濟州地域에서의 Loran-C位置의 精度

金 光 弘*·辛 亨 鎰**·張 忠 植*

Accuracy of the Loran-C Fix in Cheju Areas

Koang Hong KIM*, Hyeong Il SHIN** and Choong Sik JANG*

This paper was conducted for the purpose of evaluating the accuracy of the observed time difference in Loran-C when the ground wave propagated on the surface included both land and sea. The time difference of X and Y station in North East Pacific Chain GRI 5970 was measured at 25 points in Cheju areas.

The results obtained are as follows:

(1) The errors of time difference for M-X pair are increased when the Loran-C wave propagates above 500m heights of Hanla mountain on propagation path between the observed point and master or X, Y slave station.

(2) The errors of time difference for M-X pair are able to decrease by way of correction for the propagation velocity and the geodetic datum, but errors of the time difference for M-Y pair very irregularly because irrgular terrain include in propagation path from X station and propagation path from Y station is twice longer than X station.

(3) It is confirmed that accuracy of Loran-C fix can elevate by the way of all correction for a geodetic datum transformation, the propagation velocity with refractive index of radio wave and the propagation velocity over land.

緒 論

最近 Loran-C 航法裝置는 컴퓨터의 발달과 더불어 完全 自動化가 可能하게 되어 더욱 정밀한 船位를 決定할 수 있으므로 대부분의 船舶에서는 이를 장비하고 있으며, IMO에서도 船舶의 衝突과 座礁를 防止하기 위하여 그 設置를 強制規定化하고 있다[1].

Loran-C 電波는 海上傳播速度가 992.6912$m/\mu s$로서 傳播距離를 산출하고 있는데, 電波의 傳播經路上에 陸地가 포함되어 있는 경우는 傳播速度가 變化한다. 특히 陸上傳播速度는 大地導電率, 大氣의 屈折率, 誘電率 등에 따라 變化하기 때문에 傳播經路에 따라 달라지고, 더우기 山岳地帶를 통과하는 경우는 傳播距離가 증대되어 測定位置에 誤差를 초래하게 된다[2].

柳木·柿原,[3] 米澤,[4] 濱田[5~7]등에 의하면 Loran-C의 位置는 陸上傳播速度의 補正을 행하므로서 그 精度를 높일 수 있으며, 電波는 傳播經路에 따라서 많은 差異가 있다고 研究 報告한 바 있다.

또한 尹·鄭,[8] 李·辛,[9] 安[10]등은 Loran 位置의 精度改善에 관하여 研究한 바 있다.

本 論文에서는 濟州地域을 대상으로 Loran-C電波의 陸上 및 海上의 傳播經路, 測地系, 傳播速度에 의한 時間差誤差의 變動 등을 分析·檢討하여 測位의 精度를 考察하였다.

理 論

地球上의 1點 A(測地位置, φ_1, λ_1)의 電波發射局에서 일정한 펄스반복주기를 가진 電波를 발사하고, 點 $B(\varphi_2, \lambda_2)$에서 受信하였을 때 양 지점의 距離 d는 (1)式과 같이 나타낼 수 있다[11].

$$d = aX - A_cP - B_cQ \quad (1)$$

* 統營水產專門大學: Tong-Yeong Fisheries Junior College
** 釜山水產大學: National Fisheries University of Pusan

단, β : $\tan^{-1}(\tan\varphi \cdot b/a)$

x : $\cos^{-1}\{\sin\beta_1 \sin\beta_2+\cos\beta_1 \cos\beta_2(\lambda_1-\lambda_2)\}$

A_0, B_0 : $(\sin\beta_1 \pm \sin\beta_2)^2$

P, Q : $(a-b)\ (x \mp \sin x)/\{4(1\pm\cos x)\}$

a, b : 地球의 長半徑 및 短半徑

그리고, 電波의 傳播速度를 $v(299.6912m/\mu s)$라 하였을 때 送信局으로 부터 受信點까지의 傳播時間 τ (μs)는 $\tau=d/v$이다.

一般的으로 電波의 傳播速度는 電波의 大氣의 屈折率을 眞空中의 傳播速度로 나눈 값으로 定하고 있으며, 大氣의 屈折率 η_r는

$$\eta_r=\left\{\frac{103.49}{T}(P-e)+\frac{86.26}{T}\left(1+\frac{5,748}{T}\right)e\right\}/16^6-1 \quad (2)$$

단, T : 大氣溫度(°K), P : 大氣壓(mb),

e : 水蒸氣壓(mb)

와 같이 나타낼 수 있다[12].

따라서, 傳播時間은 두 地點間의 傳播距離와 傳波速度에 따라 달라지며, 傳播距離는 送信局과 受信點의 位置 즉, 位置를 基準하는 測地系에 따라 다르다.

Loran-C에서는 局의 位置를 WGS-72 測地系를 基準하여 使用하고 있으며, 航海者가 使用하는 海圖에서는 Bessel 測地系를 使用하고 있어, 이로 인한 誤差가 유입되므로 測位의 精度를 높히기 위해서는 測地系를 變換하여야 한다.

地球上의 任意點을 O, 地心緯度를 φ, 經度를 λ라 하면 O點의 地球固定 地心赤道座標 (X_e, Y_e, Z_e)는 (3)式[13]과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left.\begin{aligned} X_e&=(D+\eta)\cos\varphi\cos\lambda \\ Y_e&=(D+\eta)\cos\varphi\sin\lambda \\ Z_e&=\{D(1-e^2)+\eta\}\sin\varphi \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

단, a : 準據楕圓體의 長半徑

e : 離心率

D : 어느 地點에 있어서 楕圓體 法線의 Z軸까지의 길이

η : 안테나의 높이

前術한 式들을 利用하여 測定位置를 求하는 理論은 다음과 같다

즉, Fig. 1과 같이 點 $A(\varphi_1, \lambda_1)$를 Loran-C 送信局, 觀測者의 推定位置를 $B'(\varphi_0, \lambda_0)$, 受信點을 $B(\varphi_x, \lambda_x)$라 하고 緯緯와 經經을 각각 $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$라 하면,

$$\left.\begin{aligned} \varphi_x&=\varphi_0+\Delta\varphi \\ \lambda_x&=\lambda_0+\Delta\lambda \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

의 관계가 성립한다.

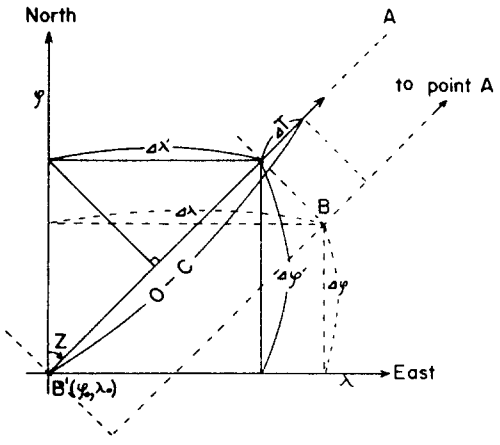

Fig. 1. Shematic of an observation equation.

또한, A에서 B'까지의 電波의 傳播時間의 測定値(O)와 計算値(C)의 時間差誤差를 ($O-C$)라 하면 $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$와 同歩誤差 ΔT 사이에는 다음과 같은 觀測方程式이 성립한다.

$$\left.\begin{aligned} (O-C)_M&=\Delta\varphi'\cos Z_M+\Delta\lambda'\sin Z_M+\Delta T \\ (O-C)_X&=\Delta\varphi'\cos Z_X+\Delta\lambda'\sin Z_X+\Delta T \\ (O-C)_Y&=\Delta\varphi'\cos Z_Y+\Delta\lambda'\sin Z_Y+\Delta T \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

여기서, Z_M, Z_X, Z_Y는 推定位置에서 主, 從局을 北에서 東으로 測定한 眞方位이다.

上記 (5)式에서 未知數 $\Delta\varphi'$, $\Delta\lambda'$를 최소자승법으로 구하면,

$$\left.\begin{aligned} \Delta\varphi&=\alpha\Delta\varphi' \\ \Delta\lambda&=r\Delta\lambda' \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

여기서, $\alpha=0.002697$, $r=\alpha/\cos\varphi_0$이다.

따라서, 受信點의 經緯度는 (6)式을 (4)式에 代入하여 구할 수 있다.

또한, 陸上傳播速度는 다음 (7)式[5]으로 구할 수 있다.

$$\frac{1}{V_L}=\frac{\Delta T}{S_L-M_L}+\frac{1}{V_W} \quad (7)$$

단, V_L : 陸上傳播速度

S_L : 觀測點으로부터 從局까지의 陸上距離

M_L : 觀測點으로부터 主局까지의 陸上距離

ΔT : 觀測値와 計算値의 差

V_W : 海上傳播速度

方　　法

1. 觀測地點

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

2. 觀測方法

測定에 使用한 Loran-C 受信機는 JNA-108B(JRC)였으며, 時間差測定은 安定된 地表波를 受信할 수 있는 맑은 날 09~18時 사이에 各地點마다 M-X, M-Y, M-W 組局의 순서로 5회씩 반복 測定하고, 그 平均値를 구하여 分析하였다.

大氣의 屈折率은 아네로이드 氣壓計와 건습구 온

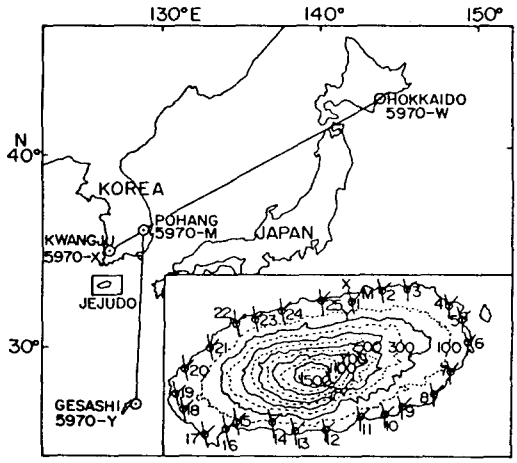

Fig. 2. Configuration of Loran-C (5970 chain) stations and the observed points.

Table 1. Details of Loran-C stations, positions of the observed points and distances from every stations to each observed points

Loran-C stations	Station function	Latitude (N)	Longitude (E)	Coding delay(μs)	Baseline length(μs)
Pohang	Master(M)	36°.185	129°.341		
Hokkaido	W-Secondary(W)	42°.744	143°.719	11,000	4,783.69
Kwangju	X-Secondary(X)	35°.040	126°.541	31,000	947.02
Gesashi	Y-Secondary(Y)	26°.607	128°.149	42,000	3,565.56

Observed positions	Position number	Latitude (N)	Longitude (E)	Distances from M, W, X and Y (km)			
				M	W	X	Y
Sinchon	1	33°.530	126°.621	385.50	1,809.08	167.68	781.44
Bukchon	2	33 .544	126 .694	380.01	1,802.85	166.57	781.67
Kimyeong	3	33 .552	126 .753	375.91	1,798.06	166.23	781.54
Sewha	4	33 .519	126 .861	372.70	1,792.67	171.30	776.21
Jongdal	5	33 .486	126 .897	373.90	1,792.44	175.53	772.04
Dongnam	6	33 .441	126 .919	376.52	1,794.07	180.60	766.80
Sinsan	7	33 .375	126 .880	384.59	1,801.56	187.34	760.17
Phyoseon	8	33 .326	126 .837	391.34	1,803.13	192.10	755.71
Tosan	9	33 .294	126 .765	398.11	1,8,5.54	194.79	753.20
Namwon	10	33 .275	126 .718	402.38	1,820.24	196.48	751.95
Wimi	11	33 .270	126 .656	405.62	1,825.02	195.87	753.28
Seogwipo	12	33 .240	126 .565	414.79	1,833.65	200.92	749.75
Kangjeong	13	33 .230	126 .489	419.17	1,839.78	200.85	751.44
Jungmun	14	33 .249	126 .432	420.79	1,842.50	198.94	754.68
Anduk	15	33 .247	126 .338	426.29	1,849.37	199.57	756.72
Sanbangsan	16	33 .213	126 .315	429.02	1,852.01	201.54	755.52
Daejyeong	17	33 .222	126 .257	433.41	1,856.95	203.38	755.77
Murung	18	33 .269	126 .203	432.69	1,857.49	198.93	761.06
Panbo	20	33 .358	126 .203	425.26	1,831.22	189.18	758.37
Hanrim	21	33 .407	126 .263	417.49	1,843.46	183.91	752.49
Aewol	22	33 .461	126 .327	409.06	1,835.06	176.28	754.56
Guyeon	23	33 .470	126 .377	405.24	1,830.83	174.83	755.84
Wedo	24	33 .491	126 .438	399.76	1,824.97	172.11	753.16
Cheju	25	33 .518	126 .540	391.33	1,815.74	168.85	751.35

도계로서 氣壓과 溫度를 測定하여 前記한 (2)式에 의해 계산하였다.

한편, 測地系 및 傳播速度의 補正에 따른 時間差誤差의 變動에 관한 分析은 (2), (3)式을 利用하여 傳播速度를 299,691.2*km*/s로 하고 WGS-72測地系를 變換시키지 않은것, Bessel測地系를 變換시키지 않은 것, WGS-72測地系 變換한 것 및 傳播速度를 屈折率에 의하여 速度補正을 하고 WGS-72 測地系 變換한 것으로 각각 分離하여 檢討하였다.

時間差誤差는 前記한 (4), (5), (6)式에 의해 구한 計算時間差와 測定時間差와의 差로서 구하였으며, 또한 測位精度를 分析하기 위하여 計算位置와 實測位置를 比較하였다.

結果 및 考察

1. 傳播距離와 經路에 따른 時間差誤差의 變動

Fig. 3(A)는 M-X組局과 M-Y組局에 대한 計算時間差와 測定時間差의 誤差의 절대치를 나타낸 것이며, Fig. 3(B)는 Fig. 1에 나타낸 主局(M局)과 X, Y 從局으로 부터 觀測點까지의 傳播距離 및 經路를 나타낸 것이다.

Fig. 3(A)에서 M-X組局의 時間差誤差는 濟州道 南部인 觀測點 10~13에서는 6.4μs 以上으로 다른 觀測點보다 크고, 이들을 제외한 觀測點들은 平均 2.4 μs정도였다. M-Y組局의 1~3, 13~16, 22~25의 觀測點에서는 5μs 以上으로 다른 觀測點보다 크고, 이들을 제외한 觀測點에서는 平均 2.8μs로 작았다.

Fig. 3(B)에서 主局과 X, Y從局으로부터 觀測點까지의 平均大圈距離는 Y從局, 主局, X從局의 順으로 길며, 陸上傳播經路의 比率은 主局이 全傳播經路의 55.6%, X從局이 47.9%, Y從局이 1.5%를 차지하고 있다.

이와같은 時間差誤差의 原因은 M-X組局에서는 主局과 X從局이 觀測點으로부터 東쪽과 西쪽에 위치하고, 陸上과 海上의 經路를 같은 比率로 통과하게 되므로 誤差가 거의 일정하게 變化된다. 또한, 10~13의 觀測點에서 時間差誤差가 比較的 큰것은 X從局으로부터 온 電波가 높이 600*m* 以上되는 한라산을 통과하여 傳播되는 영향을 받기 때문이라 생각된다.

M-Y組局에서 時間差誤差가 M-X組局에 比하여 比較的 不規則的인 것은 Y從局의 電波는 거의 海上經路만을 거치고 主局의 電波는 海上과 陸上의 經路를 모두 거쳐 傳播經路가 특이하며, 또한 傳播距離가 主局보다 2倍정도 더 길어 信號의 電界強度가 미약하기 때문인 것으로 생각된다. 또한 13~16의 觀測點에 誤差가 比較的 큰 것은 主局으로부터 온 電波가 높이 500*m* 以上되는 한라산을 경유하여 傳播되

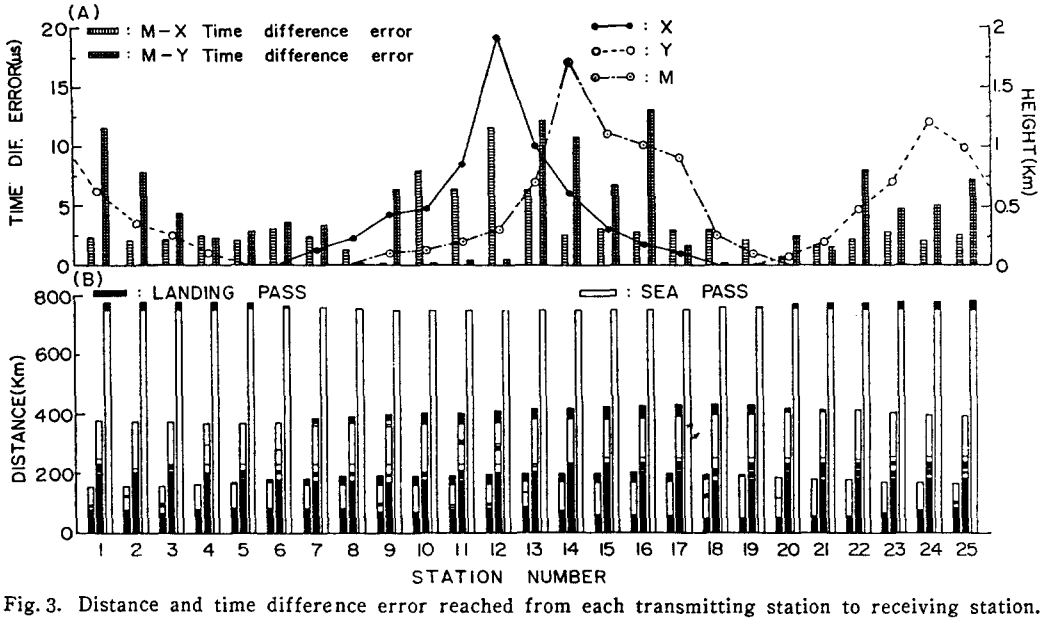

Fig. 3. Distance and time difference error reached from each transmitting station to receiving station.
(A): Time difference error according to the height of Han Ra Mt, land and sea.
(B): Propagation distance of land and sea.

기 때문이라 생각된다.

따라서, Loran-C電波는 傳播經路와 산의 높이에 따라 크게 變動됨을 알 수 있다.

2. 測地系 및 傳播速度의 補正에 따른 時間差變動

Fig. 4는 M-X組局과 M-Y組局의 時間差誤差의 절대값을 나타낸 것으로 傳播速度를 299,691.2km/s로 하고 WGS-72 測地系를 變換시키지 않은 것, Bessel 測地系變換한 것, WGS-72 測地系變換한 것과 速度補正을 하여 WGS-72 測地系變換한 것으로 구분하여 各 觀測點別로 나타내었다.

Fig. 4에서 M-X組局의 時間差誤差는 어느 觀測點에서나 WGS-72 測地系變換과 速度補正을 함께 한 것이 가장 적고, WGS-72 測地系變換만을 한 것, Bessel測地系로 變換한 것, WGS-72 測地系 變換시키지 않은 것들의 順으로 큰 경향을 보였다.

M-Y組局의 時間差誤差는 M-X組局과는 달리 觀測點마다 不規則的으로 크고 적은 경향을 보였다. 이와같은 원인은 前項에서 記述한 바와같이 Y從局의 電波는 거의 海上經路만을 거치고, 主局은 海上과 陸上의 經路를 모두 거치는 등 電波經路가 特異한 것에 기인된다고 생각된다.

3. 測地系 및 傳播速度의 補正에 따른 測位의 精度

Fig. 5 는 Table 1에 있는 各 觀測地點을 원점으로 하고, (4), (5), (6) 式으로 구한 計算位置와 觀測

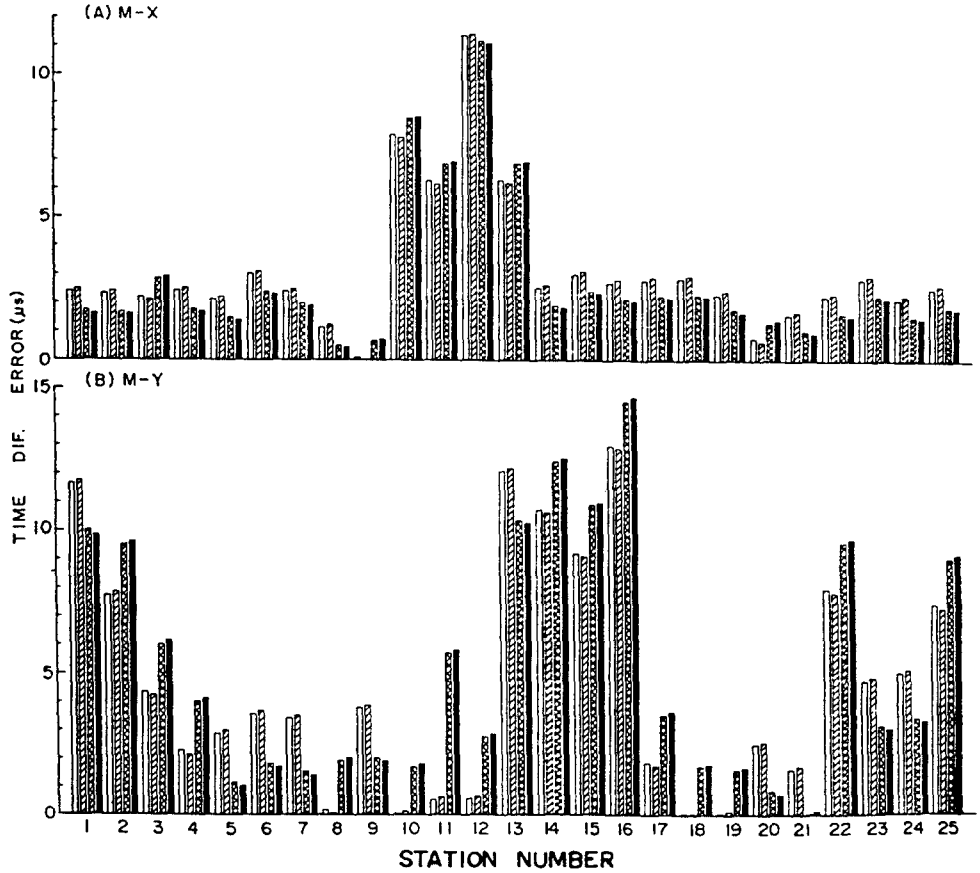

Fig. 4. Time difference error of eacn received point.
(A) Time difference error of M-X pair station
(B) Time difference error of M-Y pair station
□ : WGS-72, V=299691.1km/sec, Incorrection of geodetic system
▨ : Bessel, V=299691.2km/sec, Correction of geodetic of system
▩ : WGS-72, V=299691.2km/sec, Correction of geodetic system
■ : WGS-72, Velocity correction by refractive index, Correction of geodetic system

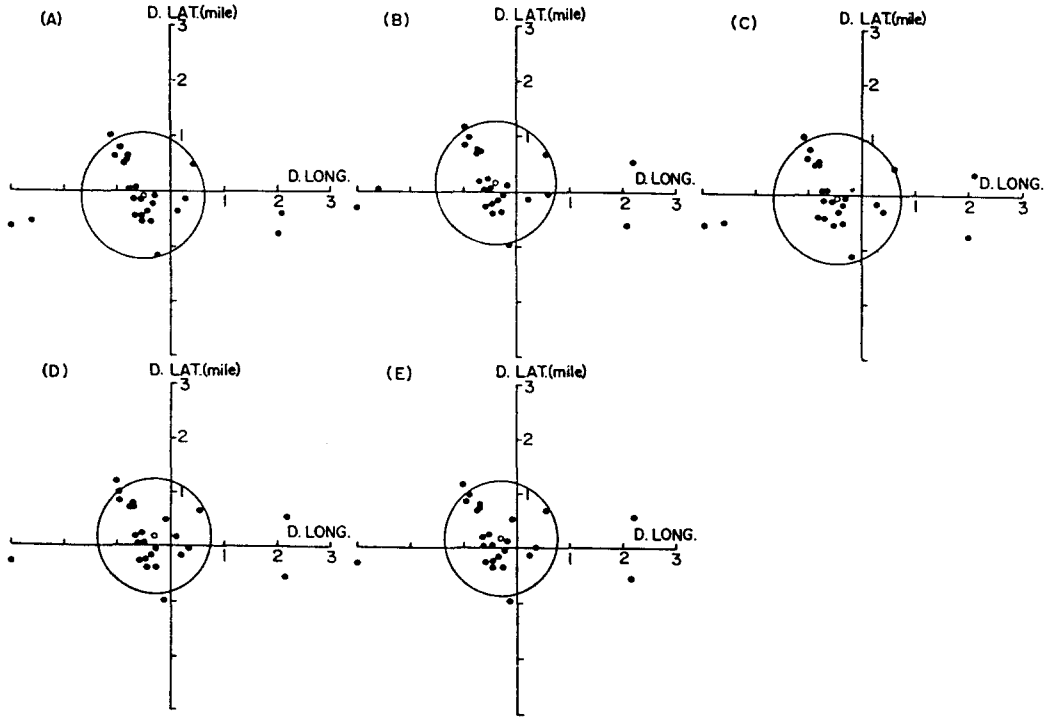

Fig. 5. Accuracy of each measured points according to the correction of the geodetic system and propagation velocity.
(A): WGS-72, V=299,691.2*km*/sec, Incorrection of geodetic system
(B): WGS-72, V=299,691.2*km*/sec, Correction of geodetic system
(C): WGS-72, Velocity correction by refractive index, Incorrection of geodetic system
(D): Bessel, Velocity correction by refractive index, Correction of geodetic system
(E): WGS-72, Velocity correction by refractive index, Correction of geodetic system
O: Center of the circle relied 68%

位置의 差를 68% 確率圓으로 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 A는 傳播速度를 299,691.2*km*/s로 하고 WGS-72 測地系를 變換시키지 않은 것이며, B는 WGS-72 測地系를 變換한 것이다. 또한, C는 速度補正을 하고 WGS-72 測地系를 變換을 하지 않은 것, D는 速度補正과 Bessel 測地系를 變換한 것, E는 速度補正과 WGS-72測地系를 變換한 것이다.

Table 2는 Fig. 5에서의 各 補正要素別(A~E) 測定位置의 精度를 確率圓의 中心의 方位와 距離로서 나타낸 것이다.

Table 2에서 補正要素別 確率圓의 中心方向을 살펴보면 그 方向이 주로 서쪽(260°~300°)으로 치우쳐 있다. 이와같은 原因은 X, Y從局이 主局보다 서쪽으로 치우쳐 있기 때문이라 생각된다.

또한, 補正要素別 測位의 精度는 確率圓의 半徑이 1.07mile이고 中心의 偏位距離가 0.354mile인 WGS-72 測地系를 變換하고 速度補正을 행한 것이 가장 精度가 높으며, WGS-72 測地系를 變換시키지 않은 것

Table 2. Accuracy of the Loran-C fix according to the correction of each factor

Geodetic system	Datum Transformation	Velocity Correction	Prbable radius(mile)	Varied distance(mile)	Varied bearing(°)
WGS-72(A)	NO	NO	1.16	0.513	261.3
WGS-72(B)	YES	NO	1.15	0.458	209.4
WGS-72(C)	NO	YES	1.18	0.478	265.7
Bessel(D)	YES	YES	1.08	0.354	299.5
WGS-72(E)	YES	YES	1.07	0.354	301.3

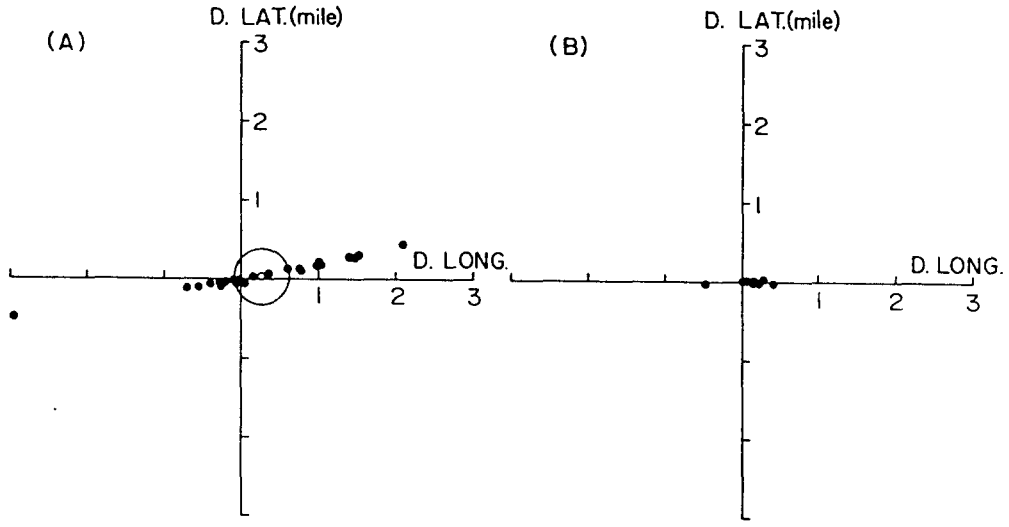

Fig. 6. Accuracy of each measured point according to the correction of the land propagation velocity.
(A): X and Y station on the basis of Y station
(B): X station on the basis of X station, Y station on the basis of X station
O: Center of the circle relied 68%

이 確率圓의 半徑이 1.16mile 이고, 中心의 偏位距離가 0.513mile로서 가장 낮았다.

따라서, 測定位置의 精度를 향상시키기 위해서는 速度補正과 測地系 變換을 행하여 된다고 생각된다.

4. 陸上傳播速度補正에 따른 測位의 精度

Fig. 6은 Table 1에 있는 各 觀測地點을 원점으로 하고 (4)式으로 구한 計算位置와 觀測位置의 差를 68% 確定圓으로 나타낸 것으로서 Fig. 6(A)는 Y從局을 基準으로 하고, Fig. 6(B)는 X, Y從局을 基準으로 하여 陸上傳播速度補正을 행한 것이다.

Fig. 6(A)에서 測定位置는 東西方向으로 길게 偏位되고 그 平均誤差는 0.74mile이었다. 또한, Fig. 6(B)에서의 測定位置는 거의 원점에 일치하였으며, 그 平均誤差는 0.003mile 이었다.

따라서, 測定位置의 精度를 높히기 위해서는 X, Y從局을 基準으로 하여 陸上傳播速度補正을 행하여야 한다고 생각된다.

要　　約

Loran-C 位置의 精度를 높히기 위하여 濟州地域을 대상으로 北東太平洋 Chain(GRI 5970)에 대한 時間差를 觀測하여 그 傳播經路와 測地系 및 傳播速度에 따른 時間差誤差 등을 分析·檢討한 結果는 다음과 같다.

1. Loran-C 전파는 M-X組局, M-Y組局 모두 主局, X, Y從局과 觀測點 사이에 높이 500m 以上되는 한라산을 통과하여 傳播될 때 時間差誤差가 커짐을 알 수 있었다.

2. 測地系 및 傳播速度의 補正에 따른 時間差誤差는 M-X組局에서는 測地系變換과 速度補正을 행할수록 적어지고, M-Y組局에서는 M-X組局과는 달리 海上 및 陸上의 傳播經路에 따라 時間差誤差가 不規則的으로 변함을 알 수 있었다.

3. 補正要素別 測位의 精度는 測地系를 變換하고 速度補正을 행한 것이 가장 높고, WGS-72 測地系를 變換시키지 않은것이 가장 낮았다.

4. 測定位置의 精度를 향상시키기 위해서는 屈折率에 의한 速度補正과 測地系變換 및 陸上傳播速度補正을 행하여야 함을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

1) 木村小一 (1975) : 船舶電子航法ノート(9). 船の科學, 84-87.

2) 合田政次·中根重勝·吉村浩(1948) : 日本南部沿岸海域における 5970 Chain の精度. 日本航海學會

誌 79, 9-14.

3) 柳川三郎・柿原利治(1983)：日本關東南方域における Loran-Cの精度評價. 同誌 69, 171-176.

4) 米澤弓雄・大久保隆・三好雄一・西谷芳雄(1978)：Loran-C 自動受信器による觀測結果ン對する考察－Ⅰ. 同誌 59, 67-74.

5) 濱田悅之・齊勝清隆・鈴木裕(1980)：ロランC の陸上傳搬速度による補正とその効果について. 同誌 63, 71-75.

6) 齊勝清隆・濱田悅之・春日功(1983)：Loran-C の陸上傳搬速度による補正とその効果について－Ⅲ. 同誌 67, 109-114.

7) 濱田悅之・齊勝清隆(1981): Loran-Cの陸上傳搬速度による補正とその結果について－Ⅱ. 同誌 65, 83-87.

8) Yoon, Y. J. and S. M. Chung (1972) : Study on the analysis of error involved in the Loran reading measured on the near of Pusan Larbour. Journal of Korea Merchant Marine College Vol 7, 15-25.

9) Lee, W.W. and H. I. Shin(1984) : Accuracy of Hybrid Navigation System Combining Dead Reckoning and Loran-C. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 20(2), 105-111.

10) An, J. Y. (1984) : On the improvement of position fix by Loran-C to compute with micro computer. Bull. Korean Fish. Soc. 20(2), 112-122.

11) 船舶技術協會(1976)：舶の科學. 29(12), 93-97.

12) 佐藤一彦・内野孝雄(1973)：海洋測量ハンドブック. 東海大學出版會, 350-351.

13) 樽美辛雄(1977)：回轉楕圓體上の位置表示について. 日本航海學會誌 54, 1-5.

14) 小野房吉(1984)：電波航法の新しい測位原理と測位精度の評價, 同誌 79, 35-40.