

水中코오너리프렉터의 超音波反射特性에 關한 研究

李 吳 在* · 辛 亨 鎰*

Ultrasonic Reflection Characteristics of the Underwater Corner Reflector

Dae-jae LEE* , Hyeong-il SIN*

The corner reflector is used to increase the echoing area of radar targets in the air, and it can also be applied to increase the echoing area of the sonar targets under water. As the basic research for this application, the authors investigated the ultrasonic reflection characteristics under water for the corner reflector which was made of aluminum plate.

The experiments were made by pulse measuring method with the magnetostrictive ferrite transducers of 28, 50 and 75KHz in the experimental water tank.

The results obtained are as follows;

1. The target strength of corner reflectors were increased in proportion to the diameter and were greater at higher frequency of 75KHz than at lower frequency of 28 KHz.
2. In the case of 5 corner reflectors of 150mm in diameter which have corner angles of 15°, 30°, 45°, 60°, and 90°, the measured values of the maximum target strength at 75KHz were -25.0 dB, -17.2dB, -15.1dB, -13.4dB and 11.0 dB, and then the number of main lobes showing the maximum target strength in the backscattering patterns were 24, 12, 8, 6 and 4, respectively.
3. When 7 corner reflectors were symmetrically distributed against the beam axis without intervals on the horizontal cross section in the sound beam, the measured value of the total target strength at 75KHz was -12.9dB and coincided with the calculated one.
4. When the corner reflector of 80mm in diameter and 90° in the corner angle was located on the minor axis of the horizontal section with directional angles of 0°, 2.5°, 5.0°, 7.5°, 10° and 12.5° against the sound beam axis, the measured values of the target strength on each position at 75KHz were -21.2dB, -21.9dB, -26.0dB, -30.5dB and -36.8dB, respectively.

緒 論

코오너리프렉터는 레이더에서 電波反射標識로 使用하고 있는 것이나, 能動系 소오나의 水中超音波反射標識로서도 利用可能하므로, 코오너리프렉터의 水中超音波反射特性에 對한 研究가 要望되고 있다.

이러한 基礎的研究로서, Hamada는 코오너리프렉터를 水中超音波反射標識로 應用하기 위하여, 스티를製 코오너리프렉터의 直徑別 反射強度에 對한 理

論解析과 實驗을 通해서, 魚類의 行動觀察에 그것을 利用한 바 있다¹⁾.

그러나, 코오너리프렉터의 水中超音波反射特性은 그 材質, 크기, 構造, 音源에 對한 角分布位置 등에 따라 현저한 變化를 나타내므로, 直徑別 反射強度의 解析만으로서는 코오너리프렉터의 全般的인 反射特性을 把握하는데는 未洽하다.

本 論文에서는 알루미늄製 코오너리프렉터의 直徑別, 코오너角別, 複數排列別 反射特性과 角分布効果

*釜山水產大學: National Fisheries University of Busan

에 대하여 理論的으로 考察하고, 28, 50, 75KHz의 磁歪性페라이트 振動子로서 이들에 대한 實驗을 行하여, 코오너리프렉터의 水中超音波反射特性을 分析, 檢討하였다.

코오너리프렉터의 反射強度 測定理論

水中으로 發射된 超音波가 어떤 物標에 入射하여 그 物標로부터 反射되는 경우, 그 物標의 反射強度 T_s 는 (1)式과 같이 表示된다.

$$T_s = \text{Log} \frac{I_r}{I_i} \dots \dots \dots (1)$$

但, I_i : 物標에 入射하는 入射波의 세기

I_r : 物標로부터 單位距離에서의 反射波의 세기

또한, 物標의 有效散亂斷面積을 σ 라 하면 σ 와 T_s 사이에는 $T_s = 10 \text{ Log} / 4\pi$ 의 關係가 있다.

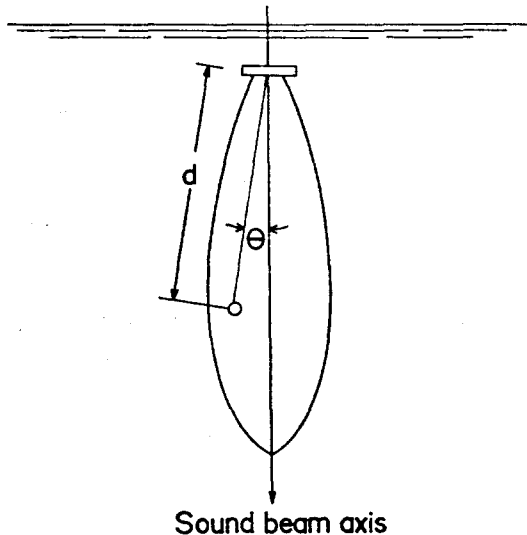


Fig. 1 Geometry for target strength measurement.

Fig. 1과 같이 送波器의 音束軸으로부터 θ 方向으로 d 만큼 떨어진 單一水中物標에 超音波가 入射하는 경우, 이 入射波의 세기 I_i 는 (2)式으로 表示할 수 있다^{2), 3), 4), 5)}.

$$I_i = I_0 \cdot d^{-2} \cdot R_s^2(\theta) \cdot 10^{-0.1\beta d} \dots \dots \dots (2)$$

但, I_0 : 音束軸上的 單位距離點에 대한 入射波의 세기

$R_s(\theta)$: 音束의 主軸으로부터 θ 方向에 대한 送波器의 指向性係數

β : 吸收減衰係數

이 物標로부터 反射된 超音波가 受波器에 受信될 때, 送·受波器가 同一位置에 있고 受波器의 指向性係數를 $R_r(\theta)$ 라 하면, 그 反射波의 세기 I_r 는 (3)式으로 表示할 수 있다^{2), 5)}.

$$I_r = I_0 \cdot d^{-4} \cdot \frac{\sigma}{4\pi} \cdot R_s^2(\theta) \cdot R_r^2(\theta) \cdot 10^{-0.2\beta d} \dots \dots \dots (3)$$

(3)式에서 $R_s(\theta) = R_r(\theta) = c$ 인 $R_s^2(\theta) = R_r^2(\theta)$ 가 되고 單位距離에서는 β 를 無視할 수 있으므로, 反射強度 T_s 는 (4)式과 같이 된다.

$$T_s = 10 \text{ Log} \frac{I_r}{I_0} - 40 \text{ Log} R(\theta) + 40 \text{ Log} d \dots \dots \dots (4)$$

(4)式에서 媒質의 密度를 ρ , 媒質中の 音速을 c 라 고 하면 音壓(P)과 音의 세기(I)間에는 $I = \frac{P^2}{\rho c}$ 의 關係가 있으므로, 入射波의 音壓을 P_0 , 反射波의 音壓을 P_r 라고 할 때, (4)式은 (5)式으로 表示된다.

$$T_s = 20 \text{ Log} \frac{P_r}{P_0} - 40 \text{ Log} R(\theta) + 40 \text{ Log} d \dots \dots \dots (5)$$

따라서, 單一코오너리프렉터의 反射強度는 (5)式으로 求할 수 있다.

한편, 複數排列코오너리프렉터의 反射強度는 (6)式과 같다⁶⁾.

$$T_{sp} = T_{st} + 10 \text{ Log} N_c \dots \dots \dots (6)$$

但, T_{sp} : 送波器의 有效指向角內에 分布하는 코오너리프렉터의 總反射強度

T_{st} : 複數排列코오너리프렉터를 構成하는 單一코오너리프렉터의 平均反射強度

N_c : 送波器의 有效指向角內에 分布하는 코오너리프렉터의 數

材料 및 方法

1. 材 料

本 實驗에 使用한 코오너리프렉터는 두께가 1mm인 알루미늄製圓板을 코오너角別로 組合한 것으로서, 그 種類 및 諸元은 Table 1과 같다.

2. 實驗裝置

1) 送受信裝置

水中코오너리프렉터의 超音波反射特性을 測定하기 위한 實驗裝置의 系統圖는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에서 送信은 發振器(KEC, KAG-22)로부터 發振된 28, 50, 75KHz의 正弦波를 減衰器(KEC, KAT-450)로서 $1V_{rms}$ 가 되도록 調整하여 Gating System (Bruel & Kjaer 4400)의 送信側 Gate에 入

Table 1. Specification of the experimented corner reflectors

Type		Specification		
NO.	S	D(mm)	θ_c (deg)	N
I		150	120	2.5
II		60, 80, 100, 120, 150	90	3
III		150	60	4
IV		150	45	5
V		150	30	7
VI		150	15	13

S: Plane figure of the reflectig plates consisting of corner reflector
 D: Diameter
 θ_c : Corner angle
 N: Number of the reflecting plates

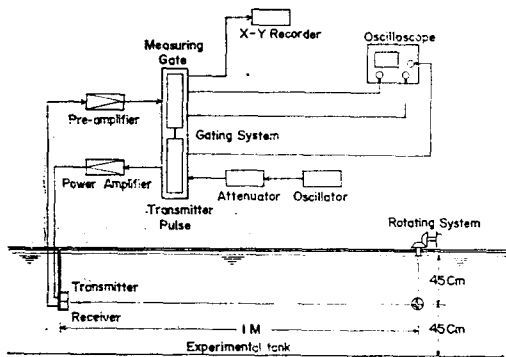


Fig. 2 Block diagram of the apparatus to measure echo scattered from corner reflector.

力시켰다. 入力信號는 펄스幅 0.1ms, 펄스反復周波數 15Hz인 펄스信號로 變換하여 電力增幅器로서 送波器의 勵振電壓이 40V_{p-p}가 되도록 增幅送信하였다. 受信은 受波器에 送信된 反射信號를 前置增幅器로 增幅하여 Gating System의 受信側 Gate에 入力시키고, 오실로스코프를 通하여 코오너리프렉터의 反射信號만을 샘플링하여 X-Y記錄器에 記錄하였다.

2) 送·受波用 超音波振動子와 實驗水槽

實驗用 超音波振動子は 28, 50, 75KHz의 磁歪性

페라이트 振動子(π 型, Vibrox, TOKIN)로서, 各指向特性은 Fig.3과 같고, 그 理論値는 (7)式을 利用하여 求하였다.

$$R(\theta) = \text{Sin } Z/Z \dots\dots\dots(7)$$

但, $Z = \pi \cdot \ell / \lambda \cdot \text{Sin } \theta$ (ℓ : 矩形의 邊長, λ : 波長, θ : 指向角)

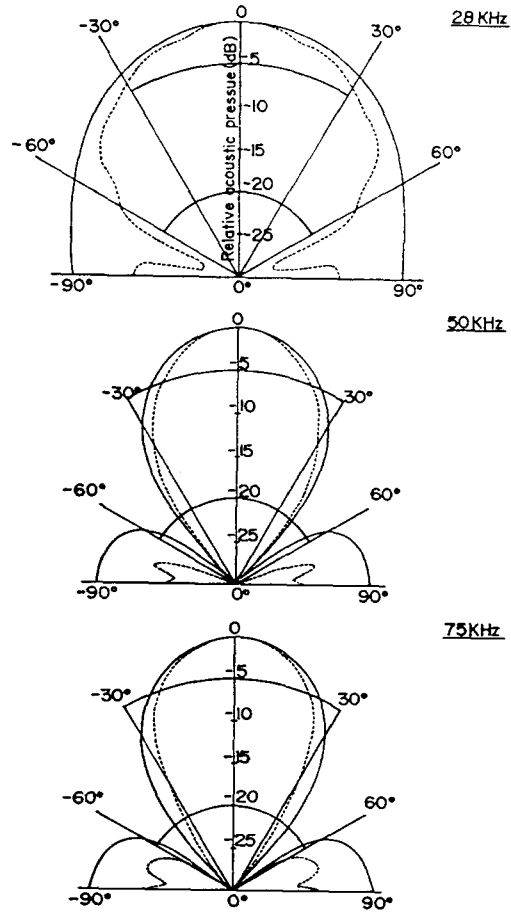


Fig. 3 Directivity patterns of rectangular transducers. — Calculated value, ... Measured value

한편, 實驗水槽는 無響水槽($L \times B \times H$, 1.8m \times 1.2m \times 1.2m)와 콘크리트水槽($L \times B \times H$, 5.7m \times 1.76m \times 1.0m)를 使用하였다.

3. 實驗方法

圓板의 反射特性은 28, 50, 75KHz의 周波數에 대하여 測定하였으며, 코오너리프렉터의 反射特性은 圓板의 反射特性의 測定結果로부터 測定精度와 分解

能이 良好한 75KHz의 周波數에 대해서만 測定하였다.

入射方向別 反射強度는 Fig.1과 같이 水槽中央部에 설치되어 있는 送·受波器로부터 1m距離에서 回轉裝置를 利用하여 圓板과 코오너리프랙터를 360°回轉시키면서 入射角別 反射音壓에 比例하는 電壓의 變化를 X-Y記錄器에 連續記錄하고, 記錄紙에 記錄(Fig.4)된 反射音壓과 코오너리프랙터位置의 直接波音壓을 (5)式에 代入하여 求하였다.

한편, 測定時 水槽의 水溫은 12°C였고, Greenspan-Tschiegg의 實驗式⁷⁾에 의한 水中音速은 1455.34 m/sec로서, 이 값을 波長計算의 기준으로 하였다.

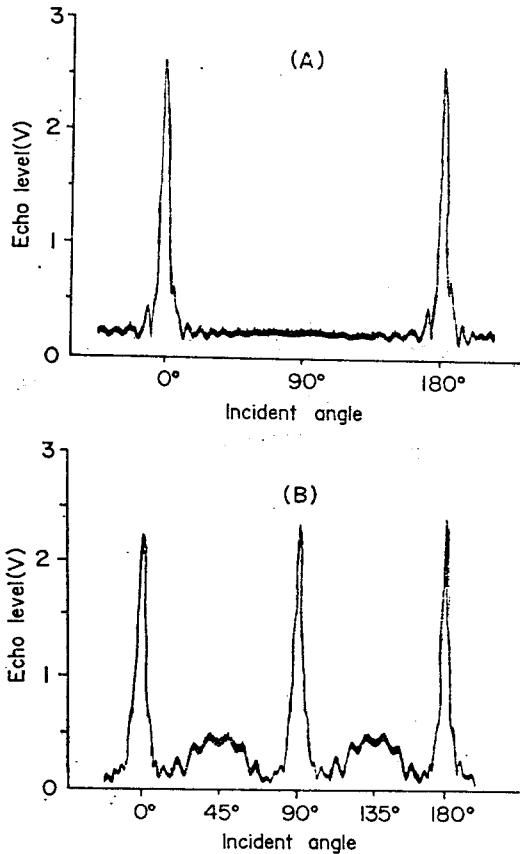


Fig. 4 Records of echo level as a function of incident angle (75KHz).
A : Circular plate—dia. 150mm
B : Corner reflector—dia. 150mm

結果 및 考察

1. 圓板의 反射特性

圓板의 反射特性은 Fig.4의 (A)와 같이 超音波가 圓板面에 直角으로 入射할 때, 最大의 反射強度와 銳利한 反射指向性을 나타내었으며, 28, 50, 75KHz의 周波數에 대한 直徑別 圓板의 反射強度의 測定値와 (8)式에 의한 理論値는 Fig.5와 같다.

$$T_{sc} = 10 \text{ Log}(\pi \cdot \gamma_c / \lambda)^2 + 10 \text{ Log } R \dots \dots \dots (8)$$

但, T_{sc} : 圓板의 反射強度, γ_c : 圓板의 半徑, R : 圓板의 反射率⁸⁾

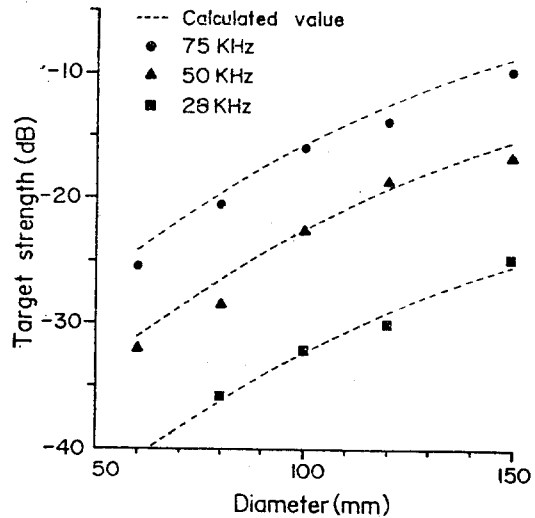


Fig. 5 The measured and the calculated values of the target strength of circular plates as a function of diameter for the frequency.

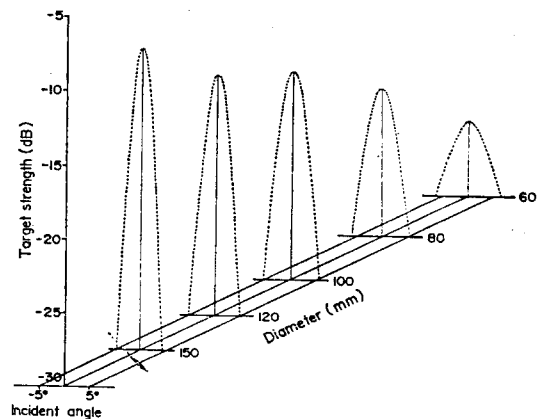


Fig. 6 Acoustic backscattering patterns of circular plates (75KHz).

Fig. 5에서 反射強度의 測定値와 理論値는 거의 一致하였으며, 周波數別 反射強度는 75KHz, 50KHz가 28KHz보다 各各 15.6dB, 9.2dB 높게 나타나 周波數가 높을수록 높은 경향을 나타내었다. 또한, 圓板의 크기別 反射強度는 直徑의 4승에 비례하였다.

Fig. 6은 $\pm 5^\circ$ 의 入射角範圍에 대한 圓板의 反射指向性을 直徑別로 나타낸 것으로, 直徑이 增加함에 따라 圓板의 反射指向性은 점차 銳利하게 됨을 알 수 있었다.

2. 單一코오너리프렉터의 反射特性

Table 1의 II型和 같이 直徑이 150mm이고, 코오너角이 90° 인 코오너리프렉터의 水中超音波反射特性을 極座標로 나타낸 結果는 Fig. 7과 같다.

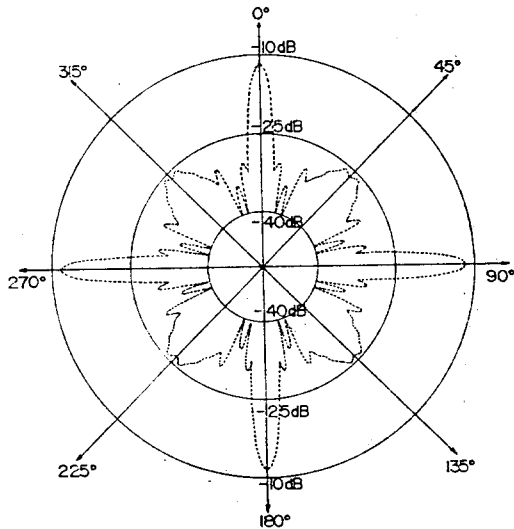


Fig. 7 Acoustic backscattering polar diagram of spherical type corner reflector. (Diameter : 150mm, Frequency : 75KHz, Corner angle: 90°)

Fig. 7에서 超音波가 組合圓板面에 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 로 入射할 때 主葉이 나타났고, $45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ 로 入射할 때 主葉보다 反射強度가 約15dB 낮은 側葉이 나타났다.

따라서, 코오너리프렉터의 反射強度와 反射指向性은 코오너角과 關係가 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 關係를 糾明하기 위하여, 同一直徑의 圓板을 코오너角이 各各 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ 가 되도록 組合하고, 各各의 反射特性을 測定한 結果를 90° 범위의 極座標로 나타내면 Fig. 8과 같다. 또,

Fig. 8에서 求한 코오너角과 反射強度 및 主葉數와의 關係는 Fig. 9와 같다.

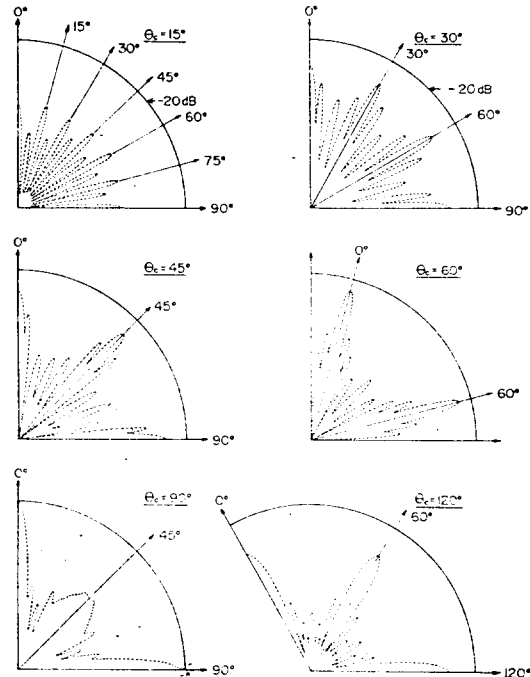


Fig. 8 Acoustic backscattering polar diagram of 6 corner reflectors in Fig. 1.

Fig. 9에서 코오너角이 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 로 增加함에 따라 主葉의 最大反射強度는 各各 $-25.0\text{dB}, -17.2\text{dB}, -15.2\text{dB}, -13.4\text{dB}, -11.0\text{dB}$ 로 점차 增加하는 경향을 나타내었으나, 코오너角 12° 의 경우는 -18.1dB 로서 코오너角이 30° 인 경우와 近似한 값을 나타내었다.

한편, 最大反射強度를 나타내는 主葉의 數는 코오너角이 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ 로 增加함에 따라 圓板面과 直角方向에 各各 24, 12, 8, 6, 4개가 나타나 점차 減少하는 경향을 보였고, 120° 의 경우는 6개가 나타났다. 또 側葉의 數는 코오너角이 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 일때 각각 1, 3, 5, 7개가 나타났고, 90° 의 경우는 45° 를 中心으로 廣帶域의 鈍한 側葉이 나타났으며, 120° 의 경우는 5개가 나타났다.

따라서, 全入射方向에 대하여 良好한 反射特性을 얻기 위해서는 코오너角이 $30^\circ \sim 90^\circ$ 범위가 되도록 코오너리프렉터를 構成하는 것이 가장 効果的이라 생각된다.

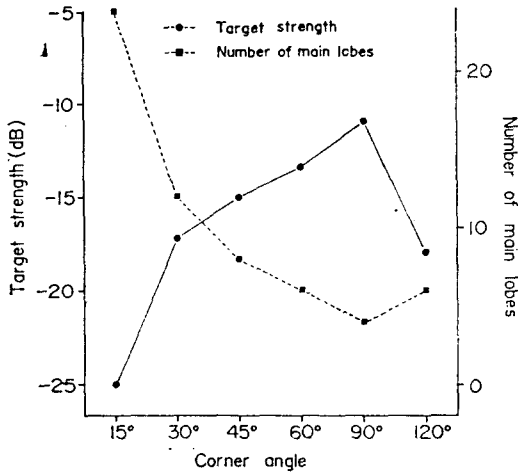


Fig. 9 Relation between target strength, number of main lobes and corner angle for 15°, 30°, 45°, 60°, 90° and 120° corner reflectors.

3. 圓板과 코오너리프렉트의 反射特性 比較

圓板과 코오너리프렉트의 反射強度와 直徑(D) 및 波長(λ)의 關係는 Fig. 10과 같다.

Fig. 10에서 圓板을 入射角 0°의 最大反射強度를, 코오너리프렉터는 主葉과 側葉의 最大反射強度를 나

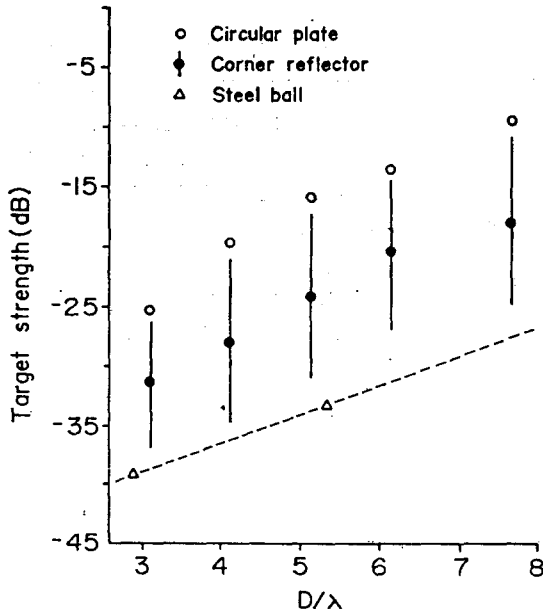


Fig. 10 Comparison of target strength between corner reflectors, circular plates and steel balls as a function of D/λ .

타낸 것이며, 圓板과 코오너리프렉터의 反射特性의 範圍를 確認하기 위하여 球의 平均反射強度도 함께 나타내었다.

Fig. 10에서 코오너리프렉터의 크기別 最大反射強度는 圓板과 같이 直徑의 4승에 比例하였으며, 主葉과 側葉의 反射強度는 $3 < D/\lambda < 8$ 범위에서 항상 同一直徑의 圓板의 最大反射強度보다 작고, 球의 反射強度보다 큰 경향을 나타내었다.

이와같이, 코오너리프렉터의 反射強度가 圓板의 反射強度보다 적은 것은 코오너리프렉터를 構成하는 圓板面 相互間의 干涉現象때문이고, 또 球가 코오너리프렉터보다 적은 것은 球에 대한 音波의 亂反射現象때문이라 생각된다.

4. 複數排列 코오너리프렉터의 反射特性

直徑이 80mm인 II型(Table 1)의 코오너리프렉터를 2, 3, 4, 5, 6, 7個씩 音束軸을 中心으로 間隔없이 平面排列한 경우와 3, 5, 7個를 각각 2cm 및 5cm 間隔으로 直線排列한 경우에 있어서 反射強度의 測定値와 (6)式에 의한 理論値를 나타낸 結果는 Fig. 11과 같다.

Fig. 11에서 2, 3, 4, 5, 6, 7個를 平面排列한 경우, 反射強度의 測定値는 각각 -18.2dB, -16.5dB, -15.4dB, -14.3dB, -13.4dB, -12.9dB로서 理論値와 거의 一致하고, 또 코오너리프렉터數의 平方根에 比例하였다.

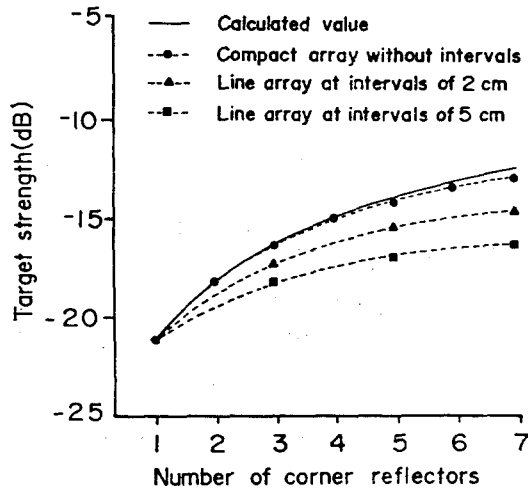


Fig. 11 Variations of the target strength according to the array patterns and the number of corner reflectors which were distributed on the horizontal cross section in the sound beam.

5. 코오너리프랙터의 角分布에 대한 反射 特性的 變化

直徑이 80mm인 II型(Table 1)의 코오너리프랙터가 Fig. 12와 같이 音束의 橫斷面에서 音束軸의 中心 F_0 로부터 X, Y方向으로 各各 角 θ, θ_a 인 $F(\theta, \theta_a)$ 點에 位置하고 있을 때, 角變化에 따른 反射強度의 測定値는 Fig. 13과 같다.

Fig. 13에서 θ 가 0° 이고, θ_a 가 $0^\circ, 2.5^\circ, 5^\circ, 7.5^\circ$

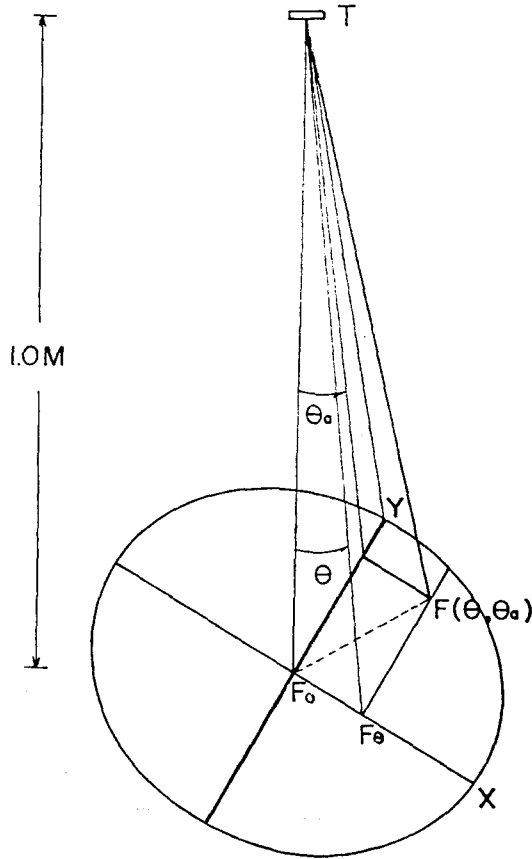


Fig. 12 Diagram showing the angular distribution against the beam axis of a single corner reflector situated within the sound beam.

그러나, 2cm 및 5cm間隔으로 直線排列한 경우, 그 測定値는 理論値보다 항상 작고, 理論値와 測定値의 差는 그 數가 增加함에 따라 점차 커지는 경향을 나타내었다. 또한, 2cm間隔으로 直線排列한 경우는 5cm間隔으로 直線排列한 경우보다 全般的으로 높은 反射強度를 나타내었다.

이와같이, 排列形態에 따라 反射強度가 다른 것은 音源位置에 대한 코오너리프랙터의 角分布效果에 起因하는 것으로 생각된다.

따라서, 코오너리프랙터를 複數排列하는 경우에는 角分布效果를 고려하여 平面排列하는 것이 直線排列하는 것보다 探知 및 識別이 容易할 것으로 생각된다.

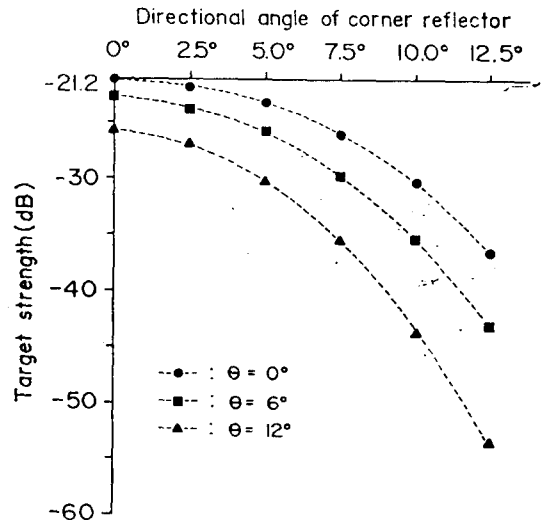


Fig. 13 Relation between the target strength and the angular distribution of corner (θ, θ_a) against the beam axis.

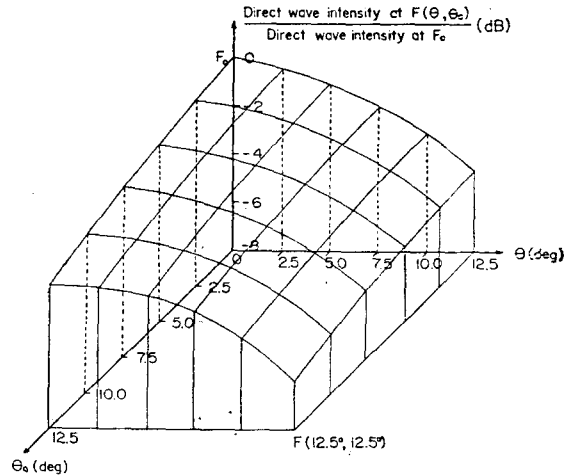


Fig. 14 Plots of the ratio of the direct wave intensity at the optional point $F(\theta, \theta_a)$ to that at the standard point F_0 as a function of the directional angle of θ, θ_a against the beam axis in Fig. 12.

10°, 12.5°로 變化할 때 θ_0 에 대한 反射強度는 各各 -21.2dB, -21.9dB, -23.4dB, -26.0dB, -30.5dB, -36.8dB로서 θ_0 가 增加함에 따라 反射強度는 점차 減小하는 경향을 나타내었다. 또한, θ 가 6°, 12°인 경우도 0°의 경우와 거의 같은 경향을 나타내 었으며, θ 가 12°인 경우에는 0°, 6°인 경우보다 θ_0 에 따른 反射強度의 變化率이 큰 경향을 나타내었다.

이와같이 θ , θ_0 의 角變化가 클수록 反射強度가 急 激히 減小하는 것은, θ , θ_0 가 클수록 反射指向性損失 이 커지고, 또 音束軸의 中心位置(F_0)와 코오너리프 렉터 位置($F(\theta, \theta_0)$)의 相對音壓이 Fig. 14와 같이 작 아지기 때문인 것으로 생각된다.

要 約

레이다에서 電波反射標識로 使用하고 있는 코오너 리프렉터를 水中超音波反射標識로 應用하기 위하여, 코오너리프렉터의 水中超音波反射特性을 理論的으로 考察하고, 28, 50, 75KHz의 周波數에 대하여 實驗을 行한 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 코오너리프렉터를 構成하는 알루미늄圓板의 最大 反射強度는 28, 50, 75KHz의 周波數에 대하여 周 波數가 높을수록 높았고, 反射指向性은 直徑이 增加 함에 따라 銳利하였다.

2. 直徑이 150mm이고, 코오너角이 15°, 30°, 45° 60°, 90°인 코오너리프렉터의 最大反射強度는 各各 -25.0dB, -17.2dB, -15.2dB, -13.4dB, -11.0 dB로서, 코오너角이 增加함에 따라 점차 增加하는 경향을 나타내었으나, 그 主葉의 數는 코오너角이 增加함에 따라 점차 減小하였다.

3. 直徑이 80mm이고, 코오너角이 90°인 코오너리 프렉터를 2, 3, 4, 5, 6, 7個씩 音束軸을 中心으로 間隔 없이 平面排列한 경우에 있어서, 反射強度는 各各 -18.2dB, -16.5dB, -15.4dB, -14.3dB, -13.4 dB, -12.9dB로서, 理論値와 거의 一致하였으며,

코오너리프렉터數의 平方根에 比例하였다.

4. 直徑이 80mm인 코오너리프렉터의 方向角($0, \theta_0$) 이 0°, 2.5°, 5°, 7.5°, 10°, 12.5°인 경우, 反射強度 는 各各 -21.2dB, -21.9dB, -23.4dB, -26.0 dB, -30.0dB, -36.8dB로서, 方向角이 增加함에 따라 反射強度는 急激히 減소하는 경향을 나타내었 다.

文 獻

1. 浜田悅之(1976): 水中超音波反射標識(コーナーリ フレクター)に關する基礎的研究-I, II, III. 東京 水大研報 63(1), 25-66.
2. Burczynski, J. (1982): Instruction to the use of sonar systems for estimating fish biomass. FAO, FIRM/T 191 Rev. 1, 19-45.
3. Urick, R. J. (1967): Principle of underwater sound. McGraw-Hill Book Company, New York, 263-265.
4. Albers, V. M. (1965): Underwater acoustics handbook-II. Pennsylvania state univ. press, 43-46.
5. Forbs, S. T. and O. Nakken (1972): Manual of methods for fisheries resource suevey and appraisal. part 2: The use of acoustic instru- ments for fish detection and abundance esti- mation. FAO manuals in Fisheries Science, 86-88.
6. Hewitt, R. P., Smith P. E. and Brown J. C. (1976): Development and use of sonar mapp- ing for pelagic stock assesment in the califor- nia current area. Fish. Bull. 74(2), 287.
7. 實吉純一·菊池吉充·能本之彦(1978): 超音波技 術便覽. 日刊工業新聞社, 26-75.