

# 定置網들과 浮標型 코우너 리플렉터의 레이더 最大探知距離에 對한 研究

辛 亨 鎰\*

## A Study on the Radar Maximum Detectable Range of the Floats of Set-nets and the Floating Corner Reflector

SHIN Hyeong Il\*

### Abstract

A large number of the set-nets are set in Namhaedo coast of Korea. The floats of these set-nets are not only small even in case of large floats but also they scarcely have distinguishable marks such as light buoys or flags, so that they are very hard to be recognized by naked eyes and thus became probable obstacles to navigation for the passing ships and the fishing vessels.

In order to research the capability of detecting such nets with Radar, the author investigated a maximum detectable range of the ordinary large floats and of a floating corner reflectors of various size and shape by Radar.

The results obtained are as follows;

1. A maximum detectable range of large floats at a close range can be calculated by the Radar equation in sufficient accuracy.
2. Large floats of the large set-nets are also detectable by Radar even though it's detectable range boundary was within 0.2-0.65 miles. And the Radar picture of large floats was easier to be found with somewhat higher setting of the gain control on shorter range scale of the 1 mile.
3. Floating corner reflector rather suitable for set-net floats of "S" type reflector proposed in this paper, of which the dimension must be above 17cm in diameter to be detectable by Radar at 2 miles.

### I. 序 論

韓國 南海岸 一帶에는 많은 定置網(以下 落網이라 함)이 距岸 2~3마일 附近에 敷設되어 있다. 이들 落網에는 識別할 수 있는 標識가 全然되어 있지않고 있으며 또 그 構成物質의 대개가 水面 上에 位置하고 水面下에는 작은 浮標이 노출된 故로 所在位置가 不明確하여 夜間 特히 霧中時에 航

\*正會員, 濟州大學

行船舶의 接觸으로 漁具에 損傷을 끼치는 海難事故가 종종 誘發되고 있다. 이러한 事故를 未然에 防止하기 爲하여 最近 많은 船舶들에 普及된 레이더를 活用할 경우 레이더가 落網의 發見에 어느 程度 有效한가를 檢討한다는 것은 重要한 일이라 하겠다.

또한 레이더에 依한 小型船, 浮標, 漁具類의 浮子等 海上小型目標物의 探知距離를 增大시키기 爲한 코오너 리프랙터에 關한 研究는 外國文獻에는 몇 편이 있으나 우리나라에서는 아직 研究報告 된 바가 없다. 이러한 觀點에서 著者는 落網대뜸의 探知에 레이더를 利用할 경우 대뜸이 레이더 映像으로 나타날 수 있는가 어떤가, 나타날 경우 어느 程度의 距離에서 發見될 수 있을 것인가 하는 것을 觀測調査하였고 대뜸의 探知距離를 增大시키기 爲한 浮標型 코오너 리프랙터를 製作하여 有效高, 有效反射面積에 따른 最大探知距離를 觀測實驗하여 대뜸으로서의 效用을 調査한 結果를 報告 한다.

## II. 레이더의 最大探知距離에 關한 理論的 考察

레이더에 依하여 物標가 探知되기 爲한 要件으로는 ① 레이더와 物標間에 遮斷物이 없을 것, ② 物標로 부터의 反射波가 物標 周圍의 다른 物標의 反射波 보다 遠저하게 優勢할 것, ③ 物標로 부터의 反射波가 레이더의 内部雜音을 능가할 것 등을 들 수 있다. 이 중 ①에 屬하는 代表的인 것으로는 波浪에 依한 物標의 배물現象과 地球의 灣曲에 依한 遮蔽를 들 수 있다.

前者의 경우는 物標의 有效高를 豫想波高 以上으로 함으로써 解決되며 後者의 경우는 物標가 所謂 레이더 可視距離 以內에 있어야 함을 뜻한다. 레이더에서 使用되고 있는 마이크로波는 빛과 같이 直進하여 地表에서의 傳播範圍는 使用 波長 및 大氣分布狀態에 따라서 약간 달라지나 대체로 觀覺의 可視距離보다 약간 크며 海上이 平穩하고 反射強者가 큰 物標인 경우는 다음 式<sup>10)</sup>에 依해 計算된다.

$$R = 2.09(\sqrt{H_s} + \sqrt{H_t}) \dots \dots \dots (2-1)$$

但, R; 探知距離(마일)

$H_s$ ; 스캐너의 높이(미터)

$H_t$ ; 目標物의 높이(미터)

通常의 레이더를 裝備한 漁船의 경우에는 레이더 높이가 6m~10m 内外이며 이 경우의 可視距離는 5마일~7마일이므로 本 論文에서 取扱한 漁網의 探知可能距離를 論함에는 그리 문제되지 않는다고 思料된다.

②에 屬하는 사항에는 海面亂反射(Sea clutter)의 影響을 들 수 있으나 이를 解析하기 爲하여는 各種의 海上狀態에 對하여 수많은 實驗을 反復하여야 하므로 本 論文의 考察에서는 除外하기로 한다 本 論文의 對象으로 삼은 대뜸과 같은 小型物標의 경우는 ②항의 反射波의 電界強度가 가장 큰 문제가 된다고 思料된다. 海面은 레이더波에 對하여 鏡面反射를 일으키므로 可視距離圈內에 있어서는 發射波가 대뜸에 到達할 때 대뜸의 電界強度는 레이더로 부터의 直接波와 海面反射波에 依한 電界強度의 合成値로 求할 수 있으며 스캐너로 부터 充分히 떨어진 位置에서는 그 合成電界強度는

(2-2)式으로 表示할 수 있다.<sup>14)</sup>

$$E = 2E_0 \sin \frac{2\pi H_s H_e}{\lambda R} \dots \dots \dots (2-2)$$

但,  $E$ ; 合成電界強度

$E_0$ ; 直接波의 電界強度

$\lambda$ ; 波長

$R$ ; 物標까지의 距離

따라서 物標가 波長에 比하여 小型인 點物標인 경우에는 直接波와 海面反射波의 距離差가 半波長의 奇數倍일 때 兩波가 合하여 極大를 보이며 偶數倍일 때는 兩波가 서로 상쇄되므로 極小가 되어 探知距離가 極度로 減少한다.

物標에서 反射된 電波가 레이더에 되돌아 오는 경우에도 같은 現象이 일어나므로 레이더의 受信 電力은 다음 式<sup>8)</sup>으로 表示된다.

$$S = \frac{PG^2\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3R^4} \times 16 \sin^4 \left( \frac{2\pi H_s H_e}{\lambda R} \right) \dots \dots \dots (2-3)$$

但,  $P$ ; 尖頭送信出力

$G$ ; 안테나 利得

$\sigma$ ; 物標의 有效反射面積

여기서  $P, G, \lambda$ 는 레이더의 設計에 依해서 決定되며 物標의  $\sigma$ 는 通常 實驗에 依하여 決定되나 코오너 리프랙터의 경우에는 그 理論的인 計算方法이 이미 報告되어 있다.<sup>9)</sup>

이러한 現象을 防止하기 爲하여서는 物標의 寸수를 波長의 수배 以上으로 함이 바람직하다. 이렇게 하면 비교적 近距離에 있어서는 物標의 各點으로 부터의 反射波의 海面反射波에 依한 干涉은 상쇄되어 레이더 受信感度는 다음 式과 같이 表示할 수 있다.

$$S = \frac{PG^2\lambda^2\sigma}{(4\pi)^3R^4} \dots \dots \dots (2-4)$$

레이더로 부터 物標까지의 距離가  $4H_s H_e / \lambda$  보다 커지면 (物標와 映像으로 부터의 距離差가 半波長 以內이면) 物標는 點波源으로 보이고 따라서 (2-4)式 代身에 (2-3)式이 適用된다.

$R$ 가 대단히 크면

$$\sin \left( \frac{2\pi H_s H_e}{\lambda R} \right) \approx \frac{2\pi H_s H_e}{\lambda R} \text{로}$$

近似的할 수 있으므로 (2-3)式은 다음 式으로 代置할 수 있다.

$$S = \frac{4\pi PG^2\sigma H_s^4 H_e^4}{\lambda^2 R^8} \dots \dots \dots (2-5)$$

따라서 本 論文에서는 (2-3)式과 (2-5)式만으로 各各 遠傍 및 近傍의 電界強度를 表現하기로 한다. 이때 두 近似式의 交點(屈折點)은

$$16 \sin^4 \left( \frac{2\pi H_s H_e}{\lambda R} \right) = 1 \dots \dots \dots (2-6)$$

을 滿足하는 距離이며  $R$ 은

$$R = \frac{12H_1 H_2}{\lambda} \dots \dots \dots (2-7)$$

로 表現된다.

### Ⅲ. 實驗方法 및 結果

#### 1. 資料 및 測定方法

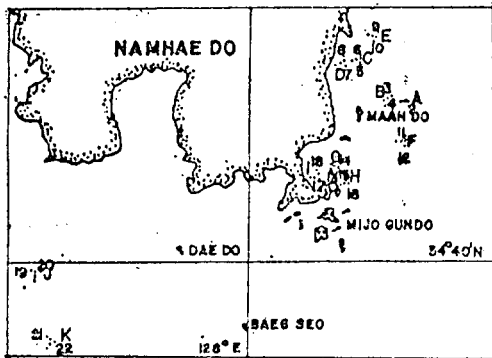


Fig. 1 Sea area of observation

本 研究에서 測定한 結果는 濟州大學 實習船 白 鯨號(389號, IP850)가 1976年 6月 17日~28日 사 이 와 同 年 10月 24日~11月 7日 사 이 에 Fig. 1에 圖示한 南海島沿岸을 航行中 同 海域에 敷設된 11個所 落網의 22個의 대등과 Fig. 3에 圖示한 4種의 코우너 리프렉터를 觀測한 것으로서 使用한 레이더는 JRC製 JMA-119型과 Furuno製 FR-151F型이며 그 基本的인 性能諸元은 Tab. 1과 같다.

Tab. 1 Performance of Radar used in this experiment

	JMA-119	FR-151F
尖 頭 送 信 出 力	40kw	10kw
周 波 數	9375±45Mc/s	9375±30Mc/s
Pulse 幅	0.1μs, 0.8μs	0.08μs, 0.6μs
Pulse 反復周波數	1,000c/s(0.1μs) 50Cc/s(0.8μs)	80Cc/s
水平 Beam 幅	1.4°	1.8°
垂直 Beam 幅	20°	25°
Scanner 回轉數	16 r. p. m	20 r. p. m
方位分解能	1.4°	2° 이하
距離分解能	20m	20m
最小探知距離	30m	26m
探知 Scale	1.3, 10, 25, 50마일	0.5, 1.5, 4, 12, 40마일
回路内部最小受信電力	-120db	-95db
PPI最小識別電力(測定)	-45db	-40db

落網의 대등과 소등은 Fig. 2에 圖示하였고 대등인 경우 주로 유리구(直徑 35cm) 20個를 1組로, 소등인 경우 유리球 2個를 1組로 構成되어져 있으며 最近에는 드럼통, 스티롤(Styrol) 浮子 等의 것

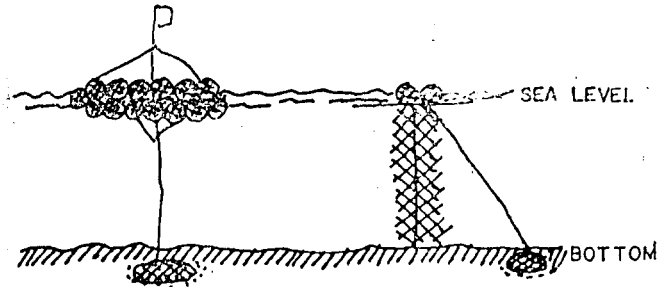


Fig. 2 Shapes of a large float and small float

反射電波가 入射方向으로 되돌아 갈 수 있도록 銅板面을  $90^\circ \pm 1/2^\circ$  以內의 角으로 直交시켜 製作하였고 落網대뜸으로 利用되겠끔 水面에 浮上

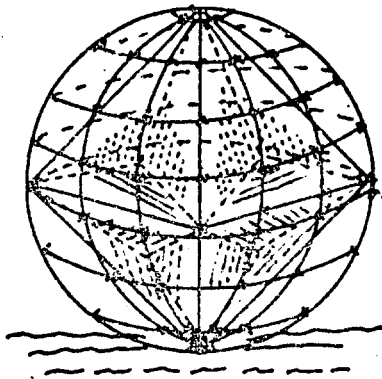


Fig. 3 Plane of reflection inside corner reflector

도 普及되어 있다.

레이다 화면상을 注視하여 대뜸의 映像이 나타나기 始作한 때의 發見距離를 可變距離 눈금으로 測定하여 最大探知距離로 하였으며 肉眼으로 이 대뜸을 확인하였다. 코오너 리프렉터는 Fig. 3에 圖示한 것처럼 三重反射에 依하여

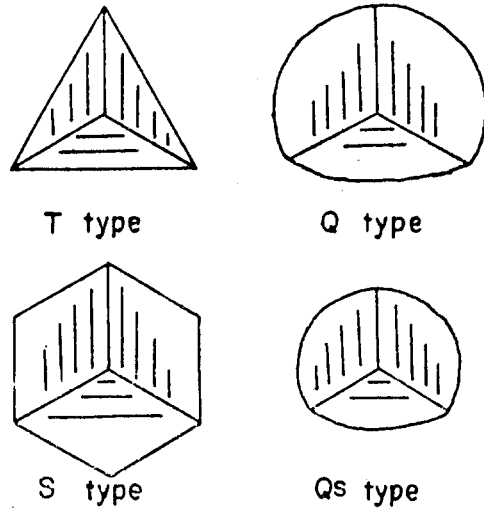


Fig. 4 Outward shape of floating corner reflector.

하도록 하기 爲하여 마이크로波에 對하여 거의 無損失로 看做되는 發泡스치를 充鎮시켜 球形으로 維持시켰으며 그 겉모양은 Fig. 4와 같다.

Fig. 4의 코오너 리프렉터를 浮子에 길이 1.2m의 알루미늄棒을 세우고 이 棒을 수직으로 維持하도록 沈子로 固定하였으며, 이 알루미늄棒의 所定의 位置에 코오너 리프렉터를 附着하여, 대뜸의 경우와 같은 方法으로 그 探知距離를 測定하였다.

## 2. 대뜸의 映像과 探知距離

대뜸의 最大探知距離의 觀測結果를 Tab. 2에 表示하였다. 소뜸인 경우는 水面上의 有効高가 매우 작고 有効反射面積이 적어 레이다 目標物로서 不適當하여 소뜸 個個의 觀測은 省略하였다.

대뜸인 경우 Tab. 2에서 그 觀測結果를 보면 波浪階級 3 以上일 때를 除外하고 거의 100% 레이다로 探知될 수 있음을 觀察하였고 No. 1~No. 16 및 No. 21, 22의 대뜸은 유리球, 드럼 등으로 構成된 것으로 0.4~0.65마일 附近에서 探知되었고 遠方에서 接近할 때 初期에는 스캐너의 方向이 대뜸

定置網罟과 浮標型 코우너 리프랙터의 레이더 最大探知距離에 對한 研究

Tab. 2 Results of the observations of large float picture on the Radar Scope (1'scale)

Position No. of Large Set-Nets	No. of Large Float	Material of Large Float	Bearing	Detectable Range
A	1	( $\phi$ 35cm) 20	234°	0.5'
	2	Glass globe	233	0.5
B	3	〃	249	0.5
	4	〃	243	0.6
C	5	〃	315	0.6
	6	〃	320	0.6
D	7	〃	307	0.5
	8	〃	311	0.5
E	9	〃	354	0.6
	10	〃	353	0.6
F	11	〃	244	0.4
	12	〃	243	0.4
G	13	〃	060	0.6
	14	〃	058	0.65
H	15	( $\phi$ 15cm)×80cm	000	0.5
	16	Cylindric Steel	358	0.5
I	17	( $\phi$ 40cm)×80cm	293	0.2
	18	Cylindric Styrol	294	0.2
J	19	〃	075	0.25
	20	〃	074	0.25
K	21	( $\phi$ 35cm) 20	010	0.5
	22	Glass globe	008	0.5

에 一致할 때마다 輝度가 아주 弱한 映像으로 나타났고 距離가 차츰 가까워 짐에 따라 輝度가 鮮明하여 0.5~0.6마일 附近에는 輝點도 크고 輝度가 安定된 映像으로 나타났다. Fig. 1의 I, J 位置의 No. 17~No. 22의 데뎀은 길이 80cm, 直徑 40cm의 원통형 스티롤로 構成된 것으로서 0.5마일 附近에서도 全然 나타나지 않았으며 0.2~0.25마일로 아주 接近함에 따라 映像을 觀察할 수 있었다.

특히 J, K 位置의 落網은 여수 航路에 隣接한 곳이므로 航海하는 船舶들은 注意를 要하며 이들 船

船들이 落網에 接觸하는 事故를 防止하기 爲하여 明確한 標識裝置가 要望된다.

스톱에 依한 落網 全體의 운곽은 0.3~0.4마일 附近까지 接近함에 따라 뚜렷하게 나타났으며 다른 物標와도 識別이 可能하였다.

機器의 調整에 關하여 略及하면 마일 스케일(Mile scale)을 3마일 레인지(Range)를 使用한즉 대뜸의 映像은 觀察할 수 없었으며 1마일 레인지를 使用하여 効果的인 映像을 얻을 수 있었고 게인(Gain)은 다른 物標를 探知할 때보다 조금 올려 調整하는 쪽이 좋은 映像을 얻을 수 있었다. 以上에서 보는 바와같이 落網대뜸의 探知距離는 매우 적다.

이러한 點을 감안할 때 落網의 避航에 여유가 있는 距離에서도 대뜸이 잘 探知될 수 있도록 하기 爲하여 目標物의 레이다波 反射를 特히 強하게 하는 코오너 리프렉터와 같은 裝置가 絶실히 要望 된다.

### 3. 浮標型 코오너 리프렉터의 有效反射面積과 探知距離

各種 코오너 리프렉터의 瘧수(半徑)와 그 有效反射面積의 關係를 나타내는 理論式<sup>9)</sup> 및 計算値는

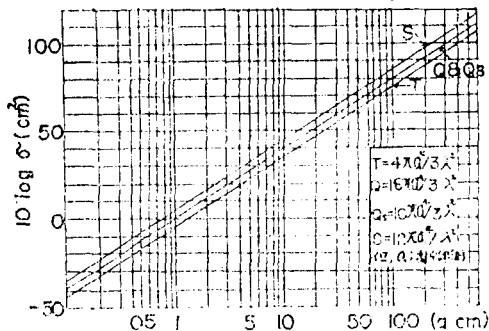


Fig. 5 Theoretical equation and radar cross section by the inside diameter of corner reflector

本 實驗에서 使用된 코오너 리프렉터의 有效反射面積의 크기는 Tab. 3에 보인 바와 같이 Q型, S型, T型, Qs型的 順으로 되나 瘧수(半徑)의 크기가 同一한 경우는 Fig. 5와 같이 S型 Q型 및 Qs型, T型 順으로 나타나 有效反射面積을 크게 하는데는 S型 코오너 리프렉터가 有理함을 알 수 있다.

Fig. 5의 理論式에서 코오너 리프렉터의 有效反射面積은 코오너 리프렉터의 瘧수의 4乘에 比例하 므로 Fig. 6~9의 屈折點보다 적은 距離에서 最大探知距離는 코오너 리프렉터의 瘧수에 比例하고 屈 折點보다 큰 距離에서는 最大探知距離는 코오너 리프렉터의 瘧수의 平方根에 比例함을 알수 있다.

本 實驗에서 使用한 레이다의 瘧수로서  $P=10kw$ ,  $G=41.2db$ ,  $\lambda=3.2cm$ 를 써서 各 코오너 리프 렉터의 反射電界強度를 計算한 結果를 半對數用紙를 使用하여 Fig. 6~9에 表示하였다.

Fig. 5에 表示하였다.

또한 落網대뜸의 探知距離를 增加시키기 爲하여 本 實驗에서 선택 製作된 코오너 리프렉터의 諸元은 Tab. 3 에 整理하였다.

Tab. 3 Dimension of corner reflector.

Type	Inside Diameter a(cm)	Cross section $\sigma$ (cm <sup>2</sup> )
T	14.4	17,580
Q	13	46,740
Qs	10	16,351
S	10	36,798

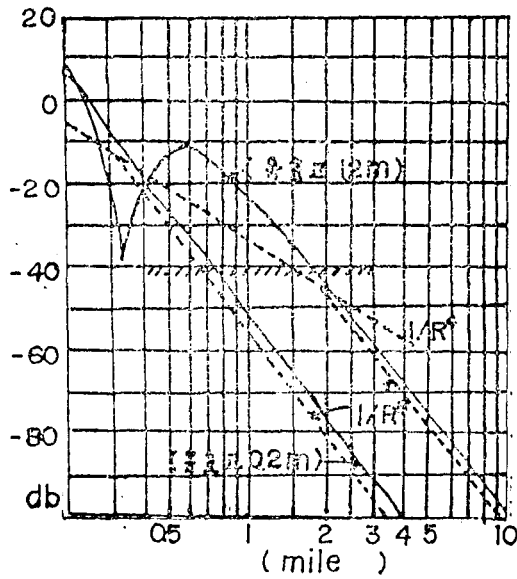


Fig. 6 Electric power of the received signal for the "Q" type

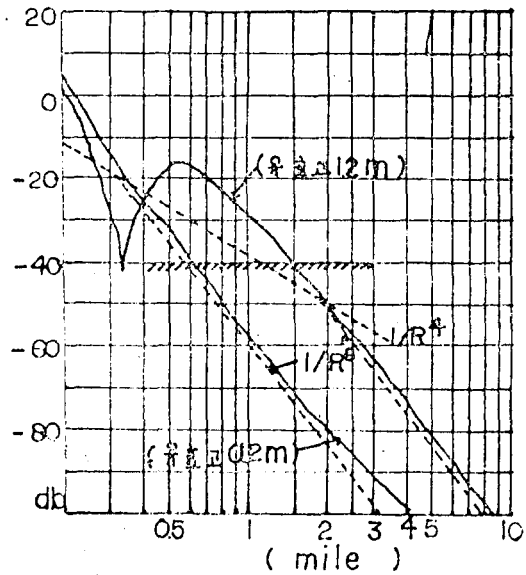


Fig. 7 Electric power of the received signal for the "Q<sub>1</sub>" type

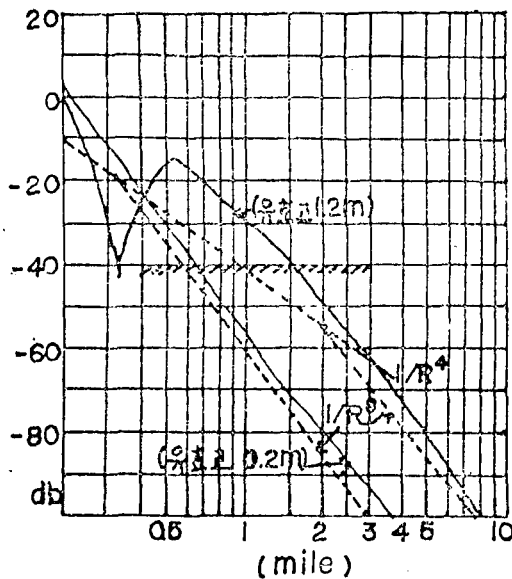


Fig. 8 Electric power of the received signal for the "T" type

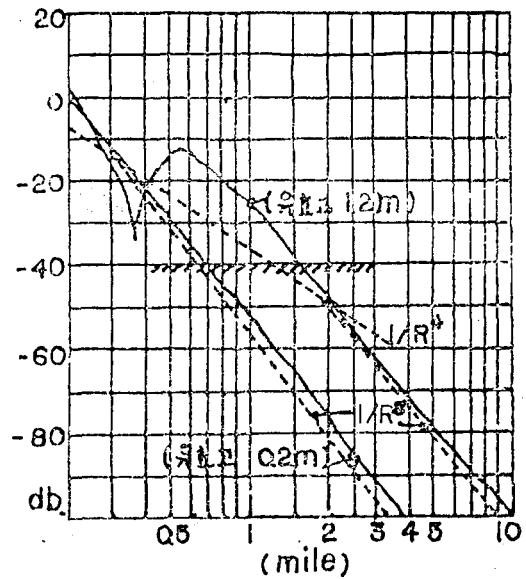


Fig. 9 Electric power of the received signal for the "S" type

但, Fig. 6, 7, 8, 9에서

1. 斜線; PPI 最小識別感度
2. 屈折點距離; 有効高 0.2m일 때 0.32마일  
有効高 1.2m일 때 1.94마일



이들 圖中 實線은 (2-3)式에 依한 것이고 點線은 그 漸近式인 (2-4) 및 (2-5)式的 結果이며 두 漸近式의 交點(屈折點)은 (2-7)式에 依하여 計算한 것이다.

또 이들 圖中에 表示한 바와 같이 레이더의 識別可能 最小受信電力을 알면 理論的인 物標의 最大 探知距離를 알 수 있다.

이 때의 識別可能 最小受信電力은 레이더 内部雜音, 增幅度 및 C.R. T特性 등이 考慮된 C.R. T에서 識別可能한 最小受信電力이어야 한다. Tab.1에 提示한 PPI 最小識別電力을 근거로 한 理論的인 最大探知距離와 그 實測值를 Tab.4에 表示하였으며 그 結果 兩者가 比較的 잘 一致함을 보여주고 있다.

따라서 本 論文의 二章에서 提示한 理論解析이 妥當함을 보여주고 있으며 레이더에 依한 落網대뚝

Tab. 4 Calculated and observed maximum detectable range

Type	Calculated		Observed	
	$H_s=0.2m$	$H_s=1.2m$	$H_s=0.2m$	$H_s=1.2m$
S	0.62'	1.30'	0.45'	1.20'
Q	0.64	1.50	0.45	1.30
Q <sub>s</sub>	0.57	1.15	0.4	0.85
T	0.58	0.94	0.4	0.85

의 最大探知距離를 增加시켜 주는 方法으로 (2-7)式的 레이더 反射體의 높이의 增加와 反射體의 有效反射面積의 增加의 兩側面에서 그 製作經費의 效率化를 檢討하여야 할 것이다. 一般的으로 船舶이 避航上 必要로 하는 漁網의 最大探知距離를 2마일로 假定한다면, (2-7)式에 依하여 物標의 有效高가 1.2m 内外일 때 ( $H_s=8m$ 의 경우) Fig.6~9의 點線의 屈折點이 거의 2마일이므로 物標의 最大探知距離는 코오너 리프랙터의 횡수에 比例하기 때문에 S型 코오너 리프랙터의 實測最大探知距離 1.2마일을 2마일로 증가시키기 爲해서는 그 半徑을 1.67倍로 增加하여 1.67cm로 하여야 함을 알 수 있다.

#### IV. 結 論

南海島沿岸에 敷設되어 있는 落網대뚝의 最大探知距離範圍와 浮標型 코오너 리프랙터의 대뚝으로서의 效用을 레이더로서 觀測調査한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 物標가 비록 레이더波의 可視距離 以內에 있다 하더라도 物標 및 레이더의 높이에 依하여 決定되는 特定距離(屈折點)의 内外에서 物標로부터 레이더波의 受信電力은 別개의 漸近式으로 表現되며, 最大探知距離의 有效反射面積 依存度가 달라짐을 보였다.

2. 落網대뚝의 最大探知距離는 構成物質에 따라 다르나 本 實驗의 경우 最大探知距離範圍는 0.2~0.65마일 以內 였으며 落網 全体가 레이더 映像으로 나타나는 距離는 0.3~0.4마일 程度였다. 또한 대뚝의 레이더 映像은 마일 스케일(mil escale)을 1마일 레인지(Range)를 使用하여야만 探知可能하

였다. 따라서 落網의 損傷을 防止하고 落網 附近을 航行하는 船舶의 安全을 爲하여 明確한 識別標識施設이 必需하다.

3. 漁具 附着用 浮標型 코오너 리프렉터는 Luneberg Lens Reflector, 五面体型 리프렉터, 金網型 리프렉터 등 그 種類가 多大하나 그 經濟性을 考慮할 때 本 論文에서 제안한 三面型 金屬製 S型 코오너 리프렉터가 대단히 効果的이라 思料되며 그 最大探知距離를 2마일 以上 되게 하려면 코오너 리프렉터의 높이를 1.2m 以上으로 할 경우 半徑이 17cm 以上이 必要하며 또 이러한 寸수의 코오너 리프렉터가 充分히 有效함이 本 實驗에서 立證되었다. 또한 가볍고, 海水가 잘 침투하지 않고, 指向性과 耐波性을 가지도록 製作되어야 할 것이다.

### 參 考 文 獻

1. 神鳥昭; 定置漁具의 레이더映像에 對하여-1, 日本航海學會誌, 32, pp. 7~14, (1964)
2. 神鳥昭; 定置漁具의 레이더映像에 對하여-II, 日本航海學會誌, 36, pp. 111~117, (1966)
3. 落合德臣; 코너-레플렉터에 對하여, 日本航海學會誌, 15, pp. 63~67, (1956)
4. 落合德臣; 레이더에 의한 海上小目標物의 探知距離에 對하여, 日本航海學會誌, 14, pp. 8~14, (1955)
5. 落合德臣; 誘電체 렌즈 레플렉터에 對하여, 電波航法, 5, pp. 2~10, (1954)
6. 庄司和; 코너 리플렉터에 對하여, 電波航法, 2, pp. 3~11, (1961)
7. 茂在寅男, 櫻木幹夫; 레이더 사용船의 海難과 그 考察, 電波航法, 8, pp. 27~32, (1966)
8. 權順三, 庄司和民; 船用 3種 레이더의 小型船 反射強度에 對하여 (第4報), 日本航海學會誌, 14, pp. 8~14, (1957)
9. 井關貢; 船用 3種 레이더의 小型船 反射強度에 對하여 (第3報), 日本航海學會誌, 13, pp. 43~46, (1956)
10. 松本吉春, 市信夫; 電波航法, 海文堂, pp. 219~221, (1971)
11. M. I. SKOLNIK; Introduction to Radar Systems, Research Division Electronic Communication, Inc, pp. 501~509, (1962)
12. 大韓民國 交通部 水路局; 水路圖誌 209, (1974)
13. 權順三, 庄司和民, 中西宏, 田口一夫; Radar의 反射強度에 關한 實驗에 對하여, 日本航海學會誌, 20, pp. 13~28, (1959)
14. F. E. TERMAN; ELECTRONIC AND RADIO ENGINEERING, Mc Graw-Hill Co, pp. 811, (1955)