

群山地域에서의 GPS測位精度 解析

이원우 · 신형일* · 이대재*

군산대학교 어업학과 · *부산수산대학교 어업공학과

Analysis for Accuracies of Position Fix by GPS in Kusan Area

Won-Woo LEE · Hyeong-Il SHIN* and Dae-Jae LEE*

Department of Fisheries, Kusan National University, Kusan 573-400, Korea

**Department of Fishing Engineering, National Fisheries University of Pusan, Pusan 608-737, Korea*

The Global Positioning System(GPS) is a worldwide radio navigation system based on satellite technology. Signal availability and accuracy of GPS are subject to change due to an incomplete constellation and operational test activities.

In order to analyze the signal availability and accuracy of GPS, we made an experiment on this system in Kusan during April 6, 7, 9, 10, 1992.

The results obtained are summarized as follows:

1. It was possible to avail the GPS system almost 24 hours per day, but sometimes it was impossible to obtain the GPS signal 2 or 3 times per day and its total time was at the most an hour.
2. By using satellite almanac, we also could calculate PDOP(HDOP) and forecast signal availability. And the mean positional error was 37.9~73.6m and standard deviation was 37.4~133.1m. The positional error almost coincided with PDOP(HDOP).
3. The mean positional error of 3D was less than that of 2D. And the altitude error in 3D was about 56~74m and its standard deviation was about 65~93m.

서 론

최근에 선박에서 사용하는 측위시스템으로는 Loran C, Decca 및 Omega 等の 전파항법이 주류를 이루고 있지만 사용되는 電波의 傳播上의 문제와 雙曲線航法의 지역적 특성으로 인하여 그 測位精度와 이용범위가 문제점으로 지적되고 있다.

이러한 제약을 해결하기 위해 人工衛星을 이용한 측위방법을 모색하게 되었으며, 6개의 위성을 이용한 NNSS(Navy Navigation Satellite System)가 개발되어 많이 이용되어 왔으나 측위정도가 Loran C와 비슷한 정도이고 연속측위가 불가능하다는 큰 결함으로 인하여 새로운 衛星航法인 GPS(Global Positioning System)가 개발되어 거의 완성단계에

있다.

이 GPS는 전파항법시스템의 여러가지 문제점을 거의 다 해소한 획기적인 衛星航法으로 항해용으로 뿐만아니라 항공용, 군사용과 측량용으로도 이용되어 2次元 및 3次元位置를 높은 精度로 연속측정이 가능하여 앞으로는 선박의 항법시스템으로서 주류를 이룰 것으로 생각되며 특히 군산지역을 중심으로한 서해의 경우에 중국대륙과의 교역이 더욱 활발하게 되면 많은 선박이 이 시스템을 이용하게 되고, 서해에서 조업하는 연근해어선에도 널리 보급될 것으로 예상된다.

GPS는 다른 전파항법방식에 비하여 그 성능이 우수하지만 그 측위정도의 향상을 위한 연구가 다각도로 행하여지고 있어, Differential방식에 의한

DGPS는 이 시스템의 정오차를 제거하여 電離層이나 對流圈에 의한 GPS전파의 傳播遲延의 영향을 보정할 수 있으므로 수 m 단위의 精度를 실현할 수 있어 正밀측위나 항로유도에의 적용을 기대할 수 있다(Kremer, 1990; Kee, 1991). 또한 GLONASS위성과 GPS위성을 함께 이용하는 방식이 모색되고 있기도 하며(Chamberlain, 1990; Raby 等, 1990), GPS를 이용한 陸上航法(Land navigation)에서 시가지나 터널 등 GPS전파를 수신하지 못하는 경우에는 推測航法(Dead reckoning)과 결합하여 이용하고(Hojo 等, 1990), Loran C수신지역에서는 GPS전파를 수신할 수 없는 시간동안, 이전의 GPS측정치와 Loran C측정치의 차이 즉 補正值를 Loran C의 측정치에 보정하여 측위정도가 높은 Loran C위치를 얻을 수 있다(Enge, 1990).

이와같이 GPS는 그 성능의 우수성에도 불구하고 SA(Selective Availability), 측위에 이용되는 위성의 양과, 위성의 배치상태 및 전리층 등의 영향으로 인하여 측위에 어느 정도 오차가 포함되지 않을 수 없다. 본 研究는 이러한 GPS시스템의 문제점을 고려하여 GPS시스템의 측위정도의 향상을 위한 기초연구로서 군산지역을 중심으로 GPS시스템의 측위정도를 究明하였다.

관측 및 방법

1. 관 측

觀測은 1992년 4월 6일, 7일, 9일, 10일의 4일동안에 군산대학교 건물옥상에 안테나를 설치하여 행하였고, 안테나설치높이는 35m였다. 6일과 9일에는 automatic mode, 7일과 10일에는 2D mode로 세계시(UTC) 00:00~24:00에 관측하였고, 사용한 GPS수신기는 NAVSTAR社의 XR4-PC로서 그 주요요목은 Table 1과 같다. Table 1에서 XR4-PC는 수신주파수 L1, 2 Channel C/A Code 수신기로서 8개의 위성까지 추적이 가능하며 이 수신기를 三寶 computer TriGem-286+D의 slot에 설치하여, 수신 자료를 1분 간격으로 floppy diskette에 기록하였다. 기록내용은 세계시, GPS측위시간, 측위위치, 이용할 수 있는 衛星數 및 위성의 仰角, 方位角이었다. 또한 관측지점주위의 지형은 E에서 SE방향에 걸쳐 높이 110~130m의 산이 둘러있고 그 외의 방향은 위성의 신호를 수신하는데 방해할 만한 장애물은 없었다.

관측점의 위치는 국립지리원 발행 1/25,000의 지

도에서 구하여 기준위치로 하였으며, 수신기의 測地系는 사용된 지도와 측지계를 일치시키기위해 Bessel datum(Tokyo datum)으로 하였다.

이용된 衛星은 SV(Space Vehicle) 2, 3, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25의 17개로서 관측시에 이용할 수 있는 위성의 수가 3개일 때 2次元測位(2 dimensional position; 2D), 4개 이상일 때 3次元測位(3 dimensional position; 3D)를 하였다.

Table 1. Specification of the XR4-PC

Receiver: 2 channel, C/A code L1 frequency
Performance: accuracy, 15m RMS with PDOP < 3
Satellite: Up to 8 satellites tracked
Velocity: Up to 320km/hr
Operation: Operation is via the host computer
Mechanical & Outline: Outline and connector layout to enable installation in IBM compatible computer
Antenna: Upper hemispherical coverage, right hand circularly polarised. Integral preamplifier/filter

2. 위성선택계산

GPS수신기는 위성신호를 수신하여 위치를 계산하므로 수신안테나의 시야중에 어느 위성이 있는가를 알아야 하고, 시야중에 측위에 필요한 위성보다 많은 수의 위성이 있으면 그 중에서 精度가 제일 좋게 측위할 수 있는 위성을 선택할 필요가 있다(木村, 1987).

이러한 위성선택의 계산을 하기 위하여 먼저 위성이 시야에 보이는가 보이지 않는가를 계산할 필요가 있으며, 시스템에 속하는 전 위성의 어느 시각의 위치는 위성으로부터 방송되는 궤도 data를 사용하여 지구의 중심을 원점으로 하고 경도 0°의 적도방향을 X축, 동경 90°의 적도방향을 Y축, 북극 방향을 Z축으로 지구와 함께 회전하는 直交座標系로서 구한다.

수신점은 추측위를 사용하고 그 위치를 위도 ϕ , 경도 λ 라 하면 그 추측위치에서 지구면에 접하는 평면을 UV座標(東이 U, 北이 V), 天頂을 W축으로 하는 국지적 직교 좌표계상에서 위성의 方位角과 仰角을 구한다. 위성의 양각이 +인 위성은 수신점에서 보이는 위성이지만 보통 최저 양각을 7° 정

도로 하고 있으며, 이러한 위성의 방위각 a 와 양각 h 는 다음과 같이 계산한다.

지구의 地心을 기준으로 한 직교좌표계 XYZ상의 위성의 위치 X_s, Y_s, Z_s 를 위도 ϕ , 경도 λ 를 중심으로 하는 국지적 직교좌표계 UVW상에 좌표변환을 하면 그 때의 위성위치 U_s, V_s, W_s 는

$$U_s = X_s \sin\phi \cos\lambda + Y_s \sin\phi \sin\lambda - Z_s \cos\phi$$

$$V_s = -X_s \sin\lambda + Y_s \cos\lambda$$

$$W_s = X_s \cos\phi \cos\lambda + Y_s \cos\phi \sin\lambda + Z_s \sin\phi$$

가 된다.

따라서, 수신점에서 본 위성의 방위각 a 는

$$a = \tan^{-1}(-V_s/W_s)$$

여기서 $W_s > 0$ 이면

$$a = \tan^{-1}(-V_s/W_s) + 180^\circ$$

또, 양각 h 는 수신점에서 위성까지의 거리를 R 이라 하면

$$R = \sqrt{U_s^2 + V_s^2 + W_s^2}$$

$$h = \sin^{-1}(W_s/R)$$

가 된다.

이와 같은 방법으로 위성의 양각과 방위각이 구해지면 수신점에서 각 위성을 향하여 단위 vector를 그리는 것이 가능하고, 그 局地的 座標界 UVW의 각 축에 대하여 분력을 사용해서 행렬연산으로 3차원측위(3D)의 幾何學的 劣化係數 PDOP(Position Dilution of Precision), 2차원측위(2D)의 幾何學的 劣化係數 HDOP(Horizontal Dilution of Preci-

sion)를 계산할 수 있으며, PDOP와 HDOP의 값이 가장 작은 위성을 조합하면 精度가 높은 위치를 계산할 수 있다.

결과 및 고찰

1. 측위 가능시간과 위성의 궤적

GPS시스템은 아직 완성되지 않은 단계이므로 1일 24시간 연속측정이 곤란하고 이용할 수 있는 위성의 수도 측위시간에 따라 다르다.

Fig. 1은 관측지점에서 4월 6일의 각 위성의 측위가능시간을 예측하여 나타낸 것이며, Fig. 2는 위성의 방위각과 양각에 따른 각 위성의 궤적을 나타낸 것이다. Fig. 1과 Fig. 2에서 이용할 수 있는 양각 7° 이상인 위성은 SV(Space Vehicle) 2, 3, 6, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25 등의 17개였고, 안테나의 시야에 SV 11, 13, 15, 16, 24, 25는 하루에 1회, 나머지 위성은 2회 나타났다. 그리고 위성의 출몰시간은 1일 약 4분정도 빨라지므로 관측기간중 거의 비슷한 양상을 보였다.

관측기간중 4월 6일에는 10시 00분부터 12분까지, 13시 26분부터 14시 12분까지 측위가 불가능하였고, 4월 7일에는 측위가 불가능한 시간은 없었으나 05시 02분부터 33분까지 측위정도가 특히 불량하였다. 4월 9일에는 03시 24분부터 26분까지, 06시

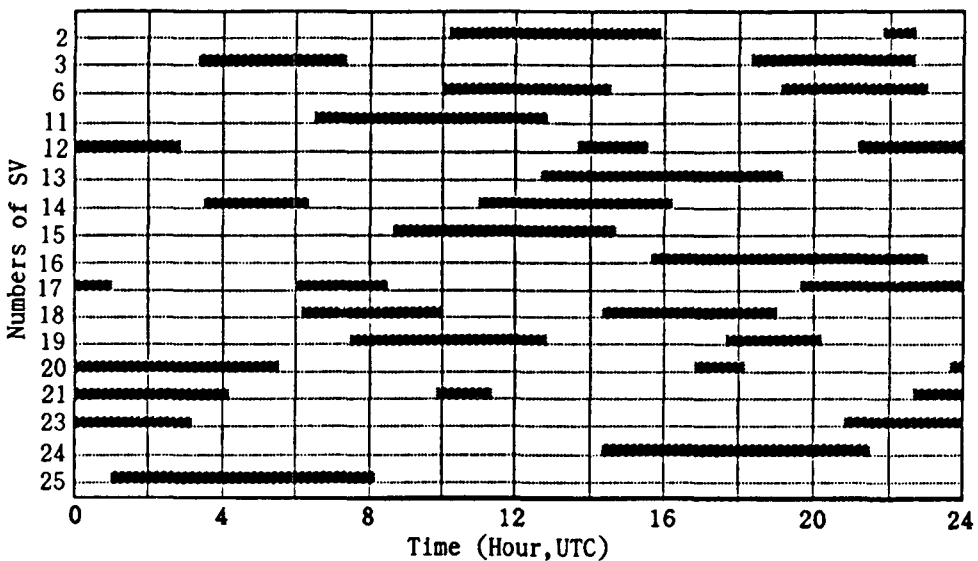


Fig. 1. The visible time of GPS satellites, April 6.

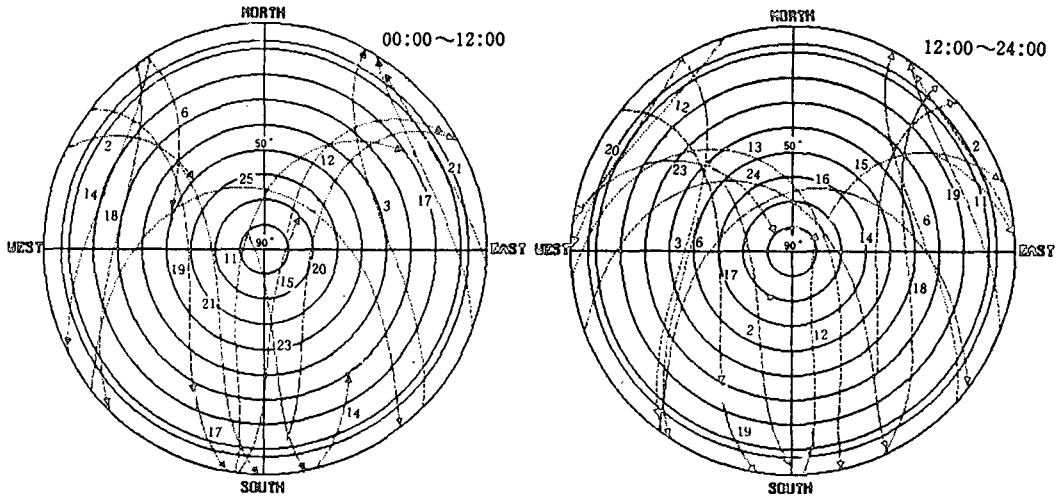


Fig. 2. The azimuth-elevation sky maps, April 6.
Center of the circle: Zenith
Arabic numeral: SV numbers

51분부터 07시 05분까지 그리고 10시 12분부터 18분까지 측위가 불가능하였고, 4월 10일에는 측위 불가능한 시간은 없었으나 13시 27분부터 15시 22분까지 특히 측위정도가 나빴다. 그리고 4월 6일과 9일의 2차원측위시간은 각각 약 3시간 30분이었다.

2. PDOP 및 HDOP의 변화

GPS의 측위정도는 GPS위성의 기하학적 배치와 양각에 따라 달라지므로 GPS수신기에서는 시야에 보이는 전 위성을 조합하여 PDOP 및 HDOP를 계산한 후 그 중에서 그 값이 가장 작은 위성을 조합하여 위치를 계산하게 되므로 GPS의 측위정도도 예측할 수 있다.

Fig. 3는 PDOP와 HDOP예측값을 시각별로 나타낸 것이다. Fig. 3에서 관측기간중 PDOP 및 HDOP의 값은 비슷한 양상을 보였으며, 1일중의 변동을 보면 0시~10시, 23시~24시에는 PDOP 및 HDOP값의 변동이 크고, 10시~23시에는 비교적 안정된 값을 보였다. 이와 같은 차이는 주로 관측시의 위성의 幾何學的 배치와 양각의 차이 때문이라 생각된다.

또한 Fig. 3에서 4월 6일과 9일을 2D와 3D측위로 구분하여 기준위치에서 경도방향의 편위(동서거), 위도방향의 편위(변위) 및 기준위치와 관측위치와의 거리(편위거리)의 평균값과 표준편차를 나타내면 Table 2와 같다.

여기서 관측위치의 편위방향과 평균 측위위치를 알기 위하여 동서거는 기준위치의 경도보다 동쪽으로 편위했을 때를 +, 서쪽으로 편위하였을 때를 -, 변위는 기준위치보다 북쪽으로 편위했을 때를 +, 남쪽으로 편위했을 때를 - 기호를 붙여 자료로 사용하였으며, 편위거리는 동서거, 변위의 기호에 상관없이 그 절대값을 사용하였다.

Table 2에서 4월 6일과 9일의 2D의 편위거리의 평균값은 각각 53.6m(표준편차 37.0m), 70.2m(표준편차 54.8m)이었고, 3D의 값은 각각 38.6m(표준편차 39.2m), 45.8m(표준편차 48.6m)로써 3D의 경우에 측위정도가 우수하였음을 알 수 있었다.

3. 측위정도

Fig. 4는 관측일별로 관측시간에 대한 편위거리의 변동을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 편위거리의 변동패턴은 Fig. 3의 PDOP(HDOP)의 변동과 거의 비슷하였지만 4월 10일 13시 27분~15시 22분 사이에는 편위거리의 값이 100~1,000m로 대단히 큰 값을 나타내었다. 그 시간에 이용할 수 있는 위성의 수는 5~8개이었고, PDOP(HDOP)의 값도 4이하로서 측위에는 좋은 조건이었는데 이렇게 큰 오차를 발생한 원인은 SA때문인가 아닌가 추정되지만 확인할 수는 없었다.

Fig. 4에서 동서거, 변위, 편위거리 그리고 3D측위시의 고도의 평균값과 표준편차를 나타내면 Ta-

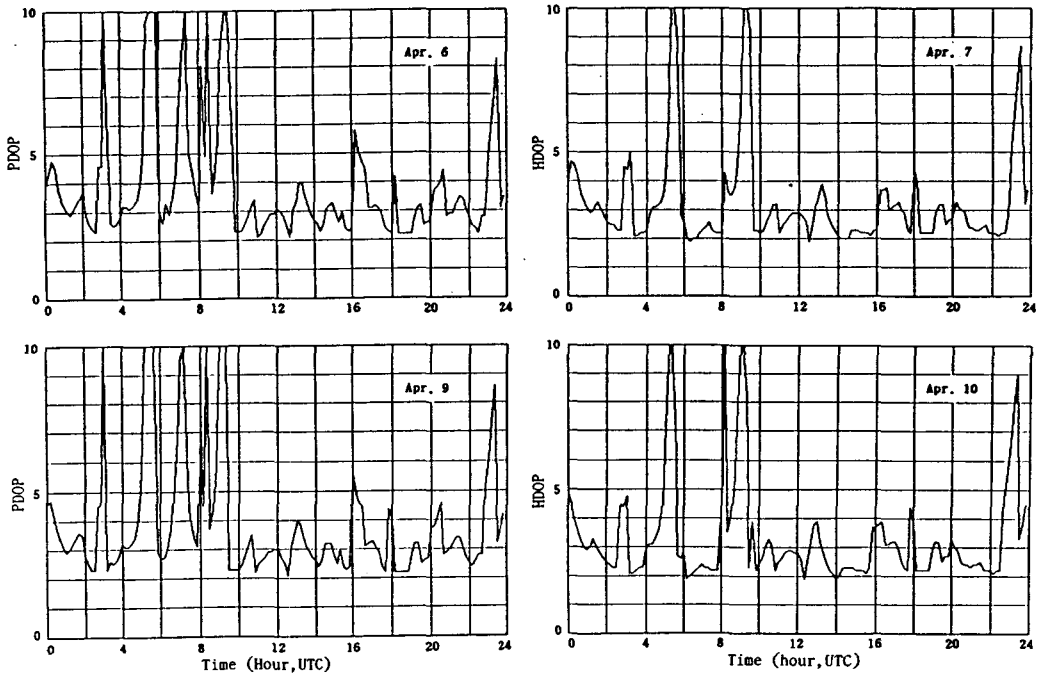


Fig. 3. The fluctuation of GPS PDOP and HDOP in Kunsan.
 PDOP: Position Dilution of Precision
 HDOP: Horizontal Dilution of Precision

Table 2. The average and standard deviation of Dep., D. 1at. and Dist. between standard position and GPS positions in 2D and 3D mode, April 6, 9. (unit: meters)

Date Mode	April 6						April 9					
	2D			3D			2D			3D		
	Dep.	D. lat	Dist.	Dep.	D. lat	Dist.	Dep.	D. lat	Dist.	Dep.	D. lat	Dist.
Average	-17.3	-0.4	53.6	-14.1	-2.2	38.6	-36.2	-22.9	70.2	-15.9	2.5	45.8
S. D.	29.9	55.8	37.0	28.8	44.7	39.2	46.9	62.9	54.8	34.7	54.8	48.6

* 2D: Two dimensional position
 S. D.: Standard deviation
 D. lat.: Difference of latitude

3D: Three dimensional position
 Dep.: Departure
 Dist.: Difference between standard position and GPS position

ble 3과 같다. 여기서 고도에 대한 오차는 안테나 높이(35m)를 기준으로 분석하였다.

Table 3에서 편위거리는 4월 7일에 평균값 37.9m, 표준편차 37.4m로 제일 작았고, 4월 10일에 평균값 73.6m, 표준편차 133.1m로 제일 컸다. 이와 같이 4월 10일에 제일 큰 값을 보인 것은 13시 27분~15시 22분사이에 측위오차가 특히 컸기 때문으로 추정된다. 그러나 이와 같은 값들은 Loran C의 측위오차 약 0.5mile, NNSS의 측위오차 약 0.6

mile(Lee, 1984; 1991)에 비하면 GPS의 측위정도가 대단히 우수함을 알 수 있다.

Fig. 5는 4월 6, 7, 9, 10일에 기준위치에 대한 관측위치의 산포도와 95% 확률원을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 측위오차의 95% 확률원 반경은 137.2m이고 그 산포도는 기준위치로부터 3상한쪽으로 치우쳐 있음을 알 수 있다.

Fig. 6는 측위오차에 대한 상대도수의 빈도분포도를 나타낸 것으로, 그 오차는 20~30m의 부근에

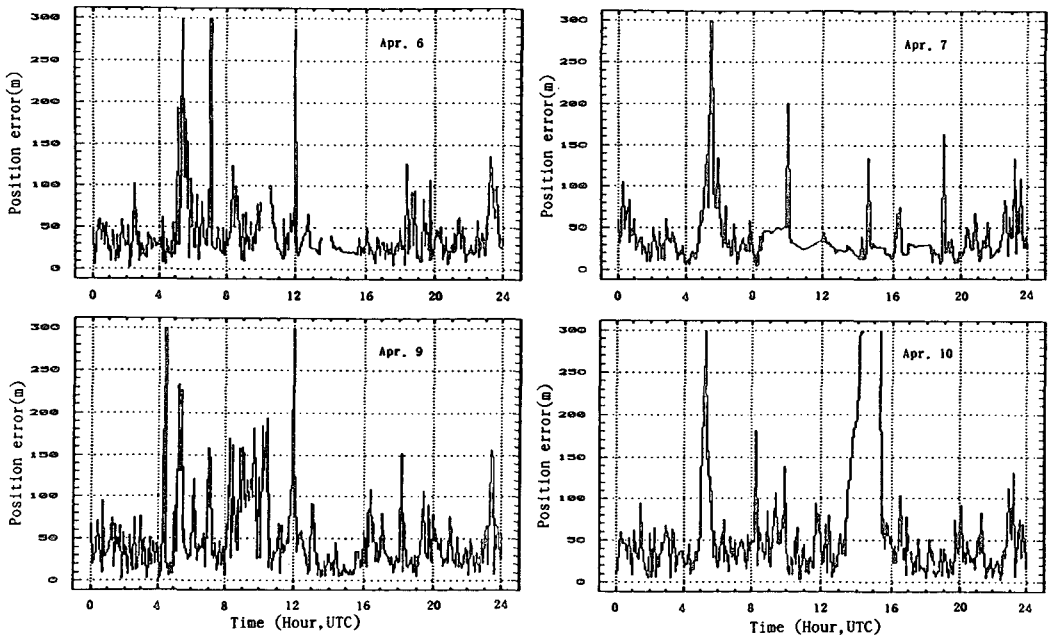


Fig. 4. The plots of position error.

Table 3. The average and standard deviation of Dep., D. lat., Dist. and Alt. between standard position and GPS positions, April 6, 7, 9, 10. (unit: meters)

Date	April 6				April 7			April 9				April 10		
	Dep.	D.lat.	Dist.	Alt.	Dep.	D.lat.	Dist.	Dep.	D.lat.	Dist.	Alt.	Dep.	D.lat.	Dist.
Average	-15.3	-3.7	42.7	56.1	-20.9	-0.7	37.9	-18.7	-1.1	49.4	74.7	14.7	-14.7	73.6
S. D.	32.1	58.6	53.6	65.1	25.6	41.8	37.4	37.4	56.8	50.3	92.9	135.4	66.0	133.1

* S. D.: Standard deviation
Alt.: Altitude

Dep.: Departure D.lat.: Difference of latitude
Dist.: Difference between standard position GPS position

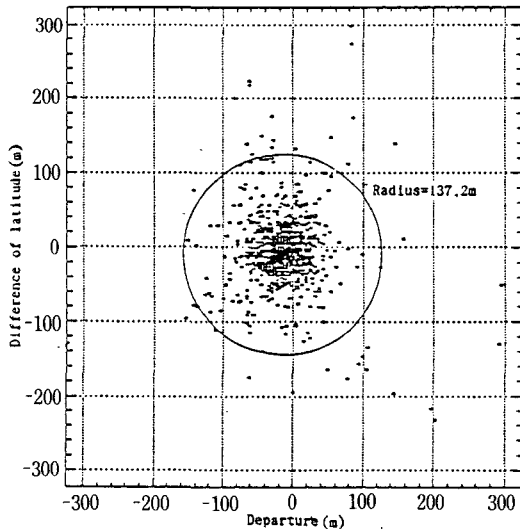


Fig. 5. The distribution of differences between standard position and GPS positions with the 95% probability circle in Kunsan, April 6, 7, 9, 10.

집중되어 있음을 알 수 있다.

Table 4는 PDOP(HDOP), 관측 data 수, 편위거리 및 표준편차를 관측일별로 나타낸 것이다. Table 4에서 전체 data의 80~90%가 PDOP(HDOP) 0.0~4.9의 범위내에 있었고, 편위거리는 4월 7일 32.6m, 4월 10일 70.4m였다. 특히 4월 10일에 큰 값을 보인 것은 13시 27분~15시 22분 사이에 PDOP(HDOP)의 값이 4.0이하였어도 그 시각대에 편위오차가 100~1,000m로 대단히 컸었기 때문이라 추정된다.

그리고 PDOP(HDOP)의 값이 5.0~9.9일 때의 편위거리는 72.2~86.3m, 10.0이상일 때 102.8~137.5m로서 PDOP(HDOP)의 값이 클수록 편위거리가 커짐을 알 수 있다. 따라서 PDOP(HDOP)의 값을 미리 예측하여 GPS를 이용하면 선위측정에 많은 도움을 줄 것으로 생각된다.

Fig. 7은 4월 6일과 9일에 3D측위시 고도의 변화를 안테나 높이 35m를 기준으로 그 보다 높을 것을 (+), 낮을 것을 (-)로 표시하여 나타낸 것이다.

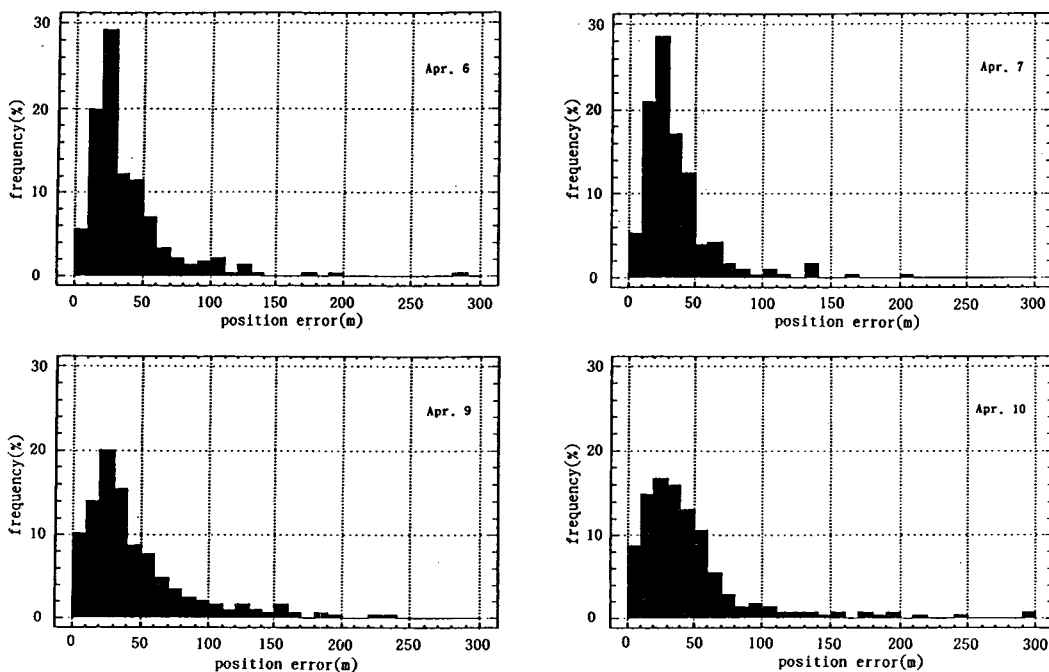


Fig. 6. The frequency histograms of position error.

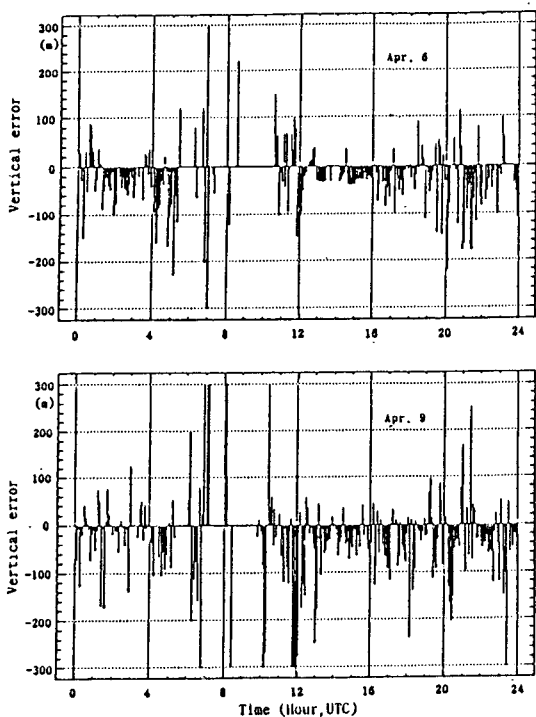


Fig. 7. The plots of GPS vertical error.

Table 4. The No. of data, Dist. and Standard deviation for PDOP(HDOP).

Date	PDOP(HDOP)	No. of data	Dist.	S. D.
April 6	0.0~4.9	250	35.4	27.3
	5.0~9.9	23	86.3	127.8
	10.0~	8	131.1	112.7
April 7	0.0~4.9	261	32.6	22.8
	5.0~9.9	11	80.9	39.7
	10.0~	10	137.0	112.0
April 9	0.0~4.9	233	41.7	46.1
	5.0~9.9	35	72.2	46.3
	10.0~	17	102.8	62.5
April 10	0.0~4.9	264	70.4	137.0
	5.0~9.9	12	72.3	37.4
	10.0~	12	137.5	78.3

* Dist.: Difference between standard position and GPS positions(meter)

S. D.: Standard deviation(meter)

Fig. 7에서 고도의 평균값과 표준편차는 4월 6일에 각각 56.1m, 65.1m였고, 4월 9일은 각각 74.7m, 92.9m였다.

이와 같은 결과로부터 GPS의 측위오차는 관측자와 위성의 기하학적인 배치, 특히 방위와 양각에 밀접한 관계가 있고 또한 PDOP(HDOP)의 대소로서 측위정도를 예측하는 것이 가능함을 알 수 있다.

요 약

GPS시스템에 대한 측위가능시간과 측위정도를 알기 위하여 1992년 4월 6일~10일까지 군산대학교에서 GPS NAVSTAR위성을 관측하고, 그 측위정도를 분석·검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. GPS는 거의 24시간동안 측위가 가능하였으나 2~3회 정도 측위가 불가능한 경우가 있었으며 그 시간은 1일 최대 1시간 정도였다. 또한 위성의 almanac을 이용하여 관측지점에서 관측에 이용할 수 있는 위성과 PDOP(HDOP)를 계산하면 측위가능시간 및 측위정도를 예측할 수 있었다.

2. GPS에 의한 평균측위오차는 37.9~73.6m, 표준편차 37.4~133.1m로서 PDOP(HDOP)값의 크기에 거의 일치하는 경향을 보였고 다른 전파항해계에 비하여 측위정도가 훨씬 우수하였음을 알 수 있었다.

3. 3차원측위(3D)가 2차원측위(2D)보다 그 측위정도가 좋았으며, 3차원측위에서 고도의 평균측위오차는 56~74m, 표준편차는 65~93m이었다.

참 고 문 헌

Chamberlain, S. M. and R. Eastwood. 1990. Global satellite navigation using both GPS and GLO-

NASS. Proceeding of ION GPS-90, 277~286.
 Enge, P. K. 1990. Using GPS to calibrate Loran C. Proceeding of ION GPS-90, 207~216.
 Hojo, H., S. Kawashima and M. Nakamura. 1990. Land-mobile GPS receiver. Proceeding of ION GPS-90, 183~190.
 Kee, C., B. W. Parkinson and P. Axelrad. 1991. Wide area differential GPS. NAVIGATION. Jour. of ION, Vol. 38, No. 2, 123~146.
 Kremer, G. T., R. M. Kulafus, P. V. W. Loomis and J. C. Reynolds. 1990. The effect of selective availability on differential GPS corrections. NAVIGATION. Jour. of ION, Vol. 37, No. 1, 39~52.
 Lee, W. W. and H. I. Shin. 1984. Accuracy of Hybrid navigation system combining dead reckoning and Loran C. Bull. Korean Fish. Tech. Soc. 20(2), 105~111.
 Lee, W. W. 1991. The evaluation of Hybrid navigation system combining Dead reckoning and NNSS. Bull. of Kunsan Fish. College. 25 (1), 1~6.
 Raby, P., K. Harris, P. Cribson, P. Mans and G. Morrison. 1990. A dual NAVSTAR GPS/GLONASS satellite receiver. Proceeding of ION GPS-90, 549~554.
 Saneto, S., K. Motomura and S. Mizutani. 1988. A characteristic of positioning by GPS at a fixed station. NAVIGATION, No. 97, Japan Ins. of Navigation, 77~82.
 木村小一. 1987. 船舶電子航法ノート(121). 船の科學, Vol. 40, 1987~6, 74~77.

1992년 6월 29일 접수

1993년 5월 1일 수리