

한국에 서식하는 관박쥐 *Rhinolophus ferrumequinum*, 집박쥐 *Pipistrellus abramus*, 큰발윗수염박쥐 *Myotis macrodactylus*의 반향정위 형태

정철운 · 한상훈* · 임춘우 · 김성철 · 이화진 · 권용호 · 김철영 · 이정일

동국대학교 생명과학과, *국립생물자원관

(2009년 8월 13일 접수; 2009년 9월 15일 수정; 2009년 10월 22일 채택)

General Patterns in Echolocation Call of Greater Horseshoe Bat *Rhinolophus ferrumequinum*, Japanese Pipistrelle Bat *Pipistrellus abramus* and Large-Footed Bat *Myotis macrodactylus* in Korea

Chul-Un Chung, Sang-Hoon Han*, Chun-Woo Lim, Sung-Chul Kim,
Hwa-Jin Lee, Yong-Ho Kwon, Chul-Young Kim and Chong-Il Lee

Department of Life Science, Dongguk University, Gyeongju 780-714, Korea

*National Institute of Biological Resources, Incheon 404-170, Korea

(Manuscript received 13 August, 2009; revised 15 September, 2009; accepted 22 October, 2009)

Abstract

In this study, we analyzed the pulse-duration, pulse-interval and peak-frequency of echolocation call in three species as *Rhinolophus ferrumequinum*, *Pipistrellus abramus*, and *Myotis macrodactylus*. The peak frequency and pulse duration for above mentioned species were 69 kHz, 47 kHz and 49 kHz and 69.39±8.76 ms, 4.95±0.77 ms and 3.09±0.48 ms for *R. ferrumequinum*, *P. abramus* and *M. macrodactylus*, respectively. The pulse intervals for *R. ferrumequinum*, *P. abramus* and *M. macrodactylus* were 103.61±9.05 ms, 67.59±3.47 ms and 66.35±4.96 ms, respectively. The pulse pattern of *R. ferrumequinum* was setting into a short FM call and linked to long CF call and went through the short FM call again. The pulse pattern of *M. macrodactylus* was comprised with serial short FM call and the CF call was not checked up in accordance with the spectrogram analysis. The long FM call and short CF call got join together for the *P. abramus* and the peak frequency was checked up at the pulse ending as CF call.

Key Words : Bat, CF call, Echolocation, FM call, Pulse

1. 서론

박쥐는 남북 극지 지대를 제외한 열대에서 아한대 지역에 걸쳐 광범위하게 서식하고 있으며, 지금까지

1,100종 이상이 기록되어 있는 분류군으로¹⁾, 종의 풍부도와 생태학적 다양성으로 볼 때 가장 성공적으로 적응진화한 포유동물이다²⁾. 박쥐는 공간인지 및 먹이의 탐색을 위하여 초음파를 이용하고 이러한 특징을 포함하여 박쥐가 가지고 있는 형태학적, 생리학적, 행동학적 적응기작들은 야간 서식지와 폭넓은 자원의 이용을 가능하게 한 요인으로 알려져 있다³⁾. 이러한

Corresponding Author : Chul-Un Chung, Department of Life Science, Dongguk University, Gyeongju 780-714, Korea
Phone: +82-54-770-2211
E-mail: batman424@naver.com

생태학적 특징 가운데 반향정위(echolocation)는 환경에 대한 반향(echo)을 이용하여 자신의 위치를 결정짓고, 비행중인 곤충을 포획하기 위하여 즉, 먹이의 탐색, 확인, 위치 파악에 이용 된다³⁾. 일반적으로 인간의 가청범위는 최대 20 kHz이고, 그 이상의 진동수를 초음파(ultrasound)라고 한다⁴⁾. 박쥐에 의해서 이용되는 반향정위의 주요 진동수는 약 11 kHz에서 212 kHz 사이로 전세계 모든 소익수아목(suborder Microchiroptera)에 속하는 박쥐가 이러한 범위의 초음파를 이용하고 있다⁵⁾. 박쥐가 내는 초음파는 주파수가 일정한 성분(constant frequency : CF성분)과 주파수가 변조하는 성분(frequency modulated : FM성분)으로 구성되어 있다^{5~10)}. 그리고 이러한 음은 파장의 길이, 대역폭, 강도의 변화 등 진동수의 변조 형태로 표현되고 종간에 있어 다양한 형태로 나타나게 된다¹⁰⁾. 따라서 먹이의 탐색과 포획 그리고 주변 환경에 따라서 종별로 다양하게 변화하는 반향정위의 형태는 박쥐의 생태와 보호에 관한 연구에 있어서 중요한 부분을 차지하고 있다¹¹⁾. 우리나라에 서식하고 있는 박쥐는 모두 소익수아목에 속하는 식충성 박쥐(insectivorous bat)로 환경에 대한 적응과 먹이의 포획 등 모든 부분에 있어 반향정위를 이용하고 있다. 그러나 행동과 환경에 따른 반향정위 연구는 물론 각 종의 기본적인 반향정위 패턴에 대한 연구도 이루어지지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 반향정위를 이용하는 한국의 익수목 가운데 대표적으로 각각 CF 성분, FM성분, FM과 CF 성분을 혼합하여 사용하는 것으로 알려진 관박쥐 *Rhinolophus ferrumequinum*, 큰발윗수염박쥐 *Myotis macrodactylus*, 집박쥐 *Pipistrellus abramus*를 대상으로 반향정위에 대한 기본 패턴을 비교, 분석하였다.

또한 분석된 반향정위 음향주파수대를 이용하여 향후 박쥐 종에 대한 동정, 생태학적 특성, 환경 유형 분석 등 박쥐의 반향정위 연구에 활용하기 위한 기초자료 구축에 그 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. Echolocation 녹음

본 연구에 이용된 종은 관박쥐, 집박쥐, 큰발윗수염박쥐 3종으로 2009년 6월과 7월에 경상남북도 일원을 대상으로 각각 5개체씩 포획하였다(Table 1). 포획된 박쥐들은 종에 따라 개체별로 분리하여 임시 사육장에 보관하였으며, 동일 일자 및 시간대에 반향정위 패턴 분석을 위한 녹음을 실시하였다. 박쥐의 반향정위 음성에 대한 이전의 연구는 대체로 박쥐와 녹음장치 사이의 거리를 사전에 정확하게 알고 있으며, 박쥐가 움직이지 않는 상태를 대상으로 하였는데, 이러한 실험 결과는 비행하는 박쥐의 반향정위를 설명하기에는 부족한 부분이 있었다^{12~14)}. 따라서 본 연구에서는 박쥐 반향정위의 녹음을 위하여 장애물이 없는 실내 비행공간(L5 m × W5 m × H2.7 m)에서 실시하였으며, 소형 컴퓨터를 비행 공간 중앙에 설치하고 박쥐가 원을 그리며 자유비행중인 상태에서 녹음하였다. 박쥐가 발산하는 진동수의 음향 스펙트럼(sound spectrum)은 박쥐의 방향 및 녹음장치의 수신 각도와 배열 등에 의해서 영향을 받을 수 있기 때문에¹⁴⁾, 일정한 강도의 시그널 녹음과 비행하는 박쥐와의 일정한 거리를 유지하기 위하여 초음파 가청변환기는 수동으로 조정하였다. 비행공간은 외부의 환경과 완전히 분리하여 음성 및 시각적인 부분에 있어 외부 자극을 받지 않도록 하였다. 박쥐가 발산하는 음을 실시

Table 1. List of localities, dates, roost types and number of specimens per species

Species	Ind.	Date	Locality	Type
Family Rhinolophidae				
Genus <i>Rhinolophus</i>				
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	5	15 Jun '09	Youngduk	Mine
Family Vespertilionidae				
Genus <i>Pipistrellus</i>				
<i>Pipistrellus abramus</i>	5	9 Jul '09	Gyeongju	Bridge
Genus <i>Myotis</i>				
<i>Myotis macrodactylus</i>	5	11 Jun '09	Ulsan	Mine

간으로 확인하고 녹음 및 분석하기 위해서는 주파수 변조 과정과 모든 진동수에 대한 기록이 필요하다. 주파수 변조 과정은 박쥐의 초음파를 전기적인 신호로 변환하여 인간의 가청범위에서 들을 수 있도록 하는 것이고¹⁵⁾, 시간확장 시스템(time expansion)은 들어오는 모든 고주파 신호를 디지털 메모리에 녹음하였다가 저속으로 재생하거나 실험실 내에서 컴퓨터로 분석할 때 이용된다⁴⁾. 본 연구에서는 박쥐가 발산하는 소리를 실시간으로 확인하는 동시에 메모리에 녹음하기 위하여 주파수 변조와(17 kHz-125 kHz, bandwidth > 16 kHz) 시간확장 시스템(10 kHz - 125 kHz)이 결합되어 있는 초음파 가청변환기(bat detector, Pettersson Elektronik AB, models D-240)를 이용하여 녹음하였다.

2.2. Echolocation 분석

박쥐의 시그널 변화는 먹이를 탐색하고 포획하기 위하여 음을 제어하는데 따른 결과로⁷⁾, 시그널의 지속 시간과 진폭 그리고 에너지 강도에 따라서 탐색상(search phase), 접근상(approach phase), 종말상(terminal phase)으로 구분할 수 있다. 탐색상은 박쥐가 먹이를 탐색할 때 이용되는 형태로³⁾, 반복적이고 일정한 패턴의 음으로 구성되어 있다. 일반적으로 탐색상에서 접근상, 종말상으로 갈수록 음의 지속시간은 감소하고 펄스(pulse)의 반복율은 증가하게되며, 진폭은 감소하게 된다⁴⁾. 따라서 음의 분석은 Jones와 Parijs¹⁶⁾의 결과를 참고하여 탐색상 부분을 대상으로 실시하였으며, 탐색상의 범위 설정은 인위적인 실내 공간임을 감안하여 한 개 사이클의 음에 대하여 개시부의 반복적이며, 규칙적인 부분을 선택적으로 분석하였다. 초음파 가청변환기를 통해 녹음된 시그널은 BatSound

ver4.01(Pettersson Elektronik AB, Sweden)을 이용하여 디지털 형식으로 변환하였다. 해당 개체의 음성을 제외한 기타 소리를 배제하기 위하여 가장 정확하고 강한 소리압(SPL, Sound pressure level, > -40 dB) 부분을 추출한 후 각 개체별로 선택하여 분석하였다. 펄스 지속시간(pulse-duration; PD)은 오실로그래프(oscillogram)과 소나그램(sonagram)을 연결하여 펄스의 개시부부터 감쇠시 까지에 대한 시간을 기준으로 측정하였으며, 펄스간의 간격(pulse-interval; PI)은 펄스의 최초 개시부부터 시작해서 다음 펄스가 시작될 때 까지를 측정하였다¹⁰⁾. 최고 진동수(peak-frequency; PF)에 대한 측정은 파워 스펙트럼(power spectrum, FFT=1024)으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3종의 박쥐에 대한 반향정위 기본 패턴 분석을 위해서 PD, PI, PF에 대한 분석을 실시한 결과 관박쥐는 69 kHz, 집박쥐는 47 kHz, 큰발윗수염박쥐는 49 kHz에서 각각 PF를 나타내었다. PD는 관박쥐가 평균 69.39±8.76 ms, 집박쥐 4.95±0.77 ms, 큰발윗수염박쥐 3.09±0.48 ms로 측정되었으며, PI는 관박쥐 103.61±9.05 ms, 집박쥐 67.59±3.47 ms, 큰발윗수염박쥐 66.35±4.96 ms로 나타났다(Table 2). 관박쥐는 PD가 조사대상 3종 가운데 가장 긴 형태를 나타내었으며, 음향 스펙트럼 분석결과 짧은 FM 시그널로 시작해서 긴 CF 시그널로 이어진 후 다시 짧은 FM 시그널로 끝나는 펄스 형태를 보였다(Fig. 1). 파워 스펙트럼을 통한 PF는 3종 가운데 가장 높은 69 kHz로 나타났으며(Fig. 2), 오실로그래프를 통한 분석에서 긴 시간 동안 발산되는 CF 시그널의 일정한 진동수를 확인하였다. 일반적으로 길이가 길고 폭이 좁은 날개 형태를

Table 2. Data on echolocation calls recorded from free-flying bats

Species	PD (ms)	PI (ms)	PF (kHz)	No. of pulse
<i>R. ferrumequinum</i> (N = 5)	69.39±8.76 (50.00 - 92.00)	103.61±9.05 (90.00 - 119.00)	69±0.24 (68.40 - 69.40)	115
<i>P. abramus</i> (N = 5)	4.95±0.77 (3.70 - 6.10)	67.59±3.47 (58.50 - 78.50)	47±0.68 (46.20 - 48.70)	163
<i>M. macrodactylus</i> (N = 5)	3.09±0.48 (2.10 - 3.80)	66.35±4.96 (53.20 - 71.50)	49±1.62 (45.20 - 52.70)	108

PD, Pulse duration; PI, Pulse interval; PF, Peak frequency; (), range; Duration, interval and peak frequency are means±standard deviations

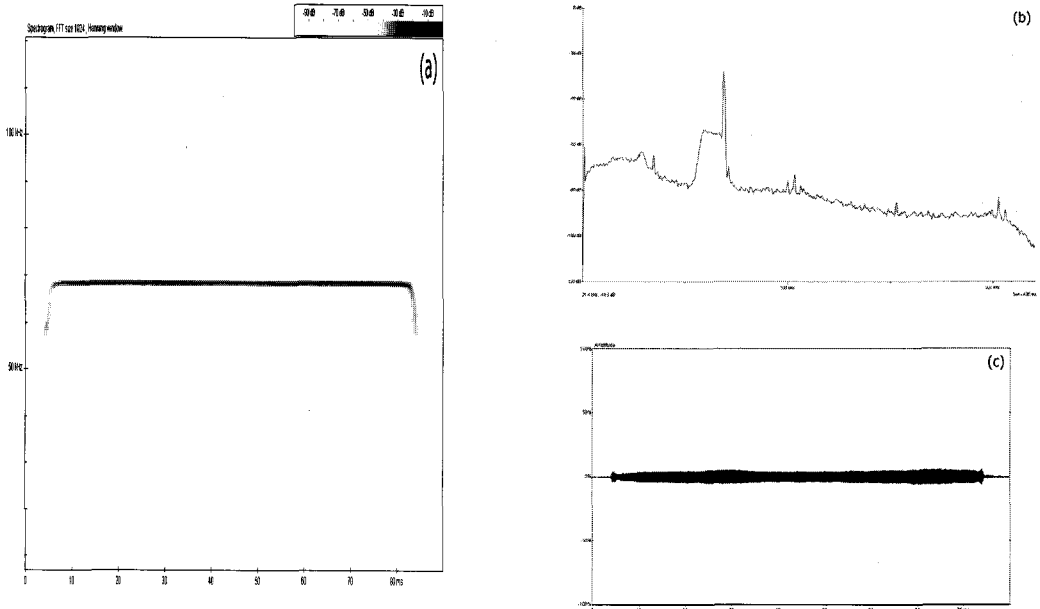


Fig. 1. Spectrogram(a), power spectrum(b) and oscillogram(c) of single echolocation call of *R. ferrumequinum* in flight.

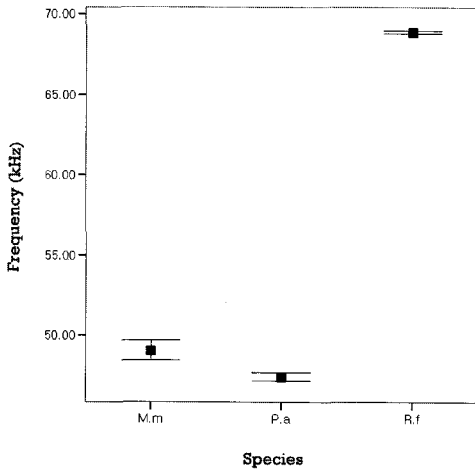


Fig. 2. Peak-frequency of three species in flight. Symbols indicate means. Error bars indicate 95% confidence interval. Species: R.f, *Rhinolophus ferrumequinum*; P.a, *Pipistrellus abramus*; M.m, *Myotis macrodactylus*.

가진 박쥐는 공중을 빠르게 비행하고 비행중에 곤충을 낚아채는 방법으로 사냥을 하지만⁴⁾, 관박쥐와 같이 폭이 넓고 길이가 짧은 광단형의 날개를 가진 박쥐는 산림내 복잡한 서식공간에서 느린 속도로 기동성 있는 비행 형태에 적응되어 있는 것으로 알려져 있

다¹⁰⁾. 따라서 본 연구에서는 비록 장애물이 없는 인위적인 실내 공간에서의 비행시에 관박쥐가 발산하는 음을 분석한 결과이지만 본 연구에서 나타난 관박쥐의 펄스 형태는 산림내 서식공간에서 근접한 거리에 있는 먹이의 포획을 위해서는 짧고 낮은 강도의 FM 시그널을 이용하고 곤충의 움직임을 간파하기 위해서는 긴 CF 형태의 시그널을 이용하는 것으로 알려진^{9,10)} 관박쥐의 기본적인 반향정위 패턴을 확인할 수 있었다. 본 조사에서와 같이 FM과 CF 시그널이 혼합되어 있고 짧은 FM 시그널로 시작으로 시작해서 짧은 FM 시그널로 끝나는 형태는 전형적으로 관박쥐가 이용하는 펄스 형태이지만 PF에 있어서는 지리적으로 다른 지역에 서식하는 관박쥐의 PF와는 차이를 보였다. Briggs와 King⁴⁾에 의하면 영국내 서식하고 있는 관박쥐의 경우 PF가 약 80 kHz에서 확인되었으며, 増田 · 阿部¹⁷⁾는 일본열도 관동이북에 분포하는 개체군은 65-66 kHz, 관동이남은 67-68 kHz로 지역에 따라서 차이가 발생함을 보고한바 있다. 뿐만 아니라 관박쥐의 경우 우리나라 경상도 지역과 제주도 지역 간에도 PF에 있어서 차이가 발생하는 것으로 알려져 있다¹⁷⁾. 따라서 한국산 관박쥐의 정확한 반향정위 패턴 분석을 위해서는 경상도 지역에서 포획한 본 연구

재료 외에 지리적인 차이에 따른 추가 분석이 연계되어야 할 것으로 생각된다.

집박쥐는 PD가 4.95 ± 0.77 ms로 관박쥐와 비교해서 상대적으로 낮고 큰발윗수염박쥐와 비교해서 약간 높은 값을 보였다(Fig. 3). PI는 67.59 ± 3.47 ms로

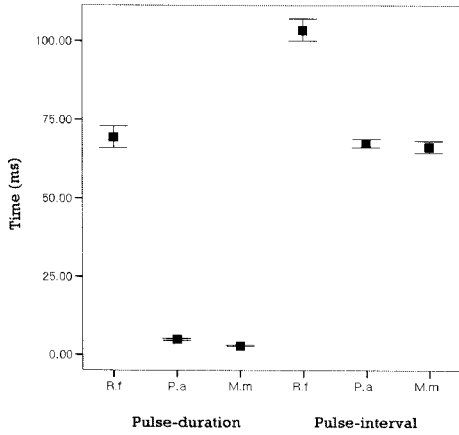


Fig. 3. Comparison of pulse-duration and pulse-interval of three species in flight. Symbols indicate means. Error bars indicate 95% confidence interval. Species: R.f, *Rhinolophus ferrumequinum*; P.a, *Pipistrellus abramus*; M.m, *Myotis macrodactylus*.

측정되었으며, 음향 스펙트럼 분석결과 펄스의 형태는 FM 시그널로 시작해서 CF 시그널로 끝나는 형태를 보였다(Fig. 4). 파워 스펙트럼을 통한 PF는 47 kHz로 3종 가운데 가장 낮은 진동수를 보였으며, 펄스내 CF 시그널 부분에서 PF가 확인되었다. 이렇게 FM으로 시작해서 CF로 끝나는 펄스 형태는 집박쥐속이 이용하는 형태로 집박쥐를 포함하여 이러한 짧고 광대역의 시그널 형태를 보이는 박쥐는 개방된 공간이나 산림 가장자리에서 비행하며 활동하는 것으로 알려져 있다^{18,19}. 따라서 본 연구에서 나타난 집박쥐의 펄스 형태는 개방된 공간에서 곤충의 정확한 위치를 파악하는데 더 적합한 FM 시그널²⁰과 복합적인 서식지 구조에서 곤충의 반향을 감지하는데 이용되는 것으로 알려진 CF 시그널³을 함께 이용함으로써 CF 시그널을 이용하는 관박쥐 및 FM 시그널을 이용하는 큰발윗수염박쥐와 비교하여 보다 다양한 서식지 유형에서의 먹이활동이 이루어 질 것으로 예상된다.

큰발윗수염박쥐는 PD가 3종 중 가장 짧은 3.09 ± 0.48 ms로 나타났으며, PI는 66.35 ± 4.96 ms로 집박쥐와 비교해서 약간 짧은 결과를 보였다. 음향 스펙트럼을 통한 펄스의 형태는 짧은 시간의 연속된 FM음으

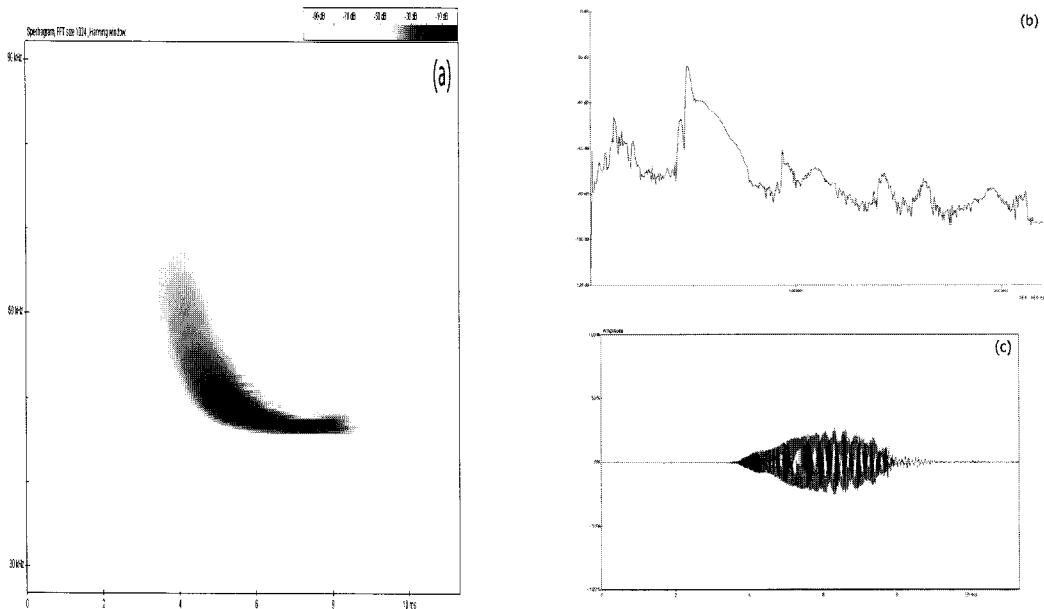


Fig. 4. Spectrogram(a), power spectrum(b) and oscillogram(c) of single echolocation call of *P. abramus* in flight.

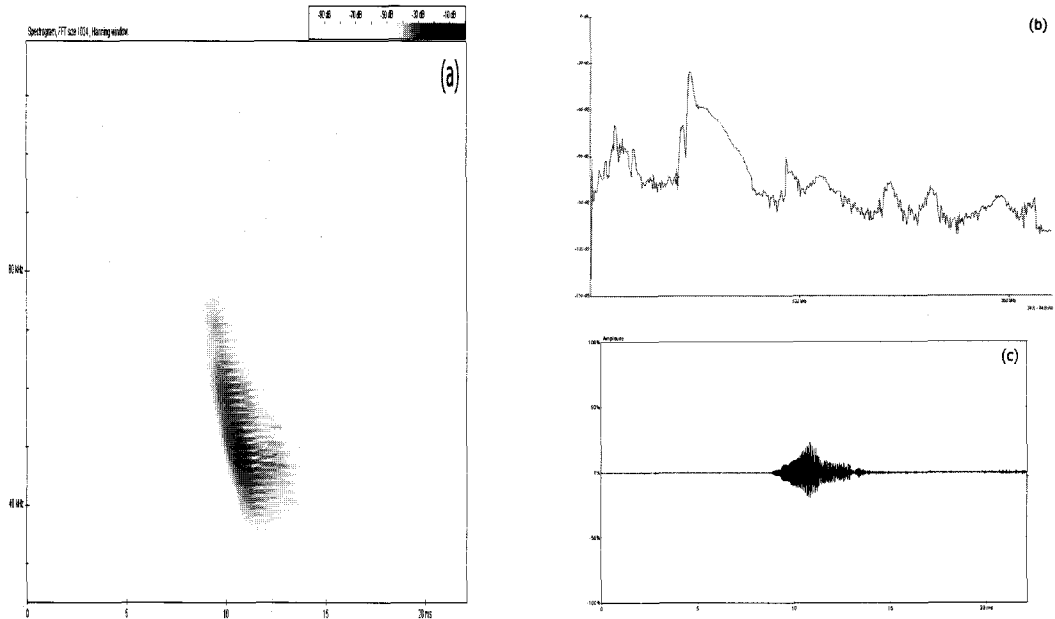


Fig. 5. Spectrogram(a), power spectrum(b) and oscillogram(c) of single echolocation call of *M. macrodactylus* in flight.

로 이루어져 있었다. 그러나 큰발윗수염박쥐는 관박쥐, 집박쥐와는 달리 하나의 펄스내 2개의 하모니(harmonic)를 가지는 형태를 보이고 있는데, 음의 에너지 강도가 높은 첫 번째 하모니와 에너지 강도는 낮지만 높은 주파수를 가지는 두 번째 하모니가 존재하는 것으로 확인되었다(Fig. 5). 일반적으로 여러 개의 하모니를 가지는 펄스 형태의 경우 탐색상을 포함한 대부분의 단계에서 가장 높은 에너지 부위는 첫 번째 하모니에서 나타나게 되는데²¹⁾, 본 연구에서도 첫 번째 하모니의 49 kHz에서 PF를 확인할 수 있었다. 큰발윗수염박쥐의 펄스에서는 CF음은 확인되지 않았는데 본 연구에서 나타난 결과와 같이 FM 시그널로 이루어진 펄스의 형태는 전형적으로 큰수염박쥐속 *Myotis*이 이용하는 것으로 펄스의 형태는 거의 수직에 가깝고 직선 형태를 보인다⁴⁾. 박쥐는 복잡한 서식지 공간에서는 짧고 광대역의 반향정위를 발산하고 개방된 공간일수록 길고 협대역의 시그널을 발산하는 경향이 있다^{21~24)}. 그리고 본 연구에서와 같이 수직에 가까운 FM 시그널로 이루어진 음성은 주변 환경에 대한 상황을 파악하여 인지하는 역할을 하고⁴⁾ 복잡한 서식지 구조에서 목표물의 정확한 위치를 파악하는데 더 안

정적인 것으로 알려져 있다²⁰⁾. 따라서 곤충의 움직임에 대한 반향을 감지하기 위한 CF 시그널을 이용하지 않고 진동수 범위가 다른 두 개의 하모니를 이용하는 펄스 형태로 볼 때 큰발윗수염박쥐는 본 연구에 이용된 3종 가운데 가장 빠른 비행패턴을 가지며, 광대역의 FM 시그널을 이용하여 보다 넓은 범위의 탐색 시스템을 가지는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 한국에 서식하는 관박쥐, 집박쥐, 큰발윗수염박쥐의 반향정위 패턴을 분석하여 종의 동정뿐만 아니라 생태학적 연구와 연계할 수 있는 자료를 구축하고자 실시하였다. 분석을 위하여 경상남북도 일원을 대상으로 각 5개체씩 포획하여 실내 비행공간에서 자유 비행 상태의 개체에 대하여 반향정위를 분석하였다. 복잡한 서식지 공간에서 기동성 있게 비행하며 먹이를 포획하는 것으로 알려진 관박쥐는 긴 펄스 지속시간(69.39 ± 8.76 ms) 동안 짧은 FM 시그널과 긴 CF 시그널을 이용하는 것으로 나타났다. PF는 69 kHz로 집박쥐, 큰발윗수염박쥐와 비교해서 상대적으로 높게 측정되었는데 이는 개방되지 않은 산림내 공

간에서 아주 세밀한 부분까지 감지하기 위하여 높은 파장의 소리를 발산하는 관박쥐의 생태적 특징으로 판단된다. 주로 주택가 주변과 인공구조물을 대상으로 서식하는 집박쥐는 4.95 ± 0.77 ms의 펄스 지속시간 동안 FM과 CF 시그널을 혼합하여 사용하는 것으로 나타났는데, 펄스의 개시는 FM 시그널로 시작해서 종결부로 가면서 CF 시그널로 변환되는 형태를 보였다. 유럽집박쥐 *P. pipistrellus*를 대상으로 한 연구결과에 따르면 외형적으로 차이를 보이지 않는 유럽집박쥐 사이에서 CF 부분의 PF가 서로 다르게 나타나는 결과를 확인하였으며, 이러한 반향정위의 패턴 분석을 통하여 유럽집박쥐의 음성 타인간의 형태학적 분기 및 두 가지의 잠재종 구성에 대한 근거를 제시한바 있는데¹⁶⁾ 본 연구에서는 PF는 모든 펄스에서 CF 시그널 위치에서 나타나는 것으로 조사되었으며, 본 조사에 이용된 경상도 지역 집박쥐의 PF는 47 ± 0.68 kHz에서 확인되었다.

큰발윗수염박쥐의 PD는 3.09 ± 0.48 ms로 3종 가운데 가장 짧은 형태를 나타냈다. 펄스의 형태는 수직에 가까운 연속된 짧은 FM 시그널로 구성되어 있었으며, PF는 49 ± 1.62 kHz에서 확인되었다. 큰발윗수염박쥐의 펄스 분석에서는 CF 시그널이 확인되지 않은 반면, 2개의 하모니를 가지는 것으로 나타났는데, 대부분의 2개 이상의 하모니를 가지는 펄스 형태와 같이 첫 번째 하모니는 강한 에너지를 가지고 펄스내 PF를 포함하고 있지만 두 번째 하모니는 펄스의 강도는 약하고 첫 번째 하모니와 비교해서 더 높은 주파수대를 나타내었다. 박쥐는 공간적 적응과 먹이에 대한 구별을 위해서 반향정위를 이용하고²⁰⁾, 각 개체는 목표물의 거리에 따라서 자신의 음을 변화시킨다¹⁰⁾. 그리고 이러한 변화는 종의 생활방식에 따라 다르게 나타날 뿐만 아니라 서식지 구조에 따라서 다양한 대역폭과 진동수를 이용하여 먹이의 탐색과 정확한 위치를 파악하게 된다²⁰⁾. 따라서 본 연구에서와 같이 제한된 공간에서 비행하면서 발산하는 박쥐의 소리는 야외 연구에서와 비교해서 시그널의 형태 및 강도가 변화될 수 있다²¹⁾. 또한 増田·阿部¹⁷⁾에 의하면 박쥐의 반향정위 유형은 지리적 위치에 따라서 다양하게 나타나는 것으로 연구되었는데 영국에 서식하는 관박쥐의 PF는 일본에 서식하는 관박쥐와 비교해서 약 20 kHz의 차

이가 있는 것으로 나타났으며, 한국에 서식하는 관박쥐 또한 경상남북도 지역과 제주도 지역 간에 약 2-4 kHz의 차이가 있다고 하였다. 따라서 향후 박쥐의 생태학적 특징과 연계한 반향정위 연구를 위해서는 본 연구에서 수행한 종의 기본적인 반향정위 패턴 외에도 서식지 구조 및 지리적 차이에 따른 반향정위 연구가 연계되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 국가환경기술진흥원 차세대 핵심환경기술개발사업 “한반도 생물종의 보전관리기술 개발: 세부2 한반도 포유류 보전관리기술(과제번호 052-082-073)”의 지원을 받아 진행되었습니다.

참고 문헌

- 1) Wilson D. E. and D. M. Reeder, 2005, Mammal Species of the World: A Taxonomic and Geographic Reference, 3rd ed., The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2142pp.
- 2) Kalko E. K. V., 1995, Insect pursuit, prey capture and echolocation in pipistrelle bats(Microchiroptera), Anim. Behav., 50, 861-880.
- 3) Schnitzler H. U. and E. K. V. Kalko, 2001, Echolocation by Insect-Eating Bats, BioScience, 51(7), 557-569.
- 4) Briggs B. and D. King, 1998, The Bat Detective-A Field Guide for Bat Detection. Batbox Ltd, 14-35.
- 5) Jones G., 1999, Scaling of Echolocation Call Parameters In Bats, J. Exp. Biol., 202, 3359-3367.
- 6) Schnitzler H. U. and O. W. Henson, 1980, Performance of airborne animal sonar systems. I. Microchiroptera. In Busnel R. G., Fish J. F.(ed.), Animal Sonar Systems, Plenum Press, New York, 109-181.
- 7) Surlykke A., L. A. Miller, B. Mohl, B. B. Andersen, J. Christensen-Dalsgaard and M. B. Jorgensen, 1993, Echolocation in two very small bats from Thailand: *Craseonycteris thonglongyai* and *Myotis siligorensis*, Behav. Ecol. Sociobiol., 33, 1-12.
- 8) Vaughan N., G. Jones and S. Harris, 1997, Identification of British bat species by multivariate analysis of echolocation parameters, Bioacoustics, 7, 189-207.
- 9) Schnitzler H. U. and E. K. V. Kalko, 1998, How echolocating bats search and find food, In Kunz T. H.,

- Racey, P. A.(ed.), Bat Biology and Conservation, Washington: Smithsonian Institution Press.
- 10) Jennings N. V., S. Parsons, E. K. Barlow and M. Gannon, 2004, Echolocation calls and wing morphology of bats from the West Indies, *Acta Chir*, 6(1), 75-90.
 - 11) Parsons S. and G. Jones, 2000, Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks, *J. Exp. Biol.*, 203, 2641-2656.
 - 12) Speakman J. R., M. E. Anderson and P. A. Racey, 1989, The energy cost of echolocation in pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*), *J. Comp. Physiol.*, 165, 679- 685.
 - 13) Speakman J. R. and P. A. Racey, 1991, No cost of echolocation for bats in flight, *Nature*, 350, 421-423.
 - 14) Waters D. A. and G. Jones, 1995, Echolocation call structure and Intensity in Five Species of Insectivorous Bats, *J. Exp. Biol.*, 198, 475-489.
 - 15) Ahlen I. and H. J. Baagoe, 1999, Use of ultrasound detectors for bat studies in Europe: experiences from field identification, surveys, and monitoring, *Acta Chir*, 1(2), 137-150.
 - 16) Jones G. and S. M. V. Parijs, 1993, Bimodal echolocation in pipistrelle bats : are cryptic species present?, *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 251, 119-125.
 - 17) 増田 隆一, 阿部 永, 2005, 動物地理の自然史(分布と多様性の進化学). 北海道大学図書刊行会, 225-241.
 - 18) Moss C. F. and H. U. Schnitzler, 1989, Accuracy of target ranging in echolocating bats: Acoustic information processing, *J. Comp. Physiol.*, A, 165, 383-393.
 - 19) Moss C. F. and A. Surlykke, 2001, Auditory scene analysis by echolocation in bats, *J. Acoust. Soc. Am*, 110, 2207-2226.
 - 20) Zhu X., J. Wang, K. Sun, T. Jiang, Y. Jiang and J. Feng, 2008, Echolocation calls of *Rhinolophus ferrumequinum* in relation to habitat type and environmental factors, *Acta Ecologica Sinica*, 28, 5248-5258.
 - 21) Siemers B. M., E. K. V. Kalko and H. U. Schnitzler, 2001, Echolocation behavior and signal plasticity in the Neotropical bat *Myotis nigricans*(Schinz, 1821) (Vespertilionidae): a convergent case with European species of *Pipistrellus*?, *Behav. Ecol. Sociobiol.*, 50, 317-328.
 - 22) Neuweiler G., 1989, Foraging ecology and audition in echolocating bats, *Trends Ecol. Evol.*, 4, 160-166.
 - 23) Neuweiler G., 1990, Auditory adaptations for prey capture in echolocating bats, *Physiol Rev.*, 70, 615-641.
 - 24) Fenton M. B., 1990, The foraging behaviour and ecology of animal-eating bats, *Can. J. Zool.*, 86, 411-422.