

수동어탐의 가능성과 전망

장 지 원

부산수산대학
(접수 1986년 11월 15일)

Passive acoustic fish detection analysis and its feasible aspects

Jee-Won CHANG

National Fisheries University of Pusan
(Received November 15, 1986)

The passive acoustic system only has generally used in fish detection. But the passive acoustic system has not been tried in fishing since Freytag has proposed a possibilities of the passive detection of fishes in 1963. This paper describes the feasible aspects of fish detection by listening of the sound they make. The passive acoustic system accompanied the active acoustic system may expand the range of detection and compensate for lack of capabilities each other, but there are some difficulties in noise rejection because the frequency range of ship noises covers the whole range of biological sounds. The attempt to collect useful informations from underwater would be greatly contributed in fisheries.

1. 생물의 발음

해양생물의 음향학적 연구는 주로 생물의 발음과 그 발음을 탐지하는 능력등에 관한 것이다. 수중에서 소리으로써 어군을 찾는다는 것은 매우 어려운 일이며 이것은 전자기계의 기술적 발전뿐만 아니라 해양학적 고찰도 병행되어야 할 과제이며 넓은 의미에서의 수중소음의 분야가 된다. 수중생물의 음향학적 연구는 첫째 Tavalga(1971)의 대저들을 들 수 있으며 Kelsey Jr.와 Nowbray(1952), Winn(1964), Dobrin(1947), Hashimoto와 Maniwa(1963) 등의 어류의 발음과 주파수 분석등이 있고 또 Urick(1984)의 수중소음에 관한 연구, Freytag(1963, 1970)의 수산이용에 있어서 수동어탐의 가능성과 한계성 등이 있다. 그러나 Freytag 이후 수동어탐에 관한 연구는 없으며 제안에 그치고 말았다.

수동어탐의 첫째 조건은 발성하는 어류가 있어야 하는데 해양생물의 발음군은 대략 다음과 같이 3군으로 나누고 있다.

(1) 무척추동물(갑각류 포함: 게, 새우, 랍게 등):

오징어, 문어, 쌍패류등

(2) 어류(냉혈 수서 척추류) 및 척추류(섬계등)

(3) 온혈동물(고래류: Porpoise, Dolphine, Whale)

무척추동물의 발음은 짧은 pulse이며 주파수는 대략 20~20,000Hz의 범위이다.

새우의 발음은 90cm의 거리에서 음압이 50dB re 1μ bar이상이며 새우군의 발음은 주위소음보다 +40dB정도 높은 것까지 있다.

발음의 형태에는

(1) 마찰음(Stridulatory Sound)

(2) 부레진동음, 명음(Swimbladder에 의한 소리)

(3) 수력음(Hydrodynamic Sound: 유영음, 식이음, 군운동음)등 3가지가 있다. 벤자리(Grunt)의 경우는 부레 가까이에 있는 이빨을 갈때 그 소리가 부레에서 공명되어 100 Hz의 소리를 내고 있다. 마찰음의 경우 대부분은 소리내는 부위를 알아내는 것은 어렵다. 그런데 많은 어류들은 부레근방의 근육을 진동시켜 발음하는데, 그중 조기류의 소리는 매우 크다. 또 메기(Catfish)는 주파수 100~500 Hz, 폭 0.1Sec의 펄스음을 내며 Toadfish(Opsanus tau)는 주파수

수동어탐의 가능성과 전망

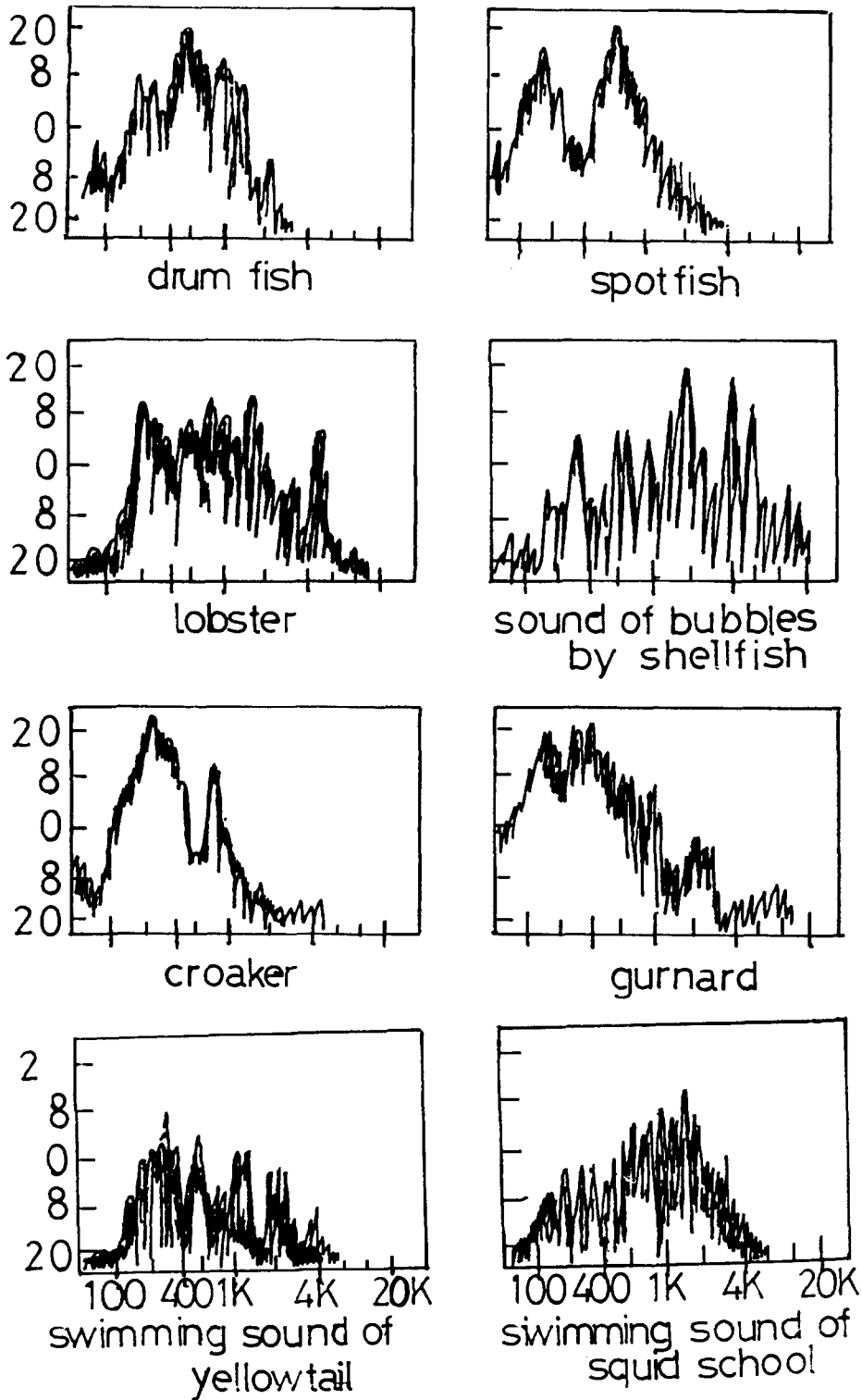


그림 1. 발성어류의 spectra (Hashimoto and Maniwa, 1963)

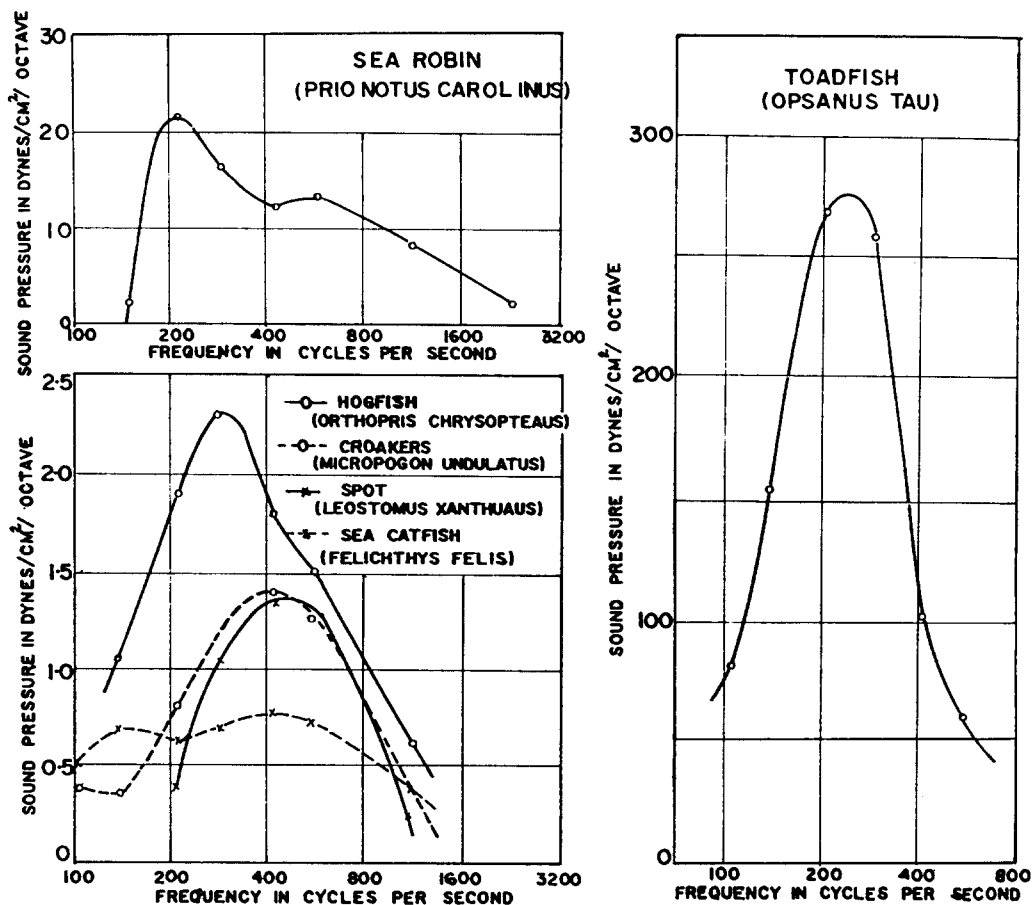


그림 2. 발성어류의 spectrum(M. B. Dobrin, 1947)

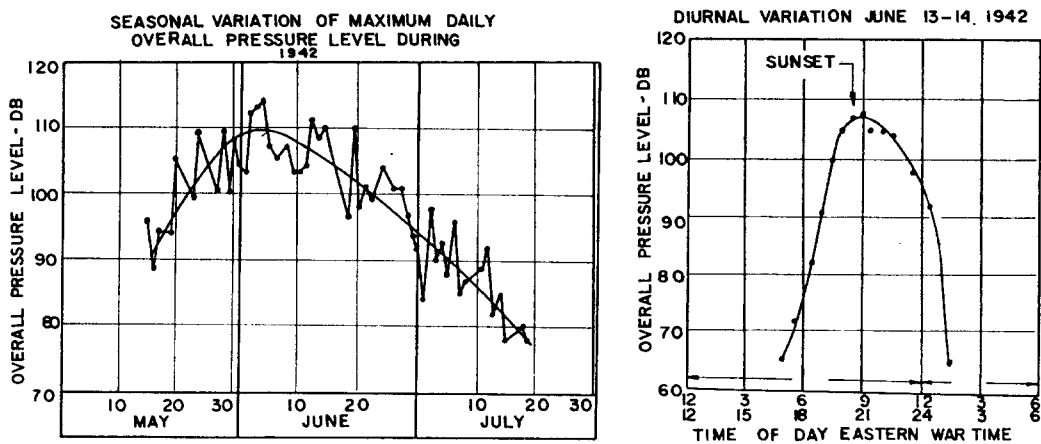


그림 3. Seasonal and diurnal variation of over-all noise pressure levels from croakers. (Knudsen, Alford and Emling (1948))

수동어탐의 가능성과 전망

200~300 Hz, 폭 0.5Sec 의 펄스음을 낸다. 종합적으로 생각할때 해양어류는 주파수가 500 Hz나 600Hz 까지의 소리에 민감하고 그 이상의 주파수에서는 둔하며 1500~2000 Hz 근방에서는 듣지 못한다(그림 1, 2)

어류의 발음은 생리적 조건에 따라 변화하며 발음 활동의 변화를 요약하면 다음과 같다(그림 3)

(1) 일몰후, 일출전의 발음이 가장 강하다.

(2) 산란기, 교미기, 공격이나 도피시 등에 따라 소리의 성질이 변한다.

(3) 개체와 군체는 발음강도가 다르다.

이와같은 특징은 수동어탐시 고려되어야 할 사항이다. 아무리 예민한 수신장치 일지라도 발음체가 소리를 내지 않으면 탐지가 불가능하므로 이때는 능동어탐계가 필요하게 된다. 따라서 양자는 상보적, 상호보완적 입장이 되어야 한다는 것을 이해할 수 있다.

발음체 탐지는 수중소음 속에서 해야 하므로 탐지하고자 하는 소리는 그 소음과 식별되어야 한다는 어려운 문제를 안고 있다. 따라서 수중소음의 연구도 병행되어야 하는데 수중소음은 다음과 같이 나누어 진다.

(1) 주위소음 : 파도, 조류, 물체이동으로 생기는 소리.

(2) 기계소음 : 선박소음, 측정기 자체소음.

(3) 생물소음 : 해양생물이 내는 소리

해양생물이 내는 소리의 본체는 보이지 않으므로 어떤 생물이 내는 소리의 특징을 알아내기 위하여는 기초연구가 수조내에서 선행되어야 한다.

2. 수중소음의 주파수성분, 음압수준 및 전파손실

몇몇 해양생물이 내는 소리를 주파수 분석한 결과는 표 1과 같다.

대체로 어류가 내는 소리는 그 음압이 27~34 dB re

1 μ bar 정도로 50~70 m 거리까지의 전파가 가능하다.

선박의 종류에 따라 선박소음도 차이가 있다. 310~375 rpm 으로 추진하는 전착방어선이 어군을 포위하고 있을때 50 m 거리에서 측정된 음압수준은 34~39 dB re 1 μ bar 정도이며 1600 rpm 으로 추진하는 철선의 경우 50 m 거리에서 측정된 음압수준은 39 dB re 1 μ bar 정도이다. 주파수가 50 Hz 이고 음압수준이 33dB re 1 μ bar 인 선박소음은 90 m 거리에서 평균소음보다 20 dB 높고, 1/3 Octave band에서 중심주파수가 50 Hz 이고 음압수준이 60 dB re 1 μ bar 인 선박소음은 494 m 거리에서 평균소음보다 30dB 높고 1062m 거리에서는 평균소음보다 20 dB, 1600 m 거리에서는 10 dB 정도 높은 것으로 보고되고 있다.

3. 수동어탐의 제한성

이상과 같이 수중소음 중에서 생물소음은 미약하며 이것이 다른 소음들과 혼합되어 있을때, 이들 소음으로부터 식별되어야 할 생물소음이 자선의 선박소음에 비하여 미약하므로 수신기 주위는 조용하여야 한다. 따라서 수신하기 좋은 조건들을 고려한다면

(1) 고정 집음장치

(2) 무소음 선박의 사용이나 원격조종장치의 이용

(3) 고정 집음장치와의 결합이용

등이 바람직하다.

또 수파기의 구성은 단일개의 소자보다는 SNR가 높은 다수파기 배열(Array)이 곧잘 이용된다.

수파기소자를 배열하는 방법에는

(1) 직선배열(Periodic array, 등간격 배열)

(2) 부등간격배열(Aperiodic array)

(3) 난수배열(Random array)

등이 있다. 배열이득은 소자개수와 같다. 즉 배열이득은 단일개의 소자를 사용할때보다 배열하는 소자의 개수배만큼 커진다. 또 배열에서 각소자를 무지향성 점음원으로 가정할때 얻어지는 지향곡선은 $\sin \pi LfNd$ 로서 주어진다(그림. 4). 여기서 L 은 소자의

표 1. 해양생물의 음향학적 특성

어 종	실효음압(dB re 1 μ bar)	주파수(Hz)	마이크·거리(m)	발성기구
전갱이(Horse mackerel)	27	150-1500	0.5	이빨가는 소리
성대(Gurnard)	33	40-1000	1	부 레
Toadfish(opsanus tau)	34	"	2	"
닭게(Spiny lobster)	-10--9	1000-5000	1	기 계 적
게(Crab)	4-6	40-1000	5	"

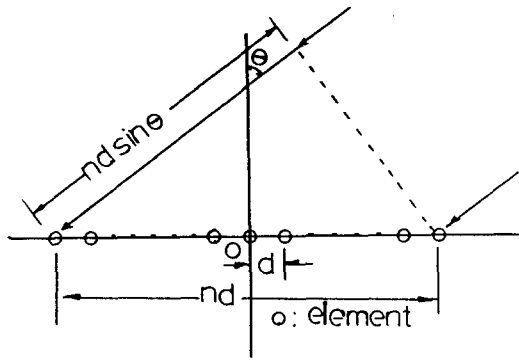


그림 4. 직선배열 수파기의 구성

길이, f 는 주파수, d 는 소자간격, N 는 소자개수이다.

고정집음장치는 미약한 생활음을 가까이에서 탐지하는 방법이며 지속적으로 집음장치 근방의 생활동태를 파악하는 데 이용된다. 예컨대 고정부표등에 집음장치를 하여 멀리 있는 Station에 무선으로 수록하는 수중정보망을 생각할 수 있다. 소음이 없는 선박을 사용한다는 것은 어려운 일이며 탐지하는 시기에 소음을 심하게 내는 기관을 일시 정지시키거나 원격조종정을 이용하는 방법으로 목적을 달성할 수 있다. 그러나 고정부표와 같은 것은 장기간 집음을 계속하므로 이것을 여러곳에 두어 수중정보망을 형성하는 것이 바람직하다고 생각된다.

4. 수동어탐 System의 구성과 평가

수동어탐 System의 구성은 그림 5와 같고 목적물의 발음신호는 불 규칙적이고 넓은 주파수 대폭을 갖고 있다고 가정한다. 발음신호의 주파수 밀도함수가 알려져 있다고 가정할때 수신신호의 신호대 잡음비(SNR)를 극대화하는 것이 탐지성능을 적정화하는 것

이 된다. 먼저 신호는 T 시간 동안 일정하다고 보고 $T \gg \frac{1}{\beta}$ 로 생각한다. 여기서 β 는 신호의 대폭이다. 수신단에서 수신신호만의 전력 Spectrum 밀도를 $\psi_s(f)$, 잡음의 전력 Spectrum 밀도를 $\psi_N(f)$ 라고 하고, 이들이 정규분포라고 가정하면 수신신호의 전력 Spectrum 밀도 $\psi_x(f)$ 는

$$\psi_x(f) = \psi_s(f) + \psi_N(f) \quad (1)$$

이고 신호대 잡음비 $SNR(y)$ 는

$$SNR(y) = \frac{\int \psi_s(f) |H(f)|^2 df}{\int \psi_N(f) |H(f)|^2 df} \quad (2)$$

여기서 $H(f)$ 는 전달함수이고 f 는 주파수이다. 신호 x 가 filter를 통과한 후 전달함수를 통하여 신호 y 가 된다. 이 신호는 다시 자승기를 통하여 $|y|^2$ 이 되며 이 자승된 신호의 신호대 잡음비 $SNR(|y|^2)$ 는

$$SNR(|y|^2) = SNR^2(y) = \frac{E^2(|y_s|^2)}{E^2(|y_N|^2)} \quad (3)$$

지연시간 τ 의 자기상관함수 $R|y_N|^2$ 는

$$R|y_N|^2(\tau) = R^2|y_N(0) + R^2|y_N(\tau) \quad (4)$$

Impulse 응답 $h(t)$ 를 $\frac{1}{T} \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right)$ ($t > 0$)라고 가정하면 $h(t)$ 의 상관함수 $R_h(\tau)$ 는

$$R_h(\tau) = \frac{1}{T} \left(1 - \frac{|\tau|}{T}\right) \text{rect}\left(\frac{\tau}{2T}\right) \quad (5)$$

적분기를 통한 분산은

$$\begin{aligned} \text{Var}(Z_N) &= \frac{1}{T} \int_{-T}^T \left(1 - \frac{|\tau|}{T}\right) R^2|y_N(\tau) d\tau \\ &\approx \frac{R^2|y_N(0)}{T\beta_N} \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 적분기를 통한 신호를 Z 라고 한다. 적분기를 통한 후의 신호대 잡음비 $SNR(Z)$ 는

$$SNR(Z) = T\beta_N \frac{E^2\{|y_s|^2\}}{E^2\{|y_N|^2\}} = T\beta_N SNR^2(y) \quad (7)$$

($T\beta_N \gg 1$). 여기서 β_N 는 신호의 실효잡음 포락선 대폭이다.

어탐은 생활의 발음신호만을 정확히 수신하도록

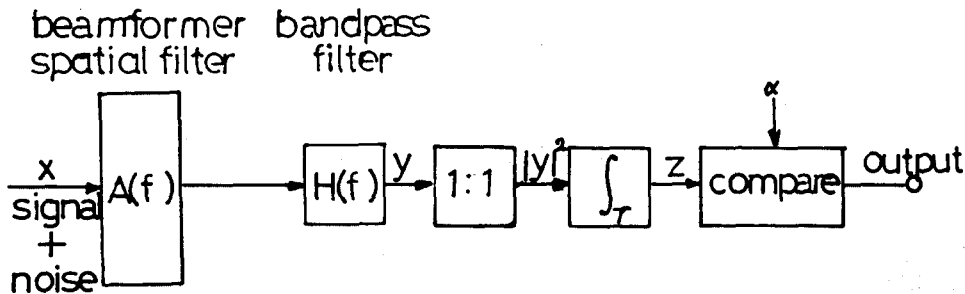


그림 5. One channel of a passive broadband receiving system.

하고 있으나 소음으로 인한 오보가 있을 수 있다고 생각되므로 탐지성능은 일정한 허용오보를 유지하면서 주어진 탐지율을 얻는데 필요한 입력신호전력을 정하여 평가한다. 처음 포락선 검출기로 들어가는 입력에서의 SNR(y)를 정하고 요구되는 수신입력신호는 포락선 검출기로 가는 선형 전달함수에서 정한다.

수동어탐에 시간 T 동안 일정한 수준의 신호가 들어온다고 가정하고 수신기작동 특성곡선(ROC)에서 시간 T 와 신호대폭 B_N 와의 곱 $T B_N$ 을 계산한다.

지금 10^{-4} 의 오보확률을 가지고 50%의 탐지율을 얻는데 요구되는 SNR(y)는 $(d/T B_N)^2$ 로 나타낼 수 있다. 여기서 d 는 SNR(z)이다. 특성곡선에서 이때 d 의 값은 1.4정도 이다(그림 6).

탐지할 수 있는 최소한의 값을 탐지문턱 값(Detection threshold)이라고 하고 이를 DT 로 표시하면

$$DT = SL(\gamma) - NL = 5 \log d - 5 \log T B_N \quad (8)$$

여기서 $SL(\gamma)$ 는 거리 γ 에서의 전 신호수준이고 NL 은 전 잡음수준이다. 그리고 50%의 탐지확률을 가질 때의 전파손실(TL)을 Figure of Merit (FOM)로 하고

있다. 이것은 어탐의 한 가지 평가수단이 된다.

$$TL(\gamma) = SL(\gamma) - NL - DT + DI \quad (9)$$

여기서 DI 는 directivity index이다.

5. 결 론

수중에 있어서의 신호전달은 매우 불투명하여 공기중의 전파신호전달에 비하여 너무나 탐지거리가 짧다. 이것을 연장시키는 방법은 강력한 음원을 이용하거나 고정집음장치의 도움을 받는 것이 일반적이다. 고정집음보다 편리한것이 이동식 집음이라고 생각되는 데 그것이 수동어탐이라고 볼 수 있다. 이 방면의 연구는 거의 군사적으로 이용되어 왔다고 하며 수산에 이용한 예는 없다. 매우 어려운 과제이기는 하나 수산에의 이용은 능동어탐과 서로 보완적인 역할을 하여 탐지거리와 능력을 크게 증대시킬 것이 기대된다.

6. 문 헌

1. W. N. Tavolge(1964): Marine Bioacoustics. Pergamon Press, pp. 413.
2. Brian Lewis(1983): Bioacoustics, Academic Press, pp. 493.
3. W. N. Tavolga(1977): Sound production in Fishes. Dowden Hutchinson, pp. 363.
4. W. S. Burdic(1984): Underwater Acoustic System Analysis. Prentice Hall, pp. 445.
5. R. A. Monzingo & T. W. Miller(1930): Introduction to Adaptive arrays. John Wiley & sons, pp. 543.
6. R. J. Urick(1934): Ambient Noise in the Sea. Peninsula publishing Co., p. 7-8.
7. G. Freytag (1970): Practical Applications and Limitations in the Method of Fish finding by Passive Listening. M. F. G. W. III, p. 51-54.
8. E. V. Shishkov(1970): Study of Acoustical characteristics of Fish. M. F. G. W. II, p. 401.
9. G. Freytag(1963): Bio-Acoustical Detection of Fish Possibilities and Future Aspect. M. F. G. W. II, p. 400-404.

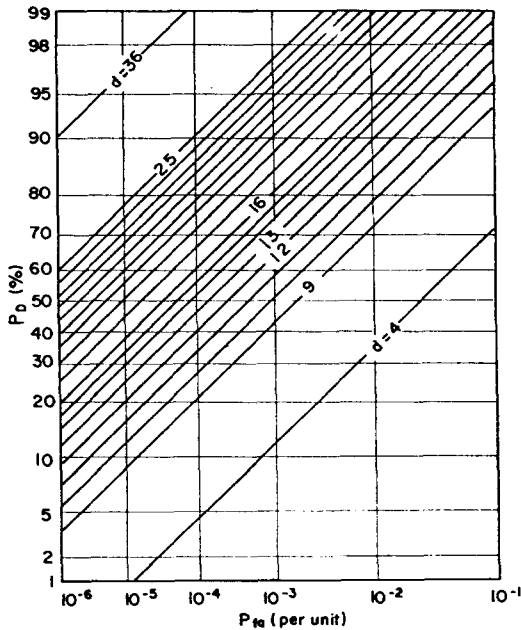


그림 6. Receiver operating characteristic curves: SNR(z)= d for indicated p_D and p_{fa} .