

船體의 橫搖와 魚群探知機의 探知可能範圍에 關하여

朴 仲 熙* · 辛 亨 鎰* · 李 昊 在*

Effects of Ship's Roll Motion on the Detectable Area of Echo Sounder

Jung-hee PARK*, Hyeong-il SIN* and Dae-jae LEE*

When detecting underwater targets using echo sounder, the echo signals varies with the angular displacement of the transducer due to ship's motion.

Then, the effect of the angular motion of transducer which effects the capability of the echo sounder must be investigated in relation to the detection of fish concentration, particularly, the abundance estimation of fish.

In this paper, as the basic research to investigate the effect of the ship's motion when estimating the fish stocks by acoustic methods, the authors was theoretically considered the variations in the values of the two way directivity function of transducer in the direction of the targets which caused by the angular motion of transducer.

Here, the effects of the movement of target and ship's running are neglected.

At the same time, the data was applied to estimate the angular shift of the detectable area of echo sounder due to transducer displacement.

From the results analyzed, we found that the angular shift of the detectable area due to ship's motion increases both as the roll angle increases and as the beamwidth becomes narrower, varies with the depth.

諸 論

海上에서 船體가 動搖하여 魚群探知機의 送受信音束軸에 角變位가 생기면, 그 角變位에 相當하는 量만큼 物標方向에 對한 指向性損失이 變하여 魚群探知機의 探知可能範圍에 變動을 초래하므로 魚群量을 精確하게 推定할 수 없게 된다^{1),2)}.

一般的으로 積分方式의 魚群量推定法에 있어서 船體動搖로 인한 推定誤差는 送波器로부터 超音波가 發射되고 나서 부터 受波器에 魚群의 反射信號가 受信되는 時間 동안에 音束軸이 角變位한 量을 時間의 함수로 구하면 파악할 수 있고, 探知可能範圍는 魚體의 反射強度 및 所在位置, 音源出力, 橫搖角等を

알면 推定할 수 있다.

本 論文에서는 魚群量推定에 對한 基礎研究의 일환으로, 船舶의 航走와 物標의 운동이 없다는 假定下에 音束의 任意橫斷面上的의 物標의 位置와 音束軸의 角變位와의 關係로부터 物標方向에 對한 指向角을 구하여, 船體의 橫搖와 指向性 損失과의 關係를 理論적으로 考察하였다.

또한, 15KHz, 28KHz, 50KHz用 魚群探知機에 對하여 物標探知의 諸要素를 理論式에 適用시켜 橫搖角에 따른 探知可能範圍의 變動限界를 檢討·分析하였다.

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

高冠瑞·金龍海

- 化學刺激反應. 東海水研報 75, 55-61.
- 笹川康雄(1979): 全國籠網漁具漁法集(第3編). 全國漁業協同組合連合會・全國水產業改良普及職員協議會, 123-129.
- Tazaki, K. and M. Ohnishi (1974): Responses from tactile receptors in the antenna of the spiny lobster *Panulirus japonicus*. Comp. Biochem. Physiol. 47A, 1323-1327.
- Webb, P. W. (1979): Mechanics of escape responses in crayfish (*Orconectes virilis*). J. exp. Biol. 79, 245-263.
- Wine, J. J. (1977): Neuronal organization of crayfish escape behavior: inhibition of giant motoneuron via a disynaptic pathway from other motoneurons. J. Neurophysiol. 40(5), 1078-1097.
- and D. C. Mistick (1977): Temporal organization of crayfish escape behavior: delayed recruitment of peripheral inhibition. J. Neurophysiol. 40(4), 904-925.

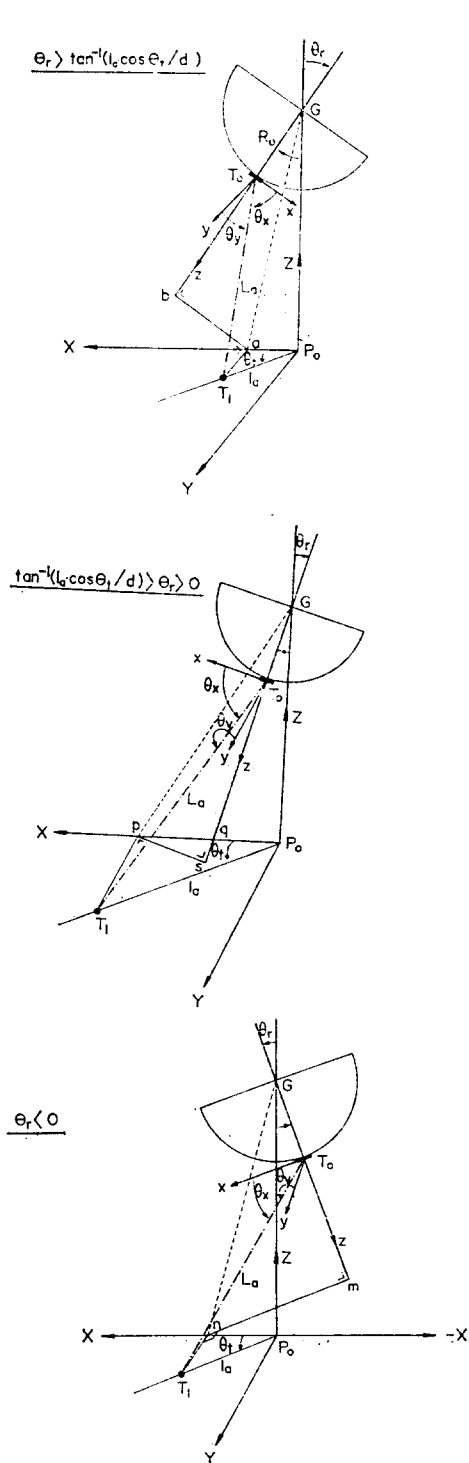


Fig. 2. The change of the directional angle due to roll motion of the transducer.

$$\frac{\sin[\theta_r - \tan^{-1}(l_a \cdot \cos \theta_i / d)]^2)^{1/2}}{\tan^{-1}(l_a \cdot \cos \theta_i / d) - R_0} \dots\dots(7)$$

$$L_a = \{ (l_a \cdot \sin \theta_i)^2 + [d^2 + (l_a \cdot \cos \theta_i)^2]^{1/2} \cdot \sin[\theta_r - \tan^{-1}(l_a \cdot \cos \theta_i / d)]^2 + [(d^2 + (l_a \cdot \cos \theta_i)^2)^{1/2} \cdot \cos[\theta_r - \tan^{-1}(l_a \cdot \cos \theta_i / d)] - R_0]^2 \}^{1/2} \dots\dots(8)$$

1) 右橫揺인 경우, $\theta_r > \tan^{-1}(l_a \cdot \cos \theta_i / d)$ 일 때는 $\theta_x, \theta_y, \theta, L_a$ 는 각각 (5), (6), (7), (8)식과 같이 되고, $0 \leq \theta_r \leq \tan^{-1}(l_a \cdot \cos \theta_i / d)$ 일 때는 (5)~(8)식에서 θ_r 와 $\tan^{-1}(l_a \cdot \cos \theta_i / d)$ 의 부호를 (-)와 (+)로 바꾸면 된다.

2) 左橫揺인 경우는 $\theta_r < 0$ 일 때로서 (5)~(8)식에서 $\tan^{-1}(l_a \cdot \cos \theta_i / d)$ 의 부호를 (+)로 바꾸면 左橫揺에 대한 $\theta_x, \theta_y, \theta, L_a$ 의 식을 구할 수 있다.

여기서, 音束軸의 角變位 θ_r 와 物標의 位置(d, θ_i, l_a)의 변화에 따른 $\theta_x, \theta_y, \theta$ 값을 각각 구하면 $b^2(\theta_x, \theta_y)$ 및 $b^2(\theta)$ 값을 (3)식과 (4)식으로 부터 구할 수 있다.

한편, (2)식의 양변에 10 Log을 취하여 橫揺角에 대한 指向性損失項으로 展開하면 (2)식은 (9)식과 같이 쓸 수 있다.

$$10 \text{ Log } b^2(\theta_x, \theta_y) = 40 \text{ Log } L_a + 2\alpha \cdot L_a - SL - T_s - DT \dots\dots(9)$$

但, SL: 送波音壓 DT: (S/N)min

(9)식에서 左邊은 振動子의 指向特性, 物標의 所在位置, 船體의 橫揺角에 의하여 결정되는 指向性損失이고, 右邊은 送波音壓, 物標의 反射強度, 雜音比, 減衰係數, 物標距離에 의하여 결정되는 指向性損失이다.

따라서, 物標의 探知可能範圍은 (9)식의 左右邊의 關係로부터 구할 수 있다.

結果 및 考察

本 論文에서 檢討對象으로 한 魚群探知機는 15KHz, 28KHz, 50KHz用 魚群探知機이다. 15KHz와 28KHz는 矩形振動子이고, 50KHz는 圓形振動子로서, 縱方向의 音束幅은 각각 78°, 22°, 6°이고, 橫方向의 音束幅은 각각 31°, 22°, 6°이다.

算出諸元은 船體의 橫揺中心軸의 높이를 2.25m, 水深은 25m와 75m, 船體의 橫揺角範圍은 左右 12°로 하였으며, 各 水深의 音束橫斷面에 36개의 物標位置를 선정하여, 總 경우數 2,160개에 대한 物標方向의 指向性損失을 計算하였다.

理 論

Fig. 1과 같이 船體가 橫搖하여 送受波器의 音束軸이 θ_r 만큼 角變位하게 되면 送波器와 物標의 相對位置가 變하게 되므로, 物標을 探知할 수 있는 領域이 달라지게 된다. 그때 船體의 橫搖가 魚群의 探知에 얼마만한 영향을 미치는가에 대하여 理論적으로 檢討하기로 한다.

Fig. 1에서 橫搖中心軸의 높이를 R_0 , 送受波器의 位置를 T_0 , 物標의 位置를 T_1 , 物標가 所在하는 音束橫斷面의 水深을 d , 送受波器의 座標系에서 x 軸, y 軸에 대한 物標方向의 指向角을 각각 θ_x, θ_y , 送受波器와 物標의 距離를 L_a , 音束橫斷面上 物標의 方位角을 θ_t , 音束軸上 P_0 點과 物標의 距離를 L_a 라고 하면, 送波器에서 發射된 超音波가 物標로부터 反射되어 受波器에 受信될 때 그反射信號의 強度 I_r 는 (1)式으로 표시할 수 있다).

$$I_r = I_1 \cdot \frac{10^{-0.2\alpha \cdot L_a}}{L_a^4} \cdot T_s \cdot b_s(\theta_x, \theta_y) \cdot b_r(\theta_x, \theta_y) \dots (1)$$

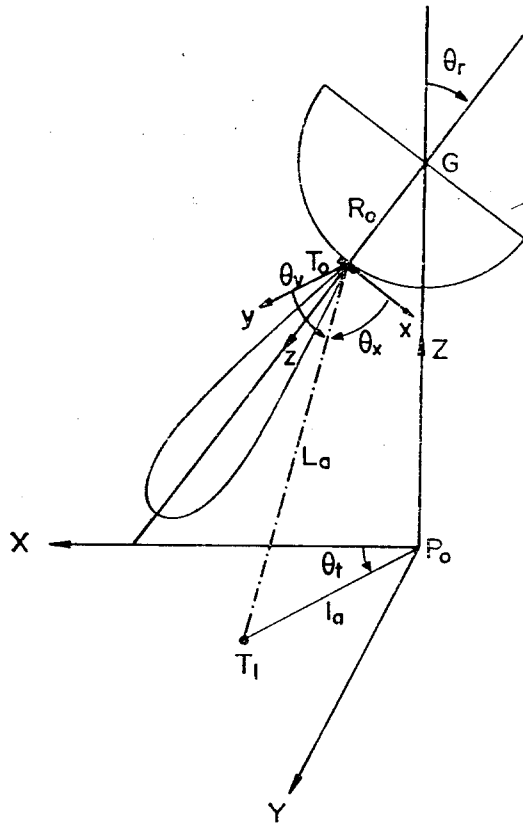


Fig. 1. Geometry of simulation.

但, I_1 : 送波強度

α : 吸收減衰係數

T_s : 物標의 反射強度

$b_s(\theta_x, \theta_y)$: 送波指向性係數

$b_r(\theta_x, \theta_y)$: 受波指向性係數

(1)式에서 送受波에 대한 總合指向性係數를 $b^2(\theta_x, \theta_y) = b_s(\theta_x, \theta_y) \cdot b_r(\theta_x, \theta_y)$ 라고 놓으면, (1)式은 (2)式과 같이 된다.

$$I_r = I_1 \cdot \frac{10^{-0.2\alpha \cdot L_a}}{L_a^4} \cdot T_s \cdot b^2(\theta_x, \theta_y) \dots (2)$$

(2)式에서 送受波振動子가 矩形일때, $b(\theta_x, \theta_y)$ 는 (3)式과 같고

$$b(\theta_x, \theta_y) = \left(\frac{\sin(ka \cdot \cos \theta_x)}{ka \cdot \cos \theta_x} \cdot \frac{\sin(kb \cdot \cos \theta_y)}{kb \cdot \cos \theta_y} \right)^2 \dots (3)$$

圓形인 경우는 $b(\theta_x, \theta_y) = b(\theta)$ 라 두면, $b(\theta)$ 는 (4)式과 같이 나타낼 수 있다.

$$b(\theta) = \left(\frac{2J_1(kd \cdot \sin \theta)}{kd \cdot \sin \theta} \right)^2 \dots (4)$$

但, $k = 2\pi/\lambda$ (λ : 波長)

a, b : 矩形振動子의 邊長

d : 圓形振動子의 半徑

$J_1(kd \cdot \sin \theta)$: 第一種 bessel함수

θ : 音束軸으로부터 物標方向의 指向角

한편, Fig. 1에서 船舶이 航走하지 않고 物標가 固定된 상태하에서 音束의 角變位 θ_r 가 變하면 θ_x, θ_y, L_a 가 變하므로 指向性損失을 나타내는 $b^2(\theta_x, \theta_y)$ 값이 變하게 된다.

또, $b^2(\theta_x, \theta_y)$ 값이 變하면 그 값에 비례하여 物標로부터의 反射信號가 變하게 되므로 結局 船體의 動搖는 物標의 探知效果에 영향을 미치게 된다.

Fig. 2는 角變位 θ_r 와 指向角 $\theta_x, \theta_y, \theta$ 및 物標距離 L_a 의 關係를 나타낸 것으로, 이들 상호간에는 다음과 같은 式이 성립한다.

$$\theta_x = \tan^{-1} \left(\frac{\{ [d^2 + (L_a \cdot \cos \theta_t)^2]^{1/2} \cdot \sin[\theta_r - \tan^{-1} \frac{(L_a \cdot \cos \theta_t/d)}{L_a \cdot \sin \theta_t}] \}}{\cos[\theta_r - \tan^{-1} \frac{(L_a \cdot \cos \theta_t/d)}{L_a \cdot \sin \theta_t}] - R_0} \right)^{1/2} \dots (5)$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \left(\frac{\{ (L_a \cdot \sin \theta_t)^2 + [[d^2 + (L_a \cdot \cos \theta_t)^2]^{1/2} \cdot \cos[\theta_r - \tan^{-1} \frac{(L_a \cdot \cos \theta_t/d)}{L_a \cdot \sin \theta_t}] - R_0 \]^2 \}^{1/2}}{\sin[\theta_r - \tan^{-1} \frac{(L_a \cdot \cos \theta_t/d)}{L_a \cdot \sin \theta_t}]} \right) \dots (6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\{ (L_a \cdot \sin \theta_t)^2 + [[d^2 + (L_a \cdot \cos \theta_t)^2]^{1/2} \cdot \cos[\theta_r - \dots]} \right)$$

船體의 横揺와 魚群探知機의 探知可能範圍에 關하여

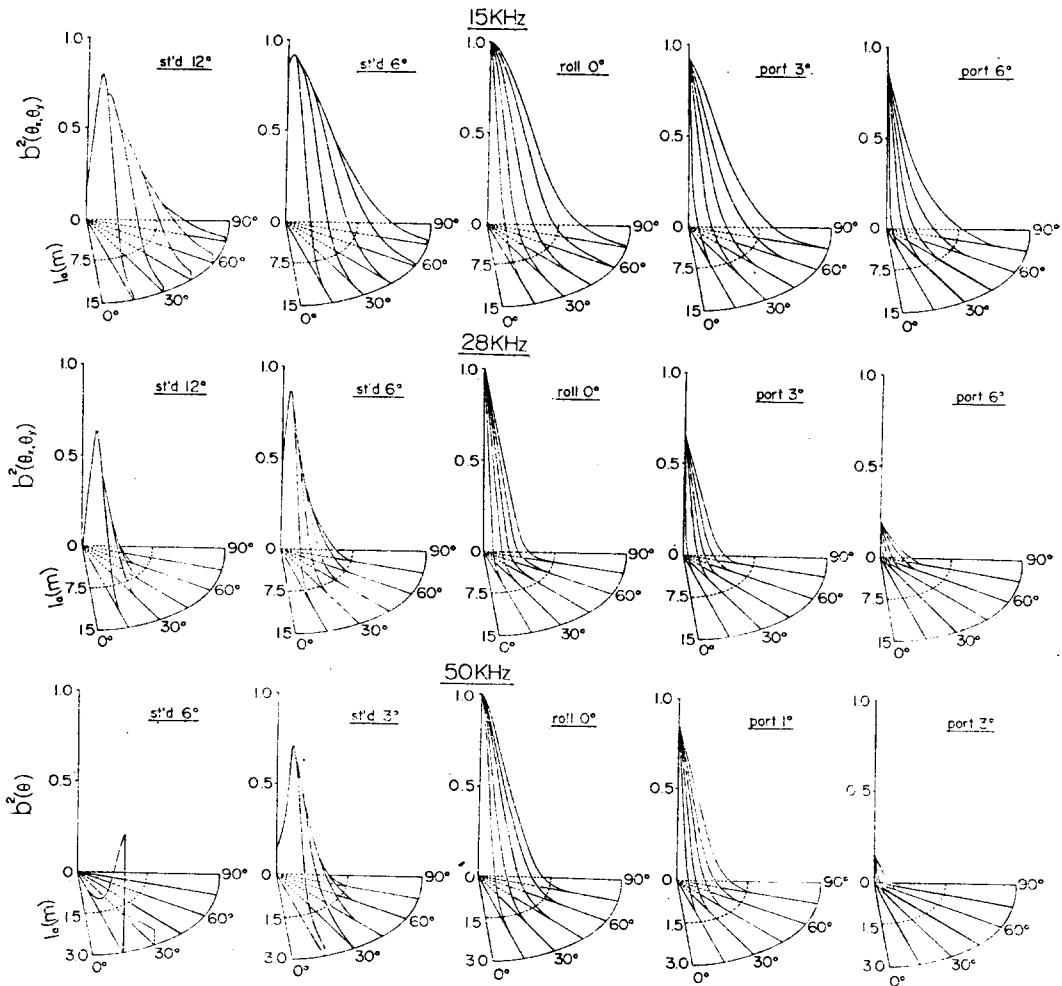


Fig. 4. Two way directivity patterns according to the roll angle and the frequency of echo sounder at a depth layer of 75m.

각각 0.83, 0.63, 0.04를 나타내어, 指向性損失값은 音束幅이 銳利할수록, 또 水深이 깊을수록 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.

따라서, 船體가 動揺할 때, 音束幅이 銳利한 魚群探知機일수록 物標을 消失할 可能性이 큼을 알 수 있다.

3. 探知可能範圍

水深 25m와 75m의 音束橫斷面에 위치하는 物標의 反射強度를 -25dB이라고 하면 (9)式的 右邊으로부터 水深 25m에 있어 15KHz, 28KHz, 50KHz用 魚群探知機에 대한 物標方向의 指向性損失값은 각각 0.25, 0.14, 0.09이고, 水深 75m에 있어서는

각각 0.76, 0.45, 0.28이 된다.

이값들을 (9)式的 左邊으로부터 求한 Fig. 3과 Fig. 4에 作圖하여 船體의 横揺가 없는 경우의 周波數別, 水深別, 探知可能範圍을 求하면 Table 1과 같다.

Table 1. Detectable area for target with the target strength of -25dB in Fig. 3 and Fig. 4

		unit(m ²)		
D	T	15KHz	28KHz	50KHz
	25m		824.1	697.2
75m		517.9	142.9	11.4

T: Frequency D: Depth

1. 橫搖角과 指向性損失

送波器로부터 發射된 超音波音束의 水深 25m와 75m의 橫斷面上 半徑 15m의 4分圓 領域內에 있는 各 物標에 대하여 橫搖角이 0° , 1° , $\pm 3^\circ$, $\pm 6^\circ$, 9° , $\pm 12^\circ$ 인 경우의 指向性損失量을 計算하여, 水深別, 周波數別, 橫搖角別로 나타낸 指向性損失曲線은 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다.

Fig. 3과 Fig. 4에서 橫搖角 0° 을 기준으로 右橫搖인 경우, 指向性損失曲線群은 橫搖角이 증가함에 따라 점차 4分圓의 外側으로 이동하고 있으나, 左橫搖인 경우는 그 反射로 4分圓의 中心쪽으로 이동하고 있다.

이와같은 현상은 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 船體가 右橫搖을 하게 되면 音束幅이 $+X$ 方向으로

角變位하게 되어 指向性損失이 커지고, 반대로 船體가 左橫搖을 하게 되면 音束軸이 $-X$ 方向으로 角變位하게 되므로 指向性損失이 작아지기 때문이다.

또한, Fig. 3과 Fig. 4에서와 같이 船體의 橫搖角에 따라 指向性損失값이 급격히 변동하면, (2)式에서 物標의 反射強度 I_r 값도 이값에 비례하여 변하므로 物標의 探知可能範圍가 變動하여 魚群探知機의 探知能力도 低下되는 結果를 초래한다.

2. 音束幅 및 水深과 指向性損失

Fig. 1에서 水深 25m와 75m의 音束橫斷面上 T_1 (15° , 2.5m)點에 物標가 있을 때, 船體가 右側으로 6° 의 橫傾斜를 한 경우 15KHz, 28KHz, 50KHz 用 魚群探知機에 대한 指向性損失값은 水深 25m에서는 각각 0.99, 0.94, 0.49였고, 水深 75m에서는

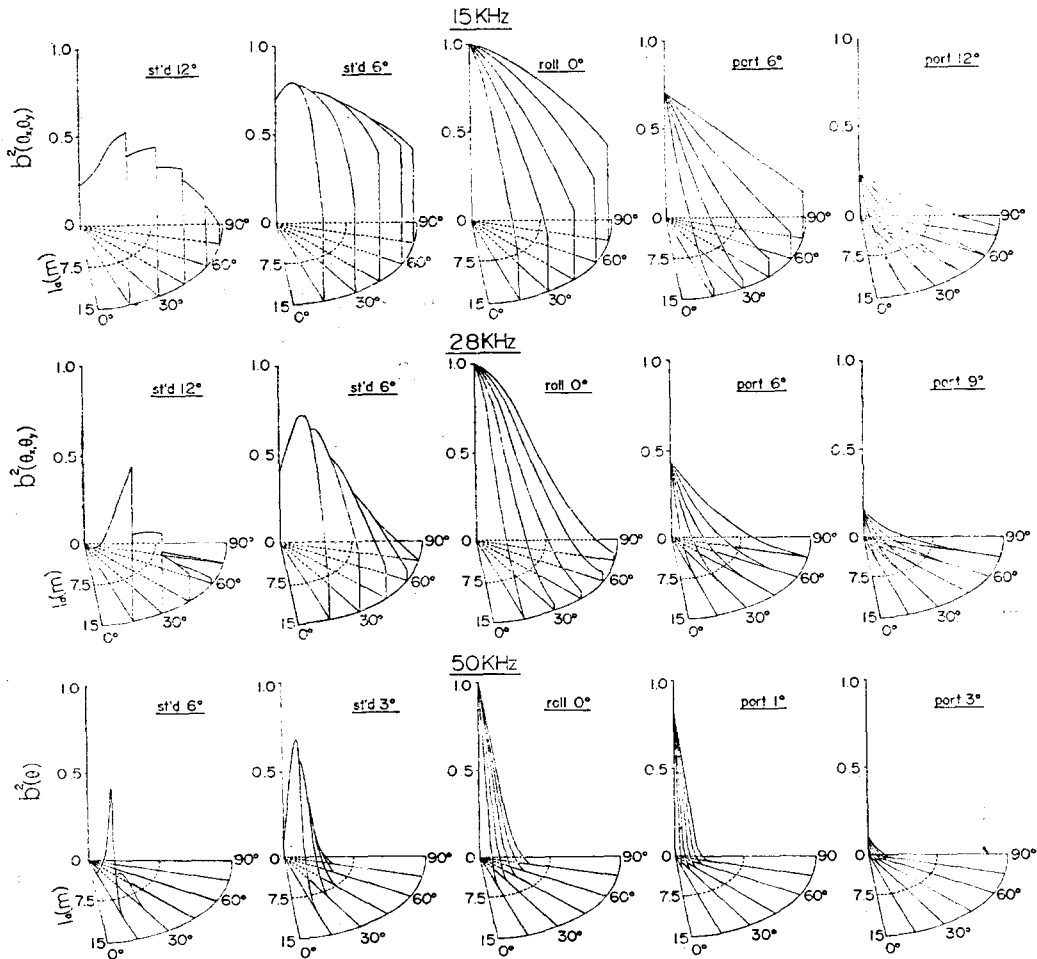


Fig. 3. Two way directivity patterns according to the roll angle and the frequency of echo sounder at a depth layer of 25m.