

工學碩士 學位論文

DGPS를 利用한 마을漁業 및 協同養殖漁業  
免許區域 設定에 관한 研究

A study of the Methods to Create the Boundary Limits  
by DGPS in the Registration of the Fisheries Block

指導教授 金 基 文

2004年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電子通信工學科

金 天 坤

本 論 文 을 金 天 坤 의 工 學 碩 士  
學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 : 林 宰 弘 (印)

委 員 : 朴 東 國 (印)

委 員 : 金 基 文 (印)

2004年 7月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 子 通 信 工 學 科 金 天 坤

# 목 차

## Abstract

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 제 1 장 서 론 .....              | 1  |
| 1.1 연구의 배경 .....             | 1  |
| 1.2 연구의 목적 .....             | 1  |
| 제 2 장 GPS의 기본 이론 및 응용 .....  | 5  |
| 2.1 GPS의 개요 .....            | 5  |
| 2.2 GPS의 구성과 작동원리 .....      | 22 |
| 2.3 위치결정의 기준에 대한 이해 .....    | 32 |
| 2.4 GPS 신호 분석 .....          | 40 |
| 제 3 장 한계수심 설정을 위한 해양조사 ..... | 42 |
| 3.1 수산업 관련 규정 분석 .....       | 42 |
| 3.2 기본 수준면 설정 .....          | 44 |
| 3.3 조위 예보 모델링 .....          | 55 |
| 3.4 음향 측심 .....              | 58 |
| 제 4 장 해상 실험 및 고찰 .....       | 65 |
| 4.1 한계수심 설정 해저지형 측량 .....    | 65 |
| 4.2 음향 측심 외업 .....           | 69 |
| 4.3 내업 .....                 | 70 |
| 제 5 장 결 론 .....              | 78 |
| 참고문헌 .....                   | 79 |

# 표 목 차

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <표 2-1> 지상 기준국 항법 체계 .....            | 17 |
| <표 2-2> 우주 기준국 항법 체계 .....            | 18 |
| <표 2-3> 타원체 제원 .....                  | 34 |
| <표 2-4> Bessel 1841 타원체별 제원 .....     | 39 |
| <표 3-1> 우리나라 근해에 주영향을 주는 4개 분조 .....  | 51 |
| <표 3-2> 조석에서 사용하는 약호 도표 .....         | 57 |
| <표 3-3> 음향 측심 오차량 .....               | 59 |
| <표 4-1> 동원 장비의 목록 .....               | 68 |
| <표 4-2> 실측 한계수심 경계면적과 관리대장면적 대비 ..... | 77 |

# 그림 목 차

|   |    |
|---|----|
| <그림 2-1> 항법체계별 과장과 주파수의 비교 .....          | 18 |
| <그림 2-2> GPS 관제소 위치 .....                 | 22 |
| <그림 2-3> NAVSTAR 위성 .....                 | 24 |
| <그림 2-4> 단독측위(Absolute Positioning) ..... | 26 |
| <그림 2-5> DGPS 개념도 .....                   | 27 |
| <그림 2-6> 해양수산부 주문진 DGPS 기지국 .....         | 29 |
| <그림 2-7> 국지적 사설 RTK-GPS 상대 측위 개념도 .....   | 29 |
| <그림 2-8> 종류별 GPS 항법체계의 정확도 .....          | 30 |
| <그림 2-9> NAVSTAR 위성 신호의 구조 .....          | 31 |
| <그림 2-10> 회전 타원체와 실제 지구의 형상 .....         | 32 |
| <그림 2-11> 지오이드면 .....                     | 35 |
| <그림 2-12> 지오이드 보정 모델의 예 .....             | 36 |
| <그림 2-13> 타원체의 투영 .....                   | 37 |
| <그림 3-1> 조석 관측 모식도 .....                  | 45 |
| <그림 3-2> 해수 유동 모식도 .....                  | 46 |
| <그림 3-3> 기조력 모식도 .....                    | 48 |
| <그림 3-4> 단계별 면허처분 계획(안) .....             | 64 |
| <그림 4-1> 2002년 9월 통영 해역 초석 예보표 .....      | 66 |
| <그림 4-2> DGPS 안테나와 Transducer 장비 설치 ..... | 69 |
| <그림 4-3> 조위 보정 .....                      | 71 |
| <그림 4-4> 어장 수심 한계, 경계 확정 표지 설치 .....      | 72 |
| <그림 4-5> 내부지도 해저지형 등심선도 .....             | 73 |
| <그림 4-6> 제1단계: 한계 수심 5m 등심선까지의 해저지형도..    | 74 |
| <그림 4-7> 제2단계: 한계 수심 등심선을 따라 확정된 수심선..    | 74 |
| <그림 4-8> 제3단계: 면허처분권자의 면허구역 경계 확정 .....   | 75 |
| <그림 4-9> 신·구 면허구역 비교도 .....               | 76 |

## **Abstract**

The objectives of this study is to determine an accurate method for a data collection process and propose a methodology for determining the boundary limit based on the fishery law in order to prevent disputes between fishermen of adjacent fishing blocks. To develop the optimum procedure for the boundary limit, field tests were carried out and accurate data collected at a site in KYUNGNAM province. It is an extremely difficult process to determine the boundary limits by the accurate positional depth for an official from the local government.

This is due to the lack of knowledge of the tide, datum level and positioning mechanism. The basic concepts of the tide, datum level and positioning method must first be understood before accurate positional depth and set to work procedures for fishery licensing can be developed. For basic understanding of accurate positional depth, the author briefs the concepts of the Differential Global Positioning System (DGPS) positioning by each different application method, tidal measurement steps, abbreviation of tide and positioning, the mechanism of the tide generating force by astronomical forces and comparing the other positioning methods by the different referencing Geodetic system.

The result of the experiment in this study on the island in KYUNGNAM province was the determination of large differences between the lawful areas and existing licensed areas. This was determined to be 480% larger than the lawful existing areas, which will be unacceptable to the adjacent fishermen. After analysis of the results, the cause of these large differences was found to be due to the precise hydrographic survey of the real depth for the boundary limit was not followed to the accurate positional depth. The real depth in the

licensed block was determined to be three times deeper than the lawful one.

The reason was due to the lack of knowledge of the tidal height, datum level, positioning concepts, application methodology and the projection theory for each different sphere and ellipsoid, such as WGS84 vs. BESSEL1841. The author proposes seven steps to issue the licensed fishing block for the local fishery union by the local government official.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경

우리나라는 마을어업 및 협동양식어업을 면허하는 경우에 수산업법 및 동 시행령에 따라 어장 경계를 구획 하도록 규정되어 있다. 수산업 법 시행령의 규정은 면허 요청하는 어장이 위치할 해역의 평균 수심을 조사하여, 법규에서 정한 한계수심을 기준으로 면허구역의 경계가 구획되도록 되어 있다. 그러나 수산업법에 규정된 평균 수심을 찾아서 경계 구역을 설정한다는 것은 변화무쌍한 조위(潮位) 상에서 한계수심을 측정하고, 그 정확한 평면위치를 측정한다는 것은 매우 어려운 것이다. 수증기와 해면의 난반사 그리고 파도와 안개 때문에 시야확보가 어렵고, 목표물까지의 시준이 어려운 해상 기상조건 속에서 일반 행정직 면허 권자와 수산업에 종사하는 면허 신청자들이, 상호 객관적으로 인정할 수 있는 정확한 수심한계 설정을 한다는 것은 거의 불가능에 가깝다고 할 수 있다. 이에 따라 상호 인접하여 수심한계가 서로 다른 어업 면허권을 소유한 당사자들 사이에는 한계수심의 구역 경계선이 모호하다 하여 잦은 분쟁이 발생하고 있어 이를 개선할 필요성이 대두되었다.

## 1.2 연구 목적

객관적으로 인정할 수 있는 자료와 기준에 입각하여 공정하게 면허 구역을 설정할 수 있는 절차와 방법을 연구하는 것은 지역 주민들 간의 다툼과 소송분쟁을 사전에 막을 수 있어서 수산업계에 매



우 이로운 일이 될 뿐만 아니라 소송분쟁으로 인한 국력소모를 줄일 수 있는 방안이라고 사료된다.

본 연구는 우선 평면위치 결정에 필요한 위성위치확인시스템(GPS; Global Positioning System)과 정밀위성위치확인시스템(DGPS; Differential GPS)에 관련된 기초 조사와 DGPS 이용 방법에 대한 연구를 수행한 다음, 수직위치 결정에 필요한 DGPS 응용수심측량 방법을 연구하였으며 DGPS 종류와 개념을 각각 설명하고 기본적인 장비의 조작과 신호 처리에 대한 방법을 연구하였다. 우선 위치 측정의 기본도구인 GPS의 이해를 돕기 위하여 GPS의 기초에 대한 이해 및 인공위성의 원리와 구조에 대한 내용을 연구·조사하여, 위치 측정의 기본 개념을 도입하였고, 국내·외의 GPS 관련 자료를 바탕으로 GPS 측위에 대한 개념을 종합 정리하고, GPS NMEA(National Marine Electronics Association) 신호체계 중에서 사용되는 신호를 분석·요약하고 GPS를 이용한 응용측량의 분류에 대하여 연구하였다. 또한, 해상에서의 공동어장 구역 경계를 확정하는 측위는 항법과 무관하지 않으므로 항법의 종류와 발달에 대한 연구를 수행하여 항법의 기본 개념을 세운 후, 해도의 종류와 그 용도 등을 알아보았으며, 공동어장 면허구역 처분 권한을 가진 행정직 담당자가 해양수산부 국립해양조사원 발행 조석표를 이용하여 해당 해역의 한계 수심을 조사할 수 있는 절차와 방법을 연구하였다.

GPS와 음향측심기기를 조합한 장치로 조사 측량된 수심에 내재된 각종 오차들을 연구하여 요약·정리하고, 음향 측심된 원시자료를 수심을 경정 수심으로 조정하고 등심선을 생성시켜 보았다. 이를 근거로 한계수심 경계선을 확정제시하고, 이를 근거로 면허 조치할 구역의 정점을 설정하여 보았으며, 해양수산부의 DGPS 기준국 위치를 기준점으로 활용하여 면허 조치된 정점을 경·위도로 전개하고 마을어업 및 협동양식어업 면허구역 도면을 평면좌표로 전개하여 작성하

고, 그 면적을 당초 허가 면적과 비교할 수 있도록 산출하고 요약하였다.

우리나라 해양수산부의 DGPS 기준국은 육상의 삼각점과 동일한 성격을 가지고 있는 것이다. 육상의 화강석 삼각점을 수동형 기준점(Passive Control Point)이라고 한다면 해양수산부의 DGPS 전자기준국은 능동형 기준점(Active Control Points)이라고 할 수 있다.

실험에서는 이를 기준점으로 이용하여 한계수심 경계선 측위를 측정하였고, 결과적으로 해양수산부의 DGPS 기준국이 어장 면허처분시에 기준점으로 사용된다면 전국의 면허구역에 대한 기준점 체계가 일원화되어 통일된 체계로 정립될 수 있다는 것을 알게 되었다.

수심측량에 사용된 기기는 저가형 진동자(Transducer)를 일본으로부터 수입하여 간이 음향 측심기로 제작하여 수심의 기준면인 기본수준면(DL; Datum Level)으로부터의 수심을 조사측량하고, 그 결과를 경정 수심으로 변환하는 방법을 연구하였다.

본 논문의 연구에서 수행한 실험은 경상남도 통영시 산양읍 연대리 내부지도 마을어업 공동어장을 대상으로 2002년 9월 현지 해양조사 측량을 실시하여 자료를 작성하였다. 그 결과는 실험 해상에서 전자 해양측량 방법에 의하여 취득한 자료를 해석한 후, 과거 면허한 자료와 비교 분석하여 서술하였으며 합리적이라고 판단되는 면허처분 표준절차를 제시하였다.

본 논문의 구성은 제 2 장에서는 GPS에 대한 기본 개념과 구성, 작동원리를 비롯한 응용 방법 및 신호를 분석하였고, 제 3 장에서는 마을어업과 협동양식어업의 수산업법 면허규정인 시행령 제 10 조에 대하여 서술하였으며 법규 적용의 문제점을 제시하였다. 또한, 한계 수심 설정을 위한 해양조사에서는 기본 수준면의 설정 방법과 조위 예보 모델링 및 음향 측심 등에 대한 방법론적 이론을 토대로 간이 음향 측심기를 제작하여 측량을 시행 자료에 대하여 연구하였

다.

제 4 장에서는 해상 실험을 통한 한계 수심의 설정과 해저 지형의 측량 작업 및 음향측심의 실험결과를 서술하고, 마지막으로 제 5 장에서는 결론과 향후 연구 계획에 대하여 서술하였다.

## 제 2 장 GPS의 기본 이론 및 응용

### 2.1 GPS의 개요

일반적으로 과학기술은 전시에 막대한 경비와 인원을 투입하여 큰 진전을 보이다가 전후에 들어서 민간용으로 실용화되기 시작하며, GPS 위성항법체계의 경우도 이 범주를 벗어나지 않는 것으로서 개발 당시의 목적은 군사용의 천문항법체계이지만 현재는 광범위한 분야에서 민간용으로도 동시에 활용되고 있다.

GPS는 인류의 꿈을 달성시킨 위대한 사업이었다. 고대로부터 인류는 밤이나 낮이나, 강설 또는 강우 등의 어떠한 기상 상태에서도 항상 필요할 때에는 즉시 자신의 위치와 시각을 알기를 원하였을 것이다. GPS는 이러한 모든 인류의 기대에 부응하여 인류의 공학적 기술을 이용하여 지상 약 20,500km 상공에 인공의 전파 송·수신기를 우주공간에 배치하는 방법으로 인공의 달을 만든 다음, 태양, 달, 별을 사용하던 과거의 천문측량과 같은 원리로 자신의 위치와 시각을 알 수 있도록 활용하는 범지구적 항법 체계로 발전시킨 것이다.

GPS를 구성하는 각각의 NAVSTAR(NAVigation System with Time And Ranging)위성들은 빛을 발하는 자연 속의 별들과는 달리 특정한 주파수의 전파를 발사하고 있으며, 지구상의 인류는 이를 수신하고 해석할 수 있는 전파 수신기를 이용하여 시각과 위치를 알 수 있게 된 것이다. 시각은 곧 공간상의 위치라고 한다. GPS 체계가 상업적으로 활성화 된 시대에 즈음하여 자신의 위치를 알고자 하는 사람들은 이제 미화 100 달러만 투자하면 30미터 이내의 정확도로 언제나 자신의 위치를 알 수 있으며, 연구 자료를 분석하기 위

하여 정밀하고 정확한 시각이 필요한 연구원들에게는 대형 연구소에 장비된 수준의 정확도를 가진 거대한 초정밀 원자시계를 단돈 100달러에 가질 수 있는 수 있는 시대가 되었다는 것이다[2].

GPS를 위치결정에 대한 공학적인 비유로 하자면 GPS는 공간 후방교회법에 의한 삼각측량 체계라고 할 수 있다. 기존의 삼각측량이 인간의 시각과 손가락의 동작을 이용하는 광학기계를 사용하는 것과는 달리 GPS를 이용한 공간 삼각측량은 전파를 사용하며 우주에 배치된 송신기와 지상의 수신기를 이용하여 그 관측치를 해석한다는 점에서만 다를 뿐이다. 그러나 빛을 이용한다는 점에서는 유사하다. 인간의 시각으로 관측이 가능한 시각적인 형태의 빛은 많은 경우에 전파와 비교되어 왔다. 빛과 동질성을 가지고 있으나 결코 인간의 시각으로는 볼 수 없는, 우리 생활 주변에 너무나 많이 이용되고 있는 전파는 그 성질이 빛의 한 성질과 동일 한 것이나, 단지 빛은 입자적 성질과 파동적 성질을 동시에 가지고 있고 전파는 파동적 성질만을 갖고 있다는 것만이 다를 뿐이다. 즉 빛이란 파동적 입자라는 것이다[3].

GPS체계의 우주부문의 NAVSTAR 위성들은 비록 인공의 별들이지만 실제로 행성의 성질과 원리를 모두 가지고 있으며 케플러의 1, 2, 3 법칙과 뉴턴의 1, 2, 3 법칙 그리고 아인슈타인의 상대성 원리 등에 기초하여 움직이고 있는 것이다[4].

지구의 질량 중심에 기준을 두고 있는 GPS 항법체계에서는 3차원 위치 중에서 높이를 표시할 때, 항상 모든 곳에서 중력의 값이 동일한 면, 즉 등가중력 면인 지오이드 면을 기준으로 표시하고 있다[5].

GPS의 고도는 건설 공사용 수준 측량 목적으로 사용할 수 없다. 건설 공사용 표고로 사용하려면, 지오이드를 고려한 값을 보정하여 사용하여야 한다. 타원체고와 표고는 정밀 GPS 측지를 하여도 2~5cm 정도의 차이가 발생하는데, 이 것은 타원체고와 지오이드고 그

리고 표고의 오차에 기인한 것이다[6],[22].

### 2.1.1 인공위성의 원리와 고유한 성질

#### 1. Newton의 만유인력의 법칙

인공위성은 지구 중심을 향해 F 크기의 인력을 받고 있으며, 두 물체 사이의 만유인력은 다음 식과 같다[4].

만유인력  $F = GMm/r^2$  [N] 이다.

여기서  $r$  = 두 물체간의 거리

$M = 5.977 \times 10^{24}$  [kg] : 지구의 질량

$m$  = 인공위성의 질량

$G = 6.673 \times 10^{-11}$  [ $N \cdot m^2/kg^2$ ] : 만유인력 상수

N = Newton [ $kg \cdot m/sec^2$ ] 이다

#### 2. 향심력

물체의 원운동이 성립되기 위해서는 원운동을 하는 물체가 일정한 크기의 힘으로 원의 중심을 향해야만 한다. 이 힘을 향심력이라고 한다[7].

향심력  $f = mv^2/r$  [N]이다.

여기서  $m$  = 인공위성의 질량 (kg)

$v$  = 인공위성의 속도 (m/sec)

$r$  = 인공위성의 궤도 반지름 (m)

### 3. 인공위성의 속도

인공위성과 지구 사이의 만유인력  $F$ 와 항심력  $f$ 가 동일하면 인공 위성은 원운동을 하게 된다[14].

즉  $F = f$  이다.

$$GMm/r^2 = mv^2/r \text{에서}$$

$$v = \sqrt{GM/r}$$

만유인력 상수와 지구의 질량을 대입하면

$$v = 1.9971 \times 10^7 / \sqrt{r}$$

### 4. Kepler's Law

Kepler가 스승인 T. Brahe의 행성관측 결과로부터 경험적으로 얻은 행성 운동에 관한 3 가지의 법칙을 말한다. 제1법칙과 제2법칙은 T. Brahe가 주로 화성을 관측하여 얻은 것으로서 1609년에 발표되었고, 제3법칙은 이보다 10년 후에 발표되었다. Kepler의 법칙은 후에 Newton이 만유인력을 발견하는 데 핵심적인 수학적 기초를 제공해 주었다[20].

가. 제1법칙: 타원궤도의 법칙으로서 위성의 궤도에 관한 법칙이다. 행성은 태양을 하나의 초점으로 하는 타원궤도를 그리며 공전한다. 즉 GPS 체계의 NAVSTAR 위성의 경우에는 지구 중심이 인공 위성 타원궤도의 한 쪽 초점이 된다.



여기서  $r$  = 지구의 중심으로부터 위성까지의 거리

$e$  = 타원궤도의 이심률

$a$  = 타원궤도의 장반경

$\Theta$  =  $r$ 과  $a$ 가 이루는 각 (반 시계방향 측정값)

나. 제2법칙: 면적속도 일정의 법칙으로서 위성의 속도에 관한 법칙이다. 행성과 태양을 연결하는 동경(動經)은 같은 시간에 같은 넓이를 휩쓸며 지나간다. 즉 행성의 속도와 그 동경이 그리는 넓이의 곱은 항상 일정하다. 위성의 속도는 타원궤도의 근지점에 가까운 쪽이 빠르고 원지점에 가까운 쪽이 느다. 지구 중심으로부터 위성까지의 거리가  $r$  (m) 일 때 위성의 속도  $v$  (m/sec)는 다음의 식과 같다.

$$e = \sqrt{\{(a^2 - b^2)/a\}} : \text{타원궤도의 이심률}$$

여기서  $a$  : 장반경,  $b$  : 단반경

$$v = 1.9971 \times 10^7 / \sqrt{r} = 1.9971 \times 10^7 / \sqrt{(2r - 1/a)} \text{ (m/sec)}$$

다. 제3법칙: 조화의 법칙으로서 위성의 공전주기에 대한 법칙이다.

즉 공전주기  $T = 2\pi r/v$  이다.

여기서  $v = \sqrt{(GM/r)}$ 를 대입하면

$$T^2 = 4\pi^2 r^3 / GM \text{ 가 되며}$$

위성의 공전 주기의 제곱은 반경의 3승에 비례한다.

## 5. 궤도의 섭동현상



인공위성의 궤도는 궤도 요소를 구성하는 6개의 인자가 시각에 따라 변하기 때문에 궤도의 섭동현상이 발생하며 다음과 같은 역학적 원인을 가지고 있다.

#### 6. 지구의 편평률

적도 반경이 극반경보다 크기 때문에 발생하는 인력의 차이, 즉 적도 쪽의 인력이 더 크다.

#### 7. 대기권 효과

지표에 가까운 고도가 낮은 위성에 영향을 준다.

#### 8. 다른 인력의 영향

태양이나 달의 인력에 의한 궤도의 변화이다.

#### 9. 태양의 복사압

모든 NAVSTAR 위성들은 1년에 2회의 일식기간이 있으며 태양 광의 복사압을 받지 않기 때문에 궤도 운동에 변화가 발생한다.

#### 10. 위성 제어 엔진의 분사

인위적으로 궤도를 수정한다.

### 2.1.2 인공위성의 개요

#### 1. 인공위성의 궤도

인공위성은 지구에서 쏘아 올려서 지구 둘레를 궤도 비행하게 만든 인공의 별이다. 인공위성의 운동은 Kepler의 제 3 법칙을 따르며 그 궤도는 모두 지구 중심을 하나의 초점으로 하는 타원이라고 논

한 바 있다. 즉 인공위성의 궤도는 보통 타원이다.

정지형 위성이 아닌 경우에는 궤도면이 적도면과 일정한 경사를 갖게 되는 데, GPS 체계를 구성하는 NAVSTAR 위성의 경우에는 55도의 궤도경사 각도를 가지고 있다. 이 경사각은 인공위성을 발사하는 로켓 발사장의 위치 및 발사조건에 따라서 결정된다. 보통의 위성은 지구 자전에 따른 접선 속도가 로켓의 비행속도에 가중하도록 진동(眞東) 방향으로 향해서 발사된다.

적도상에 있어서의 자전속도는 초속 약 465m으로 위도가 높아지면 감소하고 극極에서는 0 이 된다. 예를 들면, 북위 30도에서 진동으로 발사한 경우, 지구 자전속도에 의한 이득은 초속 약 400m가 된다. 진동으로 발사된 로켓은 항상 지구의 중심으로 끌리므로 점차 남하 진로를 진행하여 적도를 가로질러 남위 약 30도까지 남하하면 이번에는 북위 30도까지 북상하면선 적도면에 대하여 경사각 30도의 궤도를 잡게 된다. 자전속도에 의한 이득을 생각하지 않고, 또 로켓의 힘에 여유가 있다면 어느 방향으로 발사하는 것도 가능하며, 임의의 경사각을 가진 궤도에도 발사할 수 있다. 그러나 실제로는 다단식 로켓을 사용하여 순차적으로 이탈시키면서 가게 되므로 그것들을 낙하시키는 대책을 세워야 한다는 점에서도 발사방향은 상당한 제약을 받는다. 그 때문에 진동으로 발사하여 초기적인 궤도에 진입시키고 나서 궤도면이나 고도 등을 변경시키는, 이른바 궤도변환 조작을 실시하는 일이 많다.

복잡한 궤도변환의 한 예로는 정지형 궤도에의 변환이다. 정지형 궤도는 지구가 자전하는 각속도와 같은 각속도로 적도 상공의 원 또는 그 것에 가까운 타원궤도를 주회하게 되므로 위 궤도를 동쪽으로 주회하는 인공위성은 그 상공에 정지하고 있는 것처럼 보이기 때문에 이렇게 부른다. 이 궤도 속도는 초속 약 3.08km이며, 필요한 반지름은 지구 지름의 약 6.6배인 4만 2188km가 되며, 고도는 적도

상공 3만 5810km 이다. 이러한 궤도에 위성을 한번에 들여보내는 것은 로켓의 에너지를 유효하게 사용하기 위해서는 유리하지 못하다. 따라서 먼저 위성을 발사기점의 위도에 대응한 경사각을 이루는 장원궤도에 발사한 다음에 위성에 조립되어 내장된 Apogee Motor 라는 로켓엔진을 원지점 고도에서 작동시켜 궤도면 및 고도를 바꾼다. 이런 경우 추진력이 작용하는 방향을 바르게 조정하기 위해 위성의 자세를 정확히 제어해야 하며, Apogee Motor의 작동위치나 작동시간 등 일련의 조작을 정밀하게 실시할 필요가 있다.

정지형 통신 위성인 경우, 초기중량의 약 1/2을 Apogee Motor가 차지하며, 다시 자세제어 및 이후의 궤도 수정에 필요한 추진제를 상당히 적재해야 한다. 정지형과 비슷한 것으로 준정지형이라고 하는 궤도가 있다[19].

이것은 정지형 궤도의 인공위성인 경우, 지구의 광역을 내려다 볼 수 있는 반면에, 극에 가까운 고위도 지대는 포괄할 수 없으므로, 약간 경사각을 가지게 하여 적도 상공을 축으로 하여 마치 8차형으로 남북을 이동할 수 있게 한 것이다.

이것과는 다른 종류의 준정지형 궤도에는 정지형과 마찬가지로 적도 상공에 있지만 고도를 정지형보다 약 2,000km 낮은 곳에 발사하는 방법이 있다. 이 궤도에 들어간 위성은 매일 약 30도씩 동쪽으로 이동하였다가 12일 후에 본래의 위치로 되돌아온다. 이러한 위성들을 궤도에 몇 대 이상 배치해두면 순차적으로 접근하여 오는 위성을 이용할 수 있다. 지구의 적도면은 공전궤도면과 23.4도 경사되어 있으나 이들 면은 1년에 2회, 즉 춘분과 추분 날 서로 교차한다. 그 때문에 지구의 어느 특정지점의 특정시각, 예를 들면 정오의 태양방위는 매일 편향되게 된다. 이 편향 값은  $360^{\circ}/365\text{일} = 0.99^{\circ}$ 가 된다.

인공위성의 궤도면을 매일 이만큼 편향되게 하면 특정 시각, 특정 지점의 상공에 위성이 나타나게 된다. 이러한 궤도를 태양동기궤도

라고 하며, 군사용 정찰위성과 같이 특정지점을 매일 정기적으로 내려다보는 데 편리한 궤도이다.

## 2. 인공위성의 기본 구성

인공위성은 Mission계, Telemetry 추적 사령계, 궤도 자세 제어계, 전원계, 구조체 등으로 이루어진다.

## 3. 인공위성의 응용

인공위성을 사용목적별로 분류하면, 과학관측·연구, 지구상의 경제 사회 활동의 지원, 군사를 포함하는 안전보장 상 필요한 정보수집, 우주공간을 이용하는 산업 활동 등이 있다.

GPS 체계의 경우는 원래 군사목적으로 개발되었지만, 현재는 위 모든 사항의 목적에 부합된다고 할 수 있다. 우주공간의 과학관측이나 연구 분야는 인공위성이 실용화된 초기에는 고층대기나 지구의 자기권(磁氣圈) 등이 연구 대상이었다. 그 후 태양활동과 지구 환경과의 상관(相關)이나 행성 간 대기의 물리학적 조사·관측 등에 확대되어, 태양계뿐만 아니라 은하계나 우주구조 등 광범위하게 미치고 있다. 그 때문에 과학위성은 점차 전문화되어 국제 공동연구로 실시되는 경우도 많아지고 있다.

스페이스 Shuttle에 탑재되는 우주실험실 Space Lab에서는 대량의 관측·실험장치를 한번에 탑재할 수 있으므로 여러 분야의 연구가 동시에 실시되고, 또한 전문과학자가 탑승하는 일도 있어서 큰 성과를 기대할 수 있다. 국제통신, 기상관측, 자원·환경탐사 등은 인공위성을 응용하여 지상의 경제사회 활동을 지원하는 분야이다. 특히 통신은 1970년대 후반에는 국내용으로서도 이용되는 경향이 강해지고 있다.

1976년 9월 정부 간 해사 협의 기구(IMCO; Inter Governmental

Maritime Consultative Organization)는 국제 해사 위성 기구 (INMARSAT; International Marine Satellite Organization)의 설립을 결의하고, 1980년대 해사위성(海事衛星)을 발사하여 해상항행 중의 선박과 지상간 통신 연락체제의 정비를 하게 되어 있다. 1964년 8월 발족한 국제상업통신위성기구는 1973년 2월부터 항구조직(恒久組織)으로 되어 국제전기통신위성기구(INTELSAT; International Telecommunications Satellite Organization)로 개칭되어, 현재 대서양·태평양·인도양 상공에 15개의 상업통신위성을 정지형 궤도에 배치하여 활발한 국제통신 중계업무를 수행하고 있다. 또 항공기를 대상으로 하는 AeroSat 위성조직의 설립도 국제간에서 협의되고 있다.

자원·환경탐사에서는 미국이 1972년 7월 발사한 어즈 1호(ERTS 1: 뒤에 Landsat 1호로 개칭)의 성과가 예상 외로 크고 세계 각국으로부터의 탐사제안도 수백 건에 이르렀기 때문에 계획은 순조롭게 확대·발전하여 탐사 데이터의 이용범위도 확대되고 있다. 또 이러한 탐사를 육상에만 그치지 않고 해양자원·환경에도 미치기 때문에 미국에서는 해양탐사위성을 발사하고 있다.

제16회 유엔 총회의 결의에 따라 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)는 1967년 세계기상감시(WWW; World Weather Watch) 계획을 채택하여 5항목의 과제를 대상으로 하여 기상업무의 충실·정비를 도모하게 되었다. 그 중의 하나는 인공위성에 의한 지구대기연구계획(GARP; Global Atmospheric Research Program)이다. 이것은 정지형 궤도에 5대, 극주회(極周回) 궤도에 2대의 기상관측 위성을 발사하여 입체적 관측을 항시 실시할 것을 목표로 하였다. 그리고 미국과 러시아가 각 2대, 일본이 1대의 정지형 기상위성을 분담하여 발사하였다.

군사를 포함하는 안전보장상의 정보 수집을 인공위성에 의하여 실시하는 것은 우주활동 개시 때부터 실시되어 왔으며, 근년에는 점차

범위가 확대되어 대규모적이고 정밀한 것이 되고 있다. 주요한 것은 사진정찰·적외선탐지·전자정찰(電子偵察)·군사통신·기상관측·측거(測距) 등이며, 특히 미사일 발사기지의 상황이나 미사일 성능의 평가, 부대의 이동·전개의 추적 등이 중요 항목이다. 현재로는 미국과 러시아가 주로 실행하고 있다.

장래의 인공위성의 이용으로는 Space Shuttle과 같은 대형물체를 궤도에 운반하는 수단을 실용화하여 우주공간의 무중량(無重量)이나 고진공 등의 특수 환경을 이용하여 지상에서는 제작·합성할 수 없는 재료나 물질을 생산할 계획이 진행되고 있다. 지금까지 로켓이나 인공위성의 개발과정에서 이루어낸 신기술을 민간산업에 응용하는 데 그친 우주 기술을 보다 적극적으로 산업면에서 이용하려는 것이다. 또 초대면적의 태양전지 패널을 궤도에 올려 태양광선으로 얻은 대전력을 마이크로파로 변환하여 지상에 보내고 수전설비(受電設備)로 이것을 다시 전력으로 바꾸는 태양발전위성(太陽發電衛星)도 검토하고 있다.

보다 원대한 계획에는 달의 암석을 정련하여 얻어지는 금속재료를 주로 사용하여 우주 콜로니(植民地)를 건설하려는 계획이 있다. 이것들은 현재 가지고 있는 기술로 충분히 실현 가능하다는 것은 알고 있으나 건설에 소요되는 방대한 경비가 제약 요인이 되고 있다.

#### 4. 세계 각국의 인공위성

1970년대 후반부터 인공위성의 전성시대를 맞이하였는데 1994년 현재까지 지구에서 발사한 인공위성은 대략 6,000여 개에 이르고 있으나 이 가운데 폐기하거나 대기권에 진입하여 타서 없어진 것을 제외하면 현재 운용되고 있는 것은 약 2,000여 개에 불과하다.

미국과 러시아 외에 독자적으로 개발한 로켓으로 인공위성을 발사한 나라는 프랑스, 영국, 일본, 중국, 인도, 이스라엘 등으로, 영국은

1회만 실시하고 활동을 정지하였고, 프랑스는 그 후 독일 등 서유럽 여러 나라와 함께 결성한 유럽우주기구(ESA; European Space Agency)의 중심이 되어 공동으로 아리안이라는 대형로켓을 계획하여 현재 아리안 4까지 개발한 상태이고 아리안 5가 개발 중에 있다.

일본도 인공위성발사를 몇 번 시도하였고, 중국은 ‘선저우’라는 유인 인공위성 발사와 회수에 성공하였다. 한편, 동유럽 여러 나라도 러시아의 힘을 빌려 우주연구·이용조직을 만들어 과학위성이나 생물 실험위성을 발사하고 있다. 그 밖에 국토가 넓고 미개발지역을 안고 있는 나라에서는 통신위성이 통신체계 정비에 유리하다는 데서 미국에 통신위성 발사를 위탁하는 나라가 1970년대부터 급격히 늘어나고 있다. 이미 영국·캐나다 등에서도 실시하고 있으며, 인도네시아에서도 국내용 통신위성 파라파를 미국의 로켓으로 발사하여 사용하고 있다.

한국은 1992년 8월 소형 실험위성인 우리별 1호를 발사하여 국적 위성을 보유한 22번째 나라가 되었고, 1993년 9월에는 우리별 2호를 발사하였다. 최근에는 통신·방송위성인 무궁화 1호(1995)와 무궁화 2호(1996)를 발사, 궤도진입에 성공하여 위성관련 첨단기술 개발과 우주개발 경쟁에 대비하고 있다.

### 2.1.3 항법 체계

항법이란 글자 그대로 배를 항해하는 데에 필요한 기술로서 항해술과 함께 발달되어온 기법이다. 항법의 기본은 움직이는 물체의 현재 위치를 파악하는 것, 즉 측위에 있다. 측정이라는 점에서는 측지, 측량과 동일한 기술적 기반에 서 있다.

항법은 연안항법(Piloting), 추측항법(Dead reckoning), 천문항법(Celestial navigation), 그리고 전파항법(Radio navigation)으로 발전

되어 왔다. 이러한 항법들을 크게 두 종류로 나눈다면 일방향 (One way) 체계와 양방향 (Two way) 체계로 구분할 수 있다. 대부분의 천문항법은 일방향 항법 체계에 속한다. GPS는 일반적으로 일방향 항법 체계에 속하지만 미 국방성의 입장에서 보면 GPS도 역시 양방향 체계에 속한다. GPS가 일방향 항법 체계라고 말하는 것은 단지 적으로부터 GPS 체계가 기만당하는 것을 막기 위하여 미 국방성이 일반인들에게 일방향 체계로 제한한 것에 불과하다. 잠수함에서 상대방 잠수함을 탐지하기 위하여 사용하는 SONAR와 광파측거리라고 알려진 EDM 측량 장비들은 모두 양방향 체계에 속한다[12].

각 항법 체계에 대한 주파수와 파장에 따른 오차를 <표 2-1>, <표 2-2>에 나타내었다.

<표 2-1> 지상 기준국 항법 체계

<Table 2-1> Navigation system by the land based reference station

| 종 류     | 주파수          | 송신출력      | 파장    | 정도(2D)                        | 유효거리                         |
|---------|--------------|-----------|-------|-------------------------------|------------------------------|
| Omega   | 10~14kHz     | 10kW      | 25km  | 1 nm                          | 5,000~6,000m                 |
| Decca   | 110~130kHz   | 1.2kW     | 2.5km | 5m / 50nm<br>60m / 200nm      | 600nm 주간,<br>390nm 야간        |
| Loran C | 90~110kHz    | 100~160kW | 3km   | 100m / 600nm<br>300m / 120nm  | 1200nm 주간,<br>2400~3600nm 야간 |
| Loran A | 1750~1950kHz | 130~100kW | 162m  | 500m / 100nm<br>4000m / 600nm | 750nm 주간,<br>1500nm 야간       |
| VOR     | 200 MHz      |           | 1.5m  | 60~180m                       |                              |
| ILS     | 300 MHz      | 35W       | 1 m   | 0.5~0.1°                      | 25nm, ±10°<br>17nm, ±35°     |



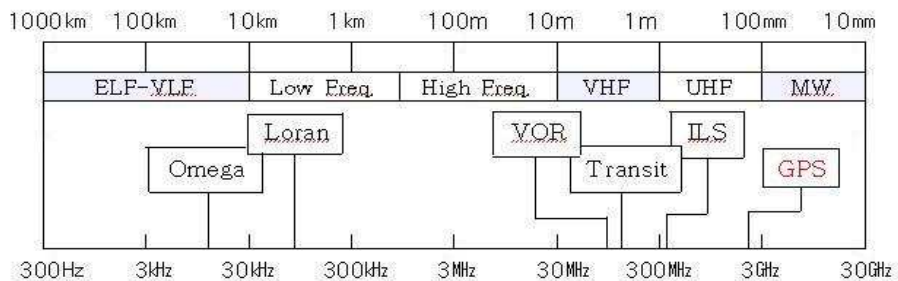
고주파수일수록 파장이 짧기 때문에 정밀도는 높아진다. GPS의 주파수와 파장을 보면 6가지의 Radio 항법체계 중에서 가장 높은 주파수, 가장 짧은 파장으로 이루어진 항법 체계이며 가장 정도가 높은 항법 체계임을 알 수 있다. 각 항법 체계의 파장과 주파수의 관계는 <그림 2-2>와 같다.

<표 2-2> 우주 기준국 항법 체계

<Table 2-2> Navigation system by the spacial reference station

| 종 류     | 주파수             | 파 장       | 정 도(2D) | 사용범위   |
|---------|-----------------|-----------|---------|--------|
| Transit | 150~400 MHz     | 2 ~ 0.73m | 460 m   | Global |
| GPS     | L1, 1575.42 MHz | 19 cm     | < 100 m | Global |

특히 러시아는 GLONASS(Global Navigation Satellite System)라고 하는 위성항법체계를 운용하고 있으며, GPS 체계에 비하여 보다 극궤도에 가까운 비행 궤도를 설정하여 우주항법체계를 운용하고 있으며 GPS와 유사한 체계이다[11].



<그림 2-1> 항법체계별 파장과 주파수의 비교

<Fig. 2-1> Frequency table for wave by navigation system

## 2.1.4 GPS의 응용과 상용화 계기

과거에는 기상의 영향 때문에 태양이나 별을 시각적으로 이용하는 천문측량이 매우 제한적으로 사용될 수밖에 없었다. 그러나 시각을 이용하지 않는 GPS는 빛과 동일한 성격의 전파를 사용함으로써 기상의 영향과 밤, 낮으로 인한 시각적 차폐 상황을 극복할 수 있게 되었고, 따라서 위성을 볼 수 있도록 하늘만 개방되어 있는 장소에 서라면 24시간 내내 전 지구상의 어느 곳에서나 자신의 위치를 정확하게 측정할 수 있는 유용한 도구로 발전되어서 오늘날 항공기, 선박, 자동차 등의 항법 체계로 널리 사용되고 있으며 각종 정밀 측지분야에도 사용되고 있다.

우리나라에서는 (주)대우의 경부고속철도 8-1공사구간 장대터널 공사현장에서 당시에 (주)익진의 대표이사/연구 소장이었던 본인이 최초로 GPS Static Survey 방법으로 입찰에 참가하여, 성공리에 수주한 다음, 작업 팀을 시공현장에서 지휘하면서 터널 시공기준점을 설치하여 4개소에서 동시에 굴진하는 터널 공사 팀이 정확하게 목표 지점에서 만나는 개가를 올린 바가 있으며, 이후의 경부고속철도 공사 구간은 모두 GPS를 이용한 기준점을 설치하도록 규정되었다.

GPS가 상용화된 결정적인 계기는 사할린 상공에서 격추된 KAL 007 편이 비극적 격추 사건이었다. 레이건 미국 대통령 재임 시에 두 강대국의 군사적 견제로 발생한 이 비극적인 사건은 비록 민간 항공기이지만 가상 적국인 구소련의 영토에 근접하여 비행하고 있는 민간 항공기의 경우 군사적 목적으로 시시각각 위치를 파악하고 있었던 미 국방성(DoD; Department of Defense)이 민간항공기 KAL 007의 비행항로 이상을 구소련의 군사당국에 알렸으며, 격추 사고를 사전에 막을 수 있었던 것이라는 전 세계의 빗발치는 여론에 몰려서 결국 사고 이듬해에 무상으로 GPS의 신호 중에서 상용

코드라고 불리는 C/A 코드를 개방하게 되었다. 따라서 수많은 대한민국 국민들의 죽음이 결정적으로 GPS의 상용화에 기여했다고 할 수 있다[12].

### 2.1.5 GPS / NAVSTAR Program의 발전단계

1950년대 말과 1960년대 초에 미 해군에서는 Transit과 Taxation이라고 하는 2개의 위성항법 체계를 운용하고 있었다. Transit 체계는 1964년부터 가동하여 1969년부터 사용하게 되었고, Taxation 체계는 가동되지 못하였다. 미국의 첫 번째 위성항법체계는 Transit Navigation System으로서 Doppler 효과를 이용하여 위치를 결정하는 방법이다. Transit 체계의 정도는 측지분야에 적용하기 위하여 약 20cm의 정도로 설계되었다. Transit 체계를 이용하여 위치 결정을 하려면 최소 4개의 위성이 필요하고 각 위성이 전송한 정보는 3가지로서 도플러 효과를 관측하기 위한 두 가지 고정 주파수와 매 2분(UTC; Universal Time Coordinated)마다의 시각정보, 그리고 위성의 위치를 결정하기 위한 예상된 궤도정보를 전송하였다[13].

Transit 체계의 위성궤도는 지구로부터 약 1,100km 상공에서 북극과 남극을 지나는 극궤도로 설정되어 운영되고 있으며, 약 7개의 위성이 전 세계를 대상으로 운용되었다. 위치 정보는 2차원으로 제한되어서 위도와 경도만을 결정할 수 있으며, 위성이 지날 때 단 한번 위치를 결정할 수 있는데 일반적으로 10~15분 정도의 처리시간이 소요되었다.

수신기는 위성의 고도와 속도에 따라 독립적으로 정도를 평가하였으며, 모든 위성이 북극과 남극을 지나는 극궤도이기 때문에 극지방으로 갈수록 정도가 떨어지는 단점이 있었다. GPS 체계는 Transit

체계가 가지고 있던 단점을 보완한 것으로 여러 위성을 동시에 사용하여 신호의 전송시간을 측정함으로써 의사거리(pseudo range)를 결정하는 기법을 이용하고 있다.

미 해군과 달리 미 공군에서는 System 621B라고 하는 체계를 계획하고 지상에서의 시험을 완료하였으나 사용하지는 않고 있었다. 1973년 4월 미 국방성은 Taxation과 System 621B를 통합하여 DNSS(Defense Navigation Satellite System) 체계를 탄생시켰으며 이 것이 GPS의 모체로 되었다.

GPS 체계의 개념 확정단계는 1973~1979년 이었으며 1977년에 Taxation 체계의 개량형 위성 NTS 2 (Navigation Technology Satellite 2)를 7개월 동안 운영하였다. 이어서 NTS 2의 단점을 보완하고 1978년에 최초로 GPS를 구성하는 Block 1 NAVSTAR 위성을 배치하게 되었다. 1979~1985년은 위성항법체계의 본격적인 개발과 실험단계로서 6년 동안 모두 9개의 NAVSTAR 위성을 BLOCK 1에 배치하였다.

1985년 이후부터 현재에 이르기까지는 활용단계로서 1993년 2월 IOC(Initial Operational Capability)를 발표하여 GPS 시대의 서막을 알렸으며 1995년 7월 FOC(Full Operational Capability)를 발표하고 GPS 항법체계를 전격적으로 활용하기 시작하였다.

## 2.2 GPS의 구성과 작동원리

### 2.2.1 GPS를 구성하는 3대 부문

GPS 체계는 지상관제 부문, 우주 부문, 사용자 부문의 3개 부문으로 구성되어 있다. 다음은 각 구성 요소에 대한 세부 설명이다.

#### 1. 지상관제 부문 (Control Segment)

GPS는 미 국방성에 한하여 양방향 항법체계라고 서두에서 밝힌 바 있다. 따라서 우주를 비행하는 각각의 위성들을 추적 관리하는 관제 체계가 있어야 함은 당연한 일이다. 미 국방성의 관제 체계는 실시간 위성 추적 설비와 실시간으로 위성이 비행한 항로를 추적하여 기록한 항적을 분석 갱신하여 위성으로 송신하는 송신국 설비로 크게 나눌 수 있다.



<그림 2-2> GPS 관제소 위치

<Fig. 2-2> Location of GPS monitoring station

주관제소(Master Control Segment)는 Colorado Springs의 Falcon 공군기지에 있으며 5개의 무인 관제소를 전략적으로 세계에 설치하였는데 그 위치는 <그림 2-3>과 같이 Colorado Springs의 공군기지와 Hawaii, Ascension, Diego Garcia, Kwajalein 섬이다.

천측력은 방송 천측력(Broadcast Ephemeris)과 정밀 천측력(Precise Ephemeris)으로 나뉘어 진다. 방송 천측력(Broadcast Ephemeris)은 예정 비행궤도를 기준으로 위치를 결정하는 것이며 정밀 천측력(Precise Ephemeris)은 미 국방성의 NAVSTAR 위성 추적 안테나로 실제 비행궤적을 추적하여 얻은 실제의 비행궤도를 기준으로 위치를 결정한다는 차이가 있다[4].

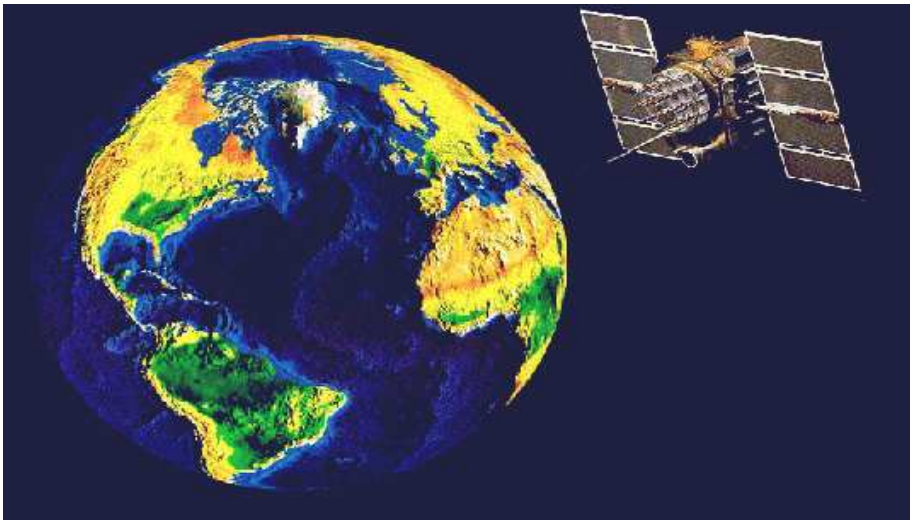
물론 정밀 천측력을 하면 위치 측정 정확도가 개선되는 것은 분명하며, 장대 기선을 측정하는 경우에는 오차를 줄이기 위하여 정밀 천측력을 사용하여야 한다. 그러나 기선의 길이가 200km를 넘지 않는 경우에는 방송력과 천측력에 의한 성과 차이는 무시할 정도이다. 천측력은 우주상공에서 날아다니는 NAVSTAR 위성에 대한 시·공간 위치 정보를 기록한 것이다

## 2. 우주 부문 (Space Segment)

<그림 2-4>와 같은 GPS 체계를 구성하는 위성의 정확한 명칭은 NAVSTAR 위성이며 Rockwell International사에서 제작하였다. 중량은 약 900kg이며, 태양 전지판을 전개했을 때 5m 정도의 크기이다. GPS 위성은 11개의 Block I 위성과 28개의 Block II 위성을 제작하였다. Block I 위성은 Prototype으로써 11개중 1981년 12월 18일자로 7번 위성이 발사에 실패한 것을 제외하고는 총 10개의 위성이 발사에 성공하였다. Block I에 배치되었던 Prototype 위성들 중에서 10번 위성 1개만이 남아서 설계수명이 다하였음에도 불구하고 여전히 정상작동 중에 있다. Block II 위성은 1989년 2월 14일자로

14번 위성이 처음으로 발사되었으며, 1996.3.28일자의 33번 위성까지 모두 발사에 성공하였다. Block II 위성들이 설계수명을 다하고 작동을 중지하게 되면 Block IIR과 Block IIF 위성으로 대체될 계획이다. 현재 GPS체계를 구성하고 있는 <그림 2-3>의 NAVSTAR 위성들은 기본적으로 21개의 위성과 3개의 예비 위성이 배치되어 있어서 모두 24개로 구성되어 있다.

위성은 고도 약 20,200km 상공에서 6개의 궤도로 운항하고 있으며, 극궤도로 구성된 Transit 체계와는 달리 적도면으로부터 55도의 경사 각도로 기울진 궤도로 구성되어 있다. 각 궤도마다 90도 간격으로 4개의 위성이 배치되어 있고 위성의 공전주기는 약 11시간 58분이다. 6개의 궤도는 적도 선을 따라 각각 60도 간격으로 나뉘어져 있다. 이러한 위성의 배치는 지구상의 언제, 어디서나 최소한 5개에서 8개의 위성을 항상 동시에 관측할 수 있게 하기 위한 것이다.



<그림 2-3> NAVSTAR 위성

<Fig. 2-3> NAVSTAR Satellite

위성의 제작비용은 개당 약 4000만 달러이며 발사용 로켓인 Delta II호는 1억 달러, 시스템 전체 비용은 약 100억 달러 정도 소요 된다고 한다.

NAVSTAR 위성의 궤도는 비 정지 궤도이다. 비 정지 궤도는 정지궤도 보다 낮은 지구 상공 약 500km~20,000km에 위치하는 궤도로서 이동통신, 지구관측 등의 용도로 사용된다[19].

### 3. 사용자 부문 (User Segment)

GPS 항법체계의 사용자 부문은 지구상의 사용자들과 위성신호 수신용 하드웨어를 말한다. GPS 항법체계를 사용하려면 NAVSTAR 위성으로부터 방송되는 전파를 수신하여 해석할 수 있는 수신기가 있어야 한다. 태양 또는 달이나 북극성을 보고 방향과 시각을 알아 맞추는 자연 상태의 천문측량과 달리 전파를 사용하기 때문에 NAVSTAR 위성으로부터의 신호를 수신하기 위한 수신기가 필요하다.

GPS 항법체계를 측지 측량용으로 사용하려면 특수한 응용소프트웨어와 이를 구동할 수 있는 컴퓨터를 사용하여야 하며 신뢰도를 높이거나 정확도를 개선하려는 사용자들은 여러 가지 종류의 DGPS 체계를 사용한다.

#### 2.2.2 GPS 항법체계의 운용 방식

GPS 항법체계는 인공의 별을 20,200 km 상공의 우주에 배치한 천문 항법체계라고 서두에서 서술한 바 있다. 과거의 천문 항법체계와 다른 것은 각각의 인공의 별 즉 인공위성 NAVSTAR로부터 거리를 측정함에 있어서 전파의 속도 그리고 인공위성에서 출발하여



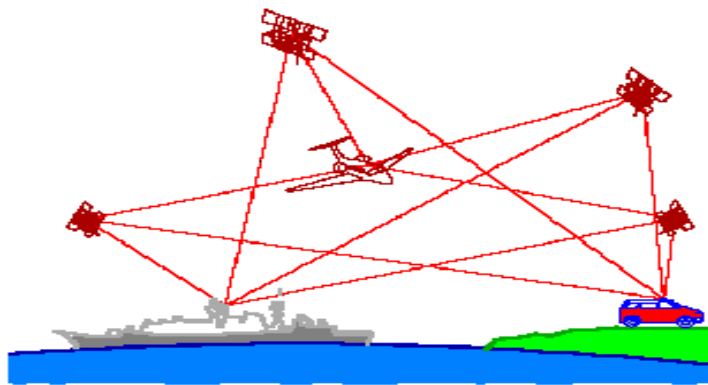
지상 안테나까지 도달하는데 소요된 전파 도달시간을 이용하여 거리를 구함으로서 자신의 위치를 구한다는 것이다. 자신이 위치한 곳의 상공을 통과하는 인공위성으로부터 거리를 측정하여 공간 교회법으로 위치를 결정하는 원리이다. 이를 측량학 적으로 말하면 기지의 2개 이상의 점으로부터 거리를 관측함으로써 미지점의 위치를 결정하는 방식의 삼변측량에 속한다고 할 수 있다[12].

### 1. GPS 항법체계 운용 방식에 따른 분류

GPS 항법 체계를 사용하는 방식은 1대의 수신기만 사용하는 단독 측위와 다수의 수신기가 동시에 사용되는 상대 측위로 구분된다 [15],[23].

#### 가. 단독 측위 (Absolute Positioning)

현재 지구상에서 행해지는 거의 대부분의 GPS 항법은 모두 <그림 2-4>와 같은 단독 측위라고 할 수 있다.



<그림 2-4> 단독측위

<Fig. 2-4> Absolute Positioning)

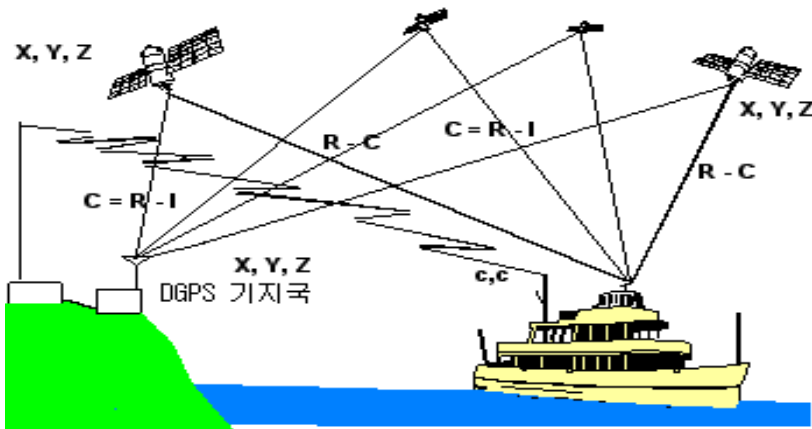
사용자가 가진 단 1대의 수신기만을 이용하는 독립적 GPS 항법

이며 군사적 목적의 위치결정이나 레저 및 스포츠용 육·해상 위치결정, 물류 관리용 자동차 항법 그리고 선박들의 항해목적의 일반적 위치 결정 체계들이 모두 단독 측위라고 할 수 있다.

측지 측량용 2 주파 GPS 수신기를 이용하여 1시간 정도 정지상태에서 NAVSTAR 위성 신호를 수신하여 후처리를 하면 지구 질량 중심을 기준으로 5 m 급 정확도로 위치를 결정할 수 있다.

#### 나. 상대 측위 (Differential Positioning)

실시간 상대 측위 (Real time Positioning)는 일반적으로 DGPS 라 부르는 Code 방식과 반송파 위상차 측정방식이라고 부르는 Code + Carrier 방식으로 구분한다.



<그림 2-5> DGPS 개념도

<Fig. 2-5> DGPS Concept drawing

Code 방식 측위는 통상 DGPS라고 한다. Single Based DGPS와 Multi Based DGPS로 구분된다[18].

Single Based DGPS는 대표적인 사례가 국제 해사기구의 IALA

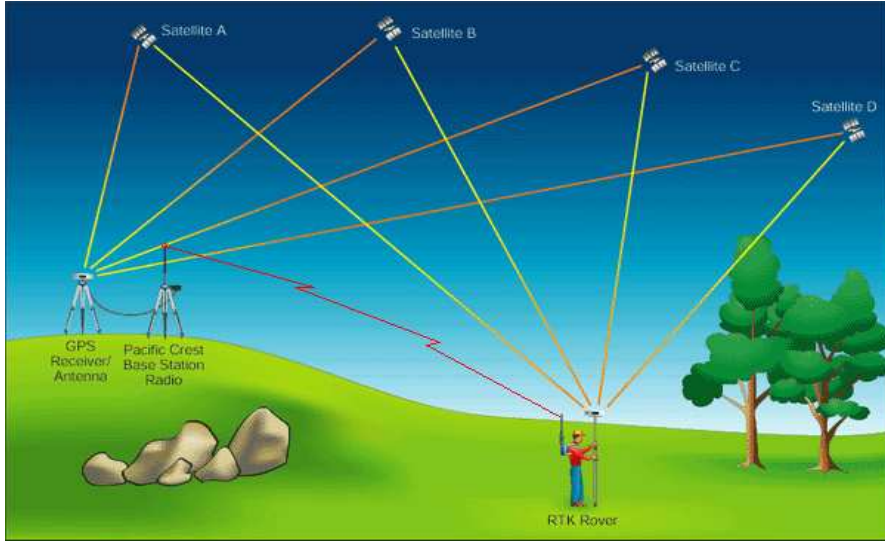
규격의 DGPS 항법 체계이다. 우리나라에는 <그림 2-5>와 같은 해양수산부의 DGPS 항법체계가 IAEA 규격으로 무료로 제공되고 있다. 정확도는 기지국으로부터 반경 50 nm 이내에서 3미터 이내이다 [17].



<그림 2-6> 해양수산부 주문진 DGPS 기지국

<Fig. 2-6> JUMUNJIN DGPS Reference station of Ministry of Maritime Affairs and Fisheries Office in Korean Government

<그림 2-6>과 같이 Multi Based DGPS는 다수의 기지국을 동시에 사용하여 DGPS 기지국으로부터 멀리 떨어진 이동국의 정확도를 높이고 그 신뢰도를 높이기 위하여 사용한다. Code + Carrier 방식 측위는 <그림 2-7>처럼 통상 RTK-DGPS (Real Time Kinematic Differential GPS) 또는 CP-DGPS (Carrier Phase Differential GPS) 라고 한다. 각종 건설공사와 정밀 수심측량 등에 사용되며 대부분의 사용자가 스스로 사업구역 내에 임시 기지국을 설치하고 이동국을 운영하며 정확도는 반경 1km 이내에서 20 m/m 이내이다.



<그림 2-7> 국지적 사설 RTK-DGPS 상대 측위 개념도

<Fig. 2-7> Concept drawing for private DGPS for specific zone

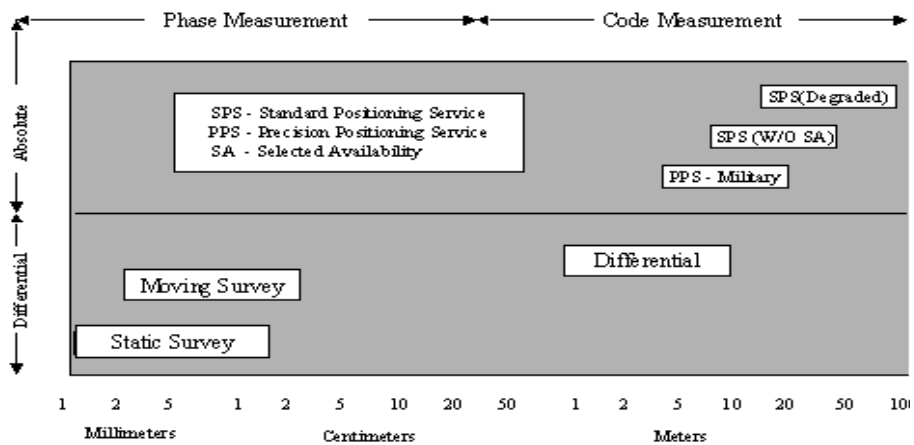
#### 다. 후처리 측위 (Post Processing Positioning)

위치를 측정하려는 지점에 위성 수신기를 일정 시간동안 설치해두고 정지 상태에서 위성 신호를 수신한 후, 위성 수신기를 사무실로 운반하여 컴퓨터에 통신 케이블로 연결하여 위성 수신기에 저장된 수신된 위성 신호를 내려 받고, 후처리 소프트웨어를 이용하여 위치를 계산 처리하는 방식이다. 후처리 측위는 위성 수신기의 운용방법에 따라 Static, Fast Static, Kinematic, Pseudo Kinematic이 있다.

#### 2. GPS 항법체계의 정확도

다음의 <그림 2-8>은 미국의 정밀 GPS 수신기를 생산하는 제조사이며, NAVSTAR 계획에 참여하였던 민간업체 중의 하나인 캘리포니아 소재 Ashtech Inc의 교재에 나타나 있는 GPS의 종류별 정확도에 대한 것이다. 우선 GPS 항법체계에서 제공받을 수 있는 서

비스는 SA가 가동되고 있는 상태 하에서의 SPS (Standard Positioning Service)와 미 국방성의 인가를 받은 사용자들 즉, SA로부터 자유로운 상태 하에서의 PPS (Precise Positioning Service)로 구분할 수 있다. 물론 2000년 5월 1일 미 백악관의 SA OFF 발표에 따라 현재에는 지구상의 모든 GPS 항법체계 사용자들이 PPS를 제공 받고 있는 상태이기는 하지만 언제 SA가 가동이 되고 SPS만 제공 받게 될지는 모른다. 이와 같은 제한적인 조건 때문에 유럽연합에서는 갈릴레오 항법체계를 구축하는 중에 있으며 미국의 GPS 항법체계와 갈등을 빚고 있다[18].



<그림 2-8> 종류별 GPS 항법체계의 정확도

<Fig. 2-8> Accuracy table by the application method of GPS navigation system

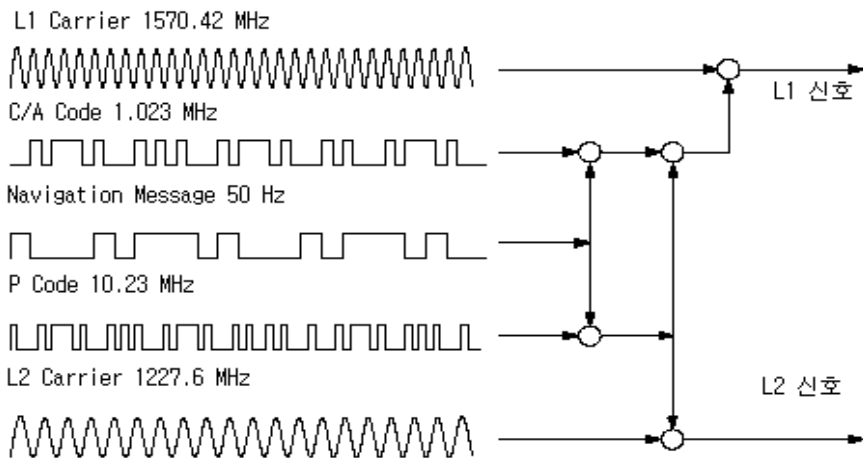
SPS의 공인 정확도는 평면위치오차 100m, 수직위치오차 156m, 시각오차  $167 \times 10^{-9}$  초이며, PPS의 공인 정확도는 평면위치오차 17.8m, 수직위치오차 27.7m, 시각오차  $100 \times 10^{-9}$  이다.

### 2.2.3 NAVSTAR 위성신호의 구조

NAVSTAR 위성은 <그림 2-9>의 L1과 L2와 같은 2 종류의 방송파에 여러 가지의 정보를 실어서 방송하고 있다. L1과 L2 방송파 신호에 대한 내용을 다음과 같이 요약한다[12].

L1 신호: 1575.42 MHz L1 Carrier, C/A Code, P Code, Navigation Message

L2 신호: 1227.6 MHz L2 Carrier, P Code, Navigation Message



<그림 2-9> NAVSTAR 위성신호의 구조

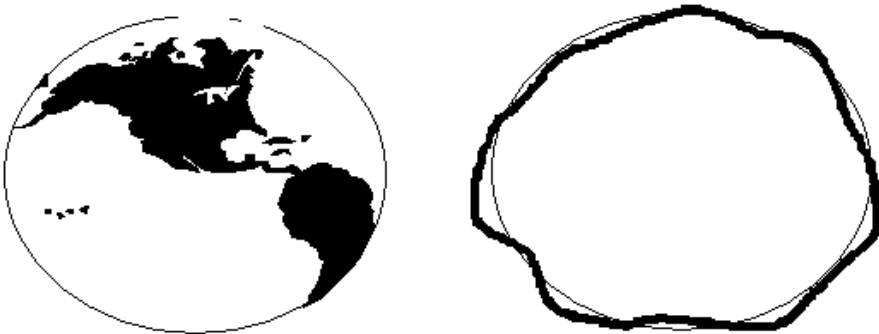
<Fig. 2-9> Signal structure of NAVSTAR Satellite

## 2.3 위치결정의 기준에 대한 이해

### 2.3.1 타원체와 지오이드

지구는 아주 복잡하고 불규칙적인 형상을 하고 있다. 지구의 실제 형상을 따라서 함수식을 만들어 낸다는 것은 사실상 불가능하다. 지구의 중력 포텐셜론에 의해 정의되는 가상곡면 즉, 중력방향에 수직인 등 포텐셜 면인 지오이드를 기준으로 위치결정에 사용할 수도 있으나, 이 또한 수학적 함수로 정의하기란 매우 어려운 것이라고 한다[24],[30].

따라서 측지분야에서는 수학적으로 간단히 정의되는 회전타원체를 도입하여 측지기준으로 사용하게 되었다. 이것이 지구타원체이다. <그림 2-10>는 실제의 지구형상과 지구타원체의 관계를 나타내고 있다.



<그림 2-10> 회전 타원체와 실제 지구의 형상

<Fig. 2-10> Ellipsoid vs. Earth sphere

## 1. 지구타원체 (Ellipsoid)

지구의 부피와 모양이 실제의 지구와 가장 가까운 회전타원체를 지구의 형상으로 가정하여 이를 지구 타원체라 한다. 지구 타원체는 수학적으로 정의된 가상의 기하학적인 타원체이므로 실제의 지구 형상과 닮았을 뿐이며 굴곡이 없는 매끈한 면이다. 지구타원체는 지구의 부피, 표면적, 반경, 표준중력, 삼각측량, 경위도 결정, 지도 제작 등의 작업에 있어서 기준이 되는 중요한 것이다.

지구타원체의 크기는 천문측량과 삼각측량 등의 실측 그리고 위성 관측 결과를 토대로 결정하는 데, 지역마다 그리고 학자들마다 서로 다른 값들을 제시하고 있다. 이는 해당 지역에 가장 적합한 지구 타원체를 결정하는 과정에서 도출된 결과라고 하겠다.

현재 우리나라에서 채택하고 있는 지구타원체는 한일합방 후 일본에 의하여 도입된 Bessel 1841 타원체를 기준 타원체로 사용하고 있다. 그러나 GPS 항법체계에서 사용하고 있는 지구타원체는 WGS-84 타원체로서 이것은 1984년에 결정한 것이며 범지구적인 타원체이다. WGS-84 타원체는 전 세계를 균일한 정도로 위치를 결정하게 하여 전 세계를 동일한 측지기준을 사용할 수 있도록 하여, 장거리 탄도 미사일의 항로를 결정하는 등 군사목적으로 이용할 수 있도록 정의한 타원체이다.

Bessel과 WGS-84 타원체의 값은 <표 2-3>와 같다. 구소련의 GLONASS 항법체계는 PZ-90 타원체를 기준으로 위치를 결정하고 있기 때문에 동일한 지점이라 하더라도 사용하는 지구타원체가 서로 다르기 때문에 그 좌표는 서로 다르다. GPS 항법체계의 성과를 해당 지역의 지역 좌표계와 비교하여 사용하려면 변환계수를 이용하여 좌표 값을 변환하여야 한다. 실제로 사막의 폭풍 작전에서 미국방성은 유럽의 나토와 일본의 가테나 공군기지에서 출격한 전투기들이 사용하는 지구타원체가 서로 달라서 매우 큰 어려움을 겪었



다고 한다. 계획된 폭격 지점의 좌표를 동일하게 사용하더라도 항법용 지구타원체를 서로 달리 사용하는 전투기의 경우에는 동일한 숫자로 이루어진 좌표를 입력하더라도 실제로는 서로 다른 지역에 폭격을 하게 되는 것이다. 우리나라 해양수산부의 발표에 의하면 남해상의 경우에는 WGS-84 타원체와 동경 측지계에 속하는 우리나라의 BESSEL1841 타원체의 차이에 의한 거리 오차가 450m 정도라고 한다[31].

<표 2-3> 타원체 제원

<Table 2-3> Sphere particular for ellipsoid

| 타원체명        | 사용국가     | 장반경(km)  | 단반경(km)  | 1/편평도         |
|-------------|----------|----------|----------|---------------|
| Bessel 1841 | 한국,일본,독일 | 6377.397 | 6356.076 | 299.1528128   |
| WGS-84      | GPS항법체계  | 6378.137 | 6356.752 | 297.257223563 |

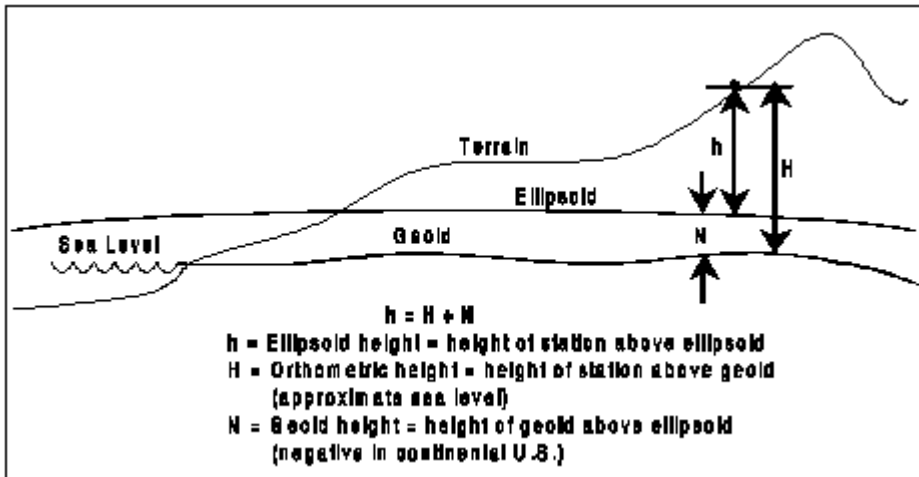
## 2. 지오이드 (Geoid)

지구타원체는 지표의 기복과 지하물질의 밀도차이가 없다고 생각한 것으로서 지구타원체는 기하학적으로 정의한 것에 반하여 지오이드는 중력장 이론에 따라 물리학적으로 정의한 것이다.

지구표면의 대부분은 바다가 점유하고 있다. <그림 2-11>과 같이 정지된 평균 해수면을 육지까지 연장하여 지구 전체를 둘러쌌다고 가정한 곡면을 지오이드라고 한다. 지오이드 면은 모든 면에서 중력값이 동일한 등포텐셜면이며, 모든 면에서 중력 방향에 수직인 면으로 정의할 수 있다[18].

지오이드면은 평균 해수면과 일치하는 등포텐셜면으로 일종의 수면이라 할 수 있으므로 어떠한 점에서든 지구의 중력방향에 수직이

며, 주변 지형의 영향이나 국부적인 지각밀도의 불 균일로 인하여 타원체면에 대하여 다소의 기복이 있는(최대 수십 m) 불규칙한 면으로서 간단한 수식으로 표현할 수 없다.



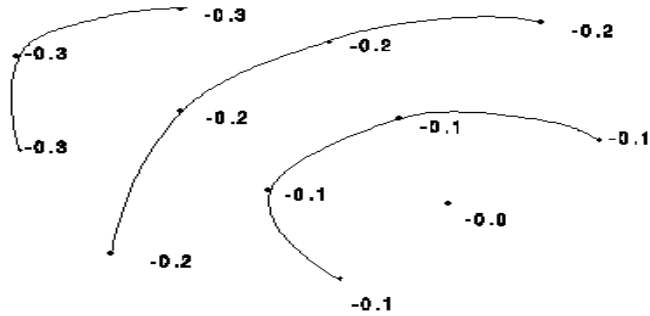
<그림 2-11> 지오이드면

<Fig. 2-11> Geoid surface

관측점에 대한 타원체고(Ellipsoidal Height)와 기본 수준면으로부터의 표고를 정확히 측정할 경우, 이를 이용하여 <그림 2-12>과 같은 지오이드 보정 모델을 제작할 수 있다.

수준측량은 지오이드 면을 표고 0으로 하여 측량하기 때문에 지오이드 면은 높이가 0m이므로 위치에너지가 0이다. 일반적으로 지구상 모든 점에서 타원체의 법선과 지오이드의 법선은 일치하지 않게 되며 두 법선의 차 즉, 연직선 편차가 생긴다. 지오이드 면은 대륙에서는 지오이드면 위에 있는 지각의 인력으로 인하여 지구타원체보다 높으며, 해양에서는 지구타원체보다 낮다. 세계 각국의 위치에

따라 지오이드 고는 음(-) 혹은 양(+의 값으로 나타난다[6].

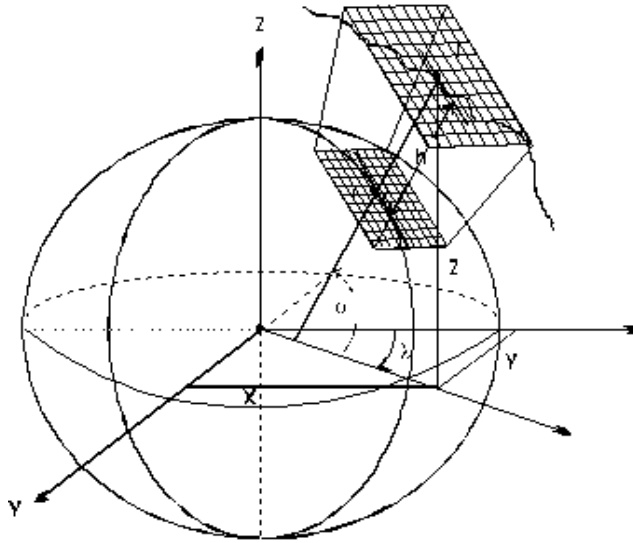


<그림 2-12> 지오이드 보정 모델의 예  
 <Fig. 2-12> Example of geoid calibration

### 2.3.2 평면직각좌표와 투영

지구를 왜곡이 없이 그대로 표현할 수 있는 방법은 없다. 지도는 3차원인 구를 2차원의 평면지도로 변환하는 투영과정을 거친다. 지도 투영법은 평면상에 지구의 표면 또는 일부를 표시하기 위하여 시도된 것으로 이 과정에 의한 결과는 항상 모양, 거리, 방향, 축척과 면적에 얼마간의 왜곡을 가져온다.

모든 지도의 투영은 모양, 면적, 거리와 방향에 있어서 어떤 때에는 4가지 모두에, 아니면 최소한 3가지에 왜곡을 가져온다. 즉, 구면의 지구를 평면인 지도상에 나타내기 위한 방법은 투영을 시킴으로써 가능하며, 이러한 투영법에는 장소, 크기, 모양을 어떻게 나타낼 것인가를 고려하여 여러 방법이 사용되고 있다[24].



<그림 2-13> 타원체의 투영

<Fig. 2-13> Projection of the ellipsoid

우리나라의 경우 이중의 투영계를 사용하고 있다. 즉, 건설교통부의 국립지리원 성과는 가우스 크뤼거 투영법이라고 하는 횡 머케이더, 즉 TM(Transverse Mercator)투영법을 채택하고 있으며, 행정자치부의 지적과의 성과는 1910년대 이래로 가우스 상사 이중 투영법을 사용하고 있다. 국립지리원에서 채택하고 있는 횡 머케이더(TM) 투영법은 중앙 자오선에 접하는 원통에 구를 투영한다[25].

횡 머케이더 지도는 동·서 지역보다 남·북 지역이 큰 지역을 표현하기 위하여 종종 이용된다. 중앙 자오선으로부터 멀어질수록 투영 증대율에 따라 축척, 거리, 방향과 면적의 왜곡이 증가한다. 많은 국가들의 Grid 시스템이 TM 투영법을 기초로 하고 있다.

영국의 국가 그리드(British National Grid; BNG)는 British Ordnance Survey에 의하여 유지된다. 이 시스템의 원점(true origin)은 북위 49도, 서경 2도이다. 가원점(false origin)은 서쪽으로

400km와 북쪽으로 100km이다. 중앙 자오선의 축척은 0.9996이다.

우리나라의 경우는 3개의 투영원점이 있으며 각각 동부좌표계, 중부좌표계 그리고 서부좌표계로 불리며, 원점은 각각 북위 38도 상에서 동경 129도(동부), 동경 127(중부)도, 동경 125도(서부)이며 가원점은 서쪽으로 200km와 남쪽으로 500km 이다. 단 제주도는 가원점이 남쪽으로 550km로 되어 있으며, 울릉도는 북위 38도, 동경131도의 투영원점을 사용하고 있다. 그러므로 실제 우리나라의 투영원점은 5개라고 할 수 있다[26].

### 3. 측지기준 (Datum)

측지 기준은 지구를 지도로 나타내기 위하여 사용되는 지구의 형상과 크기 그리고 좌표계의 원점과 방향을 정의한 것이다. 아리스토텔레스가 지구의 크기를 정의한 것으로부터 시작하여 수백 종류의 측지 기준이 사용되고 있다. 이러한 측지 기준은 수년에 걸친 천문 관측에 의하여 지구타원체를 정의하는 것에서 발전된 것이다.

오늘날의 측지 기준은 평면 모델에서부터 지구의 완전한 크기, 형상, 표정, 중력장, 지구의 각속도와 같이 복잡한 모델이 이르기까지 다양하다. 지도제작, 측량, 항법, 천문학 등 모든 분야에 측지 기준이 사용되기 때문에 측지기준은 매우 중요하다. 만약, 측지 기준이 잘못 설정된다면 대단히 큰 위치오차를 가지게 된다.

지구상의 여러 곳에 위치한 각국에서는 GIS, 정밀 위치결정 체계, 그리고 항법시스템에 위치를 나타내기 위하여 자신들이 위치한 지역의 지오이드 면에 가장 근접한 형상의 타원체를 사용하고 있기 때문에 나라마다 서로 다른 측지기준을 사용하게 된 것이다. 근래에는 과거와 달리 장거리를 초고속으로 비행하는 항공기와 해상을 건너는 장대교량 그리고 대양을 가로지르는 해저 광케이블과 파이프라인 부설 프로젝트 등의 거대한 규모의 구조물과 시설물이 출현함

에 따라서 각국의 측지 기준사이에서의 변환을 Cm 단위로 맞추기 위한 노력을 하고 있다.

<표 2-4> Bessel 1841 타원체 별 제원

<Table 2-4> Ellipsoid particular for Bessel 1841

| Datum | Ellipsoid   | 사용국가  | dX  | dY  | dZ  | eX | eY | eZ | #S |
|-------|-------------|-------|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| Tokyo | Bessel 1841 | 일본    | 148 | 507 | 685 | 8  | 5  | 8  | 16 |
| Tokyo | Bessel 1841 | 한국,일본 | 148 | 507 | 685 | 20 | 5  | 20 | 31 |
| Tokyo | Bessel 1841 | 오키나와  | 158 | 507 | 676 | 20 | 5  | 20 | 3  |
| Tokyo | Bessel 1841 | 한국    | 147 | 506 | 687 | 2  | 2  | 2  | 29 |

WGS-84 타원체는 미 국방성의 전략에 따라 군사목적으로 탄생된 것이기는 하다. 그러나 지구 전체의 지오이드 면과 가장 잘 부합하는 타원체를 WGS-84 타원체로 정의하였기 때문에, 이를 단일 타원체로 사용할 경우 여러 종류의 좌표계와 호환이 용이하다는 장점이 있다. 그러나 이 것이 모든 국가에서 정확한 타원체 값이라고 말할 수는 없다. 즉 해당 국가의 지오이드 면에 가장 적절한 타원체가 가장 정확한 타원체라고 할 수 있으나, 전 세계를 대상으로 한 광역적 타원체로 사용할 수는 없고 지역적 한계가 있다는 것이다. 동일한 위치좌표를 얻기 위해서는 동일한 타원체뿐만 아니라 동일한 측지 기준을 사용하여야 한다.

지역(local) 좌표를 WGS-84좌표로 변환하기 위한 변수는 각각 사용하고 있는 나라마다 다르지만 일본의 Tokyo datum을 사용하고 있는 우리나라는 <표 2-4>와 같은 변수를 사용한다. 여기서 d는 이격량(m)이며, e는 오차량(m), 그리고 #S는 위성 관측된 측점수이다.

## 2.4 GPS 신호 분석

### 2.4.1 NMEA 신호

GPS에 관련된 NMEA 신호의 종류에는 3.5.2절에 설명된 GGA, GLL, GSA, GSV, RMC, VTG, XTE, ZDA 등이 있다. 주로 소형 Handheld GPS의 경우에는 RMC 신호를 사용하는 빈도가 높으며, 정밀 측지나 위치제어가 필요한 체계에 부착된 경우에는 GGA 신호를 사용하는 빈도가 높다. IMO의 사용 목적에 부합하도록 IEC가 제정한 NMEA 신호 중에서 GPS를 이용한 Talker는 접두어 GP를 붙여서 구분한다.

### 2.4.2 GPS 관련 NMEA 신호의 분류

실험에 사용한 GPS 수신기의 사용설명서와 기기를 점검해 본 결과, GPS 응용기기와의 데이터 호환성을 유지하기 위한 NMEA 신호는 대략 다음과 같이 8종류의 신호를 주로 사용하고 있었다.

GGA: GPS Fix Data

GLL: Geographic Position Latitude/Longitude

GSA: GPS DOP and Active Satellite

GSV: GPS Satellites in View

RMC: Recommended Minimum Specific GPS/Transit Data

VTG: Track Made Good and Ground Speed

XTE: Cross Track Error, Measured

ZDA: Time and Date

### 2.4.3 NMEA 신호 분석의 예

다음은 실험에 사용하였던 NMEA 신호를 분석한 것이다[27],[28].

GGA 신호 형식

```
$GPGGA,hhmmss.ss,lll.ll,a,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xx  
xx★hh<CR><LF>
```

다음은 NMEA 신호의 필드에 대한 설명이다.

Field 별 설명

|                                |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| \$: Message Flag               | GP: Message Source (GPS)          |
| GGA: Type of message           | hhmmss.ss: UTC of position        |
| lll.ll: Latitude               | a: Latitude, North or South       |
| yyyyy.yy: Longitude            | a: Longitude, East or West        |
| x: GPS quality indicator       | xx: Number of satellites in use   |
| x.x: Horizontal DOP            | x.x: Ant height above/below MSL   |
| M: Unit of ant. Altitude (m)   | x.x: Geoidal speration            |
| M: Unit of geoidal speration   | x.x: Age of differential GPS data |
| xxxx: Differential Ref st'n ID | hh: Check Sum                     |



## 제 3 장 한계수심 설정을 위한 해양조사

### 3.1 수산업 관련 규정 분석

지난 1996년 12월 31일에 개정된 수산업법 시행령 제10조 1항에는 마을어업과 협동양식어업의 어장수심의 한계를 다음과 같이 규정하고 있다. 법 제10조 제1항, 법 제8조 제3항의 규정에 의한 마을어업 및 협동양식어업의 어장수심의 한계는 다음 각 호와 같다[1].

#### 3.1.1 마을어업의 면허규정

최 간조(LLW; Lowest Low Water)시의 평균수심 5 미터 이내(강원도, 경상북도 및 제주도의 경우에는 7 미터 이내)이다.

#### 3.1.2 협동양식어업의 면허규정

최 간조시의 평균수심 5 미터 초과 10 미터 이내(강원도, 경상북도 및 제주도의 경우에는 7 미터 초과 15 미터 이내)이다.

#### 3.1.3 법규 적용의 문제점

수산업법의 시행령을 근거로 마을어업 및 협동양식어업의 어장을 면허하기 위해서는, 적절한 해저 지형 측량을 실시하여, 그 자료를 근거로 한계 수심을 확인한 다음, 면허처분 하여야 할 것이다. 현재 해도를 이용하여 수심 한계선을 설정하기도 하는데, 이 방법을 사용

하여 규정 한계수심 선의 좌표를 독취한 다음 부표 앵커를 투하하여 경계 구획용 부표를 설치하는 것은 측척에 따른 위치 오차가 크게 발생하므로 정확도 면에서 상당한 차이가 있어서 실효성이 매우 의심스러운 방법이다. 실제로 1/25000이나 1/50000 측척의 대측척 해도를 이용하여 수심 5m 또는 7m 선을 구획하는 것이 불가능하다는 것은 쉽게 알 수 있다.

현행의 다른 방법은 선박에 장치된 어로용 GPS 어탐기를 이용하여 수심을 개략 측정하여 경계구역을 설정하는 방법을 사용하기도 하는데, 이 것 또한 조위 보정과 흘수 보정, 기기오차 보정 등이 실시되지 않은 상태로 한계수심을 설정하고 있어서, 측정 수심의 오차가 크다는 단점이 있다.

어로용 GPS 플로터의 자료를 도면에 옮기는 일은 좌표의 정확성이 결여되어 있어서 형식적인 근거자료로만 사용되고 있으며, 어로용 플로터로 어선에서 직접 인쇄한 항적을 이용하여 행정구역도 상에 수작업에 의한 수심한계선을 그려서 약식 작도하는 경우가 허다하여, 각종 세금 징수에 기초가 되는 허가 면적의 공정성이 결여되어 있으며, 인접한 다른 종류의 어업권자와 이해가 상충할 때는 공정하고 객관적인 법 집행이 어려운 점이 있다.

## 3.2 기본 수준면 설정

해도에서 수심의 기준면은 각국마다 규정이 달라 일정하지 않다. 본 실험에서는 해양수산부 국립해양조사원 한국연안 조석표를 기준으로 해당 신규/갱신 면허해역의 기본수준면을 결정한다. NOAA 규정에 의하면 모든 측심(Sounding) 값은 약최저저조면(MLLWL; Mean Lower Low Water Level)을 기준으로 표시하여야 하며, 교량의 높이나, 해상 케이블들은 약최고고조면(MHWL; Mean High Water Level)을 기준으로 표시하여야 한다고 되어 있다[29].

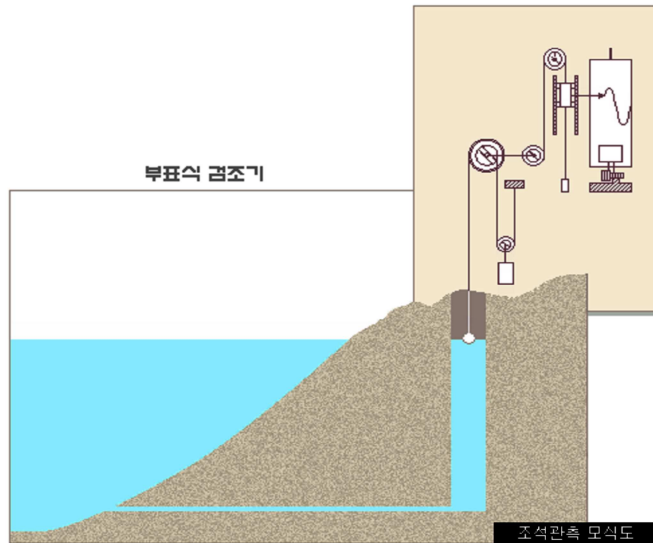
그러나 우리나라 해양수산부 국립해양조사원의 측량에 의한 수심의 기준면(Datum level for sounding)은 모두 평균해면에서  $H_m + H_s + H' + H_o$  만큼 아래에 있는 면이다.  $H_m$ ,  $H_s$ ,  $H'$ ,  $H_o$  들은 조화상수로서 이어지는 항목에서 자세히 설명하였다.

이들 조화상수는 각지의 고유한 값으로서 관측에 의하여 결정된 것이다. 이 면을 기본수준면 또는 약최저저조면 (Nearly lowest low water)이라고 하며, 영국의 인도대저조면(Indian spring low water)이라고 하는 것에 해당한다. 해면이 기본수준면 이하로 내려가는 일은 극히 드물지만, 이 면이 최저저조면은 아니므로, 기본수준면 이하로 해면이 내려가는 일이 없다고 말할 수는 없다.

특히 한국 연안 및 일본해 연안에서는 겨울철부터 봄철에 걸쳐서 저조시에 기본수준면 이하로 내려가는 수가 많다. 조석표의 조고는 기본수준면을 기준으로 한 것이다. 기본수준면상 평균해면의 높이를  $Z_o$ 라 칭한다. 평균해면의 결정은 측량시 그 장소에서 시행한 검조성과에 의하여 결정한 연평균해면이다. 단 검조기간이 짧고 1년 미만 일 때는, 부근해서 수년 동안 조석관측을 실시하여 결정한 평균해면의 연 변화를 가미하여 연평균을 추정하여 결정하고 있다. <그림

3-1>과 같이 해면에서 수심 이외의 기준면을 우리나라 해양수산부 국립해양조사원의 기준을 들어 설명하면 다음과 같다[32].

- 해안선: 약최고고조면에서의 바다와 육지의 경계
- 산의 높이: 부근 평균해면상의 높이
- 간출암의 높이: 기본수준면으로부터의 높이
- 대조승(Sp.R.): 대조에 있어서의 고조의 평균조고이며, 기본수준면상  $Z_0+H_m+H_s$  의 높이
- 소조승(Sp.R.): 소조에 있어서의 고조의 평균조고이며, 기본수준면상  $Z_0+H_m-H_s$  의 높이
- 약최고고조면: 기본수준면상  $Z_0+H_m+H_s+H'+H_0$  의 높이



<그림 3-1> 조석관측 모식도

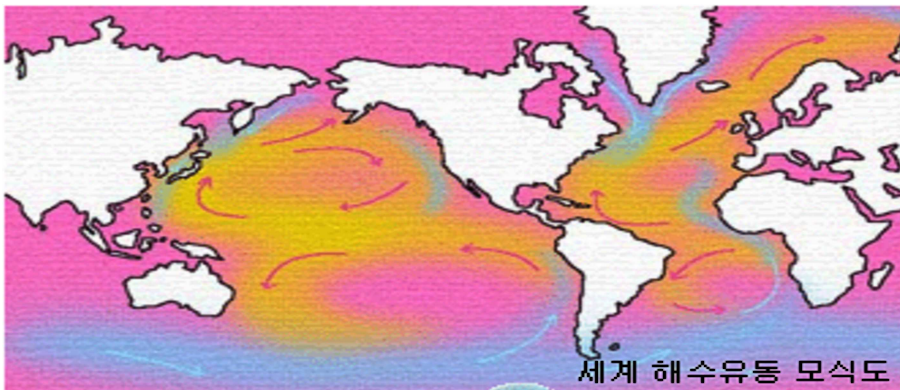
<Fig. 3-1> Concept drawing for tide measurement

### 3.2.1 해면에 관련된 각종 현상

#### 1. 조석과 조류 (Tide and Tidal Current)

조석이란 해면의 완만한 주기적 승강운동을 말하며, 보통 그 승강은 1일 약 2회이지만, 곳에 따라서는 1일 1회인 곳도 있다. 조석에서는 이밖에 수일의 주기를 갖는 약간의 불규칙한 승강, 반년 또는 1년을 주기로 하는 다소 규칙적인 승강까지 포함하여 취급하나, 각 항만의 특유한 수분~수십 분의 주기를 갖는 승강은 조석으로 취급하지 않는다.

조류란 조석에 의하여 일어나는 해수의 주기적 수평운동을 말한다. 조석 중에서 규칙적인 것은 천체의 인력에 기인하는 천체조석이며, 기압이나 풍향 등의 변화에 따라 일어나는 기상조석 또는 해수 밀도의 변화 등에 기인하는 밀도류 등의 승강은 <그림 3-2>와 같이 일반적으로 불규칙하다[33].



<그림 3-2> 해수유동 모식도

<Fig. 3-2> Concept drawing for worldwide tide current

## 2. 고조와 저조 (High water and Low water)

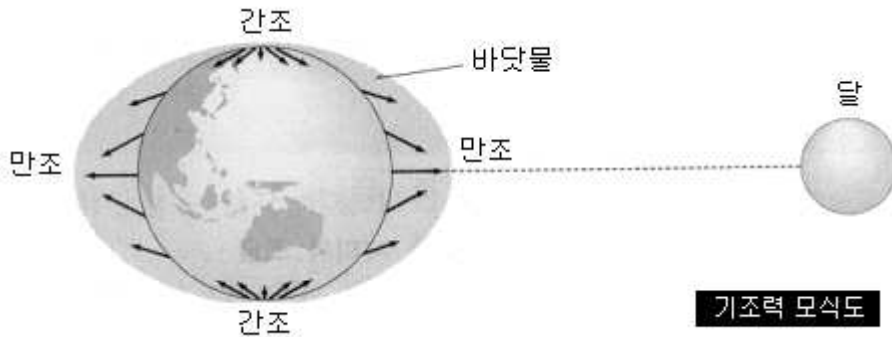
조석으로 인하여 해면이 가장 높아진 상태를 고조(H.W.; High Water)이라 하고 알아진 상태를 저조(L.W.; Low water)라고 한다. 저조에서 고조까지의 해면이 점차 상승하는 사이를 창조(Flood)라 한다. 반대로 고조에서 저조까지의 해면이 점차 내려가는 사이를 낙조(Ebb)라고 한다. 고조 또는 저조의 전후에는 해면의 승강은 극히 느리며, 마치 정지하고 있는 듯한 것과 같이 보이는 상태가 있는데, 이 상태를 정조 (Stand of tide)라 한다.

## 3. 월조간격(Lunatical interval) 및 조차(Tidal range)

조석 중에서 중요한 부분은 천체조석이다. 사실상, 이의 원인이 되는 천체는 태음(달)과 태양이 주를 이루며 태음이 태양에 비하여 2배 이상의 힘을 미치는 것이 보통이므로, 조석은 특수한 곳을 제외하면 거의 태음에 의해서 지배된다. 만약 지구가 동일한 깊이의 바다로 둘러싸인 상태, 즉 지오이드 면이 타원체면과 동일한 가상의 현실이 현실화 된다는 조건에서, 해수가 점성도 타성도 없으며 해저도 해수의 운동에 대하여 마찰을 일으키지 않는다면, 해수는 천체의 직하 및 지구의 중심에 대하여 대칭의 지점에 가장 많이 모이고, 그 직각의 대권(Great Circle)상에 가장 적게 모인다.

동일 위도의 지점을 생각하면 천체가 자오선 상에 보이는 지점 및 이곳과 180도 경사를 가진 지점은 가장 깊은 고조의 상태에 있고, 90도의 경사를 가진 지점은 깊이가 가장 얇은 저조의 상태에 있다. 그러나 실제의 지구는 이러한 이상적인 상태에 있지 않고 불규칙한 상태로 대륙이 존재하며, 지각의 위치마다 밀도와 중력이 틀리며, 바다의 깊이도 동일하지 않고 해수의 유동에 대한 타성, 점성 및 마찰 등 물리적 성질이 서로 다르기 때문에 천체의 자오선 경과와 고조시와는 시간의 차이가 있으며, 시간의 차도 장소에 따라서 다르

다. 이와 같이 천체의 자오선 경과와 고조시에는 시간의 차가 있으므로 달이 자오선을 경과하여 고조가 될 때까지의 시간을 고조간격(H.W.I)이라 하며, 저조가 될 때까지의 시간을 저조간격(L.W.I)라 한다. 고조간격과 저조간격을 평균한 것을 각각 평균고조간격(Mean High Water Interval) 및 평균저조간격(Mean Low Water Interval)이라 하며, 삭 및 망에 있어서의 고조간격을 평균한 것을 삭망고조간격이라 하고, 이 것들은 각 항만마다 거의 일정한 값을 가진다. 연속된 고조와 저조의 해면의 높이의 차를 조차(Tidal range)라 하고 장기간에 걸쳐서 조차를 평균한 것을 평균조차 (Mean range)라 한다.



<그림 3-3> 기조력 모식도

<Fig. 3-3> Concept drawing for the tide generating force

#### 4. 대조 및 소조 (Spring tide and Neap tide)

조차 및 월조 간격은 날에 따라서 다르나, 이들의 변화는 날에 따라서 불규칙하게 변하는 것은 월령과 관계되어 있다. 즉 조차는 삭(New Moon) 및 망(Full Moon) 후 1~2일에 극대가 되며, 이 때를 대조라 하고, 이때 조차의 평균을 대조차(Spring range)라 한다. 또

조차가 극소가 되었을 때를 소조라 하고, 이때조차를 평균한 것을 소조차(Neap range)라 한다. 또 월조간격은 대조 및 소조에 있어서의 평균치와 거의 같으나 대조에서 소조로 됨에 따라 짧아지고, 중간에서 한번 극소로 되었다가 계속하여 차차 길어져 소조에 이르면 거의 평균치로 되돌아간다.

소조와 대조 사이에는 점차 길어져 극대치에 달하고 다음에 차차 짧아져 대조에 이르면 거의 평균치로 돌아간다. 삭·망은 대조의 1~2일 전이기 때문에 삭망고조간격은 평균고조간격 보다 20~40분 긴 것이 보통이다. 삭 또는 망으로부터 대조가 될 때까지의 시간을 일수로서 표시한 것을 조령(Age of tide)이라 한다. 한국 및 일본 연안 부근에서는 1~2일이 보통이다.

#### 5. 일조부등 (Diurnal inequality)

연속된 2개의 고조 저조는 같은 날일지라도 반드시 같은 높이가 아니고, 같은 월조간격으로 일어나지도 않으며, 실제로는 차이가 있는 것이 보통이다. 이것을 일조부등이라 한다. 연속된 2개의 고조 중에서 높은 것을 고고조(Higher high water), 얇은 것을 저고조(Lower high water)라 한다. 연속된 2개의 고조 중에서 얇은 것을 저저조(Lower low water), 높은 것을 고저조(Higher low water)라 한다. 일조부등이 매우 클 경우에는 저고조 및 고저조가 거의 소멸되어, 1일 1회의 고조 및 저조가 있을 뿐이다. 이것을 1일 1회조(Single day tide)라 한다. 이에 대하여 1일에 2회의 고조와 2회의 저조가 있는 것을 1일 2회조(Double day tide)라 한다.

일조부등의 크기 자체는 날에 따라 다르고, 달의 적위가 적을 때, 즉 달이 적도 부근에 있을 때는 일반적으로 적다. 따라서 이 때에는 거의 규칙적으로 1일 2회의 승강이 일어난다. 이때의 조석을 분점조(Equinocial tide)라 한다. 달의 적위가 북 또는 남으로 적도로부터



많이 떨어지면, 일조부등은 크게 되고, 극대의 부근 즉 달이 남북회귀선 부근에 왔을 때는 일조부등도 극대가 된다. 이 때의 조석을 회귀조(Tropic tide)라 한다. 봄, 가을의 삭망 경에는 달이나 태양이 모두 적도 부근에 있기 때문에 일조부등은 특히 적고, 양현 때는 달이 회귀선에 오기 때문에 일조부등은 크다.

일조부등은 장소에 따라서 그 크기가 다르다. 일조부등이 큰 지방에서는 각 달의 절반은 1일 1회조뿐이며, 1일 2회조가 일어나는 것은 분점조의 경우에 한하는 곳도 있다.

## 6. 조석의 분조와 조화상수

전술한 바와 같이 조석의 조차 및 월조간격은 날에 따라 변화할 뿐만 아니라 일조부등이 있기 때문에 1일 중에 일어나는 2회의 고조 및 저조 사이에서도 복잡한 변화가 있다. 이 것은 조석을 일으키는 천체 즉, 태음 및 태양이 궤도를 달리하고, 궤도면이 지구의 적도면과 일치하지 않은 것, 그리고 운행 속도도 서로 다르기 때문에 지구에 대한 거리 또는 상태 위치가 항상 변화하기 때문이다.

이러한 각각의 성분조석을 분조(Tidal constituent)라 한다. 여러 곳의 조석을 실측치로부터 계산하여 분조를 구하는 데 각 분조 진폭의 2분의 1을 반조차(Semi range)라 하며, 각 분조를 일으키는 가상천체가 그 지방 자오선 통과를 한 후, 그 분조가 고조로 될 때까지의 시간을 각도로 표시한 것을 지각(Phase lag)이라 한다. 이러한 각 분조의 반조차 및 지각을 조화상수(Harmonic Constant)라 한다.

각지의 실측조석에서 조화상수를 구하는 것은 조화분석(Harmonic Analysis)이라고 한다. 보통 기상 조석은 불규칙하나, 기상의 일변화, 년변화 등의 주기적 변화에 기인하는 조석은 비교적 규칙적이기 때문에 이 것들을 분조속에 포함시켜 취급하며, 또한 분조간의 상호작용 및 해수의 마찰에 기인하는 복합조와 배조(倍潮) 등까지도 천

체에 의한 조석과 동일하게 분조속에 포함해서 취급한다. 이 복합조나 배조는 주로 얕은 바다에서 발생하는 것이며, 이 것을 천해분조(淺海分潮)라 한다. 이와 같이 많은 분조속에 일반적으로 우리나라 근해 조석에 많은 영향을 주는 분조는 다음의 4개 분조이다.

<표 3-1> 우리나라 근해에 주영향을 주는 4개 분조

<Table 3-1> Tidal constituent of Korean coastal waters

| 기호             | 분조명     | 1시간의 각속도   | 주기         | 조화상수기호         |                |
|----------------|---------|------------|------------|----------------|----------------|
|                |         | 각도 (°)     | 평시 (hour)  | 반조차            | 지각             |
| M <sub>2</sub> | 주태음반일주조 | 28.9841042 | 12.4206012 | H <sub>m</sub> | K <sub>m</sub> |
| S <sub>2</sub> | 주태양반일주조 | 30.0000000 | 12.0000000 | H <sub>s</sub> | K <sub>s</sub> |
| O <sub>1</sub> | 주태음일주조  | 13.9430356 | 25.8193417 | H <sub>o</sub> | K <sub>o</sub> |
| K <sub>1</sub> | 일월합성일주조 | 15.0410686 | 23.9344697 | H'             | K'             |

조화상수를 실측치에서 구할 수 있으면, 모시에 있어서의 조고는 그 시에 있어서의 각 분조의 조고의 총화로서 구할 수 있다. 따라서 그 장소에 미래의 조석을 추산할 수 있다. 조화상수와 평균고조간격, 대조차 등의 통계적인 상수와의 사이에는 거의 일정한 관계가 있다. 우리나라 해양수산부의 국립해양조사원의 조석표에 기재된 이들의 상수는 다음 식에 의하여 계산된 것이다.

평균고조간격:  $K_m / 29$  시

평균저조간격:  $K_m / 29$  시 + 6시 12분

우리나라 해양수산부의 국립해양조사원의 조석표에는 일주조가 큰

지방에 관한 상수 및 하천에 관한 상수는  $K_1$  또는  $O_1$  천해분조를 가미하여 기재하고 있다.

#### 7. 평균해면 (Mean Sea Level: MSL)

조석이 없다고 가정하였을 때의 해면을 평균해면이라고 한다. 평균해면은 1년을 주기로 서서히 상승한다. 이 것은 탁월풍(卓越風, Prevailing wind), 기압 등의 기상변화 및 수온, 해수밀도 등의 변화에 원인이 있다. 한국 및 일본연안에서는 겨울, 봄의 기압은 여름, 가을보다 높기 때문에 일반적으로 평균해면은 겨울, 봄에 낮고, 여름, 가을에 높다. 이것은 기압의 배치 여하에 따라 다르므로 장소에 따라 그 상승의 크기 및 시기는 다르다.

#### 8. 기상 및 해수의 변화에 기인한 승강

바람과 비, 기압, 기온 등의 기상변화는 다소 해면의 승강을 일으키는 원인이 된다. 바람이 해안으로 향하여 불 때는 상승하고, 역으로 바다로 향하여 불 때는 하강한다. 또한 강우에 의하여 하천 또는 만구가 작은 항구는 해면이 상승한다. 기압의 변화는 고기압에서는 해면은 하강하고 저기압에서는 상승한다. 또 해수온도의 변화는 해수의 용적을 변화시켜 해면을 승강 시킨다. 폭풍우 시에는 바람 및 저기압의 통과로 인하여 이상 승강이 일어나며, 특히 해일은 연안에 막대한 피해를 준다. 이들은 일부의 것을 제외하고는 주기, 크기 등도 정확하지 않고, 다만 통계적으로 그 수치를 알 수 있을 뿐이다.

#### 9. 해면의 부진동 (Secondary undulation Siecle)

만 등에서는 조석 이외의 영향으로 해면이 짧은 주기로 승강할 때가 있다. 이 주기는 짧은 것은 수분으로부터 긴 것은 수 시간에 이르며, 그 높이는 일반적으로 수 cm 이나 때로는 50~100cm에 달하

는 것도 있다. 주기는 만에 따라 특유한 것이나, 승강은 날에 따라 기상 및 해면 상태에 따라 다르다. 만구가 좁고 외해에 면한 곳은 현저한 승강을 나타낸다. 승강은 만의 안쪽에서는 높고, 만구에서는 적은 것이 보통이다. 이와 같은 승강을 부진동이라 한다. 부진동 현상은 바다의 만 뿐만 아니라 호수에도 존재한다. 우리나라 해양수산부의 국립해양조사원에서 작성 배포한 조석표의 조고에는 부진동은 포함되어 있지 않다.

### 3.3.2 조류 (Tidal current)

조석에 의한 해면 경사가 일으키는 수평적이고, 주기적인 유동을 조류라 한다. 조류는 대양 중에서는 미약하지만 만의 입구 수도 등에서는 강할 때가 많다. 조류의 유향은 흘러가는 방향으로 표시한다. 넓은 바다의 조류는 유향·유속 모두 시시각각으로 변화하며, 주기적으로 원 상태를 회복하는 것이 보통이지만, 수도 등에서는 직선적이며, 보통 한 방향으로 최강이 되고 차차 유속이 감소되어 흐름이 정지한다. 이 상태를 게류(Slack water)라 하며 주기적으로 반복하게 된다. 게류 시에 유향을 변화시키므로 전류(Turn of tidal current)라고도 한다.

저조시에서 고조시까지 흐르는 조류를 창조류(Flood current)라 하고, 고조시에서 저조시까지 흐르는 조류를 낙조류(Ebb current)라고 한다. 창조류 중에 유속이 최강이 되는 조류를 최강창조류라 하고, 낙조류 중에 유속이 최강이 되는 조류를 최강낙조류라 한다. 조류는 부근의 조석과 관련되어 있는 것이 보통이지만, 장소에 따라서는 반드시 양자의 성질이 유사하다고는 할 수 없다. 예로서 조석은 일조부등이 커서, 1일 1회조로 되어도 조류는 1일 4회의 전류가 일어날 때도 있고 또는 반대의 경우도 있다. 조류는 또 지형의 영향을 크게

받으며, 근접해 있는 2점 사이에서도 유향 유속뿐 아니라, 조시도 크게 다를 때가 있다. 조류가 격렬한 좁은 수도 등에서는 때때로 와류(Eddies)가 발생한다. 이와 같은 와류를 소용돌이(Whirlpool)라고 한다. 이 것들이 발생하는 위치는 해도에 기재되어 있다. 또 해저에 기복이 있어서 조류가 암초 등의 위치를 지나갈 때 해면은 파상을 나타내는 데, 이를 급조(Over falls)라 하고 심한 것을 격조(Tidal race)라 한다.

해면의 기부는 해저의 복부를 좀 지난 장소에 생기는 것이 보통이다. 또 해안에 병행하여 조류가 흐르면, 안선 돌출부의 후면 등에는, 때로는 주류와 반대방향의 흐름이 생길 때가 있다. 이를 반류(Counter current)라 한다. 조류도 조석과 같이 대조 때 크고, 특히 클 경우에는 1일 1회 조류가 될 때도 있다.

### 3.2.3 조랑 (Tidal wave)

지구상의 각 해역에 대한 조석을 관찰하여 보면 고조시 한쪽에서 다른 곳으로 진행에 감에 따라 점차 늦어져서 조차도 장소에 따라 차차 변하는 것을 알 수 있다. 즉 조석은 하나의 파동(波動)으로서 이 것이 해중(海中)을 지날 때, 파봉(波峰)이 있는 지점에 도착하면 그 지점은 고조가 되며 파곡(波谷)에 도착할 때는 저조가 된다. 동일 지점에서 파봉에서 파곡까지를 조차라고 한다. 또한 파봉에서 다음 파봉까지의 시간이 조석의 주기와 같다. 이 조석의 파(波)를 조랑(潮浪)이라 한다.

### 3.3 조위 예보 모델링

해양측량의 목적이 면허 처분용 한계 수심을 측정하기 위한 것이므로, 선박통항에 필요한 수로측량 방법과 마찬가지로 면허요청 해역에 조위 관측소를 설치하여 음향측심 작업결과를 조위 보정하는 것은 과도한 비용과 일정이 소요될 것이므로, 본 해양조사측량의 목적과 적절하게 부합하지 못한 방법으로 사료된다. 따라서 해양수산부 국립해양조사원의 조석표를 기준으로 작업 예정일의 조위 예보치를 모델링 하여 사용하는 것으로 하였다.

#### 3.3.1 예보치의 정도 (Accuracy of Predictions)

##### 1. 조시조고표

표준항의 조시·조고는 1년 ~ 수년간의 실측자료에서 구한 조석의 조화상수를 이용하여 해양수산부 국립해양조사원에서 계산한 것이며, 보통 상태의 조석을 표시한 것이다. 이상 기상에 의한 영향 또는 부진동 등은 고려되어 있지 않으나, 조시는 대체로 20~30분 이내에서 실제와 일치한다. 승강이 매우 적을 때나 일조부등 때문에 1일 1회조에 가깝고, 연이은 고저조의 차가 적을 경우에는 때에 따라 1시간 이상의 차이가 있을 수도 있다. 이러한 경우에는 적은 기상 변화 등에 의해서도 조석에 큰 영향을 끼치므로 정확하게 추산하는 것은 오히려 불가능하다.

조고는 보통상태에서 다소의 차는 있으나, 그 차이는 30cm 이내에 있다. 당연히 이상 기후 등에 있어서는 현저한 차이를 나타낼 때가 있다.

## 2. 조시고조 개정수

각 해역의 조시조고 개정수는 다음 식으로 계산되고 있다.

$$\text{조시차} = (\text{M.H.W.I.}) - (\text{M.H.W.I.})_0 + (31/30)(L_0 - L) + (S - S_0)$$

$$\text{조고차} = \text{대조차}/(\text{대조차})_0$$

여기서,

L : 경도,

S : 채용한 표준자오선의 경도 값을 시각으로 환산한 값

“0”: 을 표시한 곳은 각 표준 항에 관한 값

조시개정수: 필요에 따라 12시간 25분을 가감

일조부등이 큰 해역, 특수한 조형을 가진 해역에는  $K_1$  분조,  $O_1$  분조 또는 배조 등의 영향을 고려하여 계산한다. 개정수에 의하여 구한 조시는 일반적으로 1시간 이내에서 실제와 일치하나, 일주조가 큰 장소에서는 약간 정도가 저하되는 것을 감수하여야 한다.

표준항의 선정은 항만의 중요성, 조화상수의 신뢰정도를 고려하여야 하지만, 일면 개정수의 정도를 높이기 위하여 조석의 형태수가 여러 번 산출되었거나 비슷한 점들을 고려하여 선정한다. 표준항은 일반적으로 가까운 장소를 택하지만 특수한 곳에서는 표준 항으로 조형이 비슷한 먼 거리의 장소를 택할 때도 있다[32].

<표 3-2> 조석에서 사용하는 약호 도표

<Table 3-2> Abbreviation table for tide analysis

| 명칭                               | 약호      | 명칭                                    | 약호         |
|----------------------------------|---------|---------------------------------------|------------|
| 고조<br>High water                 | H.W.    | 조시차<br>Difference                     | Diff.      |
| 저조<br>Low water                  | L.W.    | 조고비<br>Ratio                          | Ratio      |
| 북류최강<br>Maximum North<br>Current | Max. N. | 평균고조간격<br>Mean High Water<br>Interval | M.H.W.I.   |
| 동류최강<br>Maximum East<br>Current  | Max. E. | 평균저조간격<br>Mean Low Water<br>Interval  | M.L.W.I.   |
| 개류<br>Slack water                | S.W.    | 대조승<br>Spring Rise                    | Sp.R.      |
| 경도<br>Longitude                  | Long.   | 소조승<br>Neap Rise                      | Np.R.      |
| 위도<br>Latitude                   | Lat.    | 평균해면<br>Mean Sea Level                | M.S.L.(Zo) |



## 3.4 음향 측심

### 3.4.1 측심 관련규정

#### 1. 측심 단위

측심 단위는 미터로 하되 측심의 기록은 소수 1위까지 한다.

#### 2. 정확도

측심 오차의 총화는 다음 식에 의한 값을 넘지 않아야 한다.

$$\pm\sqrt{[a^2+(b\times d)^2]} \text{ 이하 : 신뢰도 95\%}$$

여기서,

a : 상수 0.5 meter로서 모든 정오차의 총화에 대한 상수

(b×d) : 수심에 관련된 오차

b : 상수 0.013로서 수심 관련한 오차상수

d : 수심 (단위 meter)

#### 3. 측심오차 경정 (Corrections to Echo Sounding)

다음과 같은 5개 항목의 측심오차 경정을 수행하여야 한다.

- 관측 기기 오차 보정
- Transducer 흘수 보정
- 측량선박 항해중의 Transducer 높이 보정
- 음속 보정
- 선체 운동 및 회전에 의한 영향 보정

<표 3-3> 음향측심 오차량

<Table 3-3> Allowable tolerance for echo sounding

| 번호 | 오차의 종류  | 최대 허용오차                                  | 원인   |
|----|---|--|--|
| 1  | 측심기계오차(Measurement error)                                     | 보통 10m 수심에서 0.2m의 오차량, 최대(0.3m+수심의 0.5%) | 선박의 Roll/Pitch 영향과 측심저질의 밀도 차이   |
| 2  | Transducer<br>흘수 오차   | 보통 0.05m,<br>최대 0.15m                    | 선박 탑승인원, 화물중량 등에 의한 영향과, Transducer 높이 측정 오차   |
| 3  | Transducer<br>침강 오차<br>(Settlement and squat error)<br>보통 5cm | 보통 0.05m<br>최대 0.2m                      | 해면의 기상상황에 많은 영향을 받는다. 측량선박의 항해중 침강에 의한 오차이며 수심이 얇은 곳에서는 전체 측심 값에 큰 영향을 끼친다. RTK DGPS의 사용으로 최소화 할 수 있다. |
| 4  | 음속오차(Sound velocity)  | 보통 0.2m<br>최대(0.3m+수심의 0.5%)             | 수온, 염도 등의 영향에 의한 음속의 차이, 실제음속 측정하여 보정  |
| 5  | 선미운동오차(Heave error)   | 보통 0.05m<br>최대 0.2m                      | 해면의 기상상황에 많은 영향을 받으며, Heave sensor의 성능에 영향을 받는다.   |
| 6  | 조위 오차<br>(Tide/water level error)                             | 보통 0.2m,<br>최대 0.45m                     |  |

#### 4. 측심 오차량

측심에는 피할 수 없는 여러 가지의 오차들이 발생되고 있으며, NOS Hydrographic Surveys Specifications (2000), National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA) U.S. Department of Commerce에서는 다음의 표와 같이 측심 오차량에 대한 최대 허용 값을 제시하고 있다.

#### 3.4.2 음향 측심 작업 QA

음향측심은 DGPS 이용한 방법을 이용하여 단위 작업별로 측량기록 파일을 CD와 같은 별도 저장장치에 보관하여, 후 일의 경계 분쟁발생에 대비하되 아래와 같은 품질관리 단계를 이행하도록 한다.

##### 1. DGPS 장비점검

음향측심용 항법기기로 사용할 DGPS장비는 작업 착수 전에 기지기준점에서 장비점검 절차를 시행하여 그 기록을 보관하여야 한다.

##### 2. Bar Check

음향 측심기 진동자 설치 후, 작업 해역에서 Bar Check을 실시하고, 그 기록을 최종 보고서에 첨부하여야 한다. Bar check는 수면으로부터 진동자까지의 깊이를 재확인하는 좋은 방법으로 음속들보정하는 효과적인 방법 중의 하나이므로 반드시 시행하여야 한다.

##### 3. 작업해역 조위 주기 측정

기본 수준면은 국립해양조사원의 자료에 의하도록 하지만, 작성된

모델의 조위 변동 주기를 정확히 적용하는 것은 측정 수심의 오차를 방지하기 위한 것으로서 매우 중요한 작업이다. 작업 해역의 해수면 승강 주기를 알 수 있도록 측량 폴을 설치하거나 적절한 지형지물을 이용하여 승강 주기를 측정, 기록하고 작업일지에 기록하여 보관하여야 한다.

### 3.4.3 음향 측심 작업 QC

#### 1. 측선 방향과 간격 설정

측심 계획선은 해안선에 직각 방향으로 설정하여야 하고, 측선 간격은 해당 해역의 해안선의 굴곡 도에 따라 책임측량사가 결정되 최대 50m를 넘지 않도록 한다.

#### 2. 기상 조건

본 건에서 다루는 마을어업과 협동양식 어업 면허 대상지역의 경우는 모두 평수, 연안해역에 속하는 지역으로서 기상 조건들이 양호한 해역에 속한다. 음향측심 작업 중의 오차를 방지하기 위하여 파고 1m 이상의 경우에는 음향측심 작업을 시행하지 않도록 한다.

#### 3. 측량선박 속도

음향측심 작업 속도는 3 knots를 기본으로 하되, 기상 조건이 매우 좋은 특별한 경우라도 5 knots를 넘지 않도록 한다.

#### 4. GPS 안테나 Offset

GPS 안테나의 위치는 음향 측심용 진동자 위치와 비교하여 Offset 된 거리를 측량하여 작업일지에 기록하고, Offset 거리 보정

을 실시한 증빙 데이터와 함께 최종 보고서에 이를 첨부한다.

#### 5. Transducer(진동자) 고정

진동자는 선체의 측면이나 선수에 흔들리지 않도록 단단히 설치하  
되, 선미에 설치하지 않도록 한다. 즉 음향측심 작업 중에 진동자  
주위에 생길 수 있는 기포 발생으로 측심 오차가 생기지 않도록 주  
의한다.

#### 6. 측심작업 시기

음향 측심기는 수심 60cm 보다 낮은 천해부에서는 부정확한 수심  
이 관측되는 경우가 많다. 따라서 이러한 마을어업 또는 협동화 어  
업 면허 발급, 갯신용 수심측량을 실시할 경우에는 가급적 해수면이  
올라가는 만조 시기를 선택 하도록 하여 해당 해역의 정확한 기본  
수준면에 의한 경계선이 측정되도록 작업 시기를 계획하도록 한다.

### 3.4.4 음향 측심 성과도서 보관

#### 1. 측정 수심 파일

측선 별로 파일을 저장하고 이를 전자 문서 저장매체, 즉 CD 또  
는 디스켓으로 보관한다.

#### 2. 경정수심 산출 파일

음향 측심 당시의 조위 예보치를 적용한 경정 수심 산출근거와 그  
래프를 전자 문서로 보관하여야 한다.

#### 3. 측심 그래프

보정하지 않은 측정 수심 단면도와 경정 수심에 의한 수심 단면도

를 그래프로 인쇄하여 제출하고, 이를 전자문서로 보관하여야 한다.

#### 4. 수심 항적도

측량 선박의 항적을 따라 측심 데이터가 직각 방향으로 표시되도록 기입하여 수심 항적도를 제출하고 전자문서로 보관하여야 한다.

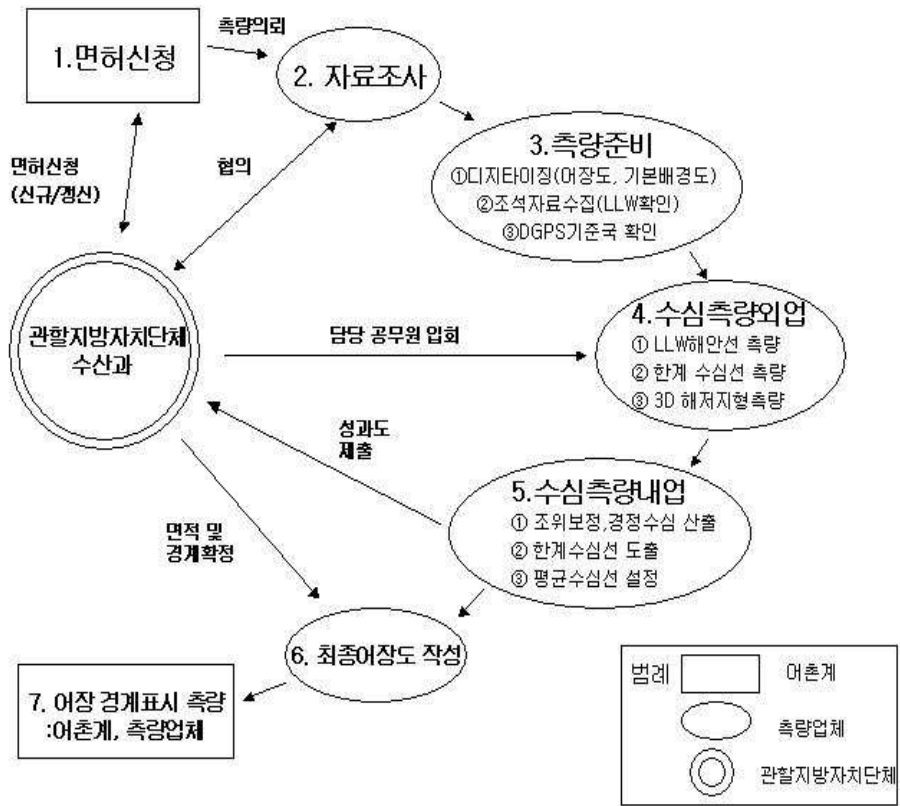
#### 5. 등심선도

경정 수심을 토대로 작성한 1m 간격의 등심선을 작성하고 5m 등심선은 짙은 청색으로 표기하여 등심선도를 제출한다. 도면의 축척은 면허 처분대상 해역의 크기에 맞추어 이를 적절히 식별할 수 있는 축척으로 선택되어야 하나 특별히 과업 지시서에 명시되지 않는 한, 1/10000 또는 1/25000을 기본으로 한다.

도면의 크기는 관계부처와의 협의에 따라 A1~A4 사이의 규격으로 결정한다. 등심선도에는 해당 해역의 DL을 함께 표시하여 면적 산출 근거가 명확하도록 하여야 한다. 등심선도는 해당 면허 해역의 한계 수심을 근거로 결정한 평균 한계 수심 선과 DL 면을 결정하는 근거 도면으로 첨부되어야 하며 이를 기준으로 면허 해역 면적이 결정되도록 한다.

#### 6. 면허해역 도면 및 면적 계산부

관계 부처 면허 권자의 결정에 의한 면허 경계수역이 결정되면 이를 기준으로 면허해역 도면을 작성하고 처분된 면허면적 계산부를 컴퓨터 출력하여 보관하도록 한다. 단 면허 면적은 스케일 측정에 의한 수동 삼각 구분법을 이용하지 않고 CADD 소프트웨어에 의한 좌표 계산법을 이용하여 면허 면적 산출의 객관성과 정확도를 높이도록 한다. <그림 3-4>는 단계별 면허처분에 대한 계획(안)이다.



<그림 3-4> 단계별 면허처분 계획(안)

<Fig. 3-4> Proposed procedure for fisheries license

## 제 4 장 해상실험 및 고찰

### 4.1 한계수심 설정 해저지형 측량

#### 4.1.1 기초자료 조사

##### 1. 대상해역 한계수심 법규 검토

수산업법 시행령 면허규정에 의거, 어촌계로부터 접수된 면허 갯신, 신규 어장의 한계수심을 조사한다.

##### 2. 기존 자료조사

해양수산부 국립해양조사원 발행 한국 연안 조석표에 의거하여 신청 해역의 기본수준면을 조사한다.

- 실험장소: 경상남도 통영시 산양읍 연대리 내부지도
- 실험내용: 한계 수심조사, 마을어업 어장을 수산업법 시행령 제10조 1항에 근거, 최 간조시의 평균수심 5m이내의 해역 경계선 조사
- 실험해역의 DL: 연중 LLW 0.3 m

##### 3. 측지계

측지계 제원은 다음과 같이 규정하여 사용하도록 한다.

- 기준 타원체: Bessel 1841
- 투영방법: 횡머케이더 (T.M.) 투영법
- 중앙자오선(C.M.): 동경 129도 00분 10.405초



- 평면직각 좌표계 원점: 대한민국 동부원점

세계적인 추세는 WGS-84 타원체를 이용하며, 일본에서도 이를 육·해상에서 공용하도록 변경한 바 있으나, 우리나라에서는 아직 이에 대한 개정이 없으므로 Bessel1841 타원체를 사용 한다. 단, 주무관청과의 협의에 따라 WGS-84 타원체를 사용할 수도 있으며, 이 경우 해도와의 연계가 수월한 것이 장점으로 인정된다.

#### 4. 조위 예보치 확인

먼저 신청 어장에서 가장 가까운 기준 항의 조위 예보치를 조사하여 작업계획에 사용한다.

- 실험장소: 경상남도 통영시 산양읍 연대리 내부지도 마을 공동어장
- 국립해양조사원에서 출간한 2002년 조석표 기준
- 연 최저저조위(LLW) 조사
- 측량 계획 일의 시간별 조위 모델링

| 조석예보                    |    |                 |                 |                |                 | www.NORI.go.kr |
|-------------------------|----|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| ■ 2002년 9월 통영 지역 조석 예보표 |    |                 |                 |                |                 |                |
| ▲ : 고조 ▼ : 저조           |    |                 |                 |                | (단위 : cm)       |                |
| 월령                      | 날짜 | h : m (height)  | h : m (height)  | h : m (height) | h : m (height)  | 사리             |
|                         | 9  | 03 : 57 ( 13) ▼ | 10 : 19 (296) ▲ | 16 : 12 ( 4) ▼ | 22 : 39 (300) ▲ | 목사리            |

<그림 4-1> 2002년 9월 통영해역 조석 예보표

<Fig. 4-1> Tidal forecast for TONGYOUNG zone in Sept 2002

## 4.1.2 해저지형 측량 준비

### 1. 디지털라이징

음향 측심을 실시하고 이를 근거로 어장의 범위를 결정하기 위하여, 다음과 같은 기초 자료를 AutoCAD상에서 디지털라이징 하여 컴퓨터 파일 화 한다.

- 먼허지역 해도
- 기존 어장 허가도

### 2. 장비 동원

동원된 장비의 목록은 <표 4-1>과 같다.

### 3. 음향측심 준비절차 시행

<표 4-1> 동원 장비의 목록

<Table 4-1> Equipment mobilization plan

| 분류    | 품목                       | 수량 | 단위  | 비고        |
|-------|--------------------------|----|-----|-----------|
| GPS   | Receiver                 | 2  | 대   |           |
|       | Antenna                  | 2  | 개   |           |
|       | Data cable               | 2  | 개   |           |
|       | Antenna cable            | 2  | 개   |           |
|       | Battery                  | 2  | 개   |           |
| 컴퓨터   | Note Book                | 2  | 대   |           |
|       | Data cable               | 2  | 개   |           |
|       | 마우스                      | 2  | 개   |           |
|       | 전원 cable                 | 2  | 개   |           |
| 음향측심기 | Echosounder              | 1  | 대   |           |
|       | Transducer               | 1  | 대   |           |
|       | Bar check plate and wire | 1  | 대   |           |
|       | Battery                  | 2  | 개   | 24V       |
|       | Power cable              | 2  | 개   | AC·DC     |
|       | Data cable               | 1  | 개   |           |
|       | 연속용지                     | 2  | 롤   |           |
| 소프트웨어 | 음향측심 프로그램                | 1  | 개   |           |
|       | 데이터 취득 프로그램              | 1  | 개   |           |
|       | 측량 프로그램                  | 1  | 개   |           |
| 주변기기  | LCD 모니터                  | 1  | 대   | 항해용       |
|       | 인버터                      | 1  | 대   | 전압 변환용    |
|       | RS 232                   | 1  | 개   |           |
| 기타    | Log book                 | 1  | 개   |           |
|       | 카메라                      | 2  | 대   |           |
|       | 무전기 (예비Battery)          | 2  | 대   |           |
|       | Transducer고정용 장비         | 1  | Set |           |
|       | 구명조끼                     | 3  | 개   | 측량사 3인 기준 |
|       | 측량 폴                     | 2  | 개   | GPS안테나 고정 |
|       | 공구함                      | 1  | 개   |           |

## 4.2 음향 측심 외업

### 4.2.1 장비 조립 설치

음향 측심기와 GPS관련 장비, 컴퓨터 등 음향측심 시스템을 선박에 탑재한 후 음향측심을 실시 할 수 있도록 장비를 설치한다.



<그림 4-2> DGPS 안테나와 Transducer 장비설치

<Fig. 4-2> Installation of DGPS antenna and transducer

### 4.2.2 항해, Bar-check, 측심

장비설치가 완료되면 음향측심을 실시할 해역으로 이동하여 작업 해역에서 Bar check를 실시한다. 즉 Bar check는 반드시 작업자 전원이 탑승한 상태에서 해당 해역에서 실시한다. Bar check 단계에서 측심기 조정이 끝난 상태를 출력하여 보관하고, 측심 항해 화면상에 나타나는 측심선 및 검측선을 따라 선박을 항해하면서 음향측심을 실시한다.

## 4.3 내업

### 4.3.1 음향측심 원시자료 (Raw Data) 검사

#### 1. 측심자료 내려 받기

음향측심이 완료되면 기록된 데이터를 분석용 컴퓨터로 내려 받고, 이를 음향 측심기에서 출력된 자료와 비교검토 한다. 이 과정에서 불량 데이터로 검사된 구간은 재 측량작업 하여야 한다.

#### 2. 진동자(Transducer Head) 흘수 보정

원시자료(Raw Data)의 값에 진동자 깊이를 1차 보정하여 측정 수심을 생성시킨다.

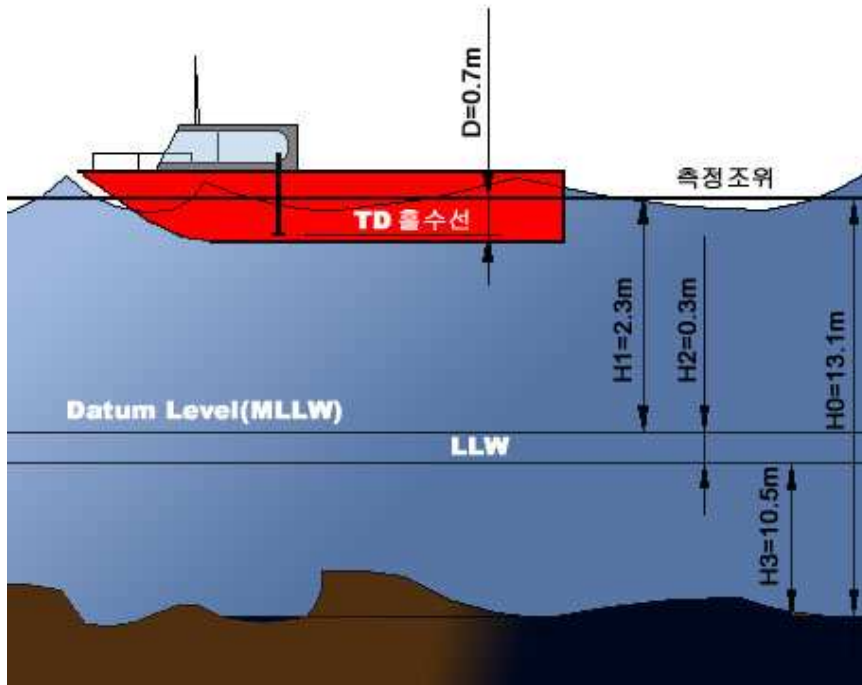
### 4.3.2 경정 수심

#### 1. 조위 보정

<그림 4-3>과 같이 검사가 완료되고 진동자 흘수가 보정 된 측심 자료에 조위 보정표 또는 모델을 적용하여 조위 보정을 실시한다. 수산업법 시행령 제10조에 따라 연 최저저조위(LLW)를 DL로 결정한다.

#### 2. 경정 수심

다음 그림은 조위 보정과 경정수심 산출 개념을 설명한 것이다 [34].



<그림 4-3> 조위 보정

<Fig. 4-3> Tide calibration

$H_0$  (측정 수심) = 음향측정수심 + 0.7m(진동자 깊이:D)

$H_1$  (측정 조위) = 측심 당시의 조위, 2.3 m

$H_2$  (최저저조위) = 면허해역 LLW 3월 1일, -0.3m

$H_3$  (경정 수심) =  $H_0 - (H_1 - (H_2))$

예) 측정수심  $H_0 = 13.1\text{m}$ 인 경우

경정수심  $H_3 = 13.1 - (2.3 - (-0.3)) = 10.5\text{m}$



<그림 4-4> 어장 수심한계/경계 확정 표지 설치

<Fig. 4-4> Installation of boundary buoy for fishery block

### 4.3.3 성과도면 작성

#### 1. 수심 항적도

측심 항적을 따라, 항적의 직각 방향으로 수심을 소수점 1단위까지 기록하였다.

#### 2. 해저지형도(등심선도)

연 최저저조위(LLW)를 기준면으로 하고 1m 간격의 등심선도를 작성하였다. 통영 해역의 내부지도 마을어업 양식장의 경우 <그림 4-5>와 같이 수심 5m선을 한계수심 선으로 설정하여 청색으로 구분하여 표시하였다. 분홍색 선은 최저저조위(LLW)에 의한 면허구역 내부 경계선으로 인정되는 해안선이다.



<그림 4-5> 내부지도 해저지형 등심선도  
 <Fig. 4-5> Bathymetry for seabed of NAEBUJI Is.

#### 4.3.4 면허처분 단계

##### 1. 면허구역 어장경계선

한계 수심 5m선을 기준으로 평균수심 5m가 되는 선을 담당공무원과 해당 어촌계와 협의하여 결정하고 어장경계선의 정점을 나타내는 부표 설치지점을 결정한다.





<그림 4-6> 제 1 단계: 한계수심 5m 등심선까지의 해저지형도  
 <Fig. 4-6> Step 1, Bathymetry in limited depth for NAEBUJI Is.

본 제안서의 실험 해역인 내부지도를 대상으로 평균수심 5m 선을 확정하는 단계를 다음 <그림 4-5> ~ <그림 4-8>과 같이 1단계부터 3단계까지 나타내었다.



<그림 4-7> 제 2 단계: 한계수심 등심선을 따라 확정된 5m 평균수심선  
 <Fig. 4-7> Step 2, Set boundary by limited depth 5m by surveyor



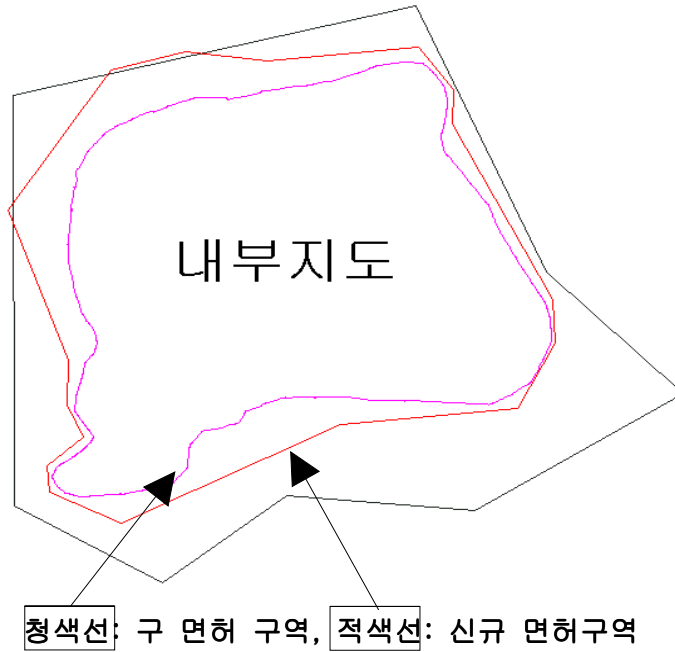
<그림 4-8> 제 3 단계: 면허 처분권자의 면허구역 경계 확정

<Fig. 4-8> Step 3, Set boundary by the fishery authority

## 2. 면허허가 면적산출

확정된 평균수심 5m선과 최저저조위(LLW) 선 사이의 면적을 계산하면 면허한 어장 면적이 산출된다. 면적 산출은 2개의 폐합다각형의 각각 꼭 지점 좌표를 이용하여 위거, 경거를 이용한 면적 산출 방법을 사용하면 면적 산출의 객관성과 정확성을 높일 수 있다.

CADD 프로그램에서 컴퓨터를 이용하여 산출한 경우, 산출근거를 인쇄하여 보관하는 동시에 전자문서로 보관하도록 한다. 다음 <그림 4-9>는 실험 대상이었던 내부지도에 대한 과거의 면허처분 구역과 신규 면허처분 구역을 비교하여 나타내고 있다.



<그림 4-9> 신·구 면허구역 비교도

<Fig. 4-9> Comparison drawing of the licensed area  
for Previous vs. Revised by this study

<그림 4-9>는 신규 어장과 기존 어장을 비교한 것이다. 연 최저 저조위(LLW) 선을 포함한 해안선 내부의 면적은 약18.2ha이고 신규 어장 내부의 전체 면적은 약 23.2ha이다. 그리고 기존 어장 내부의 전체 면적은 약32.5ha이다.

<표 4-2> 실측 한계수심 경계면적과 관리대장 면적 대비표  
 <Table 4-2> Licensed area comparison table for Previous vs.  
 Revised by this study

| 면적 구분               | 면적 구분선  | 면적      |
|---------------------|---------|---------|
| 내부지도 최저저조면(LLW) 해안선 | 홍색 선    | 18.2 ha |
| 관리대장의 면허면적          |         | 24.0 ha |
| 기존허가도 상의 좌표 면적 산출결과 | 청색선 홍색선 | 14.3 ha |
| 5m 평균수심한계선 내 조사면적   | 적색선 홍색선 | 5.0 ha  |

## 제 5 장 결 론

그 동안 면허조치 된 후, 어장관리대장에 유지되어 왔던 어장허가도 상에서는  $32.5 - 18.2 = 14.3\text{ha}$ 에 불과한 면적이 실제로는 19ha를 초과하여 실제허가 면적 대비 480%의 차이를 보인 상태로 관리대장에 기록된 것이었다.

실제 해저지형 측량 자료를 토대로 어장의 면적을 계산해 본 결과 신규 어장의 면적은 5ha이며, 구 면허에 의한 24ha와 비교하면 무려 19ha의 차이를 보이고 있으며, 수산업법에서 규정한 한계수심을 조사하기 위한 음향측심 자료 분석결과에 의하면 기존 어장의 북동쪽의 어장경계 지점의 수심이 18m로 나타났으며, 이는 수산업법에서 규정한 한계수심을 3 배 이상 초과한 것이다. 따라서 잠수어업을 사업종목으로 하는 어업권자와 잦은 다툼이 발생하는 것은 당연한 일이었다.

위와 같이 도출된 결과들을 토대로 하여 공동어장 대장, 즉 어장 측량 성과도를 작성하여 보았다. 좌표를 명시한 수치 어장허가 도면은 잠수기 조합 어민들과의 분쟁발생 방지 기준이 될 수 있음을 알 수 있었고, 해당 관청의 승인을 받은 수치 어장 허가도의 기점을 답사하고 확인하여 점검한 다음, 각각 어장 경계지점에 부표를 설치하여 인접 어업권자와의 경계를 확정하고, 동 경계는 인공위성을 기점으로 확정된 매우 객관적인 것이라는 점을 주지시켜서 향후의 분쟁 소지를 제거하였다.

수치 어장허가 도면은 어장면허 허가의 자료로의 사용뿐만 아니라 정확한 어장 경계지점을 해도 상의 좌표로 직접 확인할 수 있으므로 선박 안전통항 참고 자료 또는 적조, 유류오염 피해 등의 각종 재난 피해조사에도 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] 수산업법 시행령 제10조
- [2] www.letsnavi.com : Onyx & Sapphire GPS units
- [3] Kinji Tanikoshi, “ZUKAI REZA NO HANASHI”, pp.18~19, 2000.
- [4] B. Hofmann Wellenhof, H. Lichtenegger and J. Collins, , “Global Positioning System Theory and Practice” 3rd Edition, pp.43~67, pp.13~27, pp.43~69, 1994.
- [5] 강준목, “GPS에 의한 지형정보 구축에 관한 연구”, 한국과학재단, pp.1~8, pp.28~47, 1994.
- [6] 신봉호, “Geoid Undulation Model 개발에 관한 연구”, 한국과학재단, pp.73~98, 1994.
- [7] David Wells, “Guide to GPS Positioning”, Canadian GPS Associates, pp.5.08~5.16, pp.5.17~5.20, pp.8.04~8.10, 1986.
- [8] YAHOO 백과사전, www.yahoo.com
- [9] 김천곤 편역, “측위의 역사” 토목기술 제3권 5호, 1995.
- [10] 광재하, 김천곤 공저, “위성측량의 이해”, 부산정보대학출판부, pp.12~14, 1999.
- [11] Kinji Tanikoshi, “ZUKAIDENPA NO SHIKUMI”, pp.86~87, 2000.
- [12] Gregory T. French, “Understanding the GPS”, Geo Research Inc. pp.15~73, 1996.
- [13] US Army Corps of Engineers, “NAVSTAR GLOBAL POSITIONING SYSTEM SURVEYING”, p.2-2, pp.5-5~5-7, p. 10-2, 1996.

- [14] 영남건설기술교육원, “GIS & GPS 측량” p39~58, 1998.
- [15] 김천곤, 박재하, 강인준, “GPS 측량 표준 작업 고찰”, 부산대학교 토목공학과, 1996.
- [16] 정세모, “DGPS 설치를 위한 조사연구 기본 및 실시절계”, 해양수산부, pp.3.1~3.67, pp.18~19, 1997.
- [17] <http://www.ndgps.go.kr/>
- [18] Ashtech Inc., “Basic GPS Survey Workbook”, pp.4~16, 1994.
- [19] 김기문 외 4인, “전파관계법규해설”, 효성출판사, p.117, p.145, 2001.
- [20] Tom Logsdon, “Understanding the NAVSTAR GPS, GIS, and IVHS 2nd Edition”, pp.152~157, 1992.
- [21] Jim Chance, Dr John M. Gravley, “GPS for Global Tidal Measurements”, Hydro International Magazine Vol. 7, pp.6~9, 2003.
- [22] David B. Zilkoski, J. Don D’Onofrio, Stephen J. Frakes (1997) “Guidelines for Establishing GPS Derived Ellipsoid Heights (Standard: 2cm and 5 cm) version 4.2, National Geodetic Service/USA,
- [23] 장용구 외 6인, “디지털 측량 및 측량실습”, 건기원, pp.402~407, 2002.
- [24] W.Schofield, “Engineering Surveying”, Butterworths, pp.126~127. p.139, 1984.
- [25] Barry F. Kavanagh, S. J. Glenn Bird, “Surveying Principles and Applications”, Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp.337~343, 1988.
- [26] 이영진, “21세기 측량 정보 산업 발전방향 Workshop 결과보

- 고서”, 건설교통부 국립지리원, p.174, 1997.
- [27] Standard for interfacing marine electronics devices NMEA 0183 Ver. 2.0, IEC Documents TC80/WG6, International Electrotechnical Commission, pp.18~26, 2000.
- [28] Invictor 210L DGPS Beacon Receiver Operating Manual, Starlink Incorporated, pp.17~18, 2000.
- [29] NOS Hydrographic Surveys Specifications, National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA) U.S. Department of Commerce, (Old Hydrographic Manual, pp. 47~53, p.442, 2000.
- [30] 정연태 외 4인 공편저, “모범측량학”, 형설출판사 p.29, 1999.
- [31] 곽재하, “인공위성 관측에 의한 지적측량 기준점 선정에 관한 연구”, 부산대학교 일반대학원 토목공학과, p.30, 2000.
- [32] 한국연안 조석표, 해양수산부 국립해양조사원 서지 제510호, pp.260~262, 2003.
- [33] 국립해양조사원 <http://www.nori.go.kr/>
- [34] EM 1110 2 1003, “Engineering and Design Hydrographic Surveying”, Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers, pp.9-1~9-5, 2002.