

# 측지계변환에 따른 해양안전에 관한 연구

고 광 섭\* · 임 정 빈\*\* · 임 봉 택\*\*

## A Study on the Ocean Safety According to the Geodetic Datum Transformation

*Kwang-Soob Ko\* · Jeong-Bin Yim\*\* · Bong-Taeck Lim\*\**

### 〈CONTENTS〉

#### Abstract

#### I. 서 론

#### II. 도 법

##### 2.1 도법의 개념

##### 2.2 해도도법

##### 2.3 지도도법

#### III. 측지계출

##### 3.1 고전적인 측지계

##### 3.2 WGS-84 측지계

##### 3.3 측지계 변환

##### 3.4 좌표변환 소프트웨어

#### IV. 측지계변환에 대한 분석 및 고찰

##### 4.1 측지계 선택에 따른 영향

##### 4.2 지형정보의 변동

##### 4.3 법규상의 기점위치 변동

##### 4.4 고찰

#### V. 결 론

##### 참고문헌

### Abstract

There are numerous mapping, charting, geodetic systems and electronic digital products defined in various local geodetic datum. It becomes a straight forward requirement to simplify the complexity by referencing all the products to a common reference globally.

WGS-84 is well known as a state-of-the-art global geodetic reference system based on the use of data, techniques and technology available within American Defence Mapping Agency(DMA). Its parameters can be translated into more accurate maps, charts and geodetic positioning compared to others previously.

Since Global Positioning System(GPS/NAVSTAR), which is associated with World Geodetic System (WGS-84) in reference frame, has been widely used, the unified geodetic system has been required for GPS users in many fields.

\* 정회원. 해군사관학교 항해학과 부교수

\*\* 정회원. 해군사관학교 항해학과 전임강사

In the paper, several aspects, which might be occurred in selection of different geodetic system, were investigated. They were mainly focused on the safe activities in the ocean. Several considerations for the transformation of a local geodetic system to the WGS-84 were shown with computation by MADTRAN software released by DMA. The valuable results for recommendation were summarized.

## 1. 서 론

인공위성을 이용한 GPS(Global Positioning System)항법은 기존 전파항법 장치에 비하여 사용이 간편하고 정도가 높으며 경제적으로도 저렴하고 또한, 설치, 유지, 보수에의 간편성 등 많은장점이 있다. 따라서 선박 뿐 아니라 항공기, 자동차, 해양탐사 및 측량, 정밀 유도무기체계 등 다양한 분야에 사용되고 있고 더욱 확대될 전망이다.[1]~[5]

이러한 GPS는 BESSEL, CLARK, MERCURY 등의 기존 2차원좌표계에 대한 측지계와는 달리 지구질량중심을 기준점으로 하는 3차원좌표체계로 개발된 WGS-84 라는 새로운 측지계를 이용하고 있다. 따라서 기존의 해도에 WGS-84를 택하고 있는 GPS 에서의 위치를 기점하게 되면 측지계가 다름으로 인하여 위치오차가 발생하게 된다. 이 오차는 GPS 시스템 오차를 전혀 고려하지 않은 좌표변환에 따른 오차로서 해양안전 측면에서 적절한 검토가 요망되고 있다. 더욱이 WGS-84 는 GPS 의 운용 뿐 아니라 인공위성에 의한 측지 및 측량 분야에도 이용될 전망이므로 기존 좌표계와의 변환관계는 해양안전측면에서의 고려차원 뿐 아니라 광범위한 분야에서 연구 검토되고 있는 사항이다.

본 논문에서는 기존 대한민국 해도제작에 사용되는 BESSEL 측지계와 새로운 WGS-84 측지계 사이의 좌표변환에서 발생할 수 있는 문제점을 살펴보고 해양안전측면에서 고려할 사항을 제시하였다. 검토 대상으로는 해도에 표시되어 있는 지형지물의 위치변동, 항해보조물의 위치변동, 국제법상 계제되어 있는 각종 통제선의 위치변동 등을 선정하여 연구 검토하였다.

연구결과 측지계 변동으로 인한 해양안전상 검토해야 할 분야로는 항해운용 측면에서의 대축척

해도를 사용하는 협수로 항해, 소형선박의 조선, 수로서지 등의 측지계변동에 따른 내용의 삽입, 국제법상 통제 및 규제선 등을 신중하게 고려해야함을 지적할 수 있었다. 또한, 이러한 연구는 상선, 어선, 해경, 해운항만청, 교통부 수로국 및 해양활동에 관계된 유관기관과의 유기적인 협조하에 고려해야될 과제임을 알 수 있었다.

## 2. 도 법

### 2.1 도법의 개념

지구표면상의 지형을 종이 위의 평면에 표시하기 위해서는 지구를 원추나 원통 등 전개가능한면(Developable Surface)으로 가정한다면 쉽게 해결될 수 있지만, 지구는 거의 구에 가까운 회전타원체(Spheroid)이기 때문에 어떠한 도법을 이용하더라도 지구표면상의 각점을 평면상에 펼쳐서 투영할 경우 찌그러짐(Distortion)이 발생하게 된다. 이러한 찌그러짐 때문에 전개된 평면위에서는 거리 관계가 부정확하거나, 각 면적의 총합과 전체면적이 불일치되고, 지구 형태가 찌그러지며, 방향에 왜곡이 발생하게 된다. 이러한 찌그러짐을 가능한 작게 하면서 지구표면상의 경도, 위도선을 평면에 표시하기 위한 수단을 도법 또는 지구투영(Map Projection)이라 한다.[6]~[13]

도법은 도법의 성질에 따라, 투영면의 종류에 따라, 투영면이 접하는 자세에 따라, 투영면의 축과 지축사이의 관계위치에 따라 분류하고 있다. 일반적으로 사용되고 있는 도법의 종류는 그림1에 표시한 바와 같이 방위도법(Azimuthal Projection), 원통도법(Cylindrical Projection), 원추도법(Conical Projection) 등이 있다.

2.2 해도도법

[평면도]

평면도는 지구표면의 소구역만을 근사적으로 나타내기 위한 방법으로 정식도법에는 포함되지 않는다. 이 평면도는 상하양단 근방에서 오차가 최대가 되고, 휘급하는 구역이 커지고 고위도가 될수록 점차 오차는 증대하지만, 소구역에 한하여 적용하는 경우 거리 및 방위 오차는 극히 작기 때문에 거의 무시할 수 있고 작도가 극히 간편하기 때문에 소구역의 측량도에 많이 이용되고 있다.

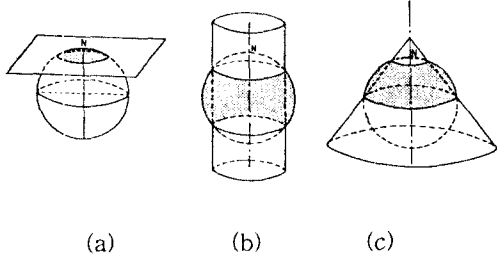


Fig. 1 Projection methods of (a) Azimuthal, (b) Cylindrical, (d) Conical

일반적으로 각국가에서는 이러한 도법자체를 그대로 이용하거나 변용하여 지도(Map)나 해도(Chart)를 제작하게 된다. 한국의 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 점장도법(Mercator's Projection)이라고 부르고 있다.

또한, 지도에 이용하는 도법은, 원통도법의 비투사원통도법(Non-perspective Cylindrical Projection)에 속하는 정각원통도법(Conformal Cylindrical Projection) 중 하나인 Krüger 의 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.

따라서 국내 지도와 해도를 병행하여 사용하거나 외국발행의 지도와 해도를 병행하여 사용하는 경우는 양자 사이의 도법이 다르므로 인하여 사용 목적과 탕법, 환경 등에 따라 오차나 혼란을 초래할 수 있으므로 상당한 주의가 요구된다.

[점장도법]

이 도법은 1569년 Gerhard Mercator 가 창안한 것으로 원통도법 중에서 가장 많이 사용되는 것으로, 그림 2의 (a)와 같이 지구의 일정부분을 원통에 투영한 후 (b)와 같이 평면으로 간주한 것이다.

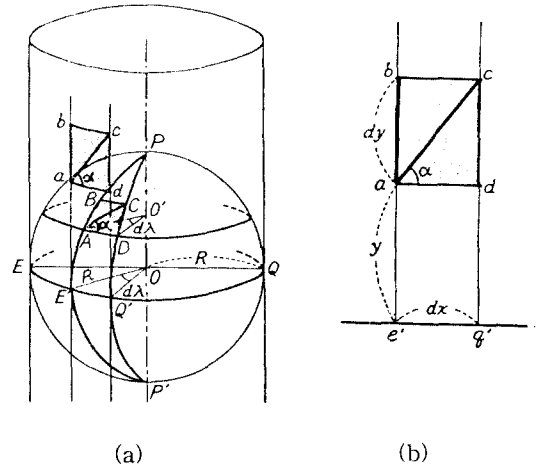


Fig. 2 (a) Mercator Projections and (b) Developed surface

또한, 위도  $\phi$ 의 증가에 따른 적도에서 위도  $\phi$ 까지의 거리  $y$ , 그에 상응하는 위도사이의 거리  $dy$ , 본초자오선으로부터 경도  $\lambda$ 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( $=1/f$ ),  $\varphi$ 는 위도,  $\lambda$ 는 경도를 나타낸다. 여기서, 동일한 점장도법을 이용하더라도 지구회전타원체의 이심률( $e$ )과 지구의 적도반지름( $a$ ) 값이 동일하지 않으면 동일해도에 있어서 점장경위도 관계는 다르게 될것이다. 따라서 세계 각국에서 발행하고 있는 점장도의 경우, 각국마다의 측지계가 다르기 때문에 엄밀히 말하면 각국 면적의 총합과 실제 지구면적과는 일치하지 않게 되는 미묘한 문제를 갖게 되는 것이다.

이 점장도법은 위도가 증가할수록 일정한 경도 거리에 따른 위도 사이의 거리 변화가 점차 증가하여 극지방에서 무한대의 거리가 되기 때문에 위도  $60^\circ$  이상인 지역에서는 사용할 수 없다. 또한, 위도 변화에 따라서 축척이 변하게 되므로 동일 거리에 대한 척도가 다르게 되어 면적 비교는 할 수 없다. 따라서 거리를 측정하는 경우, 동일 해도 상에서도 동일한 눈금을 사용할 수 없기 때문에 육상에서의 지도에 적용할 경우에는 동일눈금을 사용할 수 있도록 작은부분을 평면으로 간주하여 사용해야 한다.

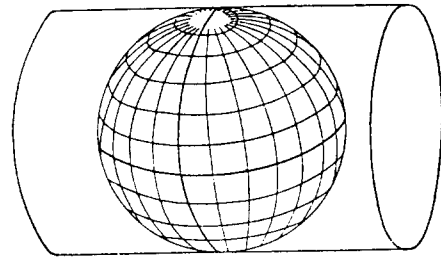
### 2.3 지도도법

#### [횡점장도법]

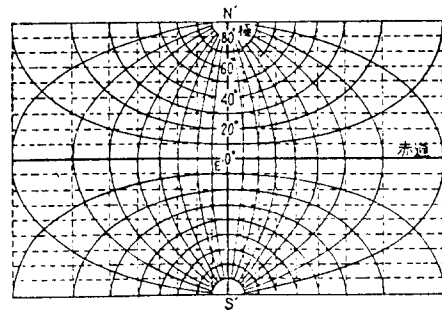
이 도법은 그림3(a)와 같이 점장도법과는 달리 원통을  $90^\circ$  횡으로 돌려서 하나의 자오선에 접하도록 한 후 점장도와 동일한 방법으로 경위도선을 투영하여 이것을 그림(b)와 같이 평면상에 전개한 것이다. 이 도법은 점장도법과는 달리 자오선은 중앙자오선만 직선으로 나타내고 평행선은 적도만 중앙자오선과 직교하는 직선으로 나타내며 그 이외의 모든 경위도선은 타원에 유사한 곡선으로 표

시된다.

이 도법의 특징은 항정선(Rhumb line)이 직선으로 표시되지 않으며, 중앙자오선에 접한 남북방향 지역은 찌그러짐이 작게되기 때문에 측량좌표계로서 광범위하게 사용되고 있다.



(a)



(b)

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

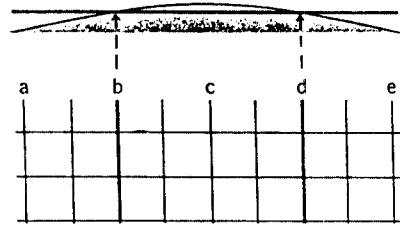
#### [국제횡점장도법]

국제횡점장도법(UTM)은 세계 2차대전중 각국이 서로 다른 도법을 사용하여 작전상 불편을 경험한 1950년대초 NATO 가맹국들이 통일된 지도 제작을 위해 시작되었으며, 1985년 이전까지는 미국을 비롯한 자유우방국에서 적용했고 현재는 한,

일 유럽 일부 국가들만 사용 중이다.

UTM 도법은 그림4(a)와 같이 지구의 표면을 60개의 대역으로 나누고 다시 그리니치 경도 180°의 경도선으로 부터 동쪽으로 6° 마다의 경도대로 나누어 대역마다 중앙자오선을 만들어서 횡점장도법을 이용하여 평면상에서 투영한 것이다.

이 경우 6도 폭 어느곳에서도 축척이 동일하도록 하기 위하여 그림4(b)와 같이 중앙 경도상에서 축척을 4/10,000 만큼 축소하고, 중앙 자오선상의 길이를 1로 하면, 투영된 중앙경도선 상의 길이는 0.99960으로 된다. 이 도법은 중앙자오선을 조금 작은 원통상에 표시하고, 그 대신 이 자오선으로부터 동서로 조금 떨어진 곳이 정확한 길이가 되도록 원통을 고려한 것이다. 즉 횡점장도법에서는 원통이 접한것으로 하지만 이 경우에는 원통을 분할하여 접한 면으로 하고 있다. 따라서 중앙자오선 상에서의 축소율은 0.99960, 이곳으로부터 180km 떨어진 기준선상에서 1.00000, 구역의 동서쪽 양단에서는 1.00158이 된다. UTM 좌표구역에서 우리나라는 51, 52 중대 및 ST 횡대에 속한다.



scale  
 a=1.00158  
 b=1.00000  
 c=0.99960  
 d=1.00000  
 e=1.00158  
 (b)

Fig. 4 Universal Transverse Mercator Projection

### 3. 측지계

#### 3.1 고전적인 측지계

지구는 완전한 구가 아닌 지오이드(geoid) 이지 만 도법을 적용하기 위해서는 지구의 형상을 회전 타원체(spheroid)로 해석하는 것이 보편적이다. 지구의 치수와 형태는 과거부터 많은 과학자들이 측정하였으나 그 값이 일정하지 않다. 따라서 어떤 형태의 측지계를 선택하느냐에 따라 특정위치에 대한 경위도는 달라질 수 있다. 예를들면 한국과 일본의 경우 BESSEL 타원체를 기준으로한 지도 및 해도를 사용하기 때문에 CLARK 타원체에

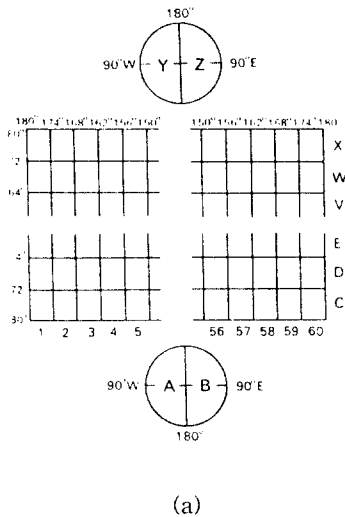


Table. 1 Classical Geodetic Datum

| Datum           | Year | a(m)         | b(m)         | 1/f         | e         | Country         |
|-----------------|------|--------------|--------------|-------------|-----------|-----------------|
| Bessel          | 1841 | 6377 397.155 | 6356 078.936 | 299.1528128 | 0.08170   | 한국,일본,인도<br>네시아 |
| 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     | 0.3818192 |                 |
| Krass-<br>ousky | 1940 | 6378 245.0   | 6356 863.0   | 298.3       | 0.08181   | 소련              |

근거한 미국과는 상호 일치하지 않는다. 표1 에 고전적인 측지계를 나타내었다. 우리나라에서는 국립지리원이나 수로국에서 Bessel 이 1841년에 산출한 값을 사용하고 있으며, 수로업무법(교통부 수로국, 수로업무법 1980.4.)에는 장반경  $a = 6377397.155m$ , 편평율  $f = 1/299.152813$ 으로 되어 있다.[14]~[16]

이와 같이 세계각국에서는 국가별로 정한 기준 원점에 있어서의 측지계를 설정하여 지도 및 해도를 작성하고 있기 때문에 서로 다른 두 측지계의 인접 지역에서의 경위도는 일치하지 않게 된다. 항해분야에 여러종류의 전자항법방식이 도입됨과 동시에 측량에서도 광파 또는 전자파를 사용한 전자측량장치가 개발되었고, 종래의 삼각측량 대신 정도가 높은 세변측량이 행해지게 되었으며, 인공위성의 출현에 수반하여 공간상에서의 입체 삼각측량이 실행되므로써 넓은 지역에 걸쳐 각 지점의 기하학적인 상대위치관계를 정확하게 구할 수 있게 되었다.

이러한 인공위성의 궤도해석으로부터 지구의 치수와 형태 및 지구 각부의 중력분포를 보다 상세하게 구할 수 있게 되었기 때문에 지상의 천문경위도 측량과 더불어 지구를 기존의 편평타원체라는 평균타원체가 아니라 그림5와 같이 지역마다 지오이드(geoid)가 각각 다른 울퉁불퉁한 구의 형태로서 각 지역마다 정확한 측지계를 만들게 되었다.[17]

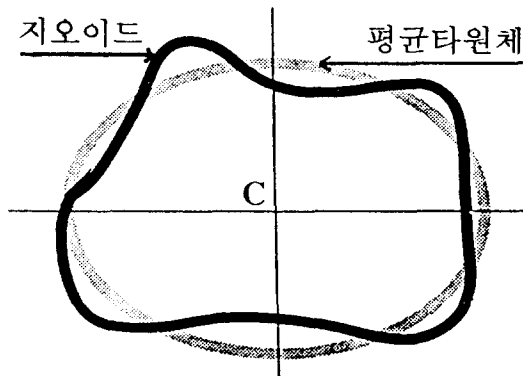


Fig. 5 Potential Surfaces

이러한 기하학적, 역학적 결과를 병행하여 지구상의 각 관측점의 위치를 원점으로 하는 정밀한 좌표계를 구할 수 있는데 이것을 세계측지계(World Geodetic System, WGS)라 한다. 표2에 위성에 의한 세계측지계를 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 위성에 의한 측지계 역시 서로 다르며 국제적으로 통일된 측지계는 없으나 미국을 중심으로 위성측지계의 사용이 확대되어 가고 있는 실정이다.

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  |

좌표계가 각국마다 상이하기 때문에 발생한 예로서는, 걸프전 당시 연합군의 지도좌표계가 서로 다르기 때문에 장거리 유도무기체계 사용에 문제점이 발생하여 미국은 전세계 국가를 대상으로 WGS-84로의 좌표체계 변환을 제안하고 있는 중이다.

### 3.2 WGS-84 측지계

WGS는 1960년 이래 많은 연구자와 연구기관에 의해서 다양한 종류의 것이 개발되어 측지학, 지구물리학 연구와 NNSS(Navy Navigation Satellite System) 항법에 이용되었다. 이 연구는 미국의 존스홉킨스대학의 응용물리연구소 (Applied Physics Laboratory, APL) 및 해군무기연구소 (Naval Weapon Laboratory, NWL) 가 중심적 역할을 하였다. 이 보다 전인 1960년대 이전부터 미국방성(DoD)은 세계공통의 측지계와 기존의 세계각지의 측지계를 연결시키는 계획과 연구 결과 WGS-60,

WGS-66을 경유해서 WGS-72를 개발하여 NNSS에 적용하였고, 1987년 1월 이후 더욱 정밀한 WGS-84 측지계를 채택하여 1990년 이후부터 전세계적으로 확대 추세에 있는 3차원 위성항법 시스템인 GPS에 적용하고 있는 실정이다.[18]~[21]

그림6은 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.[22]

전세계적으로 지오이드 값은 최저 -60m에서 최고 60m 사이에 분포되어 있으며, 이러한 지오이드의 정확한 값은 고정밀측량용 GPS로 부터 측정할 수 있으며, 정밀측정 결과는 이 도표의 값과 오차가 발생할 것이다. 아직 우리나라에서는 이에 대한 연구가 진행 중이므로 정확한 좌표변환을 위한 표준 지오이드원점 및 지오이드값은 발표되지 않고 있으나 도표에 제시한 값과 큰 차이가 없을 것으로 예측된다. 따라서 본 연구에서는 미국방성에서 발표한 내용과 미국방지도국(DMA)에서 제공한 소프트웨어만을 이용하여 좌표변환 실험을 하였다.

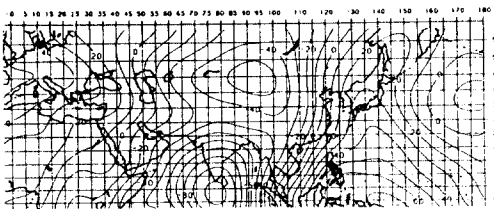


Fig. 6 WGS-84 Geoid Referenced to WGS-84 Ellipsoid(Units=Meters)

### 3.3 측지계 변환

각국의 지역측지계(Local Datum)에 의한 좌표계를 WGS 세계측지계(WGS Datum)에 의한 좌표

계로 변환하기 위해서는 우선, 평면상에서의 직교좌표계와 경위도표시의 타원좌표계 사이의 변환관계식을 구해야 한다. 그림7과 같이, 지구중심을 원점으로하는 직교좌표계 X, Y, Z를 고려하면, Z축은 북극방향을 향하고, XY 면은 적도면내에 있으며, X축은 경도 0°, Y축은 동경 90의 방향을 지시하며 X, Y, Z는 식(4)~(6)으로 나타낼 수 있다.[23]

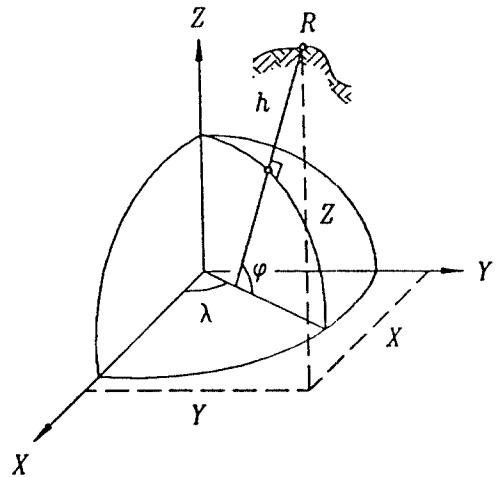


Fig. 7 Cartesian coordinates X,Y,Z and ellipsoidal coordinates  $\varphi, \lambda, h$

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

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

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

여기서, N은 주수직권에서의 곡률반지름(지구타원체로부터 지오이드까지의 고도)으로 다음식(7)과 같다.

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

여기서 a와 b는 준거타원체의 장반경과 단반경,  $\varphi$ 는 위도,  $\lambda$ 는 경도, h는 지구타원체로부터 지구표면까지의 고도로서, 위의 식을 역으로 변환하여

구할 수 있다. 이것은 GPS의 항해정보 데이터에서 제공되는 위성좌표에서 구한 지구표면의 측정 위치로부터, 역으로 지구타원체의 좌표를 구하는 일로써 역변환된 식(8)~(10)을 이용하여 구할 수 있다.

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

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

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

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

또한, WGS-84 에 근거한 위도  $\varphi$ , 경도  $\lambda$ , 고도  $h$  는 지역좌표계와의 차  $\Delta \varphi$ ,  $\Delta \lambda$ ,  $\Delta h$  를 지역좌표계에 보정하면 세계좌표계를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\varphi_{WGS-84} = \varphi_{Local} + \Delta \varphi \quad (12)$$

$$\lambda_{WGS-84} = \lambda_{Local} + \Delta \lambda \quad (13)$$

$$h_{WGS-84} = h_{Local} + \Delta h \quad (14)$$

또한, 직교좌표계의 경우에는 다음과 같이 세계좌표계와 지역좌표계와의 차  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ 와 지역측지계의 지역좌표계에 보정하면 WGS-84 측지계  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} X_{WGS84} \\ Y_{WGS84} \\ Z_{WGS84} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_{LOCAL} \\ Y_{LOCAL} \\ Z_{LOCAL} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} \quad (15)$$

여기서,  $\Delta S$  와  $(\epsilon, \psi, \omega)$ 는 지역측지계의 측정 변동값과 준거타원체의 방향변동을 나타내고,  $X_0, Y_0, Z_0$  는 지역측지계의 원점을 나타낸다.

이러한 좌표변환 방법에는 좌표계 사이의 기하학적 특성에 따른 변환기법, 타원좌표계에 적용하는 3-, 4- 또는 7-매개변수를 이용하는 변환기법, 광범위한 지역에 적용하는 다중회귀 방정식(Mul-

iple Regression Equation, MRE)을 이용하는 기법, 직교좌표계에 적용하는 표준 molodensky기법 등이 적용될 수 있으며, 변환 소프트웨어가 상당 수 개발되어 있다.

### 3.4 좌표변환 소프트웨어

BESSEL 측지계를 WGS-84 측지계로 변환하거나 또는, 역변환을 위한 소프트웨어는 미국 DMASC(Defence Mapping Agency Systems Center)의 Bradford Drew와 Robert Ziegler에 의해 설계된 MADTRAN 이라는 소프트웨어를 사용하였다.[24]

MADTRAN 의 좌표변환에 이용하는 좌표계는 경위도 표시의 GP 좌표(Geodetic Position Coordinates), 구역과 방향으로 표시하는 UTM 좌표(Universal Transverse Mercator Grid Coordinates), 군사격자 체계인 MGRS 좌표(Military Grid Reference System Coordinates)를 사용자가 선택할 수 있고, 측지계의 종류는 약 100 여가지를 제공하고 있다. 이 소프트웨어는 위의 3.3 측지계 변환에서 언급한 표준 Molodensky 공식을 이용하며, 변환 절차를 그림8 에, 변환에 이용하는  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$  와 그외의 변수를 표3에 나타내었다.[25]

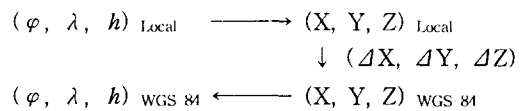


Fig. 8 Standard Molodensky Datum Transformation

본 연구에 이용한 우리나라의 측지계 파라미터(표3)는 미국방성에서 제공한 자료를 그대로 이용하였으나 더욱 정밀한 계산을 위해서는 정밀측정 측지변수를 이용할 것이 요구되고 있다. MADTRAN의 계산 오차는 1~2m 정도이다.



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<br>±8                | -507<br>±5    | -687<br>±8    |
| Tokyo - Japan        |                                  |               |                        | -148<br>±8                | -507<br>±5    | -685<br>±8    |
| Tokyo - Okinawa      |                                  |               |                        | -158<br>±20               | -507<br>±5    | -676<br>±20   |
| Hong Kong 1963       | International 1924               | -251          | -0.14192702            | -156<br>±25               | -271<br>±25   | -189<br>±25   |
| Hu-Tzu-Shan - Taiwan |                                  |               |                        | -637<br>±15               | -549<br>±15   | -203<br>±15   |
| Singapore            | Modified Fischer 1960            | -18           | 0.00480795             | -7<br>±25                 | -10<br>±25    | -26<br>±25    |

#### 4. 측지계변환에 대한 분석 및 고찰

##### 4.1 측지계 선택에 따른 영향

표4는 아시아 각국의 측지계를 이용하여 동일한

Table. 4 Datum Transformation to WGS-84

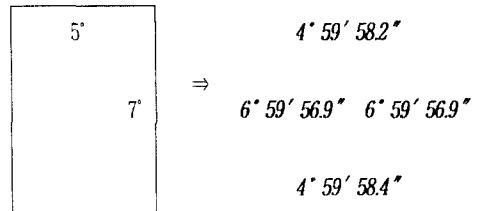
| Datum  | to WGS-84                         | Difference in seconds | Difference in meters |
|--|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Australian Geodetic 1984 (Australia, Tasmania) | 35° 00' 03.1"N<br>128° 00' 05.3"E | + 03.1"<br>+ 05.3"    | + 95.7<br>+ 163.6    |
| Hong Kong 1963 (Hong Kong)                     | 34° 59' 54.4"N<br>128° 00' 11.4"E | - 05.6"<br>+ 11.4"    | - 172.9<br>+ 351.9   |
| Hu-Tzu-Shan (Taiwan)                           | 34° 59' 52.6"N<br>128° 00' 33.1"E | - 07.4"<br>+ 33.1"    | - 228.4<br>+ 1021.7  |
| Indian (India, Nepal)                          | 35° 00' 05.0"N<br>127° 59' 33.0"E | + 05.0"<br>- 27.0"    | + 154.3<br>- 833.4   |
| South Asia (Singapore)                         | 34° 59' 59.6"N<br>128° 00' 00.0"E | - 03.1"<br>+ 00.0"    | - 95.7<br>+ 0.0      |
| Tokyo (Okinawa)                                | 35° 00' 10.8"N<br>127° 59' 52.6"E | + 10.8"<br>- 07.4"    | + 333.4<br>- 228.4   |
| KOREA (South Korea)                            | 35° 00' 11.2"N<br>127° 59' 52.2"E | + 11.2"<br>- 07.8"    | + 345.7<br>- 240.8   |
| WGS 1972 (Global Definition)                   | 35° 00' 00.1"N<br>128° 00' 00.6"E | + 00.1"<br>+ 00.6"    | + 3.1<br>+ 18.5      |

위도(35°00' 00" N) 및 경도(128° 00' 00" E)에서 WGS-84 좌표값으로 변환한 것으로 동일지점에서 측지계 종류에 따른 좌표변환값의 차를 구한 것이다. 이 결과에서 TAIWAN의 경우, WGS-84로 좌표변환할 경우 최대 편차를 나타내어 기존 위치에서 남쪽으로 228.4 meters, 동쪽으로는 1021.7 meters 편위됨을 나타낸다. 한국의 경우는 북쪽으로 345.7 meters, 서쪽으로는 240.8 meters 편위됨을 나타낸다. 여기서, 계산에 이용한 지리위도 1'에 대한 자오선 호의 길이는 우리나라에서 따르고 있는 1929년 국제수로국(IHB)에서 정한 위도 45°에서의 자오선 호의 길이 1852m를 이용하였다[26].

그림9는 한반도 주변에서 임의로 선정한 4 지점(33°N/125E, 33°N/130°E, 40°N/125°E, 40°N/130°E)에 있어서의 WGS-84 측지계 변환결과로서, 기존 해도에서 4지점을 연결한 경도차 5°, 위도차 7°에 대한 직사각형표면이 경사된 곡면의 형태로 변환됨을 알 수 있다.

이러한 변환결과는 앞의 그림 6의 지오이드 등고선도에서 알 수 있는 바와 같이 지오이드의 값이 비선형인 등고선으로 표현되기 때문이다. 또한, 변환 결과에서 위도 40°에서의 경도차(4° 59' 58.2")는 위도 33°에서의 경도차(4° 59' 58.4")보다 0.2" 작은 값으로 변환됨을 알 수 있고, 위도차는 6° 59' 56.9"로서 일정함을 알 수 있다.

40°00'00.0"N 40°00'00.0"E 40°00'08.8"N 40°00'09.1"N  
125°00'00.0"E 130°00'00.0"E 124°59'52.8"E 129°59'51.0"E



33°00'00.0"N 33°00'00.0"E 33°00'11.9"N 33°00'12.2"N  
125°00'00.0"E 130°00'00.0"E 124°59'53.4"E 129°59'51.8"E

Fig. 9 Transformation from BESSEL to WGS-84 in Korean peninsular areas

4.2 지형정보의 변동

그림10은 1990년 3월 대한민국수로국 발행 부산항 해도(No.201, 1/10,000 축척, 점장도법, 1992년 6월 개보)에서 부산항 입구부분만을 발췌한 것이다. 기존 지형지물 및 경위도선은 실선으로 표시하였고, 기존의 경위도선을 그대로 이용하여 WGS-84 측지계로 변환한 경우는 모두 점선으로 표시하였다.

위도 35°05'00.0"N, 경도 129°06'00.0"E 지점에 대해 WGS-84 로 좌표변환한 결과 위도 35°05'11.2"N, 경도 129°05'51.9"E 로 변환되어, 북쪽으로 11.2"(345.7m), 서쪽으로 8.1"(250.0m) 이동된 결과가 되었다. 이러한 측지계 변동을 고려하지 않고 GPS 측위 경위도를 이용하여 기존해도 상에 실선으로 표시된 제 1 항로를 따라 항해할 경우, 선박은 오류도 방파제 끝단 근처를 위험하게 지나치게 될 것이다.

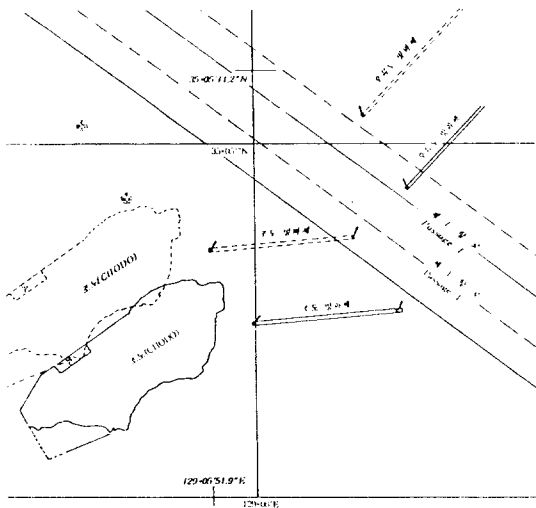


Fig. 10 Transformation Pusan port-entrance to WGS-84

이러한 GPS 측위정보에 대한 보정을 위하여 우리나라의 경우 해도에 다음과 같은 주의 사항을 해도 상단의 구석에 명기하고 있다. '세계측지계(WGS-84)에 근거한 위성항법장치나 유사한 시스템으로부터 얻은 위치를 이 해도에 적용하려면 위도값은 남으로 XX분, 경도값은 동으로 XX분 이동 하여야 한다'.

그러나 선박의 입출항과 같이 신속하게 위치를 기점해야 하는 사항이거나 이러한 주의 사항을 인지하지 못할 경우에는 비효율적인 것이므로 기존 해도에 WGS-84에 의한 좌표 경위도선의 색을 달리하여 기존 경위도와 함께 착도하거나, WGS-84 전용해도를 별도로 제작할 필요가 있다고 사료되며, 이러한 측지계변동에 의한 지형지물의 위치변화를 수로도지 및 수로서지에 적절한 방법으로 명기해야 할 것이다.

4.3 법규상의 기점위치 변동

대한민국 영해법 및 시행령중 영해법(1977년 12월 31일 법률 제3037호) 제 1조는 영해의 범위에 관한 것으로, '대한민국의 영해는 기선(基線)으로부터 측정하여 그 외측 12해리의 선까지에 이르는 수역으로 한다....' 고 되어 있다. 또한, 제 2 조는 기선에 관한 것으로 '① 영해의 폭을 측정하기 위한 통상의 기선은 대한민국이 공식적으로 인정한 대축척해도(大縮尺海圖)에 표시된 해안(海岸)의 저조선(低潮線)으로한다.' 고 되어 있다. 또한, 영해법의 시행일 등에 관한 규정(1978년 4월 29일, 대통령령 제8994호) 의 제2조는 대한해협에 있어서

Table. 5 Transformation to WGS-84 in Territorial Waters

| From BESSEL    | to WGS-84     | $\Delta$ in Sec. | $\Delta$ in Metr. |
|----------------|---------------|------------------|-------------------|
| 35°09'59.0"N   | 35°10'10.2"N  | + 11.2"          | + 345.7           |
| 129°13'12.0"E  | 129°13'03.8"E | - 8.2"           | - 253.1           |
| 35° 02' 1.0"N  | 35° 2'12.2"N  | + 11.2"          | + 345.7           |
| 129° 05'43.0"E | 129° 5'34.9"E | - 8.1"           | - 250.0           |
| 34°31'52.0"N   | 34°32' 3.4"N  | + 11.4"          | + 351.9           |
| 128°44'11.0"E  | 128°44' 3.0"E | - 8.0"           | - 246.9           |

의 영해의 범위에 관한 것으로 ‘... 별표에 계기하는 선을 연결하는 선의 육지측에 있는 수역으로 한다.’ 고 되어 있다. 이 별표의 내용 중 경위도로 명기된 일부분에 대한 WGS-84 로의 좌표변환 값을 표5 에 표시하였다.[27]변환결과는 WGS-84 측지계를 이용하는 경우 북쪽과 서쪽으로 편위하게 됨을 알 수 있다. 따라서 측지계의 선정은 전세계에 발표된 모든 측지계를 대상으로 국가이익과 주변국과의 이해관계 등을 고려한 연구가 선행되어야 할 것이다.

국내법으로는 해상교통안전법 시행규칙 제 8조 (항로지정방식에 의한 항행) 의 ① 은 ‘선장은 법 제 45조 제 3항의 규정에 의하여 선박이 영 제 5의 규정에 의한 특정해역을 항행하고자 할 때에는 별표 3 의 지정항로를 따라 항행하여야 한다.’ 고 되어 있다.[28]

표6은 해상교통안전법 시행규칙의 별표3 에 표시된 적용수역중 제 1 항로의 일부분에 대한 경위도 위치를 변환한 결과이다. 이와 같이 이 법 제 8조를 적용한 안전항해를 성취하기 위해서는 측지계의 변환에 따른 별도의 변환값을 준비하여 법적용상의 혼동이나 오류를 예방하는 것이 타당하다고 사료된다.

Table. 6 Transformation Incheon Eastern-Boundary to WGS-84

| 적용 수역                         | WGS-84 좌표계로의 변환                |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. 37° 19' 36", E126° 27' 06" | 1. 37°19'46.1"N, 126°26'58.5"E |
| 2. 37° 16' 39", E126° 24' 32" | 2. 37°16'49.1"N, 126°24'24.6"E |
| 3. 37° 13' 03", E126° 24' 36" | 3. 37°13'13.1"N, 126°24'28.6"E |
| 4. 37° 09' 14", E126° 20' 14" | 4. 37° 9'24.1"N, 126°20'06.6"E |
| 5. 37° 07' 38", E126° 19' 21" | 5. 37° 7'48.1"N, 126°19'13.6"E |

#### 4.4 고찰

현재 WGS-84 측지계를 이용하는 GPS 의 측위 오차는 P 코드가 1m 이내, C/A 코드는 약 100m 정도로 알려져 있으나 수신기의 종류, 형태, 측정

위치, 시간, 이동상태 등에 따라 일정하지 않다. 따라서 GPS 를 이용한 측지계 변동에 관한 검토는 GPS 의 오차해석이 선행되어야 할 것이나 본 연구에서는 GPS 오차를 고려하지 않은 순수한 좌표 변환에만 중점을 두고 연구하였다.[29]~[34]

또한, 측지 및 좌표변환에 따른 문제는 국제간 경계선 변동이나, 법조항의 검토등 복잡한 문제가 발생할 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요할 뿐 아니라, GPS 의 광범위한 확대는 기존 항법장치를 대신할 수 있는 획기적인 것으로 인식되고 있으나 강대국의 통제에 의한 GPS 운용이라는 측면에서 GPS 항법과는 별도로 천문항법, 지문항법, 기타 독립된 위치측정 체계에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 아울러 머지않아 범용화될 전자해도 (ECDIS)의 경우에도 측지 및 좌표변환에 관한 검토가 이루어져야 할 것이다.

## 5. 결 론

기존 해도로 사용되고 있는 BESSEL 타원체에 근거한 점장해도에 새로운 WGS-84 측지계 적용 및 측지계변환에 대한 고찰과 분석을 통하여 해양활동의 안전에 필요한 사항을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 육지에서 사용하고 있는 지도(Map)와 해도(Chart)는 제작방법이 서로 상이하므로 양자를 병행하여 사용해야 하는 경우에는 충분한 사전지식이 필요하며, 병행사용에 따른 혼란을 사전에 방지해야 한다.

둘째, 새로운 측지계에 대한 국내승인 여부는 자국의 이익과 주변국과의 경계문제 등을 고려하여 신중히 선정할 필요가 있으며, 국내 및 국제법상 경위도 위치에 관한 내용은 반드시 사용한 도법과 측지계의 종류를 명기해야 법적 논쟁의 소지가 없을 것이다.

셋째, 해양에서 활동하는 민, 관, 군 선박의 위치 정보획득을 위한 항법 시스템이 다르거나 사용하는 측지계가 상이할 경우에는 정확한 위치정보의 교환을 위한 공조체계 유지가 필요할 것이다.

넷째, GPS의 사용이 민, 관, 군을 막론하고 전세계

계적으로 점차 확대되어 선박자동화 등에는 필수적인 장비로 되어 가고 있으나, 이는 미국방성에서 관리하고 있다는 점을 감안하여 GPS에 대한 관심 뿐 아니라 기존 천문항법, 지문항법 등의 자력항법에 대한 과학적인 교육방법 및 계기의 자동화에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Börje Forssell, "Radionavigation System," Prentice Hall, New York, pp.335~374, 1991
- [2] Earl G. Blackwell, "Overview of Differential GPS Methods," The Institute of Navigation, Vol.III, 1986
- [3] RTCM Special Committee's, "RTCM Recommend Stands for Differential NAVS-TAR GPS Service Ver.2.1," New York, 1994
- [4] 木村小一 外4人, "電子ナビゲーションシステム設計技術とその展開-例," 應用技術出版, 東京, pp.3~127, 1988
- [5] 下世古 幸 雄, "移動體通信と測位," 日本航海, 102號, pp.5~12, 1990
- [6] 윤여정, "천문항해학," 아성출판사, pp.321~379, 1973
- [7] 윤여정, "지문항해학," 아성출판사, pp.3~11, 1975
- [8] 松本吉春, "精説 地文航法," 成山堂書店, 東京, pp.1~30, 1988
- [9] 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
- [10] 長谷川一郎, "天文計算入門," 恒星社, 東京, pp.54~147, 1982
- [11] 鈴木敬信, "天文學通論," 地人書館, 東京, pp.11~36, 1983
- [12] 沓名景義, 坂戸直輝, "海圖の知識," 成山堂書店, 東京, pp.302~322, 1967
- [13] 永井信夫, "地圖學の基礎 第4版," 地圖情報センター, 東京, pp.49~75, 1984
- [14] 이석우, 김근식, "해양측량학," 집문당, pp.19~40, 1984
- [15] 유복모, "측량공학," 전영사, pp.287~313, 1993
- [16] 양용일, "응용측량학," 기공사, pp.201~212, 1994
- [17] 김기성, "측지학 개요," 기공사, pp.16~118, 1992
- [18] David W., "Guid to GPS Positioning," Canadian GPS Associates, New Brunswick, Canada, pp.1.0~1.10, 1987
- [19] Tom Logsdon, "The Navstar Global Positioning System," Van Nostrand Reinhold, New York, pp.177~191, 1992
- [20] 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
- [21] 河合雅司, 中谷俊彦, "靜止衛星お測位に用いた場合の座標變換と測位計算," 日本航海, 50號, pp.48~53, 1988
- [22] DMA Technical Report, "DEPARTMENT OF DEFENSE WORLD GEODETIC SYSTEM 1984," DMA TR 8350.2, second Ed., 1991
- [23] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, J. Collins, "Global Positioning System," Springer-Verlag Wein New York, pp.229~251, 1993
- [24] Defence Mapping Agency, "MADTRAN(Mapping Datum Transformation)," Ed. No.004, 1993
- [25] DMA Technical Report, op.cit. pp.A-1~D-12
- [26] 박양기, 박성기, "지문항해," 연경문화사, p.46, 1994
- [27] 강영훈, "군함의 법적지위," 연경문화사, pp.362~367, 1984
- [28] 윤점동, "국제해상예방충돌규칙 및 관련된 국내법규해설," 아성출판사, pp.407~425, 1988
- [29] 木村紘治郎 外 4人, "GPSの測位精度-I," 日本航海, 96號, pp.39~46, 1988
- [30] 室藤 了 外2人, "GPS航法の定点觀測結果について," 日本航海, 97號, pp.77~82, 1988
- [31] 松野保久 外 4人, "GPSの測位結果について,"

日本航海, 102號, pp.17~26, 1990

- [32] 合田政次 外2人, “GPSの定点における測位精度,” 日本航海, 102號, pp.27~33, 1990
- [33] 고광섭, “GPS 에 있어서의 위상변조 통신방식에 대한 연구,” 한국해양대학교 석사학위논문, 1983

- [34] 고광섭, 임정민, “GPS 위치정보를 이용한 선박의 제 2 방위센서 개발,” 한국항해학회 95년도 춘계학술발표대회논문집, pp.117~133, 1995