

## 중력, 자력 및 위성영상 자료를 이용한 의성소분지의 지질 및 지구조 연구

유상훈<sup>1\*</sup> · 황종선<sup>1</sup> · 민경덕<sup>1</sup> · 우익<sup>2</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 지구시스템과학과, <sup>2</sup>세종대학교 지구정보공학과

### Subsurface Geology and Geologic Structure of the Euseong Basin using Gravity, Magnetic, and Satellite Image Data

Sang Hoon Yu<sup>1\*</sup>, Jong Sun Hwang<sup>1</sup>, Kyung Duck Min<sup>1</sup> and Ik Woo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Geoinformation Engineering, Sejong University, Seoul 143-747, Korea

Euseong subbasin, included in the Kyungsang Basin, was created by the result of volcanic activity in the late Cretaceous, and contacts with Milyang and Youngyang subbasins by Palgongsan and Andong faults, respectively. In this study, geophysical survey is implemented for investigating surface and subsurface geologic structure in Euseong subbasin which composed with the complex of volcanic and plutonic rocks. To understand surface geologic feature, IRS satellite image and DEM(Digital Terrain Map) are used for analyzing lineament and its density. The numbers of lineaments show major trend in N55°~65°W, and aspects of lineament lengths show major trend in N55°~65°W and N-S directions. To delineate subsurface density discontinuity, power spectrum analysis was implemented for gravity anomaly data, resulting 4-5 km depth of basin basement and 0.5-0.6 km depth of shallow discontinuity. From the result of power spectrum analysis, 2.5-D modelings were implemented along two profiles of A-A' and B-B', and they show subsurface geology in detail. Analytic signal method for detecting boundaries of magnetic basements show 0.001-130 nT/m values, and high energy area show good correspondency with the boundaries of Palgongsan granite and caldera areas in Euseong subbasin.

**Key words :** Euseong subbasin, lineaments, power spectrum, 2.5-D modelings, analytic signal method

경상분지에 속하는 의성소분지는 백악기말 활발했던 화산활동의 결과로 형성되었으며, 밀양소분지와는 팔공산단층을 경계로, 영양소분지와는 안동단층을 경계로 구획된다. 본 연구에서는 화산암체와 심성암체의 복합체로 이루어진 의성지역에서 지구물리학적 연구를 수행하여 지표 및 지하 지질구조를 규명, 해석하고자 한다. 지표지질 양상을 파악하기 위하여 수행된 IRS 위성영상과 수치고도자료를 이용한 선구조와 선밀도 분석 결과, 선구조의 방향은 N55°~65°W가 현저하게 우세하며, 연장성은 N55°~65°W방향과 N-S방향이 우세하게 나타났다. 지하 밀도 불연속면의 평균심도를 구하기 위하여 중력자료의 파워스펙트럼분석(Power spectrum analysis)을 시행한 결과, 4~5 km의 분지기반암의 심도와 0.5~0.6 km의 천부지층경계면의 심도가 규명되었다. 파워스펙트럼 결과를 참고로 축선 A-A'와 B-B'에서 2.5차원 모델링을 실시한 결과, 축선 A와 B에서 나타나는 특징적인 저이상은 지하지질구조 특성에 기인한 것으로 판단된다. 자력기반암의 경계를 파악하기 위한 자력자료의 Analytic signal 분석은 0.001~130 nT/m의 범위를 가지며, 높은 에너지를 보이는 부분은 팔공산 화강암체의 경계와 분지내의 칼데라 분포지역과 잘 일치한다.

**주요어 :** 의성소분지, 선구조, 파워스펙트럼, 2.5차원 모델링, analytic signal 분석

#### 1. 서 론

경상분지는 중생대 유라기 후기의 대보조산운동 이

후부터 백악기에 걸쳐 형성된 분지로서, 행정구역상으로 경상남북도 일원에 분포하고 있다. 경상 분지는 동해 및 남해와 접함으로써 대단위 공단과 원자력 발전

소들이 위치해 있고, 앞으로도 많은 건설이 계획되고 있는 지역으로서 분지의 지질 및 지구조 연구는 그 중요성이 매우 크다. 본 연구지역인 의성소분지는 경상 분지 중의 하나로서 밀양소분지와는 팔공산단층을 경계로, 영양소분지와는 안동단층을 경계로 구획된다. 의성소분지 전체의 지구조 연구는 아직까지 미비한 상태이며, 팔공산단층도 퇴적상의 변화에 의한 가상단층으로만 표시되어 있어 그 존재가 확인되지 않은 상태이다(Chang, 1987). 의성소분지에서 수행된 지구물리학적 연구로는 측선을 따라 측정된 중력 및 자력자료의 처리로 국한된 소규모 지역에 대한 연구들(민경덕 등, 1985; 권병두 등, 1995; 이천훈, 이도영, 1972)이 있다. 의성소분지의 층서-퇴적 및 지구조 연구로는 손진담(1989), 최현일 등(1982), 장기홍 등(1997) 등이 있으며, 화성활동 및 고지자기연구로는 김인수 등(1993)가 있으나, 이들 대부분의 연구에서는 한정적인 범위의 자료를 이용한 국부적인 해석이 이루어졌다. 따라서 본 연구에서는 의성지역에서 화산암체와 심성암체의 복합체로 이루어진 지역을 중심으로 위성영상 자료를 이용한 지표 선구조의 방향 및 연장성을 분석하고, 지하구

조 특성 고찰을 위해 중력과 자력탐사 자료를 이용하여 연구지역내 심성암체의 지하부존형태를 밝히는데 그 목적을 두고 있으며, 의성소분지의 전체적인 구조해석을 위해 GIS 기법을 활용하여 연구지역내 천부 및 심부의 구조를 고찰하고자 한다.

## 2. 지질 및 지질구조

### 2.1. 지질

중생대 쥐라기 후기 대보조산운동에 의하여 한반도 남동부에는 백악기 퇴적분지인 경상분지가 형성되고 육성 기원의 쇄설물이 퇴적되었으며, 백악기 후기에는 산성 내지 염기성 화산암류의 분출과 불국사 화강암류의 관입이 뒤따랐다. 경상분지는 세 개의 소분지로 나뉘어지며, 본 연구지역인 의성소분지는 영남육괴의 선캠브리아기 변성암류를 기반암으로 하여 북으로는 안동단층을 경계로 영양소분지와, 남으로는 팔공산선을 경계로 밀양소분지와 경계를 이루고 있으며, 동해안 일부에는 제3기 퇴적분지가 분포하고 있다. 분지 내 백악기 퇴적암류들은 신동층군, 하양층군, 유천층군으로

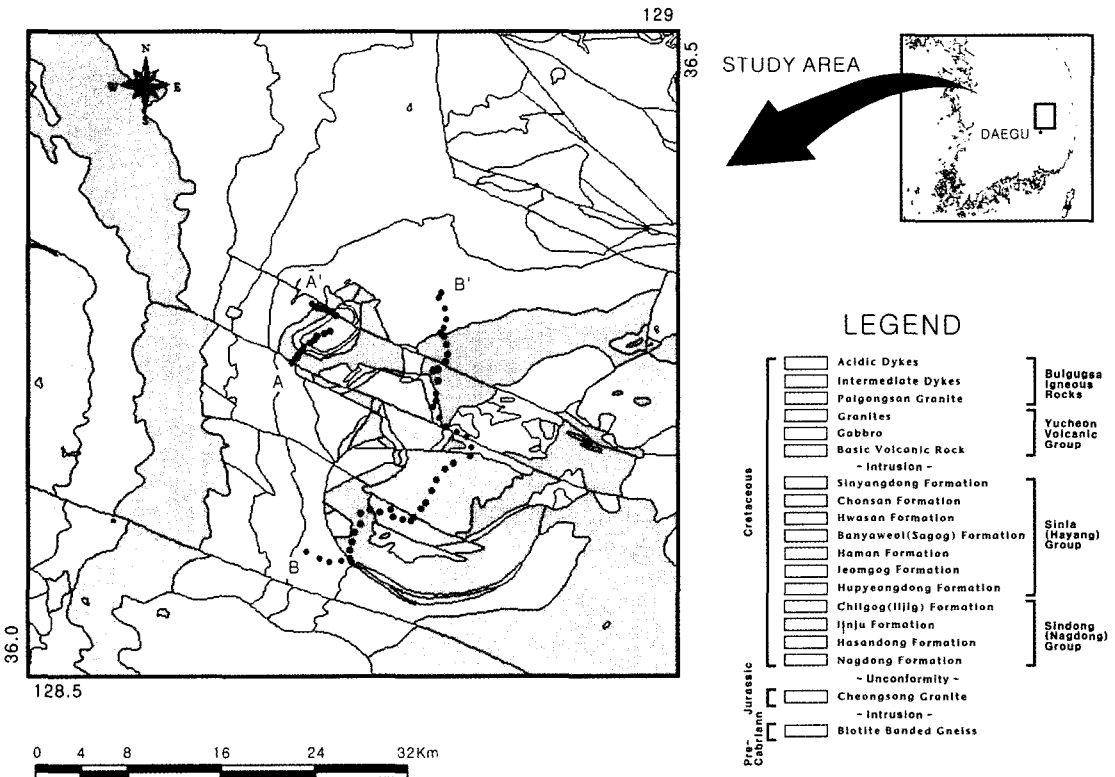


Fig. 1. Geological map of the study area. Black dots indicate survey points on the lines of A-A' and B-B' for gravity measurements.

내분되며, 불국사관입암류가 이들을 관입하여 분포한다 (김원균, 1999). Fig. 1은 연구지역의 지질도이다.

**2.2. 지질구조**

의성소분지에는 서북서방향의 여러 조의 주향이동단층들이 발달하고 있으며, 퇴적암지층들을 좌수향으로 변위시키고 있다(장기홍, 1978). 북으로부터 이들은 각각 급천단층, 가음단층, 우보단층, 신령단층 등으로 명명되고 있다. 이러한 주향이동단층들 이외에도 화산 활동시 형성된 특징적인 모양의 환상단층들이 발달되어 있다(장기홍, 1977). 의성소분지에 대한 기존의 많은 연구에서 분지의 생성기후, 발달과정, 규모 및 형태에 대해서는 다양한 모델이 제시되고 있으나, 그 형성에 대해서는 크게 반지구성(장기홍, 1988, 1997; 최현일, 1985) 혹은 pull-apart 분지(황재하, 1992, 1994)로 구분된다.

**3. 중력, 자력 및 인공위성 영상 자료**

본 연구에서는 의성소분지의 전체적인 지질특성과 지구조를 규명하기 위하여, 중력, 자력, 인공위성 영상 및 수치고도자료를 이용하여 천부 및 심부의 구조를 고찰하였다.

지표지질 특성 규명을 위해 IRS 인공위성 영상자료

로부터 자동화된 선구조 추출 알고리즘에 의한 태양의 조명방위각과 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과가 보정된 선구조도(Fig. 2)를, 수치고도자료(DEM; Digital Elevation Model)에 의한 Shaded relief map (Fig. 3)을 작성하여 지표 선구조의 방향 및 연장성을 분석하였다.

지하구조 특성 고찰을 위한 중력자료로는 한국지질자원연구원에서 제작한 1:250,000 부계 중력이상도 안동도폭(조진동, 2003)과 금번 연구의 일환으로 금성산 칼데라지역에서 18점, 화산칼데라지역에서 46점, 총 64 점에서 새로이 측정, 획득된 중력자료 및 기존의 연세대학교, 부산대학교, 한국지질자원연구원의 중력자료와 병합하여 기기보정, 조석보정 위도보정, 고도보정 및 지형보정의 과정을 거친 후 종합, 해석되었다. 해석결과는 우익(1993), 유철(1996), 제일영(1998), 김원균(1999)의 연구결과와 비교 검토되었고, 전체적인 변화양상 및 이상대가 매우 잘 일치하고 있어 자료의 신뢰도가 높음을 알 수 있었다(Fig. 4). 자력자료는 한국지질자원연구원에서 1981년부터 1994년까지 년차적으로 획득한 항공자력탐사 자료로서, 비행측선의 편차에 대한 위치보정, Base station을 운영한 후 최소자승법에 의한 기기보정 및 일변화보정, 동서방향의 측선자료와 남북방향의 측선자료간의 가중평균법을 이용한 Tie

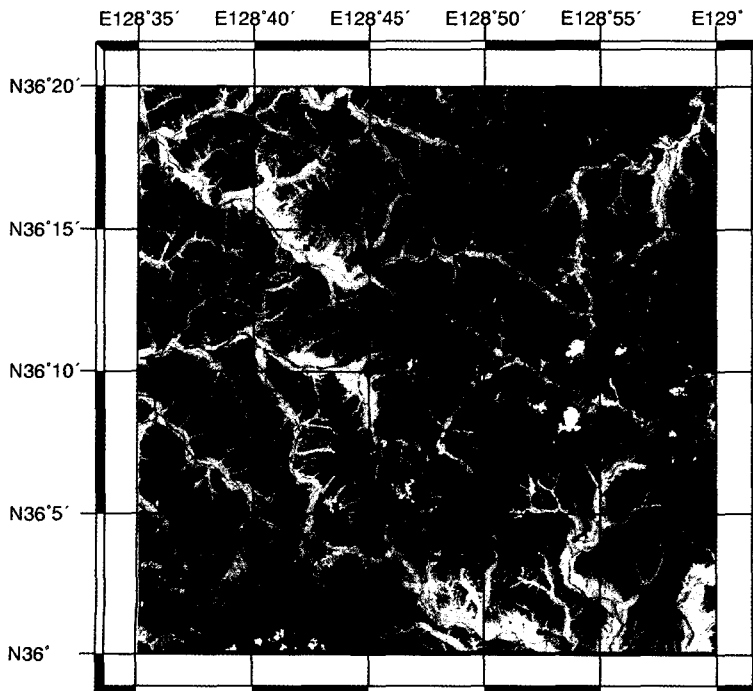


Fig. 2. True color composite image of the IRS satellite over the study area. Red dots indicate gravity measurement points.

line 보정, 비행고도변화에 따른 기준고도인 400 feet로 고도보정이 수행된 자료이다. 이들은 Bi-directional gridding 방법에 의해 150×150 m 격자간격으로 변환되어 있고, 또한, 각 측정자료들은 측정시기가 다르므로

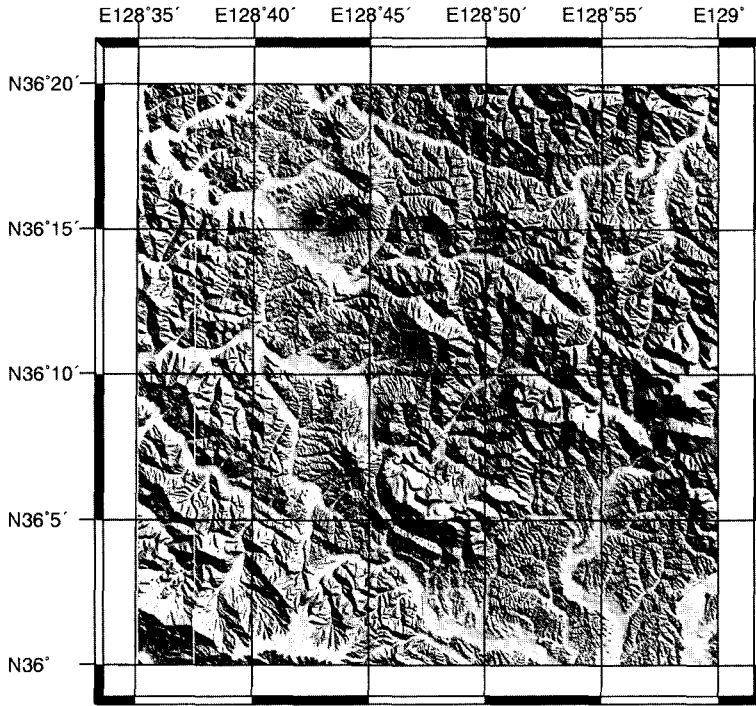


Fig. 3. Shaded relief map.

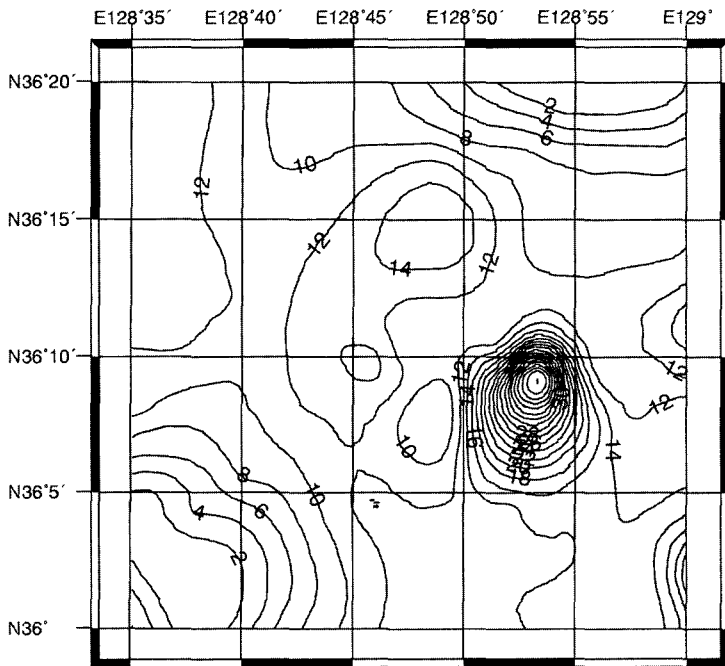


Fig. 4. Gravity anomaly map.

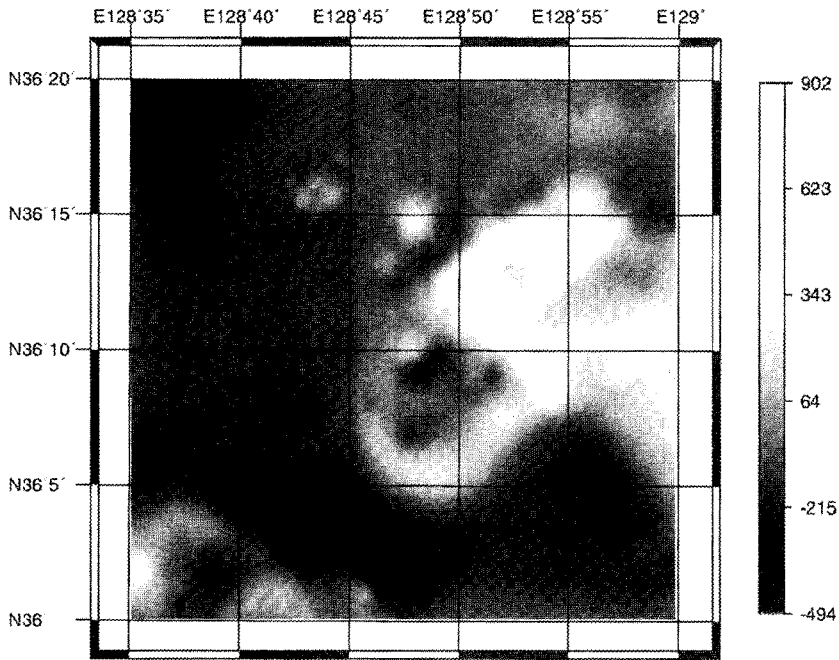


Fig. 5. Magnetic anomaly map (Koo *et al.*, 1997).

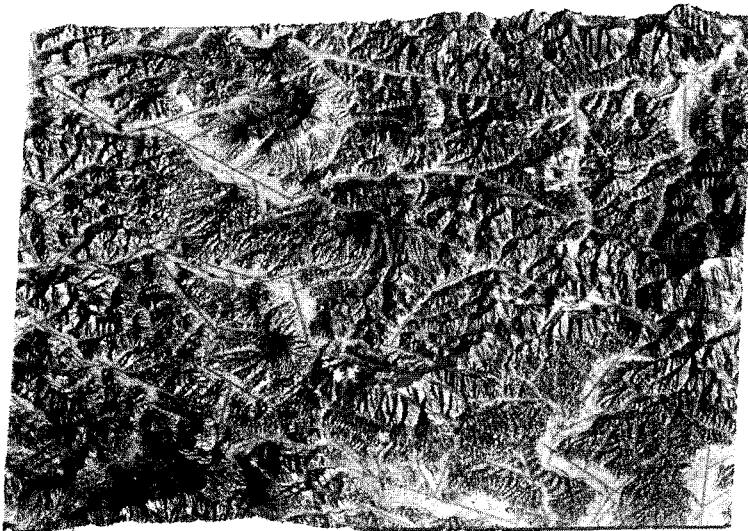


Fig. 6. 3-dimensional lineament map. Red lines indicate the lineaments.

측정 연도를 기준으로 Gauss 계수를 8까지로 하여 IGRF 보정이 실시되었다(구성분 등, 1997)(Fig. 5).

또한, 연구지역내의 지형의 영향을 고려하기 위하여 NASA에서 최근 공개된 90 m간격의 SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 고도자료를 사용하였다.

#### 4. 연구방법 및 결과

##### 4.1. 위성영상 선구조 해석

자동화된 선구조 추출 알고리즘에 의해 위성영상 자료로부터 태양의 조명방위각과 센서의 관측방향에 따른 선택적 증감효과가 보정된 선구조도와, 수치고도자

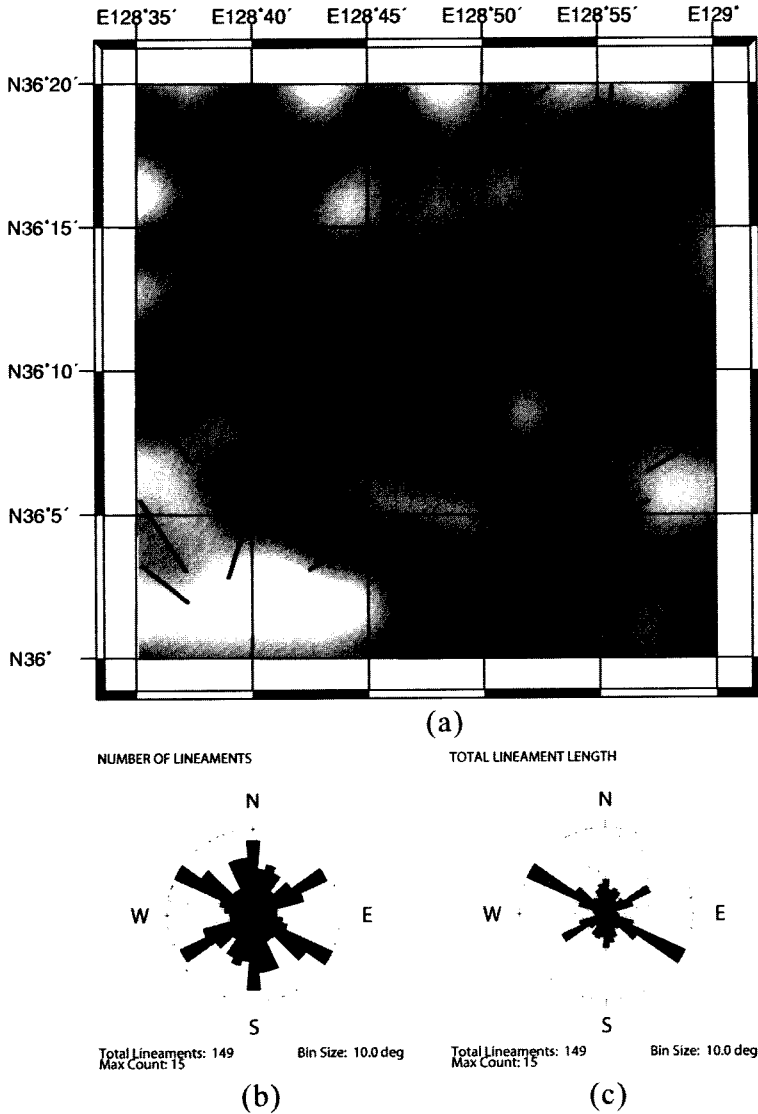


Fig. 7. Lineament density map (a) and Rose diagrams of lineaments (b) and (c) show numbers of lineaments and total lineament length in the study area, respectively.

료(DEM; Digital Elevation Model)로부터 작성된 shaded relief map을 이용하여 지표 선구조의 방향 및 연장성을 분석하였다. IRS 인공위성 영상자료의 기하학적 보정과 판독 및 분석을 위한 전처리과정으로 영상강조 및 특징추출 등의 자료처리를 실시하였으며, 위성영상자료와 수치지형고도자료로 생성된 음영기복도를 이용하여 예상되는 선구조를 추출하고 3차원 모델을 구성, 다양한 시각에서의 선구조여부를 판독하였다(Fig. 6). 추출된 선구조는 분포방향별 개소수와 연장성을 분석하고, 밀도도를 작성하였다(Fig. 7(a)). IRS 위

성영상을 이용하여 선구조를 분석한 결과는 Fig. 7과 같다. 본 연구지역에서 이루어진 선구조 분석결과 선구조의 방향은 N55°~65°W가 현저하게 우세하며, 연장성은 N55°~65°W와 N-S방향이 우세하다. 따라서, N55°~65°W 방향의 선구조가 빈도수와 연장성이 매우 높은 선구조임을 알 수 있다(Fig. 7(b), (c)).

4.2. 중력자료의 파워스펙트럼분석

연구지역내 밀도불연속면의 평균심도를 구하기 위하여, 각종 중력보정을 거쳐 얻어진 부계 중력이상을 주

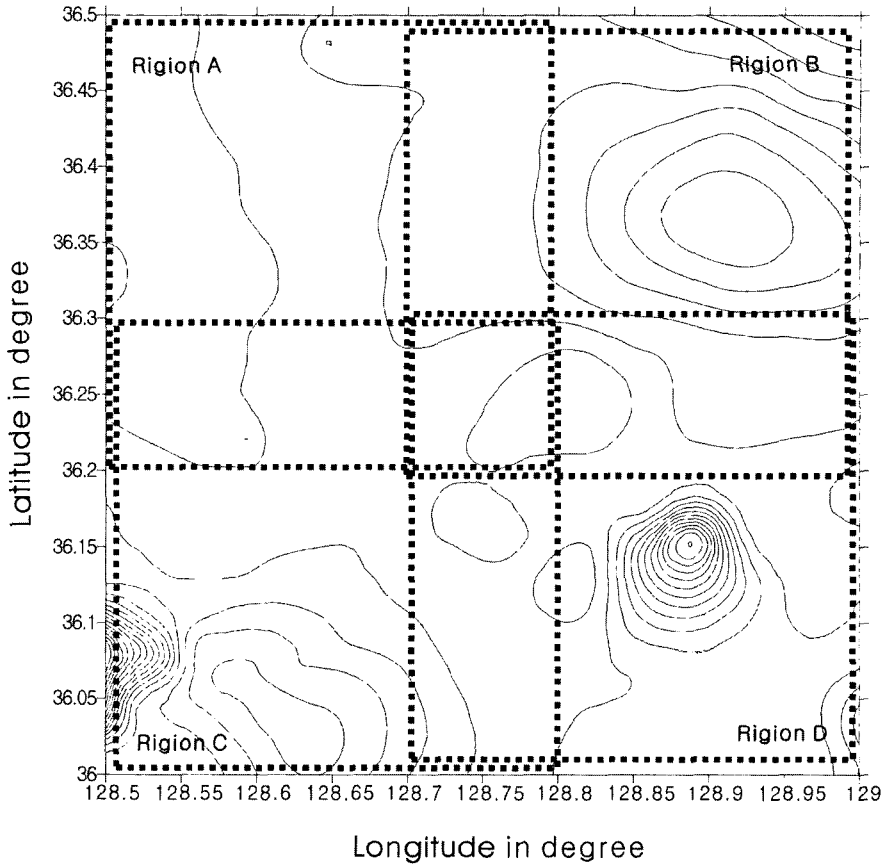


Fig. 8. Subdivided area map for the 2-D power spectrum analysis. Size of each area is  $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$ .

파수 영역에서 스펙트럼 분석에 의해 절단파수를 결정하고, 결정된 파수를 이용한 파워스펙트럼분석을 실시하였다. 파워스펙트럼 분석에 의해 white spectrum의 개념을 이용하여 측정자료의 일부 혹은 전부를 푸리에(Fourier) 급수로 전개하여 지하에 밀도변화가 존재하는 경계면의 평균심도를 구할 수 있다. 지역별 심도변화를 구하기 위하여 연구지역을  $0.3^{\circ} \times 0.3^{\circ}$  크기의 4개 지역으로 구분하여, 각 지역별로 파워스펙트럼을 구하였다(Fig. 8). 4개 지역 모두에서 2개의 뚜렷한 밀도불연속면이 존재하며, 이들의 심도는 각각 약 4~5 km 및 0.5~0.6 km이다(Fig. 9). 중력자료를 이용한 한반도의 지구구조에 대한 기존의 연구에서, 조진동 외(1996)은 한반도 남부에는 3.1~3.7 km, 6.8~9.27 km, 12.0 km 및 27.7~34.7 km 깊이에 밀도불연속면이 존재하며, 전정수(1995)는 밀양분지에서의 중·자력자료의 파워스펙트럼분석으로 31.3 km, 14.3~14.4 km, 5.4~6.3 km에 밀도불연속면이 존재함을 밝혔다. 또한,

김성균(1995)은 중력·지진자료를 연계하여 6.9 km, 32.6 km에 밀도불연속면이 존재한다고 하였다. 따라서, 기존의 연구결과와 비교할 때 중력자료의 파워스펙트럼 분석으로 본 연구에서 얻어진 4~5 km의 심도는 분지기반암의 심도로, 0.5~0.6 km는 천부지층경계면 또는 관입암 및 천부지질변화에 의한 영향으로 해석된다. 또한 이들 경계면이 기존에 연구된 경계면과 동일한 것으로 보면, 연구지역의 남서부지역에서 북동부지역으로 갈수록 분지기반암의 평균심도는 깊어지는 것으로 해석된다.

#### 4.3. 자력자료의 Analytic signal 분석

자력자료를 이용한 지하 지질 및 지질구조 분석을 위하여 3-D analytic signal의 절대값인 energy envelope을 이용하여 연구지역내 자력이상체의 분포와 그 경계를 규명하였다. Analytic signal 방법은 자력이상의 수평 및 수직 미분치를 이용한 분석방법으로 암체 나 구조의 경계에서 analytic signal의 절대값이 최대값을 보인다.

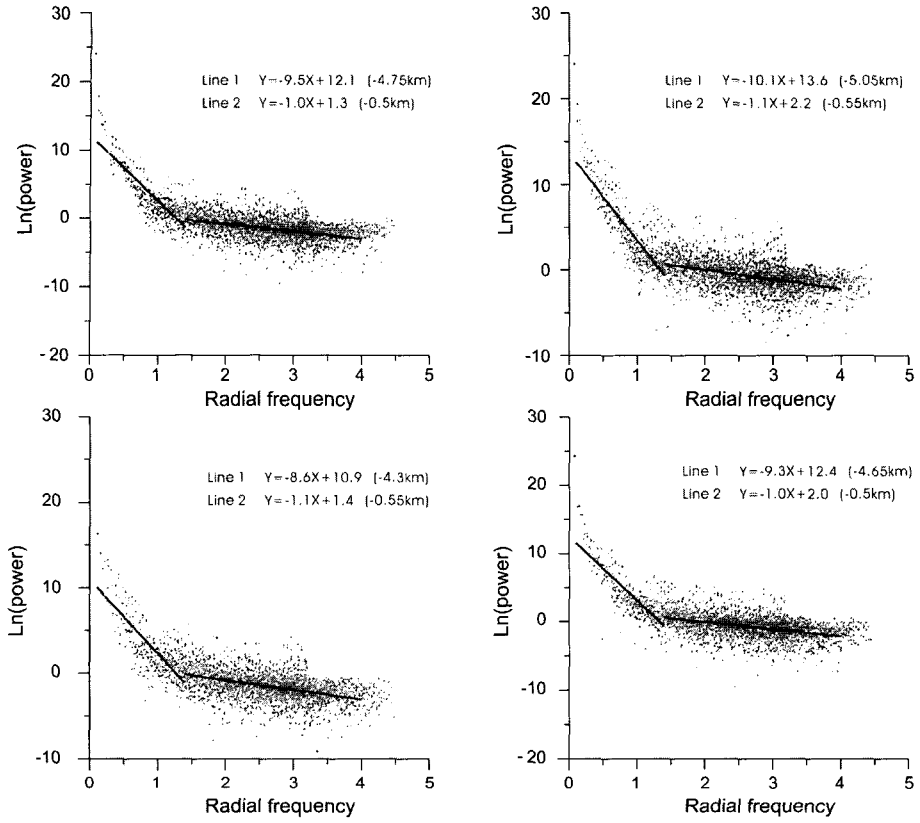


Fig. 9. Two-dimensional power spectrum of the gravity anomaly map in the four subdivided regions shown in Fig. 8.

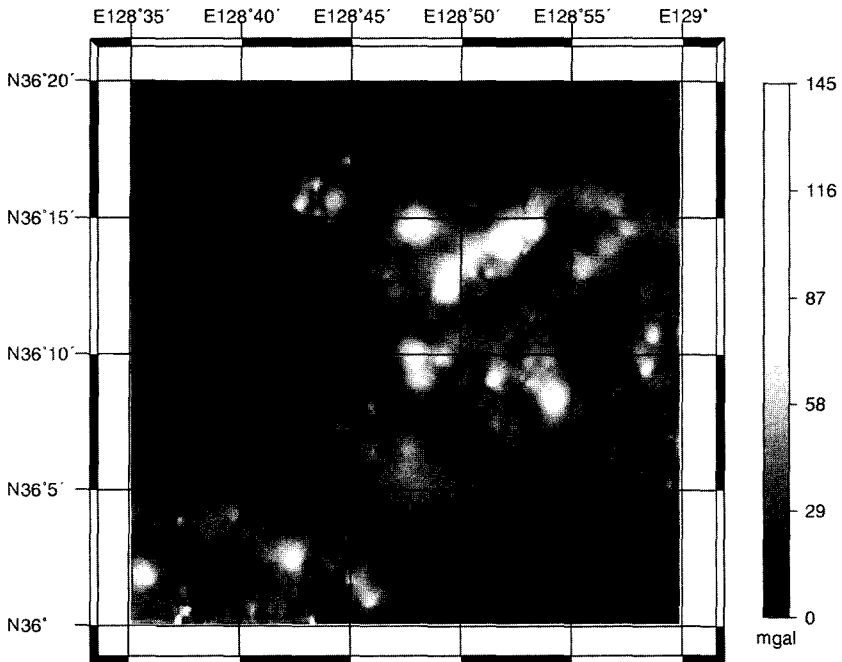


Fig. 10. Energy envelope of the analytic signal.



특히, 이 방법은 잔류자기의 크기나 암체의 자화방향에 관계없이 자력기반암의 경계를 찾을 수 있다는 장점이 있다(Thurston & Brown, 1994; Hsu *et al.*, 1996). Fig. 10은 연구지역에 analytic signal방법을 적용한 결과로 energy envelope은 0.001~130 nT/m의 범위를 가진다. 높은 에너지를 보이는 부분은 팔공산 화강암의

경계와 분지내의 칼데라 분포지역과 잘 일치하고 있으며, 또한 높은 에너지를 보이는 곳곳에 화성암체들이 분포한다.

4.4. 2.5차원 중력모델링

중력이상의 파워스펙트럼분석과 자력이상의 analytic

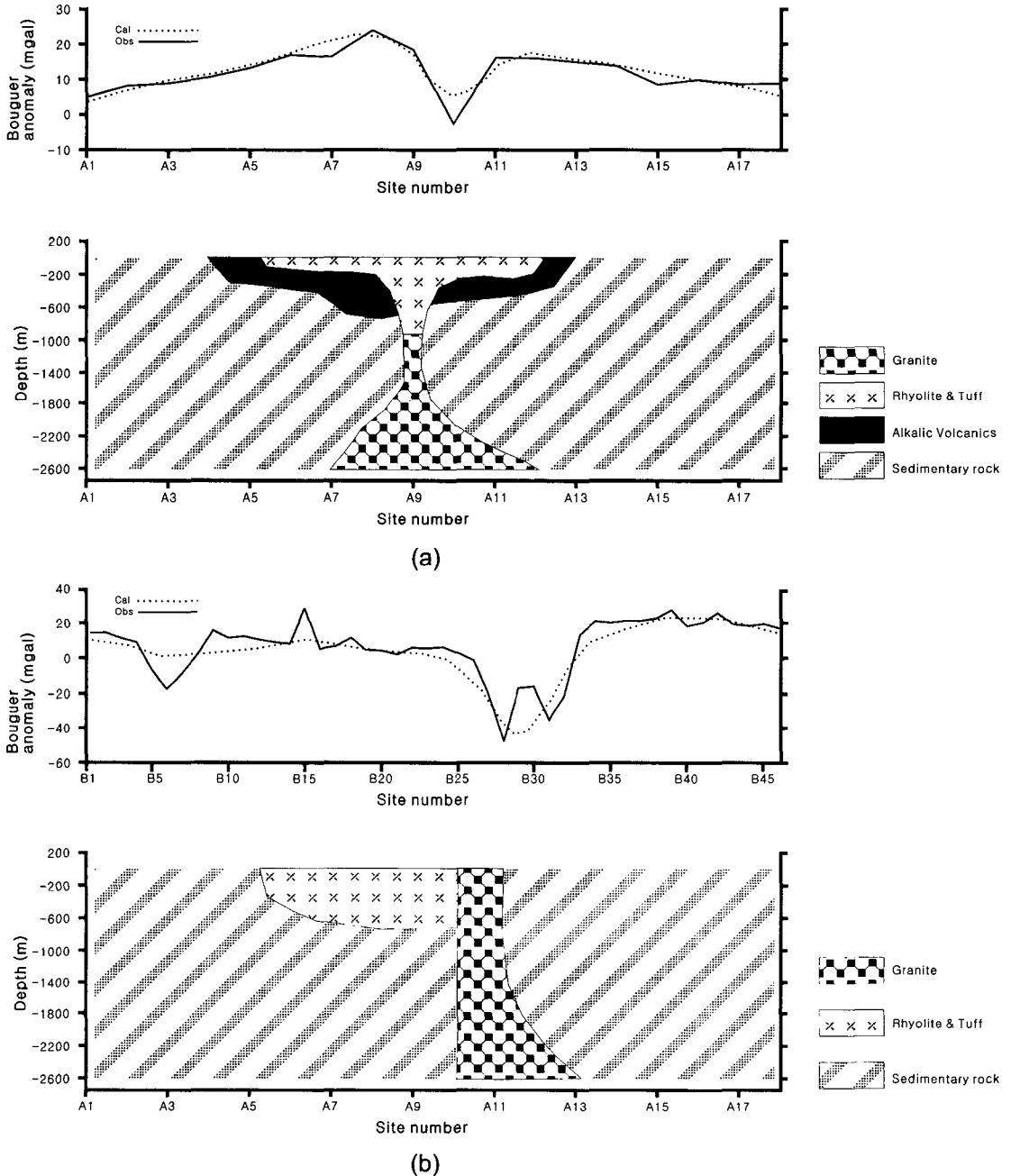


Fig. 11. 2.5-dimensional modeling along survey lines of A-A'(a) and B-B'(b).

signal 분석을 통해 얻어진 결과를 토대로 연구지역 내 심부 지하 지질구조를 해석하기 위하여 연구지역을 대표할 수 있는 2개의 임의의 축선을 설정하고, Pedley (1991)의 2.5차원 중력 및 자력 모델링 프로그램인 'GRAVMAG'를 이용하여 모델링을 수행하였다. 모델링에 이용된 중력자료는 Fig. 1의 축선 A-A'와 B-B'상에 있는 64점에서 측정된 중력자료로서 금성산칼데라 지역의 18점과 화산칼데라 지역의 46점이다. 이들은 연구지역의 지형과 목적을 감안하여 남동-북서 방향으로 설정된 축선으로서 측정간격은 0.3~0.5 km 이고 Lacoste-Romberg 중력계로 획득된 중력자료이며, 기기보정, 조석보정 위도보정, 고도보정 및 지형보정이 실시되었다. 2.5차원 모델링 결과, 금성산칼데라에서 측정된 축선 A-A'의 부계 중력 이상곡선에서 나타나는 V자형의 저이상대는 화산암체의 생성당시 약대를 따라 생긴 화도로 심부의 물질이 분출하였던 부분으로 판단되며, 축선 A-A'의 구간 중 가장 많이 함몰이 일어났던 지역으로 사료된다. 또한, 화산칼데라에서 측정된 축선 B-B'의 부계 중력 이상곡선 중 퇴적 지형에서 나타나는 굴곡은 축선 주변내지는 천부의 지질에 의한 영향으로 판단되며, 지질도에서 보이는 바와 동일한 지역, 즉 응회암지대와 화강암이 만나는 지역에서 급구배의 중력 이상의 변화가 관찰되는데, 이는 축선이 지나는 지역에 발달된 NW-SE방향의 단층과 관입된 화강암의 영향으로 사료된다(Fig. 11).

## 5. 결론 및 토의

백악기말 활발했던 화산활동의 결과로 의성지역일대에 형성된 화산암체와 심성암체의 복합체로 구성된 의성소분지에서 지표지질 및 지하지질구조를 파악하기 위하여 중력, 자력, 위성영상 및 수치고도자료에 의한 지구물리학적 연구를 수행하였다.

지표지질 특성 규명을 위해 IRS 인공위성 영상자료를 이용한 선구조도와, 수치고도자료를 이용한 음영기복도를 작성하여 지표 선구조의 방향 및 연장성을 분석한 결과, N55°~65°W 방향의 선구조가 빈도수와 연장성이 매우 높은 선구조임을 알 수 있었다.

지하지질특성 규명을 위한 방법으로 중력 이상의 파워스펙트럼분석과 자력 이상의 analytic signal 방법을 수행하였다. 지형적인 특징을 반영하여 분리된 4개 지역에 대해 각각의 파워스펙트럼 분석에서, 분지기반암까지의 심도로 판단되는 4~5 km의 밀도 경계면의 평균 심도와 천부지층경계면으로 판단되는 0.5~0.6 km의

평균심도를 산출하였다. 파워스펙트럼 분석 결과에 따르면, 남서부지역에서 북동부지역으로 갈수록 분지기반암의 평균심도가 깊어지는 것으로 해석된다.

자력 이상의 analytic signal 분석에 의해 자력 이상체의 분포와 그 경계를 파악하였다. 분석 결과 연구지역 내에서 높은 에너지를 보이는 부분은 팔공산 화강암의 경계와 분지내의 칼데라 분포지역과 잘 일치하고 있으며, 또한 높은 에너지를 보이는 곳곳에 화성암체들이 분포한다.

보다 정량적인 해석을 위하여 중력 이상의 파워스펙트럼분석과 자력 이상의 analytic signal 분석결과를 토대로 최근 획득된 중력자료를 이용한 지하 밀도 구조 모델링을 시행하였다. 두 개의 축선에서 나타나는 중력 이상의 변화는 탐사 축선 주변의 지형적인 특성을 반영한 것으로 보인다.

현재 진행되고 있는 자력자료의 advanced analytic signal을 이용하여 자력기반암의 심도를 결정하고, 심도별로 구분하여 GIS분석을 통해 연구지역이 재해석된다면, 이 결과는 의성소분지의 전체적인 형태, 타 분지와와의 경계, 구조의 심부로의 연장성 등과 같은 종합적인 해석이 가능할 것으로 사료된다.

## 사 사

이 논문은 한국과학재단(R01-2000-000-00056-0)의 지원에 의하여 연구되었음을 밝히며, 본 논문의 심사를 맡아주신 최광선, 이희순 교수님께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 김성균 (1995) 한반도의 지각구조에 관한 연구. 지질학회지, 31권, p. 393-400.
- 김원균, 1999, 의성분지의 지질 및 지구조 연구. 연세대학교 박사학위 논문.
- 김인수, 이현구, 윤혜수, 강희철 (1993) 의성지역 백악기 암석에 대한 고자기연구. 광산지질, 26권, p. 403-420.
- 구성본, 이태섭, 김광은, 최종호, 박수영, 성낙훈, 1997, 예천, 안동, 예안지역 항공 방사능/자력탐사와 해남 및 경상분지 자료종합. 한국자원연구소 연구보고서, KR-97-(C)-13, 84p.
- 권병두, 권재형, 정호준 (1995) 의성지역 금성산칼데라와 그 부근의 지질구조와 중력특성. 지질학회지, 31권, p. 125-137.
- 민경덕, 정중대 (1985) 중력탐사에 의한 경상충근내 왜관-포항간의 지하구조 연구. 광산지질, 18권, p. 321-329.
- 손진담, 김중열, 구성본, 손병국, 권석기, 1989, 경상누층군의 퇴적상과 속성작용 및 암석물성의 관련성 연구. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-(89)-(B)-37, 110p.
- 우익 (1993) 경북 의성군 금성산칼데라에 대한 중력 및

- 자력탐사 연구. 연세대학교 석사학위 논문.
- 유철 (1996) 경북 군위군 화산 칼데라에 대한 중력 및 자력탐사 연구. 연세대학교 석사학위 논문.
- 이병주, 강필중, 황재하, 송교영, 조민조 (1993) 상부 경상 누층군내에 발달하는 단층작용에 관한 연구. 한국자원연구소 연구보고서, KR-(93)-(B)-6, 46p.
- 이병주, 황재하 (1997) 경상분지 북동부에서의 가음단층과 양산단층의 관계. 지질학회지, 33권, p. 1-8.
- 이천훈, 이도영 (1972) 경상분지 중력탐사보고서. 국립지질조사소, 지구물리 화학탐사보고, 제6권, p. 71-81.
- 장기홍 (1977) 경상분지 상부중생계의 층서, 퇴적 및 지구조. 지질학회지, 14권 p. 76-90.
- 장기홍 (1988) 경상분지 백악기 층서와 고수류 해석. 지질학회지, 24권 3호, p. 194-205.
- 장기홍 (1978) 경상분지의 층서, 퇴적 및 지구조(III). 14권 p. 129-135.
- 장기홍, 박순옥 (1997) 경상분지 중앙부의 구조발달사와 화산활동사. 자원환경지질, 제30권 제2호, p. 143-151.
- 장기홍, 손진담 (1990) 경상분지 야외지질조사. 한국석유개발공사, p. 29-47.
- 제일영 (1998) 중력자료를 이용한 의성분지의 지구조 연구. 연세대학교 석사학위 논문.
- 전정수 (1995) 경상분지 남부지역(밀양소분지)의 지질구조에 관한 지구물리학적 연구. 연세대학교 박사학위논문.
- 조진동 (2003) 1:250,000 부계 중력이상도 안동도폭. 한국지질자원연구원.
- 조진동, 최중호, 박인화, 고인세 (1996) 광역중력탐사연구 (한반도 남부). 한국자원연구소 연구보고서, KR-96(C)-5.
- 최현일 (1985) 백악기 경상분지의 퇴적과 그의 층서분류와의 연관성. 지질학회지, 21권, p. 26-37.
- 최현일, 손진담, 오재호, 최영진, 윤현수, 신성천, 양문열, 김상길, 조동행, 오재호, 문창배, 민성식, 박영수 (1982) 의성지역 경상누층군에 대한 연구. 연구특보-28호, 한국동력자원연구소, p. 1-50.
- 황재하 (1992) 경상분지 고응력장 복원 및 구조운동사: 고령읍 부근의 경우. 지질학회지, 28권, p. 471-482.
- 황재하 (1994) 백악기초 이후 한반도 남동부에 작용한 고응력 복원. 한국지질학회지, 30권, p. 27-34.
- Chang, Ki-Hong (1987) Cretaceous Strata, Geology of Korea(editor, Lee, Dai-Sung). p. 175-194.
- Hsu, Shu-Kun, Jean-Claude Sibuet, Chuen-Tien Shyu (1996) High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytic signal technique. Geophysics, v. 61, p. 373-386.
- Pedley, R. (1986) Nonlinear problems by linearization, Short course on geophysical inverse theory and application. Presented by Scripps Industrial Associates, Scripps Institute of Oceanography, La Jolla, California.
- Thurston, J. B. and Brown R. James (1994) Automated source-edge location with a new variable pass-band horizontal-gradient operator. Geophysics, v. 59, p. 546-554.

2004년 10월 29일 원고접수, 2005년 3월 8일 게재승인.