

혼을 사용한 하이드로폰의 指向特性

裴 鍾 林 · 尹 甲 東

釜山水産大學 漁業學科

Directivity Characteristics of Hydrophone used with the Horns

Joung-Rim BAE and Gab-Dong YOON

Department of Fishing Technology, National Fisheries University of Busan, Namgu, Busan, 601-01 Korea

The purpose of this study is to find directivity characteristics and relative gain of directivity of the wedge horn in conjunction with a projector with varying horn length, horn angle and frequency.

The horns are constructed with aluminum plate covered with styrofoam. By using hinges the horn angle could be varied with wide range.

Measurements were made over the frequency range of 25 KHz-100 KHz by varying the horn lengths from 5cm to 21cm and the horn angles up to 90 degrees.

The followings were the results obtained from the study.

1. As the horn angle increased, the beam width for the major lobe initially decreased and then increased. At 80 KHz with horn length 21cm the minimum beam widths were obtained with 16 degrees in horizontal plane and 36 degrees in vertical plane.
2. The maximum relative gains of directivity were 4.4 dB in horizontal plane and 3.4 dB in vertical plane when the horn length was 21cm.
3. Beam width was decreased with increasing of frequency.
4. When the mouth apertures were small the major lobes obtained by the experiment agreed with the computed ones, and when the mouth apertures were wide the major lobes by the observed were wide than the computed ones.

緒 論

音波는 빛이나 電波에 比較하여 水中에서 에너지 減衰가 적어 比較的 먼 곳까지 傳達될 수 있기 때문에 水中에서의 情報傳達는 音波를 利用하는 것이 効果的이다.

水中音響學은 水産學, 海洋學, 土木工程分野等に 널리 利用되고 있으므로 많은 科學者들에게 研究의 對象이 되고 있다.

그 中 超音波를 利用한 音響測深機, 魚群探知機,

Sonar等은 探知範圍가 數m에서 數km이므로 測深, 海底地形觀測 및 石油探査等に 많이 利用되고 있다. 이들 計測器의 音波發生振動子의 指向性을 向上시키기 爲해 혼(horn)을 使用할 수 있다. 혼은 空中音에서는 音響變換器에 붙여 오래전부터 使用해 왔으며, 이러한 혼의 特性은 水中에서도 有用하게 使用될 수 있으나 그 應用은 活潑하지 않다.

水中音響變換器의 指向性을 改善하기 爲한 方法으로 Reitz and Mueser²⁾은 無指向性送波器에 拋物線圓筒反射鏡과 원뿔형의 反射鏡을 붙여 周波數 15

KHz와 25 KHz에 대한 指向特性을 測定했고, Kckemie and Mckinney³⁾는 直徑 45~122mm의 球面反射鏡을 使用하여 周波數 30~300 KHz에 對한 指向特性을 研究하였다.

水中音에서 혼에 대한 研究는 Owens and Mckinney⁴⁾가 22種의 圓錐形 혼을 水中音響變換器에 붙여 指向特性을 調査한 바 있고, Mckinney and Anderson⁵⁾은 無指向性 音響變換器에 鷓기모양의 알루미늄제 혼을 붙여 周波數 60 KHz~150 KHz에 대하여 水平方向의 指向特性과 指向相對利得을 求했다. 또한 Hagegawa⁶⁾는 送波器를 油管에 넣어 油管의 길이와 周波數를 變化시키면서 指向相對利得을 求하였다. 그러나 이들은 指向特性과 指向相對利得을 水平面에 대한 것만 研究하였다.

本 研究는 無指向性送波器에 鷓기모양의 알루미늄제 혼을 붙여 혼의 길이 및 角, 周波數에 따른 水平垂直方向의 指向特性과 指向相對利得을 測定하였다.

實驗方法

1. 實驗裝置

本 實驗에 使用한 혼은 두께가 2mm인 알루미늄판으로 Fig. 1과 같이 鷓기모양으로 만들었고 혼의 길이는 5, 9, 13, 17, 21cm로 하였으며 혼의 높이는 6cm로 하였다.

反射波의 影響을 除去하기 위하여 혼 内部에 두께가 10mm인 스티로폼을 10mm의 틈니모양으로 製作하여 붙였다. 送波器(Bruel & Kjaer 8100)는 혼의 목(throat opening) 18mm만 남기고는 內面에 두께 10mm되는 고무판을 붙인 둥근 알루미늄판으로 둘러싸서 音波가 혼의 목에서만 나가도록 하였다.

그리고 경첩으로 送波器를 둘러싼 둥근 알루미늄과 혼의 앞쪽을 連結하여 혼角(horn angle)을 0°에서 90°까지 쉽게 變化시킨 수 있게 하였다.

本 實驗은 釜山水產大學 海洋科學研究所에 있는 콘크리트水槽(100cm×200cm×100cm)에서 實施하였으며 實驗水槽가 無響水槽가 되게 하기 爲해 Sano⁷⁾와 金⁸⁾ 등의 方法에 따라 約 1,000個의 사각뿔形흡음제기를 水槽의 底面과 側面에 附著시켰다. 이 水槽에 80cm 높이까지 海水를 넣고 送波器와 受波器(Bruel & Kjaer 8100)는 水槽의 底面으로부터 40cm 높이에, 送受波器間의 거리³⁾는 서로 70cm 떨어져 있게 하여 設置하였다. 方向에 따른 音의 強度를 測

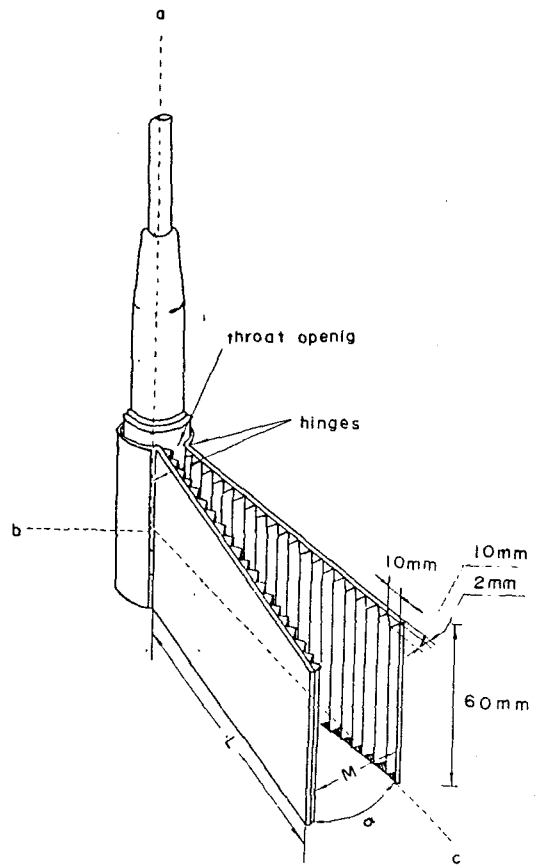


Fig. 1. Sketch of horn and projector.

定하기 爲하여 알루미늄판의 한쪽끝에 送波器를 固定하고 다른 한쪽끝엔 回轉可變抵抗器를 붙였다. 이 抵抗器의 兩端에 D.C. 6V의 電壓을 걸고 抵抗器의 可變端子를 X-Y記錄器(model XYR-2A Tokyo TOA)의 X軸에, 受信信號는 增幅시켜 Y軸에 連結하였다.

2. 音波의 發信 및 受信測定

音波發生器(TRIO AG-202A)의 音波를 增幅器(Bruel & Kjaer 2607)로 增幅하여 送波器에 보냈다. 이때 送波器의 特性이 周波數에 따라 다르므로 本 實驗을 行한 全周波數帶域에서 出力信號가 一定하게 되도록 音波發生器를 調節하였다. 送波器에서 發振된 音波를 受波器에서 受信하여 增幅器(Bruel & Kjaer 2606)로 增幅시켜 X-Y記錄器로 記錄하였다. (Fig. 2). 이때 增幅器는 水槽內의 環境騒音이 感知되지 않을 程度 범위인 50dB까지 增幅시켰다.

結果 및 考察

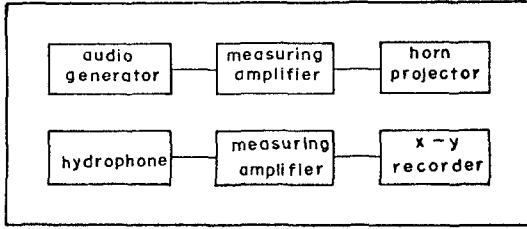


Fig. 2. Block diagram of the experiment device set-up.

3. 音의 세기 測定

혼을 붙인 送波器의 指向特性을 測定하기 爲하여 受波器는 固定하고 送波器를 360° 回轉시켰다. 送波器가 受波器와 正反對方向으로 있을 때를 -180°로 하고 受波器와 혼이 正面으로 향하고 있을 때를 0°로 定하였다.

送波器의 回轉角度는 X-Y 記錄器의 X軸에 기록되도록 하고 혼의 길이, 角 및 周波數에 따른 音의 세기는 Y軸에 기록되도록 하였다.

周波數 80 KHz, 혼의 길이 21cm, 혼角 20°일 때 X-Y 記錄器에 기록된 것은 Fig. 3과 같다. 指向特性은 Fig. 3에서와 같이 Y軸의 最高音의 세기에 대한 X軸의 3°의 回轉角에 해당하는 音의 세기와 相對比 (dB)를 極座標로 표시한 것이며, 指向角은 半電力點 (-3dB beam width)을 角으로 表示한 값이다.

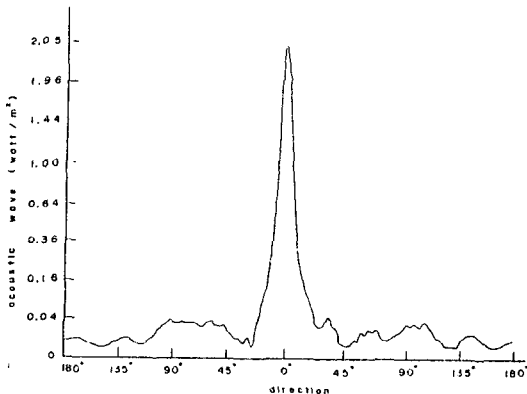


Fig. 3 Intensity of acoustic wave.

1. 혼角에 따른 指向特性

周波數 80 KHz, 혼의 길이 13cm일 때 혼角 (α)에 따른 水平垂直方向의 指向特性은 Fig. 4와 같다. 各 同心圓들 間의 間隔은 10dB이고 실선은 水平方向, 點선은 垂直方向의 指向特性들이다.

Fig. 4에서 0°附近에 主樞 (main lobe)이 생기고 그 周圍에 副樞 (side lobe)들이 생겼다. 이때 主樞의 最高音의 세기를 0 dB로 하고 方向에 따른 音의 세기는 最高音에 대한 相對比를 dB로 나타내었다. 대체적으로 혼角이 커짐에 따라 主樞의 幅은 좁아져다가 혼角이 더 크게 되면 主樞의 幅이 다소 넓어지는 傾向을 나타내고 있다.

$L=13cm$ 때 $\alpha=30^\circ$ 에서 水平垂直方向에서 主樞의 幅이 제일 좁게 나타났고, 送波器에서의 直接波와 혼에 反射된 反射波가 同一한 位相으로 만날 때는 主樞

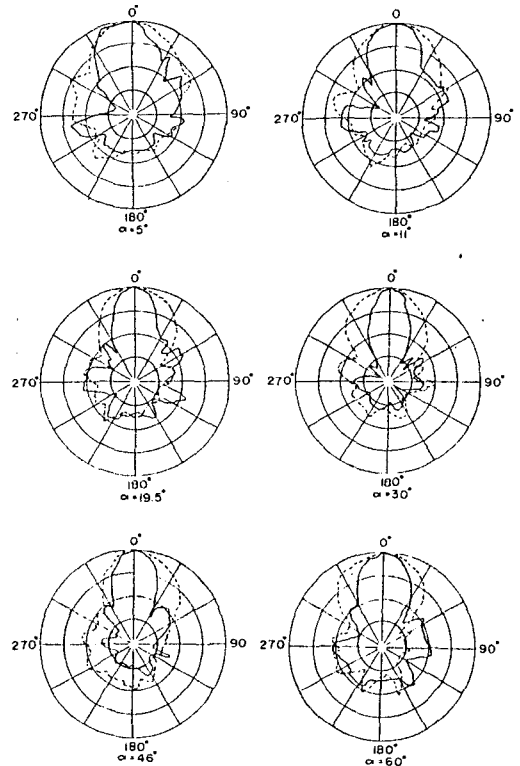


Fig. 4. Family of directivity patterns as a function of horn angle ($L=13cm$, $f=80 KHz$)—; horizontal plane, ---; vertical plane.

을 이루고, 反射波들끼리 同一한 位相으로 만날 때는 副極을 이룬다고 생각된다.

혼角이 적을때(5~11°), 主極의 幅이 넓은 것은 音波의 回折現象때문이라 생각된다.

혼角이 5°~11° 일 때 水平方向과 垂直方向의 主極의 幅이 거의 비슷하게 나타났으나 혼角이 커짐에 따라 垂直方向의 主極의 幅이 넓다. 이런 경우에 音波의 輻射形態를 立體的으로 보면, 水平方向은 幅이 좁고 垂直方向은 幅이 다소 넓은 楕圓體形을 알 수 있다.

혼의 開口幅(mouth aperture)에 따른 水平, 垂直方向의 指向角은 Fig. 5, 6과 같다. Fi. 5, 6에서 X軸의 M_λ 는 혼의 開口幅을 波長으로 나눈 값이며, 垂直, 水平方向의 最適혼에 해당되는 最小指向角은 表 1에 나타내었다.

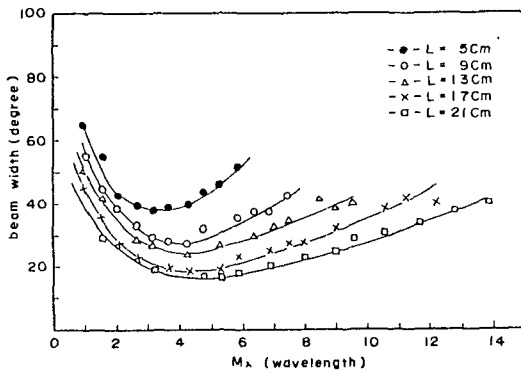


Fig. 5. Beam width as a function of horn aperture (horizontal plane, $f=80$ KHz).

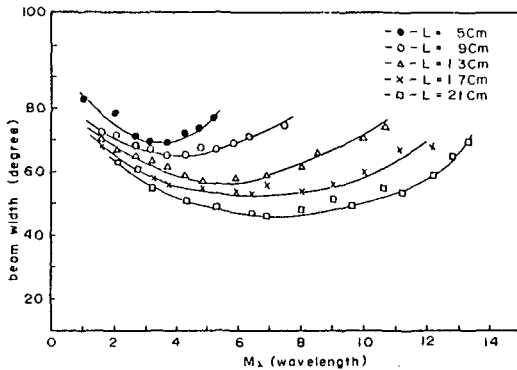


Fig. 6. Beam width as a function of horn aperture (vertical plane, $f=80$ KHz).

Table 1. Minimum beam width (-3 dB) for horn lengths

Horn length (cm)	Mouth aperture (M_λ)		Minimum beam width (degree)	
	Horizontal plane	Vertical plane	Horizontal plane	Vertical plane
5	3.2	3.7	37.8	58.0
9	4.3	4.3	28.0	55.0
13	4.8	4.8	24.0	47.0
17	5.3	6.4	18.0	43.0
21	5.3	6.0	16.0	36.5

또한 혼의 목 中央에서 開口를 2等分하는 直線의 길이를 音波波長(λ)으로 나눈 것을 R_λ 라 하고, 혼의 길이를 波長으로 나눈 것을 L_λ 라고 하면, 혼의 開口幅을 크게 함에 따라 처음에는 L_λ 와 R_λ 의 差가 約 0.15 λ 될 때까지 指向角이 좁아지다가 혼의 開口幅을 더욱 크게 하였을 때는 指向角이 넓어졌다. 垂直方向의 指向角은 水平方向의 指向角보다 대체적으로 約 20~25°程度 크게 나타났다.

2. 혼角에 따른 指向相對利得

指向相對利得은 送波器에 혼을 붙렸을 때와 혼을 붙이지 않았을 때 音의 세기의 相對比를 말하며 周波

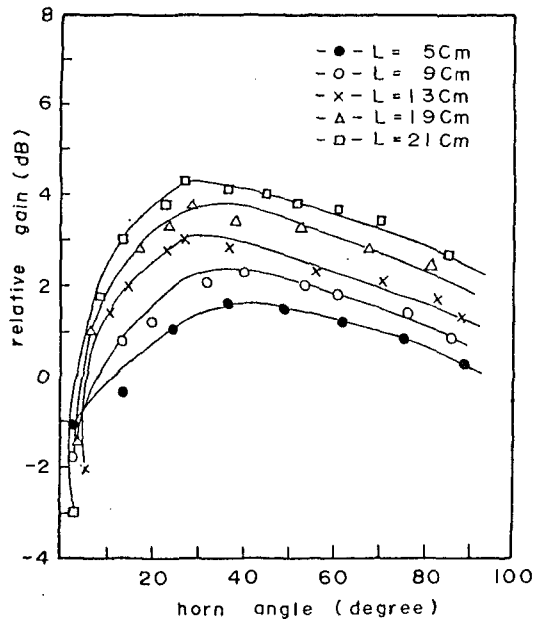


Fig. 7. Relative gain of several horns as a function of horn angle (horizontal plane, $f=80$ KHz).

혼을 사용한 하이드로폰의 指向特性

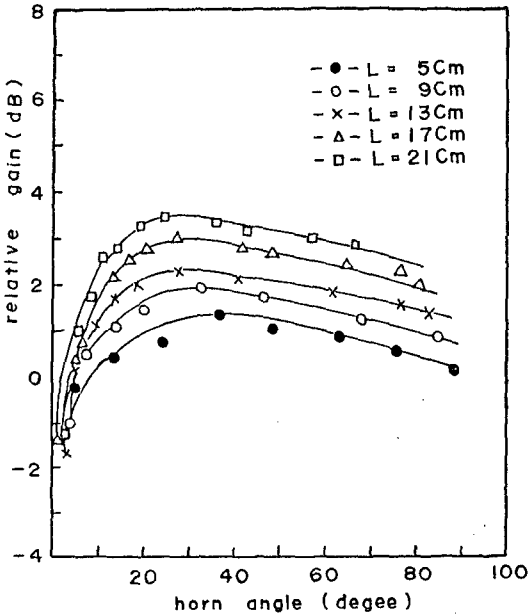


Fig. 8. Relative gain of several horns as a function of horn angle (vertical plane, $f=80$ KHz).

數 80KHz일때 혼角에 따른 水平, 垂直方向의 指向相對利得은 Fig. 7과 같다.

Fig. 7, 8에서 혼의 길이와 길이집에 따라 指向相對利得이 높아진을 알 수 있고, 혼角이 約 10° 以下인 때는 指向相對利得이 오히려 負의 傾向을 나타내었다. 혼의 길이가 一定한 경우, 主極의 幅이 좁을 때는 指向相對利得이 높았고, 主極의 幅이 넓을 때는 指向相對利得이 낮아졌다.

혼의 길이에 따른 水平, 垂直方向의 最大指向相對利得은 表 2와 같다.

Table 2. Relative gain for horn lengths

Horn length (cm)	Horn angle (α)		Relative axial gain (dB)	
	Horizontal plane	Vertical plane	Horizontal plane	Vertical plane
5	37.3	37.3	1.7	1.3
9	40.3	33.6	2.3	1.8
13	27.6	27.6	2.9	2.3
17	31.3	28.0	3.8	3.1
21	28.0	25.0	4.4	3.4

3. 周波數에 따른 指向特性

길이 13cm 혼의 最適혼角에 대한 周波數別變化에 따른 指向特性은 Fig. 9와 같다. Fig. 9에서 周波數가 增加함에 따라 主極의 幅이 좁아지는 현상을 나타내었고 周波數 25 KHz와 30 KHz 때는 主極의 幅이 넓고, 동근 指向特性을 나타내었다. 그리고 周波數 50 KHz 부터는 主極의 幅이 다소 좁아지는 傾向을 나타내고 있다.

Fig. 10은 周波數에 따른 指向角의 變化를 나타낸 것이며 周波數가 增加함에 따라 指向角은 銳利하게 나타났다.

4. 理論值와의 比較

혼의 開口幅에서 音波가 同位相으로 放射된다고 假定하고 N個의 點音源으로 되어 있다고 하자.¹⁰⁾ 그리고 이들 點音源이 球面波를 일으킨다면 거리가 R, 일 때 音壓이 P_0 이면, n번째 點音源에 대한 音

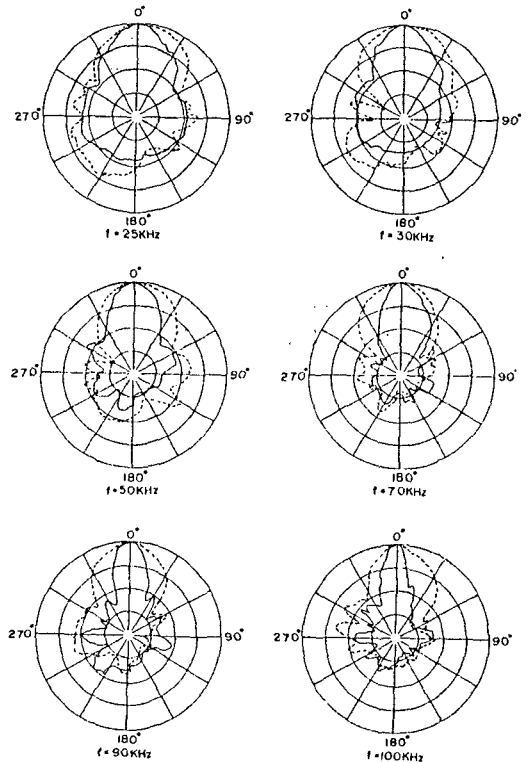


Fig. 9. Family of patterns as a function of frequency ($L=13$ cm, $\alpha=37^\circ$)
——; horizontal plane,; vertical plane.

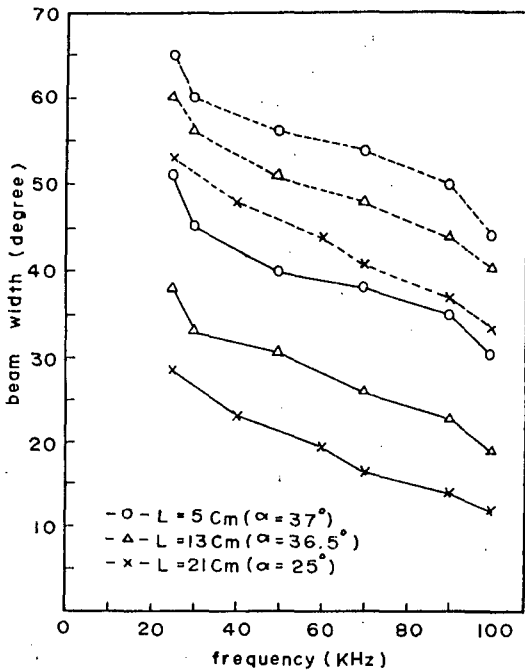


Fig. 10. Beam width as a function of frequency. —; horizontal plane,; vertical plane.

壓은

$$P_n = \frac{P_{on} R_o}{R_n} \exp[i(\omega t - KR_n)]$$

開口幅에서의 水平方向의 指向係數 D 는

$$D = \frac{\sin(k \frac{a}{2} \sin \alpha')}{k \frac{a}{2} \sin \alpha'} = \left| \frac{\sin Z}{Z} \right| \quad (\text{但, } Z = k \frac{a}{2} \sin \alpha')$$

로 表示되며, 音壓은 $P = Da' \exp [i(\omega t - kR)]$ (但, $a' = \frac{P_{on} R_o}{R}$)로 表示된다. 音의 세기 I 는 P^2 비례하므로 D^2 에도 비례하게 된다. 따라서 본 실험에 사용한 혼을 붙인 送波器의 指向係數 d 는 $d = 10 \log D^2$ 으로 정의할 수 있다.

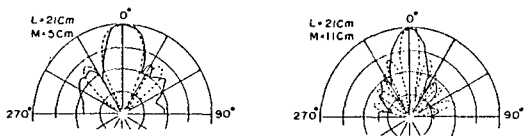


Fig. 11. Calculated and measured directivity patterns ($f=70$ KHz, horizontal plane).; calculated for rectangular aperture across dimension, —; measured.

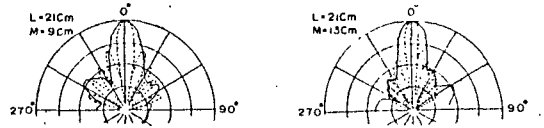


Fig. 12. Calculated and measured directivity patterns ($f=80$ KHz, horizontal plane).; calculated for rectangular aperture across dimension, —; measured.

Fig. 11, 12에서 실선은 本 實驗에 使用된 혼의 指向特性을 測定한 測定值이며, 점선은 同一한 開口幅을 가진 혼의 指向特性理論值이다. 測定值의 beam 幅들은 理論值의 beam 幅보다 넓게 나타났다. 이것은 理論值의 副極들이 主極에 포함되어 있기 때문이라고 생각된다.

그리고 開口幅이 좁을 때는 主極의 幅은 測定值와 理論值가 비슷한 傾向을 나타내고 있으나, 開口幅이 넓은 경우에는 主極의 幅은 測定值가 理論值보다 크게 나타났다. 이것은 혼의 開口幅에서 音波가 同位相이라고 간주했기 때문이라고 생각된다.

要 約

無指向性 送波器에 알루미늄판으로 만든 혼을 붙여 送波器가 어느 特定한 方向으로 指向性を 가질 수 있도록 裝置하여 혼의 길이, 角 및 周波數를 變化시킨 경우 水平, 垂直方向에 대한 指向特性과 指向相對利得을 測定한 結果는 다음과 같다.

1. 혼角에 따른 指向特性은 혼角을 크게 함에 따라 主極의 幅이 넓어지는 傾向을 나타내었다. 그리고 周波數 80 KHz, 혼의 길이 21cm 일 때, 最小指向角은 水平方向으로는 16° , 垂直方向은 36° 로 나타났으며, L_λ 와 R_λ 의 差異가 約 0.15 λ 가 될 때까지는 指向角이 감소했다.

2. 最大指向相對利得은 $L=21cm$ (周波數 80 KHz) 일 때 水平方向은 4.4 dB, 垂直方向은 3.4 dB였으며 혼角이 約 10° 以下 일 때 負의 傾向을 나타내었다.

3. 周波數가 25 KHz와 30 KHz일 때는 主極의 幅은 넓고 中庸 指向特性을 나타내었다. 50 KHz 부터는 主極의 幅이 다소 좁아지는 傾向을 보였다.

4. 혼의 開口幅이 좁을 때 測定值와 理論值의 主極의 幅은 거의 一致하나 혼의 開口幅이 넓을 때는 測定值의 主極의 幅은 理論值의 主極의 幅보다 크게 나타났다.

文 献

- 1) Stanford, G. 1934. Supersonic measurement of the directional characteristics of horns. J. Acoust. Soc. Am. Vol 5, 181—195.
- 2) Reitz, J.R. and R.E. Mueser. 1947. Two parabolic reflector underwater transducers. *ibid.* 19(1), 35—43.
- 3) Kckemie, M.J. and C.M. Mckinney. 1980. An experimental investigation of the parabolic reflector as a nearfield calibration device for underwater sound transducers. *ibid.* 67 (2), 523—529.
- 4) Owens, W.R. and C.M. Mckinny. 1957. Experimental investigation of conical horns used with underwater sound transducers. *ibid.* 29(6), 744—748.
- 5) Mckinney, C.M. and C.D. Anderson. 1954. Experimental investigation of wedge horns used with line hydrophones. *ibid.* 26(2), 1040—1047.
- 6) Hasegawa, A., O. Nomoto, H.Hataoka and T. Kikuchi. 1974. Directional gains of oilfilled-tube endfire ultrasound transmitters. J. Acoust. Soc. Japan 30(8), 436—442. (In Japanese).
- 7) Sano, N. 1974. On the reflection of ultrasounds from a living fish. Yamame. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish, 40(12) 1203—1211. (In Japanese)
- 8) Kim, S.H. 1978. Study on sound production and phonotaxis of some fishes and crabs. Bull. Kor. Fish. Tech. Soc. 14(1). 15—36. (In Korean)
- 9) Mckinney, C.M., K. W. Harvel and G.E. Ellis. 1971. Characteristics of line and dish underwater sound transducers in the near-to farfield transition region. J. Acoust. Soc. Am. 51(3), 1076—1082.
- 10) 川村雅恭. 1977. 電気音響工学概論. 召晃堂. 東京. 39—53.
- 11) Clay, C.S. and H. Medwn. 1977. Acoustical oceanography. John wiley. New York. 41—81.