

함평군 일대의 폐광 이용 실태 : 박쥐류를 중심으로

김선숙 · 권인기 · 유정철

경희대학교 생물학과 · 한국조류연구소

Mines Used by Bats in Hapyeong-gun

KIM, Sun Sook, In Ki KWON and Jeong Chil YOO

Department of Biology, Kyung Hee University, Korea Institute of Ornithology

ABSTRACT

We investigated use of abandoned mines by bats at Hapyeong-gun from 2003 to 2004. Out of 22 mines, three species of bats (*Myotis formosus*, *Myotis daubentonii*, *Rhinolophus ferrumequinum*) inhabit in 11 mines. The microclimate (temperature and humidity) was differed among mines according to structure of mines, and was influenced by ambient temperature of outside. Each species located their roosting site in response to the temperature in mines. Bats used the mine for their hibernacula during winter and for parturition, roosting, and swarming site in activity season.

Key words : abandoned mines, bats, hibernacula, parturition site, swarming site, temperature

서 론

우리나라에서는 그동안 수많은 광산이 개발되었었고, 대부분은 현재 휴폐광(休廢鑛)으로 남아 있다. 조선 총독부 시절부터 구리, 금, 아연, 철 등 채굴을 목적으로 조업된 광산들은 사후 처리없이 그대로 방치되었다. 한국자연연구소와 연구개발정보센터(KORDIC, Internet reference 1)에 의하면 남한에만 1,522개의 폐광산이 산재해 있는 것으로 보고되었다.

휴·폐광된 광산은 경관의 저해 및 분진발생, 중금속에 의한 토양, 지하수 및 하천오염, 산성광산 배수의 생선, 지반붕괴 및 안전사고 위험 등의 환경문제를 안고 있다(정과 이, 1997). 전국에 산재된 폐 금속 광산은 일찍이 우리의 관심을 벗어나 환경문제를 일으키는 주범으로 인식되고 있으나, 한편으로는 방치된 시간만큼 자연 속에서 동굴생태계로 수렴되어 그 몫을 하고 있는 것도 간과할 수는 없다. 폐광처리 문제에 관심이 모아지면서 폐광산의 이용 방안이 제시되어 관광사업, 농업용수 이용, 생활 용도로 이용되었고, 유폐된 광산에서 관광 자원으로 이용되는 등 폐광의 가치는 재평가되기 시작했다.

동굴생물에 대한 연구는 유럽을 시작으로 1960년대에는 일본에서도 동굴생물의 생물학적 중요성을 깨달아

동굴생물에 대한 연구가 활기를 띠게 되었다(김 등, 2004). 우리나라에선 1966년 <한·일 합동 동굴조사>에서 남한의 23개 동굴(21석회암동굴, 2용암동굴)과 49개의 우물을 조사한 결과, 24편의 논문에서 3강 50과 71속 101종이 발표되었다(김 등 2004). 지금까지 한반도에 알려진 동굴생물(지하수계 동물만 포함)은 총 4문(Phyla), 10강(Classes), 31목 (Orders), 94과(Families), 257종(Species)으로 파악되었다. 그러나 이러한 우리나라의 동굴생물 종수는 전세계적으로 인정하고 있는 동굴(바다동굴과 지하생태계 포함)산 거미강(Arachnida) 100,000여 종, 순각강(Chilopoda) 10,000여 종, 배각강(Diplopoda) 80,000 여종, 그리고 곤충강(Insecta) 중에서 딱정벌레목(Coleoptera) 300,000여 종, 노린재목(Hemiptera) 70,000여 종, 파리목(Diptera) 150,000여 종에 비하면 너무나 미비한 숫자라고 할 수 있다(Harvey *et al.*, 2000). 더구나 폐광산의 생물상에 대한 조사는 전무한 상황이다.

이에 본 연구는 박쥐류의 폐광 이용실태를 조사함으로써 대안 서식처로서 폐광의 가치를 평가하고 박쥐 서식처로서의 활용 방안을 제시하고자 한다. 지속적인 연구는 종·서식처 보존방안에 대해 정보 부족이란 당면한 문제를 해결하고, 나아가 멸종위기에 몰린 종의 주요 서식처, 잠재적 서식처로서 가능성을 파악해, 서식처 보존 방안 수립의 기준을 제시할 수 있게 할 것이다.

우리나라에 서식하고 있는 대부분의 박쥐는 온대성 박쥐이며 동굴, 폐광에 의존해 살고 있는 동굴성 박쥐이기도 하다. 비교적 인간의 간섭이 적은 동굴(혹은 폐광과 수로 등 인공구조물 포함)은 박쥐들에게 잠자리(roost sites), 일시적인 휴식처, 출산처, 동면처로 이용되며 또한 필요한 정보를 나누고 짝짓기 공간으로 활용되기도 한다(Kunz, 1982). 박쥐의 생활사는 대부분 폐쇄 공간에서 이루어진다. 서식처로 이용되는 공간은 생존에 필요한 조건 - 적당한 체온을 유지시킬 수 있는 적당한 온도와 습도, 어둠, 소음차단, 인간 간섭으로부터 보호, 낮은 포식압 등 - 을 갖추고 있어야 한다. 최적의 요건을 갖춘 안정된 서식처는 박쥐의 생존에 필요한 조건을 제공하게 되며(Humphery, 1975; Bell *et al.*, 1986), 동굴이나 광산 같은 지하 공간은 동면 박쥐들에게 보호와 안전한 조건을 제공한다(McAney, 1999).

자연생태계의 관리 및 효율적 이용 측면에서 합리적인 환경관리의 필요성이 대두되고 있는 지금, 야생동물의 잠재서식처 보존을 위한 새로운 기준과 방안이 제시되어야 할 것이다. 이에 본 연구는 박쥐류의 서식처로 이용되고 있는 폐광의 이용 실태를 파악하고 야생동물의 인공 구조물의 이용실태와 대안 서식처로서의 중요성, 그에 대한 보존방안을 제시하고자 한다. 박쥐류의 폐광 이용 실태에 대한 연구는 잠재적 서식처로서의 가능성, 서식처 내 박쥐 생존과 직결된 환경, 생태에 근거한 박쥐 서식처의 보호 및 보전 방안 수립에 필요한 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

조사 지역 및 방법

본 조사는 2003년 10월부터 2004년 10월까지 함평군 일대 총 22개의 폐광산(Fig. 1)을 대상으로 이루어졌다. 한국자연연구소의 금속광산데이터 베이스(Internet reference 1)에 등재된 폐광 목록을 기본으로 지역 주민의 탐문조사에 근거, 직접 폐광산을 찾아 조사를 수행했다.

폐광의 흔적을 용이하게 찾을 수 있는 겨울철 동면 조사부터 시작했으며, 각 동굴의 물리적 환경(고도, 온도, 습도, 터널 길이, 폭, 높이, 입구 크기, 입구의 개수, 동굴바닥의 수량 정도)을 공통항목으로 조사했으며, 동굴의 내부에 국한시켜 박쥐류를 중심으로 생물상을 조사했다. 같은 방식으로 박쥐의 주요 생활사에 맞추어 동면시기(10월~5월), 활동시기(5월~9월), 출산시기(6월~7월) 등으로 각각 나누어 주기적인 조사를 실시했다.

중점 조사 지역(동굴)에 Data Logger(Testo 171, Thermo Recorder TR-52)를 설치, 연간 동굴 내부의 온·습도

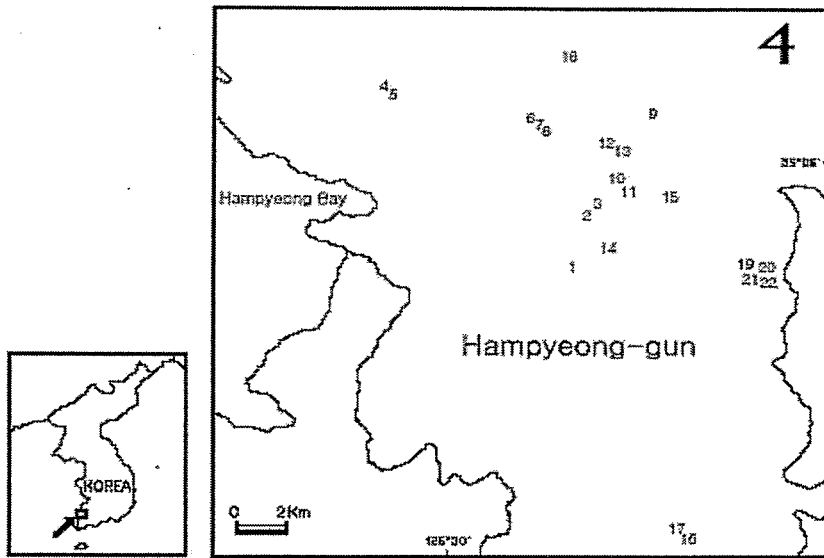


Fig. 1. Distribution of abandoned mines in Hampyeong-gun. Each number indicate site of mines.

See text in detail.

의 자료를 기록했다. 주기별 조사시 각 동굴의 생물상 조사를 중심으로 물리적 환경을 측정(GPS V, Testo 605-HI), 시기별 박쥐의 종과 개체 수를 파악했다. 본 조사 대상이 야행성 동물임을 감안하여 휴식처 이용에 대한 조사는 주로 주간에 수행했고, 동면처 이용 역시 주간 조사를 중심으로 했으나 야간 조사도 병행했다.

조사된 폐광의 물리적 항목을 종합, 아래의 3가지 유형으로 구분했고,

- ① A 유형 - 입구는 작았고(동굴 단면적의 30% 이하), 외부 온도 변화에 영향을 받지 않았으며(연중 온도의 변화가 2℃ 이하), 특정시기 한 종에 의해 우점.
- ② B 유형 - 입구는 크고(동굴 단면적의 80% 이상), 외부온도 변화에 민감하고(연중 온도의 변화가 14℃ 이상), 연중 한 종에 의해 우점.
- ③ C 유형 - 입구는 크고(동굴 단면적의 80% 이상), 외부온도 변화에 민감하고(연중 온도의 변화가 14℃ 이상), 터널의 길이가 길어 동굴안쪽의 온도는 일정, 3종 이상 이용.

동굴 유형에 따른 시기, 종별 서식처 이용에 대한 분석을 실시했다.

결 과

1. 서식처 현황

2003년 10월부터 2004년 10월까지 함평 일대 폐광을 대상으로 조사한 결과, 22개의 폐광이 발견되었다. 22개의 폐광산은 모두 일제시대 때 조업되어 약 60년 이상 유폐된 금속광산이다. 대부분의 폐광은 인가와 멀리 떨어져 있었고, 산 주변부(고도 22~142m)에 위치했으며 계곡과 인접된 곳에 입구가 위치해 있었다. 입구 주변은 박쥐의 잠자리 출입이 용이할 만큼 관목의 밀도가 낮았고 수관층은 미약하게 발달되었다. 폐광의 반경 600m 내에 저수지나 수로 등 담수 환경이 근접해 있어 수서곤충의 서식처를 이루고 있었으며, 이러한 요인들은 박쥐에게 있어 취식지(foraging site)로서의 잠재 가능성이 있다고 판단되어진다.

Table 1. Use of mines by species, season and life cycle.

Type of mine	Used by species	Use pattern	No. of mines
A Type	<i>Myotis formosus</i>	Hibernaculum	4
	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Roost sites Parturition site Swarming site	2
B Type	<i>Myotis formosus</i>	Hibernaculum	1
	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Hibernaculum Roost sites Parturition site Swarming site	5
	<i>Myotis daubentoni</i>	Hibernaculum	1

본 조사 결과 관찰된 종은 적었으나 함평 지역의 폐광은 자연 동굴과 유사한 동굴 생물상을 나타냈고, 동굴이라는 하나의 지하생태계를 구성하고 있었다. 이들 폐광은 오래 전부터 박쥐류의 서식처로 이용되어 왔으며, 일부 폐광은 매년 동면처 혹은 출산처로 이용되었고, 개체수 또한 안정되게 유지되었다(Table 1). 동굴 내부에 중점 조사된 동물상 조사 결과, 3종의 박쥐와 산개구리, 꼬리치레도롱뇽, 알락곱둥이 등 10여 종의 동물 생물들이 조사되었다.

박쥐의 잠자리로 이용되는 11개의 폐광(동면기 기준)은 종, 시기, 생활사에 따라 각각 다른 목적으로 사용되었다(Table 2). A유형의 잠자리는 붉은박쥐 *Myotis formosus*의 동면처로 이용되었으며, 그 가운데 일부 잠자리는 붉은박쥐의 동면기간이 끝나는 시기부터 동면이 시작되기 전까지 관박쥐에 의해 이용되었다. 두 종이 동면기와 활동기로 나누어 잠자리로 이용하는 A유형의 잠자리와는 대조적으로 B유형 잠자리는 일년 내내 한 종에 의해 우점되어 관박쥐 *Rhinolophus ferrumequinum*의 잠자리로만 이용되었다. 그러나 시기에 따라 그 용도는 다양하게 나타났다. 겨울철엔 동면처로 활용되었으며 활동기엔 대체로 잠자리와 출산처로, 동면 직전 가을철엔 다음 생존전략을 위한 모임장소로 이용되었다.

2. Roost sites의 물리적 특성

박쥐의 잠자리(roost site)로 선택된 10개의 폐광(동면기 기준)은 몇 가지 특징을 나타냈다. 이들 폐광은 서식처로서의 공간 확보, 동면에 결정적인 영향을 주는 온도와 습도, 그리고 소음, 포식위험, 인간의 방해로부터의 안전성을 확보하고 있었다. 박쥐에 의해 선택된 폐광은 고도, 통로의 길이, 지굴의 개수, 동굴의 크기와 관련이 있었다. 각 요인은 박쥐의 잠자리로서 필요한 알맞은 환경을 조성하는데 중요한 구성요소로 기능했다. 박쥐가 관찰된 폐광은 단일 입구, 고도 45m 이상, 길이 20m 이상, 1개 이상의 지굴 등 안정된 서식요건을 갖추고 있었으며 이러한 요인들이 갖춰진 곳은 박쥐의 동면처로 이용되었다(Table 2).

각 동면처의 온도 조건은 다양했다. 외부환경보다는 대체로 안정된 온도를 기록했지만(4~19℃), 폐광의 유형이나 계절에 따라 뚜렷한 온도 차이를 나타냈다. A유형의 동면처는 일년 내내 일정한 온도(12.6±0.34℃)를 유지했으며, 외부환경 변화에 영향을 받지 않았다. B 유형 동면처의 온도는 외부 온도변화에 영향을 받아 계절에 따른 온도 차이를 나타냈다. 겨울철엔 6~8℃를 나타냈고 여름철엔 16~19℃를 기록했다. B유형의 동면

Table 2. Characteristics of hibernacula used by bats.

Structural variables	Mines use		Statistics ¹
	Hibernacula	Non-hibernacula	
Elevation (m)	87.0±29.5	54.3±21.5	-2.058*
Number of entrance	1.0±0.0	1.3±0.7	-1.658
Height of entrance (m)	1.0±0.6	1.2±0.7	-0.564
Width of entrance (m)	1.3±0.6	1.5±0.6	-0.532
Total length of tunnels (m)	76.7±48.8	26.7±23.5	-2.935**
Number of sub-tunnels	1.3±0.8	0.3±0.6	-2.852**
Mean height of tunnels (m)	1.8±0.1	2.1±1.3	-0.701
Mean width of tunnels (m)	1.7±0.1	1.8±0.3	-1.498
Volume of roost (m ³)	227.0±132.5	98.6±102.3	-2.638**
Sample size	10	12	

¹. Mann-Whitney U test, Z value; * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$.

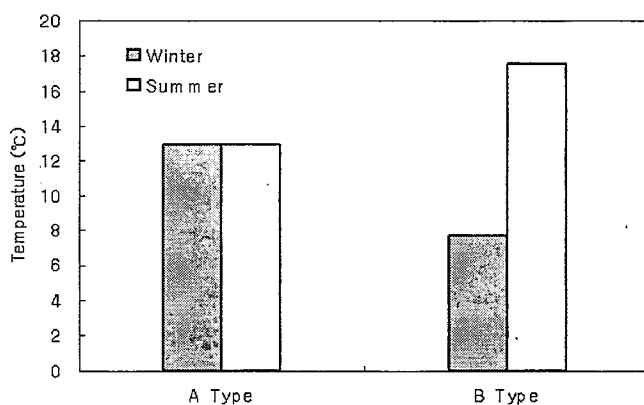


Fig. 2. Differences of seasonal change of temperature between A type and B type hibernacula.

처 온도는 외부의 환경과 밀접하게 연관되어 시기에 따른 온도변화를 나타냈다(Fig. 2).

3. 서식처 이용 유형

1) 시기적 이용 현황

(1) A유형 동면처 : 단일 장소 2중 이용

A유형의 경우, 동굴 내부의 연간 평균기온은 일정하게 유지되었다($12.6 \pm 0.34^{\circ}\text{C}$). 상대적으로 온도가 높은 4곳의 폐광은 붉은박쥐의 동면처로 이용되었다. 이 중 일부는 두 종이 함께 이용하였는데 동면기엔 주로 붉은

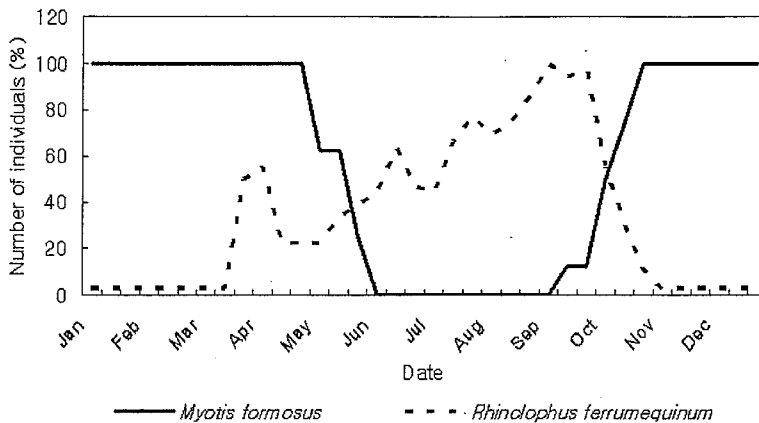


Fig. 3. Seasonal fluctuations of *Myotis formosus* and *Rhinolophus ferrumequinum* in a mine of A type.

박쥐가 동면처로 이용하였고, 각성기부터 동면시작 전까지는 관박쥐의 잠자리로 이용되었다(Fig. 3). A 유형의 일부 동굴은 박쥐들이 활동기에 접어드는 4월부터 관박쥐가 관찰되기 시작하여 붉은박쥐의 동면이 끝나는 시점인 6월 중순에 관박쥐의 개체수는 30~40 이상으로 증가하다가 다시 붉은박쥐의 동면시기가 시작되면 관박쥐는 더 이상 관찰되지 않았다(Fig. 3).

일정한 기온이 유지된 A 유형의 동면처는 시기에 따라 붉은박쥐와 관박쥐에 의해 동면기와 활동기로 나누어 잠자리로 이용되었다. 12.6°C라는 온도는 붉은박쥐의 동면 수행엔 적합한 온도 조건을 제공하지만 관박쥐나 다른 종의 동면에는 위험요인으로 작용될 수도 있다. 그러나 활동기에 접어들면 박쥐들은 동면기에 비해 온도 제한으로부터 자유로워지고, B 유형의 동면처에 비해 A 유형의 폐광 온도는 상대적으로 낮은 기온을 제공하지만, 폐광의 온도는 외부 환경보다 안정된 조건을 제공하기 때문에 관박쥐의 활동기 잠자리로 이용되었다.

(2) B 유형 - 단일 종에 의한 서식처 이용

B 유형 동면처의 경우, 다시 두 가지 양상으로 나누어진다. 조사기간 동안 한 동면처는 한 종에 의해 우점되고 있으나, 우점종(관박쥐)의 생활사에 따라 계절별로 다른 용도로 이용되어졌다. 겨울철엔 동면처로 이용되었고, 각성 후엔 출산처와 잠자리로 이용됐으며, 동면에 들어가기 전에 모임장소(swarming site)로 각각 이용되었다(Fig. 4). 동면 → 각성 → 활동 → (출산) → 교미 → 동면으로 반복되는 박쥐의 생활사는 결정적으로 온도에 의존된다. B 유형 폐광은 A 유형보다 외부환경 변화에 민감해 동굴 내부 온도는 계절에 따라 변화되고(Fig. 2), 시기에 따라 변화되는 동굴 내부의 물리적 요인은 온도에 의존된 박쥐의 생존 전략에 알맞은 환경을 제공하게 된다. 6월, 9월, 1월에 각각 조사한 결과 3개의 폐광에서 모두 유사한 개체수의 변화를 나타냈다. 3곳의 잠자리 모두 9월에 가장 많은 개체수를 기록했다. 6월의 출산그룹과 1월의 동면의 무리는 관찰과 판단이 용이했으나 9월 조사의 많은 개체수 관찰은 다른 의미로 설명되어질 수 있다. 주간조사의 한계로 박쥐의 야간비행은 관찰할 수 없었지만 각각 장소마다 가장 많은 개체수가 관찰되었고, 조사시기가 9월이었다는 점으로 미루어볼 때 이 시기 각각의 잠자리는 박쥐들에게 모임장소로 이용되고 있음을 시사한다.

또한 B 유형 일부 동면처에서 관박쥐, 붉은박쥐, 물윗수염박쥐 *Myotis daubentoni* 3종이 한 장소에서 동면하는 것이 관찰되었다. 이러한 결과는 박쥐의 동면이 온도에 의존된다는 것을 시사하며, 한 곳에 다양한 온도

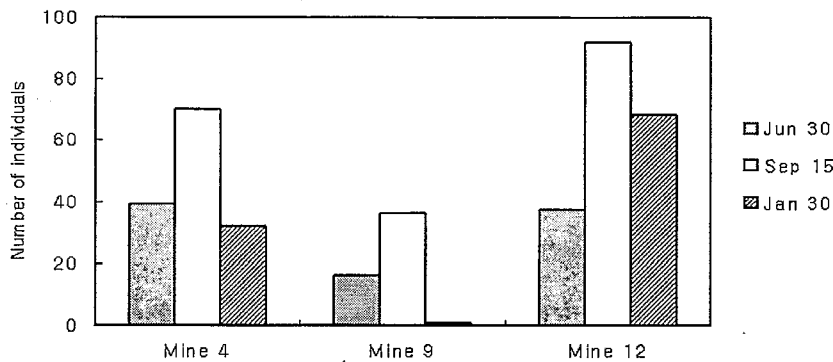


Fig. 4. Seasonal fluctuations of *Rhinolophus ferrumequinum* in three mines during June 2003, September, and January 2004.

The bat used a mine for separate objects according to lifecycles; that is, for parturition site in June, for swarming site in September, and for hibernacula in January.

환경이 형성된다는 것은 동굴 입구로부터의 거리와 관계가 있었다. 다양한 온도조건을 가진 동면 장소는 여러 종이 함께 이용하기에 적합한 환경 조건을 제공한다(Fig. 5). 동굴 입구로부터 8~10m 지점(5.6℃) 동굴 벽 구멍 속에서 물윗수염박쥐가 동면하고 있었고, 38m 지점(13.2℃) 천정에 매달려 붉은박쥐가 동면했으며, 그 중간 지점(10~25m, 8.5℃)에 10여 마리의 관박쥐가 무리(colony)를 지어 동면하고 있었다.

동굴 내부 온도가 일정한 A유형과 거리에 따라 온도 차이가 나는 B유형의 동면처 사이에는 박쥐의 분포 또한 다른 양상을 보였다. '입구가 작아 공기의 유입이 적은 A유형 동면처의 온도는 동굴 입구부터 끝까지 일정했다. 이런 환경은 동면박쥐에 있어 동굴 전 구역이 안전지대이고, 어떤 위치에서 잠자리를 정하든 같은 양의 에너지가 소비되기 때문에, 동굴 내 박쥐가 잠자리를 선택할 수 있는 분포 범위는 그만큼 넓어진다(붉은박쥐의 경우 동굴 12m부터 160m까지 분포. 미발표 자료). 그러나 거리에 따라 온도 차이를 보이는 B유형 동굴의 경우, 박쥐의 동면 위치는 어느 일정한 지역에 제한되어 형성된다.

고 찰

1. 폐광의 서식처 이용 가능성

1) 잠자리(Roost Site)

박쥐는 생태적 선택 압에 기인하여 일생의 절반 이상을 잠으로 보내게 되는데 모든 박쥐는 다양한 구조물(pre-existing - foliage, tree cavities and crevices, cave, rock crevices, building, mine)을 잠자리(roost site)로 이용한다(Kunz, 1982). 그리고 종에 따라서 서로 다른 잠자리를 선택한다. 잠자리로서의 동굴, 지하실 같은 폐광은 동면기간 동안 적당한 온도와 안정된 환경요인을 제공함으로써 많은 박쥐들에게 동면장소로 선택, 이용되어 지고 있다(Kunz, 1982). 또한 박쥐는 시기나 환경에 따라 적당한 서식처를 이용한다. 여름철이나 번식 시기에는 온도가 높은 장소를 출산집단(maternity colonies)이 이용하고 독립생활로 잠자리를 갖는 수컷은 기온이 낮은 장소를 잠자리로 이용한다(Henshaw, 1960; Betts, 1997; Entwistle *et al.*, 1997; Williams and Brittingham, 1997).

(1) 출산처(Parturition Sites)

본 조사 결과, 22개의 폐광산 가운데 3개의 폐광이 출산처로 이용되었다. 6월 말, 관박쥐의 출산처로 이용된 3곳의 온도는 16~19℃이었다. 이것은 동면처의 온도(6~8℃)보다는 높고, 수컷이 독립적으로 이용하는 잠자리 온도(12℃)보다도 높았다.

출산시기 암컷 무리는 생존전략에 맞는 공간을 출산처로 선택하게 된다. 출산그룹들이 이용하는 동굴의 전형적인 특성은 따뜻한 온도와 높은 습도이다. 온도가 높은 장소는 출산 때와 수유기의 암컷의 체온을 유지하기에 적당한 환경조건(Chruszcz and Barclay, 2002)을 제공하기 때문에 종과 성, 나이에 따라서 잠자리의 선호 조건이 다르며 이에 따른 적당한 잠자리 장소와 알맞은 위치를 선택하게 된다. 높은 온도의 출산처는 큰 무리의 출산집단보다 작은 규모의 출산집단에 의해 선택되어지는데 이는 어미의 먹이활동으로 인해 잠자리에 남겨진 체온조절이 자유롭지 못한 새끼들을 위해서도 높은 온도의 잠자리는 필요하기 때문이다(Chruszcz and Barclay, 2002).

온대성 박쥐는 다른 포유동물과 비교해 볼 때 연간 기후변화에 민감하게 영향을 받는다. 게다가 동절기의 낮은 기온은 박쥐에게 두 가지 측면에서 영향을 줄 수가 있다. 박쥐가 잠을 자는 동안 항온(homeothermic)을 유지하기 위한 에너지 비용이 증가되며, 가용될 곤충 수의 급격한 감소로 인해 에너지를 축적할 위한 식이물이 줄어든다는 것이다(Speakman and Racey, 1987). 이러한 기후 효과는 높은 에너지 소비가 요구되는 임신(pregnancy)과 수유기(lactation)의 암컷에 있어 더욱 민감하게 작용된다(Racey, 1982; Speakman and Racey, 1987; Gittleman and Thompson, 1988). 박쥐가 번식시기에 온도의 영향에 민감하다는 사실은 박쥐 서식처의 보존과 보호관리방안에 적용시킬 수 있는 중요한 요인이 될 것이다.

선행된 Pallid bats의 연구(Lewis, 1993)에서 기온이 낮은 해의 박쥐 출산시기가 지연된다는 것은 박쥐가 외부기온에 민감하다는 사실을 입증한다. 곤충을 취식하는 박쥐에게 있어 일일수면(torpor)의 연장은 배아발생을 늦추거나 지연시키는 결과를 초래한다(Pearson *et al.*, 1952; Racey 1973; Racey and Swift 1981; Audet and Fenton, 1988). 대체로 출산 지연은 새끼의 생존 가능성에 직접적으로 작용한다(Humphrey, 1975; Tuttle and Stevenson, 1982; Speakman and Racey, 1987). 박쥐의 수유기간은 6~8주 정도 소요되는데 낮은 기온의 영향으로 8월초 새끼를 낳는다면 수유기간과 이동, 동면까지의 기간이 줄어들므로 9월 중순까지 수유는 불가능해진다. 박쥐는 증가된 온도조절 비용과 가을에 가용 곤충의 양이 감소되는 위험에 직면함으로써 이러한 요인들은 그해 태어난 새끼들의 생존기회를 줄이게 된다(Pearson *et al.*, 1952; Davis and Hitchcock, 1965). 이러한 연구 결과들은 출산시기 출산처의 안정된 환경요인이 이들의 생존에 결정적인 영향을 미치고 있음을 시사한다.

(2) 동면처(Hibernaculum)

동면기간 동안 동면처로 이용된 곳은 모두 10개 동굴이었다. 붉은박쥐의 동면처 온도는 $12.6 \pm 0.34^\circ\text{C}$ 였고, 관박쥐는 그보다 낮은 온도인 8.5°C 를 동면처로 선택해 이용했다. 박쥐는 동굴이나 광산 같은 전형적인 동면처를 이용하지만 오래된 고성처럼 인간에 의한 구조물과 지하병커 또한 동면처로 선택하기도 한다(Altringham, 1996). 동면(hibernation)은 계절(온도) 변화에 대한 반응으로 일일 수면의 한 형태로 정의될 수 있다. 온대성 박쥐는 동면기간 동안 주기적인 각성(arousal)이 있을지라도 7개월 이상 동면기간을 연장하는 것이 가능하다. 또한 동면은 비효율적인 열조절 기작에 반응한 포유류의 본질적 특징으로 간주되어 왔지만, 환경요인에 의한 것이 아니라 동물의 능동적인 조절 기작으로서 적응된 형태로 인식되어졌다(Park, 2000).

대부분의 온대성 박쥐들은 주위환경 온도에 따라서 항온(homeothermic)을 유지하거나 변온(heterothermic)으로 반응하는 것이 가능하다(Licht and Leitner, 1967; Beasley and Leon, 1986). 온대성 박쥐는 동절기의 제한된

먹이와 혹독한 추위에 견딜 수 있는 에너지를 체내에 저장하고 동면에 들어가게 된다. 박쥐의 생활사 중에서 생존전략이 집중되는 시기는 출산기와 동면기다. 동면을 하기 위한 최적의 조건을 가진 동면처의 선택은 이들에게 에너지 절약은 물론 생존과 직결됨을 의미한다. 대사를 조절함으로써 제한된 에너지 조건을 극복하며 안전하게 동면을 마치게 된다. 이 시기 가장 중요한 것은 동면처의 온도이다. 온도는 박쥐의 동면 전략에 결정적인 영향을 주고, 박쥐의 체온은 주위 온도에 의존됨으로 최소 에너지를 소비하기 위해 알맞은 온도조건을 갖춘 동면처를 선택하는 것이 성공적 동면의 결정적 요인이 될 것이다(Thomas *et al.*, 1990).

(3) 모임장소(Swarming sites)

박쥐에 의해 출산처와 동면처로 이용됐던 잠자리는 또한 모임장소로 이용되기도 한다. 3개의 폐광에서 관박쥐의 최대 개체수는 동면 직전에 기록되었다(Fig. 4). 대부분의 박쥐들은 매년 생존전략에 맞는 공간을 찾아 이동하게 되며, 동면처의 조건에 따라 잠자리를 이용하는 시기와 기간이 결정되어진다. 대부분의 박쥐는 매년 같은 장소에 모이지만, 동면시에는 각기 분산한다(Bauerova and Zima, 1988). 온대성 박쥐의 교미는 8월에서 10월에 집중적으로 이루어진다. Fenton(1969)은 North America의 박쥐 연구사례를 통해 동굴과 광산은 동면 전·후기에 교미장소(mating site)로서 기능함을 보여주고 이 시기의 집단으로 모여 비상하는 것을 “Swarming”으로 정의했다. 이렇게 “Swarming”은 짝짓기에 중요한 기능을 하는데 이에 대해 Thomas 등(1979)은 모임장소는 짝짓기(mating)를 위해 이용된다고 평가했으며 박쥐에게 있어 Swarming의 의미는 늦여름과 초가를 동면처에서 비상하는 박쥐 무리에서 이루어지며 이때 박쥐는 안정된 동면처에 대한 정보를 교환하며 교미, 자원에 대한 정보교환 같은 사회행동이 이루어진다(Fenton, 1969).

박쥐는 늦여름 동굴의 입구 근처에 모여들고, 대체로 초가에 대규모 집단이 관찰된다. 한 장소에 군집하면 짝짓기의 기회를 높일 수 있으며, 모임장소는 다양한 집단(개체군)의 유전자 교환의 기회를 제공하기도 한다(Kerth *et al.*, 2003). 특히 박쥐의 경우 일생의 60% 이상을 잠자리에서 지내게 됨으로 이에 대한 의존도는 매우 높다. 박쥐는 Swarming을 위해 자연구조물을 이용하며 서식처로서의 조건이 맞으면 인간에 의한 인공구조물(폐광, 지하갱도, 지하 병커, 하수구 등)을 이용하기도 한다. 기온변화에 반응하기 위해 다양한 생존전략을 펼치는 박쥐들에게 폐광은 모임장소, 일일 휴식공간, 정보 교환, 상호의존(reciprocity), 그룹증가(group augmentation)역할을 함으로써 한 집단의 생존에 기여하게 되는 것이다. 최적의 조건을 갖춘 잠자리로서의 폐광은 인공물이 야생동물의 대안 서식처로 이용되는 좋은 모범사례를 제시해 준다. 군집을 이루는 박쥐류 같은 야생동물의 서식처의 다각적인 보호관리의 중요성을 일깨운다.

2. 대안 서식처의 보존과 관리방안

동면기 폐광을 이용하는 박쥐는 곤충을 취식하는 온대성 박쥐가 대부분이다. 이 가운데 일부 종은 활동기에 삼림에 의존해 서식하기 때문에 폐광 자체뿐만 아니라 주변 식생까지 고려해 연구, 보완되어야 할 것이다. 수종 이외에도 숲 밀도 또한 곤충상과 분포에 영향을 미쳐 박쥐의 생존에 중요한 요인으로 작용한다.

폐광은 여러 개의 입구를 가지고 있고 계절에 따라서 다양한 환경조건 특히 온도와 습도 조건을 형성하는 것이 가능하다. 단일 입구를 가진 폐광은 공기의 흐름이 적어 동면을 수행하기에는 너무 따뜻하기 때문에 일시적인 여름철 잠자리로 사용하거나 짝짓기 장소로 이용되기도 한다. 박쥐들은 입구 크기가 크고 식생 커버가 있는 곳을 선호하며 박쥐는 직경 800mm에서 안전하게 이·착륙할 수 있으므로(McAney, 1999) 밀도가 높은 수관층은 배제되어야 할 것이다.

지하생태계의 환경에 온도와 관련되어 많은 요인 - 공기의 흐름, 외부환경의 변화, 암벽의 열전도율, 지열의 흐름, 인간의 영향 - 이 영향을 미치고 있다. 이런 모든 요인들로부터 비교적 안정된 환경을 제공, 가능한 곳이 폐광산이다.

동굴박쥐에 의존된 많은 동굴생물들은 박쥐와 연결된 생태계에 적응되어 왔다. 박쥐 분비물로부터 에너지와 영양물질을 제공받기 때문에 동굴환경에 적응된 생물들은 동굴을 떠나서는 살 수 없다. 이렇게 탄생되는 새로운 생태계는 자연계의 중요한 기능을 하게 될 것이다(Internet reference 2). 동면 박쥐는 대체로 무리 짓는 습성이 있으므로 한 장소에서 밀도 의존도는 높은 편이고, 그런 만큼 서식처파괴에 대한 위험도 또한 높다고 할 수 있다.

박쥐는 잠자리에서 낮엔 잠을 자고, 출산과 양육의 장소로, 다양하게 이용한다. 박쥐 중에 따라 나무 구멍, 동굴, 같은 오래된 광산, 암거수로, 터널을 잠자리로 이용하며 야간엔 취식을 위해 주변으로 흩어진다. 때로 박쥐는 무리 지어 활동하기 때문에 한 장소에서 서식하는 무리는 지역 생태계에 중요한 역할을 한다. 한 서식처의 파괴는 전체 지역에 위험을 나타내고 박쥐의 서식처 상실로 인해 완전히 떠나 다른 장소로 피어나가기도 한다(Internet reference 2).

안정된 동면처는 일정한 온도와 습도의 유지, 방해 위험요인으로부터 보호의 조건을 갖추어야 한다. 각 종은 동면 기간동안 생존을 위한 다른 조건이 요구되어진다. 박쥐의 몸무게, 나이, 성에 따라 요구조건이 달라진다(McAney, 1999). 다양한 동굴성 박쥐의 서로 다른 요구조건과 생활전략에 알맞은 조건을 갖춘 장소를 확보하기가 쉽지 않다. 유포 광산은 이들에게 서식처로서의 일차적 요구를 제공할 수 있는 유일한 장소가 될 것이다.

이처럼 폐광은 박쥐의 동면처로서 최적의 요건을 갖추고 있다. 기온이 낮아지면 박쥐들은 동면 준비를 시작한다. 활발한 먹이활동을 통해 체중을 늘려 에너지를 저장하고 성공적인 동면을 위해 무리 간의 필요한 정보를 교환하기도 한다. 박쥐의 대부분 생활사는 외부와 단절된 동굴이나 폐광 같은 공간에서 이루어진다. 무리 생활을 하는 온대성 박쥐들에게 있어 동면 직전 짹짹기를 하고, 다른 사회적 활동을 하는 데 필요한 안전한 공간의 확보는 그들의 생존에 중요한 의미를 지닐 것이다. 때문에 늦여름이나 가을 이들 공간의 역할은 더욱 중요해진다. 안정된 서식처의 존재는 박쥐 생태에 더욱 중요한 역할을 하고 있다(McAney, 1999). 그러나 동면처는 온도도가 높아 발견이 쉽지 않고, 지하 조사의 어려움으로 간과되기 쉬워 때로 과소 평가되어 정보 부족으로 정책 입안의 어려움이 많다. 박쥐의 잠자리로서 폐광의 중요성에 대한 연구는 남겨진 숙제이면서 박쥐류의 대안 서식처로서 폐광산의 가능성은 그만큼 높다 할 수 있다.

현재 폐광산을 휴식처로 이용하는 박쥐는 많다. 폐광은 비록 인공구조물이었지만 이제 야생동물의 서식처로서 면모를 갖추었다. 이제 같은 이유로, 혹은 다른 이유로 서식처 파괴의 위험에 직면해 있다. 특히 이들 서식공간이 산림에 있다는데 심각성이 더하다. 삼림공간은 마지막 개발대상으로 남겨져 있는 것이 우리의 현실이다. 인간에 의한 자연경관과 환경의 변화는 서식처 현상의 부적응현상을 만들게 된다(Krebs, 2001). 이에 예상되는 잠재위험들은 다음과 같다.

- 1) 개간 - 산간지역의 개간은 서식처 상실을 의미한다. 안정된 서식처 혹은 취식장소의 파괴로 이어진다.
- 2) 땔감 - 벌목으로 인한 휴식처와 출산 장소의 손실
- 3) 서식환경의 변화
- 4) 먹이자원의 손실 - 개간, 벌목으로 인한 삼림 훼손은 식이물의 분포를 변화시킴(유실수, 상실, 식생의 밀도변화에 의한 곤충의 상의 변화)

5) 인간의 방해 - 인간의 방해로 동면처의 물리적 환경에 영향을 미침.

이외에도 폐광이라는 특수성 때문에 광산 내부의 함몰과 입구의 자연적 폐쇄를 꼽을 수 있다. 입구 구조의 변화는 동굴 내부 환경 변화를 내포하고, 물리적 환경의 변화로 인해 결국엔 동면박쥐에게 치명적인 위험을 줄 수 있다. 개체 종의 생태에 대한 정확한 이해를 기반으로, 물리적 환경여건 등을 고려한 다양한 측면에서 지속적인 관심과 연구, 체계적인 보호관리만이 야생동물의 서식처를 보호할 수 있다.

사 사

본 연구를 수행할 수 있도록 허가해준 영산강유역환경청과 함평군청 임직원께 감사를 드립니다. 야외조사를 함께해 준 최수산 선생님, 최유성님께 감사 드립니다. 본 연구는 한국자연보존협회의 2003년 학술연구지원금으로 수행되었습니다.

인용문헌

- 김병우, 최용근, 서호연, 이훈, 김원록, 이원철. 2004. 한국 동굴생물상 목록 및 연구전망. 환경생물학회지. 22 : 12-27.
- 윤명희, 한상훈, 오홍식, 김장근. 2004. 한국의 포유동물. 동방미디어, 서울. pp. 274.
- 정재춘, 이무춘. 1997. 폐광지역의 오염현황 및 환경관리전략. 1997년 폐기물 자원화. 5 : 71-85.
- Altringham, J. D. 1996. Bats: biology and behaviour. Oxford University Press, New York.
- Audet. D. and M. B. Fenton. 1988. Heterothermy and the use of torpor by the bat *Eptesicus fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae): a field study. Physiol. Zool. 61 : 197-204.
- Beasley, I. J. and M. Leon. 1986. Metabolic strategies of pallid bats (*Antrozous pallidus*) during reproduction. Physiol. Behav. 36 : 159-166.
- Bell, G. P., G. A. Bartholomew and K. A. Nagy. 1986. The roles of energetics, water economy, foraging behaviour, and geothermal refugia in the distribution of the bat, *Marcotus californicus*. J Biochem. Physiol. B 156 : 441-450.
- Betts, B. J. 1997. Microclimate in Hell's Canyon mines used by maternity colonies of *Myotis yumanensis*. J. Mammal. 78 : 1240-1250.
- Harvey, M. S., W. A. Shrear and H. Hoch. 2000. Onychophora, Arachnida, Myriapods and Insecta. pp 79-94. In Wilkens, H. N., F. C. Culver and W. F. Humphreyseds. (Eds.), Subterranean Ecosystems. Elsevier Science, B. V. Netherlands.
- Chruszcz, B. J., and R. M. R. Barclay. 2002. Thermoregulatory edogy of solitary bat, *Myotis evotis*, roosting in rock crevices. Funct. Ecol. 16 : 18-26.
- Davis, W. H., and H. B. Hitchcock. 1965. Biology and migration of the bat, *Myotis lucifugus*, in New England. J. Mammal. 46 : 296-313.
- Entwistle, A. C., P. A. Racey and J. R. Speakman. 1997. Roost selection by the brown long-eared bat, *Plecotus auritus*. J. Appl. Ecol. 34 : 399-408.
- Fenton, M. B. 1969. Summer activity of *Myotis lucifugus* (Chiroptera: Vespertilionidae) at hibernacula in Ontario

- and Quebec. Can. J. Zool. 47 : 597-602.
- Gitterman, J. L and S. D. Thompson. 1988. Energy allocation in mammalian reproduction. Am. Zool. 28 : 863-875.
- Henshaw, R. E. 1960. Responses of free-tailed bats to increase in cave temperature. J. Mammal. 44 : 396-398.
- Hill, J. E. and J. D. Smith. 1984. Bats: a natural history. British Museum (Natural History). London.
- Humphrey, S. R. 1975. Nursery roost and community diversity of Nearctic bat. J. Mammal. 56 : 321-346.
- Kerth G., A. Kiefer, C. Trappmann and M. Weishaar. 2003. High gene diversity at swarming sites suggest hot spots for gene flow in the endangered Bechstein's bat. Conservation Genetics. 4 : 491-499.
- Krebs, C. J. 2001. Ecology. 5th ed. Benjamin Cummings, San Francisco.
- Kunz, T. H. 1982. Roosting ecology. pp. 1-46, In Kunz, T. H. (Ed.), Ecology of Bats. Plenum Press, New York.
- Licht, P. and P. Leitner. 1967. Behavioral responses to high temperatures in three species of California bats. J. Mammal. 48 : 52-61.
- McAney, K. 1999. Mines as roosting sites for bats-their potential and protection. Biology and Environment 99b; 63-65.
- Park, K. 2000. Ecology and conservation of bats and hibernacula. In Haddw, J. F. and J. S Herman (Eds.), Scottish Bats Vol 5. at Online(<http://www.abdn.ac.uk/~nhy031/ecology.htm>)
- Pearson, O. P., M. R. Koford and A. K. Pearson. 1952. Reproduction of the lumped-nosed bat (*Corynorhinus rafinesquei*) in California. J. Mammal. 33 : 273-320.
- Racey, P. A. 1973. Environmental factors influencing the length of gestation in heterothermic bats. J. Reprod. Fertil. (Suppl.) 19 : 175-189.
- Racey, P. A. 1982. Ecology of bat reproduction. pp. 57-103. In Kunz, T. H. (Ed.), Ecology of bats. Plenum Press, New York.
- Racey, P. A. and S. M. Swift. 1981. Variations in the gestation length in a colony of pipstrelle bats(*Pipistrellus pipistrellus*) from year. J. Reprod. Feril. 61 : 123-129.
- Speakman, J. R. and P. A. Racey. 1987. The energetic of pregnancy and lactation in the brown long-eared bat, *Plecotus auritus*. pp.367-393. In Fenton, M. B., P. Racey and J. M. V. Rayner. (Eds.), Recent advances in the study of bats. Cambridge University Press, Cambridge.
- Thomas, D. W., M. Dorais and J. M. Bergeron. 1990. Winter energy budgets and cost of arousals for hibernating little brown bats, *Myotis lucifugus*. J. Mammal. 71 : 475-479.
- Tuttle, M. D. and D. Stevenson. 1982. Growth and survival of bats. pp. 57-103. In Kunz, T. H. (Ed.), Ecology of bats. Plenum Press, New York.
- Williams, L. M. and M. C. Brittingham. 1997. Selection of maternity roosts by big brown bats. J. Wildlife Manage 61 : 359-368.

<Internet references>

- Internet reference 1 : <http://apec.kigam.re.kr/KRMINEDB/Mine-DB/Metal/metalmineskr.htm>
- Internet reference 2 : <http://csu.edu.au/WWW/batcall/abs/absmain.htm>

요 약

본 연구는 2003년부터 2004년까지 박쥐류의 폐광 이용 실태를 조사하기 위해 함평군 일대에서 수행되었다. 모두 22개의 폐광이 조사되었으며 그 중 11개의 폐광은 3종의 박쥐(*Myotis formosus*, *Myotis daubentoni*, *Rhinolophus ferrumequinum*)가 서식처로 이용하고 있었다. 각 폐광은 구조적 특징에 따라 미세기후(온도와 습도)의 차이를 보였으며, 외부 기후 변화에 많은 영향을 받았다. 폐광 내부의 온도에 따라 박쥐의 종과 분포가 결정되었다. 대체로 겨울철엔 박쥐류의 동면처(hibernacula)로 이용되었으며 활동기엔 출산처(parturition site)나 잠자리(roost site)로 이용되었고, 동면 직전 초가을엔 모임장소(swarming site)로 이용되었다.

검색어: 동면처, 모임장소, 박쥐류, 온도, 출산처, 폐광