

희귀 및 멸종위기식물인 광릉요강꽃의 개체군 구조 및 지속성^{1a}

이동형^{2,3} · 김소담⁴ · 김휘민⁵ · 문애라⁴ · 김상용⁶ · 박병배⁷ · 손성원^{8*}

Stage Structure and Population Persistence of *Cypripedium japonicum* Thunb., a Rare and Endangered Plants^{1a}

Dong-hyoung Lee^{2,3}, So-dam Kim⁴, Hwi-min Kim⁵, Ae-Ra Moon⁴, Sang-Yong Kim⁶,
Byung-Bae Park⁷, Sung-won Son^{8*}

요약

광릉요강꽃(*Cypripedium japonicum* Thunb.)은 한국, 중국, 일본에 분포하는 동아시아 특산식물로, 지구 수준의 IUCN Red List “위기(Endangered, EN)”로 평가되며, 한국의 국가 Red List에서는 “멸종위기(Critically Endangered, CR)”에 포함된다. 본 연구는 광릉요강꽃 자생지에서 7년 동안 수행된 개체통계학적(demographic) 모니터링 자료를 바탕으로 개체군 구조 및 변화양상을 분석하고, 개체군의 지속성에 대하여 예측하였다. 광릉요강꽃은 국내 7개 지역(포천, 가평, 화천, 춘천, 영동, 무주, 광양)에서 자생지가 관찰되었고, 15개 아개체군에 4,356개체가 생육하는 것으로 확인되었다. 개체군 크기 및 구조는 지역별로 상이하였으며, 인위적 관리가 개체군 크기 및 구조 변화에 중요한 영향을 미치고 있었다. 7년 동안 개체 수 변화를 모니터링한 결과 광릉요강꽃의 개체군 생존력(Population Viability Analysis, PVA)은 지역별로 다양한 경향을 보였다: 향후 1세기 안에 멸절할 가능성은 포천 0.00%, 광양 10.90%, 춘천 24.05%, 화천 79.50%로 예측되었다. 모니터링이 수행된 위 연구지역은 현지 내 보호시설로 인위적 출입을 제한하고 있어 광릉요강꽃의 최대 위협요인인 인위적 남획 변수가 개체군 생존력에 반영되지 않았다. 즉, 실질적인 멸절 위험도는 본 연구에서 추정된 값보다 현저하게 클 것으로 예상된다. 국내 광릉요강꽃 개체군의 멸절위험도의 객관적 판단을 위해서는 향후 다양한 위협요인이 있는 여러 지역의 개체군 정보가 반영될 필요가 있으며, 국내·외로 광릉요강꽃 개체군에 대한 개체통계학적 모니터링을 확대해 나가야 할 것이다.

주요어: 개체군 크기 및 구조, 개체통계학적 모니터링, 동아시아 특산식물, 생존력 분석, 현지내 보전

1 접수 2021년 8월 2일, 수정 (1차: 2021년 9월 29일), 게재확정 2021년 9월 30일

Received 2 August 2021; Revised (1st: 29 September 2021); Accepted 30 September 2021

2 국립수목원 식물자원연구과 연구보조원 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea

3 국립충남대학교 산림자원학과 석사과정 Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

4 국립수목원 식물자원연구과 박사후연구원 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea

5 국립수목원 식물자원연구과 석사후연구원 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea

6 국립수목원 식물자원연구과 임업연구관 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea

7 국립충남대학교 산림자원학과 교수 Department of Environment and Forest Resources, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

8 국립수목원 식물자원연구과 임업연구사 Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea

a 이 논문은 산림청 국립수목원에서 지원하는 연구비(KNA 1-2-37, 20-4)에 의하여 연구되었으며, Lee *et al.* (2020)의 한국환경생태학회 학술대회 발표논문을 발전시킨 것임.

* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-31-540-2349, Fax: +82-31-771-2739, E-mail: ssw80@korea.kr

ABSTRACT

Cypripedium japonicum Thunb. is an endemic plant in East Asia, distributed only in Korea, China, and Japan. At the global level, the IUCN Red List evaluates it as "Endangered Species (EN)," and at the national level in Korea, it is evaluated as "Critically Endangered Species (CR)." In this study, we investigated the characteristics of the age structure and the sustainability of the population based on the data obtained by demographic monitoring conducted for seven years in the natural habitat. *C. japonicum* habitats were observed in 7 regions of Korea (Pocheon, Gapyeong, Hwacheon, Chuncheon, Yeongdong, Muju, Gwangyang), and 4,356 individuals in 15 subpopulations were identified. The population size and structure differed from region to region, and artificial management had a very important effect on the size and structural change of the population. Population viability analysis (PVA) based on changes in the number of individuals of *C. japonicum* showed a very diverse tendency by region. And the probability of population extinction in the next 100 years was 0.00% for Pocheon, 10.90% for Gwangyang, 24.05% for Chuncheon, and 79.50% for Hwacheon. Since the above monitored study sites were located within the conservation shelters, which restricted access by humans, unauthorized collection of *C. japonicum*, the biggest threat to the species, was not reflected in the individual viability. So, the risk of extinction in Korea is expected to be significantly higher than that estimated in this study. Therefore, it is necessary to reflect population information in several regions that may represent various threats to determine the extinction risk of the *C. japonicum* population objectively. In the future, we should expand the demographic monitoring of the *C. japonicum* population known in Korea.

KEY WORDS: DEMOGRAPHIC MONITORING, ENDEMIC PLANT IN EAST ASIA, IN SITU CONSERVATION, POPULATION SIZE AND STRUCTURE, VIABILITY ANALYSIS

서론

식물은 생태적 지위에 따라 종 마다의 특징적인 분포 유형이나 범위를 가진다(Grime, 1977; KFRI, 1996; Dupré and Ehrlén, 2002; Grime, 2002; Pearman *et al.*, 2008). 일반적으로 특정한 지역에 제한적으로 분포하거나, 자연적 또는 인위적 요인에 의해 개체군 크기 및 건강성이 지속해서 감소하고 있는 희귀 및 멸종위기식물의 경우, 일반 식물보다 멸절 또는 멸종 위협에 상대적으로 크게 노출 될 수 있다(Son *et al.*, 2013). 따라서 이들 식물은 자연에서의 진화적 지속성을 유지하기 위한 다양한 보전학적 접근이 필요하다. 생물의 현지 내 보전은 그들이 형성하는 개체군의 속성을 정확히 이해하는 것부터 시작되며, 이를 위해서는 개체군 변화에 대한 장기적인 모니터링 자료가 무엇보다 중요하다(Davy and Jefferies, 1981; Crawley, 1990; Marsh *et al.*, 2008). 하지만 모니터링은 많은 시간과 노력이 수반되는 연구 활동으로 정교한 자료 수집에는 많은 제약이 따른다(Marsh *et al.*, 2008). 그럼에도 불구하고 다양한 방식의 보전 가치들은 개체군 동태 이해에 기여하는 모니터링 연구가 보전관리 전략 제공에 가장 유용하다는 것을 시사하고 있다(Davy and Jefferies, 1981). 모니터

링 방법 중 특히, 개체통계학적(demographic) 접근은 식물 개체군의 성장률(growth rate)과 생존율(viability), 기대수명(life expectancy) 및 멸종 가능성(probabilities of extinction) 등 다양한 추정을 가능하게 하여 해당 식물 개체군의 동태 및 진화적 적응 이해를 향상시키고, 동시에 위협받는 개체군의 핵심적인 보전 전략 정보들을 제공한다(Lauenroth and Adler, 2008; McCaffery *et al.*, 2014). 그러나 개체통계학적 자료를 바탕으로 수행된 많은 개체군 동태 연구는 생활사가 짧은 일년생 또는 이년생 식물을 대상으로 이뤄져 왔다(Harper, 1977; Crawley, 1990; Falińska, 1997; Jules, 1998; O'Grady *et al.*, 2004; Petru, 2005).

난초과(Orchidaceae)는 28000여종으로 현화식물(flowering plant)에서 가장 큰 과(family)중 하나이며, 동시에 다양하고 복잡한 생명 역사로 인해 가장 위협받는 식물 분류군 중에 하나기도 하다(Fay, 2018). 따라서 보전 활동 및 연구에 대한 요구가 매우 높으며, 다양한 식물에 대한 보전생물학 연구가 수행되어 왔다(Fay, 2018). 하지만 난초과 식물을 대상으로 한 개체군 통계학 및 동태 연구는 매우 제한적

이다.

광릉요강꽃(*Cypripedium japonicum* Thunb.)은 난초과(Orchidaceae)에 속하는 다년생 식물로 한국, 일본, 중국에 자생하는 동아시아 특산식물이다(Pi *et al.*, 2015). 우리나라에서는 광릉숲에서 최초 발견되어 알려졌으며, 화천, 춘천, 가평, 여주, 무수, 영동, 광양 등지에서 자생하는 것으로 기록되어 있다(KNA, 2014). 하지만 국내 개체 수가 매우 제한적이고 집단이 파편화되어 있으며, 특히 꽃과 잎의 형태가 특이하고 아름다워 남획에 의한 개체군의 심각한 훼손이 이루어져 왔다(Pi *et al.*, 2015). 이러한 이유로 국내에서는 법적 보호종으로 지정되어 있기도 하며(KNA, 2012; Ministry of Environment, 2021), 특히 IUCN 적색목록 기준(ver 3.1)에 의한 평가 범주에서는 지구 수준에서는 위기(Endangered, EN), 국가 수준에서는 멸종위기(Critically Endangered, CR)로 평가되기도 한다(KNA, 2008; Ministry of Environment, 2012; Rankou, 2014). 광릉요강꽃은 다양한 보전생물학 연구가 수행된 바 있으며, 일반적으로 난초과 식물에서 많이 연구되고 있는 종자 발아 및 균근 복합체 대한 연구(Sim *et al.*, 2010; Bae *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2015)와 더불어 수분 매개충에 대한 연구(Sun *et al.*, 2009; Nam *et al.*, 2014; Sim *et al.*, 2016), 자생지의 환경 및 식물상에 관한 연구(Park and Kim, 1995; Seo *et al.*, 2011), 유전 특성 및 다양성 대한 연구(Chung *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2015; Tian *et al.*, 2018) 등이 선행되었다. 하지만 자생지의 장기 모니터링을 통한 광릉요강꽃 개체군 변화양상이나 동태에 관한 연구는 일부 자생지를 대상으로 수행된 사례(Cho *et al.*, 2019)를 제외하면 거의 찾아볼 수 없다.

따라서, 본 연구는 우리나라 대표적인 회귀 및 멸종위기 식물인 광릉요강꽃의 안정적인 보전을 위해 지난 몇 년간 수행된 개체통계학적(demographic) 모니터링 자료를 바탕으로 개체군 특성 및 변화양상을 파악하고 효율적인 개체군 보전 및 관리 방향에 대하여 논하고자 한다.

연구방법

1. 개체통계학적 (demographic) 모니터링

광릉요강꽃 개체군의 장기 변화 관찰을 위해 4개 자생지(포천, 화천, 춘천, 광양)를 대상으로 개체 수(줄기 수) 모니터링을 수행하였다. 광릉요강꽃은 영양번식과 유성번식을 동시에 하는 것으로 알려져 있으며(Sun *et al.*, 2009; Qian *et al.*, 2014), 지하부의 구조를 정확하게 파악하기 힘들어 지상부의 줄기 수를 개체 수로 가정하였다(이후 줄기 수를 모두 개체 수로 표현한다). 모니터링은 2014년을 시작으로

매년 개화 시기인 5월 중순과 결실 확인이 가능한 7월 초순, 2회에 걸쳐 수행되었으며, 각 개체군에서 출현하는 모든 개체를 확인하고, 개화 개체 수, 결실 개체 수 등을 파악하였다. 아울러 확인된 모든 개체를 대상으로 개체별 연령 단계를 구분하였으며, 동시에 엽면적(leaf area) 측정을 통해 크기 및 성장 단계를 구분하였다.

2. 개체군 연령별 특성 및 변화

생물종(biospecies) 개체군의 연령 구조는 해당 종의 건강성 및 지속성을 유추할 수 있는 매우 중요한 생태적 요소이다. 광릉요강꽃 4개 지역의 개체군 구조 및 변화양상 파악을 위해 개체별 성장 단계를 구분하였다. 광릉요강꽃은 생활사가 명확하게 규명되어 있지 않으며, 지하부 구조 파악이 불가능한 이유로 본 연구에서는 2가지 방법으로 성장 단계를 구분하고 개체군 구조를 추정하였다. 먼저, 개체별 개화 유무와 잎의 형태 및 크기에 따라 3단계로 구분하였으며, 엽폭(leaf width)이 엽장(leaf length)보다 짧고 엽면적(leaf area)이 150cm² 이하인 개체를 어린 개체(Seedling), 엽폭이 엽장보다 길지만 개화 하지 않은 개체를 미성숙 개체(Juvenile), 엽폭이 엽장보다 길고 개화한 개체를 성숙개체(Adult)로 판단하였다. 다만, 광릉요강꽃은 대개 영양번식과 유성번식을 동시에 하는 것(Sun *et al.*, 2009; Qian *et al.*, 2014)으로 알려져 있어 임의로 구분한 어린 개체(seedling)의 경우 종자 발아를 통해 형성된 실생묘만을 의미하지는 않는다. 관찰되는 모든 개체의 엽폭과 엽장을 측정하여 엽면적을 산출하였으며, 이를 기준으로 6단계로 구분을 시도하였다.

$$\text{Leaf area(cm}^2\text{)} = \frac{\alpha}{2} \times \frac{\beta}{2} \times \pi$$

3. 개체군 생존력 분석

모니터링을 통해 확인한 개체 수 변화를 근거로 광릉요강꽃의 멸절위험도(extinction risk)를 예측하기 위해 Count-base Population Viability Analysis(PVA)의 Density-Independents model을 적용하였다. 이 모델은 개체군의 지속성에 영향을 주는 환경요인과 개체군 속성 등 모든 요인이 기본적으로 개체 수 변화에 포함되어있다는 가정을 하고 있으며(Morris and Doak, 2002), 주로 생물 개체군의 지속성 및 멸종 위험도를 파악하기 위해 많이 활용되고 있다(Morris *et al.*, 2002). 통계프로그램 R ver. 3.6.2를 활용하여 2020년 현재 개체군 크기를 기준으로 개체군의 크기가 10% 미만이었을 때를 멸절로 가정하고, 각 지역별 향후 500년의 멸절위험도를

예측하였다. λ 는 특정 인구에 확률적인 변화를 통한 개체군의 연간 성장률의 평균을 의미하며, $\log\lambda$ 의 분산으로 시간에 따른 확률적 개체군 성장(μ)의 분산(σ^2)을 산출하였다. 계산식은 아래와 같다.

$$\mu \approx \log\lambda - (\delta^2/2)$$

$$\lambda = \exp(r) = \psi(1; n_0, \sigma^2)/n_0 = \exp[\mu + (\sigma^2/2)]$$

계산 결과가 $\mu > 0$ 이고 $\lambda > 1$ 일 때 개체군은 성장을 나타내고, $\mu < 0$ 이고 $\lambda < 1$ 일 때 개체군은 쇠퇴를 의미한다.

결과 및 고찰

1. 개체군 크기 및 변화

광릉요강꽃은 국내 총 7개 지역에서 자생하는 것으로 알

려져 있으며 이들 지역에 대한 현장 조사 및 문헌 자료를 바탕으로 전체 개체군 크기를 추정하였다. 현장 조사는 포천, 화천, 춘천, 가평, 광양 지역에서 수행되었으며, 무주와 영동 지역은 국립공원연구원 식물보전센터의 조사 자료를 인용하였다. 광릉요강꽃은 최소 15개 이상의 아개체군이 있는 것으로 확인되고 있으며 개체 수는 최소 4,356개체 이상

으로 추정된다(Table 1). 이 중 특히, 유성생식 능력이 있는 개화 개체 수(줄기 수)는 403개체로 문헌으로 확인된 지역(무주, 영동)을 제외하면 개화율은 약 38.86%로 추정할 수 있다. 지역별로는 포천, 가평, 무주 지역에서 비교적 많은 개체가 생육하는 것으로 나타났다.

모니터링이 수행된 4개 지역 개체군의 개체 수 변화는 각각 다른 양상을 보여주고 있다(Figure 1). 포천의 경우 2014년 64축이 관찰되었으나 이후 지속해서 개체 수가 늘어나 2020년은 183축으로 6년 동안 무려 285.9% 증가하였다. 개화 개체 수 역시 포천 지역에서 큰 폭의 변동이 관찰되었다. 다른 개체군에 비해 이러한 포천 개체군의 급격한 개체 수 및 개화 수 변동은 하층 식생 제거 등의 자생지의

Table 1. Estimated population size of *C. japonicum* in Korea

	Estimated pop. size	A	B	C	D	E	F	G	H	I
No. of subpop.		2	2	1	3	5	1	1	1	1
No. of shoots	4,356	230	60	88	263	200	119	15	381	3,000***
No. of shoots with flower	403	111	18	20	87	-	-	2	165	-
Year of survey		2020	2020 2010*	2020	2020	2020**	2020**	2020	2020	2020

A, Pochoen; B, Hwacheon; C, Chuncheon; D, Gapyeong; E, Muju; F, Yeongdong; G, Gwangyang; H, Pocheon(*ex situ*); I, Hwacheon (*ex situ*)

* Development of technology for artificial proliferation, restoration and habitat conservation of endangered species *C. japonicum* and *C. guttatum* in Korea (Ministry of Environment, 2010).

** 2020 park resources survey report in Deogyusan National Park (Plant Conservation Center of Korea National Park Research Institute, 2020).

*** *ex situ* conservation

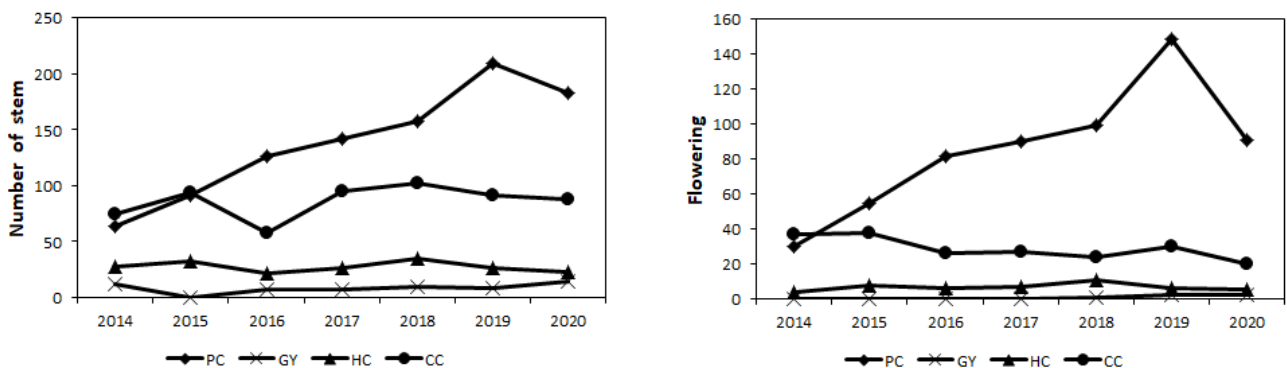


Figure 1. Annual increase or decrease in the number of individual(Left) and number of Flowering(Right) of *C. japonicum*.

인위적 관리에 따른 영향인 것으로 추정된다. 이는 광릉요강꽃을 포함한 난초과 식물의 동태는 자생지 관리의 영향을 많이 받는다는 보고(Willems *et al.*, 2001; Cho *et al.*, 2019)와 포천 개체군의 경우 2009년과 2013년에 아교목층 일부와 하층 식생을 제거하는 관리 활동(Cho *et al.*, 2019)의 영향으로 개체 줄기 수와 개화율의 급속히 변동이 야기된 것으로 설명할 수 있다. 이에 비해 광양, 화천, 춘천 자생지의 경우 매년 줄기 수의 증가 및 감소가 소폭으로 반복되었으나 큰 폭의 변동은 없었다.

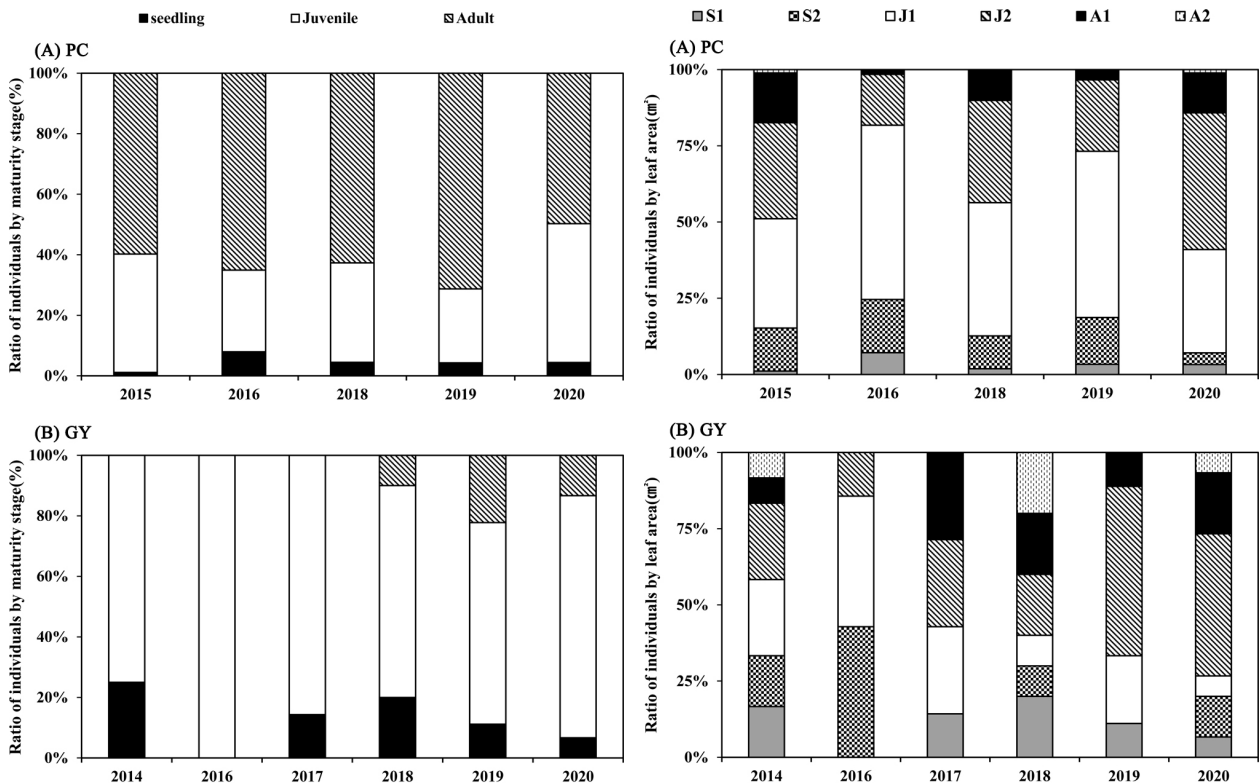
2. 개체군의 연령별 특성 및 변화

개체군 동태를 이해하고 지속성을 유추하기 위해서는 개체군 구조를 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 개체군 구조는 개체 각각의 생육 단계를 범주화하고 그 구성 비율을 파악함으로써 이해할 수 있는데, 이는 개체군의 현재 또는 미래의 성장을 추정하고 번식 잠재력을 결정할 수 있는 척도로 많이 이용되고 있다(Lebreton *et al.*, 1992; Tarsi and Tuff, 2012). 전통적으로 동물군에 기초한 개체군 구조 이론은 개체군을 구성하는 각각 개체의 연령 구성이 개체군의 전체 특성을 반영한다(Kirkpatrick, 1984; Chu and Adler, 2014)고 강조하나 식물의 경우 생활사가 복잡·다양하여 대개 개체 크기 또는 단계를 바탕으로 구조화되고 일반적으로

연령은 무시되기도 한다(Chu and Adler, 2014). 그러나 식물 개체군 역시 개체의 연령을 무시한 단순 크기 및 성장 단계에 기초한 개체군 구조는 개체군의 지속성과 성장률을 과대 또는 과소 평가될 수 있음이 강조되기도 한다(Chu and Adler, 2014).

이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 광릉요강꽃 개체군 구조 파악을 위해 연령과 개체 크기 및 단계 모두를 고려하여 다각도로 개체군 구조 분석을 시도하였다. 특히, 광릉요강꽃은 희귀 및 멸종위기종으로 개체 수가 매우 제한적으로 개체의 연령 파악을 위해 비파괴적인 방법을 취할 수밖에 없었으며, 개체의 지하부보다는 주로 지상부 특성을 고려하여 연령을 추정하였다. 또한, 동시에 광릉요강꽃의 크기 및 단계 특성을 잘 반영할 수 있는 엽면적을 바탕으로 개체군 구조 분석도 시도하였다.

지역별 개체군 구조를 살펴보면 포천의 경우 3단계 구분에서 어린 개체의 비율이 상대적으로 낮았으며, 꽃이 달리는 성숙 개체의 비율이 매우 높은 것으로 나타났다. 다른 지역 개체군과 비교했을 때 개화율이 특히 높은 것으로 확인되었으며, 이러한 개체군 구조는 모니터링 기간 내 큰 변동이 없었다(Figure 2). 이처럼 다른 지역에 비해 상대적으로 높은 개화율은 앞서 언급되었듯이 자생지 관리에 따른 아교목층과 하층 식생 제거에 따른 상대 광량 증가의 영향으로 판단된다. 그러나 높은 개화율과 지난 7년간 개체 수의



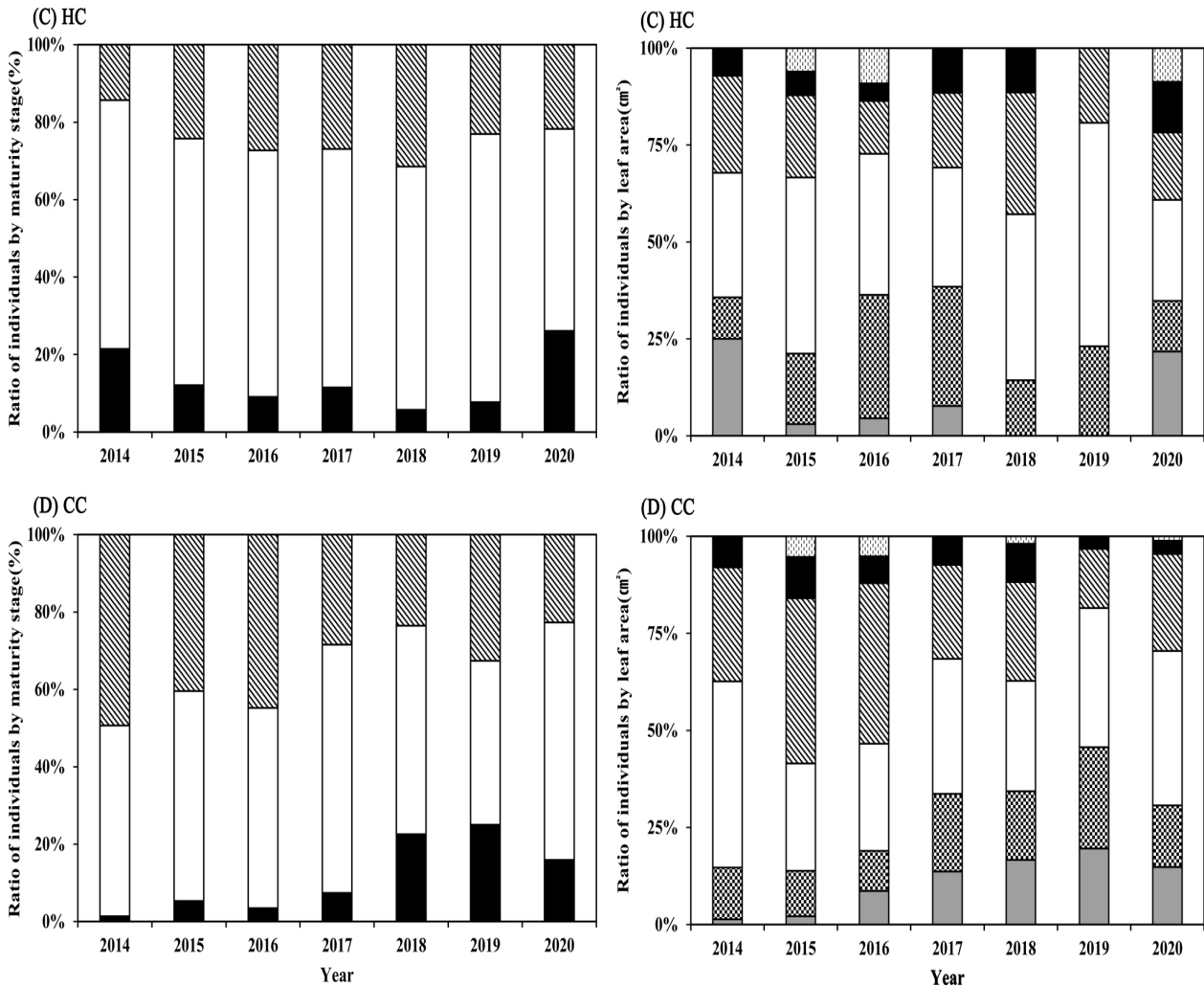


Figure 2. Stage structure analysis of *C. japonicum* according to the annual maturity stage (left) and annual leaf area (right) of the study site. (S1: 0-100cm², S2: 100-200cm², J1: 200-300cm², J2: 300-400cm², A1: 400-500cm², A2: 500cm² <)

꾸준한 증가 경향에도 불구하고 어린 개체의 비율에 큰 변화가 없는 것으로 미루어 볼 때, 유성생식에 의한 실생묘의 발생에 한계가 있는 것으로 추정할 수 있다. 실제로 광릉요강꽃을 포함하는 *Cypripedium*속 식물들은 일반적으로 낮은 결실률을 보이는 것으로 알려져 있으며(Brzosko, 2002; Suetsugu and Fukushima, 2013; Pi *et al.*, 2015; Cho *et al.*, 2019), 특히 일부 난초류의 경우 유성번식보다는 영양번식을 선호하는 진화적 전략을 추구하는 것으로 알려져 있다(Cho *et al.*, 2019). 따라서, 광릉요강꽃처럼 유성번식에 매우 제한적인 초본 식물의 경우 단순히 식생 제거 및 광환경 개선을 통해 개화율을 일방적으로 증가시키는 자생지 관리 방법은 결과적으로 개체군의 지속성에 긍정적인 영향을 미친다고는 볼 수 없다. 이와 반대로 광양 개체군은 관찰되는 개체가 10-15개체로 모니터링 대상 지역 중 가장 작은

개체군을 형성하고 있고, 특이적으로 미성숙 개체(juvenile)의 비율이 압도적으로 높은 편이었다. 2014년부터 2017년까지 모니터링 결과 에서 꽃이 달리는 성숙 개체(adult)가 전혀 관찰되지 않았으나 2018년부터 성숙 개체가 관찰되기 시작하였다. 그러나 광양은 극소로 작은 개체군을 형성하고 있으며, 다른 지역보다 암석 노출도가 상대적으로 높은 생육 저해 요인(Pi *et al.*, 2015)으로 향후 유·무성 번식에 의한 건강한 개체군을 형성하기는 힘들 것으로 추정된다. 포천과 광양 개체군에 비해 화천과 춘천의 경우는 비교적 안정적인 개체군 구조를 형성하는 것으로 나타났으며, 모니터링 기간 내 큰 폭의 변동도 없었다. 특히, 춘천 개체군의 경우 모니터링 기간 내에 어떠한 인위적인 간섭도 이뤄지지 않았으며, 어린 개체와 미성숙 개체, 성숙 개체의 비율이 일정하게 유지되었다. 또한, 유성·무성 번식에 의한 어린 개체의 유입이

지속해서 일어나고 있는 것으로 확인되어 다른 개체군에 비해 비교적 안정적인 구조를 보여 본연의 진화적 과정을 겪고 있는 것으로 추정된다.

3. 개체군 생존력 분석

희귀 및 멸종위기식물 보전의 첫 단계는 객관적이고 정확한 보전 지위(conservation status)에 대한 평가라 할 수 있다. 세계자연보전연맹(IUCN)은 위협받는 생물의 정확한 보전 지위 평가를 위해 적색목록(Red List) 평가 시스템을 권장하고 있으며, 이를 위해 구체적인 평가 기준(criteria) 및 범주(categories)를 제시하고 있다(IUCN, 2012). 식물의 경우 보전 지위 평가는 대개 지리적 분포범위를 근거 자료로 많이 활용하는데 이는 이러한 유형의 자료가 풍부하고 단기간에 많은 양의 자료를 생산할 수 있는 이점이 있기 때문이다. 그럼에도 IUCN Red List는 평가 기준으로 정량 분석에 대한 기준도 제시하고 있으며(Table 2), 하나의 방법으로 개체군 생존력 분석(Population Viability Analysis, PVA)을 제안하고 있다(IUCN, 2019). 전통적으로 개체군 생존력 분석은 개체군을 구성하는 개체의 연령 또는 단계 구조 전환율을 기반으로 개체군의 성장률을 추정한다(Brigham and Thomson, 2003). 하지만 식물은 다양한 생활사를 가지며 특히 유·무성 번식이 동시에 진행되는 특성 등을 고려할 때, 연차에 따른 개체 각각의 연령이나 성장 단계 전환율을 측정하는 것은 현실적으로 쉽지 않다(Elder et al., 2003). 따라서, 그 대안으로 식물 개체군의 개체 수 변화를 사용한 확산 근사법 개체군 생존율 분석(diffusion approximation PVA model) 모델을 통한 개체군 성장률을

예측하고 멸종 위협에 대한 평가가 많이 시도되고 있다(Dennis et al, 1991; Elder et al., 2003).

본 연구에서는 지난 7년간 4개의 지역에서 측정한 광릉요강꽃의 개체 수 변화 자료를 바탕으로 개체군 생존율을 추정하였다. 네 광릉요강꽃 개체군은 생존율은 향후 500년 안에 99.72%(화천, $\mu = -0.0328$, $\lambda = 0.9983$)에서 0.00%(포천, $\mu = 0.2556$, $\lambda = 1.3320$)까지 지역별로 매우 상이하게 나타났다(Table 3). 비록 모니터링이 수행된 4개 지역은 현재 현지 내 보호시설을 통해 인위적 출입이 통제되고 있는 상황으로 광릉요강꽃의 최대 위협요인이라 할 수 있는 인위적 남획에 대한 변수를 반영하지 못한 한계는 있다. 특히, 포천 지역의 경우 향후 500년 안에 멸절될 가능성이 0.00%($\mu = 0.2556$, $\lambda = 1.3320$)로 나타났는데 이는 적극적인 인위적 관리에 따른 개체 수의 지속적인 증가 영향인 것으로 판단된다(Table 3, Figure 3). 따라서, 현지 내에서 적절한 보호를 받지 못하고 실제로 인위적 남획에 의한 개체군 감소가 관찰되는 다른 지역의 개체군의 개체 수 정보가 반영된다면 광릉요강꽃의 국내 멸절 위험도는 본 연구에서 추정된 값보다 더 클 것으로 예상된다. 실제로 인위적 관리에 의한 개체 수의 증가가 관찰되는 포천 지역에 비해 비교적 관리 강도가 낮은 화천(100년 안에 79.50%, 500년 안에 99.75% 멸절 추정), 춘천(100년 안에 24.05%, 500년 안에 31.70% 멸절 추정)에서의 멸절 위험이 상대적으로 높게 나타나는데, 이는 이들 두 지역에서 연차별 개체 수의 증감 변동이 포천에 비해 크게 나타난 영향으로 추정할 수 있다.

앞서 언급했듯이 국내 광릉요강꽃 개체군의 멸절위험도를 좀 더 객관적으로 파악하기 위해서는 현재 국내 광릉요강꽃 개체군의 다양한 위협요인을 대변할 수 있는 여러 지역의

Table 2. Criterion E (Quantitative Analysis) of IUCN Red List criteria and categories (IUCN, 2019)

	Critically Endangered	Endangered	Vulnerable
Indication the probability of extinction in the wild to be:	$\geq 50\%$ in 10 years or 3 generation, whichever is longer (100 years max.)	$\geq 20\%$ in 20 years or 5 generation, whichever is longer (100 years max.)	$\geq 20\%$ in 100 years

Table 3. Estimated extinction risk for each population site of *C. japonicum* over the next 500 years

Site ID	Extinction Risk				
	after 100 years	after 200 years	after 300 years	after 400 years	after 500 years
PC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
GY	10.90	45.62	47.22	47.95	48.33
CC	24.05	28.93	30.60	31.33	31.70
HC	79.50	94.42	98.12	99.30	99.72

* Pochoen, $\mu = 0.2556$, $\lambda = 1.3320$; Gwangyang, $\mu = 0.0372$, $\lambda = 1.1050$; Chuncheon, $\mu = 0.0266$, $\lambda = 1.0841$; Hwacheon, $\mu = -0.0328$, $\lambda = 0.9983$

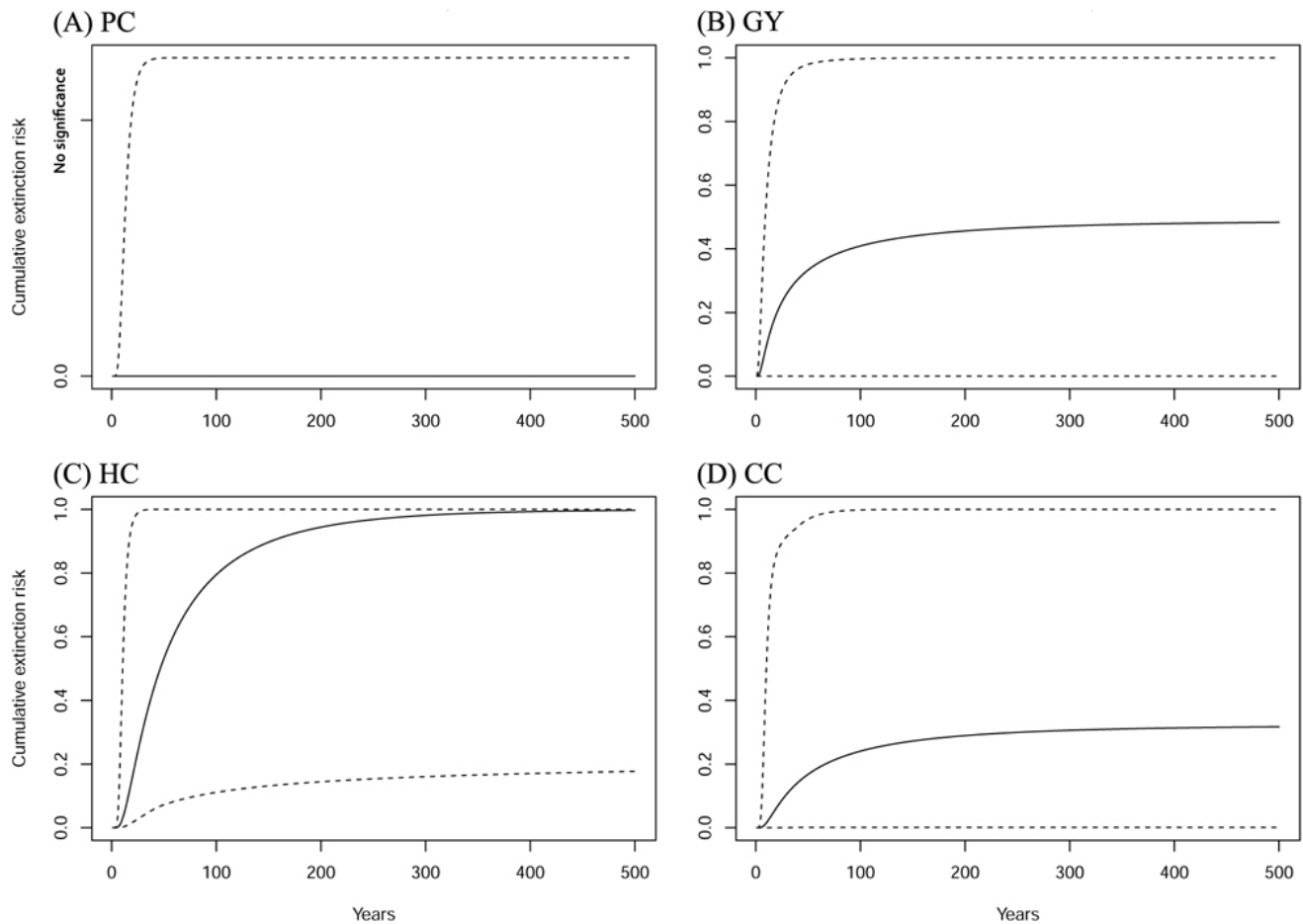


Figure 3. Estimation of extinction risk over the next 500 years about each population.

개체군 정보가 반영될 필요가 있다. 특히, 최근에도 새롭게 알려진 광릉요강꽃 개체군은 발견과 동시에 남획으로 사라져 버리는 경우도 관찰되고 있다(personal observation). 따라서, 향후 국내 알려진 광릉요강꽃 개체군에 대한 개체통계학적(demographic) 모니터링 확대와 더불어 적극적인 현지내 보전 활동을 병행할 필요가 있다.

REFERENCES

- Bae, K.H.(2012) In vitro propagation of three rare and critically endangered *Cypripedium* species. Ph.D. dissertation, Univ. of Gangwon, Korea, 88pp.
- Brigham, C.A. and D.M. Thomson(2003) Approaches to modeling population viability in plants: An overview. Springer, Berlin, Heidelberg, pp.145-171.
- Brzosko, E.(2002) Dynamics of island populations of *Cypripedium calceolus* in the Biebrza river valley (north-east Poland). Botanical Journal of the Linnean Society 139(1): 67-77.
- Cho, Y.C., H.G. Kim, B.Y. Koo and J.K. Shin(2019) Dynamics and viability analysis of transplanted and natural lady's slipper (*Cypripedium japonicum*) populations under habitat management in South Korea. Restoration Ecology 27(1): 23-30.
- Chu, C. and P.B. Adler(2014) When should plant population models include age structure? Journal of Ecology 102(2): 531-543.
- Chung, J.M., K.W. Park, C.S. Park, S.H. Lee, M.G. Chung and M.Y. Chung(2009) Contrasting levels of genetic diversity between the historically rare orchid *Cypripedium japonicum* and the historically common orchid *Cypripedium macranthos* in South Korea. Botanical Journal of Linnean Society 160(2): 119-129.
- Crawley, M.J.(1990) The population dynamics of plants. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences 330(1257): 125-140.
- Davy, A.J. and R.L. Jefferies(1981) Approaches to the monitoring of rare plant populations. The biological aspects of rare plant conservation. John Wiley and Sons, New York, USA, pp.219-232.

- Dennis, B., P.L. Munholland and J.M. Scott(1991) Estimation of growth and extinction parameters for endangered species. *Ecological Monographs* 61(2): 115-143.
- Dupré, C. and J. Ehrlén(2002) Habitat configuration, species traits and plant distributions. *Journal of Ecology* 90(5): 796-805.
- Elder, B.D., P. Shahani and D.F. Doak(2003) The problems and potential of count-based population viability analyses. In *Population Viability in Plants* Springer, Berlin, Heidelberg, pp.173-202.
- Falińska, K.(1997) Life history variation in *Cirsium palustre* and its consequences for the population demography in vegetation succession. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 66(2): 207-220.
- Fay, M.F.(2018) Orchid conservation: how can we meet the challenges in the twenty-first century? *Polish Botanical Studies* 59(1): 1-6.
- Grime, J.P.(1977) Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist* 111(982): 1169-1194.
- Grime, J.P.(2002) *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. John Wiley & Sons, Ltd., New York, 417pp.
- Harpers, J.(1977) *Population biology of plants*. Academic Press, London, 900pp.
- IUCN Standards and Petitions Committee(2019) *Guidelines for using the IUCN Red List Categories and Criteria*. Version 14. Prepared by the Standards and Petitions Committee, Switzerland and Cambridge, 113pp.
- IUCN(2012) *IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1*. Second edition. Gland, Switzerland and Cambridge, UK, iii +41pp.
- Jules, E.S.(1998) Habitat fragmentation and demographic change for a common plant: *Trillium* in old-growth forest. *Ecology* 79(5): 1645-1656.
- KFRI(Korea Forest Research Institute)(1996) *Rare and endangered plant-conservation guideline and target plant species*. Korea Forest Research Institute, Seoul, 140pp. (in Korean)
- Kim, J.S., H.T. Kim, S.W. Son and J.H. Kim(2015) Molecular identification of endangered Korean lady's slipper orchid (*Cypripedium*, Orchidaceae) and related taxa. *Botany* 93(9): 603-610.
- Kirkpatrick, M.(1984) Demographic models based on size, not age, for organisms with indeterminate growth. *Ecology* 65(6): 1874-1884.
- KNPRI(Korea National Park Research Institute)(2020) *2020 park resources survey report in Deogyusan National Park*. Plant Conservation Center of Korea National Park Research Institute, Muju, 1110pp. (in Korean)
- Korea National Arboretum(2008) *Rare plants data book in Korea*. Korea National Arboretum, Pocheon, 332pp. (in Korean)
- Korea National Arboretum(2012) *Rare Plant in Korea*. Korea National Arboretum, Pocheon, 412pp. (in Korean)
- Korea National Arboretum(2014) *Rare and endemic plants in Korea: *Cypripedium japonicum**. Korea National Arboretum, Pocheon, 36pp. (in Korean)
- Lauenroth, W.K. and P.B. Adler(2008) Demography of perennial grassland plants: Survival, life expectancy and life span. *Journal of Ecology* 96(5): 1023-1032.
- Lebreton, J.D., K.P. Burnham, J. Clobert and D.R. Anderson(1992) Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: A unified approach with case studies. *Ecological Monographs* 62(1): 67-118.
- Lee, B.H., H.K. Han, H.J. Kwon and H.E. Ahn(2015) Diversity of Endophytic Fungi Isolated from Roots of *Cypripedium japonicum* and *C. macranthum* in Korea. *The Korean Journal of Mycology* 43(1): 20-25. (in Korean with English abstract)
- Lee, D.H., H.M. Kim, S.D. Kim, A.R. Moon, S.Y. Kim, J.H. Kim and S.W. Son(2020) *Population Persistence of *Cypripedium japonicum* Thunb., a Rare and Endangered Plants*. Proceeding of 2020 Autumn Meeting of the Korean Society of Environment and Ecology, Online, pp.59-60. (in Korean with English abstract)
- Marsh, D.M. and P.C. Trenham(2008) Current trends in plant and animal population monitoring. *Conservation Biology* 22(3): 647-655.
- McCaffery, R.M., R. Reisor, K. Irvine and J. Brunson(2014) Demographic monitoring and population viability analysis of two rare beardtongues from Unita Basin. *Western North American Naturalist* 74(3): 257-274.
- Ministry of Environment(2010) *Development of technology for artificial proliferation, restoration and habitat conservation of endangered species *C. japonicum* and *C. guttatum* in Korea*. 241pp. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Environment(2012) *Red data book of Endangered Vascular Plants in Korea*. Nation Institute of Biological Resource, Incheon, 394pp. (in Korean)
- Ministry of Environment(2021) *Red data book of Republic of Korea(2nd ed.)*. Vol 5, Vascular Plants. Nation Institute of Biological Resource, Incheon, 523pp. (in Korean)
- Morris, W.F. and D.F. Doak(2002) *Quantitative conservation biology*. Sinauer, Sunderland, 480pp.
- Morris, W.F., P.L. Bloch, B.R. Hudgens, L.C. Moyle and J.R. Stinchcombe(2002) *Population viability analysis in endangered species recovery plans: Past use and future improvements*. *Ecological Applications* 12(3): 708-712.
- Nam, J.W., J.J. Ku, I.J. Choi, Y.M. Shin, S.Y. Park, M.H. Kim, J.H. Pee, S.W. Son and I.K. Kim(2014) *The Insect Pollinators of*

- Cypripedium japonicum* Thunb., the Endangered Orchid in South Korea. Conference Proceedings and Presentations, Korean Society of Applied Entomology, Korea, 75pp.
- O'Grady, J.J., D.H. Reed, B.W. Brook and R. Frankham(2004) What are the best correlates of predicted extinction risk? *Biological Conservation* 118(4): 513-520.
- Park, K.W. and S.S. Kim(1995) Studies on the wild *Cypripedium japonicum* in Korea (I) Especially on the growth environment in Natural forest. *Journal of Korean Forestry Society* 51: 64-73. (in Korean)
- Pearman, P.B., A. Guisan, O. Broennimann and C.F. Randin(2008) Niche dynamics in space and time. *Trends in Ecology & Evolution* 23(3): 149-158.
- Petrů, M.(2005) Year-to-year oscillations in demography of the strictly biennial *Pedicularis sylvatica* and effects of experimental disturbances. *Plant Ecology* 181(2): 289-298.
- Pi, J.H., J.Y. Jung, J.G. Park, H.H. Yang, E.H. Kim, G.U. Suh, C.H. Lee and S.W. Son(2015) Habitats environmental and population characteristics of *Cypripedium japonicum* Thunb., a rare species in Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* 48(4): 253-262. (in Korean with English abstract)
- Qian, X., Q.J. Li, F. Liu, M.J. Gong, C.X. Wang and M. Tian(2014) Conservation genetics of an endangered Lady's Slipper Orchid: *Cypripedium japonicum* in China. *International Journal of Molecular Sciences* 15(7): 11578-11596.
- Rankou, H.(2014) *Cypripedium japonicum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T13188414A16672875. doi:10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T13188414A16672875.en
- Seo, K.E., H.C. Cha, Y.S. Kim, S.H. Lee and J.J. Jang(2011) A Study on Vascular Plants of *Cypripedium japonicum* Community in Deogyusan National Park. *Journal of National Park Research* 2(4): 209-217. (in Korean with English abstract)
- Sim, M.Y., J.Y. Youm, J.M. Chung, B.C. Lee, C.D. Koo and A.H. Eom(2010) Characteristic of orchid mycorrhizal fungi from roots of *Cypripedium japonicum* and *C. macranthum*. The *Korean Journal of Mycology* 38(1): 1-4. (in Korean with English abstract)
- Sim, S.J., D.J. Shin, H.J. Jung, J.C. Jung, M.R. Baek, D.J. Song and E.H. Park(2016) Analysis of Environmental Factors on the Fruit Set of *Cypripedium japonicum* Thunb. as the Endangered Wildlife Species. *Journal of Agriculture & Life Science* 50(2): 1-12. (in Korean with English abstract)
- Son, S.W., K.S. Choi, K.T. Park, E.H. Kim and S.J. Park(2013) Genetic diversity and structure of the Korean rare and endemic species, *Deutzia paniculata* Nakai, as revealed by ISSR markers. *Korean Journal of Plant Resources* 26(5): 619-627. (in Korean with English abstract)
- Suetsugu, K. and S. Fukushima(2013) Pollinatin biology of the endangered orchid *Cypripedium japonicum* in a fragmented forest of Japan. *Plant Species Biology* 29(3): 294-299.
- Sun, H.Q., J. Cheng, F.M. Zhang, Y.B. Luo and S. Ge(2009) Reproductive success of non-rewarding *Cypripedium japonicum* benefits from low spatial dispersion pattern and asynchronous flowering. *Annals of Botany* 103(8): 1227-1237.
- Takayuki, B., K. Itoko, Y. Itse, S. Hanako, Y. Gorda, Y. Shoji, H. Takahashi, S. Naohhito and S. Murayama(2014) Attention points for habitat restoration of endangered species. *Samrim Research Institute*, 28pp. (in Japanese)
- Tarsi, K. and T. Tuff(2012) Introduction to population demographics. *Nature Education Knowledge* 3(11): 3.
- Tian, H.Z., L.X. Han, J.L. Zhang, X.L. Li, T. Kawahara, T. Yukawa, J. López-Pujol, P. Kumar and M.Y. Chung(2018) Genetic diversity in the endangered terrestrial orchid *Cypripedium japonicum* in East Asia: Insights into population history and implications for conservation. *Scientific Reports* 8(1): 1-13.
- Willems, J.H., Z. Balounova and P. Kindlmann(2001) The effect of experimental shading on seed production and plant survival of *Spiranthes spiralis* (Orchidaceae). *American Orchid Society* 16(1): 31-37.