

수산음향계측장치의 탐지범위에 대한 연구

박주삼

여수대학교 수산과학연구소

A Study on the Detection Range of Acoustic Instruments for Fisheries

Ju Sam PARK

The Fisheries Science Institute, Yosu National University

Abstract

Detection ranges of acoustic instruments mainly used for fisheries and their research are derived as the range bordered by a certain signal-to-noise ratio (SNR) threshold. The SNR is depicted by several factors on transmitting and receiving, sound propagation, scattering by objects, and mainly self-ship noise. The detection ranges are shown for several fisheries instrument, such as echo sounder, quantitative echo sounder, and bio-telemetry system. The results can be used for designing the instruments, examining the capability of user's own instruments, and interpreting obtained data or echograms. Increasing transmitting power is not as effective for high frequencies as for low frequencies to increase the detection range. Comparison of volume backscattering strengths obtained by the quantitative echo sounder at several frequencies should be done within the same detection range. By applying the concept of the detection range for the bio-telemetry receiver beams, the number of the beams and the beamwidths can be determined.

Key words : echo sounder (어군탐지기), quantitative echo sounder (계량어군탐지기), bio-telemetry system (바이오텔레메터리), signal-to-noise ratio (신호대 잡음비), detection range (탐지범위)

서 론

수중음향은 1950년경부터 수산음향계측 분야에 이용되기 시작하였다. 본 연구의 대상은 어군탐지기, 계량어군탐지기, 바이오텔레메터리에 한하며, 이것을 간단히 수산음향계측장치라고 하였다.

수산음향계측장치는 어업, 수산자원조사, 어류생태관측 등에 사용되며 수산업을 혁신적으로 발전시켜왔다. 최근 트랜지스터, IC, 컴퓨터 등 전자기술의 발달과 더불어 어군탐지기(Bodholt *et al.*, 1989; Furusawa *et al.*, 1993)와 바이오텔레메터

리(Shin *et al.*, 1991; Voegeli *et al.*, 1998; Jain and Reeta Gupta, 1997)는 더욱 정교하고 고정도 계측이 가능하게 되었다. 어군탐지기와 바이오텔레메터리의 가장 큰 차이점은 송·수신계의 일체와 독립, 음파전달의 왕복과 편도라는 것이다. 따라서, 사용하는 소너방정식이 다르다. 또한, 어군탐지기에서는 해양생물을 탐지하는 것이 목적이며, 바이오텔레메터리에서는 해양생물을 연속적으로 추적하는 것이 목적이기 때문에 어군탐지기에서는 탐지범위, 바이오텔레메터리에서는 검지범위의 용어를 사용하지만(朴·古澤, 2002), 본 연구에서는 용어의 통일

을 위해 탐지범위라 하였다. 수산음향계측장치에 사용되는 송·수파기는 무지향성인 원통형, 지향성을 갖춘 원형 또는 각형이 사용되지만, 일반적인 성능과 특성을 검토하는 본 연구에서는 원형 송·수파기로 한정하였다.

지금까지 어군탐지거리(Cushing, 1973)와 바이오텔레메트리(Mitson and Young, 1975; Pincok and Luke, 1975; Mitson, 1988)의 특정 변수에 의한 지향성 주축에서의 최대탐지거리 계산, 해양생물 반사강도의 통계적 특성으로부터 어군탐지기의 샘플링체적 유도(Kieser and Ehrenberg, 1990), 등가지향각 내의 방향에 따른 TS (target strength)로부터 어군탐지기의 샘플링체적 분석(Foot, 1991) 등 수산음향계측장치의 탐지거리나 탐지범위와 유사한 개념으로 사용되는 샘플링체적에 대한 많은 연구들이 선행되었다. 그러나, 종전의 연구는 일반적이고 대략적인 탐지범위를 다루고 있다. 특히, 탐지거리 이외의 탐지 폭이나 전체를 탐지할 수 있는 범위의 검토가 불충분하였다. 따라서 주파수, 송·수파기의 직경, 송파음의 강도, 해양생물의 산란특성 등과 같은 주요 변수에 의한 어군탐지기(Furusawa *et al.*, 1999)와 바이오텔레메트리(朴·古澤, 2002)의 탐지범위를 정량적으로 계산할 수 있도록 하였으나, 두 시스템의 탐지범위에 영향을 미치는 음향특성을 종합적으로 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 어군탐지기와 바이오텔레메트리의 탐지범위에 대한 종합적 고찰을 통해 그 차이점을 검토하고자 하였다. 또한, 탐지범위를 계산하기 위하여 어군탐지기와 바이오텔레메트리의 신호대 잡음비를 유도하였고, 탐지범위로부터 수산음향계측장치와 음향특성을 검토하였다.

방 법

수산음향계측장치에 수신되는 신호에는 수파음압과 잡음성분이 포함되어 있으며, 그 탐지범위는 신호대 잡음비(signal-to noise ratio; SN비)로부터 얻어진다. Fig. 1에 탐지거리, 최대탐지거리(MDD), 탐지폭, 최대탐지폭(MDB)과 이들에 의해 구성되는 탐지영역과 탐지체적을 표시하였다. 어군탐지기와 바이오텔레메트리는 음의 송·수신 차이로 인한 SN비의 유도 방법이 다르기 때문에 구분하여 설명한다.

1. 어군탐지기

어군탐지기의 송·수파기로부터 펄스가 송신될 때,

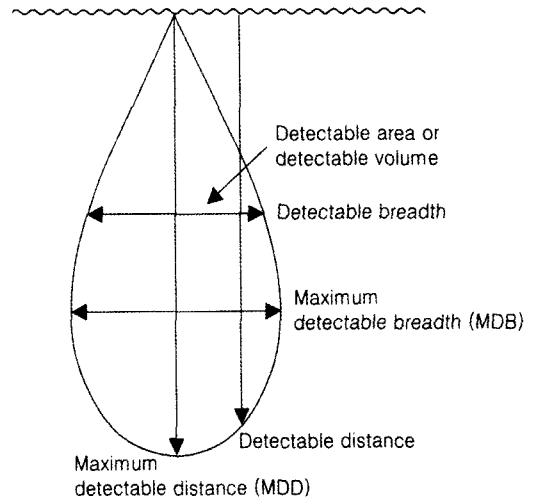


Fig. 1. Definition of terms concerning detectable range of acoustic instrument for fisheries.

송파음압 P_0 는

$$P_0^2 = \frac{\eta \rho c W D_f}{4 \pi r_0^2} \dots\dots\dots(1)$$

이 된다. 여기서, η 는 전기음향변환효율, ρ 와 c 는 해수의 밀도와 음속, W 는 송신전력, D_f 는 송수파기의 지향성이득, r_0 는 기준거리 1m이다.

한편, 송·수파기로부터 물표까지의 거리를 r , 송·수파기의 지향성 함수를 b 라 하면, 수파음압 P_r 는

$$P_r^2 = P_0^2 \left(\frac{1}{r} \right)^4 10^{-0.2ar} b^2 T_s \dots\dots\dots(2)$$

이 된다. 여기서, a 는 흡수계수이며, T_s 는 물표의 반사강도를 나타내는 TS의 선형치이다.

수산음향계측장치에 수신되는 잡음은 계측에 가장 큰 영향을 미치는 자선의 선박잡음을 대상으로 하였으며, 본 연구에서는 西村 (1969)가 제시한 잡음스펙트럼레벨을 이용하였다.

$$N_p^2 = N_{R0}^2 f^{-1.8} \dots\dots\dots(3)$$

여기서, f 는 주파수, N_{R0} 는 선박의 종류, 크기, 선속 등에 의해 변하는 1Hz에서의 잡음스펙트럼계수이다.

수신계의 대역폭을 Δf , 송·수파기의 지향성이

득을 D_I 라 하면, 잡음음압 P_N 은

$$P_N^2 = \frac{N_p^2 \Delta f}{D_I} \dots\dots\dots(4)$$

가 된다.

(2)식의 수파음압 P_F 와 (4)식의 잡음음압 P_N 으로부터 SN비를 구하면

$$S_{NF} = \frac{P_F^2}{P_N^2} = \frac{P_0^2 b^2 D_I 10^{-0.2ar} T_s}{r^4 N_p^2 \Delta f} \dots\dots\dots(5)$$

이 되고, 이 식에는 지향성 함수 b 와 지향성 이득 D_I 가 포함되어 있다. 지향성 함수로서 Hamilton *et al.* (1977)의 주엽에 대한 근사식을 이용하면

$$b \cong \exp\left(-\left(\frac{\pi a f}{c}\right)^2 \theta^2\right) \dots\dots\dots(6)$$

이 되고, 여기서, a 는 송수파기의 반경, θ 는 지향성 주축으로부터의 각도이다.

지향성 이득은 다음의 식으로 근사한다(Clay and Medwin, 1977).

$$D_I = (ka)^2 = \left(\frac{2\pi f a}{c}\right)^2 \dots\dots\dots(7)$$

여기서, k 는 파수이다.

(5)식에 (1), (3), (6), (7)식을 대입하면 SN비는

$$S_{NF} = \frac{4\pi^3 \eta \rho W f^{5.8} a^4 \exp\left(-2\left(\frac{\pi a f \theta}{c}\right)^2\right) 10^{-0.2ar} T_s}{c^3 r^4 N_p^2 \Delta f} \dots\dots\dots(8)$$

이 된다. (8)식에서 SN비는 주파수 f , 송신전력 W , 송수파기의 반경 a 와 탐지범위를 구성하는 거리 r , 지향성 주축으로 부터의 각도 θ 에 크게 의존한다. 이 식으로부터 어군탐지기의 고유 사양, 즉 $2a$, f , W 의 변화에 따른 탐지범위를 검토하였다. 탐지범위를 계산하기 위하여 SN비를 $S_{NF}=10\log S_{NF}=0\text{dB}$, 잡음스펙트럼계수를 $NP_0=20\log NP_0=145\text{dB}$, TS를 $TS=10\log T_s=-20\text{dB}$ 로 하였으며, 다른 변수 값은 Table 1과 같다.

f 와 a 가 주어진 경우, 원형 피스톤 진동자에서 지향성 주축으로부터 감도가 3dB 떨어지는 곳의 각도의 폭인 빔 폭 B_w 은 다음의 근사식으로 계산할 수 있다(Furusawa, 1991).

$$B_w = \frac{1.6c}{\pi a f} \dots\dots\dots(9)$$

이 식에서 빔 폭은 f 와 a 에 반비례 한다. 주어진 빔 폭으로부터 송수파기의 반경을 계산하고, (8)식에서 탐지범위를 구하여 고유의 사양을 갖춘 어군탐지기를 평가할 수 있다. Table 2는 현재 여수대학교 실습선 동백호에서 사용하고 있는 어군탐지기의 사양이다. 양 주파수의 TS변화에 따른 탐지범위로부터 두 개의 고유사양을 갖춘 어군탐지기의 음향특성을 검토하였다.

일반적인 어군탐지기의 SN비를 유도하기 위하여 (8)식에 표현한 변수의 수를 축소시켰다. 송신전력의 증가와 함께 송수파기의 직경이 커지는 경향을 이용하여 다음 식으로부터 a 를 제거하였다(Furusawa *et al.*, 1999).

Table 1. Parameters used for computing detectable ranges of the echo sounder

Parameter dependence	W	$2a$	General sounder	General sounder
f (kHz)	38, 120, 200	10~1000	12.5~400	10~1000
$2a$ (cm)	8	2~64	-	-
W (kW)	0.5~8	2	1, 2, 4	0.5~8
Fig. No.	2	3	4	5
Other parameters	$S_{NF}=0$ dB, $NP_0=145$ dB, $\Delta f=2.5$ kHz, $TS=-20$ dB, $\rho=1000$ kg/m ³ , $c=1500$ m/s, $\eta=50$ % a is calculated by Francois and Garrison's formula (1982) for parameters salinity=34 psu, water temperature=15 °C, $\rho H=8$, and depth of water= 100 m.			

* Band width (Δf) of general sounder is calculated by dividing f by Q value of 20

Table 2. Specifications of two echo sounders examined

Echo sounder	Simrad EK-500		JRC JFV-200	
Type	Quantitative echo sounder		Echo sounder	
f (kHz)	38	120	50	200
W (kW)	2	1	3	3
B_w (deg)	6.4	7.2	17	7
Δf (kHz)	3.8	1.2	2.5*	10*
TS (dB)		-20, -40, -60		
Fig. No.	6		7	

Other parameters identified with parameters of Table 1

* Estimated by dividing f by Q value of 20

$$a^2 = 10^{-2.66} W f^{-0.66} \dots\dots\dots(10)$$

수신계의 대역폭 Δf 는

$$\Delta f = \frac{f}{Q} \dots\dots\dots(11)$$

로 변환하였다. 여기서, Q 는 공진의 예리함을 나타내는 값으로서 일반적으로 20정도이다.

(10), (11)식을 (8)식에 대입하면

$$S_{NF} = \frac{4\pi^3 10^{-5.32} \eta \rho Q W^3 f^{3.48} \exp\left(\frac{-2\pi^2 10^{-2.66} W f^{1.34} \theta^2}{c^2}\right) 10^{-0.2\alpha r} T_s}{c^3 r^4 N_{T0}^2} \dots\dots\dots(12)$$

이 된다. f, W 를 주요변수로 하여 r, θ 에 대한 탐지범위를 구할 수 있다. 이 식으로 일반적인 어군탐지기의 음향특성을 검토하였다. 탐지범위의 계산에 사용한 변수를 Table 1에 표시하였다.

2. 바이오텔레메터리

바이오텔레메터리의 음향계는 관측대상인 해양생물에 부착하는 음파표지와 측정에 사용하는 수파기로 구성된다. 음파표지로는 트랜스폰더와 핑거가 사용되며(Hawkins and Urquhart, 1983), 소형해양생물에는 부착한 음파표지의 부담을 가능한 줄이고, 싼 가격으로 많은 생물에 사용할 목적으로 핑거가 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 음파표지로서 핑거를 주로 검토하였다.

음파표지로부터 송파된 음압은 확산감쇠와 흡수

감쇠를 받으며 수파기에 도달한다. 수파기에 도달한 음압 P_T 은

$$P_T^2 = P_0^2 \left(\frac{1}{r}\right)^2 10^{-0.1\alpha r b} \dots\dots\dots(13)$$

이 된다.

(13)식의 수파음압 P_T 과 (4)식의 잡음음압 P_N 으로부터 SN비가 구해지며, 여기에 (3), (6), (7)식을 대입하면 최종적으로 SN비는

$$S_{NT} = \frac{4\pi^2 P_0^2 f^{3.8} a^2 \exp\left(-\left(\frac{\pi a f \theta}{c}\right)^2\right) 10^{-0.1\alpha r}}{c^2 r^2 N_{T0}^2 \Delta f} \dots\dots\dots(14)$$

이 된다. (14)식의 바이오텔레메터리 SN비는 (8)식의 어군탐지기 SN비에서 확산감쇠, 흡수감쇠, 지향성 함수 b 항이 1/2배 적고, TS와 송파의 지향성 이득 D_t 항이 무시된다. 이 식에서 SN비는 송파음압 P_0 , 주파수 f , 수파기의 반경 a , 거리 r , 지향성 주축으로 부터의 각도 θ 에 크게 의존한다. 따라서 $2a, f, SL$ 의 변화에 따른 탐지범위를 구하여 바이오텔레메터리 음향특성을 검토하였다. 탐지범위를 계산하기 위하여 SN비를 $SN=10\log S_{NT}=0$ dB, 송파음압을 $SL=20\log P_0=136$ dB로 하였으며, 다른 변수는 Table 3과 같다.

결 과

1. 어군탐지기

Fig. 2는 송수파기의 직경 $2a$ 가 8cm인 어군탐지에서 주파수 f 와 송신전력 W 의 변화에 따른 탐지

Table 3. Parameters used for computing detectable ranges of the bio-telemetry

Parameter dependence	f	$2a$
f (kHz)	12.5~400	10~1000
$2a$ (cm)	4, 8, 16	2~64
SL (dB)	136	136
Fig. No.	8	9

NP_0 , \mathcal{A} , c , and α identified with parameters of Table 1

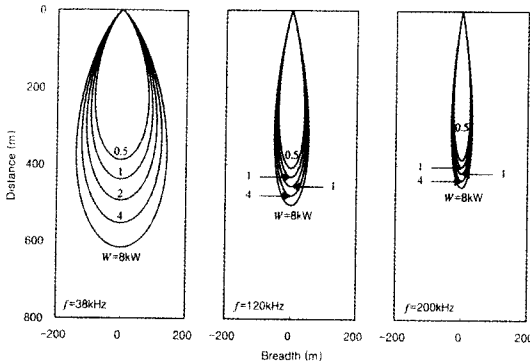


Fig. 2. Detectable range of the echo sounder dependence on electrical power for frequencies of 38kHz, 120kHz, and 200 kHz. Parameters are shown in Table 1.

범위를 나타낸다. TS 값은 -20dB 로 가정하고, 주파수는 현재 어군탐지기와 계량어군탐지기에서 폭넓게 이용되는 38, 120, 200kHz를 대상으로 하였다. 가로축이 탐지폭 세로축이 탐지거리이며 축적은 동일하게 하였다. W 의 2배 변화는 3dB의 음압 변화에 해당하여, W 를 2배로 하여 얻은 탐지범위와 TS 를 3dB 낮게 또는 SN비를 3dB 높게 하여 얻은 탐지범위는 동일하다. 저주파에서는 W 의 증가와 함께 탐지범위가 급격하게 증가하였다. 그러나, 고주파에서는 낮은 W 또는 TS 에서 MDD를 크게 얻을 수 있었으나, W 또는 TS 를 높게 하여도 MDD는 저주파보다 증가하지 않았다. 이것은 (8)식에서 흡수계수 α 를 제외한 대부분의 변수는 f 의 증가와 함께 탐지거리를 증가시키지만, 고주파에서는 α 의 영향이 크기 때문에 탐지거리가 f 의 증가와 함께 일정한 심도에서 급격하게 감소하기 때문으로 해석된다.

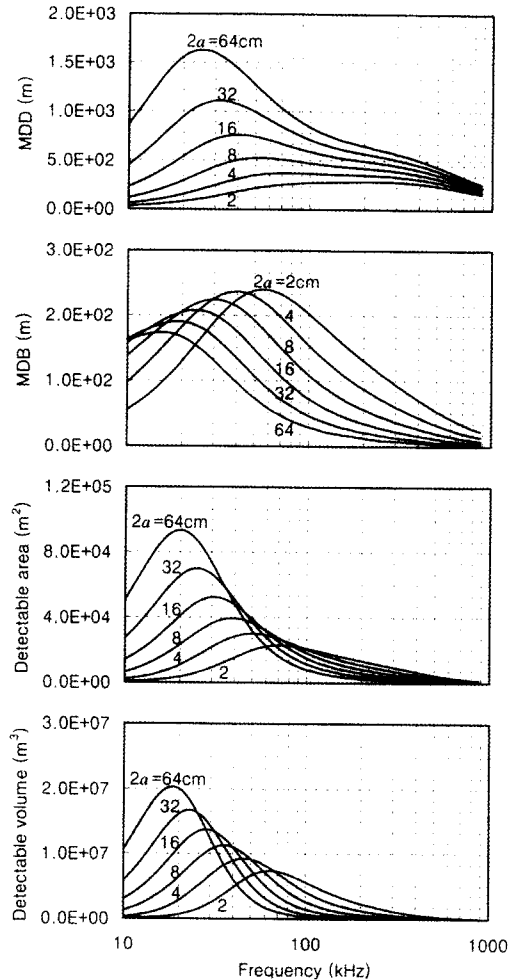


Fig. 3. Frequency dependence of maximum detectable distance (MDD), maximum detectable breadth (MDB), detectable area, and detectable volume for echo sounder with parameters of electrical power 2kW and transducer diameter from 2 to 64cm. Other parameters identified with parameters of Table 1.

Fig. 3은 송신전력 W 가 2kW인 어군탐지기에서 송수파기 직경 $2a$ 의 변화에 따른 최대탐지거리 (MDD), 최대탐지폭 (MDB), 탐지영역, 탐지체적의 주파수 특성을 나타낸다. $2a$ 의 증가와 함께 저주파에서는 MDD가 급격하게 증가하고 있으나, 고주파

에서는 흡수감쇠의 증가에 의해 원거리 탐지가 어렵게 된다. 또한 탐지범위의 최대치를 나타내는 f_n 2a의 증가와 함께 저주파로 이동하여 대체적으로 20~50kHz에서 형성된다. 고주파의 근거리에서는 작은 2a로 탐지범위를 크게 얻을 수 있다. 따라서 저주파에서는 큰 2a가 유리하지만, 고주파에서는 작은 2a가 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 4는 일반적인 어군탐지기에서 송신전력 W 와 주파수 f 의 변화에 따른 탐지범위를 나타낸다. W 가 1kW인 경우 MDD는 f 의 증가와 함께 증가하여 50kHz에서 최대가 되었으며, 점차 f 의 증가와 함께 빔 폭이 좁아지면서 MDD도 감소하고 있다. W 가 2kW, 4kW인 경우에는 25kHz에서 탐지거리의 최대치를 나타내고 있다.

Fig. 5는 일반적인 어군탐지기에서 송파전력 W 의 변화에 따른 MDD, MDB, 탐지영역, 탐지체적의 주파수 특성을 나타낸다. MDD, 탐지영역, 탐지체적은 W 의 증가와 함께 증가하고 있으며 최대치를 나타내는 f_n 는 저주파로 이동하고 있다. MDB는 저주파에서 W 의 증가와 함께 증가하지만 약 40kHz 이상에서는 W 의 증가와 함께 소폭으로 감소하고 있다. 일반적으로 주파수가 낮을수록 탐지거리는 길어지는 것으로 생각되지만, Fig. 3과 더불어 탐지거리 f 와 함께 증가하여 20~50kHz에서 최대치를 나타낸다. 따라서 고주파에서는 송신전력을 크게 하여도 저주파보다 효과가 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 (9)식에서 f 의 증가와 함께 빔 폭 B_w 가 좁아지고, (10)식에서 a 의 증가와 함께 W 가 증가하여

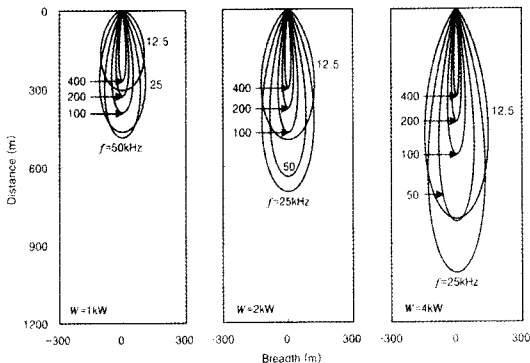


Fig. 4. Detectable range dependence on frequency for echo sounder with general specifications. Electrical power is 1kW, 2kW, and 4kW. Other parameters identified with parameters of Table 1.

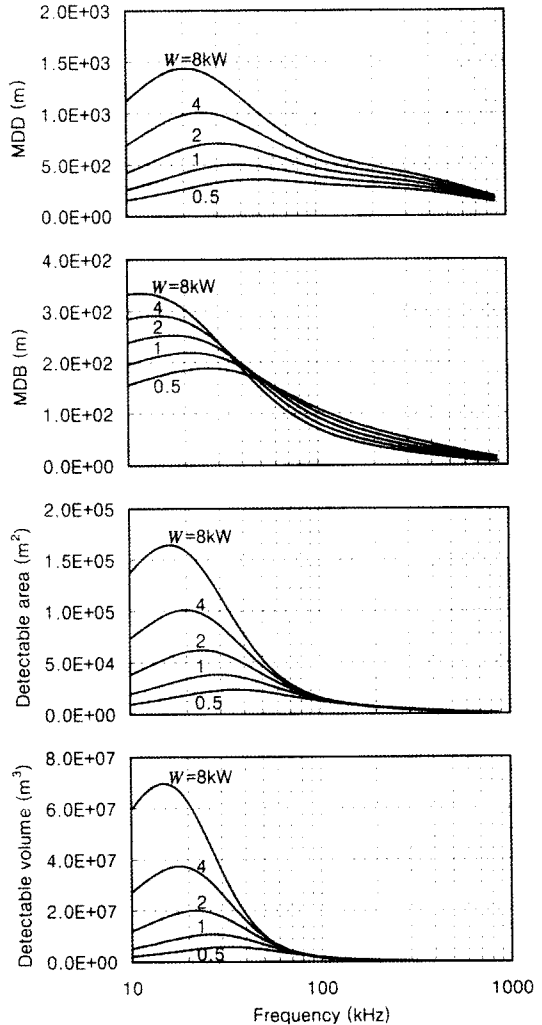


Fig. 5. Frequency dependence of maximum detectable distance (MDD), maximum detectable breadth (MDB), detectable area, and detectable volume for general specification of sounder with parameters of electrical power from 0.5 to 8kW. Other parameters identified with parameters of Table 1.

너무 고주파에서는 탐지거리가 증가하지 않기 때문으로 해석된다.

Fig. 6은 여수대학교 실습선 동백호에 설치되어 있는 주파수 f 가 38, 120kHz인 계량어군탐지기의 TS 변화에 따른 탐지범위이다. 탐지범위는 TS가 큰 경우 38kHz가 120kHz보다 월등히 넓었지만,

TS가 작은 경우 양 주파수에서 차이는 적었다. 또한, TS가 -60dB인 경우 약 200m까지 양 주파수에서 탐지범위가 비슷하여 해양생물의 산란 특성만으로 에코의 주파수 특성을 판단할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 같은 선박에 설치되어 있는 주파수 f 가 50, 200kHz의 어군탐지기의 TS 변화에 따른 탐지범위이다. 양 주파수에서 어군탐지기의 사양은 크게 달라, MDD는 TS가 큰 경우 50kHz에서 길었지만, TS가 증가함에 따라 급격하게 감소하여 TS가 작은 경우 200kHz에서 길었다. 이것은 천해에서 대부분

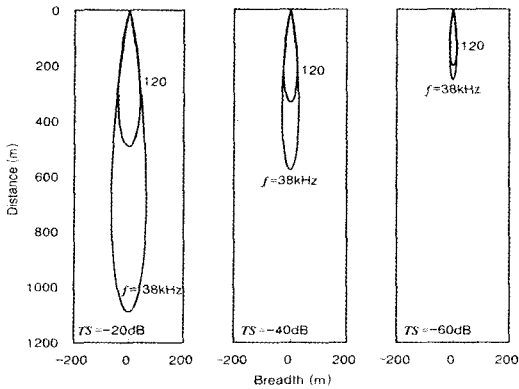


Fig. 6. Detectable range of a quantitative echo sounder (Simrad, EK-500) for TS of -20dB, -40dB, and -60dB. Other parameters identified with parameters of Table 2.

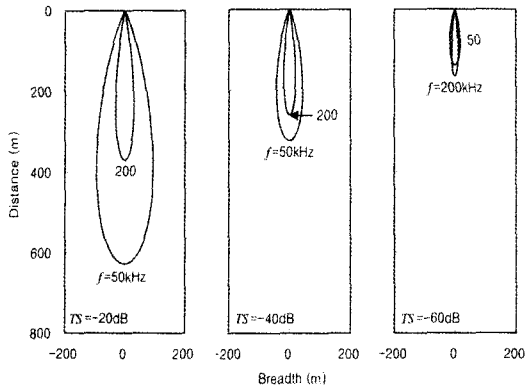


Fig. 7. Detectable range of an echo sounder (JRC, JFV-200) for TS of -20dB, -40dB, and -60dB. Other parameters identified with parameters of Table 2.

의 변수가 고주파에서 SN비를 증가시키기 때문이다. 따라서 심해에 서식하는 해양생물을 탐지하기 위해서는 저주파가 유리하지만 TS가 작다면 고주파가 효과적임을 알 수 있다.

2. 바이오텔레메트리

Fig. 8은 바이오텔레메트리에서 수파기 직경 $2a$ 와 주파수 f 의 변화에 따른 탐지범위를 나타낸다. 현재 바이오텔레메트리에 이용되고 있는 수파기의 f 는 25~307kHz이며, 70kHz 부근에서 폭넓게 사용되고 있다. 따라서 f 는 30, 70, 300kHz를 대상으로 하였으며, 송파압레벨 SL 은 시판되고 있는 소형 핑거 중에서 가장 작은 핑거 (V8-1L, Vemco, Ltd)의 값 136dB를 이용하였다. 어군탐지기와 같이 저주파에서는 $2a$ 의 증가와 함께 MDD가 급격하게 증가하고 있으나 고주파에서는 원거리의 탐지가 어렵고 고주파의 근거리에서는 $2a$ 가 작은 쪽에서 탐지범위를 크게 얻을 수 있다. 그러나 바이오텔레메트리에서는 흡수감쇠 α 와 지향성 함수 b 의 주파수 특성이 어군탐지기의 1/2로 영향을 미치며, 해양생물의 산란 TS와 송파의 지향성 이득 D 에 관한 주파수 특성이 무시되기 때문에 $2a$ 가 커짐에 따라 탐지거리의 최대치를 나타내는 f 는 어군탐지기보다 고주파에서 나타나게 된다.

Fig. 9은 수파기 직경 $2a$ 의 변화에 따른 최대탐지거리(MDD), 최대탐지폭(MDB), 탐지영역, 탐지체적의 주파수 특성을 나타낸다. $2a$ 의 증가와 함께

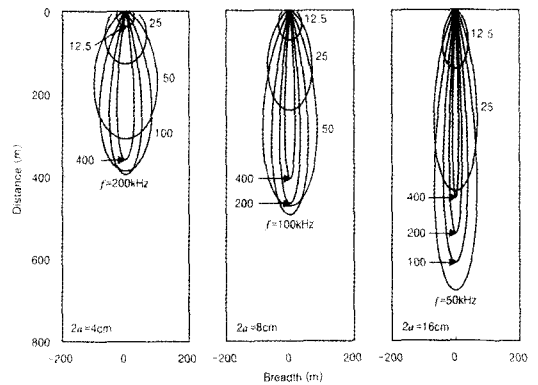


Fig. 8. Detectable range of the bio-telemetry dependence on frequency for receiving transducer diameter of 4cm, 8cm, and 16cm. Parameters are shown in Table 3.

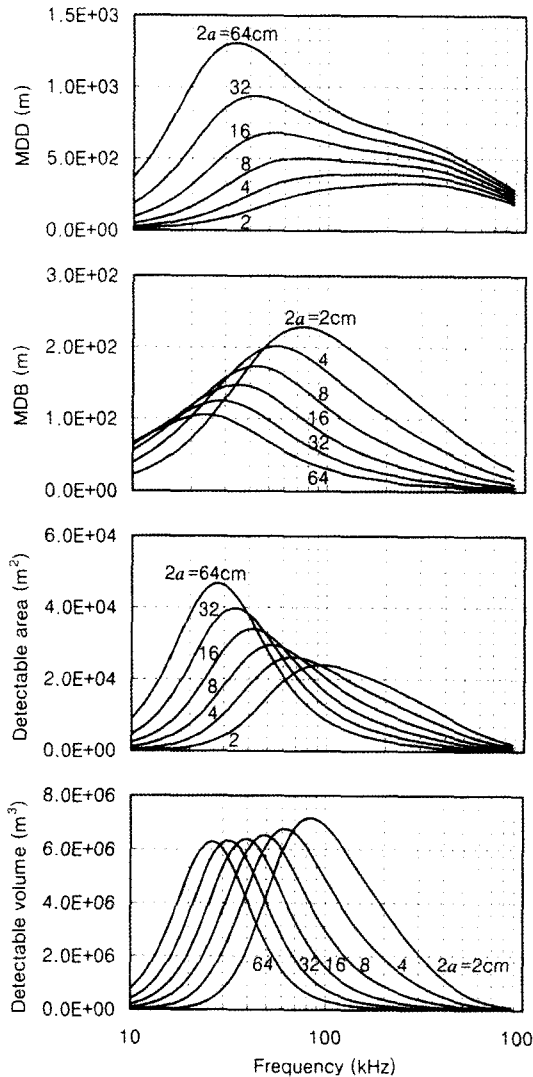


Fig. 9. Frequency dependence of maximum detectable distance (MDD), maximum detectable breadth (MDB), detectable area, and detectable volume for bio-telemetry with parameters of source pressure 136dB and receiving transducer diameter from 2 to 64cm. Other parameters identified with parameters of Table 3.

저주파에서는 MDD가 급격하게 증가하고 있으나, 고주파에서는 흡수감쇠의 증가에 의해 원거리 탐지가 어렵게 된다. 또한 탐지범위의 최대치를 나타내는 f_n 는 $2a$ 의 증가와 함께 저주파로 이동하지만 Fig.

8에서 설명한 a , b , TS , D_r 의 주파수 특성에 의해 어군탐지기보다 고주파인 40~80kHz에서 나타난다. 어군탐제기와 비교하여 가장 두드러진 특징은 $2a$ 의 증가와 함께 탐지체적의 최대치를 나타내는 f_n 는 증가하지만 최대체적은 미소하게 감소한다는 것이다. 바이오텔레메터리는 무지향성 음파표지에 의해 송파된 음파를 독립된 수파기에 의해 수신하게 된다. 이 경우 어군탐제기와 같은 송파의 지향성 이득, 즉 송파기 직경으로 부터의 이득을 얻을 수 없기 때문에 $2a$ 가 증가하여도 최대체적에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 해석된다. 이와 같이 저주파에서는 큰 $2a$ 가 유리하지만, 고주파에서는 작은 $2a$ 가 효과적임을 알 수 있다.

고 찰

어군탐제기는 음향신호를 수중에 송파하여 대상 물로부터 반사음을 수파하는 송·수신시스템인 반면, 바이오텔레메터리는 송신계와 수신계가 독립되어 있다. 따라서 본 연구에서 조사한 탐지범위를 이용하여 어군탐제기와 바이오텔레메터리 기능 이외의 고래의 명음 추적 등 수산 전반에 폭넓게 이용할 수 있을 것이다. 또한, 최근 계량어군탐제기에 사용되고 있는 스프리트빔 방식과 이와 유사한 SSBL 방식이 바이오텔레메터리에 사용되고 있는데(Hedgepeth *et al.*, 1998; 박, 2004), 이들 시스템의 탐지범위에 영향을 미치는 음향특성을 검토함으로써 하나의 시스템으로 탐지와 검지가 가능한 방안의 도출이 가능할 것으로 판단된다.

탐지범위는 어군탐제기의 경우 주파수 20~50kHz, 바이오텔레메터리의 경우 40~80kHz에서 최대치를 나타내었다. 현재 계량어군탐제기에서는 주파수 38kHz, 어군탐제기에서는 50kHz가 폭넓게 사용되고 있으며, 바이오텔레메터리에서는 주파수 70kHz가 일반적으로 이용되고 있는 실정이다. 이것은 바이오텔레메터리의 송신계인 음파표지의 크기가 주파수의 2~3승의 특성으로 고주파에서 유리하게 작용하며(朴·古澤, 2002), (14)식에서 흡수감쇠와 지향성 함수의 주파수 특성이 어군탐제기의 1/2로 줄어들어 어군탐제기와 바이오텔레메터리의 주파수 선택에 영향을 미치는 원인이 되고 있다.

탐지체적은 어군탐제기의 경우 송·수파기의 직경의 증가와 함께 증가하였으나, 바이오텔레메터리의 경우 송파의 지향성 이득을 얻을 수 없어 미소하게 감소하였다. (1)식을 이용하여 송신전력 P 와 송

파음압레벨 SL 을 비교하면 W 가 2배로 증가함에 따라 SL 은 6dB씩 증가한다. 또한, 송파기가 지향성인 경우에는 송파기 직경 $2a$ 의 증가와 함께 6dB/oct.로 증가한다. 예를 들어 무지향성 송파기에서 2kW는 162dB, 지향성 송파기에서 2kW ($2a=2\text{cm}$)는 160dB을 나타낸다. 그러나, 지향성 송파기인 경우 $2a$ 의 증가와 함께 SL 이 증가하여 $2a$ 가 16cm일 때 18dB의 이득을 얻을 수 있다. 따라서 어군탐지기에서는 $2a$ 의 증가와 함께 탐지체적이 증가하는 원인이 되고 있다.

탐지범위는 어군탐지기의 음향산란신호를 분석하거나, 수산음향계측장치의 설계에도 유용하게 사용될 수 있다. 어군탐지기과 계량어군탐지기에서는 산란이나 TS를 조사하기 위하여 복수의 주파수를 동시에 사용하는 경우가 많다. 어군탐지기로부터 얻어진 에코의 주파수 특성은 일반적으로 송·수신계, 선박 등의 잡음, 음파전달, 해양생물의 산란특성에 의해 결정된다. 해양생물의 산란특성 이외의 주파수 특성을 제외한 공통의 탐지범위를 제공한다면 대상생물의 산란에 관한 주파수 차이를 단순하게 비교할 수 있을 것이다.

정치망에 설치하는 어군탐지기나 바이오텔레메트리리는 복수의 빔을 사용하는 경우가 많다. 이 경우 탐지범위를 구하여 각 빔에 의해 중첩되는 부분과 탐지불능 부분을 파악하여 효율적으로 복수의 빔을 사용할 수 있도록 할 수 있을 것이다. 또한, 새로운 빔폭의 개념(朴·古澤, 2002)을 이용한다면 더욱 효과적으로 빔의 폭과 빔의 수를 정할 수 있을 것이다.

지금까지 수산음향계측장치의 성능을 평가하는 일반적인 방법이 없어 장비의 성능은 업체의 설명서에 의존하여왔다. 그러나 탐지범위는 수산음향계측장치의 성능평가에도 유효하게 사용될 수 있다. (8)과 (14)식의 주요 변수 즉 주파수, 송파음의 강도, 빔 폭, 송·수파기 직경으로부터 장비의 사양을 검토할 수 있다. 잡음스펙트럼계수는 본 연구에서 대략적인 값을 사용하였으나, 계량어군탐지기에 의한 잡음 측정법(Takao and Furusawa, 1995)과 같은 방법을 이용하여 비교적 쉽게 측정할 수 있을 것이다.

요 약

어군탐지기, 계량어군탐지기, 바이오텔레메트리 등 음향을 이용하여 해중의 어군의 정보를 탐색하는 수산음향계측장치의 탐지범위와 그 음향특성에

대해 검토, 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 탐지범위는 송·수파기 직경, 송파음의 강도의 증가와 함께 저주파로 이동하여 어군탐지기의 경우 20~50kHz, 바이오텔레메트리의 경우 40~80kHz에서 최대치를 나타내었다.
2. 탐지거리는 주파수의 증가와 함께 증가하였지만, 고주파에서는 흡수계수의 영향으로 급격하게 감소하였다. 즉, 송·수파기 직경, 송파음의 강도, TS의 증가 효과는 저주파에서는 크고 고주파에서는 적은 경향을 나타내었다.
3. 바이오텔레메트리에서는 어군탐지기과 같은 송파의 지향성 이득을 얻을 수 없기 때문에 탐지체적이 최대치가 수파기의 직경과 함께 미소하게 감소하였다.
4. 탐지범위는 주파수 특성에 의한 어군탐지기의 음향산란신호를 분석하거나, 수산음향계측장치의 설계 및 성능평가에 유효하게 사용될 수 있다.

참고문헌

- Bodholt, H., Nes, H., and Solli, H.(1989) : A new echo-sounder system, Proc. Inst. Acoust., 11, 123-130.
- Clay, C.S. and Medwin, H.(1997) : Acoustical oceanography: Principles and applications, John Wiley and Sons Inc., New York, 146-149.
- Cushing, D.H.(1973) : Computation with a sonar equation, J. Cons. int. Explor. Mer, 35, 22-26.
- Foot, K.G.(1991) : Acoustic sampling volume, J. Acoust. Soc. Am., 90, 26-36.
- Francois, R.E. and Garrison, G.R.(1982) : Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption, J. Acoust. Soc. Am., 72, 1879-1890.
- Furusawa, M(1991) : Designing quantitative echo sounders, J. Acoust. Soc. Am., 90, 26-36.

- Furusawa, M., Asami, T., and Hamada, E. (1999) : Detection range of echo sounders, 3th JSPS Inter. Semi. Sustainable Fishing Technology in Asia towards the 21st Century, TUF International JSPS Project, Tokyo, 207-213.
- Furusawa, M., Takao, Y., Sawada, K., Oukubo, T., and Yamatani, K.(1993) : Versatile echo sounding system using dual beam, Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 967-980.
- Hamilton, D., Lozow, J., Suomala Jr, J., and Werner, R.(1977) : A hydroacoustic measurement program to examine target quantification methods, Rapp. P. -v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 170, 105-121.
- Hawkins, A.D. and Urquhart, G.G.(1983) : Tracking fish at sea, In: MacDonald, A.G. and Priede, I.G. (eds) Experimental Biology at sea, Academic Press Inc., New York, 103-166.
- Hedgepeth, J., Fuhrman, D., Geist, D., and Johnson, R.(1998) : Fish movement measured by tracking radar-type acoustic transducers, In: Alippi, A. and Cannelli, G.B. (eds) Proceedings of the Fourth European Conference on Underwater Acoustics, Rome, 199-204.
- Jain, S.K. and Reeta Gupta(1997) : Development of a miniature acoustic pinger tag device for tagging on to fish for fish behavioral studies, Indian J. Mar. Sci., 26, 234-237.
- Kieser, R. and Ehrenberg, E.(1990) : An unbiased, stochastic echo-counting model, Rapp. P. -v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 189, 65-72.
- Mitson, R.B.(1988) : Telemetry, Underwater, In: Singh, M.G. (ed.), Systems & Control Encyclopedia, Pergamon, Oxford, 4842-4848.
- Mitson, R.B. and Young, A.H.(1975) : A survey of the engineering problems of developing small acoustic fish tags, Proc. IERE Conf. Inst. Oceanography, Bangor, Univ. of N. Wales, England, 163-174.
- Pincock, D.G. and Luke, D.McG.(1975) : Systems for telemetry from free-swimming fish, Proc. IERE Conf. Inst. Oceanography, Bangor, Univ. of N. Wales, England, 175-186.
- Shin, H.O., Hamada, E., and Suzuki, H.(1991) : Miniaturization of the pinger for biotelemetry using a biomorph vibrator, Proc. 11th Int. Symp. Biotelemetry, Waseda University, Tokyo, 28-31.
- Takao, Y. and Furusawa, M.(1995) : Noise measurement by echo integrator, Fish. Sci., 61, 637-640.
- Voegeli, F.M., Lacroix, G., and Anderson, J.M. (1998) : Development of miniature pingers for tracking Atlantic salmon smolts at sea, Hydrobiologia, 371-372, 35-46.
- 西村 實(1969) : 魚群探知機の最適周波數に關する研究, 博士論文, 東北大學, 清水.
- 朴柱三·古澤昌彦(2002) : 超音波バイオテレメトリの音響系の評價および設計方法, 日本水産學會誌, 68, 334-344.
- 박주삼(2004) : 어류의 행동추적에 의한 SSBL·핑거동기 바이오텔레메터리 방식과 시스템의 실용성 검증, 한국어업기술학회지 40(1), 78-85.

2004년 10월 29일 접수

2004년 12월 27일 수리