

<特別講演>

魚群探知에 관한 機器開發의 動向*

鈴木 裕

東京水産大學
(1987년 10월 31일 접수)

The Current Activities on the Development of Instruments for the Detection of Fish

Hiroshi SUZUKI

Tokyo University of Fisheries
(Received October 31, 1987)

緒 言

魚群을 探知하는 데는 옛날부터 바다의 물색의 變化, 魚群이 일으키는 낚살이나 거품, 갈매기 뼈의 움직임, 망통이나 헬리콥터 등에서 사람의 눈으로 직접 확인하는 방법을 이용하여 왔으나 이러한 방법들은 멀리 떨어져 있는 魚群이나 깊은 곳에 있는 魚群은 발견하기 어려운 형편이라 視界의 範圍를 탈피할 수 없었다. 이와같은 이유에서 무엇인가 새롭고, 확실하게 魚群을 探知하는 방법이 없을까 하고 오래 동안 漁業者들 사이에 거론이 되어왔다.

한편, 1912년 4월 14일 英國의 White star 회사의 초호화여객선 Titanic 호(46,000톤)가 뉴욕으로 가는 처녀항해도중 빙산과 충돌하여 침몰한 사고를 계기로 海中의 위험물을 探知하기 위한 研究가 거듭되어 1922년頃 불란서에서 Langevin 식 수정충수과기를 이용하여 오실로스코프로써 水深을 측정할 수 있는 音響測深機를 개발하게 되었다.

이것을 魚群을 探知하는 새로운 방법으로 채택하게 되었으며, 일본의 경우, 日本의 舊海軍이 사용하던 音響測深機를 木村가 개량하여 20 KHz의 超音波로서 魚群을 探知하게 되었고, 1950년부터 小型魚探

에 대한 研究를 시초로 오늘날의 科學魚探의 개발까지 발전하게 되었다.

이와같은 魚群探知에 대한 機器의 發展過程과 그 開發動向에 관해 言及하기로 한다.

1. 超音波를 이용한 魚群의 探索

1.1. 探魚의 基本原理

산이나 계곡에서 사람의 소리가 反射되어 되돌아오는 것으로서 산과 계곡의 존재를 알 수 있는 것과 마찬가지로 水中에서도 音波를 海底쪽으로 발사하면 海底로부터의 反射波에 의하여 測深할 수 있으며, 魚群에 反射되면 魚群을 探知할 수 있다.

船底付近에서 아래쪽으로 발사한 音波는 海水와 音響의 性質이 다른 魚群이나 海底에 닿으면 反射性에 의하여 그 일부는 反射되어 音波의 送波方向으로 되돌아온다.

送波側에 受波器를 설치하여 受信한 音響信號를 電氣信號로 변환하고, 이를 增幅하여 記錄器로 記錄하던지 表示器로서 나타낼 수 있다. 이와같은 목적으로 사용되고 있는 音波를 超音波라 부르며, 일반적으로 사람의 소리, 생물의 소리 등의 可聽音波보다 높은 周波數(15~460 KHz)를 이용하고 있다.

* 이 글은 1986년 秋季學術大會에서 特別講演한 鈴木裕教授의 講演內容을 釜山水産大學의 辛亨鎰教授와 李珠熙教授가 關連資料를 再整理한 것임.

超音波는 直進性을 가지고 있기 때문에 指向性을 갖게 하면 送波方向과 反射波의 到來方向을 결정할 수 있다. 그러므로 船底로부터 아래쪽으로 향하면 船舶의 直하의 魚群을 探知하거나 水深을 測수 있으며, 自船의 周위를 향하여 超音波를 發射하면 周위에 있는 魚群을 探知할 수 있다. 이것이 바로 探魚用 소오나의 基本原理이다.

또한, 超音波의 等速性을 이용한다는 것은 測距가 가능하다는 것을 뜻하며, 超音波펄스의 送信과 受信까지의 시간을 측정하고, 이것에 音速을 곱하면 反射體까지의 超音波의 往復距離를 구할 수 있다. 이 往復距離의 半이 魚群까지의 距離 또는 水深이 된다.

이러한 基本原理는 均一한 媒質中에 魚群이나 海底가 존재하고 있다는 理想狀態일 때이나 실제의 海中에서는 여러가지 상황에 따라 媒質이 다르게 된다.

1.2. 海中에서의 超音波의 性質

送波器로부터 發射된 音波는 送波器를 中心으로 하여 放射狀으로 확장되어 가기 때문에 單位面積當 定義된 音波의 強度는 거리의 2승에 反비례 하여 약하게 된다.

또한, 音波가 傳播될 때는 海水의 粘性때문에 傳播距離에 비례하여 일정한 비율로 吸收되며, 이러한 減衰를 吸收減衰라 한다.

送波器의 假想的 音波源의 中心으로부터 單位距離 r_1 (1 m 또는 1 yd)인 점을 指標點으로하여 그 점에서의 音波의 強度를 I_0 라 하고, 距離 r 에서의 音波의 強度를 I_r 이라 하면 I_r 는 다음 式과 같이 구할 수 있다.

$$I_r = \left(\frac{r_1}{r}\right)^2 = I_0 \rho^{-\beta(r-r_1)} \doteq \left(\frac{r_1}{r}\right)^2 I_0 e^{-\beta r} \quad (1)$$

여기서, $\rho^{-\beta r}$ 는 吸收減衰이고, β 는 吸收係數이다. 實用的으로는 指標點에서의 音壓을 P_0 , 距離 r 인 점에서의 音壓을 P_r 라 하면 傳播損失 N_p 는

$$\begin{aligned} N_p &= 20 \log_{10} \left(\frac{P_0}{P_r}\right) \\ &= 10 \log_{10} \left(\frac{I_0}{I_r}\right) \\ &= 20 \log_{10} \left(\frac{r}{r_1}\right) + \alpha r \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $\alpha = 10 \log_{10} \rho \cdot \beta = 4.3\beta$ 이고, α 도 吸收係數라 부른다. α 의 單位는 r 의 單位에 따라 dB/m 또는 dB/km이다.

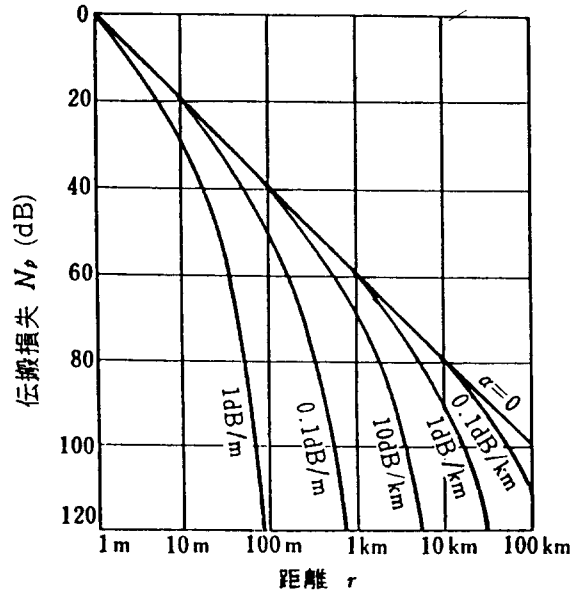


Fig. 1. Relation between the propagation loss and the distances from centre of the sound source.

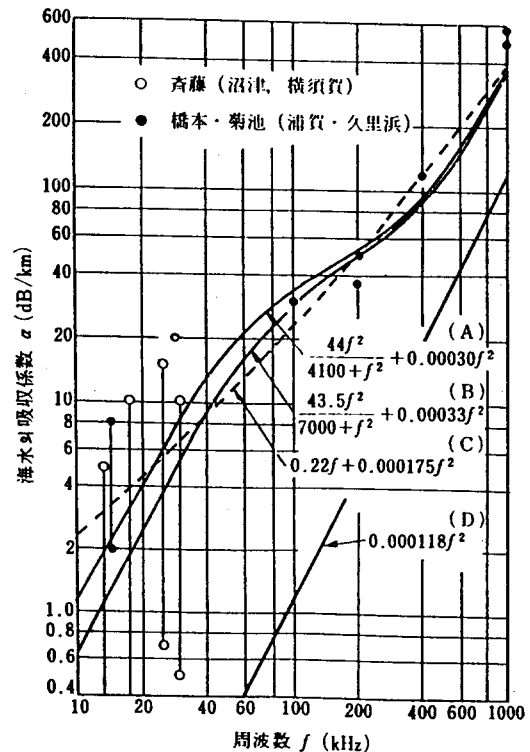


Fig. 2. Relation between the frequency and the coefficient of absorption in the underwater. (A) : Thorp, (B) : Murphy, (C) : Horton, (D) : Stokes

Fig. 1은 海水가 均一한 媒質인 경우의 吸收減衰 $\alpha=0$ 로 부터 $\alpha=1dB/m$ 까지의 傳播損失을 音源 중심으로부터의 距離 r 에 대하여 나타낸 것이다. 그러나, 실제의 경우 海水의 溫度, 鹽分, 壓力 등에 따라 音速이 다르기 때문에 音線은 摺折, 反射, 干涉하게 된다. 이 때문에 반드시 Fig. 1과 같이는 되지 않는다. 水中音速에 대한 研究는 많으나 가장 精度가 높은 것은 Wilson 式이라 할 수 있다.

$$C = 1,449 + 4,623 T - 0.0546T^2 + 1,391 (S - 35) + \dots \quad (3)$$

여기서, C 는 音速(m/s), T 는 溫度($^{\circ}C$), S 는 鹽分(%)이다.

Fig. 2는 超音波의 周波數에 대한 海水의 吸收係數 α (dB/km)의 값을 나타낸 것으로 Fig. 2에서 구한 α 의 값과 (2)式을 이용하면 使用周波數에 대한 傳播損失을 구할 수 있다.

1.3. 海底와 魚群의 超音波反射

音響測深機의 경우는 말할나위도 없이 魚探機에서도 트로울漁業用, 底層一本釣漁業用的 경우는 海底에서의 超音波의 反射는 重要하고, 水平方向으로 충분히 멀리 떨어진 海底에 平面波가 닿았을 때 海底에서의 反射率 R 는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$R = \left(\frac{\rho C - \rho_b C_b}{\rho C + \rho_b C_b} \right) \quad (4)$$

여기서, ρ 및 C 는 각각 海水의 密度 및 音速이고, ρ_b 및 C_b 는 海底의 密度 및 音速이다. 실제의 海底는 平滑하지 않으며, 또한 ρ_b, C_b 는 측정하기도 곤란하다. 橋本·間庭는 海底의 反射損失을 定義하고, slide 法에 의하여 측정하였으며, 그 결과는 Table 1 과 같다.

海底에서의 超音波의 反射는 魚探機, 소오나에 있어서 측심의에 海底가 가까이 있는 魚群의 식별과 底質의 추정때문에 특히 고려할 필요가 있다

또한, 魚體에 超音波가 닿았을 때 주로 부레에서

Table 1. The reflection loss for the frequency by the sea bottom

底 質	場 所	周 波 數 (kHz)	反 射 損 失 (dB)
泥		10~50	11~12
	浦 賀 港	100	11
	"	200	18
	久 里 浜 港	400	22
	"	1,000	30
砂		10~50	7~8
	久 里 浜 港	300	15
貝殼, 粗砂	久 里 浜 港	1,000	15

만 反射되는 것이라고 생각했던 것이 背部와 腹部에서 反射되어 돌아오는 反射波의 差가 큰 것이라던가 부레에 海水를 채운 경우에도 反射波가 변하지 않았던 것으로 부터 魚體의 反射는 魚體全部가 작용하게 된다. 또한, 魚體를 前後, 左右, 上下軸주위로 회전시켜 計測하면 反射의 方向性이 꽤 크다는 것도 판명되었으며, 垂直魚探에서는 대부분의 경우 魚體의 위쪽에서 探知하고 있다.

間庭가 魚體의 背部에 超音波가 入射한 경우의 反射損失(L_p)을 측정한 결과는 Table 2와 같다.

또한, 超音波의 波長에 비하여 큰 圓柱의 反射率과 海水·魚體의 密度差에 의한 反射率의 공을 이용하여 魚體의 反射損失을 (5)式과 같이 나타내었다.

(5)式에서 定義된 反射損失 L_p 는 魚體의 入射音壓과 魚體로부터 音源方向으로 x (=100cm)의 거리에서의 反射音壓과의 비를 dB 單位로 나타낸 것이다.

$$L_p = 20 \log_{10} \sqrt{\frac{\lambda}{2r} \cdot \frac{x}{b} \cdot \frac{2}{\Delta\rho} \cdot \frac{1}{K}} \quad (5)$$

λ : 超音波의 波長(cm)

x : 魚體로부터 音波方向으로 100cm 되는 距離

r : 魚體背部의 曲率半徑(cm)

b : 魚體의 全長

$\Delta\rho$: 魚體와 海水와의 密度差

K : 魚體의 形狀係數

Table 2. Example for the measured reflection loss at the back of fish body

魚 種	全 長 (cm)	體 長 (cm)	體 高 (cm)	體 幅 (cm)	周 波 數 (kHz)				
					28	100	200	300	400
					dB	dB	dB	dB	dB
전 갱 이	15	12.6	3.2	1.8	52	46	45	44	39
참 다 랑 어	19.4	16.6	3.4	2.3	49~50	42	41	37~39	36
멸 치	9.3	—	—	1.1	57	52	—	—	—
고 등 어	35.5	—	6.7	4.5	59	51	49	49	49

魚群探知에 관한 機器開發의 動向

宮野鼻(1983)등은 많은 實驗과 實測結果로부터 魚種에 따른 體長과 體重과의 관계, 魚體의 背方向의 反射強度(T_s)를 計測하였다. 反射強度는 超音波의 入射方向과 魚體의 姿勢에 따라 다르기 때문에 상세한 것은 今後에도 研究되지 않으면 안된다. 현재에는 背方向의 平均 T_s 로서 잠정적으로 (6)式을 이용하고 있다.

$$T_s = 10 \log a (k\omega)^{1/3} \quad (6)$$

a, k : 魚種에 의해 定해해지는 定數

w : 魚의 體長(kg)

실제의 T_s 는 최근 많이 觀측되어 보통의 고기에서는 $-35 \sim -28$ dB/kg 이라고 보고되고 있다.

魚群의 超音波의 反射는 單體魚의 反射強度의 合成이라 생각된다. 間庭는 指向性的의 有効角을 定義하고 魚群의 反射損失 L 에 관한 實驗式을 다음과 같이 나타내었다.

$$L = Lp + 20 \log_{10} \frac{1}{x \theta_0 \sqrt{\pi} \ln} \quad (7)$$

θ_0 : 指向性的의 有効角($\theta_0 = 0.6 \theta_1$)

x : 音源에서 魚群體까지의 距離

l : 海水中에서의 超音波펄스波長의 1/2

n : 魚群의 密度(單位體積當의 尾數)

Lp : (5)式에 의한 魚體 한마리의 反射損失

2. 各種魚群探知機의 實例

現在 多種多樣的의 魚群探知機가 출현하고 있으나 各機能을 適宜組合하면 超音波의 發射方向, 送受波 比幅 및 走査方向, 超音波의 發振部, 增幅器의 方

式, 記錄 및 指示方式 기타 付屬裝置의 有無와 用途別 등으로 分類할 수 있다.

最近에 實用되고 있는 小型, 中型, 普通型칼러魚群探知機, 科學魚群探知機, color scanning sonar, color net recorder, color telesounder는 Fig.3과 같다.

3. 魚群探知에 관한 最近의 動向

3.1. 魚와 漁獲

어부가 漁業을 행하는 경우에는 아주 近距離에서 만 하는 것이 아니라 처음에는 어느 漁場에 나갈 것인가를 결정하는 廣域探査를 해야하고, 그다음 2~3 일은 操業할 수 있는 海域을 찾는 中域探査를 하며, 마지막으로 실제로 操業하기 위한 狹域探査를 하게 되는 것이다.

지금까지 記述한 超音波에 의한 魚群探知는 狹域探査에 지나지 않는다. 이들의 一連의 漁業活動을 정리하여 보면, 漁撈을 한다는 것은 어부가 고기를 자기 손에 넣는 것으로 「어부가 고기를 수중에 넣을 때까지 近接한다」고 할 수 있다. 그렇게 하기 위해서는 어부가 고기가 있는 쪽으로 나가던지, 고기가 어부 쪽으로 가까이 오던지 하여야 한다.

魚群探知는 고기 쪽이 아니라 당연히 어부 쪽에서 가야만 하므로 어부는 漁船을 사용해야 하고, 우선 어느 쪽으로 가야할 것인가를 결정할 필요가 있으므로 廣域探査를 행한다.

다음에 無線機 등을 이용하는 中域探査, 魚群探知

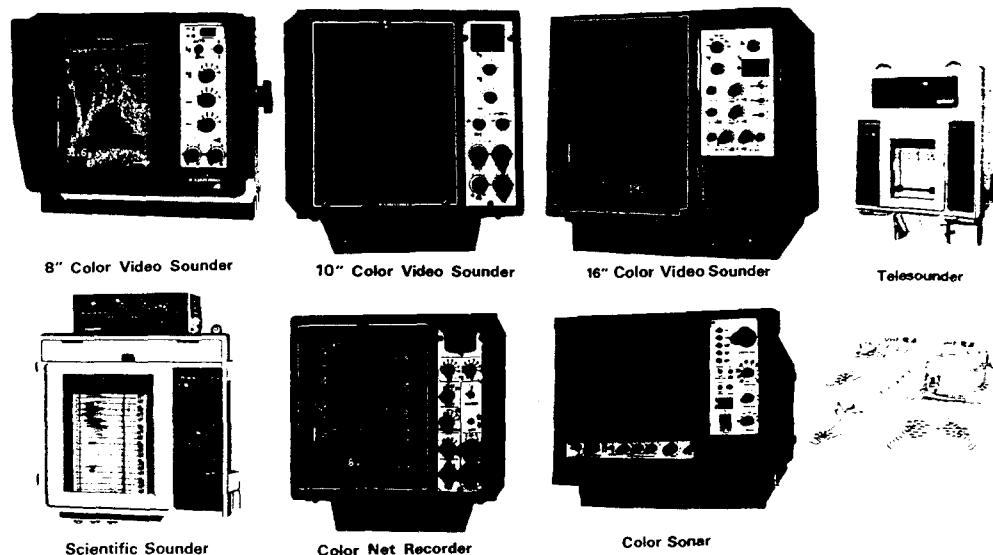


Fig. 3. The main body of the miscellaneous fishfinder in putting to practical utility.

Table 3. Fisherman and fishing system

人(漁夫)	漁船	廣域探查 中域探查	狹域探查	漁具와 魚體의 움직임(화살표)과 接觸
能動的	使用	漁場資料	直接探魚	旋網→魚群
	使用	漁場資料 無線連絡	間接探魚	트로울網→魚群
半能動的	使用	衛星觀測	目視와 소오나	가다랑어 釣擬餌←魚群
	使用	漁場資料	直接探魚	공치 棒受網→集魚燈光→魚群
受動的	使用	漁場資料	漁具敷設	낙시 漁具의 餌料←魚群 定置漁具←魚群

漁를 사용하는 狹域探查 準으로 漁撈를 하는 時代가 되었다고 생각한다.

廣域探查에서는 漁撈長의 經驗이나 과거의 漁場資料, 漁業서비스센터의 配布資料 등을 사용하여 넓은 海域의 어느 편으로 할 것인가를 결정한다.

現在는 魚群을 航空機나 衛星으로 探知하는 것은 경제적이 아니므로 衛星으로는 海面의 溫度情報를 관측하여 傳送하고 있다. NOAA 資料의 直接受信, 無線傳送, 日本의 MOS-1에 관한 研究가 進行되고 있다.

漁場에 도착하게 되면 이번에는 中域探查를 하게 되며, 各種의 無線裝置를 이용하여 同僚船과 연락하고, 魚群이 비교적으로 많은 곳까지 이동한 다음 여러가지 漁具를 사용하고 直接, 間接的으로 魚群을 探知하며 計量魚群探知機는 間接的이지만 이와같은 경우에 이용한다.

狹域探查에서는 魚群을 직접 探知하는 데 이용되는 機器나 超音波를 이용하는 漁業用 소오나 또는 魚群探知機 등을 이용한다. 이와같이하여 어부가 차츰 魚群에 접근하고 漁具를 이용하여 목표로 하는 魚群을 漁獲하는 행동으로 움직이게 되는 것이다.

위에서 言及한 어부와 漁獲과의 關係를 하나의 體

系로 정리하면 Table 3과 같이 나타낼 수 있다.

Table 3에서 화살표가 오른쪽으로 향한 것은 어부가 能動的으로 魚群쪽을 향하여 漁獲하는 것을 의미하고, 왼쪽으로 향한 것은 고기가 사람이 준비한 먹이나 그물쪽으로 유도되는 것을 뜻하는 것으로 사람은 受動的이라는 것을 나타내고 있다. 이렇게 하여 「어부가 고기를 수중에 넣을 때까지 近接시켜」 漁獲을 완성한다고 생각할 수 있다.

3.2. 最近의 動向

최근에는 Fig.4와 같이 人工衛星으로부터 얻은 資料로서 廣範圍한 海面溫度, 海流, 潮目 등의 海況을 짧은 시간에 얻을 수 있으며, 이 資料를 될 수 있는 한 실제에 가까운 狀態로 하여 近海에 있는 많은 漁船에 신속히 제공할 목적을 가지고 실시한 「漁業情報多階調畫像裝置의 開發事業」은 거의 만족한 결과를 얻을 수 있었다.

이 事業은 水産廳의 1985年度 漁業技術開發事業으로서 社團法人全國漁業無線協會가 漁業技術再開發事業技術委員會를 설치하고, 관련조사와 설계, 試作, 海上實驗을 행하여 종합적으로 평가하였다.

衛星으로부터 얻은 情報는 16階調의 多階調畫像으로

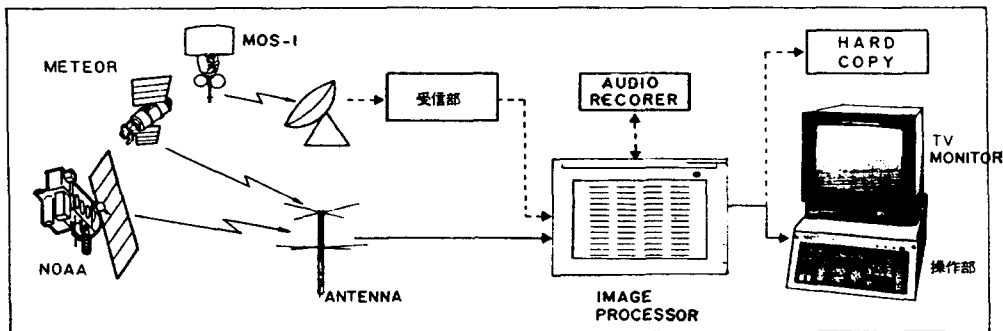


Fig. 4. Satellite image receiving system.

魚群探知에 관한 機器開發의 動向

로서 近海의 漁船이 가지고 있는 短波無線回線을 이용하여 그대로 再現할 수 있도록 디지털 傳送을 행하고, 海上의 諸通信이 衛星을 이용하는 時代가 되었을 때는 短波帶의 이용에는 여러가지 문제가 있으므로 小型漁船을 포함하여 경제적으로 큰 부담을 지지않도록 기술적으로 충분히 檢討되었다.

방대한 資料를 적당히 압축하고, 誤差訂正, 周波數合成受信으며, 時間合成受信 등도 실시하였고, 또한 船側에서 受信·處理·表示에 필요한 컴퓨터는 퍼스널 컴퓨터 정도로서도 충분하다는 것도 確證되었다.

結 言

最近의 魚群探知는 漁夫의 經驗적 探魚의에 基本 資料나 衛星에 의한 廣域探査, 소오나에 의한 中域 探査 그리고 魚群探知機에 의한 狹域探査를 행하는데 그치지 않고, 單體魚의 크기 및 종류와 魚群量을 더욱 정확하게 파악할 수 있는 機器를 開發하고 있다.