

GRS80타원체로의 지도변환과 좌표변화량 분석 Analyses of Coordinates Differences in GRS80 Map Transformation

이영진* · 차득기** · 김상연***

Lee, Young-Jin · Tcha, Dek-Kie · Kim, Sang-Yun

요 旨

현재 우리나라의 수치지도에서는 동경원점계에 의한 Bessel타원체 좌표계를 사용하고 있으므로 새로운 지구중심좌표계(ITRF)에 의한 GRS80타원체 좌표계와는 상당한 차이가 발생하게 된다. 본 연구에서는 새로운 좌표계의 도입에 따른 지도좌표계의 전환에 대비할 수 있도록 하기 위하여 두 체계간의 좌표차와 도엽체계에 대한 특성과 경향을 파악하고, 두 좌표계간의 지도좌표계 전환모듈을 제시하였다.

ABSTRACT

The map coordinate systems of Korea, based on the Bessel 1841 ellipsoid with Tokyo Datum, applied in digital mapping. So, the new geocentric system have some coordinate differences compared to GRS80 ellipsoid with the International Terrestrial Reference Frame(ITRF). Therefore, map transition procedures are needed to establish for the new coordinate system. In this paper, characteristics and tendencies about coordinate differences and map tiles systems are investigated and modules for the map coordinate transformations between two systems are developed and simulated.

1. 서 론

현재의 국가기준점 체계는 기본적으로 동경원점계에 의한 지역좌표계로서 1910년대 토지조사사업의 일환으로 실시된 기준점 체계와 성과관리 체계를 유지 계승해오고 있다. 그 당시 국내의 삼각망은 일본의 삼각망으로부터 연결된 관계로 동경원점에서 천문관측을 실시하여 Bessel 타원체에 고정시킨 영향이 그대로 파급되고 있다. 일본 측지좌표계가 지구의 중심으로부터 어긋나 있음은 널리 알려진 사실로서 우리나라를 포함한 일본의 천문연직선 편차 벡터는 거의 모두 북서로 10" 이상 이격된 상태이다. 이러한 Bessel타원체는 우리나라 부근의 지오이드에 적합하지 않으며, 연직선 편차가 크고 세계측지계와는 큰 편차를 보이고 있어 현 국가기준점체계는 시대 발전에 발맞추기에는 그 한계가 있음이 명백하다.

또한 평면좌표계에서 채택한 원점체계는 경도 2°간격마다 중앙자오선을 설정한 세 원점과 제주, 울릉지역 원점인 5개의 평면원점계를 가지고 있다. 이는 자치단체 단위

로 수행되는 여러 사업에서 서로 다른 원점의 데이터를 사용해야 하는 불편함과 경도의 +10.405"문제, 수치지도의 데이터베이스 관리체계에 관한 많은 문제점을 안고 있다.⁵⁾

따라서 국립지리원에서는 현재의 타원체 좌표계가 지니고 있는 여러 가지 미흡함을 극복하고 21세기 과학화·정보화에 대비하고자 지구중심좌표체계(geocentric coordinate system)인 「한국측지좌표계2000」으로의 전환을 추진중이다.

새로운 「한국측지좌표계2000」의 원점은 지구의 질량중심으로 하여 VLBI관측에 의해 구해진 국제지구기준좌표계(International Terrestrial Reference Frame; ITRF)의 성과를 이용하고, 기준타원체로는 GRS80타원체가 채택될 예정이다.

또한 새로운 평면좌표체계는 경도 127° 30'을 중앙자오선으로 하고 적도가 서로 만나는 점을 투영정점으로 하는 단일원점계로서 북방향을 N축으로하여 투영정점에 대한 평면좌표가산값(false Northing)은 +0.000 m를, 동방향을 E축으로하여 투영정점에 대한 평면좌표가산값(false Easting)은 +500,000 m를 가정하는 하나의 (안)이 제시되고 있으나 법률적으로 확정된 것은 아니다.^{2,7)}

본 연구에서는 현 Bessel타원체와 새로 도입될

*경일대학교 공과대학 측지공학과 교수

**경일대학교 공과대학 측지공학과 강사

***경일대학교 대학원 측지공학과

GRS80타원체간의 좌표차와 도엽체계를 유형별로 분석하여 특성과 경향을 파악하고, 지도좌표계 전환 모듈을 제시하는데 목적이 있다.

2. 지도좌표계 변환

2.1 엄밀 변환

하나의 지도 투영에서 또 다른 투영으로 변환하는 것은 기본적으로 평면상의 한점을 또 다른 평면의 같은 점으로 좌표를 변경하는 것이다. 그 기본식은 다음과 같다.¹⁰⁾

$$\begin{aligned} x &= f_1(\phi, \lambda), y = f_2(\phi, \lambda) \\ X &= F_3(\phi, \lambda), Y = F_4(\phi, \lambda) \end{aligned} \quad (1)$$

변환을 수행하는 방법으로는 기본적으로 엄밀변환(analytical transformation)과 직접변환(map-to-map transformation)이 있다.

변환의 목적은 원 지도를 근거로 수치화 된 좌표의 위치를 측지좌표로 다시 바꾸는 것이다. 반대로 이것은 새로운 지도를 위한 투영 좌표를 결정하기 위해서도 사용된다. 타원체좌표에서 평면 좌표로 변경하는 정방(forward)해법과 평면좌표에서 다시 타원체좌표를 결정하는 역(inverse)해법이 필요하다.

원래의 투영법을 위한 함수적인 표현식중에서 가장 단순한 변환 모델은 다음과 같다.

$$(x, y) \xrightarrow{\text{역해법}} (\phi, \lambda) \xrightarrow{\text{정방해법}} (X, Y) \quad (2)$$

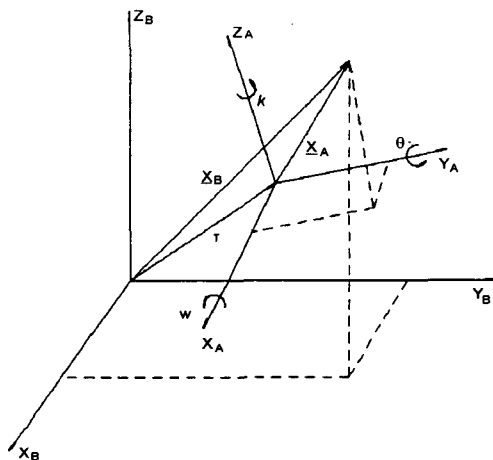


그림 1. Helmert-Wolf 모델

그림 1은 측지계 원점변환 모델로서 대표적으로 이용되고 있는 Helmert-Wolf모델을 보여주고 있으며, 식 (2)에서 타원체간의 원점변환(datum transformation)을 필요로 하는 경우에는 보다 엄밀한 절차에 따라 다른 평면좌표를 산출할 수 있다.^{3,6)}

$$\begin{aligned} (x, y) &\rightarrow (\phi, \lambda) \rightarrow (X, Y, Z) \\ &\quad \downarrow \text{원점변환} \\ (X, Y) &\leftarrow (\phi', \lambda') \leftarrow (X', Y', Z') \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 직접 변환

직접변환방법은 엄밀변환의 과정을 거칠 필요가 없고 두 평면좌표계에 있는 공통점의 직각좌표 사이의 관계에 기초한 것이다. 여기에 대한 표준 변환 모델은 다음과 같다.^{10,12)}

$$(x, y) \rightarrow (X, Y) \quad (4)$$

원래의 투영법에 대한 엄밀한 계산식을 모르거나 불확실할 때, 그리고 $(x, y) \rightarrow (\phi, \lambda)$ 관계를 계산하는 것이 불가능할 때도 직접 수치 변환이 필요하다. 높은 차수의 다항식을 필요로 하는 변환 유형은 일반적으로 보다 정확한 결과를 요구하는 경우이거나 두 곡면 사이의 관계가 특히 복잡한 경우이며, 보다 단순한 경우에는 일차 변환으로 충분할 것이나 횡원통투영법(TM) 처리와 관련해서는 2차 또는 3차 다항식이 필요하다.

먼저 두 지도좌표계(X, Y)와 (x, y)에 대하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$(X + iY) = \sum (a_k + ib_k)(x + iy)^k \quad (5)$$

위의 식에서 $k = 1$ 로 하여 실수와 허수부분으로 나누면 식은 2차원 등각변환식(Helmert transformation)이 된다.

$$\begin{aligned} X &= a_0 + a_1x - b_1y \\ Y &= b_0 + b_1x + a_1y \end{aligned} \quad (6)$$

$k = 2$ 로 두면 식 (5)는 2차 다항식의 기본식이 된다.

$$\begin{aligned} X &= a_0 + a_1x - b_1y + a_2(x^2 - y^2) - b_2xy \\ Y &= b_0 + b_1x + a_1y + b_2(x^2 - y^2) + a_2xy \end{aligned} \quad (7)$$

2차원 사영변환(projective transformation)은 어떤 2차원 좌표계가 다른 평행하지 않은 좌표계에 투영할 때 사

용하기에 적당하다. 기본식은 식 (8)과 같으며, a_3 와 b_3 가 0(zero)일 때 어떤변환과 동일함을 알 수 있다.^{11,12)}

$$\begin{aligned} x' &= \frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_3x + b_3y + 1} \\ y' &= \frac{a_2x + b_2y + c_2}{a_3x + b_3y + 1} \end{aligned} \quad (8)$$

3. 경위도와 지도좌표변화량 분석

3.1 좌표계변환

본 연구에서는 Bessel타원체좌표(B, L)와 GRS80타원체좌표(P, L)간의 좌표변화량 분석을 위하여 원점변환 식으로 Helmert-Wolf식을 이용하였다. 이 식에는 1997년도 국립지리원의 연구결과인 변환요소를 적용하였다.⁴⁾ 좌표계산에 적용된 모델은 식 (9)와 같으며 여기서 R은 회전

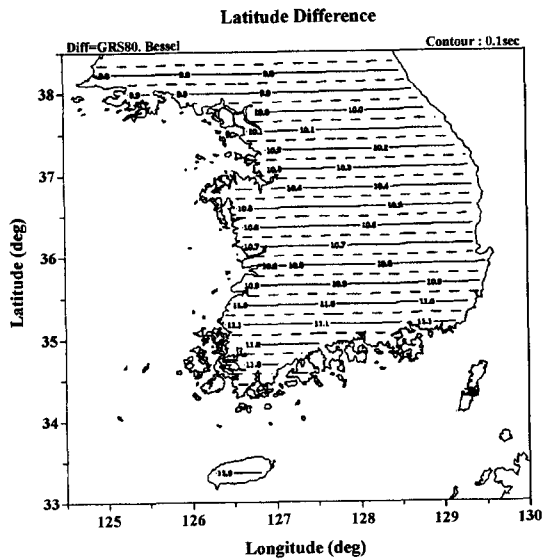


그림 2. 위도에 따른 위도차 (unit : sec)

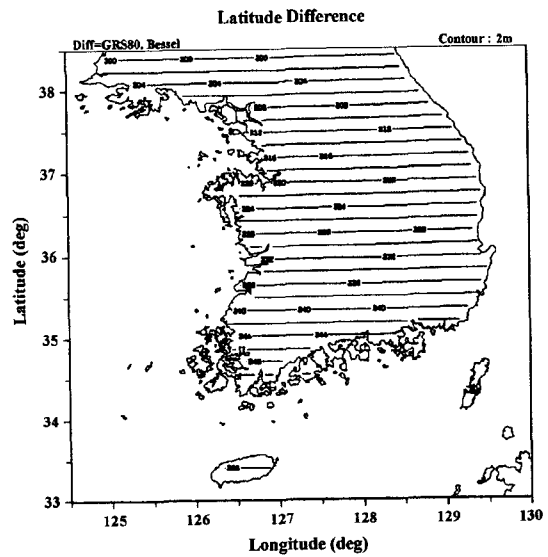


그림 4. 위도에 따른 경도차 (unit : m)

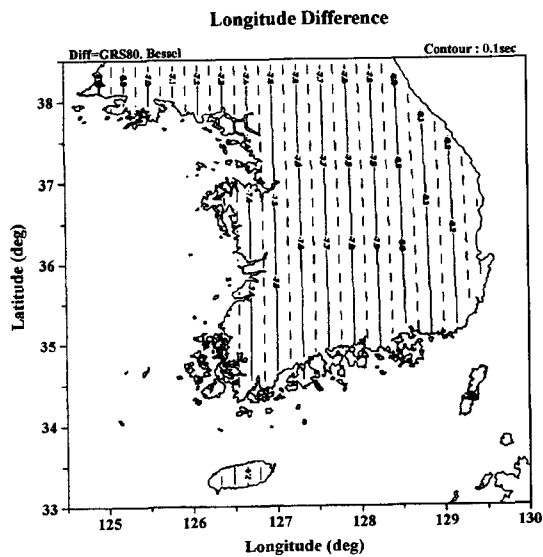


그림 3. 경도에 따른 경도차 (unit : sec)

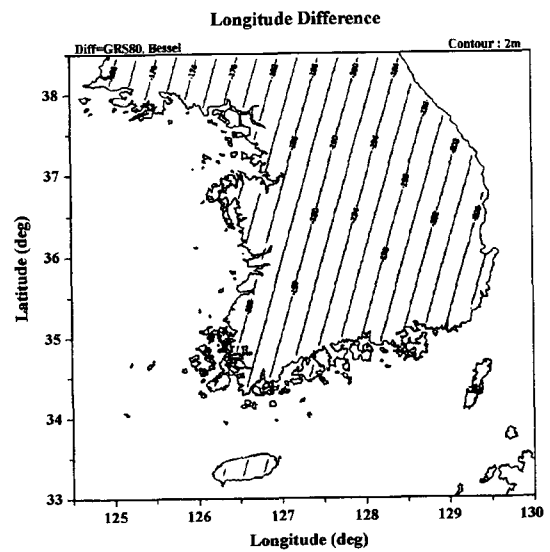


그림 5. 경도에 따른 경도차 (unit : m)

행렬이다.^{8,9)}

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_B = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} + (1 + \lambda)R \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_A \quad (9)$$

좌표차의 분석에서는 Bessel타원체의 위도 33°~38° 30' 과 경도 124°30'~130°사이의 위·경도 10' 간격의 총 1089점을 추출하여 GRS80타원체에 대해 7변수변환모들에 의해 변환을 수행한 결과로 두 타원체간의 위도차와 경도차에 대해 초단위와 미터단위로 각각의 변동량을 추출하였으며, 변동량에 대한 위치의 이동량을 추출한 결과는 그림 2~그림 6과 같다.

그림 2와 그림 3은 0.1" 간격의 변화량을 보여주고 있다. 이 결과로 볼 때 위도차 $d\phi$ 는 적도방향으로 증가하여 9.7"~11.4"의 변동량을 보였으며, 경도차 $d\lambda$ 는 동으로 증가하여 -8.4"~-6.8"의 변동량을 보임을 알 수 있다.

그림 4와 그림 5은 2m간격의 변화량을 보여주고 있다. 이 결과를 보면 위도에 따른 좌표차 dN 는 북에서 남으로 증가하는 경향을 보이며, 그 크기는 300m~350m의 좌표차이고, 경도에 따른 좌표차 dE 는 남동방향으로 -210m~-165m의 좌표차의 증가를 볼 수 있다.

그림 6에서는 Bessel타원체와 GRS80타원체간의 위도 방향의 좌표차 dN 과 경도방향의 좌표차 dE 의 조합에 따

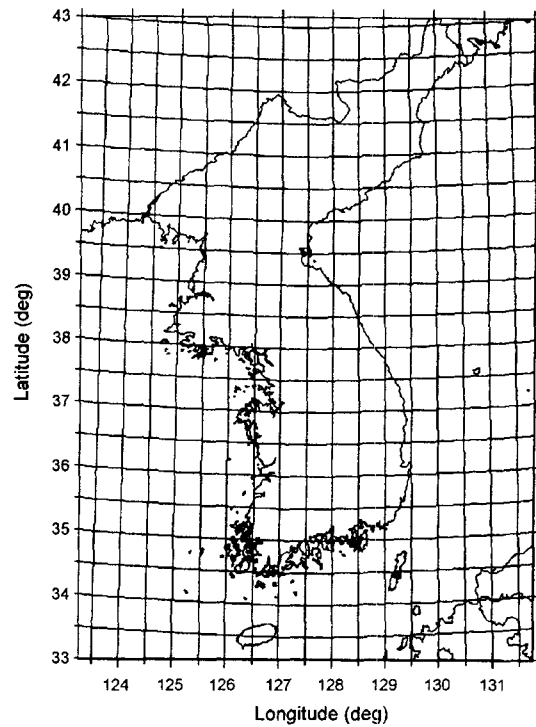


그림 7. 현행 경위도 평면좌표계(축척 1:100K)

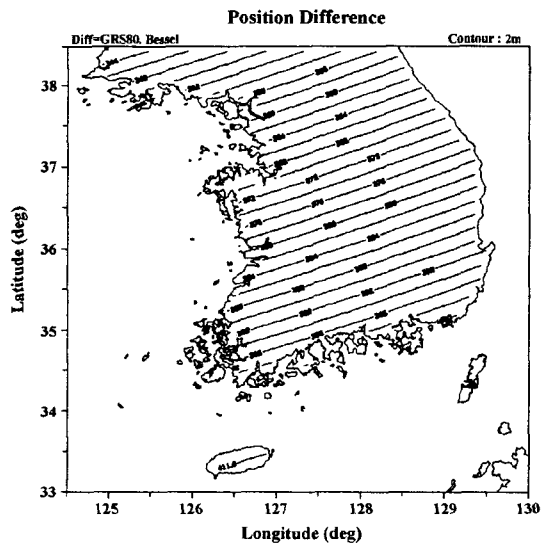


그림 6. 위·경도에 따른 위치 이동량(unit : m)

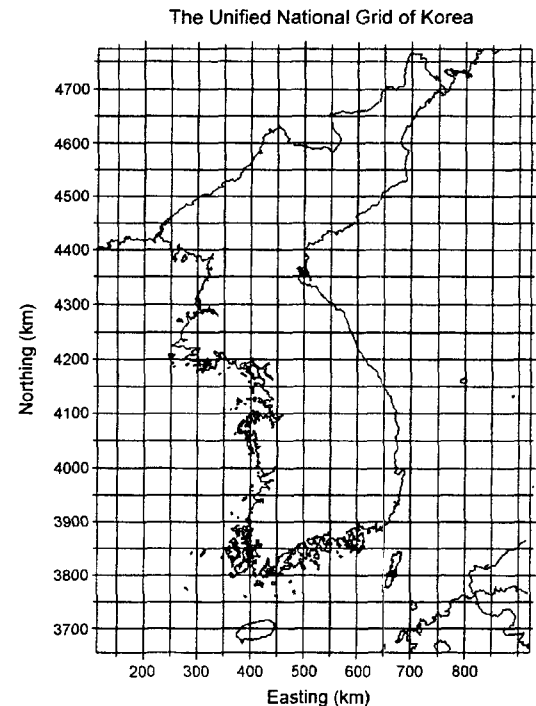


그림 8. 단일 원점계의 NE격자(축척 100K)

른 위치 이동량을 추출하여 그 결과를 도시한 그림을 보여 주고 있다. 그림 6을 살펴보면 남한전역에서의 위치 이동량은 북서쪽에서 남동쪽으로 증가하여 최소 340 m에서 최대 410 m가량 이동하는 경향을 볼 수 있다.

3.2 현 · 신도엽체계의 분석

그림 7은 현재 국내 지도좌표계에서 채택하고 있는 경위도 도곽기준의 도엽체계를 보여주고 있으며, 그림 8에서는 단일 지도좌표계에 의한 새로운 종횡선 기준의 도엽체계를 보여주고 있다. 그림 8의 도엽체계는 적도를 기준으로하고 있기 때문에 우리나라 위도 38°선이 약 4200 km의 N좌표가 됨을 보여주고 있고 E좌표의

500 km는 127° 30' 자오선이 됨을 알 수 있다.

그림 7은 현행 Bessel타원체의 BL평면좌표계에 대하여 축척 1:100,000지도에 30'×30' 간격으로 도곽이 설정되어 있다.

그림 8은 새로운 축척 1:100,000의 도엽체계로서 기존의 Bessel타원체의 BL좌표로 이루어진 BLN파일을 7번 수 변환모듈을 거쳐 GRS80타원체의 NE좌표로 추출하여 이를 도시한 후에 단일원점계에서의 NE도곽(50 km×50 km)을 구성하였다.

그림 9는 축척 1:250,000의 도엽체계로서 단일원점계로 이루어진 NE도곽(100 km×100 km)위에 BL격자를 중첩시켜 구성하였다. 여기서 작성된 등고선도는 DEM을

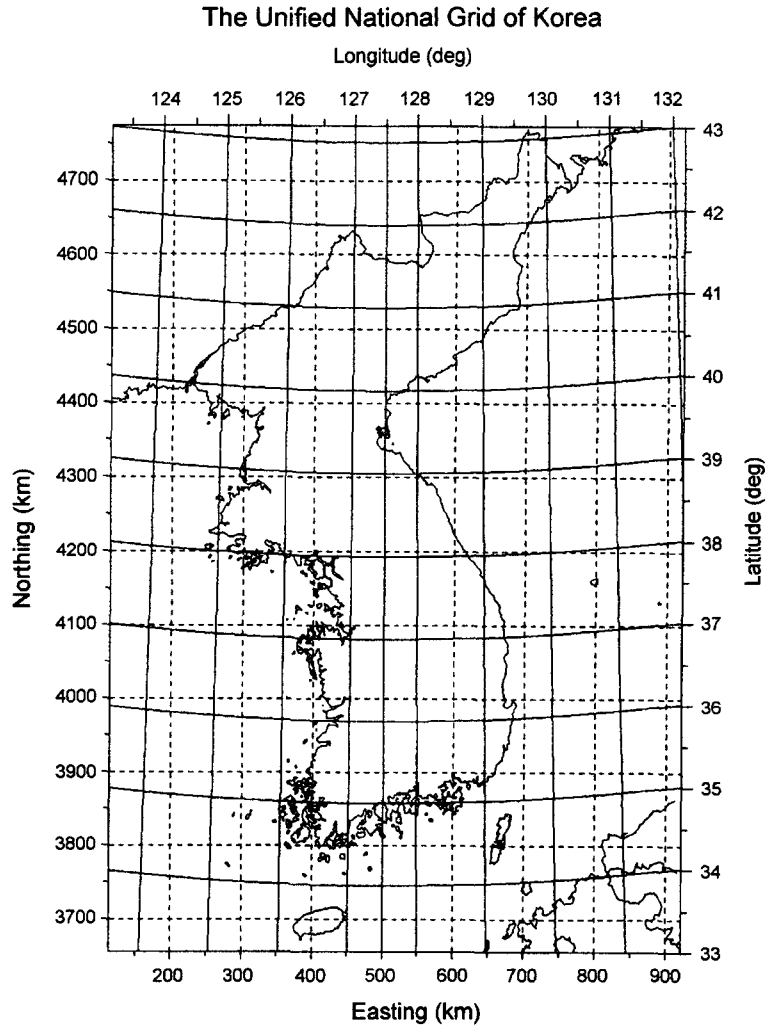


그림 9. NE격자와 BL격자의 도엽중첩(단일원점체계)

이용하는 방식에 의해 처리되었으며¹⁾ 모두 SURFER프로그램에 의해 작성되었다.

4. 지도좌표계전환 프로그램

4.1 프로그램구성

본 프로그램은 비주얼 프로그래밍툴(Visual Basic)을 사용하여 개발한 지도좌표계전환용 프로그램이다. 프로그램은 하나의 실행파일(TRANS.EXE)로 구성되어 있다.

TRANS 프로그램은 직접변환에 관한 Helmert, Affine, Projective, 2nd Polynomial변환과 임밀변환에 관한 7변수변환, $xy \rightarrow BL \rightarrow X', Y'$ 및 단계별 좌표변환모듈을 지원한다. 프로그램내에 별도의 Help메뉴얼은 지원되지 않으며, 사용방법은 본 내용을 참조하면 큰 지장이 없을 것이다.

먼저 프로그램을 실행하면 메인창(Main window)이 생성된다. 메인창은 Direct trans, Analytical trans, Option 등의 팝업(Popup)메뉴가 표시되어 있다(화면 1). Option의 Fix는 출력값의 자릿수를 정의하는 메뉴이다.

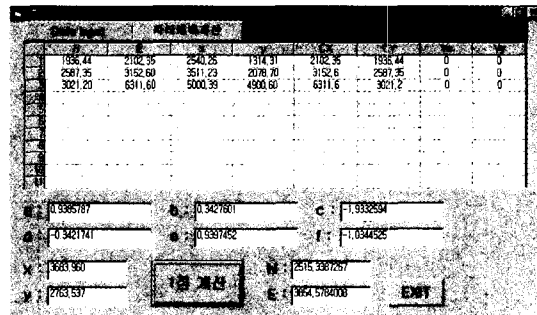


화면 1. Trans 메인 창

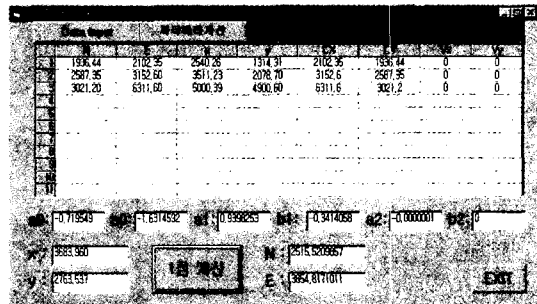
4.2 변환모듈

직접변환에 관한 모듈은 메인창에서 Direct trans 팝업메뉴내의 Helmert(화면 2), Affine(화면 3), 2nd Polynomial(화면 4), Projective(화면 5) 메뉴로 구성되어 있으며, 이 4모듈은 기본적으로 입력창과 변환요소 계산, 1점변환을 지원하고 있다. 변환요소계산과 1점 계산에 앞서 Data Input을 클릭하여 입력창의 값을 입력한 후에 변환요소계산을 클릭하고 1점 변환을 수행한다.

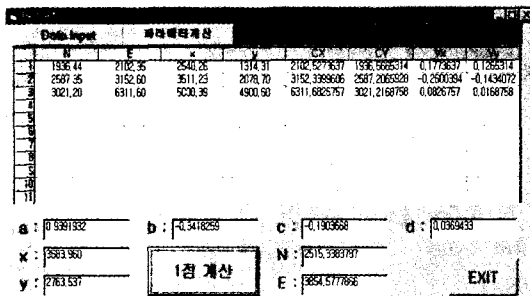
직접변환모듈에서는 입력창의 사용시에는현좌표 x, y



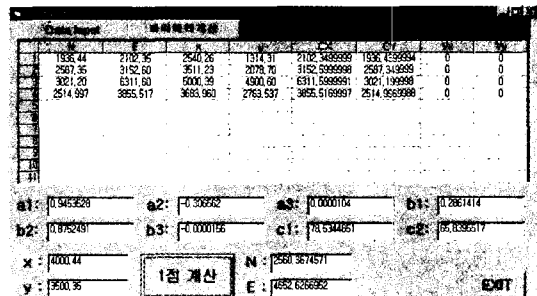
화면 3. Affine변환 창



화면 4. 2nd Polynomial변환 창



화면 2. Helmert변환 창



화면 5. Projective변환 창

x, y		X', Y'	
X	-253710.172	X	3955685.6761012
Y	-43167.730	Y	-89198.5511787
입력기준타원체		출력기준타원체	
Bessel		GRS 80	
a	6377397.15507604	a	6378137
b	6356078.98289778	b	6358752.31414035
입력원점		출력원점	
127.0010405		127.30	
계산		Exit	

화면 6. xy → BL→X'Y'변환 창

입력기준타원체		출력기준타원체	
a	6377397.15507604	a	6378137
b	6356078.98289778	b	6358752.31414035
Input B,L,h		Output B,L,h	
B	35.5831138	B	35.5841905454735
L	128.1954737	L	128.194679816698
h	417.06	h	497.448482009582
[타원체좌표계 → 지구중심좌표계]			
변환		Reset	End

화면 7. 7변수변환 창

와 신좌표 X, Y를 입력하며, 현좌표에 중량이 주어질 경우 Sx, Sy 텍스트창에 x, y에 각각 입력하며, 중량이 동일하거나 주어지지 않을 경우 체크박스를 클릭하면 동일한 중량으로 처리한다.

엄밀변환에 관한 모듈은 메인창에서 Analytical transformation 메뉴의 7변수일괄처리, xy → BL→XY, 단계별 변환을 지원한다. 엄밀변환에서는 Bessel타원체와 GRS80 타원체간의 변환을 주 대상으로 하고 있다.

xy →BL→X'Y' 변환모듈은 입력원점, 출력원점, 입력 기준타원체 출력기준타원체를 정의한 다음에 현 x, y좌표를 입력한 후 변환을 수행한다(화면 6). 7변수변환모듈은 변환유형을 선택하고 현 타원체 좌표 B, L, h를 입력하면 변환이 수행된다(화면 7).

4.3 프로그램의 적용

본 연구에서 작성된 프로그램을 적용하여 현행 Bessel

표 1. 하양도엽의 위·경도 좌표차(좌표계전환시)

	B	L	위도좌표차	경도좌표차
1	36° 00' 00"	128° 45' 00"	331.616m	-202.368m
2	36° 00' 00"	128° 52' 30"	331.639m	-203.308m
3	36° 52' 30"	128° 52' 30"	333.247m	-203.597m
4	36° 52' 30"	128° 45' 00"	333.225m	-202.657m

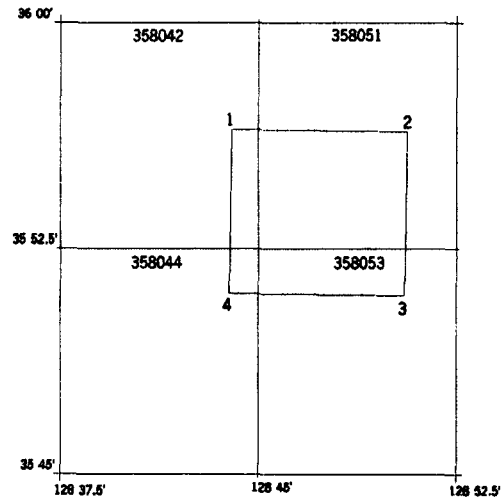


그림 10. GRS80타원체 도엽의 위치(Bessel타원체기준)

계로부터 새로운 GRS80 도엽체계와의 관계를 계산하여 도엽체계의 변경하는 사례를 검토하였다. 대상지역은 현재 사용되고 있는 축척 1:25,000 경북 하양도엽을 대상으로 하였다.

Bessel타원체상의 하양도엽을 GRS80타원체좌표계로 전환했을 때 그 좌표차는 위도방향으로 평균 333 m, 경도방향으로 평균 -202 m가 이동함을 알 수 있다(표 1).

본 연구에서는 기존의 도엽을 새로운 신좌표계 도엽으로 재구성하기 위해 경상북도 경산시 경일대학교 일대의 1:25,000지도(7.5°×7.5') 1도엽을 신좌표계의 NE(중횡선) 좌표로 변환하여 그 위치에 맞는 신좌표계의 1:25,000지도(10 km×10 km) 1도엽을 추출하였다(표 2).

본 연구에서 작성한 프로그램 TRANS를 사용하여 변환에 의해 새로이 추출된 중횡선좌표계의 1도엽으로부터 역해법에 의해 Bessel타원체 기준의 현행지도체계로 다시 표현할 수 있다. 따라서 그림 10에서와 같이 현행 지도도엽체계에서 새로운 도엽체계로 재구성될 수 있다.

표 2. 신 도엽좌표의 현 Bessel타원체 좌표

현 도엽좌표		신 도엽좌표		
No.	B L	P L		
1	35° 56' 27"	128° 43' 59"	35° 56' 38"	128° 43' 51"
2	35° 56' 23"	128° 50' 38"	35° 56' 34"	128° 50' 30"
3	35° 50' 58"	128° 50' 32"	35° 51' 09"	128° 50' 24"
4	35° 51' 03"	128° 43' 54"	35° 51' 13"	128° 43' 46"
No.	X Y		N E	
1	271540.080	175646.095	3980000.000	110000.000
2	271387.413	185647.451	3980000.000	120000.000
3	261390.227	185495.014	3970000.000	120000.000
4	261542.562	175493.652	3970000.000	110000.000

5. 결 론

본 연구에서는 새로운 좌표계의 도입에 따른 지도좌표계의 전환에 대비할 수 있도록하기 위하여 두 체계간의 좌표차와 도엽체계에 대한 특성과 경향을 파악하였고, 두 지도좌표계간의 지도좌표계전환 모듈을 제시하였다.

남한 지역을 대상으로 할 때 현행 동경원점계인 Bessel타원체에서 새로운 ITRF원점의 GRS80타원체로 지도좌표계 변환시 경위도좌표에 대한 변화량은 경도방향으로 -8.4"(-210 m)~ -6.8"(-165 m)의 좌표차와 위도방향으로 9.7"(300 m)~ 11.4"(350 m)의 좌표차를 보였으며, 좌표차에 따르는 위치의 이동은 남동방향으로 340 m에서 410 m의 경향을 보여주고 있다.

또한 기존 도엽체계에서 새로운 도엽체계로의 전환

을 위한 지도좌표계 전환프로그램(TRANS.EXE)이 개발되었으며, 이를 사용하여 현재의 경북 하양도엽을 예로 적용하였다. 이 결과에서는 위도방향으로 333 m, 경도방향으로 -202 m 이동하고 있는데 그 크기는 지역별로 경위도에 따라 달라지고 있음을 확인하였다.

참고문헌

1. 백은기, 이영진, "등고선도 자동작성에 관한 실험적 연구", 한국측지학회지, 제2권, 제1호, 1984, 46-53.

2. 이영진, 조규진, 김원익, "한국측지좌표계의 재정립에 대한 연구", 한국측지학회지, 제14권, 제2호, 1998, 141-150.

3. 이영진, "한국측지좌표계와 지구중심좌표계의 재정립에 관한 연구(I)", 국립지리원, 1996, 1-30.

4. 이영진, "한국측지좌표계와 지구중심좌표계의 재정립에 관한 연구(II)", 국립지리원, 1997, 5-18.

5. 이영진, "수치지도좌표계에 관한 연구", 국립지리원, 1998, 99-110.

6. 이영진, "Geodetic Positioning", 경일대학교, 1998.

7. 이영진, "GIS/LIS와 수치지도용 국가평면좌표계에 관한 연구", 한국측지학회지, 제16권, 제2호, 1998, 299-309.

8. Harvey, B. R., 'Practical Least Squares and Statistics for Surveyors', School of Geomatic Engineering UNSW., 1995, 228-224.

9. Hofmann-Wellenof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System; theory and practice(4th ed.)", Springe-Verlag, 1997, 295-299.

10. Maling, D. G., "Coordinate Systems and Map Projections (2nd ed.)", Pergamon Press, pp. 27-46, pp. 408-429, 1992.

11. Moffitt, F. H. and E. M. Mikhail, "Photogrammetry (3rd ed.)", Harper & Row, 1980, 589-594.

12. Wolf, P. R. and C. D. Ghilani, "Adjustment Computations; statistics and least squares in surveying and GIS", John Wiley & Sons, pp. 335-356, 1997.