

으로 평가하기 위한 도시화 지수(Urbarnization Index; UI)도 지표로 이용되고 있다(임과 전 1980)

도서 지역에 적응하는 식물 종은 한정되어 있으며, 이러한 결과로 종 다양성이 현저히 낮고 군락이 단순한 형태로서 외부의 교란에 의해 쉽게 파괴되고 회복 또한 어렵다(민 2001).

무인도서는 유인 도서와는 달리 인간의 간섭을 적게 받기 때문에 생태계가 안정적으로 유지될 수 있으나, 우리나라의 경우 조사된 261개의 무인도서중에서 22.6%(59개)가 염소와 토끼 같은 가축의 방목이나 경작, 조림, 산불 등의 인위적 교란이 발생하였으며, 특히 경작지 주변에는 붉은서나물과 개망초, 애기수영 같은 귀화식물이 유입되어 우점 한다고 보고된 바 있다(정과 홍 2002).

MacArthur와 Wilson(1967)의 섬생물지리설은 섬에 서식하는 생물 종수는 섬의 면적과 본토와의 거리, 섬내 서식지의 다양성과의 상관성에 관한 이론으로서, 실질적인 연구는 섬들 사이에 종 다양성이 얼마나 다른가를 설명하는데 초점을 맞추어 왔다(Kohn and Walsh 1994, Whittaker 1998).

한반도에서 섬생물지리학적 연구는 53개 도서에 대한 관속식물(백과 임 1982)과 261개의 무인도서에 대한 관속식물(정과 홍 2002), 그리고 71개 도서에 대한 나비의 종수의 영향(최 2000)이 수행된 바 있다.

생물 다양성에 주요 위협 요인 중에 하나인 침입종은 종종 생태계의 구조와 기능에 크게 영향을 미치는 요인이지만 충분한 연구가 이루어지지 않고 있다(Pierre 1996)

세계화의 시대로 인한 외래식물의 유입 경로가 더욱 다양해지고 빈도 또한 높아질 것이며, 또한 도시화에 따른 무분별한 국토 개발로 귀화 식물종의 정착과 확산이 급속하게 진행될 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 우리나라의 무인도서에서 생태계 보존과 귀화식물종의 효율적인 관리를 위하여, 섬생물지리학적 방법론에 의한 귀화식물종의 분포와 확산 pattern 및 섬의 지리적 환경과의 상관성 분석을 수행하였다.

재료 및 방법

자료 구성 및 분석

본 연구는 환경부에서 실시한 '전국 무인도서 자연환경 조사'의 13개 지역별 보고서(1999년~2001년 출간)에서 발췌한 261개 도서에 관한 자료로서, 관속식물 1,109종중 귀화식물 106종만을 추출하여 분포 특성에 따라 '서해그룹'(131개)과 '남해그룹'(130개)으로 구분하였으며, 자료 정리와 통계 분석은 정과 홍(2002)의 방법과 동일한 과정으로 수행하였다.

그리고 본 연구에서는 연구 내용의 특성상 '귀화식물 종'을 무인도서에서 조사된 모든 관속식물 중 자생식물을 제외한 전 식물종(재배식물과 외래식물 포함)으로 규정하였다. 귀화식물 중 재배 식물을 제외한 식물 종에 대한 귀화시기, 귀화도, 생활형 등은 박 등(2002)에 따라 분류하였다. 귀화 시기는 1) 1921년 이전, 2) 1922~1963년, 3) 1964년 이후 현재까지의 3기로 나뉘었으며, 귀화도는 1) 희귀, 2) 소수 개체의 국지적 분포, 3) 소수 개체의 광역 분포, 4) 다수 개체의 국지적 분포, 5) 다수 개체의 광역 분포 등 5등급으로 하였으며, 생활형은 1) 1년생 초본, 2) 2년생 초본, 3) 다년생 초본, 4) 목본의 4종류로 구분하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(SAS Institute Inc. 1989)을 사용하였다.

결과 및 고찰

귀화식물종의 분포

조사된 261개 도서 중 귀화식물 종은 229(87.7%)개 도서에서 총 106종이 관찰되었다(Table 1). 그 중에서 국화과가 16종(15%)으로 가장 많았으며, 벼과(7종), 콩과(7종), 마디풀과(6종)순이었다. 박 등(2002)은 우리나라 전체 귀화식물 271종 중 국화과가 63(23.2%)종으로 가장 많았으며, 벼과와 콩과도 각각 48종과 19종으로 보고하였는데, 국화과 식물이 대부분 관모(pappus)를 갖는 수과(achene)로서 바람에 의해, 그리고 벼과와 콩과식물은 경작에 의해 멀리까지 용이하게 전파가 이루어지기 때문인 것으로 판단된다.

그리고 도서 당 귀화식물 종수는 평균 4.6종(표준 편차; SD=4.07)이었으며, 20종 이상이 조사된 도서는 총 4개였으며, 최대 관찰 수는 대옥대도(전남 고흥 소재)에서 25종이 조사되었다. 귀화식물 종수는 서해그룹(64종)보다 남해그룹(87종)에 속한 도서에서 많았으며, 그룹별 전체 종수에 대한 귀화종의 비율에서

Table 1. Number of total plant species and naturalized plant species in 261 islands (Number in parenthesis is standard deviation)

| Group* | Total | West | South |
|--|--------------|--------------|---------------|
| Number of islands | 261 | 131 | 130 |
| Total number of species | 1,109 | 842 | 918 |
| Total number of naturalized species | 106 | 64 | 87 |
| Average number of species per island | 98.7 (65.76) | 92.5 (56.52) | 104.9 (73.61) |
| Average number of naturalized species per island | 4.6 (4.07) | 3.5 (2.85) | 5.7 (4.78) |

*Total 261 islands are divided into two groups as 'West' and 'South' from Chung and Hong(2002).

도 남해그룹은 9.5%로서 서해그룹(7.6%)보다 높게 나타났다. 귀화식물 중 100개 이상의 도서에서 관찰된 종은 귀화도가 높은 소리쟁이(*Rumex crispus* L.; 153개)와 개망초(*Erigeron annuus* Pers.; 130개), 망초(*Conyza canadensis* (L.) Cronquist; 121개)순으로 3종이었다. 그리고 왕포아풀(*Poa pratensis* L.)과 갯(*Brassica juncea* Czern et Coss.), 코스모스(*Cosmos bipinnatus* Cav.), 양버즘나무(*Platanus occidentalis* L.)를 비롯한 43종은 각각 1개 도서에서만 관찰되었으며, 귀화식물종의 80% 정도는 관찰 빈도가 전체 도서수의 5% 미만이었다(Fig. 1).

가장 먼 도서에서 관찰된 귀화식물은 귀화도 5등급인 소리쟁이로 육지에서 거리 40 km 이상 떨어진 통영시 흥도(남해그룹)와 보령군 황도(서해그룹)까지 산포되어 있었다.

귀화식물종이 관찰되지 않았거나 한번만 출현한 귀화종을 제외한 자료에 대하여 도서간 Sørensen의 유사도 지수(Krebs 1999)를 구하고, 다차원 척도 분석을 실시하였다(Fig. 2). 비록 2차원 형상 공간에 대한 부적합도가 0.42로 매우 불량하였지만, 2차원 형상을 기준으로 서해그룹과 남해그룹의 도서를 구분할 수 있었다. 자생식물을 포함한 전체 식물 중 1,109종의 분포에 대한 다차원 척도 분석에서 서해그룹과 남해그룹에 속하는 도서를 구분할 수 있었는데(정과 흥, 2002), 귀화식물 종에 대해서도 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 서해그룹에 속했으나 다차원 척도 그림에서 1, 2사분면에 분포하는 시어머니섬과 객도 등 5개의 도서는 서해그룹과 남해그룹의 경계면이 되는 전남 신안군에 위치하고 있었다.

조사된 귀화식물 106종 중에서 초본식물은 68종이었으며, 목본은 38종이었다. 그리고 초본식물 중 18종과 목본식물을 포

함한 56종은 재배를 목적(‘의도적 경로’; 고 등 1995)으로 도입되었으며, 나머지 50종의 초본식물은 바람이나 동물, 물에 의한 자연적인 산포 경로와 화물 수송 등에 의한 인위적인 경로에 의해 우연히 이주해온 경우(‘비의도적 경로’)로 추정된다. 비의도적 경로로 이주된 50종 중에서 34종은 귀화시기 1기에 해당하며(Table 2), 개항 이후부터 1921년 이전에 도입된 것으로 기록된 64종의 절반이 넘는다(박 등 2002). 귀화 도중 개체수가 많지 않으나 널리 분포하는 3등급 (18종, 36%)과 개체수도 많고 분포역도 넓은 5등급 (17종, 34%)이 각각 30% 이상으로 높은 비율을 보였다(Table 2). 박 등(2002)은 내륙(제주도와 울릉도 포함)에 분포하는 271개 귀화식물 종에 대한 조사에서 귀화시기 3기에 해당하는 종의 상대 빈도(63.8%)나 귀화도가 낮은 종의 관찰 수(1등급=36.2%)가 많았다고 보고한데 반하여, 무인도서에 분포하는 귀화종들은 우리나라에 귀화된 지 오래 되고, 널리 분포하는 종이 주로 많았다. 이러한 결과는 내륙과 무인도서라는 차이 이외에 박 등(2002)의 조사지가 대도시나 항만, 공항 지역 등 비교적 귀화식물 종이 분포할 확률이 높은 지역을

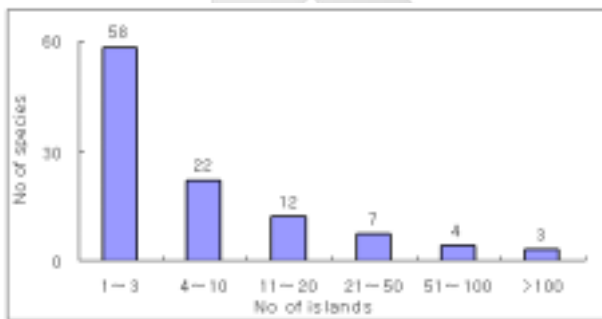


Fig. 1. Number of naturalized plant species (on bars) found in 261 islands.

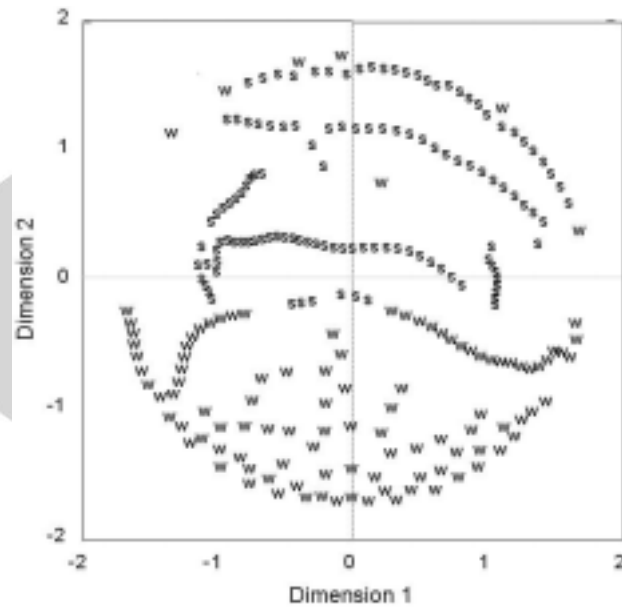


Fig. 2. Scatter plot from multidimensional scaling analysis for 229 islands with frequencies of 72 naturalized plant species in each island. The symbols of 'w' and 's' stand for West and South island group, respectively.

Table 2. Period and degree of naturalization, and life-form of 50 herbaceous naturalized plant species, introduced by accident

| Terms | Sum | Period of naturalization ^a | | | Degree of naturalization ^b | | | | | Life-form | | |
|-------------------|----------|---------------------------------------|--------|---------|---------------------------------------|--------|---------|--------|---------|-----------|----------|-----------|
| | | 1st | 2nd | 3rd | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | Annual | Biennial | Perennial |
| No of species (%) | 50 (100) | 34 (68) | 5 (10) | 11 (22) | 3 (6) | 7 (14) | 18 (36) | 5 (10) | 17 (34) | 21 (42) | 17 (34) | 12 (24) |

^a 1st=before 1921, 2nd=1922~1963, and 3rd=1964 to present.

^b 1=rare plant, 2=local and not abundant plant, 3=common but not abundant plant, 4=local but abundant plant, and 5=common and abundant plant.

대상으로 하였으며, 또한 최근에 발견된 종을 포함시켰기 때문인 것으로 추정된다.

귀화 식물종의 분포와 환경 요인

조사된 전체 식물 중 1,109종의 출현 빈도에 대하여 도서 면적만이 유의하게 높은 상관성을 보였던 반면, 106개 귀화식물종의 출현 빈도에는 도서 면적과 육지와의 최단거리, 인간 간섭 강도 및 위경도 등이 모두 유의한 상관성을 나타냈으며, 면적보다는 최단 거리와의 상관성이 더욱 높은 것으로 나타났다(Table 3). 도서 당 전체 종수(S)가 늘어남에 따른 귀화종 수(N)의 증가는 상관성도 비교적 높고, 설명력도 높았지만($R^2=0.336$), 두 변수 간에 생물학적 인과 관계를 설정하는 것은 큰 의미가 없다고 생각된다. 서해그룹에서 경도 및 남해그룹에 속한 도서에서의 위도는 육지와의 최단 거리를 대변하는 요인이기 때문에 귀화종수에 미치는 환경 요인의 직접 효과를 파악하는 경로 분석에서는 위경도를 제외하였다.

경로분석 결과 귀화식물 종수는 도서의 면적이 증가할수록, 그리고 육지와의 거리가 가까울수록 종수가 증가하였으며, 인간 간섭에 따른 종수 변화는 면적과 인간간섭의 상관에 따른 간접효과를 배제하면 미미한 영향을 미치는 것으로 나타났다(Fig. 3). Chown 등(1998)은 비록 면적과 해수 온도만으로 도입 식물(introduced plant species)의 분포가 충분히 설명되지만, 면적이 거주민수와 강한 상관성을 보이기 때문에 결국 외래식물의 분포 종수에 인간 간섭이 중요하다고 주장하였다. 그러나 Chown 등(1998)은 직접적 영향에 대한 분석은 실시하지 않았으며, 특정한 재배 목적을 위해 인위적으로 반입된 외래식물을 대상으로 하고(고 등 1995), 유인도를 포함한 분석이기 때문에 본 연구 결과와는 다소 차이가 있다.

전체 식물 중 1,109종에 대한 경로분석에서는 도서면적이 종수에 미치는 영향이 제일 컸으나(정과 홍 2002), 귀화식물 종수는 육지와의 거리가 제일 큰 요인으로 작용하였다($p=-0.490$). 또한 서해그룹보다 남해그룹에 속한 도서에서 귀화종수의 증

감이 육지와의 최단 거리 변화에 더욱 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 면적과의 상관관계는 두 그룹에서 모두 비슷하였다(Fig. 3). 남해그룹의 도서에서는 귀화종수와 인간간섭은 정의 상관성을 보였으나, 직접 효과의 분석에서는 인간의 활동에 따라 귀화종수가 줄어드는 것으로 나타났다. 일반적으로 인간 간섭이 증가함에 따라 귀화종수도 늘어나지만(고 등 1996), 경작을 목적으로 할 경우 귀화종이 의도적으로 제거될 수도 있으며, 산화나 방목에 의해 상대적으로 개체수가 적은 귀화종은 자연적으로 제거될 수도 있고, 그리고 무인도서는 대체로 작은 면적으로 환경이 단순하기 때문에 특정 귀화식물종이 정착하여 우점한 지역에서는 다른 귀화종은 정착하기 어려울 수도 있을 것이다. 또한 본 연구의 인간간섭 정도가 문헌에 의존하는 피

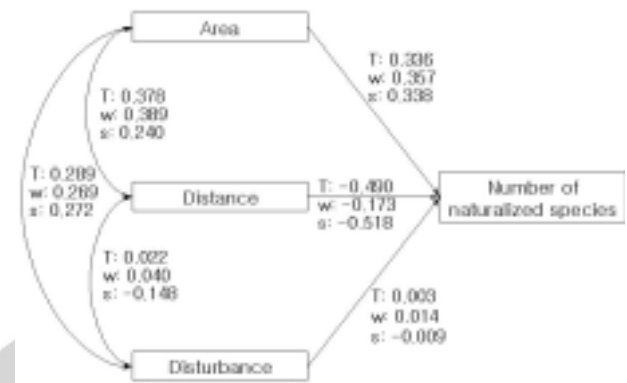


Fig. 3. Path diagram among geographical conditions and the number of naturalized plant species. 'Area', 'Distance' and 'Disturbance' mean the island area (log scale), the shortest linear distance from mainland, and the strength of human activity in island, respectively. Numbers on the line are path or correlation coefficients, and the abbreviations as 'T', 'w' and 's' mean the results from total 261 islands, 131 in West and 130 in South Group, respectively.

Table 3. Simple correlation coefficients for geographical conditions and number of plant species on islands

| Factor | Group | Area ² | Distance | Disturbance | Longitude | Latitude |
|--------------------------------|-------|----------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Number of species ¹ | Total | 0.503 ^{***} | -0.006 | 0.083 | -0.011 | -0.003 |
| | West | 0.519 ^{***} | 0.219 [*] | 0.095 | -0.054 | 0.113 |
| | South | 0.551 ^{***} | -0.159 [*] | 0.095 | -0.154 [*] | -0.044 |
| Number of naturalized species | Total | 0.182 ^{**} | -0.330 ^{***} | 0.103 [*] | 0.203 ^{***} | -0.175 ^{**} |
| | West | 0.319 ^{***} | -0.023 | 0.095 | -0.094 | -0.140 |
| | South | 0.226 ^{***} | -0.411 ^{***} | 0.177 [*] | 0.014 | 0.256 ^{**} |

^{1,2} : Logarithmic values.

^{***} : Significant at 0.1%, 1%, 5% level, respectively.

상적 내용을 등급화(정과 홍, 2002)했기 때문에 발생하는 오류도 배제할 수는 없으므로, 인간간섭과 귀화종 산포의 상관성에 관한 보다 정밀한 연구가 필요하다고 사료된다.

전체 식물 종 1,109종에 대한 회귀 분석 결과에서 도서 면적의 영향(정과 홍 2002)이 제일 크게 나타났으나, 106종의 귀화식물 종의 분포에 대해서는 육지와와의 최단거리가 10.9%의 설명력으로 제일 높았으며, 면적을 추가했을 경우에는 회귀직선으로 귀화종수 변화의 21.8%까지 설명할 수 있었다(Table 4). 서해그룹 및 남해그룹에 속한 도서에 대한 각각의 회귀분석에서도 설명력에 차이는 있었으나, 면적과 육지와와의 최단거리가 주요 변수로 인정되었으며, 인간 간섭에 따른 귀화종수의 변화는 유의성이 낮아서 증감법에 의한 변수 선택에서 제외되었다.

귀화식물은 침입자의 수와 정착 여부에 크게 의존되지만, 침입 초기에는 이주지의 생태계 내에 경쟁자와 가해하는 해충이나 섭식하는 동물, 질병이 거의 없기 때문에 분포 역을 급속하게 확산해갈 수 있으나(Dukes 2002), 새로운 환경에 정착과 적응이 이루어지게 되면 자생종 중 경쟁자와 가해자가 출현하고, 또한 창시자 효과(founder effect)와 같은 병목현상으로 인해 유전적 다양성의 결핍으로 침입자의 개체군이 자연적으로 조절될 가능성이 높다고 판단된다(Binggeli 1996).

그러나 무인도서처럼 면적이 작고 생태계가 단순한 조건하에서 귀화식물의 침입과 확산으로 자연 식생이 일시적으로 파괴된다면 자연 생태계는 크게 교란되고, 도서내 회귀나 고유식물 종들은 절멸 또는 멸종에 이르게 될 것이다

따라서 무인도서에서 생태계 보전과 귀화식물종의 효율적인 관리를 위하여 본 연구의 결과들이 기초 자료로 활용되기를 기대하며, 또한 무인도서의 생태계 보전을 위해서는 경작이나 방목, 개발 같은 인위적인 교란 행위의 적절한 방지와 제도적인 보전 대책을 요구되는 바이다.

Table 4. Regression for geographical conditions and number of naturalized plant species in 261 islands

| Group | Regression equation | R ² | p* |
|-------|---------------------------------------|----------------|--------|
| Total | $N = -0.113 D + 6.267$ | 0.109 | <0.001 |
| | $N = 1.065 \log(A) - 0.158 D + 5.683$ | 0.218 | <0.001 |
| West | $N = 0.699 \log(A) + 2.486$ | 0.102 | <0.001 |
| | $N = 0.846 \log(A) - 0.044 D + 3.189$ | 0.127 | 0.056 |
| South | $N = -0.207 D + 7.512$ | 0.169 | <0.001 |
| | $N = 1.211 \log(A) - 0.249 D + 6.802$ | 0.280 | <0.001 |

* Probability of significance for the partial regression coefficient of the variable added newly on the equation.

Note: N=number of naturalized species, log(A)=logarithmic value of island area (log of hectare), and D=the shortest linear distance to mainland (km).

적 요

우리나라 남.서해안에 분포하는 261개의 무인도서에 대해, 생태계 보전과 귀화식물종의 효율적인 관리를 위하여, 섬생물 지리학적 방법론에 의한 귀화식물종의 분포와 확산 pattern 및 섬의 지리적 환경과의 상관성 분석을 수행하였다.

조사된 261개 도서 중 귀화식물 종은 229(87.7%)개 도서에서 총 106종이 관찰되었다. 도서 당 귀화식물 종수는 평균 4.6 ± 4.07 이었으며, 서해그룹보다 남해그룹에 속한 도서에서 많았다. 귀화식물 종당 관찰된 무인도서 수는 평균 12.9 ± 25.92 개였고, 100개 이상의 도서에서 관찰된 종은 귀화도(5등급)가 높은 소리쟁이(*R. crispus* L.; 153개)와 개망초(*E. annuus* Pers.; 130개), 망초(*C. canadensis* (L.) Cronquist; 121개)의 3종이었다. 106개 귀화식물 종의 출현 빈도에는 도서 면적과 육지와와의 최단거리, 인간간섭 강도 및 위경도 등이 모두 유의한 상관성을 나타냈으며, 면적($r=0.182$)보다는 최단거리($r=-0.330$)와의 상관성이 더욱 높은 것으로 나타났다. 경로분석 결과 귀화식물 종수는 도서의 면적이 증가할수록, 그리고 육지와와의 거리가 가까울수록 종수가 증가하였으나, 인간 간섭 효과는 매우 낮았다. 회귀 분석 결과, 106종의 귀화식물 종의 분포는 육지와와의 최단거리가 10.9%의 설명력으로 제일 높았으며, 면적을 추가했을 경우에는 회귀 직선으로 귀화종수 변화의 21.8%까지 설명할 수 있었다. 본 연구의 결과는 무인도서에서 귀화식물의 관리와 생태계 보전을 위한 기초 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구가 진행될 수 있도록 훌륭한 자료를 제공해 주신 환경부와 전국 무인도서 자연환경 생태계 조사에 참여하신 많은 선생님들께 감사드립니다.

인용문헌

고강석, 강인구, 서민환, 김정현, 김기대, 길지현, 이은복, 전의식. 1995. 귀화생물에 의한 생태계 영향 조사(I): 귀화식물 분야. 국립환경연구원보 17: 25-35.

고강석, 강인구, 서민환, 김정현, 김기대, 길지현, 전의식. 1996. 귀화생물에 의한 생태계 영향 조사(II): 귀화식물 분야. 국립환경연구원보 18: 25-35.

김준민, 임양재, 전의식. 2001. 한국의 귀화식물. 사이언스 북스 서울.

민병미. 2001. 서해안 무인도서의 식생보존전략 -경기만을 중심으로-. 자연보존 115: 22-29.

박수현, 신준환, 이유미, 임종환, 문정숙. 2002. 우리나라 귀화식물의 분포. 임업연구원 임업연구자료 제193호. 웃고문화사, 서울. 184p.

백광수, 임양재. 1982. 한반도 주변도서의 관속식물분포에 관한 연구. 한국생태학회지 5(4): 143-153.

- 임양재, 전의식. 1980. 한반도 귀화식물 분포. 한국식물학회지 23: 69-83.
- 정재민, 홍경낙. 2002. 우리나라 무인도서의 지리적 환경과 식물의 분포 pattern 사이의 상관성 분석. 한국생태학회지 25(3): 201-208.
- 최세웅. 2000. 한반도 도서지역 나비 종수에 미치는 생태학적 영향에 관한 연구 -섬 면적, 격리정도, 위도 및 최고 고도의 역할-. Korean J Env Biol 18(2): 237-246.
- Binggeli P. 1996. A taxonomic, biogeographical and ecological overview of invasive woody plants. J Veget Sci 7: 121-124.
- Chown SL, Gremmen NJM, Gaston KJ. 1998. Ecological biogeography of southern ocean islands: species-area relationships, human impacts, and conservation. American Nat 152(4): 562-575.
- Dukes JS 2002. Species composition and diversity affect grassland susceptibility and response to invasion. Ecol Applic 12(2): 602-617.
- Kohn DD, Walsh DM. 1994. Plant species richness -the effect of island size and habitat diversity. J Ecol 82: 367-377.
- Krebs CJ 1999. Ecological Methodology. 2nd Edition. Addison-Welsey Education Publishers, Inc. Canada. 620p.
- MacArthur RH, Wilson EO. 1967. The theory of Island Biogeography. Princeton University Press.
- Pierre B. 1996. A taxonomic, biogeographical and ecological overview of invasive woody plants. J Veget Sci 7: 121- 124.
- Whittaker R. 1998. Island Biogeography, -Ecology, Evolution, and Conservation-. Oxford University Press.
- SAS Institute Inc. 1989. SAS/STAT User's Guide, Version 6, 4th Edition, Volume 2. SAS Institute Inc. USA. 846p.
(2006년 2월 8일 접수, 2006년 12월 21일 채택)

K C I