

## 멸종위기종 붉은박쥐의 개체군 경향과 보호 관리 - 동면처의 장기 모니터링 결과를 중심으로

김선숙\* · 최유성<sup>1</sup>

국립생태원 생태기반연구실, <sup>1</sup>국립생물자원관 동물자원과

**The Population Trend and Management for Conservation in *Myotis formosus*.** Kim, Sun-Sook\* (0000-0003-4197-4250) and Yu-Seong Choi<sup>1</sup> (0000-0002-2058-2656) (Division of Basic Research, Bureau of Ecological Research, National Institute of Ecology, Seocheon 33658, Republic of Korea; <sup>1</sup>Animal Resources Division, National Institute of Biological Resources, Incheon 22689, Republic of Korea)

**Abstract** Understanding the need for temperature regulation, behavior, and ecology of hibernating bats provides the possibility of conservation and management for target species. Our objective in this study was to improve understanding of the population trend and ecological requirement in *Myotis formosus* population in South Korea. From 2007 to 2016, total of 58 hibernacula for *Myotis formosus* were found across the country. Of the 58 hibernating sites of *Myotis formosus*, 86% (n=49) were abandoned mines and 14% (n=8) were natural caves. During the survey period, 28 (5%) bats of total 570 bats were observed in natural caves (n=8) and 542 (95%) bats were observed in abandoned mines (n=49). The internal environments of hibernacula of *M. formosus* were highly stable despite dramatic variation in the external environment. Specifically, we examined the population trend of the endangered bat *Myotis formosus* in South Korea by long-term monitoring for hibernation sites. The population trend of endangered species *M. formosus* showed a marked stable in hibernating population. Our results indicate that a tightly collected long-term data set may help to establish the initial approximation of population trends and manage to threats for the endangered bat species.

**Key words:** *Myotis formosus*, endangered species, TRIM, hibernation, thermal preference, management

## 서 론

박쥐의 다양성과 생태계 속에서 역할에 대한 가치와 중요성은 재평가되고 있지만, 전 세계적으로 박쥐 개체군은 지속적으로 감소되고 있으며, 서식지 상실 및 질병 등 위협에 노출된 박쥐 개체군이 급감된 사례들이 보고되었다 (Foley *et al.*, 2011). 하지만 박쥐 개체군이 급감되는 현상

에 대한 원인은 불분명하며 구체적인 원구명을 위한 연구는 미비하다 (Lorch *et al.*, 2011).

전 세계적으로 가장 널리 분포하는 애기박쥐과 (Vespertilionidea) 종은 진화적 성공과 더불어 다양한 생존전략의 차이를 나타낸다. 특히 온대지역에서 동면을 선택한 종의 생존전략은 온도 선호도에서 뚜렷해진다 (Speakman and Racey, 1989; Thomas *et al.*, 1990; Webb *et al.*, 1996; Arlettaz *et al.*, 2000). 온대성 박쥐가 동면을 수행하기 위해 선택한 온도 (동면처, 체온)는 중간 차이를 나타내며 (Webb *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 2014), 동면기 동안의 에너지대사 등 생존전략과 밀접하게 상관된다 (Geiser, 1998). 또한 박쥐

Manuscript received 8 November 2017, revised 6 December 2017,  
revision accepted 12 December 2017

\* Corresponding author: Tel: +82-41-950-5983, Fax: +82-41-950-5953,  
E-mail: sskim108@nie.re.kr

© The Korean Society of Limnology. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provide the original work is properly cited.

의 분포는 종의 온도 선호도에 의해 제한되기 때문에 동면처에 출현된 박쥐 종수는 동면처의 온도와 밀접하게 연관되고 (Kim *et al.*, 2014), 동면처 내 미소서식지 온도 특성은 박쥐의 생존전략에 영향을 준다 (Sandel *et al.*, 2001; Kokurewicz, 2004; Boyles *et al.*, 2007). 특히 멸종위기 1급 종인 붉은박쥐의 동면처 선택은 동면기 동안 온도 선호도와 밀접하게 상관되며 붉은박쥐의 온도 선호도는 분포를 제한하는 요소로 작용되기도 한다 (Kim *et al.*, 2013).

온도 의존도가 높은 온대지역에서 박쥐의 동면처 조사 결과에 기반하여 개체군 경향 분석 및 평가는 적합한 연구 방법으로 받아들여지고 있다 (Battersby, 2010). 박쥐의 동면집단에 대한 온도 선호도, 개체수 변화, 번식생태 및 잠자리 특성 등의 생물 정보의 수집은 개체군에 대한 정량적 평가를 가능하게 하며 서식지 보호 및 관리 방안 등 정책의 효율성을 높여준다 (Brack, 2007; Encarnação *et al.*, 2012).

멸종위기종인 박쥐종의 개체군 경향 및 위협요인을 진단하고 평가할 때 동면처 내 대상 종의 개체수의 변화에 대한 장기 모니터링은 개체군 변화 및 경향, 예측에 대한 신뢰도를 높여 준다 (Ingersoll *et al.*, 2013). 동면 중인 박쥐 집단은 동굴에서 상대적으로 쉽게 관찰되며, 특정한 장소에 대한 서식지 충실도가 높아 동면처의 장기 모니터링 결과는 박쥐 개체군 경향성 및 개체군 평가 방법으로 이용된다 (Tuttle, 2003). 또한 개체군 평가를 위한 동면처 모니터링은 반복 조사를 통하여 수집된 정량적인 자료를 분석하기 때문에 전체 개체군의 생태적 특성을 대변할 수 있다 (Brady *et al.*, 1982; Pruitt and TeWinkel, 2007). 특히 동굴성 박쥐의 경우 서식지 충실도가 높고 중간 온도 선호도가 뚜렷하며, 서식지 의존성이 높아 장기 모니터링 결과를 바탕으로 개체군 경향을 분석하는 것은 타당하게 받아들여지고 있다 (Viogt and Kingston, 2016).

박쥐의 중간 온도 선호도에 대한 연구들은 대상 종의 생물학적 정보를 제공하여 종의 생태에 대한 이해를 증진시키고 (Tuttle and Kennedy, 2002), 서식지 관리계획 수립을 위한 정보를 제공한다 (Agosta, 2002; Tuttle, 2003; Wang *et al.*, 2003; Brack, 2007). 박쥐의 동면 장소는 대상 종에게 적합한 서식환경을 제공하기 때문에, 각 동면처에서 관찰된 박쥐 종의 온도 선호도에 대한 정보는 대상 종의 서식지 요구 조건이나 동면생태를 이해할 수 있는 근거를 제공한다. 자연상태에서 박쥐가 동면 수행 중 포식이나 온도 변화에 의한 위협을 피하는 것이 가능하다면 현재 박쥐종이 출현된 동면처는 최적의 환경 조건으로 평가할 수 있다 (Boyles *et al.*, 2007). 따라서 박쥐 개체군의 종특이적인 온도 선호도 (species-specific thermal preference) 및 서식지

요구에 대한 평가는 축적된 생태정보와 지속적인 모니터링 결과를 기반으로 가능하며 (Racey, 2009), 박쥐의 서식지 선택에 관한 연구는 종 보전과 개체군을 유지하기 위한 적합한 관리 방안을 수립하기 위하여 필요하다 (Scalet *et al.*, 1996; Morrison *et al.*, 1998).

서식지 내 종 출현에 대한 장기 모니터링 결과는 개체군 변화 및 추이를 예측하는 가능성을 높여준다 (Ingersoll, 2013; Humphrey and Oli, 2015). 또한 야생동물의 서식지의 효율적인 관리를 위하여 개체군의 시·공간적인 서식지 특성은 우선적으로 고려되어야 하지만 (Busotti, 2006; Romero, 2009), 이러한 부분은 간과되고 있다. 붉은박쥐처럼 동면기간이 길고 온도 선호도가 뚜렷하여 서식지 의존도가 높은 종 (Kim *et al.*, 2013)의 경우, 동면처 관리는 개체군 유지를 위한 보호지침이 된다 (Tuttle, 2003; Racey, 2009).

본 연구에서 2007년부터 2016년 동안 진행된 붉은박쥐 동면처의 분포 현황 및 개체수 모니터링 결과를 바탕으로 멸종위기 1급 종인 붉은박쥐의 개체군 경향을 분석하고 이를 토대로 멸종위기종의 서식지 보호 관리 방안을 제시하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 자료수집

2007년부터 2016년까지 전국의 박쥐 분포조사를 수행하면서 확인된 붉은박쥐의 동면처를 대상으로 매년 모니터링을 수행하였으며 조사기간 동안 신규 동면처가 발견되면 조사대상으로 추가하였다. Kim *et al.* (2009)에 의해 제시된 과거 분석 결과를 포함하여 2016년까지 조사를 진행한 결과 전국에서 붉은박쥐 동면처 58곳이 확인되었다.

붉은박쥐는 활동기에는 산림을 주간 잠자리로 이용하며 10월 중순부터 이듬해 5월 말까지 자연동굴이나 폐광산에서 220일간 동면을 수행한다 (Kim *et al.*, 2013). 붉은박쥐는 10월 중순부터 이듬해 5월 말까지 동면을 수행하기 때문에 매년 12월을 기준으로 연도별 개체수를 산정하였다. 또한 2007년부터 2016년까지 수집된 자료는 동일한 연구자에 의해 얻어진 결과이기 때문에 수집된 자료의 조사자 및 조사시기 등의 차이로 인한 변수를 최소화하였다. 붉은박쥐는 동면처에서 동굴 벽면이나 천정에 1~3개체씩 매달려 몸을 드러낸 채 잠을 자기 때문에 (Kim *et al.*, 2009, 2013) 붉은박쥐 개체수 파악은 큰 어려움이 없이 수행되었다.

2. 동면처의 물리적 환경 측정

붉은박쥐의 동면처의 환경 특성을 분석하기 위하여 개체수가 비교적 많은 동면처 7곳의 내부 온도 환경을 측정하였다. 2007/2008년과 2012/2013년에 붉은박쥐 개체수가 20개 이상이었던 전라남도 지역의 5곳과 충청지역 2곳의 동면처에 온-습도 데이터로거(EL-USB-2 Temp/RH, Lasca Electronics Ltd, England)를 설치하여 동굴 내부의 온도와 습도 자료를 수집하였다. 동면처 내부 온도와 붉은박쥐 동면과 각성 시점과의 외부 기온의 상관을 알아보기 위해, 동면처 7곳과 인근에 위치한 기상청의 30년 평년기온 자료를 이용하여 분석하였다. 본 연구에 환경측정과 개체 확인은 박쥐 모니터링을 위한 권장되는 연구방법 지침을 준수하였다(Mitchell-Jones and McLeish, 1994; Eurobats, 1998; Kunz *et al.*, 2009).

3. 자료 분석

붉은박쥐는 동굴이나 폐광산을 동면 장소로 이용하며, 활동기에는 산림을 이용한다. 따라서 활동기 동안 붉은박쥐가 이용하는 주간 잠자리에 대한 자료 수집은 제한적이다. 동면기 서식지에 대한 모니터링 자료만으로 붉은박쥐 개체군 경향 분석 및 멸종위기종의 위협요인을 진단하는 것은 지엽적인 결과를 나타낼 수 있지만, 온대성 박쥐의 동면기 집단에 대한 장기 모니터링 결과는 전체 개체군의 경향을 대변하기에 충분한 것으로 판단된다(Tuttle, 2003; Pruitt and TeWinkel, 2007; Racey, 2009; Ingersoll *et al.*, 2013; Viogt and Kingston, 2016).

붉은박쥐 개체군 경향 분석을 위하여 2007년부터 2016년까지 진행된 조사자료는 이용하였다. 붉은박쥐의 개체군 경향은 TRIM (Trends and Indices for Monitoring data, version 3.54)을 이용하여 분석하였다. TRIM은 장기적인 모니터링 자료를 바탕으로 개체군의 변화를 평가함에 있어, 경우에 따라 조사를 진행하지 못해 발생된 결측치(missing counts)를 고려하여 분석할 때 특히 유용하다(Pannekoek and van Strien, 2005). TRIM은 다른 조사된 지역의 개체수의 변화에 기초하여, 결측치를 계산해 준다(Braak *et al.*, 1994). 본 연구에서는 조사된 58개 동면처 중에서 최소 2회 이상 조사된 53개 동면처를 대상으로 개체군 경향을 분석하였다.

동절기 동안 외부환경 변화에 대한 동면처의 내부의 온도 안전성을 분석하기 위하여 온도변화지수(Temperature variability index, V):  $V = (T_{max-roost} - T_{min-roost}) / (T_{max-surface} - T_{min-surface})$ 를 이용하였다(Tuttle and Kennedy, 2002). 여기서 T는 10월부터 6월까지 동면처 내부(roost)와 외부(surface)에서 기록된 최고 온도와 최저 온도를 의미하며 지수로 나타냈다. 만일 V값이 0에 가까우면 동면처 온도 안전성이 높은 것을 의미하고 반대로 1에 가까우면 온도 변화폭이 높아 불안정한 온도 환경을 의미한다.

연구 결과

1. 붉은박쥐 분포 현황

2007년부터 2016년까지 붉은박쥐 동면처를 대상으로 모니터링을 수행한 결과, 전국에서 58개 동면처에서 붉은박쥐 570개체를 확인하였다(Table 1). 붉은박쥐는 동면기간 동안 폐광산이나 자연동굴을 잠자리로 이용하였다. 조사기간 동안 관찰된 총 570개체 가운데 28개체(5%)는 자연동굴(n=8)에서 관찰되었고, 542개체(95%)는 폐광산(n=49)에서 확인되었다(Appendix 1). 동면처 내에 붉은박쥐의 출현이 5년 이상 지속된 곳은 49개소(84%)였으며, 동면처 내 출현된 붉은박쥐 개체수가 3개체 미만인 곳은 붉은박쥐의 동면처 출현이 5년 이상 지속되지 않았다.

2. 붉은박쥐 동면 장소의 환경 특성

붉은박쥐 동면 장소로 이용된 58곳 가운데 20개체 이상의 붉은박쥐가 지속적으로 동면 장소로 이용하고 있는 7곳(YH1, JJ, YA, JG, GS, JB, YH2)의 온습도 자료는 Table 2에 제시하였다. 붉은박쥐 동면처의 대기온도와 상대습도는 연중 안정적으로 유지되었다. JG의 평균 대기온도는  $12.76 \pm 0.29^{\circ}\text{C}$  (range 12.3~13.3 $^{\circ}\text{C}$ )였고, JJ는  $13.04 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$  (range 12.8~13.5 $^{\circ}\text{C}$ ), YA는 평균 대기온도는  $13.08 \pm 1.37^{\circ}\text{C}$  (range 12.1~15.9 $^{\circ}\text{C}$ ), JB는 평균 대기온도는  $15.07 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$  (range 15.0~15.5 $^{\circ}\text{C}$ ), YH1는 평균 대기온도는  $12.98 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$  (range 12.5~13.5 $^{\circ}\text{C}$ ), GS의 평균 대기온도는  $12.46 \pm 0.20^{\circ}\text{C}$  (range 12.0~13.0 $^{\circ}\text{C}$ ), YH2는 평균 대기온도는  $12.95 \pm 0.15^{\circ}\text{C}$  (range 12.5~13.0 $^{\circ}\text{C}$ )였다. 붉은

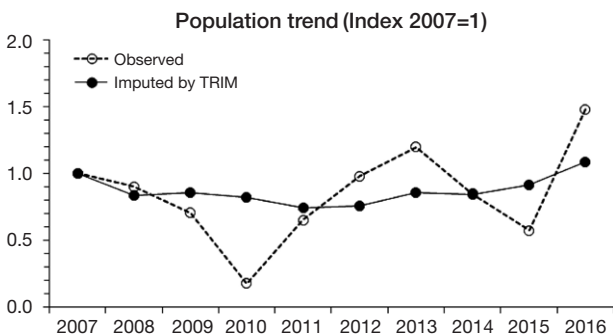
Table 1. Number of hibernacula surveyed and counts of Hodgson's bat (*Myotis formosus*) during the hibernation period in 2007~2016.

Year	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Max
Sites	29	30	22	7	22	31	36	24	19	28	58
Bats	251	219	171	43	159	238	291	206	139	359	570

**Table 2.** Ambient temperature and humidity in 2007/2008 and 2012/2013 were measured at roosting position within seven major hibernacula of *Myotis formosus* in Korea.

Hibernaculum (Year)	Temperature (°C)		Humidity (%)		V value <sup>1</sup>
	Mean ± SD	Range	Mean ± SD	Range	
JG (2007/08)	12.76 ± 0.29	12.3~13.3	99.3 ± 0.86	98~100	0.037
JJ (2007/08)	13.04 ± 0.17	12.8~13.5	100 ± 0.00	100~100	0.026
YA (2007/08)	13.08 ± 1.37	12.1~15.9	97.7 ± 0.28	97~100	0.166
JB (2007/08)	15.07 ± 0.17	15.0~15.5	99.3 ± 0.86	98~100	0.018
YH1 (2012/13)	12.98 ± 0.18	12.5~13.5	99.7 ± 0.64	98~100	0.037
GS (2012/13)	12.46 ± 0.20	12.0~13.0	98.6 ± 1.87	92.5~100	0.027
YH2 (2012/13)	12.95 ± 0.15	12.5~13.0	99.9 ± 0.54	93.0~100	0.014

<sup>1</sup>Index of temperature variability (V): a small value indicates a stable internal environment that varies little with changing external conditions.

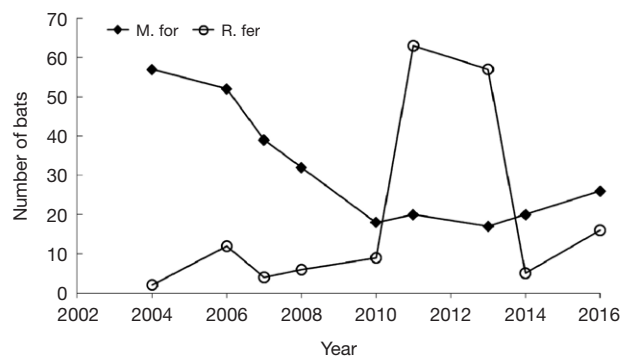
**Fig. 1.** The population trend of *Myotis formosus* hibernating in Korea during 2007~2016. Both observed and imputed value by TRIM were indexed as 2007 = 1.

박쥐 동면처가 위치한 인근 지역의 연간 외부 최저기온은  $-7.6 \sim 19.5^{\circ}\text{C}$  (2007/8년, 전남 목포),  $-17.8 \sim 19.5^{\circ}\text{C}$  (2012/13년, 충남 천안)로 계절에 따른 변화가 심하였지만, 붉은박쥐 동면처 7곳의 내부 대기온도의 변화는 연간  $1^{\circ}\text{C}$  이하로 매우 안정적으로 유지되었다 (range  $V = 0.014 - 0.166$ , Table 2).

### 3. 붉은박쥐 개체군 경향과 위협 원인

TRIM에 의해 분석한 붉은박쥐 개체군의 변화는 안정적 (Trend = stable, slope = 1.01, SE = 0.01, N = 53)으로 나타났다 (Fig. 1). 비록 동면처에서 관찰된 실제 자료에 의하면 2010년과 2015년에 개체수가 감소되는 것으로 보이지만, 이는 실제로 동면처를 조사하지 못한 이유에 있다. 따라서 2007년 이후 붉은박쥐 개체군은 큰 변화 없이 개체군이 안정적으로 유지되고 있다고 판단된다.

2007년부터 2016년까지 조사가 수행된 기간 동안 붉은박쥐의 동면처 YA (2010년)와 JN (2014년)에서 동면처의 구조가 변화된 것을 관찰하였다. 동면처의 구조가 변화

**Fig. 2.** The change of hibernating bats (*Myotis formosus* and *Rhinolophus ferrumequinum*) in the YA during winter seasons from 2004 to 2016.

된 이후 붉은박쥐 개체수는 감소되었다. YA의 경우 2012년 동면처의 내부 막장에서 야생동물(오소리 추정)에 의한 구멍(직경  $20 \times 10 \text{ cm}$ )을 확인하였다. JN의 경우 2014년에 입도 개설로 인하여 동면처 입구의 구조가 변경되었고, 이로 인하여 폐갱도의 총 연장이 기존 30 m에서 25 m로 줄어들었다. 동면처의 구조가 변경된 시점에 각 동면처 내 붉은박쥐의 개체수는 감소되거나 관찰되지 않았다. 2010년 동면처 막장에 생긴 구멍으로 인해 동면처의 온도가 낮아진 YA의 붉은박쥐 개체수는 2012년에 20개체로 감소된 반면 관박쥐의 개체수는 증가 되었다 (Fig. 2). JN의 경우 2006년에 붉은박쥐 3개체가 처음 확인되었고 2013년까지 14개체로 증가되었으나, 입구 구조가 변경된 2014년부터 개체수가 감소되다 2016년에는 관찰되지 않았다.

## 논 의

박쥐 개체군이 직면하고 있는 위협은 여러 가지 요인이

동시 다발적으로 발생되거나 위험요인 간 상호작용으로 위험의 정도는 증가되어 개체군에 치명적인 영향을 주게 된다(Harvell *et al.*, 2002; Laurance and Useche, 2009). 또한 여러 가지 위험요인에 장기간 노출되어 개체군의 변화가 발생할 수 있기 때문에, 개체군의 장기 모니터링은 개체군 보전에 중요한 의미를 지닌다(Kannan *et al.*, 2010).

박쥐의 중간 온도 선호도에 관한 실험 연구와 현장 자료가 상호 보완된 선행 연구에 의하면, 동면기간 동안 직면된 에너지 문제 해결에 대한 박쥐의 유연성과 다양한 종의 동면 전략에 대한 이해를 증진시킨다(Boyles *et al.*, 2011; Geiser and Stawski, 2011). 따라서 장기적으로 박쥐가 출현된 동면 장소는 대상 종에 적합한 서식지로 가정되어지며(Ransome, 1968; Tidemann and Flavel, 1987; O'Donnell, 2000; Kunz and Lumsden, 2003), 현재의 분포 및 행동, 생리적 특성 등은 개체의 적합도를 최대화하는 단서로 이해될 수 있다(Boyles *et al.*, 2007; Geiser and Stawski, 2011).

**1. 붉은박쥐 온도 선호도와 서식지 이용 특성**

붉은박쥐가 동면처 간 이동을 하지 않고 220일 동안 한 곳에서 동면을 수행하는 것(Kim *et al.*, 2013)을 감안할 때, 현재 붉은박쥐가 출현된 동면 장소의 지속적인 관리는 멸종위기종 보전을 위한 핵심 항목이다. 일부 동면처에서 개체수가 감소되었음에도 불구하고 TRIM 분석 결과 붉은박쥐 개체군이 안정적이라는 것은 서식지 보호 관리의 중요성을 의미한다. 박쥐의 서식지 충실도(site fidelity)는 동면 장소의 영구성과 휴식시에 요구되는 생태적 요구에 대한 적합성에 의하여 영향을 받는다(Kunz, 1982; Lewis, 1995). 2007년부터 2016년까지 모니터링 결과, 58개 동면처 중에서 대부분의 동면처(48개소)에서 붉은박쥐의 출현은 5년 이상 지속되었다.

온대지역에서 박쥐의 동면 전략은 중간 선호되는 온도와 일치되는 안정적인 동면 장소를 선택하여 에너지 소비를 최소화하는 것이다(Geiser, 1988; Speakman and Thomas, 2003; Wojciechowski *et al.*, 2007). 붉은박쥐에 의해 선택된 동면처는 평균 12.13~15.07°C와 92% 이상의 습도가 동면기간 동안 안정되게 유지되었다(Table 2). 붉은박쥐의 동면처의 미소환경 특성은 수문대사율과 연관되며 동면기간 동안 에너지대사를 최소화하는 데에 기여할 것으로 판단된다. 붉은박쥐가 출현된 58개 동면처가 폐광산과 자연동굴이라는 점을 감안하면 현재 붉은박쥐 서식지의 관리의 중요성은 더욱 커진다. 자연동굴이나 폐광산은 제한적이고, 향후 확장될 가능성이 낮다(Humphries *et al.*, 2002). 또한 멸종위기종 붉은박쥐 보전을 위하여 새로

운 서식지를 조성하는 것 또한 쉽지 않다. 따라서 동면기간 동안 동면처의 내부의 온도가 안정적으로 유지되는 동굴과 폐광은 멸종위기종의 잠재 서식지로서 기능하게 된다. 현재 붉은박쥐가 출현된 서식지의 구조와 환경이 유지되도록 관리함으로써 동면기간 동안 붉은박쥐의 생태적 요구가 충족될 수 있도록 서식지를 관리하는 것은 멸종위기종인 붉은박쥐의 보전 및 서식지 보호 관리를 위한 핵심 사항이다.

**2. 붉은박쥐의 서식지 특성과 서식지 충실도**

온대지역에서 먹이자원이 고갈되는 겨울에 박쥐를 포함한 온혈동물이 선택하는 동면(hibernation)은 제한된 에너지 문제에 대한 적응방식으로 이해된다(Lyman *et al.*, 1982; Nedergaard *et al.*, 1990). 박쥐류는 분포 지역의 환경과 생활사 전략에 따라서 개체의 적합도를 높일 수 있는 종특이적인 온도 선호도를 선택한다(Webb *et al.*, 1996; Arlettaz *et al.*, 2000; Boyles *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2013). 결과에 제시된 붉은박쥐 동면처 7곳의 환경 특성(대기온도와 습도)은 외부환경 변화에 비해 안정적으로 유지되었고(Table 2), 붉은박쥐는 에너지대사를 최소화하기 위하여 동면기간 동안 동면처 간 이동을 하지 않고 단일 동굴을 지속적으로 이용한다(Kim *et al.*, 2013). 현재의 동면처는 붉은박쥐가 성공적인 동면 수행을 위해 에너지 사용을 최소화할 수 있는 최적의 조건을 제공한 것으로 판단된다. 특정 종의 서식지 요구 조건을 도출하기 위한 적합한 지표(indicator)는 안정적인 개체군에 의해 이용되는 서식지의 특성과 부합되기 때문에(Tidemann and Flavel, 1987; O'Donnell, 2000; Kunz and Lumsden, 2003), 본 결과에서 얻은 붉은박쥐 온도 선호도와 동면처 특성은 붉은박쥐의 잠자리 요구 조건으로서 타당성을 갖는 것으로 판단된다.

**3. 동면처 환경 변화의 영향**

동굴환경의 시공간적 변화에 의해 박쥐의 분포 및 출현종이 달라지기 때문에, 박쥐종 분포와 동굴 이용 목적에 대한 자료는 향후 서식지 보전 및 관리 방안 수립에 방향점을 제시해 준다(Morrison *et al.*, 1998; Romoero, 2009). 생태적 적합도를 높일 수 있는 동면처 내 대상 종의 출현여부는 서식지 내 간섭요인에 의한 개체군 변화의 원인을 진단할 수 있는 근거를 제시해줄 수 있다(Ktys, 2002; Brack, 2007). 본 연구에서 붉은박쥐 개체군은 전체적으로 안정적이었지만(Fig. 1), 일부 동면 장소에서 개체수가 감소된 이후 다시 증가되는 양상과 YA와 JN에서 처럼 동면처 환경 변화에 의한 붉은박쥐 개체수 변화를 주목할 필요

가 있다. TRIM 결과 분석에서 붉은박쥐 개체군의 전체적인 경향은 안정적이었고, 붉은박쥐 동면처의 환경은 안정적으로 유지되었다. 그럼에도 동면처의 내 개체수가 감소되었다는 것은 서식지 내 간섭요인의 발생을 의미할 수 있다. 2008년과 비교하여 오소리에 의해 막장에 생긴 구멍으로 외부 대기가 유입됨에 따라 암벽 온도와 붉은박쥐가 주로 동면하는 장소인 막장의 온도는 평상시에 비해 약 2°C 낮아졌다(NIER, 2012). YA 내부의 온도 변화는 붉은박쥐에 비해 낮은 온도 선호도를 갖는 관박쥐 증가와 더불어 동굴 내부의 온도변화가 붉은박쥐의 위협요인으로 어떻게 작용하는지에 대한 증거를 제시한다. YA의 경우 2010년 붉은박쥐 동면 개체수가 급감되면서 동면처 내부에 관박쥐 개체수가 증가하였다(Fig. 2). 또 다른 붉은박쥐의 동면처인 JN의 구조 변화(충연장 감소, 입구 확대)로 인해 변화된 환경은 붉은박쥐 개체수 감소와 연관된다. 일부 동면 장소에 국한되어 나타난 붉은박쥐 개체수의 감소 시기는 동면처 내의 간섭요인의 발생과 연관된다. 2012년 YA의 내부의 구조 변화(NIER, 2012)로 인한 대기온도 변화, 동면처 내 출현된 종의 비율의 변화와 더불어 붉은박쥐 전체 개체군의 안정적으로 유지된다는 TRIM 분석 결과는 붉은박쥐 동면 장소의 보전관리에 있어 중요한 방향을 제시한다(Fig. 2). 즉 동면 장소 내 인위적인 간섭이 없다면 붉은박쥐 개체군은 안정적으로 유지될 수 있다. 특히 주요 동면처의 경우, 환경 변화 등 간섭요인에 의해 개체수가 일시적으로 감소되었으나 이후 안정적으로 증가되는 경향성을 나타냈다. 이러한 사실은 붉은박쥐 개체군의 보전을 위한 보호 관리 방안이 명확해짐을 의미한다. 인위적인 간섭요인이 배제되고 현재의 동면처 환경이 안정적으로 지속된다면 멸종위기종인 붉은박쥐 개체군은 유지 및 지속적인 성장이 가능하게 된다. 한편으로 멸종위기종인 붉은박쥐의 보전 전략은 서식지 보호 및 관리가 보호 관리 방안의 핵심 항목이 된다는 것을 반증하기도 한다.

박쥐는 동일한 몸 크기의 설치류에 비해 수명이 길고, 번식률이 낮기 때문에 서식지 내 환경 변화나 인위적 간섭 등 위협요인의 발생은 박쥐 개체군 감소에 직접적인 영향을 준다(Barclay *et al.*, 2004; Voigt and Kingston, 2016). 본 연구에서 수행된 동면 장소의 개체군 경향 및 서식지 특성만으로 멸종위기종인 붉은박쥐 개체군의 성장을 제한하는 요인이 무엇인지 밝히는 것은 한계가 있다. 하지만, 성공적인 동면 수행을 위하여 요구되는 종특이적인 온도 선호 및 서식지 특성에 기반하여 현재 붉은박쥐가 출현된 장소의 지속적인 관리를 통한 종 보전을 위한 관리 방안 수립하는 것은 설득력을 가진다. 멸종위기종인 붉은박쥐의 장기 모니터링 결과에 근거하여 서식지 보전 및 관리 방안의 기

준과 목표 설정을 위한 기준 제시는 위협요인 진단에 대한 신뢰도를 높여 주고 멸종위기종 보전을 위한 서식지 관리 방안을 위한 효율성을 높일 수 있다.

## 적 요

온대지역에서 동면박쥐에 대한 분포와 생태정보는 대상 종의 보전 및 서식지 보호 관리의 효율성을 높인다. 본 연구에서 멸종위기종인 붉은박쥐 개체군 경향 분석과 생태적 요구 조건을 파악하여 보호 관리 방안을 제시하고자 하였다. 2007년부터 2016년까지 조사를 수행한 결과, 전국 58개의 동면처에서 붉은박쥐 570개체가 확인되었다. 붉은박쥐가 이용한 동면처의 유형은 자연동굴에 비해 폐광산이 많았으며, 폐광산에서 보다 더 많은 붉은박쥐 개체가 동면하는 것이 확인되었다. 붉은박쥐의 동면처는 평균 12.13~15.07°C의 온도와 92% 이상의 습도가 동면기간 동안 안정되게 유지되었다. 장기적인 모니터링 자료를 바탕으로 멸종위기종인 붉은박쥐의 개체군의 변화를 평가하기 위하여 TRIM을 이용하여 분석한 결과, 붉은박쥐 개체군의 변화는 안정적인 것으로 평가되었다. 그럼에도 불구하고 일부 동면처 사례를 통하여 동면처의 구조 및 환경 변화로 인한 붉은박쥐 개체수가 급감되는 사실을 확인하였다. 본 연구는 장기 모니터링 결과에 근거한 개체군 경향분석 결과와 현장 사례를 분석을 통하여 멸종위기종인 붉은박쥐의 보전 및 서식지 보호 관리 방향을 제시한다. 따라서 멸종위기종인 붉은박쥐의 서식지 보호 관리 방안은 방향은 종의 온도 선호도 및 서식지 환경이 변화되지 않도록 유지하는 것과 서식지 내 인위적인 간섭요인을 차단하는 것은 중요 사항이 될 것이다.

## 사 사

오랜 조사기간 동안 험난한 동굴 조사를 동참해주신 최수산 선생님(야생동식물보호협회) 김봉현 선생님(한국동물연구소)께 감사드립니다. 국내에 분포한 천연동굴에 대한 정보와 자료를 공유해주시고 원활한 조사 진행을 위해 협조해주신 최용근(한국동물생물연구소) 선생님과 김련박사님(한국동물연구소)께 감사드립니다.

## REFERENCES

Agosta, S.J. 2002. Habitat use, diet and roost selection by the

- big brown bat (*Eptesicus fuscus*) in North America: A case for conserving an abundant species. *Mammal Review* **32**: 179-198.
- Alcock, J. 1998. Animal behavior: an evolutionary approach, 6th ed. Sinauer, Sunderland, Mass.
- Arlettaz, R., C. Ruchet, J. Aeschimann, E. Brun, M. Genoud and P. Vogel. 2000. Physiological traits affecting the distribution and wintering strategy of the bat *Tadarida teniotis*. *Ecology* **81**: 1004-1014.
- Barclay, R.M., J. Ulmer, C.J. MacKenzie, M.S. Thompson, L. Olson, J. McCool and G. Poll. 2004. Variation in the reproductive rate of bats. *Canadian Journal of Zoology* **82**: 688-693.
- Battersby, J. 2010. Guidelines for Surveillance and Monitoring of European Bats. EUROBATS Publication Series No. 5. UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 95pp.
- Bouma, H.R., H.V. Carey and F.G. Kroese. 2010. Hibernation: the immune system at rest? *Journal of Leukocyte Biology* **88**: 619-624.
- Boyles, J.G., M.B. Dunbar, J.J. Storm and V. Brack. 2007. Energy availability influences microclimate selection of hibernating bats. *Journal of Experimental Biology* **210**: 4345-4350.
- Braak, C.J.F. ter, A.J. Van Strien and R. Meijer. 1994. Analysis of monitoring data with many missing values: which method? p. 663-673. In: Bird Numbers 1992. Distribution, monitoring and ecological aspects (Hagemeijer, E.J.M. and T.J. Verstrael, eds.). Proceedings of the 12th International Conference of IBCC and EOAC, Noordwijkerhout, The Netherlands. Statistics Netherlands, Voorburg/Heerlen & SOVON, Beek-Ubbergen.
- Brack, V., Jr. 2007. Temperatures and locations used by hibernating bats, including *Myotis sodalis* (Indiana bat), in a limestone mine: implications for conservation and management. *Environmental Management* **40**: 739-746.
- Brady, J., T.H. Kunz, M.D. Tuttle and D. Wilson. 1982. Gray Bat Recovery Plan. Denver, Colorado: U.S. Fish and Wildlife Service.
- Busotti, S., A. Terlizzi, S. Frascchetti, G. Belmonte and F. Boero. 2006. Spatial and temporal variability of sessile benthos in shallow Mediterranean marine caves. *Marine Ecology Progress Series* **325**: 109-119.
- Dietz, C., D. Nill and O. von Helversen. 2009. Bats of Britain, Europe and Northwest Africa. A and C Black.
- Elgar, M.A. and P.H. Harvey. 1987. Basal metabolic rates in mammals: allometry, phylogeny and ecology. *Functional Ecology* **1**: 25-36.
- Encarnação, J.A., M.S. Otto and N.I. Becker. 2012. Thermoregulation in male temperate bats depends on habitat characteristics. *Journal of Thermal Biology* **37**: 564-569.
- Fenton, M.B. 1997. Science and the conservation of bats. *Journal of Mammalogy* **78**: 1-14.
- Foley, J., D. Clifford, K. Castle, P. Cryan and R.S. Ostfeld. 2011. Investigating and managing the rapid emergence of white-nose syndrome, a novel, fatal, infectious disease of hibernating bats. *Conservation Biology* **25**: 223-231.
- Geiser, F. and C. Stawski. 2011. Hibernation and torpor in tropical and subtropical bats in relation to energetics, extinctions, and the evolution of endothermy. *Integrative and Comparative Biology* **51**: 337-348.
- Geiser, F. and G.J. Kenagy. 1988. Torpor duration in relation to temperature and metabolism in hibernating ground squirrels. *Physiological Zoology* **61**: 442-449.
- Geiser, F. and T. Ruf. 1995. Hibernation versus daily torpor in mammals and birds: physiological variables and classification of torpor patterns. *Physiological Zoology* **68**: 935-966.
- Gregory, R.D., P. Vorisek, D.G. Noble, A.J. Van Strien, A. Kivanova, M. Eaton, A.W. Meyling, A. Joys, R.P.B. Foppen and I.J. Burfield. 2008. The generation and use of bird population indicators in Europe. *Bird Conservation International* **18**: S223-S244.
- Harvell, C.D., C.E. Mitchell, J.R. Ward, S. Altizer and A.P. Dobson. 2002. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science* **296**: 2158-2162.
- Hayssen, V. and R.C. Lacy. 1985. Basal metabolic rates in mammals: taxonomic differences in the allometry of BMR and body mass. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology* **81**: 741-754.
- Humphrey, S.R. and M.K. Oli. 2015. Population dynamics and site fidelity of the cave bat, *Myotis velifer*, in Oklahoma. *Journal of Mammalogy* **96**: 946-956.
- Humphries, M.M., D.W. Thomas and J.R. Speakman. 2002. Climate-mediated energetic constraints on the distribution of hibernating mammals. *Nature* **418**: 313-316.
- Ingersoll, T.E., B.J. Sewall and S.K. Amelon, 2013. Improved analysis of long-term monitoring data demonstrates marked regional declines of bat populations in the eastern United States. *PLoS One* **8**: e65907.
- Kannan, K., S.H. Yun, R.J. Rudd and M. Behr. 2010. High concentrations of persistent organic pollutants including PCBs, DDT, PBDEs and PFOS in little brown bats with white-nose syndrome in New York, USA. *Chemosphere* **80**: 613-618.
- Keith, W.M., D.M. Leslie, Jr., M.E. Payton, W.L. Puckette and S.L. Hensley. 2006. Impacts of passage manipulation on cave climate: conservation implications for cave-dwelling bats. *Wildlife Society Bulletin* **34**: 137-143.
- Kim, S.S., Y.S. Choi and J.C. Yoo. 2013. Thermal preference and hibernation period of Hodgson's bats (*Myotis formosus*) in the temperate zone: how does the phylogenetic origin of a species affect its hibernation strategy? *Canadian Journal of Zoology* **91**: 47-55.
- Kim, S.S., Y.S. Choi and J.C. Yoo. 2014. The thermal preference and the selection of hibernacula in seven cave-dwelling bats. *Korean Journal of Ecology and Environment* **47**:

- 258-272.
- Kłys, G., Z. Caputa and P. Gula. 2002. Bats hibernation and ecoclimate in historical mine of Tarnowskie Gory-Bytom undergrounds. *Materiały XXI Szkoły Speleologicznej, Cieszyn-MoraawskiKras* 7: 45-49.
- Kokurewicz, T. 2004. Sex and age related habitat selection and mass dynamics of Daubenton's bats *Myotis daubentonii* (Kuhl, 1817) hibernating in natural conditions. *Acta Chiropterologica* 6: 121-144.
- Kunz, T.H. and L.F. Lumsden. 2003. Ecology of cavity and foliage roosting bats, p. 3-89. *In: Bat Ecology* (Kunz, T.H. and M.B. Fenton, eds.). The University of Chicago Press, Chicago.
- Kunz, T.H., M. Betke, N.I. Hristov and M.J. Vonhof. 2009. Methods for assessing colony size, population size, and relative abundance of bats, p. 133-158. *In: Ecological and behavioral methods for the study of bats*, 2nd ed (Kunz, T.H. and S. Parsons, eds.). Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- Laurance, W.F. and D.C. Useche. 2009. Environmental synergisms and extinctions of tropical species. *Conservation Biology* 23: 1427-1437.
- Lewis, S.E. 1995. Roost fidelity of bats: a review. *Journal of Mammalogy* 76: 481-496.
- Lorch, J.M., C.U. Meteyer, M.J. Behr, J.G. Boyles, P.M. Cryan, A.C. Hicks, A.E. Ballmann, J.T.H. Coleman, D.N. Redell, D.M. Reeder and D.S. Blehert. 2011. Experimental infection of bats with *Geomyces destructans* causes white-nose syndrome. *Nature* 480: 376-378.
- Lyman, C.P., J.S. Willis, A. Malan and L.C.H. Wang, eds. 1982. Hibernation and Torpor in Mammals and Birds. Academic Press, New York.
- McNab, B.K. 1974. The behavior of temperate cave bats in a subtropical environment. *Ecology* 55: 943-958.
- McNab, B.K. 1982. Evolutionary alternative in the physiological ecology of bats. p. 151-196. *In: Ecology of Bats* (T.H. Kunz, ed.). Plenum Publishing Corporation, New York.
- McNab, B.K. 1997. On the utility of uniformity in the definition of basal metabolic rate. *Physiological Zoology* 70: 718-720.
- Morrison, M.L., B.G. Marcot and R.W. Mannan. 1998. Wildlife-habitat relationships: concepts and applications, 2nd ed. University of Wisconsin Press.
- NIER. 2012. The Survey on Ecological landscape Conservation Area: Yangpicheon and Gosanbong. NIER. 644 p. (in Korean)
- O'Donnell, C.F.J. 2000. Conservation status and causes of decline of the threatened New Zealand long-tailed bat *Chalinolobus tuberculatus* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Mammal Review* 30: 89-106.
- O'Shea, T.J., M.A. Bogan and L.E. Ellison. 2003. Monitoring trends in bat populations of the United States and territories: status of the science and recommendations for the future. *Wildlife Society Bulletin* 31: 16-29.
- Pannekoek, J. and A. van Strien. 2005. TRIM 3 Manual (TRENDS & Indices for Monitoring data). Statistics Netherlands, Voorburg. 29pp.
- Perry, R.W. 2012. A review of factors affecting cave climates for hibernating bats in temperate North America. *Environmental Reviews* 21: 28-39.
- Pruitt, L. and L. TeWinkel, eds. 2007. Indiana Bat (*Myotis sodalis*) Draft Recovery Plan: First Revision. Fort Snelling, Minnesota: U.S. Fish and Wildlife Service. 258 p.
- Racey, P.A. 2009. Bats: status, threat and conservation success-Introduction. *Endangered Species Research* 8: 1-3.
- Raesly, R.L. and J.E. Gates. 1987. Winter habitat selection by north temperate cave bats. *American Midland Naturalist* 118: 15-13.
- Ransome, R.D. 1968. The distribution of the greater horse-shoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum*, during hibernation, in relation to environmental factors. *Journal of Zoology* 154: 77-112.
- Romero, A. 2009. Cave Biology: Life in Darkness. Cambridge University Press.
- Sandel, J.K., G.R. Benetar, K.M. Burke, C.W. Walker, T.E. Lacher, Jr. and R.L. Honeycutt. 2001. Use of selection of winter hibernacula by the Eastern Pipistrelle (*Pipistrellus subflavus*) in Texas. *Journal of Mammalogy* 82: 173-178.
- Scalet, C.G., L.D. Flake and D.W. Willis. 1996. Introduction to wildlife and fisheries: an integrated approach. W.H. Freeman.
- Schmidt-Nielsen, K. 1997. Animal physiology: adaptation and environment. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- 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. *Journal of Animal Ecology* 58: 797-813.
- Stadelmann, B., D.S. Jacobs, C. Schoeman and M. Ruedi. 2004. Phylogeny of African *Myotis* bats (Chiroptera, Vespertilionidae) inferred from cytochrome *b* sequences. *Acta Chiropterologica* 6: 177-192.
- Stawski, C. and F. Geiser. 2011. Do season and distribution affect thermal energetics of a hibernating bat endemic to the tropics and subtropics? *The American Journal of Physiology* 301: R542-R547.
- Stawski, C. and F. Geiser. 2012. Will temperature effects or phenotypic plasticity determine the thermal response of a heterothermic tropical bat to climate change? *PLoS ONE* 7: e40278.
- Thomas, D.W. 1995. Hibernating bats are sensitive to nontactile human disturbance. *Journal of Mammalogy* 76: 940-946.
- Thomas, D.W., M. Dorais and J.M. Bergeron. 1990. Winter energy budgets and cost of arousals for hibernating little brown bats, *Myotis lucifugus*. *Journal of Mammalogy* 71:



- 475-479.
- Tidemann, C.R. and S.C. Flavel. 1987. Factors affecting choice of diurnal roost site by tree-hole bats (Microchiroptera) in southeastern Australia. *Wildlife Research* **14**: 459-473.
- Turbill, C., C. Bieber and T. Ruf. 2011. Hibernation is associated with increased survival and the evolution of slow life histories among mammals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Science* **278**: 3355-3363.
- Tuttle, M.D. 2003. Estimating population sizes of hibernating bats in caves and mines, p. 31-39. *In: Monitoring Trends in Bat Populations of the United States and Territories: Problems and Prospects* (O'Shea, T.J. and M.A. Bogan, eds.). Information and Technology Report, USGS.
- Tuttle, M.D. and D. Stevenson. 1982. Growth and survival of bats, p. 105-150. *In: Bat Ecology* (Kunz, T.H. and M.B. Fenton, eds.). The University of Chicago Press, Chicago.
- Tuttle, M.D. and J. Kennedy. 2002. Thermal requirements during hibernation, p. 68-78. *In: The Indiana Bat: Biology and Management of an Endangered Species* (Kurta, A. and J. Kennedy, eds.). Bat Conservation International.
- Voigt, C.C. and T. Kingston, eds. 2016. Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world (Vol. 606). New York: Springer Open.
- Wang, H.G., R.D. Owen, C.S Hernandez and M.D.L. Romero-Almaraz. 2003. Ecological characterization of bats species distribution in Michoacan, Mexico using a geographic information system. *Global Ecology and Biogeography* **12**: 65-85.
- Webb, P.I., J.R. Speakman and P.A. Racey. 1996. How hot is a hibernaculum? A review of the temperatures at which bats hibernate. *Canadian Journal of Zoology* **74**: 761-765.
- Wong, S., S. Lau, P. Woo and K.Y. Yuen. 2007. Bats as a continuing source of emerging infections in humans. *Reviews in Medical Virology* **17**: 67-91.

Appendix 1. Annual counts of *Myotis formosus* hibernating during 2007~2016.

Province	Cave*	Type <sup>s</sup>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Max
Gangwon	BG	C	-	-	-	-	-	-	1	-	0	-	1
	GR1	M	-	6	-	-	-	4	5	-	0	1	6
	GR2	M	-	-	-	-	-	-	-	-	5	9	9
	DD	M	0	-	-	2	0	1	1	-	3	-	3
	GC	C	1	-	-	0	-	-	0	0	0	0	1
	SJ	C	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2
	SO	C	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	YH1	M	-	3	2	-	3	1	0	1	-	2	3
WC	M	0	0	0	-	0	0	1	0	0	0	1	
Gyeonggi	SP	M	8	4	-	0	4	8	7	2	3	13	13
	CR	M	-	-	-	-	-	2	1	9	9	5	9
	SJ2	M	-	2	-	1	-	-	-	-	-	-	2
Gyeongnam	GD	M	-	-	-	-	-	3	2	1	-	3	
Gyeongbuk	HG	M	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	2
	YD	M	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Jeonnam	YJ	M	-	-	-	-	-	2	2	0	-	0	2
	LS	M	2	4	2	-	3	2	1	2	-	2	4
	CM	M	-	2	0	-	-	-	0	0	-	4	4
	BD	M	3	5	4	-	4	3	6	3	-	1	6
	YH1	M	-	17	-	-	28	43	57	-	-	114	114
	JB	M	33	27	-	-	-	3	2	1	-	-	33
	DD	M	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	JC1	M	2	2	3	-	4	2	4	8	-	2	8
	JG	M	25	25	13	-	9	8	21	19	-	25	25
	JC2	M	49	41	32	-	38	43	30	32	-	49	49
	DY1	M	-	1	1	-	1	2	5	4	-	2	5
	DY2	M	0	0	2	1	0	3	0	0	-	0	3
	SH	M	3	2	2	2	0	0	0	1	-	1	3
	YA	M	39	32	39	-	18	20	17	20	-	26	39
	YS1	M	0	0	0	0	0	1	0	0	-	0	1
MD	M	3	4	6	0	0	2	2	0	-	0	6	
JN	M	3	2	2	6	4	7	14	4	-	0	14	
HS	C	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Jeonbuk	SL	M	-	3	6	-	3	4	2	0	3	-	6
Jeju	GR	C	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
Chungnam	AS	M	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	1
	YH2	M	-	-	-	-	22	12	14	-	9	-	22
	SG	M	10	7	6	-	6	3	4	6	-	2	10
	DS	M	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
	SG	M	2	-	-	-	2	-	2	-	-	-	2
	DL	M	-	-	-	-	-	1	1	0	-	-	1
Chungbuk	GN	C	1	-	-	-	1	0	0	0	-	-	1
	BB	C	-	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1
	GJ	C	2	-	-	-	2	-	6	20	-	4	20
	SC	M	2	2	2	1	2	2	2	0	3	-	3
	GS	M	40	-	39	30	-	32	38	43	45	43	45
	DM	M	1	2	2	-	2	2	5	5	-	5	5
	MR1	M	-	-	-	-	-	-	-	-	0	3	3
	MR2	M	-	-	-	-	-	-	-	-	11	10	11
	MR3	M	-	-	-	-	-	-	-	-	4	3	4
MR4	M	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6	6	

Appendix 1. Continued.

Province	Cave*	Type <sup>§</sup>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Max
Chungbuk	YH	M	–	2	3	–	–	4	7	7	8	4	8
	SGG1	M	4	2	1	–	–	1	1	1	1	1	4
	SGG2	M	4	3	2	–	–	0	5	2	1	0	5
	TC2	M	–	0	1	–	0	1	1	3	1	4	4
	HN2	M	–	2	–	–	–	–	7	7	8	4	8
	SP	M	–	11	–	–	–	17	13	4	13	14	17
	YJ	M	1	2	1	0	0	0	0	0	0	–	2
No. of sites			29	30	22	7	22	31	36	24	19	28	58
No. of bats			251	219	171	43	159	238	291	206	139	359	570

\*To preserve habitats of endangered species *Myotis formosus*, the name and details of the hibernation sites was omitted.

<sup>§</sup>Type of site: natural cave (C) and abandoned mine (M)

Hyphens (–) in table indicates non-survey site.