

# 소라, *Batillus cornutus* 아가미의 미세구조

정귀권, 박정준<sup>1</sup>, 주선미<sup>2</sup>, 전미애<sup>2</sup>, 이정식<sup>2</sup>

전라남도 강진교육지원청, <sup>1</sup>국립수산과학원 병리연구과, <sup>2</sup>전남대학교 수산생명의학과

## Gill Ultrastructure of the Spiny Top Shell, *Batillus cornutus* (Gastropoda: Turbinidae)

Gui Kwon Jung, Jung Jun Park<sup>1</sup>, Sun Mi Ju<sup>2</sup>, Mi Ae Jeon<sup>2</sup> and Jung Sick Lee<sup>2</sup>

Jeollanamdo Gangjin Office of Education, Gangjin 527-805, Korea

<sup>1</sup>Pathology Division, Aquaculture Research Institute, NFRDI, Busan 619-902, Korea

<sup>2</sup>Department of Aqualife Medicine, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

### ABSTRACT

Gill morphology and ultrastructure of the spiny top shell, *Batillus cornutus* were described using light and electron microscopy (SEM and TEM). The spiny top shell, *Batillus cornutus* has bipectinate gill. The epithelial layer of gill filament was simple and composed of columnar epithelium, ciliated cell, mitochondria-rich cell and secretory cell. Microvilli were well-developed on the free surface of columnar epithelial cell. The epithelial cells are connected to the neighboring cells with intercellular junctions at the apico-lateral surface. The cilia and microvilli were commonly observed on the free surface of ciliated cell. Tubular mitochondria appeared in the apical cytoplasm, and connected ciliary rootlet. Mitochondria-rich cells contained a oval-shaped nucleus in the basal area. And majority of cytoplasm was occupied by well-developed mitochondria. Result of AB-PAS (pH 2.5) and AF-AB reaction showed that secretory cells contained mainly acidic carboxylated mucosubstances. Secretory cells are unicellular glands and can be divided into four types (A, B, C and D) depending on the cell shape and ultrastructure of secretory granules.

**Key Words:** gill, ultrastructure, *Batillus cornutus*

### 서론

연체동물의 아가미는 그 형태에 따라 기본적으로 원새 (protobranch), 사새 (filibranch), 판새 (lamellibranch)의 3가지로 나뉘며, 연구자들에 따라 위판새 (pseudolamellibranch)가 추가되기도 한다. 이러한 구분은 연체동물을 분류하는 중요한 기준 가운데 하나로 사용되고 있다 (Atkins, 1937; Starobogatov, 1992; Zardus, 2002; Cannuel *et al.*, 2009).

복족류의 아가미와 관련한 연구는 복족류 아가미 형태의 비교 연구 (Eertman, 1996)와 *Haliotis iris*의 호흡생리 (Ragg and Taylor, 2006) 및 *Siphonaria capensis*

(Villers and Hodgson, 1987), *Haliotis asinina* (Wanichanon, 2004)와 *Patella* (Aksit and Mutaf, 2007)의 아가미 구조에 관한 보고가 있기는 하지만 이매패류와 비교해 볼 때 매우 적은 편이다.

소라, *Batillus cornutus*는 한국 동해남부, 남해안 및 제주도 연안, 일본의 남부 연안 그리고 중국의 황해 연안 등지의 암초성 해안에 서식하고 있는 정착성 복족류이다 (Yoo, 1988). 한국에서 소라는 전복과 더불어 경제적으로 중요한 복족류이다. 하지만 이러한 중요성에도 불구하고 이들 아가미와 관련한 연구는 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구는 소라의 호흡생리를 이해하기 위한 기초연구로서 이들의 아가미 형태와 미세구조를 기재하여 보고하고자 하였다.

### 재료 및 방법

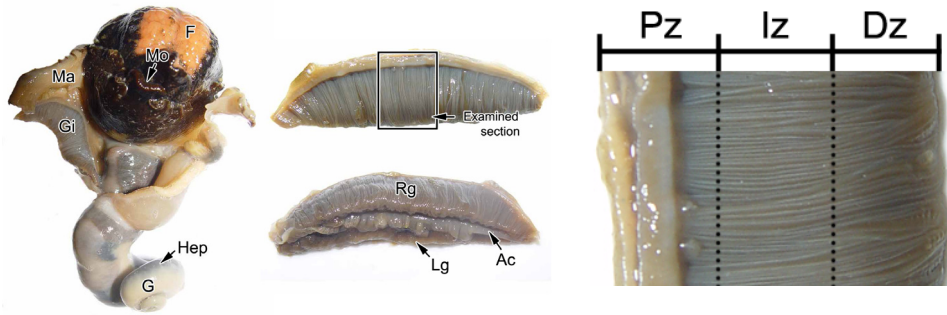
본 연구에 사용한 소라는 전라남도 완도군 청산면 모도리 연안 (N34°13', E126°47')에서 채집하였다. 크기는 각고

Received February 3, 2011; Revised February 18, 2011; Accepted March 9, 2011

Corresponding author: Jung Sick Lee

Tel: +82 (61) 659-7172 e-mail: ljs@chonnam.ac.kr

1225-3480/24379



**Fig. 1.** Position, external morphology and regions for histological analysis of gill of *Batillus cornutus*. Ac: afferent canal, F: foot, G: gonad, Gi: gill, Hep: hepatopancreas, Lg: left gill, Ma: mantle, Mo: mouth, Rg: right gill, Scs: spiral caecum stomach. Dz: distal zone, Iz: intermediate zone, Pz: proximal zone.

60.0-69.9 mm의 성체였다. 시료는 측정형질을 측정한 후, 해부하여 우측 아가미를 절취하였다. 광학현미경 표본은 기저부, 중간부, 말단부로 나누어 제작하였다 (Fig. 1).

광학현미경 조직표본 제작은 시료를 Bouin 용액에 12시간 동안 고정하고, 24시간 동안 수세하였다. 그 후 파라핀 절편법에 의해 4-6  $\mu\text{m}$  두께로 연속 절편하였다. 표본은 Mayer's hematoxylin-0.5% eosin (H-E)의 비교염색, Masson 삼중염색, PAS 반응, AB-PAS (pH 2.5, 1.0) 반응 및 AF-AB (pH 2.5) 반응을 시행하였다. 점액세포의 염색친화도 판정은 Pantone® Formula Guide (Pantone Inc, USA)를 기준으로 고유번호를 괄호 안에 표시하였다.

전자현미경 조직표본 제작은 0.1M phosphate buffer (pH 7.5)로 완충시킨 2.5% glutaraldehyde 용액으로 12시간 동안 전고정하였으며, 1% osmium tetroxide ( $\text{OsO}_4$ ) (Sigma)로 후고정한 후, 0.1M phosphate buffer로 세척하고, ethanol로 단계별 탈수하였다. 이후 투과전자현미경 (TEM)으로 관찰하기 위해 에폭시 수지에 포매하여 semithin section 관찰 후, 두께 70 nm의 ultrathin section을 제작하여 TEM (JEM-1200EXII, JEOL, Japan)으로 관찰하였다. 주사전자현미경 (SEM) 관찰용 표본은 amyl acetate로 20분씩 3회 치환하고,  $\text{CO}_2$  가스로 임계진조한 다음 1분 동안 금이온 증착하여 SEM (JSM-7500F, Hitachi, Japan)으로 관찰하였다.

## 결 과

### 1. 광학현미경적 특징

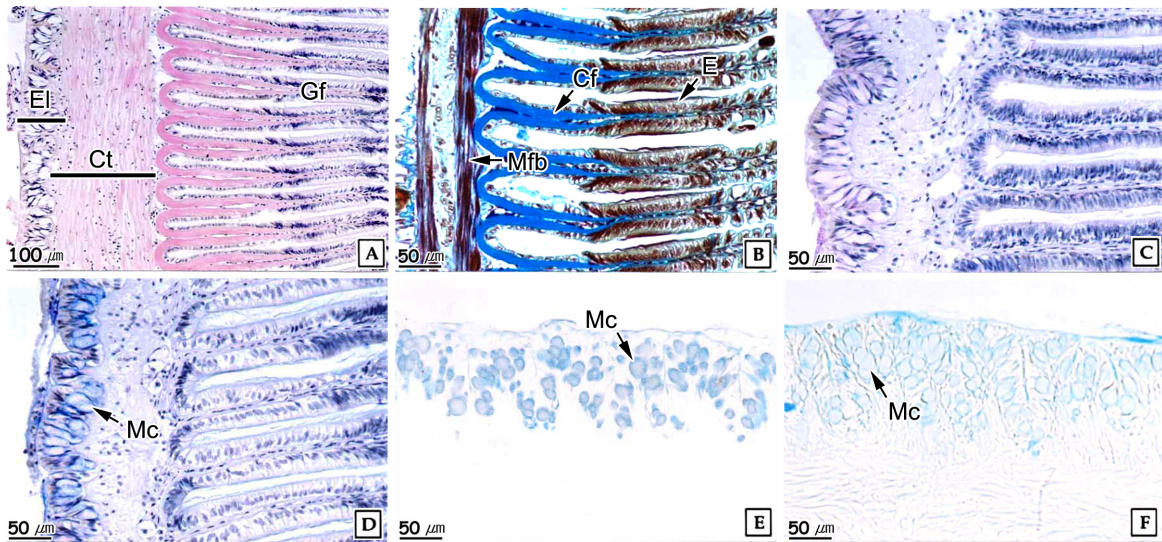
소라의 아가미는 발의 하부에서 아가미의 기저부가 외투막과 연결되어 외투강 쪽으로 형성되어 있으며, 그 형태는 빗 모양이었다. 새엽은 직선상이며, 길이는 다소 차이가 있었다. 아가미는 아가미 수관을 중심으로 오른쪽 아가미와 왼쪽 아가미로 구분할 수 있었다 (Fig. 1).

아가미 중간부 새엽의 길이는 각각 7-9 cm 개체의 경우 3.5-4.0 mm 범위였다. 조직표본에서 새엽 중간부위의 직경은 60-80  $\mu\text{m}$  였으나, 새엽 말단부에서는 곤봉형태로 발달되어 있었다. 아가미의 종단면에서 각 새엽은 기저부, 중간부, 말단부에서 서로 조직학적으로 차이를 보였다.

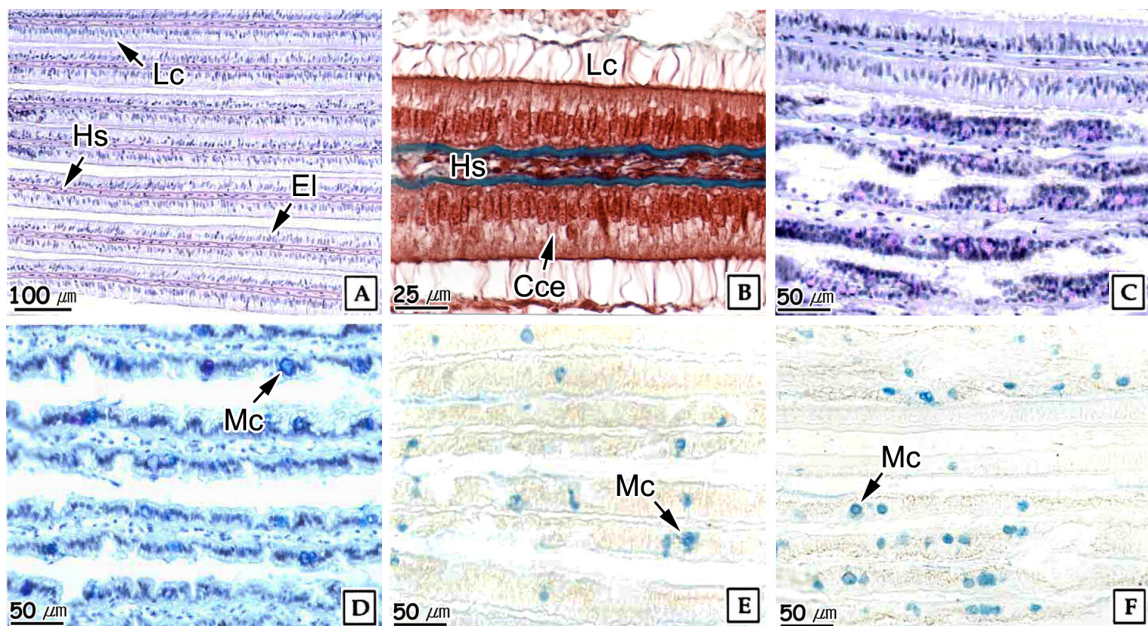
새엽 기저부의 기저판은 상피세포층과 결합조직층으로 구분된다. 상피층은 단층으로 원주형의 상피세포와 점액세포로 구성되어 있다. 점액세포들은 PAS 반응에서는 적자색 (256 C)으로 반응하였고, AB-PAS (pH 2.5) 반응에서 적자색 (256 C)과 파란색 (299 C)으로 반응하였으며, AB (pH 1.0) 반응과 AF-AB (pH 2.5) 반응에서 alcian blue에 강하게 반응하였다 (3115 C, 542 C). 결합조직층은 일부 근섬유들과 대부분의 콜라겐 섬유들로 구성되어 있었다. 기저판과 연결된 새엽의 기저부는 Masson's trichrome stain에서 푸르게 반응하는 잘 발달된 콜라겐 섬유의 띠를 가지고 있었다. 혈림프동을 중심으로 단층의 원주상피층이 발달되어 있지만, 점액세포의 분포와 섬모대의 발달 정도는 매우 낮았다 (Fig. 2).

새엽 중간부의 상피층은 단층으로 원주형 상피세포들과 점액세포들로 구성되어 있었다. 원주형 상피세포들의 정단부에는 다수의 섬모들이 잘 발달되어 있었다. 점액세포들은 PAS 반응에서는 적자색 (256 C)으로 반응하였으며, AB-PAS (pH 2.5) 반응에서 적자색 (256 C)과 파란색 (299 C)으로 반응하였으며, AB (pH 1.0) 반응과 AF-AB (pH 2.5) 반응에서 alcian blue에 강하게 반응 (3115 C, 542 C)하였다 (Fig. 3).

새엽의 말단부는 콜라겐 성분의 skeletal rod가 곤봉형태로 혈림프동을 감싸고 있었다. 상피층은 원주형 세포와 점액세포로 구성되어 있고 측면 섬모대가 발달하였다. 점액세포들이 함유한 점액물질의 특징은 새엽 중간부에 존재하는 점액세포들과 유사하였다 (Fig. 4).

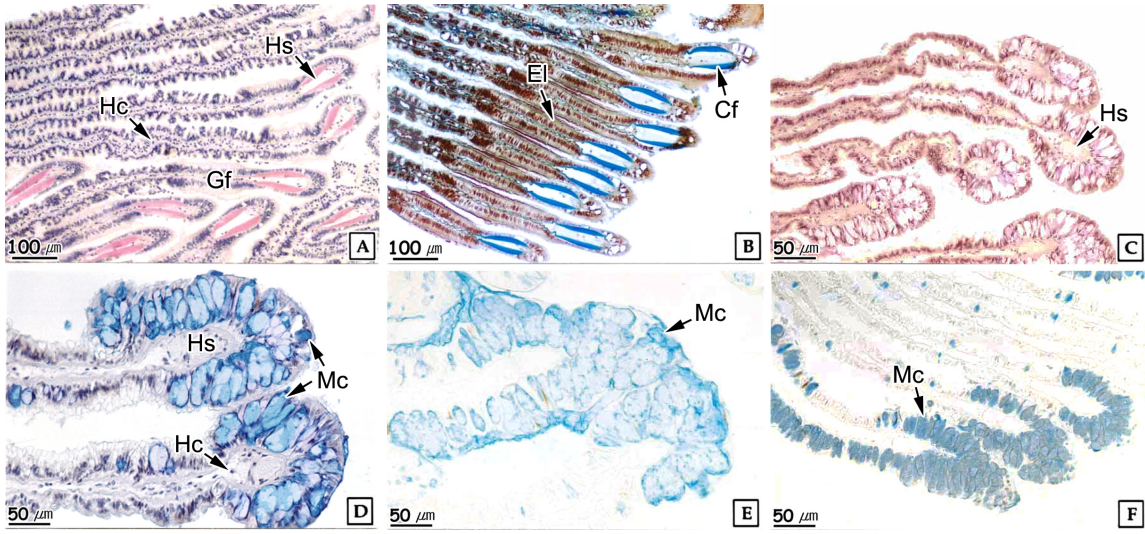


**Fig. 2.** Longitudinal section of proximal zone of gill of *Batillus cornutus*. **A:** Section showing the epithelial layer (EI) and connective tissue (Ct) of basal plate. H-E stain. **B:** Section showing the muscle fiber bundles (Mfb) and collagen fibers (Cf). Masson's trichrome stain. **C:** PAS reaction. **D:** Section showing the mucous cells (Mc) of alcian blue positive in epithelial layer. AB-PAS (pH 2.5) reaction. **E:** Section showing the mucous cells of alcian blue positive. Alcian blue (pH 1.0) reaction. **F:** Numerous mucous cells of alcian blue positive. AF-AB reaction. E: epithelium, Gf: gill filament.

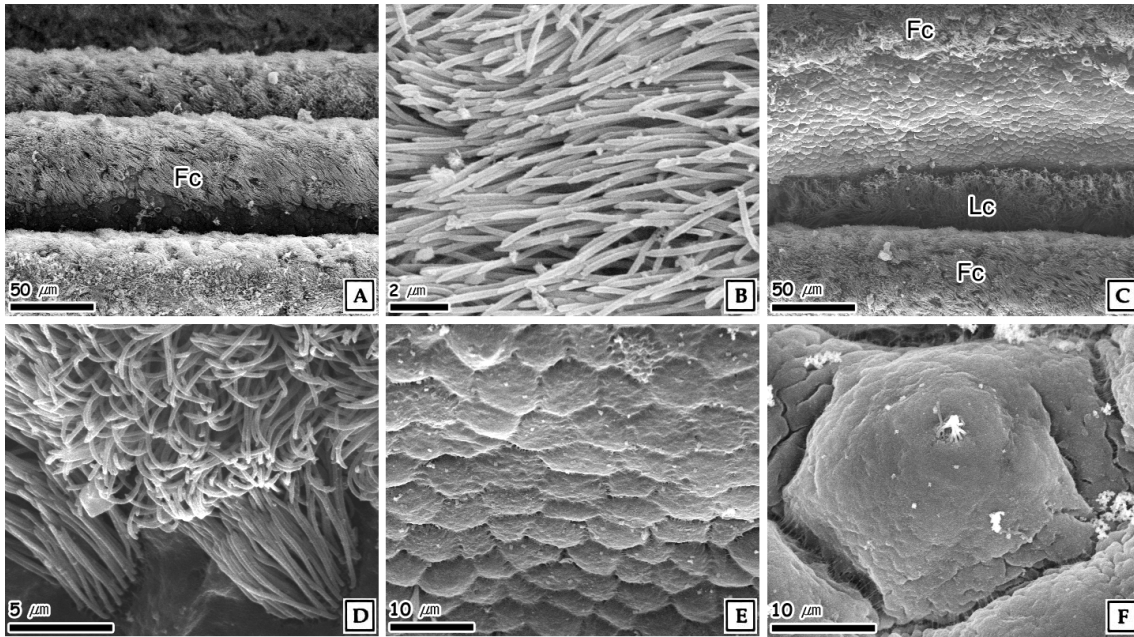


**Fig. 3.** Longitudinal section of intermediate zone of gill of *Batillus cornutus*. **A:** Section showing the lateral cilia (Lc) and hemocytes (Hc). H-E stain. **B:** Section showing the simple ciliated columnar epithelia (Cce) and hemolymph sinus (Hs). Masson's trichrome stain. **C:** PAS reaction. **D:** Section showing the mucous cells (Mc) of alcian blue positive in epithelial layer. AB-PAS (pH 2.5) reaction. **E:** Section showing the numerous mucous cells of alcian blue positive. Alcian blue (pH 1.0) reaction. **F:** Section showing the mucous cells of alcian blue positive. AF-AB reaction.





**Fig. 4.** Longitudinal section of distal zone of gill of *Batillus cornutus*. **A:** Section showing the hemocytes (Hc) and hemolymph sinus (Hs). H-E stain. **B:** Collagen fibers (Cf) and the simple ciliated columnar epithelia (Coe). Masson's trichrome stain. **C:** PAS reaction. **D:** Section showing the mucous cells (Mc) of alcian blue (pH 2.5) positive. AB-PAS (pH 2.5) reaction. **E:** Numerous mucous cells of alcian blue positive. Alcian blue (pH 1.0) reaction. **F:** Section showing the mucous cells of alcian blue positive. AF-AB reaction. Gf: gill filament.



**Fig. 5.** Scanning electron micrographs of gill surface of *Batillus cornutus*. **A and B:** Frontal cilia (Fc). **C and D:** lateral cilia (Lc). **E:** Interspace of frontal and lateral ciliary zone. **F:** Secretory pore.

## 2. 전자현미경적 특징

### 1) 주사전자현미경 (SEM)

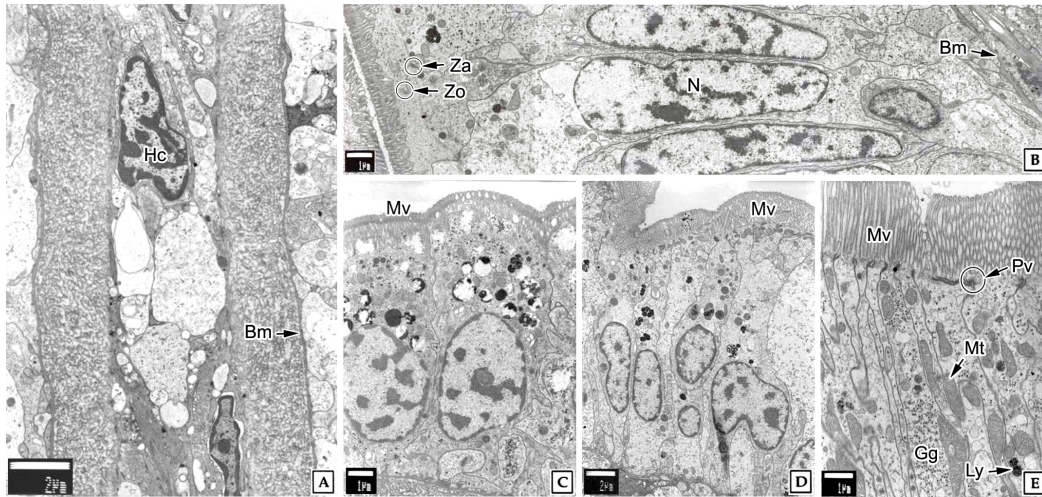
SEM 관찰 결과, 새엽의 표면 대부분은 섬모와 미세융모들로 덮여 있었다. 하지만 새엽 정단 측면과 새엽 측면의 섬모대 사이는 5각형 또는 6각형의 격자구조물들이 새엽 표면을 덮고

있었으며, 격자구조들 사이에서는 분비세포들의 분비공이 관찰되었다 (Fig. 5).

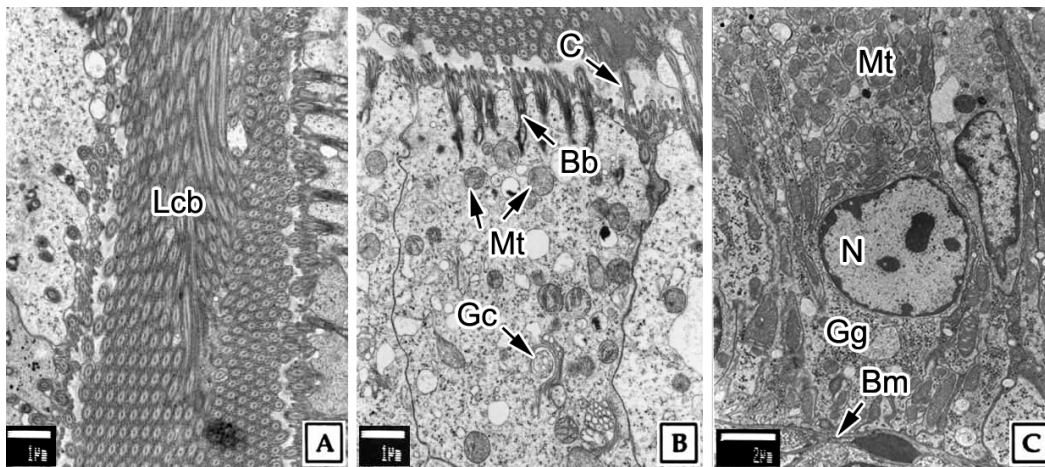
### 2) 투과전자현미경 (TEM)

TEM 관찰 결과, 새엽 상피층을 구성하는 세포들은 크게





**Fig. 6.** Ultrastructure of epithelial cell of gill filament of *Batillus cornutus*. **A:** Section showing the hemocyte (Hc) in the hemolymph sinus. **B, C and D:** Section showing the columnar cells. **E:** Section showing the epithelial cell that have absorptive function. Bm: basal membrane, Gg: glycogen granule, Ly: lysosome, Mt: mitochondrion, Mv: microvillus, N: nucleus, Pv: pinocytotic vesicle, Za: zonula adherens, Zo: zonula occludens.



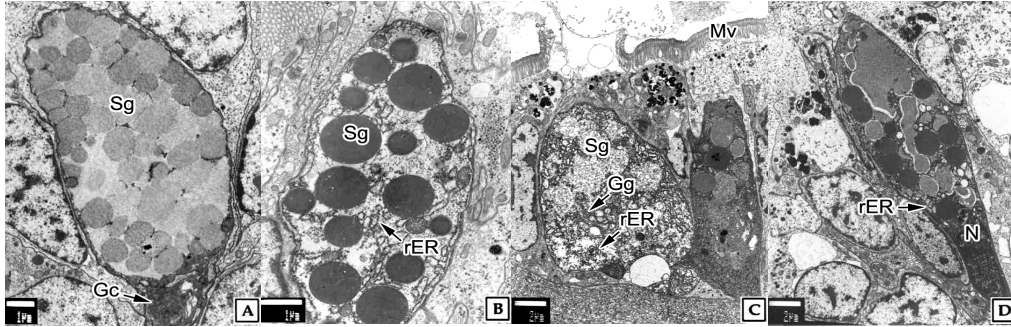
**Fig. 7.** Ultrastructure of ciliated cell and mitochondria-rich cell of gill filament of *Batillus cornutus*. **A:** Section showing the lateral ciliary band (Lcb) of the filament. **B:** Ciliated cell (C) contains numerous mitochondria (Mt) in the cytoplasm. **C:** Mitochondria-rich cell. Bm: basal membrane, C: cilium, Gc: Golgi complex, Gg: glycogen granule, N: nucleus.

상피세포, 섬모세포, mitochondria-rich cell 그리고 분비세포로 구분할 수 있었다.

상피세포들은 혈림프동에 인접한 기저막을 중심으로 혈림프동을 둘러싸고 있는데 (Fig. 6A), 상피세포들의 길이는 다양하였다. 새엽 기저부에 주로 위치하는 상피세포들은 길이 약 24  $\mu\text{m}$ 로서 장방형의 긴 핵을 가진다 (Fig. 6B). 중앙부에 주로 위치하는 상피세포들은 길이 10  $\mu\text{m}$  정도로서 새엽 부위별로는 가장 키가 작았다. 이들은 직경 3  $\mu\text{m}$  내외의 커다란 핵을 가지며, 핵을 중심으로 위쪽의 세포질에는 전자밀도가 다양한 용해소체들을 가지고 있었다 (Fig. 6C).

새엽의 말단부에서 주로 관찰되는 상피세포들은 길이 14  $\mu\text{m}$  내외의 원주형 세포로서 세포의 중앙 아래쪽에 타원형의 핵을 가진다 (Fig. 6D). 이들 상피세포들은 공통적으로 자유면에 길이 1-2  $\mu\text{m}$  내외의 미세융모들이 떠를 이루고 있었으며, 인접한 세포들과는 상부 측면에 폐쇄피로 연결되어 있었다. 그리고 세포질에는 다수의 미토콘드리아를 가지며, 음소포와 글리코겐과립들이 관찰되었다 (Fig. 6E).

섬모세포들은 새엽의 측면섬모대 (Fig. 7A)에서 쉽게 관찰할 수 있는데, 이들 세포는 자유면에 잘 발달된 섬모들을 가지며, 세포질에는 섬모의 기저 뿌리 끝이 연결된 잘 발달된 미토



**Fig. 8.** Ultrastructure of secretory cell of gill filament of *Batillus cornutus*. **A:** Type A secretory cell that have secretory granules (Sg) with fibrous materials. **B:** Section showing the type B secretory cell. **C:** Section showing the type C secretory cell. **D:** Section showing the type D secretory cell. Gc: Golgi complex, Mv: microvillus, N: nucleus, rER: rough endoplasmic reticulum, Sg: secretory granule.

콘드리아들이 산재하고 있었다 (Fig. 7B).

Mitochondria-rich cell은 세포질의 기저부에 원형의 핵을 가지며, 세포질의 대부분은 전자밀도가 높은 발달된 미토콘드리아들이 차지하며, 일부 글리코젠과립들도 함유하고 있었다 (Fig. 7C).

분비세포는 세포의 형태와 분비과립의 미세구조적 특징에 따라 4 종류 (A, B, C, D)로 구분할 수 있었다.

A형 분비세포는 네 종류의 분비세포들 가운데 분포정도가 가장 높았다. 이들 세포들이 함유하고 있는 분비과립의 전자밀도는 다양하지만 전체적으로 낮은 편이며, 분비과립의 내부는 미세한 섬유상의 물질로 채워져 있었고, 세포질의 기저부에서는 발달된 골지체가 발견되었다 (Fig. 8A).

B형 분비세포는 A형 분비세포들 보다는 분포정도가 낮았으나 C형과 D형 분비세포들 보다는 분포정도가 높았다. 이들 세포의 형태는 타원형이었으며, 세포질에는 조면소포체가 발달되어 있었다. 분비과립은 거의 원형으로 막을 가지고 있었으며, 내부는 전자밀도가 매우 높은 균질한 물질로 채워져 있었다 (Fig. 8B).

C형 분비세포들이 함유하고 있는 분비과립들의 형태는 불명확하며, 이들의 전자밀도와 크기는 다양했다. 세포질에는 골지체와 소형의 조면소포체들이 산재해 있었다 (Fig. 8C).

D형 분비세포는 긴 곤봉형으로 분비세포들 가운데 분포정도가 가장 낮았다. 이들 세포들이 함유하고 있는 분비과립의 형태는 다양하였다. 분비과립의 전자밀도는 다양하지만 전체적으로 높은 편이며, 내부는 균질한 물질로 채워져 있었다. 핵은 타원형으로 세포질의 기저부에 위치하고 있었다 (Fig. 8D).

## 고 찰

전새아강의 아가미는 다른 수서동물과 마찬가지로 호흡을 담당하는 기관으로서 이들의 형태적 특징은 전새아강을 분류

하는 중요한 형질이다. 전새아강의 많은 연체동물들의 아가미는 빗 모양으로 아가미 축은 이중 새엽 열을 가진다 (Voltzow, 1994).

하지만, 복족류의 아가미 형태는 분류군에 따라 다소 차이를 보이는데, 밤고둥과 (Trochidae)의 *Austrocochlea constricta*는 bipectinate형 아가미를 가지며, Planaxidae의 *Planaxis sulcatus*, 총알고둥과 (Littorinidae)의 *Littoraria articulata*와 *Bembicium auratum* 그리고 빨소라과 (Muricidae)의 *Morula marginalba*는 monopectinate형 아가미를 가진다 (Eertman, 1996).

본 연구에서 소라의 아가미는 빗 모양으로 이중의 새엽 열로 구성된 bipectinate형이며, 측면 섬모대의 발달에 따라 기저부, 중간부, 말단부로 구분할 수 있었다.

*Marisa cornuarietis*의 새엽 상피층은 단층으로 주로 입방형 세포와 원주형 세포들로 구성되어 있었다. 새엽의 원주형 세포들은 긴 섬모를 가진다. 섬모가 없는 입방형 세포는 기저에 분포하고 중간에는 술잔형 점액세포와 다른 선세포가 산재한다 (Lutfy and Demian, 1965).

복족류와 이매패류 같은 연체동물에서 새엽 상피층을 구성하는 상피세포의 형태는 보통 정단부와 측면에서는 원주형이나 기저부에서는 입방형 또는 편평형이다 (Gómez-Mendikute et al., 2005).

본 연구에서도 소라의 아가미 새엽 상피층은 단층이었으며, 새엽을 구성하는 세포들은 크게 원주형 상피세포, 섬모세포, mitochondria-rich cell 그리고 분비세포로 구분할 수 있었다.

Nuwayhid et al. (1978)은 원시복족목, 삿갓조개과에 속하는 *Patella vulgata*의 pallial gill에 대한 주사 및 투과전자현미경적 보고에서 표면 섬모의 불규칙한 덩불은 역류를 야기하고 그 아가미는 지주에 의해서 큰 혈림프동을 가로지르고, 근섬유를 함유하고 있으며 혈림프동 주위로 단층 원주상피층

이 있고, 바깥표면은 점액다당류의 glycoalyx와 밀집한 미세융모를 가진다고 보고하였다.

복족류의 아가미에서 정단, 측면, 정단측면의 섬모들은 물과 입자들을 수송하기 위한 수류를 생성하는 기능을 가진다 (Voltzow, 1994).

이매패류 역시 아가미 새엽의 섬모들은 입자 수송과 연관이 있다. 새엽 정단섬모는 아가미 쪽으로 이동된 과립물질들을 입으로 이동되어질 수 있도록 새엽의 위쪽 혹은 아래쪽으로 전달하는 역할을 한다. 정단섬모와 측면섬모의 사이에 존재하는 정단측면섬모는 과립물질을 정단섬모 쪽으로 튕겨 보내는 방식으로 과립물질을 여과하거나, 외부강 안으로 들어온 물의 흐름을 조절한다. 그리고 새엽의 양쪽에 존재하는 측면섬모는 뽀뽀하게 정렬되어 있으면서 입출수관을 통해 들어오고 나가는 물을 아가미 쪽으로 빨아들이고 내뿜어 입자들을 여과한다 (Moore, 1971; Owen, 1974; Morton, 1983).

아가미 섬모세포 정단에 존재하는 섬모의 미세구조는 횡단면에서 “9+2”의 축사구조를 나타내며, 기저체의 rootlet complex는 세포질의 미토콘드리아와 잘 연결되어 있다. 기저체는 세포질의 상부에 존재하며 중심립에 의해 섬모의 축사와 연결되어 섬모의 신장에 관여한다. 기저체는 alar sheet, basal foot 그리고 rootlet complex로 구성되어 있는데, alar sheet는 기저체를 섬모세포의 표면으로 잡아매는 역할을 하며, basal foot은 섬유성 과립에 의해 형성되고, 중심립의 복제와 연관 있다. 그리고 기저체의 말단에서 돌출된 rootlet complex는 섬모에서 basal foot과 유사한 기능을 한다. Rootlet complex의 길이와 넓이는 종에 따라 다르며, rootlet의 간격은 일정하게 정렬되어 있다 (Bubel, 1989; Hagiwara et al., 2004).

연체동물의 아가미에서 이러한 구조는 *Austrocochlea constricta* (Eertman, 1996)와 *Chaetoderma nitidulum* (Lundin and Schander, 1999) 그리고 꼬막, *Tegillarca granosa* (Ma and Lee, 2003) 아가미의 섬모세포에서도 잘 연구되어 있다. 본 연구 결과, 소라 아가미의 섬모세포에서도 이러한 특징이 잘 발달되어 있었다.

연체동물 가운데 아가미에 존재하는 점액세포들의 분포 위치와 조직화학적 특징은 이매패류에서는 많은 보고가 있으나 복족류의 아가미에서 종에 따른 분비세포 종류의 다양성에 관한 연구는 많지 않다.

복족류인 *Austrocochlea constricta*의 새엽에서는 2 종류의 분비세포가 보고되었는데, 이들 세포들은 PAS 양성반응을 보였다 (Eertman, 1996).

가리비, *Placopecten magellanicus* 아가미의 주새엽에 존재하는 점액세포들은 대부분 (85% 이상)은 산성과 중성점액물질을 함유하고 있는 혼합된 점액세포였지만, 부새엽에서는

45-58%의 점액세포들이 산성이었다. 진주담치, *Mytilus edulis*의 아가미 점액세포들은 산성점액물질과 중성점액물질들이 일정한 비율로 분포하고, 점액세포의 분포 정도도 *Placopecten magellanicus* 보다 일정하였는데, 이는 진주담치의 새엽이 형태적인 분화가 나타나지 않기 때문에 여과와 정화기능이 한 곳에서 이루어지는 결과이다 (Beninger et al., 1993).

아가미의 점액물질에서 산성점액물질과 중성점액물질은 서로 점성의 차이를 보이는데, 이러한 차이는 물질 수송의 기계적인 과정이 종과 아가미의 부위에 따라 차이를 나타내는 이유이다 (Beninger and Dufour, 1996).

일반적으로 분비선은 선을 구성하는 세포의 수에 따라 단세포선과 다세포선으로 나뉜다. 그리고 점액세포와 같은 외분비선 (exocrine gland)은 분비양상에 따라 크게 전분비선 (holocrine gland)과 부분분비선 (merocrine gland)으로 구분할 수 있는데, 전분비선은 생성물과 세포성분이 함께 분비되는 일회성 선이지만 부분분비선은 생성물만 분비되는 지속성 선이다 (Kurosumi et al., 1984).

복족류와 이매패류의 아가미에서 보고된 점액세포들은 단세포선이고, 부분분비선 (merocrine gland)이며 (Beninger et al., 1993; Dufour and Beninger, 2001; Ma and Lee, 2003), 본 연구에서 소라의 새엽 상피층에서 관찰된 4종류의 분비세포들 모두 단세포의 부분분비선이었다.

본 연구에서 소라의 새엽 상피층에서 mitochondria-rich cell이 관찰되었는데, 이들의 미세구조적 특징은 Kaneko et al. (2002)이 보고한 이온조절세포인 chloride  $\alpha$ -cell과 유사하여 이들 mitochondria-rich cell 역시 이온조절 기능을 하는 것으로 판단되었다.

## 요 약

광학 및 전자현미경을 이용하여 소라 아가미의 형태와 미세구조를 기재하였다. 소라의 아가미는 bipectinate형이다. 새엽 상피층은 단층으로 상피세포, 섬모세포, mitochondria-rich cell 그리고 분비세포로 구성되어 있었다. 상피세포들은 원주형이며, 자유면에는 미세융모들이 발달되어 있었고 인접한 세포들과는 상부측면에 세포연접들로 연결되어 있었다. 섬모세포들은 자유면에 섬모와 미세융모들을 가지며, 세포질에는 잘 발달된 미토콘드리아들이 무리지어 존재하고 섬모의 기저 뿌리 끝이 연결되어 있었다. Mitochondria-rich cell은 기저부에 원형의 핵을 가지며, 세포질의 대부분은 발달된 미토콘드리아들이 차지하고 있었다. AB-PAS와 AF-AB 반응 결과, 분비세포들은 주로 산성점액을 함유하고 있었다. 분비세포는 단세포선으로 세포의 형태와 분비과립의 미세구조적 특징에 따라 4 종류 (A, B, C, D)로 구분할 수 있었다.

## REFERENCES

- Aksit, D. and Mutaf, B.F. (2007) Gill histology of *Patella* Linnaeus, 1758 (Mollusca: Gastropoda). *Rapp. Comm. Int. Mer. Médit.*, **38**: 1-413.
- Atkins, D. (1937) On the ciliary mechanisms and interrelationships of lamellibranchs. Part III. Types of lamellibranch gills and their food currents. *Q. J. Microsc. Sci.*, **79**: 375-421.
- Beninger, P.G. and Dufour, S.C. (1996) Mucocyte distribution and relationship to particle transport on the pseudolamellibranch gill of *Crassostrea virginica* (Bivalvia: Ostreidae). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **137**: 133-138.
- Beninger, P.G., St-Jean, S., Poussart, Y. and Ward, J.E. (1993) Gill function and mucocyte distribution in *Placopecten magellanicus* and *Mytilus edulis* (Mollusca: Bivalvia): the role of mucus in particle transport. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **98**: 275-282.
- Bubel, A. (1989) Cilia (Flagella). *In*; Microstructure and function of cells: Electron micrographs of cell ultrastructure. pp. 99-128. Ellis Horwood Limited, New York.
- Cannuel, R., Beninger, P.G., McCombie, H. and Boudry, P. (2009) Gill development and its functional and evolutionary implications in the blue mussel *Mytilus edulis* (Bivalvia: Mytilidae). *Biol. Bull.*, **217**: 173-188.
- Dufour, S.C. and Beninger, P.G. (2001) A functional interpretation of cilia and mucocyte distributions on the abfrontal surface of bivalve gills. *Mar. Biol.*, **138**: 295-309.
- Eertman, R.H.M. (1996) Comparative study on gill morphology of gastropods from Moreton Bay, Queensland. *Moll. Res.*, **17**: 3-20.
- Gómez-Mendikute, A., Elizondo, M., Venier, P. and Cajaraville, M.P. (2005) Characterization of mussel gill cells *in vivo* and *in vitro*. *Cell Tissue Res.*, **321**: 131-140.
- Hagiwara, H., Ohwada, N. and Takata, K. (2004) Cell biology of normal and abnormal ciliogenesis in the ciliated epithelium. *Int'l. Rev. Cytolo.*, **234**: 101-141.
- Kaneko, T., Shiraiishi, K., Katoh, F., Hasegawa, S. and Hiroi, J. (2002) Chloride cells during early life stages of fish and their functional differentiation. *Fish. Sci.* **68**, 1-9.
- Kurosumi, K., Shibasaki, S. and Ito, T. (1984) Cytology of the secretion in mammalian sweat gland. *Int'l. Rev. Cytolo.*, **87**: 253-329.
- Lundin, K. and Schander, C. (1999) Ultrastructure of gill cilia and ciliary rootlets of *Chaetoderma nitidulum* Lovén 1844 (Mollusca, Chaetodermomorpha). *Acta Zool.*, **80**: 185-191.
- Lutfy, R.G. and Demian, E.S. (1965) The histology of the respiratory organs of *Marisa cornuarietis* (L.). *Arkiv. Für. Zool.*, **18**: 51-71.
- Ma, K.H. and Lee, J.S. (2003) Gill ultrastructure of the granular ark, *Tegillarca granosa* (Bivalvia: Arcidae). *Korean J. Electron Microscopy*, **33**: 223-231. [in Korean]
- Moore, H.J. (1971) The structure of the latero-frontal cirri on the gills of certain lamellibranch molluscs and their role in suspension feeding. *Mar. Biol.*, **11**: 23-27.
- Morton, B.S. (1983) The biology and functional morphology of the wasted ark *Trisidos semitorta* (Bivalvia: Arcacea) with a discussion on shell "torsion" in the genus. *Malacologia*, **23**: 375-396.
- Nuwayhid, M.A., Davies, P.S. and Elder, H.Y. (1978) Gill structure in the common limpet *Patella vulgata*. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, **58**: 817-823.
- Owen, G. (1974) Studies on the gill of *Mytilus edulis*: the eu-latero-frontal cirri. *Proc. R. Soc. London Ser. B.*, **187**: 83-91.
- Ragg, N.L.C. and Taylor, H.H. (2006) Oxygen uptake, diffusion limitation, and diffusing capacity of the bipectinate gills of the abalone, *Haliotis iris* (Mollusca: Prosobranchia). *Comp. Biochem. Physiol.*, **A**, **143**: 299-306.
- Starobogatov, Y.I. (1992) Morphological basis for phylogeny and classification of Bivalvia. *Ruthenica*, **2**: 1-25.
- Villers, C.J.D.E. and Hodgson, A.N. (1987) The structure of the secondary gills of *Siphonaria capensis* (Gastropoda: Pulmonata). *J. Mollus. Stud.*, **53**: 129-138.
- Voltzow, J. (1994) Gastropoda: Prosobranchia. *In*; Microscopic anatomy of invertebrates Vol. 5. Mollusca 1. (ed. by Harrison F.W. and Kohn A.J.). pp. 111-252. Wiley-Liss, Inc., New York.
- Wanichanon, C. (2004) Histology of hypobranchial gland and gill of *Haliotis asinina* Linnaeus. *J. Shellfish Res.*, **23**: 1107-1112.
- Yoo, J.S. (1988) Korean shells in color. pp. 1-196. Iljisa Publ. Co, Seoul. [in Korean]
- Zardus, J.D. (2002) Protobranch bivalves. *Adv. Mar. Biol.*, **42**: 1-65.