

# 멸종위기종 붉은점모시나비의 서식지 복원구상<sup>†</sup>

김도성\* · 박성준\*\* · 신영규\*\* · 박두상\*\*\*

\*한국나비보전센터 · \*\*국립환경과학원 · \*\*\*한국생명공학연구원

## Habitat Restoration Initiative for Endangered Species *Parnassius bremeri* (Lepidoptera: Papilionidae) in Korea

Kim, Do-Sung\* · Park, Seong-Joon\*\* · Shin, Young-Kyu\*\* · Park, Doo-Sang\*\*\*

\*Butterfly Conservation Center of Korea

\*\*National Institute of Environmental Research

\*\*\*Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology

### ABSTRACT

Habitat restoration initiative is an important factor for the on-site preservation of butterflies. A new habitat necessitates the investigation of the ecology of the butterfly, the landscape of the habitat, the work process, and a cost analysis. In this study, these factors were analyzed through 1) re-consideration of the secured results from three years of field work, and 2) a habitat area estimation conducted according to the presence or absence of larvae and adults via a *Parnassius bremeri* Bremer survey. The investigation of the natural habitat, done for both larvae and adult butterflies found in South Korea, suggested that multiple patches with a minimum size exceeding 300m<sup>2</sup> and with an average size of about 1,600 m<sup>2</sup> were required for survival of this butterfly. Therefore, more than five patches should be considered for butterfly habitat and patches should have similarity to the present habitat environment with transplantation plans for diet plants and honeydew plants. In addition, to activate the migration of the butterfly, cutting down trees that are obstacles to migration, minimizing the distance between patches and the addition of a stepping patch are also required. A patch connectivity analysis showed that patches should be located within 300m of neighboring patches, as the migration of the butterfly will fail if it is more than 600m. Additionally, more than 10,000m<sup>2</sup> for a single patch or a patch network composed more than five patches over 1,600m<sup>2</sup> in size were recommended, with a total patch size of 8,000m<sup>2</sup>. Additionally, neighboring multiple patch networks are more desirable than a single habitat in the event a cyclic habitat pattern arises. In this study, we suggest a habitat restoration and optimal prerequisites for a butterfly habitat. It is expected that this research will lead to the creation of a good model for the restoration of butterfly species.

*Key Words: Conservation, Landscape, Patch, Restoration, Butterfly*

<sup>†</sup>: 본 연구는 한국도로공사 상주-안동 건설사업단·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.: +82-42-283-8736, E-mail: bremeri2000@hanmail.net

## 국문초록

나비서식지 복원구상은 종 보전을 위한 중요한 요인의 하나로, 나비의 생태, 서식지 경관, 작업방법, 비용분석 등에 대한 검토를 필요로 한다. 본 연구는 멸종위기종 붉은점모시나비의 서식지 복원을 위하여 요구되는 인자들을 지난 3년간 수행된 연구결과와 검토 및 나비의 성충과 유충의 존재 또는 부재를 조사하는 방법을 통하여 서식지 면적 추정 등의 방식으로 서식지 요건을 분석하였다. 그 결과 국내에서 발견된 붉은점모시나비의 서식지는 유충과 성충이 관찰되는 패치를 기준으로 최소 300m<sup>2</sup> 이상의 크기로 다수의 패치가 필요한 것으로 판단되었다. 따라서 붉은점모시나비 서식지 디자인에서는 기존의 서식지 환경과 유사한 곳에 5개 이상의 패치에 먹이식물과 휴식식물이 계획되어야 한다. 그리고 나비의 이주를 활발하게 하기 위하여 이주에 방해되는 수목의 제거, 패치간 거리의 최소화, 그리고 징검다리 패치의 추가가 필요하다. 패치연결성 분석결과, 패치간의 거리가 약 600m 이상 떨어질 경우 성공적인 이주가 어려우므로, 각 패치간의 거리는 300m 이내에 분포하도록 하는 것이 적절하며, 서식지 크기는 단일 패치에서는 10,000m<sup>2</sup> 이상, 다수의 패치 네트워크에서는 5개 이상의 패치가 인접하고, 각각의 패치는 1,600m<sup>2</sup> 이상으로 전체 패치면적은 8,000m<sup>2</sup> 이상이 필요할 것으로 추정된다. 또한, 단일 서식지보다는 다수의 패치가 인접하여 네트워크를 형성하는 것이 서식지 순환 발생패턴에서 바람직한 것으로 나타났다. 이 연구는 나비의 서식지 복원에 관한 적절한 서식지 요건을 제시하고자 하였으며, 앞으로 진행될 생물종의 복원에 있어서 모델이 될 것으로 기대한다.

주제어: 경관, 보전, 복원, 패치, 나비

## 1. 서론

최근 광범위한 지역에서 도시화, 산업화, 농업화 등과 같은 인위적 활동 증가로 생물의 자연서식지가 소멸화, 고립화로 변화되면서 이들 지역에 서식하는 종들의 보전이 요구되고 있다 (Schultz and Crone, 2003). 특히 멸종위기종과 같은 특이종들은 서식지의 고립현상으로 국지적 절멸과 재서식이 지역적 한계점에 직면해 있으며 (Kindlmann and Burel, 2008), 이동성이 낮거나 단식성과 같은 국지적 분포를 갖는 종들의 대부분은 서식지 파편화에 보다 큰 영향을 받는다 (Öckinger *et al.*, 2010).

이와 같이 멸종 위험에 처한 종들의 보전계획에서는 현재의 생물학적인 상황과 잠재적 독소요인들을 서식지 네트워크상에서 신중하게 고려해야 한다 (Collinge, 2001). 멸종위기에 처한 종들의 보전을 위한 자연자원의 지속적인 유지는 세계적 관심사로 확실한 비전 제시를 위하여 객관적이고 정량화된 데이터의 제시가 필요하다 (Lindenmayer *et al.*, 2008). 따라서 효과적인 종의 보전을 위해서는 종의 이주 정보, 서식지 경관 그리고 먹이식물과 휴식식물이 포함된 식물의 피복도와 배치형태 같은 서식지 패치의 질을 바탕으로 이루어져야 한다 (Fahrig, 2001).

또한 종의 보전전략 수립을 위해서는 목표종이 장기간에 걸쳐 서식하고 있는 지역에서 지리적 관점으로 공간적 해석과 정확한 평가가 있어야 한다. 그러나 서식지를 기반으로 한 분포 모델은 서식이 적합한 지역에서 종이 존재하지 않는 경우가 있는데, 이는 메타개체군이 보이는 패치순환 서식패턴이 갖는 습성으로 이해되고 있다. 이와 같이 서식지를 기반으로 한 패치

분포모델은 광범위한 지역에서 적합한 서식지에 대한 평가능력은 탁월한 것으로 나타나고 있다 (Early *et al.*, 2008).

생물종의 보전을 위한 보다 적극적인 방법으로 서식지의 복원을 통한 재서식을 들 수 있다. 그러나 종 복원구상을 위해서는 대상 종의 생태적 특성, 이주패턴, 서식지 유형, 패치면적, 경관, 먹이식물 등의 다양한 고려조건에 대한 검토가 필요하며, 이 외에도 파악되지 않은 불확실성이 존재하고 있다. 또한 절차에 있어서는 현황조사, 조사 자료에 대한 분석 및 평가, 복원 목표설정, 마스터플랜, 대안제시, 복원계획수립, 사업시행, 모니터링 및 적응관리의 과정을 거친다 (이창석 등, 2011).

서식지 복원구상을 위해서는 대상종의 이주습성에 따른 서식지 연결성이 중요하게 고려되어야 한다 (Suhultz, 1998; Kindlmann and Burel, 2008). 조각난 경관에서 연결성을 추정할 수 있는 동물의 이동능력은 공간구조상에서 메타개체군의 생존능력을 결정하는 핵심이며, 야생의 메타개체군에 대한 생태적 흐름과 다양한 경관의 기능을 이해할 수 있는 주요 인자이다 (Hanski *et al.*, 1994). 그러나 연결성 추정을 위하여 다양한 지수를 사용하여 경관보전에 관한 제안을 하였지만 만족할만한 결과를 얻지 못하고 있다. 이에 현재는 종이 서식하고 있는 서식지를 중심으로 패치간의 분산율과 구조모형을 이용한 연결성지수를 제안하고 있다 (Saura and Pascual-Hortal, 2007).

경관의 연결성에 대한 두 가지 관점으로는 첫째, 경관 구조와 크기에 따른 분산습성 같은 기능적 연결도 둘째, 패치간 근접도와 장애물과 같은 공간적 지형 영향의 구조적 연결도가 있다 (Atte and Nieminen, 2002). 실제 연결성의 추정을 위해서는

개체의 이입과 이출, 패치간 최소거리, 크기, 모양, 그리고 현재의 서식지 역할과 구조상의 연결성 또는 기하학적 거리를 기반으로 하는 징검다리 패치의 존재 유무, 이주 장벽, 완충지대의 크기, 토지의 경계 등과 같은 경관정보를 이용하여, 종이나 종간에 적용 가능한 수준에서 신중한 평가가 이루어져야 한다(Baguette and Dyck, 2007; Dover and Settele, 2009).

나비의 분산력은 패치의 연결성에 의하여 서식지 공간구조를 이해할 수 있다. 이러한 분산력은 패치의 크기나 배치 같은 기능적인 공간규모에 의존되기도 하며, 종이 갖고 있는 유전형질 안에서 분산력이 높은 종은 작은 패치를 회피하는 반면, 분산력이 낮은 종은 패치의 크기에 관계없이 서식하는 것으로 나타나고 있다(Matter *et al.*, 2005). 이러한 분산력과 유전형질을 이용한 적합한 패치의 크기 선택으로 소멸과 재서식을 반복하고 있다(Summerville *et al.*, 2002).

생태학적 정의와 경험에서 작고 고립된 서식지 패치에서 서식하는 종의 존재 빈도와 개체군 크기는 작게 나타나고 있다(Prugh *et al.*, 2008). 또한 메타개체군 구조에서 개체군 크기의 변화가 심하게 일어나는 개체들은 이주습성과 분산력에서 불규칙한 움직임을 보임으로서 종에 내재된 분산습성의 유전형질을 비교적 짧은 시간 단위로 변화시켜 개체군 구조에 영향을 준다(Hawkes, 2009). 그리고 암컷과 수컷의 이주반응에서는 수컷은 변화가 없었으나, 암컷의 경우에는 먹이식물의 종류에 따라서 이주율이 다르게 나타나고 있으며, 새롭게 형성된 개체군이 오래된 개체군보다 이주율이 높게 나타나고 있는데, 이는 메타개체군의 진행과정 즉 재서식과 새로운 서식지 건설로 진행되는 요인으로 이해된다(Hanski *et al.*, 2002). 따라서 종 복원 구상을 위해서는 개체와 개체군에 대한 생태적 습성을 이해하고, 서식지 패치를 포함한 경관을 고려하여야 한다(Mcintire *et al.*, 2007).

최근 국내에서 서식지가 급감하고 있는 붉은점모시나비의 서식지에 대한 복원계획과 서식지 훼손에 따른 대체서식지의 필요성이 제기되어 경북 의성군 일원에서 대체서식지 위치가 선정되고(김도성 등, 2011c), 이에 따른 적정한 서식지 요건의 추정을 바탕으로 하는 서식지 디자인이 필요하게 되었다. 붉은점모시나비에 관한 연구는 다른 종에 비하여 생태적 습성과 분포 현황 등이 비교적 자세히 연구되어 있다(김도성 등, 1999; 2011a; 2011b; 2011c; 고민수 등, 2004). 본 연구는 2009년 고속도로 계획노선에 인접한 지역에서 발견된 붉은점모시나비의 서식지 현황, 2010년 대체서식지 조성을 위한 붉은점모시나비 생태와 관련된 생존일수, 이주거리, 암수비율과 개체군크기 연구 그리고 2011년 의성군 안사면, 안계면 일원에 분포하는 나비서식지 정밀조사와 그동안 발표된 연구 자료를 바탕으로 서식지 복원 구상에 필요한 작업과정과 서식지의 크기와 거리 그리고 패치수를 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 장소

붉은점모시나비 서식지 분석에 사용된 장소는 현재 서식이 확인된 지역인 강원도 삼척시, 정선군, 경북 의성군과 소멸이 확인된 경남 고성군과 충북 옥천군 지역을 선정하였다(그림 1 참조). 이 중 경북 의성군 서식지는 지방도 건설 과정에서 확인되었으며, 상주-영덕간의 고속도로 노선에 의하여 서식지의 일부가 훼손되거나 영향을 받는 것으로 나타났다. 의성군의 서식지는 등고선을 따라서 바위퇴적층이 발달하여 지표 융기됨으로써 나비의 먹이식물인 기린초가 생육하기 좋은 지형적 조건을 형성하고 있다. 이러한 조건은 산 전체 지역에 나비가 서식하기 좋은 환경을 제공하여 다수의 서식지 네트워크를 형성하고 있어 나비의 서식지 특성과 생태에 관한 주요 데이터를 수집하기 위한 장소로 선정하였다. 그리고 현재 소멸이 확인된 옥천군과 고성군에서는 서식지 면적과 패치수를 확인하여 붉은점모시나비의 생존을 위해 요구되는 패치수와 경관을 고려하는데 이용하였다.

### 2. 방법

붉은점모시나비에 관한 생태적 특성과 서식지에 관한 연구는 다른 종에 비하여 생활사나 메타개체군 구조와 이주, 서식지 네트워크 분석, 대체서식지 위치선정과 같은 다양한 연구가 진행되어 분석 자료로 활용하였다(표 1 참조). 그리고 야외에서 관찰된 먹이식물과 흡밀식물의 동정은 이창복(2003)을 참고하였다.

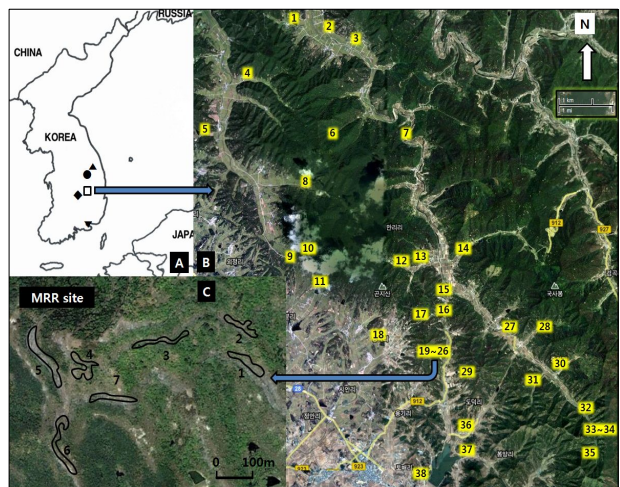


그림 1. A: 붉은점모시나비 서식지

법례: ▲-강원도 삼척시, ●-강원도 정선군, □-경북 의성군, ◆-충북 옥천군, ▼-경남 고성군. B: 1~38(서식지 패치번호). C: MRR 장소

표 1. 붉은점모시나비와 먹이식물 연구논문 및 저서

연구내용	저자	비고
분포	석주명(1973), 김창환(1976), 박규택(2006)	저서
생활사, 소멸원인, 복원방안	김도성 등(1999), 고민수 등(2004)	한국환경생물학회지
의성군 내 분포도	의성군(2008), 의성군(2009)	보고서
개체군 크기와 식생	한국도로공사(2010)	보고서
메타개체군 구조와 이주	김도성 등(2011a)	한국응용곤충학회지
패치네트워크 분석	김도성 등(2011b)	한국응용곤충학회지
대체서식지 위치 선정	김도성 등(2011c)	한국조경학회지
<i>Sedum</i> 속 생육환경	김병진과 김수봉(2011)	한국조경학회 학술대회집
서식지 식물의 생활형 및 식생	이남숙 등(2011)	한국환경복원기술학회지

기존의 연구논문에서 부족한 서식지 패치의 크기 산출을 위해서는 의성군, 정선군의 서식지에서 유충(3~4월)과 성충(5월)을 각각 2회씩 서식지 패치를 순회하면서 출현 유무를 육안 조사하였다. 유충과 성충의 출현은 곧 먹이식물의 존재를 의미하므로 서식지의 크기를 결정하는 요인 중의 하나이므로 이를 활용하여 서식지 면적을 추정할 수 있다.

표 2. 붉은점모시나비의 서식지 패치면적과 유충과 성충의 출현 유무

지명	지점 번호	행정구역	패치 경관 면적(m <sup>2</sup> )	유충	성충
의성	1	안사면 월소리 모소 1	4,643	14	24
		안사면 월소리 모소 2	336	3	3
		안사면 월소리 모소 3	617	1	0
	2	안사면 월소리 쌍호초교 옆도로	4,316	2	5
	3	안사면 월소리 쌍호초교뒤	6,043	1	1
	4	다인면 봉정리 옷매내미	2,527	0	0
	5	다인면 달제리	2,637	0	0
	6	안사면 월소리	1,109	0	0
	7	안사면 신수리 신방교주변 도로가	434	0	0
	8	다인면 달제리 모창(중간마)	4,767	0	0
	9	다인면 외정리 한골(비릿재)	2,947	2	4
	10	다인면 외정리 한골(비릿재뒤)	2,572	2	4
	의성	11	다인면 삼분리 윗남송	489	0
12		안사면 만리리 오가동 1	2,493	1	2
13		안사면 만리리 오가동 2	1,198	0	0
14		안계면 도덕리 구곡지→중하리방향 도로	2,358	0	1
15		안계면 안계공동묘지 1	2,720	0	0
		안계면 안계공동묘지 2	1,513	0	0
		안계면 안계공동묘지 3	2,099	2	1
		안계면 안계공동묘지 4	2,396	0	0
		안계면 안계공동묘지 5	2,027	0	0
16		안계면 석현지	1,857	3	2
17		안계공동묘지→송곡 방향 임도1	160	2	0
		안계공동묘지→송곡 방향 임도2	288	0	0
		안계공동묘지→송곡 방향 임도3	614	1	2
18		안계면 양곡리	3,328	0	0
19		안계면 양곡리 핵심지역 후사면	4,273	8	12
20		안계면 양곡리(MRR site 1)	835	5	21

표 2. 계속

의성	21	안계면 양곡리(MRR site 2)	394	4	39
	22	안계면 양곡리(MRR site 3)	339	2	31
	23	안계면 양곡리(MRR site 4)	397	8	28
	24	안계면 양곡리(MRR site 5)	245	9	24
	25	안계면 양곡리(MRR site 6)	1,082	6	27
	26	안계면 양곡리(MRR site 7)	906	7	17
	27	안사면 장하리	940	2	1
	28	안사면 중하리 안정지 주변 1	860	0	2
		안사면 중하리 안정지 주변 2	146	0	0
	29	안계면 도덕리 골두봉 1	1,456	15	26
		안계면 도덕리 골두봉 2	633	5	6
	30	안계면 하방동 1	1,470	8	5
		안계면 하방동 2	1,582	5	7
	31	안계면 하방동 송곡지	945	1	3
	32	안계면 하방동 임도 1	691	1	1
	33	안계면 하방동 임도 2	493	2	8
	34	안평면 금곡리	1,476	1	6
	35	안계면 하방동 임도 3	246	0	2
	36	안계면 도덕리 고두밭(사당뒤)	5,691	3	0
	37	안계면 도덕리→봉양리 방향	1,298	0	0
	38	안계면 용기리 용홍사 후사면	1,170	0	0
	삼척	하장면 추동리 1	41,160	2	6
		하장면 추동리 2	17,436	1	12
	정선	남면 **리	9,292	3	9
	육천	동이면 금암리 1	2,217		
		동이면 금암리 2	739		
		동이면 금암리 3	316		
		청성면 고당리	24		
		안남면 연주리 1	285		
		안남면 연주리 2	852		
	고성	이원면 이원리	769		
		이원면 개심리	1,056		
		거류면 가여리	1,476		

먹이식물인 기린초의 서식지는 다른 식물과 함께 자라면 경쟁에서 밀리어 자라지 못하는 특성이 있어 대부분의 자생지는 암반지대나 토양심도가 낮은 곳에서 잘 자라고 있다. 이런 암

반지대에서도 햇빛이 잘 드는 양지 바른 곳에 주로 기린초가 자생하고 있어 다른 식물과의 서식지 경계지가 항공사진을 통해서도 잘 나타나므로 웹 사이트 daum(<http://local.daum.net./map/index.jsp>)을 이용하여 각각의 패치면적을 측정하였다. 이때 추정된 면적은 먹이식물과 암반층이 있는 공간을 포함하였으며, 항공사진으로 추정하여 다소간의 오차는 있을 것으로 예상되나 나비의 서식지가 암반단층면에 위치하고 있어 실측하기에 매우 어려운 상황임을 고려하여 항공사진으로 추정하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 생태

붉은점모시나비는 환경부 멸종위기야생동물 II급(교학사, 1998)으로 서식지는 주로 산지의 암반지대, 도로 절개지, 강변, 산 정상 등과 같이 개방된 초지에 서식하며, 산림 개별지역에서 한시적으로 발생하기도 한다. 성충은 서식지 내에서 머무르며 생활하는 정주성 나비로 하나의 큰 패치에서 생활하거나 여러 개의 패치에서 순환 발생하면서 생활한다(김도성 등, 1999). 생활사는 연 1회 5월부터 6월 초까지 활동하며 산란장소는 먹이식물에 직접 산란하는 것 외에도 주변의 마른가지나, 낙엽, 돌 등 다양한 장소에서 관찰되고 있어 특정한 지역이나 식물을 선호하지 않는 것으로 나타났다(김도성 등, 1999; 고민수 등, 2004). 이러한 산란 특성은 알 상태로 지내는 기간이 6월말에서 이듬해 2월까지로 매우 긴 점과 연관된 것으로 예상된다. 월동은 알속 1령 상태로 이듬해 2월까지 있다가 기온이 상승하면 알의 옆면에 구멍을 뚫고 나와 먹이식물을 찾아간다(김도성 등, 1999). 실내 사육에서 유충기는 약 65.7일, 번데기는 약 21일, 성충기는 26.2일로 나타났다(고민수 등, 2004). 그리고 한반도, 중국, 러시아에 분포하며(석주명, 1973; 김창환, 1976; 박규택, 2006), 남한에서는 경기도, 강원도와 경상도, 충청도에 분포하였으나, 최근 서식지가 급감하는 추세에 있어 현재에는 강원도와 경상도에 국지적으로 남아있다(고민수 등, 2004).

#### 2. 먹이식물 · 흡밀식물 · 식생

초식성 곤충이 먹이식물이나 흡밀식물을 인지하는 방법은 서식지의 적합도 효과에 밀접한 영향을 줄 수 있으며, 먹이식물이 풍부한 곳에서는 산란횟수의 증가를 가져온다(Rickman *et al.*, 2003; Janz, 2005). 따라서 산란선호현상은 초식성 곤충들이 먹이식물 이용 패턴뿐만 아니라(Janz *et al.*, 2005), 산란빈도를 결정하는 요인으로 먹이식물의 성장패턴이나 크기, 위치와 함께 먹이식물이 존재하는 환경에 대한 인지능력도 포함되는 것으로 알려져 있다(Alonso and Herrera, 1996; Anthes *et al.*, 2003).

모시나비속의 연구에서 성충의 이주패턴이 흡밀식물의 밀도와 정확하게 일치하는 것은 아니지만 대체적으로 흡밀식물의 밀도가 높은 초지대로 이주가 증가하는 경향을 나타내며(Matter *et al.*, 2009), 또한 먹이식물의 산도(pH)의 변화가 종의 출현에 영향을 주는 것으로 보고되었다(Gogstad, 2000). 유효성 자원으로 여겨지는 먹이식물과 흡밀식물의 양은 개체군 크기에 강한 영향을 주고 있어 서식지 복원에서 중요하게 고려되어야 하며, 완전변태를 하는 나비의 생활사 단계별로 요구되는 환경의 연구도 병행하여야 한다(Schultz and Dlugosch, 1999; Anthes *et al.*, 2003, Abellán and Orozco, 2010). 이 외에도 암컷들은 패치의 질과 관련된 먹이식물 종류에 대한 선호성뿐만 아니라 식물의 구성에도 영향을 받는다는 연구결과를 참고할 때(Hanski and Singer, 2001) 나비의 생육환경을 위해서는 먹이식물과 흡밀식물의 구성 또한 중요한 요소로 고려되어야 한다.

붉은점모시나비의 먹이식물은 *sedum*속 기린초(*Sedum kamtschaticum*), 가는기린초(*S. aizoon*), 애기기린초(*S. middendorffianum*)가 야외의 서식지에서 자생하고 있으며, 사육을 통하여 섬기린초(*S. takesimense*), 속리기린초(*S. zokuriense*)도 섭식하여 국내에 자생하는 기린초류는 모두 먹을 것으로 추정된다(김도성 등, 1999; 고민수 등, 2004). 그리고 문헌과 조사기간 중에 확인된 흡밀식물은 기린초(*S. kamtschaticum*), 엉겅퀴(*Cirsium japonicum* var. *ussuriense* Kitamura), 뽕꼭채(*Rhapontica uniflora* DC), 지칭개(*Hemistepta lyrata* Bunge), 쥐오줌풀(*Valeriana fauriei* Briq), 만들레(*Taraxacum mongolicum* H. Mazz), 찔레(*Rosa multiflora* Thunb), 줄딸기(*Rubus oldhamii* Miq), 고들빼기(*Youngia sonchifolia* Maxim), 개망초(*Erigeron annuus* (L.) Pers), 아까시나무(*Robinia pseudoacacia* L.)이다(의성군, 2008; 2009).

의성군 서식지 식물의 주요 구성종으로는 기린초, 부처손, 바위솔, 새, 개솔새, 솔새, 산거울, 땅비싸리, 띠, 김의털, 사철쑥 등 천이 초기 단계와 암석의 특이 식생을 동시에 나타내는 종들이 조사되었다(이남숙 등, 2011). 그러나 붉은점모시나비의 유충기가 2월부터 4월까지여서 이 시기에는 기린초속을 제외한 다른 식물의 생육은 극히 저조하게 나타나고 있으며, 성충기는 5월 초부터 6월 초에 활동하여 서식지 주변의 식생 영향보다는 먹이식물인 기린초의 분포와 열린공간을 형성하고 있는 경관적 요소가 중요하게 작용하는 것으로 판단된다.

#### 3. 서식지 유형분석

국내 붉은점모시나비의 분포 패턴은 크게 산지의 초지대, 강변이나 임도주변 그리고 마을에 인접한 야산에 분포하는 형태를 보이고 있다. 이중 마을이나 임도에 분포하는 서식지는 최근에 서식지 식생천이, 도로의 확장, 주거 생활방식의 변화 등의

이유로 급감하고 있는 것으로 나타나고 있다(김도성 등, 1999; 고민수 등, 2004). 강원도의 분포지의 경우는 산란 개벌지역에서 먹이식물 면적이 늘어남에 따라서 개체군이 커지게 되었으나, 개벌지역의 육림정책에 따라서 속성수를 식재함으로써 현재에는 서식환경이 점점 악화되고 있다. 현재까지 남아 있는 강원도와 경북의 서식지는 산지를 중심으로 한 곳에서 하나의 큰 서식지에서 생활하거나 다수의 작은 서식지 패치들이 네트워크를 이루어 생활하고 마을과 인접한 서식지는 대부분 절멸한 것으로 나타나고 있다.

#### 4. 서식지 패치면적 추정

나비서식지에 대한 연구에서 먹이식물 분포 면적은 나비의 개체수와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다(Fred and Brommer, 2003; Binzenhöfer et al., 2007). 서식지 패치의 크기를 정하는데 있어서 단순히 먹이식물이 분포하는 지역만을 경계로 하기 보다는 먹이식물을 포함한 이질적인 경관(식생의 급격한 차이나 암반 또는 도로나, 인공구조물)을 경계로 패치의 크기를 정하는 것이 일반적인 추세에 있으며, 성충의 흡밀이나 교미 등과 같은 환경의 요구조건을 포함한 지역을 경계로 하여 서식지 질적인 면을 강조하기도 하였다(Taylor et al., 1993).

서식지 면적과 종의 출현 여부는 모든 종에 있어서 일치하고 있지는 않지만(Thomas et al., 2001), 국지적 분포를 보이는 종들에게서의 서식지 패치 면적은 개체군의 크기를 결정하는데 중요하며(Dennis and Eales, 1997), 선행 연구에서 패치면적이 개체군의 크기, 분산율(이출과 이입)에 많은 영향을 주는 것으로 나타나고 있어 일반적으로 패치의 크기가 크면 이출율은 줄어들고 이입율이 크게 나타난다(Hanski, 1994; Moilanen and Nieminen, 2002). 뿐만 아니라 패치의 크기와 관련하여 패치의 분포가 매트릭스 형태로 존재하는 곳에서는 패치의 크기에 대한 제한보다는 패치의 수나 근접거리에 영향을 받는 것으로 나타나고 있다(Matter et al., 2005; 김도성과 권용정, 2010; 김도

성 등, 2011a). 서식지 크기에 대한 연구에서 *Icaricia icarioides* 나비의 성공적인 생활을 위해서는 패치의 크기는 1km 이내에 2~5ha 이상의 크기가 인접하여 존재하는 것이 필요함이 보고되었다(Crone and Schultz, 2003; Schultz and Crone, 2003).

국내에서 붉은점모시나비 서식지의 크기는 하나로 이루어진 것과 다수의 패치로 이루어진 형태에 따라서 다르게 나타나고 있다. 단일 패치의 크기는 10,000m<sup>2</sup> 이상의 면적을 필요로 하고, 다수의 패치 네트워크에서는 5개 이상의 서식지가 인접하여 각 패치의 크기는 1,600m<sup>2</sup> 이상이 필요하며, 전체 패치면적은 적어도 8,000m<sup>2</sup> 이상이 필요할 것으로 추정되었다(표 2, 3 참조). 국내의 여러 분포지역에서 나타난 바와 같이 단일 서식지보다는 다수의 패치가 인접하여 서식지를 형성하는 것이 바람직한 것으로 나타나고 있다.

#### 5. 이주와 이동거리 추정

나비의 이주는 메타개체군을 유지하는 원동력이며 서식지 패치간의 연결성을 결정하는 요인이다. 따라서 이주성향이 강한 메타개체군은 종의 지속적인 서식을 위해서 서식지 네트워크의 제공이 필요하다(Neve et al., 1996a). 또한 이주는 경관적인 요소를 바탕으로 종에 내재된 습성에 의해서 움직임을 보이는 가운데 숲 매트릭스에 서식하는 개체군은 초지 개체군보다 이주가 적게 일어나고 있으며, 고립된 개체군은 서식지 타입과 군집간의 거리에 대한 의존도가 보다 높게 나타나고 있다(Matter et al., 2004). 나비의 이주에서 암컷은 산란을 위한 것이 목적인 반면 수컷의 경우는 암컷을 찾는데 있는 것으로 보인다. 또한 이주 빈도는 암컷의 경우에는 나이가 많을수록 높아지고, 수컷의 경우는 나이와 관계없이 비슷한 것으로 나타나고 있다(Bergman and Landin, 2002). 이주행동에서 초지에서 서식하는 나비는 초지대 외각의 수목을 만나면 되돌아오는 반사행동을 보이고 있어(Roland et al., 2000) 이러한 행동을 줄이기 위한 이동통로의 조성이 필요하다. 특히 패치간 이주를 보

표 3. 붉은점모시나비 유충과 성충이 존재하는 패치 면적과 거리

	조사지역				
	의성군	옥천군	삼척	정선	고성
패치수	49	8	2	1	1
유충 서식 패치수	30	-	2	1	-
성충 서식 패치수	31	-	2	1	-
평균 패치 크기(m <sup>2</sup> ) (최소 / 최대)	1,715 (160 / 6,043)	782 (24 / 2,217)	29,298 (17,436 / 41,160)	9,292 -	1,476 -
유충이 존재하는 평균 패치크기(m <sup>2</sup> ) (최소 / 최대)	1,752 (160 / 6,043)	-	29,298 (17,436 / 41,160)	9,292 -	-
성충이 존재하는 평균 패치크기(m <sup>2</sup> ) (최소 / 최대)	1,614 (245 / 6,043)	-	29,298 (17,436 / 41,160)	9,292 -	-

이며 생활하는 종들과 이동통로는 강한 상관관계를 보이고 있어 이동통로의 넓이는 종 보전에 있어서 중요한 역할을 한다 (Haddad, 1999). 또한 서식지 패치가 매트릭스 분포형태를 보이는 곳에서는 이주가 활성화되는 것으로 나타나 이주거리가 길어진다(Neve *et al.*, 1996b; 김도성 등, 2011b). 따라서 나비는 인접한 서식지 경계에 강한 영향을 받을 뿐만이 아니라 패치의 분포형태와 거리에 민감하게 반응하므로 이동통로를 활용한 보전계획의 수립이 필요하다(Ries and Debinski, 2001).

이주 속도에 관한 연구에서 *Procllossiana eunomia*의 서식지 이주 속도는 연 1~3km로 나타나고, 25년간의 평균 속도는 0.4km로 나타났으며(Nève *et al.*, 1996a), 연간 최대 서식지 이주거리는 *Plebejus argus*는 0.6~1km, *Thymelicus acteon*은 2.25km, *Meliccta athalin*는 0.65~2.50km, 그리고 *Satyrrium pruni*는 1.40km인 것으로 나타났다(Thomas *et al.*, 1992).

붉은점모시나비의 이주패턴에서는 근거리에서 다수로 밀집된 패치가 존재하는 곳에서 보다 활성화되는 것으로 나타나고 있다(그림 3 참조). 이는 패치간 거리가 짧을수록 패치를 둘러

싸고 있는 이질적인 경관의 폭이 줄어들고 패치의 경계를 이루는 수목이 적어져 나비의 이주를 방해하는 요소가 줄어드는 것으로 보인다. 그리고 암컷은 수컷에 비하여 이주 빈도는 낮지만 전체 패치 간에 이주가 일어난다는 점에서는 수컷과 같았다(김도성 등, 2011b).

또한 모시나비속 나비의 이동거리 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 201m로 나타나고 있으며 *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).

경북 의성군의 MRR지역에서 붉은점모시나비의 패치 간 이동을 보인 개체들의 평균 이동거리는 377±278m(수컷: 376±241, 암컷: 382±418m)로 나타났다(그림 2 참조). 그리고 최대 이동거리에서는 소수의 개체가 암컷 1,550m, 수컷 1,100m 이상을 보였다. 암컷과 수컷의 이동거리의 차는 적었으나 전체 개체를 살펴보면 수컷이 암컷보다 활발하게 활동하는 개체가 많은 것으로 나타나고 있다(김도성 등, 2011a).

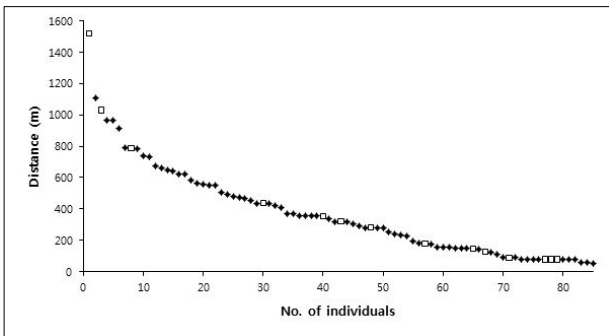


그림 2. 2011년 붉은점모시나비 이주거리  
자료: 김도성 등, 2011a  
범례: ◆ - 수컷, □ - 암컷

### 6. 패치 연결성과 개체생존이주율

메타개체군의 연구에서 패치연결성의 추정을 위하여 대상 종의 존재와 부재를 조사하여 재 서식을 평가하는 방법으로 종이 서식하고 있는 패치간의 거리와 면적을 이용하여 효과적으로 패치의 연결성을 설명할 수 있다(Prugh, 2009). 또한 Hanski and Moilanen(2000)은 포획-방사-재포획 방법으로 가상이동모

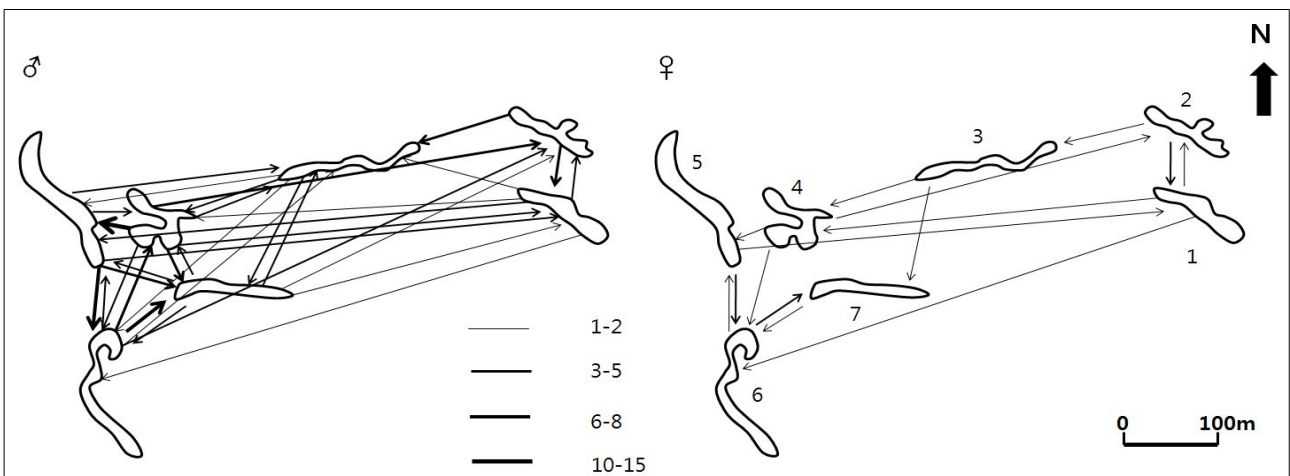


그림 3. 2011년 경북 의성군 붉은점모시나비 수컷과 암컷의 이주현황  
자료: 김도성 등, 2011b

델(The Virtual Migration Molde: VM)을 만들어 여러 패치에서 포획된 개체들을 분석하여 패치간의 연결성과 개체생존이주율을 추정하였다. 패치의 연결성은 개체들의 생존이주에 달려있으며 연결성은 다음과 같이 계산하였다.

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

$d_{jk}$  = 두 패치간의 거리,  $\alpha$  = 고립거리효과에 의해 측정된 값(1/평균 이동거리),  $A_k^{\zeta_{im}}$  =  $k$  패치면적에서 이출에 의해서 측정된 값. 그리고 개체생존이주율은 패치  $j$ 의 연결성에 비례하여 관련된 모든 대상 패치에 분포하는 것으로 가정한다. 따라서 패치  $j$ 에서  $k$ 로의 개체생존이주율은 다음과 같다.

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

$\lambda$ 는 모델변수이며 따라서 개체생존이주율은 패치  $j$ 에서  $k$ 로의 두 패치 사이의 거리와 도착지 패치  $k$ 의 면적에 의존된다. VM의 핵심변수는 패치의 면적과 거리를 기반으로 종의 이주율을 반영하여 결정됨을 알 수 있다. 여기에 부가적으로 공간생태에 관한 접근방법으로 동물들이 지형이나 서식지의 매트릭스와 같은 것에 반응하는 본질적인 감각을 고려하는 것이 필요하다(Schooley and Wiens, 2003; Graf et al., 2007).

경북 의성군의 붉은점모시나비의 연구에서 이주율, 패치간의 거리 그리고 패치면적을 이용하여 패치연결성 분석결과, 300m의 거리에서 지수값은 10을 보이며 550m 이상의 거리에서는 지수값이 0으로 근접하는 것으로 나타나 패치간의 연결성은 거의 없는 것으로 나타났으며(그림 4 참조), 개체생존이주율의 분석에서는 300m의 거리에서 0.15값을 600m 이상의 거리에서는 지수값이 0에 근접하여 생존가능성이 없는 것으로 나타났다(그림 5 참조). 따라서 패치연결성과 개체생존이주율 분석결과, 패치간의 거리가 약 600m 이상 떨어질 경우 나비가 성공적으

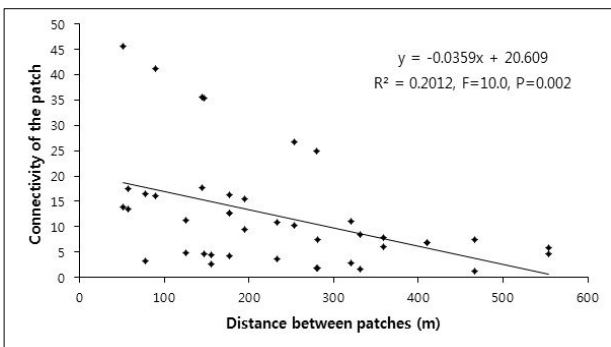


그림 4. 패치간 거리와 연결성과의 상관관계  
자료: 김도성 등, 2011b

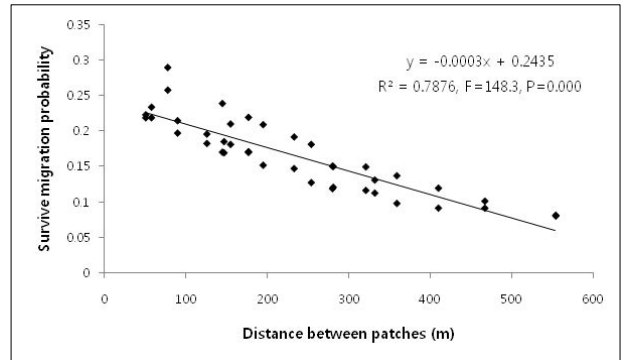


그림 5. 패치간 거리와 개체생존이주율과의 상관관계  
자료: 김도성 등, 2011b

로 다른 패치를 찾아서 이동할 확률은 거의 없는 것으로 추정되어 서식지 디자인에서 각 패치간의 거리는 300m 이내에 분포하도록 하는 것이 필요하다(김도성 등, 2011b).

### 7. 서식지 패치네트워크 추정

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. 거대 규모의 패치네트워크에서는 메타개체군의 크기 또한 큰 것으로 나타나고 있으며(Thomas and Hanski, 2004), 이도원(2001)은 일반적으로 여러 개의 작은 조각보다는 적은 수의 큰 조각이 개체군을 유지하는데 유리하며, 패치들을 둘러싸고 있는 주변이 전체적으로 하나의 서식처로 전체 덩어리로 이를 때 개체군의 크기가 증가하는 것으로 평가하였다. 따라서 경관 단절이 심하게 이루어진 곳에서 종 보전을 위해서는 넓은 지역을 광범위하게 설정해야 한다(Baguette, 2003).

의성군 MRR지역에서 개체생존이주율과 패치연결성에서 패치간의 거리 300m에서 성공적인 이주 가능성을 50% 이상을 유지하는 것으로 나타나, 이 결과를 이용하여 각각의 패치에서 경계를 그리면 A~H의 패치군을 보이고 그림 2에서 암컷 2개체가 1,000m 이상 움직임을 보인 것을 감안하여 최대 이주거리 1,000m의 거리를 적용한 경계로 판단할 때 A 패치군과 B~H가 각각 하나의 큰 패치군을 형성하고 있다(그림 6 참조). 따라서 A 패치군과 B~H의 두 패치군 사이에는 연결성이 없어 서로 고립된 개체군으로 나타나고 있으며, B~H 패치군을 중심으로 a~e 패치들이 산재하는 것으로 나타나고 있는데, 이들 패치의 연결성은 약하게 나타나고 있다. 따라서 의성군에서 나타난 바와 같이 패치의 매트릭스 분포는 패치의 연결성을 높여주어



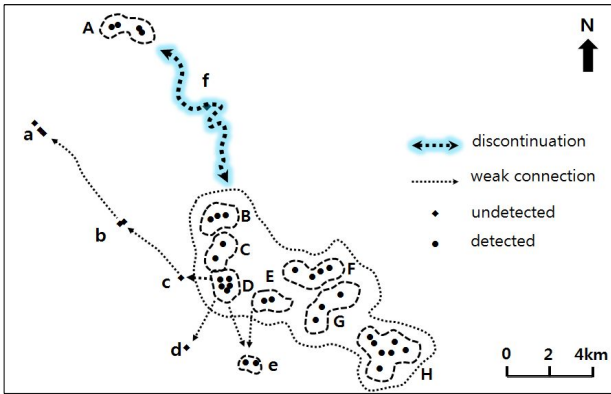


그림 6. 2011년 경북 의성군 북은점모시나비 서식지 패치네트워크  
 자료: 김도성 등, 2011b  
 범례: a~f: 성충이 출현하지 않은 지역, A~H: 성충 출현지역을 평균이동거리

하나의 큰 패치보다는 작더라도 다수의 패치가 산재하여 분포하는 것이 메타개체군을 이루는 종의 생존에 적합하다(김도성 등, 2011b).

8. 서식지 복원과정

생태공원이나 서식지 설계에서 인간의 주거 지역과 인접한 곳에서는 생태적 구조 및 기능을 기반으로 그 위에 생태적 수용력의 영향을 완충하면서 지역 주민의 삶의 질을 향상시킬 수 있는 절차를 통해서 설계해야 한다고 하였으나(변찬우, 2010), 건전한 서식지는 그 곳에서 생활하는 생물의 존재가 보다 중요하게 고려되어야 한다(김성덕 등, 2007). 이 두 가지 목표 사이에는 인간 중심적인 관점과 서식지에서 사는 생물중심적인 관점의 차이로 이해되며 최근에는 인간 보다는 서식처 생물에 중요성이 강조되며, 인간은 일시적 방문자로 인식하는 경향이 높아지고 있다. 이명우 등(2004)은 성공적인 생태계 복원을 위하여 생태계 특성, 입지별 유일한 생태적 특성, 타 지역과의 차별

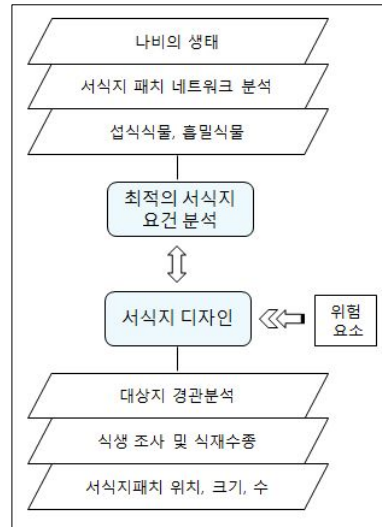


그림 7. 대체서식지 복원구상

화, 계획의 검정 등을 고려하고, 설계원리에서는 해석방법, 생태적 수지타산, 자연과 함께 하는 설계와 자연을 들어낼 것을 제시하였다(이명우, 2008).

최적의 서식지 요건분석 결과를 바탕으로 서식지 복원작업을 진행함에 있어서 실제 서식지가 조성될 지역에 대한 경관분석, 식생조사, 식재 수종, 패치의 수와 위치 그리고 크기를 결정하여야 한다. 또한 서식지 디자인에서 발생할 수 있는 경관의 단순화는 다양한 생태적 지위를 지탱하는 경관다양성과 미기후를 감소시키는 작용을 함으로 서식지 복원구상에서 중요하게 고려되어야 할 사안 중에 하나이다(Brown et al., 2011). 그리고 식재 수종의 외래종 유입, 과도한 인위적 시설물 요구 등과 같은 위험요소를 배제하는 것이 필요하다(그림 7 참조).

경북 의성군 대체서식지 복원구상에서는 기존의 서식지 환경과 비슷한 경관을 유지하는 곳에다 5개 이상의 패치에 먹이 식물과 흡밀식물의 식재가 계획되어야 하는 것으로 나타나고

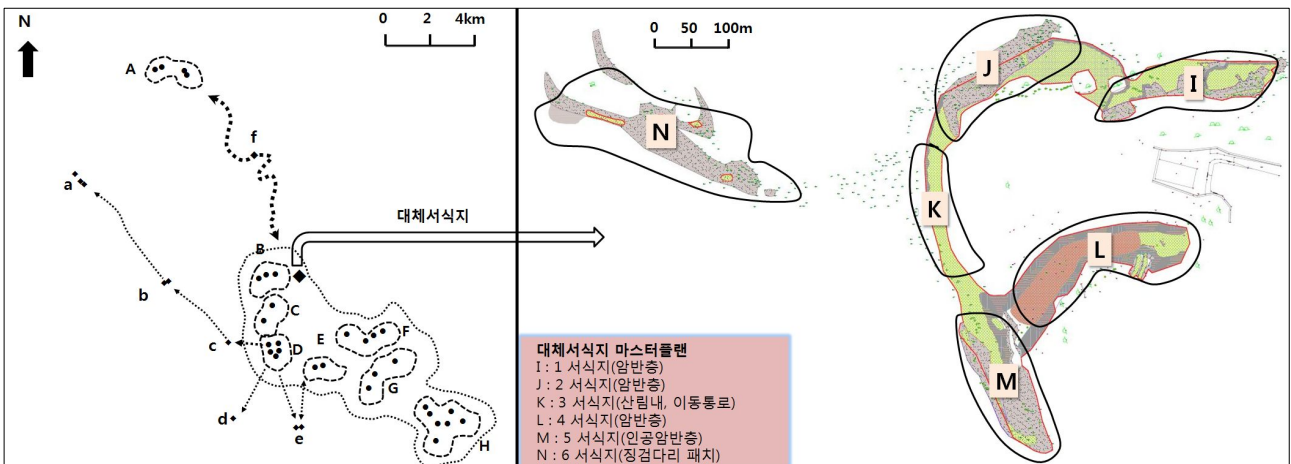


그림 8. 경북 의성군 북은점모시나비 대체서식지 마스터플랜

있다. 그리고 나비의 이주를 활발하게 하기 위하여 이주에 방해가 되는 수목을 제거하고 각 패치간의 거리를 최소화 하여 각 패치간의 나비의 이주를 활성화하며, 외부에서 서식하는 개체군의 유입을 유도할 수 있도록 징검다리 패치를 추가하는 것이 필요하다(그림 8-N 참조). 징검다리 패치는 복원 대상지에 가장 근접한 지역에 위치하도록 하며, 가급적 개체생존 이주거리 범위내가 되도록 한다. 또한 각각의 패치는 비슷한 크기를 유지하도록 하여 각 패치에서 고른 개체군 크기를 유지하는 것이 좋다. 그리고 패치간의 개체의 원활한 이주를 돕기 위하여 패치는 원형의 형태가 되도록 배치하고, 이때 서식지 패치가 필요한 위치에 자연서식지와 유사한 경관이 없을 시는 인공암반층을 형성하는 것을 고려한다. 이때에도 경관의 변화를 최소화 하기 위해서 지하로 매립하는 것을 고려하는 것이 필요하다(그림 8-L 참조).

#### IV. 결론

붉은점모시나비의 서식지 복원구상을 위하여 선행연구물과 본 연구를 통하여 나비의 생태, 이동거리와 이주율 그리고 서식지 패치간의 거리와 면적을 추정하였다. 또한 이주율과 서식지 거리와 면적을 이용하여 패치 연결성과 개체생존이주율을 산출하였다. 이를 바탕으로 한 의성군 일원의 서식지 전체 패치에 대한 네트워크를 분석하였으며, 개체군 크기를 추정하여 최적의 서식지 요건을 분석을 하였다. 중 복원이나 이주를 위한 서식지 조성지역이 선정되면 그 지역에 대한 경관과 식생조사를 병행함과 동시에 분석된 결과를 바탕으로 식재 수종과 패치의 크기와 위치 그리고 수를 결정하여야 한다. 이때 경관의 단순화, 식재 식물의 외국종 유입, 과도한 인위적 시설물 요구 등과 같은 위험요소를 배제하며, 이 외에도 작업과정에 대한 공법과 비용문제에 대한 검토가 이루어져야 한다. 이번 연구에서 붉은점모시나비 서식지 복원구상은 최근 활발히 진행되고 있는 중 복원작업에 모델이 될 것으로 기대하면서 보다 많은 연구자들이 다양한 관점에서 접근하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구물이 나오기까지 도움을 주신 경북대학교 권용정 교수님, 전북대학교 김창환 교수님, 대학원생 김진서, 유혜미, 황종석, 최영은, 이남숙 그리고 환경부 멸종위기종 붉은점모시나비를 2010년, 2011년에 포획-가공-방사 허가를 내주신 대구지방환경청에 감사드립니다.

#### 인용문헌

1. 고민수, 이준석, 김철학, 김성수, 박규택(2004) 붉은점모시나비의 국내 분포정보 및 생태적 특성 조사. 응용곤충학회지 43: 7-14.
2. 교학사(1998) 한국의 멸종 위기 및 보호 야생동물. 서울
3. 김도성, 조영복, 고재기(1999) 옥천군 지역의 붉은점모시나비의 소멸원

- 인과 복원방안. 한국환경생물학회지 17: 467-479.
4. 김도성, 권용정(2010) 한국산 꼬리명주나비의 메타개체군 동태. 한국응용곤충학회지 49: 289-297.
5. 김도성, 박두상, 권용정, 서상재, 김창환, 박성준, 김동혁, 김진서, 유혜미, 황종석(2011a) 멸종위기종 붉은점모시나비(*Pamassius bremen*)의 메타개체군 구조와 이주. 한국응용곤충학회지 50: 97-105.
6. 김도성, 박성준, 조영호, 김기동, 도재화, 서형수, 신영규, 김영진, 오광식, 민홍기(2011b) 조각난 경관에서 멸종위기종 붉은점모시나비의 서식지 패치 네트워크 분석과 보전. 한국응용곤충학회지(인쇄중).
7. 김도성, 권용정, 김동혁, 김창환, 박성준, 서민환, 연명훈, 이두범(2011c) 멸종위기종 붉은점모시나비의 대체서식지 위치 선정: 경북 의성군 안사면 일원에서. 한국조경학회지 39(4): 98-106.
8. 김병진, 김수봉(2011) 대구시 저관리·경량형 옥상녹화에 적합한 식물 선정 연구-큰평의비름, 섬기린초, 돌나물을 중심으로. 한국조경학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 149-152.
9. 김성덕, 배양섭, 한승환 역(2007) 하천조성과 서식지 보전. 안양: 백미출판사.
10. 김창환(1976) 한국곤충분포도감. Vol. 1. 나비편. 서울: 고려대학교 출판부.
11. 박규택(2006) 나비의 여왕 붉은점모시나비. 자연보호 137: 6-11.
12. 변찬우(2010) 우리 풍토에 맞는 생태하천. 파주: 나무도시.
13. 석주명(1973) 한국산접류분포도. 서울: 보신재.
14. 이남숙, 최영은, 김창환, 김도성, 박을진(2011) 경북의성 멸종위기종 붉은점모시나비 서식지 식물의 생활형 및 식생. 한국환경복원기술학회지(인쇄중)
15. 이도원(2001) 경관생태학. 서울: 서울대학교 출판부.
16. 이명우(2008) 생태조경계획 및 설계원리와 당면과제. 조현길, 조용현 편 "생태조경계획 및 설계" 서울: 기문당, pp. 11-19.
17. 이명우, 구분학, 김동성, 제종길(2004) 자연경관생태. 이도원, 김명수, 구분학, 김동성, 나정화, 윤소원, 이명우, 전성우, 정홍락, 조경두, 제종길, 홍선기 편. "경관생태학" 서울: 보문당, pp. 196-322.
18. 이창복(2003) 원색대한식물도감. 서울: 향문사
19. 이창석, 정연만, 강형신(2011) 생태적복원의 개념, 방향 및 과제. 복원생태학회지 2(1): 59-71.
20. 의성군(2008) 붉은점모시나비 및 자연자원 분포도 조사 보고서.
21. 의성군(2009) 붉은점모시나비 및 자원(멸종위기종) 분포도 조사 보고서.
22. 한국도로공사(2010) 멸종위기야생동물II급 붉은점모시나비 서식지 현황 정밀조사 및 보전방안 수립 보고서.
23. Abellán, L. and T. Orozco(2010) Design and conceptualization of a butterfly house at the Parque Natural Metropolitano. Avenida Juan Pablo II, Panama City, Panama.
24. Alonso C. and C. M. Herrera(1996) Variation in herbivory within and among plant of *Daphnolaureola*(Thymelaeaceae): Correlation with plant size and architecture. Journal of Ecology 84: 495-502.
25. Anthes, N., T. Fartmann, G. Hermann and G. Kaule(2003) Combining larval habitat quality and metapopulation structure—the key for successful management of pre-alpine *Euphydryas aurinia* colonies. Journal of Insect Conservation 7: 175-185.
26. Atte, M. and M. Nieminen(2002) Simple connectivity measures in spatial ecology. Ecology 83: 1131-1145.
27. Auckland, J. N., D. M. Debinski, and W. R. Clark(2004) Survival, movement, and resource use of the butterfly *Pamassius clodius*. Ecological Entomology 29: 139-149.
28. Baguette, M.(2003) Long distance dispersal and landscape occupancy in a metapopulation of the cranberry fritillary butterfly. Ecography 26: 153-160.
29. Baguette, M. and H. V. Dyck(2007) Landscape connectivity and animal behavior: Functional grain as a key determinant for dispersal. Landscape Ecology 22: 1117-1129.
30. Bergman, K. O. and J. Landin(2002) Population structure and move-

- ments of a threatened butterfly (*Lopinga achine*) in a fragmented landscape in Sweden, *Biological Conservation* 108: 361-369.
31. Binzenhöfer, B., R. Biedermann, J. Settele and B. Schröder(2007) Connectivity compensates for low habitat quality and small patch size in the butterfly *Cupido minimus*, *Ecological Research* 23: 259-269.
  32. Brown, R. D., N. Kenny and R. C. Corry(2011) Testing the micro-climatic habitat design framework in abandoned sand and gravel extraction sites using the Karner Blue butterfly, *Ecological Research* 29: 52-63.
  33. Collinge, S.(2001) Spatial ecology and biological conservation - introduction, *Biological Conservation* 100: 1-2.
  34. Crone, E. and C. B. Schultz(2003) Movement behavior and minimum patch size for butterfly population persistence, *Ecology and Evolution Taking Flight* (eds Boggs C., P. Ehrlich and W. Watt) University of Chicago Press, Chicago, pp. 561-576.
  33. Dennis, R. L. H. and H. T. Eales(1997) Patch occupancy in *Coenonympha tullia* (Müller, 1764) (Lepidoptera: Satyrinae): habitat quality matters as much as patch size and isolation, *Journal of Insect Conservation* 1: 167-176.
  36. Dover, J. and J. Settele(2009) The influences of landscape structure on butterfly distribution and movement: a review, *J. Insect Conserv.* 13: 3-27.
  37. Early, R., B. Anderson and C. D. Thomas(2008) Using habitat distribution models to evaluate large-scale landscape priorities for spatially dynamic species, *Journal of Applied Ecology* 45: 228-238.
  38. Fahrig, L.(2001) How much habitat is enough? *Biological Conservation* 100: 65-74.
  39. Fred, M. S. and J. E. Brommer(2003) Influence of habitat quality and patch size on occupancy and persistence in two population of the Apollo butterfly (*Parnassius apollo*), *Journal of Insect Conservation* 7: 85-98.
  40. Graf, R. F., S. Kramer-Schadt, N. Fernández and V. Grimm(2007) What you see is where you go? Modeling dispersal in mountainous landscapes, *Landscape Ecology* 22: 853-866.
  41. Gogstad, G. O.(2000) Acid rain and the disappearance of the Apollo butterfly (*Parnassius apollo* (L., 1758)) from coastal areas in Norway, *Norw. J. Entomol.* 47: 25-28.
  42. 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.
  43. Haddad, N. M.(1999) Corridor use predicted from behaviors at habitat boundaries, *American Naturalist* 153: 215-227.
  44. Hanski, I.(1994) A practical model of metapopulation dynamics, *Journal of Animal Ecology* 63: 151-162.
  45. Hanski, I., J. Alho and A. Moilanen(2000) Estimating the parameters of survival and migration of individuals in metapopulations, *Ecology* 81: 239-251.
  46. Hanski, I., C. J. Breuker, K. Schöps, R. Setchfield and M. Nieminen (2002) Population history and life history influence the migration rate of female Glanville fritillary butterflies, *Oikos* 98: 87-97.
  47. Hanski, I. and M. C. Singer(2001) Extinction-colonization dynamics and host-plant choice in butterfly metapopulations, *Am. Nat.* 158: 341-353.
  48. Hanski, I., M. Kuussaari and M. Nieminen(1994) Metapopulation structure and migration in the butterfly *Melitaea cinxia*, *Ecology* 75: 747-762.
  49. Hawkes, C.(2009) Linking movement behaviour, dispersal and population processes: is individual variation a key? *Journal of Animal Ecology* 78: 894-906.
  50. Janz, N.(2005) The relationship between habitat selection and preference for adult and larval food resources in the polyphagous butterfly *Vanessa cardui* (Lepidoptera: Nymphalidae), *Journal of Insect Behavior* 18: 767-780.
  51. Janz, N., A. Bergström and J. Johansson(2005) Frequency dependence of host plant choice within and between patches: a large cage experiment, *Evolutionary Ecology* 19: 289-302.
  52. Kindlmann, P. and F. Burel(2008) Connectivity measures: a review, *Landscape Ecology* 23: 879-890.
  53. Lindenmayer, D., R. J. Hobbs, R. Montague-Drake, J. Alexandra, A. Bennett, M. Burgman, P. Cale, A. Calhoun, V. Cramer, P. Cullen, D. Driscoll, L. Fahrig, J. Fischer, J. Franklin, Y. Haila, M. Hunter, P. Gibbons, S. Lake, G. Luck, C. MacGregor, S. McIntyre, R. M. Nally, A. Manning, J. Miller, H. Mooney, R. Noss, H. Possingham, D. Saunders, F. Schmiegelow, M. Scott, D. Simberloff, T. Sisk, G. Tabor, B. Walker, J. Wiens, J. Woinarski and E. Zavaleta(2008) A checklist for ecological management of landscapes for conservation, *Ecology Letters* 11: 78-91.
  54. Matter, S. F., J. Roland, A. Moilanen and I. Hanski(2004) Migration and survival of *Parnassius smintheus*: Detecting effects of habitat for individual butterflies, *Ecological Applications* 14: 1526-1534.
  55. Matter, S. F., T. Roslin and J. Roland(2005) Predicting immigration of two species in contrasting landscapes: effects of scale, patch size and isolation, *Oikos* 111: 359-367.
  56. Matter, S. F., M. Ezzeddine, E. Duermit, J. Mashburn, R. Hamilton, T. Lucas and J. Roland(2009) Interactions between habitat quality and connectivity affect immigration but not abundance or population growth of the butterfly, *Parnassius smintheus*, *Oikos* 118: 1461-1470.
  57. McIntire, E. J. B., C. B. Schultz and E. E. Crone(2007) Designing a network for butterfly habitat restoration: where individuals, populations and landscapes interact, *Journal of Applied Ecology* 44: 725-736.
  58. Moilanen A. and M. Nieminen(2002) Simple connectivity measures in spatial ecology, *Ecology* 83: 1131-1145.
  59. Nève, G., B. Barascud, R. Hughes, J. Aubert, H. Descimon, P. Lebrun and M. Baguette(1996a) Dispersal, colonization power and metapopulation structure in the vulnerable butterfly *Proclissiana eunomia* (Lepidoptera: Nymphalidae), *Journal of Applied Ecology* 33: 14-22.
  60. Nève, G., L. Mousson and M. Baguette(1996b) Adult dispersal and genetic structure of butterfly populations in a fragmented landscape, *Acta Oecologica* 17: 621-626.
  61. Öckinger, E., O. Schweiger, T. O. Crist, D. M. Debinski, J. Krauss, M. Kuussaari, J. D. Petersen, J. Pöyry, J. Settele, K. S. Summerville and R. Bommarco(2010) Life-history traits predict species responses to habitat area and isolation: a cross-continental synthesis, *Ecology Letters* 13: 969-979.
  62. Prugh, L. R.(2009) An evaluation of patch connectivity measures, *Ecological Applications* 19: 1300-1310.
  63. Prugh, L. R., K. E. Hodges, A. R. E. Sinclair, and J. S. Brashares (2008) Effect of habitat area and isolation on fragmented animal populations, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 20770-20775.
  64. Rickman, J. K. and E. F. Connor(2003) The effect of urbanization on the quality of remnant habitats for leaf-mining Lepidoptera on *Quercus agrifolia*, *Ecography* 26: 777-787.
  65. Ries, L. and D. M. Debinski(2001) Butterfly responses to habitat edges in the highly fragmented prairies of Central Iowa, *Journal of Animal Ecology* 70: 840-852.
  66. Roland, J., N. Keyghobadi and S. Fownes(2000). Alpine *Parnassius* butterfly dispersal: Effects of landscape and population size, *Ecology* 81: 1642-1653.
  67. Saura, S. and L. Pascual-Hortal(2007) A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: Comparison

- with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning* 83: 91-103.
68. Schooley, R. L. and J. A. Wiens(2003) Finding habitat patches and directional connectivity. *Oikos* 102: 559-570.
69. Schultz, C. H.(1998) Dispersal behavior and its implications for reserve design in a rare Oregon butterfly. *Conservation Biology* 12: 284-292.
70. Schultz, C. B. and E. E. Crone(2003) Patch size and connectivity thresholds for butterfly habitat restoration. *Conservation Biology* 19: 887-896.
71. Schultz, C. B. and K. M. Dlugosch(1999) Nectar and hostplant scarcity limit populations of an endangered Oregon butterfly. *Oecologia* 119: 231-238.
72. Sousa, W. P.(1985) Disturbance and patch dynamics on Rocky intertidal shores. (eds. Pickett, S.T.A. and P.S. White) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*, Academic press, pp. 101-124.
73. Summerville, K. S., J. A. Veech and T. O. Crist(2002) Does variation in patch use among butterfly species contribute to nestness at fine spatial scales? *Oikos* 97: 195-204.
74. Taylor, P. D., F. K. Henein and G. Merriam(1993) Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos* 68: 571-573.
75. Thomas, C. D. and I. Hanski(2004) Metapopulation dynamics in changing environments: Butterfly responses to habitat and climate change. (eds. Hanski, I. and O.E. Gaggiotti) *Ecology, Genetics, and Evolution of Metapopulations*, Academic Press USA, pp. 489-514..
76. Tomas, C. D., J. A. Tomas and M. S. Warren(1992) Distributions of occupied and vacant butterfly habitats in fragmented landscapes. *Oecologia* 92: 563-567.
77. Thomas, J. A., N. A. D. Bourn, R. T. Clarke, K. E. Stewart, D. J. Simcox, G. S. Pearman, R. Curtis and B. Goodger(2001) The quality and isolation of habitat patches both determine where butterflies persist in fragmented landscapes. *Proceedings of the Royal Society London*, 268: 1791-1796.
78. Välimäki, P. and J. Itämies(2003) Migration of the clouded Apollo butterfly *Parnassius mnemosyne* in a network of suitable habitats effects of patch characteristics. *Ecography* 26: 679-691.
79. <http://local.daum.net/map/index.jsp>

---

원 고 접 수 일: 2011년 10월 2일  
 심 사 일: 2011년 10월 30일(1차)  
 2011년 12월 14일(2차)  
 개 재 확 정 일: 2011년 12월 16일  
 3 인 의 명 심 사 필