

대극과 대극속 *Zygophyllidium* 절의 화분분류학적 연구

이 은 덕, 박 기 룡^{1,*}
경남대학교 교육대학원 생물교육전공,
¹경남대학교 사범대학 과학교육과

A Palynotaxonomic Study of *Euphorbia* Section *Zygophyllidium* (Euphorbiaceae)

Eun-Deok Lee and Ki-Ryong Park^{1,*}
Biology Education, Graduate School of Education, Kyung-Nam University,
Masan 631-701, Korea
¹Department of Science Education, College of Education, Kyung-Nam University,
Masan 631-701, Korea

(Received September 8, 2006; Accepted September 25, 2006)

ABSTRACT

Using light and scanning electron microscopy morphological studies of pollens were conducted to determine the sectional boundary and the relationships among eight species of section *Zygophyllidium* and its five related species of subg. *Poinsettia*. Pollen characters of 13 species were described, and their diagnostic keys were presented here. Based on the sculpturing patterns and the results of numerical analysis using 10 pollen characters 13 species were divided into four pollen types: type I, having micro-reticulate shaped pollen (*E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides* and *E. bilobata*), type II, having reticulate shaped pollen (*E. delicatula*, *E. extipulata*, *E. dentata*, *E. heterophylla*, *E. pulcherrima* and *E. cyathophora*), type III, micro-reticulate shaped pollen with platten muri (*E. lacera*), and type IV, having foveolate shaped pollen grains (*E. chersonesa* and *E. eriantha*). The results of pollen morphological studies suggest that the sect. *Zygophyllidium* should be delimited based on only four species, *E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides* and *E. bilobata*. *E. delicatula* and *E. extipulata* of sect. *Zygophyllidium* must be transferred to subg. *Poinsettia* based on pollen morphology. *E. eriantha* and *E. chersonesa* having forveolate sculpturing pattern of pollen grains seem to be closely related with species from subg. *Agaloma*, and additional studies of these species are needed to determine the species relationships within *Agaloma* group.

Key words : *Euphorbia*, Pollen morphology, Sect. *Zygophyllidium*

본 연구는 경남대학교 학술논문게재 연구비 지원으로 수행되었음.

*Correspondence should be addressed to Dr. Ki-Ryong Park, Department of Science Education, College of Education, Kyung-Nam University, Masan 631-701, Korea. Ph.: (055) 249-2240, FAX: (055) 249-2014, E-mail: park@kyungnam.ac.kr

서론

대극과 (Euphorbiaceae) 대극속 (*Euphorbia*)은 배상 화서를 갖는 군으로 주로 열대, 아열대 지역에 분포하는 분류군으로 전 세계에 약 1,500여종 이상이 분포하고 있다 (Croizat, 1940; Oudejans, 1992; Webster, 1994). 대극속 subgenus *Agaloma*에 속하는 *Zygophyllidium*절은 Boissier (1862)에 의해 최초로 설정되었는데, 그는 세계산 대극속의 종속지적 연구를 통해 대극속을 26개의 절(section)로 나누고 이 중 북미와 멕시코에 주로 분포하고, 1년생 초본으로 대생의 잎, 종자 표면에 돌기가 존재하는 4종 (*E. hexagona*, *E. bilobata*, *E. extipulata*, *E. lacera*)을 *Zygophyllidium*절에 포함시켰다. 이후 Small (1903)은 *Z. hexagonum*을 기준 종으로 북아메리카에 분포하는 5종을 *Zygophyllidium*속으로 승격시켜 처리하였으며, Arthur (1911, 1924)는 *E. biformis*와 *E. macropodoides*를 *Zygophyllidium*속으로 이전하였다. 또한 Wootton와 Standley (1913)는 *Z. delicatulum*을 미국 뉴멕시코에서 신종 기재하였고, *E. exstipulata*를 본 속으로 이전하였다. 하지만 이후 학자들 (Pax & Hoffman, 1931; Wheeler, 1943; Webster, 1967)은 *Zygophyllidium*속을 인정하지 않고 *Euphorbia*속 *Agaloma*아속 내 *Zygophyllidium*절로 처리하고 있다.

Boissier (1862)가 *Zygophyllidium*절을 설정한 후, Bentham은 1844년 *E. eriantha*를 신종 기재하였고, Rose와 Standley는 1912년 그리고 Wiggins (1980)은 이 종을 *Poinsettia*아속에 포함시켰으나 (Huft, 1984), Dressler (1961)는 5개의 선체와 화피 부속지 (petaloid appendages)가 존재하는 특징에 의해 *Agaloma*아속으로 분류하였다. 최근 Huft (1984)는 본 종을 *Agaloma*아속의 *Zygophyllidium*절에 포함시키고 *E. lacera*, *E. jaliscensis*와 유연관계가 깊다고 하였다. 이와 더불어 Huft (1984)는 멕시코 캘리포니아 반도에 분포하는 *E. lagunensis*를 신종 기재하면서 미국 뉴멕시코와 텍사스에 분포하는 *E. bilobata*와 가까운 군으로 추정하였다.

*Zygophyllidium*절의 대극속 내 유연관계를 살펴보면, 본 절의 많은 종들이 과거 *Poinsettia*아속으로 처

리 되었던 종이거나 현재도 *Poinsettia*아속에 포함되고 있어 이들과 유연관계가 깊은 것으로 생각되며, 두 분류군의 한계가 불분명하여 분류학적 연구가 필요하다 (Webster, 1967; Huft, 1979). 결론적으로 절의 한계와 유연관계에 대한 불분명한 해석 때문에 종종 본 분류군은 인위적 분류군으로 여겨졌으며, 분류학적 연구가 필요한 분류군으로 알려져 왔다 (Webster, 1967; Buck & Huft, 1977). 최근 형태형질 (Park, 1996)과 분자형질을 이용한 대극속내 계통분석 (Steinman & Porter, 2002; Park & Jansen, 2005)에서도 본 절이 자연분류군이 아니며, *Cyttarospermum*, *Poinsettia*군과 매우 유연관계가 깊은 것으로 나타났다.

기존의 대극속 내 화분학적 정보는 분류군의 한계를 설정하고, 분류군간의 유연관계를 검증하며, 발아구의 진화 경향을 규명하는데 중요한 정보를 제공하였다 (Park & Lee, 1988; El-Ghazaly and Chaudhary, 1993; Suárez-Cervera et al., 2001). *Zygophyllidium*절 전체에 대한 종합적인 화분학적 연구는 지금까지 수행된 바 없으나 본 절에 속하는 일부 종인 *E. hexagona*, *E. macropus*, *E. macropodoides*에 대해 화분학적 기재와 분류학적 연구가 이루어진바 있다 (El-Ghazaly & Chaudhary, 1993; Park, 1997).

본 연구는 *Zygophyllidium*절과 이와 유연관계가 깊은 *Poinsettia*아속에 속하는 종들을 대상으로 화분 형태를 분석하고, 이를 기초로 *Zygophyllidium*절의 한계와 유연관계를 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

화분 형태형질을 분석하기 위해 표본으로부터 수꽃을 제거하여 화분재료로 이용하였으며 (Table 1), Livingstone이 개량한 초산 분해 (acetolysis)방법을 사용하여 화분을 처리하였는데 (Lee, 1983), 수꽃만을 분리하여 1.5 mL centrifuge tube에 넣은 다음 5 mL의 glacial acetic acid를 넣고 5분간 원심분리 (3,500 rpm)시키고 상층 액을 따라낸 후, 다시 acetolysis mixture (acetic anhydride : con-sulfuric acid = 9 : 1) 5 mL을 넣고 water bath에서 15분간 끓인 다음, 원심분리시키고, 상층액을 따라냈다. 다시 glacial acetic acid 5 mL을 넣고

Table 1. Voucher information for 13 species of *Euphorbia* sect. *Zygophyllidium* and related taxa in *Euphorbia* for pollen morphological studies

Species	Collection site	Voucher
Sect. <i>Zygophyllidium</i>		
<i>E. eriantha</i> Benth.	Arijoa Lechugilla Desert (DAV)	H. S. Gentry 3521
<i>E. hexagona</i> Nutt.	Oklahoma Co., OK, USA (OKL)	U. T. Waterfall 2418
<i>E. lagunensis</i> Huft	Baja Calif., Cape Region (DAV)	A. Carter & F. Cniskaki 3526
<i>E. hexagonoides</i> Wats.	Chihuahua state, Mexico (DAV)	C. G. Pringle 2106
<i>E. bilobata</i> Eugelw.	Hidalgo Co., NM, USA (UNM)	B. Hutchins 10510
<i>E. delicatula</i> (Woot. & Standl.) Boiss.	New Mexico, Lguala (F)	C. G Pringle 925-7
<i>E. extipulata</i> Eugelw.	New Mexico, Bernalillo Co. (UNM)	W. Wagner 10-1-74
<i>E. lacera</i> Boiss.	Mexico Puebla., Tehuacan (F)	C. G. Pringle
Subg. <i>Poinsettia</i>		
<i>E. dentata</i> Michx.	Oklahoma Co., OK, USA (OKL)	R. N. Tucker III 177
<i>E. heterophylla</i> L.	McCurtain Co., OK, USA (OKL)	J. Massey & T. Harrison
<i>E. chersonesa</i> Huft	Baja Calif., Mexico (DAV)	R. Moran 18927
<i>E. pulcherrima</i> Willd.	Oaxaca state, Mexico (OKL)	A. S. Delgado 698
<i>E. cyathophora</i> Murray	Rio Jueyes, Puerto Rico (OKL)	R. Ross & T. Zaroni SAN525

원심분리 시켜 상층액을 따라낸 후, glacial acetic acid 5 mL을 넣고 tube mixer로 잘 혼든 다음 steel mesh (No. 6)로 여과시켰다. 여과된 화분들을 원심분리 시킨 후 상층액을 따라내고 재료에 다시 증류수를 넣고 원심분리 시켰다. 여기에 5% KOH 5 mL을 넣고 5분간 끓인 후 원심분리 시켜 상층액을 따라낸 후 증류수와 ethyl alcohol을 3:1를 섞어 넣은 다음 원심 분리시켜 따라냈다. 70% alcohol로 세척한 후 보관하였다. 초산 분해한 소량의 화분을 채취하여 영구 표본을 제작하기 위해 slide warmer 위에서 glycerine jelly (Kisser's method)와 혼합하여 파라핀으로 밀봉한 후 광학현미경하에서 화분 적도면의 길이 (equatorial diameter), 극축 (polar axis)의 길이, 표벽 두께 (exine thickness), 발아구의 길이 (colpus length)을 측정하였다. 주사전자현미경 (SEM)으로 관찰하기 위해 초산 분해한 화분을 공기 중에 건조시켜 0.1 Torr 하에서 60초 동안 Au-Pd로 ion을 증착시키고 전계방사형 주사전자현미경 (FE-SEM: Hitachi S-4200)으로 관찰하였다. 주사전자현미경으로 촬영한 사진을 이용하여 화분 표면무늬 (exine sculpture)를 관찰하였고, 망벽의 폭 (muri width), 망강의 지름 (lumina length)과 폭 (lumina width)을 측정하였다. 화분형태에 관한 용어는 Lee (1978), Punt et al. (1994)에 따랐다. 전형질 분석 (Phenetic analysis)을 위하여 13종을 대상으로 화분형질 10개를 선정하고 각 형질 당 4번씩 측정하여 그 평균치로 형질계차를 만

들어 수리 분석을 실시하였다. Lumia length가 0.39 이하인 것은 유공상 (foveolate)이며, 0.48 이상 0.65 이하인 것은 미세망상 (microreticulate)이고, 1.03 이상인 것은 망상 (reticulate)으로 분류하였다 (Table 2). 전형질 분석은 NTSYS program (Ralf, 1992)을 이용하였으며, 측정치를 표준화하고 분류거리를 측정한 다음 최종적으로 비가중-산술법 (UPGMA: Unweighted pair-group method using arithmetic average)을 이용하여 전형질도를 그렸다. 화분형질을 기초로 위 종들을 4개의 군으로 나누었으며 각 종을 쉽게 동정하기 위해 검색표를 작성하였다.

결 과

1. 대극속 *Zygophyllidium*절과 연관 종의 화분 특징

본 연구에 사용된 대극속 종들의 화분은 단립 (monad)으로 극면상은 원형이며, 발아구의 형태는 삼공구형 (tricolporate)으로 구구 주변의 외표벽이 얇아져 구외연 (margo)이 낮아지고 밋밋한 띠를 형성하는 전형적인 대극속 식물의 특징을 보여주고 있다. 표면무늬는 유공상 (foveolate), 미세망상 (microreticulate), 망상 (reticulate)으로 다양하게 나타났다. 화분의 크기는 극축의 길이 (polar length; P)가 평균 24.58 μ m (*E.*

Table 2. Pollen measurements of *Euphorbia* sect. *Zygophyllidium* and related species. Measurements represent mean values. P=polar axis, E=equatorial diameter, P/E=ratio of polar axis and equatorial diameter, CL=colpus length, ET=exine thickness, LL=lumina length, LW=lumina width, MW=muri width, ES=exine sculpture. All units in μm

Taxon	P	E	P/E	CL	ET	LL	LW	MW	ES
<i>E. eriantha</i>	48.25	29.00	1.66	33.25	3.50	0.39	0.11	0.80	foveolate
<i>E. hexagona</i>	30.75	22.50	1.37	23.75	2.50	0.52	0.20	0.78	microreticulate
<i>E. lagunensis</i>	36.25	26.88	1.35	28.75	2.20	0.65	0.29	0.74	microreticulate
<i>E. hexagonoides</i>	35.75	25.40	1.41	28.25	2.55	0.56	0.15	0.87	microreticulate
<i>E. bilobata</i>	31.25	23.75	1.32	22.50	3.50	0.64	0.21	0.96	microreticulate
<i>E. delicatula</i>	24.58	19.00	1.29	17.90	2.50	1.12	0.49	0.83	reticulate
<i>E. extipulata</i>	35.63	31.63	1.13	28.75	2.50	1.03	0.31	0.89	reticulate
<i>E. lacera</i>	44.00	32.50	1.35	34.00	2.50	0.48	0.39	0.66	microreticulate
<i>E. dentata</i>	37.50	27.50	1.36	20.00	2.75	1.53	0.43	0.81	reticulate
<i>E. heterophylla</i>	32.00	25.40	1.26	22.90	2.50	1.56	0.57	0.82	reticulate
<i>E. chersonesa</i>	32.50	26.25	1.24	27.50		0.32	0.19	0.71	foveolate
<i>E. pulcherrima</i>	43.75	35.63	1.23	32.75	4.20	1.68	0.72	1.11	reticulate
<i>E. cyathophora</i>	60.00	47.50	1.26	47.50	3.08	3.38	0.69	1.25	reticulate

delicatula)에서 60.00 μm (*E. cyathophora*)까지, 적도면의 직경 (equatorial diameter; E)은 19 μm (*E. delicatula*)부터 47.50 μm (*E. cyathophora*)까지로 관찰되었다. 적도면상은 약장구형으로부터 장구형까지 (P/E=1.13~1.66)까지 나타났다 (Table 2). 표벽의 두께는 2.2~3.5 μm 이다. 이들 중 망벽 (Muri)의 무늬가 미세망상이며 망벽의 표면이 볼록한 *Zygophyllidium*절의 주요종인 (*E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides*, *E. bilobata*) 4종과 표면의 편평한 1종 (*E. lacera*), 그리고 화분 표면 무늬가 망상 (*E. extipulata*, *E. delicatula*)인 2종과 유공상 (*E. eriantha*)인 1종으로 구분되며, 관련 *Poinsettia*아속의 종과 함께 상기 특징들을 포함하여 아래의 검색표 작성 하였다.

대극속 *Zygophyllidium*절과 연관 종들의 검색표

1. 화분 표면 무늬가 망상이거나 미세망상이다.
2. 화분 표면 무늬가 망상이다.
3. 극축의 길이가 39 μm 이하이다.
4. 적도면의 직경이 19 μm 이다. *E. delicatula*
4. 적도면의 직경이 20 μm ~32 μm 이다.
5. 화분의 모양이 약장구형이거나 아장구형 (P/E=1.13~1.26)이다.
6. 망강의 길이가 1.56 μm 이며 아장구형 (P/E=1.26)이다. *E. heterophylla*

6. 망강의 길이가 1.01 μm 이며 약장구형 (P/E=1.13)이다. *E. extipulata*
5. 화분의 모양이 장구형 (P/E=1.36)이다. *E. dentata*
3. 극축의 길이가 40 μm ~60 μm 이상이다.
7. 적도면의 직경이 35.63 μm 이다. *E. pulcherrima*
7. 적도면의 직경이 47.5 μm 이다. *E. cyathophora*
2. 화분 표면 무늬가 미세망상이다.
8. 망벽의 표면이 편평하다. *E. lacera*
8. 망벽의 표면이 볼록하다.
9. 발아구의 길이가 25 μm 이하이다.
10. 발아구의 길이가 23.75 μm 이며 장구형 (P/E=1.37)이다. *E. hexagona*
10. 발아구의 길이가 22.5 μm 이며 아장구형 (P/E=1.32)이다. *E. bilobata*
9. 발아구의 길이가 25 μm 이상이다.
11. 발아구의 길이가 28.25 μm 이고, 표벽의 두께가 2.55 μm 이며 장구형 (P/E=1.41)이다. *E. hexagonoides*
11. 발아구의 길이가 28.75 μm 이고 표벽의 두께가 2.2 μm 이며 장구형 (P/E=1.35)이다. *E. lagunensis*
1. 화분 표면 무늬가 유공상이다.

12. 발아구의 길이가 33.25 μm 이며 장구형 (P/E=1.66)이다. *E. eriantha*
 12. 발아구의 길이가 27.5 μm 이며 아장구형 (P/E=1.24)이다. *E. chersonesa*

2. 대극속 *Zygophyllidium*절과 연관종의 주요 화분 유형

Type I : *E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides*, *E. bilobata*를 포함하는 군으로 화분표면의 무늬가 미세망상이고 망벽의 표면이 불룩하다 (Figs. 1a-4b). 적도면상은 아장구형-장구형 (P/E=1.32~1.41)이다. 극축의 길이는 30.75~36.25 μm 로 *E. hexagona* (Figs. 2a-2b)가 가장 짧고, *E. lagunensis* (Figs. 2a-2b)가 가장 길며, 적도면의 직경은 22.5~26.88 μm 로 *E. hexagona*가 가장 짧고 *E. lagunensis*가 가장 길다. 표벽의 두께는 2.2~3.5 μm 로 *E. lagunensis*가 가장 얇으며 *E. bilobata* (Figs. 4a-4b)가 가장 두껍고, 발아구의 길이는 22.5~28.75 μm 로 *E. bilobata*가 가장 짧고 *E. lagunensis*가 가장 길며, 망벽의 폭은 0.74~0.96 μm 로 *E. lagunensis*가 가장 좁으며 *E. bilobata*가 가장 두껍다. 망강의 길이는 0.52~0.65 μm 로 *E. hexagona*가 가장 짧고 *E. lagunensis*가 가장 길고, 망강의 폭은 0.15~0.29 μm 로 *E. hexagonoides* (Figs. 3a-3b)로 가장 좁고 *E. lagunensis*가 가장 넓다.

Type II : *E. delicatula*, *E. extipulata*, *E. dentata*, *E. heterophylla*, *E. pulcherrima*, *E. cyathophora*로 화분표면의 무늬가 망상이고, 망벽의 표면이 불룩하다 (Figs. 5a-9b). 적도면상은 약장구형-장구형 (P/E=1.13~1.36)이다. 극축의 길이는 24.58~60 μm 로 *E. delicatula*가 가장 짧고, *E. cyathophora*가 가장 길며, 적도면의 직경은 19~47.5 μm 로 *E. delicatula*가 가장 짧고 *E. cyathophora*가 가장 길다. 표벽의 두께는 2.5~4.2 μm 로 *E. pulcherrima*가 가장 두껍고, 발아구의 길이는 17.9~47.5 μm 로 *E. delicatula*가 가장 짧고 *E. cyathophora*가 가장 길며, 망벽의 폭은 0.81~1.11 μm 로 *E. dentata* (Figs. 7a-7b)가 가장 좁으며 *E. pulcherrima*가 가장 두껍다. 망강의 길이는 1.03~3.38 μm 로 *E. extipulata* (Figs. 6a-6b)가 가장 짧고 *E. cyathophora*가 가장 길고, 망강의 폭은 0.31~0.71 μm 로 *E. extipulata*

가 가장 좁고 *E. pulcherrima*가 가장 넓다.

Type III : *E. lacera*로 화분표면의 무늬가 미세망상이며 망벽의 표면이 편평하다 (Figs. 10a-10b). 적도면상은 아장구형 (P/E=1.35)이다. 극축의 길이는 44 μm 이며, 적도면의 직경은 32.5 μm 이다. 표벽의 두께는 2.5 μm 이며, 발아구의 길이는 34 μm 이고, 망벽의 폭은 0.66 μm 이다. 망강의 길이는 0.48 μm 이고, 망강의 폭은 0.39 μm 이다.

Type IV : *E. chersonesa*, *E. eriantha*로 화분표면의 무늬가 유공상이다 (Figs. 11a-12b). 적도면상은 *E. chersonesa* (Figs. 11a-11b)는 아장구형 (P/E=1.24)이고 *E. eriantha* (Figs. 12a-12b)는 장구형 (P/E=1.66)이다. 극축의 길이는 *E. chersonesa*는 32.5 μm 이고 *E. eriantha*는 48.25 μm 이며, 적도면의 직경은 *E. chersonesa*는 26.25 μm , *E. eriantha*는 29 μm 다. 표벽의 두께는 *E. eriantha*가 3.5 μm 이고, 발아구의 길이는 *E. chersonesa*는 27.5 μm , *E. eriantha*는 33.25 μm 였으며, 망벽의 폭은 *E. chersonesa*는 0.71 μm , *E. eriantha*는 0.80 μm 였다. 망강의 길이는 *E. chersonesa*는 0.32 μm , *E. eriantha*는 0.39 μm 고, 망강의 폭은 *E. chersonesa*는 0.19 μm , *E. eriantha*는 0.80 μm 였다.

3. 화분 형질을 이용한 유집분석

화분으로부터 얻어낸 10개의 정량형질을 기초로 한 유집분석의 결과 Fig. 13의 전형질도를 얻었다. 본 전형질도에 의하면 대극속 종들은 다음과 같은 6개의 유집으로 나뉘어졌다. 표면 무늬를 기초로 한 Type I에 속하는 *E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides*, *E. bilobata*는 하나의 유집을 형성하여 유연관계가 깊은 군으로 나타났으며, Type II에 속하고 기존에 *Zygophyllidium*절에 포함시켰던 *E. delicatula*, *E. extipulata*는 *Poinsettia*아속에 속하는 *E. heterophylla*, *E. dentata*와 함께 유집을 형성한다. Type II에 속했던 *E. pulcherrima*, *E. cyathophora*는 이질적 군으로 독립된 유집을 형성하였다. Type III에 속하는 *E. lacera*는 *E. chersonesa*와 유집을 형성하였고, Type IV에 속하는 *E. eriantha*는 같은 유형에 속했던 *E. chersonesa*는 분리되어 유집되었다.

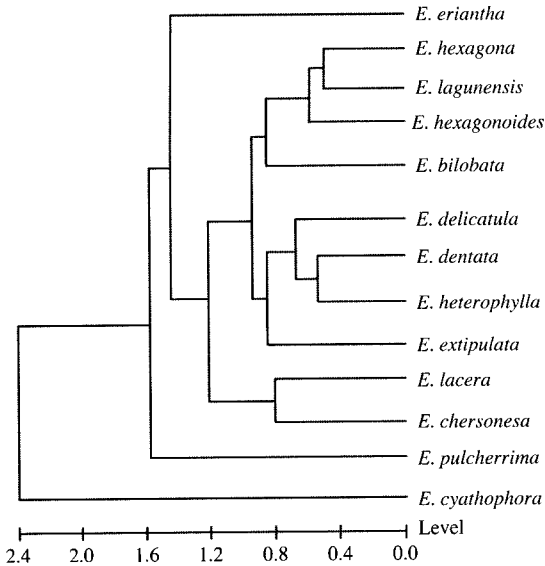


Fig. 13. UPGMA phenogram based on average taxonomic distance coefficients using 10 morphological characters from 13 species of *Euphorbia* section *Zygothylidium* and subg. *Poinsettia*.

고 찰

대극속에 속하는 *Zygothylidium*절은 Boissier (1862)에 의해 *E. hexagona*, *E. bilobata*, *E. extipulata*, *E. lacera* 4종을 기초로 설정된 후, Small (1903)에 의해 속으로 승격 되었으며, 이후 Small (1913)은 *E. hexagona* Nutt.를 본 속의 기준 종으로 설정하였다. Wooton과 Standley (1913, 1915)는 북미 뉴멕시코 주의 식물상을 정리하면서 *E. delicatula*를 본 속에 포함시켰으며, Arthur (1911, 1924)는 *E. biformis*와 *E. macropodoides*를 *Zygothylidium*속에 포함시켰다. 최근 Huft (1984)는 *E. lagunensis*와 *E. eriantha*를 본 절에 포함시켜 최근까지 본 절에는 10여종이 기재 되고 있어 종합적인 연구를 통해 분류학적 한계를 새롭게 설정할 필요가 있다 (Webster, 1967; Buck & Huft, 1977).

최근 대극속의 분자계통분석 (Steinmann & Porter, 2002; Park & Jansen, 2005)에서도 *Zygothylidium*절은 단계통이 아님이 밝혀져 분류학적 한계를 새롭게 설정해야한다는 Webster (1967)의 의견을 지지하였다.

이와 같은 필요에서 시작된 화분미세형질을 이용한 본 연구의 결과도 기준 종인 *E. hexagona*를 비롯해 *E. lagunensis*, *E. hexagonoides*, *E. bilobata*는 화분표면 무늬나 화분형질을 기초로 한 수리분석에서 유연관계가 깊은 군으로 나타났으나 나머지 종들은 *Poinsettia* 아속 종들과 유사한 화분특징을 보여 주거나 혹은 이질적 분류군으로 여겨진다. 이와 같은 화분학적 결과를 토대로 볼 때 *Zygothylidium*절은 *E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides*, *E. bilobata*만을 포함하는 분류군으로 한정짓고, 전통적으로 *Zygothylidium*절에 포함시켰던 *E. delicatula*, *E. extipulata*는 *Poinsettia*아속에 포함 시키는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 후자의 두 종은 망상의 표벽 무늬를 갖고 있어 *Poinsettia*아속의 *E. dentata*, *E. heterophylla*와 유연관계가 있음을 시사하고 있다. 형태형질에 있어서도 *E. delicatula*는 잎이 호생이며 종피에 돌기 대신 털이 있는 특징을 갖고 있으며 (Wooton & Standley, 1913), *E. extipulata*는 종자에 제점 (caruncle)를 갖고 있어 (Wooton & Standley, 1915), Type I에 속하는 *E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides*, *E. bilobata* 4종의 공통된 특징인 잎이 대생하고 종자 표면에 돌기가 있고 제점이 없는 특징과는 차이가 있어 본종을 *Zygothylidium*절로부터 분리시키는 것을 지지하고 있다.

기존의 화분학적 연구와 비교해보면 Arthur (1911, 1924)가 *Zygothylidium*속으로 통합시킨 *E. biformis* (= *E. macropus*)와 *E. macropodoides*에 대한 화분분석의 결과 (Park, 1997), 두 종 모두 망상의 표면 무늬에 가까워 본 연구에서 보여준 *E. delicatula*와 *E. extipulata*의 화분특징과 유사한 결과를 보여주고 있어 이들과 유연관계가 있음을 시사한다.

절 내의 유연관계를 보면, 멕시코 Baja California에 분포하는 *E. lagunensis*의 경우 Huft (1984)가 최초로 신종 기재한 후 미국 뉴멕시코와 텍사스에 분포하는 *E. bilobata*와 가까운 군으로 추정하였는데, *E. lagunensis*와 *E. bilobata*는 화분 표면 무늬가 동일한 미세 망상으로 나타나 Huft (1984)의 가설을 어느 정도 지지하나, 화분형질 전체를 이용한 수리분석에서는 역시 미세망상의 표면무늬를 갖는 *E. hexagona*와 더 가까운 유집을 형성하고 있어 더 정확한 유연관계를 밝히기 위해 추가적 연구가 필요하다.

텍사스주와 멕시코 북부에 주로 분포하는 *E. eriantha*는 일부 학자들에 의해 *Poinsettia*아속에 포함시켰으나 (Wiggins, 1980; Rose & Standley in Huft, 1984), Dressler (1961)는 5개의 선체와 선체에 화피부속지 (petaloid appendages)가 존재하는 특징에 의해 *Agaloma*아속에 포함시켰으며, 최근 Huft (1984)는 본 종을 *Agaloma*아속의 *Zygophyllidium*절에 포함시키고 멕시코에 분포하는 *E. lacera*, *E. jaliscensis*와 유연관계가 깊다고 하였다. 본 화분학적 연구에 의하면 *E. eriantha*는 유공상으로 미세망상과 망상의 표면 무늬를 갖는 *Zygophyllidium*절에 속하는 종들과는 뚜렷한 차이를 보여 줄 뿐 아니라, 망상의 표면무늬를 갖는 *Poinsettia*아속 종들과도 차이가 있어 *Zygophyllidium*절에 포함시킨 Huft (1984)나 *Poinsettia*아속으로 처리한 Rose와 Standley (Huft, 1984) 그리고 Wiggins (1980)가설과도 상반된 결과를 보여주고 있다. Huft (1984)는 또한 본 종이 *E. lacera*와 유연관계가 깊은 것으로 보고 있으나 본 화분학적 연구 결과를 보면, *E. lacera*의 경우 미세 망상의 표면 무늬에 망벽의 표면이 납작한 독특한 무늬를 보여주고 있어 화분학적으로 *E. eriantha*와는 유연관계가 먼 것으로 추정된다. 기존 *Agaloma*아속의 화분연구 (Park, 1997)에 의하면 멕시코에 분포하는 *E. maysillesii*, *E. sphaerorhiza*가 크기는 상대적으로 작지만 *E. eriantha*와 동일한 유공상으로 유연관계가 깊은 것으로 생각되나 본 종의 더 정확한 유연관계를 밝히기 위해서는 *Agaloma*아속에 속하는 종들에 대한 화분 뿐 아니라 다양한 형태 형질에 대한 비교 연구가 우선되어야 할 것이다.

*Euphorbia lacera*는 Boissier (1862)에 의해 북미와 멕시코에 주로 분포하고, 1년생 초본으로 대생의 잎, 종자 표면에 돌기가 존재하는 특징에 의해서 *E. hexagona*, *E. bilobata*, *E. extipulata*와 함께 *Zygophyllidium*절에 포함되었는데 본 연구에서 관찰된 *E. lacera*의 화분 표면 무늬는 *Zygophyllidium*절에 속한 다른 종들과는 달리 망상이 원형이고 망벽의 표면이 편평한 형태로 *Zygophyllidium*절에 속하는 종들과는 구분된 특징을 보여주고 있다. 이와 같은 특징의 화분은 *Agaloma*아속에 속하는 *Petaloma*절의 *E. marginata*, *E. bicolor* (El-Ghazaly & Chaudhary, 1993)의 화분에서 나타나고 있어 이들과의 유연관계를 시사한다.

신대륙에 고유 분류군인 *Poinsettia*아속 식물들은 *Agaloma*와는 구분되게 선체가 잔 모양이고, 화피부속지가 없는 특징에 의해 자연분류군으로 여겨져 왔으며 화분학적 연구 결과에서도 망상의 표면무늬를 갖고 있어 단계통임을 지지한다. 특히 망상의 표면무늬를 갖는 *Zygophyllidium*절에 속하는 *E. delicatula*, *E. extipulata*와 유연관계가 깊은 것으로 생각되며 *E. delicatula*, *E. extipulata*와 같은 조상으로부터 기원되었을 가능성이 크다. 최근 분자적 계통연구 (Park & Jensen, 2005)에서도 *E. extipulata*가 *Poinsettia*아속 종들과 자매군의 관계를 보여주고 있어 이와 같은 가설을 더욱 지지한다고 하겠다.

Huft (1984)는 과거 *E. heterophylla* var. *eriacarpa*로 명명되어 *Poinsettia*아속에 포함되었던 분류군을 *E. chersonesa*로 신종기재하고, 본 종은 *Poinsettia*아속이 아니라 *Agaloma*아속의 *Cyttarospermum*절과 유연관계가 있음을 언급한 바 있는데, 화분학적 결과에서도 본 종의 화분이 유공상으로 망상을 갖는 *Poinsettia*아속과는 달리 *E. eriantha*, *E. lacera*와 유사하여 Huft (1984)의 처리를 지지한다.

결론적으로 본 연구를 통해 대극속 *Zygophyllidium*절을 *E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides*, *E. bilobata* 4종으로 축소하여 *Zygophyllidium*절의 한계를 설정하고 기존의 *Zygophyllidium*절에 포함되었던 *E. delicatula*, *E. extipulata*는 화분 형질로 보아 *Poinsettia*아속에 포함된 종들과 유연관계가 깊으므로 *Zygophyllidium*절이 아니라 *Poinsettia*아속에 포함시키는 것이 바람직한 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Arthur JC: New combinations from the genus *Euphorbia*. *Torrey* 11 : 259-260, 1911.
 Arthur JC: New combinations. *Torrey* 24 : 52, 1924.
 Boissier PE: Euphorbiaceae, subordo Euphorbieae. -In *Prodromus Systematis Naturalis Regni Veg.* 15(2) (ed. A. P. de Candolle), Masson & Son, Paris, pp 3-188, 1862.
 Buck WR, Huft MJ: Two new species of *Euphorbia* subgenus *Agaloma* from Mexico. *Journal of the Arnold Arboretum* 58 : 343-348, 1977.

- Croizat L: New and critical Euphorbiaceae from eastern tropical Asia. *Journal of the Arnold Arboretum* 21 : 490-510, 1940.
- Dressler RL: A synopsis of *Poinsettia* (Euphorbiaceae). *Annals of the Missouri Botanical Garden* 48 : 329-341, 1961.
- El-Ghazaly G, Chaudhary R: Pollen morphology of some species of the genus *Euphorbia* L. *Review of Palaeobotany and Palynology* 78 : 293-319, 1993.
- Huft MJ: A monograph of *Euphorbia* section *Tithymalopsis*. Ph. D. Dissertation (unpublished). University of Michigan, Ann Arbor, 1979.
- Huft MJ: A review of *Euphorbia* (Euphorbiaceae) in Baja California. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 71 : 1021-1027, 1984.
- Lee S: Phylogenetic significance of pollen morphology. *Korean Journal of Plant Taxonomy* 8 : 58-59, 1978. (Korean)
- Lee S: Systematic studies of the Korean gymnosperms. A palynotaxonomy of the genus *Pinus*. *Annal Report of Biological Research (JBNU)* 4 : 145-156, 1983.
- Oudejans RCHM: Current research in the taxonomy of genus *Euphorbia* L. s. l. (Euphorbiaceae). *Collect Bot (Barcelona)* 21 : 5-8, 1992.
- Park K: Phylogeny of new world subtribe Euphorbiinae (Euphorbiaceae). *Korean Journal of Plant Taxonomy* 26 : 235-256, 1996.
- Park K: Pollen morphology of *Euphorbia* subgenus *Agaloma* section *Tithymalopsis* and related species. *Grana* 36 : 11-16, 1997.
- Park K, Jansen RK: Phylogenetic relationships within the subtribe Euphorbiinae (Euphorbiaceae) based on nuclear ribosomal ITS and chloroplast *ndhF* sequence data. XVII International Botanical Congress, p. 416, Vienna, Austria, 2005. (Abstract)
- Park K, Lee S: A palynotaxonomic study of the Korean Euphorbiaceae. *Korean Journal of Plant Taxonomy* 18 : 69-94, 1988.
- Pax F, Hoffmann K: Euphorbiaceae. pp 11-233 in A Engler, K Prantl, eds. *Die Natürlichen Pflanzenfamilien*. 2nd ed, 19c. Engelmann, Leipzig, 1931.
- Punt W, Blackmore S, Nilsson S, Le Thomas A: Glossary of pollen and spore terminology. LPP Foundation, Utrecht, 1994.
- Rohlf FJ: NTSYS-pc: Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System (version 1.70). Exeter Software, New York, 1992.
- Small JK: Flora of the Southeastern United States. New York, 1903.
- Small JK: Flora of the Southeastern United States. Ed. 2. New York, 1913.
- Steinmann VW, Porter JM: Phylogenetic relationships in Euphorbiaceae (Euphorbiaceae) based on ITS and *ndhF* sequence data. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89 : 453-490, 2002.
- Suárez-Cervera M, Gillespie L, Arcalís E, Le Thomas A, Lobreau-Callen D, Seone-Camba JA: Taxonomic significance of sporoderm structure in pollen of Euphorbiaceae: Tribe Plukenetieae and Euphorbieae. *Grana* 40 : 78-104, 2001.
- Webster GL: The genera of Euphorbiaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum* 48 : 303-430, 1967.
- Webster GL: Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 81 : 33-142, 1994.
- Wheeler LC: The genera of living Euphorbiaceae. *American Middle Naturalist* 30 : 456-503, 1943.
- Wiggins IL: Flora of Baja California. Stanford Univ. Press, Stanford., 1980.
- Wootton EO, Standley PC: New plant from New Mexico. *Contributions from the United States National Herbarium* 16 : 144-146, 1913.
- Wootton EO, Standley PC: Flora of New Mexico. *Contributions from the United States National Herbarium* 19 : 393-404, 1915.

< 국문초록 >

대극과 대극속 *Zygophyllidium* 절의 한계와 중간 유연관계에 대한 가설을 검증하기 위해 기존의 *Zygophyllidium* 절에 속한 8종과 유연관계가 깊은 *Poinsettia* 아속의 5종을 포함하여 13종 화분을 광학 및 주사전자현미경으로 관찰하고 화분의 특징을 기재하였으며 검색표를 작성하였다. 화분 표면의 무늬와 화분형질의 수리분석을 바탕으로 13종을 다음과 같이 4개의 유형으로 구분하였다: 표면 무늬가 미세망상인 Type I (*E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E.*

hexagonoides, *E. bilobata*), 망상인 Type II (*E. delicatula*, *E. extipulata*, *E. dentata*, *E. heterophylla*, *E. pulcherrima*, *E. cyathophora*), 표면 무늬는 미세망상이나 망벽의 표면이 편평한 Type III (*E. lacera*), 표면 무늬가 유공상인 Type IV (*E. chersonesa*, *E. eriantha*). 본 연구를 통해 *Zygophyllidium* 절을 *E. hexagona*, *E. lagunensis*, *E. hexagonoides*, *E. bilobata* 4종으로 축소하여 절의 한계를 설정

하는 것을 제안하며 기존의 *Zygophyllidium* 절에 포함되었던 *E. delicatula*, *E. extipulata*는 화분 형질로 보아 *Poinsettia* 아속에 포함시키는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 유공상의 특징을 갖는 *E. eriantha*는 *E. chersonesa* 와 함께 *Agaloma* 아속의 종과 유연성이 깊어 보이며, 더 많은 후속 연구를 통해 이들의 위치를 결정할 필요가 있으리라 생각된다.

FIGURE LEGENDS

- Figs. 1-3.** Scanning electron micrographs of *E. hexagona* (1a-1b), *E. lagunensis* (2a-2b) and *E. hexagonoides* (3a-3b) pollen (Scale bar is 3 μm).
- Figs. 4-6.** Scanning electron micrographs of *E. bilobata* (4a-4b), *E. delicatula* (5a-5b) and *E. extipulata* (6a-6b) pollen (Scale bar is 3 μm).
- Figs. 7-9.** Scanning electron micrographs of *E. dentata* (7a-7b), *E. heterophylla* (8a-8b) and *E. pulcherrima* (9a-9b) pollen (Scale bar is 3 μm).
- Figs. 10-12.** Scanning electron micrographs of *E. lacera* (10a-10b), *E. chersonesa* (11a-11b) and *E. eriantha* (12a-12b) pollen (Scale bar is 3 μm).

