

사육 흰고래(*Delphinapterus leucas*)의 휘슬음 특징

최슬기·육형준¹·한원민¹·윤영글·손호선·이경리·박겸준*

국립수산과학원 고래연구센터, ¹한화호텔앤리조트 아쿠아플라넷 여수

Whistle Characteristics of Captive Beluga Whale *Delphinapterus leucas*

Seulgi Choi, Hyeong jun Yuk¹, Won min Han¹, Young Geul Yoon, Hawsun Sohn, Kyunglee Lee and Kyum Joon Park*

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

¹Hanwha Hotels & Resorts Aqua planet, Yeosu 59744, Korea

The whistle sounds of three Beluga whales *Delphinapterus leucas* were recorded four times, for an hour each time, in 2016 and analyzed to obtain the most stable and basic acoustic characteristics of the whales in captivity. This study investigated the whistle characteristics of beluga whales and the relationship between whistle sounds and behavior to understand the meaning of the whistle sounds. The whistles were classified into six types (flat, ascending, descending, hump, dip, and wavy type) by their frequency contour and shape. The most common type was the ascending type, accounting for >30% of total whistles. The fundamental frequency of whistles was 2.0-8.6 kHz. Four types of behavior were related with the sounds of beluga whales (aggressive, submissive, affiliative, sexual behavior). A flat whistle was the most recorded in the group and an aggressive act was observed in association with the flat whistle. A dip whistle were recorded more when submissive acts were observed.

Key words: *Delphinapterus leucas*, Captive beluga whale, Whistle characteristics, Behavior

서론

흰고래(*Delphinapterus leucas*)는 분류학적으로 고래목(Order Cetacea), 이빨고래아목(Suborder Odontoceti), 일각고래과(Family Monodontidae), 흰고래속(Genus *Delphinapterus*)에 속하는 종으로 알래스카와 캐나다, 그린란드, 러시아 등 북극해에 서식한다. 출생 직후의 체색은 노란빛을 띠는 연회색이지만 빠르게 진회색으로 변하며, 성장에 따라 회색, 연회색으로 점차 밝아지다 5세에서 12세 사이에 이름과 같은 흰색이 된다. 이러한 외형의 특징으로 White whale 또는 Beluga whale로 불린다. 성체의 몸길이는 4.3-5.5 m, 몸무게는 1.6 ton에 이르며, 다른 고래류와는 달리 등지느러미가 없고 머리를 상하좌우로 유연하게 움직일 수 있다(Jefferson et al., 2008).

고래류는 수중에서 음파를 이용하여 서로 의사소통을 하거나 음파를 방사해 대상물체로부터의 반향을 수신하여 대상물체의 위치나 크기, 거리 및 윤곽에 대한 정보를 파악하는 등 음향학적 활동이 풍부한 종으로, 고래의 행동과 생태를 파악하기 위해

서 그들이 발생하는 소리의 연구가 무척 중요하다(OSJ, 2017). 특히 흰고래는 이빨고래 중에서 가장 다양한 소리를 내는 종으로 알려져 있으며(Vergara et al., 2010), 그 소리의 유형은 휘슬음(Whistle)과 반향정위 클릭음(Echolocation click), 파열음 및 시끄러운 소리(Pulsed tone and noisy call), 복합음(Combined call)의 4가지로 크게 분류된다(Chmelnitsky et al., 2012). 4가지 소리 중에서 가장 연구가 활발히 진행된 휘슬음은 협대역으로 보통 주파수 곡선이나 모양에 의해 묘사되고, 의사소통을 위해 사용된다고 알려져 있다(Belikov et al., 2007; Chmelnitsky et al., 2012). 클릭음은 200 Hz-120 kHz의 주파수 범위를 가지는 광대역 펄스음으로 위치와 먹이를 탐지하기 위해 이용된다(Chmelnitsky et al., 2012; Garland et al., 2015). 반면, 휘슬음과 클릭음에 비해 상대적으로 연구가 덜 진행된 파열음 및 시끄러운 소리는 일련의 짧은 펄스음으로 구성되며, 클릭음과 연관되어 있다(Karlsen et al., 2002; Chmelnitsky et al., 2012; Garland et al., 2015). 마지막으로 복합음은 휘슬음과 파열음 및 시끄러운 소리를 동시에 포함하거나 하나의 개체에서 발생한다

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0799>



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(6) 799-805, December 2017

Received 13 November 2017; Revised 8 December 2017; Accepted 15 December 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 52. 270. 0940 Fax: +82. 52. 270. 0913

E-mail address: mogas@hanmail.net

두 개의 소리가 겹쳐진 것을 말한다(Chmelnitsky et al., 2012; Garland et al., 2015). 이러한 고래류의 소리는 야생과 수족관 등 다양한 환경에서 수집할 수 있는데, 한정된 공간인 수족관 안에서 고래류의 소리를 측정 및 분석하는 것이 기초적인 음향 자료를 안정적으로 얻는데 효율적이다(Yoon et al., 2002).

또한, Panova et al. (2012)은 러시아의 Onega Bay (64°24' N, 35°49' E)에 서식하는 흰고래를 대상으로 수중음을 녹음하여 6 가지 행동 유형(directional motion, quiet swimming, sleeping/resting, social interaction, feeding, exploration of hydrophone)에 따라 소리 특성을 분석하였고, Van Parijs and Corkeron (2001)는 호주 Moreton Bay (153°26' N, 27°24' E)에 서식하는 인도태평양 혹등돌고래(Pacific humpback dolphin)의 수중음을 녹음하여 4가지 행동 유형(travelling, socializing, foraging, milling)에 따라 분석하였다. 이들의 연구는 야생에서 서식하는 개체군을 대상으로 하고 있어 그 행동구분의 기준이나 범주가 사육환경의 개체를 대상으로 하는 경우와는 다를 것으로 예상된다. 사육 개체는 야생에서 보다 세밀한 행동 관찰이 가능하며 음향 데이터를 안정적으로 확보할 수 있어 행동과 소리에 대한 상관관계를 더 정확하게 분석할 수 있을 것으로 생각된다.

현재 우리나라 수족관들에서 사육중인 고래류는 큰돌고래, 남방큰돌고래 및 흰고래 3종이다. 그 중 고래연구센터는 한화 아쿠아플라넷 여수와 함께 한화에서 사육 중인 흰고래 3마리를 대상으로 기초 생물학적 특성 및 행동학적 연구를 진행하고 있으며, 이 연구 과정에서 사육수조 내의 흰고래의 행동과 그들이 발생하는 수중음을 기록하였다. 휘슬음이 고래류의 의사소통에 중요한 역할을 하므로(Belikov et al., 2007), 본 연구에서는 사육 중인 흰고래 3마리의 그룹에 따라 나타나는 행동 특성과 휘슬음의 유형을 분석함으로써 흰고래가 발생시키는 휘슬음의 의미에 대해 파악하고자 한다.

재료 및 방법

연구대상

한화 아쿠아플라넷 여수는 2012년 여수세계박람회 개최와 더불어 러시아태평양수산연구센터(TINRO, Pacific Scientific Research Fisheries Center, Russia)에서 흰고래를 수입하여 우리나라 최초로 사육을 시작하였으며, 현재 수컷 2마리와 암컷 1마리를 함께 사육 및 전시하고 있다. 세 개체의 나이는 수입 당시의 기록과 크기, 체색 등을 바탕으로 추정하였으며, Table 1에 세 개체의 신체적 특징을 나타내었다. 현재 수컷인 루이(Lui)와 루오(Luo)는 각각 9세와 8세로, 암컷인 루비(Lubi)는 가장 어린 6-7세로 보고 있다. 루이는 체장 3.7 m, 체중 723.7 kg이고, 루오는 체장 3.6 m, 체중 797.7 kg, 루비는 체장 3.4 m, 체중 757.4 kg이다. 북미 9개 사육시설에서 사육중인 총 32마리의 흰고래를 대상으로 연구한 Robeck et al. (2005)의 결과에 따르면, 사육시설 내 수컷 흰고래가 첫 번째 새끼를 보게 되는

Table 1. Physical features of beluga whales *Delphinapterus leucas* in this study

Name	Sex	Age	Length (m)	Weight (kg)
Lui	male (♂)	9	3.7	723.7
Luo	male (♂)	8	3.6	797.7
Lubi	female (♀)	6-7	3.4	757.4

Standard, June, 2017.

평균 연령은 13.3세로 8세를 전후하여 혈중 테스토스테론이 급격히 증가하는 것으로 보고되었고 암컷의 첫 배란 연령은 6.9세로 첫 번째 임신은 체장이 3.18 m에 이르는 9.1세에 이루어진다고 하므로, 루이와 루오, 루비는 1-2년 내에 성 성숙이 이루어질 것으로 보인다.

휘슬음 기록

사육 흰고래의 수중음을 녹음하기 위해 음향모니터링 시스템인 Song Meter SM3BAT (Wildlife Acoustics, Inc., USA)와 SM3-H1 수중청음기(Wildlife Acoustics, Inc., USA 2 Hz-40 kHz flat to +/- 1dB, sensitivity, -165 dB; re, 1V/uPa)를 사용하였다. 흰고래들은 본 수조(10×15×6.5 m)와 보조 수조에서 생활하고 있으며, H1 수중청음기는 쇠로 된 케이지 안에 고정하여 본 수조와 보조 수조 사이 통로 수심 1 m에 설치하였다. Fig 1에 조사 모식도와 수중청음기 설치 위치 및 방법을 나타내었다.

흰고래 3마리가 본 수조에서 같이 생활하는 조합에 따라 행동 유형에 차이가 있을 것으로 가정하고, 흰고래는 한 마리씩 보조 수조에 격리되었다. 흰고래의 수중 발생음은 2016년 9월 5일, 9월 6일, 9월 26일, 12월 19일 4회에 걸쳐 1시간씩 총 4시간 녹음되었으며, 9월 5일에는 루비와 루이, 9월 26일에는 루비와 루오, 12월 19일에는 루이, 루오가 함께 있었고 9월 6일에는 3마리 전부 본 수조에 있었다. 조사 날짜 별 흰고래의 위치는 Table 2에 정리하였다.

휘슬음 분석

사육 흰고래의 휘슬음 특성을 파악하기 위해서 녹음된 소리를 듣는 청각적 방법과 스펙트로그램을 분석하는 시각적 방법을 사용하였다(Figueiredo et al, 2009; Chmelnitsky et al., 2012). SM3-H1 수중청음기로 녹음된 흰고래의 휘슬음은 Avisoft

Table 2. Pairing of beluga whales *Delphinapterus leucas* on the date of recording

Date	Pool	
	Main pool	Second pool
September 5. 2016	Lui, Lubi	Luo
September 26. 2016	Luo, Lubi	Lui
December 19. 2016	Lui, Luo	Lubi
September 6. 2016	Lubi, Lui, Luo	-

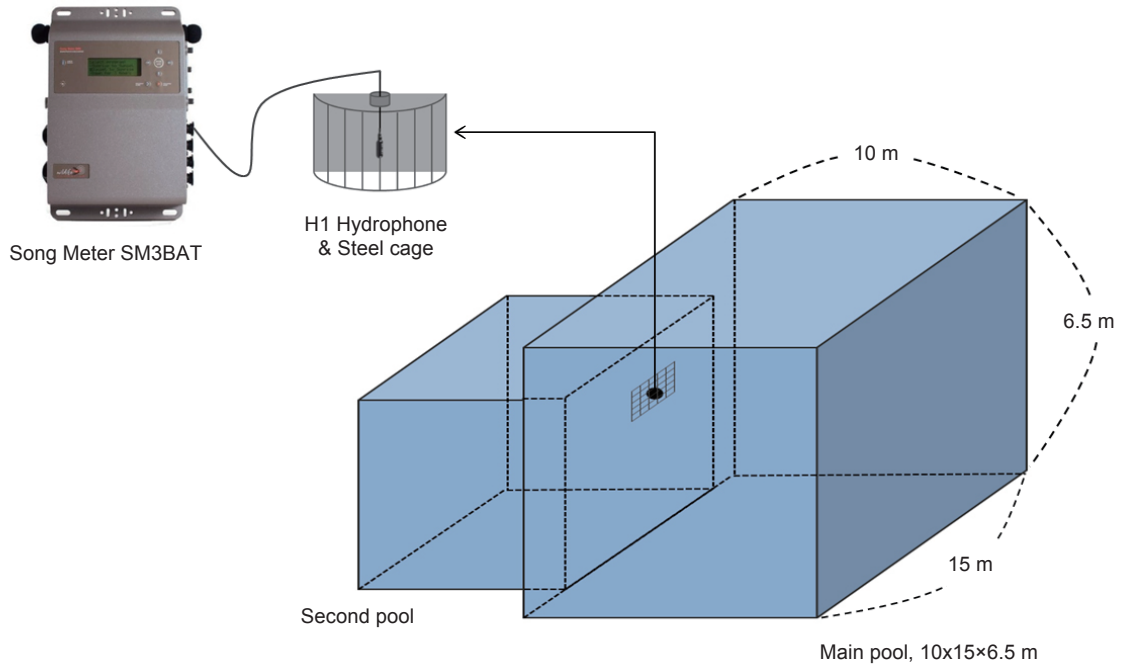


Fig. 1. Survey diagram (installation position and method of hydrophone).

SAS Lite software (Avisoft Bioacoustics, Berlin, Germany)를 이용하여 분석하였다. 휘슬음은 주파수 변조(frequency modulation, FM) 형태를 가지므로 주파수 곡선이나 모양(시간에 따른 기본주파수 변화)에 따라 다양한 유형으로 구분하였다. 이러한 주파수 곡선은 신호의 특성을 분류하는데 중요한 작업으로 생물학적으로 유의미한 특성을 내포하고 있을 가능성이 높으며, 특히 신호가 방출되는 음향 환경의 영향에 따라 다양한 형태를 보여줄 수 있기 때문에 중요하다(Chmelnitskyet et al., 2012).

본 연구에서는 Chmelnitskyet et al. (2012)의 연구를 토대로 휘슬음을 직선형(flat, W1)과 상승형(ascending, W2), 하강형(descending, W3), 상승-하강형(hump, W4), 하강-상승형(dip, W5), 곡선형(wavy, W6)의 6가지 유형으로 구분하고 각 신호의 시작·끝 주파수(starting·ending frequency), 최소·최대 주파수(minimal·maximal frequency), 지속시간(signal duration), 변곡점의 수(number of inflection points)등을 파악하였다. 각 신호의 유형 및 특성에 대한 정보는 상황 별 사용 및 신호의 기능을 포함하여 흰고래 소리의 향후 연구를 위한 기준 데이터로 제공될 수 있다(Chmelnitskyet al., 2012).

행동 기록 및 분석

흰고래의 행동을 파악하기 위해 비디오카메라(NEX-VG30H, Sony, Japan)로 수조 내 흰고래 행동을 촬영한 뒤 촬영 영상을

재생하여 행동 별 빈도를 기록 및 분석하였다. 흰고래의 행동은 Recchia (1994)의 흰고래 행동분석표를 기반으로 흰고래 개체 사이에서 나타나는 34개의 행동유형을 공격(Agressive), 굴복(Submissive), 친화(Affiliative), 성적(Sexual) 행동의 4가지 유형으로 구분하였다. 공격적 행동은 물기(Bite), 치기(Hit), 돌진(Charge), 추적(Chase) 등이 포함되며, 이러한 행동은 머리 흔들기(Head jerk), 입 벌리기(Mouth open), 턱으로 치기(Jaw clap), 주시하기(Directed look), 물려고 위협하기(Bite threat)와 같은 행동과 동반되어 나타난다. 굴복적 행동은 도망가기(Flee), 주춤거리기(Flinch) 등이 있으며, 친화적 행동에는 상대 개체와 접촉하기(Contact swim), 속도와 방향을 일치시키며 3초 이상 유영하는 편대 유영하기(Echelon swim), 따라가며 유영하기(Follow swim) 등이 포함된다. 성적행동에는 발기한 채 밀기(Thrust with erection), 복부 맞대기(Ventral-to-ventral), 복부 보이기(Ventral present), 복부 보이며 유영하기(Ventral swim) 등이 포함된다(Recchia, 1994).

결과 및 고찰

본 연구에서 녹음된 흰고래의 수중음을 분석한 결과 총 240분 동안 453개의 휘슬음이 기록되었다. 루이와 루비가 함께 있던 9월 5일에는 75개의 휘슬음이 기록되었고, 루오와 루비가 있던 9월 26일에는 72개, 루이와 루오가 같이 있던 12월 19일에는 141

개, 세 마리가 함께 있었던 9월 6일에는 가장 많은 165개의 휘슬음이 기록되었다. 기록된 휘슬음은 6가지 유형으로 구분되었고, Table 3에 그룹별 흰고래의 휘슬 특징(주파수, 지속시간, 변곡점 수 등)과 Fig 2에 흰고래에 의해 생성된 각 휘슬음 유형의 대표적인 스펙트로그램을 나타내었다.

루이와 루비가 함께 있을 때 기록된 휘슬음은 6가지 유형 중 상승형(W2)이 전체 휘슬음의 30.7%로 가장 많았고, 그 다음으로 상승-하강형(W4)이 26.7%로 나타났다. 루오와 루비가 함께 있던 경우는 상승형(W2)이 41.7%로 가장 많았고, 그 다음은 하강-상승형(W5)이 19.4%로 나타났으며, 하강형(W3)과 상승-하강형(W4)은 다른 그룹에 비해 매우 적게 기록되었다. 반면, 루이와 루오가 함께 있던 경우는 직선형(W1)이 41.1%

로 가장 많았고, 그 다음은 상승형(W2)이 20.6%로 나타났다. 루이와 루오, 루비 모두 함께 있던 경우에는 상승형(W2)이 35.2%로 가장 많았고, 그 다음은 하강-상승형(W5)이 24.6%로 나타났다. 전체적으로 모든 경우에서 비교적 많이 나타난 유형은 상승형(W2)으로 루이와 루비가 있을 때 30.7%, 루오와 루비가 있을 때 41.7%, 루이와 루오가 있을 때 41.1%, 세마리 모두 함께 있을 때 35.2%를 차지했으며, 2.6-6.6 kHz의 주파수 범위로 나타났다. Chmelnitsky et al. (2012)의 연구에서도 휘슬음의 6가지 유형 중 상승형(W2)이 가장 많이 관찰되었고 주파수 범위가 2.9-10 kHz로 본 조사 결과와 유사하였다. 또한 이번 조사에서 흰고래의 휘슬음 주파수는 2.0-8.6 kHz의 범위에서 나타났는데, Belikov et al. (2007)에서의 흰고래 휘슬음 주파수

Table 3. Characteristics of whistles produced by beluga whales *Delphinapterus leucas* in this study

Recording date	Call type	Number of whistle	% of total whistle	Duration (s)	Frequency (kHz)				Inflection points
					Start	End	Min.	Max.	
Lui & Lubi 2016 9/5	W1	7	9.3	0.91	5.9	5.8	5.7	6.3	2.3
	W2	23	30.7	0.32	5.2	5.7	5.1	5.7	0.7
	W3	7	9.3	0.13	5.9	4.5	4.5	5.9	0
	W4	20	26.7	0.16	7.8	7.9	7.9	8.6	3.5
	W5	9	12.0	0.36	6.1	6.2	4.4	6.5	1.1
	W6	9	12.0	1.13	5.1	5.2	4.3	7.0	5.4
	Total	75							
Luo & Lubi 2016 9/26	W1	11	15.3	0.53	3.8	3.8	3.7	3.9	0.1
	W2	30	41.7	0.32	3.1	3.8	3.1	3.8	0.1
	W3	3	4.2	0.36	4.0	2.9	3.0	3.8	0.7
	W4	4	5.6	0.90	4.5	5.0	4.5	5.4	3.8
	W5	14	19.4	0.26	5.2	5.0	3.2	5.3	1.0
	W6	10	13.9	0.96	3.8	3.6	2.9	4.7	5.6
	Total	72							
Lui & Luo 2016 12/19	W1	58	41.1	0.70	6.8	6.7	6.7	6.9	0.1
	W2	29	20.6	0.65	5.6	6.6	5.6	6.6	0.3
	W3	13	9.2	0.92	8.6	7.1	7.1	8.6	1.4
	W4	13	9.2	0.67	6.3	6.3	6.1	7.6	1.8
	W5	13	9.2	0.31	5.7	5.7	4.1	6.0	1.0
	W6	15	10.6	1.19	6.7	6.6	5.6	7.9	5.5
	Total	141							
Lui & Luo & Lubi 2016 9/6	W1	33	20.0	0.66	3.7	3.9	3.7	3.9	0.2
	W2	58	35.2	0.68	2.7	3.6	2.6	3.6	0.2
	W3	4	2.4	0.93	4.8	4.5	4.1	5.1	0.3
	W4	3	1.8	0.60	2.0	2.0	2.0	2.8	3.0
	W5	40	24.2	0.61	3.8	4.4	3.5	4.6	2.6
	W6	27	16.4	1.03	3.3	3.8	2.9	4.3	7.3
	Total	165							

Min, Minimum; Max, Maximum.

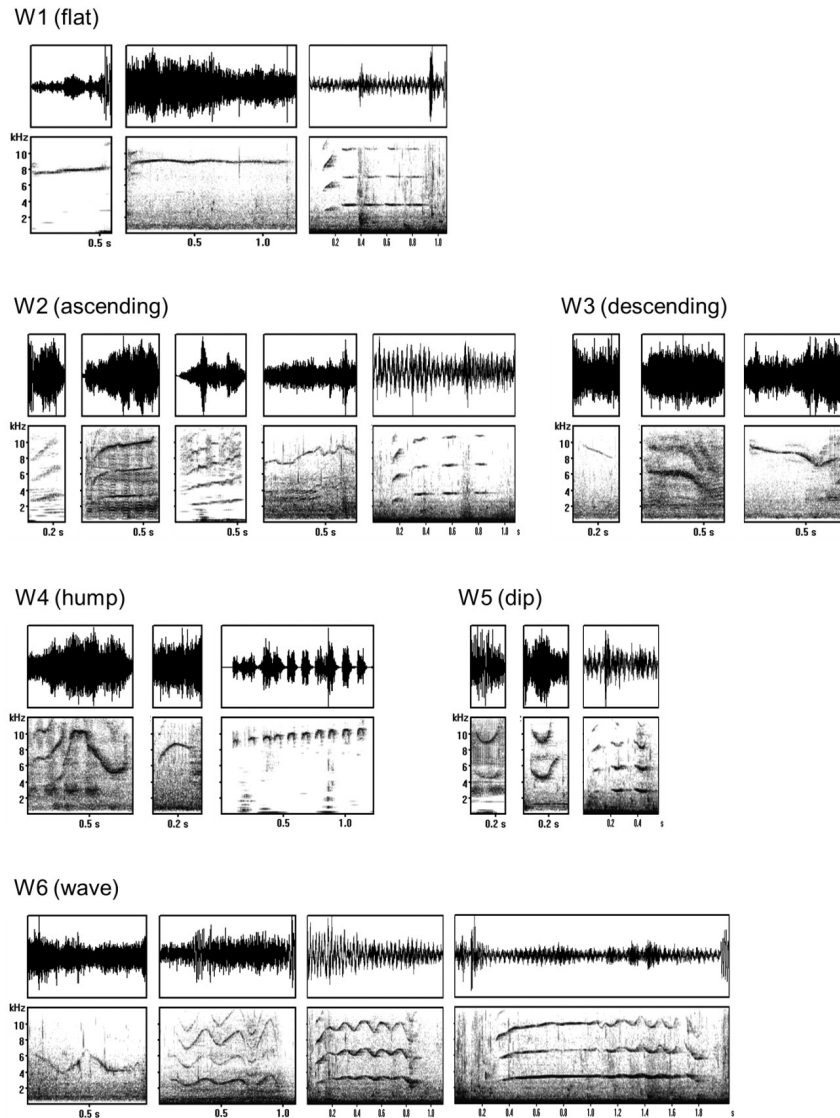


Fig 2. Representative spectrograms of six whistle type classified by visual inspection method in this study. W1, flat type; W2, ascending type; W3, descending; W4, hump type; W5, dip type; W6, wavy type.

는 0.5-4.5 kHz, Chmelnitsky et al. (2012)에서는 1.0-11.2 kHz, Garland et al. (2015)에서는 1.2-4.3 kHz로 보고되어 본 연구의 결과는 Chmelnitsky et al. (2012)와 유사하였다.

최소 주파수와 최대 주파수의 차이는 하강-상승형(W5)과 곡선형(W6)에서 비교적 높게 나타났다. 전체 휘슬음의 지속시간은 0.1-1.2 초로 나타났고 곡선형(W6)이 1.0-1.1 초로 가장 길게 기록되었다. 유형에 따른 평균 변곡점 수는 최소 0회(직선형 W1)에서 최대 7회(곡선형 W6) 사이에서 나타났으며, 유형별로 매우 다른 차이를 보인다. 곡선형(W6)에서는 변곡점 수가 최대 19회가 기록되기도 하였다(Table 3). 이전의 흰고래 음향 연구에서는 유형별 평균 지속시간과 변곡점의 수를 각각

Belikov et al. (2007)는 0.1-1.7초, 0-9회, Chmelnitsky et al. (2012)는 0.4-2.2초, 0-22회, Garland et al. (2015)가 0.1-0.9초와 0-4회 등으로 기록하고 있다. 본 연구의 평균 휘슬음 지속시간과 변곡점의 수는 Belikov et al. (2007)의 결과와 비슷했다.

Recchia (1994)의 흰고래 행동분석표를 기반으로 한 시간 동안 기록된 사육 흰고래의 그룹별 행동을 분석하였다. 루이와 루비가 함께 있는 경우에는 편대 유평과 접촉 등의 친화적 행동이 10번(누적시간 48분)으로 가장 많이 관찰되었고 공격적 행동은 2번, 굴복적 행동은 관찰되지 않았다. 루오와 루비가 함께 있던 경우는 친화적 행동이 9번(누적시간 38분), 돌진하기, 주시하기 등의 공격적 행동이 6번, 도망가는 굴복적 행동이 4번 관찰되었

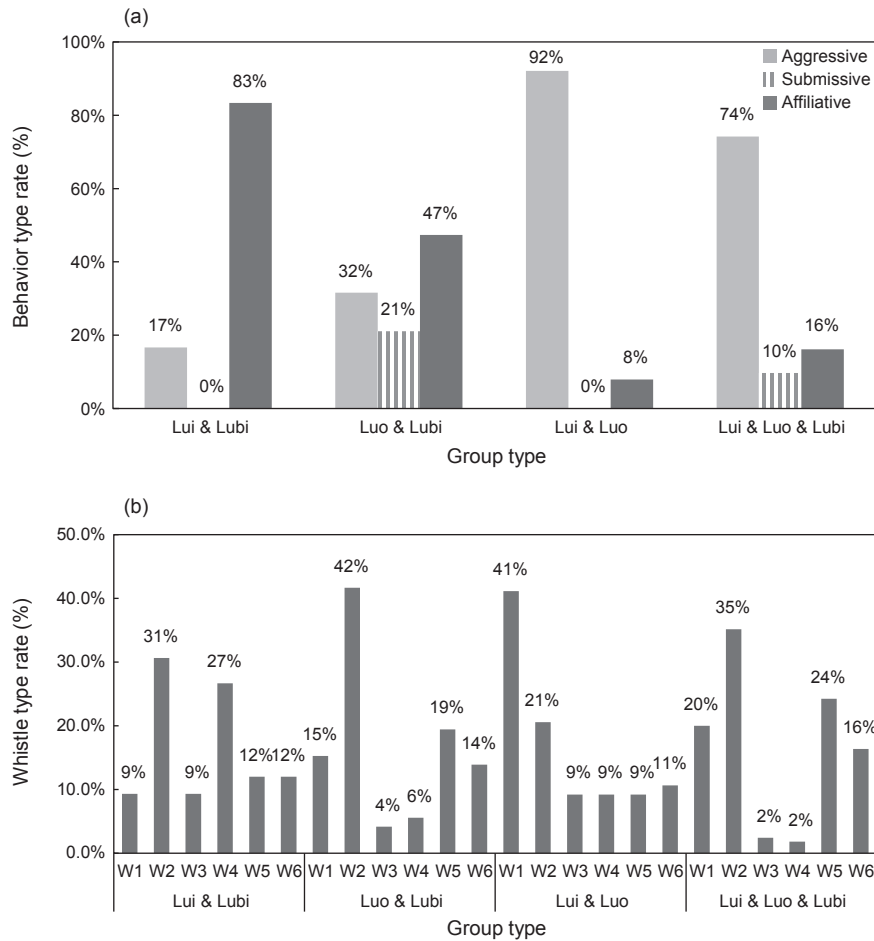


Fig 3. Rate of behavior(a) and whistle(b) produced by group of beluga whale *Delphinapterus leucas* for 1 hour.

다. 루이와 루오가 함께 있던 경우는 머리 맞대기, 응시하기, 턱 치기 등의 공격적 행동이 35번으로 다른 그룹에 비해 많이 나타났으며, 상대적으로 친화적 행동은 3번(누적시간 12분)으로 가장 적게 나타났다. 루이와 루오, 루비가 모두 함께 있던 경우는 응시하기, 물려고 위협하기 등의 공격적 행동이 23번으로 가장 많았고, 다음으로 친화적 행동이 5번(누적시간 18분), 굴복적 행동이 3번 나타났다. 전체적으로 루이와 루오가 있는 그룹에서는 공격적 행동이 많이 나타났고, 굴복적 행동은 암컷인 루비만 보였으며, 성적행동은 관찰되지 않았다.

한 시간 동안 녹화 및 녹음된 사육 흰고래의 행동과 소리의 상관관계를 파악하였다. Fig 3에 그룹별로 나타난 행동과 소리의 빈도수를 비교하여 나타내었다. 친화적 행동이 많이 관찰된 루이와 루비 그룹과 루오와 루비 그룹에서는 상승형(W2)이 각각 31%와 42%를 나타내며 가장 높은 비율을 차지 하였다. 가장 눈에 띄는 결과는 루이와 루오가 함께 있는 그룹에서 공격적 행동이 전체 행동 유형 중 92%로 유독 많이 관찰됨과 동시에 직선형(W1)의 휘슬유형이 전체의 41%로 높은 비율을 차지하였으며,

공격적 행동이 상대적으로 낮은 루이와 루비 그룹과 루오와 루비 그룹에서는 직선형(W1)의 비율이 각각 9%와 15%로 매우 낮게 나타났다. 또한 굴복적 행동이 관찰된 루오와 루비 그룹과 루이와 루오, 루비 그룹에서는 하강-상승형(W5)의 휘슬음이 각각 19%와 24%로 굴복적 행동이 관찰되지 않은 다른 그룹(12% 및 9%)에 비해 높은 비율을 나타내었다.

흰고래의 휘슬음과 행동의 직접적인 관계는 아직 확인되지 않았으나, 공격적인 행동이 가장 많이 기록된 루이와 루오 그룹에서 직선형(W1)의 휘슬음, 굴복행동이 관찰 된 그룹에서 하강-상승형(W5) 휘슬음이 보다 많이 기록된 것은 흥미로운 부분이다. 종의 소리 특성에 따라 생물학적인 해석을 결정하는 것은 매우 어려운 작업이며, 분류기준의 정보가 부족하기 때문에 연구 간의 자세한 비교가 어려울 수 있다(Chmelnitsky et al., 2012). 또한, 전반적으로 흰고래 소리의 주요 신호 유형은 행동에 따라 비율이 달라진다고 알려져 있으나(Panova et al., 2012), 아직 고래류의 소리와 행동 사이의 관계가 정확하게 파악되지 않았다. 이를 위해서 행동과 음향 발생의 정교한

동시 분석과 다양한 음향 발생 상황에 대한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2017년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 「고래류 자원 및 생태조사(R2017028)」와 「한화 호텔앤드리조트 아쿠아플라넷여수」의 지원으로 수행되었다.

References

- Bazúa-Durán C and Au WW. 2002. The whistle of hawaiian spinner dolphins. *J Acoust Soc Am* 112, 3064-3072. <http://dx.doi.org/10.1121/1.1508785>.
- Belikov RA and Bel'kovich VM. 2006. High-Pitched Tonal Signals of Beluga Whales (*Delphinapterus leucas*) in a Summer Assemblage off Solovetskii Island in the White Sea. *Acoust Phys* 52, 125-131. <http://dx.doi.org/10.1134/S1063771006020023>.
- Belikov RA and Bel'kovich VM. 2007. Whistles of Beluga Whales in the Reproductive Gathering Off Solovetskii Island in the White Sea. *Acoust Phys* 53, 528-534. <http://dx.doi.org/10.1134/S1063771007040148>.
- Belikov RA and Bel'kovich VM. 2008. Communicative Pulsed Signals of Beluga Whales in the Reproductive Gathering off Solovetskii Island in the White Sea. *Acoust Phys* 54, 115-123. <http://dx.doi.org/10.1134/S1063771008010168>.
- Chmelnitsky EG and Ferguson SH. 2012. Beluga whale, *Delphinapterus leucas*, vocalizations from the Churchill River, Manitoba, Canada. *J Acoust Soc Am* 131, 4821-4835. <http://dx.doi.org/10.1121/1.4707501>.
- CSJ (Ocean science Journal). 2017. "Echolocation". Retrieved from <http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=374980&cid=50313&categoryId=50313> on Mar 07, 2017.
- Figueiredo LD and Simão SM. 2009. Possible occurrence of signature whistles in a population of *Sotalia guianensis* (Cetacea, Delphinidae) living in Sepetiba Bay, Brazil. *J Acoust Soc Am* 126, 1563-1569. <http://dx.doi.org/10.1121/1.3158822>.
- Garland EC, Castellote M and Berchok CL. 2015. Beluga whale (*Delphinapterus leucas*) vocalizations and call classification from the eastern Beaufort Sea population. *J Acoust Soc Am* 137, 3054-3067. <http://dx.doi.org/10.1121/1.4919338>.
- Jefferson TA, Webber MA and Pitman RL. 2008. Marine mammals of the world: A comprehensive guide to their identification. Academic Press, London, U.K., 89-92.
- Karlsen JD, Bisther A, Lydersen C, Haug T and Kovacs KM. 2002. Summer vocalisations of adult male white whales (*Delphinapterus leucas*) in Svalbard, Norway. *Polar Biol* 25, 808-817.
- Panova EM, Belikov RA, Agafonov AV and Bel'Kovich VM. 2012. The Relationship between the Behavioral Activity and the Underwater Vocalization of the Beluga Whale (*Delphinapterus leucas*). *Oceanol* 52, 79-87. <http://dx.doi.org/10.1134/S000143701201016X>.
- Recchia CA. 1994. Social Behaviour of Captive Belugas, *Delphinapterus Leucas*. Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Amherst, U.S.A.
- Robeck TR, Monfort SL, Calle PP, Dunn JL, Jensen E, Boehm JR and Clark ST. 2005. Reproduction, growth and development in captive beluga (*Delphinapterus leucas*). *Zoo Biol* 24, 29-49. <http://dx.doi.org/10.1002/zoo.20037>.
- Van Parijs SM and Corkeron PJ. 2001. Vocalization and behaviour of pacific humpback dolphins *Sousa chinensis*. *Ethology* 107, 701-716. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1439-0310.2001.00714.x>
- Vergara VL, Michaud R and Barrett Lennard LG. 2010. What can Captive Whales tell us About their Wild Counterparts? Identification, Usage, and Ontogeny of Contact Calls in Belugas (*Delphinapterus leucas*). *J Comp Psychol*. 23, 278-309. <http://escholarship.org/uc/item/4gt03961>
- Yoon BD, Shin HI, Lee JU, Hwang DJ and Park TG. 2000. The Waveform and Spectrum analysis of *Tursiops truncatus* (Bottlenose Dolphin) Sonar Signals on the Show at the Aquarium. *Korean Soc Fish* 36, 117-125.