

살갓자갈거미 (*Nurscia albofasciata*) 방적장치의 미세구조

박 은 아, 문 명 진*

단국대학교 첨단과학대학 생명과학과

Fine Structure of the Silk Spinning Apparatus in the Spider *Nurscia albofasciata*

Eun-Ah Park and Myung-Jin Moon*

Department of Biological Sciences & Institute of Basic Science, Dankook University,
Cheonan 330-714, Korea

(Received April 18, 2009; Accepted June 23, 2009)

ABSTRACT

Here we demonstrate the fine structural characteristics of the spigots on the cribellum and its peculiar sieve-like structure at the aspects of the functional significance. The surface of the cribellum is covered by hundred of tiny spigots which producing numerous cribellate silk fibrils. It has been known that the cribellar silk is considered as a quite different sort of catching silk with dry-adhesive properties. By our fine structural observation using the field emission scanning electron microscopy (FESEM), the titanocid spiders have a specialized sieve-like plate just in front of the anterior spinnerets. The other types of the silk spigots were identified as follows: ampullate, pyriform and aciniform glands. Two pairs of major ampullate glands send secretory ductules to the anterior spinnerets, and another 1~2 pairs of minor ampullate glands supply the median spinnerets. In addition, the pyriform glands send ductules to the anterior spinnerets, and the aciniform glands feed silk into the median and the posterior spinnerets, respectively. Characteristically, 2 distinct types (A & B types) of the aciniform spigots were identified in this spider, and the spigots of the aciniform B type are always detected at the posterior spinneret, however sexual dimorphism for spigot is unlikely to be exhibited in this species of spider.

Keywords : Fine structure, Silk, Spider, Spigot, *Nurscia albofasciata*

서 론

거미의 실크 방적장치는 복부 아래쪽 말단 부분에 위치하고 있으며, 외부로 돌출된 방적돌기와 복강 내부의 여러 종류의 견사선으로 이루어져 있다(Denny, 1976; Foelix, 1996). 현재 알려진 견사선의 종류는 그 형태에 따라서 병상선(ampullate gland), 포도상선(aciniform gland), 이상선(pyri-

form gland), 관상선(tubuliform gland), 편상선(flagelliform gland), 수상선(aggregate gland), 체판선(cribellate gland) 등으로 구분되지만, 한 개체에서 모든 종류의 견사선이 관찰되는 것은 아니고, 거미의 분류군이나 성별 등에 따라 견사선의 종류와 수가 다양한 것으로 보고되고 있다(Tillinghast & Townley, 1987).

거미의 방적돌기는 보통 3쌍의 방적돌기(spinneret)로 구성되어 있으나(Foelix, 1996), 체판류에 속하는 거미들은 체

이 연구는 2008년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

* Correspondence should be addressed to Myung-Jin Moon, Department of Biological Sciences & Institute of Basic Sciences, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea. Ph.: (041) 550-3445, Fax: (041) 550-3409, E-mail: moonmj@dankook.ac.kr

판(cribellum)이라는 부가적인 방적장치를 가지고 있음이 알려져 있다(Kovoor, 1990; Opell, 1995). 체판이란 거미의 복부 표면에 있는 타원형의 방적판으로, 체판의 표면에 돌출된 수백 또는 수천 개의 미세한 토사관에서는 복슬털(wool)과 유사한 거미줄이 생성된다. 여기서 분비된 극히 미세하고 점성이 없는 건조한 실크들은 먹이가 되는 곤충의 움직임을 둔화시키는 포획사로서의 역할을 수행함이 보고되어 있다(Nentwig & Heimer, 1987; Peters 1987; Opell 1995, 1999).

계통학적으로 새거미아목(Araneomorphae)의 거미들은 체판의 유무에 따라 체판류와 무체판류로 구분되는데, 체판류의 거미들이 상대적으로 원시적인 분류군으로 추정되고 있다(Eberhard & Pereira, 1993). 그러나, 체판류와 무체판류의 거미가 동일한 분류군에 함께 속해 있는 경우도 흔히 발견되기 때문에(Lehtinen, 1967), 모든 진정거미류가 원래 체판을 가지고 있었으나, 진화에 의해 일부 종의 체판이 소실되었다는 견해가 설득력을 얻고 있는 실정이다(Coddington & Levy, 1991).

자갈거미과(Titanoecidae)는 전세계적으로 5개의 속과 46개의 종이 남북 아메리카, 유라시아에 걸쳐 넓게 분포하고 있는 것으로 알려져 있다(Lehtinen, 1967). 본 연구에 사용된 살깃자갈거미(*Nurscia albofasciata*)는 몸 빛깔은 검고, 크기는 5~8 mm인 자갈거미과에 속하는 체판류 거미로 한국, 중국, 일본, 대만, 러시아에 분포하며 낙엽 밑, 자갈 밭, 냇가의 돌 틈에서 서식하는 것으로 알려지고 있다(Namkung, 2001).

국내에서는 현재까지 체판류의 거미를 대상으로 한 실크 분비기관의 연구가 미비한 관계로 체판의 구조와 여기서 분비되는 포획사의 생태생리학적 기능에 대한 연구결과도 거의 없는 실정이다. 따라서 국내에 서식하는 체판류의 거미인 살깃자갈거미를 실험재료로 하여 이 종류의 거미가 지닌 실크 분비장치인 체판과 방적돌기의 미세구조를 고배율의 전자현미경으로 관찰하고, 이를 토대로 체판류 거미의 실크 분비체계를 밝히고자 본 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

경상남도 진해시 웅동 일대의 부산신항 준설토 투기장에서 3월부터 6월까지 채집한 자갈거미과 살깃자갈거미 암수 개체를 실험실로 옮겨 안정화시킨 다음, 갈색거저리(*Tenebrio molitor*) 초기 유충을 먹이로 사육하며 단계별로 실험을 실시하였다.

살깃자갈거미(*Nurscia albofasciata*)의 암수 성체를 선별하여 이산화탄소로 마취하여 희생시킨 후, 해부현미경 하에서 해부용 가위를 사용하여 복부마디 전체를 몸통으로부터

분리하였다. 해부시 체액의 상태를 유지하기 위하여 거미의 생리식염 용액(spider Ringer's solution: 160 mM NaCl, 7.5 mM KCl, 4 mM CaCl₂, 1 mM MgCl₂, 4 mM NaHCO₃, 20 mM glucose, pH 7.4)(Groome et al., 1991)을 사용하였다.

주사전자현미경 관찰을 위한 시료는 0.1 M phosphate buffer(4°C, pH 7.4)로 완충시킨 2% paraformaldehyde와 2.5% glutaraldehyde 혼합용액을 제조하여 전고정(prefixation) 처리한 후, 동일 완충용액으로 3회 수세하였다. 수세가 끝난 시료는 0.1 M phosphate buffer(4°C, pH 7.4)로 완충시킨 1% osmium tetroxide 용액으로 후고정(postfixation)한 후, 동일 완충용액을 사용하여 충분히 세척하였다.

고정이 끝난 시료는 ethanol 농도 상승 순(30%, 50%, 70%, 90%, 95%, 100%)으로 처리하여 탈수하였으며, 탈수가 끝난 시료는 hexamethyldisilazane (HMDS) 용액으로 처리하고, 실온에서 건조 처리하였다. 준비된 시료는 stub에 부착하고 sputter coater E-1030 (Hitachi Co., Tokyo, Japan)를 사용하여 약 15 nm 두께로 백금 도금한 후 Hitachi-4300 (Hitachi Co., Tokyo, Japan) 주사형 전자현미경(FESEM)으로 5~15 kV의 가속전압에서 관찰하였다. 관찰된 시료에 대한 화상(image)은 디지털 파일의 형태로 컴퓨터에 저장한 후, 미세 구조 분석 작업에 사용하였다.

결 과

살깃자갈거미(*Nurscia albofasciata*)의 실크 방적장치는 모두 복부에 위치하며, 체표로 돌출된 방적돌기와 복부 상단부의 체판(cribellum)으로 이루어져 있었다. 방적돌기는 각 한 쌍씩의 전, 중, 후방적돌기가 관찰되는데 각 방적돌기의 표면에는 다양한 구조의 토사관이 형성되어 있고, 복강의 견사선과 분비관을 통해 연결되어 있었다. 전 및 후방적돌기는 각각 기저마디와 말단마디의 두 부분으로 분절된 구조로 되어 있는 반면, 가장 크기가 작은 중방적돌기는 하나의 마디로 이루어져 있었다. 방적돌기 외측 표면은 수많은 감각모로 덮혀 있었고, 말단마디의 침단부에는 함몰된 원형의 방적면이 형성되어 있어 독특한 큐티클 구조를 가진 토사관들이 관찰되었다(Fig. 1A, B).

살깃자갈거미는 체판류의 거미로 체판이라는 독특한 포획사 생성장치를 가지고 있음이 관찰되는데, 체판은 긴 타원형의 판상구조로 방적면이 정중면에서 대칭으로 분리되어 독립된 두 개의 체판을 형성하고 있음이 확인되었다. 체판의 표면에는 미세한 토사관들이 조밀하게 돌출된 구조를 형성하고 있었는데, 토사관의 수는 거미의 성별과 성숙 단계에 따라 편차가 현저하였지만, 마지막 탈피가 끝난 성체의 경우 평균적으로 800(암컷), 500(수컷) 쌍으로 수컷에 비해 암컷이 훨씬 많은 것으로 측정되었다. 여기서 생성된

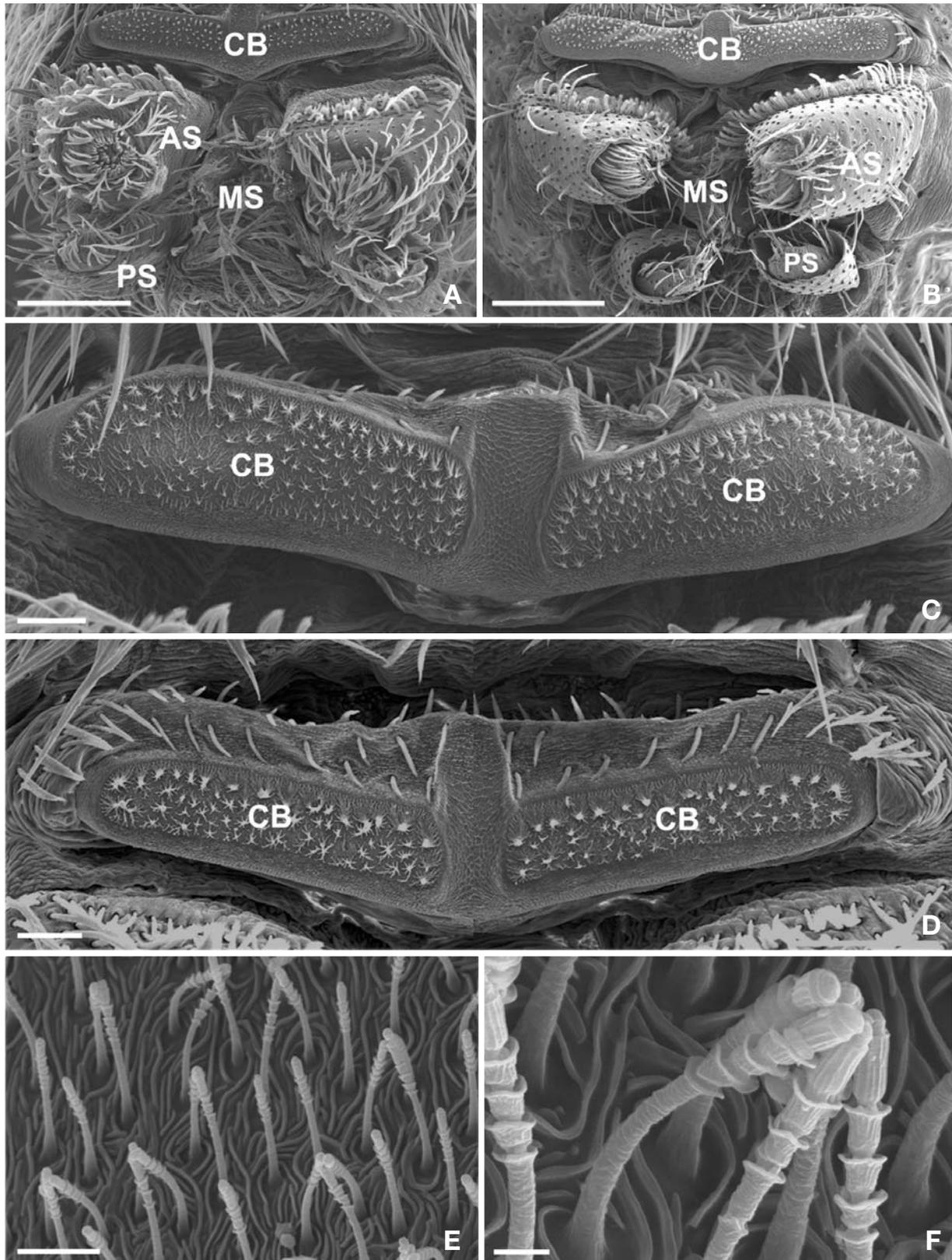


Fig. 1. Scanning electron micrographs of the silk apparatus in *N. albofasciata*. A, B: The silk spinning apparatuses are composed of three pairs of spinnerets and a spinning plate termed the cribellum (CB). C-F: The surface of the cribellum is covered by hundreds of elongate spigots which producing numerous cribellate silk fibrils. AS: anterior spinneret, MS: middle spinneret, PS: posterior spinneret. Scale bars indicate 100 μm (A, B), 50 μm (C, D), 5 μm (E) and 1 μm (F), respectively.

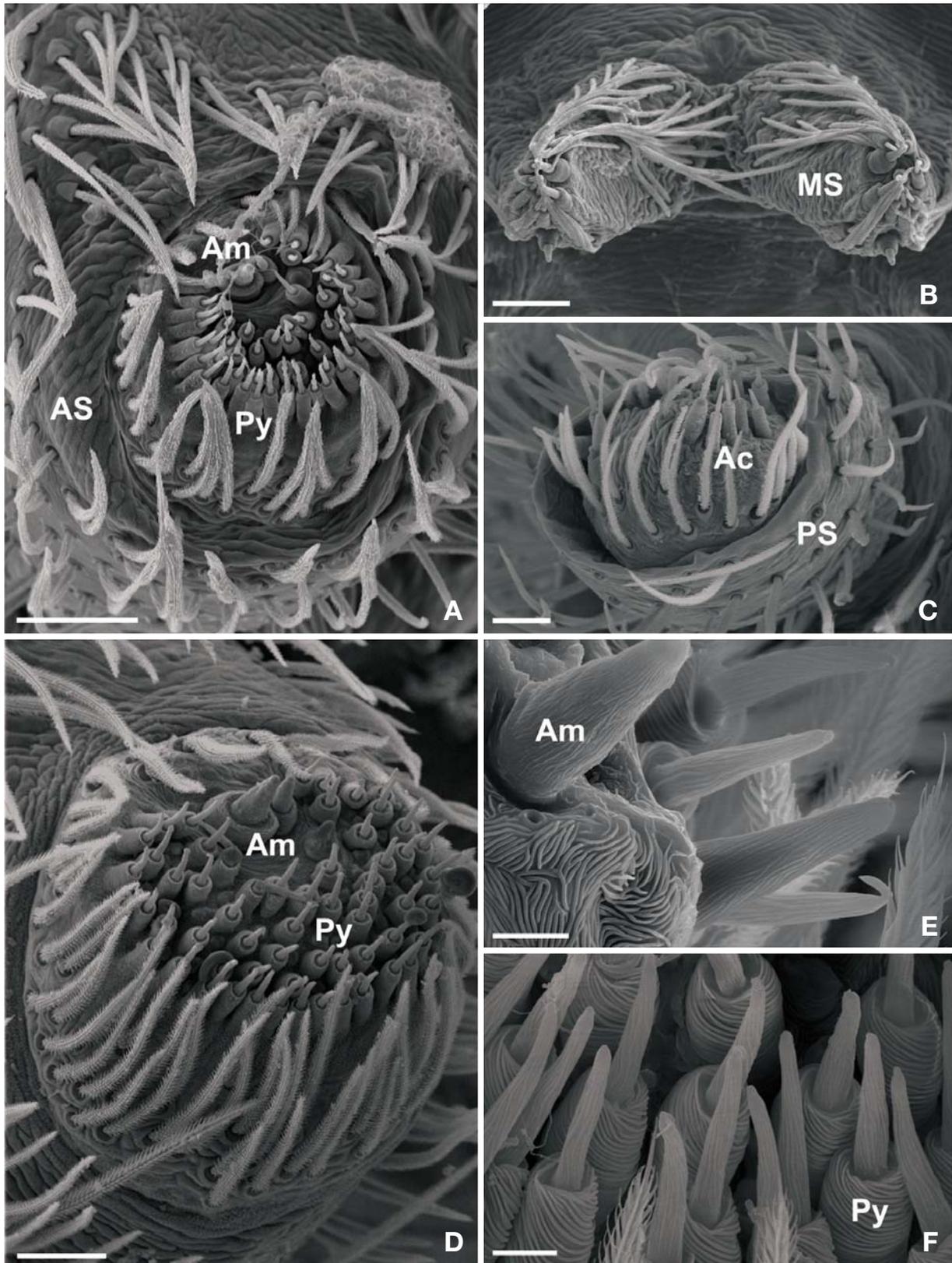


Fig. 2. Scanning electron micrographs of the spinneret in *N. albofasciata*. A-C: The anterior spinnerets (AS) comprise a pair of ampullate spigots (Am) and numerous pairs of pyriform spools (Py). Another 1~2 pairs of ampullate spigots and several pairs of aciniform spools (Ac) are connected on the middle spinnerets (MS). In addition, posterior spinnerets (PS) comprise only the spools of aciniforms. E-F: Distal surfaces of the anterior spinnerets. Scale bars indicate 50 μm (A, B), 25 μm (C, D) and 5 μm (E, F), respectively.

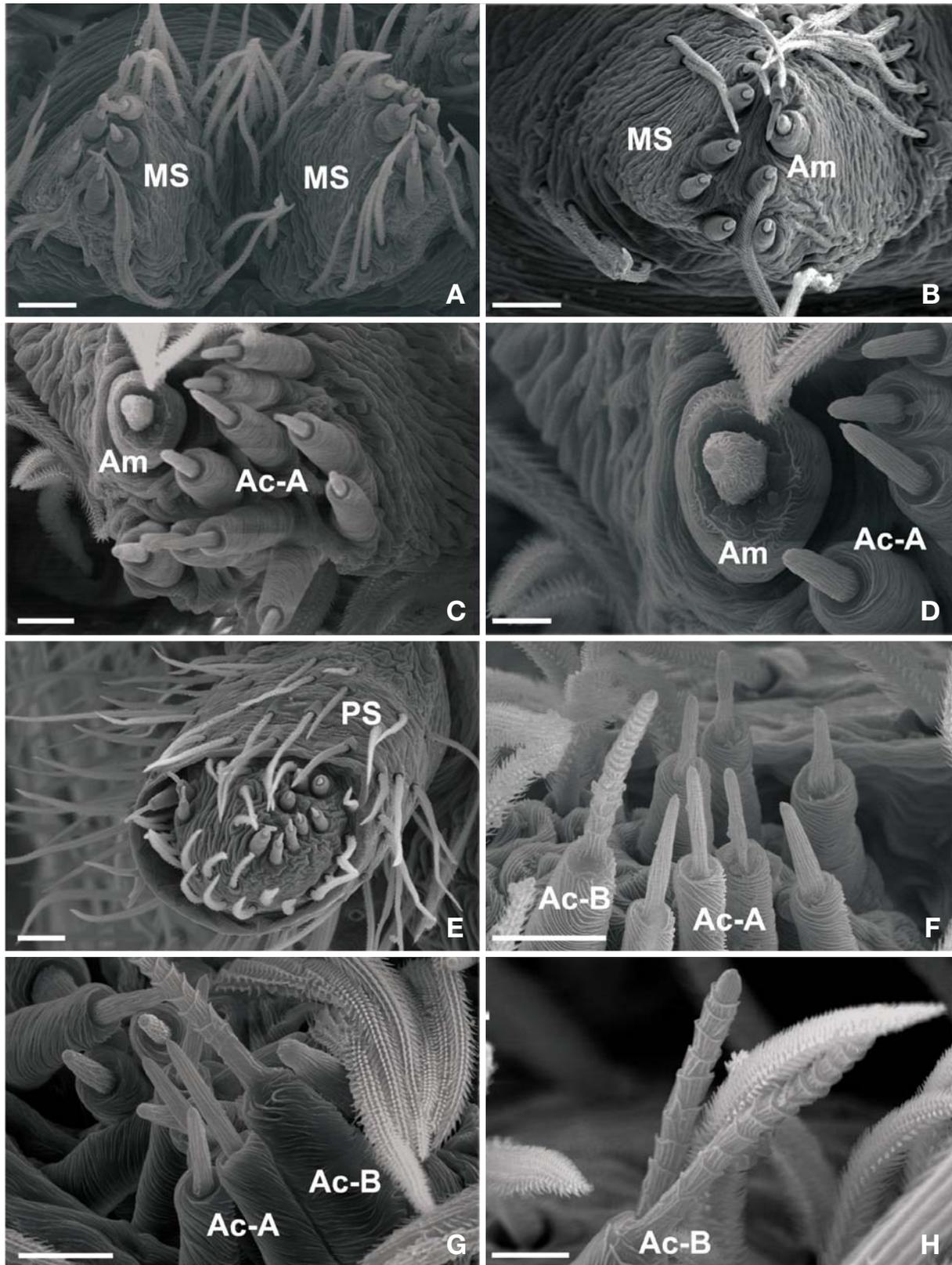


Fig. 3. Scanning electron micrographs of the of middle and posterior spinnerets in *N. albofasciata*. A-D: Middle spinneret (MS) are single-segmented, and have two types of spigots-ampullates (Am) and type A aciniforms (Ac-A). E-H: The posterior spinnerets (PS) have two subtypes of aciniform spigots on their spinning surfaces. Spigot of the type B aciniform gland (Ac-B) comprises cylindrical base segment and a long terminal segment with multi-knots. Scale bars indicate 50 μm (E), 25 μm (A, B), 10 μm (C, F, G) and 5 μm (D, H), respectively.

수백가닥의 미세한 복슬털은 점성이 없는 건조한 실이지만, 토양의 표면을 따라 도포되어 피식자인 보행성 곤충의 원활한 보행을 방해하는 포획사로 활용될 수 있는 구조임이 관찰되었다(Fig. 1C, D).

체판의 토사관을 고배율의 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 미세한 털 모양의 토사관들은 길이가 약 10 μm 이고, 평균적으로 5개의 마디로 이루어진 특이한 큐티클 구조를 형성하고 있었다. 즉, 체판의 표면과 연결된 긴 기저마디의 말단에 3개의 짧은 마디와 끝이 뭉툭한 노즐 마디가 연결된 구조를 가지고 있었다. 따라서 체판에 형성된 작은 토사관들은 말단부의 분절 구조로 인해 토사관의 굴절이 자유롭고 유연한 구조임을 확인할 수 있었으며, 실크를 뽑아내는 토사공은 말단마디의 끝 부분에서 관찰되었다(Fig. 1E, F).

살갓자갈거미 암수 성체의 방적돌기에 형성된 토사관은 기본적으로 병상선, 이상선, 포도상선 등 3종류가 관찰되었다. 거미의 토사관은 일반적으로 그 상대적인 크기에 따라 대토사관(spigot)과 소토사관(spool)으로 구분되는데, 이 기준에 따르면, 병상선은 대토사관을 통해, 그리고 이상선과 포도상선은 소토사관을 통해 연결되어 있음을 확인하였다. 각 방적돌기의 표면에 형성된 토사관의 종류를 확인한 결과, 병상선은 전방적돌기와 중방적돌기에서 관찰되는 반면, 이상선은 전방적돌기에서만, 그리고 포도상선은 중 및 후방적돌기에서만 관찰되었다(Fig. 2A-C).

전방적돌기에 형성된 병상선은 이 종류의 거미에서 가장 현저한 대형의 토사관을 가지고 있었는데, 전방적돌기에는 암수 모두 2개씩인 반면, 중방적돌기의 병상선은 상대적으로 소형이며, 개체에 따라 약간의 수적 변이를 나타내어 1~2개씩을 가진 경우가 대부분이었다. 이상선의 토사관은 병상선에 비해 작고 가늘지만, 개수가 많아 평균적으로 48~70(암컷), 58~76(수컷)개의 토사관이 관찰되었다. 병상선과 이상선의 토사관은 공통적으로 기저마디와 말단마디의 두 부분으로 이루어져 있어 말단마디의 유연성이 확보된 구조를 가지고 있었다(Fig. 2D-F).

단일 마디로 이루어진 중방적돌기는 다른 방적돌기에 비해 매우 작고, 토사관이 말단부에 집중되어 있었는데, 병상선과 포도상선의 토사관이 관찰되었다. 병상선의 대형 토사관을 중심으로 포도상선의 소형 토사관 7~11개가 방사상으로 분산되어 있었다. 포도상선의 토사관은 기본적으로 전방적돌기의 이상선과 유사한 형태를 지니고 있었으나, 상대적으로 크고 길며, 기저마디가 말단마디에 비해 신장되어 있다는 미세구조적 특성이 관찰되었다(Fig. 3A-D).

후방적돌기를 통해 연결된 토사관은 기본적으로 포도상선의 토사관으로만 이루어져 있었지만, 그 미세구조적 특성에 따라 중방적돌기에서 관찰되었던 것과 동일한 A형 포도상선과 말단마디의 구조가 특이한 B형 포도상선 등, 두 종류가 확인되었다. A형의 토사관은 개체별로 약간의 수적 변

이가 있지만, 보통 10~12(암컷), 7~10(수컷)개, 그리고 B형 토사관은 평균적으로 2~4개가 관찰되었다. 특히 B형 포도상선의 토사관은 말단마디가 길고, 표면에 8~10개 정도의 분절구조가 나타나며, 끝이 뭉툭한 노즐 마디가 존재하여 체판의 토사관에서 관찰되었던 특징과 매우 유사한 구조를 지니고 있음이 확인되었다(Fig. 3E-H).

고 찰

거미류의 실크 방적장치는 종류에 따라 매우 다양한 변이를 보이지만, 기능적 특수화가 일어나게 되면 기본적으로 방적돌기나 토사관의 수와 형태, 그리고 건사선의 해부학적 특징 등에서 정교한 변형이 초래되는 것으로 알려지고 있다(Shear, 1994; Foelix, 1996; Moon & Tillinghast, 2004). 따라서 거미류의 계통분류에는 실크 방적장치의 형태나 토사관의 구조적 및 수적 특성을 반영하는 것이 매우 일반적인 현상이므로 거미의 분류군에 따른 실크 방적장치의 변이에 대한 연구가 많이 시행되었다(Kovoor, 1987; Nentwig & Heimer, 1987; Peters & Kovoor, 1991; Moon & An, 2006; Moon, 2006, 2008; Moon & Park, 2008).

거미의 실크 분비체계를 기준으로 한 계통학적 분류법에 따르면, 새거미아목(Araneomorphae)의 거미들은 체판의 유무에 따라 체판류(cribellate group)와 무체판류(ecribellate group)로 구분된다. 체판류의 거미들은 체판(cribellum)이라고 불리는 특수한 방적판을 통해 분비되는 미세한 건사선들을 가지고 있다(Peters, 1987; Peters & Kovoor, 1991). 체판은 원시형의 거미류가 가지고 있던 방적돌기의 한 유형으로 표면에 수백 또는 수천개의 작은 토사관이 돌출되어 각각의 토사관으로부터 생성된 수백 가닥의 체판 미세사(fibril)를 한꺼번에 방사하는 특성을 지니고 있다(Nentwig & Heimer, 1987; Opell 1995, 1999). 그러나 먹이를 사냥하는 배회성거미류의 대부분과 둥근 그물을 치는 정주성거미류의 상당 부분에서 체판은 퇴화되었고, 일부에서는 흔적기관으로만 남아 있는 실정이다(Coddington & Levy, 1991).

자갈거미과의 살갓자갈거미(*N. albofasciata*)는 원시형의 체판이 잘 보존되어 있는 전형적인 체판류 거미로서(Lehtinen, 1967; Eberhard & Pereira, 1993), 방적돌기와 한 쌍의 체판을 동시에 가지고 있음이 확인되었다. 체판에 연결된 수백개의 토사관으로부터 생성된 미세한 거미줄은 한 가닥으로 뭉쳐진 다음, 다른 방적돌기로부터 분비된 좀더 굵은 거미줄과 함께 복슬털(wool) 구조를 지닌 포획사를 형성하게 되며, 이렇게 만들어진 거미줄은 피식자인 곤충의 다리에 있는 강모(setae)나 가시, 발톱 구조 등에 얽혀 이들의 보행을 방해하는 효과적인 포획사로서의 기능을 수행할 것으로 추정된다.

체판의 토사관으로부터 분비된 미세사들은 점성을 지닌 액체의 도움없이 딱정벌레의 큐티클과 같은 건조한 표면에 접착하는 특성을 지니고 있는데 (Opell, 1995, 1999), 기본적으로 두 가지 종류의 접착 기전이 알려져 있다. 먼저 표면에서 방사된 체판의 복슬털은 마치 고리 구조를 지닌 벨크로 접착포의 부드러운 표면처럼 곤충 다리에 있는 강모와 접착하게 되며, 또 한편으로는 반테르발스 인력 (Gorb et al., 2002) 등에 의해 곤충 체표의 큐티클과 접착을 형성하게 되는 것으로 알려져 있다 (Opell, 1999, 2002). 이런 특성으로 인해 체판에서 생성된 미세사가 강모가 많은 파리의 몸체보다는 매끄러운 구조를 지닌 딱정벌레의 몸통과 좀더 긴 밀하게 접착되었다는 연구결과가 보고된 바 있다 (Hawthorn & Opell, 2002).

이들 체판류의 거미들도 다른 무체판류의 거미들과 마찬가지로 3쌍의 방적돌기를 가지고 있는데, 여기서 분비된 거미줄의 용도나 기능은 여전히 명확하지 않다. 살갓자갈거미의 경우, 전방적돌기에는 암수 공통적으로 병상선과 이상선이, 중방적돌기에 병상선과 포도상선이, 그리고 후방적돌기에 포도상선이 연결되어 전체적으로 단지 3종류의 견사선만이 분포되어 있음이 확인되었다.

살갓자갈거미의 거미에서 관찰된 이러한 실크 방적장치의 체제는 일부 지엽적인 변이가 있긴 하지만, 기본적으로 배회성거미 종류인 깡충거미과 (Salticidae)의 거미 (Kovoor, 1987)나 늑대거미과 (Lycosidae)의 *Pardosa astrigera* (Moon, 1998), 게거미과의 *Misumenops tricuspidatus* (Moon & An, 2005)와 *Oxytate striatipes* (Moon & An, 2006), 그리고 스라소니거미과 (Oxyopidae)의 *Oxyopes licenti* (Moon, 2006) 등에서 보고된 실크 방적장치와 유사한 토사관의 패턴을 지니고 있음이 관찰된다. 체판류와 무체판류라는 계통분류학적 차이에도 불구하고 이들이 유사한 방적 패턴을 지니고 있다는 사실은 살갓자갈거미의 방적체계 진화의 방향이 체판류의 거미로부터 무체판류의 배회성거미로 이행됨 (Coddington & Levy, 1991)을 반증하는 것이라 사료된다.

한편, 진정거미류의 거미들은 병상선으로부터 생성되는 실크를 자신의 추락시 자신의 체중을 지탱하는 안전실이나, 포획사를 지탱하는 기반실로 이용함이 알려져 있다 (Coddington & Levi, 1991). 살갓자갈거미의 경우에도 다른 진정거미류에서 보도된 바와 동일하게 병상선의 토사관이 암수 모두에서 가장 발달된 대형의 토사관 (Tillinghast & Christenson, 1984; Tillinghast & Townley, 1987; Moon & Tillinghast, 2004; Moon & Park, 2008)임이 확인되었다. 체판류의 거미에서 병상선의 정확한 기능적 특이성이 규명되지는 않았지만, 대체적으로 무체판류의 병상선과 유사한 기능을 지닐 것으로 생각되는데, 살갓자갈거미의 경우에도 전 및 중방적돌기에 병상선이 독립적으로 분포되어 무체판류에서 알려진 대병상선과 소병상선의 체제 (Moon, 2006, 2008)와 동일

한 패턴을 이루고 있음이 관찰되었다.

왕거미과에서 서로 다른 방적돌기를 통해 분비되는 병상선의 경우, 단백질 조성상의 현저한 차이가 있었다는 보고 (Kovoor, 1972, 1987) 등으로 미루어 체판류인 살갓자갈거미에서 관찰된 두 종류의 병상선도 기능적 분화가 있을 것으로 추정되나 일부의 지엽적인 변이를 제외하면 토사관의 형태나 미세구조적 특성은 거의 동일한 것으로 관찰되어, 여기에 대해서는 보다 정밀한 생태적 관찰이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

무체판류인 왕거미속 (Mullen, 1969; Tillinghast & Townley, 1987)이나 무당왕거미속 (Tillinghast & Christenson, 1984), 그리고 대부분의 정주성 거미류 (Peters, 1987; Moon & Tillinghast, 2004; Moon & Kim, 2005)는 한 가지 종류의 포도상선을 지니는 것으로 알려져 있으나, 본 연구를 통해 관찰한 체판류의 살갓자갈거미에서는 특이하게도 두 종류의 포도상선이 확연히 구별되어 포도상선의 기능이 세부적으로 분화되었음을 추정할 수 있었다. 두 종류의 포도상선이 존재한다는 사실은 이미 Hersiliidae의 거미에서 보고된 바 있는데 (Kovoor, 1984), 검출된 실크 성분의 물질적 차이에 의해 A형과 B형으로 구분되었고, A형의 포도상선에서 생성된 실크 전구물질은 병상선과 유사한 특성을 지닌 반면, B형의 포도상선에서 생성된 분비물질은 관상선과 상당히 유사한 조직화학적 특성을 보인다는 사실이 보고된 바 있다 (Kovoor, 1972, 1984, 1987)

일반적으로 왕거미과를 위시한 정주성거미들은 성별에 따른 성적 다형현상 (sexual dimorphism)이 존재하는데, 통상적으로 알 그물을 만들기 위한 관상선이나 포획사를 만들기 위한 편상선과 수상선 등의 실크 분비선이 추가적으로 암컷의 체내에 형성되어 있는 경우가 대부분이다 (Peters, 1987; Moon & Kim, 2005). 그러나 체판류인 살갓자갈거미의 경우에는 암수에 따른 이런 다형현상이 관찰되지 않았는데, 이는 유독 체판류의 거미에서만 나타나는 현상이 아니라, 무체판류인 게거미과의 두 종 (Moon & An, 2005, 2006)이나 스라소니거미과 (Oxyopidae)의 거미 (Moon, 2006)에서도 관찰된 바 있는, 가장 간단한 체제의 실크 방적장치임을 확인할 수 있었다.

살갓자갈거미의 경우, 건조한 포획사를 만들기 위한 추가적인 장치가 체판이라는 분화된 구조를 통해 확보되었기 때문에, 점액성 포획사를 생성하는 편상선과 수상선의 구조는 분화되지 않았으며, 알 그물을 만들기 위한 관상선의 기능은 포도상선에 의해 기능적인 대체가 일어난 것으로 추정된다. 또한 포도상선이 A형과 B형으로 구분되어 형태적 분화가 확연히 일어난 점으로 미루어, 포도상선의 복합적인 기능 중에는 알그물을 만들기 위한 실크 생성기능도 포함된 것으로 생각되며, 여기에 대해서는 앞으로 좀더 정밀한 관찰이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- Coddington JA, Levi HW: Systematics and evolution of spiders (Araneae). *Ann Rev Ecol Syst* 22 : 565-592, 1991.
- Denny M: The physical properties of spider's silk and their role in the design of orb-webs. *J Exp Biol* 65 : 483-506, 1976.
- Eberhard WG, Pereira F: Ultrastructure of cribellate silk of nine species in eight families and possible taxonomic implications (Araneae: Amaurobiidae, Deinopidae, Desidae, Dictynidae, Filistatidae, Hypochilidae, Stiphidiidae, Tenggellidae). *J Arachnol* 21 : 161-174, 1993.
- Foelix RF: *Biology of Spiders* (2nd ed). Oxford University Press, London, 1996.
- Gorb SN, Beutel RG, Gorb EV, Jiao Y, Kastner V, Niederegger S, Popv VL, Schwars U, Votsch W: Structural design biomechanics of friction-based releasable attachment devices in insects. *Int Comp Biol* 42 : 1127-1139, 2002.
- Griswold CW, Coddington JA, Platnick NI, Forster RR: Towards a phylogeny of entelegyne spiders (Araneae, Araneomorphae, Entelegynae). *J Arachnol* 27 : 53-63, 1999.
- Groome JR, Townley MA, de Tschaschell M, Tillinghast EK: Detection and isolation of proctolin-like immunoreactivity in Arachnids: Possible cardioregulatory role for proctolin in the orb-weaving spiders *Argiope* and *Araneus*. *J Insect Physiol* 37 : 9-19, 1991.
- Hawthorn AC, Opell BD: Evolution of adhesive mechanisms in cribellar spider prey capture thread: evidence for van der Waals and hygroscopic forces. *Biol J Linnean Soc* 77 : 1-8, 2002.
- Kovoor J: Etude histochimique et cytologique des glandes sericigenes de quelques Argiopidae. *Ann Sci Nat Zool Biol Anim* 14 : 1-40, 1972.
- Kovoor J: Anatomie, histologie et affinites de l'appareil sericigene des Hersilia Sav. & Aud. (Araneae, Hersiliidae). *Can J Zool* 62 : 97-106, 1984.
- Kovoor J: Comparative structure and histochemistry of silk-producing organs in Arachnids. In: Nentwig W, ed, *Ecophysiology of Spiders*, pp. 159-186, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- Lehtinen PT: Classification of the cribellate spiders and some allied families, with notes on the evolution of the suborder Araneomorpha. *Ann Zool Fennici* 4 : 199-468, 1967.
- Moon MJ: Fine structural analysis of the silk producing apparatus in wolf spider, *Pardosa astrigera* (Araneae: Lycosidae). *Kor J Entomol* 28 : 201-211, 1998.
- Moon MJ: Microstructure of the silk spinning nozzles in the lynx spider, *Oxyopes licenti* (Araneae: Oxyopidae). *Integrative Biosciences* 10 : 85-91, 2006.
- Moon MJ, An JS: Spinneret microstructure of silk spinning apparatus in the crab spider, *Misumenops tricuspidatus* (Araneae: Thomisidae). *Entomol Res* 35 : 67-74, 2005.
- Moon MJ, An JS: Microstructure of silk spigot of the green crab spider, *Oxytate striatipes* (Araneae: Thomisidae). *Entomol Res* 36 : 133-138, 2006.
- Moon MJ, Kim TH: Microstructural analysis of the capture thread spinning apparatus in orb web spiders. *Entomol Res* 35 : 133-140, 2005.
- Moon MJ, Park JG: Spinning apparatus for the dragline silk in the funnel-web spider *Agelena limbata* (Araneae: Agelenidae). *Animal Cells & Systems* 12 : 109-116, 2008.
- Moon MJ, Tillinghast EK: Silk production after mechanical pulling stimulation in the ampullate silk glands of the barn spider, *Araneus cavaticus*. *Entomol Res* 34 : 123-130, 2004.
- Mullen GR: Morphology and histology of the silk glands in *Araneus sericatus* Cl. *Trans Am Microsc Soc* 88 : 232-240, 1969.
- Namkung J: *The Species of Korean Spiders*. Kyohak Publ Co Ltd, Seoul, 2001.
- Nentwig W, Heimer S: Ecological aspects of spider webs. In: Nentwig W, ed, *Ecophysiology of Spiders*, pp. 211-225, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- Opell BD: Ontogenetic changes in cribellum spigot number and cribellar prey capture thread stickiness in the spider family Uloboridae. *J Morphol* 224 : 47-565, 1995.
- Opell BD: Changes in spinning anatomy and thread stickiness associated with the origin of orb-weaving spiders. *Biol J Linnean Soc* 68 : 593-612, 1999.
- Opell BD: How spider anatomy and thread configuration shape the stickiness of cribellar prey capture threads. *J Arachnol* 30 : 10-19, 2002.
- Peters HM: Fine structure and function of capture threads. In: Nentwig W, ed, *Ecophysiology of Spiders*, pp. 187-202, Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- Peters HM, Kovoor J: The silk-producing system of *Linyphia triangularis* (Araneae: Linyphiidae) and some comparisons with Araneidae: Structure, histochemistry and function. *Zoomorphology* 111 : 1-17, 1991.
- Shear WA: Untangling the evolution of the web. *Amer Sci* 82 : 256-266, 1994.
- Tillinghast EK, Christenson T: Observations on the chemical composition of the web of *Nephila clavipes* (Araneae: Araneidae). *J Arachnol* 12 : 69-74, 1984.
- Tillinghast EK, Townley MA: Chemistry, physical properties, and synthesis of Araneidae orb webs. In: Nentwig W, ed, *Ecophysiology of Spiders*, pp. 203-210, Springer-Verlag, Berlin, 1987.

< 국문초록 >

체판이 있는 자갈거미과 (Titanoeidae)의 거미를 실험재료로 체판류가 지닌 방적장치와 토사관의 미세구조적 특성을 고배율의 주사전자현미경 (FESEM)으로 관찰하였다. 살갓자갈거미 (*Nurscia albofasciata*)의 실크 방적장치는 복부의 방적돌기 위쪽에 있는 체판과 3쌍의 방적돌기로 이루어져 있었다. 체판은 정중면을 중심으로 분리된 두 개의 타원형 구조로, 표면에는 유연한 구조를 지닌 큐티클성 토사관들이 조밀하게 분포되어 있었고, 체판에서

생성된 수백가닥의 미세한 복슬털은 피식자의 보행을 방해하는 포획사의 기능을 수행할 것으로 추정되었다. 한편 방적돌기에서는 병상선, 이상선, 포도상선 등 3종류의 실크 분비선이 모든 성별에서 관찰되었는데, 병상선은 전 및 후방적돌기를 통해 연결되어 있었고, 이상선은 전방적돌기를 통해, 그리고 포도상선은 중

및 후방적돌기의 표면을 통해 토사관이 형성되어 있었으며, 성별에 따른 토사관의 다형현상은 확인되지 않았다. 특징적으로 이 종류의 거미에서는 두 종류의 포도상선이 관찰되었는데, 이 중에서 B형 포도상선은 후방적돌기에서만 관찰되었고, 체관의 토사관과 유사한 미세구조적 특성을 지니고 있음이 확인되었다.