections of the Museum of Comparative Zoology. Memoirs of  
the Museum of Comparative Zoology, Harvard Collega, 25, 165-  
376.
- Fell, H.B., 1960, Synoptic keys to the Genera of Ophiuroidea.  
Zoology Publications from Victoria University of Wellington, 26,  
1-44.
- Fell, H.B., 1962, A revision of the major genera of Amphiuridae,  
Ophiuroidea. Transactions of the Royal Society of New Zealand,  
Zoology, 2, 1-126.
- Fell, H.B., 1963, The phylogeny of sea-stars. Philosophical  
Transactions of the Royal Society of London, B, 381-485.
- Fontaine, A.R., 1965, The feeding mechanism of the ophiuroid  
*Ophiocumina nigra*. Journal of the Marine Biological Association  
of the United Kingdom, 45, 373-385.
- Han, J., 1989, Miocene paleomagnetic data from southeastern  
Korea: implication on models for opening of Japan sea. M.S.  
thesis, Texas A&M University, USA, 132p.
- Huh, M. and Paik, K.H., 1992a, Miocene ostracoda from the  
Pohang basin, Korea. Journal of the paleontological society of

- Korea, Special publication, 1, 101-119.
- Huh, M. and Paik, K.H., 1992b, Miocene ostracoda from the Seojeongri area, Pohang basin, Korea. Journal of the paleontological society of Korea, 28, 273-283.
- Huh, M., Paik, K.H. and Lee, E.H., 1994, Miocene ostracoda and paleoenvironment of the lower Yeonil group, Bomungi area, Korea. Journal of the paleontological society of Korea, 10, 57-68.
- Huzioka, K., 1972, The Tertiary floras of Korea. Journal of the Mining College, Akita University, Series A, 3, 1-105.
- Hyman, L.H., 1955, The Invertebrates. McGraw-Hill Book Company, 4, 589-689.
- 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 Geological Sinica (English Edition), 83, 845-852.
- Kanehara, K., 1936, Neogene shells from South Chosen (Korea). Japanese Journal of the Geology and Geography, 13, 31-37.
- 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, 15, 32-121.
- Kim, B.K., 1984, Cenozoic Biostratigraphy of South China. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 46, 85-96.
- Kim, B.K., 1987, Cenozoic Erathem. In Lee, D.S. (ed.), Geology of

- Korea. Geological Society of Korea, Korea, 202-221.
- 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*, 18, 19-36.
- Kim, B.K., Noda, H. and Yoon, S., 1974, Molluscan fossils from the Miocene Eoil Formation, Kampo and Ulsan districts, southern-side of Korea. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, 93, 266-285.
- 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*, 26, 507-518.
- Koehler, R., 1922a, Contributions to the biology of the Philippines Archipelago and adjacent regions. Ophiurans of the Philippines seas and adjacent waters, *Bulletin of the United States National Museum* 100, 1-486.
- Koehler, R., 1922b, Ophiuroidea. *Scientific Reports Australasian Antarctic Expedition 1911-1914*, 8, 1-98.
- Koehler, R., 1930, Ophiures recueillies par le Docteur Th. Mortensen dans les Mers d'Australie et dans l'Archipel Malais. *Videnskabelige Meddelelser fra Dansk Naturhistorisk Forening*, 89, 1-295.
- 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.
- Lamarck, J.B.P.A., 1816, Histoire naturelle des animaux Sans vertebres. French Edition, 1, 522-568.
- Lee, W.J., 1975, Discovery of the Miocene *Kalopanax* leaf from the Geungwangdong Formation, Southeastern Korea. University Journal, Busan National University, Natural Science Series, 20, 47-52.
- Lee, Y.G., 1986, Micropaleontological study of Neogene strata of southeastern Korea and adjacent sea floor. Journal of the Paleontological Society of Korea, 2, 83-113.
- Lee, Y.G., 1988, Neogene paleotemperature oscillations in the Pohang Basin, Korea. Journal of Korean Earth Science Society, 9, 203-216.
- Lee, Y.G., 1992, Paleontological study of the Tertiary molluscan fauna in Korea. Science Reports of Institution of Geosciences, University of Tsukuba, Section B, 13, 176-180.
- 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.
- Ljungman, A., 1866, Om några nya arter af Ophiurider. Öfversigt af Kongliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar 1866, 23, 163-166.

- Lütken, C., 1869. Additamenta ad historiam Ophiuridarum. Tredie Afdelning. Det kongelige danske Videnskabernes Selskaps Skrifter. 5 Raekke, Naturvidenskabelig og matematisk Afdelning, 8, 20-109.
- Lyman, T., 1882, Report on the Ophiuroidea dredged by H.M.S. Challenger during the years 1873-1876. Report on the scientific results of the voyage of H.M.S. Challenger during the years 1873-76, 386p.
- 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, 67, 43-92.
- Matsumoto, H., 1917, A monograph of Japanese Ophiuroidea, arranged according to a new classification. The Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo, Japan, 38, 408p.
- Müller, J. and Troschel, F.H., 1842, System der Asteriden Mit Zwölf Kupfertafeln. Braunschweig. Papier, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 119-120.
- Murakami, S., 1963, The dental and oral plate of Ophiuroidea. Transactions of the Royal Society of New Zealand, Zoology, 4, 48p.
- Perrier, E., 1891, Echinodermes de la mission scientifique du Cap Horn. I. Stellerides. Mission scientifique Cap Horn, Zoologie, 6, 198p.

- Rho, B.J., 1979, A study on the classification and the distribution of the echinoderms in Korea, 1. Ophiuroids. Journal of Korean Research Institute for Better Living, 23, 33-60.
- Rho, B.J. and Kim, H.S., 1966, Studies on the Echinodermata (Echinoidea, Asteroidea and Ophiuroidea) from Korea. Collect. Thes. Writ. Commem. Dr. Emma Kim's Forty Tears Teac. Ewha Womans University, 273-293.
- Shin, H.C. and Koh, C.H., 1993, Distribution and abundance of ophiuroids on the continental shelf and slope of the East Sea (southwestern of Japan), Korea. Marine Biology, 115, 393-399.
- Shin, H.C., 1989, Distribution of Ophiurids on the Continental Shelf and Slope of the East Sea, Korea. M.S. thesis, Seoul National University, 59p.
- Smirnov, I.S., 2010, Symbiotic relation between Antarctic ophiuroids of genus *Ophiacantha*. Echinoderms: Durham, Proceedings of the 12th International Echinoderm Conference, 641-642.
- Smith, A.B., paterson, G.L.J. and Lafa, Y.B., 1995, Ophiuroid phylogeny and higher taxonomy - morphological, molecular and paleontological perspectives. Zoological Journal of the Linnean Society, 114, 1147-1150.
- Spencer, W.K., 1951, Early Palaeozoic starfish. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B, 87-129.
- Spencer, W.K. and Wright, C. W., 1956, Asterozoans, Treatise on



- Invertebrate Paleontology. Part U Echinodermata, 3, 695p.
- Spencer, W.K., and Wright, C.W., 1966. Asterozoans. Moore R.C. (ed), Treatise on invertebrate paleontology, Echinodermata, University of Kansas Press and the Geological Society of America, 3, 4-107.
- Sprinkle, J. and Bell, B.M., 1978, Paedomorphosis in edrioasteroid echinoderms. *Paleobiology*, 4, 82-88.
- Takahashi, K. and Kim, B.K., 1979, Palynology of the Miocene Formation in the Yeonil Bay District, Korea. *Paleontographica*, Band 170, Abteilung B, 10-80.
- 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*, 20, 213-223.
- Yoo, J.W., Hong, J.S. and Park, H.S., 1995, A taxonomical redonsoderation on the three species of genus *Ophiura* from Korea waters. *The Korean Society of Systematic Zoology*, 11, 417-434.
- 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*, 11, 187-214.
- Yoon, S., 1976, Geology and Palaeontological study of the

- Tertiary Deposits of Janggi-Eoil District of Korea. No. 1. Stratigraphy and geologic age of the Songjeon Formation. Journal of Busan University, 21, 11-19.
- Yoon, S., 1982, Tertiary stratigraphy of the Eoil Basin, Korea. Journal Geological Society of Korea, 18, 173-180.
- Yoon, S. and Rhee, S.H., 1982, Discovery of *Vicarya* from the Tertiary Pohang Basin, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 18, 49-52.
- Yoshiaki, I. and Yoshitaka, K., 1998, *Ophiura sarsii sarii* (Echinidermata, Ophiuroidea) from the late Pliocene Hachiogi Formation in Niigata Prefecture, Central Japan. Paleontological research, 2, 137-144.
- Yun, H.S., 1986, Emended stratigraphy of the Miocene formations in the Pohang Basin, part I. Journal of the Paleontological Society of Korea, 2, 54-69.

**Cenozoic Brittle stars (Ophiuroidea) from the Hagjeon Formation and  
the Duho Formation, Pohang Basin, Korea  
: Classification and Paleoecology\***

Mi Na Seong

*Department of Geology  
Graduate School, Kyungpook National University  
Daegu, Korea  
(Supervised by Professor Seong-Joo Lee)*

(Abstract)

About 50 specimens of fossil ophiuroids were collected from two formations of the Cenozoic marine deposits, Duho Formation and Hagjeon Formation, Pohang Basin, Korea. A few specimens were three-dimensionally preserved: most of them were remained flattened. 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 inserting arms into disk are clearly visible. It is, thus almost impossible to identify Korean ophiuroid fossils as a species level. The fossils were classified into 3 groups by gross morphology of disk and arm, and architecture of vertebra. The most abundant fossils (38 specimens), were found only in the Hagjeon 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 (6

---

\* A thesis submitted to the Committee of the Graduate School of Kyungpook National University in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in June, 2012

specimens) from the Duho Formation are 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 (6 specimens) are poor in preservation state showing circular oral disk and relatively short sinuous arms. No arm plates are either identified.