

조각난 경관에서 멸종위기종 붉은점모시나비의 서식지 패치 네트워크 분석과 보전

김도성^{1*} · 박성준² · 조영호³ · 김기동² · 도재화² · 서형수² · 신영규² · 서민환² · 오길종²

¹한국나비보전센터, ²국립환경과학원, ³대전대학교

The Analysis and Conservation of Patch Network of Endangered Butterfly *Parnassius bremeri* (Lepidoptera: Papilionidae) in Fragmented Landscapes

Do Sung Kim^{1*}, Seong Joon Park², Youngho Cho³, Ki Dong Kim², Jae Wha Tho², Hyung Soo Seo²,
 Young Kyu Shin², Min Hwan Suh² and Gil Jong Oh²

¹Butterfly Conservation Center of Korea, Geumsan, Chungcheongnam-do 312-802, Korea

²National Institute of Environment Research (NIER), Incheon 404-708, Korea

³Dept. of Biology, Daejeon Univ. Daejeon 300-716, Korea

ABSTRACT: Understanding the ecological complexity and habitat of a species are crucially important to conserve an endangered species. This study evaluated the patch network ecology of the endangered species *Parnassius bremeri*. The results indicated that 188 individuals were captured and 220 were recaptured, respectively. The sex ratio of female: male was 42:146; males were four times more abundant than females. The average longevity of an adult was 3.93 ± 3.93 days (male, 4.0 ± 3.9 ; female, 2.5 ± 1.0 days); the maximum longevity was 14 days for males and 13 days for females, respectively. Therefore, the expected longevity of males was longer than that of females. The average emigration distance for the species was 377 m, and the maximum emigration distance was 1550 m. The analysis of patch connectivity and individual colonization revealed that the ideal distance between patches was about 300 m. Moreover, a >600 m patch distance decreased the colonization rate severely. We also observed higher immigration and emigration between patches that were clustered in close proximity. This leads us to conclude that a higher number of patches at a close distance is best suited for *P. bremeri*. We find these results to be crucial to determine a policy to protect and conserve this endangered species.

Key words: Metapopulation, Habitat, Connectivity, Movement, *P. bremeri*

초록: 종에 대한 생태적 특성과 서식지에 대한 이해는 종의 보전에 매우 중요하다. 본 연구는 멸종위기에 처해있는 붉은점모시나비의 생태적 특성을 바탕으로 서식지 패치네트워크를 분석하였다. 그 결과 포획 개체수는 188개체, 재포획은 220회 되었다. 그리고 암수의 비율은 42:146개체로 암컷보다는 수컷이 약 4배 많은 것으로 나타났다. 또한 개체의 평균생존일수는 3.93 ± 3.93 일(수컷: 4.0 ± 3.9 , 암컷: 2.5 ± 1.0), 암컷과 수컷의 최대 생존일수는 각각 13, 14일 나타났고, 수컷이 암컷에 비하여 오래 생존하는 개체가 많은 것으로 나타났다. 종의 평균이동거리는 377 m을 보였으며 최대 1550 m까지 이동하는 것으로 나타났다. 패치연결성과 개체생존이주율의 추정에서 패치간의 거리가 약 300 m 이내가 종의 이주에 적합하며 600 m 이상 떨어질 경우 개체생존이주율이 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 종의 이주 빈도는 근접한 거리에서 다수의 패치가 있는 곳에서 활발하게 일어나고 있어 종의 보전을 위해서는 근접한 거리에 다수의 패치가 필요함을 알 수 있었다. 이번 연구 결과는 붉은점모시나비의 서식지 특성이 분석되어 종 보전을 위한 서식지 디자인 및 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 본다.

검색어: 메타개체군, 서식지, 연결성, 이주, 붉은점모시나비

*Corresponding author: bremeri2000@hanmail.net

Received October 18, 2011; Revised January 31, 2012

Accepted February 7, 2012

인간활동에 따른 야생동물의 서식지는 점점 조각화되고 이에 따른 영향으로 소형화와 고립화되어 종 다양성과 개체군 크기를 감소시키는 주요인으로 작용하고 있다(Van Swaay and Warren, 1999, 2006; Tschamtko *et al.*, 2002). 특히 국지적 분포

를 보이는 야생동물의 서식지를 도로건설이나 주거지역으로 개발하거나 농경지로 개간하는 행위는 서식지 단절에 따른 동물의 이동을 어렵게 하여 서식지간에 연결성을 떨어뜨린다. 이런 개체군들의 행동 특성은 서식지 패치간에 이주장벽과 이동통로의 영향으로 설명되어 고립된 개체군은 다른 개체군보다 높은 절멸의 위험에 빠져있을 뿐만이 아니라 새로운 서식지 건설의 잠재력 또한 빈약하다(Fischer *et al.*, 1999). 따라서 고립된 개체군이 절멸하였을 때 인접한 지역에서 서식하던 개체들이 이주해 오면 재서식이 가능하여 종의 지속적인 발생을 기대할 수 있지만(Hanski and Gilpin, 1997), 서식지의 크기가 작고 연결성이 약한 곳에서는 이주에 의한 재서식이 일어나도 잦은 절멸현상이 일어나(Komonen *et al.* 2008) 결국 국지적으로 절멸 상태로 남게 된다(Thomas *et al.*, 1992).

일반적으로 조각난 경관 내에서는 서식지의 크기와 연결성 그리고 서식지의 질은 유형의 먹이식물과 각각의 패치를 둘러싸고 있는 수목이나 암반 등에 의해서 결정되어 나비의 생존에 가장 중요한 요소로 작용한다(Binzenhöfer *et al.*, 2007; Bauerfeind *et al.*, 2008). 서식지가 조각난 네트워크에서 나비는 패치의 경계에 이르면 본능적으로 되돌아가려는 습성으로 이주율이 낮아지는 반면에 패치가 잘 연결된 곳에서는 많은 개체들이 패치의 경계를 넘나들어 이주율이 높게 나타나고 있다(Schtickzelle and Baguette, 2003). 따라서 서식지가 조각난 경관구조에서의 분산력은 메타개체군을 유지하는 핵심이 된다(Baguette *et al.*, 2003).

Haddad and Baum(1999)는 비슷한 면적의 서식지에서는 패치가 잘 연결된 곳에서의 개체군 밀도가 고립된 곳보다도 높게 나타났으며, 이는 서식지 매트릭스 구조 즉 패치간의 장벽이나 장애 혹은 징검다리 역할을 하는 패치 존재가 많은 영향을 준다고 하였다(Kindlmann *et al.*, 2005; Kim *et al.*, 2011). 또한 Brückmann *et al.*(2010)은 초원지대에서 먹이식물과 나비의 연구에서 최근 수십 년간에 걸쳐서 일어난 서식지의 소실은 곧바로 다양성의 감소로 이어지고 패치의 연결성은 패치의 질이나 패치간의 거리보다는 패치를 둘러싸고 있는 경관구조가 보다 중요하게 작용한다고 하였다.

조각난 서식지에서의 종 보전을 위해서는 수많은 조건과 불확실성이 존재하는 가운데 Goffart *et al.*(2010)은 두 종의 나비 *Proclissiana eunomia*와 *Lycaena helles*의 연구에서 초지가 숲으로 천이되는 것을 막는 것이 종의 유지에 가장 필요한 조치임을 파악하였다. 따라서 초지 유지를 위한 관리방안으로 기계를 이용한 제초작업보다는 소나 말을 이용하여 넓은 지역의 풀을 먹게 하는 것이 나비의 생존에 효과적임을 밝히고 서식지와 종의 보전을 위해서는 소생태계와 같은 특별한 곳에서는 관리행

동이 필요함을 역설하였다. 그리고 Schultz and Crone(2005)은 *Icaricia icarioides*의 보전계획에서 새로운 서식지를 만드는데 기존의 서식지에서 1 km 이내의 범위에서 위치하며 2 ha 이상의 크기를 가져야 하는 것을 알아냈다. 따라서 우리는 특히 국지적 분포를 보이는 생물종의 보전을 위해서는 종의 생활습성과 서식지 특성 그리고 패치 네트워크를 분석하여 최적의 서식지 요건을 추정할 필요성이 있다.

붉은점모시나비의 분포지는 Park and Kim(1997)은 1980년대 18곳 90년대 16곳의 채집기록을 보고하였으나 Ko *et al.*(2004)의 논문에서 발생이 확인된 곳은 3곳에 불과한 것으로 나타났다. 이는 얼마나 짧은 시간 내에 서식지가 급감할 수 있는지를 단적으로 보여주는 결과이다. 이에 환경부에서는 붉은점모시나비를 멸종위기야생동물 II급으로 지정 보호하고 있으나, Kim *et al.*(1999)은 옥천군지역에서 붉은점모시나비가 소멸하였음을 보고하였는데, 이러한 국지적 소멸의 원인으로는 도로건설에 따른 서식지 환경의 급격한 변화와 과도한 채집임을 밝힌 가운데, Kim *et al.*(1999)과 Ko *et al.*(2004)에 의하여 나비의 생태적 습성이 밝혀져 대량사육 기술을 수립하게 되었다.

경북 의성군의 붉은점모시나비 서식지는 2006년 지방도를 확장하는 과정에서 발견되었으며 상주 영덕 고속도로 노선에 따른 환경영향평가 과정에서 노선과 인접한 곳에서 새로운 서식지가 분포하고 있는 것으로 조사되기 시작하였다. 본 연구는 대체서식지 조성을 위하여 2010년에 의성군 일원에서 붉은점모시나비의 메타개체군의 생태연구가 진행되는 과정에서 인접한 지역에서 기존의 서식지와 유사한 지형과 식생을 보이는 곳이 다수 있는 것으로 파악된다. 따라서 이번 연구는 2010년 연구의 연장선상에서 이루어져 있으며, 2011년에는 나비의 서식이 가능할 것으로 예상되는 지역을 중점으로 나비서식 여부를 조사하였다. 이런 조사 결과를 바탕으로 2010년도의 MRR 조사 지역에서 동일한 방법으로 서식지의 연결성을 추정하여 의성군 일원에 분포하는 서식지 패치네트워크를 분석하였다. 본 연구 결과는 의성군 일원의 붉은점모시나비 서식지 보전방안 수립의 기초자료로 활용이 가능할 것으로 본다.

재료 및 방법

나비

붉은점모시나비 서식지는 주로 산지의 암반지대, 도로 절개지, 강변, 산 정상 등과 같이 오픈 된 초지에 서식하며 산림 개별 지역에서 한시적으로 발생하기도 한다. 성충은 서식지 내에서 머무르며 생활하는 정주성 나비로 하나의 큰 패치에서 생활하

거나 여러 개의 패치에서 순환 발생하면서 생활한다(Kim *et al.*, 1999). 생활사는 연 1회 5월부터 6월 초까지 활동하며 산란은 먹이식물이나 먹이식물 주변의 다양한 장소에 하나씩 한다. 월동은 알 속 1령 상태로 이듬해 2월까지 있다가 기온이 상승하면 알의 옆면에 구멍을 뚫고 나오며 먹이식물은 *sedum*속 기린초(*Sedum Kamtschaticum*), 가는기린초(*S. aizoon*), 애기기린초(*S. middendorffianum*), 섬기린초(*S. takesimense*), 속리기린초(*S. zokuriense*)가 야외조사와 사육을 통해서 밝혀졌다(Kim *et al.*, 1999; Ko *et al.*, 2004).

장소

의성군은 작은 산들이 산재하고 있으며 동에서 서로 산들이 연결된 형태를 띠고 있다. 안사면, 안계면 일원에 이르면 산의 등고선을 따라서 암반단층이 발달한 특이한 경관을 갖고 있다. 이런 암반층을 중심으로 기린초가 군락을 이루고 있어 붉은점모시나비가 서식하기에 좋은 조건을 갖고 있어 먹이식물이 자생

하는 의성군 안사면, 안계면 일원을 중심으로 조사하였다. 패치 간의 거리는 Kim *et al.*(2011)의 자료를 사용하였다(Table 1).

조사방법

경북 의성군 안사면, 안계면, 다인면 일원은 암반단층면에 열린공간이 형성된 경관지형을 따라서 붉은점모시나비의 먹이식물인 기린초가 자생하고 있는 이 지역 일대에 특이한 경관은 항공사진을 통해서도 확연하게 드러나고 있어 나비의 서식에 예상되는 지점을 항공사진을 이용하여 검색한 후 조사 지점으로 선정하였다. 그리고 나비 출현기인 5월 초순부터 말까지 선정된 조사지점을 찾아서 모니터링 한 후 도면에 관찰(detected) 비관찰(undetected)로 구분하여 표기하였으며 먹이식물의 식흔도 함께 조사하였다(Fig. 1).

나비의 이동거리, 생존일수, 패치연결성 추정을 위하여 2010년에 선정한 핵심조사 지역에서 나비의 발생이 비교적 많이 발생한 기간에 해당되는 5월 중순부터 말까지 비가 오는 날을 제외

Table 1. Summary of patch size and distance between patches in the *P. bremeri* study area in Uiseong, Gyeongbuk, Korea

Patch no.	Patch size (m ²)	Distance between patches (m)					
		2	3	4	5	6	7
1	1120	78	233	359	554	410	254
2	839		155	281	467	332	280
3	608			126	321	177	147
4	1252				195	58	51
5	1353					177	145
6	1776						90
7	918						

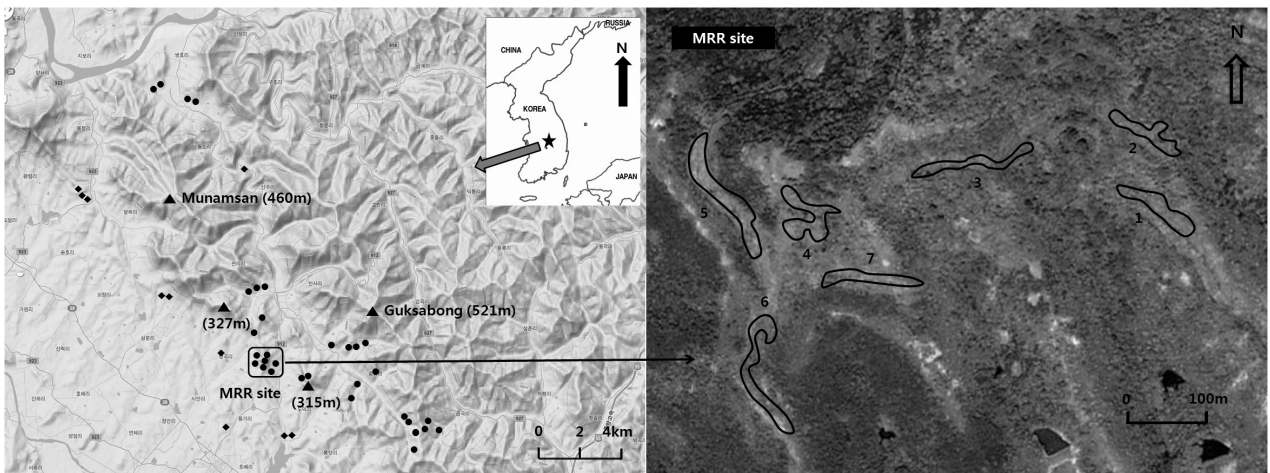


Fig. 1. Landscapes of the *P. bremeri* survey area on and around Uiseong, Korea. (●: detected ◆: undetected)

하고 매일 오전 10시부터 오후 1시까지 각각의 서식지 패치를 순회 하면서 Mark-Release-Recapture(MRR)를 실시하였다(Fig. 1). MRR은 포획된 개체에 고유번호를 뒷날개 아랫면에 유성 펜을 이용하여 표지하고, 사진 촬영한 후 즉시 방사하였다. 그리고 MRR조사지역에서는 매일 같은 방법으로 반복하여 새롭게 포획 된 개체와 재포획 개체의 발생과 이동현황을 기록하였다.

자료분석

메타개체군 크기

메타개체군의 크기는 Jolly-Seber(Jolly, 1965)의 방법으로 개방형 개체군을 선택하여 다음 과정을 거쳐 추정하였다.

$$\hat{M}_i = m_i + (R_i + 1)Z_i / (r_i + 1)$$

\hat{M}_i 는 개체군 내에서 i 번째 샘플에서 표지 될 수 있는 추정개체수이며, 따라서 개체군 내에서 i 번째 샘플에서의 추정개체군 크기(\hat{N}_i)는 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{N}_i = \frac{\hat{M}_i(n_i + 1)}{(m_i + 1)}$$

여기에서 $n_i = i$ 번째 샘플에서 포획된 전체 개체수
 $R_i = i$ 번째 샘플에서 포획 표지되어 방사된 개체수
 $m_i = i$ 번째 샘플에서 이전부터 현재까지 포획되어 표지 된 개체수의 합
 $r_i =$ 방사된 R_i 에서 재포획 된 개체수의 합
 $Z_i = i$ 번째 샘플 전후에 포획된 개체수로 i 번째 샘플에서는 포획되지 않았으나 이후에 포획된 개체수의 합.

그리고 95%의 신뢰범위의 개체군 크기 추정에서 i 번째 개체군의 표준편차는 다음의 과정을 거쳐 계산되어

$$T_i = \log_e \hat{N}_i + 0.5 \log_e \left[0.5 - \frac{3n_i}{8\hat{N}_i} \right]$$

$$s_{T_i} = \sqrt{\left(\frac{\hat{M}_i - m_i + R_i + 1}{\hat{M}_i + 1} \right) \left(\frac{1}{r_i + 1} - \frac{1}{R_i + 1} \right) + \frac{1}{m_i + 1} - \frac{1}{n_i + 1}}$$

그리고 T_i 제한값과 지수값은 다음과 같이 계산되어

$$T_{iL} = T_i - 1.65 s_{T_i} : W_{iL} = e^{T_{iL}}$$

$$T_{iU} = T_i + 2.45 s_{T_i} : W_{iU} = e^{T_{iU}}$$

95%의 신뢰값은 다음과 같이 계산된다.

$$(4W_{iL} + n_i)^2 / 16W_{iL} \quad \text{그리고} \quad (4W_{iU} + n_i)^2 / 16W_{iU}$$

개체 생존일수

MRR은 포획과 재포획 과정을 반복하므로 조사지역 개체군의 생존일수 추정이 가능하다. 평균생존일수(average survival days; ASD)는 일일 단위로 다음과 같이 계산하였다(Kim *et al.*, 2011). 각 개체의 생존일수 \hat{SD} 의 합은

$$\hat{SD} = c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_{n-1} + c_n = \sum_{i=1}^n c_n$$

따라서 평균생존일수(ASD)는 다음과 같이 계산된다.

$$ASD = \frac{\hat{SD}}{N}$$

여기에서 $c_1 =$ 첫 번째 포획된 개체의 생존일수
 $c_2 =$ 두 번째 포획된 개체의 생존일수
 \vdots
 $c_n = n$ 번째 포획된 개체의 생존일수
 $N = n$ 번째까지 포획된 개체번호

패치 연결성과 개체생존이주율

가상이동모델(Hanski *et al.*, 2000)은 Mark-Release-Recapture(MRR)를 통하여 여러 패치에서 포획된 개체들을 분석하여 패치의 연결성을 추정할 수 있다. 패치의 연결성은 생존이주에 달려있으며 연결성은 다음과 같이 계산한다.

$$S_j = \sum_{k \neq j} \exp(-\alpha d_{jk}) A_k^{C_m}$$

여기서 $d_{jk} =$ 두 패치간의 거리

$\alpha =$ 고립거리효과에 의해 측정된 값(1/평균이동거리)

$A_k^{C_m} = k$ 패치면적에서 이출에 의해서 측정된 값

개체의 생존이주율은 패치 j 의 연결성에 비례하여 관련된 모든 대상 패치에 분포하는 것으로 가정한다. 따라서 패치 j 에서 k 로의 개체생존이주율은 다음과 같다.

$$\psi_{j,k} = \frac{\exp(-\alpha d_{jk}) A_k^{C_{sm}}}{\frac{\lambda}{S_j} + S_j}$$

여기에서 λ 는 모델변수로 2010년도에 추정된 개체군의 크기 (Kim *et al.*, 2011)와 2011년에 추정된 개체군의 크기를 이용하여 기하적 증가율 $\lambda = N_{t+1}/N_t$ 적용하여 계산하였다. 따라서 패치 j 에서 k 로의 개체 생존 이주율은 두 패치 사이의 거리와도 착지 패치 k 의 면적에 의존된다.

이동거리와 회귀분석

이동거리의 측정에는 태어난 패치내의 움직임은 계산되지 않았으며, 다른 패치로의 이주가 확인된 개체만을 대상으로 이동거리를 측정하였다. 이동거리는 각각의 패치 중심에서 중심까지의 거리로 하여 실제 각각의 패치에서 이주 패치까지 최장 거리와 최단거리의 차를 보정하였다. 그리고 패치간 거리와 패치연결성, 개체생존이주율과의 회귀분석은 SAS-StatView 5.0.1 (1998)를 이용하여 단순회귀 분석하였다.

결과

생존일수와 패치별 포획 개체수

2011년 경북 의성군 안계면 일원에 분포하는 붉은점모시나

비의 포획 개체수는 188개체, 재포획은 220개체가 되었다. 그리고 전체 포획된 암수의 비율은 60:348개체로 암컷보다는 수컷이 많은 것으로 나타났다(Table 2). 또한 개체의 평균생존일수는 3.93 ± 3.93 일(수컷: 4.0 ± 3.9 , 암컷: 2.5 ± 1.0), 암컷과 수컷의 최대 생존일수는 각각 13, 14일 나타났다.

패치별 포획된 개체수는 2번 패치(39개체)에서 가장 많고, 7번 패치(17개체)에서 가장 낮은 개체수가 포획되었다. 그리고 재포획에서는 5번 패치(38개체)로 가장 많고, 1, 3번 패치(26개체)로 가장 적었다. 또한 포획과 재포획 모두에서는 2번 패치(67개체)로 가장 많고, 1번 패치(47개체)로 가장 적었다. 따라서 이번 조사에서는 전 패치에서 비교적 고른 포획과 재포획을 보였으며 3번 패치를 제외한 모든 패치에서 포획보다는 재포획된 개체수가 많은 것으로 나타나고 있다. 따라서 모든 패치에서 나비는 오랫동안 생존하거나 인접한 패치에서 유입되는 개체가 많은 것으로 나타나 서식지에 대한 강한 집착력을 갖는 것으로 판단된다.

개체군 크기 추정

2011년에 일일 개체군의 크기는 20-231개체로 추정되었다. 그래프에서 나타난 나비의 추정개체수는 점차 증가한 후 감소하고 있어 전반적인 나비 발생패턴을 보여 주었다(Fig. 2). 그리고 성충 출현 후반기에 이르면 추정개체군의 편차는 급격하게 증가하였는데 이는 후반부에 새롭게 포획되는 개체수의 감소폭이 커지는 반면 재포획 개체수는 안정되게 유지한 결과로 판단된다.

이동거리

붉은점모시나비의 패치간 이동을 보인 개체들의 평균 이동

Table 2. The number of *P. bremeri* captured/recaptured during the study period in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2011

Date	No. of patches														NC total (♂ : ♀)	RC total (♂ : ♀)	Total (♂ : ♀)
	1		2		3		4		5		6		7				
	NC	RC	NC	RC	NC	RC	NC	RC	NC	RC	NC	RC	NC	RC			
17, May	5	0	3	0	5	1	7	1	3	1	7	1	3	1	33 (23 : 10)	5 (5 : 0)	38 (28 : 10)
18, May	3	4	8	2	9	1	5	3	3	4	5	4	1	1	34 (31 : 3)	19 (16 : 3)	53 (47 : 6)
19, May	1	4	6	5	3	2	4	5	3	4	2	7	1	0	20 (16 : 4)	27 (25 : 2)	47 (41 : 6)
20, May	4	4	7	4	3	1	2	6	2	1	1	1	0	0	19 (16 : 3)	17 (15 : 2)	36 (31 : 5)
24, May	2	4	7	4	2	3	5	2	3	5	2	10	4	6	25 (19 : 6)	34 (29 : 5)	59 (48 : 11)
25, May	2	6	3	2	4	8	3	4	5	7	4	5	1	7	22 (18 : 4)	39 (38 : 1)	61 (56 : 5)
28, May	2	1	1	3	3	0	1	6	1	7	4	3	2	5	14 (10 : 4)	25 (23 : 2)	39 (33 : 6)
29, May	0	2	0	3	2	5	1	4	2	6	2	1	2	7	9 (3 : 6)	28 (26 : 2)	37 (29 : 8)
30, May	2	1	4	5	0	5	0	3	2	3	0	3	3	6	11 (10 : 2)	26 (25 : 1)	38 (35 : 3)
Total	21	26	39	28	31	26	28	34	24	38	27	35	17	33	188 (146 : 42)	220 (202 : 18)	408 (348 : 60)

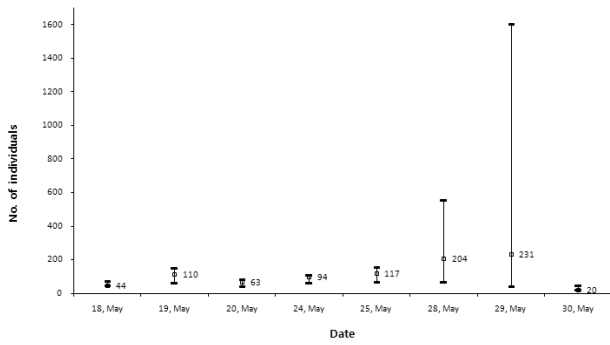


Fig. 2. Changes in the daily metapopulation size of *P. bremeri* with 95% confidence interval in the study area of seven patches in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2011.

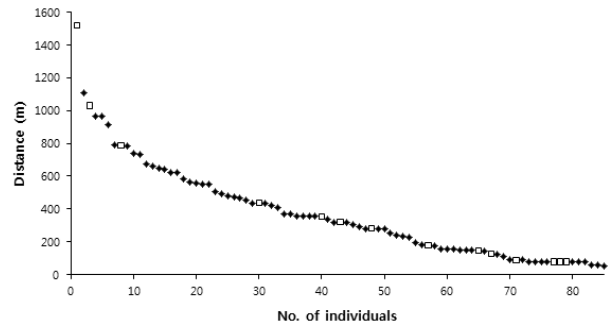


Fig. 3. Maximum travel distances between patches for *P. bremeri* (◆: male, □: female) in the study area in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2011.

Table 3. Connectivity of the patch base on the topology among seven patch locations in 2011

Patch number	1	2	3	4	5	6	7	Sum
1		16.5	10.9	7.8	4.7	6.8	10.3	57.1
2	3.3		2.7	1.9	1.2	1.7	1.9	12.8
3	3.6	4.5		4.8	2.9	4.2	4.6	24.7
4	6.1	7.5	11.3		9.4	13.6	13.8	61.7
5	6.0	7.5	11.1	15.5		16.2	17.7	73.9
6	6.9	8.5	12.8	17.5	12.8		16.1	74.5
7	26.7	24.9	35.4	45.7	35.6	41.2		209.4

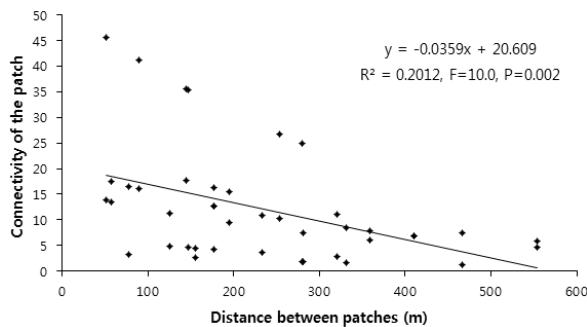


Fig. 4. Regression of patch connectivity against distance between patches.

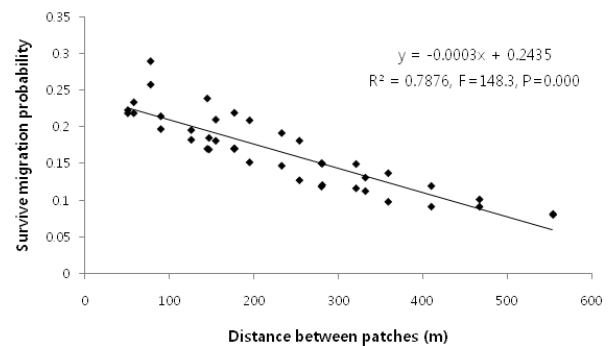


Fig. 5. Regression of survival migration probability against distance between patches.

거리는 377 ± 278 m (수컷: 376 ± 241 , 암컷: 382 ± 418 m)로 나타났다(Fig. 3). 그리고 최대 이동거리에서는 암컷 1550 m, 수컷 1100 m 이상을 보였으나 개체수는 매우 적었다. 암컷과 수컷의 평균 이동거리의 차는 적었으나 전체 개체를 살펴보면 수컷이 암컷보다 활발하게 활동하는 개체가 많은 것으로 나타나고 있다.

패치 연결성과 개체생존이주율

의성군 안사면 일원의 붉은점모시나비 서식지 패치는 산을 중심으로 여러 층으로 단층이 발달한 가운데 먹이식물인 기린초가 자생하고 있으며 각각의 패치는 단층을 따라서 이어져 있는 가운데

패치의 연결성 추정값은 7번 패치가 가장 높고 2번 패치가 가장 낮은 것으로 나타났다(Table 3). 그리고 나비의 이주율, 패치간의 거리 그리고 패치면적을 이용하여 패치연결성 분석결과 300 m의 거리에서 지수값은 10을 보이며 550 m 이상의 거리에서는 지수값이 0으로 떨어지는 것으로 나타나 패치간의 연결성은 거의 없는 것으로 나타났다(Fig. 4). 또한 개체생존이주율의 분석에서는 300 m의 거리에서 0.15값을 600 m 이상의 거리에서는 지수값이 0에 근접하여 생존가능성이 없는 것으로 나타났다(Fig. 5). 따라서 패치연결성과 개체생존이주율 분석결과 패치간의 거리가 약 600 m 이상 떨어질 경우 나비가 성공적으로 다른 패치를 찾아서 이동할 확률은 거의 없는 것으로 추정되었다.

이주 패턴과 패치 네트워크 분석

핵심지역에서 MRR을 이용한 이주패턴에서 수컷이 암컷보다 활발하게 패치간 이주가 일어나고 근거리에서 다수로 밀집된 패치가 존재하는 곳에서는 보다 활성화되는 것으로 나타나고 있다(Fig. 6). 이는 패치간 거리가 짧을수록 패치를 둘러싸고 있는 이질적인 경과의 폭이 줄어들고 패치의 경계를 이루는 수목이 적어져 나비의 이주를 방해하는 요소가 줄어들는 것으로 보인다. 그리고 암컷은 수컷에 비하여 이주 빈도는 적었지만 수컷과 같이 전 패치에서 이주가 일어나고 있었다.

MRR을 이용한 개체생존이주율 추정값에서 패치간의 거리 300 m에서 성공적인 이주 가능성을 약 50% 이상을 유지하는 것으로 나타나 이 결과를 이용하여 의성군 일원에 분포하는 각각의 서식지 패치에서 경계를 그리면 A~H의 패치군을 보이고, 최대 이주거리인 1000 m의 거리를 적용한 경계는 A, a, b, c 패치와 B~H, d, e, f가 독립된 패치군을 보이고 있다(Fig. 7). 따라서 A, a, b, c 패치군과 B~H, d, e, f의 두 패치군 사이에는 연결성이 없어 서로 고립된 개체군으로 나타나고 있으며, B~H 패치군을 중심으로 d~f 패치들이 위성 형태로 산재하는 것으로 나타나고 있는데 이들 패치의 연결성은 경관상으로 이동이 예상되는 지역

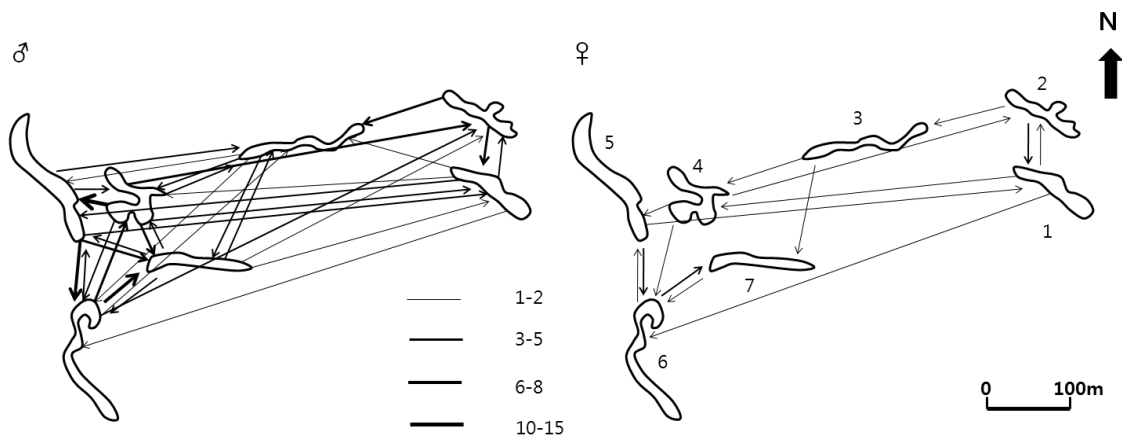


Fig. 6. Dispersal movements in male and female *P. bremeri* between host-plant patches in a mountainous habitat in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2011.

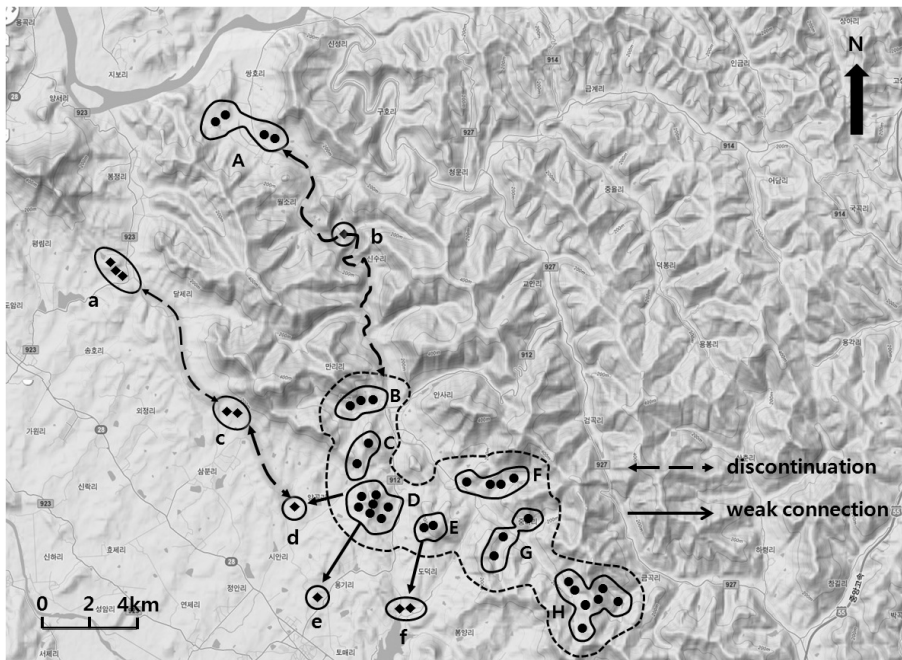


Fig. 7. Habitat patch network analysis of *P. bremeri* in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2011.

에 위치하고 있다. 실제 이번 조사에서 이들 지역에서 관찰된 먹이식물의 생육형태를 살펴본 결과 전년도의 식흔이 나타나고 있었다. 따라서 이들 지역의 개체군 이주는 기회적으로 일어날 것으로 예측된다. 또한 a-패치들은 지방 간선도로와 인접하고 있거나 마을과 인접하고 있는 것으로 나타나 나비의 서식이 부정기적으로 확인되고 있어 국지적 소멸과 서식을 반복하고 있는 것으로 보인다. 특히 b는 지방도로 길을 따라서 먹이식물인 기린초가 도로의 절개지를 따라서 소수로 분포하고 있으나 현재 나비가 이주하기에는 거리가 너무 멀고 차량의 통행으로 패치간의 이주가 거의 일어나지 않을 것으로 보인다.

따라서 의성군의 붉은점모시나비의 서식지 특성은 산지의 암반 단층 능선을 따라서 서식지가 형성되어 있으며 산지 아래의 서식지는 위성형태로 남아서 지방도의 개설과 포장, 도로정비, 주거환경의 변화로 인한 잡목제거 감소, 경작행위, 식생의 변화 등과 같은 환경의 변화로 점차 서식지가 작아지거나 또는 변화하여 점차 소멸의 과정으로 진행되는 것으로 판단된다.

고찰

나비의 생존일수 추정에서 평균 2010년 2.3일, 2011년 3.9일로 추정되어 2011년이 긴 것으로 나타났다. 이는 포획과 재포획된 개체의 분석에서 나타난 결과로 실제 나비가 수명이 다해서 죽은 생존기간으로 보기에는 한계가 있다. 특히 재포획되지 않은 개체들은 이번 조사지역 패치를 벗어나거나 천적에 의해서 죽은 경우에 해당되므로 평균생존일수를 감소시키는 요인으로 작용하고 있다. 따라서 실험실에서 천적에 의한 사망이나 다른 지역으로의 이주를 통제된 상태에서 생존기간을 조사해 볼 필요성을 느낀다.

Kim and Kwon(2010)과 Kim *et al.*(2011)년 개체군의 크기 추정에서 세대 후반기에 이르면 새롭게 포획된 개체수는 급격하게 감소하는 반면에 재포획 개체수는 비교적 안정된 값을 보여 오차범위를 크게 하는 특성을 보이고 있는데 이는 나비목 곤충의 성충 발생이 초기에 동시에 집중적으로 우화하는 생활사의 영향으로 생각된다.

패치연결성 추정에서 2011년에는 패치의 중앙에 위치한 7번 패치는 연결성이 가장 높은 값을 나타낸 것에 반하여 2010년에는 4번 패치가 높은 값을 나타냈다. 이렇듯 연도별 패치 연결성의 차이를 보이고 있는 것은 메타개체군의 순환발생 현상으로 보인다. 패치별 개체수에서 7번 패치에서 가장 적은 17개체가 새롭게 포획된 개체인데 반하여 33개체가 재포획 됨으로서 다른 패치에서 유입된 개체수가 상대적으로 패치 연결성이 높아진 결과로 보인다. 그러나 2010년도 가장 높은 연결성을 보인 4

번 패치는 주변이 다른 패치에 비하여 수목이 밀생하여 자라고 있어 상대적으로 유입되는 개체가 적었다. 이는 패치의 경계를 이르는 수목의 크기와 밀집에 따른 영향으로 열린 공간으로 이동하는 나비의 특성상 숲은 나비의 이동에 제한적인 요소로(Schtickzelle and Baguette, 2003) 작용하고 초지에서 서식하는 나비는 초지대 외각의 수목을 만나면 되돌아오는 반사행동을 보이고 있다(Roland *et al.*, 2000).

멸종위기에 처해있는 종 보전을 위해서는 대상 종의 생태와 서식지에 대한 평가와 반응이 중요하다(Box, 1996). 특히 국지적으로 제한된 분포지 특성을 가지는 메타개체군들은 주변 서식지와 연결성을 가장 중요한 변수로 작용하므로(Debinski and Holt, 2000) 메타개체군이 경관에서 종의 지속성을 유지하기 위해서는 패치간의 연결성에 의해서 소멸과 재서식간에 균형을 이루는 것으로 나타나고 있다(Baguette *et al.*, 2003).

메타개체군의 연구에서 패치연결성의 추정을 위하여 대상종의 존재와 부재를 조사하여 재 서식을 평가하는 방법으로 종이 서식하고 있는 패치간의 거리와 면적을 이용하여 효과적으로 패치의 연결성을 설명할 수 있다(Prugh, 2009). 패치네트워크는 서식지가 도로, 하천, 암반 등과 같이 열린 공간으로 직접 연결된 형태와 징검다리 패치로 연결된 형태를 가지며, 패치의 위치, 크기, 경사도 그리고 식생은 종의 이주에 많은 영향을 주어 네트워크를 결정하게 된다(Sousa, 1985). 또한 패치네트워크는 서식지 개체들의 이주율과 이주거리에 의해서 형성되는 서식지 연결성으로 메타개체군을 이루는 종의 생존에 많은 영향을 끼친다(Thomas and Hanski, 2004). 따라서 이번 연구결과인 붉은점모시나비의 이동능력과 분산패턴을 바탕으로 하여 패치간의 연결성과 개체생존이주율을 추정하여 의성군 일원의 붉은점모시나비 서식지 패치 네트워크를 분석하였다. 이는 앞으로 종 보전을 위한 서식지 디자인과 설계 자료로 활용이 가능할 것으로 본다.

사사

2011년 멸종위기종 붉은점모시나비의 포획-가공-방사 허가를 내주신 대구지방환경청에 감사드리며 본 논문은 국립환경과학원(과제번호: 1800-1832-305-210-13)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

Literature Cited

- Baguette, M., G. Mennechez, S. Petit and N. Schtickzelle. 2003. Effect of habitat fragmentation on dispersal in the butterfly *Proclosoana eunomia*. *Comptes Rendus Biologies* 326: 200-209.

- Bauerfeind, S.S., A. Theisen and K. Fischer. 2008. Patch occupancy in the endangered butterfly *Lycaena helle* in a fragmented landscape: effects of habitat quality, patch size and isolation. *J. Insect Conserv.* 13:271-277.
- Binzenhöfer, B., R. Biedermann, J. Settele and B. Schröder. 2007. Connectivity compensates for low habitat quality and small 8 patch size in the butterfly *Cupido minimus*. *Ecol. Res.* 23: 259-269.
- Box, J. 1996. Setting objectives and defining out puts for ecological restoration and habitat creation. *Restoration Ecol.* 4: 427-432.
- Brückmann, S.V., J. Krauss and I. Steffan-Dewenter. 2010. Butterfly and plant specialists suffer from reduced connectivity in fragmented landscapes. *J. Appl. Ecol.* 47: 799-809.
- Debinski, D.M. and R.D. Holt. 2000. A survey and overview of habitat fragmentation experiments. *Conserv. Biol.* 14: 342-355.
- Fischer, K., B. Beinlich and H. Plachter. 1999. Population structure, mobility and habitat preferences of the violet copper *Lycaena helle* (Lepidoptera: Lycaenidae) in Western Germany: implication for conservation. *J. Insect Conserv.* 3: 43-52.
- Goffart, P., N. Schtickzelle and C. Turlure. 2010. Conservation and Management of the Habitats of Two Relict Butterflies in the Belgian Ardenne: *Proclissiana eunomia* and *Lycaena helle*. pp. 357-370. *In* Relict Species, eds. by J.C. Habel and T. Assmann. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Haddad N.M. and K.A. Baum. 1999. An experimental test of corridor effects on butterfly densities. *Ecol. Appl.* 9: 623-633.
- Hanski, I. and M.E. Gilpin. 1997. Case studies. pp. 353-357. *In* Metapopulation biology: ecology, Genetics, and evolution, eds. by I. Hanski and M.E. Gilpin. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Hanski, I., J. Alho and A. Moilanen, 2000. Estimating the parameters of survival and migration of individuals in metapopulations. *Ecology* 81: 239-251.
- Jolly, G.M. 1965. Explicit estimates from capture-recapture data with both death and immigration-stochastic model. *Biometrika* 52: 225-247.
- Kim, D.S., Y.B. Cho and J.K. Koh. 1999. The factors of local disappearance and a plan of restoration for *Parnassius bremeri* form Okchon-gun, Korea. *Korean J. Environ.* 17: 469-479. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.S. and Y.J. Kwon. 2010. Metapopulation dynamics of the oriental Long-tailed Swallow *Sericinus montela* (Lepidoptera: Papilionidae) in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 49: 289-297. (in Korean with English abstract)
- Kim, D.S., D.S. Park, Y.J. Kwon, S.J. Suh, C.H. Kim, S.J. Park, D.H. Kim, J.S. Kim, H.M. Yu and J.S. Hwang. 2011. Metapopulation structure and movement of a threatened butterfly *Parnassius bremeri* (Lepidoptera: Papilionidae) in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 50: 97-105. (in Korean with English abstract)
- Kindlmann, P., S. Aviron and F. Burel. 2005. When is landscape matrix important for determining animal fluxes between resource patches? *Ecological Complexity* 2: 150-158.
- Ko, M.S., J.S. Lee, C.H. Kim, S.S. Kim and K.T. Park. 2004. Distributional data and ecological characteristics of *Parnassius bremeri* Bremer in Korea. *Kor. J. Appl. Entomol.* 43: 7-14. (in Korean with English abstract)
- Komonen A., T. Tikkamaki, N. Mattila and J.S. Kotiaho. 2008. Patch size and connectivity influence the population turnover of the threatened chequered blue butterfly, *Scolitantides orion* (Lepidoptera: Lycaenidae). *Eur. J. Entomol.* 105: 131-136.
- Park K.T. and S.S. Kim. 1997. Atlas of butterflies. Korea Research institute of bioscience and biotechnology and center for insect systematic, Korea.
- Roland, J., N. Keyghobadi and S. Fownes. 2000. Alpine *Parnassius* butterfly dispersal: Effects of landscape and population size. *Ecology* 81: 1642-1653.
- Prugh, L. R. 2009. An evaluation of patch connectivity measures. *Ecol. Appl.* 19: 1300-1310.
- SAS-StatView 5.0.1. 1998. SAS institute Inc. second edition.
- Schtickzelle, N. and M. Baguette. 2003. Behavioural responses to habitat patch boundaries restrict dispersal and generate migration -patch area relationships in fragmented landscapes. *J. Anim. Ecol.* 72: 533-545.
- Schultz, C.B. and E.E. Crone. 2005. Patch size and connectivity thresholds for butterfly habitat restoration. *Conserv. Biol.* 9: 887-896.
- Sousa, W. P. 1985. Disturbance and patch dynamics on Rocky intertidal shores. pp. 101-124. *In* The ecology of natural disturbance and patch dynamics, eds. by Pickett, S.T.A. and P.S. White. Academic press, San Diego, California, USA.
- Tscharntke, T., I. Steffan-Dewenter, A. Kruess and C. Thies. 2002. Characteristics of insect populations on habitat fragments: A mini review. *Ecol. Res.* 17: 229-239.
- Thomas, C. D and I. Hanski. 2004. Metapopulation dynamics in changing environments: Butterfly responses to habitat and climate change. pp. 489-514. *In* Ecology, genetics, and evolution of metapopulations, eds. by Hanski, I. and O.E. Gaggiotti. Academic Press, San Diego, California, USA.
- Thomas, C.D., J.A. Thomas and M.S. Warren. 1992. Distributions of occupied and vacant butterfly habitats in fragmented landscapes. *Oecologia* 92: 563-567.
- Van Swaay, C.A.M. and M.S. Warren. 1999. Red data book of European butterflies. Council of Europe publishing. Nature and Environment. No. 99. Strasbourg.
- Van Swaay, C.A.M and M.S. Warren. 2006. Prime butterfly areas of Europe: an initial selection of priority sites for conservation. *J. Insect Conserv.* 10: 5-11.