

한반도 도서지역 나비 종 수에 미치는 생태학적 영향에 관한 연구 - 섬 면적, 격리정도, 위도 및 최고 고도의 역할 -

최 세 응

(경희대학교 생물학과)

(2000년 5월 8일 접수, 2000년 6월 5일 채택)

적 요 - 섬 생물지리학에서 평형설 (equilibrium theory)은 섬의 면적과 본토에서 떨어진 거리에 따른 이입율과 절멸율의 작용에 의해 섬에 분포하고 있는 종 수가 결정된다는 이론이다. 본 연구는 한반도 부속 도서에서 여러 생태학적인 요인들인 섬의 면적, 격리정도, 위도 및 섬의 최고 고도로 표시한 서식지 다양성과 나비의 종 수에 관한 상관관계를 파악하기 위하여 71개의 섬에서 기록된 나비의 종 수와 이들 요인들 사이의 상관분석 및 회귀분석을 실시하였다. 그 결과 나비 종 수는 섬 면적 ($r^2=0.405$, $P<0.005$) 및 고도로 표시한 서식지 다양성 ($r^2=0.341$, $P<0.005$)과는 유의한 상관관계를 보였으나 본토와의 거리 ($r^2=0.018$, $P>0.05$) 및 섬 위도 ($r^2=0.040$, $P>0.05$)와는 유의한 상관관계를 나타내지 않았다. 본 연구와 이전의 연구결과를 종합해보면 한반도 부속도서의 나비 종 수는 섬의 면적, 식생 그리고 최고 고도와 같은 생태적 변수에 영향을 받는 것으로 요약된다.

서 론

MacArthur & Wilson (1967)이 제안한 평형설 (equilibrium theory)은 섬과 같은 고립된 지역에서 서식하는 생물은 본토 (mainland)로부터 끊임없이 이어지는 이입 (immigration)과 섬 내에서 이루어지는 절멸 (extinction)에 따라 생물의 수가 결정된다는 이론이다. 평형설이 설명하는 섬 면적과 종 수와의 상호관계는 실험을 통해 그 상호관계가 밝혀져 현재에는 일반적인 법칙으로 인정되고 있으며 (Simberloff & Wilson 1969, 1970), 내륙 내에서 고립되어 있는 자연보전지역에까지 적용을 함으로써 보전생물학분야에서도 관심을 끌고 있다 (Simberloff & Abele 1976). 그리고 최근에는 평형설의 주요 설명요인인 면적과 고립이 종의 이입과 절멸에 어떠한 영향을 주는가를 알아보는 metapopulation dynamics에 까지도 범위가 넓어지고 있다 (Hanski 1994; Hanski & Thomas 1994).

섬 면적이 종 수를 증가시키는 기작으로 다음 두 가지로 설명된다. 첫째는 섬의 면적이 클수록 분산 (dispersal)을 통해 새로운 정착지를 찾는 분류군에게 더 나은 목표지점이 될 뿐 아니라 큰 섬일수록 더 많은 개체군을 유지할 수 있다 (MacArthur & Wilson 1967). 둘째

는 섬내에서의 절멸으로, 개체군의 크기가 클수록 유전적 다양성이 더 증가하여 환경변화에 적응이 더 용이하다고 할 수 있다 (Avisé 1994). 또한 급격한 환경변화가 일어나서 작은 섬에서의 개체군의 경우 전부 절멸되고 하더라도 큰 섬에서 넓은 지역을 차지하고 있는 개체군은 살아남을 수 있는 확률이 더 높다 (Wright 1983).

섬에서 종 수에 영향을 미치는 간접요인은 종 다양도에 직접적으로 영향을 미치는 다른 요인들과의 상관관계를 통해 나타난다 (Ricklefs & Lovette 1999). 이러한 요인들은 섬의 면적이 증가하면 같이 증가하는 것으로 서식지 다양성 등이 있다. 즉 섬이 클수록 여러 다양한 지형학적 그리고 지질적 이질성 (heterogeneity)을 생산해내기 때문에 더 높은 서식지 다양성을 만들어내고, 다양한 서식지는 결국 종 수를 증가시키는데 역할을 담당할 것이다. 하지만 이 서식지 다양성을 나타내는 지수로는 생물에 따라 각각 다르게 작용하기 때문에 정의하기가 어렵지만 현재 가장 많이 사용되는 것이 섬의 최고 고도 (maximum elevation)이다 (Ricklefs & Lovette 1999). 최고 고도는 Hamilton *et al.* (1963)에 의해 갈라파고스 군도에서 식물과 새의 종 수에 면적과 서식지의 영향을 알아보기 위해 사용된 이후 보편적으로 사용이 되고 있다. 최고 고도는 서식지 다양성을 나타내는 간접적이고 비측정용 지수로 장점이 있는 반면, 가끔 종 수에 통계학

적 영향이 강하게 미친다는 단점이 있다(Ricklefs & Lovette 1999). 그밖에 식생의 양상(Kohn & Walsh 1994)이나, 식물 종 수(Power 1972), 토양의 종류(Buckley 1985) 및 구조적인 서식지 형태(Tonn & Magnuson 1982) 등으로 나타내기도 한다.

평형설은 각 섬 또는 내륙의 고립된 지역 내에서 서식하는 식물, 곤충, 포유류, 어류, 새 등 적용하는 생물에 따라 섬의 면적이나 본토로부터 떨어진 거리 또는 서식지의 다양성이 각각 다르게 작용하는 것으로 나타났다(Brown 1971; Barbour & Brown 1974; Johnson 1975; Ricklefs & Lovette 1999). 한편 조사대상이 되는 동식물의 섬 분포자료에 대해서는 분류군에 따라 신뢰도가 다른데, 그 원인으로는 대부분의 연구가 모든 조사대상 지역들에서 완전하게 이루어지기가 어렵고, 또한 채집된 표본의 경우에도 분류군에 따라 종 동정이 어려운 경우도 있기 때문이다. 또한 새의 경우에는 번식 여부와 같은 확인작업이 필요하기 때문이다(Johnson 1975). 이로 인하여 나비와 같이 종 동정이 용이한 동물 이외에 다른 동물 종을 이용하는 데에는 어려움이 많다. 따라서 본 연구에서는 한반도 도서지역 종 수에 미치는 생태학적 영향을 알아보기 위하여 나비를 이용하였다.

한반도의 경우 3면이 바다로 둘러싸여 있으며 수많은 크고 작은 섬으로 이루어져 있다. 한반도 주변에 있는 섬의 총수는 3,418개로 그 중 남한에는 2,900여개가 있어 전체의 2/3 이상 분포하고 있다(내무부 1985). 한국의 2,900여개의 섬들은 동해, 서해, 남해에 각각 33개, 1,387개, 1,489개로 서해와 남해에 집중되어 있으며 섬 면적이 0.1 km² 이하의 섬이 전체의 약 75%를 차지하고 있다(백과 임 1982; 내무부 1985). 한반도 주변에 있는 섬에 대한 생물상 조사는 1945년 이전에는 제주도과 울릉도, 강화도와 같은 큰 섬이나 완도, 진도, 육지도와 같은 육지인근의 섬을 중심으로 간헐적으로 이루어졌다(正木 1934, 1936; 土居 1935). 1945년 이후에는 덕적군도(김 1956), 거제도(朴 1970), 전북 위도(Jolivet 1973)에 관한 곤충상이 조사되었으며 1970년부터 한국자연보전협회가 주관하는 섬 지역에 대한 생태계 조사가 본격적으로 이루어져 왔다(신과 노 1970; 신과 주 1978; 김과 이 1979). 그리고 최근에는 환경부가 주관하는 전국 생태계 조사가 남해 및 서해안의 해안지방 및 섬을 대상으로 이루어지고 있다.

백과 임(1982)은 한국의 53개의 섬들에서 기록되어 있는 관속식물의 수와 섬들간의 면적 및 종 급원(species pool)과의 거리와의 관계를 조사하였다. 조사결과 한반도 부속도서의 관속식물상은 대륙적 특성을 지니고 있으며, 위도변화에 따른 식물의 종 수와 섬 면적간의

관계는 표본수의 제한으로 식물분포의 지역적 특성을 파악하지는 못하였다. 이후 최와 신(1993)은 24개의 섬을 대상으로 나비의 종 수와 섬의 면적 및 종 급원과의 사이 그리고 식물 구성종간의 관계를 알아보았다. 그 결과 나비의 종 수에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 식물 종 구성이었으며 그 다음으로 섬 면적이었다. 이에 반해 종 급원인 육지와와의 거리는 종 수에 영향을 거의 미치지 않는 것으로 나타났다. 영국에서 나비 종에 대한 조사에서도 Reed(1985)와 Dennis & Shreeve(1997)는 종 수에 가장 큰 영향을 준 요인은 식물의 종 수와 섬의 면적으로 나타났으며 상대적으로 섬의 위도나 격리 정도의 경우에는 별 영향을 나타나지는 않았다.

본 연구의 목적은 최와 신(1993)에 의해 이루어진 연구자료가 24개 섬만을 대상으로 했기 때문에 더 많은 자료를 추가하여 섬의 나비 종 수와 섬의 면적 그리고 섬이 본토로부터 떨어진 거리 및 위도와의 관계를 알아 보는데 있다. 또한 종 수에 영향을 미치는 요인으로 서식지의 다양성을 들기도 하는데, 본 연구에서는 이를 나타내는 지수로 식물 종의 구성 대신 섬에서의 최고 고도를 이용하여 섬의 나비 종 수가 어떻게 영향을 받고 있는가를 알아보는데 있다.

재료 및 방법

본 연구에 이용된 총 섬의 수는 71개로 울릉도를 제외하곤 모두 남해와 서해의 섬들이다. 이에 대한 나비의 분포조사는 1976년부터 1996년까지 전국의 섬을 대상으로 이루어진 연구자료를 참고로 하였다(Appendix 1). 섬에서 분포하는 나비 종에 대한 자료는 조사기간이 최단 1일에서부터 최장 3년여까지 다양하다.

섬에 대한 면적 및 본토로부터 떨어진 거리는 도서지(내무부 1985)를 참조하였다. 한편 섬의 위도는 제주도나 거제도 등과 같이 큰 섬인 경우 두 위도에 걸쳐 위치하기도 하지만 대부분의 경우 한 위도에 위치하기 때문에 섬의 하단 위치를 나타낸 위도를 기준으로 이용하였다. 섬의 최고 고도는 면적이 큰 섬인 경우에는 도로지도(성지문화사 1996)에 나타난 것을 이용하였으며, 섬 면적이 작거나 무인도인 경우 섬의 최고 해발고도가 표시되지 않아 본 조사에서는 생략하였다.

종 수와 섬 면적간의 상관관계를 나타낸 식은 Arrhenius(1921)의 수학모델을 따른 것으로 종 수(S)와 면적(Z)을 로그로 치환한 값, 즉 $y = \log S$ 그리고 $x = \log Z$ 로 나타내어 $y = a + bx$ 로 나타낸다. 여기에서 a와 b는 상관관계를 나타낸 곡선의 y절편과 기울기를 나타낸 것이다. 이 식은 Preston(1962)이 도출해 낸 식인 $S = CZ^k$ 과 같

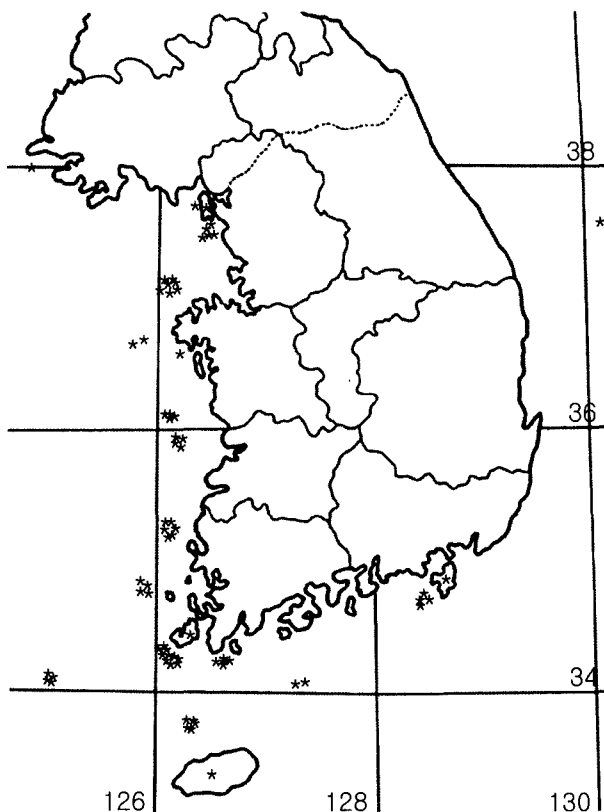


Fig. 1. A map showing the investigated islands (*) of the Korean Peninsula. Numbers indicate latitude (34, 36, 38; °N) and longitude (126, 128, 130; °E).

은데 여기에서 k 와 C 는 상수로 위의 Arrhenius 식의 a 와 b 로 섬의 면적과 본토로부터의 거리에 따라 변한다.

자료의 정리 및 통계는 SPSS for Windows (SPSS 1996)을 이용하였다. 섬의 면적, 본토로부터의 거리 그리고 섬의 최고 고도는 로그값으로 치환한 후 계산하였다.

결 과

본 연구에 조사된 섬들의 면적은 궁여도가 0.03 km^2 로 가장 작았으며 제주도가 1824.9 km^2 로 가장 넓었다. 기록된 나비 종 수는 선미도에서 1종으로 가장 낮았으며 제주도에서 104종으로 가장 많았다. 육지로부터 떨어진 거리는 백령도와 영종도가 3.2 km 로 가장 짧았으며 소흑산도가 144 km 로 가장 멀리 떨어져 있었다(Appendix 1).

한반도 부속도서에서 기록된 나비의 종 수와 3가지 변수와의 상관 및 회귀관계식은 Table 1에 나타내었다. 부속도서 나비 종 수에 영향을 주는 요인은 섬 면적과 고도로 표시한 서식지 다양성으로 나타났으며, 본토로부터

Table 1. Results of multiple regressions of the logarithm of species number on island area, distance from mainland, latitude and maximum elevation. Note: N, sampling number; r, coefficient of simple correlation; r^2 , coefficient of regression; P, probability. Species number, area, and distance from mainland were log-transformed

Factor	N	r	r^2	F-ratio	P
Area	71	0.637	0.405	47.12	0.005
Distance from mainland	71	0.134	0.018	1.261	0.265
Latitude	71	0.200	0.040	2.874	0.095
Maximum elevation	29	0.584	0.341	13.966	0.001

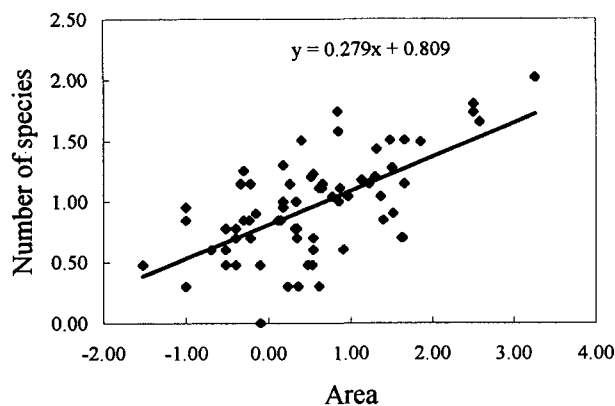


Fig. 2. Relationships between log-transformed species number and log-transformed islands area (km^2) of islands in Korea.

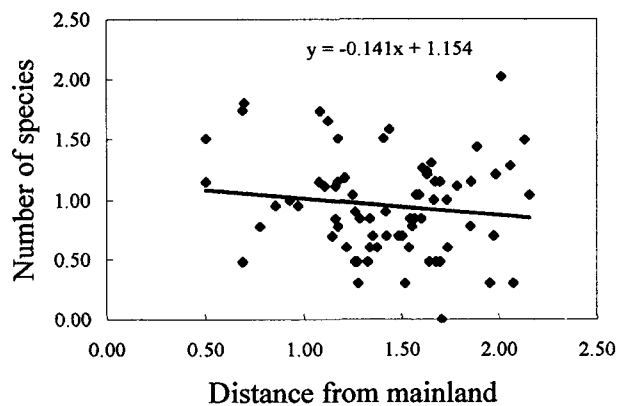


Fig. 3. Relationships between log-transformed species number and log-transformed distance from mainland (km) of islands in Korea.

터 떨어진 거리나 위도는 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

나비의 종 수와 섬 면적간의 회귀곡선식은 $y=0.809+$

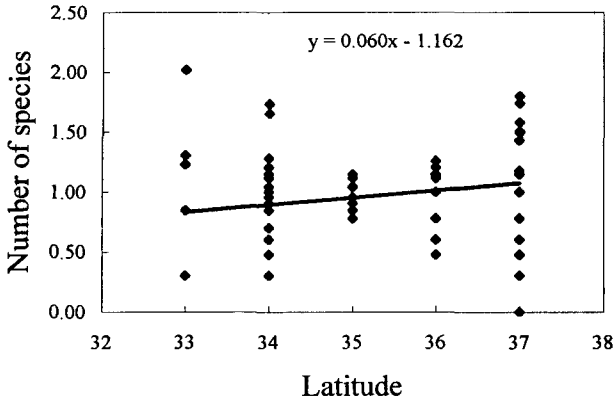


Fig. 4. Relationships between log-transformed species number and latitude of islands in Korea.

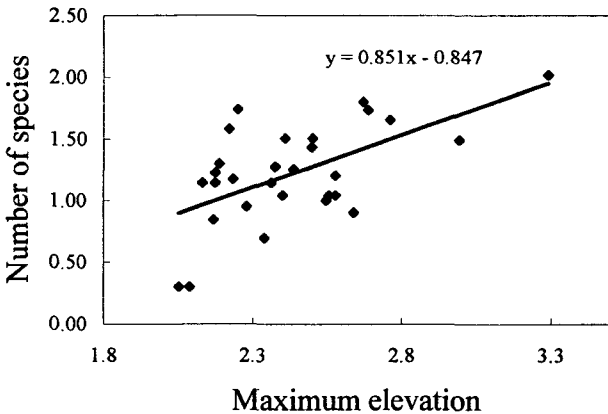


Fig. 5. Relationships between log-transformed species number and log-transformed maximum elevation (m) of islands in Korea.

0.279x ($r^2=0.405$)으로 나타났으며 본토로부터 떨어진 거리와의 사이는 $y=1.154-0.141x$ ($r^2=0.018$) 및 위도와의 관계는 $y=-1.162+0.06x$ ($r^2=0.040$)으로 나타났다. 나비의 종 수와 섬의 최고 고도와의 회귀곡선식은 $y=-0.847+0.851x$ ($r^2=0.341$)로 나타났다 (Figs. 2, 3, 4, 5).

고찰

한반도를 비롯한 일본이나 다른 지역에서 조사된 결과 (e.g. Nagasawa 1987; Dennis & Shreeve 1997; Ricklefs & Lovette 1999)와 마찬가지로 섬의 생물 종 수는 섬 면적과 긴밀한 관계를 나타내는 것으로 나타났다. 한편 본토로부터 떨어진 거리나 위도의 경우에는 본 연구에 이용된 나비의 종 수에는 영향을 크게 미치지 않는 것으로 나타났다.

Johnson & Simberloff (1974)는 종 수 대 섬 면적의 비율에 대한 회귀곡선의 기울기가 섬의 격리 (isolation)를 나타내는 정도로 0.28보다 낮은 경우에는 섬으로 이입하는 율 (immigration rate)이 높거나 섬 내에서 절멸하는 율 (extinction rate)이 낮은 경우라고 주장하였다. 이러한 양상은 섬보다는 대륙에 가깝다는 것을 나타내며 일시적인 거주자가 많은 경우이다. Table 2는 각 섬에서 지금까지 조사된 다른 생물의 종 수와 면적간 회귀식의 기울기값이다. 그 범위는 0.17에서 0.49까지로 다양하게 나타났다. 한반도 부속도서에서 백과 임 (1982)의 관속식물에 대한 연구조사에서는 회귀식 기울기가 0.226으로 낮으며, 이는 한반도 부속도서의 관속식물은 대륙성으로 나타났다. 백과 임에 의하면 한반도의 부속도서가 대륙성을 띤 이유는 과거 지질시대를 통해 섬들이 해수면의 상승이전 종의 교류가 활발하였고 섬들이 비교적 근해에 분포하여 해양의 영향을 적게 받기 때문이라고 적고 있다. 반면 일본의 나비를 이용한 종 수와 면적과의 식에서 기울기는 0.29로 나타났으며 (Nagasawa 1987), 본 조사에서 한반도 부속도서의 나비를 이용한 결과는 0.28로 관속식물의 기울기보다는 훨씬 높게 나왔으며, 일본의 나비 종 수와는 유사한 결과를 보였다. 본 연구조사의 기울기 값은 최와 신 (1993)이 보여준 0.30보다는 약간 낮게 나왔다. Hanski & Gyllenberg (1997)의 연구에서 z값 즉 곡선의 기울기는 고립된 섬이라고 하더라도 종 이입이 본토로부터 이루어진 경우와 대양의 섬인 경우 차이가 난다고 하였는데, 전자인 경우 값이 높게 나타나는 반면 후자인 경우에는 낮다고 예측하였다. 즉 한반도 부속도서의 경우 대부분 섬들이 육지인 종 급원으로부터 종 이입이 일어날 가능성이 많으므로 기울기값이 높게 나오리라고 예측된다. 기울기가 높은 것은 육지로부터 이입되는 나비의 비율이 낮거나 섬 내에서 절멸하는 비율이 높다는 것을 의미한다. 이입 율이 낮은 요인은 후에 언급될 섬의 격리정도를 나타내는 본토로부터의 거리와 밀접한 관계를 나타내는 것으로 생각한다. 한편 절멸율이 높은 경우에는 본 조사에 이용된 71개의 섬 중 52개 섬들의 조사기간이 1주일 이내에 국한되어 각 섬에 대한 불충분한 분포자료의 획득과, 섬 내에서 정착지 증가로 인한 서식지 감소 등도 이유가 될 수 있으나 이에 대한 정밀한 연구가 이루어져야 할 것이다.

위도와 종 수의 관계는 비록 종 수에 큰 영향을 주지는 않았지만, 위도가 증가함에 따라 종 수도 어느 정도 증가하였다 (Fig. 4). 이러한 결과는 한반도와 같은 반도에서 위도가 낮아질수록 전체 종 수가 종 급원 역할을 하는 대륙으로부터 멀어지기 때문에 종 수가 감소함을

Table 2. The z values of various taxa on archipelagoes (From the equation $S=CA^z$, where S is the number of species and A is area) (Modified from MacArthur & Wilson 1967)

Taxa	Island group	z-value	Reference
Carabid beetles	West Indies	0.34	Darlington, 1943
Ponerine ants	Melanesia	0.30	Wilson, 1963
Amphibian and West Indies Reptiles		0.30	Preston, 1962
Breeding land animal and fresh-water birds	West Indies	0.24	Hamilton <i>et al.</i> , 1964
	East Indies	0.28	Hamilton <i>et al.</i> , 1964
	East-Central Pacific	0.30	Hamilton <i>et al.</i> , 1964
	Gulf of Guinea Islands	0.49	Hamilton & Armstrong, 1965
Land Vertebrates	Lake Michigan	0.24	Preston, 1962
Land plants	Galapagos Islands	0.33	Preston, 1962
Ants	Timble Islands	0.40	Goldstein, 1975
Landbirds British islands		0.34	Reed, 1981
Butterflies	Japan	0.29	Nagasawa, 1987
Leafbeetles	Japan	0.29	Kimoto, 1972
Vascular plants	Korea	0.23	Paik & Yim, 1982
Butterflies	Lesser Antilles	0.27	Ricklefs & Lovette, 1999
Reptiles	Lesser Antilles	0.17	Ricklefs & Lovette, 1999
Birds	Lesser Antilles	0.21	Ricklefs & Lovette, 1999
Bats	Lesser Antilles	0.23	Ricklefs & Lovette, 1999

나타낸다는 반도효과(Peninsular effect)와 유사하였다 (최와 신 1993). 그러므로 나비의 경우 한반도 부속도서의 종 수는 내륙지역과 마찬가지로 위도가 높아질수록 증가하는 경향을 나타낸다. 영국 섬에서 새를 이용한 경우에도 위도가 내려갈수록 종 수가 줄어드는 양상을 보였으나(Reed 1981), 이러한 결과는 지역에 따라 그리고 분류군에 따라 다른 양상을 나타내므로 위도에 따른 종 수의 감소효과나 섬에서의 반도효과를 일반화하기는 어렵다.

섬과 본토로부터 떨어진 거리와의 관계에서 거리가 멀어질수록 종 수가 감소함을 보였지만 통계적으로 유의하지 않았다(Fig. 3). 이는 한반도에서 나비 종 수가 본토와 떨어진 거리와는 큰 영향이 없다는 것을 나타낸다. 그러나 분류군에 따라 본토로부터 떨어진 거리가 중요한 경우도 있는데 Kadmon & Pulliam (1993)은 미국의 Georgia주와 South Carolina 사이에 있는 호수의 섬들에 대해 식물상을 비교한 결과 식물 종 수에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 본토로부터 떨어진 거리라는 연구결과를 발표하였다. 그들은 종 수에 영향을 미치는 요인 중 본토로부터의 거리가 영향을 미치지 않는다는 결과는 섬에 정착하는 종들의 양상에 거리가 중요하지 않다는 것을 의미하지는 않는다고 지적하였다. 본 조사에서 한반도 부속도서의 거리효과는 육지로부터 떨어진 거리를 기준으로 하였다. 하지만 한반도 남해와 서해의 많은 섬들이 인근 섬들과 인접해 있기 때문에, 종 급원의 역할을 하는 육지로부터 징검다리효과(stepping stone

effect)가 일어났을 가능성과 주위의 큰 섬이 육지와는 별개로 새로운 종 급원의 역할을 했을 가능성도 있다. 그러므로 한반도 부속도서에서 거리효과가 아무런 역할을 하지는 않는다고 할 수 없다.

Ricklefs & Lovette (1999)는 종 수와 면적간의 관계에 영향을 미치는 요인인, 섬으로 생물의 이입율과 섬 내에서 절멸율을 알아보기 위해서는 최근 이주한 생물들의 종 수와 면적간의 곡선을 예전의 자료와 비교함으로써 알 수 있다고 주장하였다. 즉 섬으로의 이입율이 더 중요한 요인으로 작용한다면 최근 정착한 생물들의 종 수와 섬 면적간의 곡선의 기울기가 더 커지게 되며 반대로 섬 내에서 절멸율이 더 높다면 최근의 생물들의 기울기가 예전에 정착한 생물들의 곡선의 기울기보다 낮다. 섬에서 생물의 나이 즉 최근에 정착한 생물인가 예전에 정착한 생물인가의 비교는 섬 개체군의 분류학적 분화정도로 알 수 있다고 하는데 (Ricklefs & Cox 1972) 최근에는 DNA sequence divergence를 통해 이러한 추정이 가능하다(Ricklefs & Lovette 1999). 본 연구에서는 나비 종 수에 영향을 미치는 요인이 어떠한 것인가를 파악하는 것이므로 위에서 언급한 이입율이나 절멸율의 측정 및 작용에 대해서는 알 수가 없다. 하지만 한반도 부속도서에서 나비 이외의 다른 생물과 더 많은 섬을 이용하여 각 생물 분류군의 종 수가 어떠한 생태적 요인에 의해 결정되는지를 파악하는 것과, 한반도 부속도서에서 이루어지고 있는 각 생물 분류군의 이입과 절멸의 요인 중 어떠한 요인에 의해 생물들의 종 수와 면적간의 관

계 곡선식이 형성되는 가도 함께 조사되어야 할 것이다.

나비 종 수에 대한 섬 면적과 서식지 다양성을 나타내는 최고 고도간의 회귀곡선에 대한 결과는 비슷한 결과를 나타냈는데, 이는 섬 면적과 서식지 다양성 모두 나비의 종 수에 같은 정도로 기여하는 것으로 해석된다. 종 수에 영향을 미치는 요인은 크게 4가지로 나눈다 (Ricklefs & Lovette 1999). 첫째 섬 면적 단독 효과, 둘째 서식지 다양성 단독 효과, 셋째 면적과 서식지 다양성의 상호 연관 효과, 그리고 넷째는 나머지의 변수에 의한 효과인데 변수의 종류는 복합적이기 때문에 잘 밝혀져 있지 않다. 생물 종 수와 섬 면적의 상호관계에 영향을 주는 요인은 분류군에 따라 다르게 작용하는데 새와 나비의 경우 높은 상관관계가 나타난 반면 박쥐, 파충류 및 양서류에서는 낮게 나타났다 (Ricklefs & Lovette 1999). 한반도 부속도서의 나비를 이용한 본 연구와 최와 신(1993)의 연구에서는 섬 면적과 고도 및 식생으로 대변되는 서식지 다양성이 상호 연관되어 부속도서의 종 수에 영향을 주는 것으로 나타났다.

여러 지역에서 다양한 분류군을 조사한 결과, 섬 내의 종 수에 영향을 미치는 요인이 서로 다르게 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 나비의 경우와 같이 한 분류군을 한국, 일본, 영국, 서인도 제도 등 다른 지역에서 비교한 결과로 볼 때 그 종 수에 미치는 영향이 섬의 면적이나 식물상 그리고 최고 고도로 나타난 서식지 다양성 등 서로 다르게 작용한다는 것을 볼 수 있다. 본 연구의 경우 기존에 조사, 보고된 결과를 이용하여 한반도 부속도서 나비 종 수에 미치는 영향을 알아보았는데, 앞으로의 연구는 조사 결과를 계속 추가하여 섬의 생물상에 미치는 생태학적 요인에 대하여 정확히 알아보는 것과 시간에 따른 이입율 및 절멸율의 변화를 측정하여 종 수와 면적간의 상관관계가 어느 요인에 의해 더 영향을 알아 보는데 있다.

사 사

본 논문을 읽고 여러 문제점을 지적해주신 경희대학교 생물학과의 이기태, 홍석표, 홍현창님과 경희여자고등학교의 김성수님 그리고 이 논문을 읽고 문제를 지적해주신 2분의 심사위원께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 여러 일본 문헌을 제공해주신 Sumio Nagasawa 박사에게도 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

김진일, 유혜정(1987) 白領島の 하계곤충상. 자연실태종합조

사보고서 7: 213-235.

김진일, 이옥진(1989) 혁안군도의 하계곤충상. 자연실태종합조사보고서 9: 163-187.

김진일, 이종욱(1979) 全南 新安郡內 도서들의 1979年 夏季 昆蟲相. 한국자연보존협회조사보고서 16: 79-87.

김진일, 장광숙(1982a) 德積群島의 하계곤충상. 자연실태종합조사보고서 1: 131-162.

김진일, 장광숙(1982b) 莞島 인근 도서의 하계곤충상. 자연실태종합조사보고서 2: 161-184.

김진일, 장광숙(1984) 巨文島 및 인근도서지방의 하계곤충상. 자연실태종합조사보고서 4: 159-180.

김현규(1956) 德積群島의 昆蟲相. 梨大創立 70주년 기념논문집 pp. 335-348.

나철호, 백순기, 조영관(1986) 黑山群島의 하계곤충상. 자연실태종합조사보고서 6: 197-216.

남상호(1983) 鳥島地區의 하계곤충상. 자연실태종합조사보고서 3: 177-194.

내무부 지방개발국(1985) 도서지. 내무부, 서울 1372pp.

土居寛暢(1935) 莞島産昆蟲及其他の動物に就て. 知識の園科學館報 35: 1-12.

正木十二郎(1934) 鬱陵島産昆蟲目録. 昆蟲世界 38(11): 401.

正木十二郎(1936) 朝鮮沿岸諸島嶼の昆蟲相に就いて. 昆蟲 10(5): 251-274.

朴世旭(1970) 韓國南部巨濟島の蛾相. 蛾類通信 7: 37-41.

백광수, 임양재(1982) 한반도 부속도서의 관속식물 분포에 관한 연구. *Korean Journal of Ecology* 5: 143-153.

백문기, 이남호, 김성민, 민완기(1994) 京仁島嶼의 蝶相에 관한 연구(I). 한국나비학회지 7: 53-61.

변봉규, 이범영, 김성수(1996) 鬱陵島の 나비目 곤충상. 한국나비학회지 9: 26-33.

성지문화사(1996) 전국도로 정밀지도. 축적 10만분의 1. 성지문화사, 서울

신유항, 노용태(1970) 小黒山島の 하계 곤충상. 한국자연보존협회조사보고서 1: 35-41.

신유항, 주용규(1978) 格列飛列島 하계곤충상에 관하여. 한국자연보존협회조사보고서 12: 85-96.

신유항, 주재성(1991) 珍島の 나비目 昆蟲相에 관하여. 자연보존 75: 33-48.

신유항, 최세웅(1996) 나비목 곤충상. 원병오 외, 비무장지대. 현암사, 서울.

윤일병, 남상호(1978) 巨濟島 인근 도서의 夏季 昆蟲相. 한국자연보존협회 조사보고서 14: 75-89.

윤일병, 남상호(1985) 秋子群島の 곤충상. 자연실태종합조사보고서 5: 143-170.

이해풍, 고기수(1988) 外檣列島の 하계곤충상. 자연실태종합조사보고서 8: 195-220.

최세웅, 신유항(1992) 한반도에서의 나비에 대한 반도효과. 경희대학교 대학원 고황논집 10: 225-245.

- 최세웅, 신유항(1993) 한반도 부속도서에서 기록된 나비의 종수와 면적과의 관계에 대한 연구. *경희대학교 대학원 고황논집* **13**: 283-292.
- Arrhenius O (1921) Species and area. *Journal of Ecology* **19**: 95-99.
- Avise JC (1994) Molecular markers, natural history and evolution. Chapman and Hall, New York.
- Barbour CD & JH Brown (1974) Fish species diversity in lakes. *American Naturalist* **108**: 473-489.
- Brown JH (1971) Mammals on mountain tops: nonequilibrium insular biogeography. *American Naturalist* **105**: 467-478.
- Buckley RC (1985) Distinguishing the effects of area and habitat types on island plant species richness by separating floristic elements and substrate types and controlling for island isolation. *Journal of Biogeography* **12**: 527-535.
- Dennis RLH & TG Shreeve (1997) Diversity of butterflies on British islands: ecological influences underlying the roles of area, isolation and the size of the faunal source. *Biological Journal of the Linnean Society* **60**: 257-275.
- Hamilton TH, I Rubinoff, RH Barth & GL Bush (1963) Species abundance: natural regulation of insular variation. *Science* **142**: 1575-1577.
- Hanski I (1994) A practical model of metapopulation dynamics. *Journal of Animal Ecology* **63**: 151-162.
- Hanski I & M Gyllenberg (1997) Uniting two general patterns in the distribution of species. *Science* **275**: 397-400.
- Hanski I & CD Thomas (1994) Metapopulation dynamics and conservation: a spatially explicit model applied to butterflies. *Biological Conservation* **68**: 167-180.
- Johnson MP & DS Simberloff (1974) Environmental determinants of island species numbers in the British Isles. *Journal of Biogeography* **1**: 149-154.
- Johnson NK (1975) Controls of number of bird species on montane islands in the Great Basin. *Evolution* **29**: 545-567.
- Jolivet P (1937) Essai d'analyse ecologique de la Faune Chrysoliméidienne de la Corée. *Des Cahiers du Pacifique* **17**: 253-288.
- Kadman R & HR Pulliam (1993) Island biogeography: effect of geographical isolation on species composition. *Ecology* **74**: 977-981.
- Kohn DD & DM Walsh (1994) Plant species richness- the effect of island size and habitat diversity. *Journal of Ecology* **82**: 367-377.
- MacArthur RH & EO Wilson (1967) The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton.
- Manuel EV (1977) Butterfly fauna on Kangwha Island. Unpublished Kyung Hee University, M. Sc thesis. Seoul.
- Nagasawa S (1987) Species-area relation for butterflies of the Japanese Archipelago (Lepidoptera). *Kontyu* **55**: 431-428.
- Power DM (1972) Numbers of bird species on the California Channel Islands. *Evolution* **26**: 451-463.
- Preston EW (1962) The canonical distribution of commonness and rarity. *Ecology* **43**: 185-215, 410-432.
- Reed TM (1981) The number of breeding landbird species on British islands. *Journal of Animal Ecology* **50**: 613-624.
- Reed TM (1985) The number of butterfly species on British islands. Proceedings of the third congress of European Lepidopterology. Karlsruhe: *Societas Europaea Lepidopterologica* 146-152.
- Ricklefs RE & GC Cox (1972) Taxon cycles in the West Indian avifauna. *American Naturalist* **106**: 195-219.
- Ricklefs RE & IJ Lovette (1999) The roles of island area per se and habitat diversity in the species-area relationships of four Lesser Antillean faunal groups. *Journal of Animal Ecology* **68**: 1142-1160.
- Simberloff DS & LG Abele (1976) Island biogeographic theory and conservation practice. *Science* **191**: 285-286.
- Simberloff DS & EO Wilson (1969) Experimental zoogeography of islands: the colonization of empty islands. *Ecology* **50**: 278-296.
- Simberloff DS & EO Wilson (1970) Experimental zoogeography of islands. A two year record of colonization. *Ecology* **51**: 934-937.
- SPSS (1996) SPSS for Windows, ver. 7.5.2. SPSS Inc.
- Tonn WM & JJ Magnuson (1982) Patterns in the species composition and richness of fish assemblages in northern Wisconsin lakes. *Ecology* **63**: 1149-1160.
- Wright DH (1983) Species-energy theory: an extension of species-area theory. *Oikos* **41**: 496-506.

Appendix 1. Data matrix for the relationships between butterfly species number and area, latitude, distance from mainland, and maximum elevation. Asterisks (*) indicate data lacking due to unavailability in the examined map (scale 1 : 100,000)

Island	No. species	Area	Latitude	Distance	Elevation	Reference
1. Chejudo	104	1824.9	33	102.8	1950	Kim (1976)
2. Baekryongdo	14	45.4	37	3.2	136	Kim & Yu (1987)
3. Dochodo	5	41.7	34	26.5	219	Kim & Lee (1979)
4. Uido	11	9.3	34	37.7	252	Kim & Lee (1979)
5. Bikumdo	5	43.1	34	30.5	*	Kim & Lee (1979)
6. Chilbaldo	3	0.3	34	44	*	Kim & Lee (1979)
7. Daegaksido	6	0.4	35	15	*	Kim & Lee (1989)
8. Daesukmando	7	0.58	35	35	*	Kim & Lee (1989)
9. Songido	13	4.4	35	14.5	*	Kim & Lee (1989)
10. Anmado	11	6	35	39	*	Kim & Lee (1989)
11. Odo	7	0.5	35	37	*	Kim & Lee (1989)
12. Heongdo	6	0.3	35	36	*	Kim & Lee (1989)
13. Gulupdo	2	1.7	37	90.3	123	Kim & Chang (1982a)
14. Sungapdo	10	2.16	37	46.4	352	Kim & Chang (1982a)
15. Mungapdo	4	3.5	37	54.6	*	Kim & Chang (1982a)
16. Baekado	14	1.8	37	72.2	*	Kim & Chang (1982a)
17. Sunmido	1	0.8	37	50.6	*	Kim & Chang (1982a)
18. Soyado	3	3	37	47.6	*	Kim & Chang (1982a)
19. Uldo	6	2.1	37	71.7	*	Kim & Chang (1982a)
20. Nowhado	7	25	34	14.5	148	Kim & Chang (1982a)
21. Soando	11	23.2	34	17.8	359	Kim & Chang (1982b)
22. Bogildo	8	32.9	34	18.3	435	Kim & Chang (1982b)
23. Heonggando	5	3.5	34	14	*	Kim & Chang (1982b)
24. Geomundo	19	32	34	115	237	Kim & Chang (1984)
25. Daesambudo	3	0.79	34	4.9	*	Kim & Chang (1984)
26. Daeheuksando	16	19.7	34	96.4	378	Ra <i>et al.</i> (1986)
27. Soheuksando	11	9.2	34	144	378	Ra <i>et al.</i> (1986)
28. Youngsando	5	2.2	34	94.2	*	Ra <i>et al.</i> (1986)
29. Hadaedo	2	2.3	34	119	*	Ra <i>et al.</i> (1986)
30. Hachodo	14	16.7	34	12	231	Nam (1983)
31. Galmokdo	4	0.2	34	21.8	*	Nam (1983)
32. Gwanmaedo	2	4.1	34	19	*	Nam (1983)
33. Gwansado	7	1.3	34	19.3	*	Nam (1983)
34. Nulokdo	5	0.6	34	22.5	*	Nam (1983)
35. Dokgodo	10	1.5	34	8.5	*	Nam (1983)
36. Sangchodo	4	8.1	34	16.5	*	Nam (1983)
37. Sosungnamdo	9	0.1	34	7.2	*	Nam (1983)
38. Chukhangdo	3	0.3	34	18.3	*	Nam (1983)
39. Chungdeoungdo	3	0.4	34	18.8	*	Nam (1983)
40. Jawoldo	38	7	37	27.4	166	Paik <i>et al.</i> (1994)
41. Yongyoudo	15	13.6	37	16.2	172	Paik <i>et al.</i> (1994)
42. Shindo	55	6.9	37	4.9	178	Paik <i>et al.</i> (1994)
43. Youngjongdo	32	45.3	37	3.2	256	Paik <i>et al.</i> (1994)
44. Deukjeokdo	27	20.6	37	77.3	314	Paik <i>et al.</i> (1994)
45. Daeijakldo	32	2.5	37	25.6	*	Paik <i>et al.</i> (1994)
46. Ulreungdo	31	71.7	37	135.7	984	Byun <i>et al.</i> (1996)
47. Biando	9	1.5	35	9.4	191	Shin & Park (1980)
48. Maldo	8	0.7	35	26.2	*	Shin & Park (1980)
49. Bangchukdo	7	1.4	35	21.8	*	Shin & Park (1980)
50. Shinsido	14	4.5	35	14.9	*	Shin & Park (1980)
51. Geojedo	45	383.4	34	13.3	576	Shin & Chung (1992)
52. Gaido	6	2.2	36	6	*	Shin & Ju (1978)
53. Gungsido	4	0.2	36	23.7	*	Shin & Ju (1978)
54. Gungyeodo	3	0.03	36	49.9	*	Shin & Ju (1978)

Appendix 1. Continued

Island	No. species	Area	Latitude	Distance	Elevation	Reference
55. Jindo	54	319	34	12.1	485	Shin & Ju (1992)
56. Seokmodo	32	30	37	15	316	Shin & Choi (1996)
57. Galdo	4	0.3	34	34.6	*	Yoon & Nam (1978)
58. Bijindo	13	4.1	34	12.8	*	Yoon & Nam (1978)
59. Yeonhwado	3	3.4	34	21.2	*	Yoon & Nam (1978)
60. Gukdo	5	0.4	34	32	*	Yoon & Nam (1978)
61. Chubodo	2	0.1	33	33	113	Yoon & Nam (1985)
62. Hachujado	17	3.5	33	43	150	Yoon & Nam (1985)
63. Heonggando	14	0.6	34	47	150	Yoon & Nam (1985)
64. Sangchujado	20	1.5	33	45	154	Yoon & Nam (1985)
65. Sasudo	7	0.1	33	40	*	Yoon & Nam (1985)
66. Oeyeondo	18	0.5	36	40.6	273	Lee & Ko (1988)
67. Hwangdo	13	7.4	36	61	*	Lee & Ko (1988)
68. Heonggeondo	10	7.1	36	54	*	Lee & Ko (1988)
69. Daechungdo	16	3.3	36	43	*	Lee & Ko (1988)
70. Odo	14	0.46	36	50	*	Lee & Ko (1988)
71. Gangwhado	63	319.82	37	5	468	Manuel (1977)

Study on the Ecological Influences on the Butterfly Fauna of Islands in Korea

- Roles of Island Area, Isolation, Latitude and Maximum Elevation -

Sei-Woong Choi

(Department of Biology, Kyung Hee University, Seoul, Korea 130-701)

Abstract - The equilibrium theory of island biogeography describes that the number of species on an island is determined by two factors, island area and distance from mainland acting through extinction and immigration rates. I was analysed the relationships between species number and island area, latitude, and maximum elevation for butterflies on 71 islands in the Korean Peninsula. Among Korean islands, island area ($r^2=0.405$, $P<0.005$) and habitat diversity ($r^2=0.341$, $P<0.005$) were significantly correlated, but distance from mainland ($r^2=0.018$, $P>0.05$) and latitude ($r^2=0.040$, $P>0.05$) were weakly correlated. The present and earlier studies on the butterfly species richness in Korean islands demonstrate that the butterfly fauna is closely related to the ecological variables, i.e., area, composition of flora and maximum elevation. [Equilibrium theory, butterfly, island area, latitude, distance from mainland, elevation]