

고정점에서 고래류의 출현빈도 측정을 위한 수중 음향 전송시스템의 시험 제작

신형일* · 서두옥 · 김성호 · 김병엽¹ · 이유원

부경대학교 해양생산시스템관리학부, ¹제주대학교 해양과학부

Trial manufacture of the underwater sound transmission system to measure the appearance frequency of cetacean at the fixed point

Hyeong-II SHIN*, Du-Ok SEO¹, Seong-Ho KIM¹, Byung-Yob KIM¹ and Yoo-Won LEE

Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹Faculty of Ocean Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

The underwater sound transmission system(USTS) was experimentally made to monitor the cetacean's appearance by telemetry, and then its system was tested to evaluate its performance from July to October, 2007 at the Kimnyeong berth and the dolphin's breeding ground of Pacific Land in Jeju island, respectively. The results showed that the sweep sound in the trial experiment and the whistle sound of bottlenose dolphin(*Tursiops truncatus*) were favorably received by telemetry. Therefore, we could confirm the USTS is able to monitor the cetacean's appearance in real time without direct observation at sea within effective range of code division multiple access(CDMA) communication method.

Key words : Underwater sound transmission system, Cetacean, Monitoring, CDMA communication

서 론

고래류의 자원은 국제포경위원회(IWC: international whaling commission)의 국제포경규제협약(ICRW: international convention for the regulation of whaling)에 의해 1986년부터 상업포경이 금지된 후 전 세계적으로 꾸준히 증가되어 최근 우리나라 연근해에서도 수 년 전부터 자취를 감추었

던 여러 종의 고래류가 빈번히 출현하고 있어 상업포경의 재개에 대한 기대와 고래류를 관광자원으로 활용하는 방안이 연구되고 있다.

그러나 상업포경이 이루어지기 위해서는 먼저 각 고래류에 대한 정확한 분포 및 자원량 추정이 선행되어야 하고, 상업포경 반대국가 및 국내외 환경보호단체들의 극심한 반대를 감수하

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

여야 할 것이다. 이에 반해, 고래류를 관광자원으로 활용하는 관광산업은 미국, 칠레, 노르웨이, 남아프리카공화국, 오스트리아, 일본 등을 포함한 40 여 개국에서 친환경 고부가가치 산업으로서 각광을 받고 있다(Lee, 2004).

일반적으로 관광은 미국 캘리포니아만의 귀신고래 및 일본 오가사와라 주변해역에서의 혹등고래 등과 같이 대형 고래류를 대상으로 행해지고 있다. CRI(2007)에 의하면 우리나라 주변해역에서는 관측되는 고래류는 수십 종으로 다양하게 분포하고 있으나, 대부분이 돌고래류의 소형 고래류라고 보고하였으며, Lee(2004)는 일본 큐슈의 아마쿠사에서 큰돌고래를 이용한 관광산업을 소개하면서 우리나라 주변해역에서 주류를 이루고 있는 소형 고래류인 돌고래를 이용한 관광산업의 가능성을 제기하였다.

본 연구는 제주연안에 서식하는 큰돌고래 (bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*)를 이용한 관광 산업의 가능성을 조사하기 위하여, Shin(2006)에 의해 보고된 제주도 북동해역에서 큰돌고래가 빈번하게 출현하는 해역에 대하여 목시에 의존하지 않고, 고래류 출현을 원격 모니터링하기 위하여 고정점에 설치할 고래류 수중 음향전송시스템을 시험 제작하여 제주도 항내 및 퍼시픽랜드 돌고래 쇼장 내에서의 실험을 통하여 수중 음향전송시스템의 사용 가능성에 대

하여 고찰하였다.

재료 및 방법

수중 음향전송시스템의 시험 제작

수중 음향전송시스템의 구성은 Fig.1 과 같이 송신부와 수신부로 대별할 수 있고, 송신부는 고래류의 수중명음을 수신하는 하이드로폰과 이들 수신음향신호를 전기신호로 변환, 송신하는 송신부로 구성되었으며, 수신부는 수신모듈, 수신프로그램으로 구성되었다.

Fig. 1에서 나타낸 수중 음향전송시스템의 송신부에 사용된 하이드로폰(B/200, Neptune sonar limited)은 240kHz 까지 수신할 수 있는 무지향성 제품을 사용하였다. 그리고 청음부이의 내부 구조는 Fig. 2에 나타내었다. 그 구조는 송신부에

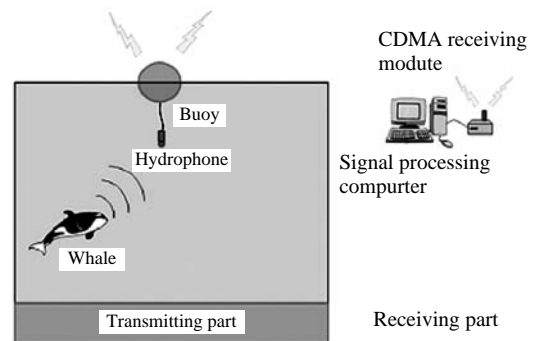


Fig. 1. Schematic diagram of the USTS using CDMA communication system.

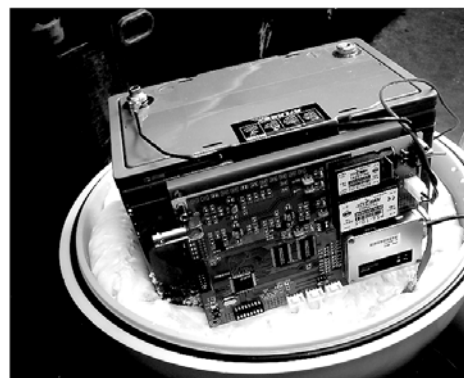
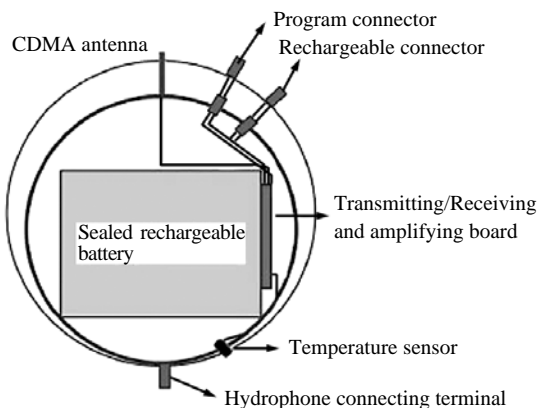


Fig. 2. Schematic diagram and photography for the internal frame into receiving buoy of cetacean's sound.

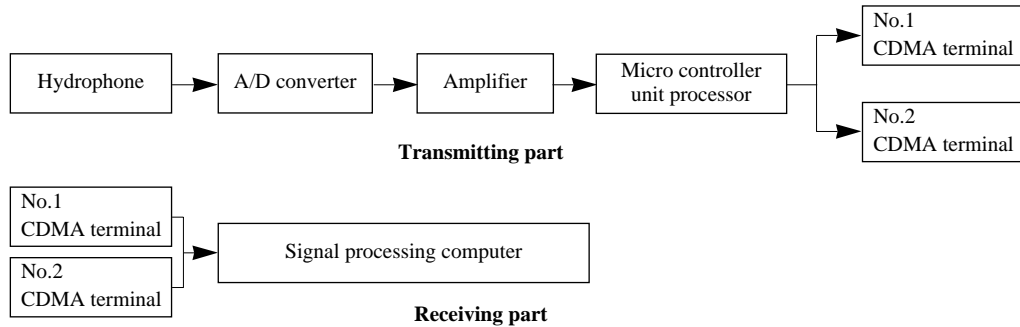


Fig. 3. Block diagram of signal process at transmitting and receiving part.

공급되는 전원용 무누액 배터리(sealed rechargeable battery)의 중량에 대한 부력을 향상시키고 회로내의 수밀을 유지하기 위해 이중구조로 되어 있고, 배터리의 겉면에 송·수신 및 증폭 보드와 컨트롤 보드가 부착되어 있다. 바깥쪽부이의 겉면에는 CDMA 안테나, 충전용 커넥터, 송신 모듈제어커넥터, 하이드로폰 연결 커넥터 단자 및 해양환경 파라미터 중 온도를 측정하기 위한 온도감지센서(DSC -103F2, Sonartech)가 부착되어 있다.

송신부의 청음 및 송신부이의 신호 송신 모듈과 수신부의 CDMA 수신 모듈과 신호처리 컴퓨터의 블록선도는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 송수신부의 제1 CDMA terminal에서는 음향정보, 제2 CDMA terminal에서는 표층수온정보를 송수신할 수 있도록 구성하였다.

Fig. 3의 수신부에서 샘플링 주파수는 10, 20, 44kHz로 선택할 수 있도록 설정하였고, 수신 신호 감지 레벨은 $\pm 0.75V$, $\pm 0.57V$, $\pm 0.37V$, $\pm 0.18V$ 의 4단계, 수신 신호 증폭율은 0.5 - 16까지 6단계, 수신 신호 저장 길이는 256kB, 512kB, 1024kB, 2048kB의 4단계로 조정 가능하도록 하였다. 또한, 수신 프로그램은 청음 및 송신 부이가 항상 ON 상태이므로 공기 중에서도 하이드로폰을 연결할 경우 청음이 되므로 부이를 바다에 입수 후 10분이 경과한 후 컴퓨터와 수신 CDMA 모듈을 연결하고 수신 프로그램을 구동하였다.



Fig. 4. Initial screen of the receiving program.

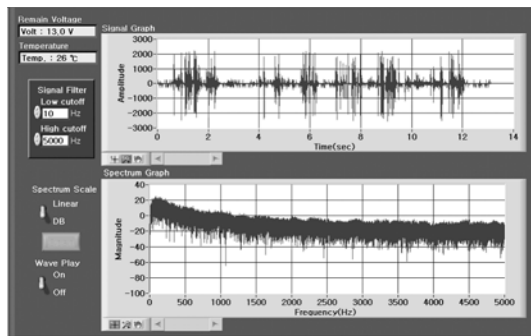


Fig. 5. Frequency analysis of the sample file.

수신 프로그램 구동시 초기 화면은 Fig. 4와 같다.

한편, 저장된 데이터는 자체 제작한 후처리 프로그램을 이용하여 wave 파일형태로 변환 후, Fig. 5와 같이 자체 제작한 프로그램을 통한 주파수 분석 및 CSL(model 4500, KAY)의 소너그램을 이용하여 주파수 특성 및 지속시간을 분석, 비교하였다.

수중 음향전송시스템을 이용한 실험

수중 음향전송시스템을 이용하여 본 실험에 앞서 예비실험으로서, 김녕항내 안벽에서 수중 음향방성기(LL-9642, Lubel)를 이용하여 돌고래의 휘슬음을 가상하여 스위침을 제작, 방성하고, 방성기로부터 20m 떨어진 지점에 수중 음향전송시스템 송신부를 설치하고, 송신부로부터 50m 떨어진 지점에 수신부를 설치하여 스위침의 수신여부를 확인하였다. 또한, 수중음향 수신시 CDMA의 또 다른 채널을 이용하여 해양환경요소와 큰돌고래의 출현의 연관성을 파악하기 위하여 시험적으로 표층수온센서를 송신부에 설치하고, 원격제어시스템에서 수신된 수중음향 데이터 중 표층수온 대표값과 봉상온도계를 이용하여 측정된 표층수온과 비교하였다.

한편, 고래류 출현이 높은 제주도 동북해역에 대하여 2007년 7월에 집중적으로 해상실험을 시도하였으나, 수중 음향전송시스템의 주변에 고래의 출현율이 낮아 실험이 원활하게 이루어지지 않았다. 그래서, 2007년 7월 21일 제주도 서귀포시 퍼시픽랜드 돌고래 쇼장의 큰돌고래 사육수조 내에서 큰돌고래 5마리를 대상으로 수중 음향전송시스템의 송신부를 수조 내에 설치하고, 수신부는 관리사무실에 설치하여 큰돌고래의 수중명음을 측정, 분석하여 원격 모니터링시스템의 사용 가능성에 대하여 고찰하였다.

결과 및 고찰

예비실험에서 수중음향방성기로부터 방성된 스위침음을 음향부이를 통하여 수중 음향전송시스템의 수신부에서 수신하여 분석한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6의 하단의 소너그램에서 알 수 있는 바와 같이, 스위침음은 5kHz대에서 50Hz 까지 하강 후 다시 상승한 형태로 지속시간은 약 2.0sec이었고, 다음 스위침까지는 약 6sec가 소요되었다. 또한 1.2kHz에서 5.6kHz 까지 특정 주파수에서 잡음이 지속적으로 나타나 신호대 잡음비가 좋지 않음을 알 수 있었다.

수중음향 수신시, 수중음향 데이터 중 표층수온 계측치를 수신하여 봉상온도계의 측정치와 비교한 결과는 Fig. 7과 같다. 그림에서와 같이 표층수온 계측치와 봉상온도계 측정치와는 지속적으로 1°C의 차이를 나타내었다. 일반적으로 봉상온도계의 측정오차가 약 ±1°C이고, 사용한 온도센서는 10kΩ의 정밀 써미스터를 이용하여 정도가 ±0.1°C임으로 수신된 수온은 비교적 잘 일치하는 것으로 판단된다.

한편, 표층수온은 해양환경요소와 큰돌고래의 출현과 상관관계가 있을 때, 해양환경요소의

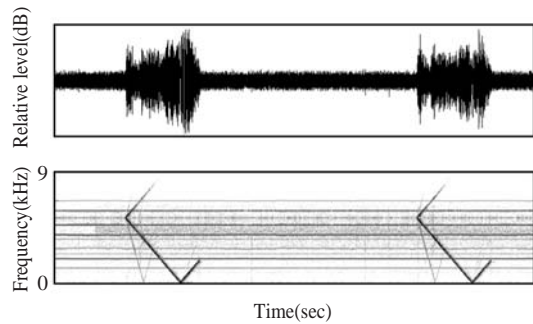


Fig. 6. Oscillogram and sonogram of sound obtained at the trial experiment of Kimnyeong berth.

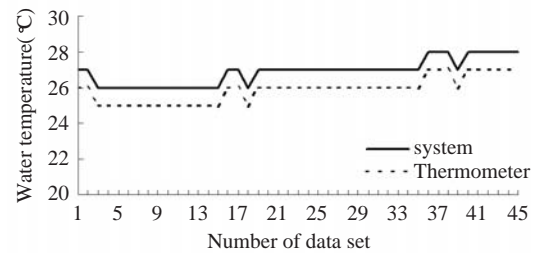


Fig. 7. Variation of water temperature(—) obtained by the USTS at the trial experiment of Kimnyeong berth.

측정가능성을 확인하기 위하여 시범적으로 실시한 것으로, 차후 조석과의 관계 등 다양한 해양환경요소를 비교, 분석하여 적절한 해양환경요소를 파악하여 적정 센서를 설치하면, 큰돌고래의 출현 메카니즘 해석에 크게 기여할 것이다.

제주도 서귀포시 퍼시픽랜드 돌고래 쇼장의

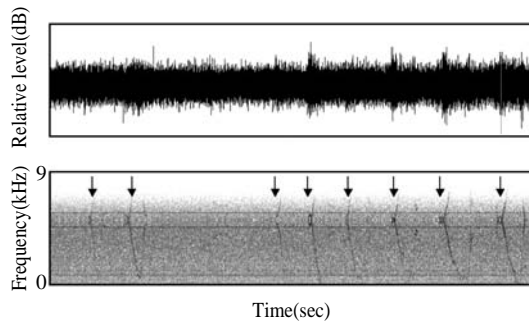


Fig. 8. Oscillogram and sonogram of sound obtained by bottlenose dolphin in the breeding ground.

큰돌고래 사육 수조 내에서 큰돌고래 5마리를 대상으로 수중 음향전송시스템을 이용하여 수중명음을 수신하여 분석한 결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8의 소너그램에서 나타난 것과 같이 큰돌고래의 휘슬음은 총 8회 수신되었으며, 대부분 7kHz에서 하강하기 시작하여 5kHz대에서 시계방향으로 1회전하여 700Hz까지 하강하는 형과 하강하였다가 700Hz에서 다시 상승하여 6-7kHz까지 상승하는 형이 관찰되었다. 한편, 휘슬음의 지속시간에 있어서는 하강하여서 멈추는 형에서는 0.22-0.27sec이었고, 하강하였다가 다시 상승하는 형에서는 0.45-0.63sec를 나타내었다. 이와 같은 휘슬음의 주파수 변동폭 및 지속시간을 Shin et al.(2002)의 결과와 비교하여 보면, 큰돌고래 휘슬음의 주파수 변동폭은 평소 $3.86 \pm 2.18\text{kHz}$ 이었으나 본 실험에서는 6.3kHz를 나타내어 다소 높았고, 지속시간은 충분하였을 때 $0.19 \pm 0.10\text{sec}$ 를 나타내었으나, 본 실험에서는 0.22-0.27sec 및 0.45-0.63sec를 나타내어 주파수 변동폭 및 지속시간으로 미루어 보아 수조내에 음향 원격시스템 송신부 설치에 따른 흥분된 상태의 휘슬음이라는 것을 알 수 있다.

예비실험 및 수조내의 실험을 통하여 수중 음향전송시스템을 이용하면 직접 선박을 이용하여 목시관측을 하지 않더라도 CDMA 통신방식의 유효거리 내에서는 실시간으로 고래류의 수중음향을 관측할 수 있을 것으로 생각된다. 그러

나, 신호대 잡음비가 너무 낮아 약한 신호는 잡음에 묻혀 그 신호를 파악할 수 없었다. 그리고 6kHz이하에서 지속적으로 나타났던 잡음도 현장실험을 위해서는 반드시 보완해야할 부분으로 생각된다.

결 론

제주연안에 서식하는 큰돌고래(bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus*)를 이용한 관광산업의 가능성을 조사하기 위하여, 제주도 북동해역에서 큰돌고래가 빈번하게 출현하는 해역에 대하여 목시에 의존하지 않고, 고래류 출현을 원격 모니터링하기 위하여 고정점에 설치할 고래류 수중 음향전송시스템을 시험 제작하여 제주도 항내 및 퍼시픽랜드 돌고래 쇼장 내에서의 실험을 통하여 수중 음향전송시스템의 사용 가능성에 대하여 평가하였다. 예비실험에서 수중음향방성기로부터 방성된 스위침의 수신 결과나, 퍼시픽랜드 돌고래 쇼장의 큰돌고래 사육수조내에서 큰돌고래의 휘슬음이 깨끗하게 수신되어 수중 음향전송시스템을 이용하면 직접 선박을 이용하여 목시관측을 하지 않더라도 CDMA 통신방식의 유효거리 내에서는 실시간으로 고래류의 수중음향을 관측할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 수중 음향전송시스템을 이용하여 수중음향 수신시 해양환경요소와 큰돌고래의 출현과 상관관계가 있을 때, 해당 해양환경요소의 측정가능성을 확인하기 위하여 표층수온을 시범적으로 실시한 결과 정도 높게 잘 작동하는 것으로 확인 되었다.

사 사

이 논문은 2007년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국대학교육협의회 대학교수국내교류 연구비 지원에 의한 것임.

참고문헌

Cetacean Research Institute(CRI), 2007. Studies on

- conservation and management of the cetacean resources. Report of National Fisheries Research and Development Institute(NFRDI), pp. 116(in printing).
- Lee, Y.W, 2004. Prospect of whale watching industry and acoustical characteristic of cetacean in the waters of Korea. Proceedings of 2004 autumn joint symposium of the Korea society on fisheries science. pp. 93 – 104.
- Shin, H.I., D.O. Seo, D.J. Lee, D.J. Hwang, M.K. Bae and Y.W. Lee, 2002. Characteristics of bottlenose dolphin(*Tursiops truncatus*) whistle. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 38(4), 271 – 277.
- Shin, H.I., 2006. Acoustical study of cetacean. Report of NFRDI, pp. 115 – 149.
-
- 2007년 12월 28일 접수
2008년 1월 21일 수리