

부레가 어류의 등방향 반사강도에 미치는 영향에 관한 연구- I

안장영 · 정용진 · 강창익

제주대학교
(2001년 7월 21일 접수)

Study on the Influence of the Swim Bladder on Dorsal Aspect Target Strength of Fishes- I

Jang-Young Ahn, Yong-Jin Chung and Chang-Ik Kang

Cheju National University
(Received June 4, 2001)

Abstract

Dusky spinefoot, *Siganus fuscescens* live primarily in shore reefs with sea weeds, like around Jeju Island in Korean south sea. Therefore they are caught much by set net in the coast of Jeju Island.

We carried out measurements of the dorsal aspect target strengths of Dusky spinefoot in order to study the influences of swim bladder for fishes, and have obtained some desired results though not sufficiently complete as comparison with target strengths of fishes before and after the air gas in the swim bladder of fish is taken off by an injector. The appropriate equations share the common form

$$TS = A + 20 \log L, \quad TS = B + 20/3 \log W$$

where TS is the average dorsal aspect target strength in decibels, L is the fish total length in centimeters, W is the fish total weight in grams, and the coefficient A and B are determined by a least mean squares regression analysis.

The results obtained before the air gas in the swim bladder of fish is taken off are

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

$$TS = -50.50 + 20/3 \log W$$

and, the results obtained after the air gas in the swim bladder of fish is taken off are

$$TS = -65.29 + 20 \log L$$

$$TS = -52.62 + 20/3 \log W$$

As above result, the differences of target strengths before and after the air gas is taken off from swim bladder are 2.12~2.13 dB, but the maximum difference of target strengths of both cases averaged according to the fish aspects from -45° to 45° is 5.87 dB, and the average difference of them is 2.01 dB.

이 논문은 2000년도 제주대학교 두뇌한국21 사업에 의하여 지원되었음.

서 론

최근 세계 각국은 배타적 경제수역(EEZ)을 설정하고 또한 자국 영해의 어류자원의 감소를 우려하여 TAC제도를 도입하려는 등 새로운 어업관리 제도의 확립에 심혈을 기울이고 있다. 특히 우리나라에서는 어선간의 상호 경쟁적인 조업을 지양하면서 감소하는 자원을 관리하고 보호하기 위해 어선의 감척사업도 병행하고 있다.

이러한 새로운 어업관리제도의 도입과 원활한 추진을 위해서는 어업 자원량의 파악이 대단히 중요하다. 더구나 이것은 넓은 해역에 걸쳐 동시성을 가지고 비교적 신속 정확하게 할 수 있어야 하는데, 이와 같은 목적으로는 초음파를 이용한 개량어군탐지기(신등, 1991; 古澤, 1990)의 탑재선박으로 동시 다발적 조사에 의한 자원량 추정방법이 효과적일 것이다. 그러나, 이 과정에는 기초 자료로서 조사해역에 서식하고 있는 각종 어류의 단일 어체에 대한 반사강도가 반드시 필요하게 될 뿐 아니라 초음파를 이용한 어류의 자원량 추정(이등, 1991:1995) 쉬운 일은 아니다. 더욱이 어류의 등방향 반사강도는 같은 어종 일지라도 어류의 분포수심, 유영자세 및 어체의 형상과 크기 등에 따라 다양하게 나타나기 때문에 어류의 자원량 추정에도 상당한 오차가 개입된다.

그런데, 단일 어체에 대한 반사강도는 또한 부레에 의한 영향이 크다고 알려져 있으며, 부레의 유무, 부레의 형상, 크기 및 경사각에 따라서 그 반사강도의 변동도 상당히 크다(宮野鼻, 1995; 向井등, 1988)고 한다. 일반적으로 어체의 반사강도는 머리를 아래로 약간 숙인 상태 즉, 바다에서 어류가 수심이 보다 깊은 쪽으로 유영하는 자세에서 최대치를 나타낸다는 보고(向井등, 1993; 김등, 1998)가 많은데, 이는 어류의 등지느러미가 수평상태일 때 보다 어체가 해저쪽으로 향하고 있는 상태일 때가 어체 속의 부레의 장방향 축이 음축과 수직상태가 되기 때문으로, 그 만큼 어체의 반사강도에 대한 부레의 영향이 크다는 것을 뜻한다. 그러나 그 영향의 정도에 대한 폭이 상당히 광범위한 것(宮野鼻, 1995)으로 알려져 있어 그 정도를 정확히 알아 둘 필요가 있다.

본 연구에서는 어류의 부레가 어체의 등방향 반사강도에 어느 정도 영향을 미치는가를 조사하

기 위하여, 단일어의 등방향 반사강도의 특성을 실험적으로 검토하는 데 적합한 방법으로 실험어를 수중에 매달아 측정하는 제한법을 사용하고, 어체의 부레속에 있는 가스를 제거하는 방법으로 주사기에 의한 제거방법을 택하여, 부레속의 가스를 제거하기 전과 후의 등방향 반사강도를 측정하여 비교·분석하였다.

재료 및 방법

실험어는 제주도 연안 정치망에서 어획된 독가시치로서 Table 1과 같이 크기별로 10마리를 선택하여 측정에 사용하였으나 X-ray 촬영 결과 2마리는 부레속의 가스제거가 완전하지 않은 것이어서 자료에서 제외하였다. 어체의 등방향 반사강도 측정에 사용한 송수파기는 주파수 200 kHz용의 TOKIN제로서 직경 90 mm의 원형 송수파기(TGM 50-200-10L)이었다.

어류의 등방향 반사강도는 수중에서의 유영자세에 따라 달라지므로 갖가지 자세에 대응하기 위하여 수조 내에서도 자세변환 회전대를 제작하여 실험어를 설치하였다. 이 회전대는 H자형 틀 끝 4곳에 약 500 mm길이의 가는 실을 묶고 그 실 끝에 실험어의 머리방향 2곳과 꼬리방향 2곳을 고정시켰다. 또, 회전시 실험어의 흔들림을 방지하기 위해 직경 1.5 mm, 크기 340×220 mm, 무게 30g의 직사각형 철사를 추로 매달았다. 이 회전대와

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

No	Total length (cm)	Body weight (g)
a	13.5	31
b	14.1	34
c	14.5	36
unused	(14.2)	(40)
unused	(14.7)	(45)
d	15.7	50
e	17.7	58
f	18.1	67
g	19.8	102
h	19.4	104
Average	16.6	60

송수파기는 수중의 실제 측정상태와 같도록 하기 위해 송수파기와 실험어의 등지느러미 부분이 서로 마주보게 하였다. 유평자세는 1° 간격으로 변환하면서 등방향 반사강도를 측정하였다.

등방향 반사강도의 측정은 Fig. 1과 같이 구성된 측정장치로 하였으며, 부레에서 가스를 제거하기 전후의 실험조건 및 상황을 가급적 동일하게 하기 위하여 실험전에 실험어에 대한 크기측정과 부레의 위치, 크기, 모양 등을 파악할 수 있도록 먼저 제주대학교 부속 동물병원에서 실험어의 X-ray(DXG-525RF)촬영을 하였다. 그 후 수조내에서 부레 제거전의 등방향 반사강도의 측정을 하고, 측정이 끝나면 실험어를 회전대에서 떼어내지 않고 실험어만 조심스럽게 끄집어내서 미리 촬영해 놓은 X-선 사진을 참고하여 부레속의 가스를 소형주사기(3cc, 24Gage)로써 제거하였다. 부레속의 가스를 제거한 후는 실험어를 그대로 실험수조에 다시 넣어서 가스 제거전과 동일한 방법으로 등방향 반사강도를 측정하였다.

여기서 사용한 등방향 반사강도(TS)의 산출식은 다음과 같다.

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

- 단. EL : Echo Level
- SL : Source Level
- TL : Transmission Loss
- SR : Receiver Sensitivity
- GR : Receiver Gain

등방향 반사강도측정이 끝난 후 바로 X-ray 촬영을 다시 하여 부레속에 있는 가스가 제거되었는지를 확인한 후 부레속의 가스가 거의 제거되었다고 판단되는 8마리의 등방향 반사강도의 자료만 어체의 등방향 반사강도에 대한 영향도 분석에 사용하였다.

실험어의 등방향 반사강도는 송수파기의 음축 방향과 실험어의 길이방향 중심선이 수직이 되었을 때의 실험어의 자세가 등수심을 유평하는 자세로서 이때의 자세를 기준자세로 보고 0°로 하였다. 그리고 머리를 아래방향으로 숙였을 때를 음의 값으로 하고 반대로 머리를 위로 향하였을 때를 양의 값으로 하였다. 대부분의 어류가 수중에서 유평수심을 이동할 경우 등수심 방향에서 상하 45° 이상의 유평자세로 이동하는 경우가 극

히 적을 것으로 생각하여 반사강도의 측정각도도 상하방향 각각 45°까지 측정하였다.

실험어의 반사강도 평균값은 (1)식에 의해 얻어진 각 실험어의 유평자세 별 반사강도 측정치를 모두 평균한 값이며, 각 실험어의 체장에 따른 반사강도는 이 평균값을 이용하여 (2-1)식에 의해 구하였다.

그리고 실험어의 체중에 대한 반사강도는 실험어의 체장과 체중과의 관계를 참고하면서 측정 및 계산하여 얻어진 실험어의 반사강도와 체중을 이용하여 (2-2)식에 의해 구하였다.

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

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

$$L = kW/3$$

- 단. L : 실험어의 체장 (cm)
- W : 실험어의 체중 (g)
- A, B : 실험어의 단위 체장 및 체중에 대한 반사강도 계수
- k : 상수

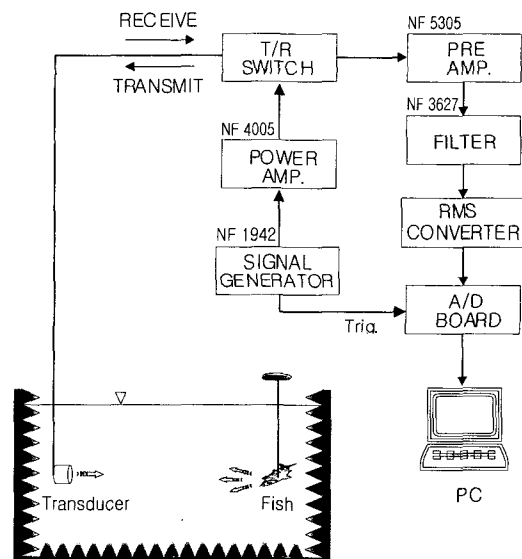


Fig. 1. Block diagram for the calibration of transducer by standard sphere with copper and measurement of dorsal aspect target strength of fishes.

결 과

8마리의 독가치시에 대해서 부레속의 가스를 제거하기 전후의 단일 어체에 대한 등방향 반사강도의 측정결과를 유영자세별로 평균한 것은 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 부레에서 가스를 제거하기 전의 최대 등방향 반사강도는 유영자세가 -6° 일 때 -30.69 dB 로 나타났으며, 부레속의 가스를 제거하고 난 후의 최대 등방향 반사강도는 같은 유영자세인 -6° 에서 -36.49 dB 로서 5.80 dB 차이를 나타내었다.

어류의 등방향 반사강도는 유영자세의 변화에 아주 민감한 반응을 보이고 있어 측정치에 대한

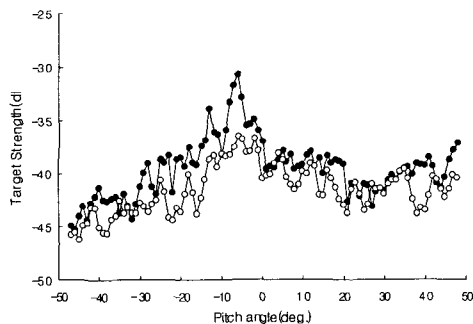


Fig. 2. Comparison of dorsal aspect target strengths between before(●) and after(○) the gas in the swim bladder was taken off.

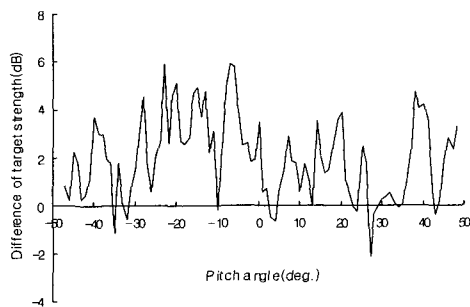


Fig. 3. Average differences between dorsal aspect target strengths before and after the gas was taken off from the swim bladder.

신뢰성의 문제가 있으므로, 어체의 머리를 위로 향하여 떠오르는 유영자세인 $+20^\circ$ 에서부터 머리를 아래로 향하여 깊은 수심으로 향하는 자세인 -20° 까지 반사강도를 평균하여 보면, 부레속의 가스를 제거하기 전후의 값은 각각 -35.17 dB 과 -39.77 dB 로서 4.60 dB 의 차이를 나타내었으며, 유영자세 $\pm 45^\circ$ 까지의 전 방향에 대한 등방향 반사강도를 평균하면 각각 -39.51 dB 과 -41.52 dB 로서 2.01 dB 의 차이를 보였다. 그리고 등방향 반사강도의 최대치는 두 경우 모두 -6° 의 유영자세로서 머리를 수평보다 아래로 향하였을 때이지만, 최대치를 보인 자세에서 더욱 아래로 향할수록 등방향 반사강도의 감소율은 머리를 위로 향하였을 때보다 컸으며, 머리를 아래로 향하였을 때보다는 머리를 위로 향하였을 때가 대체적으로 크게 나타나는 경향을 보였다.

부레가 등방향 반사강도에 미치는 영향을 구체적으로 알기 위하여 부레속의 가스를 제거하기 전후의 반사강도의 차이를 유영자세별로 나타낸 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3에서 부레속의 가스를 제거하기 전후의 등방향 반사강도에 대한 최대차는 유영자세 -23° 에서 5.87 dB 이었으며, -7° 에서 5.85 dB , -6° 에서 5.80 dB 이었다. 가스의 제거 전후의 등방향 반사강도의 차이는 대체로 머리를 아래로 향하였을 때 비교적 크게 나타나는 반면에 위로 향하였을 때 작게 나타나는 경향을 보였다. 그리고 부레속의 가스를 제거한 후가 가스를 제거하기 전의 등방향 반사강도보다 크게 나타난 경우도 있어서, 27° 에서 -2.12 dB , -35° 에서 -1.15 dB 이었다.

이상에서 부레의 가스를 제거하기 전의 등방향 반사강도는 유영자세에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 제거한 후의 반사강도보다 전체적으로 높게 나타났으며, 평균 약 2 dB 정도 높았다. 이 실험의 결과에서 부레는 등방향 반사강도에 상당한 역할을 하고 있는 것을 알 수 있었으며, $\pm 30^\circ$ 전후의 유영자세에서 부분적으로 반사강도의 역전 현상도 나타났다.

8마리의 독가치시에 대한 등방향 반사강도의 측정치를 이용하여 이 어종에 대한 크기에 따른 등방향 반사강도의 산정식을 구함으로써 부레속

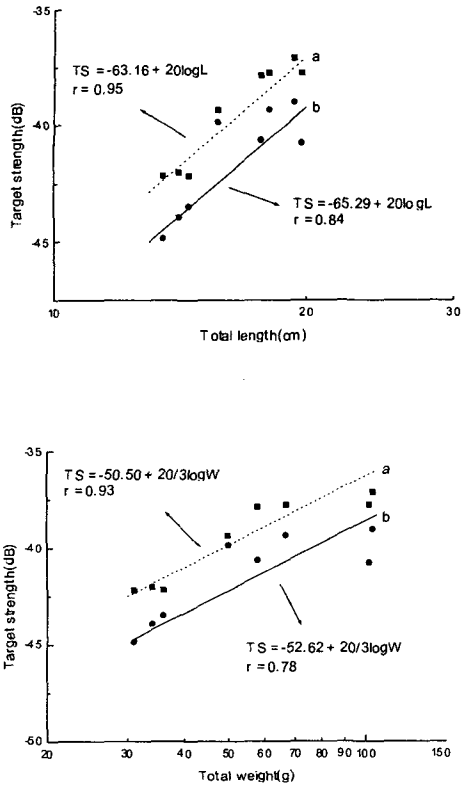


Fig. 4. Relationships between average target strengths and total length(upper) and weight(lower) of Dusky spinefoot before(dot line) and after(solid line) the gas was taken off from the swim bladder.

의 가스를 제거하기 전후의 반사강도를 비교·분석하기 위해, 각 개체별로 실험어의 유영자세별 등방향 반사강도를 평균하여 체장과 체중에 따라 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에 나타난 실험어의 체장 및 체중에 따른 등방향 반사강도의 평균값으로 회귀 직선식을 구하면 다음 식과 같다. 부레속의 가스를 제거하기 전의 체장 및 체중에 따른 평균 등방향 반사강도의 관계식은

$$TS = -63.16 + 20\log L \quad (3-1)$$

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

이었고, 부레속의 가스를 제거한 후의 체장 및 체중에 따른 평균 등방향 반사강도의 관계식은

$$TS = -65.29 + 20\log L \quad (3-3)$$

$$TS = -52.62 + 20/3\log W \quad (3-4)$$

이었다.

이들 관계식에서도, 가스를 제거한 후의 반사강도가 낮게 나타났는데, (3-1)식과 (3-3)식에서 체장에 따른 등방향 반사강도는 전체적으로 2.13 dB 차이가 있었고, (3-2)식과 (3-4)식의 체중에 따른 결과식에서도 2.12 dB 차이를 나타내었다.

고찰

부레를 가지고 있는 어류는 그 부레가 음향학적 반사강도에 많은 영향을 미치고 있다. 독가시치인 경우 체고가 비교적 높고 두께가 얇은 어류이어서 음향학적 유효반사면적도 비교적 적다. 부레에 가스가 있을 때와 주사기로 가스를 제거한 후에 측정된 유영자세별 등방향 반사강도의 차이는 Fig. 3에서와 같이 -23° 에서 5.87 dB, -7° 에서 5.85 dB, 27° 에서 -2.12 dB 등, 유영자세에 따라 변화가 심하나 평균값으로는 2.01 dB로서 주사기로 가스를 제거한 후의 측정치가 낮게 나타났다. 이는 부레가 있는 어류가 부레가 없는 어류보다 반사강도가 10 dB 이상 높을 뿐만 아니라 어류의 반사강도에서 부레가 미치는 영향이 90~95% 정도라고 보고한 (Foote, 1980)의 결과와는 다소 차이가 있었으며, 宮野鼻(1995)가 보고한 3~10 dB 정도 낮아진다는 결과와도 약간의 차이를 보였다. 그러나, 본 논문에서도 부레가 반사강도에 미치는 영향을 확인하기 위해 부레속의 가스를 제거하기 위한 방법으로 칼로 복부를 절개해서 제거하는 방법, 부레에 물을 주입시켜 터트리는 방법, 부레속의 가스를 주사기 주입시켜로 빼내는 방법 중에 어체를 가급적 손상시키지 않으면서, 또 물 주입시 외부공기가 유입될 우려가 없다고 판단되는 주사기에 의한 가스 제거법을 택하였는데, 이 과정에서 부레 안에 들어 있는 가스를 어체의 손상없이 완전히 제거한다는 것이 극히 어려웠으며 Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 약간의 가스가 잔존하기도 하고 부레이외에 입 주위나 주사기로 찌른 부분에 미량의 공기방울이 남아 있는 경우도 있었다. 가스가 많이 남아있는 Fig. 5(a-1), (b-1)의 두 번째와 세 번째 실험어의 두 마리는 자료분석에서 제

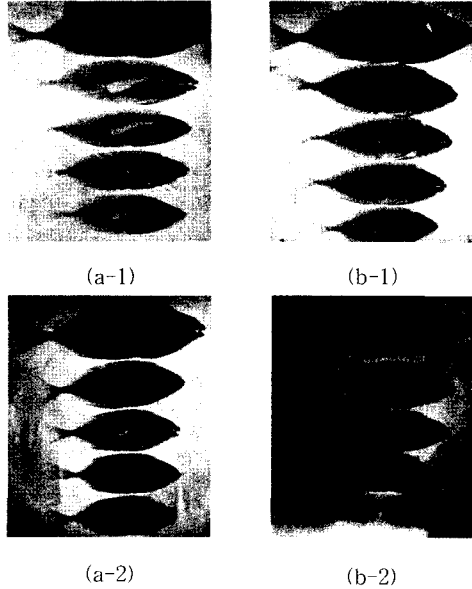


Fig. 5. X-ray photographs of Dusky spinefoot before(a-1,2) and after(b-1,2) the gas was taken off from the swim bladder.

외시커 오차를 줄였으나 네 번째와 다섯 번째의 실험어에서는 약간의 오차가 개입되었으리라 생각된다. Fig. 3에서, 어체의 유평자세가 $\pm 30^\circ$ 부근에서 부레의 가스를 제거하기 전후의 등방향 반사강도의 차이는 예상과 다른 특이한 역전현상을 보이고 있는데, 이러한 현상은 부레 이외의 다른 요인이 있을 개연성을 나타낸다고 보아진다.

어류의 반사강도는 부레이외에도 어류의 비만 정도와 신체의 크기 및 어체의 탄력성, 어류의 다양한 유평행동에 따라 그 값이 많이 변화한다. 그러므로 이 연구에서 중점적으로 분석한 부레와 등방향 반사강도와와의 관계이외에도 앞에서 열거한 반사강도에 영향을 미치는 여러 요인을 잘 분석하고 파악하여 앞으로 계량어군탐지기를 이용한 자원량 추정방법의 정도향상을 위하여 기초자료로 활용할 수 있는 어류의 음향학적 반사강도에 관한 다양한 연구가 지속적으로 이루어지는 것이 요망된다.

요 약

부레를 가지고 있는 어류는 그 부레가 반사강

도에 많은 영향을 미치고 있다. 해중에서 어류의 부레가 등방향 반사강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 제주도 주변 정치망에서 어획된 독가시치 8마리에 대하여 200 kHz 송수파기를 이용하여 등방향 반사강도를 측정하였다. 등방향 반사강도에 대한 부레의 역할 정도에 관한 조사를 위해서는 X-ray 사진을 이용하여 주사기로서 부레의 가스를 제거하기 전후의 등방향 반사강도를 비교·분석 하였다.

독가시치의 유평자세별 등방향 반사강도의 최대치는 수평상태에서 6° 만큼 머리를 아래로 향하여 보다 깊은 수심으로 유평하여 가는 자세에서 -30.69 dB 이었다.

부레속에 가스가 있을 때의 실험어의 전장과 체중에 따른 평균 등방향 반사강도를 나타내는 식은 각각,

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

$$TS = -50.50 + 20/3 \log W$$

이었다. 또한 부레속의 가스를 제거한 후 실험어의 전장과 체중에 따른 평균 등방향 반사강도를 나타내는 식은 각각,

$$TS = -65.29 + 20 \log L$$

$$TS = -52.62 + 20/3 \log W$$

으로서 전장과 체중에 대하여 모두 2.12~2.13 dB의 차이가 있었다.

독가시치는 부레속의 가스를 제거하기 전의 등방향 반사강도가 제거한 후보다 최고 5.87 dB, 평균 2.01 dB 높았는데, 이는 회귀직선식으로 구한 차이와 거의 같은 값이었다. 그러나, $\pm 30^\circ$ 전후의 유평자세에서 부분적으로 반사강도의 역전현상이 나타났으며, 유평자세 27° 에서 2.12 dB 이나 낮게 나타났다.

참고문헌

- Foote, K. G. (1980): Importance of the swim bladder in acoustic scattering by fish: a comparison of gadoid and mackerel target strength, J. Acoust. Soc. Am. 67, 2084-2089.
- 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, 석사학위논문, 제주대학교.
- 李吳在(1991): 魚群探知機에 의한 魚群量推定에 관한 基礎的 研究-I, 韓國漁業技術學會誌, 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, 韓國漁業技術學會誌, 27(1), 13~20.
- 李吳在 · 辛亨鎰 · 申炯浩(1995): 音響에 의한 魚族生物의 資源調査, 韓國漁業技術學會誌, 31(2), 142~152.
- 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スにばす鯨の影響について, 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 · 佐々木成二(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鯨との關係, 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, 韓國漁業技術學會誌, 27(1), 21~30.