

인공위성 해면고도계 중력자료를 이용한 황해 군산분지의 밀도 불연속면에 대한 연구

김경오* · 오재호

한국지질자원연구원

Study on Density Discontinuous Layers of the Kunsan Basin in the Yellow Sea Using Satellite Altimetry Gravity Data

Kyong-O Kim* and Jae-Ho Oh

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

To better understand the subsurface geological structure of the Kunsan Basin in the Yellow Sea, the mean depths of the density discontinuous layers (DDLs) of the Kunsan Basin were calculated by power spectrum analysis using satellite altimetry gravity data. The calculated mean depths of DDLs were -1.1 km, -3.4 km, -9.1 km and -31.0 km. The mean depth of -1.1 km DDL was interpreted as regional unconformity shown in about 1 second in two way travel time (TWTT) in the seismic reflection profiles, and the mean depth of -3.4 km DDL was also interpreted as top of the acoustic basement in the seismic reflection profiles. Comparing with well data, seismic reflection profiles and regional geology in the study area, the mean depth of -9.1 km DDL was interpreted as top of the igneous origin basement. This means that the acoustic basement of the study area is composed mainly of sediments which are disregarded in previous study. The mean depth of -31.0 km DDL was interpreted as the Moho discontinuity because this mean depth is similar to one of the normal continental crust thickness. The detection of top of the igneous origin basement suggests that oil·gas potential analysis in Kunsan Basin needs to be extended to the deeper part of sediments (acoustic basement).

Key words : Kunsan Basin, Satellite altimetry gravity data, Power spectrum analysis, Density discontinuous layer, Oil · gas potential

황해 군산분지의 지하 지질구조를 파악하기 위하여 인공위성 해면고도계 중력자료를 이용하여 파워 스펙트럼 분석 (power spectrum analysis) 방법으로 밀도 불연속면의 평균 깊이를 계산하였다. 계산 결과에 의하면 군산분지를 포함한 본 연구지역에서는 각각 -1.1 km, -3.4 km, -9.1 km 그리고 -31.0 km의 평균 깊이를 가지는 밀도 불연속면이 검출되었다. -1.1 km 평균 깊이의 밀도 불연속면은 본 연구지역의 탄성과 단면에서 관찰되는 왕복 주시 1초 부근에서 나타나는 광역 부정합면으로 해석되었고, -3.4 km 평균 깊이의 밀도 불연속면 또한 탄성과 단면에서 인지되는 음향 기반암 상부면과 일치하는 것으로 해석되었다. -9.1 km 평균 깊이의 밀도 불연속면은 본 연구지역의 시추공 자료, 탄성과 단면, 광역 지질 등을 고려하여 화성기원 기반암의 상부면으로 해석하였다. 이는 본 연구지역의 음향 기반암층은 기존의 연구에서 고려 대상이 되지 않았던 퇴적암으로 이루어져 있음을 의미한다. -31.0 km의 평균 깊이를 가지는 밀도 불연속면은 일반적인 대륙지각의 평균 두께와 유사한 값을 보이므로 모호면으로 해석하였다. 화성기원 기반암 상부면으로 해석된 -9.1 km 평균 깊이의 밀도 불연속면의 검출은 군산분지의 석유·가스 부존 가능성에 관한 연구에 있어 기존의 연구보다 심부층(음향 기반암층)에 대한 연구가 필요함을 시사하였다.

주요어 : 군산분지, 인공위성 해면고도계 중력자료, 파워 스펙트럼 분석, 밀도 불연속면, 석유·가스 부존 가능성

*Corresponding author: kokim@kigam.re.kr

1. 서 론

한국 서부와 중국 동부 사이에 위치하는 황해는 약 404,000 km²의 면적을 가지며, 남북, 동서방향으로 각각 약 1,000 km, 약 700 km의 길이를 보이고 있고, 평균 수심이 약 44 m, 최대 수심이 약 110 m인 얕은 바다로 해저 전체가 대륙붕으로 되어 있다(Fig. 1).

황해에는 북쪽으로부터 발해분지(북중국분지), 서한만분지(북황해분지), 군산분지(남황해 북부분지) 그리고 흑산분지(남황해 남부분지) 등의 대표적인 퇴적분지가 존재하고 있음이 알려져 있다(Fig. 2). 이들 퇴적분지 중 발해분지에서는 1960년대 초 유전이 발견되어 1970년대 후반부터 본격적인 생산이 시작된 이후 현재까지 74억 배럴 정도의 누적 생산량을 기록하고 있고, 최근 발해분지의 육상지역인 화북성 당산시 인근에서 추정 매장량 약 74억 배럴 규모의 대규모 유전인 지동유

전(Jidong Oil Complex)이 추가로 발견되었다. 발해분지에서의 대규모 유전의 발견은 지리적으로 인접해 있고, 지질학적 요인들이 유사한 황해 군산분지의 석유·가스 부존 가능성에 대한 다양하고 심도 깊은 연구가 수행되어야 한다는 것을 시사한다. 1968년부터 군산분지를 포함하여 우리나라 황해와 남해 대륙붕에 대한 석유·가스 부존 가능성에 대한 연구가 진행되었지만, 중국 퇴적분지들에 대한 연구에 비해 절대적으로 연구 활동이 미미하여 현재까지 한국 퇴적분지에서는 석유·가스에 대한 징후를 발견하지 못하고 있다.

Ryu *et al.*(2000)은 통합층서기술(integrated stratigraphy technology)을 이용하여 군산분지를 동아시아 전체에 분포하는 퇴적분지들과 시·공간적 관계를 상호 비교함으로써 군산분지의 성인, 지구조 발달 등에 대한 많은 정보를 제시하면서 보다 거시적이고 다양한 연구가 선행되어야 군산분지를 포함한 황해 퇴적분지의

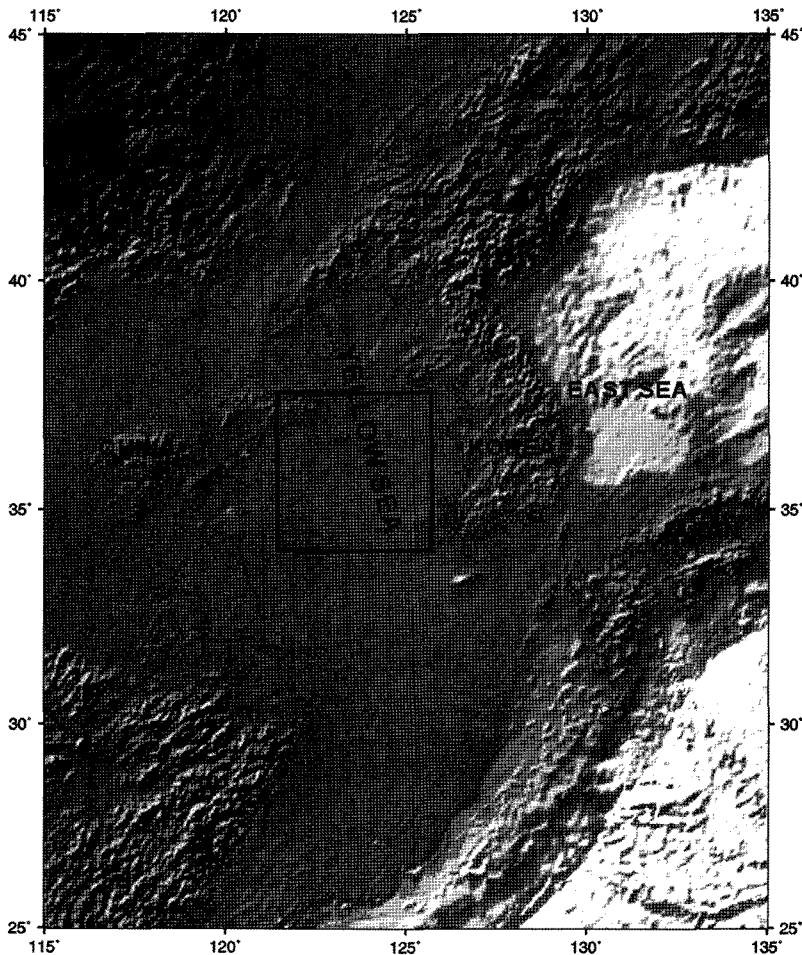


Fig. 1. Location of the Yellow Sea. Box denotes the study area.

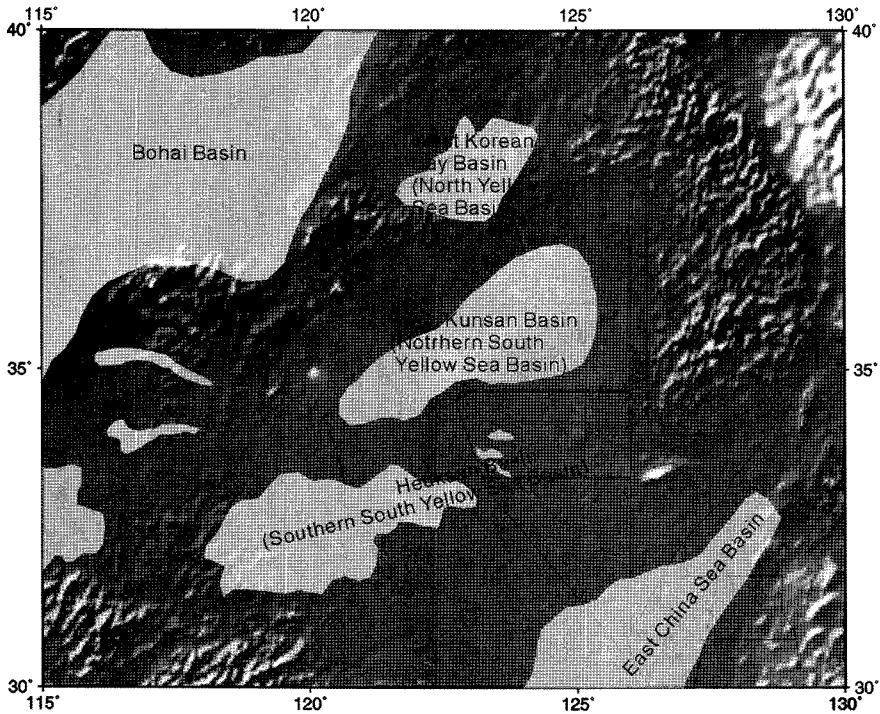


Fig. 2. Location of major sedimentary basins in the Yellow sea and its adjacent area. Modified from Allen *et al.* (1997).

석유·가스 부존 가능성에 대한 연구가 보다 타당한 결과를 도출할 수 있을 것이라 지적하였다. 이의 일환으로 기존의 연구에서 간과되었던 군산분지의 심부 지질 구조에 대한 정보를 도출하고자 하였다. 모호면까지를 포함한 심부 지질구조를 연구하기 위해서는 기존의 석유 탐사보다 더 심부층을 대상으로 하는 광역적인 탄성과 탐사 자료와 심부 시추자료 등이 매우 유용하게 사용되고 있다. 그러나 군산분지를 포함한 황해에는 이러한 자료가 존재하지 않기 때문에 인공위성 해면고도계 중력자료를 이용하여 심부 지질구조를 파악하였다.

중력자료를 이용한 지질구조 연구는 이론적으로 무한한 해(solution)를 가질 수 있는 단점을 가지고 있지만, 주변 지질, 지구물리 자료와의 비교, 검토가 이루어지면 유용한 결과를 도출할 수 있는 도구가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 인공위성 해면고도계 중력자료를 이용하여 군산분지 주변의 밀도 불연속면의 평균 깊이를 파워 스펙트럼 분석에 의해 계산하고, 기존의 지질, 지구물리 자료를 참조하여 각각의 밀도 불연속면의 평균 깊이가 가지는 지질학적 의미를 해석함으로써 군산분지에 대한 석유·가스 부존 가능성 연구에 있어 기존의 연구 대상 층보다 더 심부층에 대한 연구가 필요함을 시사하였다.

2. 광역 지질

군산분지를 포함한 남황해 분지는 동아시아의 주요한 지구조 단위 중 하나인 남중국 블록(South China Block) 내에 위치하며, 황해 대륙붕 제1광구와 제2광구에 걸쳐 분포하고 있다. 군산분지의 발달사는 한국은 물론 동아시아의 시대별 지구조 운동 및 이와 연관된 층서의 범주 안에서 이루어진 것으로 생각된다.

동아시아는 주요한 구조 접합대(suture zone)와 단층에 의해 분리된 남중국 블록, 북중국 블록(North China Block) 등과 같은 많은 지구조 단위(tectonic unit)로 구성되어 있다(Fig. 3). 동아시아 대부분의 지역은 고생대 말부터 시작하여 신생대에 걸쳐 완성된 이러한 구조 단위들의 결합에 의해 형성되었다(Condie, 1989; Hayes, 1980; Zhang *et al.*, 1989; Watson *et al.*, 1987, Xiqing *et al.*, 1996; Malpas *et al.*, 2004). 남황해 분지는 고생대 동안 남중국 블록의 북쪽 연변부에 발달하는 대륙 연변부 분지로 시작되어 쇄설성 및 탄산염 퇴적물이 상대적 해수면의 변동에 따라 운회성을 보이면서 퇴적되었으나, 칼레도니안 조산운동에 의해 응기·침식 되어 캄브로-오르도비스기 단위층과 석탄기-트라이아스기 단위층내에 부정합이 형성되었다. 석

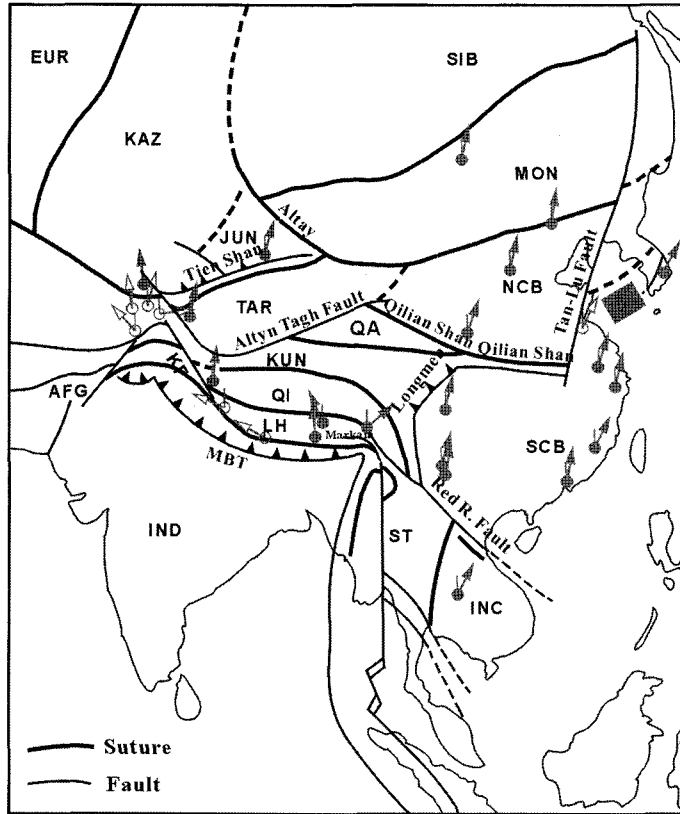


Fig. 3. Tectonic map of the East Asia showing the main sutures and the faults. After Chen *et al.* (1993).

KF: Karakorum Fault, MBT: Main Boundary Thrust, AFG: Afghanistan, EUR: Europe, INC: Indochina, IND: India, JUN: Junggar, KAZ: Kazakstan, KUN: Kunlun, MON: Mongolia, NCB: North China Block, QA: Qaidam, QI: Qingtang, SIB: Siberia, SCB: South China Block, ST: ShanThai, TAR: Tarim Block, Arrows indicate the declination of the Cretaceous paleomagnetic data.

탄기 동안 타림 블록(Tarim Block)과 북중국 블록이 유라시아 쪽으로 이동하여 석탄기 말기에 타림 블록이 먼저 충돌을 시작하고, 북중국 블록은 페름기 동안 유라시아와 충돌하였으며, 남중국 블록은 북중국 블록 쪽으로 이동을 시작하였다. 페름기 말에서 트라이아스기 초기에 남중국 블록은 북중국 블록과 충돌하여 칭링-다비-수루-임진강 습곡대가 형성되었고, 트라이아스기 말기까지의 인도시나인 조산운동에 의해 고생대 퇴적층은 용기되어 변형을 받았다. 동아시아의 서부 지역에서는 트라이아스기 말기에서 쥐라기 초기에 칭탕 블록이 타림 블록과 북중국 블록과의 충돌이 거의 완료되었고, 라샤 블록(Lhasa Block)이 칭탕 블록 쪽으로 이동을 시작하였다(Watson *et al.*, 1987; Ryu *et al.*, 2000). 쥐라기 말기에서 백악기 초기에 라샤 블록이 칭탕 블록과 충돌하였고, 이 시기 대규모 마그마의 발달과 많은 함몰대(depression)가 생성되었으며 광범위한

화산작용이 발생하였다(Yin *et al.*, 2003). 중생대말 북동아시아에서 발달한 열개작용(rifting)은 강한 화산활동과 단층에 의한 분지 그리고 탄루단층(Tancheng Lujiang fault)과 같은 큰 규모의 주향이동 단층 등으로 특징지어 진다(Chen *et al.*, 1993; Ren *et al.*, 2002). 백악기 말기에서 신생대 제3기 초기에 인도 블록(India Block)이 도달하여 라샤 블록과 충돌하였다.

탄루단층의 이동 시대에 대해서는 학자마다 약간 견해를 달리하나 대부분 중생대 동안에는 좌수향 운동(sinistral)을 한 것으로 판단되며, 인도 블록이 라샤 블록과 충돌에 의한 히말라야 조산운동에 의해 신생대 제3기 초기에 우수향 운동(dextral)으로 바뀐 것으로 보고되고 있다(Woods *et al.*, 1982; Zhang *et al.*, 1989; Jiawei, 1993; Allen *et al.*, 1997; Ren *et al.*, 2002). 쥐라기 말기에 남황해 분지 지역은 탄루 단층을 따라 발생하는 이차 주향 이동성 단층들에 의해 소규모

모 열개분지(rift basin)들이 형성되기 시작하였으며 신생대 제3기 초까지 지속된 좌수향의 주향이동 단층의 영향으로 소규모의 열개분지들은 인리형분지(pull apart basin)로 확장되었다. 그러나 제3기 초 탄루 단층의 이동 방향이 좌수향에서 우수향으로 변환되기 시작하면서 남황해 분지 지역은 남북 방향의 압축성 구조운동을 받게 되어 심한 습곡작용과 함께 구조역전의 현상이 일어났으며 이 구조역전 현상은 마이오세 초까지 지속되면서 남황해 분지 내의 퇴적층들을 전체적으로 융기, 삭박 시켰다. 마이오세 중기에 들어와 황해의 광역적 침강과 함께 플라이오세 및 신생대 제 4 기에 걸친 해침의 결과로 안정된 대륙붕 지역으로 전이되었다(Chun *et al.*, 1992; Ryu *et al.*, 2000).

3. 연구 자료

일반적으로 해양에서의 중력 자료는 선상 중력자료, 인공위성 해면고도계 중력자료, 중력 모델(gravity model)에 의한 중력 자료 등이 이용 가능하다. 각각의

중력자료는 중력자료의 이용 측면에 있어 단점과 장점을 동시에 가지고 있어 연구의 목적에 맞는 자료를 선택하거나 조합하여야 한다. 이들 중력자료 중 선상 중력자료가 가장 좋은 해상도를 지니고 있다. 최근 수년간 한국지질자원연구원, 국립해양조사원, 한국해양연구원 등에서 꾸준히 선상중력 자료를 취득 하고 있지만, 황해 대륙붕의 광구 경계를 넘어 중국 해역에 대한 탐사를 수행하지 못하였고, 중국의 선상 중력자료를 구하기가 불가능하여 본 연구에서는 이용할 수 없었다. 또한 본 연구의 주요 목적이 탄성과 단면에서 얻어질 수 없는 심부 밀도 불연속면의 계산을 목표로 하기 때문에 인공위성 해면고도계 중력자료의 해상도도 타당한 결과를 얻을 수 있어 본 연구에서는 인공위성 해면고도계 중력자료 자료를 이용하였다.

1970년대부터 GEOS-3, SEASAT-1, GEOSAT, ERS-1, TOPEX/POSEIDON 등 많은 인공위성 해면고도계가 전세계의 광범위한 해양에서의 밀도 높은 고도자료와 중력자료를 취득하였다. 상기의 여러 가지 인공위성 해면고도계 자료를 이용하여 전 해양에 대한 고도자료

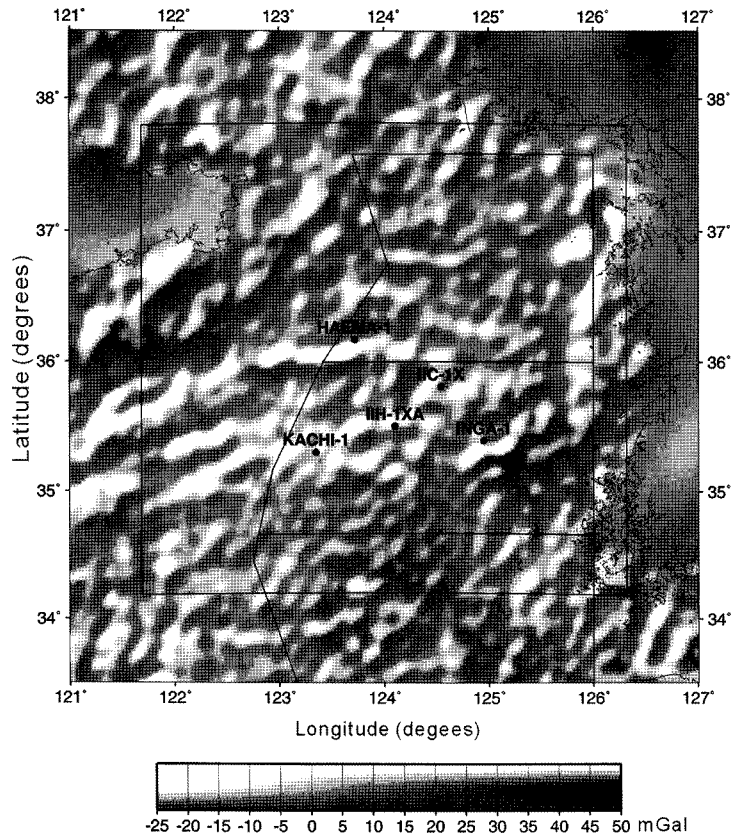


Fig. 4. Freeair gravity anomalies in the study area and its adjacent area.

(Smith and Sandwell, 1997)와 정밀한 중력이상(Sandwell and Smith, 1997)이 계산되고 발표되었다(<http://topex.ucsd.edu>). 본 연구에서는 상기의 자료에서 경도방향으로 약 2분, 위도 방향으로 약 1.5분의 간격을 가지는 각각 43,290개의 고도자료와 프리에어 중력이상(Freeair gravity anomaly) 자료를 추출하여 이용하였다(Fig. 4).

일반적으로 중력자료를 이용한 지하내부 구조의 연구에는 프리에어 중력이상 자료보다는 부우계 중력이상(Bouguer gravity anomaly) 자료가 많이 이용된다. 따라서 본 연구에서도 상기의 프리에어 중력이상 자료와 고도자료를 이용하여 지형보정을 수행한 완전 부우계 중력이상을 계산하였다. 또한 본 연구에서 수행된 지형보정과 파워 스펙트럼 분석 방법(power spectrum analysis)은 경도, 위도의 지리 좌표 자료가 아닌 x, y 의 거리 좌표를 요구한다. 따라서 연구지역의 중앙에 해당하는 경도 124도, 위도 36도를 중심으로 x, y 축 각각 2 km의 간격을 가지는 400 km×400 km(-200 km ~200 km)의 거리 좌표 부우계 이상자료를 계산하였다(Fig. 5).

4. 밀도 불연속면의 평균 깊이

중력자료를 이용하여 밀도 불연속면의 평균 깊이를 구하기 위해 Heiskanen and Vening Meinesz(1958)는 지각평형 및 지하내부의 밀도를 가정하여 지각의 두께를 구하는 방법을 제시하였으며, Tomoda(1960)는 지각평형과 지하내부의 밀도를 가정하지 않고 백색 스펙트럼(white spectrum) 개념을 이용하여 밀도 불연속면의 평균 깊이를 구하는 파워 스펙트럼 분석(power spectrum analysis) 방법을 제시하였다. 본 연구에서는 임의의 가정이 필요하지 않은 Tomoda(1960)의 방법을 이용하였다.

연구지역의 부우계 중력이상 자료를 더블 푸리에 시리즈(double Fourier series)로 표현하면 식 (1)와 같이 표현할 수 있다.

$$g_B(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} (A_{mn} \cos(m\omega_1 x) \cos(n\omega_2 y) + B_{mn} \cos(m\omega_1 x) \cos(n\omega_2 y) + C_{mn} \sin(m\omega_1 x) \cos(n\omega_2 y) + D_{mn} \sin(m\omega_1 x) \sin(n\omega_2 y)) \quad (1)$$

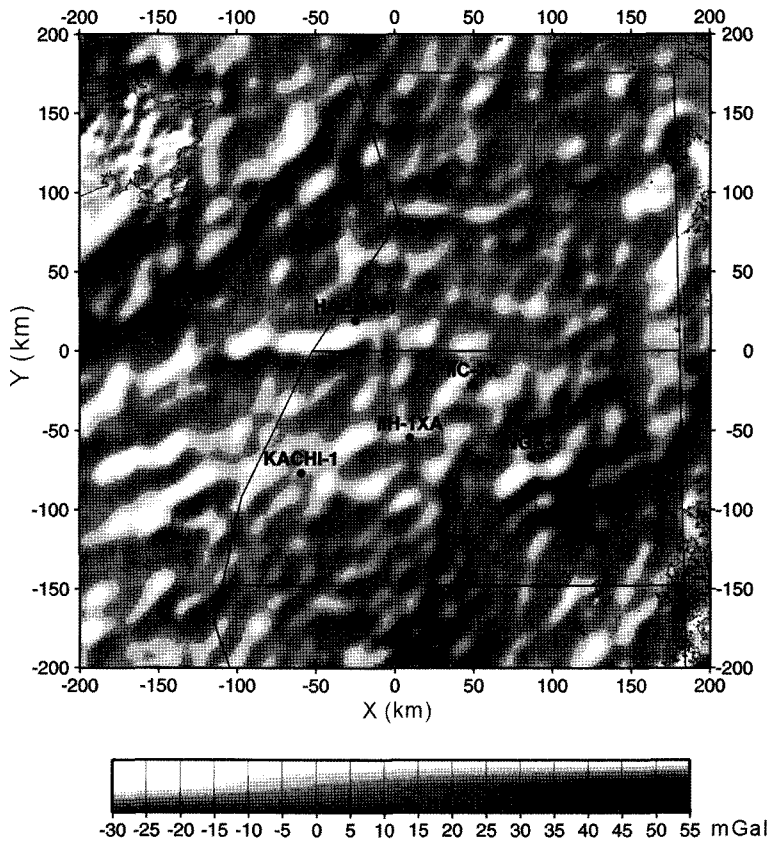


Fig. 5. Bouguer gravity anomalies in the study area.

$\omega_1 = \pi/L_1, \omega_2 = \pi/L_2, -L_1 \leq x \leq -L_1, -L_2 \leq x \leq -L_2$
 L_1 : the half distance of x-axis, L_2 : the half distance of y-axis

이를 약식으로 표현하면 식 (2)과 같이 된다.

$$g_B(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [A_{mn}, B_{mn}, C_{mn}, D_{mn}] \quad (2)$$

또한 지하의 밀도 불연속면에 의해 야기되는 부우계 중력 이상은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$g_B(x, y) = G\Delta\rho \int_{-\infty}^{\infty} x'dx' \int_{-\infty}^{\infty} y'dy' \int_D^{D+h(x', y')} \frac{z'dz'}{(\sqrt{(x'-x)^2 + (y'-y)^2 + (z')^2})^3} \quad (3)$$

G : the Newton's gravitational constant

$\Delta\rho$: density contrast

D : mean depth of density discontinuous layer

h : undulation of density discontinuous layer

일반적으로 식 (3)에서 $D \gg |h|$ 와 같은 조건이 만족하게 되고, 이를 가정하면 식 (3)은 식(4)와 같이 된다.

$$g_B(x, y) \approx G\Delta\rho \iint_{-\infty}^{\infty} \frac{h(x', y')}{(\sqrt{(x'-x)^2 + (y'-y)^2 + (z')^2})^3} dx' dy' \quad (4)$$

식 (4)에서 밀도 불연속면의 기복 또한 더블 푸리에 시리즈(double Fourier series)의 약식으로 표현하면 식 (5)과 같이 된다.

$$h(x, y) = \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} [\alpha_{mn}, \beta_{mn}, \chi_{mn}, \delta_{mn}] \quad (5)$$

식 (5)을 식 (4)에 대입하고 적분하면 식 (6)와 같이 표현된다.

$$g_B(x, y) \approx 2\pi G\Delta\rho \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} e^{-D\sqrt{m^2\omega_1^2 + n^2\omega_2^2}} [\alpha_{mn}, \beta_{mn}, \chi_{mn}, \delta_{mn}] \quad (6)$$

식(2)와 식(6)을 비교하면 부우계 중력 이상의 푸리에 계수와 밀도 불연속면 기복의 푸리에 계수 사이에는 식 (7)과 같은 관계가 성립함을 알 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \alpha_{mn} \\ \beta_{mn} \\ \chi_{mn} \\ \delta_{mn} \end{pmatrix} = \frac{e^{-D\sqrt{m^2\omega_1^2 + n^2\omega_2^2}}}{2\pi G\Delta\rho} \begin{pmatrix} A_{mn} \\ B_{mn} \\ C_{mn} \\ D_{mn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

한편 부우계 중력 이상의 파워 스펙트럼(power spectrum) P_{mn} 은 식 (8)과 같이 표현 가능하다.

$$P_{mn} = \frac{1}{4}(A_{mn}^2 + B_{mn}^2 + C_{mn}^2 + D_{mn}^2) \quad m=n=0 \text{항은 제외} \quad (8)$$

식 (7)의 관계로부터 식 (8)은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{mn} = (\pi G\Delta\rho)^2 e^{-2\pi D\sqrt{\left(\frac{m}{L_1}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_2}\right)^2}} [\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2 + \chi_{mn}^2 + \delta_{mn}^2] \quad (9)$$

식 (9)에서 밀도 불연속면의 기복이 임의적(random) 이라고 가정하면 이에 의한 스펙트럼은 백색 스펙트럼(white spectrum)이 되므로 $\alpha_{mn}^2 + \beta_{mn}^2 + \chi_{mn}^2 + \delta_{mn}^2$ 는 상수(C)가 되어 최종적으로 식 (10)을 얻을 수 있다.

$$\log P_{mn} = C - 2\pi D\sqrt{(m/L_1)^2 + (n/L_2)^2} \quad (10)$$

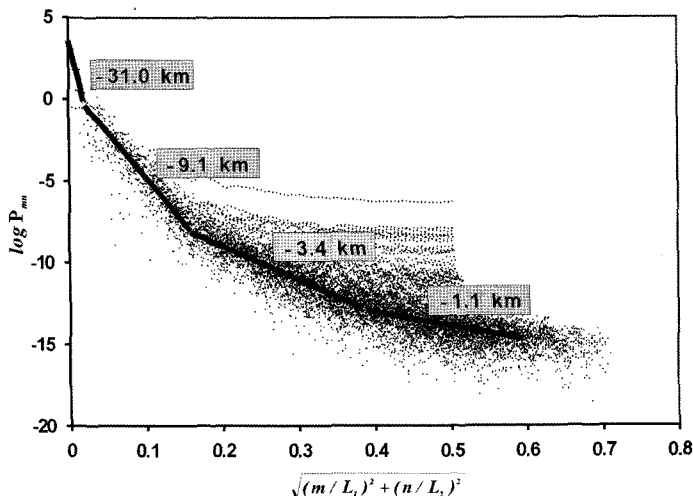


Fig. 6. The mean depths of density discontinuous layers in the study area.

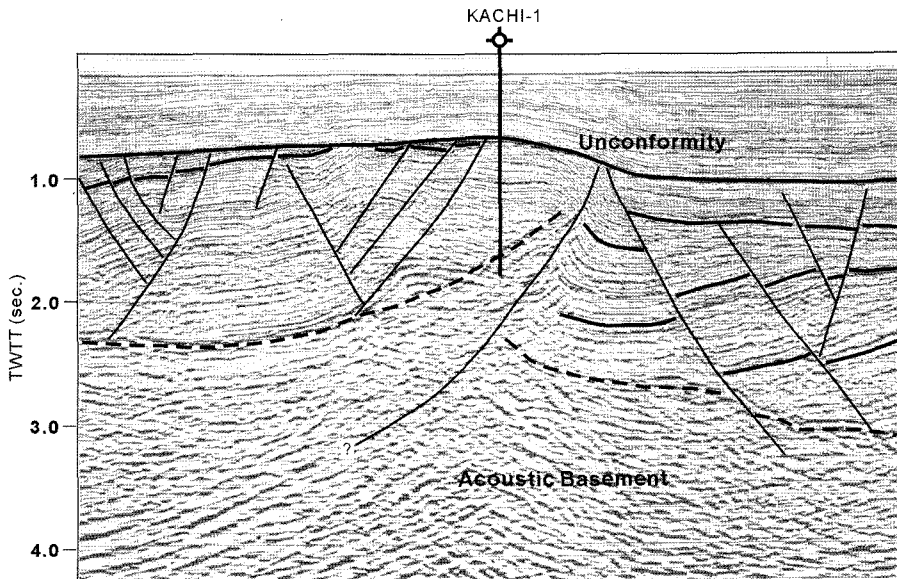


Fig. 7. Seismic reflection section showing regional unconformity, acoustic basement and seismic reflectors inside the acoustic basement.

식 (10)은 $\log P_{mm}$ 을 y축으로 하고 $\sqrt{(mL_1)^2 + (nL_2)^2}$ 을 x축으로 하는 1차 함수의 형태가 되고 이 1차 함수의 기울기로부터 밀도 불연속면의 평균 깊이 D 를 구할 수 있게 된다.

군산분지를 포함한 본 연구지역에서는 각각 -1.1 km, -3.4 km, -9.1 km 그리고 -31.0 km의 평균 깊이를 가지는 밀도 불연속면이 계산되었다(Fig. 6). 기존 군산분지의 탄성과 단면(Fig. 7)에서 보이는 왕복 주시 약 1초 부근에 광범위하게 존재하는 중기 마이오세의 광역 부정합면과 후기 백악기 이전(?)에 형성된 음향기반암 상부면이 대표적인 밀도 불연속면이다. 이는 각각 본 연구에서 계산된 -1.1 km 평균 깊이의 밀도불연속면, -3.4 km 평균 깊이의 밀도불연속면과 일치하는 것으로 해석되었다. 상기에서 언급한 바와 같이 군산분지는 고생대부터 신생대까지의 모든 퇴적환경에 노출된 지역으로 이는 탄성과 단면의 음향기반암이 중생대 및 고생대의 퇴적층으로 이루어져 있음을 추론할 수 있다. 또한 군산분지 시추공 중 유일하게 음향기반암 상부까지 시추한 까치-1 공의 최하부의 탄산염암의 존재와 탄성과 단면(Fig. 7)의 음향기반암 내에 존재하는 탄성과 반사면들의 존재 또한 이를 증명하고 있다. 따라서 -9.1 km 평균 깊이의 밀도불연속면은 상부의 중생대 및 고생대 퇴적층과 하부의 화성기원 기반암 사이의 밀도 불연속면으로 해석되었다. -31.0 km의 평균 깊이를 가지는 밀도불연속면은 일반적인 대륙지각의 평균 두께와 유사한 값을 보이므로

한 값을 보이므로 모호면으로 해석되었다.

5. 결론 및 토의

인공위성 해면고도계 중력자료를 이용한 파워 스펙트럼 분석(power spectrum analysis)결과 황해에서는 각각 -1.1 km, -3.4 km, -9.1 km 그리고 -31.0 km의 평균 깊이를 가지는 밀도불연속면이 계산되었다. -1.1 km 평균 깊이의 밀도불연속면과 -3.4 km 평균 깊이의 밀도불연속면은 각각 군산분지의 탄성과 자료에서 관찰되는 왕복주시 1초 부근에서 나타나는 중기 마이오세의 광역부정합면과, 후기 백악기 이전(?)의 음향기반암 상부면과 일치하는 것으로 해석되었다. -9.1 km 평균 깊이의 밀도불연속면은 군산분지가 고생대에서 신생대까지의 퇴적환경에 노출된 지역이며, 군산분지 까치-1 공의 최하단에서 나타나는 탄산염암의 존재, 탄성과 단면의 음향기반암 내에서 보이는 탄성과 반사면 등을 감안하면 군산분지의 중생대 및 고생대 퇴적층과 화성기원 기반암 사이의 밀도 불연속면으로 해석된다. -31.0 km의 평균 깊이를 가지는 밀도불연속면은 일반적인 대륙지각의 평균 두께와 유사한 값을 보이므로 모호면으로 해석되었다.

-3.4 km의 평균 깊이를 가지는 음향기반암 상부면과 -9.1 km 평균 깊이를 가지는 화성기원 기반암 상부면을 고려할 때 군산분지에는 중생대 및 고생대 퇴적층이

수 km 존재하고 있음을 알 수 있으며, 이들 퇴적층은 상기에서 언급한 바와 같이 대부분 탄산염 퇴적물로 되어 있을 것으로 유추되었다. 미국 서부 텍사스 중질유의 주저류암층인 오오도비스기의 Ellenburger 층과 같이 탄산염암층이 대기 중에 장기간 노출되어 있을 때 카르스트 작용에 의한 solution-collapse breccia와 같은 양질의 저류층이 대기 노출면 혹은 부정합면 직하부에 잘 발달할 수 있다는 이론을(Kerans, 1988) 군산분지의 트라이아스기 중기 퇴적층에 적용해 볼 때 트라이아스기 중기와 말기 퇴적층 사이에 존재하는 부정합면은 석유·가스 부존 가능성의 평가에 있어 중요한 의미를 가진다고 하였다(Ryu *et al.*, 2000).

중력자료만의 해석으로 군산분지의 심부 지질구조에 대한 정보를 정확히 도출하는 데는 한계가 있지만, 본 연구에서 밝힌 바와 같이 기존의 연구 대상보다 아래에 두꺼운 중생대 및 고생대 퇴적층이 존재함을 고려할 때 중생대 및 고생대 퇴적층을 대상으로 하는 심부 탄성파 탐사와 심부 시추 등의 방법과 새로운 개념 등이 도입되어, 군산분지의 석유·가스 부존 가능성 연구에 대한 보다 심도 깊고 다양한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료되었다.

사 사

이 논문의 심사과정에서 세심하게 검토하여 유익한 조언과 의견을 주신 익명의 심사위원님들에게 깊은 감사사를 드립니다.

참고문헌

Allen, M.B., Macdonald, D.I.M., Xun, Z., Vincent, S.J. and Brout-Menzies, C. (1997) Early Cenozoic two-phase extension and late Cenozoic thermal subsidence and inversion of the Bohai Basin, northern China. *Marine and Petroleum Geology*, v. 14, p. 951-972.

Chen, Y., Courtillot V., Cogne, J.P., Besse, J., Yang, Z. and Enkin, R. (1993) The Configuration of Asia Prior to the Collision of India: Cretaceous Paleomagnetic Constraints. *Journal of Geophysical Research*, v. 98, p. 21927-21941.

Chun, S.S. and Chough, S.K. (1992) Tectonic History of Cretaceous Sedimentary Basins in the Southwestern Korean Peninsula and Yellow Sea. *Sedimentary*

Basins in the Korean Peninsula and Adjacent Seas. Special Publication of the Korean Sedimentology Research Group, Hamlimwon, p. 60-76.

Condie, C.K. (1989) *Plate Tectonics & Crustal Evolution* 3rd ed. Pergamon Press.

Hayes, D.E. (1980) *The Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*. American Geophysical Union.

Heiskanen, W.A. and Vening Meinesz, F.A. (1958) *The Earth and its gravity field*. McGraw-Hill Book Co. Inc..

Jiawei, X. (1993) *The Tancheng-Lujiang Wrench Fault System*. John Wiley & Sons.

Kerans, C. (1988) Karst-controlled reservoir heterogeneity in Ellenburger Group Carbonates of West Texas. *AAPG bulletin*, v. 72, p. 1160-1183.

Malpas, J., Fletcher, C.J.N., Ali, J.R. and Aitchison, J.C. (2004) *Aspect of the Tectonic Evolution of China*. The Geological Society, London.

Ren, J., Tamaki, K., Li, S. and Junxia, Z. (2002) Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas. *Tectonophysics*, v. 344, p. 175-205.

Ryu, I.C., Kim, B.Y., Kwak, W.J., Kim, G.H. and Park, S.J. (2000) Stratigraphic response to tectonic evolution of sedimentary basins in the Yellow Sea and adjustment area. *Korean Jour. of Petrol. Geol.*, v. 8, p. 1-43.

Sandwell, D.T. and Smith, W.H.F. (1997) Marine gravity anomaly from Geosat and ERS 1 satellite altimetry. *Journal of Geophysical Research*, v. 102, p. 10039-10054.

Smith, W.H.F. and Sandwell, D.T. (1997) Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, v. 277, p. 1957-1962.

Tomota, Y. (1960) 地表における重力の Spectrumから推定される地殻の厚らについて. *測地學會誌*, v. 6, p. 47-55.

Watson, M.P., Hayward, A.B., Parkinson D.N. and Zhang M. (1987) Plate tectonic history, basin development and petroleum source rock deposition onshore China. *Marine and Petroleum Geology*, v. 4, p.205-225.

Woods, M.T. and Davies, G.F. (1982) Late Cretaceous genesis of the Kula plate. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 58, p.161-166.

Xiqing L. and Daoxiu, M. (1996) *Tectonic Geomorphology of China Offshore and Adjustment Regions*. Qingdao Ocean University Press.

Yin P.L. and Liu S.S. (1992) *Geological Characteristics and Hydrocarbon Exploration of the East China Sea*. Shanghai Marine Geological Investigation Bureau.

Zhang Y., Wei Z., Xu W., Tao R., and Chen R. (1989) *The North Jiangsu-South Yellow Sea Basin*. Chinese Sedimentary Basins, *Sedimentary Basins of the World*, 1(Series Editor: K.J. Hsu), Elsevier.