

붉은박쥐 동면처의 특성

김 선 숙 · 유 정 철

경희대학교 생물학과

Hibernacula Characteristics of Cooper-winged Bats (*Myotis formosus*)

KIM, Sun Sook and Jeong Chil YOO

Department of Biology, Kyung Hee University

ABSTRACT

We investigated some physical characteristics of hibernacula used by Copper-winged bats *Myotis formosus* during hibernating periods of 2000~2004. This study was conducted at 22 abandoned mines in Hampyeong-gun, Jeollanamdo. Out of 22 abandoned mines, *Myotis formosus* was found in only 4 mines. Hibernacula selected by *Myotis formosus* have some characteristics different from non-hibernacula and hibernacula of *Rhinolophus ferrumequinum*. They have longer distance compared with non-hibernacula (Kruskal-Wallis Test, $\chi^2=8.614$, $p=0.017$), and smaller size of entrance compared with hibernacula of *Rhinolophus ferrumequinum* (Mann-Whitney U test, $z=-2.558$, $p=0.011$).

In result, these properties are corresponded to higher ambient temperature and higher humidity (Pearson Correlation, $r=-0.816$, $p=0.004$). Furthermore, these hibernacula were stable in ambient temperature and humidity during hibernation periods. We suggest that *Myotis formosus* select hibernacula based on temperature, which is affected by distance of tunnel and size of adit.

Key words : abandoned mines, hibernacula, *Myotis formosus*, structure, temperature

서 론

온도와 습도는 지구상의 모든 생물의 분포를 결정짓는 제한 요인으로 작용되며 이런 요인은 각 종의 생활사에 중요한 영향을 주고 특히 생존이나 번식, 성장과 매우 밀접한 관계를 맺고 있다. 모든 종은 물리적, 화학적 제한 요인에 반응하며 이에 적응되어 왔다(Krebs, 2001). 따라서 현재의 종의 분포는 주어진 환경에 적응된 상태라 할 수 있다.

낮은 기온과 먹이 부족이 동반되는 온대지역의 겨울철은 소형 포유류들에게 시련의 시기이다. 대부분의 포유류는 항온을 유지하지만 박쥐류를 포함한 몇몇 설치류(Rodents), 식충동물(Insectivores), 유계동물(Marsupials)은 능동적인 기작으로 체온을 낮추어 최저 대사율로써 환경변화에 적응해 왔다(Park, 2000).

박쥐같은 변온동물은 기온이 급강하하면 체내에 에너지를 저장해 변화된 환경에 맞추어 능동적으로 체온 조절을 하는데(Speakman, 1997; Griffin, 1986; Speakman and Racey, 1991), 몸집이 작을수록 더 많은 에너지를

필요로 한다. 체온은 먹이와 온도(날씨)에 의존되기 때문에 박쥐는 먹이 공급이 이루어지지 않는 수면시간(낮)과 동면기에는 잠으로 에너지 소비를 낮추어 대사를 조절해 직면한 문제를 해결한다. 이 때 잠자리의 온도는 박쥐의 대사율과 상관관계가 높다. 체온이 낮을 때 에너지 소비가 줄어들기 때문에 동면처의 주위온도(ambient temperature)에 맞춰 체온을 떨어뜨려 대사를 조절하게 된다(Thomas and Geiser, 1997; Park *et al.*, 1999; Humphries *et al.*, 2002).

온대성 박쥐는 일생의 절반 이상을 휴식처(roost sites)에서 잠(일일 수면과 동면)으로 보낸다. 낮은 온도와 먹이 부족으로 이어지는 계절에 많은 생물들이 동면을 하는 것은 그들을 둘러싼 환경과 생리작용이 연관된 것이라 볼 수 있다(see Lyman *et al.*, 1982; Malan, 1989). 박쥐의 동면처(hibernacula)는 알맞은 온도조건을 제공해야 하고(Hamilton and Barclay, 1994), 포식 위협을 감수해야 한다(Fenton *et al.*, 1994). 이때 온도는 박쥐의 서식처 선택에 있어 가장 주요한 요인이 된다(Kunz, 1982).

동면처의 미세기후(microclimate), 구조적 특징, 서식처의 주변 환경, 인간에 의한 교란, 포식위험 같은 많은 요인들은 박쥐의 서식처 선택에 영향을 줄 것이다(Brigham and Fenton, 1986; Vonnhof and Barclay, 1986; Usman, 1988; Churchill, 1991; Entwistle *et al.*, 1997; Williams and Brittingham, 1997; Jenkins *et al.*, 1998; Sedgeley and O'Donnel, 1999). 미세기후는 박쥐의 에너지 분배(energy budgets), 배(fetus)나 새끼의 성장, 수분 밸런스에 영향을 준다(Humphrey, 1975; Tuttle, 1976; McNab, 1982; Webb *et al.*, 1995). 또한 서식처의 공간, 모양, 암벽의 두께, 동굴의 방향은 서식처의 미세기후를 변화시키고, 박쥐의 선택에 영향을 준다(Kutra, 1985; Vonnhof and Barclay, 1996; Entwistle *et al.*, 1997; Williams and Brittingham, 1997; Jenkins *et al.*, 1998; Sedgeley and O'Donnel, 1999; Sedgeley, 2001). 이러한 모든 요인들과 상호작용되는 동면시기에 안정된 동면처의 선택은 생존과 직결되기 때문에 박쥐의 동면처 선택에 생존전략이 집중된다.

붉은박쥐 *Myotis formosus*는 애기박쥐과(Vespertilionidae)에 속하는 종으로(Nowak, 1994; 윤 등, 2004) 동아시아 지역에 분포되어 있으며 대한민국, 일본, 대만, 중국 남부, 필리핀, 말레이시아에서 북부 인디아, 동부 아프리카 니스탄에서 발견되어졌다(Corbett, 1978). 대만의 경우 초여름에 출산을 하는 것으로 알려졌으며, 5월~6월에 오래된 폐가옥에서 30~50개체의 출산 집단을 형성해 번식을 하는 것으로 보고되었다(Shen and Lee, 2000). 현재 환경부 멸종위기종으로 지정된 붉은박쥐는 과거 국내에서 수차례 채집기록이 있고(Fig. 1), 1999년 함평 일대에서 붉은박쥐의 동면처가 발견되어 관심이 집중되었지만 아직 생태적 연구는 이루어지지 않았다.

1999년 동면처 발견 당시 한 장소에 87마리가 밀집된 현상은 자연 재앙이나 인간 활동으로 인한 위협에 처한 것(Richter *et al.*, 1993)으로 해석될 수 있으나, 한편으로 현재 종의 분포는 환경에 적응된 일면이라 해석될 수도 있다. 본 연구는 붉은박쥐 동면처를 조사, 분석함으로써 붉은박쥐 동면처의 특성과 동면생태를 고찰해 보고, 멸종위기종의 생존을 위해 요구되어지는 환경 조건, 위협 요인들의 분석을 통해 보존 방안을 수립하고자 한다.

한 종의 생태에 대한 기본 정보는 장기 연구의 초석이 될 수 있고, 궁극적으로 멸종위기종의 보존 방안 수립이 가능하다. 지속적인 관심과 연구, 장기간의 모니터링과 연구의 결과물로서 보존 방안이 수립됐을 때 비로소 멸종위기종의 보존 및 서식처 복원 계획이 시행될 수 있으리라 사료된다.

조사지역 및 방법

본 연구는 전라남도 함평군 일대의 폐광에서 2000년 10월부터 2004년 10월까지 동면기를 중심으로 이루어졌다. 한국자원연구소의 금속광산 데이터베이스(<http://apec.kigam.re.kr>)에 등재된 폐광 목록을 기본으로 지역

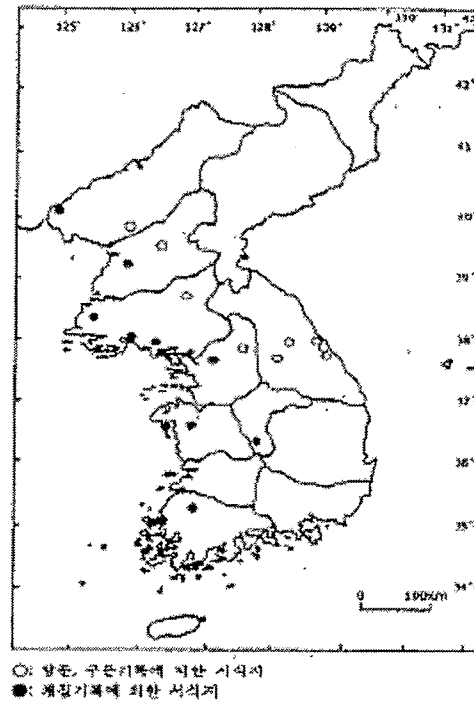


Fig. 1. Distribution of *Myotis formosus* in Korean Peninsula (from Lee *et al.*, 1998).

Open circles are sites by references inquiries and solid circles are sites by collecting.

주민의 탐문조사에 근거, 직접 폐광산을 찾았고, 연구 기간동안 새로운 동면처를 발견하는 작업을 함께 수행했다.

동면시기부터 각 동굴의 구조적 특징(터널의 길이, 폭, 넓이, 입구 크기, 입구의 개수, 동굴 바닥의 수량)과 동면처 내의 온도와 습도(microclimate)를 조사했으며, 각 요인에 대하여 붉은박쥐의 동면처와 다른 종의 동면처, 비동면처를 비교 분석했고, 동굴의 내부 환경에 국한시켜 시기에 따라 각각 요인을 기록했다. 폐광의 구조적 특징을 분석할 때 측정된 실제 수치를 사용했으나 폐광 입구 크기와 공간의 크기는 최대 폭과 최대 높이를 측정해 계산했다.

붉은박쥐의 동면에 피해를 줄이기 위해 동면이 시작되기 전에 동면처 내부에 Data Logger(Testo 171, Thermo Recorder TR-52)를 설치해, 연간 동굴 내부의 온도와 습도를 기록했다. 동면처 내부의 박쥐가 동면하고 있는 장소에 기록 장치를 위치시켜 측정했으며 조사기간 동안 외부 기온은 목포 기상청의 자료를 이용했다(일일 평균기온, 최저기온, 최고기온을 분석에 이용). 주기적으로 각 동면처의 위치(GPS V)와 물리적 환경(온도와 습도)을 측정(Testo 605-H1), 박쥐의 종 분류와 개체수를 기록, 관찰했다.

붉은박쥐의 동면기간을 측정하기 위해 연구기간 동안 동면 시작 시기(9월~11월)에는 주 2회씩 동면처 입구에 기록 장치를 이용해 개체수를 확인했다(적외선 카메라 TRV-20을 이용해 기록). 동면 안정기(12월~4월)엔 월 1회 동굴에 들어가 직접 개체수를 확인했고, 동면후기(각성기, 4월말~6월)는 주 2회씩 방문, 기록장치로 감소된 개체수를 확인했다. 동면박쥐의 방해요인을 최소화하기 위해 동굴내 조사시간을 10분 이내로 제한

했다.

본 조사 대상이 야행성 동물임을 감안하여 휴식처 이용에 대한 조사는 주로 주간에 수행했고, 동면처 이용 역시 주간 조사와 야간 조사를 병행했다.

결 과

1. 동면처의 연간 이용현황

2000~2001년부터 2003~2004년 동면기 동안 붉은박쥐는 4개의 폐광에서 총 396개의 개체수가 관찰되었다. Mine 1과 3에서 개체수가 가장 많았으며, 2와 4에서는 상대적으로 적었다. 그러나 붉은박쥐는 매년 같은 동면처를 이용하는 경향이 있었으며, 각 동면처마다 매년 일정한 개체수가 관찰되었다(Fig. 2).

2. 붉은박쥐 동면처의 특징

1) 구조적 특징

22개의 폐광을 조사한 결과, 4개의 폐광이 붉은박쥐의 동면처로 이용되었다. 붉은박쥐에 의해 동면처로 이용된 동굴은 몇 가지 특징을 보였다. 붉은박쥐 동면처는 산동성이의 주변부(고도 76m~122m)에 위치했으며, 동면처의 입구는 계곡 쪽으로 향해 있었다. 붉은박쥐 동면처는 저수지 계곡 등 물과 인접했으며, 그 중 일부 동굴은 내부에 지하수가 있었다.

붉은박쥐에 의해 이용된 동면처는 관박쥐의 동면처와 비동면처를 비교해 고도(Kruskal-Wallis Test, $\chi^2=7.244$, $p=0.027$), 길이($\chi^2=8.614$, $p=0.017$), 공간($\chi^2=6.957$, $p=0.031$), 입구 크기($\chi^2=5.598$, $p=0.061$), 지굴의 수($\chi^2=8.716$, $p=0.013$)에서 유의한 차이를 보였다(Table 1). 붉은박쥐의 동면처의 길이는 대체로 길었고 크기 또한 컸다(Table 1, Fig. 3). 그리고 붉은박쥐 동면처 입구의 크기는 관박쥐의 동면처와 비교해 유의한 차이를 보이는데(Mann-Whitney U test, $z=-2.558$, $p=0.011$), 붉은박쥐 동면처의 입구는 관박쥐 동면처에 비해 작았다

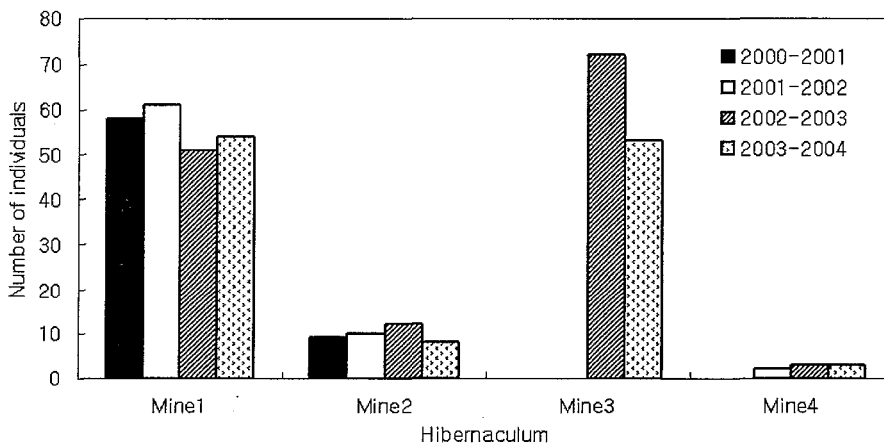


Fig. 2. Number of individuals of *Myotis formosus* hibernated in four mines in Hampyeong-gun from 2000~2001 to 2003~2004 winter season.

Table 1. Characteristics of hibernacula used by *Myotis formosus* and *Rhinolophus ferrumequinum* in Hampyeong-gun.

Structural variables	Mines use		
	<i>Myotis formosus</i> (n=4)	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (n=6)	Not used (n=12)
Elevation (m)	96.8±20.8	80.5±34.4	54.3±21.5
Number of entrance	1.0	1.0	1.3
Height of entrance (m)	0.4±0.1	1.3±0.4	1.2±0.7
Width of entrance (m)	0.8±0.1	1.7±0.4	1.5±0.6
Dimension of entrance (m ²)	0.4±0.1	2.4±1.1	2.0±1.7
Total length of tunnels (m)	82.3±62.7	73.0±43.5	26.7±23.5
Number of sub-tunnels	1.3±1.0	1.3±0.8	0.3±0.6
Mean height of tunnels (m)	1.7±0.2	1.8±0.1	2.1±1.3
Mean width of tunnels (m)	1.6±0.1	1.8±0.2	1.8±0.3
Volume of roost (m ³)	222.9±156.6	229.8±129.9	98.6±102.3
Temperature of tunnels on near entrance (°C)	11.3±0.8	7.7±1.6	7.5±2.7
Temperature of tunnels on end-point (°C)	12.9±0.7	11.3±1.6	8.2±2.5
Humidity of tunnels (%)	98.1±3.7	85.0±14.5	81.9±16.4
Level of floor area covered by water (%)	2.5±5.0	29.2±45.4	22.2±35.3

(Fig. 3, Fig. 6).

물리적 구조의 특성을 종합해 볼 때 붉은박쥐 동면처는 높은 고도와, 작은 입구, 긴 통로, 1개 이상의 지굴을 갖추고 있었다. 관박쥐 동면처 역시 통로의 길이가 길었다. 동면처로 이용되지 않은 동굴은 대부분 통로의 거리가 짧았고 인간의 방해가 있었다(Fig. 3). 특히 이 중 한 곳의 온도는 8~9℃이고 총길이는 61m로, 2개의 지굴을 가지고 있어서, 관박쥐 동면처로서 충분한 조건을 갖춘 곳이었지만 동면 박쥐는 관찰되지 않았다. 지역주민의 탐문에 의하면 수년전 박쥐의 서식처로 이용되었으나, 개인 소유의 임야이기 때문에 폐광을 이용하고자 폐광 내부의 물을 제거하고 주기적으로 방문해 청소를 했다고 한다. 동면처로서 물리적 환경은 갖추어졌지만 인간의 방해가 있었기에 박쥐의 동면처로 부적합했던 것이라 판단된다.

2) Microclimate

붉은박쥐 동면처의 평균기온은 12.6±0.34℃로 동면기간 동안 일정하게 유지되었고, 습도 역시 99.9% 이상 일정했다(Fig. 5). 동면처 내부의 온도가 일정하게 유지되는 동안 외부 온도는 큰 폭으로 변화되었으나, 외부 환경 변화의 영향을 전혀 받지 않았으며 온도와 습도는 일정하게 유지됐다(Fig. 5).

붉은박쥐 동면처는 다른 종의 동면처에 비해 높은 기온을 나타냈다(Table 1). 관박쥐의 동면처와 비교해 보면 온도에서 유의한 차이를 나타냈다(Mann-Whitney U test, $z = -2.558$, $p = 0.011$). 또한 붉은박쥐 동면처는 동굴 내부 전체 구간의 온도가 일정한 반면, 관박쥐의 동면처는 입구로부터의 거리에 의한 온도 차이를 나타냈다(Table 1, Fig. 4). 붉은박쥐에 의해 선택된 동굴의 평균온도는 12.6±0.34℃이었으며 이에 비해 관박쥐에 의해

선택된 동굴의 온도는 6~8℃로 낮았다. 두 종의 동면처 사이에 온도의 차이는 입구의 크기와 상관성이 있었다 (Fig. 6) 온도가 높았던 붉은박쥐 동면처의 입구는 대체로 작았고, 이에 비해 온도가 낮았던 관박쥐 동면처의 입구는 크게 나타났다 (Table 1, Fig. 6).

결과를 종합해 볼 때 붉은박쥐 동면처의 특징은 작은 입구와 높은 온도로 나타났다. 동면처의 높은 온도는 붉은박쥐의 동면처 선택에 중요한 요인으로 작용했으며 동면처의 미세환경(온도와 습도)은 물리적 구조(입구 크기)에 의존된다. 거리와 동면처의 온도는 입구의 크기와 밀접한 관련이 있었다 (Pearson Correlation, $r = -0.816$, $p = 0.004$, Fig. 6). 작은 입구는 외부 공기 유입을 차단시키는 작용을 하기 때문에 붉은박쥐 동면처의 온도는 외부 환경 변화로부터 영향을 받지 않았던 것이다.

3. 붉은 박쥐의 동면기간

붉은박쥐의 동면기간은 10월초부터 이듬해 6월 중순까지 지속됐다. 10월초에 동면처에서 첫 발견된 개체 수는 계속 증가되어 10월 말에 최대 개체수를 기록했고, 그 후 더 이상 증가되지 않았다. 11월부터 4월말까지 동면 개체수는 일정했으며, 5월 중순에 각성이 시작되면서 개체수는 점차 감소되기 시작하여 6월 중순 동면 하던 붉은박쥐는 동면처를 완전히 떠났다 (Fig. 7). 동면중 개체수가 안정된 것으로 보아 동면처 간의 이동 역시 없었던 것으로 판단된다. 동면과 각성 시기가 동시에 일어나지 않았고 개체간의 차이를 보였다. 10월 초 첫 개체수에서 최대 개체수에 이르기까지 25일이 소요됐으며, 각성 시기엔 각성후 동면처를 떠나기 시작해 모든 개체가 완전히 동면처를 떠날 때까지 45~50일이 소요됐다 (Fig. 7).

4. 동면 상태

붉은박쥐 동면처 4곳 모두 붉은박쥐에 의해 우점되었다. 동면시기동안 각각의 동굴에 0, 1, 2마리의 관박쥐

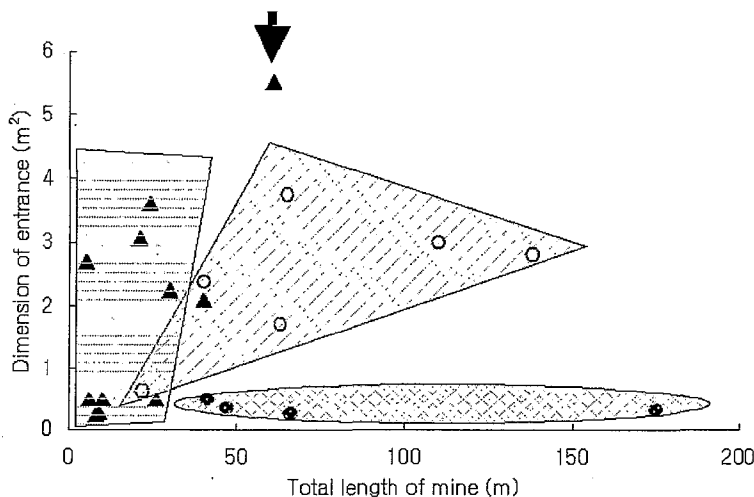


Fig. 3. The total length and dimension of entrance of hibernacula selected by *Myotis formosus* and *Rhinolophus ferrumequinum*.

Solid circles indicate hibernacula selected by *Myotis formosus*, open circles are by *Rhinolophus ferrumequinum*, and solid triangles are non-hibernacula. Arrow indicates the mine disturbed by human.

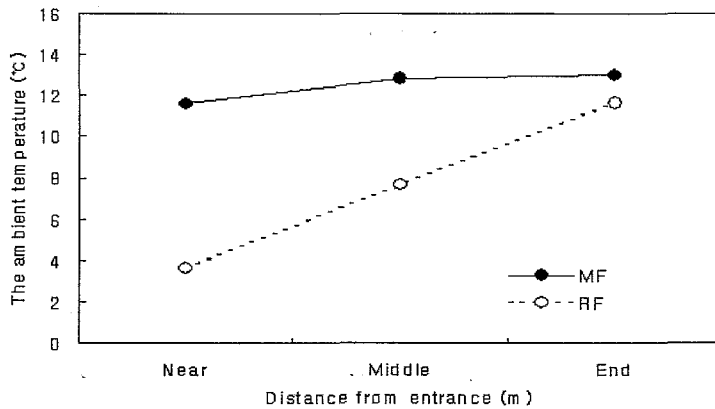


Fig. 4. The change of ambient temperature (°C) in relation to distance from entrance (m) in hibernacula selected by *Myotis formosus* (MF) and *Rhinolophus ferrumequinum* (RF).

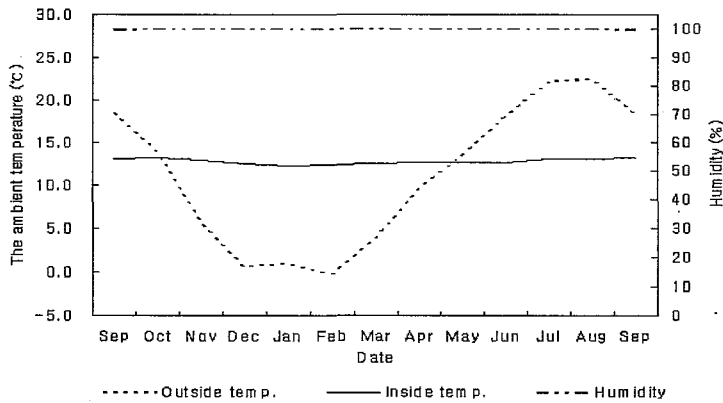


Fig. 5. The seasonal change of ambient temperature (°C) and humidity (%) in hibernaculum of *Myotis formosus*.

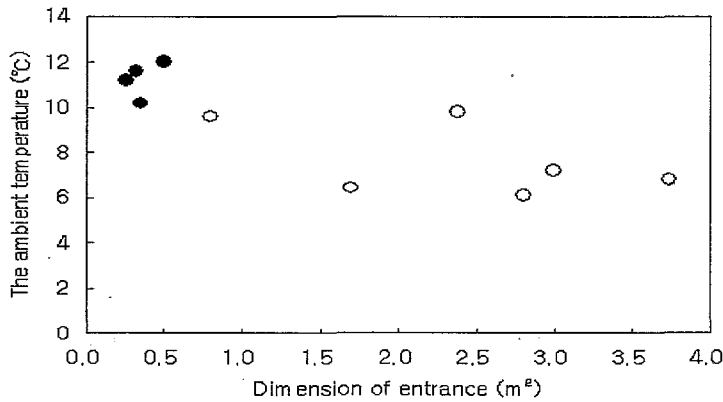


Fig. 6. The relationship between dimension of entrance (m²) and temperature (°C) in mines hibernating by *Myotis formosus* (solid circle) and *Rhinolophus ferrumequinum* (open circle).

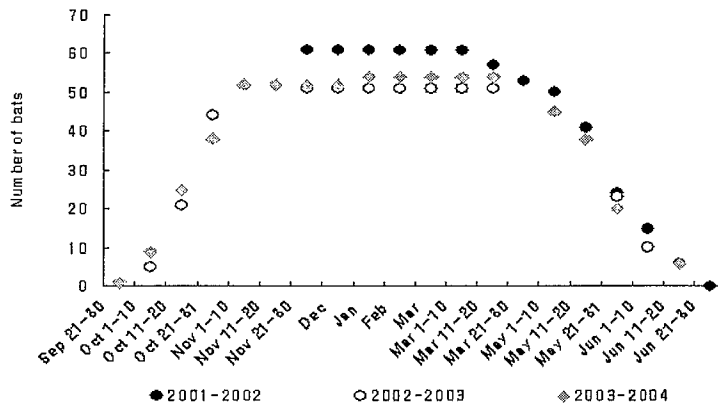


Fig. 7. Seasonal fluctuation of *Myotis formosus* hibernating during the three consecutive winter seasons.

가 관찰되기는 했으나 대부분 붉은박쥐들이었다. 4개의 동면처 모두 97% 이상 붉은박쥐에 의해 이용되었으며, 4곳 동굴 모두에서 동면 관박쥐의 비율은 3% 미만이었다.

입구부터 끝지점까지 온도 변화가 미세했던 붉은박쥐 동면처에서 붉은박쥐는 전체 공간에 고루 퍼져 분산하였다. 물론 특정 위치를 선호하는 경향성이 있기는 했지만 동굴 입구로부터 20m 이후부터 끝까지 고른 분산을 했다. 붉은박쥐는 벽보다는 천정을 선호했고, 개체간에 거리를 두고 천정에 매달려 동면했다.

고 찰

붉은박쥐 *Myotis formosus*의 동면처는 다른 종과 비교해 볼 때 몇 가지 특성을 지닌다. 1) 안전한 동굴의 길이, 2) 작은 입구, 3) 높고 일정한 온도, 최저의 대사율로 오랜 시간 동안 동면하기에 필요한 조건을 모두 갖추고 있었다.

1. 물리적 환경

1) 길 이

붉은박쥐에 의해 동면처로 선택된 폐광의 길이는 상대적으로 길었다(Table 1). 터널의 길이가 긴 동굴은 보다 넓은 공간과 다양한 온도 조건을 갖추므로써 박쥐에게 안전한 휴식공간을 제공할 수 있으나, 큰 공간은 작은 공간에 비해 열을 분산시키고 전체적으로 열 전달률이 떨어져 저온으로 인한 문제가 발생될 수도 있다(Kutra, 1985). 그러나 본 연구에서 붉은박쥐 동면처는 입구로부터 거리에 의한 온도 차이를 보이지 않았고 전 구역에 동일한 온도 분포를 보였기 때문에(Fig. 4), 붉은박쥐의 경우 큰 공간으로 인한 열손실의 위험은 발생되지 않았다. 비동면 동굴이나 다른 종의 동면처보다는 대체로 높은 온도(Table 1, Fig. 4)를 나타냈기 때문에 붉은박쥐는 개체 간의 거리를 두고 천정이나 벽 상층부에 매달려 동면을 수행했다. 매년 비슷한 개체수가 동면처를 찾았고 동면 기간 동안 개체수의 변동이 없던 것으로 보아 현재 동면처는 특별한 위험은 없었던 것으로 판단된다.

동면처의 온도는 입구로부터의 거리와 관계가 있으며(Ransome, 1971; Park *et al.*, 1999), 박쥐는 동면처 내

의 이동(internal migration)을 통해 적정 온도를 선택하게 된다(Kokurewicz, 2004). 이러한 적정 온도 선택 매커니즘은 동면 기간동안 에너지 소비에 능동적으로 반응하므로 각성 빈도를 줄인다(Harmata, 1973). 본 연구 결과에 나타난 붉은박쥐 동면처의 온도는 12.6℃로 동면기간 동안 외부 환경변화에 영향을 받지 않았으며, 구역에 일정한 온도는 지속적으로 유지되었다. 동면처의 일정한 온도는 붉은박쥐의 동면에 잇점으로 작용되었다고 분석된다. 약 8개월 이상 지속되는 동면 기간동안 한 장소에서 다른 장소로 이동하지 않은 채 안정된 동면이 가능했던 것은 적정 온도의 동면처를 선택함으로써 동면중 각성으로 인한 에너지 소비를 줄여 잔여 에너지로 동면기간의 연장이 가능할 수 있을 것이라 사료된다.

2) 입구의 크기

폐광은 지하수, 단일 입구 등 인공적인 조건들로 인해 일정한 온도와 습도를 유지하는 것이 가능하다. 특히 주변의 환경에 직접적인 영향을 받는 박쥐류에게 있어 일정한 온도와 습도가 유지되는 폐광은 자연동굴보다 안정된 환경을 제공하기도 한다(McAney, 1999). 붉은박쥐 동면처의 입구 크기는 현저하게 작았다(Tab. 1, Fig. 3, 6). 이러한 물리적 조건으로 공기의 유입이 최소화되었고, 따라서 변화가 많은 외부기온의 영향을 받지 않고 일정한 온도는 지속적으로 유지되었다. 박쥐가 동면할 때 주위 온도가 변화되면 TMR(Torpor Metabolic Rate)을 높여 박쥐에게 위협을 줄 수 있다(Richter. *et al.*, 1993). Humphries 등(2002)은 동면처의 온도 변화는 박쥐에게 위협요인으로 작용되며, 동면처의 적정 온도보다 높아지거나 낮아지면 박쥐의 동면에 방해 요인으로 작용된다고 결론지었다. 본 연구에서 붉은박쥐 동면처의 높은 온도와 동면 기간동안 온도가 일정하게 유지될 수 있었던 원인은 입구 크기와 관련이 있는 것으로 분석되었다(Table 1, Fig. 3, Fig. 6). 동면처의 작은 입구는 공기의 흐름을 억제시키는 작용을 하기 때문에 높은 온도와 일정한 온도 환경이 제공된 것이다. 만일 어떠한 유해 요인으로 입구 크기에 변화를 주게 된다면 동면처 내부의 Microclimate 변화에 결정적인 영향을 미치게 될 것이다(Richter *et al.*, 1993).

3) Microclimate

동면처의 선택시 가장 중요한 에너지 조절과 밀접한 것은 온도와 습도다. 붉은박쥐의 동면처는 동면기간 내내 일정한 온도(12.6±0.34℃)와 높은 습도(99.9% 이상)를 유지했다(Fig. 5). 동면 기간동안 안정된 환경이 제공되는 것은 박쥐의 동면 수행에 잇점으로 작용될 수 있다. 동면처의 온도가 외부기온의 영향을 받지 않고 일정한 온도가 지속되는 환경조건은 온도에 민감하게 대처하는 박쥐에게 안정된 조건을 제공한다. 본 연구에서 붉은박쥐는 외부 환경변화에 영향을 받는 곳에서 동면하는 관박쥐나 다른 종의 경우에서 관찰된 잦은 각성은 없었다.

대부분의 온대성 박쥐는 추운 날씨와 먹이 부족에 반응된 적응 결과로 온도가 낮은 동면처를 선택한다(Kurta, 1986). 모든 온대성 박쥐는 낮은 온도의 장소를 동면처로 택하는 경향성이 있다고 결론지었다(Webb *et al.*, 1995; Clark *et al.*, 1996). 그러나 붉은 박쥐의 동면처 온도는 이들과 상반된 결과를 나타냈다. 붉은박쥐 동면처의 높은 온도는 그들의 물리적 제한요인과 관계가 있다. 비록 붉은박쥐 동면처의 높은 온도는 대사율과 에너지 소비를 증가시켜 각성을 유발하고 결국 동면에 방해요인으로 작용된다고 추론할 수 있으나, 일정한 온도가 지속적으로 유지되었기에 각성으로 인한 에너지 소비를 낮추어 동면처의 고온으로 인해 예상되는 위험을 상쇄시킬 수 있었다.

동면기간 동안 주기적 각성은 자연스럽게 발생된다(Lyman *et al.*, 1982). 그 사이 수면(Torpor) 길이는 주위

온도에 크게 의존되며(see Ransome, 1971), 동면처의 온도는 동면기간 중 수면시간의 길이를 결정짓는 데 더욱 중요하다(Park *et al.*, 1998). 겨울철 낮은 기온은 많은 양의 에너지를 필요로 하는데 대부분의 동면 동물들은 동면 기간을 이용하여 동면기 동안의 에너지 부족을 피하게 된다. 이때 동면처에서 체온을 10°C 이하로 떨어트리고 안정된 온도(T_{set} - energetic cost = 0)에서 최저 대사율로 동면 수행 중 주위온도(T_a)가 안정된 온도(T_{set})보다 높아지거나 낮아지면 박쥐는 각성을 일으키게 된다(Thomas and Geiser, 1997). 동면처의 온도가 높아지면 수면 길이는 짧아지고, 대사율이 높아져 각성 빈도는 잦아지고 그만큼 에너지 소비율은 증가한다. Torpor의 길이는 수분증발(evaporative water loss)에 영향을 받는다(Thomas and Geiser, 1997). 탈수는 동면중 각성에 대한 최초의 자극에 의한 것이고 동면수행 중 각성되어 비상하면 자연스럽게 에너지 소비를 불러 일으킨다(Speakman and Racey, 1989; Thomas *et al.*, 1990a). 각성으로 인해 달라지는 동면 중 수면의 길이는 동면처의 주위 온도에 의존되며 동면처의 온도는 외부 기온과 상관관계가 높다(Ransome 1968; Park *et al.* 1999).

동면 중 잠에서 깨어나는 자발적인 각성은 주변 온도와 관계가 있다는 연구 결과는 적지 않은데(e.g., Twente, *et al.*, 1955; Ransome, 1971; Dann, 1973; Twente and Brack, 1985; Harmata, 1987), 동면 중 박쥐의 각성은 전체 동면에 필요한 에너지의 75%를 소비하게 되고(Thomas *et al.*, 1990b), 동면처의 온도는 동면중인 박쥐에게 결정적인 영향을 줄 수 있는 환경적 요인이라고 결론지었다.

2. 동면처의 조건

Ransome(1990)은 온대성 박쥐의 동면에 대해 매일의 수면(torpor)을 중단하고 동면(hibernation)에 돌입하게 되면 이후 과정은 체내 저장된 것에 전적으로 의존되어 진행되고, 동면 상태에 있던 박쥐가 봄이 되어 매일 야간 먹이활동을 시작하면 동면은 끝나는 것으로 정의하였다. 동면처의 안정된 미세기후는 동면을 하는 박쥐의 대사율과 에너지 소비를 낮추는 데 중요하게 작용한다(Usman, 1988). 동면처의 안정된 온도는 붉은박쥐의 동면에 있어서 잇점으로 작용되며 동면처 내의 잠자리 위치 선택에도 영향을 미친다. 외부 기온에 영향을 받는 입구 쪽보다는 일정한 온도가 유지되는 안쪽을 선호했고, 더 많은 개체수가 입구와 직접 연결된 곳보다 지굴에서 동면을 선호했다(김선숙, 미발표 자료). 온대성 박쥐의 에너지 이용 기간과 생존에 근거하여 비교한다면 겨울동안 한 동굴에서 지속된 동면은 다른 장소로의 이동보다 에너지 소비와 위험을 줄일 수 있다(Kokurewicz, 2004).

본 연구 결과에서 붉은박쥐의 동면처는 동면기간 동안 일정한 온도와 99.9% 이상의 습도가 유지되었는데, 이는 동면중 각성의 빈도를 낮추었고, 그 만큼의 에너지 소비량이 적었음을 의미한다. 따라서 남겨진 가용 에너지로 동면기간을 연장하는 일이 가능했을 것이다.

박쥐가 겨울철 동면을 수행함에 있어 감수해야 할 위험 가운데 하나는 또 다른 포유류나 맹금류의 포식 위험에 노출된다는 것이다(Kunz, 1982). 그러나 안정된 동면처의 역할 중 하나는 포식자로부터 은폐가 가능하다는 것이다. 지하 공간을 동면처로 이용하는 박쥐의 경우 다른 동물로부터의 포식위험보다는 인간의 방해 요인이 크다(Kunz, 1982; Speakman and Racey, 1991). 또한 인간의 잦은 출입은 직접적인 방해뿐 아니라 출입의 흔적으로 동굴 입구의 모양을 변화시켜 동굴 내부 온도에 영향을 주고, 궁극적으로 박쥐의 성공적인 동면 수행을 방해하게 될 것이다.

동면박쥐의 안정된 동면처의 선택은 성공적으로 동면수행을 마칠 수 있고, 궁극적으로 동면 후 생존과 직결되는 것이다. 박쥐에 의해 선택된 현재의 동면처는 박쥐가 동면을 수행함에 있어 필요조건을 최소한 갖춘 곳이라 할 수 있다. 또한 연구 기간동안 확인된 바에 의하면 붉은박쥐의 귀소성(Fidelity of hibernation site)이

높다(김, 미발표 자료). 현재 사용되고 있는 동면처의 엄격한 관리는 멸종위기종인 붉은박쥐의 보전을 위한 가장 중요한 사항이 될 것이라 사료된다.

사 사

본 연구를 수행할 수 있도록 허가해준 영산강유역환경청과 함평군청 임직원께 감사를 드립니다. 야외조사를 함께 해준 최수산 선생님, 최유성님, 권인기님, 박세라님께 감사 드립니다. 본 연구는 한국자연보존협회의 2003년 학술연구 지원금으로 수행되었습니다.

인용문헌

- 윤명희, 한상훈, 오홍식, 김장근. 2004. 한국의 포유동물. 동방미디어, 서울. pp. 274.
- 이상돈, 박용하, 서정수. 1998. 멸종위기 야생 동·식물의 보호방안. 한국환경정책평가연구원. pp. 5-9.
- Brigham, R. M. and M. B. Fenton. 1986. The influence of roost closure on the roosting and foraging behaviour of *Eptesicus fuscus* (Chiroptera: Vespertilionidae). Can. J. Zool. 64 : 1128-1133.
- Cobert, G. B. 1978. The mammals of the Palaearctic region: a taxonomic review. British Museum (Natural History), London.
- Daan, S. 1973. Activity during natural hibernation in three species of vespertilionid bats. Netherlands J. Zool. 23 : 1-171.
- 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.
- Griffin, D. R. 1986. Listening in the dark. Cornell University Press, Ithaca, 415 pp.
- Hamilton, I. M. and R. M. R. Barclay. 1994. Patterns of daily torpor and day-roost selection by male and female big brown bats (*Eptesicus fuscus*). Can. J. Zool. 72: 744-749.
- Harmata, W. 1973. The thermopreferendum of some species of bats (Chiroptera) in natural conditions, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Jagiellonskiego, 32, Prace Zoologiczne, 19 : 127-141.
- Harmata, W. 1987. The frequency of winter sleep interruptions in two species of bats hibernating in limestone tunnels. Acta Theriologica 32 : 331-332.
- Humphries, M. M., D. W. Thomas and J. R. Speakman. 2002. Climate-mediated energetic constraints on the distribution of hibernating mammals. Nature 418 : 313-317.
- Humphrey, S. R. 1975. Nursery roosts and community diversity of Nearctic bats. J. Mammal. 56 : 321-346.
- Jenkins, E. V., T. Laine, S. E. Morgan, K. R. Cole and J. R. Speakman. 1998. Roost selection in the pipistrelle bat, *Pipistrellus pipistrellus* (Chiroptera: Vespertilionidae), in northeast Scotland. Anim. Behav. 56 : 909-917.
- Kokurewicz, T. 1990. Hibernation of two age classes of *Myotis daubentonii* (Kuhl, 1817) in the natural reserve "Nietoperek"(W Poland) and effect of microclimate on cluster formation. Bat Research News 31 : 43.
- Kokurewicz, T. 2004. Sex and age related habitat selection and mass dynamic of Daubenton's *Myotis daubentonii* (Kuhl, 1817) hibernating in natural condition. Acta Chiropterologica, 6(1):121-144.

- Krebs, C. J. 2001. Ecology. 5th ed. Benjamin Cummings, San Francisco.
- Kuipers, B. and S. Dann. 1970. "Internal migration" of hibernation bats: response to seasonal variation in cave microclimate. *Bijdragen tot de Dierkunde*, 40 : 51-55.
- Kunz, T. H. 1982. Roosting ecology. pp. 1-46 *In* Kunz, T. H. (Eds.), Ecology of Bats. Plenum Press, New York.
- Kurta, A. 1985. Extenal insulation available to a non-nesting mammal, the little brown bat (*Myotis lucifugus*). *Comp. Biochem. Physiol A* 82 : 413-420.
- Kurta, A., 1986. Factors affecting the resting and post-flight body temperature of little brown bat (*Myotis lucifugus*). *Physiol Zool*, 59:429-438.
- Lyman, C. P., J. S. Willis, A. Malan and L. C. H. Wang. 1982. Hiberntion and torpor in mammals and birds. Academic Press, New York.
- Malan, A. 1989. Living in the cold: 2nd International Symposium (eds A. Malan and B. Canguilhem). INSERM/Libby, Paris.
- McAney, K. 1999. Mines as roosting sites for bats: their potential and protection. *Biol. Environ.* 99 : 63-65.
- McNab, B. K. 1982. Evolutionary alternative in the physiological ecology of bats. pp. 151-196. *In* Kunz, T. H. (Ed.), Ecology of Bats. Plenum Publishing Corporation, New York.
- Nowak, R. M. 1994. Walker's Bats of the world. 5th ed, The Johns Hopkins University Press, Baltimore. 287 pp.
- Park, K. 1999. Roosting ecology and behaviour of four temperate species of bat. Ph. D. Thesis, University of Bristol, Bristol.
- 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>).
- Park, K. J., E. Masters and J. D. Altringham. 1998. Social structure of three sympatric bat species (Vespertilionidae). *J. Zool. Lond.* 244 : 379-389.
- Park, K. J., G. Jones and R. D. Ransome. 1999. Winter activity of a population of great horseshoe bats (*Rhinolophus ferrumequinum*). *J. Zool. Lond.* 248 : 419-427.
- Ransome, R. D. 1968. The distribution of the greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum*, during hibernation, in relation to environmental factors. *J. Zool. Lond.* 154 : 77-112.
- Ransome, R. D. 1971. The effect of ambient temperature on the arousal frequency of the hibernating Greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum*, in relation to site selection and the hibernation state. *J. Zool. Lond.* 164 : 353-371.
- Ransome, R. D. 1990. The natural history of hibernating bats. Christopher Helm, London. 235 pp.
- Richter, A. R., S. R. Humphrey, J. B. Cope and V. Brack Jr. 1993. Modified cave entrance: Thermal effect on body mass and resulting decline of endangered Indiana bats (*Myotis sodalis*). *Conserv. Biol.* 7 : 407-415.
- Sedgeley, J. A. 2001. Quality of cavity microclimate as a factor influencing selection of maternity roost by a tree-dwelling bat, *Chalinolobus tuberculatus*, in New Zealand. *J. Appl. Ecol.* 38 : 425-438.
- Sedgeley, J. A. and C. F. J. O'Donnell. 1999. Factors influencing the selection of roost cavities by a temperate rainforest bat (Vespertilionidae: *Chalinolobus tuberculatus*) in New Zealand. *J. Zool. Lond.* 249 : 437-446.
- Shen, H. P. and L. L. Lee. 2000. Mother-young interactions in a maternity colony of *Myotis formosus*. *J. Mammal.* 81 : 726-733.

- Speakman, J. R. 1997. Factors influencing the daily energy expenditure of small mammals. *P. Nutr. Soc.* 56 : 1119-1136.
- Speakman, J. R. and P. A. Racey. 1989. Hibernation ecology of the pipistrelle bat: energy expenditure, water requirements and mass loss, implications for survival and the function of winter emergence flights. *J. Anim. Ecol.* 58 : 797-813.
- Speakman, J. R. and P. A. Racey. 1991. No cost of echolocation for bats in flight. *Nature* 350 : 421-423.
- Thomas, D. W. 1995. Hibernating bats are sensitive to nontactile human disturbance. *J. Mammal.* 76 : 940-946.
- Thomas, D. W. and F. Geiser. 1997. Periodic arousals in hibernating mammals: is evaporative water loss involved? *Funct. Ecol.* 11 : 585-591.
- Thomas, D. W., D. Cloutier and D. Gagne. 1990a. Arrhythmic breathing, apnea and non-steady state oxygen uptake in hibernating little brown bats (*Myotis lucifugus*). *J. Exp. Biol.* 149 : 395-406.
- Thomas, D. W., M. Dorais and J. M. Bergeron. 1990b. Winter energy budgets and cost of arousals for hibernating little brown bats, *Myotis lucifugus*. *J. Mammal.* 71 : 475-479.
- Tuttle, M. D. 1976. Population ecology of the gray bat (*Myotis grisescens*): factors influencing growth and survival of newly volant young. *Ecology* 57 : 587-595.
- Twente, J. W. 1955. Some aspects of habitat selection and other behaviour of cavern dwelling bats. *Ecology* 36 : 706-732.
- Twente, J. W. and V. Brack. 1985. The duration of the period of hibernation of three species of vespertilionid bats. I. Field studies. *Can. J. Zool.* 63 : 2952-2954.
- Usman, K. 1988. Role of light and temperature in the roosting ecology of tropical microchiroptera bats. *Proc. Indian AS-Anim. Sci.* 97 : 551-560.
- Vaughan, N., G. Jones and S. Harris. 1997. Habitat use by bats (Chiroptera) assessed by means of a broad-band acoustic method. *J. Appl. Ecol.* 34 : 716-730.
- Vonhof, M. J. and R. M. R. Barclay. 1996. Roost-site selection and roosting ecology of forest-dwelling bats in southern British Columbia. *Can. J. Zool.* 74 : 1797-1805.
- Webb, P. I., J. R. Speakman and P. A. Racey. 1995. Evaporative water loss in two sympatric species of vespertilionid bat, *Plecotus auritus* and *Myotis daubentonii*: relation to foraging mode and implications for roost site selection. *J. Zool. Lond.* 235 : 269-278.
- Williams, L. M. and M. C. Brittingham. 1997. Selection of maternity roosts by big brown bats. *J. Wildlife Manage* 61 : 359-368.

요 약

본 연구는 붉은박쥐 *Myotis formosus*의 동면처 특성을 조사하기 위하여 2000년부터 2004년 동안 전라남도 함평군 일대 22개 폐광을 중심으로 수행되었다. 붉은박쥐에 의해 이용된 동면처는 몇 가지 특징을 나타냈다. 비동면처보다 터널의 길이가 길고(Kruskal-Wallis Test, $\chi^2=8.614$, $p=0.017$), 관박쥐의 동면처보다 입구는 작았으며(Mann-Whitney U test, $z=-2.558$, $p=0.011$), 높은 기온($12.6\pm0.34^\circ\text{C}$. Mann-Whitney U test, $z=-2.558$, $p=0.011$)과 습도(99.9% 이상)를 유지했다. 또한 이러한 물리적 환경은 동면기간 동안 지속되었으며, 붉은박쥐