

정밀 수준측량을 위한 소규모 지역에서의 GPS 수준성과 분석 Analysis of GPS Levelling in Small Area for Precise Leveling

강준목¹⁾ · 임영빈²⁾ · 이은수³⁾ · 선재현⁴⁾

Kang, Joon Mook · Nim Young Bin · Lee, Eun Soo · Sun, Jae Hyun

¹⁾ 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수, jmkang@cnu.ac.kr

²⁾ 국립 한밭대학교 공과대학 토목공학과 교수 ybnim@daum.net

³⁾ 충남대학교 공과대학 토목공학과 박사, eslee@itgps.org

⁴⁾ 충남대학교 공과대학 토목공학과 박사과정, civilsun7@empal.com

Abstract

In this study, the levelling and the GPS levelling were carried out with 6 points in 2km×2km area and the results were analysed. As a result of this research, we had to observe more than 15 minutes to get the height accuracy of 10mm by single frequency GPS receiver in relative surveying. We could not get more better accuracy than 10mm. we could get the height accuracy of within 10mm from observing only more than 5 minutes by double frequency GPS receiver, and of within about 3mm from observing more than 10 minutes. When the number of fixed points is within 3, the level net adjustment result is very close to the one of direct levelling survey. When the number of fixed points is 3, the less the area of triangle the better the adjustment result, and the case of including measure point has more better accuracy than that of non-including measure point.

1. 서 론

수준망을 형성하는 각 수준점의 표고는 지도제작, 토목공사, 지각변위, 평균해수면 변동 및 기타 지구 물리학적 연구에 광범위하게 쓰이고 있어 그 중요성이 크다¹⁾. 우리나라에서는 1등 수준점과 2등 수준점을 점간거리 4km와 2km의 주요도로변에 설치하고 정밀수준측량을 실시하고 있으며, 이들 수준점으로부터 1급, 2급, 3급의 공공수준측량을 실시하고 있다²⁾. 그러나 이들 수준점들이 주요 도로변에 설치되어 있는 관계로 도로정비사업등에 의해 망실 또는 훼손의 위험이 큰 것이 사실이다. 따라서 인근에 수준점이 없을 경우 기존의 레벨측량에 의한 작업의 수행에는 상당한 비용과 시간과 인력이 요구되고 있으나, 정확한 지오이드 모형의 부재로 인해 직접 수준 측량 성과와는 차이가 있다. 그러나 3급 수준측량으로 분류되는 도로나 하천등 각종 공사에 필요한 측량과 도화를 위한 수준측량의 경우에는 그 범위가 크지 않기 때문에 망의 형태나 거리등을 고려한다면 지오이드의 영향을 배제할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구는 레벨을 이용한 직접 수준 측량 대신 위성 측위 체계인 GPS관측을 통한 간접 수준 측량을 수행하고, 지오이드고를 고려하지 않은 표고 성과를 산출하여, 직접 수준 측량 성과와 비교·분석함으로써 GPS에 의한 3급 수준측량의 요구 정확도를 만족시키기 위한 효율적인 방법을 제시하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

본 연구는 소규모 지역의 수준측량시 지오이드고의 영향이 적다는 점에 착안하여 레벨을 이용한 직접수준측량 대신 GPS 관측을 통한 간접수준측량의 정확도를 분석하고자 한다. 이를 위해 측량 대상 지역을 충남대학교로 정하고, 학내 도서관 앞 잔디밭을 중심으로 방사형태로 6점을 선점하여 표석을 매설

하고자 한다. 매설된 측점에 대해 레벨을 이용한 직접수준측량을 왕복 수행하여 3급수준측량의 허용정확도 $10mm\sqrt{L}$ 을 만족하도록 함으로써 측점들에 대한 표고성과를 획득하고자 한다. 또한, GPS 수신기를 이용하여 6점에 대한 15초의 저장간격으로 약 1시간 GPS 관측을 수행하고, 관측된 자료를 처리함으로써 간접수준측량 성과를 얻고자 한다. 일주파수신기와 이주파수신기를 혼합하여 관측함으로써 수신기종에 따른 정확도 분석도 병행하고자 한다. GPS 관측 자료는 관측시간을 5분, 10분, 15분, 20분, 30분, 40분, 50분, 60분으로 나누어 처리함으로써, 수신기종에 따라 비교함으로써 효율적인 관측시간을 도출하고자 한다. GPS 관측 자료의 처리 성과에 대해 고정점의 수를 증가시키면서 정확도의 양상을 분석하고자 한다. 또한, 망의 기하학적인 형태 및 표고 성과를 산출하려는 측점의 포함 유무에 따른 정확도 분석도 병행하고자 한다. 본 연구의 흐름도는 표 1과 같다.

3. 관측 및 자료처리

3.1 선점 및 표석 매설

충남대학교 도서관을 중심으로 방사방향으로 5점을 선점하였으며 대리석 표석($5 \times 5 \times 30 \text{ cm}^3$)을 콘크리트 매설하였다. 측점간의 기선길이는 약 300m~1100m에 이른다. 관측망도는 그림 1과 같다.

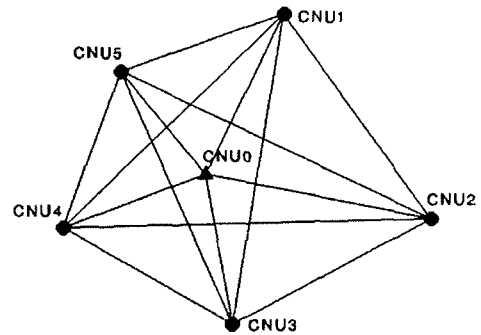


그림 1. 관측망도

3.2 직접수준측량

우리나라의 수준측량은 기본수준측량과 공공수준측량으로 나뉘며, 기본 수준측량은 1등, 2등 수준측량으로 구분되고, 공공수준측량은 1급, 2급, 3급 수준측량으로 나뉘며 우리나라 수준측량의 허용오차는 표 2와 같다.²⁾

표 2. 우리나라 수준측량의 허용오차

구분	기본수준측량		공공수준측량		
	1등	2등	1급	2급	3급
왕복차 ($L : km$)	$2.5mm\sqrt{L}$	$5.0mm\sqrt{L}$	$2.5mm\sqrt{L}$	$5.0mm\sqrt{L}$	$10.0mm\sqrt{L}$

직접수준측량은 5개 구간에서 수행하였으며 3급공공측량의 허용오차범위를 만족시켰다. 1개 구간의 왕복 수준측량에 소요된 시간은 2인 1조 기준으로 약 3시간이었으며 5개 구간에 걸친 수준측량은 최소 15시간 이상이 소요됨을 판단 할 수 있다. 직접수준측량의 성과는 표 3과 같다.

표 3. 직접수준측량 결과

(고정점 CNU0 : 66.7340m)

관측구간	1회 (m)	2회 (m)	폐합차 (mm)	허용오차 (mm)	고저차 (m)	표고 (m)
CNU0-CNU1	16.666	16.665	1.000	7.745	+16.6650	83.3990
CNU0-CNU2	-11.789	-11.793	4.000	9.487	-11.7910	54.9430
CNU0-CNU3	-18.520	-18.521	1.000	8.367	-18.5205	48.2135
CNU0-CNU4	-13.831	-13.832	1.000	7.746	-13.8315	52.9025
CNU0-CNU5	-7.944	7.950	6.000	7.071	-7.9470	58.7870

3.3 간접수준측량

간접수준측량은 Trimble 일주파 GPS 수신기 4000SE 3대, Trimble 이주파 GPS 수신기 4700 2대, 4800 1대를 이용하였으며 저장간격은 15초, 관측시간은 60분으로 설정하여 수행하였다.

3.4 자료처리

GPS 관측 자료에 대한 상대측위해석은 Trimble사의 GPSurvey2.35 기선처리 소프트웨어를 이용하였으며, 기선처리에 사용된 고정점은 CNU0 측점으로 위도 : 36-22-11.88501, 경도 : 127-20-40.67510, 타원체 : 92.136m를 취하였다. 기선처리의 조건으로는 L1/L2 선형조합을 이용하였고, 대류층 영향을 보정하기 위해 Modified Hopfield모형을 이용하였다. 관측시간에 따른 정확도 분석을 위해 관측시간을 5분, 10분, 15분, 20분, 30분, 40분, 50분, 60분으로 나누어 기선해석하였으며 상대측위 결과는 표 4와 같다.

표 4. CNU0을 고정점으로 자료처리한 상대측위결과

측점명	위도	경도	타원체고(m)	타원체고(m) - 지오이드고(m)
CNU0	36-22-11.885010	127-20-40.675100	92.136	66.7319
CNU1	36-22-25.894043	127-20-50.089826	108.802	83.3951
CNU2	36-22-05.230200	127-21-07.544694	80.348	54.9193
CNU3	36-21-54.730358	127-20-43.896416	73.622	48.2091
CNU4	36-22-04.535841	127-20-23.671600	78.295	52.9023
CNU5	36-22-20.171391	127-20-30.686263	84.198	58.8051

절대측위에 의한 성과를 비교하기 위해 측점별로 각각 절대측위 성과를 도출하였다. 수준망 조정은 GPS상대측위 성과중 측점간의 높이성분을 이용하였고, 경중률은 높이성분의 표준편차를 이용하여 최소 제곱조정을 수행하였다. 고정점 개수에 따른 정확도 분석을 위해서 1점, 2점, 3점, 4점, 5점으로 고정점을 증가시키면서 수준망 조정을 수행하였으며, 고정점의 기하학적 배치에 따른 정확도 분석을 위해 고정점의 배치형태를 변화시키면서 수준망 조정을 실시하였다.

4. 결과의 비교 분석

4.1 관측시간에 따른 정확도 분석

표 4의 직접수준측량결과를 기준으로 GPS 관측시간에 따른 결과를 주파수별 정확도 분석을 위해 일주파 수신기에 의한 결과와 이주파 수신기에 의한 결과로 나누어 도시한 것은 그림 1, 그림 2와 같다. 1주파 GPS 수준측량의 표준편차는 관측시간 5분에서 약 70mm를 보이며 10분에서 약 45mm를 보인다. 관측시간이 15분을 넘어서 부터는 표준편차가 약 10mm정도로 계속 유지됨을 그림 1에서 알 수 있다. 2주파 GPS 수신기의 경우에는 5분관측시 약 8mm이내의 표준편차를 보임을 알 수 있다. 또한 10분이 경과하면서부터 약 3mm이내의 표준편차를 유지함을 그림 2에서 알 수 있다. 자료 저장 간격을 15초로 하

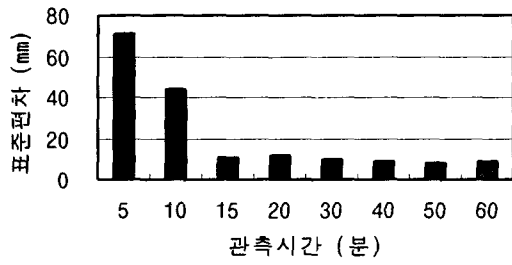


그림 2. 1주파 GPS 수준측량의 표준편차

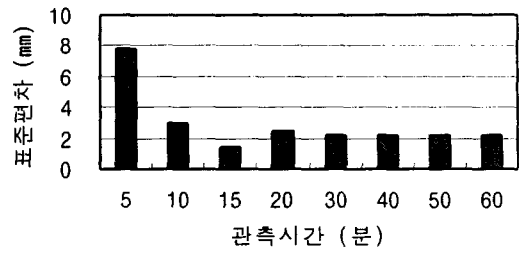


그림 3. 2주파 GPS 수준측량의 표준편차

였기 때문에 10분의 경우 1주파 GPS 수신기는 약 40개의 자료를 저장하고, 2주파 GPS 수신기는 약 80개의 자료를 저장할 수 있다. 그러나 자료의 저장 간격을 1초로 할 경우 1주파 GPS 수신기는 약 40초만에 40개의 자료를 저장할 수 있고, 2주파 GPS 수신기는 약 40초만에 80개의 자료를 저장할 수 있다. 본 실험에서는 저장간격을 15초로만 설정하여 관측을 수행하였기 때문에 자료 저장간격을 1초로 할 경우 약 40초만에 그림 1, 그림 2와 같은 양상이 얻어질지는 알 수 없었으며, 추후 자료의 저장간격시간을 달리하여 관측 및 분석할 필요가 있다고 사료된다.

관측시간에 따른 GPS 절대측위 성과를 직접수준측량 성과와 비교한 결과 및 그 양상은 표 5와 같다. 그림2와 그림3의 GPS 상대측위 성과와 직접수준측량 성과의 차에 비해 약 10배정도의 정확도 저하를 보이고 있음을 알 수 있으며, 절대측위의 성과비교에서도 일주파 GPS 수신기에 비해 이주파 GPS 수신기로 관측한 자료의 결과가 약 5배정도 더 나은 정확도를 보이고 있음을 알 수 있다.

표 5. GPS 절대측위 성과와 직접수준측량 성과의 차 (단위 : cm)

구간 관측시간	cnu0_cnu1	cnu0_cnu2	cnu0_cnu3	cnu0_cnu4	cnu0_cnu5
5	1.366	0.151	2.103	5.521	6.432
10	1.085	0.566	3.582	4.964	5.921
15	0.621	0.102	3.474	4.839	5.132
20	0.479	0.436	4.078	4.755	4.840
30	0.475	0.483	4.603	4.621	5.103
40	0.477	0.290	4.000	4.627	4.917
50	0.459	0.477	3.763	4.327	4.373
60	0.419	0.498	3.738	4.285	4.436

4.2 고정점 수에 따른 정확도 분석

GPS 관측 자료 처리로부터 산출된 각 측점들간의 Δh 와 표준편차를 이용하여 수준망에 대한 조정을 수행하였다. 이때 경중률은 측점간의 거리의 역수 대신 표준편차량의 역수를 이용하였다. 또한 본 연구의 경우 6개의 측점에서 GPS 관측을 수행하였기 때문에 고정점의 개수를 1점에서부터 5점까지 변화하면서 수준망을 조정하였고, 직접수준측량과의 편차량을 표 6과 같이 산출하였다. 고정점의 개수가 3이내인 경우의 편차량은 직접수준측량성과와 양호하게 접근되었으나 3개를 넘으면서 편차량이 증가됨을 알

수 있었다. 표 6에서 고정점 개수 1에서부터 3까지의 편차량이 6mm ~10mm로 분포하는데 이는 일주파 수신기 성과와 이주파 수신기 성과가 혼합되어 있기 때문이다. 표 6에서 알 수 있듯이 이주파 수신기로 관측한 CNU0, CNU1, CNU2측점의 편차량은 고정점의 수 3이내에서 최대 5mm를 넘지 않고 있다.

표 6. 고정점 수에 따른 편차량 (단위 : m)

측점 \ 고정점 수	1	2	3	4	5
cnu0	0.0024	0.0026	0.0051	0.0052	0.0045
cnu1	0.0021	0.0046	0.0005	0.0029	0.0279
cnu2	0.0037	0.0034	0.0005	0.0006	0.0004
cnu3	0.0074	0.0048	0.0011	0.0058	0.0057
cnu4	0.0024	0.0050	0.0040	0.0061	0.0081
cnu5	0.0183	0.0156	0.0138	0.0149	0.0168
표준편차	0.0092	0.0082	0.0068	0.0081	0.0153

5. 결 론

소규모 지역의 수준측량에 대한 효율적인 방법을 제시하고자 레벨을 이용한 직접 수준 측량 대신 GPS 관측을 통한 간접 수준측량을 수행하였으며, 지오이드고를 고려하지 않은 표고 성과를 산출하여 직접 수준 측량 성과와 비교·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. GPS 상대측위로 성과를 산출할 경우, 일주파 GPS 수신기로는 10mm의 표고 정확도를 얻기 위해서 약 15분이상 관측해야 하며, 10mm보다 더 낮은 정확도를 얻을 수는 없었다.
2. 이주파 GPS 수신기로는 5분 이상만 관측해도 10mm이내의 표고 정확도를 얻을 수 있었으며, 10분이상의 관측으로 약 3mm이내의 표고 정확도를 얻을 수 있었다.
3. 고정점의 수가 3이내인 경우의 망 조정 성과가 직접수준측량성과에 양호하게 접근되었고, 고정점의 수가 3개일 경우 이들로부터 이루어지는 삼각형의 면적이 작을수록 조정성과가 더 양호하였고, 망에 측점이 포함된 경우가 포함되지 않은 경우에 비해 더 나은 정확도를 얻을 수 있었다.

본 연구는 2km×2km의 소규모 지역에 대한 저장간격 15초의 GPS 수준측량에 대한 분석으로 향후 보다 확대된 대상지역에 대한 분석이 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 건설부 국립지리원, “2등 수준망의 조정에 관한 연구”, 1988
 건설교통부고시 제94-519호, “공공측량표준작업규정”, 1994