

볼락의 형태학적 특징과 음향반사강도 특성

황 보 규

군산대학교 해양생산학과

Morphological Properties and Target Strength Characteristics for dark banded rockfish (*Sebastes inermis*)

Bo-Kyu HWANG

Dept. of Marine Science & Production, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

Morphological properties of dark banded rockfish (*Sebastes inermis*) were analysed to investigate its acoustic scattering characteristics. Total of 18 live samples was prepared for X-ray photos and collected morphological coordinates of their body and swim bladder shapes. Kirchhoff-ray mode model was used to calculate acoustic scattering pattern for broad-band frequency range. Inclination of swim bladder ranged from 17 to 30 and the averaged value was about 25.2° (S.D.(standard deviation)=3.15). There were no any tendency of increase or decrease in volume and area ratio of swim bladder to fish body and ranged from 2.2 % to 4.43 % and 14.85 % to 21.31 %, respectively. The averaged value of volume and area ratio was 3.13 % (S.D.=0.52) and 17.6 % (S.D.=1.5). b_{20} values were -69.01 for 38 kHz, -69.83 for 70 kHz, -70.17 for 120 kHz and -70.93 for 200 kHz, respectively. Broadband acoustic patterns of dark banded rockfish for 20 ~ 200 kHz were similar among samples and they reflected size and morphological properties of fish species.

Keywords: Target strength, Kirchhoff-ray mode model, Dark banded rockfish, Broadband

서 론

음향 시스템에 의한 수중생물의 자원조사법은 70년대 후반부터 본격화되기 시작하여, 우리나라에서도 수 많은 어족자원의 현존량 추정과 관리를 위해 사용되고 있다. 음향시스템에 의한 어업자원조사는 그것이 수중 깊은 곳에 있는 어류를 탐지하는 일종의 원격탐사의 형태를 가지고 있고, 그 탐지 결과가 음향신호의 레벨로써 나타나기 때문에 원격으로 탐지한 대상생물의 확인을 위하여, 어구에 의한 채집을 병행하는 것이 일반적

이다 (Kim et al, 2011; Lee et al., 2012). 이러한 이유로 과학어군탐지기로 대표되는 음향자원조사 시스템을 이용한 어업자원조사에 있어서, 어구와 같은 직접적인 샘플링 없이 음향시스템 만으로 대상생물을 확인하여 독자적인 어업자원조사를 수행하는 조사기법의 개발은 수산음향 연구의 오랜 목표가 되었다.

과거 단일 빔 및 단일주파수에 의존하여 이루어져 왔던 음향자원조사는 센서기술과 데이터 처리기술의 발전에 힘입어, 복수의 빔과 복수의 주파수를 활용하여

*Corresponding author: bkhwang@kunsan.ac.kr, Tel: 82-63-469-1812, Fax: 82-63-469-4775

탐지하는 기술로 발전을 거듭하여 수중생물로부터 더 많은 정보를 얻기에 이르렀다. 복수의 빔을 활용한 조사법은 음향센서로부터 음향빔의 지향특성을 보정하여 레벨을 측정할 수 있게 되었을 뿐만 아니라, 대상생물의 상대적 위치를 파악하거나 유영속도를 추정하는 기술 등으로 발전하였고, 복수 주파수법은 분리된 협대역 주파수의 음향산란레벨을 수집하여, 대상생물의 광대역 음향산란특성과 비교함으로써, 어종 또는 크기를 추정하는 방법으로 발전하였다.

복수주파수를 활용한 연구는 어종식별을 위해 많은 연구가 이루어 졌으나, 어류 생물의 음향산란 특성과 사용주파수의 파장과 개체의 크기의 관계 (L/λ)에서 특징적인 정보를 얻는 데에는 한계를 가짐으로써 (Horne and Jech, 1999), 2주파수법 만이 극히 제한적인 상황에서 유용함이 인정되어 활용되고 있다. 한편, 최근에는 기존의 협대역의 복수주파수를 이용한 조사에서 벗어나, 광대역 음향시스템을 통한 계측기법에 대한 연구가 수행되고 있다. 광대역 음향산란특성의 활용은 돌고래가 광대역의 명음을 이용하여 수중생물을 파악하는 생물 소나의 능력으로부터 착안하여, 광대역 주파수를 가지는 인공소나 시스템을 개발하여 광대역 송신 신호로부터 수신된 신호에서 대상생물의 특징을 찾아내고자하는 연구가 활발히 진행되고 있다 (Imaizumi et al., 2008).

음향시스템을 이용하여 수중생물을 계측하는 기법에서 무엇보다도 먼저 파악되어야 할 것은 대상생물의 음향산란특성이다 (Lee and Shin, 2005). 과거에는 협대역 주파수에 대한 음향산란특성, 즉 사용주파수에 대한 최대 또는 평균 음향반사강도 (Target strength, 이하 TS)만을 파악하여, 대상생물을 파악하거나 자원량을 추정하는 파라미터로 활용되어 왔으나, 최근 다주파 시스템 및 광대역 시스템이 개발되어 활용되기 시작함으로써 (Lee et al, 2014), 대상생물의 광대역 음향산란특성을 파악해야 할 필요성이 대두되었다.

수중생물의 광대역 음향산란특성을 파악하기 위해서는 광대역시스템에 의한 실측을 통하여 파악할 필요가 있다. 그러나, 광대역 시스템에 의한 실측을 수행하기 위해서는 측정 이전에 대상생물의 산란특성을 예측함으로써 실측과정에서의 오류를 없애고, 실측 후에 실측값들에 대한 적절한 검증을 수행할 필요가 있다. 협대역 주파수에 의한 측정값들도 광대역 시스템의 실측값

을 예측하고 검증을 위해 활용될 수 있지만, 정확도 높은 광대역 음향산란패턴을 다른 방법을 통하여 사전에 파악할 수 있다면, 많은 시간과 노력이 필요한 TS 실측 과정에 오류를 피할 수 있기 때문에 중요하다.

본 연구에서는 바다목장해역의 주요 어종인 볼락에 대하여, 음향산란과 관련한 어류의 형태적 특성을 분석하고, 협대역 및 광대역 음향산란특성을 추정하여 검토함으로써, 어류의 음향산란특성에 대한 이해와 광대역 음향산란특성의 측정에 있어서 기초적인 정보를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

Clay and Horne (1994)은 어류의 체조직과 부레를 유한원통요소로 근사하는 Kirchhoff-ray mode model (이하, KRM모델)을 개발하고, 실측치와 비교하여 모델의 실용성을 확인하였다. KRM모델은 어류의 몸체는 유체의 유한원통 (fluid-filled cylinder) 요소들로 형상화하고, 부레는 기체의 유한원통 (gas-filled cylinder) 요소들로 형상화한다. 어류의 몸체와 부레로부터의 산란되는 음향 에너지는 각각의 유한원통으로 부터의 음향산란진폭의 합으로 계산되는데, 어류 몸체로부터의 음향산란진폭 (\mathcal{L}_{body})은 다음 식과 같다.

$$\mathcal{L}_{body} = f(f_r, \theta_{tilt}, S_b, \rho_w, \rho_b, c_w, c_b) \quad (1)$$

여기서, f_r 은 주파수, S_b 는 지느러미를 제외한 몸체의 형상, θ_{tilt} 는 음파의 입사각, ρ_w, ρ_b 는 각각 해수밀도와 체조직의 밀도, c_w, c_b 는 각각 해수와 몸체의 음속이다. 그리고, 부레의 음향산란 진폭 ($\mathcal{L}_{swim bladder}$)은

$$\mathcal{L}_{swim bladder} = f(f_r, \theta_{tilt}, S_{sb}, \rho_w, \rho_{sb}, c_w, c_{sb}) \quad (2)$$

으로 표현되는데, 여기서 $S_{sb}, \rho_{sb}, c_{sb}$ 는 각각 부레의 형상, 밀도, 음속이다. 따라서, 어류 전체로부터의 음향산란 진폭 (\mathcal{L}_{fish})은

$$\mathcal{L}_{fish} = \mathcal{L}_{body} + \mathcal{L}_{swim bladder} \quad (3)$$

가 되며, 최종적으로 얻고자 하는 어류 전체로부터의 음향산란진폭 \mathcal{L}_{fish} 와 TS (dB)의 관계는

$$TS = 10 \log_{10} |\mathcal{L}_{fish}|^2 \quad (4)$$

로 구할 수 있다.

KRM 모델을 이용하여 어류의 음향산란을 계산하기 위해서는 어류 몸체 및 부레의 형상을 추출해야 하는데, 어류 몸체와 부레 형상에 대한 좌표값은 X-ray 화상으로부터 추출된다. 본 연구에 대상으로 한 볼락의 샘플은 경남 통영 욱지도에서 정치망에 어획된 것으로서, 체장이 10.8cm~15.5cm인 총 18마리를 이용하였다 (Fig.1). 샘플 어류는 활어조에서 살아 있는 상태에서 부레 형상의 변화가 최소화될 수 있도록 급속냉동법을 이용하여 냉동한 후, X-ray 촬영을 실시하였다. 먼저 샘플 어류의 체장을 잴 다음, X-ray 촬영기를 이용하여 옆면과 배면에 대하여 각각 1장의 사진을 촬영하였다. 이 X-ray 화상은 Matlab (Matlab 7.10.0, MathWorks)으로 제작한 디지털링 프로그램을 이용하여 몸체와 부레의 좌표값을 추출하였는데, 몸체의 형상추출시 지느러미는 제외되었으며, 디지털링시의 간격은 약 1~3 mm였다 (Fig.2).



Fig. 1. dark banded rockfish (*Sebastes inermis*).

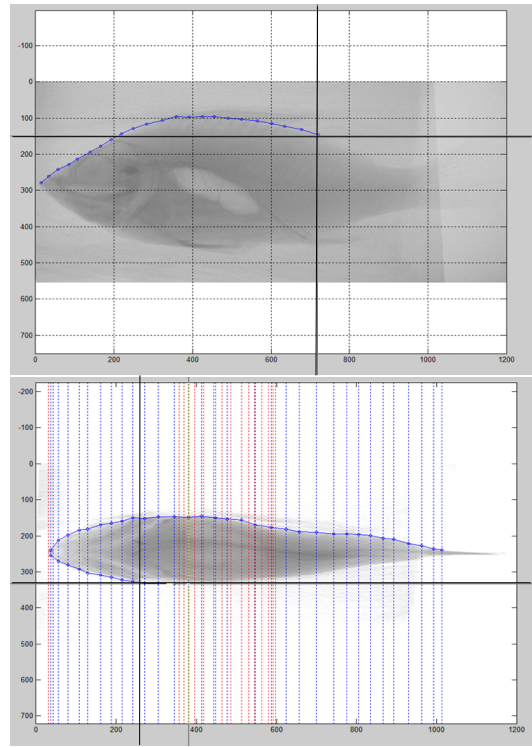


Fig. 2. Example of digitizing process for lateral and ventral X-ray photo.

어류로부터 추출한 옆면과 배면에 대한 몸체와 부레의 형상 좌표는 원통의 형태로 3차원으로 모델화 된 어류의 형상을 Fig. 3에 나타내었다. 어류의 3차원 모델은 그림에서와 같이 실제 어류의 형상과 거의 동일한 형태로 모델화되기 때문에, 어류의 형태학적 특성을 그대로 반영한다. 따라서, 본 연구에서는 3차원으로 형상화된 어류모델로부터 어류의 형태적 특징을 추출하고 음향산란특성과 관계에 대하여 검토하였다.

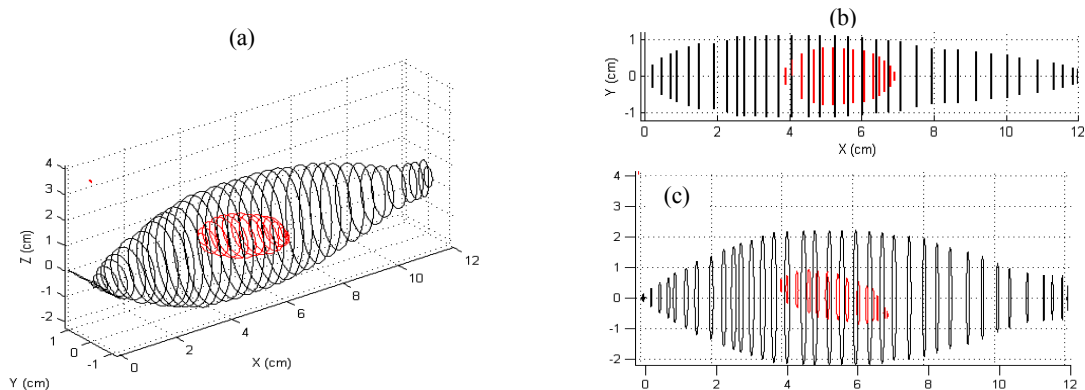


Fig. 3. 3 dimensional (a), ventral (b) and lateral (c) shape of fish body and swim bladder reconstructed with finite cylinders in Kirchhoff-ray mode model.

결과 및 고찰

유한원통 요소로 모델화한 볼락 샘플로부터 추정된 부레의 형태적 특징을 Table 1에 나타내었다. 볼락의 체측과 부레의 주축이 이루는 경사각, 즉 부레가 가지는 경각의 최대값은 30°였고, 최소값은 17°였으며, 그 평균값은 약 25.2° (S.D.=3.15) 로 나타남으로써, 부레의 경각은 회유성 어종과 같이 체측이 긴 어류의 경각에 비해 매우 큰 것으로 판단된다 (Gauthier and Horne, 2004). 이동이 큰 회유성 어종은 주로 방추형으로 부레가 등골을 따라 비교적 적은 경각을 가지도록 길게 위치하고 있는 것에 반하여, 연안 어류들의 부레는 길이가 짧고 등골을 따라가지 않고, 아랫쪽으로 급하게 경사를 가지는데, 이것은 연안에서 해저나 바닥에 있는 먹이생물을 섭취하는 정착성 어류의 생태적 특징과 관계가 있을 것으로 생각된다. Son and Hwang (2002)은 조피볼락과 참돔의 음향반사강도 측정연구에서, X-ray 촬영을 통하여 부레의 경각을 추정된 결과, 조피볼락은 약 23°~28°, 참돔은 18°~22°의 경각을 가진다고 보고하였는데, 본 연구와 거의 유사한 결과를 나타내었다. 따라서, 연안 정착성 어류 가운데 체형이 측편형인 어종들은 부레의 경각 특성이 유사할 것으로 판단된다.

Table 1. Morphological characteristics of sample fish, dark banded rockfish (*Sebastes inermis*)

No.	L_S (cm)	L_T (cm)	θ_S (°)	V_S (mL)	A_S (cm ²)
1	10.8	12.9	25	2.20	2.62
2	11.8	14.0	24	3.12	3.20
3	12.0	14.4	30	3.88	3.72
4	12.3	14.5	25	2.59	3.03
5	12.8	14.8	25	3.88	3.83
6	12.5	15.0	25	3.43	3.49
7	12.5	15.0	17	3.35	3.47
8	13.0	15.2	23	3.62	3.76
9	12.8	15.4	30	2.54	3.03
10	13.3	15.5	29	5.40	4.70
11	13.0	15.5	25	3.32	3.51
12	13.3	15.8	30	5.01	4.50
13	13.8	16.0	26	5.60	4.69
14	14.2	16.5	27	8.63	6.00
15	14.0	16.5	24	5.82	5.19
16	14.4	16.8	19	4.03	4.04
17	14.7	17.0	27	7.01	5.40
18	15.5	18.0	23	7.26	5.58
Max	15.5	18.0	30		
Min	10.8	12.9	17		
Mean	13.15	15.5	25.2		
S.D.	1.15	1.21	3.15		

볼락의 체장과 부레의 체적 사이의 관계를 Fig. 4에 나타내었다. 부레의 체적은 체장이 커짐에 따라 증가하는 경향을 나타내었지만, 체장이 크게 차이 나지 않음에도 불구하고 부레의 체적에서 차이가 나는 경향을 나타내어, 체장에 대하여 높은 상관관계를 나타내지는 않았다. X-ray 화상에서 부레의 형태를 추출할 때, 부레의 형상은 다른 외부적인 요인에 의해서 영향을 받아 변화한 경우는 없었으며, 거의 모든 개체가 동일한 형태를 가지고 있었다. 따라서, 부레의 체적이 체장에 대한 강한 상관관계를 나타내지 않는 것은 X-ray 화상으로부터 부레의 좌표를 추출할 때 발생한 디지털화 오차의 영향도 있었을 것으로 생각되지만, 개체의 성장 특성과 깊은 관계가 있을 것으로 판단된다.

볼락의 체장과 부레의 면적 사이의 관계를 Fig.5에 나타내었다. 여기서, 부레의 면적은 어류를 등방향으로 내려다보았을 때의 단면적을 의미하는데 (Fig. 3의 (b)), 실제 부레는 체측과 경각을 가지고 있기 때문에, 이 면적은 실제 부레가 수평하게 되었을 때의 단면적보다는 작은 값을 가진다. 부레의 면적은 체적의 경우에 비해 조금 더 높은 상관관계를 나타내었으나, 이 관계 또한 개체어의 형태적 특성으로 인하여, 체장이 크게 차이 나지 않음에도 불구하고 면적에서는 차이를 보이는 경우가 나타났다. 결과적으로 체장과 부레의 면적사이의 관계는 $A=0.6716TL-6.3043$ ($R^2=0.688$)로 추정되었다.

체장에 따른 어류 몸체와 부레의 체적비와 면적비의 관계를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 4와 Fig. 5에 나타난 바와 같이 부레의 체적과 면적은 어류의 체장이 커짐에 따라 같이 증가하는 경향을 나타내었는데, 어류 몸체에 대한 부레의 체적의 비는 개체 생물의 성장 또는 형태적 특징에 의해 차이를 보이기도 하였으나, 체장에 따라 증가하거나 감소하는 경향없이 서로 유사한 값을 가지는 것으로 나타났다. 이것은 어류가 성장하면서 체장이 커짐에 따라 어류의 몸체가 커지면서 부레의 크기도 거의 동일한 비율로 커짐으로써, 몸체를 기준으로 한 부레의 체적비는 큰 차이가 발생하지 않기 때문으로 판단된다. 몸체에 대한 부레의 체적의 크기는 최대값이 4.43%, 최소값이 2.20%, 평균값이 3.13% (S.D.=0.52)로 추정됨으로써, 부레의 체적은 어류 몸체의 체적의 약 3% 정도인 것으로 확인되었다.

또한 면적비도 어류가 성장하면서 그 형태가 크게 바뀌지 않고 동일한 비율로 커지기 때문에, 면적비 또한

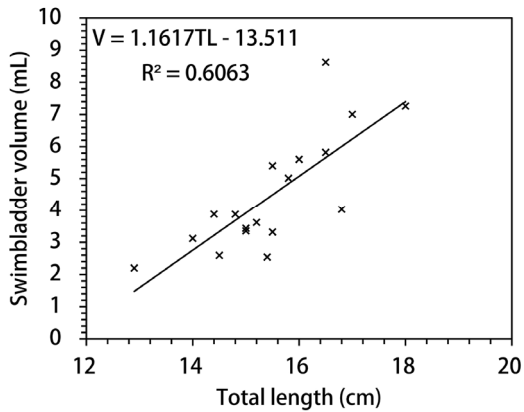


Fig. 4. Relationship between swim bladder volume and total length.

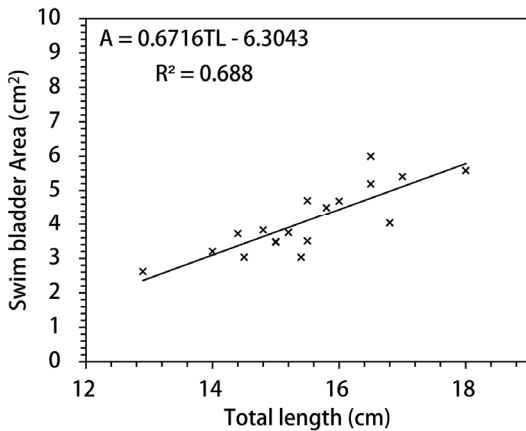


Fig. 5. Relationship between swim bladder area and total length.

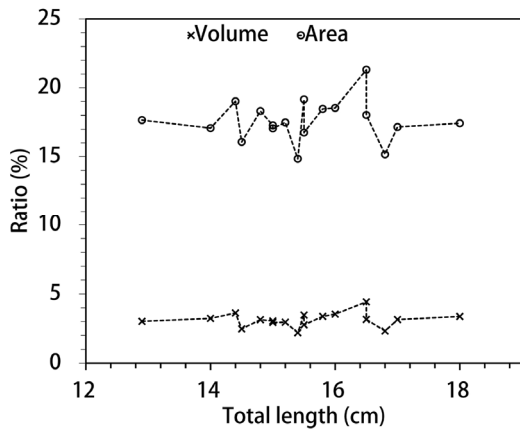


Fig. 6. Volume and area ratio of swim bladder to fish body plotted as function of total length.

체장에 따라 증가하거나 감소하는 경향은 없는 것으로 나타났는데, 몸체의 면적에 대한 부레 면적의 크기는 최대값이 21.31%, 최소값이 14.85%였으며 평균값은

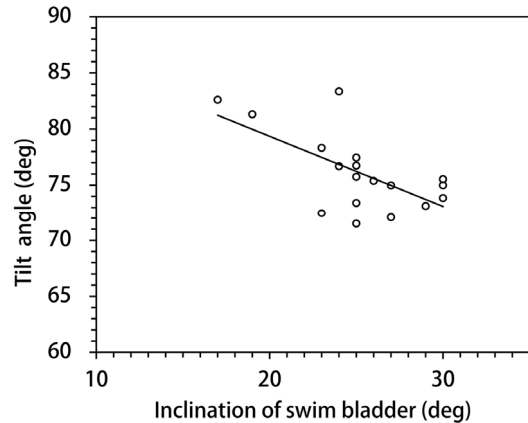


Fig. 7. Relationship between tilt angle at maximum TS and inclination of swim bladder of the rockfish (*Sebastes inermis*).

17.60% (S.D.=1.5)로 나타났다. 따라서, 음향산란 크기의 대부분을 차지하는 부레의 크기는 몸체의 크기와 일정한 관계를 가지는 것으로 추정되었으며, 몸체의 크기는 개체의 성장 특성과 관련이 있으나, 체장과 일정한 관계를 가지기 때문에 음향산란강도가 체장과 관계하는 것을 확인할 수 있었다.

부레의 경사각과 최대 TS값을 가지는 유영자세각과의 관계를 Fig.7에 나타내었다. y축의 유영자세각은 어류의 체축이 음파의 입사방향과 이루는 각을 의미하는데, 90°일 때는 어류의 체축이 수평일 경우를 의미하고, 90°보다 작은 경우가 머리가 위쪽을 향하는 경우를 의미한다. 이 값은 각 샘플어류에 대하여 주파수 20 kHz 부터 1 kHz씩 주파수를 증가시키면서 200 kHz까지 181개의 음향산란패턴을 구한 다음, 각 주파수에 대한 음향산란패턴에서 최대 음향반사강도값을 가지는 유영자세각을 추출하여 평균값과 표준편차를 구한 것이다. 최대 TS값이 나타나는 유영자세각은 주파수에 따라 변화하였는데, 각 샘플에 대하여 추정한 결과 표준편차의 최대값은 7.4였고, 최소값은 2.2였으며, 표준편차의 평균은 약 4.2로 나타났다. 따라서, 최대 TS값이 나타나는 유영자세각은 주파수에 따라 크게 변화하는 것으로 판단된다. 또한, 개체 샘플이 가지는 부레의 경각특성과 최대 TS가 나타나는 유영자세각 사이에는 뚜렷한 상관관계가 나타나지는 않았는데, 이것은 개체 샘플이 가지는 부레 및 몸체의 형태적 차이 등에 의하여 음향산란패턴이 영향을 받기 때문으로 판단된다. 그러나, 전체적으로는 체축과 부레가 이루는 경각이 증가할수록 최대 TS가 나타나는 유영자세각은 감소하는 경향을

나타내었으며, 이것은 부레의 추축이 수평에 가까워질 때 부레의 등방향 단면적이 커져서 음향반사강도가 커지기 때문으로 생각된다.

한편, 어류의 체장 (Total length)과 평균 TS 사이의 관계식은 어류의 TS가 체장의 2승에 비례한다는 가정 하에서 다음과 같이 표현된다.

$$\langle TS(dB) \rangle = 20\log(TL(cm)) + b_{20} \quad (5)$$

이 식은 음향자원조사에서 에코적분법을 이용한 어류 현존량 추정시에 사용되는데, 과학어군탐지기 주파수 38 kHz, 70 kHz, 120 kHz 그리고 200 kHz에 대하여 계산한 계수 b_{20} 의 값을 Table 2에 나타내었다. 평균 TS값을 구하기 위해서는 볼락의 유영자세각에 관한 정보가 필요하다. 현재 문헌에 보고된 유영자세각 특성에 관한 연구결과가 없기 때문에 유영자세각 변동의 특성은 일반적인 어류에 대한 값인 평균 -5, 표준편차 ± 15 의 확률밀도함수로 가정하여 구하였다. 관계식을 추정하기 위해 사용된 샘플의 체장 범위가 좁기 때문에, 각 샘플로부터 구한 b_{20} 값을 평균하여 추정하였는데, 38 kHz는 -69.01, 70 kHz는 -69.83, 120 kHz는 -70.17, 200 kHz는 -70.93으로 나타났으며, 주파수가 높아질수록 값이 작아지는 경향을 나타내었다.

볼락류에 대한 음향반사강도 측정 연구는 주로 우리나라 연안에 많이 서식하고 있는 조피볼락에 대하여 수행되어 왔는데, Son and Hwang (2002)은 38 kHz, 120 kHz 및 200 kHz에 대한 조피볼락의 b_{20} 계수를 각각 -68.4, 73.4, -70.8로 추정하였다. 또한, Moon et al. (2006)은 70 kHz와 120 kHz에 대한 조피볼락과 불볼락의 음향반사강도- 체장 관계식을 도출하였는데, 70 kHz에 대한 조피볼락의 b_{20} 계수는 -71.29, 120 kHz는 -70.40으로 보고하였고, 불볼락의 경우는 각각 -72.03과 -67.68로 보고하여, 본 연구결과와 매우 유사한 값을 나타내었다.

볼락에 대한 광대역 음향산란 특성을 추정한 결과를 Fig.8에 나타내었다. 여기서, x축은 유영 자세각으로 그 범위는 15~165° 이고, y축은 주파수로서 20~200 kHz의 범위를 나타낸다. Fig. 8에서 (a)는 체장이 가장 작은 샘플에 대하여 얻은 것이고, (b)는 체장이 가장 샘플로부터 얻은 것이다.

음향산란패턴을 보면, 유영자세각 약 80도 전후에서 최대값을 보였는데, 저주파에서는 음향산란패턴의 main

scattering lobe가 넓고 부드럽게 나타났고, 주파수가 높아짐에 따라 main scattering lobe가 좁아지면서 변화가 커지고, side lobe의 값도 크게 변화하였다. 또한, (a)와 (b)의 비교에서도 나타나듯이, 개체의 크기가 커짐에 따라 음향산란패턴의 main scattering lobe와 side lobe의 굴곡이 커지면서 변화가 심해지는 것을 알 수 있다. 또한, 높은 강도를 나타내는 main scattering lobe의 폭도 주파수가 높아질수록 일률적으로 변화하지 않고, 복잡하게 변화하는 것으로 나타났다. 그러나, 실험에 사용되었던 모든 샘플에 대하여 Fig.8의 오른쪽과 같은 2차원 화상을 추정해 본 결과, 그 형상은 거의 유사한 형태를 나타내었다.

Table 2. Relationship between total length and averaged TS of the rockfish (*Sebastes inermis*)

No	TL(cm)	b_{20}			
		38 kHz	70 kHz	120 kHz	200 kHz
1	12.9	-69.34	-69.74	-71.77	-71.71
2	14.0	-68.07	-68.64	-69.38	-69.85
3	14.4	-68.49	-69.60	-70.19	-71.66
4	14.5	-69.34	-70.14	-69.81	-71.06
5	14.8	-69.25	-70.97	-70.38	-71.14
6	15.0	-68.86	-69.92	-69.28	-70.29
7	15.0	-69.25	-70.58	-70.40	-71.80
8	15.2	-69.26	-71.08	-71.22	-72.32
9	15.4	-71.04	-72.55	-72.00	-72.51
10	15.5	-68.05	-69.30	-69.84	-70.76
11	15.5	-68.98	-70.19	-70.03	-71.25
12	15.8	-68.09	-69.35	-69.61	-70.00
13	16.0	-69.29	-69.68	-69.98	-69.77
14	16.5	-69.56	-69.39	-70.15	-71.22
15	16.5	-68.18	-68.40	-69.03	-69.42
16	16.8	-69.32	-70.22	-70.72	-71.50
17	17.0	-68.98	-68.43	-69.57	-70.15
18	18.0	-68.83	-68.81	-69.74	-70.30
	mean	-69.01	-69.83	-70.17	-70.93
	S.D.	0.71	1.04	0.81	0.91

어류의 음향산란특성은 어류의 형태적인 특징과 크게 관계한다. 경골어류의 음향반사의 대부분은 음향인피던스가 큰 부레에 의한 반사가 대부분을 차지하므로, 부레의 형상은 음향산란의 크기뿐만 아니라, 음향산란패턴의 변화에 큰 영향을 준다. 또한, 고주파에서는 부레뿐만 아니라, 어류의 골격으로부터 반사되는 음향산란의 영향도 더욱 커지므로, 음향산란패턴은 어류 전체의 형상을 반영하게 된다. 광대역 음향산란특성을 이용한 어종식별 기술은 이러한 어류의 형태적 특성으로부터

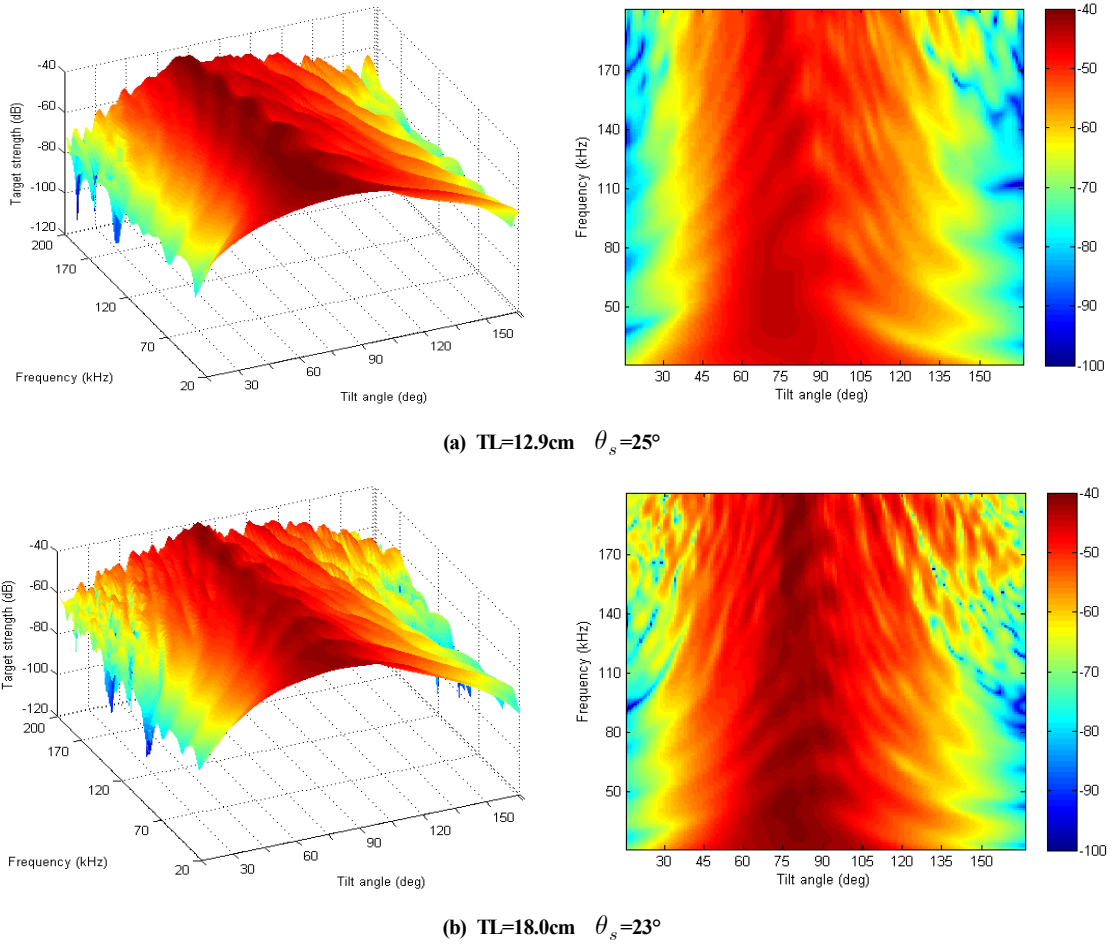


Fig. 8. Broadband acoustic scattering pattern of the rockfish (*Sebastes inermis*). Frequency range is 20 ~ 200kHz, tilt angle of the fish body, 15 ~ 165°.

나타나는 주파수차의 특징들은 매우 중요할 것이다. 체장이나 부레의 크기와 관계하는 음향산란패턴의 변화를 활용하여 대상어의 크기 추정 등에 활용하거나, 부레가 체측과 이루는 경각과 유연 자세각과 관계하는 최대 TS 등과 같은 특성으로부터 대상어종에 대한 형태학적 정보를 추출할 수도 있을 것으로 기대된다.

광대역 음향산란특성과 어류의 형태학적 특징을 구명함과 그것을 어류의 광대역 음향산란특성과 관련하여 해석하고, 이들 사이의 특징적인 상관관계를 정의할 수 있다면, 광대역 음향시스템을 이용한 어체추정 및 어종식별에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

결론

바다목장해역의 주요 어종인 볼락 샘플 18마리에 대

하여, 음향산란과 관련한 어류의 형태적 특성을 분석하고, 음향산란 이론모델을 이용하여 협대역 및 광대역 음향산란특성을 추정하였다. 볼락의 체측과 부레의 주축이 이루는 경사각의 최대값은 30°였고, 최소값은 17°였으며, 그 평균값은 약 25.2° (S.D.=3.15) 로 나타났으며, 이 값은 다른 연안 어종과 유사함을 확인하였다. 또한, 체장에 따른 어류 몸체와 부레의 체적비와 면적비는 체장에 따라 증가하거나 감소하는 경향은 나타나지 않았으며, 체적의 크기는 최대값이 4.43%, 최소값이 2.20%, 평균값이 3.13% (S.D.=0.52)로 추정되었고, 부레 면적의 크기는 최대값이 21.31%, 최소값이 14.85%였으며 평균값은 17.60% (S.D.=1.5)로 나타났다. 볼락의 평균 TS에 대한 체장변환계수 b_{20} 의 값은 38 kHz는 -69.01, 70 kHz는 -69.83, 120 kHz는 -70.17, 200 kHz는

-70.93으로 나타났으며, 기존에 보고된 조피볼락과 볼락의 문헌의 값과 유사함을 확인하였다. 볼락의 광대역 음향산란특성은 개체의 형태적 차이와 체장에 따라 차이가 있으나, 거의 유사한 특성을 가지는 것으로 확인됨으로써 어종의 형태적 특징을 반영하는 것으로 판단된다. 앞으로 어종별 형태적 특징과 관련한 음향산란 특성을 정의함으로써 광대역 음향시스템을 이용한 어체 추정 및 어종식별에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2013학년도 군산대학교 신임교수 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

- Clay CS and Horne JK. 1994. Acoustic models of fish: The Atlantic cod (*Gadus morhua*). *J Acoust Soc Am* 96, 1661-1668. (<http://dx.doi.org/10.1121/1.410245>)
- Gauthier S and Horne JK. 2011. Acoustic characteristics of forage fish species in the Gulf of Alaska and Bering Sea based on Kirchhoff-approximation models. *Can J fish Aquat Sci* 61, 1839-1850. (<http://dx.doi.org/10.1139/f04-117>)
- Horne JK. 2003. The influence of ontogeny, physiology, and behaviour on the target strength of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). *ICES J Mar Sci* 60, 1063-1074. (<http://dx.doi.org/10.1016/S1054-3139>)
- Horne JK and Jech JM. 1999. Multi-frequency estimates of fish abundance: constraints of rather high frequencies. *ICES J Mar Sci* 56, 184-199. (<http://dx.doi.org/10.1006/jmsc.1998.0432>)
- Imaizumi T, Furusawa M, Akamatsu T and Nishimori Y. 2008. Measuring the target strength spectra of fish using dolphin-like short broadband sonar signals. *J Acoust Soc Am* 124, 3440-3449. (<http://dx.doi.org/10.1121/1.2990703>)
- Lee DJ, 2014. Bandwidth Enhancement of a Broadband Ultrasonic Mosaic Transducer using 48 Tonpilz Transducer Elements with 12 Resonance Frequencies. *Kor J Fish Aquat Sci* 47(3), 302-312. (<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0302>)
- Lee DJ, Kwak MS and Kang HY, 2014. Design and Development of a Broadband Ultrasonic Transducer Operating over the Frequency Range of 40 to 75 kHz. *Kor J Fish Aquat Sci* 47(3), 292-301. (<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0292>)
- Lee DJ and Shin HI. 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.
- Lee JB, Yeon IJ, Kin BY, SHin HO, Hwang BK, Lee KH and Lee YW. 2012. Estimation of demersal fish biomass using hydroacoustic and catch data in the marine ranching area (MRA) of Jeju. *J Kor Soc Fish Technol* 48(2) 128-136. (<http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2012.48.2.128>)
- Mun JH, Lee DJ, Shin HI and Lee YW. 2006. Fish length dependence of target strength for black rockfish, goldeye rockfish at 70 kHz and 120 kHz. *J Kor Soc Fish Technol* 42(1), 30-37.
- Kim HY, Hwang BK, Lee YW, Shin HO, Kwon JNa and Lee KH. 2011. Hydro-acoustic survey on fish distribution and aggregated fish at artificial reefs in marine ranching area. *J Kor Soc Fish Technol* 47(2) 139-145. (<http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2011.47.2.139>)
- Son CW and Hwang DJ. 2002. Target strength of schlegel's black rockfish (*Sebastes schlegeli*) and red seabream (*Pagrus major*). *Bull Korean Soc Fish Technol* 38(2), 119-128.

2015. 1.30 Received
 2015. 2.16 Revised
 2015. 2.16 Accepted