

# CHAMP-GRACE 인공위성 데이터와 해상 측정 중력 데이터에 나타난 황해안 지역의 남중국과 북중국판의 대륙 충돌대 위치

최승찬

*GeoforschungsZentrum Potsdam, GRMANY*

## Tectonic Link Between NE China, Yellow Sea and Korean Peninsula, Revealed by Interpreting CHAMP-GRACE Satellite Gravity Data and Sea-surface Measured Gravity Data

Sungchan Choi

*GeoforschungsZentrum Potsdam, GRMANY*

### 요 약

황해안 대륙붕 지역의 Quinling-Dabie-Sulu 대륙 충돌대의 위치와 퇴적분지의 지하구조를 알아보기 위해서, 한국 자원 연구원 탐해 2호에 의해서 2000년부터 2002년까지 측정된 중력 데이터에 의한 3차원 지하구조 모델링을 실시한 결과, 황해안 연구지역 내의 중력 이상은 주로 퇴적층과 기반암 사이 경계면의 밀도 및 깊이의 변화에 의한 것으로 판단된다. 대륙 충돌대라고 여겨지는 고밀도 지각구조는 황해안 퇴적분지의 남쪽으로 부터 북동 방향으로 한반도의 중서부 지역으로 연결되며, 퇴적 분지 내의 현저하게 밀도가 낮은 물질의 총 부피는 약 20000 km<sup>3</sup> 정도로 추정되었다. 북중국판과 남중국판의 경계인 Quinling-Dabie-Sulu 대륙 충돌대는 황해안 퇴적분지 남쪽과 북쪽 지역을 지나 각각 임진강 벨트와 충남 홍성 지역으로 연결되며, 북북동 구조선을 따라 동해안 쪽까지 연결되는 것으로 사료된다.

### 주요어

중력, 인공위성, 황해, 대륙충돌

### ABSTRACT

For the understanding the locus of the Quinling-Dabie-Sulu continental collision's boundary and the underground structure of the sedimentary basin in the Yellow Sea, three dimensional density modelling is carried out by using gravity dataset (Free Air Anomaly), which is measured by Tamhae 2, GIGAM in a period 2000-2002. The measured gravity anomaly in the investigations area is mainly responded by depth distribution of the sedimentary basin. After comparing the sea-measured gravity data to CHAMP-GRACE satellite gravity data, I suggested that the high density model bodies extend mainly from the southern part of China to the middle-western part of the Korean Peninsula, which might be emplaced along the continental collision's boundary. The total volume of very low density bodies modified by modelling might be about 20 000 km<sup>3</sup>.

### Key words

gravity, satellite, Yellow Sea, continental collision

### 1. 서 론

북중국판과 남중국판의 경계인 Quinling-Dabie-Sulu 대륙 충돌대의 동쪽 연장선이 탄루 단층의 좌수향 이동의 영향으로 한반도 중심부인 임진강 벨트를 지나

호남 지질대를 거쳐 남중국해 쪽으로 이어진다는 이론 (Li, 1994)에 의해 지금까지 임진강 벨트지역이 한반도에서는 가장 유력한 대륙충돌대라고 주장되고 있다 (Choung *et al.*, 2000). 그러나 최근 한반도 서남부 지역인 충남 홍성 지역에서 대륙충돌 지역임을 지지하는 결

정적인 증거인 고압고온 변성암(예, 옴파사이트, Oh *et al.*, 2004)이 발견된 후, 홍성 지역이 대륙충돌대라는 이론이 대두되었다. 이와 더불어 최근 수행된 국내 대륙붕 제 1, 2 광구 남황해 분지의 지체구조 운동 및 석유부존 가능성에 대한 연구 결과는 남황해 분지가 탄루 단층의 좌수향 이동에 의해 주라기 말-백악기초에 걸쳐 형성된 것으로, 황해안 내의 퇴적분지의 형성이 대륙충돌과 밀접한 관계가 있음을 시사하고 있다(Ryu *et al.*, 2000). 본 연구는 2000년부터 2002년까지 한국자원연구원 탐해2호에 의해 측정된 황해안 해상 중력 지도로부터 얻은 데이터(Free Air Anomaly), 탐해 2호 탄성과 탐사에 의한 seismic vertical cross section의 지각구조모델(GIGAM, 2002), 한국석유공사에 의해서 실시된 시추공의 분석자료(Ryu *et al.*, 2000) 등을 바탕으로 해서 중력이상에 의한 3차원 지각 밀도분포 모델링(IGMAS, Goetze *et al.*, 1988)을 수행하였고, 이를 CHAMP-GRACE 중력 이상과 비교하여 예상되는 대륙충돌대의 위치를 추정하였다.

## 2. 본 론

중력 모델링은 지질학적, 지구물리학적 정보를 바탕으로 지하구조에 대한 초기 모델을 설정하고, 이에 의한 모델의 이상값을 계산한 후, 관측 이상값과 비교하여 두 이상값이 가능한 한 일치하도록 모델의 파라미터를 조정하여 최적의 지하구조를 구하는 방법이다. 이와 같은 지하구조의 조절, 이상값 계산, 이상값 비교와 같은 3단계는 두 이상값이 충분히 일치하게 될 때까지 반복된다. 본 연구에서는 2차원의 Talwani 모델링 방법에서 발전된 3차원 모델링 방법을 (Goetze, *et al.*, 1988) 사용하였다.

한국 지질 자원연구원의 탐사선 탐해 2호에 의해 실시된 다중 탄성과 탐사자료의 해석에 의하면, 황해안 연구해역의 퇴적층은 4개의 단위퇴적층(하부로부터 IV, III, II, I)으로 나누어 질 수 있으며, 단위퇴적층 IV는 반지구(half graben)를 충전하고 있는 syn-rift 퇴적층이다. 단위퇴적층 IV의 충전은 팔레오세말까지 일어났으며, 그 후 상당한 시간동안 침식이 일어나고 나서, 마이오세의 육성퇴적물로 이루어진 단위퇴적층 III가 퇴적되었다. 플라이오세에 들어서서 연구지역 전체가 해침을 받게 되었으나, 상당한 시간동안 하천의 영향을 강하게 받

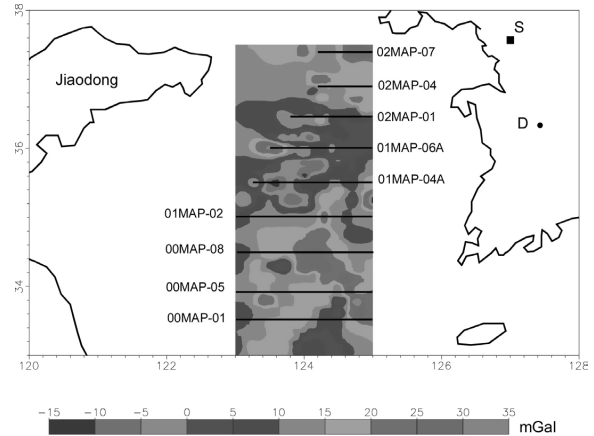


Fig. 1 Free Air anomaly over the Yellow Sea Basin and the location of the seismic cross section (GIGAM, 2002).

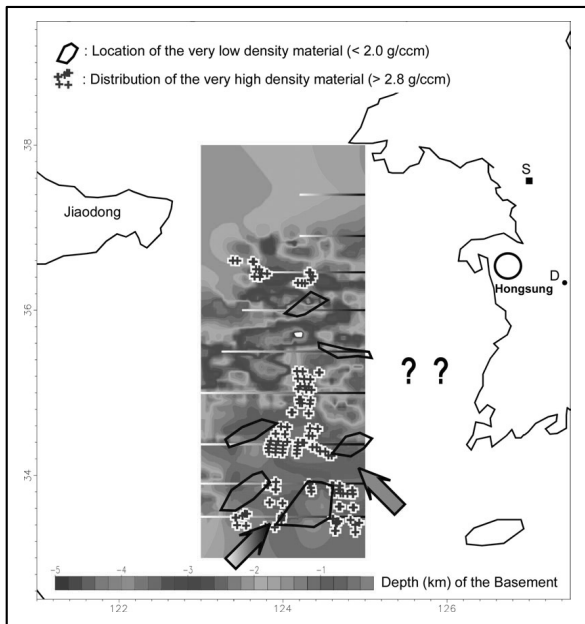
는 천해성 퇴적층인 단위퇴적층 II가 형성되었다. 그 후 제4기에 들어서서 연구지역에 해수면의 상승과 하강의 영향 하에 단위퇴적층 I이 형성되었다(GIGAM, 2002). 한편 국내 대륙붕 1, 2 광구의 시추공들(까치-1, 해마-1, IIC-1X, 잉어-1)에 대한 물리 검증 및 기타자료(암층서, 생층서, 및 시층서)의 분석 및 각 퇴적층들의 시대별 분대 및 퇴적환경에 대한 재해석에 의하면, 퇴적층의 깊이는 약 2000 미터에서 최고 4000 미터이며, 기반암석의 종류는 백악기 후기 화강암 및 현무암질의 화산암 등으로 이루어져 있다고 보고 되었다(Ryu *et al.*, 2000). 이를 근거로 하여 초기 모델의 지각내 밀도분포를 계산하였는 바, 퇴적층의 밀도는 한국 자원 연구원 보고서(Cho *et al.*, 1996) 중에서 퇴적암들의 평균 밀도인  $2.40 \text{ g/cm}^3$ , 탄성과 지각구조 모델이 제시한 음향기반암(Acoustic Basement)은 지각의 평균 밀도인  $2.70 \text{ g/cm}^3$ 을 사용하였다. 중력자료는 한국 지질자원연구원의 탐사선 탐해 2호에 탑재된 LaCoste-Romberg 해상 중력계(S-118)로부터 취득한 자료를 이용하여 만든 중력이상지도를 디지털화하여 얻어진 총 1200 측정점을 기준으로 하였다. Fig. 1에서 보이는 것처럼 연구지역내의 중력 이상은 최고 40 mGal로부터 최저 -15 mGal의 변화를 보이며, 황해안 퇴적분지 남쪽지역은 남중국으로부터 한반도 중부 지역으로 연결되는 뚜렷한 positive 중력 이상이, 북위 36°, 동경 124° 지점으로 부터 북동 방향으로로는 뚜렷한 negative 중력 이상이 나타나고 있다.

3차원 모델링을 위해서 전체 연구 지역을 9개의 탄성

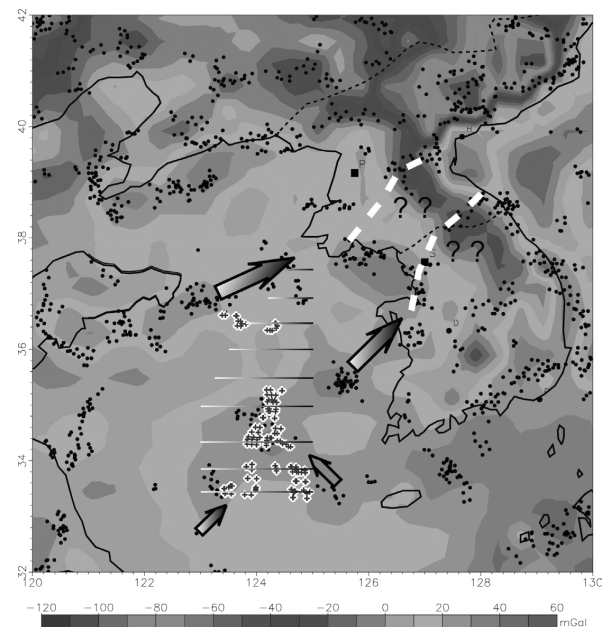
파 지각구조 모델을 기준 삼아서, 총45개의 Vertical Cross Model Section 으로 나누었고, 그 Section 간의 간격은 최고 30 km에서 최저 5 km로 additional information이 많은 지역은 더 정확한 모델링이 가능하도록 좁게 간격을 설정하였고, 그 외의 지역은 10 에서 30 km 간격을 임의로 적용한 결과로서 특이한 지하구조에 대한 3차원적인 연구의 결론은 그림 2에서 보여지는 것과 같다. (1) 연구 지역 중 북위 35° 남쪽 지역의 positive 중력이상의 원인은 이 지역이 상대적으로 낮은 퇴적층의 깊이 및 상대적으로 높은 탄성 기반암의 깊이에 기인한다고 보며, 북위 36° 부근의 negative 중력 이상은 평균 3500 미터의 깊은 퇴적층의 영향에 의한 것이라고 해석되어 질 수 있다. (2) 그림 2에서 나타난 것처럼, 연구 지역 내 최대 2.0 g/cm<sup>3</sup>의 매우 낮은 물질은 예상과는 달리 기반암이 잘 발달되고 상대적으로 퇴적층이 깊지 않은 북위 35° 이남의 지역에서 더 많이 분포하고 있는 것을 볼 수 있으며, 그 물질의 평균 깊이는 약 1000 미터 그리고 평균 두께는 약 700 미터 정도이며, 3차원 모델링에 의해서 계산 된 이 물질의 전체 부피는 약 20000 km<sup>3</sup> 이다. (3) 북위 35°, 동경 124° 지점을 중심으로 나타나는 뚜렷한 positive 중력 이상은 기반암

안에 존재하는 최소 2.80 g/cm<sup>3</sup>의 높은 밀도 물질에 의해서만이 해석되어 질 수 있다(참조 그림 2에서 ++ 로 표시된 것). 이와 같이 높은 밀도를 포함하는 지각 구조의 분포는 Fig. 2에서의 화살표 방향 처럼, 남중국으로부터 이 지역으로 우수향으로 진행되다가 남서쪽에서 북서 방향으로 진행된 지각 운동에 의해서 그 진행방향에 변화가 일어난 것이 아닌가 추측을 할 수 있으나, 한반도 서해안으로 확장된 중력 데이터가 없기 때문에 그 방향성을 확실히 정할 수 없었다. 그 방향성을 정하기 위해 인공위성 CHAMP-GRACE free Air Anomaly를 분석하였다(Reiber *et al.*, 2004). 지상 중력 데이터와 대비하기 위하여 해상인 경우 free Air Anomaly 를 그대로 이용하였고, 육상인 경우 고도 보정을 통하여 bouguer Anomaly 로 변환하였다.

이 위성 데이터는 지상 측정 데이터와 혼합하여 해상도를 50x50 km 까지 높였으며, 이를 Euler Deconvolution Method(Reid *et al.*, 1990) 이용 하여 중력 이상을 야기하는 높은 밀도 지각물의 위치 계산을 실시하였다 이 경우 물질의 깊이는 약 20 km 이하에 위치한다. Fig. 3에서 보이는 것 처럼 검은 점으로 표시 된 황해안



**Fig. 2** The depth distribution of the model-Basement and the location of the very high and very low material in the investigations area.



**Fig. 3** CHAMP-GRACE Gravity Anomaly in Yellow Sea and Korean peninsula. black points indicate the location of source structures with an average depth of 20 km calculated by Euler method. Here shown the anticipated collision's boundary between North and South China block

지역의 고밀도 지역은 Fig. 2에 제시된 높은 밀도를 가진 지하구조 분포와 매우 일치하는 것을 보여주며, 이 분포는 한반도 쪽으로 계속 이어져 충남 홍성 쪽으로 이어지는 것을 볼 수가 있다. 한편 산동반도 쪽에서 이어지는 또 다른 positive 중력 이상은 동쪽으로 이어져 임진강 벨트 지역까지 이어지는 것을 볼 수 있다(Fig. 3의 화살표).

### 3. 결 론

북중국판과 남중국판의 경계인 Qinling-Dabie-Sulu 대륙 충돌대는 황해안 퇴적분지 남쪽과 북쪽 지역을 지나 각각 임진강 벨트와 충남 홍성 지역으로 연결된다. 그러나 한반도 내에서 어느 쪽으로 진행이 되는지는 더 많은 자료가 필요하나, CHAMP-GRACE 위성 데이터에 나타난 지하 20 km 지점의 고밀도 분포를 참고했을 때, 북북동으로 연결되어 한반도 중부 지역을 지나서 동해안 쪽까지 이르는 것으로 사료된다(그림 3 한반도 내의 흰 파선 참조).

### 참고문헌

Cho, J., Choi, J., Lim, M-T, Park, I., Ko, I., 1996, A study on the regional gravity anomaly (southern part of Korean Peninsula, GIGAM, KR-96(c) - 5, P27  
 Chough, S.K., Kwon, S.T., Ree, H.H., Choi, D.K., 2000

Tectonic and sedimentary evolution of the Korean peninsula: a review and new view, *Earth-Science Reviews* 52, P. 175-235  
 Goetze, H-J., Lahmeyer, B., 1988, Application of three-dimensional interactive modelling in gravity magnetics, *Geophysics*, vol. 53, No. 8, p. 1096-1108  
 GIGAM, 2002, Marine Geological Map of Korean Continental Shelf, Korean Institute of Geoscience and Mineral Resources  
 Li, Z.-X., 1994, Collision between the North and South China blocks: A crustal-detachment model for suturing in the region east of the Tanlu fault, *Geology*, v. 22, p. 739-742  
 Reid, A.B., J.M., Allsop, H., Granser, A., J. Milett, I. W., Somerton, 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution, *Geophysics*, 45, 80-91,  
 Reigber, C., P. Schwintzer, R. Stubenvoll, R. Schmidt, F. Flechtner, U. Meyer, R. König, H. Neumayer, Ch. Förste, F. Barthelmes, S. Y. Zhu, G. Balmino, R. Biancale, J.-M. Lemoine, H., Meixner, J. C. Raimondo, 2004, A high Resolution Global Gravity Field Model Combining CHAMP and GRACE Satellites Mission and Surface Gravity Data, Abstract p 16-24, in *Solid Earth*, Joint CHAMP/GRACE Science Meeting, GfZ-Potsdam  
 Ryu, I., Kim, B., Kwak, W., Kim, G., Park, S., 2000, Stratigraphic response to tectonic evolution of sedimentary basins in the Yellow Sea and adjacent areas, *Jour. of Petrol. Geol.*, v. 8, No1, 2, p. 1-43  
 Oh, C.W., Choi, S.G., Song S.H. and Kim, S. W., 2004, Metamorphic Evolution of the Baekdong Metabasite in the Hongseong Area, South Korea and its Relationship with Sulu Collision Belt of China. *Gondwana Research*, v. 7, pp. 809-816.