한국측량학회지, 제 19 권 제 2 호, pp. 155~161(2001년 6월 30일)

GLT에 의한 정밀 표고결정의 기초적 연구
The Fundamental Study of Height Determination Using GPS Leveling Technique

강인준* · 장용구** · 곽영주***
Kang, In Joon · Chang, Yong Ku · Kwak, Young Ju

要 旨

오늘날 3차원 위치결정에 있어서 위성측량을 활용하여 위치결정이 가능하게 되었다. 최근 국내 지오이드 모델의 정밀도가 향상되면서 정밀 수직위치결정에 대한 위성측량의 위치정확도 또한 많이 향상되었다. 그러나 지오이드고를 고려하였을 때, 위성측량의 수직위치결정의 활용은 아직 어려운 실정에 있다. 그러나, 지오이드 변화가 국소지역에서는 미소하게 변화하므로 위성측량 관측에 의한 표고와 정표고는 동일하다고 볼 수 있다. 따라서, 지오이드를 고려치 않은 건설현장에서 GLT(GPS Leveling Technique)의 수직위치결정 측량이 가능하게 되었다. GLT는 재래적 측량장비보다 처리속도가 뛰어난 정표고를 계산하는 방법이었고, 관측방법과 수신기 상태, 현장 상황에 따라 정확도가 다소 변화하게 되는데 본 연구에서는 측점간의 경중률만을 고려하였다. 지반 침하량 계측에 있어서 레벨을 이용한 재래식 수직위치결정방법을 기준으로 부산대학교내 일정지역과 모델현장에서 지오이드모델을 이용한 위성측량방법과 GLT 방법을 비교 분석하여 위치정확도 및 시간과 비용에 있어서의 효율성을 검토하였다.

ABSTRACT

When determining a three dimensional position for engineering purposes, we can use the GPS survey to find position. According to the enhancement of precision for domestic Geoid model, the positional accuracy of GPS about precise method of vertical position has been also increased. But by considering Geoid undulation, it is difficult to measure GPS-derived elevations. Because Geoid undulation has changed little in local sites, GPS-derived elevations are similar to orthometric height. By ignoring Geoid undulation, it is possible to measure GLT-derived elevations at the local, small construction sites. GLT(GPS Leveling Technique) provides a method for computing orthometric heights. GLT processes the data more rapidly than conventional measurement devices. We only considered the weight factors affecting accuracy between the points. That is, the GPS procedures to produce satisfactory elevation accuracy depends on the method of observations, receivers and conditions of the local environment. A comparison was performed between the GPS survey using Geoid model and GLT at a part within Pusan National University and construction model sites in South Korea. And the writers proved the GPS surveying is efficient in positioning accuracy, time, and cost on a construction sites.

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

GPS를 활용한 정밀 3차원 기준망 설정과 지오이드고에 관한 기초연구와 응용연구 개발이 본격적으로 이루어지고 있으며, 세계측지좌표계에 기초한 지형정보체계(Geographic Information System : GIS)의 신속하고 정확한 자료구축을 위해 지오이드고 모델과 연계된 GPS의 응용연구가 꾸준히 진행되고 있다.[1),2)]

국외에서는 GPS 관측으로부터 지오이드고를 결정하는 알고리즘을 정립,[4)] GPS/Leveling기법을 이용해 소규모지역의 지오이드고 기복의 차이를 산정[5)]하는 연구를 하였다. 연구 지역의 GPS Height를 계산하고, GPS의 높은 정확도를 측지망에 적용하여 MEXICO일대를 연구하고, GPS와 Leveling Data를 이용하여 Geoid 산정을 향상시키는 연구가 이루어졌다.[6)-8)]

지구 중력장 모델, 중력측정자료 및 GPS/Leveling기법

*정회원 · 부산대학교 토목공학과 교수
**정회원 · (주)세광정보시스템 GIS연구소장 · 공학박사
***정회원 · 부산대학교 토목공학과 대학원 · 석사과정

으로 산정된 지오이드고는 세계측지계인 GRS80 (Geodetic Reference System 1980)이나 WGS84 타원체에 기준한 지오이드고이므로 지역측지계를 사용하는 우리나라의 지역적인 지오이드고를 산정하는데 직접적으로 적용할 수 없으며, 세계측지계와 지역측지계간의 이격량을 산정하여 세계측지계에 기준한 지오이드고로부터 지역적인 지오이드고를 결정한다.

지속적인 연구를 통하여 국내에서는 PNU95 Geoid 모델을 발표하여 GPS의 효과적인 이용을 목적으로 우리나라 수준점 망에 적합하게 개발하였다. OSU91A Geopotential 모델을 기본으로 하여 남한 일원의 지오이드 모델을 GPS에 적합하도록 작성한 PNU95 지오이드 모델은 부산대학교에서 1995년에 개발하였다. PNU95 지오이드를 이용하기 위한 모든 입력 자료와 출력 결과는 GPS의 기준 좌표계인 WGS84타원체를 기준으로 하고 있다.[3),16)]

노선측량이나 시공측량에 있어서 위성측량을 이용하여 수직위치를 결정하려는 시도가 많이 이루어지고 있지만 학계 및 국가에서 검증이 불명확한 상태에 있기 때문에 위성측량을 이용한 수직위치결정의 실용화가 어려운 실정에 있다. 따라서, 시간과 비용, 그리고 정확도면에서 우수한 위성측량의 수직위치결정에 대한 실용화를 위한 연구가 매우 필요하다.

현재 시공사 관리에 있어서 시공을 위한 연약지반 측량은 가장 기초적이며 필수적인 과정이다. 따라서, 본 연구에서는 시공사 관리중 수직위치 정확도를 비교해 볼 수 있는 연약지반 측량을 통한 위성측량의 효율성을 검토하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 GPS Leveling 기법의 적용가능성을 알아보기 위해 부산대학교내 일정지역과 현장 모델지역을 선정하여 Level을 이용한 수직위치결정방법을 기준으로 지오이드 모델을 이용한 위성측량방법, GLT(GPS Leveling Technique)측량을 비교, 분석하여 GLT측량의 위치정확도 및 시간과 비용에 있어서의 효율성을 검토하였다.

2. GLT

GLT기법이란 위성수준측량기술이며 위성측량에 의한 수직높이는 기준타원체면에서부터의 높이이다. 그러나, 측량에서 사용하고 있는 표고는 지오이드를 기준으로한 수직높이이기 때문에 기준타원체와 지오이드사이의 높이차이인 지오이드고(Geoid undulation)를 결정해 주어야 한다. 따라서, 지오이드고 산정을 위해서는 한반도 전역에 대한 매우 정밀한 지오이드 모델이 구축되어 있어야 한다.

지오이드 변화를 살펴보면 좁은 지역(반경 500 m이내)에서는 그 변화가 매우 미소하다. 따라서, 그 지역의 수준점(Bench Mark)을 설정하여 이 수준점에서의 위성측량에 의한 지오이드고를 산출하고 그 내부지역은 산출된 수준점의 지오이드고를 이용하여 보간법으로 표고를 산출해주는 기법이 GLT기법이다.

GLT(GPS Leveling Technique)기법의 수학적 모델은 식 (2-1)과 같다.[11)]

$$h_{ij} = H_j - H_i \tag{2-1}$$

여기서, h_{ij}: i측점과 j측점사이의 높이차

H_i, H_j: 각각의 I측점과 j측점의 표고

GLT의 수학적 모델은 선형모델이며, 설계행렬도 2차원경우와 동일하게 만들어진다. 설계행렬의 계수들은 -1, 0, 1로 이루어진다. 각각의 관측방정식들은 거의 두 개의 측점과 관련되어 있고, 설계행렬의 행에는 두 개의 "0"이 아닌 요소가 존재한다. 더욱이, 한 행에는 한 개의 양의 수와 음의 수로 구성되어 있다.

그림 1은 4개의 서로 연관된 환폐합 수준망들로 구성된 그림이다. 그림 1에서 9개의 관측방정식이 만들어지고 거기에는 6개의 미지측점의 표고들이 존재하고 있다. 관측방정식모델을 사용하면 식 (2-2)와 같이 표현할 수 있다.

$$L_a = F(Xa) \tag{2-2}$$

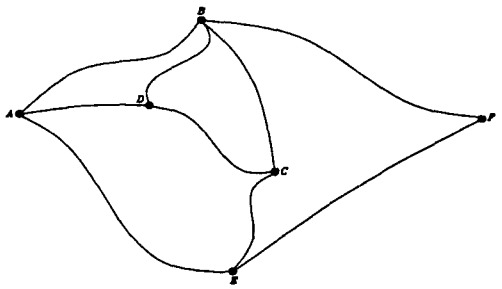

그림 1. 환폐합 수준망

관측된 표고차이들로 식 (2-3)의 관측방정식을 얻을 수 있다.

$$
\begin{aligned}
h_{ab} &= H_b - H_a \\
h_{bd} &= H_d - H_b \\
h_{da} &= H_a - H_d \\
h_{bc} &= H_c - H_b \\
h_{cd} &= H_d - H_c \\
h_{ce} &= H_e - H_c \\
h_{ea} &= H_a - H_e \\
h_{bf} &= H_f - H_b \\
h_{fe} &= H_e - H_f
\end{aligned} \tag{2-3}
$$

식 (2-3)을 행렬로 표현하면 식 (2-4)와 같이 표현된다.

$$
\begin{bmatrix} h_{ad} \\ h_{bd} \\ h_{da} \\ h_{bc} \\ h_{cd} \\ h_{ce} \\ h_{ea} \\ h_{ef} \\ h_{fe} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_a \\ H_b \\ H_c \\ H_d \\ H_e \\ H_f \end{bmatrix} \tag{2-4}
$$

식 (2-4)의 계산으로 두 측점 사이의 표고차를 이용한 미지점의 표고 산출이 가능하다. 위의 방법을 위성측량의 수직위치결정방법에 이용하면 정밀한 수직위치결정도 가능하다. 그것은 한반도 내에서 Geoid변화가 거의 없기 때문이다. 따라서, Geoid모델을 고려하지 않고도 소규모 지역에서 위성측량을 이용한 Leveling이 가능하다. 다만, 측점들 사이에서 이루어지는 정밀도의 영향을 주는 경중률의 고려가 필요하다. 경중률은 경험이나 수준망 조정으로부터 고려되어진다. 일반적으로 경중률은 거리요소를 이용하여 산출하며 직접수준측량인 경우에는 경중률에 반비례하는 관계로 표현된다.[15]

$$
W_i \propto \frac{1}{S_i} \tag{2-5}
$$

여기서, W_i: i측점의 경중률

S_i: 기지표고점에서 i측점까지의 거리

3. 적용예

본 연구의 측량은 전체적으로 2단계로 나누어 이루어졌다. 제1단계에서는 부산대학교내 일정한 모델지역(100 m×100 m)내에서 재래적인 수준측량, Geoid 모델을 이용한 위성측량, GPSLeveling방법을 이용한 위성측량[10]을 실시하였다. 그리고, 제2단계에서는 현재 침하계측이 이루어지고 있는 모델현장 내에서 기존의 침하계측을 위한 재래적인 측량과 GLT기법을 이용한 위성측량을 실시하였다.

수준측량에 사용한 Level은 Topcon사의 AutoLevel을 사용하였다. 그리고, 위성측량에 사용한 GPS장비는 캐나다의 NovAtel사에서 만든 장비를 사용하였으며 기준국에는 Milen-STD Model을 이용하였고, 이동국에는 Milen-RT-2 Model을 사용하였다. 표 1은 본 연구에서 사용된 Level과 GPS 장비의 정확도를 나타낸 것이다.

3.1 부산지방의 지오이드고

그림 2는 PNU95 지오이드로 표현한 부산지방의 지오이드모델 전체형상이다. 부산지방의 지오이드고는 약 29.2 ~30.2사이의 높이값을 가진다.[12),13)]

3.2 제1단계 측량

부산대학교내의 GLT기법을 이용한 위성측량의 정확도 검증을 위해 3과정으로 나누어 측량을 실시하였다. 첫번째 과정으로 부산대학교내 중력점(표고 : 52.73 m)을 이용하여 모델지역내의 임시수준점(TBM)의 표고를 산출하였고, 두 번째 과정에서는 임시수준점의 위성측량으로 평

표 1. Level 및 GPS 장비의 정확도

Topcon사의 AutoLevel(일본)		Accuracy	
		수 mm	
NovAtel GPS(캐나다)			
기준국용(Milen-STD)		이동국용(Milen-RT-2)	
Real Time Accuracy	Post-processed Accuracy	Real Time Accuracy	Post-processed Accuracy
0.75 m	0.005 m+1 ppm (horizontal) 0.010 m+1 ppm (vertical)	0.02 m	0.005 m + 1 ppm (horizontal) 0.010 m + 1 ppm (vertical)

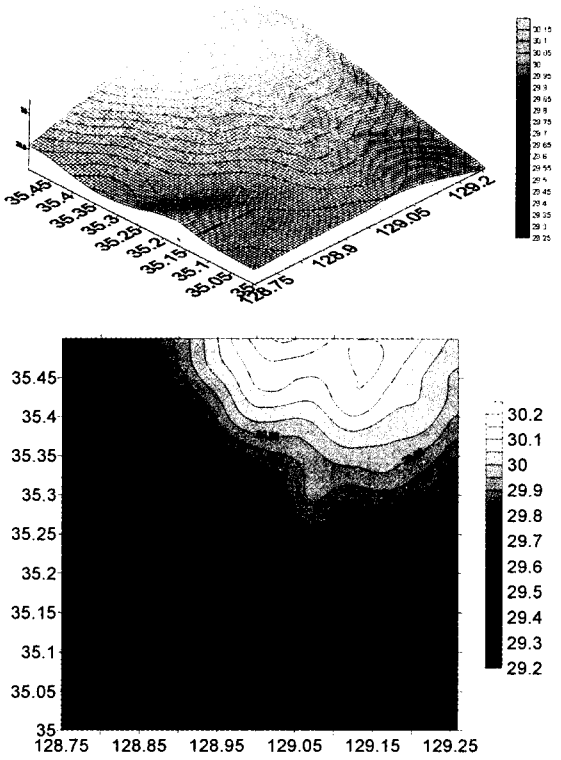

그림 2. 부산지방의 지오이드 모델

면직교좌표 및 타원체고를 산출하여 임시수준점에서의 지오이드고를 결정하였다. 세 번째 과정에서는 모델지역내의 네 개 측점의 수준측량과 지오이드모델과 GLT기법을 이용한 위성측량을 실시하였다.

3.2.1 첫 번째 과정

수준측량은 모델지역내에 설치한 4개의 임시수준점을 기준으로 왕복측량을 하였으며, 모델지역내의 임시수준점의 표고는 부산대학교내 박물관 앞에 있는 중력점(경도 : 129.08100, 위도 : 35.23356, 표고 : 52.73 m)을 이용하여 왕복수준측량을 실시하여 결정하였다.

3.2.2 두 번째 과정

임시수준점의 위치와 표고가 결정되고 난 후 임시수준점의 위성측량을 실시하였다. 임시수준점의 위성측량은 현장의 침하계측이 이루어질 때마다 함께 수행하였다. 이것은 지오이드고가 기조력 때문에 변하기 때문이다.

3.2.3 세 번째 과정

모델지역내의 네 측점의 수준측량은 임시수준점들을 이용하여 측량하였으며, 위성측량은 "Rapid Static" 방법으로 측량하였다. 위성측량에 의한 표고산출은 4개의 임시수준점을 이용하여 보간법에 의해 각 측점의 지오이드고를 산출하고 이를 이용하여 표고를 결정하였다.

본 연구에서는 보다 정밀한 측량을 위하여 표척사이의 거리를 보다 가깝게 하여 측량을 실시하였다.

수준측량을 실시할 때 측량조원은 최소 3명 이상이 필요하였으며, 측량시간은 4시간 정도가 소요되어 많은 시간과 인원이 필요하였다.

재래적인 수준측량을 마친 후 위성측량을 실시하였다. 위성측량은 "Rapid Static"방법을 이용하였다. 그리고, 위성배치도를 이용하여 오차율(DOP)이 가장 작은 시간대를 이용하여 측량을 실시하였다. 위성측량에 의한 표고결정은 PNU95 Geoid 모델을 이용한 방법과 GPSLeveling 기법을 이용한 방법의 두가지 방법을 이용하여 실시하였다.

본 연구에서 수행한 GLT에 의한 표고결정을 보다 효율적으로 처리하기 위하여 GLT 프로그램을 Fortran90 문법을 이용하여 제작하였다. 그림 3은 본 연구실에서 개발한 GLT 프로그램소스의 일부를 보여주는 그림이다.

3.3 제2단계 측량

실제 현장 적용성을 판단하기 위한 측량으로 현재 침하계측 측량이 이루어지고 있는 모델현장내 침하봉의 침하량계측에 재래적인 수준측량과 GLT기법을 이용한 위성측량을 함께 실시하였다.

측량은 전체 4회에 걸친 측량을 실시하였다.

위성측량에 의하여 실시된 표고측량에서는 한 측점 당 측량소요시간이 5분~10분 정도가 소요되었으며, 측량장비조작요원도 최소 위성측량장비 한 대당 한명의 조작인원만이 필요하였다. 위성측량은 시간과 소요인원에 있어서 재래적인 수준측량 보다 효율적인 측량방법임을 알 수 있었다. 또한, 토공사에서 관리하는 침하량계측 뿐 만 아니라 토공사관리를 위해 토공량산정을 통한 절 · 성토

본 프로그램은 부산대학교 측량지형정보연구센타에서 제작한 프로그램으로
소규모의 연약지반 및 시공측량에서 Geoid 값을 고려하지 않고 각 지점의
표고를 출력해주는 프로그램입니다. (GLT version 1.0)
제작년월일 : 2000년 10월 일
제 작 자 : 부산대학교 측량지형정보연구센타
1 번 임시수준점의 Geoid undulation 값 : 12.5600
2 번 임시수준점의 Geoid undulation 값 : 12.5600
3 번 임시수준점의 Geoid undulation 값 : 12.5590
4 번 임시수준점의 Geoid undulation 값 : 12.7980
[각 지점별 출력결과]

측 점	X 좌표	Y 좌표	타원체고	Geoid undulation 값	RMSE	표고(h)
1	192894.570	207077.700	12.700	12.58	+- .043	.120
2	192805.180	207061.300	12.710	12.58	+- .037	.123

그림 3. GLT 프로그램 출력파일내용

표 2. 단계별 실제 관측 시각 비교

	2001. 1. 15. 관측	2001. 1. 25. 관측	2001. 2. 10. 관측	2001. 2. 28. 관측	평균
수준측량 관측시각	24시간	22시간	20시간	18시간	21시간
위성측량 관측시각	2시간 30분	2시간 10분	2시간	2시간	2시간 15분

량의 균형을 통한 정지작업시 많은 측점의 표고관측에도 본 연구에서 제시한 GLT기법을 이용하면 보다 많은 측점을 고른 정밀도로 관측할 수 있기 때문에 전체적인 토공사관리에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

수준측량에 의한 침하량 계측에 있어서 환폐합 허용오차가 2~5 mm 정도인 점을 고려하였을 때, 정밀도를 확보하고자 하루에서 이틀정도 평균 2, 3회에 걸쳐 측량을 실시하여 표 2에서 보듯이 평균 21시간 정도가 소요되었다. 따라서, 평균적인 관측시각을 비교하였을 때 수준측량 비해 위성측량을 이용함으로써 10배 이상의 시간을 단축할 수 있음을 확인할 수 있었다.

3.4 비교분석

위성측량의 연약지반계측으로의 활용가능성을 알아보기 위하여 학교내의 1차 실험측량과 모델현장내의 침하계측 측량에서 2차 실용측량을 실시하였다. 본 연구에서는 재래적인 수준측량결과를 기준으로 하여 PNU95 Geoid 모델을 이용한 위성측량방법과 GPSLeveling 기법을 이용한 위성측량방법의 오차를 비교, 분석하였다.

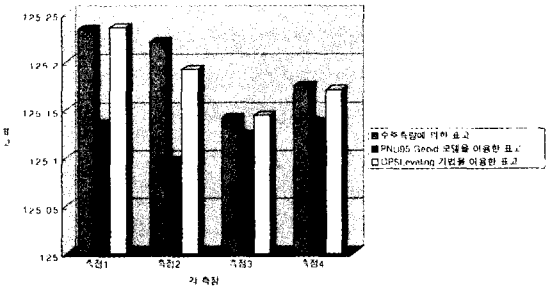

그림 4. 측량방법별 오차비교

그림 4는 부산대학교내의 1차실험에서 재래적인 수준측량, PNU95 Geoid 모델을 이용한 위성측량, GLT를 이용한 위성측량방법에 의해서 결정된 표고를 비교한 그림이다.

표 3은 1차 실험측량으로 얻은 수준측량에 의해서 측량된 각 측점의 표고를 기준으로 한 위성측량으로 산출된 표고와의 오차비교표를 나타내었다.

표 4는 모델현장내의 침하계측시 수준측량으로 관측된 각 측점의 표고와 GLT 방법으로 산출된 표고의 오차비교표이다.

본 연구의 표 3, 4에서의 기준값은 현재 현장에서도 수준측량을 기준으로 측량이 수행되고 있으므로 표고의 기준값을 레벨장비를 사용하여 관측하였다. 1차와 2차에 걸친 표고측량의 오차를 비교한 결과 재래적인 수준측량의 표고를 기준으로 2~8 mm가 발생하였다.

현재, 대부분의 현장에서는 광파거리측량기(EDM)와 Level을 이용하여 측량을 수행하고 있다. 이와 같은 장비들은 높은 측량의 정밀도를 얻을 수 있지만, 현장외업의 시간과 내업의 시간이 많이 요구되어 신속한 측량결과를 산출할 수 없다.

본 연구를 수행하면서 재래식 수준측량을 수행한 경우보다 위성측량을 수행한 경우가 시간적으로 약 10배정도의 시간을 단축할 수 있었으며, 정확도면에서도 재래적인 수준측량의 정도와 거의 동일한 결과를 얻을 수 있었음을 알 수 있었다.

일반적으로 위성측량은 각 재조회사에 따라서도 측량정확도가 약간씩 다르며, 본 연구에서는 본교에서 보유하고 있는 캐나다의 NovAtel사의 위성측량장비를 사용하였다.

표 3. 부산대학교내의 1차실험측량에 의한 수준측량 결과와 GPS 표고측량의 오차비교표

측 점	수준측량에 의한 각 측점의 표고	GPS 측량에 의한 각 측점의 표고	GPSLeveling Program을 이용한 산출한 표고	GPS 측량오차	GPSLeveling Program 이용하여 산출한 표고오차
측점1	125.233	125.135	125.235	+0.092	-0.002
측점2	125.220	125.097	125.192	+0.123	+0.008
측점3	125.141	125.124	125.144	+0.017	-0.003
측점4	125.175	125.137	125.171	+0.038	+0.004

표 4. 모델현장내의 침하계측 측량 오차비교표

측 점		수준측량에 의한 각 측점의 표고	GPS 측량에 의한 각 측점의 표고	GPSLeveling Program 이용하여 산출한 표고	GPS 측량오차	GPSLeveling Program 이용하여 산출한 표고오차
2001. 1. 15. 관 측 값	BASE	4.650	4.650	4.650	+0.000	-0.000
	측점 1	2.764	2.708	2.757	+0.056	+0.007
	측점 2	3.539	3.618	3.543	-0.079	-0.004
	측점 3	1.883	1.840	1.882	+0.043	+0.001
	측점 4	4.087	4.011	4.085	+0.076	+0.002
	측점 5	3.156	3.133	3.150	+0.023	+0.006
	측점 6	4.892	4.957	4.894	-0.070	-0.002
2001. 1. 25. 관 측 값	BASE	4.650	4.650	4.650	+0.000	-0.000
	측점 1	2.767	2.707	2.759	+0.060	+0.008
	측점 2	3.512	3.616	3.515	-0.104	-0.003
	측점 3	1.890	1.835	1.890	+0.055	+0.000
	측점 4	4.031	4.008	4.028	+0.023	+0.003
	측점 5	3.197	3.195	3.195	+0.069	+0.002
	측점 6	4.887	4.888	4.888	-0.073	-0.001
2001. 2. 10. 관 측 값	BASE	4.650	4.650	4.650	+0.000	-0.000
	측점 1	2.757	2.706	2.757	+0.051	+0.008
	측점 2	3.608	3.614	3.543	-0.066	-0.004
	측점 3	1.866	1.833	1.882	+0.033	+0.002
	측점 4	4.125	4.004	4.085	+0.121	+0.002
	측점 5	3.194	3.122	3.150	+0.072	+0.003
	측점 6	4.880	4.957	4.894	-0.077	-0.004
2001. 2. 28. 관 측 값	BASE	4.650	4.650	4.650	+0.000	-0.000
	측점 1	2.761	2.706	2.757	+0.055	+0.006
	측점 2	3.532	3.604	3.543	-0.072	-0.004
	측점 3	1.876	1.830	1.882	+0.046	+0.001
	측점 4	4.071	3.999	4.085	+0.072	+0.001
	측점 5	3.134	3.113	3.150	+0.021	+0.003
	측점 6	4.887	4.953	4.894	-0.066	-0.002

표 5. 비용절감 비교표

	소요인원	평균 소요시간	자료처리속도
수준측량	3~4명	20시간	내업처리에 의한 자료 수정 필요 (오차조정)
위성측량	1~2명	2시간 15분	원본자료의 수정, 편집 불가능 (신뢰성 확보)

수준측량에서는 소요인원이 기본적으로 4명이 필요하였고 소요시간은 평균적으로 20시간 이상 소요되었다. 측량 후 내업과정에서 수준측량 관측값의 오차보정 및 수정에 의한 자료처리 시간으로 인하여 소요된 시간이었다. 하지만, 위성측량은 수준측량에 비하여 여러 면에서 약 두 배 이상의 효율성을 확보할 수 있기 때문에 비용 또한 두 배 이상의 절감효과를 얻을 수 있었다.

위성측량은 초기비용이 많이 드는 단점을 가지지만 지속적인 측량을 함으로써 비용 및 정확도 면에서 극대화 시킬 수 있는 방법이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 수준측량과 위성측량의 측량방법에 따른 효율성만을 비교·분석하였다. 또한, PNU95 지오이드 모델을 적용한 위성측량에 의한 표고와 GLT기법에 의한 표고를 비교·분석하였다.

지오이드 모델에 대한 지속적인 연구로 인하여 PNUN95 지오이드 모델의 정확도는 향상된다.

하지만 정확한 지오이드 모델의 구축이 필요하기 때문에 지오이드 모델을 고려치 않은 GLT기법에 의한 위성측량이 국소지역에서 매우 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

GLT에 의한 효율적인 표고결정에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 재래식 수준측량의 결과를 기준으로 하여 위성측량 결과의 오차량을 비교한 결과 연약지반 계측에 효과적이었다.

둘째, 위성측량으로 현장외업을 실시한 결과 재래적인 수준측량의 외업시간보다 평균적으로 약 10배 이상의 시간을 단축시킬 수 있었으며, 재래적인 수준측량을 수행할 때 보다 위성측량의 경우에는 더 적은 인원으로 측량을 수행할 수 있었다.

셋째, 앞으로 GLT 기법을 이용한 정밀위성측량을 토공사 관리에 적용하면 보다 효율적인 시공관리가 이루어질 수 있으리라 판단된다.

그리고, 위성측량에 의한 결과를 자동적으로 2차원 및 3차원의 지형도, 침하곡선, 토공량 산정 등의 결과를 산출해주는 프로그램을 제작한다면 보다 현장에서 쉽고 정확하게 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 강준묵, "GPS에 의한 Geoid Height 결정"에 관한 연구 보고서, 한국학술진흥재단, 1991
2. 강준묵, 이용창, 박필호, 송승호, "GPS를 이용 한 Geoid Undulation Model 산정에 관한 연구", 한국측지학회 연구발표개요집, 1993, pp. 9-17
3. 최광선, "OSU89B에 의한 한반도 일원의 지 오이드에 관한 연구", 한국측지학회, 제9권, 제2호, 1991, pp. 67-71.
4. Gunter W. Hein, Alfred Leick, "Intergrated Processing of GPS and Gravity Data", Journal of Surveying and mapping, Vol. 105, No. 1, Feb. 1989, pp. 15-33.
5. Takao Tabei, "Geoid Undulation Differences in Shikoku Region, Southwest Japan, Determined by GPS Measurement and Leveling", Joural of Geodetic Society of Japan, Vol. 40, No. 1, 1994, pp. 33-44
6. W. E. Featherstone, "Refinement of Gravimetric Geoid Using GPS and Leveling Data", Journal of Surveying Engineering, Vol. 126, No. 2, May 2000, pp. 27-82.
7. C. L. Merry, H. Heister, M. Barry, W. N. Ellery, T. S. McCarthy, H. Ruther, H. Sternberg, "Heighting in Okavango Delta", Joural of Surveying Engineering, Vol. 124, No. 4, November 1998, pp. 145-155.
8. Tomas Soler, Gabriei Alvarez-Garcia, Antonio Hernandez-Navarro, Richard H. Foote, "GPS High Accuracy Geodetic Networks in MEXICO", Joural of Surveying Engineering, Vol. 122, No. 2, May 1996, pp. 81-94.
9. 유복모, 측량학 원론(I), 박영사, 1999, pp. 222-258.
10. 강인준, 측량지형정보공학(I), 문운당, 2001, pp. 508-585.
11. Alfred Leick, GPS Satellite Surveying, John Wiley & Sons, Inc. 1995, pp. 175-232.
12. Chuji Tsuboi, Gravity, George Allen & Unwin, pp. 148-155.
13. Weikko A. Heiskanen, Physical Geodesy Helmut Moritz, pp. 160-176.
14. Wolfgang Torge, Geodesy, Walter de Gruyter, 1991, pp. 133-210.
15. 안철호, 최재하, 일반측량학, 문운당, 1997, pp.107-108.
16. 최광선, 이정모, "GPS/Leveling Geoid of thesouthern korean Peninsula", Korea Journal of Geophysical Research, Vol. 25, No. 1, 1997, pp. 15-22.