

한국지질자원연구원 디지털 중력 이상도

임무택¹ · 신영홍^{1*} · 박영수¹ · 임형래² · 고인세¹ · 박창석¹

¹한국지질자원연구원

²부산대학교 지구과학교육과

Digital Gravity Anomaly Map of KIGAM

Mutaek Lim¹, Younghong Shin^{1*}, Yeong-Sue Park¹, Hyoungrea Rim², In Se Ko¹, and Changseok Park¹

¹Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

²Department of Earth Science Education, Pusan National University

요 약: 한국지질자원연구원에서 2000년부터 2018년까지 수행한 중력 탐사 자료를 처리하여 중력 이상도를 작성하였다. 2016년까지는 전국을 대상으로 하는 중력 이상도 작성에 필요한 자료를 빠르게 획득하기 위하여 약 4 km × 4 km 당 1 점의 측정 밀도로 약 6,400 점에서 측정을 하였다. 이외는 별개로 광산 개발과 관련하여, 관계 화성암 혹은 기반암의 분포를 규명하기 위하여, 2013년에는 제천 NMC 몰랜드 광산의 주변에서, 그리고 2015년에서 2018년까지는 태백산 광화대 일대에서 수백 미터에서 2 km 정도의 간격으로 탐사를 수행하였다. 한편 2016년과 2017년에는 경주와 포항에서 규모가 큰 지진이 발생하였는데, 이들 진앙지 일대에서는 측정 간격이 250 m 정도가 되도록 더욱 정밀하게 탐사를 하였다. 이들까지 포함한 전체 측점은 9,600여 점이다. 한편, 효율적인 탐사를 위하여 일부 지역에 대해서는 부산대학교의 자료를 사용하였다. 중복점과 임시 기준점을 제외하면 전체 측점은 약 16,000여 점이며, 이를 바탕으로 순높이 이상, 부계 이상, 지각 평형 이상을 계산하였다. 이 중력 이상도는 우리나라에서 가장 고르게 분포하면서 가장 많은 측점을 사용한 중력 이상도로서의 의미를 가진다.

주요어: 중력 이상도, 부계 이상, 지각 평형 이상, 지질 주제도

Abstract: We present gravity anomaly maps based on KIGAM's gravity data measured from 2000 to 2018. Until 2016, we acquired gravity data on about 6,400 points for the purpose of regional mapping covering the whole country with data density of at least one point per 4 km × 4 km for reducing the time of the data acquisition. In addition, we have performed local gravity surveys for the purpose of mining development in and around the NMC Moland Mine at Jecheon in 2013 and in the Taebaeksan mineralized zone from 2015 to 2018 with data interval of several hundred meters to 2 km. Meanwhile, we carried out precise gravity explorations with data interval of about 250 m on and around epicenter areas of Gyeongju and Pohang earthquakes of relatively large magnitude which occurred in 2016 and in 2017, respectively. Thus we acquired in total about 9,600 points data as the result. We also used additional data acquired by Pusan National University for some local areas. Finally, gravity data more than 16,000 points except for the repetition and temporal control points were available to calculate free-air, Bouguer, and isostatic gravity anomalies. Therefore, the presented anomaly maps are most advanced in spatial distribution and the number of used data so far in Korea.

Keywords: gravity anomaly, Bouguer anomaly, isostatic anomaly, geological thematic map

서 론

Received: 7 January 2019; Revised: 25 February 2019;

Accepted: 25 February 2019

*Corresponding author

E-mail: yhshin@kigam.re.kr

Address: Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources 124, Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon, 34132, Korea

©2018, Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

중력은 지하의 밀도 분포를 추정하는 가장 직접적인 물리탐사 방법으로 자원탐사나 지체구조 연구를 위한 기초 자료로 활용된다. 따라서 나라마다 지질 주제도의 하나로써 중력 이상도를 작성하고 있으며, 한국지질자원연구원(이하 지질자원연)에서도 꾸준히 중력을 측정하여 연구에 활용해오고 있다. 이 과정에서 1996년에 1/1백만 축척의 부계 중력 이상도를 발간하였고(KIGAM, 1996), 1999년부터 2004년 사이에 1/25만 축척의 부산(KIGAM, 1999), 강릉(KIGAM, 2002a), 속초(KIGAM,

2002b), 대전(KIGAM, 2003a), 안동(KIGAM, 2003b), 제주(KIGAM, 2004) 도폭에 대한 중력 이상도도 발간한 바 있으며, 2014년부터는 부계 중력 이상도를 온라인으로 제공하기 시작하였다(www.mgeo.kigam.re.kr). 한편, 비슷한 시기에 국토지리정보원과 공동으로 1/1백만 축척의 부계 중력 이상도를 발간하기도 하였다(KIGAM & NGII, 2014). 이들은 지질자원연의 홈페이지를 통해 살 수 있다(www.kigam.re.kr의 정보광산/간행물구매/).

지질자원연에서는 2016년까지 전국에 약 4 km × 4 km 당 1 점의 측정 밀도로 중력 측정 작업을 마무리하였는데, 이러한 광역 중력 이상도 작성 과정에서 부산대학교(이하 부산대)와의 협의로 양질의 데이터 활용이 가능한 지역은 탐사 지역에서 제외함으로써 측정 기간을 단축할 수 있었다. 지질자원연에서 수행한 광역 탐사 외에도 광물 자원 개발과 관련하여 2013년에 제천의 NMC 몰랜드 광산과 2015년부터 2018년까지 태백산 광화대 지역에 대한 중력 탐사를 수행하였고, 2016년과 2017년에 경주와 포항에서 있었던 지진 진앙지 주위에서의 탐사를 2017년과 2018년에 수행하여 해당 지역에서는 광역 탐사의 경우에서보다 훨씬 더 조밀한 데이터를 확보하였다. 결과적으로 지질자원연은 이전에 중력 이상도를 작성할 때보다 전국에 걸쳐 가장 많고, 또 고르게 분포하는 양질의 육상 중력 데이터를 확보하였는데, 이를 이용하여 중력 이상도를 작성함으로써 여러 분야에서 활용할 수 있는 기초 자료로 제공할 수 있게 되었다.

중력 자료

지질자원연에서는 광역적인 지구물리 이상도 작성을 위하여 매년 육상 중력 탐사와 항공 자력 탐사 및 항공 방사능 탐사를 수행하였으며 2016년에 광역 탐사를 마무리하였다. 육상 중력 탐사는 전국에 약 4 km × 4 km 당 1 점의 측정 밀도를 갖는 중력 이상도 작성을 목표로 하였으며 접근이 어려운 일부 지역을 제외한 대부분의 지역에 대해서 측정을 하였다. 충청남도에 넓게 비어 있는 공간은 2002년에 탐사하였던 지역인데, 중력 측정 야장은 남아있으나 위성항법시스템(Global Navigation Satellite System, GNSS) 측위 자료가 없어서 다시 측정하여야 하는 지역이다. 광역 탐사 측점은 Fig. 1에서 탐사 연도에 따라 다른 원으로 표시하였는데, 6435 측점이 전국 대부분의 지역에 걸쳐 분포하고 있다.

광역 탐사 외에도 광산 개발과 관련하여 관계 화성암 혹은 기반암의 분포를 규명하기 위하여 2013년에는 제천 NMC 몰랜드 광산의 주변에서, 그리고 2015년에서 2018년까지는 태백산 광화대 일대에서 수백 미터에서 2 km 정도 간격으로 탐사를 하였다. 이들은 광역 탐사와 비슷한 시기에 진행하였기 때문에 서로 측정 지역이 겹치지 않도록 하였으며, 이후 2017년과 2018년 탐사에서는 특정 광산 지역에 집중하여 조밀하게

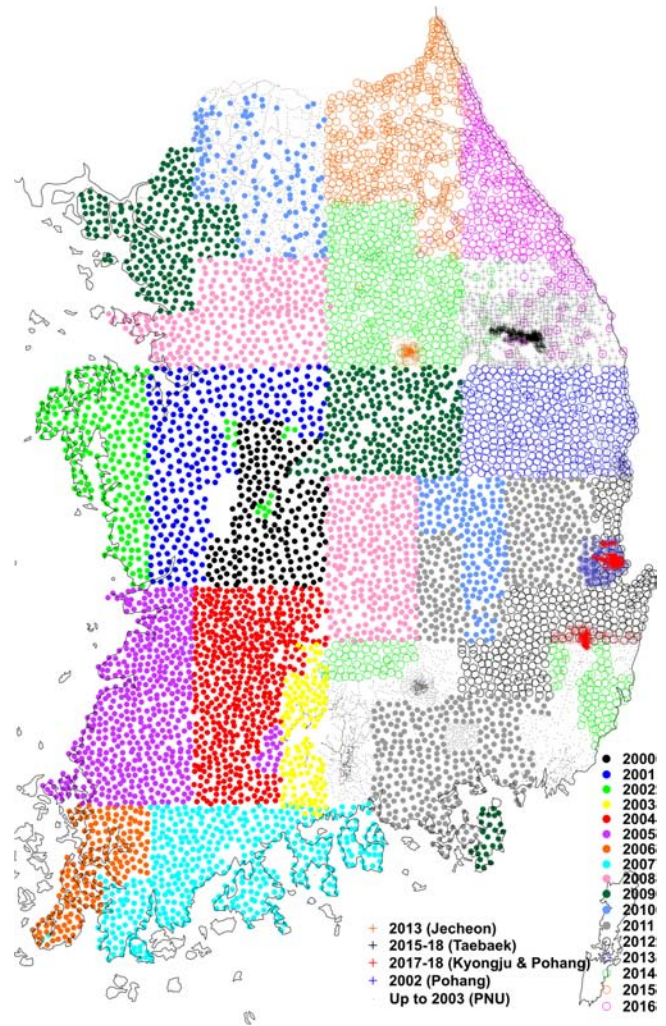


Fig. 1. Gravity survey data distribution.

탐사를 하였다. 그리고 2016년과 2017년에는 경주와 포항에서 리히터 규모가 각각 5.8과 5.4인 우리나라에서는 비교적 큰 지진이 발생하였는데, 이들 진앙지 일대에서는 측정 간격이 200 ~ 300 m 정도가 되도록 정밀하게 탐사를 하였다. 측정 수는 제천 지역에서 261 점이고 태백산 광화대 지역에서 1,295 점인데, 태백산 광화대 지역은 자료 처리의 편의를 위해 같은 시기의 광역 탐사 지역까지 포함하여 처리한 개수이며, 이 측정들은 광역 탐사 자료 처리에서는 제외함으로써 중복되지 않도록 하였다. 그리고 경주 지역에서 441 점, 포항 지역에서 1,277 점을 얻었으며, 이들 탐사 측점은 Fig. 1에서 십자(+)로 표시하였다.

한편, 부산대에서는 2003년까지 중력 탐사가 활발하게 이루어졌다. 1997년 이후에는 위성항법시스템을 이용하여 좌표를 결정하였고, 특정 지역의 지질구조를 연구하기 위하여 탐사를 하였기 때문에 전국적으로 고르게 분포하지는 않지만, 일부 지역에 대해 매우 높은 밀도로 분포하고 있다(Choi *et al.*, 2003). 따라서 지질자원연은 광역 탐사를 수행하는 과정에서 부산대

와의 협조 아래 이들 지역에서는 탐사를 하지 않고 대신 이 자료를 이용하여 중력 이상도를 작성하기로 하였다. 이들 자료는 Fig. 1에서 점으로 표시하였는데, 주로 경남의 부산, 마산, 지리산 지역과 경기도 북동부의 추가령 지구대에 분포하는 것이 나타나며, 잘 드러나지는 않지만 진안 분지와 영덕 분지에도 집중되어 있고, 전국적으로는 주요 기상 관측소나 수문점에 282 점 정도가 산발적으로 분포하고 있다. 부산대 자료는 지질 자원원의 2010년의 광역 탐사 지역인 경기도 북동부의 탐사에서부터 적용하기 시작하였기 때문에 그 이전의 탐사 지역인 진안분지 지역은 탐사 지역이 겹쳐지게 되었고, 영해 분지처럼 부산대 측점이 많더라도 면적이 좁은 지역, 그리고 넓은 지역에 산발적으로 분포하는 측점들은 광역 탐사 측점 계획에서 중복을 고려하지 않고 자료를 얻었다.

중력 자료 처리와 중력 이상

중력 탐사에 사용하는 중력계는 일반적으로 두 지점 사이의 중력 차이를 측정하는 상대 중력계이다. 따라서 이미 절대 중력을 알고 있는 기준점으로부터 탐사 대상 지역으로 측점을

연결하여 측정함으로써 관측 중력을 결정한다. 이 과정에서 시간에 따라 변하는 중력을 보정하여야 하는데, 이에 가장 크게 영향을 미치는 것은 달과 태양에 의한 조석과 스프링의 드리프트이다. 이들을 보정하는 것을 각각 조석 보정과 계기 보정이라 한다. 가장 먼저 처리하게 되는 조석 보정을 위해서는 현재 Tamura (1982)의 JTIDAL 프로그램을 많이 사용하고 있으며, 여기에서도 오래 전부터 해오던 중력 탐사 자료 처리와의 일관성을 위하여 이것을 사용하였다. 한편, Na *et al.* (2011, 2016)은 이 프로그램의 오류를 수정하여 더 향상된 프로그램인 K-Tide와 K2-Tide을 각각 발표하였다. 현장 중력 탐사에서는 이들 프로그램을 써서 계산한 중력의 차이가 약 2 μGal 이내이므로 실질적인 의미는 없으나 정밀한 연속 중력 측정에서는 후자의 프로그램을 사용하는 것이 바람직하다.

중력 탐사 현장에서 가장 까다로운 것은 스프링의 드리프트를 최소화하는 것과 이를 자료 처리에 반영하여 보정하는 일이다. 이는 스프링의 드리프트가 일정한 규칙을 가지지 않기 때문인데, 대부분의 경우 탐사의 시작과 끝을 같은 지점에서 측정하도록 하여 이들 두 지점의 중력 차이를 선형으로 가정하여 처리하고 있다. 그러나 반복 측정 지점을 두 점 이상 운

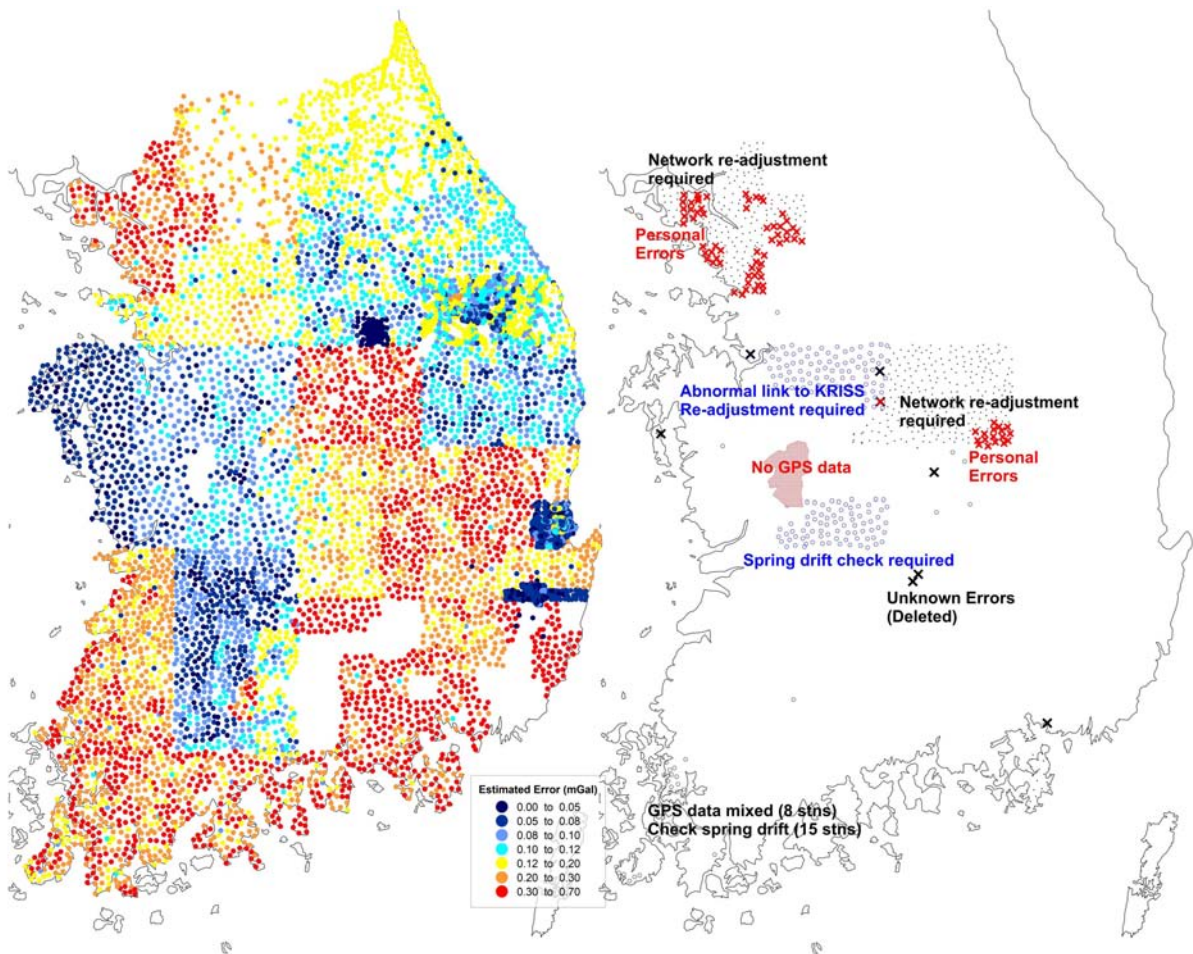


Fig. 2. Network adjustment error (left) and points to be verified in the future (right).

영하면 야외에서의 스프링의 드리프트가 선형이 아니고, 따라서 까다로운 처리를 하여야 함을 바로 알 수 있게 된다. 이를 위해 Choi *et al.* (2003)은 하루 중에 한 두 측정 정도에서 반복 측정을 하여 측정 간 중력 변화를 선형으로 가정한 계기 보정을 한 후에 남게 되는 오차를 임의적이라고 여겨서 최소 자승법을 적용한 망조정 방법으로 처리하였다. 이 망조정 방법은 반복 측정 간의 오차를 선형으로 간주하여 처리하기 때문에 실질적으로는 계기 보정을 포함하여 처리하게 되는 것인데, 이럴 경우에는 추정 오차가 계기 보정을 거친 경우보다는 크게 표현되기는 하지만 실질적인 관측 중력의 결정에는 별다른 영향을 미치지 않게 된다. 따라서 지질자원연의 자료를 처리하는 과정에서 계기 보정을 망조정에 포함하여 처리하였다.

위와 같은 과정을 거쳐 관측 중력을 결정하였는데, 측정의 좌표는 위성항법시스템을 이용하여 World Geodetic System 1984 (WGS84) 타원체(NIMA, 2000) 기준의 경위도와 타원체 높이를 얻고, 표고는 Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008) 지오이드 모델(Pavlis *et al.*, 2012)을 이용하여 계산하였다. 망조정으로 계산한 관측 중력의 추정 오차와 향후 검증 혹은 보완해야 할 측정들을 Fig. 2에 나타내었다. 오차가 모자이크 모양으로 나타나는 것은 탐사한 해에 따라 오차가 다르게 나타났음을 뜻하는데, 이는 사용한 중력계와 기선 연결의 방식의 차이에서 의해서 주로 발생한 것으로 판단한다. 몇 가지 정상적이지 않은 오차 원인들이 있는데, 가장 큰 것은 개인 오차로 약 2 mGal 정도일 것으로 추정한다(Fig. 2의 빨간 ×표). 이 지역은 다시 측정을 하여야 하며, 이때 같이 탐사하였던 다른 중력계의 측정들(빨간 ×표 인근의 검은 점)도 망조정에서 영향을 받게 되므로 재처리하여야 한다. 파란 원으로 표시된 지점들은 절대 중력 기준점과의 기선 연결 전후로 중력계 스프링의 급작스런 변화가 있었기 때문에 기선 연결을 다시 할 필요가 있는 지역이지만 오차는 1 mGal 보다 작을 것으로 예상된다. 검은 원으로 표시한 측정들은 스프링의 드리프트를 확인해 볼 필요가 있는 15 개 측정과 위성항법시스템 수신기의 문제로 데이터 측정 시간이 짧았거나 정확도가 낮아졌을 것으로 의심이 되는 8 개 측정인데, 이에 의한 오차는 앞의 오차들 보다는 훨씬 작을 것으로 예상된다. 기타 원인을 알 수 없는 큰 오차의 측정은 검은 ×표로 표시하였는데, 이러한 데이터는 사용하지 않았다.

관측 중력을 결정한 다음 목적에 맞는 중력 이상을 계산하기 위해 이에 해당하는 보정을 한다. 가장 먼저 계산하는 순높이(고도) 이상은 관측 중력에서 측정점의 높이 차이에 의한 중력 효과를 보정한 후의 중력 이상이다. 이를 결정하기 위해 대기 질량 보정과 순높이(고도) 보정을 한 후에 그 지점에서의 표준 중력과 차이를 계산한다. 순높이 이상은 지하의 밀도 분포 외에 지형에 의한 영향을 직접적으로 크게 받기 때문에 지하 구조 연구에 직접적으로 사용할 수는 없다. 따라서 여기서 지형에 의한 중력 효과를 더 보정하여 준 부계 이상을 지

하의 밀도 분포에 대한 연구에 활용한다. 더 나아가 지각 평형 이상은 지각 평형을 가정하여 지각의 뿌리 혹은 반뿌리에 의한 중력 효과까지 보정한 것으로서 지각 평형 상태를 평가하는 데에 도움이 된다. 이는 모호면에 의한 광역적인 중력 효과까지 제거하였기 때문에 지각 내부의 밀도 변화를 더 잘 반영하는 것으로 볼 수 있다. 이들 보정의 효과는 중력 이상의 높이와의 관계를 통해서도 잘 나타나는데, Shin (2006b)의 연구에서 볼 수 있는 것처럼 순높이 이상에서 부계 이상 및 지각 평형 이상으로 보정이 진행됨에 따라 중력 이상의 변화폭이 눈에 띄게 줄어들게 된다. 이런 이유로 Shin (2006a)은 한반도 남부의 화강암의 분포에 대한 연구에서 부계 이상 대신 지각 평형 이상을 이용하였고, Shin *et al.* (2014)도 이를 광상 형성과 관련하여 얇은 지하 구조에 대한 정성적인 해석에 활용하였다.

부계 이상과 지각 평형 이상을 계산하기 위해서는 지형과 지각의 뿌리/반뿌리에 의한 중력효과를 계산하여야 하는데, 이를 위한 지형 자료로는 SRTM3 (Digital topography data from three arc-seconds Shuttle Radar Topography Mission) (Farr *et al.*, 2007)과 SRTM30_plus (Becker *et al.*, 2009)를 이용하였다. 밀도는 지각과 해수에 대해서 각각 2670 kg/m^3 , 1027 kg/m^3 인 것으로 하고, 모호면에서의 밀도 차는 500 kg/m^3 으로 하였고, 표준 지각 두께는 30 km로 가정하여 계산하였다. 이상수들은 지역에 맞게 분석하여 적용하거나 평균적인 값을 가정하여 사용할 수 있는데, 여기서는 우리나라 지역의 선행 연구(Choi and Shin, 1996; Shin, 2006a; Shin *et al.*, 2006)와 거의 같은 값을 가정하였다. 다른 중력 연구에서도 비슷한 값을 적용하며(Heiskanen and Vening Meinesz, 1958; Balmino *et al.*, 2012), 탄성파를 기반으로 만들어진 다양한 지구 모델을 참고하여 밀도 모델을 만들어 적용할 수도 있을 것이다. 지형 보정을 위한 적분 반지름은 Bullard B 반경으로 알려진 166.735 km로 하였고(LaFehr, 1991), 지각 평형 보정을 위한 적분 반지름은 이의 두 배로 하였다.

위와 같은 과정을 통해 계산한 부계 이상과 지각 평형 이상을 크리깅(Kriging) 방법으로 등격자 자료를 만들고 Fig. 3에 나타내었다. 부계 이상은 지하의 모든 밀도 분포를 다 포함하기 때문에 얇은 지각의 효과뿐만 아니라 깊은 곳의 효과도 포함하는데, 얇은 곳은 화강암의 분포에 의한 영향이 우세하고, 깊은 곳은 밀도가 크게 변하는 모호면에 의한 영향이 우세하게 나타난다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 부계 이상은 화강암이 대규모로 분포하는 지역을 따라 낮은 이상대가 남서-북동 방향으로 나타나고, 모호면이 높게 올라온 동해 쪽으로 가면서 높은 이상이 나타난다. 한편 모호면의 효과를 제거한 지각 평형 이상은 얇은 지각의 밀도 분포를 더욱 뚜렷하게 나타내어 지질도와 더 좋은 상관관계를 보여주는데, 특히 전형적으로 남서-북동 방향으로 분포하는 쥘라기 화강암의 분포를 매우 잘 드러내어 준다. 지각 평형 이상에서 주목할 만한 또 하나의 특

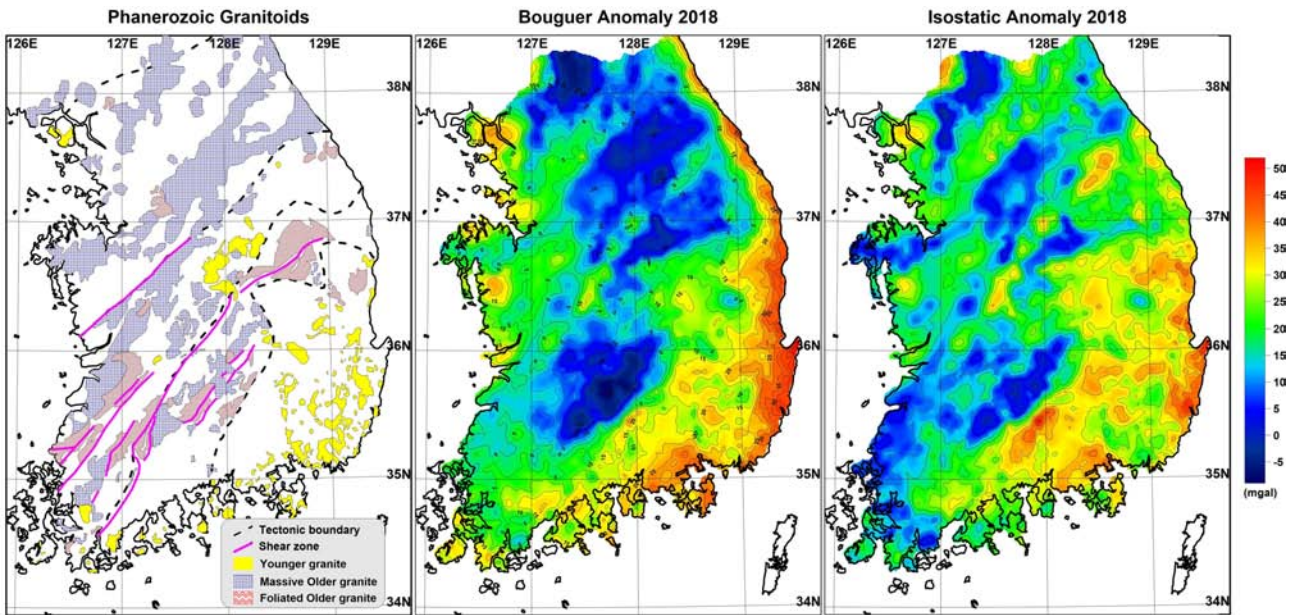


Fig. 3. Distribution of granitoids (left), Bouguer anomaly (middle) and isostatic anomaly (right): Tectonic zoning and classification of granitoids are referred to Chough *et al.* (2000).

징은 부계 이상에서 동해안을 따라 분포하던 높은 이상대가 사라진 것인데, 이는 수심이 깊은 동해 쪽으로 높이 솟아오른 밀도가 높은 맨틀의 영향을 지각 평형 보정을 통해 제거하였기 때문이다.

맺음말

지질자원원에서 2000년부터 2018년 현재까지 측정된 중력 자료를 처리하고, 부분적으로 부산대의 자료로 보완함으로써 가장 고르게 분포하면서 가장 많은 측정점을 사용한 중력 이상도를 작성하였다(Fig. 3). 이들 자료는 모두 똑같은 자료 처리 방식과 지형 자료를 이용하여 자료 처리를 하였으나, 지질자원연의 자료 처리에서 표고를 결정하기 위해 EGM2008 지오이드 모델을 사용한 것과는 다르게 부산대의 자료 처리에서는 PNU95 지오이드 모델(Choi *et al.*, 1997)을 사용하였다. 이에 의한 높이 차이는 대체로 수 cm 정도로 크지 않기 때문에 중력 이상에 미치는 영향은 현재 중력 이상도의 오차 수준 이내일 것이겠지만, 앞으로는 똑같은 지오이드 모델을 사용하여 다시 처리할 예정이다. 그리고 Park *et al.* (2006)이 소개한 바와 같이 새로운 표준을 적용하는 것도 고려할 예정이다. 그러나 현재 중력 이상도 향상을 위한 가장 시급한 과제는 앞에서 언급한 재측정이 필요한 지역에 대한 탐사와 전국 규모의 기선 연결 작업이며, 이는 부산대 자료와의 통합과 지속적인 활용을 위해서도 필요한 작업이다.

Fig. 4는 이전에 만들어진 중력 이상도를 똑같은 기준으로 비교한 것인데, 쉽게 비교할 수 있도록 10 mGal 선은 굵은 흰 선으로 하고 나머지 등치선의 크기와 색상도 같게 하였다. 그

림에서 이전 결과에 비해 측정 수와 공간 분포 측면에서 더 우수해짐에 따라 해상도가 더 좋아지고 있는 것이 확연히 드러나고 있다. 2006년의 자료(Shin *et al.*, 2006)는 위성항법시스템으로 측위를 한 중력 자료가 부족하였고, 또 전국에 고르게 분포하는 것도 아니었기 때문에 고전적인 측량이나 수준점을 따라 측정된 자료가 많이 포함되어 측위 정확도가 낮은 편이다. 2014년 자료는 지질자원연에서 제공하고 있던 부계 이상도(www.mgeo.kigam.re.kr)와 똑같은 데이터를 써서 계산한 지각 평형 이상인데, 충청도와 전라도 지역에서 측정된 데이터의 병합 과정에서 바이어스가 나타났었다. 이는 2018년에 전체 자료를 원시 자료로부터 다시 처리함으로써 이 지역에서 나타났었던 바이어스는 사라지게 되었고, 아울러 새로 추가한 데이터가 많은 강원도 지역과 경북 일부 지역에서 해상도가 좋아진 것이 잘 나타난다. 이에 따라서 태백산 광화대의 광산들은 낮은 중력 이상대를 따라서 주로 분포하는 특징이 나타나고(Shin *et al.*, 2018), 안동시 길안면 금곡리와 송사리의 흑운모 화강암과 석영 반암은 지표에 드러난 것보다는 지하에 주위의 다른 화강암체보다 더 큰 규모로 존재할 것임을 추측할 수 있다.

현재의 중력 측정 밀도는 전국 규모에서는 4 km × 4 km 당 1 점 정도가 되며, 몇몇 지역에서는 매우 조밀하게 측정되었다. Shin *et al.* (2014)은 기존의 낮은 공간 해상도의 중력 자료에서는 알 수 없었지만, 측정 간격을 1 km 이내로 하여 공간 해상도를 높임으로써 지표 지질에서는 드러나지 않았던 무암사 화강암의 지하 분포와 관계 화성암으로서의 역할에 대해 규명한 바 있다. 이와 같은 예에서 보듯이 중력 자료의 공간 해상도를 높이는 것은 자원 개발이나 지질 과학의 연구에 있

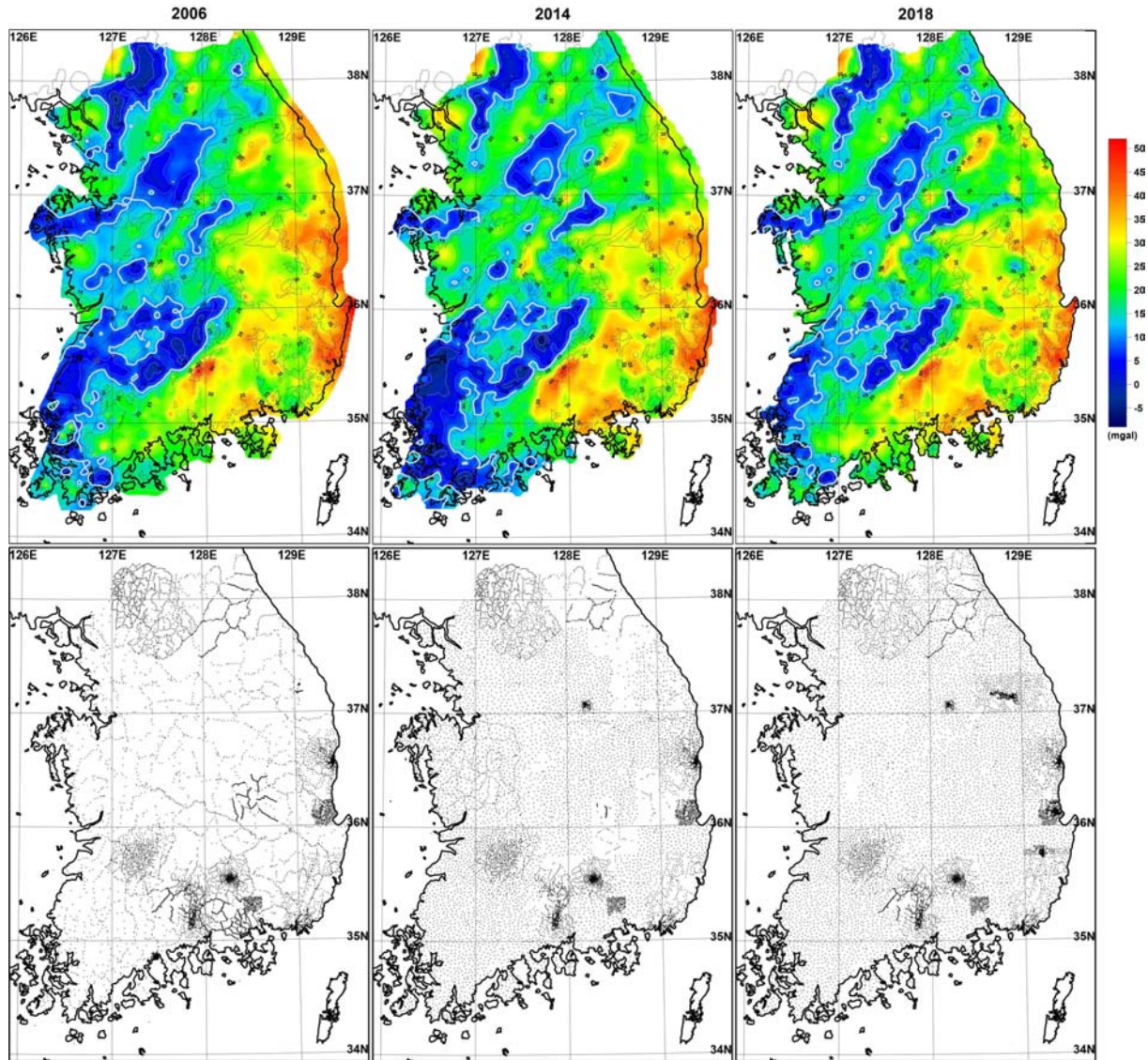


Fig. 4. Comparison of isostatic anomaly maps and their data distribution: map by Shin *et al.* (2006) (left), isostatic anomaly map from the Bouguer anomaly map of KIGAM (2014) (middle), and map of this study (right).

어서 활용 범위를 넓혀주기 때문에 앞으로도 중력 이상도 향상을 위한 지속적인 노력이 필요하다. 현재 상태의 처리 결과 자료를 우리나라의 지체 구조 연구와 광물 자원 개발을 위한 유용한 자료로 활용할 수 있도록 전국 규모의 자료를 배포하고 있으며(www.kigam.re.kr의 정보광산/간행물구매), 앞으로 몇몇 특정 지역에 대하여는 각 지역의 상황에 맞는 해상도의 격자 중력 자료를 만들어 제공할 계획이다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원 주요사업인 19-3211-1 과제 의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Balmino, G., Vales, N., Bonvalot, S., and Briais, A., 2012, Spherical harmonic modelling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies, *J. Geod.*, **86**, 499-520.
- Becker, J. J., Sandwell, D. T., Smith, W. H. F., Braud, J., Binder, B., Depner, J., Fabre, D., Factor, J., Ingalls, S., Kim, S.-H., Ladner, R., Marks, K., Nelson, S., Pharaoh, A., Trimmer, R., Von Rosenberg, J., Wallace, G., and Weatherall, P., 2009, Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution: SRTM30_PLUS, *Mar. Geod.*, **32(4)**, 355-371.
- Park, K. S., Kim, J. H., and Yang, C. S., 1997, PNU95 Geoid, *J. Geophys. Res.*, **25(1)**, 1-13.
- Choi, K. S., and Shin, Y. H., 1996, Isostasy in and around the Korean Peninsula by analysing gravity and topography data,

- J. Geol. Soc. Korea*, **32(5)**, 407-420 (in Korean with English abstract).
- Choi, K. S., Yang, C. S., Shin, Y. H., and Ok, S. S., 2003, On the improvement of precision in gravity surveying and correction, and a dense Bouguer anomaly in and around the Korean Peninsula, *J. Korean Earth Sci.*, **24(3)**, 205-215 (in Korean with English abstract).
- Chough, S. K., Kwon, S. T., Ree, J. H., and Choi, D. K., 2000, Tectonic and sedimentary evolution of the Korean peninsula: a review and new view, *Earth-Science Reviews*, **52**, 175-235.
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D., 2007, The shuttle radar topography mission, *Rev. Geophys.*, **45**, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Heiskanen, W. A., and Vening Meinesz, F. A., 1958, *The Earth and its gravity field*, McGraw-Hill Book Co.Inc.
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 1996, 1 : 1,000,000 Bouguer Gravity Anomaly Map of the Southern Part of Korea.
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 1999, 1 : 250,000 Pusan (Bouguer Gravity Anomaly Map).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2002a, 1 : 250,000 Gangneung (Bouguer Gravity Anomaly Map).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2002b, 1 : 250,000 Sokcho (Bouguer Gravity Anomaly Map).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2003a, 1 : 250,000 Daejeon (Bouguer Gravity Anomaly Map).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2003b, 1 : 250,000 Andong (Bouguer Gravity Anomaly Map).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2004, 1 : 250,000 Jeju (Bouguer Gravity Anomaly Map).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources) and NGII (National Geographic Information Institute), 2014, 1 : 1,000,000 Bouguer Gravity Anomaly Map of Korea.
- Nz, S.-H., Kim, T.-H., and Shin, Y. H., 2016, Advance in prediction of body tide and ocean tidal loading, *Geosci. J.*, **20**, 865-875.
- Nz, S.-H., Shin, Y. H., and Baek, J., 2011, Some Theoretical Consideration in Body Tide Calculation, *Geophys. and Geophys. Explor.*, **14**, 133-139 (in English with Korean abstract).
- NIMA (National Imagery and Mapping Agency), 2000, World Geodetic System 1984, National Imagery and Mapping Agency Technical Report 8350.2
- Park, Y.-S., Lim, M.-T., and Rim, H.-R., 2006, Comments on Gravity Reduction and Gravity Anomaly, *Geophys. and Geophys. Explor.*, **9(2)**, 171-175 (in Korean with English abstract).
- Pavlis, N. K., Holmes, S. A., Kenyon, S. C., and Factor, J. K., 2012, The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008), *J. Geophys. Res.*, **117**, B04406, doi:10.1029/2011JB008916.
- Shin, Y. H., 2006a, Gravity anomaly and the distribution of granitoids in the southern part of the Korean Peninsula, *J. Geol. Soc. Korea*, **42(3)**, 383-396 (in Korean with English abstract).
- Shin, Y. H., 2006b, Implications of gravity anomalies in the tectonic provinces of the southern part of the Korean Peninsula. *J. Geol. Soc. Korea*, **42(3)**, 397-411 (in Korean with English abstract).
- Shin, Y. H., Park, J. U., and Park, P. H., 2006, Deformation of Moho in the Southern Part of the Korean Peninsula, *Journal of the Korean Earth Science Society*, **27(6)**, 620-642 (in Korean with English abstract).
- Shin, Y. H., Yoo, B. C., Lim, M., Park, Y.-S., and Ko, I. S., 2014, Gravity Exploration Inferring the Source Granite of the NMC Moland Mine, Jecheon, Chungbuk. *Econ. Environ. Geol.*, **47(2)**, 107-119 (in Korean with English abstract).
- Shin, Y. H., Lim, M., Park, Y.-S., Ko, I. S., and Park, C., 2018, Gravity survey in the Taebaeksan mineralized zone, *Paper presented at 2018 general assembly of the Korean Society of Earth and Exploration Geophysicists*.
- Tamura, Y., 1982, A computer program for calculating the tide generating force, *Publ. Int. Latitude Obs. Mizusawa*, **16**, 1-20.