

중자력 자료를 이용한 황해 군산분지의 지질 구조 해석

박계순^{1,*} · 최종근² · 구준모² · 권병두²

¹한국지질자원연구원 자원탐사개발연구소, 305-350, 대전광역시 유성구 과학로 92

²서울대학교 지구과학교육과, 151-748, 서울시 관악구 관악로 599

Analysis of a Structure of the Kunsan Basin in Yellow Sea Using Gravity and Magnetic Data

Gyeseon Park^{1,*}, Jong-Keun Choi², June-Mo Koo², and Byung-Doo Kwon²

¹Exploration Geophysics and Mining Engineering Department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

²Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea

Abstract: We studied a structure of the Kunsan basin in the Yellow Sea using ship-borne magnetic data and altimetry satellite-derived gravity data provided from the Scripps institution of oceanography in 2006. The gravity data was analyzed via power spectrum analysis and gravity inversion, and the magnetic data via analytic signal technique, pseudo-gravity transformation, and its inversion. The results showed that the depth of bedrock tended to increase as we approached the center of the South Central Sag in Kunsan basin and that the maximum and minimum of its depth were estimated to be about 6-8 km and 2 km, respectively. In addition, the observed high anomaly of gravity and magnetism was attributed to the intrusion of igneous rock of higher density than the surrounding basement rock in the center of South Central Sag, which was consistent with the interpretation of seismic data obtained in the same region.

Keywords: Kunsan basin, gravity, magnetic, pseudo-gravity

요약: 황해 군산분지 지역의 지구구조를 해석하기 위하여 2006년 획득한 선상 자력 자료와 Scripps 해양연구소에서 제공하는 고도계위성중력 자료를 이용하였다. 중력자료에 대해 파워스펙트럼 분석과 심도역산이 수행되었고, 자력자료 분석을 위해 분석신호기법과 가중력변환 및 이에 대한 역산을 수행하였다. 중자력 자료 분석 결과 남중소분지 중심부로 갈수록 기반암 심도가 증가하는 양상이 나타나며, 기반암의 심도는 깊은 곳에서 6-8 km, 낮은 곳에서 약 2 km로 해석되었다. 또한 남중소분지 중심부에서 기반암 심도와는 달리 중력이상과 자력이상이 높게 나타나는 것은 주변 기반암보다 밀도가 높은 화성암의 관입에 의한 효과로 해석되며, 이는 동일지역에서 수행된 정밀 탄성과 해석 결과와 잘 부합하고 있다.

주요어: 군산분지, 중력, 자력, 가중력

서론

최근 들어 에너지 및 광물자원의 중요성이 대두되고 있는 반면, 육상자원은 부존량의 한계 및 환경적 요인에 따른 개발제한 등의 단점을 가지고 있어 해양의 에너지자원 및 각종 유용광물자원의 개발에 대

한 관심과 중요성이 점점 높아지고 있다. 그러나 해양 개발은 육상 개발에 비하여 접근성 측면에서 많은 어려움이 존재하기 때문에 해양 지질 구조에 대한 기본 자료 획득은 중요한 과제라 할 수 있다.

연구지역과 그 주변부를 포함하는 곳에서 행해진 선행연구 자료는 황해 퇴적분지의 밀도 연구를 위한 3D 모델링(Choi, 2004), 선상 중력 자료 처리(최광선 외, 2000), 자력 분포를 이용한 황해 지역의 지구물리학적 해석(구자학, 1974)과 황해에 위치한 분지의 지질개요(이현주 외, 2001; 박관순 외, 2005; 선우돈

*Corresponding author: gyeseon@paran.com
Tel: 82-42-868-3091
Fax: 82-42-868-3418

외, 2005; 이호영 외, 2005) 등이 있지만, 주로 단일 탐사에 의한 지하 구조나 밀도 파악, 또는 층서 구조의 연구에 그치고 있거나 일부 지역에서의 연구만 행해졌기 때문에 정밀한 광역 구조 해석에는 많은 어려움이 있다. 또한 기존의 파워스펙트럼 분석법을 이용한 밀도불연속면 추정 연구(김경오와 오재호, 2007)에서는 중국 해상을 포함하는 넓은 범위의 인공 위성중력자료를 사용하여 밀도불연속면의 심도를 구하였으나, 음향기반암심도 및 분지기반암 구조에 대한 2차원적인 해석만을 수행하여 보다 정밀한 분지 구조 해석을 위해서는 3차원적인 해석이 필요하다고 할 수 있다.

이번 연구에서는 선행 연구의 한계를 극복하기 위하여 황해 배타적 경제수역 내 군산 분지와 주변 지역의 해상자력탐사자료와 인공위성중력 자료 및 선행 연구 자료들을 이용하여 군산분지의 기반암 구조 연구를 수행하였다. 보다 정밀한 해석을 수행하기 위하여 중자력 자료의 기본적인 보정을 수행한 후 심도역산, 파워스펙트럼 분석(power spectrum analysis), 분석신호기법(analytic signal) 등의 다양한 분석 기법을 적용하였으며 중력자료와 자력자료의 연관관계를 확인하고자 포이송 관계식을 이용하였다. 이러한 연구 결과는 차후에 수행될 연구지역의 자원 개발과 한반도를 포함한 주변 해양의 지각 구조 및 광역적인 지체구조 해석의 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

탐사지역의 지질개요

황해와 이에 인접한 한국과 중국의 육상에는 다양한 규모의 퇴적 분지가 존재한다. 이 지역은 북쪽으로부터 발해 분지(또는 북중국 분지), 서한만 분지(또는 북황해 분지), 남황해 분지가 발달되어 있으며, 남황해 분지는 군산 분지, 장수 분지, 흑산 분지를 포함한다. 남황해 분지는 지리적으로는 한국의 황해에서 중국의 동부 육상까지 연결되는 구조형태 혹은 복합 분지이다. 중국에서는 남황해 분지를 다시 북부 함몰대(northern depression)와 남부 함몰대(southern depression)로 나누며, 중국 동부 육상 연장부를 장수 분지로 부른다. 장수 분지는 남부 함몰대의 육상 연장부이고, 군산 분지는 북부함몰대의 동측 해양 연장부이다(박관순 외, 2005). 연구지역은 군산 분지와 인근 남쪽지역까지이며, 동경 122.9-125.2, 북위 34.5-

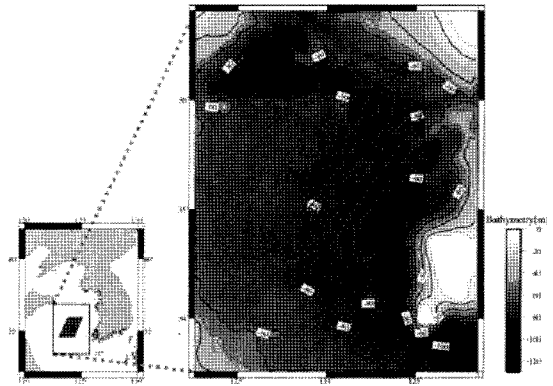


Fig. 1. Bathymetry of the study area and magnetic survey tracks.

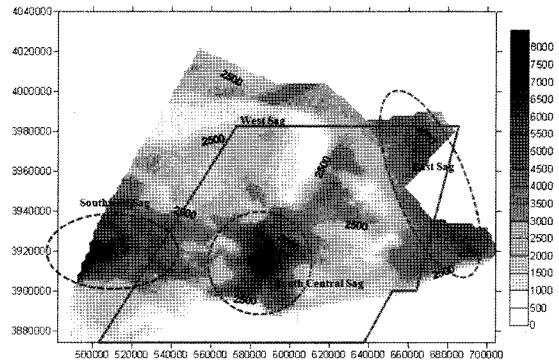


Fig. 2. Time structure map of top acoustic basement unconformity. Contour level interval is 0.25 second in two-way travel time (after Shin et al., 2005). Line indicates the study area.

36.2에 위치한 지역이다(Fig. 1). 연구지역 내의 수심은 약 70-90 m 정도로 큰 기복 없이 평탄한 모습을 보여준다.

군산 분지는 분지 내의 용기부와 단층에 의해 크게 남서소분지, 남중소분지, 동소분지의 3개 소분지로 구분된다(Fig. 2). 이 지역의 퇴적물은 상당 부분이 육상 산화 환경 하의 적색 쇄설물로 구성되어있기 때문에 화석의 산출이 미약하다. 주로 산출되는 미화석은 유기질인 화분포자 화석이고 일부 환원 환경의 퇴적물에서는 담수성 미화석들이 소량 산출된다(정태진 외, 2005). 연구지역의 시추 결과를 보면, 기반암은 백악기 이전의 변성퇴적암, 관입암, 화산암 등으로 구성되어 있으며, 연구지역에서 얻어진 암석들은 대부분이 신생대 제3기에 형성된 퇴적층이었음을 알 수 있고, 일부지역에서만 백악기 퇴적층이 확인된다(박관순 외, 2005).

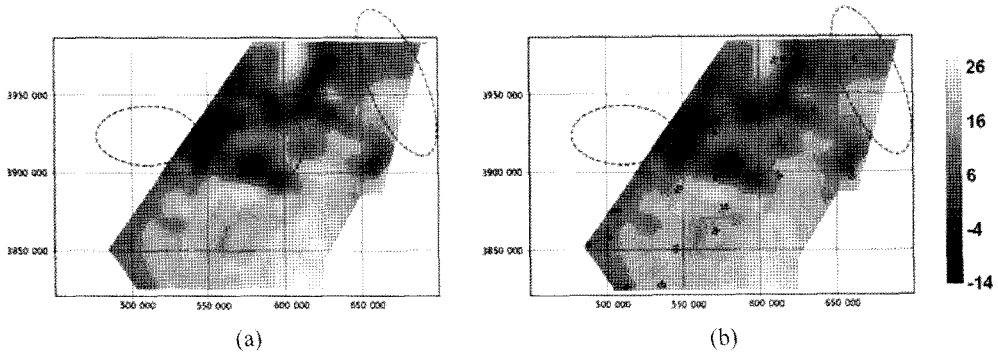


Fig. 3. Free-air anomaly map (a) and Bouguer anomaly map (b). Unit is in mgal. Dashed circles show location of each Sag-Southwest Sag, South Central Sag, East Sag from left.

중지력자료해석

자료획득 및 보정

연구지역의 중력 자료를 획득하기 위하여 UCSD (University of California-San diego)의 Scripps 연구소에서 제공하는 인공위성 고도계자료로부터 유도된 중력자료(version 15.1)를 이용하였다(Sandwell et al., 1997; <http://topex.ucsd.edu/index.html>). 자료의 분해능은 0.1 mgal, 격자간격은 1'으로서 연구지역에서는 경도와 위도 각각 1.52 km과 1.85 km 정도의 간격이다.

획득된 고도이상 자료(Fig. 3a)와 수심자료를 바탕으로 부계이상(Fig. 3b)을 계산하였다. 보통 해상 중력의 기준면은 해수면으로 설정되므로 해저면의 기복에 의하여 발생하는 효과를 제거하는 지형 보정을 수행하였다. 지형 보정은 3차원 중력 지형 역산 기법(박계순 외, 2005)을 응용하여 해수의 중력 효과를 블록 수치화 하여 처리하였다. 이를 위하여 해양 중력 탐사자료 해석에서 해수의 영향을 계산하기 위하여 해저 지형을 multiquadric equation(권병두 외, 1990)을 이용하여 재구성하고 이를 통해 해수면 하부의 해수와 지형을 블록화 하여 계산하였다, 이 때 해수의 밀도로 1.03 g/cm³, 상부퇴적층의 밀도는 1.7 g/cm³라 두었으며, 연구지역의 10 km 외부까지 고려하여 지형보정을 포함한 부계 보정을 수행하였다.

획득된 부계이상 자료의 분포를 살펴보면 연구지역의 중앙을 기점으로 북서부에는 저이상대가, 남동부에는 고이상대가 넓게 분포하고 있음을 알 수 있다. 선행 연구 자료(신재봉 외, 2005)를 토대로 해석해 볼 때, 연구지역 북서부의 저이상대는 군산분지를 구성하고 있는 세 개의 소분지 중 남중소분지의 영향

과 더불어 연구지역의 북서쪽으로 갈수록 점차 두꺼워지는 퇴적층의 효과로 생각된다. 한편 남중소분지의 중심부에 강한 양의 이상대가 나타나고 있는데 이는 획득된 지력자료를 고려할 때 화성암의 효과로 생각된다.

파워스펙트럼 분석

파워스펙트럼 분석은 지하 물질의 밀도나 지각 평형에 대한 가정 없이 지하 불연속면의 평균깊이를 구할 수 있는 유용한 방법이다(Tomoda, 1960). 축선을 따라 측정된 중력값을 푸리에급수로 전개하고 정리하여, 중력이상값 $\Delta g(x)$ 에 대한 파워스펙트럼을 구하면 $P_n = A_n^2 + B_n^2 = (2\pi G\Delta\rho)^2 \cdot e^{-4\pi n D/L} (C_n^2 + D_n^2)$ 과 같이 표현된다. 이 때 A_n, B_n 는 중력이상값의 푸리에 계수, C_n, D_n 는 밀도불연속면의 기복에 대한 푸리에 계수, G 는 중력상수, $\Delta\rho$ 는 두 층의 밀도차, L 은 축선의 길이이며, D 는 밀도불연속면의 평균깊이다. 밀도불연속면의 기복이 임의적(random)이라고 가정하면 $C_n^2 + D_n^2$ 은 상수로 고려할 수 있으며, 양변에 자연로그를 취하면 임의의 상수 C 를 이용하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\log_e P_n = C - 4\pi n D/L \cdot n \tag{1}$$

이번 연구에서는 밀도불연속면의 깊이를 추정하기 위해 연구지역 내 중력이상의 양상이 다르다고 판단되는 세 축선-연구지역 남부의 중력고이상대(축선 A), 연구지역 중앙의 분지지형을 포함한 중력저이상대(축선 B), 연구지역 북부(축선 C)-을 설정하고 축선 A, B, C에 해당되는 자료를 추출하여 파워스펙트럼 분석을 수행하였다. 선행연구 결과와 그 심도를

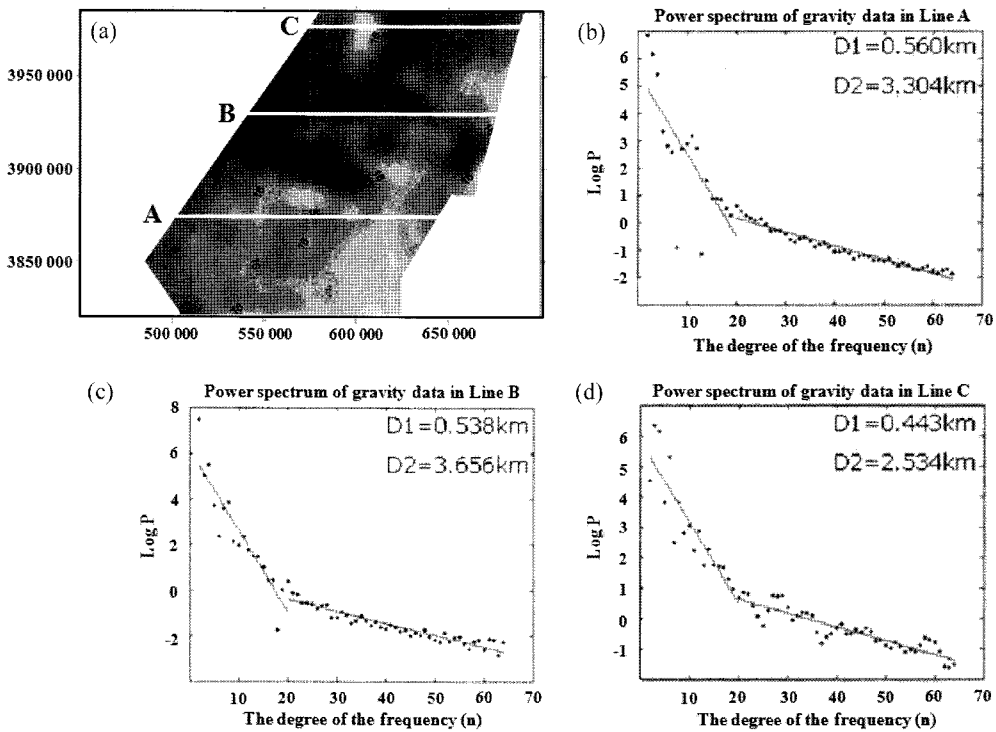


Fig. 4. Power spectrum analysis. Three cross lines with Bouguer anomaly map (a) and power spectrum analysis results along the line A (b), B (c), and C (d), respectively.

고려할 때, Fig. 4의 파워스펙트럼 분석 결과에 나타나는 D1은 퇴적층에 포함된 대단위 부정합면의 평균 심도를 의미하고 D2는 기반암 평균 심도를 의미한다고 해석될 수 있다. 전반적인 패턴을 보면 기반암 심도는 남쪽에서 북쪽으로 가면서 깊어졌다가 다시 얕아지는 형태를 보이고 있는데 이는 균산분지의 전체적인 모습으로 볼 때 중앙부 부근에서의 분지 심도가 더 깊기 때문에 나타나는 결과로 해석된다.

심도역산

부계보정을 수행한 중력 자료를 통해 기반암 심도에 대한 3차원적인 정보를 파악하기 위하여 Newton method의 일종인 Marquardt-Levenberg법을(Levenberg, 1944; Marquardt, 1963) 이용하여 심도역산을 수행하였다. 심도 역산 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 심도 역산의 특성상 역산에 이용되는 블록을 층 구조로 생성하고 각 층의 밀도 차이만을 고려하여 역산을 수행하기 때문에 동일 층 내에서 밀도의 불연속이 존재할 경우 실제 심도 구조를 왜곡할 수 있으나, 연구지역의 특성상 기반암 직상부 퇴적층과 기반암의 밀도가 상대적으로 균일한 특성을 가지며, 연구지역

내에서의 가장 큰 밀도 불연속면은 기반암과 상부 퇴적층의 경계면이므로 중력이상 자료를 통해 기반암 심도를 타당성 있게 해석할 수 있다. 따라서 퇴적층 내부의 밀도변화가 중력효과에 주는 효과는 미미하다고 가정하고, 음향기반암 직상부 퇴적층과 음향기반암의 밀도차를 선행 연구 결과와 중력이상 분포를 고려 0.3 g/cm³로 설정하여 심도역산을 수행하였다. 심도역산 결과 퇴적 분지가 아닌 연구지역 남부에서는 평탄하고 심도가 깊지 않은 기반암구조를 보이며, 연구지역의 북부에서는 기반암 심도의 기복이 다소 심하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 역산결과에서 연구지역의 기반암 심도는 분지 지역을 중심으로 대략 2 km에서 6 km까지 분포하고 있는 것으로 해석되었다.

자력자료해석

자료획득 및 보정

이번 연구에서는 2005년 5월 13일부터 25일의 기간 동안 한국 해양연구원 연구선 온누리호에 설치된 해상 측정용 자력계(SeaSPY)를 이용하여 황해 배타

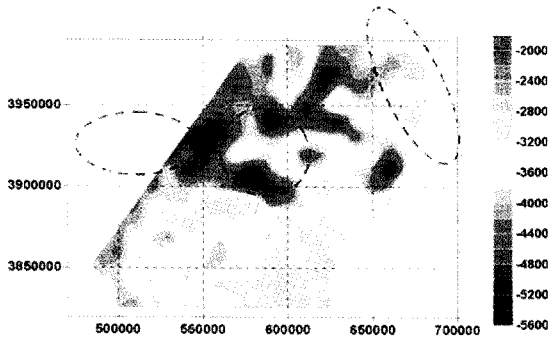


Fig. 5. Depth to basement from gravity inversion. Unit in meter.

적 경계수역의 일부인 군산 분지와 그 부근의 해상 지자기자료를 획득하였다(Fig. 6). 해상용 자력계인 SeaSPY는 총자기를 측정하는 오버하우저(Overhouser)형 자력계로 300 m 이상의 신호 케이블과 자료 획득

을 위한 센서, 컴퓨터 인터페이스 및 신호제어용 컴퓨터 등으로 구성되어 있으며, 센서는 총자기를 측정하는 오버하우저형 총자기력 센서 외에도 온도 측정이 가능한 온도 센서, 물과 센서의 접촉을 인지할 수 있는 누수 센서, 깊이 측정을 위한 압력 센서로 구성되어 있다. 분해능은 0.001 nT이다.

이번 연구에서는 획득된 자력 자료의 일변화 보정을 위해서 홍성 지자기 관측소의 자료를 사용하였으며, IGRF(International Geomagnetic Reference Field) 보정을 위하여 IGRF-10을 사용하였다. 이어서 중위도 지역에서 획득된 복잡한 지자기 특성을 수직 지자기장을 갖는 극에서 측정된 자료와 같이 단순화하여 해석하기 위해 측정 자력 이상을 자극화 변환(Reduction to the pole) 하였다. 자극화 변환된 총자기 이상값은 Fig. 6a에 나타내었다. 연구지역 중앙부에 강한 양의 이상이 뚜렷하게 나타나며, 남서쪽의 음의

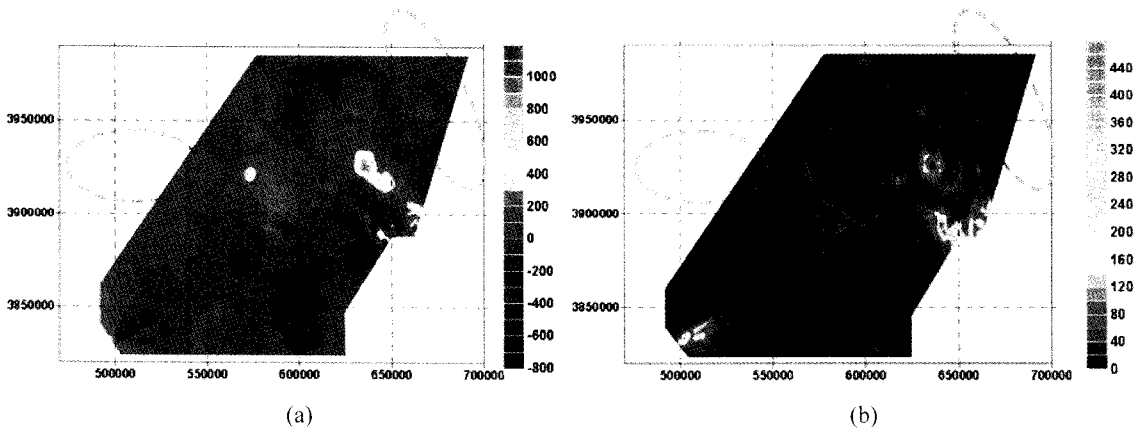


Fig. 6. Magnetic anomaly map reduced to the pole (a) and analytic signal map (b).

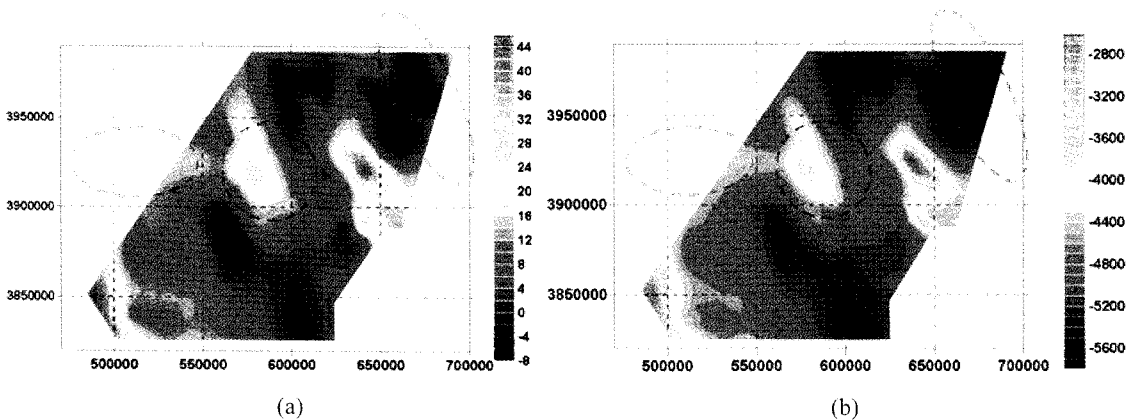


Fig 7. Pseudo-gravity anomaly (a) and depth to basement from pseudo-gravity inversion (b).

이상대 역시 비슷한 형태를 보인다. 자극화변환 후의 자력이상은 대략 -800 nT에서 1,100 nT의 범위를 가진다.

분석신호기법

자력탐사는 분지 연구에 유용하게 사용되는 방법으로, 특히 다른 지구물리 탐사보다 분지의 구조적 특성과 천부에 존재하는 화산암이나 기반암에 관한 정보를 제공하기에 유리한 점이 있다. 그러나 자력탐사 자료는 자성체 대자율의 횡적인 변화가 심하고, 잔류자기의 크기나 자화방향에 따라 강도의 변화가 심하여 자료해석 시 세심한 주의를 요한다. 이러한 이유로 자력이상의 수평, 수직 미분에 근거한 암체의 경계 및 심도를 효과적으로 결정하기 위한 여러 기법들이 개발되었는데, 그 중 가장 대표적인 것으로 분석신호기법을 이용한 자력이상 해석 방법이 존재한다. 구조의 경계 위치를 파악하는데 있어서 분석신호기법이 가지는 가장 큰 장점은 지구 자기장 요소와 자성체의 자화방향 등에 관계없이 결과를 도출할 수 있다는 데 있다(Nabighian, 1972, 1974). 분석신호의 절대값은 수평 방향의 기울기와 수직 방향의 기울기로 표현될 수 있고, 구조의 경계에서 종 모양 형태의 양상을 띠게 된다. 3차원 분석신호 기법은 다음과 같이 Nabighian(1984)에 의해 정의되었다.

$$A_0(x,y) = \frac{\partial G}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial G}{\partial y} \hat{y} + i \frac{\partial G}{\partial z} \hat{z} \quad (2)$$

이때, G 는 중력상수이며, i 는 복소수를 의미한다. 또한 분석신호의 절대값은,

$$|A_0(x,y)| = \sqrt{(G_x)^2 + (G_y)^2 + (G_z)^2} \quad (3)$$

과 같이 나타낼 수 있는데, $G_x = \frac{\partial G}{\partial x}$, $G_y = \frac{\partial G}{\partial y}$, $G_z = \frac{\partial G}{\partial z}$ 이고 분석신호의 절대값은 energy envelope 이라고도 불린다.

Fig. 6b는 분석신호의 절대값, 즉 energy envelope 를 나타낸 것이다. 이를 해석하면, 연구지역의 중앙부와 동부 그리고 남서부에 자력이상체의 경계라 생각되는 부분이 존재하며, 국지적으로 작은 경계들이 존재함을 확인 할 수 있다.

가중력변환(Pseudo-gravity transformation)

포이송의 관계식을 이용하면 총자력이상을 중력이

상으로 변환시키는 것이 가능하다. 변환된 중력이상을 가중력이상이라 한다(Blakely, 1995). 지질 구조에 따라 자력이상과 밀도는 높은 상관관계를 나타내는 경우가 있다(박계순 외, 2008). 이러한 경우 측정된 자기장을 사용하여 계산된 가중력이상은 측정된 중력 값과 직접적인 비교가 가능하며 이와 같은 비교는 이상체의 형태나 크기를 파악하는데 큰 도움이 될 수 있다.

변환 과정은 다음의 세 단계로 진행 된다. 총자력이상을 푸리에 변환하고, 자력이상을 중력이상으로 변환하기 위한 필터를 적용한 후, 다시 역푸리에 변환을 수행한다. 포이송의 관계식을 이용하여 중력포텐셜 U 와 자기포텐셜 V 사이의 관계를 정하면 다음의 식으로 표현된다.

$$V = \frac{C_m M}{\gamma \rho} \hat{m} \cdot \nabla_p U = -\frac{C_m M}{\gamma \rho} g_m \quad (4)$$

이때, ρ 는 밀도, M 은 자화강도, \hat{m} 은 자화방향, g_m 은 자화방향에 대한 중력장 성분, C_m 과 γ 는 자력의 비례상수와 중력의 만유인력상수이다. 위 식을 주파수 영역에서의 식으로 표현하면 다음의 식과 같다.

$$F[g_m] = -\frac{\gamma \rho}{C_m M} F[V] \quad (5)$$

또한 관계식 $F[V] = -\frac{1}{\Theta_m |k|} F[\Delta T]$, $|k| \neq 0$ 을 이용하면 다음과 같은 결론을 얻는다.

$$F[g_m] = \frac{\gamma \rho}{C_m |k| \Theta_m M} F[\Delta T] \quad (6)$$

여기서 ΔT 는 총자력이상, k 는 $\sqrt{k_x^2 + k_y^2}$, Θ_m 는 $\hat{f}_z + i \frac{\hat{f}_x k_x + \hat{f}_y k_y}{|k|}$, \hat{f} 은 자기장과 평행한 단위벡터, k_x , k_y 는 각각 x 방향과 y 방향의 공간각주파수를 의미한다. 식 (7)은 자화방향과 평행한 방향의 중력장과 총자력이상이 서로 관련 있음을 의미하고, 중력이상의 수직 성분을 구하기 위해 양변을 Θ_m 으로 나누어 주면 가중력이상, 즉 ΔT_{psg} 를 얻을 수 있으며, 다음의 식으로 표현된다.

$$F[\Delta T_{psg}] = \frac{\gamma \rho}{C_m |k| \Theta_m \Theta_m M} F[\Delta T] \quad (7)$$

이때, Θ_m 은 $\hat{m}_z + i \frac{\hat{m}_x k_x + \hat{m}_y k_y}{|k|}$ 이다.

이번 연구에서는 동일지역의 탄성과 탐사 결과와 임의의 밀도-자화강도비를 이용한 가중력변환값을 이용하여 화성암 효과가 제거된 인공위성 중력이상 패턴을 가장 유사하게 하는 밀도-자화강도 비를 추정하였으며 그 결과 100 kg/Am^2 의 밀도-자화강도 비를 산출하였다. 이를 이용하여 획득된 가중력이상값과 그 심도 역산 결과는 Fig. 7에서 확인할 수 있다. 자력탐사의 특징은 화성암과 같은 고자성의 매질에서 높은 값을 나타내주므로 Fig. 6에서 나타난 자력이상과 비슷한 양상을 보여준다. 중력이상값은 -8.44 mgal 의 범위를 보이며, 심도 역산을 통해 얻어진 기반암 심도는 약 2.5-6 km의 범위로 나타난다. 이는 화성암체에 의한 효과로 화성암 관입의 심도를 지지하는 값으로 해석될 수 있다.

복합 해석

Fig. 3에 보이는 고도이상과 부계이상은 유사한 형태를 보여주고 있다. 이는 황해의 수심변화가 거의 없어, 해저지형변화에 의한 중력이상변화보다는 기반암 심도변화와 퇴적층 두께변화에 의한 중력이상변화가 훨씬 크다는 것을 의미하는 것으로 파악된다. 전체적으로 볼 때 연구지역의 북서부가 남동부보다 낮은 중력이상을 나타내고 있음을 확인할 수 있으며, 이는 남중소분지의 영향과 더불어 퇴적층의 두께가 북서쪽으로 가면서 두꺼워지는 효과에 기인한 것으로 판단된다. 동소분지는 그보다 높은 중력이상을 나타내고 있지만 중력이상만으로 동소분지의 모습을 정확히 파악하는 것은 어렵다.

자력이상분포는 해저지형분포나 중력이상분포와는 그 특징을 달리한다. 자력이상은 전체적으로 평탄한 상태를 나타내며, 남중소분지의 중심부와 그 동쪽지역에서 고이상을 나타낸다(Fig. 6a). 연구지역 중앙부의 자력 고이상대는 중력 고이상을 나타내는 지역과 일치하며, 이는 주변 퇴적층 및 퇴적기반암에 비하여 밀도가 높은 화성암의 관입에 의한 영향이라고 판단할 수 있다. 이는 분석신호 기법의 결과에서도 확인할 수 있다(Fig. 6b). 반면 연구지역의 남동부는 중력 고이상이 나타나지만 자력탐사결과에서는 저이상을 보이는 것으로 보아 자성이 약한 고기 변성암이 이를 이룰 것으로 생각된다.

Fig. 4에서 볼 수 있는 바와 같이 파워스펙트럼 분석 결과에서 파악된 밀도불연속면의 평균심도는 측선

A에서 0.560 km와 3.304 km, 측선 B에서 0.538 km와 3.656 km, 측선 C에서 0.443 km와 2.534 km로 나타났다. 측선 A, B, C에서 각각 나타나는 두 개의 밀도불연속면 심도 중 깊은 곳에서의 불연속면 심도는 기반암의 평균깊이로, 낮은 곳에서의 불연속면 심도는 상부 퇴적층 내에 존재하는 광역부정합면의 평균깊이로 생각된다. 측선 A에서 측선 C까지 기반암 평균심도는 각각 3.304, 3.656, 2.534 km로 파악되었다. 남쪽에서 얇고 중앙에서 깊어졌다가 북쪽에서 다시 얇아지는 주머니 모양의 기반구조를 보이고 있다는 것을 알 수 있으며, 이는 퇴적분지 분포를 반영하는 결과라고 생각되며 탄성과 탐사를 통해 해석된 선행 연구결과와 잘 부합하고 있다(신재봉 외, 2005).

또한 심도역산 결과 얻어진 기반암의 심도분포(Fig. 5)와 부계중력이상(Fig. 3b)의 모습이 거의 동일하다는 것을 알 수 있으며, 이는 중력이상의 변화가 상대적으로 밀도가 높은 기반암의 심도변화와 높은 상관성을 가진다는 의미로 해석될 수 있다. 부계중력 이상(Fig. 3b), 음향기반암의 심도분포(Fig. 2) 그리고 자력이상도(Fig. 6)를 비교해보면 부계중력이상은 전체적으로 음향기반암의 심도분포와 잘 일치하고 있으나, 남중소분지 중심부에서 음향기반암이 가장 깊은 곳에 존재하고 있음에도 불구하고 중력 고이상이 나타나는 것은 강한 자력이상을 나타내는 고밀도암체의 영향으로 인한 것이라고 해석할 수 있다. 즉 중력자료를 이용한 심도역산결과만 고려하면 남중소분지 중앙부에서 기반암이 솟아있는 것으로 파악되나, 중자력자료와 탄성과 왕복주시 자료를 종합적으로 해석하면 남중소분지 중앙부의 기반암 자체는 가장 깊은 곳에 위치하지만 고밀도의 화강암체가 관입하여 중력 고이상이 나타나는 것으로 파악된다. 비슷한 양상을 가중력 심도역산결과에서도 찾아볼 수 있다. 남중소분지 중심부의 음향기반암 심도는 가장 깊게 나타나지만 가중력 심도역산결과에서는 기반암이 솟아있는 것으로 나타난다. 이는 심도역산 시 고려한 기반암의 밀도보다 높은 밀도의 자력이상체가 남중소분지 중심부에 관입했다고 해석할 수 있는 근거가 된다.

결 론

이번 연구지역에 포함되는 군산분지는 세 개의 소분지- 남서소분지 동쪽일부, 남중소분지, 동소분지-로 구분되는데 중력 자료의 분석 결과, 남서소분지 동쪽

일부와 남중소분지에 의한 중력효과는 비교적 명확하게 파악할 수 있었으나 동소분지에 의한 중력효과는 미미하였다. 한편, 연구지역을 둘로 나누어 보면 퇴적분지가 위치한 연구지역 북서부에서 상대적으로 낮은 중력이상이 나타나며 퇴적분지 내에 고이상대가 혼재하고 있는 반면 연구지역 남동부는 전반적으로 변화폭이 크지 않은 높은 중력이상대를 이루고 있음을 알 수 있다. 이러한 중력이상분포는 기본적으로 음향기반암의 심도분포를 따르는 경향을 보이며, 북서쪽으로 가면서 퇴적층의 두께가 두꺼워지는 것 또한 연구지역내 중력이상분포양상의 원인으로 생각된다. 남중소분지 중심부의 기반암이 가장 깊은 곳에 존재함에도 불구하고 중력 고이상대가 나타나는 까닭은 자력탐사 자료 분석 결과 관입암에 의한 영향으로 해석되었다. 또한, 연구지역 남동부의 중력고이상대는 낮은 자력이상을 가지는 것으로 보아 변성퇴적암과 퇴적암으로 이루어져 있는 곳이라 판단된다. 중력 자료를 이용한 심도역산결과와 선행 탄성파탐사결과에 의하면 연구지역 내 기반암 심도는 가장 깊은 곳이 약 7 km, 가장 얇은 곳이 약 2 km 정도로 파악된다.

포텐셜 자료를 이용한 이번 연구의 해석 결과는 선행연구로 수행된 탄성파 탐사 결과와 전반적으로 높은 상관관계를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 향후 선행 정보가 부족한 해양지역에서 지구물리탐사를 수행하게 될 경우이라도 전 세계 모든 해양에 대해 이미 공개되어 있는 고해상도 인공위성 중력이상자료를 분석하여 선행 자료로 활용하는 것이 유익할 것으로 생각된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원의 스카른/반암형 광체 특성 정량화 물리탐사 기술 개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다. 또한, 연구 자료를 제공해 주신 한국해양연구원에 감사드립니다.

참고문헌

구자학, 자력분포를 토대로 한 한국 황해 구역의 지구물리학적 해석연구. 1974, 대한광산학회지, 11, 79-91.
권병두, 권재월, 이희순, 1990, 다중 이차곡면 방정식을 이용한 중력자료의 지형보정. 한국지구과학회지, 11, 156-165.

- 김경오, 오재호, 2007, 인공위성 해면고도계 중력자료를 이용한 황해 군산분지의 밀도 불연속면에 대한 연구. 자원환경지질, 40, 751-759.
박관순, 강동호, 신영재, 신재봉, 2005, 황해 군산 분지 서부해역의 지구조 발달. 지질학회지, 41, 141-155.
박계순, 류희영, 양준모, 이희순, 권병두, 엄주영, 김동오, 박찬홍, 2008, 포텐셜 자료해석을 통한 화산칼데라 구조 해석. 한국지구과학회지, 29, 1-12.
박계순, 이희순, 권병두, 2005, 고정밀 중력 탐사를 위한 3차원 중력 지형 역산 기법. 한국지구과학회지, 26, 691-697.
선우돈, 김경오, 강무희, 오재호, 정태진, 이영주, 2005, 황해 군산분지의 구조 발달. 대한자원환경지질학회 2005년도 춘계학술발표회, 317-319.
신재봉, 박관순, 신영재, 강동호, 2005, 국내 대륙붕 군산분지 제2광구의 탄성과 구조해석. 한국지질자원연구원 논문집, 9, 72-83.
이현주, 정대교, 허식, 2001, 군산분지 내 남중소분지의 분지형성 및 층서 연구. 한국석유지질학회 2001년도 제8차 학술발표회 발표논문집, 66-70.
이호영, 황인걸, 최성자, 권영인, 손병국, 신국선, 2005, 황해 군산분지 시추공들의 지질 시대. 한국고생물학회 2005년 21차 학술발표회 발표 논문 초록, p. 146.
정태진, 오재호, 선우돈, 이영주, 김경오, 강무희, 2005, 중국 동부 및 황해 퇴적분지의 지질 개요. 한국석유지질학회 2005년 제 12차 학술발표회 초록집, 78-93.
최광선, 옥수석, 서만철, 최영섭, 김백수, 2000, 황해 남부에서의 선상중력 자료 획득 및 처리에 관한 고찰. 지구물리, 3, 291-310.
Blakely, R.J., 1995, Potential theory in gravity and magnetic applications. Cambridge university press, NY, USA, 441 p.
Choi, S.C., 2004, 3D density modelling of the Yellow sea sedimentary basin. Journal of the Korean Geophysical Society, 7, 283-291.
Levenberg, K., 1944, A method for the solution of certain nonlinear problems in least squares. Quarterly of Applied Mathematics, 2, 164-168.
Marquardt, D.W., 1963, An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. Society for Industrial and Applied Mathematics, 11, 431-441.
Nabighian, M.N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. Geophysics, 37, 507-517.
Nabighian M.N., 1974, Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. Geophysics, 39, 85-92.
Nabighian, M.N., 1984, Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms - Fundamental relations. Geophysics, 49, 780-786.
Sandwell, D.T. and Smith, W.H.F., 1997, Marine gravity

anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry.
Journal of Geophysical Research, 102, 10039-10054.
Tomoda, Y., 1960, Thickness of the earth's crust from bou-

guer anomaly statics. Journal of the Geological Society
of Japan, 6, 47-56.

2008년 12월 3일 접수
2009년 1월 21일 수정원고 접수
2009년 2월 3일 채택