

홍조 붉은실속 식물의 분류학적 재검토: 누은새붉은실과 가시새붉은실의 형태와 생식

김 명 숙*

(부산대학교 기초과학연구소)

Taxonomic Reassessment of the Genus *Polysiphonia* (Rhodomelaceae, Rhodophyta): Morphology and Reproduction of *Neosiphonia decumbens* and *N. harlandii*

Myung-Sook Kim*

Research Institute for Basic Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

Neosiphonia is separated from the traditionally well known genus *Polysiphonia* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) and 12 species includes in Korea. In this study, the vegetative and reproductive developments of two *Neosiphonia* species, *N. decumbens* (Segi) M.S. Kim et I.K. Lee and *N. harlandii* (Harvey) M.S. Kim et I.K. Lee, are reinvestigated. *N. decumbens* is diagnosed by following combination of the characters: plants 1-3 cm high, dwarf, decumbent, main axes indistinct, irregularly branched in dichotomous manner, and alternately or secondly ramified with wide angles above. *N. harlandii* is distinguished by the features: plants 4-8 cm high, usually solitary and saxicolous, erect, densely corticated at base of distinct main axes, rather irregularly alternate in branch, and with cicatrigenous branchlets developed numerously on every part of frond. The two species share typical characteristics of the genus *Neosiphonia*, such as a base attached by unicellular rhizoids, cut off by cross wall, pericentral cells in 4, trichoblasts moderately developed near the apex of branches, leaving persistent scar-cells, tetrasporangia arranged in a spiral series, procarps with 3-celled carpogonial branch, and spermatangial branches arising as a primary branch of trichoblast. Taxonomy of the two *Neosiphonia* in regard to *Polysiphonia* is discussed.

Key Words: morphology, *Neosiphonia*, *N. decumbens*, *N. harlandii*, *Polysiphonia*, reproduction, Rhodomelaceae, Rhodophyta, taxonomy

서 론

홍조 식물 붉은실속(*Polysiphonia*)은 Greville(1824)에 의하여 처음으로 제안되었으며, 그 당시에는 현재의 빨간검둥이과(Rhodomelaceae)에 속하는 모든 관절 식물들을 통칭하였다(Hollenberg 1942). 그러나 Falkenberg(1901)는 방사 대칭지(radially symmetrical branch)를 속의 식별 형질로 제한하여, 오늘 날의 붉은실속은 다음과 같은 식별 형질들을 갖는 종류로 한정되고 있다: (1) 최소한 유한 가지는 다관성이다; (2) 대부분의 가지들은 주심세포로 나뉘어지기

전에 아정단 세포의 사면(diagonal) 분열에 의하여 외생적으로 발생한다; (3) 모든 가지들은 근본적으로 유사하고 무한적이다; (4) 사분포자낭은 각각의 분절에서 한 개씩 만들어진다; (5) 직립가지는 대부분 외생적으로 발달하지만 내생적으로 발달하기도 한다.

붉은실속 식물은 주심세포 수, 피층 형성 유무 등의 식별 형질을 근거로 하여 분류하기 시작하였고(Batten 1923), Segi(1951)는 특히 낭과의 형태를 주요 형질로 간주하였다. 이후, Hollenberg(1968)는 가근세포와 주심관세포의 연결 유무가 안정적인 특징이란 점을 주목하고 이를 식별 형질로 추가하였다. Womersley(1979)는 호주산 식물의 분류학적 연구에서 붉은실속의 식별 형질로서 주심세포 수, 피층 형성의 정도, 외형과 억센 정도(robustness), 모상엽의 형태와

*Corresponding author (myungskim@pusan.ac.kr)

배열, 모상엽과 관련된 가지의 기원, 정자낭지의 특성, 가근의 분리 유무, 생태적 특성 등을 종합하였다. 그러나 본 속의 식물들은 형태 변이가 심하고, 안정된 식별 형질의 수가 적으며, 건조 표본으로부터 중요한 식별 형질들을 재현하기가 어렵다는 점 때문에 종의 분류에 큰 어려움이 있다.

한국산 붉은실속 식물에 대한 분류학적 연구는 형태와 해부 구조를 주요 식별 형질로 하여 속과 종을 구분하는 형태 분류학적 접근을 하였고 (Kim *et al.* 1994; Kim and Lee 1996, 1997), 일본에서는 실내 배양을 통한 종분류학적 접근이 수행되어 왔으며 (Kudo and Masuda 1986), 최근에는 색소체 내의 *rbcL*과 핵 내의 리보솜 DNA 소단위 (18S rDNA)의 염기 서열 분석을 통한 붉은실속 식물의 분자 계통학적 접근도 시도되었다 (Choi *et al.* 2001; McIvor *et al.* 2001). 그러나 아직도 해결해야 할 많은 과제가 남아있는데, 이를테면 생식기의 발달과 수정 후 과정에 대한 형태 해부학적 연구가 부족하며, 전세계에 널리 분포하고 있는 붉은실속 식물에 대한 비교 연구가 수행되지 않아서 한국산 종의 분류학적 위치가 불확실하다. 즉 붉은실속 식물은 심한 형태 변이로 인하여 많은 지역의 식물상에 대한 연구에도 불구하고, 주요 식별 형질의 인식과 안정성에 대한 설명이 힘들고 각 연구자에 따른 분류학적 견해의 차이와 오류가 발생할 수 있다.

최근 Kim and Lee (1999)는 붉은실속 식물의 영양체와 생식 기관에 관한 형태, 해부학적 연구를 수행하고, 그 결과로 새붉은실(신칭; *Neosiphonia*)이라는 신속을 제안한 바 있다. 새붉은실속은 황해새붉은실(신칭; *Neosiphonia flavimarina*)을 기준 종으로 하며, 주요 식별 형질은 다음과 같다: (1) 엽체는 주로 원반형 부착기에서 직립하며, 포복지의 발달은 제한적이다; (2) 가근은 주심세포와 격막에 의하여 분리된다; (3) 영양 모상엽이 존재한다; (4) 정자낭지는 모상엽의 첫번째 분기 가지에서 형성된다; (5) 전과체는 3세포성 태원열로 구성된다; (6) 사분포자낭은 나선형으로 배열된다 (Kim and Lee 1999).

본 연구에서는 그 동안 붉은실속(*Polysiphonia*)으로 알려져 왔지만 최근에 Kim과 Lee(1999)에 의하여 새붉은실속(*Neosiphonia*)으로 옮겨진, 누은새붉은실(신칭; *N. decumbens*)과 가시새붉은실(신칭; *N. harlandii*) 두 종의 형태와 생식에 관한 연구를 바탕으로 하여 분류학적 형질을 재검토하고, 종의 기재적 특징을 명백히 하여 분류 형질들의 안정성을 고찰함으로써, 새롭게 설정된 새붉은실속과 기존의 붉은실속의 유연 관계를 검증하고, 근연 종들과의 분류학적 문제점을 검토하고자 한다.

재료와 방법

본 연구는 우리나라 연안에서 생육하는 홍조 누은새붉은

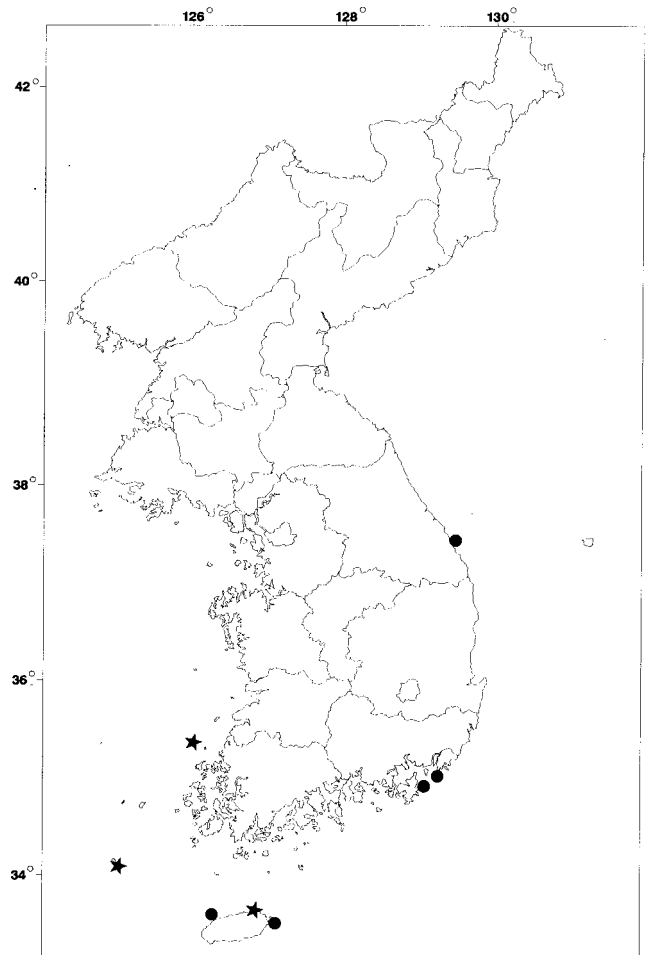


Fig. 1. Collection sites of *Neosiphonia decumbens* (Segi) M.S. Kim *et al.* I.K. Lee along the coast of Korea (●: this study, ★: references).

실과 가시새붉은실 식물을 대상으로 한국의 동, 서, 남해안과 제주도에서 채집된 것과 서울대학교 생물학과 표본실에 소장된 액침 표본을 재료로 사용하였다.

채집한 재료는 5-10% 포르말린 해수로 고정하여 실험실로 운반하였고, 고정된 표본들은 실험실에서 다시 정리하여 일부는 건조 표본을 만들어서 액침 표본과 함께 서울대학교 생물학과 표본실에 소장하였다. 식물체의 형태적인 관찰은 해부현미경 (Olympus SZH)과 광학현미경 (Olympus-BH2)을 이용하였고, 해부학적 특징은 재료를 0.5-1% aniline blue로 염색한 후에 관찰하였다. 또한, hand section과 냉동 박편기(AO Cryo-Cut II)를 사용하여 절편을 만든 후 현미경 묘화장치(Olympus BH2-DA)로 스케치하였으며, 자동사진 촬영장치(Olympus PM-10ADS, PM-20)로 촬영하였다.

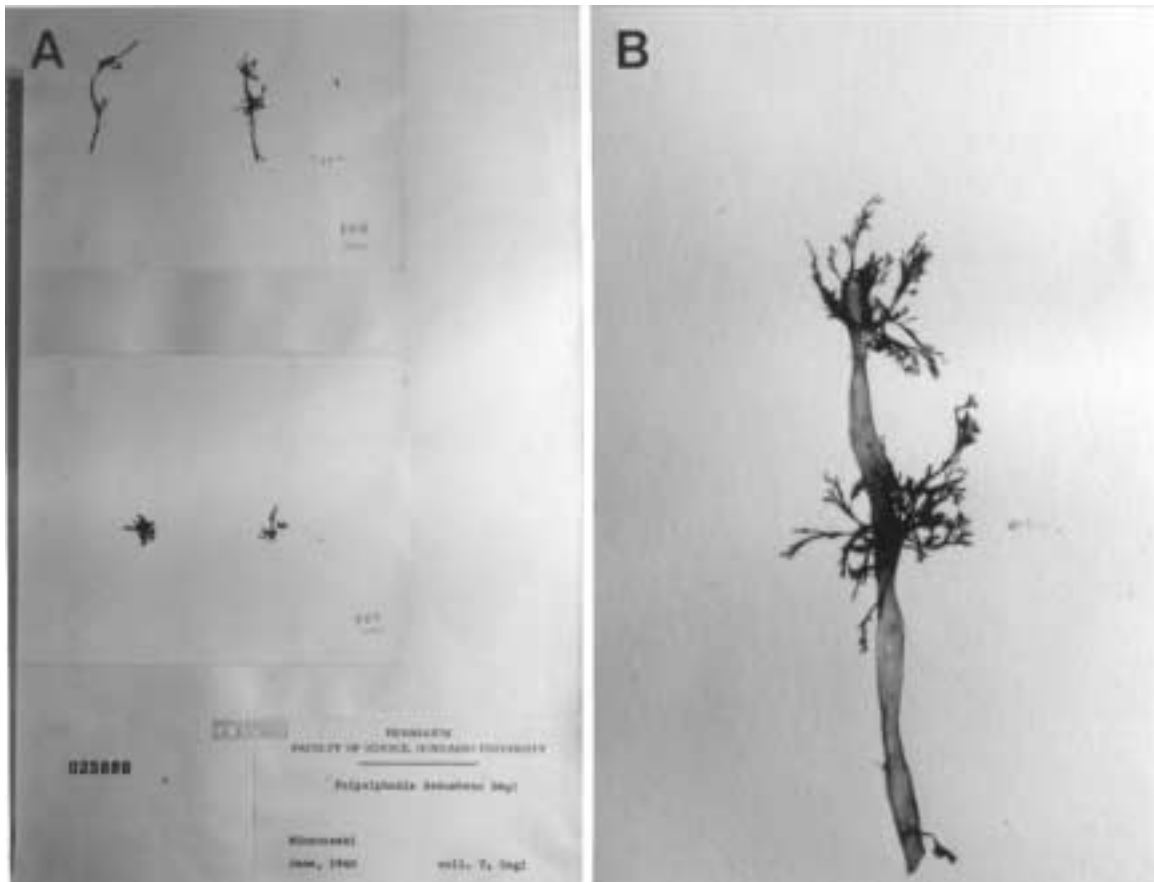


Fig. 2. *Neosiphonia decumbens* (Segi) M.S. Kim et I.K. Lee. A and B. Type specimens including holotype, collected in Mihonoseki in June 1948 by T. Segi in SAP.

결과와 고찰

Neosiphonia decumbens (Segi) M.S. Kim et I.K. Lee 1999, p. 279

[Text Figs 1-5]

Plants 1-3 cm high, solitary, epiphytic on other algae, flaccid, brownish black, dwarf, decumbent, attached by unicellular rhizoids arising at irregular intervals as outgrowths from centre of lower pericentral cells, cut off by cross wall, 400 μm long, 30-50 μm thick, provided with blunt often swollen tips at end; pericentral cells 4, with several cortical filaments at base in main axes; filaments ca. 0.2 L/B, 600-1000 μm diam. at base, ca. 0.7 L/B, 300-600 μm at middle, and ca. 0.5 L/B, 200-300 μm at above; branches cylindrical, in indistinct main axes, rather irregularly branched in dichotomous manner, alternately to secondarily ramified with wide angles above; branchlets exogenously arising at irregular intervals, nude at base, sometimes densely branched above; ultimate branchlets

virgate, slightly attenuated at base, rather acute at apices; trichoblasts moderately developed near apex of branches, one on each segment, arising in a left hand spiral in 1/4 divergence, 1-3 forked, deciduous, leaving persistent scar-cells; branches not associated with trichoblasts in origin; tetrasporangia formed on ultimate branchlets, arranged in a spiral series, prominent, globose, 60-80 μm diam.; procarps consisting of supporting cell, 3-celled carpogonial branch, lateral sterile group, and basal sterile group; cystocarps numerous produced on branchlets, prominent, broadly ovate, 300-400 μm , 1-celled pedicellate, with very broad ostiole at tip; spermatangial branches aggregated near apex of branches, arising as a primary branch of trichoblast, lanceolate, 50-80 μm x 150-200 μm , with 1-2 celled sterile tip.

Basionym: *Polysiphonia decumbens* Segi 1951, p. 218

Type Locality: Mihonoseki, Japan

Holotype: SAP (025880, Mihonoseki, June 1948, Coll. T. Segi) (Fig. 2)

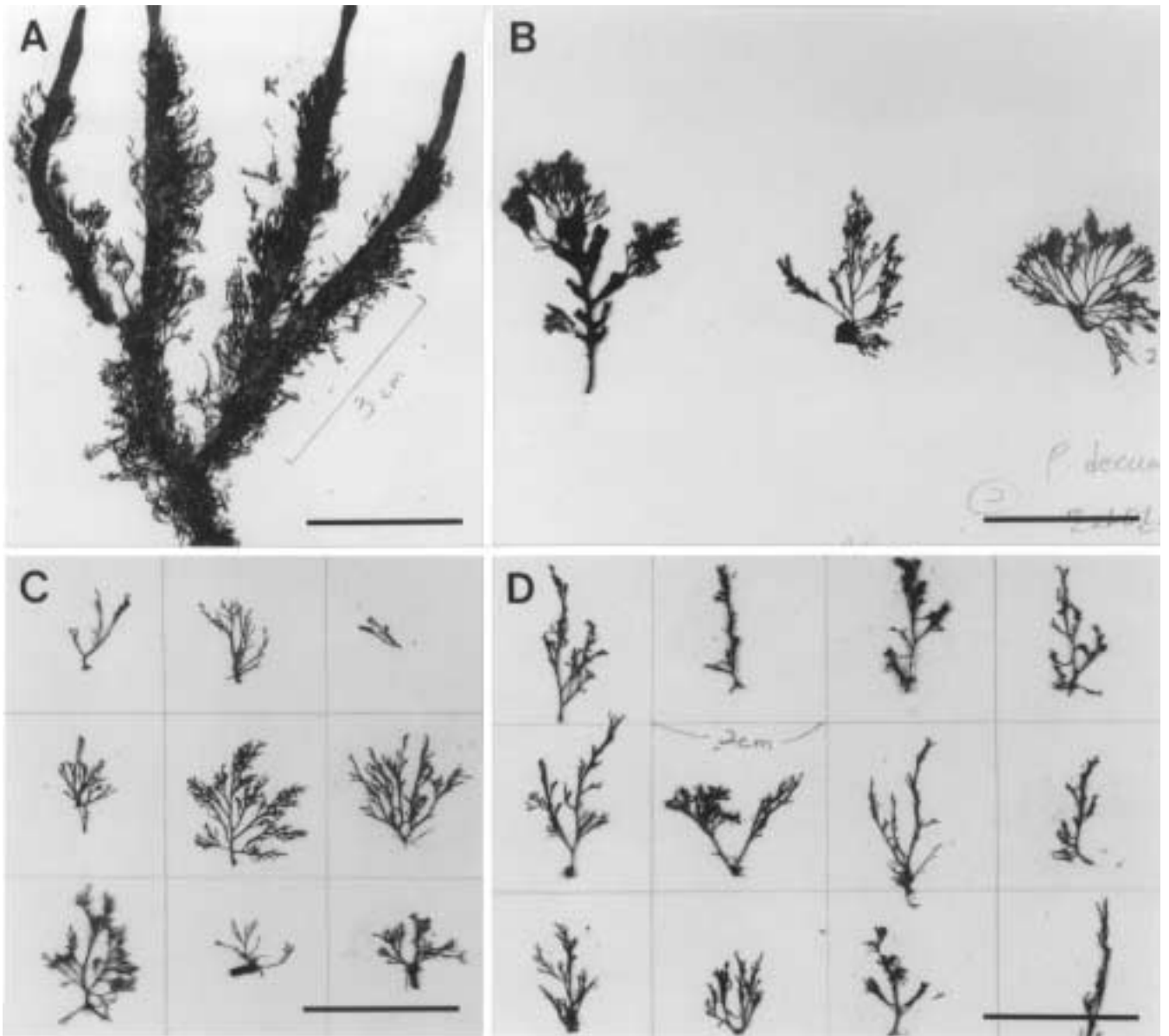


Fig. 3. *Neosiphonia decumbens* (Segi) M.S. Kim et I.K. Lee. A. Epiphytic plants on *Codium* sp. in Changseungpo. B. The same on *Sargassum* sp. in Dadaepo, Pusan. C. Plants from Neungpo. D. Plants from Changseungpo. (Scale bars: A, B = 3 cm; C, D = 3.5 cm).

Additional authentic specimens examined: JAPAN. Mihonoseki, Prov. Hoki, 910205, 1946. 6, Comm. Segi (UC); Mihonoseki, 025880, June 1948, Coll. T. Segi (SAP)

국명: 누은새붉은실

분포: 한국, 일본

국내 분포: 제주도(이와 이 1982; 이와 고 1991; 이와 오 1992), 홍도(강과 송 1984), 부산(윤 1986; 변과 강 1986), 안마군도(부와 최 1989).

채집 장소: 부산 청사포(2003. 3. 20), 경주 수렴리(2002. 10. 18), 통영 미남리(2002. 10. 5), 남해도 서상리(2002. 11. 3), 동해시 어달동(92. 12. 1, 김지희, 황미숙. DEC001-

DEC003, SNU), 부산 다대포(93. 2. 10, DEC004-DEC005, SNU), 거제도 장승포시 장승포동(92. 4. 19, 92. 11. 15, 옥정현. DEC006-DEC018, SNU), 거제도 장승포시 능포(92. 4. 19, 옥정현. DEC019-DEC021, SNU), 제주도 성산포(91. 1. 19), 제주도 애월(92. 6. 9).

생육지와 생물 계절

*Neosiphonia decumbens*는 동해시, 부산, 거제도, 통영, 남해도, 제주도 등지에서 채집되었다(Fig. 1). 이들은 조간대에서 청각(*Codium fragile*), 개서실(*Chondria crassicaulis*), 참지누아리(*Grateloupia filicina*), 모자반류(*Sargassum*

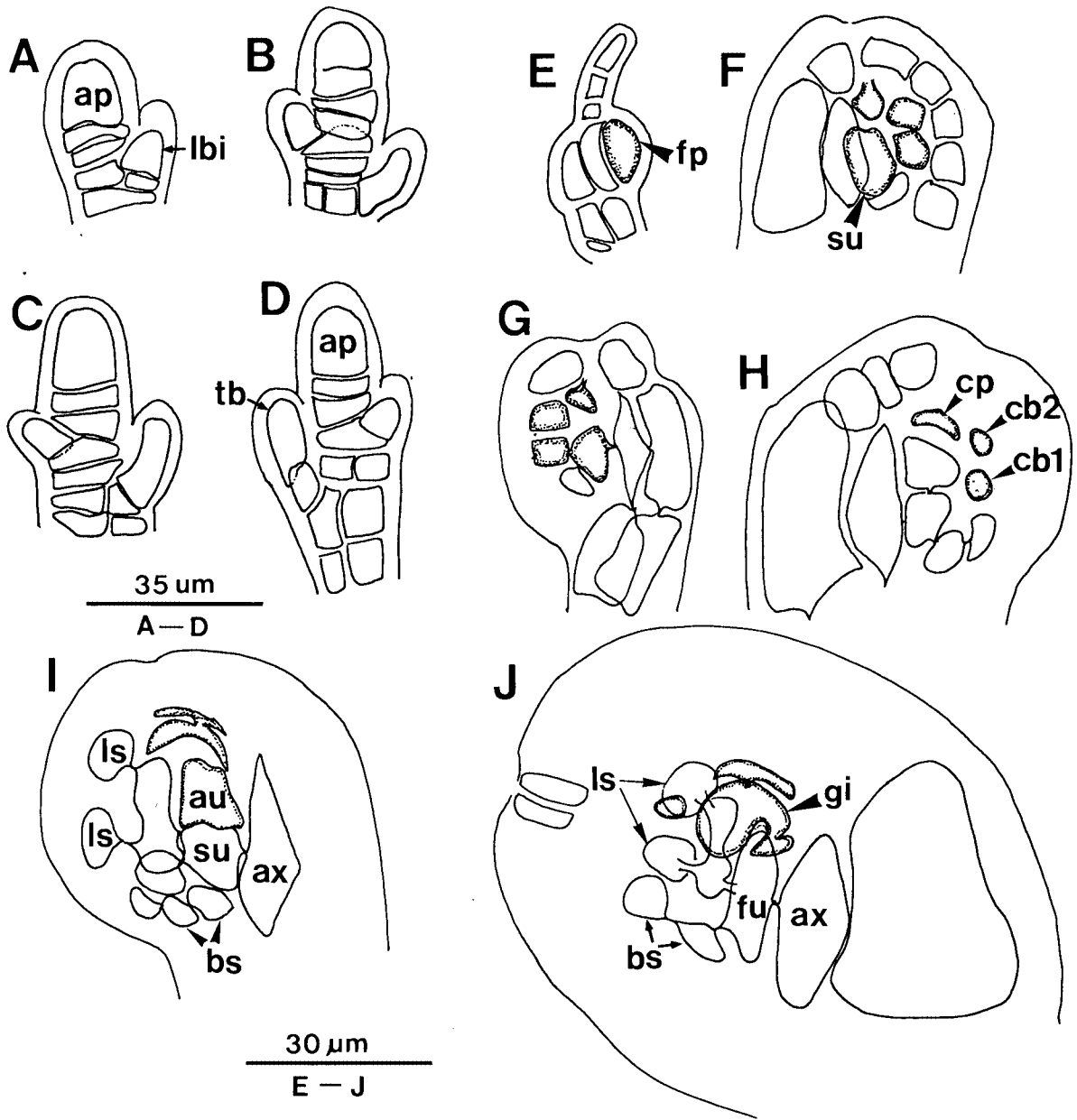


Fig. 4. *Neosiphonia decumbens* (Segi) M.S. Kim et I.K. Lee. A-D. Apex growing by apical cell divisions. E-G. Development of procarp. H-J. Post-fertilization process. Abbreviation: **ap**, apical cell; **au**, auxiliary cell; **ax**, axial cell; **bs**, basal sterile group (= st2); **cb**, carogonial branch; **cp**, carogonium; **fp**, fertile pericentral cell; **fu**, fusion cell; **gi**, gonimoblast initial; **lbi**, lateral branch initial; **ls**, lateral sterile group (= st1); **su**, supporting cell; **tb**, trichoblast.

spp.) 등 다른 해조류에 착생하여 뭉쳐서 난다. 12월 동해시 어달동에서 채집된 식물체는 양성 배우체와 사분포자체였고, 4월 거제도 장승포에서 채집된 식물체는 낭과체와 사분포자체였다. 식물체는 기질에 따라서 색상에 차이가 나서 개서실 위에서 착생하고 있는 식물체는 색깔이 다소 투명한 반면 지누아리나 모자반 위에 착생하는 개체들은 붉은 갈색을 띤다(Fig. 3).

본 종은 한국의 동해안에서 부산까지, 그리고 제주도의 조간대에 분포하고 주로 늦가을에서 봄에 걸쳐 생육하며, 연

중 수회에 걸쳐서 생활사를 반복하는 것으로 판단된다. 한편, 윤(1986)은 본 종의 생육을 보고하면서, 부산 용호동 연안의 조간대에서는 연중 다른 해조류에 착생하며 겨울철에 생장이 약간 양호한 편이라고 하였다.

영양체

식물체는 체장이 1-3 cm인데, 조체의 크기에 비하여 굵은 가지를 내며, 다른 조류 위에 착생하여 누어 있는 형태를 한다. 식물체는 전체 외형이 한 쪽으로 길쭉한 역삼각형이며

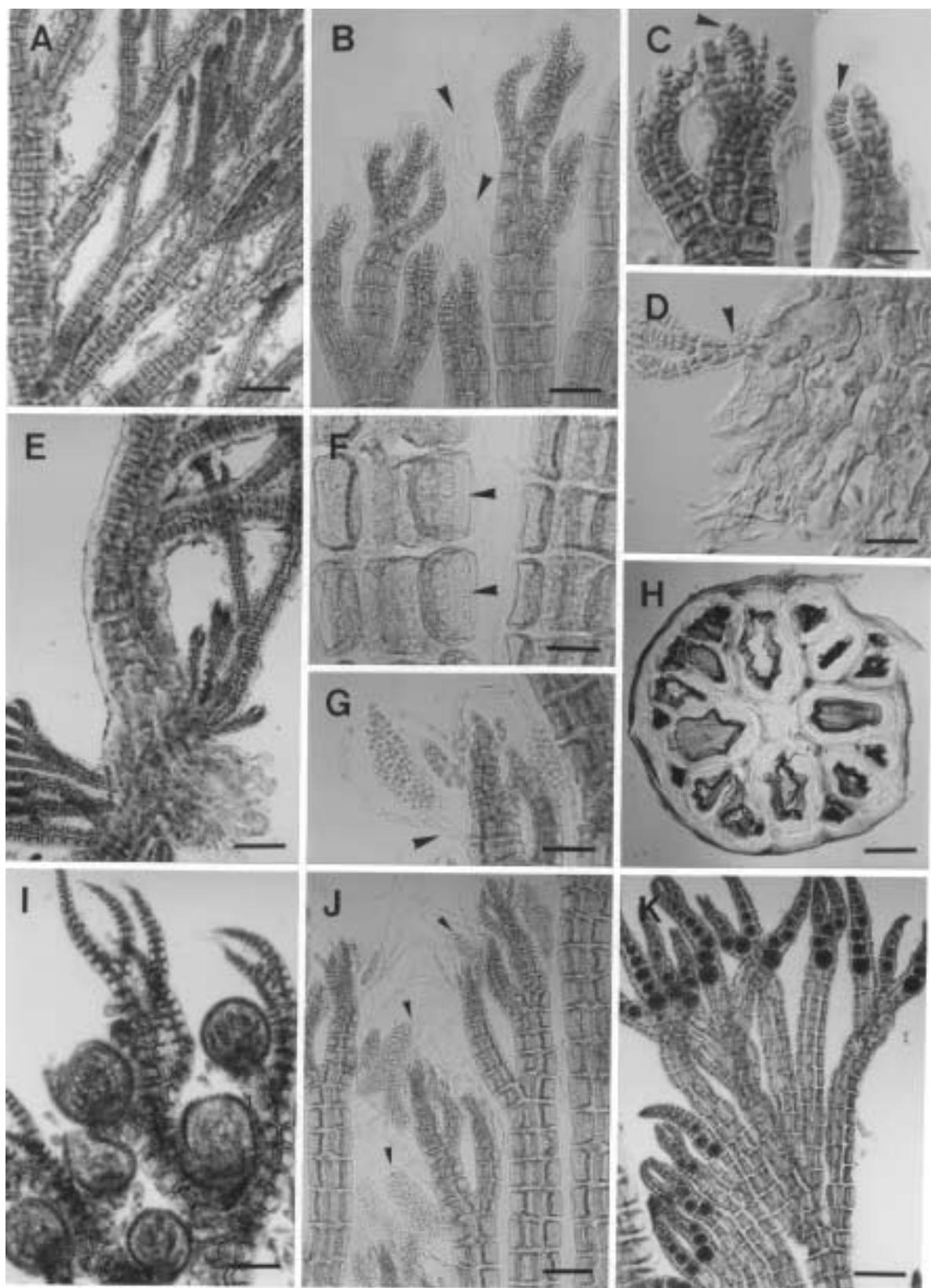


Fig. 5. *Neosiphonia decumbens* (Segi) M.S. Kim et I.K. Lee. A. Ramification of branches. B. Trichoblasts at the apex (arrowheads). C. Divided apical cells (arrowheads). D and E. Holdfasts with endogenous branches (arrowhead in D). F. Convoluted plastids of pericentral cells (arrowheads). G and J. Spermatangial branches on trichoblasts with sterile tip cell (arrowheads). H. A cross section of the branch with cortical cells. I. Mature cystocarps. K. Spiral series of tetrasporangia (Scale bars: A, E, I-K = 500 μm ; B, C, G = 200 μm ; D, F, H = 150 μm).

하부는 가지가 적게 분기하지만 상부로 갈수록 많아지고 있다. 식물체는 원반형의 부착기로 고정되어서 단독으로 착생하고 바로 직립지가 분기한다(Figs 5D, E). 주축의 직경은 약 1,000 μm 이며, 가지는 불규칙 호생 또는 편생한다. 편생하는 쪽 주축은 다소 굵어서 한 쪽으로 휜 듯하다(Figs 5A, E). 식물체의 생장은 뚜렷한 정단세포의 활동에 의하여 이루어진다(Fig. 5C).

정단 세포는 거의 횡분열에 가까운 사면 분열(oblique division)을 하며, 가지의 시원은 각 주축세포(axial cell)로부터 외생적으로 생성되고, 그 형태는 나선형이다(Fig. 4A-D). 주축세포는 4개의 중심세포를 분열하는데 첫 번째와 두 번째 세포는 같은 면에서 형성되고 세 번째는 첫 번째 세포와 가까운 곳에, 네 번째 세포는 두 번째 세포와 인접한 곳에서 형성된다. 피층세포는 주로 하부에 발달되고 있다. 기부 근처에서는 2-3개의 내생가지가 발달하며, 엽흔가지도 간혹 분기된다. 색소체는 신장형으로 중심세포의 벽쪽으로 모여서 분포하며, 기질 식물에 따라서 투명할 때도 있다(Fig. 5F).

식물체는 갈색에서 적갈색을 띠며 건조하면 대지에 잘 붙는다.

웅성배우체

정자낭지의 발달은 생식 모상엽과 연관되어 있다. 생식 시기가 되면 모상엽은 염성을 띠게 되는데, 특히 생식 모상엽의 두 번째 기부세포(suprabasal cell)가 정자낭지의 발달을 유도한다. 측지 시원세포(lateral initial cell)인 기부 마디(basal segment)와 염성 모상엽의 두 번째 기부 세포는 단관축(monosiphonous)으로 존재하며, 정단부에서 1-2마디도 또한 단관축으로 남아 있다. 그 밖의 나머지 마디들은 모두 다관축(polysiphonous)이 된다. 이들은 규칙적으로 중심세포를 형성하며, 중심세포는 여러 번 분열하여 정자낭 모세포가 되고, 정자낭지의 표면 세포(superficial cell)에서 정자를 생성하게 된다.

성숙한 정자낭지는 정단부가 뾰족한 타원형이며 길이 150-200 μm , 직경 50-80 μm 이다. 정단부에는 1-2개의 불염 세포가 남아 있다(Figs 5G, J).

전과체와 과포자체

전과체(procarp)는 생식 모상엽의 epibasal segment에서 생성된다. 생식 모상엽의 두 번째 기부세포(suprabasal cell)는 5개의 중심세포로 나뉘어지며 이들 중심세포 중에서 2개의 배측면(abaxial) 중심세포는 더 이상 분열하지 않고, 2개의 중심세포는 분열하여 과피(pericarp)가 된다. 마지막으로 남아있는 향측면(adaxial) 중심세포는 염성 중심세포로써 이것은 지지세포가 된다. 전과체는 3세포성 태원열(3-

celled carpogonial branch), 2개 측면 불염세포(lateral sterile cell), 1개 기부 불염세포(basal sterile cell)로 구성된다(Fig. 2E-J). 수정이 되면 지지세포는 조세포(auxiliary cell)를 분열해내고, 조세포는 수정된 핵을 받아들인 후에 횡으로 분열하여 1-2개의 조포사 시원 세포를 생성하고, 계속적인 분열 후에 끝 부분에 과포자를 형성한다. 성숙한 낭과는 구형으로 직경은 300-400 μm 이다(Fig. 5I).

사분포자체

사분포자체가 염성화 하면 5개의 중심세포를 가진다. 그들 중 1개의 염성 중심세포는 우선 2개의 덮개 세포를 분열하며, 그 후 다시 지지세포(stalk cell)와 사분포자낭을 분열해낸다. 사분포자낭은 마디당 1개씩 생성하며 성숙한 사분포자낭은 구형으로 크기 60-80 μm 이며, 삼각추상(tetrahedral)으로 분열한다(Fig. 5K).

분류학적 검토

누은새붉은실(*Neosiphonia decumbens*)은 Segi(1951)가 일본의 Mihonoseki에서 채집한 식물체를 1) 체장이 작고 누어있는 형태를 하며, 2) 불규칙한 차상 분기를 하고, 3) 하부에 피층세포가 발달하며, 4) 식물체의 크기에 비하여 큰 낭과를 가진다는 특징을 근거로 해서 신종으로 명명한 것이다.

Segi(1951)는 본 종이 미국산 *N. savatieri* (Hariot) M.S. Kim et I.K. Lee와 비슷하지만, 1) 피층세포가 식물체의 기부에 풍부하게 형성되고, 2) 마디가 직경에 비하여 짧은 점, 3) 가근이 피층에서 발생되며, 4) 낭과는 넓은 단지꼴(urceolate)이거나 또는 계란형(ovate)이라는 점에서 *N. savatieri*와 다르다고 하였다.

윤(1986)은 본 종을 기재하면서 조체가 작고 다른 조류 위에서 누어 있는 형태를 하며, 조체는 크기에 비해 굵은 가지를 가지고, 잔 가지들이 산방상으로 밀집되어 뭉치는 것들이 특징이라고 하였다. 본 연구에 쓰인 표본들은 Segi(1951)와 윤(1986)의 기재와 잘 일치하였다.

누은새붉은실(*N. decumbens*)은 그 기재적 특징들이 영국산 *Neosiphonia harveyi* (Bailey) M.S. Kim, H.G. Choi, Guiry et G.W. Saunders와 매우 유사하다(*Polysiphonia harveyi*로서, Maggs and Hommersand 1993). *N. harveyi*는 변이가 심해서 지역에 따라 섬세하고 부드러운 개체가 채집되기도 하고, 또는 거친 개체로 생육하기도 한다. 누은새붉은실은 영국의 Cornwall에서 채집된 *N. harveyi*의 부드러운 개체와 그 외형이 유사하다. 특히 식물체가 다소 누은 형태를 하고, 한쪽으로 편생하는 가지가 있어서 전체 외형이 길쭉한 역삼각형이며, 색소체가 투명하고 중심세포의 벽에 몰려 있다는 점에서 누은새붉은실과 구별이 힘들다. Maggs and Hommersand(1993)는 *N. harveyi*에 대한 기재에서 피

층의 정도와 가지의 분지 양상은 변이가 매우 심하다고 언급하면서, 그 동안 영국에서 *P. insidiosa* (J. Agardh) P. Crowan & H. Crouan로써 알려져 왔던 종이 피층 세포가 없다는 점에서 *N. harveyi*와 다르다고 보고되었는데, 피층은 그 변이가 심하므로 두 종을 구별할 수 있는 형질이 될 수 없다고 하여 *P. insidiosa*를 *N. harveyi*와 분류학적 이명으로 처리하였다.

누은새붉은실(*N. decumbens*)도 *N. savatieri*와 유사하지만 피층 유무에 따라서 두 종이 구별되어 왔는데, 위와 같은 관점에서 본다면 *N. decumbens*와 *N. savatieri*와는 동일 종일 가능성이 있다. 그러나 두 종의 가지 형성은 뚜렷한 차이를 나타내므로 서로 다른 종이라고 여겨진다. 또한 누은새붉은실은 *N. harveyi*와 외형적으로 유사하지만 영국산 *Polysiphonia* 속 종들이 각 지역에 따른 고유 종으로 확인되고 있으므로, *N. decumbens*도 한국과 일본 등 북서 태평양에 독립적으로 분포하는 고유 종일 것으로 판단된다. 이 점에 관한 최종적인 결론을 위하여서는 추후 생식적 격리 유무나 분자 계통학적 연구의 뒷받침이 요구된다.

***Neosiphonia harlandii* (Harvey) M.S. Kim et I.K. Lee 1999, p. 279**

[Text Figs 6-9]

Plants 4-8 cm high, densely tufted to solitary, saxicolous or epiphytic on other algae; thick, coarse, brownish red to black in color; erect from discoidal base attached by unicellular rhizoids arising at irregular intervals as outgrowths from centre of lower pericentral cells, cut off by cross wall, 50-70 μm thick; pericentral cells 4, densely corticated at base of main axes; filaments 800-1000 μm diam. at base, 500-800 μm at middle, and 200-300 μm at upper portion; branches cylindrical, with distinct main axes, rather irregularly alternate in branch, not associated with trichoblasts in origin; branchlets exogenous, arising at irregular intervals, nude at base, sometimes densely branched upper, with numerous cicatrigenous branchlets, replacing trichoblast; trichoblasts numerous, developing near apex of branches, one on each segment, arising in a left hand spiral in 1/4 divergence, 1-3 forked, deciduous, leaving persistent scar-cells; tetrasporangia on ultimate branchlets, arranged in a spiral series, prominent, globose, 60-70 μm diam.; procarps consisting of supporting cell, 3-celled carpogonial branch, lateral sterile group, and basal sterile group; cystocarps numerous, produced on branchlets, prominent, broadly ovate, 250-400 μm , 1-celled pedicel-

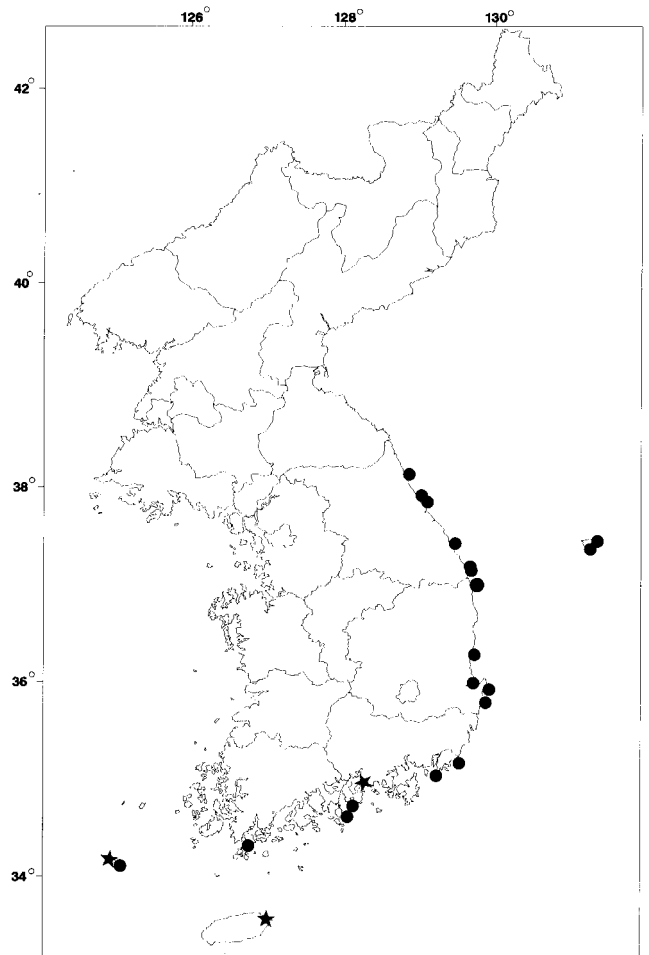


Fig. 6. Collection sites of *Neosiphonia harlandii* (Harvey) M.S. Kim et I.K. Lee. along the coast of Korea (●: this study, ★: references).

late; spermatangial branches aggregated near apex of branches, arising as primary branch of trichoblast, lanceolate, 70-80 μm x 200-250 μm , with 1-2 celled sterile tip.

Basionym: *Polysiphonia harlandii* Harvey 1859, p. 330

Type Locality: Hong Kong

Isotype: Herb. Harvey, TCD

Additional authentic specimens examined: CHINA. Kelung, Formosa, 910193, 1934. 5. 4, Det. Segi (UC) (Fig. 7)

국명: 가시새붉은실

분포: 한국, 일본, 베트남, 홍콩, 대만

국내 분포: 제주도 성산(이와 오 1992), 삼천포(김 등 1986), 소흑산군도(최와 이 1988), 흑산군도(이 등 1986), 완도(윤 1986), 진도(윤 1986).

채집 장소: 경주 수렴리(2002. 10. 18), 통영 미남리(2002. 10. 5), 남해도 서상리(2002. 11. 3), 속초 영금정(92. 2. 22,

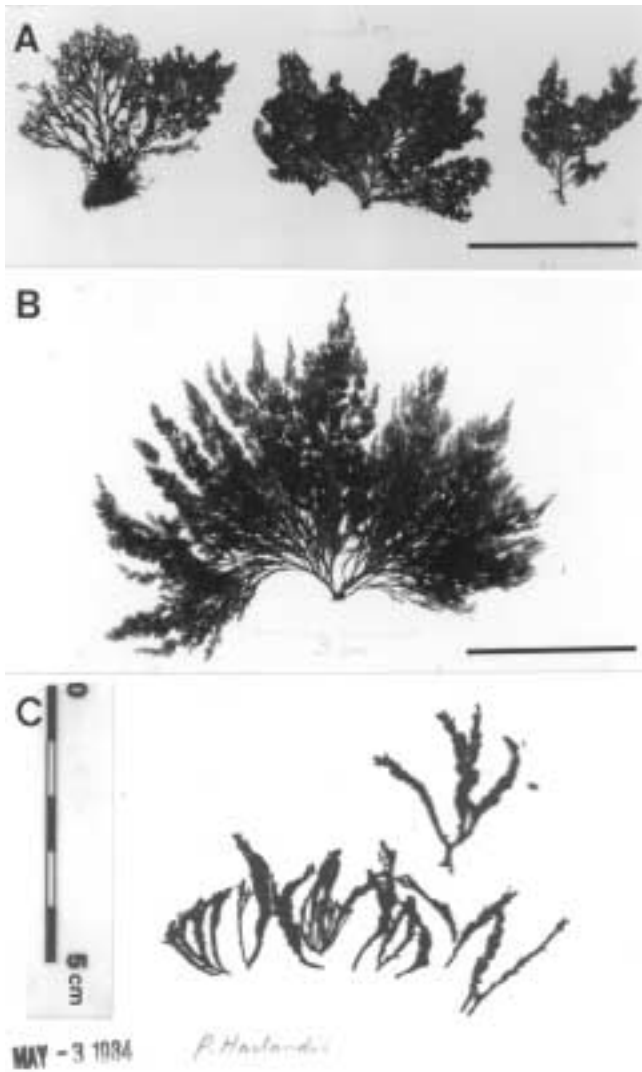


Fig. 7. *Neosiphonia harlandii* (Harvey) M.S. Kim et I.K. Lee. A. Plants from Sokcho. B. Tetrasporic plant from Sodol, Jumunjin. C. Plants from Kelung, Formosa, 3. May 1934, Det. Segi (UC). (Scale bars: A = 4 cm; B = 3 cm).

92. 5. 16, HAR001-HAR004, SNU), 주문진 소돌(93. 5. 18, HAR005-HAR015, SNU), 강릉 안인진(94. 4. 20, HAR016-HAR026, SNU; 94. 10. 28), 동해 어달(92. 10. 28), 감추사(91. 5. 21, HAR027-HAR029, SNU; 93. 2. 3, HAR030-HAR039, SNU), 전천(93. 4. 25, 오윤식, HAR040-HAR045, SNU; 93. 5. 6), 신남(91. 10. 10, 윤환수, HAR046, SNU), 장호(94. 10. 28), 죽변(94. 10. 28), 강구(93. 2. 10, 94. 10. 27), 포항 송도(94. 3. 13, 황미숙, HAR047, SNU), 구룡포(91. 12. 7, 윤환수, HAR048, SNU), 감포(92. 1. 23, 93. 2. 10), 울릉도 섬목(90. 12. 21, 91. 2. 25, 92. 2. 11), 울릉도 태하(92. 2. 11), 울릉도 사동(92. 2. 1), 울릉도 저동(91. 5. 18, HAR049-HAR050, SNU; 92. 2. 11, 이육재), 울릉도 통구미(92. 2. 11), 부산

송정(92. 1. 11, HAR051-HAR080, SNU; 93. 1. 11), 부산 다대포(94. 12. 19, HAR081-HAR088, SNU), 남해도 가천(94. 4. 27, HAR089-HAR090, SNU), 여수 돌산도(92. 4. 3), 완도 정도리(94. 4. 2, HAR091, SNU), 소흑산도(93. 6. 15).

생육지와 계절적 소장

가시새붉은실(*Neosiphonia harlandii*)의 한국산 식물은 주로 동해안과 울릉도에서 채집되었다(Fig. 6). 이들은 조간대 상부와 중부의 파도가 많이 치는 바위 위에 뭉쳐서 매트 형태를 형성하며 생육하는데, 간혹 다른 식물체 위에 단독으로 착생하고 있는 개체들도 발견된다. 동해안의 파도가 심한 곳에서 자라는 식물체들은 외형이 거칠고 하부부터 중부까지 피층 세포가 두텁게 싸여 있어서 튼튼하게 보인다. 울릉도에서는 모든 채집지에서 가시새붉은실을 관찰할 수 있었는데, 12월 울릉도 섬목에서 채집한 식물체는 과포자체와 사분포자체였고, 2월에는 웅성 배우체와 사분포자체였다. 또한 2월 울릉도 저동에서도 과포자체와 사분포자체가 채집되었다. 10월 동해 어달에서는 영양체만 채집되었고, 5월 속초 영금정에서는 사분포자체와 과포자체가 채집되었다(Fig. 7). 이로 보아 가시새붉은실은 대체로 1년에 걸쳐서 뚜렷한 계절의 차이 없이 고루 생육하고 있음을 알 수 있다.

윤(1986)은 가시새붉은실이 5월과 10월에 나타나며, 8월에 개체수가 가장 많았고, 11월부터 4월까지의 발견되지 않았다고 보고하면서, 구룡포 이북과 울릉도 지역에만 생육이 국한된다 하였으나, 본 연구결과 부산, 남해도, 돌산도, 완도, 소흑산도 등지에서도 그 분포를 확인하였다. 이상과 같은 사실로 미루어 볼때, 가시새붉은실은 한국의 동해안과 남해안의 조간대에서 분포하며, 동해안에서는 파도가 심한 바위 위에서 밀생하는 특징이 있고, 연중 수시로 출현한다고 생각된다. 또한 사분포자체, 과포자체, 웅성배우체가 모두 동일한 시기와 장소에서 흔히 채집되는 것으로 보아 연중 수회에 걸쳐서 생활사를 반복하는 것으로 판단된다.

영양체

식물체는 체장이 4 cm이며, 직경은 0.7-0.8 mm로 다소 굵었다. 여러 개체가 서로 뭉쳐서 생육하였으며 식물체의 가지는 불규칙한 호생이고, *Neosiphonia japonica* (Harvey) M.S. Kim et I.K. Lee와 같은 하부의 Y자 분기는 전혀 볼 수 없고 주축이 비교적 뚜렷하였다. 또한 하부에서 중부까지는 주심세포로부터 발생된 피층세포가 주심세포의 골을 따라서 매우 두텁게 형성되어서 식물체는 매우 튼튼하고 하부가 굵었으나, 간혹 하부보다도 중부로 갈수록 굵어지기도 하였다. 가장 상부의 가지는 피층 세포를 형성하지 않으므로, 다소 부드럽고 약한 느낌을 준다(Figs 9C, D).

식물체는 정단세포에서 비스듬한 횡분열을 하며 주심세포

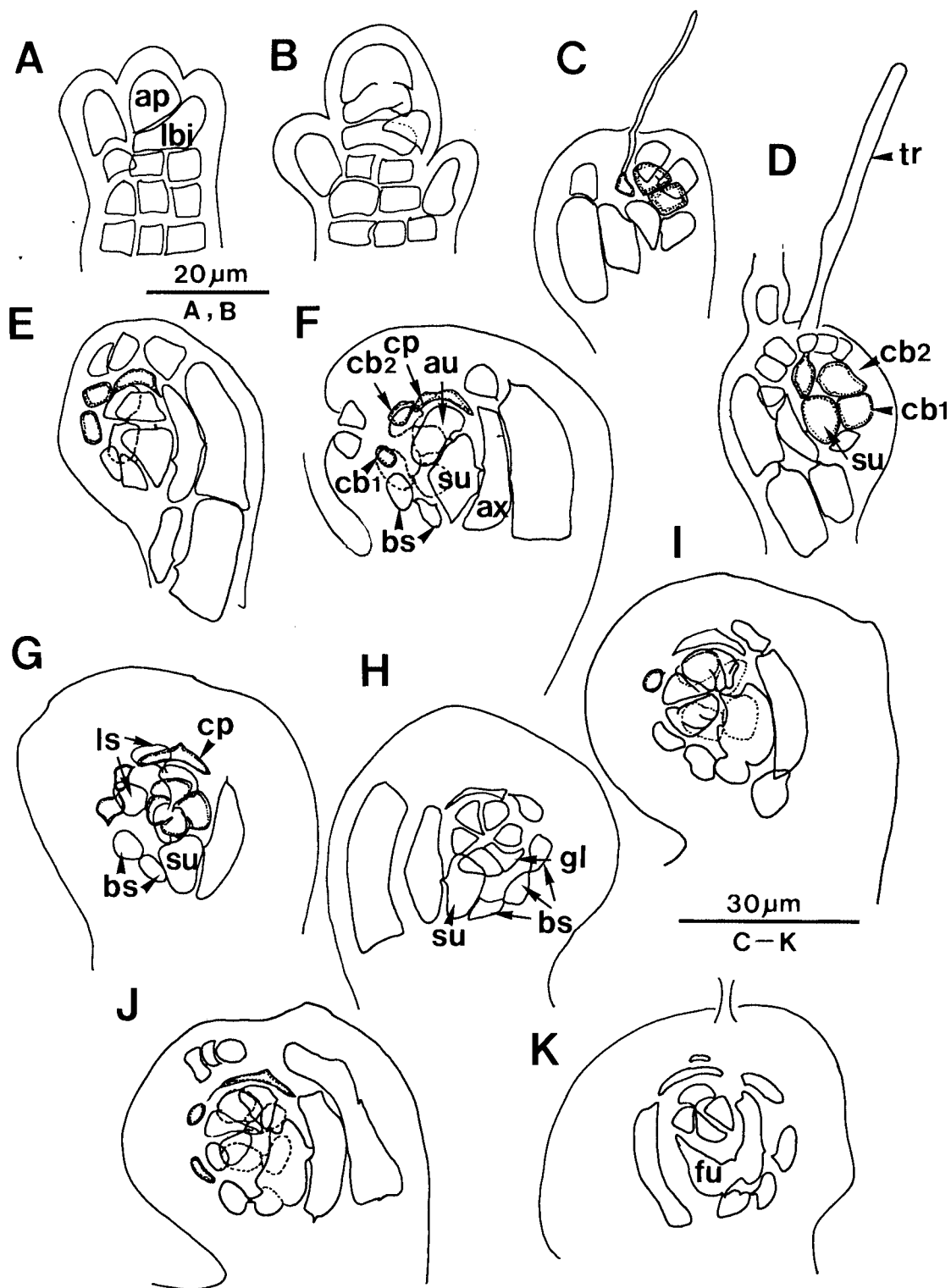


Fig. 8. *Neosiphonia harlandii* (Harvey) M.S. Kim *et* I.K. Lee. A and B. Apexes growing by apical cell division. C and D. Development of procarp. E-K. Post-fertilization process. Abbreviation: **ap**, apical cell; **au**, auxiliary cell; **ax**, axial cell; **bs**, basal sterile group (= st2); **cb**, cargogonial branch; **cp**, cargogonium; **fu**, fusion cell; **gl**, gonimolobe; **lbi**, lateral branch initial; **ls**, lateral sterile group (= st1); **su**, supporting cell; **tr**, trichogyne.

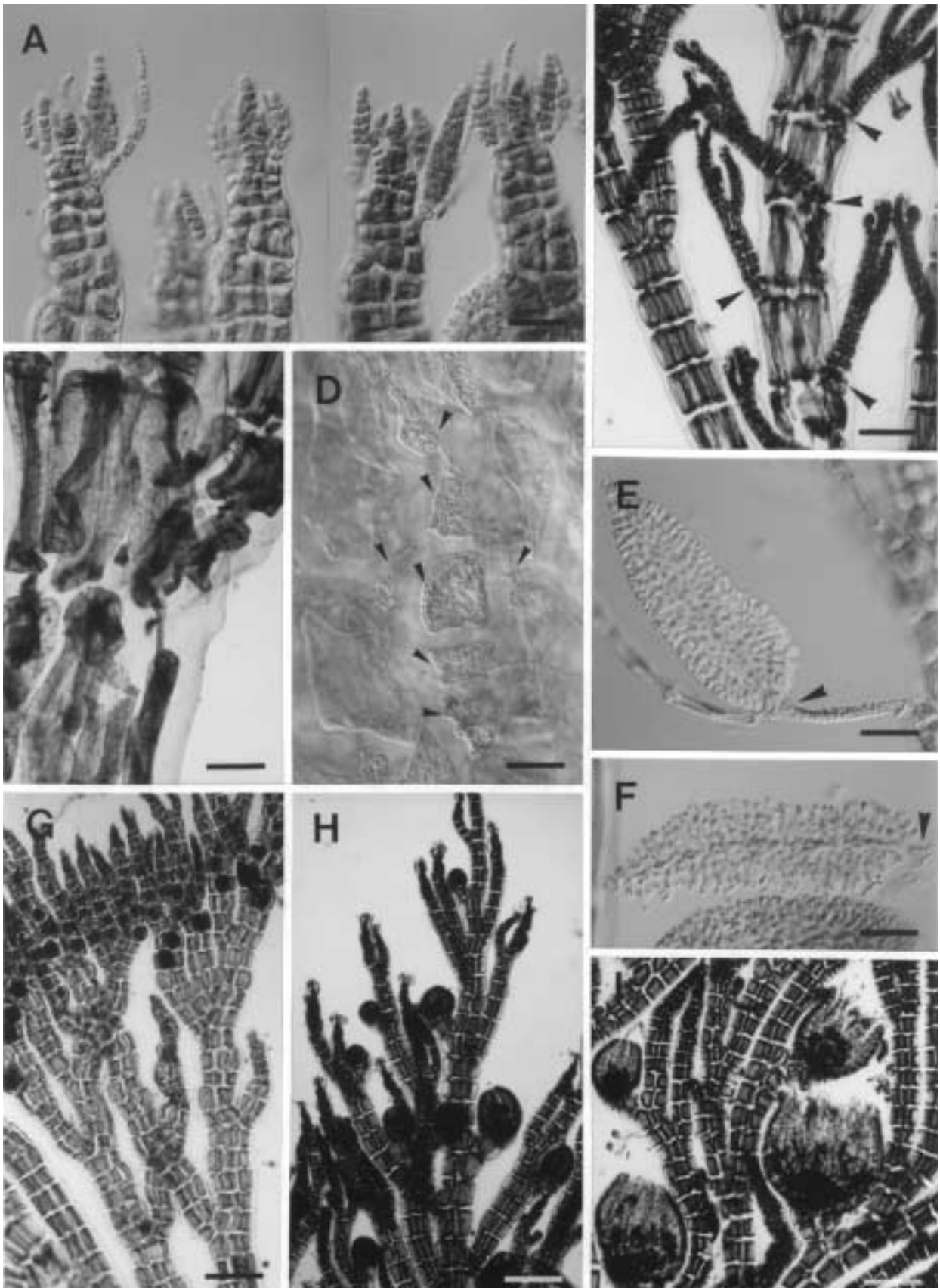


Fig. 9. *Neosiphonia harlandii* (Harvey) M.S. Kim et I.K. Lee. A. Shape of the apex. B. Cicatrigenous branchlets at the segment (arrowheads). C and D. Pericentral cells with cortication (arrowheads in D). E and F. Spermatangial branches on trichoblast (arrowhead). G. Spiral series of tetrasporangia. H and I. Mature cystocarps. (Scale bars: A, C, D=90 μm; B=400 μm; E, F=50 μm; G-I=200 μm)

가 나누어지기 전에 주축 세포로부터 측지 시원세포를 외생적으로 형성한다(Figs 8A, B). 측지 시원 세포가 분열된 바로 밑의 세포에서 첫번째 중심세포가 나뉘어지고 계속해서 4개의 중심세포가 형성된다. 모상엽이 떨어지고 난 자리에는 흔적 세포가 남게 되고, 여기에서 부정 가지인 엽흔가지가 다수 분기된다(Fig. 9B). 측지들은 그 형태가 한쪽 방향으로 감기는 경향이 있는데 이것은 아마도 파도의 영향 때문이라고 생각된다. 식물체의 전체 외형은 위로 길게 신장된 듯한데, 사분포자체와 낭과체는 외형에서 다소 차이가 있어 보였다. 즉, 낭과체는 사분포자체보다도 측지의 퍼진 각도가 더 넓으며, 사분포자체는 다소 부드러운 느낌인데 반해, 낭과체는 좀 더 억센 느낌이다. 측지는 모상엽을 대치하며 4-9 마디 간격으로 외생적으로 분기되고, 모상엽은 무색이며, 마디당 하나 씩 상부에서만 나타난다.

식물체는 적갈색이나 또는 흑갈색을 띠고 건조하면 대지에 잘 붙는다(Fig. 7).

응성배우체

생식 시기가 되면 모상엽은 염성을 띠게 되고, 특히 생식 모상엽의 두번째 기부세포(suprabasal cell)가 정자낭지의 발달과 연관되어 있다. 측지 시원세포(lateral initial cell)인 기부 마디(basal segment)와 염성 모상엽의 두번째 기부마디(suprabasal segment)는 단관축(monosiphonous)으로 존재하며, 정단부의 1-2마디도 또한 단관축으로 남아 있다. 그 외에 나머지 마디들은 다관축(polysiphonous)이 된다. 이들은 규칙적으로 중심세포를 형성하며, 중심세포는 여러 번 분열하여 정자낭 모세포가 되며, 정자낭지의 표면 세포(superficial cell)에서 정자를 생성하게 된다. 성숙한 정자낭지는 정단부가 뾰족한 타원형이며, 길이는 200-250 μm , 직경은 70-80 μm 이다. 정단부에는 1-2개의 불염세포를 갖는다(Figs 9E, F).

전과체와 과포자체

전과체는 가지에 형성된 생식 모상엽의 변형에 의해 발달한다. 생식 모상엽의 기부로부터 둘째 마디(suprabasal segment)는 5개의 중심세포를 형성하는데, 마지막으로 향측면(adaxial side)에 형성된 다섯번째 중심세포는 종분열을 하여 불염세포군과 태원열(carpogonial branch)의 시원세포를 형성하고, 자신은 지지세포(supporting cell)가 된다. 따라서 태원열은 2세포성 측면 불염세포군과 3세포성 태원열, 그리고 1세포성 기저 불염세포로 구성된다(Figs 8C, D). 이때 태원열의 1, 2세포는 측면 불염세포군과 같은 위치에 형성된다. 중심세포 중 세 번째와 네 번째로 형성된 것은 차상 분기하여 피층사(cortical filament)를 이루는데, 이들은 전과체에서 과피(pericarp)로 변형된다.

수정이 되면 수정모(trichogyne)의 정단은 팽대하고, 불염세포들이 2차 세포를 분열하는 시기에 지지 세포로부터 조세포(auxiliary cell)가 분열된다. 이어 수정모는 점차 소실되고 조세포는 조과기(carpogonium)와 융합하여 융합세포(fusion cell)를 형성하며, 지지세포 밑에 연결된 기부 불염세포는 2차 불염세포를 분열해 낸다. 조세포의 분열 방식은 다른 종과는 달리 독특하여 꽃잎 모양을 한다. 즉, 조세포가 여러 개의 시원세포를 분열해 냄과 동시에 지지세포 밑에 있는 기부 불염세포는 지지세포와 융합되기 시작하는데, 이 단계에도 태원열은 계속 희미하게 남아 있고, 위의 측면 불염세포는 2차 세포를 분열한 채로 남아 있다(Figs 8E-K). 융합 세포의 연기적 분열에 의해 조포사(gonimoblast)가 형성되고, 그 정단에 과포자낭(carposporangium)이 달린다. 수정됨에 따라 수정전 과피는 2차적으로 발달하여 과공만을 남기고 두꺼운 과피층으로 발달한다. 성숙한 낭과는 직경이 250-400 μm 이며, 난형이고, 자루가 있다(Figs 9H, I).

사분포자체

사분포자낭은 주축이나 또는 측지 위에 각 중심세포를 따라 마디당 1개 씩 형성되며 나선형으로 배열한다. 사분포자낭은 주로 세번째 중심세포로부터 기원하는데 포자낭 시원세포는 종으로 분열하여 2개의 덮개세포를 형성하고 이어지는 횡분열을 통해 사분포자낭과 지주세포로 나뉜다. 성숙한 포자낭은 구형으로 직경이 60-70 μm 이고, 삼각추상으로 분열한다(Fig. 9G).

분류학적 검토

가시새붉은실(*Neosiphonia harlandii*)은 Harvey(1859)가 C. Wright에 의해 홍콩에서 채집된 표본을 근거로 명명한 것으로서 *N. harlandii*의 주요 식별 형질은 1) 주축이 비교적 뚜렷하고, 2) 피층세포는 중부까지 두텁게 형성되며, 3) 엽흔가지가 다수 분기하고, 4) 서식처는 파도가 심한 조간대 중상부의 암반이라는 점 등이다(Segi 1951, 1960). Yamada(1933)는 타이완의 Kelung에서 채집한 표본을 Harvey의 기준 표본과 대조하고 기재하였으며, Tseng(1944)은 *N. harlandii*의 기준 생육지인 홍콩에서 12월과 5월 사이에 가장 흔하게 채집되며, Harvey의 원기재와 완전히 일치하는 유일한 종이라고 설명한 바 있다. 또한 Segi(1960)는 일본산 *N. harlandii*를 Harvey가 관찰한 표본들과 대조하고 두 종이 서로 일치한다고 보고하였다.

윤(1986)은 *N. harlandii*가 피층 세포가 있는 종들과는 달리 생육지가 특이하며, 가지가 호생 분기하고, 조체의 아래 부위가 피층세포에 의하여 두껍게 싸여 있으며, 조체 전체에 많은 엽흔가지를 가진다는 점 등의 특징을 주목하였고, 아울러 Segi(1951)가 Kojima에서 채집하여 *Polysiphonia akke-*

shiensis Segi로 명명한 표본들은 호생 분기하고, 아래 쪽 부위의 가지가 길고 위로 갈수록 짧아지는 분기 형태 및 잔가지들이 산방상에 가까운 형태를 하며, 무수히 많은 엽흔가지를 낸다는 점에서 한국 동해안에서 산호말류 위에 흔히 서식하는 *N. harlandii*와 일치한다는 이유로 전자를 본 종의 이명으로 처리하였다. 그러나 Kudo and Masuda(1986)는 *P. akkeshiensis*는 오히려 *Neosiphonia japonica*와 형태적으로 유사하므로 같은 종일 것이라고 하였으며, *P. akkeshiensis*와 *N. japonica*의 교배 실험에서는 생식적 불화합성을 보고하였다. 더욱이, *N. harlandii*와 *N. japonica*는 외부 형태와 생육지 등이 뚜렷하게 구분되므로 서로 다른 종임이 확실하다. 또한 *P. akkeshiensis*는 Kudo and Masuda(1986)의 의견처럼 *N. japonica*와 동일 종으로 사료되므로 *N. harlandii*의 이명에서는 제외시켜야 된다고 판단된다. 한편, 윤(1986)은 Kang(1966)에 의하여 *P. spinosa* (C. Agardh) J. Agardh로 동정된 울릉도산 표본들을 본 종의 잘못된 동정이라고 지적한 바 있다.

사 사

본 연구에 관하여 많은 도움과 조언을 해주신 이인규, 부성민 교수님께 감사를 드립니다. 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-075-C00026).

참고문헌

- 강제원, 송춘복. 1984. 서해안 해조류에 관한 생태적인 연구. 대한민국 학술원 논문집(자연과학편) **23**: 195-219.
- 김은아, 이해복, 이인규. 1986. 경남 삼천포 주변 해조류 식생. 식물학회지 **29**: 175-183.
- 변경숙, 강제원. 1986. 홍조 *Polysiphonia decumbens* Segi의 야외관찰 및 실내배양. 한국조류학회지 **1**: 145-156.
- 부성민, 최도성. 1989. 안마군도의 하계 해산식물상. 자연실태종합조사보고서. **9**: 207-238.
- 윤하용. 1986. 한국산 홍조 *Polysiphonia* 속의 분류학적 연구. 한국조류학회지 **1**: 3-86.
- 이기완, 고신자. 1991. 제주도 주변 유인도의 해조류상. 제주 유인도 학술조사 보고서. pp. 235-269. 제주문화방송주식회사, 제주.
- 이용필, 이인규. 1982. 제주도 연안 해조자원의 식생분석 연구. 서울대학교 자연과학논문집 **7**: 73-91.
- 이인규, 오윤식. 1992. 제주도의 해산 홍조 식물상. 제주도 해역의 조간대 및 아조대의 생물상 조사보고서. pp. 59-92. 문화재관리국, 서울.
- 이인규, 김형섭, 정호성. 1986. 흑산군도의 하계해조상. 자연실태종합조사보고서. **6**: 257-284.
- 최도성, 이인규. 1988. 소흑산군도의 해조류에 관한 연구. 목포대 연안생물연구. **5**: 45-58.
- Batten L. 1923. The genus *Polysiphonia* Grev., a critical revision of the British species, based upon anatomy. *J. Linn. Soc. Bot.*

- 46**: 271-311.
- Choi H.G., Kim M.S., Guiry M.D. and Saunders G.W. 2001. Phylogenetic relationships of *Polysiphonia* (Rhodomelaceae, Rhodophyta) and its relatives based on anatomical and nuclear small-subunit rDNA sequence data. *Can. J. Bot.* **79**: 1465-1476.
- Falkenberg P. 1901. Die Rhodomelaceen des Golfes von Neapel. Fauna Flora Golf. Neapel. Monogr. 26. Berlin. 754 pp. pls. 1-24.
- Greville R.K. 1824. Flora edinensis. Edinburgh. 478p, pl. 1-4.
- Harvey W.H. 1859. Characters of new algae, chiefly from Japan and adjacent regions collected by Charles Wright of the North Pacific exploring expedition under captain John Rogers. *Proc. Amer. Acad. Arts Sci.* **4**: 327-334.
- Hollenberg G.J. 1942. An account of the species of *Polysiphonia* on the pacific coast of North America. 1. *Oligosiphonia*. *Am. J. Bot.* **29**: 772-785.
- Hollenberg G.J. 1968. An account of the species of *Polysiphonia* of the central and western tropical Pacific Ocean I. *Oligosiphonia*. *Pac. Sci.* **22**: 56-98.
- Kang J.W. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish. Coll.* **7**: 1-125.
- Kim M.S. and Lee I.K. 1996. Morphology and reproduction of *Polysiphonia atlantica* Kapraun et J. Norris (Rhodomelaceae, Rhodophyta). *J. Plant Biol.* **39**: 23-29.
- Kim M.S. and Lee I.K. 1997. Morphology and reproduction of *Polysiphonia yendoii* Segi (Rhodomelaceae, Rhodophyta) in Korea. *Algae* **12**: 73-81.
- Kim M.S. and Lee I.K. 1999. *Neosiphonia flavimarina* gen. et sp. nov. with a taxonomic reassessment of the genus *Polysiphonia* (Rhodomelaceae, Rhodophyta). *Phycol. Res.* **47**: 271-281.
- Kim M.S., Lee I.K. and Boo S.M. 1994. Morphological studies of the red alga *Polysiphonia morrowii* Harvey on the Korean Coast. *Korean J. Phycol.* **9**: 185-192.
- Kudo T. and Masuda M. 1986. A taxonomic study of *Polysiphonia japonica* Harvey and *P. akkeshiensis* Segi (Rhodophyta). *Jpn J. Phycol.* **34**: 293-310.
- Maggs C.A. and Hommersand M.H. 1993. *Seaweeds of the British Isles. Vol. 1 Rhodophyta, Part 3A Ceramiales*. The Natural History Museum, London, HMSO, 444 pp.
- McIvor L., Maggs C.A., Provan J. and Stanhope M.J. 2001. *rbcL* sequences reveal multiple cryptic introductions of the Japanese red alga *Polysiphonia harveyi*. *Mol. Ecol.* **10**: 911-919.
- Segi T. 1951. Systematic study of the genus *Polysiphonia* from Japan and its vicinity. *Rep. Fac. Fish. Mie Pref. Univ.* **1**: 169-272.
- Segi T. 1960. Further study of *Polysiphonia* from Japan (2). *Rep. Fac. Fish., Mie Pref. Univ.* **3**: 608-626.
- Tseng C.K. 1944. Marine algae of Hong Kong. VI. The genus *Polysiphonia*. *Pap. Michi. Acad. Sci., Arts. Letters* **29**: 67-82.
- Womersley H.B.S. 1979. South Australian species of *Polysiphonia* Greville (Rhodophyta). *Aust. J. Bot.* **27**: 459-528.
- Yamada Y. 1933. Notes on some Japanese algae V.J. *Fac. Sci., Hokkaido Imp. Univ. Ser. 5*, **2**: 277-285.