

# 멸종위기종 붉은점모시나비의 대체서식지 위치 선정<sup>†</sup>

## - 경북 의성군 안사면 일원에서 -

김도성\* · 권용정\*\* · 김동혁\*\* · 김창환\*\*\* · 서민환\*\*\*\* · 박성준\*\*\*\* · 연명훈\*\*\*\* · 이두범\*\*\*\*

\*한국나비보전센터 · \*\*경북대학교 응용생명과학부 · \*\*\*전북대학교 환경조경디자인학과 · \*\*\*\*국립환경과학원

# Evaluation of Alternative Habitat Patches for the Endangered *Parnassius bremer* (Lepidoptera: Papilionidae) in Korea

## - Evaluation of Ansa-myeon, Uiseong-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea -

Kim, Do-Sung\* · Kwon, Yong-Jung\*\* · Kim, Dong-Hyuk\*\* · Kim, Chang-Hwan\*\*\* · Suh, Min-Hwan\*\*\*\* · Park, Seong-Joon\*\*\*\* · Yeon, Myung-Hun\*\*\*\* · Lee, Doo-Beom\*\*\*\*

\*Butterfly Conservation Center of Korea

\*\*Dept. of Applied Biosciences, Kyungpook National University

\*\*\*Dept. of Environment Landscape Architecture Design, Chonbuk National University

\*\*\*\* National Institute of Environmental Research

### ABSTRACT

Establishing conservation programs to protect and maintain populations of endangered species are not only a global trend, but also a pursuit endorsed by the Korean Environmental Conservation Act. This study evaluates the feasibility of alternative habitat patches for the endangered butterfly *Parnassius bremeri*. A portion of habitat of *P. bremeri* is expected to be fragmented and damaged due to the scheduled construction of the Sangju-Yongduk Highway. A transfer of the habitat patches of *P. bremeri* is also scheduled. In order to select an alternative habitat patch, the Mark-Release-Recapture (MRR) method was used to simulate a patch transfer model. The connectedness between habitat areas and the survival of local populations were evaluated for each candidate habitat. It was found that metapopulations with patch distances of <250m showed a 50% connectedness and survival rate in local populations. *P. bremeri* were expected to migrate at an average distance of 300m. In addition, *P. bremeri* formed a metapopulation that exhibited intimate patch dynamics that promoted persistence among these patches.

Possible candidate habitats including those recommended by local governing bodies were evaluated along with habitats that may counter problems arising from the damage done to the original habitat and habitats that may have a compensatory value equal to that of the original habitat.

Based on these criteria, Ansa-myeon township office was selected due to its high scores. This scoring was based on a consideration of a wide range of variables that mark a successful transfer of habitat. These include the amount of funding

<sup>†</sup>: 본 연구는 한국도로공사·국립환경과학원(1880-1832-305-210-13)의 연구비 지원으로 수행되었음.

**Corresponding author:** Do-Sung Kim, Butterfly Conservation Center of Korea, Chungcheongnam-do, 312-802, Korea, Tel.: +82-41-754-8736, E-mail: bremeri2000@hanmail.net

available, the governing bodies of the possible alternative habitat, and the Expected collaborative effort of local citizens. This decision was collaborated on by incorporating the expertise of various fields of study including biology, ecology, biogeography, ecological engineering, landscape architecture, and social sciences. Therefore, it is suggested that in order to evaluate an alternative habitat for organisms, many social issues as well as ecological issues must be considered.

*Key Words: Habitat, Patch, Conservation, Metapopulation, Connective*

## 국문 초록

최근 멸종위기 종에 대한 보전, 복원프로그램은 세계적인 추세일 뿐만이 아니라 국내에서도 자연환경보전법으로 보호를 받고 있다. 본 연구는 국내에서 멸종 위기에 처해 있는 붉은점모시나비가 상주-영덕 고속도로 계획노선에 의하여 서식지의 일부를 관통하거나 인접하여 이 지역의 개체군을 대체서식지로의 이주가 결정되었다. 이에 대체서식지의 조성에 앞선 선행 작업으로 위치 선정을 위하여 Mark-Release-Recapture (MRR) 방법으로 가상이동모델을 적용하여 패치의 연결성을 추정하고 개체생존이주율을 산출하여 대체서식지 위치선정의 평가 자료로 활용하였다. 그 결과, 붉은점모시나비는 패치간의 거리가 약 250m 이내의 범위에서 50% 이상의 연결성과 개체생존이주 가능성을 보였으며, 나비의 이동거리를 추정에서는 평균 300m로 나타났다. 그리고 나비의 분포특성에서는 인접한 여러 개의 서식지 패치를 개체들이 이주를 하면서 순환 발생하는 메타개체군을 이루고 있다.

대체서식지의 위치를 결정하기 위하여 연구 결과에 따른 지역, 해당 지역의 지방자치단체의 추천지역, 그리고 훼손지역의 가치를 상쇄할 수 있을 정도의 중요도가 있는 지역을 예비 선정하였다. 그리고 이 지역들을 나비의 생태, 생태기반환경, 관리방안, 위험요소, 시공요소를 평가를 한 결과, 의성군에서는 5안(안사면사무소)이 관리방안에서 높은 점수를 얻어 선정되었다.

이번에 평가된 항목에서 나타난 바와 같이 대체서식지의 위치 선정에 있어서는 대체서식지 조성이 가능한 예산의 범위, 서식지 관리주체의 선정, 현지 주민과의 협의 등 여러 가지 문제를 복합적으로 고려하는 것이 높은 비중을 차지하였으며, 생물학, 생태학, 경관생태학, 생물지리학, 생태공학, 조경학, 인문학 등의 다양한 분야의 참여로 얻은 결과물을 융합하여 반영하는 것이 필요하다는 것을 제언하고자 한다.

*주제어: 서식지, 패치, 보전, 메타개체군, 연결성*

## 1. 서론

인간 활동의 증가는 야생동물의 서식지를 조각화시키고, 이에 따른 영향으로 서식지 패치들은 소형화와 고립화되어 종 다양성과 개체군 크기를 감소시키는 주 요인으로 작용하고 있다 (Van Swaay and Warren, 1999; Chris *et al.*, 2006). 또한 도시와 농촌지역과 같이 인간과 인접하여 생활하는 동물의 개체군은 야생의 초지대나 산지보다 절멸의 위험이 큰 것으로 나타나고 있다 (Fischer *et al.*, 1999).

특히 국지적 분포를 보이는 야생동물의 서식지를 도로건설, 주거지역으로 개발하거나 농경지로 개간하는 행위는 서식지 단절에 따른 동물의 이동을 어렵게 하여 점차 개체군의 크기가 줄어들어 국지적으로 절멸에 이르게 한다 (Erhardt and Thomas, 1991). 이때 인접한 지역에 서식하는 개체들이 이주하여 채서

식이 가능하다면 종의 지속적인 발생을 기대할 수 있으나 (Hanski and Gilpin, 1997), 이때의 개체군은 이주가 가능한 거리 내에 분포하여야 한다. 따라서 야생동물의 보전을 위해서는 종의 생활습성과 서식지특성 그리고 서식지 패치 네트워크를 분석하여 최적의 서식지 환경을 추정할 필요성이 있으며, 이는 종 보전이나 복원에 필요하다.

종 보전을 위한 대체서식지의 위치 선정을 하기 위해서는 대상종의 생태와 대상지역의 생물다양성정보 그리고 관리정보를 종합적으로 분석하여 평가가 이루어져야 하며, 이 중 대상종의 생태적 특성의 반영이 가장 중요하다 (Box, 1996). 그리고 대체서식지는 대상 종을 훼손지역에서 새로운 장소로 이주시킨다는 점에서 서식지 복원보다 복잡하고 다양한 상황의 고려를 필요로 한다. 또한 대체서식지는 서식지의 자연천이, 자연재해 또는 생물상의 변화와 인간의 개발이나 토지이용도 등을 종합적

으로 판단하여 생태계를 구성하는 동·식물을 포함하여 서식처에 공존하는 종의 서식 요구조건도 동시에 고려해야 한다(이동근 등, 2004).

대체서식지의 위치는 대상 종이 이주된 지역에서 지속적인 생존이 가능하도록 하며, 이때 이주된 종의 생존뿐만 아니라 인접지역에서 서식하는 개체군과의 상호 연결성이 높아지도록 디자인되어야 한다(Pryke and Samways, 2001). 특히 국지적으로 제한된 분포지 특성을 가지는 메타개체군들의 대체서식지의 위치를 선정하는데 있어서는 대체서식지 주변의 서식지와와의 연결성을 가장 중요한 변수로 취급하여야 한다(Debinski and Holt, 2000). 따라서 메타개체군이 주어진 경관에서 종의 지속성을 유지하기 위해서는 패치간의 연결성에 의해서 소멸과 재정착간에 균형을 이루어야 한다(Baguet et al., 2003).

서식지의 연결성에 근거하여 대체서식지의 위치가 예비 선정되면 토지의 소유관계, 토지이용계획, 관계법령의 검토를 병행하여야 한다(이창석 등, 1999). 그리고 대체서식지의 조성계획 수립과 설계를 하여야 하며, 이때 경제적인 측면과 설계가능 여부를 평가하여야 한다(조현길 등, 2008). 또한 대체서식지는 자연 상태에서 오랫동안 적응된 환경이 아니기 때문에 일정 기간 또는 장기간에 걸쳐 모니터링을 통하여 보완 관리가 요구된다. 위와 같이 다양한 변수에 대한 분석결과를 반영한 대체서식지의 위치 선정과정은 검토와 허가과정에서 몇 달 또는 몇 년이 걸릴 수도 있다.

붉은점모시나비는 과거 한반도 전역에 국지적으로 분포하고 있었으나, 자연적 또는 인위적 위협요인으로 인하여 서식지의 감소와 환경 변화에 따른 개체군 감소가 급속하게 진행되고, 현재에는 남한에서 강원도 정선, 삼척, 경북 의성, 경기도 연천에 국지적으로 분포하는 것으로 보고되었다(김도성 등, 1999; 고민수 등, 2004). 또한 각종 개발의 영향으로 서식지 패치간의 이동이 제한되어 지역적 고립화가 심화되어 현재 남한에서는 절멸 위기에 처해 있는 상황에서 상주-영덕간의 고속도로 계획노선에 의해서 나비의 서식지 일부가 훼손됨에 따라서 대체서식지의 필요성이 제기되었다. 이에 대체서식지의 설계 및 조성계획의 기초를 위한 선행 작업으로 대체서식지의 위치선정이 중요한 과제로 대두되었으며, 이는 앞으로 조경학에서 동·식물의 생태조경계획의 일환으로 점목시켜 발전해 나가야 할 분야로써 생물의 서식처 조성과정의 초기 연구 과제부터 참여가 요구되고 있다.

## II. 연구내용 및 방법

### 1. 연구 대상지

최근 발견된 경북 의성군의 붉은점모시나비 서식지는 낮은

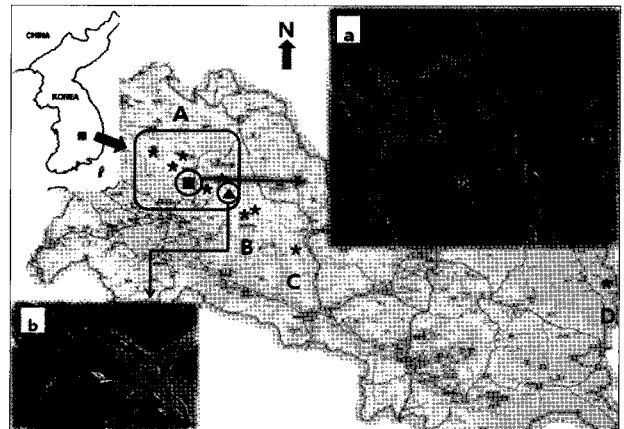


그림 1. 2010년 경북 의성군 붉은점모시나비 서식지

범례: A: 안계면, 안산면 서식지, B, C: 안평면 서식지, D: 옥산면 서식지.  
a: MRR 조사지역, b: 고속도로 계획노선에 따른 훼손지역

산들이 산재하고 있으며, 동에서 서로 연결된 형태를 띠고 있다. 개체군 밀도가 가장 높은 지역인 안산면, 안계면 일원의 산은 등고선을 따라서 암반이 지표 용기하여 단층을 이루는 독특한 경관구조를 갖고 있다. 그리고 등고선을 따라서 발달한 암반층에는 붉은점모시나비 먹이식물인 기린초가 군락을 이루고 있어 나비가 서식하기에 좋은 조건을 갖고 있을 뿐만 아니라 지표 용기된 암반층을 따라서 열린 공간이 형성되어 나비의 이동통로 역할을 하고 있다.

2009년부터 한국도로공사에서는 상주-영덕간의 고속도로 계획노선이 붉은점모시나비의 일부 서식지를 관통하거나 인접하여 대구지방환경청에서는 나비의 보전을 위하여 대체서식지를 조성하여 훼손지역의 나비이주를 결정하게 되었다. 따라서 붉은점모시나비의 대체서식지 조성을 위한 선행과정으로 위치선정이 필요하여 훼손지역을 포함한 주변의 서식지의 특성을 분석하기 위하여 의성군 안산면, 안계면, 안평면, 옥산면 일원을 대상지로 선정하였다.

### 2. 붉은점모시나비 생태

붉은점모시나비는 환경부 멸종위기 야생동물Ⅱ급으로 나비목(Lepidoptera) 호랑나비과(Papilionidae) 붉은점모시나비(*Parnassius brenni*)이다(교학사, 1998). 서식지는 주로 산지의 암반지대, 도로 건설에 따른 산지의 절개지, 강변의 암석지, 산 정상부의 암반 등과 같이 양지바른 초지대에 서식하며, 산림 개별지역에서 먹이식물인 기린초가 자생하게 되면 주변의 나비이주에 의해서 한시적으로 발생한 후 식생 천이에 과정에 의해 기린초가 소멸됨에 따라 나비도 함께 사라진다(김도성 등, 1999). 붉은점모시나비는 서식지 내에서 머무르며 생활하는 정주성 나비로 하나의 큰 패치에서 생활하거나 여러 개의 패치에서 순환 발생하면서 생활한다. 그러나 서식지 내에 수목이 우거지면

먹이식물인 기린초가 경쟁에서 밀려 감소하여 나비의 생존에 악영향을 준다. 나비는 연 1회 5월부터 6월 초에 성충이 출현하며, 월동은 알 속 1령 상태로 한다. 애벌레는 2월에 알의 옆에 구멍을 뚫고 나와 먹이식물 주변으로 이동한다. 애벌레는 5령 종령으로 2월부터 4월 말까지 먹이식물인 기린초를 먹고 성장하며, 4월에 이르면 유충은 주변의 환경을 이용하여 바위틈이나 식물의 가지 사이, 낙엽 속 등 다양한 장소에서 영성한 고치를 만든 후 번데기에 들어간다. 번데기 기간은 약 15일 전후이다(김도성 등, 1999). 번데기에서 우화된 수컷은 암컷을 찾기 위한 순찰비행을 하며 서식지 주변을 낮게 날아다니며 생활하고 암컷을 발견 즉시 교미에 들어간다. 수컷과 교미를 마친 암컷은 수컷의 분비물에 의해 수태낭이 암컷의 복부 끝에 만들어지며, 산란수는 80~150내외이다. 먹이식물은 Sedum속 기린초(*Sedum Kamtschaticum*), 가는기린초(*S. aizoon*), 애기기린초(*S. middendorffianum*), 섬기린초(*S. takesimense*), 속리기린초(*S. zokuriense*)가 야외조사와 사육을 통해서 밝혀졌다(김도성 등, 1999; 고민수 등, 2004).

3. 연구방법

1) 조사방법

(1) 나비

나비의 분포조사는 의성군 일원의 서식지에서 모니터링으로 하였다. 그리고 나비의 이동능력, 개체생존이주율, 패치연결지수 등의 자료는 메타개체군을 이루는 나비에게 있어서 각 패치간의 연결성 추정을 할 수 있으므로 의성군내 여러 서식지 중에서 서식지 환경이 우수한 지역을 선정하여 Mark-Release-Recapture (MRR)를 실시하였다(그림 1a 참조). MRR은 포충망을 이용하여 포획된 개체에 고유번호를 뒷날개 아랫면에 유성 펜을 이용하여 표식을 하고 사진 촬영 후 즉시 방사한다(그림 2 참조). 이런 방법으로 매일 조사지역의 패치를 순회하면서 새롭게 포획된 개체에는 같은 방법으로 고유번호를 표식하며 재포획된 개체에 대해서는 포획된 지역의 패치번호를 야장에 기록한다. 이런 과정을 반복하면 포획된 모든 개체에 대하여 이동경로와 이동거리 등과 같은 중 정보를 수집 분석할 수 있다.

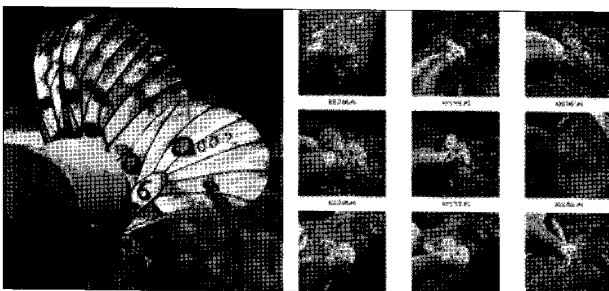


그림 2. MRR 작업 모습

2) 자료분석

(1) 패치 연결성 추정을 위한 가상이동모델

가상이동모델(Hanski *et al.*, 2000)은 곤충의 이동습성을 파악할 수 있어 Mark-Release-Recapture (MRR)방법으로 여러 서식지 패치에서 포획된 개체들을 분석하면 패치간의 연결성과 개체생존이주율을 추정할 수 있다. 패치의 연결성은 개체들의 생존이주능력에 달려 있으며, 연결성은 다음과 같이 계산한다.

$$S_j = \sum_{k \neq j} \exp(-\alpha d_{jk}) A_k^{\zeta_{im}} \tag{식 1}$$

여기서

$d_{jk}$  = 두 패치간의 거리

$\alpha$  = 고립거리효과에 의해 측정된 값(1/평균 이동거리)

$A_k^{\zeta_{im}} = k$  패치면적에서 이출에 의해서 측정된 값

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

$$\psi_{j,k} = \frac{\exp(-\alpha d_{jk}) A_k^{\zeta_{im}}}{\frac{\lambda}{S_j} + S_j} \tag{식 2}$$

여기에서  $\lambda$ 는 모델변수이며, 국내에서는 나비에 관한 비교 데이터가 적으므로 1로 적용하였다. 따라서 개체생존이주율은 패치  $j$ 에서  $k$ 로의 두 패치 사이의 거리와 도착지 패치  $k$ 의 면적에 의존된다.

그리고 패치연결성, 개체생존이주율과 패치간의 거리와의 분석에서는 SAS-StatView 5.0.1(1998)를 이용하여 단순회귀 분석하였다.

(2) 나비 이동거리

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 최장거리와 최단거리의 차를 보정하였다. 따라서 이동거리의 적산은 각각의 개체가 포획과 재포획 과정을 거치면서 이동한 패치의 거리를 모두 적산하여 계산되었다. 그리고 이동거리에 대한 적합도 검사( $\chi^2$  test of goodness of fit)에서는 50m 간격으로 1,050m까지 20구간으로 나누어 각 구간내의 거리를 이동한 개체수를 표로 만들어 포아송분포를 분석하였다.

(3) 대체서식지 후보대상지 예비선정

대체서식지의 후보 대상지는 조사가 진행되는 과정에서 몇 개의 안을 선정하는 과정을 거쳤다. 대체서식지의 예비선정에서는 연구결과에 따른 지역, 운영 주체가 될 수 있는 지방자치단체의 추천지역 그리고 훼손지역의 영향을 상쇄할 수 있을 정도의 가치가 있는 곳을 중심으로 선정하였다.

(4) 대체서식지 위치 선정을 위한 평가항목

붉은점모시나비의 대체서식지 위치 선정을 위하여 각각의 요소 별로 항목을 나누어 평가하였다. 평가 항목에 있어서 대상종의 생태적 특성이 서식지 조성에 있어서 가장 중요도가 높으므로(Box, 1996) 이를 반영한 생태적 요소와 이주 대상지의 자연천이, 개발이나 토지 이용도 그리고 기존에 서식하는 종의 서식요건을 고려한(이동근 등, 2004) 이주 대상지의 생태기반 환경 요소와 대체서식지가 완공되었을 때 사후 관리를 위한 서식지 관리정보, 위험요소 그리고 실제 시공에 있어서 고려되어

야 할 시공요소로 나누어 평가를 하였다. 각 항목 당 평가 배점은 생태적 요소 중 주변의 서식지 패치와 연결성을 갖는 것이 종의 지속적인 서식에 가장 중요함으로(Debinski and Holt, 2000) 다른 항목보다 2배 높은 20점을 부여하였으며, 나머지 항목에 대해서는 각각 10점씩 배정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 의성군 일원의 붉은점모시나비 분포

행정구역에 따른 서식지 특성을 보면 안계면, 안사면, 비안면 일원은 산지의 암반층의 기린초 분포지에서 서식하고(그림 1A, 1C 참조), 안평면은 지방도나 임도 가장자리에 먹이식물인 기린초가 자생하고 있는 지역을 따라서 분포한다(그림 1B). 사곡면은 산지나 지방도와 인접하는 암석지대를 중심으로 먹이식물이 자생하고 있는 지역을 중심으로 서식지가 분포한다(그

표 1. 대체서식지 위치 선정을 위한 평가항목

구분요소	항목	내용	배점
생태적 요소	연결성	대체서식지 인근에 기존의 서식지와와의 거리와 이동방향을 추정 판단대체서식지 인근에 기존의 서식지와와의 거리와 이동방향을 추정 판단	20
	나비의 서식 여부	대체서식지로 선정된 지역에 나비 분포 유무	10
	서식지 안정성(분산압력)	경관이 나비 서식에 부적합하거나 위해 시설물 등	10
	식생	식생구조와 수종	10
	면적	대체서식지 조성 가능한 면적	10
	먹이식물량	기린초의 분포량	10
	흡밀식물량	성충이 흡밀할 수 있는 식물 종수	10
생태기반환경	토양	먹이식물인 기린초의 생육환경	10
	수리	강수량	10
	수문	강수관리시설	10
	지형	토지형태와 시설물	10
	경사도	대상지 사면의 기울기	10
	사면방향	대상지 방향	10
	일조량	대상지 수목에 따른 일조량	10
	고도	해발고도	10
관리방안	사후관리주체 유무	사업자 모니터링 기간 경과 후 관리주체	10
	관리예산	사업자 모니터링 기간 후 서식지 관리예산	10
	관리인력	사업자 모니터링 기간 후 전문가 선임 여부	10
	증식시설	사육실과 보존시설	10
위험요소	남획이나 포획 감시 기능	지방자치단체 관리감독 기능	10
	로드 킬	대체서식지와 기존 도로에 인접한 거리	10
	유해시설 존재 유무	화학공장, 채석장 등의 시설과의 인접거리	10
시공요소	부지매입 편리성	토지 소유자 형태(개인, 다수, 기관이나 기업, 공공기관)	10
	설계·시공비용	부지 위치에 따른 부가 비용	10
	공사기간	토지 매입과 작업 용이성	10
	장비 접근성	접근로 및 방해물	10

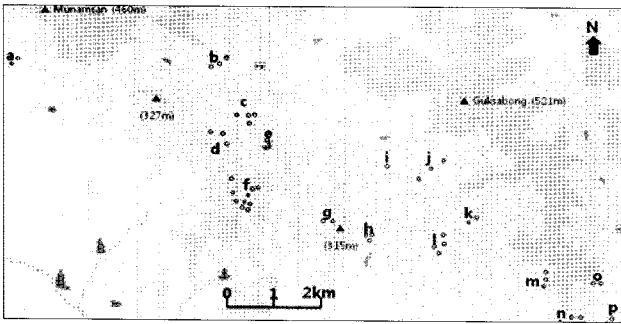


그림 3. 의성군 일원의 붉은점모시나비 분포(안사면, 안계면, 안평면 일원)

범례: a~p: 서식지 패치가 있는 지역

림 1D). 이중 나비의 서식지 패치가 밀집된 안사면과 안계면 일원의 서식지는 산지에 등고선을 따라서 발달한 단층지대의 서식지(그림 3c, d, f, g)와 산의 임도를 따라서 분포하는 서식지 형태를 보이고 있다(그림 3m, n, o, p). 그리고 마을이나 경작지에 인접하여 분포하고 있다(그림 3a, b, e, h, i, j, k, l).

### 2. 붉은점모시나비 이동거리

MRR 조사지역에서 서식지 패치간 이주한 나비의 평균이동거리는 305±234m(수컷: 310±251, 암컷: 282±154m)이고, 최장거리는 1,028m로 나타났으며, 수컷이 암컷에 비하여 멀리 이주하는 것으로 나타났다(그림 4 참조). 이는 수컷은 암컷과의 교미를 위한 순찰비행이 많고, 암컷의 경우는 산란을 위해서 이동하는 것으로 판단된다. 이주거리에 대한 적합도 검사( $\chi^2$  test of goodness of fit)에서 포아송분포를 분석한 결과, 불규칙한 이주거리를 가지는 것으로( $\chi^2=5.20$ ,  $\chi^2_{(0.05,18)}=28.86$ ) 나타났다.

붉은점모시나비와 유사한 모시나비속의 연구에서 Roland *et al.*(2000)은 *P. smintheus*의 이동거리는 수컷 131.9±6m, 암컷 131±21.6m, Välimäki and Itänie(2003)은 *P. mnemosyne*의 이동거리는 수컷 126±8.2m, 암컷 185±27.6m, Auckland *et al.*(2004)는 *P. clodius*의 이동거리는 평균 201m로 나타나고 있어 이번에 조사된 *P. bremeri*의 수컷 310±251m, 암컷 282±154m이 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 이동하는 것으로 나타나고 있다(Gorbach and Kabanen, 2010). 따라서 이상의 여러 결과들을 살펴보면 모시나비속 나비의 이동거리는 약 300m인 것으로 추정된다.

### 3. 서식지 패치 연결성과 개체생존이주율 회귀분석

의성군 안사면, 안계면 일원의 붉은점모시나비 서식지는 산 정상부를 중심으로 등고선을 따라서 여러 층으로 암반층이 지

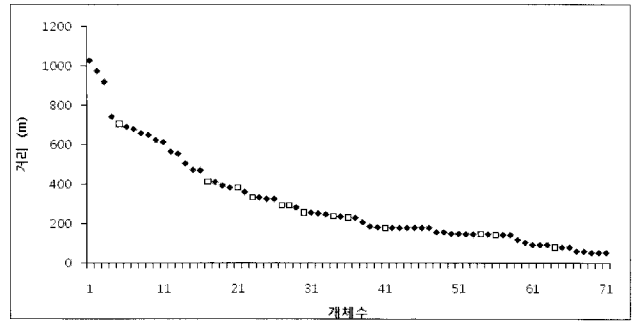


그림 4. 2010년 붉은점모시나비 이동거리

범례: ◆ 수컷, □ 암컷

자료: 김도성 등, 2011

표용기된 가운데 먹이식물인 기린초가 자생하고 있다. MRR 지역에서 서식지 패치 연결성( $y=-0.0354x+19.976$ ,  $R^2=0.2626$ ,  $P=0.0001$ ), 개체생존이주율( $y=-0.0004x+0.2614$ ,  $R^2=0.2045$ ,  $P=0.0027$ )과 서식지 패치간 거리와의 회귀분석에서 모두 음의 상관관계를 보여주었다(그림 5, 6 참조).

안사면 일원의 붉은점모시나비 패치연결성 분석결과에서 패치의 거리가 250m에서 15값을 보였으나, 550m이상의 거리에서는 각 패치간의 연결성은 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 붉은점모시나비의 서식환경 조성 시 각 패치간의 거리는 적어도 250m를 넘지 않는 범위에서 이루어져야 하는 것으로 판단된다(그림 5 참조). 또한 개체생존이주율의 분석에서 역시 패치간의 거리가 250m에서 지수값은 2를 나타내고 있으나, 600m

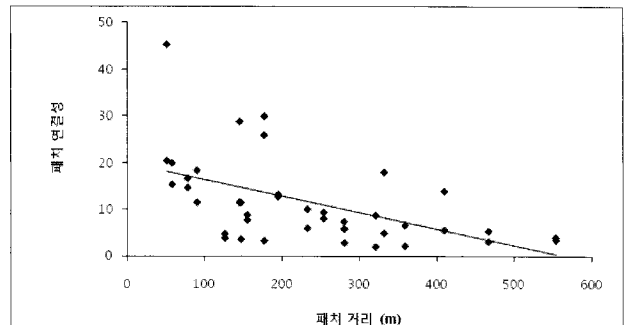


그림 5. 2010년 붉은점모시나비 패치간 거리와 연결성과의 상관관계

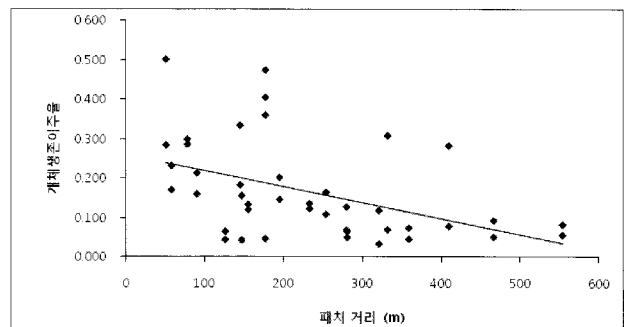


그림 6. 2010년 붉은점모시나비 개체생존이주율과 패치거리간의 상관관계

표 2. 예비 선정된 5개안의 장단점

예비 선정 안	면적(m <sup>2</sup> )	장점	단점
1안(안사면 중하리)	16,014	패치연결성 추정값에 의한 위치 선정지역 고속도로 노선으로 단절된 패치군의 연결성이 높음	서식지 경관조성이 필요함 인접하여 경작지가 있음
2안(안계면 도덕리)	5,600	기존의 서식지 패치 내에 위치하여 경관우수 기존의 개체군이 커지는 효과가 있음	패치간 연결성 없음
3안(안평면 바이오파크 초지 조성지)	15,542	기존의 서식지 패치군 내 서식지 경관 우수 초지 조성으로 훼손된 서식지 복원가능	패치간 연결성 없음 사업주와 협의 필요
4안(옥산면 금봉휴양림)	14,871	의성군이 계획하는 생태관광자원 기반시설 우수 절멸위기의 서식지를 보전할 수 있음	패치간 연결성 없음
5안(안사면사무소)	17,685	인접지역의 서식지 패치군의 징검다리 역할 서식지 경관 우수 부지제공 가능(지방자치단체와 도로공사 MOU 체결)	인접한 서식지와 연결성을 높이기 위하여 징 검다리 패치의 조성이 필요함

를 넘을 경우 생존율은 거의 없는 것으로 나타나고 있다(그림 6 참조). 따라서 패치연결성과 개체생존이주율의 분석에서 나타난 패치간의 적정거리는 약 250m 이내가 50% 이상의 성공률을 나타낼 것으로 추정되었다.

#### 4. 예비 선정된 지역의 특성분석

대체서식지 조성을 위하여 5개 지역이 예비 지역으로 선정되었다. 예비 선정된 지역의 특징을 살펴보면 1안은 연구결과에 따른 지역, 2안은 기존의 서식지 환경을 보완하여 서식지 면적을 확대할 수 있는 지역, 3안은 이미 훼손된 지역의 복원적지, 4안은 서식지가 고립되어 가까운 장래에 절멸이 예상되는 지역, 그리고 5안은 지방자치단체의 추천 지역이다(표 2 참조).

예비 선정된 5개의 안은 고속도로 계획노선을 중심으로 4개의 안이 있으며, 금봉자연휴양림 안은 이번 노선과는 관련이 없는 위치에 있다. 각 안의 특징에서 1안은 연구결과에 의해서 선정된 위치로 고속도로를 중심으로 양쪽의 개체군의 연결성이 확보된 안으로서 징검다리 패치에 해당되어 종간의 교류를 활성화 할 수 있다. 그러나 나머지 4개의 안은 패치들간에 연결성이 없는 지역으로 2, 3, 5안은 기존의 서식지에 인접하여 있으며, 4안은 서식지의 위치가 지방도와 인접하고 있어 절멸이 예측된다(그림 7 참조).

이와 같이 이번에 선정된 예비 5개 안은 각각의 장단점이 있는 지역으로 사업주체와 지방자치단체 그리고 연구자의 추천 지역으로 각 당사자 간에 이해관계에 따라서 선호하는 지역이 있는 것으로 나타나, 서로 의견 조율을 통하여 선정할 필요성이 제기되었다. 따라서 5개 안에 대한 종합평가를 하여 판단하도록 하였다.

#### 5. 예비 선정된 5개 안에 대한 종합평가

대체서식지 평가항목을 기준으로 예비 선정된 대체서식지를 나비의 생태, 생태기반환경, 관리방안, 위험요소, 시공분야로

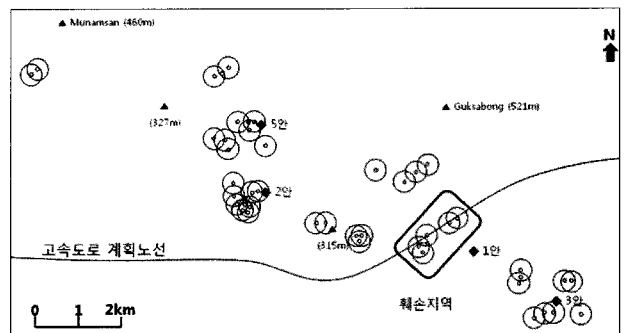


그림 7. 대체서식지 예비 선정지역

범례: 1안: 안사면 중하리, 2안: 안계면 도덕리, 3안: 안평면 바이오파크 초지 조성지, 4안: 옥산면 금봉자연휴양림(본 지역과 약 65km 떨어진 지역으로 그림에서는 표기되지 않았음), 5안: 안사면사무소 인접지, △: 붉은점모시나비 서식지 패치, ○: 개체생존이주율 추정값에 의한 개체 이동거리(약 50%이상의 생존율 범위), ◆: 대체서식지 예비 선정지역

나누어 종합평가를 실시하였다. 그 결과에서 1안과 5안이 높은 점수를 받았다. 1안의 경우는 고속도로 노선에 따른 서식지 패치군의 연결성을 높여 준다는 점에서 가장 높은 점수를 획득하였으나, 대체서식지 예상 지점의 경관과 식생이 나비가 살기에 부적합한 환경을 보이고 있는 점이 단점으로 평가되었다. 그러나 5안의 경우는 비록 고속도로 건설에 따른 영향으로 산지 입도개체군(3안 지역)과 마을에 인접한 개체군(국사봉 아래)과 단절되어 서식지 패치간의 연결성을 떨어뜨리지만 기존의 서식지간에 중간적인 위치에 있으며 서식지 환경이 잘 유지되어 현재 최대개체군(2안 위치)을 이루는 지역의 서식지가 보다 안정화 되고 커지는 결과를 가져올 것으로 판단되며, 의성군과 한국도로공사와의 MOU 체결에 따른 협력관계가 있는 만큼 원활한 사업 추진이 가능할 것으로 판단되었다. 다만 5안의 위치는 데이터분석결과인 패치연결성과 개체생존이주율에서 나타난 600m이상의 거리를 보여, 이 지역과 기존의 서식지간을 이어줄 수 있는 징검다리 패치를 조성이 필요하다. 이러한 징검다리 패치의 존재는 패치간의 연결성을 높여 주어 패치간의 고립도를 감소시켜 줄 뿐만이 아니라 패치의 수를 늘려 메타개

표 3. 예비 선정된 5개 안에 대한 종합 배점표

구분	배점	평가결과					비고	
		1안	2안	3안	4안	5안		
생태	패치 연결성	20	20	0	0	0	0	기존 서식지
	나비 서식 여부	10	0	0	5	10	3	-
	분산압력	10	5	10	5	7	7	낮은 이주율
	식생	10	3	7	7	5	5	-
	면적	10	10	10	10	10	10	10,000m <sup>2</sup> 이상
	먹이식물	10	3	3	3	10	3	기린초
	흡밀식물	10	3	7	7	7	3	영경귀, 쫄래나무
생태기반 환경정보	토양	10	5	7	7	5	7	-
	수리	10	5	5	5	5	5	-
	수문	10	5	5	5	5	5	-
	지형	10	10	10	10	3	10	-
	경사도	10	10	5	10	5	10	-
	사면방향	10	10	10	10	5	10	남향
	일조량	10	10	10	10	5	10	수목에 따른 광도
	고도	10	5	10	10	3	5	-
관리정보	관리주체	10	0	0	0	5	10	존재 유무
	관리예산	10	0	0	0	0	10	사후
	관리인력	10	0	0	0	5	10	사후
	증식시설	10	10	10	10	10	10	사육온실
위험도	감시가능	10	5	5	1	10	10	공공기관
	로드 킬	10	7	10	10	5	1	안전성(도로와 거리)
시공	부지매입 편의성	10	5	5	7	10	10	사유, 공유지
	공사기간	10	7	7	7	5	3	조경공사
	장비접근성	10	7	3	5	5	3	진입로
	설계·시공비용	10	7	7	7	7	3	작업량
총계		260	152	146	151	147	163	-

\* 1안: 안사면 중허리, 2안: 안계면 도덕리, 3안: 안평면 바이오파크 초지 조성지역, 4: 옥산면 금봉자연휴양림, 5안: 의성군 안사면사무소 인접 지역. 점수배정: 매우 적합함(10점), 적합함(7점), 보통(5점), 부적합(3점), 매우 부적합(0)으로 산정하였다.

자료: 한국도로공사, 2010

체군을 이루는 나비에게 적합한 환경을 제공한다(van Dorp and Opdam, 1987).

이번에 선정된 5안은 고속도로 건설에 따른 서식지 단절현상을 해결할 수는 없어 이에 대한 보완대책의 수립이 요구되고 있다. 현 상황에서는 산지 임도지역의 개체군은 계곡의 골짜기를 따라서 도로가 있는 쪽으로 하강하여 이동이 예상되고 있어 이 지역을 통과하는 교량설계에 나비 보호를 위한 검토가 필요하다. 이 문제는 고속도로 건설이 진행되는 동안 사후 모니터링 결과를 분석하여 반영하는 것이 필요하다. 따라서 이번에 선정된 지역은 나비가 서식하던 경관이 유지되고 의성군의 군유지의 제공으로 각종 행정절차를 간소화 할 수 있어 제한된 시간 내에 공기를 마쳐야 한다는 도로공사 사업단 특수성과 대체서식지가 인위적으로 새로운 장소에 조성되는 만큼, 지속적으로 관리를 할 수 있는 의성군의 적극적인 참여가 높게 평가

되어 성공적인 대체서식지의 조성이 가능할 것으로 기대가 되는 장소이다.

#### IV. 결론 및 제언

최근 멸종위기 종에 대한 보전, 복원프로그램은 세계적인 추세일 뿐만 아니라 법적으로도 규정되어 보호를 받고 있다. 멸종위기에 처해 있는 붉은점모시나비의 대체서식지 위치 선정을 위한 연구에서 첫째, 대상종의 분포특성은 여러 개의 서식지 패치가 인접하여 패치간에 이주를 하면서 생활하는 메타개체군을 이루고 있다. 둘째, 종의 이동거리는 평균 약 300m와 서식지 패치 공간분석을 하기 위하여 가상이동모델을 적용하여 패치의 연결성과 개체생존이주율 추정값에서 패치간의 거리가 약 250m 이내의 범위에서 50% 이상의 연결성과 개체생



존가능성을 보였다. 셋째, 예비 선정된 5개 안에 대한 대체서식지의 위치 평가항목을 적용한 결과 5안(안사면사무소)이 가장 높은 점수를 보였으며, 대체서식지에서는 서식지가 안정화 될 때까지 사후관리 프로그램이 중요한 것으로 나타났다. 또한 합리적인 대체서식지의 위치 선정을 위해서는 생물학, 생태학, 경관생태학, 생물지리학, 생태공학, 조경학, 인문학 등의 결과물을 융합하는 것이 꼭 필요하다는 것을 제안하고자 한다.

### 감사의 글

“멸종위기야생동물II급 붉은점모시나비 서식지 현황 정밀조사 및 보전방안수립” 연구를 위하여 멸종위기 종 붉은점모시나비의 포획-가공-방사 허가를 내주신 대구지방환경청에 감사드립니다.

### 인용문헌

- 고민수, 이준석, 김철학, 김성수, 박규택(2004) 붉은점모시나비의 국내 분포정보 및 생태적 특성 조사. 응용곤충학회지 43: 7-14.
- 교학사(1998) 한국의 멸종 위기 및 보호 야생동·식물. 서울: 교학사.
- 김도성, 조영복, 고재기(1999) 옥천군 지역의 붉은점모시나비의 소멸원인과 복원방안. 한국환경생물학회지 17: 467-479.
- 김도성, 박두상, 권용정, 서상재, 김창환, 박성준, 김동혁, 김진서, 유희미, 황종석(2011) 멸종위기종 붉은점모시나비(*Parnassius bremeri*)의 메타개체군 구조와 이주. 한국응용곤충학회지 50: 97-105.
- 이동근, 김명수, 구분학, 김경훈, 김동성, 나정화, 윤소원, 이명우, 전성우, 정홍락, 조경두, 제종길, 홍선기(2004) 경관생태학. 서울: 보문당.
- 이창석, 홍선기, 조현재, 오종민(1999) 자연환경 복원의 기술. 파주: 도서출판 동화기술.
- 조현길, 조용현, 김영란, 나정화, 송인주, 신상섭, 이강희, 이명우, 이용경, 이재준, 이창우, 장병관, 최일홍, 한영해(2008) 생태조경계획 및 설계. 기문당.
- 한국도로공사(2010) 멸종위기야생동물II급 붉은점모시나비 서식지 현황 정밀조사 및 보전방안수립.
- 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. G., M. S. Petit and N. Schtickzwille(2003) Effect of habitat fragmentation on dispersal in the butterfly *Praclissi* and *eunomia*. Comptes Rendus Biologies. 26: 200-209.
- Box, J.(1996) Setting objectives and defining out puts for ecological restoration and habitat creation. Restoration Ecology 4: 427-432.
- Chris, A. M., van Swaay and M. S. Warren(2006) Prime butterfly areas of Europe: an initial selection of priority sites for conservation. Journal of Insect Conservation. 10: 5-11.
- Debinski, D. M. and R. D. Holt(2000) A survey and overview of habitat fragmentation experiments. Conservation Biology 14: 342-355.
- Erhardt, A. and J. A. Thomas(1991) Lepidoptera as indicators of changes in the semi-natural grasslands of lowland and upland Europe. In, Collons N. M. and J. A. Thomas eds. The Conservation of Insect and Their Habitats. Academic Press, London. pp. 213-237.
- Fischer, K., B. Beinlich and H. Plachter(1999) Population structure, mobility and habitat preferences of the violet copper *Lycaena helle* (Lepidoptera: Lycaeidae) in Western Germany: Implication for Conservation.
- 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.
- Hanski, I. and M. E. Gilpin(1997) Case studies. In Hanski, I. and M. E. Gilpin. eds. Metapopulation Biology: Ecology, Genetics, and Evolution. Academic Press, San Diego, California, pp. 353-357.
- Hanski, I., J. Alho and A. Moilanen(2000) Estimating the parameters of survival and migration of individuals in metapopulations. Ecology 81: 239-251.
- Pryke, S. R. and M. J. Samways(2001) Width of grassland linkages for the conservation of butterflies in South African afforested areas. Biological Conservation 101: 85-96.
- Roland, J., N. Keyghobadi and S. Fownes(2000) Alpine Parnassius butterfly dispersal: Effects of landscape and population size. Ecology 81: 1642-1653.
- SAS-StatView 5.0.1. 1998. SAS Institute Inc. second edition.
- van Dorp, D. and R. F. M. Opdam(1987) Effects of patch size, isolation and regional abundance on forest bird communities. Landscape Ecology 1: 59-73.
- 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.
- Välimäki, P. and J. Itämes(2003) Migration of the clouded Apollo butterfly *Parnassius mnemosyne* network of suitable habitats - effects of patch characteristics. Ecography 26: 679-691.

원 고 접 수 일: 2011년 6월 11일  
 심 사 일: 2011년 7월 4일  
 계 재 확 정 일: 2011년 7월 9일  
 3 인 의 명 심 사 필