

GPS 위성의 정밀궤도력에 의한 기선결정의 정밀도 향상에 관한 연구 A study on the Precision Improvement of Baseline Determination by Using the Precise Ephemeris of GPS Satellites

박필호* · 박종욱* · 조정호**

Park, Pil Ho · Park, Jong Uk · Jo, Jeong Ho

要 旨

GPS 측량에서 방송궤도력 대신에 정밀궤도력을 적용할 경우, 기선결정 정밀도가 어느 정도 향상되는지를 기선의 길이에 따라 정량적으로 분석하였다. 이를 위하여 기선의 길이가 15 km-201 km인 7개의 기선을 선택하여 GPS로 각각 6회 이상 반복하여 측정하였다. 같은 기선에 대해 방송궤도력과 정밀궤도력만을 바꿔 가며 같은 조건으로 각각 두번씩 처리하여 반복측정에 의한 표준편차를 구한 다음 서로 비교하였다. 그 결과, 모든 기선에 대하여 정밀궤도력에 의한 결과가 정밀도와 안정도 및 신뢰도면에서 방송궤도력의 결과에 비해 더 양호하게 나타났다. 특히 정밀궤도력을 적용한 경우 65 km 이상의 모든 기선에서 0.1 ppm 미만의 정밀도가 얻어졌고, 단기선 보다는 65 km 이상의 장기선에서 정밀궤도력의 적용에 의한 정밀도 향상율이 더 크게 나타났다. 이 연구의 결과가 GPS 측량 시 요구되는 정밀도와 측정하고자 하는 기선의 길이에 따라 방송궤도력 혹은 정밀궤도력 중에서 어느 것을 적용할 것인가에 대한 정량적 판단 기준이 되리라 본다.

ABSTRACT

According to the different baseline lengths, we quantitatively analyzed how much precision of the baseline determination is improved for GPS survey when using the precise ephemeris instead of the broadcast ephemeris of GPS satellites. For this research, we selected seven baselines ranging from 15 km to 201 km and performed GPS measurements more than six times for each baseline. The observed data for each baseline were processed two times with the same conditions alternately changing the broadcast and the precise ephemeris. The standard deviations from the repeated measurements for each baseline are compared between the results of using the broadcast ephemeris and the precise ephemeris. As the result, the precision, stability and reliability of the baseline determination using the precise ephemeris is better than those of using the broadcast ephemeris for all baselines. When using precise ephemeris for the baselines longer than 65 km, the precision less than 0.1ppm is always obtained and the precision improvement rate by using the precise ephemeris is considerably greater than that for the shorter baselines. We expect that this result might be a quantitative basis for the decision about what ephemeris is better for the baseline length and the demanded precision in GPS survey.

1. 서 론

GPS를 이용하여 측량할 경우 GPS 위성의 궤도오차, 수신기 및 위성의 시계오차, 이온층 및 대류층에 의한 오차 등 여러 가지 오차요인이 존재한다. 특히 GPS에 의한 위치측정은 GPS 위성과 수신기 사이의 거리와 위성의 위치 데이터 즉, 위성의 궤도력(ephemeris)을 이용

하여 이루어지므로 궤도력이 부정확할수록 지상에서의 위치측정 정밀도 역시 떨어진다. GPS 위성은 주관제국에서 예측한 궤도 즉, 방송궤도력을 항법메시지의 형태로 사용자에게 전달하는데 이 방송궤도력에는 1996년 현재 약 3 m의 예측에 의한 오차가 포함되어 있는 것으로 평가되고 있다.¹⁾ 따라서 측지/측량 분야에서 방송궤도력을 이용하여 기선벡터를 측정할 경우 1×10^{-7} (0.1 ppm) 보다 좋은 기선측정 정밀도를 얻기 힘들다. 이와 같은 정밀도는 고정밀 측지/측량 및 지구역

* 천문대 선임연구원

** 천문대 연구원

학 연구에 있어 장기선을 다루는 경우에 장애가 될 수 있을 만큼 큰 것이다.

이같은 문제점을 해결하기 위하여 GPS 위성의 정밀 궤도력을 산출하기 위한 국제적인 공동연구가 그 동안 활발히 진행되어 왔다. 그 결과로 전세계 약 110개 관측소가 참여하고 있는 국제 GPS 관측망(IGS: International GPS Service for Geodynamics)이 1994년 1월에 발족되어 GPS 위성의 정밀 궤도력을 산출하여 공급하고 있다.²⁾ IGS에서 산출한 정밀 궤도력은 전세계 GPS 관측소에서 수신한 약 14일치의 GPS 데이터를 종합하여 처리한 것으로 방송 궤도력보다 정밀도가 훨씬 높다.

GPS 측량에 있어 방송 궤도력을 적용하면 정밀 궤도력을 적용하는 것보다 기선결정의 정밀도가 떨어지지만 신속하고 간편하다. 그 이유는 방송 궤도력은 GPS 수신기에서 곧바로 취득이 되지만, 정밀 궤도력은 별도의 컴퓨터 네트워크를 통하여 IGS로부터 수집하여야 하고 약 11일 정도를 기다려야 하는 불편이 수반되기 때문이다. 따라서 GPS 데이터를 처리할 때 방송 궤도력과 정밀 궤도력 중에서 어떤 궤도력을 사용할 것인가는 측량에서 요구하는 정밀도, 측량의 시급성 및 측정하는 기선의 길이에 따라 사용자가 적절히 판단하여야 한다.

이 연구의 목적은 GPS에 의한 기선백터 결정에 있어서 정밀 궤도력을 적용할 경우 GPS 위성에서 항법 메시지로 전달되는 방송 궤도력을 적용한 것보다 어느 정도 기선결정 정밀도가 향상되는지를 측정기선의 길이에 따라 정량적으로 분석하는 것이다. 이 연구의 결과가 향후 국내에서 GPS 측량을 실시할 경우, 측량에서 요구하는 정밀도와 측정하고자 하는 기선의 길이에 따라 방송 궤도력 혹은 정밀 궤도력 중에서 어느 것을 적용할 것인가에 대한 판단 기준이 되리라 본다.

2. GPS의 방송 궤도력과 정밀 궤도력

2.1 방송 궤도력

GPS 위성의 위치는 미국 콜로라도에 있는 GPS 주관제국에서 계산된다. 주관제국은 지구의 경도상에 고루 분포된 5개의 GPS 위성 추적소에서 취득한 의사거리와 반송파 위상 관측치를 수집하여 매우 정교하고 복잡한 소프트웨어로 위성의 향후 궤도를 예측하여 해당 위

성에 공급한다.³⁾ GPS 위성은 이 궤도력 정보를 항법 메시지 형태로 1시간마다 새로운 값으로 갱신하면서 사용자에게 끊임없이 방송한다. 이러한 궤도력을 방송 궤도력(broadcast ephemeris)이라 한다. 그러나 방송 궤도력에는 예측에 의한 오차가 포함되어 있으므로 궤도력 오차가 지상의 위치 측정 오차로 전파된다. 1996년 현재 방송 궤도력의 오차는 약 3 m에 이르는 것으로 평가되고 있다.

2.2 GPS 정밀 궤도력

정밀 측지/측량과 건물의 변형 및 지각의 움직임 측정 등과 같이 고정밀을 요하는 경우에는 방송 궤도력의 정밀도로는 만족할 수 없는데, 이러한 경우에는 GPS 위성의 정밀 궤도력(precise ephemeris)⁴⁾ 필요하다. 과거에는 정밀 궤도력을 미 국방성 지도제작국(DMA: Defence Mapping Agency)이 주축이 되어 공급하여 왔다.⁵⁾ 그러나 오늘날에는 지구과학 및 위치 천문학의 연구를 목적으로 구축된 국제 GPS 관측망(IGS)에서 계산하여 일반 사용자에게 공급되고 있다. IGS는 정밀 궤도력을 계산하기 위하여 전세계 약 110여개의 관측소로 이루어진 GPS 관측망을 운용하고 있다. 우리나라에서도 대덕연구단지에 위치한 천문대 GPS 관측소가 IGS의 핵심 관측소로 공식 지정(약어명칭: "TAEJ")되어 우리나라 대표로 활동하고 있다.²⁾

IGS에 속한 각 관측소의 관측자료가 국제 데이터 센터로 모아져 7개의 자료분석 센터에서 각각 처리된다. 각각의 자료분석 센터는 GPS의 정밀 궤도력을 산출하기 위하여 서로 다른 데이터와 알고리즘을 적용하고 있다. 특히 GPS의 정밀 궤도력을 산출하기 위하여 사용한 GPS 관측소의 갯수와 분포에 따라 그 결과가 달리 나타나기 때문에 각 센터에서 계산한 정밀 궤도력의 결과는 약간씩 다르다. IGS에서는 각 분석 센터의 결과를 종합하여 최종인 IGS 정밀 궤도력을 산출한다.²⁾ IGS와 각 분석 센터는 각 관측소에서 수신한 L1/L2 반송파 위상 데이터를 처리하여 정밀 궤도력을 산출 및 공급하고 있다. 1996년 현재 약 5 cm의 정밀도를 가진 IGS 최종 정밀 궤도력(IGS Final Orbit)은 각 관측소에서 데이터가 수집되고 난 약 11일 후에 INTERNET을 통하여 일반인에게 공급되고 있다.¹⁾ IGS에서는 정밀 궤도력의 신속한 공급을 위하여 1996년 6월 30일부터 관측 후 1일 후에 산출되는

IGS 신속 정밀궤도력(IGS Rapid Orbit)를 공급하고 있는데 그 정밀도는 약 10 cm에 이른다.¹⁾

3. GPS 위성의 궤도오차와 기선측정 정밀도

GPS를 이용하여 한 지점을 위치를 결정할 경우 위성의 궤도오차는 곧바로 수신기의 위치오차로 반영되지만, 상대적인 위치 즉, 두지점의 기선벡터를 측정할 경우 기선의 길이가 위성의 지상 고도 20,000 km에 비하여 짧기 때문에 위성의 궤도오차가 기선의 오차에 미치는 영향이 어느 정도 경감된다. 그러나 고정밀의 기선측정을 요하는 경우 위성의 궤도오차에 의한 영향을 무시할 수 없다.

그림 1에서 보듯이 반송파 위상을 처리하여 기선벡터를 측정할 때, GPS 위성의 궤도오차가 기선측정 정밀도에 미치는 영향을 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.⁵⁾

$$db \sum_i e_i \rho_i = b \sum_i dr_i$$

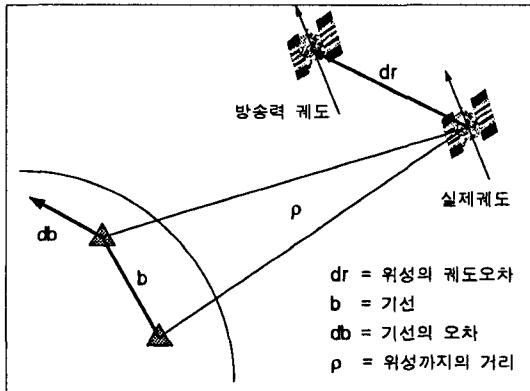


그림 1. GPS 위성의 궤도오차와 기선측정 오차의 관계

윗 식에서 첨자 i 는 i 번째 위성을 나타내고, dr_i 는 GPS 위성의 궤도오차이고, ρ_i 는 수신기에서 위성까지의 거리, db_i 는 기선벡터 b 상에 유발된 오차, b 는 두 지점 사이의 기선 벡터, e_i 는 i 번째 위성까지의 단위벡터를 의미한다. 윗 식은 기선의 오차 db 가 ρ , b , dr 의 크기뿐만 아니라 방향에 의해서도 좌우됨을 분명히 보여주고 있다. 뿐만 아니라 어느 기간 동안 수신된 여러 위성의 서로 다른 궤도오차가 합성되어 기선의 오차로 나타남을 볼 수 있다. 윗 식을 어느 특별한 한 위성의 궤도오차 dr_k 에 의한 영향으로 표현하면 다음과 같다.

$$db e_k \rho_k = b dr_k$$

위의 방정식에서 벡터의 길이만을 취하면, GPS 위성의 궤도오차가 기선측정 정밀도에 미치는 영향을 개략적으로 나타내는 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{\|db\|}{b} = \frac{\|dr\|}{\rho}$$

윗 식에서 $\|db\|$ 는 위성의 궤도오차에 의해 유발될 수 있는 기선오차의 최대치를 나타낸다. 윗 식에 따르면 기선의 오차는 측정한 기선의 길이가 길수록 선형적으로 증가한다. 즉, 길이가 수십 km인 짧은 기선에 대해서는 궤도의 오차가 미치는 영향이 작은 반면 수백 km 이상의 긴 기선에 대해서는 GPS를 정밀 측지 및 자구역학에 응용하는데 있어 장애가 될 만큼 그 효과가 큼을 알 수 있다. GPS 위성까지의 거리 ρ 를 20,000 km라고 가정했을 때, 궤도의 오차가 기선측정에 미치는 오차를 윗 식에 의거하여 측정기선의 길이에 따라 나타내면 표 1과 같다.⁴⁾

4. GPS 관측과 자료처리

측정기선의 길이를 달리 했을 때 기선의 길이에 따라 정밀궤도력이 기선결정의 정밀도 향상에 어느 정도 기

표 1. GPS 위성의 궤도오차가 기선측정에 미치는 오차

궤도오차 dr	기선길이 b 에 대한 기선측정의 오차 db					상대 정밀도 db / b
	1 km	10 km	100 km	1,000 km	10,000 km	
2 cm	0.001 mm	0.01 mm	0.1 mm	1 mm	1 cm	1×10^9 (1 ppb)
20 cm	0.1 mm	0.1 mm	1 mm	1 cm	10 cm	1×10^{-8} (0.01 ppm)
2 m	1 mm	1 mm	1 cm	10 cm	1 m	1×10^{-7} (0.1 ppm)
20 m	1 mm	1 cm	10 cm	1 m	10 m	1×10^{-6} (1 ppm)

표 2. 기선측정을 위한 GPS 관측

기선	기선길이	관측시작 일시	관측 횟수	1회당 관측시간	기선별 관측장비 (Trimble GPS 수신기)
대전→공주	15 km	1996. 3. 25 18:00KST	9	2시간	4000SSE→4000SST
대전→청주	29 km	1995. 7. 14 20:00KST	7	2시간	4000SSE→4000SST
대전→부여	42 km	1996. 3. 25 19:00KST	9	2시간	4000SSE→4000SST
대전→전주	65 km	1996. 2. 6 20:00KST	9	2시간	4000SSE→4000SST
대전→수원	108 km	1996. 2. 23 17:00KST	8	3시간	4000SSE→4000SSE
대전→영천	147 km	1996. 4. 2 14:00KST	7	3시간	4000SSE→4000SST
대전→부산	201 km	1995. 5. 31 16:00KST	6	3시간	4000SSE→4000SST

표 3. 천문대 GPS 관측소(TAEJ)의 WGS 84 좌표값과 정밀도

φ(도분초)	λ(도분초)	H(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
좌표값	36 22 27.9145	127 21 57.8788	77.61	-3120422.95	4086355.68
정밀도	±0.0017	±0.0028	±0.03	±0.06	±0.06

```
#aP1996 2 23 0 0 .00000000 96 ORBIT ITR93 HLM IGS
## 841 432000.0000000 900.00000000 50136 .000000000000
+ 25 1 2 4 5 6 7 12 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
+ 24 25 26 27 28 29 31 9 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* RAPID SERVICE ORBIT COMBINATION FROM WEIGHTED AVERAGE OF:
/* cod emr esa gfz jpl ngs sio
/* REFERENCED TO GPS CLOCK AND TO WEIGHTED MEAN POLE:
/*
* 1996 2 23 8 0 .0000
P 1 -14808.868990 -12169.481927 -18271.227353 493.232043
P 2 23509.184215 11996.596424 5316.319274 -234.032422
P 4 20044.377023 -836.353453 -17341.385673 12.587981
P 5 3621.014308 -15059.985902 -21531.518616 26.125899
P 6 -4839.243689 -25905.957556 1732.613387 6.438646
P 7 14878.539764 12627.827996 -17988.664173 716.345524
P 12 24751.099709 -1814.868690 8294.320581 134.578400
P 14 -1083.130620 15640.451728 -21420.514104 12.706871
P 15 -13100.879891 19904.601999 -11986.429292 274.617686
P 16 20319.741428 -3955.476020 16708.253609 .683145
P 17 -6234.935396 -13574.770651 21736.550160 -107.510441
P 18 7653.897295 25137.211612 3738.042134 -6.820182
P 19 5486.364028 15731.956176 20668.604380 387.971006
P 20 -7812.957489 -17055.001522 -18988.760870 6.242948
P 21 -24550.856603 -10795.615105 1930.207881 -14.725060
P 22 -24510.641925 -513.110037 10732.576354 287.264317
P 23 -15745.908065 -16936.717116 13605.533622 7.295281
P 24 22449.471187 -12053.492004 -7042.379633 84.477866
P 25 -20723.327063 2284.326604 -16265.352598 -1.111930
P 26 8921.849187 -18548.697433 16768.450271 -154.184756
P 27 14948.425778 7051.169055 20733.267753 20.146509
P 28 -13554.617696 7823.980742 21476.880889 67.666877
P 29 -903.261488 25275.822354 -7827.592077 6.880902
P 31 -7828.395038 19554.407465 15903.297492 329.771529
P 9 14797.150506 -20175.984448 -8575.753574 -12.451095
```

그림 2. IGS에서 제공되는 정밀궤도력의 예

여하는가를 정량적으로 살펴보자 했다. 이를 위하여 천문대 GPS 관측소(대전)으로부터 약 15 km, 29 km, 42 km, 65 km, 108 km, 147 km, 201 km에 해당하는

7개의 기선을 선택하여 표 2와 같이 GPS로 반복하여 측정하였다. 같은 기선에 대하여 반복 관측한 이유는 반복측정에 의한 표준편차로 기선결정 정밀도를 산출하기 위함이다. GPS의 관측은 지평면 고도 10도 이상인 위성으로부터 15초 간격으로 L1/L2 주파수 모두를 수신하도록 하였다.

관측된 자료는 Trimble의 자료 처리 소프트웨어인 GPSurvey 2.0을 이용하여 L1/L2 ION Free 기법으로 처리되었다. 자료처리시 기준점으로 사용한 천문대 GPS 관측소의 WGS84 좌표값과 정밀도는 표 3과 같다.¹⁷⁾ 각각의 기선에 대한 관측자료를 방송궤도력과 정밀궤도력만을 바꿔 가며 GPSurvey 2.0에서 같은 조건으로 각각 두번 씩 처리하여 반복측정에 의한 표준편차를 구하였다. 자료 처리에 사용된 방송궤도력은 항법메시지를 통하여 수신기에서 직접 수신한 것이고, 정밀궤도력은 IGS에서 관측후 약 11일 후에 확정하여 공식적으로 발표한 SP3 결과를 이용하였다. 그림 2는 IGS에서 발표하는 정밀궤도력의 예를 나타낸 것이다. 그림 2에서 P로 시작되는 첫째와 둘째 칸은 GPS 위성의 PRN 번호를 의미하며 나머지 넷째부터 여섯째 칸은 위성의 x, y, z 좌표(단위:km)와 시계오차(단위:1x10⁹초)를 각각 의미한다.

5. 자료 처리 결과와 분석

GPS의 관측자료를 처리하여 구한 각 기선의 거리,

표 4. 대전→공주 기선의 결과

세션	방송궤도력					정밀궤도력				
	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산
	14940+	13050+	5670+	4560+		14940+	13050+	5670+	4560+	
0850	3.874	0.807	0.931	4.687	1.056	3.875	0.809	0.926	4.687	1.050
0851	3.872	0.795	0.948	4.694	0.754	3.872	0.796	0.944	4.696	0.748
0852	3.867	0.799	0.929	4.685	1.288	3.865	0.801	0.924	4.683	1.035
0853	3.872	0.812	0.917	4.682	0.960	3.874	0.815	0.914	4.682	0.972
0854	3.871	0.808	0.929	4.675	0.866	3.872	0.809	0.928	4.676	0.862
0855	3.869	0.797	0.939	4.686	0.873	3.869	0.798	0.938	4.687	0.906
0856	3.868	0.808	0.916	4.680	0.653	3.870	0.810	0.916	4.682	0.704
0857	3.864	0.802	0.920	4.679	0.728	3.866	0.804	0.923	4.679	0.743
0858	3.871	0.808	0.919	4.687	1.067	3.872	0.806	0.923	4.690	1.090
평균	3.870	0.804	0.928	4.684	0.916	3.871	0.805	0.926	4.685	0.931
σ	0.003	0.006	0.011	0.006		0.003	0.006	0.010	0.006	

표 5. 대전→청주 기선의 결과

세션	방송궤도력					정밀궤도력				
	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산
	29090+	3620+	-18110+	22470+		29090+	3620+	18110+	22470+	
1950	8.633	9.335	-8.994	7.998	0.853	8.631	9.326	-8.990	8.001	0.975
1952	8.634	9.325	-8.986	8.008	0.598	8.634	9.327	-8.989	8.005	0.537
1953	8.625	9.321	-8.982	8.001	0.540	8.625	9.316	-8.978	8.004	0.577
1954	8.635	9.328	-8.993	8.004	0.731	8.637	9.325	-8.992	8.007	0.722
1955	8.628	9.330	-8.995	7.992	0.718	8.631	9.331	-8.995	7.995	0.616
1956	8.637	9.330	-9.001	8.000	0.658	8.635	9.333	-9.000	7.996	0.492
1960	8.637	9.341	-9.011	7.989	0.821	8.636	9.332	-8.998	8.000	0.694
평균	8.633	9.330	-8.995	7.999	0.703	8.633	9.327	-8.992	8.001	0.659
σ	0.005	0.007	0.010	0.007		0.004	0.006	0.007	0.005	

기선벡터의 성분(dX,dY,dZ)과 기선의 공분산(variance) 결과는 표 4-표 10과 같다. 각 기선의 반복 측정에 의한 표준편차(σ)를 구하므로써 방송궤도력과 정밀궤도력의 적용에 의한 기선결정 정밀도를 상호 비교하였으며, 그 결과를 그림 3에 실었다. 표 4-표 10과 그림 3에서 보듯이 측정기선의 거리와 벡터성분 모두에서 정밀궤도력을 적용한 표준편차가 방송궤도력을 적용한 것보다 적게 나타났으므로, 모든 기선에 대하여 정밀궤도력을 적용한 기선측정 정밀도의 결과가 방송궤도력에 비해 더 양호함을 볼 수 있다.

그림 4는 GPS로 기선을 측정할 때 방송궤도력과 정밀궤도력의 적용에 의해 어느 정도의 기선결정 정

밀도가 얻어지는가를 측정거리별로 비교하기 위하여 “기선 거리의 표준편차/기선길이”를 계산하여 ppm 단위로 나타낸 것이다. 그림 4에서 보듯이 방송궤도력을 적용할 경우 108 km 기선을 제외한 모든 기선에서 0.1 ppm 이상의 정밀도가 얻어진 반면에, 정밀궤도력을 적용한 경우에는 거리가 65 km 이상인 모든 기선에서 0.1 ppm 미만의 기선측정 정밀도를 얻을 수 있었다.

그림 5는 같은 기선에 대해 정밀궤도력을 적용한 것이 방송궤도력을 적용한 것보다 어느 정도 정밀도 향상을 가져오는가를 나타낸다. 그림 5에서 세로축은 다음의 식에 의하여 계산된 것이다.

표 6. 대전→부여 기선의 결과

세션	방송 궤도력					정밀 궤도력				
	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산
	42130+	29100+	29390+	-8010+		42130+	29100+	29390+	-8010+	
0850	6.990	3.467	7.492	-8.833	0.745	6.990	3.471	7.490	-8.821	0.743
0851	6.995	3.482	7.484	-8.829	0.791	6.992	3.484	7.478	-8.829	1.127
0852	6.994	3.478	7.486	-8.831	0.910	6.994	3.491	7.471	-8.837	0.870
0853	6.992	3.478	7.486	-8.823	0.927	6.993	3.487	7.478	-8.821	0.848
0854	6.976	3.472	7.469	-8.821	0.913	6.978	3.474	7.470	-8.820	0.802
0855	6.987	3.484	7.467	-8.841	1.268	6.987	3.486	7.467	-8.834	0.934
0856	6.984	3.475	7.476	-8.825	0.985	6.992	3.486	7.477	-8.826	0.748
0857	6.985	3.499	7.449	-8.840	0.784	6.991	3.492	7.468	-8.830	0.803
0858	6.989	3.501	7.458	-8.829	0.831	6.986	3.491	7.464	-8.825	0.694
평균	6.988	3.482	7.474	-8.830	0.906	6.989	3.485	7.474	-8.827	0.841
σ	0.006	0.012	0.014	0.007		0.005	0.007	0.008	0.006	

표 7. 대전→전주 기선의 결과

세션	방송 궤도력					정밀 궤도력				
	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산
	65410+	-7640+	40630+	-50690+		65410+	-7640+	40630+	-50690+	
0371	8.388	-2.712	1.486	-7.503	0.779	8.385	-2.697	1.479	-7.506	0.443
0372	8.394	-2.708	1.477	-7.519	1.427	8.390	-2.701	1.484	-7.509	0.497
0373	8.385	-2.693	1.475	-7.510	1.445	8.391	-2.692	1.477	-7.517	0.335
0374	8.392	-2.702	1.498	-7.500	1.226	8.391	-2.693	1.481	-7.513	0.512
0375	8.393	-2.708	1.496	-7.502	1.057	8.389	-2.693	1.476	-7.515	0.788
0376	8.386	-2.694	1.480	-7.508	0.983	8.387	-2.696	1.482	-7.506	0.567
0377	8.394	-2.695	1.487	-7.513	1.064	8.384	-2.701	1.484	-7.501	0.406
0378	8.390	-2.689	1.467	-7.524	3.225	8.389	-2.698	1.481	-7.511	0.505
0379	8.366	-2.689	1.411	-7.538	0.833	8.393	-2.690	1.468	-7.527	0.644
평균	8.388	-2.699	1.475	-7.513	1.338	8.389	-2.696	1.479	-7.512	0.522
σ	0.009	0.009	0.026	0.012		0.003	0.004	0.005	0.008	

$$\text{정밀도 향상율} (\%) = \frac{(\sigma_B/b_B - \sigma_P/b_P)}{(\sigma_B/b_B)} \times 100$$

σ_B : 방송 궤도력을 적용한 기선 거리의 표준편차
 σ_P : 정밀 궤도력을 적용한 기선 거리의 표준편차
 b_B : 방송 궤도력을 적용한 기선 거리
 b_P : 정밀 궤도력을 적용한 기선 거리

그림 5에서 보듯이 42 km 이하의 기선에 대한 정밀도 향상율은 20% 이하로 낮은 편이지만 65km 이상의 장기선의 경우 약 60% 정도의 향상율을 나타내

고 있다.

관측자료를 처리한 결과의 하나로 기준 공분산(reference variance) 값이 있다. 이것은 특정 기선에 대한 관측 데이터, 즉 GPS 위성의 코드 혹은 반송파 위상 측정치들이 계산 결과와 얼마나 잘 일치하는지를 나타내는 지표로서 사용된다. 자료 처리 소프트웨어는 관측된 코드나 위상 측정치 각각이 어느 정도의 잡음 혹은 정밀도를 가질 것인가에 대한 예상치를 미리 가정하는 한편, 자료 처리 결과에 대한 잔차(residual)와 공분산(variance) 값을 계산한 후, 이것을 예상치와 비교하여

표 8. 대전→수원 기선의 결과

세션	방송 궤도력					정밀 궤도력				
	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산
	107580+	62240+	-30200+	82380+						
0540	4.667	5.411	-7.810	6.028	2.609	4.655	5.385	-7.793	6.039	0.630
0541	4.654	5.389	-7.780	6.038	2.610	4.660	5.399	-7.804	6.030	0.534
0542	4.660	5.398	-7.815	6.027	1.462	4.663	5.400	-7.804	6.033	0.393
0550	4.670	5.416	-7.823	6.023	1.155	4.660	5.399	-7.808	6.029	0.435
0551	4.663	5.394	-7.826	6.030	2.034	4.656	5.395	-7.803	6.028	0.329
0552	4.648	5.397	-7.789	6.022	2.516	4.660	5.403	-7.807	6.026	0.306
0553	4.650	5.366	-7.763	6.057	3.701	4.659	5.391	-7.798	6.036	0.530
0554	4.657	5.369	-7.807	6.048	2.958	4.660	5.390	-7.788	6.042	0.397
평균	4.659	5.393	-7.802	6.034	2.414	4.659	5.395	-7.801	6.033	0.444
σ	0.008	0.018	0.022	0.013		0.003	0.006	0.007	0.006	

표 9. 대전→영천 기선의 결과

세션	방송 궤도력					정밀 궤도력				
	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산
	146620+	-122840+	-77960+	-18110+						
0930	0.766	-7.558	-0.615	-8.198	1.020	0.754	-7.546	-0.612	-8.193	0.805
0931	0.728	-7.491	-0.604	-8.188	0.779	0.727	-7.523	-0.597	-8.195	2.001
0932	0.726	-7.494	-0.640	-8.201	2.647	0.722	-7.509	-0.611	-8.194	1.003
0933	0.761	-7.544	-0.628	-8.193	0.533	0.730	-7.520	-0.608	-8.195	0.805
0934	0.718	-7.497	-0.593	-8.189	2.574	0.732	-7.514	-0.619	-8.199	0.730
0935	0.707	-7.539	-0.588	-8.197	0.685	0.731	-7.519	-0.610	-8.201	0.505
0936	0.718	-7.543	-0.552	-8.180	4.156	0.737	-7.530	-0.606	-8.193	0.928
평균	0.732	-7.524	-0.603	-8.192	1.771	0.733	-7.523	-0.609	-8.196	0.968
σ	0.023	0.028	0.029	0.007		0.010	0.012	0.007	0.003	

표 10. 대전→부산 기선의 결과

세션	방송 궤도력					정밀 궤도력				
	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산	거리(m)	dX(m)	dY(m)	dZ(m)	공분산
	201140+	-184210+	-251550+	-113400+						
1511	4.569	-5.022	-5.387	-0.928	2.531	4.587	-5.033	-5.449	-0.931	0.803
1512	4.574	-5.041	-5.445	-0.898	1.418	4.601	-5.087	-5.401	-0.889	1.002
1513	4.490	-4.954	-5.402	-0.884	2.570	4.569	-5.035	-5.425	-0.903	0.501
1514	4.565	-5.038	-5.443	-0.886	3.228	4.581	-5.056	-5.419	-0.895	0.495
1515	4.543	-5.020	-5.436	-0.875	0.416	4.582	-5.060	-5.418	-0.891	0.682
1516	4.540	-5.010	-5.412	-0.890	0.695	4.569	-5.037	-5.427	-0.898	0.921
평균	4.547	-5.014	-5.421	-0.894	1.810	4.582	-5.051	-5.423	-0.901	0.734
σ	0.031	0.032	0.024	0.019		0.012	0.021	0.016	0.015	

기준 공분산 값을 산출한다.⁸⁾ 예를 들어 이 값이 1보다 작으면 관측치가 예상 가정치보다 더 잘 맞는 것이고

1보다 크면 그 반대다. 현실적으로는 소프트웨어에서 가정한 예상치는 단지 근사값이기 때문에 기준 공분산

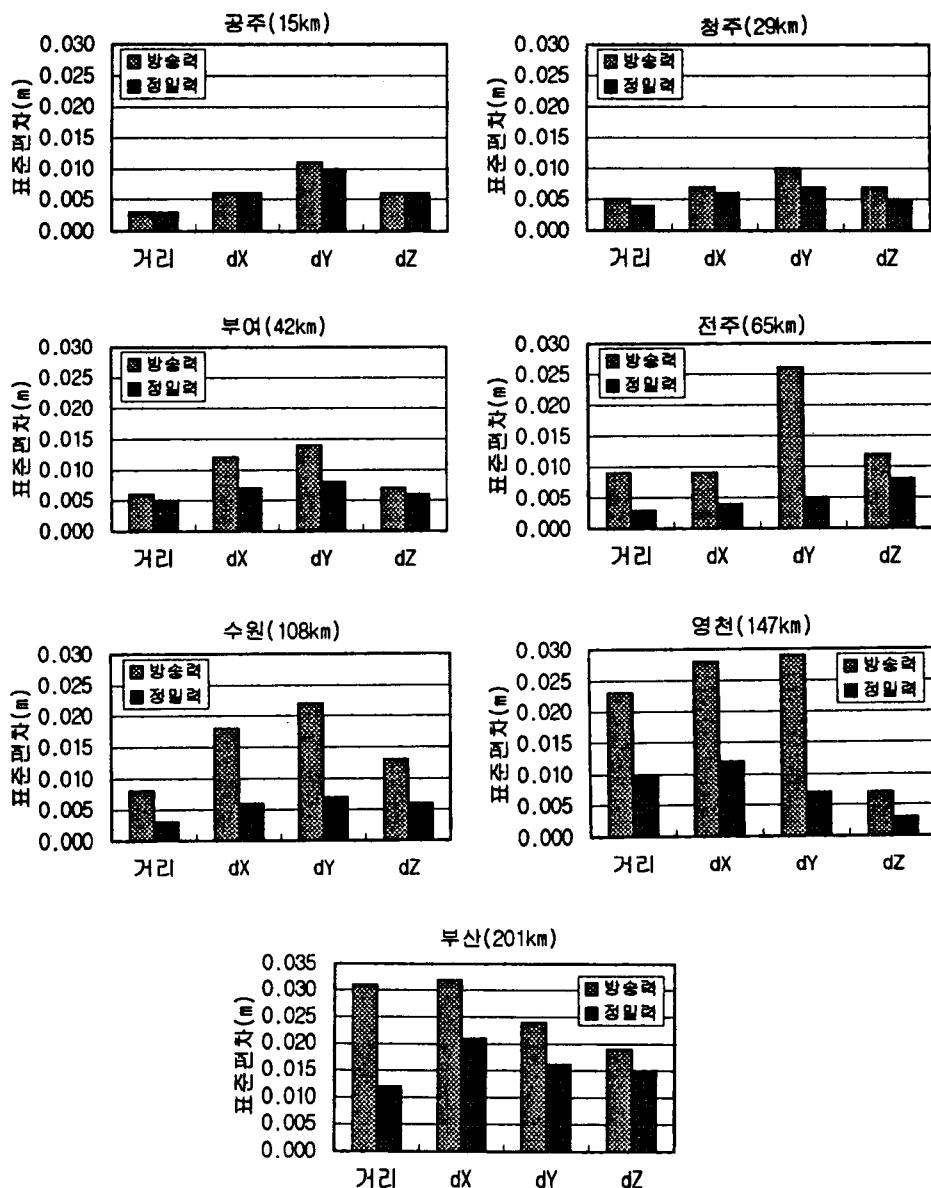


그림 3. 각 기선벡터에 대한 방송궤도력 및 정밀궤도력을 적용에 의한 표준편차 비교도

값이 1보다 작은 경우가 많다. 결국, 기준 공분산 값이 작으면 작을수록 계산 결과의 신뢰도와 안정성이 높아짐을 의미한다. 그림 6은 자료처리시 같은 기선에 대해 방송궤도력을과 정밀궤도력을 적용한 경우 측정거리에 따른 기준 공분산 값이 달라지는 양상을 보여 주고 있다. 그림 6에 나타난 바와 같이 방송궤도력을 적용한 경우에는 기준 공분산 값이 기선거리에 따라 증가하는 양상을 보이는 반면에, 정밀궤도력을 적용하면 1.0 이

하를 항상 유지하고 있음을 알 수 있다. 이 사실은 자료 처리시 정밀궤도력을 적용하면 기선 측정의 안정도가 1.0 이하로 유지되므로 기선결정의 신뢰도 역시 증가함을 간접적으로 보여 준다.

6. 결 론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

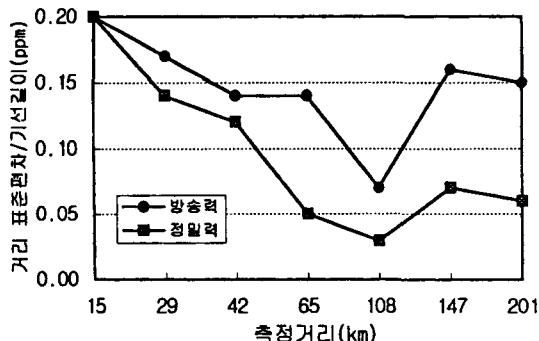


그림 4. 측정거리에 따른 기선결정의 정밀도 비교

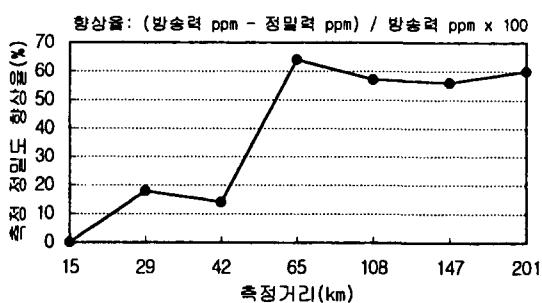


그림 5. 정밀궤도력을 의한 측정거리별 정밀도 향상을

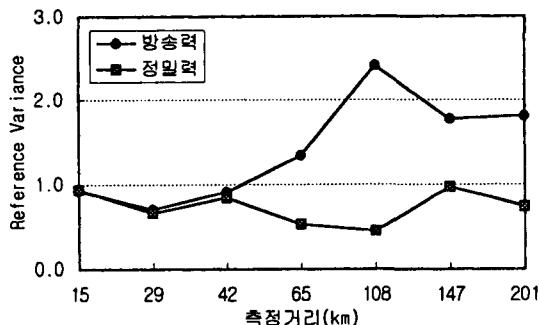


그림 6. 측정거리에 따른 공분산(Reference Variance) 변화 비교

1. GPS에 의한 기선측정시 정밀궤도력을 적용하여 관측자료를 처리할 경우, 모든 기선에 대하여 방송궤도력의 적용에 비해 더 양호한 기선결정 정밀도를 얻을 수 있다.

2. 정밀궤도력의 적용에 의한 기선결정의 정밀도 향상 효과는 측정기선의 길이가 길면 길수록 더 커지는

경향을 보였다. 특히, 45 km 이하의 기선에 대해서는 약 20% 이하의 향상율을 보였지만 65 km 이상의 기선에서는 약 60%의 향상율을 보이므로 장기선을 결정할 경우 정밀궤도력을 적용하면 더 큰 정밀도 향상 효과를 얻을 수 있다.

3. 정밀궤도력을 적용할 경우 기선결정의 기준 공분산 값이 모든 기선에 대해 항상 1 미만으로 결정되었다. 이 사실은 정밀궤도력을 적용할 경우 과대오차가 발생할 확률이 극히 작아 기선결정의 안정도와 신뢰성이 높아짐을 간접적으로 시사한다.

4. 65 km 이상의 장기선을 0.1 ppm 미만의 정밀도로 측정하고자 하는 경우에는 반드시 정밀궤도력을 적용하여야 하나, 45 km 이하의 기선에 대해서는 정밀궤도력을 반드시 적용할 필요는 없다고 판단된다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단 '95특정기초연구비의 지원에 의하여 이루어졌으며 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- M. Rothacher and L. Mervart, "Bernese GPS Software Version 4.0", Astronomical Institute University of Berne, September 1996, p103-104.
- IGS, IGS 1995 Annual Report, September 1996, p.45-76, p93-100.
- Richard B. Langley, "The Orbits of GPS Satellites", GPS World, Vol. 2, No. 1, March 1991, p.50-53.
- M. Rothacher, "Orbits of Satellite Systems in Space Geodesy", Swiss Geodetic Commission, 1992, p.37-41.
- David Wells, "Guide to GPS Positioning", Canadian GPS Associates, 1986, p.5.0-5.1
- 박필호, 한인우, 이용창, 강준묵, "GPS 측지기준점 설정에 관한 연구", 한국측지학회지, 제9권, 1호, 1991, p. 37.
- 박필호, 박종욱, 강준묵, "GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS 84의 좌표변환(II)", 한국측지학회지, 제 11권, 제1호, 1993, p.37.
- "GPSSurvey: WAVE Software User's Guide", Trimble Navigation LTD., 1995, p8.10-8.12.