

연구논문

# 세계측지계상에서 천문측량데이터를 이용한 연직선편차 계산에 관한 연구 A Study on the Computation of Deflection of the Vertical Referred to World Geodetic System by Astrogeodetic Data

이석배\*

Lee, Suk Bae

## 요 旨

천문측량은 각 나라가 지역측지계를 사용하던 때 각 나라의 측지원점을 결정하는 중요한 수단으로 취급되어 왔다. 본 연구에서는 1970년 이후로 관측된 우리나라의 천문측량 데이터를 이용하여 지역측지계에서 사용해 오던 베셀타원체를 기준으로 천문측리지오이드고를 계산하고 아울러 GRS80타원체를 기준으로 하는 세계측지계상에서 연직선 편차 성분과 천문측리지오이드고를 계산하였다. 연구결과 세계측지계상에서 연직선편차의  $\xi$  성분은  $-5.725'' \sim 8.005''$  의 분포를,  $\eta$  성분은  $-14.917'' \sim 6.2''$  분포를 보였으며 천문측리지오이드고는 23m~27m에 이르는 분포를 보였다. 아울러 두 타원체의 이격량을 통하여 GRS80타원체가 베셀타원체에 비하여 우리나라에 더욱 적합한 타원체임을 알 수 있었다.

**핵심용어** : 천문측지 지오이드, 연직선편차, 천문측량

## Abstract

Astronomic surveying has been regarded as an important method for absolute positioning of geodetic datum in each countries under the local geodetic reference system. The purposes of this study are to determine astrogeodetic geoidal heights referred to Bessel ellipsoid and to determine deflection of the vertical and geoidal heights referred to GRS80 of World Geodetic System by astronomic surveying data which have been surveyed after 1970 in Korea. The results show that  $\xi$  component of the deflection of the vertical distribute from  $-5.725''$  to  $8.005''$  and  $\eta$  component distribute from  $-14.917''$  to  $6.2''$  and astrogeodetic geoidal heights distribute from 23 m to 27 m in the study area. Also, we could see that GRS80 was more optimal ellipsoid than Bessel 1841 ellipsoid to Korea through comparing both astrogeodetic geoidal heights referred to GRS80 and Bessel 1841 ellipsoid.

**Keywords** : Astrogeodetic geoid, Deflection of the vertical, Astronomic surveying

## 1. 서 론

한 국가의 측지기준계(Geodetic Reference System)는 그 나라의 위치를 표현하는 기반을 제공하는 것으로서, 일반적으로 법령에 기초하여 국가가 정의하고 유지·관리하고 있으며, 측지기준계의 골격이 되는 측지기준점은 국가전체에 기준망을 설정하여 국토의 정확한 위치기준을 제공하여 준다. 최근까지 세계 각국은 천문관측을 기초하여 결정한 경·위도 원점으로부터 측지망을 전개하여 각 나라마다 독자적인 측지기준계를 채용하여 왔으나, 최근들어 VLBI(Very Long Baseline Interferometry), SLR(Satellite Laser Ranging), GNSS(Global Navigation

Satellite System) 등과 같은 우주측지기술이 급속하게 발전하면서 국가의 경계를 뛰어넘어 위치를 연속적으로 하나의 기준계 위에서 표현할 필요성이 증대되었으며, 따라서 측지기준계를 각 나라에서 채택하던 지역측지계에서 세계측지계로 전환해가고 있는 추세이다.

천문측량이란 지구자전축과 연직선을 기준으로 태양, 별 등을 관측함으로써 미지점의 경위도와 방위각을 결정하는 측량방법으로서, 주로 다음의 네가지 목적에 활용되어 왔다.

첫째 목적은 경위도원점(측지측량원점)의 결정으로 국가의 측량좌표계를 동일한 경위도 원점으로부터 출발하기 위해, 지오이드면의 연직선상에서 항성을 이용한 천

2007년 1월 22일 접수, 2007년 2월 27일 채택

\* 정희원, 국립진주산업대학교 토목공학과 조교수 (sblee@jinju.ac.kr)

문측량에 의하여 측지측량 원점의 위치관측 및 진북방향으로부터 원방위점의 방위각을 관측한다. 둘째 목적은 도서지역 및 측지측량망과 독립된 지역의 독립원점의 위치결정을 위한 것으로 한 국가의 국토는 동일한 경위도원점을 이용하여 측지측량망을 연결하는 것이 가장 이상적이지만, 육지에서 멀리 떨어진 도서지역 등과 같이 독립된 지역에서는 천문측량에 의하여 독자적인 위치를 결정하게 된다. 셋째 목적은 측지측량망의 방위각 조정을 위한 것으로 삼각망이 확대 연결됨에 따라 오차가 누적되어 변의 방위각은 진방위각과 차이가 발생하게 된다. 따라서, 정밀삼각망에 일정한 간격으로 라플라스점(Laplace station)을 설치하고 천문관측에 의하여 이를 조정한다. 천문측량의 넷째 목적은 연직선편차의 결정이다. 측지측량위치는 준거타원체를 기준으로 하는 반면, 천문관측은 지오이드면을 기준으로 하므로 양자는 연직선편차만큼의 차이가 발생하게 되므로 각 지점에서 연직선편차를 이용하여 지오이드면과 거의 일치하는 새로운 기준타원체를 구할 수 있다.

천문지오이드 연구와 관련하여 西修二郎<sup>8)</sup> 등에 의하여 일본의 천문지오이드가 계산되었고, 우리나라에서도 조규전<sup>4)</sup>, 이석배<sup>2,3)</sup> 등에 의하여 베셀타원체를 기준으로 하는 천문지오이드가 계산된 바 있으며, 비록 더디기는 하나 천문측량이 계속 진행되어 새로운 측량성과가 확보됨에 따라 천문지오이드의 재계산 필요성이 높아져가고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 1970년부터 2004년까지 관측된 우리나라의 전체 천문측량자료를 활용하여 수원경위도 원점을 기준으로 한 천문측지지오이드를 결정하고 그 정확도를 평가하고자 하였다. 아울러 지오이드의 계산은 먼저 우리나라의 지역적인 준거타원체인 베셀타원체를 기준으로 한 지오이드의 계산을 실시하였고, 또 현재의 천문측량점에서 이루어진 GPS 측량성과를 확보하여 세계측지계상에서의 연직선편차를 계산하고 이를 활용하여 GRS80타원체를 기준으로 하는 천문측지지오이드를 계산하였다. 아울러 지오이드의 정확도 평가를 위하여 우리나라 GPS상시관측소의 GPS/Leveling에 의한 기하학적인 지오이드고와 비교하였다. 또한 베셀타원체와 GRS80타원체를 기준으로 각각 계산된 천문측지지오이드고를 활용하여 우리나라 지오이드면과 두 타원체 사이의 이격량을 계산함으로써 우리나라에 대한 두 타원체의 적합성 여부를 분석하였다. 특히 본 연구에서 천문측량데이터를 활용하여 GRS80타원체를 기준으로 하는 천문측지지오이드고를 계산하고자 한 것이나, 이렇게 계산된 지오이드를 활용하여 타원체 적합성 여부를 판별하고자 한 것은 천문측량데이터의 활용성을 높이는 새로운 시도라고 해석할 수 있다.

## 2. 연직선편차와 지오이드고

천문측지 계산을 위한 관측치에는 수평각, 수평거리, 천정각, 표고차뿐만 아니라 천문경위도와 천문방위각을 포함하여야 하며 연직선 편차(Deflection of the vertical)를 이용하여 지오이드고를 계산하게 된다. 연직선 편차는 벡터값으로 그 정의에 있어서 다음의 세가지로 대별할 수 있다. 먼저 헬머트(Helmert)의 정의에 의하면 ‘지구표면상의 한 점 P에 있어서 그 점의 수직선과 그 점을 통과하는 타원체 법선의 지표면상에서의 사이각’으로 정의하고 있고, 피제티(Pizzetti)는 ‘지구표면상의 한 점 P에서 그 점의 수직선을 연장하여 지오이드와 만난 점을 P<sub>0</sub>라고 할 때 지오이드상에서 P<sub>0</sub>의 법선과 P의 수직선의 연장이 이루는 사이각’으로 정의하고 있으며, 몰로덴스키(Molodenski)는 ‘지구표면상의 한 점 P의 법선과 그 점을 지나는 테루로이드(telluroid)의 법선이 지표면상에서 이루는 사이각’으로 정의하고 있다. 테루로이드란 물리적 지표면과 표고이상(ξ)만큼 분리되어 있는 면으로 임의의 점 P가 갖고 있는 포텐셜(Wp)과 같은 값을 가지는 구포텐셜면(spheropotential surface)이다<sup>5)</sup>. 또한 연직선 편차는 방향성이 있으므로 다음 그림 1과 같이 자오선방향성분 ζ와 모유선방향성분 η로 구분할 수 있으며 천문경위도(λ<sub>a</sub>, φ<sub>a</sub>)와 측지경위도(λ<sub>g</sub>, φ<sub>g</sub>)를 사용하여 다음 식 (1)과 같이 계산된다<sup>7)</sup>.

$$\xi = (\varphi_a - \varphi_g), \quad \eta = (\lambda_a - \lambda_g) \cos \varphi_g \tag{1}$$

또한 연직선편차로부터 지오이드고의 계산은 식 (2)와 같으며 연직선편차를 거리에 대하여 적분하여 임의의 두 점 A,B간의 지오이드고의 차이를 얻게 된다.

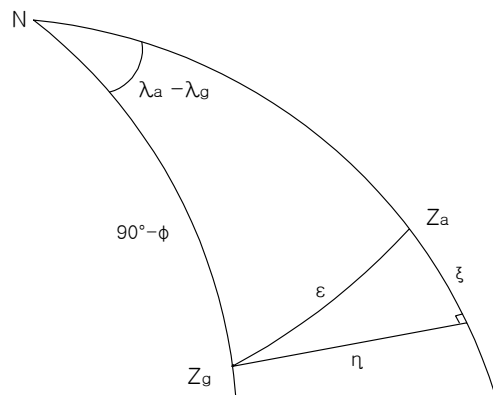


그림 1. 연직선편차와 성분요소

$$N_{AB} = \int_A^B (\xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha) ds \quad (2)$$

1973년 Vanicek 와 Merry는 최소자승 조정에 의하여 지오이드를 곡면다항식으로 표시하는 Least Square Surface Fitting Technique을 발표하였으며<sup>6)</sup>, 천문지오이드를 계산하는 주요 알고리즘으로 활용되어 왔다. 이 기법은 연직선 편차의 두 성분 ( $\xi, \eta$ )에 의하여 주어지는 지오이드의 표면경사와 곡면 다항식의 미분 값으로 주어지는 수학적 표면 경사의 차이의 제곱의 합이 최소가 되도록 곡면 다항식의 계수를 결정하고 이 다항식으로 나타내는 곡면을 지오이드로 취급하는 방법이다. 경도 $\lambda$ , 위도  $\phi$ 의 점에 있어서 천문지오이드고  $N(\phi, \lambda)$ 은 식 (3)과 같이 나타난다.

$$N(\phi, \lambda) = \sum_{j=1}^{i+1} \sum_{i=1}^n C_{ij} x^{i-j+1} y^{j-1} \quad (3)$$

여기서,  $x = R(\varphi - \varphi_0)$ ,  $y = R(\lambda - \lambda_0) \cos \varphi$  이고  $\lambda_0, \varphi_0$  는 원점의 경위도,  $R$  은 지구의 반지름이다. 또한 연직선 편차는 지오이드와의 수학적 관계를 이용하여 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\xi^* = -\frac{1}{R} \sum_{j=1}^{i+1} \sum_{i=1}^n (i-j+1) C_{ij} x^{i-j} y^{j-1} \quad (4)$$

$$\eta^* = -\frac{1}{R} \sum_{j=1}^{i+1} \sum_{i=1}^n (i-j) C_{ij} x^{i-j+1} y^{j-2}$$

각 천문점에서 관측된 연직선편차 ( $\xi, \eta$ )와 식 (4)에서 계산된 연직선편차 ( $\xi^*, \eta^*$ )를 사용하여 최소자승법에 의하여 다음 조건을 만족시키는 다항식의 계수  $C_{i,j}$ 를 구한다.

$$\sum [P_\xi (\xi - \xi^*)^2 + P_\eta (\eta - \eta^*)^2] = \min. \quad (5)$$

여기서,  $P_\xi, P_\eta$ 는 연직선편차 성분,  $\xi$ 와 $\eta$ 의 관측오차를 고려한 무게값이다.

### 3. 천문측지지오이드의 계산

우리나라의 천문측량은 1970년에 국립지리원 기본측량 사업으로 시작되어 1971년부터 1년간 3점씩 꾸준히 관측되어 왔으나 1980년대 이후 연간 1점씩 관측되다가 1997년 이후로는 관측이 제대로 이루어지지 않고 있다. 남산에서 천문관측을 실시한 이래 중복된 점을 제외한다면 2004년까지 총 43점에서 관측이 이루어졌으며, 천문

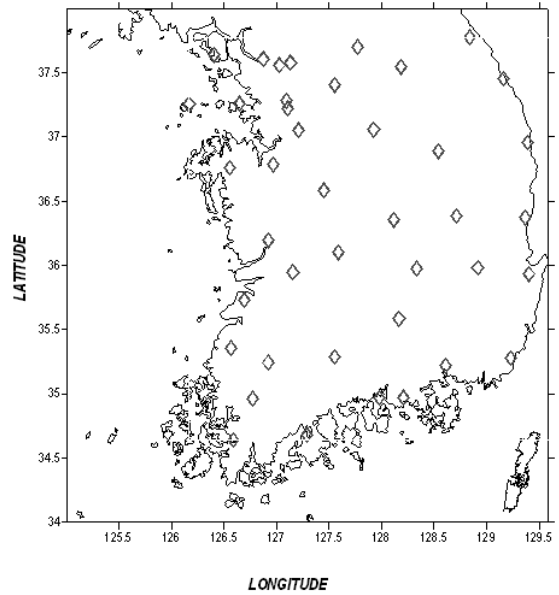


그림 2. 천문측량 데이터의 분포

측지지오이드 계산에 활용된 천문측량 데이터의 분포는 그림 2와 같다.

#### 3.1 베셀타원체 기준의 지오이드고 계산결과

천문지오이드 계산은 Vanicek와 Merry에 의해 제안된 최소자승 곡면다항식기법(Least square surface fitting technique)을 이용하였으며 수원경위도 원점을 천문지오이드 계산의 원점으로 채택하여, 원점에서의 지오이드값에 따라 상대적인 지오이드고를 구한 것이다. 수원경위도 원점에서의 베셀지오이드고는 -66.0443m값을 인용하였으며, 이 수치는 동일점에 대한 GPS상시관측점 고시성과를 GPS측량 작업기준에 따라 베셀타원체상에서의 값으로 좌표변환하여 정표고 성과와의 차이를 통해 구한 것이다<sup>3)</sup>. 따라서 베셀지오이드고의 계산에는 수원경위도 원점에서의 관측값을 제외한 42점의 데이터가 사용되었다.

곡면다항식 계산결과 2차식에서의 표준오차가 6.36"에 서부터 8차식의 4.19"에 이르기까지 감소하다가 다시 증가하는 경향을 보였으며 따라서 표준오차가 최소값을 보인 6차다항식 결과를 활용하였다. 6차다항식 Surface fitting에 의한 천문지오이드 계산결과 RMS Geoid의 평균값은 1.03m, RMS Xi( $\xi$ )의 평균값은 2.17", RMS Eta( $\eta$ )의 평균값은 2.28"로 나타났다. 6차다항식에 의한 천문지오이드 계산결과를 그림으로 표현하면 그림 3과 같다. 아울러 그림 3의 결과는 이석배에 의하여 발표된 우리나라의 베셀지오이드고의 결과와 비슷한 결과를 보여주고 있음을

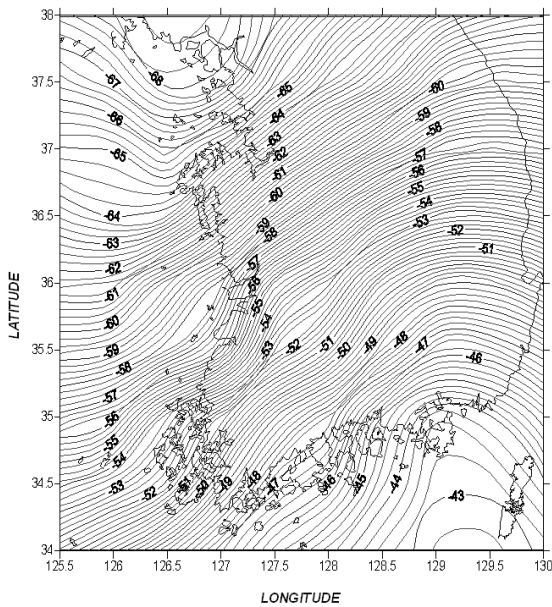


그림 3. 베셀타원체 기준의 천문지오이드고

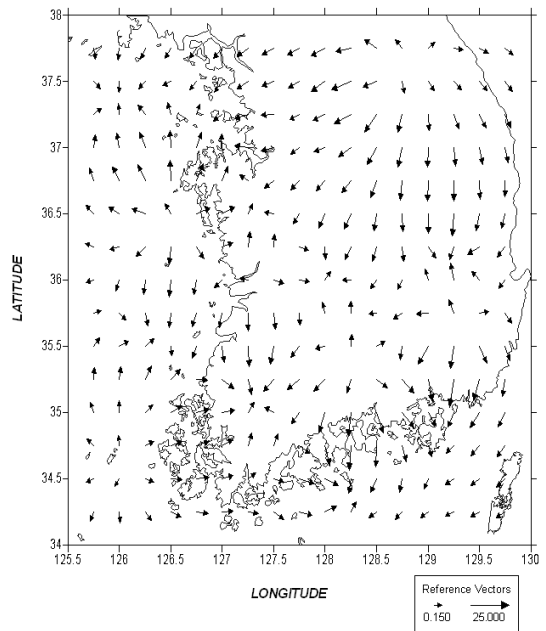


그림 4. 연직선편차성분  $\xi$ 의 벡터도

알 수 있다<sup>4)</sup>.

그림 3의 결과는 6차식의 계산결과를 30'×30'의 격자 간격으로 위도 34°N~38°N, 경도 125.5°E~130°E의 지역에 대하여 Kringing 방법에 의하여 보간한 결과를 등고선도로 표현한 것이다. 연직선편차 계산시 천문경위도와 베셀타원체를 기준한 측지경위도를 이용하여 계산하였으며 이를 지오이드고로 환산한 것이다. 등고선 간격은 0.25m이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 강화도 부근의 -68m에서부터 대한해협 부근의 -43m에 이르기까지 북서에서 남동으로 높아지고 있음을 보여주고 있으며 지오이드고 차이의 분포는 약 25m에 이르고 있음을 알 수 있다.

### 3.2 세계측지계상에서 연직선편차와 지오이드고 계산 결과

우리나라가 채택하고자 하는 세계측지계의 준거타원체는 GRS80이며, 따라서 세계측지계상에서의 연직선편차를 계산하기 위하여는 천문측량점에서의 GPS성과를 필요로 한다. 위 3.1에서 사용된 천문측량 데이터중에서 GPS측량성과를 가지고 있는 점은 33점이다. 따라서 이 33점의 GPS측량성과를 바탕으로 연직선편차 성분( $\xi$ ,  $\eta$ )을 계산하였으며, 각 지역에 따른 연직선편차 성분의 크기를 한눈에 보기 위하여 이 결과를 위 연구대상지역에 대하여 보간하여 벡터도로 나타내면 그림 4 및 그림 5와 같다.

우리나라에서 GRS80타원체를 기반으로 하는 세계측지계상에서 연직선편차 성분인  $\xi$ 는 최소 -5.725", 최대

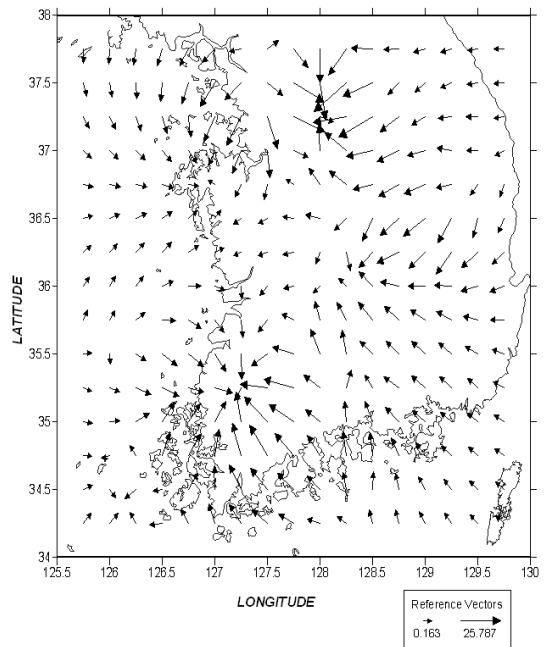


그림 5. 연직선편차성분  $\eta$ 의 벡터도

8.005"를 보이고 있으며 전체적인 평균값은 0.542"를 나타냈다. 또  $\eta$ 는 최소 -14.917", 최대 6.2"를 보이고 있으며 전체적인 평균값은 -3.772"를 나타냈다. 베셀타원체와 GRS80타원체를 기준으로 하여 계산된 연직선편차 결과

를 성분별로 정리하면 표 1과 같다.

아울러 33점의 연직선편차 성분을 이용하여 곡면다항식기법에 의하여 세계측지계 기준의 천문측지오이드를 계산한 결과 5차식에서 표준오차가 5.05"로 가장 좋은 결과를 나타냈다. 5차식의 Surface fitting에 의한 천문지오이드 계산결과 RMS Geoid의 평균값은 1.29m, RMS Xi( $\xi$ )의 평균값은 2.44", RMS Eta( $\eta$ )의 평균값은 2.77"로 나타났으며, 사용된 데이터의 수가 3.1에 비해 적기 때문에 RMS값이 조금 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 5차다항식에 의한 천문지오이드 계산결과를 그림으로 표현하면 그림 6과 같다.

그림 6의 결과는 5차식의 계산결과를 데이터의 수를 고려하여 30'×30'의 격자간격으로 위도 34°N~38°N, 경도 125.5°E~130°E의 지역에 대하여 Kringing 방법에 의하여 보간한 결과를 등고선도로 표현한 것이다. 등고선 간격은 0.1m이며, 그림에서 보는 바와 같이 중서부의 23m에서부터 남동부의 27m에 이르기까지 북서에서 남

표 1. 연직선편차 성분

구 분	Bessel 1841 타원체 기준		GRS80 타원체 기준	
	$\xi$ (")	$\eta$ (")	$\xi$ (")	$\eta$ (")
최소값	-12.542	-17.414	-5.725	-14.917
최대값	17.95	12.024	8.005	6.2
평 균	10.178	-7.629	0.542	-3.772

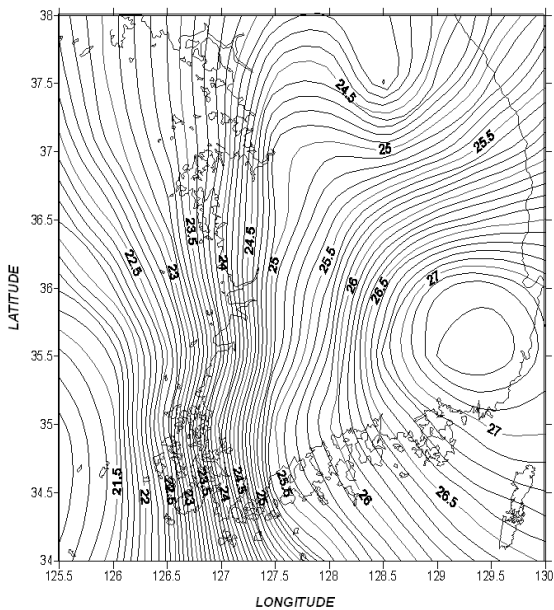


그림 6. GRS80 기준의 천문지오이드고

동으로 높아지고 있음을 보여주고 있다. 그러나 그 변화가 완만하며, 베셀타원체에 비하여 그 변화폭이 매우 적다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결과분석

본 연구에서 계산된 세계측지계상에서의 지오이드고 결과를 분석하기 위하여 GPS상시관측점 성과와 비교하였다. 즉, 본 연구에서 계산된 천문측지오이드의 정확도 평가를 위하여 국립지리원에 의해 고시<sup>1)</sup>된바 있는 14점의 GPS 상시관측점 성과를 활용하여 구한 기하학적 지오이드고와 비교하였다. 계산된 지오이드고의 교차를 정리하면 표 2와 같다.

표 2에서 보는 바와 같이 태백의 상시관측소에서 최대값 3.874m를, 수원 상시관측소에서 최소값 -0.179m를 나타냈으며 교차의 평균은 1.505m, 교차의 표준편차는 1.360m로 나타났다. 태백에서 최대교차를 나타낸 것은 산악지역에서의 GPS측량과 수준측량의 부정확성을 보여주는 것으로 추후 이에 대한 심도있는 연구가 필요하다 하겠다. 아울러 중력측량을 수반한 정사보정 등을 통

표 2. 지오이드고의 교차

구 분	최소(m)	최대(m)	평균(m)	표준편차(m)
결 과	-0.179	3.874	1.505	1.360

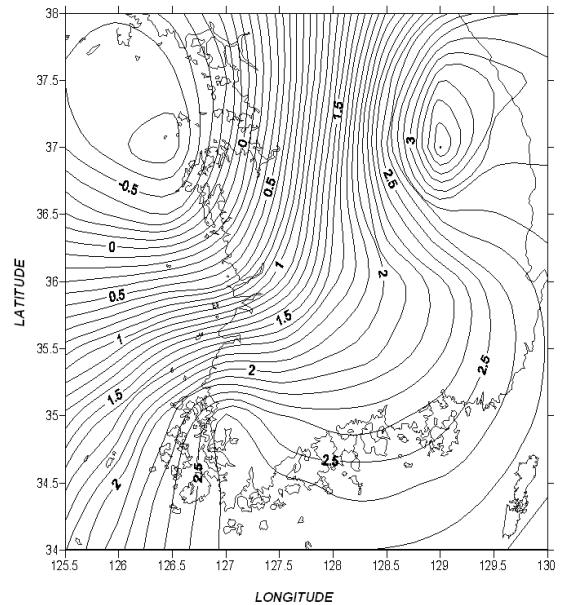


그림 7. 상시관측소와 GRS80 기준의 천문지오이드고와의 교차분포

**표 3.** 천문측량데이터를 통하여 계산된 천문측지시오이드고 (단위:m)

구 분	Bessel 1841 타원체 기준	GRS80 타원체 기준
최소값	-67.92	21.73
최대값	-43.43	27.54
평 균	-56.35	24.66

하여 GPS상시관측소에서의 보다 정밀한 표고산출이 필요할 것으로 사료된다. 본 연구에서 계산된 세계측지계를 기준한 천문측지시오이드고와 GPS상시관측소에서의 GPS/Leveling에 의한 기하학적 지오이드고와의 교차를 등고선도로 표현하면 그림 7과 같다.

또 우리나라를 포함하여 전세계의 상당수의 주요국가 지역적인 측지기준계를 버리고 세계측지계를 측지기준으로 채택해 가고 있는 시점에서 지역측지계와 세계측지계에서 각각 사용해왔거나 사용하고자 하는 두 타원체에 대하여 우리나라에서의 타원체 적합성 여부를 판단하고자 하였다. 따라서 타원체 적합성 여부는 각 나라의 지오이드면과 준거타원체와의 이격량을 가지고 판단하므로, 본 연구에서 계산된 두 타원체의 지오이드고를 정리하면 표 3과 같다.

지오이드고란 타원체에서 지오이드까지의 높이를 말하며 그 나라의 지오이드면에 대한 타원체의 이격량을 표시하게 된다. 지오이드면이 타원체보다 높게 위치하면 +값으로 계산되고 지오이드면이 타원체보다 낮게 위치하면 -값으로 계산되게 된다. 또한 이격량을 계산할 때에는 부호에 상관없이 그 크기가 중요하므로 지오이드고를 제공하여 그 함으로써 이격량을 판단하게 된다. 그러나 본 연구에서 계산된 결과는 GRS80 타원체 기준일 때에는 전부 양의 값으로, Bessel 1841 타원체 기준일 때에는 전부 음의 값으로 계산되어 단지 그 절대값으로 판단할 수 있다. 따라서 표 3에서 보는 바와 같이 Bessel 1841 타원체 기준일 때에는 지오이드고의 절대값이 평균 56.35m, GRS80 타원체 기준일 때 지오이드고의 절대값이 평균 24.66m를 나타내 GRS80 타원체가 베셀타원체에 비하여 타원체의 이격량이 적음으로 우리나라에 더욱 적합한 타원체임을 판단할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 우리나라의 1970년부터 2004년까지의 천문측량 데이터를 활용하여 베셀타원체를 기준으로 하는 천문측지시오이드를 계산하였으며, 아울러 천문측량점에서의 GPS측량성고를 이용하여 GRS80타원체를 기준으로

하는 세계측지계상에서의 연직선편차를 계산하고 이를 바탕으로 천문측지시오이드고를 계산하였다. 또 계산된 지오이드고의 정확도를 평가하고자 우리나라 건설교통부의 GPS상시관측점 성과에 의한 기하학적 지오이드고를 계산하고 이와 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 우리나라에서 GRS80타원체를 기반으로 하는 세계측지계상에서 연직선편차 성분인  $\xi$ 는 최소 -5.725", 최대 8.005"를 보이고 있으며 전체적인 평균값은 0.542"를 나타냈다. 또  $\eta$ 는 최소 -14.917", 최대 6.2"를 보이고 있으며 전체적인 평균값은 -3.772"를 나타냈다.

둘째, GRS80타원체를 기준으로 하는 천문측지시오이드고를 계산한 결과는 5차다항식의 결과가 가장 좋았으며, 이에 의한 지오이드고의 분포는 연구대상지역 중서부의 23m에서부터 남동부의 27m에 이르기까지 북에서 남동으로 높아지고 있음을 보여주고 있다. 그러나 그 변화가 완만하며, 베셀타원체에 비하여 그 변화폭이 매우 적다는 것을 알 수 있었다.

셋째, 베셀타원체를 기준으로 하는 연직선편차에 의하여 곡면다항식기법에 의하여 천문측지시오이드고를 계산한 결과는 6차다항식의 결과가 가장 좋았으며, 이에 의한 지오이드고의 분포는 강화도 부근의 -68m에서부터 대한해협 부근의 -43m에 이르기까지 북에서 남동으로 높아지고 있음을 보여주고 있으며 지오이드고 차이의 분포는 약 25m에 이르고 있음을 알 수 있다.

넷째, 우리나라 지오이드면의 이격량을 비교한 결과 베셀타원체를 기준으로 할 때보다 GRS80타원체를 기준으로 할 때가 적게 나타나 GRS80타원체가 베셀타원체에 비하여 우리나라에 더욱 적합한 타원체임을 알 수 있었다.

아울러 본 연구의 결과를 통하여 GNSS가 더욱 활성화되고 세계측지계가 더욱 확고하게 자리잡게 되면 우리나라의 측지망을 세계측지망과 더욱 정밀하게 연결하고 유지관리하기 위한 GPS, VLBI, SLR 등과 같은 우주측지기술을 더욱 필요로 하게 되므로, 앞으로 지역측지계를 활용할 때 필요로 했던 천문측량을 축소하고 우주측지기술에 대한 투자를 확대하는 정책이 필요한 때임을 인식하는 것이 필요하다고 하겠다.

## 감사의 글

이 논문은 2006년도 진주산업대학교 기성회 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 국립지리원, 2001, GPS 상시관측소 기본측량성과 고시, 국립지리

- 원 고시 제2001-153호.
2. 이석배, 2001, 우리나라의 천문측량자료에 의한 천문측지지오이드고의 계산, *전주공업대학논문집*, 제35집, pp. 31-37.
  3. 이석배, 1998, 베셀타원체상에서의 한반도 지오이드 모델의 개발, *한국측지학회지*, 한국측지학회, 제16권 제2호, pp. 213-223.
  4. 조규전 외, 1991, 우리나라의 천문측지 지오이드에 관한 연구, *한국측지학회지*, 한국측지학회, 제9권, 제2호, pp. 1-8.
  5. Heiskanen W.A, and Moritz H., 1996, Reprint, *Physical Geodesy*, Institute of Physical Geodesy Technical University Graz, Austria.
  6. Merry C. and P. Vaniček, 1974, A Method for Astro-gravimetric Geoid Determination, Technical Report No.27, *Department of Surveying Engineering University of New Brunswick*.
  7. Torge W., 1991, *Geodesy*, Walter de Gruyter.
  8. 西修二郎, 1981, 日本の天文ジオイドについて, *國土地理院時報* No. 51.