

지리산 나비의 고도에 따른 다양성과 서식 분포

이상훈, 안나현, 안정섭^{1,*}

국립생태원 기후변화연구팀, ¹국립생태원 지식문화부

Altitudinal diversity and distribution of butterflies inhabiting Mt. Jirisan, South Korea

Sanghun Lee, Nahyun Ahn and Jeong-Seop An^{1,*}

Team of Climate Change Research, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Republic of Korea

¹Department of Knowledge-based Culture, National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Republic of Korea

*Corresponding author

Jeong-Seop An
Tel. 041-950-5404
E-mail. jeongseop@nie.re.kr

Received: 28 August 2020

First Revised: 18 September 2020

Second Revised: 29 September 2020

Revision accepted: 12 October 2020

Abstract: This study surveyed the altitudinal diversity and distribution of butterflies inhabiting Mt. Jirisan. Field surveys were conducted thrice (May, June, and July) using a line transect method along four routes in 2015. During the survey, a total of five families, 58 species, and 769 individuals were collected. Of the species collected, the majority belonged to the family Nymphalidae (28 species), followed by Hesperidae (nine species), Pieridae (eight species), Lycaenidae (seven species), and Papilionidae (six species). As for the individuals, Pieridae accounted for the largest number (333 individuals), followed by Nymphalidae (309 individuals), Lycaenidae (63 individuals), Hesperidae (33 individuals), and Papilionidae (31 individuals). A cluster analysis performed on the butterfly species distinguished three altitude zones. The butterflies showed different ecological traits in each of the altitude zones. Analysis of the altitudes of the habitats of eight dominant species revealed that each species inhabited a particular altitude. This study confirmed the hypothesis that continuous monitoring will identify changes in the altitudinal distribution and diversity of butterflies on Mt. Jirisan in response to climate change.

Keywords: butterfly, diversity, distribution, elevation, climate change

서론

곤충은 전체 동물의 50% 이상을 차지하는 종다양성이 높은 분류군이며, 그중에서도 나비목은 전 세계에 약 160,000여 종이 알려져 있을 정도로 곤충 중에서도 종다양성이 풍부한 분류군이다. 나비는 비교적 밝은 색채의 날개와 낮에 활동하는 습성을 갖고 있으며, 서식처 환경의 변

화에 민감하게 반응한다(Kremen 1994). 또한, 나비목 곤충의 대부분은 초식성으로 식물과 밀접한 관계가 있으며, 애벌레의 먹이식물 특이성과 잘 밝혀진 생활사로 인하여 지역의 생물상 변화에 대한 모니터링 대상으로 적합하다(Elzinga *et al.* 2001; Matter *et al.* 2003). 이러한 이유로 나비는 다른 곤충 분류군에 비하여 국내외의 많은 연구자들에 의하여 단기간 혹은 장기간에 걸쳐 활발하게 연구가 이루어

지고 있다(Kim *et al.* 1999; Kim *et al.* 2007; Kwon *et al.* 2010; Kim *et al.* 2011).

기후변화로 인한 생물들의 서식 범위 확장이나 이동 현상이 확인되고 있으며(Parmesan *et al.* 1999; Warren *et al.* 2001), 국내에서도 지구온난화 및 기후변화로 인해 나비와 같은 곤충들의 분포 변화 등 많은 연구들이 진행되고 있다(Kwon *et al.* 2013; Kim *et al.* 2016). 기후변화 시나리오에서는 기온이 상승하면 저온에 적응한 종들이 분포범위나 개체수가 줄어든다고 예측한다(Franco *et al.* 2006; Konvička *et al.* 2014; Konvička *et al.* 2016). 또한, 기온의 상승은 나비의 비행시간을 단축시키거나 출현 시기의 변동 등 생물계절의 변화를 불러올 수 있으며(Zografou *et al.* 2019), 특히 일부 고산지대에서는 한지성 나비가 고지대에서 사라지거나, 서식 범위가 변동될 것으로 예상된다. 산악 생태계에서 종 분포는 서식지와 기후의 적합성에 의하여 결정되며(Storch *et al.* 2003), 지리적 격리, 고도, 기후, 서식지는 산악지방에 서식하는 나비 다양성에 미치는 중요한 요소들이다(Mihoci *et al.* 2011). 서식지의 차이와 고도범위 및 온도와 같은 환경의 변화에 따라 나비의 종다양성이 변화하고 있으며(Cerrato *et al.* 2019), 나비목의 고도별 분포와 종다양성, 계절변동 등도 연구되고 있다(Choi and An 2010; Kim *et al.* 2014; Choi *et al.* 2016; Maicher *et al.* 2019).

지리산은 대한민국에서 1967년 최초의 국립공원으로 지

정된 곳으로, 경남의 하동, 함양, 산청, 전남의 구례, 전북의 남원 등 3개 도, 5개 시군에 걸쳐 있으며, 면적이 483.022 km²로 넓은 면적을 지닌 산악형 국립공원이다. 지리산은 오랫동안 관리 및 보호가 된 곳이며 여러 연구자들에 의해 다양한 곤충상이 조사되었으며, 나비목 중에서는 야행성 나비목인 나방류에 대한 연구사례는 있으나 주행성 나비목인 나비류에 대한 연구사례는 많이 진행되지 않았다. 본 연구는 지리산국립공원의 4개 경로에서 조사한 나비의 다양성을 조사하고, 고도에 따른 나비류의 다양성과 분포에 관해 파악하고자 실시하였다. 고도에 따른 종다양성과 특정 고도에 서식하는 종을 지속적으로 관찰하여 기후변화에 의한 나비의 서식지 이동 현상을 파악할 수 있을 것으로 생각된다.

재료 및 방법

조사지역은 지리산으로 고도가 낮은 지역(300 m)부터 높은 고도(1,400 m 이상)까지 접근 가능한 4개 경로(A, B, C, D)를 선정하여 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 야외 현장조사는 동일한 연구자가 동일한 방법으로 실시하였다. 나비 조사는 2015년 1년 동안 이루어졌으며, 나비의 활동 시기를 고려하여 총 3회 실시하였다. 1차 조사는 5월 말부터 6월 초, 2차 조사는 6월 말, 3차 조사는 7월 말에 실시하

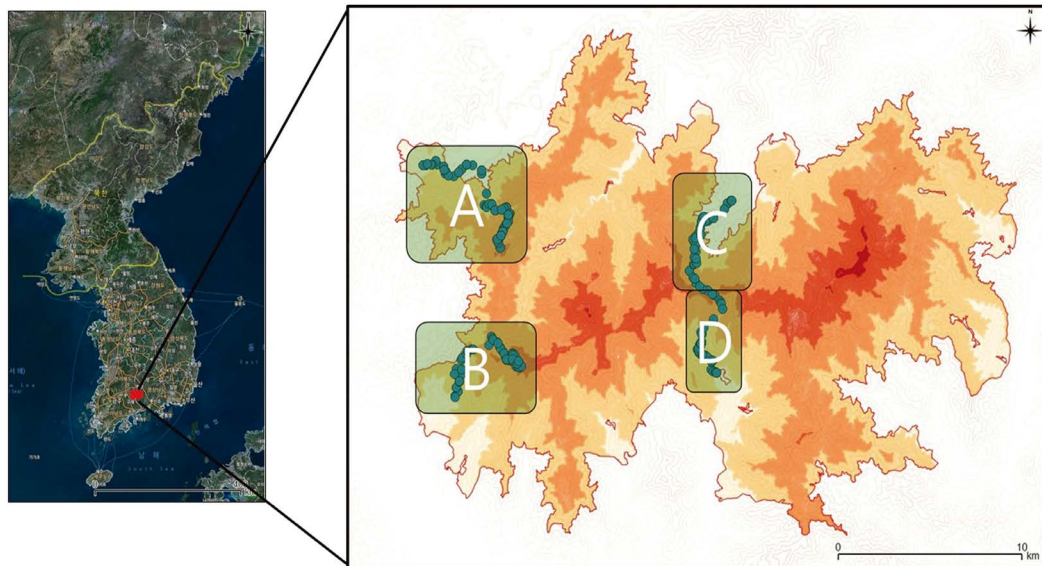


Fig. 1. Studied sites on Mt. Jirisan, South Korea. The blue circle indicates the surveyed route.

였고, 오전 9시경 조사를 시작하여 오후 3시경 조사를 완료하였다. 연구 대상 종은 육안으로 쉽게 관찰할 수 있고, 종 동정이 가능한 나비류로 한정하였다.

나비 조사방법은 정해진 구간(A, B, C, D)을 일정한 속도로 이동하면서 좌우 반경 5m 이내에 관찰되는 종을 확인하고 개체수를 세는 선조사법을 이용하였다(Pollard and Yates 1994). 반경 내에 육안으로 동정이 가능한 종은 육안 동정을 기본으로 하였으며, 동정이 어려운 경우는 포충망을 이용하여 포획하였다. 포획한 나비는 국내 출판된 도감을 활용하여 동정하였다(Shin 1989; Kim 2002; Kim and Seo 2012). 나비가 관찰되면 휴대용 GPS로 좌표를 기록하였다. 조사된 자료를 이용하여 나비의 고도에 따른 다양성과 서식분포를 분석하였다.

본 연구를 통해 확인된 종수와 개체수를 바탕으로 Shannon-Wiener와 Simpson 다양도지수와 Berger-Parker 우점도 지수를 산출하였으며, 산출은 Species diversity and richness ver. 4.0 (Seaby and Henderson 2006) 프로그램을 이용하였다. 고도별 종수와 개체수를 이용한 군집분석(PC-Ord package ver. 4.0, McCune and Mefford 1999) 후, 나비의 생태적 특성(Kim and Seo 2012)과 구성 비율을 비교하였다.

결과 및 고찰

1. 지리산 나비의 다양성과 분포

지리산 4개 경로에서 현장 조사결과 총 5과 58종 769개체의 나비를 확인하였다. 이 가운데 종수는 네발나비과(Nymphalidae)가 28종으로 가장 많았으며, 다음으로 팔랑나비과(Hesperiidae) 9종, 흰나비과(Pieridae) 8종, 부전나비과(Lycaenidae) 7종, 호랑나비과(Papilionidae) 6종이었다. 개체수는 흰나비과가 333개체로 가장 많았으며, 다음으로 네발나비과 309개체, 부전나비과 63개체, 팔랑나비과 33개체, 호랑나비과 31개체 순이었다(Table 1).

이번 조사에서 확인된 종수와 개체수의 순위-풍부도 곡선은 개체가 많은 흔한 종은 거의 없는 반면 개체가 1~4마리로 적은 희귀한 종은 많이 나타나는 양상을 보이고 있다(Fig. 2). 종 순위별 개체수는 큰줄흰나비(*Pieris melete*) 191개체(24.8%), 먹그늘나비(*Lethe diana*) 95개체(12.4%), 배추흰나비(*Pieris rapae*) 80개체(10.4%), 큰흰줄표범나비(*Argynnis ruslana*) 47개체(6.1%), 노랑나비(*Colias erate*) 37

Table 1. Number of species and individuals of butterflies at the family level from Mt. Jirisan, South Korea

Family	No. of Species	No. of Individuals
Papilionidae 호랑나비과	6	31
Pieridae 흰나비과	8	333
Lycaenidae 부전나비과	7	63
Nymphalidae 네발나비과	28	309
Hesperiidae 팔랑나비과	9	33
Total	58	769

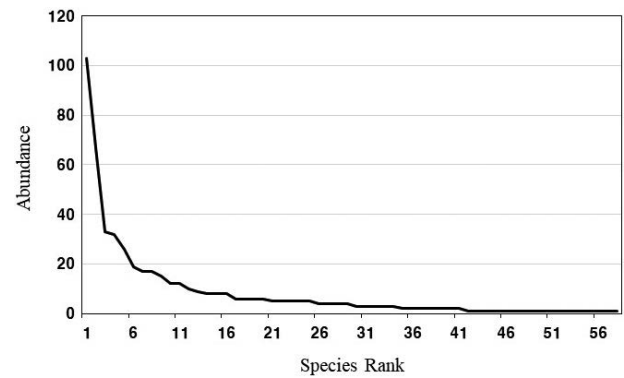


Fig. 2. A rank-abundance graph of butterflies captured on Mt. Jirisan in 2015.

개체(4.8%)로 이들 5종이 450개체(58.5%)를 차지하였다. 그리고 5개체 미만으로 확인된 종은 31종 55개체(7.2%)로 나타났다.

백두대간의 구룡령과 고직령에서 수행된 연구(Kim *et al.* 2015)에서도 주요 우점종 3종의 비율이 29~30%의 비율을 차지하여 본 연구 결과와 유사하게 일부 종의 개체수가 많고 대부분의 종은 개체수가 매우 적게 나타났다. 개체수가 많은 종들은 개체수가 적은 종보다 주어진 환경에서 우세한 경우가 많으며, 대부분의 서식지에서 일부 종의 개체수는 매우 많고, 나머지 대부분의 종들은 개체수가 적게 나타난다(Smith and Smith 2009).

4개 경로별 조사 결과 A경로에서 40종 216개체, B경로에서 35종 191개체, C경로에서 31종 221개체, D경로에서 29종 141개체가 확인되었다. 다양도 지수(Shannon-Wiener Diversity)에서 A경로에서 가장 높게 나타났으며, 다음으로 D, B, C경로 순으로 나타났다. 균등도 지수는 B경로가 가장 높게 나타났으며 다음으로 C, D, A경로 순으로 나타났다(Table 2).

Table 2. Summary of butterfly diversity and abundance from four routes on Mt. Jirisan, South Korea

Index	Surveyed site			
	A	B	C	D
Species richness	40	35	31	29
Abundance	216	191	221	141
Shannon-Wiener Diversity	2.97	2.62	2.39	2.78
Berger-Paker Dominance	0.20	0.34	0.30	0.21

A경로에서 큰줄흰나비가 44개체로 가장 많이 발견되었다. 다음으로 먹그늘나비 24개체, 큰흰줄표범나비 23개체, 배추흰나비 18개체, 푸른부전나비(*Celastrina argiolus*) 13개체 순이다. B경로에서 큰줄흰나비가 64개체로 가장 많이 발견되었다. 다음으로 큰흰줄표범나비 21개체, 푸른부전나비 16개체, 먹그늘나비 12개체, 노랑나비 10개체 순이다. C 경로에서 큰줄흰나비가 66개체로 가장 많이 발견되었다. 다음으로 먹그늘나비 44개체, 배추흰나비 29개체, 노랑나비 18개체, 암먹부전나비(*Everes argiades*) 9개체 순이다. D 경로에서 배추흰나비가 29개체로 가장 많이 발견되었다. 다음으로 큰줄흰나비 17개체, 먹그늘나비 15개체, 뿔나비(*Libythea celtis*) 13개체, 산제비나비(*Papilio maackii*) 9개체 순이다.

가장 많은 종이 나타난 고도는 1,300~1,400 m 구간으로 27종이 발견되었다. 다음으로는 1,200~1,300 m 구간 22종, 500~600 m 구간 21종, 400~500 m 구간 19종 순이다. 가장 적은 종수가 나타난 고도는 700~800 m 구간으로 7종이 발견되었다.

개체수가 가장 많은 고도는 500~600 m 구간으로 95개체가 발견되었다. 다음으로는 1,200~1,300 m 구간과 1,300~1,400 m 구간에서 각각 89개체, 300~400 m 구간 82개체 순이다. 가장 적은 개체가 나타난 고도는 700~800 m 구간으로 27개체가 발견되었다(Fig. 3).

고도별 종다양성을 보기 위해 Shannon Wiener (S-W)와 Simpsons D (S-D) 지수를 분석하였다(Fig. 4). S-W 종다양성 지수는 1,300 m 구간에서 가장 높은 2.98, 1,200 m 구간에서 2.39, 500 m 구간에서 2.37로 높게 나타났으며, 700 m 구간에서 가장 낮은 1.30으로 나타났다. S-D 종다양성 지수는 1,300 m 구간에서 19.10, 1,400 m 구간에서 8.39, 1,200 m 구간에서 7.42, 500 m 구간에서 7.18로 높게 나타났으며, 700 m 구간에서 2.68로 가장 낮게 나타났다(Fig. 4).

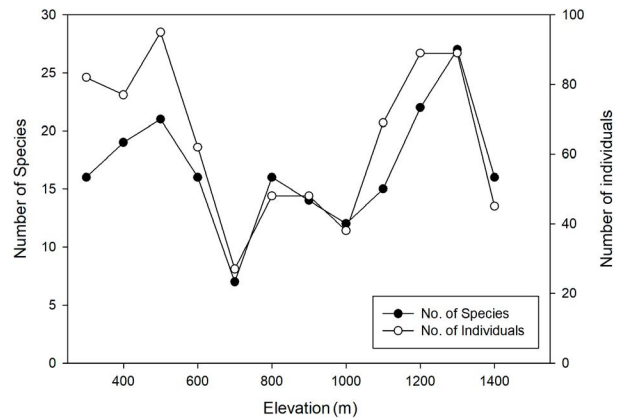


Fig. 3. Altitudinal variations in the number of species (●, closed circle) and individuals (○, open circle) on Mt. Jirisan.

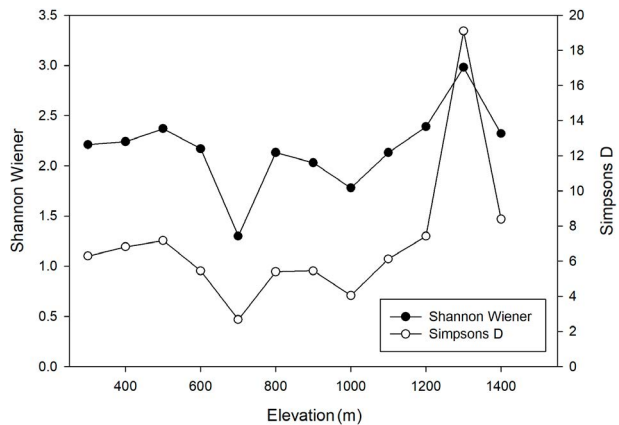


Fig. 4. Altitudinal variation in Shannon Wiener (●, closed circle) and Simpsons D (○, open circle) on Mt. Jirisan.

분포 한계(Kim and Seo 2012)를 바탕으로 분석한 결과 북방계 나비가 11종, 남방계 나비가 5종, 세계적으로 널리 분포하는 나비가 42종으로, 북방계 나비의 종수 비율이 남방계 나비보다 높게 나타났다. 개체수를 조사한 결과 북방계 나비가 55개체, 남방계 나비가 33개체, 세계적으로 널리 분포하는 나비가 681개체로, 북방계 나비의 개체수 비율이 남방계 나비보다 높게 나타났다.

본 연구는 중간고도에서 다양성이 가장 낮게 나타났으나, 지리산에서 수행된 나방의 고도별 다양성 분포는 중간고도에서 높게 나타났다(Choi and An 2010). 생물의 분포는 기온, 강수량, 일사량 등 다양한 요인의 복합작용으로 결정되는데(Pianka 1994), 지리산에서 나비의 다양성은 서식지 차이로 인해 나타난 것으로 생각된다. 추후 각 조사지의

서식지 특징(서식지 형태 및 식생 등)과 연관된 연구를 통해 고도에 따른 다양성 차이를 밝힐 필요가 있다.

2. 고도별 나비의 생태 특성

고도별 종간의 유사도를 분석하기 위하여 군집분석을 실시하였다. 크게 300~600 m와 700 m 이상으로 나눌 수 있으며, 유사도 25%에서는 300~600 m, 700~900 m, 1,000~1,400 m로 고도별로 명확히 구분되었다(Fig. 5). 유사도를 50%로 해도 높은 고도(1,000~1,400 m)가 2개로 나뉠 뿐 지리산에서의 고도와 종간의 유사도 분석에서는 고도를 잘 반영하고 있는 것을 알 수 있었다.

군집분석에서 구분된 3개의 고도에 출현하는 나비의 생태적 특성(Kim and Seo 2012) 차이를 분석하였다. 나비종의 생태적 특성은 종 구성보다 풍부도가 더 영향을 많이 받는 것으로 알려져 개체수를 분석에 이용하였다(Kwon et al. 2008; Choi and An 2015). 나비 분포 한계를 이용한 결과 낮은 고도(300~600 m) 구간에서 북방계 나비 4개체, 남방계 나비 23개체, 광범위 분포 나비 289개체가 나타났다. 중간 고도(700~900 m) 구간에서 북방계 나비 6개체, 남방계 나비 1개체, 광범위 분포 나비 116개체가 나타났다. 높은 고도(1,000~1,400 m) 구간에서 북방계 나비 45개체, 남방계 나비 9개체, 광범위 분포 나비 276개체가 나타났다. 북방계 나비의 비율은 고도가 높아질수록 높아지나 남방계 나비의 경우 고도에 따른 분포 경향성은 나타나지 않았다.

서식지 범위를 이용한 분석 결과 낮은 고도에서 서식지 범위가 좁은 나비는 52개체, 넓은 나비는 264개체, 중간 고도에서 서식지 범위가 좁은 나비는 66개체, 넓은 나비는 57개체, 높은 고도에서 서식지 범위가 좁은 나비는 176개체, 넓은 나비는 176개체로 나타났다. 낮은 고도에 비해 중간 고도, 높은 고도에서 서식지 범위가 좁은 종의 비율이 상대

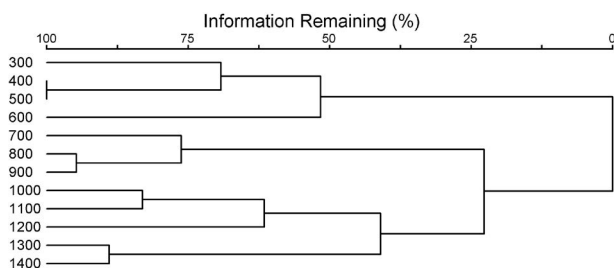


Fig. 5. Dendrogram of butterflies from 300 m to 1,400 m on Mt. Jirisan. The dendrogram was plotted based on the Sørensen distance measure with the Ward linkage method.

적으로 높게 나타났다(Fig. 6).

고도에 따른 먹이 범위를 분석한 결과, 낮은 고도에서 단식성 34개체, 협식성 273개체, 광식성 9개체가 나타났다. 중간 고도에서 단식성 13개체, 협식성 104개체, 광식성 6개체가 나타났다. 높은 고도에서 단식성 102개체, 협식성 220개체, 광식성 8개체가 나타났다. 높은 고도에서 단식성 나비의 비율이 낮은 고도나 중간 고도에 비해 높게 나타났으며, 상대적으로 협식성과 광식성의 비율이 낮게 나타났다(Fig. 7).

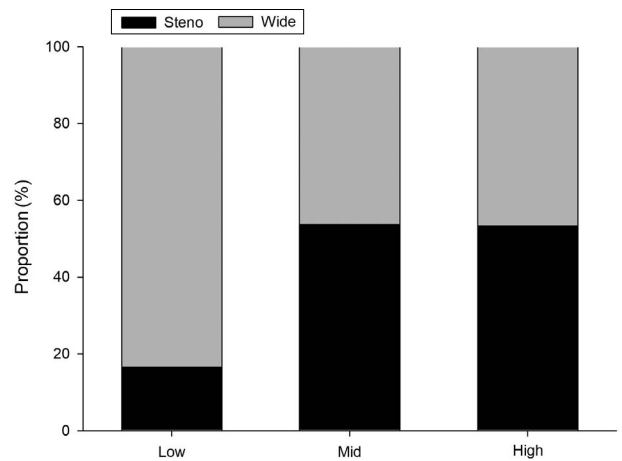


Fig. 6. Changes in the proportion of habitat breadth of butterfly individuals according to the altitude. Wide: more than 3 habitats, Steno: 1-2 habitats.

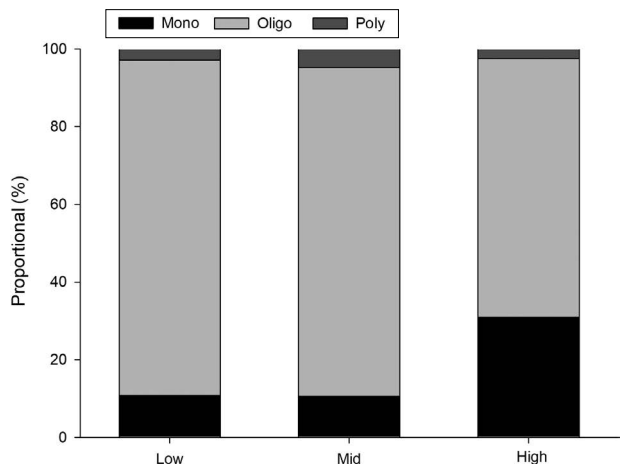


Fig. 7. Changes in the proportion of food plant breadth of butterfly individuals according to the altitude. Mono: larval food plants comprised of one plant genus, Oligo: larval food plants comprised of one plant family, Poly: larval food plants comprised of more than two plant families.

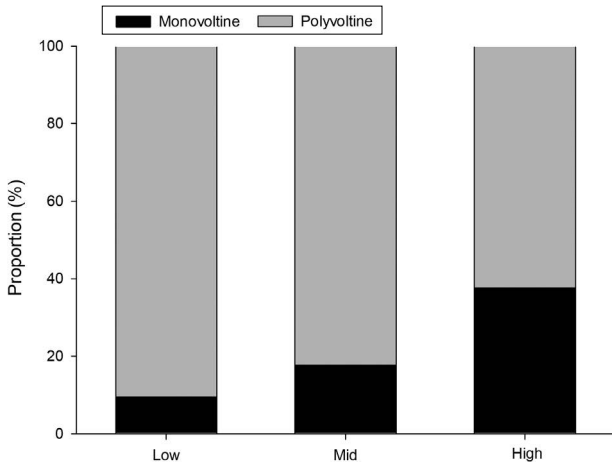


Fig. 8. Changes in the proportion of the number of generations per year of butterfly individuals according to the altitude. Mono-voltine: one generation per year, Polyvoltine: more than two generations per year.

낮은 고도에 비해 높은 고도에서 서식지 범위가 좁고, 단식성인 나비의 비율이 더 높게 나타나는 현상은 높은 고도에 서식·분포하는 나비의 생존이 불리하게 작용할 것으로 예상된다. 단식성 나비의 경우 기후변화에 따라 먹이식물과 함께 이동해야만 생존이 가능하나 그 둘의 확장의 불일치로 인해 나비의 이동은 제한적일 수 있다(Schweiger *et al.* 2008)는 연구 결과와 일치한 것으로 나타났다.

연간 발생하는 세대수(화성)를 분석한 결과 낮은 고도에서 일화성 30개체, 다화성 286개체, 중간 고도에서 일화성 21개체, 다화성 102개체, 높은 고도에서 일화성 124개체, 다화성 206개체로 나타났다. 고도가 높아질수록 일화성 나비는 늘어나고, 다화성 나비는 줄어드는 양상이다(Fig. 8). 유럽에서의 연구 결과, 기후변화 및 온난화로 인해 나비와 나방에서 화성의 변화와 세대수 증가가 확인되었으며(Altermatt 2010), 고도가 높은 지리산에서도 고도에 따른 화성의 차이와 변화에 관한 모니터링이 지속되어야 할 것이다.

3. 주요 나비의 고도 분포

확인된 개체수가 20개체 이상인 8종을 대상으로 고도 분포를 살펴보았다. 8종은 호랑나비과 산제비나비, 흰나비과 노랑나비, 배추흰나비, 큰줄흰나비, 부전나비과 푸른부전나비, 네발나비과 뿔나비, 큰흰줄표범나비, 먹그늘나비이다. 산제비나비, 노랑나비, 큰줄흰나비, 푸른부전나비는 대부분

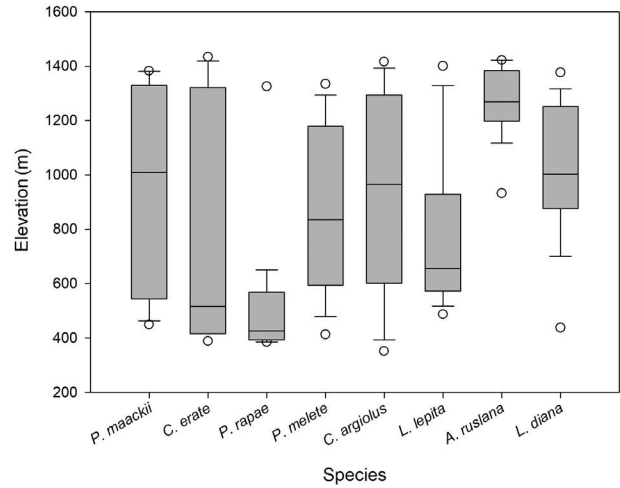


Fig. 9. Altitudinal distribution range of eight dominant species.

저고도에서 고고도에 골고루 분포하고 있었으며, 배추흰나비는 600 m 이하의 고도에서 서식하고, 큰흰줄표범나비, 먹그늘나비는 고고도에 서식하며, 특히 큰흰줄표범나비는 1,000 m 이상에서 서식하고 있었다(Fig. 9).

지구온난화로 생물들의 서식범위의 확장·변화가 지구적으로 광범위하게 관찰되고 있다(Walther *et al.* 2002; Parmesan and Yohe 2003). 유럽에서 관찰결과, 비 이주성 나비 63%가 지구온난화로 인한 서식지 이동이 나타났으며(Parmesan *et al.* 1999), 북미와 유럽 나비 39종이 서식지를 200 km 이상 북쪽으로 이동하였음을 확인하였다(Walther *et al.* 2002). 광릉에서의 조사결과 역시 북방계 나비는 감소하고, 남방계 나비는 증가하였다(Kwon *et al.* 2010). 본 연구의 조사지인 지리산은 백두대간 자락의 남단에 위치한다. 약 1,400 km에 달하는 백두대간을 따라 비행능력이 있는 나비의 경우 북방계 종이 남쪽으로 이동할 수 있으며, 남방계종이 북쪽으로 이동할 수 있는 통로 역할을 할 수 있다.

또한, 지리산은 한라산 다음으로 고도가 높은 산이다. 고도가 높고 남쪽에 위치하여 난대식물에서 한대식물에 이르기까지 수많은 식물이 널리 분포한다. 이러한 식생 구배로 인해 주로 식물을 먹는 나비가 다양하게 나타나며 고도 구배가 나타난 것으로 생각된다. 고도 변화는 온도, 강수량, 상대습도, 일사량, 바람, 토양의 상태 차이를 나타내며 이러한 변화에 따라 생물종들은 영향을 받는다(Korner 2007; Fiedler and Beck 2008).

멕시코에서 연구 결과 22년 동안 나비 서식 고도범위가 평균 145 m 상승하였다. 특히, 해발고도 1,000 m 이상

에서는 온도 변화 범위와 일치하는 분포 변화를 나타냈다 (Molina-Martínez *et al.* 2016). 하지만 새롭게 이동한 서식지가 생물의 서식에 적합하지 않으면 생물의 분포는 확장되지 않게 되어 서식지의 적합성이 중요한 인자로 작용한다 (Hill *et al.* 2002).

따라서 이번 연구를 바탕으로 지속적인 모니터링 실시를 통해 지리산에서 기후변화에 따른 나비의 고도 분포 변화, 다양성 변화 양상 및 생태적 특성의 변화 등을 확인할 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 특정 고도에 서식하는 종을 대상으로 미래 기후변화에 따른 취약성 평가 및 보전 대책이 필요할 것으로 보인다.

적 요

이 연구에서 지리산의 낮은 고도에서부터 높은 고도까지 나비의 종다양성, 고도에 따른 생태적 특성, 우점종의 고도 분포에 대해 알아보았다. 나비는 총 5과 58종 769개체의 나비를 확인하였다. 낮은 고도와 높은 고도에서 종다양성은 높게 나타나고 있었다. 군집분석을 통해 3개(낮은 고도, 중간 고도, 높은 고도)로 구분하였으며, 낮은 고도에 비해 높은 고도에서는 서식지 범위가 좁은 종의 비율이 높았으며, 단식성 나비의 비율이 높게 나타나고, 다화성 나비의 비율이 높게 나타났다. 배추흰나비 (*Pieris rapae*)는 600 m 이하의 고도에서 서식하고, 큰흰줄표범나비 (*Argynnis rutilana*), 먹그늘나비 (*Lethe diana*)는 900 m 이상의 고도에 서식하며, 특히 큰흰줄표범나비 (*Argynnis rutilana*)는 1,000 m 이상에서 서식하고 있었다. 본 연구를 바탕으로 지속적인 모니터링 실시를 통해 지리산에서 기후변화에 따른 나비의 고도 분포 변화 및 다양성 변화 양상을 확인할 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 환경부의 재원으로 국립생태원의 지원을 받아 수행하였습니다(NIE-C-2020-21).

REFERENCES

Altermatt, F. 2010. Climatic warming increases voltinism in

European butterflies and moths. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 277:1281–1287.

Cerrato C, E Rocchia, M Brunetti, R Bionda, B Bassano, A Provenzale, S Bonelli and R Viterbi. 2019. Butterfly distribution along altitudinal gradients temporal changes over a short time period. *Nat. Conserv.* 34:91–118.

Choi SW and JS An. 2010. Altitudinal distribution of moths (Lepidoptera) in Mt. Jirisan National Park, South Korea, *Eur. J. Entomol.* 107:229–245.

Choi SW and JS An. 2015. Pattern of change of the local butterfly community in a rural area of Southwestern part of Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 33:53–62.

Choi SW, DH Nho, SS Kim and KJ Hong. 2016. Spatio-temporal moth diversity (Insecta: Lepidoptera) of Mt. Baegun-san, Gwangyang, Jeonnam. *Korean J. Ecol. Environ.* 49:62–66.

Elzinga CL, DW Salzer and JW Willoughby. 2001. *Monitoring Plant and Animal Populations.* Blackwell Science, Hoboken, NJ.

Fiedler K and E Beck. 2008. Investigating gradients in ecosystem analysis. pp. 49–54. In: *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador.* Springer, Berlin, Germany.

Franco AMA, JK Hill, C Kitschke, YC Collingham, DB Roy, R Fox, B Huntley and CD Thomas. 2006. Impacts of climate warming and habitat loss on extinctions at species' low-latitude range boundaries. *Glob. Change Biol.* 12:1545–1553.

Hill JK, CD Thomas, R Fox, MG Telfer, SG Willis, J Asher and B Huntley. 2002. Responses of butterflies to twentieth century climate warming: implications for future ranges. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.* 269:2163–2171.

Kim DS, HB Yi, YJ Kwon and MS Woo. 2007. The butterfly community dynamics at Mt. Midong, Cheongwon-gun, Chungcheongbukdo, Korea. *Korea J. Environ. Ecol.* 25:319–325.

Kim DS, KS Oh, SJ Park, SS Choi and SH Lee. 2015. Comparison of butterfly communities between Guryongryeong and Gojigkyeong of the Baekdudaegan Mountain Range and the changes in their distribution. *Korean J. Appl. Entomol.* 54:233–245.

Kim DS, SJ Park, DS Kim, YB Cho, YD Lee, NH Ahn, KG Kim, HY Seo and JY Cha. 2014. Monitoring of the butterfly communities inhabited of Mt. Hallasan, Jeju island, Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 28:697–704.

Kim SS and YH Seo. 2012. *Life Histories of Korean Butterflies.* Sakyejul. Paju, Korea.

Kim SS, CM Lee and TS Kwon. 2011. The butterfly community in Is. Guleopdo, Korea and the dominance of the endangered species *Argynnis nerippe*. *Korean J. Appl. Entomol.* 50:115–123.

Kim SS, HC Park and MA Kim. 1999. Monitoring the distribution and density of butterflies in Mt. Chugeum-san. *J. Lepid.*

- Soc. Kor. 12:7–15.
- Kim TG, YH Cho, KH Song, YJ Park and JG Oh. 2016. Assessing the influence of topographic factors on the distribution of *Aporia crataegi* (Lepidoptera: Pieridae) in Northeast Asia using a MaxEnt modeling approach. Korean J. Ecol. Environ. 49:142–146.
- Kim YS. 2002. Illustrated Book of Korean Butterflies in Color. Kyohaksa. Seoul.
- Konvička M, CV Mihaly, L Rakosy, J Benes and T Schmitt. 2014. Survival of cold-adapted species in isolated mountains: the population genetics of the Sudeten ringlet, *Erebia sudetica sudetica*, in the Jeseník Mts, Czech Republic. J. Insect Conserv. 18:153–161.
- Konvička M, J Beneš, O Čížek, T Kuras and I Klečková. 2016. Has the currently warming climate affected populations of the mountain ringlet butterfly, *Erebia epiphron* (Lepidoptera: Nymphalidae), in low-elevation mountains? Eur. J. Entomol. 113:295–301.
- Körner C. 2007. The use of altitude in ecological research. Trends Ecol. Evol. 22:569–574.
- Kremen C. 1994. Biological inventory using target taxa: A case study of the butterflies of Madagascar. Ecol. Appl. 4:407–422.
- Kwon TS, BK Byun, SH Kang, SS Kim and BW Lee. 2008. Analysis on changes, and problems in phenology of butterflies in Gwangneung forest. Korean J. Appl. Entomol. 47:209–216.
- Kwon TS, SS Kim, JH Chun, BK Byun, JH Lim and JH Shin. 2010. Changes in butterfly abundance in response to global warming and reforestation. Environ. Entomol. 39:337–345.
- Kwon TS, SS Kim and CM Lee. 2013. Local change of butterfly species in response to global warming and reforestation in Korea. Zool. Stud. 52:47.
- Maicher V, S Sáfián, M Murkwe, S Delabaye, Ł Przybyłowicz, P Potocký, IN Kobe, Š Janeček, JEJ Mertens, EB Fokam, T Pýrcz, J Doležal, J Altman, D Hořák, K Fiedler and R Tropek. 2019. Seasonal shifts of biodiversity patterns and species' elevation ranges of butterflies and moths along a complete rainforest elevational gradient on Mount Cameroon. J. Biogeogr. 47:342–354.
- Matter SF, J Roland, N Keyghobadi and K Sabourin. 2003. The effects of isolation, habitat area and resources on the abundance, density and movement of the butterfly *Parnassius smintheus*. Am. Midl. Nat. 150:26–36.
- McCune B and MJ Mefford. 1999. PC-ORD: multivariate analysis of ecological data; Version 4 for Windows [User's Guide]. MjM software design. Gleneden Beach, OR.
- Mihoci I, V Hrsak, M Kucinic, VM Stankovic, A Delic and N Trtvkovic. 2011. Butterfly diversity and biogeography on the Croatian karst mountain Biokovo: Vertical distribution and preference for altitude and aspect? Eur. J. Entomol. 108:623–634.
- Molina-Martínez A, JL León-Cortés, HM Regan, OT Lewis, D Navarrete, U Caballero and A Luis-Martínez. 2016. Changes in butterfly distributions and species assemblages on a Neotropical mountain range in response to global warming and anthropogenic land use. Divers. Distrib. 22:1085–1098.
- Parmesan C, N Ryrholm, C Stefanescu, JK Hill, CD Thomas, H Descimon, B Huntley, L Kaila, J Kullberg, T Tammaru, WJ Tennent, JA Thomas and M Warren. 1999. Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming. Nature 399:579–583.
- Parmesan C and G Yohe. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. Nature 421:37–42.
- Planka ER. 1994. Evolutionary Ecology. Harper Collins. New York.
- Pollard E and TJ Yates. 1994. Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation. Conservation Biology Series. Chapman & Hall. London.
- Schweiger O, J Settele, O Kudrna, S Klotz and I Kühn. 2008. Climate change can cause spatial mismatch of trophically interacting species. Ecology 89:3472–3479.
- Seaby RM and PA Henderson. 2006. Species diversity and richness version 4. Pisces Conservation Ltd. Lymington, England.
- Shin YH. 1989. Colored Atlas of Butterflies in Korea. Academy Publishing. Seoul.
- Smith TM and RL Smith. 2009. Elements of Ecology (7th edition). Benjamin Cummings. Boston, MA.
- Storch D, M Konvička, J Benes, J Martinková and KJ Gaston. 2003. Distribution patterns in butterflies and birds of the Czech Republic: separating effects of habitat and geographical position. J. Biogeogr. 30:1195–1205.
- Walther GR, E Post, P Convey, A Menzel, C Parmesan, TJC Beebee, JM Fromentin, O Hoegh-Guldberg and F Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature 416:389–395.
- Warren MS, JK Hill, JA Thomas, J Asher, R Fox, B Huntley, DB Roy, MG Telfer, S Jeffcoate, P Harding, G Jeffcoate, SG Willis, JN Greatorex-Davies, D Moss and CD Thomas. 2001. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. Nature 414:65–69.
- Zografou K, A Grill, RJ Wilson, JM Halley, GC Adamidis and V Kati. 2019. Butterfly phenology in Mediterranean mountains using space-for-time substitution. Ecol. Evol. 10:928–939.

Appendix 1. List of the butterfly species collected on Mt. Jirisan, South Korea

Family / Scientific name	Korean name	Elevation			Ecological traits			
		L	M	H	DT	HB	FB	GN
Papilionidae	호랑나비과							
<i>Parnassius stubbendorffii</i>	모시나비	3			W	Wi	M	m
<i>Byasa alcinous</i>	사향제비나비	1			W	St	O	p
<i>Papilio machaon</i>	산호랑나비			1	W	Wi	P	p
<i>Papilio xuthus</i>	호랑나비	2	1		W	Wi	O	p
<i>Papilio bianor</i>	제비나비	2			W	St	O	p
<i>Papilio maackii</i>	산제비나비	10		11	W	St	O	p
Pieridae	흰나비과							
<i>Eurema madarina</i>	남방노랑나비	16			S	Wi	O	p
<i>Eurema laeta</i>	극남노랑나비	1		1	S	Wi	O	p
<i>Colias erate</i>	노랑나비	22	3	12	W	Wi	O	p
<i>Anthocharis scolymus</i>	갈구리나비			1	W	St	O	m
<i>Pieris rapae</i>	배추흰나비	73	3	4	W	Wi	O	p
<i>Pieris canidia</i>	대만흰나비	2	1	2	W	St	O	p
<i>Pieris melete</i>	큰줄흰나비	77	37	77	W	Wi	O	p
<i>Pieris napi</i>	줄흰나비			1	N	Wi	O	p
Lycaenidae	부전나비과							
<i>Favonius taxila</i>	산녹색부전나비		1	1	W	St	M	m
<i>Rapala caerulea</i>	범부전나비			1	W	Wi	P	p
<i>Lycaena phlaeas</i>	작은주홍부전나비	1		1	W	Wi	M	p
<i>Zizeeria maha</i>	남방부전나비	2			S	W	M	p
<i>Cupido argiades</i>	암먹부전나비	18		1	W	Wi	O	p
<i>Tongeia fischeri</i>	먹부전나비	1			W	Wi	O	p
<i>Celastrina argiolus</i>	푸른부전나비	14	5	17	W	Wi	O	p
Nymphalidae	네발나비과							
<i>Libythea lepita</i>	뿔나비	15	7	6	W	St	M	m
<i>Argynnis laodice</i>	흰줄표범나비	2		5	W	W	M	m
<i>Argynnis ruslana</i>	큰흰줄표범나비	1	1	45	W	St	M	m
<i>Argynnis anadyomene</i>	구름표범나비			1	N	St	M	m
<i>Argynnis paphia</i>	은줄표범나비	1		6	W	St	M	m
<i>Fabriciana vorax</i>	긴은점표범나비		1	2	W	Wi	M	m
<i>Limenitis camilla</i>	줄나비	2	1		W	Wi	O	p
<i>Limenitis helmanni</i>	제일줄나비	1		2	W	Wi	O	p
<i>Neptis philyra</i>	세줄나비	4	4	5	N	St	O	m
<i>Neptis sappho</i>	애기세줄나비	8	5	2	W	St	P	p
<i>Neptis pryri</i>	별박이세줄나비	1			W	Wi	M	p
<i>Neptis ilos</i>	산황세줄나비			1	N	St	M	m
<i>Araschnia burejana</i>	거꾸로여덟팔나비		1	7	N	St	O	p
<i>Polygonia c-aureum</i>	네발나비	8			W	Wi	M	p
<i>Kaniska canace</i>	청띠신선나비	2	1	2	W	Wi	O	p
<i>Vanessa indica</i>	큰멋쟁이나비	1	1	2	W	Wi	P	p
<i>Apatura iris</i>	번개오색나비			7	N	St	M	m
<i>Mimathyma schrenckii</i>	은판나비		1		N	St	O	m
<i>Hestina persimilis</i>	흑백알락나비		1		S	St	M	p
<i>Ypthima argus</i>	애물결나비	6			W	Wi	O	p
<i>Ypthima multistriata</i>	물결나비	4		1	W	Wi	O	p

Appendix 1. Continued

Family / Scientific name	Korean name	Elevation			Ecological traits			
		L	M	H	DT	HB	FB	GN
<i>Erebia wanga</i>	외눈이지옥사촌나비			2	N	St	P	m
<i>Coenonympha hero</i>	도시처녀나비			3	W	St	O	m
<i>Minois dryas</i>	굴뚝나비	1		3	W	Wi	O	m
<i>Lopinga achine</i>	눈많은그늘나비			6	W	St	O	m
<i>Lethe diana</i>	먹그늘나비	7	40	48	W	St	O	p
<i>Melanargia epimede</i>	조흰뺨눈나비			19	N	St	M	m
<i>Mycalesis francisca</i>	부처사촌나비		2	4	W	Wi	O	p
Hesperiidae 팔랑나비과								
<i>Lobocla bifasciata</i>	왕팔랑나비	1			W	Wi	O	m
<i>Daimio tethys</i>	왕자팔랑나비			1	W	St	M	p
<i>Erynnis montanus</i>	멧팔랑나비		2	7	W	W	M	m
<i>Carterocephalus silvicola</i>	수풀알락팔랑나비			1	N	St	O	m
<i>Thymelicus leoninus</i>	줄꼬마팔랑나비	1	4	1	W	St	O	m
<i>Ochlodes venatus</i>	수풀떠들썩팔랑나비			1	W	Wi	O	m
<i>Ochlodes subhyalinus</i>	유리창떠들썩팔랑나비	1			W	Wi	O	m
<i>Ochlodes ochraceus</i>	검은테떠들썩팔랑나비			1	N	Wi	O	m
<i>Parnara guttata</i>	줄점팔랑나비	4		8	S	Wi	O	p

Elevation L: Low elevation (300–600 m), M: Middle elevation (700–900 m), H: High elevation (1,000–1,400 m)

Ecological traits DT: Distribution type, W: World wide species, N: Northern species, S: Southern species

HB: Habitat breadth, St: steno, Wi: wide

FB: Food breadth, M: monophagous, O: oligophagous, P: polyphagous

GN: Generation number, m: monovoltine, p: polyvoltine