

집박쥐의 발성 시그널 발달에 관한 연구^{1a}

정철운² · 한상훈³ · 이정일^{2*}

Development of Vocal Signals in the *Pipistrellus abramus*(Chiroptera: Vespertilionidae)^{1a}

Chul-Un Chung², Sang-Hoon Han³, Chong-Il Lee^{2*}

요약

본 연구는 박쥐의 연령 증가에 따른 발성 초음파의 변화를 파악하기 위하여 집박쥐(*Pipistrellus abramus*)를 대상으로 생후 어린 개체가 발산하는 음을 이용하여 세부 분석을 실시하였다. 분석결과 어린 개체는 성체와 다른 복합적이고 다양한 형태의 시그널을 발산하는 것으로 확인되었다. 펄스의 형태는 생후 2일차에는 하모니의 수가 많고 불규칙적인 시그널 형태를 보였으며, 생후 10일차부터 20일 까지는 완만한 FM 시그널 형태를 보였다. 생후 30일 경에는 짧은 시간의 FM 시그널 형태를 보였으며, 40일 이후 점차 성체와 유사한 형태의 시그널을 발산하였다. 어린개체의 성장에 따른 발성 시그널을 분석한 결과 각각의 분석 항목별로 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 펄스의 지속시간($p<0.001$), 펄스 간격($p<0.001$), 하모니의 수($p<0.001$)는 새끼의 연령이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 최고진동수($p<0.001$), 개시진동수($p<0.001$), 종말진동수($p<0.001$)는 증가하는 결과를 보였다. 특히 펄스 간격은 생후 5일차에 가장 큰 변화를 보였으며, 그 외 펄스 지속시간, 최고진동수, 개시진동수, 종말진동수는 생후 25일차에 가장 큰 변화를 나타내었다.

주요어: 반향정위, 발성 발달, 진동수, 펄스, FM 시그널

ABSTRACT

This study reports developmental changes in the vocal signals produced by infant or young *Pipistrellus abramus*. In contrast to adult bats, infant bats of the *P. abramus* emitted calls characterized by multi harmonics and variable signal patterns. Infants at two day of age emitted a irregular signal and showed gentle FM signals between 10 and 20 days. After about 40 days of age, the young bats emitted similar signals to the echolocation calls of adults. As the infant bats growing up, vocal signals trend shown a decrease in pulse duration($p<0.001$), pulse interval($p<0.001$) and number of harmonic($p<0.001$). And the peak frequency($p<0.001$), starting frequency($p<0.001$) and ending frequency($p<0.001$) in infant bats increased with the age. The largest change in pulse interval occurred in 5 days. And the pulse duration, peak frequency, starting frequency and ending frequency of the bat's sounds changed most dramatically in 25 days of age.

KEY WORDS: FM SIGNAL, FREQUENCY, PULSE, ECHOLOCATION, VOCALIZATION DEVELOPMENT

1 접수 2009년 12월 30일, 수정(1차: 2010년 3월 22일), 게재확정 2010년 3월 23일

Received 30 December 2009; Revised(1st: 22 March 2010); Accepted 23 March 2010

2 동국대학교 생명과학과 Department of Life Science, Dongguk University, Gyeongju(780-714), Korea

3 국립생물자원관 National Institute of Biological Resources, Incheon(404-170), Korea

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

* 교신저자 Corresponding author(batman424@naver.com)

서론

박쥐들의 초음파 시그널 기능은 고주파의 시그널을 발산하고 곤충과 같은 소형의 대상물에 의한 반향(echo)을 감지할 수 있게 해준다(Moss *et al.*, 1997). 그리고 박쥐의 음성 시스템은 이러한 정보를 통해서 곤충의 위치와 거리를 파악할 수 있도록 해준다(Schnitzler and Henson, 1980; Moss *et al.*, 1997). 따라서 박쥐가 발성을 한다는 것은 반향정위(echolocation)를 이용하는 박쥐의 생존을 위해서는 아주 중요하다고 볼 수 있다(Zhang *et al.*, 2005; Liu *et al.*, 2007). 박쥐에 의해서 이용되는 반향정위 시그널은 커뮤니케이션을 위한 사회적인 시그널과 단독적으로 발산하는 시그널로 구성되어 있으며, 이들은 모두 복합적인 하모니로 구성되어 있다. 그 중 어린 박쥐의 음성 시그널 발산은 커뮤니케이션을 위해서 아주 중요한 부분이며, 반향정위를 위해서 이용되는 시그널 발달의 한 부분이라고 할 수 있다(Moss, 1997). 어린 박쥐가 발산하는 콜은 낮은 진동수와 긴 시간을 가지는 음을 발산하는 것으로 알려져 있으며, 이는 어미와의 교감을 위한 콜 또는 어미와 격리되어 있을 때 단독으로 발산하는 콜 등 여러 가지 형태로 나타나게 된다(Sterbing, 2002). 이렇게 생후 얼마 되지 않는 어린 박쥐는 어미의 음성 시그널과 다른 형태의 음을 보이게 된다(Moss *et al.*, 1997). 지금까지 박쥐의 성장에 따른 발성 시그널의 발달에 관한 연구로는 Konstantinov(1973), Matsumura(1979), Jones과 Ransome(1993)가 관박쥐를 대상으로 연구하였으며, 그 외 *Hipposideros speoris*(Habersetzer and Marimuthu, 1986), *Rhinolophus rouxi*(Rubsamen, 1987), *Eptesicus fuscus*(Moss, 1988), *Pipistrellus pipistrellus*(Jones *et al.*, 1991)를 대상으로 한 연구가 이루어진바 있다. 그리고 이러한 모든 선행된 연구결과에서 공통적으로 어린 박쥐의 연령 증가에 따라서 발성음의 지속시간은 감소하고 진동수는 증가한다고 하였다. 그러나 이러한 변화에 대한 명확한 원인은 연구되지 않았으며, 어미와의 교감을 위한 발성부분 등을 포함하여 현재까지도 성장에 따른 발성 시그널의 변화와 요인에 대한 연구가 이루어지고 있다. 현재 우리나라에 서식하고 있는 박쥐는 모두 소익수아목(Suborder Microchiroptera)에 속하는 식충성 박쥐(Insectivorous bat)로 환경에 대한 적응과 먹이의 포획 등 모든 부분에 있어 반향정위를 이용하고 있다. 그러나 지금까지 우리나라에 서식하고 있는 박쥐에 대한 반향정위 시그널 뿐만 아니라 어린 박쥐의 발성 시그널 발달에 관한 연구는 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 우리나라에서 가장 광범위하게 서식하고 있는 집박쥐를 대상으로 어린 개체의 연령 증가에 따른 발성 시그널의 변화를 분석하고자 함이며, 그에 따른 연구결과는 향후 추가적인 반향정위 시그널 연구에 있어 유용한 기초자

료를 제공할 수 있을 것으로 생각된다.

재료 및 방법

1. 포획 및 사육

임신한 암컷 집박쥐의 포획을 위하여 2009년 6월 5일부터 6월 20일까지 경상북도 경주시 천북면에 위치한 터널구조물을 대상으로 트랩을 설치하였다. 박쥐의 포획이 이루어진 지역은 집박쥐의 집단 번식지가 조성되어 있고 주, 야간 휴식활동이 이루어지는 지역으로 주변으로는 교외와 도심 지역이 혼재하고 산림 및 경작지 등의 채식장소가 인접하고 있는 곳이다. 총 35개체의 임신한 암컷을 mist-net와 harp-trap을 이용하여 포획하였으며, 포획된 개체들은 모두 알루미늄 링(aluminum split-ring)을 채워서 구분이 가능하도록 하였다(Zhang *et al.*, 2005). 포획 후 개체표식을 완료한 개체 가운데 30개체는 향후 출산한 어린 개체의 자유비행 시기를 비교할 수 있도록 동일 장소에 재방사 하였으며, 5개체는 출산 및 어린 개체의 성장에 따른 초음파를 녹음, 분석하기 위하여 실험실로 옮겨 인공 사육장에서 사육하였다.

2. 발성 시그널의 녹음 및 분석

각각의 암컷 개체는 6월 26일부터 29일 사이에 각각 2개체씩 총 10개체의 새끼를 출산하였다. 그러나 생후 12일과 17일째에 각각 2개체씩 사망함에 따라 생후 10일차 시그널까지는 10개체를 대상으로 녹음하였으며, 15일차 시그널은 8개체 그리고 20일차 시그널부터는 총 6개체를 대상으로 녹음 및 분석하였다. 출생 직후의 개체는 생후 1일째에는 가청음 및 초음파 시그널을 발산하지 않았으며, 2일차부터 가청음 부분을 포함하여 초음파 시그널을 발산하였다. 따라서 본 연구에서는 생후 어린 개체의 발성이 확인된 2일차부터 야외 집단번식지에서의 확인결과 스스로 채식장소로의 비행과 귀소가 확인된 45일까지에 대한 시그널 변화에 대하여 분석하였다. 어린 개체의 발성 시그널을 녹음하기 위해서 녹음시에는 어미에게서 분리하여 여러 겹의 거즈 위에 놓고 새끼가 발산하는 음을 녹음하였다. 어린 개체의 성장에 따른 시그널 발달을 비교하기 위하여 출산한 암컷 성체에 대한 녹음은 대형 실내 사육장(4×4×2.5m)에서 자유비행 상태의 시그널을 녹음하였다. 녹음에는 주파수 변조(heterodyne system)와 시간확장 시스템(time expansion system)이 결합되어 있는 초음파 가청변환기(Bat detector, Pettersson Elektronik AB, models D-240)를 이용하였다. 녹음된 음성의 분석에는 펄스의 지속시간(pulse-duration),

펄스 간격(pulse-interval), 최고진동수(peak-frequency), 개시진동수(starting-frequency), 종말진동수(ending-frequency), 펄스내 하모니의 수(number of harmonic) 등 6가지 항목에 대하여 분석하였다(Zhang *et al.*, 2005). 일반적으로 박쥐가 발산하는 펄스에서는 첫 번째 하모니(fundamental harmonic)가 가장 많은 에너지를 포함하고 있다(Konstantinov and Makarov, 1987; Sterbing, 2002). 따라서 본 연구에서는 Liu *et al.*,(2007), Moss *et al.*,(1997)을 참고하여 하모니의 수를 제외한 모든 시그널 분석에서 높은 에너지와 진동수를 가지는 첫 번째 하모니를 대상으로 분석하였다. 펄스 지속시간은 오실로그래프(oscillogram)과 소나그램(sonagram)을 연결하여 펄스(pulse)의 개시부터 감쇠까지에 대한 시간을 기준으로 측정하였으며, 펄스 간격은 펄스의 최초 개시부터 시작해서 다음 펄스가 시작될 때 까지를 측정하였다(Siemers *et al.*, 2001; Jennings *et al.*, 2004). 최고진동수에 대한 시간 및 진동수 측정은 파워 스펙트럼(power spectrum, FFT=1024)을 이용하여 측정하였으며(Parsons and Jones, 2000), 개시진동수와 종말진동수는 오실로그래프와 스펙트로그램(spectrogram)을 연결하여 측정하였다.

결과 및 고찰

집박쥐의 생후 초기부터 성장에 따른 발성 시그널의 발달을 분석한 결과 펄스 지속시간, 펄스 간격, 최고 진동수, 개시 진동수, 종말 진동수, 하모니의 개수에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 펄스의 지속시간, 펄스 간격, 하모니의 수는 새끼의 연령이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 최고진동수, 개시진동수, 종말진동수는 증가하는 결과를 보였다(Table 1). 펄스의 형태는 생후 2일차에는 하모니의 수가 많고 FM 시그널과 CF 시그널에 대한 구분이 명확하지 않은 불규칙적인 시그널 형태를 보였으며, 생후 5일차에서는 성체와 유사하게 FM 시그널로 시작해서 CF 시그널로 끝나는 모습을 보였다. 그러나 성체와 비교해서 펄스내 하모니의 수가 많고 FM 시그널의 대역폭이 좁으며 CF 시그널의 지속시간이 긴 것으로 나타났다. 생후 10일차부터 20일 까지는 완만한 FM 시그널 형태를 보였으며, 생후 30일과 35일에는 짧은 시간의 FM 시그널 형태를 보였다. 생후 40일 경에는 성체와 유사한 형태의 시그널이 확인되었으며, 생후 45일에는 FM 시그널로 시작해서 CF 시그

Table 1. Parameters of echolocation calls of *Pipistrellus abramus* ranging in age from 2 to 45 days. Data for an adult is shown for comparison

	PD(ms)	PI(ms)	PF(kHz)	SF(kHz)	EF(kHz)	NOH
2 days (n=10)	15.07±3.44 (6.40-19.80)	209.54±16.33 (184.50-245.80)	15.84±3.72 (13.30-26.90)	19.43±1.52 (16.60-21.80)	14.43±1.26 (12.40-19.00)	7.35±1.39 (5.00-10.00)
5 days (n=10)	19.23±4.53 (9.20-27.20)	112.70±9.01 (103.40-133.70)	17.49±4.40 (13.80-26.40)	24.88±3.36 (18.30-29.70)	14.62±1.21 (12.10-16.90)	6.75±1.14 (5.00-9.00)
10 days (n=10)	11.80±1.61 (7.90-14.80)	104.69±10.79 (85.30-130.70)	19.99±6.97 (15.70-45.30)	29.37±1.83 (27.10-36.90)	16.64±0.83 (14.90-18.10)	5.26±0.65 (3.00-7.00)
15 days (n=8)	9.85±5.08 (3.70-23.30)	125.66±33.75 (99.30-201.20)	23.82±2.02 (19.10-28.30)	34.27±3.16 (28.10-39.80)	22.33±1.48 (19.40-24.50)	4.95±1.29 (3.00-7.00)
20 days (n=6)	8.82±2.74 (3.20-12.10)	115.80±9.43 (102.10-130.20)	26.06±3.16 (19.10-30.30)	36.59±5.01 (25.20-41.30)	22.28±3.16 (16.50-26.90)	3.34±0.74 (2.00-4.00)
25 days (n=6)	2.77±0.54 (2.00-4.48)	106.04±16.69 (88.50-176.50)	48.04±5.86 (37.80-56.40)	58.39±4.94 (45.50-66.50)	40.19±2.84 (35.60-46.60)	2.63±0.83 (1.00-4.00)
30 days (n=6)	2.46±0.48 (1.27-3.25)	145.43±71.68 (8.00-257.50)	50.14±3.00 (45.80-57.40)	65.55±3.70 (55.30-69.70)	44.10±1.92 (40.90-48.20)	2.03±0.42 (1.00-3.00)
35 days (n=6)	2.14±0.19 (1.70-2.50)	153.49±50.78 (90.00-234.00)	47.47±2.32 (44.80-55.40)	56.85±4.93 (47.50-67.40)	42.71±1.44 (39.90-47.10)	1.36±0.48 (1.00-2.00)
40 days (n=6)	5.21±1.72 (3.01-11.80)	93.51±18.83 (45.00-138.00)	46.35±2.18 (43.80-52.60)	58.56±7.36 (48.60-76.70)	43.58±0.94 (41.40-46.50)	1.44±0.50 (1.00-2.00)
45 days (n=6)	5.61±1.54 (2.36-11.11)	89.11±18.28 (48.00-115.90)	48.37±1.18 (46.20-51.10)	59.86±1.90 (54.90-62.80)	46.53±1.01 (44.90-48.20)	2.11±0.57 (1.00-3.00)
Adult (n=5)	5.94±1.19 (3.75-8.85)	82.65±9.91 (59.80-108.50)	48.73±1.08 (46.90-50.80)	62.46±3.36 (56.50-68.50)	46.22±1.24 (42.70-48.70)	2.19±0.59 (1.00-3.00)

PD, Pulse duration; PI, Pulse interval; PF, Peak frequency; SF, Starting frequency; EF, Ending frequency; NOH, Number of harmonic; (), range; PD, PI, PF, SF, EF and NOH are means ± standard deviations

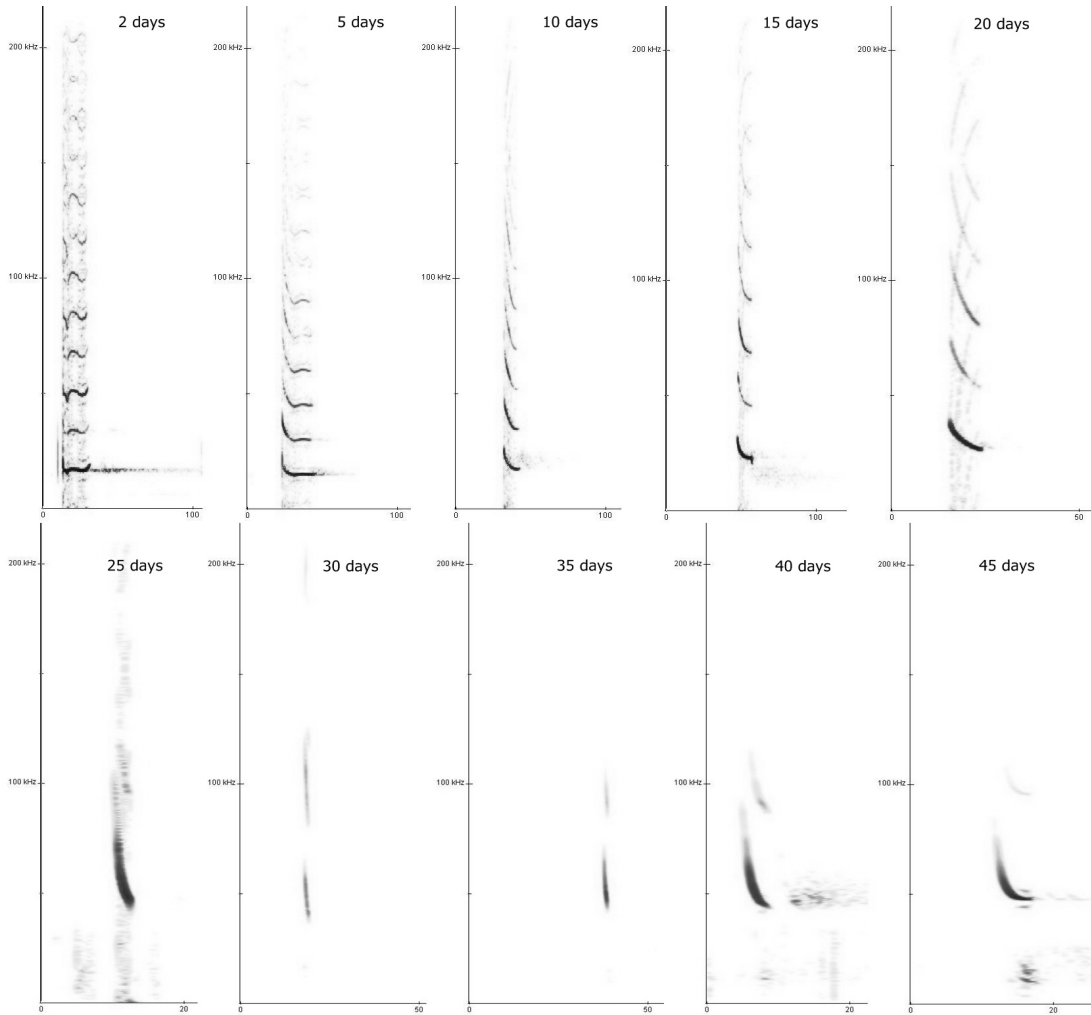


Figure 1. Spectrograms of sounds emitted by *Pipistrellus abramus* ranging in age from 2 to 45 days

널로 끝나는 형태를 보여 성체와 비교하여 차이를 보이지 않았다(Figure 1 and 2).

펄스의 지속시간은 어린 개체의 연령이 증가할수록 감소하는 경향을 보였는데($y = -0.306x + 15.67$, $R^2 = 0.550$, $t = -31.472$, $p < 0.001$), 생후 2일에 15.07 ± 3.44 ms로 시작하여 45일에는 5.61 ± 1.54 ms까지 감소하였다. 가장 긴 시간은 생후 5일 19.23 ± 4.53 ms로 확인되었으며, 생후 25일부터 35일까지가 2.77 ± 0.54 ms에서 2.14 ± 0.19 ms로 가장 짧은 시간을 나타내었다(Figure 3). 펄스 간격은 생후 2일에 209 ± 16.33 ms로 가장 긴 시간을 나타내었으며, 45일에 89.11 ± 18.28 ms로 가장 짧은 시간을 가져 생후 일수의 증가에 따라서 감소하는 경향을 나타내었다($y = -0.739x + 141.7$, $R^2 = 0.048$, $t = -5.69$, $p < 0.001$). 특히 5일차에 112.70 ± 9.01 ms로 발성을 시작한 2일차와 비교하여 크게 감소하였으며 그 후 평균적으로 다소 감소하긴 하였으나, 큰 차이를 보이지는 않았다(Figure 4).

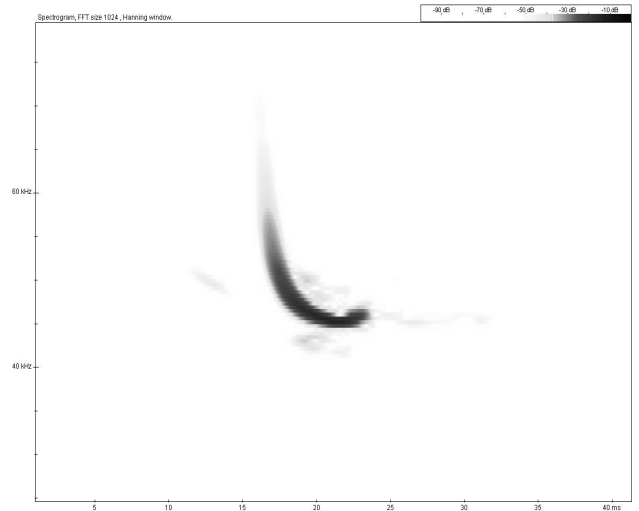


Figure 2. Spectrogram of single echolocation call of *Pipistrellus abramus* in adult

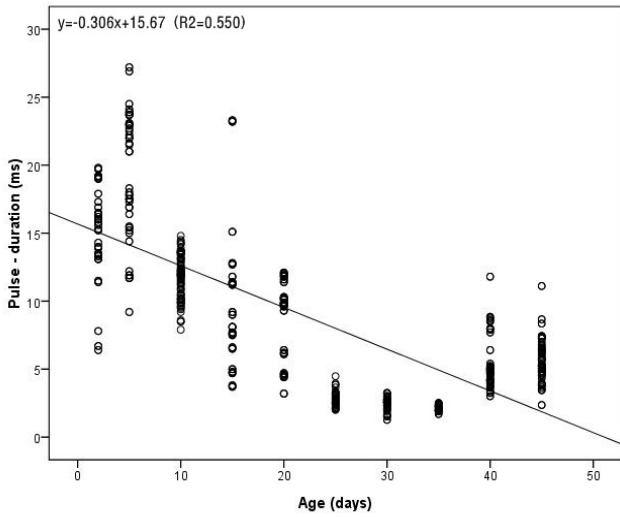


Figure 3. Changes in the pulse duration of spontaneous calls emitted by infant or young bats of the *Pipistrellus abramus*($t=-31.472$, $p<0.001$)

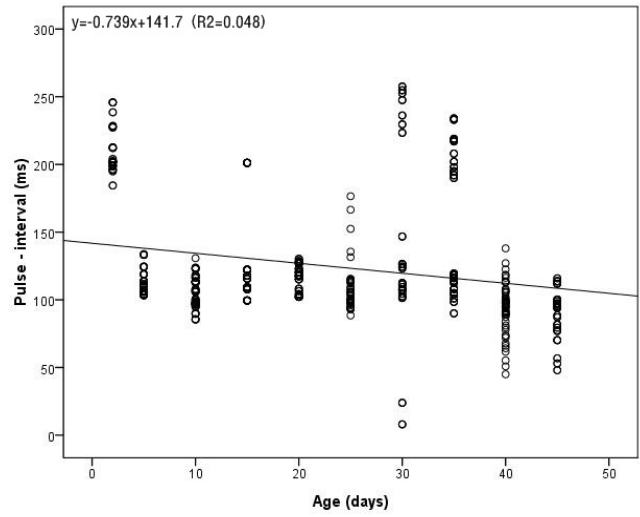


Figure 4. Changes in the pulse interval of spontaneous calls emitted by infant or young bats of the *Pipistrellus abramus*($t=-5.69$, $p<0.001$)

최고 진동수는 성장할수록 높아지는 경향을 보였는데 ($y=0.922x+13.17$, $R^2=0.764$, $t=48.49$, $p<0.001$), 생후 2일 $15.84\pm 3.72\text{kHz}$ 로 가장 낮은 진동수를 보였으며, 30일에 $50.14\pm 3.00\text{kHz}$ 로 가장 높은 진동수를 나타낸 후 다소 감소하는 경향을 보였다(Figure 5). 발생된 시그널의 대역폭을 결정짓는 개시진동수와 종말진동수는 성장함에 따라서 진동수가 증가하는 경향을 보였다. 개시진동수는($y=1.057x+20.1$, $R^2=0.794$, $t=55.73$, $p<0.001$) 생후 2일 $19.43\pm 1.52\text{kHz}$ 로 가장 낮은 진동수를 보이다가 생후 25일 크게 증가하였다

(Figure 6). 개시진동수의 평균 최고치는 생후 30일에 $65.55\pm 3.70\text{kHz}$ 로 나타났으며, 그 후 다소 감소하는 것으로 나타났다. 종말진동수는 생후 2일 $14.43\pm 1.26\text{kHz}$ 로 가장 낮은 진동수를 보인 후 점차 증가하는 경향을 보였으며 ($y=0.872x+10.78$, $R^2=0.886$, $t=82.18$, $p<0.001$), 개시진동수와 마찬가지로 생후 25일차에 크게 증가하는 결과를 나타내었다(Figure 7). 펄스내 하모니의 수는 어린 개체의 연령이 증가할수록 감소하는 경향을 보였는데($y=-0.142x+6.954$, $R^2=0.747$, $t=-43$, $p<0.001$), 2일차 펄스에서 7.35 ± 1.39 개

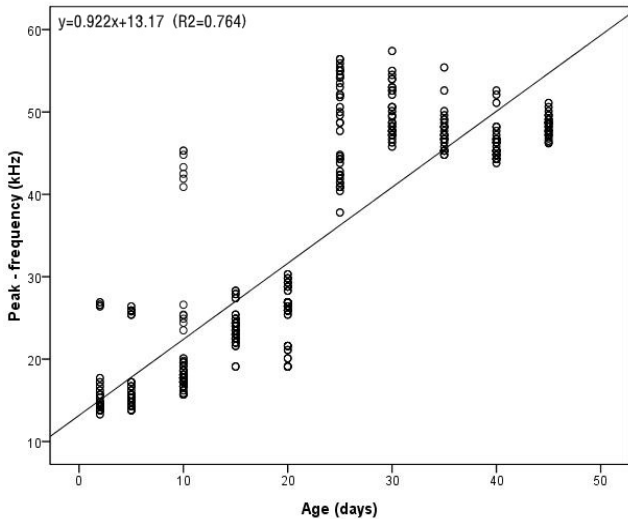


Figure 5. Changes in the peak frequency of spontaneous calls emitted by infant or young bats of the *Pipistrellus abramus*($t=48.49$, $p<0.001$)

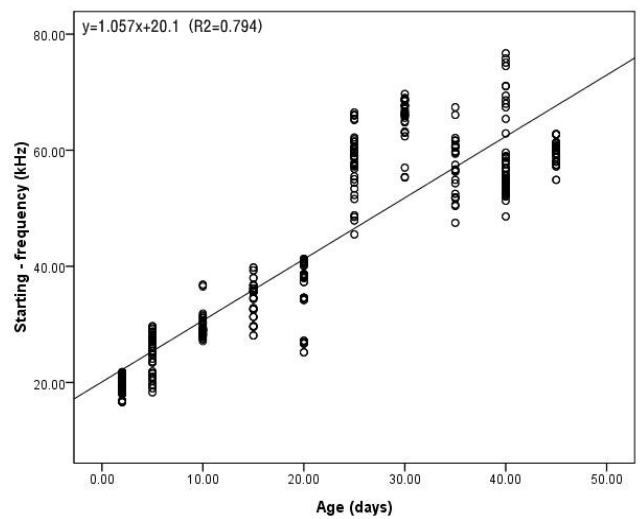


Figure 6. Changes in the starting frequency of spontaneous calls emitted by infant or young bats of the *Pipistrellus abramus*($t=55.73$, $p<0.001$)

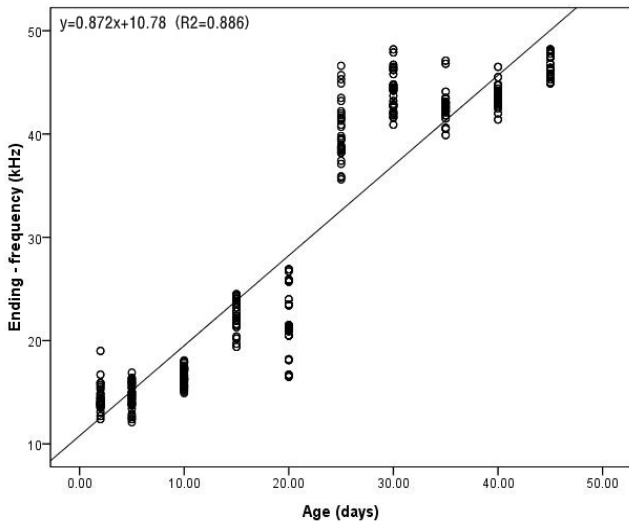


Figure 7. Changes in the ending frequency of spontaneous calls emitted by infant or young bats of the *Pipistrellus abramus* ($t=82.18$, $p<0.001$)

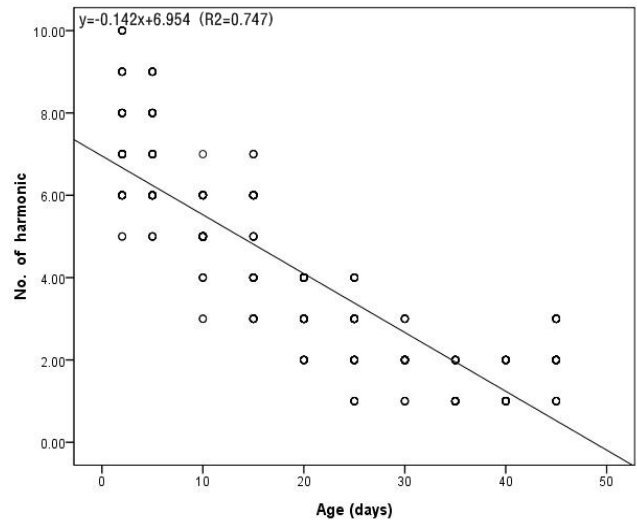


Figure 8. Changes in the maximum harmonic number of spontaneous calls emitted by infant or young bats of the *Pipistrellus abramus* ($t=-43$, $p<0.001$)

에서 생후 35일 1.36 ± 0.48 개로 감소하였으며, 생후 45일에는 2.11 ± 0.57 개로 성체와 유사한 결과를 나타내었다 (Figure 8).

본 연구는 박쥐의 연령 증가에 따른 발성 시그널의 변화를 파악하기 위하여 집박쥐를 대상으로 생후 어린 개체가 발산하는 음을 이용하여 세부 분석을 실시하였다. 분석 결과 펄스 지속시간, 펄스 간격, 최고 진동수, 개시 진동수, 종말 진동수, 하모니의 개수에서 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 지금까지 박쥐의 성장과 발성 시그널에 관한 연구결과에 의하면 생후 초기의 어린 박쥐는 어미와 다른 패턴의 시그널을 발산하였으며, 성장할수록 펄스의 지속시간은 감소하고 진동수는 높아지는 결과를 보인다 (Rubsamen, 1987; Moss, 1988; Jones *et al.*, 1991; Moss *et al.*, 1997; Liu *et al.*, 2007). 본 연구에서도 펄스의 지속시간, 펄스 간격, 하모니의 수는 박쥐의 연령이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 최고진동수, 개시진동수, 종말진동수는 증가하는 결과를 나타내 기존의 연구결과와 유사한 결과가 확인되었다. 특히, 펄스 간격은 생후 5일차에 가장 큰 변화를 보였으며, 그 외 펄스 지속시간, 최고진동수, 개시진동수, 종말진동수는 생후 25일차에 가장 큰 변화를 나타내었다. 본 연구에서 나타난 결과와 같이 이러한 시그널의 변화에 대하여 Camaclang *et al.*(2006)은 어린 Big brown bats(*Eptesicus fuscus*)의 음성 연구에서 어린 박쥐가 단독으로 내는 음의 지속시간은 체온이 높아질수록 증가한다고 하였으며, Liu *et al.*(2007)은 관박쥐를 대상으로 한 연구에서 새끼가 자발적으로 내는 소리의 발달은 어미에게서 일어나는 발성을 기초로 이루어지게 될 수도 있으며 또

는 미숙한 근육과 발성기관의 성장 등 다른 이유에 의한 것일 수도 있다고 하였다. 어린 박쥐의 체온 변화와 관련하여 본 연구에서는 시그널 녹음을 위하여 매 녹음마다 동일한 실내 환경조건에서 수행하였다. 따라서 어린 개체의 성장에 따른 시그널의 변화는 체온의 증감보다는 다른 요인에 의한 것이라 판단된다. 또한 관박쥐를 대상으로 연구한 Liu *et al.*(2007)은 암컷은 오로지 자신의 새끼에게만 젖을 먹이고 새끼가 발산하는 고유의 시그널을 통해서 자신의 새끼를 구분하며, 이러한 과정에서 새끼의 발성 시그널 발달은 어미의 발성음에 영향을 받을 수 있다고 하였다. 그러나 이 또한 본 연구에 이용된 사육 상태에서의 집박쥐는 다른 암컷의 새끼에게도 젖을 먹이는 것이 확인됨에 따라서 어미와의 교감, 또는 어미의 발성에 기초한 시그널의 발달에 관한 부분은 차후 추가적으로 연구되어야 할 것으로 생각된다. 어린 박쥐의 발성 시스템 발달과 관련하여 Moss *et al.*(1997)은 애기박쥐과(*Vespertilionidae*)의 박쥐가 이용하는 진동수와 펄스의 지속시간은 후두부(larynx) 주변의 윤상연골(cricoid cartilage)의 수축과 이완에 의해서 컨트롤 되어 진다고 하였다. 이는 근육의 수축은 후두부에 긴장을 주게 되고, 근육이 이완되는 동안 발성이 이루어지게 된다는 것으로 근육의 점차적인 이완은 아래로 떨어지는 형태의 FM 시그널을 형성하게 되고 근육의 이완정도는 FM 시그널의 수직적인 정도를 결정하게 된다고 하였다. 지금까지 이러한 부분에 대한 충분한 연구가 이루어지지 않았지만, 생후 초기의 불규칙적인 펄스 형태, 낮은 진동수 그리고 생후 3주차 시기에 나타난 발성 시그널의 유의적인 변화 등을

감안할 때 음성을 발산하는 것과 관련된 기관 및 근육 등 중추적인 부분들의 발달은 어린 박쥐의 시그널 변화에 있어서는 중요한 요인으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 지금까지 수행된 기존의 연구에서 새끼의 발성 시그널 변화는 새끼의 체온변화, 어미와의 교감 및 어미로부터의 학습 또는 주변 발성기관 근육의 발달 등 다양한 변화 요인이 근거로 제시되었지만 이에 대한 충분한 연구는 아직 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 연령 증가에 따른 펄스의 형태 변화 및 각각의 세부 항목에 대한 일자별 변화자료를 통계적으로 정리하였으며, 이러한 결과는 향후 박쥐의 성장에 따른 시그널변화 그리고 발성 시스템의 발달을 연구하는데 있어 유용한 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

인용문헌

- Camaclang, A.E., L. Hollis and R.M.R. Barclay(2006) Variation in body temperature and isolation calls of juvenile big brown bats, *Eptesicus fuscus*. *Anim. Behav.* 71: 657-662.
- Habersetzer, J. and G. Marimuthu(1986) Ontogeny of sounds in the echolocating bat *Hipposideros speors*. *J. Comp. Physiol. A.* 158: 247-357.
- Jennings, N.V., S. Parsons, E.K. Barlow and M. Gannon(2004) Echolocation calls and wing morphology of bats from the West Indies. *Acta Chiro*, 6(1), 75-90.
- Jones, G. and R.D. Ransome(1993) Echolocation calls of bats are influenced by maternal effects and change over a lifetime. *Proc. Biol. Sci.* 252: 125-128.
- Jones, G., P.M. Hughes and J.M.V. Rayner(1991) The development of vocalizations in *Pipistrellus pipistrellus*(Chiroptera, Vespertilionidae) during postnatal-growth and the maintenance of individual vocal signatures. *J. Zool.* 225: 71-84.
- Konstantinov, A.I.(1973) Development of echolocation in bats in postnatal ontogenesis. *Period. Biol.* 75: 13-19.
- Konstantinov, A.I. and A.K. Makarov(1987) Development of echolocation in the ontogenesis of the greater horseshoe bat *Rhinolophus ferrumequinum*. *J. Evol. Bioc and Physi.* 23: 80-87.
- Liu, Y., J. Feng, Y.E. Jiang, L. Wu and K.P. Sun(2007) Vocalization development of greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum* (Rhinolophidae, Chiroptera). *Folia. Zool.* 56(2): 126-136.
- Matsumura, S.(1979) Mother infant communication in a horseshoe bat (*Rhinolophus ferrumequinum nippon*): development of vocalization. *J. Mamm.* 60(1): 76-84.
- Moss, C.F.(1988) Ontogeny of vocal signals in the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. In: Nachtigall P.E(ed.), *Animal sonar systems: processes and performances*, Plenum Press, New York, pp. 115-120.
- Moss, C.F.(1997) Ontogeny of vocal signals in the big brown bat, *Eptesicus fuscus*. *Anim. Behav.*, 54(1): 131-141.
- Moss, C.F., D. Redish., C. Goudnen and T.H. Kunz(1997) Ontogeny of vocal signals in the little brown bat, *Myotis lucifugus*. *Anim. Behav.* 54: 131-141.
- 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: 2,641-2,656.
- Rubsamen R.(1987) Ontogenesis of the echolocation system in the rufous horseshoe bat, *Rhinolophus rouxi*(audition and vocalization in early postnatal development). *J. C. Physiol. A.* 161: 899-904.
- Schnitzler, H.U. and O.W. Henson(1980) Performance of airborne animal sonar systems. I. Microchiroptera. In: Busnel, R.G. and J.F. Fish(ed.), *Animal Sonar Systems*, New York: Plenum Press. pp. 109-181.
- 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. Soc.* 50: 317-328.
- Sterbing, S.J.(2002) Postnatal development of vocalizations and hearing in the phyllostomid bat, *Carollia perspicillata*. *J. Mamm.* 83(2): 516-525.
- Zhang, L., G. Jones, S. Parsons, B. Liang and S. Zhang(2005) Development of vocalizations in the flat-headed bats, *Tylonycteris pachypus* and *T. robustula*(Chiroptera: Vespertilionidae). *Acta Chiro* 7(1): 91-99.