

한국 연근해에서 어획된 주요 12 어종의 75 kHz에 대한 음향 반사 강도의 체장 의존성

이 대 재*

부경대학교 해양생산시스템공학과

Fish length dependence of acoustic target strength for 12 dominant fish species caught in the Korean waters at 75 kHz

Dae-Jae LEE*

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

Acoustic target strength (TS) of 12 commercially important fish species caught in the Korean waters had been investigated and their results were presented. Laboratory measurements of target strength on 12 dominant fish species were carried out at a frequencies of 75 kHz by single beam method under the controlled condition of the water tank with the 241 samples of dead and live fishes. The target strength pattern on individual fish of each species was measured as a function of tilt angle, ranging from -45° (head down aspect) to $+45^\circ$ (head up aspect) in 0.2° intervals, and the averaged target strength was estimated by assuming the tilt angle distribution as $N(-5.0^\circ, 15.0^\circ)$. The TS to fish length relationship for each species was independently derived by a least-squares fitting procedure. Also, a linear regression analysis for all species was performed to reduce the data to a set of empirical equations showing the variation of target strength to fish length and fish species. An empirical model for fish target strength (TS, dB) averaged over the dorsal aspect of 158 fishes of 7 species and which spans the fish length (L , m) to wavelength (λ , m) ratio between 6.2 and 21.3 was derived: $TS = 27.03 \text{ Log}(L) - 7.7 \text{ Log}(\lambda) - 17.21$, ($r^2 = 0.59$).

Key words : Averaged target strength, Length dependence, Single beam method, Tilt angle, Laboratory measurement

서 론

현재, 한반도 주변수역에 인접한 일본, 중국은 물론 세계 모든 연안국이 자국의 배타적 경제수역과 공해수역에 대한 어업생물자원의 관리를 한층 강화하고 있어 우리나라 어선은 국내에서 뿐만 아니라 해외어장에 있어서도 조업해역의 확보에 많

은 어려움을 겪고 있다. 이에 정부 당국은 우리나라 주변수역에 서식하는 어업자원의 효율적인 관리 및 유효이용 등을 위해 TAC(Total Allowable Catch, 총허용어획량) 제도를 시행하고 있다.

그러나, TAC 제도가 원만하게 추진되기 위해서는 무엇보다도 개개의 어민들이 할당받은 어획량

*Corresponding author : daejael@pknu.ac.kr Tel:82-51-620-6116 Fax:82-51-628-8145

을 어획하는 과정에서 그들이 희망하는 어체보다 크기가 작은 소형의 어류가 어획된 경우, 그것을 바다에 그대로 폐기해 버릴 우려가 있기 때문에 이를 방지하기 위해서는 어민이 어느 크기 이상의 어체만을 선택적으로 어획할 수 있도록 하기 위한 체장어군탐지기의 개발 및 보급이 절실히 요구되고 있다.

이와 같은 상황 하에서 최근 우리나라의 한 어군탐지기 생산업체가 75 kHz용 체장어군탐지기의 개발 및 보급을 추진하고 있다. 이 체장어탐 시스템은 현장에서 탐지한 각 개체에 대한 echo 신호 강도, 송·수신 시스템 상수, 송·수파기의 지향특성 등을 토대로 어류의 음향반사강도를 추정하는 장치이다. 따라서, 사용자가 이들 탐지장치의 정보를 바탕으로 대상 어업생물의 체장 정보를 파악하기 위해서는 어탐 시스템이 추정한 반사강도를 대상 어류의 체장정보로 변환하기 위한 어종별 체장변환계수를 알아야만 한다. 그러나, 우리나라 해역에서 서식하는 상업적으로 중요한 어업생물에 대해서는 아직까지 이에 대한 체계적 연구가 수행되고 있지 않아 TAC 제도를 시행하고 있는 우리나라로서는 한반도 주변 수역에 서식하는 어종별, 체장별, 사용 주파수별 어류반사강도의 체장 의존성에 대한 정보를 정량적으로 평가하는 것이 시급한 선결과제가 되고 있다.

일반적으로 어류의 음향산란단면적은 어류 체장의 2승에 근사적으로 비례하며, 또한 반사강도는 체장에 비례하여 선형적으로 증가하는 것으로 알려져 있다. 어류의 반사강도를 측정하기 위해서는 우선 송·수파기의 지향성에 대한 영향을 제거해야 하는데, 현재로써는 어류를 송·수파기의 음축상에 위치시켜 측정하는 현수법(Dahl et al., 1983; Kang et al., 2003; Foote et al., 2002)과 현장에서 직접 split beam 방식 어군탐지시스템을 이용하여 측정하는 직접법 등이 주로 이용되고 있다 (Foote et al., 1986; Gauthier et al., 2001; Kang et al., 2004).

본 연구에서는 우리나라 연근해 해역에서 어획되는 상업적으로 중요한 12개의 어종을 대상으로 대형 콘크리트 수조에서 현수법에 의해 75 kHz의 주파수에 대한 어종별, 체장별 음향반사강도를 측

정하고, 이들 정보를 토대로 우리나라 주변해역에서 서식하는 주요 어종의 체장 식별에 필요한 음향반사강도의 체장 의존성을 분석, 고찰하였다.

장치 및 방법

실험장치의 구성

어류의 반사강도는 대형실험수조 (L 5m×W 6m×H 5m)에서 현수법에 의해 single beam system을 이용하여 측정하였다. 실험에 사용한 대형실험수조에 대한 실험장치의 구성 모식도는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 실험장치는 어류를 수중에 현수시켜 자세각(tilt angle)을 0.2° 간격으로 제어하기 위한 어류위치제어장치, 어류 자세 변화에 따른 초음파 echo 신호를 측정하기 위한 어군탐지기, 어류의 echo 신호를 정량적으로 처리하기 위한 신호처리장치, 어류의 반사강도를 계산, 도식화 및 측정 시스템의 종합적인 제어 및 관리를 위한 software 등으로써 구성하였다.

수중에 초음파 신호를 송·수신하기 위한 어군탐지기로서는 삼영ENC의 70kHz용 SF-7000 시스템을 사용하였는데, 이 시스템의 펄스폭은 0.5ms, 송수파기의 -3dB에 대한 지향각은 29° 이었고, 이 진동자의 축엽레벨은 -20 dB 이하였다.

실험은 송·수파기를 차대 상면의 L 1m×W 0.5m의 현수창을 통해 수면하 0.2m 위치에 고정시킨 후, 송수파기의 음축상 2.75m의 위치에 현수시

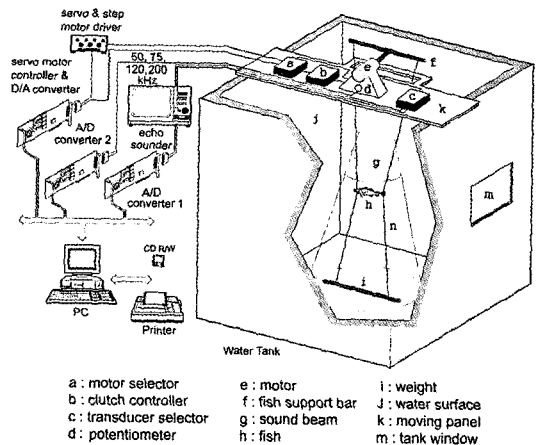


Fig. 1. Schematic block diagram of a single beam TS measuring system.

킨 어류로부터 산란되는 초음파 신호를 측정하였다. 실험어류를 수중에 현수시키기 위한 어류위치 제어장치는 stepping motor 및 구동장치(Oriental motor, UDK5114N), 감속장치(감속비1/30), 클러치 제어장치, D/A 변환장치(Comizoa, Comi - SD301) 등으로써 구성하였다. 실험은 먼저 어류를 Fig. 1과 같이 수중에 현수시킨 후, 자체 개발한 software 모듈을 통해 어류의 자세를 +45° head up으로 초기 설정하고, D/A 변환기를 통해 제어신호를 출력시켜 모터의 clutch를 해제하였다. 이 시점으로부터 모터 구동장치가 동작하여 모터 축에 장치된 어체 현수 arm이 반시계 방향으로 0.2° 간격으로 선회하게 된다. 이 때, 실험어류의 자세변화에 따른 어체의 echo 신호는 트리거 신호와 함께 A/D 변환장치(Comizoa, Comi - LX203)에 동시에 입력되어 20MHz의 주파수로써 샘플링되고, 양자화된 echo 신호는 자세각과 함께 하드 디스크에 수록되도록 하였는데, 이와 같이 하드 디스크에 수록된 echogram과 어류의 반사강도, 즉, TS(target strength) 정보는 후일 실험실에서 여러 목적에 따라 상세하게 분석되었다.

어종별 어류 반사강도의 측정

실험에 사용한 어류의 어종별 생물학적 조성은 Table 1과 같다. 실험어류는 부산의 남천동 및 민락동의 선어 및 활어 도소매시장을 통해 활어 또는 선어의 상태로써 구입하여 사용하였다. 실험에 사용한 어류는 고등어, 전갱이, 부세, 청어, 병어, 참

돔, 전어, 쥐치, 삼치, 꼼치, 살오징어 및 쇠갑오징어 등의 12 어종, 241마리로써, 이중에서 쥐치, 전어의 일부는 활어 상태로써 해수수조에서 반사강도를 측정하였고, 그 이외의 어종은 선어 상태로써 반사강도를 측정하였다.

대형실험수조에서 single beam system에 의한 어류의 반사강도는 교정구를 사용하여 현수법에 의해 측정하였는데, 그 반사강도 TS_f (dB)는

$$TS_f = \frac{V_f}{V_{ref}} + TS_{ref}$$

에 의해 구하였다. 여기서, TS_{ref} 는 교정구의 반사강도, V_f , V_{ref} 는 각각 실험 어류 및 교정구에 대한 echo 신호의 전압(V)이다. 본 실험에서 사용한 교정구의 재질은 copper sphere로써, 그 직경은 32.1mm ($TS = -39.1$ dB)이었다.

본 연구에서는 어체가 유평하는 수평자세로부터 수면에 대하여 머리를 쳐든 경우를 양(+), 내린 경우를 음(-)의 pitch 각으로써 정의하여 평균반사강도를 구하였다.

현재, 어류의 반사강도로부터 어체장을 추정하는 경우, 어체의 등방향에 대한 평균반사강도의 정보가 필요하다. 어류의 등방향에 대한 평균반사강도를 구하는 방법으로는 어류의 반사강도를 pitch 각의 함수로써 측정하고, 이 값을 어류의 유평자세와 사용 송·수파기의 지향성함수를 고려하여 평균화하는 방법이 널리 이용되고 있다 (Foote, 1980).

Table 1. Biological composition of fish species used in the experiment at 75 kHz

Common name	Species	Length range(cm)	Weight range(g)	No. of fish
Chub mackerel ¹⁾	<i>Scomber japonicus</i>	26.2 - 38.3	215 - 950	35
Japanese horse mackerel ¹⁾	<i>Trachurus japonicus</i>	16.8 - 34.3	90 - 635	27
Large yellow croaker ²⁾	<i>Larimichthys crocea</i>	24.3 - 37.6	198 - 810	31
Pacific herring ¹⁾	<i>Clupea pallasii</i>	19.3 - 26.0	100 - 235	9
Silver pomfret ¹⁾	<i>Pampus argenteus</i>	16.9 - 24.8	130 - 465	27
Red seabream snapper ¹⁾	<i>Pagrus major</i>	19.4 - 42.5	205 - 1,570	10
Konoshiro gizzard shad ¹⁾	<i>Konosirus punctatus</i>	18.7 - 26.0	95 - 235	13
Black scraper ²⁾	<i>Tramnaconus modestus</i>	24.7 - 38.6	230 - 755	29
Spotted mackerel ¹⁾	<i>Scomberomorus niphonius</i>	37.8 - 54.5	490 - 1,325	20
Tanaka's snailfish ²⁾	<i>Liparis tanakai</i>	44.5 - 51.5	1,020 - 1,050	16
Japanese flying squid ³⁾	<i>Todarodes pacificus</i>	22.5 - 26.1	275 - 380	14
Japanese spineless cuttlefish ³⁾	<i>Sepiella japonica</i>	7.9 - 16.3	62 - 540	10

1) fork length, 2) total length, 3) mantle length

만일, 송·수파기의 음축상에 어체를 현수시켜 반사강도를 측정할 때, 어체의 자세각 θ 방향에서의 후방산란단면적을 $\alpha(\theta)$ 라 하면, 그 평균후방산란단면적 $\langle \sigma \rangle$ 은

$$\langle \sigma \rangle = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \alpha(\theta) f(\theta) d\theta$$

에 의해 구할 수 있다. 여기서, $f(\theta)$ 는 어체의 pitch 각 θ 에 대한 확률밀도함수이다.

따라서, 각 어종별 개체에 대한 평균반사강도 $\langle TS \rangle$ 는

$$\langle TS \rangle = 10 \log \left(\frac{\langle \sigma \rangle}{4\pi} \right)$$

에 의해 구할 수 있다.

일반적으로 어류의 자세각의 변화에 따른 반사강도는 어체의 성숙도, 체장, 체고, 체폭, 비만도, 연령 등에 따라 매우 불규칙하게 변동하기 때문에 어종별 대상 어류의 자세각에 대응하는 반사강도의 표준화된 변화패턴을 예측하는 것은 매우 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 어류의 평균반사강도가 체장(L)의 2승에 비례한다는 가정하에서 $\langle TS \rangle = 20 \log + b_{20}$ 의 회귀직선식으로부터 체장변환계수 b_{20} 을 산출하였다. 또한, 어종별 어류의 체장, 평균 반사강도, 사용주파수의 파장과 상호관계에 대해서도 다중회귀분석을 통해 반사강도 방정식을 유도, 고찰하였다.

한편, 어류의 자세각에 따른 음향반사강도의 평균적인 변화패턴을 정량적으로 고찰하기 위하여 모든 실험어류의 반사강도의 측정치를 자세각에 대하여 평균함으로써 어종별 평균적인 반사강도의 변동패턴을 분석, 고찰하였다.

결과 및 고찰

살오징어 및 쇠갑오징어의 평균반사강도 패턴

주요 실험 어류에 대한 반사강도의 자세각 의존성에 대해서는 이미 보고된 바 있고(Lee et al., 2005), 여기서는 살오징어와 쇠갑오징어를 수중에 현수시켜 자세각을 0.2° 간격으로 변화시키면서 반사강도를 측정 후, 모든 개체에 대한 평균 반사강도패턴을 구한 결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 (A)는 75kHz의 주파수에 대한 10마리

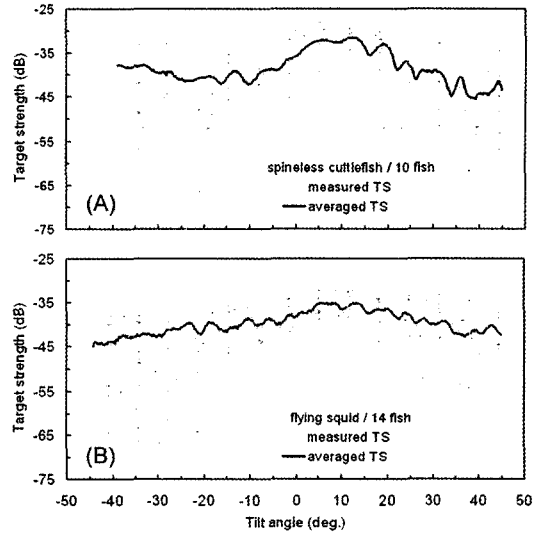


Fig. 2. Averaged target strength patterns for spineless cuttlefish (A) and flying squid (B) at 75 kHz.

의 쇠갑오징어(평균 외투장 12.9cm, 평균체중 296.7g)에 대한 평균반사강도패턴이고, (B)는 14마리의 살오징어(평균 외투장 24.0cm, 평균체중 330.4g)에 대한 평균반사강도패턴이다.

Fig. 2에서 이들 두 어종에 대한 평균반사강도 패턴의 peak mode는 모두 약 +5° - +15° 범위에 존재하지만, 쇠갑오징어의 경우가 살오징어의 경우보다 +10°를 중심으로 비교적 뚜렷하게 집중되는 경향을 나타내고 있다. 이 현상은 쇠갑오징어의 등쪽 외투 중앙 내부에 붙어있는 석회질 패각의 존재와 깊은 관련성이 있는 것으로 판단된다. 현재, 이 문제를 보다 정량적으로 규명하기 위해 쇠갑오징어의 음향반사강도에 미치는 패각의 영향에 대하여 연구중이다.

어종별 반사강도의 체장 의존성

실험수조에서 어종별 각 어체의 자세각에 따른 반사강도의 측정치로부터 평균반사강도를 추정할 때, 어체의 평균 자세각과 표준편차는 이미 보고된 데이터를 토대로 각각 -5°, 15°로써 가정하여 구하였다(Mukai et al., 1993).

어류의 반사강도는 사용 주파수, 체장, 수심(압력), 수온, 염분, 유영자세, 행동패턴, 위 내용물의 충만도, 성숙도 등과 같은 생물학적 및 물리적 요

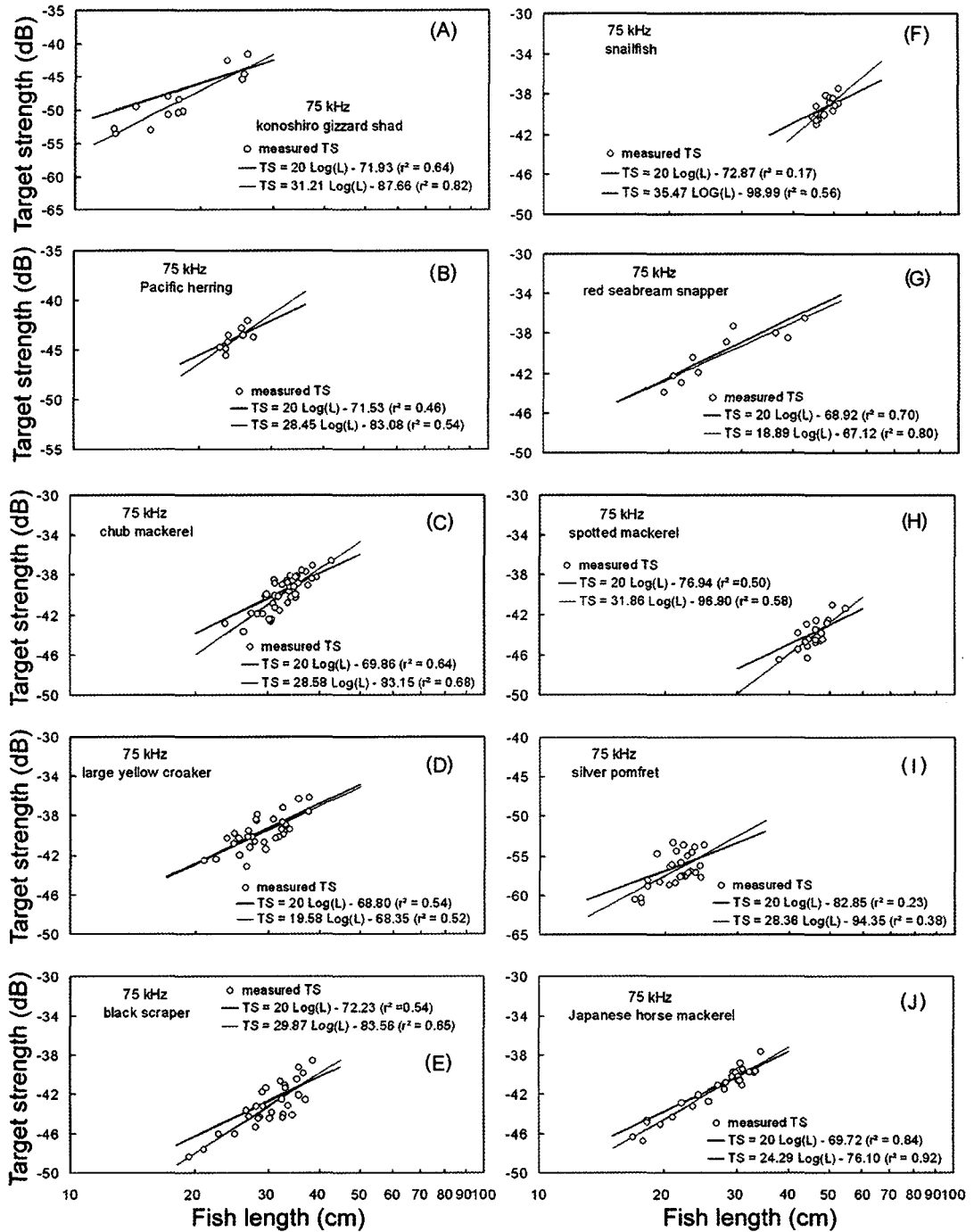


Fig. 3. Length dependence of target strength for konoshiro gizzard shad, Pacific herring, chub mackerel, large yellow croaker, black scraper, snailfish, red seabream snapper, spotted mackerel, silver pomfret and Japanese horse mackerel at 75 kHz. The fine line is the best fit regression of TS on fish length and the thick line is the standard regression.

인에 따라 복잡하게 변동하지만, 여기서는 주로 체장의 함수로써 분석하였다.

Fig. 3의 (A)는 13마리의 전어(평균체장 18.6cm, 평균체중 106.6g), (B)는 9마리의 청어(평균체장 24.4cm, 평균체중 192.6g), (C)는 35마리의 고등어(평균체장 33.0cm, 평균체중 526.7g), (D)는 31마리의 부세(평균체장 30.2cm, 평균체중 359.9g), (E)는 29마리의 쥐치(평균체장 30.9cm, 평균체중 403.3g), (F)는 16마리의 꼼치(평균체장 47.9cm, 평균체중 1248.1g), (G)는 10마리의 참돔(평균체장 28.1cm, 평균체중 642.0g), (H)는 20마리의 삼치(평균체장 46.0cm, 평균체중 761.8g), (I)는 27마리의 병어(평균체장 21.2cm, 평균체중 295.4g), (J)는 27마리의 전갱이(평균체장 26.9cm, 평균체중 334.0g)를 대상으로 각 어종별 어체의 평균반사강도를 산출하고, 어종별 평균반사강도와 평균체장과의 관계를 나타낸 결과이다.

Fig. 3에서 ○은 반사강도의 측정치이고, 가는 실선은 $TS = a \text{Log}(L) + b$ 의 회귀직선, 굵은 실선은 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하에서 구한 $TS = 20 \text{Log}(L) + b$ 의 회귀직선이다. 전자의 회귀직선에서 a 는 반사강도의 체장에 대한 의존성을 나타내는 파라미터(이후 체장의존성계수라 한다.)이고, b 는 체장 1 cm에 대한 음향반사강도, 즉, 체장변환계수이다. 여기서는 어류의 음향반사강도가 체장의 2승에 비례하는 경우, $a=20$ 이 되고, 그때의 체장변환계수를 b_{20} 으로써 표기하였다.

Fig. 3에서 전어, 청어, 고등어, 부세, 말쥐치, 꼼치, 참돔, 삼치, 병어, 전갱이 등의 어류에 대한 유영 자세가 통계적으로 정규분포에 따른다는 가정하에서 이들 어종에 대해 산출한 회귀직선식의 상수 a 는 각각 31.21, 28.45, 28.58, 19.58, 29.87, 35.47, 18.89, 31.86, 28.36 및 24.29 였고, b 는 $-87.66(r^2=0.82)$, $-83.08(r^2=0.54)$, $-83.15(r^2=0.68)$, $-68.35(r^2=0.52)$, $-83.56(r^2=0.65)$, $-98.99(r^2=0.56)$, $-67.12(r^2=0.80)$, $-96.90(r^2=0.58)$, $-94.35(r^2=0.38)$ 및 $-76.10(r^2=0.92)$ 이었다. 한편, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하에서 구한 체장변환계수 b_{20} 은 각각 $-71.93\text{dB}(r^2=0.64)$, $-71.53\text{dB}(r^2=0.46)$, $-69.86\text{dB}(r^2=0.64)$, $-68.80\text{dB}(r^2=0.54)$, $-72.23\text{dB}(r^2=0.64)$, $-72.87\text{dB}(r^2=0.17)$, $-68.92\text{dB}(r^2=0.70)$,

$-76.94\text{dB}(r^2=0.50)$, $-82.85\text{dB}(r^2=0.23)$, $-69.72\text{dB}(r^2=0.84)$ 이었다.

Fig. 4의 (A)는 10마리의 쇠갑오징어(평균 외투장 12.9cm, 평균체중 296.7g), (B)는 14마리의 살오징어(평균 외투장 24.0cm, 평균체중 330.4g)를 대상으로 각 어체의 평균반사강도를 산출한 후, 평균 반사강도와 평균 외투장과의 관계를 나타낸 결과이다. 그림에서 ○은 반사강도의 측정치이고, 가는 실선은 $TS = a \text{Log}(L) + b$ 의 회귀직선, 굵은 실선은 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하에서 구한 $TS = 20 \text{Log}(L) + b$ 의 회귀직선이다. 이들 쇠갑오징어 및 살오징어의 유영 자세가 통계적으로 정규분포에 따른다는 가정하에서 산출한 회귀직선식의 상수는 각각 31.18, 48.98이었고, b 는 각각 $-70.81\text{dB}(r^2=0.96)$, $-105.89\text{dB}(r^2=0.35)$ 이었다. 한편, 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하에서 구한 체장변환계수 b_{20} 은 각각 $-57.69\text{dB}(r^2=0.81)$, $-65.50\text{dB}(r^2=0.24)$ 이었다.

우리나라 주변해역에 서식하는 어업생물 중에서 상업적으로 널리 이용되고 있는 12개 어종을 대상으로 75kHz의 주파수에 대한 어종별, 반사강도의 체장 의존성 및 체장변환계수의 변동특성을 중

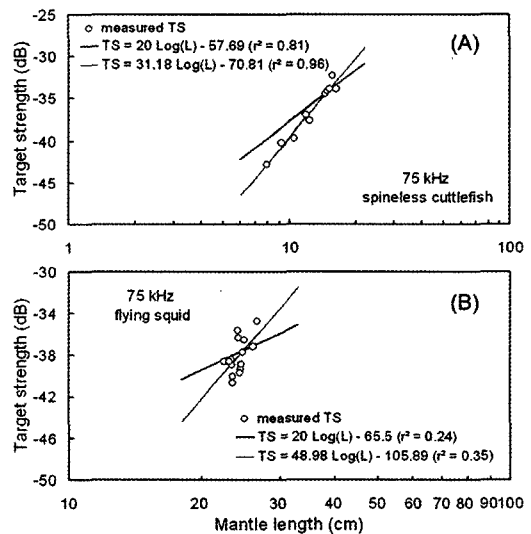


Fig. 4. Length dependence of target strength for spineless cuttlefish (A) and flying squid (B) at 75 kHz. The fine line is the best fit regression of TS on fish length and the thick line is the standard regression.

Table 2. Linear regression equations for the relationship between mean target strength and fish length for 12 species at 75 kHz

Species	TS equation	TS = a log(L) - b			TS = 20 log(L) - b ₂₀	
		a	b	r ²	b ₂₀	r ²
chub mackerel		28.6	83.2	0.68	69.9	0.64
large yellow croaker		19.6	68.4	0.52	68.8	0.54
silver pomfret		28.4	94.4	0.38	82.9	0.23
Japanese horse mackerel		24.3	76.1	0.93	69.7	0.84
spotted mackerel		31.9	96.9	0.58	76.9	0.50
black scraper		26.8	82.8	0.70	72.2	0.53
Tanaka's snailfish		35.5	99.0	0.56	72.9	0.43
konoshiro gizzard shad		31.2	87.7	0.82	71.9	0.64
red seabream snapper		18.9	67.1	0.80	68.9	0.70
Pacific herring		28.3	83.1	0.54	71.5	0.46
Japanese flying squid		49.0	105.9	0.35	65.5	0.24
Japanese spineless cuttlefish		31.2	70.8	0.96	57.7	0.81

합적으로 분석, 고찰한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2에서 전어, 청어, 고등어, 부세, 말쥐치, 꼼치, 참돔, 삼치, 병어, 전갱이, 살오징어, 쇠갑오징어의 12개 어종에 대해 산출한 반사강도의 회귀 직선식에서 체장 의존성을 나타내는 파라미터 *a* 값은 어종에 따라 18.89 - 35.47의 범위에서 변동하였고, 또한 체장변환계수는 -67.12 - -98.99dB의 범위에서 변동하였다. *b*₂₀은 -68.80 - -82.85dB의 범위에서 어종에 따라 비교적 큰 변동을 나타내었다. 한편, 연체류인 쇠갑오징어와 살오징어의 경우, 체장의존성계수 *a* 값은 31.18 - 48.98의 범위에서, 또한 체장변환계수는 -70.81 - -105.89dB의 범위에서 변동하였고, *b*₂₀은 -57.69 - -65.5dB의 범위에서 변동하였다.

일반적으로 자유 유영상태의 활어나 cage 수용 어류를 대상으로 single beam, dual beam 및 split beam 등에 의해 실험적으로 유도된 반사강도 방정식의 계수 *a*와 *b*의 추정치는 어종에 따라 큰 차이를 나타내고 있지만, 현재 보고되고 있는 값의 범위는 대략적으로 각각 18 · 30, -60 - -90dB 정도이다(MacLennan and Simmonds, 1992). 본 연구에서 산출된 체장의존성계수 및 체장변환계수는 어류의 경우, 이 범위 내에서 변동하고 있으나, 연체류에 대한 체장의존성계수는 이 범위와 큰 차이를 나타내었다. 따라서, 이에 대한 보다 정량적인 분석이 요구된다.

Table 2에서 우리나라 대형선망, 저인망, 트롤 등의 주요 상업어종인 고등어, 부세, 병어, 전갱이, 삼

치, 말쥐치 등의 75kHz에 대한 반사강도의 체장의존성계수와 체장변환계수를 살펴볼 때, 부세의 체장의존성계수는 이들 어종 중에서 체장의 2승에 가장 근사하는 1.96승을 나타내었다. 이에 비해 전갱이, 말쥐치, 병어, 고등어, 삼치에 대한 체장의존성계수는 각각 체장의 2.43, 2.68, 2.84, 2.86, 3.19승에 비례하는 특성을 나타내었다. 즉, 체장의존성계수는 부세, 전갱이, 말쥐치, 병어, 고등어, 삼치의 순으로 큰 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 이들 어종 중에서 병어와 고등어의 체장의존성계수는 거의 유사하였고, 또한, 삼치의 경우, 체장의 크기에 비해 체장의존성계수가 크고, 체장변환계수가 비교적 작은 이유는 부레가 없는 생물학적 현상과 관계가 있는 것으로 판단된다.

한편, 꼼치, 전어, 참돔, 청어의 경우에 대한 반사강도는 체장의 1.89 · 3.55승에 의존적인 경향을 나타내었고, 그 변환계수는 -67.1 - -99.0dB의 범위였다. 살오징어와 쇠갑오징어의 반사강도는 각각 외투장의 4.90승과 3.12승에 의존적인 경향을 나타내었다.

어종 그룹에 대한 반사강도의 체장 의존성

현장에서 체장어군탐지기에 의해 측정된 반사강도 정보를 토대로 어류 체장을 직접 추정하고자 할 때, 체장의존성계수 *a* 및 체장변환계수 *b*의 선택에 따라 그 추정 결과에 큰 차이가 발생한다. 특히, 우리나라 주변해역에서와 같이 다수의 어종이 혼재하여 서식하는 경우, 그 대상어종에 대하여 적

용이 가능한 최적의 체장의존성계수 및 체장변환 계수를 추정하는 것이 매우 중요하다.

따라서, 본 연구에서는 어법, 어류의 체형, 서식 환경 등을 고려하여 연근해 어장에서 선망, 저인망, 트롤어업 등의 주요 어획대상 어종 가운데 고등어, 부세, 전갱이, 말쥐치, 전어, 참돔, 청어 등의 7개의 어종에 대한 반사강도의 체장 의존성을 분석하였는데, 그 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 병어, 삼치, 꼼치에 대한 데이터는 생물학적 특성에 기인하여 다른 그룹의 어종과 반사강도에 큰 차이가 있어 함께 나타내지 않았다.

Fig. 5에서 가는 실선은 반사강도의 체장 의존성을 나타내는 회귀직선이고, 굵은 실선은 반사강도가 체장의 2승에 비례한다는 가정하에서 구한 회귀직선이다.

Fig. 5의 75kHz에 대한 회귀 직선식에서 체장의존성계수 a 및 체장변환계수 b 는 각각 $a=29.30$, $b=-80.95\text{dB}$ ($r^2=0.58$)이었다. 또한, 이들 어종에 대한 음향반사강도를 체장의 2승에 근사시킨 경우, 그 체장변환계수 b_{20} 은 -70.34dB ($r^2=0.38$)이었다. 현재 계량어군탐지기에서는 체장변환계수의 값으로서 반사강도가 체장에 2승에 비례한다는 가정하에서 구한 값을 주로 사용하고 있으나, Table 2와 Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 어종에 따라, 또한, 체형에 따라 체장의 2-4승의 범위내에서 반사강도가 크게 변동하고 있는 바, 앞으로 체형, 부레의 유무 및 형태, 또한, 어종 그룹별 반사강도의 체장 의존성에 대한 검토가 요구된다.

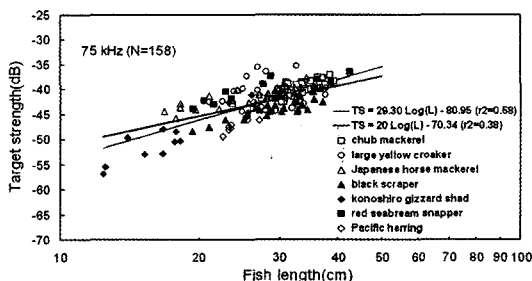


Fig. 5. Length dependence of target strength for 7 fish species at 75 kHz. The fine line is the best fit regression of TS on fish length and the thick line is the standard regression.

반사강도, 체장 및 주파수의 상호 의존성

본 연구에서는 주파수별 및 어종별 반사강도의 체장 의존성을 종합적으로 분석, 고찰하기 위해 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 관계를 유도함으로써, 어류 반사강도의 주파수 및 체장 의존성을 서로 결합시켜 파악하고자 하였다(Love, 1971).

고등어, 부세, 전갱이, 말쥐치, 전어, 참돔, 청어 등 7개 어종, 총 158 마리에 대한 반사강도 데이터를 대상으로 주파수별 및 어종별 반사강도의 체장 의존성을 종합적으로 분석, 고찰하였는데, 이들 모든 어류에 대한 체장과 파장의 비(L/λ)와 음향산란단면적과 파장의 2승의 비(σ/λ^2)의 선형성에 대한 회귀분석의 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6에서 총 158 마리에 대한 L/λ 의 범위는 6.2-21.3, 또한, σ/λ^2 의 범위는 0.066-9.40이었는데, 이들 L/λ 과 σ/λ^2 사이에는

$$\sigma/\lambda^2 = 0.0015146 (L/\lambda)^{2.703429}$$

의 회귀식이 성립하였다 ($r^2=0.59$). 이 식의 양변에 대수의 10배를 취하여 정리하면,

$$TS = 27.03 \text{ Log}(L) - 7.7 \text{ Log}(\lambda) - 17.21$$

으로 변형된다. 즉, 이 식은 7개 어종에 대한 체장

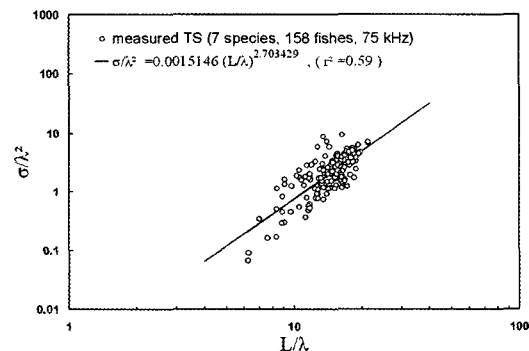


Fig. 6. Length dependence of target strength for 7 fish species: chub mackerel, large yellow croaker, Japanese horse mackerel, black scraper, red seabream snapper, Pacific herring and konoshiro gizzard shad. The backscattering cross section (σ) is normalized to the square of wavelength (λ) and plotted against the fish length (L) to wavelength ratio.

및 주파수(파장) 의존성을 동시에 나타내는 실험식으로써, 이 식을 응용하면 한반도 주변수역에 분포, 서식하는 대상어종의 75 kHz에 대한 반사강도를 추정할 수 있다.

본 연구에서 실험적으로 유도된 어종별, 주파수별 반사강도의 체장 의존성에 관한 정보는 현재 우리나라에서 개발중에 있는 저가용 체장어군탐지기의 고도화에 관한 연구에 실용적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 어류의 체장추정에 관한 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해서는 앞으로 더 많은 반복적인 실험과, 특히, 활어를 대상으로 한 현장 실험이 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

결 론

우리나라 연근해 해역에서 어획된 상업적으로 중요한 12개의 어종을 대상으로 대형 콘크리트 수조에서 현수법에 의해 75kHz의 주파수에 대한 어종별, 체장별 음향반사강도를 측정하고, 이들 정보를 토대로 우리나라 주변해역에 서식하는 주요 어종의 체장 식별에 필요한 음향반사강도의 체장 의존성을 분석, 고찰하였다.

75kHz의 주파수에서 쇠갑오징어와 살오징어의 평균반사강도패턴을 조사한 결과, 그 peak mode는 모두 약 $+5^{\circ} - +15^{\circ}$ 범위에 존재하지만, 쇠갑오징어의 경우가 살오징어의 경우보다 반사강도가 $+10^{\circ}$ 를 중심으로 매우 강하게 나타났다. 이 현상은 쇠갑오징어의 등쪽 외투 중앙 내부의 석회질 패각과 깊은 관련성이 있는 것으로 판단된다.

우리나라 대형선망, 저인망, 트롤 등의 주요 상업어종인 고등어, 부세, 병어, 전갱이, 삼치, 말쥐치 등의 75 kHz에 대한 반사강도의 체장의존성계수와 체장변환계수를 살펴볼 때, 부세의 체장의존성계수는 체장의 2승에 근사하는 1.96승을 나타내었다. 이에 비해 전갱이, 말쥐치, 병어, 고등어, 삼치에 대한 체장의존성계수는 각각 체장의 2.43, 2.68, 2.84, 2.86, 3.19승에 비례하는 특성을 나타내었다. 즉, 체장의존성계수는 부세, 전갱이, 말쥐치, 병어, 고등어, 삼치의 순으로 큰 경향을 나타냄을 알 수 있었다. 이들 어종 중에서 병어와 고등어의 체장의존성계수는 거의 유사하였고, 또한, 삼치의 경우, 체장의존성계수는 큰 데 비해 체장변환계수가 비교적

작은 이유는 부레가 없는 생물학적 현상과 관계가 있는 것으로 판단된다. 꼼치, 전어, 참돔, 청어의 경우에 대한 반사강도는 체장의 1.89 - 3.55승에 의존적인 경향을 나타내었고, 그 변환계수는 $-67.1 - -99.0\text{dB}$ 의 범위였다, 살오징어와 쇠갑오징어의 반사강도는 각각 외투장의 4.90승과 3.12승에 의존적인 경향을 나타내었다. 고등어, 부세, 전갱이, 말쥐치, 전어, 참돔, 청어 등의 7개의 어종을 대상으로 반사강도의 체장의존성을 분석한 결과, 반사강도의 회귀 직선식에서 체장의존성계수 및 체장변환계수는 각각 29.30, $-80.95\text{dB}(r^2=0.58)$ 이었다. 또한, 이들 어종에 대한 음향반사강도를 체장의 2승에 근사시킨 경우, 그 체장변환계수 b_{20} 은 $-70.34\text{dB}(r^2=0.38)$ 이었다

한편, 고등어, 부세, 전갱이, 말쥐치, 전어, 참돔, 청어 등 7개 어종, 총 158 마리에 대한 반사강도 데이터를 대상으로 주파수별 및 어종별 반사강도의 체장 의존성을 종합적으로 분석, 고찰한 결과, 음향반사강도의 체장 및 주파수(파장) 의존성은

$$TS = 27.03 \text{ Log}(L) - 7.7 \text{ Log}(\lambda) - 17.21 \quad (r^2 = 0.59)$$

의 관계식으로 유도되었다.

본 연구에서 구축된 75kHz의 주파수에 대한 어종별, 반사강도의 체장 의존성에 관한 데이터 뱅크는 현재 우리나라에서 개발중에 있는 저가용 체장어군탐지기의 고도화에 관한 연구에 실용적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 어류의 체장추정에 관한 신뢰도를 더욱 향상시키기 위해서는 앞으로 더 많은 반복적인 실험과, 특히, 활어를 대상으로 한 현장 실험이 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01 - 2002 - 000 - 00012 - 0) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Dahl, P.H. and O.A. Mathisen, 1983. Measurement of fish target strength and associated directivity at high frequencies. J. Acoust. Soc. Am., 73(4), 1205 - 1211.

- Foote, K.G., 1980. Averaging of fish target strength functions. J. Acoust. Soc. Am., 67(2), 504 – 515.
- Foote, K.G., A. Aglen and O. Nakken, 1986. Measurement of fish target strength with split – beam echo sounder. J. Acoust. Soc. Am., 80(2), 612 – 621.
- Foote, K.G. and D.I. Francis, 2002. Comparing Kirchhoff – approximation and boundary – element models for computing gadoid target strengths. J. Acoust. Soc. Am., 111(4), 1644 – 1654.
- Gauthier, S. and G.A. Rose, 2001. Target strength of encaged Atlantic redfish (*Sebastes spp.*). ICES J. Mar. Sci., 58(3), 562 – 568.
- Kang, H.Y. and D.J. Lee, 2003. Fish length dependence of acoustic target strength for large yellow croaker. Bull. Kor. Soc. Fish. Technol., 39(3), 239 – 248.
- 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(4), 345 – 353.
- 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 schlegelii* using acoustic measurements and a scattering model. Fish. Sci., 70(5), 819 – 828.
- 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(4), 265 – 275.
- Love, R.H., 1971. Measurements of fish target strength: a review. Fish. Bull., 69(4), 703 – 715
- 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(2), 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(9), 1515 – 1525.

2005년 10월 12일 접수

2005년 11월 4일 수리