

# 선상 중력자료의 처리 및 정밀도 분석

## Data Process and Precision Analysis of Ship-Borne Gravity

금영민\* · 권재현\*\* · 이지선\*\*\* · 최광선\*\*\*\* · 이영철\*\*\*\*\*

Keum, Young Min · Kwon, Jay Hyoun · Lee, Ji sun · Choi, Kwang Sun · Lee, Young Cheol

### 要 旨

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라에서 정밀 지오이드 모델 개발을 위해서 해상에서의 중력자료는 필수적인 요소이다. 기존의 연구에서 해상에서의 중력자료는 위성고도계자료에서 산출한 중력자료를 이용하여 처리하였으나, 측량장비의 발달과 측위 시스템의 개선 및 국내 선상중력자료의 취득으로 인해 보다 정밀한 중력 자료의 취득이 가능하게 됨에 따라 선상중력자료의 정밀도를 검증하고, 지오이드의 구축에 있어서 선상중력자료의 활용성을 분석해 볼 필요가 있다. 이를 위해 국립해양조사원에서 지난 1997년부터 2007년까지 측정한 선상중력자료를 대상으로 에트뵈스(Eötvös) 효과 보정, 칼만 필터(Kalman Filter), 교차점 보정 등의 일관된 처리를 거쳐 평균 16.47 mGal, 표준편차 18.86 mGal의 프리에어이상값을 산출하였다. 산출된 선상중력 프리에어이상값의 정밀도는 DNSC08 위성고도계자료와 비교를 통하여 검증되었는데, 두 자료의 프리에어이상값의 차이는 평균 -0.88 mGal, 표준편차가 9.46 mGal로 나타났다. 이러한 차이는 영외지역이나 섬의 분포가 많은 해안 지역에서의 선상중력자료를 확보하는데 있어서의 한계와 해저지형에 의한 영향이 상대적으로 선상중력자료에서 크게 나타나기 때문으로 판단된다. 향후 지오이드 모델 개발에 선상중력자료를 활용하기 위해서는 자료 취득의 한계를 극복하고 위성고도계 자료와의 연계에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

핵심용어 : 선상중력, 선상중력자료 처리, 위성고도계 자료

### Abstract

The ship-borne gravity data is essential to construct geoid in Korea surrounding ocean area. The altimeter data was used in previous study, however, the ship-borne gravity data could be used due to more ship-borne data was collected by improvement of instrument, positioning system. Therefore, the study on verification of precision of ship-borne gravity data and practical usage analysis is needed. In this study, free-air anomaly having 16.47mGal and 18.86mGal as mean and standard deviation was obtained after consistent processing such as Eötvös correction, Kalman Filter, Cross-over adjustment etc. The calculated free-air anomaly was compared to DNSC08 altimeter data and the difference was computed having -0.88mGal and 9.46mGal of mean and standard deviation. The reason causing those differences are owing to spatial limits of data acquisition and effects of ocean topography. To use ship-borne gravity data for precision geoid development, the efforts to overcome the limits of data collection and study for data combination should be proceeded.

Keywords : Ship-borne gravity, Processing of ship-borne gravity, Altimeter Data

### 1. 서 론

지오이드는 한 국가의 수직 기준으로써 정확한 높이 값을 제공하고 지구의 물리적 변화에 따른 중력장을 나

타내고 있어 다양한 분야에서 응용되는 가장 기본적인 국가 기반이다. 정밀 지오이드를 개발하기 위하여 국토 전반에 걸쳐 존재하는 풍부한 중력자료는 지오이드 구축과 정밀도 향상시키기 위한 필수 요소로, 대부분의

2010년 2월 16일 접수, 2010년 3월 9일 채택

- \* 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정(amtayuth@uos.ac.kr)
- \*\* 교신저자 · 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 교수(jkwon@uos.ac.kr)
- \*\*\* 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(leejs@uos.ac.kr)
- \*\*\*\* 부산대학교 지구과학교육과 교수(ksunchoi@hywon.pusan.ac.kr)
- \*\*\*\*\* 부산대학교 지구과학교육과 박사(geoyoung@pusan.ac.kr)

선진국에서는 육상·해상·항공 중력 측정을 통하여 중력자료를 취득해오고 있다. 우리나라에서도 다양한 기관에 의하여 육상, 해상, 항공중력자료를 측정 및 확보하여 왔는데, 특히 우리나라의 경우는 삼면이 바다로 이루어진 반도라는 지형적인 특성 때문에 해상중력자료가 매우 중요하다고 할 수 있다.

지금까지의 연구를 살펴보면, 선상중력측정은 선박의 항해 중에 이루어지며 선박의 접근이 용이하지 못한 지역이나 섬의 분포로 인해 항로가 일정치 못한 경우 측정된 자료의 정밀도가 크게 떨어지는 한계가 있다. 때문에 해면고도와 위성과의 거리차이를 통하여 환산한 위성고도계 자료의 중력값을 이용하는 것이 보편적이었다(해양수산부, 2005). 그러나 GPS 시스템과 중력 측정 기술의 발달로 기존의 선상중력측정의 측정위치의 정밀도가 향상되었고, 항해술의 발달로 인하여 관측 노선이 증가됨에 따라 선상중력측정을 통한 자료의 획득 및 활용성이 향상되었다(Wessel and Watts, 1988). 따라서 정밀 지오이드 개발에 있어 선상중력자료와 위성고도계 자료의 적절한 활용과 융합을 위한 기초 연구로서 선상중력자료의 정밀도를 검증 및 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 1997년부터 2007년까지 해양조사원에 의해 측정된 선상중력자료를 통합 및 재처리하여 프리에어이상값을 계산하였다. 또한 계산된 선상중력자료는 DNSC(Danish National Space Center)에서 개발한 DNSC08 위성고도계 자료와 비교하여 정밀도를 검증하고, 향후 정밀 지오이드 모델 개발에 있어서 선상중력자료의 활용 가능성을 분석하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

본 연구는 크게 선상중력 자료를 처리하는 부분과 정밀도를 검증하는 부분으로 나눌 수 있으며, 일련의 과정은 그림 1과 같다.

먼저 선상중력자료의 처리는 1997년부터 2007년까지 획득된 원시자료를 대상으로 프리에어이상값을 계산하기 위한 과정으로 지구 조석 및 기계변이 보정, 회전점 제거, 칼만 필터 적용, 에트비스 효과 보정, 교차점 보정의 계산 순서를 따른다. 이후 산출된 프리에어이상값의 정밀도를 검증하기 위하여 선상중력자료와 위성고도계 자료를 비교하였으며, 차이가 크게 발생하는 지역에서는 지형적 특성 및 측정 환경에 의한 원인을 규명하였다.



그림 1. 연구흐름도

## 3. 선상중력자료 처리

### 3.1 선상중력자료

선상중력자료는 항해 중 KSS31 중력계로 측정된 선상중력자료와 DGPS를 이용한 위치측정자료, 측정된 선상중력자료와 지상에서의 중력값과 연결을 위하여 항구에서 측정된 육상중력자료로 나눌 수 있다.

선상중력자료는 각 년차별로 9~13항차에 걸쳐 획득된 자료로 초당 하나의 값을 갖는 자료로 그림 2와 같다. 육상중력자료는 각 노선의 측정 시 선박의 입항 후/출항 전에 항구에서 10분 간격으로 1시간씩 측정된 자료이다.

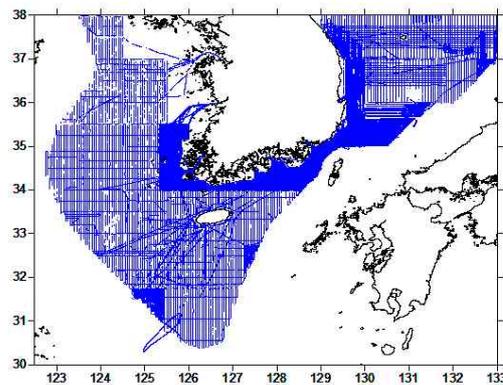


그림 2. 선상중력자료 노선도

표 1. 선상중력자료 형식

자료명	ID	경도 (deg)	위도 (deg)
형식	8i	11.3f	11.3f
예제	599830	125.444519	34.9188
자료명	선속(knot)	방향(deg)	중력값 (mGal)
형식	5.3f	5.3f	9.3f
예제	0.0	46.20	-714.14

표 2. 육상중력자료 형식

자료명	항차	경도 (deg)	위도 (deg)
형식	string	11.3f	11.3f
예제	1항차	125.444519	34.9188
자료명	시간	분류	중력값 (mGal)
형식	8i	string	9.3f
예제	59983	입항	-704.14

3.2 선상중력자료 처리

3.2.1 중력자료의 정리

획득한 선상중력 원시자료를 살펴보면 항해환경, 장비의 이상 유/무, GPS 시스템의 이상에 의한 위치정보의 중복현상, 데이터처리 서브시스템에서 항해관련 데이터와 측정중력데이터가 취합 저장될 때의 에러 발생으로 인한 측정 시간 이상, 기록 순서 이상 등의 오류가 포함되는 경우가 있다. 따라서 프리에어이상값 계산에 필요한 자료를 정리 및 추출하기 위하여 원시자료에서 이러한 문제점들을 제거 및 수정하여야 한다.

먼저, 자료 전체 대비 포함된 시간 오차의 비율이 매우 작기 때문에 모두 삭제하였고, 시간의 순서가 바뀐 경우는 지구조석 보정을 위해 관측 일정을 고려하여 자료의 시간을 매년 4월 1일을 기준으로 한 줄리안데이(Julian day)로 환산하였는데, 이때 자료는 오름차순으로 정렬함을 원칙으로 하였다. 이후 자료의 순서는 시간에 따라 정렬하였으며 줄리안데일로 환산된 시간값이 유일값을 가지므로 이를 ID로 하여 정렬하였다.

최종 정리된 선상중력자료는 ID, 경도, 위도, 선속, 방향, 상대중력값 순서로 되어 있으며, 자료의 형식은 표 1과 같다.

또한, 육상중력자료는 각 항차별, 시간별, 입, 출항별로 측정 중력값, 측정 위·경도로 구분하여 정리하였으며 표 2와 같다.

3.2.2 절대중력 환산

선상중력측정도 지상에서의 중력측정과 동일하게 상대중력측정을 원리를 이용하므로 절대중력으로 환산하기 위해서는 기준이 필요하다. 선상중력자료는 기준으

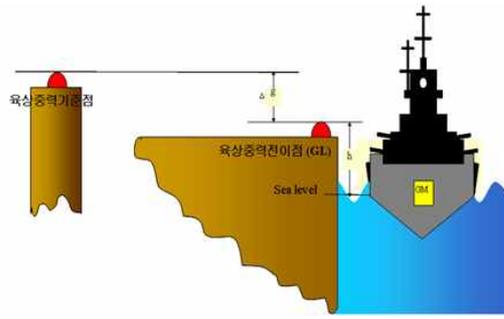


그림 3. 절대중력 전이(2005, 국립해양조사원)

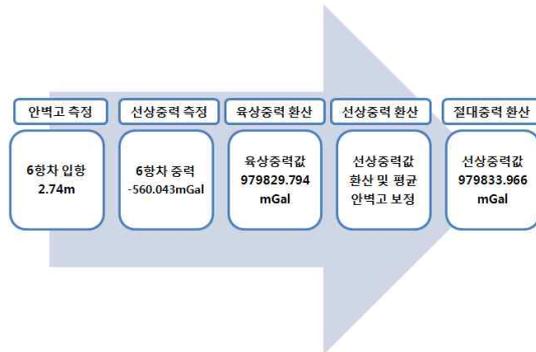


그림 4. 절대중력 환산 (2007년 6항차)

로 육상중력자료를 이용하는데, 환산 과정을 살펴보면 먼저 입항 후, 출항 전에 항구에서 1시간 동안 10분 간격으로 측정된 육상중력자료를 측정하고, 동시에 해수의 높이 변화를 나타내는 안벽고를 측정한다. 이때 선상에서는 선상중력계를 이용하여 동일한 시간 동안 선상중력을 측정한다. 이 후 측정된 육상중력점의 상대중력값을 항구와 가까운 곳의 중력보조점과 연계하여 절대중력으로 환산하고, 이를 고정하여 선상에서의 절대중력값을 계산한다. 이 때, 해수의 높이의 변화에 의한 영향을 반영하기 위하여 안벽고를 측정하였기 때문에, 안벽고에 대한 보정이 수반된다.

그림 3은 앞서 언급한 일련의 선상중력값의 절대중력값으로 환산하는 원리를 도식화 한 것이며, 그림 4는 2007년도 6항차 입항 시의 절대중력환산 과정을 예로 들어 나타낸 것이다.

3.2.3 지구조석 보정

지구조석이란 고체인 지구가 달과 태양의 상대적인 위치에 따른 인력에 의해 주기적인 지구의 변형을 일으키게 하는 현상을 의미한다. 이 중에서 달에 의한 인력이 해수면에 미치는 영향을 기조력이라고 하는데, 일반

적으로 기조력은 시간과 위치에 따라 다르게 나타난다. 따라서 중력을 관측함에 있어 기조력 때문에 시간 및 위치에 따라 중력값이 바뀌게 되므로 이를 보정하여야 하는데, 기조력이 중력 측정값에 미치는 영향이 최대 0.3 mGal로 알려져 있으므로(김문정, 1999) 필수적이라고 할 수 있다.

이러한 기조력을 보정하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째는 조화 함수로 기조력 포텐셜을 계산하는 것이며, 두 번째로 각 시간에 대한 기하학적 위치로부터 계산하는 것이다. 본 연구에서는 두 방법 중 조화 함수를 이용하는 방법이 상대적으로 높은 정밀도를 나타내므로 기조력 포텐셜을 나타내어 계산하는 방법을 이용하였다.

조화 함수에 의한 기조력 포텐셜은 지구가 완전한 강체라는 가정 하에 지표면 상의 점에서 외부 천체에 의한 포텐셜로 표현하며, 식 (1)과 같다(Garland, 1971; Tsuboi, 1983).

$$V = \frac{3}{2}g \left( \frac{M}{M_e} \right) \frac{a^2 R^2}{r^3} \left( \cos^2 z - \frac{1}{3} \right) \quad (1)$$

여기서,

- $a$  : 관측 지점의 지구반경
- $R$  : 지구의 평균반경
- $g$  : 관측 지점의 중력
- $M_e$  : 지구의 질량
- $M$  : 기조력을 일으키는 천체의 질량
- $r$  : 지구중심과 천체사이의 거리
- $z$  : 천체의 천정거리

**3.2.4 기계 변이 보정**

선상중력계는 스프링 길이의 변화로부터 중력값을 계산하는 상대중력계로 시간이 지나면서 스프링 탄성의 복원력이 달라지며, 항해환경, 항해일수, 입·출항시의 상황에 따른 영향 때문에 측정시의 용수철길이 변화가 다르게 나타난다. 따라서 스프링 시스템의 변화에 따른 영향이 동일하도록 보정하여야 한다.

본 연구에서는 각 항차의 입항과 출항시의 관측한 육상중력값과 선상중력값의 변화를 선형의 함수로 가정하여 각 측정 시간에 대하여 보정량을 산출하였다.

조석 보정과 기계 변이 보정 후의 프리에어이상값은 -763 mGal에서 978 mGal의 범위를 나타내며, 교점에서의 프리에어이상값의 RMS는 57.13 mGal로 계산되었다.

**3.2.5 회전점 제거**

일반적으로 선상중력측정은 직선으로 항해함을 원칙으로 한다. 그러나 해수의 변화가 크게 발생하거나 섬의 분포가 높은 서해안, 남해안 지역에서는 급격한 노선의 변화가 발생할 수 있으며, 또한 노선 간 변경 시에는 그림 5에서와 같은 회전점이 생기게 된다. 그림에서와 같은 회전점이 발생하는 경우, 회전구심력이 중력측정값에 포함되어 측정되므로 그림 6에서와 같이 이러한 회전점들을 제거해 주어야 하는데, 포함된 회전구심력은 현재의 GPS 시스템으로도 계산이 불가능하므로 다음과 같은 원칙에 의하여 제거한다(이영철, 2008).

먼저 원시자료 내에서 선박의 방향변화를 관찰하여 삭제하거나, 회전점 제거 전의 자료에서 프리에어이상값이 큰 차이를 보이는 자료를 찾아서 삭제한다. 또는 측정자료의 분포도를 통하여 탐사선이 회전하거나 회전점이 발견되는 지역에서 측정값을 제거한다.

이러한 회전점 제거에 있어서 탐사선의 움직임에 관한 알고리즘을 통해 제거하면 쉽겠지만, 현장 관측에 있어 해수면의 변화, 장애물의 등장 등 다양한 장애 요소가 존재하므로, 야장 및 회전점 제거 전 자료의 분석을 통해 수작업으로 제거하였다.

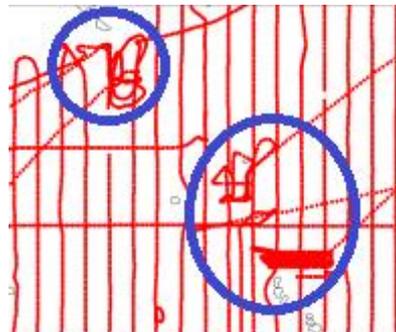


그림 5. 회전점 제거 전

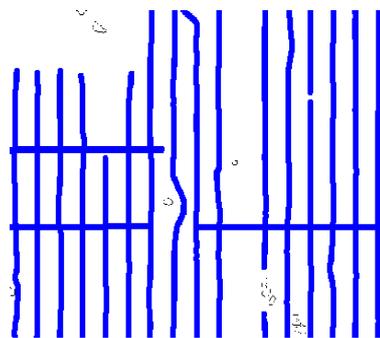


그림 6. 회전점 제거 후

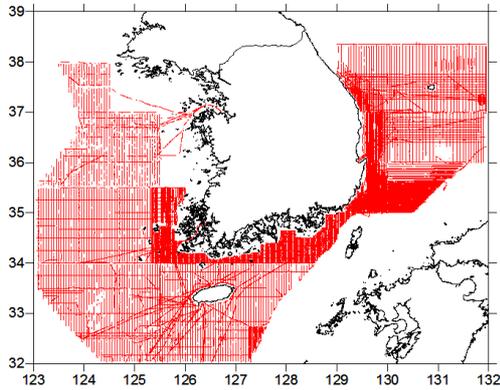


그림 7. 회전점 제거 후 선상중력측정 노선도

추가적으로 회전점 제거와 동시에 급격한 선속의 변화로 관측치가 급격히 변하거나 주변의 값과 차이가 크게 발생하는 측점의 경우도 함께 제거하였다. 그 결과 그림 6에서와 같이 회전점 제거 후 대부분의 노선이 직선이 되었으며, 회전점 제거 후 전체 노선은 그림 7과 같다.

3.2.6 Kalman Filter

측정된 선상중력자료의 정확한 보정을 위해서 정밀한 위치정보가 필수적이다. 이는 정확한 위치 정보가 추후 수행할 에트비스 보정에 많은 영향을 끼치기 때문이다. 선상중력측정은 선상중력계와 DGPS를 연결하여 사용하므로 본 연구에서는 GPS를 통한 위치측정이 가능하고 측정된 위치정보의 정밀도 향상을 위하여 칼만 필터(Kalman Filter)를 사용하였다.

칼만 필터는 비행체 위치 제어, 네비게이션이나 영상처리 등 여러 분야에서 각 시스템의 작동 중에 필수적으로 요구되는 주요 변수를 예측하는데 사용 되는 알고리즘이다. 수학적으로 칼만 필터는 선형 시스템(Linear System)의 상태를 예측해서 발생할 수 있는 오류를 최소화 하면서 예측한다. 본 연구에서 칼만 필터는 이동체의 위치를 예측하는 목적으로 쓰였으며, 실질적인 오차 보정의 단계에서 원시 자료의 오차 보정은 Visual Fortran 6.6의 IMSL Stat/Library Vol. 2, Chapter 8 : Time Series Analysis and Forecasting의 KALMN/DKALMN(Single/Double precision) subroutine을 이용하였다.

3.2.7 에트비스(Eötvös) 보정

에트비스 효과는 운동 상태에서 중력을 측정할 때 측정기의 운동이 중력가속도에 미치는 효과를 뜻한다. 이것은 해상 또는 항공 중력 측정의 경우, 탐사선 혹은 항

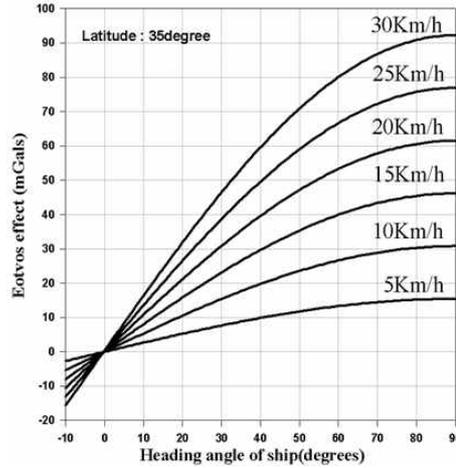


그림 8. 선속과 방위각에 따른 Eötvös 효과 (2005, 국립해양조사원)

공기의 속도에서 동서 방향 성분이 지구 자전 성분과 일치하여 지구 자전 각속도의 상대적인 증감 효과를 일으킴으로써 원심 가속도가 변화하여 중력값에 영향을 미치는 경우이다. 에트비스 효과의 선속과 방위각에 따른 효과는 그림 8과 같다.

그림 8에 보이는 바와 같이 에트비스 효과는 속도가 증가할수록 커지며, 또한 진행방향의 각이 클수록 그 효과가 커지는 경향이 있기 때문에 이러한 효과를 최소화 하기 위한 방법을 찾아야 한다. 본 연구에서는 선박의 속도를 7~10 knot로 유지하여 전체 자료에 대한 에트비스 효과를 최소화 하였다. 일반적으로 에트비스 효과의 계산은 식 (2)과 같이 선박의 항해 속도와 방향, 위도에 대한 함수로 표현된다(Nettleton, 1976).

$$E = 2\omega V \cos\theta \sin\alpha + \frac{V^2}{R} \tag{2}$$

여기서,

$E$  = Eötvös 효과

$\omega$  = 지구자전 각속도

$$= 7,292,115 \times 10^{-11} \text{ rad/s (WGS84)}$$

$V$  = 선박의 속도

$\theta$  = 위도

$\alpha$  = 선박의 진행방향으로 진북을 기준으로 한 시계방향의 각

$R$  = 평균 지구의 반경

$$= 637,100,877.14 \text{ cm (WGS84)}$$

표 3. 에트비스 효과 보정량 (단위 : mGal)

범위	평균	표준편차
-139.44 ~ 149.33	-0.50	16.30

이 때, 시간, 속도, 선박이 향하는 방향 보정 시 knot 단위를 KMS단위 체계에 맞추기 위해 선박의 속도를 km/h 단위로 하면 mGal 단위의 에트비스 효과는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$E = 4.051175 V \cos \theta \sin \alpha + 1.211119 \times 10^{-3} V^2 \quad (3)$$

식 (3)을 적용하여 선상중력자료에 대한 에트비스 보정을 수행한 결과 전체 노선에 대한 보정량은 표 3과 같다.

### 3.2.8 프리에어이상값(free-air anomaly) 계산

프리에어이상값이란 측정된 중력값에 표준 중력값을 뺀 후, 해저지형의 변화에 대한 보정을 수행한 것이다. 일반적으로 프리에어이상값은 실제로 지형과 매우 높은 상관관계를 가지며, 바다의 경우 해저 지형과 거의 유사한 형태를 보인다.

이러한 프리에어이상값(박영수 등, 2006)의 계산은 식 (4)과 같이 표현될 수 있다.

$$\Delta g_{fa} = g_{ob} - g_{ab} + \Delta g_{atm} + FAC \quad (4)$$

여기서,

$$\Delta g_{fa} = \text{프리에어이상값}$$

$$\Delta g_{ob} = \text{관측중력값}$$

$$\Delta g_{ab} = \text{절대중력값}$$

$$\Delta g_{atm} = \text{대기질량보정값}$$

$$= 0.87 - 0.0000965 \times h \text{ [mGal]}$$

$$FAC = 0.3086 \times h \text{ [mGal/m]}$$

프리에어이상값은 높이와 관련된 수식으로 표현되는데, 선상중력은 수면 위에서 중력을 관측하는 것으로 해상에서의 높이가 0 m이므로 해상에서의 프리에어이상은 식 (5)와 같이 간단히 표현될 수 있다.

$$\Delta g_{fa} = g_{ob} - g_{ab} + 0.87 \quad (5)$$

이 때, 프리에어이상값 계산에서 사용될 표준중력은 WGS84 표준식(Somigliana, 1929)의 수식을 이용하여

계산하였으며, 식 (6)와 같다.

$$\gamma = \frac{(R_e \gamma_e \cos^2 \theta + R_p \gamma_p \sin^2 \theta)}{\sqrt{(R_e^2 \cos^2 \theta + R_p^2 \sin^2 \theta)}} \quad (6)$$

각 노선별로 산출된 프리에어이상값은 -293 mGal 에서 578 mGal의 값을 갖는 것으로 나타났다.

### 3.2.9 교차점 보정

선상중력측정 값은 항해환경, 항해일수, 입항 전, 출항 후의 조건에 따라 같은 위치임에도 불구하고 측정 노선에 따른 에트비스 효과의 차이, 각 보정 단계에서 발생하는 오차의 오차 전파, 랜덤 오차 등의 다양한 이유 때문에 중력값에 있어 차이를 보인다. 따라서 교점에서 고유의 값을 갖도록 보정하여야 하는데 이를 교차점 보정이라 한다.

교차점 보정 수행을 위해 본 연구에서는 측정된 중력값의 보정을 수행한 뒤에도 교점의 중력값이 일치하지 않는 곳에 대하여 반경 50m 이내의 점들을 탐색하고, 최소제곱법을 적용하여 하나의 값으로 조정하였다.

그 결과 교차점 보정 이후의 프리에어이상값은 표 4와 그림 9에서 나타내는 바와 같이 -185.96 mGal부터 209.51 mGal의 범위를 갖는다.

자료의 정밀도는 1.2 mGal로 산출되었는데, 이는 교차점 보정 전의 교차점에서의 RMS 값이 11.4 mGal 것에 비하여 교차점 보정 후 자료의 정밀도가 높아졌음을 의미한다.

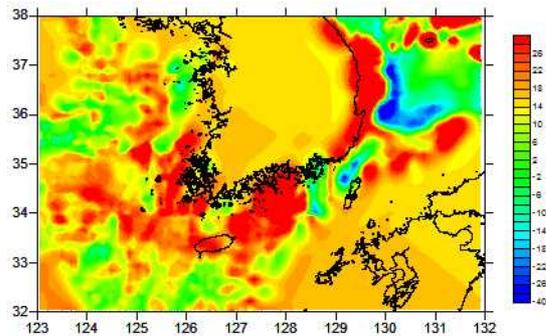


그림 9. 선상중력자료 프리에어이상값(mGal)

표 4. 선상중력자료 프리에어이상값 (단위 : mGal)

범위	평균	표준편차
-185.96 ~ 209.51	16.47	18.86

4. 위성고도계 자료와의 비교

본 연구에서는 처리된 선상중력의 정밀도 분석을 위해 위성고도계 자료와의 비교하였다.

4.1 위성고도계 자료

본 연구에서 선상중력자료의 정밀도를 검증하기 위해 이용한 위성고도계 자료는 DNSC08이다. DNSC08은 DNSC07에 EGM2008을 이용하여 정밀도를 개선한 것으로 전 세계에 걸쳐 1~2km의 해상도를 가지며 평균 0.39 mGal, 표준편차 4.36 mGal을 나타낸다.

우리나라 영해에 DNSC08 위성고도계 자료는 총 6311개 측정점이 분포하고 있으며, -139.32 mGal~100mGal의 값의 분포를 나타낸다(표 5, 그림 10).

4.2 선상중력자료와 위성고도계 자료의 비교

선상중력자료와 위성고도계자료의 비교는 계산된 프리에어이상값의 차이를 통하여 수행되었다. 이 때 선상중력자료와 위성고도계자료가 분포하는 범위가 다르기 때문에 위도 30~38.5°, 경도 122.5~133°의 범위에서 동일한 간격을 갖는 그리드를 생성한 후 차이를 계산하였다.

그 결과 두 자료의 차이는 표 8에서와 같이 최대 155.46 mGal까지 나타났으며, 평균 -0.88mGal, 표준편차는 9.46mGal이었다.

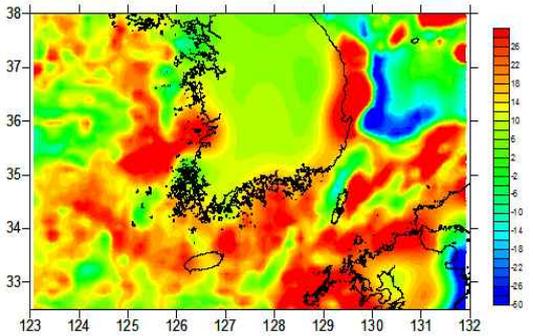


그림 10. 위성고도계 자료 프리에어이상값(mGal)

표 5. 위성고도계 자료 프리에어이상값 (단위 : mGal)

범위	평균	표준편차
-139.32 ~ 100.00	12.14	14.93

표 6. 선상중력자료와 위성고도계자료의 차 (단위 : mGal)

범위	평균	표준편차
-155.46 ~ 38.00	-0.88	9.46

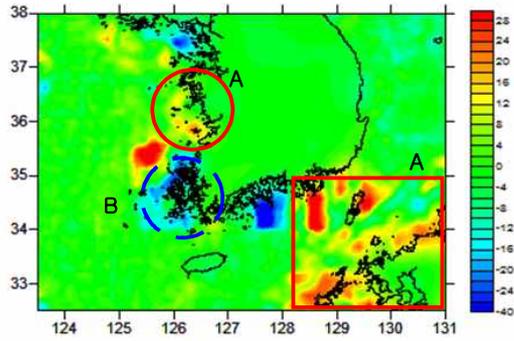


그림 11. 선상중력자료와 위성고도계 자료의 프리에어 이상값 차이(mGal)

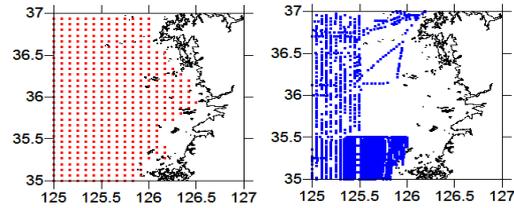


그림 12. 위성고도계 자료(좌)와 선상중력자료(우)의 자료 분포 비교

두 자료의 차이를 상세히 살펴보면, 그림 11에서 나타내는 바와 같이 연안 지역, 서해 및 남해 일부 지역에서 차이가 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 차이는 다음과 같은 원인에 기인한 것으로 판단된다.

먼저 A와 같은 연안 지역에서의 차이는 자료의 분포에 따른 차이가 주원인이라고 생각된다. 일례로 서해안 연안 지역을 살펴보면, 그림 12에 나타난 바와 같이 내륙 해안 지역에서 위성고도계 자료에 비하여 선상중력자료의 분포가 현저히 낮음을 알 수 있다. 이러한 분포의 차이를 발생시키는 이유는 서해안 내륙해안에서는 선상중력측정에 있어 선박이 내륙해안까지 미치지 못하여 자료를 획득할 수 없기 때문으로 판단된다.

자료 부족에 의한 차이는 남동해안의 대마도 부근에서도 확인할 수 있는데(그림 13), 이는 중력자료 측정을 국외 영역에서 측정을 실시할 수 없었기 때문이다. 이러한 자료의 분포에 기인한 차이는 향후 지오이드를 구축함에 있어 선상중력자료를 획득할 수 없는 지역에서는 위성고도계자료와의 최적 융합이 필요하다는 점으로 해석될 수 있다.

프리에어이상값의 차이가 발생하는 다른 원인으로는 중력자료 처리에 있어 해저 지형에 의한 효과가 미치는 영향이 얼마나 반영되었는지를 들 수 있다. 일반적으로

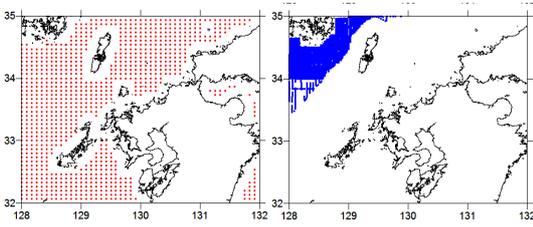


그림 13. 대마도 및 일본 근해의 위성고도계 자료(상)와 선상중력자료(하)의 분포

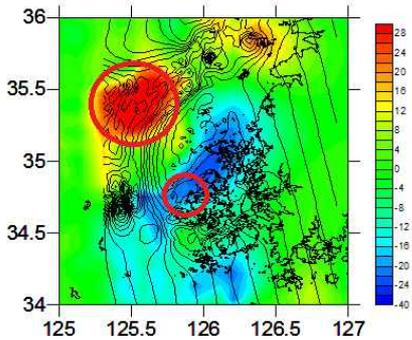


그림 14. 해저지형과 프리에어이상값

선상중력측정을 수행할 경우는 해저 지형의 밀도에 따라 중력값의 변화가 크게 발생하며, 따라서 산출되는 프리에어이상값도 해저지형과 비슷하게 변화한다고 알려져 있다(국립해양조사원, 2005). 그러나 위성신호에 의한 위성고도계자료의 경우는 해저지형의 영향이 미미하게 반영되기 때문에 선상중력자료에 비하여 상대적으로 완만한 경향을 나타낸다.

특히, 우리나라의 경우는 동해, 서해, 남해 모두 섬, 분지 등 다양한 해저지형들이 존재하므로, 선상중력측정의 경우는 이러한 영향이 위성고도계 자료에 비하여 중력값에도 크게 나타나며 때문에 우리나라 남서해 지역 즉, B지역에서와 같은 큰 차이를 나타내게 되는 것이다.

그 외 선상중력자료와 위성고도계 자료의 프리에어이상값의 차이가 크게 발생하는 원인으로 우리나라와 같이 해안선이 복잡한 내해 지역에서는 위성고도계 자료의 특성으로 인한 반사도가 나빠져 위성고도계 자료의 정확도가 떨어지는 경우 발생할 가능성(국립해양조사원, 2005)을 생각해볼 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 향후 지오이드 구축에 활용할 해상 지역에서의 중력자료를 선정하기 위한 기초연구로서 선

상중력자료를 획득 및 처리하고 위성고도계 자료와 비교하여 정밀도를 분석하였다. 그 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 1997년부터 2007년까지 측정된 선상중력자료의 일관적인 처리 결과 프리에어이상값은 -185.96 mGal부터 209.51 mGal의 분포를 나타내며, 정밀도는 1.2 mGal로 산출되었다.

둘째, 처리된 선상중력자료를 DNSC08과 비교한 결과 두 자료의 차이의 평균과 표준편차는 각각 -0.88 mGal, 9.46 mGal로 나타났다. 선상중력자료와 위성고도계자료의 차이는 일본 대마도 주변과 서해안, 남해안 주변의 도서 밀도가 높은 지역에서 주로 나타나는데, 이는 크게 세 가지 원인에 기인한 것으로 판단된다. 먼저 섬의 분포가 높거나, 연안지역인 경우는 선박의 접근이 어렵기 때문에 선상중력자료를 확보할 수 없었으며, 영외지역의 경우 역시 항해가 불가능하므로 선상중력자료를 취득할 수 없다. 또 다른 원인은 해저지형에 의한 효과 때문으로 상대적으로 해저지형의 밀도의 인력의 영향이 크게 반영되는 선상중력자료의 경우 위성고도계 자료에 비하여 값의 크기와 변화가 크게 나타나게 되는 것이다. 마지막 원인은 해안선이 복잡한 내해 지역에서 위성고도계 자료는 자료 취득의 특성 상 반사도가 나빠져 정확도가 떨어지는 경우를 고려해볼 수 있다.

셋째, 본 연구에서 활용한 선상중력자료의 분포를 살펴보면 자료 획득의 한계 등으로 인하여 일부 지역에서 공백이 존재함을 알 수 있다. 향후 지오이드 구축에 활용하고, 두 자료의 객관적 비교를 위해서는 중력자료가 부족한 지역에 대한 자료 보완 후 정밀한 분석이 필요할 것이며, 정밀 지오이드 모델 개발에 있어 위성고도계 자료와 선상중력자료가 각각이 미치는 영향에 대한 분석도 수반되어야 한다고 사료된다. 또한, 위성고도계 자료의 활용에 있어 해저지형의 영향을 포함한 계산결과에 대한 연구와 선상중력자료와 위성고도계 자료를 융합하여 정밀한 해상중력자료를 구축할 수 있는 방법에 대한 연구도 필요할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(07국토정보C02)에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 김문정, 1999, 중력계를 이용한 지구조석 관측, 부산대

- 학교 대학원 이학 석사 학위 논문, p.41.
2. 국립해양조사원, 2005, 정밀 지오이드 모델 구축에 관한 연구, 해양한국 발전 프로그램(KSGP) 연구 개발 사업, 연구보고서, 부산대학교 SG연구사업단 p.101.
  3. 박영수, 임무택, 임형래, 2006, 중력 보정과 중력 이상에 대한 이해, 물리탐사학회지, V.9, N.2, pp.171-175.
  4. 이영철, 2008, 제주도 일원의 중력이상과 지오이드, 부산대학교 대학원 이학 박사 학위 논문, p.141.
  5. Garland, G. D., 1971, Introduction to Geophysics, W. B. Saunders Co., p.420.
  6. Nettleton, L. L., 1976, Gravity and magnetics in oil prospecting, McGraw-Hill Book Co. Inc., p.464.
  7. Somigliana C., 1929. Teoria Generale del Campo Gravitazionale dell'Ellissoide di Rotazione. Memoire della Societa Astronomica Italianam, IV
  8. Tsuboi, Y. M., C. 1983, Gravity, George Allen & Unwin, p.254.
  9. Wessel, P., and Watts, A. B., 1988, On the accuracy of marine gravity measurements, J. Geophys. Res., V.93, pp.393-413.