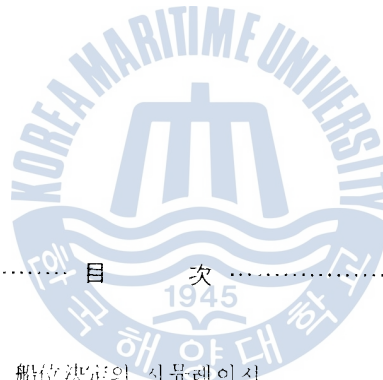


OMEGA-NNSS HYBRID 방식에 의한 決定船位の 精度에 關한 研究

梁 鍾 免

A Study on the Accuracy of Ship's position
determined by Omega-NNSS Hybrid System

Jong-myeon Yang



目 次

- I. 序 論
 - II. NNSS 에 의한 船位決定의 시뮬레이션
 1. 積算 Doppler Shift 의 逆算
 2. Doppler 積算値에 의한 船位決定
 - III. 오메가 船位決定 시뮬레이션
 1. 오메가의 Lane 值 逆算
 1. 오메가 船位決定
 - IV. 시뮬레이션에 의한 OMEGA - NNSS HYBRID 방식의 評價
 - V. 實測에 의한 OMEGA - NNSS HYBRID 방식의 評價
 - VI. 結 論
- 參考文獻
附 錄

ABSTRACT

Recently the Hybrid Navigation System has attracted attention, where position data of multiple navigation systems are compounded to determine more reliable fix.

The NNSS (Transit navigation system) is a useful navigation aid which can determine fixes through the global coverage with relatively high accuracy. However, it requires a complementary system to produce fixes continuously, since it has a major limitation of producing fixes only at the irregular and long time intervals.

On the other hand, the Omega system presents a continuous fix data in its global coverage, but needs a method of complementing its poor for accuracy due to variation of Omega wave propagation velocity. Thus Omega-NNSS Hybrid system has been proposed in order to compensate the demerits of NNSS and/or Omega navigation system by many researchers.

In this paper, the evaluation on the ships position-fix accuracy of conventional Omega-NNSS Hybrid system has been carried out by both methods; computer simulation and real measurements on board. From this study it has been known that the standard deviation of the fixes by this system is less than one third of that of Omega fixes.

I. 序 論

NNSS (Navy Navigation Satellite System) 航法은 現在 오메가를 除外한 唯一한 全世界的, 全天候의 航法이며, 그 精度는 오메가의 10 倍 程度로 1960 年 以後 美海軍에서 오랜 研究끝에 그 實用性이 立證되어, 一般商船 및 艦船은 물론 漁船에 까지 搭載되어 海上에서의 信賴度 높은 航法으로 精度 높은 船位를 提供하고 있다. 그러나, 衛星의 船舶의 可視範圍에 들어오는 것이 하루에 十數回 内外이며, 이 時間帶에만 船位測定이 可能하다는 本質的인 制約이 시스템의 큰 問題點으로 提起되어 왔다.^{1) 2)}

한편, 오메가 航法方式은 2 局으로부터 發射하는 持續性 超長波의 位相을 比較 測定하여 雙曲線의 位置線을 求하는 方式으로, 周波數가 대단히 낮으므로 (10~14 KHz) 傳送距離가 대단히 길어서 全世界에 8 個의 送信局을 設置하므로써 언제 어디서나 4 局 내지 5 局의 電波를 受信할 수 있고, 適節한 交角을 갖는 3~4 組의 位置線을 選擇할 수 있어서 比較的 正確한 船位를 求할 수 있을 것으로 期待되어 왔으나, 이온層의 狀態變動에 따르는 電波傳播速度의 正確한 豫測이 어려워 實際로는 初期에 期待했던 船位誤差의 2~3 倍의 誤差를 나타내고 있는 實情이다.¹⁾

오메가 電波의 傳播經路는 대단히 길어서 本船位置의 작은 變化에 對하여 오메가 電波의 傳播條件이 크게 變하지 않는다는 假定下에, 比較的 正確한 NNSS 位置로 오메가 傳播速度誤差修正을 하

고 NNSS가受信되지 않는 동안에는 이 오메가 修正値를 利用하여 오메가船位를 決定하는 OMEGA-NNSS HYBRID 方式이 提案되어 있으나³⁾ 이 方式에 依한 精度의 評價는 거의 全無한 實情이다. 따라서 本 論文에서는 OMEGA-NNSS BYBRID 方式에 依한 船位의 精度를 시뮬레이션 및 實測을 通하여 評價하였다. 그 結果, 本 HYBRID 方式에 依한 船位가 從來 오메가方式에 依한 船位보다 2~3 倍의 精度를 加짐을 確認하였다.

NNSS에 依한 船位決定 시뮬레이션에서는 Transit 衛星의 軌道要素를 적절히 設定한 後 Doppler 値를 計算하고 여기에 測定値에서 推定한 正規分布誤差를 부여하여 얻어진 位置를 NNSS에 依한 船位로 하였다. 또, 오메가에 依한 船位決定 시뮬레이션에서는 本船位置에서 오메가 送信局까지의 距離를 計算하여 Lane 數를 計算하고 여기에 實測에서 觀測된 크기의 正規誤差를 부여하여 얻어진 Lane 값을 오메가 Lane 값으로 하였으며, 이 Lane 값을 利用하여 Omega에 依한 船位로 하였다. 이와같이 해서 求한 Omega Fix와 NNSS Fix를 利用하여 補正을 行한 船位(Fix by Hybrid System)를 比較 檢討함으로써 Hybrid 方式의 有效性을 評價하였다.

한편, 本 大學 實習船이 航海時에 2日동안 實測한 NNSS에 依한 船位와 오메가에 依한 船位를 利用하여 本 HYBRID 方式의 實用性을 實驗的으로 立證하였다.

II. NNSS 에 依한 船位決定의 시뮬레이션

II-1 積算 Doppler Shift 의 逆算

1. 船位測定의 原理

實際의 TRANSIT 衛星에서는 399.968 MHz 및 149.988 MHz 의 高安定送信波에 每 2分마다 6,103 bit 의 느린 位相變調를 하여 正確한 時報와 더불어 軌道要素 및 衛星의 動作狀態에 關한 情報를 되풀이하여 送信하고 있으므로, 時報사이의 2分間의 Doppler 를 積算하여 하나의 位置線을 얻게 된다.

大部分의 受信機는 自體가 가지고 있는 局部發振周波數 f_L (대개의機種이 400 MHz 및 150 MHz 를 採用) 과 受信周波數 f_R (衛星의 發射周波數 f_T 가 Doppler 의 影響을 받은 結果임) 과의 beat 周波數를 積算하는 方式을 採用하고 있다. 이것을 式으로 表示하면 積算值 N_K 는 ¹⁾

$$N_K = \int_{t_{k-1} + \Delta t_{k-1}}^{t_k + \Delta t_k} (f_L - f_R) dt \dots\dots\dots (2.1)$$

여기서 Δt_k 는 t_k 의 時報가 衛星에서 發射되어 受信點에 到達하는데 要하는 時間이며, 時刻 t_k 에 있어서 衛星으로부터 受信機까지의 距離를 光速으로 나눈 값이다. (2-1) 式을 變形하면 다음 式과 같다.

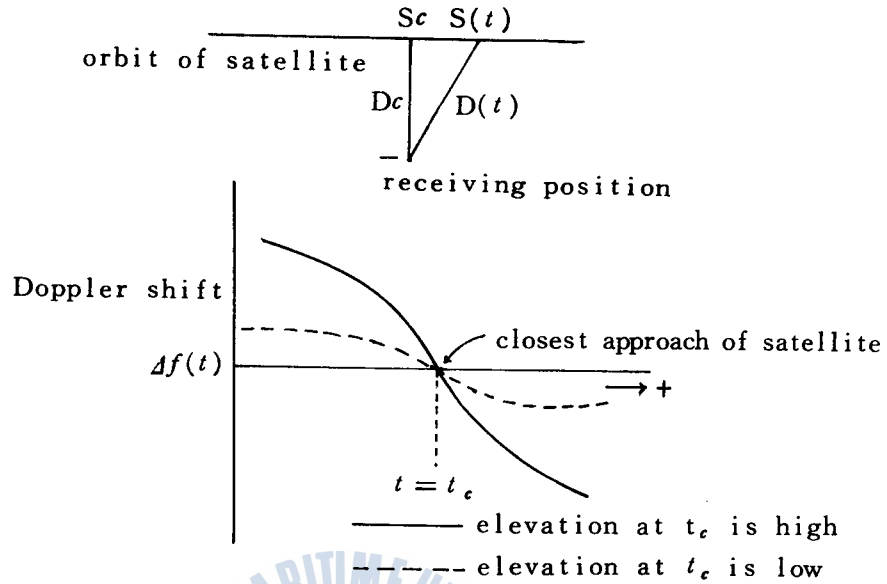


Fig. 1 Principle of Position-Fix by Doppler Effect

$$\begin{aligned}
 N_K &= \int_{t_{k-1} + \Delta t_{k-1}}^{t_k + \Delta t_k} f_L dt - \int_{t_{k-1} + \Delta t_{k-1}}^{t_k + \Delta t_k} f_R dt \\
 &= f_L (t_k + \Delta t_k - t_{k-1} - \Delta t_{k-1}) - \int_{t_{k-1}}^{t_k} f_T dt \\
 &= (f_L - f_T) (t_k - t_{k-1}) + f_L [D(t_k) - D(t_{k-1})] / C \\
 &= \Delta f \Delta T + f_L [D(t_k) - D(t_{k-1})] / C \dots\dots\dots (2-2)
 \end{aligned}$$

여기서 $D(t_k)$ 는 時刻 t_k 에 있어서의 衛星으로부터 受信機까지의 距離를 意味하며, C 는 光速이다. 上記 積分式에서 f_R 을 f_T 로 置換한 것은 時報사이의 波의 數가 送信이나 受信이나 同一하기 때문이며 f_L 은 時間의 函數가 아니다. (2-2) 式에서 Δf 및 ΔT 가

既知의 常數이므로 N_k 를 헤아리면 距離差를 알 수 있고 時刻 t_{k-1} 및 t_k 에 있어서의 衛星의 位置를 알면 雙曲線인 位置線이 決定된다.

2. 計算 DATA

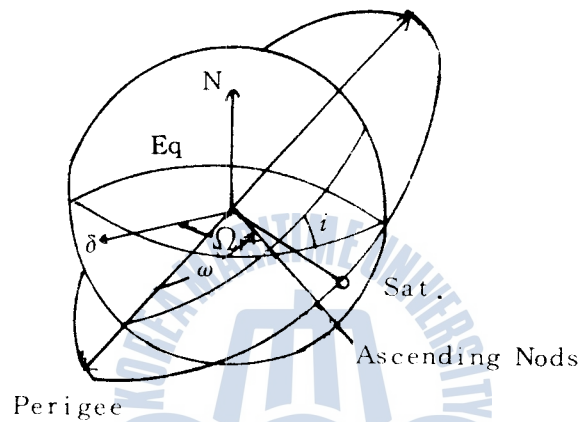


Fig. 2 Ephemerides of Orbit

本 論文에서는 NNSS 船位決定의 시뮬레이션을 위하여 本船의 地位에 가깝게 衛星이 通過하도록 衛星의 軌道要素를 假定하고 每 24 秒 單位로 時刻信號를 發射하는 것으로 했다.

軌道의 6 要素는 Fig. 2 에 나타나 있으며 各各의 要素 및 그 變化量은 表 1 과 같다.

〈表 1〉 衛星의 軌道要 및 變化量

地球의 長半徑 (R)	3443.934	(nm)
衛星軌道離心率 (ϵ)	0.004012	
平均角運動 (n)	3.396226415	(deg/min)
軌道傾斜角 (i)	90	(deg)
昇交點赤經 (Ω)	50	(deg)
近地點引數 (ω)	90	(deg)
離心近點離角變化量 (ΔE_k)	0.0083	(deg)
軌道長半徑 (A)	4,023.9578	(nm)
軌道長半徑變化量 (ΔA)	0.0000613	(nm)
GHA r	3.0	(deg)
地球自轉角速度 (ω_e)	0.25068448	(deg/min)
안테나높이 + 지오이드높이	0.024838	(nm)
近地點引數 變化率 ($\Delta\omega$)	0.000022	(deg/min)

3. 衛星 및 受信點 位置의 直接座標系로의 變換

시뮬레이션을 爲하여 衛星으로부터의 軌道情報를 使用하여 橢圓軌道上 衛星의 位置를 求하고 回轉橢圓體인 地球表面上 船位와 共通된 直交座標系上에 表示하기 爲하여 地球中心을 原點으로 하고 北極方向을 Z軸, 赤道面에서 經度 0度의 方向을 X軸, 經度 90度 E의 方向을 Y軸으로 하는 直交座標系를 設定한다.

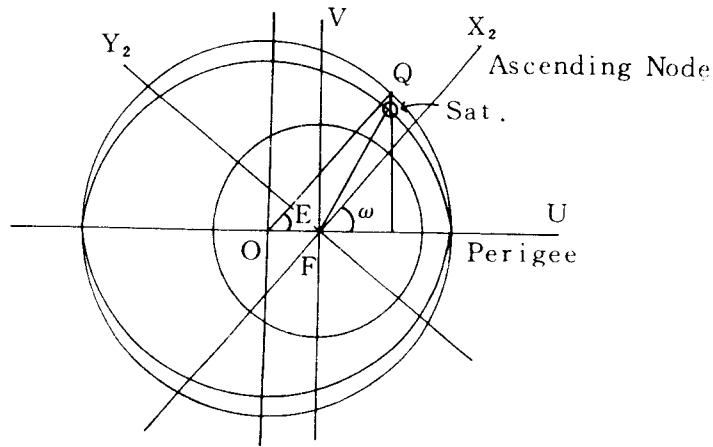


Fig. 3 Coordinates Rotation by ω

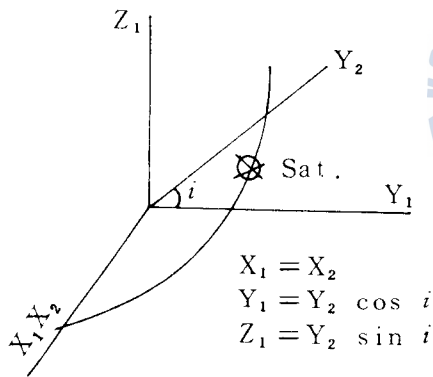
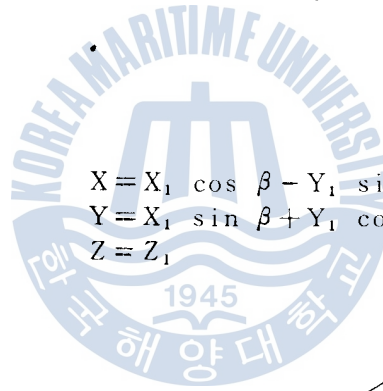


Fig. 4 Coordinates Rotation by i



$$\begin{aligned} X &= X_1 \cos \beta - Y_1 \sin \beta \\ Y &= X_1 \sin \beta + Y_1 \cos \beta \\ Z &= Z_1 \end{aligned}$$

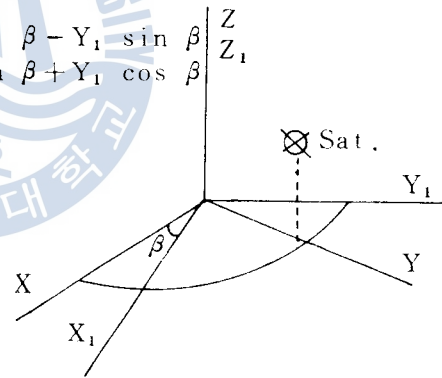


Fig. 5 Coordinates Rotation by β
($=\Omega - \text{GHT } r$)

Fig. 3에서 地球中心 F를 原點으로 하고 近地點方向을 U軸, 이와 直角方向을 V軸이라 하면 軌道橢圓上 衛星의 位置는 다음 (2-3) 式과 같이 表示된다.⁴⁾

$$\left. \begin{aligned} U_k &= A_k (\cos E_k - \varepsilon) \\ V_k &= A_k \sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin E_k \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-3)$$

但, A_k (軌道の 平均長半徑) = $A + \Delta A_k$

E_k (離心近點離角) = $M_k + \varepsilon \sin M_k + \Delta E_k$

ε (離心率)

M_k (平均近點離角) = $n \times \Delta t_k$

U_k 와 V_k 로 表示되는 軌道橢圓上의 衛星의 位置는 昇交點方向 X_2 및 그 直角方向 Y_2 의 2次元座標系로 變換되고 Fig. 4 및 Fig. 5 에 나타나 있는 바와 같이 近地點引數(ω), 軌道傾斜角(i), 昇交點赤經(Ω)을 考慮하여 t_k 時에 上記한 地球座標系의 3要素를 求하면, 衛星의 座標, X_{sk}, Y_{sk}, Z_{sk} 는

$$\left. \begin{aligned} X_{sk} &= X_k \cos \beta_k - Y_k \cos i \sin \beta_k \\ Y_{sk} &= X_k \sin \beta_k - Y_k \cos i \cos \beta_k \\ Z_{sk} &= Y_k \sin i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-4)$$

但, $\beta_k = \Omega_k + \dot{\Omega} \Delta t_k - \text{GHA} \tau - \dot{\omega}_e \Delta t_k$

$X_k = U_k \cos \omega_k + V_k \sin \omega_k$

$Y_k = -U_k \sin \omega_k + V_k \cos \omega_k$

$\omega_k = \omega + \dot{\omega} \times \Delta t_k$

로 나타낼 수 있다.

또, Doppler 測定時의 受信點의 位置는 안테나 및 지오이드의

높이를 考慮하여 X_{nk}, Y_{nk}, Z_{nk} 로 表示한다.

$$\left. \begin{aligned} X_{nk} &= \{ (R^2/D_K) + h \} \cos \varphi_k \cos \lambda_k \\ Y_{nk} &= \{ (R^2/D_K) + h \} \sin \varphi_k \sin \lambda_k \\ Z_{nk} &= \left\{ \frac{R^2 (1-f)^2}{D_K} + h \right\} \sin \varphi_k \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-5)$$

但, $D_K = R \{ \cos^2 \varphi_K + (1-f)^2 \sin^2 \varphi_K \}^{\frac{1}{2}}$

$h =$ 지오이드높이 + 안테나높이

$\varphi_k =$ 受信點의 衛度 (deg)

$\lambda_k =$ 受信點의 經度 (deg)

$R =$ 地球長半徑

$f =$ 地球의 偏平率

地球上 受信點의 移動은 衛星의 移動에 比하여 微小하므로 地球의 偏平率을 無視하고 針路 d (deg), 速力 v (KT) 로 航走한다고 假定하여 $t=0$ 인 位置 (φ_0, λ_0) 를 基準으로 $K=1, 2, \dots\dots$ 일 때의 船位를 求하면,⁵⁾

$$\left. \begin{aligned} \varphi_K &= \varphi_0 + \frac{t_k \cos d}{60} \times \frac{v}{60} \\ \lambda_K &= \lambda_0 + \frac{t_k \sin d}{60} \times \frac{v}{60 \cos \varphi_K} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-6)$$

로 나타낼 수 있다.

4. 衛星과 受信點과의 距離變化의 差

衛星과 受信點間의 Doppler 測定時 距離는 (2-4) 및 (2-5) 式으로부터 다음과 같이 求할 수 있다.

$$S_K = (X_K^2 + Y_K^2 + Z_K^2)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2-7)$$

但, $X_K = X_{sk} - X_{nk}$

$Y_K = Y_{sk} - Y_{nk}$

$Z_K = Z_{sk} - Z_{nk}$

따라서 t 가 (K-1) 부터 K 가 될 때까지의 計算距離 變化는

$$D_{ck} = S_k - S_{k-1} \dots\dots\dots (2-8)$$

가 된다.

또, Doppler Counter 値에 依한 實測距離變化 D_{ok} 는 4)

$$D_{ok} = L_o (N_k - \Delta t \Delta f) \dots\dots\dots (2-9)$$

但, L_o ; 受信機內의 基準發振器의 發振周波數의 波長

Δf ; 受信機의 基準周波數와 送信周波數의 差異

N_k ; (2-1) 式에 依한 積算值

가 된다.

II-2 Doppler 積算值에 依한 船位決定

1. 船位決定

受信時의 眞位置와 推測位置의 經度差를 $\Delta\lambda$, 緯度差를 $\Delta\varphi$ 라 하면 緯度 및 經度の 微少變化量이 各各 Doppler 積算值에 미치는 影響은

$\{(\partial S_k / \partial \varphi) - (\partial S_{k-1} / \partial \varphi)\} \Delta\varphi$ 및 $\{(\partial S_k / \partial \lambda) - (\partial S_{k-1} / \partial \lambda)\} \Delta\lambda$ 가 되며, 따라서 緯도와 經도가 同時에 誤差가 있을 때 t_{k-1} 과 t_k 時間 및 t_k 와 t_{k+1} 時間에 있어서의 위성으로부터 船舶의 眞位置 및 推測位置까지의 距離差 $D_{ok} - D_{ck}$ 는 ¹⁾ 近似的으로

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{\partial S_k}{\partial \varphi} - \frac{\partial S_{k-1}}{\partial \varphi}\right) \Delta\varphi + \left(\frac{\partial S_k}{\partial \lambda} - \frac{\partial S_{k-1}}{\partial \lambda}\right) \Delta\lambda &= D_{ok} - D_{ck} \\ \left(\frac{\partial S_{k+1}}{\partial \varphi} - \frac{\partial S_k}{\partial \varphi}\right) \Delta\varphi + \left(\frac{\partial S_{k+1}}{\partial \lambda} - \frac{\partial S_k}{\partial \lambda}\right) \Delta\lambda &= D_{ok+1} - D_{ck+1} \\ \dots\dots\dots & \end{aligned} \right\} \quad (2-10)$$

로 表示한다.

여기서 $(\partial S_k / \partial \varphi)$ 와 $\partial S_k / \partial \lambda$ 는 대단히 複雜하므로 다음과 같이 (2-7) 式을 強制微分한

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_k}{\partial \varphi} &= \frac{D_k(\Delta t_k, \varphi + 1.0 \times 10^{-8}, \lambda) - D_k(\Delta t_k, \varphi, \lambda)}{1.0 \times 10^{-8}} \\ \frac{\partial S_k}{\partial \lambda} &= \frac{D_k(\Delta t_k, \varphi, \lambda + 1.0 \times 10^{-8}) - D_k(\Delta t_k, \varphi, \lambda)}{1.0 \times 10^{-8}} \\ \dots\dots\dots & \end{aligned} \quad (2-11)$$

을 利用했다.

따라서 (2-10) 式의 係數를 求하는 式은

$$K_1 \Delta\varphi + K_2 \Delta\lambda = K_0 \dots\dots\dots (2-12)$$

$$\text{但, } K_1 = \frac{\partial S_k}{\partial \varphi} - \frac{\partial S_{k-1}}{\partial \varphi}$$

$$K_2 = \frac{\partial S_k}{\partial \lambda} - \frac{\partial S_{k-1}}{\partial \lambda}$$

로 表現되는 2元 1次方程式을 얻을 수 있다. (2-12) 式에 있어서 각각의 Δf 마다의 K_0 값을 이용하여 최소자승법에 의한 最確值를 $\Delta\varphi$ 및 $\Delta\lambda$ 로 求하고,

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_k = \varphi_k + \Delta\varphi \\ \lambda_k = \lambda_k + \Delta\lambda \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2-13)$$

에 依하여 正確한 受信位置를 求할 수 있다.

2. 仰角計算

NNSS에 依한 船位의 精密度는 衛星의 高度(仰角)와 關係가 깊으므로 參考로 衛星의 仰角을 計算하면, Vector 論에서 2個의 線分이 이루는 角 θ 는 다음과 같다.

$$\cos \theta = \frac{(X_s - X_n) X_n + (Y_s - Y_n) Y_n + (Z_s - Z_n) Z_n}{D \cdot R}$$

그러므로 Doppler 測定時의 仰角을 α_k 라 하면,

$$\cos \theta = \cos (\alpha_k + 90^\circ) = \sin \alpha_k \text{ 이므로}$$

$$\alpha_k = \sin^{-1} \left\{ \frac{(X_{sk} - X_{nk}) X_{nk} + (Y_{sk} - Y_{nk}) Y_{nk} + (Z_{sk} - Z_{nk}) Z_{nk}}{D_k \cdot R} \right\}$$

..... (2-14)

로 나타낼 수 있다.



Ⅲ. 오메가 船位決定 시뮬레이션

Ⅲ-1 오메가의 Lane 值 逆算

1. 標準周波數에 依한 Lane number

오메가方式의 標準周波數 (10.2 KHz)를 利用한 地球上 任意의 點에서의 Lane number를 나타내는 式은 다음과 같이 表示될 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \phi^{AC} &= \phi^A - \phi^C + 900 \\ \phi^{AD} &= \phi^A - \phi^D + 900 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3-1)$$

但, $\phi^A = \frac{f \cdot D^A}{V_P}$
 $\phi^C = \frac{f \cdot D^C}{V_P}$
 $\phi^D = \frac{f \cdot D^D}{V_P}$

$f = 10.2 \times 1000 \text{ Hz}$: 標準周波數
 $V_P = 300574 / 1.852$: 平均傳播位相速度 (mile/sec)
 D^A, D^C, D^D : 各各의 오메가 送信局 A, C, D에서 受信點까지의 距離

2. 平均傳播位相速度的 日變化量

傳播位相速度 V_P 는 太陽의 天頂角에 對한 COSINE의 3次函數로 近似시킬 수 있으며,⁶⁾

$$V_p = 161,307.9221 + 464.67043 (\cos X) - 466.61651 (\cos X)^2 + 426.08234 (\cos X)^3 \text{ (mile/sec)} \dots\dots\dots (3-2)$$

이고, (3-2) 式에 對한 計算値는 Fig. 6 과 같다.

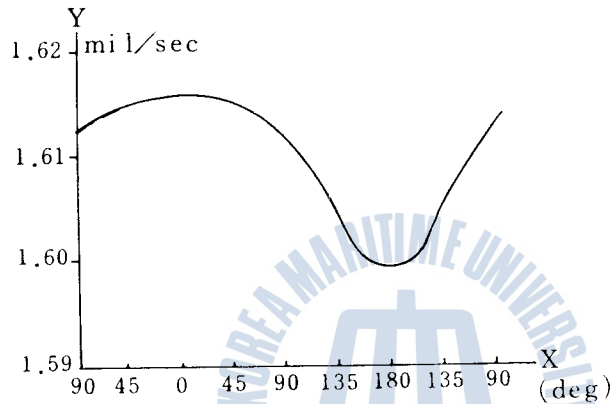


Fig. 6 Phase velocities (V_p) V.S the solar zenith angle

따라서 傳播位相速度 V_p 는 晝間에 가장 크고 夜間에 가장 작 으며, 日出沒時에는 그 사이의 값이 된다. 그러나 本 시뮬레이션에 서는 傳播速度 V_p 를 (3-3) 式으로 近似하였다.⁶⁾

$$V_p = 162296.976 \cdot \cos (MT) \dots\dots\dots (3-3)$$

但, MT : 送受信點의 平均經度에서 平均太陽의 지방시각

3. 傳播經路長의 計算

오메가海圖는 로오란海圖와 마찬가지로 Clarke 의 回轉橢圓體가 地 球의 모양을 正確히 나타낸다는 假定下에 計算되며 回轉橢圓體上의

距離는 Andoyer-Lambert 의 式을 使用하여 計算된다. Andoyer - Lambert 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 여기에 回轉橢圓體에 對한 修正을 加하여 地球上의 距離를 求한다. 即, 地球上의 두 點사이의 距離 D 는 다음의 (3-4) 式으로 表示할 수 있다.⁹⁾

$$D = R_0 (\theta_1 + \theta_2) \dots\dots\dots (3-4)$$

但, R_0 : 地球의 赤道半徑 (6378.206 Km)

θ_1 : 두 點間의 角距離 (rad)

θ_2 : 回轉橢圓體에 對한 修正值 (rad)

두 點間의 角距離 θ_1 은

$$\theta_1 = \cos^{-1} [\sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos (\lambda_2 - \lambda_1)] \dots\dots\dots (3-5)$$

但, λ_1 : 送信局의 經度

λ_2 : 受信局의 經度

φ_1 : 送信局의 緯度

φ_2 : 受信局의 緯度

와 같이 表視된다.

또, 回轉橢圓體에 對한 修正值 θ_2 는 다음 (3-6) 式으로 求해진다.⁷⁾

$$\theta_2 = \frac{f}{4} \left\{ \frac{(3 \sin \theta_1 - \theta_1) (1 + S + C) (1 + S + C)}{1 + \cos \theta_1} - \frac{(3 \sin \theta_1 + \theta_1) (1 - S + C) (1 - S - C)}{1 - \cos \theta_1} \right\} \dots \dots \dots (3-6)$$

但, $f = \frac{1}{295}$ (地球의 偏平率)

$S = \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2$

$C = \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2$

Ⅲ-2 오메가 船位 決定

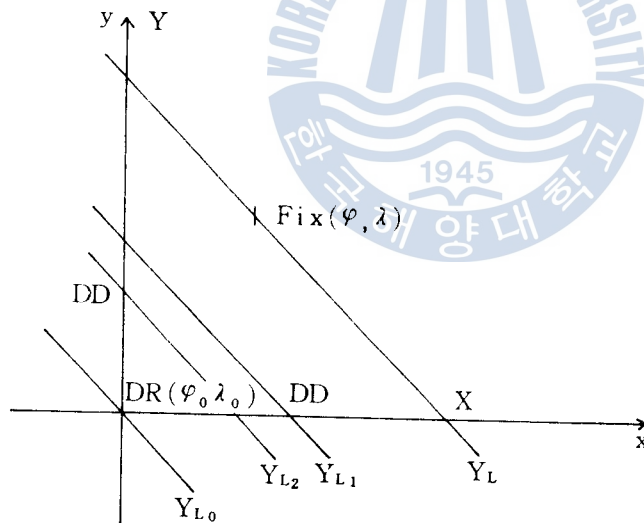


Fig. 7 Finding of Omega Fix

Fig. 7에서 推測位置는 求하고자 하는 點 (Fix) 에 가까이 있다고 할 수 있다. 따라서 그 附近에 있어서는 오메가의 位置線이 平行

이 고 또 平行으로 볼 수 있는 範圍內에서 推測位置를 原點으로 하여 東쪽으로 X軸을, 北쪽으로 Y軸을 定한다.

原點을 지나는 位置線의 Lane 值를 Y_{L0} , 原點으로부터 X軸上的 經度差 X 떨어진 地點을 通하는 位置線의 Lane 值를 Y_L , 微少한 經度差 DD 떨어진 地點을 通過하는 位置線의 Lane 值를 Y_{L1} 이라 하면, 다음의 (3-7)式과 같은 關係가 있다.

$$\frac{X}{DD} = \frac{Y_L - Y_{L0}}{Y_{L1} - Y_{L0}} \dots\dots\dots (3-7)$$

또한, 推測位置로부터 Y軸方向으로 DD 떨어진 地點을 通하는 位置線의 Lane 值를 Y_{L2} , Lane 值 Y_L 인 位置線의 y 截片을 Y라 하면, 다음 (3-8)式의 關係가 있다.

$$\frac{Y}{DD} = \frac{Y_L - Y_{L0}}{Y_{L2} - Y_{L0}} \dots\dots\dots (3-8)$$

따라서 Lane 值 Y_L 인 位置線의 方程式은 (3-9)式으로 表示된다.

$$\begin{aligned} y &= -\frac{Y}{X}x + Y \\ &= \frac{Y_{L1} - Y_{L0}}{Y_{L2} - Y_{L0}}x + \frac{Y_L - Y_{L0}}{Y_{L2} - Y_{L0}} \cdot DD \dots\dots\dots (3-9) \end{aligned}$$

마찬가지로 組局이 다른 LANE NUMBER Y_M 인 位置線의 方程式은 (3-10)式과 같다.

$$y = -\frac{Y_{M1} - Y_{M0}}{Y_{M2} - Y_{M0}}x + \frac{Y_M - Y_{M0}}{Y_{M2} - Y_{M0}} \cdot DD \dots\dots\dots (3-10)$$

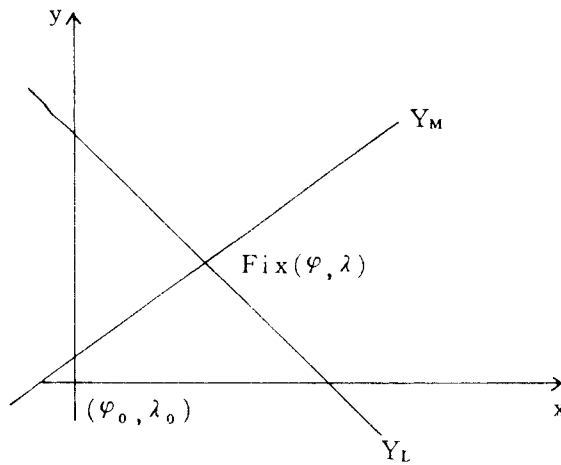


Fig. 8 OMEGA Fix

結局 \$Y_L\$ 과 \$Y_M\$ 과의 交點이 오메가 fix가 되므로 (3-9) 식과 (3-10) 식을 連立하면, 그 解는 다음의 (3-11) 식이 된다.

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{(Y_{L2}-Y_{L0})(Y_M-Y_{M0}) - (Y_L-Y_{L0})(Y_{M2}-Y_{M0})}{(Y_{L2}-Y_{L0})(Y_{M1}-Y_{M0}) - (Y_{L1}-Y_{L0})(Y_{M2}-Y_{M0})} \cdot DD \\ y &= \frac{(Y_L-Y_{L0})(Y_{M1}-Y_{M0}) - (Y_{L1}-Y_{L0})(Y_M-Y_{M0})}{(Y_{L2}-Y_{L0})(Y_{M1}-Y_{M0}) - (Y_{L1}-Y_{L0})(Y_{M2}-Y_{M0})} \cdot DD \end{aligned} \right\} \dots (3-11)$$

그러므로 오메가에 의한 船位에 該當되는 緯度, 經度를 各各 (3-12) 식으로 表示할 수 있다.

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + y \\ \lambda &= \lambda_0 + x \end{aligned} \right\} \dots (3-12)$$

(3-12) 식에 依하여 計算한 船位를 다시 推測位置로 하고, DD

값을 0.0000025 rad (0.009 마일)로 놓고 修正量 x, y 가 DD보다 작아질 때까지 反復計算하여 얻어진 船位를 omega fix로 한다.



IV. 시뮬레이션에 의한 OMEGA-NNSS HYBRID 방식의 評價

1. HYBRID 방식에 의한 船位決定方法

OMEGA-NNSS Hybrid 방식에 의한 船位決定은 오메가 電波의 日變化가 比較的 規則的이고, 짧은 시간 (NNSS Fix 가 求해지는 平均시간 간격) 동안에는 傳播條件이 크게 變化하지 않는다는 假定下에 다음의 순서에 依하여 行하였다.

1) NNSS Fix 를 眞位置와 一致한다고 假定하여, NNSS Fix 를 (3-1) 式을 利用하여 OMEGA Lane 值 (ϕ_T^{AC} , ϕ_T^{AD}) 로 換산한다.

2) NNSS Fix 가 얻어진 時刻에 있어서 測定 또는 시뮬레이션에 依하여 얻어진 Lane 值 (ϕ_S^{AC} , ϕ_S^{AD}) 와 NNSS Fix 로서의 Lane 值 (ϕ_T^{AC} , ϕ_T^{AD}) 를 利用하여 PPC 값 ($\Delta\phi^{AC}$, $\Delta\phi^{AD}$) 를 求한다.

$$\Delta\phi^{AC} = \phi_T^{AC} - \phi_S^{AC}$$

$$\Delta\phi^{AD} = \phi_T^{AD} - \phi_S^{AD}$$

3) 測定 또는 시뮬레이션에 依한 Lane 值에 PPC 값을 수정하여, Hybrid 방식에 依한 Lane 值 (ϕ_H^{AC} , ϕ_H^{AD}) 로 한다.

$$\phi_H^{AC} = \phi_S^{AC} + \Delta\phi^{AC}$$

$$\phi_H^{AD} = \phi_S^{AD} + \Delta\phi^{AD}$$

4) Hybrid 방식에 의한 Lane 値로부터 (Ⅲ-2)에 기술한 방법에 의하여 船位를 計算한다.

2. HYBRID 방식의 評價

實測한 NNSS fix 에는 이온層 및 大氣圈에서의 電波의 屈折, 受信機 局部發振周波數 및 衛星의 送信周波數의 變動, 衛星軌道要素의 誤差等으로 實測한 Doppler 積算値에 誤差가 介入되며, 그 크기를 實測値로부터 평가하면 Doppler 積算値의 0.0002% (σ 値) 임이 確認되었다. 따라서 시뮬레이션에서 이러한 크기의 正規分布를 갖는 誤差를 부여하였다.

한편, 오메가의 平均位相速度는 300,574 km/sec (162296.9762 mile/sec)이며, 晝夜間의 傳播速度의 差는 約 1782 mile/sec 로 報告되어 있다. 오메가의 PPC 값에도 電波의 日變化에 의한 誤差가 包含되므로, 實測에서 確認된 오메가 電波位相速度의 標準最大日變化量인 0.01098 의 1/1500 의 σ 値를 갖는 正規誤差를 挿入하였다.

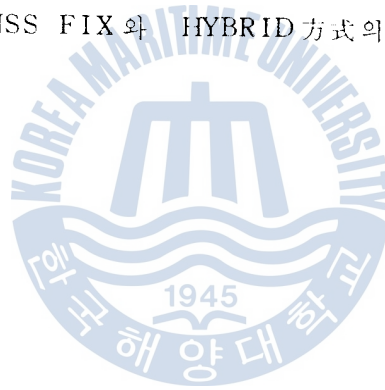
시뮬레이션 結果는 表 2 와 같으며 이 表에 依하면 HYBRID 방식을 取함으로써 오메가船位의 精度의 標準偏差를 3 分の 1 로 縮일 수 있음을 보여 주고 있다.

本 시뮬레이션의 DATA는 推測位置 35° N, 129° E 本船針路 163°, 本船速力 18.5 knots 로 하였으며

①은 各各의 時刻에서 求해진 NNSS Fix

②는 各各의 NNSS Fix 에서의 誤差分布를 mile 로 나타낸 값

- ③은 衛星仰角의 變化狀態를 表示
- ④는 NSSS 에 依한 位置로부터 求해진 Lane 값
- ⑤는 計算된 Lane 값을 오메가傳播補正表를 利用하여 求한 位置
- ⑥은 計算된 Lane 을 HYBRID 방식에 依한 PPC 를 利用하여 求한 船位
- ⑦의 DIST 1 는 NSSS FIX 와 PPC Table 에 依한 船位間의 距離
- ⑧의 DIST 2 는 NSSS FIX 와 HYBRID 방식의 PPC 에 依한 船位間의 距離
를 나타낸다.



〈表 2〉 시뮬레이션에 의한 HYBRID 방식의 精度分析

TIME	0 ^H - 0.0 ^M	1 ^H - 46.0 ^M	-0 ^H - 20.0 ^M
① NNSS FIX	34.99485 N 128.9949 E	34.46102 N 129.1514 E	35.09786 N 128.9675 E
② DEVIATION	0.4834079	3.429830	0.2101832
③ ELEVATION	60.25 ~ 13.64	20.23 ~ 63.53	-7.29 ~ 54.30
④ CALCULATED LANE (A-C/A-D)	911.4602 821.8648	913.6739 822.4151	911.0442 821.7658
⑤ OMEGA 1 FIX	35.00105 N 128.8954 E	34.54636 N 129.1353 E	35.10585 N 128.8680 E
⑥ OMEGA 2 FIX	35.03245 N 129.0202 E	34.48695 N 129.1734 E	35.13723 N 128.9930 E
⑦ DIST 1 (mile) (NNSS-OMEGA1)	4.903502	5.182313	4.907350
⑧ DIST2 (mile) (NNSS-OMEGA2)	0.02576519	1.897495	2.672318

$$\text{DIST 1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}} = 4.999426097$$

$$\text{DIST 2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}} = 1.892303236$$

$$\text{DIST 1/DIST 2} = 2.64$$

V. 實測에 依한 OMEGA-NNSS HYBRID 方式의 評價

V-1 測定時期 및 場所, 機器

1. 測定時期

1985年 3月 26日 GMT 09⁵² 부터 3月 27日 GMT 06⁴⁵ 까지
NSS FIX 가 求해지는 同一時間에 오메가 組局 A-C, A-E 를
測定하였다.

2. 測定場所

韓國海洋大學 實習船 ‘HANBADA’ 沿岸航海中, 巨門島에서 釜
山港으로 航海中에 測定하였다.

3. 測定機器

- ① 오메가 : Model JLA-101K, JRC
- ② NSSS : Model TN-2900J₂, TOKYO KEIKI

V-2 測定値

SAT FIX 와 오메가 Lane 값을 測定한 것은 表 3 과 같고 NSS
FIX 가 求해 질 때 衛星의 高度가 適當치 못한 경우, 船位誤差가
커질 可能性이 있으므로 測定하지 않았으며,

- ①은 NSSS 受信機에서 測定한 經緯度 값 (測定)
- ②는 ①項의 NSSS FIX 가 求해진 時刻에 있어서 오메가

<表 3> 實測에 依한 HYBRID方式의 精度分析, 거문도-부산

3月 GMT	① SAT . FIX	② Ω LANE	③ Ω FIX (PPC TABLE)	④ PPC HYBRID	⑤ Ω FIX (HYBRID)	⑥ DIST	⑦ DIST
	LAT(N) LONG(E)	A-C A-E	LAT(N) LONG(E)	A-C A-E	LAT(N) LONG(E)	(SAT FIX -Ω FIX)	(SAT FIX -HYB FIX)
26日 09 ⁵²	33°59'.29 127°24'.16	906.71 826.00	34°00'.0 127°21'.6	+ 18 - 7	33°59'.29 127°24'.16	2.07	0
10 ⁴⁵	34°02'.12 127°11'.61	905.70 826.08	34°03'.0 127°09'.0	+ 23 0	34°02'.95 127°11'.60	2.40	0.87
11 ²⁵	34°08'.71 127°17'.24	905.98 825.23	34°08'.9 127°16'.1	+ 10 - 2	34°08'.00 127°18'.80	1.40	1.30
12 ³¹	34°12'.03 127°32'.59	906.98 824.52	34°12'.4 127°28'.4	+ 33 - 9	34°12'.23 127°29'.62	3.70	2.60
14 ¹⁹	34°21'.09 127°49'.74	907.73 823.24	34°21'.8 127°46'.2	+ 30 - 4	34°21'.60 127°49'.36	3.21	0.77
15 ¹⁹	34°22'.86 128°06'.53	909.06 822.49	34°22'.7 128°04'.7	+ 13 - 6	34°21'.96 128°08'.60	1.56	1.80
17 ⁰⁵	34°26'.25 128°27'.74	910.56 821.57	34°27'.1 128°24'.3	+ 27 0	34°27'.20 128°26'.68	2.78	1.48
19 ³⁶	34°33'.73 128°47'.53	912.12 820.38	34°35'.6 128°45'.2	+ 26 - 11	34°34'.66 128°48'.20	2.80	1.17
21 ¹⁵	34°58'.12 129°10'.72	912.77 817.79	35°00'.4 129°14'.8	- 11 + 29	34°58'.40 129°17'.00	3.45	4.40
23 ⁴⁵	34°14'.14 129°26'.04	913.02 815.78	35°16'.9 129°27'.8	0 + 29	35°14'.60 129°24'.75	3.19	1.15
27日 00 ¹⁵	34°08'.65 129°21'.81	912.94 816.50	35°11'.7 129°22'.1	+ 5 + 23	35°08'.40 129°20'.90	2.50	0.90
01 ³³	34°53'.84 129°08'.62	912.62 818.23	34°57'.9 129°09'.9	+ 9 + 38	34°55'.60 129°09'.08	4.15	1.70
02 ⁰⁰	34°48'.93 129°04'.61	912.68 818.97	34°50'.7 129°06'.1	- 2 + 19	34°46'.80 129°04'.66	2.20	2.26
02 ³³	34°53'.87 129°05'.44	912.46 818.41	34°56'.2 129°07'.1	0 + 24	34°54'.60 129°05'.55	2.70	0.70
03 ⁰⁹	35°00'.32 129°12'.04	912.46 817.77	35°02'.3 129°12'.1	+ 9 + 17	35°00'.00 129°10'.50	1.95	1.30
04 ¹⁹	35°12'.52 129°22'.83	912.32 816.32	35°16'.2 129°21'.5	+ 27 + 29	35°14'.30 129°21'.50	3.80	2.00
06 ⁴⁵	35°05'.02 129°06'.05	912.31 817.46	35°08'.0 129°06'.3	+ 15 + 25	35°04'.40 129°07'.50	2.95	1.20
標準編差 = $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \epsilon_i^2}{n}}$						2.8469	1.7775

Lane 番號 (測定)

- ③은 ②項의 Lane 값으로 오메가傳播補正表 (PPC Table) 에
依해 求해진 位置 (計算)
- ④는 ①項과 ③項의 位置를 比較하여 NNSS FIX가 求해진
時間마다 오메가 Lane 番號에 依해 計算된 HYBRID 방식
에 依한 값
- ⑤는 ④項의 HYBRID 방식에 依한 값을 修正値로하여 計算
된 HYBRID 방식의 오메가 位置
- ⑥은 ①項과 ③項의 位置사이의 距離
- ⑦은 ①項과 ⑤項의 位置사이의 距離

以上の 17回 觀測에서 얻어진 結果를 <表 3>에 나타내었다.
<表 3>에서 ⑥項과 ⑦項의 各各의 값을 標準偏差 (σ)로 整理하여
比較하면 NNSS FIX를 基準으로 할 때 오메가에 依한 船位의
分散은 2.85 마일인 反面 Hybrid 방식에 依한 船位의 分散은 1
.78 마일이 되어 HYBRID 방식을 採擇하면 船位誤差의 分散은 1.1
마일程度 誤差를 줄일 수 있음이 確認되었다.

VI. 結 論

以上の 시뮬레이션 및 實測을 통한 解析에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 決定된 NNSS 位置를 基準으로 하여 現在 一般的으로 使用되고 있는 Omega Propagation Table (오메가 傳播補正表)을 利用하여 求한 船位와 OMEGA-NNSS HYBRID 方式에 依한 船位를 比較, 檢討한 結果 OMEGA-NNSS HYBRID 方式을 利用하여 얻어진 船位가 既存의 表를 利用한 方式보다 船位の 標準偏差에 있어 $1/2 \sim 1/3$ 減少됨을 確認하였다.
- 2) 따라서 OMEGA-NNSS HYBRID 方式을 利用하면 任意의 時間에 比較的 正確한 船位를 求할 수 있음을 立證하였다. 그러나 本 研究에서는 時間의 經過에 따른 PPC 값의 變化는 考慮하지 않았으므로 NNSS FIX를 얻은 時刻으로부터 時間이 經過할수록 船位誤差는 커지게 되나 電波傳播速度의 變動이 比較的 느린 日變化 및 PCA (極冠吸收, Polar Cap Absorption)의 狀況에서는 相當히 有效할 것으로 思料된다. 다만, SID (突然電離層攪亂, Sudden Ionospheric Disturbance)의 경우에는 그 影響의 持續時間이 50分 程度이므로 이러한 狀況하에서는 特別한 注意가 必要할 것이다.

- 3) 앞으로 OMEGA-NNSS HYBRID 방식에 對한 精密한 評價를 위해서는 보다 精密한 電波傳播 Model 을 利用한 시뮬레이션 및 많은 實測을 통하여 다각적인 검토가 行해져야 할 것으로 思料된다.



參 考 文 獻

1. 鄭世謨, '電波航法' 韓國海洋大學 海事圖書出版部,
pp.210 ~ 260 (1980)
2. Routledge & Kegan Paul, 'Marine electronic navigation'
S.F. Appleyard, London, pp. 130 ~ 206 (1980)
3. FURUNO ELECTRIC Co., LTD, FURUNO OPERATOR'S MANUAL,
SATELLITE NAVIGATOR MODE FSN-70, NISHINOMIYA,
JAPAN (1984)
4. 日本運輸省 船員局, 'NNSS 航法' 東京プリント, pp.49 ~ 53
(1973)
5. 梁昌珍, 'NNSS 船位誤差의 偏差를 利用한 速度誤差消法에 關
한 研究', 韓國海學會誌 第4卷 第1號, pp.4 ~ 6 (1980)
6. 金東一, 오메가電波의 位相豫測에 關한 研究' 韓國航海學會誌
第1卷 第1號, pp. 11 ~ 12 (1977)
7. 金東一, '오메가波 傳播補正의 精度에 關한 研究' 韓國海洋
大學 論文集(自然科學編), pp. 160 ~ 161 (1979)
8. OMEGA PROPAGATION TABLES (AREA 09 STATION A,C,D),
DMAHC (1974)
9. 오메가 航法編輯委員會, 오메가 航法, 鶴卷書房, 東京, pp. 141 ~ 149
(1958)

UMOS/D E004 FORTRAN VOL/L05 -760101- 85.06.11 PAGE 0001

SOURCE STATEMENT

```

PROGRAM FOR COMPARING HYBRID SYSTEM AND PPC TABLE
DOUBLE PRECISION TLT,TLN,TIME,DRPPO,DR000,CO,SPD,GMT0,STLAT
DOUBLE PRECISION STLON,RLTT,RLNN,GMT,CLAN,TIM,OMELT,OMELN,OMELN,PHAIS
DOUBLE PRECISION OMLT,OMLN,OLT,OLN,SIL1,SILA2,SIL02,SIG1,ISIG2,
RAD,PAI,CORD,DRLT,DRLN,PCS,PPCS
DIMENSION PC(3),PCC(2),D(3),CLAN(2),TLT(3),TLN(3),PHAIS(3),PCS(2)
1,PPCS(3)
COMMON IPPC(3,25)
RAD(M.X)=(FLOAT(M0+X/60.)*PAI/180.0
PAI=3.14159265359D00
READ(7,101)((IPPC(I,J),J=1.25),I=1,3)
FORMAT(1615)
WRITE(8,197)
FORMAT(1H,'PPC VALUES OF STATION A,C,D')
WRITE(8,198)((IPPC(I,J),J=1.25),I=1,3)

```

L01

L97

```

PANAFACOM UMOS/D E004 FORTRAN VOL/L05 -760101- 85.06.11 PAGE 0001
ISN STNO. SOURCE STATEMENT
C PROGRAM FOR COMPARING HYBRID SYSTEM AND PPC TABLE
1 DOUBLE PRECISION TLT, TLN, TIME, DRPP0, DR000, CO, SPD, GMT0, STLAT
2 DOUBLE PRECISION STLON, RLTT, RLNN, GMT, CLAN, TIM, OMELT, OMELN, OMELN, PHAIS
3 DOUBLE PRECISION OMLT, OMLN, OLT, OLN, SIL1, SILA2, SIL02, SIG1, ISIG2,
RAD, PAI, CORD, DRLT, DRLN, PCS, PPCS
4 DIMENSION PC(3), PCC(2), D(3), CLAN(2), TLT(3), TLN(3), PHAIS(3), PCS(2)
1, PPCS(3)
5 COMMON IPPC(3,25)
6 RAD(M,X)=(FLOAT(M0+X/60.))*PAI/180.0
7 PAI=3.14159265359D00
8 READ(7,101) ((IPPC(I,J),J=1.25),I=1,3)
9 101 FORMAT(1615)
10 WRITE(8,197)
11 197 FORMAT(1H,'PPC VALUES OF STATION A,C,D')
12 WRITE(8,198) ((IPPC(I,J),J=1.25),I=1,3)

```

```

13      198  FORMAT(1615)
14      WRITE(8,199)
15      199  FORMAT(1H, 'SATION NUMBER LATITUDE LONGITUDE')
16      DO 1 I=1,3
17      READ(7,102) MM,TLAT,NN,TLON,ISM
C      WHEN ISM IS 1,2,3 RESPECTIVELY THE STATION NAME IS A,C,D
      RESPECTIVELY.
18      102  FORMAT(2(15,F10,3),15)
19      WRITE(8,200) ISM,MM,TLAT,NN,TLON
20      200  FORMAT(1H,6X,12,2(6X,14,F5,1))
21      J-ISM
22      TLT(J)=RAD(MM,TLAT)
23      1  TLN(J)=RAD(NN,TLON)
24      DO 10 KKK=1,3
25      TIME=FLOAT(KKK-1)*106.0
26      IF(KKK.EQ.3)  TIME=-20.0
27      READ(7,103) DRPPO,DR000,CO,SPD

```

```

28      FORMAT(4F10.0)
29      CALL  NNSSF(CO,SPD,TIME,DRPPO,DR000,STLAT,STLON)
30      WRITE(8,205) DRPPO,DR000,CO,SPD
31      FORMAT(10X,'DRLAT',F10,3,2X,'DRLONG',F10,3,2X,'COURSE',F10,3,2X,
1'SPEED',F10,3)
32      RLTT=STLAT*PAI/180.0
33      RLNN=STLON*PAI/180.0
34      IF(KKK,NE,1) GO TO 55
35      RLTT0=RLTT
36      RLNN0=RLNN
37      55  CONTINUE
38      GMT=TIME/60.0
39      CALL  MLOP(GMT,RLTT,RLNN,CO,SPD,CLAN,TLT,TLN,PHAIS)
40      WRITE(8,202(  CLAN(1),CLAN(2)
41      FORMAT(10X,'CLAN(1)=' ,E18,7,5X,'CLAN(2)=' ,E18.7)
42      CORD=CO*PAI/180.0

```



```

43      DRPP=DRPP0*PAI/180.0
44      DR00=DR000*PAI/180.0
45      CALL DRP(DRPP,DR00,CORD,SPD,TIME,DRLT,DRLN)
46      DO 22 I=1,2
47          LL=IDINT(GMT)
48          TLM=(GMT-FLOAT(LL))*60.0
49          IF(KKK.NE.1) GO TO 66
50          CALL PPCST(TLT,TLN,RLTTO,RLNNO,PHAIS,PPCS)
51          PCS(1)=PPCS(1)-PPCS(2)
52          PCS(2)=PPCS(1)-PPCS(3)
53      66  CONTINUE
54      CALL FIX(I,LL,TIM,DRLT,DRLN,CLAN,RLTT,RLNN,JJ,OMLT,KK,OMLN,1TLT,
        TLN,PHAIS,PCS)
55      WRITE(8,206) I,LL,TIM,JJ,OMLT,KK,OMLN
56      FORMAT(1H,2I5,F10.3,2(I5,F10,4)
57          OLT=(FLOAT(JJ)+OMLT)/60.0)

```

```

58      OLN=(FLOAT(KK)+OMLN/60.0)
59      WRITE(8,208) I,OLT,OLN,STLAT,STLON
60      208  FORMAT(1H,15,2X,'OMELAT',E15.7,2X,'OMELONG',E15.7,3X,1'STLAT',
           E15.7,2X,'STLON',E15.7)
61      IF(I.EQ.2) GO TO 21
62      SILA1=(STLAT-OLT)*60.0
63      SIL01=(STLON-OLN)*60.0
64      GO TO 22
65      21  SILA2=(STLAT-OLT)*60.0
66      SIL02=(STLON-OLN)*60.0
67      22  CONTINUE
68      WRITE(8,209)
69      209  FORMAT(5X, ' I=1:FIX BY PPC TABLE I=2:FIX BY HYBRID SYSTEM' )
70      SIG1=DSQRT(SILA1**2+(SIL01*DCOS(STLAT*PAI/180.0))**2)
71      SIG2=DSQRT(SILA2**2+(SIL02*DCOS(STLAT*PAI/180.0))**2)
72      WRITE(8,207) SILA1,SIL01,SILA2,SIL02,SIG1,SIG2

```



73 207 FORMAT(5X,6E17.7////)
74 10 CONTINUE
75 STOP
76 END



```

ISN  STNO.  SOURCE STATEMENT
1      C      SUBROUTINE NNSSF(CO,SPD,TIME,PPC,QQQ,APP,AQQ)
      C      CO:SHIPS COURSE(DEG) SPD:SHIPS SPEED(KNOT)
      C      PR: LATITUDE OF SHIP  QQ: LONGITUDE OF SHIP
      C      DT: DOPPLER RECEIVING TIME COUNTED FROM PERIGEE TIME
      C      TIMEIGMT IN MINUTES
      C      APP:TRUE LATITUDE
      C      AQQ:TRUE LONGITUDE
      C
2      C      DOUBLE PRECISION SPD,A,C,DA,DE,DT,E,EE,DDDPP,DDDQQ,DOP,DIST,
      C      1U,V,W,X,Y,XS,YS,ZS,XN,XSN,YN,YSN,ZN,ZSN,R,DR,DW,AG,WE,RE,PP,QQ,RO,
      C      2EL,ELEV,CO,RAD,DDT,B,APP,AQQ,PPO,QQQ
      C      DOUBLE PRECISION DPP,PQQ,D1,D2,D3,WW,G,AVEX,AVEY,PX,QY,DDEV,RDIST,
      C      1EUIST,S,CCO,SB8,DPD,QQD,DAI,DEG,PPPP,QQQQ,DDIST,IX,IY,TIME,DOPI,DO
      C      2P2,DIST1,DIST2,RV,RP
      C      DIMENSION S(2,3),PX(30),QY(30)
      C
5      C      E(DT)=C*DT+FF*DSIN(C*DT)+DE
      C      CENTRAL ANGLE FROM PERIGEE
6      C      U(DT)=A*(DCOS(E(DT))-EE)
7      C      V(DT)=A*DSQRT(1-EE**2)*DSIN(E(DT))
      C      CART COORDINATE OF SATELLITE
8      C      W(DT)=W*W-DABS(DW)*DT
9      C      S(DT)=(R+DR*DT)-AG-WF*DT
      C
10     C      X(DT)=U(DT)*DCOS(W(DT))-V(DT)*DSIN(W(DT))
11     C      Y(DT)=U(DT)*DSIN(W(DT))+V(DT)*DCOS(W(DT))
      C
12     C      XS(DT)=X(DT)*DCOS(S(DT))-Y(DT)*F*DSIN(S(DT))
13     C      YS(DT)=X(DT)*PSIN(S(DT))+Y(DT)*F*DCOS(S(DT))
14     C      ZS(DT)=Y(DT)+C.99991
      C      RECTANGULAR COORDINATE OF SATELLITE.
15     C      RE(PP)=DSQRT(DCOS(PP)**2+0.99999*DSIN(PP)**2)*RO
      C
16     C      XN(PP,Q)= (RO*(1/RE(PP)+H)*DCOS(PP)*DCOS(QQ)

```



```

17 YN(PP,00)=(RO**2/RE(PP)+H)*DCOS(PP)*DSIN(00)
18 ZN(PP)=(RO**2*0.99999/RE(PP)+H)*DSIN(PP)
    CALCULATION OF RECEIVING POSITION
19 C
20 XSN(DT,PP,00)=XS(DT)-XN(PP,00)
21 YSN(DT,PP,00)=YS(DT)-YN(PP,00)
22 ZSN(DT,PP)=ZS(DT)-ZN(PP)
23 C
24 DIST(DT,PP,00)=DSQRT(XSN(DT,PP,00)**2+YSN(DT,PP,00)**2+ZSN(DT,PP)*
1*2)
25 C
26 DOPPLER COUNT DISTANCE BETWEEN SAT AND RECEIVER
27 DDD00(DT,PP,00)=(DIST(DT,PP,00)+1.0D-8)-DIST(DT,PP,00))/1.0D-8
    DDDPP(DT,PP,00)=(DIST(DT,PP+1.0D-8,00)-DIST(DT,PP,00))/1.0D-8
28 C
29 RDIST(PP,00)=DSQRT(XN(PP,00)**2+YN(PP,00)**2+ZN(PP)**2)
    EDIST(DT,PP,00)=(XSN(DT,PP,00)*XN(PP,00)+YSN(DT,PP,00)*YN(PP,00)+Z
1SN(DT,PP)*ZN(PP))/(DIST(DT,PP,00)*RDIST(PP,00))
    EL(DT,PP,00)=DATAN(EDIST(DT,PP,00) / DSQRT(1.-EDIST(DT,PP,00)**2)
1)
30 C
31 RAD(PP)=PP/180.0*3.14159265359D 00
    DEG(PP)=PP*180.0/3.14159265359D 00
32 C
33 DOP(D2,D1,DDT)=32000.0*DDT*60.0+4.0/2.99987*(D2-D1)*1852.0
34 DIST(DOP,DDT)=(DOP-32000.0*DDT*60.0)*2.99987/4.0 /1852.0
35 C
36 B=SPD
    PAI=3.14159265359D 00
    DE=0.0083
    DELTA EK
37 DA=0.0000613
    DFLTA AK
    C=3.396226415
    MEAN MOTION (DEG/MIN)
    WW=90.
    ARGUMENT OF PERGEE

```

38 DW=0.000022
 C DELTA W
 39 R=50.
 C ASCENDING NODE (DEG)
 40 F=0.999996
 C COSINE I
 41 AGO=3.0
 C GHA ARIES (DEG)
 42 H=0.024838
 C GEOID PLUS ANTENNA HEIGHT (NAUTICAL MILE)
 43 WE=0.25068448D 00
 C ANGULAR VELOCITY OF REVOLUTION (DEG/MIN)
 44 RO=3443.234
 C MAJOR-SEMI DIAMETER ON EQUARITER (NAUTICAL MILE)
 45 EE=0.004012
 C ECENTRICITY
 46 A=4023.9578
 C SEMI-MAJOR AXIS (NAUTICAL MILE)
 47 A=A+DA
 48 WW=RAD(WW)
 49 DW=RAD(DW)
 50 WE=RAD(WE)
 51 DR=RAD(DR)
 52 R=RAD(R)
 53 C=RAD(C)
 54 DE=RAD(DE)
 C
 55 IX=200
 56 IY=0
 57 AVEX=0.
 58 AVEY=0.
 59 DDEV=0.
 60 CO=RAD(CO)
 C
 61 L=30
 62 DO 1000 K=1,L

```

63 DT=TIME+DFLOAT(K)*0.4
64 AGD=AGO+DT*0.25
65 AG=RAD(AGD)
C
66 PP=PPO+DCOS(CO)*B/60.0/60.0*DT
67 PP=RAD(PP)
68 QQ=QQQ+DSIN(CO)*B/60.0/60.0*DT /DCOS(PP)
69 QQ=RAD(QQ)
C
70 DDT=0.4
71 DPP=RAD(DCOS(CO)*B/60.0/60.0*DDT)
72 DQQ=RAD(DSIN(CO)*B/ 60.0/60.0*DDT/DCOS(PP))
C
73 ELEV= EL(DT,PP,QQ)*180.0/PI
74 D1=DIST(DT-DDT,PP-DPP,QQ-DQQ)
75 D2=DIST(DT,PP,QQ)
76 D3=DIST(DT+DDT,PP+DPP,QQ+DQQ)
C
77 DOP1=DOP(D2,D1,DDT)
78 DOP2=DOP(D3,D2,DDT)
C
79 SN=DOP1*0.000002
80 CALL NORRNS(0.0,SN,IX,IY,RY)
81 DOP1=DOP1+RY
82 SN=DOP2*0.000002
83 CALL NORRNS(0.0,SN,IX,IY,RY)
84 DOP2=DOP2+RY
85 DIST1=DDIST(DOP1,DDT)
86 DIST2=DDIST(DOP2,DDT)
C
87 20 CONTINUE
88 G(1,1)=DDPPP(DT,PP,QQ)-DDPPP(DT-DDT,PP-DPP,QQ-DQQ)
89 G(1,2)=DDDDQQ(DT,PP,QQ)-DDDDQQ(DT-DDT,PP-DPP,QQ-DQQ)
90 G(2,1)=DDDDPP(DT+DDT,PP+DPP,QQ+DQQ)-DDDDPP(DT,PP,QQ)
91 G(2,2)=DDCCQQ(NT+DDT,PP+DPP,QQ+DQQ)-DDCCQQ(DT,PP,QQ)
92 G(1,3)=DIST1-(DIST(DT,PP,QQ)-DIST(DT-DDT,PP-DPP,QQ-DQQ))

```

```

93      G(2,3)=DIST2-(DIST(DT+DDT,PP+DPP,QQ+DQQ)-DIST(DT,PP,QQ))
C
94      CALL GAUFLD(G,2,2,3,1,0D-20,I,LL)
95      IF(I,LL)3,10,3
96      3 WRITE(4,222)I,LL
97      222 FORMAT(1F,5Y,'I,LL',I10)
98      10 CONTINUE
C
99      QQ=QQ+G(2,3)
100     PP=PP+G(1,3)
101     IF((G(1,3)**2+G(2,3)**2).LT.1.0D-15) GO TO 30
102     50 TO 20
C
103     30 PP=DEC(PP)
104     QQ=DEC(QQ)
105     DS=PP-DCOS(CO)*R/60.0/60.0*DT
106     DS=QQ-DSIN(CO)*R/60.0/60.0*DT/DCOS(RAD(PP))
107     PX(K)=(PP-DSO)*60.0
108     QY(K)=(QQ-DSO)*60.0
C
109     AVEY=AVEY+PY(K)
110     AVEY=AVEY+QY(K)
111     1000 CONTINUE
112     RL=L
113     AVFX=AVFX/PL
114     AVEY=AVEY/RL
115     RP=RAH(PP)
116     DO 6 M=1,L
117     DDEV=DDEV+(AVEY-PX(M)**2+((AVEY-QY(M))/DCOS(RP))**2)
118     6 CONTINUE
119     DDEV=DSORT(DDEV)/RL
C
120     APP=AVEY/60.+DPO+DCOS(CO)*R/60.0/60.0*TIME
121     AGO=AVEY/60.+GCO+OSIN(CO)*R/60.0/60.0*TIME/DCOS(RAD(PP))
122     CO=DEC(CO)
123     WRITE(5,100) TIME,DDEV,APP,AGO

```



```

124 203 FORMAT( 5X,'TIME',F8.2,4X,'DEVIATION',E15.7,4X,'LAT',E15.7,
125 13X,'LONG',E15.7)
126 RETURN
      END

1 SUBROUTINE MLOP(GMT,RLTO,RLNO,CO,SPD,CLAN,TLT,TLN,PHAI)
2 DOUBLE PRECISION GMT,RLTO,RLNO,CO,SPD,PAI,F,VPO,DRLT,
1DRLN,ALONG1,TLN,BLONG,BBLN,T,TRAD,CAY,CORD,VP,PHAI,CLAN
2,RK,ALPHA,D
3 DIMENSION D(3),PHAI(3),DFLN(3),T(3),TRAD(3),VP(3),CLAN(2)
4 DIMENSION BBLN(3),IWE(3),TLT(3),TLN(3)
5 PAI=3.1415926
6 F=10.2*1000.0
7 VPO=300574.0/1.852
8 CORD=CO*PAI/180.0
9 CALL DRP(RLTO,RLNO,CORD,SPD,GMT,DRLT,DRLN)
10 IXX=150
11 IYY=0
12 DO 1 I=1,3
13 ALONG1=TLN(I)
14 CALL MLONG(ALONG1,DRLN,BLONG,IWE)
15 IWE(I)=IWE
16 BBLN(I)=BLONG
17 DO 5 J=1,3
18 IF(IWE(J).LT.0) GO TO 3
19 T(J)=GMT+BBLN(J)/(15.0*PAI/180.0)
20 GO TO 4
21 T(J)=GMT-BBLN(J)/(15.0*PAI/180.0)
22 CONTINUE
23 TRAD(J)=T(J)*15.0*PAI/180.0
24 CAY=0.00015
25 RK=CAY/30.0
26 RKK=RK
27 CALL NORRNS(0.0,RKK,IXX,IYY,ALP)
28 ALPHA=ALP

```

```

29 5 VP(J)=VPO*(1.0-CAY*DCOS(TRAD(J))+ALPHA)
30 CALL DIST(TLT,TLN,DRLT,DRLN,D)
31 DO 55 J=1,3
32 PHAI(J)=F*D(J)/VP(J)
33 CLAN(1)=PHAI(1)-PHAI(2)+900.0
34 CLAN(2)=PHAI(1)-PHAI(3)+900.0
35 RETURN
36 END

C
1 SUBROUTINE MLONG(ALN1,ALN2,BLONG,IWE)
2 EAST LONG +, WEST LONG -
3 DOUBLE PRECISION ALN1,ALN2,ALONG1,ALONG2,PAI,BLONG
4 PAI=3.1415926
5 ALONG1=ALN1*180.0/PAI
6 ALONG2=ALN2*180.0/PAI
7 IF(ALONG1*ALONG2<0.0) 10,20,20
8 BLONG=(ALONG1+ALONG2)/2.0
9 GO TO 30
10 IF(DABS(ALONG1)+DABS(ALONG2).LT.180.0) GO TO 20
11 BLONG=(180.0-DABS(ALONG1+ALONG2)/2.0)
12 IF(DABS(ALONG1)-DABS(ALONG2).LT.0.) GO TO 80
13 BLONG=DSIGN(BLONG,ALONG2)
14 GO TO 30
15 BLONG=DSIGN(BLONG,ALONG1)
16 CONTINUE
17 IF(BLONG) 40,40,50
18 IWE=-1
19 GO TO 60
20 IWE=1
21 CONTINUE
22 BLONG=DABS(BLONG)*PAI/180.0
23 RETURN
24 END

```

```

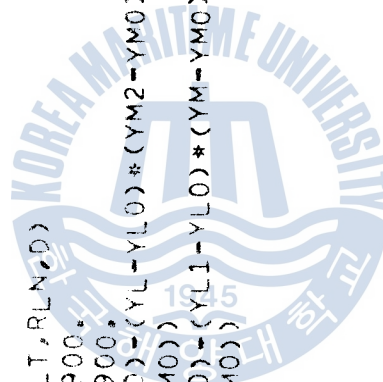
1  SUBROUTINE FIX(I,LL,TIME,RLTT,RLNN,OLAN,SLTT,SLNN,JJ,OMLT,KK,OMLN,
2  DOUBLE PRECISION TAD,OMOD,WL,RLN,RLT,RLNN,RLTT,TIM,TIME,PC,PCC,
3  1YL,YM,OLAN,DD,TLT,TLN,YLO,YMO,D,YL1,YM1,YL2,YM2,X,Y,OMELT,OMELN,
4  1XX,YY,OMLT,OMLN
5  DOUBLE PRECISION GSLT,GSLN,PHAIS,PPCS,DD,DRLT,DRLN,SLTT,SLNN
6  DIMENSION D(3),OLAN(2),PC(3),PCC(2),PPCS(3),TLT(3),TLN(3),PHAIS(3)
7  1,PCS(2)
8  COMMON IPPC(3,25)
9  I=1:FIX BY PPC TABLE
10 I=2:FIX BY HYBRID SYSTEM
11 TAD(M,X)=FLOAT(M)+X/60.0D 00
12 OMOD(X,Y)=X-IDINT(X/Y)*Y
13 WL=162296.9762/10200.0
14 WL IS WAVE LENGTH OF OMEGA RADIO WAVE ON CHART VALUE IN MILES.
15 RLN=RLNN
16 RLT=RLTT
17 TIM=TAD(LL,TIME)+0.5
18 ITM=IDINT(TIM+1)
19 IF(I.EQ.2) GO TO 2
20 PPC VALUES BY PPC TABLES
21 CALL PPCTB(ITM,PC)
22 PCC(1)=PC(1)-PC(2)
23 PCC(2)=PC(1)-PC(3)
24 GO TO 3
25 PPC VALUES BY NNSS-OMEGA HYRRID SYSTEM.
26 PCC(1)=PCS(1)
27 PCC(2)=PCS(2)
28 CONTINUE
29 DETERMINE THE OMEGA FIX.
30 YL=OLAN(1)-PCC(1)

```

```

22  YM=OLAN(2X)PCC(2)
23  DD=0.000002 5
24  CALL DIST(TLT,TLN,RLT,RLN,D)
25  YL0=(D(1)-D(2))/WL+900.
26  YM0=(D(1)-D(3))/WL+900.
27  RLN=RLNN+DD
28  RLT=RLTT
29  CALL DIST(TLT,TLN,RLT,RLN,D)
30  YL1=(D(1)-D(2))/WL+900.
31  YM1=(D(1)-D(3))/WL+900.
32  RLT=RLTT+DD
33  RLN=RLNN
34  CALL DIST(TLT,TLN,RLT,RLN,D)
35  YL2=(D(1)-D(2))/WL+900.
36  YM2=(D(1)-D(3))/WL+900.
37  X=(YL2-YL0)*(YM-YM0)-(YL-YL0)*(YM2-YM0)*DD/((YL2-YL0)*(YM1-YM0)
1  -(YL1-YL0)*(YM2-YM0))
38  Y=((YL-YL0)*(YM1-YM0)-(YL1-YL0)*(YM-YM0))*DD/((YL2-YL0)*(YM1-YM0)
1  -(YL1-YL0)*(YM2-YM0))
39  RLN=RLNN+X
40  RLT=RLTT+Y
41  RLNN=RLN
42  RLTT=RLT
43  IF(X.GT.0D) GO TO 4
44  IF(Y.GT.0D) GO TO 4
45  OMELT=PLT
46  OMELN=PLN
47  XX=OMELT*180./3.14159
48  YY=OMELN*180./3.14159
49  JJ=IDINT(XX)
50  KK=IDINT(YY)
51  OMLT=OMOD(XX,1.0D 00)*60.0
52  OMLN=OMOD(YY,1.0D 00)*60.0
53  RETURN
54  END

```




```

1 SUBROUTINE PPCTB(ITM,PC)
2 DOUBLE PRECISION PC
3 DIMENSION PC(3)
4 COMMON IPPC(3,25)
5 C K IS A STATION NUMBER. K=1;STATION A, K=2;STATION C,K=3;STATION D.
6 C ITM IS THE NEAREST INTEGER OF OBSERVING TIME IN PLUS ONE.
7 DO 5 K=1,3
8 M=IPPC(K,ITM)
9 5 PC(K)=FLOAT(M)/100.0
RETURN
END

1 SUBROUTINE PPCST(TLT,TLN,GSLT,GSLN,PHAIS,PPC)
2 DOUBLE PRECISION TLT,TLN,GSLT,GSLN,PHAIS,PPC
3 DIMENSION TLT(3),TLN(3),PHAIT(3),PHAIS(3),D(3),PPC(3)
4 F=10.2*1000.0
5 VPO=300574.0/1.852
6 CALL DIST(TLT,TLN,GSLT,GSLN,D)
7 DO 5 I=1,3
8 PHAIT(I)=F*D(I)/VPO
9 5 PPC(I)=PHAIT(I)-PHAIS(I)
RETURN
END

1 SUBROUTINE DIST(TLT,TLN,RLT,RLN,D)
2 DOUBLE PRECISION TLT,TLN,RLT,RLN,D
3 DIMENSION TLT(3),TLN(3),THETA(2),D(3)
4 DO 1 I=1,3
5 DK=DSIN(TLT(I))*DSIN(RLT)+DCOS(TLT(I))*DCOS(RLT)*DCOS(TLN(I)-RLN)
6 THETA(1)=DATAN(DSQRT(1.-DK*DK)/DK)
7 X=THETA(1)
8 S=DSIN(TLT(I))*DSIN(RLT)
9 C=DCOS(TLT(I))*DCOS(RLT)
10 THETA(2)=((3.*DSIN(X)-X)*(1.+S+C)*(1.+S-C)/(1.+DCOS(X))-((3.*DSIN

```

```

11 1(X)+X)*(1.-S+C)*(1.-S-C)/(1.-DCOS(X))/(295.*4.)
12 1 D(I)=(X+THETA(2))*6378.206/1.852
13 RETURN
END

1  SUBROUTINE DRP(DRLTO,DRLNO,CO,SPD,TIME,DRLT,DRLN)
2  DOUBLE PRECISION DRLTO,DRLNO,CO,SPD,TIME,DRLT,DRLN,PAI
3  PAI=3.1415926
4  DRLT=DRLTO+DCOS(CO)*SPD/60.0/60.0*TIME*PAI/180.0
5  DRLN=DRLNO+DSIN(CO)*SPD/60.0/60.0*TIME/DCOS(DRLT)*PAI/180.0
6  RETURN
7  END

```

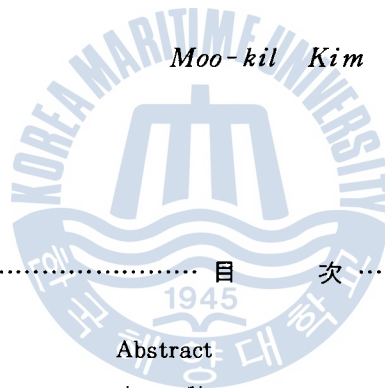


Ca-Si合金을 添加한 Al, Al-Zn 및 Al-Zn-In系 合金의 流電陽極 特性에 관한 研究

金 武 吉

A Study on the Galvanic Anode Characteristics
of Al, Al-Zn and Al-Zn-In Alloys Added
Ca-Si Alloy

Moo-kil Kim



目 次

Abstract

1. 序 論
2. 試料陽極과 實驗方法
 - 2.1 試料 및 試驗片
 - 2.2 實驗裝置와 試驗方法
3. 實驗結果와 考察
 - 3.1 10 日間の 短期陽極性能
 - 3.2 55 日間の 長期陽極性能
3. 結 論
- 參考文獻