

## 포항분지 연일층군의 학전층과 두호층에서 산출된 가리비 화석

김덕환 · 이성주<sup>†</sup>

경북대학교 지질학과

## 요 약

포항분지의 학전층과 두호층에서 약 500개체의 가리비 화석이 산출되었다. 화석은 원래의 석회질 패각을 비롯하여 내부몰드 및 외부몰드 등 다양한 형태로 산출되었으며 대부분의 패각은 좌각과 우각이 분리되어 독립적으로 발견되나 두 개의 패각이 붙어서 함께 발견되기도 한다. 두 지층에서 산출된 가리비 화석은 각각 화석종과 보존양상에 있어서 차이를 보이며 크기에 따라 3개의 화석군(소형, 중형 및 대형 가리비 화석)으로 구분된다. 소형 가리비 화석은 *Propeamussium tateiwai*와 *Delectopecten peckhami*로 분류되었으며 중형과 대형 가리비 화석은 각각 *Patinopecten* sp.와 *Patinopecten kimurai ugoensis*로 분류되었다. 패각의 형태와 고생태의 연관관계 분석결과 *Propeamussium tateiwai*와 *Patinopecten kimurai ugoensis*는 각각 심해 일시 유영성종과 천해 일시 유영성종으로 판단된다. 이 중 가장 풍부하게 산출되는 *P. tateiwai*는 보존양상에 따라 매우 다양한 형태로 산출되어 화석의 보존양상과 형태변형에 따른 변이를 이해하는데 도움이 된다.

**주요어:** 포항분지, 학전층, 두호층, 가리비 화석, 내부몰드, 외부몰드, 보존양상

**Duck Hwan Kim and Seong-Joo Lee, 2011, Fossil scallops from the Hageon Formation and the Duho Formation, Pohang Basin, Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 47, no. 3, p. 235-244**

**ABSTRACT:** More than 500 specimens of fossil scallops were collected from the Hageon Formation and the Duho Formation, Pohang Basin, Korea. The fossils were found as original calcareous shells, and internal and external molds. Most of them were a single separated shell, and specimens with two shells attached were also sporadically found. The scallop fossils from the two formations differ each other in composition of species and fossilization types, and they were classified into three groups (small, middle and large scallops) based on the size of the scallop fossils. Two species, *Propeamussium tateiwai* and *Delectopecten peckhami*, were identified from the small scallop group, and *Patinopecten* sp. and *Patinopecten kimurai ugoensis* from the middle and large groups, respectively. *Patinopecten kimurai ugoensis* and *P. tateiwai* were interpreted as shallow and a little deep nectonic species, respectively based on the analysis of relationship between scallop morphology and paleoecology. The specimens of *P. tateiwai* (the most abundant species), despite of a same species, show different morphologies and structures depending on fossilization types, which requires careful understanding on fossilization types and morphological variation.

**Key words:** Pohang Basin, Hageon Formation, Duho Formation, fossil scallops, internal mold, external mold, fossilization type

(Duck Hwan Kim and Seong-Joo Lee, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

## 1. 서 언

형태는 화석 종의 분류에 가장 기본이 되는 요소이다. 형태가 유사한 화석은 동일종으로 분류하고, 이와 다른 형태의 화석 집단은 다른 종으로 구분하여(형태학적 종의 개념) 이를 바탕으로 지층의 연대

및 고환경을 해석한다. 하지만 대부분의 경우 화석은 불완전하게 보존되며 형태는 다양한 변이를 띠기 때문에 형태적 형질만으로 화석종을 구분하는 것은 쉽지 않다(Newell, 1956). 예를 들어 동일종임에도 불구하고 암컷과 수컷은 모양이 서로 다르며 자매종인 경우에는 형태가 유사함에도 다른 종으로 분류된

<sup>†</sup> Corresponding author: +82-53-950-5355, E-mail: sjl@knu.ac.kr

다(Valentine, 1987). 또한 화석은 보존양상에 따라 동일한 종일지라도 매우 다양한 형태로 산출되며, 이러한 “화석의 보존양상”도 화석 분류에 있어서 어려움을 증가시킨다. 따라서 고생물학자들은 언제나 산출된 화석의 보존양상과 형태변형에 따른 변이를 이해하고자 노력한다.

가리비 화석은 이러한 현상을 가장 쉽게 이해할 수 있는 화석 중 하나이다. 가리비 화석은 대부분의 이매패류와는 달리 좌각과 우각의 모양과 크기가 상이하여 동일한 화석 중 패각임에도 불구하고 두 패각을 다른 종으로 분류하는 우를 범하기 쉽다(Waller, 2006). 동일한 가리비 화석도 또한 패각의 내부와 외부구조가 서로 다르기 때문에 패각이 보존되는 양상(예, 캐스트, 내부몰드 및 외부몰드 등)에 따라서 다양한 형태를 띠게 된다. 뿐만 아니라 가리비 화석의 패각은 서로 다른 구조를 띠는 몇 개의 층으로 이루어져있기 때문에 패각의 어느 층이 보존되느냐에 따라서 동일한 종임에도 다양한 형태를 띠게 된다(Hayami, 1988b).

국내의 가리비 화석은 1923년 일본인 학자인 Yokoyama에 의해 제주도의 서귀포층에서 최초로 보고되었다. 이후 포항 분지(Kanehara, 1936; Yoon, 1976; Kim and Yoon, 1978)와 제주도 서귀포층(Yokoyama, 1923; Yoon, 1988)에서 보고되었으나 대부분의 가리비 화석은 연체동물화석 연구에 수반된 부수적인 산출보고이다. 본 논문에서는 최근 5년 동안 포항분지의 학전층과 두호층에서 발견된 약 500여 개체의 가리비 화석을 보고한다. 산출된 가리비 화석은 화석의 보존양상에 따라 동일종임에도 불구하고 다양한 형태를 띠기 때문에 이러한 형태의 다양성 이해는 화석 분류에 매우 중요하다.

## 2. 지질 개요

포항분지는 미화석(Kim, 1990; Yi and Yun, 1995)을 비롯하여 다양한 해양 동물화석(성미나 외, 2009; Yoon and Rhee, 1982; Yun, 1985)과 육상 식물화석(Huzioka, 1972; Jeong *et al.*, 2009; Jung and Lee, 2009)이 풍부히 산출되는 우리나라의 대표적인 신생대 제3기 퇴적분지이다. 포항분지의 층서에 대한 연구는 Tateiwa (1924)에 의해 처음 시작된 이후 다양한 분야에서 연구가 시도되었다(Um *et al.*, 1964;

Kim, 1965; Yoon, 1975; Yun, 1986; Kim *et al.*, 1993; Chung and Koh, 2005). 하지만 연구지역을 포함하는 포항분지 일대의 지층들은 대부분 경사가 완만하여(10°~30°SE) 층의 경계면을 관찰하기가 쉽지 않고 또한 인접한 지층들이 연속적으로 노출된 지역이 매우 드물다. 이러한 이유로 포항분지의 층서 구분에 대한 학자들의 견해가 통일되지 않고 있으며 현재까지 일치된 층서체계가 확립되지 않고 있다(Sohn, 2001). 본 연구에서는 구분이 모호한 기존의 층들을 통합하여 연일층군을 천북역암, 학전층, 두호층으로 구분한 Yun (1986)의 층서체계를 따랐다. 연일층군의 지질시대는 흔히 중기 마이오세로 알려져 있으나 고환경에 대한 해석은 연구 지역이나 화석 종에 따라 다소 상이한 결과를 보인다(e.g., Ingle, 1975 vs. Lee, 1982).

학전층은 천북역암을 정합으로 덮으며 층의 두께는 약 280~400 m이다. 주로 암회색 이암과 사암으로 구성되어 있으며 이암 지층 속에 조립 혹은 역질 사암이 협재하고 다양한 크기의 단괴도 관찰된다. 지역에 따라 암상의 변화가 심하고 지층의 연속성 또한 불량하다. Yun *et al.* (1995)은 포항분지 일대에 분포하는 달전현무암에서 절대연령을 측정하고, 화분포자화석을 이용한 생층서 대비를 통해 하부 학전층은 약 15Ma에 퇴적되었다고 해석하였다.

두호층은 연일층군의 최상위층으로 하부의 학전층을 정합으로 덮으며 층의 두께는 약 150~200 m이다. 주로 층리의 발달이 불량한 회색의 이암으로 구성되어 있으며 사암이 얇게 끼기도 하고 다양한 크기의 단괴가 층리와 평행하게 발달되기도 한다. 고생물학적 연구(Yun, 1986; Lee, 1988)와 고지자기 연구(Kim *et al.*, 1993)에 의하면 두호층의 퇴적 시기는 약 14.5~11.5 Ma로 알려져 있다.

## 3. 가리비 화석 산출 양상

포항 제4산업단지 일대의 학전층과 장량지구 및 용한리 일대의 두호층에서 약 500개체의 가리비 화석이 산출되었다(그림 1). 학전층에서 산출된 가리비 화석은 주로 암회색 사암과 암회색 이암에서 산출된 반면 두호층에서는 회색의 이암층에서만 산출되었다. 가리비 화석은 원래의 석회질 패각을 비롯하여 내부몰드(internal mold) 및 외부몰드(external

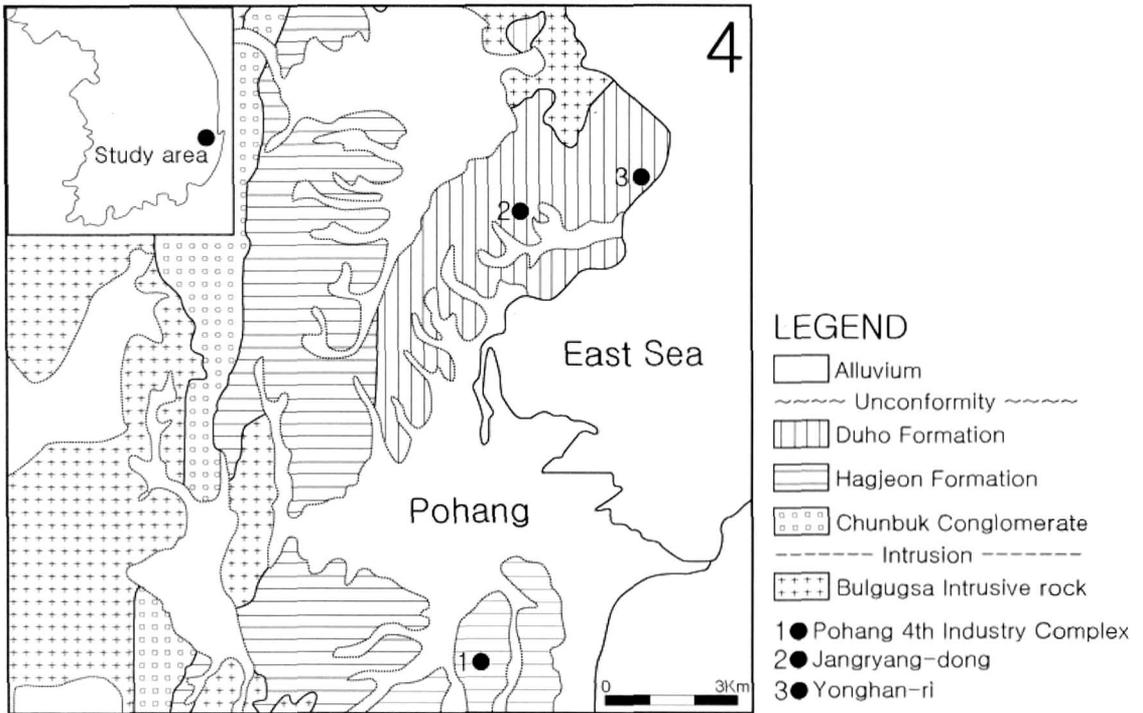


Fig. 1. Geologic map of the study area. Dark circles represent sampling sites of scallop fossils.

Table 1. Morphological characters of three (small, middle and large) scallop fossil groups.

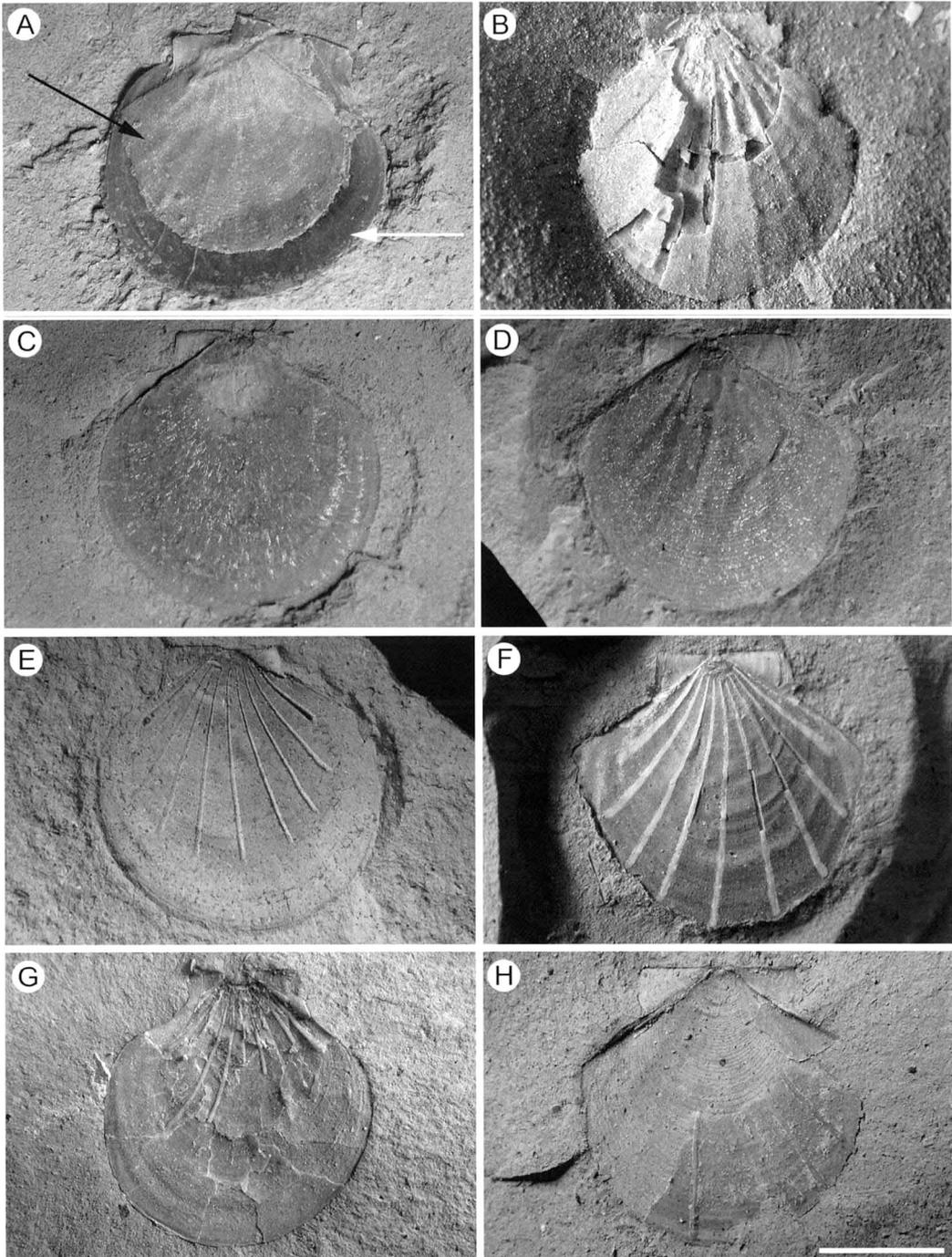
	Species	Valve	L/H	UA	NR	Remark
Small Scallop	<i>Propeamusium tatei</i>	right	1.08±0.05	110°	9	very thin valve
		left	0.96±0.04	110°	9	
	<i>Delectopecten peckhami</i>	right	1.02±0.05	110°	X	byssal notch highly developed
		left	1.00±0.05	110°	X	
Middle Scallop	<i>Patinopecten</i> sp.	right	0.99±0.01	110°	9~10	
		left	0.97	110°	9~10	
Large Scallop	<i>Patinopecten kimurai ugoensis</i>	right	1.02±0.01	110°	10~11	stout valve
		left	1.01±0.02	110°	10~11	

L/H: Length/Height (mean±standard deviation), UA: umbonal angle, NR: number of radial ribs.

mold) 등 다양한 형태로 산출된다. 대부분의 패각은 좌각과 우각이 분리되어 독립적으로 발견되나 두 개의 패각이 붙어서 함께 발견되기도 한다. 두 지층의 가리비 화석은 화석종과 보존양상에 있어서 차이를 보이지만 크기에 따라 3개의 화석군(소형(약 1 cm), 중형(약 4 cm) 및 대형 가리비 화석(약 10 cm))으로 쉽게 구분된다(표 1).

학전층에서는 소형(210개체), 중형(4개체) 및 대

형(28개체)의 세 화석군이 모두 산출되었으며 이 중 가장 풍부하게 산출된 화석은 소형 가리비 화석이다(그림 2, 4). 소형 가리비 화석은 암회색 이암에서 보존상태가 매우 우수한 석회질 패각의 형태로 산출되지만 패각의 두께가 매우 얇고 약하기 때문에 샘플링 과정에서의 미세한 충격으로도 패각은 쉽게 파손된다. 패각을 이루는 각각의 층들도 쉽게 분리되거나 파손되어 패각의 내부 구조가 관찰되기도 한다



**Fig. 2.** Small scallop fossil, *Propeamussium tateiwai*, showing diverse morphology depending on its fossilization type. (A) two valves are attached, black arrow for right valve and white arrow for left valve. (B) some part of outer layer are lost, revealing rib structure of the inner layer. (C, E, G) left valve. (D, F, H) right valve. Left and right valves differ in outer layer's surface structure (C, small radial lines; D, concentric growth lines), in internal radial ribs (E, semi-developed; F, fully developed). (G, H) original calcareous materials are partly lost and thus concentric growth lines are clearly visible as internal molds. Scale bar in H is 5 mm for all figures.

(그림 2B). 또한 샘플링 과정 중 모암에서 쉽게 떨어져 나가기 때문에 내부몰드 또는 외부몰드의 형태로 보존된 화석들도 다량 발견된다. 반면 중형 가리비 화석은 산출량도 적고 보존 상태도 불량하며 대부분의 경우 석회질 패각이 소실되어 내부 및 외부몰드의 형태로만 산출되기 때문에 분류적 특징을 관찰하기가 어렵다(그림 5D). 이에 반해 대형 가리비 화석의 석회질 패각은 크기가 크고 단단하며 보존 상태가 양호하여 다양한 분류적 특징이 뚜렷하게 관찰되지만 대부분의 경우 패각의 연변부가 파손되어 산출된다(그림 5A-C).

학전층과 달리 두호층에서 발견되는 가리비 화석은 모두 암회색 내지 담갈색의 이암층에서만 산출되었으며 대형 가리비 화석은 발견되지 않았다. 학전층과 마찬가지로 두호층에서도 소형 가리비 화석(약 250 여 개체)이 가장 우세하게 발견되었으나 이들의 산출상태는 학전층과는 판이하다. 학전층에서 발견된 소형 가리비 화석의 패각은 흰색이며 다소 투명하고 두께가 매우 얇은 반면 두호층의 가리비 화석은 패각으로 보존된 경우가 매우 드물고 대부분의 화석은 내부몰드나 외부몰드의 형태로 보존되었다. 보존된 석회질 패각 또한 다소 두껍고 패각의 색깔도 노란색을 띤다. 두호층의 중형 가리비 화석은 매우 적은 개체(4개체)가 특정한 지역(용한리 일대)에서만 산출되었다. 중형 가리비 화석은 전반적인 패각의 형태는 잘 보존되었으나 패각을 이루는 석회질 성분이 전부 소실된 내부몰드의 형태로만 산출되어 세부적인 특징의 관찰은 어렵다(그림 5D).

#### 4. 가리비 화석의 관찰

연구지역에서 산출된 가리비 화석은 패각의 크기 차이가 확연하여 세 그룹의 화석군(소형, 중형 및 대형 가리비 화석군)으로 쉽게 구분된다(표 1). 세 그룹의 가리비 화석군은 크기의 변화가 연속성을 나타내지 않기 때문에 성장에 따른 동일종으로는 판단되지 않는다(그림 3). 뿐만 아니라 각각의 화석군은 패각의 형태와 산출 환경(소형가리비 화석: 이암, 대형가리비 화석: 사암 또는 역질 사암) 또한 서로 상이하다. 본 연구에서는 패각의 크기를 중심으로 가리비 화석을 구분하고 분류형질로 적합한 패각의 형태, 구조, 표면무늬, 방사륜, 즐치 등을 비교, 관찰하였다

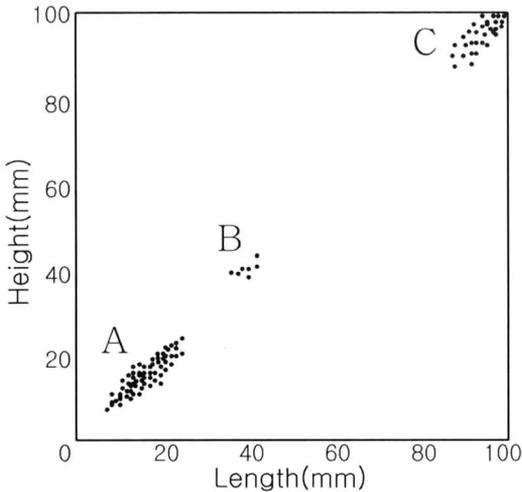
(Oyama, 1944; Habe, 1977; Hayami, 1988a).

##### 4.1 소형 가리비 화석

학전층과 두호층에서 산출된 소형 가리비 화석은 보존 양상에 있어서 다소 상이한 형태를 띠지만 산출 암석, 외형, 크기 및 패각의 구조 등이 매우 유사하여 지층에 따른 종의 변화는 없다고 판단된다. 두 지층에서는 Propeamussiidae과의 *Propeamussium tateiwai* (430개체)와 Pectinidae과의 *Delectopecten peckhami* (30개체) 두 종이 산출되었다.

두 지층에서 산출된 가리비 화석 중 우점종인 *P. tateiwai*는 성인 엄지손톱 정도 크기(약 1cm)로 두 개의 귀(auricle)가 발달된 매우 얇은 패각을 가진 화석이다(그림 2). 일반적인 형태는 각장(length)이 각고(height)보다 큰 부채 모양으로 각정(umbo)에서 각고의 약 1/3 지점에 이르는 전후연(anterior and posterior margin)은 직선이며 이후로는 다소 완만하다. 각정은 뾰족하고 각정각(umbonal angle)은  $110^\circ$  내외이다. 일반적인 이매패류와는 달리 두 개의 패각은 비대칭으로 크기와 형태가 서로 다르다. 우각은 좌각에 비하여 크기가 작고 우각의 바깥쪽 표면에는 동심원상의 규칙적인 성장선이 발달되어 있는 반면(그림 2A, D) 내부 표면에서는 성장선 대신 9 개의 방사륜(radial ribs)이 특징적으로 나타난다(그림 2F). 따라서 그림 2F와 같이 우각의 외부층이 소실되어 내부층이 노출되는 경우 내부방사륜이 뚜렷하게 관찰된다. 방사륜은 각정(umbo)에서 배연부(ventral margin)까지 연장되고 각정으로 갈수록 가늘어지며 왼쪽으로부터 3~4번째 있는 방사륜을 기준으로 방사륜의 방향이 바뀐다. 또한 *P. tateiwai*에는 삼각형 모양의 귀가 각정을 중심으로 양옆에 발달되어 있는데 전이(anterior auricle)와 주부(disk)가 접하는 지점에는 후이(posterior auricle)와 달리 족사만입(byssal notch)이 나타나고 전이는 후이보다 약간 크다. 우각의 이러한 특징을 이용하여 패각의 전후 방향을 알 수 있다.

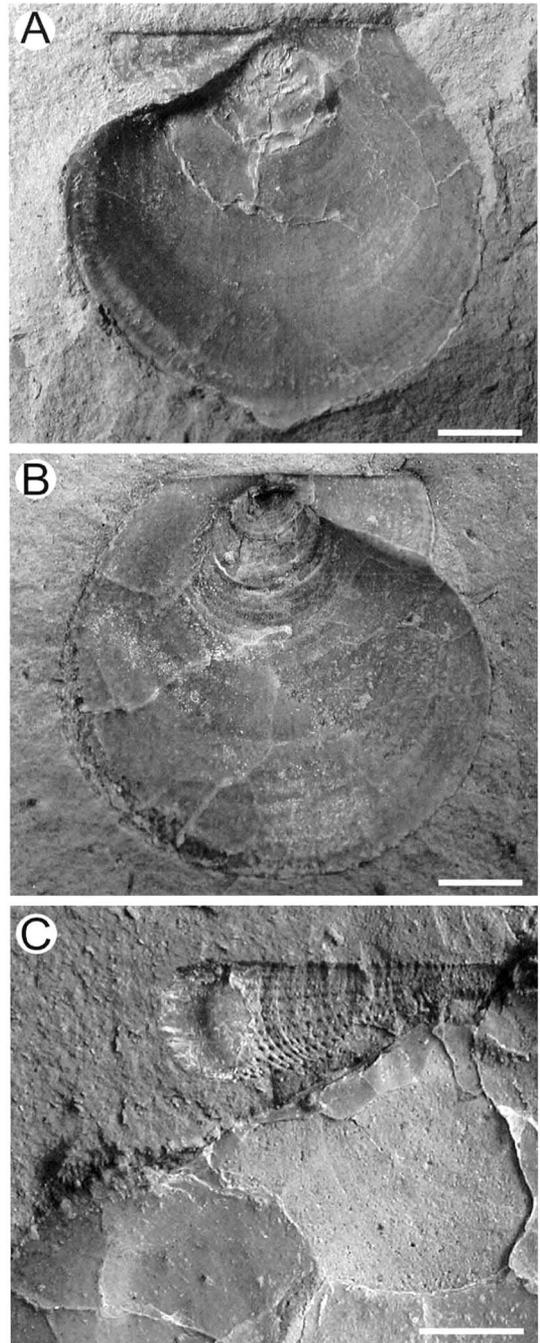
좌각은 우각과는 달리 각고가 각장보다 약간 크며 전체적인 모양은 원형이다(그림 2A, C). 또한 좌각은 우각에 비하여 크기가 크고 패각의 구조도 다르기 때문에 우각과는 서로 구분된다. 좌각의 외부 표면에는 우각에 발달된 동심원상의 성장선이 나타나지 않는 대신 방사상의 가는 선들이 발달되어 있



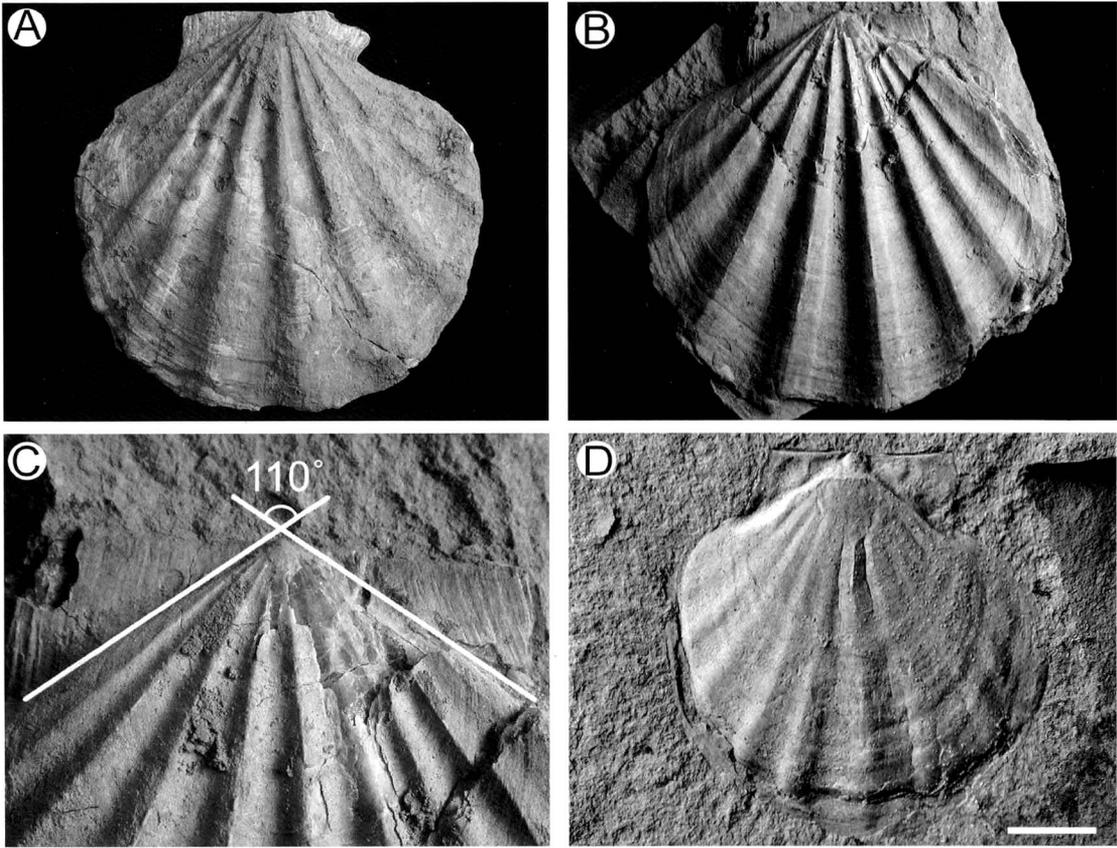
**Fig. 3.** Bivariate plot of length and height of scallop fossils found from the two formations, showing three separated clusters of specimens. Note that each cluster indicates different fossil group, (A) small (B) middle and (C) scallop fossil groups.

어 좌우 양각의 차이는 뚜렷하다(그림 2C). 좌각의 외부층이 소실되면 우각과 마찬가지로 내부방사륜이 관찰되지만 우각과 달리 좌각의 내부방사륜은 각정에서 약 3/4지점까지만 연장되기 때문에 내부몰드로 보존되는 경우라도 좌각과 우각을 구분하는 것은 어렵지 않다(그림 2E). 전이가 후이보다 약간 크거나 거의 동일하고 각정은 뾰족하며 각정각은 우각과 동일하게  $110^\circ$  내외이다.

*Delectopecten peckhami*는 패각의 크기(1 cm)는 *P. tateiwai*와 비슷하나 패각의 구조(특히 귀의 형태)는 상이하여 두 종의 구분은 어렵지 않다. *D. peckhami*의 각정은 다소 부푼 형태를 보이며 각정을 중심으로 앞과 뒤에 모양과 크기가 뚜렷하게 구분되는 두 귀가 발달되어 있다(그림 4A, B). 그림 4에서 보는 것처럼 *D. peckhami*의 전이와 후이는 모양과 크기가 서로 달라 뚜렷한 전후 비대칭(anteroposterior asymmetry)을 나타낸다. 우각의 경우 전이는 각정을 중심으로 앞쪽으로 길게 뻗어있으며 전이와 주부가 접하는 지점에 족사만입이 길게 발달되어 있고 그 사이에 이빨 모양의 즐치(ctenolium)가 돌아있다. 또한 전이의 외부 표면(외부층)에는 방사상 무늬와 동심원 무늬가 교차되어 형성된 격자 무늬가 발달되어 있으며 그 위로 작은 돌기들이 솟아있다(그림 4C). 이에 반해 우각의 후이는 뚜렷하



**Fig. 4.** Small scallop fossil, *Delectopecten peckhami*. Byssal notch is well developed in right valve (A) while an anterior auricle is attached with disk in left valve (B). Note that concentric growth lines are highly developed in both valves, and that umbonal area is somewhat swollen. (C) cross stripe structure of an anterior auricle is preserved as an external mold. Scale bar in A, B is 2 mm and 0.8 mm in C.



**Fig. 5.** Large scallop (*Patinopecten kimurai ugoensis*, A, B, C) and middle scallop (*Patinopecten* sp., D). Right valve (A) is characterized by top-flat ribs while left valve (B) by rigid and top-pointed ribs. Umbonal angle (C) is  $110^\circ$ . Scale bar in D represents 2 cm for A, B, 0.8 cm for C and 1 cm for D.

지 않고 후이와 주부와의 경계가 불분명하여 귀의 형태를 구분하기가 쉽지 않다(그림 4A, B). 이처럼 두 패각의 후이는 형태와 크기가 거의 동일하지만 전이의 모양이 서로 달라 좌우 패각을 구분할 수 있다. *D. peckhami*의 좌우 패각 모두에는 *P. tateiwai*에서 관찰되는 방사륵은 없고 동심원의 성장선이 희미하게 발달되어 있다.

#### 4.2 중형 가리비 화석

학전층과 두호층 모두에서 산출된 중형 가리비 화석은 크기(4 cm 내외)에 있어서 소형 및 대형 가리비 화석과 뚜렷이 구분되지만 산출량(총 7개체)도 적고 내부몰드로 산출된 개체(그림 5D)를 제외한 화석은 보존 상태도 불량하여 종 수준의 분류에는 어려움이 있다.

대부분의 중형 가리비 화석은 패각이 유실된 내부몰드로 산출되어 패각의 구조 등은 관찰이 어렵다. 패각이 보존된 경우도 패각이 매우 얇아서 심하게 마모된 상태로 산출되었다. 전체적인 외형은 소형가리비 화석과 같이 부채 모양이며 전후연은 각정에서 각고의 약 1/3 지점까지는 직선을 띠다가 이후로는 다소 원형에 가깝다. 각정은 약하게 부풀어 오른 형태이고(그림 5D) 각정각은  $110^\circ$  내외이다. 전이는 후이에 비해 다소 커서 족사만입을 구분할 수 있으며 주부와 만나는 각은 전이가 크다. 각장은 각고보다 약간 작거나 거의 비슷하고 패각의 표면에는 물결 모양의 방사륵이 9~10개 발달되어 있다. 종의 분류는 어려우나 전반적인 형태적 특징으로 볼 때 *Pectinidae*과의 *Patinopecten* 종에 속하는 것으로 판단된다.

### 4.3 대형 가리비 화석

학전층에서만 산출된 대형 가리비 화석(28개체)은 소형과 중형 가리비 화석에 비해 패각이 매우 크고 두꺼우며 단단하다(그림 5A-C). 산출된 화석 중 귀 부분이 깨진 화석을 제외한 모든 대형 가리비 화석은 *Patinopecten kimurai ugoensis*로 분류되었다. 이 화석은 국내에서 가장 흔하게 보고된 가리비 화석 중의 하나이다(Yoon, 1976; Kim and Yoon, 1978).

패각은 전형적인 부채형으로 전후 대칭이다. 패각의 크기는 10 cm 내외이며 각장은 각고보다 약간 크거나 거의 비슷하다. 각정은 뾰족하며 좌우 패각의 각정각은 110° 내외로 동일하다(그림 5C). 귀의 미세구조와 방사륜 형태를 제외하면 좌우 두 패각의 크기 및 형태가 매우 유사하여 두 패각을 구분하는 것은 쉽지 않다. 다만 우각은 볼록하며 좌각은 다소 편평하다. 또한 우각의 경우에 족사만입이 소형 가리비 화석에 비해 미약하지만 발달되어 있으나 좌각에는 없다. 방사륜은 연변부로 갈수록 부풀어 올라 전체적으로 물결모양을 띠지만 좌각 방사륜의 경우 정상부가 뾰족하고(그림 5B) 우각 방사륜의 정상부는 다소 편평한(그림 5A) 모양이어서 패각의 표면 구조만으로도 좌우 패각을 구분할 수 있다. 귀에는 방사륜을 가로지르는 방향으로 성장선이 있고 표면에는 동심원상의 성장선과 이를 가로지르는 방사륜이 10개 내외로 뚜렷하게 발달되어 있다.

## 5. 토의

### 5.1 보존양상

살아있던 생물의 대부분은 온전히 보존된 하나의 화석으로 발견되기 보다는 생물의 여러 부분이 분절되어 흩어진 형태로 발견된다. 두 개의 패각으로 구성된 이때패 화석 또한 대부분의 경우 패각이 분리되어 독립된 개체로 발견된다. 특히 독립적으로 발견된 패각(좌각과 우각)의 크기, 형태 및 구조가 서로 다른 가리비화석의 경우 단순한 형태학적 분류형질로 동정하기는 결코 쉽지 않다(Waller, 2006). 예를 들어 *P. tateiwai*의 좌각은 우각에 비하여 크고 방사상 선들이 가늘게 발달되어 있는 반면(그림 2C) 우각은 크기가 작고 동심원의 성장선이 발달되어 있다(그림 2D). 따라서 그림 2A의 경우처럼 두개의 패각이 함께 붙어있는 화석이 발견되지 않는다면 *P. tateiwai*

의 두 패각을 동일종의 패각으로 분류하는 것은 쉽지 않다.

화석의 다양한 보존양상과 패각의 구조적 특징 또한 화석의 분류에 있어서 어려움을 증가시킨다(Waller, 1972; Hayami, 1988b). 특히 패각의 내부와 외부구조가 서로 다른 경우 이러한 현상은 뚜렷하게 나타난다. *P. tateiwai*의 경우 우각의 표면 외부에는 동심원상의 성장선이 발달되어 있지만(그림 2D) 내부 표면에는 방사륜이 각정을 중심으로 뻗어있어서(그림 2F) 내부 구조와 외부 구조는 차이를 보인다. 좌각의 경우도 외부 표면에는 가는 방사상 선들이 있는 반면(그림 2C) 내부 표면에는 9개의 방사륜이 발달되어 있기 때문에(그림 2E) 마치 다른 종의 패각처럼 인식하기 쉽다. 따라서 *P. tateiwai*가 내부몰드와 외부몰드의 형태로 각각 발견된다면 동일한 화석임에도 불구하고 서로 다른 형태를 띠게 된다(그림 2G, H). 뿐만 아니라 *P. tateiwai*의 패각은 구조가 서로 다른 세 층으로 구성되어 있기 때문에 어느 층이 보존되느냐에 따라 패각의 모양이 달라진다(Hayami, 1988b). 예를 들어 *P. tateiwai*의 방사륜은 외부 표면에서는 관찰되지 않지만 외부층이 소실되어 내부층이 노출될 경우에만 뚜렷하게 관찰되기 때문이다(그림 2B).

이처럼 연구지역에서 산출된 *P. tateiwai* 화석은 동일종이 서로 다른 모양의 화석으로 산출될 수 있는 다양한 경우를 뚜렷하게 보여준다. 따라서 형태학적 분류형질을 통한 종의 분류 및 고환경을 해석할 경우 해당 종에 대한 보다 종합적인 형태적 접근이 이루어져야 할 것이다.

### 5.2 고생태와 퇴적환경

가리비의 패각 형태(종에 관계없이)는 서식환경 및 생활양상을 반영하는 것으로 알려져 있다(Stanley, 1970; Gould, 1971; Hayashida and Tanabe, 2006). 예를 들어 암석질의 환경에서는 고착성 종이 분포하는 반면 사질과 이질의 환경에서는 일시 유영성 종과 저서종이 서식한다. 또한 사질 환경에서 서식하는 종들은 패각이 크고 방사륜과 표면무늬가 뚜렷한 양상을 보이지만 이질의 환경에서는 상대적으로 패각이 작고 표면이 매끄러운 종이 우세하게 서식한다. 따라서 두 지층(특히 학전층)에서 산출된 가리비 화석의 패각형태로 화석의 고생태와 퇴적환경을 유추하는 것이 가능하다.

학전층의 하부는 대부분이 사암층(간혹 역질 사암이 협재됨)으로 구성되어 있고 상부로 갈수록 이암층이 우세하게 나타나는데 *Patinopecten kimurai ugoensis*는 하부 사암층에서만 산출되고 *Propeamussium tateiwai*는 상부의 이암층에서만 발견된다. 사암층에서 산출되는 *P. kimurai ugoensis*는 크기가 크고 패각에 방사륜과 표면 무늬가 뚜렷한 반면 이암층에서 발견되는 *P. tateiwai*는 크기가 작고 표면이 대체적으로 매끈하여 암질과의 유연관계가 분명하다. 따라서 *Patinopecten kimurai ugoensis* 화석이 이암으로만 구성된 두호층에서 발견되지 않는 이유는 서식환경의 차이로 해석된다. 또한 발견된 모든 가리비 화석의 각정각은 105° 보다 크기 때문에(그림 5C) 일시 유영성 종으로 판단된다(Stanley, 1970). 따라서 *Patinopecten kimurai ugoensis*는 천해 일시 유영성 종으로, *Propeamussium tateiwai*는 이보다는 다소 깊은 지역에 서식했던 일시 유영성 종(silty bottom dweller; Yoon, 1975)으로 해석된다.

학전층 하부의 사암층 또는 역질 사암층에서 산출되는 *Patinopecten kimurai ugoensis*는 대부분 양각이 분리되어 산출되며 원래의 패각이 두껍고 단단함에도 불구하고 파손된 패각이 많고 보존상태 또한 불량하다. 이들의 분포와 생태적 조건은 사암과 역질사암이 퇴적되는 환경과 대체로 일치하나 패각의 파손 및 마모 상태는 다소간의 사후 이동을 반영하므로 *P. kimurai ugoensis*는 준현지성 화석으로 판단된다. 반면 이암층에서 발견되는 *Propeamussium tateiwai*의 경우에는 양각이 분리되지 않은 개체가 다수 산출되며 패각은 매우 얇고 부숴지기 쉬움에도 불구하고 파쇄나 마모의 흔적이 미미하고 보존상태도 매우 양호하다. 따라서 학전층의 하부 사암층에서 상부 이암층으로 변하는 구간은 상대적으로 고에너지의 불안정한 천해환경에서 수심이 다소 깊은 저에너지의 안정적인 환경으로의 변화를 나타낸다고 판단된다. 한편 두호층은 균질한 암회색 이암으로 구성되어 있고 가리비 화석의 분포 및 퇴적환경은 학전층의 상부 이암층과 동일한 양상을 보인다. 따라서 퇴적 당시는 비교적 안정적인 환경이었던 것으로 판단된다.

## 6. 결론

1. 포항분지의 학전층과 두호층에서 약 500개체

의 가리비 화석이 산출되었으며 산출된 가리비 화석은 크기에 따라 3개의 화석군(소형, 중형 및 대형 가리비 화석)으로 구분된다.

2. 소형 가리비 화석은 *Propeamussium tateiwai*와 *Delectopecten peckhami*로 분류되었으며 중형과 대형 가리비 화석은 각각 *Patinopecten* sp.와 *Patinopecten kimurai ugoensis*로 분류되었다.

3. 이 중 가장 풍부하게 산출되는 *Propeamussium tateiwai* 화석은 동일종이 서로 다른 모양의 화석으로 산출될 수 있는 다양한 경우를 뚜렷하게 보여준다. 따라서 형태학적 분류형질을 통한 종의 분류 및 고환경을 해석할 경우 해당 종에 대한 보다 종합적인 형태적 접근이 이루어져야 할 것이다.

4. 패각의 형태와 고생태의 연관관계 분석결과 *Patinopecten kimurai ugoensis*는 천해 일시 유영성 종으로, *Propeamussium tateiwai*는 이보다는 다소 깊은 지역에 서식했던 일시 유영성 종으로 해석된다.

## 사 사

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 양승영 교수님과 박영숙 박사님께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 성미나, 공달용, 이봉진, 이성주, 2009, 제 3기 포항분지의 학전층과 두호층에서 산출된 거미불가사리 화석. 자원환경지질, 42, 367-376.
- Chung, C.H. and Koh, Y.K., 2005, Palynostratigraphic and palaeoclimatic investigations on the Miocene deposits in the Pohang area, South Korea. Review of Palaeobotany and Palynology, 135, 1-11.
- Gould, S.J., 1971, Muscular mechanics and the ontogeny of swimming in scallops. Palaeontology, 14, 61-94.
- Habe, T., 1977, Systematics of Mollusca in Japan, Bivalvia and Scaphopoda. Hokuryukan, Tokyo, 372 p. (in Japanese)
- Hayami, I., 1988a, Taxonomic characters of propeamussiids from Japan. Venus, 47, 7, [http://movie.naver.com/movie/api/yes24/theaterLink.nhn?T\\_CODE=T05231-82](http://movie.naver.com/movie/api/yes24/theaterLink.nhn?T_CODE=T05231-82). (in Japanese)

- Hayami, I., 1988b, Functional and taxonomic implications of internal ribs of *Propeamussium*. Proceeding of Paleontological Society of Japan, 150, 476-490.
- Hayashida, N. and Tanabe, K., 2006, The mode of life and taxonomic relationship of a Japanese Miocene pectinid bivalve *Nanaochlamys notoensis*. Paleontological Research, 10, 1-10.
- Huzioka, K., 1972, The Tertiary floras of Korea. Journal of the Mining College, Akita University, Series A, 3, 1-105.
- Ingle, J.C. Jr., 1975, Summary of late Paleogene-Neogene stratigraphy, paleobathymetry, and correlations, Philippine Sea and Sea of Japan region. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 31, 837-855.
- Jeong, E.K., Kim, K., Suzuki, M. and Kim, J.W., 2009, Fossil woods from the Lower Coal-bearing Formation of the Janggi Group (Early Miocene) in the Pohang Basin, Korea. Review of Palaeobotany and Palynology, 153, 124-138.
- 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, 845-862.
- 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. and Yoon, S., 1978, Some molluscan fossils from the uppermost part of the Neogene deposits of the Pohang Basin, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 14, 1-12.
- Kim, K.H., Doh, S.J., Hwang, C.S. and Lim, D.S., 1993, Paleomagnetic study of the Yeonil Group in Pohang Basin. Journal of the Korean Institute of Mining Geology, 26, 507-518.
- Kim, W.H., 1990, Significance of Early to Middle Miocene planktonic foraminiferal biostratigraphy of the E-core in the Pohang Basin, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, 6, 144-164.
- Lee, H.Y., 1982, Neogene foraminifera from southern part of Euichang area. Report on Geosciences and Mineral Resources, KIGAM, 13, 19-34.
- Lee, Y.G., 1988, Neogene paleotemperature oscillations in the Pohang Basin, Korea. Journal of Korean Earth Science Society, 9, 203-216.
- Newell, N.D., 1956, Fossil populations, In: Sylvester-Bradley, P.C. (ed.), The Species Concept in Paleontology. Systematics Associations Publication 2, 63-82.
- Oyama, K., 1944, Classification of *Propeamussium*. Venus, 13, 240-254. (in Japanese)
- 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.
- Stanley, S.M., 1970, Relation of shell form to life habits in the Bivalvia, Boulder of Colorado Geological Society of America. Memoir, 125, 296 p.
- Tateiwa, U., 1924, Geological atlas of Chosen, no. 2, Eunnichi, Kyuryuho and Choyo sheets and explanatory text. Geological Survey Government, Chosen (Korea), 6 p.
- Um, S.H., Lee, D.W. and Bak, B.S., 1964, Explanatory text of the geological map of Pohang sheet (scale. 1:50,000): Seoul, South Korea, Geological Survey of Korea, 38 p.
- Valentine, J.W., 1987, Evolution. In: Boardman, R.S., Chetham, A.H. and Rowell, A.J. (eds.), Fossil Invertebrates, Blackwell Scientific Publications, Boston, 29-35.
- Waller, T.R., 1972, The functional significance of some shell microstructures in the Pectinacea (Mollusca: Bivalvia). International Geological Congress, Twenty-fourth Session, Montreal, Canada, Section 7, Paleontology, 48-56.
- Waller, T.R., 2006, Phylogeny of families in the Pectinoidea (Mollusca: Bivalvia): importance of the fossil record. Zoological Journal of the Linnean Society, 148, 313-342.
- Yi, S. and Yun, H., 1995, Miocene calcareous nannoplankton from the Pohang Basin, Korea. Paleontographica Abt. B, 237, 113-158.
- Yokoyama, M., 1923, On some shells from the Island of Saishu in the Strait of Tsushima. Jour. Coll. Sci., Imp. Univ. Tokyo, 44, 1-9.
- Yoon, S., 1975, Geology and paleontology of the Tertiary Pohang Basin, Pohang District, Korea. Prat 1. Geology. Journal of the Geological Society of Korea, 11, 187-214.
- Yoon, S., 1976, Geology and Paleontology of the Tertiary Pohang Basin, Pohang District, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 12, 1-22.
- Yoon, S., 1988, The molluscan fauna of Jeju Island, Korea. Saito Ho-on Kai Special Publication. (Prof. T. Kotaka Commem. Vol.), 539-545.
- 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.
- 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 1. Journal of the Paleontological Society of Korea, 2, 54-69.
- Yun, H., Lee, H.K. and Song, S., 1995, Basic volcanic rocks in the Pohang Basin and its stratigraphic and petrogenetic implications. Journal of the Paleontological Society of Korea, 11, 125-145.

---

투 고 일 : 2011년 4월 1일

심 사 일 : 2011년 4월 1일

심사완료일 : 2011년 5월 24일