

GPS 절대측위 정확도 분석 Accuracy Analysis of GPS Absolute Positioning

강준목* · 김욱남** · 박정현*** · 이은수***

Kang, Joon-Mook · Kim, Uk-Nam · Park, Jung-Hyun · Lee, Eun-Soo

要 旨

본 연구는 SA 가동 중단 후 GPS 절대 측위 정확도의 향상 정도를 파악하는데 있다. 이를 위해 SA 가동 중단 전후의 GPS C/A 코드 의사 거리를 이용하여 위성 시계 오차량과 관측점 좌표를 산출하였으며, 이를 JPL 정밀케도력에 포함되어 있는 위성 시계 오차량 및 관측점의 기지성과 비교하였다. 비교 결과, GPS 위성 시계 오차 보정량은 SA 가동시 약 ± 40 m폭으로 변동을 보인 반면, SA 중단 후 ± 2 m이내로 급격히 감소되었음을 알 수 있었으며, 3차원 좌표성도에 대한 95% 확률오차는 SA 가동시 약 ± 65 m였으나, 가동 중단 후 X, Y는 약 ± 10 m, Z는 약 ± 15 m로 GPS 절대 측위 정확도가 상당히 향상되었음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The aim of this study is to know the GPS absolute positioning accuracy after discontinuing of Selective Availability (SA). The GPS satellite clock errors and the observation station coordinates were calculated using GPS C/A code pseudorange and compared with the JPL precise ephemerides and the previous known coordinates. As the results, the correction of the GPS clock errors in SA-on is about ± 40 m but in SA-off ± 2 m. The 95% probable errors for the measurements in SA-on are about ± 65 m but in SA-off ± 10 m in X, Y and SA-off ± 15 m in Z.

1. 서 론

미국은 자국의 안보를 목적으로 개발한 측위 시스템인 GPS에 고의적으로 측위 정확도를 낮추는 SA(Selective Availability) 정책을 수행하여 왔다.

SA는 GPS를 이용한 위치 결정에 가장 큰 비중을 차지하는 오차요인으로 이에 의한 위치 결정의 영향을 최소화하려는 많은 연구가 진행되어옴과 동시에, 유럽의 여러국가들은 SA가동 중단을 꾸준히 요구해 왔으며 급기야는 그들만의 새로운 위성 항법 시스템인 갈릴레오 프로젝트를 계획하게 되었다. GPS에 대한 폭발적인 민간 수요의 증가로 인해 막대한 부가 수입을 올리던 미국은 이에 대응하는 조치로 2000년 5월 2일 04시 05분(UTC)경에 그동안 계속적으로 진행되어 오던 SA정책을 중단하였다. SA가동이 공식적으로 중단됨에 따라 SA로부터 파생되는 거리오차 계산이 무의미해졌으며 거리오

차들의 정확도에 따라 위치 결정의 정확도가 좌우되는 절대측위는 그 정확도가 향상될 것으로 예측된다.

본 연구에서는 SA 가동 중단 전후의 GPS 관측 자료를 이용하여 위성 시계 오차량을 구하고, 이를 IGS(International GPS Geodynamics Service) 분석센터 중의 한곳인 JPL(Jet Propulsion Laboratory, USA)분석센터에서 산출한 위성시계오차량과 비교하며, 기지점에 대해 절대측위 방식으로 위치를 산출하여 기지점의 좌표와 비교함으로써 SA 가동 중단 전후의 결과를 분석하고자 한다. 위성 시계 오차량은 GPS 항법메시지에 포함되어 있는 다항식 계수들을 이용하여 산출하고, 위성의 위치는 GPS 항법파일에 2시간마다 기록되어 있는 케도력 변수들과 WGS84에서 정의된 상수들을 이용하여 계산하며, ICD-200의 내용을 바탕으로 절대측위 프로그램을 작성한다.¹⁾ 본 연구에 대한 흐름도는 그림 1과 같다.

2. 위성 시계 오차

독립적인 GPS 관측시 고의적으로 정확도를 저하시키는 방법으로는 GPS 위성의 시계 신호 변경과 방송케도

*충남대학교 공과대학 토목공학과 교수

**신규대학 지적과 부교수

***충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정

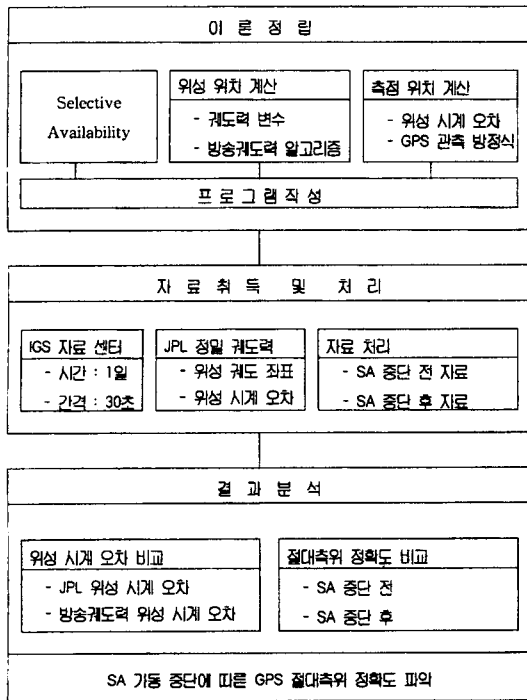


그림 1. 연구내용 흐름도

력의 위성 궤도요소 변경이 있다.²⁾ GPS 위성이 아무리 높은 정확도를 가진 원자시계를 지녔다하더라도 참값에 해당하는 GPS 시간과 위성에 장착한 시계와의 차이는 항상 발생된다. 따라서 지상 감시국에서는 이 차이를 항상 감시하고 있으며 이를 보정할 수 있는 시계 보정 변수들을 위성으로 송신하는데 여기에 SA가 적용된다. 시계 보정 변수들은 다음과 같은 방법으로 시간을 보정하는데 사용된다.³⁾

$$t = t_{sv} - dt$$

$$dt = a_0 + a_1(t - t_{OC}) + a_2(t - t_{OC})^2 \quad (1)$$

- 여기서, t : 참값에 해당하는 GPS시간(s)
 t_{sv} : 위성에서 신호를 송신한 시간(s)
 dt : 위성 시계 오차(s)
 a_0, a_1, a_2 : 방송궤도력의 시계 보정 계수
 t_{OC} : 방송궤도력 기준시간(s)

3. GPS 자료 취득 및 처리

본 연구는 SA 가동 전후 절대측위의 정확도 향상 여

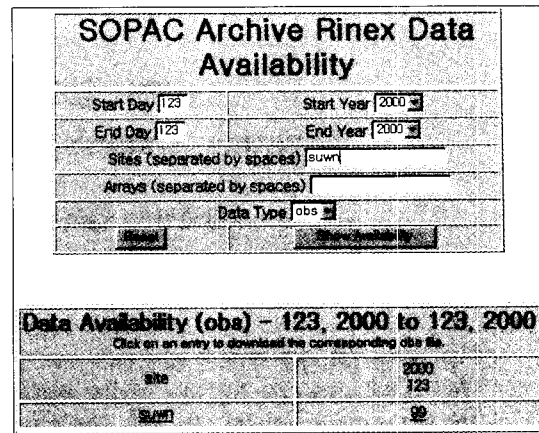


그림 2. IGS GPS 관측 자료 다운로드 사이트

부를 파악하는 것이 목적이므로 관측점의 좌표에 신뢰성이 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 IGS 국내 상시 관측소 중 하나인 SUWN(수원)점의 GPS 관측 자료를 이용하였다. 그림 2는 IGS 미러(mirror) 사이트로 본 연구에 사용되는 GPS 관측자료를 검색하고 있다.

본 연구를 위해 SA가동 중단일인 DOY 123의 GPS 관측자료를 이용하였으며, 정확도의 추이를 파악하기 위해 약 한달간격으로 DOY 154, DOY 184, DOY 215, DOY 246, DOY 302 관측자료를 전송 받았다. 또한, SA가동 전후 위성 시계 오차의 향상정도를 파악하기 위해 JPL의 정밀궤도력을 전송 받았다. IGS 정밀궤도력은 약 15분 간격으로 위성의 좌표 및 시계오차를 계산하고 있지만 JPL의 정밀궤도력 중에는 30초 간격으로 위성의 좌표 및 시계오차를 계산하여 놓은 high rate 정밀궤도력이 있다. 15분 간격의 정밀궤도력을 이용하여 GPS 관측시간의 위성 좌표와 위성 시계 오차를 계산하려면 보간법의 적용뿐만 아니라, 지구 자전에 따른 여러 가지 동적 모델식을 적용하여야만 한다. 그러나 30초 간격의 정밀궤도력을 이용하면 정밀궤도력 자체만으로도 원하는 시간의 위성 좌표와 위성 시계 오차를 계산할 수 있다. 전송받은 SUWN GPS 관측자료를 이용하여 그림 3과 같은 절대 위치 결정 방법으로 SUWN측점의 좌표를 계산하였다.⁴⁾

4. 결과 분석

4.1 GPS 위성 좌표 비교

항법 정확도의 저하를 목적으로 하는 SA는 궤도력을

조정하는 방법(ϵ -process)을 이용하기 때문에 SA 가동 중단 전후의 방송케도력을 이용하여 이를 비교하고자 하

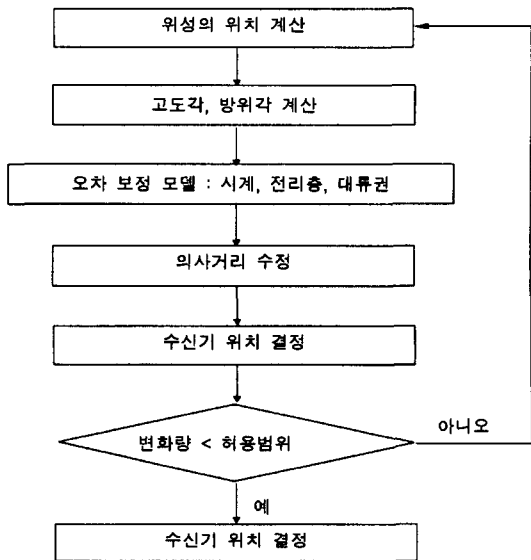


그림 3. 절대측위 계산 절차

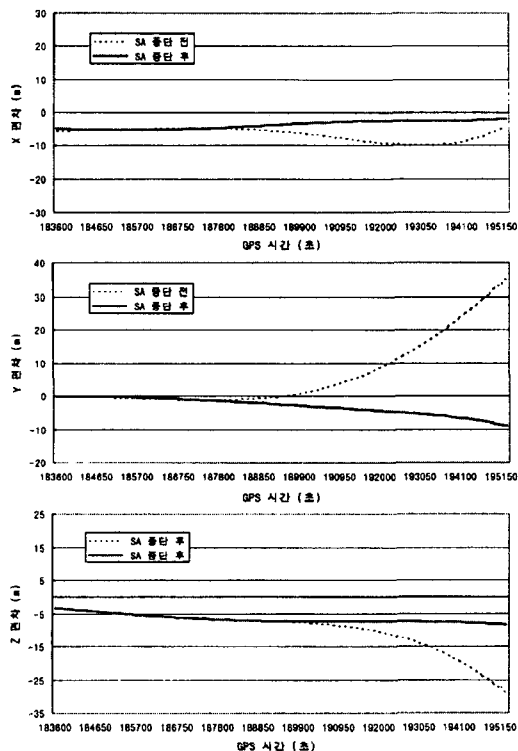


그림 4. PRN 2 위성의 X, Y, Z 좌표 편차비교

였다.

2000년 5월 2일 183600초(GPS 시간)부터 195150초까지의 위성 좌표를 산출한 결과를 도시한 것은 그림 4와 같다. 각각의 그림에서 점선은 SA 가동이 중단되기 전인 2000년 5월 2일 02시(180000초)의 방송케도력을 이용한 결과이며, 실선은 SA 가동의 중단이 포함된 2000년 5월 2일 04시(187200초)의 방송케도력을 이용한 결과이다. 각각의 그림에서 187800초까지는 두 결과의 차이가 거의 없지만, 그 이후부터는 각 좌표의 편차가 증가하고 있음을 알 수 있다. 그러나 이는 SA 영향에 의한 결과라기보다는 방송케도력 변수들의 갱신여부에 따른 결과로 보아야 할 것이다. 왜냐하면 187800초 이전까지 02시와 04시의 방송케도력을 이용한 결과에서는 편차의 차이가 거의 없었기 때문이다. 또한 실시간으로 측정의 위치를 결정할 경우에는 갱신된 방송케도력을 이용하기 때문에 187200초부터는 04시의 방송케도력을 적용한다고 보면 이때의 02시의 방송케도력에 의한 위성좌표 산출은 아무런 의미가 없음을 알 수 있다.

4.2 위성 시계 오차량 산출 및 비교

SA는 케도력의 인위적인 조정(ϵ -process)뿐만 아니라, 위성 시계에도 인위적인 변화를 가함(δ -process)으로써 정확도를 저하시킨다. 일반적으로 위성시계오차는 340 ns (95% 확률오차)의 오차를 포함하고 있는 것으로 알려져 있다.⁵⁾

2000년 5월 2일 SUWN GPS 관측 자료 중 PRN 2 위성에 대해 식 (1)을 이용하여 산출한 위성 시계 오차와 JPL 분석 센터에서 산출한 30초 간격의 정밀케도력에 포함되어 있는 위성 시계 오차의 양상은 그림 5, 그림 6과 같다.

그림 5의 위성시계오차는 일정한 방향을 유지하는 듯

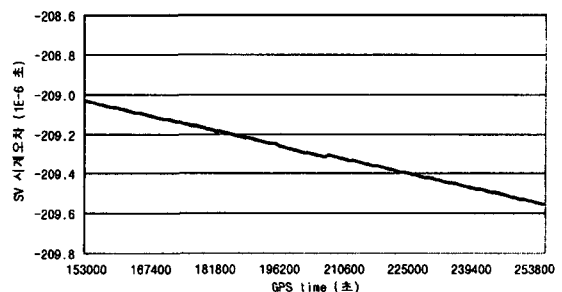


그림 5. Point positioning

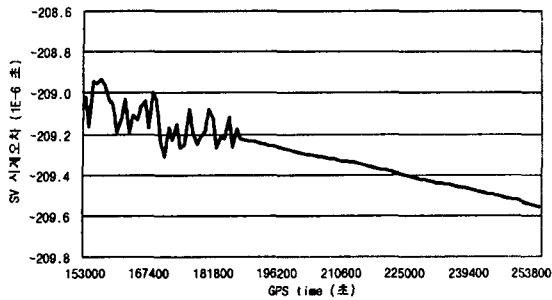


그림 6. JPL10602.sp3

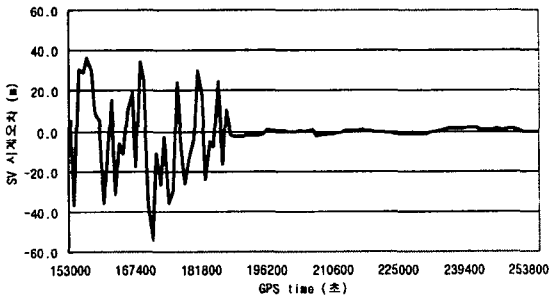


그림 7. Point positioning - JPL10602.sp3

보이나, 그림 6과 같이 JPL 분석센터에서 산출한 위성시계 오차를 기준으로 할 때, GPS time 153000~187200 구간은 SA의 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 1점 측위 시 계산한 PRN 2 위성의 시계오차와 JPL 정밀케도력에 포함되어 있는 시계 오차간의 편차량 및 이 편차량에 GPS신호 속도를 곱하여 산출한 거리 보정량은 그림 7과 같으며, SA 중단 전 약 ± 40 m의 폭을 보임을 알 수 있다. 특히, SA 중단 직전인 GPS time 180000~187200 구간에서 볼 때, 시계오차에 의한 거리 보정량은 -7~30 m의 불규칙한 양상을 보이나, SA 사용이 중단된 GPS time 187200 이후에는 그 양이 ± 2 m 이내로 급격히 감소하고 있음을 알 수 있다.

4.3 절대 측위 정확도 비교

본 연구에서 사용한 GPS 관측 자료는 IGS 국내 상시 관측소인 SUWN 사이트에서 관측한 자료이다. 특별히 SUWN의 GPS 관측 자료를 선택한 이유는 SUWN 사이트가 ITRF97에 포함되어 있기 때문이다. SUWN의 ITRF97좌표는 표 1과 같다.

2000년 5월 2일 SUWN의 24시간 데이터를 자료처리

표 1. SUWN ITRF97 성과

지심좌표계		측지좌표계	
X(m)	-3062022.658	Φ (도-분-초)	37-16-31.85545
Y(m)	4055448.096	λ (도-분-초)	127-03-15.25827
Z(m)	3841818.327	h(m)	82.253

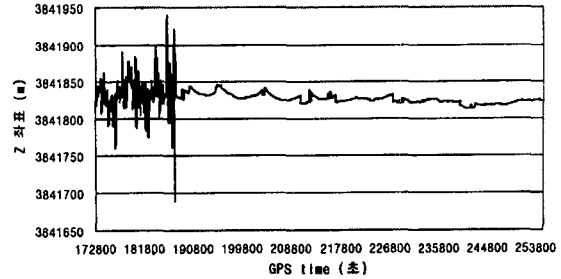
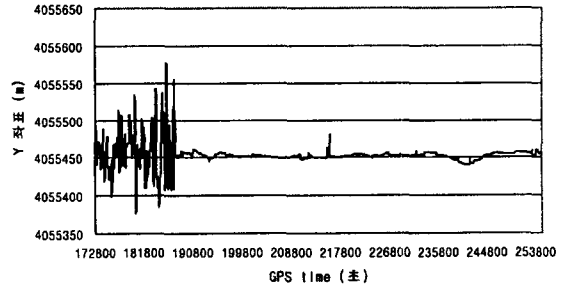
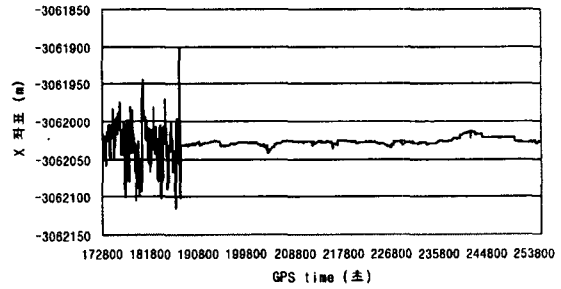


그림 8. GPS Week 10602 SUWN X, Y, Z 좌표

한 결과, GPS time 187590초(2000년 5월 2일 04시 06분)를 시점으로 절대측위의 좌표 성과는 매우 안정된 수치가 나오고 있음을 알 수 있다. 2000년 5월 2일 SUWN의 24시간 데이터의 자료 처리 성과에 대한 전반적인 양상은 그림 8과 같으며, SA 가동 중단 전 약 200여 m의 변동폭을 보이다가 가동 중단 시점인 187590초(GPS time)이후로 약 20여 m로 그 변동폭이 상당히 줄어들어 있음을 알 수 있다.

본 연구의 자료처리 결과를 ITRF97 SUWN 좌표성으로부터 감하여 구한 편차들의 분포는 표 2와 같으며 표 2의 분포량을 누적하여 백분율로 재구성하여 이를 도시

표 2. SA 중단 전후의 2D, 3D 편차 분포

편차(m)	SA 중단 전		SA 중단 후		
	분포수		편차(m)	분포수	
	2D	3D		2D	3D
0-10	53	17	0-2	41	10
10-20	80	62	2-4	186	24
20-30	102	72	4-6	435	203
30-40	86	91	6-8	694	392
40-50	42	70	8-10	344	304
50-60	29	51	10-12	333	428
60-70	28	44	12-14	148	267
70-80	23	19	14-16	42	181
80-90	22	14	16-18	15	122
90-100	20	10	18-20	9	95
100-110	8	13	20-22	4	50
110-120	-	9	22-24	-	61
120-130	-	6	24-26	-	47
130-180	-	15	26이상	-	67

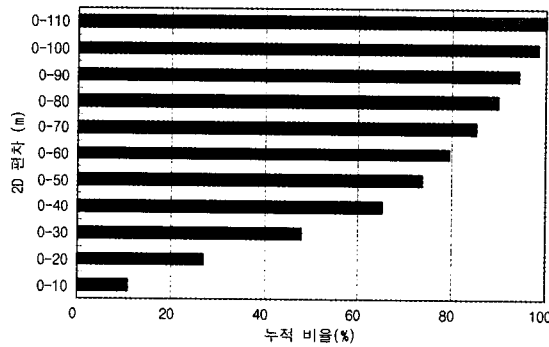


그림 9. SA 중단 전 2D 누적 분포량

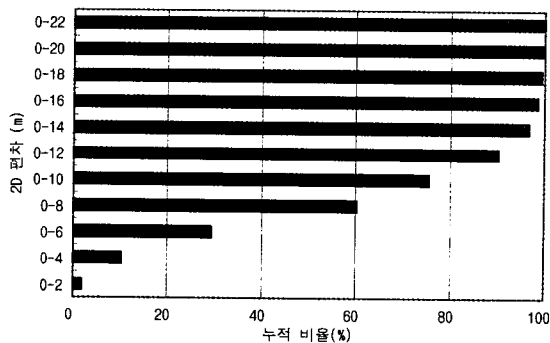


그림 10. SA 중단 후 2D 누적 분포량

한 것은 그림 9, 그림 10, 그림 11, 그림 12와 같다. 누적비율 80%를 기준으로 할 때 평면오차는 SA 중단

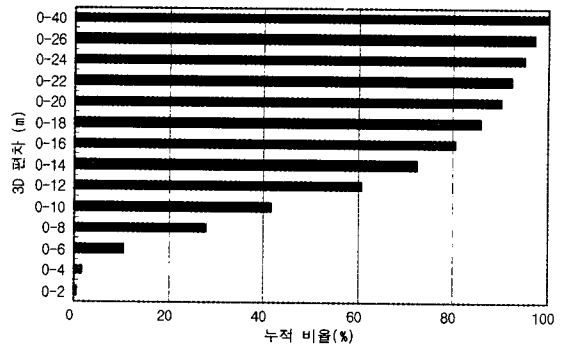


그림 11. SA 중단 전 3D 누적 분포량

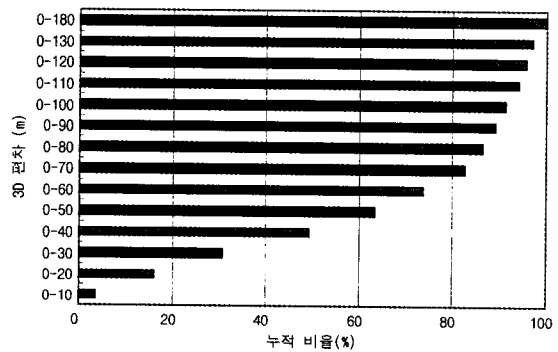


그림 12. SA 중단 후 3D 누적 분포량

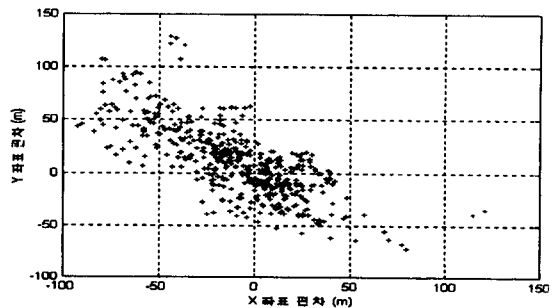


그림 13. SA 중단 전 평면 좌표의 편차 분포

전 약 ±60m의 편차를 보이는 반면, SA 중단 후 약 ±10m이내의 편차를 보이고 있음을 그림 9, 그림 10에서 알 수 있다. 누적비율을 90%로 할 때, SA 중단 전 편차는 약 ±80m로 누적비율을 80%로 하였을 경우에 비해 약 ±20m의 증가를 보이나, SA 중단 후 편차는 약 ±12m로 누적비율 80%일 때에 비해 2m정도밖에 증가하지 않음을 그림 11, 그림 12에서 알 수 있다.

이는 기선길이 10 km이내의 범위에서 코드 의사거리

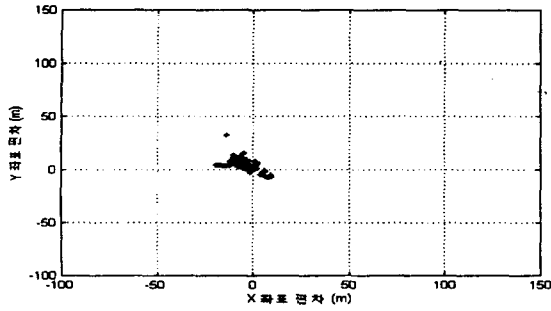


그림 14. SA 중단 후 평면 좌표의 편차 분포

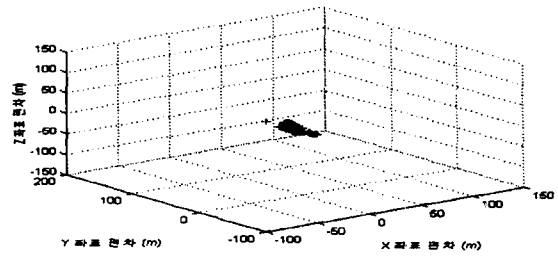


그림 16. SA 중단 후 3D좌표의 편차 분포

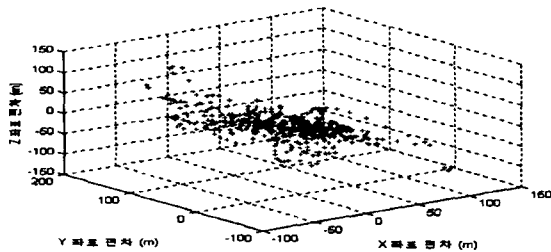


그림 15. SA 중단 전 3D좌표의 편차 분포

에 대한 단일차 기법의 수평정확도가 약 $\pm 4\text{m} \sim \pm 8\text{m}$ 정도임을 감안할 때, 절대 측위 결과의 정확도가 단일차 기법에 의한 결과의 정확도에는 미치지 못하지만 SA 가

동 중단 이후 어느 정도까지는 근접하고 있음을 의미한다.

SA 사용 중단 전후 결과값들에 대한 분포는 그림 13~그림 16과 같으며 중단 후 측위 정확도가 상당히 향상되었음을 알 수 있다.

SA 가동 중단후 정확도의 추이를 파악하고자 DOY 154, DOY 184, DOY 215, DOY 246, DOY 302의 GPS 관측자료를 추가로 처리한 결과는 그림 17~그림 21과 같으며, DOY 123, DOY 154, DOY 184, DOY 215, DOY 246, DOY 302의 95% 확률오차는 표 3과 같다.

SA 가동 중단일인 DOY 123의 관측 자료 처리 결과 값에 대한 95% 확률오차는 SA 중단 전 약 $X = \pm 65\text{m}$, $Y = \pm 69\text{m}$, $Z = \pm 64\text{m}$ 에서 중단 후 약 $X = \pm$

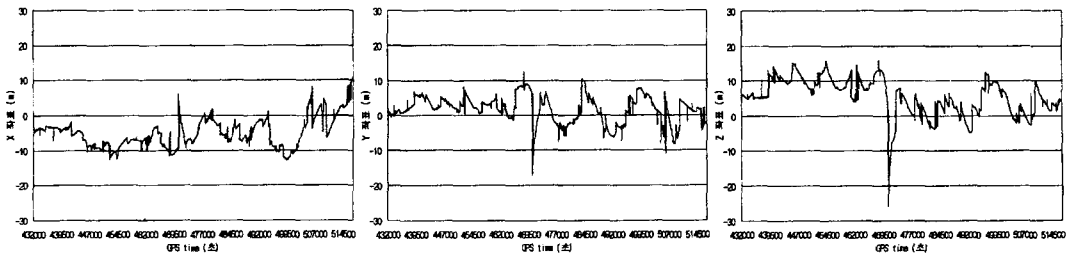


그림 17. DOY 154 GPS 관측 자료 처리 결과

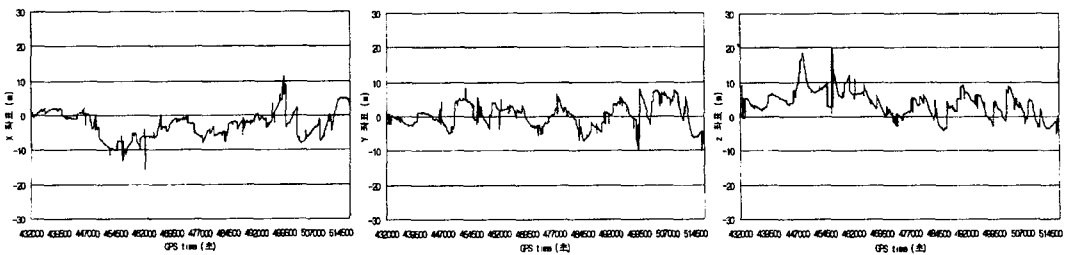


그림 18. DOY 184 GPS 관측 자료 처리 결과

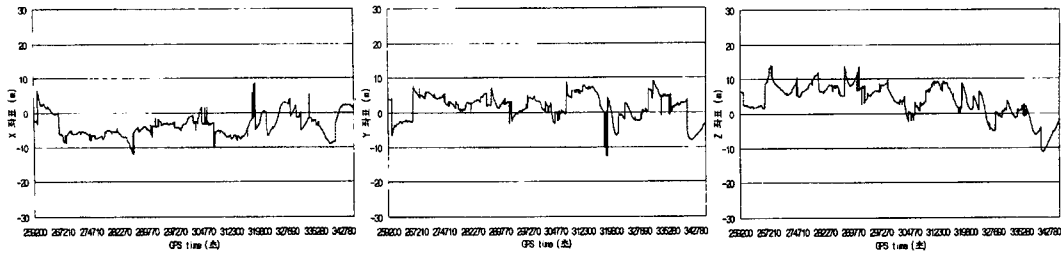


그림 19. DOY 215 GPS 관측 자료 처리 결과

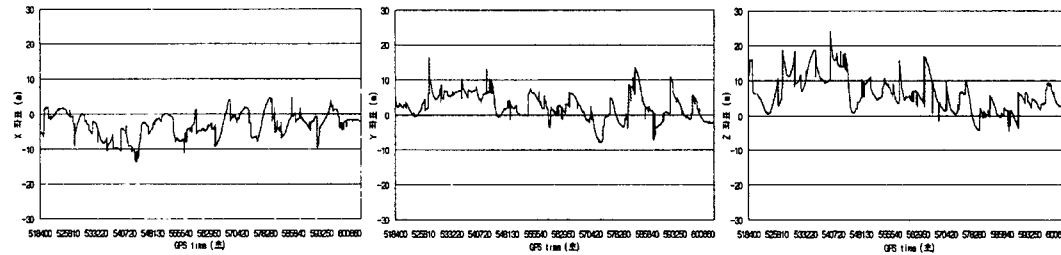


그림 20. DOY 246 GPS 관측 자료 처리 결과

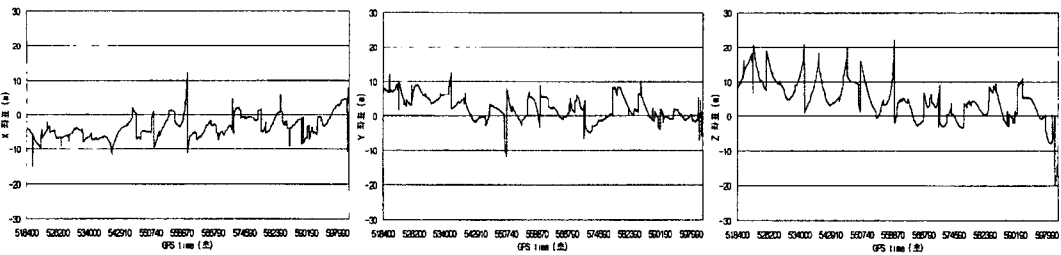


그림 21. DOY 302 GPS 관측 자료 처리 결과

표 3. X, Y, Z 좌표의 95% 확률오차

DOY	X 좌표(m)	Y 좌표(m)	Z 좌표(m)
123 (SA 중단 전)	±65.358	±69.212	±64.030
123 (SA 중단 후)	±12.211	±11.139	±20.269
154	±12.900	±8.431	±14.795
184	±9.136	±6.926	±10.922
215	±9.708	±8.079	±12.078
246	±9.330	±9.359	±15.760
302	±9.519	±9.108	±17.972

12 m, Y = ±11 m, Z = ±20 m이었다. SA 중단 이후 약 1개월 주기로 5일의 GPS 관측자료를 처리한 결과, X, Y는 약 ±10 m(95% 확률오차)이내이고 Z는 약 ±15 m(95% 확률오차)전후이었다. SA 가동시 GPS 절

대 측위에서 C/A 코드 의사거리를 이용한 위치 결정의 수평오차는 ±100 m(95% 확률오차), 수직오차는 ±156 m(95% 확률오차)의 정확도임을 감안할 때, SA 가동 중단 후 얻어진 위 결과는 정확도가 상당히 향상되었음을 알 수 있다.

5. 결 론

SA가 중단된 DOY 123, 154, 184, 215, 246, 302의 GPS C/A 코드 관측자료를 이용하여 절대 측위 방식으로 위성 시계 오차량과 XYZ좌표를 산출하고 위치 결정 정확도를 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. GPS 위성 시계 오차 보정량은 SA 가동시 약 ±40 m폭으로 변동을 보인 반면, SA 중단 후 ±2 m이내로

급격히 감소되었음을 알 수 있었으며, 궤도력에 대한 인위적인 정확도 저하는 없었음을 알 수 있었다.

2. SA 가동시 C/A 코드 의사거리를 이용한 절대 위치 결정의 수평오차는 ± 100 m(95% 확률오차), 수직오차는 ± 156 m(95% 확률오차)의 정확도임을 감안할 때, 중단 후 수평오차는 약 ± 10 m(95% 확률오차), 수직오차는 약 ± 15 m(95% 확률오차)로 정확도가 크게 향상되었음을 알 수 있었다.

3. SA 가동 중단은 비교적 낮은 정확도가 요구되는 차량관제, 선박항해, 항공기 운항, 레저분야 등 GPS를 이용한 절대 측위의 응용분야에 큰 전기를 마련한 것이라 사료된다.

참고문헌

1. Alfred Leick, GPS Satellite Surveying, 2nd Edition, John Wiley & Sons, INC, 1994.
2. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, Global Positioning System Theory and Practice, Third, revised edition, Springer-Verlag, 1994.
3. ARINC Research Corporation, Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces, 1993.
4. Günter Seeber, Satellite Geodesy : Foundations, Methods, and Applications, Walter de Gruyter, 1993.
5. 임형진, Current Status of GPS, 제3차 96 GPS Workshop proceedings, 1996.