

# GPS 상시관측점의 실용 표고좌표 결정 Determination of Practical Orthometric Height for Permanent GPS Station

윤홍식<sup>1)</sup> · 황진상<sup>2)</sup> · 황 학<sup>3)</sup> · 송동섭<sup>4)</sup>

Yun, Hong Sic · Hwang, Jin Sang · Huang He · Song, Dong Seob

## Abstract

This study is about the calculation of practical orthometric height for permanent GPS station. We presented the method to determine the orthometric height precisely by combining leveling data, GPS data and gravimetry data, and determined the orthometric heights of thirty GPS stations. To test the result we developed the expected error model for the determined orthometric heights regarding the accuracy of Korean national benchmarks and the precision of surveying methods used at this project. The reliability of the results was presented by comparing it with expected error model statistically.

Keywords : Permanent GPS station, Orthometric Correction, Direct/Indirect Leveling

## 초 록

본 연구는 GPS 상시관측점을 이용한 간접수준측량의 활성화를 위한 기반 작업인 GPS 상시관측점의 실용표고 계산에 관한 것이다. 직접수준측량과 GPS 간접수준측량, 그리고 중력측량 결과들을 조합하여 GPS 상시관측점의 안테나 참조점에 대한 표고좌표를 정밀하게 계산하는 방법을 제시하였으며, 우리나라 수준점 성과의 정밀도와 측량작업의 정밀도에 근거하여 계산된 표고좌표에 대한 기대오차를 예측하고, 실제 측정결과의 정확도를 이용하여 검정함으로써, 계산된 표고좌표에 대한 신뢰도를 분석하였다.

핵심어 : GPS 상시관측점, 정사보정, 직/간접 수준측량

## 1. 서 론

2001년 말 개정된 측량법에 의하여 우리나라 측지기준계와 이를 구성하는 국가기준점 체계에 많은 변화가 일어났다. 2009년 이후 측지기준계가 세계측지계로 완전히 전환되는 것으로 결정되고, 국토지리정보원의 14개 GPS 상시관측점이 1등 기준점으로 사용되는 등 기본측량 및 공공측량의 기준 전반에 대하여 현대화 전환 작업이 이루어진 것이다. 이처럼 측지기준계와 측위기법이 현대화 되고 있는 현 시점에서 GPS 상시관측점의 역할은 매우 중요하다고 할 수 있는데 그것은 GPS 상시관측점이 측지기

준계의 실체라고 할 수 있는 국가기준점 체계상에서 최상위 등급의 기준점으로 활용되기 때문이며, 그 자체만으로 GPS를 이용한 위치 측정의 기준이 될 뿐만 아니라 데이터 처리에 필요한 기준 데이터까지 공급하기 때문이다. 위치측정의 기준 및 데이터 제공자로서의 GPS 상시관측점은 이동국 GPS 수신기만을 가지고도 높은 정확도의 측량을 가능하게 하여 측지측량에 소요되는 시간을 단축시키고 비용을 크게 절감시키며 정확한 측위기준좌표를 제공함으로써 결과적으로 통일되고 정확한 위치측정의 기반을 조성한다.

현재, 국토지리정보원 GPS 상시관측점은 GRS80 타원

- 1) 정희원 · 성균관대학교 사회환경시스템공학과 부교수, 공학박사(E-mail:yhs@geo.skku.ac.kr)
- 2) 연결저자 · 정희원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정, 공학석사(E-mail:gpsboy@geo.skku.ac.kr)
- 3) 정희원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사수료, 공학석사(E-mail:duejihh@gmail.com)
- 4) 정희원 · 성균관대학교 과학기술연구소 책임연구원, 공학박사(E-mail:frydom@skku.edu)

체 기준의 위도와 경도, 타원체 부분이 측량법에 의하여 1등 기준점 성과로 고시되어 측지측량 작업의 평면위치 기준으로 사용되고 있다. 반면에 표고좌표는 아직 고시되지 않은 상태이며, 결과적으로 국가수직기준면에 기준한 수준측량작업에는 사용하지 않고 있다. 행정자치부의 30개 GPS 상시관측점 역시 연구사업(행정자치부, 2005)을 통하여 GRS80 타원체 기준의 위도, 경도, 타원체고는 결정하였으나 표고는 계산되지 않았다. GPS 상시관측점이 표고 기준으로 사용되지 못하고 있는 이유는 거리에 따라 중력등포텐셜 값의 변동량이 증가함으로 인하여 발생하는 간접수준측량 오차와 이러한 오차를 소거하기 위해서 사용되는 지오이드 모델의 정확도가 직접수준측량의 필요 정확도에 미치지 못하기 때문이고, 이러한 이유로 사용될 수 있는 범위가 한정되기 때문이다(윤홍식 등, 2005). 그러나 중력등포텐셜 값의 변동이 비교적 작은 지역이나 범위에서는 GPS를 이용한 간접수준측량법의 정확도가 높은 편이며 측량 방법도 매우 용이하다는 점을 감안할 때에 GPS 상시관측점의 정확한 표고 계산과 계산된 표고의 활용방안 및 간접수준측량범위에 대한 결정이 필요하다고 할 수 있다.

## 2. 연구 내용 및 범위

본 연구는 위에서 제기한 필요성에 따라 GPS 상시관측점의 정확한 표고를 계산하고, 계산된 표고성과의 정확도를 분석하여 GPS 상시관측점이 간접수준측량의 기준으로 활용될 수 있도록 하는 것을 목적으로 하였다. 행정자

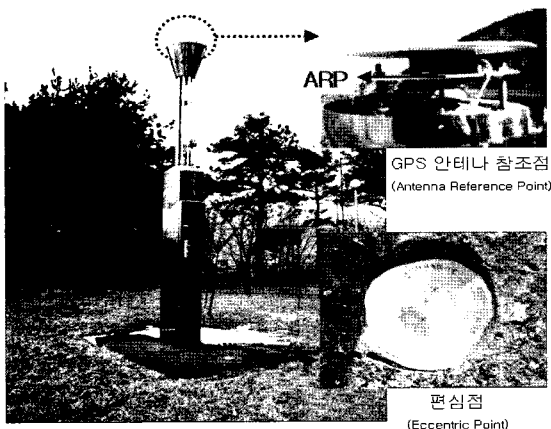


그림 1. GPS상시관측점의 안테나 참조점과 편심점

치부 소속 30개 GPS 상시관측점의 표고좌표를 직/간접 수준측량과 중력측량 결과를 이용하여 정밀하게 계산하였고 계산된 좌표의 기대정확도에 대한 추정 및 검정을 통하여 그 신뢰도를 평가함으로써 GPS를 이용한 간접수준측량 등의 작업에 활용할 수 있도록 하였다. 그림 1은 표고좌표의 계산 대상인 GPS 상시관측점의 안테나 참조점과 편심점을 나타낸 것이며 그림 2에서는 행정자치부의 30개 GPS 상시관측점의 분포와 명칭 및 지역을 나타내었다.

## 3. GPS 상시관측점의 표고좌표 계산

### 3.1 계산 방법

본 연구에 사용된 방법은 직/간접 수준측량과 중력측량을 병행하여 GPS 상시관측점에 대한 정밀 수준측량을 실시하고, 계산된 결과에 대한 통계적인 검정을 실시하는 것이다. 1) 우선 편심점과 인접한 1등 수준점들 사이에 직접 수준측량을 실시하여 점간 수준차를 계산하였고, 2) 각 지점에서 측정된 중력값들을 이용하여 각 수준측량 노선에 대한 정사보정량을 계산하여 관측된 지점간 수준차 보정에 사용하였으며, 조정계산을 통하여 각 GPS 상시관측점의 편심점에 대한 표고좌표를 계산하였다. 3) 다음으로 편심점에서 GPS 데이터를 수신하고 GPS 상시관측점의 수신 데이터와 함께 처리하여 편심점과 GPS 안테나 참조점 사이의 수준차를 GPS Leveling 기법으로 계산하였다. 4) 마지막으로, 계산된 수준차를 이용하여 GPS 안테나 참조점의 표고를 계산하고 통계적 검정을 실시하였다.

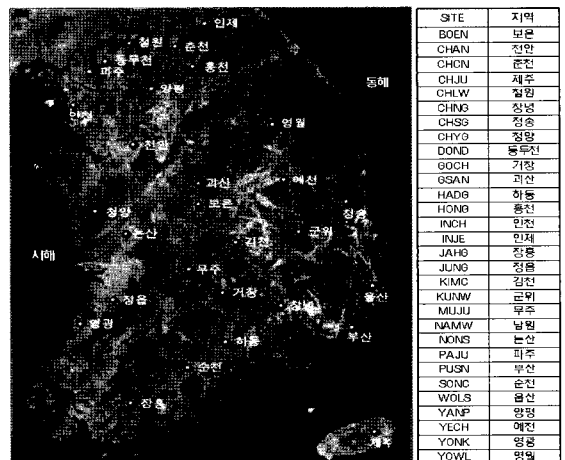


그림 2. 연구대상 GPS 상시관측점의 분포

편심점의 표고 계산에는 두 가지 방법이 사용되었는데 첫 번째 방법은 폐합망조정을 이용하는 방법으로 각 수준점과 상시관측점 편심점 사이에 계산된 수준차에 정사보정량을 가산한 후 수준망조정을 통하여 결정하는 것이고 두 번째 방법은 성과가 검증된 수준점성과에 수준차와 정사보정량을 단순 가산하여 계산하는 방법으로, 수준점과의 거리가 멀어 폐합조건을 만족시키지 못하는 GPS 상시관측점의 경우에는 측위기준 수준점의 성과에 수준차를 단순 가산하여 편심점의 표고를 계산하되, 측위기준 수준점과 다른 수준점 사이에 수준측량을 실시하여 측위기준 수준점 성과의 정확도를 검증하였다.

편심점의 표고좌표 계산에 사용된 직접수준측량의 관측값들과 정오차, 우연오차의 관계를 나타내면 식 (1)과 같다(Wolf 등, 2006).

$$\Delta H = (r_1 - r_2) - \alpha(D_1 - D_2) - \frac{0.0675}{1000^2}(D_1^2 - D_2^2) + \sigma_r \quad (1)$$

$r_1$ 과  $r_2$ 는 장치를 1회 세우고 관측한 표척 읽음값(전시/후시)들이고,  $\alpha(D_1 - D_2)$ 항은 시준오차항으로, 관측장비의 이상으로 인하여 시준선이  $\alpha$ 의 각 만큼 기울어졌을 때 발생하는 정오차이다.  $D_1$ 과  $D_2$ 는 각각 전시와 후시의 시준거리이다. 그 다음 항은 지구의 곡률로 인한 정오차이며, 마지막 항인  $\sigma_r$ 는 우연오차 항으로 식 (2)에 자세히 나타내었다(Wolf 등, 2006).

$$\sigma_r = D \sqrt{2N(\sigma_{r/D}^2 + \sigma_o^2)} \quad (2)$$

식 (2)에서  $D$ 는 전시와 후시 각각의 시준거리가 유사하다는 가정 하에 통일된 수치인 평균적인 시준거리이고,  $\sigma_{r/D}$ 는 단위거리당 표척읽음 오차이며,  $\sigma_o$ 는 관측장비의 수평정준한계로 인한 우연오차이다.  $N$ 은 수준차 관측을 위하여 장비를 세운 횟수이다.

식 (1)에 표시한  $\Delta H$ 값들의 합계를 사용하여 수준점과 미지점 사이의 수준차를 계산할 수 있으나 이렇게 계산된 값들은 수준측량 기준면이 평평면이라는 기본 가정을 가지고 있다. 실제의 수준기준면은 지오이드면으로 수평하지 않고, 어느정도의 굴곡을 가지고 있기 때문에, 직접 수준측량결과에 지오이드면의 굴곡으로 인한 변동량을 보정해주는 값인, 정사보정량을 계산하여 가산해야 한다(윤홍식 등, 2004 ; Hwang 등, 2003).

정사보정량을 계산하기 위하여 국가수준점과 GPS 상시관측점의 편심점에 대한 중력 실측값과 Hees(1992)가 제시한 계산식을 이용하여 정사보정량을 계산하고, 지점간 수준측량 결과에 적용하였다. 정사보정량 계산에 사용된 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} OC_{AB} = & 0.114 \cdot 10^{-3} \cdot H_m \cdot \Delta H_{AB} - 1.02 \cdot 10^{-3} (\Delta g_B^B - \Delta g_A^B) \cdot H_m \\ & - 0.83 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 2\phi_m \cdot S \cdot H_m \end{aligned} \quad (3)$$

여기서

$\Delta g_A^B, \Delta g_B^B$  : A점과 B점의 부계이상

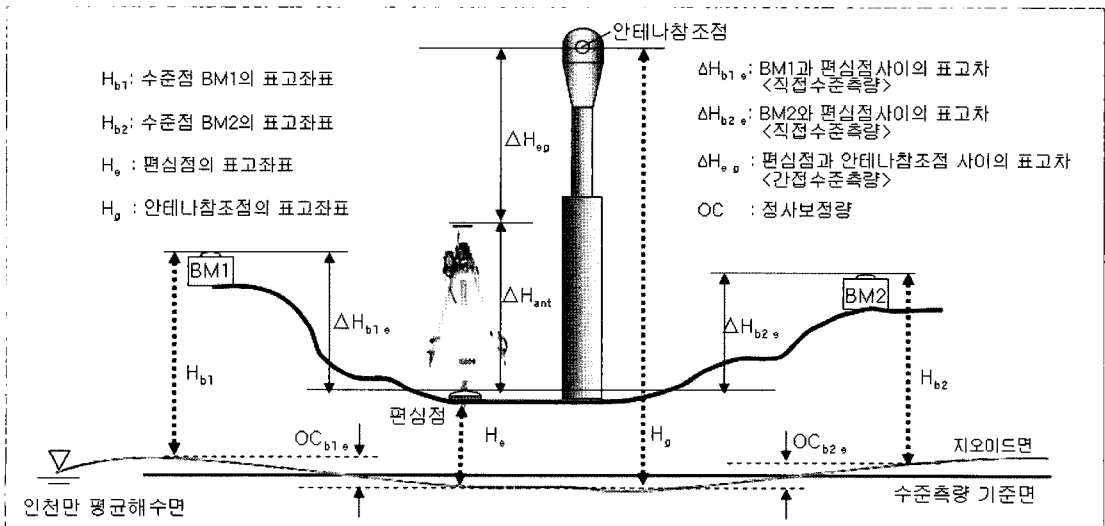


그림 3. GPS 상시관측점 편심점과 안테나 참조점 및 국가수준점과의 위치관계

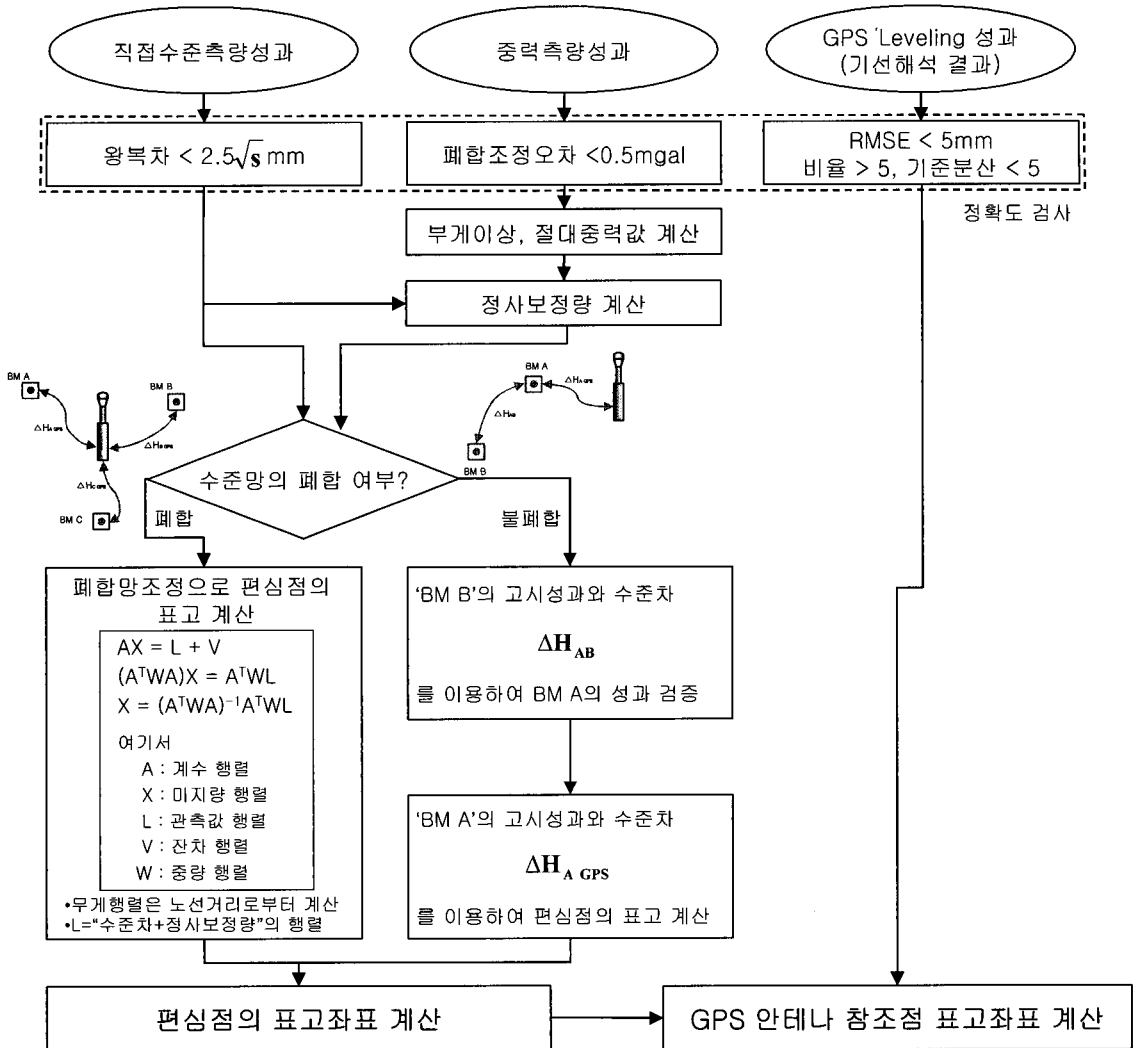


그림 4. GPS 상시관측점 표고좌표의 계산 절차

- $H_m$  : 평균표고
- $S$  : 두 점간의 동서방향거리
- $H_{AB}$  : 두 점간의 수준차
- $\phi_m$  : 평균위도

그림 3은 우리나라 표고좌표 계산의 기준면인 인천만 평균해수면과 국가수준점, 그리고 편심점과 안테나 참조점의 위치관계를 개념적으로 표시한 것이며, 본 연구의 전체적인 처리절차는 그림 4에서 표시한 것과 같다.

### 3.2 자료 수집

GPS 상시관측점의 표고좌표 계산에 필요한 데이터는

지점 간 직접수준측량 데이터, 각 지점에서의 중력측량 데이터, 그리고 편심점에서 수신한 GPS 데이터와 동일시간대에 수집된 GPS 상시관측점 데이터이다. 인접한 1, 2등 수준점과 GPS 상시관측점의 편심점 사이에 직접수준측량을 실시하여 편심점과 수준점 그리고, 수준점과 수준점들 사이의 수준차를 계산하였다. 다음으로 각 수준점과 GPS 상시관측점에서 2등 중력기준점 측량에 준하는 중력측량을 실시하였다. 2주과 GPS 수신기로 편심점에서 1시간 이상 GPS 데이터를 수신하고 동일시간대에 수신된 상시관측점 데이터를 수집하여, GPS Leveling을 실시하기 위한 자료로 사용하였다. 표 1은 본 연구에서 사용된 데이터들의 종류 및 내용을 나타낸 것이다.

표 1. 현장 측량작업의 종류와 내용

작업 종류	주요 작업내용과 작업지침
직접수준측량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 왕복관측</li> <li>- 환의 길이: 400km 이내</li> <li>- 시즌거리: 50m 이내</li> <li>- 고정점: 약 10측점 또는 0.5~0.8km마다 설치</li> <li>- 사용장비: Trimble Dini12(1급 레벨)</li> <li>- 정밀도(1km 폐합오차): ±0.3mm</li> <li>- 최소눈금: 0.01mm</li> <li>- 기포관 감도: 8'</li> <li>- Compensator 정도: 0.2''</li> </ul>
중력측량	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용장비: Lacoste &amp; Lomberg 상대중력계(정확도: 0.01mgal)</li> <li>- 2등 중력기준점 측량 작업 규정에 준하여 작업</li> </ul>
GPS Leveling	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용장비: Trimble GPS 5700(1급 GPS)</li> <li>- 장비 측위 정확도</li> <li>수평 측위 정확도: ±5mm+0.5ppm</li> <li>수직 측위 정확도: ±5mm+1.0ppm</li> <li>- 데이터 수신간격: 15초</li> <li>- 데이터 수신 시간: 1시간</li> </ul>

3.3 자료 처리 및 정확도 검사

직접수준측량 작업을 통하여 수집한 수준점 사이의 수 준차 자료는 측량노선별로 왕복차를 계산하여 측량데이 터의 정확도를 검사하였고, 두 방향(왕복)으로 계산된 수 준차를 평균하여 해당 노선의 최종 수준차로 사용하였다. 폐합차 검사 결과 3개의 수준관측노선에서 폐합오차한계 를 벗어나는 관측값이 발견되어 해당구간에 대한 재측을 실시하였다.

GPS 상시관측점과 인근 수준점을 대상으로 하는 중력 측량은 한국표준과학연구원내에 설치된 대전중력보조점 을 기지점으로 상대중력계를 이용하여 실시하였다. 그림 5와 같은 절차를 통하여 현장 중력계 독취 값을 보정하고 절대중력, 프리에어 이상, 부계이상 값을 계산하였다. 계 산된 부계이상 값은 측량성과의 보정에 직접적으로 사용 되는 정사보정량의 계산에 사용되었다. 전체 수준관측노 선에 대하여 계산한 정사보정량의 크기를 분석한 결과 최 대값이 23.1322mm, 최소값이 0.0001mm, 평균 0.54mm 이었다. 전반적으로 정사보정량의 크기가 수준관측 값에 미치는 영향이 크지는 않았으나 2개 상시관측점(춘천, 제 주)의 성과 결정에는 중요한 영향을 미쳤다.

편심점과 안테나 참조점 사이의 높이 차이를 GPS Leveling 방법에 의하여 계산하였으며 편심점에서 1시간 동안 수신 한 데이터를 GPS 상시관측점 데이터와 함께 처리하되, 처 리 결과의 정밀도를 RMSE, 기준분산(reference variance), 비율(ratio) 등의 기선해석 정밀도 평가용 통계지수를 이

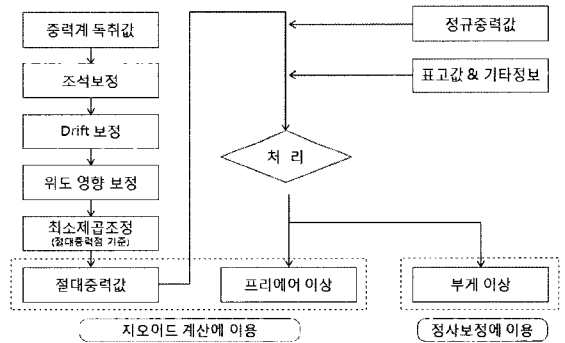


그림 5. 중력측량데이터의 처리절차 및 산출 결과

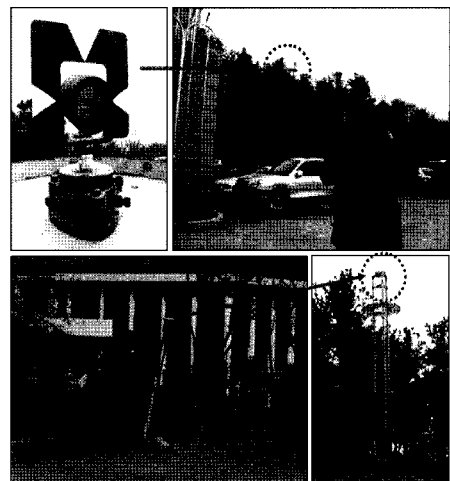


그림 6. GPS Leveling의 정확도 검증 실험

표 2. GPS Leveling의 정확도 평가 결과

Site	토탈스테이션 성과 (m)	GPS Leveling 성과 (m)	수준 차이 (mm)
용인	20.2711	20.2690	2.1
창원	3.2805	3.2810	0.5

용하여 점검하였다.

또한, 근접한 거리에서의 GPS Leveling 측위법의 정확도를 검사하기 위하여 용인과 창원에 위치한 대한지적공사 소유의 GPS 상시관측점들에 대한 안테나 참조점과 편심점의 수준차 계산을 예로 하여 정확도 비교 실험을 실시하였다. 정확도 검증을 위한 기준 자료로서 토탈스테이션에 의한 간접수준측량 결과를 사용하였는데 그림 6과 같이 기 설치되어 있던 GPS 안테나를 제거하고 반사경을 설치한 후 토탈스테이션으로 관측하여 수준차를 계산하였다. GPS Leveling과 토탈스테이션에 의한 간접수준측량의 정확도 비교 결과는 표 2에 나타내었다.

#### 4. 표고좌표의 통계적 검정

각 GPS 상시관측점별로 계산된 표고좌표들의 정확도를 통계적인 방법을 사용하여 다음과 같이 검정하였다. 먼저, 표고좌표 계산에 개입되었을 것으로 예상되는 오차원들을 분석하여 기대오차를 추정하였고, 실제로 계산된 오차들의 대표값을 이러한 기대오차와 비교하여, 그 신뢰성을 검사하였다. 다음으로는, 과대오차를 포함하는 이상 표고좌표들을 검출하기 위하여 전체 상시관측점의 오차들을 표준정규분포의 형태로 분포된 모집단으로 가정하고 일정한 확률범위에 들지 못하는 표고좌표들을 이상값

으로 판정하였다.

##### 4.1 기대오차 분석

표고좌표 계산에 개입될 수 있는 오차원들은 측량법상의 작업규정과 이론적인 오차모델을 고려하여 분석하였으며, 그 결과는 표 3에 나타내었다. 작업규정과 오차모델이란 두 가지 기준으로 분류한 이유는 현장측량을 실시한 작업자가 작업규정상 의 허용오차 기준으로 작업하였을 가능성을 중심으로 생각하는 경우와 측량작업 자체에서 발생하는 우연오차에 대한 이론적인 분석을 기준으로 생각하는 경우를 모두 감안하였기 때문이다.

작업규정을 기준으로 하여 추정한 기대오차  $\sigma_{E1}$ 과 이론적인 오차모델을 기준으로 하여 추정한 기대오차  $\sigma_{E2}$ 는 각각 식 (4), (5)와 같다. 이러한 추정식들은 일반적인 오차전파법칙을 이용하여 구성한 것이다.

$$\sigma_{E1} = \pm \sqrt{15^2 \times s1 + 2.5^2 \times s2 + (5 + s3)^2} \quad (4)$$

$$\sigma_{E2} = \pm \sqrt{15^2 \times s1 + (D \times 1000)^2 \times 2N \times (\sigma_{r/D}^2 + (\sigma_a/206264)^2) + (5 + s3)^2} \quad (5)$$

기대오차를 계산하기 위하여, 표고좌표계산의 기준으로 사용된 수준점 성과들의 정확도와 평균관측거리를 분석하였다. 본 연구에서 사용한 1, 2등 국가수준점의 수는 총 68개로 전국에 걸쳐서 고르게 분포되어 있다. 본 연구에서는 취득한 직접수준측량 자료들 중에서 이러한 국가수준점들 사이의 높이차를 계산한 자료들과 각 수준점의 고시성과를 비교함으로써, 고시된 성과의 정확도를 검사하였다.

표 4의 내용을 참조할 때에 작업규정을 기준으로 한다면 각 수준점 성과의 기대오차는 27mm(=15√3.24mm)

표 3. GPS 상시관측점 표고 측량의 주요 오차원

오차 종류	기준		설 명
	작업규정	이론적 오차모델	
수준점표고 오차	15mm √s1		- 모델링 불가 - 작업규정상 허용오차 사용 - s1: 편도거리(km 단위)
직접수준측량 오차	2.5mm √s2	$D \sqrt{2N (\sigma_{r/D}^2 + \sigma_a^2)}$	- D: 평균 시준거리(m 단위) - N: 한 노선 당 기계 설치 횟수 - $\sigma_{r/D}$ : 단위거리 당 표척 읽음 오차(단위 무) - $\sigma_a$ : 기계 수평 오차(" 단위) - s2: 편도거리(km 단위)
GPS 간접수준측량 오차	5mm + s3		- 작업규정 없음 - 이론적인 오차모델만 사용 - s3: GPS 기선 사거리(km 단위)

이나, 실제 정확도 평가 결과는 12.5mm로 나타난 것을 볼 수 있다. 단, 연구에서 사용한 국가수준점들은 과대오차가 개입된 성과를 가지고 있는 것들을 제외하고 선점한 것이므로, 이러한 정확도 평가 결과는 연구지역에 위치한 수준점 성과들에 대한 일반적인 정확도를 나타내지는 않는다.

다음으로는, 국가수준점과 GPS 상시관측점 사이의 수준차 계산 결과에 대한 기대정확도를 계산하였다. 총 관측노선 수는 35개였으며, 평균 수준노선장은 7.16km이고, 평균 시준거리리는 31m였다. 수준측량장비의 단위거리당 표적 읽음오차는 그림 7에 나타난 것과 같이 약 0.2mm/50m이었으며, 기계수평오차는 0.2"이다. 이러한 자료들과 표 2의 직접수준오차 부분을 참조할 때에 수준점과 GPS 상시관측점 사이의 수준관측값에 대한 기대정확도는 작업규

표 4. 직접수준측량에 의한 국가수준점 성과의 정확도 평가 결과

구 분	수준노선장(km)	관측값 폐합차(m)	성과오차(m)
평 균	3.24	0.0021	0.0125
최 소 값	1.34	0.0003	0.0004
최 대 값	7.03	0.0055	0.0691
표준편차	1.53	0.0014	0.0142
비 고	수준점 수: 68개; 수준차 관측자료 수: 29개 성과오차 = 두 수준점의 성과차이 - 직접수준측량에 의한 수준차		

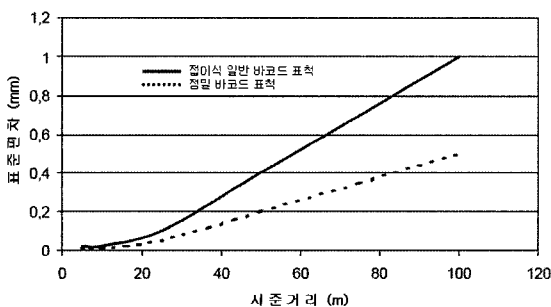


그림 7. 수준측량장비(Trimble Dini12)의 시준거리에 따른 높이측정오차 변화

정을 기준으로 할 때에 6.69mm이고, 이론적인 오차 모델을 기준으로 할 때에는 4.93mm이다.

GPS Leveling에 의한 평균 관측기선길이인 4.95m까지 고려하고 식 (4)와 (5)에 근거하여 최종적인 기대오차를 계산하면 표 5와 같다. 표 5에서 실측데이터 분석 값은 표 4의 평균 성과오차를 식 (4)와 (5)의 수준점점 고오차항으로 사용한 경우를 의미한다.

#### 4.2 최종 계산 좌표의 정확도 분석과 검정

계산된 표고좌표와 표고좌표 정확도에 대한 신뢰성을 판단하기 위하여 두 가지 방법을 사용하였다. 먼저, 결정된 각 GPS 상시관측점 표고좌표의 표준편차들을 평균하여 계산한 평균편차가 표 5에 표시한 기대오차 값들과 유사해야 한다는 조건을 만족시키는지 여부를 평가하였다. 다음으로는 표준편차들의 분포가 확률분포라고 가정하고, 각각의 표준편차들이 95% 확률범위 내에 들어오는지를 평가하여 그렇지 못한 값들을 과대오차를 포함하는 값으로 판단하였다.

그림 8은 상시관측점별 표고좌표의 표준편차들에 대한 빈도분포 그래프와 계산된 통계값들에 의하여 표현된 표준정규분포그래프를 함께 표시한 것으로서 오차의 분포를 표준정규분포라고 가정하였을 경우에 과대오차 판단의 경계가 되는 95% 확률범위의 임계점들과 표 5에서 제시한 각각의 기대오차들의 위치가 표시되어 있다. 4가지 경우로 예측한 기대오차들이 모두 신뢰범위 내에 포함되

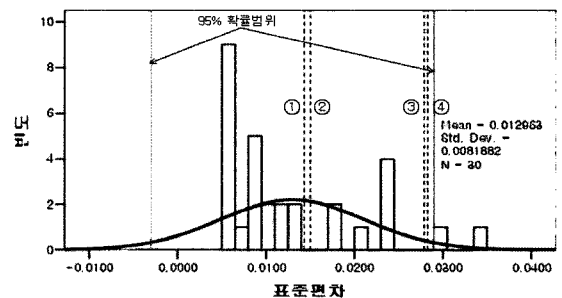


그림 8. 표고오차의 빈도 분석과 과대오차 검출

표 5. 경우별 GPS 상시관측점 표고좌표의 기대오차

구 분	국가수준점 성과 정확도 설정 기준	
	작업규정 기준 값	실측데이터 분석 값
작업규정만 고려	28.26mm(그림 8의 ④)	15.04mm(그림 8의 ②)
작업규정 및 오차모델 고려	27.90mm(그림 8의 ③)	14.34mm(그림 8의 ①)

어 있는 것을 볼 수 있으며, 직접수준측량 오차모델과 실측데이터를 이용하는 방법으로 계산한 국가수준점 고시성과의 정확도를 사용하여 예측한 기대값(①)의 수치인 14.34mm가 실제 오차량의 평균값인 12.96mm 대비 1.38mm의 근소한 차이를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 평균값 12.96mm는 모든 기대값들 보다 작은 값을 알 수 있는데, 이러한 결과들은 본 연구를 통하여 계산된 상시관측점의 표고좌표들이 매우 안정적인 정확도를 가지

고 있다는 사실을 나타낸다.

95% 확률범위를 벗어난 오차량을 나타낸 지역은 제주와 예천 상시관측점이었는데, 과대 오차의 주요 원인은 수준점성가에 포함된 오차가 다른 지역보다 큰 점이었으나, 수준측량작업규정의 허용오차보다는 작았다. 본 연구의 최종적인 성과들인 각 상시관측점의 편심점과 안테나 참조점에 대한 표고좌표와 표준편차, 중력값들은 표 6에 종합적으로 정리하였다.

표 6. 단계별 성과 및 GPS 안테나 참조점 표고좌표

Site	지역	중력측정값 (mgal)	편심점 수준성과 <직접수준측량> (m)	ARP와 편심점의 수준차 <GPS Leveling> (m)	최종 ARP 표고좌표 (m)	1σ(±)
BOEN	보은	979813.83	181.0987	4.220	185.319	0.0233
CHAN	천안	979883.69	40.5167	4.917	45.434	0.0242
CHCN	춘천	979940.31	110.7489	4.931	115.680	0.0050
CHJU	제주	979456.28	754.3069	4.905	759.212	0.0347
CHLW	철원	979917.51	279.5106	4.815	284.326	0.0236
CHNG	창녕	979783.64	28.2074	4.925	33.132	0.0213
CHSG	창송	979821.79	215.8875	4.831	220.719	0.0135
CHYG	청양	979843.71	107.7326	4.455	112.188	0.0068
DOND	동두천	979944.14	112.2875	4.892	117.180	0.0093
GOCH	거창	979727.06	184.5411	4.956	189.497	0.0102
GSAN	괴산	979861.06	152.2240	4.972	157.196	0.0232
HADG	하동	979747.55	43.6608	4.970	48.631	0.0090
HONC	홍천	979870.06	340.2260	4.795	345.021	0.0082
INCH	인천	979939.56	60.8937	4.888	65.782	0.0061
INJE	인제	979939.34	226.1669	4.873	231.040	0.0051
JAHG	장흥	979685.04	86.4467	4.811	91.258	0.0058
JUNG	정읍	979757.70	111.6758	4.901	116.577	0.0111
KIMC	김천	979807.41	62.2871	4.898	67.1851	0.0082
KUNW	군위	979819.89	141.3828	4.866	146.249	0.0061
MUJU	무주	979757.20	198.5750	4.887	203.462	0.0062
NAMW	남원	979711.65	148.5046	4.848	153.353	0.0135
NONS	논산	979827.47	21.1649	4.861	26.026	0.0060
PAJU	파주	979976.33	46.0487	4.819	50.868	0.0173
PUSN	부산	979742.69	124.2884	4.896	129.184	0.0090
SONC	순천	979737.00	11.7368	4.787	16.524	0.0052
WOLS	울산	979979.89	54.9527	4.874	59.827	0.0106
YANP	양평	979935.69	41.8406	4.854	46.695	0.0124
YECH	예천	979856.60	103.9381	4.935	108.873	0.0297
YONK	영광	979736.87	71.2453	4.888	76.133	0.0182
YOWL	영월	979861.07	220.9506	4.843	225.794	0.0059



## 5. 결 론

GPS 상시관측점 표고좌표의 결정에 관한 적합한 방안 도출 및 정확도 분석을 위하여 행정자치부에서 관리하는 30개 상시관측점을 대상으로 하여 연구를 수행한 결과 아래와 같은 결론을 얻게 되었다.

1. GPS 상시관측점 인근의 수준점들을 기준으로 하여 상시관측점의 편심점과 안테나 참조점의 표고를 계산하되 직접수준측량, 중력측량에 의한 정사보정량 계산, GPS 간접수준측량 방법을 함께 사용할 경우 매우 높은 정확도의 표고결정이 가능함을 알 수 있었다.

2. 수준측량 작업규정과 이론적인 측량 오차원 분석에 의하여 수준점을 측위기준으로 하는 GPS 상시관측점 표고 결정의 기대정확도를 예측한 후 30개 상시관측점의 결정 결과를 표본으로 하여 예측에 대한 검증을 실시한 결과 예측이 타당함을 알 수 있었으며, 결과적으로 식 (4)와 식 (5)를 이용한 GPS 상시관측점의 기대정확도의 계산이 가능함을 알 수 있었다.

3. 본 연구에서 사용한 방법을 이용하여 GPS 상시관측점의 표고를 결정 할 경우  $\pm 3\text{cm}$  미만의 오차 범위 내에서 결정될 수 있으며, 향후 연구를 통하여 이렇게 결정된 표고성과를 이용한 GPS 간접수준측량의 활용범위를 결정하고 제시하는 것이 필요하다고 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 2006년 “행정자치부 GPS 상시관측소 좌표 고시 용역” 지원사업으로 이루어진 것으로 본 연구를 가능하도록 배려해 주신 행정자치부에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 윤홍식, 조재명 (2004), 정사보정에 의한 정표고의 정밀계산, 한국측량학회지, 제22권, 제2호, pp. 117-125.
- 윤홍식, 이동하 (2005), Least Square Collocation에 의한 GPS Leveling의 정확도 개선, 한국측량학회지, 제23권, 제4호, pp. 385-392.
- 행정자치부 (2005), GPS를 이용한 지적측량 기술개발 등에 관한 연구(제2과제 : GPS 상시관측소 성과관리시스템 분석 연구), pp. 49-76.
- C. Hwang and Y.-S. Hsiao (2003), Orthometric corrections from leveling, gravity, density and elevation data: a case study in Taiwan, *Journal of Geodesy*, Vol. 77, pp. 279-291.
- Moritz H. (1972), Advanced Least Squares Methods, Reports of the Department of Geodetic Science, No. 75, The Ohio State University, Columbus.
- Paul R. Wolf and Charles D. Ghilani (2006), Adjustment Computation, *JOHN WILEY & SONS INC.*, pp. 141-154.
- Strang van Hees, G. L. (1992), Practical Formulas for The Computation of the Orthometric, Dynamic and Normal Heights, *Zeitschrift für Vermessungswesen*, pp. 727-734.

(접수일 2007. 6. 2, 심사일 2007. 6. 20, 심사완료일 2007. 8. 9)