

돌돔과 독가시치의 등방향 반사강도에 관한 연구

오 성 우 · 안 장 영

제주대학교

(2001년 4월 13일 접수)

Studies on Dorsal Aspect Target Strengths of Rock Bream, *Oplegnathus Fasciatus* and Dusky Spinefoot, *Siganus Fuscescens*

Sung-Woo Oh and Jang-Young Ahn

Cheju National University

(Received April 13, 2001)

Abstract

In order to obtain fundamental data for estimation of fisheries resource by echo sounder, we carried out the measuring of dorsal aspect Target strengths for rock bream and dusky spinefoot fishes that were caught much around the Jeju Island and in South Sea of Korea.

The appropriate equations share the common form

$$TS = A + 20 \log L,$$

where TS is the average dorsal aspect target strength in decibels, L is the fish total length in centimeters, and the coefficient A is determined by a least mean squares regression analysis. For rock bream, the result is

$$TS = -72.97 + 20 \log L$$

and, for dusky spinefoot it is

$$TS = -63.16 + 20 \log L$$

And, we have investigated the bearing range of maximum dorsal aspect target strength for all of rock bream and dusky spinefoot by the echo sounder with transducer of which frequency is 200kHz. They are $-12^\circ \sim -21^\circ$ and $-1^\circ \sim -8^\circ$ respectively, when the fishes is swimming down to the bottom. The maximum dorsal target strengths are $-41.50dB$ at -18° for rock bream and $-30.69dB$ at -6° for dusky spinefoot.

緒 論

우리나라 연·근해어업은 한국 총 어업생산량의 절반이상을 차지하는 중요한 어업이 되었으며,

어획물은 국민들의 식량 및 건강식품으로 그 수요가 날로 증가하고 있다. 그러나, 해양환경의 오염과 남획으로 자원량은 점점 줄어들고 있는 실정이며, 더구나 신 UN해양법의 발효 이후 배타적 경제

수역(EEZ)의 설정과 총 허용어획량(TAC) 제도의 시행으로 인해 조업 가능 어장마저 축소되어 어획량 감소도 심화되고 있어서, 체계적이고 보다 효율적인 어업자원의 관리와 적정 어획량의 지속적인 생산을 위한 방향 모색이 시급하다고 보아진다.

그런데, 어업자원과 어획생산을 합리적으로 관리하기 위해서는 정확한 어업자원량의 평가가 필수적이다. 자원량의 평가방법(김, 1991)에는 여러 가지가 있으나, 직접적이면서도 조사방법이 다른 방법에 비해 시간이 절약되고 측정범위가 광범위하며 결과자료도 연속적으로 얻어지는 음향조사법이 유리하다. 그러나 우리나라에서도 자원량조사에 음향조사법(신등, 1991)을 이용하여 과학적이고 정량적으로 측정한 경우(이, 1991; 1995; 이등, 1995)가 있으나 일부해역에 극한되어 있으며 체계적이지는 못하였다.

따라서 음향조사법에 의한 자원량의 평가를 실시하려면 계획적이고 체계적이며 광범위한 해역을 동시다발적으로 행하는 것이 바람직하다. 이렇게 하기 위해서는 자원량 평가 실시해역에 서식하는 어류의 양이나 체장을 추정하는데 중요한 파라메타가 되는 단일어에 대한 반사강도를 측정하여야 할 필요가 있다.

본 연구는 음향에 의한 자원량 추정을 위한 기초적인 연구의 일환으로 제주해역에서 많이 서식하는 돌돔과 독가시치에 대하여 단일어의 등방향 반사강도를 측정하여 분석하였다.

材料 및 方法

1. 실험어

본 실험에 사용된 실험어는 돌돔과 독가시치 2종류이며, 우리 나라 주변은 물론 일본 및 중국 연안등에서 광범위하게 서식하는 농어목 어류로서 특히 제주도 주변에 많이 서식하는 대표적 어류이기도 하다. 이들 돌돔과 독가시치는 제주도 주변 정치망에서 어획된 것으로 크기별로 각각 5마리와 8마리에 대해 실험하였다. 반사강도의 측정시 어류의 육질변화로 인한 영향을 최소화하기 위하여 활어상태로 소형 유리수조에서 사육하면서 실험직

Table 1. The sizes of experimental fishes for measurements of dorsal aspect target strength

Species	Rock bream		Dusky spinefoot	
	Total length (cm)	Body weight (g)	Total length (cm)	Body weight (g)
A	17.8	105	13.5	31
B	17.9	98	14.1	34
C	18.7	110	14.5	36
D	20.0	143	15.7	50
E	21.0	169	17.7	58
F			18.1	67
G			19.8	102
H			19.4	104
Average	19.1	125	16.6	60

전에 한 마리씩 꺼내어 자연사시켜 실험을 행하였다. 각 실험어의 종류별 크기는 Table 1과 같다.

2. 실험장치

실험어의 등방향 반사강도(Target Strength) 측정에 사용된 송수파기는 TOKIN사의 TGM 50-200-10L형으로 최근 연근해 어업에서 많이 사용하고 있는 주파수 200kHz용이다. 송수파기의 직경은 90mm이었으며 지향특성은 최대출력에 대하여 -3dB 및 -6dB이 되는 지점까지의 지향각이 각각 4° 및 6°이었다.

실험에 사용한 수조는 L2200×1800×1400mm 크기의 스테인레스제 수조로서, 윗면을 제외한 나머지 다섯면에 나무로 된 사각뿔(50mm×50mm×150mm)을 수조 벽면에 조밀하게 부착하여 수조 벽면에 대한 음파의 반사가 최대한 억제될 수 있도록 한 무향수조이었다.

수중에서 어류가 각종 어군탐지기에 의해 탐지될 때는 어류의 유영자세가 매우 다양하다. 따라서 어류의 유영자세에 따라 어군탐지기에 의한 탐지강도나 모양이 달라지므로 수조내에서도 수중에서와 동일한 어류의 각종 유영자세를 만들기 위하여 실험어의 자세변환 회전대를 제작하여 사용하였다.

실험어의 자세변환은, H자형 틀 위에 고정·설치된 지름 200mm, 1° 단위로 360° 표시되어 있는 방위환으로써 1° 간격으로 회전시키면서 측정하였는데, 이 H자형 틀 끝 4곳에 약 500mm길이의

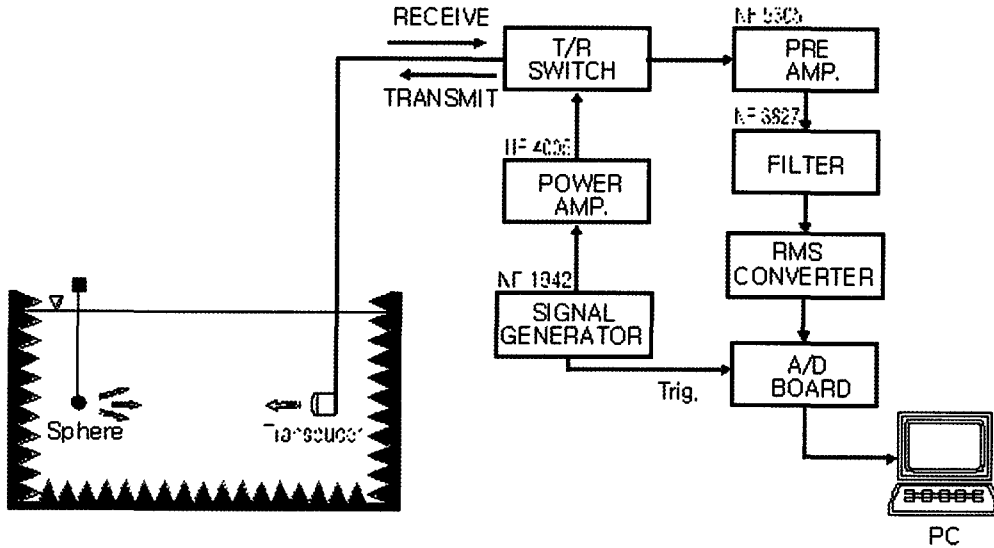


Fig. 1. Block diagram for measurement of target strength of standard sphere with the transducer.

가는 실을 묶고 그 실 끝에 실험어의 머리방향 2곳과 꼬리방향 2곳을 고정시켰다. 또, 회전시 실험어의 흔들림을 방지하기 위해 직경 1.5mm, 크기 340×220mm, 무게 30g의 직사각형 철봉을 추로 매달았다. 이 회전대와 송수파기는 수중의 자연상태와 같도록 하기 위해 송수파기와 실험어의 등지느러미 부분이 서로 마주보게 하였다.

송수파기의 송수신감도에 대한 Calibration은, Simrad사에서 제작한 직경 23mm의 황동구 (-40.6dB)를 이용하였다. 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같다.

신호발생기(NF, 1942)에서 나온 주파수 200kHz, 전압 3Vp-p, 펄스폭 0.1ms의 음파를 전력증폭기(NF, 4005)에서 150Vp-p 전압으로 증폭시킨 후 송수신절환장치(T/R switch)를 거쳐 송수파기로 음파를 송신하였다. 송신된 음파는 표준구에 반사되어서 송수파기로 되돌아오고 되돌아온 반사파는 송수파기에서 다시 수신된 후 송수신절환장치를 통과하고 전치증폭기(NF, 5305), 대역필터기(NF, 3627), RMS변환기 및 A/D보드(UNION-DATA, UAD-98MX)를 통하여 퍼스널 컴퓨터에 입력되어 수신전압 V_{rms} 가 측정됨과 동시에 플로피 디스크에 저장되게 하였다.

이렇게 측정된 수신전압 V_{rms} 와 송신전압으로

(1)식에 의하여 표준구의 반사강도(TS)를 계산하였다.

$$TS = EL - SL + 2TL - SR - GR \quad (1)$$

단, EL : Echo Level

SL : Source Level

TL : Transmission Loss

SR : Receiver Sensitivity

GR : Receiver Gain

(1)식에 의해 구하여진 표준구의 반사강도 측정치는 제작사에서 측정·제공된 실제치와 비교하여 송수파기의 송수신감도의 함에 대한 보정치를 구하였다. 실험어의 반사강도를 측정할 때는 표준구 대신에 자세변환 회전대에 설치된 실험어를 넣었으며, 표준구의 반사강도를 측정할 때 사용한 송수파기의 송수신감도에 보정치를 가감하여 사용하였다.

이러한 방법으로 실험어의 반사강도를 측정할 때는 실험전과 실험후에 반드시 표준구의 반사강도를 측정하여 송수파기의 송수신감도를 확인하였다.

3. 실험어의 등방향 반사강도

실험어의 등방향 반사강도를 측정하기 위해서 수조 안에서는 실험어의 입과 꼬리의 갈라진 부분을 연결하는 가상선과 송수파기의 진동면이 평행이 되었을 때의 실험어의 자세를 어류가 수중에서 같은 수심을 유영하는 자세로 보았다. 따라서 이때의 자세를 기준자세인 0°로 하여 측정하였으며, 머리를 아래방향으로 숙였을 때를 음의 값으로 하고 반대로 머리를 위로 향하였을 때를 양의 값으로 하였다. 대부분의 어류가 수중에서 유영수심을 이동할 경우 등수심 방향에서 상하 45° 이상의 유영자세로 이동하는 경우가 극히 적을 것으로 생각하여 반사강도의 측정각도도 상하방향 각각 47°까지 측정을 행하였다. 실험수조 내에서는 시계방향으로의 회전이 수중에서 아래로 향하는 유영자세이며 반 시계방향으로의 회전이 위로 향하는 방향이 된다.

(1)식에 의해 얻어진 각 실험어의 유영자세에 따른 반사강도 측정치를 전체 평균하여 실험어의 반사강도 평균치로 하였으며, 각 실험어류의 체장에 따른 반사강도 값은 (2-1)식으로 최소 자승법에 의해 구하였다.

$$TS = A + 20 \log L \quad (2-1)$$

단, L : 실험어의 체장 (cm)

A : 실험어의 단위 체장에 대한 반사강도

실험어의 체중에 대한 반사강도의 일반식은 실험

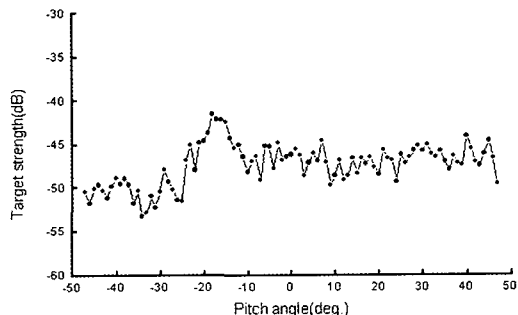


Fig. 2. Scattering diagram of average dorsal aspect target strength on total length for rock bream.

험어의 체장과 체중과의 관계식을 참고하고, 측정 및 계산하여 얻어진 실험어의 반사강도와 체중으로 (2-2)식에 의해 최소 자승법으로 구하였다.

$$TS = B + 20/3 \log W \quad (2-2)$$

$$L = kW/3$$

단, W : 실험어의 체중(g)

B : 실험어의 단위체중에 대한 반사강도

k : 실험어의 체장과 체중사이의 상수

結 果

1. 돌돔의 등방향 반사강도

반사강도가 최대인 때의 유영자세를 명확히 하

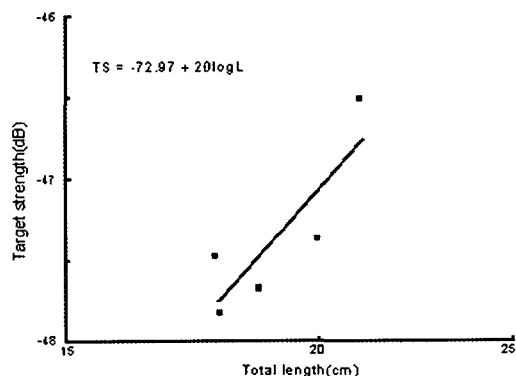


Fig. 3. Relation between average dorsal aspect target strength and total length for rock bream.

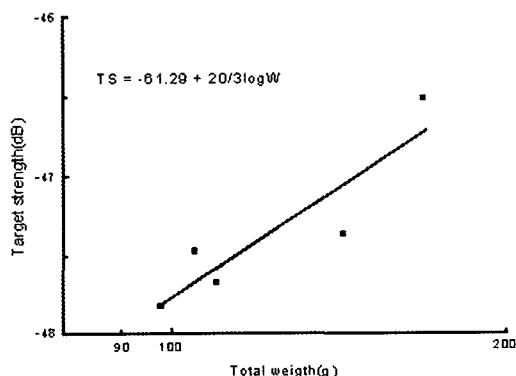


Fig. 4. Relation between average dorsal aspect target strength and total weight for rock bream.

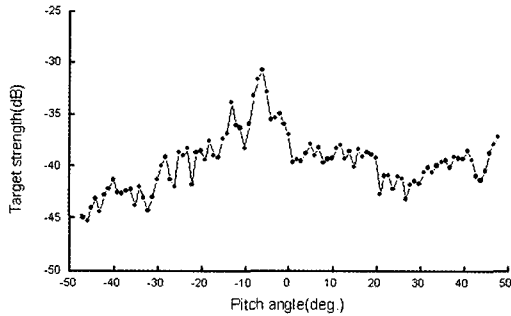


Fig. 5. Scattering diagram of average dorsal aspect target strength on total length for dusky spinefoot.

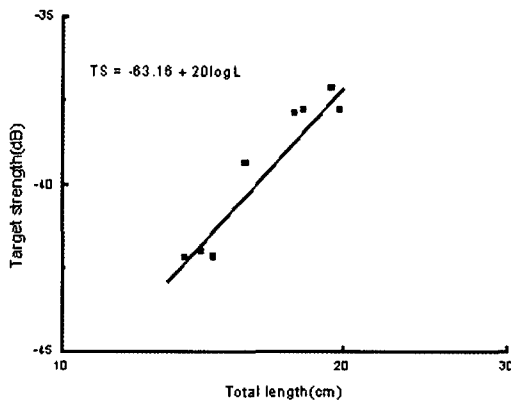


Fig. 6. Relation between average dorsal aspect target strength and total length for dusky spinefoot.

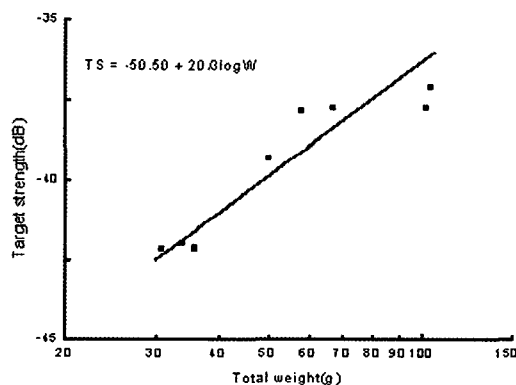


Fig. 7. Relation between average dorsal aspect target strength and total weight for dusky spinefoot.

기 위해 돌돔에 대한 등방향 반사강도를 유영자세 별로 평균한 값을 구하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2에서 반사강도는 -18° 에서 -41.50dB 로 최대치 값을 나타내었다. 따라서 돌돔에 대한 반사강도는 실험어의 자세가 $-17^\circ \sim -18^\circ$ 즉, 머리를 아래로 하여 수심이 깊은 쪽으로 유영할 때 최대로 나타났다.

실험어 돌돔에 대하여 각 개체의 유영자세별 반사강도를 평균하여 체장에 따라 나타낸 것은 Fig. 3과 같으며, 체중에 따라 나타낸 것은 Fig. 4와 같다. Fig. 3과 Fig. 4에서 체장과 체중이 증가함에 따라 실험어의 반사강도도 증가하는 것을 알 수 있으며 이들 반사강도의 측정치로써 실험어의 체장 및 체중과의 관계식을 최소 자승법으로 구하면 각각(2-3)식 및 (2-4)와 같다.

$$TS = -72.97 + 20 \log L \quad (2-3)$$

$$TS = -61.29 + 20/3 \log W \quad (2-4)$$

2. 독가시치의 등방향 반사강도

반사강도가 최대인 때의 유영자세를 더욱 명확히 하기 위해, 독가시치에 대한 반사강도를 유영자세 별로 평균을 구하였으며, 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 반사강도는 -6° 에서 -30.69dB 로서 최대치를 나타내었다. 따라서 독가시치에 대한 반사강도는 실험어가 $-6^\circ \sim -7^\circ$ 즉, 머리를 아래로 하여 수심이 깊은 쪽으로 유영할 때 최대로 나타났다.

모든 독가시치에 대하여 각 개체의 유영자세별 반사강도를 평균하여 체장에 따라 나타낸 것은 Fig. 6과 같으며, 체중에 따라 나타낸 것은 Fig. 7와 같다. Fig. 6과 Fig. 7에서 체장과 체중이 증가함에 따라 실험어의 반사강도도 증가하는데, 이들 반사강도 측정치로써 실험어의 체장 및 체중과의 관계식을 최소 자승법으로 구하면 각각 (2-5)식 및 (2-6)과 같다.

$$TS = -63.16 + 20 \log L \quad (2-5)$$

$$TS = -50.50 + 20/3 \log W \quad (2-6)$$

考 察

계량어군탐지기를 이용한 어업자원의 추정에는 어류의 등방향 반사강도가 그 기초자료가 되는데, 이것은 어종, 어체의 형상, 크기 및 부레등에 의해 크게 좌우된다. 일반적으로 어체의 머리가 아래로 약간 숙여져 있는 상태 즉, 바다에서 어류가 수심이 보다 깊은 쪽으로 유영하는 자세에서 반사강도의 값이 최대치를 나타낸다고 보고하고 있다(宮野鼻, 1995). 본 연구에서도 돌돔과 독가시치의 각 어체에 대한 반사강도는 실험어의 머리가 수평상태로부터 각각 $-12^{\circ} \sim -21^{\circ}$, $-1^{\circ} \sim -8^{\circ}$ 즉, 아래로 향하여 유영할 때에 최대치를 나타내었다. 그러나, 어류의 반사강도는 부레와 상관성이 있어서 반사강도의 최대치를 나타내는 어류의 자세는 그 어류가 가지고 있는 부레의 상태가 수평일 때라는 보고(宮野鼻, 1995)가 있는데, 실험결과 돌돔, 독가시치의 부레의 평균 경사각 24° , 16° 로 다소 차이가 있었다. 이것은 宮野鼻(1995)의 명태, 정어리, 고등어, 망치고등어, 방어, 참돔, 전갱이, 꽁치등의 반사강도와 向井 등(1993)의 동지나해에서 어획된 어종의 반사강도, 古澤(1990)의 방어의 반사강도, 李 등(1995)의 민어에 대한 반사강도인 경우 머리를 아래로 $18^{\circ} \pm 5^{\circ}$ 숙였을 때 최대 반사강도를 나타내며 옥돔과 자리돔의 경우(金, 1998)에 각각 $3 \sim 9^{\circ}$, $9 \sim 16^{\circ}$ 때 최대 반사강도를 나타낸다는 보고와 비슷하며, 측정시 진동자의 음축과 완전한 수직상태를 만들기 어려운 점과 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 의 자세변화에 따라 반사강도의 측정치가 상당한 차이를 보인다는 점 및 부레 경사각의 측정오차 등을 고려하면 거의 일치한다고 보아진다. 특히, 돌돔의 경우 부레의 경사각이 다른 어류보다 커서 반사강도의 최대치도 어체의 경사각이 다른 어류보다 큰 각도에서 나타났다.

어류의 반사강도는 부레이외에도 어류의 비만 정도와 신체의 크기 및 어체의 탄력성, 어류의 다양한 유영행동에 따라 그 값이 많이 변화한다. 그러므로 반사강도에 영향을 미치는 여러 요인을 잘 분석하고 파악하여 앞으로 계량어군탐지기를 이용한 자원량 추정방법의 정도향상을 위하여 기초자료로 활용할 수 있는 반사강도에 관한 다양한

연구가 지속적으로 추진되어야 한다.

이 실험은 단일어에 대한 반사강도를 연구·분석하였으나 여러 어종이 혼합되어 있는 우리나라 어장의 특성을 감안하여 앞으로는 단일어의 반사강도 연구와 함께 여러 어종이 혼합된 상태에 대한 반사강도등 복합적이고 다양한 연구가 필요하다.

要 約

계량어군탐지기에 의한 어류자원의 자원량 추정에 필요한 기초자료를 얻기 위하여, 우리나라 남해와 제주도 주변에서 많이 어획되는 돌돔과 독가시치의 두 어종에 대하여 어체의 유형자세별 등방향 반사강도를 제한법으로 측정하였으며, 분석한 결과를 요약하면 아래와 같다.

돌돔의 전장과 체중에 따른 평균반사강도를 나타내는 식은,

$$TS = -72.97 + 20 \log L$$

$$TS = -61.29 + 20/3 \log W \text{ 이었다.}$$

그리고, 독가시치의 전장과 체중에 따른 평균반사강도를 나타내는 식은,

$$TS = -63.16 + 20 \log L$$

$$TS = -50.50 + 20/3 \log W \text{ 이었다.}$$

주파수 $200kHz$ 용 송수파기에 의해 제한법으로 측정된 모든 실험어의 유영자세별 반사강도의 최대치는 돌돔인 경우 $-12^{\circ} \sim -21^{\circ}$, 독가시치인 경우 $-1^{\circ} \sim -8^{\circ}$ 로 머리를 아래로 향하여 보다 깊은 수심으로 유영하여 가는 자세에서 최대치가 나타났다.

실험어에 대한 반사강도를 유영자세별로 평균한 결과, 실험어의 최대 반사강도는 돌돔의 경우 -18° 에서 $-41.50dB$ 이며 독가시치의 경우 -6° 에서 $-30.69dB$ 로 나타났다.

參考文獻

- Foote, K. G.(1980) : Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish(a comparison of gadoid and mackerel target strengths), *J. Acoust. Soc. Am*, 67, 2084~2089.

- Foote, K. G.(1987) : Fish target strength for use in echo integretor surveys, *J. Acoust. Soc. Am*, 82, 981~987.
- 古澤昌彦(1990) : 水産資源量推定のための超音波による魚群探知機に関する研究, 日本水産工學 研究報告, 11, 174~245.
- 김승필(1998) : 옥돔과 자리돔의 등방향 반사강도에 관한 연구, 제주대학교 대학원 석사학위 논문.
- 김수암(1991) : 水産資源平價論, 祐成文化社, 41~47, 137~139.
- 宮野鼻洋一・石井憲・鈴木秀彌・高尾芳三・古澤昌彦(1989) : 音響資源調査方法の高度化のための調査・研究, 昭和62年度漁業資源評價システム高度化調査結果報告書, 水産廳研究部, 316~344.
- 宮野鼻洋一・澤田浩一・古澤昌彦・高尾芳三・鈴木秀彌(1990) : 音響資源調査方法の高度化のための調査・研究, 昭和62年度漁業資源評價システム高度化調査結果報告書, 水産廳研究部, 355~381.
- 宮野鼻洋一(1995) : 魚の音響散亂, 海洋音響學會誌, 22(2), 94~101.
- 向井徹・鈴木恒由・佐野典達・飯田浩二(1988) : ヒメマスのターゲットストレング스에 宥ぼす鰾の影響について, 北大水産學部研究語彙集, 39(2), 106~114.
- 向井徹・佐野典達・飯田浩二・佐マ木成二(1993) : 東シナ海で漁獲された魚の背方向ターゲットストレングスと鰾との關係, 日本水産學工學會誌, 60(2), 215~222.
- 辛亨鎰・李吳在・尹甲東・梁龍林・黃斗濤(1991) : 魚體의 超音波 散亂特性에 관한 研究, 漁業技術學會誌, 27(1), 21~30.
- 李吳在(1991) : 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究 - I, 漁業技術, 27(1), 1~12.
- 李吳在(1991) : 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究 - II, 漁業技術, 27(1), 13~20.
- 李吳在・申亨鎰・辛炯浩(1995) : 音響에 의한 魚族生物의 資源調査, 漁業技術, 31(2), 142~152.