오메가波 傳播補正의 精度에 關한 硏究

金 東 一

A Study on the Accuracy of OMEGA Propagation Correction

KIM Dong Il

目 次

ABSTRACT
1. 序 論
2. OMEGA 電波의 位相速度 및 傳播補正値 豫測에 關한 理論的 考察
2.1 오메가 波의 傳播位相速度와 傳播補正
2.2 傳播 補正値의 計算
3. 計算 Flow 및 Program 說明
3.1 傳播補正値(PPC)의 計算
3.2 標準誤差의 計算
3.3 電算 Program 및 係數
4. 測定値
4.1 測定 時期 및 場所
4.2 測定値
5. 精度 評價
6. 結 論
參考文献
附錄 : 電算 Program 및 計算結果

ABSTRACT

Omega phase prediction methods have been developed and continuously refined by U.S. Naval Electronics Laboratory Center.

This paper discribes how to calculate Omega propagation corrections predictively and program a computer program in FORTRAN, and evaluates the accuracy of Omega predicted propagation correction (PPC) by the method proposed in this paper.

It is clearly shown that the standard deviations of the observed lane values corrected by PPC from caculated ones are as followed;

1. Jun. 15, 1976
   Pair (A−C) : 0.1710 (lane)
   Pair (C−D) : 0.1026 (lane)
2. Sept. 20, 1976
   Pair (A−D) : 0.1601 (lane)
   Pair (C−D) : 0.1154 (lane)

The accuracy of the LOPs corrected by the method proposed in the paper was made

higher than by Pierce's Method or by PPC Tables, and the computer program may be applied in an Automatic Omega Receiver System.

1. 序 論

오메가 航法方式(Omega Navigation System)은 1976年에 Liberia (*B*)局, La Reunion (*E*)局, Argentina (*F*)局이 航海에 利用될 수 있게 됨으로써 거의 全世界를 cover할 수 있게 되었다. 이 送信局들이 電波를 發射하기 前에는 Norway (*A*)局, Hawaii (*C*)局, North Dakota (*D*)局, Japan (*H*)局 및 實驗(臨時)局인 Trinidad 局 만이 運用되어 그 利用範圍(Coverage)는 불과 晝間에 地球의 38%, 夜間에 72% 程度에 지나지 않았으나, 위의 3送信局이 設立됨에 따라 現在는 晝間에 地球全体의 約 88%, 夜間에 約 98%에 이르게 되었다.[1] 여기서 利用範圍라 함은 最少限3個의 送信局으로부터 電波를 受信할 수 있어서 2個 以上의 位置線(LOP)이 計算될 수 있는 範圍를 意味한다. 따라서 實驗局을 除外하고 現在까지 完成되어 定常的으로 電波를 發射하고 있는 送信局은 7個이며 나머지 1局인 8번째 送信局이 完成되면 오메가 航法方式은 汎世界的인 航法으로서의 面貌를 갖추게 될 것이며, 8번째 送信局인 Australia (*G*)局은 1976年 10月부터 1977年 4月에 걸친 오스트랄리아와 美國 政府 사이의 管理와 技術上의 問題에 對한 審議에서 兩側의 同意와 契約上의 機構가 1977年 9月에 成立되어 現在 設立中에 있으며 1980末頃에는 定常的으로 電波를 發射하게 될 것이다.[1]

오메가에 依한 船位 誤差는 直接的으로 傳播補正値의 精度의 影響을 받으므로 豫測 傳播補正値(Predicted Propagation Correction)가 오메가 方式의 誤差를 決定하는 것이므로[7], 오메가 電波의 傳播補正의 精度를 높이는 것은 大端히 重要한 意味를 가지며, 特히 受信 可能한 送信局의 數가 적고 位置線(LOP)의 交角이 불과 25° 內外인[11] 韓國海域에서는 傳播補正値(PPC)의 誤差가 船位誤差에 大端히 큰 영향을 미칠 것이 豫想될 뿐만아니라[7], 現在 一般的으로 使用되고 있는 오메가 傳播補正表(PPC Tables)는 使用하기가 極히 繁雜하므로 이를 自動化하는 것이 要求되어 왔으며, 그 代表的인 것으로서는 少量의 補正數値(PPC)를 小型 컴퓨터에 記憶시키는 簡易計算方式, 極히 簡略化한 簡易傳播豫測式에 의한 計算方式, Composit 信號를 利用하는 方式 等이 있다.[6]

本 論文에서는 大型컴퓨터에 의해서만 處理可能한 것으로 알려져 있으며 가장 精密한 計算方法인 Swanson's Medel에 基礎를 두고 大地導電率函數인 $K_1(\sigma)$, $DK_1(\sigma)$를 極地方經路, 陸上經路, 海上經路의 3가지의 경우로 크게 나누고 簡略計算을 行하기 爲하여 經·緯度 5°간격으로 大地導電率 指表(Conductivity Index)를 設定하여 오메가 波의 傳播 補正値(PPC)를 計算하는 電算 Program을 FORTRAN으로 作成하고, 이것을 利用하여 計算한 PPC에 依하여 計算位相差를 求하고, 測定位相差와 比較하여 그 誤差를 計算하여 精度를 評價함으로써 釜山海域에서 오메가를 利用하는 航海者에게 必要한 情報를 提供함은 勿論, 傳播補正値 算出의 컴퓨터 處理를 可能케 하여 自動化 오메가에 適用할 수 있도록 함과 同時에 오메가 利用上의 船位誤差의 抑制를 期待하였다.

2. 오메가 電波의 位相速度 및 傳播補正値 豫測에 關한 理論的 考察

2.1 오메가 波의 傳播位相速度와 傳播補正

오메가 航法方式은 낮은 出力, 적은 數의 送信局으로써 全世界를 Cover하는 것이 可能하도록 하기 위해 減衰率이 낮은 10KHz 周波數帶의 VLF를 利用하여, 2個의 送信局의 信號를 受信, 그 位相差를 測定하여 位置線을 얻는 双曲線 航法方式이다.

dCollection

오메가 海圖(Omega Chart) 또는 오메가 位置線表(Omega Lattice Table)에서는 그 作成의 便利를 위하여 電波의 位相速度는 300,574Km/sec로 一定한 것으로 假定하고 位置線이 計算되지만, 實際의 位相速度는 오메가 波의 傳播經路上의 大地導電率, 太陽의 放射에 의하여 電離層의 反射高度가 달라지므로 여기에 直接 영향을 미치는 太陽의 天頂角의 函數인 日週函數(Diurnal or Solar Function), 導波路의 모양이 달라지는 것과 같은 영향을 주는 緯度, 導波路內에 形成되는 地球磁場 等에 따라 變한다.[3)4)5)8)]

따라서 正確한 位置線(LOP; Lane 値)을 求하려면 實際의 位相速度로 부터 計算된 位相遲延量과 海圖作成時에 假定한 位相速度에 의해 計算되는 位相遲延量과의 差, 즉 豫測된 傳播補正値(Predicted Propagation Correction;PPC)를 測定値에 加減해 주어야만 海圖, 位置線表, 또는 計算機를 써서 보다 높은 精度의 位置線을 求할 수 있으며, 이 位置線의 精度는 結局 PPC의 精度에 左右되는 것이다.

2.2 傳播補正値의 計算

2.2.1 傳播補正値의 計算式[4)]

오메가 信號의 가장 正確한 傳播의 解析的 모델은 上面인 反射有効 電離層과 下面인 地球表面에 의하여 形成되는 球形導波管(Spherical Wave-guide) 모델이며, 地球磁場이 이導波路內에 透入되어 있는 것으로 說明할 수 있다. 이 導波路를 傳播하는 오메가 電波의 波長은 大地(下面)의 導電率, 電離層(上面)의 높이, 緯度에 따라 달라지는 効果를 나타내는 導波路의 모양, 地磁氣와의 相互作用等의 영향을 받는다.

一般的으로 이러한 變數(Parameter)들은 送信局으로 受信器까지의 傳播經路를 따라 變하며, 電離層은 太陽의 放射에 依해 變하고 地球가 自轉함에 따라 생기는 太陽의 天頂角의 變化는 電離層의 높이와 電波의 波長에 明白한 영향을 미치며, 이것은 日週効果(Diurnal Effect)로 알려져 있다.

送信局으로 부터 受信器까지의 總位相遲延量을 計算하기 위해서는 全 經路를 通한 逆波長(Inverse-wavelength)을 積分하여야 하며, 이 逆波長을 地球의 赤道半徑과 같은 單位로 表現하면 地球의 中心角(radian)으로 부터 직접 位相遲延量(cycles)으로의 簡單한 轉換이 可能하여 大端히 便利하다. 즉, 赤道半徑을 半徑으로 하는 眞球上의 1 radian을 10.2KHz의 오메가 電波가 公稱(海圖値)의 位相速度로 傳播하는 경우의 位相遲延量을 나타내는 값을 公稱逆波長(Nominal Inverse-wavelength)이라하고 이것을 "μ_0"라 하면

$$\mu_0 = 0.9974 \times 216.7 \text{ (cycles/rad for 10.2 KHz)}$$

가 된다.

또한 實際의 逆波長을 "μ"라 하면, 이 경우의 全位相遲延量 ϕ는 (1)式과 같이 經路上의 單純한 μ의 積分으로 計算된다 .

$$\phi = \int_{path} \mu \, d\theta \tag{1}$$

但, $d\theta$; 經路上의 微少區間의 中心角

傳播補正値의 計算은 比例的인 方法으로 行할 수 있다. 즉, μ/μ_0 또는 $(\mu-\mu_0)/\mu_0$를 式으로 表現하여 全經路에 대해서 이것을 積分하고 그 結果에 μ_0를 곱하여 求하는 方法을 採用하기로 한다. 여기서는 $(\mu-\mu_0)/\mu_0$ 쪽을 擇한다. $(\mu-\mu_0)/\mu_0$는 純粹한 (無次元) 數이므로 이것의 中心角에 대한 積分은 送受信点間의 中心角 θ_1에 대한 修正 θ_3로 表示되며 橢圓体修正 θ_2와 함께 같은 方法으로 取扱되며 位相遲延量 또는 位相遲延量의 修正値로 計算하기 위해서는 μ_0를 곱해야 한다.

또한 大地와 電離層에 의한 導波路와 안테나의 結合, 즉 勵振時에 일어나는 位相偏移量(phase

dCollection

shift, Excitation term; 勵振項)[4),8)] 이 合해져야 한다. 그러므로 位相遲延量의 中心角에 對한 修正量 θ_3는 (2)式으로 求할 수 있다.

$$\theta_3=K_0+\bar{F}\cdot DK_0+\int_{Path}\frac{\mu-\mu_0}{\mu}d\theta \tag{2}$$

但, K_0;勵振定數

DK_0;晝夜間의 勵振定數의 差

$\bar{F}$;經路上의 Diurnal Function (日週函數)의 값(F)의 平均値

따라서 位相遲延量의 修正量 ϕ_c는 다음 (3)式으로 求해진다.

$$\phi_c=\mu_0\theta_3=\mu_0\left(K_0+\bar{F}\cdot DK_0+\int_{Path}\frac{\mu-\mu_0}{\mu_0}d\theta\right) \tag{3}$$

實際로는 (3)式의 積分을 求하기 위해서 送信局으로 부터 受信点을 向하여 傳播經路를 따라 $\Delta\theta$ (0.01) rad 씩 進行해 가면서 $(\mu-\mu_0)\Delta\theta/\mu_0$를 求하고 이들을 累計하여 積分을 求하는 方法을 썼으며 函數的 으로 $(\mu-\mu_0)/\mu_0$의 量은 다음 (4)式으로 表示된다.[9)]

$$\frac{\mu-\mu_0}{\mu_0}=K_1(\sigma)+\bar{F}\cdot DK_1(\sigma)+(K_2+\bar{F}\cdot DK_2)A_2 +(K_3+\bar{F}\cdot DK_3)A_3 \tag{4}$$

但, F;周波數와 太陽의 相對的인 位置에 의해서 決定되는 日週函數(Diurnal Function)

$K_1(\sigma)$;周波數와 大地導電率(Earth Conductivity)에 의해 決定되는 값.

$DK_1(\sigma)$;晝夜間의 大地導電率函數값의 差

A_2;磁氣變數(Magnetic Parameter)

K_2;晝間의 磁氣 係數(Daytime Magnetic factor)

DK_2;晝夜間의 磁氣 係數의 差

A_3;緯度變數(Latitude Parameter)

K_3;晝間 緯度 係數(Daytime Latitude factor)

DK_3;晝夜間의 緯度係數의 差

이와 같이 해서 位相遲延量에 對한 傳播修正量 ϕ_c가 求해지면, 全位相遲延量(Total phase delay) ϕ_T는 (5)式으로 計算된다.

$$\phi_T=\mu_0(\theta_1+\theta_2)+\phi_c \tag{5}$$

但, θ_1;送信局과 受信器 사이의 中心角

θ_2;中心角에 對한 橢圓体 修正値

위의 (5)式에서 $\mu_0(\theta_1+\theta_2)$는 位相遲延量의 海圖値를 나타내고 ϕ_c는 이 값에 對한 修正을 나타내지만, 實際로는 測定値를 補正하여 位置線을 求하게 되므로 이 때의 補正値가 實際의 傳播補正値 PPC가 된다. 즉, PPC는 다음 (6)式으로 求해지는 것이다.

$$PPC=-\phi_c \tag{6}$$

2.2.2 計算方法

(1) 傳播經路長의 計算

오메가 海圖는 로오란 海圖(LORAN Chart)와 마찬가지로 Clarke의 回轉橢圓体가 地球의 모양을 正確히 나타낸다는 假定下에 計算되며, 回轉橢圓体上의 距離(傳播經路長)는 Andoyer-Lambert의 式을 써서 計算된다.

Andoyer-Lambert의 式은 地球의 赤道半徑과 같은 半徑을 가지는 球面上의 距離를 計算하고 여

dCollection

기에 回轉橢圓体에 對한 修正을 加하여 地球上의 距離를 求한다.[10] 즉, 地球上의 두점 사이의 距離 D는 다음의 (7)式으로 表示할 수 있다.

$$D=R_0(\theta_1+\theta_2) \tag{7}$$

但, R_0;地球의 赤道半徑(6378.206Km)

θ_1;두点間의 角距離(rad)

θ_2;回轉橢圓体에 對한 修正値(rad)

또 回轉橢圓体에 對한 修正値 θ_2는 다음 (8)式으로 求해진다.

$$\theta_2=\frac{f}{4}\left\{\frac{(3\sin\theta_1-\theta_1)(1+S+C)(1+S-C)}{1+\cos\theta_1}-\frac{(3\sin\theta_1+\theta_1)(1-S+C)(1-S-C)}{1-\cos\theta_1}\right\} \tag{8}$$

但, $f=\frac{1}{295}$ (球面의 偏平率)

$S=\sin L_1\cdot\sin L_2$

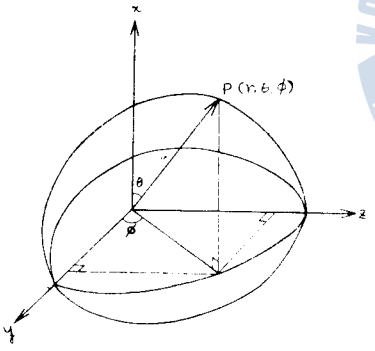
$C=\cos L_1\cdot\cos L_2$

L_1;送信点의 緯度

L_2;受信点의 緯度

(2) 地球表面上의 1点의 位置 Vector의 表現

地球表面上의 2点의 內積, 外積 또는 2点을 連結하는 傳播經路上의 中点 等의 計算을 便利하게 하기 위하여 各 点을 單位球面上의 位置를 나타내는 單位벡터(Geocentric Unit Vector)로 表現해 보자. 그림 1에서 보는 바와 같이 位置 Vector의 크기를 1이라 할 때 一般的으로 地球表面上의 位置를 나타내는 方法으로서의 經·緯度는 球座標로 表示된 것이라 할 수 있다. 즉, 点 $P(r,\theta,\phi)$는 다음과 같다.



$r=1$

$\theta=90-L$; co- latitude (North is positive)

$\phi=\lambda$; longitude (East is positive)

但, L: 緯度

λ: 經度

그림 1. 球座標에 의한 位置의 表現

이것을 直交座標로 表現하면 (9)式과 같이 된다.

$$\left.\begin{aligned}x&=r\cos\theta=\cos(90-L)=\sin L\\ y&=r\sin\theta\cos\phi=\cos L\cos\lambda\\ z&=r\sin\theta\sin\phi=\cos L\sin\lambda\\ \therefore(x,y,z)&=(\sin L,\ \cos L\cos\lambda,\ \cos L\sin\lambda)\end{aligned}\right\} \tag{9}$$

(3) 季節指表(IS) 및 日週函數(F)의 計算

① 季節指表(Season Index) IS

季節指表란 1年을 24分하여 1에서 24까지의 整數로 表示한 것으로서 하나의 指表 안에는 約 15日이 包含되며, 이 期間內에서는 太陽의 赤緯가 거의 一定하다고 볼 수 있으므로 日週定數(Diurnal Constants)를 一定으로 보아 日週函數를 計算하기 위한 것이다.

季節指表를 計算하기 위해 本 論文에서는 우선 1976年 1月 1日 00時 (GMT)를 基準点으로 하고

dCollection

이 基準点으로 부터의 平均太陽日의 日數(Day Number)를 求하여 計算하였다. 例를들면 1976年 1月 23日 12:00 GMT의 日數는 22.5가 된다. 日數로 부터 季節指表 IS는 다음(10)式으로 計算된다.

$$IS=1+AMOD\{24.0+AMOD(D/15.2184,24.0),24.0\} \quad (10)$$

但, $AMOD(X,Y)=X-INT(X/Y)\cdot Y$

INT;괄호안을 計算한 값의 整數部

그런데 北半球와 南半球에서의 季節은 서로 反對이므로 위(10)式은 南半球의 경우에는 修正을 要한다. 그 修正된 季節指表를 ISS라 하면 ISS는 (11)式과 같이 表示된다.

$$\left.\begin{array}{l}\text{北半球}:ISS=IS\\ \text{南半球}:ISS=IS+11\end{array}\right\} \quad (11)$$

但, ISS가 24보다 크면 그 값에서 24를 減함

② 日週函數(Diurnal Function) F

日週函數 F는 太陽의 天頂角(χ)에 따라 다음의3가지의 경우로 나누어 (12)式과 같이 計算한다.[2)]

$$\left.\begin{array}{l}\circ\ \text{天頂角이 } 98°\text{보다 큰 경우 : 夜間}\\ \cos X<-0.15\longrightarrow F=1.0\\ \circ\ \text{天頂角이 } 92°.3 \text{ 以上 } 98°\text{미만인 경우;日出沒時}\\ -0.15\leqq\cos X<-0.04\longrightarrow F=C_3-C_4\cos X\\ \circ\ \text{天頂角이 } 92°.3 \text{ 以下인 경우;晝間}\\ \cos X\geqq-0.04\longrightarrow F=C_7(1-\cos X)\end{array}\right\} \quad (12)$$

(4) 磁氣變數(Magnetic Parameter) A_2

磁氣變數는 送信局에서 본 受信点의 方向, 즉 傳播方位와 地磁氣의 磁力線의 方向과의 相互關係를 表示하는 變數로서 다음과 같이 計算된다. 磁北(Magnetic North Pole)은 緯度 75°06′.3N, 經度 89°0′.0W인 点이므로 이것을 單位 位置벡터로 表示하면 $\overline{P}_{N,m}=(0.9664,\ 0.0044864,-0.25705)$가 된다. 따라서 送信局의 單位位置벡터를 $\overline{STA}$, 受信点의 單位 位置벡터를 $\overline{POSE}$라 하면 磁氣變數 A_2는 (13)式으로 求해진다.

$$A_2=-0.99998333\times\frac{\overline{AX}\cdot\overline{P}_{N,m}}{TMP} \quad (13)$$

但, $\overline{AX}=\overline{STA}\times\overline{POSE}$

$TMP=\sqrt{\overline{AX}\cdot\overline{AX}}$

$0.99998333=\frac{1}{\Delta\theta}\cdot\sin\Delta\theta$

$\Delta\theta=0.01$ (rad)

(5) 緯度變數(Latitude Parameter) A_3

緯度變數는 傳播經路를의 点 $\overline{P}$와 磁氣北極 $\overline{P}_{N,m}$과의 相互關係를 나타내는 變數로서 磁氣緯度(Magnetic Latitude)에 의해 그 값이 左右되며 다음 (14)式으로 計算된다.

$$A_3=0.5-|\overline{P}_{N,m}\cdot\overline{P}|^2 \quad (14)$$

但, $\overline{P}$;經路上의 点의 單位 位置벡터

(6) 大地導電率項(Conductivity Term), $K_1(\sigma)+F\cdot DK_1(\sigma)$

導電率項을 計算하기 위해 大地導電率指表(Conductivity Index) ICON의 값을 求하기 위한

dCollection

Conductivity Map를 作成했으며, 여기서는 經·緯度를 各各 5° 간격으로 나누고 나누어진 各 區域마다 ICON의 값을 設定하였다. ICON의 값은 크게 3가지의 경우로 考慮하여 緯度 75°以上인 區域은 極地方經路로 하여 ICON=2, 緯度 75°미만인 區域中 陸上은 ICON=1, 海上은 ICON=0 으로 하여 Rough Conductivity Map를 作成, 컴퓨터에 記憶시켜 두었다가 經路上의 임의의 点에서의 大地導電率函數 $K_1(\sigma)$, $DK_1(\sigma)$를 求하고자 할 때에는 그 点이 어느 區域에 속하는가를 計算에 依하여 求하고 그 區域의 ICON의 값을 찾아 그 ICON의 값에 해당되는 $K_1(\sigma)$, $DK_1(\sigma)$의 값을 求하여 $K_1(\sigma)+F\cdot DK_1(\sigma)$의 값을 計算하였다.

그림 2는 本論文에서 使用한 Conductivity Map의 各區域을 區分한 方法을 나타내며, 受信한 모든 送信局 및 受信点, 傳播經路가 北緯 20°以上에 있으므로 20°N 以南에 對해서는 Map 作成에서 除外하였다.

各 區域의 ICON의 값을 컴퓨터에 記憶시킬 때에는 ICON의 領域(Dimension)을 (15, 73)으로 확보하여 ICON(1, 1)=0, ICON(2, 1)=0, ……, ICON(9, 1)=0, ICON(10, 1)=1, ICON(11, 1)=1, ICON(12, 1)=2, ICON(13, 1)=2, ICON(14, 1)=2, ICON(15, 1)=2, ICON(1, 2)=0……의 要領으로 記憶시켰으며, ICON(I, J)의 값만 決定되면 $K_1(\sigma)$, $DK_1(\sigma)$의 값은 表2에서 바로 찾을 수 있다. ICON(I, J)를 求하는 計算式 및 大地導電率函數 (FUNCTION COND)는 附錄에 실려있다.

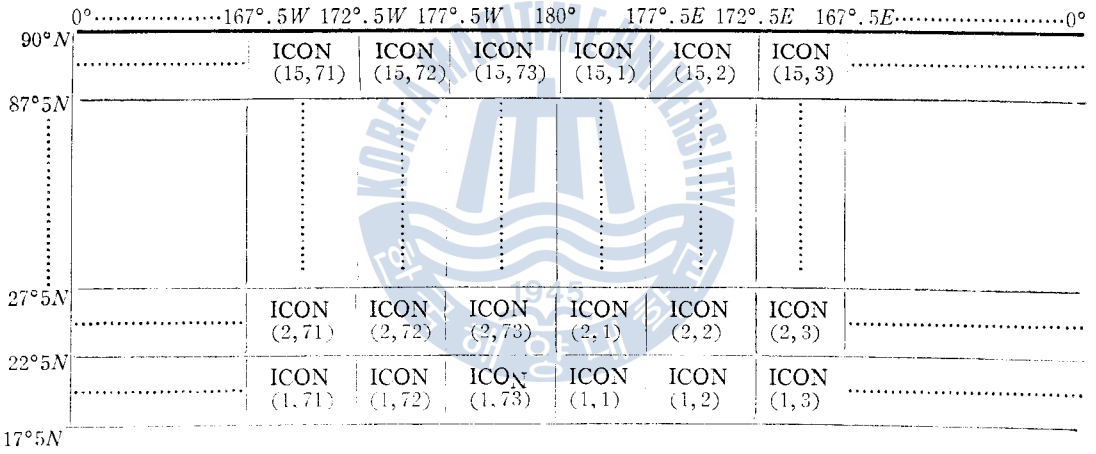


그림 2. Conductivity Map 作成을 위한 區域區分

3. 計算 Flow 및 Program 說明

3.1 標準誤差의 計算(MAIN PROGRAM)

一般的으로 오메가를 利用하여 測位를 할 때에는 傳播補正値 PPC를 測定位相差에 各各 加減하여 海圖 또는 位置線表에 의하여 LOP를 求하지만, 여기서는 (5)式으로 求한 計算位相遲延量의 差(位相差)에 對한 測定位相差의 標準誤差를 求함으로써 PPC의 精度를 間接的으로 評價하였다.

送信局 A, B의 信號(Pair A-B)를 受信할 경우 그 測定位相差를 ϕ_0^{AB}, 位相遲延量의 海圖値를 各各 ϕ_H^A 및 ϕ_H^B, 位相遲延量의 修正値를 各各 ϕ_C^A 및 ϕ_C^B라 하면, 双曲線位相差 修正量 ϕ_C^{AB}는 (15)式으로 計算할 수 있다.

$$\phi_C^{AB}=\phi_C^A-\phi_C^B \tag{15}$$

따라서 計算位相差 ϕ^{AB}는 다음 (16)式으로 求해 진다.

$$\phi^{AB}=\phi_H^{AB}+\phi_C^{AB} \tag{16}$$

dCollection

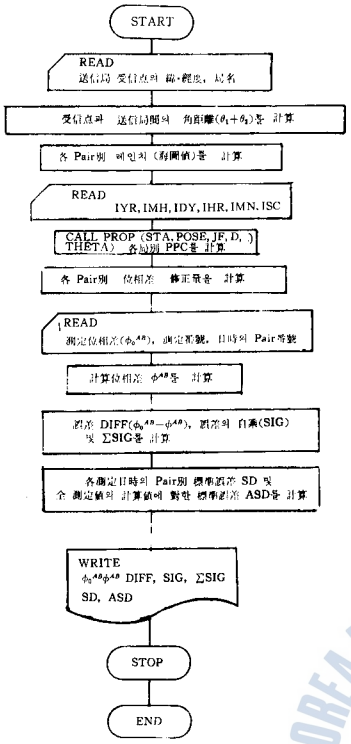


그림3. MAIN PROGRAM의Flow Chart

但, $\phi_H{}^{AB}=\phi_H{}^{A}-\phi_H{}^{B}$

($\phi_H{}^{AB}$는 Pair$A$-B의 海圖上 레인치)

이와 같은 方法으로 求한 計算位相差에 對한 測定位相差의 誤差를 各 測定時期의 各 Pair의 測定時間別로 各各 計算하고, 各 測定時期에 對한 Pair別 및 全測定値의 計算値에 對한 標準誤差를 計算하였으며 그 흐름도(Flow Chart)는 그림 3과 같다.

3.2 傳播補正値(PPC)의 計算

實際로 測位를 할 경우에는 測定位相差에 傳播補正만 行하면 되므로 PPC만을 求하고자 할 경우에는 3.1과 같은 MAIN PROGRAM은 必要로 하지 않으며, SUBROUTINE PROP (STA, POSE, JF, D, THETA)에서 THETA (3)만 求하면 이것으로 부터 PPC는 다음 (17)式으로 簡單히 얻을 수 있다.

$$PPC=-\mu_0\times THETA(3) \qquad (17)$$

따라서 SUBROUTINE PROP는 MAIN PROGRAM으로 代置될 수 있으며, 이 SUBROUTINE PROP 및 이것과 連關된 副 Program 및 그 흐름도 (Flow Chart)는 다음과 같다.

3.2.1 SUBROUTINE PROP (STA, POSE, JF, D, THETA)

여기서, STA ;送信局의 位置벡터

POSE;受信点의 位置벡터

JF;周波數 指表(Frequency Index)

JF=1 (10.2KHz)
JF=2 (11.33KHz)
JF=3 (13.6KHz)

D;1976.1.1.00時(GMT)로 부터의 日數(Day Number)

THETA;θ_1=送受信間의 中心角(PROP의 出力)

θ_2=楕圓体에 對한 修正値(MAIN PROGRM에서 計算)

θ_3=中心角에 對한 傳播修正量(PROP의 出力)

이 副 Program은 中心角 θ_1, 磁氣變數 A_2를 計算한 다음, 全傳播經路長이 14°보다 작으면 經路의 中点(R)의 日週函數(Diurnal Function, F) 및 $\frac{\mu-\mu_0}{\mu_0}$의 값이 全經路에 對해 平均的으로 一定한 것으로 보아 計算하며, 全經路長이 14°보다 크면 送信局으로 부터 $\Delta\theta$ (여기서는0.01rad)씩 經路를 따라 受信点을 向하여 進行하면서 SUBROUTINE DELTA를 불러서 $\frac{\mu-\mu_0}{\mu^0}\Delta\theta$ 및 F를 求하여 $\int_{path}\frac{\mu-\mu_0}{\mu_0}d\theta$ 및 日週函數의 平均値(F)을 計算한 다음, 勵振項(Excitation Term)인 $K_0+F\cdot DK_0$를 $\int_{path}\frac{\mu-\mu_0}{\mu_0}d\theta$에 合하여 中心角에 對한 傳播 修正量($\theta_3$)를 求하는 Program으로서 그 흐름도는

dCollection

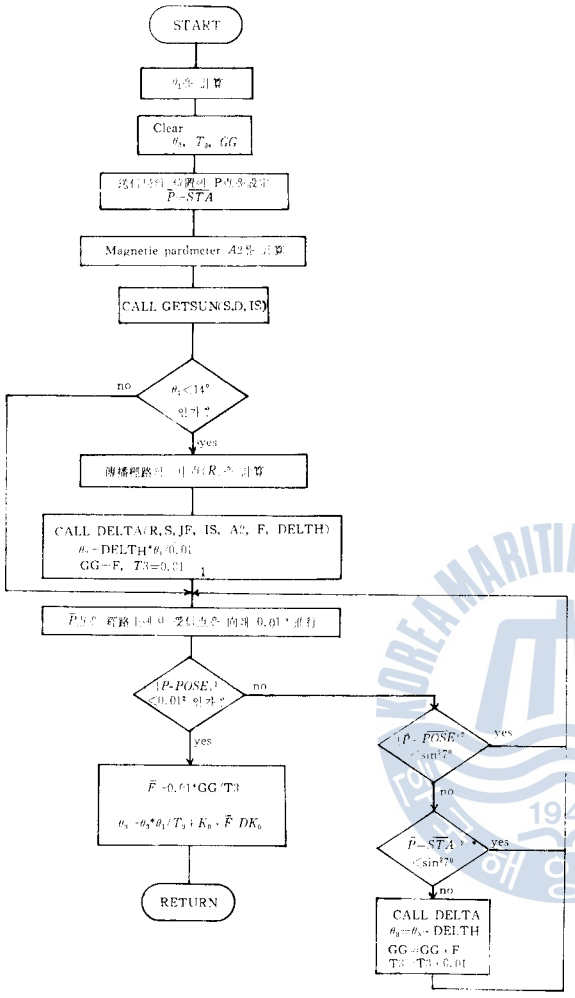


그림 4. SUBROUTINE PROP의 Flow Chart

DELTH $\left(=\frac{\mu_s-\mu_0}{\mu_0}\Delta\theta\right)$ 의 값을 計算하기 위한 副 Program으로서 그 흐름도는 그림5와 같다.

3.2.3 SUBROUTINE GETSUN (*S, D, IS*)

여기서, *S*; 太陽의 位置 Vector (GETSUN의 出力)

D; 1976.1.1.00時(GMT)로부터의 日數

IS; Season Index (GETSUN의 出力)

이 Proram은 Diurnal Function (*F*)의 값을計算하는 데에 必要한 太陽의 位置벡터와 Season Index (IS)를 計算하기 위한 것으로 그 흐름도는 그림 6과 같다.

그림4와 같다.

3.2.2 SUBROUTINE DELTA (P, S, JF, IS, *A2*, F, DELTH)

여기서, P; 經路上의 点을 나타내는 位置벡터

S; 太陽의 位置를 나타내는 位置벡터

JF; Frequency Index

IS; Season Index

A2; Magnetic Parameter

F; Diurnal Function (DELTA의 出力)

DELTH ; $\frac{\mu_s-\mu_0}{\mu_0}\Delta\theta$의 값 (DELTA의 出力)

이것은 傳播經路上의 *P*点이 北半球에 있는가 南半球에 있는가에 따라 IS를 修正(修正된 값을 ISS라 함)하고, 太陽의 天頂角을 計算하여 日週變數(*F*)의 값을 求하고 緯度變數 A3)을計算한다. 다시 FUNCTION COND를 불러 $K_1(\sigma)+F\cdot DK_1(\sigma)$의 값을 求하여

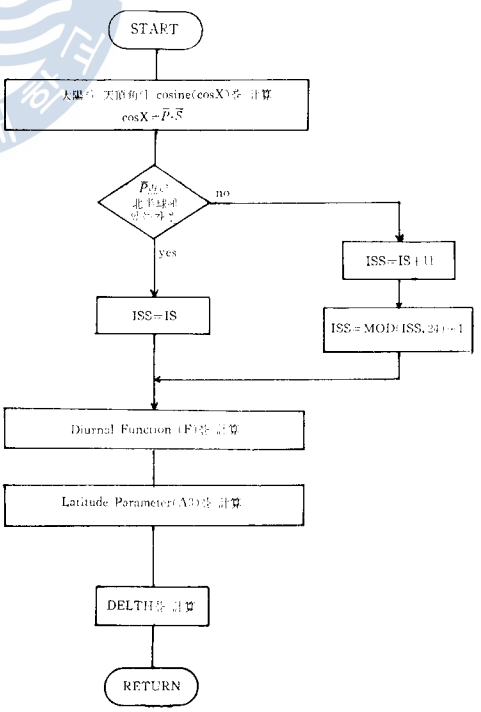


그림5. SUBROUTINE DELTA의 Flow Chart

dCollection

日數(Day Number) D는 實數로 表示하며 整數部는 날수이고 小數点 以下는 GMT의 時間, 分, 秒單位의 값을 各各 日數로 換算하여 合한 값이다. 이 日數 D는 FUNCTION DATIM에서 計算된다.

3.2.4 FUNCTION DATIM (IYR, IMH, IDY, IHR, IMN, ISC)

여기서, IYR; year, 1976年은 '1976' 또는 '76'으로 表示한다.
IMH; month, 1月은 '1', 12月은 '12'로 表示한다.
IDY; day of month
IHR; hour part of GMT
IMN; minute part of GMT
ISC; second part of GMT

이 Program은 GETSUN에서 使用되는 日數(Day Number) "D"를 計算하기 위한 것으로서 그 흐름도는 그림 7과 같다.

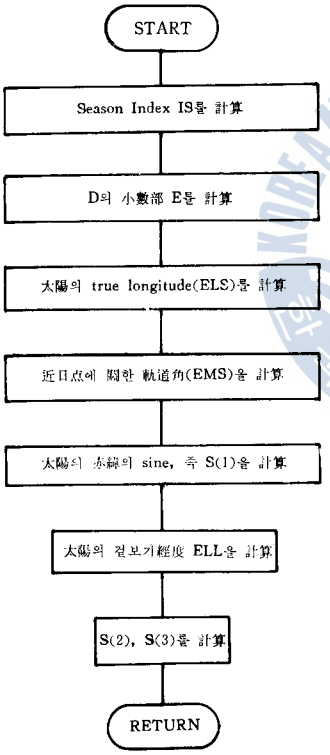


그림 6. SUBROUTINE GETSUN의 Flow Chart

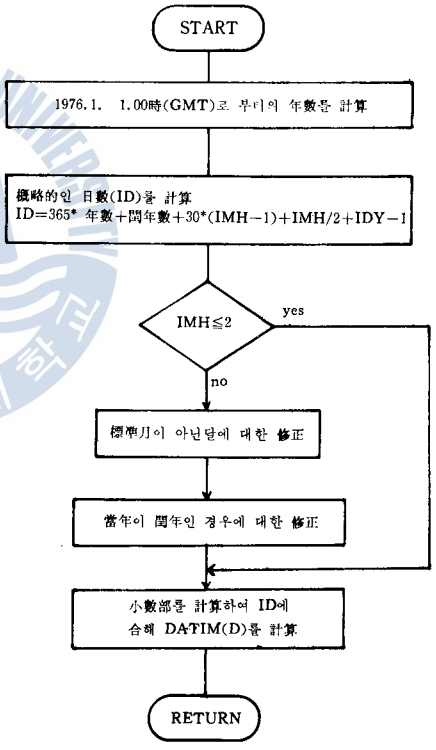


그림 7. FUNCTION DATIM의 Flow Chart

3.2.5 FUNCTION COND(JF, F, P)

여기서, JF; Frequercy Index
F; 日週函數의 값
P; 經路上의 点의 位置 Vector

이 Program은 經路上의 点 P에 있어서의 大地導電率項(Conductivity Tern) $K_1(\sigma)+F\cdot DK_1(\sigma)$를 計算하기 위한 것으로서 그 흐름도는 그림 8과 같다.

dCollection

3.2.6 其他의 Sub-Progran

(1) FUNCTION DOT(A, B)

Dimension이 各各 3인 位置벡터 $A(3)$, $B(3)$의 內積(dot product)을 求하는 Program으로서 $DOT(A,B)=\overline{A}\cdot\overline{B}$가 된다.

(2) SUBROUTINE CROSS(A, B, C)

Dimension이 各各 3인 位置 Vector $A(3)$, $B(3)$의 外積(Cross Product)를 求하는 Program으로서 $C(3)$가 出力이 된다.
즉, $C=\overline{A}\times\overline{B}$가 된다.

(3) FUNCTION MOD (I, J)

I modulo J를 計算하는 Program으로서 $MOD(I,J)=I-INT(I/J)*J$가 된다.

(4) FUNCTION AMOD(X, Y)

X modulo Y를 計算하는 Program으로서 $AMOD(X,Y)=X-INT(X/Y)*Y$가 된다.

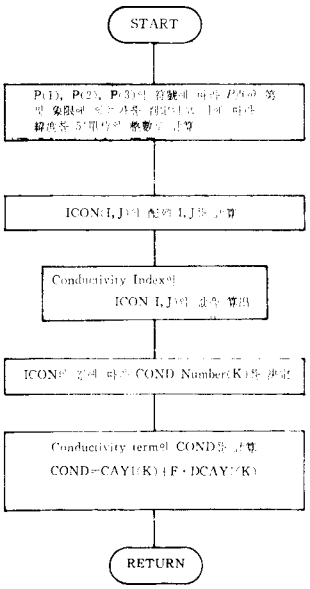


그림 8. **FUNCTION COND의 Flow Chart.**

3.3 電算 Program 및 係數

3.3.1 電算 Program

지금까지 說明한 電算 Program은 모두 FORTRAN으로 作成하였으며, 이는 Program을 附錄에 添付하였다.

3.3.2 係數(Coefficients)

本 電算을 行함에 있어서 實際로 使用(代入)한 各 係數들의 값은 表1, 表2, 表3과 같다.

表 1. 10.2KHz에 대한 係數 CAY, DCAY의 값

factor	#	CAY	DCAY	Parameter
K_0, DK_0	1	2.78×10^{-4}	3.47×10^{-4}	Excitation
K_2, DK_2	2	0.0	3.45×10^{-6}	Magnetic
K_3, DK_3	3	4.40×10^{-6}	1.06×10^{-5}	Latitude

表 2. 10.2KHz에 대한 係數 CAY1 DCAY1의 값

factor	COND No.	Conductivity Index	CAY1	DCAY1
$K_1(\sigma)$, $DK_1(\sigma)$	$K=5$	ICON=1	-0.57×10^{-5}	0.303×10^{-4}
	$K=7$	ICON=0	-0.40×10^{-5}	0.303×10^{-4}
	$K=11$	ICON=2	0.149×10^{-4}	0.303×10^{-4}

dCollection

表 3. 10.2KHz에 대한 日週係數(Diurnal Constants)의 값

係數 \ IS	1	2	3~12	13~23	24
C_3	0.01	0.07	0.13	−0.11	−0.05
C_4	4.30	4.0	3.75	5.0	4.61
C_7	0.35	0.39	0.44	0.27	0.31

4. 測 定 値

4.1 測定時期 및 場所

4.1.1 測定 時期

PPC의 精度를 傳播補正表(PPC Table), Pierce Model에 依한 方式과도 同時에 比較 檢討하기 위하여, Pierce方式에 의해 精度評價를 行한 參考文獻 12에 發表된 測定値를 그대로 計算에 利用하였다. 그 測定時期는 다음과 같다.

(1) 1976年 6月 15日 前後(每 1時間 間隔) : Pair($A-C$), ($C-D$)

(2) 1976年 9月 20日 前後(每 1時間 間隔) : Pair($A-D$), ($C-D$)

4.1.2 測定場所

測定場所는 다음과 같다.

緯度 35° 04.′6N

經度 129° 05.′2E

4.2 測 定 値

測定位相差는 大端히 安定되어 있어서 月中 每日마다 거의 同一한 日變化를 反復하므로[12] 測定日로 定한 날의 前後 約 20日間의 測定値를 平均하여 그 平均値를 그 測定時期의 測定値로 하여 計算을 行하였으며, 測定値(OBSERVED LANE)는 計算結果와 함께 附錄에 添付되어 있다.

5. 精度 評價

지금까지 記述한 方法(本方法이라 함)에 의하여 計算된 PPC를 利用하여 計算한 計算位相差에 對한 測定位相差의 標準誤差는 PPC表 및 Pierce Model에 依한 方式에 비하여 大端히 작게 나타났다. 따라서 本方法에 의해 計算된 PPC의 精度는 大端히 높은 것으로 看做된다.

PPC의 算出을 오메가 傳播補正表(PPC Tables)에 의하여 行하는 경우[6]와 本方法에 의하여 行하는 경우의 各各의 計算位相差를 計算하여 測定値와 함께 그림 9에 圖示하였다.

또한 本方法, PPC表에 의한 方法 및 Pierce's Model에 의한 方法으로 各各 求한 計算位相差에 對한 測定値의 標準誤差(位置線의 精度)는 表 4와 같이 나타났다.

여기서 Pierce 方式은 가장 簡略化한 傳播豫測式에 의한 計算方法이므로 그 精度 또한 가장 낮게 나타나며, 季節에 따라서도 相當한 差異가 있음을 알 수 있다. PPC 表에 依한 方法은 그 PPC가 大型 Computer에 의해 精密計算된 것이지만 1968年 頃에 計算된 값이므로 年變化等이 考慮되지 않

dCollection

았기 때문에 本方法보다 精度가 낮아진 것으로 思料된다.

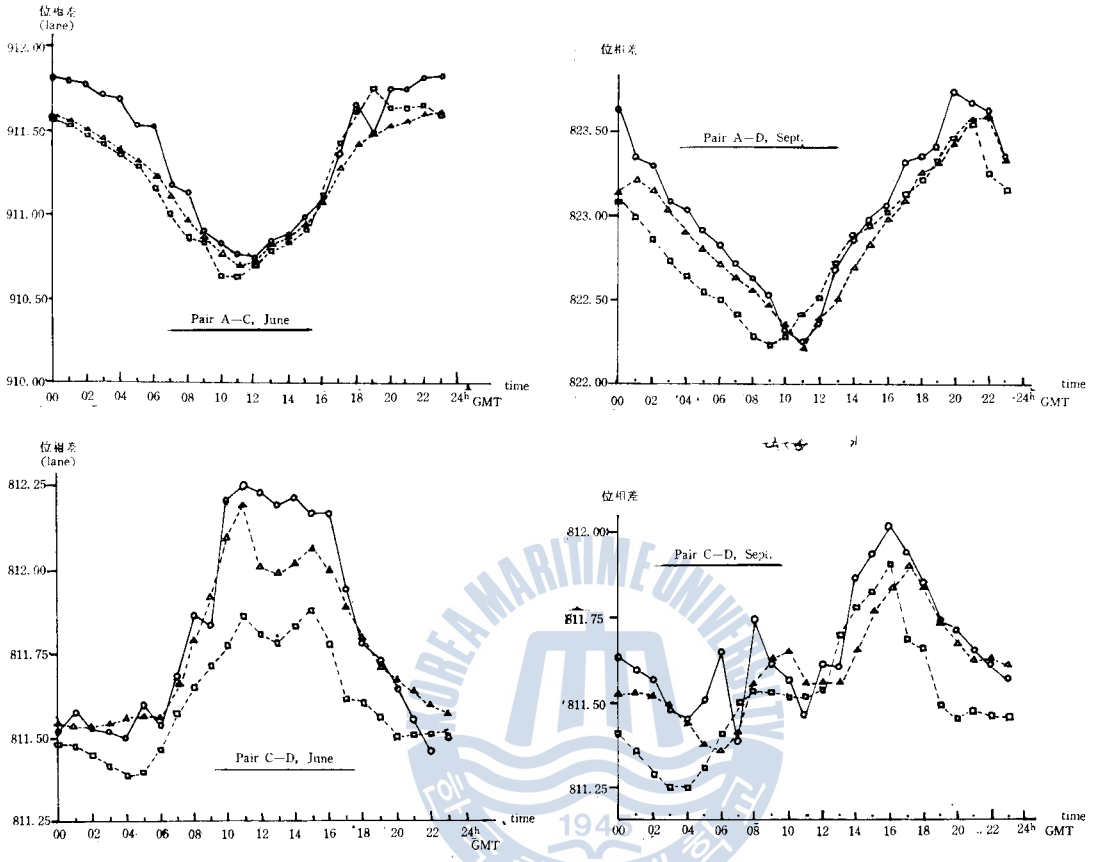


그림 9. PPC表 및 本方法에 의한 計算位相差와 測定位相差

{○——○ : 測定位相差
△·····△ : 本方法에 의한 計算位相差
□·····□ : PPC表에 의한 計算位相差

表 4. 各方法에 依한 標準誤差의 比較

區 分		本 方 法	PPC表에 의한 方法	Pierce's Modle
1976. 6	Pair *A—C*	0.1710(lane)	0.2009(lane)	0.1446(lane)
	Pair *C—D*	0.1026(laue)	0.2439(lane)	0.2598(lane)
1976. 9	Pair *A—D*	0.1601(lane)	0.2437(lane)	0.3958(lane)
	Pair *C—D*	0.1154(lane)	0.1818(lane)	0.3278(lane)
Over All		0.1403(lane)	0.2193(lane)	0.2968(lane)

本方法에서는 傳播經路를 極地方, 陸上, 海上經路의 3가지 경우로 크게 나누고 그 區域도 經·緯度 5° 間隔으로 크게 잡은 Rough Conductivity Map로써 計算을 行하였으나 各 係數들의 값을 適切히 擇함으로써 實用上 지장이 없을 만큼 充分히 높은 精度의 PPC 및 位置線을 얻을 수 있었다.

dCollection

6. 結 論

以上의 理論 및 實驗的 解析으로 부터 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) PPC의 電算 Program을 作成하여 그 電算處理를 可能케 하였으며, 大地導電率의 函數인 $K_1(\sigma)$, $DK_1(\sigma)$를 求함에 있어서 傳播經路를 極地方, 陸上, 海上經路의 3가지만의 경우로 나누어 Rough Conductivity Map를 作成하여 電算機의 MEMORY 領域을 減少시킬 수 있고 이 경우에도 各 係數의 값만 適切히 決定하면 充分히 높은 精度의 PPC를 計算할 수 있음이 確認되었다.

(2) 釜山海域에서 오메가 信號를 受信하여 本 論文에서 提案한 方法으로 傳播補正을 行했을 경우 計算位相差에 대한 測定位相差의 標準誤差(位置線 誤差)는 現在 一般的으로 使用되고 있는 Omega Propagation Correction Tables(오메가 傳播補正表)에 의한 方法이나 Pierce's Model에 의한 方法보다 더 작으며 다음과 같이 計算되었다.

1976年 6月

Pair($A-C$) : 0.1710(lane)

Pair($C-D$) : 0.1026(lane)

1976年 9月

Pair($A-D$) : 0.1601(lane)

Pair($C-D$) : 0.1403(lane)

(3) 測定 Data 中 月平均値 또는 計算値와 크게 差異가 나는 것은 平均位相差를 求할 때에 測定値에서 除外하였다. 이것은 突然電離層擾亂(S.I.D), 極冠擾亂(P.C.D), 極光帶擾亂(A.Z.D) 等의 各種擾亂効果에 의한 것으로 看做되며, 이에 對해서는 앞으로 더욱 硏究되어야 할 課題라고 思料된다.

參 考 文 獻

1. E.R.VASS; OMEGA NAVIGATION SYSTEM: Present Status and Plans 1977—1980, NAVIGA TION, Journal of the Institute of Navigation Vol. 25, No.1, Spring 1978, U.S.A.
2. E.R.Swanson; OMEGA PROPAGATION, Paper Prepared for the OMEGA SYMPOSIUM, Tokyo, Japan, 12—13 June, 1975.
3. A.B. CALVO and J.E. BORTZ, SR.; Evaluating the Accuracy of OMEGA Precdicted Propagation Corrections, NAVIGATION, Vol.21, No.2, Summer 1974, U.S.A
4. E.R. Swanson; OMEGA PROPAGATION CORRECTION TECHNIQUE STUDY, NELC Technical Document 26, 29 March, 1968, U.S.A.
5. R.J. Gallenberger and E.R. Swanson; VARIATIONS IN OMEGA PROPAGATION PARAMETERS, NELC, 25 June 1971, U.S.A.
6. OMEGA PROPAGATION TABLES (Area 09, Station A,C,D), DMAHC, 1974, U.S.A.
7. 伊藤 實・大澤謙一 ; 日本におけるオメガ信號の日變化と地域的變位について, 日本航海學會誌, 第47號. pp. 35—38(1975).
8. 藤原雅一 外 ; 自動化オメガにおける 電波傳搬誤差補正について, 日本航海學會誌, 第47號 pp. 41—46 (1975)
9. 田口一夫 ; オメガ航法 システム, 成山堂書店, 東京, pp. 212—214 (1975)
10. オメガ航法編輯委員會, オメガ航法, 鶴巻書房, 東京, pp. 141—149 (1958)
11. 金東一 ; 韓國南海岸에 있어서의 디퍼렌셜 오메가 誤差에 關한 硏究, 韓國海洋大學 論文集〈自然科學篇〉第13輯, pp. 209—222. (1978.3)
12. 金東一 ; 오메가 電波의 位相豫測에 關한 硏究, 韓國航海學會誌, 第1卷 第1號, pp. 1—16. (1977.8)

dCollection

附錄 : 電算 Program 및 計算結果

1. 電算 Program

```
C       OMEGA PROPATION CORRECTION(ON THE BASE OF SWANSON'S MODEL)
C       & CALCULATION OF THE ACCURACY OF OBSERVED VALUES TO PREDICTED.
C       MAIN PROGRAM
        DIMENSION STA(3), POSE(3), THETA(3), PC(48,3), PHAI(3), CHAR(3), PHIC(3)
       1DYL(2)
        COMMON CAY(3,3), DCAY(3,3), C3(3,24), C4(3,24), C7(3,24), ICON(15,73),
       1(CAY1(15), DCAY1(15)
        DOUBLE PRECISION DYL, DATE
        RAD(M,X)=3.1415926/180.*(FLOAT(M)+X/60.)
        DATA CHAR/4H A-C,4H A-D,4H C-D/
        DATA DYL/8H   JUN. 15, 8H SEPT. 20/
        READ(5,200) CAY1
        READ(5,200) DCAY1
  200   FORMAT(8E10.3)
        READ(5,100) CAY
  100   FORMAT(3E10.3)
        READ(5,101) DCAY
  101   FORMAT(3E10.3)
        READ(5,102) C3
  102   FORMAT(15F5.2)
        READ(5,103) C4
  103   FORMAT(15F5.2)
        READ(5,104) C7
  104   FORMAT(15F5.2)
        READ(5,105) ((ICON(I,J),I=1,15),J=1,73)
  105   FORMAT(40I2)
        WRITE(6,499)
  499   FORMAT(1H ,'  STATION NAME     PHI          THETA(1)          THETA(2)')
        I=0
   10   READ(5,112) N,STLA,NN,STLO,M,POLA,MM,POLO,STNAM
C       N,STLA IS LATITUDE OF OMEGA STATION.
C       M,POLA IS LATITUDE OF RECEIVING POINT.
C       MM,POLO IS LONGITUDE OF RECEIVING POINT.
C       STNAM IS SIGN OF OMEGA STATION.
  112   FORMAT(4(I5,F5.1),A2)
        I=I+1
        STLT=RAD(N,STLA)
        STLN=RAD(NN,STLO)
        POLT=RAD(M,POLA)
        POLN=RAD(MM,POLO)
```


dCollection

```
      S=SIN(STLT)*SIN(POLT)
      C=COS(STLT)*COS(POLT)
      X=SIN(STLT)*SIN(POLT)+COS(STLT)*COS(POLT)*COS(POLN-STLN)
      THETA(1)=ATAN(SQRT(1.-X*X)/X)
      THETA(2)=( (3.*SIN(X)-X)*(1.+S-C)*(1.+S-C)/(1.+COS(X) )-(3.*SIN(X)+X
     1)*(1.-S+C)*(1.-S-C)/(1.-COS(X)) )/(295.*4.)
      PHI=(THETA(1)+THETA(2))*216.7
      WRITE(6,500) STNAM,PHI,THETA(1),THETA(2)
  500 FORMAT(1H , 8X,A2,6X,F10.2,3X,2(F10.5) )
      PHAI(I)=PHI
      IF(I.EQ.3) GO TO 50
      GO TO 10
   50 PHIC(1)=PHAI(1)-PHAI(2)+900.
      PHIC(2)=PHAI(1)-PHAI(3)+900.
      PHIC(3)=PHAI(2)-PHAI(3)+900.
      WRITE(6,111)
  111 FORMAT(1H , 'LANE NUMBER IN CHART VALUE OF RECEIVING POINT')
      WRITE(6,113) (CHAR(I), PHIC(I), I=1,3)
  113 FORMAT(1H ,8X,A4,5X,F10.5)
      WRITE(6,108)
  108 FROMAT(1H1,5X, 'STATION NAME' 4X, 'YEAR-MON-DAY-HOUR-MIN' 7X, PPC')
      K=0
    1 READ(5,106) N,STLA,NN,STLO,M,POLA,MM,POLO,STNAM
  106 FORMAT(4(I5,F5.1), A2)
      K=K+1
      JJ=0
      STLT=RAD(N,STLA)
      STLN=RAD(NN,STLO)
      IF(STLT.EQ.0.) GO TO 3
      STA(1)=SIN(STLT)
      STA(2)=COS(STLT)*COS(STLN)
      STA(3)=COS(STLT)*SIN(STLN)
      POLT=RAD(M,POLA)
      POLN=RAD(MM,POLO)
      POSE(1)=SIN(POLT)
      POSE(2)=COS(POLT)*COS(POLN)
      POSE(3)=COS(POLT)*SIN(POLN)
      JF=1
    2 READ(5,107) IYR,IMH,IDY,IHR,IMN,ISC
  107 FORMAT(14,4X,12,3X,12,3X,12,3X,12,3X,12)
      IF(IYR.EQ.0) GO TO 1
      JJ=JJ+1
      D=DATIM(IYR,IMH,IDY,IHR,IMN,ISC)
      CALL PROP(STA,POSE,JF,D,THETA)
```


dCollection

```
      PPC=-0.9974*216.7*THETA(3)
      WRITE(6,109) STNAM,IYR,IMH,IDY,IHR,IMN,PPC
  109 FORMAT(1H ,10X,A2,9X,I4,4('-'1X,I2),3X,F10.2)
      PC(JJ,K)=PPC
      GO TO 2
    3 CONTINUE
      WRITE(6,120)
  120 FORMAT(1H1, 'OBSERVED LANE    COMPUTED LANE    DIFFERENCE    SI
     1GMA    PAIR    DATE    HOUR')
      SU=0.0
      SUM=0.0
      IH=-1
    5 READ(5,130) PHIO,J,KK
C     J IS NUMBER OF OBSERVED VALUES.
C     KK IS NUMBER OF THE CHAIN & MONTH OBSERVED.
  130 FORMAT(F10.2,2I5)
      IH=IH+1
C     IH IS HOUR OF OBSERVATION.
      IF(KK.NE.1) GO TO 11
      PPCC=PC(J,1)-PC(J,2)
      IP=1
      DATE=DYL(1)
      GO TO 15
   11 IF(KK.NE.2) GO TO 12
      PPCC=PC(J-24,2)-PC(J-24,3)
      IP=3
      DATE=DYL(1)
      GO TO 15
   12 IF(KK.EQ.4) GO TO 13
      PPCC=PC(J-24,1)-PC(J-24,3)
      IP=2
      DATE=DYL(2)
      GO TO 15
   13 PPCC=PC(J-48,2)-PC(J-48,3)
      IP=3
      DATE=DYL(2)
   15 PHAII=PHIC(IP)-PPCC
C     PHAII IS CALCULATED PHASE DIFFERENCE.
      DIFF=PHIO-PHAII
C     PHIO IS OBESERVED PHASE DIFFERENCE.
      SIG=DIFF**2
      SU=SU+SIG
      SUM=SUM+SIG
      PAIR=CHAR(IP)
      WRITE(6,140) PHIO,PHAII,DIFF,SIG,PAIR,DATE,IH
```


KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교
dCollection

```
  140 FORMAT(1H , 4E15.5,3X,A4,5X,A8,4X,I2)
      IF((FLOAT(J)/24.-J/24).GT.0.000001) GO TO 5
      SD=SQRT(SU/24.)
C     SD IS STANDARD DEVIATION OF OBSEVED VALUES TO CALCULATED ONES
C     IN  THE CHAIN ON THE MONTH.
      WRITE(6,143) SU,SD,PAIR
  143 FORMAT(1H0,3X, 'SU='E12.5,10X, 'SD=' E12.5,5X, 'PAIR='A4,//)
      SU=0.0
      IH=-1
      IF(J.NE.96) GO TO 5
      SDEV=SQRT(SUM/96.)
      WRITE(6,150) SDEV
C     SDEV IS THE STANDARD DEVIATION OVER ALL.
  150 FORMAT(1H0,////'      OVER ALL STANDARD DEVIATION INLANE=' E15.5)
      STOP
      END

                          *          *          *
      SUBROUTINE PROP(STA,POSE,JF,D,THETA)
      DIMENSION P(3),STA(3),POSE(3),THETA(3),AX(3),SUN(3),TMP1(3),
     1TMP2(3),R(3) COMMON CAY(3,3),DCAY(3,3),C3(3,24),C4(3,24), C7(3,24), ICON(15,73),
     1CAY1(15), DCAY1(15)
      T3=0.0
      GG=0.0
      CALL CROSS(STA,POSE,AX)
      TMP=SQRT(DOT(AX,AX))
      THETA(1)=ATAN(TMP/DOT(STA,POSE))
      DO 4 I=1,3
      AX(I)=0.0099998333*AX(I)/TMP
    4 P(I)=STA(I)
      A2=0.9664*AX(1)+0.0044864*AX(2)-0.25705*AX(3)
      A2=-100.*A2
      CALL GETSUN(SUN,D,IS)
      THETA(3)=0.0
      IF(THETA(1)-0.244)5,5,6
    5 DO 7 I=1,3
    7 R(I)=STA(I)+POSE(I)
      TMP=SQRT(R(1)*R(1)+R(2)*R(2)+R(3)*R(3))
      DO 8 I=1,3
    8 R(I)=R(I)/TMP
      CALL DELTA(R,SUN,JF,IS,A2,GG,DELTH)
      THETA(3)=DELTH
      T3=.01
    6 CALL CROSS(AX,P,TMP1)
      DO 9 I=1,3
```


dCollection

```
      P(I)=TMP1(I)+P(I)*0.99995
      TMP1(I)=P(I)-POSE(I)
    9 TMP2(I)=P(I)-STA(I)
      TMP=DOT(TMP1,TMP1)
      IF(.0001-TMP) 11,10,10
   11 IF(.01485-TMP) 12,6,6
   12 IF(DOT(TMP2, TMP2)-.01485) 6,6,13
   13 CALL DELTA(P,SUN,JF,IS,A2,G,DELTH)
      THETA(3)=THETA(3)+DELTH
      GG=GG+G
      T3=T3+.01
      GO TO 6
   10 THETA(3)=THETA(3)*THETA(1)/T3+CAY(JF,1)+.01*GG*DCAY(JF,1)/T3
      RETURN
      END
                        *          *          *          *
      SUBROUTINE DELTA(P,S,JF,IS.A2,F,DELTH)
      DIMENSION P(3),S(3)
      COMMON CAY(3,3),DCAY(3,3),C3(3,24),C4(3,24),C7(3,24),ICON(15,73),
     1CAY1(15), DCAY1(15)
      COSX=DOT(P,S)
      IF(P(1))4,5,5
    4 ISS=IS+11
      ISS=MOD(ISS,24)+1
      GO TO 6
    5 ISS=IS
    6 IF(COSX+.15)7,8,8
    7 F=1.0
      GO TO 15
    8 IF(COSX+.04)9,10,10
    9 F=C3(JF,ISS)-C4(JF,ISS)*COSX
      GO TO 15
   10 F=C7(JF,ISS)*(1.0-COSX)
   15 A3=0.9664*P(1)+.0044864*P(2)-25705*P(3)
      A3=0.5-A3*A3
      DELTH=CAY(JF,2)*A2+CAY(JF,3)*A3+COND(JF,F,P)
     1+(DCAY(JF,2)*A2+DCAY(JF,3)*A3)*F
      RETURN
      END
                        *          *          *          *
      SUBROUTINE GETSUN(S,D,IS)
      DIMENSION S(3)
C     D IS NUMBER OF MEAN SOLAR DAYS SINCE JAN 0.0,1976 (GMT)
C     EXAMPLE ; JAN 23,1976 1200 GMT LEADS TO D=22.5
```


KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교
dCollection

```
      IS=1.0+AMOD(24.+AMOD(D/15.2184,24.),24.)
      E=AMOD(D+0.5,1.0)
      ELS=D*0.0174397+4.8821753
      EMS=D*0.172019699+4.1821274
      S(1)=0.39784368*SIN(ELS)
      ELL=-6.2831854*E-0.0334440*SIN(EMS)-0.04127339*SIN(2.*ELS)
      XY=SQRT(1.-S(1)*S(1))
      S(2)=XY*COS(ELL)
      S(3)=XY*SIN(ELL)
      RETURN
      END
                              *              *              *              *
      FUNCTION DATIM(IYR,IMH,IDY,IHR,IMN,ISC)
      IYRR=MOD(IXR,100)-76
      ID=365*IYRR+IYRR/4+30*(IMH-1)+IMH/2+IDY-1
      IF(IMH-2) 10,10,4
    4 ID=ID-2
      IF(IMH-9) 5,6,5
    5 IF(IMH-11) 7,6,7
    6 ID=ID+1
    7 IF(IYRR-4*(IYRR/4))10,8,10
    8 ID=ID+1
   10 D=ID
      DATIM=D+FLOAT(IHR)/24.0+FLOAT(IMN)/1440.0+FLOAT(ISC)/86400.0
      RETURN
      END
                              *              *              *              *
      FUNCTION COND(JF,F,P)
      DIMENSION P(3)
      COMMON CAY(3,3), DCAY(3,3), C3(3,24), C4(3,24), C7(3,24), ICON(15,73),
     1CAY1(15), DCAY1(15)
      IF(P(1).GT.0.) GO TO 1
      LAT=5*INT((180.3.14*ATAN(P(1)/SQRT(1.-P(1)*P(1)))-2.5)/5.)
      IF(P(2).GT.0.) GO TO 5
      IF(P(3).GP.0.) GO TO 7
      CONTINUE
      GO TO 2
    5 IF(P(3).GO.0.) GO TO 4
      CONTINUE
      GO TO 8
    1 LAT=5*INT((180./3.14*ATAN(P(1)/SQRT(1.-P(1)*P(1)))+2.5)/5.)
      IF(P(2).LE.0.) GO TO 3
      IF(P(3).LE.0.) GO TO 2
    7 LON=5*INT((180./3.14*ATAN(P(3)/P(2))-2.5)/5.)
```


dCollection

```
      GO TO 10
    2 LON=5*INT((180./3.14*ATAN(P(3)/P(2))+2.5)/5.)
      GO TO 10
    3 IF(P(3).LE.0.) GO TO 4
    8 LON=5*INT((180./3.14*ATAN(P(3)/P(2))+2.5)/5.)+180
      GO TO 10
    4 LON=5*INT((180./3.14*ATAN(P(3)/P(2))-2.5)/5.)-180
   10 I=(LAT-20)/5+1
      J=(LON+180)/5+1
      IF(ICON(I,J).NE.0) GO TO 16
C     0:SEA, 1:LAND IN MIDDLE LATITUDE, 2:LAND IN HIGH LATITUDE
      K=7
      GO TO 20
   16 IF(ICON(I,J).EQ.2) GO TO 17
      K=5
      GO TO 20
   17 K=11
   20 COND=CAY1(K)+F*DCAY1(K)
      RETURN
      END
            *       *       *       *       *
      SUBROUTINE CROSS(A,B,C)
      DIMENSION A(3),B(3),C(3)
      C(1)=A(2)*B(3)-A(3)*B(2)
      C(2)=A(3)*B(1)-A(1)*B(3)
      C(3)=A(1)*B(2)-A(2)*B(1)
      RETURN
      END
            *       *       *       *       *
      FUNCTION DOT(A,B)
      DIMENSION A(3), B(3)
      DOT=A(1)*B(1)+A(2)*B(2)+A(3)*B(3)
      RETURN
      END
            *       *       *       *       *
```

2. 計算 結果

OBSERVED LANE	COMPUTED LANE	DIFFERENCE	SIGMA	PAIR	DATE	HOUR
0.91181E 03	0.91160E 03	0.20923E 00	0.43777E−01	A−C	JUN. 15	0
0.91180E 03	0.91157E 03	0.22974E 00	0.52779E−01	A−C	JUN. 15	1
0.91178E 03	0.91152E 03	0.25659E 00	0.65839E−01	A−C	JUN. 15	2
0.91172E 03	0.91146E 03	0.25708E 00	0.66090E−01	A−C	JUN. 15	3
0.91170E 03	0.91139E 03	0.30664E 00	0.94028E−01	A−C	JUN. 15	4
0.91153E 03	0.91132E 03	0.21069E 00	0.44392E−01	A−C	JUN. 15	5

dCollection

0.91153E 03	0.91125E 03	0.27905E 00	0.77870E−01	A−C	JUN. 15	6
0.91119E 03	0.91111E 03	0.79102E−01	0.62571E−02	A−C	JUN. 15	7
0.91113E 03	0.91097E 03	0.15991E 00	0.25572E−01	A−C	JUN. 15	8
0.91090E 03	0.91086E 03	0.44678E−01	0.19961E−02	A−C	JUN. 15	9
0.91082E 03	0.91076E 03	0.63232E−01	0.39983E−02	A−C	JUN. 15	10
0.91077E 03	0.91070E 03	0.72998E−01	0.53287E−02	A−C	JUN. 15	11
0.91074E 03	0.91073E 03	0.56152E−02	0.31531E−04	A−C	JUN. 15	12
0.91085E 03	0.91083E 03	0.22949E−01	0.52667E−03	A−C	JUN. 15	13
0.91086E 03	0.91089E 03	−0.31006E−01	0.96136E−03	A−C	JUN. 15	14
0.91099E 03	0.91093E 03	0.55176E−01	0.30444E−02	A−C	JUN. 15	15
0.91108E 03	0.91109E 03	−0.95215E−02	0.90659E−04	A−C	JUN. 15	16
0.91137E 03	0.91129E 03	0.83008E−01	0.68903E−02	A−C	JUN. 15	17
0.91165E 03	0.91145E 03	0.19995E 00	0.39980E−01	A−C	JUN. 15	18
0.91148E 03	0.91150E 03	−0.19043E−01	0.36263E−03	A−C	JUN. 15	19
0.91175E 03	0.91153E 03	0.21655E 00	0.46895E−01	A−C	JUN. 15	20
0.91175E 03	0.91158E 03	0.17261E 00	0.29793E−01	A−C	JUN. 15	21
0.91181E 03	0.91160E 03	0.20557E 00	0.42258E−01	A−C	JUN. 15	22
0.91182E 03	0.91161E 03	0.20776E 00	0.43166E−01	A−C	JUN. 15	23

SU= 0.70193E 00 SD= 0.17102E 00 PAIR= A−C

0.81151E 03	0.81154E 03	−0.34180E−01	0.11683E−02	C−D	JUN. 15	0
0.81158E 03	0.81153E 03	−0.47607E−01	0.22665E−02	C−D	JUN. 15	1
0.81153E 03	0.81153E 03	−0.48828E−03	0.23842E−06	C−D	JUN. 15	2
0.81152E 03	0.81154E 03	−0.18555E−01	0.34428E−03	C−D	JUN. 15	3
0.81150E 03	0.81156E 03	−0.59814E−01	0.35778E−02	C−D	JUN. 15	4
0.81160E 03	0.81157E 03	0.33447E−01	0.11187E−02	C−D	JUN. 15	5
0.81154E 03	0.81157E 03	−0.31494E−01	0.99188E−03	C−D	JUN. 15	6
0.81167E 03	0.81166E 03	0.78125E−02	0.61035E−04	C−D	JUN. 15	7
0.81186E 03	0.81178E 03	0.77637E−01	0.60275E−02	C−D	JUN. 15	8
0.81183E 03	0.81192E 03	−0.89355E−01	0.79844E−02	C−D	JUN. 15	9
0.81220E 03	0.81208E 03	0.11865E 00	0.14078E−01	C−D	JUN. 15	10
0.81225E 03	0.81218E 03	0.74951E−01	0.56177E−02	C−D	JUN. 15	11
0.81223E 03	0.81200E 03	0.22778E 00	0.51883E−01	C−D	JUN. 15	12
0.81218E 03	0.81198E 03	0.20020E 00	0.40078E−01	C−D	JUN. 15	13
0.81221E 03	0.81201E 03	0.20435E 00	0.41757E−01	C−D	JUN. 15	14
0.81216E 03	0.81205E 03	0.10962E 00	0.12016E−01	C−D	JUN. 15	15
0.81216E 03	0.81199E 03	0.17139E 00	0.29373E−01	C−D	JUN. 15	16
0.81194E 03	0.81187E 03	0.67627E−01	0.45734E−02	C−D	JUN. 15	17
0.81178E 03	0.81178E 03	0.24414E−02	0.59605E−05	C−D	JUN. 15	18
0.81173E 03	0.81170E 03	0.28076E−01	0.78827E−03	C−D	JUN. 15	19
0.81164E 03	0.81167E 03	−0.25635E−01	0.65714E−03	C−D	JUN. 15	20
0.81155E 03	0.81163E 03	−0.78125E−01	0.61035E−02	C−D	JUN. 15	21
0.81146E 03	0.81159E 03	−0.13379E 00	0.17900E−01	C−D	JUN. 15	22
0.81150E 03	0.81157E 03	−0.65186E−01	0.42492E−02	C−D	JUN. 15	23

SU= 0.25262E 00 SD= 0.10260E 00 PAIR= C−D

dCollection

0.82365E 03	0.82314E 03	0.50513E 00	0.25515E 00	A—D	SEPT. 20	0
0.82335E 03	0.82322E 03	0.13013E 00	0.16933E—01	A—D	SEPT. 20	1
0.82330E 03	0.82314E 03	0.15576E 00	0.24262E—01	A—D	SEPT. 20	2
0.82309E 03	0.82304E 03	0.50537E—01	0.25540E—02	A—D	SEPT. 20	3
0.82304E 03	0.82290E 03	0.14160E 00	0.20051E—01	A—D	SEPT. 20	4
0.82291E 03	0.82281E 03	0.10327E 00	0.10665E—01	A—D	SEPT. 20	5
0.82283E 03	0.82272E 03	0.10547E 00	0.11124E—01	A—D	SEPT. 20	6
0.82272E 03	0.82265E 03	0.72754E—01	0.52931E—02	A—D	SEPT. 20	7
0.82264E 03	0.82257E 03	0.72021E—01	0.51871E—02	A—D	SEPT. 20	8
0.82254E 03	0.82248E 03	0.63721E—01	0.40603E—02	A—D	SEPT. 20	9
0.82232E 03	0.82234E 03	—0.21484E—01	0.46158E—03	A—D	SEPT. 20	10
0.82226E 08	0.32222E 03	0.43457E—01	0.18885E—02	A—D	SEPT. 20	11
0.82237E 03	0.82240E 03	—0.26367E—01	0.69523E—03	A—D	SEPT. 20	12
0.82269E 03	0.82251E 03	0.17505E 00	0.30642E—01	A—D	SEPT. 20	13
0.82285E 03	0.82270E 03	0.14819E 00	0.21961E—01	A—D	SEPT. 20	14
0.82298E 03	0.82285E 03	0.12622E 00	0.15932E—01	A—D	SEPT. 20	15
0.82306E 03	0.82298E 03	0.76904E—01	0.59143E—02	A—D	SEPT. 20	16
0.82331E 03	0.82310E 03	0.20825E 00	0.43369E—01	A—D	SEPT. 20	17
0.82335E 03	0.82323E 03	0.12987E 00	0.14370E—01	A—D	SEPT. 20	18
0.82340E 03	0.82333E 03	0.73730E—01	0.54362E—02	A—D	SEPT. 20	19
0.82375E 03	0.82343E 03	0.32056E 00	0.10276E 00	A—D	SEPT. 20	20
0.82369E 03	0.82358E 03	0.10864E 00	0.11803E—01	A—D	SEPT. 20	21
0.82362E 03	0.82363E 03	—0.13916E—01	0.19366E—03	A—D	SEPT. 20	22
0.82335E 03	0.82342E 03	—0.66650E—01	0.44423E—02	A—D	SEPT. 20	23

SU= 0.61515E 00 SD= 0.16010E 00 PAIR= A—D

0.81164E 03	0.81154E 03	0.95703E—01	0.91591E—02	C—D	SEPT. 20	0
0.81160E 03	0.81154E 03	0.61035E—01	0.37253E—02	C—D	SEPT. 20	1
0.81157E 03	0.81153E 03	0.38818E—01	0.15069E—02	C—D	SEPT. 20	2
0.81148E 03	0.81150E 03	—0.20020E—01	0.40078E—03	C—D	SEPT. 20	3
0.81145E 03	0.81142E 03	0.25146E—01	0.63235E—03	C—D	SEPT. 20	4
0.81151E 03	0.81138E 03	0.13281E 00	0.17639E—01	C—D	SEPT. 20	5
0.81165E 03	0.81134E 03	0.30566E 00	0.93431E—01	C—D	SEPT. 20	6
0.81138E 03	0.81142E 03	—0.41260E—01	0.17024E—02	C—D	SEPT. 20	7
0.81175E 03	0.81155E 03	0.20264E 00	0.41062E—01	C—D	SEPT. 20	8
0.81162E 03	0.81163E 03	—0.53711E—02	0.28849E—04	C—D	SEPT. 20	9
0.81157E 03	0.81165E 03	—0.81299E—01	0.66095E—02	C—D	SEPT. 20	10
0.81146E 03	0.81156E 03	—0.98877E—01	0.97767E—02	C—D	SEPT. 20	11
0.81162E 03	0.81156E 03	0.61035E—01	0.37253E—02	C—D	SEPT. 20	12
0.81160E 03	0.81156E 03	0.41016E—01	0.16823E—02	C—D	SEPT. 20	13
0.81187E 03	0.81166E 03	0.20508E 00	0.42057E—01	C—D	SEPT. 20	14
0.81194E 03	0.81176E 03	0.18164E 00	0.32993E—01	C—D	SEPT. 20	15
0.81203E 03	0.81183E 03	0.19604E 00	0.38434E—01	C—D	SEPT. 20	16
0.81194E 03	0.81190E 03	0.35156E—01	0.12360E—02	C—D	SEPT. 20	17
0.81185E 03	0.81184E 03	0.53711E—02	0.28849E—04	C—D	SEPT. 20	18

dCollection

0.81174E 03	0.81173E 03	0.14648E−01	0.21458E−03	C−D	SEPT. 20	19
0.81172E 03	0.81163E 03	0.89111E−01	0.79408E−02	C−D	SEPT. 20	20
0.81165E 03	0.81158E 03	0.72510E−01	0.52577E−02	C−D	SEPT. 20	21
0.81161E 03	0.81159E 03	0.15381E−01	0.23657E−03	C−D	SEPT 20	22
0.81157E 03	0.81157E 03	−0.17090E−02	0.29206E−05	C−D	SEPT. 20	23

SU= 0.31948E 00 SD= 0.11538E 00 PAIR= C−D

OVER ALL STANDARD DEVIATION IN LANE= 0.14028E 00

dCollection