

멸종위기종 붉은점모시나비(*Parnassius bremeri*)의 메타개체군 구조와 이주

김도성^{1*} · 박두상² · 권용정³ · 서상재⁴ · 김창환⁵ · 박성준⁶ · 김동혁³ · 김진서³ · 유혜미³ · 황종석³

¹한국나비보존센터, ²한국생명공학연구원, ³경북대학교 응용생명과학부, ⁴경북대학교 생태자원응용학부, ⁵전북대학교 환경조경디자인학과, ⁶국립환경과학원

Metapopulation Structure and Movement of a Threatened Butterfly *Parnassius bremeri*(Lepidoptera: Papilionidae) in Korea

Do Sung Kim^{1*}, Doo Sang Park², Yong Jung Kwon³, Sang Jae Suh⁴, Chang hwan Kim⁵,
Seong Joon Park⁶, Dong hyuk Kim³, Jin Seo Kim³, Hye Mi Yu³ and Jong Seok Hwang³

¹Butterfly Conservation Center of Korea, Sang-ri, Geumsan-eup, Geumsan-gun, Chungcheongnam-do, 312-802, Korea

²Biological Resource Center, KRIBB, Daejeon 305-806, Korea

³School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

⁴School of Applied Ecological Resources, Kyungpook National University, Sangju 742-711, Korea

⁵Dept. of Environment Landscape Architecture Design, Chonbuk National University 570-752, Korea

⁶Environmental Research Complex, Gyeongseo-dong, Seo-gu, Incheon 404-708, Korea

ABSTRACT: Understanding the metapopulation structure and movement of a species are required for conserving the species. In this paper, migration patterns and connectivity of patches of a threatened butterfly, *Parnassius bremeri* Bremer, were postulated using the mark-release-recapture (MRR) technique in a habitat located in the mid-southern region of the Korean peninsula. A total of 194 individuals were captured (137 males and 57 females) and, of them, 93 individuals (73 males and 20 females) were recaptured during the MRR experiment. The migration analysis showed 23-150% immigration and 28-53% emigration. There were high correlations between the migrating individuals and the distance between patches, but there was no correlation between migrating individuals and patch size or between migrating individuals and the number of host plants. Consequently, the migration of butterflies occurred frequently between closer patches, while patch size and quantity of the food plant had minor effects on migration behavior. Additionally, males migrated more frequently than females. Analysis of the migration patterns of *P. bremeri* showed that the central patch played an important role on linking patch groups and more frequent migrations were monitored between nearby patches than between the remote patches. This study suggested that active migrations take place between the neighboring multiple patches and these are accelerated if there is a stepping-stone patch between them.

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

초 록: 메타개체군의 구조와 이주에 관한 이해는 종 보존을 위해서 필요하다. 본 연구는 붉은점모시나비 서식지에서 MRR 방법으로 나비의 이주 패턴을 분석하고 패치연결성을 추정하였다. 그 결과 194(수컷: 137, 암컷: 57)개체가 포획 되었으며 이중 93(수컷: 73, 암컷: 20)개체가 재포획 되었다. 이주 분석에서 이입율은 23-150%, 이출율은 28-53%으로 나타났다. 패치면적과 이입·이출 개체수와 회귀분석에서는 상관관계를 보이지 않았으며, 먹이식물 수와 이입·이출 개체수와 회귀분석에서도 상관관계를 보이지 않았다. 그러나 이입 개체수와 패치간 거리와의 분석에서는 높은 상관관계를 보였다. 따라서 나비의 이주는 패치거리가 가까울수록 빈번하게 일어나고 있으나 패치의 면적이나 먹이식물 량과 관계가 없는 것으로 나타났다. 나비의 이주에서 암컷보다 수컷이 매우 활발한 것으로 나타났다. 패치의 위치에 따른 이주 패턴의 분석 결과 패치 네트워크 상에서 중앙에 위치한 패치가 양쪽 끝에 위치한 개체군을 이어주는 역할을 하고 있으며 근접한 거리에 있는 패치들간 이주가 멀리 떨어진 패치에 비해 빈번한 이주가 일어나는 것을 보여주었다. 따라서 붉은점모시나비의 이주에 있어서 근거리에서 위치한 패치들간 교류가 활발히 일어나고 있으며 패치와 패치를 이어주는 징검다리 역할을 하는 패치가 존재할 경우 교류가 더 활성화된다는 것을 제시하고 있다.

검색어: 메타개체군, MRR, 이주, 연결성, 붉은점모시나비

*Corresponding author: bremeri2000@hanmail.net

Received March 29 2011; Revised April 5 2011;

Accepted April 1 2011

종 다양성을 감소시키는 주된 원인은 인간 활동에 따른 서식지의 소실과 계속된 단절 때문이다. (Wilcox and Murphy, 1985;

Caughley, 1994). 이러한 서식지의 단절과 조각난 패치로의 변화는 종의 지속적인 발생에 심각한 영향을 주어 절멸위험에 빠뜨리고 있다(Hunter, 2002; Erhardt and Thomas, 1991). 특히 멸종위기 종과 같은 특이종들은 특별한 환경과 자원의 요구로 제한된 서식지에서 생활하여 지리적으로 분포지 감소추세에 직면해 있으며 이러한 곳에서 서식하는 개체군들은 작게 분리된 적합한 패치들로 연결된 서식지에서 개체들이 서로 이동하면서 생활하고 있다(Maes and Dyck, 2001; Petit *et al.*, 2001).

따라서 나비의 이주패턴 결정에 대한 이해는 즉 개체군간의 이주에 따른 연결성이 주요 관심사로 공간구조상에서 메타개체군의 크기를 결정하여 종의 생존 가능성을 결정하는 요인중의 하나이다(Hanski, 1994; Thomas, 2000; Haag *et al.*, 2005). 조각난 경관에서의 이주는 현재의 서식지에서 인접한 서식지까지 개체가 도달할 수 있는 거리 내에서 첫째 서식지 패치에서의 이출, 둘째 환경이 열악한 곳에서 다른 곳으로의 이주, 셋째 새로운 서식지로의 이주로 나타날 수 있다(Conrad *et al.*, 2000). 공간구조의 연구에서 이주는 개체군간의 거리와 서식지 크기와 같은 지리적 요인과 관계가 있는 가운데(Hanski, 1994; Moilanen and Nieminen, 2002) 일반적으로 패치면적이 증가하면 국지적 소멸 위험은 줄어들고, 패치간에 연결성이 높아지면 이주가 증가하는 것으로 나타나고 있다(Kindvall and Ahlen, 1992; Thomas and Harrison, 1992). 또한 Ehrlich(1984)은 개체군의 모자이크 패턴 분포는 국지적 소멸에 따른 재이주가 가능하도록 하는 중요한 역할을 하는 것으로 시사되었다. 그러나 이주를 논의하는데 있어서 패치의 크기나 고립 그리고 개체군 크기와 같은 현상만을 강조한 나머지 서식지의 질적인 요소 평가에 있어서는 부족하였다(Roland *et al.*, 2000). 서식지의 질은 경관구조에 따른 서식지 패치의 공간적 이질성과 패치를 둘러싸고 있는 경관이나 수목의 형태 그리고 패치내의 먹이식물과 흡밀식물의 분포에 따라서 결정되고 이는 개체군 분산에 영향을 준다(Hanski and Meyke, 2005). 이 중 가장 중요한 서식지 질 효과는 먹이식물의 구성이며, 암컷의 이주패턴과 선호성은 먹이식물과 흡밀식물의 종 구성과는 일치하고 있어 새로운 서식지 패치로의 이입(Kuussaari *et al.*, 2000)과 서식지 건설(Hanski and Singer, 2001)에 직접적인 영향을 주고 있다. 따라서 이주율은 서식지 면적, 광도, 고립도와 같은 패치구조와 공간적 배치에 의해서 결정된다(Baguette *et al.*, 2000; Bergman and Landin, 2002).

모시나비속 나비의 연구에서 *Parnassius smintheus*의 이주와 관련된 연구에서는 패치면적이 크거나 먹이식물량이 많으면 이입은 많아지고(Matter and Roland, 2002) 나아가 패치의 면적과 개체군 밀도는 이입하고자 하는 개체수에 중대한 영향을 미친다고 하였다(Välämäki and Itämielä 2003). 그리고 *P. clodius*

는 먹이식물의 피도와 개체군의 크기는 상관관계를 보이고 흡밀식물과는 그 관계가 약한 것으로 나타났다(Auckland *et al.*, 2004). 또한 비행에 있어서 *P. smintheus*는 양지바른 열린 장소를 선호하는 것으로 나타나고 있고(Ross *et al.*, 2005), 패치를 둘러싸고 있는 숲은 나비 이동을 방해할 뿐만이 아니라 암컷이 산란을 기피하는 장소임을 피력하였다(Roland *et al.*, 2000).

모시나비속의 나비는 국제적으로 여러 나라에서 보호종으로 지정되어 보호받고(Wells *et al.*, 1983) 한국에서도 *P. bremeri*는 멸종위기종으로 지정된 가운데 근래에 이르러 옥천군 지역의 서식지에서 소멸되는 등 서식지의 감소가 빠른 속도로 진행되어 현재에는 일부 지역에서 국지적으로 분포하게 되었다(Kim *et al.*, 1999; Ko *et al.*, 2004). Kim *et al.*(1999)은 서식지 특성에서 나비의 소멸원인이 인간 활동에 따른 급격한 서식지 환경의 변화와 식생천이에 따른 먹이식물의 감소가 주된 요인으로 지목하였으며 종 보존의 일환으로 Ko *et al.*(2004)은 인공 사육기술을 수립하였다. 그러나 이러한 노력에도 불구하고 개체군의 야외서식지는 계속해서 감소하는 추세에 있어 보존의 필요성이 강하게 제기되었다. 따라서 본 연구는 Mark-Release-Recapture (MRR) 방법을 이용하여 나비의 이동과 서식지 패치네트워크를 분석하여 종 보존에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

나비와 먹이식물

붉은점모시나비는 한국, 중국 동·북부, 아무르지역에 분포하며 성충은 5월초부터 6월초에 출현하고 산란은 먹이식물이나 그 주변에 하나씩 한다. 월동은 알 속 1령 또는 애벌레로 지내고 이른봄에 먹이식물의 어린 잎을 먹고 자라며 4월에서 5월초에 서식지 주변의 장소에서 영성한 고치를 만들고 그 안에서 번데기에 들어간 후 약 10일 후에 우화한다(Kim *et al.*, 1999). 교미를 마친 암컷은 북부 끝에 수태낭이 생겨 교미여부를 쉽게 구별할 수 있으며 산란수는 127개까지 확인되었다(Ko *et al.*, 2004).

붉은점모시나비의 먹이식물은 *Sedum*속 *Sedum Kamtschaticum*, *S. aizoonclau*이며 사육에 의해서 *S. zokuriense*, *S. middendorffianum*, *S. takesimense*도 먹는 것이 확인되었다(Kim *et al.*, 1999; Ko *et al.*, 2004).

패치 네트워크

조사 지역은 경상북도 의성군 안계면 도덕리에서 이루어졌다(36°2'52.85" N, 128°2'23.28" E). 서식지는 해발 235 m로



Fig. 1. The life cycle of *P. bremeri*.

등고선을 따라서 바위퇴적층이 발달하여 지표용기 됴으로써 나비의 먹이식물인 기린초가 생육하기 좋은 지형적 조건을 형성하고 있다. 이런 천혜의 조건은 산 전체지역을 나비가 서식하기 좋은 환경을 만들어 다수의 서식지 네트워크를 형성하고 있다.

서식지 패치 면적의 산정은 조사지역 내에서 나비가 활동하기 좋은 암반지역에서 먹이식물인 기린초가 분포하는 곳을 경계로 하였다. 7개의 패치 중 가장 큰 곳은 1353 m²(패치번호 5)이고 가장 작은 곳은 918 m²(패치번호 7)이며 패치간 거리는 각각의 패치 중심점으로부터 가장 짧은 곳은 51 m(패치번호 4, 7)이고 가장 먼 곳은 554 m(패치번호 1, 5)로 나타났다. 그러나 인접한 지역에서도 먹이식물인 기린초 군락 일부가 존재하였지만 면적이 너무 작아서 조사에서는 제외하였다.

야외 데이터

야외에서 붉은점모시나비의 자료수집은 2010년에 성충 발생 시기인 5월 말부터 6월 초까지 MRR 방법을 이용하여 매일 서식지 패치를 이동하면서 포충망을 이용하여 포획하였으며, 포획된 나비의 뒷날개 아랫면에 유성 펜을 이용하여 고유번호를 표기하고 사진 촬영을 한 후 즉시 방사하였다(Fig. 1-성충사진). 그리고 먹이식물량은 각각의 서식지 패치내에 분포하는 기린초

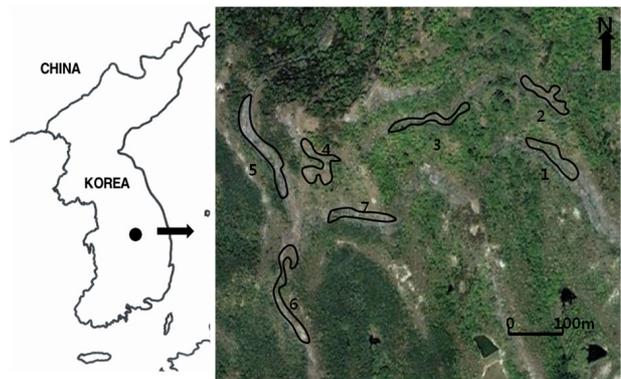


Fig. 2. Landscape of study area with patch environment for the metapopulation study of *P. bremeri* in Uiseong, Gyeongbuk, Korea.

의 포기수로 카운트하였다.

데이터 분석

자료의 분석에서 메타개체군의 크기는 Jolly-Seber(Jolly, 1965)의 방법을 이용하여 다음의 과정을 거쳐 추정하였다.

$$\hat{M}_i = m_i + (R_i + 1)Z_i / (r_1 + 1)$$

Table 1. Summary of patch size number of host plants and distance between patches in the study area for *P. bremeri* in Uiseong, Gyeongbuk, Korea, in 2010

Patch no.	Patch size (m ²)	No. of hostplants	Distance between patches (m)					
			2	3	4	5	6	7
1	1120	835	78	233	359	554	410	254
2	839	394		155	281	467	332	280
3	608	339			126	321	177	147
4	1252	397				195	58	51
5	1353	245					177	145
6	1776	1082						90
7	918	906						

\widehat{M}_i = 개체군 내에서 i 번째 샘플에서 표지 될 수 있는 추정 개체수이며, 따라서 개체군 내에서 i 번째 샘플에서의 추정 개체군 크기(\widehat{N}_i)는 다음과 같이 계산된다.

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

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

그리고 95% 신뢰범위의 개체군 크기의 추정에서 i 번째 개체군의 표준편차는 다음의 과정으로 계산되어

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

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

그리고 신뢰값과 지수값은 다음과 같이 계산되므로

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

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

95% 신뢰값은 다음과 같이 계산된다.

$$(4W_{iL} + n_i)^2 / 16W_{iL}$$

$$(4W_{iU} + n_i)^2 / 16W_{iU}$$

날개의 상태는(wing wear condition) 나비의 수명을 외관상으로 예측할 수 있는 자료이다. 매일 포획된 나비의 날개 상태를 4단계로 구별하여 등급으로 나누었다. 등급의 결정은 (1) 날개의 상태가 양호하고 날개에 상처가 없을 것 (2) 약간의 인분이 낡은 상태 (3) 날개에 경미한 상처가 있음 (4) 인분이 심하게 낡거나 날개가 심하게 파손된 것으로 나누었다. 이와 같은 기준으로 각 등급간의 값을 (1)-4점, (2)-3점, (3)-2점, (4)-1점으로 환산하여 당일 포획된 암컷과 수컷의 평균값을 구하였다.

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

$$\widehat{SD} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_{n-1} + C_n = \sum_{i=1}^n C_n$$

따라서 평균생존일수(ASD)는 다음과 같이 계산된다.

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

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

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. 따라서 이동거리의 적산은 각각의 개체가 포획과 재포획 과정을 거치면서 이동한 패치의 거리를 모두 적산하여 계산되었다. 그리고 이동거리에 대한 적합도 검사(X^2 test of goodness of fit)에서는 50 m간격으로 1050m까지 20구간으로 나누어 각 구간내의 거리를 이동한 개체수를 표로 만들어 분석하였다.

수컷과 암컷이 만날 수 있는 확률(Catchability)은 Tabashnik (1980)이 제안한 식을 이용하였다. Tabashnik, s의 catchability(C)를 다음과 같이 정의하였다

$$C = (\sum R_{maie\ i} / \sum R_{fmaie\ i})$$

여기에서 $R_{maie\ i}, f_{maie\ i}$ 조사지 모든 패치에서 i 번째 되는 날 암컷과 수컷의 포획 개체수.

그리고 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.

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

여기서 d_{jk} = 두 패치간의 거리

α = 고립거리효과에 의해 측정된 값(1/평균이동거리)

$A_k^{\hat{c}m}$ = 패치에서 이출에 의해서 측정된 값

또한 먹이식물 수와 이입·이출 개체수와 이입 개체수와 패치간 거리, 면적과의 회귀분석에서는 SAS-StatView 5.0.1(1998)를 이용하여 단순회귀 분석하였다.

결과

개체군 크기

붉은점모시나비의 개체군 조사결과 194(수컷: 137, 암컷: 57) 개체가 포획되었으며 이중 93 (수컷: 73, 암컷: 20)개체가 재포획되었다(Table 2). 포획된 암수의 비율은 0.75 : 0.29 (재포획; 0.78 : 0.22)로 수컷이 높았으며 재포획에서도 같은 결과를 보였다. 또한 날개의 상태는 암수 평균 3.66 : 3.70로 암컷이 수컷보다 높았다(Table 2). 그리고 Jolly-Seber의 방법에 의해서 추정된 일일개체군 크기는 최대 200개체를 넘지 않았으며 야외 조사결과와 같이 후반부로 갈수록 낮아지는 것으로 나타났다(Table 2, Fig. 3).

생존일수와 Catchability

나비의 생존 기간은 평균 2.27일, 최대 생존일수는 10일로 나타났다. 생존 기간의 감소율($y = -11.292x + 104.54, R^2 = 0.9076, F = 22.34, P = 0.002$)은 4일 이후부터는 50% 이상 감소하는 것으로 추정되었다(Fig. 4). 그리고 암컷과 수컷이 만날 수 있는 확률

Table 2. The number of *P. bremeri* captured/recaptured and the mean wing wear condition during the study period in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2010

Date	Captured			Recaptured			Mean wing wear condition		
	Male (♂)	Female (♀)	♂+♀	Male	Female	♂+♀	Male	Female	♂+♀
27. May	38	13	51	21	4	25	3.71	3.77	3.74
28. May	27	6	33	18	3	21	3.52	3.83	3.68
29. May	25	11	36	9	3	12	3.58	3.77	3.68
31. May	14	5	19	7	2	9	3.86	4.00	3.93
1. Jun	17	7	24	9	3	12	3.82	3.86	3.84
2. Jun	11	5	16	7	2	9	3.73	3.60	3.66
3. Jun	4	5	9	2	1	3	3.75	3.50	3.63
4. Jun	0	4	4	0	2	2	4.00	3.25	3.63
5. Jun	2	0	2	0	0	0	3.00	-	1.50
Total	137	57	194	73	20	93	3.66	3.70	3.47

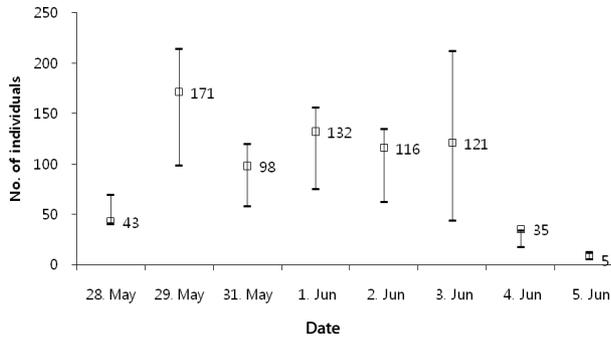


Fig. 3. Changes in the daily metapopulation size of *P. bremeri* (with 95% confidence interval) in the study area with seven patches in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2010.

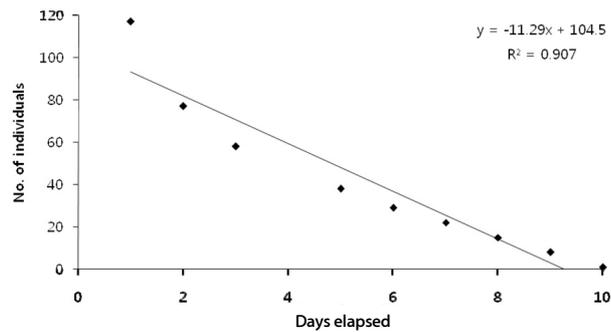


Fig. 4. Diurnal changes in the number of *P. bremeri* individuals captured/recaptured in the study area in Uiseong, Gyeongbuk Korea in 2010.

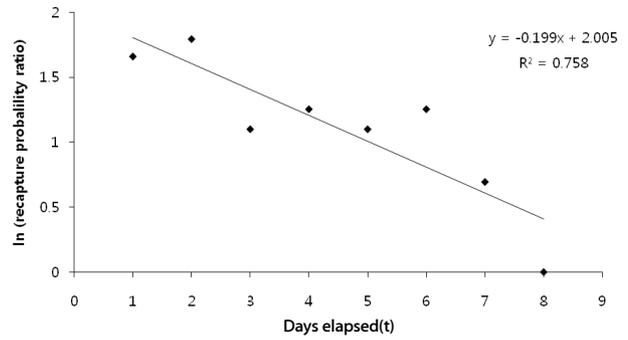


Fig. 5. Joint residence catchability test for male versus female *P. bremeri* in the study area in Uiseong, Gyeongbuk in 2010. The natural logarithm of the recapture probability ratio ($\sum R_{\text{male}, i} / \sum R_{\text{female}, i}$) was regressed against the days after release.

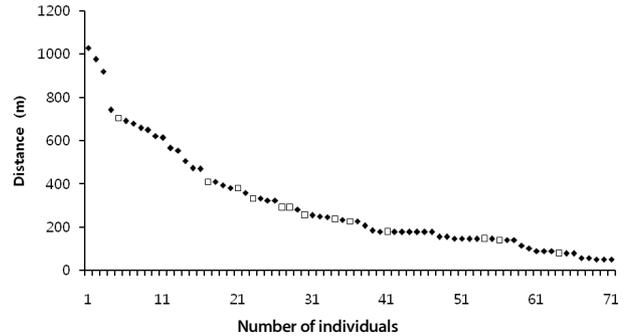


Fig. 6. Maximum travel distances among patches for *P. bremeri* (◆ : male, □ : female) in the study area in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2010.

Table 3. Immigration and emigration rates of *P. bremeri* in a patch environment in Uiseong, Gyeongbuk, Korea in 2010

Patch no	Patch size (m ²)	No. of hostplants	No. of individuals	No. of immigration	%	No. of emigration	%
1	1711	835	26	6	23	14	44
2	839	394	20	15	75	14	40
3	608	339	22	14	64	10	28
4	1252	397	22	25	140	21	45
5	1353	245	25	22	88	25	53
6	1776	1082	57	27	47	36	43
7	918	906	22	33	150	22	40

Emigration rate (%) = [No. of emigrated / (No. of individuals + No. of immigrated)] × 100.

비(recapture probability ratio)는 개체군의 크기가 감소하는 것처럼 세대 후반부로 갈수록 낮아지는 것으로 나타나고 있다 (Fig. 5).

이주

패치간 이주한 나비 개체수의 이동거리 조사에서 평균거리

는 305±234m (수컷: 310±251, 암컷: 282±154m)이고 최장거리는 1028m로 나타났으며 수컷이 암컷에 비하여 멀리 이주하는 것으로 나타났다. 이주거리에 대한 적합도 검사(X^2 test of goodness of fit)에서 포아송분포를 분석한 결과 불규칙한 이주 거리를 가지는 것으로($X^2=5.20$, $X^2_{(0.05, 18)}=28.86$) 나타났다 (Fig. 6).

이주율 분석에서는 조사지역의 7개 패치에서 이입율은

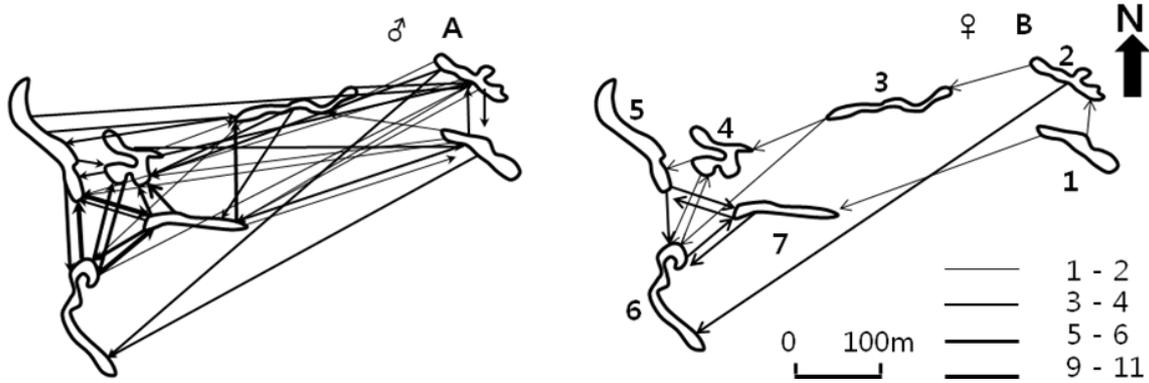


Fig. 7. Dispersal movements of male (A) and female (B) of *P. bremeri* among hostplant patches in a mountainous habitat in Uiseong, Gyeongbuk in 2010.

Table 4. Patch network connectivity of *P. bremeri* in Uiseong, Gyeongbuk, Korea

Patch no.	Connectivity							Sum
	1	2	3	4	5	6	7	
1	-	14.72	6.05	2.23	4.07	13.95	8.09	49.13
2	16.71	-	7.81	2.88	5.42	18.01	7.43	58.28
3	10.05	8.88	-	4.79	8.75	29.94	11.49	73.93
4	6.65	5.88	3.92	-	13.23	45.28	15.39	90.34
5	3.50	3.19	2.07	12.77	-	29.94	11.56	63.07
6	5.62	4.97	3.32	20.48	25.91	-	11.56	71.89
7	9.38	5.89	3.66	20.01	28.78	18.38	-	86.10

23-150%, 이출율은 28-53%으로 나타났고 이출율은 비교적 각 패치에서 고르게 나타나고 있다(Table 3). 그리고 이입율은 7번 패치에서 가장 높은 150%을 나타냈고 1번 패치에서 23%로 가장 낮게 나타나 주로 패치네트워크에서 중앙부에 위치한 4, 7번 패치에서 높게 나타났다. 또한 이출율은 5번 패치에서 가장 높은 53%을 나타냈고 3번 패치에서 가장 낮은 28%을 보였다. 패치면적과 이입·이출 개체수와와의 회귀분석에서는 상관관계를 보이지 않았으며($F=3.92, P=0.10; F=0.007, P=0.93$), 먹이식물 수와 이입·이출 개체수와와의 회귀분석에서도 상관관계를 보이지 않았다($F=0.39, P=0.55; F=1.71, P=0.24$). 그러나 이입 개체수와 패치간 거리와의 분석에서는 높은 상관관계를 보였다($F=18.72, P=0.001, R^2=0.319$). 따라서 나비의 이주는 패치거리가 가까울수록 빈번하게 일어나고 있으나 패치의 면적이나 먹이식물의 양과는 관계가 없는 것으로 나타났다.

패치 네트워크

패치간 이입과 이출한 개체수 조사에서 암컷은 수컷에 비하여 현저하게 낮게 나타나고 있어 수컷이 암컷보다 활발하게 이

동하고 있는 것으로 나타났다(Fig. 7-A). 그리고 패치네트워크 상에서 나비의 이동은 중앙에 위치하는 패치번호 3, 4, 7번을 경유하여 이동하고 있어 이 패치들은 최 외각에 위치하는 1, 5번을 이어주는 징검다리로 나비의 이동통로 역할을 할 것으로 판단된다(Fig. 7). 패치 연결성 추정에서 연결성이 가장 높은 패치는 4번($S_j=90.34$) 가장 낮은 패치는 1($S_j=49.13$)번으로 나타났다(Table 4). 개별 패치간의 연결성에서는 4, 6번 패치는 서로 인접하여 가장 높은 연결성을 보였다($S_j=45.28$). 따라서 4번 패치는 중앙부에 위치하여 양쪽의 개체군 이동에 징검다리 역할을 하고 있어 전체 패치네트워크 상에서 나비의 이동을 활성화시켜 주는 것으로 나타났다.

고찰

이번 연구에서 나비의 이주습성을 이해하기 위해서 거리, 방향을 알아 보았다. 그 결과 패치간의 거리와 인접한 패치수가 나비의 이주를 활성화 시키는 것으로 나타났다(Fig. 7). 선행연구에서 나타나고 있는 바와 같이 넓은 패치에서의 이입의 증가와 이출의 감소현상은 다른 한편으로 생각할 때 작은 패치에서는

Table 5. Estimated patch network connectivity calculated using the method of Hanski (1994)

Patch no.	Connective (S _i)							Sum
	1	2	3	4	5	6	7	
1	-	2.87	1.60	0.73	0.69	2.24	1.64	9.76
2	3.22	-	2.07	0.94	0.91	2.89	1.50	11.54
3	0	1.99	-	1.56	1.47	4.81	2.32	12.16
4	1.28	1.32	1.56	-	2.22	7.27	3.11	16.76
5	0	0.72	0.82	2.10	-	4.81	2.34	10.79
6	0	1.12	1.32	3.37	3.10	-	2.34	11.24
7	1.81	1.32	1.46	3.29	3.44	4.21	-	15.54

계속된 이출이 지속되어 결국 작은 패치들의 국지적 소멸이 진행될 것으로 예측된다(Kindvall and Ahlen, 1992; Thomas and Harrison, 1992). 따라서 이러한 현상을 막기 위해서 패치간에 양방향으로 이주율을 높여 주고 부가적으로 이동통로의 조성을 통하여 패치간의 서식하던 개체군의 충분한 이동이 확보되어 국지적 소멸이 일어난 곳에서 재 서식이 가능하게 할 필요가 있다(Nowicki *et al.*, 2005).

일반적으로 나비의 비행에서 암컷과 수컷에서 차이를 보이는데 수컷은 주로 암컷이나 흡밀식물을 찾아서 이주하는 반면에 암컷의 중요 목표는 산란에 적합한 장소를 찾는 것으로 알려져 있다(Konvicka and Tomas, 1999). 모시나비속 암컷의 산란 선호장소는 수목이 제거된 지역과 같이 양지바른 지역으로 먹이식물이 풍부한 곳에서는 특정한 지역에 관계없이 불규칙하게 산란을 하는 것으로 나타나고 있다(Konvicka and Tomas, 1999; Fred and Brommer, 2003). 이번 조사에서 나타난 암컷의 이주 패턴을 보면 패치가 밀집한 지역으로(패치번호 4, 5, 6, 7) 이주하는 경향을 보이고 있는데(Fig. 7-B), 이 지역들은 먹이식물과 패치 면적이 넓은 지역에 해당되어, Välimäki and Itämies (2003) 연구 결과에 나타난 바와 같이 서식지 면적이 넓고 먹이식물이 풍부한 곳으로 이입하는 경향과 같았다. 그러나 수컷 경우에서는 상관관계가 없는 것으로 평가 되었다.

모시나비속의 연구에서 Roland *et al.* (2000) 은 *P. smintheus* 의 이동거리는 수컷 131.9±6m, 암컷 131±21.6m, Välimäki and Itämies (2003) 은 *P. Mnemosyne* 의 이동거리는 수컷 126±8.2m, 암컷 185±27.6m, Auckland *et al.* (2004)는 *P. clodius* 의 이동거리는 평균 201m 로 나타나고 있어 이번에 조사된 *P. bremeri* 의 male 310±251m, female 282±154m 이 가장 멀리 이동하는 경향을 나타냈다. 그리고 *P. mnemosyne* 의 이동에 있어서 두 가지 패턴으로 움직임을 보였는데 반경 300m 이내를 움직이는 개체가 대부분을 차지하고 그 이상은 적은 개체만이 이동한 것으로 나타나고 있다(Gorbach and Kabanen, 2010). 따라서 이상의 여러

결과들을 살펴보면 모시나비속 나비의 이동거리는 약 300m인 것으로 추정된다.

패치간의 연결성 분석에서 사용한 Hanski *et al.* (2000) 의 가상이동모델은 서식지 패치가 10개 이상 존재하는 곳에서 적합하도록 만들어진 식이다. 그러나 이번 조사지역은 패치수가 7개에 불과하여 Hanski (1994)가 사용하였던 식 $S_i = \sum p_j \exp(-\alpha d_{ij}) N_j$ 을 이용하여 계산하여 보았다. 여기서 p_j 는 i 패치에서 j 패치 사이에 이동 개체가 존재하면 1, 없으면 0값으로 한다. d_{ij} 는 패치 i 와 j 의 중심점까지의 거리, N_j 는 j 패치에서 개체군 크기 그리고 α 는 고립효과 값(1/평균이동거리). 그 결과 추정된 연결성 값의 수치는 낮아 졌지만 각각의 패치가 갖는 역할은 다르지 않았다(Table 5). 두 가지 방법에서 나타난 바와 같이 근접한 거리에서 존재하는 패치수와 패치간의 거리에서 연결성이 높게 나타나고 있다. 따라서 근접한 거리에 위치하는 패치가 다수로 존재하도록 하면 각각의 패치를 둘러싸고 있는 이질적인 경관의 차이와 이주에 방해가 되는 수목의 폭을 줄일 수 있다.

이번 연구 결과를 보면, 현재 남한에서 국지적 분포를 보이는 *P. bremeri* 의 서식지는 식생천이과정과 인간활동의 증가로 점점 줄어들거나 조각화되고 있다. 따라서 서식지간의 활발한 이주가 개체군의 성공적인 생활사에 중요하므로 이를 위해서 근접한 거리에서 다수의 서식지 확보가 중요한 것으로 나타났다.

Literatures Cited

- Auckland, J.N., D.M. Debinski, and W.R. Clark. 2004. Survival, movement, and resource use of the butterfly *Parnassius clodius*. *Ecol. Entomol.* 29: 139-149.
- Baguette, M., S. Petit and F. Quéva. 2000. Population spatial structure and migration of three butterfly species in the same habitat network: consequences for conservation. *J. Appl. Ecol.* 37: 100-108.
- Bergman, K.-O. and J. Landin. 2002. Population structure and

- movements of a threatened butterfly (*Lopinga achine*) in a fragmented landscape in Sweden. *Biol. Conserv.* 108: 361-369.
- Caughley, G. 1994. Directions in conservation biology. *J. Anim. Ecol.* 63: 215-244.
- Conradt, L., E.J. Bodsworth, T.J. Roper and C.D. Tomas. 2000. Non-random dispersal in the butterfly *Maniola jurtina*: implications for metapopulation models. *Proc. Biol. Sci.* 267: 1505-1510.
- Ehrlich, P.R. 1984. The structure and dynamics of butterfly populations. pp. 25-40. *In* The biology of butterflies, eds. R.I. Vane-Wright and P.R. Ackery. 429p. Academic Press. London.
- Erhardt, A. and J.A. Thomas. 1991. Lepidoptera as indicators of changes in the semi-natural grasslands of lowland and upland Europe. pp. 213-236. *In* The Conservation of Insects and their Habitats, eds. Collins, N.M. and J.A. Thomas. 432p. Academic Press. London.
- Fred, M.S. and J.E. Brommer. 2003. Influence of habitat quality and patch size on occupancy and persistence in two populations of the Apollo butterfly (*Parnassius Apollo*). *J. Insect Conserv.* 7: 85-98.
- Gorbach, V.V. and D.N. Kabanen. 2010. Spatial organization of the clouded Apollo population (*Parnassius mnemosyne*) in Onega Lake Basin. *Entomol. Review* 90: 11-22.
- Haag, C.R., M. Saastamoinen, J.H. Marden and I. Hanski. 2005. A candidate locus for variation in dispersal rate in a butterfly metapopulation. *Proc. Biol. Sci.* 272: 2449-2456.
- Hanski, I. 1994. A practical model of metapopulation dynamics. *J. Animal Ecol.* 63: 151-162.
- Hanski, I., J. Alho and A. Moilanen. 2000. Estimating the parameters of survival and migration of individuals in metapopulations. *Ecology* 81: 239-251.
- Hanski, I. and M. Singer. 2001. Extinction-colonization dynamics and host-plant choice in butterfly metapopulations. *Am. Nat.* 158: 341-353.
- Hanski, I. and E. Meyke. 2005. Large-scale dynamics of the Glanville fritillary butterfly: landscape structure, population processes, and weather. *Ann. Zool. Fennici* 42: 379-395.
- Hunter, M.L. 2002. *Fundamentals of conservation Biology*. Blackwell Science, Malden, Massachusetts, U.S.A.
- 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.
- Kindvall, O. and I. Ahlen. 1992. Geometrical factors and metapopulation dynamics of the bush cricket, *Metrioptera bicolor* Philippi (Orthoptera: Tettigoniidae). *Conserv. Biol.* 6: 520-529.
- 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. *Korean J. Appl. Entomol.* 43: 7-14.
- Konvicka, M. and K. Tomas. 1999. Population structure, behaviour and selection of oviposition site of an endangered butterfly, *Parnassius mnemosyne*, in Litovelske Pomoravi, Czech Republic. *J. Insect Conserv.* 3: 211-223.
- Kuussaari, M., M. Singer and I. Hanski. 2000. Local specialization and landscape-level influence on host use in an herbivorous insect. *Ecology* 81: 2177-2187.
- Maes, D. and H. V. Dyck. 2001. Butterfly diversity loss in Flanders (north Belgium): Europe's worst case scenario? *Biol. Conserv.* 99: 263-276.
- Matter, S.F. and J. Roland. 2002. An experimental examination of the effects of habitat quality on the dispersal and local abundance of the butterfly *Parnassius smintheus*. *Ecol. Entomol.* 27: 308-316.
- Moilanen, A. and M. Nieminen. 2002. Simple connectivity measures in spatial ecology. *Ecology* 83: 1131-1145.
- Nowicki, P., M. Witek, P. Skorka, J. Settele and M. Woyciechowski. 2005. Population ecology of the endangered butterflies *Maculinea teleinus* and *M. nausithous* and the implications the conservation. *Popul. Ecol.* 47: 193-202.
- Petit, S., A. Moilanen, I. Hanski and M. Baguette. 2001. Metapopulation dynamics of the bog fritillary butterfly: movements between habitat patches. *Oikos* 92: 491-500.
- Roland, J., N. Keyghobadi and S. Fownes. 2000. Alpine *Parnassius* butterfly dispersal: Effects of landscape and population size. *Ecology* 81: 1642-1653.
- Ross, J.A., S.F. Matter, and J. Roland. 2005. Edge avoidance and movement of the butterfly *Parnassius smintheus* in matrix and non-matrix habitat. *Landscape Ecol.* 20: 127-135.
- SAS-StatView 5.0.1. 1998. SAS institute Inc. second edition.
- Tabashnik, B.E. 1980. Population structure of Pierid butterflies. III. Pest population of *Colias philodice eriphyle*. *Oecologia* 47: 175-183.
- Thomas, C.D. 2000. Dispersal and extinction in fragmented landscapes. *Proc. R. Soc. Lond. B.* 267: 139-145.
- Thomas, C.D. and S. Harrison. 1992. Spatial dynamics of a patchily distributed butterfly species. *J. Anim. Ecol.* 61: 437-446.
- Välimäki P. and J. Itäemies. 2003. Migration of the clouded Apollo butterfly *Parnassius mnemosyne* in a network of suitable habitats - effects of patch characteristics. *Ecography* 26: 679-691.
- Wells, S.M., R.M. Pyle and N.M. Collins. 1983. The IUCN invertebrate Red Data Book.
- Wilcox, B.A. and D.D. Murphy. 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *Am. Nat.* 125: 879-887.