

# 고래류 혼획을 최소화하기 위한 다주파 음향 경고시스템의 시험 제작

이유원 · 신형일\* · 김석재<sup>1</sup> · 서두옥<sup>2</sup> · 이대재 · 김장근<sup>3</sup> · 황두진<sup>4</sup>

부경대학교 해양생산시스템공학과 · <sup>1</sup>한국해양수산연수원 선박운항교육팀

<sup>2</sup>제주대학교 해양과학부 · <sup>3</sup>국립수산과학원 고래연구센터 · <sup>4</sup>여수대학교 해양생산관리학과<sup>1</sup>

## Trial manufacture of dual frequency acoustic pinger to minimize cetacean bycatch

Yoo-Won LEE, Hyeong-II SHIN\*, Seok-Jae KIM<sup>1</sup>, Du-Ok SEO<sup>2</sup>, Dae-Jae LEE,  
Zang Geun KIM<sup>3</sup> and Doo-Jin HWANG<sup>4</sup>

*Department of Marine Production System Engineering, Pukyong National University,  
Busan 608-737, Korea*

<sup>1</sup>*Education & Training Division, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology,  
Busan 608-080, Korea*

<sup>2</sup>*Faculty of Ocean Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea*

<sup>3</sup>*Cetacean Research Center, National Fisheries Research and Development Institute,  
Busan 619-902, Korea*

<sup>4</sup>*Department of Marine Production Management, Yosu National University, Jeonnam 619-902, Korea*

Dual frequency acoustic pinger(AP) was manufactured to reduce study effect by long-term use of developed single frequency AP to prevent cetacean bycatch. Directivity characteristic of transducer was the omnidirectional pattern which showed less than  $\pm 3\text{dB}$  the change range of sensitivity on the beam pattern of right and left. Source power level(SPL) was  $138\text{dB}/\mu\text{Pa}$  with epoxy window before casing however after casing  $117\text{dB}/\mu\text{Pa}$  at sea. Dual frequency AP was tested to identify the avoidance behavior of bottlenose dolphin by its working. However the efficiency of dual frequency AP about the study effect was verified experiment repeatedly using single and dual frequency AP.

Key words : Acoustic pinger, Dual frequency, Cetacean bycatch, Omnidirectional pattern

서 론

상업포경은 국제적으로는 국제포경위원회(IWC :

International Whaling Commission)의 국제포경규제  
협약(ICRW : International Convention for the

\*Corresponding author : shinhi@pknu.ac.kr Tel: 82-51-620-6118 Fax: 82-51-628-8145

Regulation of Whaling)에 의해 1986년부터 대형 수염고래류를 포함한 IWC 관리대상 고래 11종에 대하여 금지되었고, 우리나라에서는 같은 해, 국내법으로 대형 고래류는 물론 돌고래류까지 전 고래류에 대하여 상업포경이 금지되었다.

상업포경이 금지된 지 18년이 경과된 현재 우리나라 연근해에서는 돌고래 등의 소형고래류가 주를 이루고 있지만 수 년 전까지만 해도 자취를 감추었던 여러 종의 고래류가 빈번하게 출현하고 있으며, 해양경찰청의 고래 혼획자료에 의하면 최근 5년간 (1999 - 2003) 연평균 약 300마리의 고래가 혼획된 것으로 조사되었다(Shin, 2004).

고래류 혼획을 줄이기 위한 연구로서 시각적, 음향적 장치를 이용하여 그물과 같은 장애물의 위치를 인식하기 쉽도록 하기 위한 시도가 행해졌으나 (Kraus et al., 1997; Kojima, 1996), 시각적인 방법은 해양환경에 따라 장애물을 인식할 수 있는 범위가 아주 근거리라는 단점 때문에 비교적 원거리에서도 장애물의 존재를 인식할 수 있는 음향적인 방법이 1990년대 이후 지속적으로 연구되고 있다.

종래의 음향 경고시스템에 관한 연구는 자망어업에서 10kHz의 단일 주파수 음향 경고시스템을 이용한 쇄돌고래 혼획 방지와 어획대상이 되는 어종들에 있어 음향 경고시스템의 영향평가에 대한 유효성 검증(Kojima, 1996; Barlow et al., 2003; Carlström et al., 2002; Kraus et al., 1997; Trippel et al., 1999)과 장기간 사용시 발생할 수 있는 학습효과에 따른 혼획방지 효과의 저하에 대한 지적이 있었으며(Tara et al., 2001), 음향 경고시스템 시작(試作)의 기초실험으로서 다양한 음향에 대한 흑범고래의 행동변화가 보고되었다(Akamatsu et al., 1993).

따라서, 본 연구에서는 돌고래 혼획 방지를 목적으로 사용되고 있는 단일 주파수 음향 경고시스템이 장시간 사용시 발생할 수 있는 학습효과를 방지하기 위하여 다주파 음향 경고시스템을 설계하고 제작한 결과를 분석, 검토하였다.

## 재료 및 방법

음향 경고시스템(acoustic pinger)의 설계 및 구성

우리나라 연안에서 고래류 혼획의 80% 이상이

정치망, 자망, 통발과 같은 소극적 어법에 의하여 발생하는 것으로 보고(Shin, 2004)됨에 따라, 고래류는 트롤, 선망과 같은 적극적 어법보다 소극적 어법에 의해 주로 혼획된다는 것을 알 수 있으며, 이것은 고래류들이 소극적 어구에 대하여 경계를 소홀히 하여 혼획되는 것으로 추정할 수 있다. 이와 같은 고래류의 혼획을 줄이기 위해서는 수중에 음향 경고시스템을 어구와 함께 부설함으로써 고래류에게 어구의 위치를 환기시켜주는 기능이 필요한 것으로 생각된다.

음향 경고시스템이 갖추어야할 조건으로는, 우선 수중에 설치되므로 수밀은 물론 수중의 다른 악조건 하에서도 견딜 수 있는 내구성을 갖추는 것이 필수적으로 요구된다. 또한 어획대상이 되는 어류에게는 영향을 주지 않으면서 고래류가 인식할 수 있는 주파수대의 경고음을 일정 거리 이상까지 무지향성으로 송신할 수 있고, 외형적으로는 어구의 수중형상 전개에 영향을 주지 않게 간소하면서도 유수저항을 최소화해야 하며, 전원은 통상적인 어획과정(양망)에 영향을 주지 않을 만큼 장시간 사용할 수 있도록 설계되어야 할 것이다.

음향 경고시스템의 구성은 진동자, 제어회로, 전원공급부로 대별할 수 있다. 먼저, 진동자는 실린더형의 압전 세라믹(piezoelectric ceramics)을 이용하였으며 Fig. 1과 같이 별도의 구조물 없이 그대로 고정하여 사용하였다. 시험제작한 초음파 진동자는 내경 24mm, 외경 30mm, 높이 20mm이었다.

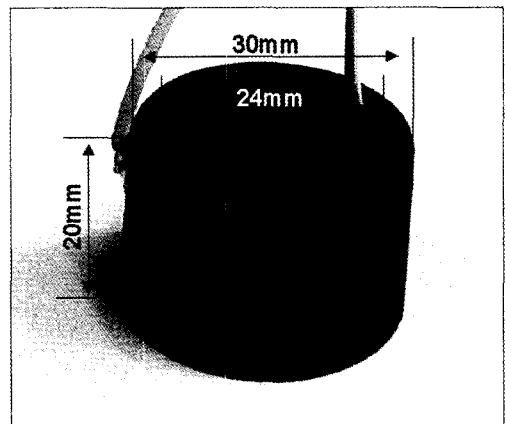


Fig. 1. Trial manufactured transducer dimensions.

제어회로는 Fig. 2와 같이 단일 주파수 사용에 따른 고래류의 학습효과를 줄이기 위하여 10kHz와 20kHz의 서로 다른 공진주파수가 동일한 초음파 진동자로 서로 간섭 없이 출력될 수 있도록 구성하였다. 이 회로에서 10kHz와 20kHz의 공진주파수의 결정은 초음파 진동자의 공진특성, 즉 출력트랜스 1, 2, 3차측 권선비 및 권선의 투자율 등에 의하여 나타나는 인덕턴스(inductance)와 초음파 진동자의 캐패시턴스(capacitance)에 의하여 결정된다. 사용된 실린더형 초음파 진동자의 캐패시턴스는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$Cap = \frac{2K_{33}^T \epsilon_0 \pi L}{\ln\left(\frac{OD}{ID}\right)} \quad (1)$$

여기서,  $K_{33}^T = \frac{\epsilon_{33}^T}{\epsilon_0}$  은 상대유전상수,  $\epsilon_0$ 은 자유공간의 투자율,  $OD$ 는 외경,  $ID$ 는 내경,  $L$ 은 실린더 형상의 높이를 나타낸다.

Fig. 2에서 10kHz를 동작시키는 Q1 트랜지스터와 이때 공진주파수의 시정수에 맞는 출력트랜스의 권선수를 선택하기 위한 브릿지 다이오드 D2회로와 광결합소자(photo coupler) U3을 결합시키고, 20kHz에서는 Q2 트랜지스터와 D1 브릿지 다이오드

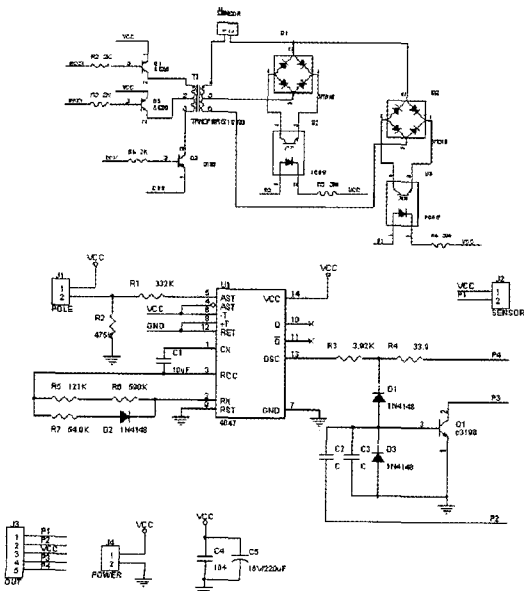


Fig. 2. Control circuit of acoustic pinger using MC4047 IC.

드 및 U2 광결합소자를 통하여 출력신호가 초음파 진동자로 전달된다. 한편, MC4047 CMOS IC를 사용하여 콘덴서 및 저항의 시정수 조정으로 제어회로를 구성하며 트랜지스터 Q1(2SC3198)의 베이스측 저항 R3을 R5 및 C2의 소자를 사용하여 Fig. 2의 상하 회로를 연결하여 동작하도록 하였다. 한편, 전원은 시중에서 쉽게 구입할 수 있는 알카리 배터리(AA형) 4개로 동작하도록 구성하였다.

### 실험방법

실린더형 초음파 진동자의 송신음압 및 지향특성은 진해 국방과학연구소의 무반향 음향수조에서 측정하였으며, 실험에 사용된 시스템으로는 신호발생기(HP, 33120)로 사용 주파수의 신호를 발생시키고 전력증폭기(B&K, 2713)를 통해 증폭시킨 다음 수조 저면을 향해 설치된 초음파 진동자에 인가하였다. 진동자로부터 출력된 신호를 하이드로폰(B&K, 8105)을 통해 수신하여 측정용 증폭기(B&K, 2610)를 통해 디지털 오실로스코프와 FFT 분석기로 수신하여 송파음압감도 및 지향 특성을 분석하였다.

해상에서는 2004년 7월 27에서부터 7월 31일까지 제주 연안에서 환경소음과 시험제작한 음향 경고시스템의 송신출력을 측정하였다. 또, 선박을 이용하여 목시로 큰돌고래를 확인하고, 선박을 고래 무리에 근접시켜 시험제작한 음향 경고시스템의 작동 전후의 큰돌고래의 행동변화를 평가하였다.

환경소음 및 시작품의 송신출력을 분석하기 위한 장치는 Fig. 3과 같이 무지향성 하이드로폰(OKI, ST1001)을 수심 1m지점에 설치하여 수중음을 음

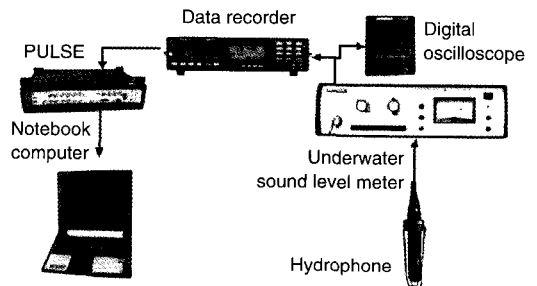


Fig. 3. Diagram for data acquisition and analysis system.

압계로 증폭한 후 오실로스코프(Tektronix, THS 720A)로 수신파형을 관찰하면서 디지털 데이터 레코드(SONY, PCHB244)에 수록하여 후처리를 행하였다. 녹음된 테이프는 실험실에서 재생하면서 음향분석기 CSL(KAY, 4300B)과 PULSE 다분석 시스템(B&K, 2827-002)을 이용하여 소너그램과 주파수 스펙트럼 분석을 행하였다.

### 결과 및 고찰

시작 음향 경고시스템의 전기, 음향적 특성

음향 경고시스템의 진동자로 사용된 실린더형 초음파 진동자의 송신음압은 음향창(acoustic window)으로 고무 혹은 에폭시 수지의 두 경우에 대해 실험한 결과, 음향창이 고무인 경우 133dB/ $\mu$ Pa이었고, 에폭시인 경우 138dB/ $\mu$ Pa로 송파감도가 높게 나타났다. 따라서 송파감도가 높게 나타난 에폭시 수지로 음향창을 만든 초음파 진동자에 대해 지향특성 실험을 하였다.

에폭시 음향창을 가진 초음파 진동자의 지향특성은 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서 나타낸 것과 같이 음향축 방향인 0°를 기준으로  $\pm 90^\circ$  범위의 초음파 진동자의 전면부에서  $\pm 3$ dB 범위 이내의 감도변화 없이 좌우 대칭적인 지향성 특성을 나타내어 시작된 초음파 진동자의 무지향적 특성을 확인할 수 있었다.

시험제작한 음향 경고시스템의 10kHz와 20kHz에서 출력신호의 파형은 Fig. 5와 같다. Fig. 5(a)는 공진주파수 10kHz일 경우이고, (b)는 공진주파수 20kHz일 때의 파형을 나타내었다.

음향 경고시스템을 수중에서 작동시키고 1m지점에서 송신음압(dB/ $\mu$ Pa)을 측정한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에는 음향 경고시스템의 작동에 따른 소너그램과 각각 10kHz와 20kHz의 파워 스펙트럼을 나타내었다. Fig. 6에서 펄스폭은 공통적으로 600msec이고, 각 주파수의 펄스주기는 12sec이었다.

실험에서 음향 경고시스템의 송신음압은 약 117 dB/ $\mu$ Pa이었다. 한편, 주변 환경소음은 115dB/ $\mu$ Pa이었으나 1kHz 내의 주파수 대역으로 음향 경고시스템의 동작주파수와는 현저한 차이로 음향 경고시스템의 “픽 -”하는 경고음은 쉽게 식별할 수 있었다. 음향 경고시스템의 송신음압이 에폭시 음향

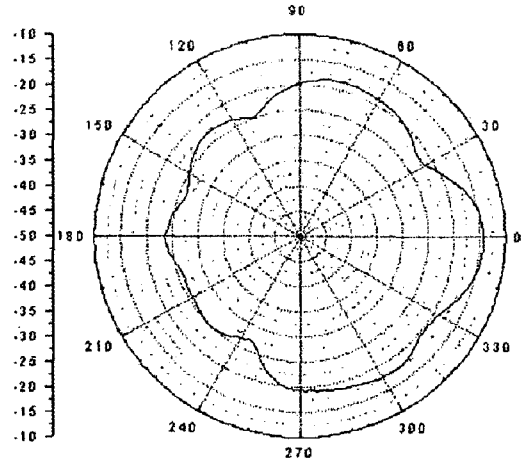


Fig. 4. Directivity characteristics of transducer with epoxy window.

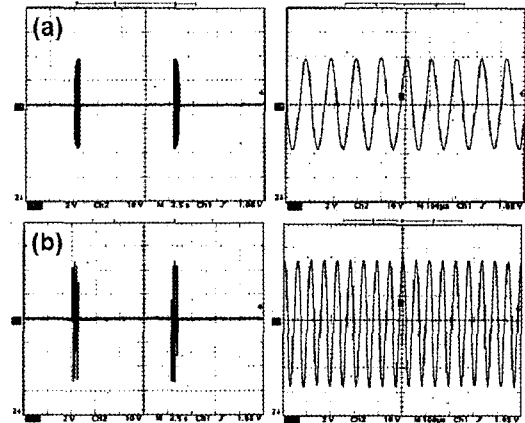


Fig. 5. Output signals of designed transducer.

(a) 10kHz, (b) 20kHz

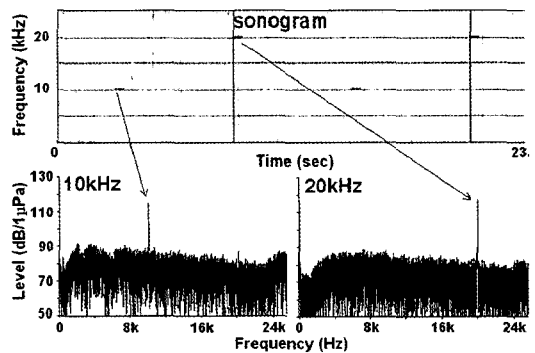


Fig. 6. Sonogram and frequency spectrum of dual frequency acoustic pinger.

창인 초음파 진동자 자체의 송신음압 138dB/ $\mu$ Pa 보다 훨씬 낮은 117dB/ $\mu$ Pa을 나타낸 것은 실린더형 초음파 진동자만을 측정했기 아니라 제어회로 및 전원부를 포함한 구조물의 형상과 수밀성을 고려하여 외관을 견고한 원통형 플라스틱으로 구성함에 기인한 것으로 생각되며, 음향 경고시스템으로 조절된 후에도 송신음압을 높일 수 있는 구조와 수밀성에 대해 좀 더 고려되어야 할 것이다.

#### 음향 경고시스템에 대한 큰돌고래의 행동변화

해상실험은 큰돌고래를 목시로 발견하고 실험선의 속력을 약 5.0kts 정도의 중속으로 고래의 이동방향과 동일하게 접근시켜 고래가 선수파를 타도록 유도한 후, 무리 중 4-5마리가 선수파에 안정적으로 유영할 무렵, 우현선측에서 음향 경고시스템을 조용히 수중에 투입하여 작동시키고, 작동 전후의 행동을 관찰한 결과는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서 음향 경고시스템 작동 전에는 선수파를 타던 고래가 음향 경고시스템의 작동과 함께 사라지는 것을 확인 할 수 있었다. 그리고 반복 실험을 위하여 고래를 유인하였으나, 음향 경고시스템에 한 번 실험되었던 고래들은 선박이 접근하면 잠수하거나 선박이 접근하지 못하는 얇은 곳으로 이동하여 동일 고래무리에 대한 반복실험은 이루어지지 못했다. 그러나 다른 무리들에 대해 같은 실험을 시행한 결과에서도 비슷한 경향을 확인할 수 있었다.

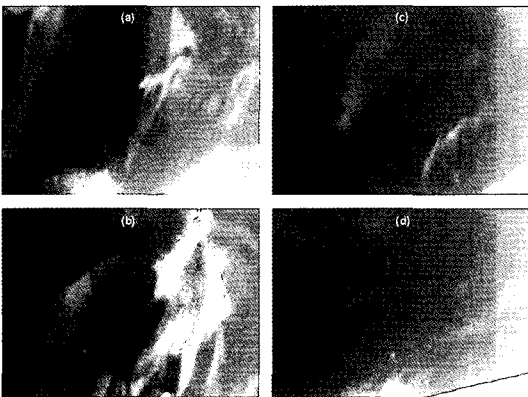


Fig. 7. Behavior change of bottlenose dolphin by the work of acoustic pinger.

(a) and (b): before shooting pulse, (c) and (d): after shooting pulse

이와 같은 행동의 변화는 평소 청취하던 1kHz 이하의 환경소음이나 선박소음과 다른 10-20kHz의 고주파 영역에서 순간적으로 “픽-”하는 경고음에 놀란 것으로 추정된다. 해상에서 음향 경고시스템을 이용한 고래 행동에 대한 단편적인 실험은 가능하였으나, 단일 주파수와 다주파 사용에 따른 돌고래의 행동변화에 관한 실험은 일정한 장소에 고래를 가두어 놓은 상태에서 동일한 고래들에 대한 단일 및 다주파수 경고시스템 사용에 따른 고래들의 행동변화의 관측이 필요하지만, 현실적으로 여러 가지 어려운 문제들로 이루어지지 못하였다.

#### 결론

고래 혼획 방지를 목적으로 사용되고 있는 단일 주파수 음향 경고시스템을 장시간 사용시 발생할 수 있는 학습효과를 방지하기 위하여 다주파 음향 경고시스템을 설계, 제작한 결과는 다음과 같다. 음향축 방향인 0°를 기준으로  $\pm 90^\circ$  범위의 초음파 진동자의 전면부에서  $\pm 3$ dB 범위 이내의 감도 변화 없이 좌우 대칭적인 지향성 특성을 나타내어 시작된 초음파 진동자의 무지향적 특성을 확인할 수 있었다. 음향 경고시스템을 해상에서 작동시키고 1m지점에서 송신음압은 약 117dB/ $\mu$ Pa이 기록되었다. 음향 경고시스템의 송신음압이 예폭시 음향창인 초음파 진동자 자체의 송신음압 138dB/ $\mu$ Pa 보다 훨씬 낮은 117dB/ $\mu$ Pa을 나타낸 것은 제어회로 및 전원부를 포함한 구조물의 형상과 수밀성을 고려하여 외관을 견고한 원통형 플라스틱으로 구성함에 기인한 것으로 생각된다. 한편, 단일 및 다주파수 음향 경고시스템 사용에 따른 고래의 행동변화를 관측하기 위해서는 일정한 장소에 고래를 가두어 놓은 상태에서 동일한 고래들에 대한 행동변화의 관측이 필요하지만, 현실적으로 여러 가지 어려운 문제들로 이루어지지 못하여 돌고래들을 선수파를 타도록 유도하여 시작된 음향 경고시스템의 효과를 평가하는 단편적인 실험만 가능하였다. 금후, 다중 주파수로 주파수의 다변화 및 송신음압의 증대와 단, 다주파수 음향 경고시스템을 이용하여 동일 고래에 대한 반복적이고 지속적인 실험을 통해 학습효과에 이르기까지 걸리는 시간 및 그 과정을 파악할 필요가 있을 것으로 판단된다.

### 참고문헌

- Akamatsu, T., Y. Hatakeyama and N. Takatsu, 1993. Effects of pulse sounds on escape behavior of false killer whales. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59(8), 1297 – 1303.
- Barlow, J. and G.A. Cameron, 2003. Field experiments show that acoustic pingers reduce marine mammal bycatch in the California drift gill net fishery. *Marine Mammal Sci.*, 19(2), 265 – 283.
- Carlström, J., P. Berggren, F. Dinnetz and P. Börjesson, 2002. A field experiment using acoustic alarms (pingers) to reduce harbour porpoise by – catch in bottom – set gillnets. *ICES J. Mar. Sci.*, 59, 816 – 824.
- Kraus, S.D., A.J. Read, A. Solow, K. Baldwin, T. Spradlin, E. Anderson and J. Williamson, 1997. Acoustic alarms reduce porpoise mortality. *Nature*, 388, 525.
- Kojima, T., 1996. Behavior to net. In: Senses and behavior of dolphins. Soeda, H., ed. Kouseiha – houseikaku Co., Tokyo, pp. 93 – 102.
- Shin, H.I., 2004. Acoustical study of Cetacea. Report of National Fisheries Research and Development Institute, pp 111.
- Tara, M.C., J.R. Andrew, S. Andrew and T. Nick, 2001. Will harbour porpoise(*Phocoena phocoena*) habituate to pingers?. *J. Cetacean Res. Manage.*, 3(1), 81 – 86.
- Trippel, E.A., M.B. Strong, J.M. Terhune and J.D. Conway, 1999. Mitigation of harbour porpoise(*Phocoena phocoena*) by – catch in the gillnet fishery in the lower bay of Fundy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56, 113 – 123.

---

2005년 6월 9일 접수

2005년 7월 20일 수리