

推測航法과 Loran C航法을 結合한 Hybrid航法の 精度

李 元 羽* · 辛 亨 鎰**

Accuracy of Hybrid Navigation System Combining Dead Reckoning and Loran C

Won-Woo LEE* and Hyeong-II SIN*

Recently, Hybrid Navigation Systems combining Omega, NNSS, Loran C and Dead reckoning etc. served to give us highly accurate ship's position, and a number of ships are equipped with these navigation systems.

In order to evaluate for the accuracy of this navigation system observations of Loran C, 5970 and 9970 chains and Radar at the same time were made on board m.s "Jeonbuk 401 and 403" training ships of Gunsan Fisheries Collage at nine stations in the yellow sea from July, 1982 to June, 1983, and then were done by the Hybrid Navigation System combining Dead reckoning and Loran C at the same areas.

The authors investigated the accuracy of the Hybrid Navigation System based on measurements of the relative positional error which is defined as the difference between the position fixed by this system or the Loran C system, and the one by the Radar.

The obtained results are as follows;

1. The mean standard deviation of the time difference of Loran C were about $0.21\mu s$ in 9970 chain and about $0.06\mu s$ in 5970 chain, and the fluctuation of the time difference of Loran C in 5970 chain was smaller than that in 9970 chain.
2. The positional error between two positions by Radar and the Hybrid Navigation System in 9970 chain was about 0.4 miles, and between two positions by Radar and Loran C was about 0.51 miles. The Hybrid Navigation System was therefore more accurate than Loran C System.
3. The positional error between two positions by Radar and Hybrid Navigation Systyem in 5970 chain was about 0.4 miles, and between two positions by Radar and computer simulation of Loran C was about 0.98 miles. Consequently, Hybrid Navigation System was more accurate than computer simulation of Loran C system.

緒 論

등의 電波航法裝置가 開發되었다.

最近 電子工學의 發達에 의하여 高精度의 船位를 신속하게 測定할 수 있는 NNSS, Omega, Loran C

그러나 NNSS는 精度가 비교적 높고 利用範圍가 넓지만 測定間隔이 평균 1.5 時間으로 連續的인 船位測定이 어려우며, Omega는 全世界的인 航法시스

* 蔚山水產專門大學 : National Gunsan Fisheries Junior College

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

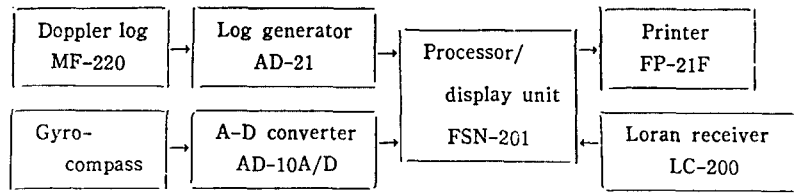


Fig. 1. Block diagram of the Hybrid system(FSN-21B).

템이나 正確한 空間波豫測補正値를 얻을 수 없어 測位의 精度가 낮고, Loran C는 基線의 長이가 짧아 이용범위가 크게 제한되는 결점을 지니고 있다.

따라서, 최근에는 이들 결점을 補完하기 위해 여러 航法을 結合시켜, 高精度의 船位를 얻을 수 있는 Hybrid 航法시스템이 開發되었으며, 이러한 航法시스템에 대한 精度評價를 위해 많은 研究가 進行되고 있다.

Yabuki 等¹⁾은 推測航法과 Omega 航法에 의한 Hybrid 航法이 Omega 航法만의 경우보다 測位精度가 50~60% 改善되었다는 報告가 있으며, Hojo 等²⁾과 Yamada 等³⁾도 Loran C 또는 Decca와 推測航法, Loran C 또는 Decca와 NNSS 航法과의 結合에 의한 Hybrid 航法에 대한 理論的 研究를 한 바 있다.

그러나 推測航法과 Loran C에 의한 航法을 結合시킨 Hybrid 航法으로 얻은 實測資料를 基礎로 하여 이 航法의 精度를 報告한 것은 드물다.

本 論文에서는 推測航法과 Loran C에 의한 航法을 結合시킨 Hybrid 航法裝置의 精度를 평가하기 위하여, 群山水産專門大學 實習船에 설치되어 있는 推測航法과 Loran C에 의한 航法을 結合한 Hybrid 裝置를 이용하여 우리나라 西海岸 海域에서 實船觀測을 行하고, 그 測位精度를 Radar 位置, Loran C 位置와 比較·檢討하였다.

方 法

1. 觀測船 및 觀測裝置

觀測에 利用된 船舶은 群山水産專門大學 實習船인 全北 401號(G.T 303톤), 403號(G.T 160톤)로서, 觀測裝置는 同船舶들에 各各 설치되어 있는 Hybrid 裝置(FSN-21B, Furuno, Japan)이며, 그 系統圖는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에서 Doppler log로부터의 速力情報는 Log generator에서, Gyro-compass로부터의 針路情報는 A-D converter에서 各各 Digital 信號로 變換되어 Processor/Display unit에서 推測位置로 演算處理되

고, 또 한편 Loran C 受信機로부터의 位置情報도 Processor/Display unit에서 演算處理되어 兩者가 結合된 位置가 Hybrid 位置로서 Printer에서 記錄되어 진다.

2. 觀測點과 Radar 位置

觀測點과 觀測에 利用된 Loran 送信局의 配置圖는 Fig. 2와 같으며, 또한 이들 點과 送信局과의 大圈距離는 Table 1과 같다.

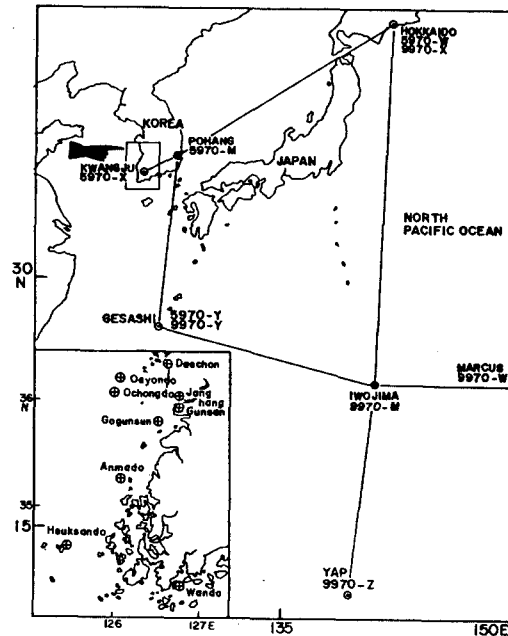


Fig. 2. Location of observation points and configuration of Loran C stations, 5970 chain and 9970 chain.

Fig. 2의 分圖에서 觀測點인 大川, 群山, 長項, 黑山島 및 莞島에서는 觀測船이 岸壁에 계류하였으므로 그 位置를 港泊圖에서 구하였고, 이들과 Radar 位置와 比較한 結果 그 距離誤差는 0.03 mile 이하로 매우 적었다.

또 觀測船이 古群山, 於靑島, 鞍馬島 및 外烟島에

Table 1. Distance between observation position and transmitting station

Position	Dist. from Mand S station(NM)								
	Position		9970 chain			5970 chain			
	LAT. (N)	LONG. (E)	M	X	Y	M	W	X	Y
Janghang	36°00. 21'	126°41. 53'	1010. 2	884. 9	568. 8	128. 9	884. 9	58. 3	568. 8
Gogunsan	35°50. 60'	126°24. 10'	1015. 6	901. 9	561. 5	144. 1	901. 9	48. 7	561. 5
Ochungdo	36°07. 40'	125°59. 33'	1041. 8	910. 1	581. 7	162. 4	910. 1	70. 4	581. 7
Gunsan	35°59. 33'	126°42. 96'	1008. 8	884. 4	567. 8	127. 7	884. 4	57. 8	567. 8
Daechun	36°19. 60'	126°31. 00'	1028. 9	881. 9	589. 2	136. 8	881. 9	77. 4	589. 2
Heuksando	34°41. 00'	125°26. 20'	1015. 9	979. 9	504. 4	211. 0	979. 9	58. 4	504. 4
Wando	34°18. 75'	126°45. 58'	48. 8	940. 5	467. 9	169. 1	940. 5	45. 0	467. 9
Anmado	35°19. 60'	126°01. 20'	1012. 9	934. 6	534. 5	169. 7	934. 6	30. 8	534. 5
Oeyondo	36°12. 95'	126°05. 25'	1041. 3	903. 2	586. 1	157. 5	903. 2	73. 9	586. 1

서는 錨泊하였으므로 Radar 로써 3 物標의 距離에 의하여 그 位置를 測定하고, 이들과 1 物標의 compass 方位와 Radar 距離로 그 位置를 測定한 것과 比較하여 그 誤差가 0.03 mile 이하였으므로, Radar 로 觀測한 位置를 Hybrid 位置의 精度를 分析하는 基準으로 삼았다.

3. 觀測方法

Loran C 에 의한 觀測은 西海에서 觀測 可能한 地表波만을 利用하여 9970 Chain 의 경우에는 主局과 X從局(이하 M-X 라 함), 主局과 Y從局(이하 M-Y 라 함), 5970 Chain 경우에는 主局과 W從局(이하 M-W 라 함), M-X, M-Y 의 時間差를 各各 測定하여, Processor/Display unit 를 거쳐 Printer 에 記錄되게 하여 이 位置를 Hybrid 位置로 하였다.

Table 2. The number of data and slips at each position

Position	Day or Night	9970 chain		5970 chain	
		Number of observation	Number of slip	Number of observation	Number of slip
Janghang	D N	30			
Gogunsan	D	16			
Ochungdo	N	19			
Gunsan	D N	29	14	27	
Heuksando	D N	17	6	25	
Oeyondo	N	8		49	
Daechun	N			30	
Wando	N	4		21	
Anmado	N			39	39

測定結果는 Table 2 과 같으며, Table 2 에서 10 μs slip 가 생긴 경우와 資料數가 적은 莞島의 9970 Chain 의 경우는 資料의 분석에서 除外하였다.

觀測點과 送信局사이에 있어서 Loran 時間差에는 다음 式⁴⁾과 같은 關係가 있으므로 이를 利用하여 計算機 simulation 을 하였다.

$$\Delta\varphi = \frac{(l-l_0)(m-m_0) - (l-l_1)(m_2-m_0)}{(l_2-l_0)(m_1-m_0) - (l_1-l_0)(m_2-m_0)} \cdot d$$

$$\Delta\theta = \frac{(l-l_0)(m_1-m_0) - (l_1-l_0)(m-m_0)}{(l_2-l_0)(m_1-m_0) - (l_1-l_0)(m_2-m_0)} \cdot d$$

여기서 $\Delta\varphi$, $\Delta\theta$: 觀測된 Loran 位置線의 交點 P 와 推測位置 $P_0(\varphi, \theta)$ 와의 緯度 및 經度差

l, m : Loran 수신기로 觀測한 位置線

l_0, m_0 : P_0 에서의 計算位置線

l_1, m_1 : P_0 로부터 緯度方向으로 d 만큼 떨어진 點에서의 計算位置線

l_2, m_2 : P_0 로부터 經度方向으로 d 만큼 떨어진 點에서의 計算位置線

結果 및 考察

1. Loran C 信號의 時間差 變動

各 觀測點에서 測定한 Chain 別 時間差의 平均값과 그 標準偏差는 Table 3 과 같다.

Table 3 에서 9970 Chain 의 M-X 時間差에 대한 標準偏差는 古群山에서 約 0.5 μs 로 가장 높았고, 長項에서 約 0.1 μs 로 가장 낮았다. 또 M-Y 時間差의 標準偏差는 於靑島에서 約 0.24 μs 로 가장 높았고 黑山島에서 0.096 μs 로 가장 낮았다. 이와같이 時間差의 變動이 큰 原因은 韓國 西海의 觀測點들이

Table 3. The mean values and RMS of the time differences in μ sec at each observed position

Chain	Observed position	M - W		M - X		M - Y	
		M. value	RMS	M. value	RMS	M. value	RMS
9970	Janghang			35920.5	0.111	56721.1	0.135
	Gogunsan			35989.3	0.515	56642.4	0.231
	Ochungdo			35879.4	0.420	56605.5	0.247
	Gunsan			35936.0	0.179	56702.8	0.137
	Heuksando			36472.4	0.138	56288.5	0.096
	Oeyondo			35841.0	0.129	56635.9	0.209
5970	Gunsan	20473.0	0.075	31508.9	0.090	48274.5	0.037
	Daechun	20401.4	0.063	31570.0	0.049	48347.5	0.044
	Heuksando	20550.4	0.082			47370.4	0.052
	Wando			31176.1	0.065	47406.1	0.057
	Oeyondo	20404.9	0.091	31425.3	0.083	48203.6	0.062

RMS: Root mean square

Table 4. The mean values and RMS of D. lat., D. long. and Dist. of OBL-OBS

Pair	Observed position	D. lat.		D. long.		Dist. (NM)	
		M. value	RMS	M. value	RMS	M. value	RMS
9970 X-Y	Ochungdo (a)	0.119	0.044	-0.597	0.088	0.498	0.075
	Janghang (b)	-0.234	0.016	-0.369	0.052	0.381	0.026
	Heuksando (c)	-0.589	0.019	0.245	0.041	0.623	0.026
	Gogunsan (d)	0.262	0.071	-0.666	0.067	0.603	0.064
	Oeyondo (e)	-0.075	0.021	-0.781	0.075	0.635	0.059
	Gunsan (f)	-0.235	0.027	-0.331	0.049	0.359	0.022

RMS: Root mean square

OBL: Position observed by Loran C

OBS: Standard position observed by radar

OBL-OBS: Difference between OBL and OBS

送信局으로부터 멀리 떨어져, 信號가 미약하고 反射層의 變化가 심한 때문이라 생각된다.

한편, 5970 Chain에서는 M-W, M-X 및 M-Y 時間差의 標準偏差가 모두 0.09 μ s 이하로 9970 Chain 보다 時間差 變動이 작은 데 이것은 送信局이 觀測點으로부터 가까이 位置하고 있기 때문으로 생각된다.

2. 9970 Chain에 의한 測位의 精度

1) Radar 位置와 Loran C 位置의 比較

X 從局과 Y 從局的 位置線(이하 X-Y pair 라 함)에서 Radar 位置와 Loran C 位置를 比較한 結果는 Table 4 와 같다.

Table 4 에서 Radar 位置와 Loran C 位置와의 平均 偏位距離는 群山에서 約 0.35 mile 로 제일 작았고,

外烟島에서 約 0.64 mile 로 제일 컸으며 全觀測點에서의 平均 값은 約 0.51 mile 이었다.

2) Radar 位置와 Hybrid 位置의 比較

X-Y Pair 에 대한 Radar 位置와 Hybrid 位置를 比較한 結果는 Table 5 와 같다.

Table 5 에서 Radar 位置와 Hybrid 位置의 平均 偏位距離는 群山에서 約 0.21 mile 로 가장 작았고, 黑山島에서 約 0.62 로 가장 컸다.

이와같은 원인은 각 觀測點에서의 時間差에 대한 位置線幅이 M-X 位置線에서는 0.14~0.15 mile/ μ s, M-Y 位置線에서는 0.22~0.29 mile/ μ s 로 M-Y 位置線의 誤차가 큰 때문이라 생각된다.

全 觀測點에서의 平均 값은 約 0.4 mile 이었다.

3) Loran C 및 Hybrid 位置의 精度

Table 5. The mean values and RMS of D. lat., D. long. and Dist. of HYB-OBS

Pair	Observed position	D. lat.		D. long.		Dist. (NM)	
		M. value	RMS	M. value	RMS	M. value	RMS
9970 X-Y	Ochungdo (A)	0.214	0.044	-0.358	0.102	0.363	0.080
	Janghang (B)	-0.051	0.016	-0.342	0.043	0.279	0.039
	Heuksando (C)	-0.335	0.023	0.628	0.041	0.616	0.036
	Gogunsan (D)	0.332	0.034	-0.415	0.079	0.475	0.087
	Oeyondo (E)	0.053	0.020	-0.549	0.078	0.446	0.064
	Gunsan (F)	-0.013	0.017	-0.255	0.066	0.213	0.050

RMS: Root mean square

HYB: Position observed by Hybrid system

OBS: Standard position observed by radar

HYB-OBS: Difference between HYB and OBS

Fig. 3은 Radar 位置를 基準으로 하여 Hybrid 位置의 平均位置를 中心으로 한 Hybrid 位置의 分布 및 Loran C 位置의 平均位置를 中心으로 한 Loran C 位置의 分布를 95% 確率圓에 나타낸 것이다.

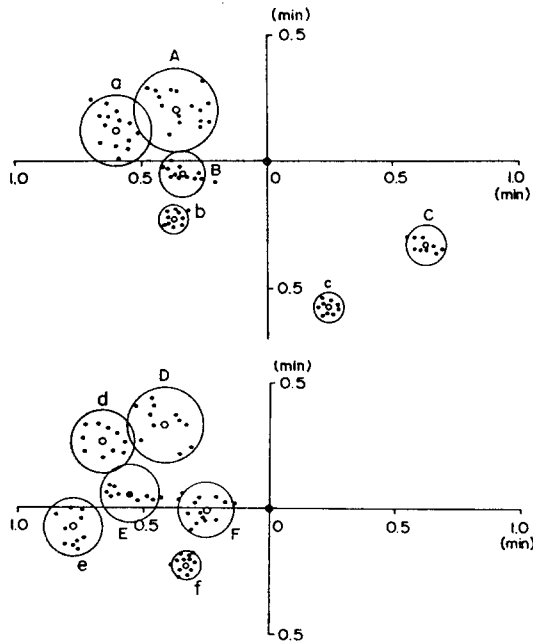


Fig. 3. Distribution of the Hybrid and Loran C position represented on the 95% probability circle.

A, B, C, D, E, F: Positions by Hybrid system
 a, b, c, d, e, f: Positions by Loran C
 Center points: Radar Fixes

Fig. 3에서 Hybrid 位置와 Loran C 位置는 거의 95% 確率圓內에 分布하고 있으며, Hybrid 位置는 於 靑島(그림에서 A), 古群山(D)에서 北西偏位, 群山

(F), 外烟島(E), 長項(B)에서 西偏位, 黑山島(C)에서는 南東으로 偏位하는 현상을 나타내었다.

이와같은 原因은 各 觀測點에서의 Loran C 位置線의 偏位方向과 交角에 起因된다고 보아진다. 즉 M-X 位置線은 南, 北方向으로 偏位하고, M-Y 位置線은 東, 西方向으로 偏位되기 때문이다.

Hybrid 位置와 Loran C 位置는 前述한 바와 같이 Radar 位置와의 偏位距離가 各各 0.4 mile, 約 0.51 mile 로서 Hybrid 位置가 Loran C 位置보다 그 偏位距離가 작으므로 Hybrid 航法이 Loran C 단독의 航法보다 精度가 더 높다는 것을 알 수 있다.

3. 5970 Chain 에 의한 精度

1) Radar 位置와 Loran C 의 計算機 simulation 位置의 比較

우리나라 西海岸 海域에 대한 5970 Chain 의 Loran C Table 과 Chart 는 아직 發刊되어 있지 않기 때문에 Loran C 位置를 결정할 수 없으므로, 5970 Chain 에 의한 Loran C 位置를 구하기 위하여 그 觀測時間差, 傳播速度⁵⁾, 推測位置 및 送信局의 位置等を Toshio Furuya 式⁴⁾에 代入하여 計算機 simulation 을 하였다. 그 結果는 Table 6 과 같다.

Table 6 에서 Radar 位置와 simulation 位置와의 平均偏位距離는 W 從局과 X 從局의 位置線(이하 W-X Pair 라 함)에서 群山이 約 1.16 mile 로 제일 컸고 大川에서 約 0.76 mile 로 제일 작았으며 全觀測點에서의 平均값은 約 0.96 mile 이었다. 또한 W 從局과 Y 從局의 位置線(이하 W-Y Pair 라 함)에서는 群山이 約 1.3 mile 로 제일 컸고, 大川에서 約 0.74 mile 로 제일 작았으며 全觀測點에서의 平均값은 約

Table 6. The mean values and RMS of D. lat., D. long. and Dist. of SIM-OBS

Pair	Observed position	D. lat.		D. long.		Dist. (NM)	
		M. value	RMS	M. value	RMS	M. value	RMS
5970 W-X	Gunsan (a)	-0.920	0.019	0.864	0.023	1.156	0.026
	Daechun (b)	-0.760	0.014	-0.076	0.012	0.763	0.014
	Oeyondo (c)	-0.672	0.021	0.653	0.056	0.850	0.055
5970 W-Y	Gunsan (a')	-0.768	0.021	1.326	0.029	1.319	0.031
	Daechun (b')	-0.688	0.016	0.352	0.016	0.744	0.019
	Oeyondo (c')	-0.622	0.025	0.928	0.040	0.973	0.040

RMS: Root mean square

SIM: Position decided by computer simulation for Loran C system

OBS: Standard position observed by Radar

SIM-OBS: Difference between SIM and OBS

Table 7. The mean values and RMS of D. lat., D. long. and Dist. of HYB-OBS

Pair	Observed position	D. lat.		D. long.		Dist. (NM)	
		M. value	RMS	M. value	RMS	M. value	RMS
5970 W-X	Gunsan (A)	-0.083	0.027	-0.136	0.032	0.130	0.019
	Daechun (B)	-0.0	0.014	-0.875	0.016	0.709	0.012
	Oeyondo (C)	0.0	0.022	-0.473	0.037	0.382	0.030
5970 W-Y	Gunsan (A)	-0.0	0.024	-0.182	0.134	0.162	0.010
	Daechun (B)	-0.0	0.013	-0.845	0.014	0.686	0.009
	Oeyondo (C)	0.0	0.027	-0.406	0.037	0.329	0.030

RMS: Root mean square

HYB: Position observed by Hybrid system

OBS: Standard position observed by Radar

HYB-OBS: Difference between HYB and OBS

1.0 mile 이었다. 따라서, W-X Pair 가 W-Y Pair 보다 精度가 높았으며 兩 Pair 의 平均은 約 0.98 mile 이었다.

2) Radar 位置와 Hybrid 位置의 比較

Hybrid 位置와 Radar 位置를 比較한 結果는 Table 7 과 같다.

Table 7 에서 Radar 位置와 Hybrid 位置와의 平均 偏位距離는 W-X Pair 에서 大川이 約 0.7 mile 로 제일 컸고 群山에서 約 0.13 mile 로 제일 작았으며, 全觀測點에서의 平均값은 約 0.41 mile 이었다. 또한 W-Y Pair 에서는 大川이 約 0.69 mile 로 제일 컸고 群山이 約 0.16 mile 로 제일 작았으며, 全觀測點에서의 平均값은 約 0.39 mile 이었다. 따라서, W-Y Pair 가 W-X Pair 보다 精度가 높았으며 兩 Pair 의 平均은 約 0.4 mile 이었다.

3) Loran C 의 計算機 simulation 位置 및 Hybrid 位置의 精度

Fig. 4 는 Radar 位置를 基準으로하여 Hybrid 位置

의 分布와 Loran C 의 計算機 simulation 位置의 分布를 95% 確率圓에 나타낸 것이다.

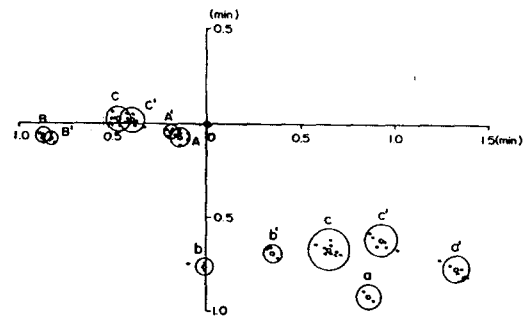


Fig. 4. Distributions of the Hybrid and the Loran C simulation position represented on the 95% probability circle.

A, A'; B, B'; C, C': Positions by Hybrid system.

a, a'; b, b'; c, c'; Positions by Loran C simulation.

Center point: Radar Fix.

Fig. 4 에서 Hybrid 位置는 Radar 位置에서 西偏位 하고 또 Simulation 位置는 南 또는 南東偏位하였다.

Hybrid 位置와 Loran C 의 計算機 simulation 位置는 前述한 바와 같이 Radar 位置와의 偏位距離가 各各 約 0.4 mile, 約 0.98 mile 로서 Hybrid 位置는 simulation 位置보다 精度가 높다. 이와 같은 原因은 Hybrid 航法裝置에서는 推測位置의 미소한 變動에 대해서도 時間差變位量을 補正하고 있기 때문에 생각된다.

要 約

推測航法과 Loran C 航法을 結合한 Hybrid 航法の 精度를 평가하기 위하여, 群山水產專門大學 實習船 全北 401, 403 號에 設置되어 있는 Hybrid 航法裝置를 이용하여 1982年 7月부터 1983年 6月 사이에 韓國 西海岸 海域에서 實船觀測을 行하여 그 測位의 精度를 Radar 位置와 比較·檢討한 結果는 다음과 같다.

1. 9970, 5970 Chain 의 Loran C 時間差의 標準偏差는 各各 約 0.21 μ s, 約 0.06 μ s 로 5970 Chain 의 時間差 變動이 9970 Chain 보다 적었다.
2. Hybrid 位置와 Loran C 位置는 Radar 位置와의 偏位距離가 各各 約 0.4 mile, 約 0.51 mile 로서 Hybrid 航法이 Loran C 航法보다 精度가 더 높았다.
3. Hybrid 位置와 Loran C 의 計算機 simulation 位置는 Radar 位置와의 偏位距離가 各各 約 0.4 mile 約 0.98 mile 로 Hybrid 航法이 Loran C 의 計算機

simulation 位置보다 精度가 더 높았으며, 推測位置의 미소한 變動에 대한 Loran C 의 變位量을 補正하면 Loran C 의 計算機 simulation 位置의 精度도 더 높일 수 있음을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

1. Yabuki, H., S. Abe, E. Tanaka and S. Nishi (1982): The evaluation of the Omega/Daed reckoning Hybrid navigation by means of the on-board data. Jour. of Japan Inst. of Navigation, Vol. 67, 119-125.
2. Hojo, H., Y. Suwa, T. Yamana and S. Kawashima(1981): Total navigation system. Tech. report of Japan wireless, No. 16, 51-60.
3. Yamada, T., K. Tatebayashi and M. Nakamura (1981): Optimal estimation of a ship position. Tech. report of Japan wireless, No. 16, 43-50.
4. Toshio Furuya(1971): Omega receiving data and data processor. ELECTRONIC NAVIGATION REVIEW, 68-76.
5. Koichi Kimura(1982): The note of ship's electronic navigation. Science of Ship, Vol. 35(12), 76.