

중력탐사에 의한 옥천대 남서부의 지하지질구조 (1)

김성균* · 안건상** · 오진용*

Subsurface Geological Structure of the Southwestern Part of Ogcheon Zone by Gravity Survey (1)

Sung Kyun Kim*, Kun Sang Ahn** and Jinyong Oh*

ABSTRACT : As a part of the study to know the deep geological structure of the Ogcheon Zone, gravity survey is performed along the survey line of which direction is roughly perpendicular to major faults of the Zone. Recent studies for petrology, geochemistry, and structural geology in south-western Ogcheon Zone are outlined. Raw gravity data are corrected to obtain Bouguer anomalies and the anomalies are interpreted to obtain subsurface structures along the survey line. The subterranean density discontinuities determined from the power spectrum method are appeared at depths of 15.4 km and 2.8 km. It is considered that the depth of 15.4 km indicates the boundary between upper and lower crust. Probably the depth of 2.8 km represents the boundary between upper volcanic formations and granites. Alternatively, the observed Bouguer anomalies are interpreted in terms of lateral density variation model. Finally, the subterranean geological structure to satisfy the Bouguer anomalies is presented through the iterative forward method in which results obtained from surface geological informations and from the inverse method are adopted as an initial model.

서 언

한반도는 지질학적으로 북중국판과 태평양판의 동북쪽 경계에 해당하는 일본호상열도 사이에 위치하며, 경기육괴, 영남육괴, 옥천습곡대, 경상분지, 포항분지인 5개의 지질학적 구조구로 구분된다. 옥천습곡대는 한반도의 중남부 지역에서 남서에서 북동방향으로 대상으로 분포하며 북서부로는 경기육괴와 그리고 남동부로는 영남육괴와 접하고 문경-제천선을 경계로 북동부의 비변성대와 남서부의 변성대로 나누어진다 (Kim, 1987). 옥천대의 퇴적 및 변성시기에 대하여 아직도 확실히 알지 못하며, 이 습곡대의 지구조적 생성환경에 대해서도 역시 논쟁이 계속되고 있다. 즉 옥천습곡대의 형성을 판구조론적인 입장에서 작은 판의 충돌대라는 주장과 대륙판의 분열대라는 서로 다른 견해로 대립하고 있다. 전자는 옥천습곡대가 임

진강대와 함께 남중국판과 북중국판의 충돌대인 친링벨트 (Qinling Belt)의 연장선일 가능성이 있으며, 동시에 일본의 히다벨트 (Hida Belt)와도 연결될 가능성을 제시하고 있다 (Cluzel *et al.*, 1990; Liu, 1993; Liou *et al.*, 1994). 후자는 주로 옥천대에 분포하는 각섬암에 관한 연구 (권성택, 란칭잉, 1991; Cluzel, 1992; Lee, Chang, 1996) 또는 함력천매암에 관한 지질학적연구 (Chough, 1981) 결과로부터 옥천습곡대는 대륙지각이 갈라지는 환경에서 형성된 것으로 해석하였다. 따라서 옥천습곡대에 대한 지체구조 발달사 연구는 한반도와 동북아시아의 지질을 이해하고 한반도 남부의 지체구조를 해석하는데 매우 중요하다.

한반도를 비롯한 동북아시아의 지체구조발달사를 밝히는데 있어서 옥천대가 차지하는 중요성에도 불구하고 이에 대한 연구는 아직 불충분한 실정이다. 옥천대에 관한 암석학적인 연구 및 구조지질학적인 연구의 진전에 비하여 지구물리학적 연구는 고지자기에 관한 연구 (예를 들면, 이윤수, 민경덕 (1995))외에는 크게 미흡하다고 볼 수 있다. 옥천대의 지구조적 진화를 밝히기 위한 지구물리분야에서의 연구는 고지자기학 외에도 다양한 측면에서 이루어져야 한다. 본 연구에서는 옥천대의 심부구조를 밝히

* 전남대학교 자연과학대학 지구환경과학부 (Department of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea)

** 조선대학교 사범대학 지구과학과 (Department of Earth Sciences Education, Chosun University, Kwangju 501-759, Korea)

기 위한 연구의 일환으로 옥천대 남서부를 가로 지르는 중력측선을 설정하여 중력을 측정, 해석하였다.

지질개요

중력탐사를 실시한 고부읍-정읍-쌍치-순창-곡성-구례-봉덕리에 이르는 약 80 km 측선은 대략 북서방향이며 (Fig. 1의 L~L' 참조), 옥천습곡대의 남서부와 영남육괴 일부 암체가 포함된다. 정읍에서 구례 방향으로 측선에 따른 암체는 대보화강암류 - 경상계 화산암류 - 엽리상화강암류 및 변성퇴적암류 - 남원화강암 - 영남육괴 편마암류로 변화한다 (Fig. 1). 본역에는 남한의 주 구조선인 호남전단대가 위치하는데, 이 전단대는 북동-남서 방향으로 길이 약 400 km, 폭 약 100 km에 달하는 우수향이동단층대이다 (Yanai *et al.*, 1985). 이 연성전단대는 장태우 (1985), Kee, Kim (1992) 및 장태우 (1994) 등에 의해 전주전단대, 순창전단대, 광주전단대로 분리되어 연구되고 있다. 측선은 북서측에서는 전주전단대를 거치지 않고 남동측의 순창전단대를 통과한다. 이하에서 중력측선을 따라 분포하는 주요 암상에 대하여 현재까지의 암석학적, 지화학적 및 구조지질학적 연구를 종합하여 기술하고자 한다.

영남육괴 편마암류

중력탐사 측선의 동남측에 분포하는 본 암류는 선캄브리아기 편마암류로서 영남육괴의 서남부에 해당한다. 구성암류는 호상편마암, 미그마타이트질편마암, 화강암질편마암 및 반상변정질편마암이며, 곡성을 거쳐 구례를 지나는 측

선상에 놓이는 암석은 대부분 호상편마암이다. 본역의 호상편마암은 주로 석영 및 장석 등으로 구성된 무색광물대와 주로 흑운모로 구성된 유색광물대가 서로 교호하는 뚜렷한 호상구조를 보여 다른 편마암들과 구별된다. 이 구조는 규칙적이고 연속성이 강하지만 페그마타이트질 내지 반화강암질 물질이 관입되어 구조가 단절되거나 교란되어 연속성이 미약하거나 불규칙한 지역도 있다. 본 암류는 규암, 석영편암 및 운모편암으로 된 1m미만의 작은 변성퇴적암류의 포획물을 가지고 있다. 호상편마암의 주구성광물은 석영, 사장석, 미사장석, 흑운모, 백운모이며, 석류석, 규선석, 근청석, 녹니석, 각섬석등이 곳에 따라 수반된다.

순창전단대 주변의 변성퇴적암류

본역의 변성퇴적암류는 크게 두가지로서, 하부의 규암으로 구성된 규암층과 상부의 천매암, 편암과 석회암 등으로 구성된 변성퇴적암층이다. 전자는 동북도폭 지역의 용암산층, 후자는 창평도폭 지역의 설옥리층에 각각 대비되는 지층이다. 본 암류에 대하여는 퇴적시기, 지체구조적 위치가 아직 정립되지 못하였다. 다만 퇴적시기에 대하여는 본 암류를 관입한 선각산화강암류의 절대연대가 889±44 Ma (김정빈, 1990)로 밝혀짐에 따라 선캄브리아기일 가능성이 크다. 하부의 규암층은 대부분 치밀 견고한 유백색 규암으로 구성되어 있으며, 소량의 암회색천매암 및 운모편암을 협재한다. 규암의 구성광물은 거의 모자익상을 이룬 석영이며 소량의 백운모를 포함하고 있다. 순창엽리상화강암과의 접촉부에서 본 규암층은 심하게 마이로나이트화되어 나타난다. 상부의 변성퇴적암층은 탄질셰일, 점판암, 천매암류, 편암류, 석회암, 규암으로 암상이 다양하다. 천매암 또는 편암에는 최대 직경이 1 cm에 달하는 석류석의 반상변정이 발달되어 있고, 직경 2 mm 정도의 십자석, 알루미늄규산염광물의 반상변정도 자주 관찰된다. 측선을 따른 본암류의 동측 경계부에서는 각섬석편암도 산출된다.

중생대 심성암류

본역에서 측선상에 분포하는 화강암류는 크게 북동측의 대보화강암류와 중앙부의 엽리상화강암류 및 남원화강암이다. 정읍지역을 중심으로 넓게 분포하는 화강암류는 대보화강암으로 알려져 있으며, 중력측정을 시작한 정읍시 고부리에서 내장산에 이르는 지역에서 신선한 시료를 채취하기 어려웠다. 본암은 대부분은 중립 내지 조립 질흑운모 화강암으로, 주로 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑

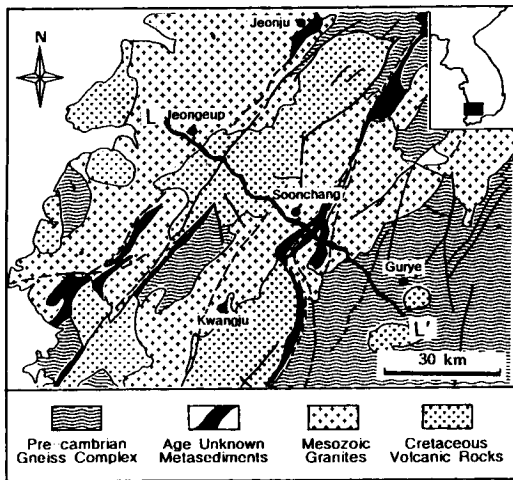


Fig. 1. Gravity survey line (L-L') and geological map of the study area.

운모로 구성되어 있다. 본암에 대한 야외관찰 및 현미경 관찰에서 엽리의 발달을 거의 볼 수 없었다.

순창전단대 주변에 분포하는 엽리상화강암류는 순창엽리상화강암 (183 ± 8 Ma, Turek, Kim, 1995)을 비롯하여 대강엽리상화강암, 삼오리엽리상화강암으로 구성되어 있다. 순창엽리상화강암은 북동-남서 방향으로 대상분포하며, 곳에 따라 N10-40°E의 뚜렷한 엽리를 보여준다. 일반적으로 유색광물인 흑운모를 함유하는데, 그 함량은 곳에 따라 변화한다. 주성분 광물은 석영, 장석 및 흑운모이고, 각섬석, 녹니석, 인회석, 저어콘 등의 광물을 소량 포함한다. 연성전단대 내에 분포한 본역의 엽리상화강암류는 전단변형(분쇄암화작용)을 거치는 과정에서 전단대 중심부를 향해 순차적으로 엽리의 발달정도가 현저해지고 입자크기도 감소한다(장태우 등, 1995). 순창엽리상화강암은 서측 가장자리에서 비교적 변형정도가 낮으며 변성퇴적암류와의 경계지역으로 갈수록 변형작용의 강도가 증가하여, 경계지역에서는 초분쇄암이 나타난다.

남원화강암체는 조직과 광물성분의 차이에 의해 반상화강암, 복운모화강암 및 흑운모화강암으로 구분된다. 축선상에 분포하는 화강암은 복운모화강암과 흑운모화강암으로 각각 암체의 중심부와 서부에 분포한다. 위 두 화강암은 중립내지 조립질로서 광물조성 및 조성이 균질하며, 복운모화강암의 경우 소량의 백운모를 포함한다. 주구성광물은 석영, 정장석, 미사장석, 사장석 및 흑운모이며, 인회석, 저어콘 및 불투명광물을 수반한다. 최근 남원화강암도 전단변형을 경험했다는 의견이 제시되고 있으나(장태우 등, 1995), 축선에 분포하는 남원화강암체에서 엽리의 발달은 관찰되지 않았다. 남원화강암은 주로 석영, 알칼리장석, 흑운모 등으로 구성되어 있다. 남원화강암에 대한 U-Pb zircon 절대연령은 176 ± 3 Ma이다(Turek, Kim, 1995).

경상계 화산암류

본역의 화산암류는 내장산분지에 퇴적된 백악계 경상누층군이다. 지구성퇴적이 확실한 진안분지의 퇴적물이 하양층군에 대비되는 반면 내장산분지는 하양층군 없이 유천층군이 분포하며 왕성한 화산활동이 있었던 것으로 알려져 있으며, 분지 양측에는 단층면이 잘 발달되어 있다(장기홍, 1982). 내장산분지를 이루는 백악기 화산암류는 전라남도과 전라북도의 경계가 되는 남측의 급사면과 내장산-입암산을 연결하는 북측의 급사면을 경계로하는 환상화산고원지대에 분포하며, 이들의 Layering이 고원의 중심을 향하여 경사한다. 따라서 내장산분지는 화산분출기의 구조 침강지임을 의미한다(김정환 등, 1982). 이들 화산암류는

구성광물에 따라 안산암질암류와 유문암질암류로 대별되며, 분출연대는 안산암질암이 90.4 Ma이며, 유문암질암은 77.9-75.3 Ma이다(Paik, et al., 1979).

축선이 지나는 지역의 화산암류는 주로 유문암질암류로 구성되며, 야외관찰로는 유문암질용암과 유문암질 화산쇄설암으로 구분할 수 있다. 내장산 입구에서 쌍치에 이르는 지역에서는 담색대와 암색대가 교호하여 유대구조를 형성한다. 본암은 간혹 장석, 석영 혹은 흑운모의 반정이 관찰되며 다소 유리질을 나타낸다. 금평에서 순창방면으로 진행함에 따라 백색 내지 갈색을 띠는 화산력응회암과 화산각력암이 우세해진다. 화산역은 회색, 갈색, 회색, 자색의 것으로 대개 1 mm 이하이다. 회백색의 화산력응회암은 현미경하에서 사장석, 새니딘, 석영 및 녹니석화된 흑운모의 결정과 결정편이 갈색으로 다소 결정화된 유리질속에 포함되어 있다.

중력측정 및 중력자료처리

Fig. 1에 본 연구에서의 중력측선을 굵은 선(L-L')으로 나타내었다. 이 측선은 옥천대의 주요 구조선에 대체로 직교하도록 설정되었으며, 전라북도 교부에서 내장산 입구, 순창, 전라남도 곡성을 지나 구례에 이르는 도로를 따라 총 연장 82 km에 달한다. 이 측선상에서 약 1.5 km 간격으로 총 60여점의 중력을 측정하였다.

중력측정에 사용된 계기는 LaCoste & Romberg사의 Model G를 사용하였으며, 중력기점으로는 국립지리원이 1990년에 전남대학교에 설치한 기준점(중력치: 979,746.838 mGal, 해발고도: 38,690 m)을 이용하였다. 야외에서 측정된 상대중력치는 기준점의 값을 참조하여 절대중력치로 환산한 후, 각종 보정을 거쳐 Bouguer 이상치를 얻게 되었다. 중력보정에 필요한 평균밀도는 Bouguer 이상과 측정점의 해발고도와의 상관성이 최소가 되는 2.60을 선택하였다. 중력측선은 도로를 따라 설정된 까닭에 직선이 아니므로 자료해석상 불편하다. 따라서 각각의 측정치들은 이 측선을 가장 잘 근사하는 직선상의 값으로 고쳤으며, 또한 주파수영역에서의 해석에 편하도록 적절한 보간법을 사용하여 등간격 자료로 변환하였다.

Fig. 2에 측선을 따른 해발고도(위)와 Bouguer 이상치(아래의 실선)의 변화를 나타내었다. 측선상의 지형은 300 m 이하이며, 대체로 평탄하나 내장산입구에서 쌍치, 순창에 이르는 구간(15~40 km)의 기복이 상대적으로 심한 편이다. Fig. 2의 아래에서 원래의 중력이상은 실선으로, 평활화된 중력이상은 점선으로 표시되어 있다. 측정치로부터 보정을 통해 얻은 중력이상에는 통상 측정오차

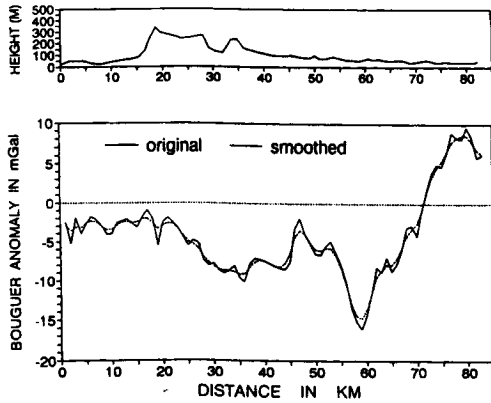


Fig. 2. Topography (upper) and Bouguer anomaly (lower) along the gravity survey line.

를 비롯하여, 보정시의 오차를 포함하기 마련이다. 이러한 여러 요인에 의한 오차를 제거할 목적으로 본 연구에서는 원래의 자료를 평활화 하여 해석에 사용하였다.

중력 이상은 대략 -15에서 +10 mGal의 범위에 있으며, 비교적 그 변화가 심한 편으로 볼 수 있다. 또한 중력 이상은 특히 60 km 전후에서 강한 부의 이상을 보여 준다. 전향의 지질개요에서 기술한 바와 같이 축선상에 나타난 부의 이상대는 백악기 화산암류가 분포하는 내장사입구 - 쌍치구간과 원생대의 변성퇴적암류가 심하게 파쇄되어 나타나는 구간에 대응된다.

파워스펙트럼법에 의한 지하구조

중력 이상을 해석하여 지하구조를 결정하는 방법은 크게 역해법 (inverse method)과 순해법 (forward method)으로 나눌 수 있다. 역해법은 지하구조와 중력 이상과의 관계를 수식화하여 중력 이상으로부터 직접적으로 지하구조를 구하는 방법이며, 이에 대하여 순해법은 초기에 가정한 지하구조에 대하여 계산한 중력 이상과 측정된 중력 이상이 거의 일치할 때까지 구조를 수정하는 방법이다. 두 방법은 각각 장단점이 있어, 어느 것이 더 우월한 방법이라고 단정적으로 말할 수 없다. 본 연구에서는 이 두가지 방법을 다 적용하기로 한다.

Tomoda (1960)는 특별한 가정없이 지하의 밀도 불연속면까지의 깊이를 계산할 수 있는 power spectrum법을 고안하였다. 중력 이상이 $0 \leq x \leq L$ 의 범위에서 측정되어 있을 때, 중력 이상의 Fourier계수를 A_n, B_n 이라 하자. 또한 지하 밀도 불연속면의 기복의 Fourier계수를 C_n, D_n 이라 하면, 이들 계수사이에는 다음의 관계가 성립한다 (김성균, 1996).

$$P_n = A_n^2 + B_n^2 = (2 \pi G \Delta \rho) e^{-4n\pi D/L} (C_n^2 + D_n^2) \tag{1}$$

단 G: 만유인력상수

$\Delta \rho$: 밀도차

D: 밀도 불연속면의 평균깊이

여기서 모호면과 같이 위 아래지층의 밀도차가 비교적 큰 심부 불연속면의 기복을 반복성이 없는 불규칙한 것으로 가정할 때, 불연속면의 기복의 파워스펙트럼인 $(C_n^2 + D_n^2)$ 은 주파수 n에 관계없이 일정한 값을 갖는 백색스펙트럼으로 간주할 수 있다. 따라서 식 (1)의 양변에 자연대수를 취하면,

$$\ln P_n = c - 4n\pi D/L \tag{2}$$

단 c: 상수

의 형태가 된다. 이 식은 1차식이므로 주파수 n을 가로축으로, 중력 이상의 파워스펙트럼 P_n 을 세로축으로 좌표 위에 나타내면 직선이 된다. 이 직선의 기울기 $4\pi D/L$ 로부터 밀도 불연속면까지의 평균적인 깊이 D를 구할 수 있다.

본 연구에서는 위에서 설명한 Tomoda (1960)의 파워스펙트럼법을 이용하여 지하 밀도불연속면의 깊이를 개략적으로 계산하였다. Fig. 3에 Bouguer 이상의 파워스펙트럼을 도시하였다. 그림에서 주파수에 대한 파워는 두 직선 L1, L2로 근사할 수 있으며, 주파수 10이상의 고주파는 별 의미가 없는 잡음성분을 나타내는 것으로 간주하였다. 여기서 L1과 L2의 경사로부터 구한 깊이는 각각 15.4, 2.83 km로 나타난다. 주로 지진파의 주행시간 해석으로 얻어진 한반도의 지각구조에 관한 연구 (김성균, 1995)를 참조할 때, 15.4 km의 깊이는 상부지각과 하부지각의 경계에 대응되며, 2.83 km의 깊이는 지표에 노출된 퇴적암류와 기반암인 화성암류와의 경계를 지시하는 것으로 해석할 수 있다.

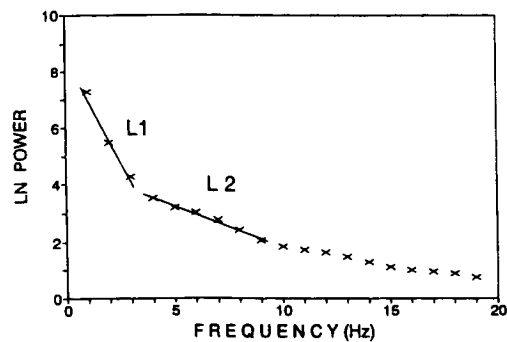


Fig. 3. Power spectrum for the Bouguer anomaly.

수평방향의 밀도변화를 고려한 지하구조

중력이상으로부터 지하구조를 결정할 때, 보통은 밀도가 층내에서 일정하다고 가정하여 밀도가 달라지는 경계면의 기복을 구하게 된다. 그러나 층의 두께를 일정하다고 가정하여 층내에서 수평적인 밀도변화를 구하는 방법 (Fisher, Howard, 1980; Furuse, Kono, 1990)도 생각할 수 있다. 이 방법은 Pratt의 지각균형모델과 개념적으로 같다고 볼 수 있으며, 현실적으로 어느 것이 더 적절한 것인지 단정적으로 말할 수는 없다. 예를 들면, 지표의 지질이 다양한 경우에 지표지질과 중력이상으로부터 구한 수평방향의 밀도변화를 계산하여 비교하는 것도 의미가 있으리라 생각된다. 물론 이때는 천부의 풍화도의 차에 의한 성분과 밀도변화를 구하고자 하는 깊이보다 심부의 광역이상성분이 제거되어야 한다.

등간격으로 얻어진 중력이상으로부터 수평방향의 밀도변화를 구하는 방법에 대하여 검토하여 보자. 두께와 폭이 각각 h , s 이고, 주위와의 밀도차가 $\Delta\rho$ 인 물체들이 한 방향으로 늘어서 있다고 하자. 이때 k 번째의 중력이상은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g_k = 2G \sum_{j=-M}^{+M} \Delta\rho_{k-j} \Phi_j \quad (3)$$

$$\Phi_j = \int_{(j-0.5)s}^{(j+0.5)s} \int_0^h (z' / (x'^2 + z'^2)^{3/2}) dz' dx'$$

$$= \ln \left[\frac{x + (x^2 + z^2)^{1/2}}{(j-0.5)s} \right] \Big|_{z=0}^h \quad (4)$$

단 G : 만유인력상수, $-M$, $+M$: 적분구간의 하한과 상한

식 (3)과 (4)는 가정한 밀도차 $\Delta\rho$ 에 대한 중력의 이론치를 구하는 식이다. 여기서는 이론치 g_k 가 관측치 \bar{g}_k 와 일치하는 밀도분포를 구하는 것이 목적이다. 따라서 어떤 초기모델에서 출발하여 관측치와 이론치의 잔차가 어떤 값보다 작아질 때까지 모델을 수정하며 반복계산하면 된다. 초기 모델 즉 밀도분포는 다음과 같은 식으로부터 부여한다.

$$\Delta\rho_k^0 = \bar{g}_k / (2\pi Gh) \quad (5)$$

여기서 n 회의 반복계산이 끝난후, $(n+1)$ 번째의 밀도차의 수정치는

$$\Delta\epsilon_k^{(n+1)} = (1/2\pi Gh) \sum_{i=1}^{n+1} \eta_i (\bar{g}_{k-i} - g_k^{(i)}) \quad (6)$$

으로부터 계산하며, 여기서 η_i 는 해의 발산을 막기 위한 감쇠계수로 $\eta_0=0.50$, $\eta_1=\eta_{i+1}=0.25$ 로 하여 계산하는 것이 합리적이다 (Furuse, Kono, 1990).

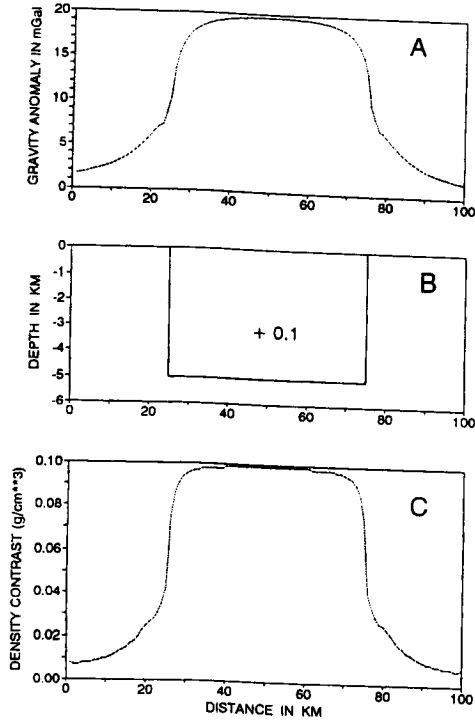


Fig. 4. Calculated gravity anomaly (A) due to density contrast model (B) and lateral density change (C) determined from the present method.

본 연구에서는 이 방법의 타당성을 검증하기 위하여 단순한 모델에 대한 수치실험을 시행하였다. Fig. 4(B)와 같은 밀도분포를 가진 지하구조에 대하여 이론적으로 계산한 중력이상은 Fig. 4(A)와 같으며, 이 중력이상을 만족하는 밀도분포를 위에 제시한 방법으로 계산하여 얻은 결과가 Fig. 4(C)이다. Fig. 4(B)와 4(C)를 비교하면, 밀도가 급격히 변화하는 25와 75 km 부근에서 약간의 차이가 있을 뿐, 해는 전체적으로 초기에 주어진 모델을 대체로 만족하고 있음을 알 수 있다. 이 계산에서는 각주의 두께와 폭을 각각 5 km, 1 km로 하여 계산 하였으며, 폭을 더욱 좁게 하면, 초기구조와 역산결과는 더 잘 맞으리라 생각된다.

Fig. 5에 위의 방법을 본 연구에서 측정된 중력이상자료에 적용하여 계산된 수평방향의 밀도변화를 도시하였다. 계산에 있어서는 밀도변화를 고려할 사각형의 폭을 1 km로 하였으며, 깊이는 스펙트럼법에서 얻어진 밀도불연속면 2.8 km를 채택하였다. 또한 천부의 효과를 제거하기 위하여 Fig. 2에 점선으로 나타낸 평활화된 중력이상 자료를 사용하였다. 밀도차는 대략 -0.15~+0.10의 범위에 있으며, 화산암류가 분포하고 있는 25~45 km 구간에서 -0.10정도이며, 원생대의 변성퇴적암류가 심하게 파쇄되어 분포하는

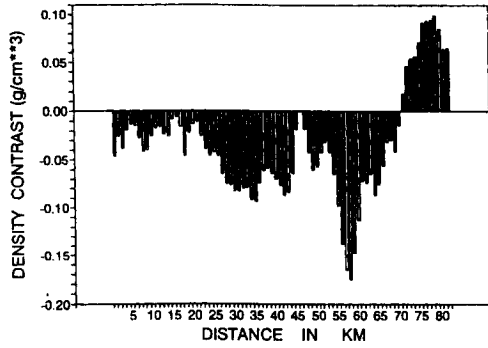


Fig. 5. Lateral density variation to explain Bouguer anomaly profile.

60 km 전후에서 -0.15정도의 밀도차를 보여 준다.

지하지질구조 모델

위에서는 파워스펙트럼법으로 중력이상 자료를 해석하여 지하밀도 불연속면의 평균깊이를 구했다. 또한 다른 방법으로서 수평방향으로 밀도가 변화하는 지하구조를 결정했다. 그러나 실제의 지하구조는 수평방향으로도 밀도변화가 있고, 밀도불연속면의 경계가 기복을 갖고 있다고 생각함이 좀 더 합리적이다. 그러나 이러한 실제에 가까운 지하구조를 역해법에 의하여 구하기는 어렵다. 따라서 이러한 복잡한 구조는 통상 초기에 설정한 지하구조모델에 의한 중력이상의 이론치와 측정치가 일치하도록 구조를 수정하는 반복적인 시행착오법에 구하게 된다. 보통 초기의 지하구조모델은 지표지질과 역해법의 결과를 참조하여 가정하게 된다. 이와 같은 과정을 화면상에서 사용자가 직접 눈으로 보며 수행할 수 있는 컴퓨터 프로그램은 다수 존재한다. 본 연구에서는 영국 지질조사소의 Pedley (1991)가 작성한 컴퓨터 프로그램 "GRAVMAG"을 사용하여 지하지질구조를 결정하였다.

본 연구에서의 초기모델은 지표지질과 파워스펙트럼법으로 구한 밀도 불연속면의 깊이를 참고로 하여 설정하였으며, 밀도차는 민경덕, 조광은 (1995)과 Fig. 5의 수평방향으로의 밀도변화를 참조하여 값을 부여하였다. 즉 화강암류의 밀도를 기준으로 하여, 화산암류 (Fig. 6의 B)의 밀도차는 -0.1 g/cm^3 로, 심하게 파쇄된 원생대 변성퇴적암류 (Fig. 6의 C)의 밀도차는 -0.15 g/cm^3 로, 편마암류 (Fig. 6의 D)의 밀도차는 $+0.05 \text{ g/cm}^3$ 로 가정하였다. 이와 같은 밀도차를 가정하여 최종적으로 얻은 지하구조 모델은 Fig. 6에 제시한다. 그림에서 중력이상의 측정치 (실선)와 지하구조로부터 이론적으로 계산한 중력이상 (파선)이 대체로 일치함을 알 수 있다. 물론 중력이상의 측정

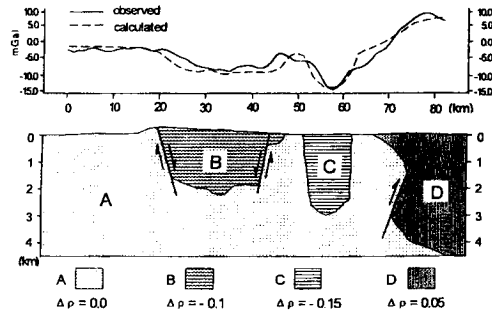


Fig. 6. Subsurface geological structure to explain Bouguer anomaly profile. A; Mesozoic granites B; Cretaceous volcanic formation C; Proterozoic metasediments (shear zone) D; Precambrian gneiss.

치와 계산치의 일치는 본 연구에서 채택한 밀도차를 가정할 때 성립된다고 할 수 있다.

지하구조 모델에 나타난 3개의 단층들은 한반도에서 우세한 방향인 북북동-남남서 주향의 구조선 (Fig. 1 참조)이며, 그 연장은 수십-수백 km에 달한다. 20 km 부근의 단층은 광주단층이라 명명된 단층이며, 45 km 근처의 단층과 함께 정단층으로 가정할 때 중력측정치가 잘 설명된다. 이 결과는 광주단층 남단의 중력을 해석한 Kwon *et al.* (1993)의 연구결과와도 잘 조화된다. 50-60 km 구간의 파쇄대는 1:1,000,000 지질도 (한국자원연구소, 1995)에 수조의 가상단층으로 표시되어 있으며, 지질개요에서 설명한 바와 같이 넓은 범위에 걸쳐 심하게 파쇄되어 나타난다. 지하구조해석에서는 이 파쇄대의 밀도를 화강암류보다 0.15 g/cm^3 만큼 작게하면 그 깊이는 거의 3 km까지 연장된다. 또한 80 km 부근의 단층은 역단층을 가정할 때, 중력이상의 측정치를 설명할 수 있다.

이상과 같이 중력해석으로 얻은 결과로부터 이 지역의 구조운동을 개략적으로 설명할 수 있다. 대략 중생대 중기에 선 캄브리아기의 편마암류와 변성퇴적암류를 관입하는 수회의 화성활동이 있었으며, 압축장이 형성되어 역단층 운동이 일어났다. 그 후 중생대말의 화산활동으로 화산암류가 널리 분출한 이후 장력장이 형성되어 정단층 운동이 일어난 것으로 추정할 수 있다.

결 언

본 연구에서는 옥천대의 심부구조를 밝히기 위한 연구의 일환으로 옥천대 남서부의 주요 구조선을 가로 지르는 중력측선을 설정하여 중력을 측정, 해석하였다. 또한 중력측선을 따른 암석학적, 지화학적 및 구조지질학적 연구성

과를 요약하였다. 중력측선의 길이는 82 km에 달하며, 이 측선상에서 평균 1.5 km 간격으로 60여점의 측정이 이루어졌다. 측정된 중력은 보정과 가공을 거쳐 Bouguer 이상으로 표현되었으며, 이 중력이상을 만족하는 지하 지질구조가 얻어졌다.

먼저 파워스펙트럼법으로 계산한 지하 밀도불연속면의 평균깊이는 15.4, 2.83 km로 나타났다. 여기서 15.4 km의 깊이는 상부지각과 하부지각의 경계에 대응되며, 2.83 km의 깊이는 지표에 노출된 퇴적암류와 기반암인 화성암류와의 경계를 지시하는 것으로 해석하였다. 다음으로 중력이상이 수평방향으로 일정한 깊이까지의 밀도변화에 기인한다고 가정하여, 수평방향의 밀도변화를 추출하였다. 본 연구에서 얻어진 밀도변화는 평균치를 기준으로 -0.15~+0.05의 범위로 나타났다. 끝으로 측정된 중력이상을 만족하는 지하구조가 제시되었다. 이 결과로부터 이 지역의 구조운동을 개략적으로 설명할 수 있다. 즉 대략 중생대 중기에 선 캄브리아기의 편마암류와 변성퇴적암류를 관입하는 수회 화성활동이 있었으며, 압축장이 형성되어 역단층 운동이 일어났다. 그후 중생대말의 화산활동으로 화산암류가 널리 분출한 이후 장력장이 형성되어 정단층 운동이 일어난 것으로 추정할 수 있다.

사 사

이 연구는 1996년도 한국과학재단의 특정연구 (옥천대 중앙대 중-남서부지역에서의 지각진화에 관한 연구 (과제번호: 96-0703-06-01-3))의 연구비 지원에 의하여 수행되었다. 본 연구에서의 중력측정과 중력보정에 협력한 전남대학교 지질학과 96학년도 지구물리 논문조원들에게 감사드린다.

참고문헌

권성택, 藍晶鏞 (1991) 옥천각섬암의 Sm-Nd 동위원소연구: 예비보고서, 광산지질, 24권, p. 77-285.
 김성균 (1995) 한반도의 지각구조에 관한 연구. 대한지질학회지, 31권, p. 393-403.
 김성균 (1996) 고체지구물리학. 교학연구사, p. 250.
 김정빈 (1990) 장수지역에 분포하는 화성암류의 암석화학과 지질시대에 대한 연구, 지질학회지, 26권, p. 553-526.
 김정환, 홍승호, 황상구 (1982) 한국지질도 1:500000 신홍도 폭 및 설명서, 한국동력자원연구소, 27p.
 민경덕, 조광은 (1995) 중력탐사에 의한 삼척-태백간의 지하지질 및 지질구조 연구, 자원환경지질, 28권, p. 79-88.
 이윤수, 민경덕 (1995) 옥천대의 중생대이래의 지구조적 운동에 관한 고지자기 연구. 자원환경지질, 28권, p. 493-501.
 장기홍 (1982) 한국의 지질과 광물자원 (김옥준교수 정년퇴임기념 논문집), p. 113-131.
 장태우 (1985) 전남 영광부근 화강암 mylonite 미구조의 순차적 발달, 지질학회지, 21권, p. 133-146.

장태우 (1994) 광주 전단대내 석영 분쇄암의 미구조에 관한 연구, 지질학회지, 30권, p. 140-152.
 장태우, 기원서, 이병주 (1995) 순창전단대. 대한지질학회 춘계학술답사 안내서, 41p.
 한국자원연구소 (1995) 한국지질도 (1:1,000,000). 한국자원연구소.
 Chough, S.K. (1981) Submarine debris flow deposits in the Ogcheon basin, Korean Peninsula, United Nations ESCAP, COOP Technical Bulletin, v. 14, p. 14-29.
 Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H. (1990) Geodynamics of the Ogcheon Belt(South Korea). Tectonophysics, v. 183, p. 41-56.
 Cluzel, D. (1992) Ordovician bimodal magmatism in the Ogcheon belt (South Korea): Intracontinental rift-related volcanic activity, Jour. Southeast Asian Earth Sciences, v. 7, p. 195-209.
 Fisher, N.J. and Howard, L.E. (1980) Gravity interpretation with the aid of quadratic programming. Geophysics, v. 45, p. 403-419.
 Furuse, N. and Kono, Y. (1990) A three dimensional gravity inversion method for layered structures with lateral density variation - An application to the Hokuriku District, Central Japan. Jour. Seis. Soc. Japan (Zishin), v. 43, p. 1-11.
 Kee, W.S. and Kim, J.H. (1992) Shear criteria in mylonites from the Soonchang Shear Zone, the Hwasun coalfield, Korea. Jour. Soc. Geol. Korea, v. 29, p. 426-436.
 Kim, O.J. (1987) Okchon folded belt, Geology of Korea (ed. Lee, D.S.), p. 244-250.
 Kwon, B.D., Joo, J.A. and Kwon, J.H. (1993) Geophysical studies on major faults in the Ogcheon Belt: Gravity survey on the faults at Muan and Haenam Areas. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 29, p. 281-290.
 Lee, K.S. and Chang, H.W. (1996) Sm-Nd isotopic and geochemical studies of the Ogcheon amphibolites from the Munkyeong-Gaeun area, Korea. Jour. Geol. Korea, v. 32, p. 172-186.
 Liou, J.P., Zhang, R.Y. and Ernst, W.C. (1994) The triassic Qinling Dabie Collision and Ultra-P metamorphism in East-Central China: Implication for a similar collision in the Korean peninsular. IGCP project 321, abstract, p. 76-78.
 Liu, X. (1993) High-P metamorphic belt in central China and its possible eastward extension to Korea, Jour. Soc. Korea, v. 2, p. 9-18.
 Paik, K.H., Yoon, K.S., Kim, E.H. and Freeland, M.H. (1979) Geology and Geochronology of Gwangju fault area, Jour. Geol. Soc. Korea, v. 15, p. 201-208.
 Pedley, R.C. (1991) GRAVMAG-Interactive 2.5D gravity and magnetic modelling program- User manual. British Geological Survey.
 Tomoda, Y. (1960) Thickness of the earth's crust from Bouguer anomaly statistics. Jour. Geol. Soc. Japan, v. 6, p. 47-56.
 Turek A. and Kim, C.B. (1995) U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang - Geochang area, Ryongnam massif, Korea. Geochemical J., v. 29, p. 243-258.
 Yanai, S., Park, B.S., and Otoh, S. (1985) The Honam shear zone(South Korea): Deformation and tectonic implication in the Far East, Scientific papers Collage Arts and Sciences, Univ. of Tokyo, v. 35, p. 181-210.