

# 먹이식물·흡밀식물·식생이 나비 군집에 미치는 영향

김도성\* · 조영복<sup>1</sup> · 정종철<sup>2</sup>

한국나비보전센터, <sup>1</sup>한남대학교 자연사박물관, <sup>2</sup>국립공원연구원

## Effects of Host plant, Nectar plant and Vegetation types on Butterfly Communities

Do Sung Kim\*, Young Bok Cho<sup>1</sup> and Jong Chul Jeong<sup>2</sup>

Butterfly Conservation Center of Korea, Geumsan 312-802, Korea

<sup>1</sup>Natural History Museum, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea

<sup>2</sup>National Park Research Institute, Korea National Park Service, Namwon 590-811, Korea

**ABSTRACT:** The effects of number of host plants and nectar plants on the number and diversity of butterflies were monitored and analyzed by simple and multiple regression from May 2008 to Sep 2009 in the Bujusa region (Mt. Sokri, Boeun-gun, Chungcheongbuk-do), which was divided into four regions. The results demonstrate that the number of butterflies has a positive correlation with the number of host plant species, the number of nectar plant species, and the number of host plants multiple regression analysis. The number of butterflies also increased habitat area. However, the butterfly species number and diversity index showed lower correlation with the number of host plants and the area size of the divided region, respectively, when analyzed by simple regression. In addition, increased species diversity in a region with more diverse plant flora. These results suggest that the composite distribution of host and nectar plants with diverse plant flora is required for butterfly diversity and population preservation. Additionally, it also suggest that vegetation types complementarity all factors.

**Key words:** Butterfly, Host plant, Mt. Sokri, Nectar plant, Vegetation types

**초록:** 본 연구는 먹이식물과 흡밀식물의 수 그리고 식생이 나비의 개체수 및 다양성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 2008-09년까지 충북 보은군 속리산 법주사 지역을 4개 구간으로 나누어 모니터링을 실시하였으며 이를 단순회귀분석 및 다중회귀분석하였다. 그 결과 나비 개체수와 식물종수, 흡밀식물 그리고 먹이식물 수를 다중회귀분석 한 결과에서 상관관계를 보였으며, 서식지 면적이 클수록 개체수는 많아지는 것으로 나타났다. 그러나 단순회귀 분석 시 나비의 종수와 다양도지수는 먹이식물 수 및 구간면적과 각각 낮은 상관관계를 나타냈다. 또한 보다 다양한 식생을 보이는 구간에서 나비 종수가 증가하였다. 나비의 다양성과 개체군 보전을 위해서는 다양한 수종의 식물과 함께 나비의 먹이식물과 흡밀식물이 복합적으로 분포하고, 식생은 각각의 요소들이 서로 보완관계를 유지할 수 있도록 다른 형태로 존재하는 것이 필요함을 시사한다.

**검색어:** 나비, 먹이식물, 속리산, 식생, 흡밀식물

나비는 다른 분류군에 비하여 생태연구가 활발히 진행되어 이를 기초로 한 지리적 분포 특성을 이용하여 기후와 서식지 환경 변화와 같은 특정지역의 지표종으로 활용하기 좋은 대상이다(Heath *et al.*, 1984; Warren, 1992; Pywell *et al.*, 2004; Sawchik *et al.*, 2005; Van Swaay *et al.*, 2008). 현재의 서식처 환경은 여

러 가지 요인들에 의한 공간적 변화로 작은 패치형태로 조각화되어 서식지 간에 불연속성을 가중시키고 있는 가운데(Wiens, 1976), 나비 다양성과 풍부도는 지형, 기후, 토지이용현황 그리고 먹이식물이나 흡밀식물의 특성에 영향을 받아 이들의 상호관계와 연관되어 설명된다(Christian, 1958).

나비와 식물은 공진화관계에 있어 일반적으로 나비의 종구성과 풍부도는 식물군집 형태와 밀접한 관계를 가져 먹이식물의 특정한 생육환경과 성장패턴은 나비에게 있어서 식물의 이

\*Corresponding author: bremeri2000@hanmail.net

Received March 20 2012; Revised August 6 2012

Accepted September 18 2012

용방법과 시기 등을 전략적으로 변화시켜 생활사 전반에 많은 영향을 주고 있다(Ehrliche and Raven, 1964; Erhardt, 1985; Price, 2002; Hunter, 2003; Dennis *et al.*, 2004). 따라서 나비 군집은 다양한 환경과 공간에 의하여 달리 나타날 뿐만 아니라, 먹이식물의 군집구성과 강하고도 직접적인 상관관계를 보이고 있다(Ries and Debinski, 2001; Shepherd and Debinski, 2005; Reeder *et al.*, 2005; Davis *et al.*, 2007).

또한 나비 군집은 흡밀식물의 다양성과도 밀접한 관계를 보이고 있어(Stoner and Joern, 2004) 특정한 종이나 꽃의 화색이나 형태를 선호하고(Porter *et al.* 1992) 흡밀식물의 위치를 인지할 수 있는 능력이 있는 것으로 알려져 있다(Gilbert and Singer, 1975). 뿐만 아니라 흡밀식물의 풍부도는 나비를 유인하는데 중요한 역할을 한다고 할 수 있으며(Saarinen and Jantunen, 2005; Kitahara *et al.*, 2008), 관목과 초본의 흡밀식물이 목본식물보다 많이 모이는 것으로 나타나고 있다(Nimbalkar *et al.*, 2011). 따라서 더 많은 종류의 흡밀식물에 접근하는 것이 먹이자원에 대한 효율성을 높여 성공적인 생활사를 유지하고, 이는 나비군집의 변형으로 이어져 지리적 분포에 영향을 주는 것으로 나타났다(Dennis *et al.*, 2005). 이와 같이 나비와 기주 관계를 갖진 먹이식물과 흡밀식물 군집을 고려할 때 식물의 종과 면적효과를 파악하는 것이 나비군집의 풍부성을 이해하는데 중요한 요인이 된다(Claridge and Wilson, 1982).

실제 모니터링 결과에서 나비 다양성은 적당히 교란된 식생 지역이 포함된 다양한 경관이 복합적으로 존재하고 있는 곳에서 가장 높게 나타나고 있으나 개발이 진행될수록 다양성은 떨어지고 이러한 도시화는 이전에 서식하던 종의 감소 내지는 소멸을 가져왔다(Blair and Launer, 1997). 또한 같은 서식지내에서도 나비 다양성은 식물의 종류와 흡밀식물량에 상관관계를 보이고 있으나, 밀도는 경관이나 초지 크기와는 관계를 보이지 않았지만 작은 면적의 경관 지역이나 서식지 조각화는 일반종의 비율을 높이는 것으로 나타났다(Öckinger and Smith, 2006). 따라서 나비의 다양성은 식물의 분포형태에 의존하여 전국 또는 지방차원의 토지등급 분류와 관련된다.

기존의 연구는 서식지에서 나비 군집변화를 파악하기 위하여 성충의 개체변화 모니터링이 주를 이루었다(Kim *et al.*, 1999; Hyun and Choi, 2003). 그러나 보다 자세한 서식지 환경에 대한 이해를 위해서는 나비군집 변화에 대한 세밀한 접근방법이 필요하다. 따라서 이번 연구에서는 서식지에서 나비 군집 변화에 대한 이해를 위하여 가장 직접적인 관계에 있는 먹이식물, 흡밀식물, 식생과의 상호관계를 탐색하였다. 이는 나비의 생활사에 있어서 성충의 행동양식에 대한 이해력을 높일 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

## 재료 및 방법

### 장소와 모니터링 구간

속리산 법주사는 보은군 내속리면(Sokrisan, Beopjusa, Boeun-gun, Naesokri-myeon)에 위치하고(N: 36°32'29.79", E: 127°49'57.42") 법주사에서 석문(Seokmun)에 이르는 임도는 일반인들의 통행이 제한되어 스님들의 수행공간으로 이용되고 있다.

모니터링에서 수집된 데이터의 활용을 위해서는 나누어진 구간에 대한 공간적 분포나 특징에 대한 충분한 검증은 필요로 하다(Harker and Shreeve, 2008). 이와 같이 모니터링 구간의 설정은 식생의 변화, 경관변화를 기준으로 나누어지는데(Pollard and Yates, 1993), 속리산에서의 구간 설정은 먼저 절의 건물들이 있는 지역, 그리고 식생구조(초지, 관목, 교목) 그리고 수관부에 따라서 정하였다. 따라서 각 구간은 기하학적 거리가 아닌 생태학적 거리로 구분되었으며 구간별로 살펴보면 S.1은 길이 400 m로 법주사 입구에 위치한 다리부터 시작하여 절의 건물이 끝나는 지점으로 다수의 절 건물이 산재하고 있어 사람의 왕래가 많은 곳이다. S.2는 328 m로 절의 끝 지점부터 동암을 거쳐 운동장이 끝나는 지점으로 이곳부터는 절에서 수행하는 스님과 관계자들만이 출입하는 지역으로 점심시간을 전후하여 스님들이 왕래를 하고 있다. S.3는 225 m로 우측으로는 계곡이 물이 흐르고 있고 좌측으로는 관목과 교목층을 이루는 숲길로 일반인들의 출입이 제한되는 장소이다. S.4는 245 m

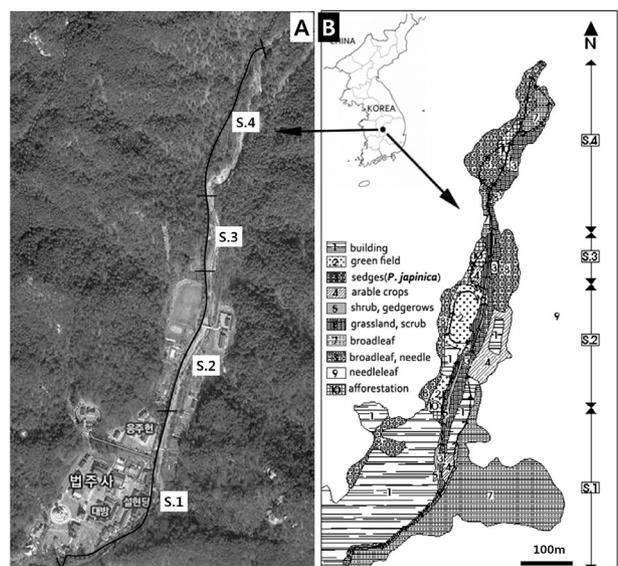


Fig. 1. Vegetation types of butterfly monitoring sites from Mt. Sokrisan.

로 입도 좌우로 교목층의 숲길로 3구간과 같이 사람의 왕래가 적은 곳이다(Fig. 1).

## 나비 모니터링

나비 모니터링은 선조사법을 이용하여 정해진 구간을 따라 서 도보로 이동하면서 좌우 5 m 이내에서 관찰되는 나비를 육안 동정하였으며 동정이 어려운 부전나비과 나비와 표범나비는 포충망을 이용하여 포획 확인 후 현장에서 방사하였다(Thomas, 1983; Pollard, 1984; Pollard and Yates, 1993). 모니터링 시기는 2008년 5월 2회, 9월 1회 그리고 2009년 4월부터 9월까지 각각 월 2회씩 날씨가 맑은 날을 선택하여 오전 11시부터 오후 2시 사이에 실시하였다.

## 먹이식물·흡밀식물 조사

먹이식물과 흡밀식물의 조사는 Kim(2002)과 Paek and Shin(2010)을 참고로 하여 나비 모니터링 구간을 따라서 좌우 5m이내에 위치한 식물을 동정하였다. 조사 시기는 2008년 6월 3회, 2009년에 4월부터 9월까지 총 15회가 조사되었다. 관속식물의 출현종은 현장에서 기록하고 일부종은 사진촬영 및 채집을 실시하였으며 미확인 식물은 실험실로 운반하여 동정하였다. 식물의 분류 동정은 Lee(2003), Lee(2006) 식물도감을 참조하였다.

## 서식지 식생분석

조사지역의 식생분석에는 항공사진을 이용한 절 건축물의 위치 그리고 교목층의 범위를 표시하였으며 현장 조사가 용이한 평지 지역은 나비 서식지 특징(Asher *et al.*, 2001)을 이용하여 초지, 잔디, 관목, 교목 등으로 나누어 지도에 표기하였다(Fig. 1-B). 또한 각 구간별 길이와 면적은 항공사진을 이용하여 추정하고 회귀분석의 데이터로 활용하였다.

## 특이종·일반종의 구분

국내에 서식하는 종을 대상으로 한 곤충 평가에서는 환경부 멸종위기종(Kyohaksa, 1998), 한국특산종, 환경지표종, 국외 반출승인대상 종으로 구분되어(<https://ecosurvey.nier.go.kr>) 있으며, Kim(1976)과 Shin(1989)의 도감에서 국내에서 흔하게 관찰되는 종에 대해서는 일반종으로, 관찰이 어려운 종은 희귀종 언급하고 있다. 이러한 종 정보를 기초로 활용하여 특이종과 일반종을 구분하여 서식지 환경에 따른 분석에 활용하였다.

이번에 적용한 속리산 특이종 일반종의 구분은 지리적 분포(국내 서식지 범위나 분포지 수), 서식지 특이성(서로 다른 서식지를 얼마나 갖는가) 그리고 국지 개체군 크기(서식지에서의 관찰 개체수)를 이용하였다. 특이종의 선정은 지리적 분포지가 국지적인 종을, 서식지 특이성은 서식지가 산림내, 습지대, 암반지대 등과 같이 특이 환경을 요구하는 경우를 기준으로 선정하였다(예, *Dilipa fenestra*, *Neptis thisbe* 등). 여기에서 개체수는 단지 일일 지역의 개체수 또는 전문가가 야외 경험에 의해서 기술된 내용을 그대로 인용하였다. 이는 표식-방사-재포획 방법을 이용하여 국내에서 서식지의 개체군을 추정할 경우는 단지 3종에 대해서 뿐이고 조사자의 경험과 관찰에 의하여 많고 적음으로 기록한 것이 대부분이기 때문이다(Kim and Kwon, 2010; Kim *et al.*, 2011a, 2011b).

그리고 특이종과 일반종의 선정을 위하여 지리적 분포는 도면에 분포지가 기록된 Seok(1973), Kim(1976), Park and Kim(1997) 도감을, 서식지 특이성은 산림 또는 수림, 초지대, 관목지 등으로 표기한 Joo *et al.*(1997), Kim(2002)의 도감을, 국지 개체군의 크기는 개체수가 많다, 적다로 기록한 Shin(1989)의 도감을 활용하였다.

이외에도 특이종과 일반종을 결정하는데 있어서 연간 성충 발생횟수와 먹이식물의 다양성을 함께 반영하였는데 특이종은 대부분 연 1회 발생하거나 협식성 또는 단식성(1-2종의 먹이식물)을 갖는 종으로 선정하였으며(예, *Aldania raddei*) 이화성 이상과 다식성(3종 이상의 먹이식물) 대부분의 종들이 야외에서 적지 않은 개체수를 유지하고 있는 관계로 일반종으로 선정하였는데, 나비의 발생횟수는 Joo *et al.*(1997), Kim(2002)의 도감을, 먹이식물은 최근의 정보를 가장 많이 수록한 Paek and Shin(2010)의 도감을 이용하였다. 특이종의 선정은 앞에서 언급한 내용을 복합적으로 판단하여 선정하였으나 연구자들에 따라서 이견이 있을 것으로 예상된다. 따라서 공감대 형성을 위해서는 연구자 개개인이 갖고 있는 방대한 자료 분석과 교환 그리고 연구자간의 협의는 다음 과제로 남겨두기로 한다.

## 자료분석

속리산 나비의 분포 현황을 파악하기 위하여 2년간의 모니터링 결과를 이용하여 각 구간별 다양도와 우점도 및 유사도 지수를 산출하였다. 다양도지수는 Pielou(1969)가 제안한 Shannon-Wiener

$$H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

여기에서  $n$  은  $n$  번째 출현종 개체수,  
 $N$ 은 전체 출현종의 개체수  
 $p_i$  은  $i$  번째 종의 개체수 비율( $\frac{n_i}{N}$ )를 사용하였으며

우점도지수는 Simpson(1949)가 제안한 Simpson's index

$$D = \sum \left( \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right)$$

여기에서  $n_i$  는  $i$  번째 종의 개체수  
 $N$  은 전체 출현종의 개체수이다.

나비 군집유사도는 일반적으로 가장 많이 사용하는 Sorensen 지수를 사용하여 각각의 구간별, 시기별로 출현과 비출현 종을 기록한 후 다음과 같이 계산되었다(Janson and Vegelius, 1981).

$$C_s = \frac{2j}{(a+b)}$$

여기에서  $a$ 는 비교대상 두 지역 중  $a$  지역에서 출현한 종수  
 $b$ 는 비교대상  $b$  지역에서 출현한 종수  
 $j$ 는 비교대상 두 지역 모두에서 공통적으로 출현한 종수이다.

이렇게 계산된 각각의 시기별로 지역에 대응하는 유사도지수를 이용하여 행렬식을 만든 후 단일연관법(Single linkage method) 의해서 Clustering dendrogram을 작성하였다. 또한 각 구간별 출현종과 먹이식물, 흡밀식물, 구간길이와 면적과의 상

관관계를 알아보기 위하여 SAS-StatView 5.0.1.(1998)을 이용하여 단순회귀분석과 다중회귀분석을 하였다.

## 결과

### 출현종과 개체수

법주사 지역에서 조사된 나비는 53종 445개체로 이중 흰나비과 배추흰나비(*Pieris rapae*) 56개체(12.6%), 큰줄흰나비(*Pieris melete*) 36개체(8%), 호랑나비과 긴꼬리제비나비(*Papilio macilentus*) 35개체(7%), 네발나비과 먹그늘나비(*Lethe diana*) 33개체(7%) 그리고 부전나비과 암먹부전나비(*Everes argiades*) 26개체(6%)로 나타났으며, 이들 상위 5종이 186개체(42%)로 나타났다(Fig. 2). 그리고 1개체만 관찰된 나비도 21종으로 나타나 상위 5종을 제외하면 적은 수의 개체수를 유지하고 있어 면밀한 종의 서식환경은 물론 생활사에 관한 연구가 요구된다.

구간별 종수는 3구간(32), 2구간(30), 1구간(28), 4구간(20)종으로 나타나 3구간이 가장 높게 나타났다(Table 1). 3구간이 가장 짧음에도 불구하고 계곡을 중심으로 우측에는 관목림이 길게 따라서 형성되고 그 아래로는 띠 형태의 초본층이 있으며 좌측으로는 교목이 자라고 있어 다양한 식생구조를 갖고 있는 결과로 보인다. 반대로 4구간은 임도 좌우로 숲 터널을 형성하고 소나무림이 하부에 활엽수림과 조릿대가 자라고 있어 음지를 선호하는 종(*Lethe diana*, *Ypthima argus*, *Y. multistriata*)들이 활동하는 것으로 나타났다.

그리고 구간별 개체수는 2구간(191), 1구간(108), 3구간(93), 4구간(83)개체 순으로 나타났다. 가장 많은 개체수를 보

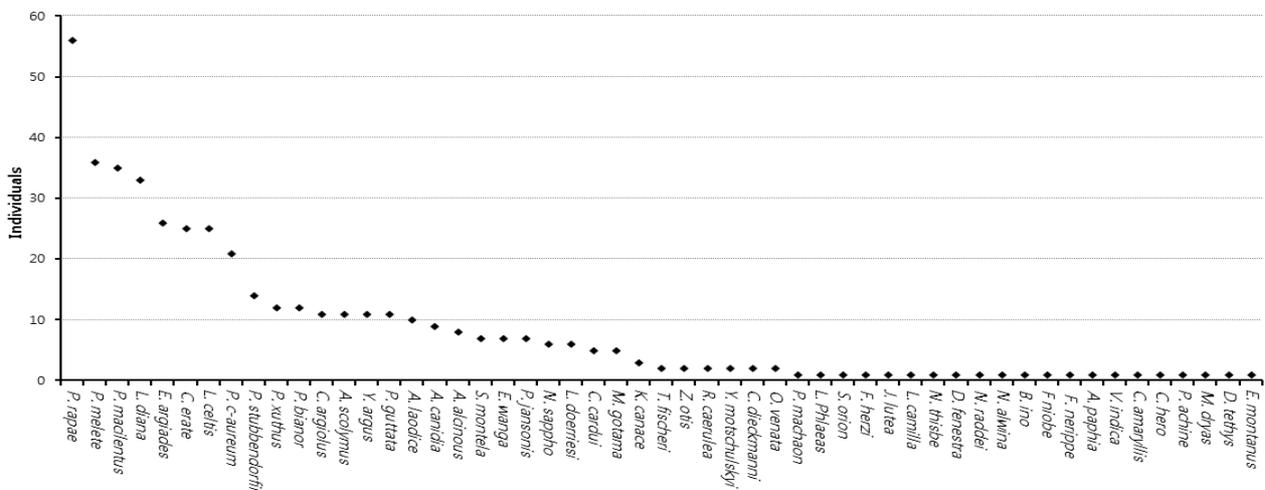


Fig. 2. Relative abundance curve plots of individuals of each species, ranked from most to least abundant, 2008-09.

인 2구간은 넓은 초지와 흡밀식물이 타 구간에 비하여 넓게 분포하고 가장 적은 4구간의 대부분은 숲 터널을 형성하고 있기 때문에 보인다(Table 1).

전체 구간을 살펴보면 1-2구간은 초지대를 선호하는 흰나비과의 나비가 주류를 이루고 있으며 3-4구간은 숲에서 생활하는 나비가 많아지고 있는 것으로 나타났다. 그리고 전체 구간에서 나비 종 구성은 초지대에서 서식하는 종과 일반종이 가장 많은 종수와 개체수를 나타냈으며 특이종은 2구간에 가장 높게 나타

내었다. 숲에 서식하는 종의 분포는 3구간에서 가장 높게 나타내었다. 먹이식물의 섭식형태는 다식성의 나비가 대부분을 차지하고 발생형은 일화성이 가장 많은 것으로 나타났다(Appendix 1).

### 우점도·다양도·유사도

2008-09년까지 조사 시기별 다양도와 우점도지수는 전반적으로 낮게 나타났다(Table 2). 나비가 가장 많이 발생하는 5월

**Table 1.** Number of butterfly species recorded at each section

		S. 1		S. 2		S. 3		S. 4	
		No. of species	No. of individuals						
Grassland	Generalist species	14	71	12	89	7	36	6	11
	Specialist species	3	5	4	22	3	6	2	2
Forest	Generalist species	8	28	3	11	15	43	10	64
	Specialist species	3	3	11	39	7	8	2	6
Butterfly voltinism	Univoltine	9		9		16		6	
	Bivoltine	4		4		4		2	
	Multivoltine	15		17		12		12	
Total		28	107	30	161	32	93	20	83
Range of acceptable larval hostplants	Oligophagous	3		2		5		2	
	Polyphagous	25		28		27		18	

**Table 2.** Index of species diversity ( $H'$ ) and dominance index ( $D$ ) throughout the survey period

Date	2008							2009									
	5. 9	5. 29	9. 4	4. 10	4. 28	5. 19	5. 30	6. 7	6. 26	7. 1	7. 22	8. 14	8. 31	9. 9	9. 16		
Folded section	SWI	1.09	0.91	1.08	0.63	1.05	1.10	1.14	0.75	0.82	0.75	0.86	1.00	1.05	0.93	1.03	
	SI	0.07	0.13	0.08	0.31	0.08	0.09	0.03	0.17	0.18	0.07	0.09	0.07	0.08	0.13	0.09	
Each section	SWI	S.1	0.70	0.28	0.95	-	0.83	1.00	0.60	0.54	0.58	-	0.48	0.45	0.30	0.47	0.72
		S.2	0.97	0.76	0.60	-	0.79	0.83	0.95	0.58	0.57	0.60	0.68	0.75	0.80	0.67	0.79
		S.3	0.64	0.48	0.63	0.60	0.48	0.45	0.60	0.53	0.28	0.28	0.41	0.65	0.80	0.60	0.52
		S.4	0.6	0.57	0.26	0.31	0.6	0.76	0.48	-	-	-	-	0.30	0.24	0.15	-
	SI	S.1	0.16	0.33	0.10	-	0.11	0.04	-	0.20	0.26	-	-	0.17	-	0.36	0.11
		S.2	0.08	-	-	-	0.13	0.13	-	0.22	0.19	-	0.07	0.08	0.09	0.10	0.15
		S.3	0.14	-	0.20	-	-	0.11	0.17	-	0.33	0.33	0.3	0.16	0.08	-	0.14
		S.4	0.21	0.27	0.65	-	0.14		-	-	-	-	-	-	0.50	0.78	1.00

SI: Simpson's index, SWI: Shannon-Wiener index.

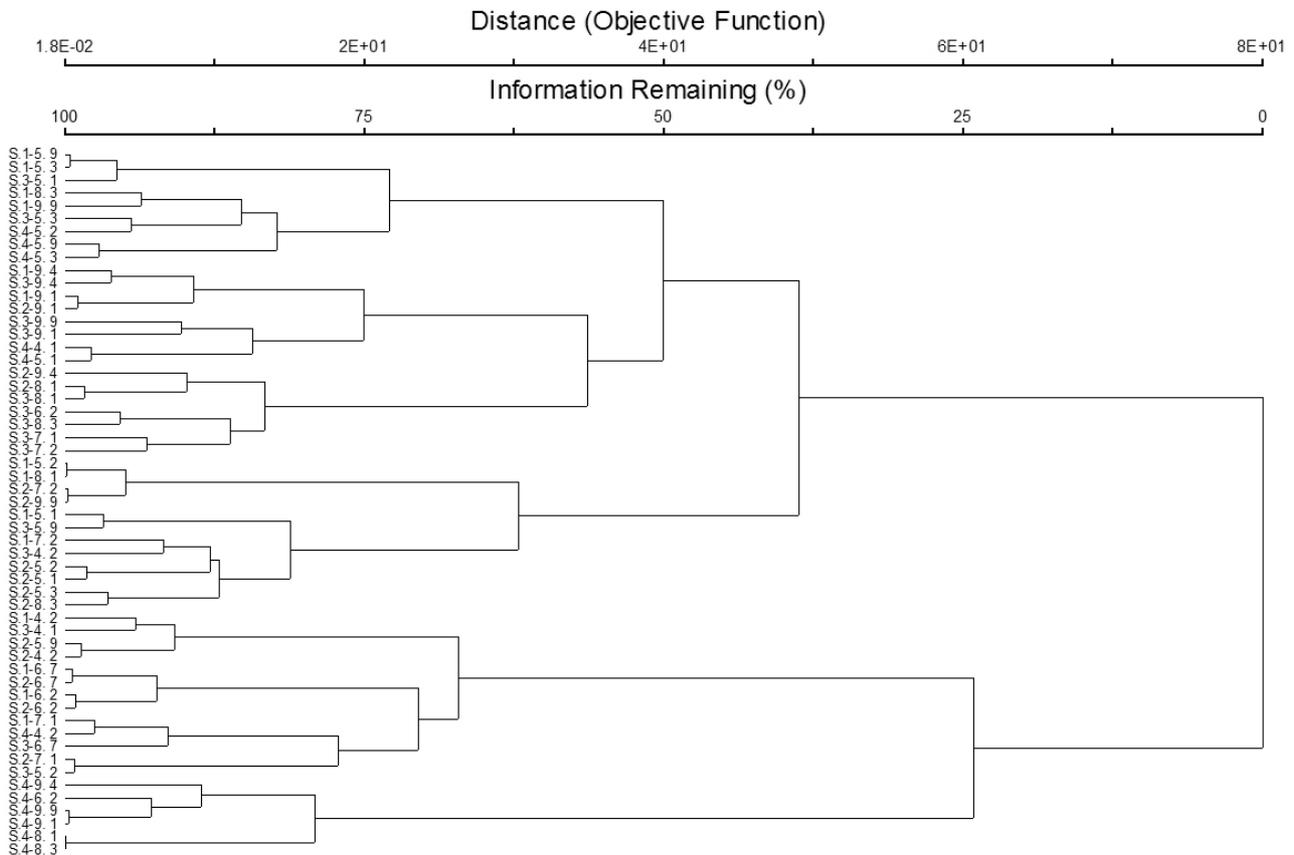


Fig. 3. Dendrogram of similarity among the sections according to the survey period. (S.1~4 : Section no, 4.1~9.9: Date).

에도 다양도는 1.2를 넘지 않는 것으로 나타나고 있으며 우점도 역시 4월을 0.3를 최고점으로 모두 낮게 나타나고 있다. 특히 6-7월은 다양한 부전나비과의 활동이 있는 시기인데도 이 지역에서 관찰빈도가 매우 적은 것으로 나타나 다양도를 낮아지게 하는 것으로 보인다. 다양도와 우점도 지수에 나타난 바와 같이 법주사 지역의 나비상은 다양성과 개체수가 빈약한 곳으로 나타나고 있다.

또한 구간별 우점도와 다양도 지수 역시 저조한 값을 나타내었다. 특히 4구간은 전체구간에서 우점도가 가장 높은 값을 보이고 있는데 이는 먹그늘나비(*Lethe diana*)가 다른 종에 비하여 넓은 면적의 조릿대와 숲 그늘 형성과 같은 안정된 서식공간을 갖고 있어 많은 개체가 관찰된 결과이다. 구간별 다양도 지수는 3구간이 전 조사기간 동안 비교적 안정된 값을 보인 반면 2구간은 이른 봄을 제외한 전 기간 동안 가장 높은 값을 보였으며, 1, 4구간에서 여름 6-7월 동안은 나비의 관찰이 저조한 것으로 나타났으며 4구간은 소나무가 거목으로 자라고 있고 그 아래로 임도가 있어 숲 그늘 형성에 따른 영향으로 보인다.

유사도 분석에서는 같은 구간에서 높은 것으로 나타나고 특

히 4구간에서 이런 현상이 두드러졌다. 또한 시기별 유사도 역시 같은 시기에 높게 나타나고 있어, 군집 유사도는 같은 구간 내와 시기에 유사한 출현종의 비율이 높아지는 것으로 나타났다(Fig. 3). 이는 각 구간별 서식환경을 선호하는 종들이 지속적으로 관찰되기 때문이다.

### 식물과 나비

법주사 지역의 구간별 식물 종은 1구간(164), 2구간(142), 3구간(104), 4구간(127)종으로 조사 되었다(Table 3). 이중 흡밀 식물과 먹이식물은 1구간부터 44, 30, 28, 28종, 29, 27, 25, 23종으로 나타났다. 각 구간별 주요 흡밀식물로는 1구간 찔레꽃(*Rosa multiflora*), 쥐똥나무(*Ligustrum obtusifolium*), 토끼풀(*Trifolium repens*), 별개미취(*Miyamayomena Koraiensis*), 산국(*Chrysanthemum boreale*), 개망초(*Stenactis annuus*), 서양민들레(*Taraxacum officinale*) 등, 2구간은 신나무(*Acer ginnale*), 국수나무(*Stephanandra incisa*, 산초나무(*Zanthoxylum schini-folium*), 토끼풀(*T. repens*), 쑥부쟁이(*Kalimeris yomena*), 개망

**Table 3.** The relationship between butterflies and plants

Date	2008				2009											
	5.9	5.29	9.4	4.10	4.28	5.19	5.30	6.7	6.26	7.1	7.22	8.14	8.31	9.9	9.16	
Butterfly no. of species	15	11	15	7	15	17	15	7	10	6	8	11	14	13	13	
Host-plant no. of species	S.1	22	22	22	28	28	28	28	28	28	28	28	29	29	29	29
	S.2	25	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27
	S.3	26	26	26	22	22	22	22	22	22	22	22	25	25	25	25
	S.4	27	27	27	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23
Butterfly no. of appearance species	S.1	6	2	11	0	8	10	5	4	4	1	3	3	2	4	6
	S.2	11	6	4	0	7	8	9	4	4	4	5	6	7	5	10
	S.3	5	3	5	1	6	5	3	4	5	2	3	5	7	4	5
	S.4	5	5	3	3	4	7	3	-	1	-	-	2	2	2	1
% (1/100)	S.1	0.55	0.25	1.00	0.00	0.67	0.63	0.33	0.67	0.57	0.20	0.43	0.33	0.17	0.31	0.46
	S.2	0.79	0.67	0.44	0.00	0.54	0.80	0.56	0.80	0.50	0.80	0.71	0.75	0.58	0.50	1.11
	S.3	0.38	0.33	0.42	0.50	0.50	0.36	0.23	0.67	0.50	0.40	0.50	0.56	0.54	0.33	0.42
	S.4	0.71	0.56	0.23	1.50	0.50	0.54	0.23	0.00	0.11	0.00	0.00	0.22	0.17	0.18	0.09
Butterfly no. of appearance species V.S No. of host-plant	S.1	6	2	8	-	8	9	4	4	4	1	3	3	2	4	6
	S.2	11	6	3	-	6	8	8	4	4	2	5	5	7	5	8
	S.3	5	3	5	1	5	4	3	3	5	1	3	5	7	4	4
	S.4	4	5	3	2	2	6	3	-	1	-	-	2	2	1	1
% (1/100)	S.1	1.00	1.00	1.38	-	1.00	1.11	1.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	S.2	1.00	1.00	1.33	-	1.17	1.00	1.13	1.00	1.00	2.00	1.00	1.20	1.00	1.00	1.25
	S.3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.25	1.00	1.33	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.25
	S.4	1.25	1.00	1.00	1.50	2.00	1.17	1.00	-	1.00	-	-	1.00	1.00	2.00	1.00

초(*S. annuus*), 망초(*Eriger canadensis*) 등, 3구간은 층층나무 (*Swida controversa*), 짙레꽃(*R. multiflora*), 산초나무(*Z. schini-folium*), 싸리(*Lespedeza bicolor*), 꽃향유(*Elsholtzia splendens*), 인동(*Lonicera japonica*), 개망초(*S. annuus*), 망초(*Eriger canadensis*) 등, 4구간은 국수나무(*S. incisa*), 산철쭉(*Rhododendron yedoense var. poukhanense*), 노린재나무(*Symplocos chinensis*) 등으로 나타났다.

전체 구간에서 나비 출현종을 보면 1구간은 절의 건축물이 산재하여 열린 공간이 형성되어 주로 초본이 주를 이루고 있어 상대적으로 따뜻한 미기후가 형성되는 지역으로 이른 봄에 출현하는 종들의 활동에 적합한 지역이며, 2-3구간은 초본, 관목, 교목이 있어 다양한 흡밀식물과 광량으로 여름에 활동하기에 적합한 환경을 보이는 것으로 보인다. 그리고 4구간은 교목이 주를 이루어 성충으로 활동하는 개체(*Libythea celtis*, *Kaniska canace*, *Polygonia c-aureum*)의 관찰이 봄에 높은 비율을 보이고 있어 월동하는 종들의 선호지역으로 판단된다. 따라서 각 구간의 특성이 계절에 따른 서식지 보환관계에 있어 다양한 종들의 서식지를 제공하는 것으로 보인다.

전 구간에서 나비출현종 대 먹이식물수 비율은 1.0-1.38로

먹이식물이 구간내에 존재하지 않더라도 주변에서 이주한 나비가 관찰되고 있는 것으로 나타나 성충의 활동은 먹이식물보다는 흡밀식물이나 식생 구조에 영향을 받는 것으로 나타났다 (Table 3). 그리고 각 구간에서 출현한 나비 종수가 전체구간에서 차지하는 비율이 계절에 따라서 변화가 큰 것으로 나타나고, 그중 2구간이 가장 높고 4구간이 가장 낮은 비율을 보였다.

### 회귀분석

식물전체 출현종수와 먹이식물, 흡밀식물과의 단순회귀, 다중회귀 분석결과 모두 유의성이 있는 것을 나타냈으나 구간별 면적과 길이와는 상관성을 보이지 않았다. 따라서 일반적으로 서식지의 식물의 종수가 많아지면 흡밀식물과 먹이식물의 수는 증가하는 것으로 나타났다(Table 4).

나비개체수와 식물과의 단순회귀분석 결과는 모두 유의성을 보이지 않았으나 다중회귀분석 결과는 유의성이 있는 것으로 나타나고 있다. 따라서 나비 개체수는 출현 식물종수, 흡밀식물과 먹이식물과 복합적인 관계를 보이는 것으로 나타나고 있다. 그러나 나비종수·다양도와 식물과의 분석에서는 모두

**Table 4.** Result of regressions of butterflies, plants and section monitored

	No. of Individuals	Butterfly		Plant
		No. of species	Shannon-Wiener	No. of all species
Simple	No. of all plant species [A]	F=1.625 (0.249)	F=3.918 (0.095)	F=3.388 (0.115)
	No. of nectar plants [B]	F=0.258 (0.629)	F=1.901 (0.217)	F=2.011 (0.205)
	No. of hostplants [C]	F=2.395 (0.172)	F=4.776 (0.071)	F=4.958 (0.067)
	section area [D]	F=19.63 (0.004)	F=4.229 (0.085)	F=4.681 (0.073)
	section length [E]	F=0.198 (0.671)	F=0.018 (0.898)	F=0.117 (0.743)
Multiple	A+B+C	F=17.60 (0.009)	F=1.860 (0.277)	F=1.733 (0.298)
	A+B	F=23.46 (0.003)	F=3.188 (0.128)	F=3.209 (0.126)
	D+E	F=20.82 (0.003)	F=2.920 (0.144)	F=2.590 (0.169)
	B+D	F=8.598 (0.024)	F=2.493 (0.177)	F=2.783 (0.154)
	C+D	F=8.269 (0.026)	F=2.711 (0.159)	F=2.941 (0.143)
	B+C+D	F=17.68 (0.009)	F=1.860 (0.277)	F=1.733 (0.298)
	B+E	F=0.540 (0.490)	F=0.810 (0.495)	F=0.940 (0.450)
	C+E	F=1.069 (0.410)	F=1.994 (0.230)	F=2.099 (0.217)
	B+C+E	F=17.60 (0.009)	F=1.680 (0.277)	F=1.733 (0.298)

( ): p-value, n=16.

유의성이 없는 것으로 나타나고 있으나 미약하게나마 먹이식물의 종수와는 상관관계에 있을 것으로 추정되는 값을 나타내었다(F=4.22, p=0.085). 그리고 나비 개체수와 관련하여 경관 변수인 구간별 길이와 면적(D, E), 먹이식물과 흡밀식물의 수는 구간면적과 길이와 함께 나비 개체수와 다중회귀분석에서 상관관계를 보이고 있는 것으로 나타났다.

## 고찰

나비모니터링은 환경변화에 대한 신뢰할 수 있는 자료로 (Thomas *et al.*, 2004), 경관이나 서식지 그리고 기후변화에 따라서 나비의 분포지와 풍부도가 변화한다(Parmesan *et al.*, 1999; Asher *et al.*, 2001). 모니터링은 이런 환경의 변화를 알아 보기 위하여 고정된 루트를 따라서 주 1회 간격으로 성충을 카운트하는 방법을 영국에서 시작하였다(Pollard and Yates, 1993). 유럽에서 모니터링 범위는 통상 5 m 이내를 권장하고 있으며 시야가 잘 확보된 숲길에서는 6 m까지 허용한다. 그러나 유럽의 나비 대부분은 아시아 보다 그 크기가 작고 활동성이 작은 나비가 주류를 이루고 있어(Tolman and Lewington, 1997) 이러한 범위 적용이 합리적일 것으로 판단되나, 국내에서는 활동성이 강한 호랑나비(*Papilio xuthus*), 왕오색나비(*Sasakia charonda*) 등은 유럽에서 제시하고 있는 5 m 범위를 벗어나는 경우가 빈번하다. 또한 국내의 모니터링 대상지는 길을 따라서 넓은 초지대와 관목지 좁은 숲 등으로 구성되어 모니터링 범위를 정확하게 적용하는데 한계가 있는 것이 현실이다. 실제 국내에서 진행된 연구자의 관찰범위를 살펴보면 Hyun and Choi

(2003)은 8 m 내외 범위를 벗어나도 육안동정 가능종 포함, Kim *et al.*(1999)는 10 m, Kim *et al.*(2007)은 10 m 내외 범위를 벗어나도 육안동정이 가능종 포함하여 모니터링을 진행한 바 있다. 비록 나비 모니터링의 목적에서 서식지 내에 있는 모든 나비를 파악하는 데 있지는 않지만, 오동정의 가능성이 낮은 종에 대해서는 관찰범위를 벗어나는 종의 개체수 파악이 현재 국내 모니터링에는 적합할 수도 있다. 따라서 이 문제는 좀 더 다양한 관점에서 국내의 현실에 맞게 심도 있는 논의가 필요할 것으로 생각된다.

그리고 모니터링 횟수는 나비 종이나 개체수를 파악하는데 중요한 변수로 작용하여 유럽에서는 주 1회를 진행하는 것을 기초로 한다. 그러나 국내에서는 연구자의 여건에 맞게 주로 월 1-2회로 조사되는 경우가 많았다(Kim *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 2007). 이와 같이 월 2회 조사로는 주 1회 조사에 비하여 나비 종수와 개체수의 변화를 파악하는데 한계를 보이는 것으로 판단되며 실제 경기도 광릉에서의 모니터링 결과에서도 조사 횟수에 따라 종 증가현상이 두드러지는 것을 알 수 있다(Kwon *et al.*, 2010).

이번 자료 분석에서 나비의 분포에 먹이식물과 흡밀식물이 어떠한 영향을 주는가에 대한 상호관계를 탐색하였으나 보완할 필요성이 제기되었다. 특히 두 분류군이 동시에 조사가 이루어져야 한다는 점에서 나비와 식물전문가가 함께 모니터링 하는 것이 필요하며 식물의 경우 나비와 같이 피도나 면적의 크기를 추정해야 할 것으로 보인다. 그러나 이번 조사에서는 조사된 식물목록을 먹이식물과 흡밀식물로 분류하여 분석하여 동시성을 확보하지 못하였다. 특히 흡밀식물이나 먹이식물의 경우 중

수도 중요하지만 개체수(혹은 면적)도 중요하게 작용할 것으로 판단된다.

Inoue(2003)는 숲의 형태에서 오래된 숲 보다는 어린나무와 새롭게 성장 중인 숲에서 가장 높은 다양도를 보였으며, 속리산에서 역시 숲이 오래된 4구간보다는 교목과 초본이 있는 3구간에서 높게 나타나고 있다. 또한 절에서 식재되는 원예 종에서 많은 나비가 흡밀하고 있어 나비의 생활에 많은 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. 나비가 흡밀식물의 선택에 있어서는 기회적인 경우가 많은 것으로 나타나고 그 중에는 특히 선호하는 색깔이나 크기가 있으며(Porter *et al.*, 1992) 먹이식물의 선택역시 식물의 크기, 분포, 알이나 유충의 존재여부에 의하여 선택한다고 하였으나(Singer, 1989), 속리산 나비 중에는 꽃 보다는 지상의 습지나 오물, 나무의 수액이나 과일을 선호하는 종도 다수(*Dilipa fenestra*, *Neptis thisbe*, *Aldania raddei*, *Libythea celtis*, *Kaniska canace* 등) 있는 것으로 나타났다. 이런 종들이 차지하는 비율이 높아질수록 흡밀식물과 상관관계분석에서 부정적인 결과로 작용할 것으로 판단된다.

조사지역은 비록 제한적이기는 하지만 사람의 통행과 관리가 이루어지는 특성이 있는 지역으로 매년 2-3회의 제초작업과 간헐적으로 계곡의 보수작업, 절 증축과 보수 공사가 진행되고 있는 곳이다. 특히 2009년에는 1-2구간에서 길을 따라서 잦은 제초작업이 진행되어 절 담장을 따라서 식재되었던 흡밀식물이 제거되어 나비의 군집에 영향을 주었다. 이와 같은 잦은 제초작업은 식물종을 단순화 시키고 이에 따른 나비의 다양도와 우점도 감소시키는 것으로 나타나고 있다(Valtonen *et al.*, 2006; Marini *et al.*, 2009). 그러나 방화대(firebreak)나 농원 그리고 길게 늘어진 비포장도로는 방치된 초지대나 숲으로 둘러싸인 관목 숲보다 많은 수의 나비와 꽃을 유지시키는 것으로 나타나 인간의 관리방안에 따라서 다양한 식생구조를 형성하여 나비 서식지를 제공할 수 있는 것으로 평가되기도 하였다(Kubo *et al.*, 2009). 실제 속리산 동암지역의 절 증축공사와 함께 다량의 흡밀식물이 식재되어 많은 개체들이 이곳에서 흡밀하는 것이 목격되기도 하였다.

이번 조사지는 1구간은 절 건축물이 산재하고 있어 나비가 서식하기에는 부적합할 것으로 생각되며 2구간의 넓은 잔디축구장은 자연초지대를 제거하고 잔디를 식재하여 놓아 식생 교란지역에 해당되고 3구간은 자연초지와 관목이 숲과 만나는 가장자리로 평가되고 있다. 그리고 4구간은 숲 식생에 의해서 canopy가 형성되어 빛이 거의 들어오지 않고 있다. 이런 구간별 특징에 따라서 속리산에서 조사된 결과도 숲 가장자리에 해당되는 3구간에서 가장 높은 다양성을 보이고 있어 일반적으로 나비의 분포는 숲 가장자리가 높고 숲 안쪽으로는 빈약한 것으

로 조사되는 결과와도 부합하고 있다(Ries and Debinski, 2001; Kusch *et al.*, 2005).

또한 조사지역이 하나의 선형으로 이루어져 나비의 이동은 계절에 따라서 봄과 가을에는 주로 산지에서 일조량이 많은 아래쪽으로 이동하고 여름에는 반대로 이동하는 것으로 나타나고 있어 각각의 경관은 계절에 따라서 서로 보완관계를 유지하는 것으로 평가된다. 특히 서식지의 일조량과 그늘, 수종이 나비의 종다양성과 개체 풍부도와는 상관관계가 있는 것으로 나타나는데 이중 일조량 영향이 가장 직접적인 것으로 나타난바 있다(Greatorex-Davies *et al.*, 1993). 또한 나비의 이동패턴은 이주능력, 가장자리효과, 침투성, 고립도와 분포민감도에 따르며(Lord and Norton, 1990; Ricketts, 2001; Debinski, 2006), 등산로나 임도 등과 같이 이동통로 역할을 하고 있는 연결된 서식지는 개체들의 이동으로 다양성을 유지시켜준다(Haddad and Tewksbury, 2005). 이와 같이 다양한 경관이 존재하는 곳에서 일반종은 폭넓게 다양한 경관을 이용하고 특이종은 그렇지 않은 것으로 나타나고 있다(Jr Darlington, 1959).

이번 연구는 먹이식물, 흡밀식물, 식생이 나비 군집구조의 계절적 변동에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여 분석하였다. 그 결과는 앞에서 제시한 요소가 복합적으로 작용하고 인간 활동의 영향이 지속적으로 관련되어 흡밀식물 식재는 많은 개체의 나비 유인효과를 가져오고, 잦은 제초행위는 서식환경 자체를 없애지게 하는 것으로 평가되었다. 따라서 보다 다양한 나비의 서식을 위해서는 다양한 식생이 유지되도록 하여 각각의 종들이 선호하는 서식지 환경이 보존되도록 하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 국립공원관리공단 용역연구과제인 속리산국립공원 자원 모니터링(2008-2009) 과제를 수행하는 과정에서 얻은 자료를 바탕으로 작성되었습니다.

## Literature Cited

- Asher, J., Warren, M., Fox, R., Harding, P., Jeffcoate, G., Jeffcoate, S., 2001. The millennium atlas of butterflies in Britain and Ireland, Oxford University press, Oxford.
- Blair, R.B., Launer, A.E., 1997. Butterfly diversity and human land use: Species assemblages along an urban gradient. *Biol. Conserv.* 80: 113-125.
- Christian, C.S., 1958. The concept of land unit and land systems. In *Proc. 9<sup>th</sup> Pacific Science Congress* 20: 74-81.

- Claridge, M.F., Wilson, M.R., 1982. Insect herbivore guilds and species-Area relationships: Leafminers on british trees. *Ecol. Entomol.* 7: 19-30.
- Darlington, P.J. Jr., 1959. Area, climate and evolution. *Evolution* 13: 488-510.
- Davis, J.D., Debinski D.M., Danielson, B.J., 2007. Local and landscape effects on the butterfly community in fragmented Midwest USA prairie habitats. *Landscape Ecol.* 22: 1341-1354.
- Debinski, D.M., 2006. Forest fragmentation and matrix effects: the matrix does matter. *J. Biogeography* 33: 1791-1792.
- Dennis, R.L.H., Hodgson, J.G., Grenyer, R., Shreeve, T.G., Roy, D.B., 2004. Host plants and butterfly biology. Do host-plant strategies drive butterfly status? *Ecol. Entomol.* 29: 12-26.
- Dennis, R.L.H., Shreeve, T.G., Arnold, H.R., Roy, D.B., 2005. Does diet breadth control herbivorous insect distribution size? Life history and resource outlets for specialist butterflies. *J. Insect Conserv.* 9: 187-200.
- Ehrlice, P.R., Raven, P.H., 1964. Butterfly and plants: A study in coevolution. *Evolution* 18: 586-608.
- Erhardt, A., 1985. Diurnal lepidoptera: Sensitive indicators of cultivated and abandoned grassland. *J. Appl. Ecol.* 22: 849-861.
- Gilbert, L.E., Singer, M.C., 1975. Butterfly ecology. *Ann. Rev. Eco. Sys.* 6: 365-397.
- Greatorex-Davis, J.N., Hall, M.L., Sparks, T.H., Marrs, R.M., 1993. The influence of shade on butterflies in rides of coniferised lowland woods in southern England and implications for conservation management. *Biol. Conserv.* 63: 31-41.
- Haddad, N.M., Tewksbury, J.J., 2005. Low quality habitat corridors movement conduits for tow butterfly species. *Ecol. Applicat.* 15: 250-257.
- Harker, R.J., Shreeve, T.G., 2008. How accurate are single site transect data for monitoring butterfly trends? Spatial and temporal issues identified in monitoring *Lasiommata megera*. *J. Insect Conserv.* 12: 125-133.
- Heath, J., Pollard, P., Thomas, J.A., 1984. Atlas of butterflies in Britain and Ireland, Vicking, Penguin Books Ltd., Harmindsworth, England.
- Hunter, M.D., 2003. Effects of plant quality on the population ecology of parasitoids. *Agricul. and Forest Entomol.* 5: 1-8.
- Hyun, T.H., Choi, S.W., 2003. Population dynamics of butterflies in a rural area, Muan-gun, Cheonnam. *J. Environ. Res.* 3: 84-88.
- Inoue, T., 2003. Chronosequential change in a butterfly community after clear-cutting of deciduous forests in a cool temperate region of central Japan. *Entomol. Sci.* 6: 151-163.
- Janson, S., Vegelius, J., 1981. Measures of ecological association. *Oecologia* 49: 371-376.
- Joo, H.Z., Kim, S.S., Sohn, J.D., 1997. Butterflies of Korea in color, Kyohaksa, Seoul.
- Kim, C.W., 1976. Distribution atlas of insects of Korea, Korea university press, Seoul, Korea.
- Kim, D.S., Park, D.S., Kwon, Y.J., Suh, S.J., Kim, C.H., Park, S.J., Kim, D.H., Kim, J.S., Yu, H.M., Hwang, J.S., 2011a. Metapopulation structure and movement of a threatened butterfly *Parnassius bremeri* (Lepidoptera: Papilionidae) in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 50: 97-105.
- Kim, D.S., Yi, H.B., Kwon, Y.J., Woo, M.S., 2007. The butterfly community dynamics at Mt. Midong, Cheongwon-gun, Chungcheongbukdo, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 25: 319-325.
- Kim, D.S., Kwon, Y.J., 2010. Metapopulation dynamics of the oriental Long-tailed Swallow *Sericinus montela* (Lepidoptera: Papilionidae) in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 49: 289-297.
- Kim, S.S., Lee, C.M., Kwon, T.S., 2011b. The butterfly community in ls. Guleipdo, Korea and the dominance of the endangered species *Argynnis nerippe*. *Kor. J. Appl. Entomol.* 50: 115-123.
- Kim, S.S., Park, H.C., Kim, M.A., 1999. Monitoring the distribution and density of butterflies in Mt. Chugeum-san. *J. Lepid. Soc. Kor.* 12: 7-15.
- Kim, Y.S., 2002. Illustrated book of Korean butterflies in color, Kyohaksa, Seoul.
- Kitahara, M., Yumoto, M., Kobayashi, T., 2008. Relationship of butterfly diversity with nectar plant species richness in and around the Aokigahara primary woodland of Mount Fuji, central Jap. *Biodivers. Conserv.* 17: 2713-2734.
- Kubo, M., Kobayashi, T., Kitahara, M., Hayashiet, A., 2009. Seasonal fluctuations in butterflies and nectar resources in a semi-natural grassland near Mt. Fuji, central Japan. *Biodivers. Conserv.* 18: 229-246.
- Kusch, J., Goedert, C., Meyer, M., 2005. Effects of patch type and food specializations on fine spatial scale community patterns of nocturnal forest associated Lepidoptera. *J. Res. Lepid.* 38: 67-77.
- Kwon, T.S., Kim, S.S., Chun, J.H. Byun, B.K., Lim, J.H., Shin, J.H., 2010. Changes in butterfly abundance in response to global warming and reforestation. *Environ. Entomol.* 39: 337-345.
- Kyohaksa, 1998. Endangered and reserved wild species in Korea, Seoul, Korea.
- Lee, T.B., 2003. Coloured flora of Korea, Hyangmunsa, Seoul, Korea.
- Lee, Y.N., 2006. New Flora of Korea, Kyhaksa, Seoul, Korea.
- Lord, J.M., Norton, D.A., 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conserv. Biol.* 4: 197-202.
- Marini, L., Fontnaa, P., Battisti, A. Gaston, K.J., 2009. Agricultural management, vegetation traits and landscape drive orthopteran and butterfly diversity in a grassland-forest mosaic: a multi-scale approach. *Insect Conserv. and Divers.* 2: 213-220.
- Nimbalkar, R.K., Chandekar, S.K., Khunte, S.P., 2011. Butterfly diversity in relation to nectar food plants from Bhor Tahsil, Pune District, Maharashtra, India. *J. Threatened Taxa* 3: 1601-1609.
- Öckinger, E., Smith, H.G., 2006. Landscape composition and habitat area affects butterfly species richness in semi-natural

- grasslands. *Oecologia* 149: 526-534.
- Paek, M.K., Shin, Y.H., 2010. Butterflies of the Korean Peninsula. Nature and Ecology, Seoul.
- Park, K.T., Kim, S.S., 1997. Atlas of butterflies, Korea research institute of bioscience and biotechnology and center for insect systematics, Korea.
- Parmesan, C., Ryrholme, N., Stefanescu, C., Hill, J.K., Thomas, C.D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennant, J., Thomas, J.A., Warren, M., 1999. Polewards shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. *Nature* 399: 579-589.
- Pielou, E.C., 1970. An introduction to mathematical ecology, Wiley, New York.
- Pollard, E., 1984. Fluctuations in the abundance of butterflies, 1976-82. *Ecol. Entomol.* 9: 179-188.
- Pollard, E., Yates, T.J., 1993. Monitoring butterflies for ecology and conservation, Chapman and Hall, London, UK.
- Porter K., Steel, C.A., Thomas, J.A., 1992. Butterflies and communities, in: Dennis, R.L.H. (Eds.), *The ecology of butterflies in Britain*. Oxford University Press, Oxford. pp.137-177.
- Price, P.W., 2002. Resource-driven terrestrial interaction webs. *Ecol. Res.* 17: 241-247.
- Pywell, R.F., Warman, E.A., Sparks, T.H., Greatorex-Davies, J.N., Walker, K.J., Meek, W.R., Carvell, C., Petit, S., Firbank, L.G., 2004. Assessing habitat quality for butterflies on intensively managed arable farmland. *Biol. Conserv.* 118: 313-325.
- Reeder, K.F., Debinski, D.M., Danielson, B.J., 2005. Factors affecting butterfly use of filter strips in Midwestern USA. *Agric. Ecosyst. Environ.* 109: 40-47.
- Ricketts, T.H., 2001. The matrix matters: effective isolation in fragmented landscapes. *Am. Nat.* 158: 87-99.
- Ries, L., Debinski, D.M., 2001. Butterfly responses to habitat edges in the highly fragmented prairies of Central Iowa. *J. Anim. Ecol.* 70: 840-852.
- Saarinen, K., Jantunen, J., 2005. Grassland butterfly fauna under traditional animal husbandry: contrasts in diversity in mown meadows and grazed pastures. *Biodivers. and Conserv.* 14: 3201-3213.
- SAS-StatView 5.0.1., 1998. SAS institute Inc., second edition.
- Sawchik, J., Dufrêne, M., Lebrun, P., 2005. Distribution patterns and indicator species of butterfly assemblages of wet meadows in southern Belgium. *Belg. J. Zool.* 135: 43-52.
- Seok, D.M., 1973. The distribution maps of butterflies in Korea, Pochinchai, Seoul.
- Shin, Y.H., 1989. Coloured butterflies of Korea, Korean entomological institute, Academy, Seoul.
- Shepherd, S., Debinski, D.M., 2005. Evaluation of isolated and integrated prairie reconstructions as habitat for prairie butterflies. *Biol. Conserv.* 126: 51-61.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163: 688-688.
- Singer, M.C., 1989. Butterfly-hostplant relationships: Host quality, adult choice and larval success, in: Vane-Wright, R.I., Ackey, P.R. (Eds.), *The biology of butterflies*. Princeton University Press, New Jersey, USA. pp. 81-88.
- Stoner, K.J.L., Joern, A., 2004. Landscape vs. local habitat scale influences to insect communities from tallgrass prairie remnants. *Ecol. Applicat.* 14: 1306-1320.
- Thomas, J.A., 1983. A quick method of estimating butterfly numbers during surveys. *Biol. Conserv.* 27: 195-211.
- Thomas, J.A., Telfer, M.G., Roy, D.B., Preston, C.D., Greenwood, J.J.D., Asher, J., Fox, R., Clarke, R., Lawton, J.A., 2004. Comparative losses of British butterflies, birds and plants and global extinction crisis. *Science* 303: 1879-1881.
- Tolman, T., Lewington, R., 1997. *Butterflies of Britain and Europe*, HarperCollins, London.
- Valtonen, A., Saarinen, K., Jantunen, J., 2006. Effect of different mowing regimes on butterflies and diurnal moths on road verges. *Anim. Biodivers. Conserv.* 29: 133-148.
- Van Swaay, C.A.M., Nowicki, P., Settele, J., van Strien, A.J., 2008. Butterfly monitoring in Europe: methods, applications and perspectives. *Biodivers Conserv.* 17: 3455-3469.
- Warren, M.S., 1992. The conservation of british butterflies, in: Dennis, R.L.H. (Eds.), *The ecology of butterflies in Britain*. Oxford University Press, Oxford. pp. 246-274.
- Wiens, J.A., 1976. Population responses to patchy environments. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 7: 81-120.
- <https://ecosurvey.nier.go.kr>

**Appendix 1.** List of butterflies in Beopjusa from 2008 to 2009

Species name	No. of individuals	Generalist	Specialist	Range of acceptable larval host plants		Butterfly voltinism		
				Oligophagous	Polyphagous	Univoltine	Bivoltine	Multivoltine
<i>Sericinus montela</i>	7		○	○				○
<i>Parnassius stubbendorffii</i>	14	○			○	○		
<i>Papilio machaon</i>	1	○			○		○	
<i>Papilio xuthus</i>	12	○			○			○
<i>Papilio macilentus</i>	35	○			○		○	
<i>Papilio bianor</i>	12	○			○		○	
<i>Atrophaneura alcinous</i>	8	○		○			○	
<i>Celastrina argiolus</i>	11	○			○			○
<i>Lycaena phlaeas</i>	1	○			○			○
<i>Scolitandides orion</i>	1	○			○		○	
<i>Tongeia fischeri</i>	2	○			○			○
<i>Everes argiades</i>	26	○		○				○
<i>Pseudozizeeria maha</i>	2	○		○				○
<i>Fixsenia herzi</i>	1		○	○		○		
<i>Japonica lutea</i>	1	○			○	○		
<i>Rapala caerulea</i>	2	○			○		○	
<i>Pieris melete</i>	36	○			○			○
<i>Pieris rapae</i>	56	○			○			○
<i>Anthocharis scolymus</i>	11	○			○	○		
<i>Artogeia canidia</i>	9	○			○			○
<i>Colias erate</i>	25	○			○			○
<i>Libythea celtisc</i>	25	○			○	○		
<i>Polygonia c-aureum</i>	21	○		○				○
<i>Neptis spho</i>	6	○			○			○
<i>Limenitis camilla</i>	1	○			○			○
<i>Limenitis doerriesi</i>	6	○			○		○	
<i>Neptis thisbe</i>	1	○		○		○		
<i>Dilipa fenestra</i>	1		○	○		○		
<i>Neptis raddei</i>	1		○		○	○		
<i>Kaniska canace</i>	3	○		○				○
<i>Neptis alwina</i>	1	○			○	○		
<i>Argyronome laodice</i>	10	○			○	○		
<i>Brenthis ino</i>	1		○		?	○		
<i>Fabriciana niobe</i>	1	○			○	○		
<i>Fabriciana nerippe</i>	1		○		○	○		
<i>Argynnis paphia</i>	1	○			○	○		
<i>Cyntia cardui</i>	5	○			○			○
<i>Vanessa indica</i>	1	○			○			○
<i>Erebia wanga</i>	7	○		○		○		
<i>Coenonympha amaryllis</i>	1	○		○			○	
<i>Coenonympha hero</i>	1	○		○		○		
<i>Ypthima argus</i>	11	○			○			○
<i>Ypthima motschulskyi</i>	2	○			○		○	
<i>Mycalesis gotama</i>	5	○			○			○
<i>Lopinga achine</i>	1	○			○	○		
<i>Minois dryas</i>	1	○			○	○		
<i>Lethe diana</i>	33	○			○		○	
<i>Pamara guttata</i>	11	○			○			○
<i>Pelopidas jansonis</i>	7	○			○		○	
<i>Carterocephalus dieckmanni</i>	2		○	○		○		
<i>Daimio thelys</i>	1	○			○		○	
<i>Erynnis montanus</i>	1	○			○	○		
<i>Ochlodes venata</i>	2	○			○	○		
No. of individuals	445							
No. of species	53	46	7	13	39	21	12	20