The Journal of Engineering Geology, Vol.7, No.2, August, 1997, pp.101-112

장성호 하류지역의 지하지질구조
Subsurface Geological Structure of the Downstream Area of the Jangsung Lake

김 성 균 (Kim, Sung Kyun)	전남대학교 지구환경과학부
김 용 준 (Kim, Yong Jun)	전남대학교 지구환경과학부
오 진 용 (Oh, Jinyong)	전남대학교 지구환경과학부
김 민 선 (Kim, Min Seon)	전남대학교 지구환경과학부
서 구 원 (Suh, Ku Won)	전남대학교 지구환경과학부

요약 / ABSTRACT

단층의 위치와 기하학적 형태를 결정하기 위하여 장성호 하류지역에서 광주단층을 가로 지르는 측선을 설정하여 중력과 전기비저항 탐사를 수행하였다. 비저항탐사에서는 3개의 측선에 대하여 쌍극자법을 적용하였으며, 각 측선의 길이는 500m이고 전극간격은 25m이다. 비저항자료는 비저항해석에 널리 사용되고 있는 컴퓨터프로그램 "RESIS"를 이용하여 해석하였으며, 3개 측선에 대한 비저항 단면도를 얻었다. 이 단면도를 해석한 결과 광주단층과 관련된 두 개의 큰 파쇄대가 인지되었다.

중력은 측선상에서 평균 40m 간격으로 총 80개를 측정하였으며, 좀 더 정밀한 Bouguer 이상값을 얻기 위하여 간이 수준측량을 병행하였다. 역해법으로 결정한 지하밀도불연속면의 깊이는 약 650m와 120m에 나타나며, 전자는 쥬라기 화강암류와 백악기 화산암류의 경계를, 후자는 충적층의 깊이를 나타내는 것으로 생각된다. 역해법으로 얻어진 결과와 기존의 지질도, 지질단면도 및 전기비저항 연구결과를 초기모델로하여 측정된 Bouguer이상을 만족하는 지하구조를 순해법으로 결정하였다. 그 결과 광주단층은 장력장내에서 형성된 고각의 정단층으로 나타났다.

Gravity and electrical resistivity surveys were carried out across the Kwangju fault in the downstream area of the Jangsung Lake, to investigate the location and geometrical feature of the fault. In the resistivity survey, dipole - dipole array method was adopted for 3 survey lines of which length and electrode spacing are 500m and 25m, respectively. Resistivity data are interpreted with aid of computer program "RESIS" which is widely used in resistivity data analysis and two dimensional resistivity profiles are obtained for 3 survey lines. Two large fracture zones relevant to the Kwangju

fault are identified in the resistivity profiles.

The total of 80 gravity data are observed with the mean spacing of 40 m and the exact leveling is accompanied to obtain more precise gravity anomalies. The subterranean density discontinuities calculated from the inverse method are appeared at the depths of 650m and 120m. It is considered that the deep discontinuity indicates boundary between Jurassic granites and overlying Cretaceous tuff formation. While, the shallow discontinuity is interpreted to be a boundary between alluvial deposits and basements. The subsurface geological structure to satisfy the observed Bouguer anomaly is determined from the iterative forward method in which results from existing surface geological informations, the inverse method, and from the resistivity interpretations are employed as an initial model. In conclusion, Kwangju fault is appeared to be a high angle normal fault mainly formed in tension stress filed.

서 언

옥천습곡대는 한반도의 중남부 지역에서 남서-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 주장(Cluzel et al., 1990)과 대륙판의 분열대(Lee and Chang, 1996)라는 서로 다른 견해로 대립하고 있다. 따라서 옥천습곡대에 대한 지체구조 발달사 연구는 한반도와 동북아시아를 포함한 한반도의 지체구조 형성을 이해하는데 있어서 매우 중요하다.

한반도의 지체구조발달사를 밝히는데 있어서 옥천대가 차지하는 중요성에도 불구하고 이에 대한 연구는 아직 불충분한 실정이다. 옥천대에 관한 암석학적인 연구(권성택과 藍晶瑩, 1991 ; Lee and Chang, 1996) 및 구조지질학적인 연구(장태우, 1994; 장태우등, 1995)의 진전에 비하여 지구물리학적 연구는 크게 미흡하다고 볼 수 있다. 옥천대의 지구조적 진화를 밝히기 위한 지구물리분야에서의 연구는 다양한 측면에서 이루어져야 한다. 본 연구에서는 옥천대의 구조를 밝히기 위한 연구의 일환으로, 목포에서 장성을 지나 북북동방향으로 길게 연장되는 광주단층이 두갈래로 갈라지는 장성호 하류지역(그림 1의 4각형 지역)에서 중력과 전기비저항을 측정, 해석하여 이 지역의 지하구조와 광주단층의 기하학적 형상을 밝히고자 한다.

옥천대의 지진활동을 연구한 Lee et al.(1988)은 장성부근을 지나는 광주단층 지역에서 중력, 자력, 방사능, 전기비저항등을 측정하여 활성단층으로서의 증거를 조사하였다. 그들은 광주단층이 폭 1.5km의 연성 전단대를 따라 생성되었으며, 그 경사는 거의 수직인 것으로 해석하였다. 특히 단층부근에서의 중력의 증가를 화강암의 압쇄암화에 따른 밀도의 증가 모델로 설명하였다. 한편 Kwon et al.(1993)은 광주단층의 남단에 해당하는 무안지역의 중력탐사 결과, 광주단층이 거의 수직에 가까운 정단층이며 인장응력장내에서 생성되었다고 결론지었다.

지 질 개 요

본 연구의 대상이 되는 지역의 지질은 선캠브리아기의 편마암복합체를 기저로 이를 부정합의 관계로 덮는 변성퇴적암류와 이들을 관입하는 트라이아스-쥬라기 엽리상화강암과 반상화강섬록암, 이들 모두를 관입 및 부정합으로 덮는 백악기 화산암류, 섬록암-반려암 및 맥암류로 이루어져 있다.

편마암복합체는 주로 정편마암류인 화강편마암으로 이루어져 있으나 얼마간의 결정질 편암류인 흑운모 편암이나 각섬석 편암등을 포획하고 있으며, 화강편마암은 부분적으로 반상변정을 가지고 있어 반상변정 편마암상으로 점이적인 변화를 보이기도 한다. 영남육괴에서 정편마암류의 지질시대는 1330~2230Ma로 선캠브리아기에 해당한다(김용준, 1986). 변성퇴적암류는 운모편암, 견운모-석영편암, 석회암과 규암으로 구성되며 대체로 북북동-남남서향으로 뻗어있어 대상 분포를 보이며, 이들중 규

암을 제외한 부분을 셜옥리층으로 그리고 규암을 용암산층으로 구분했다(손치무와 김수진, 1966; 박희인, 1966).

엽리상화강암류는 장성과 광주 그리고 목포와 전주를 잇는 소위 광주 단층대에 속하는 구조선들이 지나는 신흥리 지역에 주로 분포하며 소위 호남전단대(Yanai et al. 1985)의 주구성암상의 하나인 엽리상흑운모화강섬록암으로 이루어져 있다. 그러나 단층 구조선의 연장이 뚜렷하지 않은 장성 동부지역에서는 변형되지 않은 반상화강섬록암으로 나타나며 이같이 구조선 주위에서만 뚜렷한 압쇄엽리를 보이는 엽리상화강암류가 분포하는 점으로 미루어 엽리상화강암류는 단층운동에 의해 형성된 압쇄엽리를 갖는 변형화강암류가 확실하다. 반상화강섬록암은 엽리상화강암류와 동시기 관입-정치 산물로 추정되나 불균질한 응력의 분포에 의한 결과로 전혀 변형되지 않은 것으로 추정된다. 호남전단대에서 보이는 엽리상화강암류의 관입-정치 시기는 258~159Ma로 주로 트라이아스기 말에서 쥬라기 초에 집중되어 있다(주승환과 김성재, 1985; 김용준, 1986; 김용준과 이창신, 1988; 주승환과 김성재, 1986).

백악기 화성암류는 화산암류, 섬록암류와 맥암류로 구성되며 이들중 화산암류가 가장 넓게 분포한다. 화산암류는 백양사 화산암류에 속하는 안산암질 용암과 응회암, 내장사 화산암류에 속하는 유문암질 용암과 응회암로 구성되며, 이들 화산암류를 주로 화강반암으로 이루어진 산성맥암류가 관입한다(김정환등, 1982). 섬록암류는 이 연구지역 동남부에 소규모 암주상 관입체로 나타나며 이는 대치-불태산 지역에 분포하는 중성-염기성 화성암류의 일부로서 암체 연변부는 반려암에 가까운 암상을 보이나 암체 중앙부로 갈수록 섬록암질 암상으로 점이적인 변화를 보인다.

야외조사 및 자료처리

그림 1에 본 연구에서 전기비저항 및 중력탐사를 수행한 장성호 하류지역을 4각형으로 표시하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 한반도 서남단에서 북북동방향으로 길게 연장되는 광주단층이 본 조사지역에서 둘로 갈라진다. 그림 3은 이 지역의 등고선도(위)와 지형의 3차원 모형(아래)을 나타내고 있다. 등고선도위에 중력측선은 LL'로 표시되어 있으며, 그 총 연장은 3.2km 정도이며, 평균 40m 간격으로 80여개의 중력이 측정되었다. 또한 아래 그림에서 L-1, L-2 및 L-3는 전기비저항측선을 나타낸다. 각각의 측선은 500m이며, 전극간격은 25m이므로 전극의 총 수는 20개가 된다. 측선상에서 쌍극자법에 의한 전기비저항을 측정하였다. 중력측선과 전기비저항측선은 두 개의 단층을 가로지르도록 고안되었다. 전기비저항 측선 L-1은 서쪽의 단층과 측선 L-2와 L-3는 동쪽의 단층과 대체로 사교한다.

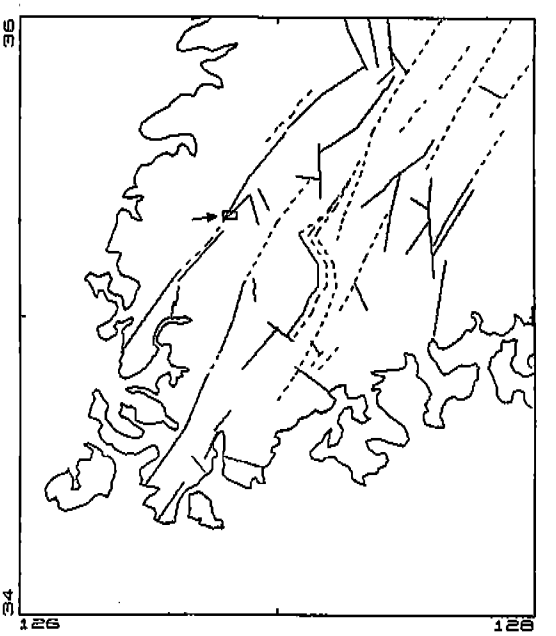

Fig. 1. Site map of the study area(rectangular zone) indicated by the thick arrow.

중력측정에 사용된 계기는 LaCoste & Romberg 사의 Model G를 사용하였으며, 중력기점으로는 국립지리원이 1990년에 전남대학교에 설치한 기준점(중력값 : 979,746.838 mGal, 해발고도 : 38.690 m)을 이용하였다. 야외에서 측정된 상대중력값은 기준점의 값을 참조하여 절대중력값으로 환산한 후, 각종 보정을 거쳐 Bouguer이상값을 얻게 되었다.

중력보정에 있어서의 정밀도를 높이기 위하여

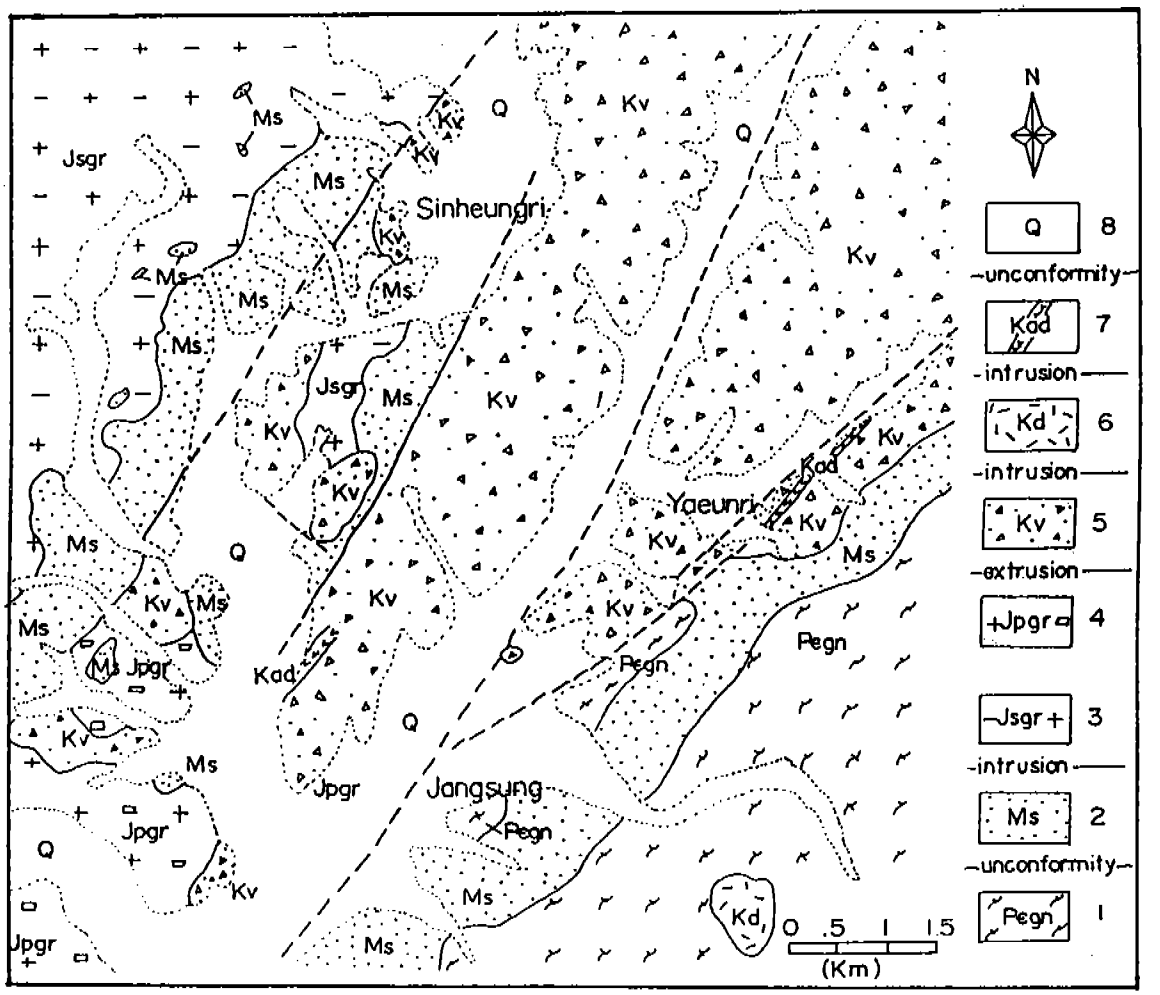

Fig. 2. Geological map of the study area. 1. Pre - Cambrian gneiss complex, 2. Meta sediments, 3. Foliated granites, 4. Porphyritic granodiorite, 5. Cretaceous volcanics, 6. Diorite, 7. Acidic dike, 8. Alluvium.

중력측선을 따라 핸드레벨을 이용한 간이 수준측량을 수행하였다. 중력보정에 필요한 평균밀도는 Bouguer이상과 측정점의 해발고도와의 상관이 최소가 되는 2.65를 선택하였다. 중력측선은 도로를 따라 설정된 까닭에 직선이 아니므로 자료해석상 불편하다. 따라서 각각의 측정값들은 이 측선을 가장 잘 근사하는 직선상의 값으로 고쳤으며, 또한 주파수영역에서의 해석에 편하도록 적절한 보간법을 사용하여 등간격 자료로 변환하였다.

그림 4에 측선을 따른 해발고도(위)와 Bouguer 이상값(아래의 실선)의 변화를 나타내었다. 측선상의 지형은 50 - 110m 범위에 있으며, 광주단층이 통과하는 구간이 저지대를 이루고 있으며 그 양측의 지형이 상대적으로 높다. Bouguer이상은 -13~+7 mGal 범위로 나타나며, 서에서 동으로 가며 서서히 증가한다. 이 증가는 비교적 심부의 물질분포와 관련된 것으로 생각된다.

지표의 어떤 공간범위내에서 측정된 중력이상은 심부의 구조와 관련된 성분과 비교적 천부의 구조와 관련된 성분이 합성되어 있다. 심부의 구조와

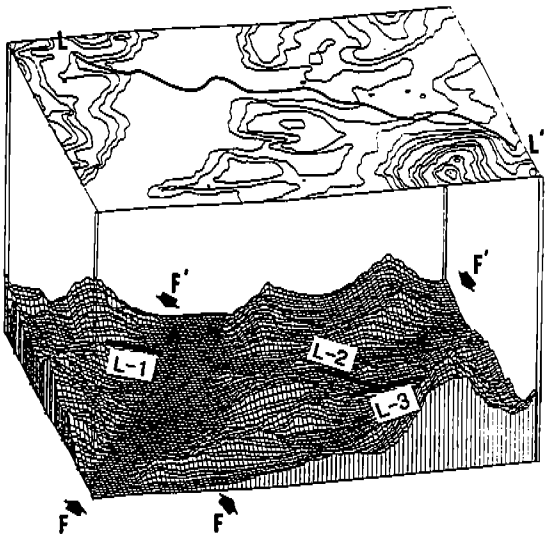

Fig. 3. Topography(upper) and 3 dimensional view(lower) of the study area. The line LL' shows gravity survey line on the upper figure. The arrows FF' show fault trace and L-1, L-2, and L-3 denote electrical risistivity survey lines.

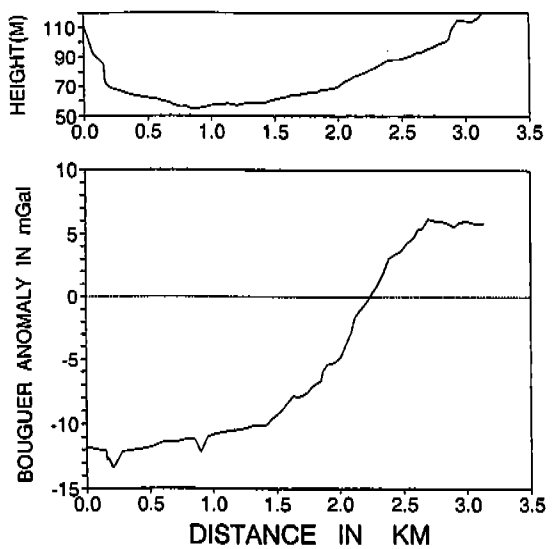

Fig. 4. Topography (upper) and Bouguer anomaly (lower) along the gravity survey line.

관련된 중력이상성분을 광역이상이라 하며, 천부와 관련된 것을 국지이상이라 한다. 보통 광역이상은 장주기성분으로, 국지이상은 단주기성분으로 들어 있다.

측정된 중력이상으로 부터 광역이상과 국지이상을 분리하는 방법에는 기하학적 방법과 수치적 방법이 있다. 기하학적인 방법은 중력이상 단면도 또는 등치선도위에 광역이상의 대체적인 경향을 그려 넣어 국지이상을 분리하는 방법이다. 본 연구에서는 측정된 중력이상이 서에서 동으로 서서히 증가하므로, 그림 5와 같이 광역이상성분을 직선(점선으로 표시)으로 가정하여 중력이상의 측정값(실선)을 뺀 값을 국지이상(굵은 실선)으로 간주하였다. 이하의 해석에서는 국지 이상성분을 이용하게 된다.

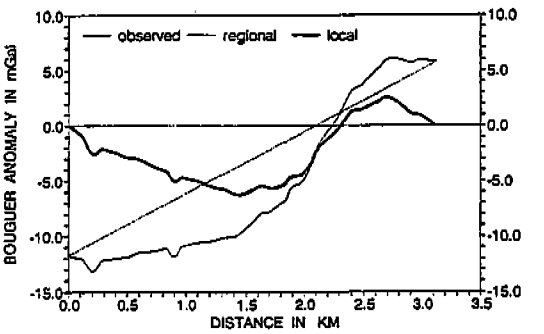

Fig. 5. Observed(solid), regional(dotted), and local(heavy solid) Bouguer anomalies.

전기비저항탐사에 의한 지하구조

전기비저항탐사에는 일본 Oyo사에서 제작한 McOHM Mark-2를 사용하였다. 비저항탐사에는 전극 배열방법에 여러 종류의 탐사법이 있으며, 개개의 방법마다 그대로의 특성과 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 심부에서 단층운동과 관련된 파쇄대의 형태를 추정하는 것이 주요 목적이므로 3개의 측선(그림 3참조)에 대하여 쌍극자 배열법을 선정하였다. 쌍극자 배열법은 2차원적으로 수평 및 수직적인 비저항의 변화를 동시에 알 수 있는 장점이 있다. 측선의 길이는 500m이며, 전극간격은 25m로 하여 탐사를 시행하였다. 측정된 전기저항값은 쌍극자 배열에 따른 거리계수를 곱하여 겉보기

비저항값으로 환산한 후, 전기비저항 해석용 컴퓨터 프로그램 RESIS(정승환등, 1991)를 사용하여 지하 비저항구조를 추정하였다.

본 연구에서 비저항 자료의 해석에 사용한 컴퓨터 프로그램은 국내에서 널리 활용되고 있으며, 그 유효성이 검증된 프로그램이다. 이 프로그램은 겉보기 비저항자료에 반복적 비선형 역산법의 하나인 Marquard법을 적용하여 지하의 비저항 구조를 계산하며, 순해법에 의하여 역산된 구조로부터 다시 겉보기 비저항을 구하여 비교할 수 있도록 되어 있으므로 얻어진 해의 정확성을 판단할 수 있다.

그림 6에 측선 L-1의 겉보기 비저항으로부터 구한 지하 비저항분포를 도시한다. 여기서 가로방향의 번호는 전극에 붙여진 일련번호이며, 그 간격은 25m이다. 세로방향은 깊이를 나타내며, 본 해석에서는 125m 깊이까지 해석하였다. 해석단면에 쓰여진 수치는 사각형 블럭내의 비저항값이며, 이들을 등치선으로 연결하고 있다. 일반적으로 비저항은 지표에서 지하로 들어 갈수록 증가하며, 특히 50m와 100m 부근에서 급증한다. 또한 서쪽에서 동쪽으로 갈 때, 전극번호 14부근에서 비저항이 크게 증가한다. 일반적으로 전기비저항은 암석종류보다는 공극률, 공극내의 유체의 성질에 크게 좌우되며, 단층과 같은 파쇄대에서 통상 그 값이 낮아진다. 이러한 점에서 단층운동에 의한 파쇄대를 이 단면도로부터 추정할 수 있다. 즉 전극번호 10번 부근의 저비저항대는 깊이에 따라 우측(동쪽)으로 경사함을 알 수 있다. 이 저비저항대는 그림 3과 비교할 때, 기존의 지질도의 단층위치와 일치한다.

그림 7에 측선 L-2와 L-3에 대한 지하 비저항분포를 도시한다. 전기비저항측선 L-2와 L-3은 그림 3의 우측(동쪽)에 나타난 단층을 횡단하도록 설정되었다. 측선 L-2에 대한 비저항분포(위 그림)를 고찰해 보면, 표층에서 저비저항을 나타내는 구간은 전극번호 12-15에 해당하며, 이 저비저항대는 깊이에 따라 우측(동쪽)으로 경사한다. 그러나 기존의 지질도와 지형도로부터 판단할 때 이 저비저항대는 단층과 관련을 짓기가 쉽지 않다. 측선 L-3에 대하여 해석한 비저항분포(아래 그림)는 표층의 비저항이 낮고 대략 50m와 100m 부근에서 급격히 비저항이 증가하는 것으로 나타난다. 또한 전극번호 4-5번의 저비저항은 깊이에 따라 약간 좌측(서쪽)으로 경사하는 것처럼 보인다. 측선 L-3의 전극번호 4-6구간이 대략 지형적으로 단층이 통과하는 곳으로 볼 수 있으며, 전기비저항 탐사결과 역시 이와 잘 일치한다.

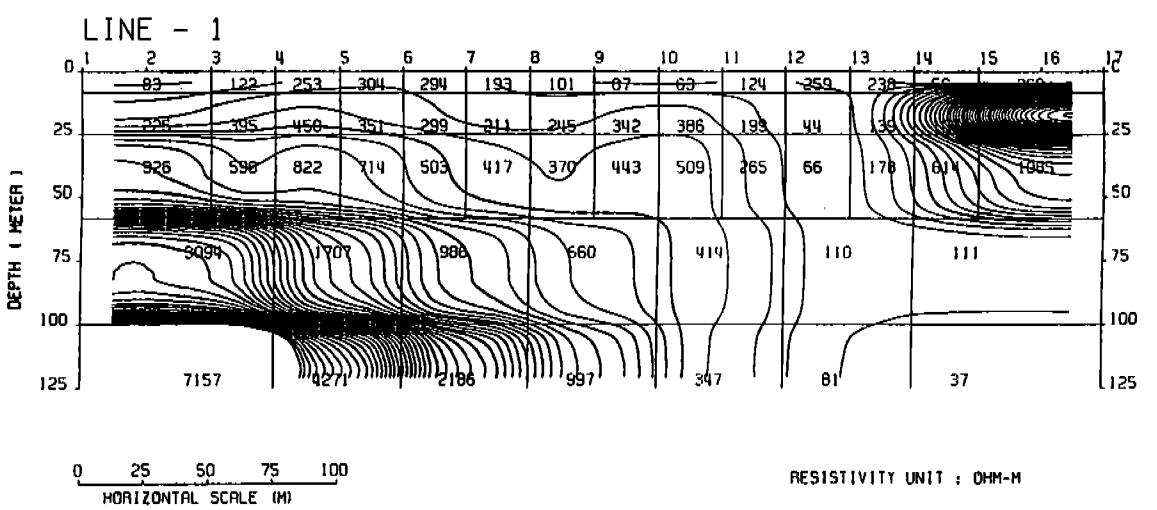

Fig. 6. Computed resistivity cross section along the line L-1.

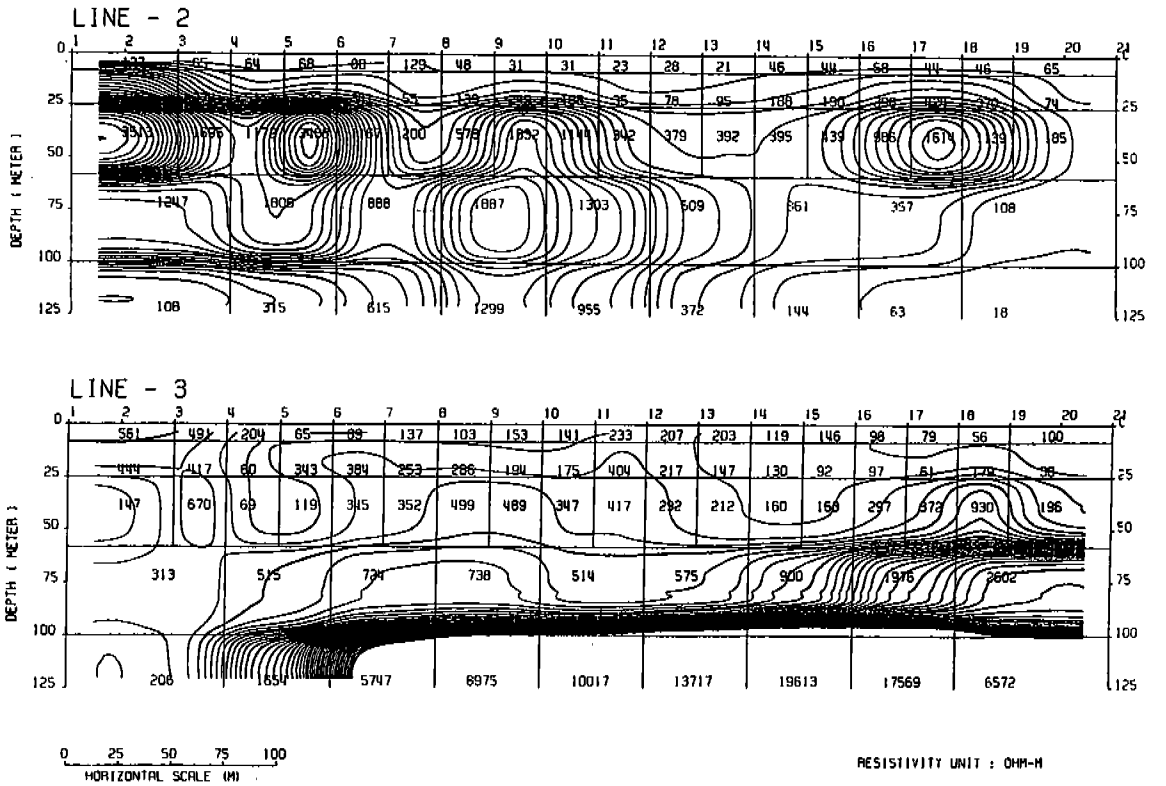

Fig. 7. Computed resistivity cross sections along the lines L-2(upper) and L-3(lower).

중력탐사에 의한 지하구조

지표에서 측정된 자료로 부터 지구내부의 구조나 상태를 추정하는 방법은 다양하지만, 순해법(forward method)과 역해법(inverse method)으로 크게 나눌 수 있다. 지표에서 측정된 중력이상으로부터 지하구조를 추정하는 역해법의 경우는, 중력이상과 지하구조(이상물질의 위치, 형태, 크기, 주위와의 밀도차등)와의 관계가 수식화 되어야 하며, 이 수식의 해를 구함으로서 지하구조가 결정된다. 그러나 이 방법에서는 해로서 구해야 되는 변수의 수가 많아 여러 가정아래에서 단순화하지 않으면 수식화가 어렵다. 순해법의 경우는 먼저 지하구조를 가정하여 가정한 구조에 대하여 지표에서의 중력이상을 계산하여 측정값과 비교하게 된다. 이때 중력이상의 계산값과 측정값이 일치하지 않으면 구조를 수정하여 중력이상을 다시 계산하게 된다. 이 과정을 반복함으로서 측정치를 만족하는 구조를 얻게 된다. 이 방법에서는 지표지질과 측정값을 참조하여 지하구조를 가정하게 되며, 적절한 해를 얻기 위해서는 어느 정도의 경험이 필요하다. 순해법에 의한 지하구조 결정법은 가정한 지하구조에 대한 다수의 반복계산을 필요로 하므로 이 과정을 컴퓨터프로그램으로 작성하므로서 그 해를 용이하게 구할 수 있다. 이상에서 서술한 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 불연속까지의 깊이를 계산할 수 있는 파워스펙트럼법을 고안하였다. 이 방법에서는 주파수에 대한 중력이상의 파워스펙트럼의 기울기로부터 밀도 불연속면까지의 평균적인 깊이를 구할 수 있다. 좀 더

상세한 방법론은 김성균(1996)에 서술되어 있다.

본 연구에서는 위에서 설명한 Tomoda(1960)의 파워스펙트럼법을 이용하여 지하 밀도불연속면의 깊이를 개략적으로 계산하였다. 그림 8에 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. 직선 L1과 L2의 경사로부터 구한 깊이는 각각 650m와 120m로 나타난다. 여기서 650m의 불연속면은 화산암류와 기반암인 화강암류의 경계에 대응되며, 120m의 깊이는 충적층과 완전히 풍화된 암까지의 깊이를 지시하는 것으로 해석할 수 있다.

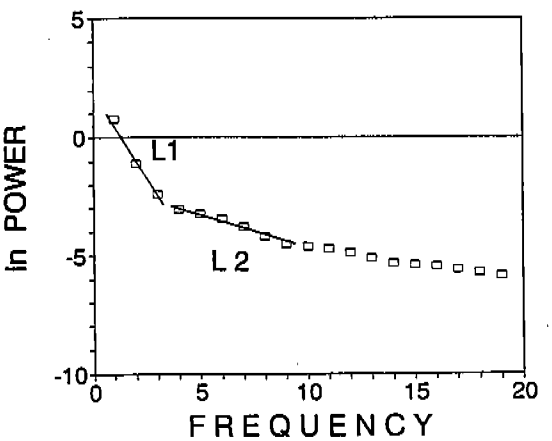

Fig. 8. Power spectrum of the Bouguer anomaly.

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 and Howard, 1980; Furuse and 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, s이고, 주위와의 밀도차가 $\Delta\rho$인 물체들이 한 방향으로 늘어서 있다고 하자. 이때 k번째의 중력이상은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g_k = 2G \sum_{j=-M}^{+M} \Delta\rho_{k-j}\, \Phi_j \tag{1}$$

여기서

$$\Phi_j = \int_{(j-0.5)s}^{(j+0.5)s} \int_0^h (z' / (x'^2 + z'^2)^{3/2})\, dz'\, dx'$$
$$= \ln [x + (x^2 + z^2)^{1/2}] \Big|_{(j-0.5)s}^{(j+0.5)s} \Big|_{z=0}^{h} \tag{2}$$

이며 G는 만유인력상수이다. 식 (1)과 (2)는 가정한 밀도차 $\Delta\rho$에 대한 중력의 이론값을 구하는 식이다. 여기서는 이론값 g_k가 관측값 $\overline{g_k}$와 일치하는 밀도분포를 구하는 것이 목적이다. 따라서 어떤 초기모델에서 출발하여 관측값과 이론값의 잔차가 어떤 값보다 작아질 때까지 모델을 수정하며 반복계산하면 된다. 초기모델 즉 밀도분포는 다음과 같은 식으로부터 부여한다.

$$\Delta\rho_k^0 = \overline{g_k} / (2\pi G h) \tag{3}$$

여기서 n회의 반복계산이 끝난후, $(n+1)$번째의 밀도차의 수정값은

$$\Delta\varepsilon_k^{(n+1)} = (1/2\pi G h) \sum_{i=-1}^{i=+1} \eta_i \left(\overline{g}_{k-i} - g_{k-1}^{(n)} \right) \tag{4}$$

으로부터 계산하며, 여기서 η_i는 해의 발산을 막기 위한 감쇠계수로서 $\eta_0 = 0.50$, $\eta_{-1} = \eta_{+1} = 0.25$로 하여 계산하는 것이 합리적이다(Furuse and Kono, 1990). 이 방법의 타당성은 Furuse and Kono(1990)에 의하여 입증되었다.

그림 9에 위의 방법을 본 연구에서 측정한 중력이상자료에 적용하여 계산된 수평방향의 밀도변화를 도시하였다. 계산에 있어서는 밀도변화를 고려할 사각형의 폭을 40m로 하였으며, 깊이는 스펙트럼법에서 얻어진 밀도불연속면 650m를 채택하였다. 계산으로 얻어진 밀도차는 대략 -0.6~+1.2의 범위에 있으며, 화산암류가 분포하고 있는 0~2.2km 구간에서 -0.4정도이며, 변성퇴적암류가 분포하는 구간에서 +0.3~+1.0으로 증가한다.

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 이론값과 측정값이 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, 단층의 경사는 전기비저항단면을 참조하였다. 또한 밀도차는 Kwon et al.(1993)과 그림 9의 수평방향으로의 밀도변화를 참조하여 값을 부여하였다. 즉 화강암류(그림 10의 A)의 밀도를 기준으로 하여, 화산암류(그림 10의 B)의 밀도차는 -0.15g/cm3로, 변성퇴적암류(그림 10의 C)의 밀도차는 +0.15g/cm3로, 편마암류(그림 10의 D)의

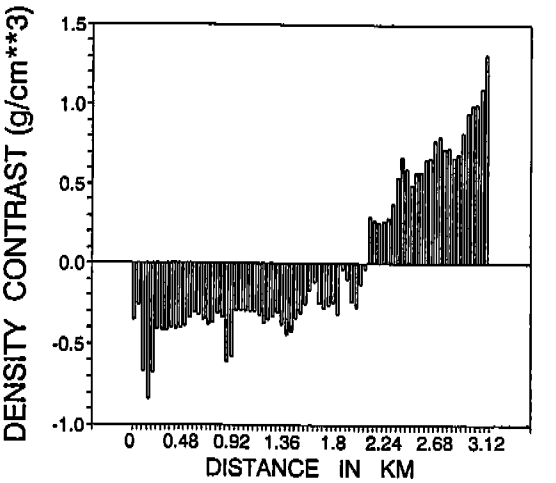

Fig. 9. Lateral density variation to explain the Bouguer anomaly profile.

밀도차는 +0.05g/cm3로, 충적층(그림 10의 E)의 밀도차는 -0.5g/cm3가정하였다. 이와 같은 밀도차를 가정하여 최종적으로 얻은 지하구조 모델을 그림 10에 제시한다. 그림에서 중력이상의 측정값실선)와 지하구조로부터 이론적으로 계산한 중력이상(파선)이 대체로 일치함을 알 수 있다. 물론 중력이상의 측정값과 계산값의 일치는 본 연구에서 채택한 밀도차를 가정할 때 성립된다고 할 수 있다.

지하구조 모델에 나타난 2개의 단층중 서쪽(좌측)의 단층은 광주단층의 주단층이며, 동쪽(우측)의 것은 광주단층에서 분기한 비교적 짧은 단층이다(그림 1 및 2 참조). 그림에서 중력이상을 만족하는 지하구조 모델은 기조사된 단층의 위치와 잘 맞으며, 광주단층 남단의 중력을 해석한 Kwon et al.(1993)의 연구결과와도 잘 조화된다.

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

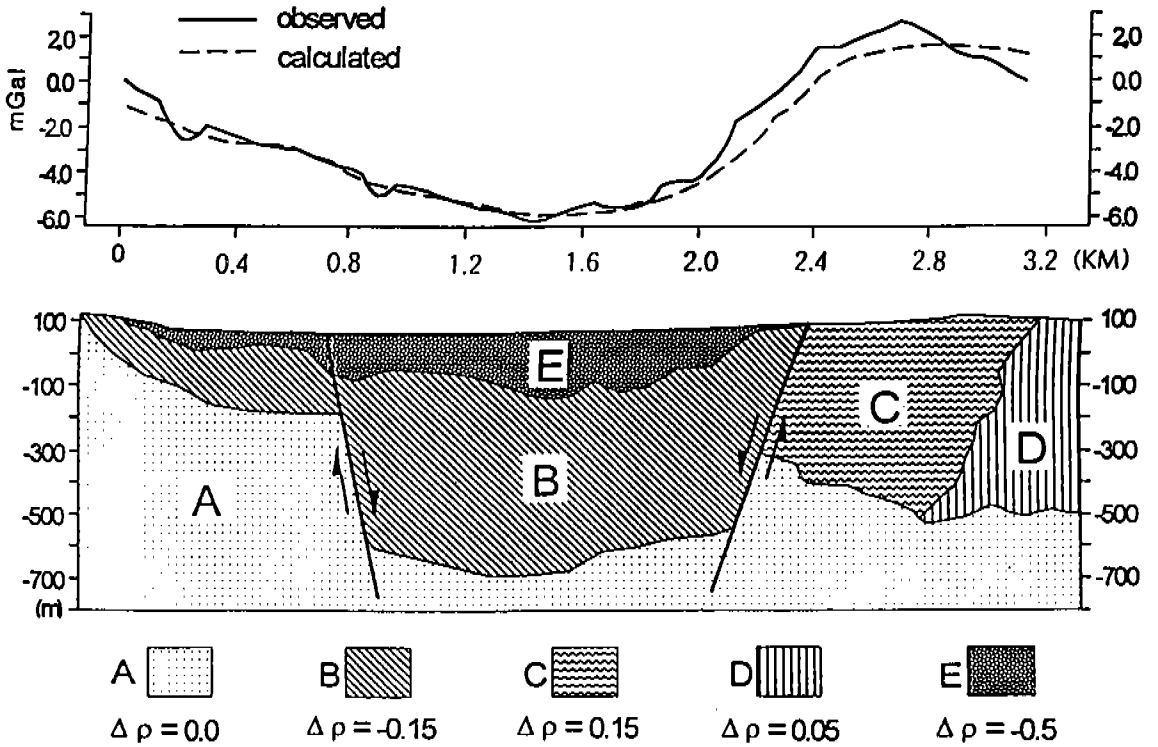

Fig. 10. Bouguer anomaly profile and an interpretive geological structure.
A : Mesozoic granites, B : Cretaceous volcanic formation, C : Meta sediments,
D : Precambrian gneiss complex, E : Alluvium.

결 언

본 연구에서는 옥천대의 구조발달사를 밝히기 위한 연구의 일환으로 장성호 하류에서 광주단층과 이 단층에서 분기한 단층을 가로 지르는 측선을 설정하여 전기비저항과 중력을 측정, 해석하였다.

전기비저항 탐사를 위하여 500m의 측선 3개가 설정되어 이 측선상에서 쌍극자배열법으로 탐사를 수행하였으며, 전극간격은 25m로 조정하였다. 측정된 전기저항값은 쌍극자 배열에 따른 거리계수를 곱하여 겉보기비저항값으로 환산한 후, 전기비저항 해석용 컴퓨터 프로그램을 사용하여 지하 비저항구조를 추정하였다. 중력측선의 길이는 3.2km이며, 이 측선상에서 평균 40m 간격으로 80여점의 측정이 이루어 졌다. 측정된 중력은 보정을 거쳐 Bouguer 이상으로 표현되었으며, 이 중력이상을 만족하는 지하 지질구조가 얻어 졌다.

전기비저항자료의 해석결과 단층의 위치와 기하학적 형태가 비교적 확실하게 나타났다. 이 결과에 따르면 광주단층과 이 단층에서 분기한 단층은 급경사의 정단층임을 알 수 있다.

중력이상 해석에 있어서 먼저 파워스펙트럼법으로 계산한 지하 밀도불연속면의 평균깊이는 각각 650m와 120m로 나타난다. 여기서 650m의 불연속면은 화산암류와 기반암인 화강암류의 경계에 대응되며, 120m의 깊이는 충적층과 완전히 풍화된 암까지의 깊이를 지시하는 것으로 해석할 수 있다.

한편, 본 연구에서 중력이상이 수평방향으로 일정한 깊이까지의 밀도변화에 기인한다고 가정하여, 수평방향의 밀도변화를 추출하였다. 계산에 있어서는 밀도변화를 고려할 사각형의 폭을 40m로 하였

으며, 깊이는 스펙트럼법에서 얻어진 밀도불연속면 650m를 채택하였다. 계산으로 얻어진 밀도차는 대략 -0.6~+1.2의 범위에 있으며, 화산암류가 분포하고 있는 0~2.2km 구간에서 -0.4정도이며, 변성퇴적암류가 분포하는 구간에서 +0.3~+1.0으로 증가한다.

끝으로 측정된 중력이상과 전기비저항 분포를 만족하는 지하구조가 제시되었다. 이 결과로부터 이 지역의 구조운동을 개략적으로 설명할 수 있다. 즉 대략 중생대 중기에 선 캠브리아기의 편마암류와 변성퇴적암류를 관입하는 수회의 화성활동이 있었으며, 그후 중생대말의 화산활동으로 화산암류가 널리 분출한 이후 장력장이 형성되어 정단층 운동이 일어난 것으로 추정할 수 있다.

사 사

이 연구는 1996년도 교육부 기초과학연구소(과제번호:96-5417)의 연구비 지원에 의하여 수행되었다. 본 연구에서의 중력측정을 포함한 중력자료처리와 전기비저항탐사에 협력한 전남대학교 지질학과 96학년도 지구물리 논문조원들에게 감사드린다. 또한 본 논문의 심사를 통하여 논문의 질을 높여 주신 공주대 서만철 교수와 익명의 심사위원께 감사드린다.

참 고 문 헌

권성택, 藍晶瑩, 1991, 옥천각섬암의 Sm-Nd 동위원소연구 : 예비보고서, 광산지질, 24, 77-285.

김성균, 1996, 고체지구물리학. 교학연구사, p. 250.

김정환, 홍승호, 황상구, 1982, 신흥지질도폭설명서(1 : 50,000), 한국동력자원연구소.

김용준, 1986, 영남육괴에 분포하는 고시화강암질암의 지질년대와 성인에 대한 연구, 광산지질, 19권 특별호, 151-162.

김용준, 이창신, 1988, 장수-운봉지역에 분포하는 화성암류와 화성활동에 관한 연구, 지질학회지, 24권 특별호, 11-131.

박희인, 1966, 한국지질도 순창도폭(1 : 50,000), 국립지질조사소.

손치무, 김수진, 1966, 한국지질도 창평지질도폭(1 : 50, 000), 국립지질조사소.

정승환, 김정호, 조인기, 전정수, 신인철, 1991, 물리탐사 자료해석 기술향상을 위한 전산처리 연구. 대한광업진흥공사 보고서, 91-탐사-1.

장태우, 1994, 광주 전단대내 석영 분쇄암의 미구조에 관한 연구, 지질학회지, 30, 140-152.

장태우, 기원서, 이병주, 1995, 순창전단대. 대한지질학회 춘계학술답사 안내서, 41 p.

주승환, 김성재, 1985, Rb-Sr법에 의한 영남육괴 연대측정 연구(평해-분천-김천 화강편마암류 및 화강암류). 한국동력자원연구소, KR-85-24, 7-40.

주승환, 김성재, 1986, 영남육괴의 년령측정II(지리산 서남부 일대 화강암질 편마암 및 편마상화강암류), 한국동력자원연구소, KR-86-7, 7-33.

한국자원연구소, 1995, 한국지질도(1 : 1,000,000). 한국자원연구소.

Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of the Ogcheon Belt(South Korea). Tectonophysics, 183, 41-56.

Fisher, N.J. and Howard, L.E., 1980, Gravity interpretation with the aid of quadratic programming. Geophysics, 45, 403-419.

Furuse, N. and Kono, Y., 1990, A three dimensional gravity inversion method for layered structures with lataral density variation-An application to the Hokuriku District, Central Japan. Jour. Seis. Soc. Japan (Zishin), 43, 1-11.

Kim, O. J., 1987, Okchon folded belt, Geolgy of Korea (ed. Lee, D. S.), 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, 29, 281-290.

Lee, Kiehwa, Kwon B.D., Baag C.E., and Chang T.W., 1988, Seismicity of the Korean Peninsula : Seismicity of the Okcheon Zone. Jour. Geol. Soc. Korea, 24, 464-488.

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, 32, 172 - 186.

Pedley, R.C., 1991, Interactive 2.5D gravity and magnetic modelling program, GRAVMAG - User Manual, British Geological Survey.

Tomoda, Y., 1960, Thickness of the earth's crust from Bouguer anomaly statistics. Jour. Geod. Soc. Japan, 6, 47 - 56.

Yanai, S., Park, B.S. and Otot, S., 1985, The Honam shear zone (South Korea) : Deformation and tectonic implication inthe far east, Earth scirnce and astrnomy (scientific paper, college of art science), Univ. of Tokyo, 35, 180 - 210.

김성균, 김용준, 오진용, 김민선, 서구원
전남대학교 자연과학대학 지질학과
500 - 757 광주 북구 용봉동 300
TEL : 062 - 520 - 7185