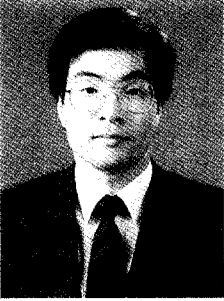


동·물·학·논·단

거미 견사(silk) 분비체계와 견사물질의 체내 생성과정



문 명 진

1978~1982 고려대학교 이과대학 생물학과 (이학사)
 1982~1984 고려대학교 대학원 생물학과 (이학석사)
 1985~1988 고려대학교 대학원 생물학과 (이학박사)
 1990~1994 단국대학교 자연과학대학 생물학과 조교수
 1994~1995 미국 Univ. of New Hampshire (Post-Doc.)
 1994~현재 단국대학교 자연과학대학 생물과학부 부교수

1. 거미 견사의 생화학적 특성

자연계에서 견사(silk)를 생성하여 분비하는 동물로서 대표적인 종류는 절족동물문(phylum Arthropoda)의 곤충강(class Insecta), 다족강(class Myriapoda), 거미강(class Arachnida)의 3강이며, 거미강에서는 mites, pseudoscorpions, spiders의 3목이 여기에 속한다. 이 중에서 거미는 체내에 특수하게 분화된 견사선(silk gland)을 가지고 있으며, 여기서 분비된 미세한 섬유를 사용하여 threads, ribbon, sheets, webs, cocoons 등을 만드는 것으로 알려져 있다(Peter, 1987; Tillinghast and Townley, 1987).

거미(spider)라고 하면 누구나 거미줄(견사, silk)을 연상하게 될만큼 실은 거미의 생활과 깊은 관련을 가지고 있으며, 거미로부터 분비되는 실은 같은 굵기의 강철선은 물론, 지금까지 인간에 의해 개발된 섬유중 가장 강력한 것으로 평가되고 있는 Kevlar 섬유의 강인성을 능가하는 것으로 알려지고 있다. 더욱 놀라운 것은 이

러한 실이 거미의 체내 분비물로부터 생성되고, 그것도 액체상태의 분비물이 분비관을 통과하여 체외로 방출되는 순간에 중합반응(polymerization)에 의하여 고체상태의 질긴 실로 변형된다는 사실이다(Peakall, 1966, '69). 이러한 견사의 생성 방식은 본질적으로 상용섬유의 생산과정과 동일하므로, 견사의 성분을 규명하고, 궁극적으로 이를 산업적 생산에 응용하려는 연구가 현재까지 활발히 진행되고 있다.

거미 견사물질의 성분은 주로 둥근 그물을 치는 왕거미속(genus *Araneus*)이나 무당왕거미속(genus *Nephila*)을 대상으로 그물 전체나 방적 돌기로 부터 실을 추출하는 방법으로 시행되었다. 견사의 수용성 성분은 potassium dihydrogen phosphate, potassium nitrate, γ -amino butyramide, taurine-related compounds 등의 물질과 종에 따라 몇 종의 amine을 함유하고 있으며(Anderson and Tillinghast, 1980), 주로 점착력을 가진 방울의 형태로 생성되어 동심원장의 adhesive spiral에 분포하는 것으로 알려져 있다(Kavanagh and Tillinghast, 1979; Tillinghast *et al.*, 1984). 이들은 모두 복강내의 樹狀腺에서부터 생성 분비되며, 점착력을 이용해 먹이를 捕獲하거나, 水分을 흡수하여 점착성을 지속시키는 기능외에도 세균의 번식을 억제시키는 기능도 가지는 것으로 보고되어 있다(Kovoor, 1987).

한편, 불수용성 성분은 fibroin, elastomers, adhesives, junctional cements 등으로 이루어져 있고, 이들은 방사사(radial fiber)나, 동심원상의 hub spiral, adhesive spiral, 그리고 dragline 등에 광범위하게 분포하여 주로 그물의 물리적인 지지작용을 수행하는 것으로 알려져 있다(Anderson and Tillinghast, 1980; Tillinghast *et al.*, 1984). 종에 따라서 약간씩의 차이는 있지만 전체 polypeptide중 glycine과 alanine

의 함량이 55%~69%를 차지하고 있는데, (Andersen, 1970; Tillinghast and Christenson, 1984), side chain이 작은 이 아미노산에 의해 형성되는 antiparalled-pleated sheets 구조에 의해 silk fibroin이 결정구조를 가지게 되어, 견사가 탄력성과 강인성을 지니게 된다고 하였다 (Denny, 1976; Work, 1984).

또한 거미의 견사는 이중 굴절성을 가지고 있기 때문에, 태양광을 산란시켜 곤충을 교란시킴으로써 곤충이 거미줄을 인식하지 못하게 하고, 태양의 위치를 토대로 방향을 파악하는 곤충류를 교란시켜 오히려 거미줄을 향해 날아들게 하는 유인효과도 가지고 있음이 알려지고 있다 (Denny, 1976; Work, 1984; Work and Morosoff, 1982).

2. 거미 견사 분비체계의 구성

거미는 복강 아래쪽의 거의 대부분을 차지하고 있는 대형의 분비선인 견사선으로부터 미세한 섬유가 생성 분비되는데, 현재까지 확인된 견사선의 종류는 대략 8가지 종류이며, 그 형태에 따라서 葡萄狀腺 (acini-form gland), 梨狀腺 (pyriform gland), 瓶狀腺 (ampullate gland), 管狀腺 (tubuliform gland), 樹狀腺 (aggregate gland), 鞭狀腺 (flagelliform gland), 葉狀腺 (lobed gland), 篩板腺 (cribellate gland)과 같은 명칭이 사용되고 있다. 그러나 한 개체의 거미가 모든 종류를 가지고 있는 것은 아니고 거미의 종류에 따라, 그리고 암수나 발생의 정도에 따라서 견사선의 종류나 갯수 등이 달리 나타나며, 각 선에서 나오는 실들도 서로 다른 용도에 사용되는 것으로 알려져 있다 (Tillinghast and Townley, 1987).

견사선 내에 액체상태로 저장되어 있는 견사물질은 복부 미측단에 돌출된 3쌍의 방적돌기 (spinneret)를 거치면서 고체상태의 실로 변형되어 나오지만, 실제로는 거미의 실이 방적돌기 자체에서 나오는 것이 아니라 방적돌기 표면에 돌출된 여러 토사관 (spinning tube)을 통해서 분비되고 있다. 방적돌기는 복부의 미측단에 돌출된 손가락 모양의 돌기로서, 보통 3쌍을 가지

고 있지만, 1쌍, 2쌍 또는 4쌍을 가지는 종류도 있으며, 종에 따라서는 사판 (篩板: cribellum)을 추가로 가지고 있는 것도 있다. 3쌍의 방적돌기에 대한 부분명칭은 두부에 가까운 것부터 상 (upper), 중 (middle), 하 (lower) 방적돌기 등으로 불리워진 바 있으나, 많은 종들이 거미줄에 거꾸로 매달린 채 생활하는 경우가 많으므로 현재는 전 (anterior), 중 (middle), 후 (posterior) 방적돌기로 불리우고 있다 (Kovoor, 1987).

보통 방적돌기 표면에는 수백개의 토사관들이 있으며, 토사관의 종류와 수는 종이나 성별, 그리고 탈피의 횟수 등에 따라서 달리 나타나기 때문에 오래전부터 종을 분류하는 특징적 구조로 여겨왔다. Apstein (1889)은 거미의 토사관을 크기에 따라서 대토사관 (spigot)과 소토관 (spool)으로 구분하고, 전체 토사관의 종류를 a (포도상선), b (이상선), c (병상선), d (관상선), e (수상선)의 5가지 유형으로 분류하였으며, Hoffmann (1935)은 A에서, F까지의 6가지 유형으로 나누었는데, Sekiguchi (1952)에 의해 편상선이 보고된 이후, 6종류의 견사선과 토사관의 관계가 A (수상선), B (편상선), C (병상선), D (관상선), E (이상선), F (포도상선)와 같이 확정되었다.

3. 견사물질의 세포화학적 조성

거미의 견사선에 관한 세포화학적 연구는 Andersen (1970)이 왕거미과의 일종인 *Araneus diadematus*에서 추출한 각 견사선의 분비물을 분석하여 한 종으로부터 생성되는 견사물질의 다양성을 보고한 이후, 현재 새실젖거미아목 (suborder Arachnomorphae)에 속하는 90여과 중에서 약 20과를 대상으로 병상선, 관상선, 이상선, 포도상선, 수상선 및 편상선, 그리고 사판선등에 대한 조직화학적 특성이 보고되었으며 (Kovoor and Zylberberg, 1979; Peter and Kovoor, 1980; Kovoor and Lopez, 1982; Kovoor, 1984, '86, '87), 원실젖거미아목 (suborder Mygalomorphae)에 대한 연구도 일부 보고된 바 있다 (Palmer *et al.*, 1982; Palmer, 1985). 현재까지 알려진 가장 간단한 견사선의 체계는 원실

젓거미아목의 *Antrodiaetus*속으로서, 일생을 굴속에서 보내는 이 종류는 두 쌍의 방적돌기와 한 종류의 견사선만으로 이루어져 있고, 각 견사선의 근위부와 원위부에서는 서로 다른 단백질이 생성되는 것으로 보고되어 있다(Palmer *et al.*, 1982).

새싹젓거미아목에 속하는 거미의 견사선은 그 종류가 종에 따라서 매우 다양하지만, 거의 모든 종에서 존재하는 종류는 병상선, 이상선, 포도상선의 세종류인 것으로 알려져 있다(Kovoor, 1987). 특히 견사선의 기능이 가장 분화되어 있는 왕거미과의 거미들은 포획사(capture thread)를 만드는 수상선과 편상선을 추가로 가지고 있으며(Sekiguchi, 1952; Peter, 1984, '87), 암컷의 경우 egg case나 cocoon 등을 만들기 위한 세 쌍의 관상선이 난소의 성숙과 보조를 맞추어 존재하는 것으로 보고되고 있다(Moon and Kim, 1989c). 이들 외에도 소방적돌기를 통해 분비되는 수십쌍에서 수백쌍의 이상선과 포도상선, 그리고 사판류의 경우 사판선 등이 알려져 있다.

거미의 각 견사선은 선분비부와 분비관으로 이루어져 있으나, 대, 소병상선과 편상선의 세 종류는 선분비부와 분비관 사이에 분비물의 저장부인 팽대된 분비낭이 형성되어 있는데, 견사선의 종류에 따라서 형태나 그 조직화학적 특성이 상이한 것으로 보고되었다. 조직화학적 분석에 의하면 일반적으로 분비낭의 근위부쪽에 함유된 물질은 강한 호산성을 나타내며, tyrosine이나 reducing group, 또는 sulfhydryl group을 가진 단백질을 다량 함유하고 있는 반면, 원위부쪽에서는 약한 호산성 물질이나 호염기성 물질 등 다양한 성분이 함유되어 있고, 이물질은 견사섬유의 바깥층을 형성하여 섬유를 보호하거나, 섬유의 수분함량을 조절하는 것으로 추측되고 있다(Kovoor, 1984, '86, '87).

납거미과나 Filistatidae과에서는 분비낭의 두 부분이 모두 단백질과 산성 점액다당류의 생성에 관여하는 것으로 알려져 있으며, 왕거미과의 *Cyrtophora*속, *Cyclosa*속, *Gasteracantha*속 등과 병상선이 한 쌍뿐인 *Dysdera*속과 *Diguetia*속에서는 세포화학적 특성이 다른 세 부분의 분비구

역이 존재하며, 종에 따라 한 종류에서부터 세 종류의 단백질이 검출되었다는 보고도 있다(Kovoor and Lopez, 1982; Kovoor, 1987).

4. 견사선의 종류와 각 견사의 특성

거미의 각 견사선은 분비관과 분비부로 이루어져 있으나, 병상선과 편상선에서는 분비부와 분비관 사이에 분비물의 저장부인 팽대된 분비낭(sac)이 형성되어 있는데, 병상선의 견사물질은 길게 꼬여있는 말단의 분비부에서 90% 이상이 합성되지만, 저장장소로 알려진 분비낭에서도 일부의 합성이 일어나는 것으로 보고되어 있다(Bell and Peakall, 1969). 그러나 분비낭의 전체부분에서 동일한 양이 합성되는 것이 아니고, 분비관에 연결되어 있는 원위부와 분비부에 연결되어 있는 근위부가 서로 다른 분비세포로 이루어져 있고, 각 부위에서 합성되는 단백질의 성분도 상이한 것으로 알려져 있다(Kovoor and Lopez, 1982; Work, 1984; Kovoor, 1986, '87).

왕거미과에 속하는 거의 모든 종은 두 쌍의 병상선을 가지고 있어서 그 크기나 형태에 따라 대(large or major) 및 소(small or minor) 병상선으로 불리우고 있는데, 여기서 만들어진 실은 방사실이나 안전실 또는 발판실 등을 짜는데 사용되며, 종에 따라서 그 수와 형태가 매우 다양한 것으로 알려져 있다(Kovoor, 1987). 일부의 보고에 의하면 병상선에서 분비되는 물질의 성분이 동일개체의 대, 소병상선에서는 물론이고, 타 종간에서도 모두 동일하다고 하였으나(Kovoor, 1984), 무당거미의 경우 대병상선은 전방적돌기를 통해, 그리고 소병상선은 중방적돌기를 통해 개구되어 있었고, 함유된 견사의 성분이나 조직화학적 성질도 일치하지 않는 것으로 밝혀져(Moon *et al.*, 1988a, '88b; Moon and Kim, 1989b), 두 종류의 병상선이 서로 다른 용도에 사용될 것으로 생각되나, 이에 관해서는 좀더 세밀한 물질분석과 생태적 관찰이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

관상선은 암컷에서만 확인되며(Sekiguchi, 1952), 여기서부터 만들어지는 실은 산란된 알

을 보호하기 위한 알그물로서 사용되는 동시에, 갓 부화된 어린 거미들이 일시적으로 생활하기 위한 구조물로도 사용되는데, 난소내에서 난황형성과정(vitellogenesis)이 시작되는 시기를 전후하여 그 기능이 시작되는 것으로 알려져 있다(Kovoor, 1987). 관상선도 다른 견사선과 마찬가지로 거미의 종류에 따라서 그 갯수나 형태에 변이가 많은 것으로 알려져 있는데, 보통 왕거미과(Araneidae), 잎거미과(Dictynidae), 게거미과(Thomisidae), 수리거미과(Gnaphosidae) 등에는 3쌍이 형성되어 있고, 가계거미과(Agelenidae)와 비탈거미과(Amaurobiidae)는 4쌍, 늑대거미과(Lycosidae), 농발거미과(Heteropodidae), 너구리거미과(Ctenidae), 납거미과(Uroctidae), 정선거미과(Zoroposidae), 주홍거미과(Eresidae) 응달거미과(Uloboridae) 등에서는 12쌍 이상이 존재하는 반면, 알집을 만들지 않는 가죽거미과(Scytodidae), 돼지거미과(Dysderidae), 윙거미과(Pholcidae), 깡충거미과(Salticidae), 공주거미과(Segestriidae), 염낭거미과(Clubionidae) 등에서는 체내에 관상선이 전혀 없는 것으로 보고되었다(Kovoor and Zylberberg, 1979; Kovoor and Lopez, 1982; Kovoor, 1984, '86, '87).

새싹거미아목에 속하는 거미들은 먹이를 잡기 위해 점착력이 강한 실을 생성분비하는데, 이를 포획사(capture thread)라고 하며, 거미의 종류와 그 구성 성분에 따라서 gluey capture thread와 cribellar capture thread의 두 종류로 구분된다(Peter, 1987). 전자는 둥근 그물을 치는 왕거미 종류에서만 관찰되며, 두 가닥의 축사를 따라 점착성을 가진 방울들이 규칙적으로 배열된 형태의 포획사로서 수상선과 편상선의 복합적인 구조로부터 생성되고(Tillinghast and Townley, 1987), 후자는 사판류의 사판선으로부터 분비되는 미세한 섬유상의 포획사로서 사판선 내부에 함유된 분비물질은 점액과 비슷한 조직화학적 성질을 가지고 있음이 알려져 있다(Peter, 1984, '87).

둥근그물을 치는 왕거미 종류의 수상선과 편상선의 토사관은 "triad"라고 불리우는(Kovoor and Lopez, 1982), 특이한 형태로 배열되어 있

는데, 편상선과 수상선에 의해 형성된 이런 복합구조의 기능은 Sekiguchi(1952)에 의해 *Ara-neus*속과 *Nephila*속에서 처음 밝혀졌으며, 거의 비슷한 시기에 *Nephila*속에서 보고되었다(Peter, 1987). 무당거미의 경우도 자성 개체의 경우 두 개의 triad를 가지고 있음이 밝혀진 바 있으며(Moon and Kim, 1989b, '90), 현재는 왕거미과의 거의 모든 속에서 관찰되고 있으나, 특히 하계도 *Cyrtophora*속에서는 이러한 구조가 결여되어 있음이 보고된 바 있다(Kovoor and Lopez, 1982; Peter, 1984; '87)

수상선은 발생과정중 작은 견사선들의 융합에 의해 형성되고, 수상선에 함유된 물질은 약산성의 당단백질로서 미세한 섬유성 액체인 glue의 형태로 방출되며(Kovoor and Zylberberg, 1979; Kovoor, 1987), 당단백질의 주요한 탄수화물 잔기는 N-acetyl galactosamine, 혹은 galactosamine인 것으로 알려져 있다(Peter, 1984, '87; Tillinghast and Townley, 1987).

편상선은 그 형태적인 유사성으로 인해 오랫동안 병상선의 한 종류로 잘못 인식된 경우가 많았다(Kovoor, 1987). 여기서 만들어지는 섬유에 수상선의 점착성 방울이 부착되어 포획사가 형성되는데(Moon and Kim, 1990), 편상선의 내강에 함유된 분비물이나 여기서부터 형성된 섬유는 탄력성 구조로 되어 있음이 보고되어 있다(Peter, 1987). 접시거미과나 꼬마거미과의 편상선은 왕거미과의 것에 비해 그 크기가 매우 작고, 주로 amino-terminal group이 풍부한 단백질 함유하고 있는 반면에, 왕거미과에서는 tyrosine이나 reducing group, 또는 carboxyl group이 풍부한 단백질을 분비하는 것으로 알려져 있으며, 모든 종에 공통적으로 산성 당단백질이 다량 함유되어 있음이 보고되었다(Kovoor, 1987; Tillinghast and Townley, 1987).

이상선은 대병상선과 함께 전방적돌기를 통해 개구된 소형 견사선으로서, 점착력이 강한 실을 분비하여 실과 실을 연결시키거나, 실을 다른 물체에 부착시키는 기능을 가지고 있다. 이상선이란 용어는 서양의 배(pear) 모양 즉, 중간이 잘록한 표주박형으로 되어 있는 선분비부의 형태에서 따온 것이지만, 이러한 형태가 일반적인

것은 아니며, 왕거미과 (Araneidae)나 납거미과 (Urocteidae), 그리고 수리거미과 (Gnaphosidae) 등에서는 선의 일부가 신장된 형태를 하고 있음이 보고된 바 있다 (Kovoor, 1987). 깡충거미과 (Salticidae)와 공주거미과 (Segestriidae)의 일부에서 선상피세포가 서로 다른 두 부분의 분비구역으로 이루어져 있음이 보고되었고, 납거미과 (Urocteidae), *Uroctea*속의 이상선에서는 전체가 한 종류의 분비세포로 이루어져 있으나, 여기서부터 산성 당단백질을 비롯한 두 종류의 단백질이 생성되었으며, 티끌거미과 (Oecobiidae)의 *Oecobius*속에서는 조직화학적으로 상이한 세 부분의 분비구역이 구분되었다는 보고도 있다 (Kovoor, 1987).

포도상선의 분비부는 사관류나 무사관류를 막론하고 거의 모든 종류의 거미에서 근위부와 원위부의 두 분비구역으로 구분되고 있으나, 세 부분 (Hersilia) 또는 네 부분 (Hypochilus, Dysdera)으로 구분되는 예도 일부 보고되어 있다. 왕거미과, Hersiliidae, 응달거미과 등의 몇몇 종에서는 포도상선이 A형과 B형의 두 종류로 이루어져 있는데, A형의 포도상선은 선상피세포층이 얇고 몇 개의 tyrosine을 함유한 호산성단백질을 분비해 내는데 반해, B형 포도상선은 세포의 수가 적고 대형인 선상피세포로 이루어져 있으며, amino terminal group을 함유한 단백질을 분비하는 것으로 알려져 있다 (Kovoor, 1984, '87).

5. 견사물질의 체내 생성경로

세포내에서 합성된 견사물질이 체외로 운반되는 분비관은 병상선과 편상선의 경우, 두 부분에서 굴곡된 후, 세겹으로 겹쳐진 매우 긴 구조로 되어 있고, 펼쳐진 분비관의 길이는 분비부에서부터 개구부인 방적돌기까지의 거리에 비해 적어도 세배 이상 신장되어 있는 것으로 알려져 있다. 이처럼 병상선과 편상선이 특히 긴 분비관을 가지고 있는 본질적인 이유에 대해서는 강하고 질긴 섬유를 생성하기 위한 장치라는 의견이 지배적인데 (Peakall, 1966, '69; Tillinghast and Townley, 1986, '87), 자신의 무게를 지탱

하거나, 포획되는 먹이의 가속도를 완충시키는 강하고 탄력성이 있는 실이 병상선과 편상선에서부터 만들어진다는 보고 (Moon *et al.*, 1988b; Moon and Kim, 1990)로 미루어 쉽게 짐작할 수 있다.

Bell과 Peakall (1969)도 병상선의 분비관이 단지 수송의 기능만을 수행하기 위한 장치로서는 너무 긴 구조로 되어 있음을 언급하고, 분비관 내에서는 액체상태의 견사 전구물질을 저장하는 기능과 액체상의 견사물질을 고체상의 섬유로 변형시키기 위한 분자구조의 재배열 기능이 있음을 시사하였다. 그리고 이러한 변형은 액체상태의 견사단백질이 가늘고 긴 분비관을 통과하는 과정에서 수분이 소실됨으로써 이루어지는데, 현재 변형이 일어나는 정확한 부위는 알려져 있지 않고, 분비관의 원위부가 연결되는 방적돌기의 기부와 토사관의 사이에서 일어날 것으로 추측되고 있는 바 (Wilson, 1962), 분비관의 원위부에 수분의 흡수와 관련된 구조인 subcuticle층이 발달되어 있고, 또한 이 부위의 상피세포가 전형적인 흡수세포의 특징을 가지고 있다는 점등으로 미루어 주된 변형과정은 분비관의 원위부에서 일어날 것으로 생각된다.

보고된 바에 의하면 선분비부 속에 액체상태로 함유된 단백질의 분자량은 약 30,000 dalton 정도이나, 분비관을 통과하여 고체상의 섬유로 변형된 단백질은 약 200,000~300,000 dalton 정도의 분자량을 가지게 되는데, 이러한 분자량 증가현상은 단백질 중합효소 (polymerase)에 의한 중합반응의 결과로서 일어나게 되며, 효소는 주로 분비관의 근위부에서 분비된다고 하였다 (Bell and Peakall, 1969).

한편, 견사선에서 견사 전구물질이 합성되는 과정에서 나타나는 특징을 보면, 거미 체중의 약 10%에 달하는 막대한 양의 단백질이 매일 합성되고 있으며, 합성에 소요되는 시간도 매우 짧아서 자극이 주어진 후 약 20분 이내에 단백질의 생성이 완료되는 것으로 보고되고 있다 (Peakall, 1965, '66). 그리고 견사선에서 액체상태로 합성된 단백질은 최종적으로 고체상태의 섬유물질로 변형되는데, 보고된 바에 의하면 액체상태의 단백질은 전형적인 α -나선구조를 가지

고 있지만, 고체상태로 변형된 섬유단백질은 β -병풍구조로 단백질 구조상의 변화가 일어난다는 점이다. 그러면 이러한 변형이 어떤과정을 거쳐서 일어나느냐 하는 점이 관심의 초점이 되는데, 현재까지 연구된 바에 의하면, 주된 원인은 수분이 소실됨으로써 변형이 일어나는 것으로 알려져 있다. 미세구조를 관찰한 결과에서도, 분비관 내벽에 수분의 흡수와 관련된 구조인 특수한 큐티클층(subcuticle)이 발달되어 있고, 주변의 상피세포도 전형적인 흡수세포로서의 특성을 가지고 있는 점이 확인되었다(Moon *et al.*, 1988b). 그리고 이외에도 중합반응을 일으키는 효소물질도 견사선에서 분비되는 것으로 알려져 있다.

Bell과 Peakall(1969)은 병상선의 경우 분비부를 이루는 선상피세포의 내부에 골지복합체가 없고 조면소포체(rough ER)만이 발달되어 있다는 사실을 관찰하고, 병상선의 견사물질은 조면소포체 내에서 이미 분비할 준비가 완료된 상태로 합성되며, 골지복합체를 통한 더 이상의 농축과정이 필요하지 않음을 시사하였고, 실제로 이러한 사실은 관찰된 거의 대부분의 견사선 종류에서 확인되었다(Moon and Kim, 1988a, '88b, '88c). 이러한 결과는 지금까지 세포내 분비과정의 일반적인 경로로 알려진, 조면소포체에서 골지체를 경유하는 분비방식에서 벗어나는, 거미의 견사 생성과정에서 관찰되는 가장 특이한 방식의 분비과정인 것으로 추정된다. 특히 견사 분비과립의 한계막이 조면소포체와 직접 연결되어 있다는 보고 등으로 미루어(Moon and Kim, 1989a, '90), 각 견사선에서 생성되는 견사물질은 모두 조면소포체로부터 기원하며, 세포내 분비과립의 한계막도 이들 세포소기관으로부터 형성되는 것으로 확인되고 있다.

참 고 문 헌

Andersen, S.O., 1970. Amino acidic composition of spider silks. *Comp. Biochem. Physiol.* 35:705-713.
 Anderson, C.M. and E.K. Tillinghast, 1980. GABA and taurine derivatives on the adhe-

sive spiral of the orb web of *Argiope* spiders, and their possible behavioural significance. *Physiol. Entomol.* 5:101-106.
 Apstein, C., 1889. Bau und Funktion der Spinnndrusen der Araneida. *Arch. Naturgesch.* 55:29-74.
 Bell, A.L. and D.B. Peakall, 1969. Changes in fine structure during silk protein production in the ampullate gland of the spider *Araneus sericatus*. *J. Cell Biol.* 42:284-295.
 Denny, M., 1976. The physical properties of spider's silk and their role in the design of orb-webs. *J. Exp. Biol.* 65:483-506.
 Hoffmann, W., 1935. Bau und Leistung des Spinnapparates einiger Netzspinnen. *Jena Z. Naturwiss.* 70:65-111.
 Kavanagh, E.J. and E.K. Tillinghast, 1979. Fibrous and adhesive components of the orb webs of *Araneus trifolium* and *Argiope trifasciata*. *J. Morphol.* 160:17-32.
 Kovoov, J., 1984. Anatomie, histologie et affinites de l'appareil sericigene des *Hersilia* Sav. & Aud.(Araneae, Hersiliidae). *Can. J. Zool.* 62:97-106.
 Kovoov, J., 1986. L'appareil sericigene dans les genres *Nephila* Leach et *Nephilengys* Koch: anatomie microscopique, histochemie affinites d'autres Araneidae. *Rev. Arachnol.* 7:15-34.
 Kovoov, J., 1987. Comparative structure and histochemistry of silk-producing organs in Arachnids. In: Nentwig, W.(ed) *Ecobiology of Spiders*. Springer-Verlag, Berlin, pp.159-186.
 Kovoov, J. and A. Lopez, 1982. Anatomie et histologie des glandes sericigenes des *Cyrtophora* (Araneae, Araneidae): affinites et correlations avec la structure et la composition de la toile. *Rev. Arachnol.* 4:1-21.
 Kovoov, J. and L. Zylberberg, 1979. Ultrastructure du canal des glandes agregees et flagelliformes d'*Araneus diadematus*. Clerck (Araneae, Araneidae). *Zoomorphology* 92:

- 217-239.
- Moon, M.J., S.B. Baek and W.K. Kim, 1988a. Study on the histochemical characteristics and protein patterns of the spider silk glands in *Nephila clavata* L. Koch. *Kor. Arachnol.* 4:127-136.
- Moon, M.J. and W.K. Kim, 1989a. Ultrastructure of the ampullate gland in the orb web spider, *Nephila clavata* L. Koch.(IV) Secretory position of the small ampullate gland. *Kor. J. Electr. Microsc.* 19:59-69.
- Moon, M.J. and W.K. Kim, 1989b. Fine structural study on the capture thread-producing organs in *Nephila clavata* L. Koch (Araneae:Araneidae). (I) Aggregate glands. *Kor. J. Zool.* 32:211-220.
- Moon, M.J. and W.K. Kim, 1989c. Ultrastructural study on the tubuliform glands in *Nephila clavata* L. Koch (Araneae: Araneidae). *Kor. Arachnol.* 5:43-55.
- Moon, M.J. and W.K. Kim, 1990. Fine structural study on the capture thread-producing organs in *Nephila clavata* L. Koch (Araneae:Araneidae). (II) Flagelliform glands. *Kor. J. Zool.* 33:354-364.
- Moon, M.J., C.S. Kim and W.K. Kim, 1988b. Ultrastructure of the ampullate gland in the orb web spider, *Nephila clavata* L. Koch. (I) Excretory duct of the large ampullate gland. *Kor. J. Electr. Microsc.* 18: 77-90.
- Palmer, J.M., 1985. The silk and silk production system of the funnel-web mygalomorph spider *Euagrus* (Araneae, Dipluridae). *J. Morphol.* 186:195-207.
- Palmer, J.M., F.A. Coyle and F.W. arrison, 1982. Structure and cytochemistry of silk glands of the mygalomorph spider *Antrodiaetus unicolor* (Araneae:Antrodiaetidae). *J. Morphol.*, 174:269-274.
- Peakall, D.B., 1966. Regulation of protein production in the silk glands of spiders. *Comp. Biochem. Physiol.* 19:253-258.
- Peakall, D.B., 1969. Synthesis of silk, mechanism and location. *Am. Zool.* 9:71-79.
- Peter, H.M. and J. Kovoov, 1980. Un complement a l'appareil sericigene des Uloboridae (Araneae): Le paracribellum et ses glandes. *Zoomorphology* 96:91-102.
- Peter, H.M., 1984. The spinning apparatus of Uloboridae in relation to the structure and construction of capture thread (Arachida: Araneidae). *Zoomorphology* 104:96-104.
- Peter, H.M., 1987. Fine structure and function of capture threads. *In: Nentwig, W.* (ed) *Ecobiology of Spiders*. Springer-Verlag, Berlin, pp.187-202.
- Sekiguchi, K., 1952. On a new spinning gland found in geometric spiders and its function. *Annot. Zool. Jpn.* 25:394-399.
- Tillinghast, E.K., S.F. Chase, and M.A. Townley, 1984. Water extraction by the major ampullate duct during silk formation in the spider, *Argiope aurantia* Lucas. *J. Insect Physiol.* 30:591-596.
- Tillinghast, E.K. and T. Christenson, 1984. Observations on the chemical composition of the web of *Nephila clavipes* (Araneae:Araneidae). *J. Arachnol.* 12:69-74.
- Tillinghast, E.K. and M. Townley, 1987. Chemistry, physical properties, and synthesis of Araneidae orb webs. *In: Nentwig, W.* (ed) *Ecobiology of Spiders*. Springer-Verlag, Berlin, pp.203-210.
- Wilson, R.S., 1962. The control of dragline spinning in the garden spider. *Q.J. Microsc. Sci.* 103:557-571.
- Work, R.W., 1984. Duality in major ampullate silk and precursive material from orb-web building spiders (Araneae). *Trans Am. Microsc. Soc.* 103:113-121.
- Work, R.W. and N. Morosoff, 1982. A physico-chemical study of the supercontraction of spider major ampullate silk fibers. *Text. Res. J.* 52:349-356.