

우리나라 물부추속 (물부추과)에 대한 분류학적 고찰

정종덕 · 김창균 · 김호준¹ · 최홍근*

아주대학교 자연과학부, ¹한국수자원공사

Taxonomic Examination of *Isoëtes* L. (Isoëtaceae) in South Korea

Jongduk Jung, Changkyun Kim, Hojun Kim¹ and Hong-Keun Choi*

Division of Natural Sciences, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

¹Korea Water Resources Corporation, Daejeon 426-170, Korea

적 요: 물부추속 (*Isoëtaceae*)의 물부추 (*Isoëtes* L.)은 외부형태의 단순함으로 인해 분류학적 혼란이 있어왔다. 국내에는 *I. japonica* (물부추)와 *I. coreana* (참물부추)가 보고되어 왔으며, 최근에 *I. jejuensis* (제주물부추)와 *I. hallasanensis* (한라물부추)가 신종으로 발표되었다. 그러나 *I. japonica*의 생육지는 재확인되지 않고 있으며, 이를 제외한 세 종의 생육지만 확인되고 있다. 본 연구에서는 국내의 세 종과 대만 (*I. taiwanensis*), 일본 (*I. japonica*와 *I. asiatica*), 중국 (*I. sinensis*) 등 주변 지역에 분포하는 물부추속 식물의 형태학적인 특성을 비교 검토하고 국내 물부추속 식물에 대한 분류학적 특성을 규명하고자 하였다. 이를 위하여 각 종에 대한 형태 및 해부학적 특성과 포자의 특성을 비교 검토하였다. 괴경 열편의 수, 포자엽의 습성과 기공의 유무, 포막의 발달 상태로 *I. taiwanensis*와 *I. asiatica*가 식별되며, 모든 종은 포자의 특성에 따라 종의 식별이 가능하였다. 특히 국내에 보고된 종은 대포자 표면구조물의 형태에 따라 cristate형의 *I. coreana*, rugulate형의 *I. jejuensis*와 echinate형의 *I. hallasanensis*로 각각 구분되었으며, *I. japonica*는 reticulate형을 가진 종으로 판명되었다. 그리고, 각 종을 대상으로 핵 유전자인 LEAFY 2nd intron의 염기서열과 amplified fragment length polymorphism (AFLP) 분석 결과를 검토하여 우리나라 물부추속 식물에 대한 계통을 논의하였다. 또한, 멸종위기에 처한 우리나라 물부추속 식물을 보전하기 위하여는 새로운 생육지에 대한 발굴조사와 함께 유전적 부동의 영향을 줄이기 위한 보전 대책의 필요성을 제안하였다.

주요어: 물부추속, 물부추, 제주물부추, 참물부추, 한라물부추, 분류학적 고찰

ABSTRACT: *Isoëtes* L. (*Isoëtaceae*) is difficult to identify among the infrageneric taxa because of morphological simplicity. Since two species (*I. japonica* and *I. coreana*) had been reported, *I. jejuensis* and *I. hallasanensis* were described as two new species from Jeju Island, South Korea. The habitats of all species were confirmed by current studies except for *I. japonica*. We compared the morphological and anatomical characters of seven species, three domestic species and four species in adjacent regions (*I. taiwanensis*, *I. sinensis*, *I. japonica*, and *I. asiatica*). *I. asiatica* differs from other species in the lobe number of corm, spreading sporophylls, lack of stomata and degree of velum development. All of the seven species were identified by the characteristics of their mega- and microspores. Especially, it was possible to identify the four species in South Korea by the types of ornamentation on their megaspores. Each species has a specific type of megaspore ornamentation: *I. coreana* - cristate, *I. jejuensis* - rugulate, *I. hallasanensis* - echinate, and *I. japonica* - reticulate. We also discussed the phylogeny of the genus in East Asia in relation to recent studies based on the second intron of LEAFY sequence and amplified fragment length polymorphism (AFLP) analysis. We suggest strategies for the conservation of the endangered *Isoëtes* species in South Korea.

Keywords: *Isoëtes*, *Isoëtes coreana*, *Isoëtes hallasanensis*, *Isoëtes japonica*, *Isoëtes jejuensis*, taxonomic examination

*Author for correspondence: hkchoi@ajou.ac.kr

서 론

물부추과 (*Isoetaceae*)에 속하는 물부추속 (*Isoëtes* L.) 식물은 Linnaeus (1753)에 의해 *I. lacustris*가 기록된 후 전 세계적으로 150여 종이 분포하는 것으로 알려져 있으며 (Tryon and Lugardon, 1991), 엽설과 이형포자를 가지는 점과 외부 형태학적 특성으로 다른 석송식물 (*Lycophtyes*)들과 뚜렷이 구별된다. 본 속의 식물을 구분하는 주요 형질로 대포자의 표면구조가 사용되어 왔으며, Pfeiffer (1922)는 대포자의 표면구조를 중심으로 네 개의 절 (sects. *Tuberculatae*, *Echinatae*, *Cristatae* and *Reticulatae*)로 구분하였다. Pfeiffer 이후에도 대포자 표면구조의 형태에 따라 새로운 절을 추가하거나, 대포자의 형태를 세분하여 구분하는 연구가 있었다 (Fuchs-Eckert, 1981; Hickey, 1986). 동아시아에서는 본 속의 신종이 최근까지 지속적으로 발표되고 있으며, 대포자와 소포자의 표면구조를 신종을 설정하는 주요 특징으로서 제시하고 있다 (Wang et al., 2002; Liu et al., 2005a; Choi et al., 2008).

국내 물부추속 식물은 Park (1942)에 의해 경기도 평택에서 *I. japonica* A. Braun (물부추)가 처음으로 보고된 후, Chung and Choi (1986)는 강원도 화천군 논미리에서 채집된 물부추속 식물을 *I. coreana* Chung and Choi (참물부추)로 신종 기재하였다. Chung and Choi는 *I. coreana* 괴경의 열편 수, 포막의 유무 등의 외부형태적 특징과 대포자와 소포자의 특징을 동아시아에 분포하는 다른 종들과 비교하였다. 또한, Choi et al. (2008)은 제주도에 생육하는 물부추속 식물들이 보여 주는 대포자와 소포자의 표면 구조 특징과 염색체의 배수성을 근거로 하여 *I. hallasanensis* Choi et al. (한라물부추) 와 *I. jejuensis* Choi et al. (제주물부추)로 각각 신종기재하였다. 따라서 국내에는 현재까지 물부추속에 모두 4종이 분포하는 것으로 보고되었다. 그러나 *I. japonica*는 우리나라에서의 분포가 다시 확인되지 않고 있으며 (Takamiya, 1999), 생육지가 확인되고 있는 종은 *I. coreana*와 *I. hallasanensis*, 그리고 *I. jejuensis* 세 종 뿐이다.

한편, 환경부에서는 *I. japonica*를 멸종위기야생동·식물 II급으로 지정함 (Anonymous, 2005)에 따라 이 종에 대한 관심이 증가하게 되었고, 본 속에 대한 연구가 진행되면서 다른 종들의 생육지도 추가로 확인되게 되었다. *I. coreana*는 이미 알려진 북한강 서식지 외에도 강원 춘천, 충북 청천, 전남 강진, 울산 등지에서 생육하고 있음이 확인되었다 (Kim et al., 2008). 지난 10여 년 동안 제주도의 저지대와 한라산의 고지대에 걸쳐 물부추속 식물의 생육지가 다수 확인되어 *I. japonica* 또는 *I. sinensis* T. C. Palmer로 보고되기도 하였다 (Kim et al., 2005; Kim, 2006). 그러나 이러한 내용들은 엄밀한 분류학적 겸증 없이 보고된 것으로, 본 속에 대한 분류학적 문제점과 더불어 멸종위기 식물로 지정된 *I. japonica*의 보전전략을 수립하는데 있어서도 혼란을 야기하게 되었다. 이는 물부추속 식물이 전 세계에 걸쳐

광범위하게 분포하지만 지역을 대표하는 종소명에서 보이는 바와 같이 종 수준에서는 극히 제한적인 분포 역할을 가지고 있으며, 개체수가 적은 희귀식물일 뿐만이 아니라 외부 형태가 단순하여 각 종간의 비교검토가 쉽지 않기 때문이다. 이러한 종 동정 상의 문제점을 외에도 본 속에 있는 분류군들 사이에서 종간 또는 절간 잡종형성에 의하여 대포자 표면구조물의 중간적인 형태를 가진 분류군들도 보고되고 있기 때문에 각 분류군의 한계 설정에 있어서도 많은 논란이 있어 왔다 (Dorn, 1972; Boom, 1980; Löve, 1962). 중국에 분포하는 *I. sinensis*는 Chung and Choi (1986)가 지적한 바와 같이 대포자 표면구조물이 *cristate*형으로 우리나라의 *I. coreana*와 포자의 형태가 가장 유사하다. Takamiya et al. (1997)은 이러한 대포자 표면구조물의 형태적 유사성을 근거로 *I. coreana*를 *I. sinensis*의 변종 [*I. sinensis* T. C. Palmer var. *coreana* (Chung and Choi) M. Takamiya]으로 취급하기도 하였다.

앞서 언급된 물부추속의 지역적인 분포 특성은 본 속의 종분화 과정과 생물 지리학적 관점에서도 흥미로운 소재이다. 동아시아 물부추속 식물의 기원과 종분화 과정 및 분포 특성에 대하여 Liu et al. (2004)과 Hoot et al. (2006)은 각각 염색체 연구결과와 분자분류학적 마커 분석 결과를 근거로 전파 경로에 대한 가설을 제시한 바 있다. 또한, Kim et al. (2009)은 AFLP (amplified fragment length polymorphism) 분석 결과에 기초하여 동아시아에 분포하는 물부추속 식물들의 유전적 변이에 따른 종의 한계와 유연관계를 규명하였다.

이러한 연구 결과들을 바탕으로 하여 본 논문에서는 국내에 생육하는 3종 (*I. coreana*, *I. jejuensis*, *I. hallasanensis*)의 분류학적 실체를 규명하여 보고자 한다. 이를 위하여 일차적으로 일본의 *I. japonica*와 *I. asiatica* (Makino) Makino, 대만의 *I. taiwanensis* C. E. DeVol, 중국의 *I. sinensis* 등과 형태적 특성을 비교 검토하였다. 또한 그 동안 대포자 표면구조물의 형태적 유사성으로 인하여 두 종의 한계가 혼동되어 온 우리나라의 *I. coreana*와 *I. sinensis*의 차이점을 비교 논의하였다. 그리고, 동아시아에서 보고된 물부추속 식물들의 지역적 분포 특성에 대하여 제시된 계통지리학적 가설들을 검토하였으며, 국내에 분포하는 세 종들의 각 개체군별 특성과 계통적 관계를 바탕으로 하여 이들에 대한 보전 전략을 제시하고자 한다.

1. 동아시아 물부추속 식물의 형태 및 해부학적 특성

본 속에 속하는 식물들은 다른 관속식물의 분류군에서 식별형질로 사용되는 영양기관의 형태는 매우 단순화되었고, 생육지의 수심이나 수령에 따라 변이가 심하기 때문에 유용한 식별형질이 되지 못한다. 그러나 외부 형태 중 괴경 (corm) 열편 (lobe)의 수와 포자엽의 습성은 야외에서 종의 동정에 부분적으로 이용되며, 소설 (ligule)의 형태와 크기, 포막 (velum)의 유무와 발달 정도가 주요 식별형질로 이용된다 (Table I).

Table 1. Comparison of various characters of *Isoëtes* L. in South Korea and adjacent regions. Numbers in parentheses indicate rare type, 'n.a.' means that data not described in their original paper.

Characters	<i>Isoëtes coreana</i>	<i>I. jejuensis</i>	<i>I. hallasanensis</i>	<i>I. taiwanensis</i>	<i>I. sinensis</i>	<i>I. japonica</i>	<i>I. asiatica</i>
Habit	amphibious	amphibious	amphibious	submersed, amphibious	amphibious	amphibious	submersed
Corm shape	3-lobes	3	3	3(4-5)	3	3(2)	2
Habit of sporophylls	ascending	ascending or inclined	ascending	wide spreading	ascending	ascending	spreading
Stomata presence	present	present	present	present near tip	present	present	absent
guard cell size ($\mu\text{m}, \text{L} \times \text{W}$)	63 × 34	58-88 × 28-40	44-77 × 23-34	28-30 × 20-23	50-91 × n.a.	54-117 × n.a.	60-86 × n.a.
Velum	absent	absent	absent	rudimentary	absent	absent	covers 2/3-3/4
Ligule shape	hastiform	hastiform or subtriangular	hastiform or subtriangular	elongate, triangular	cordate-acuminate	elongated triangular	triangular
Peripheral fiber strands	4	4	4	absent	4	4(6)	absent
Megaspore ornamentation on proximal hemisphere	cristate-echinate	regulate	echinate and tuberculate	tuberculate	cristate	reticulate	echinate
on distal hemisphere	cristate	regulate	echinate	tuberculate	cristate	reticulate	echinate
radial ridge	like blade	like blade	like blade	round edge	like blade	like blade	like blade
equatorial ridge	undulate	rudimentary	undulate	rudimentary	undulate	undulate	undulate
ultra-structure diameter (μm)	dense	dense	fibrous	fibrous	dense	dense	dense
Microspore diameter (μm)	355-484	325-425	356-464	310-390	330-462	300-563	413-563
Microspore ornamentation length (μm)	echinate	echinate	echinate	echinate	echinate	levigate	levigate
Chromosome No. (2n)	31-38	26-32	26-31	23-26	26-30	25-38	21-33
Distribution	66, 6x	44, 4x	44, 4x	22, 2x	44, 4x	66, 6x	22, 2x
References	Korea	Korea	Korea	Taiwan	China	Japan	Japan
	Chung and Choi, 1986	Choi et al., 2008	Choi et al., 2008	DeVol, 1972a, b	Palmer, 1927	Braun, 1861; Takamiya et al., 1997	Makino, 1904, 1914

과정 열편의 수: 일본에 분포하는 *I. asiatica*가 둘로 갈라지는 것 (Makino, 1904)을 제외하고 동아시아에 분포하는 다른 종들은 모두 세 개로 갈라진다. 또한 간혹 *I. japonica*가 둘로 갈라지거나 (Takamiya et al., 1997), *I. taiwanensis*가 넷 내지 다섯으로 갈라지는 것이 보고되었으나 (DeVol, 1972a), 이들도 주로 셋으로 갈라진다.

포자엽의 습성: 곧게 서거나 늘어져 넓게 퍼지는 형태이며 이는 인피섬유 (peripheral fiber strands)의 유무와 관계가 있는 것으로 보인다. 인피섬유는 포자엽 중앙에 수직으로 발달한 섬유질 다발 외에 통기조직 주위에 부수적으로 발달하는 섬유질로서 곧게 서는 종은 인피섬유가 발달하여 포자엽을 수직으로 지탱하여 주고, 그렇지 않은 종들은 인피섬유가 결여되어 포자엽이 옆으로 퍼지는 경향이 있다 (Takamiya et al., 1997). 인피섬유는 포자엽의 말단으로 갈 수록 발달이 미약해져 포자엽도 윗부분에서 약간 휘어지기도 한다. *I. asiatica*와 *I. taiwanensis*는 옆으로 넓게 퍼지며, 인피섬유도 결여되어 있다 (Makino, 1904; DeVol, 1972a). 국내에 분포하는 *I. coreana*와 *I. jejuensis* 및 *I. hallasanensis*를 포함한 다른 종들은 포자엽이 곧게 서고 인피섬유도 4개가

존재한다. 예외적으로 *I. japonica*에서 6개의 인피섬유가 발견된 것이 보고된 바 있다 (Takamiya et al., 1997). 인피섬유가 없는 *I. asiatica*와 *I. taiwanensis*는 다른 종들과 달리 침수환경에 생육하기도 하지만 생육환경과 인피섬유의 유무에 따른 연관성을 분명하지 않다.

포자엽의 형태: 전체적으로 침형이고 기부는 부풀며 안쪽에 포자낭이 달리며 밝은 녹색이며 기부는 흰색이다. 기부의 넓어진 부분의 양쪽과 그 윗부분까지 막질 부분이 형성되어 있다. 대포자엽 기부의 막질 부분이 소포자엽에 비하여 상대적으로 넓지만 안쪽에 달린 대포자엽의 기부는 좁다. 그리고 성숙 후에는 대포자엽은 시들고 바깥쪽으로 밀려나는데, 소포자엽 기부의 막질 부분은 반대로 넓어진다. 이러한 차이는 포자엽이 달리는 위치에 따라 달라지며 종 간의 차이보다 생육환경이나 계절적 요인에 의한 개체간 변이가 더 크게 나타나 식별형질로서 유용하지는 않다 (Jung, 2001).

소설: 위로부터 떨어지는 이물질이 포자낭에 닿지 않도록 포자엽 사이를 밀착시켜 포자가 성숙할 때까지 포자낭을

보호하는 기능을 하는 것으로 알려졌다 (Sharma and Singh, 1984). 이것은 생장 초기에 매우 빠르게 발달하는 것으로 알려져 있고, 오래된 포자엽에서는 소설이 달리는 바로 윗 부분까지 이물질이 쌓여 있으며, 포자가 완전히 성숙하면 거의 형체를 알아 볼 수 없을 정도로 소실된다 (West and Takeda, 1914). 이러한 이유로 완전히 성숙한 포자엽에서는 소설의 크기를 정확하게 측정하기는 어렵다. 형태는 전체적으로 삼각형이며 *I. coreana*와 *I. jejuensis*, *I. hallasanensis*, 그리고 *I. sinensis*는 아래 부분이 귀 모양으로 부푼 극형인 반면, *I. japonica*와 *I. asiatica*, 그리고 *I. taiwanensis*는 긴 삼각형이다 (Table 1).

포자낭의 형태: 성숙한 포자낭은 난형 또는 도란형이고, 가장 바깥 쪽에 달린 포자엽의 포자낭이나 미성숙한 포자낭은 거의 원형에 가깝거나 넓은 원형이다. 또한 포막의 경우 우리나라에 분포하는 종과 *I. japonica*와 *I. sinensis*는 포막이 없다. 그러나 *I. taiwanensis*는 작은 포막이 발달하는데, 매우 짧고 윗부분만을 덮는 것으로 알려져 있다 (Palmer, 1927). *I. asiatica*의 포막은 포자낭의 2/3-3/4을 덮을 정도로 발달한다 (Makino, 1904).

기공: 대부분의 종들에서 모두 관찰되며 포자엽의 기부에서 보다 수면에 가까운 윗 부분에서의 밀도가 높다. 기공이 없는 것으로 알려진 *I. asiatica*는 본 연구에서도 기공이 확인되지 않았으며, *I. taiwanensis*는 포자엽의 상단부에서

만 기공이 관찰된다.

위와 같은 형태부학적 기준으로 *I. asiatica*와 *I. taiwanensis*는 쉽게 구별이 된다. 일본 혼카이도와 혼슈의 북부에 생육하는 *I. asiatica*는 두 개로 갈라진 괴경과 늘어진 포자엽, 인피Samsung의 결여, 포막의 발달, 기공이 결여로 인하여 다른 종들과 뚜렷이 구별된다. 또한 대만 양명산 분화구에서 자생하는 *I. taiwanensis*는 괴경이 셋으로 갈라지고, 포막이 극도로 작고, 기공이 포자엽 상단부에만 발달하는 특징을 가지고 있어 쉽게 동정된다 (Table 1). 그러나 이 들은 제외한 다른 동아시아 물부추속의 종들은 외부형태적 특징만으로 구분하기가 쉽지 않다.

2. 이형포자의 형태와 종별 특성

물부추속 식물은 대포자와 소포자의 이형포자를 가지며, 포자의 특성은 물부추속 식물을 식별하는데 가장 주요한 형질로서 대포자와 소포자의 크기와 형태적 특성을 세분하여 관찰할 필요가 있다. 기존의 많은 연구에서 중점적으로 다루어진 대포자의 특성은 형질의 수가 다양하여 많은 정보를 가진다. 소포자의 형태적 특징은 관찰할 수 있는 식별형질의 수는 적으나, 종 내 변이가 적어 일관된 형질 상태를 보이기 때문에 종의 식별에 있어서 매우 중요하다.

1) 정량적 형질

정량적 형질은 대포자의 경우 직경 (Fig. 1A)과 높이 (Fig. 1B), 직경과 높이의 비를 구하여 사용하고, 소포자는 장

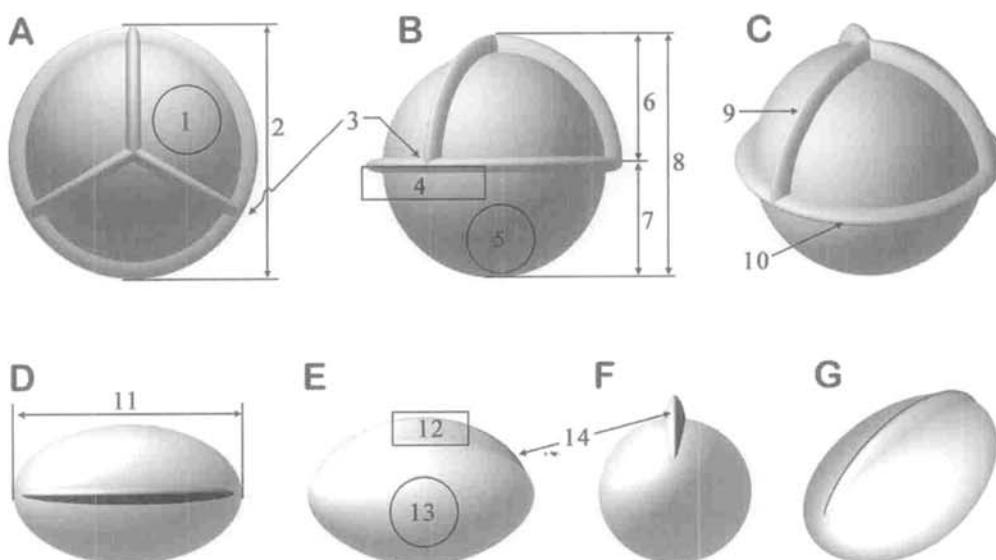


Fig. 1. Representative structures and characters of heterospore in *Isoetes* L. Megaspore (A-C): A. proximal-, B. lateral- and C. perspective view. Microspore (D-G): D. proximal-, E. lateral (major axis side), F. lateral (minor axis side) and G. perspective view. Characters of megaspore (1-10): 1. ornamentation of proximal hemisphere, 2. diameter, 3. attachment region of radial and equatorial ridge, 4. ornamentation around equatorial ridge at distal hemisphere, 5. ornamentation of distal hemisphere, 6. proximal- 7. distal hemisphere, 8. height, 9. radial- and 10. equatorial ridge. Characters of microspore (11-14): 11. length, 12. ornamentation of line of attachment, 13. surface and 14. line of attachment (refer to Jung, 2001).

축의 길이 (Fig. 1D)로 특성을 나타낼 수 있으며 (Jung, 2001), Kott and Britton (1983)이 제안한 바에 따라 이들의 변이계수 (CV : coefficient of variability)를 구하여 종 내의 변이를 파악하는 것이 중요하다 (Choi, 1985; Chung and Choi, 1986).

대포자: 직경의 경우 *I. coreana*는 355-484 μm, *I. hallasanensis*는 356-464 μm, *I. japonica*는 300-563 μm, *I. sinensis*는 330-462 μm, *I. asiatica*는 413-563 μm로 평균값이 400 μm이상이다 (Table 1). 이에 비하여 *I. jejuensis*와 *I. taiwanensis*는 각각 325-425 μm와 310-390 μm로서 상대적으로 작다 (Table 1). 연구결과에 따라 또는 개체군별로 차이가 보고되고 있지만 종내 변이의 폭은 중복된다 (Jung, 2001). 특히 *I. japonica*는 Braun (1861)의 기록과 이후의 기록들 (Takamiya et al., 1997; Jung, 2001) 사이에는 큰 차이를 보이는 테, 최근의 연구들은 460 μm 내외로서 일치하는 것으로 나타났다. 또한 종내 변이 정도를 나타내는 변이계수는 7.28%로 *I. taiwanensis*의 변이가 가장 크지만 다른 종의 변이계수는 5%내외로 안정적인 편이다. 대포자의 높이는 모든 종에서 직경과 비례하는 것으로 나타났으며, 변이계수도 약 5% 내외로 안정적인 값을 갖는다 (Jung, 2001). 따라서 높이를 직경처럼 독립적인 형질로서, 또는 직경과 높이의 비로 나타내어야 할 필요가 있다 (Chung and Choi, 1986). 직경과 높이의 비는 *I. japonica*가 1.19로서 납작한 형태를 보이며, *I. coreana*와 *I. jejuensis*, *I. taiwanensis*는 구형에 가까운 형태로서 대포자의 전체적인 형태도 종간의 차이가 있음을 보여준다 (Jung, 2001).

소포자: Jung (2001)의 연구 결과에서 소포자의 길이의 변이계수는 4% 내외로서 대포자의 크기보다 안정적인 값을 보이며, *I. coreana*의 소포자 길이는 31-38 μm로 다른 종에 비해 길고, *I. taiwanensis*는 23-26 μm로 상대적으로 짧다. 이 두 종의 소포자 길이는 다른 종들과 많은 차이를 보여서 이 종들만의 특성을 보여주고 있다.

2) 정성적 형질

대포자의 정량적인 특성들은 생육환경이나 생장 단계에 따라 다소 변이가 있다. 대포자의 표면 구조와 같은 형질은 포자형성 초기부터 나타나기 시작하며, 일부 예외적인 종을 제외하면 종들 사이에서 구별이 가능하다 (Hickey, 1986). 물부추속의 종 식별에는 앞서 언급된 해부 및 형태학적 특성과 대포자 표면구조물의 형태를 이용하는 것이 가장 일반적이다. 현재 새로운 분류군들이 계속 보고되고 있는 테, 포자의 표면구조물의 형태를 네 가지로 나누는 Pfeiffer (1922)가 제시한 기준은 다수의 분류군들의 대포자 특성을 구분하고 설명하기에는 한계가 있다. 따라서 이를 더 세분하여 12개의 범주로 정의한 Hickey (1986)의 견해가 타당하다고 여겨지며, 본 연구에서도 이에 따라 각 분류군을 동정하였다.

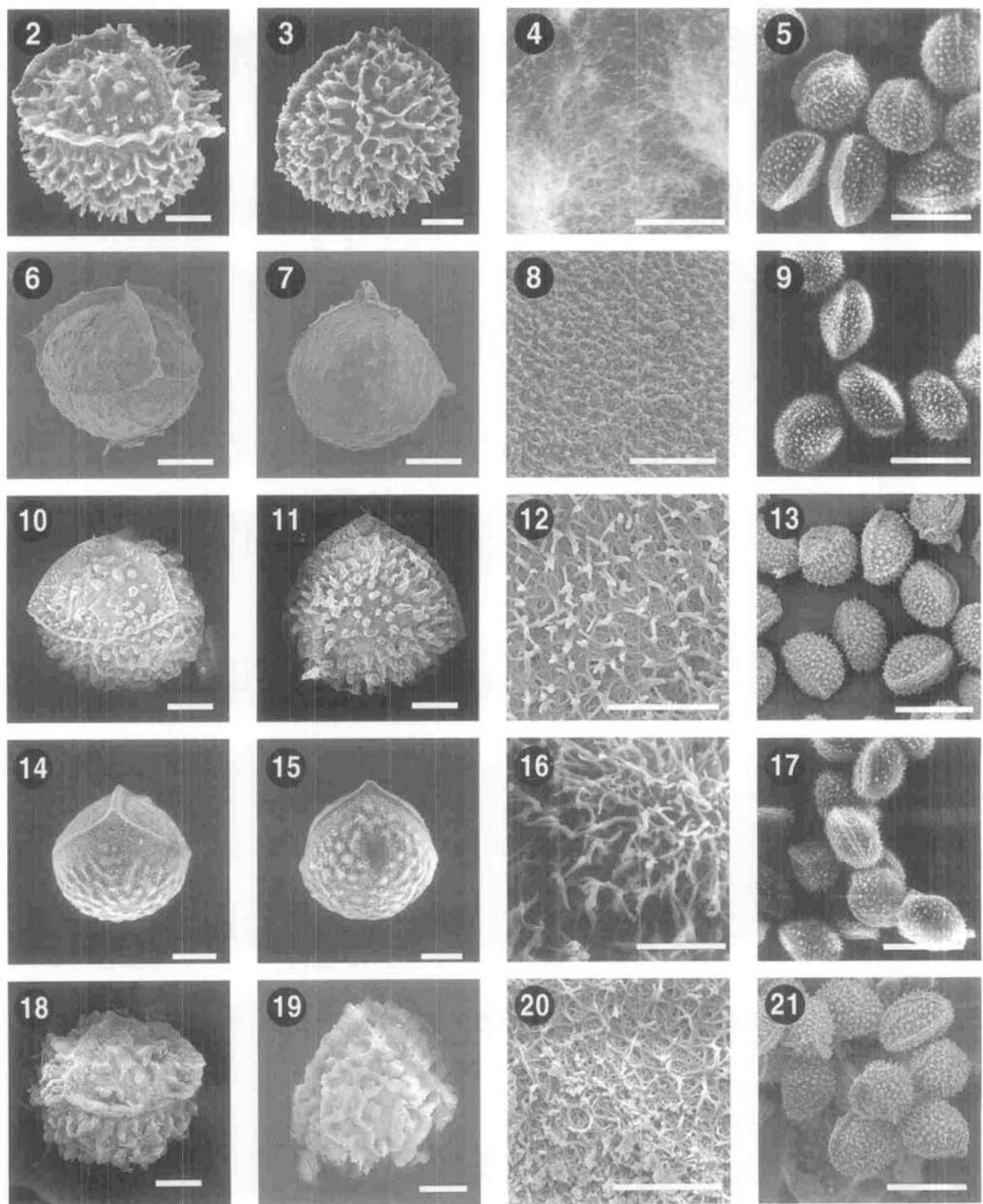
대포자의 형태는 구조적으로 포자형성 초기에 4립형으

로 붙어 있어 한쪽으로 향한 부분인 기부반구 (proximal hemisphere; Fig. 1A)와 바깥쪽으로 노출된 말단반구 (distal hemisphere; Fig. 1B)로 크게 구분이 된다. 또한 기부반구에는 세 갈래로 된 방사상 융기선 (radial ridge; Fig. 1C)이 있으며, 이와 연결되어 대포자의 적도면을 환형으로 둘러싸고 있어 기부반구와 말단반구의 경계가 되는 적도면 융기선 (equatorial ridge; Fig. 1C)이 있다 (Jung, 2001). 이 두 종류의 융기선은 각 종에 따라 높이와 형태에 차이점을 보이고 있다. 위와 같은 대포자의 구조적인 특징과 더불어 각 반구 표면의 구조물의 형태 (Fig. 1A, B), 방사상 융기선의 말단부위의 형태 (Fig. 1C), 적도면 융기선의 주름의 유무 (Fig. 1C), 적도면 융기선과 표면 구조물의 연결여부 (Fig. 1B), 방사상 융기선과 적도면 융기선이 만나는 부위의 돌출여부 (Fig. 1A) 그리고 표면구조물과 표면이 연결된 부위의 미세구조 등으로 세분할 수 있다 (Jung, 2001).

대포자: *I. coreana*의 경우 기부반구에는 침상돌기 (echinate)로 존재하거나 불규칙적으로 연결되어 융기된 벽 (cristate)을 형성하며 구조물의 높이도 불규칙하다 (Fig. 2). 이러한 구조물들은 두 종류의 융기선 가까이에서도 발달하지만 융기선과 서로 연결되지 않는 특징을 보인다. 반면 말단반구의 표면구조물은 서로 연결되어 높은 벽을 형성하며 여러 번 갈라지지만 밀폐된 공간을 형성하는 것은 드물다 (cristate). 이러한 표면구조물의 말단부위는 높이가 불규칙적이며 날카롭고 적도면 융기선에 가까워질수록 높이가 낮아져서 적도면 융기선 옆의 구조물은 매우 낮거나 발달하지 않는다 (Figs. 2, 3). 방사상 융기선의 기저부위는 폭이 넓지만 말단부위가 신장되어 칼날 같은 형태이다. 기저부위부터 말단까지 거의 동일한 폭이며, 크게 주름진 것이 특징이고 두 융기선이 만나는 부위는 돌출하지 않는다 (Figs. 2, 3). 미세구조는 섬유상 조직이 복잡하게 연결되어 거미줄처럼 보인다 (Fig. 4).

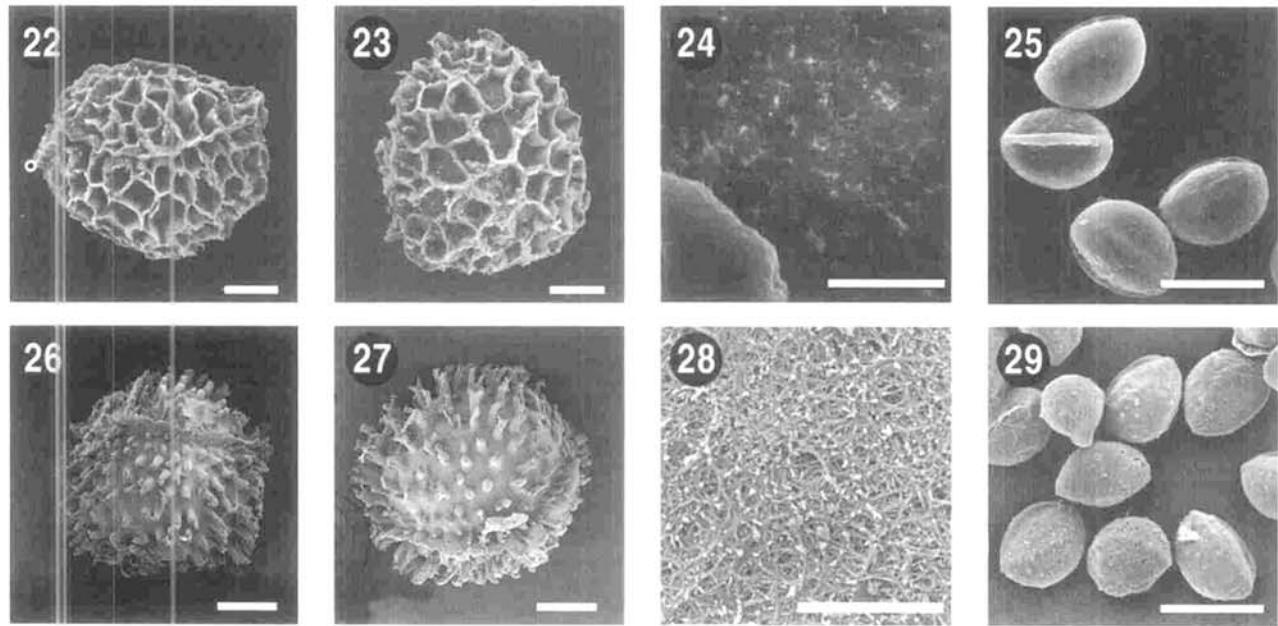
*I. jejuensis*의 대포자 표면에는 매우 얇은 주름 (rugulate)으로 된 표면구조물이 있고 기부반구와 말단반구에서 동일한 형태이며, 방사상 융기선은 날카롭고 높은 벽을 형성하고 있는 반면 적도면 융기선은 흔적처럼 미약하게 발달한다 (Figs. 6, 7). 두 융기선이 만나는 부위는 방사상 융기선의 일부가 크게 돌출되어 있으며, 이 두 종류의 융기선은 모두 주름이 거의 없다 (Figs. 6, 7). 표면의 미세구조는 매우 조밀하며 거칠게 보인다 (Fig. 8).

I. hallasanensis 대포자의 기부반구에는 원뿔 형의 침상돌기 (echinate)가 산재해 있으며, 그 크기는 균일하지 않고 높이는 융기선 보다 낮거나 비슷하다 (Fig. 10). 말단반구의 표면구조물도 기부반구의 것과 유사하나 밀도가 높고 크기가 균일하다 (Fig. 11). 방사상 융기선은 높고 일정한 높이를 보이며 주름이 없는 반면, 적도면 융기선은 높고 잘게 주름이 진다. 융기선의 측면에는 작은 부속체들이 있어 거칠며 두 융기선이 만나는 부위는 크게 돌출하지는 않지만



Figs. 2-29. SEM micrographs of megasporangia and microspores of *Isoëtes* L. in South Korea and adjacent regions (Taiwan, Japan and China). 2-5. *I. coreana*. 6-9. *I. jejuensis*. 10-13. *I. hallasanensis*. 14-17. *I. taiwanensis*. 18-21. *I. sinensis*. 22-25. *I. japonica*. 26-29. *I. asiatica*. 2, 6, 10, 14, 18, 22 and 26, lateral view of megasporangia (Scale bars = 100 µm). 3, 7, 11, 15, 19, 23, and 27, distal view of megasporangia (Scale bars = 100 µm). 4, 8, 12, 16, 20, 24, and 28, ultra-structure of megasporangial surface (Scale bars = 10 µm). 5, 9, 13, 17, 21, 25, and 29, overview of microspore (Scale bars = 30 µm). [Figs. 2-5, 14-17 and 22-25 refer to Jung (2001) and Figs. 6-13 refer to Choi et al. (2008)]

(Figs. 2-29. Continued)



삼각형이다 (Figs. 10, 11). 표면의 미세구조는 짧은 섬유상 조직이 엉성하게 연결된 형태이다 (Fig. 12).

*I. taiwanensis*의 대포자는 전체가 솜털 같은 섬유상 조직으로 덮여 있으며 기부반구는 빛밋하게 보일 정도로 낮은 돌기 (tuberculate)가 있고 서로 연결되지 않는다 (Fig. 14). 말단반구는 기부반구보다 약간 높은 돌기가 형성되어 있으며 이것들이 간혹 연결되어 긴 돌기를 형성하지만 대부분 폭보다 높이가 낮은 반구형의 돌기 (tuberculate)를 형성하며 적도면 융기선 근처에서 사라진다 (Fig. 15). 방사상 융기선의 폭과 높이는 비슷하고 말단부위가 둥글어 다른 종들과 차이를 보이며, 적도면의 융기선은 매우 낮아 흔적처럼 남아있고 방사상 융기선과 만나는 부위는 돌출하고 끝은 날카롭지 않다 (Figs. 14, 15). 표면의 미세구조에서 섬유상 조직은 서로 연결되지 않고 길게 뻗은 섬유상 조직이 밤송이 모양이다 (Fig. 16).

I. siversis 대포자의 기부반구 표면구조물은 굽은 침상돌기 (echinate)나 길고 불규칙적으로 연결된 벽 (cristate)을 형성하며 융기선 가까이에서도 발달한다 (Fig. 18). 말단반구의 구조물은 서로 연결되어 높은 벽을 형성 (cristate)하고 *I. coreana*와 달리 밀폐된 공간이 조밀하게 형성되어 있으며 폭이 보다 넓다. 적도면 융기선 근처에서는 침상돌기 형태인 것도 있다 (Fig. 19). 또한 높이가 불규칙적이며 적도면 융기선과 연결되지 않는다. 두 융기선의 기저부위는 폭이 넓고 말단부위가 신장되어 칼날 같은 형태이며 적도면 융기선은 주름져 있고 두 융기선이 만나는 부위는 돌출하지 않는다 (Fig. 18). 표면의 미세구조는 짧은 섬유상 조직이 엉성하게 연결된 형태이다 (Fig. 20).

*I. japonica*의 대포자 표면구조물은 전형적인 망상형

(reticulate)이다 (Fig. 22). 기부반구의 구조물은 말단부위의 높이가 일정하고 높아 융기선과 동일하고 완벽하게 밀폐된 공간을 만드는 망상구조 (reticulate)이며 방사상 융기선과는 간혹 연결되며 적도면 융기선과는 대부분이 연결된다 (Fig. 22). 반면 말단반구의 구조물도 망상구조 (reticulate)를 형성하지만 적도면 융기선과는 연결되지 않고 바로 전에 단절된다 (Fig. 23). 방사상 융기선은 말단부위가 칼날처럼 날카롭고 표면구조물보다 높으며, 적도면 융기선은 표면의 구조물들과 높이가 동일하고 기부반구의 표면구조물과 연결되어 있어 잘 눈에 띄지 않고 큰 주름이 있다 (Fig. 22). 두 융기선이 만나는 부위는 다른 부위와 높이가 동일하다. 동아시아 물부추속 식물 중 표면구조물이 가장 복잡하게 발달하였으며 미세구조에 섬유상 조직이 없이 평활하다 (Fig. 24).

*I. asiatica*의 대포자는 표면 전체에 융기선보다 높은 침상돌기 (echinate)가 고르게 분포한다 (Fig. 26). 방사상 융기선은 높고 말단부위가 신장하여 칼날모양이며 적도면 융기선도 높이가 비슷하며 주름이 있으며 두 융기선이 만나는 부위는 돌출하지 않는다 (Figs. 26, 27). 미세구조에 있어서 섬유상 조직은 매우 조밀하게 짜여 있다 (Fig. 28).

소포자: 소포자 표면구조물의 형태는 크게 2가지 형태로 나뉘는데, *I. coreana*와 *I. jejuensis*, *I. hallasanensis*, *I. sinensis*, 그리고 *I. taiwanensis*는 침상돌기 (echinate)를 가지며 *I. japonica*와 *I. asiatica*는 표면에 구조물이 없이 평활하다 (levigate) (Table 1).

*I. coreana*의 소포자 표면구조물은 침상으로 뾰족하며 표면에 작은 구형의 부속체들이 많고 봉합선의 측면에 침

상돌기가 표면의 것과 같거나 낮은 밀도로 존재한다 (Fig. 5). *I. jejuensis*의 소포자는 침상돌기의 밀도가 매우 높고 봉합선의 측면과 말단에도 발달한다 (Fig. 9). *I. hallasanensis*의 소포자는 침상돌기의 밀도가 높고 봉합선의 측면과 말단에도 발달한다 (Fig. 13). *I. taiwanensis*의 소포자는 침상돌기의 폭이 넓고 다른 것들에 비해 상대적으로 밀도가 낮다. 봉합선의 측면과 말단에도 침상돌기가 산재하며 미세구조에서도 작은 구형이나 막대기 모양의 부속체가 달린다 (Fig. 17). *I. sinensis*의 소포자는 *I. hallasanensis*와 유사한 특성을 보이며 많은 부속체가 있다 (Fig. 21). *I. japonica*의 소포자는 표면 구조물이 없으나 미세구조를 보면 작은 구형의 부속체들이 밀집되어있다 (Fig. 25). *I. asiatica*의 소포자도 표면구조물이 없지만 *I. japonica*의 표면보다 거칠며 간혹 낮은 돌기가 있는 점이 다르다 (Fig. 29).

동아시아의 물부추속 식물 중에서 *I. asiatica*의 대포자 직경이 가장 크고 *I. taiwanensis*가 제일 작다. 또한 대포자의 직경과 높이의 비가 1.19로서 납작한 대포자를 가진 *I. japonica*를 제외한 다른 종들의 대포자는 직경과 높이가 비슷하여 구형이다. 소포자의 크기는 *I. coreana*가 가장 크고 *I. taiwanensis*가 가장 작으며 각 종들이 일정한 값을 가지고 있어 중요한 형질로 여겨진다. 대포자의 정성적 형질은 동아시아 물부추속 식물의 종간 차이를 명확하게 보여주며 대포자의 표면구조에 의해 1) 닦벼슬 형태 (cristate)인 *I. coreana*와 *I. sinensis*, 2) 침상돌기 (echinate)를 가진 *I. hallasanensis*와 *I. asiatica*, 3) 낮게 주름진 (rugulate) 표면구조물을 가진 *I. jejuensis*와 4) 방사대칭인 반구형의 돌기 (tuberculate)를 가진 *I. taiwanensis*, 그리고 5) 높은 벽으로 이루어진 망상형 (reticulate) 표면구조물을 가진 *I. japonica*로 구분된다. 이에 따라서 국내에 보고된 4종은 대포자 표면구조물의 특성에 따라 식별이 가능하다.

*I. coreana*와 같은 유형의 대포자 표면구조를 가진 *I. sinensis*는 대포자 말단반구의 표면구조물이 밀폐된 공간을 형성하며 폭이 보다 넓고 미세구조가 조밀하지 않은 점과 소포자의 크기가 상대적으로 작다는 점에서 서로 구별된다. 대포자 표면에 침상돌기 (echinate)를 가진 *I. hallasanensis*와 *I. asiatica*는 소포자의 표면구조물의 형태에서 각각 침상돌기의 유무에 따라 명확히 구분된다. 단, Hickey (1986)는 이러한 대포자의 표면구조의 분류학적 중요성은 인정하지만 성숙도, 환경에 따른 가변성과 종간·절간 잡종에 의한 중간형이 있음을 제시하고, 대포자의 표면구조에 전적으로 의존한 분류는 진화적 관계를 충분히 반영하지 못할 위험성이 있음을 지적하였다. 따라서 생육환경, 영양기관의 형질 등 다양한 자료와 함께 고려할 것을 주장하였다 (Hickey, 1986). 앞서 밝힌 형태적 특성과 포자의 유형에 따라 동아시아 물부추속 식물 7 종에 대한 인위적인 검색표를 작성하였다. 염색체 수와 지리적분포, 분자분류학적 마커를 이용한 선행연구 결과 (Takamiya, 1997; Kim et al., 2009)에서 동아시아의 다른 종들과 유연관계가 면 것으로 알려진

*I. asiatica*가 괴경 열편의 수에 의해서 식별되었고, 외부형태와 이형포자의 표면구조에 따라 나머지 종들도 구분되었다. 이렇게 작성된 검색표의 결과는 외부형태와 포자표면구조에 근거하여 Pfeiffer (1922)가 제시한 물부추과의 분류체계와 유사하다.

동북아시아 물부추속 식물의 검색표

1. 괴경은 2개로 갈라지며, 기공은 없고, 포막이 포자낭을 2/3-3/4정도를 덮는다 *I. asiatica* 아시아물부추 (신청)
1. 괴경은 3개로 갈라지며, 기공이 있고, 포막은 미약하게 발달하거나 없다
 2. 포자엽은 들어지며, 인피섬유가 없고 포막은 미약하게 발달한다 *I. taiwanensis* 대만물부추 (신청)
 2. 포자엽은 곧게 서며, 4개의 인피섬유가 있고 포막은 없다
 3. 대포자의 표면구조물은 망상형 (reticulate)이며, 소포자의 표면구조물은 평활 (levigate)하다
 *I. japonica* 물부추
 3. 대포자의 표면구조물은 망상형이 아니고, 소포자의 표면구조물은 침상 (echinate)이다
 4. 대포자 기부반구의 표면구조물은 침상 (echinate)과 닦벼슬 모양 (cristate)의 2 종류이며, 말단반구에서는 닦벼슬 모양 (cristate)이다
 5. 대포자 말단반구의 표면구조물은 밀폐된 공간을 형성하지 않으며 미세구조의 섬유상 조직은 조밀하다; 소포자의 길이는 31-38 μm 이다.; 염색체는 6배체 ($2n=66$)이다 *I. coreana* 참물부추
 5. 대포자 말단반구의 표면구조물은 자주 밀폐된 공간을 형성하며, 미세구조의 섬유상 조직은 엉성하다; 소포자의 길이는 26-30 μm 이다.; 염색체는 4배체 ($2n = 44$)이다 *I. sinensis* 중국물부추 (신청)
 4. 대포자 표면구조물은 1 종류로 낮은 주름형 (rugulate), 또는 침형 (echinate)이다
 6. 대포자 표면구조물은 낮은 주름형 (rugulate)이다; 제주도 저지대에 분포한다
 *I. jejuensis* 제주물부추
 6. 대포자 표면구조물은 침상 (echinate)이다; 제주도 고지대에 분포한다 *I. hallasanensis* 한라물부추

3. 한국산 물부추속의 계통

앞에서 말한 바와 같이 물부추속 식물은 전세계적으로 널리 분포하며, 진화적으로 오래된 분류군이다 (Pfeiffer, 1922; Pigg, 1992; Retallack, 1997). 또한 수생, 반수생, 육생 등 다양한 생육지에서 분포하며, 하나의 계통내에서 수생과 육생 사이에서도 여러 번에 걸쳐 전이 (multiple transition)가 이루어진 것으로 보고되었다 (Taylor and Hickey, 1992). 그럼에도 불구하고, 형태적인 단순성과 이질배수성 (allopolyploid)에 의한 종분화로 인하여 외부 형태적인 특징으로 계통을

파악하기가 상당히 어렵다 (Hickey et al., 1989). 따라서 물부추속 식물에 대한 분류학적 한계, 계통학적 유연관계, 배수체 종의 기원을 결정하는데 문자분류학적 마커 (e.g. 핵의 ribosomal ITS region, LEAFY intron, 엽록체 DNA *atpB-rbcL* spacer region)를 많이 이용하고 있다 (Hoot and Taylor, 2001; Taylor et al., 2004; Hoot et al., 2006). 그 예로서 Taylor et al. (2004)은 핵의 LEAFY 2nd intron 염기서열을 이용한 계통분석에서 중국의 4배체 종인 *I. sinensis*는 대만의 *I. taiwanensis*와 중국 남부지역의 *I. yunguiensis* Q. F. Wang and W. C. Taylor의 이질배수체인 것으로 보고하였다.

Hoot et al. (2006)은 전세계에 분포하는 물부추속 식물을 대상으로 핵의 ribosomal DNA internal spacer region (nr ITS)과 엽록체 DNA *atpB-rbcL* spacer region 등 문자분류학적 마커를 이용하여 계통을 분석을 한 결과, 동아시아에 분포하는 물부추속 식물은 호주의 물부추속 식물과 높은 유연관계를 보이는 것으로 보이는 것으로 발표하였다 (Hoot et al., 2006). 그러나 이들의 물부추속 식물의 계통분석에는 우리나라에 분포하는 종들이 포함되지 않았으며, 더욱이 동아시아 물부추속 종간의 계통 분석 결과는 해상력이 없는 것으로 나타났다 (Hoot et al., 2006). 국내 내륙에 분포하는 *I. coreana*는 6배체 (hexaploid, 2n = 66)이고, 제주도에서 신종으로 보고된 *I. jejuensis*와 *I. hallasanensis*는 4배체 (tetraploid, 2n = 44)이다 (Choi et al., 2008). 최근 Kim et al. (2009)은 한국, 대만, 일본 등 동아시아에 분포하는 물부추속 식물을 대상으로 AFLP 마커를 이용하여 유연관계를 분석한 결과, 6배체인 *I. coreana*는 2배체 종인 *I. taiwanensis*, 4배체 종인 *I. hallasanensis*와 깊은 유연관계를 보여주었다. 또한, 동아시아 물부추속 식물에 대하여 nr ITS region, LEAFY 2nd intron, 엽록체 DNA *trnS-psbC* spacer region 등 문자계통학적 마커를 이용하여 계통학적 유연관계를 분석한 결과는 *I. coreana*는 유사한 형태의 *I. sinensis*가 아닌 대만에 분포하는 *I. taiwanensis*와 제주도에 있는 *I. hallasanensis*와 단계통군임을 보여 주었다 (C. Kim et al., unpubl. data). 이는 *I. coreana*가 대포자의 형태가 유사한 *I. sinensis*와는 다른 계통임을 나타낸다. 그리고 국내 내륙에 분포하는 *I. coreana*의 기원은 2배체 종인 *I. taiwanensis*일 수도 있음을 보여 준다. *I. taiwanensis*는 고산 습지 (Mt. Yangmyeong alt. ca. 1,000 m)에서 자라는 대만 고유의 2배체종 (diploid, 2n = 22)이다 (DeVol, 1972a,b; Huang et al., 1992). 앞으로 *I. taiwanensis*를 포함하여 동아시아의 물부추속에 기원과 전파에 대한 분자계통학적 검증이 필요할 것으로 사료된다.

*I. taiwanensis*에 대한 기원과 전파 경로에 대해서는 아직 까지 명확하게 밝혀지지 않고 있다. Liu et al. (2004)은 염색체의 수와 배수체 종의 분포패턴을 근거로 동아시아 물부추속의 기원을 중국 서부의 고산지대 (Qinghai-Tibet Plateau와 Yunnan-Guizhou Plateau) 인 것으로 주장하였다. 이에 비하여 Hoot et al. (2006)은 문자계통학적 마커를 이용한 계통지리학적 연구결과, 동아시아 물부추속 식물은 칠새에 의

해서 호주를 기원으로 파푸아뉴기니아를 거쳐 이동된 것으로 보고하였다. 또한 대포자의 표면구조에서 *I. taiwanensis*는 tuberculate형을 보임으로서 뉴질랜드 고지대의 2배수체 종인 *I. kirkii* A. Braun과 매우 유사하다 (Britton and Brunton, 1991). 따라서, *I. taiwanensis*의 기원을 밝히기 위하여 중국의 서부 고산지대, 호주와 파푸아뉴기니아에 분포하는 물부추속 식물을 포함하여 유용한 엽록체 DNA 마커를 이용한 계통지리학적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4. 멸종위기 식물인 물부추속의 보전 전략

동아시아 물부추속 식물은 경지 정리나 습지 매립, 하천 정비 등 인간의 간섭과 외부 종의 유입에 의한 자생지 훼손에 의하여 멸종위기에 처해 있는 실정이다 (Hyun, 2001; Liu et al., 2005b). 실제로 동아시아 물부추속 내 종들은 멸종 혹은 절멸위기 식물로 취급되고 있다 (Kang et al., 2005). 이러한 물부추속 식물의 보전을 위한 개체군의 크기의 변화 양상, 생태요인분석, 유전 다양성분석 등 다양한 연구가 진행되고 있다 (Chen et al., 2005; Kang et al., 2005; Liu et al., 2005b; Kim et al., 2008, 2009).

국내에서는 앞서 언급한 바와 같이 환경부가 멸종위기야생동·식물 II급으로 지정한 *I. japonica*의 생육지가 더 이상 확인되지 않고 있다. 국내에서 자생하는 것으로 보고되었던 *I. japonica*는 제주도를 제외한 전국에 분포하는 *I. coreana*의 오동정이거나, 완전히 멸종된 것으로 추정된다 (Takamiya, 1999). *I. coreana*는 국내 내륙에서 새로운 생육지가 계속해서 확인되고 있으나, 대부분 개체군의 크기는 매우 작다 (Kim et al., 2008). 즉, 국내 내륙에서 확인된 *I. coreana*의 생육지는 강원도 화천군 하남면 논미리와 거례리, 강원도 춘천시 사북면 오월리, 강원도 춘천시 원평리, 충북 청주시 청천동 뒤뜰방죽과 의림지, 울산시 다운동, 전남 강진군 도암면 등인데, 전남 강진 도암면 개체군을 제외한 나머지 개체군은 50개체 이하의 매우 작은 개체군을 유지하고 있다. 최근 국내 내륙에 생육하는 개체군에 대하여 RAPD와 AFLP 분석을 이용하여 유전 다양성을 분석한 결과, 개체군 내에서 매우 낮은 유전 다양성을 보여주었으며, 개체군 간에는 매우 높은 유전적 분화 (genetic differentiation)를 보이는 것으로 나타났다 (Kim et al., 2008, 2009). 또한 개체군 간의 매우 낮은 유전자흐름 (gene flow)을 보이며, 개체군 간의 유연관계는 지리적인 거리와 상관관계를 보이지 않는 것으로 분석되었다 (Kim et al., 2008). 따라서 우리나라 물부추속의 개체군별 유전적 고유성을 보존하기 위하여는 독립적인 보존 대책이 필요하고, 유전적 부동에 의한 영향을 줄이기 위해서는 개체군내의 개체수를 증가시키는 것이 중요할 것이다 (Kang et al., 2005; Kim et al., 2008). 한편 제주도에서 보고된 *I. jejuensis*와 *I. hallasanensis*개체군들도 내륙의 *I. coreana*경우와 마찬가지로 심각한 멸종위기에 처해있는 종들이다 (Choi et al., 2008). *I. jejuensis*는 제주도 북제주군 조천읍 선흘리와 제주도 북제주군 구좌읍 동복리 두 지역에서 각각

50개체 미만의 개체군이 조사되었다 (Choi et al., 2008). 이들 개체군에 대하여 AFLP 분석 결과 개체군간의 유전적 분화 ($\theta^B=0.390$)가 상당히 진행된 것으로 파악되었다. (Kim et al., 2009). 이들 개체군의 유전적 다양성을 확보하기 위해서는 한 개체군에서 많은 개체를 선발하여 보존하는 것보다는 각각의 개체군에서 소수의 개체를 선발하는 개체군 위주의 보존이 더욱 효과적일 것이다. 특히 *I. hallasanensis*의 경우는 제주도 한라산 고산지대 습지의 유일한 개체군내에 20개체 미만이 생육하고 있는 것으로 확인되었다. 따라서 더 많은 개체군의 발견을 위한 연구가 우선되어야 하며, 포자배양 등을 통하여 개체 수를 증식시키는 연구가 필요할 것으로 보인다. 한편 현재 멸종위기에 처한 국내에 생육하는 물부추속 식물의 보전을 위해서는 환경부의 멸종위기야생동·식물로 *I. japonica*뿐 아니라 물부추속 식물전체를 대상으로 재지정하는 것이 필요할 것이다.

관찰표본

Isoëtes coreana Chung and Choi: **Korea**, Chungcheongbuk-do Jecheon-si Cheongcheon-dong, 29 Jul. 1998, H. J. Kim s.n. (AJOU), 27 Jul. 2000, J. Jung s.n. (AJOU); Gangwon-do, Chuncheon-si Jichon-ri, 23 Jun. 1999, H. J. Kim s.n. (AJOU), 27 Jul. 2000, J. Jung s.n. (AJOU), Chuncheon-si Wonpyeong-ri, 27 Jul. 2000, J. Jung s.n. (AJOU), Hwacheon-gun, Hanam-myeon, Nonmi-ri, 1 Aug. 1984, H.-K. Choi s.n. (holotype, AJOU; isotype AJOU); Jeollanam-do, Gangjin-gun, Doam-myeon, 28 Jun. 2006, H.-K. Choi s.n. (AJOU); Ulsan-si Daundong, 15 Sep. 2006, C. Kim, 200656 (AJOU).

I. jejuensis Choi et al.: **Korea**, Jeju-do, Bukjeju-gun, Gujwa-eup, Dongbok-ri, 14 Jul. 2006, H.-K. Choi 2006123 (AJOU), Namjeju-gun, Namwon-eup, 5 Aug. 2000, J. Jung 2000154 (AJOU), Namjeju-gun, Pyosun-myun, 5 Aug 2000, J. Jung 2000157 (holotype, AJOU; isotype, AJOU).

I. hallasanensis Choi et al.: **Korea**, Jeju-do, Seoguipo-si Mt. Halla, 3 May 2007 C. Kim 200784 (AJOU), 13 Jul. 2006, H.-K. Choi 20061380 (holotype, AJOU; isotype, AJOU).

I. taiwanensis C. E. DeVol: **Taiwan**, Taipei city, Yangmingshan, 3 Aug. 2000, C. H. Chuang and T. Y. A. Yang, TNM P006961 (AJOU), 27 Feb. 2007, H.-K. Choi s.n. (AJOU).

I. sinensis T. C. Palmer: **China**, ? Aug. 1929, K. Ling 3049 (PE)

I. japonica A. Braun: **Japan**, Tokyo, Koishikawa Bot. Gard., 4 Jul. 2004 H. Shin 2004-92 (AJOU), ? Jun. 2000, B. Y. Sun s.n. (AJOU)

I. asiatica (Makino) Makino: **Japan**, Hokkaido, Lake Kussahro, 16 Sep. 2007, J. Jung 2007-45 (AJOU)

심사위원들께 깊은 감사를 드립니다. 이 연구는 과학재단의 지원 (생물자원 확보, 관리 및 활용사업 M1086701003)과 한국학술진흥재단 (KRF-2009-0073766)의 지원을 받아 수행되었습니다.

인용문현

- Anonymous. 2005. Illustrated Book of Endangered Animals and Plants. Ministry of Environment, Gwacheon (in Korean).
- Boom, B. M. 1980. Intersectional hybrids in *Isoëtes*. Amer. Fern J. 70: 1-4.
- Braun, A. 1861. Über eine neue Art der Gattung *Isoëtes*. Monatsber. Königl. Preuss. Akad. Wiss. Berlin 1861: 459-460 (in Deutsch).
- Britton, D. M. and D. F. Brunton. 1991. The spores and affinities of *Isoëtes taiwanensis* (Isoëtaceae: Pteridophyta). Fern Gaz. 14: 73-81.
- Chen, J. M., X. Liu, J. Y. Wang, G. W. Robert and Q.-F. Wang. 2005. Genetic variation within the endangered quillwort *Isoëtes hypsophila* (Isoëtaceae) in China as evidenced by ISSR analysis. Aquatic Bot. 82: 89-98.
- Choi, H.-K. 1985. A monograph of vascular hydrophytes in Korea. Doctoral Thesis. Seoul Nat'l. Univ. (in Korean).
- Choi, H.-K., J. Jung and C. Kim. 2008. Two new species of *Isoëtes* (Isoëtaceae) from Jeju Island, South Korea. J. Pl. Biol. 51: 354-358.
- Chung, Y. H. and H.-K. Choi. 1986. *Isoëtes coreana*, a new species from Korea. Kor. J. Plant Tax. 16: 1-12 (in Korean with English abstract).
- DeVol, C. E. 1972a. *Isoëtes* found on Taiwan. Taiwania 17: 1-7.
- DeVol, C. E. 1972b. A correction for *Isoëtes taiwanensis* DeVol. Taiwania 17: 304-305.
- Dorn, R. D. 1972. The Nomenclature of *Isoëtes echinospora* and *Isoëtes muricata*. Amer. Fern J. 62: 80-81.
- Fuchs-Eckert, H. P. 1981. *Isoëtes palmeri* H. P. Fuchs, eine neue *Isoëtes*-Art des Paramo. Proc. Kon. Ned. Akad. Wetensch. 84: 165-174.
- Hickey, R. J. 1986. *Isoëtes* megaspore surface morphology: Nomenclature, Variation, and Systematic importance. Amer. Fern J. 76: 1-16.
- Hickey, R. J., W. C. Taylor and N. T. Luebke. 1989. The species concept in Pteridophyta with special reference to *Isoëtes*. Amer. Fern J. 79: 78-89.
- Hoot, S. B. and W. C. Taylor. 2001. The utility of nuclear ITS, a LEAFY homolog intron, and chloroplast *atpB-rbcL* spacer region data in phylogenetic analyses and species delimitation in *Isoëtes*. Amer. Fern J. 91: 166-177.
- Hoot, S. B., N. S. Napier, W. C. Taylor. 2006. Phylogeny and biogeography of *Isoëtes* (Isoëtaceae) based on nuclear and chlo-

사사

본 논문의 심사를 맡아 원고를 교정하여 주신 두 분의

- roplast DNA sequence data. Syst. Bot. 31: 449-460.
- Huang, T. -C., H. -J. Chen and L. -C. Li. 1992. A Palynological study of *Isoëtes taiwanensis* DeVol. Amer. Fern J. 82: 142-150.
- Hyun, J.-O. 2001. Categorization of the threatened plant species in Korea. Dotoral Thesis. Sunchunhyang Univ. (in Korean).
- Jung, J. 2001. Taxonomic Studies of *Isoëtes* L. in Korea. Master's Thesis. Ajou Univ. (in Korean).
- Kang, M., Q. Ye and H. Huang. 2005. Genetic consequence of restricted habitat and population decline in endangered *Isoëtes sinensis* (Isoëtaceae). Ann. Bot. (Oxford) 96: 1265-1274.
- Kim, C.-S. 2006. Studies on the Distribution and Vegetation of the Endangered Wild Plants in Jeju Island. Doctoral Thesis. Cheju Nat'l. Univ. (in Korean).
- Kim, C., H. R. Na and H. -K. Choi. 2008. Genetic diversity and population structure of endangered *Isoëtes coreana* in South Korea based on RAPD analysis. Aquatic Bot. 89: 43-49.
- Kim, C., H. Shin and H. -K. Choi. 2009. Genetic diversity and population structure of diploid and polyploid species of *Isoëtes* in East Asia based on AFLP marker. Int. J. Pl. Sci. 170: 496-504.
- Kim, M. -H., G. -M. Song and C. -S. Lee. 2005. Jeju Province (Dongbaekdongsan/Yongsu Reservoir): Plants. In 2005 National Inland Wetland survey. J.-H. Moon (ed.), Ministry of Environment-National Institute of Environmental Research. Pp. 27-99.
- Kott, L. S. and D. M. Britton. 1983. Spore morphology and taxonomy of *Isoëtes* in northeastern North America. Canad. J. Bot. 61: 3140-3163.
- Linnaeus, C. 1753. Sp. Pl. vol. 2. Impensis Laurentii Salvii, Stockholm. P. 1100.
- Liu, H., Q. -F. Wang and W. C. Taylor. 2005a. *Isoëtes orientalis* (Isoëtaceae), a new hexaploid quillwort from China. Novon 15: 164-167.
- Liu, X., J. Y. Wang and Q. -F. Wang. 2005b. Current status and conservation strategies for *Isoëtes* in China: a case study for the conservation of threatened aquatic plants. Oryx 39: 335-338.
- Liu, X., W. R. Gituru and Q. -F. Wang. 2004. Distribution of basic diploid and polyploidy species of *Isoëtes* in East Asia. J. Biogeogr. 31: 1239-1250.
- Löve, A. 1962. Cytotaxonomy of the *Isoëtes echinospora* complex. Amer. Fern J. 52: 113-122.
- Makino, T. 1904. Observations on the flora of Japan. Bot. Mag. (Tokyo) 18: 129-131.
- Makino, T. 1914. Observations on the flora of Japan. Bot. Mag. (Tokyo) 28: 184-185.
- Palmer, T. C. 1927. Chinese *Isoëtes*. Amer. Fern J. 17: 111-113.
- Park, M. K. 1942. *Isoëtes japonica* in Korea. J. Jap. Bot. 18: 547 (In Japanese).
- Pfeiffer, N. E. 1922. Monograph of the Isoëtaceae. Ann. Missouri Bot. Gard. 9: 79-233.
- Pigg, K. B. 1992. Evolution of Isoetalean lycopsids. Ann. Missouri Bot. Gard. 79: 589-612.
- Retallack, G. J. 1997. Earliest Triassic origin of *Isoëtes* and quillwort evolutionary radiation. J. Paleontol. 71: 500-521.
- Sharma, B. D. and R. Singh. 1984. The ligule in *Isoëtes*. Amer. Fern J. 74: 22-28.
- Takamiya, M. 1999. Natural history and taxonomy of *Isoëtes* (Isoëtaceae). Acta Phytotax. Geobot. 50: 101-138 (In Japanese).
- Takamiya, M., M. Watanabe and K. Ono. 1997. Biosystematic studies on The genus *Isoëtes* (Isoëtaceae) in Japan IV. Morphology and anatomy of sporophytes, phytogeography and taxonomy. Acta Phytotax. Geobot. 48: 89-121.
- Taylor, W. C. and R. J. Hickey. 1992. Habitat, evolution and speciation in *Isoëtes*. Ann. Missouri Bot. Gard. 79: 613-622.
- Taylor, W. C., A. R. Lekschas, Q. -F. Wang, X. Liu, N. S. Napier and S. B. Hoot. 2004. Phylogenetic relationships of *Isoëtes* (Isoëtaceae) in China as revealed by nucleotide sequences of the nuclear ribosomal ITS region and the second intron of a LEAFY homolog. Amer. Fern J. 94: 196-205.
- Tryon, A. F. and B. Lugardon. 1991. Spore of the Pteridophyta: Surface, Wallstructure and Diversity Based on Electron Microscope Studies. Springer, Madison. Pp. 622-633.
- Wang, Q. F., X. Liu, W. C. Taylor and H. Zhao-Rong. 2002. *Isoëtes yunganensis* (Isoëtaceae), a new basic diploid quillwort from China. Novon 12: 587-591.
- West, C. and H. Takeda. 1914. On *Isoëtes japonica* A. Br. Trans. Linn. Soc. London, Bot. 7: 333-373.