

# 레이다 避航法에 관한 研究

尹 汝 政

## A Study on a Avoiding Method in Radar Navigation

Yoon Yeo-Jeong

### 目 次

- |              |           |
|--------------|-----------|
| 1. 緒 言       | 5. 他船의 速力 |
| 2. 避航要素의 計算式 | 6. 他船의 針路 |
| 3. 最近接距離     | 7. 結 言    |
| 4. 時間的 餘裕    | 參 考 文 獻   |

### Abstract

The closest distance, admissible time for deciding the risk, and the speed and course of target vessel are usually estimated by plotting on the radar plotter or the maneuvering board.

As they are the function of first and second bearings and ranges of the target vessel, the errors of radar bearings and ranges spread inevitably over them.

In this paper, author studied mainly on the possible errors of the closest distance, relative speed and the speed and course of the target vessel in anti-collision radar navigation.

### 1. 緒 言

Radar를 利用한 避航措置는 Scope上에 나타난 目標物의 映像의 움직임을 時間間隔을 두고 2回以上 觀測하여 얻은 方位 및 距離로부터 最近接距離(D. C. P. A), 時間的 餘裕, 相對針路와 速力, 他船의 針路와 速力 등 여러 避航要素들을 求하여야만 効果的으로 遂行될 수 있다.

이들 여러 要素를 求하는 在來式 方法으로는 計算圖表, 計算表를 利用한 것도 있겠으나 實用上은 Radar Plotter 또는 Maneuvering Board에 作圖하여 求하며 作圖法에는 새로운 Keystone 방식이 이용되고 있다.

Radar로 目標의 方位와 距離를 測定할 때에는 現用 Radar의 特性上 若干의 誤差가 包含되는 것은 不可避한 것이므로 誤差를 包含하고 있는 方位와 距離를 基礎로 하여 最近接距離 등 避航措置에 必要한 여러 要素를 作圖에 依하거나 計算으로 求하게 되면 當然히 方位와 距離의 誤差가 이들 要素에까지 波及된다.

本論文은 Radar方位 및 距離에 豫期되는 誤差로 因하여 Keystone方式과 같은 Radar Plotting方式을 利用하는 경우에 생기는 避航要素들의 誤差에 對하여 考察하고 아울러 Radar Plotting에 있어서 一一히 作圖하여야 하는 번거로움과 特히 작은 尺度에 의하여 作圖하는 경우의 不正確性을 考慮하여 Radar Plotting Table의 實用性에 對하여 檢討한 것이다.

## 2. 避航要素의 計算式

第1圖에서  $t$ 分間隔을 둔 第1, 第2 觀測時의 他船의 位置를 各各  $A, B$ 라 하고 各 要素를 다음 記號로 表示하면 그들의 關係는 ①~⑥式과 같이 된다.



第1圖 速力벡터 三角形

$T$ : 第1觀測時로부터 最近接點에 이르기까지의 時間( $t$ 分單位) 즉 時間的餘裕

$$\gamma = \frac{R_t}{R_0}$$

$$\beta: Z_0 \sim Z_t$$

$$Q: \frac{V_R}{V_A}$$

$$\lambda: \frac{V_B}{V_A}$$

$$\varphi: Z_0 \pm \alpha \left[ \begin{array}{l} \text{단 他船이 右舷에 있고 方位變化가 反時計方向이면 +, 時計方向이면 -} \\ \text{단 他船이 左舷에 있고 方位變化가 時計方向이면 +, 反時計方向이면 -} \end{array} \right]$$

(1) 相對速力

$$V_R = R_0 \sqrt{1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos \beta} \dots\dots\dots ①$$

特히  $R_0 = 1$  이면

$$V_R = \sqrt{1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos \beta} \dots\dots\dots ①'$$

(2)  $\angle \alpha$ 

$$\sin \alpha = \frac{\gamma \sin \beta}{\sqrt{1+\gamma^2-2\gamma \cos \beta}} \dots\dots\dots ②$$

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{\gamma \sin \beta}{\sqrt{1+\gamma^2-2\gamma \cos \beta}} \dots\dots\dots ②'$$

(3) 最近接距離

 $d = R_0 \sin \alpha$  이므로

$$d = R_0 \cdot \frac{\gamma \sin \beta}{\sqrt{1+\gamma^2-2\gamma \cos \beta}} \dots\dots\dots ③$$

 $R_0 = 1$  이면

$$d = \frac{\gamma \sin \beta}{\sqrt{1+\gamma^2-2\gamma \cos \beta}} \dots\dots\dots ③'$$

(4) 時間的 餘裕

$$T = \frac{1 - \gamma \cos \beta}{1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos \beta} \dots\dots\dots ④$$

(5) 他船의  $t$ 分間の 速力

$$V_B = \sqrt{V_A^2 + V_R^2 - 2 V_A \cdot V_R \cos \varphi} \dots\dots\dots ⑤$$

$$\lambda = \sqrt{1 + Q^2 - 2Q \cos \varphi} \dots\dots\dots ⑤'$$

(6) 他船의 針路

$$\tan \theta = \frac{Q \sin \varphi}{1 - Q \cos \varphi} \dots\dots\dots ⑥$$

$$C_B = C_A \pm \theta \dots\dots\dots ⑥'$$

단 他船이 右舷에서 接近中일 때 “-”  
 他船이 左舷에서 接近中일 때 “+”

위 식들에 의하여  $\sin \gamma$ ,  $T$ ,  $\alpha$ ,  $V_R$  등을 計算한 것이 第1表이고 또  $Q$ 와  $\varphi$ 에 대한  $\lambda$ ,  $\theta$ 를 計算한 것이 第2表이다.

第1表에서는  $\sin \alpha$ 의 값에  $R_0$ 를 곱하여 最近接距離  $d$ 를 구할 수 있고  $T$ 값에 第1, 第2 觀測時間  $t$ 分(通常 6分)을 곱하여 第1觀測時로부터 最近接點에 到達하기까지의 時間을 구할 수 있다.

第2表에서는 第1表에서 구한  $\alpha$  및  $R_0 = 1$ 인 때의  $V_R$ 을 알고  $\lambda$  및  $\theta$ 를 구할 수 있으며  $\lambda$ 에 自船의 速力을 곱하면 他船의 速力을,  $\theta$ 를 自船의 針路에 加減하면 他船의 針路를 구할 수 있다.

### 3. 最近接距離

$R_0, \gamma$  및  $\beta$ 에 각각  $\Delta R_0, \Delta \gamma$  및  $\Delta \beta$ 인 誤差가 있을 때  $d$ 의 誤差  $\Delta d$ 는 다음과 같이 表現된다.

$$\begin{aligned} \Delta d &= -\frac{\partial d}{\partial \beta} \Delta \beta + \frac{\partial d}{\partial \gamma} \Delta \gamma + \frac{\partial d}{\partial R_0} \Delta R_0 \\ &= \frac{R_0 \sin \beta (1 - \gamma \cos \beta)}{(1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos \beta)^{3/2}} \Delta \beta + \frac{R_0 \gamma \{(1 + \gamma^2) \cos \beta - \gamma(1 + \cos^2 \beta)\}}{(1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos \beta)^{3/2}} \Delta \gamma \\ &\quad + \Delta R_0 \sin \alpha \dots\dots\dots ⑦ \end{aligned}$$

제 1 표  $R_0=1$  일 때의 最近接距離와 時間的 餘裕 및  $\angle\alpha$ 와 相對速力

$\beta$	$\gamma$	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70
1°	$\sin \alpha, T$	0.02 2.00	0.02 2.2	0.03 2.5	0.03 2.9	0.04 3.3
	$\alpha, V_R$	1.°0 0.50	1.°2 0.45	1.°5 0.40	1.°9 0.35	2.°3 0.30
2°	$\sin \alpha, T$	0.04 2.0	0.04 2.2	0.05 2.5	0.07 2.9	0.08 3.3
	$\alpha, V_R$	2.°0 0.50	2.°5 0.45	3.°7 0.40	3.°7 0.35	4.°6 0.30
3°	$\sin \alpha, T$	0.05 2.0	0.06 2.2	0.08 2.5	0.10 2.8	0.12 3.3
	$\alpha, V_R$	3.°0 0.50	3.°7 0.45	4.°5 0.40	5.°6 0.35	6.°9 0.30
4°	$\sin \alpha, T$	0.07 2.0	0.09 2.2	0.10 2.5	0.13 2.8	0.16 3.2
	$\alpha, V_R$	4.°0 0.50	4.°9 0.45	6.°0 0.40	7.°4 0.35	9.°2 0.31
5°	$\sin \alpha, T$	0.09 2.0	0.11 2.2	0.13 2.4	0.16 2.8	0.20 3.2
	$\alpha, V_R$	5.°0 0.50	6.°1 0.45	7.°4 0.41	9.°2 0.35	11.°4 0.31
6°	$\sin \alpha, T$	0.10 2.0	0.13 2.2	0.15 2.4	0.19 2.7	0.23 3.1
	$\alpha, T_R$	5.°9 0.51	7.°3 0.45	8.°8 0.41	11.°0 0.36	13.°5 0.31
7°	$\sin \alpha, T$	0.12 1.9	0.15 2.2	0.18 2.4	0.22 2.7	0.27 3.0
	$\alpha, V_R$	6.°9 0.51	8.°4 0.46	10.°2 0.41	12.°7 0.36	15.°6 0.32
8°	$\sin \alpha, T$	0.14 1.9	0.17 2.1	0.20 2.4	0.25 2.7	0.30 3.0
	$\alpha, V_R$	7.°8 0.51	9.°6 0.46	11.°6 0.41	14.°4 0.36	17.°6 0.32
9°	$\sin \alpha, T$	0.15 1.9	0.19 2.1	0.22 2.3	0.28 2.6	0.33 2.9
	$\alpha, V_R$	8.°8 0.51	10.°7 0.46	13.°0 0.42	16.°0 0.37	19.°5 0.33
10°	$\sin \alpha, T$	0.17 1.9	0.21 2.1	0.25 2.3	0.30 2.6	0.36 2.8
	$\alpha, V_R$	9.°7 0.52	11.°8 0.47	14.°3 0.42	17.°6 0.37	21.°4 0.33
11°	$\sin \alpha, T$	0.18 1.9	0.22 2.1	0.27 2.2	0.32 2.6	0.39 2.7
	$\alpha, V_R$	10.°6 0.52	12.°9 0.47	15.°6 0.43	19.°0 0.38	23.°1 0.34
12°	$\sin \alpha, T$	0.20 1.9	0.24 2.1	0.29 2.2	0.35 2.6	0.42 2.6
	$\alpha, V_R$	11.°5 0.52	14.°0 0.47	16.°8 0.43	20.°5 0.39	24.°8 0.35
13°	$\sin \alpha, T$	0.21 1.8	0.26 2.0	0.31 2.2	0.37 2.4	0.44 2.5
	$\alpha, V_R$	12.°4 0.53	15.°0 0.48	18.°0 0.44	21.°9 0.39	26.°3 0.35
14°	$\sin \alpha, T$	0.23 1.8	0.28 2.0	0.33 2.1	0.39 2.3	0.47 2.4
	$\alpha, V_R$	13.°2 0.53	16.°0 0.48	19.°2 0.44	23.°3 0.40	27.°8 0.36
15°	$\sin \alpha, T$	0.24 1.8	0.29 2.0	0.35 2.1	0.42 2.2	0.49 2.4
	$\alpha, V_R$	14.°1 0.53	17.°0 0.49	20.°3 0.45	24.°5 0.41	29.°2 0.37
16°	$\sin \alpha, T$	0.26 1.8	0.31 1.9	0.36 2.1	0.43 2.2	0.51 2.3
	$\alpha, V_R$	14.°9 0.54	17.°9 0.49	21.°3 0.45	25.°7 0.41	30.°5 0.38
17°	$\sin \alpha, T$	0.27 1.8	0.32 1.9	0.38 2.0	0.45 2.1	0.53 2.2
	$\alpha, V_R$	15.°6 0.54	18.°8 0.50	22.°4 0.46	26.°8 0.42	31.°8 0.39
18°	$\sin \alpha, T$	0.28 1.7	0.33 1.9	0.40 2.0	0.47 2.1	0.54 2.1
	$\alpha, V_R$	16.°4 0.55	19.°7 0.50	23.°4 0.47	28.°0 0.43	32.°9 0.40
19°	$\sin \alpha, T$	0.30 1.7	0.35 1.8	0.41 1.9	0.49 2.0	0.56 2.0
	$\alpha, V_R$	17.°1 0.55	20.°6 0.51	24.°3 0.47	29.°0 0.44	34.°0 0.41
20°	$\sin \alpha, T$	0.31 1.6	0.36 1.8	0.43 1.9	0.50 1.9	0.57 2.0
	$\alpha, V_R$	17.°9 0.56	21.°4 0.52	25.°2 0.48	29.°9 0.45	35.°0 0.42

0.75		0.80		0.85		0.90		0.95		1.00	
0.05	4.0	0.07	5.0	0.10	7.1	0.15	9.9	0.31	19.0	89.°5	0.02
3.°1	0.25	4.°0	0.20	6.°0	0.14	8.°9	0.10	18.°3	0.05		
0.11	4.0	0.14	4.9	0.20	6.5	0.30	9.1	0.55	14.0	89.°0	0.03
6.°1	0.25	7.°9	0.20	11.°8	0.15	17.°3	0.11	33.°2	0.06		
0.16	4.0	0.20	4.7	0.30	6.4	0.42	8.2	0.70	10.3	88.°5	0.05
9.°1	0.25	11.°8	0.21	17.°3	0.15	25.°0	0.11	44.°1	0.07		
0.21	3.9	0.27	4.6	0.38	5.8	0.52	7.1	0.78	7.4	88.°0	0.07
12.°0	0.25	15.°4	0.21	22.°4	0.16	31.°6	0.12	51.°7	0.08		
0.26	3.7	0.32	4.5	0.46	5.6	0.60	6.1	0.84	5.4	87.°5	0.09
14.°8	0.26	19.°0	0.21	27.°1	0.16	37.°2	0.13	57.°1	0.10		
0.30	3.7	0.38	4.2	0.52	4.9	0.67	5.3	0.87	4.4	87.°0	0.11
17.°5	0.26	22.°3	0.22	31.°4	0.18	41.°9	0.14	60.°9	0.11		
0.34	3.5	0.43	3.9	0.57	4.6	0.71	4.6	0.90	3.4	86.°5	0.12
20.°0	0.27	25.°3	0.23	35.°0	0.18	45.°8	0.15	63.°8	0.13		
0.38	3.4	0.47	3.8	0.62	4.1	0.76	4.0	0.91	2.9	86.°0	0.14
22.°5	0.27	28.°2	0.24	38.°2	0.19	49.°0	0.17	65.°9	0.15		
0.42	3.2	0.51	3.6	0.66	3.8	0.78	3.4	0.92	2.4	85.°5	0.16
24.°8	0.28	30.°8	0.24	41.°1	0.20	51.°7	0.18	67.°5	0.16		
0.45	3.1	0.55	3.3	0.69	3.4	0.81	3.1	0.93	2.0	85.°0	0.17
26.°9	0.29	33.°2	0.25	43.°6	0.21	54.°0	0.19	68.°7	0.18		
0.48	2.9	0.58	3.1	0.72	3.0	0.82	2.7	0.94	1.8	84.°5	0.19
28.°9	0.30	35.°4	0.26	45.°8	0.23	55.°8	0.21	69.°6	0.19		
0.51	2.9	0.61	2.9	0.74	2.8	0.84	2.4	0.94	1.6	84.°0	0.21
30.°8	0.30	37.°4	0.27	47.°7	0.24	57.°4	0.22	70.°3	0.21		
0.54	2.7	0.63	2.8	0.76	2.6	0.85	2.2	0.94	1.4	83.°5	0.23
32.°5	0.31	39.°2	0.28	49.°3	0.25	58.°7	0.24	70.°8	0.23		
0.56	2.6	0.65	2.6	0.77	2.3	0.86	2.0	0.95	1.3	83.°0	0.24
34.°1	0.32	40.°9	0.30	50.°7	0.27	59.°8	0.25	71.°2	0.24		
0.58	2.5	0.67	2.4	0.79	2.2	0.87	1.8	0.95	1.2	82.°5	0.26
35.°6	0.33	42.°3	0.31	52.°0	0.28	60.°7	0.27	71.°5	0.26		
0.60	2.3	0.69	2.3	0.80	2.1	0.88	1.7	0.95	1.1	82.°0	0.28
37.°0	0.34	43.°7	0.32	53.°1	0.29	61.°5	0.28	71.°7	0.28		
0.62	2.2	0.71	2.1	0.81	1.9	0.88	1.6	0.95	1.1	81.°5	0.30
38.°2	0.35	44.°9	0.33	54.°0	0.31	62.°1	0.30	71.°8	0.29		
0.63	2.1	0.72	2.0	0.81	1.8	0.89	1.5	0.95	1.0	81.°0	0.31
39.°4	0.37	45.°9	0.34	54.°9	0.33	62.°6	0.31	71.°8	0.31		
0.64	2.0	0.73	1.9	0.82	1.7	0.89	1.4	0.95	0.9	80.°5	0.33
40.°4	0.38	46.°9	0.36	55.°6	0.34	63.°0	0.33	71.°8	0.33		
0.66	1.9	0.74	1.8	0.83	1.6	0.89	1.3	0.95	0.9	80.°0	0.35
41.°4	0.39	47.°8	0.37	56.°2	0.35	63.°4	0.34	71.°7	0.34		

第2表 他船의 速力 및 針路

$\varphi$	0.1		0.2		0.3		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9		1.0		
	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	
0°	0.90	0.00	0.80	0.00	0.70	0.00	0.60	0.00	0.50	0.00	0.40	0.00	0.30	0.00	0.20	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	90
10°	0.90	1.10	0.80	1.20	0.71	4.20	0.61	6.50	0.51	9.70	0.42	14.30	0.33	21.40	0.25	33.20	0.19	54.00	0.17	85.0	
20°	0.91	2.20	0.81	4.80	0.73	8.10	0.64	12.40	0.55	17.90	0.48	25.20	0.42	35.00	0.37	47.80	0.34	63.40	0.35	80.0	
30°	0.91	3.10	0.83	6.90	0.76	11.50	0.68	17.00	0.62	23.80	0.57	32.00	0.53	41.60	0.50	52.50	0.50	63.90	0.52	75.0	
40°	0.93	4.00	0.86	8.60	0.79	14.10	0.74	20.30	0.70	27.50	0.66	35.50	0.65	44.10	0.64	53.00	0.66	61.80	0.68	70.0	
50°	0.94	4.70	0.88	10.00	0.84	15.90	0.80	22.40	0.78	29.40	0.77	36.80	0.77	44.30	0.78	51.60	0.81	58.60	0.85	65.0	
60°	0.95	5.20	0.92	10.90	0.89	17.00	0.87	23.40	0.87	30.00	0.87	36.60	0.89	43.00	0.92	49.10	0.95	54.81	0.90	60.0	
70°	0.97	5.60	0.95	11.40	0.94	17.40	0.94	23.50	0.95	29.50	0.97	35.41	0.91	40.91	0.95	46.01	0.99	50.71	0.95	55.0	
80°	0.99	5.70	0.99	11.50	0.99	17.31	0.91	22.91	0.94	28.31	0.97	33.41	0.91	38.11	0.97	42.51	0.99	46.41	0.99	50.0	
90°	1.00	5.71	0.92	11.31	0.94	16.71	0.88	21.81	0.92	26.61	0.97	31.01	0.92	35.01	0.98	38.71	0.99	42.01	0.99	45.0	
100°	1.02	5.51	0.95	10.81	0.99	15.71	0.94	20.21	0.99	24.41	0.99	28.21	0.99	31.61	0.99	34.71	0.99	37.51	0.99	40.0	
110°	1.04	5.21	0.98	10.01	1.04	14.31	0.99	18.31	0.99	21.91	0.99	25.11	0.99	28.01	0.99	30.61	0.99	32.91	0.99	35.0	
120°	1.05	4.71	0.99	8.91	1.08	12.71	0.99	16.11	0.99	19.11	0.99	21.81	0.99	24.21	0.99	26.31	0.99	28.31	0.99	30.0	
130°	1.07	4.11	0.99	7.71	1.14	10.91	0.99	13.71	0.99	16.21	0.99	18.41	0.99	20.31	0.99	22.01	0.99	23.61	0.99	25.0	
140°	1.08	3.41	0.99	6.41	1.24	8.91	0.99	11.11	0.99	13.11	0.99	14.81	0.99	16.31	0.99	17.71	0.99	18.91	0.99	20.0	
150°	1.09	2.61	0.99	4.91	1.27	6.81	0.99	8.41	0.99	9.91	0.99	11.21	0.99	12.31	0.99	13.31	0.99	14.21	0.99	15.0	
160°	1.09	1.81	0.99	3.31	1.29	4.61	0.99	5.71	0.99	6.61	0.99	7.51	0.99	8.21	0.99	8.91	0.99	9.51	0.99	10.0	
170°	1.10	0.91	0.99	1.71	1.30	2.31	0.99	2.91	0.99	3.31	0.99	3.71	0.99	4.11	0.99	4.41	0.99	4.71	0.99	5.0	
180°	1.10	0.01	0.99	0.01	1.30	0.01	1.40	0.01	1.50	0.01	1.60	0.01	1.70	0.01	1.80	0.01	1.90	0.02	2.00	0.0	

(주)  $\varphi = Z_0 \pm \alpha$  [단 + : 목표가 右舷에 있고 方位 變化가 反時計 方向이거나 左舷에 있고 時計 方向일 때]  
 [ - : 목표가 右舷에 있고 方位 變化가 時計 方向이거나 左舷에 있고 反時計 方向일 때]

1.1		1.2		1.3		1.4		1.5		1.6		1.7		1.8		1.9		2.0	
$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$	$\lambda$	$\theta^\circ$
0.10	180	0.20	180	0.30	180	0.40	180	0.50	180	0.60	180	0.70	180	0.80	180	0.90	180	1.00	180
0.21	113.6	0.28	131.1	0.36	141.1	0.45	147.3	0.54	151.2	0.64	154.2	0.74	156.4	0.83	158.0	0.93	159.3	1.03	160.3
0.38	95.1	0.43	107.3	0.50	116.5	0.57	123.4	0.66	128.6	0.74	132.6	0.83	135.8	0.93	138.3	1.02	140.4	1.11	142.1
0.55	85.1	0.60	93.7	0.66	101.0	0.73	106.9	0.81	111.7	0.89	115.7	0.97	119.1	1.06	121.8	1.15	124.2	1.24	126.2
0.72	77.5	0.78	84.0	0.84	89.7	0.90	94.6	0.98	98.8	1.05	102.4	1.13	105.5	1.22	108.1	1.30	110.5	1.39	112.5
0.89	70.8	0.95	76.6	1.01	80.6	1.08	84.7	1.15	88.2	1.23	91.3	1.31	94.4	1.39	96.5	1.47	98.6	1.56	100.6
1.05	64.7	1.11	68.9	1.18	72.7	1.25	76.1	1.32	79.1	1.40	81.8	1.48	84.2	1.56	86.3	1.65	88.3	1.73	90.0
1.21	58.9	1.27	62.4	1.34	65.6	1.42	68.4	1.49	70.9	1.57	73.2	1.65	75.3	1.73	77.2	1.82	78.9	1.91	80.5
1.35	53.2	1.42	56.2	1.50	58.8	1.57	61.2	1.65	63.4	1.73	65.4	1.82	67.2	1.90	68.8	1.99	70.3	2.07	71.7
1.49	47.7	1.56	50.2	1.64	52.4	1.72	54.5	1.80	56.3	1.89	58.0	1.97	59.5	2.06	60.9	2.15	62.2	2.24	63.4
1.61	42.3	1.69	44.4	1.77	46.2	1.86	48.0	1.94	49.5	2.03	51.0	2.12	52.3	2.21	53.5	2.30	54.6	2.39	55.6
1.72	36.9	1.81	38.6	1.89	40.2	1.98	41.7	2.07	43.0	2.16	44.2	2.25	45.3	2.34	46.3	2.43	47.3	2.52	48.1
1.82	31.6	1.91	33.0	2.00	34.3	2.09	35.5	2.18	36.6	2.27	37.6	2.36	38.5	2.46	39.4	2.55	40.2	2.65	40.9
1.90	26.3	2.00	27.4	2.09	28.5	2.18	29.4	2.28	30.3	2.37	31.1	2.46	31.9	2.56	32.6	2.66	33.2	2.75	33.8
1.97	21.0	2.07	21.9	2.16	22.7	2.26	23.5	2.36	24.2	2.45	24.8	2.55	25.4	2.64	25.9	2.74	26.4	2.84	26.9
2.03	15.7	2.13	16.4	2.22	17.0	2.32	17.6	2.42	18.1	2.52	18.5	2.61	19.0	2.71	19.4	2.81	19.8	2.91	20.1
2.07	10.5	2.17	10.9	2.27	11.3	2.36	11.7	2.46	12.0	2.56	12.3	2.66	12.6	2.76	12.9	2.86	13.1	2.96	13.4
2.09	5.2	2.29	5.5	2.29	5.7	2.39	5.8	2.49	6.0	2.59	6.2	2.69	6.3	2.79	6.4	2.89	6.6	2.99	6.7
2.10	0.0	2.20	0.0	2.30	0.0	2.40	0.0	2.50	0.0	2.60	0.0	2.70	0.0	2.80	0.0	2.90	0.0	3.00	0.0



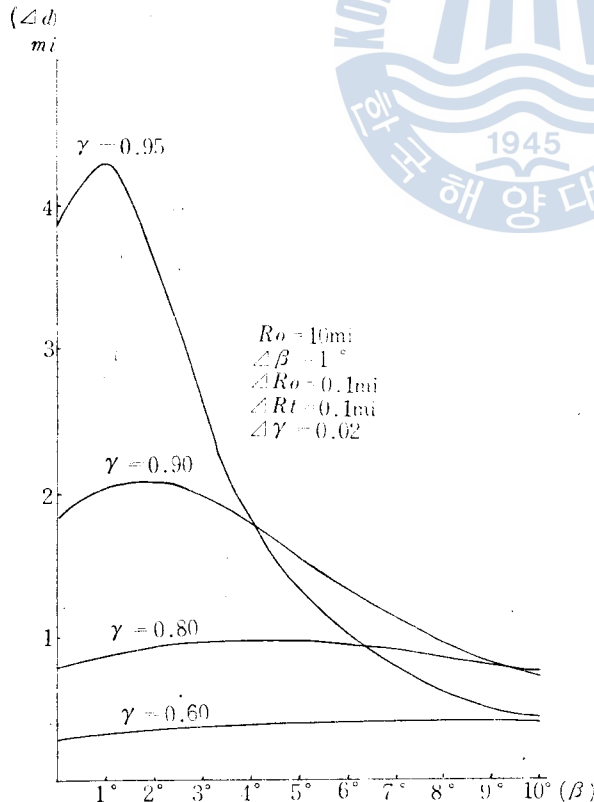
Radar 方位의 誤差는 여러가지 原因 때문에 생기는 것이므로 一律的으로 定할 수는 없으나 10海里範圍에서의 方位의 中央誤差가 0.2이므로 餘裕를 두어 大略 99%誤差인  $\Delta\beta=1^\circ$ 로 보기로 한다.

$$\begin{aligned} \text{또 } \gamma &= \frac{R_t}{R_0} \text{ 이므로 } \Delta\gamma \text{는} \\ \Delta\gamma &= \frac{\partial\gamma}{\partial R_0} \Delta R_0 + \frac{\partial\gamma}{\partial R_t} \Delta R_t \\ &= -\frac{R_t}{R_0^2} \Delta R_0 + \frac{1}{R_0} \Delta R_t \dots\dots\dots ⑧ \end{aligned}$$

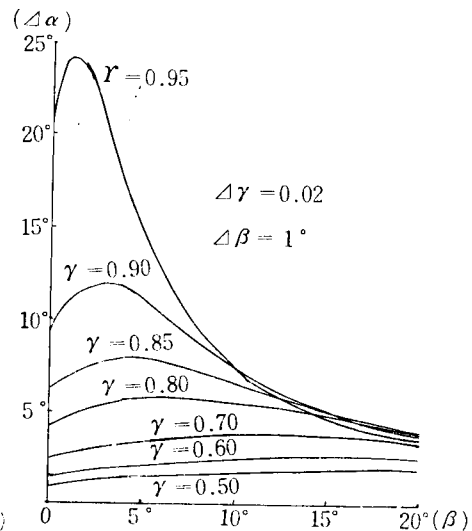
로 表現되며 10海里 範圍에서 距離의 中央誤差는 0.1海里보다 작으므로  $R_0=10\text{mi.}$ ,  $\Delta R_0=\Delta R_t=0.1\text{mi.}$  을 ⑧式에 代入하여 計算하면  $\Delta\gamma < 0.02$ 이다.

그러므로  $R_0=10\text{mi.}$ ,  $\Delta\beta=1^\circ$ ,  $\Delta R_0=0.1\text{mi.}$ ,  $\Delta\gamma=0.02$ 로 놓고  $\alpha$ 는 第1表에서 求하여 ⑦式으로 計算한  $\Delta d$ 를 圖表化하면 第2圖와 같다.

第2圖에 의하여 目標의 方位變化( $\beta$ )가 작고 동시에 距離變化도 작으면( $\gamma$ 가 크면) 最近接距離의 誤差는 急増하며  $\gamma=0.90$ 에서 最大로  $R_0$ 의 약 20%,  $\gamma=0.80$ 에서  $R_0$ 의 약 10% 정도의



第2圖 最近接距離의 誤差



第3圖 Δα의 誤差



誤差가 생긴다는 것을 알 수 있다.

또 最近接距離는  $\angle\alpha$ 와도 關係가 있으므로 ②'式에서  $\alpha$ 의 誤差  $\Delta\alpha$ 를 求하는 誤差式을 誘導하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\Delta\alpha &= \frac{\partial\alpha}{\partial\gamma}\Delta\gamma + \frac{\partial\alpha}{\partial\beta}\Delta\beta \\ &= \frac{\sin\beta}{1+\gamma^2-2\gamma\cos\beta}\Delta\gamma + \frac{\gamma(\cos\beta-\gamma)}{1+\gamma^2-2\gamma\cos\beta}\Delta\beta \dots\dots\dots ⑨\end{aligned}$$

⑨式에서  $\Delta\alpha$ 를 求하여 그림으로 그린 것이 第3圖이다.

이 그림에 의하면  $\beta$ 가 작고  $\gamma$ 이 클수록  $\Delta\alpha$ 는 크며  $\beta=1^\circ$ ,  $\gamma=0.95$ 이면  $\Delta\alpha$ 는  $24.^\circ 2$ 에 달한다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 時間的 餘裕

自船에 他船이 接近中일 때 最近接點(CPA)에 到達하는 데 걸리는 時間이 時間的 餘裕이며 最近接距離와 함께 避航措置를 取하는 경우에 알아야 될 重要한 避航要素이다.

時間的 餘裕는 距離變化가 一定하다면 方位變化가 0인 때에 가장 많다는 것은 明白하다. 그러므로 距離의 變化에 따라 時間的 餘裕가 달라지는 狀態를 살펴보기 위하여 ④式을  $\gamma$ 에 관하여 微分하면

$$\frac{dT}{d\gamma} = \frac{\gamma^2 \cos\beta - 2\gamma + \cos\beta}{(1 + \gamma^2 - 2\gamma \cos\beta)^2}$$

$$\frac{dT}{d\gamma} = 0 \text{ 이면}$$

$$\gamma^2 \cos\beta - 2\gamma + \cos\beta = 0$$

$$\therefore \gamma = \sec\beta \pm \sqrt{\sec^2\beta - 1}$$

그런데  $\gamma < 1$ 이어야 하므로

$$\gamma = \sec\beta - \sqrt{\sec^2\beta - 1}$$

$$\therefore \gamma = \sec\beta - \tan\beta \dots\dots\dots ⑩$$

⑩式에 의하여  $\beta$ 의 變化에 따른  $\gamma$  및 그 때의  $T$ 의 最大值를 구하면 第3表와 같다.

第3表 T의 最大值 및 그 때의  $\gamma$

$\beta$	$2^\circ$	$4^\circ$	$6^\circ$	$8^\circ$	$10^\circ$	$12^\circ$	$14^\circ$	$16^\circ$	$18^\circ$	$20^\circ$
$\gamma$	0.97	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.78	0.75	0.73	0.70
$T$	14.7	7.7	5.3	4.1	3.4	2.9	2.6	2.3	2.1	2.0

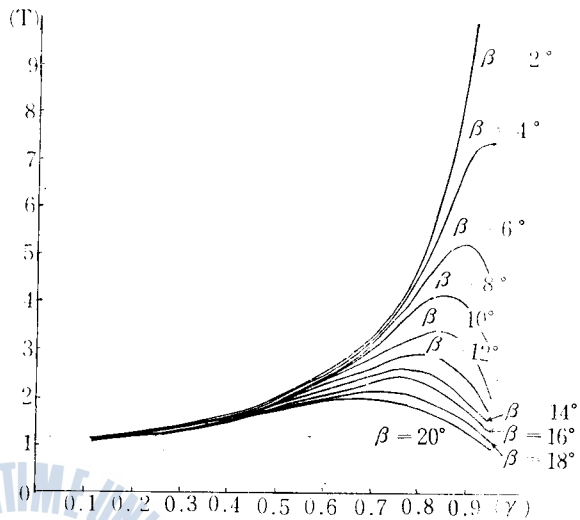
時間的 餘裕가 變化하는 狀態를 알아보기 쉽도록 第1表 및 第3表에 의하여  $\beta$ 를 Parameter로

하여 그림을 그리면 第4圖와 같이 된다.

이들로부터 距離變化가 작다고 반드시 時間的 餘裕가 많은 것이 아니고 方位變化가 약 4°이상 일 때에는 距離變化가 어느 값 보다 더 작아지면 時間的 餘裕는 오히려 작아진다는 것을 알 수 있다.

예를 들어 6分間隔으로 觀測한 結果가  $R_0=10mi.$ ,  $R_t=8.4mi.$ ,  $\beta=10^\circ$  였다면  $\gamma=0.84$  이므로  $T$ 는 最大值인 3.4로 된다. 그로 CPA에 到達 하기까지는  $3.4 \times 6 = 20.4$ 分 걸린다.

그러나  $R_0=10mi.$ ,  $R_t=9mi.$ ,  $\beta=10^\circ$ 인 경우에는 距離變化는 앞의 경우보다 작지만 時間的 餘裕  $T$ 는  $3.1 \times 6 = 18.6$ 分으로 오히려 짧아진다.



第4圖 時間的 餘裕

### 5. 他船의 速力

⑤式에서

$$\begin{aligned} \Delta\lambda &= \frac{\partial\lambda}{\partial Q} \Delta Q + \frac{\partial\lambda}{\partial\varphi} \Delta\varphi \\ &= \frac{Q - \cos\varphi}{\sqrt{1+Q^2-2Q\cos\beta}} \Delta Q + \frac{Q \sin\varphi}{\sqrt{1+Q^2-2Q\cos\varphi}} \Delta\varphi \dots\dots\dots ⑪ \end{aligned}$$

그런데  $Q = \frac{V_R}{V_A}$  이므로  $V_A$ 에 誤差가 없다면  $\Delta Q = \Delta V_R$ 이다.

지금  $\Delta V_R$ 을 決定하기 위하여 ⑪式을 偏微分하여  $\Delta V_R$ 을 求하는 誤差式을 誘導하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta V_R &= \frac{\partial V_R}{\partial\gamma} \Delta\gamma + \frac{\partial V_R}{\partial\beta} \Delta\beta \\ &= \frac{\gamma - \cos\beta}{\sqrt{1+\gamma^2-2\gamma\cos\beta}} \Delta\gamma + \frac{\gamma \sin\beta}{\sqrt{1+\gamma^2-2\gamma\cos\beta}} \Delta\beta \dots\dots\dots ⑫ \end{aligned}$$

⑫式에서  $\Delta\gamma=0.02$ ,  $\Delta\beta=1^\circ$ 로 놓고  $\Delta V_R$ 을 計算하여 그림으로 나타낸 것이 第5圖이다.

第5圖에 의하면  $\gamma=0.90$ ,  $\beta=5^\circ$ 에서  $\Delta V_R$ 이 最大이며 그 때의 最大值는 0.025이다.

다음에 ⑪式의 第2項의  $\Delta\varphi$ 는  $Z_0$  및  $\alpha$ 의 誤差에 따라 決定되며 方位  $Z_0$ 의 誤差  $\Delta Z_0$ 는  $1^\circ$ 로 보면 되나  $\Delta\alpha$ 는 第3圖에 圖示한 바와 같이 距離變化가 작고( $\gamma$ 이 크고) 方位變化( $\beta$ )도 작으

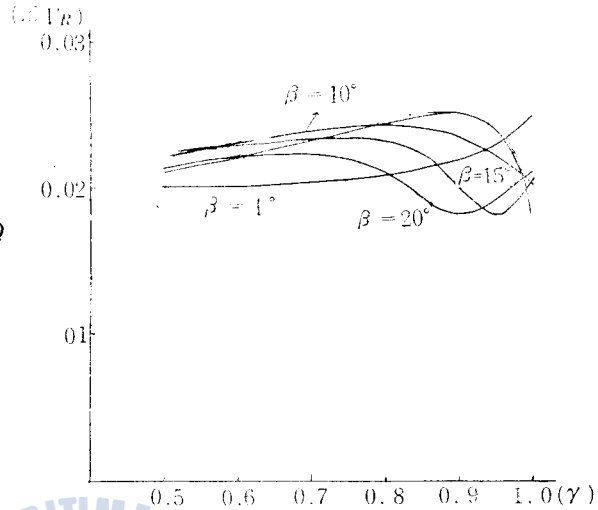
면 20°를 넘게 되므로 實用上 許容할 수 있는  $\lambda$ 의 誤差  $\Delta\lambda$ 의 限界를 0.1 또는 0.2의 두가지 경우로 나누어 각 경우의  $\Delta\alpha$ 를 구하기로 한다.

①式에서

$$\Delta\varphi = \frac{\sqrt{1+Q^2-2Q \cos \varphi} \Delta\lambda - \frac{Q\Delta - \cos \varphi}{Q \sin \varphi} \Delta Q}{Q \sin \varphi}$$

이므로  $\Delta\lambda=0.1$ ,  $\Delta Q=0.025$ 로 놓고 또 ①式에서  $Q$ 가 클수록  $\Delta\lambda$ 가 큰 것에 着眼하여  $Q=2.0$ 인 경우의  $\Delta\varphi$ 를 구하면 第4表와 같다.

지금  $\Delta\lambda=0.1$  까지 許容한다면 第4表에서  $\Delta\varphi$ 의 最小値는  $\varphi=60^\circ$ 인 때  $\Delta\varphi=4.^\circ5$ 이므로  $\Delta Z_0=1^\circ$ 로 보면  $\Delta\alpha=3.^\circ5$ 인 셈이다. 똑같이  $\Delta\lambda=0.2$ 인 경우에는  $\Delta\varphi=10.^\circ2$ 이므로  $\Delta\alpha=9.^\circ2$ 이다.



第5圖 相對速度의 誤差

第4表  $\Delta\lambda=0.10$ 이 되기 위한  $\Delta\varphi$

$\varphi$	30°	45°	60°	75°	90°	120°	150°
$\Delta\varphi$	8.°7	4.°7	4.°5	4.°6	5.°0	6.°7	12.°5

또  $\Delta\lambda=0.2$ 로 놓으면  $\Delta\varphi$ 는 第5表와 같다.

第5表  $\Delta\lambda=0.2$ 가 되기 위한  $\Delta\varphi$

$\varphi$	30°	45°	60°	75°	90°	120°	150°
$\Delta\varphi$	12.°6	10.°6	10.°2	10.°5	11.°4	15.°4	29.°2

以上の 結果를 가지고 第3圖를 檢討하면 大略  $\gamma < 0.70$ 인 때에는  $\beta$ 에 關係없이 항상  $\Delta\lambda < 0.1$ 이 되나  $\gamma \geq 0.70$ 이면  $\Delta\lambda > 0.1$ 로 된다는 것을 알 수 있다.

또  $\gamma \leq 0.85$ 이면  $\beta$ 에 關係없이 항상  $\Delta\lambda < 0.2$ 로 되나  $\gamma > 0.85$ 이면  $\beta$ 가 작은 경우( $\beta < 10^\circ$ )에는  $\Delta\lambda > 0.2$ 로 된다. 즉  $\gamma=0.90$ 이면  $\beta < 7.^\circ7$ 에서,  $\gamma=0.95$ 이면  $\beta < 8.^\circ3$ 인 때  $\Delta\lambda > 0.2$ 로 된다.

한가지 特記할 것은 第4表와 第5表에서  $\varphi=60^\circ$ 인 때  $\Delta\varphi$ 가 最小로 된다는 事實로 미루어 速度力벡타 3角形의  $\angle\varphi$ 가  $60^\circ$ 인 때에  $\Delta\lambda$ 가 最大이고 따라서 이 벡타 3角形을 풀어서 구한 他船의 速度力誤差도 最大로 된다는 것이다.

### 6. 他船의 針路

⑥式에서

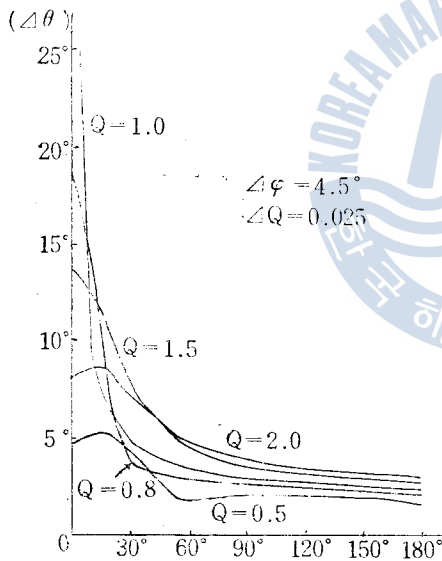
$$\theta = \tan^{-1} \frac{Q \sin \varphi}{1 - Q \cos \varphi}$$

$$\therefore \Delta\theta = \frac{\partial\theta}{\partial\varphi} \Delta\varphi + \frac{\partial\theta}{\partial Q} \Delta Q$$

$$= \frac{Q(\cos \varphi - Q)}{1 + Q^2 - 2Q \cos \varphi} \Delta\varphi + \frac{\sin \varphi}{1 + Q^2 - 2Q \cos \varphi} \Delta Q \dots\dots\dots ⑬$$

⑬式에서  $\Delta\varphi = 4.5^\circ$ ,  $\Delta Q = 0.025$ 로 놓고  $Q$ ,  $\varphi$ 에 대한  $\Delta\theta$ 의 값을 求하여 圖示하면 第6圖과 같이 된다.

第6圖은  $\Delta\alpha = 3.5^\circ$  (즉  $\Delta\varphi = 4.5^\circ$ )인 경우를 나타낸 것이므로  $\Delta\alpha$ 가  $3.5^\circ$  이상이 되는 경우에는  $\Delta\theta$ 의 크기도 이 보다 훨씬 클 것은 當然하다.



第6圖 他船 針路의 誤差

第6圖를 기준하여 보면  $\varphi$ 가  $30^\circ$  以內인 때에는  $\Delta\theta$ 는 대체로  $5^\circ$  以上으로 되며 또 그 크기가  $Q$ 값에 따라 현저히 變化하는 것을 알 수 있고  $\varphi$ 가  $60^\circ$  以上 되면 대체로  $\Delta\theta$ 는  $5^\circ$  以下의 값이 된다는 것을 알 수 있다.

### 7. 結 言

Radar Plotting에 있어서 速力 Vector 三角形에 方位와 距離의 誤差가 어떻게 波及되는가에 대한 以上의 結果를 綜合하면 다음과 같은 事實들이 明白하

(1) 最近接距離의 誤差는 方位變化와 距離變化가 다같이 작을 때에 急増하므로 求한 最近接距離에 대한 信賴度는 그만큼 낮아진다. 多幸히 이 경우에는 時間的餘裕가 充分히 있다고 볼 수 있으므로 可能한 限 자주 觀測하여 거듭 確認하고 最近接距離에 充分한 餘裕를 두어 避航하여야 할 것이다.

(2) 相對速度의 誤差는  $\gamma$  및  $\beta$ 의 變化에 크게 영향을 받지 않으며 그 誤差範圍는 最小 0.018, 最大 0.025의 범위내에 있다.

그러므로 相對速度의 誤差는 實用上 거의 一定한 것으로 보아도 될 것이다.

(3)  $\gamma < 0.70$ 이면 自船의 速力を 正確히 推定하는 限 他船의 速力誤差는 10% 未滿이고  $0.85 \geq \gamma \geq 0.70$ 이면 10%~20%,  $\gamma > 0.85$ 이면 대략  $\beta < 10^\circ$ 인 경우에만 그 誤差가 20%以上에

이른다.

그러므로 方位變化가  $10^\circ$ 未滿이고 距離變化도 작은 때( $\gamma > 0.85$ 인 때)에는 速力 Vector 三角形을 풀어서 求한 他船速力의 誤差가 커져서 信賴性이 없다. 特히  $\angle\phi$ 가  $60^\circ$ 인 때 그 誤差는 最大이다.

(4)  $\angle\phi$ 가  $30^\circ$ 以內인 경우에는 他船 針路의 誤差가 約  $5^\circ$ 以上인 뿐 아니라 그 크기는  $Q$ 값의 크기에 따라 현저히 變化하여 實用上 이를 간단히 推算하기 어려우므로 이와같은 경우에는 事實上 他船 針路의 推定이 곤란하다.

以上으로 現在와 같은 Radar를 利用하는 限 그 Plotting의 方法뿐 아니라 그 正確性도 경우에 따라서는 問題가 된다는 것이 明白했다. 즉 Radar Plotting은 앞서 列擧한 여러 避航要素를 大략 구하는데 不過하다는 姿勢가 重要하며 그 結果에 對한 過信은 危險한 일이다. 또 이런 觀點에서 본다면 第1表 및 第2表와 같은 Plotting Table을 상세히 作成하여 實用上 補間하는 工夫를 省하여 사용할 수 있도록 하고  $\gamma$  또는  $Q$ 의 速算表 또는 速算圖表(例컨대 N字形 圖表)를 같이 活用하면 實用化 할 수 있을 것으로 생각된다.

### 參 考 文 獻

- 1) Chritian Hengst; The Keystone 5 Second Anti-Collision Radar Navigation System, Codan Marine Inc. (1969)
- 2) 電波航法研究會; 레더의 運用指針 (1967)
- 3) 西谷芳雄, 前畑幸彌; Radar Plotting Diagram, 日本航海學會誌 第16號 (1957)
- 4) 今津準馬, 杉崎昭生; 레더避航法(Ⅲ), 日本航海學會誌 第49號 (1973)
- 5) 松本吉春, 井上篤次郎; 레더航法における 避航措置について, 日本航海學會誌 第20號 (1959)
- 6) 韓國海洋大學 海事圖書出版部; 航海科要誌(1968), pp3-41~46

