

세계측지계 변환에 따른 변환 전후의 타원체 적합성 비교분석 Analyses of ellipsoid agreement before and after change due to the introduction of global geodetic reference system

이석배¹⁾

Lee, Suk Bae

¹⁾ 진주산업대학교 토목공학과 교수(E-mail:sblee@jinju.ac.kr)

Abstract

Many countries have changed her geodetic reference system from local system to global system because of the global network's necessity. And, also Korean geodetic reference system changed from Tokyo datum to Global geodetic reference system since 2003 as the revision of Survey Law and Korean reference ellipsoid changed from Bessel 1841 ellipsoid to GRS80. The purpose of this paper is evaluation of ellipsoid agreement before and after change due to the introduction of global geodetic reference system in Korea. For the evaluation ellipsoid agreement was analyzed using two Korean geoid model -KOGD2003 and KOBGDM33- on both ellipsoid and area variation caused by change of reference ellipsoid was calculated.

1. 서 론

세계측지계는 각 나라가 그동안 채택해 왔던 지역적인 좌표계를 버리고 전세계가 하나의 통합된 측지 기준계 위에서 위치를 표현하는 측지기준 시스템을 말한다. 최근까지 지역적인 기준계를 사용하기 위하여 세계 각국은 천문관측을 기초하여 결정한 경·위도 원점으로부터 측지망을 전개하여 왔으나 최근들어 VLBI(Very Long Baseline Interferometry), SLR(Satellite Laser Ranging), GPS 등과 같은 우주측지 기술이 급속하게 발전하면서 국가의 경계를 뛰어넘어 위치를 연속적으로 하나의 기준계 위에서 표현할 필요성이 증대되었으며, 또 위와 같은 측지기술의 발달로 지구중심을 원점으로 하는 전 지구 규모의 측지기준계를 구축하는 것이 가능해졌다. 현재 국제측지연맹인 IAG(International Association Geodesy)에서 최적타원체로 권장하고 있는 지구타원체는 Geodetic Reference System 1980(GRS80)이다.

2002년까지 우리나라에서 사용해 왔던 공식적인 준거타원체는 우리의 독자적인 계산에 의하여 결정된 것이 아니며 1910년부터 1918년까지 실시된 조선토지조사사업의 과정에서 일본의 삼각점을 우리나라의 거제도과 영도에 연결하면서 자연스럽게 일본의 측지기준계가 아무런 검증없이 그대로 전이되는 결과를 낳았었다. 따라서 독자적인 측지 원점을 갖지 못하고, 동경천문대의 천문관측으로부터 결정된 일본 경·위도원점을 기준으로 하여 Bessel 타원체를 준거타원체로 하는 측지기준계(동경원점계)를 채용하여, 결과적으로 우리나라의 측지좌표계가 일본의 측지좌표계에 종속되는 결과를 낳았던 것이다. 그러나 우리나라 또한 국가측지기준계를 세계측지계로 전환하기로 결정한 바 있으며, 이에 대한 후속조치로 건설교통부에서는 측량법을 개정하여 새로운 국가측지기준계의 사용에 대하여 2001년 12월 19일에 공포한 바 있다. 이 법률에 따르면 2003년 1월 1일부터 새로운 국가측지기준계를 사용토록 하고 있으나 일시적인 기준계의 변환에 따른 혼돈을 최소화하고 국민들의 인식전환을 위하여 2003년부터 2006년까지 신규 측지기준계에 의한 성과가 공용될 수 있도록 경과규정을 두고 있다.

따라서 본 연구에서는 우리나라의 측지기준계가 변환됨에 따라 타원체 면적의 변동량과 타원체 적합성을 분석하고자 하였다. 타원체 적합성을 분석하기 위해서는 우리나라의 지오이드 모델이 Bessel 타원체와 GRS80 타원체로부터 떨어져 있는 정도를 계산하여 비교하였으며, 지오이드 모델은 이석배에 의하여 개발된 GRS80타원체 기준의 KOGD2003과 베셀타원체 기준의 KOBGDM33을 활용하였다.

2. 기본이론

임의의 위도값과 경도값을 가지는 지역의 면적은 다음과 같은 수식으로 계산할 수 있다.

$$Z = \int dZ = \int_{\phi_1}^{\phi_2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} MN \cos \Phi d\Phi d\lambda \quad (1)$$

여기서, M과 N은 각각 자오선 곡률반경과 묘유선 곡률반경으로 다음과 같이 표현된다.

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \Phi)^{3/2}}$$

$$N = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \Phi)^{1/2}} \quad (2)$$

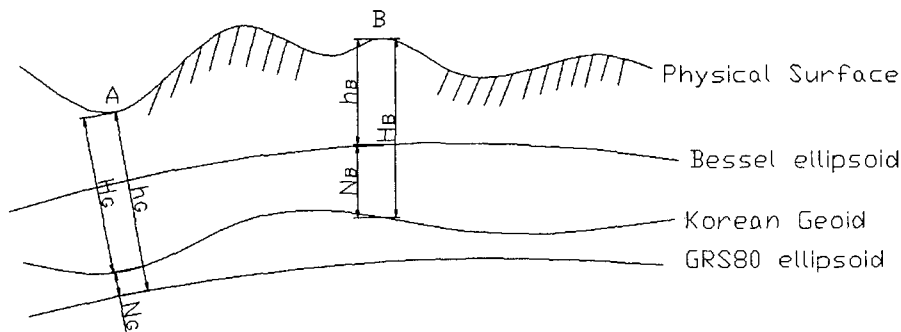


Figure 1. Relationship between ellipsoidal height(h), geoidal height(N) and orthometric height(H)

위 Figure 1에서는 타원체고(ellipsoidal height)와 정표고(orthometric height)와 지오이드고(geoidal height) 사이의 관계를 보여준다. 일반적으로 이들 사이의 관계는 다음 (3)식으로 표현된다.

$$h = H + N \quad (3)$$

즉, 타원체고(h)는 기준타원체부터 지상점까지의 수직거리로 정표고(H)와 지오이드고(N)를 합한 것과 동일하다. 정표고(H)는 평균해수면을 육지로 연장시킨 지오이드면상에서 지상점까지의 수직거리이며, 지오이드고(N)는 기준타원체부터 지오이드까지의 수직거리이다. 따라서 위 그림에서 A점은 GRS80 타원체를 기준으로 한 타원체고, 정표고와 지오이드고와의 관계를 보여주고 있으며 B점은 Bessel 타원체를 기준으로 한 타원체고, 정표고와 지오이드고와의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 보는 것과 같이 우리나라의 지오이드는 GRS80 타원체 위를 지나고 있어 지오이드고가 양(+값)이 되는데 비해 Bessel 타원체를 기준으로 할 때는 지오이드면이 Bessel 타원체 밑으로 지나고 있어 부(-)값으로 나타나는 것을 알 수 있다. 타원체의 적합성이란 우리나라의 지오이드와 각 타원체가 얼마나 떨어져 있는지를 평가하여 다음 (4)식에 의하여 이격량이 적은 즉, 우리나라의 지오이드에 근접한 타원체를 더 적합하다고 판정하는 것이다.

$$\sum N^2 = \text{Minimum} \quad (4)$$

3. 타원체의 면적계산 및 적합성 판별

3.1 타원체 변화에 따른 면적변화량 분석

타원체 변화에 따른 면적변화량을 분석하기 위하여 먼저 각 타원체에서의 면적을 계산하였다. 면적 계산은 GRS80, Bessel, WGS84 타원체를 기준으로 먼저 (1)식에 의하여 지구타원체 전체면적을 계산하였으며, 또 위도에 따른 우리나라 지역의 면적 변화량을 파악하기 위하여 한반도 일원에서의 면적을 위도에 따라 블록을 나누어 계산하였다. 다음의 Table 1.은 지구타원체 전체면적이며 Table 2.는 한반도 일원에서의 면적을 위도별로 계산한 것이다.

Table 1. Area of earth surface (unit: km²)

Ellipsoid	GRS80	Bessel	WGS84
Area	510065621.7163	509950689.3331	510065621.7240

위의 표를 통해 Bessel 타원체일 때보다 GRS80 타원체를 준거타원체로 할 때 지구표면적은 114,932.3832km²가 증가함을 알 수 있으며 이는 전체 지구표면적의 0.023%에 해당하는 수치이다. GRS80 타원체와 WGS84 타원체에서는 0.0077km² 차이밖에 나지 않아 측지체원의 차이가 거의 없어 면적의 차이도 거의 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

Table 2. Each block area in and around Korean Peninsula (unit: km²)

Latitude(Φ)	GRS80 (B)	Bessel	WGS84	A/B(%)
32° ~ 33°	93793.285021 (A)	93772.325686	93793.285023	100.0000
33° ~ 34°	92756.003127	92735.216193	92756.003129	98.8941
34° ~ 35°	91690.307688	91669.699980	91690.307690	97.7579
35° ~ 36°	90596.476824	90576.055261	90596.476826	96.5916
36° ~ 37°	89474.797756	89454.569349	89474.797758	95.3957
37° ~ 38°	88325.566844	88305.538692	88325.566845	94.1705
38° ~ 39°	87149.089621	87129.268904	87149.089622	92.9161
39° ~ 40°	85945.680822	85926.074799	85945.680823	91.6331
40° ~ 41°	84715.664410	84696.280412	84715.664411	90.3217
41° ~ 42°	83459.373592	83440.219017	83459.373593	88.9822
42° ~ 43°	82177.150834	82158.233139	82177.150834	87.6152
Sum	970083.396541	969863.481431	970083.396553	

위의 Table 2.는 한반도를 위도에 따라 블록을 나누어 면적을 계산한 것이다. 경도는 동경 123°에서 132°까지를 경계로 하였으며 위도는 북위 32°에서 43°까지의 경계지역을 각 위도 1° 간격으로 격자를 나누어 블록별로 면적을 계산한 것이다. 계산된 면적량은 고위도로 갈수록 지구의 편평률에 따라 줄어드는 것을 확인할 수 있었으며 그 양은 북위 42° ~ 43° 지역에서의 면적이 북위 32° ~ 33°의 면적에 비해 GRS80 타원체에서 11616.134187 km²이나 줄어들었고 Bessel 타원체에서는 11614.092547 km²가 줄어들어 위도 10°차이에서 면적이 약 12.4% 정도 줄어드는 것을 알 수 있었다. 위 Table의 마지막 열은 GRS80 타원체에서 북위 32° ~ 33°의 격자면적을 기준으로 하여 각각의 위도 1°의 격자면적을 나누어 고위도로 갈수록 면적의 증감정도를 파악한 것이다.

또한 위 경계지역에 대한 GRS80 타원체의 합산면적이 970083.396541 km²로 Bessel 타원체의 합산면적 969863.481431 km²에 비해 219.91511 km², 비율로는 0.022669%가 늘어나는 것을 알 수 있었다. 이러한 면적 증감비율을 우리나라의 면적에 그대로 적용해 보면 2003년도 행정자치부 지적통계에서 우리나라(남한)의 면적(육지)이 99600.87 km²이므로 GRS80 타원체로 전환될 때 그 면적은 99623.45 km²가 된다. 따라서 면적 증감량은 22.58 km²가 늘어나게 된다. 또한 현재의 Bessel 타원체를 기준으로 하는 남한과 북한(121,000 km²)의 한반도 전체면적을 살펴보면 220,600.87 km²이므로 기준타원체가 GRS80으로 바뀌게 될 때 그 면적은 220,650.89 km²가 되어 50.02 km²가 늘어나게 된다. 따라서 이러한 면적 증감량이 면적산출시의 허용오차 범위를 초과하는지에 대해 살펴볼 필요가 있다. 현재 지적측량의 면적오차에 대하여 언급하고 있는 조항은 지적법 시행령 제42조로써 등록전환 및 분할에 따른 면적오차의 허용범위 및 배분에 대하여 규정하고 있다. 따라서 이 조항을 준용하여 등록전환시의 오차허용면적을 계산하면 지적도 전체 축척을 1/6000로 가정하였을 때 1280.06 km²가 된다. 이 면적은 전체 면적의 1.28%가 되는 수치로써 22.58 km²는 이 허용오차 범위내에 들게 된다. 따라서 현행 지적법규 아래서는 타원체를 변환한다 하더라도 필지별 면적을 재산출하거나 수정등록 하지 않고 그면적 증감량을 무시할 수 있다.

3.2 타원체 적합성 분석

지오이드는 일종의 등중력포텐셜면으로 물리적인 지구의 형상을 표현한다. 지오이드와 가장 유사한 지구의 기하학적 형상을 지구타원체라고 하며, 세계측지계가 실현되기 이전에는 각 나라에서는 각 지역의 지오이드면에 적합한 지구타원체를 설정하여 그 지역의 준거타원체로 이용하여 있다. 타원체의 적합성은 지오이드 모델과 준거타원체 사이의 이격량, 즉 지오이드고를 기준으로 한다. 따라서 타원체의 적합성을 검증하기 위해서는 그 타원체를 기준으로 하는 지오이드 모델을 필요로 한다.

본 연구에서는 Bessel 타원체와 GRS80 타원체의 적합성을 검토하고자 하는 것이므로 Bessel 타원체와 GRS80 타원체를 기준으로 하는 지오이드 모델이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 이석배에 의하여 개발된 두가지 지오이드 모델을 활용하였다. GRS80타원체를 기준으로 하는 정밀지오이드 모델인 KOGD2003과 Bessel 타원체를 기준으로 하는 지오이드모델 KOBGDM33(KOrean Bessel Geoid Model 3'×3')을 이용하였다. KOBGDM33 지오이드 모델은 경도 123°E~ 132°E, 위도 32°N~43°N까지의 한반도 일원에 대하여 3'×3'격자망을 구성하고 40,001점에서 중력학적 방법에 의하여 수치해석을 실시하고 정밀지오이드고를 계산한 것이며, KOGD2003은 같은 연구대상지역에 대하여 2'×2'격자망을 구성하여 정밀지오이드고를 계산한 것이다.

타원체 적합성을 검토하기 위하여 위 두가지 지오이드모델에서 지오이드고를 추출하여 위 (4)식에 의하여 검토하였다. 지오이드고의 추출은 지역적인 편차를 없애기 위하여 경도 123°E~ 132°E, 위도 32°N~43°N까지의 한반도 일원에 대하여 각 위도와 경도가 1°간격으로 만나는 120점을 대상으로 하였다. 따라서 양 모델에서 위 120점을 대상으로 추출한 지오이드고의 합과 제곱의 합은 Table 3.과 같다.

Table 3. Sum of geoidal undulations on both ellipsoid (unit:m)

	Geoidal undulations on GRS80 ellipsoid(A)	Geoidal undulations on Bessel ellipsoid(B)	B / A
Σ N	2730.6404	-6362.9892	2.33
Σ N ²	66259.3668	504010.4919	7.61

위의 표를 통해 알 수 있듯이 각 위도선과 경도선이 교차하는 120점에 있어서 GRS80 타원체를 기준으로 하는 지오이드모델에서 추출한 지오이드고의 합은 2,730.6404m였으며 그 제곱의 합은 66,259.3668m²이었다. 또 Bessel 타원체를 기준으로 하는 지오이드모델에서 추출한 지오이드고의 합은 -6,362.9892m였으며 그 제곱의 합은 504,010.4919m²이었다. 따라서 절대값으로 그 비율을 구해보았을 때 Bessel 지오이

드고의 합은 GRS80 지오이드고의 합보다 2.33배 컸으며, 지오이드고 제공의 합은 7.61배 인 것으로 나타났다. 따라서 이를 바탕으로 한반도 지역에서는 기존에 준거타원체로 사용하였던 Bessel 타원체보다 GRS80 타원체가 훨씬 더 적합한 타원체인 것을 알 수 있었다.

4. 결 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 측지기준점(삼각점, 수준점)은 지도제작, 지적측량, 각종 건설공사 등에 국토의 정확한 위치기준을 제공하여 준다. 오늘날 우리나라 측량법의 개정으로 준거타원체가 Bessel 타원체에서 GRS80으로 변환되었으며 국가측지계는 동경원점계에서 세계측지계로 변환되었다. 따라서 모든 국가기준점의 성과는 GRS80 타원체를 기반으로 하는 3차원 지심좌표계인 ITRF2000 성과와 TM 투영성으로 변환되고 있다. 본 논문에서는 준거타원체 및 측지기준계의 변화에 따른 면적의 변동량과 타원체의 적합성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 현재의 Bessel 타원체에서 GRS80으로 준거타원체를 변환하게 되면 우리나라(남한)의 타원체상 면적은 99600.87 km² 에서 99623.45 km² 로 22.58 km²가 늘어나게 된다. 또 남한과 북한을 합한 한반도 전체면적은 220,600.87 km²에서 50.02 km²가 늘어나 220,650.89 km²가 된다. 그러나 이 증감량은 지적법 시행령 제 42조 등록전환 및 분할에 따른 면적오차의 허용범위 및 배분에 대한 규정을 통해 살펴볼 때 허용오차 범위내에 들게 되어 면적의 증감량을 고려하지 않아도 된다. 단, 이 면적산출은 대상지역이 너무 넓어서 타원체상의 면적을 기준으로 하였다.

둘째, 연구대상지역에 있어서 각 위도선과 경도선이 교차하는 120점에 있어서 GRS80 타원체를 기준으로 하는 지오이드모델에서 추출한 지오이드고의 제공의 합은 66,259.3668m이고, 또 Bessel 타원체를 기준으로 하는 지오이드모델에서 추출한 지오이드고의 제공의 합은 504,010.4919m이었다. 따라서 그 비율이 7.61배 인 것으로 나타나 한반도 지역에서는 기존에 준거타원체로 사용하였던 Bessel 타원체보다 GRS80 타원체가 훨씬 더 적합한 타원체인 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- 이석배 (2003), GPS측량에서의 정밀지오이드모델을 이용한 정표고 획득시스템 개발, 2003년도 대한토목학회 정기학술대회 초청 및 구두발표논문 초록집, 대한토목학회, pp. 299
- 이석배 (1998), 베셀타원체상에서의 한반도 지오이드 모델의 개발, 한국측지학회지, 한국측지학회, 제16권 제2호, pp. 213-223
- Weikko A. Heiskanen & Helmut Moritz, "Physical Geodesy", Institute of Physical Geodesy, Technical University Graz, Austria, 1996