

타원체상 거리의 지오이드면상 거리로의 보정에 관한 연구 A study on the reduction of the distance on reference ellipsoid to the distance on geoid

김형태* · 김용일** · 어양담*** · 김창재****

Kim, Hyung-Tae · Kim, Yong-Il · Eo, Yang-Dam · Kim, Chang-Jae

요 旨

GPS 관측에 의해서 획득된 경사거리나, WGS84 타원체상에서의 거리를 현행측량 성과로 사용하기 위해서는 이 거리를 지오이드면으로 보정해 주어야 하며, 보정에 고려되는 요인으로는 지오이드고와 타원체의 평균 곡률반경이 있다. 본 연구에서는 이 요인들이 거리에 미치는 영향을 분석하였으며 기준타원체상에서의 거리를 현행측량 성과로 보정하기 위하여 단위거리당 평균지오이드고의 1.6×10^{-7} 배의 거리보정의 필요성을 보여 주었다. 동일한 거리를 베셀타원체에 투영하였을 때와 지오이드면에 투영하였을 때, 우리나라에서 베셀타원체의 지오이드고가 남동부에서 -45 m, 중서부에서 -75 m임을 고려하면 km당 약 7-12 mm 정도의 차이를 보였다.

ABSTRACT

The straight spatial distance or geodesic distance on WGS84 ellipsoid measured by GPS should be reduced on geoid to be used in Korean Geodetic System. The factors for this reduction are geoidal height and mean radius of the earth. On this study the effects of these factors on reducing distance were analyzed and the result showed that mean geoidal height should be multiplied by 1.6×10^{-7} per unit distance for reducing geodesic distance on reference ellipsoid to that on geoid. Considering that the geoidal height on Bessel ellipsoid in Korea is -45 m in northeast and -75 m in middle west. It also showed that the difference of geodesic distance between on reference ellipsoid and on geoid is about 7-12 mm per km.

1. 서 론

측지계산의 기준이 되는 기준면에는 지오이드면과 기준타원체면이 있다. 측지측량의 결과는 타원체면상의 성과로 환산처리됨이 원칙이나 이 경우 측점의 표고와 지오이드고 또는 연직선편차를 알아야 한다는 현실적 어려움이 있다. 따라서 우리나라와 같은 기존의 측지방에서는 지오이드와 삼각점에서의 연직선편차가 결정되지 않은 상태로 활용되고 있기 때문에 측정량이 타원체면이 아닌 지오이드면에 투영되고 있다. 따라서 현행측량의 경우 지표면상에서 측정한 거리와 각도를 일단 지오이드면상의 값으로 산출한 후, 그 성과를 타원체에 그대로 전

개하는 전개법을 사용하고 있다.¹⁾

전개법에서는 최적타원체의 결정 등의 방법에 의하여 큰 오차를 최소화 할 수 있으나 우리나라에서 채택하고 있는 동경원점의 베셀타원체는 지오이드면과 일정한 경향으로 차이를 보이고 있다.

한편, 지구중심좌표계를 이용하고 있는 GPS 측량은 기준타원체면을 기준으로 하고 있기 때문에 이를 전개법이 적용되는 현행측량에 그대로 적용할 수 없으며 적절한 변환절차를 이용하여야 한다.

GPS 측량의 성과를 우리나라의 현행측량에 이용하기 위해서는 거리측량의 성과를 사용하는 것과 좌표변환을 사용하는 것이 있으며 이에 대한 학술적 연구는 90년대 초반부터 여러 연구자들에 의해 활발히 진행되었으며 주로 변환파라메타결정,^{2,4)} 측지좌표계의 재정립,⁵⁾ 정밀기선측량⁶⁾ 등에 집중되어 있다. GPS 측량으로 얻어진 WGS84 타원체에 투영된 거리를 지오이드면에 전개하기

*서울대학교 도시공학과 박사과정

**서울대학교 지구환경시스템공학부 조교수

***서울대학교 공학연구소 특별연구원

****서울대학교 도시공학과 석사과정

위한 변환식은 이미 “GPS에 의한 정밀 1,2차 기준점측량 작업규정”에 내규로 정해져 있다.

본 연구에서는 WGS84 지심좌표계의 성과를 지오이드 면상의 거리로 보정하는데 필요한 세 요소인 경사거리, 평균곡률반경, 표고(타원체고)가 계산에 미치는 영향을 파악하고, 또한 측정된 경사거리를 베셀타원체면에 투영했을 때와 지오이드면에 전개했을 때의 거리차를 비교하고자 한다.

2. 측정점간의 타원체상의 거리

두 측정점간의 경사거리와 표고(또는 타원체고), 평균곡률반경으로부터 타원체상에서의 거리 S_0 를 구하는 방법은 식(1)-(7)과 같다.^{7,8)}

cosine 제2법칙으로부터

$$l^2 = (R + h_A)^2 + (R + h_B)^2 - 2(R + h_A)(R + h_B) \cos \psi \quad (1)$$

이 되며, 또한

$$\cos \psi = 1 - 2 \sin^2 \frac{\psi}{2} \quad (2)$$

이 성립한다. 따라서 식(2)를 식(1)에 대입하여

$$l^2 = (h_B - h_A)^2 + 4R^2 \left(1 + \frac{h_A}{R}\right) \left(1 + \frac{h_B}{R}\right) \sin^2 \frac{\psi}{2} \quad (3)$$

를 얻는다.

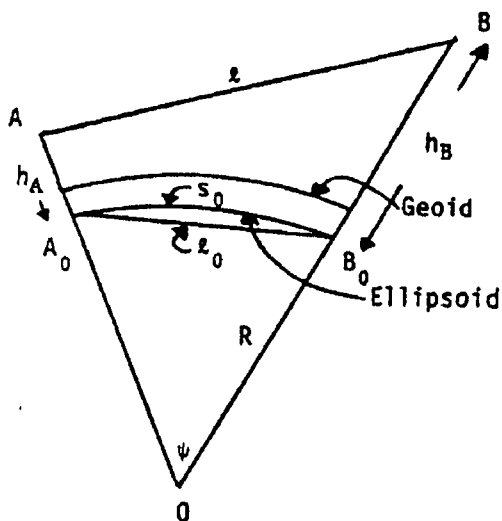


그림 1. 경사거리와 타원체거리

그림 1을 참조할 때, 다음의 식(4)가 성립하므로,

$$l_0 = 2R \sin \frac{\psi}{2} \quad (4)$$

식(3)은 식(5)와 같이 변형되고, 정리하면 식(6)이 된다.

$$l^2 = (h_B - h_A)^2 + \left(1 + \frac{h_A}{R}\right) \left(1 + \frac{h_B}{R}\right) l_0^2 \quad (5)$$

$$l_0 = \sqrt{\frac{l^2 - (h_B - h_A)^2}{\left(1 + \frac{h_A}{R}\right) \left(1 + \frac{h_B}{R}\right)}} \quad (6)$$

이에 타원체상의 거리 S_0 는

$$S_0 = 2R \sin^{-1} \left(\frac{l_0}{2R} \right) \quad (7)$$

이 된다.

3. 측정점간의 거리 계산 실험

점간의 타원체상에서의 거리를 계산하기 위하여 먼 거리에 놓인 5개의 삼각점 성과와 그 점에서의 GPS성과, 표고성과를 이용하여 거리계산을 하였다. 거리계산에 사용된 삼각점 성과는 전국을 단일망으로 구성하여 동시조정을 실시한 우리나라 정밀 1차 측지망의 실용성과이다.⁹⁾

그림 2에서는 본 연구에 사용된 삼각점의 위치를 나타내고 있는데, 삼각점 SR11이 5개의 삼각점들 중 가운데

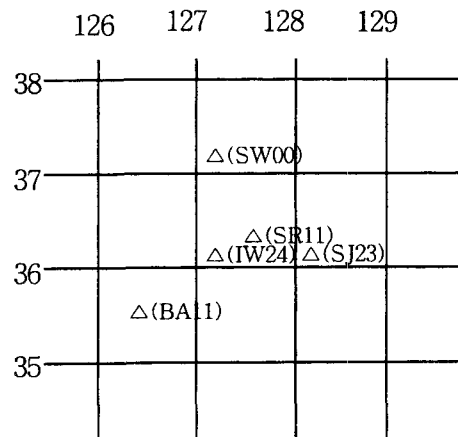


그림 2. 삼각점들의 경위도

표 1. 삼각점의 경위도, 표고

삼각점	위도	경도	표고
IW24	36 06 01.00467	127 33 44.08549	283.95
SR11	36 32 24.98110	127 52 22.74885	1058.44
SJ23	36 21 08.43932	128 06 45.60301	92.55
SW00	37 16 23.16836	127 03 22.44883	67.50
BA11	35 43 51.46664	126 38 27.32845	288.65

표 2. WGS-84 직교좌표와 타원체고

삼각점	X	Y	Z	타원체고
IW24	-3145200.833	4090014.510	3737636.297	309.341
SR11	-3149964.091	4050561.935	3777432.578	1084.900
SJ23	-3174047.033	4046487.966	3760085.094	119.985
SW00	-3062002.664	4055437.023	3841860.893	91.415
BA11	-3093382.611	4159345.628	3704454.253	313.812

표 3. 각 측점간의 경사거리

삼각점 A	삼각점 B	경사 거리
SR11	IW24	56240.00607
SR11	SJ23	29958.64683
SR11	SW00	109142.0492
SR11	BA11	142692.6475

에 위치하므로 이 점을 기준으로 나머지 4개의 삼각점과의 거리를 계산하였다. 각 점의 현행 경위도와 표고는 표 1과, WGS-84 직교좌표와 타원체고는 표 2와, 각 측점간의 경사거리는 표 3과, 그리고 짝지어진 관측점간의 Bessel 타원체와 WGS-84 타원체의 평균곡률반경은 표 4와 같다.

측점간의 거리 계산은 다음과 같은 네 가지 방법으로 하였다.

첫째, 경사거리와 표고, Bessel 타원체의 평균곡률반경을 이용하여 Bessel면과 지오이드면이 일치한다는 가정하에서 이루어지는 현행측량에서의 거리계산 방법, 둘째, 경사거리와 WGS-84 타원체고, WGS-84 타원체의 평균곡

률반경을 이용하여 WGS-84 타원체상에서의 거리를 구하는 방법, 셋째, 경사거리와 표고, 그리고 WGS-84 타원체의 평균곡률반경에 두 측점의 평균지오이드고를 더한 새로운 곡률반경을 이용하여, GPS성고를 현행성고로 전환하기 위한 거리계산 방법, 그리고 넷째, 경사거리와 표고, WGS-84 타원체의 평균곡률반경을 이용하여 거리를 계산하는 방법으로, 단지 실험적으로 수치결과를 보기 위해 시도된 방법이다.

본 연구에 사용된 경사거리는 각 측점에서 관측된 GPS 성고를 이용하여 구하였으며, 계산식은 식(8)과 같다.

각 측점에서의 WGS-84 3차원 직교좌표가 (X_1, Y_1, Z_1) , (X_2, Y_2, Z_2) 라 하면 두 점간의 경사거리 l 은

$$l = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2} \quad (8)$$

이다.

또한, 셋째 방법에 사용된 평균곡률반경은 WGS-84의 평균곡률반경에 두 측점에서의 WGS-84 지오이드고의 평균을 합하여 구한 새로운 반경으로, 식(9), (10)과 같이 구한다.

각 측점에서의 WGS-84 지오이드고는

$$H_A = h_A - h_A', H_B = h_B - h_B'$$

where, H_A, H_B : WGS-84 지오이드고

h_A, h_B : WGS-84 타원체고

h_A', h_B' : 표고

(9)

이다. 따라서 평균지오이드만큼 더한 새로운 평균곡률반경은

$$R' = R + H_m$$

where, $H_m = (H_A + H_B)/2$

(10)

이다. 앞에서 언급한 네 가지 방법에 의한 거리계산은 표 5-9에 상세히 보였으며, 표 10에서 각 경우를 비교하였다.

표 5-9의 네 가지 경우의 거리계산 결과를 비교해보면

표 4. Bessel과 WGS-84 타원체의 평균곡률반경

삼각점 A	삼각점 B	삼각점 성과의 평균 위도	WGS84 상의 평균위도	Bessel에서의 평균곡률반경	WGS84에서의 평균곡률반경
SR11	IW24	36.3200	36.3232	6370996.363	6371718.399
SR11	SJ23	36.4460	36.4492	6371085.887	6371808.205
SR11	SW00	36.9065	36.9096	6371414.116	6372137.397
SR11	BA11	36.1355	36.1386	6370865.501	6371587.053

표 5. 경사거리와 표고, Bessel 타원체의 평균곡률반경을 이용하는 방법의 계산 결과 (경우 1)

삼각점 A	삼각점 B	l^2	$(h_A-h_B)^2$	$R+h_A$	$R+h_B$	$l_0/2R$	S_0
SR11	IW24	3162938282.754	599834.760	6372054.803	6371280.313	0.004412869362462	56228.932
SR11	SJ23	897520519.885	932943.492	6372144.327	6371178.437	0.002349706815166	29940.395
SR11	SW00	11911986903.580	981962.084	6372472.556	6371481.616	0.008563868750119	109129.242
SR11	BA11	20361191650.560	592576.644	6371923.941	6371154.151	0.011197496421660	142678.469

표 6. 경사거리와 WGS-84 타원체고, WGS-84 타원체의 평균곡률반경을 이용하는 방법의 계산 결과 (경우 2)

삼각점 A	삼각점 B	l^2	$(h_A-h_B)^2$	$R+h_A$	$R+h_B$	$l_0/2R$	S_0
SR11	IW24	3162938282.754	601491.763	6372803.299	6372027.740	0.004412350246483	56228.689
SR11	SJ23	897520519.885	931060.957	6372893.105	6371928.190	0.002349433004071	29940.301
SR11	SW00	11911986903.580	987012.445	6373222.297	6372228.812	0.008562861119407	109128.789
SR11	BA11	20361191650.560	594576.704	6372671.953	6371900.865	0.01119618259090	142677.885

표 7. WGS-84 타원체의 평균곡률반경에 두 측점의 평균지오이드고를 더한 새로운 곡률반경

삼각점 A	삼각점 B	H_A	H_B	H_m	$R' = R+H_m$
SR11	IW24	26.460	25.391	25.926	6371744.325
SR11	SJ23	26.460	27.435	26.948	6371835.153
SR11	SW00	26.460	23.915	25.188	6372162.585
SR11	BA11	26.460	25.162	25.811	6371612.864

표 8. 경사거리와 표고, 그리고 WGS-84 타원체의 평균곡률반경에 두 측점의 평균지오이드고를 더한 새로운 곡률반경을 이용하는 방법의 계산 결과 (경우 3)

삼각점 A	삼각점 B	l^2	$(h_A-h_B)^2$	$R' + h_A$	$R' + h_B$	$l_0/2R'$	S_0
SR11	IW24	3162938282.754	599834.760	6372802.765	6372028.275	0.004412351402107	56228.932
SR11	SJ23	897520519.885	932943.492	6372893.593	6371927.703	0.002349430537391	29940.396
SR11	SW00	11911986903.580	981962.084	6373221.025	6372230.085	0.008562862933964	109129.243
SR11	BA11	20361191650.560	592576.644	6372671.304	6371901.514	0.011196183141930	142678.470

표 9. 경사거리와 표고, WGS-84 타원체의 평균곡률반경을 이용하는 방법의 계산 결과 (경우 4)

삼각점 A	삼각점 B	l^2	$(h_A-h_B)^2$	$R'+h_A$	$R'+h_B$	$l_0/2R'$	S_0
SR11	IW24	3162938282.754	599834.760	6372776.839	6372002.349	0.004412369353713	56228.932
SR11	SJ23	897520519.885	932943.492	6372866.645	6371900.755	0.002349440472834	29940.396
SR11	SW00	11911986903.580	981962.084	6373195.837	6372204.897	0.008562896778548	109129.243
SR11	BA11	20361191650.560	592576.644	6372645.493	6371875.703	0.011196228492350	142678.470

표 10. 네 가지 경우의 비교

삼각점 A	삼각점 B	경우(1)	경우(2)	경우(3)	경우(4)
SR11	IW24	56228.932	56228.689	56228.932	56228.932
SR11	SJ23	29940.395	29940.301	29940.396	29940.396
SR11	SW00	109129.242	109128.789	109129.243	109129.243
SR11	BA11	142678.469	142677.885	142678.470	142678.470

경우 (2)를 제외한 나머지 세 경우의 계산결과는 그 차이가 미미함을 알 수 있다. 특히 경우 (4)에서는 단지 수치적 결과를 보기 위해 경사거리, 표고, WGS84 타원체 평균곡률반경을 이용하였는데도 불구하고 경우 (1), 경우 (3)과 별 다른 차이를 보이지 않았다. 이는 식(7)에서 보는 바와 같이 반경 R과 $\sin^{-1}(l_0/2R)$ 이 역의 관계에 있어, 타원체상 거리 S_0 가 반경의 커지고 작아짐에 별다른 영향을 받지 않기 때문이다.

그런데 경우 (2)는 나머지 경우와 달리 유의한 차이를 보이고 있는데 이는 나머지 세 경우가 같은 표고를 사용함에 비해 경우 (2)는 WGS84의 타원체고를 사용했기 때문이다. 이 계산 결과를 통해 타원체상의 거리 계산 결과는 준거 타원체의 평균곡률반경보다는 표고(또는 타원체고)에 보다 큰 영향을 받음을 알 수 있었다. 따라서 타원체상에서의 거리를 계산함에 있어 동일한 경

사거리, 동일한 곡률반경을 사용한다고 해도, 표고를 사용하는가, 타원체고를 사용하는가에 따라 그 결과는 달라질 수 있다.

4. 표고를 이용한 거리와 타원체고를 이용한 거리간의 관계

동일한 경사거리와 동일한 평균곡률반경을 이용하여 두 측정점간의 거리를 구할 때, 타원체고를 사용하느냐, 표고를 사용하느냐에 따라 서로 다른 결과를 가져온다.

그림 1, 그림 3, 식(6), 식(7)을 참조할 때, 동일한 기준타원체상에서 측정에서의 기준타원체의 지오이드고를 N이라 하면, 표고를 이용한 거리 S_0 와 타원체고를 이용한 거리 S_0' 은 식(11)-(13)에 의해 식(14)와 같은 관계를 갖는다.

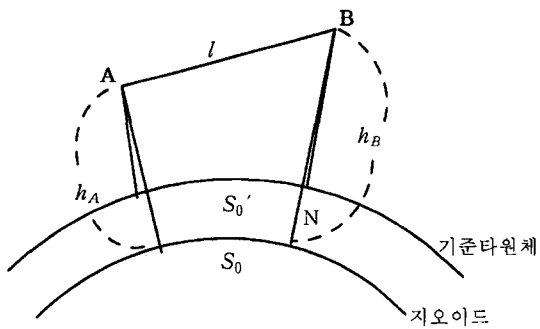


그림 3. 표고를 이용한 거리와 타원체고를 이용한 거리

$$l'_0 = \frac{\sqrt{l^2 - (h_B - h_A)^2}}{\sqrt{\left(1 + \frac{h_A - N}{R}\right)\left(1 + \frac{h_B - N}{R}\right)}} \quad (11)$$

$$\approx \frac{\sqrt{l^2 - (h_B - h_A)^2}}{\sqrt{\frac{(R - N)}{R}\left(1 + \frac{h_A}{R}\right)\frac{(R - N)}{R}\left(1 + \frac{h_B}{R}\right)}}$$

$$= \frac{R}{R - N} \cdot l_0$$

$$S'_0 = 2R \sin^{-1}\left(\frac{l'_0}{2R}\right) = 2R \sin^{-1}\left(\frac{1}{2R} \cdot \frac{R}{R - N} l_0\right) \quad (12)$$

표 11. 표고를 이용한 거리와 타원체고를 이용한 거리의 비

N	R	R _B (38)	R _W (38)	R _B (36)	R _W (36)
		6372199.70 m	6372923.21 m	6370769.57 m	6371488.62 m
10 m		1.000002	1.000002	1.000002	1.000002
20 m		1.000003	1.000003	1.000003	1.000003
30 m		1.000005	1.000005	1.000005	1.000005
40 m		1.000006	1.000006	1.000006	1.000006
50 m		1.000008	1.000008	1.000008	1.000008
60 m		1.000009	1.000009	1.000009	1.000009
70 m		1.000011	1.000011	1.000011	1.000011
80 m		1.000013	1.000013	1.000013	1.000013
90 m		1.000014	1.000014	1.000014	1.000014
100 m		1.000016	1.000016	1.000016	1.000016
110 m		1.000017	1.000017	1.000017	1.000017
120 m		1.000019	1.000019	1.000019	1.000019

S_0 와 S_0' 의 비는

$$\frac{S_0'}{S_0} = \frac{2R \sin^{-1}\left(\frac{1}{2R} \cdot \frac{R}{R-N} l_0\right)}{2R \sin^{-1}\left(\frac{1}{2R} \cdot l_0\right)} \quad (13)$$

이 된다. 이를 테일러 급수로 전개하여 정리하면,

$$\frac{S_0'}{S_0} \approx \frac{R}{R-N} \quad (14)$$

이다.

위도 36°, 38°에서의 Bessel 타원체와 WGS-84 타원체의 네 가지 평균곡률반경에 대해 기준타원체의 지오이드고 N 을 달리하면서 계산한 S_0'/S_0 는 표 11과 같다.

표 11에서 보는 바와 같이 ppm 단위로 비를 구했을 경우, S_0'/S_0 는 반경에 별다른 영향을 받지 않고 단지 N 에만 관련됨을 알 수 있다. 또한 식(14)를 테일러 급수 전개하여 식 (15)과 같은 간략식으로도 사용할 수 있다.

$$\frac{S_0'}{S_0} = \frac{R}{R-N} \approx 1 + \frac{N}{R} = 1 + 1.6 \times 10^{-7} \cdot N \quad (15)$$

5. 추정 Bessel 지오이드고를 이용한 거리비교

우리나라의 Bessel 지오이드고는 남동부에서 약 -45 m, 중서부에서 약 -75 m에 달하는 것으로 추정된다.¹⁰⁻¹²⁾ 따라서 표고를 이용하여 얻은 타원체상의 거리(S_0)위도 1~20 km에 대해 Bessel 지오이드고 N 을 45~75 m까지 변화시켜가면서 계산한 Bessel 타원체상에서의 거리(S_0')는 표 12와 같다.

표 12에서 변장 1 km에 대해 N 에 따라 S_0 와 S_0' 은

7~12 mm 정도의 차이를 보인다. 이는 거리 1 km에 대한 오차한도를 1 mm라 하였을 경우 의미가 있는 오차로 볼 수 있으며, 비록 그 양이 미미하다고 하여도 계통적 오차에 해당하므로 누적되었을 경우 우연 오차보다 더 치명적인 영향을 미친다.^{13,14)}

6. 결 론

본 연구에서는 GPS로부터 관측되어 WGS84 타원체에 투영된 거리를 현행 측량에서 사용하는 지오이드면으로 전개시킬 때 고려해야 되는 요인들의 영향을 분석하였으며, 경사거리를 동경원점의 베셀타원체에 투영하였을 때와 현행의 지오이드면에 전개하였을 때의 거리를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) WGS84 타원체에 투영된 거리를 지오이드면으로 전개시 지오이드고의 영향을 고려해야 하며, 단위거리당 지오이드고의 1.6×10^{-7} 배의 거리보정이 필요하다.
- 2) 평균곡률반경은 위도에 따라 그 크기가 달라지지만 거리보정에 미치는 영향이 미미하여 우리나라 내에서는 위도가 달라져도 지오이드고에 따른 거리보정량이 1 ppm의 정확도에서는 동일한 것으로 나타났다.
- 3) 우리나라의 베셀타원체의 지오이드고는 남동부에서 -45 m, 중서부에서 -75 m에 달하여, 변장 1 km당 베셀타원체에 투영하였을 때와 지오이드면에 전개하였을 때 약 7~12 mm 정도의 차이를 보인다.

참고문헌

1. 이영진, “3차원 기선벡터망 조정기법에 의한 국가기본점의 성과산정(KTRF94)”, 한국측지학회지, 제16권, 제1호, 1998, 85~94.
2. 권대원, 윤홍식, 최재화, “7-매개변수 좌표변환에 의한

표 12. Bessel 타원체상에서의 거리

N	S_0					
	1000 m	3000 m	5000 m	10000 m	15000 m	20000 m
45 m	1000.007	3000.021	5000.035	10000.07	15000.11	20000.14
50 m	1000.008	3000.024	5000.039	10000.08	15000.12	20000.16
55 m	1000.009	3000.026	5000.043	10000.09	15000.13	20000.17
60 m	1000.009	3000.028	5000.047	10000.09	15000.14	20000.19
65 m	1000.010	3000.031	5000.051	10000.10	15000.15	20000.20
70 m	1000.011	3000.033	5000.055	10000.11	15000.16	20000.22
75 m	1000.012	3000.035	5000.059	10000.12	15000.18	20000.24

- 우리나라 측지계와 WGS-84의 좌표변환”, 한국측지학회지, 제13권, 제2호, 1995, 117~124.
3. 박필호, 한인후, 이용창, 강준묵, “GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS84의 좌표변환(I)”, 한국측지학회지, 제10권, 제1호, 1992, 41~50.
 4. 박필호, 박종욱, 강준묵, “GPS 실용화를 위한 우리나라 측지계와 WGS84의 좌표변환(II)”, 한국측지학회지, 제11권, 제1호, 1992, 37~45.
 5. 최재화, 김세길, 최윤수, “우리나라 삼각점 실용성과 산정에 관한 연구”, 한국측지학회지, 제8권, 제1호, 1990, 1~13.
 6. 박필호, 박종욱, 조정호, “GPS 위성의 정밀궤도력에 의한 기선결정의 정밀도 향상에 관한 연구”, 한국측지학회, 제14권, 제2호, 1996, 199~207.
 7. Richard H. Rapp, “Geometric Geodesy”, The Ohio State University, Columbus, 1989, 147~148.
 8. 대한측량협회, “측량관계법령집”, 1998, 631.
 9. 국립지리원, “정밀 1차망의 실용성과 산정에 관한 연구”, 1994
 10. 양철수, “GPS workshop 5차”, GPS 기술 협의회, 1998, 564.
 11. 이영진, “베셀타원체 기준의 남한지역 지오이드 모델 (KGM95)”, 한국측지학회지, 제13권, 제2호, 1995, 125~133.
 12. 이석배, “베셀타원체상에서의 한반도 지오이드 모델의 개발”, 한국측지학회, 제16권, 제2호, 1998, 213~224.
 13. Vanicek, P. and E. Krakiwsky, “Geodesy: The Concepts”, North Holland, 1982, 349~350.
 14. Bomford, G., “Geodesy”, Oxford, 1980, 159.