

## 한국산 돌나물과의 화분분류학적 연구

신진환, 유영기, 박기룡\*  
경남대학교 생물학과

### A Palynotaxonomic Study of the Korean Crassulaceae

Jin-Hwan Sin, Young-Gi Yoo and Ki-Ryong Park\*

Department of Biology, Kyung-Nam University, Masan 631-701, Korea

(Received November 16, 2002; Accepted December 10, 2002)

#### ABSTRACT

Pollen morphology of four genera, 22 species of Korean Crassulaceae has been examined with light and scanning electron microscopy. The presence/absence of the aperture margo and granules was useful characters to clarify the generic boundaries, and the shapes of the streate were significant to delineate taxonomic relationships within the genus *Sedum*. The pollen grains of Korean Crassulaceae were small and medium in size. *Hylotelephium viviparum* has the smallest pollen grains, and *H. viridescens* the largest. The pollen grains are tricolporate, circular in polar view and were prolate to prolate spheroidal in equatorial shape. Korean Crassulaceae species have striate grains. The close pollen morphological relationships among *Hylotelephium*, *Meterostachys* and *Orostachys* species were concordant to the results based on the previous molecular and morphological studies. The results of the clustering analysis using pollen characters support the segregation of *Sedum* sensu lato which has been proposed by the previous authors. Within the genus *Sedum*, *S. kamtschatium* is closely related to *S. middendorffianum* with granules on the surface of the pollen grains. *Sedum polytrichoides*, a member of the *Sedum*, was clustered to the species of the *Meterostachys*, *Hylotelephium* and *Orostachys*, and needs to re-examine the taxonomic status. *O. malacophyllus* collected at Chungdong Jin was significantly differ from the same species from Gampo in pollen and morphological characters.

**Key words** : Crassulaceae, Pollen morphology

#### 서론

세계적으로 약 1500종으로 구성된 돌나물과(Crass-

ulaceae)는 다육성 초본으로 5수성의 방사상칭 꽃 구조를 갖는 분류군으로 de Candolle에 의해 1801년에 과로 채택된 이래 자연분류군으로 여겨져 왔다(Hart, 1995). 최근 분자적 정보를 이용한 연구에서도 본과

본 연구는 2002년 경남대학교 학술계제연구비 지원으로 이루어졌습니다.

\* Correspondence should be addressed to Dr. Ki-Ryong Park, Department of Biology, Kyung-Nam University, Masan 631-701, Korea. Ph.: 055-249-2240, FAX: 055-244-6504, E-mail: park@kyungnam.ac.kr

Copyright © 2002 Korean Society of Electron Microscopy

가 단일계통(monophyletic group)임이 입증된바 있다(Soltis et al., 1997). 그러나 돌나물과속의 다양한 형태적, 세포학적 변이 때문에 약 35속으로 구성된 본과는 과내 분류체계나 속의 한계, 이들의 유연관계에 있어서는 학자간 이견이 많은 분류군으로 여겨지고 있다(Hart & Egli, 1995; Mort et al., 2001). 과내 분류체계에 대한 종합적인 연구로는 Berger가 1930에 본과를 Crassuloideae, Kalanchoideae, Cotyledonodeae, Sempervivoideae, Sedoideae Echeverroideae의 6개 아과로 나누고 아시아산 돌나물과를 Sedoideae에 포함시켰다. 최근의 분자적 정보를 기초로 한 Hart(1995)는 돌나물과를 Crassuloideae와 Sedoideae아과로 나누었다. Sedoideae는 Kalanchoeace속과 Sedeae속으로, Sedeae속은 아시아 분류군인 Telephiinae(동아시아산 *Rhodiola*, *Hylotelephium*, *Orostachys*, *Meterostachys* 그리고 *Sedum*속 *Aizoon*아속)와 북반구종인 Sedinae(돌나물, 바위채송화 등을 포함한 *Sedum*속 *Sedum*아속)아속으로 나누었다. 구대륙 Sedoideae아과의 분류체계를 정립한 Ohba(1978)는 *Sedum*, *Pseudosedum*, *Orostachys*, *Rosularia*, *Rhodiola*, *Sinocrassula*, *Hylotelephium*, *Perrierosedum*, *Meterostachys* 그리고 *Prometheum*의 10개 속으로 나누고 *Sedum*속은 다시 5개의 아속으로 세분하였다. 최근 Chloroplast DNA를 이용한 분자적 연구 결과(Hart, 1995; Mort et al., 2001) *Sedum*속은 인위적 분류군이기 때문에 자연분류군으로 세분화할 필요성이 있다고 지적하였고, 한편 *Sedum*아속을 제외한 아시아산 Sedoideae아과가 포함되는 *Telephium*분계조(clade)가 자연분류군임을 대체로 지지하였으며, 특히 *Orostachys*, *Hylotelephium*, *Sinocrassula*가 매우 유연 관계가 깊은 단일계통으로 밝혀졌다. 한국산 돌나물과 식물은 30여종으로(Nakai, 1952; Lee, 1996). 한국산 돌나물과에 대한 분류학적 연구는 Uhl & Moran(1972)에 의해 염색체 수준의 종합적인 연구가 진행되었고, Chung & Kim(1989)은 *Sedum*속 *Aizoon*아속에 대한 종속지적 연구가 이루어졌으며, Kim(1996)과 Kim et al.(1995)에 의해 *Orostachys*속에 대한 세포학적, 해부학적 연구가 수행되었다. 돌나물과에 대한 화학적 연구는 *Sedum*속에 제한적으로 이루어져 왔고, 특히 유럽에 분포하는 *Sedum*에 대한 화학적 연구는

Radulescu(1963)와 Hart(1975)에 의해 수행된 바 있으며, Calie(1981)에 의해 *Sedum*속 *Ternata*절에 대한 화학적 연구가 있지만, 돌나물과 전체에 대한 종합적인 연구나 분류체계를 검증하는 화학적 연구는 수행된 바 없다. 한국산 *Sedum*에 대한 화학적 연구는 Kim(1994)에 의해 수행된 바 있으나 화분형질이 종을 인지하거나 속이하 분류체계를 검증하는데 유용하지 못하다는 결론을 얻었다. 따라서 Kim(1994)의 연구에서 일부 종들이 포함되지 않은 점 그리고 정밀한 화분형질에 대한 연구가 없었다는 점에서 종합적인 연구가 필요하다.

본 연구는 한국산 돌나물과 식물들에 대한 화분분류학적 연구를 통해 기존의 돌나물아과 내 분류체계(Ohba, 1978)의 타당성과 유연관계에 대한 가설을 검증하고, 한국 특산 식물의 유연관계, 변이가 심한 기린초아속 내 종의 한계를 설정하는데 화학적 형질의 타당성을 알아보려고 한다.

## 재료 및 방법

한국산 돌나물과 식물들의 화분형태형질을 조사하기 위해 2001년 4월에서 2001년 11월까지 채집한 23종의 식물 화분을 사용하였다(Table 1). 채집을 하지 못했던 좀바위솔과 연화바위솔은 야생화 수집가로부터 표본을 얻어 화분재료로 이용하였다.

화분형태 분석을 위해 잘 성숙된 수술들을 골라 Livingstone이 개량한 Erdtman(1966) 방법으로 초산 분해(acetolysis) 하였는데 수술만을 따서 centrifuge tube에 넣은 다음 5 mL의 glacial acetic acid를 넣고 5분간 원심분리(3500 rpm) 시킨 후 상층액을 따라낸 후 다시 acetolysis mixture(acetic anhydride 9 : c-sulfuric acid 1) 5 mL을 넣고 water bath에서 15분간 끓인 다음 원심분리 시키고 상층액을 따라낸다. 다시 glacial acetic acid 5 mL을 넣고 원심분리 시켜 상층액을 따라낸 후 다시 glacial acetic acid 5 mL을 넣고 tube mixer로 잘 흔든 다음 steel mesh(No. 6)로 여과시킨다. 여과된 화분들을 원심분리 시킨 후 상층액을 따라내고 재료에 다시 증류수를 넣고 원심분리 시켜 따라낸다. 이 재료를 5% NaOH 5 mL을 넣고 5분간

Table 1. Collection data of 23 Korean Crassulaceae species for pollen morphological Studies

Scientific name	Korean name	Collection number	Collection site
<i>Sedum</i> subg. <i>aizoon</i>			
<i>S. kantschaticum</i>	기린초	Sin 1001	Mt. Taebak, Mt. Gaya
<i>S. aizoon</i>	가는기린초	Sin 1002	Mt. Taebak, Jinju
<i>S. ellacombinum</i>	넓은잎기린초	Yoo 012	Koje Isl. Haekumkang
<i>S. latiovalifolium</i>	태백기린초	Yoo 011	Mt. Taebak
<i>S. takesimense</i>	섬기린초	Sin 1005	Andong Nat. Univ.
<i>S. middendorffianum</i>	애기기린초	Sin 1006	Gichungsan botanical gardens
<i>S. zokuriense</i>	속리기린초	Sin 1007	Mt. Sokri
<i>Sedum</i> subg. <i>Sedum</i>			
<i>S. oryzifolium</i>	망채송화	Sin 2001	Cheju Isl.
<i>S. sarmentosum</i>	돌나물	Sin 2002	Mt. Taebak, Mt. Sokri
<i>S. bulbiferum</i>	말뚝비름	Sin 2003	Masan
<i>S. polytrichoides</i>	바위채송화	Sin 2004	Masan
<i>Hylotelephium</i>			
<i>H. ussuriense</i>	둥근잎평의비름	Sin 3001	Mt. Juwang
<i>H. verticillatum</i>	세잎평의비름	Sin 3002	Mt. Yongmun
<i>H. purpureum</i>	자주평의비름	Sin 3003	Mt. Yongmun
<i>H. spectabile</i>	큰평의비름	Sin 3004	Mt. Jiri, Mt Kwanak
<i>H. viridescens</i>	섬평의비름	Sin 3005	Cheju Isl.
<i>H. erythrostichum</i>	평의비름	Sin 3006	Mt. Jiri
<i>Meterostachys</i>			
<i>M. sikokiana</i>	난쟁이바위솔	Sin 4001	Mt. Tabak, Mt. Jiri
<i>Orostachys</i>			
<i>O. japonicus</i>	바위솔	Sin 5001	Chunggi
<i>O. malacophyllus</i> 1	둥근바위솔	Sin 5002	Gampo
<i>O. malacophyllus</i> 2	둥근바위솔	Sin 5003	Jungdongjin
<i>O. mimulus</i>	좁바위솔	Sin 5004	Masan collector
<i>O. iwarenge</i>	연화바위솔	Sin 5005	Masan collector

끓인 후 원심분리 시켜 상층액을 따라낸 후 증류수와 ethyl alcohol을 3:1로 섞어 넣은 다음 원심분리 시켜 따라낸다. 화분연구표본을 제작하기 위해 slide warmer 위에서 glycerine jelly와 혼합하여 파라핀으로 밀봉한 후 광학현미경하에서 화분의 길이, 적도의 길이, 극축의 길이, 표벽 두께, 발아구의 길이, 적도면상 모양을 측정하였다. 주사전자현미경 (SEM)으로 관찰하기 위해 초산분해 한 화분을 공기 중에 건조시켜 0.01 Torr 하에서 60초로 Au-Pd로 ion 증착시키고 전계방사형 주사전자현미경 (FEG-SEM: S-4200)으로 관찰하였다. 화분형태에 관한 용어는 Lee(1978), Punt et al.(1994)에 따랐다. 기존의 돌나물과 화분에 관한 용어가 다양하고 기재된 용어들도 혼돈을 일으킬 수 있어 유선상 돌기의 두께는 murus width로, 유선상 돌기들 사이의 거리는 striates로 하였다. 과립상 돌기 (granule)의 수를 측정하기 위해 인화한 사진을 이용

하여  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 의 선을 긋고 수를 세었으며, 과립상 돌기의 직경은  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 내의 가장 큰 것과 가장 작은 것들의 직경을 측정하여 사용하였다.

## 결 과

### 돌나물과의 화분 특징

한국산 돌나물과의 화분의 극면상은 원형이며, 소립으로부터 중립으로 크기가  $16.50 \sim 25.50 \times 13.38 \sim 20.00\mu\text{m}$ (P×E)로 세잎평의비름이 가장 작고 섬평의비름이 가장 크며, 적도면상은 약장구형으로부터 장구형(P/E = 1.06~1.59)까지 나타난다. 발아구는 3공구형이었으며, 표벽 두께는  $3.00 \sim 5.00\mu\text{m}$ 이었다. 이들 중 *Hylotelephium*, *Meterostachys*, *Orostachys*에 속하는 종들은 발아구연 (aperture margo)이 발달하였으며

(Figs. 8a-20b), 표면에 과립상 돌기를 가진 군(*Hylotelephium*, *Meterostachys*, *Orostachys*. Figs. 2a-4b, 8a-20b)과 과립상 돌기를 가지지 않은 군(*Sedum*. Figs. 1a-2b, 4a-7b)으로 뚜렷하게 구분된다. 표면 무늬는 돌나물과 전체가 유선상이었고, 유선돌기의 폭은 0.08~0.25 $\mu\text{m}$ , 인접한 유선돌기간의 거리 0.06~0.38 $\mu\text{m}$ , 내발아구(endoaperture)의 길이와 폭은 9.75~14.38 $\times$  1.25~3.00 $\mu\text{m}$ , 유선돌기의 분지 정도 등이 속에 따라 다양해서 상기한 특징들을 포함하여 다음의 검색표 작성이 가능하다.

### 한국산 돌나물과 식물의 화분 검색표

1. 화분 표면 무늬가 유선상이며 과립상 돌기가 없다.
  2. 유선상 돌기의 상부가 둥글다. .... 가는기린초아속
  3. 유선상 돌기 폭(평균 0.21 $\mu\text{m}$ )과 인접 돌기간 거리(평균 0.18 $\mu\text{m}$ )가 넓다. .... 기린초
  3. 유선상 돌기 폭(평균 0.15 $\mu\text{m}$ )과 인접 돌기간 거리(평균 0.10 $\mu\text{m}$ )가 좁다. .... 가는기린초
  2. 유선상 돌기의 상부가 평평하고 각이 진다. .... 돌나물아속
  4. 유선상 돌기 폭이 0.09 $\mu\text{m}$  이하이다.
    5. 유선상 돌기 폭이(평균 0.09 $\mu\text{m}$ )고 인접 돌기간 거리(평균 0.26 $\mu\text{m}$ )가 좁고 장구형(P/E = 1.59)이다. .... 말뚝비름
    5. 유선상 돌기 폭이(평균 0.08 $\mu\text{m}$ )고 인접 돌기간 거리(평균 0.30 $\mu\text{m}$ )가 넓고 약장구형(P/E = 1.11)이다. .... 땅채송화
  4. 유선상 돌기 폭이 0.10 $\mu\text{m}$  이상이다.
    6. 유선상 돌기 폭(평균 0.12 $\mu\text{m}$ )과 인접 돌기간 거리(평균 0.38 $\mu\text{m}$ )가 넓고 아장구형(P/E = 1.20)이다. .... 바위채송화
    6. 유선상 돌기 폭(평균 0.11 $\mu\text{m}$ )과 인접 돌기간 거리(평균 0.20 $\mu\text{m}$ )가 가장 좁고 아장구형(P/E = 1.27)이다. .... 돌나물
1. 화분 표면 무늬가 유선상이며 과립상 돌기가 있다.
  7. 발아구연이 없다.
    8. 화분 크기가 소립(23.25 $\mu\text{m}$ )이고 과립상 돌기 수가 15개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ )이다. .... 섬기린초
    8. 화분 크기가 중립(25.00 $\mu\text{m}$ )이고 과립상 돌기 수가 21개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ )이다. .... 애기기린초
  7. 발아구연이 있다.
    9. 과립상 돌기의 수가 20개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ ) 미만이다.
      10. 과립상 돌기 직경이 평균 0.09 $\mu\text{m}$  미만이다.
        11. 과립상 돌기 직경이 평균 0.05 $\mu\text{m}$ 이며 장구형(P/E=1.45)이다. .... 둥근바위솔 1
        11. 과립상 돌기 직경이 평균 0.08 $\mu\text{m}$ 이며 아장구형(P/E=1.28)이다. .... 섬평의비름
      10. 과립상 돌기 직경이 평균 0.09 $\mu\text{m}$  이상이다.
        12. 과립상 돌기 직경이 평균 0.09 $\mu\text{m}$ 이며 장구형(P/E=1.43)이다. .... 줄바위솔
        12. 과립상 돌기 직경이 평균 0.11 $\mu\text{m}$ 이며 아장구형(P/E=1.30)이다. .... 바위솔
    9. 과립상 돌기의 수가 20개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ ) 이상이다.
      13. 표벽 두께가 평균 4.00 $\mu\text{m}$  미만이다.
        14. 표벽 두께가 평균 3.50 $\mu\text{m}$ 이며 과립상 돌기의 수가 39개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ )이다. .... 연화바위솔
        14. 표벽 두께가 평균 3.75 $\mu\text{m}$ 이며 과립상 돌기의 수가 88개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ )이다. .... 둥근바위솔 2
      13. 표벽 두께가 평균 4.00 $\mu\text{m}$  이상이다.
        15. 인접 돌기간 거리가 평균 0.10 $\mu\text{m}$  미만이다.
          16. 인접 돌기간 거리가 평균 0.08 $\mu\text{m}$ 이고 과립상 돌기 수가 43개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ )이다. .... 둥근잎평의비름
          16. 인접 돌기간 거리가 평균 0.08 $\mu\text{m}$ 이고 과립상 돌기 수가 22개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ )다. .... 난쟁이바위솔
        15. 인접 돌기간 거리가 평균 0.10 $\mu\text{m}$  이상이다.
          17. 과립상 돌기 직경이 평균 0.05 $\mu\text{m}$  이하이다.
            18. 과립상 돌기 직경이 평균 0.03 $\mu\text{m}$ 이고 돌기 수는 32개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ )이다. .... 큰평의비름
            18. 과립상 돌기 직경이 평균 0.05 $\mu\text{m}$ 이고 돌기 수는 28개( $\text{N}/\mu\text{m}^2$ )이다. .... 자주평의비름
          17. 과립상 돌기 직경이 평균 0.05 $\mu\text{m}$  이상이

- 다.
- 19. 과일상 돌기 직경이 평균 0.06  $\mu\text{m}$ 이고 인접 돌기간 거리가 평균 0.18  $\mu\text{m}$ 이다. ·  
..... 평의비름
- 19. 과일상 돌기 직경이 평균 0.07  $\mu\text{m}$  이고 인접 돌기간 거리가 평균 0.10  $\mu\text{m}$ 이다. ·  
..... 새끼평의비름

**한국산 들나물과 식물 화분 형태**

*Sedum* subg. *Aizoon* (가는기린초아속): *Aizoon*아속의 극면상은 원형이고, 화분립 크기는 19.63~25.00 × 14.75~22.13  $\mu\text{m}$  (P×E)로 애기기린초(Fig. 4a, b)가 가장 크다. 적도면상은 약장구형-장구형 (P/E=1.03~1.58)이고 3-공구형으로 섬기린초(Figs. 3a, b)는 장구형이었다. 표벽 두께는 3.00~4.50  $\mu\text{m}$ 로 가는기린초(Fig. 2a, b)와 섬기린초가 가장 두꺼우며, 발아구 길이는 1.75~3.25  $\mu\text{m}$ 로 섬기린초가 가장 길고, 내발아구 길이는 11.75~15.00  $\mu\text{m}$ 로 가는기린초가 가장 길며, 내발아구 폭은 1.75~3.25  $\mu\text{m}$ 로 섬기린초가 가장 넓으며, 유선상 돌기 폭 0.15~0.25  $\mu\text{m}$ 와 인접한 유선상 돌기 사이의 거리는 0.10~0.20  $\mu\text{m}$ 으로 애기기린초가 넓고 길다. 가는기린초아속은 전부 유선상 돌기상면이 둥근 모양으로 표면 무늬는 작고 조밀하며, 화분 표면에 과일상 돌기와 발아구연이 없는 기린초(Fig. 1a, b), 가는기린초, 넓은잎기린초(Fig. 21a, b), 속리기린초(Fig. 22a, b)와 섬기린초와 애기기린초는 과일상 돌기가 있고 발아구연이 없어 다른 가는기린초아속과 차이가 나며, 애기기린초는 과일상 돌기의 수와 크기가 섬기린초보다 크고 넓다(Figs. 1a-4b, 21a-22b).

*Sedum* subg. *Sedum* (들나물아속): 들나물아속의 극면상은 원형이고 화분립 크기는 19.00~21.67 × 13.38~18.88  $\mu\text{m}$  (P×E)로 소립이며, 들나물(Fig. 6a, b)과 땅채송화(Fig. 5a, b)는 크며, 말뚝비름(Fig. 7a, b)과 바위채송화(Fig. 8a, b)는 작고, 적도면상은 장구형 (P/E=1.59)인 말뚝비름, 아장구형 (P/E=1.20~1.27)인 바위채송화와 들나물, 약장구형 (P/E=1.11)인 땅채송화까지 다양하며 3-공구형이다. 표벽 두께는 4.13~5.00  $\mu\text{m}$ 로 들나물이 가장 두껍고, 발아구 길이는

1.50~4.69  $\mu\text{m}$ 로 말뚝비름이 가장 길며, 내발아구 길이는 11.13~14.13  $\mu\text{m}$ , 내발아구 폭은 2.13~3.00  $\mu\text{m}$ , 유선상 돌기 폭은 0.08~0.11  $\mu\text{m}$ , 인접한 유선상 돌기 사이의 거리는 0.20~0.38  $\mu\text{m}$ 로 땅채송화와 들나물은 좁고, 말뚝비름과 바위채송화는 넓으며, 바위채송화가 가장 길고 넓다. 유선상 돌기 상부가 각이 지고 평평하며 좁고, 화분 표면에 과일상 돌기와 발아구연(aperture margo)이 없다(Figs. 5a-8b).

Gen. *Hylotelephium* (평의비름속): 평의비름속 화분의 극면상은 원형이며, 화분립의 크기는 둥근잎평의비름(Fig. 9a, b), 세잎평의비름(Fig. 10a, b), 자주평의비름(Fig. 11a, b), 큰평의비름(Fig. 12a, b)은 소립이며, 섬평의비름(Fig. 13a, b), 평의비름(Fig. 14a, b)은 중립으로 크기는 16.50~25.50 × 14.00~20.00  $\mu\text{m}$  (P×E)으로 평의비름이 가장 크며, 적도면상은 장구형 (P/E=1.40~1.54, 평의비름, 자주평의비름, 큰평의비름), 아장구형 (P/E=1.18~1.28, 세잎평의비름, 둥근잎평의비름, 섬평의비름)까지 다양하다. 표벽 두께는 4.25~5.00  $\mu\text{m}$ , 발아구 길이는 1.25~3.75  $\mu\text{m}$ 로 평의비름이 두껍고 길며, 내발아구 길이는 9.75~13.00  $\mu\text{m}$ 로 섬평의비름이, 내발아구 폭은 1.25~2.50  $\mu\text{m}$ 로 큰평의비름과 평의비름이 크다. 과일상 돌기 수는 18~43개/ $\mu\text{m}^2$ , 과일상 돌기 크기는 0.03~0.09  $\mu\text{m}$ 로 둥근잎평의비름이 크고 많으며, 큰평의비름이 가장 작고, 섬평의비름이 과일상 돌기 수가 가장 작다. 유선상 돌기 폭은 0.18~0.22  $\mu\text{m}$ 로 둥근잎평의비름과 섬평의비름이 넓고, 인접한 유선상 돌기 사이의 거리 0.08~0.35  $\mu\text{m}$ 로 섬평의비름이 넓다. 평의비름속은 유선상 돌기상면이 둥글고 화분 표면에 과일상 돌기와 발아구연이 있다(Figs. 9a-14b).

Gen. *Meterostachys* (난쟁이바위솔속): 난쟁이바위솔속은 난쟁이바위솔(*M. sikokiana* (Makino) Nakai) 1종으로 극면상은 원형이며, 화분립은 소립이고 크기는 17.00 × 16.00  $\mu\text{m}$  (P×E)이고, 적도면상은 약장구형 (P/E=1.06)으로 작고, 표벽 두께는 3.75-(4.00)-5.00  $\mu\text{m}$ , 발아구 길이 1.25-(1.25)-1.25  $\mu\text{m}$ , 내발아구 길이 10.00-(10.25)-11.25  $\mu\text{m}$ , 내발아구 폭 1.25-(1.25)-1.25  $\mu\text{m}$ , 과일상 돌기 수 16-(22)-28개/ $\mu\text{m}^2$ , 과일상 돌기 크기는 0.03-(0.05)-0.05  $\mu\text{m}$ 로 작고, 유선상 돌기 폭 0.23-(0.25)-0.30  $\mu\text{m}$ , 인접한 유선상 돌기 사이

의 거리 0.03-(0.08)-0.18  $\mu\text{m}$ 로 폭은 넓고 거리는 좁으며, 유선상 돌기 상면이 둥글고 화분 표면에 과립상 돌기와 발아구연이 있다(Fig. 15a, b).

Gen. *Orostachys* (연화바위솔속): 화분립은 소립이고 크기는 20.50~23.50  $\times$  15.75~18.25  $\mu\text{m}$  (P  $\times$  E)로 둥근바위솔 1 (Fig. 17a, b)과 둥근바위솔 2 (Fig. 18a, b)가 크며, 적도면상은 약장구형 (P/E=1.11, 둥근바위솔 2), 아장구형 (P/E=1.30, 바위솔, Fig. 16a, b), 장구형 (P/E=1.35~1.45, 연화바위솔 (Fig. 20a, b), 좁바위솔 (Fig. 19a, b), 둥근바위솔 1 (Fig. 17a, b)으로 다양하다. 표벽 두께는 3.50~4.00  $\mu\text{m}$ 로 둥근바위솔 1이, 내발아구 길이는 10.25~13.00  $\mu\text{m}$ 로 둥근바위솔 2가, 내발아구 폭은 1.25~1.50  $\mu\text{m}$ 로 바위솔이, 발아구 길이 1.25~4.17  $\mu\text{m}$ 와 과립상 돌기 수 13~88개/ $\mu\text{m}^2$ 는 둥근바위솔 2가 길고 많으며 좁바위솔이 가장 적고, 과

립상 돌기 크기는 0.03~0.11  $\mu\text{m}$ 로 바위솔이 가장 크고 둥근바위솔 2가 가장 작다. 유선상 돌기 폭은 0.19~0.25  $\mu\text{m}$ 로 길고, 인접한 유선상 돌기 사이의 거리는 0.06~0.12  $\mu\text{m}$ 이고, 유선상 돌기 상면이 둥글고 화분 표면에 과립상 돌기와 발아구연이 있다(Figs. 16a-20b).

### 화분형질을 이용한 유집 분석

화분 형질의 유집분석을 통한 전형지도(Fig. 22)에 의하면 한국산 들나물과는 다음과 같은 분류군으로 나누어진다. 주로 화분립의 표면에 과립상 돌기와 발아구연을 가진 *Orostachys*, *Meterostachys*, *Hylotelephium*속이 가까운 유집을 형성하며, *Sedum*속 중 유선상 돌기 상면이 평평한 *Sedum*아속 군과 유선상 돌기 상면이 둥근 *Aizoon*아속 군으로 나누어지고, 유선

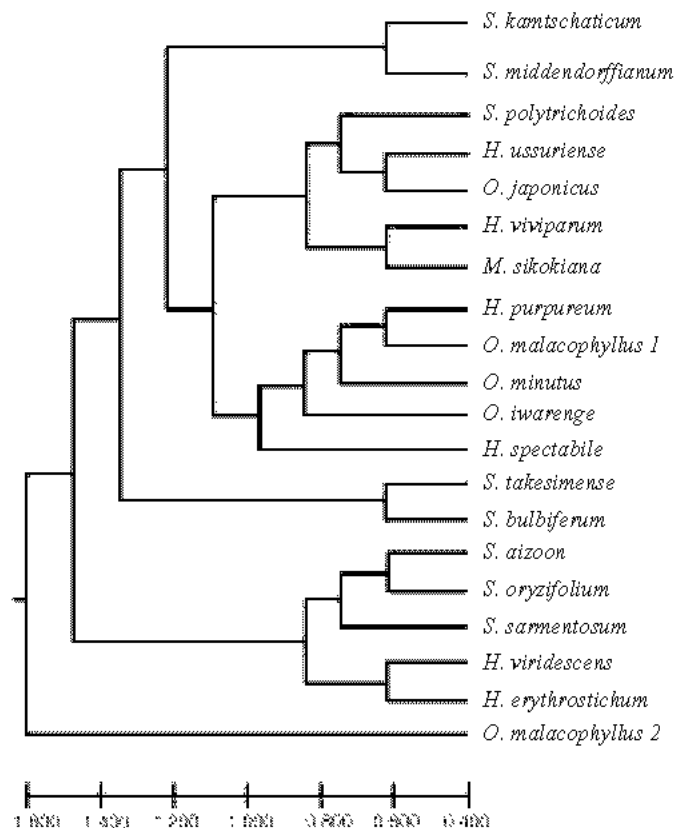


Fig. 22. UPGMA phenogram of Korean Crassulaceae species based on 23 pollen characters.

상 돌기 상면이 둥근 군 중에서 표면에 과립상 돌기를 가진 섬기린초와 애기기린초 군, 과립상 돌기를 가지지 않은 기린초, 가는기린초 군으로 유집된다. 특히 *Sedum*아속에 포함된 바위채송화가 *Orosyachys*, *Meterostachys*, *Hylotelephium*종들과 유집되고 있어 분류학적 위치가 재고되어야 할 것으로 생각된다. 또한 정동진에서 채집한 둥근바위솔은 동일 종의 다른 집단과 분리되어 유집되고 있다.

## 고 찰

돌나물과는 대부분의 분류학자들에 의해 전통적으로 자연분류군으로 여겨지고 있지만(Hart, 1995), 과내에 매우 다양한 형태적, 세포학적 변이 때문에 과내 분류체계에 있어 다양한 견해가 최근까지 제시되고 있어 종합적인 분류학적 연구가 시급하다. 전통적으로 Berger(1930)는 본 과를 6개 아과로 나누었고, 구대륙 Sedoideae아과의 분류체계를 정립한 Ohba(1978)는 아과 내에 10개의 속으로 나누고 *Sedum*속은 다시 5개의 아속으로 세분화하였다. 또한 최근 들어 *Balfouria*라는 신속을 정립하였고, 기존에 아속으로 두었던 *Aizoon*과 *Sedum*을 *Aizopsis*와 *Phedimus*의 독립된 속으로 인정하였다(Ohba, 1995). 또한 형태학적 유사성과 세포학적 정보를 기초로 *Orostachys*와 *Hylotelephium*이 매우 가까운 분류군임을 시사한 바 있다(Ohba, 1978). 분자적 정보를 기초로한 Hart(1995)의 분류체계와 최근 Chloroplast DNA를 이용한 분자적 연구 결과(Hart, 1995; Mort et al., 2001)는 *Sedum*속은 인위적 분류군이기 때문에 자연분류군으로 세분화할 필요성이 있다고 지적하였다. 한편 *Sedum*아속을 제외한 아시아산 Sedoideae아과가 포함되는 *Telephium* 분계조가 자연 분류군임을 대체로 지지하였고, 특히 *Orostachys*, *Hylotelephium*, *Sinocrassula*가 매우 유연 관계가 깊은 단일계통으로 밝혀졌다. 하지만 Egli et al.(1995)는 *Hylotelephium*이 *Sedum*속과 유연 관계가 깊다는 대조적인 주장을 한 바 있다. 분화분학적 연구에 의하면 약간의 예외는 있지만 *Orostachys*, *Hylotelephium*, *Meterostachys*속 종들이 하나의 유집을 형성하고 있어 Egli et al.(1995)의 견해보

다는 기존의 분자적(Hart, 1995; Mort et al., 2001), 형태학적(Ohba, 1995) 결과와 마찬가지로 *Orostachys*, *Hylotelephium*, *Meterostachys*들이 매우 유연 관계가 깊은 군임을 지지한다. 또한 *Sedum*속에 속하는 종들이 여러 개의 독립된 유집에 흩어져 있어 이 *Sedum*군이 자연 분류군이 아님을 지지하며, *Sedum*속을 세분화할 필요가 있다고 한 기존의 연구 결과와도 일치하고 있다. 하지만 *Sedum*속을 두 개의 아속인 *Aizoon*과 *Sedum*아속으로 나누거나 독립된 두 속인 *Aizopsis*와 *Phedimus*로 분리시키는 Hart(1995)와 Ohba(1995)의 처리는 지지하지 않았다. 즉 *Aizoon*아속과 *Sedum*아속이 동일 분류군끼리 유집되지 않고 각각에 속하는 분류군들이 서로 유집되어 이들 간의 분류학적 한계에 대한 재고가 필요하다고 생각된다. Ham(1995)은 cpDNA 제한효소변이를 이용한 계통학적 연구에서 돌나물과를 7개의 분계조로 나누면서 *Telephium* 분계조에 평의비름속, 돌꽃속(*Rhodiola*)과 함께 기린초를 포함하여 하나의 분계조를 형성하였으며, 한편 다른 돌나물속 종들은 여러 개의 분계조에 분산되어 나타나고 있어 *Sedum*속이 단계원이 아님을 시사하였다. 분화분학적 연구에서도 기린초와 애기기린초가 하나의 유집으로, 나머지 *Sedum*속 종들이 여러 개의 유집에 흩어져 있어 Ham(1995)의 처리를 지지한다. Hart(1995)는 유럽산 *Sedum*속 24종에 대한 화분학적 연구에서 화분의 변이는 심하지만 전체적으로 화분의 유형은 동일한 형태를 보인다고 언급한 바 있고, Kim(1994)에 의해 수행된 한국산 *Sedum*속에 대한 화분학적 연구에서는 화분형질이 종을 인지하거나 속 이하 분류체계를 검증하는데 유용하지 못하다라고 하였으나, 본 연구 결과에서는 속간의 유연 관계를 검증하고 종의 한계와 중간 유연 관계를 밝히는데 유용한 정보를 제공하고 있다. 특히 발아구연의 유무와 과립상 돌기의 유무는 속간의 유연 관계를, 유선상 돌기의 모양은 *Sedum*속내 분류군의 한계를 설정하는데 유용한 정보를 제공하고 있다. 종간의 유연 관계에 있어서도 *Aizoon*아속 내 기린초와 애기기린초는 유일하게 과립상 돌기가 표면에 있어 이들이 매우 가까운 유연 관계임을 시사하고 있다. 정동진에서 채집된 *O. malacophyllus*의 경우 현재까지 한국에 보고된 종과 형태적으로 차이가 있을 뿐 아

나라 화분 형태적으로도 뚜렷한 차이가 있어 두 집단이 서로 다른 종일 가능성을 지지하지만, 현재까지 보고된 *O. malacophyllus*와 정동진에서 채집된 *O. malacophyllus* 두 종의 형태형질 및 염색체 분석 등 더 많은 연구를 통해 종에 대한 한계를 재고해야 할 것으로 사료된다. 또한 기존에 *Sedum*아속에 포함시켰던 *S. polytrichoides*가 *Hylotelephium*이나 *Orostachys* 종과 유집되고 있어 본 종의 분류학적 위치가 재고되어야 할 것으로 생각된다. 한국 특산종인 섬평 의비름은 평의비름과 화분 형태적으로 매우 유사하기 때문에 본 종의 기원도 평의비름과 연관이 깊을 것으로 사료된다. 결론적으로 본 연구를 통해 한국산 들나물과 화분의 형태를 밝히고 이를 기초로 속간, 종간 유연 관계 및 종의 한계를 설정하는데 새로운 가설을 제시하였다.

### 감사의 글

본 연구는 2002년도 경남대학교 학술논문게재연구비 지원으로 이루어졌습니다.

### 참고 문헌

- Berger A: Crassulaceae. In: Engler A & Prantl K, eds., Die Natürlichen Pflanzenfamilien, 2nd ed., 18a: 352-483, W. Engelmann, Leipzig, 1930.
- Calie PJ: Systematic studies in *Sedum* section *Ternata* (Crassulaceae). *Brittonia* 33: 498-507, 1981.
- Chung YH, Kim JH: Taxonomic study of *Sedum* section *Aizoon* in Korea. *Kor J Plant Tax* 19: 189-227, 1989. (Korean)
- Eggli U, Hart H, Nyffeler R: Toward a consensus classification of the Crassulaceae. In: Hart H, Eggli U, eds, *Evolution and Systematics of the Crassulaceae*, pp. 173-192, Backhuys Publishers, Leiden, 1995.
- Erdtman G: *Pollen Morphology and Plant Taxonomy*. Hafner, New York, 1966.
- Ham RCH/van: Phylogenetic relation of Crassulaceae inferred from chloroplast DNA variation. In: Hart H & Eggli U, eds, *Evolution and Systematics of the Crassulaceae*, pp. 16-29, Backhuys Publishers, Leiden, 1995.
- Hart H: The pollen morphology of 24 European species of the genus *Sedum* L. *Pollen et Spores* 16: 373-387, 1975.
- Hart H: Intrafamilial and generic classification of the Crassulaceae. In: Hart H, Eggli U, eds, *Evolution and Systematics of the Crassulaceae*, pp. 159-171, Backhuys Publishers, Leiden, 1995.
- Hart H, Eggli U: Introduction: Evolution of Crassulaceae systematics. In: Hart H, Eggli U, eds, *Evolution and Systematics of the Crassulaceae*, pp. 7-15, Backhuys Publishers, Leiden, 1995.
- Kim I: Chromosome studies of Korean *Orostachys* species (Crassulaceae). *Kor J Plant Tax* 26: 183-190, 1996.
- Kim I, Park J, Seo B, Song S: Foliar structure and mesophyll succulence in three Korean *Orostachys* species and its phylogenetic implications. *Kor J Plant Tax* 25: 209-220, 1995.
- Kim JH: Pollen Morphology of genus *Sedum*. *Kor J Plant Biol* 37: 245-252, 1994.
- Lee S: Phylogenetic significance of pollen morphology. *Kor J Plant Biol* 8: 59-58, 1978.
- Lee Y: *Flora of Korea*. Kyohak Publishing Co., LTD., Seoul, 1996.
- Nakai T: A synoptical sketch of Korean flora. *Bull Nat Sci Mus Tokyo* 31: 52-54, 1952.
- Moran R: *Sedum spectabile* in South Korea. *Cact Succ J (US)* 36: 140-144, 1964.
- Mort EM, Soltis DE, Soltis PS, Francisco Ortega J, Santos Guerra A: 2001. Phylogenetic relationships and evolution of Crassulaceae inferred from *matK* sequence data. *Amer J Bot* 88: 76-91, 2001.
- Ohba H: Generic and infrageneric classification of the Old World Sedoideae (Crassulaceae). *J Fac Sci Univ Tokyo III* 12: 139-198, 1978.
- Ohba H: 1995. Systematic problems of Asian Sedoideae. In: Hart H, Eggli U, eds, *Evolution and Systematics of the Crassulaceae*, pp. 153-158, Backhuys Publishers, Leiden, 1995.
- Punt W, Blackmore S, Nilsson S, Le Thomas A: *Glossary of Pollen and Spore Terminology*. LPP Contributions Series. 1, LPP Foundation, Utrecht, 1994.
- Radulescu D: Recherches palynologiques sur les especes spontanees de Crassulaceae de la R. P. Roumaine. *Acta Bot Horti Bucurest* 1961 62: 423-432, 1963.
- Soltis DE, Kuzoff RK, Conti E, Gornall R, Soltis PS: Phylogenetic relationships among Saxifragaceae *sensu lato*: a



comparison of topologies based on 18S rDNA and *rbcL* sequences. Amer J Bot 84: 504-522, 1997.

Uhl CH, Moran R: Chromosomes of Crassulaceae from Japan and South Korea. Cytologia 37: 59-81, 1972.

### < 국문초록 >

한국산 돌나물과 식물 4개 속 22종 23개 표본의 화분을 광학 및 주사전자현미경으로 관찰한 결과 발아구연의 유무, 과립상 돌기의 유무는 속간의 유연 관계를, 유선상 돌기의 모양은 *Sedum*속내 분류군의 한계를 설정하는데 유용한 정보를 제공하였다. 한국산 돌나물과의 화분립 모양은 소립 중립이고, 세일평의비름이 가장 작고 섬평의비름이 가장 컸으며, 화분의 극면상립은 원형이며, 적도면상은 약장구형 장구형, 발아구는 3 공구형이었다. 표면 무늬는 유선상이었고, *Hylotelephium*, *Meterostachys*, *Orostachys*는 발아구연과 표면에 과립상 돌기를 가진 분류군으로 기존의 분자적, 형태학적 결과와 마찬가지로

가지로 위 분류 군들이 매우 유연 관계가 깊은 군임을 지지한다. 유집분석 결과, *Sedum*속은 유선상 돌기 상면이 둥근 군과 평평한 군으로 나누어지고, 유선상 돌기 상면이 둥근 군 중에서 표면에 과립상 돌기를 가진 군인 섬기린초, 애기기린초와 과립상 돌기를 가지지 않은 군으로 뚜렷하게 나누어진다. 또한 *Sedum*속에 속하는 종들이 여러개의 유집으로 흩어져 있어 *Sedum*속을 세분화할 필요가 있다고 한 기존의 연구 결과와도 일치하고 있다. 종간의 유연 관계에 있어서도 *Aizoon*아속 내 기린초와 애기기린초는 유일하게 과립상 돌기가 표면에 존재하고 있어 이들이 매우 가까운 유연 관계임을 시사하고 있으며, *Sedum*아속에 포함시켰던 *S. polytrichoides*가 *Meterostachys*, *Hylotelephium*, *Orostachys*속 종과 유집되고 있어 본 종의 분류학적 위치가 재고되어야 할 것으로 생각된다. 정동진에서 채집된 *O. malacophyllus*의 경우, 현재까지 한국에 보고된 동일종의 집단과 형태적으로 차이가 있을 뿐 아니라 화분 형태적으로도 뚜렷한 차이가 있어 두 집단이 서로 다른 종일 가능성이 있다고 판단된다.

## FIGURE LEGENDS

- Figs. 1-3.** Scanning electron micrographs (SEM) of Korean *Sedum* species. *S. kamschaticum* (1a-b), *S. aizoon* (2a-b), *S. takesimense* (3a-b).
- Figs. 4-6.** Scanning electron micrographs (SEM) of Korean *Sedum* species. *S. middendorffianum* (4a-b), *S. oryzifolium* (5a-b), *S. sarmentosum* (6a-b).
- Figs. 7-9.** Scanning electron micrographs (SEM) of Korean *Sedum* species. *S. bulbiferum* (7a-b), *S. polytrichoides* (8a), *S. zokurienense* (8b), *H. ussuriense* (9a-b).
- Figs. 10-12.** Scanning electron micrographs (SEM) of Korean *Sedum* species. *H. verticillatum* (10a-b), *H. purpureum* (11a-b), *H. spectabile* (12a-b).
- Figs. 13-15.** Scanning electron micrographs (SEM) of Korean *Sedum* species. *H. viridescens* (13a-b), *H. erythrostichum* (14a-b), *M. sikokiana* (15a-b).
- Figs. 16-18.** Scanning electron micrographs (SEM) of Korean *Sedum* species. *O. japonicus* (16a-b), *O. malacophyllus* 1 (17a-b), *O. malacophyllus* 2 (18a-b).
- Figs. 19-21.** Scanning electron micrographs (SEM) of Korean *Sedum* species. *O. minutus* (19a-b), *O. iwarenge* (20a-b), *S. ellacombinum* (21a-b).

