

## 釜山地域에서의 NNSS 位置의 精度

김민석·신형일

부산수산대학

(1987년 1월 31일 접수)

### Accuracy of the NNSS Fix in Pusan Areas

Min-Seok KIM and Hyeong-Il SHIN

National Fisheries University of Pusan

(Received January 31, 1987)

For the purpose of getting the accuracy of NNSS fix, the continuous observation was performed to search the factors affecting the accuracy of NNSS fix, and then to examine their effects.

The observatïon was made at Lat. 35°05'04" N, Long. 129° 02'13"E from 28th January to 20th July in 1985. Accuracy of the position fixed in accordance with the observation time, each satellite, elevation angle doppler count, passed direction of each satellite and the antenna height were analyzed.

The results obtained are summerized as follows :

1. The deflection error is reduced to 0.21 miles when the geodetic system of the calculating the position converted from WGS-72 to Bessel.
2. When the elevation angle of the mountain is high, or the range of the elevation angle of satellite is 20-70 degrees, the position fixed comes nearest the true position.
3. The position fixed is more accurate on the condition that the doppler count is more than 21, and at night than in daytime.
4. The accuracy of the position fixed is more seriously affected when the input data of the antenna height has considerable errors. But there occurs almost little difference in the accuracy of position according to each satellite.

### 緒 論

人工衛星을 이용한 航法裝置인 NNSS는 全天候, 全世界的인 位置測定裝置로서 完全自動으로 사용할 수 있고, 다른 電波航海計器에 비해 測位精度가 매우 높아, 航海分野는 물론 資源探查, 海洋開發, 地質調査 등 많은 分野에서도 응용되고 있다. 또한 최근에는 集積回路의 개발로 더욱 값이 싸고 小型으로 제작할 수 있게 되어 小型漁船에서도 많이 장비해 가고 있는 실정이다.

그러나, NNSS는 衛星의 軌道豫測과 空中線의 높이, 針路 및 速力의 入力 不正確, 電波의 傳播特性 등 때문에 다소의 오차를 내포하고 있으며, 이러한

오차를 제거하기 위하여 많은 研究가 진행되고 있다.

이러한 研究에는 奈須<sup>1)</sup>의 傳播上의 屈折效果가 NNSS 測位精度에 미치는 影響, 木村<sup>2)</sup>의 針路, 速力 誤差가 NNSS 測位計算에 미치는 影響, 庄司 등의 안테나의 높이와 Geoid人力에 관한 研究 등이 있으며, 梅美·和氣·上原雅<sup>4,5,6)</sup> 등은 定點에서의 NNSS의 測位精度에 대해 研究한 바 있다.

그러나, 우리나라에서는 鄭<sup>7)</sup>의 船速誤差와 測位精度에 관한 研究가 있을 뿐, 長期間에 걸쳐 연속 관측하여, NNSS의 測位精度를 분석한 研究는 드물다.

本 研究에서는 우리나라 周邊海域을 航海中 NNSS로 船位를 측정할 경우 精度가 높은 船位를 구하기 위한 요소와 그 영향을 규명하기 위하여, 釜山에 있

는 韓國漁業技術訓練所에서 1985年 1月 28日부터 7月 20日까지 연속 관측하여 觀測時間, 衛星別, 仰角, 通過方向, doppler count 數 및 안테나의 높이에 따른 位置의 精度를 分析·檢討하였다.

### 位置計算의 理論

地球上에서 衛星位置( $X_{sk}, Y_{sk}, Z_{sk}$ )는 地球中心을 原點, 原點에서 北極方向을  $Z$  軸, 經度  $0^\circ$ 의 赤道方向을  $X$  軸, 經度  $90^\circ E$ 의 赤道方向을  $Y$  軸으로 하는 直角座標系로 표시하면 (1)식과 같이 나타낼 수 있다. <sup>8,9,10)</sup>

$$\left. \begin{aligned} X_{sk} &= xk \cos \beta k - yk \cos i \sin \beta k \\ Y_{sk} &= xk \sin \beta k + yk \cos i \cos \beta k \\ Z_{sk} &= yk \sin i \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

但,  $xk, yk$ : 軌道橢圓上的 衛星位置를 昇交點方向에  $X$  軸이 오도록 近地點引數 만큼 回轉시킨 衛星位置

$i$ : 軌道傾斜角

$\beta k$ : 地球 固定座標系로 하기 위한 回轉角

같은 座標系에서 受信點의 推測位置( $X_n, Y_n, Z_n$ )는 (2)식과 같이 나타낼 수 있다. <sup>11),12)</sup>

$$\left. \begin{aligned} X_n &= \{(R^2/D) + A + G\} \cos \varphi \cos \lambda \\ Y_n &= \{(R^2/D) + A + G\} \cos \varphi \sin \lambda \\ Z_n &= \{R^2(1-f^2)/D + A + G\} \sin \lambda \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

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

$\varphi$ : 推測位置의 緯度

$\lambda$ : 推測位置의 經度

$A$ : 안테나의 높이

$R$ : 地球의 長半徑

$G$ : Geoid의 높이

$f$ : 偏平率

(1)식과 (2)식에서

$$Xk = X_{sk} - X_n$$

$$Yk = Y_{sk} - Y_n$$

$$Zk = Z_{sk} - Z_n$$

라 하고, 衛星位置와 推測位置 간의 距離를  $Sk$  라 하면

$$Sk = (X^2k + Y^2k + Z^2k)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

이 된다. <sup>9)</sup>

매 2분간의 推測位置와 衛星位置 간의 距離變化를  $Dck$  라 하면

$$Dck = Sk - Sk - 1 \quad (4)$$

와 같이 되고, 衛星과 受信點 간의 實제의 距離變化를  $Dok$  라 하면

$$Dok = NkLo - 120 fo Lo \quad (5)$$

但,  $Nk$ : doppler 測定值

$Lo$ : 受信機內的 基準周波數의 眞空中의 波長

$fo$ : 基準周波數와 送信周波數와의 差

가 된다. <sup>13)</sup>

여기서,  $Dck$  와  $Dok$  가 같으면 推測位置와 實際位置와는 일치할 수 있으나 실제로 이들 間의 緯度差 ( $\Delta\varphi$ ), 經度差 ( $\Delta\lambda$ ), 周波數差 ( $\Delta f$ )가 있으므로 일치하지 않는다.

그리고 衛星과 受信點 間的 距離  $Sk$  의 緯度  $\varphi$ , 經度  $\lambda$  에 대한 偏微分과 未知數  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta\lambda$ ,  $\Delta f$  와의 관계는 (6)식과 같이 나타낼 수 있다. <sup>9)</sup>

$$\left( \frac{\partial Sk}{\partial \varphi} - \frac{\partial Sk - 1}{\partial \varphi} \right) \Delta\varphi + \left( -\frac{\partial Sk}{\partial \lambda} - \frac{\partial Sk - 1}{\partial \lambda} \right) \Delta\lambda + 120 \Delta f Lo = Dok - Dck \quad (6)$$

衛星이 受信點 부근을 통과할 때 3번 이상의 doppler 偏倚周波數를 측정하여 (6)식으로 連立方程式을 세워 풀면 實際受信點의 位置를 결정할 수 있다. <sup>9)</sup>

## 方 法

### 1. 人工衛星航法裝置 및 受信點의 位置

位置測定에 사용한 人工衛星航法裝置(FSN-70型, Furuno)는 24초마다 doppler 偏倚周波數를 측정할 수 있는 400 MHz short doppler 방식의 것이었고, 受信點은 韓國漁業技術訓練所로서 縮尺 1/10,000인 港泊圖(No. 201)에서 NNSS 안테나 位置를 구하여 眞位置(Lat.  $35^\circ 05' 04'' N$ , Long.  $129^\circ 02' 13'' E$ )로 하였으며, 位置精度分析의 基準으로 삼았다.

또한 NNSS의 初期設定에 필요한 受信點의 Geoid 높이와 안테나의 높이는 각각 20 m를 入力하였으며, 이것들은 각각 Geoid 等高度圖<sup>14)</sup>와 실측으로 구하였다.

### 2. 測定方法 및 資料

1985年 1月 28日부터 7月 20日까지 NNSS로 수신하여 on-line으로 처리한 測定位置의 信數는 1,620個였으며, 이를 衛星別로 구분하여 나타낸 것이 Table 1이다.

Table 1. Number of the data classified by each satellite

Satellite name	up-to-date	no-up-to-date	total
110	257	45	302
130	265	52	317
200	254	37	291
480	303	55	359
500	295	55	351

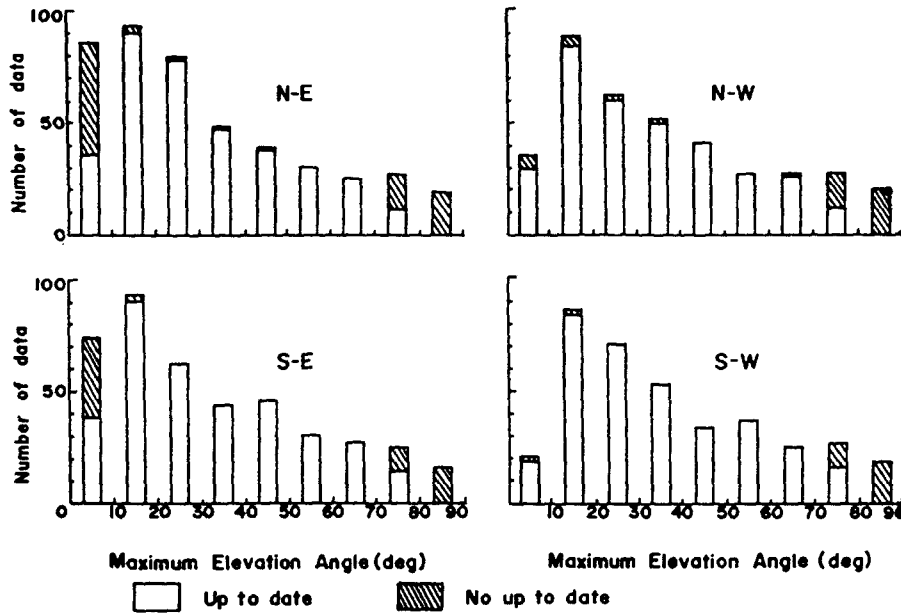


Fig. 1. Number of the observed data classified by the elevation angle and the passed direction of satellite.

Table 1의 資料 중 다음 기준을 만족하는 것을 명확한 資料(1,375개)로, 만족하지 못하는 것을 불명확한 資料(245개)로 구분하여 分析·檢討하였다.

- (1) 最大仰角이 7度 이상이고, 75度 이하인 것
- (2) 有効한 doppler count 數가 9個 이상인 것
- (3) 推測位置로부터 偏位된 距離가 0.5마일 이하인 것
- (4) 位置의 計算回數가 6回 이하인 것

그리고 Table 1의 全資料를 (1)式에 대입하여 衛星通過方向을 구하고 通過方向에 따라 衛星最大仰角에 대한 測定回數를 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에서 衛星의 通過方向은 남쪽에서 북쪽으로 상승하면서 受信點의 동쪽으로 통과할 때는 N-E, 서쪽으로 통과할 때는 N-W 라 하고, 북쪽에서 남쪽으로 하강하면서 동쪽으로 통과할 때는 S-E, 서쪽으로 통과할 때는 S-W 로 표시하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 受信時間別 位置의 精度

Fig. 2는 측정한 全資料로써 매 時間마다 平均位置를 구하여, 그 位置와 眞位置와의 距離誤差를 變緯와 變經으로 나타낸 것이다.

Fig. 2에서 變緯의 平均誤差는 420 m, 變經의 平均誤差는 230 m 로써, 緯度方向으로 많이 편위되는 경

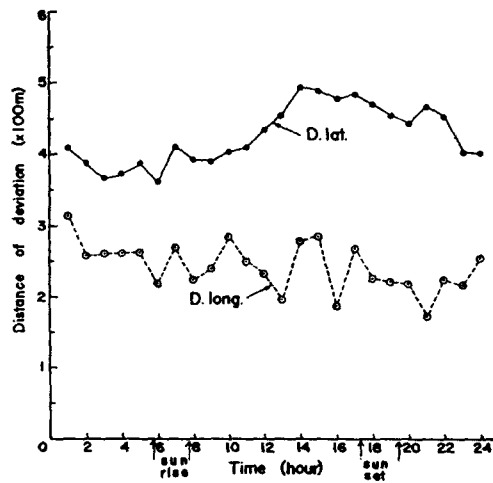


Fig. 2. Daily variation of D.lat. and D.long. at the true position.

향을 보였으며, 10時경부터 變緯와 變經의 變化幅이 커지기 시작하여 14~16時 사이에 최대가 되었다가 24時부터 작아졌다. 또한 晝夜間別로 測位의 精度를 고찰하기 위하여 平均 日出沒時刻를 기준으로 2時間 전후의 時間을 각각 日出·日沒이라 하고, 그 사이의 時間을 晝間, 夜間으로 구분하여 眞位置와 平均位置와의 偏位距離 및 方位를 Table 2에 나타내었다.

Table 2에서 晝夜間別 測位精度는 日出, 夜間, 晝間, 日沒의 순으로 높은 경향을 보였으며, 夜間이

釜山地域에서의 NNSS 位置의 精度

Table 2. The mean position, RMS, variation of bearing with distance from the true position according to the daily variation

Time	Mean Position		RMS		Variation		
	Zone	Lat.	Long.	D. lat	D. long	Bearing	Distance
Sunrise		35°05'.269	129°02'.059	0'.0793	0'.0622	322°	0'.256
Daytime		35°05'.303	129°02'.087	0'.0825	0'.1526	331°	0'.270
Sunset		35°05'.309	128°02'.090	0'.0706	0'.0939	332°	0'.272
Night		35°05'.293	129°02'.088	0'.0952	0'.1081	330°	0'.260

RMS : Root mean square

Table 3. The mean position, RMS, variation of bearing with distance from the true position, and probable radius according to each satellite

Satellite name	Number of data	Mean position		RMS		Variation		Probable radius
		Lat.	Long.	D. lat	D. long	Bearing	Distance	
110	257	35°05'.290	129°02'.082	0.0594	0.0793	328°	0.262	0.099
130	265	35°05'.293	129°02'.082	0.0622	0.0855	329°	0.263	0.105
200	254	35°05'.288	129°02'.087	0.0636	0.0657	328°	0.260	0.091
480	303	35°05'.084	129°02'.084	0.0762	0.0743	330°	0.267	0.105
500	296	35°05'.301	129°02'.078	0.0769	0.0680	329°	0.272	0.103

晝間보다도 더 높은 것을 알 수 있었다. 이러한 원인은 電子密度의 영향을 받기 때문이라 생각된다.

따라서 NNSS 位置는 晝間보다 夜間에 측정한 것이 測位精度가 더 높다는 것을 알 수 있었다.

2. 衛星別 測位의 精度

Table 3은 명확한 資料만을 衛星別로 眞位置와 平均位置와의 偏位距離 및 68%(1σ) 誤差圓의 半径 등을 나타낸 것이다.

Table 3에서 모든 衛星은 거의 비슷한 回數로 관측되었으며, 眞位置로부터의 偏位距離가 가장 큰 500호와 가장 작은 200호와의 차는 0.012마일이고, 誤差圓의 半径 값이 가장 큰 480호와 가장 작은 200호와의 차는 0.015마일로 큰 차이가 없었다. 또한, 偏位方位는 328°~330°로 거의 같은 방향에 있었다. 이와 같은 원인은 衛星軌道の 攪亂運動을 攪亂補正體系(DISCOS)<sup>15)</sup>에 의해 자동으로 보정할 수 있기 때문이다.

따라서, 측정한 受信點에서의 測位精度는 衛星의 종류에 따라 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

3. 測地系變換과 仰角別 位置의 精度

Fig. 3은 衛星의 仰角이 30~40度인 경우의 WGS-72 測地系로 구한 測定位置와 (2)式에 의해 Bessel 測地系로 변환하여 구한 測定位置를 眞位置를 중심으

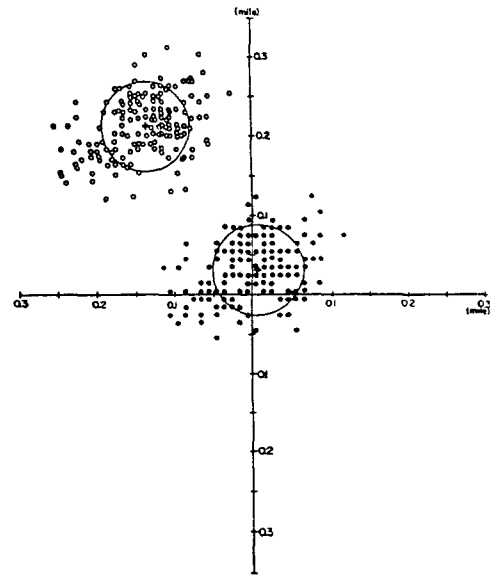


Fig. 3. Scattering of the fixed position observed by geodetic systems of WGS-72 (white circle) and Bessel (black circle)

로 각각 나타낸 것이다.

Fig. 3에서 眞位置로부터의 平均偏位距離는 WGS-72 測地系인 경우는 0.25마일, Bessel 測地系인 경우는 0.03마일로 測地系變換을 하므로써 0.22마일 정도의 誤差를 줄일 수 있었다. 이와 같이 測地系에 따라 測位精度가 다른 것은 衛星航法에서는 WGS-72 測地系를 기준으로 하고 있으며, 우리나라 海圖에서

Table 4 Comparison of the mean position, RMS, probable radius, and distance according to the geodetic systems

System	WGS - 72						Bessel					
	Mean position		RMS		Dist.	Mean position		RMS		Dist.		
	Lat.	Long.	D.lat.	D.long.		Lat.	Long.	D.lat.	D.long.			
Maximum elevation angle			( )				( )					
0 - 10	35° 05'.392	129° 02'.372	0'.1725	0'.1836	0'.360	35° 05'.208	129° 02'.206	0'.1617	0'.1480	0'.141		
			(0.252)					(0.219)				
10 - 20	35 05 .296	129 02 .090	0 .0764	0 .0991	0 .262	35 05 .117	129 02 .235	0 .0631	0 .0800	0 .054		
			(0.125)					(0.102)				
20 - 30	35 05 .278	129 02 .084	0 .0418	0 .0523	0 .250	35 05 .099	129 02 .226	0 .0420	0 .0523	0 .033		
			(0.067)					(0.067)				
30 - 40	35 05 .280	129 02 .080	0 .0358	0 .0525	0 .253	35 05 .099	129 02 .222	0 .0355	0 .0462	0 .033		
			(0.064)					(0.058)				
40 - 50	35 05 .276	129 02 .079	0 .0333	0 .0497	0 .250	35 05 .096	129 02 .221	0 .0332	0 .0497	0 .030		
			(0.060)					(0.059)				
50 - 60	35 05 .270	129 02 .082	0 .0297	0 .0547	0 .244	35 05 .098	129 02 .223	0 .0296	0 .0547	0 .025		
			(0.062)					(0.062)				
60 - 70	35 05 .278	129 02 .096	0 .0265	0 .0550	0 .248	35 05 .098	129 02 .228	0 .0264	0 .0550	0 .033		
			(0.061)					(0.061)				
70 - 80	35 05 .274	129 02 .083	0 .0342	0 .1033	0 .246	35 05 .095	129 02 .223	0 .0490	0 .1035	0 .029		
			(0.109)					(0.115)				
80 - 90	35 05 .279	129 02 .123	0 .0479	0 .2940	0 .232	35 05 .107	129 02 .233	0 .0439	0 .2388	0 .044		
			(0.298)					(0.243)				
Total	35 05 .297	129 02 .083	0 .0883	0 .1128	0 .266	35 05 .117	129 02 .226	0 .0824	0 .0935	0 .052		
			(0.143)					(0.125)				

RMS: Root mean square  
( ): Probable radius

는 Bessel 測地系를 사용하기 때문이다.

Table 4는 衛星의 最大仰角과 測地系別로 平均位置, 標準偏差 68% 誤差圓의 半徑 및 偏位距離를 나타낸 것이다.

Table 4에는 전체 仰角에서 Bessel 測地系로 변환하여 구한 位置가 WGS-72 測地系로 구한 位置보다 平均 약 0.21마일 精度가 높았으며, 20度 이하의 낮은 仰角과 70度 이상의 높은 仰角에서는 오차가 큰 현상을 나타내었다. 이와 같은 원인은 仰角이 낮을 경우 電離層에 의한 電波의 屈折로 經路長이 길게 되며, 높을 경우는 位置線이 基線의 延長線에 가까와지므로 位置線의 교각이 작아져서 誤差가 커지기 때문이다.

따라서, NNSS의 位置를 Bessel 測地系로 變換하면 0.21마일 정도의 誤差를 줄일 수 있고, 20~70度 범위의 仰角을 가진 衛星을 이용하면 測位精度를 더욱 높일 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4. Doppler count 數와 位置의 精度

Fig. 4는 doppler count 數에 대한 68% 誤差圓의 半徑과 20度 이하의 仰角이 차지하는 比率을 百分率로 나타낸 것이다.

Fig. 4에는 doppler count 數 21번을 기준하여 21번 미만과 21번 이상으로 誤差圓의 크기가 뚜렷하게

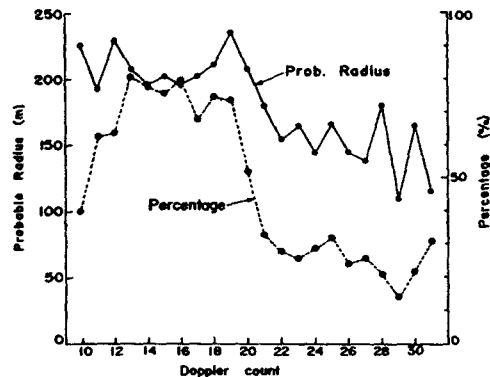


Fig. 4. Probable radius and the percentage of the case as the elevation angle was lower than 20 degrees according to the number of doppler count.

구분되어 나타나고 있다.

21번 미만에서는 誤差圓 半徑의 平均은 210m였고, 21번 이상에서 誤差圓 半徑의 平均은 151m로 doppler count 數가 많은 편이 적은 편 보다 測位精度가 높게 나타나고 있다. doppler count 數 별로 낮은 仰角의 比率은 位置精度가 낮으면 그 比率도 높아서 21번 미만에서는 平均 68%, 21번 이상에서는 平均 25%로 뚜렷한 차이를 나타내었다.

doppler count 數가 적으면 衛星의 最大仰角도 낮

아 doppler 측정에 요하는 時間이 짧게 된다. 따라서, doppler count 數가 적으면 仰角도 낮으므로 電波屈折에 의한 電波經路長의 증가로 인하여 測位誤差가 영향을 받게 되며, (5)式에서 doppler count 數만큼 位置線이 구해지므로 (6)式에서 doppler count 數가 많을수록  $\Delta\phi$ 와  $\Delta\lambda$ 도 최소가 되어서 測位精度가 높아지게 된다.

5. 衛星通過方向과 位置의 精度

Fig.5는 衛星通過方向에 따른 眞位置로부터의 偏位距離를 나타낸 것이다.

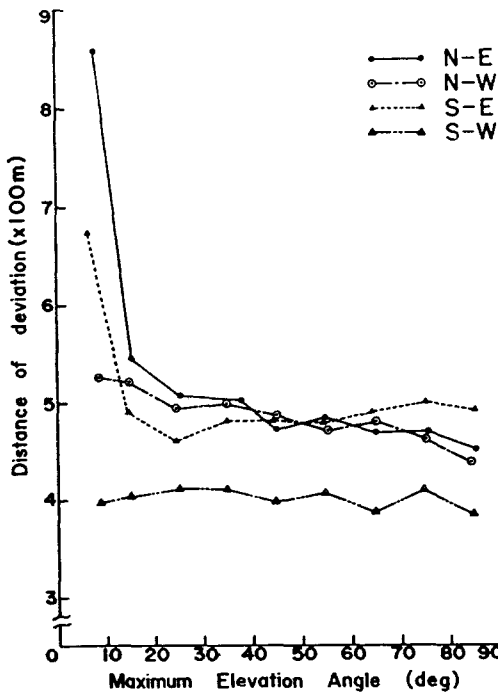


Fig.5. Distance of deviation of the true position according to the trasmitted direction of satellites and the maximum elevation angle.

Fig.5에서 通過方向에 따른 測位精度를 仰角別로 보면 10~90度 사이에서는 거의 비슷한 경향을 보였으나 10度 이하에서는 N-E行과 S-W行과의 偏位距離 차이는 470m로서 通過方向에 따라 큰 차이가 있었다. 이것은 S-W行인 경우, 북서측 山頂의 仰角이 5~11度로 높은 山들이 많아서, 山頂의 仰角보다도 낮은 衛星電波는 수신할 수 없기 때문이며 N-E行은 남동측이 바다와 접해 있으므로 仰角이 낮은 衛星의 電波가 그대로 수신되기 때문이다.

따라서, 衛星通過方向에 따른 測位精度는 山頂의 仰角이 높을 때 좋다는 것을 알 수 있었다.

6. 안테나 높이에 따른 位置의 精度

안테나 높이에 따른 測位精度를 분석하기 위해 실제 안테나 높이보다도 10m, 50m, 100m 더 높게 하여 (1)~(6)式에 의하여 계산 simulation 한 결과는 Fig.6과 같다.

Fig.6에서 실제의 안테나 높이보다도 더 높였을 때 眞位置로부터 偏位距離는 仰角이 10~20度에서 각각 8m, 40m, 80m며, 仰角이 70~80度에서는 각각 52m, 259m, 519m로 나타났었다.

같은 仰角에서의 測位誤差는 안테나 높이에 비례하여 커지며, 안테나의 높이가 일정할 경우는 仰角이 높아짐에 따라 증가하였다. 이와 같은 원인은 位置線이 基線의 延長線에 각각와져 그 교각이 작기 때문이라 생각된다.

따라서, 안테나 높이의 入力誤差가 커지면 偏位距離의 오차도 훨씬 커짐을 알 수 있었다.

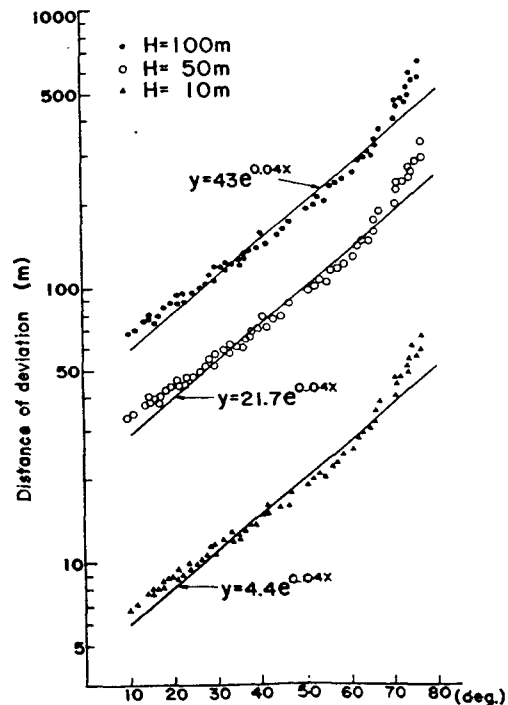


Fig.6. Distance of deviation of the position fixed according to the antenna height.

要 約

1985年 1月 28일부터 7月 20일까지 韓國漁業技術訓練所(Lat. 35°05'04"N, Long. 129°02'13"E)에서 NNSS로 연속 관측하여 觀測時間, 衛星別, 仰角, 通過方向, doppler count數, 단테나의 높이 등이 NNSS位置의 精度에 미치는 영향을 分析·檢討한 結果는 다음과 같다.

1. 衛星航法에서 사용하고 있는 WGS-72 測地系를 Bessel 測地系로 變換하여 계산하면, 偏位誤差를 平均 0.21마일 정도로 줄일 수 있음을 알 수 있었다.
2. 山頂의 仰角이 높을 때 測位精度가 높았고, 衛星의 仰角이 20~70度 범위에서 더욱 높았다.
3. doppler count數가 21번 이상일 때 測位精度가 높았고, 晝間보다 夜間이 더 높았다.
4. 단테나 높이의 入力誤差가 커지면 偏位距離의 誤差도 커지는 경향을 나타내었으며, 衛星의 종류에 따른 測位誤差의 변동은 거의 없었다.

文 獻

1. 奈須英臣(1973) : 電波傳播上の屈折効果が NNSS 測位に及ぼす影響. 日本航海學會論文集, 49, 103-108.
2. 木村小一(1971) : 船の速力誤差などが NNSS測位計算に及ぼす影響. 同誌, 46, 1-8.
3. 庄司和民·奥田邦晴(1979) : NNSSにおけるアン

テナ高さとジオイド高の入力について. 日本航海學會誌, 60, 44-88.

4. 樽美辛雄·揚贊(1977) : NNSSの定點における測位精度-I. 日本航海學會論文集, 58, 41-50.
5. 和氣博嗣(1979) : NNSSの定點における測位精度-II. 同誌, 61, 11-27.
6. 上原雅·樽美辛雄(1980) : NNSSの定點における測位精度-III. 同誌, 62, 23-31.
7. 정세모(1979) : 船速誤差가 NNSS船位에 미치는 影響에 關한 研究, 韓國해양대학 論文集, 14, 37-43.
8. 奥田邦晴·庄司和民(1979) : NNSSのについて. 日本航海學會論文集, 61, 1-10.
9. 木村小一(1979) : 衛星航法. 海文堂, p.1-109.
10. 虎尾正久(1977) : 宇宙航行の數學. 森北出版社, p.27-35.
11. 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, 1-3.
12. 木村小一(1978) : 船舶電子航法ノート(25). 船の科學31, p.96-103.
13. 木村小一(1978) : 船舶電子航法ノート(24). 船の科學31, p.98-104.
14. 정세모(1980) : 電波航法(基礎編). 한국해양대학 해사도서출판부, p.243-255.
15. 樽美辛雄·和氣博嗣·揚贊(1985) : NNSSの定點における測位精度-IV. 日本航海學會論文集, 72, p.49-72.