

한국산 석패과(Unionidae) 패각의 미세구조 연구

손진기 · 박갑만*

강릉대학교 산업대학 해양생물공학과, 강원대학교 자연대학 생물학과*

= Abstract =

A Scanning Electron Microscopic Study of the Shells of Unionidae (Bivalvia)

Jin Ki Son and Gab Man Park*

Department of Marine Biotechnology, Kangnung National University, Kangnung

**Department of Biology, Kangweon National University, Chuncheon, Korea*

The purpose of this study is to determine the differences of the conchiolin layer, prismatic layer and nacreous layer deposited within the shell of the freshwater family Unionidae, whether they possess species-specific characteristics and differences of the microstructure of these layers. A Scanning electron microscopic observations were conducted on seven species. The results indicate that all species possess thin and homogeneous layers within the periostracum. The prismatic layers of these species were composed of densely packed prisms. The prismatic layers of the shell in six species were typical shape of prisms, especially *Unio douglasiae* and *Lamprotula gottschei*. But, in *Unio douglasiae sinuolatus*, it was irregular and oblique prism shape.

The nacreous layer of seven unionids characterized by possession of three types by lamellae shape: thin and homogeneous in genus *Anodonta* (0.4 μm size of lamella), *Unio* (1.3 μm) and *Lamprotula* (1.7 μm), homogeneous in shape and irregular in size of lamellae in *Lanceolaria* (1.0 μm) and irregular in shape and size in *Solenia* (0.2-0.4 μm). The microstructure of the nacreous layer may be useful as a taxonomic character at the generic level.

서론

연체동물의 대부분은 그들의 연체부를 보호하는 패각을 지니고 있는데, 패각은 그 주성분이 주로 석회질로 구성되어 있어 종마다 독특한 형태를 보이며 종의 분류나 진화론적 연구, 개체발생학적 연구 및 연체동물의 일부 종들을 이용한 상업적인 진주(pearl)산업에서 진주층을 주요 대상으로 한 연구에 이용될 수 있

다고 하였다(Tolstikova, 1974).

Tanaka와 Hatano(1953, 1955)는 같은 종의 패각에서도 진주층과 각피층의 구성이 다르다는 것을 확인하였으며, Beedham(1965)은 패각의 conchiolin은 주로 단백질로 구성되어 있다고 보고하였다. 패각의 안쪽 진주층은 미세한 aragonite입자가 불용성 단백질인 유기매질에 포함되어 층상 배열을 하고 있다고 알려져 있다(Wada, 1961; Wise, 1970; Erben, 1972). Beedham(1965)은 패각

이 손상을 받게 되면 유사한 각피층이 축적되어 손상된 부위를 싸게 된다고 보고하였으며, Wada(1966)는 *Pinctada*를 재료로 한 연구에서 진주층 성장면의 형성 양상이 계절에 따라 다를 수도 있다고 하였다. 한편 Wise(1970)는 복족류를 대상으로 한 연구에서 진주층을 구성하는 결정체는 층들(stacks)로 축적되어 피라밋 형태로 박혀 있다고 보고하였다.

Hemilton(1969)은 이때패류에서 periostracum과 가장 바깥층 사이에는 mosaicostracum이라고 불리는 칼슘층이 존재하며 이층이 표면층을 이루면서 종 수준에서 분류학적으로 의미가 있다고 주장하였다. 또한 Bevelander와 Nakhaha(1969)는 이때패 종들의 진주층 구성은 외투액에서 분비된 유기매질에 의해 수평으로 유기질의 얇은 판 모양을 형성한다고 하였다. 또한 담수에 서식하는 패류들은 내부의 패각을 보호하기 위해 해산 패류들보다 두꺼운 각피층을 가지며 이것은 담수 내에 석은 앞으로부터 생성되는 산에 의한 패각 손상을 보호하기 위한 것으로 알려져 있다(Gregoire, 1972; Tevesz and Carter, 1980).

Kat(1982)는 *Corbicula fluminea*의 각정 부위의 용해는 곧 산성수체에 서식하는 종을 죽게 하는 중요한 요인으로서 용해된 부위로 미생물이 침투함으로써 나타나는 길과로 추정하였고 패각의 용해를 막아 주는 것은 두꺼운 각피층에 의해 보호받을 수 있다고 하였다. Kat(1983)는 석패과 패각의 각피층은 단순하고 얇은 층(homogeneous layer)과 약간 더 복잡한 층으로 형성된 2 types으로 구성되었다고 보고하였다. 한편, Jeong(1987)은 연체동물의 무족류를 대상으로 진주층 성장면을 관찰하여 진주층 성장면의 미세구조는 종에 따라 특이하며 미세구조의 중간 관찰성은 동일과 내에서 구별이 어려운 것으로 보고하였다.

이와 같이 현재까지의 연구 진행에서 보면 일부는 패각을 이용하여 종간의 차이를 밝혔으나 앞으로 논의 될 점이 많다고 생각된다.

본 연구에서는 담수산 석패과 7종을 대상으로 패각의 미세구조를 관찰하고 형태적 특징을 통해 종간에 차이를 통해 분류학적 특성으로서 가능성을 알아보기 위하여 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

본 실험에 사용된 패류는 강원도 의암호와 춘천호 및 남한강 상류지역인 영월 청령포에서 채집하였다. 본 실험재료는 고이치아강(Palaeoheterodonta), 석패목(Unionoida), 석패과(Unionidae)에 속하는 작은대칭이(*Anodonta arcaeformis flavotincta*), 펄조개(*Anodonta woodiana*), 말조개(*Unio douglasiae*), 작은말조개(*Unio douglasiae sinuolatus*), 칼조개(*Lanceolaria acrorhyncha*), 도끼조개(*Solenia triangularis*), 꽃체두드럭조개(*Lamprotula gottschei*) 등 7종을 사용하였다.

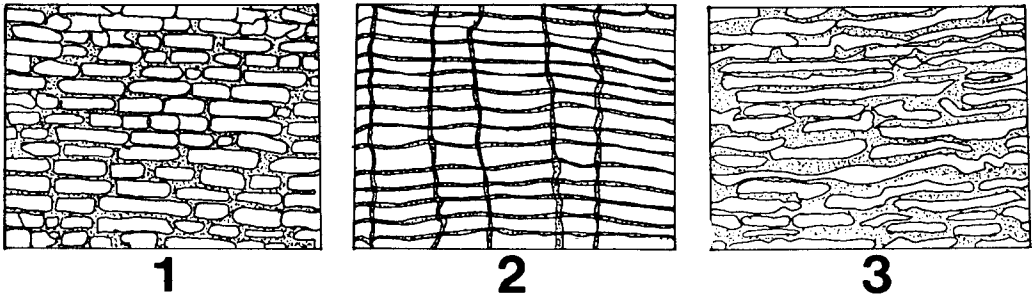
2. 실험방법

본 연구에 사용된 종들은 모두 살아 있는 패류의 패각을 이용하였으며, 성체를 대상으로 실시하였다. 먼저 가는 줄톱으로 패각을 자른 후, 사포로 깨끗이 다듬고 5% HCl에 10초 동안 침적하였다. 이들을 다시 깨끗한 증류수로 옮겨 초음파 세척기로 세척하고 실온에서 건조하였다. 완전히 건조된 표본들은 ion coater를 이용하여 250 Å 두께로 gold coating을 한 후 주사전자현미경(Hitachi S-2500)으로 관찰, 촬영하였다. 종내(intraspecific)의 변이성을 보기 위해 각 종마다 4개체를 택해 실시하였다.

결 과

패각은 외투막에서 분비되는 결정체와 유기매질 물질을 주성분으로 이루어지며 석패과의 패각은 전형적으로 각피층(periostracum), 각주층(prismatic layer) 그리고 진주층(nacreous layer)으로 이루어져 있다(Fig. 4). Fig. 4는 *A. a. flavotincta*의 패각으로 3층의 전형적인 형태를 보이며, 가장 바깥은 각피층으로서 매우 얇고 단층을 이루고 있었다. 그러나 관찰 대상 종들의 각피층이 모두 매끈한데 비해 *L. acrorhyncha*의 경우 바깥 각피층에 각질들이 불규칙하게 덮여 있었다(Fig. 9).

또한 석회질로 구성된 각주층은 *A. a. flavotincta*, *A. woodiana*, *L. acrorhyncha*, *S. triangularis*에서는 패각에 수직으로(Fig. 4, 5, 9, 10) 늘어선 각주들



Figs. 1-3. Diagrammatic microstructure of three types of nacreous layer according to the lamellae size and shape.

Fig. 1. Thin and homogeneous type in genus *Anodonta*, *Unio* and *Lamprotula*.

Fig. 2. Homogeneous in shape and irregular in size in genus *Lanceolaria*.

Fig. 3. Irregular type of shape and size in genus *Solenia*.

이 편편하게 나타난 반면, *U. douglasiae*와 *L. gottschei*의 각주층은 수직으로 일정한 크기의 각주들이 선명히 박혀 있었다(Fig. 6, 8). 그러나 *U. d. sinuolatus*의 각주층은 패각에 비스듬히 형성돼 있었다(Fig. 7).

진주층의 미세구조는 층단(lamellae)의 모양과 배열된 형태를 통해 3 types으로 나눌 수 있었다. 첫째, 층단들의 모양과 크기가 일정한 배열을 하는 경우로 *A. arcaeformis flavotincta*, *A. woodiana*와 *U. douglasiae*, *U. d. sinuolatus* 및 *L. gottschei*의 종들에서 볼 수 있으며(Fig. 1). 둘째, 층단의 모양은 일정하나 그 크기가 불규칙한 형태로 *L. acrorhyncha*에서 볼 수 있고(Fig. 2). 셋째, 층단의 모양과 크기가 불규칙한 배열을 하는 형태로 *S. triangularis*에서 볼 수 있었다(Fig. 3). Figs. 11-17은 진주층으로 종들마다 모양과 크기가 다른 결정체의 층판으로 구성되어 있었다. *A. a. flavotincta*와 *A. woodiana*의 진주층은 일정한 크기의 미세한 층들이 패각에 수평하게 층판모양으로 배열하고 층판의 두께는 0.4 μm 였다(Fig. 11, 12). *U. douglasiae*의 진주층도 일정한 두께의 평판 결정체로 구성되고 두께는 1.4 μm 였다(Fig. 13). *U. d. sinuolatus*의 진주층은 평판 결정체가 다양한 크기와 일정한 두께로 구성되었으며 두께는 1.2 μm 였다(Fig. 14). *L. gottschei*의 경우 결정체의 두께가 1.7 μm 로서 관찰 대상종 중 가장 두꺼우며 크기도 일정하게 구성되어 있었다(Fig. 15).

*L. acrorhyncha*의 진주층의 두께는 1.0 μm 이며 표면은 매우 거칠게 보였다(Fig. 16). *S. triangularis*의 진주층은 관찰 대상 6종과는 달리 형태가 불규칙하며 판들의 두께도 0.2-0.4 μm 로 다양한 크기를 보였다(Fig. 17).

고 찰

연체동물의 패각은 그 성분이 주로 석회질로 구성되어 종마다 독특한 형태를 하고 있어 종의 분류나 진화론적 연구 및 개체발생학적 연구 대상으로 많이 이용되어 왔다. 패각의 일반적 구조는 각피층, 각주층 그리고 진주층 등 3층으로 구성되어 있음은 이미 잘 알려져 있으며, 본 연구에서는 *A. a. flavotincta*를 통해 Fig. 4에 소개하였다. 담수산 이매패인 석패과의 패각에 있는 각피층의 발생은 Gray(1833) 및 Tolstikoba(1974) 등에 의해 잘 밝혀져 있다. 담수에서 서식하는 패류들은 내부의 패각을 보호하기 위하여 해산 패류들보다 두꺼운 각피층을 가지는데 이것은 담수에는 물 속에서 썩은 나뭇잎으로부터 생성되는 산(酸)에 대한 패각을 보호하기 위한 것으로 알려졌는데(Gregoire, 1972; Tevesz and Carter, 1980; Kat, 1982). 본 연구에서도 이러한 현상은 일반적인 것으로 생각되었다. Kat(1982)는 *Corbicula fluminea*에서 각정 부위에 있는 패각의 용해는 서식지의 산성 물로 인해 계속해서 패각을 녹임으로

서 결국 개체가 죽게 되는 원인이 된다고 하였으나 Beedham(1965) 및 Tevesz와 Carter(1980)는 패각이 손상을 받게 되면 유사한 각피층에 의해 손상된 부분이 다시 만들어진다고 주장하였다. Hemilton(1969)은 이매패와 몇 종의 복족류에서 periostracum과 가장 바깥층 사이에는 칼슘층(mosaicostracum)이 존재하는데 이 층이 분명히 표면층을 이루면서 종 수준에서 분류학적으로 의미가 있다고 하였으며 이 칼슘층의 미세구조는 살아 있거나 죽은 이매패에서 진화를 연구하거나 또는 종을 확인하는 것이 가능하다고 보고하였다. 그러나 본인의 관찰 대상 종에서는 이층의 존재는 확인 할 수 없었다.

Kat(1983)에 의하면 안쪽 각피층은 그물 모양의 형태를 보이며 이들을 구성하고 있는 층은 담수 서식지의 환경적인 요인에 의해서는 영향을 받지 않기 때문에 이것을 이용하여 속내의 종간에 차이를 구별하는데 이용할 수 있다고 하였다. 그에 따르면 석패과의 패각 내에 존재하는 각피층은 얇고 분화되지 않은 것과 두껍고 분화된 2가지 형태로 존재하며 두껍고 분화된 층은 다시 제일 위에 균일한 부위와 중간에 그물 모양 부위 그리고 아래쪽에 얇고 균일한 부위 3층으로 나뉘져 있다고 보고하였다. 그러나 본 실험을 통해 관찰한 대상 종들에서는 각피층이 종간에 뚜렷한 차이점을 볼 수 없었다.

각주층은 외투막에서 분비된 칼슘 성분과 단백질의 기질이 서로 복합되어 만들어지며 종에 따라 구성의 형태도 다를 뿐 아니라 서식지 환경의 칼슘양에 따라 패각의 두께나 형태, 매끈한 정도 등이 차이를 보인다고 하였다(Wilbur, 1972). 각주층을 구성하고 있는 각주들의 굵기나 횡단면의 형상은 종마다 약간의 차이점을 보였다. *A. a. flavotincta*, *A. woodiana*, *L. acrorhyncha* 그리고 *S. triangularis*의 경우는 패각에 수직으로 늘어선 각주들이 편평하게 나타난 반면 *U. douglasiae*와 *L. gottschei*는 패각에 수직으로 일정한 크기의 각주들이 돌출된 형태를 보였다. 또한 *U. d. sinuolatus*의 경우는 패각에 비스듬히 늘어선 돌출된 각주의 형태를 하고 있었다. 이와 같은 차이에 대해 Jeong(1987)은 부족류 6과 13종에서 각주층을 이루는 각주들의 굵기나 횡단면의 형태는 동일종이나 동일 패각에서도 다양하게 나타날 수 있다고 하였다.

진주층은 미세한 aragonite 입자가 불용성인 단

백질성 유기매질에 포함되어 층상으로 배열된 구조를 하고 있는 것으로 밝혀져 있다(Wada, 1961; Wise, 1970; Gregoire, 1972; Erben, 1972). 진주층은 외투막과 접해 있기 때문에 계속해서 패류가 성장되면서 수명이 끝날 때까지 두꺼워지는 층으로 잘 알려져 있다. 따라서 진주층의 두께는 종에 따른 패각의 두께를 결정할 수 있을 것으로 생각된다. Nakahara(1979)는 복족류 2종을 대상으로 전자현미경을 이용, 진주층 성장면을 관찰하였는데, 진주층은 여러 층의 결정체가 층단을 이루고 있으며 이들 층단의 두께는 0.45-0.6 μm 로 배열돼 있다고 보고하였다.

본 연구를 통해 관찰한 종들에서 진주층을 형성하고 aragonite 결정체 층단들의 형태는 종들마다 일정한 크기를 보였으나, *L. acrorhyncha*는 모양은 일정하나 크기가 불규칙하였으며 *S. triangularis*는 불규칙한 모양과 크기를 보였다. 또한 층단의 두께는 관찰 대상 종들에서 0.2-1.7 μm 의 크기를 가지며 종마다 일정한 크기를 가지는데, *Anodonta* 속에서는 0.4 μm 로 비슷하며, *Lamprotula* 속은 1.7 μm 로 관찰 대상종 중 가장 두꺼웠으며, *Unio* 속은 1.2-1.4 μm 이며 그리고 *Lanceolaria* 속은 1.0 μm 의 두께로

Figs. 4-10. Microstructure of the shell of freshwater Unionidae.
(bar size: 200 μm)

Fig. 4. Shell structures of *A. arcaiformis flavotincta*, showing periostracum(P), prismatic layer(PR), nacreous layer(N). The arrow indicate the direction to the outside of the shell.

Fig. 5. Vertical section of simple prisms of *A. woodiana*.

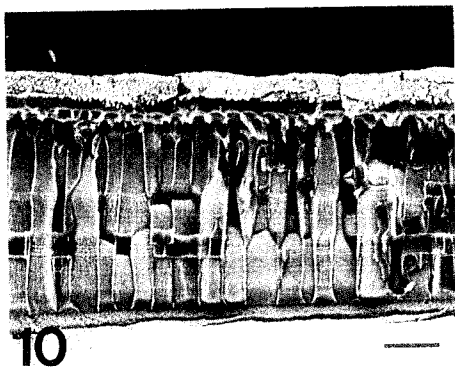
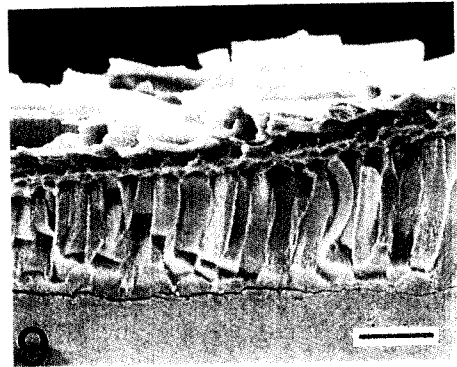
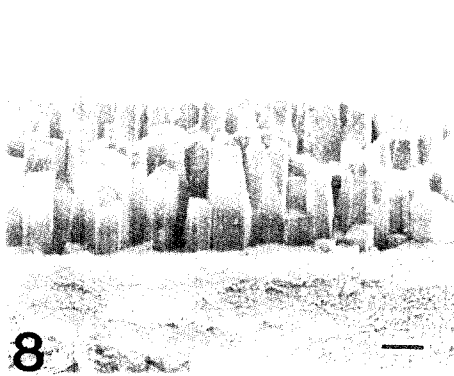
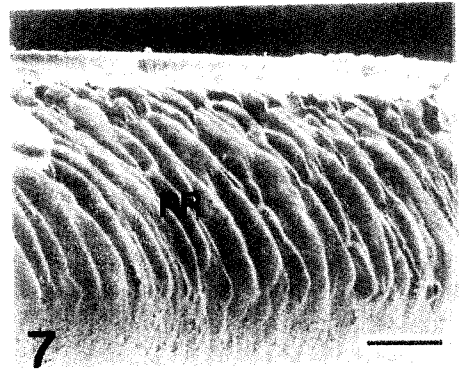
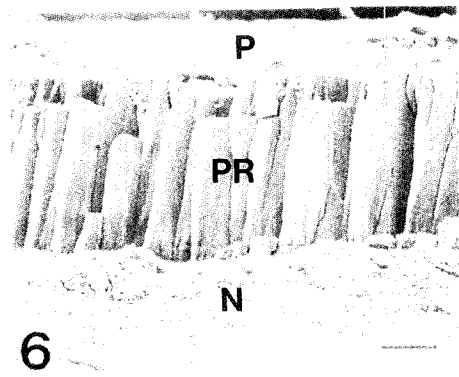
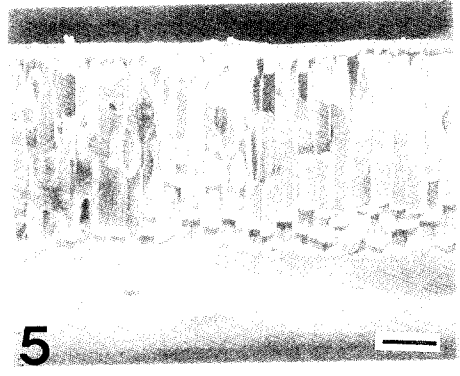
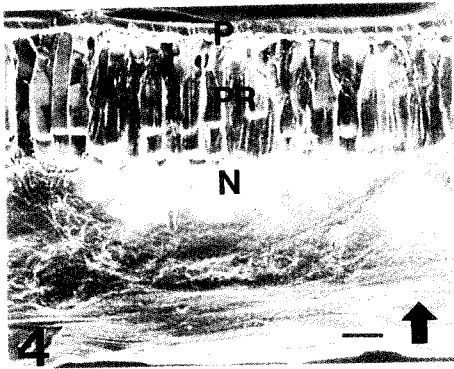
Fig. 6. Prismatic layer of *U. douglasiae*, showing columnar crystals of prisms.

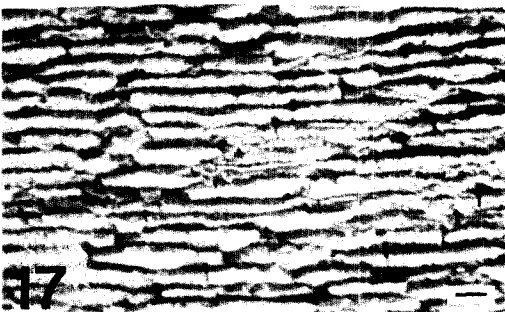
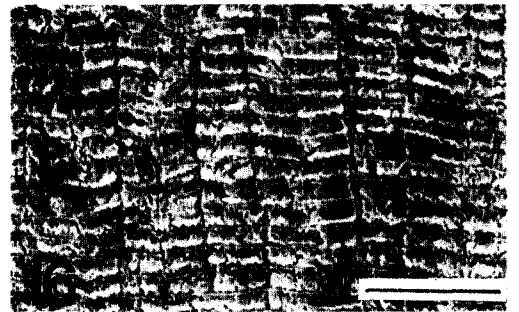
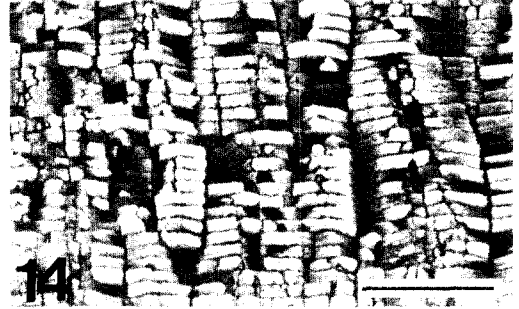
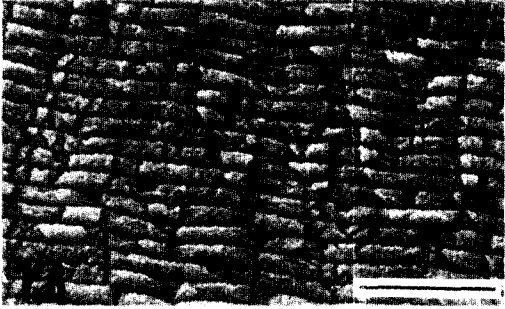
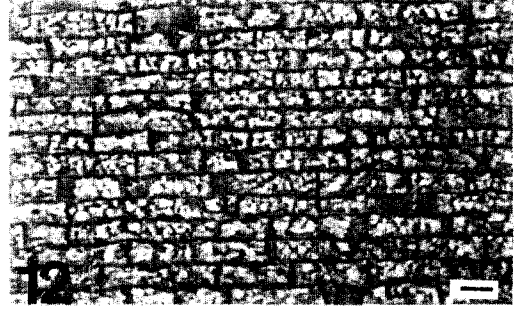
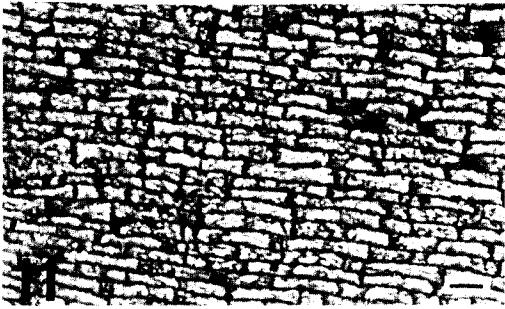
Fig. 7. Showing obliquely arranged of prisms, prismatic layer of *U. douglasiae sinuolatus*.

Fig. 8. Prismatic layer of *L. gottschei*, showing columnar crystals of prisms.

Fig. 9. Vertical section of simple prisms of *L. acrorhyncha*.

Fig. 10. Prismatic layer of *S. triangularis*.





Figs. 11-17. Nacreous layer of the shell, showing a brickwork-like structures. (bar size: 20 μ m).

Fig. 11. *A. a. flavotincta*.

Fig. 12. *A. woodiana*.

Fig. 13. *U. douglasiae*.

Fig. 14. *U. d. sinuolatus*.

Fig. 15. *L. gottschei*.

Fig. 16. *L. acrorhyncha*.

Fig. 17. *S. triangularis*.

구성되어 있었다. 그러나 *Solenia* 속의 *S. triangularis*의 경우는 형태가 일정치 않으며 두께는 0.2-0.4 μm 로 층단이 형성되어 있었다. 이와 같은 진주층 층단의 두께는 속간에서 차이를 보여 진주층을 이용한 속 수준에서 분류학적 형질로서 이용될 수 있을 것으로 사료되었다. Wada(1966)는 *Pinctada*를 재료로 진주층 성장면을 관찰하여 계절에 따라 형성 양상이 다를 수 있다고 암시하였다. 따라서 패각에서 미세구조적 관찰을 이용한 종의 분류를 위해서는 관찰대상 부위와 여러 가지 요건을 보다 세밀하게 준비할 필요가 있다고 생각된다.

결 론

한국산 석패과 7종의 패각의 미세구조에 대하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

패각의 미세구조 중 각과층의 구성은 종간에 차이를 볼 수 없었다. 각주층은 *U. d. sinuolatus*에서 패각에 비스듬히 배열된 반면에 다른 종들에서 일정한 크기의 각주들로 구성되어 있었다. 진주층을 구성하는 층단들의 모양과 크기는 종마다 일정한데, 그 형태에 따라 층단이 일정한 모양을 한 형태, 모양은 일정하나 크기가 불규칙한 형태 그리고 모양과 크기가 모두 불규칙한 형태 등 3 type으로 나타났다. 층판의 두께는 *Anodonta* 속은 0.4 μm , *Unio* 속은 1.3 μm , *Lanceolaria* 속은 1.0 μm , 그리고 *Lamprotula* 속은 1.7 μm 의 크기를 각각 보이는데 비해, *Solenia* 속은 형태가 불규칙하며 두께도 0.2-0.4 μm 의 크기를 보였다. 이와 같이 패각의 미세구조를 통한 종간의 차이는 진주층에서 속마다 일정한 형태와 크기를 보여 속 수준에서 분류학적 형질로서의 가능성을 보였다.

참 고 문 헌

Beedham, G.E. (1965) Repair of the shell in species of *Anodonta*. *Proc. Zool. Soc. London*, **145**: 107-124.

Bevelander, G. and Nakahara, H. (1969) An electron microscope study of the formation of the nacreous layer in the shell of certain bivalve molluscs. *Calc. Tiss. Res.*, **3**: 82-92

Erben, H.K. (1972) Über die Bildung und das Wachstum von Perlmutter. *Biom mineralization*, **4**: 15-46.

Gray, J.E. (1833) Some observations on the economy of molluscous animals, and on the structure of their shells. *Phil. Trans. Royal Soc. London*, **123**: 771-819.

Gregoire, C. (1972) Structure of the molluscan shell. *Chemical Zoology* Vol. 7. pp. 45-210. *Academic Press, N.Y.*

Hemilton, G.H. (1969) The taxonomic significance and theoretical origin of surface patterns on a newly discovered bivalve shell layer, the mosaicostracum. *Malacological Review*, **11**: 185-194.

Jeong, K.H. (1987) A study on Ultrastructures of Molluscan shell. *J. Soonchunhyang Univ.*, **10**: 157-166.

Kat, P.W. (1982) Shell dissolution as a significant source of mortality for *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculidae) inhabiting acidic waters. *Malacological Rev.*, **15**: 129-134.

Kat, P.W. (1983) Genetic and morphological divergence among nominal species of North American *Anodonta* (Bivalvia: Unionidae). *Malacologia*, **23**: 361-374.

Nakahara, H. (1979) An electron microscope study of the growing surface of nacre in two gastropod species, *Turbo cornutus* and *Tegula pfeifferi*. *Venus*, **38**: 205-211.

Tanaka, S. and Hitano, H. (1953) Cited from C. Gregoire. Structure of the molluscan shell. *In: Chemical Zoology*. Vol. 7. Mollusca, (ed. by Florkin, M. and Scheer, B.T.) pp. 45-102. *Academic Press N.Y.*

Tanaka, S and Hitano, H. (1955) Cited from C. Gregoire. Structure of the molluscan shell. *In: Chemical Zoology*. Vol. 7. Mollusca (ed. by Florkin, M. and Scheer, B.T.), pp. 45-102. *Academic Press N.Y.*

Tevesz, M.J. and Carter, J.C. (1980) En-

- vironmental relationships of shell form and structure of Unionacean bivalves. *In: Skeletal growth of aquatic organisms* (ed. by Rhoads, D.C. and Lutz, R.A.), pp. 295-322. *Plenum Press, N.Y.*
- Tolstikoba, N.V. (1974) Microstructural characteristics of freshwater bivalves (Unionidae). *Paleontological J.* [translation of *Paleontologi-Cheskii Zhurnal*], **8**: 55-60.
- Wada, K. (1961) Crystal growth of molluscan shells. *Bull. Natl. Pearl Res. Lab. Japan*, **7**: 703-828.
- Wada, K. (1966) Cited from C. Gregoire. Structure of the molluscan shell. *In: Chemical Zoology*. Vol. 7. Mollusca. (ed. by Florkin, M. and Scheer, B.T.) pp. 45-102. *Academic Press N.Y.*
- Wilbur, K.M. (1972) Shell formation in mollusks. *In: Chemical Zoology*. Vol. 7. pp. 103-145. *Academic Press, N.Y.*
- Wise, S.W. (1970) Microarchitecture and mode of formation of nacre (mother-of-pearl) in pelecypods, gastropods and cephalopods. *Ecol. Geol. Helv.* **63**: 775-797.
-