

# 중력모델링과 중력참조항법에의 적용

## Gravity modeling and application to the gravity referenced navigation

이지선<sup>1)</sup> · 권재현<sup>2)</sup> · 유명종<sup>3)</sup>

Lee, Jisun · Kwon, Jay Hyoun, · Yu, Myeongjong

### Abstract

The gravity anomaly is a basic geophysical data applied in various fields such as geophysics, geodesy and national defense. In general, the gravity anomaly is used through a interpolation process based on the constructed database. The gravity variation, however, is appeared in various shapes depending on the topography and the density of the underground structures. Therefore, the interpolation could lead to a large differences if the gravity fields do not satisfy the assumptions on the signal behavior like linear or a certain degree polynomials. Furthermore, the interpolation does not reflect the physical characteristics of the gravity such as the harmonic condition. In this study, the gravity modeling using the plane Fourier series and radial basis functions are performed to overcome the problems in the usual interpolation. The results of the modeling is analyzed for the case of the gravity referenced navigation focused on the signal characteristics. Based on the study, it was found that the results from modeling are not much different to that from the interpolation in a smoothly varied area. In case of the highly varied area, however, a large differences are appeared among the three methods. Especially, the Fourier series shows the most smooth variations in the modeled gravity values while the highest variations appeared in the interpolation. Applying to the gravity referenced navigation, it was found that the modeling is more effective in calculation cost. It is considered that the results from this study provides a basis on effective modeling of the gravity fields in terms of the signal characteristics and resolution for various application fields.

Keywords : gravity modeling, plane Fourier function, radial basis function, gravity referenced navigation

### 초 록

중력이상값은 지구물리, 측지 및 국방 등 다양한 분야에서 활용되는 기초 지구물리 자료로서, 특정 위치에서의 중력이상값을 필요로 하는 경우 일반적으로 데이터베이스화 되어 있는 중력이상값으로부터 내삽하여 활용한다. 그러나 중력은 지형 및 지하광물 등에 의하여 다양하게 변할 수 있는 물리량으로, 내삽에서 가장한 선형성, 2차 곡선 등의 성질이 만족되지 않으면 그 결과로 계산된 중력이상값은 실제 중력값과 큰 차이를 나타내게 된다. 또한, 내삽을 통하여 계산되는 결과값은 이론적으로 조화함수를 만족하여야 한다는 중력의 물리적 성질을 반영하지 못한다. 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위하여 필요에 따라 유연하게 중력이상값을 계산할 수 있도록 중력 모델링을 수행하였다. 모델링은 평면푸리에 시리즈와 point-mass 함수를 기저함수로 하는 두 방법을 기반으로 수행되었고, 구축된 모델은 내삽으로부터 산출된 결과와 비교하여 특성을 분석하였다. 또한 모델링의 결과와 내삽 방법을 중력참조항법에 적용하여 활용적인 측면을 검토하였다. 연구결과, 기복이 완만한 지역에서는 평면푸리에 시리즈와 point-mass 및 내삽으로부터 계산된 중력이상값이 유사하게 나타났으나, 중력의 기복이 큰 지역에서는 모델 및 내삽에 의한 결과가 큰 차이를 나타내었다. 특히 주변의 네 점을 이용하여 선형으로 계산하는 Bilinear 내삽함수를 이용한 경우가 가장 완만한 중력값을 보이는 반면 point-mass 함수로부터 산출된 결과가 고주파에서 가장 큰 값을 나타내었다. 또한, 모델링 및 내삽에 필요한 자료의 로딩 및 계산 시간을 비교한 결과, 중력참조항법의 경우 중력값의 계산은 모델링을 수행하는 경우가 데이터베이스에 기반을 둔 내삽보다 효율적임을 알 수 있었다. 본 연구에서는 중력모델링의 결과 및 특성을 분석하였으며, 향후 모델링은 중력참조항법과 같은 활용분야에 있어 가장 효율적인 신호의 특성과 해상도를 지닌 중력 자료를 제공할 수 있는 기술로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

핵심어 : 중력모델링, 평면푸리에함수, 방사기저함수, 중력참조항법

1) 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(E-mail:leejs@uos.ac.kr)  
 2) 교신저자 · 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수(E-mail:jkwon@uos.ac.kr)  
 3) 국방과학연구소 제3기술연구본부 4부 책임연구원(E-mail:mjyu@add.re.kr)

## 1. 서론

중력이상값(Gravity anomaly)은 지구물리 및 측지분야에서 지질구조탐사, 지반조사 및 지오이드 모델 구축을 위하여 이용하고 있으며, 더불어 국방 분야에서도 미사일 및 잠수함 등의 이동경로를 보정하는데 활용하는 기초 지구물리 자료이다 (민경덕 등, 2002; 이엔지정보기술, 2006; 이지선 등, 2011; Rice 등, 2004; XU 등, 2009). 일반적으로 특정 위치에서의 중력이상값을 계산하기 위해서는 절대중력 또는 상대중력측정을 수행하는데, 기계의 이동성 및 측정의 효율성으로 인하여 보편적으로 상대중력측정을 수행한다. 상대중력측정을 통하여 획득한 자료로부터 중력이상값을 계산하기 위해서는 조석보정, 계기보정 등의 일련의 자료처리를 거쳐야 하며, 편의를 위하여 자료처리 후 산출된 결과물인 중력이상값을 데이터베이스화 한 후 원하는 위치에서의 값을 내삽하여 이용하는 것이 일반적이다 (이지선 등, 2008).

중력의 변화는 지형의 변화에 기인한 중·장파장의 변화와 지하 광물 등의 영향에 의한 단파장이 함께 나타나는 물리량으로 내삽을 통하여 원하는 위치에서의 중력이상값을 계산하는 경우 내삽방법에서 정의한 가정이 만족되지 않는 지역에서는 실제 중력값과 큰 차이가 발생할 수 있다. 즉, 일반적인 Bilinear 방식의 내삽을 적용하는 경우, 결국 데이터베이스에서의 주변 점의 변화가 선형(Linear)을 만족하여야 하는 경우에만 계산 결과가 정확하다는 단점이 존재한다. 또한, 중력이상값의 수치로부터 내삽 하는 과정은 중력이 표현하는 조화함수를 만족하여야 하는 등의 물리적 특성이 반영되지 않으며, 내삽의 정확도는 자료의 해상도와 직접적으로 관계되는 한계가 존재한다.

이러한 내삽 기법의 문제점을 극복하고 원하는 위치에서의 중력이상값을 중력이론에 적합하고 또한 효율적으로 계산할 수 있는 방법이 중력 모델링 기법이다. 중력을 모델링 하는 경우 해당 지역 내에서의 중력신호를 파장별로 분석하여 해당 주파수에 적합한 계수를 제공하므로 선택적으로 사용자가 원하는 해상도 상의 중력 이상값을 계산할 수 있다는 장점이 있다. 또한 중력이상값을 계산하기 위해서는 해당 모델의 계수와 위치정보만 필요하므로 내삽기법에 비하여 데이터 로딩 및 계산에 있어 효율적이다.

중력 모델링에 있어 가장 많이 사용되는 기저 함수는 구면조화함수(spherical harmonic functions)로 이는 중력포

텐셜의 2차 미분치가 라플라스 방정식을 만족하여야 한다는 물리적 특성에서 유도된 모델이다. 대표적으로 전 지구의 중력값을 조화함수로 모델링한 EGM08 및 EIGEN 등의 전지구중력장 모델을 예로 들 수 있다 (Foerste 등, 2008; Pavlis, 2008). 전지구 중력장 모델은 위성, 지상, 선상, 항공등 전 세계에서 가용한 중력자료를 모두 포함하여 구축하기 때문에 모델의 해상도인 차수(degree)가 한정되게 되며, 우리나라와 같이 중력이상값이 거의 포함되지 않은 지역의 경우는 산출되는 중력 이상값을 신뢰할 수 없어 활용도가 저하될 수 있다.

본 연구에서는 효율적인 우리나라의 중력이상값의 모델링을 위하여 평면조화함수(푸리에시리즈)와 point-mass 함수를 적용하고 그 결과를 일반적인 내삽의 경우와 비교하고 분석하였다. 모델링 결과에 대한 분석은 정확도 측면과 응용분야에서의 활용성 측면으로 나누어 비교하였다. 정확도 측면은 모델링이 적절히 수행되었는지 판단하기 위하여 모델링의 입력자료 각 측정에서의 값을 기준으로 비교하였으며, 응용적 측면에서는 중력차조 항법의 경우를 예로 하여 모델과 내삽에서 산출된 중력신호의 특성이 어떻게 표현되는지를 비교하였다. 본 연구는 보다 정확하고 효율적인 중력모델링에 대한 기초 연구로, 향후 활용분야에 따라 선택적으로 모델을 제시할 수 있는 토대를 마련하는데 그 의의가 있다.

## 2. 중력모델링

이론적으로 중력이상값은 섭동포텐셜(disturbing potential)을 수직방향으로 미분한 값과 직접적으로 관계되며 섭동포텐셜은 포텐셜이론에 따라 수식 (1)에서와 같이 계수와 위치에 대한 함수의 조합으로 표현할 수 있다 (Heiskanen 등, 1967).

$$\Delta g = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{r} T, \quad T(\theta, \lambda) = \sum_{n=0}^{\infty} \beta_n \Psi(x, y_n) \quad (1)$$

- 여기서,  $\Delta g$ : 중력이상값
- $T$ : 섭동포텐셜
- $\Psi(x, y_n)$ : 기저함수
- $\beta_n$ : 해당 계수

중력 모델링은 결국 위의 수식에서 기저함수를 무엇을 선택하여 적용하는가의 문제로서 계수  $\beta_n$ 를 추정하

여 적용하는 것이다. 예를 들어 EGM08과 같은 전지구 중력장의 경우는 전지구를 공간적인 범위로 하므로 지구의 곡률을 고려한 구면조화함수를 이용한다. 그러나 우리나라와 같은 지역적인 영역에 대하여 모델링을 수행할 때는 곡률을 고려하지 않고 대상영역을 평면으로 가정하여 적용함으로써 모델링의 효율성과 해상도를 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 대표적인 모델링 방법인 평면조화함수 즉, 평면푸리에 시리즈를 이용하는 방법과 중력의 물리적 특성인 거리에 대한 역함수로 표현하는 대표적인 함수인 point-mass 함수를 이용하여 모델링을 수행하였다.

### 2.1 푸리에시리즈에 의한 중력모델링

평면 푸리에시리즈를 이용한 중력 모델링에서는 중력 이상값을 수식 (2)에서와 같이 싸인(sine)과 코싸인(cosine) 함수의 조합으로 표현한다.

$$\Delta g = -\frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{\partial} T = -w_{nm} e^{-w_{nm} z} \psi_k(\Delta E_p^k, \Delta N_p^k) \quad (2)$$

$$\psi_k(\Delta E_p^k, \Delta N_p^k) = \sum_{i,j=0}^{L,J} \lambda_{ij} \left[ \begin{matrix} A_{ij}^k \cos(\xi_i \Delta E_p^k) \cos(\eta_j \Delta N_p^k) + \\ B_{ij}^k \cos(\xi_i \Delta E_p^k) \sin(\eta_j \Delta N_p^k) + \\ C_{ij}^k \sin(\xi_i \Delta E_p^k) \cos(\eta_j \Delta N_p^k) + \\ D_{ij}^k \sin(\xi_i \Delta E_p^k) \sin(\eta_j \Delta N_p^k) \end{matrix} \right] e^{-w_{ij}^k H_p}$$

여기서,  $w_{nm} = \sqrt{\xi_n^2 + \eta_m^2}$ ,  $\lambda_{ij} = \begin{cases} 1/4 & \text{if } i=j=0 \\ 1/2 & \text{if } i>0, j=0 \text{ or } j>0, i=0 \\ 1 & \text{if } i>0 \text{ and } j>0 \end{cases}$

$A_{ij}^k, B_{ij}^k, C_{ij}^k, D_{ij}^k$  : 지역적인 해 ( $\psi_P$ )의 파라미터

$\Delta E_p^k = E_p - E_c^k$ ,  $\Delta N_p^k = N_p - N_c^k$  : 관측점 P로부터 영역 중심까지의 East, North 차이

( $E, N$ 는 East, North 좌표,  $H$ 는 표고)

$$\xi_i = \frac{ip\pi}{L}, \eta_j = \frac{jp\pi}{L} \quad \text{: 푸리에시리즈의 주파수}$$

$L$  : 모델링 대상영역의 크기

$I, J$  : cutoff 주파수

위 수식에서는 중력이상값을 이용하여 계수  $A_{ij}^k, B_{ij}^k, C_{ij}^k, D_{ij}^k$  를 추정하게 되며, 모델링 후에는 원하는 위치에서의 위치값을 적용하여 계산에 의해 중력이상값을 추

정하게 된다.

### 2.2 방사기저함수에 의한 중력모델링

중력 모델링에 적용되는 또 다른 기저함수는 측정과 질점의 거리에 기반한 방사기저함수 (radial basis functions) 이다. 방사기저함수는 보유하고 있는 중력이상값의 위치를  $x$ , 방사기저함수의 위치를  $y$ 라고 할 때, 두 자료 간의 거리를 가중치로 이용하는 함수로서 두 자료간의 상대적인 거리를 직접 이용하는 Point-mass 함수와 이를 반복하여 적용하는 Radial Multiples, 거리에 대한 세제곱을 이용하는 Poisson kernel 등이 있다 (Wittwer, 2009). 일반적으로 방사기저함수에 의한 중력이상값 모델링 결과는 앞서 언급한 방법별로 큰 차이가 없는 것으로 알려져 있기 때문에 본 연구에서는 가장 간단한 모델인 Point-mass 함수를 선정 및 이용하였다.

Point-mass 함수에 의한 모델링은 위치에 대한 함수  $\Psi(x, y_i)$ 를 조화함수의 수식으로 표현하되, 기저함수 ( $\psi_n$ )로 거리에 대한 함수  $\Psi(x, y_i) = \frac{1}{|x-y|}$ 를 이용하며 이를 적용하면 수식 (3)과 같이 표현된다.

$$\Psi(x, y) = \sum_{n=0}^{\infty} \psi_n(y) \frac{2n+1}{R} \left(\frac{R}{|x|}\right)^{n+1} P_n(\hat{x}^T \hat{y}) \quad (3)$$

여기서,  $\psi_n = \frac{1}{|x-y|}$

$P_n$  : 르장드르함수 (차수 n일 때)

$\hat{x} = x/|x|$ ,  $\hat{y} = y/|y|$  :  $x, y$  방향으로의 단위 벡터

$\psi_n$  : 차수 n일 때의 르장드르 계수

$R$  : Bjerhammar sphere의 반경

일반적으로 기저함수는 그림 1에서 보는 바와 같이 Bjerhammar 구의 내부에 격자화된 형태로 배치되며, 모델링 결과에 따라 잔차가 큰 지역에서는 기저함수를 추가하거나 질점 (point)의 깊이를 조절함으로써 모델링의

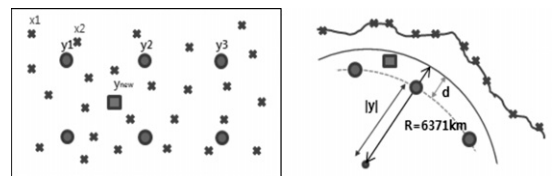


그림 1. 방사기저함수의 배치 (× 보유하고 있는 중력이상값, ● 기저함수, ■ 기저함수(추가 또는 깊이 조절))

정확도를 향상시킨다.

평면푸리에 시리즈를 사용하는 방법에 비하여 방사기저함수를 이용하는 경우는 고주파 성분의 표현, 중력 자료에 따른 모델의 갱신 등이 효율적인 장점이 있으나 질점의 수, 배치와 깊이에 따라 민감하게 나타나는 단점이 있다.

### 3. 중력모델링 비교 분석

#### 3.1 대상지역

중력모델링의 결과는 이를 나타내는 공간주파수가 얼마나 높은지 즉, 모델의 차수가 얼마나 높은지에 따라

실제 중력이상값과의 부합도가 달라진다. 본 연구에서는 모델링의 특성이 어떻게 나타나는지를 분석하는 것이 주목적으로 현재 윈도우 기반의 운영체제 하에서의 한계치를 적용하여 비교하였다 (한계치 : 푸리에시리즈 차수 80, point-mass 함수의 질점간의 간격 0.014°).

표 1은 연구의 중력모델링을 수행하기 위하여 선택한 대상지역으로, 중력이상값의 변화가 미치는 영향을 함께 분석하기 위하여 중력기복에 따라 세 지역을 선정하였다. 최종 선정된 대상지역은 중력변화가 큰 지역인 태백산맥 일대(강원도 정선군), 중간인 지리산지역(경상북도 김천시)과 변화가 가장 작은 전라남도(담양)로 각 지역의 면적은 0.5°x0.5° 이다.

표 1. 대상지역

	기복이 큰 지역	기복이 중간인 지역	기복이 작은 지역
위도/경도 (deg)	36.95~37.55, 128.45~129.05	35.65~36.25, 127.65~128.25	34.95~35.55, 126.45~127.05
중력이상값 (mGal)	-52.77~163.21, 표준편차 28.97	-45.69~99.24, 표준편차 22.02	-32.89~62.62, 표준편차 8.93

#### 3.2 중력모델의 정확도 검증

중력모델은 앞서 2장에서 소개한 평면푸리에 시리즈와 point-mass 함수를 기반으로 산출되었으며, 중력모델 계산을 위한 입력 자료는 Jekeli 등(2009)에 의하여 산출된 0.008333° 간격의 시물레이션 중력이상값 그리드를 이용하였다. 최종 산출된 중력모델의 정확도는 입력자료 위치에서의 중력이상값과 비교하여 계산하였다.

표 2는 대상지역에서의 중력모델링에 의한 값을 측정에서의 값과 비교한 것이다.

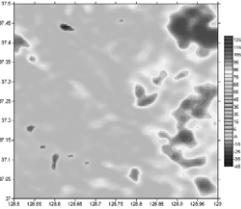
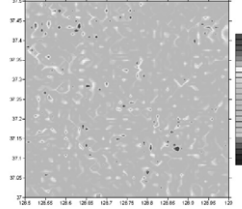
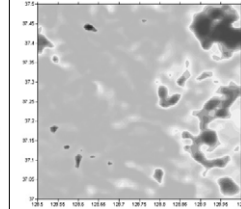
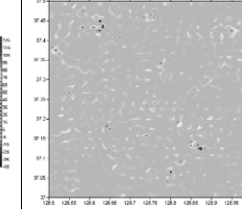
모델링 결과를 살펴보면 중력의 기복이 완만할수록 모델링의 결과가 실측 중력치와 잘 부합되며, 방사기저함수를 이용한 경우가 푸리에 함수를 이용한 경우보다 미소하게 좋은 결과를 나타냄을 알 수 있다. 모델링의 결과와 측정에서의 차이값은 예상되는 바와 같이 고주

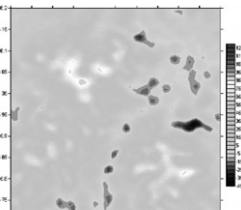
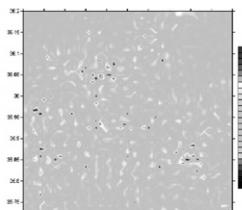
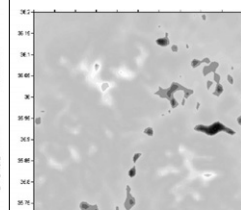
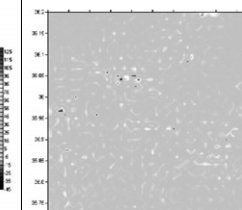
파의 중력성분으로 나타내게 되며, 이는 모델링의 차수를 높이거나 또는 질점간의 간격이 좁혀질수록 잘 표현될 수 있다. 이러한 측면이 중력 모델링의 강점으로 중력의 활용분야에 따라 해상도 및 정확도가 차별적으로 제공될 수 있다는 점이다.

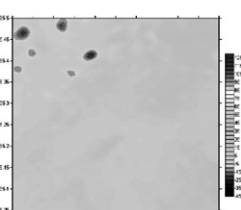
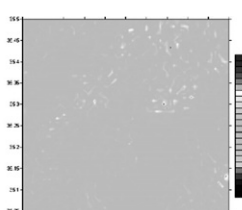
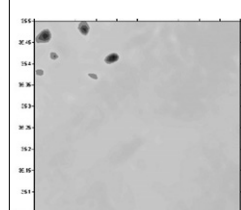
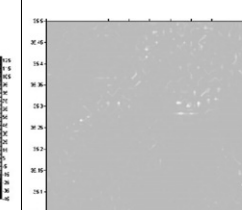
#### 3.3 중력참조항법에의 적용

앞서 언급한 바와 같이 중력 자료는 항법 분야에서도 활용할 수 있는 지구물리자료이다. 최근 GPS와 같은 위성기반의 항법시스템이 작동하지 않을 때를 대비하기 위하여 중력 또는 자력과 같은 지구물리 자료를 기반으로 한 항법 연구가 활발히 진행되고 있다 (Goldenberg, 2006; Rice 등, 2004; Phillips, 1996; XU 등, 2009). 지구물리 기반의 항법은 데이터베이스 또는 지구물리 자료의

표 2. 중력모델의 정확도  
(상 : 기복이 큰 지역, 중 : 기복이 중간인 지역, 하 : 기복이 작은 지역)

	푸리에시리즈 (차수 = 80)				Point-mass			
	모델링 결과		모델링 결과 차이		모델링 결과		모델링 결과 차이	
	기복이 큰 지역							
단위:mGal	범위		평균	표준편차	범위		평균	표준편차
중력이상값	-40.26~133.68		50.50	29.13	-43.86~140.39		50.59	29.38
차이	-30.09~43.46		-0.03	7.24	-25.95~37.08		0.06	6.38

	푸리에시리즈 (차수 = 80)				Point-mass			
	모델링 결과		모델링 결과 차이		모델링 결과		모델링 결과 차이	
	기복이 중간인 지역							
단위:mGal	범위		평균	표준편차	범위		평균	표준편차
중력이상값	-43.67~87.90		21.34	23.11	-47.89~95.32		21.36	23.36
차이	-26.73~23.87		-0.03	6.18	-27.96~22.10		-0.01	5.31

	푸리에시리즈 (차수 = 80)				Point-mass			
	모델링 결과		모델링 결과 차이		모델링 결과		모델링 결과 차이	
	기복이 작은 지역							
단위:mGal	범위		평균	표준편차	범위		평균	표준편차
중력이상값	-27.32~38.09		7.77	7.61	-29.01~37.35		7.77	7.71
차이	-18.87~17.82		-0.01	3.11	-15.01~16.20		-0.01	2.85

모델로부터 추정된 값과 항체에서 측정된 물리값을 비교하여 항체의 현재 위치를 결정하는 기법으로 여기에서 가장 중요한 부분이 바로 자료의 모델링 부분이다. 즉, 자료의 정확도와 해상도 그리고 계산의 효율성이 핵심적인 부분으로 모델링 결과의 적용가능성을 분석하기 위하여 본 연구에서는 이에 대한 기초 분석을 수행하였다.

그림 2는 중력참조항법에서의 적용 가능성을 분석하기

위하여 항체가 비행한다고 가정한 프로파일이다. 본 연구에서는 각각의 연구지역을 항체가 서남쪽에서 북동쪽으로 대각 비행한다고 가정하였으며, 프로파일의 측정 간격은 30"이다.

표 3은 각각의 프로파일별로 모델로부터 계산된 값과 Bilinear 내삽을 통하여 계산된 값을 나타낸 것으로, 모델의 특성을 잘 보여주고 있다.

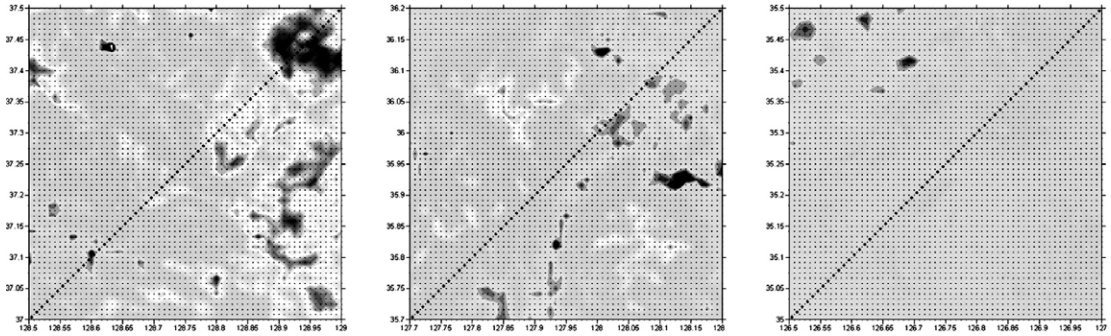
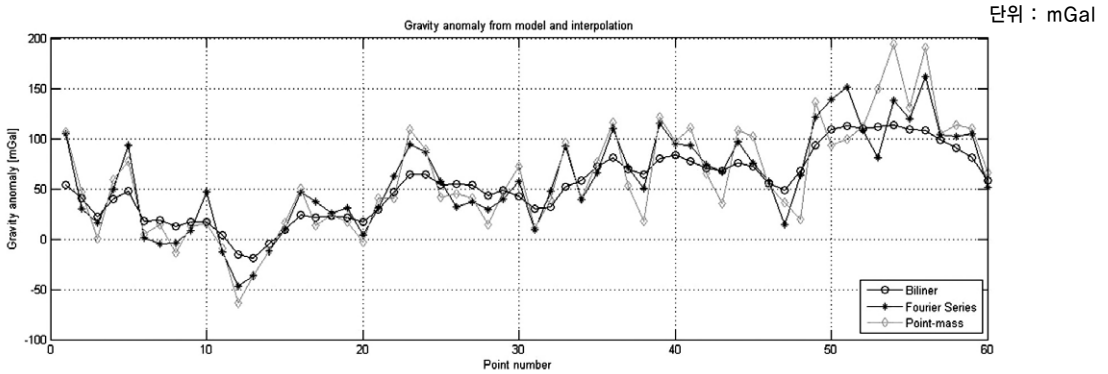
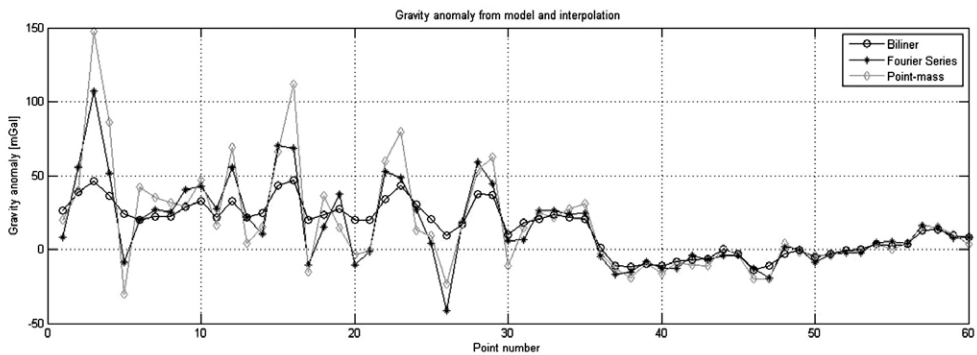


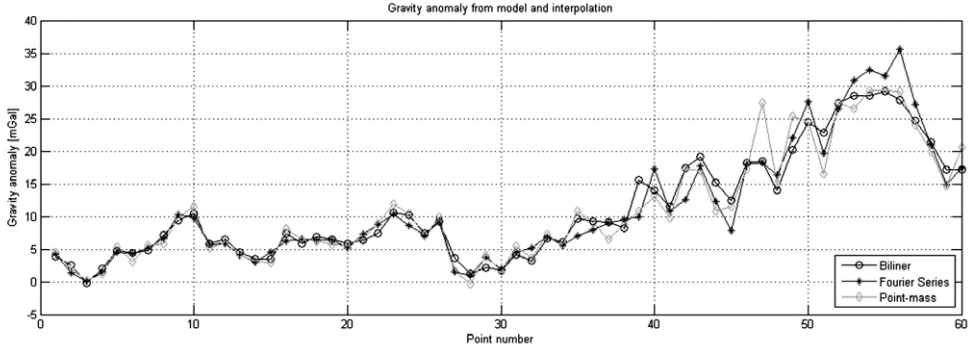
그림 2. 항체 운항 프로파일  
(좌 : 기복이 큰 지역, 중 : 기복이 중간인 지역, 우 : 기복이 작은 지역)



(a) 기복이 큰 지역에서의 모델과 내삽 결과



(b) 기복이 중간인 지역에서의 모델과 내삽 결과



(c) 기복이 작은 지역에서의 모델과 내삽 결과

그림 3. 프로파일별 모델 및 내삽 결과

그림 3을 살펴보면, 우선 내삽을 통하여 계산된 경우가 가장 완만한 값을 나타내고 있으며 point-mass 함수를 이용한 모델링에서 고주파 성분이 가장 크게 나타나고, 평면푸리에 시리즈의 경우가 중간의 형태를 보인다. 중력의 변화가 크지 않은 지역에서는 세경우가 거의 유사하게 나타나는 반면, 변화가 큰 지역으로 갈수록 모델간의 차이값이 크게 나타나고 있다. 이러한 기초적인 분석은 항법의 운항에 있어 매우 중요한 정보를 제공하게 되는데, 항체의 속도에 따라 측정되는 값은 주파수와 가장 잘 일치되도록 모델을 선택하고 모델링을 수행하여야

한다는 점으로 현재 연구가 진행중이다.

표 3은 중력모델값이 항체에 탑재되어 원하는 위치에서의 중력값을 계산할 때의 효율성을 수치적으로 나타낸 것이다. 서론에서 언급한 바와 같이 푸리에시리즈 또는 방사기저함수를 이용하여 지역적인 중력모델링을 수행하게 되면 계수파일만 탑재하면 되며, 내삽을 적용하기 위해서는 대상영역에 대한 지구물리 데이터베이스를 모두 탑재하여야 한다. 상대적으로 모델링을 수행하는 경우가 시간적으로도 효율적임을 알 수 있다.

표 3. 내삽 및 모델링 계산 시 소요 시간

	중력이상값 데이터베이스 (위도 34-38.5°, 경도 125-130°)	푸리에시리즈계수 (max=80)	Point-mass기저함수 (0.014°)
데이터의 수(점)	324,600 (541 * 600)	6,400 (80 * 80)	1,849 (43*43)
한 점 계산 시 소요시간(sec)	0.44	0.15	0.42

#### 4. 결론

본 연구에서는 평면푸리에 함수와 방사기저함수를 이용하여 중력이상값을 모델링 하고 이를 일반적인 Bilinear 내삽의 경우와 비교 분석하였다. 또한 모델링된 중력값을 중력참조항법에 적용하는 경우에 대하여 분석하여 향후 활용에 대한 기반을 마련하였다. 본 연구의 결과 중력의 변화가 완만한 지역에서는 세 방법의 결과가 유사하게 나타나며 중력의 변화가 심한지역일 수록 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다. 특히 내삽의 경우가 선형으로 가정하기 때문에 가장 완만한 중력값을 나

타내어 저주파 성분이 가장 잘 표현되고 반대로 고주파 성분은 point-mass 함수의 경우가 가장 잘 나타남을 알 수 있었다. 알고리즘을 적용하는데 있어서는 평면푸리에 시리즈가 방사기저함수에 비하여 보다 직관적이고 쉬웠으며, 중력참조항법과 같은 응용에 있어 계산의 효율성은 모델링을 수행하는 방법이 데이터베이스를 탑재하고 계산 하는 방법 보다 좋게 나타남을 알 수 있었다.

본 연구는 우리나라 중력 자료를 이용하여 모델링을 수행한 최초의 경우로 활용분야에 따라 중력값의 변동 범위 및 해상도를 조절하여 적용할 수 있는 기반을 마련하였다. 중력참조항법과 같은 경우 항체의 속도와 측정

시간의 간격에 따라 항체에서 측정되는 중력값은 특정 주파수 대역을 가지게 되므로 사전에 중력 모델값을 탑재할 때도 상응하는 모델을 탑재하여야 적절한 위치 결정이 가능하다. 현재 항체의 운항 환경과 최적의 중력모델의 도출에 대한 연구가 진행 중이므로 모델링의 활용성에 관련된 세부 분석은 향후 발표할 예정이다.

### 감사의 글

본 연구는 방위사업청/국방과학연구소 09' 착수 기초 연구사업 -지능형 데이터베이스 기반 항법 기술 사업 과제의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

민경덕, 서정희, 권병두 (2002), 응용지구물리학, 우성문화사.

이엔지정보기술(주) (2006), 지오이드모델 시스템 개발 사업 용역결과보고서, 국토지리정보원.

이지선, 이보미, 권재현, 이용욱 (2008), 우리나라 지상 중력자료의 일관된 전치리를 통한 프리에어이상값, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 26권, 4호, pp. 379~386.

이지선, 권재현, 금영민, 문지영 (2011), 최신 중력 자료의 획득을 통한 우리나라 지오이드 모델 업데이트, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 29권, 1호, pp. 81~89.

Foerste, C., Schmidt, R., Stubenvoll, R., Flechtner, F., Meyer, U., König, R., Neumayer, H., Biancale, R., Lemoine, J.-M.,

Bruinsma, S., Loyer, S., Barthelmes, F., and Esselborn, S. (2008), The GeoForschungsZentrum Potsdam/Groupe de Recherche de Geodesie Spatiale satellite-only and combined gravity field models: EIGEN-GL04S1 and EIGEN-GL04C, *Journal of Geodesy*, Vol. 82, No. 6, pp. 331-346.

Goldenberg, F., (2006), Geomagnetic Navigation beyond the Magnetic Compass, *PLANS 2006*, pp. 684~694.

Heiskanen, W.A, Moritz, H. (1867), *Physical Geodesy*, W.H. Freemant and Co., San Francisco.

Jekeli, C., Yang, H. J., Kwon, J. H., (2009), Using gravity and topography-implied anomalies to assess data requirements for precise geoid computation, *Journal of Geodesy*, Vol. 83, pp. 1193~1202.

Pavlis, N. K., (2008), Development, Evaluation, and Use of Global Earth Gravitational Models(EGM), *IGeS 2008 Int'l Geoid School : The Determination and Use of the Geoid*.

Phillips, J. B., (1996), Magnetic Navigation, *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 180, pp. 309~319.

Rice, H., Kelmenson, S., Mendelsohn, L., (2004), Geophysical Navigation Technologies Aand Applications, *Position Location and Navigation Symposium*, pp. 618~624.

Wittwer, T., (2009), Regional gravity field modelling with radial basis functions, *NCG Netherlands Geodetic Commission*, Publication on Geodesy 72.

XU, D., Wang, Y., Wang, H., DAI, Q., CAI, X., (2009), Statistical analysis of regional gravity anomaly aided navigation and positioning, *Journal of Chinese Inertial Technology*.

(접수일 2011. 10. 18, 심사일 2011. 10. 19, 심사완료일 2011. 10. 20)