

강 혜 순 교수지도
석사학위 청구논문

우리나라 자웅이주 식물의 생태와 진화

2005

성신여자대학교 교육대학원

교육학과 생물교육전공

장 선 영

우리나라 자웅이주 식물의 생태와 진화

강 혜 순 교수지도

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2005년 5월

성신여자대학교 교육대학원

교육학과 생물교육전공

장 선 영

인 준 서

장선영의 석사학위 논문을 인준함.

심사위원 _____ (印)

심사위원 _____ (印)

심사위원 _____ (印)

2005년 6월

성신여자대학교 교육대학원

우리나라 자유민주 신문의 생태와 지화

장
선
영

논문개요

꽃 피는 식물의 대부분은 한 꽃에 암수의 생식기관을 모두 갖추고 있는 양성화이며 암꽃만 피우는 암개체, 수꽃만 피우는 수개체가 분리되는 자웅이주 즉 암수딴몸의 성체제를 갖는 경우는 드물다. 지난 수 십년간 암수딴몸 식물의 생태와 진화에 관한 연구는 여러 지역에서 수행되어 왔으나 우리나라의 경우 이에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 우리나라 피자식물 3033종(2강 48목 164과 919속)을 대상으로 각 종의 성체제와 함께 서식지, 생육형, 꽃의 색, 추정 수분매개자, 열매의 종류와 같은 생태적 정보를 추출하였다. 먼저, 계통에 관계없이 모든 종의 데이터를 통합한 총괄 데이터에 근거하여 우리나라 식물의 생태적 양상을 분석하고 암수딴몸 식물과 생태 특성간의 연관성을 분석하였다. 생태 특성에 미치는 계통효과를 고려하기 위해서 각 속에서 무작위로 한 종씩만을 추출한 재추출 데이터를 이용하여 암수딴몸과 생태 특성과의 연관성을 다시 분석하였다. 생태 특성들 간에는 유의한 상관관계가 널리 존재하므로 목본과 초본으로 나누어 각기 암수딴몸과 생태 특성과의 연관성을 분석하였다.

우리나라 식물의 3/4이 양성화 즉 암수한꽃(75.5%)이었으며, 이어 암수한몸(17.0%), 암수딴몸(7.4%)의 순이었다. 목본(24.5%)보다는 초본(75.5%)이 3배나 많았다. 식물의 약 1/3이 숲(33.1%)에 서식하며 들이나 밭과 같은 열린 서식지(23.9%), 습지(14.1%), 고산(11.1%), 계곡(7.3%), 암석지(3.2%), 바닷가(3.0%), 하천가(2.2%), 물 속(2.2%)의 순으로 나타났다. 우리나라 식물의 거의 1/3(30.8%)에 해당하는 식물이 흰 꽃을 피웠으며, 이어 붉은 꽃(22.0%), 노란 꽃(19.7%), 녹색 꽃(14.7%), 2가지 이상의 색을 갖는 꽃(6.8%)을 피우는 것으로 나타났다. 추정 수분매개자를 충매와 비충매로 나누었을 때, 충매에 의한 수분이 일어나는 종이 78.8%로

비충매에 의한 수분보다 3.7배나 많았다. 우리나라 식물은 영과, 삭과, 시과, 장과 등의 열매를 맺으며 건과(85.5%)가 육과(14.5%)보다 5.8배나 많았다.

성체제와 생태특성간의 연관관계를 분석한 결과 암수딴몸 종은 대체로 목본이며, 하천가에 서식하고, 녹색 꽃을 피우며, 작고 다양한 곤충에 의해 수분되고, 살이 있는 육과를 맺는 경향이 있었다. 이러한 경향은 재추출 데이터에서 암수딴몸 식물이 비충매와 연관되어 있는 것을 제외하고는 총괄 데이터와 재추출 데이터의 분석 결과는 매우 유사하였다. 그러나, Contingency table에서 두 데이터 간 유의한 셀의 위치에는 차이가 있었으며 이를 속 수준에서 작용하는 계통효과로 해석하였다. 계통과 생육형의 효과를 모두 고려했을 때, 목본 중에서 암수딴몸과 비충매간 연관성이 나타나지 않은 점을 제외하고는 암수딴몸과 생태 특성간의 연관성은 목본과 초본에 따른 유의한 차이가 없었다.

본 연구는 우리나라 식물의 1) 생육형, 꽃색깔, 추정 수분매개자, 열매형의 분포가 다른 온대 지역과 유사하나, 2) 암수딴몸 식물의 비율은 다른 온대에 비해 약간 높고, 3) 암수딴몸 식물은 특정 생태을 갖는 경향이 있으며 이러한 결과는 이전 연구의 결과와 유사함을 보여준다. 비록 미약하기는 하나 암수딴몸을 포함하여 생태 특성에 작용하는 속 수준의 계통효과를 확인하였다. 그러나 대부분의 특성들이 상호연관되어 있기 때문에 본 연구에서 암수딴몸과 생태 특성간의 원인 관계를 밝히는데 한계가 있었다. 게다가 본 연구에서는 조사되지 않았지만 암수딴몸과 생태 특성의 진화가 상위 분류군 수준에서 작용하는 계통 효과에 의해 제한될 가능성도 밝혀져야 한다.

목 차

논문 개요

표목록 (List of Tables)

I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	4
III. 결 과	9
1. 우리나라 식물의 전반적인 생태적 양상	9
2. 계통효과를 고려하지 않은 총괄데이터 분석	14
3. 재추출 데이터에 근거한 계통효과 분석	19
IV. 고 찰	31

참 고 문 헌

ABSTRACT

List of Tables

Table 1. Frequency distribution of ecological characters in Korean angiosperm species	23
Table 2. Association of sexual system with growth habit (A), habitat (B), and moisture (C) among Korean angiosperm species	25
Table 3. Association of sexual system with flower color (A), presumed pollinator (B), and fruit type (C) among Korean angiosperm species	26
Table 4. Association of sexual system with habitat (A) and moisture (B) among Korean angiosperm species after controlling for growth habit	27
Table 5. Association of sexual system with flower color (A), presumed pollinator (B), and fruit type (C) among Korean angiosperm species after controlling for growth habit	28
Table 6. Association of sexual system with habitat (a) and moisture (B) among Korean angiosperm species after controlling for growth habit	29
Table 7. Association of sexual system with flower color (A), presumed pollinator (B), and fruit type (C) among Korean angiosperm species after controlling for growth habit	30

I. 서 론

꽃 피는 식물의 대부분은 양성화이다. 그러나 일부 식물은 한 개체 내에서 암수가 분리되는 자웅동주이거나 서로 다른 개체로 암수의 기능이 분리되는 암수딴몸의 성체제를 갖는다. 암수딴몸 현화식물은 전 세계적으로 약 4% (Yampolsky and Yampolsky, 1922) 정도이며 좀 더 최근의 평가에 의하면 약 6% (Renner and Ricklefs, 1995) 정도로 매우 드물게 나타나는 성체제이다. 암수딴몸의 비율은 지역마다 상당한 변이를 나타내는데 영국(2.0%, Lewis, 1942), 미국의 캘리포니아(2.8%, Fox, 1985), 에콰도르(3.0%, Gilmartin, 1968)의 경우는 암수딴몸의 비율이 매우 낮게 나타난다. 반면에 뉴질랜드에서는 전체 종의 12-13% (Godley, 1979), 속 수준에서는 18% (Lloyd, 1985; Webb and Kelly, 1993)가 암수딴몸으로 나타났으며, 하와이에서는 전체 자생종(native species)의 27.7% (Carlquist, 1974)가 암수딴몸으로 보고되어 지금까지 조사된 지역 중에서 암수딴몸의 비율이 가장 높다.

암수딴몸의 진화에 작용하는 선택력을 밝히고자 하는 연구는 상당히 오랜 기간동안 수행되어 왔다. 암수딴몸으로의 진화는 자가수분의 결함 (Mather, 1940; Lewis, 1942; Baker, 1959, 1969; Charlesworth and Charlesworth, 1978; Thompson and Barrett, 1981)을 피하기 위한 선택의 결과라는 의견이 오래전부터 제시되었으나 최근에는 자원분배와 성 선택, 그리고 생태 특성간의 연관관계와 같은 요인의 중요성에 무게를 두고 있다(Bawa, 1980; Givinish, 1980; Muenchow, 1987; Steiner, 1988; Sakai et al., 1995a, 1995b; Renner and Ricklefs, 1995; Vamosi et al., 2003, 2004). 암수딴몸 식물은 일반적으로 몇몇 생태 특성들과 연관관계를 갖는 것으로 보고되고 있다. 암수딴몸은 초본보다는 목본(Freeman et al., 1980; Fox, 1985)에 흔하고 과실이 있는 열매인 육과(Bawa, 1980, Givinish, 1980, 1982;

Flores and Schemske, 1984; Fox, 1985; Muenchow, 1987)를 맺는 경향이 있다. 암수딴몸은 꽃의 형태적 특징들과도 연관되어 있는데 특히 녹색 또는 흰색의 작고 단순한 꽃(Bawa and Opler, 1975; Bawa, 1980, Muenchow, 1987; Sakai et al., 1995)을 피운다. 뿐만 아니라 암수딴몸은 추정 수분매개자와도 연관관계를 갖는다. 열대에서는 충매(Bawa and Opler, 1975; Bawa, 1980; Bawa and Beach, 1981; Beach, 1981), 특히 작고 비전문가인 곤충에 의해 수분되지만 온대에서는 풍매(Bawa, 1980; Conn et al., 1980; Freeman et al., 1980)에 의한 수분과 연관되어 있다. 그리고 열대와 섬(Baker, 1959; Carlquist, 1974; Bawa, 1980; Givinish, 1980; Baker and Cox, 1984)에서 암수딴몸의 빈도는 특히 높게 나타난다.

생태 특성들 간의 연관관계는 암수딴몸과 생태 특성간의 관계에 대한 연구에 어려움을 가져오고 있다(Fox, 1985; Muenchow, 1987; Steiner, 1988; Donoghue, 1989; Sakai et al., 1995). 예를 들어, 암수딴몸식물은 과실이 있는 육과를 맺고, 육과는 목본 중에서 주로 열린다. 뿐만 아니라 암수딴몸은 목본과도 연관되어 있어서 암수딴몸과 육과간의 연관성이 목본과의 연관에 의해서도 설명될 수 있다는 것이다(Fox, 1985; Muenchow, 1987). 그러므로 암수딴몸과 열매형과의 연관성은 생육형의 효과가 통제된 후에 분석되어야 한다. 즉, 두 변인간의 상호관계는 잠재적으로 영향을 미치는 나머지 요인들을 통제한 후에 파악하여야 한다. 뿐만 아니라 암수딴몸으로의 진화는 계통마다 다른 경향이 있기 때문에 계통효과를 고려하여야 한다. 여러 연구들에서 계통정보를 포함하여 암수딴몸과 생태 특성과의 연관성을 조사하여 왔다(Hart, 1985; Muenchow, 1987; Steiner, 1988; Donoghue, 1989; Cox, 1990, 1993; Lahav - Ginott and Cronk, 1993; Renner and Ricklefs, 1995; Sakai et al., 1995b; Vamosi et al., 2003). 이 연구들은 과, 속, 종 수준에서 이루어지는 분석에 있어서 암수딴몸 종의 진화의 사건이 과나 속 수준에서 작용하는 계통효과로부터 독립적이지 않다는 사실을 보여주고 있다. 특히 종 수

준에서의 분석이 그러하다. 종 수준에서는 동 속의 암수딴몸 종은 각각의 독립된 기원을 갖기보다는 한 속 공통조상으로부터 속내의 모든 종이 기원했기 때문에 많은 특성을 공유한다(Steiner, 1988, Kang and Jang, 2004). 좀 더 상위 분류군 수준에서의 분석은 계통효과를 감소시키나, 과 수준에서의 분석의 경우 국화과, 미나리아재비과, 장미과, 화본과와 같이 큰 과 내에서는 독립적인 암수딴몸 종으로의 진화가 무시되는 문제점이 발생한다(Steiner, 1988; Kang and Jang, 2004). 따라서 암수딴몸 종의 진화에 대한 정확한 분석을 위해서는 이러한 점들이 고려되어야 한다.

많은 연구가 이루어진 외국과 달리 우리나라의 경우 전체 식물의 전반적인 생태적 양상에 대한 정보도 부족할 뿐만 아니라 암수딴몸 식물에 대한 연구는 거의 전무한 상태이다. 우리나라 암수딴몸 식물이 갖는 생태와 진화에 대한 이해가 이루어지기 위해서는 식물상이 갖는 고유한 생태적 특성과 특성간의 관계를 파악하는 것이 필수적이다. 수 십 년간 이루어진 종전의 연구결과에 근거하여 우리나라 암수딴몸 식물의 진화에 대한 가설을 설정하였다. 온대에 속하는 우리나라의 경우 암수딴몸 식물도 주로 목본류이며 풍매에 의해 수분매개를 이룰 것이다. 나아가 일반적인 암수딴몸 식물이 갖는 흰색 또는 녹색의 작고 단순한 꽃을 피우고 과육이 있는 육과를 맺으며 제주도나 울릉도와 같은 섬 지역에 많을 것으로 기대된다. 그러나 본 연구에서는 암수딴몸 식물과 섬 지역과의 연관관계에 대한 검증은 제외하였다.

구체적으로 본 연구에서는 우리나라 암수딴몸 식물에 대한 다음의 의문점을 조사하고자 한다. 첫째, 우리나라 식물의 생태특성의 분포, 특히 암수딴몸 식물의 분포는 어떠한가? 둘째, 암수딴몸 식물은 생태특성과 어떻게 관련되어 있는가? 셋째, 계통을 고려하였을 때, 암수딴몸과 생태특성은 어떻게 관련되어 있는가?

II. 재료 및 방법

데이터 획득과 범주 형성

우리나라 피자식물의 생태 특성에 관한 정보는 피자식물 3033종(2강 48목 164과 919속)을 다룬 한국식물도감(이영노, 1998)에서 추출하였다. 각 종에 대하여 성체제, 성장형, 서식지, 꽃의 색깔, 추정 수분매개자, 열매형에 대한 정보를 추출하여 범주화시켰으며 계통의 효과를 고려하기 위해서 과, 속, 종을 표기하였다. 데이터가 결여된 경우 정확한 데이터 수집을 위하여 다른 문헌들(오용자, 2000; 이영노 등, 2000; 이창복, 1985, 2003)과 인터넷(<http://plants.usda.gov/>, <http://100.naver.com/>)을 참고하였다. 동종이라면 지역간 성체제에 차이가 없다는 가정 하에 Fernald(1970)와 Mabberley(1997)에 진술된 성체제도 참고하였다. 특히 각 종을 찾아가는 추정 수분매개자에 대한 국내의 자료가 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 1) 같은 속의 종들은 같은 추정 수분매개자를 공유한다; 2) 구미와 우리나라의 동 속의 종들은 유사한 종류의 추정 수분매개자를 이용한다는 두 가지 가정 하에 Mabberley(1997), Phillips와 Rix(2002)에서 추정 수분 매개자에 대한 정보를 추출하였다.

여러 문헌에서 추출한 생태 특성에 관한 데이터는 다음과 같이 각기 몇 개의 범주로 나누었다.

1. 성체제: 모든 개체가 암수생식기관을 다 갖는 꽃을 피우는 암수한꽃 · 암수한몸 종인 양성화(hermaphrodite), 각 개체가 한 몸에서 암꽃과 수꽃을 따로 피우는 암수딴꽃 · 암수한몸 종인 자웅동주(monoecy), 한 개체 내에 암수한꽃과 수꽃을 따로 피우는 수꽃 · 암수한몸(웅예일가화, andromonoecy), 한 개체 내에 암수한꽃과 암꽃을 따로 피우는 암꽃 · 암수한몸(자예일가화, gynomoecy), 한 개체 내에 암수한꽃과 암꽃, 수꽃을 각기 피우는 잡성 · 암

수한몸(잡성일가화, polygamy), 암꽃만 피우는 암개체, 수꽃만 피우는 수개체로 분리되는 암수딴몸, 즉 자웅이주(dioecy), 암수한꽃을 피우는 개체와 수꽃만 피우는 수개체로 존재하는 수그루·암수딴몸(웅예이가화, androdioecy), 암수한꽃을 피우는 개체와 암꽃만 피우는 암개체로 존재하는 암그루·암수딴몸(자예이가화, gynodioecy), 암수한꽃과 암꽃, 수꽃을 서로 다른 개체에 따로 피우는 잡성·암수딴몸(잡성이가화, polygamodioecy), 무성화(sexless)의 10개의 범주로 구분하였고 ‘암수한그루 또는 암수딴그루’로 기술된 성체제는 암수딴몸의 범주에 포함시켰다. 범주의 수를 축소하기 위해서 1종에 불과한 무성화는 데이터에서 제외시키고 양성화, 자웅동주와 웅예일가화, 자예일가화, 잡성일가화를 포함하는 무리, 자웅이주와 웅예이가화, 자예이가화, 잡성이가화를 포함하는 무리의 세 범주로 재구성하였다. 본 연구에서 성체제에 대한 구분을 명확히 하기 위해서(Bawa and Beach, 1981) 양성화는 암수한꽃, 자웅동주를 포함하는 단성화 무리는 암수한몸, 자웅이주를 포함하는 단성화 무리는 암수딴몸으로 표기하였고 특별한 언급이 없는 한 암수딴몸의 범주에 포함되는 성체제는 모두 암수딴몸으로 표기하였다.

2. 생육형: 일차적으로 일년생 초본, 이년생 초본, 다년생 초본, 초본성 덩굴, 일·이년초 또는 월년초를 포함한 다양한 생육형을 갖는 초본, 관목, 소교목, 교목, 목본성 덩굴, 기생의 10개의 범주로 구분하였다. 이차적으로 일년생 초본, 이년생 초본, 다년생 초본, 초본성 덩굴, 다양한 생육형을 갖는 초본은 초본류로, 관목, 소교목, 교목, 목본성 덩굴은 목본류로 구분하고 기생 또는 착생, 부생은 다른 한 범주로 하여 3가지 형태로 재범주화 하였다. 마지막으로 기생의 무리를 초본 또는 목본의 무리에 포함시켜 초본류, 목본류의 2범주로 재구성하였다.

3. 서식지: 일차적으로 비탈이나 산 중턱 이하의 낮은 산지, 길가 또는 화전터를 포함하는 밭 서식지, 하천가, 자갈밭 그리고 암석지, 산골짜기와 같은 깊은 산 속, 산 정상 또는 중턱 이상 높이의 고산, 들판, 연못이나 논과 같은 습

지, 숲, 바닷가, 물 속 서식지의 11개의 범주로 구분하였다. 범주의 수를 축소하기 위해 비탈이나 산 중턱 이하의 낮은 산지와 숲을 통합하고, 길가 또는 밭 서식지와 들판을 통합시켜 9개의 범주로 재구성하였다. 또한 습윤 정도를 고려하기 위해 9개로 구성된 범주에 대하여 산지, 들판, 암석지, 고산은 건조한 서식지로, 하천가, 계곡, 습지, 바닷가, 물 속은 습윤한 서식지로 처리하여 서식지를 2범주로 재구성하였다.

4. 꽃의 색깔: 흰색 계열, 노란색 계열, 붉은색 계열, 푸른색 계열, 녹색 계열, 두 가지 이상의 색을 가진 종의 범주 등, 총 6 범주로 구분하였다. 갈색 꽃은 노란색 계열에 포함시켰으며 분홍, 자주, 다홍은 붉은색 계열로 처리하였다. 보라색은 푸른색으로, 황록색과 연녹색 등은 녹색 계열로 처리하였다. 사초과, 화본과와 같이 꽃잎이 없는 과의 종들은 꽃 색깔 분석에서 제외하였다.

5. 추정 수분매개자: 일차적으로 벌, 풍뎅이, 호박벌, 나비, 파리, 새, 나방, 말벌, 버섯파리류, 개미, 꽃등에, 각다귀류, 날도래, 쉬파리류, 다양한 작은 곤충, 물, 바람, 자가수분의 범주로 구분하였다. 이차적으로 두 가지 매개자를 모두 이용하는 경우를 제외시키고 한 가지 매개자만을 이용하는 경우에 대해서 재범주화 하였을 뿐만 아니라 두 가지 매개자를 함께 이용하는 경우를 고려하기 위해서 각 매개자에 대해 3가지 경우로 나누어 범주화하였다. 벌을 예로 들면 벌만 매개자로 이용, 벌 외에 다른 매개자를 함께 이용, 벌을 매개자로 이용하지 않는 경우로 나누어 구성하였다. 또한 범주의 수를 축소하기 위해 한 가지 매개자만을 이용하는 경우에 대해서 물, 바람, 자가수분은 비충매로, 그 외의 매개자에 의한 수분은 충매로 규정하였다.

6. 열매형: 각 열매형을 수과(achene), 영과(caryopsis), 시과(samara), 포과(urticla), 분열과(shizocarpy), 견과(nut), 소견과(nutlet), 골돌과(follicle), 협과(legume), 삭과(capsule), 분리과(loment), 단각과(silicle), 장각과(silique), 장과(berry), 핵과(drupe), 박과(pepo), 감과(hesperidium), 이과(pome)로 구분하였다. 하나의 꽃의 여러 개의 자방이 성

속하여 열매를 이루고 있는 딸기, 목련의 열매는 집합과(aggregate)로, 상과(sorosis), 은화과(synconium)와 같이 여러 꽃의 자방이 모여서 이루어진 열매는 복합과(multiple)로 구분하였다. 이렇게 구성된 범주를 가지고 건과와 육과 2가지 열매형으로 재범주화 하였다. 수과, 영과, 시과, 분열과, 건과, 소건과, 골돌과, 협과, 삭과, 분리과, 단각과, 장각과와 집합과에 해당하는 목련의 열매는 건과로, 장과, 핵과, 박과, 감과, 이과, 목련의 열매를 제외한 집합과와 상과, 은화과는 육과로 구분하였다.

데이터 분석

1. 계통효과를 고려하지 않은 총괄 데이터 분석

우리나라 피자식물의 전반적인 생태적 양상을 파악하기 위해서 계통에 관계없이 3033종을 모두 포함하여 성체제, 생육형, 서식지, 꽃 색깔, 추정 수분매개자, 열매형의 각 범주의 빈도에 대한 분석을 수행하였다.

본 연구에 사용된 데이터는 모두 이산형 변인으로서, 생태 특성들 간에 발생하는 다차원의 상호작용 효과를 해석하는 데에 어려움이 있었다. 따라서 성체제×생육형, 성체제×서식지, 성체제×꽃의 색깔, 성체제×추정 수분매개자, 성체제×열매형의 Two-way contingency table analysis로서 성체제와 다른 생태 특성들 간의 연관관계를 파악하였다. Two-way contingency table analysis를 이용한 X^2 검증은 80% 이상의 칸(cell)들에서 기대빈도가 5 이상이 되어야 분석의 타당성을 높일 수 있기 때문에(Marascuilo and Levin, 1983) 범주를 축소하여 분석하였다. 즉, 성체제와의 연관관계 분석에는 목본과 초본의 2 범주로 구성된 생육형, 건조한 서식지와 습윤한 서식지의 2범주로 구성된 서식지, 암수한꽃, 암수한몸, 암수딴몸 3범주의 성체제, 6 범주의 꽃 색깔, 춤매와 비춤매의 2범주의 추정 수분매개자, 건과와 육과의 2범주로 된 열

매형을 사용하였다.

후속적으로 Two-way contingency table analysis를 이용하여 성체제를 제외한 생태 특성들 간에 발생하는 연관관계를 검증하였다. 검증 결과 모든 생태 특성들 간에 연관관계가 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 Sakai 등(1995)을 따라 생육형의 효과를 통제하기 위해 초본과 목본 무리에 대해 성체제와 생태 특성과의 Two-way contingency table analysis를 각기 다시 수행하였다. 이는 생육형의 효과를 통제한 연관관계 분석에 해당한다.

2. 계통효과를 고려한 재추출 데이터 분석

각 특성에 작용하는 공통조상으로부터 오는 계통효과를 고려하기 위해서(e.g., Muenchow, 1987; Steiner, 1988; Heilbuth, 2000; Vamosi et al., 2003; Gross, 2005) 각 속에서 한 종씩만을 무작위로 추출하여 919속에 속하는 919종으로 된 재추출 데이터를 구성하였다. 재추출 데이터를 이용한 분석은 우리나라 식물에 대한 속 수준에서 작용하는 계통효과를 통제한 후의 경향을 나타낸다. 재추출 데이터를 이용한 분석에서도 초본과 목본을 구분하여 성체제와 생태 특성간의 Two-way contingency table analysis를 수행하였다. 조사된 총 종 수는 3033종, 재추출 종 수는 919종이지만 각 종의 생태 특성에 대한 정보가 결여되어 있는 경우가 있어 실제 분석 시 표본 수는 약간 감소하였다. 본 연구에 사용된 모든 통계분석은 SAS 8.1(1999)를 사용하여 이루어졌다.

Ⅲ. 결 과

1. 우리나라 식물의 전반적인 생태적 양상

성체제

피자식물 3006종을 조사한 결과 노루귀, 원추리 등 전체의 3/4인 276종(75.5%)의 식물이 암수한꽃을 갖는 것으로 나타났다(Table 1). 암수딴꽃·암수한몸(자웅동주)은 자작나무, 대극, 사초 등 306종으로 10.2%, 암수딴꽃·암수딴몸(자웅이주)은 수양버들, 산초나무를 비롯하여 200종으로 6.6%를 차지하였다. 암꽃·암수한몸(자예일가화)은 135종(4.5%)으로 모두 국화과인 것으로 확인되었으며 잡성·암수한몸(잡성일가화)은 47종(1.6%)으로 느릅나무과 팽나무속의 풍계나무 등에서 나타났다. 수꽃·암수한몸(웅예일가화)은 박과 산외속의 산외, 산형과 참반디속의 애기참반디 등에서 25종(0.8%), 잡성·암수딴몸(잡성이가화)은 단풍나무과 단풍나무속의 신나무 등에서 21종(0.7%)이 있었다. 암그루·암수딴몸(자예이가화)은 땃싸리와 삼주 2종(0.07%), 수그루·암수딴몸(웅예이가화)은 석죽과 갯별꽃속의 갯별꽃 한 종(0.03%), 무성화로는 범의귀과 수국속의 수국 한 종(0.03%)이 있었다. 따라서 분석에 사용된 피자식물 중 암수한몸은 513종(17.0%), 암수딴몸은 224종(7.42%)이었다.

생육형

피자식물 3028종을 조사한 결과 다년생 초본이 55.3%로서 절반 이상을 차지하고 있었다(Table 1). 다음으로는 관목이 12.5%를 차지하고 있고 1년생 초본이 10.8%인 것으로 나타났다. 교목은 6.7%(204종), 2년생 초본은

4.5% (137종)를 차지하였다. 소교목은 3.0%인 89종이었고, 주로 콩과와 박과의 식물을 포함하는 초본성 덩굴과 미나리아재비과, 새모래덩굴과 같은 목본성 덩굴도 각각 2.9%, 2.1%를 차지했다. 겨우살이과, 메꽃과의 식물들을 포함하여 0.8%인 24종이 기생인 것으로 나타났다. 두 가지 이상의, 즉 일년초, 이년초 또는 월년초로 다양한 생육형을 갖는 초본도 43종으로 1.4%를 차지하고 있었다. 따라서 생육형을 초본과 목본의 두 범주로 구분하여 분석하였을 때, 75.6%인 2288종이 초본, 24.4%인 740종이 목본이었다.

서식지

피자식물 2645종 중 산비탈이나 중턱 이하의 낮은 산지에 서식하는 식물이 636종(24.1%)으로 가장 많았다(Table 1). 이어 길가나 화전터 등에 서식하는 종은 16.7%인 442종으로 나타났으며, 습지에는 사초과 방동사니속의 물방동사니, 하늘지기속의 하늘지기 등 357종(13.4%)의 식물이 서식하는 것으로 조사되었다. 미나리아재비과 으아리속의 구레중덩굴이나 십자화과 장대나물속의 자주장대나물처럼 산 정상이나 중턱 이상의 고산 지역에 서식하는 식물은 10.6%인 280종으로 나타났고, 두릅나무과 오갈피나무속의 왕가시오갈피나 미나리아재비과 으아리속 할미질빵처럼 덩굴을 포함하여 숲에 서식하는 식물은 7.7%인 203종이었다. 깊은 산과 산골짜기에 서식하는 식물은 186종으로 7.0%를 차지하였고, 들판에 서식하는 식물은 6.2%인 163종으로 나타났다. 자갈밭, 암석지 같은 환경에 서식하는 식물은 82종(3.1%), 바닷가에 서식하는 식물은 명아주과 나문재속의 나문재를 포함하는 75종(2.8%)으로 나타났다. 버드나무과 버드나무속의 갯버들을 포함하여 56종(2.1%)은 하천가에 서식하고 있으며, 개미탑과 물수세미속의 물수세미, 수련과 순채속의 순채를 비롯한 55종(2.1%)이 연못과 같은 물 속에 서식하는 것으로 나타났다. 석죽과 개미자리속의 큰 개미자리처럼 각처의 해변이나 들의 양지 등 두 가지 이상의

다양한 서식지에서 서식하는 식물은 110종으로 4.2%를 차지하고 있었다.

서식지를 습윤도에 따라 건조한 서식지와 습윤한 서식지로 구분하여 분석한 결과, 건조한 곳에 서식하는 식물은 1806종으로 71.3%, 습윤한 곳에 서식하는 식물은 729종으로 28.8%를 차지하였다.

꽃의 색깔

피자식물 2214종을 조사한 결과, 애기골무꽃, 흰 금강초롱과 같은 흰색 계열의 꽃을 피우는 식물이 775종으로 전체의 31.2%를 차지하였다(Table 1). 흰색 다음으로는 술패랭이꽃과 같은 분홍색, 동자꽃과 같은 주홍색, 진교와 같은 자주색을 포함하는 붉은 계열의 꽃이 553종(22.0%), 갈색을 포함하여 양지꽃, 유채와 같은 노란색 계열의 꽃은 495종(19.7%)이었다. 녹색 계열의 꽃을 피우는 식물은 버드나무과, 참나무과, 췌기풀과, 명아주과, 노박덩굴과 등에서 293종(14.7%), 보라색을 비롯한 푸른색 계열의 꽃은 미나리아재비과 제비고갈속의 제비고갈, 초오속의 투구꽃, 콩과 나비나물속의 등갈퀴나물 등에서 151종으로 6.0%를 차지하였다. 흰 꽃과 분홍 꽃을 피우는 아왜나무, 수꽃은 붉은색, 암꽃은 녹색의 꽃을 피우는 플라타너스 등 두 가지 이상의 꽃 색깔을 갖는 식물은 전체의 6.8%인 163종이었다.

추정 수분매개자

피자식물 1669종 중 양귀비과의 금낭화, 산피불주머니 등 다양한 작은 곤충들이 찾아와서 수분이 이루어지는 것으로 추정된 종이 569종으로 가장 많아 전체의 32.2%를 차지하였다(Table 1). 꿀벌을 포함한 벌에 의해 수분이 이루어지는 것으로 추정되는 식물은 매자나무과 매자나무속의 매발톱나무, 십자화과 부지깽이나물속의 빈대냉이 등 374종으로 21.1%를 차지하였다. 너도

밤나무과 참나무속의 갈참나무, 떡갈나무 등 바람에 의한 수분으로 추정되는 경우가 334종(18.9%)이었으며, 산형과 시호속의 시호, 섬시호 등 39종(2.2%)은 파리에 의한 수분이 이루어지는 것으로 추정되었다. 추정 수분매개자로 호박벌을 이용하는 식물은 미나리아재비과 초오속의 각시투구꽃, 개쌍눈바꽃과 꿀풀과 광대수염속의 광대나물을 비롯하여 41종(2.3%)이 있었다. 추정수분매개자로 나비를 이용하는 식물은 석죽과 패랭이꽃속의 수염패랭이꽃, 대나물속의 가는 대나물 등 11종(0.6%), 딱정벌레를 이용하는 식물은 미나리아재비과 목단속의 작약류와 모란, 수련과 개연꽃속의 개연꽃 등 11종(0.6%)으로 나타났다. 바늘꽃과 달맞이꽃속의 달맞이꽃, 가지과 독말풀속의 독말풀 외 10종(0.6%)에서는 박각시 나방을 포함하여 나방을 추정 수분매개자로 이용하였고, 산형과 피막이풀속의 큰피막이 외 8종(0.3%)은 자가수분이 이루어지는 것으로 조사되었다. 뽕나무과 무화과속의 무화과, 모람 등 6종(0.3%)은 말벌을 추정 수분매개자로 이용하였고, 새를 이용하는 경우는 능소화나무 1종(0.1%), 물을 이용한 수분이 이루어지는 경우도 붕어마름 1종(0.1%)으로 확인되었다. 나비와 나방을 이용하는 석죽과 끈끈이장구채속의 층층장구채, 다양한 곤충과 바람을 이용하는 물푸레나무과 물푸레나무속의 들메나무 등 365종(20.6%)에서 두 가지 이상의 추정 수분매개자를 이용하였다.

두 가지 이상의 추정 수분매개자를 이용하는 식물을 중복 계산하여 분석한 결과 다양한 작은 곤충에 의해 수분이 이루어지는 것으로 추정되는 식물은 648종으로 전체식물의 30.0%를 차지하였다. 꿀벌을 비롯한 벌에 의해 수분이 이루어지는 것으로 추정되는 식물은 515종(23.8%)인 것으로 조사되었다. 바람에 의한 수분으로 추정되는 경우는 386종(17.9%)이었으며, 파리는 122종(5.6%)의 수분을 매개하는 것으로 추정되었다. 추정 수분매개자로 박각시 나방을 포함한 나방류를 이용하는 경우는 85종(3.9%)이었고, 잠재적으로 새도 찾아오는 종은 77종(3.6%), 호박벌에 의한 수분 역시 77종(3.6%)으로 조사되었다. 76종(3.5%)이 자가수분에 의한 것으로 추정되며, 나비에 의한 수

분은 75종(3.5%), 버섯과리류에 의한 수분은 41종(1.9%)인 것으로 추정되었다. 22종(1.0%)의 식물은 말벌을 추정 수분매개자로 이용하였고, 풍뎅이와 꽃등에가 찾아가는 것으로 추정되는 종은 각기 20종(0.9%), 7종(0.3%)으로 조사되었다. 날도래류와 각다귀류가 수분을 매개하는 종은 각기 3종(0.1%), 개미는 2종(0.1%), 쉬파리류 역시 2종(0.1%)이 있는 것으로 조사되었다.

한 가지 추정 수분매개자가 찾아오는 식물을 총매 또는 비총매의 두 범주로 구분하여 분석하였을 때, 1312종인 78.8%가 총매, 353종인 21.2%가 비총매에 의한 수분을 하는 것으로 나타났다.

열매형

우리나라 피자식물 2971종을 조사한 결과 삭과를 맺는 식물이 926종으로 31.2%를 차지했으며, 이어 수과가 722종으로 전체의 24.3%를 차지하였다(Table 1). 232종(7.8%)의 식물이 영과를 생산하였으며 모두 화분과 식물이었다. 겨우살이과, 범의귀과의 까치밥나무속 등 195종(6.6%)은 장과를, 자작나무과와 너도밤나무과 등 169종(5.7%)은 123종의 소견과(4.1%)를 포함하여 견과를 맺었다. 너도밤나무과의 팽나무속, 새모래덩굴과를 포함하여 162종(5.2%)이 핵과를, 미나리아재비과, 장미과, 박주가리과 등 124종(4.2%)이 골돌과를 생산하였다. 127종(4.3%)의 식물이 협과를 생산하였는데 모두 콩과의 식물이었고, 산형과, 꼭두서니과 등 92종의 식물(3.1%)이 분열과를 맺는 것으로 나타났다. 장각과와 단각과를 포함하여 64종(2.2%)에서 각과의 열매를 생산하였는데 모두 십자화과 식물이었다. 명아주과 명아주속의 바늘명아주 등 36종(1.2%)은 포과를 생산하며, 단풍나무과의 모든 종과 느릅나무과를 포함한 34종(1.1%)의 식물은 시과를 생산하였다. 이과를 맺는 31종(1.0%)은 산사나무속, 능금속 등 모두 장미과 식물이었고, 목련과의 목련속, 초령목속, 장미과의 산딸기속의 26종(0.7%)은 집합과를 생산하였다. 10종(0.3%)의 식

물이 박과를 생산하였는데 모두 박과의 식물이었다. 8종의 식물에서 협과가 변형되어 씨가 들어있는 열매 사이가 잘록하게 들어간 분리과를 생산하는데 도둑놈의지팡이, 도둑놈의갈고리 등 모두 콩과의 식물이었다. 복합과(13종, 0.4%)에 속하는 상과를 맺는 식물은 뽕나무과 뽕나무속의 산뽕나무 외 9종(0.3%), 은화과를 맺는 식물은 무화과속의 무화과 외 4종(0.1%)이 있었다. 따라서 열매형을 건과와 육과로 나누어 분석한 결과, 85.5%인 2540종이 건과를 맺었으며, 14.5%인 431종에서 육과를 맺었다. 또한 같은 과내의 종들은 대부분 같은 열매형을 갖는 것으로 나타나 여러 생태 특성 중 특히, 열매형은 과 수준에서 작용하는 계통효과의 영향을 크게 받고 있었다.

2. 계통효과를 고려하지 않은 총괄데이터 분석

2.1. 성체제와 생태 특성 간의 관계

성체제와 생육형

Two-way contingency table analysis 결과 성체제와 생육형은 유의하게 연관되어 있었다(Table 2A). 암수딴몸 종의 72.3%는 목본으로 기대치보다 3.0배나 많았고 27.7%만이 초본으로 기대치의 36.6%에 불과하였다. 반면 암수한꽃이 초본일 확률은 목본일 경우보다 4.0배나 높았다. 따라서 암수딴몸은 목본, 암수한꽃은 초본인 경향이 뚜렷하게 나타났다.

성체제와 서식지

성체제와 서식지는 유의하게 연관되어 있었다(Table 2B). 하천가에 서식하는 종의 46.4%가 암수딴몸으로 기대치보다 6.3배나 많았으나 암수한꽃

이 하천가에 서식할 확률은 기대치의 50.0%에 불과했다. 암수딴몸 중 중 5.9%만이 습지에 서식하는 것과는 달리 암수한몸 중의 21.4%가 습지에 서식하며 기대치보다 1.5배나 높았다. 따라서 암수딴몸은 하천가 서식지, 암수한몸은 습지 서식지를 차지하는 경향이 있었다.

성체제와 습윤도는 유의하게 연관되어 있었다(Table 2C). 암수한몸 중의 78.7%가 습윤한 서식지에 서식하며 기대치의 1.1배로 약간 높았으나 건조한 지역에 서식할 확률은 기대치의 68.4%에 불과하였다. 따라서 암수한몸은 습윤한 지역에 서식하는 경향이 있었다.

성체제와 꽃 색깔

성체제와 꽃 색깔은 유의하게 연관되어 있었다(Table 3A). 암수딴몸 중의 53.4%가 녹색 꽃으로 기대치보다 3.6배나 많았으며 반면 흰 꽃(19.9%), 붉은 꽃(7.8%), 푸른 꽃(0.5%), 2가지 이상의 색을 갖는 꽃(2.9%)은 기대치보다 낮게 나타났다. 유사하게, 암수한몸 식물에서 녹색 또는 노란 꽃을 피울 확률은 기대치보다 2.5배, 1.5배나 높았으나 흰 꽃(15.1%), 붉은 꽃(8.3%), 푸른 꽃(3.0%)을 피울 확률은 기대치보다 낮게 나타났다. 대조적으로 암수한꽃은 녹색 꽃(6.0%)의 확률이 낮은 반면 희거나(34.6%) 붉은 꽃(25.9%), 푸른 꽃(7.1%)이 많은 경향이 있었다. 따라서 암수딴몸은 녹색 꽃, 암수한몸은 녹색 꽃과 노란 꽃, 암수한꽃은 흰 꽃과 붉은 꽃, 푸른 꽃을 피우는 경향이 나타났다.

성체제와 추정 수분매개자

성체제와 추정 수분매개자는 유의하게 연관되어 있었다(Table 3B). 암수한몸 중 93.1%가 동물 추정 수분매개자로 기대치보다 1.2배나 많았으며

반면 바람과 같은 비충매에 의한 수분은 기대치의 32.7%에 불과했다. 대조적으로 암수한몸의 경우 충매에 의한 수분은 20.3%로 기대치의 25.7%에 불과했으나 비충매에 의한 수분은 기대치보다 3.8배나 많았다. 따라서 암수한꽃은 동물이 찾아와서 수분이 되는 경향이 있었으며, 암수한몸 종은 바람이나 물과 같은 비충매에 의해 수분이 되는 것으로 조사되었고 암수딴몸은 특정 추정 수분매개자와 연관성을 나타내지 않았다.

성체제와 열매형

성체제와 열매형은 유의하게 연관되어 있었다(Table 3C). 암수딴몸 식물 중 육과는 43.2%로 기대치보다 3배나 많았다. 반면 건과의 빈도는 56.8%로 육과보다 높으나 기대치의 66.4%에 불과하였다. 암수한꽃과 암수한몸 식물이 건과를 맺을 확률은 육과를 맺을 경우 보다 각기 6.8배, 9.7배나 높았다. 따라서 암수딴몸은 육과, 암수한꽃과 암수한몸은 건과를 맺는 경향이 있었다.

2.2. 총괄데이터에 근거한 생태 특성 간의 관계

성체제를 제외한 생태 특성간의 Two-way contingency table analysis를 수행한 결과 생태 특성들은 모두 유의하게 연관되어 있었다.

생육형과 습윤도를 분석한 결과 초본은 습윤한 곳에, 목본은 건조한 곳에 서식하는 경향이 있었다($X^2 = 184.60, P < 0.0001, df = 1, N = 2985$). 생육형과 꽃 색깔의 관계에서 초본은 노란색, 붉은색, 푸른색 꽃, 목본은 녹색 꽃을 피우는 경향이 있었다($X^2 = 236.84, P < 0.0001, df = 5, N = 2515$). 생육형과 추정 수분매개자도 유의하게 연관되어 있었으며($X^2 = 9.59, P = 0.0020, df = 1, N = 1665$) 생육형과 열매형에 대한 분석에서 초본은 건과를

맺으며 목본은 육과를 맺는 경향이 있었다($X^2 = 740.29, P < 0.0001, df = 1, N = 2971$).

습윤도에 따른 꽃 색깔을 분석한 결과 산지, 들판과 같이 건조한 서식지에서는 푸른 꽃이 3.8%에 불과했으며 기대치보다 유의하게 낮았다($X^2 = 16.07, P = 0.0066, df = 5, N = 2473$). 습윤도는 추정 수분매개자와도 유의하게 연관되어 있었다($X^2 = 50.55, P < 0.0001, df = 1, N = 1650$). 건조한 서식지에서는 총매에 의한 수분이 일어나는 경향이 있었으며 반면 하천가나 습지와 같이 습윤한 서식지에서는 비총매에 의해 수분이 많았다. 습윤도에 따른 열매형을 분석한 결과 건조한 서식지에서는 육과를 맺었으며, 습윤한 서식지에서 육과를 맺을 확률은 기대치보다 유의하게 낮았다($X^2 = 57.96, P < 0.0001, df = 1, N = 2928$).

꽃 색깔과 추정 수분매개자의 관계를 분석한 결과 붉은 꽃은 총매와 연관되어 있으며 반면 비총매에 의한 수분은 1.6%에 불과했다($X^2 = 379.74, P < 0.0001, df = 5, N = 1476$). 대조적으로 녹색 꽃 중 비총매에 의한 수분은 기대치보다 3.9배나 많았으며 총매에 의한 수분은 기대치보다 유의하게 낮았다. 꽃 색깔과 열매형의 관계를 분석한 결과 흰 꽃, 녹색 꽃은 육과를 맺는 경향이 있으며 각기 기대치보다 1.5배, 1.4배나 높았으나 건과를 맺을 확률은 기대치보다 유의하게 낮았다($X^2 = 103.30, P < 0.0001, df = 5, N = 2467$). 대조적으로 붉은 꽃이 육과를 맺을 확률은 기대치의 53.9%에 불과하였으며 91%의 식물이 건과를 맺는 경향이 있었다. 푸른 꽃 역시 모든 식물이 건과를 맺으며 육과를 맺는 식물이 없는 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 열매형은 매개자와도 연관되어 있는 것으로 나타났다($X^2 = 38.67, P < 0.0001, df = 1, N = 1643$). 건과를 맺는 식물은 비총매에 의한 수분이 일어나는 경향이 있었다. 대조적으로 육과를 맺는 식물이 비총매에 의한 수분이 일어날 확률은 기대치의 39.1%에 불과했으나 곤충 매개자가 찾아오는 경우는 전체 육과의 91.7%로 기대치의 1.2배로 약간 많았다.

2.3. 생육형의 효과를 통제한 성체제와 생태 특성 간의 관계

생육형의 효과를 통제하기 위해 초본과 목본으로 나누어 성체제와 서식지에 대해 Two-way contingency table analysis를 수행한 결과 초본 중에서 암수딴몸 종이 물 속에 서식할 확률은 기대치보다 4.3배나 높게 나타났으나 6종에 불과하였다(Table 4A). 암수한몸의 25.9%가 습지에 서식하며 기대치보다 1.5배나 높았으나 산지에 서식하는 종은 기대치의 78.3%에 불과했다. 목본 종의 경우 암수딴몸은 하천가 서식지의 80.7%를 차지하며 기대치보다 3.5배나 높았다. 대조적으로 암수한몸 종 중 단지 1.1%만이 하천가에 서식하며 기대치의 20.8%에 불과하였다.

습윤도와 성체제의 Two-way contingency table analysis를 수행한 결과 초본 종은 성체제와 서식지간에 연관성을 나타내지 않았으나 목본 종에서 성체제와 서식지는 유의하게 연관되어 있었다(Table 4B). 암수딴몸 종의 67.3%는 습윤한 곳에 서식하며 기대치보다 1.4배나 많았으나 건조한 지역에 서식하는 종은 32.7%로 기대치의 63.9%에 불과했다. 암수한몸 종에서도 이와 유사한 경향을 나타내었다. 반면 암수한몸 종의 64.9%가 건조한 지역에 서식하며 기대치보다 1.3배나 많았으나 습윤한 지역에 서식할 확률은 기대치의 68.8%에 불과했다.

초본 종에 대한 성체제와 꽃 색깔에 대한 분석 결과 암수딴몸 종 중 기대치보다 2.9배나 많은 25.9%는 녹색 꽃을 피웠다(Table 5A). 유사하게 암수한몸 종 중 녹색 꽃과 노란 꽃을 피우는 종은 18.8%, 40.2%로 기대치보다 2.1배, 1.8배 많았으나 흰 꽃(19.2%), 붉은 꽃(9.6%), 푸른 꽃(3.9%)을 피울 확률은 유의하게 낮았다. 대조적으로 암수한몸은 노란 꽃(19.3%), 녹색 꽃(6.7%)의 확률이 낮은 반면 붉은 꽃(27.2%)이 많은 경향이 있었다. 목본 종에서는 암수딴몸의 63.6%가 녹색 꽃을 피우며 기대치보다 2.1배나 많았으나 희거나(13.9%) 붉은 꽃(5.3%)을 피울 확률은 유의하게 낮았다. 암수한몸의

경우 암수딴몸과 매우 유사한 경향을 나타내었다. 반면 암수한꽃의 경우 녹색 꽃을 피울 확률은 기대치의 24.1%에 불과하며 흰 꽃(48.8%)과 붉은 꽃(21.4%)이 많은 경향이 있었다.

초본 중에 대한 성체제와 추정 수분매개자에 대한 분석 결과 암수한꽃은 기대치보다 12.배나 높은 90.5%가 곤충 매개자가 찾아오며 비충매에 의한 수분은 9.5%로 기대치의 40.7%에 불과했다(Table 5B). 대조적으로 암수한몸의 78.5%는 비충매에 의해 수분이 일어나며 곤충 매개자가 찾아오는 경우는 21.5%로 기대치의 27.9%에 불과했다. 목본 중의 경우 초본 중과 유사한 경향을 나타내었으며 암수한꽃의 98.7%가 곤충에 의해 매개되며 비충매에 의한 수분은 1.3%에 불과했다. 암수한몸의 경우 비충매에 의한 수분이 82.4%로 기대치보다 4.8배나 많았다.

초본 중에 대한 성체제와 열매형에 대한 분석결과 암수딴몸의 32.2%가 육과를 맺으며 기대치보다 7.1배나 많았다(Table 5C). 반면 암수딴몸 중 중 건과의 비율은 67.8%로 육과보다 많으나 암수딴몸이 건과를 가질 확률은 기대치의 71.0%에 불과했다. 목본 중에서 암수한몸 중의 73.5%가 건과로 기대치보다 1.3배나 많으며 암수한몸 중이 건과일 확률은 육과일 경우보다 2.8배나 높았다.

3. 재추출 데이터에 근거한 계통효과 분석

재추출 데이터에 근거한 Two-way contingency table analysis 결과 성체제와 생육형은 유의하게 연관되어 있었다(Table 2A). 암수딴몸의 70.2%가 목본으로 기대치보다 2.8배나 많은 반면 초본일 확률은 기대치의 39.6%에 불과했다. 대조적으로 암수한꽃의 19.9%만이 목본으로 기대치의 80.2%에 불과했다. 따라서 암수딴몸은 목본, 암수한꽃은 초본인 경향이 있었으며 총괄 데이터와 유사한 경향을 보였다.

성체제와 서식지는 유의하게 연관되어 있었다(Table 2B). 암수딴몸이 하천가에 서식할 확률은 기대치보다 5.1배나 많으며 암수한몸의 경우 물속에 서식하는 종이 기대치보다 2.4배나 많았다. 따라서 암수딴몸은 하천가에, 암수한몸은 물 속에 서식하는 경향이 있는 것으로 나타나 총괄데이터와 비교했을 때, 암수한몸의 경우 습지에서 물속에 서식하는 것으로 나타나 차이가 있었다.

성체제와 습윤도는 총괄데이터와는 달리 유의한 연관성을 나타내지 않았다(Table 2C).

성체제와 꽃 색깔은 유의하게 연관되어 있었다(Table 3A). 암수딴몸 중 녹색 꽃은 35.4%로 1/3 이상을 차지하며 기대치보다 2.6배나 많았다. 유사하게 암수한몸에서도 녹색 꽃이 34.7%로 기대치보다 2.6배나 많았으나 흰 꽃(19.4%), 붉은 꽃(6.1%)을 피울 확률은 유의하게 낮았다. 대조적으로 암수한꽃에서는 녹색 꽃(7.6%)을 피울 확률은 유의하게 낮았다. 따라서 총괄데이터의 결과와 유사하게 암수딴몸과 암수한몸은 녹색 꽃을 피우는 경향이 있었다.

성체제와 추정 수분매개자는 유의하게 연관되어 있었다(Table 3B). 암수딴몸과 암수한몸은 비충매에 의한 수분이 기대치보다 각기 2.1배, 4.3배 높았으나 암수한꽃의 경우 비충매에 의한 수분은 4.7%로 기대치의 37.2%에 불과했다. 따라서 총괄데이터와는 달리 암수딴몸은 비충매에 의한 수분이 일어나는 경향이 있었으며 이는 암수딴몸 중의 대부분을 차지하는 버드나무과의 효과가 사라진 것으로 사료된다.

성체제와 열매형은 유의하게 연관되어 있었다(Table 3C). 암수딴몸 중 육과는 57.1%로 절반 이상을 차지하며, 기대치보다 3.2배나 높았으나 견과를 맺을 확률은 기대치의 52.2%에 불과했다. 반면 암수한꽃이 육과(14.2%)를 맺을 확률은 유의하게 낮아 총괄데이터와 유사한 경향을 보였다.

재추출 데이터를 목본과 초본으로 분리하여 성체제와 서식지 간의 연관관계를 분석한 결과 초본종의 특정 성체제는 특정 서식지에 나타나는 경향이 있었다(Table 6A). 암수딴몸 중 중 기대치보다 4.9배나 많은 종(22.2%)이 물 속에 서식하였고 하천 가에도 서식하는 경향이 있었으나 1종에 불과하였다. 암수한몸 중 역시 이와 유사한 경향을 나타냈다. 반면 목본 종에서는 성체제와 서식지 간의 유의한 연관성은 존재하지 않았으나 암수딴몸 종은 하천가에 서식하는 경향이 있었다.

초본 종에 대한 성체제와 습윤도 간에는 통계적으로 유의한 연관성이 없었으나 암수딴몸 종이 습윤한 곳에 서식하는 경향이 있었다(Table 6B). 목본 종에서 암수딴몸 종은 습윤한 서식지와 유의한 상관관계는 나타나지 않았으나 습윤한 곳에 서식하는 경향은 있었다. 유사하게 암수한몸은 기대치보다 1.5배나 많은 식물이 습윤한 곳에 서식하는 것으로 나타났다. 반면 암수한꽃 중 기대치보다 1.3배나 많은 식물이 건조한 지역에 서식하는 경향이 있었다. 따라서 암수딴몸과 습윤한 서식지간에는 통계적으로 유의한 상관관계는 나타나지 않았으나 목.초본을 망라하여 습윤한 곳에 서식하는 경향이 있었다.

초본과 목본에서 모두 특정 성체제는 특정 색의 꽃을 피웠다(Table 7A). 초본 종에서 암수딴몸 중 중 녹색 꽃은 27.8%를 차지하며 기대치보다 2.8배나 높았다. 유사하게 암수한몸은 녹색 꽃(22.4%)과 노란 꽃(35.8%)을 피우는 경향이 있으며 기대치보다 각기 2.3배, 1.7배나 많았다. 반면 붉은 꽃을 피우는 경우(4.5%)는 기대치의 20.2%에 불과하였다. 목본 종에서 암수딴몸은 기대치보다 1.8배나 많은 식물이 녹색 꽃을 피우며, 흰 꽃을 피울 확률은 기대치의 50.0%에 불과했다. 암수한몸 중 역시 암수딴몸 종과 유사한 경향을 나타내었다. 대조적으로 암수한꽃이 흰 꽃을 피울 확률은 암수딴몸과 암수한몸에 비해 각기 7.9배, 17.8배나 높았으나 녹색 꽃을 피울 확률은 기대치의 33.1%에 불과하였다.

성체제와 추정 수분매개자의 관계 역시 초본과 목본에서 모두 유의하게 연관되어 있었다(Table 7B). 초본 중에서 암수딴몸과 암수한몸은 비충매에 의한 수분과 연관되어 있으며 각기 기대치보다 3.4배, 3.7배나 많았다. 목본 중에서는 암수한몸의 64.0%가 비충매에 의한 수분이 일어나며 동물 매개자(36.0%)가 찾아올 확률은 유의하게 낮았다. 반면 암수한꽃은 기대치보다 1.2배나 많은 식물에서 동물 매개자에 의한 수분이 일어나는 것으로 나타났으며 비충매에 의한 수분이 일어나는 경우는 단지 1.1%에 불과했다. 따라서 목본 중에서 암수딴몸 종이 비충매에 의해 수분이 되는 경향은 나타나지 않았다.

초본과 목본에서 모두 특정 성체제는 특정형의 열매를 맺었다(Table 7C). 초본 중에서 암수딴몸은 육과를 맺는 경향이 있으며 기대치보다 3.5배나 많았다. 목본 중에서는 통계적으로 유의하지는 않으나 암수딴몸 종은 육과를 맺는 경향이 있었다.

Table 1. Frequency distribution of ecological characters in Korean angiosperm species

Sexual system			Growth habit			Habitat		
Categories	N	%	Categories	N	%	Categories	N	%
Hermaphrodite	2276	75.5	Annual	326	10.8	Aquatic	55	2.1
Monoecy	306	10.2	Biennial	137	4.5	Clearing	442	16.7
Andromonoecy	25	0.8	Herbaceous vine	88	2.9	Diverse habitat	110	4.2
Gynomonoecy	135	4.5	Parasite	24	0.8	Field	163	6.2
Dioecy	200	6.6	Perennial	1674	55.3	Forest	203	7.7
Androdioecy	1	0.03	Shrub	379	12.5	Heights	280	10.6
Gynodioecy	2	0.1	Small tree	89	2.9	Hill	636	24.1
Polygamy	47	1.6	Tree	204	6.7	Marsh	357	13.5
Polygamodioecy	21	0.7	Undefined herb	43	1.4	Rocky	82	3.1
			Woody vine	64	2.1	Seashore	75	2.8
						Streamside	56	2.1
						Valley	186	7.0
Total	3013	100	Total	3028	100	Total	2645	100

(continued)

Flower color			Presumed pollinator			Fruit type		
Categories	N	%	Categories	N	%	Categories	N	%
Blue	151	6.0	Bee	374	21.1	Achene	722	24.3
Dichromatic	171	6.8	Beetle	11	0.6	Aggregate	20	0.7
Green	370	14.7	Bird	1	0.1	Berry	195	6.6
Red	553	22.0	Bumblebee	41	2.3	Capsule	926	31.2
White	775	30.8	Butterfly	11	0.6	Caryopsis	232	7.8
Yellow	495	19.7	Fly	39	2.2	Drupe	162	5.5
			Moth	10	0.6	Follicle	130	4.4
			Selfing	8	0.5	Legume	127	4.3
			Small diverse insects	569	32.2	Loment	8	0.3
			Wasp	6	0.3	Multiple	13	0.4
			Water	1	0.1	Nut	46	1.6
			Wind	334	18.9	Nutlet	123	4.1
						Pepo	10	0.3
						Pome	31	1.0
						Samara	34	1.1
						Schizocarp	92	3.1
						Silique	64	2.2
						Urticle	36	1.2
Total	2515	100	Total	1770	100	Total	2971	100

Table 2. Association of sexual system with growth habit (A), habitat (B), and moisture (C) among Korean angiosperm species. Two-way contingency table analyses were conducted using data overall data as well as subset data

	Overall data			Subset data		
	Herma	Monoe	Dioec	Herma	Monoe	Dioec
A. Growth habit						
Herbaceous	1817 +	398	62 -	567	95	22 -
Woody	459 -	115	162 +	141 -	33	52 +
	$X^2 = 301.84, df = 2, P < 0.0001$			$X^2 = 91.08, df = 2, P < 0.0001$		
B. Habitat						
Aquatic	33	15	6	12	8 +	4
Field	464	98	36	153	27	16
Height	229	35	15	59	6	3
Hill	637	131	68	152	26	26
Marsh	250	94 +	11 -	81	20	3 -
Rocky	60	16	6	29	2	0
Seashore	54	16	5	18	2	1
Streamside	21 -	9	26 +	5	2	6 +
Valley	146	26	14	40	6	5
	$X^2 = 172.26, df = 16, P < 0.0001$			$X^2 = 53.00, df = 16, P < 0.0001$		
C. Moisture						
Dry	751	108 -	68	253	36	20
Wet	1490	398 +	155	441	89	53
	$X^2 = 28.52, df = 2, P < 0.0001$			$X^2 = 4.58, df = 2, P = 0.1010$		

Herma = Hermaphrodite; Monoe = Monoecy; Dioec = Dioecy. +/- sign indicates where observed value were greater or less than the expected value at alpha = 0.05 level.

Table 3. Association of sexual system with flower color (A), presumed pollinator (B), and fruit type (c) among Korea angiosperm species. Two-way contingency table analyses were conducted using overall data as well as subset data

	Overall data			Subset data		
	Herma	Monoe	Dioec	Herma	Monoe	Dioec
A. Flower Color						
Blue	140 +	10 -	1 -	34	3	0
Dichromatic	143	22	6 -	47	8	3
Green	135 -	125 +	110 +	47 -	34 +	23 +
Red	508 +	28 -	16 -	143	6 -	7
White	679 +	51 -	41 -	226	19 -	15
Yellow	358	102 +	32	118	28	17
	$X^2 = 557.52, df = 10, P < 0.0001$			$X^2 = 107.03, df = 10, P < 0.0001$		
B. Presumed pollinator						
Animal	1119 +	60 -	130	264	18 -	30
Non-animal	83 -	236 +	31	13 -	21 +	11 +
	$X^2 = 757.07, df = 2, P < 0.0001$			$X^2 = 83.48, df = 2, P < 0.0001$		
C. Fruit type						
Dry	1948	457	125 -	588	103	30 -
Flesh	285 -	47 -	95 +	97 -	21	40 +
	$X^2 = 162.85, df = 2, P < 0.0001$			$X^2 = 79.69, df = 2, P < 0.0001$		

Herma = Hermaphrodite; Monoe = Monoecy; Dioec = Dioecy. +/- sign indicates where observed value were greater or less than the expected value at alpha = 0.05 level.

Table 4. Association of sexual system with habitat (A) and moisture (B) among Korean angiosperm species after controlling for growth habit. Two-way contingency table analyses were conducted using overall data.

	Herbaceous species			Woody species		
	Herma	Monoe	Dioec	Herma	Monoe	Dioec
A. Habitat						
Aquatic	33	15	6 +	0	0	0
Field	403	89	17	61	9	19
Height	186	28	2	43	7	13
Hill	470	80 -	14	167	51	54
Marsh	241	91 +	5	9	3	6
Rocky	49	15	3	11	1	3
Seashore	43	16	1	11	0	4
Streamside	17	7	1	4 -	2	25 +
Valley	87	11	1	59	15	13
	$X^2 = 64.26, df = 16, P < 0.0001$			$X^2 = 73.23, df = 14, P < 0.0001$		
B. Moisture						
Dry	453	82	15	298 +	26 -	53 -
Wet	1329	309	46	161 -	89 +	109 +
	$X^2 = 3.42, df = 2, P = 0.1809$			$X^2 = 94.38, df = 2, P < 0.0001$		

Herma = Hermaphrodite; Monoe = Monoecy; Dioec = Dioecy. +/- sign indicates where observed value were greater or less than the expected value at alpha = 0.05 level.

Table 5. Association of sexual system with flower color (A), presumed pollinator (B), and fruit type (C) among Korean angiosperm species after controlling for growth habit. Two-way contingency table analyses were conducted using overall data.

	Herbaceous species			Woody species		
	Herma	Monoe	Dioec	Herma	Monoe	Dioec
A. Flower Color						
Blue	136	9 -	0 -	4	1	1
Dichromatic	111	19	4	32	3	2 -
Green	102 -	43 +	14 +	33 -	82 +	96 +
Red	411 +	22 -	8	97 +	6 -	8 -
White	460	44 -	20	219 +	7 -	21 -
Yellow	292 -	92 +	8	66	10	23
	$X^2 = 139.66, df = 10, P < 0.0001$			$X^2 = 317.90, df = 10, P < 0.0001$		
B. Presumed pollinator						
Animal	774 +	44 -	28	375 +	16 -	102
Non-animal	78 -	161 +	9	5 -	75 +	22
	$X^2 = 437.64, df = 2, P < 0.0001$			$X^2 = 340.02, df = 2, P < 0.0001$		
C. Fruit type						
Dry	1703	374	40 -	225	83 +	85
Flesh	66	16	19 +	217	30 -	75
	$X^2 = 107.95, df = 2, P < 0.0001$			$X^2 = 18.22, df = 2, P = 0.0001$		

Herma = Hermaphrodite; Monoe = Monoecy; Dioec = Dioecy. +/- sign indicates where observed value were greater or less than the expected value at alpha = 0.05 level.

Table 6. Association of sexual system with habitat (A) and moisture (B) among Korean angiosperm species after controlling for growth habit. Two-way contingency table analyses were conducted using subset data

	Herbaceous species			Woody species		
	Herma	Monoe	Dioec	Herma	Monoe	Dioec
A. Habitat						
Aquatic	12	8 +	4 +	0	0	0
Field	128	23	6	25	4	10
Height	47	4	1	12	2	2
Hill	110	15	3	42	11	23
Marsh	78	18	1	3	2	2
Rocky	26	2	0	3	0	0
Seashore	15	2	1	3	0	0
Streamside	4	0	1 +	1	2	5 +
Valley	24	2	1	16	4	4
	$X^2 = 37.15, df = 16, P = 0.0020$			$X^2 = 17.34, df = 14, P = 0.2386$		
B. Moisture						
Dry	171	31	5	82 +	5 -	15
Wet	382	61	16	59 -	28 +	37
	$X^2 = 0.8185, df = 2, P = 0.6642$			$X^2 = 27.21, df = 2, P < 0.0001$		

Herma = Hermaphrodite; Monoe = Monoecy; Dioec = Dioecy. +/- sign indicates where observed value were greater or less than the expected value at alpha = 0.05 level.

Table 7. Association of sexual system with flower color (A), presumed pollinator (B), and fruit type (C) among Korean angiosperm species after controlling for growth habit. Two-way contingency table analyses were conducted using subset data.

	Herbaceous species			Woody species		
	Herma	Monoe	Dioec	Herma	Monoe	Dioec
A. Flower Color						
Blue	32	3	0	2	0	0
Dichromatic	40	7	2	7	1	1
Green	36	15 +	5 +	11 -	19 +	18 +
Red	118	3 -	3	25	3	4
White	155	15	6	71 +	4 -	9 -
Yellow	94	24 +	2	24	4	15
	$X^2 = 41.99, df = 10, P < 0.0001$			$X^2 = 64.73, df = 10, P < 0.0001$		
B. Presumed pollinator						
Animal	170	9	6	94 +	9 -	24
Non-animal	12	5 +	3 +	1 -	16 +	8
	$X^2 = 18.46, df = 2, P < 0.0001$			$X^2 = 59.22, df = 2, P < 0.0001$		
C. Fruit type						
Dry	517	82	14	71	21	16
Flesh	34	10	5 +	63	11	35
	$X^2 = 12.75, df = 2, P = 0.0017$			$X^2 = 10.68, df = 2, P = 0.0048$		

Herma = Hermaphrodite; Monoe = Monoecy; Dioec = Dioecy. +/- sign indicates where observed value were greater or less than the expected value at alpha = 0.05 level.

IV. 고 찰

1. 전반적인 생태적 양상

우리나라 꽃 피는 식물 중 암수한꽃의 비율은 75.5%가 넘으며 암수딴몸은 6.6%에 불과하였다. 세계적인 분포에 있어서도 암수딴몸은 단지 6%(Renner and Ricklefs, 1995)이다. 그러나 성체제의 비율은 지역마다 상당한 차이가 있어서 온대에서 열대나 섬 지역으로 갈수록 암수딴몸의 비율이 높아진다. 예를 들어, 열대 또는 섬 지역인 하와이 27.7%(Carlquist, 1974), 코스타리카 23.0%(Bawa, 1981; Kang and Bawa, 2003), 온대이나 섬 지역인 뉴질랜드 18.0%(Lloyd, 1985; Webb and Kelly, 1993), 파나마의 Barro Colorado 섬 9.0%(Croat, 1979)로 암수딴몸의 빈도가 매우 높은 반면 남부 캐롤라이나 3.5%(Conn et al., 1980), 남부 캘리포니아 2.5% (Baker, 1967), 남부 오스트레일리아 3.9%(Parsons, 1958)로 온대지역의 경우 암수딴몸의 비율이 보통 4%이하에 불과하다. 그러나 인도와 남아프리카 케이프 지역의 경우 전체 식물 중 암수딴몸의 비율이 각기 6.7%(Roy, 1974), 6.6%(Steiner, 1988)로 온대와 열대의 중간에 해당한다. 인도, 남아프리카 케이프 지역과 기후조건이 다른 우리나라 식물들이 이들 지역 식물과 암수딴몸의 비가 유사하다는 것은 매우 흥미로운 결과로 보인다.

우리나라 피자식물은 목본(24.5%)보다는 초본(75.5%)이 세 배나 많았다. 이에 비해 열대인 하와이 지역은 전체 피자식물의 2/3에 달하는 65.1%가 목본이며(Sakai et al., 1995), 지중해성 기후 지역인 남아프리카 케이프 지역의 경우 절반을 넘는 52%가 목본으로 조사되어(Steiner, 1988) 목본이 차지하는 비율이 우리나라의 그것에 비해 2배 정도 높다. Hegde와 Ellstrand(1999)가 캘리포니아와 영국의 보편종과 희귀종을 조사한 바에 의하면 캘리포니아의 경우 목본이 차지하는 비율은 보편종의 11.0%, 희귀종의

20.0%이며, 영국에서는 목본이 20.0%를 차지하고 있었다. 이에 비추어 볼 때 우리나라 식물 중 목본과 초본의 비는 온대 기후 지역인 캘리포니아나 영국의 식생과 유사한 경향을 나타낸다.

꽃 색깔은 지역마다 상당한 차이를 나타낸다. 섬 지역에 해당하는 뉴질랜드는 흰 꽃의 비율이 60%로 절반 이상을 차지하는 반면 화려한 파랑, 보라, 빨간 꽃은 매우 적은 것으로 조사되었다(Webb and Kelly, 1993). 유사하게 하와이 지역 역시 녹색 또는 흰색으로 눈에 띄지 않는 색의 꽃이 많았다(Sakai et al., 1995). 그러나 대륙성 도서인 오스트레일리아의 경우 화려하고 복잡한 형태를 갖는 꽃의 비율이 높다(Barrett, 1996). 남태평양의 Juan Fernandez 섬의 식물상을 조사한 결과 꽃 색깔의 분포는 흰색, 녹색, 노란색, 붉은색, 보라색 계열의 순서로 나타난다(Anderson et al., 2001). 우리나라의 경우 흰 꽃을 가장 많이 피우며 이어 붉은 꽃, 노란 꽃, 녹색 꽃, 2가지 이상의 색을 갖는 꽃, 푸른색 계열의 순이었다. 일본(Utech and Kawano, 1975)과 캐나다(Kevan, 1972)에는 흰 꽃과 노란 꽃이 많다. 그러므로 우리나라 식물도 일본과 캐나다의 식물처럼 흰 꽃을 가장 많이 피우기는 하지만 다른 섬 지역에 비해서는 상대적인 비율이 낮으며 눈에 잘 띄는 색의 꽃 비율이 높다.

문헌에 근거하여 매개자를 추정하였을 경우 우리나라 식물은 벌, 나방과 같은 충매에 의한 수분이 78.8%로 바람과 같은 비충매에 의한 수분의 4배에 달한다. 지중해성 기후를 갖는 이탈리아 남부 해안 지역의 관목림에서도 충매가 85%, 풍매가 15%로 충매에 의한 수분이 월등히 높았다(Aronne and Wilcock, 1994). 본 연구에 사용된 매개자 정보는 국내 문헌이나 직접 조사에 의한 것이 아니라 외국 문헌을 이용하였기 때문에 한계점이 있다. 예를 들어 단 하나의 추정 매개자만을 이용한 빈도 분석 결과, 우리나라 식물 중 능소화나무 1종에서 새를 매개로하는 수분이 이루어진다는 결과가 나왔으며 2가지 이상을 매개자로 이용하는 경우를 중복 계산하여 분석한 결과 벌새를 비롯한 새에 의

한 수분이 동백꽃을 비롯하여 77종에 달했다. 열대나 하와이, 뉴질랜드의 경우 새나 박쥐와 같이 큰 동물에 의한 수분이 매우 흔하다. 그러나 우리나라의 경우 어느 종에 대해서도 정확한 매개자에 대한 정보가 없지만 새에 의한 수분이 알려진 바는 더욱이 거의 없다. 동백꽃의 경우 동박새가 찾아온다는 사실은 알려져 있으나 우리나라에 꽃을 찾는 다른 종류의 새가 있다는 보고는 아직 없다. 더 정확한 결과를 얻기 위해서는 우리나라 식물의 수분 매개자에 대한 집중적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

열매형도 지역마다 상당한 차이를 갖는다. 뉴질랜드 지역의 식물은 대부분이 육과를 맺으며(Webb and Kelly, 1993), 지중해성 기후를 갖는 이탈리아 남부 해안의 관목림 지역의 경우 육과를 맺는 식물이 63%에 달한다. 반면 남아프리카의 케이프 지역의 경우 육과를 맺는 식물은 전체 피자식물의 3.9%에 불과하였다. 우리나라 식물의 열매형에 대한 분석 결과 건과가 85.5%로 14.5%를 차지하는 육과의 6배에 달한다. 뉴질랜드, 하와이, 지중해의 관목림과 같이 목본의 비율이 높은 지역에서 육과의 비율이 높은 점에 비추어 볼 때, 우리나라 식물의 건과의 비율이 육과에 비해 높은 것은 초본의 비율이 높기 때문으로 사료된다. 본 연구에서는 암수딴몸 식물과 열매형과의 연관관계에 대한 정보를 얻기 위해 열매형에 대한 정보를 사용하였지만 우리나라 전체 식물의 번식 생태적 양상을 이해하는데 있어서 열매 분산자에 대한 정보는 매우 중요하다. 현재 우리나라 식물의 열매형에 대한 정보는 잘 조사되어 있지만 열매 분산자에 대한 정보는 거의 없다. 분산자에 대한 정보가 있다면 열매형과 분산자와의 관계를 고려한 분석이 가능하며 이는 우리 식물의 진화를 이해하기 위해서 필수적인 정보이다.

2. 계통효과를 고려하지 않은 총괄데이터 분석

2.1. 성체제와 생태 특성 간의 관계

우리나라 암수딴몸 식물은 생육형, 특히 목본류와 유의하게 연관되어 있었다. 이러한 경향은 다른 여러 지역의 암수딴몸 식물에서도 나타났다 (Bawa and Opler, 1975; Croat, 1979; Conn et al., 1980; Freeman et al., 1980; Sobrevila and Kalin Arroyo, 1982; Flores and Schemske, 1984; Bullock, 1985; Fox, 1985; Steiner, 1988; Sakai et al., 1995). Bawa(1980)에 의하면 암수딴몸의 빈도는 식물의 크기가 증가함에 따라 높아진다. 따라서 교목에서 암수딴몸의 빈도가 가장 높으며 초본의 경우 가장 낮다. 우리나라 식물에서 관목의 14.1%, 교목의 30.2%, 목본성 덩굴의 35.9%가 암수딴몸이며 초본의 경우 일년생(1.2%)과 다년생(2.8%)에서 암수딴몸은 단지 3%에 불과하여 이러한 경향을 잘 나타내고 있었다. 다른 지역과 비교했을 때, 북부 캐롤라이나 지역(Conn et al., 1980)에서는 관목의 14.0%, 초본의 1%가 암수딴몸이며, 파나마(Croat, 1979)에서는 관목의 11%, 초본의 2%만이 암수딴몸으로 조사되어 유사한 경향을 보였다. 그러나 우리나라 교목의 경우 암수딴몸의 빈도는 캐롤라이나(12%), 파나마(21%)지역의 교목보다 월등히 높았으며 하와이 지역(32.0%)과 유사하였다.

암수딴몸 식물이 목본과 연관되어 있는 것은 타가수분을 위한 선택력의 관점에서 살펴볼 수 있다. 생활사가 긴 식물은 같은 개체 내에서 일어나는 자가수분(geitonogamy)의 확률이 증가한다(Maynard Smith, 1978). 따라서 생활사가 짧은 식물보다 타가수분을 위한 강한 선택력에 처해지게 되며 (Stebbins, 1958; Kang and Bawa, 2003) 그 결과 암, 수가 분리되는 암수딴몸으로의 진화가 일어난다는 의견이 우세하다. 우리나라의 경우, 다른 온대지역에서처럼 목본이 초본의 1/3에 불과하기 때문에 암수딴몸의 빈도가 비교적

낮은 것으로 사료된다.

우리나라 암수딴몸 식물은 하천가 서식지와 유의하게 연관되어 있는 것으로 나타났으며 주로 버드나무과의 사시나무속(*Populus*) 5종과 버드나무속(*Salix*) 17종의 총 22종에 집중되어 있었다. 습윤도를 기준으로 서식지와 성체제와의 관계를 분석한 결과 암수딴몸 종은 습윤한 조건과 매우 유의한 관계를 보였다. 이는 주로 습지에 서식하는 암수딴몸 식물인 사초과 식물의 영향으로 인한 결과이다. 반면 암수딴몸 식물은 특정 습윤도와 유의한 연관성을 나타내지 않았으나 하와이 식물상에 대한 연구에서는 암수딴몸 식물은 전반적으로 젖은 땅 보다는 중습성 서식지, 해안에서 떨어진 저지대, 저지대와 저지대-산지에 많이 서식하는 것으로 나타났다(Sakai et al., 1995). 뿐만 아니라 캐롤라이나(Conn et al., 1980)에서도 기대치의 2배에 달하는 식물이 중습성 지역에 서식하는 것으로 조사되었다. 그러나 Sakai 등(1995)의 연구의 결과는 목본의 경향을 나타낸 것이므로 우리나라 전체 식물을 대상으로 한 결과와 차이를 보이는 것으로 사료되며, 또한 본 연구에서 서식지를 습윤한 지역으로 범주화 하는데 있어서 중습지의 범주 없이 하천가를 비롯하여 습지와 물 속 서식지까지도 습윤 지역에 포함하였기 때문에 중습성 지역의 효과가 상쇄된 것으로 여겨진다. 그러나 각 서식지를 분리하여 분석 하였을 때, 암수딴몸 종은 하천가 서식지에 많았고 하천가는 습윤도가 높은 편에 속하므로 우리나라 암수딴몸 식물 역시 하와이와 캐롤라이나에서처럼 습윤한 지역에 서식하는 경향이 있다. 본 연구에서 서식지에 대한 정보를 이용하는데 있어서 분명하지 않게 기술된 서식지, 예를 들어 각처 들의 습지처럼 기술되어 있는 식물에 대해서 범주화에 어려움이 있었다. 좀 더 정확한 결과를 위해서는 다른 연구에서처럼(Sakai et al., 1995; Kang and Bawa, 2003) 습윤도, 고도, 광의 정도, 천이단계 등 서식지의 다양한 조건들을 고려한 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 예를 들어 습윤도에 대해서도 건조한 지역, 중습성 지역, 습지나 물 속과 같이 매우 습한 지역으로 좀 더 세분화 할 필요성이 있다(e.g., Conn et al., 1980; Sakai

et al., 1995).

녹색 꽃을 갖는 암수딴몸 식물은 버드나무과의 사시나무속, 새양버들속, 버드나무속과 뽕나무과의 뽕나무속, 닥나무속, 백합과의 밀나물속 등 특정과의 특정 속에 분포하는 경향이 있었다. 우리나라 암수딴몸 식물은 녹색의 꽃을 피우는 경향이 있었다. 이러한 경향은 다른 여러 지역 식물상에서도 일반적으로 나타난다(Bawa and Opler, 1975; Bawa, 1980; Muenchow, 1987; Sakai et al., 1995).외국의 여러 연구에서는 꽃 색깔뿐만 아니라 꽃의 크기(Bawa and Opler, 1974; Givinish, 1982; Sakai et al., 1995; Anderson et al., 2001; Kang and Bawa, 2003)를 고려한 분석이 시도되었고 암수딴몸 식물의 꽃은 작은 편에 속했다. 꽃의 크기가 작은 식물의 경우 매개자를 유인하기에 비효과적이므로 유전적 결함을 최소화하기 위한 방법으로 암수딴몸을 선택한 것으로 사료된다(Bawa, 1980). 그러나 우리나라 식물의 꽃의 크기에 대한 정량적 정보는 부족하기 때문에 본 연구에서는 꽃 색깔만을 고려하였으나 추후 확인되어야 할 과제이다.

일반적으로 서북부 아메리카(Freeman et al., 1980), 미북동부지역(Muenchow, 1987), 남아프리카 케이프 지역(Steiner, 1988)과 같은 온대 지역의 암수딴몸 식물은 풍매에 의한 수분이 이루어지는 것으로 알려져 있다. 반면 코스타리카(Bawa, 1980; Kang and Bawa, 2003), 뉴질랜드(Lloyd, 1985)와 같은 열대에서는 다양한 작은 곤충들에 의한 수분이 일어나는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 매개자와 생태 특성간의 빈도 분석에서 각 칸(cell)의 기대빈도가 극히 낮은 경우가 많아 분석의 타당성이 떨어지므로 충매와 비충매의 두 범주로 매개자의 효과를 검증하였다. 그 결과 암수딴몸 종이 특별히 충매나 비충매로 수분된다는 증거를 찾지 못하였다. 그러나 각 종을 찾아가는 유일한 매개자의 범주를 사용하여 재분석한 결과 암수딴몸 종의 69.6%가 다양한 작은 곤충에 의해 수분되는 경향이 있었다. 이는 다른 온대 지역의 경우 암수딴몸 식물이 풍매에 의한 수분과 연관되어 있다는 경향과는 다르며 오히려

열대의 암수딴몸과 유사하다. 그러나 본 연구에서 사용한 매개자 정보는 추정 매개자이므로 후속적인 연구가 요구된다.

우리나라 암수딴몸 식물은 육과를 맺는 경향이 있었다. 이러한 경향은 녹나무과의 생강나무속, 다래과의 다래나무속, 감탕나무과 감탕나무 속 등 주로 목본을 갖는 과나 속에 집중되어 있었다. Steiner(1988)에 의하면 남아프리카의 케이프 지역은 목본 중에서 암수딴몸과 육과사이에 강한 연관($p < 0.001$)을 갖는 것으로 나타났다. Sakai 등(1995)의 하와이 지역에 대한 조사에서는 목본인 암수딴몸 종은 건과를 맺는 경향이 있는 것으로 나타났으며 이는 종이 많은 속의 대부분이 건과를 갖기 때문으로 해석하였다. 그러나 속 수준의 분석에서는 목본 암수딴몸 종과 육과 간에 유의한 연관성을 나타냈다. 여러 연구에서 열매형은 열매 분산자와 매우 밀접하게 연관되어 암수딴몸의 진화를 설명하고 있다(Bawa, 1980; Givinish, 1980, 1982; Sakai et al., 1995; Renner and Ricklefs, 1995). 주로 암수딴몸의 육과는 동물 분산자와 연관되어 있으며 이는 열매의 살은 동물이 먹고, 종자를 퍼뜨리는 것으로 해석되어졌다. 그러나 우리나라 식물에 대한 열매 분산자의 정보가 없으므로 본 연구에서는 고려하지 않았다. 열매 분산자에 대한 정보를 이용하였을 경우 암수딴몸의 진화에 대한 해석뿐만 아니라 우리나라 식물의 전반적인 번식 생태를 설명하는데 좀 더 포괄적이고 심도 있는 해석이 가능할 것으로 사료된다.

2.2. 총괄데이터에 근거한 생태 특성 간의 관계

본 연구에서 암수딴몸 종은 목본류, 하천가 서식지, 녹색 꽃, 육과, 다양한 작은 곤충과 연관되어 있었다. 다양한 작은 곤충과 하천가 서식지, 다양한 작은 곤충과 녹색 꽃, 두 경우를 제외하고 다른 생태 특성들은 또한 모두 유의하게 상호 연관되어 있었다. Vamosi 등(2003)에 의하면 암수딴몸과 연관된 여러 특성들은 독립적으로 작용하지는 않는다. 따라서 암수딴몸의 진화에 작용

하는 다양한 생태 특성들은 독립적으로 작용하기 보다는 서로 상호 연관되어 암수딴몸의 진화에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

2.3. 생육형을 고려한 성체제와 생태 특성 간의 관계

성체제와 서식지간의 관계는 생육형에 따라 달라 암수딴몸이 하천가에 서식하는 경향은 목본에서만 나타났다. 이러한 결과는 암수딴몸이며 하천가에 서식하는 종의 65.7%로 교목 또는 관목인 버드나무과의 효과인 것으로 사료된다. 또한 암수딴몸이 습지에 서식하는 경향은 초본 종에서만 나타났는데, 이는 습지에 서식하는 암수딴몸 중 63.8%를 차지하며 초본에 해당하는 사초과의 효과인 것으로 사료된다.

성체제와 습윤도 관계 역시 생육형에 따른 차이가 있었다. 생육형을 고려하기 전, 암수딴몸이 건조지 또는 습윤지에 특별히 서식하는 경향이 없었다. 그러나 생육형의 효과를 고려했을 때, 암수딴몸 목본 종에서 습윤한 지역에, 암수딴꽃은 건조지역에 서식할 확률이 높았다. 반면 초본에서는 특정 습윤도에 특정 성체제가 서식한다는 증거가 없었다. 이러한 결과는 생육형의 효과를 고려하지 않았을 때, 많은 초본 종으로 인해 목본에 의한 효과가 나타나지 않았기 때문으로 사료된다. Sakai 등(1995)의 연구에서 암수딴몸 목본종은 중습성의 서식지에 존재한다고 밝힌 바 있다.

성체제와 꽃 색깔 간의 관계는 목본과 초본 간 동일하지 않았다. 암수딴몸이 녹색 꽃을 피우는 경향은 초본과 목본에서 모두 나타났으나 암수딴몸 목본 종이 녹색 꽃을 피울 확률은 초본 종보다 6.8배나 높았다. 목본에서 더욱 뚜렷한 경향을 나타내는 것은 목본이 암수딴몸의 70.3%를 차지하기 때문으로 사료된다.

성체제와 추정 수분매개자의 관계는 목본과 초본이 유사한 양상을 보였다. 생육형을 고려하기 전과 마찬가지로 암수딴몸이 특별히 충매나 비충매로

수분된다는 증거를 찾지 못했다. 뿐만 아니라 각 종을 찾아가는 유일한 매개자의 범주를 이용하여 재분석한 결과 암수딴몸과 작고 다양한 곤충간의 연관성이 초본에서 좀 더 뚜렷하였을 뿐 목본과 큰 차이는 없었다. 이러한 결과는 암수딴몸과 풍매(Grant, 1951; Stebbins, 1951; Freeman et al., 1980; Muenchow, 1987; Steiner, 1988) 또는 다양한 작은 곤충(Whitehead, 1969; Bawa, 1980; Lloyd, 1985)과의 관계를 지적한 종전의 연구와 상반된다. 매개자 정보의 부족 또는 부정확성이 이런 차이에 부분적으로 기여하는 것으로 믿어진다.

목·초본 모두 성체제에 따라 열매형이 달라지는 경향이 있었다. 그러나 암수딴몸이 육과를 맺는 경향은 초본에서만 유의하였다. 이는 암수딴몸이 육과를 맺는다(Muenchow, 1987; Vamosi et al., 2003)는 이전의 연구들에 부합되지 않는다. 반면 암수한몸 목본은 육과보다는 견과를 맺는 경향이 나타났다.

본 연구에서는 생육형의 효과만을 고려하여 각 생태 특성과 암수딴몸과의 관계를 조사하였으나 Steiner(1988)는 열매형의 효과를 고려하기도 하였다. 암수딴몸과 연관된 생태 특성들이 서로 연관되어 있다는 점을 고려했을 때, 고도의 통계적 방법을 통해 여러 생태 특성들을 통제하거나 상호작용효과를 함께 고려한 후의 분석이 가능하다. 그러나 상호 연관을 고려할 때의 문제점은 어떤 특성이 원인으로 작용하는지, 어떤 특성이 원인에 의한 결과로 변이하는지의 관계를 확인하는 것이 필요하다. 따라서 암수딴몸의 출현과 맞물린 생태 특성을 파악하는 것이 중요하며, 이를 위해서는 진화 양상에 대한 정보가 필요하다. 이러한 점이 해결되었을 때, 어떤 생태 특성이 암수딴몸의 진화에 가장 강력하게 작용하는지, 또는 어떤 생태 특성간의 상호작용 효과가 강력한지에 대한 보다 정량적인 분석이 가능하다. 하와이나 뉴질랜드와 같은 섬 지역의 암수딴몸의 빈도가 높은 점을 고려할 때, 우리나라의 제주도나 울릉도 같은 섬 지역에 서식하는 암수딴몸 식물에 대한 연구가 요구되어 진다.

3. 계통효과를 고려한 후의 양상

같은 계통의 종들은 공통조상을 가지고 있기 때문에 유사한 형질을 나타낸다(Harvey et al., 1995; Westoby et al., 1995). 암수딴몸 종과 관련한 여러 논문에서는 다양한 통계적 방법을 통해 계통효과를 고려하고 있다(e.g., Steiner, 1988; Ibarra-Manriquez and Oyama, 1992; Renner and Ricklefs, 1995; Heilbut, 2000; Vamosi et al., 2003). 암수딴몸 종의 진화에 대한 연구는 아니지만 Peat와 Fitter(1994)는 각 생태 특성에 작용하는 계통 효과를 분석하였으며 상위 분류군 수준에서 작용하는 계통효과를 받는 생태 특성들은 비교적 변이가 적기 때문에 각 생태 특성 마다 계통효과의 크기가 다름을 보여주었다. 암수딴몸 종과 열매형과의 연관성에 대한 연구는 과 수준(Givinish, 1980, 1982), 속 수준(Flores and Schemske, 1984; Fox, 1985; Muenchow, 1987; Ibarra-Manriquez and Oyama, 1992)의 다양한 계통 수준에서의 분석이 이루어졌다. Vamosi 등(2003)이 3개의 주요 클레이드(clade) -Rosids, Asterids, Eumagnoliids- 를 비교 분석한 결과 암수딴몸 종은 열대의 분포, 흰 꽃 또는 녹색의 단순한 꽃, 단순한 화서를 갖는 종과 연관되어 있다는 공통점이 있으나 Eumagnoliids와 Asterids에서는 육과와 목본류, Rosids와 Asterids에서는 비충매에 의한 수분과 연관되어 있는 차이점이 있었다. 이것은 각 클레이드 내 종 간에 공통 조상 효과가 나타나고 있음을 의미한다. Renner와 Ricklefs(1995)는 계통효과를 고려한 연구에서 독립적인 진화의 단위로 과 수준을 설정하여 자용이주의 진화에 작용하는 여러 생태 특성과의 관계를 조사하였다. 그러나 Vamosi 등(2003)은 과 수준의 분석이 갖는 한계점을 지적하였다. 예를 들어 참나무과, 가래나무과, 소귀나무과 등이 속해있는 Rosids 내에서 대부분의 과는 비충매에 의한 수분이 일어나며 온대성인 유사한 경향이 있으나 과 수준에 있어서도 클레이드 내의 계통효과가 작용한다. 그러나 과 수준의 분석은 이와 같은 계통효과를 간과한 채 과를 독립적

인 진화의 단위로 설정하였다는 것이다.

본 연구에서는 각 속에서 무작위로 한 종씩을 추출한 재추출 데이터를 이용하여 단지 속 수준에서 작용하는 계통효과만을 고려하였으나 총괄데이터와 재추출 데이터에서 모두 성체제와 생태 특성간의 관계는 강력한 유의도를 보였다. 결국 계통효과를 통제하기 위해서 속 수준에서 무작위로 한 종씩 추출하였지만 결국 속이 많은 과, 과가 많은 목, 목이 많은 강으로 치우친 데이터를 구성하게 되어 계통효과를 완전히 통제하지 못했을 가능성이 존재한다(Kang and Jang, 2004). 따라서 재추출 데이터의 분석은 상위 수준에서 작용하는 계통효과가 섞여 있는 결과를 산출하였을 가능성이 있다. 물론 재추출 데이터의 목본 중에서 암수딴몸과 서식지 간에 유의한 차이가 나타나지 않아 총괄데이터와 차이가 있었다. 그러나 Two-way contingency table analysis 결과 기대 빈도가 5 이하인 칸(cell)이 20%를 넘으므로 이를 계통효과에 의한 작용으로 해석하는 데에는 어려움이 있다. 본 연구에서 총괄데이터와 재추출 데이터 모두 목본과 초본으로 나누어 성체제와 생태 특성간의 연관성을 분석한 결과 속 수준에서 유의하게 작용하는 계통효과는 나타나지 않았으나 종이 많은 속의 영향으로 인해 각 특성 범주 간의 관계에는 차이가 있었다. 따라서 후속적인 연구에서는 종의 수가 많은 유사한 속들만을 추출하여 속 에 작용하는 계통효과를 분석하고, 강, 강 내의 목, 목 내의 과, 과 내의 속의 수준과 같이 상위분류군 수준에서 작용하는 계통효과를 모두 고려하여 어느 수준에서의 계통효과가 가장 강력한지에 대한 해석이 가능하다. 뿐만 아니라 Chase 등(1993) 많은 연구자들에 의해 이루어진 계통수가 확립된 무리를 비교하는 방법을 통해 암수딴몸 식물의 진화의 정도를 추측하는 것도 가능하다.

참 고 문 헌

- 오용자. 2000. 한국산사초과식물. 성신여자대학교 출판부.
- 이영노. 1998. 원색한국식물도감. 교학사
- 이영노, 이경서, 신영만. 2001. 제주자생식물도감. 서울특별시 시설관리공단
제주관광식물원 여미지.
- 이창복. 1985. 대한식물도감. 향문사
- 이창복. 2003. 원색대한식물도감. 향문사
- Anderson G. J., Bernardellom G., Stuessy T. F., Crawford D. J.
2001. Breeding system and pollination of selected plants
endemic to Juan Fernandez Islands. *American Journal of
Botany* 88: 220-223.
- Aronne, G. and C. C. Wilcock. 1994. Reproductive characteristics
and breeding system of shrubs of the Mediterranean region.
Functional Ecology 8: 69-76.
- Baker, H. G. 1959. Reproductive methods as factors in speciation in
flowering. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative
Biology* 24: 177-191.
- Baker, H. G. 1967. Support for Baker's law—as a rule. *Evolution* 21:
853-856.
- Baker, H. G. and P. A. Cox. 1984. Further thoughts on dioecism
and islands. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 71:
244-253.
- Barrett, S. C. H. 1996. The reproductive biology and genetics of
island plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society
of London Series B—Biological Sciences* 351: 725-733.

- Bawa, K. S. 1980. Evolution of dioecy in flowering plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11: 15–39.
- Bawa, K. S. and J. H. Beach. 1981. Evolution of sexual systems in flowering plants. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 68: 254–274.
- Bawa, K. S. and P. A. Opler. 1975. Dioecism in tropical forest trees. *Evolution* 29: 167–179.
- Beach, J. H. 1981. Pollinator foraging and the evolution of dioecy. *American Naturalist* 118: 572–577.
- Bullock, S. H. 1985. Breeding systems in the flora of a tropical deciduous forest in Mexico. *Biotropica* 17: 287–301.
- Carlquist, S. 1974. *Island Biology*. NY: Columbia Univ. Press. 660pp.
- Charlesworth, B. and D. Charlesworth. 1978. A model for the evolution of dioecy and gynodioecy. *American Naturalist* 112: 975–997.
- Chase, M. W. et al. 1993. Phylogenetics of seed plants: an analysis of nucleotide sequences from the plastid Gene *rbcL*. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 80: 528–580.
- Conn, J. S., T. R. Wentworth, and U. Blum. 1980. Patterns of dioecism in the flora of the Carolinas. *American Midland Naturalist* 103: 310–315.
- Cox, J. S. 1990. Pollination and the evolution of breeding system evolutions in Pandanaceae. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 77: 816–840.
- Cox, J. S. 1993. Hydrophilous pollination and breeding system evolution in seagrasses: a phylogenetic approach to the

- evolutionary ecology of Cymodoceaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society* 113: 217–226.
- Croat, T. B. 1979. The Sexuality of Barro Colorado Island Flora (Panama). *Phytologia* 42: 319–348.
- Donoghue, M. J. 1989. Phylogenies and the analysis of evolutionary sequences, with examples from seed plants. *Evolution* 43: 1137–1156.
- Fernald, M. L. 1970. *Gray's manual of botany*. D. Van Nostrand Co., New York.
- Flores, S. and D. W. Schemske. 1984. Dioecy and monoecy in the flora of Puerto Rico and the Virgin Island: ecological correlates. *Biotropica* 16: 132–139.
- Fox, J. F. 1985. Incidence of dioecy in relation to growth form, pollination and dispersal. *Oecologia* 67: 224–249.
- Freeman, D. C., K. T. Harper, and W. K. Ostler. 1980. Ecology of plant dioecy in the intermountain region of Western North America and California. *Oecologia* 44: 410–417
- Gilmartin, A. J. 1968. Baker's law and dioecism in the Hawaiian flora: an apparent contradiction. *Pacific Science* 22: 285–292.
- Givinish, T. J. 1980. Ecological constraints on the evolution of breeding systems in seed plants: dioecy and dispersal in gymnosperms. *Evolution* 34: 959–972.
- Givinish, T. J. 1982. Outcrossing versus ecological constraints in the evolution of dioecy. *American Naturalist* 119: 849–865.
- Grant, V. 1951. The fertilization of flowers. *Scientific American*

184: 52–56.

- Gross, C. L. 2005. A comparison of the sexual systems in the trees from the Australian tropics with other tropical biomes – more monoecy but why? *American Journal of Botany* 92(6): 907–919.
- Hart, J. A. 1985. Evolution of dioecism in *Lepechinia* Willd. sect. *Parviflorae* (Lamiaceae). *Systematic Botany* 10: 147–154.
- Harvey, P. H., A. F. Read, and S. Nee. 1995. Why ecologists need to be phylogenetically challenged. *Journal of Ecology* 83: 535–536.
- Hedge, S. G. and N. C. Ellstrand. 1999. Life history differences between rare and common flowering plant species of California and the British Isles. *International Journal of Plant Sciences* 160: 1083–1091.
- Heilbut, J. C. 2000. Lower species richness in dioecious clades. *American Naturalist* 156: 221–241.
- Ibarra–Manriquez, G. and K. Oyama. 1992. Ecological correlates of reproductive traits of Mexican rain forest trees. *American Journal of Botany* 79: 383–394.
- Kang, H. and K. S. Bawa. 2003. Effects of successional status, habit, sexual systems, and pollinators on flowering patterns in tropical rain forest trees. *American Journal of Botany* 90: 865–876.
- Kang, H. and J. Jang. 2004. Flowering patterns among angiosperm species in Korea: diversity and constraints. *Journal of Plant Biology* 47: 348–355.

- Keven, P. G. 1972. Floral colors in the high arctic with reference to insect-flower relations and pollination. *Canadian Journal of Botany* 50: 2289–2316.
- Lahav-Ginott, S. and Q. C. B. Cronk. 1993. The mating system of *Elatostema* (Urticaceae) in relation to morphology: a comparative study. *Plant Systematics and Evolution* 186: 135–145.
- Lewis, D. 1942. The evolution of sex in flowering plants. *Biological Reviews* 17: 46–67.
- Lloyd, D. G. 1985. Progress in understanding the natural history of New Zealand plants. *New Zealand Journal of Botany* 23: 707–722.
- Mabberley, D. J. 1997. *The Plant-book*, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marascuilo, L. A., and J. R. Levin. 1983. *Multivariate statistics in the social sciences*. Brooks/Cole, Monterey, California, USA.
- Mather, K. 1940. Outbreeding and separation of the sexes. *Nature* 145: 484–486.
- Maynard Smith, J. 1978. *Evolution of Sex*. Cambridge University Press, New York.
- Muenchow, G. E. 1987. Is dioecy associated with flesh fruit? *American Journal of Botany* 74: 287–293.
- Parsons, P. A. 1958. Evolution of sex in flowering plants of South Australia. *Nature* 181: 1673–1674.
- Peat, H. J. and A. H. Fitter. 1994. Comparative analyses of ecological characteristics of British angiosperms. *Biological*

Reviews 69: 95–115.

- Phillips, R. and M. Rix. 2002. *The Botanical Garden*. Firefly, New York.
- Renner, S. S. and R. E. Ricklefs. 1995. Dioecy and its correlates in the flowering plants. *American Journal of Botany* 82: 596–606.
- Roy, R. P. 1974. Sex mechanism in higher plants. *J. Ind. Bot. Soc.* 53: 141–155.
- Sakai, A. K., W. L. Peterson, D. M. Ferguson, and D. R. Herbst. 1995. Origins of dioecy in the Hawaiian flora. *Ecology* 76: 2517–2529.
- Sakai, A. K., W. L. Peterson, D. M. Ferguson, and D. R. Herbst. 1995. Biogeographical and ecological correlates of dioecy in the Hawaiian flora. *Ecology* 76: 2530–2543.
- SAS. 1999. *SAS System for Window*, Release 8.1. SAS Institute, Cary, North Carolina.
- Sobrevila, C. and M. T. Kalin Arroyo. 1982. Breeding systems in a montane tropical cloud forest in Venezuela. *Plant Systematics and Evolution* 140: 19–37.
- Stebbins, G. L. 1951. Natural selection and differentiation of angiosperm families. *Evolution* 5: 299–324
- Stebbins, G. L. 1958. Longevity, habitat and release of genetic variability in higher plants. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 23:365–378.
- Steiner, K. E. 1988. Dioecism and its correlates in the Cape flora of South Africa. *American Journal of Botany* 75: 1742–1754.

- Thompson, J. D. and S. C. H. Barrett. 1981. Selection for outcrossing, sexual selection, and the evolution of dioecy in plant. *American Naturalist* 118: 443–449.
- Utech, F. H. and S. Kawano. 1975. Spectral polymorphisms in angiosperm flowers determined by differential ultraviolet reflectance. *Bot. Mag. Tokyo* 88: 9–30.
- Vamosi, J. C., S. P. Otto, and S. C. H. Barrett. 2003. Phylogenetic analysis of the ecological correlates of dioecy in angiosperms. *Journal of Evolutionary Biology* 16: 1006–1018.
- Vamosi, J. C., S. M. Vamosi, and M. Geber. 2004. The role of diversification in causing the correlates of dioecy. *Evolution* 58: 723–731
- Webb, C. J. and D. Kelly. 1993. The reproductive biology of the New Zealand flora. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 442–447.
- Westoby, M., M. R. Leishman, and J. M. Lord. 1995. On misinterpreting the 'phylogenetic correction'. *Journal of Ecology* 83: 531–534.
- Whitehead, D. R. 1969. Wind pollination in the angiosperms: evolutionary and environmental considerations. *Evolution* 23: 28–35.
- Yampolsky, E. and H. Yampolsky. 1922. Distribution of sex forms in the phanerogamic flora. *Bibliotheca Genetica* 3: 1–62.

<http://plants.usda.gov/>

<http://100.naver.com/>

ABSTRACT

Ecology and Evolution of Dioecy in Korea angiosperms

Jang, Sunyoung

Major in Biology Education

Graduate School of Education

Sungshin Womens University

Flowering plants are predominantly hermaphroditic, having flowers with both female and male sexual organs. Dioecious species of which sexual functions are divided into male and female individuals are relatively rare or low in proportion among angiosperms. For decades researches have been conducted on the ecology and evolution of dioecy in diverse regions. However, virtually no such information is available for Korean angiosperms.

In this study, I collected information on sexual system as well as on ecological characters such as growth form, habitat, flower color, pollinator, and fruit type of 3033 Korean angiosperm species (2 classes, 48 orders, 164 families, and 919 genera) from literatures. I first analyzed the distribution pattern of those characters among Korean angiosperms. The relationships between dioecy and ecological characters were then analyzed. To consider the potential effect of taxonomic membership on ecological characters, analyses were conducted twice based on overall data pooled over all families and genera and subset data consisting of species randomly selected from each genus. Due to widespread correlations among ecological characters, the relationship between dioecy and

ecological characters were further examined separately for woody and herbaceous species.

Three fourths of Korean angiosperm species examined were hermaphrodite (75.5%), followed by monoecy (17.0%) and dioecy (7.4%). Woody species comprised 75.5% of species, which were three times more than herbaceous species (24.5%). About one thirds of species inhabited in forests (33.1%), followed by open habitats (23.9%) such as field or clearing, marsh (14.1%), heights (11.1%), valley (7.3%), rocky habitat (3.2%), seashore (3.0%), streamside (2.2%), and aquatic habitat (2.2%). Slightly less than one thirds of Korean angiosperm species bloomed flowers white in color (30.8%), followed by red (22.0%), yellow (19.7%), green (14.7%), and dichromatic (6.8%). When presumed pollinators were recategorized into animal vs. non-animal vectors, species visited by animal vectors were 3.7 times more in number than those visited by non-animal vectors (78.8% vs. 21.2%). Korean angiosperm species produced diverse kinds of fruits such as achene, capsule, samara, and berry: species with dry fruits were 5.8 times more abundant than those with fleshy fruit (85.5% vs. 14.5%).

Dioecy was likely to be woody species, inhabit streamside habitats, bear green flowers, be pollinated by small diverse insects, or to produce fleshy fruits. Results of overall data and subset data were concordant to a large extent, except for the association of dioecy and non-animal vector disclosed in subset data. However, the cells demonstrating the interaction of two characters in contingency table analyses differed between the two data sets. These results may imply the phylogenetic effect acting at the genus level. When the associations of dioecy and ecological characters were examined separately for woody and herbaceous species, the association between dioecy and non-animal vectors became insignificant. Except for this case, the associations between dioecy and ecological characters were maintained even after

considering growth habit.

After all, this study reveals that 1) the distribution pattern of growth habit, flower color, presumed pollinator, fruit type among Korean angiosperm species is similar to the pattern shown in other temperate flora, 2) the proportion of dioecious species is relatively higher in Korean angiosperms than that in other temperate regions, and 3) dioecious species tended to be characterized by certain ecological traits, the pattern being similar to those shown in previous studies. The effect of taxonomic membership on ecological characters including dioecy, though relatively weak or moderate, was found at the genus level. However, this study is limited in distinguishing the causal relationship between dioecy and ecological characters examined since most characters were highly correlated with each other. Furthermore, evolution of dioecy and ecological characters may also be constrained by the acting phylogenetic effects at the higher taxonomic levels, though it has not been examined in this study.

감사의 글

이제야 겨우 언덕 하나를 넘어온 것 같습니다. 모자라고 부족한 저를 채워주시던 많은 분들이 없었더라면 이 언덕 하나 넘는 것도 너무나 힘들었을 것 같습니다. 늘 제게 힘이 되어 주시고 도움이 되어주신 분들께 감사의 마음을 전하고자 합니다.

본 논문을 지도해주시고 세심한 배려를 베풀어주신 강혜순 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 제 지식의 밑거름이 될 생물학에 대한 가르침을 주신 본교 생물학과 배인하 교수님, 오용자 교수님, 김진일 교수님, 박경숙 교수님, 윤진호 교수님, 전용필 교수님, 그리고 교육학과 교수님들과 바쁘신 중에도 기꺼이 논문 심사를 위해 시간을 내어주시고 애정 어린 충고를 아끼지 않으신 오용자 교수님과 박경 교수님께 감사드립니다.

그리고 우리 식물생태 연구실 식구들. 비록 한 학기라는 짧은 시간 함께 했지만 긴 여운으로 아직도 함께 하고 있는 것만 같은 명랑소녀 정운이 언니, 대학원 동기이자 우리 연구실의 대들보, 언니만의 부드러움으로 항상 앞에서 또 뒤에서 든든한 힘이 되어준 친구 같은 진중 백조교 경진이 언니, 논문 마무리를 자기 일처럼 도와줬던 독특한 유머와 진지함을 겸비한 귀여운 현정이, 아쉽게도 연구실 식구는 아니지만 대학원 동기로 귀한 시간을 함께 했던 카리스마와 애교가 넘치는 은정이. 이들을 생각하면 뭐라 형용할 수 없는 너무나 많은 감정이 교차합니다. 2년 반, 긴 시간은 아니었지만 점심시간, 웃고 울며 나눈 많은 이야기들, 서로 힘이 되어줬던 시간들 너무 그리울 것 같습니다.

다른 연구실의 선배님들, 후배들, 그리고 특별히 학과조교로 힘들고 바쁜 일 가운데서도 지혜롭게 그리고 매사 겸손하게 방긋방긋 웃으며 내게 너무 많은 도움을 줬던 순임이에게 고마운 마음을 전합니다.

연구실 일이라면 열일 마다 앓고 와서 도와주던 여러 학부 후배들. 연구실 소소한 일까지 꼼꼼히 챙겨주던 명숙이, 매사 최선을 다하는 성실한 지원

이, 필드 작업을 너무도 즐겁게 할 수 있게 해줬던 지혜, 무슨 일이든 푹 부러지게 너무 잘 하는 카리스마 넘치는 수경이, 생태학 실험 시간을 함께 했던 03학번 후배들에게도 감사의 마음을 전합니다.

평생지기 나의 좋은 친구들. 특별히 경화, 상희, 소영이. 세상의 어려운 것 가운데 살아가면서도 이들과의 만남은 어릴 적 소녀시절로 다시 돌아가게 하는 특별한 만남이었던 것 같습니다. 빈번한 만남이 아닐지라도 그저 존재한다는 것만으로도 친구로 닿아있는 내 소중한 사람들에게 고마움을 전합니다.

강원도 오지에서 군 생활하면서도 힘든 내색 없이 나의 말도 안 되는 억지까지도 잘 달래주고 큰 힘이 되어준 사랑하는 성훈이 오빠와 항상 다정함으로 챙겨주시고 아껴주시고 좋은 말씀을 아끼지 않으신 아저씨, 아줌마, 친언니 같고 때로는 친구 같았던 사랑스런 아형이 언니. 내게 너무 많은 사랑을 베풀어주신 또 하나의 가족 같았던 오빠의 가정에 특별한 감사의 마음을 전합니다. 그리고 요모조모로 많은 도움을 주셨던 청연이 오빠에게도 감사드립니다.

무엇보다도, 세상 어떤 것과도 비길 수 없는 사랑하는 내 가족. 지금의 내가 있기까지 부족함 없이 키워주시고 끝없이 내어주시고 한없는 사랑과 희생을 베풀어주시고 인내해주신 말로 다 표현할 수 없을 만큼 너무너무 소중하고 사랑하는 엄마, 아빠와 마주하면 티격태격 다투지만 마지막 군 생활 열심히 하고 있을 세상에 하나밖에 없는 사랑하는 내 동생 연희에게 사랑한다고 전하고 싶습니다.

마지막으로 제가 감당할 수 없는 능력까지도 능히 채워주셨기에 작은 결실을 맺을 수 있었음을 고백하며 나와 늘 함께 하시는 좋으신 하나님께 최고의 감사를 올려드립니다.