

WGS-84 측지계의 해도와 육도 적용에 관한 고찰

A Research for the Adoption of

WGS-84 Geodetic Datum to the Chart and the Map

1996 . 4 . 20

해군사관학교 항해학과

교수 임 정 빈

WGS-84 측지계의 해도와 육도 적용에 관한 고찰

A Research for the Adoption of WGS-84 Geodetic Datum to the Chart and the Map

임 정 빈*
Jeong-Bin, Yim*

목 차

Abstract	3.1 측지계
1. 서론	3.2 WGS84 측지계 변환
2. 육도와 해도의 도법	4. 측지계변환에 따른 지형정보의 변동
2.1 도법의 개념	4.1 한반도의 지형 변동
2.2 점장도법	4.2 독도와 오키제도까지의 거리 변동
2.3 UTM도법	5. 결 론
3. 측지계 변환	참고문헌

* 정회원, 해군사관학교 항해학과 전임강사

요 약

본 연구는 Bessel 측지계에서 WGS-84 측지계로 좌표변환할 경우 발생할 수 있는 우리나라 지형정보의 변동을 고찰한 것이다. 고찰 대상은 우리나라 지형형태와 독도와 일본의 오키제도 사이의 거리로 하였다.

Bessel 측지계에서 WGS-84 측지계로 좌표변환한 결과는 다음과 같다.

- 1). Mercator 도법에서, 임의로 선정한 정사각형의 우리나라 주변 지형은 고위도에서 축소되면서 부채꼴 모양으로 변형되는 결과를 나타내었다.
- 2). UTM 도법에서, 우리나라 남동부권 연안의 52S 지역중에서 임의로 선정한 정사각형 지형은 가로가 2m 축소되고, 세로는 1m 축소되었다.
- 3). Mercator 도법을 이용한 한국의 독도와 일본의 오키제도 사이의 거리를 비교한 결과 오키제도가 독도쪽으로 약 25.3m 근접하게 되는 결과를 나타내었다.

Abstract

This paper describes a research for a change of geographical information in Korea when the Bessel geodetic system is translated into WGS-84.

In the paper, the research is mainly focused on the geographical fetures of Korean peninsula and the distance between Dog-do in korea and Oki-syoto in Japan.

The Results for the transformation from Bessel to WGS-84 are as follows ;

- 1) Using Mercator's projection, the square-shaped zone, which is arbitrary given in Korean peninsula, was transformed into fan-shaped zone having shorter longitudinal distance at the high latitude than that of the low latitude.
- 2) Using UTM's projection, the square-shaped area, which is arbitrary given in the part of 52S grid zone of the south Korea south eastern part, was transformed into 2m shorter in low and 1m shorter in column.
- 3) A comparison of the distance between the DOG-DO in Korea and the OKI-SYOTO in Japan, using Mercator's projection, shows that the OKI-SYOTO was approached to DOG-DO about 25.3m.

1. 서론

최근 우리나라는 기존의 Bessel 측지계에서 WGS-84 측지계로의 좌표변환이 진행 중이다.

이러한 좌표변환의 이유는 WGS-84 측지계가 인공위성을 이용한 정밀측량이기 때문에 기존의 측지계와 비교하여 정밀도가 높고, 특히 연합국 사이에서 좌표계가 서로 다름으로 인하여 군사 작전운용에 혼란을 초래하고 있기 때문이다. 또한, WGS-84 측지계를 사용하는 GPS(Global Positioning System)의 측량, 항법, 유도무기운용 등의 광범위한 사용과 영역확대로 GPS의 위치 정보를 지도나 해도에 정확하게 기점하기 위해서는 WGS-84 측지계로 구성된 좌표체계가 필요하기 때문이다.

그러나, WGS-84 측지계를 해도(chart)와 육도(map)에 적용하는 경우 지리정보의 변동에 의해 발생할 수 있는 문제점을 검토할 필요가 있으며, 육도와 해도의 도법이 다름으로 인하여 발생할 수 있는 혼동을 검토할 필요가 있다.

본 논문에서는 기존 대한민국 해도와 육도에 사용되는 Bessel 측지계와 새로운 WGS-84 측지계 사이의 좌표변환에서 발생할 수 있는 문제점을 고찰하였다. 검토 대상으로는 우리나라 한반도 주변 지형의 위치변동과 독도와 일본의 오키제도 사이의 거리 변동으로 하였다.

2. 육도와 해도의 도법

2.1 도법의 개념

지구표면상의 지형을 평면에 표시하기 위해서는 지구를 원추나 원통 등 전개가능한 면으로 가정하면 쉽게 해결될 수 있다. 그러나 지구는 요철(凹凸)형태의 회전타원체(spheroid)이기 때문에 어떠한 도법을 이용하더라도 지구표면상의 각점을 평면에 펼쳐서 투영할 경우 찌그러짐(distortion)이 발생하게 된다. 이러한 찌그러짐 때문에 전개된 평면위에서의 거리 관계는 부정확하게 되거나, 전개된 면적의 총합과 실제의 지구전체의 면적과는 불일치되고 방향에 왜곡이 발생하게 된다. 이러한 찌그러짐을 가능한 작게 하면서 지구표면상의 경도, 위도선을 평면에 표시하기 위한 수단을 도법 또는 지구투영(projection)이라 한다.

일반적으로 사용되고 있는 도법의 종류는 그림 1에 표시한 바와 같이 방위도법(Azimuthal Projection), 원통도법(Cylindrical Projection), 원추도법(Conical Projection) 등이 있다. 각 국가에서는 이러한 도법자체를 그대로 이용하거나 변용하여 지도(map)나 해도(chart)를 제작하고 있다.

우리나라의 경우, 해도에 이용하는 도법은, 도법의 분류에는 속하지 않는 평면도(Plan)와, 원통도법의 비투사원통도법(non-perspective Cylindrical Projection)에 속하는 정각원통도법(Conformal Cylindrical Projection)을 사용한다. 여기서 정각원통도법을 일반적으로 짐장도법

(Mercator's Projection)이라 부르고 있다.

또한, 지도에 이용하는 도법은, 원통도법의 비투사원통도법(Non-perspective Cylindrical Projection)에 속하는 정각원통도법(Conformal Cylindrical Projection) 중 하나인 Krüger의 횡점장도법(Transverse Mercator's Projection, TM)과 이를 다시 국지적으로 이용하기 위하여 60개의 대역으로 나눈 국제횡점장도법(Universal Transverse Mercator's Projection, UTM)을 일부 이용하고 있다.

이상을 정리하면 원통도법 → 비투사원통도법 → 점장도법(해도) → 횡점장도법(지도) → 국제횡점장도법(지도) 으로의 도법흐름을 정리할 수 있다.

2.2 점장도법

점장도법은 1569년 Gerhard Mercator가 창안한 것으로 원통도법 중에서 가장 많이 사용되며, 그림 2(a)와 같이 지구의 일정부분을 원통에 투영한 후 (b)와 같이 평면으로 간주한 것이다.

또한, 위도의 증가에 따른 적도에서 위도 φ 까지의 거리 y , 그에 상응하는 위도사이의 거리 dy , 본초자오선으로부터 경도 λ 까지의 적도상의 길이 x 는 식(1)~(3)으로 계산된다.

$$dy = \frac{a(1-e^2)d\varphi}{\cos\varphi(1-e^2\sin^2\varphi)} \quad (1)$$

$$y = \int_0^\varphi \frac{a(1-e^2)d\varphi}{\cos\varphi(1-e^2\sin^2\varphi)} \quad (2)$$

$$x = a\lambda \quad (3)$$

여기서, a 는 지구의 적도반지름, e 는 지구회전타원체의 이심률($=1/f$), φ 는 위도, λ 는 경도를 나타낸다.

위의 식(1)~(3)으로부터, 동일한 점장도법을 이용하더라도 지구회전타원체의 이심률(e)과 지구의 적도반지름(a) 값이 동일하지 않으면 동일해도에 있어서 점장경위도 관계는 다르게 됨을 알 수 있다.

이 점장도법은 위도가 증가할 수록 일정한 경도거리에 따른 위도 사이의 거리 변화가 점차 증가하여 극지방에서 무한대의 거리가 되기 때문에 위도 60° 이하인 지역에서 주로 사용하고 있다. 또한, 위도 변화에 따라 축척이 변하게 되므로 동일 거리에 대한 척도가 다르게 되어 면적 비교는 할 수 없다.

2.3 UTM 도법

UTM 도법은 그림 3(a)와 같이 점장도법과는 달리 원통을 90° 횡으로 돌려서 하나의 자오선에 접하도록 한 후 점장도와 동일한 방법으로 경위도선을 투영하여 이것을 그림(b)와 같이 평면에 전개한 것이다. 이 도법은 점장도법과는 달리 자오선은 중앙자오선만 직선으로 나타내고 평행권은 적도만 중앙자오선과 직교하는 직선으로 나타내며 그 이외의 모든 경위도선은 타원에 유사한 곡선으로 표시된다.

UTM 도법은 적도를 횡축으로, 자오선을 종축으로 구분한다. 종축은 지구 전체를 경도 6° 씩 60개의 구역(column)으로 나누고 각 종대의 중앙자오선과 적도의 교점을 원점으로 하며, 경도 180° W 경도선으로부터 동쪽으로 6° 간격으로 1부터 60까지의 번호를 붙인다. 횡축은 남반구와 북반구의 위도 80° 까지만 표시하고 북위 80° N에서 남위 80° S까지 20구역으로 나누어 'T' 문자를 제외한 C(80° S~72° S)부터 M(08° S~00° S)까지를 남반구에 적용하고, 'O' 문자를 제외한 N(00° N~08° N)부터 X(72° N~80° N)까지를 북반구의 종축 구역으로 분류하고 있다. 따라서, 지구를 60×20개의 좌표구역(Grid Zone)으로 구분하게 된다. 그림 4에 위도 경도에 따른 좌표구역을 나타내었다.

UTM 좌표에서 거리좌표는 meter 단위로 표시하며, 종축좌표에는 N을, 횡축좌표에는 E를 붙인다. 각 좌표구역 원점의 값은 북반구에서 각 종대의 중앙자오선을 500,000mE로 정하고, 횡좌표는 적도에서 0mN, 80° N에서 10,000,000mN 로 정하였다.

60×20개의 좌표구역중 1개는 다시 100,000m 정방형으로 세분하여 180도 자오선에서부터 A~Z(I,O제외)를 부여한다. 100,000m 정방형의 좌표구역은 다시 100개의 10,000m 정방형 구역으로 00에서 99까지의 번호로 세분하고, 10,000m 정방형 구역은 1,000m 정방형으로, 1,000m 정방형 구역은 100m 정방형 구역으로, 100m 정방형 구역은 10m 정방형 구역으로 세분하고 있다. 우리나라는 UTM 좌표계에서 51S, 52S, 51T, 52T 대역에 속해 있고, 그림 5에 우리나라가 속해 있는 대역을 나타내었다. 이 도법의 특징은 지표와 같은 형태를 유지할 수 있기 때문에 지도작성에 이용한다.

3. 측지계 변환

3.1 측지계

지구는 완전한 구가 아닌 지오이드(geoid)이지만 도법을 적용하기 위해서는 지구의 형상을 회전타원체(spheroid)로 해석하는 것이 보편적이다. 표 1에 기존의 측지계를 나타내었다.

우리나라와 일본은 Bessel(1841)측지계를 사용하고 있으며, 우리나라 수문업무법(교통부 수문

국, 수로업무법 1980.4.)에는 장반경 $a=6377397.155\text{m}$, 편평율 $f=1/299.152813$ 으로 측지계를 규정하고 있다.

최근에는 인공위성의 궤도해석으로부터 지구의 치수와 형태 및 지구 각부의 중력분포를 보다 상세하게 구한 세계측지계(World Geodetic System, WGS)를 이용하게 되었다. 표 2에 위성에 의한 세계측지계를 나타내었다. 이러한 위성에 의한 측지계 역시 국제적으로 통일된 측지계는 없으나 최근 미국을 중심으로 WGS-84 위성측지계의 사용이 확대되어 가고 있는 실정이다.

그림6 은 WGS-84 측지계에 대한 전세계의 WGS-84 지오이드 등고선도로서, 지오이드 높이는 한반도주변에서 대략 10m~30m 사이에 분포되어 있고, 동쪽으로 증가하고 서쪽으로 감소하며 남북방향으로는 완만하게 변하는 특성을 나타내고 있다. 전세계적으로 지오이드 값은 최저 -60m에서 최고 60m 사이에 분포되어 있고, 우리나라는 이에 대한 연구가 진행 중이며, 정확한 좌표변환을 위한 표준 지오이드원점 및 지오이드값은 발표되지 않고 있다.

이와 같이 세계각국에서는 국가별로 정한 기준원점에 있어서의 측지계를 설정하여 지도 및 해도를 작성하고 있기 때문에 서로 다른 두 측지계 인접 지역에서의 경위도는 일치하지 않게 된다.

좌표계가 각국마다 상이하기 때문에 발생한 예로, 걸프전 당시 연합군의 지도좌표계가 서로 다르기 때문에 장거리 유도부기체계 사용에 문제점이 발생하였다. 그 후 미국은 전세계 국가를 대상으로 WGS-84 로의 좌표체계 변환을 제안하고 있는 중이며, 우리나라는 현재 좌표변환을 실시하고 있는 중이다.

3.2 측지계 변환

각국의 지역측지계에 의한 좌표계를 WGS 세계측지계 좌표계로 변환하기 위해서는 우선, 평면상에서의 직교좌표계와 경위도표시의 타원좌표계 사이의 변환관계식을 구해야 한다.

그림 7과 같이 Z 축을 북극방향으로, XY 면을 적도면으로, X 축을 경도 0°, Y 축을 동경 90° 방향으로 하고, 지구중심을 원점으로하는 직교좌표계 X, Y, Z 를 고려할 수 있다. 이러한 직교좌표계에서 X, Y, Z 좌표값은 식(4)~(6) 으로 나타낼 수 있다.

$$X = (N+h)\cos\varphi\cos\lambda \quad (4)$$

$$Y = (N+h)\cos\varphi\sin\lambda \quad (5)$$

$$Z = \left\{ \frac{b^2}{a^2}N + h \right\} \sin\varphi \quad (6)$$

식(4)~(6)에서의 N 은 주수직권에서의 곡률반지름으로 다음 식(7)과 같다.

$$N = \frac{a^2}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} \quad (7)$$

여기서 a 와 b 는 준거타원체의 장반경과 단반경, φ 는 위도, λ 는 경도, h 는 지구타원체로부터 지구표면 R점까지의 고도를 나타낸다.

역으로, 위도 φ , 경도 λ , 고도 h 는 식(4)~(7)로부터 역변환된 식(8)~(11)을 이용하여 구할 수 있다.

$$h = \frac{p}{\cos \varphi} - N \quad (8)$$

$$p = \sqrt{(X^2 + Y^2)} = (N+h) \cos \varphi \quad (9)$$

$$\tan \varphi = \frac{Z}{p} (1 - e^2 \frac{N}{N+h})^{-1} \quad (10)$$

$$\tan \lambda = \frac{Y}{X} \quad (11)$$

또한, 타원좌표계의 경우, WGS-84의 위도 φ , 경도 λ , 고도 h 는 지역좌표계와의 차 $\Delta \varphi$, $\Delta \lambda$, Δh 를 지역좌표계에 보정하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\varphi_{WGS84} = \varphi_{Local} + \Delta \varphi \quad (12)$$

$$\lambda_{WGS84} = \lambda_{Local} + \Delta \lambda \quad (13)$$

$$h_{WGS84} = h_{Local} + \Delta h \quad (14)$$

또한, 직교좌표계의 경우에는 다음과 같이 WGS-84좌표계와 지역좌표계와의 차 ΔX , ΔY , ΔZ 를 지역좌표계에 보정하여 WGS-84좌표계의 X,Y,Z 를 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{WGS84} = \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{LOCAL} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta S & \omega & -\psi \\ -\omega & \Delta S & \varepsilon \\ \psi & -\varepsilon & \Delta S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X-X_0 \\ Y-Y_0 \\ Z-Z_0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

여기서, ΔS 와 $(\varepsilon, \psi, \omega)$ 는 지역측지계의 축척 변동값과 준거타원체의 방향변동을 나타내고, X_0, Y_0, Z_0 는 지역측지계의 원점을 나타낸다.

본 연구에서는 BESSEL 측지계를 WGS-84 측지계로 변환하거나 또는, 역변환하는 경우 미국 DMASC(Defence Mapping Agency Systems Center)의 Bradford Drew와 Robert Ziegler에 의해 설계된 MADTRAN 이라는 소프트웨어를 사용하였다. 이 소프트웨어는 표준 Molodensky 공식을 이용하며, 변환 절차를 그림 8에 나타내었고, 변환에 이용한 $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 와 그 외의 변수를 표 3에 나타내었다.

본 연구에 이용한 우리나라의 측지계 파라미터(표 3)는 미국방성에서 제공한 자료를 그대로 이용하였으나 더욱 정밀한 계산을 위해서는 정밀측정 측지변수를 이용할 것이 요구되고 있다. MADTRAN 의 계산 오차는 1~2m 정도이다.

4. 측지계변환에 따른 지형정보의 변동

4.1 한반도의 지형변동

그림 9는 한반도 주변을 둘러싸고 있는 임의의 4 지점($32^\circ N, 120^\circ E$), ($32^\circ N, 132^\circ E$), ($48^\circ N, 120^\circ E$), ($48^\circ N, 132^\circ E$)을 Bessel 측지계에서 WGS-84 측지계로 변환한 결과이다.

정사각형의 4지점이 변환된 결과 동쪽과 북쪽으로 이동되어 있고, 위도가 높은 $48^\circ N$ 의 위도선이 왜곡되면서 경도차 12° 가 $11^\circ 59.916'$ 으로 축소 이동되어 있다. 또한 위도가 낮은 $32^\circ N$ 의 위도선은 왜곡되면서 경도차 12° 가 $11^\circ 59.935'$ 으로 축소 이동되어 있음을 알 수 있다. 또한, $48^\circ N$ 에 있는 $120^\circ E$ 의 변환 결과보다 $48^\circ N$ 에 있는 $132^\circ E$ 의 변환 결과가 좀더 북쪽으로 이동됨을 알 수 있다. 이러한 변환결과는 앞의 그림 6의 지오이드 등고선도에서 알 수 있는 바와 같이 지오이드의 값이 비선형인 등고선으로 표현되기 때문이다.

따라서, Bessel 측지계를 WGS-84 측지계로 변환한 결과, 한반도는 저위도 부분이 고위도 부분보다 넓어지고 위도가 높은 부분은 축소되는 현상을 볼 수 있다.

그림 10은 한반도 남동부근 연안의 UTM 좌표계의 일부(UTM 좌표계에서 52S 지역중 일부)에서 Bessel 측지계를 WGS-84 측지계로 변환한 결과이다.

Bessel 측지계에 의한 UTM 좌표계에서는 가로, 세로가 100,000m로 일정한 면적이지만

WGS-84 변환후에는 가로 길이가 99,998m로 2m 축소되어 있음을 알 수 있고, 세로 길이는 99,999m로 1m 축소되어 있음을 알 수 있다.

이와 같은 결과는 미 DoD에서 제공한 MADTRAN 소프트웨어와 이에 부수적으로 제공되는 변환 파라미터를 이용한 결과이며, 변형되기 전의 전체 면적이 변형된 후의 전체 면적보다 감소 또는 증가 여부는 국가 이익의 문제와 재산권에 관한 문제이므로 더욱 정밀한 좌표변환 파라미터를 이용한 다양한 방면에서의 연구 검토가 필요하다고 생각된다.

4.2 독도와 오키제도까지의 거리 변동

그림 11은 독도(DOG DO)와 독도로부터 가장 근접한 일본의 오키제도(OKI SYOTO)의 경위도 위치를 Bessel 측지계에서 WGS-84 측지계로 변환한 결과이다.

그림 11에서 기존의 Bessel 측지계에서 WGS-84로 변환한 결과, 독도는 경도 10.5", 위도 9.3" 차이 만큼 이동하였고, 오키제도는 경도 9.6", 위도 10.92" 로 독도보다 더 북쪽으로 이동함을 알 수 있다. 여기서, 독도가 좌표변환 결과 이동한 직선길이를 1마일을 1852m로 하여 계산하면, 754.407m가 되고 오키제도는 782.679m가 된다. 따라서 일본의 오키제도가 독도쪽으로 25.272m 더 근접하게 되는 결과를 가져온다.

현재 우리나라와 일본 사이의 독도분쟁은 독도와 오키제도 사이의 영해권 분할이 주요문제로 대두되고 있는 점을 감안할 때, 이러한 결과는 우리나라에 불리한 결과라 생각된다. 아울러 위에서 언급한 바와 같이, 이에 대한 연구도 좀더 정확한 측지 측량의 결과로부터 구한 파라미터를 이용하여 신중하게 다루어야 할 문제라고 생각된다.

5. 결론

기존 해도와 육도에 사용되고 있는 Bessel 측지계를 WGS-84 측지계로 변환할 때 발생할 수 있는 문제점을 한반도 주변의 지형과 독도와 일본의 오키제도를 중심으로 검토하였다. 검토 결과는 다음과 같다.

1). Mercator 도법에서 Bessel 측지계를 WGS-84 측지계로 변환할 경우 국내 지형은 정사각형의 지형이 고위도 부근이 축소되면서 부채꼴 모양의 타원형으로 변형된 결과를 나타내었다.

2). Bessel 측지계에 의한 UTM 좌표계에서는 가로, 세로가 100,000m로 일정한 면적이지만 WGS-84 변환후에는 가로 길이가 99,998m로 2m 축소되고, 세로 길이는 99,999m로 1m 축소된 결과를 나타내었다.

3). 독도와 독도로부터 가장 근접해 있는 일본의 오키제도 사이의 거리는 Mercator 도법을 이용한 변환 결과 약 25.3m 정도 일본의 오키제도가 독도쪽으로 근접하는 결과를 나타내었다.

4). 새로운 측지계에 대한 국내승인 여부는 자국의 이익과 주변국과의 경계문제 등을 고려하여 신중히 선정해야한다.

5). 해양에서 활동하는 민,관,군 선박에서 사용하는 측지계가 다를 경우에는 정확한 위치정보의 교환을 위한 공조체계 유지가 필요할 것이다.

참고 문헌

- [1]. Börje Forssell, *Radionavigation System*, Prentice Hall, New York, pp.335~374, 1991
- [2]. 松本吉春, *精説 地文航法*, 成山堂書店, 東京, pp.1~30, 1988
- [3]. 岩永道臣, 樽美幸雄, *精説 天文航法(上)*, 成山堂書店, 東京, pp.50~84, 1988
- [4]. 鈴木敬信, *天文學通論*, 地人書館, 東京, pp.11~36, 1983
- [5]. 杳名景義, 坂戸直輝, *海圖の知識*, 成山堂書店, 東京, pp.302~322, 1967
- [6]. 永井信夫, *地圖學の基礎 第4版*, 地圖情報+システム, 東京, pp.49~75, 1984
- [7]. 이석우, 김근식, *해양측량학*, 집문당, pp.19~40, 1984
- [8]. 유복모, *측량공학*, 진영사, pp.287~313, 1993
- [9]. 進士 晃, “測地系變換圖(海圖6019)の刊行,” 日本航海, 50號, pp.47~52, 1976
- [10]. DMA Technical Report, *DEPARTMENT OF DEFENSE WORLD GEODETIC SYSTEM 1984*, DMA TR 8350.2, second Ed., 1991
- [11]. Defence Mapping Agency, *MADTRAN(Mapping Datum Transformation)*, Ed. No.4, 1993
- [12]. 고광섭, 임정빈, 임봉택, “측지계변환에 따른 해양안전에 관한 연구,” 해양안전학회지, 제1권 제 2호, pp.39~52, 1995

그림

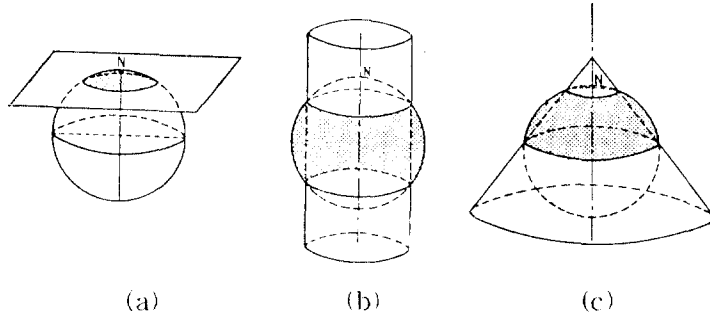


Fig. 1. Projection method of Azimuthal(a), Cylindrical(b), Conical(c)

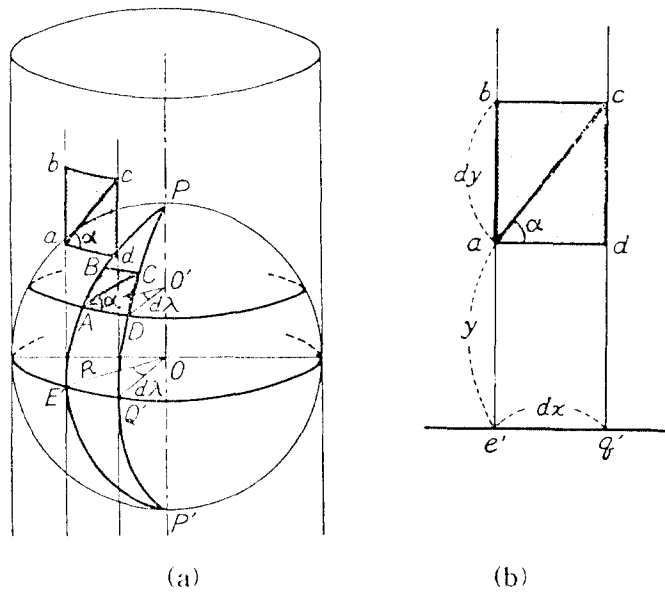


Fig. 2. Mercator's Projection(a) and developed surface(b)

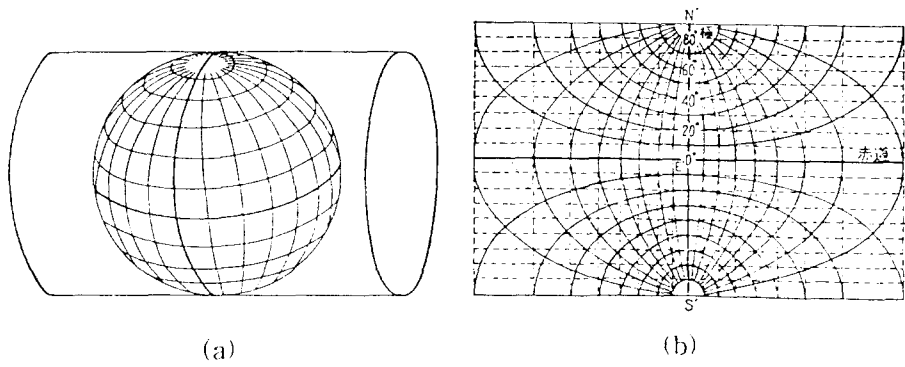


Fig. 3. Transverse Mercator's Projection(a) and developed surface(b)

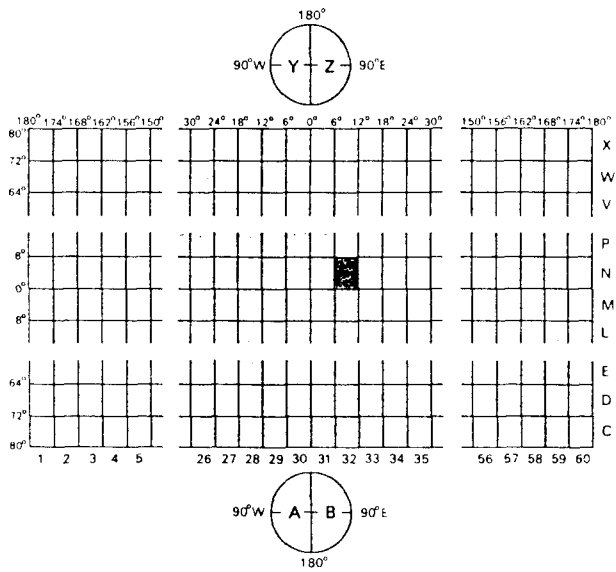


Fig. 4. Grid Zone of Universal-Transverse-Mercator's Projection

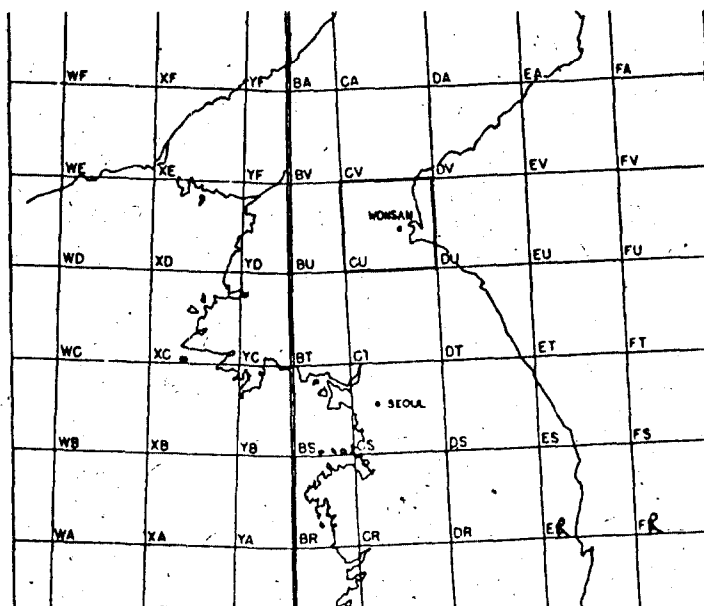


Fig. 5. A part of Grid Zone in South Korea

Table 1. Classical geodetic datum

Datum	Year	a(m)	b(m)	1/f	e	Country
Bessel	1841	6377 397.155	6356 078.936	299.1528128	0.08170	한국, 일본, 인도네시아
Clark	1880	6378 249.0	6356 515.095	293.47	0.08248	북아메리카
IAU	1924	6378 388.0	6356 912.0	296.96	0.08200	유럽
IAU	1976	6378 140.0	6356 755.29	298.257	0.0818192	
Krass-ousky	1940	6378 245.0	6356 863.0	298.3	0.08181	소련

Table 2. World geodetic datum by satellite

Datum	Year	a(m)	b(m)	1/f	e	Remark
Mercury	1960	6378 166.0	6356 784.3	298.3	0.08181	
Modified Mercury	1968	6378 150.0	6356 764.8	298.25	0.08182	
SAO-C7	1967	6378 142.0	6356 760.4	298.3	0.081813	
NWL-8D	1967	6378 145.0	6356 760.1	298.255	0.0818195	
WGS-72	1972	6378 135.0	6356 750.5	298.26	0.081818848	in NNSS
WGS-84	1984	6378 137.0	6356 752.3	298.2572235	0.081819218	in GPS

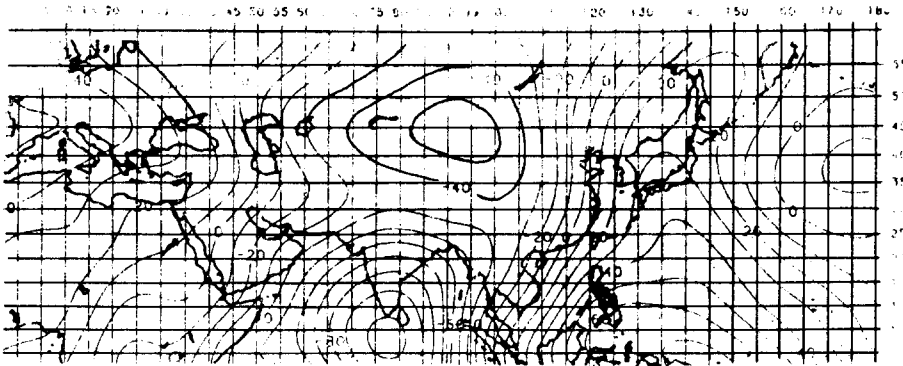


Fig. 6. WGS-84 Geoid referenced to WGS-84 ellipsoid(Units=Meters)

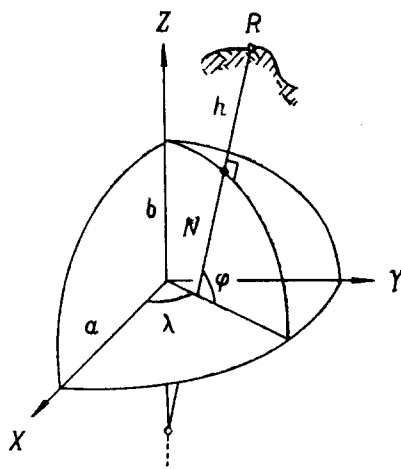


Fig.7 Cartesian coordinates X,Y,Z and ellipsoidal coordinates φ, λ, h

$$\begin{array}{ccc}
 (\varphi, \lambda, h)_{Local} & \longrightarrow & (X, Y, Z)_{Local} \\
 & & \downarrow (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z) \\
 (\varphi, \lambda, h)_{WGS-84} & \longleftarrow & (X, Y, Z)_{WGS-84}
 \end{array}$$

Fig.8 Standard Molodensky datum transformation

Table 3. Transformation parameters for local to WGS-84

Local Geodetic Datum	Difference between WGS84 & Local			Transformation Parameters		
	Name	$\Delta a(m)$	$\Delta f \times 10^4$	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
South Korea	Bessel 1841	739.845	0.10037483	-146	-507	-687
Tokyo - Japan				± 8	± 5	± 8
Tokyo - Okinawa				± 20	± 5	± 20
Hong Kong 1963	International 1924	-251	-0.14192702	-156	-271	-189
Hu-Tzu-Shan - Taiwan				± 25	± 25	± 25
Singapore	Modified Fischer 1960	-18	0.00480795	-7	-10	-26
				± 25	± 25	± 25

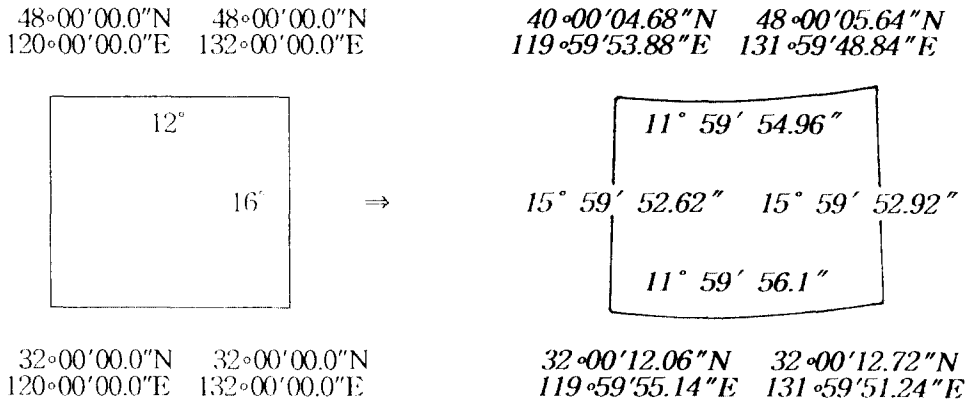


Fig. 9. Transformation from Bessel to WGS-84 for the area of square-shaped Korean peninsula in Mercator's projection

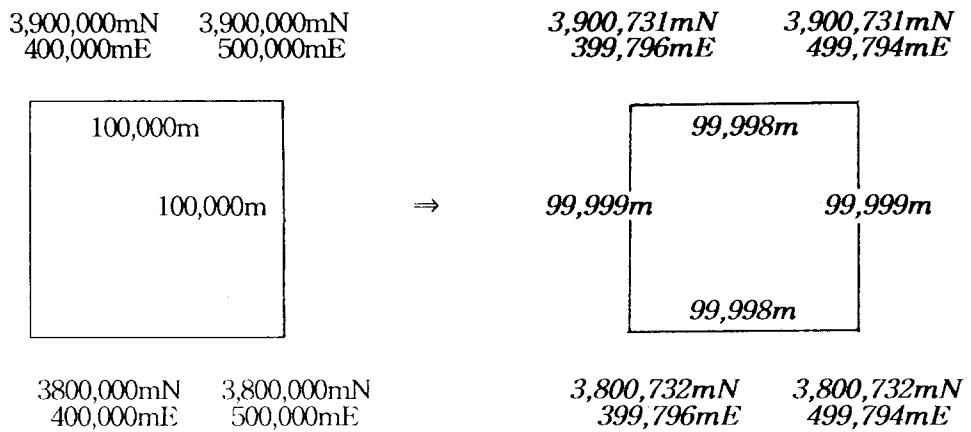


Fig. 10. Transformation from Bessel to WGS-84 for the square-shaped area of the Korea south eastern part in UTM's projection

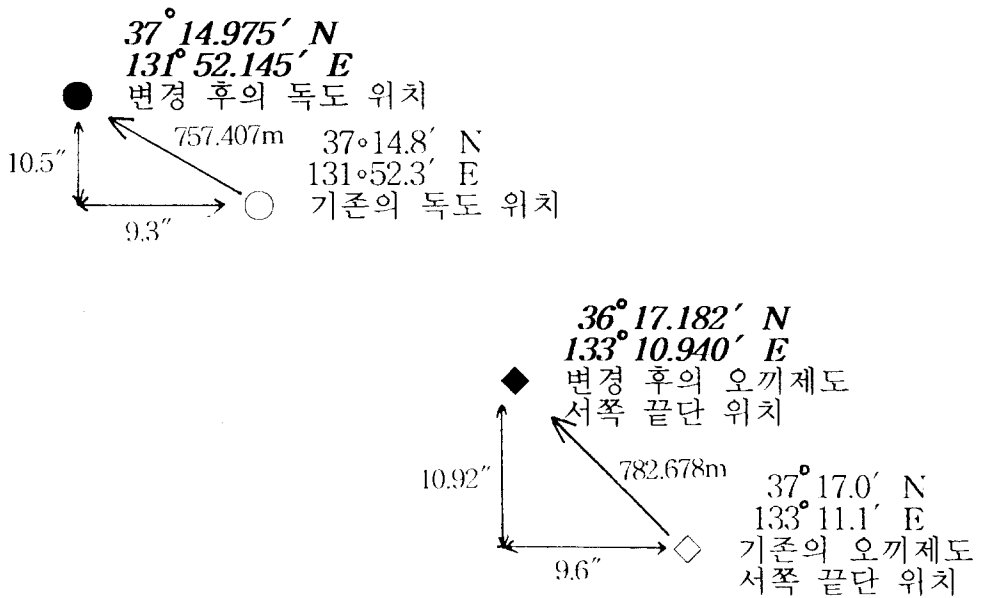


Fig. 11. Transformation from Bessel to WGS-84 for the DOG-DO and the OKI-SYOTO in Mercator's projection