

人工衛星航法の 現況과 展望

(TRANSIT 航法을 중심으로)

鄭 世 謨*

1. 序 言

언제 어디서나 自身の 位置를 正確히 알고져 하는 航海者의 努力은 호오머가 오뎃세이에서 보여 준 유리시이즈의 彷徨이래로 꾸준히 계속되어 왔으며, 今世紀에 들어와서 電波航法の 發達에 힘입어 이 오랜 宿願이 거의 이루어지기에 이르렀다. 特히 最近 人工衛星의 航海에의 應用은 이러한 人類의 夢의 完備한 實現에 注目할만한 可能性을 보여주고 있다.

航海用 人工衛星에 關한 計劃은 크게 나누면 美空軍이 主動이 되어 研究하고 있는 NAVSTAR計劃, IMCO가 主管하고 있는 INMARSAT計劃 및 美海軍이 主管하는 TRANSIT計劃 등을 들 수 있으나, 前二者는 아직 計劃의 단계를 벗어나지 못하고 있는 實情이므로 本文의 끝에서 簡單히 소개하기로 하고 本文에서는 現在 一部 實用化되어 豫想外의 好成績을 내고 있는 TRANSIT에 關하여 重點的으로 소개하고자 한다.

2. N. N. S. S. 의 開發經過

TRANSIT 衛星航法, 一名 NNSS航法(Navy Navigation Satellite System의 略字)의 起源은 1957年 10월의 世界最初의 人工衛星Sputnic 1號의 發射에서 비롯된다. 當時 美 John Hoplsins大學의 Guier, Weiffenbach 등이 人工衛星으로 부터의 受信電波의 Doppler 效果를 觀測하고, 位置를 알고 있는 3點 以上の 地表觀測所로 부터 이 Doppler를 測定함으로써 衛星의 軌道를 追跡할 수 있음을 밝히고 이를 實證하였다. 그後 같은 大學의 McClare는 그 逆의 原理, 即 電波의 Doppler를 測定하면 觀測地의 位置를 알 수 있으며, 따라서 航海에 利用될 수 있음을 提案하였고, 이에 注目한 美海軍은 오랜 研究끝에 이의 實用性을 確信하여, 1960年 4月 이 方法을 爲하여 發射한 實驗航海衛星 TRANSIT 1B(TRANSIT란 名稱은 여기서 얻어진 것임)에서 그 實用性을 立證하였고, 以後回數를 거듭하는 實驗과 研究를 通하여 오늘날의 NNSS航法이 確立되었다.

3. 人工衛星의 軌道要素

衛星의 運動은 Kepler의 法測에 依하여 表現된다. 그 第一法則에 依하면 衛星은 地球를 한 集點으로 하는 橢圓軌道를 그리며 그 橢圓의 形態는 長半徑과 離心率($e = \sqrt{A^2 - B^2}/A$ 但 A, B 는 各

* 正會員, 韓國海洋大學

人工衛星航法の 現況과 展望

長半徑과 短半徑)에 의하여 表現된다. 또 그 第2法則에 의하여 動徑이 單位時間에 그리는 面積은 一定하며, 第3法則에 의하여 周期를 알므로 (地球衛星의 경우는 $T=99.5 \times A^{3/2}$, T 는 周期(分), A 는 kg 로 나타낸 長半徑), 衛星의 近地点通過時間을 알면 그림 1의 動徑角 V 를 알 수 있고 따라서 軌道內의 衛星의 位置가 決定된다.

衛星의 天球座標系에 대한 相對位置를 알려면 上記한 外의 3個의 要素가 必要하다. 그림 2에서 보이는 바와 같이 그 하나는 衛星軌道面이

赤道面과 이루는 軌道傾斜角 i 이고, 다른 하나는 春分點에 對한 昇交點(赤道와 軌道의 交點)의 赤經 Ω 이고, 나머지 하나는 近地點과 昇交點이 이루는 角 ω 인데 이를 近地點引數라 한다.

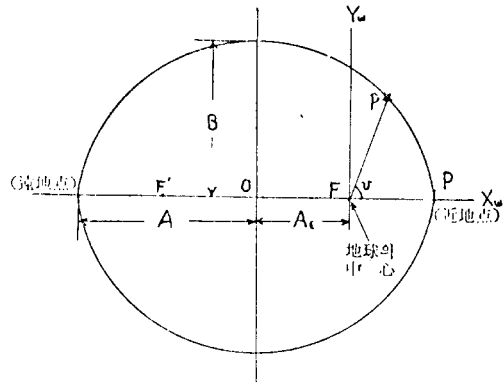


그림 1. 軌道面의 說明圖

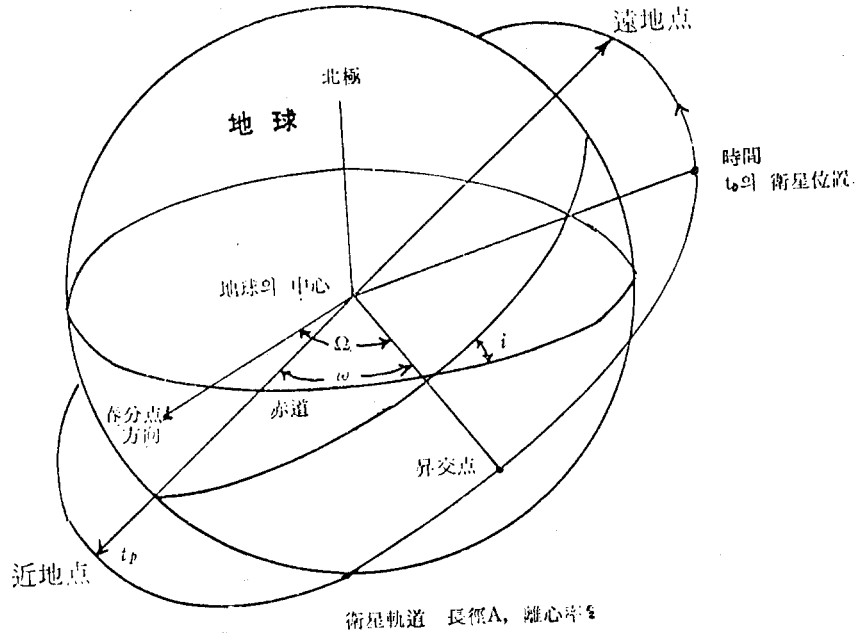


그림 2. 軌道要素의 說明圖

以上에서 說明한 6가지의 軌道要素와 GMT를 알면 衛星의 地球에 대한 位置와 速度를 알 수 있다. 現在 활약하고 있는 TRANSIT 衛星은 長半徑 약 7450km(地球表面上 약 1550km), 離心率 0.005의 거의 圓軌道를 106分の 周期로 거의 南北으로 돌고 있으며(軌道傾斜角 $89^{\circ} \sim 91^{\circ}$), 6個의 衛星이 昇交點赤經 約 30° 의 間隔으로 配置되어 있으므로 地上 어디에서나 12時間에 한번 이상 6個의 衛星을 全部 觀測하게 된다. 4個의 地上觀測局(Maine, Minnesota, California, Hawaii)에서 觀測한 Doppler는 California局에 보내어지 衛星軌道의 6要素와 그 12時間의 豫報值가 計算되어 衛星에 送信錄音된다.

衛星에서는 5×10^{-12} 의 높은 周波數安定度를 가진 399,968MHz(1.25W) 및 149,988MHz(0.8W)

의 Doppler 測定用 周波數에 2分の 周期로 GM T 時報 및 軌道要素(Ephemeride)를 실이 地上에 送信한다.

4. 船位測定原理

送信器에서 周波數 f 의 電波를 發射하였다 고 하자 送受信點間距離의 時間變化 v 가 있을 때 受信電波의 周波數 f' 는 Doppler 効果에 依하여

$$f' = f \cdot (c+v)/c \dots\dots\dots(1)$$

로 表示되고(c 는 光速), 그 變化量(Doppler shift) Δf 는

$$\Delta f = f' - f = f \cdot v/c \dots\dots\dots(2)$$

로 되어, 그림 4에서 보인 바와 같이 衛星이 受信點附近을 通過할 때는 受信周波數에 급격한 變化가 일어나며, 그 變化率은 衛星이 受信點의 頂上을 通過할 때 가장 크다.

式 (2)의 Δf 를 一定時間 積算하면 右邊의 速度의 定積分에서 測定時間 동안의 距離差가 計算되며, 位置線은 測定時間의 始終의 衛星의 位置를 焦點으로 하는 雙曲線이 된다.

TRANSIT 衛星에서는 前述한 399,968MHz 및 149,988MHz의 高安定送信波에 每 2分마다 6,103bit의 느린 位相變調를 加하여 正確한 時報와 더불어 軌道要素 및 衛星의 動作狀態에 관한 情報를 되풀이 送信하고 있으므로, 時報 사이의 2分間의 Doppler를 積算하여 하나의 位置線을 얻게 된다.

大部分의 受信機는 自体가 갖고 있는 局部發振 周波數 f_L (대개의 機種이 400MHz 및 150MHz)를 採用하여 受信周波數 f_R (衛星의 發射周波數 f_T 가 Doppler의 影響을 받은 結果임)과의 미이 트 周波數를 積算하는 方式을 採用하고 있다.

이를 式으로 表示하면 積算值 N_K 는

$$N_K = \int_{t_{K-1} + \Delta t_{K-1}}^{t_K + \Delta t_K} (f_L - f_R) dt \dots\dots(3)$$

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, t_K 時間에 있어서 衛星으로부터 受信機까지의 距離를 光速으로 나눈 값이다.

(3)式을 변형하면

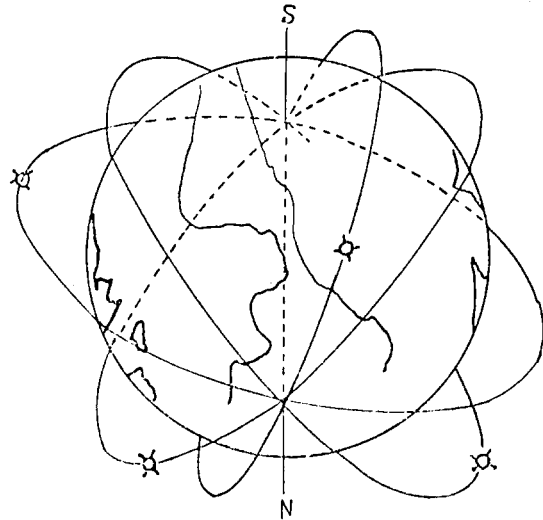


그림 3. 衛星의 軌道配置

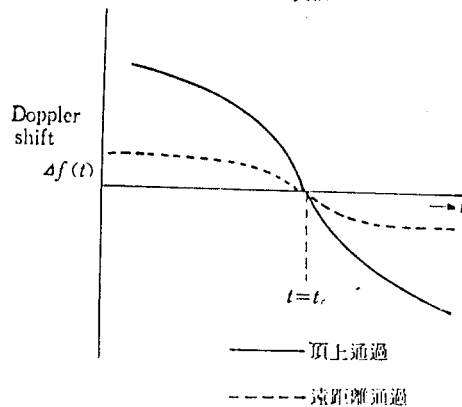
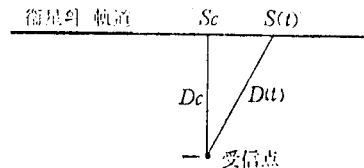


그림 4. Doppler 効果에 의한 測定의 原理

$$\begin{aligned}
 N_K &= \int_{t_{K-1} + \Delta t_{K-1}}^{t_K + \Delta t_K} f_L dt - \int_{t_{K-1} + \Delta t_{K-1}}^{t_K + \Delta t_K} f_R dt \\
 &= f_L(t_K + \Delta t_K - t_{K-1} - \Delta t_{K-1}) - \int_{t_{K-1}}^{t_K} f_T dt \\
 &= (f_L - f_T)(t_K - t_{K-1}) + f_L[D(t_K) - D(t_{K-1})]/C \\
 &= \Delta F \Delta T + f_L[D(t_K) - D(t_{K-1})]/C \dots\dots\dots(4)
 \end{aligned}$$

여기서 $D(t_K)$ 는 t_K 시간에 있어서 衛星으로부터 受信機까지의 거리를 의미하며, C 는 광속이다. 上記 積分式의 f_R 을 f_T 로 변환하였는데, 이것은 時報사이의 波의 數는 送信이나 受信이나 同一하기 때문이며, (3)式에서 ΔF , ΔT 가 既知이므로 N_K 를 헤아리면 距離差를 알 수 있다.

5. 受信裝置와 受信例

NNSS의 受信裝置는 大別하면, 衛星으로 부터의 電波를 受信하여 衛星情報를 解讀하고 同時에 Doppler를 카운트하는 受信部와 여기서 얻은 데이터로부터 船位를 計算하는 計算機部로 構成된다. 그림 5에 Magnavox製 MX-702型 受信機의 블록線圖를 例示하였으나 AN-SRN-9(美軍用), TW1086A(東芝), JAN101(日本無線) 等도 이 類型에 屬한다.

안테나는 垂直모노폴안테나에 疑似大地面을 附着한 150MHz 및 400MHz 共用의 無指向性이며, 前置增幅部에서 增幅되어 150MHz帶의 수퍼헤테로다인 受信器部를 거쳐 Doppler 카운트를 計算機部에 보낸다. 한편 101.719 KHz 發振部의 게이트信號에 依하여 제어되는(2分間에 6,103 bit는 19,662ms/bit이며, 101,719 KHz는 bit 및 byte 分割 게이트 信號를 만든다) 데이터 解讀回路에서 얻어진 軌道情報 및 時報가 計算機에 보내진다. 計算機는 이를 情報와 함께 別途로 入力된 時間(衛星의 時報는 15分以上의 時間單位는 送信하지 않으므로 日字를 포함한 15分以内의 程度의 GMT를 入力하여야 한다). 推測位置(位置計算은 修正差法을 쓰고 있으며, 따라서 D. R. 誤差가 15° 以内이면 收斂하나, 3° 以上이면 收斂時間이 길어짐), 안테나高(안테나 높이만큼 증가한 地球半徑에 對한 位置를 計算한다), 針路 및 速力으로 부터 船位를 計算하여 CRT, Teletype 또는 電光表示板에 出力한다.

地球의 重力場의 不均一으로 因하여 理想回轉橢圓體面과 實際 地表間에는 最大 수십미터의 差가 있으므로 안테나高에 Geoid等高線圖의 값을 加減하여 入力함이 通常이다. 또 NNSS 航法이 衛星과 受信點間의 距離變化로부터 船位를 計算하므로 本船의 針路 및 速力이 計算에 必要함은 勿論이며, 이 針路 및 速力은 手動으로 하거나 Compass 또는 Log로부터 自動入力한다. 衛星과의 相對速度에 1 노트의 誤差가 있으면 衛星仰角 40°에서 500m의 誤差를 낼 수 있으며, 仰角과 더불어 誤差는 增加한다. 船舶이 停止한 때의 標準誤差는 約 300m 以内이나, 通常 船位의 標準誤差가 700 m를 넘으면 데이터를 폐기하도록 設計되어 있는 것이 通例이다.

NNSS에서 150MHz 및 400MHz帶의 2波를 使用하는 것은 이온層에 依한 傳播經路의 變化의 影響을 補正하기 위한 것이며, 小型受信機에 있어서는 400Mz帶만을 利用한다. MX1102 (Magnavox 製), Auto Nav 50(AMI製), TA3455(東芝), FSN-1(古野) 등이 이에 屬한다.

1977年 5月 11日 韓國海洋大學에서 MX702 受信機로 受信한 衛星豫報(L 350-04N, 入 129-05E)

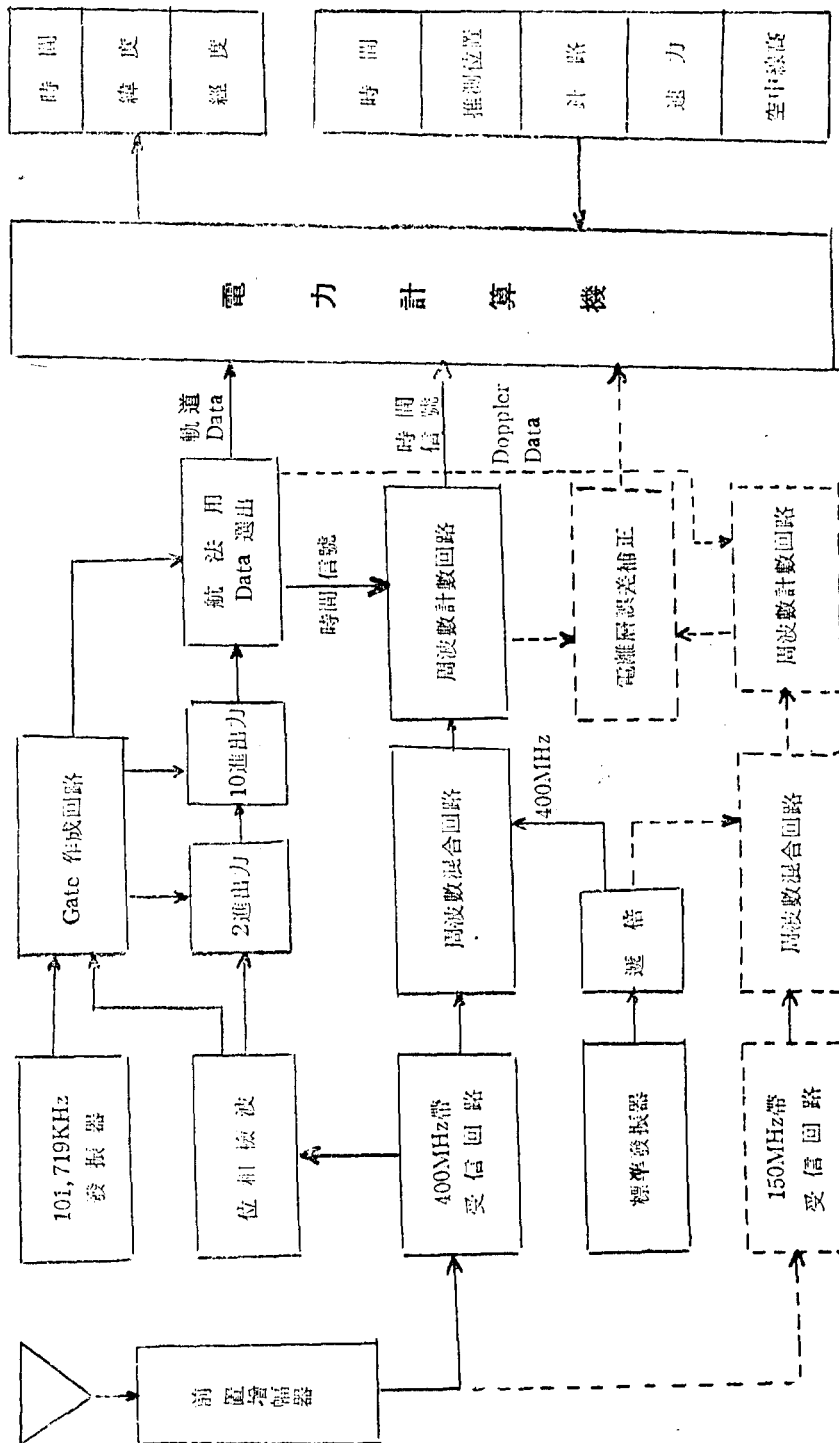


그림 5. NNSS 受信裝置의 構成圖

人工衛星航法の現況과 展望

第一桁만 풀이하면 5월 11日(1月1日로부터 起算하여 131), 衛星 30130號가 05-20-00(GMT)에 대략 南方에서 며서 東方으로 지며, 最高高角 3.03°에 達하고, 最接近時刻은 05-24-19(GMT)임을 뜻한다.

또 같은 날의 海大에서 受信한 30190號 衛星에 의한 位置情報를 表 2에 例示한다. 每 2分간씩 10회의 Doppler를 카운트한 結果 및 400MHz帶와 150MHz의 Doppler의 差를 表示하고, 最後桁에 131日(5월 11日) 17-12-05(GMT)에 L 35-04.497N, λ 129-05.359E, Co-000.8°, Sp-0임을 보여주고 있다. 안테나 位置의 精密測을 하지 않았으나, 海圖에 依한 即 이 位置는 거의 正確하다.

表 1. 1977년 5월 11日 釜山지방의 船海衛星 可視豫定表

DAY	RISE	ELEV	TCA	GEOM	SAT
0131	052000	3.03	052491	S-E	30130
0131	054300	17.8	055000	S-E	30140
0131	062800	21.3	063559	S-W	30190
0131	065800	45.8	070835	S-W	30180
0131	070400	49.6	071234	S-E	30130
0131	072900	59.4	073702	S-W	30140
0131	073500	27.3	074226	N-E	30200
0131	084800	3.69	085333	S-W	30180
0131	085100	22.8	085853	S-W	30130
0131	091800	5.27	092216	S-W	30140
0132	091900	37.1	092731	N-W	30200
0131	122800	9.37	123416	S-E	30120
0131	141200	81.9	142122	S-E	30120
0131	160000	13.1	160640	S-W	30120
0131	163800	50.6	164715	N-E	30190
0131	170900	22.5	171832	N-E	30180

表 2. 1977년 5월 11일 04-44-29(GMT)의 海大에서의 衛星 131號에 依한 船位出力

NO.	4-CH	15-CH	COUNT
01	148013	148013	000
02	143266	143266	020
03	137905	137919	-014
04	131793	131794	004
05	150923	150916	007
MSG-CHNG			
06	115354	115348	006
07	106471	106462	009
08	096595	096603	-009
09	085692	085697	-005
10	088051	083089	012
131	171205	03504.497 N	12905.359E A .8333 M .0900

6. 本시스템의 長短點과 其他의 衛星航法

여기에서 NNSS의 航法으로서의 長短點을 要約하여 본다.

1) NNSS는 現時點에서 OMEGA를 除外한 唯一한 汎世界的 全天候性 航法이며 그 精度는 OMEGA의 10倍 程度로 거의 LORAN C의 精度와 맞먹는다.

2) 이 시스템이 雙曲線航法이기는 하지만 移動局을 利用하기 때문에 DECCA, LORAN, 또는 OMEGA와 같은 雙曲線位置線圖를 使用할 수 없다. 小型이긴 하지만 計算機를 必要로 하며, 따라서 現時點에서는 設置費用이 상당히 높다. 그러나 앞으로 桌上電算機와 같은 專用小型計算機의 開發 또는 他 시스템의 計算機의 時分割使用 等に 依하여 이 問題는 解決되리라고 본다. 반대로 航法의 自動化가 容易하므로 今後의 自動化船에의 應用이 크게 기대된다.

3) 反面에 衛星이 船舶의 可視範圍에 들어오는 것이 하루에 십수회 또는 20回 内外이며, Doppler 카운트에 要하는 時間이 길고(2分×3回以上), 船舶의 針路 및 速力誤差가 시스템 誤差에 影響을 미치므로 高速 航空機用으로는 適當치 못하다.

이제 美空軍은 새로운 衛星航法 시스템인 NAVSTAR 계획(Global Positioning System, 흔히 GPS라고도 함)을 계획하고 1983年度에 全面 運用을 기획하고 있다. NAVSTAR는 昇交點赤經이 120° 間隙으로 配置된 3個의 軌道面에 赤道傾角 63°, 半徑 10900海里(周期 12時間)의 圓形軌道에 8個씩 모두 24個의 衛星을 올리고(세계의 어디서나 最小 6個, 平均 9個의 衛星이 恒時 視野內에 있음), 두 衛星間의 雙曲線位置線을 求하고자 하는 方式이다.

L-Band의 1,575MHz 및 1,227MHz의 두 주파수(Ion層의 影響을 除去하기 위하여 2波를 使用함)에 10.23MBit/Sec의 速度로 搬送波를 位相變調하여 變調波의 位相을 比較하여 雙曲線 位置線을 얻는다. 또 이들 波를 50Bit/sec의 느린 速度로 한번 더 變調하여 時信號와 軌道信號를 送信한다는 方式이다

이 方法은 現在 一部 實驗中이나 位置線의 精度 및 雷達識別法 等に 對하여서는 자세히 報道되어 있지 않다. 이 方式이 現在의 NNSS의 6個의 衛星에 比하여 24個의 衛星을 利用하므로 더욱 完備한 시스템이 될 것은 의심할 여지가 없다.

또 다른 하나의 航海衛星計劃은 IMCO가 主管하는 INMARSAT (Intergovernmental Maritime Satellite의 略)이다. INMARSAT는 本質的으로는 海運通信의 원활을 위한 通信衛星이며, 赤道軌道에 3~6個의 靜止衛星(軌道半徑 41,756km, 周期 24時間)을 올리고, 對船舶用에는 1,535~1,543.5MHz 및 1,636.5~1,645MHz를, 對地上局用에는 4/6GHz 및 11/14GHz를 利用하여 通信中繼業務를 수행하고, 船舶으로 부터의 要求가 있으면 두개의 衛星으로 부터의 距離差에 依한 位置線을 陸上局에서 計算하여 船舶에 通報한다는 方式이다. INMARSAT는 1973년부터 계획되어 1978년에는 運用에 들어갈 계획이었으나 莫大한 經費問題로 아직도 明確한 實行의 展望이 보이지 않는 實情이며, 最近에는 一時的으로 美國海軍 通信衛星인 MARISAT의 數回線을 빌리는 案도 대두되고 있는 現況이다.

7. 結 言

以上 説明한 바와 같이 NNSS는 OMEGA 같은 汎世界性을 갖고 있으면서 同時に DECCA에 비
금가는 正確性이 있음을 보여주고 있으며, 船位測定의 全過程이 自動化되어 操作上의 技術이 測定
船位에 影響을 끼치지 않으므로, 現時点에서는 가장 우수한 電波航法の 하나이며, 先進諸國에서는
大型商船은 勿論, 中小型漁船 및 漁艇에 있어서도 그 수요가 급격히 증가하고 있는 實情이나 不幸
하게도 韓國內에는 韓國海洋大學에 1臺의 受信器를 갖고 있을 뿐이며, 數個會社에서 그 採用에 關
한 檢討를 始作한 實情이다. 本稿가 航海者 및 海運經營者의 NNSS에 對한 理解에 조금이라도 도
움이 된다면 더 이상의 기쁨이 없겠다.