



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석 사 학 위 논 문

희귀 및 멸종위기식물 광릉요강꽃의
개체군 구조 특성 및 지속성

충남대학교 대학원

산림자원학과 산림자원학전공

이 동 형

지도교수 박 병 배

2022 년 2 월

희귀 및 멸종위기식물 광릉요강꽃의 개체군 구조 특성 및 지속성

지도교수 박 병 배

이 논문을 농학석사학위
청구논문으로 제출함

2021년 10월

충 남 대 학 교 대 학 원

산림자원학과 산림자원학 전공

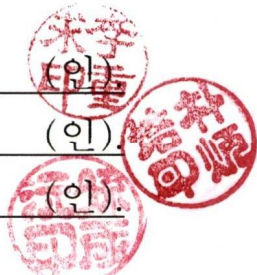
이 동 형

이동형의 농학석사학위
청구논문을 인준함

2021년 12월

논문심사위원회

위원장	이 동 형	(인)
위 원	박 병 배	(인)
위 원	손 성 원	(인)



충 남 대 학 교 대 학 원

목 차

국문초록	1
I.서론	2
II.연구사	4
III.재료및방법	6
1. 연구 대상종	6
2. 연구 대상지	7
3. Demographic monitoring	10
4. 개체군 stage-structure 특성 및 변화	12
5. 개체군 지속성 분석	14
IV.결과및고찰	16
1. 개체군 현황	16
2. Demographic monitoring	18
2.1 엽면적 분포 및 평균 엽면적 변화.....	18

2.2 개체군 크기 변화.....	21
2.3 결실 모니터링.....	24
3. 개체군의 stage-structure 특성.....	27
3.1 개체군 구조 특성.....	27
3.2 개체군 구조 단계별 개화율.....	31
4. 개체수 기반 개체군 생존력 분석.....	33
V. 결론	38
참고문헌.....	40

List of Tables

Table 1. Site description of the study *C. japonicum*.

Table 2. Population status of *C. japonicum* in Korea.

Table 3. Annual increase or decrease in the number of individual *C. japonicum*.
Parentheses indicate the rate of increase or decrease in the number of individuals based on *C. japonicum* in 2014.

Table 4. Annual fruiting rate according to flowering and fruiting of *C. japonicum*.

Table 5. Flowering rate for each stage according to leaf area stage-structure.
(S1: 0-100^{cm}², S2: 100-200^{cm}², J1: 200-300^{cm}², J2: 300-400^{cm}², A1: 400-500^{cm}², A2: 500^{cm}² <)

Table 6. Estimated extinction risk for each population site of *C. japonicum* over the next 500 years.

List of Figures

- Fig. 1. Flower (left) and leaf (right) of *Cypripedium japonicum* Thunb.
- Fig. 2. Distribution map of *C. japonicum* from natural habitats in Korea (★: monitoring sites, ●: distribution history).
- Fig. 3. Survey site in each area. (A):PC (B):GY (C):HC (D):CC
- Fig. 4. Measure the leaf area of all individuals in the survey area (A): leaf width, (B): leaf length
- Fig. 5. (A): Seedling, (B): juvenile, (C): adult stage classification for criteria.
- Fig. 6. Leaf area distribution structure by year.(A: 2014, B: 2015, C: 2016, D: 2017, E: 2018, F:2019, G:2020, H: 2021)
- Fig. 7. Average leaf area by year (A: PC, B: GY, C: HC, D: CC)
- Fig. 8. Annual increase or decrease in the number of individual *C. japonicum* and the number of flowering *C. japonicum*.
- Fig. 9. Ratio of fruit-set of *C. japonicum* for each survey area.
- Fig. 10. 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 <).
- Fig. 11. Estimation of extinction risk over the next 500 years from each population.

국문 초록

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 8년 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 4,360개체가 생육하는 것으로 확인되었다. 이 중 조사된 4개 지역(포천, 광양, 화천, 춘천)에서 개체군 크기 및 구조는 지역별로 상이하였으며, 일부 인위적 관리가 개체군 크기 및 구조 변화에 중요한 영향을 미치고 있었다. 8년 동안 개체수 변화를 모니터링 결과를 바탕으로 분석한 광릉요강꽃의 개체군 생존력(Population Viability Analysis, PVA)은 지역별로 다른 결과를 보였다. 향후 1세기 안에 멸절할 가능성은 포천 0.00%, 광양 53.95%, 춘천 56.26%, 화천 96.90%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.

I. 서론

식물은 일반적으로 생태적 지위에 따라 지리적으로 제한된 분포범위를 갖는다(Hutchinson, 1957; Holt and Keitt, 2005). 그 결과 대부분의 식물은 식물이 소유하고 있는 생태적 지위에 따라 특징적인 분포 유형을 나타내며 넓게 분포하기도 하고 좁은 분포범위를 나타내기도 한다(Grime, 1977; Dupré and Ehrlén, 2002; Grime, 2002; Pearman *et al.*, 2007). 지리적인 분포에 있어 특정 제한된 지역에만 생육하는 경우를 희귀생물종(Rare species)이라고 한다(KFRI, 1996).

1975년 ‘멸종위기에 처한 야생동·식물의 국제거래에 관한 협약(Conservation on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora; CITES)’이 발효된 후 세계자연보존연맹(International Union for Conservation of Nature; IUCN)의 Red List 기준설정 등 생물종 보전을 위한 국제사회의 활동이 활발해지고 있으며, 세계생물다양성이 감소함에 따라 멸종위기에 처한 종의 보존이 점점 중요해지고 있다(Lee and Choi, 2006; Swarts and Dixon, 2009).

보전을 목적으로 하는 종의 고유 속성을 이해하기 위해서는 지속적인 모니터링을 통한 개체군 동태를 파악하는 것은 중요하다(Crawley and Ross, 1990; Kim *et al* 2016). 멸종위기에 처한 야생식물은 생육지의 환경요인과 결합하여 개체군 동태를 나타내는지를 관찰하고 이해하는 것은 중요하나 다년생 식물의 개체군 동태를 파악하는 것은 쉽지 않다(Harper, 1977; Crawley and Ross, 1990; Jules, 1998; O’Grady *et al.*, 2004). 따라서 개체군 동태에 관한 선행연구는 생활사가 짧은 일년생 또는 이년생 식물을 대상으로 한 개체군 동태 연구가 대부분이다(Falińska, 1977; Harper, 1977; Crawley and Ross, 1990; Petru, 2005; Kim *et al* 2016).

복주머니란(*Cypripedium*)속 식물은 전 세계적으로 40여종이 있으며, 이 중 복주머니란(*C. macranthos* Sw.)은 한국, 중국, 일본, 러시아 및 동유럽 등에 분포하고 있다(Cash, 1991). 국가표준식목록 개정판(KNA, 2017)에 의하면 우리나라에 자생하는 복주머니란속 식물은 양머리복주머니란(*C. agnicapitatum* Y.N.Lee.), 노랑복주머니란(*C. calceolus* L.), 털복주머니란(*C. guttatum* Sw.), 광릉요강꽃(*C. japonicum* Thunb.), 복주머니란(*C. macranthos* Sw.), 산서복주머니란(*C. shanxiense* S.C.Chen), 얼치기복주머니란(*Cypripedium*×*ventricosum* Sw.) 등 7종이 있는 것으로 보고되어 있다.

본 연구는 희귀식물 광릉요강꽃 자생지 환경 및 개체군 특성(Pi *et al.*, 2015)에 대한 후속연구로 국립수목원에서 8년간(2014-2021) 4개의 자생지를 대상으로 광릉요강꽃에 대한 Demographic monitoring을 실시한 데이터를 활용하여 개체군의 현황을 파악하고 개체군의 구조와 특성을 조사·분석하여 향후 광릉요강꽃의 장기적인 보전계획 수립에 대한 기초자료 활용을 목적으로 수행되었다.

II. 연구사

난초과 식물은 뿌리에 난균근균뿐만 아니라 다양한 비균근성 내생균(endopytes)도 서식한다(Currah *et al.*, 1997). 광릉요강꽃도 난균근균과 공생하는 특성을 가지고 있으며, Sim (2010)에 의한 광릉요강꽃과 복주머니란 뿌리에 감염된 난균근의 특성 연구에서 포천 자생개체 대부분이 난균근균 Tulasnellaceae에 속하는 균으로 나타나 Tulasnellaceae균들이 복주머니란속 종들과 강하게 결합되어 있다(Shefferson *et al.*, 2005; 2007)는 연구결과와 일치하였다. 또한, 국내 광릉요강꽃의 뿌리 내생균에 대한 연구(Lee, 2013)에서 포천과 춘천에서 채집한 광릉요강꽃에서 총 11종의 균주를 확인하였으며, 두 지역에서 공통적으로 확인된 내생균은 *Leptodontidium orchidicola* 와 당시 국내 미기록종이었던 *Geomyces vinaceus*이었다.

광릉요강꽃은 비보상식물(non-rewarding plant)로 Sun *et al.* (2009)에 의하면 수분빈도가 2003년에 5.2%, 2004년에 7.7%로 자연상태의 결실률이 낮은 것으로 나타나 제한된 수분매개충을 원인으로 추정하는 한편 효과적인 매개충으로 꿀벌과 뒤영벌속 *Bombus* (Thoracobombus) *remotus*와 *B.* (Tricornibombus) *imitator* Pittioni 두 종을 언급하였다. 또한 매개자 차단 실험(Bagged flowers)을 통해 광릉요강꽃은 자가수분(autoamy)이 되지 않는 것을 밝혀냈다. 국내 매개충에 관한 연구(Nam *et al.*, 2014; Sim, 2016)에서도 꿀벌과 뒤영벌속 호박벌(*Bombus ignitus* Smith)이 주요 수분 매개자인 것으로 관찰되었다. 이밖에 광릉요강꽃에 관련한 다양한 연구들이 선행되었는데 대부분이 자생지 환경과 식물상에 관련된 논문(Park and Kim, 1995; Seo *et al.*, 2011)과 유전다양성(Tian *et al.*, 2018)에 관련한 논문이었다.

최근에 들어 광릉요강꽃 개체군 특성 연구 및 하층식생 제거에 따른

동태연구(Pi *et al.*, 2015; Cho *et al.*, 2018)등 이 선행되었으나 광릉요강꽃의 국내 수준에서의 개체군 멸종위험에 대비한 개체군 지속성에 관련된 이렇다 할 기초연구는 제시되지 않은 실정이다.

Ⅲ. 재료 및 방법

1. 연구 대상종

광릉요강꽃(*Cypripedium japonicum* Thunb.)은 1931년 광릉숲에서 최초 발견되었으며 포천, 화천, 춘천, 가평, 무주, 영동, 광양 등 7개 지역에 자생하고 있는 것으로 알려져 있다(KNA, 2014). 난초과에 속하는 여러해살이풀로 한국, 일본, 중국에만 자생하는 동아시아 특산식물(Endemic plant)이며, IUCN 적색목록 평가기준 ver3.1에 의해 지구범위 위기종(Endangered; EN)으로 평가된 희귀식물이다(Rankou, 2014). 국가범위로 한국은 멸종위기종(Critical Endangered; CR), 일본은 취약종(Vulnerable; VU) (KNA, 2012; Biodiversity center of Japan, 2020)으로 평가하고 있다. 높이 30-40cm 정도로 자라며 땅속줄기가 옆으로 뻗고 마디에서 뿌리를 내린다. 지름이 10-20cm에 달하는 잎은 줄기에 2개가 달리며 둥근 치마 같은 주름이 있다. 4-5월에 줄기 끝에 주머니모양 꽃이 연한 녹색빛이 도는 붉은색으로 하나씩 아래를 향해 달리며, 6-7월에 긴 타원형의 열매는 삭과로 익는다(KNA, 2012, Fig. 1).



Fig. 1. Flower (left) and leaf (right) of *Cypripedium japonicum* Thunb.

2. 연구 대상지

본 연구는 광릉요강꽃의 자생지로 알려진 7개 지역 중 강원도 화천시(38°10' N, 127°49' E), 춘천시(37°59' N, 127°37' E), 경기도 포천시(37°49' N, 127°10' E), 전라남도 광양군(35°05' N, 127°37' E) 4곳에서 실시하였다(Table 1, Fig. 3). 2014년부터 2021년까지 매년 개화 시기인 5월 중순과 결실 확인이 가능한 7월 초순 2회에 걸쳐 수행하였다. 5월 중순 조사에 엽면적측정, 매목조사, 개화유무 등, 7월 초순 조사에 결실 유무를 조사하였다. 각 지역별 조사지의 고도, 경사도, 암석노출도 등 자생지 환경에 대해서는 이미 조사된바 있어 본 연구에서는 제외하고 진행하였다(Pi *et al*, 2015).

조사대상지 4곳은 모두 현지내보전시설이 설치되어있는 곳이며, 지역별로 각기 다른 식생의 관리가 이루어졌다(Fig. 2). 먼저 포천의 경우 일부 아교목층과 하층식생의 정리가 2009년과 2013년 두 번에 걸쳐 이루어졌으며, 화천은 2009년 교목층을 모두 제거하는 강한 간벌이 1회 이루어졌다. 광양과 춘천은 모니터링 기간 이외에도 어떠한 인위적인 간섭이 이루어지지 않았다.

Table 1. Site description of the study *C. japonicum*.

Site ID	Location	GPS coordinate	
		N	E
PC	Mameyeong-ri, Pocheon, Naechon-myeon, Gyeonggi-do	37°49'_._"	127°10'_._"
GY	Donggok-ri, Okryong-myeon, Gwangyang-si, Jeollanam-do	35°05'_._"	127°37'_._"
HC	Dongchon-ri, Hwacheon-eup, Gangwon-do	38°10'_._"	127°49'_._"
CC	Wonpyeong-ri, Sabuk-myeon, Chuncheon, Gangwon-do	37°59'_._"	127°37'_._"

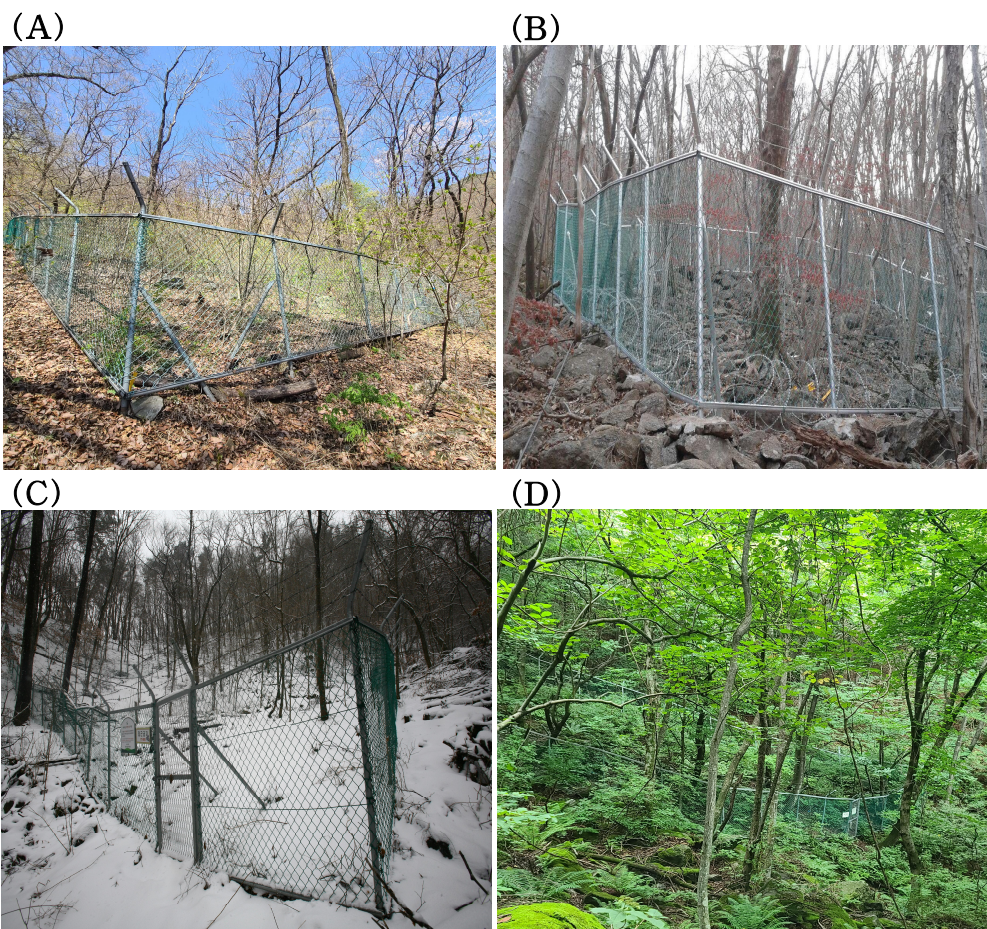


Fig. 2. Survey site in each area. (A):PC (B):GY (C):HC (D):CC

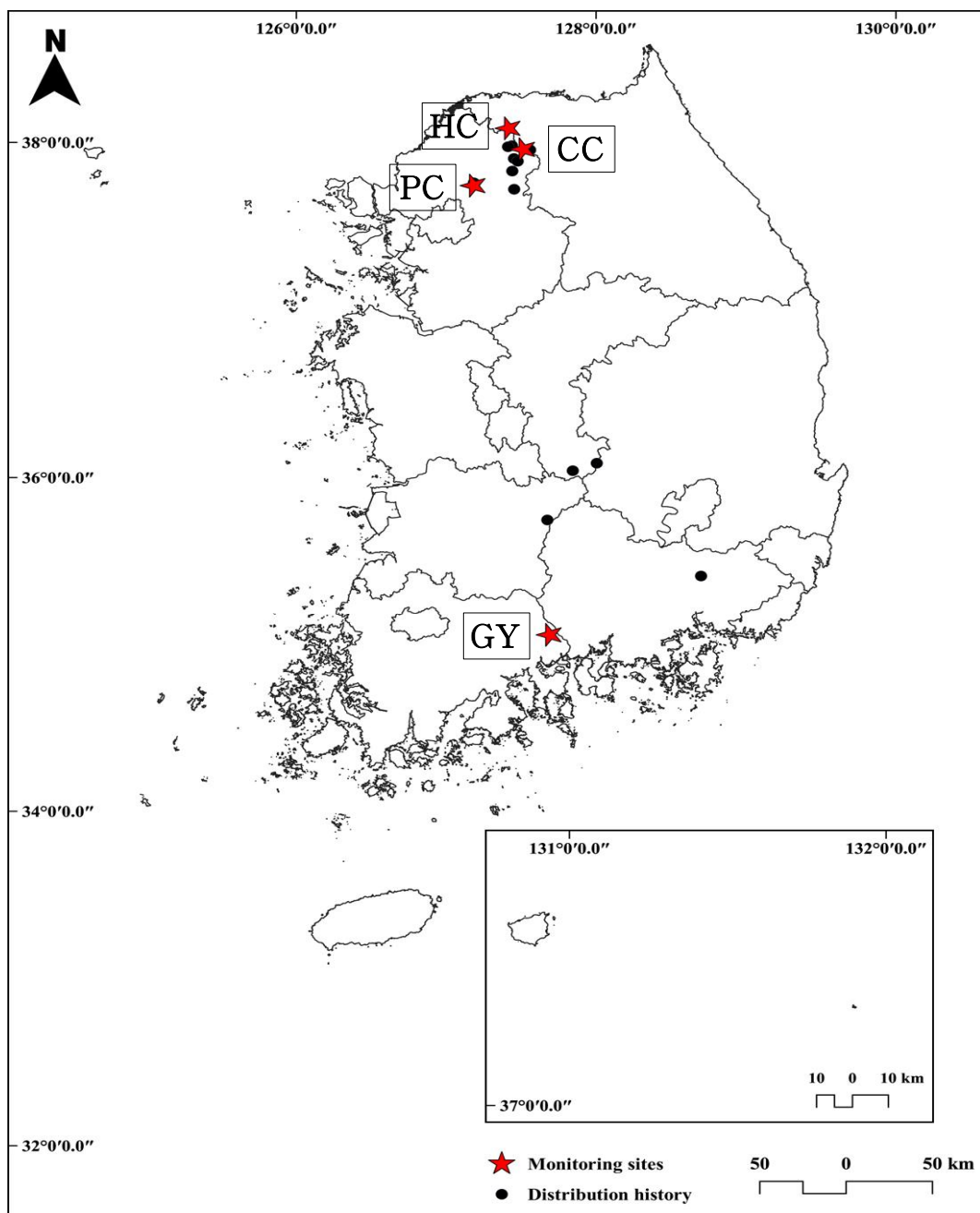


Fig. 3. Distribution map of *C. japonicum* from natural habitats in Korea (★: monitoring sites, ●: distribution history).

3. Demographic monitoring

광릉요강꽃 개체군의 장기 변화 관찰을 위해 4개(포천, 화천, 춘천, 광양) 자생지에서 Demographic monitoring을 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 개체수로 가정하고 조사된 줄기 수를 모두 개체수로 표현하였다. 조사지에서 출현하는 모든 광릉요강꽃의 줄기를 대상으로 엽면적(cm^2), 개체수(number of stem), 개화 개체수(flowering number of stem), 결실 개체수(fruiting number of stem), 개체별 성숙 단계 등을 반복적으로 측정하였다(Fig. 4). 다만 2014년 광양과 2017년 포천은 모니터링이 진행되지 않았고 2014년 포천은 개체수와 개화 개체수만 조사되었다. 아울러 확인된 모든 개체를 대상으로 개체별 연령단계를 구분하였으며, 동시에 엽면적 측정을 통해 크기 및 성장단계를 구분하였다. 지역별 개체 수에 의해 개체군의 크기가 증가하는 집단(포천)과 증감을 반복하는 집단(광양, 화천, 춘천)으로 나뉘었으며, 2014년(100%)을 기준으로 각 지역 개체군의 증감률을 확인하였다.

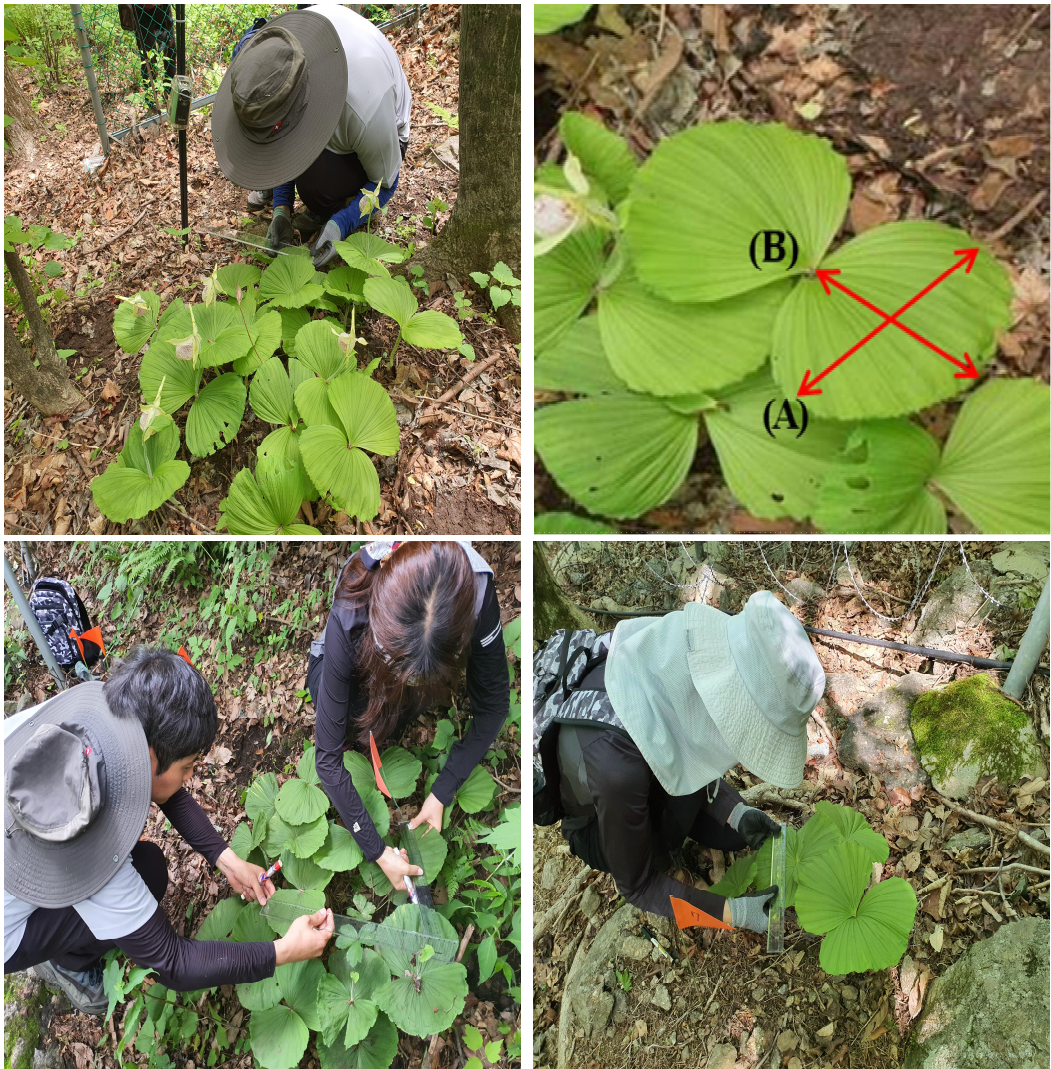


Fig. 4. Measure the leaf area of all individuals in the survey area.
(A): leaf width, (B): leaf length

4. 개체군 stage-structure 특성 및 변화

생물종(biospecies) 개체군의 연령 구조는 해당 종의 건강성 및 지속성을 유추할 수 있는 매우 중요한 생태적 요소이다. 4개 지역의 개체군 구조 및 변화양상 파악을 위해 개체별 성장 단계를 구분하였다. 광릉요강꽃은 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(Fig. 5), 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 대계 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. 엽면적은 잎의 장축(α)과 잎의 단축(β)을 30cm플라스틱 자를 이용하여 1mm단위까지 측정하여 계산하였다(Fig. 4).

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

(A)



(B)



(C)

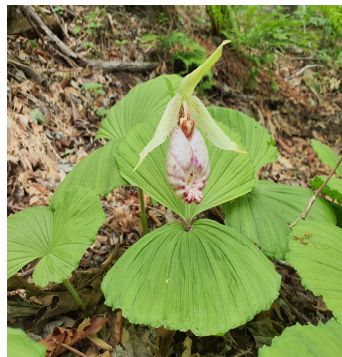


Fig. 5. (A): seedling, (B): juvenile, (C): adult stage classification for criteria.

5. 개체군 생존력 분석

모니터링을 통해 확인한 개체수 변화를 근거로 광릉요강꽃의 멸절위험도(extinction risk)를 예측하기 위해 분석은 통계프로그램 R ver 3.6.2을 활용하여 Count-base Population Viability Analysis(PVA)의 Density-Independents model을 적용하였다. 2021년 현재 개체수를 기준으로 개체군의 크기가 10%를 준멸절한계 개체수로 설정하고 지역별 멸절위험도를 예측하였다. 이 분석방법은 개체군의 생존율에 영향을 주는 모든 환경요인, 이입과 이출, 개체군 고유의 특성 등을 포함한 요인들이 개체수 변화에 반영된다는 가정 하에 있으며(Morris and Doak, 2002), 주로 생물 개체군의 지속성을 파악하기 위해 많이 활용되고 있다(Morris *et al.*, 2002). 개체군 성장률(λ)은 아래와 같다.

$$\lambda = N_{t+1}/N_t$$

여기서 N_t 는 t 년도에 광릉요강꽃 개체수를 나타낸다. 개체군 성장률(λ)의 기하평균(Geometric mean)으로서 개체군 성장률 λ_G 는 확률적 변동 성장률(stochastically varying growth rates)의 개체군 성장률의 평균(average value of the population growth)을 나타낸다(Morris and Doak, 2002). 확률적 개체군 성장 μ 는 아래와 같다.

$$\mu = \log \lambda \approx (\log \lambda_t + \log \lambda_{t-1} + \log \lambda_{t-2} + \dots + \log \lambda_3 + \log \lambda_2 + \log \lambda_1)/t$$

확률적 개체군 성장(μ)의 시간 경과에 따른 변화 비율에서의 분산은 σ^2 으로 나타내고, $\log \lambda_t$ 값의 분산에 의해 값을 구할 수 있다(Morris and Doak, 2002). 계산 결과가 $\mu > 0$ 이고 $\lambda_G > 1$ 일 때 개체군은 성

장을 나타내고, $\mu < 0$ 이고 $\lambda_G < 1$ 일 때 개체군은 쇠퇴하는 것으로 예측한다.

IV. 결과 및 고찰

1. 개체군 현황

국내 광릉요강꽃은 총 7개 지역에서 자생하는 것으로 알려져 있으며 이들 지역에 대한 현장조사 및 문헌자료를 바탕으로 전체 개체군 크기를 추정하였다. 현장조사는 포천, 화천, 춘천, 광양 지역에서 수행되었으며, 무주와 영동 지역은 국립공원연구원 식물보전센터의 조사자료를 인용하였다. 광릉요강꽃은 최소 15개 이상의 아개체군이 있는 것으로 확인되고 있으며 개체수는 최소 4,360개체 이상으로 추정된다(Table 2). 이중 유성생식 능력이 있는 개화 개체수(줄기수)는 최소 406개체로 문헌에서 확인된 지역(무주,영동)을 제외한 개화율은 39%로 추정할 수 있다. 다만 현지외보전시설을 제외한 광릉요강꽃의 자생지 개체수는 1000개체 미만으로 매우 제한된 크기를 나타내고 있었다. 지역별로는 포천, 가평, 무주 지역에서 비교적 많은 개체가 생육하는 것으로 나타났다.

Table 2. Population status of *C. japonicum* in Korea.

	Survey year	Location ID	No. of individuals	No. of Flowering
Natural habitat	2021	PC	277	130
	2021	HC1	18	5
	2008*	HC2	29	13
	2021	CC	55	6
	2021	GP	263	87
	2020**	MJ	200	-
	2020**	YD	119	-
	2021	GY	18	0
<i>ex-situ</i> Conservation	2020	PC	381	165
	2020***	HC	3000	-
Estimated population size			4,360	406
PC: Pochoen, HC: Hwacheon, CC: Chuncheon, GP: Gapyeong, MJ: Muju, YD: Yeongdong, GY: Gwangyang				

* Report on the growth and restoration of endangered species *C. japonicum* and *C. guttatum* and habitat conservation technology development (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

2. Demographic monitoring

2.1 엽면적 분포 및 평균엽면적

2014년부터 2021년까지 4곳의 자생지에서 개체별 엽면적을 측정한 자료를 바탕으로 광릉요강꽃의 엽면적 분포패턴과 평균엽면적 변화를 분석하였다.

광릉요강꽃은 약 68.5%가 엽면적이 200-400cm²에 해당하는 개체가 많아 역S자형 역학구조를 나타내었다. 다만 2014년과 2017년 4개의 조사지 중 가장 큰 개체수를 보유하고 있는 포천이 제외되어 역S자형 양상이 뚜렷하게 나타나지 않았다(Fig. 6).

각 지역의 연도별 평균엽면적은 포천(259.3-351.5cm²), 광양(226.3-334.5cm²), 화천(238.1-314.0cm²), 춘천(201.7-312.5cm²)으로 나타났다. 각각의 지역별 평균 엽면적은 증감을 반복했지만 지역별, 연도별 유의미한 변화는 나타나지 않았다. 조사기간 동안 측정된 광릉요강꽃의 최소 엽면적은 2019년 춘천에서 측정한 3.8cm², 최대 엽면적은 2015년 화천에서 측정한 681.9cm²였다(Fig. 7).

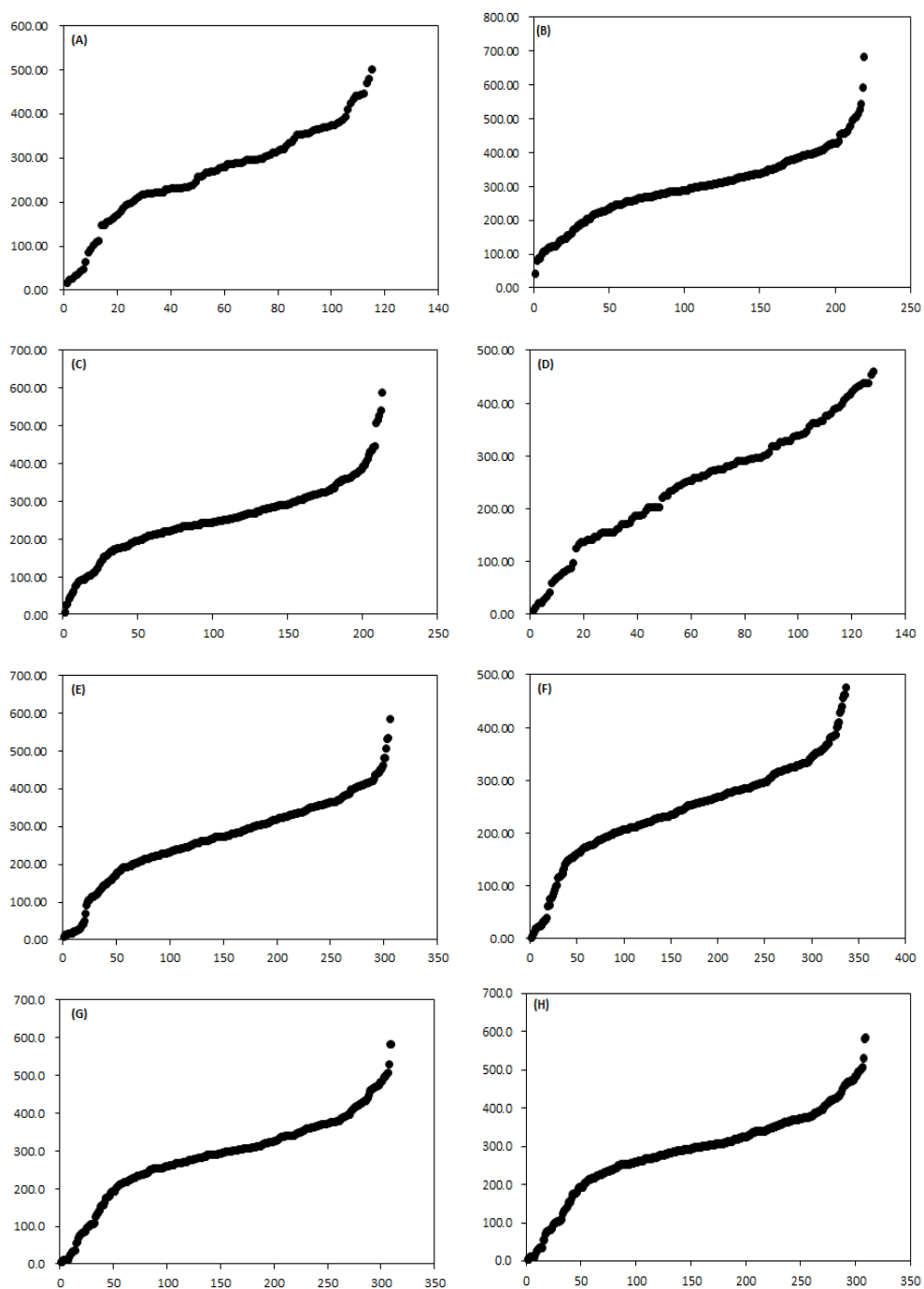


Fig. 6. Leaf area distribution structure by year.(A: 2014, B: 2015, C: 2016, D: 2017, E: 2018, F:2019, G:2020, H: 2021)

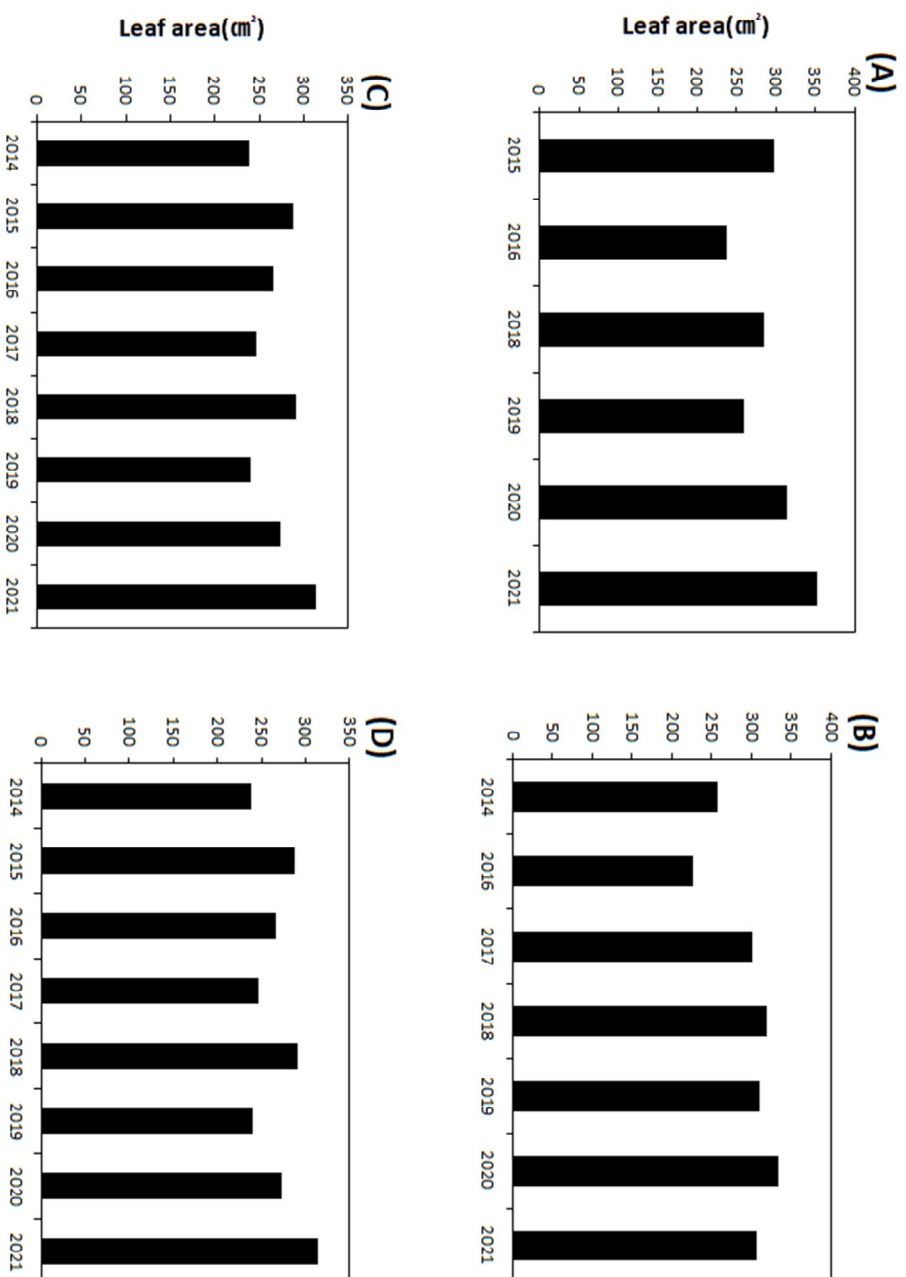


Fig. 7. Average leaf area by year. (A: PC, B: GY, C: HC, D: CC)

2.2 개체군 크기 변화

모니터링이 수행된 4개 지역 개체군의 개체 수 변화는 각각 다른 양상을 보여주고 있다. 포천의 경우 2014년 64개체가 관찰되었으나 이후 지속해서 개체 수가 늘어나 2021년은 277개체로 8년 동안 무려 432.81% 증가하였다(Table 3, Fig. 8). 개화 개체 수 역시 포천에서 342.11% 증가하여 가장 큰 폭의 변동이 관찰되었다. 다른 개체군에 비해 이러한 포천 개체군의 급격한 개체 수 및 개화 수 변동은 2009년과 2013년 일부 아교목층과 하층 식생 제거 등의 자생지의 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 광양은 2014년 12개체가 관찰되었으나 2021년 150% 증가한 18개체로 소폭 증가하였다. 광양은 조사지역 중 가장 작은 개체군 크기를 나타냈으며, 2014년부터 2017년까지 유성생식이 가능한 개화 개체가 발견되지 않은 유일한 지역이었다. 광양이 가장 작은 개체군을 형성하고 있는 이유는 Pi *et al.*, (2015)의 높은 암석노출도와 같은 자생지 환경의 영향을 받은 것으로 추정된다. 반면 화천, 춘천 자생지의 경우 2018년까지 개체수의 증가 및 감소가 반복하다 2018년 이후 다소 감소를 나타내어 2014년 대비 2021년 각각 64.29%, 73.33%까지 소폭 감소한 것으로 나타났다.

Table 3. Annual increase or decrease in the number of individual *C. japonicum*. Parentheses indicate the rate of increase or decrease in the number of individuals based on *C. japonicum* in 2014.

Site ID	Year							
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PC	64	92	126	142	158	209	183	277
	(100.00)	(143.75)	(196.87)	(218.75)	(246.87)	(326.56)	(285.93)	(432.81)
GY	12	5	7	7	10	9	15	18
	(100.00)	(41.67)	(58.33)	(58.33)	(83.33)	(75.00)	(125.00)	(150.00)
HC	28	33	22	26	35	26	23	18
	(100.00)	(117.85)	(78.57)	(92.85)	(125.00)	(92.85)	(82.14)	(64.29)
CC	75	94	85	95	102	92	88	55
	(100.00)	(125.33)	(113.33)	(126.67)	(136.00)	(122.67)	(117.33)	(73.33)

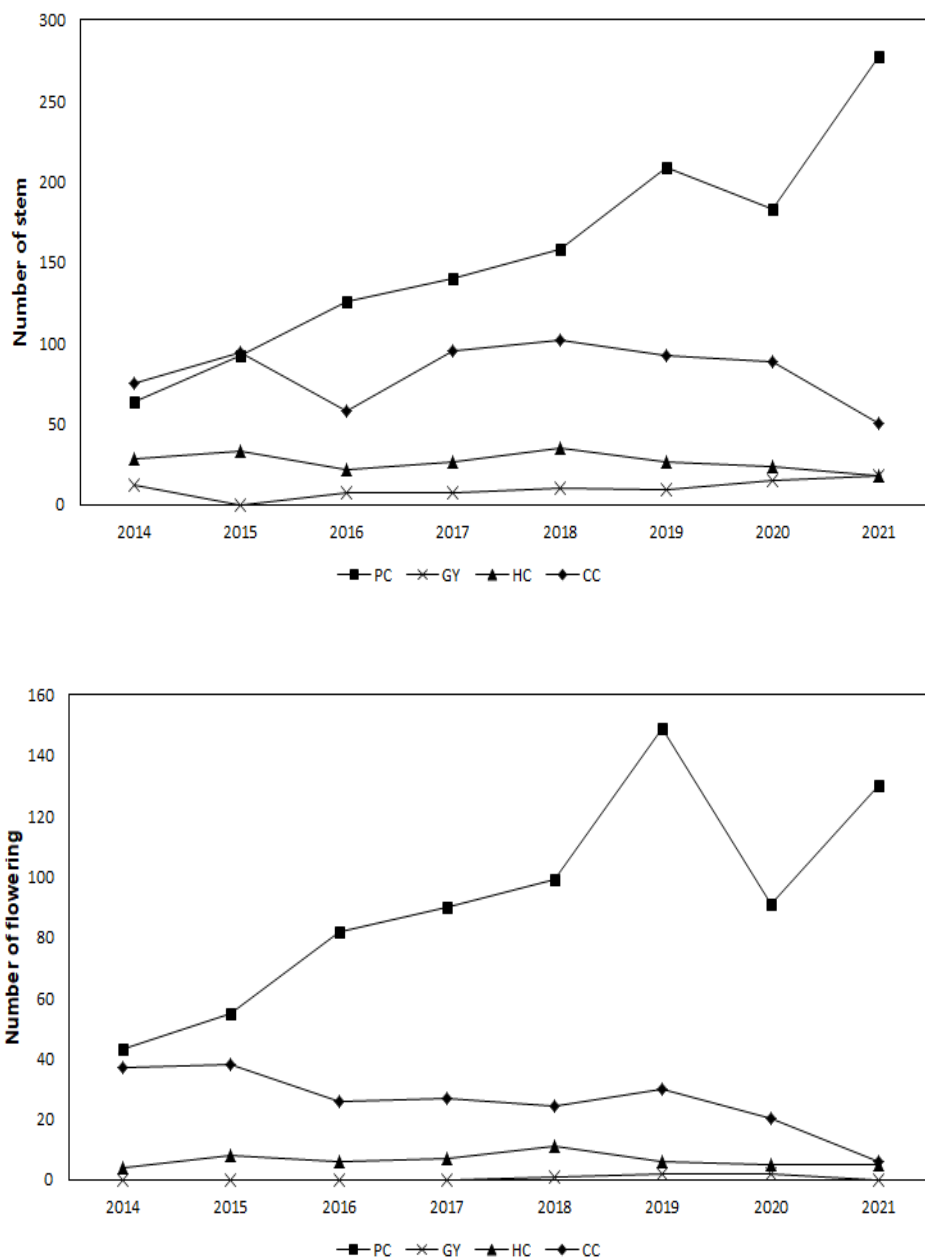


Fig. 8. Annual increase or decrease in the number of individual *C. japonicum* and the number of flowering *C. japonicum*.

2.3 결실 모니터링

모니터링 기간 동안 결실조사가 되지 않은 해를 제외하고 관찰된 617개의 개화개체 중 87개체가 결실하여 전체 결실률은 약 14.1%로 나타났다. 4개 지역에서 결실률은 각각 차이를 나타내고 있었다(Table 4, Fig. 9).

지역별 결실률 앞서 개화율과 개체군의 크기변화 등과 다른 양상을 보여주고 있었다. 포천은 개화개체 420개체 중 27개체인 약 6.4%의 결실률로 개체군의 크기와 높은 개화율에도 불구하고 상당히 낮은 결실률을 보였다. 화천은 개화 41개체 중 10개체가 결실되어 약 24.4%의 결실률을 나타냈고 춘천은 개화개체 156개체 중 50개체가 결실하여 조사지 중 가장 높은 32.1%의 결실률을 나타내어 결실률은 춘천, 화천, 포천, 광양 순으로 높게 나타났다.

포천의 결실률은 2015년 55개의 개화개체 중 9개체가 결실하여 16.4%였고 2019년 149개의 개화개체 중 2개체가 결실하여 1.3%의 결실률을 보였다. 광양은 2021년까지 총 5개의 개화개체가 있었지만 결실개체는 아직까지 관찰되지 않아 0.0%의 결실률을 보였다. 화천은 2015년 8개체 중 5개체가 결실하여 모든 조사지역과 기간을 포함하여 가장 높은 62.5%의 결실률을 보였으며 2014년 0%결실률을 나타냈다. 춘천은 2020년 20개의 개화개체 중 9개의 결실개체로 45%의 결실률을 2021년 0.0%의 결실률을 나타냈다.

추후 춘천의 높은 결실률에 미치는 매개자 조사와 환경영향 등 연구가 진행된다면 광릉요강꽃 보존에 더욱 의미 있는 방향을 제시할 수 있을 것이라 예상된다. 다만 2017년 화천, 2017-2018년 춘천, 2016-2018년 포천지역의 결실률은 조사되지 않아 결실률 산정에서 제외시켰다.

Table 4. Annual fruiting rate according to flowering and fruiting of *C. japonicum*.

		Year							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PC	Flowering	43	55	82	90	99	149	91	130
	Fruiting	4	9	-	-	-	2	7	5
	Fruit rate (%)	9.3	16.4	-	-	-	1.3	7.7	3.8
GY	Flowering	0	0	0	0	1	2	2	0
	Fruiting	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fruit rate (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
HC	Flowering	4	8	6	7	11	6	5	5
	Fruiting	0	5	0	0	-	1	1	3
	Fruit rate (%)	0	62.5	0	0	-	16.7	20	60
CC	Flowering	36	38	26	29	24	30	20	6
	Fruiting	13	17	2	-	-	9	9	0
	Fruit rate (%)	36.1	44.7	7.7	-	-	30	45	0
Total					14.1%				

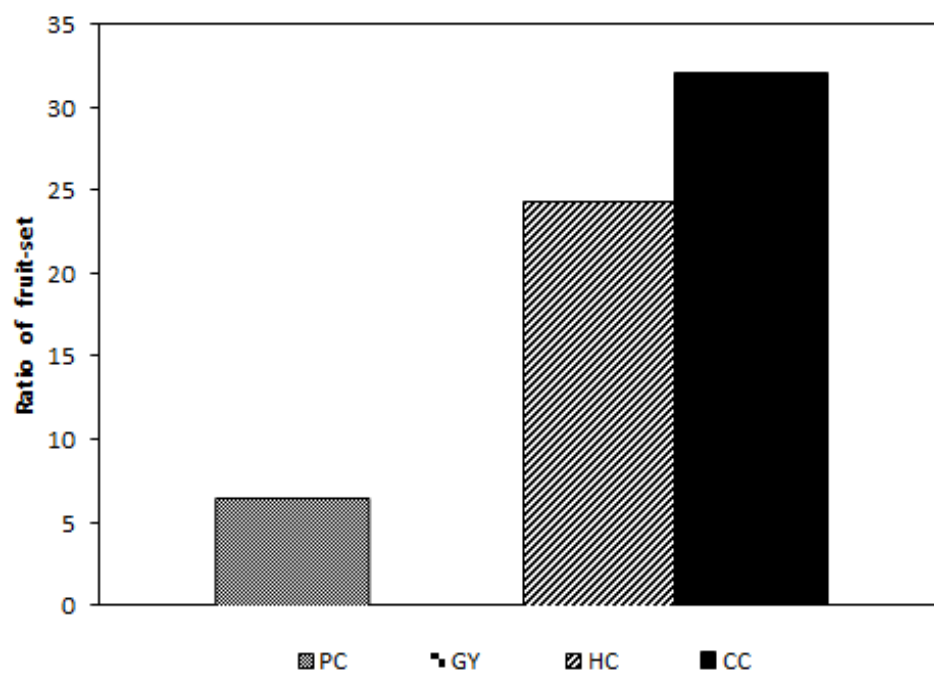


Fig. 9. Ratio of fruit-set of *C. japonicum* for each survey area.

3. 개체군 stage-structure 특성

3.1 개체군 구조 특성

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 과소평가될 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(Fig. 10). 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 8년간 개체 수의 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 유성 번식보다는 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 관리방법은 결과적으로 개체군의 지속성에 긍정적인 영향을 미친다고는 볼 수 없다. 이와 반대로 광양 개체군은 관찰되는 개체가 5-18개체로 모니터링 대상 지역 중 가장 작은 개체군을 형성하고 있고, 특이적으로 미성숙 개체(juvenile)의 비율이 압도적으로 높은 편이었다. 2014년부터 2017년까지 모니터링 결과에서 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.

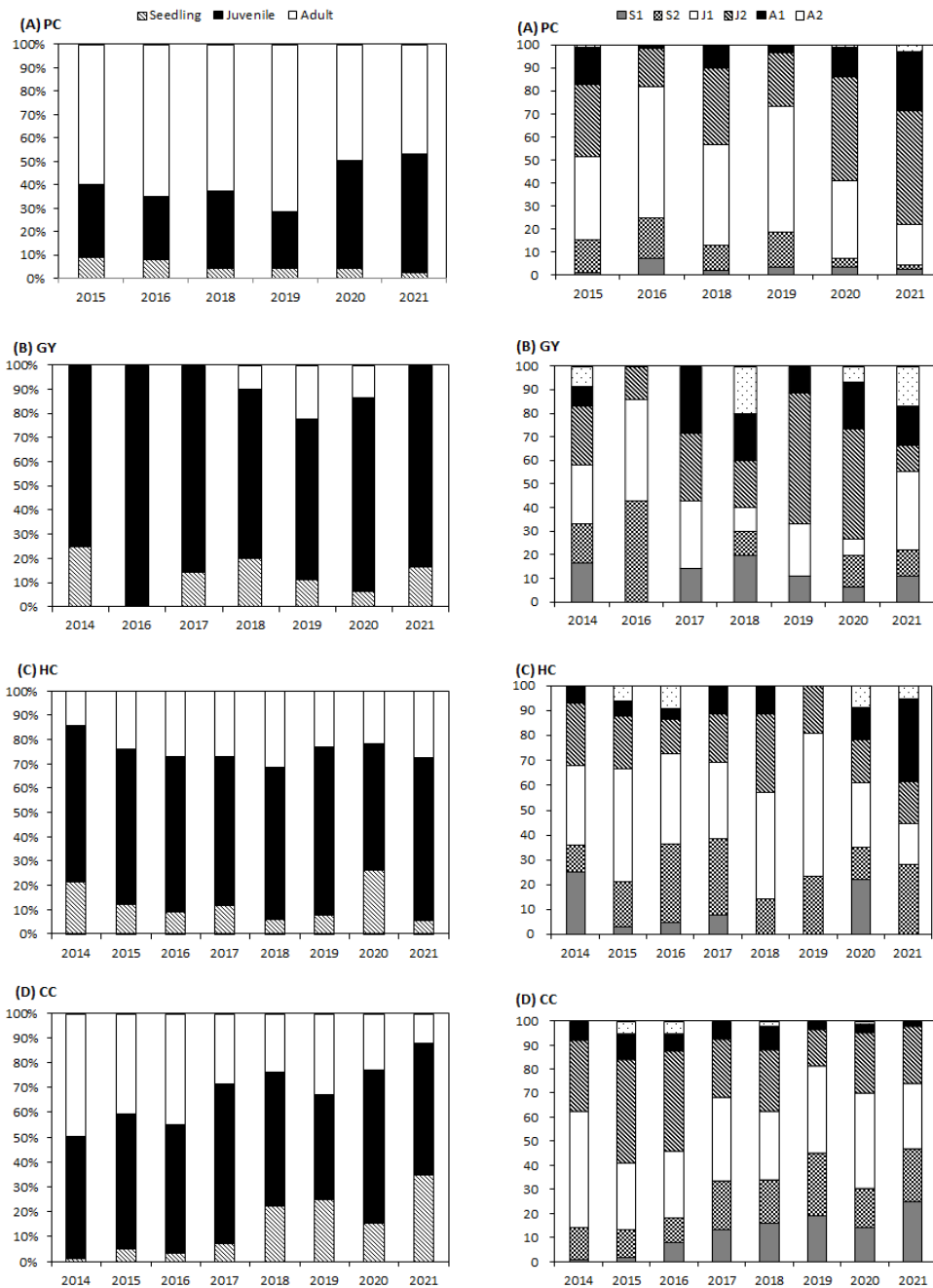


Fig. 10. Stage structure analysis of *C. japonicum* according to the annual maturity stage (left) and annual leaf area (right) of the study site. (S₁: 0-100cm², S₂: 100-200cm², J₁: 200-300cm², J₂: 300-400cm², A₁: 400-500cm², A₂: 500cm² <)

3.2 개체군 구조 단계별 개화율

개체군 구조를 분석한 stage-structure 중 엽면적에 따라 6단계로 구분한 각각의 단계에 해당하는 개화개체의 비율을 분석하였다. 그 결과 4개의 지역이 서로 다른 양상을 보였다(Table 5).

먼저 포천의 경우 S_1 은 개화개체가 없어 0.00%였으며, S_2 21.57%, J_1 은 54.14%, J_2 는 61.74%, A_1 과 A_2 는 각각 70.81%, 77.78%으로 각 단계별 개화율이 4개 지역 중 가장 높게 나타났다. 또한 단계가 상승할수록 개화개체의 비율이 높은 것을 확인하였다.

광양은 S_1 , S_2 , J_1 단계 모두 개화개체가 발견되지 않았다. 이는 앞서 언급했듯이 광양지역은 다른 조사지에 비해 개체수 크기가 작으며, 개화개체가 총 5개체만이 관찰되어 각 단계별 개화율을 나타내기는 다소 어려움이 있다. 화천은 각각 0.00%, 4.76%, 12.66%, 47.73%, 66.67%, 71.43%의 단계별 개화율을 보였으며, 춘천은 0.00%, 8.85%, 28.38%, 53.55%, 65.91%, 72.73%로 나타났다(Fig. 11).

4개 지역 모두 S_1 에서 A_2 로 갈수록, 즉 엽면적이 넓을수록 개화의 비율이 높아지는 양상을 볼 수 있었다. 다만 동일단계에서 지역별로 개화율은 다소 차이가 있었으며 단계별 개화율은 포천, 춘천, 화천, 광양 순으로 높게 나타났다.

Table 5. Flowering rate for each stage according to leaf area stage-structure.

(S₁: 0-100cm², S₂: 100-200cm², J₁: 200-300cm², J₂: 300-400cm², A₁: 400-500cm², A₂: 500cm² <)

Site ID	Year					
	S ₁	S ₂	J ₁	J ₂	A ₁	A ₂
PC	0.00	21.57	54.14	61.74	70.81	77.78
GY	0.00	0.00	0.00	4.17	15.38	33.33
HC	0.00	4.76	12.66	47.73	66.67	71.43
CC	0.00	8.85	28.38	53.55	65.91	72.73

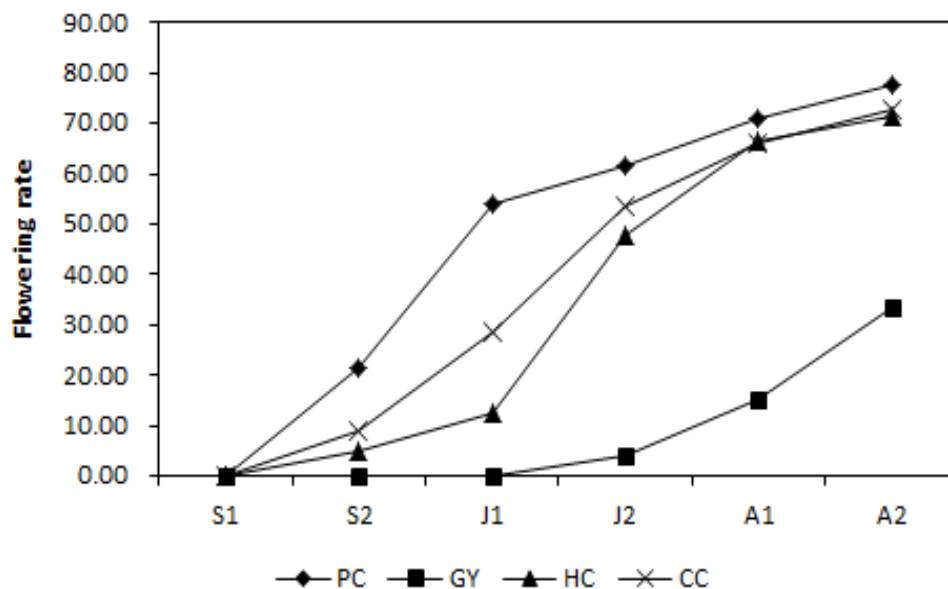


Fig. 11. Flowering rate for each stage according to leaf area.

4. 개체수 기반 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 정량분석에 대한 기준도 제시하고 있으며, 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 생장 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 8년간 4개의 지역에서 측정한 광릉요강꽃의 개체 수 변화 자료를 바탕으로 개체군 생존율을 추정하였다. 광릉요강꽃 개체군 생존율은 향후 500년 안에 99.99%(화천, $\mu=-0.0631$, $\lambda=0.9742$)에서 0.00%(포천, $\mu=0.2442$, $\lambda=1.3013$)까지 지역별로 매우 상이하게 나타

났다(Table 6). 비록 모니터링이 수행된 4개 지역은 현재 현지 내 보호 시설을 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%로 나타났는데 이는 적극적인 인위적 관리에 따른 개체 수의 지속적인 증가 영향인 것으로 판단된다(Table 5, Fig. 11). 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 96.90%, 500년 안에 99.99% 멸절 추정), 춘천(100년 안에 65.26%, 500년 안에 74.83% 멸절 추정)에서의 멸절 위험이 상대적으로 높게 나타나는데, 이는 이들 두 지역에서 연차별 개체 수의 감소 변동이 포천에 비해 크게 나타난 영향으로 추정할 수 있다. 광릉요강꽃 출현개체 수를 기반으로 각각의 지역별 멸종위험도를 파악하기 위해 Count DI PVA를 실행하여 μ 값과 λ 값을 산출하였다. 포천은 μ 값은 0.2442, λ 값은 1.3013로 멸절 위험도는 0에 가까웠다(Fig. 6, Table 5). 광양, 춘천의 μ 값과 λ 값은 각각 광양 0.0521, 1.3373, 춘천 0.0074, 1.1177로 포천과 마찬가지로 μ 값이 0보다 크고, λ 값이 1보다 큰 것으로 나타나 개체군의 성장을 나타냈으나, 500년 안에 멸절 위험도를 산정한 결과 광양 60.1%, 춘천 74.8%로 비교적 높게 나타났다. 반면 화천의 μ 값은 -0.0631, λ 값은 0.9742으로 μ 값이 0보다 작고 λ 값이 1보다 작은 값을 보여 개체군이 쇠퇴할 가능성을 보여주었다. Count DI PVA 결과를 종합하면 포천의 개체수 증가가 멸절위험도 분석 결과에 가장 큰 영향을 준 것으로 판단되며 멸절위험도가 비교적 높은 화천과 춘천의 경우 개체군 지속성 확

보를 위한 적절한 보전대책을 수립해야 할 것으로 판단된다. 앞서 언급했듯이 국내 광릉요강꽃 개체군의 멸절위험도를 좀 더 객관적으로 파악하기 위해서는 현재 국내 광릉요강꽃 개체군의 다양한 위협요인을 대변할 수 있는 여러 지역의 개체군 정보가 반영될 필요가 있다. 특히, 최근에도 새롭게 알려진 광릉요강꽃 개체군은 발견과 동시에 남획으로 사라져버리는 경우도 관찰되고 있다(personal observation). 따라서, 향후 국내 알려진 광릉요강꽃 개체군에 대한 개체통계학적(demographic) 모니터링 확대와 더불어 적극적인 현지내보전 활동을 병행할 필요가 있다.

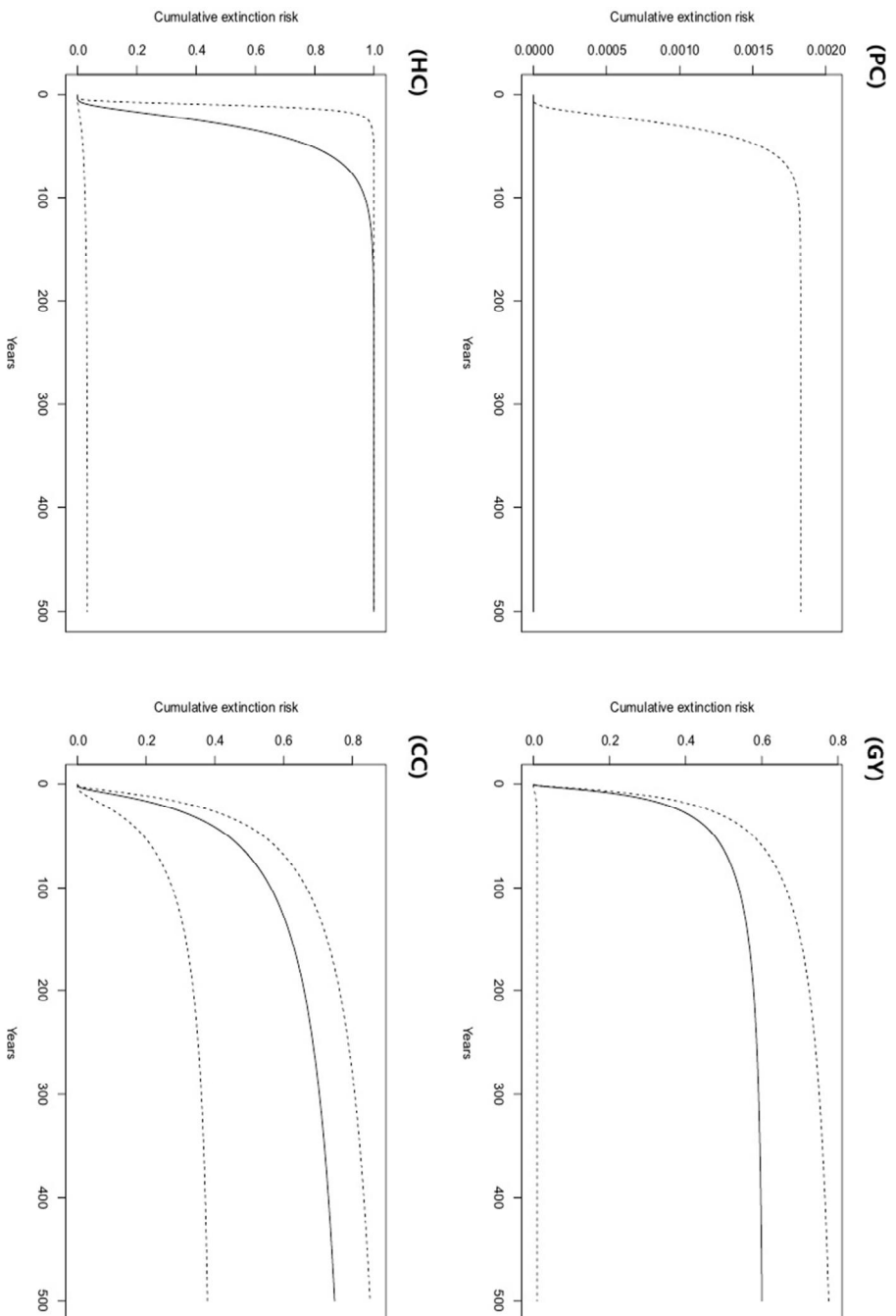


Fig. 11. Estimation of extinction risk over the next 500 years about each population.

Table 6. 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	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00
GY	53.95	57.58	59.16	59.75	60.06
HC	96.90	99.90	99.99	99.99	99.99
CC	56.26	65.97	70.39	73.04	74.83

V. 결론

국내 광릉요강꽃의 자생지로 알려진 총 7개 지역에 대한 현장조사 및 문헌자료를 바탕으로 국내 광릉요강꽃의 개체수는 최소 4360개체 이상으로 추정되며 현지외보전시설을 제외한 자생지 개체수는 1,000개체 미만으로 매우 제한된 크기를 나타내고 있었다. 문헌에서 조사된 지역을 제외하고 개화율은 약 39%였다.

광릉요강꽃 자생지 중 국립수목원 보호시설이 설치되어있는 포천, 광양, 화천, 춘천 등을 대상으로 실시한 Demographic monitoring 결과 엽면적 분포패턴에서 광릉요강꽃은 200-400cm²에 해당하는 개체가 많은 역S자형 구조를 나타냈다. 성숙단계에서 유묘와 엽면적으로 나눈 성숙단계 S₁은 비슷한 변화양상을 나타냈다. 또한 S₂단계부터 개화 개체가 출현하였지만, 모든 조사지역에서 A₂로 갈수록 각 단계별 개화율이 증가하여 광릉요강꽃의 엽면적과 성숙단계의 연관성을 나타냈다.

개체군의 생존력 분석을 위해 Count DI PVA 분석을 실시하여 각 지역별 향후 5세기 동안 멸절위험도를 예측한 결과를 종합하면 화천, 광양, 춘천, 포천 순서로 멸절위험도가 높은 것으로 나타났다. 포천의 멸종위험도는 0.00%에 가까웠는데 이는 2009년과 2013년 하층식생의 관리로 지속적인 개체수 증가가 PVA분석에 영향을 준 결과로 추정된다. 향후 1세기동안 춘천, 광양, 화천의 멸절위험도는 각각 56.26%, 53.95%, 96.90%로 지역별 멸종위험도는 모두 큰 차이가 있었다. 춘천과 광양의 경우 인위적인 관리활동이 전혀 없어 국내 광릉요강꽃이 식생 천이 과정으로 인한 자연스러운 멸절위험도를 나타낸 값으로 추정된다.

화천의 멸절위험도가 가장 높게 나타난 이유는 2009년 상층을 모두 제거하는 식생 관리가 진행되었다. 이후 12년 동안 새로운 식생이 갱신되며 자생지 환경에서 부자연스러운 변화가 화천의 광릉요강꽃 개체군

에 부정적인 영향으로 추정된다. 포천의 경우를 보면 과하지 않고 주기적인 하층식생제거는 분명 광릉요강꽃의 생육에 긍정적'인 영향을 미친다고 볼 수 있으나 개체군 구조 측면에서 포천은 성숙개체의 비율이 높고 유묘의 비율은 현저하여 이상적인 개체군 구조로 판단하기 힘들다. 포천의 결실률은 6.4%로 다른 조사지역 보다 낮아 지속적인 개체수의 증가는 유성번식의 비중보다 영양번식의 비중이 높은 것으로 추정된다. 상대적으로 춘천의 결실률은 32.1%로 높은 결실률과 꾸준한 유묘의 발생으로 인위적인 활동이 없던 춘천 개체군이 포천 개체군보다 안정적인 개체군 구조를 형성한 것으로 판단된다.

따라서, 광릉요강꽃처럼 유성번식에 매우 제한적인 초본 식물의 경우 단순히 식생 제거 및 광 환경 개선을 통해 개화율을 일방적으로 증가시키는 자생지 관리방법은 결과적으로 개체군의 지속성에 긍정적인 영향을 미친다고는 볼 수 없다. 광릉요강꽃의 개화유도와 영양번식을 통한 개체수 증가 유도하는 측면에서 상황에 따라 주기적인 하층식생 관리가 필요할 수 있지만 유성번식을 통한 유전적다양성과 개체군 지속성 측면에서 필수적인 요소가 아니라고 판단된다.

멸종위험도 예측결과 화천을 제외하고 현재 수준에서 지속성을 유지할 것으로 추정되었으나 광릉요강꽃은 최근에도 새로운 자생지가 발견과 동시에 남획으로 개체군이 소멸해버리는 경우가 관찰되고 있다. 또한 국내 광릉요강꽃은 매우 제한된 개체군 크기를 보이고 있어 우연한 이벤트에 의한 개체군 소멸 등을 배제할 수 없다. 그렇기에 광릉요강꽃의 지속성을 위해서는 개체통계학적 모니터링 확대와 더불어 적절한 현지 내 보전 활동을 병행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- Biodiversity center of Japan.(2020) Red data book 2020.
<https://ikilog.biodic.go.jp/Rdb/booklist>. Ministry of the Environment (in Japanese).
- 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.
- Crawley, M.J and G.J.S Ross. (1990) The population dynamics of plants [and discussion]. Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences. 330:125-140.
- Currah, R.S., C.D. Zelmer, S. Hambleton and K.A. Richardson(1997) Fungi from orchid mycorrhizas. In Orchid biology (pp. 117-170). Springer, Dordrecht.
- 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, New York, USA, 219-232.
- Dupré, C., and J. Ehrlén(2002) Habitat configuration, species traits and plant distributions. Journal of ecology, 796-805.
- 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.
- 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 wily & sons, Ltd., New York, 417pp.
- Harpers, J.(1977) Population Biology of Plants Academic Press-London pp. 892.
- Hastings, J.R. & R.M. Turner(1965) The changing mile. An ecological study of vegetation change with time in the lower mile of an arid and semiarid region.
- 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.(in Korean)
- Kim, Y.C., H.H. Chae and K.S. Lee(2016). Distributional Characteristics and Population Dynamics of Endangered Plant, *Paeonia obovata* Maxim. Korean Journal of Environment and Ecology, 30(4), 658-675.
- Korea National Arboretum.(2012) Rare Plant in Korea. Pocheon.412pp. Sumeungil, Seoul, South Korea.(in Korean)
- Korea National Arboretum (2014) Rare and endemic plants in Korea: *Cypripedium japonicum*. Sumeungil, Seoul, South Korea.(in Korean)
- Korea National Arboretum (2015) Ecology of woody plants in South Korea (I) conifers. Sumeungil, Seoul, South Korea.(in Korean)
- Lee, D.H., H.M Kim, S.D. Kim, A.R. Moon, S.Y. Kim, J.H. Kim, 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 Enviroment and Ecology, Online, 59-60pp. (in Korean with English abstract)
- Lee, B.H., H.K. Han, H.J. Kwon and H.E. Ahn(2013) Diversity of Endophytic Fungi Isolated from Roots of *Cypripedium japonicum* and *C. macranthum* in Korea: Department of Biology Education, Korea National University of Education,

- Cheongju 363-791. (in Korean with English abstract)
- Nam, J.W., J.J. Ku, I.J. Choi, Y.M. Shin, S.Y. Park, M.H. Kim, ... and I.K. Kim(2014, October) The Insect Pollinators of *Cypripedium japonicum* Thunb., the Endangered Orchid in South Korea. Conference proceedings and presentations, korea. pp. 75.
- Morris, W.F., and D.F. Doak(2002) Quantitative conservation biology. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA.
- 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.
- 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 with English abstract)
- 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 ... and Son, S.W.(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)
- Rankou, H.(2014) *Cypripedium japonicum*. The IUCN red list of threatened species

2014: e. T13188414A16672875.

- 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)
- 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, ... and S. Murayama(2014) Attention points for habitat restoration of endangered species. Samrim Research Institute 28p.
- Tian, H.Z., L.X. Han, J.L. Zhang, X.L. Li, T. Kawahara, T. Yukawa, ... 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.

ABSTRACT*

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

Lee Dong hyoung

Department of Forest Resources, Graduate School
Chungnam National University
Daejeon, Republic of Korea

(Supervised by Professor Byung Bae Park)

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

* A thesis submitted to the committee of Graduate School, Chungnam National University in a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Agricultural Science conferred in February 2022.

the data obtained by demographic monitoring conducted for eight years in the natural habitat. *C. japonicum* habitats were observed in 7 regions of Korea (Pochoen, 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, 53.95% for Gwangyang, 56.26% for Chuncheon, and 96.90% 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.

감사의 글

석사학위를 마치면서 그 동안 힘들고 어렵다고 느꼈던 일들을 돌이켜 보면 하나의 경험이 되고 추억이 된 것 같습니다. 제가 학위를 무사히 마무리할 수 있었던 것은 힘이 되어준 많은 분들에게 감사의 말씀을 드리고 싶습니다.

먼저, 제가 부족한 점이 있을 때 따뜻한 조언과 진심어린 충고로 지도 해주신 박병배 교수님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 바쁘신 와중에 심사위원장을 맡아주고 본 논문에 완성도를 높일 수 있도록 지도해주신 이중구 교수님께 감사드립니다. 학부시절부터 대학원까지 많은 가르침을 주시고 격려해주신 김세빈 교수님, 박관수 교수님, 이준우 교수님, 최재용 교수님, 박범진 교수님께 감사드립니다.

많은 응원이 되어준 국립수목원 식물자원연구과 분들에게 감사의 말씀을 드립니다. 특히 직장에 다니며 석사학위를 할 수 있도록 추천해주시고 도움을 주신 국립수목원 손성원 연구사님께 감사의 말씀을 드립니다. 희귀특산식물 업무를 처음 접했을 때 잘 적응할 수 있게 도와주신 문애라 박사님 감사드립니다. 논문에 많은 관심과 아낌없는 조언을 준 김소담 박사님께 감사드립니다. 팀 막내를 맡아 장난도 잘 받아주는 김휘민 연구원에게도 고맙다는 말을 전합니다. 팀원분들 이외도 선형이형, 현민이, 수현이, 진우, 정민이, 예은이, 상인이, 길민이 식물자원연구과에서 만난 소중한 인연들과 함께 여서 큰 격려와 도움이 되었습니다. 고맙고 감사합니다.

바쁜 박사과정 학위 중에도 놓치는 부분이 있으면 바로잡아주신 시호형에게 감사드립니다. 학부 동기이자 먼저 석사를 졸업한 충희 야근 중에도 항상 적극적으로 도와주어 고맙다는 말을 전합니다.

늦게 시작한 석사를 걱정하면서도 격려해준 가족들에게도 항상 든든하게 응원이 되어주어 감사하고 고맙다는 말을 전합니다. 생후 5개월 된 내 첫 조카 해린이 우리 가족이 되어주어 고맙고 건강하게 자라길 바랍니다.