

이스라엘잉어 *Cyprinus Carpio*의 體長, 體重別 超音波 標的強度에 관한 研究

申炯浩 · 尹甲東 · 朴海勳

釜山水產大學

(1989년 10월 30일 접수)

Ultrasonic Target Strength of *Cyprinus Carpio* in Accordance with Body Length and Body Weight

Hyoung-Ho SHIN, Gab Dong YOON and Hae-Hoon PARK

National Fisheries University of Pusan

(Received October 30, 1989)

Research on the acoustic properties of fish has been carried out by a number of scientific workers from the earliest days of applying acoustic techniques to fish biomass estimates.

This paper describes measurements of the target strength of *Cyprinus Carpio*, which measurements made at 50 KHz in the experimental water tank.

The results obtained are as follows :

1. The target strength(dB) of the fish has a directivity pattern quite similar to that of a transducer. The maximum value of target strength(dB) is obtained when the fish is insonified to its head-tail axis either from the dorsal or from the ventral side.

2. Empirical relationship between target strength(dB) and body length(cm) of the fish can be estimated as

$$TS=20 \text{ Log } L-65.4$$

where TS is the target strength of the fish and L is the body length of the fish.

3. The relationship between target strength(dB) and body weight(g) of the fish can be estimated as

$$TS=6.7 \text{ Log } W-53.7$$

where W is body weight of the fish.

緒 論

音波는 수중에서 減衰損失이 적고 傳波速度가 거의 일정하여 水產 및 海洋分野에서 널리 이용되어지고 있다.

魚群深知機는 이러한 音波의 特性을 이용한 것

으로써 魚群深索과 魚群量의 推定 등에 이용되고 있다. 그러나, 魚群深知機를 사용한 魚群量의 推定은 魚體의 標的強度가 魚種, 魚體의 體長 및 體重, 魚體의 游泳狀態, 測定周波數 등에 따라 매우 복잡하게 변화하므로 현재까지 정확한 推定이 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서, 魚群密度를 정확히 추정하기 위한 수

단으로써 魚體의 標의 強度에 대한 研究가 활발히 進行되고 있다.

이에 대한 研究로서는, B.S McCartney and A.R Stubbs¹⁾, R.H Love²⁾, K.Hung and C.S Clay³⁾ 등은 魚種別로 魚體의 定立狀態에 따른 標의 強度, Kenneth G.Foote⁴⁾는 標의 強度에 있어서 부레의 重要性, J.I. Edwards and F. Armstrong⁵⁾은 體長에 따른 魚體의 標의 強度 變化 등에 대한 研究가 있다.

그러나, 우리나라에서의 魚體의 標의 強度에 대한 研究로는 박⁶⁾ 등이 있으나, 魚體의 體長, 體重別 標의 強度에 대한 研究는 전무한 실정이다.

따라서, 本 研究에서는 이스라엘잉어 *Cyprinus Carpio*를 대상으로 주파수 50 KHz에 대한 方位別 標의 強度를 고찰한 후, 이를 기초로 하여 體長 및 體重의 變化에 따른 標의 強度의 相關關係를 분석 · 검토하였다.

魚體의 標의 強度 測定理論

能動 소-나인 경우 標의 強度 TS 는 식(1)과 같이 정의되어진다.

$$TS = 10 \text{ Log}(I_r/I_i) \dots\dots\dots(1)$$

단, I_r : 標의 으로부터 單位距離에서의 反射波 세기

I_i : 標의 에 입사되는 入射波의 세기

식(1)에서 標의 이 完全 固體球라고 가정하면, 單位距離에서 半徑 a 인 固體球의 反射波 세기는 $I_r = I_i(a^2/4)$ 가 되므로 식(2)가 성립된다.

$$I_r/I_i = a^2/4 \dots\dots\dots(2)$$

식(2)를 식(1)에 대입하면 單位距離에서의 半徑 a 인 固體球의 標의 強度 TS_1 은 식(3)으로 표시할 수 있다.

$$TS_1 = 10 \text{ Log}(I_r/I_i) = 10 \text{ Log}(a^2/4) \dots\dots(3)$$

만약 送受信機에 대한 標的의 거리가 임의의 거리라면 標의 強度는 거리에 따른 傳送損失 TL 을 계산하여 주어야만 하는데, 이때의 傳送損失은 거리에 따른 音源出力 P 의 電壓比로 계산할 수 있다. 즉, 音源의 標的에 대한 反射波가 球面

波이면서 音源의 出力이 同一音源이므로 音源의 出力 $P = 4\pi d_1^2 I_1 = 4\pi d_2^2 I_2$ 의 關係式이 성립되고, d_1 이 $1m$, d_2 가 임의의 거리라고 하면, $I_1/I_2 = d_2^2$ 이 되어 傳送損失은 식(4)가 성립된다.

$$TL = 10 \text{ Log}(I_1/I_2) = 10 \text{ Log} d_2^2 = 20 \text{ Log} d_2 \dots\dots\dots(4)$$

送受信機가 하나로 조합된 魚探機인 경우 傳送損失은 Fig.1에서의 같이 $2TL$ 이 되므로 距離補正에 의한 固體球의 標의 強度 TS_r 은 식(5)가 된다.

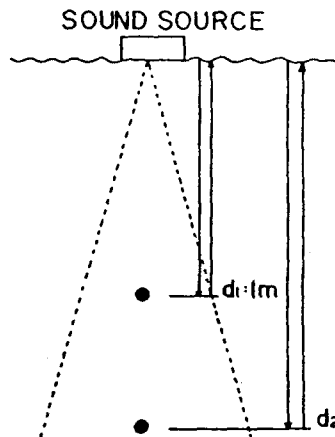


Fig. 1 The intensity at a range of d_1, d_2 meters from the sound source.

$$TS_r = TS_2 = TS_1 - 40 \text{ Log} d_2 \dots\dots\dots(5)$$

단, TS_2 : 임의의 거리(d_2)에서의 標의 強度

TS_1 : 單位距離(d_1)에서의 標의 強度

基準球를 이용한 魚體의 標의 強度는 동일 조건하의 魚體와 基準球(固體球)에 대한 相對電壓比와 基準球의 標의 強度로서 측정되어진다. 따라서, 임의의 거리에서 魚體의 標의 強度는 音源의 出力 P 가 電壓의 供給에 비례하고($P = V^2R$), 식(5)에 의한 基準球의 標의 強度를 구할 수 있으므로 식(6)으로 산출할 수 있다.

$$TS_r = 20 \text{ Log}(V_r/V_s) + TS_r \dots\dots\dots(6)$$

단,

TS_r = 임의의 거리에서 魚體의 標의 強度
 V_f = 임의의 거리에서 魚體의 測定電壓
 V_r = 임의의 거리에서 基準球의 測定電壓

材料 및 方法

1. 材 料

本 實驗에 사용한 供試魚는 體長 14~33cm, 體重 50~550g인 이스라엘 잉어 *Cyprinus Carpio* 였고, 이들을 體長 및 體重別로 분류하여 실험에 사용하였다.

2. 裝置 및 方法

實驗水槽(L300×W300×H200cm)는 콘크리트水槽이며, 水槽內部를 관찰할 수 있도록 水槽壁에 투명 유리창(L30×W60cm)을 부착하였다 (Fig. 2).

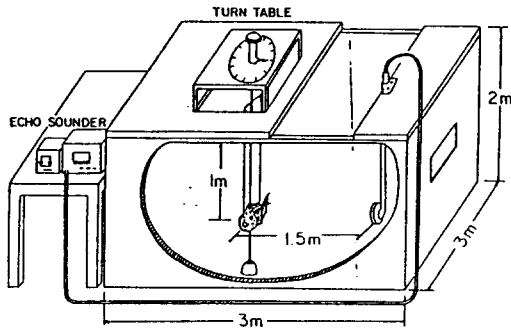


Fig. 2 Arrangement of experimental set-up.

實驗水槽의 水深은 190cm로 유지시켰으며, 水質은 담수이었고, 水溫은 14°C~15°C로 거의 일정하였다.

Fig. 2에서 振動子(直徑: 28cm)는 實驗水槽의 한쪽 끝 중앙에 설치하여 指示部에 연결하였는데, 이때의 振動子 送受信面은 水槽壁에서 25cm 떨어진 지점에서 供試魚와 1.5m 거리에서 마주 보도록 하였으며, 水深은 1m가 되도록 고정하였다.

送受信裝置인 ECHO-SOUNDER(JMC, V-106)의 系統圖는 Fig. 3과 같다.

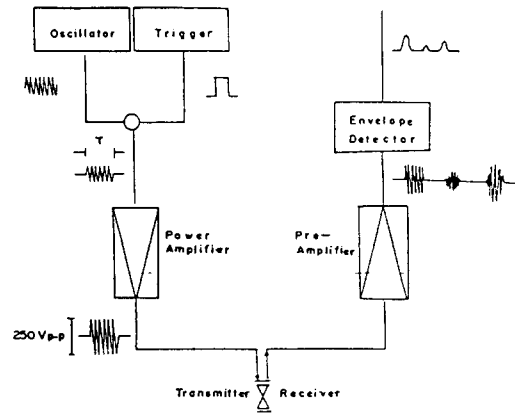


Fig. 3 Block diagram of experimental set-up.

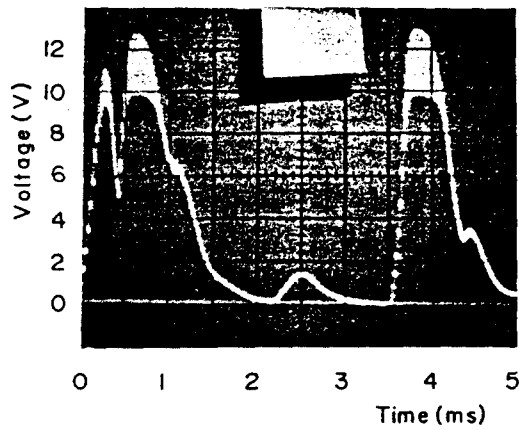
Fig. 3에서 送信은 周波數가 50 KHz인 持續波를 信號發生機(OSCILLATOR)에서 발생시킨 후 TRIGGER에 인가하여 펄스信號로 변환시킨 후, 電力增幅機에 입력시켜 餘振電壓이 250 Vp-p가 되도록 증폭하여 振動子를 통하여 송신하였다.

送信은 振動子에서 수신된 反射波를 前置增幅機에서 증폭시킨 후, 檢波部에서 포락선이 검출되어 오실로스코프에 나타나도록 하였다.

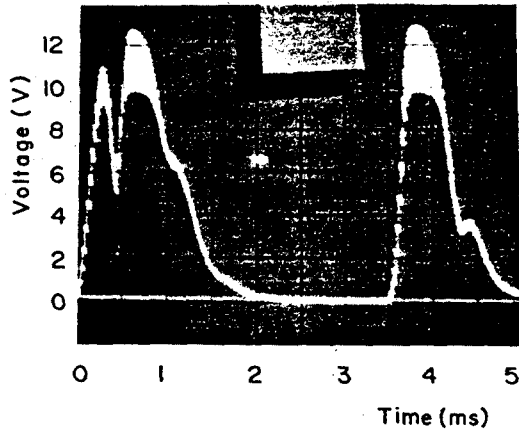
本 實驗에 사용된 ECHO-SOUNDER는 振動子 1개를 통하여 송수신이 가능하도록 설계되어 있으므로 오실로스코프에 나타난 波形은 送受信 波形 모두가 검출되어 나타난다(Fig. 4).

Fig. 4에서 送信펄스 波形은 2ms까지이며, 2ms 이후에 나타난 波形은 受信펄스 波形으로써 (A)인 경우 수조내에 基準球인 鐵球가 振動子로부터 1.5m에 설치되어 있는 상태로 鐵球에 대한 反射波(1.6V)와 壁波(포화상태)가 나타났으며, (B)인 경우 수조내에 標의 없는 상태로 壁波(포화상태)만이 나타났다.

實驗은 供試魚가 Turn table의 회전에 따른 움직임으로 自然狀態下에서 실험이 불가하여 마취된 상태에서 행하였으며, 供試魚의 固定은 Fig. 5에서와 같이 Nylon mono filament($\phi 0.2$ mm)와 추(60g, 200g, 400g)를 이용하여 平衡狀態를 유지시킨후, 360° 회전 가능한 Turn table에 메달아 수심 1m에 위치한 振動子와 동일 수심상에서 1.5m 떨어지도록 하였다. 이때 사용한 藥劑는 Ethyl Aminobenzoate(0.5%농도)로써 供試魚를 15분 동안 마취시킨 결과 藥劑持續時間은



(A)



(B)

Fig. 4 Echo signals with rigid steel ball(A) and without rigid steel ball(B).

약 1시간 정도였다.

標의強度測定은 고기의游泳狀態를 고려하여 고기의 등쪽이 振動子에 대하여 좌우, 상하 방향인 dorsal aspect(Roll, Pitch)와 측면이 振動子에 대해 반사되어지는 side aspect(Yaw)로 구분하여, 360° 회전 시키면서 方位別 標의強度를 측정하였으며, 이를 기초로 하여 體長 및 體重의 변화에 따른 標의強度의 相關關係를 유추하였다.

方位別 標의強度의 測定方法은 dorsal aspect인 경우, 供試魚가 振動子에 대해 등쪽으로 마주보고 있을 때를 0°로 하여 供試魚의 머리-꼬리축

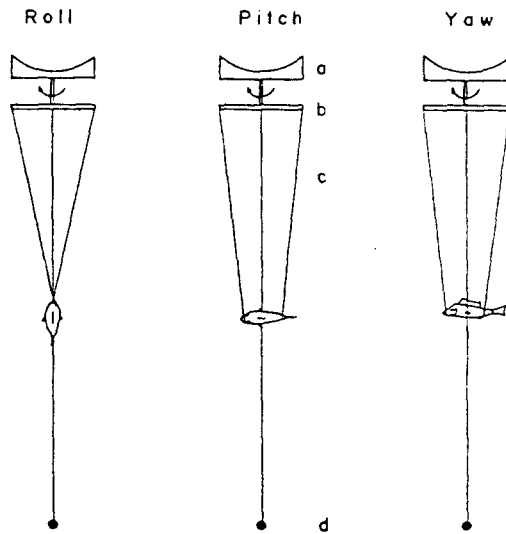


Fig. 5 Positioning of the target fish in three aspects to the sound source. The direction of the sound beam is vertical to the plane of this drawing.
a : turn table
b : steel bar
c : nylon mono filament
d : weight

이 좌우 회전되는 Roll plane과 상하 회전되는 Pitch plane에서 측정 하였으며 side aspect인 경우, 供試魚가 振動子에 대해 측면으로 수직되어 마주보고 있을 때를 0°로 하여 360° 회전시키면서 측정하였다.

體長, 體重別 標의強度 測定方法은 dorsal aspect상에서 360° 회전시키면서 個體別 供試魚에 대한 最大標의強度를 구하는 방법을 사용하였는데, 이는 현재까지 研究 結果에서 各部位別 標의強度中에서 dorsal aspect의 最大測定值가 資源量 推定에 응용되어지는 標의強度의 대표값으로 가장 중요시되어진다⁷⁻¹¹⁾는 결론에 근거하였다.

結果 및 考察

1. 方位別 標의強度

이스라엘잉어 *Cyprinus Carpio*의 方位別 標의強度에 대한 實驗結果는 전반적으로 모든 供試魚

가 方位別에 따른 변화가 뚜렷하게 나타남으로서 魚體의 標의 強度는 振動子의 送受信 音源과 魚體의 反射斷面積과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며, 이들의 관계를 유추하기 위하여 24.5cm (250g)의 이스라엘잉어에 대한 部位別에 따른 方位別 標의 強度를 極座標上에 나타낸 것은 Fig.6 과 같다.

Fig.6에서와 같이 部位別에 따른 方位別 標의

強度의 變化幅은 등방향이 기준으로 되어있는 Roll과 Pitch인 경우, Pitch에서는 變化幅이 심하였으나 Roll에서는 완만한 變化幅으로 나타났으며, 魚體의 측면이 기준인 Yaw인 경우 Pitch와 비슷한 양상으로 변화하면서 極小, 極大值가 -60dB에서 -34dB에 이르는 현저한 차이를 보여 주고 있다.

標準強度에서 가장 중요시되고있는 最大標의 強

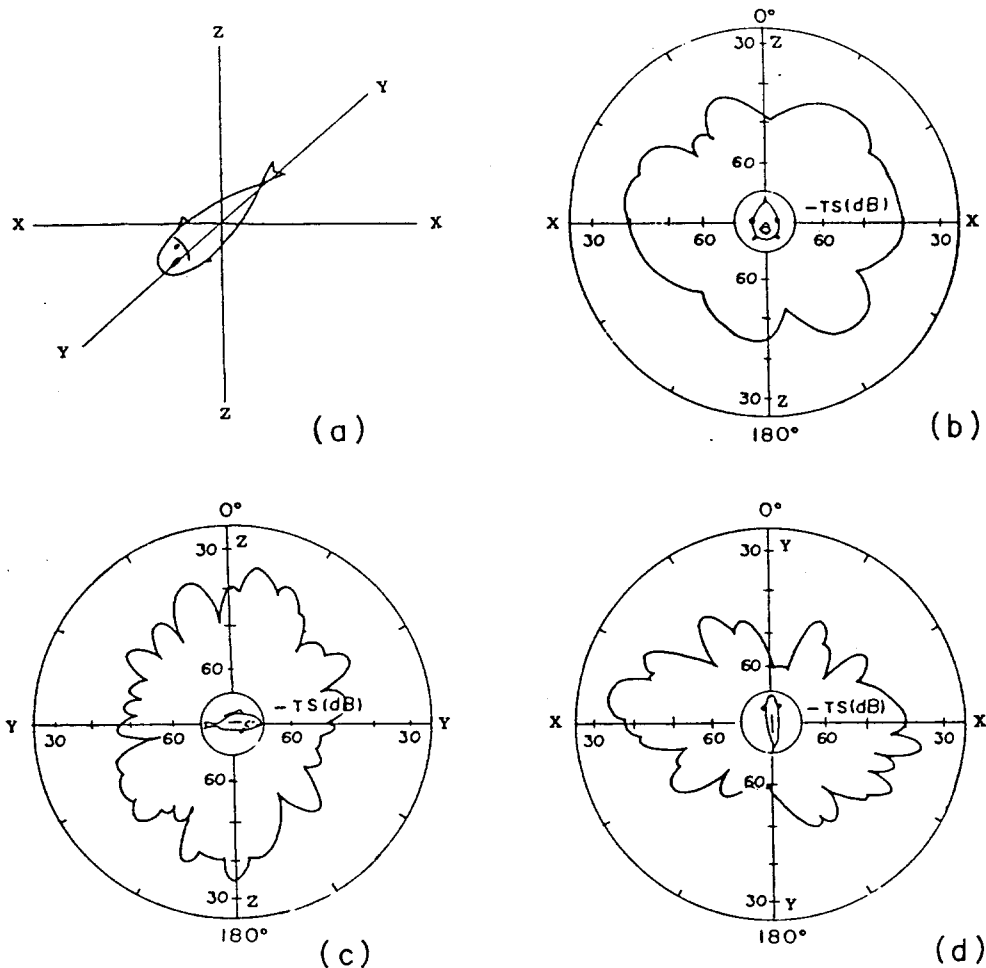


Fig. 6 Three dimensional polar diagram of the target strength of fish in accordance with direction of propagation of sound wave at frequency 50KHz the target fish of the target fish of 24.5cm long, 250g weight.

(a): Coordinates (b): Roll plane (c): pitch plane (d): Yaw plane

Table 1. The maximum dorsal aspect target strength on body length and weight for *Cyprinus Carpio*

Body Length(cm)	Weight(g)	TS(dB)	Body Length(cm)	Weight(g)	TS(dB)
14.0	50	-43.5	22.5	170	-37.5
14.5	60	-42.1	23.0	210	-40.9
15.0	65	-43.5	23.0	200	-38.2
16.0	70	-42.1	23.0	230	-37.5
16.5	80	-41.0	23.5	190	-37.5
17.5	70	-42.1	23.5	220	-38.2
18.0	75	-41.0	24.0	230	-37.5
18.0	90	-41.0	24.0	235	-36.8
18.5	85	-40.0	24.5	240	-38.2
19.0	90	-39.1	24.5	250	-36.6
19.5	120	-41.0	25.0	250	-40.0
20.0	130	-41.0	26.0	300	-35.5
20.0	140	-42.1	26.0	270	-36.8
20.5	190	-40.0	27.5	360	-35.0
21.0	160	-38.2	27.5	430	-34.4
21.0	150	-39.1	28.0	390	-35.5
21.5	160	-38.2	28.5	400	-35.0
21.5	180	-39.1	29.0	430	-34.4
22.0	180	-39.1	32.0	520	-35.0
22.0	195	-38.2	33.0	550	-33.9

도의 方位別 分布를 고찰해 보면 Roll에서는 등쪽을 기준으로 측면상의 5°~10°에서 측정되었고, Pitch에서는 등쪽을 기준하여 振動子에 머리축이 10°의 각만큼 멀어졌을때 측정되었으며, Yaw에서는 振動子에 대한 垂直 側面上의 5°~10°에서 측정되어 J.Burczynski(1982), K.Shibata(1971)의 研究結果와 일치함을 보여주었다.

이와같이 部位別에 따른 方位別 標의 強度가 方向性을 가지면서 變化되어 측정되어진 것은 魚體의 主反射源이 부레라는 前提하에 反射波로 작용되어지는 부레의 斷面積이 振動子의 送受信波에 대해 밀접한 方向性을 갖고 있음을 보여주는 結果라고 생각되어진다.

2. 體長, 體重別 標의 強度

이스라엘잉어에 있어서 體長L(cm), 體重W(g)別 標의 強度 測定値는 dorsal aspect에 대한 最大標의 強度로, 供試魚 40마리에 대한 標의 強度의 實驗結果는 Table 1과 같으며, 體長과 體重의 증가에 비례하여 증가하는 경향을 보였다.

(1) 體長別 標의 強度

體長과 標의 強度와의 關係를 구하기 위하여 體

長別 標의 強度를 나타낸 것은 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서 標의 強度는 體長이 14cm, 20cm, 24cm, 33cm로 증가함에 따라 -43.5dB, -41.0dB, -37.5dB, -33.9dB로 指數函數의 形式으로 증가하여 體長의 變化에 밀접한 關係가 있음을 알 수

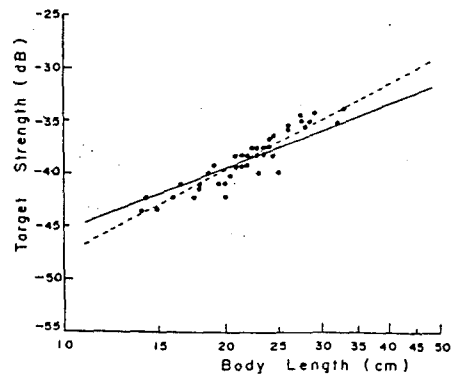


Fig. 7 The relationship between the maximum dorsal aspect target strength(TS) and body length, measured for *Cyprinus Carpio* at frequency 50KHz.

————— : TS=20 Log L-65.4

----- : TS=26.9 Log L-74.7

있으며, 이들의 關係式은 科學魚探에서 사용되는 體長에 대한 一般式으로 유도할 수 있다.

科學魚探에서는 體長에 대한 一般式을 魚體의 標의 強度가 體長의 제곱에 비례한다는 가정 (Love, 1971)하에 식(7-1)과 같이 變換係數 A만을 미지수로 하는 식으로 나타내고 있다.

$$TS=20 \text{ Log } L+A \dots\dots\dots(7-1)$$

Fig. 7의 각 측정치에 대한 A는 1變數 統計 計算으로 -65.4로 나타났고, 이를 식(7-1)에 대입하여 標準偏差가 1.2인 일반화된 關係式(7-2)를 얻었다(Fig. 7의 실선).

$$TS=20 \text{ Log } L-65.4 \dots\dots\dots(7-2)$$

한편, 一般式 (7-2)는 부레가 있는 一般魚種에 대한 標의 強度의 近似值를 기준으로 하여 얻어진 식이므로 Fig. 7의 測定值에 대한 相關關係를 구체화하고 一般式과 비교하기 위한 關係式이 요구되어진다. 따라서 最小自乘法에 의한 標의 強度의 相關式 (7-3)를 구하였으며, 이때의 相關係數는 0.93으로 높은 信賴度를 나타내었다(Fig. 7의 점선).

$$TS=20 \text{ Log } L-65.4 \dots\dots\dots(7-3)$$

關係式 (7-2)와 (7-3)에 대한 妥當性 與否는 歸無假說 $\rho=0$ 의 t-分布檢定으로 有意性을 확인할 수 있다. 따라서 推定值에 대한 自由度가 38일때 有意水準 5%에서 t-分布檢定하면,

關係式 (7-2)인 경우

$$t=16.7 > t_{0.05}=2.025$$

關係式 (7-3)인 경우

$$t=15.6 > t_{0.05}=2.025$$

가 되어 歸無假說은 棄却되고, 식 (7-2)와 (7-3)은 有意水準 5%에서 有意의이다.

(2) 體重別 標의 強度

이스라엘잉어의 體重과 標의 強度와의 關係를 구하기 위하여 體重別 標의 強度를 나타낸 것은 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서 標의 強度는 體重이 50g, 200g, 300g, 550g으로 증가함에 따라 각각 -43.5dB, -38.2dB, -35.5dB, -33.9dB로 증가하였으며,

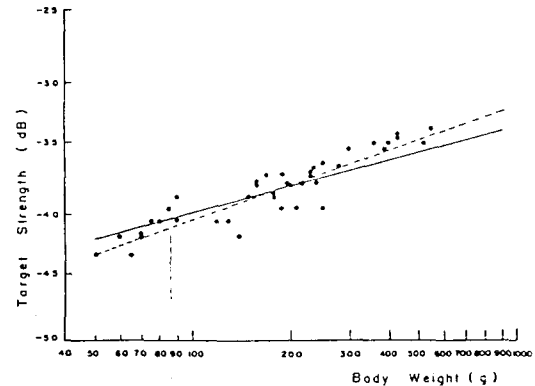


Fig. 8 The relationship between the maximum dorsal aspect target strength(TS) and body weight, measured for *Cyprinus Carpio* at frequency 50KHz

————— : TS=6.7 Log W-53.7
 - - - - - : TS=8.7 Log W-58.2

體重의 變化幅 500g에 대한 標의 強度의 變化는 9.6dB이었다.

科學魚探에서의 體重에 대한 一般式은 魚體의 標의 強度가 體重의 2乗에 비례한다는 研究結果에 따라 식(8-1)과 같이 變換係數 B만을 구하는 식으로 나타내고 있다.

$$TS=6.7 \text{ Log } W+B \dots\dots\dots(8-1)$$

Fig. 8의 각 측정치에 대한 係數 B는 1變數 統計 計算으로 -53.7로 나타났고, 이를 식(8-1)에 대입하여 標準偏差가 1.2인 體重에 대한 一般式(8-2)을 구하였다(Fig. 8의 실선).

$$TS=6.7 \text{ Log } W-53.7 \dots\dots\dots(8-2)$$

한편, 一般式 (8-2)는 體長의 경우와 마찬가지로 科學魚探을 응용하기 위한 體重에 대한 標의 強度의 近似值 關係式이므로 Fig. 8의 測定值에 대한 相關關係를 구체화하고 一般式과 비교하기 위한 關係式이 요구되어진다. 따라서 最小自乘法에 의한 體重에 대한 標의 強度의 相關式 (8-3)을 구하였으며, 이때의 相關係數는 0.92로 높은 信賴度를 나타내었다(Fig. 8의 파선).

$$TS=8.7 \text{ Log } W-58.2 \dots\dots\dots(8-3)$$

關係式 (8-2)와 (8-3)에 대한 妥當性 與否는 自由度 38일때 有意水準 5%에서 $\rho=0$ 의 t-分布

檢定으로 有意性を 확인할 수 있는데,

關係式 (8-2)인 경우

$$t=5.6 > t_{0.05} = 2.025$$

關係式 (8-3)인 경우

$$t=14.5 > t_{0.05} = 2.025$$

가 되어 歸無假說은 棄却되고, 식 (8-2)와 (8-3)은 有意水準 5%에서 有意의이다.

이상의 결과에서와 같이 이스라엘잉어의 50 KHz에 대한 標的強度는 體長 및 體重의 變化에 밀접한 관계를 갖고 있으며, 이들의 관계를 수식화한 關係式의 比較에서, 부레가 있는 대부분의 魚種에 대한 標的強度 近似值計算에 일반화된 식 (7-1), (8-1)에 의해 구한 一般式 (7-2), (8-2)가 측정치만의 수치를 最小自乘法으로 구한 식 (7-3), (8-3)과 거의 일치함에 따라 一般式의 變換係數 -65.4(체장)와 -53.7(체중)은 科學魚探에서 요구하는 魚種別 變換係數의 이스라엘잉어에 대한 固有係數로 이용됨은 물론 이와 유사한 다른 魚種의 比較資料로 이용되리라 생각된다.

要 約

本 研究에서는 이스라엘잉어 *Cyprinus carpio*를 體長과 體重別로 분류하여 方位別 標的強度를 측정한후, 體長 및 體重의 變化에 따른 標的強度와의 關係를 고찰하였으며, 그 結果는 다음과 같다.

1. 이스라엘잉어를 대상으로 하여 측정된 方位別 標的強度는 부레의 位置變化에 따라 심한 變化幅을 보였으나, 대체적으로 最大標的強度의 方位別 分布는 dorsal aspect)인 경우 등쪽을 기준하여 10° 정도의 方位變化에서 最大였으며, side aspect인 경우 音源의 垂直 側面上의 5°~10°에서 最大였다.

2. 이스라엘잉어에 대한 體長, 體重別 標的強度는 體長과 體重에 비례하여 指數函數的으로 증가하였으며, 體長(L) 및 體重(W)의 變化에 따른 標的強度의 關係式은 다음과 같다.

$$TS_L = 20 \text{ Log} L - 65.4$$

$$TS_W = 6.7 \text{ Log} W - 53.7$$

TS_L : 體長에 대한 標的強度(dB)

TS_W : 體重에 대한 標的強度(dB)

參考文獻

1. McCartney, B.S and A.R Stubbs(1971): Measurement of target strength of fish in Dorasl aspect, including swimbladder resonance. J. Sound Vib 15, 397-420.
2. Love, R.H(1977): Target strength of individual fish at any aspect. J.Acoust. Soc. Am.62, 1397-1403.
3. Hugn, K. and C.S.Clay(1980): Backscattering cross sections of live fish: PDF and aspect, J. Acoust. Soc. Am 67, 795-801.
4. Foote, Kenneth G(1980): Importance of the swimbladder in acoustic scattering by fish: A comparison of gadoid and mackerel target strengths, J. Acoustic. Soc. Am. 67 (6), 2084-2089.
5. Edwasrds, J.I and F.Armstrong(1982): Measurement of the target strength of live herring and mackerel, Bergen Symposium, No. 78(mimeo).
6. 박해훈, 장지원(1984): 활어의 후방산란 단면적 측정. 한국어업기술 학회지, 20(1), 11-16.
7. 飯田浩二(1987): 魚群探知機ないた俱多樂湖ヒメマスの資源と生態に關する研究. 俱多樂湖ヒメマス資源調査報告書, 17-21.
8. Burczynski, J.(1982): Introduction to the use of sonar systems for estimating fish biomass. FAO Fisheries Technical paper NO.191 Revision 1, 19-20.
9. Foote, Kenneth G(1980): Averaging of fish target strength functions. J. Acoustic. Soc. Am. 67(2), 508-514.
10. Dahl, P.H and O.A. Mathisen(1983):



이스라엘 잉어 *Cyprinus Carpio*의 體長, 體重別 超音波標의 強度에 관한 연구

Measurement of fish target strength and associated directivity at high frequencies. J. Acoustic. Soc. Am. 73(4), 1205-1211.
11. Shibata, K (1971) : Experimental

measurement of target strength of fish. Modern Fishing Gear of the World : 3, 104-108.