

## 쇼 學習時 병코돌고래 鳴音의 周波數 스펙트럼 分析

尹芬道 · 辛亨鎰 · 李章旭\* · 黃斗秦\*\* · 朴太健  
釜慶大學校, 國立水產振興院\*, 麗水大學校\*\*  
(2000년 3월 24일 접수)

## The Waveform and Spectrum Analysis of *Tursiops truncatus* (Bottlenose Dolphin) Sonar Signals on the Show at the Aquarium

**Bun-Do YOON, Hyeong-II SHIN, Jang-Uk LEE  
Doo-Jin HWANG and Tae-Geon PARK**

Pukyong National University, National Fisheries Research,  
Development Institute and Yosu National University

(Received March 24, 2000)

### Abstract

The waveform and spectrum analysis of *Tursiops truncatus*(bottlenose dolphin) sonar signals were carried out on the basis of data collected during the dolphin show at the aquarium of Cheju Pacificland from October 1998 to February 1999.

When greeting to audience, the pulse width, peak frequency and spectrum level from the five dolphins' sonar signals were 3.0ms, 4.54kHz and 125.6dB, respectively. At the time of warm-up just before the show, their figures were 5.0ms, 5.24kHz and 127.0dB, respectively.

During the performance of dolphins, with singing, peak frequency ranged 3.28~5.78kHz and spectrum level ranged 137.0~142.0dB. With playing ring, pulse width, peak frequency and spectrum level were 7.0ms, 2.54kHz and 135.9dB, and when playing the ball, the values were 9.0ms, 2.78kHz and 135.2dB, respectively. The values determined from the five dolphins during jump-up out of water were : pulse width 2.0ms, peak frequency 4.50kHz and spectrum level 126.8dB.

When they responded to trainer's instructions, the values were 2.25ms, 248kHz and 148.7dB, respectively, and greeting to audience, the peak frequency and spectrum level were 5.84kHz and 122.5dB. During swimming under water, peak frequency and spectrum level were determined to be 10.10kHz and 126.8dB.

It was found that there existed close consistencies in pulse width, frequency distribution and spectrum level between whistle sounds and dolphin's sonar signals. Accordingly, the dolphins can be easily trained by using whistle sound based on the results obtained from the waveform and spectrum of the dolphin's sonar signals.

## 諸 論

검토하였다.

국제포경위원회에서의 포경규제협약에 의해 1986년부터 상업포경이 금지된 지 13년이 경과한 현재 고래자원은 전세계적으로 꾸준히 증가하고 있으며, 최근 우리나라 연근해에서도 여러 종류의 고래가 자주 출현함에 따라 고래의 생태, 자원평가 등에 관한 관심과 연구가 급속히 증가하고 있다. 또한 상업포경 재개에 대한 기대와 준비, 고래를 관광자원으로 활용하는 등의 방안도 국내외적으로 활발히 연구, 계획되고 있다.

고래류처럼 수중에서 음파를 이용하여 색이, 회유, 의사소통을 하는 동물의 생태를 연구하기 위해서는 그들이 발생하는 음향을 연구하는 것이 필수 요소라고 할 수 있다. 고래가 각각의 행동시마다 발생하는 다양한 명음의 음향학적인 특성을 체계적으로 분석하여 행동습성과의 관계를 규명함으로써 이들의 생태를 보다 정확히 규명할 수 있을 것이다.

이에 관한 외국의 연구사례는, Whitlow 등 (1978, 1981, 1986)의 대서양 병코돌고래의 음향정위신호의 전파, 목표물의 탐지, 송신비임 등에 관한 연구와 石井 (1987) 등의 병코돌고래의 명음 등에 관한 연구, Whitlow (1993)의 돌고래 소나 등이 있고, 또한, 최근에는 赤松 (1996)의 명음발생전략, Popov (1997), Akamatsu (1998), Houser (1999) 등의 돌고래와 고래의 에코로케이션 에너지, 주파수분포 등에 관한 연구 등이 있다. 그러나, 국내에서는 김 등 (1994)의 한국 동해 중부연안의 흰줄무늬돌고래의 음향특성과 신 등 (1997)의 청백돌고래와 상괘이 발생음의 스펙트럼분석에 관한 연구가 있을 뿐 아직 고래와 돌고래의 명음에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

고래류의 명음은 해양과 담수, 수족관 등에서 측정할 수 있지만, 가장 안정되고 기초적인 음향 자료를 얻기 위해서는 제한된 공간이지만 사육수조 내에서 길들여진 돌고래의 명음을 측정, 분석하는 것이 효과적일 것이다.

본 논문은 제주도 중문관광단지 내 제주 퍼시픽랜드에서 돌고래 쇼 실시 중 발생한 명음들을 측정, 분석하여 병코돌고래 행동과의 관계를 비교·

## 資料 및 方法

## 1. 實驗對象 돌고래의 明細와 小 種目

실험대상 돌고래는 돌고래류 중에서 인간에게 가장 친숙한 것으로 알려진 병코돌고래로서 수족관에서 흔히 사육되는 돌고래였다. 병코돌고래의 서식해역은 온대에서 아열대해역이며, 우리나라에서는 동해남부 해역, 제주도 연안에서 종종 목격된다. 몸 색깔은 전부 회색인데 등부분의 색이 배부분보다 진하며, 주둥이 모양이 병목처럼 생겼으며, 몸길이는 4m, 몸무게는 250kgf까지 자란다.

명음 측정실험은 1998년 10월에서 1999년 2월까지 제주 퍼시픽랜드 내의 해양수족관에서 수회에 걸쳐 실시하였고, 가장 명확한 자료만을 분석 대상으로 하였다. 실험에 참여한 병코돌고래는 모두 5마리로서 이들의 주요 특징은 Table 1과 같다.

병코돌고래의 쇼는 관객을 향한 시작 인사, 조련사와 악수, 노래부르기, 링돌리기, 공놀이, 공중 점프, 관객을 향한 마지막 인사 순으로 약 15분 동안 실시되었다.

Table 1. Specification of 5 bottlenose dolphins

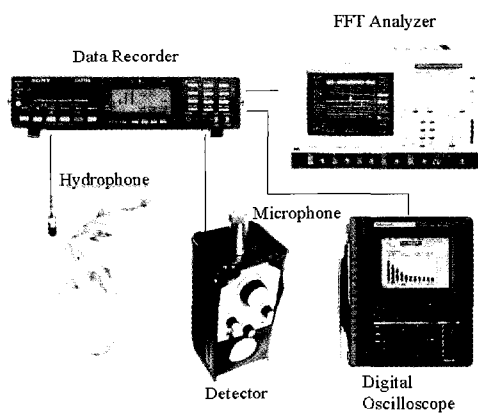
Name	Years	Sex	Length (cm)	Date of migration
Haemi	9~10	♀	230	Jul. 1993
Chadol	7~8	♀	228	Jun. 1995
Sudol	7~8	♂	225	Aug. 1995
Gumdung	5~6	♂	220	Aug. 1998
Biyang	6~7	♂	228	Sep. 1998

## 2. 測定裝置 및 方法

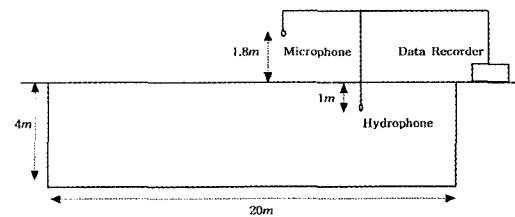
병코돌고래 명음 측정을 위한 장치는 Fig. 1과 같고, 그 성능과 명세는 Table 2와 같으며, 실험장치는 Fig. 2와 같이 배치하였다. Fig. 1에서 수중에서의 명음은 무지향성 하이드로폰을 수조(L×B×D : 20m×12m×4m) 내 수심 1m 지점에 설치하였으며, 수신된 명음을 프리앰프를 거쳐 증폭한 후 데이터 레코더의 채널 1에 수록하였다. 동시에

**Table 2. Specifications of measuring and analyzing instruments**

Instruments	Model	Specification
Hydrophone	TC4014	At 100.0 kHz : Max RS = -184.4dB, re 1V/ $\mu$ Pa At 200.0 kHz : Max RS = -187.9dB, re 1V/ $\mu$ Pa At 300.0 kHz : Max RS = -185.9dB, re 1V/ $\mu$ Pa
Microphone	S200 DETECTOR	Frequency range : 10 Hz ~ 180 kHz Tuned mode accuracy : $\pm 2$ kHz H.f. output : 500 mVp-p max.(bnc socket) : lode impedance > 2.5k $\Omega$
Data Recorder	PCHB244	Serial digital data at maximum data transfer rate : 3072 kbps Wideband analog data with a maximum frequency bandwidth : 100 kHz
FFT Analyzer	LeCroy Oscilloscope 9384	Frequency bandwidth : 1000 MHz Single-Shot Sampling rate : 1000 ~ 4000(ms/sec) Length of memory : 400 K ~ 4 M Channels : 4
Digital Oscilloscope	THS720A	Repetitive or Single-Shot Bandwidth : 100MHz Max. Sample rate(each channel) : 500 ms/s Channels : 2 Digitizers : 2 MAX. Record Length : 2500 points Time/Div Ranges : 5 ns/div ~ 50 ns/div



**Fig. 1. Schematic measuring and analyzing instruments of sonar signals.**



**Fig. 2. Setting site of measuring instruments of sonar signals.**

신호와 명음을 동기시켜가면서 디지털 오실로스코프와 FFT 주파수분석기를 이용하여 파형 및 스펙트럼을 분석하였다.

## 結 果

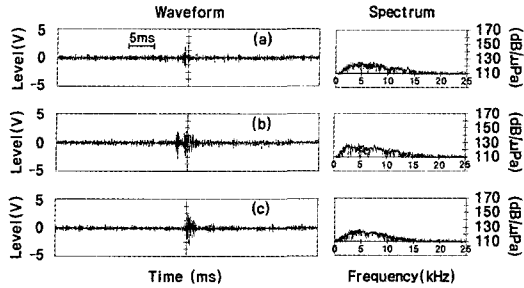
### 1. 병코돌고래 鳴音의 波形과 周波數 特性

#### 1.1 쇼 시작 시 명음의 특성

병코돌고래가 머리를 수면 위로 내밀면서 관객에게 인사할 때 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 3(a)와 같고, 그때 명음의 펄스폭은 3.0ms, 주파수 스펙트럼의 중심 주파수는 4.54kHz, 스펙트럼 레벨은 125.6dB로 나타났다.

공중에서의 명음은 Fig. 2에서와 같이 마이크를 수조 위 높이 1.8m 지점에 설치하였으며, 수신된 명음은 데이터 레코더의 채널 2에 수록하였다.

쇼 시작에서부터 마칠 때까지 연속적으로 병코돌고래 명음을 녹음하였으며, 또한 비디오카메라를 사용하여 쇼 학습시 병코돌고래 행동을 연속 촬영하였다. 녹음된 병코돌고래 명음은 후일 실험실에서 비디오와 데이터 레코더를 이용하여 영상



**Fig. 3.** Waveform and spectrum of *Tursiops truncatus* sonar signals at beginning the show.

- (a) First greeting on the surface to the audience
- (b) Warming-up before the show
- (c) Handshaking with a trainer

그리고, 병코돌고래는 쇼를 시작하기 전에 수조를 몇 바퀴 도는 준비운동을 하는데 이때 발생한 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 3(b)와 같이 명음의 펄스폭은 5.0ms, 주파수 스펙트럼의 중심주파수는 5.24kHz, 스펙트럼 레벨은 127.0dB로 나타났으며, 2~3마리의 돌고래가 복합음을 발생한 것으로 나타났다.

또한, 돌고래가 무대 쪽으로 다가와 무대 위에서 있는 조련사와 악수할 때 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 3(c)와 같이 명음의 펄스폭은 3.0ms, 주파수 스펙트럼의 중심주파수는 4.98kHz, 스펙트럼 레벨은 126.3dB로 나타났으며, 1.5ms 간격을 두고 2~3마리가 연속적으로 소리를 낸 것으로 나타났다. 이때 관객들의 박수소리 등의 잡음도 섞여서 나타났다.

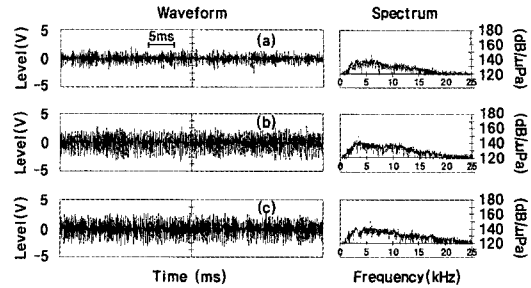
스펙트럼 레벨의 세기는 쇼를 하기 위한 준비 동작을 취할 때가 가장 높고, 그 다음으로 조련사와 악수할 때, 그리고 수면 위에서 조련사와 인사할 때의 순으로 나타났다.

### 1.2 쇼 진행 시 명음의 특성

병코돌고래의 묘기는 노래부르기, 링돌리기, 공놀이, 공중점프의 순서로 이루어졌다

#### (1) 노래부르기

돌고래가 노래 부르기를 시작할 때, 노래를 부르는 중간 그리고 노래 부르기를 마칠 때 명음의 파형과 주파수 특성은 각각 Fig. 4(a), (b), (c)와 같



**Fig. 4.** Waveform and spectrum of *Tursiops truncatus* sonar signals at singing.

- (a) Beginning to sing
- (b) On singing
- (c) Finishing to sing

고, 명음의 중심주파수는 각각 5.78kHz, 3.28kHz, 5.54kHz로 나타났고, 스펙트럼 레벨은 각각 137.0dB, 142.0dB, 141.0dB로 나타났다.

노래는 3마리의 병코돌고래가 동시에 약 30초간 ‘꽤꽤’ 소리를 내면서 불렀는데, 노래의 중간 부분에서 가장 큰 소리가 났으며, 마칠 때쯤은 다소 약한 것으로 나타났다.

#### (2) 링돌리기

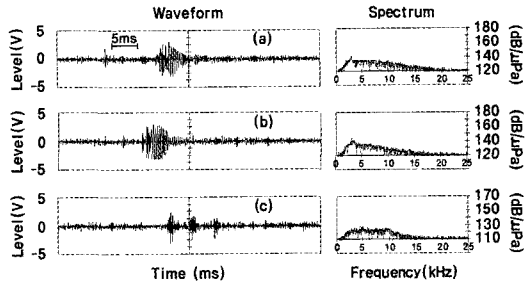
조련사가 던져주는 링을 순서대로 받아 3마리가 동시에 링을 돌릴 때 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 5(a)와 같고, 명음의 펄스폭은 7.0ms, 중심주파수는 2.54kHz, 스펙트럼 레벨은 135.9dB였으며, 그 중 한 마리가 내는 명음의 펄스폭은 매우 길었으며, 다른 돌고래의 명음도 약간 섞여 있었다.

#### (3) 공놀이

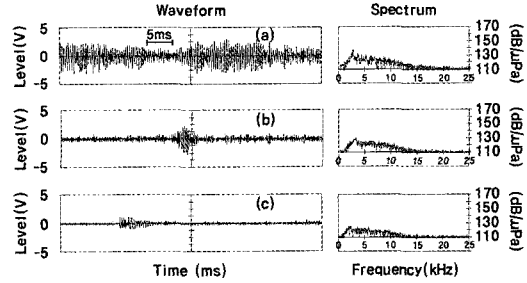
조련사가 던져주는 공을 차례로 받아서 주둥이로 던졌다가 받는 묘기를 발휘할 때 내는 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 5(b)와 같고, 명음의 펄스폭은 9.0ms, 중심주파수는 2.78kHz, 음압은 135.2dB였으며, 펄스폭은 매우 길었다.

#### (4) 공중점프

조련사의 신호에 따라 병코돌고래 5마리가 동시에 점프할 때 내는 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 5(c)와 같고, 이때 명음의 펄스폭이 2.0ms, 중심주파수는 4.50kHz, 스펙트럼 레벨은 126.8dB였으며, 2.0ms 간격을 두고 2~3개의 펄



**Fig. 5. Waveform and spectrum of *Tursiops truncatus* sonar signals at playing.**  
 (a) Spinning a ring  
 (b) Ball-playing  
 (c) Jumping of 5 dolphins at same time



**Fig. 6. Waveform and spectrum of *Tursiops truncatus* sonar signals at finishing the show.**  
 (a) Responding to the trainer  
 (b) Breeding to dolphin  
 (c) Last greeting on the surface to the audience

스음을 발생했다. 스펙트럼 레벨은 링돌리기와 공놀이 때보다 훨씬 낮게 나타났다.

### 1.3 쇼 종료 시 명음의 특성

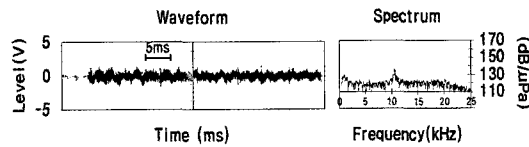
쇼가 끝날 무렵 조련사가 몇몇 단순 동작을 시킨 후 대답하라고 지시했을 때 돌고래 3마리가 동시에 ‘꽤꽤’ 하고 대답할 때 내는 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 6(a)와 같다. 이때 돌고래의 명음이 합성되어 나타났는데, 합성된 명음의 펄스폭은 약 2.25ms, 주파수 대역은 15kHz였고, 중심주파수는 2.48kHz, 스펙트럼 레벨은 148.7dB였으며, 강한 소리를 나타내었다.

쇼의 한 동작이 끝났을 때마다 조련사는 돌고래에게 수고했다고 먹이를 던져 주는데, 이때 먹이를 받아먹으면서 발생한 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 6(b)와 같다. 돌고래 한 마리의 명음 펄스폭은 5.0ms, 중심주파수는 2.92kHz, 스펙트럼 레벨은 132.8dB였다.

쇼가 끝나기 직전 쇼 시작 때처럼 돌고래는 수면에 머리를 내고 선 채로 관객에게 인사를 했는데, 이때 명음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 6(c)와 같다. 이때 명음의 중심주파수는 5.84kHz, 스펙트럼 레벨은 122.5dB였다. 처음에 인사할 때와는 달리 뚜렷한 특징을 발견하지 못했으며 음압도 비교적 약했다.

### 1.4 쇼 진행시 수중 명음의 특성

병코돌고래의 쇼는 주로 수면 위에서 이루어졌고, 이때 공중에서 명음이 발생하였으므로 수중에



**Fig. 7. Waveform and spectrum of *Tursiops truncatus* sonar signals at underwater on the show.**

서는 명음이 거의 측정되지 않았다. Fig. 7은 쇼 중 병코돌고래가 수중을 유영할 때 발생한 명음의 주파수 스펙트럼이다. 중심주파수는 10.10kHz, 음압은 126.8dB였으며, 일종의 클릭음을 발생하고 있는 것으로 나타났다.

## 2. 調練師 휘슬音의 波形과 周波數 特性

병코돌고래는 조련사의 행동과 휘슬음에 따라 행동했는데, Fig. 8은 조련사가 병코돌고래에게 각각의 행동을 지시할 때 사용한 휘슬음을 측정·분석한 것이다.

최초 관객에게 인사를 지시할 때 휘슬음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 8(a)와 같고, 이때 중심주파수는 7.84kHz, 스펙트럼 레벨은 146.5dB였으며, 연속적이면서 음색이 파형적인 소리를 내었다.

노래를 시킬 때 휘슬음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 8(b)와 같고, 중심주파수는 7.84kHz, 스펙트럼 레벨은 152.9dB였으며, 일정한 연속적인 소리를 내었다.

쇼의 마지막을 알릴 때 휘슬음의 파형과 주파수

특성은 Fig. 8(c)와 같고, 중심주파수는  $8.04kHz$ , 스펙트럼 레벨은  $156.0dB$ 였으며, 처음엔 약했다가 갈수록 약간씩 강해지는 연속음을 내었다.

첫 번째 묘기의 시작을 알릴 때 휘슬음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 8(d)와 같고, 중심주파수는  $7.94kHz$ , 스펙트럼 레벨은  $146.4dB$ 였으며, 중간에 짧게 한번 끊어질 듯 하다가 다시 약하게 이어

지는 소리를 내었다.

공놀이를 지시할 때 휘슬음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 8(e)와 같고, 중심주파수는  $8.18kHz$ , 스펙트럼 레벨은  $146.4dB$ 였으며, 비교적 짧으면서 규칙적인 파형을 나타내는 소리를 내었다.

점프를 지시할 때 휘슬음의 파형과 주파수 특성은 Fig. 8(f)와 같고, 중심주파수는  $8.10kHz$ , 스펙트럼 레벨은  $146.7dB$ 였으며, 비교적 길면서 규칙적인 파형을 나타내는 소리를 내었다.

조련사의 휘슬음은 각각 명확한 차이를 나타내고 있어 휘슬음의 유사함으로 인한 병코돌고래의 혼란은 없을 것으로 판단되었다. 그리고 병코돌고래는 이러한 각각의 휘슬음에 학습되었고, 또 이 휘슬음에 반응하여 학습된 행동을 함을 알 수 있었다. 즉, 조련사와 병코돌고래 간의 주요 의사소통은 서로가 인지할 수 있는 휘슬음임을 알 수 있었다.

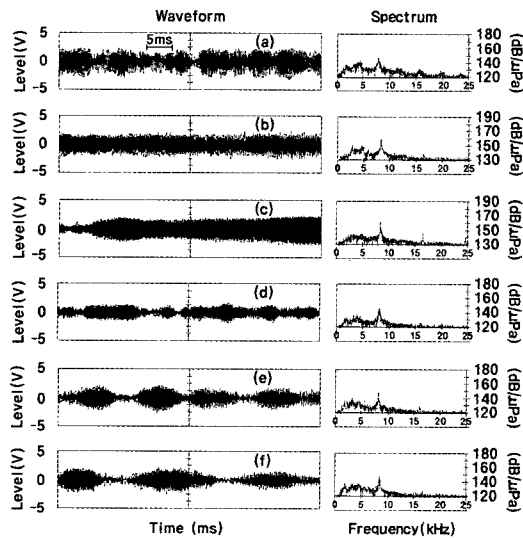


Fig. 8. Waveform and spectrum of the whistle sound.

- (a) Indicating first greeting to the audience
- (b) Indicating to sing
- (c) Indicating last greeting to the audience
- (d) Informing first play
- (e) Indicating ball-playing
- (f) Indicating to jump

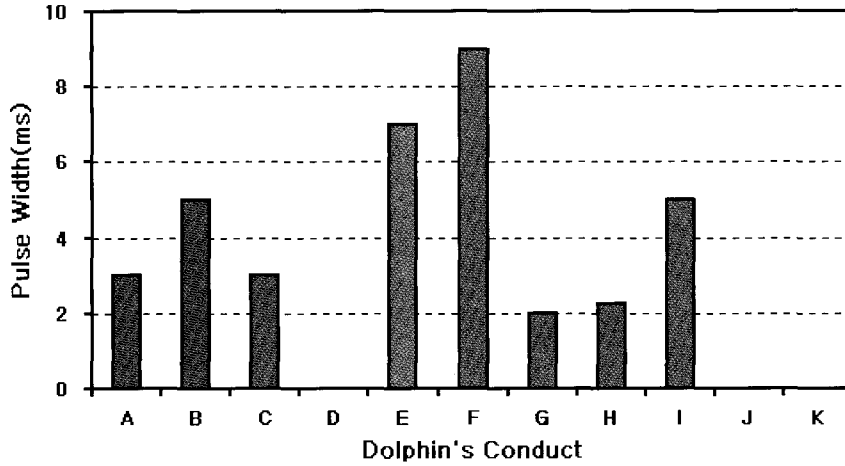
## 考 察

쇼 학습시 병코돌고래의 행동에 따른 펄스폭, 중심주파수 및 스펙트럼 레벨을 나타내면 Table 3과 같으며, Table 3에서 펄스폭은  $2.0\sim 9.0ms$ , 주파수 스펙트럼의 중심주파수는  $2.48\sim 10.10kHz$ 였고, 스펙트럼레벨은  $122.5\sim 148.7dB$ 로 나타났다.

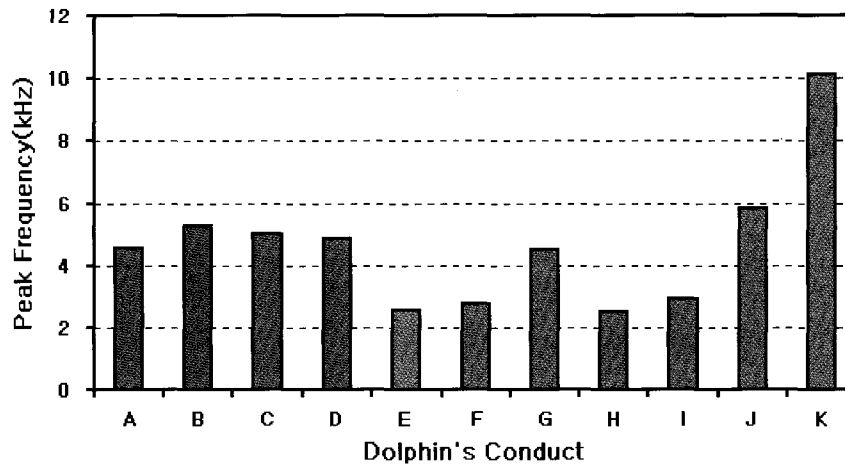
그리고, 중심주파수는 수중에서 유영시 가장 높았고, 다음으로 인사할 때, 노래를 할 때가 각각 높았으며 스펙트럼 레벨은 쇼 종료시 응답할 때와 노래를 부를 때가 각각 높았다. 또한, 펄스폭과 중

Table 3. Data from the dolphins' show

Dolphin's conduct	Pulse width (ms)	Peak frequency (kHz)	Spectrum level (dB)
First greeting on the surface to the audience	3.0	4.54	125.6
Warming-up before the show	5.0	5.24	127.0
Handshaking with a trainer	3.0	4.98	126.3
Beginning to sing	—	3.28~5.78	137.0~142.0
Spinning a ring	7.0	2.54	135.9
Ball-playing	2.78	135.2	
Jumping of 5 dolphins at same time	2.0	4.50	126.8
Responding to the trainer	2.25	2.48	148.7
Breeding to dolphin	5.0	2.92	132.8
Last greeting on the surface to the audience	—	5.84	122.5
Staying at underwater	—	10.10	126.8



(a) : pulse width



(b) : peak frequency

**Fig. 9. The dolphins' pulse width and peak frequency on the show.**

- |   |  |
|---|--|
| A : First greeting on the surface to the audience | B : Warming-up before the show                   |
| C : Handshaking with a trainer                    | D : Beginning to sing                            |
| E : Spinning a ring                               | F : Ball-playing                                 |
| G : Jumping of 5 dolphins at same time            | H : Responding to the trainer                    |
| I : Breeding to dolphin                           | J : Last greeting on the surface to the audience |
| K : Staying at underwater                         |  |

심 주파수를 행동별로 표시하면 Fig. 9와 같다. Fig. 9에서 돌고래는 평소에 초음파를 사용하는 것으로 알려져 있으나 이번 실험을 통해서 병코돌고래는 쇼 실시중에는 인간의 대화음 보다는 다소 높은 저주파음을 주로 사용함을 알 수 있었다. 병

코돌고래가 발생한 음파의 주파수대역은 보통  $15kHz$  내외였는데 노래를 부를 시에는  $25kHz$ 까지 되었으며, 주로 사용한 음파는  $2.48 \sim 10.10kHz$ 로서 가청음에 속하는 음파였다.

그러나, 이러한 음파가 물체를 인식하기 위해

발생한 음파인지, 조련사의 지시에 응답을 하는 음파인지, 또는 서로간의 의사소통을 하기 위한 음파인지는 분명히 알 수 없었으나, Fig. 9에서와 같이 펄스폭이 점프나 응답시에는 2~2.25ms, 인사와 악수를 할 때에는 3ms, 준비운동과 먹이를 받아 먹을 때는 5ms, 링돌리기와 공놀이를 할 때는 7~9ms를 나타내어 쇼의 종류에 따라 펄스폭을 조절하여 행동하고 있는 것을 알 수 있었다. 그리고, 사용주파수도 평균적으로는 3kHz와 5kHz 2종의 저주파수를 교대로 사용하고 있는 것으로 추정되었다.

또한, 조련사 휘슬음의 주파수 스펙트럼분석에서 제1 고조파가 2.5~5.0kHz의 주파수 대역을 나타내었고, 제2 고조파가 7.8~8.2kHz의 주파수 대역을 나타내었는데 이와 같은 현상은 돌고래가 공기중에서는 3kHz 또는 5kHz를, 수중에서는 10kHz의 명음을 이용하고 있는 현상과 거의 일치하는 경향을 나타내어 조련사의 휘슬음이 공기중과 수중에서 모두 병코돌고래를 제어함을 알 수 있었다.

병코돌고래는 특별한 행동이 없을 시에는 음파를 발생하지 않았고, 행동시 또는 조련사의 지시에 대한 반응을 보일 때만 음파를 발생한 것으로 보아 의사소통의 수단일 가능성이 높다고 생각된다. 실험기간 중 동일장소에서 동일 조건으로 여러 번에 걸쳐 실험을 실시한 바 거의 유사한 결과가 나옴에 따라 병코돌고래는 조련사의 휘슬음을 이해하고 이에 반응하며, 각각의 행동시 특정한 음파를 발생한다는 것을 확인할 수 있었다.

본 실험을 통하여 병코돌고래는 주변 상황과 조련사의 지시에 따라 펄스폭과 주파수를 변화시켜 가면서 행동하고 있음은 알 수 있었으나, 인간과 같이 음의 높낮이에 따른 돌고래의 감정이나 의사소통 등은 규명할 수 없었다. 이러한 행동상태를 더욱 효과적으로 수행하기 위해서는 빛이 차단된 어두운 상태에서 동일한 조건에서 실험하고, 녹음된 돌고래의 명음을 재생시켜 돌고래의 반응에 대한 실험을 행한다면 돌고래의 생태를 더욱 확실하게 규명할 수 있을 것으로 생각된다.

## 要 約

돌고래의 명음과 행동특성에 관한 기초자료를 얻기 위하여 1998년 12월~1999년 2월 사이에 제주도 중문관광단지 내 퍼시픽랜드에서 사육중인 병코돌고래의 쇼 학습시 발생한 명음과 조련사의 휘슬음의 파형과 주파수 특성 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

쇼 시작 전 인사할 때와 준비운동을 할 때의 펄스폭은 각각 3.0ms, 5.0ms, 중심주파수는 각각 4.54kHz, 5.24kHz, 스펙트럼 레벨은 각각 125.6dB, 127.0dB였다.

노래를 부를 때 중심주파수는 3.28~5.78kHz, 스펙트럼 레벨은 137.0~142.0dB였으며, 링돌리기를 할 때, 공놀이를 할 때, 점프를 할 때의 펄스폭은 각각 7.0ms, 9.0ms, 2.0ms, 중심주파수는 각각 2.54kHz, 2.78kHz, 4.50kHz, 스펙트럼 레벨은 각각 135.9dB, 135.2dB, 126.8dB였다.

쇼 종료시 인사할 때의 중심주파수는 5.84kHz, 스펙트럼 레벨은 122.5dB였고, 수중에서 유명할 때 명음의 중심주파수는 10.10kHz, 스펙트럼 레벨은 126.8dB였다.

병코돌고래는 각각의 행동시 마다 각각의 다른 펄스폭과 주파수를 사용하였는데, 평균 3kHz와 5kHz 2종의 저주파를 교대로 사용하는 것으로 추정되었다. 또한, 조련사 휘슬음의 주파수 대역은 스펙트럼 분석에서 제1 고조파가 2.5~5.0kHz, 제2 고조파가 7.8~8.2kHz였는데, 이는 병코돌고래가 공기중에서는 3kHz 또는 5kHz, 수중에서는 10kHz의 명음을 발생·이용하고 있는 거의 일치하는 현상을 나타내어 병코돌고래는 수중과 공기중에서 조련사의 휘슬음을 이해하고 응답하는 것으로 추정되었으며, 아울러 조련사의 휘슬음은 쇼 학습시 조련사와 병코돌고래와의 주요 의사소통 수단임을 확인할 수 있었다.

## 謝 辭

이 연구를 수행함에 있어서, 실험 장소의 제공과 실험에 적극적인 협력을 하여 주신 퍼시픽랜드



김경중 차장님과 관계 직원 여러분께 진심으로 감사드립니다.

參考文獻

- Akamatsu, T., Wang, D., Nakamura, K. and Wang, K.(1998) : Echolocation range of captive and free-ranging baiji(*Lipotes vexillifer*), finless porpoise(*Neophocaena phocaenoides*), and bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*), *J. Acoust. Soc. Am*, 104(4), 2511~2516.
- Goold, J. C. (1998) : Broadband spectra of seismic survey air-gun emissions, with reference to dolphin auditory thresholds, *J. Acoust. Soc. Am*. 103(4), 2177~2184.
- Houser, D. S., Helweg, D. A. and Moore, P. W. (1999) : Classification of dolphin echolocation clicks by energy and frequency distributions, *J. Acoust. Soc. Am*, 106(3), 1579~1585.
- Murray, S. O., Mercado, E. and Roitblat, H. L. (1998) : Characterizing the graded structure of false killer whale(*Pseudorca crassidens*) vocalizations, *J. Acoust. Soc. Am*, 104(3), 1679~1688.
- Popov, V. V., Supin, A. Y. and Klishin, V. O.(1997) : Frequency tuning of the dolphin's hearing as revealed by auditory brain-stem response with notch-noise masking, *J. Acoust. Soc. Am*, 102(6), 3795~3801.
- Popov, V. V. and Supin, A. Y.(1997) : Detection of temporal gaps in noise in dolphins : Evoked-potential study, *J. Acoust. Soc. Am*, 102(2), 1169~1176.
- Whitlow, W. L. Au. (1993) : The Sonar of dolphins, Kailu ra, USA, 115~1390.
- Whitlow, W. L. Au, Nachtigall, P. E. and Pawloski, J. L.(1997) : Acoustic effects of the ATOC signal (75Hz, 195dB) on dolphins and whales, *J. Acoust. Soc. Am*. 101(5), 2973~2977.
- Whitlow, W. L. Au., Moore, P. W. B. and Pawloski, D. (1986) : Echolocation transmitting beam of the atlantic bottlenose dolphin, *J. Acoust. Soc. Am*. 80(2), 688~691.
- Whitlow, W. L. Au. and Penner, R. H.(1981) : Target detection in noise by echolocating Atlantic bottlenose dolphins, *J. Acoust. Soc. Am*. 70(3), 687~693.
- Whitlow, W. L. Au., Robert Floyd, W. and Haun, J. E.(1978) : Propagation of atlantic bottlenose dolphin echolocation signals, *J. Acoust. Soc. Am*. 64(2), 411~422.
- 김봉채, 최복경 (1994) : 동해 중부 연안에서 관측된 흰줄무늬 돌고래 발생음악 음향 특성, (한국해양연구소 해양물리연구부 보고서).
- 신형일 · 황두진 · 박태건 · 최한규 (1998) : 사육수조 내에서의 청백돌고래의 행동과 명음의 스펙트럼 분석, 1998년도 춘계 해양·수산관련학회 학술대회발표요지집, 87~88.
- 신형일 · 황두진 · 최한규 · 박태건 (1999) : 청백돌고래와 참돌고래에 에코로케이션 신호의 중간비교, 1999년도 춘계 수산관련학회 공동학술대회 발표요지집, 77~78.
- 신형일 · 윤갑동 · 신현욱 · 박태건 (1999) : 참돌고래의 반향경위 신호특성에 관한 연구, 1999년도 춘계 수산관련학회 공동학술대회 발표요지집, 79~80.
- 최한규 · 신형일 · 황두진 · 赤松友成 · 박태건 (1997) : 청백돌고래와 상괭이 발생음의 스펙트럼 분석, 1998년도 춘계 해양·수산관련학회 학술대회발표요지집, 29~30.
- 石井 憲 · 島山良己 (1987) : 選擇的に収録したハンドウイルカの鳴音について, 水公研報告 8, 141~168.
- 赤松友成 (1996) : イルカのエコロケーションと鳴音發生戰略, 日本音聲學會誌 52圈 7號, 523~528.