

정밀 GPS 해석 S/W GAMIT/GLOBK를 활용한 TBM의 3차원 위치 결정

Determination of 3-D Positions on TBMs Using the Precise GPS Data analysis SW, GAMIT/GLOBK

유 경 완* 양 인 태** 이 동 하***
Yoo, Kyung-Wan Yang, In-Tae Lee, Dong-Ha

Abstract

In this study, we determined the precise coordinates of TBMs (Tidal Bench Marks), which used as the national reference points in coastal area of Korea, using a GPS data analysis SW for the academic and scientific applications, GAMIT/GLOBK. For accurate 3-D positioning of TBM locations, we performed the GPS point surveying according to the national surveying policy and also acquired the GPS data for 48 TBMs located in the western and southern coastal part of Korea. Considering the results of baseline analysis to each observation session obtained from GAMIT module, the baseline analysis was realized to be done precisely because the values of Normalized RMS (NRMS) were mostly less than ± 0.20 mm. Before the network adjustment using GLOBK module, we evaluated the suitability of observations for each session by applying the chi-squared test (χ^2 test) to the degree of freedom in observed session. An overall distributions of χ^2 test were less than 1.0 for all sessions, and the statistical of χ^2 test showed the average, 0.267 with minimum and maximum value, 0.063 and 0.653, respectively. Finally, we analyzed the network adjustment for 48 TBMs to reduce the residuals of baseline analysis on each point by connecting with 42 permanent GPS stations in Korea. In the network adjustment procedure, we set up the weighted values of each permanent station to be allocated between 0.9 and 1.14, and also removed the observed points having residual exceeds 4-times of standard deviation (4σ).

키워드 : GAMIT/GLOBK, 기선해석, 망조정

Keywords : GAMIT/GLOBK, baseline analysis, network adjustment

1. 서론

국가기준점은 모든 측량 및 위치결정의 기준이 되는 점으로써 측량, 지적, 도로, 지도제작 등 모든 사업에 사용되고 있다. 현재 우리나라의 국가기준

점 체계에서 수평기준점은 세계측지계 상의 수평성과를 이용하고, 수직기준점은 인천만 평균해면을 기준으로 높이성과에 이용하고 있다. 이러한 수평기준점과 수직기준점의 이원화는 측량 작업 시 불편을 발생시켜, 이로 인해 전국적으로 수평과 수직성과가 일원화된 기준점 체계의 필요성이 커지면서, 국토지리정보원에서는 사용자의 편익과 측량능률의 향상을 위해 고안된 새로운 개념의 측량기준점으로 경위도(수평위치), 높이(수직위치), 지구물리성과 등 다양한 측량성과를 통합하여 관리하는

* 강원대학교 대학원 토목공학과 석사과정, 교신저자

** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

*** 강원대학교 토목공학과 교수, 공학박사

다차원·다기능 기준점을 전국에 걸쳐 경위도(수평 위치), 높이(수직위치), 지구물리성과를 동시에 제공하는 약 1,200여점의 통합기준점을 전국에 10km×10km간격으로 설치하였다(Yun, 2011; Kwon, 2008).

본 연구에서는 정확한 3차원 위치 결정을 위해 GPS기준점측량을 실시하였으며, GPS 데이터를 해석하여 3차원 위치를 결정하기 위해 GPS데이터 처리 및 기선해석, GPS데이터 처리결과에 대한 망조정, GPS성가에 변환 등의 단계를 거쳤으며, 서해 및 남해의 연안해역 지역의 국가기준점인 TBM(Tidal Bench Mark)의 48점의 기준점측량 GPS데이터를 취득하고, MIT에서 개발된 GAMIT/GLOBK를 이용하였고, 전국 범위 42개의 상시관측소를 고정하여 망조정을 실시하였다.

2. 관측데이터 처리 방법 및 처리 소프트웨어

2.1 관측데이터 처리 방법

본 연구에서는 관측 대상점의 사전관측계획 자료인 위성시계(satellite visibility)와 기하학적 배치 상태를 분석하여 위성수가 충분하고 PDOP (Position Dilution of Precision, 3차원 위치 결정시 정밀도의 저하율)이 최소인 시간대를 확인하여, 양호한 관측을 할 수 있고 주위의 건물이 없는 곳을 선점해 관측기간이 충분한 시간대로 GPS정지측량을 실시하여 GPS데이터를 취득하였다.

취득된 GPS데이터의 품질확인 및 전처리를 위해 UNAVCO에서 제공하는 TEQC(Translate Check Quality Check)를 활용하여 GPS데이터 품질을 확인하고 GAMIT/GLOBK에 사용 가능한 안테나 및 수신기를 확인하여 GPS데이터의 전처리 과정을 진행하였다.

진행 결과, 본 연구에서 사용하는 48점의 데이터 중 1점의 GPS데이터가 사용 불가하여 1점을 제외한 47점의 GPS데이터를 사용하였다.

2.2 처리 소프트웨어

본 연구에서는 MIT와 미국 스크립스(Scripps)에 위치한 해양과학연구소 그리고, 하버드 대학이 국립과학재단의 지원을 받아 공동 개발한 학술용 망조정 소프트웨어인 GAMIT/GLOBK를 사용하였다.

GAMIT은 GPS데이터를 처리하는 일련의 프로그램들로 구성되어 있는데 GPS 반송파 위상 자료와 의사거리 관측 자료를 사용하여 지상의 기준국들 사이의 상대적인 3차원 위치 계산, 위성 궤도의 결정, 대기 상에서의 천정방향 지연량 계산, 지구 지향요소들(earth orientation parameters)의 계산 등의 작업을 수행한다.

GLOBK는 GPS, VLBI, SLR등의 다양한 우주측

지기술 관측 자료들을 서로 결합하는 것을 주요 목적으로 하는 칼만 필터 프로그램이다. GLOBK는 이러한 관측값들을 준관측값으로 사용하여 지상의 기준국들의 3차원 좌표와 지구지형요소들, 궤도 매개변수들에 대한 최적값을 추정하는 작업을 수행한다. 입력 관측값들은 약한 구속을 가지는 지구 관련 매개변수들을 이용하여 처리되며, 결과적으로 최종적인 결합 시에 각 관측값들이 균일한 구속값을 가지고 결합될 수 있도록 한다(Yun, 2010; Herring et al. 2010a; Herring et al. 2010b).

그림 1은 GAMIT/GLOBK를 이용한 자료 처리 과정과 단계별 사용 프로그램을 나타낸다.

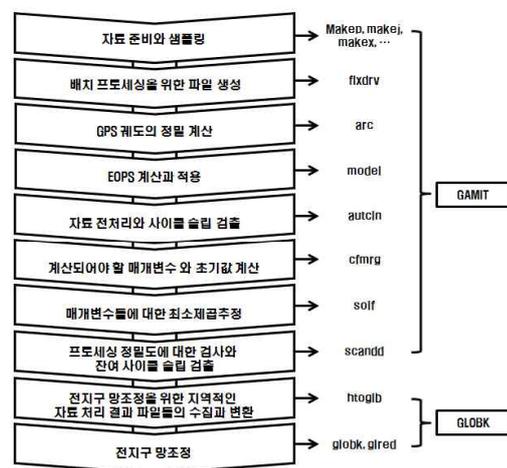


그림 1 GAMIT/GLOBK를 이용한 자료 처리 과정과 단계별 사용 프로그램

GAMIT은 초기 좌표가 가지는 오차의 1/1000에 해당하는 오차범위로 자료를 해석할 수 있다. 따라서 기선해석 전에 유틸리티를 이용하여 개략적인 기선해석을 실시하여 초기 좌표값을 추정하고, 이를 활용한다. GAMIT으로 계산한 좌표는 수 cm의 오차범위를 갖는데, 이 오차는 정밀한 망조정을 수행하기 위하여 고정점의 좌표를 고정하지 않고 수 cm 수준의 추정 오차를 가지고 있는 것으로 설정한 후 해석을 실시하기 때문에 발생한 것이다. 고정점의 성과는 GLOBK에 의한 망조정 작업에서 적용되기 때문에, GLOBK 단계를 거쳐야만 정확한 조정 성과를 계산할 수 있다.

GLOBK에 의한 망조정 계산의 단계에서는 고정점의 좌표를 고정하여 GAMIT으로 계산된 수 cm의 결과를 오차범위 수 mm로 정확한 조정 성과를 계산한 결과를 얻을 수 있다.

3. GPS데이터 처리

전처리과정을 거쳐 얻어진 GPS데이터와 인접한 5개의 상시관측소와 연계하여 GAMIT을 통해 해석하였다. 42개의 상시관측소 자료를 동시에 해석한 기선해석 결과와 세션별로 해석한 자료들을 동시에 조정하되 초기 고정점으로는 42개 상시관측소 성과 모두를 설정하였다.

GLOBK는 망조정 작업을 수행함에 있어서 임시적인 기준좌표계를 구현하는데, 이 과정에서 기선해석 결과와 기타 매개변수 추정 결과의 품질을 고려하여 고정점 중의 일부를 고정점 항목에서 제외하였다.

3.1 GAMIT에 의한 기선해석 결과 평가

기선해석 결과의 품질은 망조정 결과의 정확도에 많은 영향을 미친다. 그렇기 때문에 해석 결과의 적합성에 대한 분석과 평가를 함께 진행하였다. GAMIT에 의해 기선해석 결과 세션별 기선해석 결과의 NRMS(Normalized RMS) 값은 대부분 0.20mm 이하의 수준이었으며, 0.50mm를 넘는 경우는 없었으므로 해석 결과가 매우 양호하다는 것을 알 수 있다. 표 1은 세션별 기선해석 결과의 NRMS를 정리한 것이다.

표 1 세션별 기선해석 결과의 NRMS

| Session | Total parameter | Live parameter | Postfit NRMS |
|---------|-----------------|----------------|--------------|
| doy 106 | 324 | 198 | 0.19039E+00 |
| doy 107 | 436 | 156 | 0.18477E+00 |
| doy 108 | 388 | 130 | 0.19029E+00 |
| doy 111 | 444 | 147 | 0.19369E+00 |
| doy 112 | 396 | 126 | 0.18087E+00 |
| doy 114 | 396 | 127 | 0.19359E+00 |
| doy 115 | 396 | 129 | 0.17462E+00 |
| doy 117 | 444 | 158 | 0.17992E+00 |
| doy 118 | 398 | 128 | 0.18277E+00 |
| doy 120 | 634 | 266 | 0.18244E+00 |
| doy 121 | 514 | 196 | 0.19720E+00 |
| doy 122 | 518 | 196 | 0.19496E+00 |
| doy 127 | 402 | 126 | 0.17915E+00 |
| doy 129 | 338 | 105 | 0.18728E+00 |
| doy 135 | 486 | 170 | 0.17781E+00 |

| | | | |
|---------|-----|-----|-------------|
| doy 136 | 630 | 241 | 0.17649E+00 |
| doy 140 | 342 | 105 | 0.18733E+00 |
| doy 141 | 404 | 127 | 0.17075E+00 |
| doy 142 | 404 | 127 | 0.17835E+00 |
| doy 145 | 344 | 106 | 0.19104E+00 |
| doy 148 | 330 | 105 | 0.17585E+00 |
| doy 149 | 406 | 128 | 0.17938E+00 |

3.2 GLOBK에 의한 망조정 결과 평가

GLOBK에 의한 망조정 작업은 고정점의 좌표와 기선해석 결과를 이용한 단순 조정 작업이 아니라 측위 당시의 지구기준좌표계에 대한 모델과 위성 궤도 모델, 지각변동 모델 등을 포함하고, 망조정 구속값으로 고정점의 좌표와 위성 궤도요소를 사용하는 종합적인 조정이라 할 수 있다.

본 연구에서는 먼저 세션별 관측값의 적합성을 자유도에 대한 카이제곱 검정값을 사용하여 검사하였고 다음으로 42개 상시관측소에 대한 관측값을 이용한 지역적인 지구기준좌표계 구성하고 그 정밀도를 평가하였으며 마지막으로 미지점에 대한 조정 계산 및 조정오차에 대한 분석을 실시하였다.

망조정 작업의 첫 단계로 세션별 관측결과와의 적합도를 검사하였다. 전체 자료에 개별 세션의 자료가 추가될 때 기존 자료와의 연관성을 평가하였으며 평가 기준은 자유도에 대한 카이제곱검정값의 적합성으로 하였다. 표 2는 세션별 관측값의 적합성 검사 결과이다.

표 2 세션별 관측값의 적합성 검사(자유도에 대한 카이제곱검정값 계산)

| GAMIT h-file | 연도 | 월 | 일 | Chi2 |
|----------------------|------|---|----|-------|
| h1504161200_expt.glx | 2015 | 4 | 16 | 0.366 |
| h1504171200_expt.glx | 2015 | 4 | 17 | 0.063 |
| h1504181200_expt.glx | 2015 | 4 | 18 | 0.252 |
| h1504211200_expt.glx | 2015 | 4 | 21 | 0.172 |
| h1504221200_expt.glx | 2015 | 4 | 22 | 0.134 |
| h1504241200_expt.glx | 2015 | 4 | 24 | 0.231 |
| h1504251200_expt.glx | 2015 | 4 | 25 | 0.165 |
| h1504271200_expt.glx | 2015 | 4 | 27 | 0.229 |
| h1504281200_expt.glx | 2015 | 4 | 28 | 0.653 |
| h1504301200_expt.glx | 2015 | 4 | 30 | 0.142 |
| h1505011200_expt.glx | 2015 | 5 | 1 | 0.187 |

| | | | | |
|----------------------|------|---|----|-------|
| h1505021200_expt.glx | 2015 | 5 | 2 | 0.513 |
| h1505071200_expt.glx | 2015 | 5 | 7 | 0.118 |
| h1505091200_expt.glx | 2015 | 5 | 9 | 0.165 |
| h1505151200_expt.glx | 2015 | 5 | 15 | 0.306 |
| h1505161200_expt.glx | 2015 | 5 | 16 | 0.132 |
| h1505201200_expt.glx | 2015 | 5 | 20 | 0.360 |
| h1505211200_expt.glx | 2015 | 5 | 21 | 0.354 |
| h1505221200_expt.glx | 2015 | 5 | 22 | 0.239 |
| h1505251200_expt.glx | 2015 | 5 | 25 | 0.312 |
| h1505281200_expt.glx | 2015 | 5 | 28 | 0.295 |
| h1505291200_expt.glx | 2015 | 5 | 29 | 0.476 |

세션별 관측값의 적합성 검사 결과 검정값이 1 미만이고 최소값 0.063, 최대값 0.653으로 평균 0.267로 확인되었다.

지역적 기준좌표계의 구성은 세션별 관측 결과와 관련 공분산 정보 및 상시관측소의 고시성과를 사용하여 먼저 지역적인 기준좌표계를 계산하였다. 각 상시관측소 고시좌표에 부여되는 가중값이 50% 미만이 되지 않도록 하여 전체성과가 고르게 사용될 수 있도록 하였으며, 고시성과 적합성 여부는 기준좌표계 구성을 위한 조정 잔차가 표준 오차의 4배(4σ)를 넘지 않아야 하는 것으로 설정하였다. 고시좌표의 타원체고 오차가 2cm 미만이어야 하고 평면오차가 1.2cm 미만이어야 하는 조건을 허용 기준으로 하였다. 표 3은 지역적인 기준좌표계 계산결과를 나타낸다.

표 3 지역적인 기준좌표계 계산결과(4회 조정)

| 조정 횟수 | 구분 | 조정량(m) | 표준편차(m) |
|-------|------------------|----------|-----------|
| 1회 | X Translation(m) | -0.40678 | ± 0.10685 |
| | Y Translation(m) | -0.14220 | ± 0.08597 |
| | Z Translation(m) | -0.29135 | ± 0.06386 |
| 2회 | X Translation(m) | -0.40288 | ± 0.07266 |
| | Y Translation(m) | -0.14219 | ± 0.05752 |
| | Z Translation(m) | -0.28788 | ± 0.04331 |
| 3회 | X Translation(m) | -0.40273 | ± 0.07262 |
| | Y Translation(m) | -0.14220 | ± 0.05749 |
| | Z Translation(m) | -0.28774 | ± 0.04328 |

| | | | |
|----|------------------|----------|-----------|
| 4회 | X Translation(m) | -0.40273 | ± 0.07262 |
| | Y Translation(m) | -0.14220 | ± 0.05749 |
| | Z Translation(m) | -0.28774 | ± 0.04328 |

지역적인 기준좌표계 계산 결과는 ITRF와의 원점 이동량에 대한 파라미터들로 표현된다. 표 4는 고시성과의 평균적인 RMS를 나타낸 것으로 최종 조정 작업에서의 평균 오차가 5mm 미만임을 알 수 있다.

표 4 지역적인 기준좌표계 구성 결과의 정밀도

| 조정 횟수 | 고정점의 수 | 제외한 고정점의 수 | 전처리 RMS(m) | 최종 RMS(m) |
|-------|--------|------------|------------|-----------|
| 1회 | 42 | 1 | 0.2071 | 0.00305 |
| 2회 | 41 | 0 | 0.2081 | 0.00204 |
| 3회 | 41 | 0 | 0.2082 | 0.00204 |
| 4회 | 41 | 0 | 0.2082 | 0.00204 |

지역적인 기준좌표계의 구성 결과 고정점 항목에서 제거된 상시관측소는 CHCN으로 위치오차가 크고 정규 표준오차가 4 이상이기 때문에 고정점 항목에서 제거되었다.

전국범위의 통합기준점 망조정에 사용할 고정점의 선별과 기준 관측망 구성을 위한 지역적인 기준좌표계 구성결과, 전국 범위의 기준 관측망은 평균적으로 5mm의 오차범위로 구성되었고 각 상시관측소의 가중값은 0.9~1.14 사이의 값으로 설정되었다.

3.3 데이터 처리 결과

표 5는 GAMIT/GLOBK를 이용한 최종적 망조정 결과값을 나타낸다.

표 5 GAMIT/GLOBK를 이용한 망조정 결과

| 관측점명 | X | Y | Z |
|------|--------------|-------------|-------------|
| AMD1 | -3021241.567 | 4129340.360 | 3795329.597 |
| AMD2 | -3022611.376 | 4133406.789 | 3789842.887 |
| AMD3 | -3028137.888 | 4125772.084 | 3793725.903 |
| PAL1 | -3076090.686 | 4250204.149 | 3614824.283 |
| PAL2 | -3091216.352 | 4242321.565 | 3611116.772 |
| PAL3 | -3096025.921 | 4243467.783 | 3605684.053 |
| SO01 | -3030348.094 | 4129297.657 | 3788160.867 |

| | | | |
|------|--------------|-------------|-------------|
| SO02 | -3030346.601 | 4129236.265 | 3788227.954 |
| SO03 | -3030194.247 | 4129240.916 | 3788343.991 |
| SO07 | -3042733.729 | 4125593.724 | 3782304.572 |
| SO08 | -3042798.441 | 4125548.139 | 3782302.342 |
| SO09 | -3042787.384 | 4125485.581 | 3782376.864 |
| SRP1 | -3051544.180 | 4126500.374 | 3774261.752 |
| SRP2 | -3051491.594 | 4126438.237 | 3774372.046 |
| SRP3 | -3051396.270 | 4126493.451 | 3774387.984 |
| HAN4 | -3130044.780 | 4234089.358 | 3587416.439 |
| PAL9 | -3148158.175 | 4244872.787 | 3558903.209 |
| ND04 | -3049600.814 | 4125923.535 | 3776448.579 |
| ND06 | -3049717.135 | 4126267.539 | 3775981.125 |
| WY04 | -3033809.066 | 4163175.403 | 3748365.522 |
| WY05 | -3033501.829 | 4163294.198 | 3748481.737 |
| WY09 | -3033964.097 | 4163070.434 | 3748363.316 |
| YM04 | -3051978.884 | 4135525.405 | 3764092.902 |
| YM05 | -3052036.340 | 4135585.694 | 3763974.582 |
| YM06 | -3051993.707 | 4135625.002 | 3763965.295 |
| HD01 | -3043971.262 | 4149379.570 | 3755375.713 |
| HD02 | -3044065.325 | 4149368.228 | 3755308.086 |
| HD03 | -3044128.733 | 4149288.528 | 3755345.881 |
| MCP1 | -3065756.814 | 4137406.635 | 3750890.678 |
| MCP2 | -3065772.903 | 4137515.878 | 3750756.860 |
| MCP3 | -3065863.869 | 4137525.663 | 3750674.836 |
| SSD1 | -3049235.034 | 4141558.691 | 3759703.084 |
| SSD2 | -3049272.763 | 4141588.204 | 3759643.084 |
| SSD3 | -3049339.515 | 4141505.378 | 3759679.949 |
| ZD01 | -3048355.931 | 4128389.857 | 3774768.025 |
| ZD02 | -3048181.460 | 4128504.373 | 3774783.822 |
| ZD03 | -3048187.788 | 4128446.503 | 3774841.791 |
| AMD4 | -3034073.133 | 4129719.778 | 3784763.666 |
| AMD5 | -3048436.477 | 4133636.909 | 3768996.566 |
| AMD6 | -3042688.100 | 4130188.673 | 3777355.773 |
| AMD7 | -3053861.197 | 4128569.847 | 3770151.459 |
| PG10 | -3154062.956 | 4238204.433 | 3561609.571 |

| | | | |
|------|--------------|-------------|-------------|
| PG11 | -3171010.304 | 4222520.441 | 3565162.360 |
| PGD5 | -3158077.633 | 4217883.410 | 3581975.276 |
| PGD6 | -3160906.791 | 4220597.293 | 3576314.009 |
| PGD7 | -3175048.124 | 4208464.572 | 3578076.385 |

4. 결론

본 연구에서는 학술용 망조정 소프트웨어인 GAMIT/GLOBK를 이용하여 연안해역 지역의 국가기준점인 TBM의 GPS데이터 관측결과에 대한 3차원 위치 결정을 하였다. 총 48점의 GPS 관측자료 중 1점을 제외한 47점을 사용하여 42개의 상시관측소 좌표와 연계하여 처리하고 전국 범위의 통합 망조정을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 대부분의 관측자료의 상태가 양호하여 높은 품질과 정확도의 기선해석 결과를 산출할 수 있었다. 모든 관측세션의 NRMS값이 0.50mm 이하였으며, 모든 세션에서 0.20mm 이하로, 이러한 수치는 각 세션의 기선해석 결과가 매우 양호함을 나타낸다.

2. 정밀한 전국기반의 망조정을 실시하기 위하여 42개 상시관측소 자료 처리 결과와 고시성과를 이용하여 지역적인 기준좌표계를 구성한 결과, 평균 5mm 수준의 오차범위로 구현할 수 있었으며, 최종적으로 허용 오차인 12mm 이내의 위치오차를 가지는 42개의 상시관측소 중 41개의 상시관측소를 사용하여 지역적인 기준좌표계를 구성하였다.

3. 전국 범위의 망조정을 실시한 결과 타원체고부분의 오차가 다소 나타났으나, 평면좌표의 오차가 모두 10mm 이하로 정밀하게 계산된 것을 확인할 수 있었다.

추후 다른 다양한 소프트웨어로 처리된 결과와의 비교를 통해 본 연구 결과에 대한 고정밀도의 좌표결정과의 비교·분석이 필요하다고 판단된다.

참고 문헌

- [1] Kwon, J., An initial study on the unified control points, NGII Publication No. 11-1611265-000004-01, National Geographic Information Institute, Suwon, Korea, pp.123-140, 2008.
- [2] Herring, T.A., King, R.W., and McClusky, S.C. (2010a) Global kalman filter VLBI and GPS analysis program, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences MIT, Massachusetts, USA, http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/GLOBK_Ref.pdf(last date

accessed: 1 March 2014).

- [3] Herring, T.A., King, R.W., and McClusky, S.C. (2010b) GPS analysis at MIT, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences MIT, Massachusetts, USA, http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/GAMIT_Ref.pdf(last date accessed: 1 March 2014).
- [4] Yun, H., A study on establishment of national vertical datum surface, NGII Publication No. 11-1611265-000041-01, National Geographic Information Institute, Suwon, Korea, pp.120-133, 2010.
- [5] Yun, H., A Study on the establishment of integrated geodetic network based on orthometric height, NGII Publication No. 11-1611265-000070-01, National Geographic Information Institute, Suwon, Korea, pp.25-26, 2011.