

인공구조물의 밀도분포 파악을 위한 고정밀중력탐사

임형래*¹, 박영수¹, 임무택¹, 구성본¹, 권병두², 오석훈³

¹한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

²서울대학교 지구과학교육과

³한국수자원공사 수자원연구원 댐안전연구소

요약

인공구조물인 댐체의 밀도 분포를 밝히기 위하여 사력댐에서 고정밀중력탐사를 수행하였다. 얻어지는 중력이상값이 매우 작은 양이므로 정밀한 지형보정을 위하여 삼각요소법을 도입하였다. 역산을 위해서도 댐체의 모양을 그대로 반영할 수 있도록 임의 다면체로 구성하였고, 글로벌 역산인 ASA를 이용하여 해석하였다. 해석결과는 댐의 코어 부분과 모래와 암석으로 채워진 부분이 명확히 구분되었고, 댐의 중앙부에 상대적인 저밀도가 존재하는 수평적인 밀도 변화도 확인할 수 있었다.

주요어 : 고정밀중력탐사, 지형보정, 중력역산

서론

중력탐사는 지하 밀도 구조를 반영한다는 점에서 석회암 지대의 자연 공동, 탄광 지대의 인공 공동, 이완대 등 저밀도 구조와 이들에 의한 지반 침하 등에 직접적인 정보를 제공한다. 그러나 공동이나 이완대에 의한 중력 이상이 탐사 능력이나 보정 요인에 비해 너무 작기 때문에 천부 소규모 이상체의 탐사에는 널리 이용되지 못하였다. 근래에 이르러 탐사 및 측량 장비의 발달로 수십 μGal 의 중력 이상을 탐사, 처리, 해석할 수 있게 되었으며, 더욱이 천부 소규모 이상 구조의 확인에 대한 기술 수요의 증가로 고정밀중력탐사 기술의 개발을 가속화하고 있다.

이번 연구는 3차원 인공구조물인 댐 자체의 밀도 분포를 파악하기 위하여 고정밀중력탐사를 적용하였다. 발전하고 있는 댐에서는 전기잡음이 발생하므로 전기,전자 탐사에 영향을 미치고, 탄성과 탐사의 경우 구조물의 안정성 때문에 접근하기 용이하지 않은 점이 있다. 고정밀중력탐사는 전기적 잡음과 호수의 물이 댐에 침투된 것에 영향을 덜 받는

장점이 있다. 반면 얻어지는 작은 이상값을 다루기위해서 자료측정부터 자료처리, 해석 방법까지 높은 정밀도를 유지하는 방법을 개발하는 것이 필요하다. 특히 3차원적인 인공 구조물의 중력효과를 반영하는 모델링이 필요하다. 댐에 대한 물리탐사 기법 적용은 Yule et. al.(1998)에 의해 댐 자체가 아닌 댐 근처에서 중력탐사가 있었고, Kim, et. al.(2001)에 의해 댐체에 대한 물리탐사는 전기탐사, GPR, 굴절법 탄성파 탐사 등이 도입되었다.

고정밀중력탐사 결과 및 해석

고정밀중력탐사를 위하여 댐 상부와 댐의 양쪽 사면에서 5m간격으로 총 230여점에서 자동측정이 가능한 캐나다 Scintrex사의 Automated CG-3 중력계를 사용하여 중력을 측정하였다. 특히 바람의 영향을 줄이기 위하여 중력계에 씌우는 바람막이를 제작하여 사용하였다. 계기보정을 위한 기준점에서의 반복측정 정밀도(repeatability)는 5 μ Gal로 CG-3 중력계의 최대 성능을 보였다.

그림 1a는 측정된 단순부계 이상을 보여준다. 아직 지형보정 전이므로 해석하기는 이르지만 댐체를 중심으로 비대칭성이 보이므로 댐체내의 비균질성을 보여준다. 정밀한 지형보정을 위하여 삼각요소법을 도입하였다. 삼각요소법은 Singh and Guptasrma(2001)가 제안한 임의 다면체의 중력효과 계산하는 방법을 변형한 것으로 이번 연구에서는 30m DEM의 격자점을 삼각프리즘의 꼭짓점으로 연결하여 지형의 모양을 최대한 반영하여 오차를 줄이는 방법으로 지형효과를 계산하였다. 이 방법은 기존의 방법과는 다르게 지형을 단순화 시키지 않고 있는 그대로 계산하므로 보다 정밀한 지형효과의 계산이 가능하다. 댐에서의 고정밀중력탐사에서 또한 크게 영향을 미치는 것은 호수의 영향이므로 호수의 영향을 고려하기 위하여 호수의 지형과 수면의 높이를 고려하여 물의 효과만을 지형효과 계산에 포함시켰다. 이러한 지형보정을 거친 구해진 부계이상은 그림 1b이다. 전체적으로 남동쪽으로 높아지는 광역적인 경향이 있는데 이는 댐을 경계로 북서쪽의 선캠브리아기의 호상편마암과 남동쪽의 시대미상인 화강편마암이 분포하는 영향으로 보인다.

광역이상과 잔여이상을 분리하는 문제는 매우 미묘한 문제이지만 북서쪽과 남동쪽의 지질 경계에 의한 영향을 2차원 평면으로 근사하여 광역효과를 제거하여 그림 1c와 같은 잔여이상을 구하였다. 댐체 자체의 효과만으로 역산하기 위해서는 댐 양단의 기울어진 경사면과 하천이 만나는 기반암에 해당하는 경계 부분을 제외하고 순수한 댐의 효과만

으로 분리해 한다. 댐 설계도를 바탕으로 댐의 경계에 해당하는 중력효과를 제거하고 순전히 댐의 효과만을 구한 것은 그림 1d이다. 잔여이상의 모양은 전체적으로 댐 중앙부를 중심으로 대칭의 모양을 보이나 댐 중앙부에 상대적으로 낮은 이상값을 보이고 댐 사면 부에도 불균질한 이상값을 보인다.

최종적으로 구해진 부계이상값을 이용하여 댐의 밀도 분포를 영상화하기 위해서 역산을 도입하였다. 역산에서도 댐체의 모양을 그대로 반영하기 위하여 댐의 설계도를 바탕으로 그림 2와 같이 임의의 다면체를 이용하여 댐을 2층으로 구성하였다. X-Z 평면도(그림 2b)에서 보듯이 댐의 중앙부에 코아가 존재하고, Y-Z평면도(그림 2c)에서는 댐의 하부 경계인 하천의 굴곡을 그대로 반영하였다. 사용한 역산 방법은 Adaptive Simulated Annealing(ASA)방법(Ingber, 1993)으로써 두개 층으로 나누워서 밀도 역산을 수행하였다. 역산 단면(그림 3)은 전체적으로 고밀도를 보이는 코아와 저밀도에 해당하는 모래와 암석으로 채워진 부분의 확연히 구분된다. 고밀도대인 코아는 만든지 30여 년 동안 다짐에 의해서 단단한 형태이고 사면부분은 공극이 많은 모래와 암석으로 이루어져 있어서 상대적으로 저밀도를 보인다. 그러나 1층이나 2층 모두 댐 중앙부가 저밀도대를 갖는 것으로 해석된다.

결론

이 연구에서는 댐과 같은 인공구조물에 고정밀중력탐사가 유용한 방법이 될 수 있음을 보였다. 고정밀도를 유지하기 위하여 30m 격자를 가지는 DEM으로부터 임의의 다면체를 구성하여 오차를 줄이는 지형보정을 하였고, 역산에서도 댐체의 있는 그대로 반영하는 임의의 다면체를 이용하여 구성하고 역산을 수행하였다. 결과적으로 댐체의 밀도 분포가 전반적으로는 코아와 모래와 암석으로 채워진 부분으로 구분되고 수평적으로 밀도 변화를 보였으며 댐 중앙부에 상대적인 저밀도대가 존재함을 확인하였다.

참고문헌

- 임형래, 박영수, 임무택, 권병두, 2003, 삼각요소법을 이용한 정밀 중력 계산, 한구지구과학회 2003년도 추계 학술발표회 논문집, 충남대학교, 9월 26-27일, 37-43.
- Ingber, L., 1993. Adaptive Simualted Annealing (ASA) [ftp.alumni.caltech.edu:/pub/ingber/ASA.zip]. Lester Ingber Research, McLean, VA.
- Kim, J.-H., Yi, M.-J., Song, Y., Seol, S. J., Chung, S.-H., and Kim, K.-S., 2001.

Application of geophysical methods to the safety analysis of an earth dam, EAGE 63rd Conference & Technical Exhibition, Amsterdam, The Netherlands, M-04.

Singh, B., and Guptasarma, D., 2001. New method for fast computation of gravity and magnetic anomalies from arbitrary polyhedra, *Geophysics* 66, 521–526.

Yule, D. E., Sharp, M. K., and Buter, D. K., 1998. Microgravity investigations of foundation conditions, *Geophyscis* 63, 95–103.

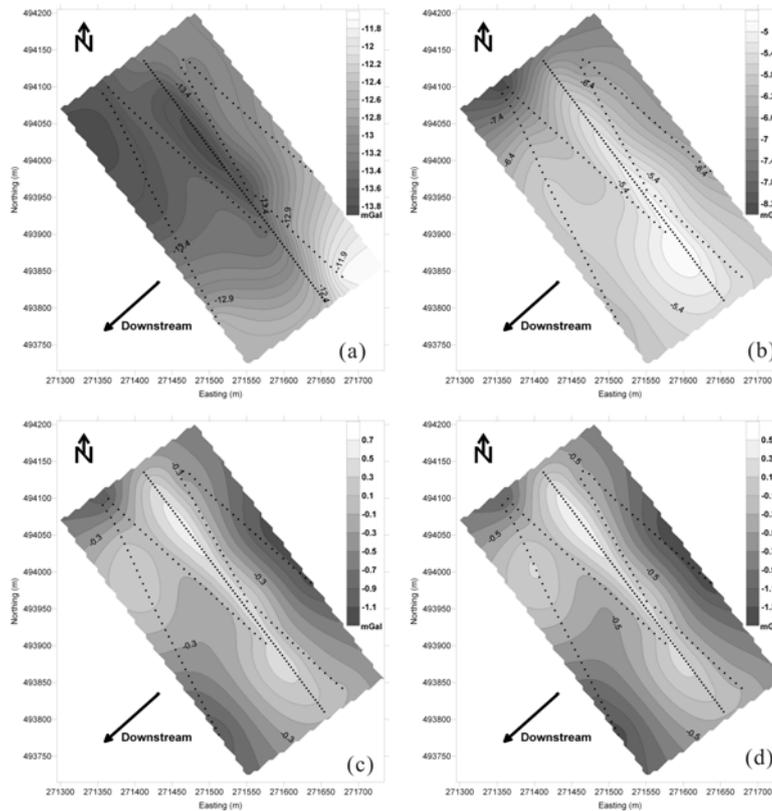


Figure 1. (a) Simple Bouguer anomaly map of the rock fill dam. The dots are gravity stations. (b) Bouguer anomaly map. Triangular element method (TEM) was applied for terrain correction, and the effect of water was reduced. (c) Residual anomaly map. The southeast regional trend of Bouguer anomaly was reduced by second order polynomial fitting. (d) The final residual anomaly map. The effect of the bedrock attached at the slant edge of the dam was reduced.

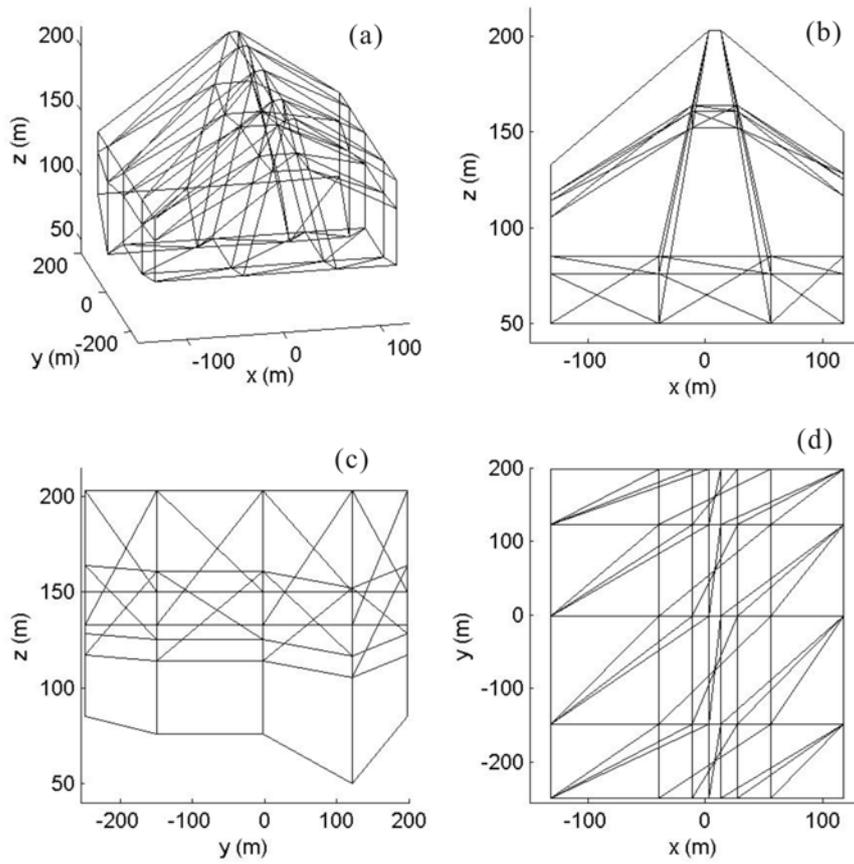


Figure 2. (a) An air view, (b) X-Z section view, (c) Y-Z section view, and (d) X-Y plan view of the rock fill dam respectively.

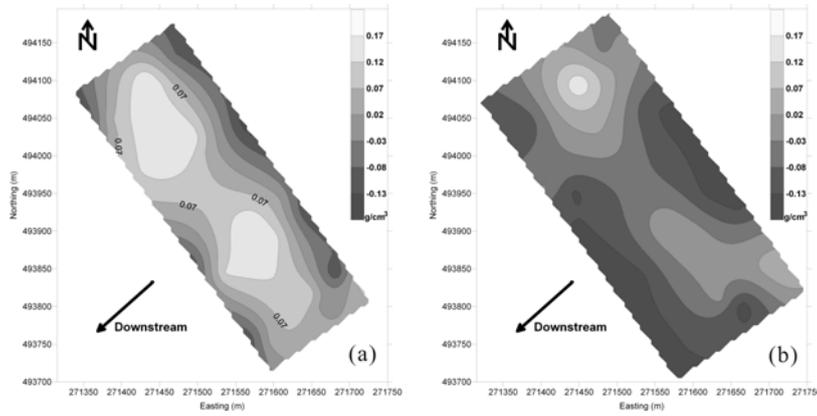


Figure 3. The density distribution of the upper layer(a) and the lower layer(b) is inverted by adaptive simulated annealing (ASA) method