

부산 용호만 인공어초 어장에서 어획된 돌돔, 성대 및 전어에 대한 음향반사강도의 체장 의존성

이 대 재*

부경대학교 해양생산시스템관리학부

Fish length dependence of target strength for striped beakperch, bluefin searobin and konoshiro gizzard shad caught in the artificial reef ground of Yongho Man, Busan

Dae-Jae LEE*

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

Species of fish such as striped beakperch, bluefin searobin and konoshiro gizzard shad are commercially very important due to their high demand in the Korean market. When estimating acoustically the abundance of stocks for these species, it is of crucial importance to know the target strength (TS) to the length dependence. In relation to these needs, the TS experiments were conducted on three different species in an acrylic salt water tank using two split-beam echo sounders of 70 and 120 kHz. The TS for these three species under the controlled condition was simultaneously measured with the swimming movement by a DVR system and analyzed as a function of fish length (L) and frequency (or wavelength λ). The equation of the form $TS = a \log(L) + b \log(\lambda) + c$ was derived for their TS-length dependence. The best fit regression of TS on fork length for striped beakperch was estimated as $TS = 35.67 \log(L, m) - 15.67 \log(\lambda, m) - 46.69$ ($r^2 = 0.78$). Furthermore, the best fit regression of TS on fork length for konoshiro gizzard shad was shown to be $TS = 25.85 \log(L, m) - 5.85 \log(\lambda, m) - 32.22$ ($r^2 = 0.51$). The averaged TS for 12 bluefin searobins with a mean length of 24.36cm at 70 kHz was analyzed to be -41.55 dB. In addition, the averaged tilt angle obtained simultaneously by a DVR system with TS measurements for 27 konoshiro gizzard shads swimming within an acrylic salt water tank was estimated at -2.7° .

Keywords: Target strength, Fish length dependence, Split beam, Live fish

*Corresponding author: daejael@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5889, Fax: 82-51-629-5885

서 론

돌돔 (*Oplegnathus fasciatus*)은 우리나라 모든 연안의 수심이 비교적 얇은 친해의 암초역에 분포하는 온대성의 어류로서 해조류나, 성게 및 소라와 같은 저서성의 부착성 동물 등을 주로 섭이하는 식성을 갖고 있는 관계로 인공어초 주변해역에 많이 서식한다. 성대 (*Chelidonichthys spinosus*)는 남해안에서 많이 어획되는 어종으로서 주로 해저 부근의 저층에 분포하면서 갑각류나 연체동물 등을 섭이하는 어종이다. 전어 (*Konosirus punctatus*)는 우리나라 연근해 전역에 걸쳐 어획되는 어종으로서 동해안이나 서해안에 비해 주로 남해안의 연안역에서 그 분포밀도가 높은 분포특성을 나타내고 있다 (NFRDI, 1998). 이들 어종은 주로 우리나라 연안 해역에 광범위하게 분포하는 관계로 연안자망, 소형선망 및 연안복합어업 등에 의해 어획되어 활어상태로서 널리 유통되는 어종이며, 우리나라에서 횡감으로서 널리 이용되고 있는 어업생물이다. 이 중에서 돌돔은 바다목장화사업의 주요 대상 어종 중의 하나이다. 이와 같이 활어 상태로서의 이용도가 매우 높기 때문에 보다 지속적으로 이용하기 위해서는 대상생물자원의 과학적인 평가, 관리 및 보호를 위한 체계적인 연구 조사가 시급하게 요구되지만, 아직도 음향학적 관점에서 자원관리에 필요한 기초적 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

본 연구는 부산 용호만의 인공어초가 부설된 연안 해역에서 주로 연안복합어업에 의해 어획된 돌돔, 성대, 전어의 활어를 대상으로 70kHz와 120kHz의 split beam echo sounder를 이용하여 각 어종에 대한 체장별 반사강도를 측정하고, 어종별 반사강도의 체장 및 주파수 의존성을 분석, 고찰하였다.

재료 및 방법

실험장치의 구성

어류의 반사강도는 투명아크릴수조 (L1.2m ×

W1.2m × H1.7m)에서 70kHz (ES60, Simrad)와 120kHz (EY500, Simrad)의 split beam echo sounder를 이용하여 측정하였다. 실험에 사용한 투명아크릴수조 및 실험장치의 구성 배치도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 송·수파기는 수조 상면 중앙부의 관측창 (L0.6m × W0.5m)을 통해 진동면이 수면하 0.1m 깊이에 위치하도록 고정된 후, 어류가 가능한 음축상으로부터 깊이 120cm 부근에서 유영하도록 행동을 제어하면서 반사강도를 측정하였다. 실험에 사용한 70kHz와 120kHz의 split beam 송·수파기 (ES60 - 11 / ES120 - 7F, SIMRAD)의 -3 dB에 대한 지향각은 각각 11°, 7° 이고, 측정시 펄스폭은 0.25ms로 설정하고, 각 시스템은 70kHz의 경우, 직경 32.1mm (TS = -39.1dB), 120kHz의 경우, 23.0mm (TS = -40.4dB)의 표준구 (copper sphere)를 사용하여 교정하였다. 활어 위관장으로 부터 이송된 어류는 약 12시간 동안 순치수조에서 안정시킨 후, 대상어류를 한 마리씩 기포가 혼입되지 않도록 해수 속에 넣어 실험수조로 옮겨 실험하였다 (Kang 2004a, 2004b; Lee 2006). 이 때, 음축상 약 120cm 부근의 깊이에서 유영하고 있는 어류의 행동은 DVR 시스템에 장착된 2 개의 CCTV 카메라를 이용하여 유영행동을 실시간으로 PC의 hard disk에 수록하고, 후일 자세각 (tilt angle)에

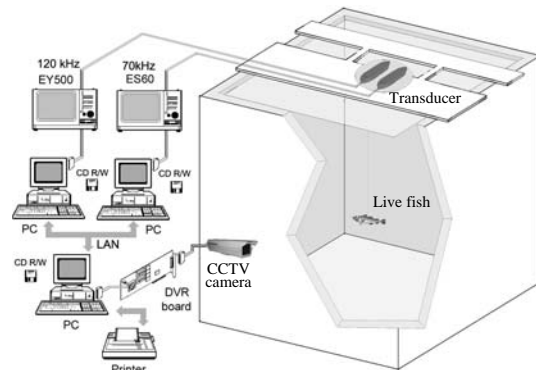


Fig. 1. Schematic block diagram showing the TS measurement of a live fish swimming in an acrylic salt water tank using 70 and 120 kHz split-beam echo sounders with a digital video recording (DVR) system.

대하여 분석하였다. 어류의 echogram과 TS 정보는 어류행동에 대한 CCTV 영상과 수록시간을 서로 동기시켜 실시간으로 LAN 통신망을 통해 PC의 hard disk에 수록한 후, 후일 재생하면서 분석을 행하였다. 그러나, 본 연구에서는 이들 두 시스템의 동기속도에 약간의 지연이 발생하여 어류TS와 자세각을 서로 대응시킨 분석은 고려하지 않았다.

실험수조에서 자유유영상태로 어류의 반사강도를 측정할 때, 대부분의 어류가 수조의 바닥이나 벽면 부근에 정체하려는 경향이 강하게 나타나서 측정이 매우 어려우므로, 대상어류의 등지느러미 중앙부에 음파에 대한 영향이 미약한 소형 낚시미늘을 꿰고, 두 가닥의 줄로써 어류의 위치를 측정어군탐지기의 모니터상에 실시간으로 나타나는 평면위치의 변동을 관찰하면서 어류를 가능한 음향빔의 탐지영역 내에서 유영하도록 인위적으로 제어하면서 실험하였다 (Foote, 1980; Mukai, 1993a, 1993b; Kang et al., 2003; Lee, 2005a, 2005b; Mun et al., 2006; Hwangbo, 2009). 본 실험에 사용한 70kHz와 120kHz split beam 송·수파기의 근거리 음장의 한계는 각각 약 22cm 및 약 33cm이었고, 실험 당시 어류의 평균적인 유영깊이는 어류의 유영행동에 따라 약간의 차이는 있었지만 평균적으로 약 120cm이었으므로 근거리 음장에 기인하는 문제는 없다고 판단된다.

어종별 어류 반사강도의 측정

실험에 사용한 어종별 생물학적 조성은 Table 1과 같다. 실험에 사용한 어류는 돌돔 20마리, 성대 12마리, 전어 27마리의 3 어종 (총 59마리)이며, 대상어류는 부산광역시 남구 옹호동, 남천동

및 민락동 인근해역의 인공어초 어장 주변에서 조업한 어선으로부터 구입하여 사용하였다. 실험에 사용한 이들 어종의 평균체장과 평균체중은 돌돔이 각각 19.13cm, 169.4g, 성대가 각각 24.36cm, 160.9g, 전어는 18.47cm, 86g이었는데, 여기서 체장단위는 가랑이체장 (fork length)을 기준으로 하였다.

본 연구에서 실험에 사용한 120kHz 송·수파기에 대한 탐지영역은 직경 23.0mm의 표준구를 깊이 120cm의 평면상에서 수평으로 이동시키면서 측정하였는데, 그 결과는 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 그 탐지영역은 약 28cm이었고, 각 어종별 어류의 반사강도를 측정할 때에는 어류의 체장이 이 탐지영역의 폭 보다 작도록 측정범위를 선택하였다.

일반적으로 어류의 반사강도는 유영자세의 변화에 따라 매우 불규칙하게 변동하기 때문에 어종별 각 어류의 자세각에 따른 반사강도의 변화 패턴을 예측하는 것은 매우 어렵다. 따라서,

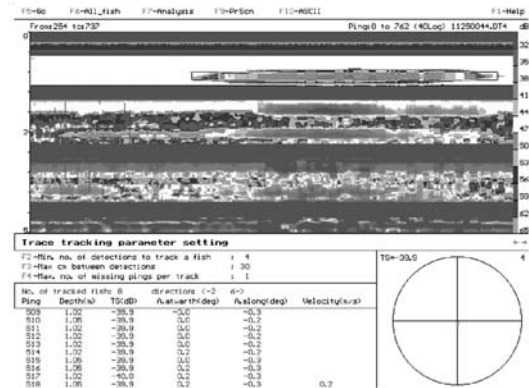


Fig. 2. Horizontal detection width and TS values of a 23.0 mm copper sphere (TS = -40.4dB) measured at the horizontal plane of a 120 cm depth on the beam axis of a ES120 - 7F split beam transducer.

Table 1. Biological composition of fish species used in the TS measurement at 70 and 120 kHz

| Common name | Scientific name | Length range (FL, cm) | Weight range (g) | No. of fish |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------|-------------|
| Striped beakperch | <i>Oplegnathus fasciatus</i> | 13.5 - 26.0 | 60 - 315 | 20 |
| Blue searobin | <i>Chelidonichthys spinosus</i> | 19.7 - 27.2 | 98 - 245 | 12 |
| Konoshiro gizzard shad | <i>Konosirus punctatus</i> | 17.2 - 20.0 | 70 - 120 | 27 |

여기서는 어류 체장, 평균반사강도, 사용 주파수의 상호관계를 고려하여 어종별 반사강도의 체장 의존성을 어류 체장 (L)과 파장 (λ)의 비 (L/λ)와, 음향산란단면적 (σ)과 파장의 2승 (λ^2)의 비 (σ/λ^2)에 대한 실험적인 관계로서 유도하고, 이들 관계로부터 어류 반사강도의 주파수 및 체장의 의존성을 서로 결합시켜 분석, 고찰하였다 (Lee et al., 2006).

또한, 특정 주파수에 대한 어류 반사강도의 체장 의존성을 분석, 고찰할 때, $TS = a \log(L) + b$ 의 실험식을 유도하여 체장 의존성을 나타내는 계수 a 와 반사강도를 체장으로 변환하는데 필요한 체장변환계수 b 를 산출하게 된다. 그러나, 대상 어류의 형태학적인 구조 및 형상 등이 매우 복잡하여 반사강도가 체장의 변화에 대하여 매우 불규칙하게 변동하거나, 측정하고자 하는 대상 어류의 체장범위가 매우 협소한 경우에는 $TS = a \log(L) + b$ 의 회귀직선식에 대한 신뢰도가 저하하기 때문에, 이 경우에는 각 사용주파수에 대한 반사강도의 측정치를 Fig. 3에서와 같이 정규화한 후, 반사강도, 주파수, 어류체장을 서로 관련시켜 분석하면 보다 정확한 음향반사강도의 체장 의존성을 파악할 수 있다. 본 연구에서 실험 대상으로 한 돌돔과 전어는 매우 측편형의 어류로서 어류의 미세한 움직임에도 입사각에 따른 음향산란단면적의 변화가 심하여 반사강도가 매우 불규칙하게 변동하는 특성이 있는 점으로부터 해당 어류의 반사강도, 측정 주파수, 어류체장을 서로 관련시켜 분석하였다.

결과 및 고찰

돌돔 반사강도의 체장 및 주파수의 의존성

부산 용호 어촌계 소속 어선들이 용호만 인공 어초 어장에서 어획한 돌돔을 선착장에서 직접 구입하여 활어상태로 수송한 후, 24시간동안 순치수조에서 안정시킨 20마리의 돌돔을 대상으로 각 개체에 대한 반사강도를 일정시간 간격으로 측정하고, 이들 모든 돌돔을 대상으로 측정된

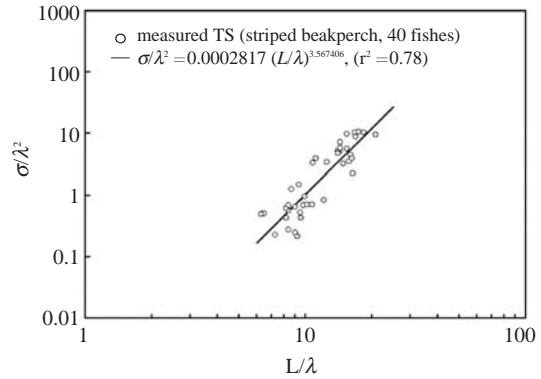


Fig. 3. Fish length dependence of TS for striped beakperch. The backscattering cross section (σ) is normalized to the square of wavelength (λ) and plotted against the fish length (L) to wavelength ratio.

반사강도의 체장 의존성을 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3은 실험에 사용한 모든 돌돔 활어 (평균 체장 19.13cm)에 대한 반사강도의 측정치와 실험어류의 체장을 각각 파장 (주파수)에 대하여 정규화한 후, 이들의 관계를 상호 연관시켜 나타낸 결과이다. 따라서, Fig. 3의 실험적인 관계를 정량적으로 분석하면 어류의 음향반사강도가 어류체장과 주파수에 따라 어떻게 변화하고 있는가를 알 수 있다.

그림에서 \circ 은 70kHz와 120kHz의 주파수에 대하여 각 20마리씩, 총 40마리의 돌돔에 대한 반사강도의 측정치이고, 실선은 $\frac{\sigma}{\lambda^2} = a \left(\frac{L}{\lambda}\right)^b$ 의 회귀직선을 나타낸 것인데, 여기서, a 와 b 는 회귀직선식의 상수이다. Fig. 3에서 돌돔에 대한 체장과 파장의 비 (L/λ)와 음향산란단면적과 파장의 2승의 비 (σ/λ^2)의 선형성에 대한 회귀분석의 결과, 이들 L/λ 과 σ/λ^2 의 사이에는

$$\sigma/\lambda^2 = 0.0002817 (L/\lambda)^{3.567406}, r^2 = 0.78$$

의 실험적인 관계식을 얻었다. 이 식으로부터 돌돔의 체장 및 측정주파수(파장)와 음향반사강도와의 관계를 고찰하기 위하여 양변에 대수의 10

배를 취하여 정리하면,

$$TS = 35.67 \log(L) - 15.67 \log(\lambda) - 46.49$$

의 관계식을 얻을 수 있는데, 여기서, $TS = 10 \log(\sigma/4\pi)$ 이다.

이 식으로부터 실험에 사용한 평균체장이 19.13cm인 총 20마리의 돌돔에 대한 70kHz의 주파수에 있어서의 평균반사강도의 추정치는 -45.96dB이었고, 120kHz에 대한 평균반사강도의 추정치는 -42.29dB이었다.

성대의 반사강도

부산 남천동 어촌계 소속 어선들이 용호만 인공어초 어장에서 어획한 12마리의 성대를 대상으로 활어 상태의 반사강도를 측정 한 결과는 Fig. 4와 같다. Fig. 4에서는 실험에 사용한 모든 성대(평균체장 24.36cm)의 순간적인 반사강도를 빈도분포로서 나타내었는데, 이들 반사강도는 각 활어 상태의 어류를 깊이 약 120cm의 sound beam 내에 위치시킨 상태에서 어류의 움직임에 따라 변동하는 반사신호의 변동을 각 어체 당 평균 약 80개씩 연속적으로 수록하여 구한 결과이다. Fig. 4에서 이들 12마리의 성대에 대하여 얻어진 총 952개의 데이터를 이용하여 추정된 평균반사강도는 -41.55dB이었다. 여기서, 단일, 성대의 반사강도가 체장의 2승에 비례한

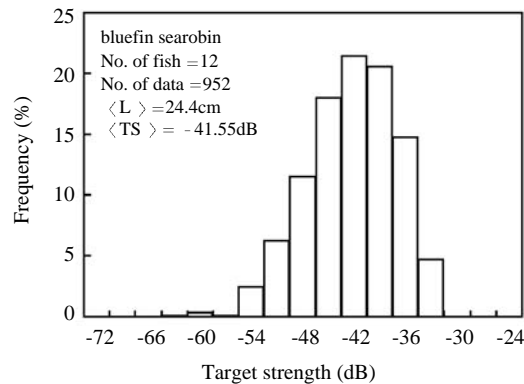


Fig. 4. Frequency distribution of TS for bluefin searobin at 70kHz.

다고 가정할 때, 반사강도는 $TS = 20 \log(L) + b_{20}$ 의 회귀직선으로 근사시킬 수 있으므로, 이 식을 이용하여 체장변환계수, 즉, 성대의 평균체장 1cm에 대한 체장변환계수(b_{20})를 산출한 결과는 $b_{20} = -70.24\text{dB}$ 이었다.

전어 반사강도의 체장 및 주파수의 의존성

부산 민락동 어촌계 소속 어선들이 용호만 인공어초 어장에서 어획한 27마리의 전어를 대상으로 각 개체에 대한 반사강도를 일정한 시간 간격으로 측정하고, 그 반사강도의 체장 의존성을 나타낸 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5는 실험에 사용한 모든 전어 활어(평균체장 18.47cm)에 대한 반사강도의 측정치와 실험어류의 체장을 각각 파장(주파수)에 대하여 정규화한 후, 이들의 관계를 상호 연관시켜 나타낸 결과이다. 따라서, Fig. 5의 실험적인 관계를 정량적으로 분석하면 어류의 음향반사강도가 어류체장과 주파수에 따라 어떻게 변화하고 있는가를 알 수 있다. 그림에서 ○은 70kHz와 120kHz의 주파수에 대하여 각 27마리씩, 총 54마리의 전어에 대한 반사강도의 측정치이고, 실선은 $\frac{\sigma}{\lambda^2} = a \left(\frac{L}{\lambda}\right)^b$ 의 회귀직선을 나타낸 것인데, 여기서, a와 b는 회귀직선식의 상수이다. Fig. 5에서 전어에 대한 체장과 파장의 비(L/λ)와 음향산란단면적과 파장의 2승의 비(σ/λ^2)의 선형성에 대한 회귀분석의 결과, 이들 L/λ 과 σ/λ^2 의 사이에는

$$\sigma/\lambda^2 = 0.007541 (L/\lambda)^{2.584747}, r^2 = 0.51$$

의 실험적인 관계식을 얻었다. 이 식으로부터 전어의 체장 및 측정주파수(파장)와 음향반사강도와의 관계를 고찰하기 위하여 양변에 대수의 10배를 취하여 정리하면,

$$TS = 25.85 \log(L) - 5.85 \log(\lambda) - 32.22$$

의 관계식을 얻을 수 있는데, 여기서, $TS = 10 \log(\sigma/4\pi)$ 이다.

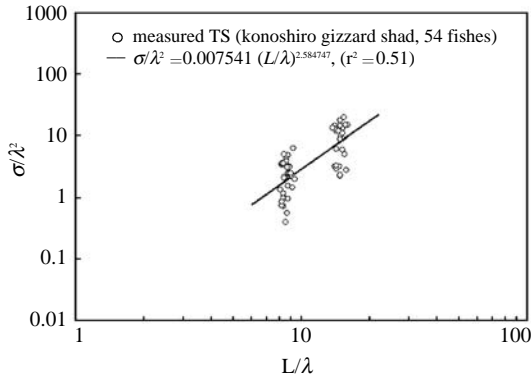


Fig. 5. Length dependence of TS for konoshiro gizzard shad. The backscattering cross section (σ) is normalized to the square of wavelength (λ) and plotted against the fish length (L) to wavelength ratio.

이 식으로부터 실험에 사용한 평균체장이 18.47cm인 총 27마리의 전어에 대한 70kHz의 주파수에 있어서의 평균반사강도의 추정치는 -41.03dB 이었고, 120kHz에 대한 평균반사강도의 추정치는 -39.66dB 이었다.

돌돔 및 불볼락에 대한 반사강도의 체장 및 주파수의 의존성

본 연구를 실시한 2004년부터 2008년까지 용호만 어초어장에서는 추계와 동계에 돌돔과 불볼락 등이 많이 어획되었다. 따라서, 여기서는 Fig. 3에 나타낸 돌돔에 대한 반사강도의 측정 데이터와 저자들이 2008년까지 같은 어장에서 어획된 불볼락을 대상으로 측정한 데이터 (70kHz 42마리, 120kHz 42마리, 총 84마리)를 상호 관련시켜 이들 두 어종에 대한 반사강도의 체장 및 주파수 의존성을 분석, 검토하였는데(Mun et al., 2006; Lee, 2006), 그 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서도 실험에 사용한 모든 돌돔과 불볼락에 대한 반사강도의 측정치와 실험 어류의 체장을 각각 파장(주파수)에 대하여 정규화한 후, 이들의 관계를 상호 연관시켜 나타내었다. 따라서, Fig. 6의 실험적인 관계를 정량적으로 분석하면 이들 두 어류의 음향반사강도가 체장과 주

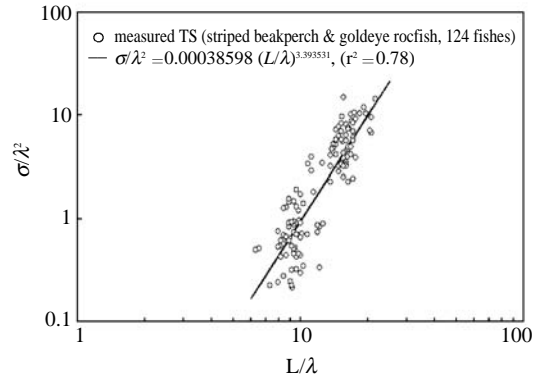


Fig. 6. Fish length dependence of TS for striped beakperch and goldeye rockfish. The backscattering cross section (σ) is normalized to the square of wavelength (λ) and plotted against the fish length (L) to wavelength ratio.

파수에 따라 어떻게 변화하고 있는가를 알 수 있다. 그림에서 o는 70kHz와 120kHz의 주파수에 대하여 총 124마리(돌돔 40마리, 불볼락 84마리)의 실험어에 대한 반사강도의 측정치이고, 실선은

$$\sigma/\lambda^2 = a \left(\frac{L}{\lambda} \right)^b$$

의 회귀직선을 나타낸 것인데, 여기서, a와 b는 회귀직선식의 상수이다. Fig. 6에서 돌돔과 불볼락에 대한 체장과 파장의 비(L/λ)와 음향산란단면적과 파장의 2승의 비(σ/λ^2)의 선형성에 대한 회귀분석의 결과, 이들 L/λ 과 σ/λ^2 의 사이에는

$$\sigma/\lambda^2 = 0.00038598 (L/\lambda)^{3.393531}, r^2 = 0.78$$

의 실험적인 관계식을 얻었는데, 이들 두 어종의 반사강도의 체장 및 주파수 의존성에는 결정계수가 0.78로서 비교적 양호한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 돌돔과 불볼락의 체장 및 측정주파수(파장)와 음향반사강도와의 관계를 고찰하기 위하여 양변에 대수의 10배를 취하여 정리하면,

$$TS = 33.94 \log(L) - 13.94 \log(\lambda) - 45.13$$

의 관계식을 얻을 수 있는데, 여기서, $TS = 10 \log(\sigma/4\pi)$ 이다.

이 식을 이용할 때, 평균체장 19.13cm의 돌돔에 대한 70kHz의 주파수에 있어서의 평균반사강도의 추정치는 -46.25dB이었고, 120kHz에 대한 평균반사강도의 추정치는 -42.98dB이었다. 한편, 평균체장 20.54cm의 불볼락에 대한 70kHz의 주파수에 있어서의 평균반사강도의 추정치는 -45.20dB이었고, 120kHz에 대한 평균반사강도의 추정치는 -41.93dB이었다. 이 결과를 Fig. 3의 돌돔에 대한 회귀직선식으로부터 추정된 결과와 비교할 때, 돌돔과 불볼락의 반사강도를 상호 연관시켜 추정된 반사강도는 돌돔 단일어종에 대한 회귀직선식으로부터 추정 결과에 비해 70kHz에 있어서는 0.29dB, 120kHz에 있어서는 0.69dB 더 낮은 결과를 나타내었으나, 이들 두 값 사이에 큰 차이는 없었다.

어류의 유영자세의 모니터링

실험수조에서 활어의 반사강도를 측정할 때, 직면하는 문제 중의 하나는 자유 유영하는 어류를 어탐시스템의 송·수파기의 유효탐지영역으로 유인하여 반사강도를 측정하면서 동시에 유영행동을 관찰하고, 이들의 정보를 토대로 유영행동의 변화에 따른 반사강도의 변동특성을 고찰하는 문제이다.

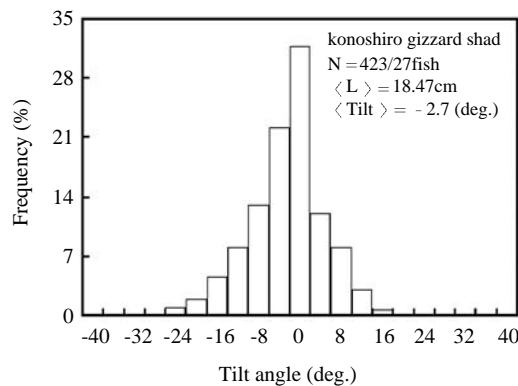


Fig. 7. Distribution of tilt angles obtained simultaneously by DVR system with individual TS measurement for the konoshiro gizzard shad swimming under the controlled condition of an acrylic salt water tank.

본 연구에서는 이를 위한 방안으로 수조의 내부를 어느 방향에서나 관찰할 수 있도록 실험수조를 두께 25mm의 투명한 아크릴(acrylic)판으로서 제작하였고, CCTV를 통해 실험어류의 행동을 실시간으로 관찰하였다. 그러나, 어류의 행동과 TS의 측정시간을 양 시스템에 대한 PC 시간으로 동기시킨 결과, 후일 재생하여 분석할 때, 양자사이에 시간지연이 발생하여 정확하게 어류 행동과 TS 값의 대응관계는 추정할 수 없었다.

여기서는 수조에서 유영행동이 부분적으로 제어되고 있는 Fig. 3의 전어를 대상으로 유영행동특성을 정량적으로 고찰하기 위해 두 대의 CCTV 카메라를 이용하여 초당 30 프레임의 속도로 유영행동의 동영상을 촬영하고, 후일 반사강도의 분석과는 독립적으로 유영행동의 동영상을 재생하면서 전어에 대한 자세각을 추출하였는데, 그 결과는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서 DVR 시스템을 이용하여 수록한 동영상으로부터 구한 전어의 유영행동에 대한 자세각의 범위는 $-24^{\circ} - +16^{\circ}$ 이었고, 그 평균치는 약 -2.7° 이었다. Fig. 7에서 전어의 자세각의 평균치는 비교적 작았고, 그 분포패턴은 평균자세각을 중심으로 강하게 집중되는 경향을 나타내었다. 이 문제의 고찰을 위해 수록한 echogram

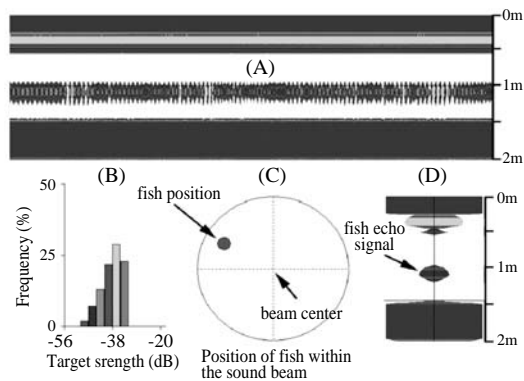


Fig. 8. Echogram (A), TS distribution (B), position within the sound beam (C) and echo signal (D) for the konoshiro gizzard shad swimming under the controlled condition of an acrylic salt water tank.

의 일례는 Fig. 8와 같다. Fig. 8에서 수조에 수용되어 있는 전어는 등지느러미 방향에 켜어져 있는 하나의 낚시에 묶여 있는 두 가닥의 낚시줄에 의해 유영행동이 부분적으로 제한되고 있는 상태이다. 이 때문에 전어의 유영행동의 변화는 매우 완만한 경향을 나타내었고, 어류를 가능한 한 음축 중심 부근(C)으로 유도하려는 인위적인 행동제어에 기인하여 자유유영상태에서와 같은 넓은 범위의 자세각 분포는 관찰할 수 없었다. Fig. 8의 (A)의 echogram에서 깊이 120cm 부근에 나타나는 전어의 기록상이 매우 완만하게 변화하고 있는 것은 이 때문이다. 또한 여기서 어류가 beam 밖으로 이탈하여 echo가 약해지면 다시 어류를 음축 중심으로 끌어드리는 유영행동의 제어조작을 반복적으로 행하면서 반사강도를 측정하였기 때문에 매우 안정된 반사강도(B)와 유영 자세각의 측정이 가능하였다고 판단된다. 이들 어종에 대한 어류 반사강도의 체장 의존성에 대한 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해서는 앞으로 더 많은 반복적인 실험과, 특히, 자유유영 상태에 대한 현장실험이 수행되어야 할 것이다.

결론

부산 용호만에 부설된 인공어초 주변해역에서 어획된 돌돔, 성대, 전어의 3개 어종을 대상으로 투명아크릴수조에서 70kHz (ES60, Simrad)와 120kHz (EY500, Simrad)의 split beam echosounder를 이용하여 각 어종별 음향반사강도의 체장 의존성을 분석, 고찰하였다. 먼저, 돌돔의 음향반사강도와 체장, 주파수(파장) 사이에는

$$TS = 35.67 \log(L) - 15.67 \log(\lambda) - 46.49$$

의 관계식을 얻었고, 이 식으로부터 추정된 평균 체장이 19.13cm의 돌돔에 대한 70kHz 및 120kHz에 대한 평균반사강도의 추정치는 각각 -45.96dB, -42.29dB이었다. 또한, 전어의 음향반사강도와 체장, 주파수(파장) 사이에는

$$TS = 25.85 \log(L) - 5.85 \log(\lambda) - 32.22$$

의 관계식을 얻었고, 이 식으로부터 추정된 평균 체장이 18.47cm의 전어에 대한 70kHz 및 120kHz에 대한 평균반사강도의 추정치는 각각 -41.03dB, -39.66dB이었다. 70kHz에서 평균체장이 24.36cm인 성대의 평균반사강도는 -41.55dB이었고, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다고 가정할 경우에 대한 체장변환계수는 -70.24dB이었다. 한편, DVR 시스템을 이용하여 전어의 유영행동에 대한 자세각을 측정, 분석한 결과, 그 자세각의 범위는 $-24^\circ - +16^\circ$ 로서, 그 평균 자세각은 약 -2.7° 이었고, 그 분포패턴은 평균 자세각을 중심으로 강하게 집중되는 경향을 나타내었다. 본 연구의 성과는 용호만 어초어장에서 대상생물의 체장을 추정하는데 실용적으로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 이들 어종에 대한 체장추정의 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해서는 앞으로 더 많은 반복적인 실험이 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- NFRDI, 1998. Behavior and fishing ground of dominant fish species in the coastal waters. Yeomunsa, Busan, pp. 249.
- Foote, K.G., 1980. Averaging of fish target strength functions. J. Acoust. Soc. Am., 67, 504 - 515.
- Hwangbo, Y., D.J. Lee, Y.W. Lee and K.H. Lee, 2009. The frequency and length dependence of the target strength of the largehead hairtail (*trichiurus lepturus*) in Korean waters. Fish. Aqua. Sci., 12, 152 - 161.
- Kang, H.Y. and D.J. Lee, 2003. Fish length dependence of acoustic target strength for large yellow croaker. Bull. Kor. Soc. Fish. Tech., 39, 239 - 248.
- Kang, D.H., K. Sadayasu, T. Mukai, K. Iida, D.J. Hwang, K. Sawada and K. Miyashita, 2004. Target strength estimation of black porgy *Acanthopagrus schlegeli* using acoustic measurements and a scattering model. Fisheries Science, 70, 819 - 828.
- Kang, D.H., D.J. Hwang, T. Mukai, K. Iida and K.H. Lee, 2004. Acoustic target strength of live Japanese

- common squid (*Todarodes pacifica*) for applying biomass estimation. J. Kor. Fish. Soc., 37, 345 - 353.
- Mukai, T., N. Sano, K. Iida and S. Sakai, 1993. Relation between dorsal aspect target strength of fish caught in the East China Sea and their swimbladder. Nippon Suisan Gakkaishi, 60, 215 - 222.
- Mukai, T., N. Sano, K. Iida and S. Sakai, 1993. Studies on dorsal aspect target strength of ten species of fish collected in the East China Sea. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 1515 - 1525.
- 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., 41, 30 - 37.
- Lee, D.J. and H.I. Shin, 2005. Construction of a data bank for acoustic target strength with fish species, length and acoustic frequency for measuring fish size distribution. J. Kor. Fish. Soc., 38, 265 - 275.
- Lee, D.J., 2005. Fish length dependence of acoustic target strength for 12 dominant fish species caught in the Korean waters at 75kHz. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 41, 296 - 305.
- Lee, D.J., 2006. Target strength measurement of black rockfish, goldeye rockfish and black scraper using a 70 - kHz split beam echo sounder. Nippon Suisan Gakkaishi, 72, 644 - 650.
-
- 2010년 7월 23일 접수
2010년 8월 12일 1차 수정
2010년 8월 12일 수리