

딱총새우 발생음의 음향학적 특성 연구

A study on acoustic characteristics of  
the snapping shrimp sound

한국해양연구원

# 제 출 문

한국해양연구원장 귀하

본 보고서를 “ 딱총새우 발생음의 음향학적 특성에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2010. 3.

연구 책임자 : 김 봉 채

참 여 연 구 원 : 최 복 경

“ : 노 현 수

“ : 한 주 영

“ : 김 병 남

“ : 김 병 수

# 요 약 문

## I. 제 목

딱총새우 발생음의 음향학적 특성 연구

## II. 연구개발의 목적

천해에서 발생하는 주요 해양잡음원 가운데 생물잡음원으로 고려되는 딱총새우 발생음의 물리음향학적인 특성을 분석함

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 한반도 천해에 서식하는 다양한 종의 딱총새우 채집 및 종 분류
- 실험실 조건에서 종과 큰 집게 크기에 따른 딱총새우 발생음의 순간파형 및 주파수 스펙트럼과 음원레벨의 측정 및 분석
- 딱총새우 발생음과 단일 진공기포의 크기 및 붕괴시간 사이의 상관성 규명

## IV. 연구개발결과

3종의 딱총새우에 대하여 측정된 전형적인 순간파형은 서로 유사한 형태를 나타냈었지만, 주파수 스펙트럼과 순간파형의 펄스폭은 다르게 나타났다. 이러한 펄스폭의 차이는 딱총새우의 집게로부터 방출된 고속 분사 물에 의해 발생된 단일 진공기포의 크기와 관련이 있었다. 딱총새우의 큰 집게가 닫힐 때부터 생성된 단일 진공기포의 붕괴까지 걸린 시간차의 범위는 큰 집게 형태의 차이에 의해 결정되는 것처럼 보였다. 딱총새우 각 종에 대해서 진공기포의 붕괴시간 및 공진반경과 최대 팽창반경은 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼에서 첫 번째 피크 주파수 성분으로부터 추정될 수 있었다. 1종의 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼에서 피크 주파수 성분들은 큰 집

계의 길이에 따라 다양하게 관측되었으며 그것들의 중첩은 주요 천해의 해역에서 관측된 딱총새우 발생음의 평균 주파수 스펙트럼에서 폭이 넓은 피크 주파수 성분이 다양하게 관측된 원인으로 고려될 수 있었다.

## V. 연구개발결과의 활용방안

딱총새우의 발생음에 대한 연구는 딱총새우가 서식하는 환경에서 연안 해양잡음의 변동특성을 연구하는데 기초자료로 활용될 수 있으며 천해용 수중음향탐사 및 통신장비의 개발시 신호대잡음비를 산출하기 위한 기초 연구자료로도 활용될 수 있다. 또한, 천해에서 딱총새우 발생음은 소나 신호에 간섭을 발생시키므로 이러한 간섭현상을 이해하기 위한 기초자료로도 활용될 수 있다.

# SUMMARY

## **I. Title**

A study on acoustic characteristics of snapping shrimp sound

## **II. Objectives of the study**

The purpose of this study is to analyze a physical and acoustic characteristics on the snapping shrimp sound, which is considered as a biological noise source of main ambient noise sources in shallow water.

## **III. Contents**

- Classification and collection of snapping shrimps in shallow waters of the korea peninsula
- Measurements and analyses of the typical temporal waveforms, the frequency spectra, and the source levels of the sounds produced in the species and the large claw lengths of snapping shrimp under laboratory conditions
- Investigation of relationship between the snapping shrimp sound and the size of single cavitation bubble

## **IV. Results**

For the three species of snapping shrimp, their typical temporal waveforms were similar, but their sound spectra and pulse durations differed. This difference was related to the size of the single cavitation bubble, which was generated by the high-speed water jet emitted from the snapping shrimp claw. The range of difference in the times between the snapping shrimp claw closure and the

collapse of the single cavitation bubble for the three species of snapping shrimp seemed to be determined by the difference in the claw shape. The collapse time, the resonance radius, and the maximal radius of the cavitation bubble for each species could be estimated from the first peak frequency component in the snapping shrimp sound spectrum. For one species of snapping shrimp, the peak frequency components in the sound spectra were observed for various claw lengths and their superposition could be considered as the cause that the broad peak frequency components were variously observed in the averaged snapping shrimp sound spectra, which were measured in many shallow water areas.

#### **V. Future plan for application of the results**

A study on acoustic characteristics of the snapping shrimp sound can provide basic research data to study a variation of the oceanic ambient noise in shallow water, where the snapping shrimps live and to calculate the signal-to-noise ratio of underwater acoustic equipments to use in shallow water. It can be also utilized for understanding interference effects between the snapping shrimp sound and the sonar ping signal in shallow water.

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 딱총새우 발생음의 음향학적 특성 .....	3
1. 딱총새우의 채집 .....	3
2. 실험 방법 .....	3
3. 측정결과 및 고찰 .....	4
제 3 장 결론 .....	11
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외 기여도 .....	12
1. 연구개발목표 달성도 .....	12
2. 대외 기여도 .....	12
제 5 장 연구개발결과의 활용방안 .....	13
참고문헌 .....	15

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	1
<b>Chapter 2. Acoustic characteristics of snapping shrimp sound</b> .....	3
1. Collection of snapping shrimp .....	3
2. Experimental Method .....	3
3. Experimental results and discussion .....	4
<b>Chapter 3. Conclusion</b> .....	11
<b>Chapter 4. Degree of achievement and contribution to the relevant     area</b> .....	12
1. Degree of achievement .....	12
2. Contribution to the relevant area .....	12
<b>Chapter 5. Future plan for application of the results</b> .....	13
<b>References</b> .....	15



## List of Figures

Figure 1. Single cavitation bubble generated by high speed water jet resulting from the rapid big claw closure of the snapping shrimp .....	2
Figure 2. Photographs of the three species of snapping shrimp collected in the coastal sea of Korea: (a) Unknown species, (b) <i>Alpheus digitalis</i> , (c) <i>Alpheus lobidens</i> .....	8
Figure 3. Schematic diagram of experimental setup for acoustic measurements of the snapping shrimp sound .....	8
Figure 4. Typical temporal waveforms of snapping shrimp sounds produced by the three species of snapping shrimp .....	9
Figure 5. Normalized spectra of sounds produced by the three species of snapping shrimp .....	9
Figure 6. Normalized spectra of sounds produced by the species <i>Alpheus lobidens</i> with different claw lengths .....	9

## 제 1 장 서 론

해양에서 해양잡음은 바람, 강우, 항행선박과 해양생물에 따라 매우 다른 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 1940년대 해양에서 측정된 막대한 양의 해양잡음 분석자료에 따르면 심해의 경우 해양잡음은 원거리 항행선박과 해표면에서 부는 바람에 크게 영향을 받는 것으로 보고 되었다(Wenz, 1962). 그러나, 심해에 비해 수심이 낮은 천해의 경우 해양잡음은 원거리 항행선박과 바람뿐만 아니라 해양생물과 쇄파대에서 발생하는 파도에 의해 복잡하게 나타나는 것으로 보고 되었다. 천해에서 해양생물 발생음은 높은 일주기 및 계절변화를 나타내므로 다른 음원들보다 해양잡음에 더 크게 영향을 미칠 수 있다. 특히, 돌고래와 딱총새우 발생음들은 해양에서 소나를 운용하는 경우 소나 반향음을 심하게 간섭시켜 수신신호의 식별을 어렵게 할 뿐만 아니라 수중통신을 방해하는 것으로 알려져 있다(Loye와 Proudfoot, 1946; 김 등, 1995; Delory와 Potter, 1998). 딱총새우가 서식하는 천해에서 딱총새우 발생음은 선박 및 해표면 바람이 발생시키는 해양잡음과 함께 항상 존재하므로 딱총새우 발생음은 돌고래 발생음보다 소나 탐지성능과 수중통신 그리고 해양잡음에 더욱 영향을 미칠 수 있다. 이와같은 이유 때문에 많은 연구자들이 딱총새우 발생음을 측정하여 분석하였다(Loye와 Proudfoot, 1946; Everest 등, 1948; Widner, 1967; Cato, 1993; Ahn 등, 1993; Readhead, 1997; Au와 Banks, 1998; Versluis 등, 2000; Ferguson와 Cleary, 2001; Kim 등, 2007).

천해에서 딱총새우 발생음에 대한 이전 연구들은 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼 분석에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다. 이러한 연구들로부터 딱총새우 발생음의 평균주파수 스펙트럼은 다양한 피크 주파수(peak frequency) 성분을 갖는 광대역 주파수 응답 특성을 나타낸다는 사실이 밝혀졌다. 그러나, 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼에서 피크 주파수가 다르게 관측되는 이유에 대해서는 현재까지 보고되지 않았다. 최근 Versluis 등(2000)은 딱총새우 발생음의 원인을 찾기 위한 연구를 수행하였으며, 그들은 딱총새우가 큰 집계를 빠르게 닫을 때 집계로부터 고속으로 분사된 물(water jet)에 의해서 순간적으로 발생된 단일 진공기포(cavitation bubble; 그림 1)의 급격한 붕괴(collapse)로 인하여 소리가 발생됨을 보고하였다. 단일 진공기포는 팽창(expansion)과 붕괴(collapse)의 과정중에 공진(resonance) 및 고조파

(harmonic) 주파수들에서 음파를 방출할 수 있으므로 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼은 이러한 주파수 성분들과 연관될 수 있다(Lauterborn와 Cramer, 1981; Miller, 1981; Cabeza 등, 1998; Choi 등, 2008).

본 연구는 큰 집게의 형태가 다른 3종의 딱총새우에 대하여 실험실 조건에서 측정된 발생음의 전형적인 파형과 주파수 스펙트럼의 특성 그리고 집게의 크기가 다른 1종의 딱총새우에 대한 주파수 스펙트럼의 특성을 보고한다. 또한 딱총새우 발생음의 파형과 주파수 스펙트럼정보로부터 딱총새우에 의해 발생된 진공기포의 크기를 추정하고 천해에서 측정된 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼의 피크 주파수가 다양하게 나타나는 원인에 대하여 논의한다.



Figure 1. Single cavitation bubble generated by high speed water jet resulting from the rapid big claw closure of the snapping shrimp (Lohse 등, 2001).

## 제 2 장 딱총새우 발생음의 음향학적 특성

### 1. 딱총새우의 채집

천해에서 살아있는 딱총새우를 채집하기 위해서 2가지 방법을 사용하였다. 첫 번째 방법은 간조때 해수가 빠지는 갯벌에서 돌 밑에 숨어있는 딱총새우를 손으로 채집하는 방법이며 두 번째 방법은 연안 항구에서 조개 채집용 형망을 이용하여 채집하는 방법이었다. 그림 1은 현장에서 채집된 3종의 딱총새우 사진을 보여준다. 그림 2(a)에서 보여지는 딱총새우는 기존의 문헌을 통해서 확인이 불가능한 종이였으며 큰 집게의 크기는 16 mm였다. 그림 2(b)에서 딱총새우는 *Alpheus digitalis*로 확인 되었으며 큰 집게의 크기는 15 mm였다. 그림 2(c)에서 딱총새우는 *Alpheus lobidens*로 확인 되었으며 큰 집게의 크기는 15 mm였다.

### 2. 실험방법

그림 3는 딱총새우 발생음을 실험실 조건에서 측정하기 위한 실험장치도를 보여준다. 각각의 딱총새우는 직경이 16 mm이고 내벽이 두께 5 mm의 부드러운 스폰지로 코팅된 원형 플라스틱 호스 클램프(plastic hose clamp)에 위치했다. 플라스틱 호스 클램프에 연결된 플라스틱 나사(plastic knob)는 딱총새우를 고정하기 위해서 사용하였다. 플라스틱 호스 클램프에 고정된 딱총새우는 크기가 300×600×360 mm<sup>3</sup>이고 해수가 채워진 무반향 수조(anechoic water tank)의 중앙에 위치하였다. 수조에서 수온은 모든 실험동안 21°C로 유지 되었으며 딱총새우 발생음은 부드러운 붓을 이용하여 큰 집게를 가볍게 쳐서 유도하였다. 딱총새우 발생음을 측정하기 위하여 딱총새우로부터 10 mm의 거리에 무지향성 수중청음기(Hydrophone)가 위치하였으며 이것의 수신전압감도는 1 Hz ~ 150 kHz의 주파수 대역에서 -212 dB re 1V/ $\mu$ Pa였다. 수중청음기로부터 수신된 딱총새우 발생음은 음향 측정용 증폭기(measuring amplifier)를 통하여 적절하게 증폭된 후 300 MHz 디지털 오실로스코프(oscilloscope)를 사용하여 저장되었다. 저장된 신호는 컴퓨터를 이용하여 분석하였다.

### 3. 측정결과 및 고찰

그림 4은 3종의 딱충새우에 의해서 발생된 음의 전형적인 순간파형을 보여준다. 원안의 펄스(pulse)는 딱충새우의 큰 집게가 닫힐 때 발생된 음의 파형이며 접선은 이 파형이 시작되는 시점의 위치를 나타낸다. 그리고 시간 614  $\mu\text{s}$  근처에서 진폭이 날카로운 피크 펄스는 단일 진공기포의 붕괴(collapse)에 의해 발생된 파형이다. 이러한 진공기포는 해수내의 어떤 국소적인 영역에서 압력이 물의 증기압 이하로 급격히 떨어질 때 발생된다. 국소적인 영역에서의 이러한 급격한 압력 저하는 딱충새우가 큰 집게를 재빨리 닫을 때 고속으로 분사되는 물(water jet)에 의해 발생된다(Versluis 등, 2000). 그림 4에서 나타낸 바와 같이 3종의 딱충새우에 대한 전형적인 순간파형은 서로 유사한 형태를 나타내었지만, 딱충새우 집게 닫힘과 진공기포의 붕괴 사이의 시간차( $\Delta T$ )는 서로 달랐다. 이름이 알려지지 않은 딱충새우 종에 대해서 딱충새우가 5번 큰 집게를 움직였을 때  $\Delta T$ 는 304와 330  $\mu\text{s}$  사이에서 변화하였으며 피크-투-피크(peak to peak) 음원 레벨은 209와 224 dB *re* 1  $\mu\text{Pa}$  사이에서 변화하였다. *Alpheus digitalis* 종에 대해서  $\Delta T$ 는 174와 225  $\mu\text{s}$  사이에서 변화하였으며 피크-투-피크 음원 레벨은 206과 211 dB *re* 1  $\mu\text{Pa}$  사이에서 변화하였다. 그리고 *Alpheus lobidens* 종에 대해서  $\Delta T$ 는 394와 426  $\mu\text{s}$  사이에서 변화하였으며 피크-투-피크(peak to peak) 음원 레벨은 214과 219 dB *re* 1  $\mu\text{Pa}$  사이에서 변화하였다. 단일 진공기포의 붕괴는 기포의 벽이 최대 압축되는 순간을 나타내므로  $\Delta T$ 의 증가는 진공기포 크기의 증가를 나타낸다(Versluis 등, 2000; Young, 1999). 따라서 한 종의 딱충새우에 대하여 발생된 진공기포의 크기 변화 즉,  $\Delta T$ 의 변화는 딱충새우가 방출시키는 고속 분사 물(water jet)의 체적(volume)변화에 의해 나타날 수 있다. 그러나 3종의 딱충새우에 대한  $\Delta T$  범위의 차이는 큰 집게의 형태상의 차이에 의해 나타날 수 있다.

일반적으로 단일 진공기포의 크기는 기포의 붕괴시간( $\tau$ )에 의해 추정될 수 있다(Khoroshev, 1963). 진공기포의 붕괴시간  $\tau$ 는 기포의 최대 팽창(expansion)과 붕괴(collapse) 사이의 시간을 의미하며 이것은  $\Delta T$ 내에 포함된다. 그러나 진공기포가 최대 팽창되는 시점이 그림 4의 딱충새우 발생음 파형에서 쉽게 구분되지 못하므로 단일 진공기포의 붕괴시간  $\tau$ 는 실험적으로 정확히 측정하기가 어렵다. 그러나 이론적으로 단일 진공기포의 붕괴시간  $\tau$ 는 다음의 식으로 추정될 수 있다(Khoroshev, 1963).

$$\tau \approx 0.915 R_{\max} \left( \frac{\rho}{P_0} \right)^{1/2} \left( 1 + \frac{Q}{P_0} \right) \quad (1)$$

여기서  $R_{\max}$ 는 단일 진공기포의 최대 팽창 반경을 나타내며  $Q=2 \times 10^3$ 은 단일 진공기포 내에서의 증기압(vapor pressure)을 나타낸다.  $\rho = 1026 \text{ kg/m}^3$ 와  $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$ 은 각각 해수에서의 밀도와 평형압력(equilibrium pressure)을 나타낸다. 유체내에 존재하는 어떤 음원의 음압(acoustic pressure)이 유체의 평형압력보다 큰 경우 발생된 진공기포는 순간 진공기포(transient cavitation bubble)로 고려될 수 있다(Young, 1999). 이 경우 단일 진공기포의 최대 팽창반경  $R_{\max}$ 는 다음과 같이 간단히 주어진다.

$$R_{\max} \approx 2R_0 \quad (2)$$

여기서  $R_0 = \frac{1}{2\pi f_0} \sqrt{\frac{3\gamma P_0}{\rho}}$ 는 진공기포의 공진반경을 나타내며  $f_0$ 와  $\gamma=1.4$ 는 진공기포의 공진 주파수와 진공기포에서 가스의 비열비(specific heat ratio)를 나타낸다. Versluis 등(2000)은 고속 카메라를 사용하여 딱총새우의 큰 집게로부터 고속으로 방출된 물(water jet)의 속력을 측정하고 Bernoulli의 법칙을 이용하여 해수내의 한 지점에서 고속으로 분사된 물로 인해 발생된 외부압력을 추정하였다. 추정된 압력은 약  $3 \times 10^5 \text{ Pa}$ 이었으며 이것은 해수내에서의 평형압력보다 더 큰 값이다. 따라서 딱총새우에 의해서 발생된 단일 진공기포는 앞서 언급한 바와 같이 순간 진공기포로 고려될 수 있다.

그림 5는 그림 4에 나타난 딱총새우 발생음의 파형에 대한 규격화된 주파수 스펙트럼(normalized frequency spectrum)을 나타낸다. 그림에서 나타낸바와 같이 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼은 다양한 피크 주파수 성분들로 구성되었다. 진공기포는 어떤 외부 압력에 의해 진동할 때 기포의 공진 및 고조파 주파수에서 음파를 방출할 수 있으며 이러한 주파수 성분들은 진공기포 진동음의 주파수 스펙트럼에서 쉽게 관측될 수 있다(Lauterborn와 Cramer, 1981; Miller, 1981; Cabeza 등,

1998; Choi 등, 2008). 따라서 그림 5에서 피크 주파수 성분들은 진공기포의 공진 및 고조파 주파수에 대응될 수 있다. 이 경우 단일 공진기포의 공진반경  $R_0$ 는 딱총새우 발생음 스펙트럼에서 첫 번째 피크 주파수 성분으로부터 추정될 수 있다. 알려지지 딱총새우 종에 대한 첫 번째 피크 주파수는 3.5 kHz였으며 *Alpheus digitalis* 종과 *Alpheus lobidens* 종에 대한 피크 주파수는 각각 5 kHz와 3 kHz였다. 이때 표 1은 식 (1)과 식(2)를 사용하여 추정된 단일 진공기포의 공진 및 최대 팽창반경과 붕괴시간을 나타낸다. 표에서 보여지는 바와 같이 진공기포의 공진 및 최대 팽창반경은 붕괴시간이 증가할수록 그리고 첫 번째 피크 주파수가 감소할수록 증가하는 것을 알 수 있다.

Table 1. Resonance radius,  $R_0$ , maximal radius  $R_{max}$ , and collapse time  $\tau$  of the cavitation bubbles estimated from Eqs. (1) and (2).

Snapping Shrimp	$R_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_{max}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\tau$ ( $\mu\text{s}$ )
Unknown species	920	1,840	174
<i>Alpheus digitalis</i>	644	1,288	122
<i>Alpheus lobidens</i>	1,073	2,146	203

그림 6는 *Alpheus lobidens* 종에 대해서 큰 집게의 길이에 따라 발생된 딱총새우 발생음의 규격화된 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 딱총새우의 큰 집게로부터 고속으로 분사된 물(water jet)의 체적은 큰 집게 길이의 증가에 따라 증가할 수 있으므로 고속 분사 물에 의해 발생된 단일 진공기포의 공진반경 또한 증가할 수 있다. 따라서 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼에서 진공기포의 공진 주파수에 해당하는 첫 번째 피크 주파수는 큰 집게 길이의 증가에 따라 감소할 수 있다. 그러나 그림 5에서 보여진 것처럼 첫 번째 피크 주파수는 큰 집게 길이의 증가에 따라 규칙적으로 감소하지 않았다. 이것은 딱총새우의 큰 집게 내부에 해수가 충분히 채워지지 않은 경우에 발생할 수 있다.

수심이 얇은 천해에 서식하는 딱총새우들은 반경이 다른 다양한 크기의 단일

진공기포들을 생성시킬 수 있으므로 그림 6과 같이 다양한 피크 주파수 성분들이 딱총새우 발생음의 주파수 스펙트럼에 나타날 수 있다. 따라서 딱총새우 발생음의 평균 주파수 스펙트럼은 피크 주파수 성분들간의 중첩(superposition)에 의해 폭넓게 나타날 수 있다. 그리고 이러한 주파수 성분들간의 중첩은 딱총새우 발생음의 평균 주파수 스펙트럼에서 중심 주파수의 위치를 결정할 수 있다. 이것은 수심이 얕은 다수의 천해에서 관측된 딱총새우 발생음의 평균 주파수 스펙트럼의 중심주파수가 다양하게 관측되는 이유가 될 수 있다(Everest 등, 1948; Widner, 1967; Kim 등, 2007).





Figure 2. Photographs of the three species of snapping shrimp collected in the coastal sea of Korea: (a) Unknown species, (b) *Alpheus digitalis*, (c) *Alpheus lobidens*.

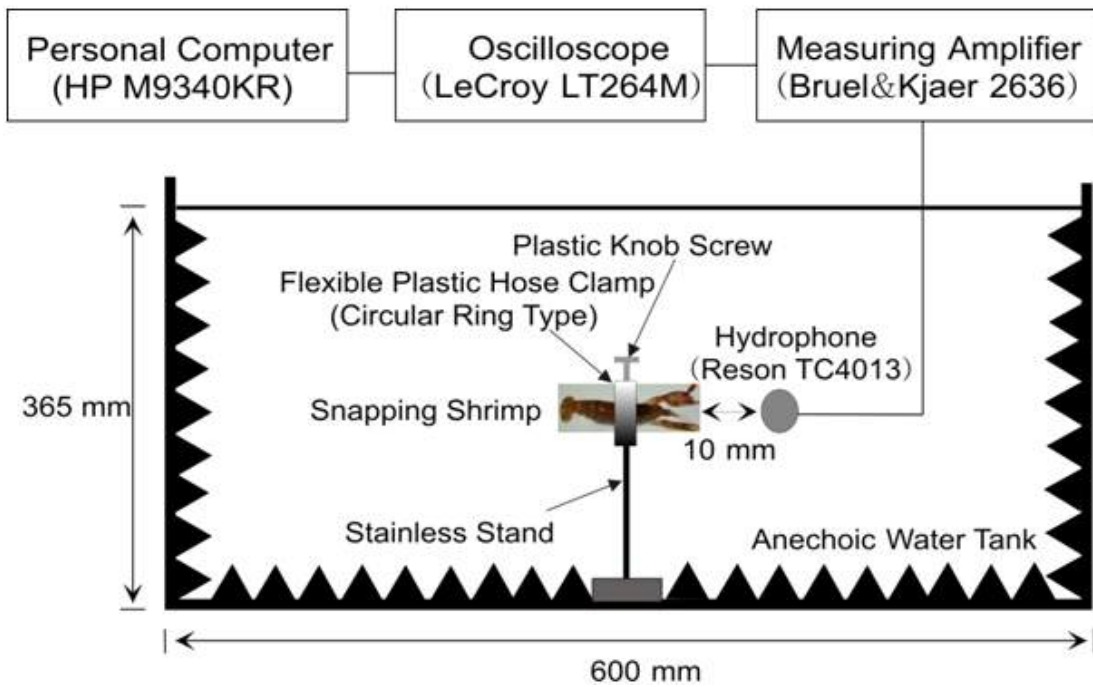


Figure 3. Schematic diagram of experimental setup for acoustic measurements of the snapping shrimp sound.

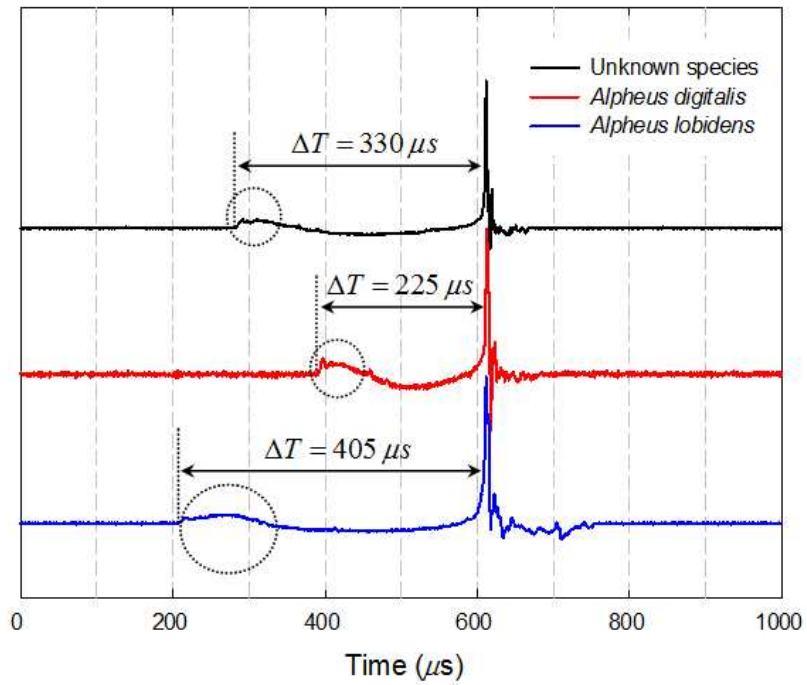


Figure 4. Typical temporal waveforms of snapping shrimp sounds produced by the three species of snapping shrimp.

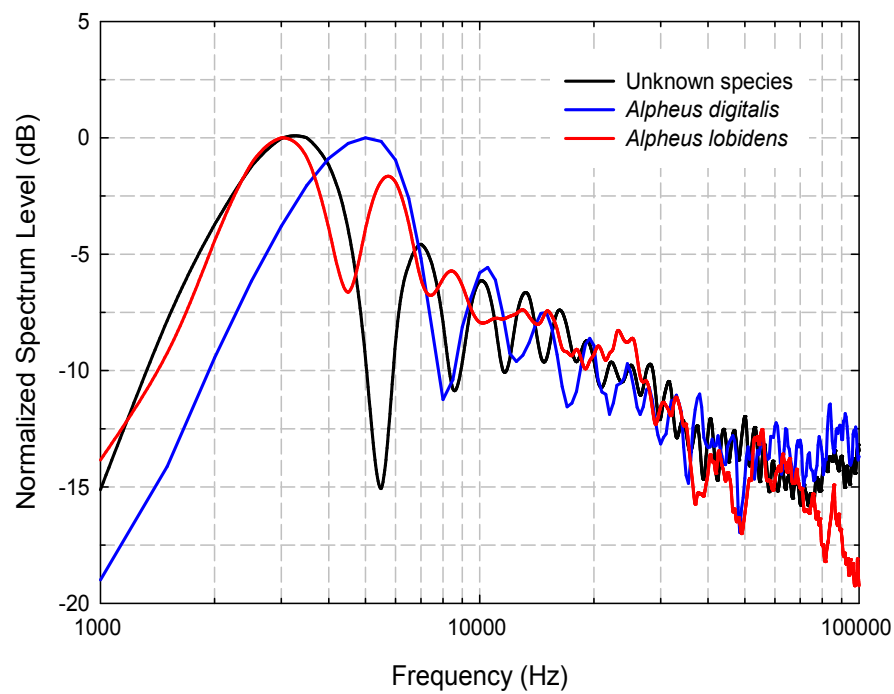


Figure 5. Normalized spectra of sounds produced by the three species of snapping shrimp.

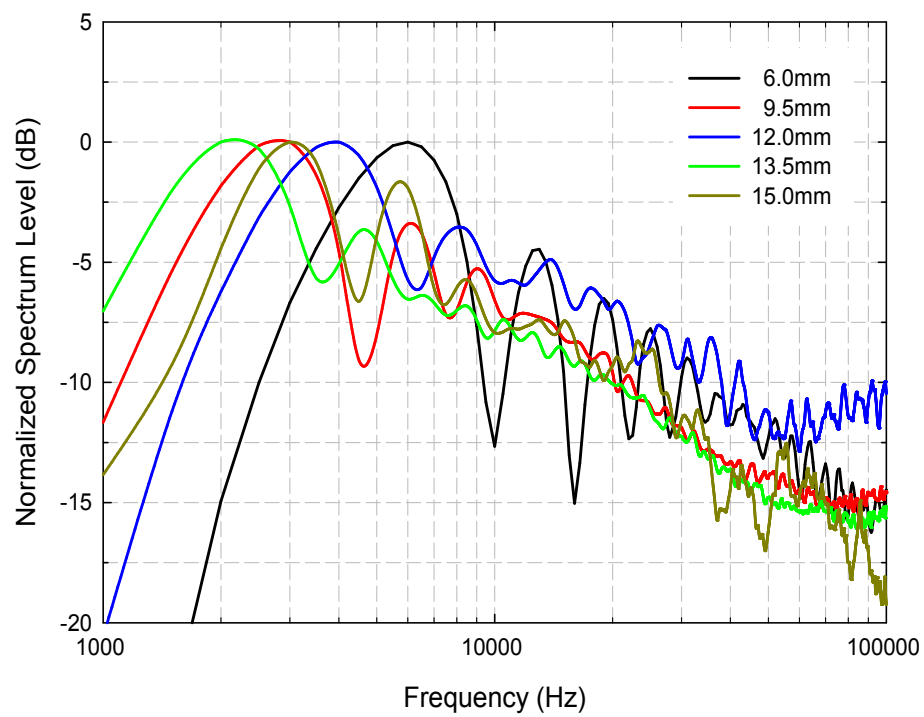


Figure 6. Normalized spectra of sounds produced by the species *Alpheus lobidens* with different claw lengths.

## 제 3 장 결 론

길이가 비슷하고 형태가 다른 큰 집계를 갖는 3종의 딱충새우 발생음에 대한 전형적인 순간파형과 주파수 스펙트럼을 실험실 조건에서 조사하였다. 3종의 딱충새우 발생음의 전형적인 순간파형은 유사하게 나타났지만 주파수 스펙트럼은 다르게 나타났다. 또한, 딱충새우의 큰 집계 닫힘부터 단일 진공기포의 붕괴까지 걸리는 시간도 종에 따라 다르게 나타났지만, 이것은 딱충새우의 종보다는 큰 집계로부터 방출된 고속 분사 물(water jet)에 의해 발생된 진공기포의 크기와 관련이 있었다. 그러나 이러한 시간의 범위 차이는 종에 따른 큰 집계의 형태차이와 관련이 있었다. 딱충새우 발생음의 주파수 스펙트럼에서 첫 번째 피크 주파수 성분은 단일 진공기포의 공진 주파수를 의미하므로 이 주파수 성분으로부터 진공기포의 공진반경 및 최대 팽창반경과 붕괴시간을 추정할 수 있었다.

1종(*Alpheus lobidens*)의 딱충새우에 대해서 큰 집계의 길이에 따른 주파수 스펙트럼을 또한 조사하였다. 딱충새우 발생음의 주파수 스펙트럼에서 피크 주파수 성분들은 큰 집계의 증가에 따라 다양하게 관측되었으며 이 주파수 성분들의 중첩은 여러 천해의 해양에서 관측된 딱충새우 발생음들의 평균 주파수 스펙트럼에서 중심 피크 주파수가 다양한 위치에서 나타나는 원인으로 고려될 수 있었다.

## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외 기여도

### 1. 연구개발목표 달성도

최종 연구개발목표: 딱총새우 발생음의 물리음향학적 특성 분석		
연구내용	달성도(%)	비고
● 한반도 천해의 해양에 서식하는 다양한 종의 딱총새우 채집 및 종 분류	100	
● 실험실 조건에서 종 및 집게 크기에 따른 딱총새우 발생음의 파형 및 주파수 스펙트럼, 음원레벨 측정 및 분석	100	
● 딱총새우 발생음과 단일 진공기포의 크기 및 붕괴시간 사이의 상관성 규명	100	당초 연구내용은 “실험실에서 딱총새우 발생음의 지향 특성 및 전달특성 측정과 분석”이었으나 연구장비 부족으로 연구내용 변경함.

### 2. 대외 기여도

기존의 딱총새우 발생음에 관한 연구는 발생음의 생성 메커니즘 규명, 주파수 특성 및 음원레벨 측정 등의 수준에서 더 이상 진행되지 못하였다. 본 연구과제는 기존연구의 후속연구라 할 수 있으며 딱총새우에 의해서 발생된 진공기포와 딱총새우 발생음의 음향특성 사이의 상관성을 규명함으로써 딱총새우 발생음에 관한 생물음향학 분야의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용방안

- 딱총새우 발생음에 대한 연구는 딱총새우가 서식하는 환경에서 연안 해양잡음의 변동특성을 연구하는데 기초자료로 활용될 수 있으며 천해용 수중음향탐사 및 통신장비의 개발시 신호 대 잡음비를 산출하기 위한 기초연구자료로도 활용될 수 있다.
- 군사적으로 딱총새우가 서식하는 연안해역에서 수중음향탐지 시스템을 활용하여 수상함이나 잠수함 등의 소음탐지를 시도하는 경우, 딱총새우 발생음은 시스템의 오탐지율을 증가시키는 것으로 알려져 있다. 따라서 시스템의 오탐지율을 제거하기 위한 알고리즘을 개발함에 있어 본 연구자료는 기초연구자료로 활용될 수 있다. 또한 딱총새우 발생음과 소나 음향신호 사이의 간섭현상을 이해하기 위한 기초 연구자료로도 활용이 가능할 것이다.
- 천해에서 수중음파는 해표면 및 해저 등의 경계면에서 매우 빈번하게 상호작용을 하면서 전파하므로 해저퇴적물은 천해의 음파전파에 지대한 영향을 미친다. 해양에서 음파전달을 정확히 예측하고 이해하기 위해서는 해저퇴적물에서 음파전달 현상을 먼저 이해할 필요가 있다. 현재 다양한 주파수 대역에서 퇴적물의 음향특성을 측정하기 위해서는 공진주파수가 다른 다수의 트랜스듀서가 사용된다. 다수의 트랜스듀서를 사용하는 이유는 하나의 트랜스듀서로는 광대역의 공진주파수 특성을 나타낼 수 있는 음파를 송신할 수 없기 때문이다. 이러한 광대역 공진주파수 특성 문제는 저주파수 대역으로 갈수록 더욱 심하게 나타난다. 그러나 본 연구팀의 기존 선행연구 결과에 따르면 딱총새우 발생음은 저주파수 대역에서 광대역 주파수 특성을 나타내므로 퇴적물의 저주파 대역 음향특성 측정시 딱총새우 발생음은 매우 유용하게 사용될 수 있으며 이를 위해서 본 연구과제의 연구결과 또한 유용하게 활용될 수 있을 것이다.
- 해수중에는 소리를 발생시킬 수 있는 무수히 많은 생물음원이 존재하므로 본 연구과제를 시발점으로 하여 어류 및 고래류 등과 같은 음향생물상의 음향특성을 연구하고 그것을 DB화할 수 있는 후속 연구가 진행될 필요가 있다. 이러한 연구는 해수중에서 소리만 듣고도 어떤 종류의 어류 및 고래류가 서식하고 있

으며 그것의 자원량은 얼마나 되고 계절에 따른 이동경로는 어떻게 되는지를 밝히는데 매우 중요하다(현재 고래류의 경우는 국립수산과학원에서 목측에 의한 방법을 사용하여 고래 자원량 및 이동경로를 관측하고 있음). 따라서 이러한 연구가 진행된다면 그 연구결과를 바탕으로 한반도 연안에 서식하는 고래류의 자원량 및 이동경로를 실시간으로 모니터링할 수 있는 국가연구사업을 개발할 수 있을 것이다. 고래는 전세계적으로 보호되어야 할 동물이므로 이러한 국가연구개발 사업은 한반도 연안에 서식하는 고래류를 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 제공해 줄 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 김봉채, 최복경, 김대원. 1995. 연안해역에서 관측된 수중 생물잡음의 음향특성. 한국해양연구원 연구보고서.
- Au, W. W. and K. Banks. 1998. The acoustics of the snapping shrimp *Synalpheus parneomeris* in Kaneohe Bay. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103. 41-47.
- Cato, D. 1993. The biological contribution to the ambient noise in waters near Australia. *Acoust. Australia*, 20, 76-80.
- Cabeza, C., A. C. Sicardi-Schifino, C. Negreira, and G. Montaldo. 1998. Experimental detection of a subharmonic route to chaos in acoustic cavitation through the tuning of a piezoelectric cavity. *J. Acoust. Soc. Am.*, 103. 3227-3229.
- Choi, P.-K., Y. Kaneko, and T. Meguro. 2008. Enhancement of Sonoluminescence and Bubble Dynamics using Pulsed Ultrasound at 103 kHz. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 47. 4111-4114.
- Everest, F. A., R. W. Young, and M.W. Johnson. 1948. Acoustical Characteristics of Noise Produced by Snapping Shrimp. *J. Acoust. Soc. Am.*, 20, 137-142.
- Ferguson, B. G. and J. L. Cleary. 2001. In situ source level and source position estimates of biological transient signals produced by snapping shrimp in an underwater environment. *J. Acoust. Soc. Am.*, 109, 3031-3037.
- Kim, B.-C., B.-N. Kim, C.-W. Shin, C. S. Kim, and B. K. Choi. 2007. Characteristics of snapping shrimp sound observed in the Korean coast of the Yellow Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 12, 142-146.
- Loye, D. P. and D. A. Proudfoot. 1946. Underwater Noise Due to Marine Life. *J. Acoust. Soc. Am.*, 18. 446-449.
- Lauterborn, W and E. Cramer. 1981. Subharmonic Route to Chaos Observed in



- Acoustics. *Phys. Rev. Lett.*, 47. 1445-1448.
- Lohse, D. B. Schmitz, and M. Versluis. 2001. Snapping shrimp make flashing bubbles. *Nature*, 413, 477-478.
- Miller, D. L. 1981. Ultrasonic detection of resonant cavitation bubbles in a flow tube by their second-harmonic emissions. *Ultrasonics*, 19, 217-224
- Readhead, M. L. 1996. Snapping shrimp noise near Gladstone, Queensland. *J. Acoust. Soc. Am.*, 101, 1718-1722.
- Versluis, M., B. Schmitz, A. Heydt, and D. Lohse. 2000. How snapping shrimp snap: Through cavitating bubbles. *Science*, 289, 2114-2020.
- Widner, M. W. 1967. Ambient noise levels in selected shallow water off Miami, Florida. *J. Acoust. Soc. Am.*, 42. 904-905.
- Young, F. R. 1999. *Cavitation*. Imperial College Press, London, 77.