

담수역 징거미 새우(*Macrobrachium koreana*)의 음향 반사 강도 특성

황보규* · 신현옥¹ · 조성호² · 이대재¹ · 강돈혁³

부경대학교 해양산업개발연구소, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부,
²한양대학교 해양환경과학과, ³한국해양연구원 해양자원연구본부

Acoustic target strength measurements on immobile riverine shrimp, oriental river prawn(*Macrobrachium koreana*), in freshwater

Bo-kyu HWANG*, Hyeon Ok SHIN¹, Sungho CHO², Dae-Jae LEE¹ and Donhyug KANG³

Research Center for Ocean Industry Development, Pukyong National University, Busan 608-737

¹Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

²Department of Environmental Marine Science, Hanyang University, Seoul 426-791, Korea

³Marine Living Resources Division Research, Korea Ocean Research & Development Institute,
Ansan 425-600, Korea

Assessment and management of fisheries abundance in fresh water like a river or a lake is very important to maintain fisheries itself as well as tourist industry even if their scale is not much large. The species for catch in fresh water are mainly a mandarin fish, a carp, an eel, and others. Because oriental river prawn is a main prey of these species and the change in its abundance is directly related to their abundance change in fresh water, information on the abundance and distribution of the species are necessary. Hydroacoustic survey is known to one of the efficient method among several methodology. Information on acoustic target strength is key parameter to estimate abundance for acoustic survey. In this study, measurements on oriental river prawn, *Macrobrachium koreana*, were conducted for two high frequencies(200kHz and 420kHz) with tilt angle using automatic rotating system. The results of acoustic target strength obtained from the experiment were compared with those of acoustic scattering model, Distorted Wave Born Approximation(DWBA) model. For 200kHz, the result of acoustic target strength experiments was expressed in terms of the averaged target strength dependence on the body length(BL, cm) as a following relationship; $\langle TS_{200kHz} \rangle = 45.9\log(BL) - 107.4$. These results provide basic information for studying acoustic target strength and

*Corresponding author: bokyuhwang@naver.com, Tel: 82-51-620-6129, Fax: 82-51-628-8145

conducting acoustic survey of oriental river prawn.

Key words : Target strength, High frequency, DWBA model, Oriental river prawn

서 론

최근, 환경오염과 남획 등에 의한 유용 수산 자원의 생산량 감소로 인하여, 수산자원의 효율적인 이용과 지속적인 수산물 공급을 위한 수산 자원 조사 및 평가의 중요성이 대두되고 있다. 수산자원은 바다와 같은 연안 해역뿐만 아니라, 강과 호수 등의 내수면에서 서식하는 수산생물을 포함하고 있다. 내수면의 수산물 생산량은 전체 수산물 생산량에 비해 낮은 편이지만 내수면 어업의 유지뿐만 아니라, 레크리에이션 활동, 관광 산업 등과 관련하여 내수면 수산자원의 평가 및 관리는 매우 중요하다. 해양의 경우, 배타적 경제수역 내 연안의 수산 자원 평가에 대해 다양한 기술을 이용한 연구가 수행되고 있지만, 내수면이 보유하고 있는 수산 자원에 대한 연구는 적극적인 관리와 평가가 필요함에도 불구하고 아직 부족한 실정이다.

내수면 어업의 주요 대상 어종은 쏘가리, 붕어, 메기, 장어 등과 징거미 새우를 들 수 있다. 이 가운데, 징거미 새우는 내수면 어종들의 주요 먹이 생물로서, 그 자원의 증가 또는 감소는 대상 해역의 다른 어종 생물의 자원량 변화에 영향을 줄 수 있다. 최근 일부 수역에서는 내수면 어종의 감소와 먹이 생물인 징거미 새우가 동반 감소하는 현상이 보고되고 있다. 따라서 먹이 생물의 변동에 의한 내수면 어류 자원량 변화의 특성을 파악하기 위해서는 징거미 새우의 분포 특성 및 자원량 추정이 필요하다.

수산 자원 조사 및 평가는 대상 생물 자원의 현재 상태를 파악하여, 향후 변동 지표를 추정하기 위한 현존량을 파악하는 것이 중요한데, 현존량 추정을 위한 직접적 조사 방법의 하나로 음향 자원 조사법이 제시되고 있다(Simmonds and MacLennan,

2005). 음향에 의한 수산 자원의 조사를 위해서는 음향 조사로부터 얻어진 자료를 자원량으로 변환하는 핵심 변수인 대상 생물의 음향 반사강도(Acoustic Target Strength, 이하 TS)를 정확하게 파악할 필요가 있다(Kang et al., 2004; Mun et al., 2006). 이러한, 음향 반사강도는 측정하고자 하는 생물의 체형, 사용 주파수, 유영 행동 등과 관계하여 매우 복잡하다. 동물플랑크톤과 같은 소형 수중 생물의 TS 측정은, 일반적으로 주파수의 파장(λ)과 대상생물의 체장(L)이 $1=L/\lambda$ 의 관계를 한계 주파수라고 하여, 이보다 더 낮은 주파수를 사용할 경우, TS는 미세한 체장 변화에도 급격하게 변화하기 때문에, 이러한 한계 주파수 이상의 고주파를 사용해야 한다(Furusawa, 1995). 또한 대상 생물의 TS 패턴은 특히 고주파에서 매우 복잡하게 나타나므로 측정에는 많은 어려움이 존재한다.

최근 해양의 소형 수중 생물에 대한 TS를 파악하기 위해 실제 측정법 혹은 음향 이론 모델들을 이용한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 그러나, 해양생물에 비해 육상의 담수역에서 서식하는 소형 수중 생물에 대한 연구는 상대적으로 낮은 중요성 때문에 세계적으로 부족한 상태이며 우리나라는 이에 대한 연구가 전무한 실정이다.

본 연구는 이러한 연구의 필요성을 배경으로 향후 내수면 수산자원조사 및 생태학 조사분야에 음향기법을 적용하기 위한 필수요소인 징거미 새우(oriental river prawn, *Macrobrachium koreana*)의 음향 반사강도를 측정하였다. 이를 위해 실내 담수 수조에서 200kHz와 420kHz인 고주파 스피리트빔(Split beam) 센서를 이용하여 한국의 대표적인 담수역인 충주호의 채집한 징거미 새우의 길이 및 자세각 변화에 따른 TS 패

턴을 측정하고, 그 결과를 음향산란 이론모델에 의한 추정치와 비교하여 검토하였다.

재료 및 방법

측정 시스템의 구성

징거미 새우의 TS 패턴을 측정하기 위한 시스템의 구성은 Fig. 1과 같고, 사용된 음향 시스템과 징거미를 회전시키기 위한 자동 회전 시스템의 설정은 Table 1과 같다. 실험은 실내 수조(6m × 6m × 6m)에서 실시하였는데, 2개의 송·수파기는 수조 한 벽면에 수평 방향으로 설치하고, 송·수파기로부터 약 4m 떨어진 곳에 새우를 설치하였다. 이때, 징거미는 등쪽 방향이 송·수파기의 정면을 향하도록 하기 위하여 자동 회전 시스템에서 미세한 두 개의 줄을 이용하여 징거미의 측면에 연결되기 하였다. 따라서 자동 회전 시스템 특정 각도로 회전할 때 징거미 새우 또한 송·수파기 면으로부터 임의의 각도를 가지는 자세각 변동 효과를 가지도록 하였다.

일반적으로 현수법을 이용하여 어류의 TS를

측정할 때에는 대상 어류를 고정시키기 위해서 소형 낚시 바늘을 이용하고 있다. 그러나, 본 측정 실험에서는 대상 생물이 어류보다 음향 반사강도가 약한 새우류를 대상으로 하였으므로 상대적으로 높은 고주파를 사용하였다. 따라서, 징거미 새우를 고정시키기 위해 소형 낚시 바늘을 사용하면 반사강도 측정 과정에서 오차를 발생시킬 수 있다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 본 연구의 TS 실험에서는 Fig. 2와 같이 자동 회전 시스템의 회전체에 연결된 2개의 미세줄을 각각 새우의 갑장과 꼬리에 직접 관통시킨 후 미세줄 자체를 이용한 매듭을 만들어 징거미 새우를 고정시켰다. 이때 미세 매듭만 이용한 TS 영향을 점검한 결과, 징거미 새우의 TS에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

한편, 실내 수조에서 수중 생물의 음향산란 특성을 측정할 때에는 수면과 수조 벽면 등에 의한 다중 반사의 영향을 받지 않도록 고려해야 하는데, 이것은 송·수파기와 대상 생물과의 거리, 송신 펄스폭, 수면이나 수조 벽면까지의 거리 등

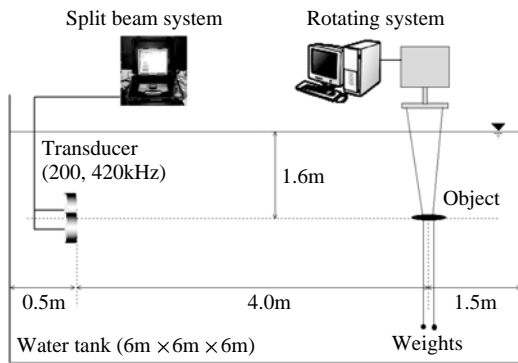


Fig. 1. System configuration to measure TS pattern of oriental river prawn.

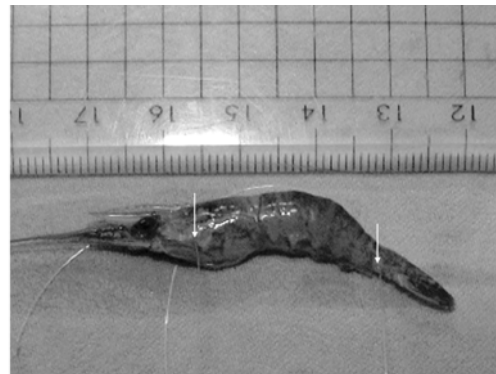


Fig. 2. Penetration points in a shrimp body to suspend and measure a target strength pattern.

Table 1. Specification and system parameters of TS measurement system

| | | |
|--|---------------|-------------------------------|
| Split beam echo sounder (DT-X Series, Biosonic. Ltd.) | Beam width | 6.6° (200kHz) / 6.8° (420kHz) |
| | Pulse width | 0.1msec |
| | Ping rate | 5 ping/sec |
| Automatic rotating system | Rotating step | 5° |
| | Waiting time | 30sec |
| Water temperature | | 12.8° |

으로 결정된다(Hwang and Furusawa, 2007). 송 · 수과기와 대상 생물을 수심 1.6m까지 내려서 설치하여 수면 등에 의한 다중 산란이 TS 측정에 영향을 주지 않도록 하였다.

현수법에 의해 수중 생물의 TS 변화 양상을 측정하기 위해서는 측정 과정에서 생물이 안정된 상태를 유지해야 한다. 그러나 새우는 살아있는 상태에서 행동이 매우 활발하여 측정이 불가능하므로, 죽은 후 즉시 현수하는 방법으로 측정하였다. TS 측정은 각 주파수에 대해 각각 실시하였고, 회전 간격은 자동 회전 시스템을 이용하여 5°로 설정하였다. 임의의 측정 각도로 위치 이동이 되었을 때 각도 변위에 따른 징거미 새우의 미세 움직임 효과를 없애기 위하여 30 초의 안정화 시간 간격을 두었다. 징거미 새우의 TS 측정은 16마리에 대하여 실시하였으며, 이때 체장 범위는 2.8cm - 4.9cm(평균 체장 길이 : 4.1cm) 사이였다.

음향 산란 이론 모델에 의한 음향 반사 강도 계산

수중 생물의 음향 산란을 추정하는 모델은 형태를 구형으로 근사시킨 단순 모델로부터 시작하였으나, 최근에는 그 형태를 매우 엄밀하게 근사시킨 모델이 개발되어, 실측이 어렵거나 불가능한 수중 생물에 대한 음향산란 특성의 규명이나, 실측치를 검증하는 데에 자주 이용되고 있다. 현재, 어류에 대해서는 어류 체형과 부레를 절단된 원통으로 근사하는 KRM(Kirchhoff Ray Mode) 모델(Clay and home, 1994)이 주로 사용되고 있으나, 대상 종의 형태가 매우 다양하거나 동물플랑크톤과 같은 소형생물에 대해서는 최근까지도 구형모델(Holliday and Pieper, 1984)을 사용하고 있다. 특히, 남극해에서 우점하고 있는 남극 크릴새우의 음향자원 조사가 활발히 진행되어 실측과 이론을 통한 남극 크릴의 음향 산란에 관한 연구가 수행되어 왔으며(Chu et al., 1993; Furusawa et al., 1994; Stanton, 1988), 이에 따라 새우류에 대한 음향산란 모델이 제시되고

있다.

최근에는 대상 생물의 체형을 엄밀하게 근사하는 Distorted Wave Born Approximation(이하 DWBA) 모델이 개발되어, 실측치의 검토에 자주 사용되고 있다(Chu et al., 1993; McGehee et al., 1998; Demer and Conti, 2003; Amakasu and Furusawa, 2006). 따라서, 본 연구에서는 DWBA 모델을 이용하여 실측치를 검토하였는데, DWBA 모델은 새우의 체측을 따라 잘게 절단한 변형된 원통으로부터의 음향 산란을 적분하는 방법으로 원거리 음장에서의 음향 산란의 산란 진폭 f_{bs} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f_{bs} = (S_{body}, \rho_1, \rho_2, c_1, c_2) \quad (1)$$

여기서, S_{body} 는 산란체의 체형, ρ 는 밀도, c 는 음속을 나타내며, 아랫첨자 1은 매질인 해수 또는 담수, 2는 산란체를 나타낸다. f_{bs} 과 구하고자 하는 TS와의 관계는

$$TS = 10 \log(|f_{bs}|^2) \quad (2)$$

이다.

DWBA 모델의 계산을 위해서는 매질인 해수 또는 담수와 산란체 사이의 밀도비(g), 매질과 산란체 사이의 음속비(h), 그리고 산란체의 체형 자료가 입력 변수이다. 본 연구에서 주변 매질인 담수와 산란체 사이의 밀도비(g)는 체적과 체중의 관계식을 이용하는 방법(Chu et al., 2000)을 이용하여, 현지에서 채집한 20마리의 징거미 새우에 대하여 측정하여 측정치 중 최소치와 최대치를 제외한 나머지 값을 평균하여 계산하였다.

음속비(h) 동물플랑크톤의 음속비는 일반적으로 사용하는 APOP(Acoustic Properties Of zooPlankton) 장치를 이용하여 측정하였다(Chu et al., 2000). APOP 장치는 Fig. 3과 같이 T자형 투명관에 400 kHz의 송 · 수과기를 양쪽에 설치하고 가운데 징거미 새우를 넣은 후 음파 도달 시간(time of flight) 변위를 측정하게 된다. 이를 위하여 파형 발생기로 6cycle의 sine 파형을 발생

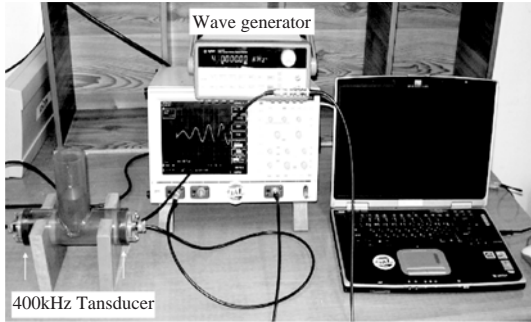


Fig. 3. Measurement system of sound speed ratio(h) by APOP(Acoustic Propertis Of zooPlankton) system.

시켜 징거미 새우에 의한 음파 도달 시간을 측정하였다. 이때 음파 도달 시간은 수신된 sine 파형의 음압이 0이 되는 zero-cross 지점을 기준으로 하였다.

마지막으로, DWBA 모델의 입력 변수인 산란체의 체형 자료는 TS 측정 실험이 끝난 후 기준 척도 좌표(scale bar) 위에 징거미 새우를 올려놓고 근접 사진을 촬영하였으며, 촬영된 화상을 1:1 척도로 디지털화 처리하여 입력하였다.

징거미 새우의 평균 음향 반사강도와 체장과의 관계

음향 자원 조사 얻어진 음향 자료로부터 자원량으로 환산하기 위한 변환 계수로서 사용되는 TS는 대상 생물의 유영 자세각에 대해 평균값을 의미하는데, 평균 TS를 $\langle TS \rangle$ 라 하면, $\langle TS \rangle$ 는 다음의 식으로 표시된다.

$$\langle TS \rangle = \int TS(\theta)pdf(\theta)d\theta \quad (3)$$

여기에서 $pdf(\theta)$ 는 대상생물의 유영 자세각(θ)에 대한 확률밀도함수를 나타낸다. 따라서, 평균TS를 구하기 위해서는 징거미 새우의 유영 자세각 분포에 대한 정보가 필요한데, 본 연구에서는 징거미 새우의 유영 자세각 분포를 평균 0° , 표준편차를 30° 의 정규 분포로 가정하고 평균 TS와 체장과의 관계식을 유도하였다.

결 과

음향 산란 이론 모델의 입력 변수인 담수와 징거미 새우의 밀도 측정은 현지에서 채집한 20마리의 징거미 새우에 대하여 실시하였고, 측정치 중 최소치와 최대치를 제외한 나머지 값으로 평균하여 계산한 결과는 Fig. 4와 같다. 체적과 체중의 관계를 이용하여 구한 담수와 징거미 새우 사이의 측정된 밀도비(g)의 평균은 1.044, 표준편차는 ± 0.089 이다.

APOP 장치를 이용하여 추정된 징거미 새우의 음속비는 Table 2와 같다. 음파 도달 시간으로 구한 음속비는 1.077에서 1.096까지 변화하였으며, 5종류의 실험군에 대한 음속비 평균값은 1.087, 표준 편차는 ± 0.115 였다.

200kHz와 420kHz의 분할빔(split beam) 시스템으로 측정된 징거미 새우의 자세각에 따른 TS

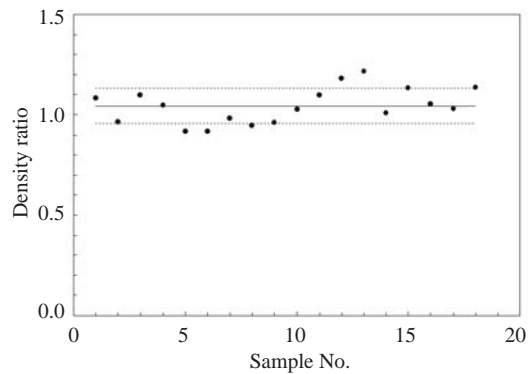


Fig. 4. Estimated density ratio(g) of oriental river prawn (*Macrobrachium koreana*). The mean value of g is 1.044 (Solid line), then its standard deviation is ± 0.089 .

Table 2. Estimated sound speed ratio(h) of oriental river prawn(*Macrobrachium koreana*) by APOP(Acoustic Propertis Of zooPlankton) system

| Case | The number of shrimp | Water temperature[°C] | h | S.D. |
|---------|----------------------|------------------------|-------|-------|
| A | 1 | 25.5 | 1.087 | 0.024 |
| B | 1 | 25.5 | 1.079 | 0.023 |
| C | 1 | 25.5 | 1.096 | 0.270 |
| D | 4 | 25.8 | 1.077 | 0.007 |
| E | 4 | 25.8 | 1.096 | 0.003 |
| Average | | | 1.087 | 0.115 |

패턴과 이론 모델에 의한 추정치는 Fig. 5와 같다. 자세각은 송·수파기 면과 등방향이 수평일 때가 0°, 음수인 경우에는 머리가 밑으로 내려간 상태이며, 양수 값은 머리가 위로 들려진 상태를 나타낸다. 실측치는 모델에 의해 추정된 산란 패턴과 다소 차이를 보이는 경우가 나타났는데, (A)의 경우에는 420kHz의 -50° 부근과 (B)의 경우에는 200kHz의 -60°와 60° 부근에서 큰 차이를 보였다. 그 이유는 산란 패턴에서 반사 신호의 형태(lobe)는 체형에 의해 크게 좌우되기 때문에, 실제 TS 측정값과 사진 촬영 과정에서 체형의 굴곡 형태 사이에 차이가 발생한 것이 주 원인으로 생각된다. 또한, 음향산란 모델에서는 고려되지 않은 두개의 긴 보각과 배다리 등에 의한 음향 산란으로 생각된다. 그러나, 전체적인 패턴의 변화는 모델에 의한 추정치와 유사하게 나타나, 산란패턴의 측정이 잘 이루어지는 것으로 생각된다.

Table 3은 등방향을 중심으로 ±30°의 자세각 내에서 측정된 최대 및 최소 TS 값을 나타낸다. 최대 및 최소 TS 값은 측정된 체장 범위에 대하

여 200kHz에서는 약 -60 - -90dB, 420kHz에서는 -50 - -80dB 사이에서 변동하였다.

Fig. 6은 현장에서 얻은 음향 자료로부터 자원량을 추정하기 위하여, 유영 자세각 분포를 (0, 30)으로 가정하고 구한 200kHz에 대한 평균 TS 값과 체장과의 관계를 나타낸다. 측정된 16 마리의 징거미에 대한 평균 TS와 체장(BL, cm) 사이의 관계식은 200kHz의 경우 다음의 함수식으로 표시되었다.

$$\langle TS_{200\text{kHz}} \rangle = 45.9 \log_{10}(\text{BL, cm}) - 107.4 \quad (r^2 = 0.42) \quad (4)$$

고찰

본 연구에서 안정된 유영 자세각에 대한 TS 측정을 위해 징거미 새우를 죽은 상태로 실험을 실시하였다. 이때 TS 측정 과정에서 징거미 새우는 죽은 후에 몸체가 굳어지면서 일부 큰 개체의 경우에는 체축이 굽어드는 현상이 발생하였다. 또한, 체축의 굴곡 등에 따라 음향산란 패턴의 특징이 변화하는 것으로 보아, 고주파수에서는 체형에 따른 음향 산란 패턴의 변화가 매우

Table 3. Averaged target strengths of oriental river shrimps(*Macrobrachium koreana*)

| Sample No. | BL[cm] ¹⁾ | TS[dB] at 200kHz | | | TS[dB] at 420kHz | | |
|------------|----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------|-------|
| | | Averaged ²⁾ | Max. ³⁾ | Min. ³⁾ | Averaged | Max. | Min. |
| 1 | 4.2 | -73.5 | -59.2 | -67.9 | -69.6 | -59.6 | -77.7 |
| 2 | 4.9 | -69.7 | -61.4 | -77.9 | -67.9 | -59.3 | -73.6 |
| 3 | 3.4 | -82.2 | -56.5 | -71.9 | -72.2 | -56.1 | -70.4 |
| 4 | 5.2 | -77.3 | -72.2 | -84.4 | -68.9 | -61.3 | -74.5 |
| 5 | 4.6 | -70.4 | -69.7 | -73.0 | -65.4 | -58.4 | -70.1 |
| 6 | 3.7 | -84.5 | -58.2 | -84.2 | -72.3 | -54.4 | -66.0 |
| 7 | 3.9 | -83.6 | -74.2 | -88.8 | -68.1 | -62.2 | -79.2 |
| 8 | 4.7 | -82.5 | -71.5 | -86.1 | -62.9 | -55.9 | -82.1 |
| 9 | 3.7 | -79.3 | -72.4 | -82.5 | -64.7 | -51.3 | -72.9 |
| 10 | 4.1 | -82.3 | -67.6 | -79.3 | -69.1 | -50.9 | -70.2 |
| 11 | 3.5 | -85.1 | -72.0 | -78.5 | -69.2 | -57.2 | -74.6 |
| 12 | 4.8 | -80.5 | -76.3 | -81.4 | -66.8 | -59.3 | -70.2 |
| 13 | 3.3 | -88.7 | -70.3 | -80.5 | -75.0 | -55.7 | -74.1 |
| 14 | 4.5 | -78.7 | -80.4 | -85.0 | -60.8 | -70.8 | -74.2 |
| 15 | 2.8 | -83.6 | -68.5 | -82.1 | -67.3 | -48.5 | -63.1 |
| 16 | 4.9 | -77.2 | -73.2 | -86.7 | -62.3 | -57.9 | -68.8 |

1) Body length(from front of eye to tip of telson)

2) calculated by Eq.(3) with $\mu = 0^\circ$ and $\alpha = 30^\circ$

3) within $\pm 30^\circ$ tilt angle

담수역 징거미 새우(*Macrobrachium koreana*)의 음향 반사강도 특성

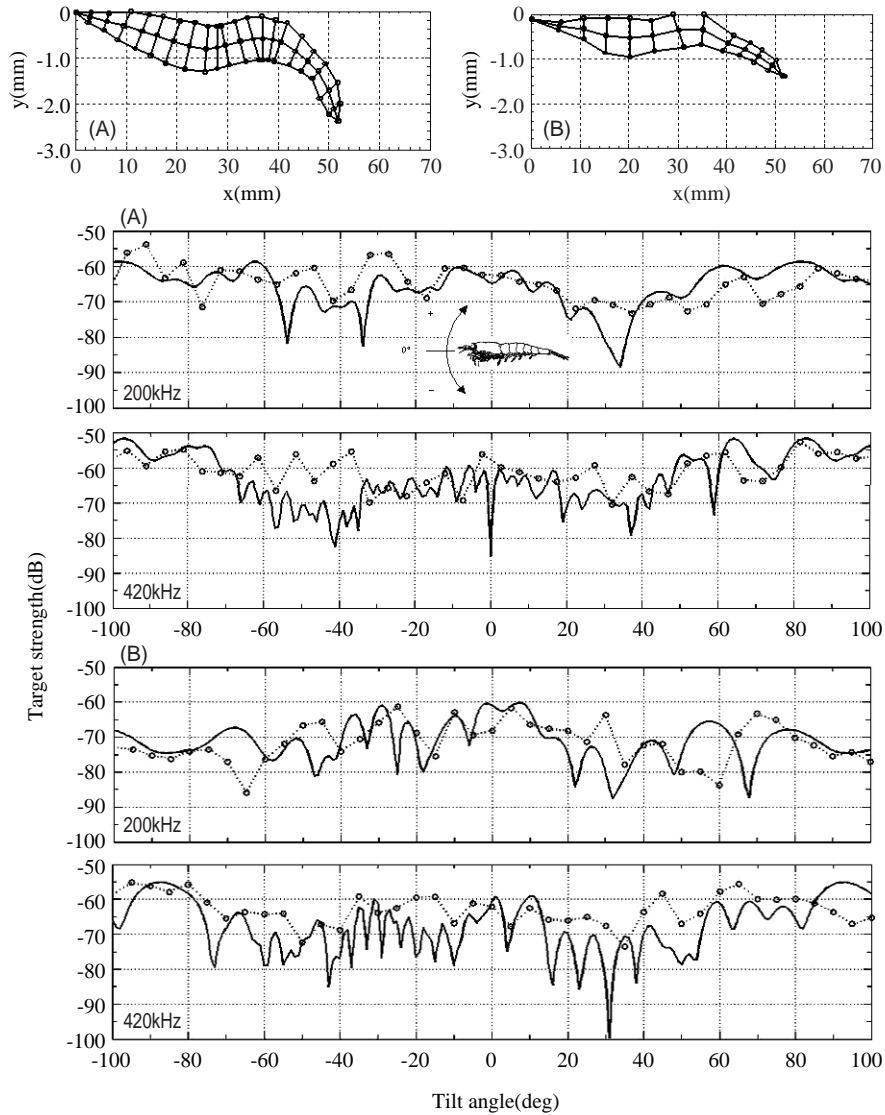


Fig. 5. Acoustic scattering patterns of two oriental river shrimps, *Macrobrachium koreana*, (A: BL=4.9 cm, B: BL=4.2 cm) measured by 200kHz and 420kHz split beam system. Solid line shows the theoretical values estimated by DWBA model.

클 것으로 생각된다. 따라서 징거미 새우 같이 체측이 굽는 현상이 발생할 수 있는 새우류의 경우 TS 측정 시간을 가능한 줄여 체측 변형에 의한 효과를 최소화 시켜야 할 것으로 판단된다.

동물플랑크톤과 같은 소형의 수중 먹이생물에 대한 음향 산란을 측정할 경우, 그 크기와 산

란 특성의 관계를 고려하여 주파수를 사용할 필요가 있다. 그러나 사용 주파수가 높아지면, 대상생물의 형태에 따른 음향 산란 패턴이 복잡하게 나타나기 때문에, TS를 이용한 개체의 관별이나 그 특성을 이용하는 데에 어려움이 따른다. 따라서 고주파수를 이용하여 개체를 추정할 때

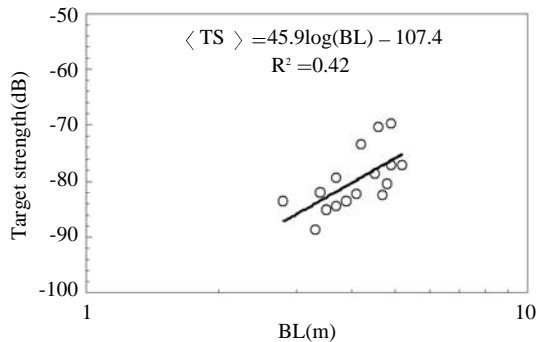


Fig. 6. Relationship between body length(BL) and averaged target strength of an oriental river shrimp (*Macrobrachium koreana*) at 200kHz.

에는 주의가 필요하며, 대상 생물의 체형 등에 의한 음향 산란 특성을 고려하여 적절한 주파수를 선택해야 할 것으로 생각된다.

안정된 실내 수조 실험 조건과 자동 회전 시스템에 의한 징거미 새우의 안정화 시간을 확보했음에도 불구하고 200kHz와 420kHz의 분할빔(split beam) 시스템으로 측정된 징거미 새우의 음향 산란 패턴에도 나타난 바와 같이, 주파수가 높아짐에 따라 수신 음의 형태가 복잡해 지고 등방향의 주엽(main lobe)의 형태도 매우 복잡하게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서, 징거미 새우의 음향 조사를 위해서는 사용 주파수에 대하여 정확한 음향 산란 특성이 얻어질 수 있다면, 보다 낮은 주파수를 사용할 필요가 있을 것으로 생각된다.

징거미 새우의 밀도비를 측정하는데 있어서, 부피와 중량에 따른 측정 방법은 소형 개체일 경우에 정확도가 낮아질 수 밖에 없다. 따라서, 본 연구에서 사용된 체적과 체중 사이의 관계를 이용한 방법보다, Dual density method(Chu et al., 2000) 등에 의한 방법을 사용하여 더욱 정확한 값을 추정할 필요가 있을 것으로 생각된다. 또한, 음속비의 측정에 있어서도 더 많은 샘플을 이용하여, 추정함으로써 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

측정 결과에서 본 바와 같이, 고주파수에 대한

이론 모델의 추정치와 실측치 사이에는 다소 상이한 점이 발생하였다. 이것은 앞에서 언급한 바와 같이, 측정 시와 체형 자료 추출 시의 차이와 이론 모델에서는 고려되지 않았던 긴 보각 및 배다리의 영향 등이 주요한 이유로 판단되며, 사후에 발생하는 징거미 새우 체내의 변화 등의 영향도 있을 것으로 판단된다. 또한 200 kHz에 대해 추정된 평균 TS와 체장 사이의 관계식은 측정 개체수가 충분하지 않고 징거미 새우의 유영 자세 각 분포에 대해서는 0°의 유영 자세 각을 사용했기 때문에, 후속 연구나 검토를 통하여 정확도를 향상시킬 필요가 있을 것으로 판단된다.

향후, 적절한 주파수의 선택과 측정 방법의 보완을 통하여, 자동 회전 시스템과 고주파 분할빔 시스템을 이용한 소형 수중 생물(5cm 미만)의 음향 산란 패턴을 더욱 정확하게 추정하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 연구는 담수역에 서식하는 징거미 새우 자체의 자원량과 분포 특성 파악 뿐만 아니라, 담수 생태계에서 어류 자원의 중요한 먹이 생물이 기능하고 있는 징거미 새우류의 현존량 특성 파악에 음향 기법을 적용하는데 직접적으로 응용될 것이다.

결론

한국의 대표적인 담수역인 충주호의 자연 생태계에서 중요한 먹이 생물인 징거미 새우의 향후 음향 자원 조사 과정에서 핵심 변수로 필요한 음향 반사강도 특성을 측정하였다. 200kHz와 420kHz인 고주파 분할빔 시스템과 자동 회전 시스템을 이용하여 현수법으로 징거미 새우의 TS 패턴을 측정하고, 음향 산란 이론 모델을 이용하여 실측한 TS 값을 검토하였다. 담수와 징거미 새우 사이의 밀도비(g)는 1.044 (SD = ±0.089), 음속비(h)는 1.087 (SD = 0.115) 였다. 200kHz와 420kHz로 실측한 징거미 새우의 TS 값과 DWBA 모델로부터 추정된 값 사이에서 일부 차이를 보이는 경우도 있었으나, 전체적으로 유사한 경향을 보여 모델에 의한 징거미 새우의 TS

특성 파악의 가능성을 보여주었다. 실험에 사용된 16 개체의 체장에 대한 200kHz의 음향 반사 강도 함수는 $\langle TS_{200\text{kHz}} \rangle = 45.9 \log_{10}(\text{BL}) - 107.4$ 의 관계식으로 표현되었다. 향후, 측정 개체수를 늘리고 음향산란 이론 모델의 입력 변수나 추정 방법을 개선한다면, 더욱 정확한 추정이 가능할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구를 위해서, 아낌없는 배려를 해주신 한양대학교 해양환경학과 나정열 교수님과 동 연구실 대학원생 여러분들께 깊이 감사드립니다. 본 연구는 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-351-F00019).

참고문헌

- Amakasu, K and M. Furusawa, 2006. The target strength of Antarctic krill(*Euphausia superba*) measured by the split-beam method in a small tank at 70 kHz. ICES Journal of Marine Science, 63, 36 –45.
- Chu, D., P.H. Weibe, T.K. Stanton, T.R. Hammer, K.W. Doherty, N.J. Copley, J. Zhang, D.B. Reeder and M.C. Benfield, 2000. Measurement of the material properties of live marine organism and their influence on acoustic scattering. Proceedings of the oceans 2000 MTS/IEEE, 3, 1963 – 1967.
- Clay, C.S. and J.K. Horne, 1994. Acoustic models of fish: the Atlantic cod(*Gadus morhua*). J. Acoust. Soc. Am., 96, 1661 – 1668.
- Demer, D.A. and S.G. Conti, 2003. Reconciling theoretical versus empirical target strength of krill: effects of phase variability on the distorted-wave born approximation. ICES J. Mar. Sci., 60, 429 – 434.
- Furusawa, M., T. Asami and E. Hamada, 1994. Prediction of krill target strength by liquid prolate spheroid model. Fish. Sci., 60, 261 –265.
- Furusawa, M., 1995. Review on plankton measurements by acoustic methods. J. Marine Acoust. Soc. Jpn., 33(1), 24 – 31.
- Holliday, D.V. and R.E. Pieper, 1984. Acoustic measurement of zooplankton distribution in the sea. J. Cons. int. Explor. Mer., 46, 52 –61.
- Hwang, B.K., M. Furusawa and M. Ogata, 2007. Validation of Multi-frequency inversion method by using dummy scatterers of zooplankton. Fisheries Sci., 73(2), 250 –262.
- Kang, D.H. D.J. Hwang, T. Mukai and K. Iida, 2004. Acoustic target strength of live Japanese common squid(*Todarodes pacifica*) for applying biomass estimation. J. Kor. Fish. Soc., 37(4), 345 – 353.
- McGehee, D.E., R.L. O' Driscoll and L.V.M. Traykovski, 1998. Effects of orientation on acoustic scattering from antarctic krill at 120kHz. Deep-Sea Res. II, 45, 1273 – 1294.
- Mun, J.H, D.J. Lee, H.I. Shin and Y.W. Lee, 2006. Fish length dependence of target strength for black rockfish, goldeye rockfish at 70kHz and 120kHz. J. Kor. Soc. Fish. Tech. 42(1), 30 – 37, 2006.
- Simmonds, J. and D. MacLennan, 2005. Fisheries acoustics. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 294 – 328.
- Stanton, T.K., 1988. Sound scattering by cylinders of finite length :deformed cylinders. J. Acoust. Soc. Am., 86, 691 – 705.

2008년 1월 14일 접수

2008년 2월 4일 수리