

정밀(IGS)력을 이용한 장기선 해석 및 전국망 성과 분석 Precision Improvement of Long Baseline Determination by IGS Ephemeris and Geodetic Positioning of '96 Korea GPS Fiducial Network

최윤수 · 사재광* · 조흥묵** · 박병욱 · 김 웅***

Choi, Yun-Soo · Sa, Jae-Kwang · Cho, Heung-Muk · Park, Byung-Uk · Kim, Woong

요 旨

본 논문에서는 최저 관측각을 변화시켜가면서 일반력, 정밀력을 이용하여 장기선 해석을 실시하고 이를 이용하여 '96년 실시된 GPS 전국망을 조정하여 그 성과를 실용성과 비교분석 하였다. 또한, 정밀 측지 기준점의 성과 획득과 합리적인 GPS작업을 위한 작업규정의 개정 및 작업과정, 데이터 처리, 품질관리 등에 관한 표준화의 필요성을 제기하였다.

ABSTRACT

The goal of this study is to propose a precision improvement scheme for long baseline determination based on the use of IGS ephemeris and different cutoff angles. It is also to present the adjustment results of '96 Korea GPS fiducial network. In order to obtain more accurate coordinates in precise geodetic surveying, the revision of specification is necessary for the field operation and procedure of baseline processing.

1. 서 론

우리 나라의 국가 측지기준망은 1910년대의 일본에 의한 토지조사사업시 설치된 국가기준점(삼각점 및 수준점)을 기초로 하여 설정되었으며, 이들 기준점들은 현재까지도 측지측량, 지형도제작 및 지적측량(일필지조사) 등에 이용되고 있다. 그러나 이 기준망은 오차와 왜곡으로 인하여 국가적인 지도제작과 GIS구축, 시설물 공사 등 공공부분 및 지진예지, 지각변동조사, 구조물 변위조사 등 재해방지와 과학기술분야 연구 등 다양한 분야에서 요구하는 정확도를 만족시키지 못하고 있다.

최근에 GPS측량기술의 발전으로 인하여 측량결과가 안정적이며 국제적인 환경과 일치하는 기준좌표계의 실현에 GPS가 도입되어 중요한 역할을 하고 있다. 국

립지리원에서 국가 측지기준망의 정확도 향상과 함께 국제적인 기준에 일치하는 기준계의 실현을 위하여 국가기준점을 대상으로 1992년부터 GPS측량을 실시하고 있다.

GPS측량은 종래에 사용하던 측량방법인 삼변측량과 삼각측량에 의한 장거리의 관측, 측점간의 시통, 기상 영향 등에 의한 작업상의 어려움, 정확도 저하와 비용의 증가 등에 따른 많은 어려움을 극복하고, 특히 전국적인 측지기준망을 정비하는 데에 많은 시간과 비용을 절약할 수 있게 한다. 즉, GPS는 종래의 측량방법이 갖고 있는 여러 가지 문제점들을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 정확도와 경제적인 면에서 그 효과가 입증되고 있다.^{1,4)}

그러나 GPS를 측지기준점 측량에 활용하기 위해서는 관측, 기선해석 및 조정 방법에 대한 많은 연구가 필요하며, 현재 이 분야에 대하여 국내외에서 활발한 연구가 이루어지고 있다.^{4,6)} 그러나 GPS에서 채용한 WGS-84 좌표계와 실용성과에서 채용한 좌표계간의 변환 등에 관한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 실무에

국립안성산업대학교 토목공학과 교수
*국립지리원 측지과 측지담당
**국립안성산업대학교 산업대학원 석사과정
***(주)한국해양과학기술 측지부 과장

서 GPS를 이용한 측지기준점망의 정비사업, 데이터 처리 등에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 최저 관측각을 변화시켜가면서 일반력, 정밀력을 이용하여 장기선해석을 실시하고 이를 이용하여 '96년 실시된 GPS전국망을 조정하여 제시하고 그 성과를 실용성과 비교분석 하였다. 또한, 정밀 측지 기준점의 성과 획득과 합리적인 GPS작업을 위한 작업과정, 데이터 처리, 품질관리 등을 검토하고자 한다.

2. GPS 전국망 관측

2.1 GPS 관측망의 구성

국립지리원에서는 각종 측량, 지도제작, 토목·건설 공사 등에 필요한 정확한 측지기준점의 좌표를 제공하기 위하여 측지기준점의 정비사업을 추진해 오고 있으며, 1995년부터 정밀 1차 기준점 측량에 GPS를 이용하기 시작하였다.^{1,4)}

1996년 기본측량사업의 일환으로 정밀 1차 기준점 측량사업으로 실시된 GPS전국망은 국가적인 GPS 기준점의 제공, 전국을 통한 균일한 정밀도의 3차원 좌표 제공과 함께 장래 과학기술망으로서의 역할을 하게 될 것이다. 관측망은 전국적인 GPS 기준점을 위한 전국망과, 경위도 원점, VLBI관측점과 정밀 1차 기준망과의 연결을 위한 수도권망으로 구성하였으며, 전국망의 관측점은 천문측량 관측점, NNSS관측점을 위주로 전국 등분포가 되게 선정하였다. 또한 수도권망은 경위도원점을 중심으로 한 정밀 1차 기준점을 선정하여 경위도원점과의 연결관측을 실시하였다(그림 1참조).

2.2 관측

2.2.1 관측계획

GPS를 이용하여 지상의 3차원 위치를 정확하게 결정하기 위해서는 4대 이상의 위성으로부터 동시에 신호를 수신하여야 한다. 따라서 양호한 상태에서 GPS 관측을 하기 위하여 관측시간의 사전 조사와 계획수립이 중요하다. 따라서 관측계획에 필요한 사항 즉, 위성의 수, 위성의 상태, PDOP, 기선의 길이 등을 고려한 관측계획을 GPSurvey의 계획 소프트웨어를 이용하여 수립하였다.

2.2.2 관측작업

GPS수신기 7대를 사용하여 관측을 실시하였으며, 동

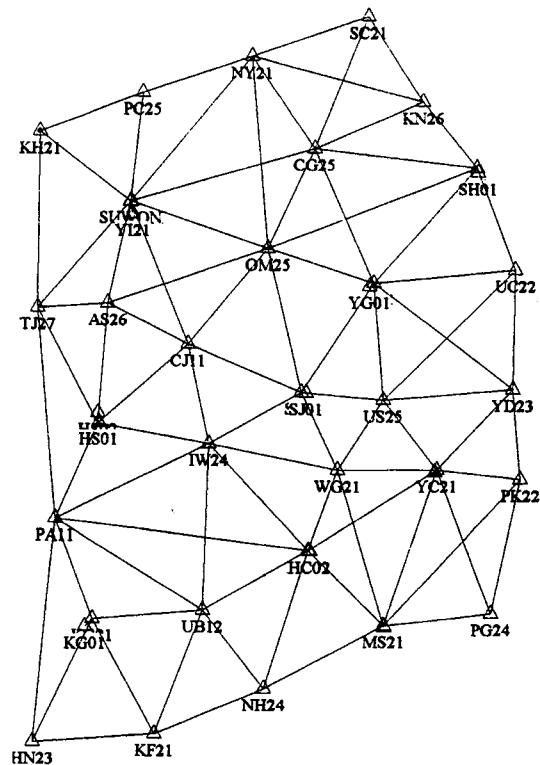


그림 1. GPS 관측망도

시에 GPS/Levelling을 실시하여 기준점간의 높이를 구하였다. 본 관측작업의 흐름은 그림 1과 같다. 본 사업의 작업은 1996년 8월 7일부터 12월 18일까지 실시되었으며, 관측 및 관측 데이터 처리에 사용된 장비와 소프트웨어는 다음 표 1과 같다.

표 1의 GPS수신기를 이용하여 현지에서 GPS신호를 수신하는 방법과 과정은 다음과 같다.

1) 관측은 계획 및 선점시 작성한 관측망도에 따라 GPS관측과 수평각, 연직각관측 및 측표수준측량을 실시하였다.

2) 위성의 수신은 L1 Phase 및 C/A 코드와 L2 Phase 및 P-코드를 동시에 수신하였으며, 안테나의 높이를 mm까지 기록하였다.

3) 기준망은 7대의 수신기를 이용 동시에 관측한 조합을 1 session으로 하였다.

2.2.3 관측내용

본 사업에 따른 관측내용은 다음과 같다.

-장비 : Turbo SII

-관측기간 : '96. 4-11

표 1. 관측장비 및 소프트웨어

장비명	성능	단위	비고
Topcon Turbo SII	5 mm+1 ppm	mm	GPS관측(기선)
Theodolite T3	0.2'	초	수평 및 연직각관측
Wild N-3	10"/2 mm	mm	수준측량
온도계	0.5°C	°C	수신기자동기록
기압계	0.1 inch	inch Bar	"
GPSurvey	관측계획 데이터해석	-	소프트웨어
Trimnet Plus	망조정계산	-	"

- 관측점 : 삼각점 34점, 수준점 11점, 경위도원점, VLBI관측점
- 관측시간 : 전국망 : 18 시간이상 15도, 30초간격
- 기선중복관측

3. IGS력을 이용한 장기선 해석 및 분석

본 연구에서는 IGS력을 이용한 장기선 해석과정에서 Ratio, RMS, 기준분산 등을 이용하여 기선 재현성을 분석하고 관측각(15°, 20°)의 변화에 따른 정확도 및 기선 해의 안정성을 검토하고자 GPS 전국망 사업의 일부인 2개의 Session을 임의로 추출하여 기선해석이 가능한 관측 시간대의 전점에 대하여 기선해석을 실시하였다.

각각의 관측점은 1996년 10월 17일에 관측한 아산 26, 청주11, 엄정25, 상주23, 경위도 원점 BM, 경위도 원점, 당진27이며 10월19일에 관측한 청주11, 한산 BM, 한산11,이원24, 상주23, 왜관21이다. 이 가운데 청주11과 상주23기선은 중복기선이다.

관측장비는 TOPCON사의 TURBO S II이며 관측정도는 5 mm+1 ppm 이다. 관측은 최저관측각 15°, 관측간격 30초이다. 관측 데이터는 TOPCON의 TGPS Software로부터 RINEX 처리하였으며 기선해석은 Trimble사의 GPSURVEY 2.3을 사용하여 기선해석을 실시하였다.^{7,11)}

기선해석의 방법은 ① 일반력을 이용한 최저 관측각 15°, ② 일반력을 이용한 관측각 20°, ③ 정밀력을 이용한 최저 관측각 15°, ④ 정밀력을 이용한 최저 관측각 20°로 기선해석을 하였다. 즉, 기선해석의 방법은 ①②, ③④ 공히 정밀력과 일반력의 사용여부, 최저 관측각이 15°와 20°인 것을 제외하고는 동일하다. 위와 같이 4가

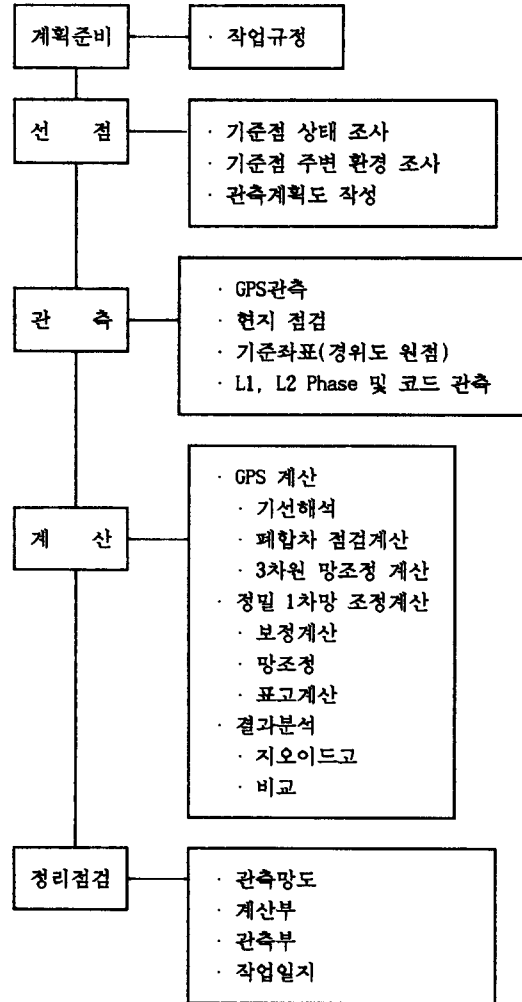


그림 2. 작업흐름도

지 방법의 기선해석을 택한 것은 관측점 주변의 전자파 수신 장애에 따른 Multipath 의 영향과 위성궤도오차가 기선재현성에 미치는 영향을 분석하기 위한 것이다.^{12,13)}

이 중에서 특히 관측자가 조금만 주의하면 제거할 수 있는 장애요인 중의 하나인 수목의 경우 EDM 관측에 있어서의 관측은 각 점으로 나아가는 기선 방향만 시계가 확보되면 EDM 관측은 가능하였으나, GPS관측에 있어서는 각 점으로 나아가는 기선의 방향은 보이지 않아도 위성의 최소 관측각(15°)만큼 상공이 확보되어야 한다.

이것은 15°의 관측각이 확보되지 아니하고 부분적으로 관측각이 장애를 받는다면, 그 점에서의 GPS관측 데이터는 다른 점의 데이터보다는 불량하다는 것을 의미한다. 즉, 이것은 전체망의 정확도에도 악영향을 미

Variance Ratio

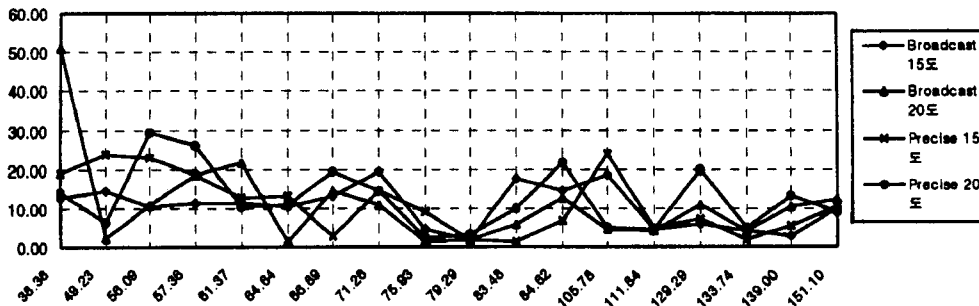


그림 3. 정밀력과 방송력에 의한 정확도 비교(Variance Ratio)

Reference Variance

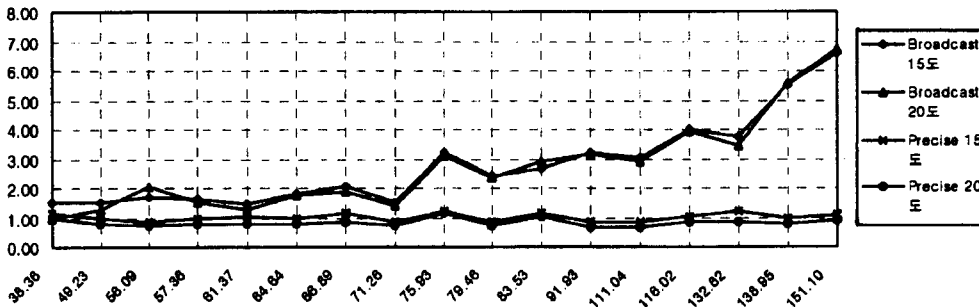


그림 4. 정밀력과 방송력에 의한 정확도 비교(Reference Variance)

R.M.S

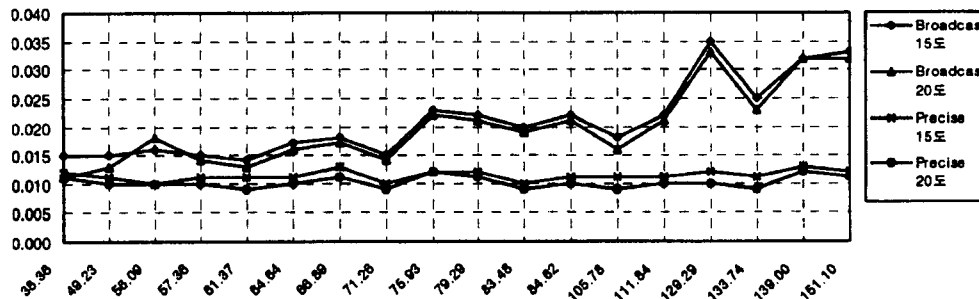


그림 5. 정밀력과 방송력에 의한 정확도 비교(R.M.S)

친다는 것이다. 현행작업 규정상 관측시간은 정밀 1차, 2차 기준점측량에 따라 다르지만 최저 관측각은 15°로 되어 있으며 관측간격은 30초로 되어 있다.

GPSURVEY SOFTWARE에서는 IGS 정밀력의 SP 3 FORMAT을 인식하지 못하기 때문에 GPSURVEY SOFTWARE에서 인식할 수 있는 EF18 FORMAT으로 전환하였다.^{10,11)} 통상적으로 일반력의 정확도는 10

m 정도이지만 과거의 기록인 정밀력의 경우 1 m 전후 이므로 높은 정확도를 얻을 수 있다.^{5,6)} 그 결과를 기선 거리별로 Variance Ratio, Reference Variance, R.M.S의 3가지로 정리한 것이 그림 3, 4, 5 이다.

그림 3은 Variance Ratio로 일반력 15° 기선해석, 일반력 20° 기선해석, 정밀력 15° 기선해석, 정밀력 20° 기선해석의 결과로 고도각의 차이 및 정밀력 사용에 따른

특별한 차이가 없다. 즉, 지금까지 통상적인 개념인 Ratio가 클수록 좋은 기선해석 결과라는 것과는 다른 결과를 보여준다. 그러나 이 결과는 전국망의 각 측정에서의 관측조건이 양호하고 관측시간이 18시간 이상으로 데이터량이 충분하기 때문으로 판단된다.

그림 4는 Reference Variance로 일반력 기선해석과 정밀력 기선해석의 뚜렷한 차이를 나타냈다. 일반력사용 기선해석을 보면 기선의 Fix해나 Float해에 관계없이 거리에 비례하여 높은 값을 나타냈다. Reference Variance는 1에 가까운 수치가 재현성이 좋은 것을 의미하므로 1보다 높은 수치를 나타낸 것은 재현성에 문제가 있음을 의미한다고 볼 수 있다. 일반력 15°의 기선해석과 일반력 20°의 기선해석은 Reference Variance에서는 일반력 15°의 기선해석이 다소 양호한 결과를 나타냈다. 반면 정밀력 기선해석의 경우를 보면 그림에서도 확연히 알 수 있듯이 거리에 상관없이 균일한 값을 나타냈다. 즉, 거의 모든 기선이 1에 가까운 양호한 값이다.

또한 정밀력 15°와 정밀력 20°의 값을 Fix해나 Float해에 관계없이 비교하면 20°보다는 15°의 기선해석이 1에 가깝다. 일반력에서나 정밀력에서 극단적으로 짧은 변장에서는 거의 차이를 발견할 수 없으나 역시 기선장에 비례하여 커다란 수치를 나타내고 있다. 위와 같은 사실로 본다면 일반력보다는 정밀력이 보다 우수한 기선재현성을 보여준다.

그림 5는 R.M.S로 일반력을 먼저 보면 Reference Variance와 거의 같은 양상을 나타냈다. 극단적으로 짧은 변장에서는 정밀력과 커다란 차이를 발견할 수 없으나 일반력에서는 역시 변장이 길어질수록 큰 값을 나타냈다. 일반력 15°는 20°보다 더 큰 R.M.S를 나타냄으로써 재현성에 문제가 있음을 확인하였다. 또한 정밀력을 보면 변장에 상관없이 거의 비슷하다는 것을 쉽게 알 수 있다. 이것은 Reference Variance에서와 거의 같은 결과로 재현성에서는 그와 반대로 15°보다는 20°의 기선해석 결과가 양호하다.

위와 같은 3가지의 그림에서 각각의 특성상 어느 쪽이 보다 충실한 기선의 재현성인지는 단정짓기 어렵지만 규정상 명확히 하고 있는 기선값이 Fix해이나 Float해값에 대하여 분석하면 작업규정의 최저 관측각 15°, 일반력으로 기선해석을 하였을 경우 36개의 기선중 4개의 기선이 Float해이다. 그러나 일반력 20°로 기선해석

을 하였을 경우 4개의 기선 모두 Fix해이다. 규정상 Float해는 재측을 하는 것이 원칙이지만 이것을 20°로 기선 해석한다면 Fix해가 되어 재측할 필요가 없게 된다. 여기서 그 기선간의 거리를 비교해 본다면 Fix해와 Float해와의 차는 1개의 기선을 제외하고는 1 mm의 차밖에 없었으며, 당진27, 업정25 기선에서 4 mm의 차가 나타났다.

정밀력 기선해석의 결과 36개의 기선 중 4개의 기선에서 Float해이다. 이것을 다시 20°로 기선해석을 하였을 경우 4개의 기선 모두 Fix해이고 Fix해와 Float해의 거리의 차이는 최대 1 mm이다. 여기서 예외의 상황이 청주11, 상주23의 중복변에서 나타났다. 15°의 정밀력에서 Fix해진 기선 값이 20°의 정밀력 기선해석에서는 Float해가 되었다. 이것은 각각 3가지의 Variance Ratio, Reference Variance, R.M.S로는 분명히 알 수 없는 현상이다. 단, 중복변에 있어서의 기선해석방법에 따른 8개의 변장 값에 대한 차이가 최대 8 mm로 허용오차범위 이내이다. 즉, 정밀력 사용의 가장 큰 차이점은 기선해석 결과, Fix해의 여부이나 관측시간이 길면 데이터량이 많아져서 차별성이 사라진다.

위와 같은 사실들로 미루어 점점 어려워지는 관측환경 속에서 보다 좋은 양질의 데이터 및 성과를 얻기 위해서는 완벽한 조건을 갖춘 관측점을 찾아 관측을 실시해야 하며, 가능한 관측에 장애를 일으키는 모든 요소를 제거하는 것이 당연한 일이지만, 현실적으로 기지점들의 경우에는 이미 갖추어진 조건에 맞추어 관측을 할 수밖에 없다.

이것은 국토의 70%가 산지인 우리 나라 실정에서 GPS 관측은 제거 가능한 모든 관측장애요인을 제거한다고 해도 신점(미지점)의 매설 및 관측에 있어서는 관측조건이 양호한 곳을 선점, 관측할 수 있으나 기지점의 관측에 있어서는 장애요인의 제거가 불가능한 것도 있다. 그 중에서 최대의 장애요인인 수목은 이동용 안테나의 설치 및 관측에 막대한 지장을 주며 EDM관측에 있어서도 동일한 문제를 초래한다.

15°보다는 20°의 최저 관측각이 벌목으로 인한 수목 훼손 및 작업의 안전성, 작업능률면에서도 효율적이다. 관측 데이터의 기선해석은 사업목표, 목표정확도 등을 고려하여 선택하며 정밀 측지기준점 측량, 지각변동조사 등과 같이 고정밀도를 요하는 측량에서는 일반력 보다는 정밀력을 사용하는 것이 바람직하다.

4. 전국망의 3차원 망조정 및 성과분석

- Z=3841860.869m

정밀력 사용 및 관측각의 변화에 따른 기선 중 가장 양호한 결과를 나타낸 정밀력을 이용한 최저 관측각 20°로 전국망에 대한 기선해석을 실시하고 그 결과를 이용하여 경위도원점을 고정하여 Trimnet s/w로 3차원 망조정을 실시하였다.^{10,11)}

'95년도 한일측지력사업으로 결정된 수원경위도 원점을 기준좌표로 사용하였으며 그 성과는 다음과 같다.⁹⁾

- ITRF 94 좌표계 Epoch 1995.827
- X=-3062002.553m
- Y=4055435.750m

• WGS-84

WGS 84	경위도 원점	
B	37° 16' 33.386370	X -3062002.579
L	127° 03' 14.909710	Y 4055435.754
H	90.593	Z 3841860.934

최종적으로 조정된 전국망의 관측점에 대한 벡셀타원체상의 좌표와 현재 사용중인 실용성과와 차이는 표 3과 같이 최대편차는 위도 8.09 m, 경도 -10.20 m 이고 벡타는 최대 12.22 m, 평균 3.51 m이다. 편이량을 벡타도로 나타내면 그림 6과 같이 고정점으로 사용한 경위도원점

표 3. 전국망의 GPS성과 실용성과의 비교

(단위 : m)

GPS 성과		실용성과		위도 편이량	경도 편이량	벡타	지오이드고
위도	경도	위도	경도				
364640.276	1265542.983	364640.253	1265542.947	0.708	0.893	1.140	2.255
375854.533	1274746.270	375854.538	1274746.152	-0.129	2.881	2.884	0.505
363447.303	1272517.144	363447.300	1272517.193	0.087	-1.219	1.222	6.830
343841.819	1263159.333	343841.557	1263159.516	8.094	-4.623	9.321	14.762
344104.395	1271515.198	344104.399	1271515.355	-0.134	-3.995	3.997	17.080
351444.182	1265228.401	351444.146	1265228.539	1.114	-3.487	3.661	13.713
370254.357	1275413.394	370254.406	1275413.405	-1.513	-0.258	1.535	5.873
360558.752	1273321.637	360558.754	1273321.733	-0.075	-2.401	2.402	9.133
374801.712	1270710.507	374801.709	1270710.390	0.096	2.862	2.864	-2.953
371247.476	1270405.294	371247.473	1270405.277	0.093	0.419	0.429	0.140
373627.504	1262932.877	373627.447	1262932.790	1.745	2.143	2.764	-4.574
345432.805	1275418.659	345432.814	1275418.788	-0.307	-3.272	3.286	18.962
354351.508	1263827.221	354351.476	1263827.327	0.996	-2.660	2.840	9.353
361131.630	1265301.217	361131.594	1265301.291	1.112	-1.847	2.156	5.636
364515.612	1262959.568	364515.500	1262959.575	3.453	-0.156	3.457	0.335
351726.223	1273203.079	351726.440	1273203.484	-6.742	-10.197	12.224	16.207
351314.006	1283647.963	351314.016	1283648.103	-0.295	-3.542	3.554	20.568
365258.395	1283252.267	365258.429	1283252.303	-1.044	-0.897	1.376	10.165
365701.079	1292506.021	365701.158	1292506.095	-2.443	-1.820	3.046	12.996
361857.087	1283624.230	361857.136	1283624.321	-1.501	-2.276	2.726	13.617
355831.071	1281954.640	355831.138	1281954.737	-2.048	-2.445	3.189	14.473
355839.759	1285557.645	355839.844	1285557.592	-2.620	1.326	2.936	17.908
362207.963	1292338.127	362208.046	1292338.239	-2.569	-2.781	3.786	16.771
355550.827	1292612.622	355550.909	1292612.793	-2.546	-4.275	4.976	18.278
351646.942	1291509.172	351646.977	1291509.326	-1.089	-3.889	4.039	23.107
381039.230	1283039.185	381039.369	1283039.017	-4.307	4.066	5.923	1.127
372641.785	1291104.276	372641.880	1291104.359	-2.932	-2.034	3.568	10.525
362108.411	1280645.530	362108.441	1280645.611	-0.906	-2.028	2.221	11.294
374555.587	1285102.639	374555.755	1285102.596	-5.181	1.044	5.285	4.765
353501.652	1280941.118	353501.674	1280941.235	-0.653	-2.952	3.023	16.926
373210.998	1281107.040	373211.083	1281106.988	-2.632	1.254	2.915	4.559



그림 6. 전국망의 변동벡타도(GPS성과-실용성과)

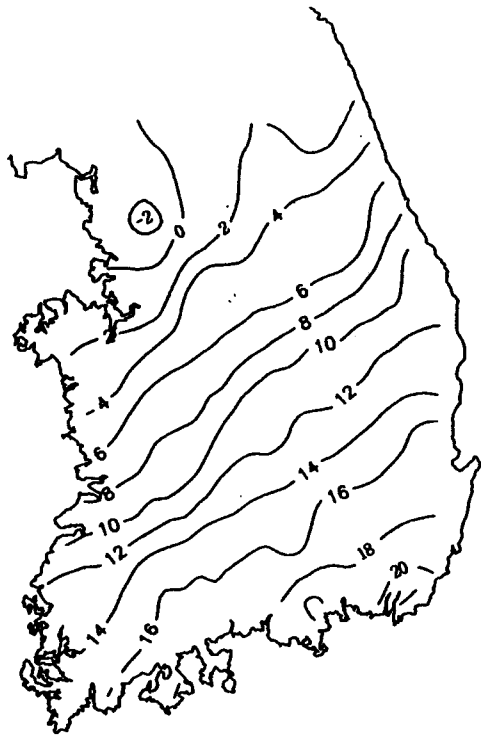


그림 7. GPS를 이용한 지오이드도(벡셀타원체 기준)

을 중심으로 시계방향으로 회전하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 1점을 고정하고 조정한 결과로서 고정점을 중심으로 변동벡타의 크기가 고정점에서의 거리에 비례하고 있으며 1점 1방향을 고정하고 조정한 BL(XY)망 조정 결과와 벡타의 크기와 경향이 일치한다(그림 6 참조).²⁾

벡셀타원체상의 지오이드 성과를 분석해 보면 수원 경위도원점을 기준으로 남쪽으로 갈수록 증가하며 -4.574 m에서 23.107 m이다. 이를 그림으로 나타내면 그림 7과 같으며 천문지오이드도와 거의 유사한 결과를 보여주고 있다. 이는 삼각점 표고의 오차를 고려하면 양호한 결과라고 판단된다(그림 7 참조).¹⁴⁾

5. 결 론

본 논문에서는 최저 관측각을 변화시켜가면서 일반력, 정밀력을 이용하여 장기선 해석을 실시하고 아울러 이를 이용하여 '96년 실시된 GPS전국망을 조정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 최저 관측각을 변화시켜가면서 일반력, 정밀력을 이용하여 장기선 해석을 실시하고 분석한 결과 기준분산, RMS값의 변화를 보면 정밀력을 이용하여 관측각 20°에서 가장 좋은 기선해석결과를 얻을 수 있었다.

2. 최적의 기선해석을 실시하고 그 결과를 이용하여 경위도원점을 기준좌표로 전국망의 성과를 산출하여 실용성과와 비교 분석하였으며, 벡셀타원체상의 지오이드도를 작성하였다.

3. 보다 정확한 성과의 획득과 합리적인 작업을 위하여 실무에 적합하게 작업규정이 개정, 보완되어야 하고, 작업과정, 데이터 처리의 기준, 데이터의 품질관리 등에 관한 표준화와 규정의 제정이 필요하다.

4. 장기선으로 구성된 전국망 성과의 정확도를 향상시키기 위해서는 정교한 학술연구용 S/W를 이용한 관측 데이터의 재처리가 요망된다.

참고문헌

1. 국립지리원, "GPS 및 정밀1차 기준점측량 작업규정", 국립지리원, 1988, 1994.
2. 최재화, "정밀1차망의 실용성과 산정에 관한 연구", 국립지리원, 1994.
3. 최윤수, 김경진, GPS 측량기를 고속스테틱법에 의한 이용한 공공기준점 측량 및 응용, 한국측지학회지, 제15권

- 제2호, 1997, pp.195-206.
4. 조홍목, GPS에 의한 국가 정밀측지망의 정밀도 제고 방안, 안성산업대 대학원 석사논문, 1998.
 5. 박필호, 박종욱, 조정호, "GPS위성의 정밀궤도력에 의한 기선결정의 정밀도 향상에 관한 연구", 한국측지학회지, 제14권 제2호, 1996, pp.199-208.
 6. 강준목외 2명, IGS의 GPS데이터를 이용한 초장기선 정확도 분석, 대한토목학회논문집, 18권 III-3호, 1998, pp. 293-300.
 7. Beutler, The impact of "The International GPS Geodynamics Service(IGS)" on the surveying and Mapping Community, Presented Papers of IUSM 1992, pp.84-94.
 8. Jimmy D. Cain, Jerry Vetter, Wellington Banks, Dale kyle, "Very long range high precision GPS network using multi-day orbital adjustment", Proceedings of the GPS '90, pp.328-342.
 9. Trimble Navigation Ltd., "GPS Surveyor's field guide", Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, California, 1992.
 10. Trimble Navigation Ltd., "Advanced Processing Topics", Trimble Navigation Ltd., Sunnyvale, California, 1990.
 11. Trimble Navigation Ltd., "TRIMNET PLUS", Trimble Navigation Ltd., 1992.
 12. B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins, "Global Positioning System", Springer-Verlag, Wien, New York, 1997.
 13. 土屋 淳외 1인, "GPS測量の基礎", 社團法人 日本測量協會, 東京, 日本, 1996.
 14. 이영진, "한국측지좌표계와 지구중심좌표계의 재정립에 관한 연구(I,II)", 국립지리원, 1996, 1997.