

## 고정밀 중력 탐사를 위한 3차원 중력 지형 역산 기법

박계순<sup>1,\*</sup> · 이희순<sup>2</sup> · 권병두<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 사범대학 지구과학과, 151-748, 서울특별시 관악구 신림동 산56-1

<sup>2</sup>경인교육대학교 과학교육과, 407-753, 인천광역시 계양구 계산동 산59-12

### 3-D Gravity Terrain Inversion for High Resolution Gravity Survey

Gyesoon Park<sup>1,\*</sup>, Heuisoon Lee<sup>2</sup> and Byung-Doo Kwon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea

<sup>2</sup>Department of Science Education, Gyeongin National University of Education, Incheon 407-753, Korea

**Abstract:** Recently, the development of accurate gravity-meter and GPS make it possible to obtain high resolution gravity data. Though gravity data interpretation like modeling and inversion has significantly improved, gravity data processing itself has improved very little. Conventional gravity data processing removes gravity effects due to mass and height difference between base and measurement level. But, it would be a biased density model when some or whole part of anomalous bodies exist above the base level. We attempted to make a multiquadric surface of the survey area from topography with DEM (Digital Elevation Map) data. Then we constituted rectangular blocks which reflect real topography of the survey area by the multiquadric surface. Thus, we were able to carry out 3-D inversions which include information of topography. We named this technique, 3-D Gravity Terrain Inversion (3DGTI). The model test showed that the inversion model from 3DGTI made better results than conventional methods. Furthermore, the 3-dimensional model from the 3DGTI method could maintain topography and as a result, it showed more realistic geologic model. This method was also applied on real field data in Masan-Changwon area. Granitic intrusion is an important geologic characteristic in this area. This method showed more critical geological boundaries than other conventional methods. Therefore, we concluded that in the case of various rocks and rugged terrain, this new method will make better model than convention ones.

**Keywords:** gravity data processing, Multiquadric surface, 3-D Gravity Terrain Inversion (GTI)

**요약:** 최근에 수행되고 있는 중력 탐사는 고분해率의 중력계와 GPS(Global positioning system)를 통한 정밀한 측정과 추지가 이루어지고 있다. 중력탐사에서 모델링과 역산의 기술은 많은 발전이 이루어왔지만, 중력 사료처리는 거의 변화가 없었다. 통상적인 정밀한 중력 사료 보정을 통한 무-우-세이상은 추정전의 밀도에서 기준면까지의 물질의 영향을 일정한 밀도를 이용해 제거해 내리기 때문에 추정점 바로 하부의 이상체에 의한 영향을 상당히 왜곡시키게 된다. 본 연구에서는 탐사 지역의 지형을 DEM(Digital Elevation Map) 사료와 Multiquadric equation을 이용하여 실제 지형과 우사한 Multiquadric surface를 자동적으로 구성하고, 이를 불투명 험으로써 보정의 대상이었던 기준면 상부에 대한 밀도를 탐사 지역의 지신 정교화 지형을 포함하는 역산을 통해 주지직으로 계산하였다. 이러한 지형을 포함한 역산 방법은 3차원중력지형역산(3DGTI; 3-D Gravity Terrain Inversion)이라 한다. 이 연구의 효율성을 검증하기 위하여 주변암과 밀도 차가 존재하는 관입지역에 대한 모델을 구성하고 적용한 결과 기존의 무게 보정 방법은 적용한 무게 이상도에 비해 사료의 왜곡이 감소하는 효과를 얻을 수 있었다. 이를 통하여 지형 역산을 통한 객관적인 무게 밀도의 결정과 무게 보정 시 실제의 수평적인 밀도 변화를 반영함으로써 기존의 문제점을 보완하였다. 새다가, 3DGTI로부터 얻어진 밀도분포는 지형의 윤곽을 그대로 표현하고 있어서 보다 선진적인 지신을 보여준다고 하겠다. 이 방법은 화강암체가 관입하고 있는 비산·창원 일대에서의 중력 탐사 사료에 적용해본 결과 기존 방법보다 관입 화강암체의 위치와 그 규모를 알아내는데 더 효과적이었다. 따라서, 수평적인 밀도 변화가 뚜렷하게 존재하는 지역의 경우, 새로운 중력 사료 처리 방법이 기존

\*Corresponding author: gyesoon@paran.com

Tel: 82-2-878-7233

Fax: 82-2-874-3289

의 부계 고정에서 발생하였던 문제점을 해결함으로써 천수의 분해능을 높이고, 실무의 밀도 분포를 좀더 정확하게 계산할 수 있으리라 생각된다.

주요어: 중력 자료처리, 다중 이차 곡면, 3차원 중력 지형역산

## 서 론

중력 탐사에서 각 측점에서의 측정 중력치를 비교, 분석하여 지하의 광체나 시질구조를 해석하기 위해서는 탐사 대상체와 주변암의 밀도차에 의해 발생하는 중력 효과를 분리해 내어야 한다. 이를 위하여 중력 탐사 자료는 통상적으로 측정점의 위치 및 측정 시간에 의해 결정되는 위도 보정, 조석 보정, 세기 보정, 주리에어 보정과 탐사 지역의 지형 및 밀도에 의존하는 부계 보정, 지형 보정 등 일련의 처리 과정을 거치게 된다.

요즘 실시되고 있는 중력 탐사는 GPS(Global Positioning System)와 같은 정밀한 측지 기술과 컴퓨터를 이용한 계산 기술의 발달로 측정점의 위치 및 측정 시간에 따른 중력 변화량을 정밀하게 계산해내고 있어, 주리에어 보정 단계까지의 중력 보정이 안정적으로 이루어지고 있다. 그러나, 부계 보정 및 지형 보정은 측지의 정밀도뿐만 아니라 보정시 이용되는 밀도(부계 밀도)에 의해 큰 영향을 받게 된다. 따라서 직합하지 않은 밀도를 통하여 보정이 이루어 질 경우, 중력자료의 해석은 왜곡된 결과를 야기 시킬 수 있다. 일반적으로 부계 밀도는 국지적인 탐사의 경우 수평적 밀도 변화는 크게 고려하지 않고 표준의 평균적인 밀도값을 모든 지역에 적용하였으나, 기준면 상부에 판암층체가 존재하는 지역처럼 시료부근에서 수평적인 밀도 변화를 무시할 수 없는 경우 기준면 하부의 암석 밀도분포 결정에 상당한 문제점을 야기 시킨다.

지형보정의 경우 1930년대에 제시된 Hammer chart에 의한 방법이 일반적으로 사용되었는데, 이는 매우 시루하고 단조로운 작업으로 많은 노력과 시간이 필요한 뿐만 아니라 처리자의 속도에 따라 자료의 질이 결정되었다. 이후 1970년대에 들어 multi-quadratic equation을 도입하여 지형 보정을 수행하는 새로운 방법(Krohn, 1976)<sup>1)</sup> 제안되었으며, 현재에 이르러서는 multi-quadratic equation과 DEM자료를 이용하여 처리되는 자동지형보정 알고리즘(권병드 외, 1990) 및 자동계산프로그램(이희순, 1998)<sup>2)</sup>이 개발되었다.

이 연구에서는 부계 밀도 결정에 의해 발생하는 자료의 오차를 줄이기 위하여 탐사 지역의 밀도 분포를 반영하는 부계 밀도를 3-D 중력 지형 역산(3-DGTR)을 통하여 개관적으로 결정하고, 이를 통하여 기존의 부계 보정에서 발생하였던 문제점을 해결하여 천수의 분해능을 높이고, 실무의 밀도 분포를 보다 정확하게 계산하고자 하였다. 또한, multi-quadratic equation을 통하여 multi-quadratic surface를 구성하고 탐사 지역의 실제 지형을 반영하는 지형 역산을 실시함으로써 그 대상을 기존의 역산에서는 보정 대상이었던 기준면 상부의 밀도 분포까지 확장하였다.

## 제안 기법

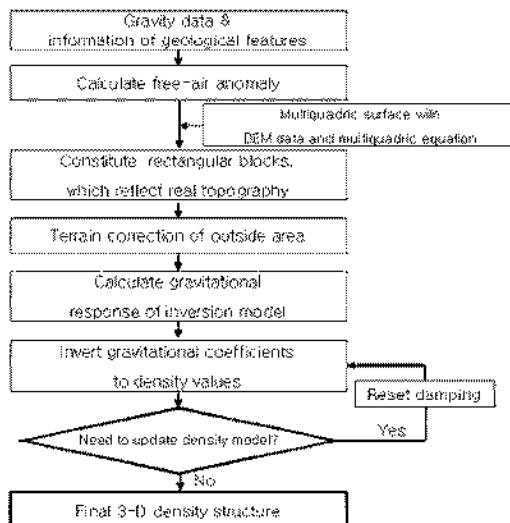
### 중력 자료의 보정 및 역산

중력 측정치는 중력계 내부 스프링의 크립(creep) 현상과 시구와 전체 사이의 기조력의 변화로 동일 시설의 중력값도 측정 시간에 따라 변화한다. 또한 각 측점의 위도와 고도 및 주위 지형의 차이도 중력 측정치에 영향을 미친다. 각 측점에서의 측정 중력치를 비교, 분석하여 광체나 시질구조를 조사하는 중력 탐사에서는 관심 시질구조와 주변암과의 밀도 차에 의한 중력 변화량만이 필요하므로 다른 요인들에게 시인되는 중력 변화량을 제거시켜야 하는데 이를 중력보정이라 하며, 통상적으로 위도, 조석, 세기, 주리에어, 부계, 지형 보정의 과정을 수행하게 된다.

이렇게 획득된 자료들로부터 시구 내부의 시질구조를 추정하는 것이 바로 역산(inversion) 해석이다. 역산 해석의 해에는 일반적으로 모형 매개 변수의 수치적 값을 해로 간주하며 이때의 해를 모형 매개 변수의 추정값이라고 한다.

중력 자료에 있어서의 역산은 관측된 중력 이상으로부터 이를 발생하게 하는 지하 첨부의 원인 즉 밀도 분포 구조에 대한 해석을 실시하는 것으로 중력 이상값이 측정 자료가 되며 구하고자 하는 매개 변수는 지하의 밀도나 시질구조가 된다.

본 연구에서는 Marquardt-Levenberg 방법을 이용한 신형 최소 자승법에 의한 역산을 수행하였으며,

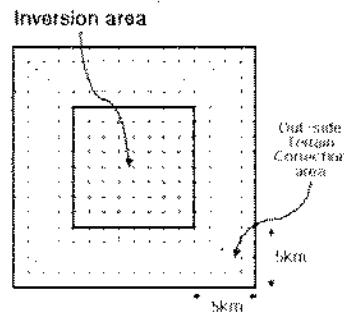
**Fig. 1.** 3-D Gravity Terrain Inversion Algorithm.

중력 유파의 계산은 Talwani and Ewing(1960) 방법을 이용하였다.

### 3차원 중력 지형역산(3-DGII)

기존의 부계 밀도 결정의 방법은 실제 시추나 탐사를 통해 간접적으로 밀도를 측정하지 못한 경우에는 Nettleton(1939) 방법과 같은 연구 지역의 대표 밀도를 구하는 여러 기법에 의해서 결정이 되는데 이를 방법은 자료 처리자의 속련도에 영향을 받을 뿐 아니라, 지하의 밀도 분포가 비교적 규칙한 경우에만 적용이 가능한 단점이 가지고 있다. 또한, 국지적인 탐사에 있어서는 하나의 부계 밀도를 통해 모든 탐사 지역에 적용을 하기 때문에 탐사 지역의 밀도 분포를 고려하지 못하는 부계 보정이 실시되어 왔다. 이 연구에서는 이러한 기존의 중력 자료 처리 과정의 문제점을 해결하고자 Fig. 1과 같은 새로운 중력 자료 처리 방법을 제안하였다.

제안된 중력 자료 처리 과정은 푸리에서 보정 단계까지는 기존의 방법과 동일한 과정을 거치게 되고, 그 이후에 부계 보정의 단계를 거치지 않고 탐사 지역 외부의 지형 보정을 실시한 후에 탐사 지역의 지형을 DEM 자료와 multiquadric equation을 이용하여 실제 지형과 유사한 multiquadric surface를 자동적으로 구성하여 블록화 함으로써 실제 지형을 포함하는 역산을 실시하였다. 이를 통하여 기존의 부계 보정에서 발생할 수 있었던 문제를 해결하고, 실제 지형을

**Fig. 2.** Pattern of Out-side terrain correction and 3D Gravity Terrain Inversion area.

반영하는 역산을 수행할 수 있었다.

**Multiquadric equation**을 이용한 지형 구성: 이 연구에서는 불규칙한 면인 지형을 수치적으로 나타내기 위하여 multiquadric analysis를 이용하여 연구지역의 고도를 구성하였다.

**Multiquadric surface**는 이미 알려진 지점의 고도값을 이용하여 그 지역의 곡면함수를 구성한 후 지역 내의 임의의 지점에서의 고도값을 추출하여 구성된 면으로 다음과 같은 식으로 표현된다(Krohn, 1976).

$$\sum C_i [(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2]^{\frac{1}{2}} = Z_i \quad (1)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

$(x_i, y_i)$ : 원뿔의 꼭지점의 좌표

$C_i$ : 원뿔의 평평도(flatness)

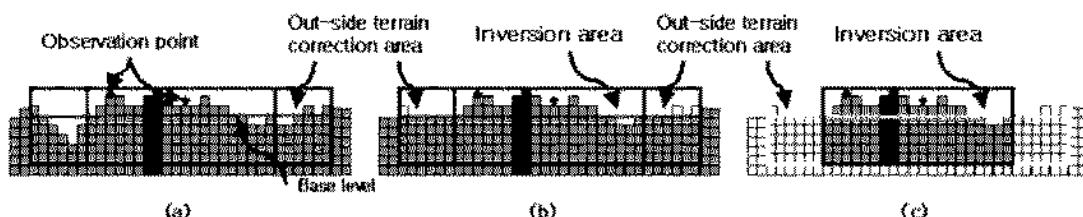
**외부 지형 보정과 역산 블록 구성:** 푸리에서 보정 단계까지의 보정이 끝난 자료는 탐사 지역의 지형에 의한 유파를 제거하는 단계를 거치게 된다. 본 연구에서 개발한 방법은 탐사 지역의 외부 지역에 대한 지형 유파를 제거한 후 내부 지역은 3-D 중력 역산에 포함시키는 방법으로 보정을 통해 지형 유파를 제거하는 의미가 아니고 지형을 반영하는 역산을 실시함으로 해서 보다 실제적인 해석이 가능해 진다.

역산 지역과 외부지역의 모형(pattern)은 Fig. 2에 나타나있다. 외부 지역의 범위를 5,000 m로 결정한 것은 대부분의 탐사 지역에서 지형의 유파를 99% 이상 보정할 수 있는 거리이기 때문이다. 이는 부계 유파 계산을 통해 검증하였다. 검증 결과는 Table 1에 나타내었다.

외부 지형 보정은 역산지역의 외부 5,000 m까지

**Table 1.** Gravity effect of 100 meter Bouguer plate

Radius (m)	Gravity effect (mgal)	Cumulated Gravity effect (mgal)	Cumulated Gravity effect (%)
0.0-170.08	3.0514	3.0514	72.77
170.08-390.14	0.6131	3.6645	86.93
390.14-894.89	0.2954	3.9599	94.44
894.89-1529.49	0.0969	4.0569	96.75
1529.49-2614.57	0.0567	4.1136	98.11
2614.57-4471.91	0.0333	4.1469	98.90
4471.91-6656.93	0.0154	4.1624	99.27
6656.93-9009.45	0.0103	4.1727	99.52
9009.45-14751.34	0.0067	4.1797	99.68
14751.34-21958.78	0.0047	4.1843	99.80

**Fig. 3.** Map of Proposed Gravity data processing. (a) Topographic map of survey area model. (b) Out-side terrain correction processing. (c) Gravity Terrain Inversion Pattern.

지형의 효과를 제거하는 과정으로 계산 방법은 다음과 같다. 우선, 역산 지역의 범위를 결정하고, 외부 지형 보정을 실시할 위치를 결정해야 한다. 외부 지형 보정에 이용되는 블록의 크기는  $200\text{ m} \times 200\text{ m}^2$ 이며 기준의 지형보정과는 달리 모든 측정점에 동일한 블록이 이용된다.

다음으로는 선택된 지형 블록의 고도를 Multi-quadric equation을 통해 결정해야 한다. 일단 고도가 결정되면, 측정점에 대한 각 블록의 중력효과를 계산하고, 모든 블록의 중력효과를 각 측정점에 따라 합산해 주면 외부 지형 보정값을 결정할 수 있다.

이때, 외부 지형 블록의 높이는 지형의 고도가 기준면보다 높을 경우에는 지형의 고도를 블록의 상부 높이, 기준면을 블록의 하부 높이로 결정하고, 지형의 고도가 기준면보다 낮을 경우에는 기준면을 블록의 상부 높이, 지형의 고도를 블록의 하부 높이로 결정하여 보정해 주어야 한다. 이는 역산지역의 외부를 기준면과 같은 고도로 보정을 실시함으로 해서 외부 지형에 의한 효과를 제거하기 위해서이다(Fig. 3(b)).

**3-D 중력 지형 역산 방법:** 3-D 중력 지형 역산을 실시하기 위해서는 단사 지역의 지형을 반영하는 블록의 생성이 필요하며, 이 블록들은 DEM 자료와

Multi-quadric equation을 통해 구성된다. 일단 블록이 생성되면 기존의 역산 방법들을 이용하여 계산이 가능하게 된다.

새로운 3-D 중력 지형 역산의 과정은 Fig. 3과 같다. 본 연구에서는 일반적인 Marquardt-Levenberg's Method를 사용하였으며, 지표 부근의 지질 구조를 통하여 초기값을 결정하였다.

## 모델 검증

### 모델의 구성

새로운 중력 자료 처리 방법의 검증을 위하여 모델 검증을 수행하였다. 사용된 모델은 관입 지역과 같이 수평적인 밀도 이상이 존재하는 지질 구조이며, x, y 방향으로  $18\text{ km} \times 18\text{ km}$ 의 규모이다. 대체적인 고도는 x, y 방향으로 증가하는 형태를 가지고 있으며 ( $15,000\text{ m}, 15,000\text{ m}$ )의 위치에서 약  $350\text{ m}$ 의 최고 고도를 가진다. ( $3,000\text{ m}, 3,000\text{ m}$ )와 ( $15,000\text{ m}, 15,000\text{ m}$ )의 위치에서 x, y 방향으로  $2,000\text{ m} \times 2,000\text{ m}$ 의 크기를 갖고 지하 하부로 수직 연장되어 있는 정사각기둥 형태의 밀도 이상체가 존재하며, 밀도 이상은 주변암에 비하여  $+0.5\text{ g/cm}^3$ 이다(Fig. 4).

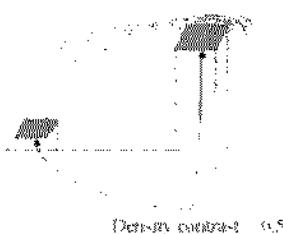


Fig. 4. Topography and density anomaly of Model.

#### 모델 검증 결과

일반적인 부계 밀도 결정 방법인 연구 지역의 대표 밀도를 이용하여 계산된 부계 이상값은 고도가 높은 지역의 밀도 이상체 부근에서 부계 보정시 실제 밀도와 부계 밀도의 오차에 의하여 기준면 상부의 밀도체의 효과가 완전히 제거되지 않기 때문에 실제의 부계 이상값보다 큰 이상값이 나타남을 볼 수 있다. 모델 검증 결과 부계 보정시 실제 밀도와 1의 오차가 있을 경우 푸리에어 보정값의 약 10%에 해당하는 오차가 발생하였다. 반면 새로운 중력 자료 처리 방법인 중력 지형 역산을 통하여 결정된 밀도 분포를 통해 기준면 상부의 밀도체 효과를 제거해준 수정 부계 이상값은 실제의 부계 이상값과 유사한 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 일반적인 부계 이상값을 통하여 수행된 역산의 결과(Fig. 5(a1, b1, c1))는 동일한 지역에서 실제 보다 역산 밀도가 크게 나타나고 있으며, 중력 지형 역산을 이용한 결과(Fig. 5(a2, b2, c2))는 실제의 밀도 분포를 잘 반영함을 확인할 수 있었으며, 중력 지

형 역산을 통한 결과는 관심 지역의 지형을 포함하여 역산을 수행하기 때문에 기준의 중력 역산에서는 나타나지 않는 기준면 상부의 밀도 분포를 표현하고 있다(Fig. 5(b2, c2)).

결과적으로 중력 지형 역산을 포함하는 중력 자료 처리 방법은 불균질한 밀도 분포를 나타내는 지역에서의 자료처리에 적합하게 이용될 수 있으며, 기준면 상부의 밀도 분포는 역산을 통해 객관적으로 결정되므로, 지표까지 연장되는 밀도 구조 구현뿐만 아니라 기준면 하부의 밀도 해석의 정확도도 향상시킬 수 있을 것이다.

#### 아외 탐사 자료 처리에의 적용

##### 탐사 개요

본 연구에 사용된 중력 탐사 자료는 지난 2001년 7월에 실시된 마산·창원 일대의 중력 탐사 자료이다. 탐사의 목적은 탐사 지역내의 화강암 관입암체의 위치와 지하 하부로의 연장 상태를 예측하는데 있다.

탐사 지역은 주위의 뇌적암에 비하여 밀도가 낮은 화강암체가 산악지형에 관입하고 있기 때문에(Fig. 6(b)), 기준면(지오이드면) 상부에 밀도가 균일하지 않은 두꺼운 층이 존재한다. 그러나 새로운 중력 지형 역산을 통해 기준의 부계 보정에서 발생 할 수 있었던 오차를 줄이고, 지형을 포함한 역산을 수행하여 보다 실재적인 관입암체의 상태를 예측할 수 있었다.

##### 탐사 자료

마산·창원 일대의 중력 탐사를 수행하였으며, 탐사

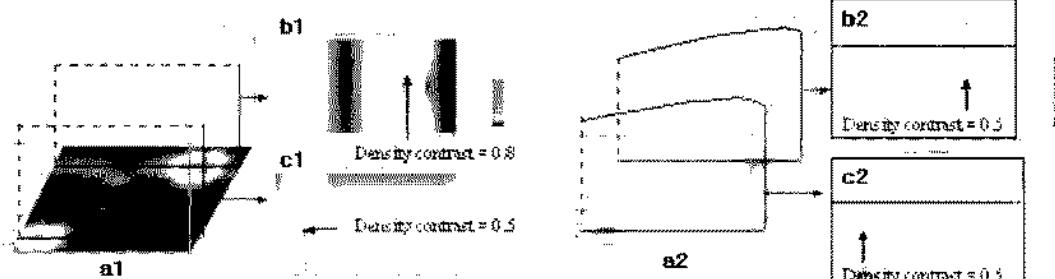
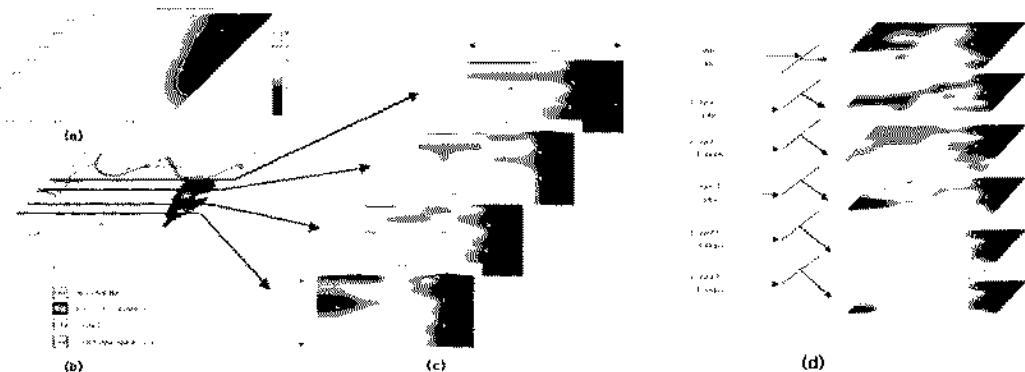


Fig. 5. 3-D General Inversion and 3-D Terrain(Proposed) Inversion of test model. a1: density distribution (layer view) of General Inversion analysis. b1: density distribution (section view,  $y=15,000$  m) of General Inversion analysis. c1: density distribution (section view,  $y=3,000$  m) of General Inversion analysis. a2: density distribution (layer view) of Terrain Inversion analysis. b2: density distribution (section view,  $y=15,000$  m) of Terrain Inversion analysis. c2: density distribution (section view,  $y=3,000$  m) of Terrain Inversion analysis



**Fig. 6.** Three-dimensional gravity inversion of the field gravity data. (a) The conventional Bouguer anomaly map. (b) Geologic map. (c) Vertical section views of density inversion result by 3DGIT. (d) Horizontal section views of density inversion result by 3DGIT.

지역의 위치는 위도  $35^{\circ}13'~22'$ , 경도  $128^{\circ}24'~36'$ 이며, 위도와 경도 방향으로  $18\text{ km}$  정도를 포함하고 있다.

측점은 위도와 경도 방향으로 약  $1\text{ km}$ 의 간격으로 설정되었으며, 측점의 수는 222개이다. 측점의 고도는 GPS를 이용하여 측정하였으며, 경도 방향으로는  $5'$ , 위도 방향으로는  $6'$ (약  $150\text{ m} \times 150\text{ m}$ )의 격자 크기를 가지는 DEM 자료를 이용하여 Multiquadric surface를 구하였다.

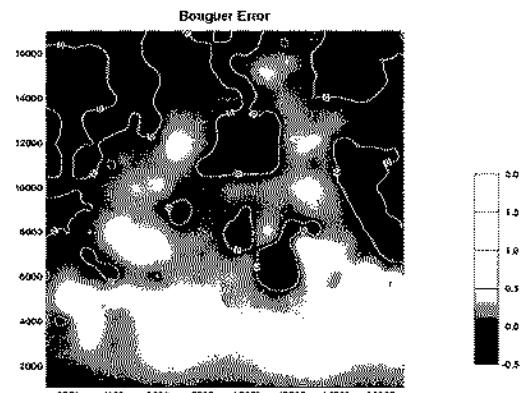
### 중력 자료의 해석

본 연구에서는 중력 탐사 자료를 우선적으로 위도, 조석, 계기 및 푸터에 보정을 실시하였다. 다음으로 기존의 부계 보정을 실시하지 않고, 외부 지형 보정을 실시한 후 새로운 3-D 중력 지형 역산을 수행하여 기준면(지오이드면) 상부의 밀도 분포와 실제 지형을 반영하는 역산 결과를 획득하였다(Fig. 6).

결과적으로는 화강암 관입암체의 위치는 탐사 지역의 북동쪽 가장자리이며 남쪽 방향으로 내려온수록 중심이 동쪽으로 이동하고 있다. 또한, 저하 하부로의 연장 형태는 거의 수직방향임을 확인 할 수 있었다. 이는 본 중력 탐사와 함께 수행된 MT 탐사의 결과와 탐사 지역의 지질도의 정보와 일치하고 있어, 타당한 해석 결과로 판단된다.

또한, 일반적인 방법으로 구한 부계 이상값과 지형 역산을 통해 구해진 밀도 분포를 통해 얻어진 수정 부계 이상값을 비교한 결과를 나타내었다(Fig. 7).

결과적으로 살펴보면, 기준면 상부의 밀도 분포와 고도에 따라서 두 이상값의 오차가 나타나고 있는데, 기존의 탐사 결과와 탐사 지역의 지질도를 고려하여



**Fig. 7.** Edited Bouguer anomaly error.

결정된 역산의 초기값이 타당하게 결정되었고, 중력 지형 역산의 결과가 실제 지질 구조를 잘 반영하고 있기 때문에, 새로운 수정 부계 이상값이 기존의 부계 이상값에 비하여 향상된 결과라고 판단된다. 수치적으로는 관입한 화강암체의 밀도가 주위의 퇴적암 지대의 밀도와 비교했을 때 약  $-0.3\sim-0.2\text{ g/cm}^3$ 의 밀도 이상이 존재하며, 두 가지의 부계 이상값이 갖는 오차의 범위는 약  $-1\sim3\text{ mgal}$ 이었다(Fig. 7).

### 결 롬

이 연구에서 개발한 3DGIT 알고리즘은 연구지역 전체에서 하나의 밀도로 계산되어 지단 부계 보정과 지형보정을 지형을 포함한 역산을 통하여 수행하게 된다. 이 기법을 모델링 자료와 실제 중력탐사 자료

를 통하여 선증해 본 결과, 기준의 누계 보정 방법을 적용한 누계 이상값에 비해 자료의 왜곡이 감소하는 효과를 얻을 수 있었으며, 지형 역신을 통한 개관적인 누계 밀도값과 누계 보정시 실제의 수평적인 밀도 변화를 반영하는 수치를 획득할 수 있었다.

따라서, 3DGIT기법은 기준면 상부 시표까지 인상되는 밀도구조 해석을 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 기준면 상부의 불균질한 밀도 구조를 역신을 통해 개관적으로 구현함으로써 통상적인 누계 보정 방법으로는 제어할 수 없는 오차를 줄일 수 있고, 결과적으로 기준면 하부 밀도 해석의 정확도를 높일 수 있어 쉽게 더 정밀화 되어가는 중력자료 해석에 큰 기여를 할 수 있으리라 생각된다.

## 참고문헌

- 권병우, 권재일, 이희순, 1990, 대중 이차곡면 방정식을 이용한 중력자료의 지형보정, 한국지구과학회지, 11 (2), 156-165.
- 이희순, 1998, 중력측정자료에 대한 지형보정을 위한 기술개발, 한국자원연구소.
- Krohn, D. H., 1976, Gravity Terrain Corrections using multiquadric equations, Geophysics, 41 (2), 266-275.
- Nettleton, L. L., 1939, Determination of density for reduction of gravimeter observation, Geophysics, 4 (3), 176-183.
- Talwani, M. and Ewing, M., 1960, Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape, Geophysics, 25 (1), 203-225.

---

2005년 8월 18일 원고 접수

2005년 9월 13일 수정원고 접수

2005년 9월 14일 원고 채택