

동해 참돌고래(*Delphinus delphis*)의 음향학적 특성 연구

윤영글 · 손호선* · 박겸준 · 최영민 · 김선호¹ · 최지웅¹

국립수산과학원 고래연구센터,¹한양대학교 해양융합공학과

Study of Acoustic Characteristics of Common Dolphins *Delphinus delphis* in the East Sea

Young Geul Yoon, Hawsun Sohn*, Kyum Joon Park, Young-Min Choi, Sunhyo Kim¹ and Jee Woong Choi¹

Cetacean Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Ulsan 44780, Korea

¹Development of Marine Science and Convergence Engineering, Hanyang University, Ansan 15588, Korea

Vocalizations of the common dolphin *Delphinus Delphis*, were recorded from a single hydrophone while coastal visual survey was performed in the East Sea in March 2017. Like most Delphinidae, common dolphins produce whistles, echolocation clicks, and burst-pulsed calls, with repertoires that differ between species and geographically separated populations. This study focuses on using frequency analysis to classify sounds into three categories and to compare them with those of other common dolphin populations. The fundamental frequencies of the whistles were high in the 6 to 14 kHz range, while echolocation clicks were in the 40 to 90 kHz frequency band. These results are similar to high-energy distributions in the same frequency band in other regions. Based on this study of the acoustic characteristics of dolphins off the east coast of Korea, cetacean vocalizations can be classified using a database of cetacean sounds in Korea. In addition, this technique could improve data quality for visual whale surveys and could be applied to various other research subjects.

Key words: Common dolphin, Vocalization, Acoustic characteristic, Passive acoustics

서 론

수중에서 가장 효율적인 정보 전달의 방법은 음파이기 때문에 대부분의 해양 포유류들은 다양한 목적으로 음향을 사용하는 것으로 알려져 있다. 특히 고래류는 발성을 통해 무리들과 의사소통을 하고 먹이를 찾거나 장애물을 탐지한다(Nuutila et al., 2013). 해상에서 고래의 분포 및 이동경로 등에 관한 다양한 연구들은 시각정보를 활용하는 목시조사에 의해 진행되었으나(McDonald and Fox, 1999), 최근들어 수중에서 고래가 만들어내는 소리를 실시간으로 측정하여 분석하는 수동 음향 탐지 방법을 이용한 연구가 증가하고 있다(McDonald et al., 1995; Blackwell et al., 2007; Di Iorio and Clark, 2010; Thode et al., 2012; Thode et al., 2016). 국내에서는 고래 자원평가 및 생태학적 연구를 위해 국립수산과학원에서 1999년 이후 대형 고래류 및 돌고래류를 대상으로 하는 목시조사를 실시하고 있다(Sohn et al., 2012). 목시조사는 시각적으로 고래류를 관찰하여 연구

하는 방법으로, 고래가 장시간 수중에 존재할 경우 정확한 개체 수 및 위치 파악이 불가능하며(Hildebrand et al., 2015) 관찰자에 의한 편차가 존재한다(Young and Pearce, 1999; Nuutila et al., 2013). 또한 기상상태 또는 주야에 의해 조사의 한계가 존재한다(McDonald and Fox, 1999; Oswald et al., 2003). 반면에 음향 기법을 이용시 고래조사는 관찰자가 놓칠 가능성이 있는 고래류의 탐지 및 식별 방법을 제공함으로써 목시조사의 보조 자료로서의 가치가 있으며, 동시에 고래류의 탐지 속도와 거리가 증가한다고 알려져 있다(Oswald et al., 2003). 특히 연속적인 자료획득이 쉬워 장기 모니터링을 이용한 고래조사에 효과적이다(Roch et al., 2007; Nuutila et al., 2013). 따라서 목시조사와 수중음향 정보를 결합하여 상호보완적으로 활용하여 고래류의 분포 특성이나 개체수 추정 등의 정확도를 향상시킬 수 있다(McDonald and Fox, 1999; Jacobsen et al., 2017).

수중 음향을 이용한 고래 연구의 핵심은 고래의 탐지와 식별을 통한 분류이다(Roch et al., 2007). 국내에서는 Shin et al.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0406>



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, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 50(4) 406-412, August 2017

Received 4 August 2017; Revised 16 August 2017; Accepted 23 August 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 52. 270. 0920 Fax: +82. 52. 270. 0913

E-mail address: 21st@korea.com

(2002)이 남방큰돌고래를 대상으로 휘슬음 특성에 대한 연구가 진행되었으나, 그 이후 음향을 이용한 고래의 연구가 거의 진행되지 않아 고래 소리 분류 및 식별에 대한 정보가 부족한 현실이다. 따라서 국내 연근해에 서식하는 고래류의 소리를 탐지하여 음향학적 특성을 파악하고, 고래 소리를 분류할 수 있는 데이터베이스를 구축하는 등의 기초 연구가 필요하다.

참돌고래(*Delphinus delphis*)는 전 세계에서 발견되는 종으로 주로 열대나 온대지방에서 많이 분포하고, 약 10-28℃ 사이의 온도를 선호하며 계절적에 따라 먼 바다와 연안을 이동하는 특성을 가진다(MacLeod et al., 2008; Henderson et al., 2012). 먹이는 주로 표층에 서식하는 어군이나 오징어들이며, 서식하는 지역과 계절에 따라 섭식하는 먹이의 종류는 달라진다(Neumann and Orams, 2003; Henderson et al., 2012). 개체간 간격이 매우 좁은 밀집 무리로 생활하며, 무리 속의 각기 다른 무리를 형성하여 생활한다. 또한 참돌고래는 우리나라 연안의 고래류 중 가장 큰 무리를 이루는 종이며 국립수산물관리원 목시조사에서 가장 많은 개체수가 발견된 동해 우점종으로(Sohn et al., 2012), 울산 고래 관광의 주요 목표종이기도 하다. 현재 동해에 약 30,000마리의 개체가 서식하는 것으로 알려져 있다(Kim, 2015). 본 연구에서는 국내에 서식하는 고래류들의 음향학적 분류를 위해 참돌고래를 대상으로 수동 음향 탐지 방법을 이용하여 음향학적 특성을 분석하였다.

재료 및 방법

조사 지역

본 연구에서는 참돌고래의 음향학적 특성을 파악하기 위해 2017년 3월 1일부터 14일까지 우리나라 동해 영덕부터 감포 주변 해역까지 국립수산물관리원의 시험조사선 탐구10호를 이용하여 직선횡단(line-transect) 형태의 목시조사(visual surveys)에서 발견한 참돌고래의 무리를 대상으로 조사를 실시하였다. 참돌고래 무리는 3월 4일(35° 47' 20.83" N 129° 39' 41.83" E)과 3월 5일(36° 10' 54" N 129° 43' 49" E)에 2회에 걸쳐 목시조사에서 발견되었다(Fig. 1).

음향 신호 획득 및 분석 방법

참돌고래의 음향 신호를 획득하기 위하여 무리 진행방향의 전방으로 조사선을 이동하여 정지시킨 후, 수심 5 m에 음향 전용 수중청음기(SM3BAT/H1, Wildlife Acoustics, Inc., USA)를 내려 참돌고래 소리를 수동 탐지방법으로 수신 및 녹음하였다. 데이터 획득은 조사선에 접근한 참돌고래 무리가 선박에서 멀어지는 약 5분간 수신하였다. 수중청음기의 수신음압강도(Receiving Voltage Sensitivity, RVS)는 -165 dB re:1 V/μPa 이고, 수신 증폭(Gain)은 0 dB, 샘플링주파수(sampling frequency)는 192 kHz로 설정 후 저장하였고, 수신된 음향 신호는 wav 형태로 저장매체(SD card)에 저장 후 음향자료 프로그램

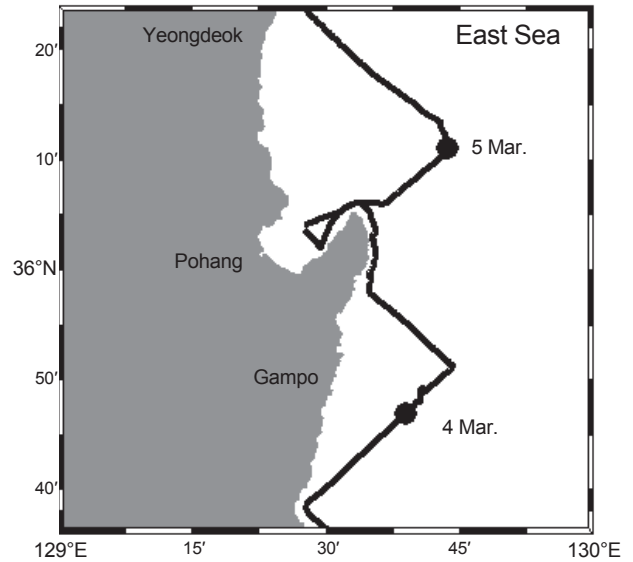


Fig. 1. Study area for acoustic detection of common dolphin *Delphinus delphis* in East Sea, Korea, 2017.

램인 MATLAB (Mathworks, USA)을 이용하여 분석하였다.

참돌고래가 발생시키는 신호의 특성을 분석하기 위해 신호 종류에 따라 다양한 방법을 활용하였다. 아래의 분석 방법들은 시계열 데이터에서 진동 신호를 식별하고 진폭을 확인할 때 유용한 기법들로 주요 주파수(main frequency)의 범위를 판별할 수 있다. 음향자료 분석 시 일반적으로 사용되는 파워 스펙트럼 밀도(power spectral density, PSD)는 소음(noise)과 같이 시간 축으로 충분히 긴 연속적인 신호에 적용되며, 다음 식 (1)으로 표현할 수 있다.

$$\sigma^2 = \frac{1}{T} \int e u^2(t) dt = \int_0^{f_m} P(f) df \quad (1)$$

$P(f)$ 는 eu^2/Hz 이며 eu 는 engineering unit으로 본 분석에서는 음압(pressure)을 의미한다. t 는 시간이며, f_m 는 주파수이다. Window는 hanning를 사용하였으며, 1 Hz 간격으로 주파수 분석을 실시하였다.

과도 신호(transient signal)와 같이 신호의 에너지가 짧은 시간에 집중되는 경우 파워 스펙트럼 밀도를 사용 시 크기가 과대평가 되므로 에너지 스펙트럼 밀도(energy spectral density, ESD)로 계산하였다(식 2).

$$\sigma^2 = \int e u^2(t) dt = \int_0^{f_m} P(f) df \quad (2)$$

$P(f)$ 는 $eu^2 sec/Hz$ 이며, 파워 스펙트럼 밀도와 동일한 조건으로 계산하였다. 본 논문에서는 3월 5일에 발견된 약 600여 마리의 참돌고래 무리에서 방사되는 음향신호를 분석에 사용하

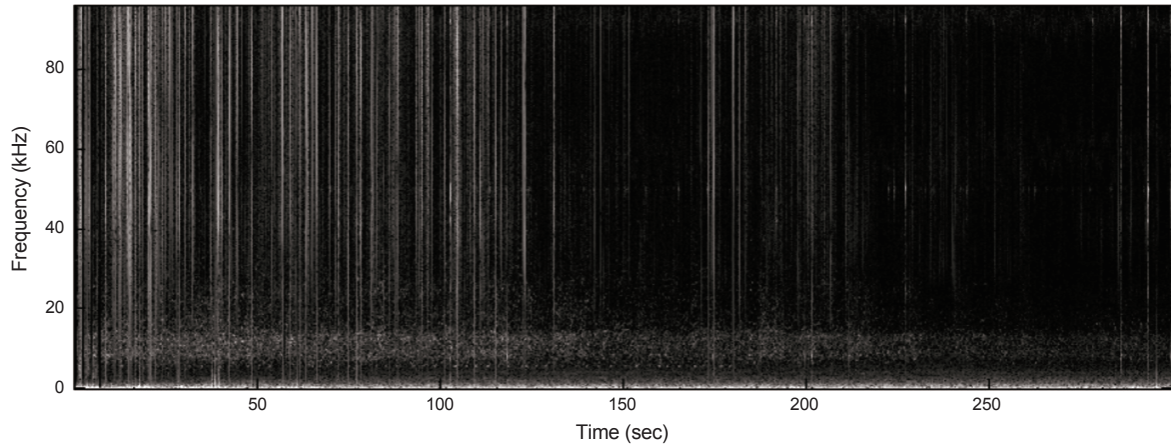


Fig. 2. Example of received signal using spectrogram created in a customized MATLAB program recorded on 5 March 2017.

였으며, 측정된 음향신호의 특성에 따라 적합한 분석방법을 적용하였다.

결과 및 고찰

참돌고래는 다양한 발성으로 소리를 발생시키며 대표적으로 휘슬음(whistle), 반향정위 클릭음(이후 클릭음, echolocation click), 순간파열음(burst-pulsed call)이 있다(Moore and Ridgway, 1995; Richardson et al., 1995; Soldevilla et al., 2008; Henderson et al., 2012). 각각의 음향특성은 시간과 주파수에 따라 다양하게 변화하며 목적과 생리적 특성에 따라 차이가 발생한다. 2017년 3월 5일 10시 26분부터 5분동안 수신된 신호를 시간적, 주파수적, 진폭 특성을 분석하여 시각화한 스펙트로그램(spectrogram)을 Fig. 2에 나타내었으며, 참돌고래 소리의 전체적인 음향특성에 대한 경향을 파악할 수 있다. 분석결과 광대역 신호인 클릭음과 5-15 kHz 사이에 협대역 형태의 휘슬음이 전체적으로 수신되는 것을 확인하였다.

참돌고래가 발생시키는 주파수 특성에 따른 크기를 확인하기 위해 파워 스펙트럼 밀도 분석을 실시하였다. 녹음한 음향 신호를 참돌고래 무리가 조사선 옆을 지나갈 때 획득한 신호(time1)와 참돌고래 무리가 조사선과 약 500 m 거리에서 측정된 신호(time2)로 구분하여 각각 10초의 신호로 분석하였으며, 또한 고래가 없는 지역에서의 배경소음(background noise)과 비교하였다(Fig. 3). 획득한 배경소음과 참돌고래의 음향신호 비교시 5 kHz 이하 저주파 대역은 돌고래의 유무와 상관없이 음향신호의 차이가 크지 않았다. 따라서 5 kHz 이하의 주파수 대역은 고래 소리와 상관없는 선박의 발전기 및 엔진 등의 소음이 우세하다고 볼 수 있다. 광대역 신호인 클릭음은 5 kHz 이상의 주파수 대역에서 신호의 크기가 증가하였으며, 5-15 kHz 대역과 25 kHz 주변에는 각각 휘슬음과 휘슬음의 배음성분에 의해 신호의 크기가 강하게 나타났다. time1에 비해 time2에서 고래 무리

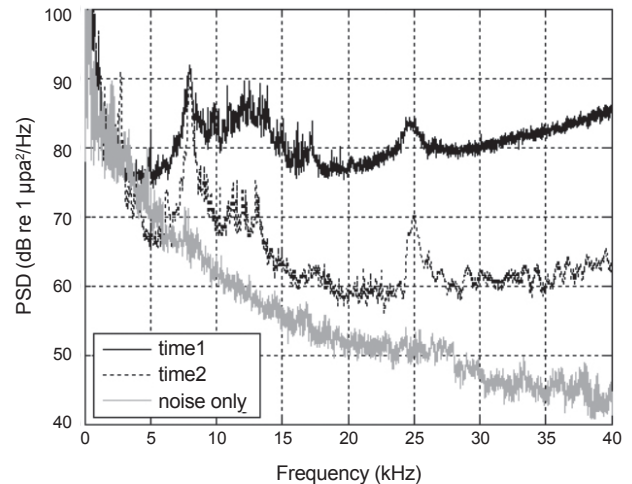


Fig. 3. Comparison of common dolphin *Delphinus delphis* sound and ambient noise using power spectral density. time1 is the signal obtained when group of dolphins pass by the ship, time2 is distance of about 500 m between the ship and dolphins, and noise only is background noise in dolphin free areas.

의 거리가 멀어졌으므로 거리에 따른 전달손실에 의해 신호의 크기가 감소하였다. 해수 매질에 의해 음파의 감쇠는 주파수가 증가함에 따라 높아지므로 상대적으로 저주파 성분인 휘슬음의 감쇠효과가 작게 나타났다.

참돌고래의 3가지 대표 발성 신호를 비교하기 위해 획득한 자료를 고역통과 여파기(high pass filter)로 선박소음을 제거하여 신호의 파형(waveform)과 스펙트로그램으로 표현하였다(Fig. 4). 휘슬음은 5초동안 계속 수신되었으며, 다른 신호들에 비해 크기가 작은 것을 확인할 수 있다. 클릭음은 1초 이내에 주로 분포하는 신호로 진폭의 크기가 매우 크며, 순간파열음은 2초와 3초 사이에 존재하며 클릭음과 비슷한 형태를 가지지만 상대적

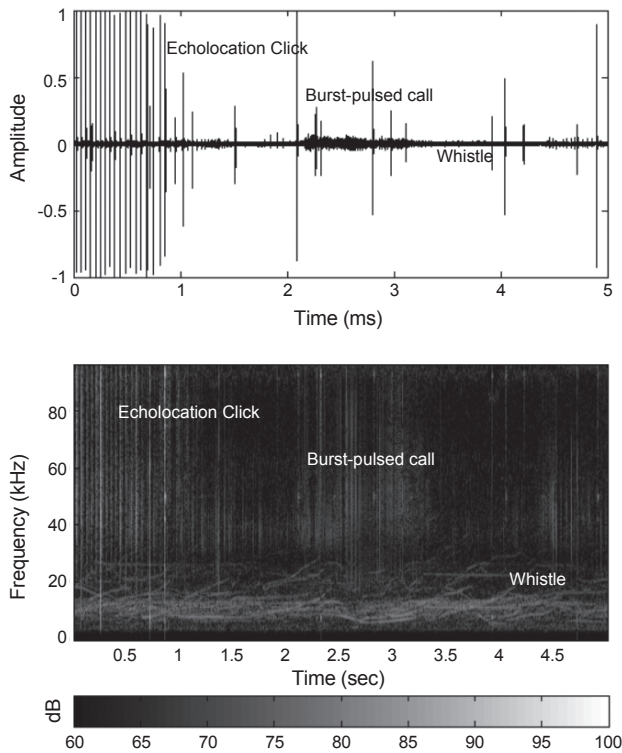


Fig. 4. Pressure waveform (upper panel) and spectrogram (lower panel) of the vocalization made by common dolphin *Delphinus delphis*.

으로 진폭이 작은 신호를 나타내었다.

휘슬음은 다른 신호들에 비해 상대적으로 저주파이며, 사람의 가청주파수 대역으로 녹음과 분석이 쉬워 돌고래 소리 중 가장 많은 연구가 진행되었다(Asmann et al., 2007; Au, 2000). 주로 의사소통 목적으로 다른 개체들에게 정보전달에 사용되는 협대역 형태의 신호이며, 지속시간이 길며 주파수 변조(frequency modulation, FM) 형태를 가진다. 또한 종종 배음(harmonic) 구조로 나타나기도 하며, 세부적으로 단일휘슬음(single whistle), 배음휘슬음(whistle with harmonic), 뭉치휘슬음(whistle bouts) 3가지로 분류한다(Richardson et al., 1995; Henderson et al., 2012). 또한 휘슬음은 주파수 변조 형태에 따라 다양한 유형으로 구분할 수 있으며, Asmann et al.(2007)과 Petrella et al.(2012)는 주파수가 일정한 경우(constant frequency whistles), 상승하는 경우(upsweeps), 하강하는 경우(downsweeps), 주파수 변조가 오목하거나 볼록한 경우(U shapes or concave, inverted U shapes or convex) 그리고 진동하는 경우(wavering sinusoidal whistles)의 6가지로 분류한다. 그러나 중간형태로 구분하기 힘들거나, 반복이나 결합, 단절된 형태들로 나타나기도 한다(Richardson et al., 1995; Asmann et al., 2007).

Fig. 4의 신호 중 클릭음의 영향이 작은 1.4초 부분의 데이터

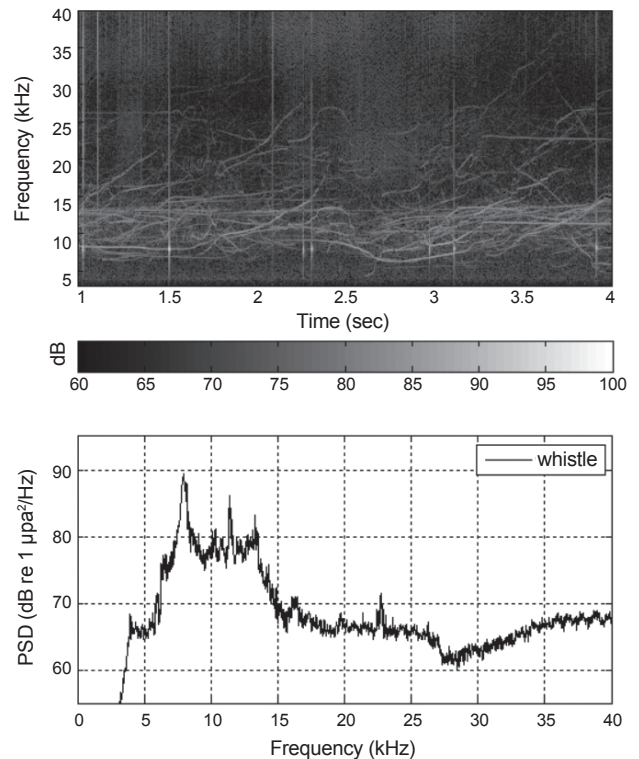


Fig. 5. Spectrogram (upper panel) and power spectral density (lower panel) of the whistles made by common dolphin *Delphinus delphis*.

를 이용하여, 휘슬음의 주파수 분석을 실시하였다(Fig. 5). 스펙트로그램을 통하여 다양한 형태의 휘슬음을 확인하였지만, 신호들이 동시에 수신되어 겹쳐진 뭉치휘슬음 구조여서 변조 형태에 따른 분류 및 통계 처리가 어려웠다. 휘슬음의 기본주파수(fundamental frequency)는 6-14 kHz 대역에서 많이 존재하였으며, 배음은 약 27 kHz까지 발생하였다.

참돌고래의 휘슬음 주파수를 조사해역마다 비교하여 Table 1에 나타내었다. 동해에서 획득한 참돌고래 휘슬음의 최소주파수는 4.3 kHz, 최대는 20.4 kHz로 나타났으며, 켈트해(Celtic Sea)에 서식하는 참돌고래의 휘슬음은 4.8-20.4 kHz, 영국해협(English Channel)은 5.8-22.2 kHz, 하우라키만(Hauraki Gulf)은 3.4-22.1 kHz의 범위에 존재하였다(Asmann et al., 2007; Petrella et al., 2012). 평균 주파수 이외에도 휘슬음의 지속시간, 시작/마지막/최대/최소 주파수, 주파수 기울기, 주파수 범위, 굴절수, 직선수 등 음향학적 특성 연구가 진행되었으나, 이번 실험에서 획득한 휘슬음은 참돌고래의 개체수가 많아 뭉치휘슬음으로 수신되어 각각의 휘슬들을 구분하기 어려워 음향학적 특징을 확인하기 어려웠다.

클릭음은 충격파(impulse) 형태의 매우 짧은 광대역 신호로 참돌고래의 경우 23-100 kHz이상이 대역폭을 가진다(Richard-

Table 1. Comparisons by region of means and ranges for frequency of common dolphin whistles

Species	Frequency (kHz)	Region	References
<i>Delphinus delphis</i>	(4.3-20.4)	East Sea	This study
	11.9 (3.6-23.5)	Celtic Sea	Ansmann et al. (2007)
	12.7 (4.5-27.9)	English Channel	Ansmann et al. (2007)
	12.4 (3.2-22.1)	Hauraki Gulf	Petrella et al. (2012)

son et al., 1995; Au, 2004; Soldevilla et al., 2008; Henderson et al., 2012). 신호를 발생시켜 물체에 부딪혀서 돌아오는 반향 신호를 이용하여 먹이를 찾거나 이동하는데 이용한다(Roch et al., 2007). 클릭음은 약 0.1 ms 정도의 매우 짧은 신호이며, 10 개의 신호를 에너지 스펙트럼 밀도 분석한 결과 40-90 kHz의 주파수 성분을 가진 것으로 파악되었다(Fig. 6). Soldevilla et al. (2008)의 연구 결과인 사육중인 참돌고래 클릭음의 스펙트럼과 파형 비교하였을 때, 신호의 길이도 비슷하고 30-90 kHz 사이의 주파수 대역에서 높은 에너지 분포를 보여 본 연구에서 획득한 신호와 유사하였다. 그러나 클릭음과 휘슬음의 음압의 크기 차이로 인해 클릭음의 최대값(peak)이 차단되었으며, 클릭음의 크기에 맞춰 수신하면 휘슬음의 크기가 매우 작아지는 단점이 있어 두 신호를 한번에 수신하기에는 어려움이 있다. 이로 인해 클릭음의 파형과 주파수에 따른 에너지 분포 특성을 정확한 값으로 계산하지 못하였으므로 정량적인 결과라고 할 수 없고 경

향만 확인 가능하다. 또한 샘플링 주파수의 한계로 인해 96 kHz 이상의 신호를 확인할 수 없었다.

순간파열음은 작은 크기의 클릭음을 매우 짧은 간격으로 발생시킨 신호로 사람은 구분할 수 없는 톤(tonal) 신호이다(Roch et al., 2007). 앞서 설명한 두 신호에 비해 매우 낮은 빈도로 사용되며, 의사소통과 반향정위 모두 사용하는 것으로 알려져 있다(Richardson et al., 1995; Henderson et al., 2012). 클릭음과 비교하였을 때 신호의 길이와 크기가 모두 작으므로, 주파수에 따른 에너지 또한 작게 나타남을 알 수 있다.

참돌고래들이 발생시키는 대표적인 소리 이외에도 웅웅거리는 소리(buzz)와(Moore and Ridgway, 1995; Henderson et al., 2012) 짹는 소리(barks), 외치는 소리(yelps), 짹짹거리는 소리(squeals)로 언급되는 비휘슬음(nonwhistle pulsed sound) 형태가 있다(Caldwell and Caldwell, 1968; Ridgway, 1983; Henderson et al., 2012). 그러나 일부 연구에서는 이 소리의 일부

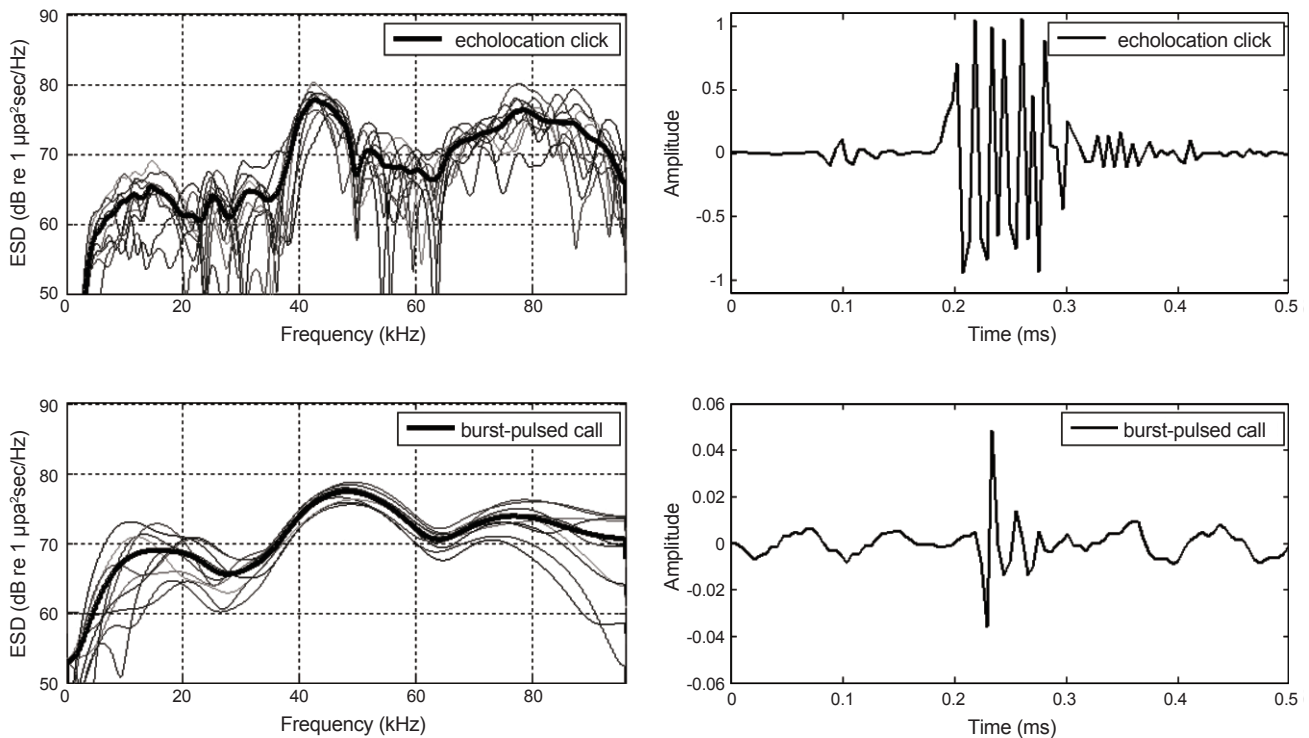


Fig. 6. Power spectral density (a) and pressure waveform (b) for echolocation click and burst-pulsed call made by common dolphin *Delphinus delphis*.

분은 순간파열음이라고 표현하기도 하므로(Asmann et al., 2007), 아직까지 이 발성에 대해 명확하게 정의되지 않았으며 아직까지 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

고래류에 대한 음향학적 연구는 아직 기초 단계로 음향 조사의 필수인 탐지 및 분류에 대한 연구가 미비한 상황이다. 고래의 소리는 같은 종 내에서도 지리적 차이 또는 무리에 따라 다양성 발성 패턴을 가지므로(Asmann et al., 2007), 음향학적 탐지 및 분류를 위해서는 국내에 서식하는 고래류에 대한 데이터베이스 구축이 필요하다. 따라서 본 연구를 통해 분석된 동해의 참돌고래의 음향학적 특성 연구를 바탕으로, 한반도 주변에 서식하는 다양한 고래류의 음향 자료를 획득하고 분석하는 것이 필요하다. 수중청음기의 배열을 적용하여 고래의 정확한 위치 탐지 및 사-공간적인 음향 자료를 획득하여 신호 특성을 파악하고, 이를 목시조사, 환경조사, 소음조사 등의 다양한 정보와 결합하여 고래류의 이동, 행동 특성, 생활 패턴에 대한 연구를 진행할 수 있다. 또한 인공 신경망 기술(Convolutional Neural Network) 등을 이용하여 고래 신호를 탐지 및 분류하여 원격 모니터링을 통한 고래의 분포 특성, 개체수 파악 등의 기초자료로 사용될 수 있다.

사 사

이 논문은 2017년도 국립수산물연구원 수산과학연구사업 「고래류 자원 및 생태조사(R2017028)」의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- Ansmann IC, Goold JC, Evans PGH, Simmonds M and Keith SG. 2007. Variation in the whistle characteristics of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, at two locations around the British Isle. *J Mar Biol Ass UK* 87, 19-26. <https://doi.org/10.1017/S0025315407054963>.
- Au WWL. 2000. Hearing in whales and dolphins: An overview. In: *Hearing by Whales and Dolphins*. Au WWL, Popper AN and Fay RR, eds. Springer, New York, NY, U.S.A., 1-42.
- Blackwell SB, Richardson WJ, Greene CR Jr and Streever B. 2007. Bowhead whale (*Balaena mysticetus*) migration and calling behaviour in the Alaskan Beaufort Sea, Autumn 2001-04: An acoustic localization study. *Arctic* 60, 255-270.
- Caldwell MC and Caldwell DK. 1968. Vocalization of naive captive dolphins in small groups. *Science* 159, 1121-1123. <https://doi.org/10.1126/science.159.3819.1121>.
- Au WWL. 2004. Echolocation signals of wild dolphins. *Acoustical Physics* 50, 454-462.
- Di Iorio L and Clark CW. 2010. Exposure to seismic survey alters blue whale acoustic communication. *Biol Lett* 6, 51-54. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2009.0651>.
- Henderson EE, Hildebrand JA, Smith MH and Falcone EA. 2012. The behavioral context of common dolphin (*Delphinus* sp.) vocalizations. *Mar Mamm Sci* 28, 439-460. <http://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2011.00498.x>.
- Hildebrand JA, Baumann-Pickering S, Frasier KE, Trickey JS, Merckens KP, Wiggins SM, McDonald MA, Garrison LP, Harris D, Marques TA and Thomas L. 2015. Passive acoustic monitoring of beaked whale densities in the Gulf of Mexico. *Nat Sci Rep* 5, 16343, 1-15. <https://doi.org/10.1038/srep16343>.
- Jacobson EK, Forney KA and Barlow J. 2017. Using paired visual and passive acoustic surveys to estimate passive acoustic detection parameters for harbor porpoise abundance estimates. *J Acoust Soc Am* 141, 219-230. <http://dx.doi.org/10.1121/1.4973415>.
- Kim JH. 2015. Taxonomic status of common dolphin in the East Sea, Korea. MS Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- MacLeod CD, Weir CR, Santos MB and Dunn TE. 2008. Temperature-based summer habitat partitioning between white-beaked and common dolphins around the United Kingdom and Republic of Ireland. *J Mar Biol Ass UK* 88, 1193-1198. <https://doi.org/10.1017/S002531540800074X>.
- McDonald MA and Fox CG. 1999. Passive acoustic methods applied to fin whale population density estimation. *J Acoust Soc Am* 105, 2643-2651. <http://dx.doi.org/10.1121/1.426880>.
- McDonald MA, Hildebrand JA and Webb SC. 1995. Blue and fin whales observed on a seafloor array in the Northeast Pacific. *J Acoust Soc Am* 98, 712-721. <http://dx.doi.org/10.1121/1.413565>.
- Moore SE and Ridgway SH. 1995. Whistles produced by common dolphins from the Southern California Bight. *Aquatic Mammals* 21, 55-63.
- Neumann DR and Orams MB. 2003. Feeding behaviours of short-beaked common dolphins, *Delphinus delphis*, in New Zealand. *Aquatic Mammals* 29, 137-149.
- Nuuttila HK, Thomas L, Hiddink JG, Meier R, Turner JR, Bennell JD, Tregenza NJC and Evans PGH. 2013. Acoustic detection probability of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, with static acoustic dataloggers in Cardigan Bay, Wales. *J Acoust Soc Am* 134, 2596-2609. <http://dx.doi.org/10.1121/1.4816586>.
- Oswald JN, Barlow J and Norris TF. 2003. Acoustic identification of nine delphinid species in the eastern tropical Pacific Ocean. *Mar Mamm Sci* 19, 20-37. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2003.tb01090.x>.
- Petrella V, Martinez E, Anderson MG and Stockin KA. 2012. Whistle characteristics of common dolphins (*Delphinus* sp.) in the Hauraki Gulf, New Zealand. *Mar Mamm Sci* 28, 479-496. <http://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2011.00499.x>.
- Richardson W, Greene CR Jr, Malme CI and Thomson DH. 1995. *Marine mammals and noise*. Academic Press, San Diego, CA, U.S.A., 159-238.

- Ridgway SH. 1983. Dolphin hearing and sound production in health and illness. In: Hearing and Other Senses: Presentations in Honor of E G Wever. Fay RR and Gourevitch G, eds. The Amphora Press, Groton, CT, U.S.A., 247-296.
- Roch MA, Soldevilla MS, Burtenshaw JC, Henderson EE and Hilderbrand JA. 2007. Gaussian mixture model classification of odontocetes in the Southern California Bight and the Gulf of California. J Acoust Soc Am 121, 1737-1748. <http://dx.doi.org/10.1121/1.2400663>.
- Shin H, Seo D, Lee D, Hwang D, Bae M and Lee Y. 2002. Characteristics of bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) whistle. Korean J Fish Aquat Sci 38, 271-277.
- Sohn H, Park KJ, An YR, Choi SG, Kim ZG, Kim HY, An DH, Lee YR and Park T-G. 2012. Distribution of Whales and Dolphins in Korean Waters Based on a Sighting Survey from 2000 to 2010. Korean J Fish Aquat Sci 45, 486-492. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0486>.
- Soldevilla MS, Henderson EE, Campbell GS, Wiggins MS, Hilderbrand JA and Roch MA. 2008. Classification of Risso's and Pacific white-sided dolphins using spectral properties of echolocation clicks. J Acoust Soc Am 124, 609-624. <http://dx.doi.org/10.1121/1.2932059>.
- Thode AM, Kim KH, Blackwell SB, Greene CR Jr and Macrander MA. 2012. Automated detection and localization of bowhead whale sounds in the presence of seismic airgun surveys. J Acoust Soc Am 131, 3726-3747. <http://dx.doi.org/10.1121/1.3699247>.
- Thode AM, Kim KH, Norman RG, Blackwell SB and Green CR Jr. 2016. Acoustic vector sensor beamforming reduces masking from underwater industrial noise during passive monitoring. J Acoust Soc Am 139, EL105-EL111. <http://dx.doi.org/10.1121/1.4946011>.
- Young RF and Pearce S. 1999. Using simultaneous counts by independent observers to correct for observer variability and missed sightings in a shore-based survey of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*. J Cetacean Res Manage 1, 279-287.