

## 경기육괴내 주요 단층대의 지구물리학적 연구: 공주분지의 중력 및 지전기 탐사

### Geophysical Studies on Major Faults in the Gyeonggi Massif: Gravity and Electrical Surveys in the Gongju Basin

권병두(Byung-Doo Kwon)\* · 정경자(Gyung-Ja Jung)\* · 박창엽(Chang-Eob Baag)\*\*

#### 요 약

경기육괴와 옥천대의 경계부분에 위치한 백악기 퇴적분지인 공주분지의 조구조운동의 특성과 지하구조를 해석하기 위하여 분지를 가로지르는 축선을 2개 설정하여 중력탐사를 실시하고, 분지의 경계를 이루는 두 단층선에 대하여 파쇄대의 발달상태를 확인하기 위하여 쌍극자 비저항탐사를 실시하였다. 부우계이상을 구하기 위한 중력자료의 처리과정에서 원추형프리즘 모델을 이용하여 지형보정값을 계산함으로써 경사가 급한 지역에서의 보정의 효과를 향상시켰다. 중력자료의 정량적해석을 위하여 역산 및 순산모델링 (forward modeling)을 실시하였으며, 전기탐사자료를 처리하여 비저항단면도를 얻었다. 중력모델링 결과, 공주분지는 중앙부의 폭이 약 4 km, 남동부의 폭이 약 2.5 km로 지표에서 보이는 바와 같은 마름모형태로 나타났다. 분지의 깊이는 약 700~400 m로 중앙부의 기반이 솟아오른 형태를 보이는데, 이것은 분지가 형성된 후 압축응력이 작용한 결과로 해석된다. 또한 분지내부에서 형성된 저밀도의 파쇄대가 나타나는데, 이는 분지의 생성과 정이나 퇴적물이 쌓인 후에 몇차례의 단층운동이 있었음을 시사한다. 분지를 형성한 주단층 가운데, 남동경계를 이루는 단층의 파쇄대는 넓게 분포하고 지하 1 km 이상의 깊이까지 연장되어 있는 것으로 나타나는 반면 북서경계의 파쇄대는 비교적 미약하게 나타났다. 이로부터 분지의 남동경계를 이루는 단층을 따라 진행된 조구조운동의 강도가 상대적으로 컸을 것으로 추측할 수 있다. 이러한 양상은 남동경계를 이루는 단층대에서 저비저항대가 두텁게 나타난 전기탐사의 결과와 잘 일치한다.

**주요어:** 경기육괴, 공주분지, 중력탐사, 지형보정, 원추형프리즘 모델, 쌍극자 비저항 탐사

**Abstract:** The geologic structure of Gongju Basin, which is a Cretaceous sedimentary basin located on the boundary of Gyeonggi Massif and Ogcheon Belt, is modeled by using gravity data and interpreted in relation with basin forming tectonism. The electrical survey with dipole-dipole array was also conducted to uncover the development of fractures in the two fault zones which form the boundaries of the basin. In the process of gravity data reduction, the terrain correction was performed by using the conic prism model, which showed better results specially for topography having a steep slope. The gravity model of the geologic structure of Gongju basin is obtained by forward modeling based on the surface geology and density inversion. It reveals that the width of the basin at its central part is about 4 km and about 2.5 km at the southern part. The depth of crystalline basement beneath sedimentary rocks of the basin is about 700~400 m below the sea level and it is thinner in the center than in margin. The fault of the southeastern boundary appears more clearly than that of the northwestern boundary, and its fracture zone may extended to the depth of more than 1km. Therefore, it is thought that the tectonic movement along the fault in the southeastern boundary was much stronger. These results coincide with the appearance of broad low resistivity anomaly at the southeastern boundary of the basin in the resistivity section. The fracture zones having low density are also recognized inside the basin from the gravity model. The swelling feature of basement and the fractures in sedimentary rocks of the basin suggest that the compressional tectonic stress had also involved after the deposition of the Cretaceous sediments.

**Key Words:** Gyeonggi Massif, Gongju Basin, Gravity survey, Terrain correction, Conic prism model, Dipole-dipole electrical resistivity survey

\* 서울대학교 지구과학교육과 (Department of Earth Science, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea)

\*\* 서울대학교 지질과학과 (Department of Geological Sciences, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea)

## 서론

충청남도 공주군과 청양군 일대에 분포하는 공주분지는 백악기 퇴적분지로 경기육괴와 옥천대의 경계부에 위치하고 있으며 (Fig. 1)(이상만, 1973), 북동-남서 방향으로 길쭉한 마름모의 형태를 이루고 있다. 김서운 외 (1976)와 김종환 외 (1984)는 공주분지의 생성 메카니즘과 관련하여, 대보조산운동시 정단층에 의하여 형성된 함몰대에 경상계 퇴적층이 쌓인 퇴적분지로 설명하고자 하였다. 그러나 이희권 (1986)은 지괴 (crustal block)의 렌칭 (wrenching)에 의해, 전단대를 수반하여 발달된 주향이동단층과 정단층이 결합된 인리형 (pull-apart) 분지로 해석하였다. 한편, 이제룡(1990)은 대보조산운동을 전후하여 이 지역에 존재하던 연성전단대가 지표의 침식으로 쇠성전단대로 변하여 주향이동전단대로 변하였으며, 원래가 1조 (條)였던 전단대가 단층이 휘어진 렌치 (wrench) 형을 이루면서 2조로 갈라져 함몰대가 형성되었다고 보고 있다. 트란스텐션 (Transtension) 단계에서 분지가 형성되어 분지내에는 리스트릭 (listric) 정단층들이 발달하면서 퇴적작용이 시작되었고, 이후 트란스텐션 단계에서 주향이동단층이 좌수향 방향의 전단운동을 함에 따라 원래는 정방형이었던 분지가 길쭉한 마름모꼴로 바뀌어 북서-남동 방향으로는 수축되고 북동-남서 방향으로는 신장되었다고 주장하고 있다.

이 연구에서는 공주분지의 지하구조 및 분지의 경계를 이루는 단층의 상태를 규명하여 분지형성과 관련된 구조조운동의 특성을 지구물리학적 방법으로 해석하고자 하였다. 먼저 연구

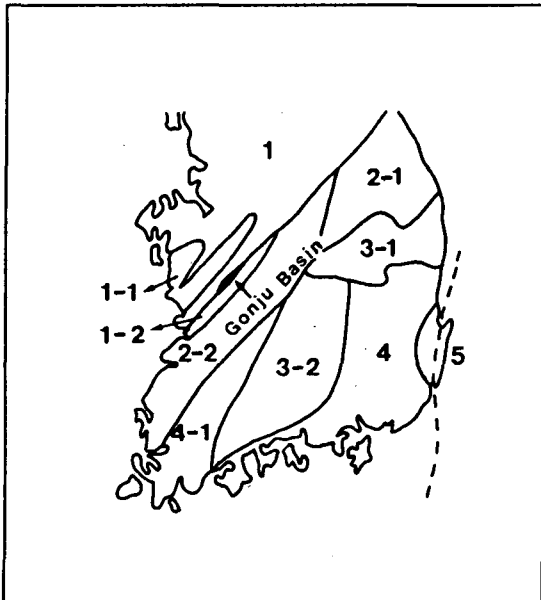


Fig. 1. Study area of Gongju basin and the tectonic provinces in Korea (from Geology of Korea, 1987). 1: Gyeonggi Massif; 1-1: Chungnam Depression Zone; 1-2: Gongju Depression Zone; 2: Ogcheon Folded Belt; 2-1: Ogcheon Neogeosynclinal Zone; 2-2: Ogcheon Paleogeosynclinal Zone; 3: Ryongnam Massif; 3-1: Taebaeksan Zone; 3-2: Chirisan Zone; 4: Gyeongsan Basin; 4-1: Yongdong-Kwangju Depression Zone; 5: Yonil Basin.

지역에 대한 지질조사를 실시하여 물리탐사의 가능성 여부를 검토하고, 대표적인 암석의 시료를 채취하여 그 밀도를 측정하였다. 분지의 지질구조를 해석하기 위하여 분지를 가로지르는 두 개의 축선을 설정하여 중력탐사를 실시하고, 단층의 특성을 규명하기 위하여 분지의 양쪽 경계를 이루는 단층선을 가로질러 전기탐사를 실시하였다.

## 지질개요

연구지역의 지형은 금강을 중심으로 한 퇴적분지의 양쪽으로 고도 150 m 이상의 산들이 분포한다. 이러한 금강 양쪽의 능선들은 N40°~50°E의 방향성을 가지고 이들 지역에 분포하는 퇴적암류 및 단층선의 주향과 평행하게 발달하고 있고, 주능선을 절단한 계곡을 따라 거의 소단층선이 지나고 있어서 구조운동의 영향을 광범위하게 받았음을 나타낸다. 퇴적분지의 중앙부를 흐르는 금강도 단층원천 (斷層源川)으로 동부 금강변을 향한 양쪽의 산사면이 70° 이상의 급경사를 이루고 단층면 특유의 잔류구조인 삼각면 (triangular facet)의 모양을 보인다 (김서운 외, 1976).

공주분지는 공주, 청양, 대전, 유성, 논산, 부여의 1/25만 지질도폭에 걸쳐 분포하며, 분지의 북서부는 대전도폭에서 경기편마암복합체로 기재된 선캠브리아기의 호상편마암을, 남동부는 운모편암을 기반암으로 하고 있다 (Fig. 2). 분지의 주변부에는 공주도폭에서 시대미상의 반상쇄설편마상화강암으로 기재된 선캠브리아기의 엽상반상화강암이 분포하고 있고 시대미상의 화강편마암이 지엽적으로 존재한다. 또한 공주도폭에서 홍색장석화강암으로 기재된 유라기의 화강암과 흑운모화강암이 분지의 남동부에 분포하고 있다. 분지 내부를 채우고 있는 백악기의 퇴적암은 모두 육성 쇠성퇴적암으로 분지의 가장 자리에는 역암 및 각력암이 분포하며 중심부로 감에 따라 역질사암, 세일로 변한다 (이제룡, 1990). 퇴적층의 두께에 대해서 이제룡 (1990)은 단순히 분지의 규모에 비해서 매우 두꺼울 것으로 보았으며, 퇴적암내에는 각종 절리구조 및 습곡구조가 발달하고 기반암과의 접촉부에 따라서는 꽃 구조도 발달한다고 설명하였다. 분지의 북부에는 백악기의 화산암류가 분포하고 있고, 위의 지층들을 관입한 암맥류와 이들을 부정합으로 덮고 있는 충적층으로 구성되어 있다.

공주 지역에는 금은광구를 비롯하여 흑연, 아연, 석회석, 철, 규석, 운모 등의 광구가 약 82개 존재한다 (김서운 외, 1976). 공주시 동남부 일대에 존재하는 함우라늄광상에 대해서는 윤상규와 김종환 (1958)이 조사한 바가 있다.

## 중력측정 및 자료처리

중력탐사를 위하여 분지를 가로지르면서 주단층선에 대하여 직교하도록 두 개의 축선 A-A', B-B'을 설정하고 상대 중력값을 측정하였다 (Fig. 2). 축선 A-A'은 공주군 우성면 봉현리에서 공주군 이인면 발양리까지, 축선 B-B'은 청양군 정산면 대박리에서 공주군 탄천면 성리까지로 직선거리는 각각 약 16 Km, 15 Km이다. 중력측점의 고도를 결정하기 위하여 A-A' 축선은

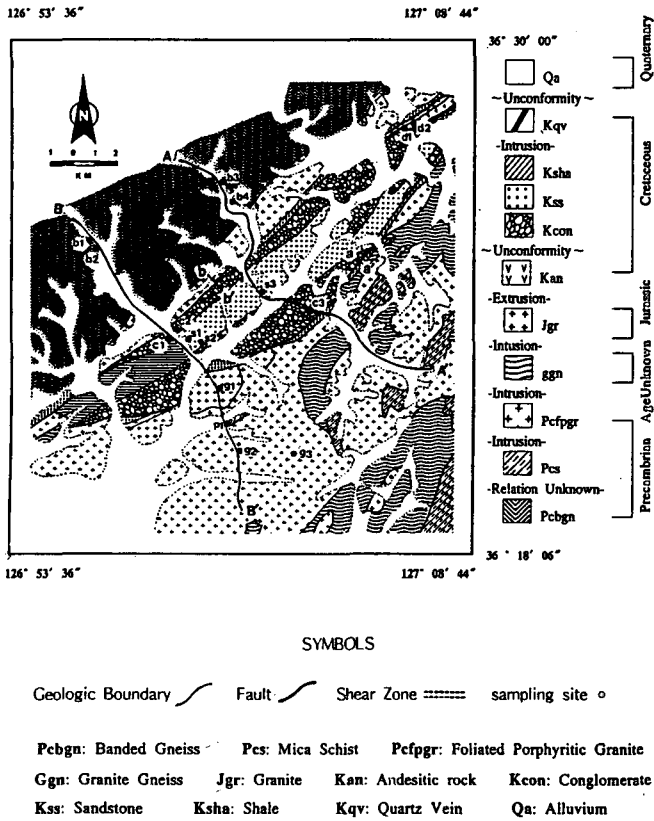


Fig. 2. Geologic map of Gongju basin and vicinity. A-A' and B-B' are profiles selected for gravity survey and a-a' and b-b' are for resistivity survey.

공주군 이인면 주봉리에 위치한 고도 67.4 m의 삼각점을 이용하였고, B-B' 측선은 청양군 정산면 광생리에 위치한 고도 56.6 m의 삼각점을 이용하였다.

중력탐사 자료의 해석을 위하여 16개 지점 (Fig. 2 참조)에서 암석시료를 채취하여, 실험실에서 원추형으로 성형하여 밀도를 측정하였다 (Table 1). 분지의 북서부에 위치한 호상편암의 밀도와 백악기 퇴적암 중 역암의 밀도가 비슷한 것으로 밝혀졌으나, 퇴적암 중 사암의 밀도는 주변 기반암의 밀도보다 높은 것으로 나타났다. 특징적으로 분지의 동남부에 분포하고 있는 화강암 밀도는 시료를 채취한 위치에 따라 편차가 큰 것으로 나타났다. 이들 화강암에 의해 관입을 받은 운모편암은 탐사 지역 내의 암석들 중 상대적으로 높은 밀도를 보여주고, 분지의 북쪽 끝에 위치하고 있는 안산암류는 가장 높은 밀도값을 보인다.

**중력보정**

중력측정치는 중력계 내의 스프링의 크립 (creep) 현상과 지구와 천체 사이의 기조력의 변화로 시간에 따라서 달라진다. 또한 각 측정점의 위도와 고도 및 주위 지형의 차이도 중력 측정치에 영향을 미친다. 따라서 각 측정점에서 측정된 중력치를 비교, 분석하여 지하의 광체나 지질구조를 조사하는 중력탐사에서는 탐사대상체와 주변암과의 밀도차에 의한 중력변화량

Table 1. Densities of rock samples in the survey area

Sample No.	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Mean density (g/cm <sup>3</sup> )	Rock type
b1	2.56	2.63	Banded gneiss
b2	2.59		
b3	2.66		
b4	2.69		
c1	2.59	2.61	Conglomerate
c2	2.64		
c3	2.60		
s1	2.66	2.68	Sandstone
s2	2.67		
s3	2.70		
p1	2.77	2.77	Mica schist
g1	2.54	2.54	Granite
g2	2.65	2.59	Foliated porphyritic granite
g3	2.52		
d1	2.79	2.85	Andesitic rock
d2	2.90		

만이 필요하므로 다른 요인들에 기인되는 변화량을 제거시켜야 하는데 이를 중력보정이라한다. 중력이상을 계산하기 위한 표준중력은 GRS67 (Geodetic Reference System 1967)식 (1)을 채택하였다.

$$g_{theo} = 978.03185 (1 + 0.005278895 \sin^2 \phi + 0.000023463 \sin^2 \phi) \quad (1)$$

여러 중력보정 중에서 계산과정이 복잡하고 중력이상의 정밀도에 크게 영향을 미치는 보정은 지형보정이다. 기존의 방법에서는 지형도에서 격자의 형태로 평균고도를 읽어서 다중이차곡면 (multiquadric surface)을 만들고, Hammer (1939)가 이용한 구획 구분법을 이용하여 원통형프리즘 모델에 대한 중력효과를 계산하였다 (권병두 외, 1990). 그러나 이번 연구지역과 같이 측점이 계곡 사이에 위치하여 주변 지형의 경사가 급한 경우에는, 원통형프리즘보다 측점 주변의 경사진 지형을 원추형프리즘 모형 (Fig. 3)으로 근사시켜 중력 효과를 계산하면 보다 나은 결과를 기대할 수 있다 (Olivier and Simard, 1981; Barrows and Fett, 1991).

원추형의 프리즘 모형에 의한 지형보정값  $C_T$ 를 계산하면

$$C_T = G\rho \int_{\Omega_1}^{\Omega_2} \int_0^{r_2} \int_0^{r_1} \frac{zr}{(z^2 + r^2)^{3/2}} dr dz d\Omega \quad (2)$$

- G = 중력 상수
- $\rho$  = 밀도
- $\Omega_2 - \Omega_1$  = 구획각 (sector angle in radians)
- $A = (r_1 h_2 - r_2 h_1) / (h_2 - h_1)$
- $B = (h_2 - h_1) / (r_2 - r_1)$

이 된다. 식 (2)를 부분적분하면 아래의 식을 얻고

$$C_T = G\rho (\Omega_2 - \Omega_1) \left\{ r_2 - r_1 - \int_{r_1}^{r_2} \frac{r dr}{[(r-A)^2 B^2 + r^2]^{1/2}} \right\} \quad (3)$$

정리하여 계산하면 다음의 보정값을 얻게 된다.

$$C_T = G\rho (\Omega_2 - \Omega_1) (r_2 - r_1 - \frac{D+C}{1+B^2}) \quad (4)$$

$$D = D_2 - D_1$$

$$D_2 = [r_2^2(1+B^2) - 2AB^2r_2 + A^2B^2]^{1/2}$$

$$D_1 = [r_1^2(1+B^2) - 2AB^2r_1 + A^2B^2]^{1/2}$$

$$C = \frac{A^2B^2}{(1+B^2)^{1/2}} \ln \frac{E^2}{E_1}$$

$$E_2 = r_2 - \frac{AB^2}{1+B^2} + (r_2^2 + \frac{A^2B^2 - 2AB^2r_2}{1+B^2})^{1/2}$$

$$E_1 = r_1 - \frac{AB^2}{1+B^2} + (r_1^2 + \frac{A^2B^2 - 2AB^2r_1}{1+B^2})^{1/2}$$

이러한 원추형의 프리즘모형으로 지형보정을 실시할 경우에는 측점 주변의 지형에 대한 정보가 정확할수록 그 효과가 크게 나타난다. 본 연구에서는 측점 주변의 500 m까지의 근거리 보정을 원추형의 프리즘모형에 의하여 실시하였으며, 125 m × 125 m의 격자로 지형도에서 평균고도를 읽었다. 중거리 (4 km까지) 및 원거리 (16 km까지) 보정은 기존의 원통형프리즘모형을 이용하였으며, 각각 1 km × 1 km 및 4 km × 4 km의 격자를 사용하였다. 근거리 보정을 위하여 측점 주변을 48개의 구획으로 나누어 반경 50m 단위로 구분하였으며, 중거리와 원거리의 보정을 위하여서는 24개의 구획으로 나누어 계산하였다.

### 중력이상

Fig. 4와 5는 각 측선의 고도와 후리에어 (free-air) 이상을 나타낸 것으로 둘 사이에 상관관계가 큰 것을 알 수 있다. Fig. 6은 근거리보정을 원통형프리즘 모형과 원추형프리즘 모형에 의하여 계산한 부계이상값을 비교한 것이다. 원추형프리즘 모형에 의하여 근거리보정을 실시한 부계이상값이 원통형프리즘 모형으로 계산한 값보다 작고, 변화가 심하지 않음을 볼 수 있다. Fig. 6a에서 보여지듯 측선 A-A'의 0~5 km 구간에서 고도가 계속해서 증가하는 지점과 9~12 km의 고개를 넘은 지점에서는 원통형프리즘 모형에 의한 보정값이 원추형프리즘 모형에

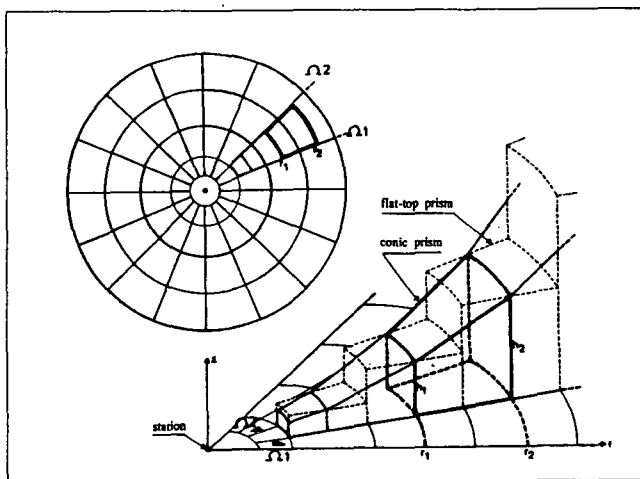


Fig. 3. Topographic model with flat-topped and conic prisms (from Olivier and Simard, 1981).

의한 보정값보다 크고 변화가 심하다. Fig. 6b의 측선 B-B'에서도 마찬가지로 7 km 지점 이후의 고도의 변화가 심한 지역에서 원통형프리즘 모형에 의한 지형보정값이 원추형프리즘 모형으로 계산한 값보다 크고 변화가 심함을 알 수 있다. 이상과 같이 원통형프리즘 모형을 이용하여 계산한 지형보정값이 더 큰 것은 경사가 심한 지역을 원통형으로 근사시키는데 따른 과잉 지형보정의 효과 때문이다. 전반적으로 원추형 프리즘에 의한 지형보정값이 원통형프리즘에 의한 지형보정값보다 작고, 지형보정값을 단순부계이상값에 더하여 준 부계이상값의 경우 더 부드러운 양상을 보인다. 따라서 경사가 심한 계곡 부분에 측점이 위치하는 경우, 측점 주변의 지형이 정확하게 주어질

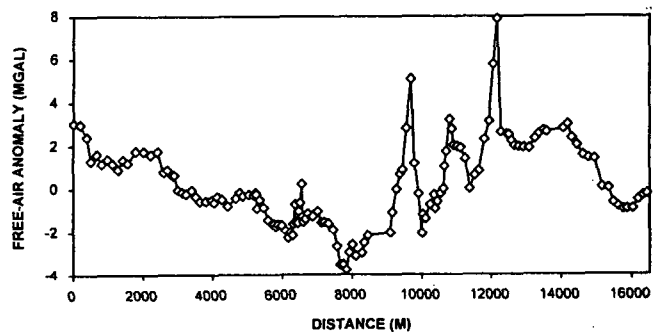
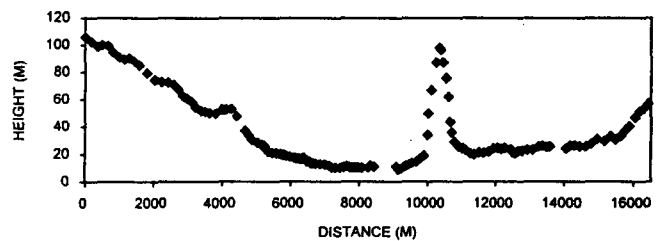


Fig. 4. Heights and free-air anomalies of gravity stations on the profile A-A'.

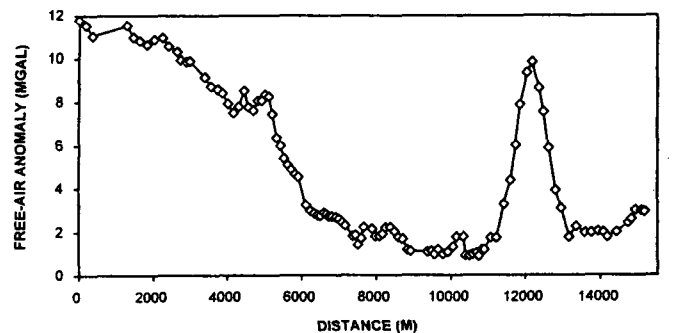
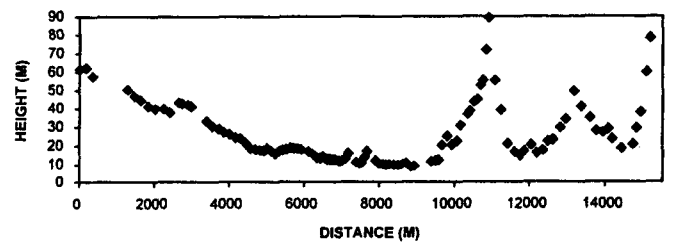


Fig. 5. Heights and free-air anomalies of gravity stations on the profile B-B'.

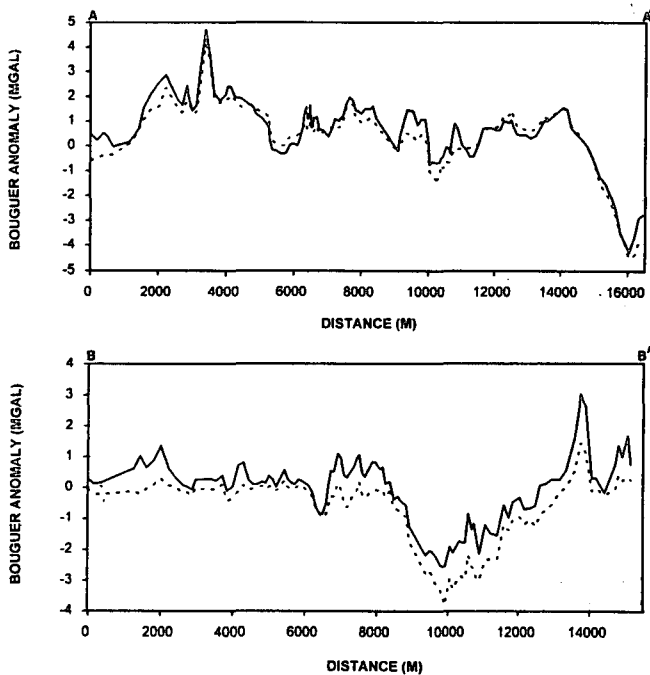


Fig. 6. Comparison of Bouguer anomalies calculated by using two different topographic correction schemes: solid lines by the flat-topped model and dashed lines by the conic prism model.

다면 원추형프리즘 모델을 도입하여 지형보정의 효과를 높일 수 있다. 특히 중력이상값이 작게 나타나는 지역에서는 보다 정확한 지형보정을 위해 원추형프리즘 모델을 이용하는 것이 바람직하다.

연구지역의 부계이상값은 측선 A-A'의 경우 최대 9 mgal로 나타났으며, 측선 B-B'의 경우에는 5 mgal로 나타났다. 부계 이상값에서 나타나는 특징은 역암층과 사암층으로 이루어진 분지내부의 이상값이 일정하지 않고, A-A' 측선의 우측이 본 연구지역 내에서 가장 낮은 이상값을 보여주고 있다는 것이다. 또한 B-B' 측선에서는 9 km에서 12 km 사이의 넓은 지역에 걸쳐서 3 mgal 정도의 낮은 이상값이 나타나고 있는 것을 볼 수 있다. 지질도 (Fig. 2) 상에서 분지의 경계를 이루는 주향 이동단층이 위치한 곳에서는 대체적으로 낮은 이상값이 나타난다. 즉, 측선 A-A'의 6.2 km 지점과 10 km 지점에서의 저 이상과 측선 B-B'의 6.5 km 지점의 저 이상과 9 km 지점의 이상곡선의 가파른 경사가 두드러진다 (Fig. 6).

암석의 밀도측정 결과 (Table 1)와 비교해 볼 때, 분지의 경계에서 비교적 넓은 범위에 걸쳐 저이상값이 나타나는 것은 분지의 경계를 둘러싸고 있는 화강암의 밀도가 낮고, 백악기 퇴적물 가운데 역암층과 기반암의 밀도가 비슷하기 때문임을 알 수 있다. 두 측선 남동 지역에 보이는 저이상값은 기반암인 운모편암을 관입하고 있는 화강암의 밀도가 다른 암석에 비해서 0.1 g/cm<sup>3</sup> 이상 낮기 때문이다. 그러나 운모편암의 밀도가 Table 1에서 보는 바와 같이 호상편마암의 밀도보다 0.15 g/cm<sup>3</sup> 이상 높게 나타나므로 이에 의한 영향도 있을 것으로 추측된다.

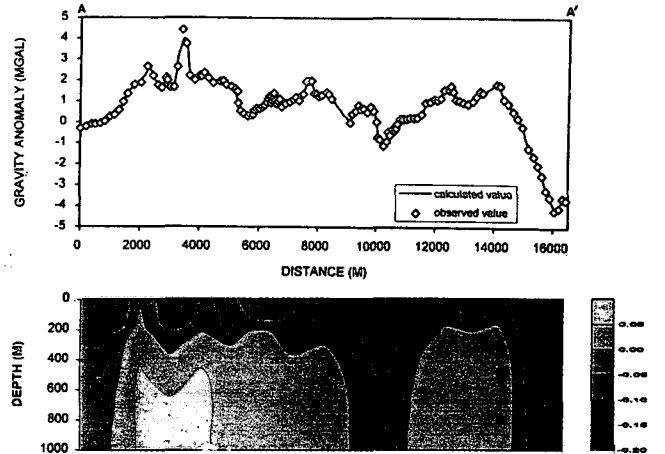


Fig. 7. Result of density inversion along the profile A-A'. Numbers of the scale bar denote density in g/cm<sup>3</sup>.

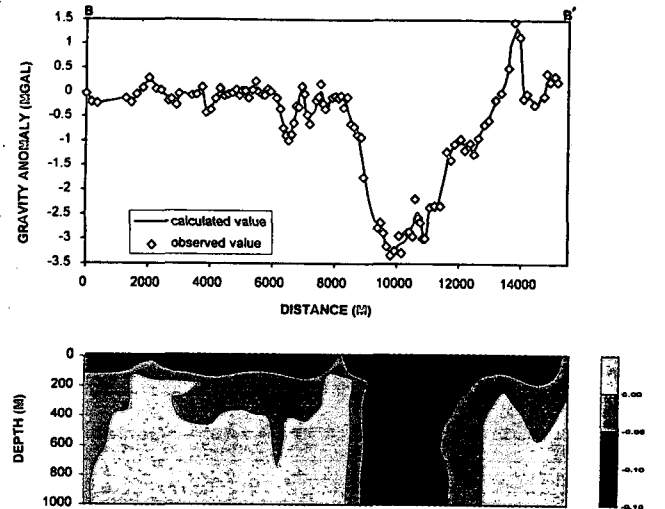


Fig. 8. Result of density inversion along the profile B-B'. Numbers of the scale bar denote density in g/cm<sup>3</sup>.

### 지하구조 모델링

#### 밀도역산

지구물리학적 역산의 목적은 측정자료로부터 이상치를 야기시키는 지하구조에 대한 정보를 수학적 계산을 통하여 가능한 한 정확히 구하는데 있다(Parker, 1977). 중력이상값은 지하에 존재하는 암석의 밀도차에 기인하므로, 중력역산은 중력이상값을 측정자료로 하여 지하의 밀도와 깊이에 대한 정보를 얻는 것이 목적이다. 일반적으로 역산을 통해서 구해지는 해는 무한히 많이 존재하기 때문에 유일성의 문제가 지하구조해석에 심각한 장애요인이 된다. 이러한 문제는 제한조건을 주어 해결하는 것이 일반적인데, 가장 중요한 제한조건은 역해로부터 구한 지질구조가 지질학적으로 합당한 것인지의 여부이다. 본 연구에서는 마쿼터-레벤버그 (Marquart-Levenberg) 방법을 이용한 선형최소자승법에 의한 역산방법 (Lines and Treitel, 1984)을 이용하여 두 개의 중력측선에 대하여 역산을 실시하

였다.

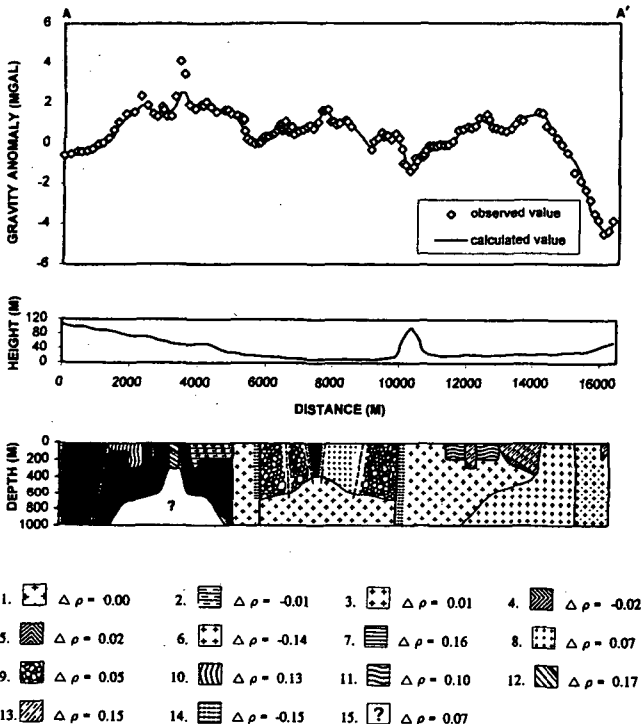
Fig. 7과 8은 각각 측선 A-A'과 측선 B-B'에 대한 역산을 실시하여 얻은 밀도분포도이다. 측선 A-A'의 경우 직선거리 10.3 km 지점에서 강한 저밀도값이 깊이 방향으로 나타나고, 측선의 우측에 낮은 밀도값이 보인다. 측선 B-B'에서는 10 km 지점에서 깊이 방향으로 낮은 밀도값을 보여주고, 지표 부근의 저밀도값과 심부의 저밀도값이 동시에 존재함을 볼 수 있다. 분지의 경계부분에 존재하는 이러한 저밀도는 단층에 의한 파쇄대의 영향으로 보이는데, 측선 B-B'보다는 측선 A-A'에서 보다 낮은 밀도값이 나타나고, 분지의 남동경계에서 북서경계 보다 낮은 밀도값이 깊이 방향으로 존재한다.

보통 단층이 존재한다고 하더라도 그 폭이 좁은 경우 중력 이상값으로 파쇄대를 직접 찾기는 쉽지 않다. 그러나 본 연구 지역에서 이렇게 파쇄대로 보이는 연직방향의 저밀도 분포가 뚜렷한 것은 조구조운동의 강도가 컸음을 의미한다. 이제룡 (1990)은 본 연구지역에서 분지의 북서경계에서는 폭 450 m, 남동경계에서는 폭 520 m 정도의 압쇄대를 관찰할 수 있다고 하였다. 측선 B-B'의 경우 10 km 지점에서 나타나는 저밀도는 파쇄대에 의한 영향과 화강암체에 의한 영향이 중복된 것으로 보인다. 그러나 역산의 결과 분지의 북서경계에서는 미약한 밀도차만을 보이고 있다. Fig. 7과 8의 지하밀도분포도에서는 측선의 중앙부분에 밀도의 수평적변화를 볼 수 있다. 이는 백

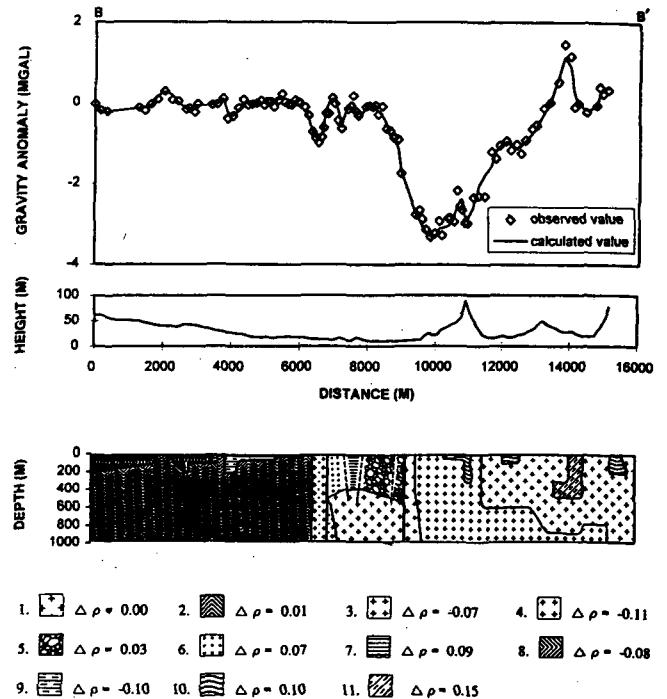
악기퇴적암과 하부의 화강암체와의 밀도차에 의한 것으로 분지의 깊이에 대한 개략적인 정보를 제시한다. 보다 정확한 해석을 위하여 이러한 역산결과를 바탕으로 지하지질구조를 구하기 위한 순산모델링 (forward modeling)을 실시하였다.

**순산모델링**

순산모델링은 지하에 존재하는 다각형단면을 가지는 2차원적 물체에 의한 중력이상값을 측정에서 계산하는 방법 (Won and Bevis, 1987)으로 실시하였다. Fig. 9와 10은 지하 구조 모델링의 결과로 퇴적분지의 폭은 측선 A-A'의 경우에는 약 4 km, 측선 B-B'의 경우에는 약 2.4 km로 나타났다. 이것은 지표에서 관측되는 백악기 퇴적분지의 형태가 북동-남서 방향으로 신장된 마름모형인 것과 잘 일치한다. 분지의 깊이는 해수면 아래 약 700~400 m로 분지 중앙부의 기반이 솟아오른 형태로 백악기의 다른 분지 (Baag and Kwon, 1994; kwon and Kim, 1994)에 비해서 규모는 비교적 작은 편이다. 또한 분지내부에서 중력이상값의 변화가 심한 특징을 보이는데 이것은 역암층과 사암층 간의 밀도차와 퇴적물이 쌓인 이후 트랜스프레션 (Transpression) 과정에서 나타난 단층의 영향으로 생긴 파쇄대에 원인이 있다고 본다. 이제룡 (1990)은 트랜스프레션의 단계에서 분지내의 퇴적암은 점차 움기하면서 안행형 (en-echelon) 형태의 습곡구조, 단층 및 각종 절리구조가 발달하게 되었고, 분지가 더욱 수축함에 따라 꽃구조 (flower structure)가 발달하기도 하였다고 설명하고 있다. 이번 순산모델링의 결과도 분



**Fig. 9.** Cross section through the two-dimensional forward gravity model along the profile A-A'. Density contrast ( $\Delta\rho$ ) in  $\text{g/cm}^3$ . 1: Foliated Porphyritic Granite; 2: Banded Gneiss; 3: Biotite Granite; 4: Banded Gneiss; 5: Banded Gneiss; 6: Gneissose Granite; 7: Shale; 8: Sandstone; 9: Conglomerate; 10: Banded Gneiss; 11: Granite Gneiss; 12: Banded Gneiss; 13: Mica Schist; 14: fracture zone; 15: Unknown.



**Fig. 10.** Cross section through the two-dimensional forward gravity model along the profile B-B'. Density contrast ( $\Delta\rho$ ) in  $\text{g/cm}^3$ . 1: Foliated Porphyritic Granite; 2: Banded Gneiss; 3: Foliated Porphyritic Granite; 4: Granite; 5: Conglomerate; 6: Sandstone; 7: Shale; 8: Banded Gneiss; 9: Banded Gneiss; 10: Granite Gneiss; 11: Mica Schist.

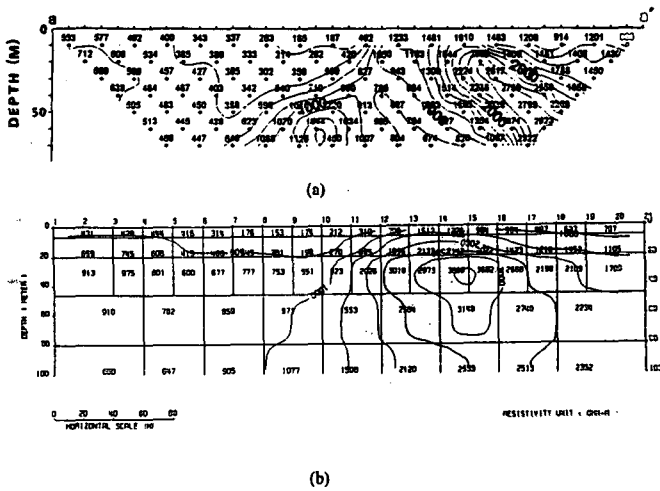


Fig. 11. Apparent resistivity pseudosection (a) and model structure obtained by the resistivity inversion (b) along the profile a-a'. Contour interval is 200 ohm-m.

지가 형성된 후 압축응력에 의하여 분지의 중앙부가 솟아 오르고, 분지내부의 퇴적암에 단층이 발생하여 곳곳에 파쇄대가 형성된 것으로 설명할 수 있다. 특히 분지의 남동경계를 이루는 단층의 파쇄대가 지하 심부로 연장되어 폭 넓게 분포하는 것으로 나타나, 분지를 형성시킨 주된 조구조운동이 이 단층을 따라서 이루어졌을 것으로 생각된다. 옥천대의 남동부에 위치하고 있는 영동 분지는 2차에 걸친 분지의 열개(裂開)로 형성된 인리형 (pull-apart) 분지로 안행형을 이루며, 남동부의 주단층 (영동단층)이 북서부 주단층보다 강렬하게 운동을 하여 비대칭 (unpaired) 단층운동 형태를 보인다 (Lee and Paik, 1990). 이러한 결과는 같은 좌수향운동에 의해서 생성된 공주분지의 중력이상에 의한 순산모델링의 결과와 유사한 것으로 특히 분지의 성장이 종료된 이후에도 계속하여 운동을 하여 생성된 분지내부의 파쇄대는 주향이동성 단층계 기원의 특징과 잘 일치한다.

### 전기비저항탐사

단층면 주위 암석은 일반적으로 심하게 파쇄되어 단층각력과 단층점토가 생성되며, 지하 심부까지 연장되는 단층면을 따라서 지하수가 흐르는 경우가 많다. 이런 영향으로 단층에 의한 파쇄대가 존재하는 지역에서는 낮은 비저항값을 보이게 되므로 단층의 발달상태를 확인하기 위하여 전기탐사를 수행하였다. 공주분지의 남동경계를 이루는 단층선에 대한 전기탐사를 위하여 공주군 이인면 산적골에서 400 m 길이의 측선을 (Fig. 2의 a-a'), 북서경계를 이루는 단층선에 대해서는 청양군 목면준방고개에서 600 m 길이의 측선 (b-b')을 설정하였다. 이 측선들은 분지를 둘러싸고 있는 섀넌브리아기의 염상반상화강암과 백악기의 퇴적암의 경계부분을 가로지른다.

일반적으로 단층 및 파쇄대는 지표와 나란한 수평구조가 아닐

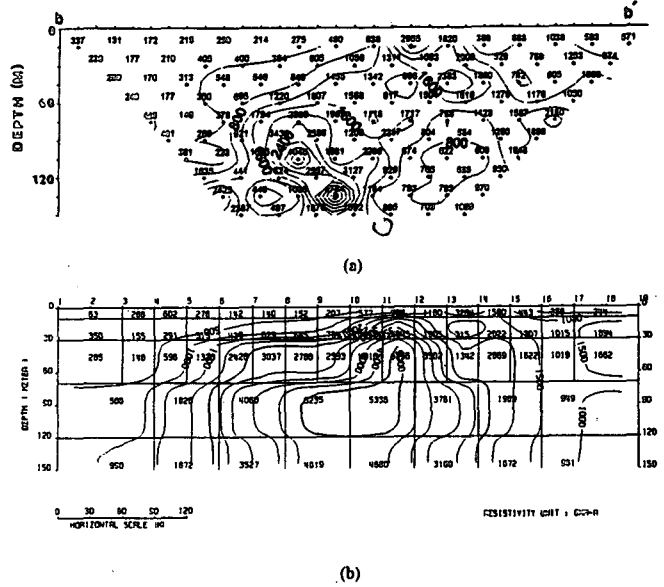


Fig. 12. Apparent resistivity pseudosection (a) and model structure obtained by the resistivity inversion (b) along the profile b-b'. Contour interval is 200 ohm-m.

경우가 대부분이며, 퇴적암 내의 대수층과 같이 넓은 범위에 발달하는 것이 아니라 국부적으로 발달한 경우가 많다. 따라서 1차원적인 수평단층구조를 가정하는 수직탐사는 해석상 어려움을 야기시키므로, 지하의 2차원적인 비저항의 분포를 보여주며 탐사가 용이하고 신속한 쌍극자-쌍극자 배열을 이용하였다. 쌍극자 간격은 준방고개에서는 30 m, 산적골에서는 20 m로 선택하였다.

Fig. 11과 12는 각각 측선 a-a'의 산적골과 측선 b-b'의 준방고개에서의 걸보기 전기비저항치의 분포도 및 역산결과이다. a-a' 측선에서는 측선의 중앙부를 경계로 좌측의 저비저항대와 우측의 고비저항대가 잘 구분된다. 좌측의 분지가 위치한 부분의 저비저항은 이 지역에 넓게 분포하고 있는 파쇄대에 의한 영향으로 보여진다. b-b' 측선은 측선의 중앙부에서부터 우측 하방향으로 낮은 비저항대를 이루고 있으며, 이는 단층에 의한 파쇄대로 생각된다. 그러나 측선의 좌측상부에 넓게 분포하고 있는 저비저항값은 탐사 지역의 표층이 젖어있음으로 해서 나타난 것으로 보인다. 두 측선의 전기비저항단면을 비교해볼 때, 분지의 북서경계를 이루는 준방고개에서는 단층의 파쇄대가 약하게 나타나나, 남동경계를 이루는 산적골에서는 강하게 나타난다. 특히 산적골에서는 분지쪽의 파쇄대가 넓게 분포하여 걸보기전기비저항 분포도에서 저비저항대가 두텁게 나타남을 볼 수 있다.

이러한 전기탐사의 결과를 중력탐사의 결과와 종합하여 볼 때, 분지의 생성기작과 관련하여 남동경계를 이루는 단층을 발생시킨 조구조운동으로 말미암아 북서경계를 이루는 단층작용이 수반되면서 함몰대가 생성되었다고 가정할 수 있다. 이러한 가정은 원래가 1조였던 전단대가 단층이 휘어진 렌치 (wrench) 형을 이루면서 2조로 갈라져 함몰대가 형성되었다는 이제룡 (1990)의 주장에 부합된다.

## 결 론

경기육괴와 옥천대와의 경계부분에 위치한 백악기 퇴적분지인 공주분지의 조구조운동의 특성과 지하구조를 해석하기 위하여 중력탐사를 실시하고, 파쇄대의 발달상태를 확인하기 위하여 분지의 경계를 이루는 두 개의 단층선에 대하여 전기탐사를 실시하였다. 중력자료의 해석을 위하여 여러 보정을 시행하였고, 특히 문제가 되는 지형보정을 원추형프리즘 모형을 이용하여 계산함으로써 지형의 경사가 급한 지역에서 보정의 효과를 높였다. 이 결과 얻어진 상대적인 최대 부우게 이상값은 분지의 중앙부를 가로지르는 축선에서는 9 mgal, 분지의 남부를 가로지른 축선에서는 5 mgal로 나타났다. 전기탐사 결과 단층면 주위에 파쇄대가 넓게 분포하고 있음을 확인하였다.

중력자료의 정량적해석을 위하여 밀도역산과 순산모델링(forward modeling)을 실시한 결과, 공주분지는 중앙부와 남동부의 폭이 각각 약 4 km, 2.5 km이고, 분지의 깊이는 약 700~400 m로 퇴적암층의 두께는 중앙부가 가장자리에 비해서 얇다. 이러한 구조는 분지가 형성된 후 압축응력이 작용했음을 보여주며, 분지내부에 발달하고 있는 저밀도의 파쇄대를 통하여 퇴적물이 쌓인 이후에도 계속 힘을 받았음을 알 수 있다. 분지를 이루는 주단층 가운데 남동경계를 이루는 단층의 파쇄대는 지하 심부까지 연장되어 북서경계를 이루는 단층의 파쇄대가 미약한 것에 반하여, 이 단층선을 따라서 일어난 조구조운동의 강도가 상당히 컸을 것으로 보인다. 이는 분지의 남동경계를 이루는 단층대에서 저비저항대가 두텁게 나타난 전기탐사의 결과와 잘 일치하는 것으로 분지의 생성은 분지의 남동경계를 이루는 단층의 발생과 밀접한 관련이 있음을 시사한다.

## 사 사

이 연구는 교육부의 1993년도 기초과학연구소 학술연구조성비(BSRI-93-509)의 일부 지원을 받아 이루어진 것으로 관계기관에 감사드린다.

## 참고문헌

- 권병두, 권재월, 이희순, 1990. 다중 이차곡면 방정식을 이용한 중력자료의 지형보정. 한국지구과학회지, 11, 156-164.
- 김서운, 유환수, 우영균, 1976. 한국지질도 (1:50,000), 공주도폭 및 설명지. 자원개발연구소, 29p.
- 김종환, 김종대, 임현철, 1984. 공주 함몰대의 지질 및 우라늄 광화 작용. 우라늄 정밀조사연구, 한국동력자원연구소, 117-134.
- 윤상규, 김종환, 1958. 충남 공주읍 동남부일대 함 우라늄 흑연 광상 조사보문. 지질광상조사연구보고, 2, 국립지질조사소, 219-232.
- 이상만, 1973. 우리나라의 지체구조와 변성상 및 변성상계와의 관계성 연구. 지질학회지, 14, 225-230.
- 이제룡, 1990. 공주 분지의 조구조운동연구. 서울대 박사학위 논문, 219p.
- 이희권, 1986. 공주함몰대의 북부지역 지질조사 연구. 서울대 석사학위 논문, 80p.
- Baag, C.E. and Kwon, B.D., 1994. geophysical studies on major faults in the Ogcheon Fold Belt: Aeromagnetic data interpretation on the Jinan sedimentary basin, Korea. *The Korean Journal of Petroleum Geology*, 2, 33-38.
- Barrows, L.J. and Fett, J.D., 1991. A sloping wedge technique for calculating gravity terrain corrections. *Geophysics*, 56, 1061-1063.
- Kwon, B.D. and Kim, K.J., 1994. Gravity and magnetic interpretation of Youngdong Basin Korea. 4th Int.Symp. IGCP project 321 Abstract, 6.
- Lee, D.W. and Paik, K.H., 1990. Evolution of strike-slip fault-controlled Cretaceous Yongdong Basin, South Korea: Signs of strike-slip tectonics during infilling. *The Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 3, 257-276.
- Lines, L.R. and Treitel, S., 1984. Tutorial; A review of least-squares inversion and its application to geophysical problems. *Geophysical prospecting*, 32, 159-186.
- Olivier, R.J. and Simard, R.G., 1981. Improvement of the conic prism model for terrain correction in rugged topography. *Geophysics*, 46, 1054-1056.
- Parker, L.R., 1977. Understanding inverse theory. *Annual Review of Earth Planetary Science*, 5, 35-64.
- Won, I.J. and Bevis, M., 1987. Computing the gravitational and magnetic anomalies due to a polygon, algorithms and Fortran subroutines. *Geophysics*, 52, 232-238.

1994년 9월 17일 원고접수