

## 항공자력의 Analytical 이상을 이용한 의성소분지의 지구조 연구

김원균\* · 민경덕\*\* · 김정우\*\*\* · 원중선\*\* · 박찬홍\* · 구성본\*\*\*\*

### Geologic Structure of the Euseong Sub-basin by Analytic Aeromagnetic Anomaly Data

Won Kyun Kim\*, Kyung Duck Min\*\*, Jeong Woo Kim\*\*\*,  
Joong-Sun Won\*\*, Chan Hong Park\* and Sung-Bon Koo\*\*\*\*

**ABSTRACT:** The structure of Euseong Sub-basin and boundary of sub-basins were examined by analytic aeromagnetic anomaly data. Magnetic lineaments have trends of NE-SW, NW-SE, NWW-SEE, and NEE-SWW. The NE-SW lineaments in the sedimentary formations and pre-Cretaceous basement are associated with the direction of expansion of basin and the lineaments in the volcanic rocks and intrusives indicate the direction of structural weakness zones such as fault, which were major gateways of igneous activities. Euseong Sub-basin is bounded by pre-existing Andong Fault, pre-Cretaceous basement in the west, NE-SW lineament from Kyungsan to Angang, and NW-SE lineament connecting southwestern boundary of Palgongsan Granite and Jeokje Fault. In particular, the NW-SE lineament, which caused upheaval of pre-Cretaceous rocks, on Jeokje Fault is inferred as a boundary between Euseong and Milyang Sub-basins.

### 서 론

자력탐사는 분지의 연구에 가장 널리 사용되는 방법으로, 특히 다른 지구물리 탐사보다 분지의 구조적 특성, 천부에 존재하는 화산암이나 기반암에 관한 자세한 정보를 제공한다 (Leaman, 1997). 그러나, 자력탐사 자료는 자성암체의 대자율의 횡적인 변화가 심하고, 잔류자기의 크기나 자화방향에 따라 강도의 변화가 심하여 자료 해석 시 세심한 주의를 요한다. 1970년대 이후 자력이상의 수평/수직 미분에 근거한 암체의 경계 및 심도를 효과적으로 결정하기 위한 여러 기법들이 개발되면서 이러한 해석상의 제약들이 많이 해소되

었다 (Hsu *et al.*, 1996; Roest *et al.*, 1992; Nabighian, 1972, 1974).

Nabighian (1972, 1974)은 Analytic signal을 이용한 자력이상의 해석 기법을 제안하였다. 이 기법의 가장 큰 장점은 잔류자기의 크기, 자화방향 또는 지자기장 요소에 대한 어떠한 가정 없이 자성암체의 경계 및 심도를 구할 수 있다는 점이다 (Thurston & Brown, 1994; Hsu *et al.*, 1996).

의성소분지는 백악기에 형성된 육성기원의 퇴적분지로서 이에 대한 연구는 주로 퇴적학적인 관점에서 지표 중심으로 이루어졌다. 이러한 제한적인 범위의 연구는 밀양소분지와와의 경계를 퇴적상의 차이에 의한 가상단층 (원중관 등, 1978; Chang, 1987)으로 설정하는 등의 한계가 있다. 따라서, 분지의 정확한 지질 구조 및 발달사를 밝히기 위해서는 광역적인 지구물리 탐사가 요구된다.

본 연구에서는 분지의 연구에 효율적인 항공자력 탐사자료를 이용하여 의성소분지내 자성암체의 경계 및 심도를 분석하여 자력선구조를 작성하였다. 또한, 자력선구조의 해석을 통해 의성소분지의 자력기반암 구조

\* 한국해양연구소 해양지질 연구단 (Marine Geology and Geophysics Division, Korea Ocean Research & Development Institute), E-mail: kimwk@kordi.re.kr

\*\* 연세대학교 지구시스템과학과 (Department of Earth System Sciences, Yonsei University)

\*\*\* 세종대학교 지구과학과 (Department of Earth Sciences, Sejong University)

\*\*\*\* 한국자원연구소 탐사개발부 (Division of Geophysical Exploration & Mining, Korea Inst. of Geology, Mining & Materials)

및 분지간의 경계를 추정하였다.

## 지 질

중생대 쥐라기 후기 대보조산운동에 의하여 한반도 남동부에는 육성기원의 퇴적분지가 형성되었으며, 백악기 후기에 산성 내지 염기성 화산암류의 분출과 불국사 화강암류의 관입이 수반되었다. 의성소분지내 퇴적암류들은 신동층군, 하양층군, 유천층군으로 구분되며, 관입암류가 이들을 관입하여 분포한다. Fig. 1은 연구지역의 지질도이다.

의성소분지의 백악기 퇴적암류의 기반을 이루는 영남육괴는 선캄브리아기 화강편마암과 이를 관입한 쥐라기 화강암류로 구성된다. 신장된 분포를 보이는 기반암류들은 북북동-남남서 방향의 분포상태를 보이고, 기반암류에 발달한 주요 단층들은 북북동-남남서 방향으로 발달하고 있다 (최현일 등, 1982).

기반암 위에 부정합으로 놓여 있는 신동층군은 사암, 셰일 및 역암 등으로 구성되어 있으며, 암색의 변화에 따라 하부로부터 낙동층, 하산동층 및 진주층으로 분대된다.

하양층군은 신동층군과는 정합관계로, 일부지역에서는 기반암과 부정합 관계를 보인다. 하양층군은 암색과 구성암류에 근거하여 하부로부터 일직층, 후평동층, 점

곡층, 사곡층, 춘산층 및 신양동층으로 구분된다 (장기홍, 1982; 최현일 등, 1982).

유천층군은 염기성, 중성 및 산성화산암류들로 구성되며, 하양층군을 경사부정합으로 덮고 있다. 주 구성암석은 안산암, 유문암질 석영 안산암, 유문암, 용암, 응회암 및 용결응회암 등이다.

퇴적암류와 화산쇄설물의 퇴적이 완료된 후, 중성 내지 산성 심성암류로 이루어지는 불국사 관입암류의 관입이 있었으며, 불국사 화강암류는 흑운모 각섬석화강암, 화강섬록암, 섬록암 및 화강반암으로 구성되어 있다.

의성소분지에는 서북서방향의 여러 주향이동단층들이 발달하고 있으며 퇴적암층들의 지층들을 좌수향으로 변위시키고 있다 (장기홍, 1978). 분지 내에서는 이러한 주향이동단층들 이외에도 화산 활동 시 형성된 특징적인 모양의 환상단층들이 발달되어 있다 (장기홍, 1977).

경상분지 전반에 대한 지질 구조적 해석으로, 장기홍 (1988)은 전기 백악기동안 경상분지는 분지의 서측에 있었던 북북동 방향의 낙동곡분에서 신동층군의 퇴적으로 한정되었으며, 하양층군 퇴적기간중 경상분지는 동쪽으로 확대되면서 침강범위의 확대와 동시에 화산 활동이 일어났으며, 성장단층인 안동단층과 팔공산 단층에 의해 영양지괴, 의성지괴 및 밀양지괴로 구분된다고 하였다. 원종관 등 (1978)은 N60°W 방향의 청송

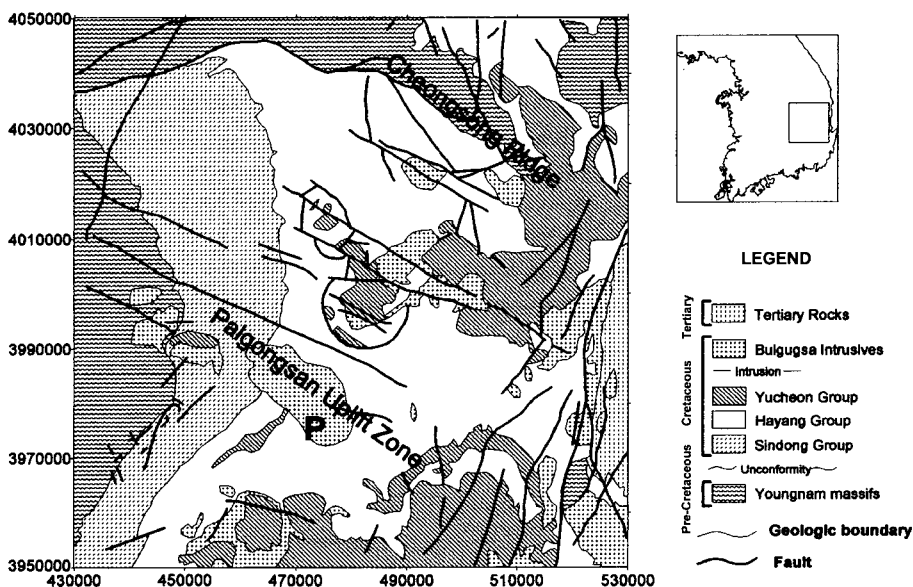


Fig. 1. Geologic map of the study area (Chawe *et al.*, 1995). P represent the Palgongsan Granite of which direction of major axis is proposed boundary of Euseong and Milyang Sub-basin by Chang (1987) and Won *et al.* (1978).

령과 팔공산용기대에 의하여 영양, 의성, 유천소분지로 구분하였다. 경상분지 형성기 이전에 이미 형성된 청송령에 의해 영양소분지와 의성소분지는 퇴적환경 및 화성활동의 차이가 있으며, 의성소분지와 유천소분지의 경계인 팔공산 용기대는 N60°W 방향으로 팔공산화강암체의 장축방향과 일치하며, 이를 기준으로 북측이 서쪽으로, 남측이 동쪽으로 이동한 수평이동단층이다. 팔공산화강암의 관입 후에도 단층운동은 계속되었으며, 주향이동 단층작용에 의해 함몰대와 용기부가 발달하였으며, 이러한 함몰대는 용기부와 분리되며, 함몰지의 발달과 퇴적은 동시에 이루어졌다고 하였다. 한편, Chang (1987)은 하양층군의 퇴적이 진행되는 동안 활성화된 단층에 의해 암상의 급격한 횡적 변화, 두께의 변화가 생겼으며, 후의 팔공산화강암의 관입에 의해 지워진 가상적인 팔공산선을 설정하였으며, 점곡층과 사곡층의 퇴적기간동안 성장단층형의 정단층으로 작용하다가 불국사관입암류의 관입 이전 좌수향 주향이동단층으로 전환되어 신생대 초에 주요 이동을 일으킨 것으로 해석하였다. 또한, 최현일 (1985)은 신라역암 시기의 동서 방향의 팔공산선이 형성되기 시작하여 학봉화산암류와 채악산화산암류의 시기까지 진행되었으며, 팔공산선을 정점으로 북부보다 남부가 더 많이 침강한 것으로 해석하였다.

**연구방법**

Analytic signal 이란 **M**을 자력이상이라 하고, x, y, z 방향의 단위벡터를 x, y, z라고 할 때

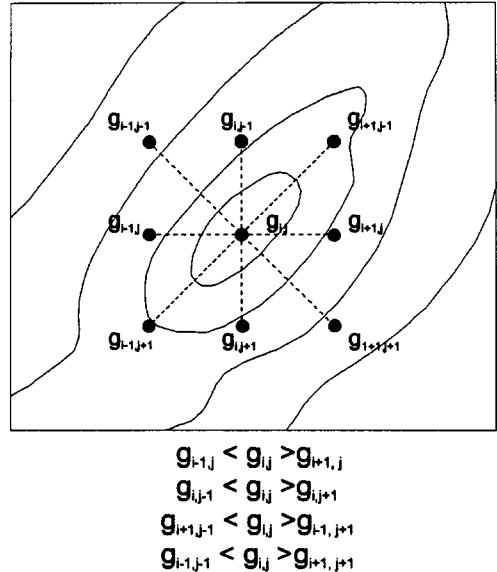
$$A(x,y) = \left( \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial M}{\partial y} + i \frac{\partial M}{\partial z} \right), \quad i = \sqrt{-1}$$

로 정의된다 (Roest *et al.*, 1992; Nabighian, 1974).

Analytic signal의 절대값은 Energy envelope이라고도 불리며, 하나의 수직 미분과 두 개의 수평 미분값을 각각 제곱시킨 후 더한 값의 제곱근으로 정의되며

$$|A(x,y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2}$$

으로 표현된다. Energy envelope은 이상값이 수직경계면에 의한 것일 경우 즉, 직사각주 모양의 자성이상체가 지하에 존재할 때, 자화방향이나 잔류자기에 관계없이 이상체의 경계에 해당하는 곳에서 최대값을 갖는다 (Walter *et al.*, 1992). 그러나, 자성암체의 경계에서 Analytic signal의 Energy envelope은 하나의 선으로



**Fig. 2.** Location of grid intersections used for a maximum near  $g_{i,j}$  (Blakely & Simpson, 1986).

표현되는 것이 아니고 종 모양 (bell-shape)으로 표현된다. 따라서, 경계를 결정하기 위한 다른 방법이 추가로 필요하게 되며, Blakely & Simpson (1986)은 한 지점에서의 이상치 (Fig. 2.  $g_{i,j}$ )와 주변의 8개 값과 비교하여 경계를 찾는 방법을 제안하였다.

Fig. 2는 Blakely & Simpson (1986)의 방법을 나타낸 그림으로서, 중심부의  $g_{i,j}$  값과 주위의 값들을 4개 조건으로 비교하여 만족하는 정도에 따라 최대값의 정도를 알 수 있다. 4개의 조건이 모두 만족되는 경우는  $g_{i,j}$  값이 주위의 모든 값보다 큰 경우를 말하고, 조건이 모두 만족되지 않는 경우에는 모든 주위의 값보다 작은 경우를 말한다. 지질학적 경계의 경우 2나 3의 값을 가질 때 효과적으로 자성암체의 경계를 구할 수 있다.

Hsu *et al.* (1996)에 의하면 Analytic signal에 의한 심도는

$$\left(\frac{\partial^n M_h}{\partial h^n}\right)^2 + \left(\frac{\partial^n M_z}{\partial h^n}\right)^2 = \frac{(1^2 \times 2^2 \times 3^2 \times \dots \times n^2) \alpha^2}{(d^2 + h^2)^{n+1}}$$

로 표현되며, 간섭효과가 적을 경우의 n차의 Enhanced analytic signal은

$$\left(\frac{\partial^n M_x}{\partial z^n}\right)^2 + \left(\frac{\partial^n M_y}{\partial z^n}\right)^2 + \left(\frac{\partial^n M_z}{\partial z^n}\right)^2 = \frac{(1^2 \times 2^2 \times 3^2 \times \dots \times n^2) \alpha^2}{(d^2 + h^2)^{n+1}}$$

로 표현된다. 위 식에서 d는 자성암체의 심도, h는 자

성암체와 측정지점까지의 수평거리,  $\alpha$ 는 대자율차, 지구자기장 크기 등과 같은 요인에 의해 결정되는 계수이다.

따라서,  $h=0$ 인 지점의 Analytic signal의 크기는

$$|A_n(x,y)|_{\max} = \sqrt{(\nabla^n M_x)^2 + (\nabla^n M_y)^2 + (\nabla^n M_z)^2} |_{\max}$$

$$= \frac{|1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n \times \alpha|}{d^{n+1}}$$

와 같이 표현된다. 2차 Analytic signal이 최대가 되는 곳에서의 심도는

$$|A_2(x,y)|_{\max} = \frac{|2\alpha|}{d^3}$$

로 표현될 수 있고, 그곳에서의 0차 Analytic signal의 심도인

$$|A_0(x,y)|_{\max} = \frac{|\alpha|}{d}$$

과 비교하면

$$d = \sqrt{2} \times \sqrt{\frac{|A_0(x,y)|}{|A_2(x,y)|}}$$

가 되고, 이로부터 심도  $d$ 를 구할 수 있다 (Hsu *et al.*, 1996).

한편, 자력이상을 유발하는 선구조가 단일 이벤트(event)에 의해 형성되었다면, 그 구조의 수평변화율은 일정하다. 그러나, 후에 다른 이벤트에 의해 그 선구조가 교란을 받았다면 교란을 받은 부분은 원래의 방향과 수평적인 차이를 보인다 (Casting & Debeglia, 1992). 따라서, 이러한 수평적인 차이를 분석하면 이벤트의 선후 구별이 가능하다. 본 연구에서는 자력이상의 수평미분치를 이용한 아래의 식을 이용하여 자력 선구조의 불연속성을 고찰하였다.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\nabla M/\nabla x}{\nabla M/\nabla y}\right)$$

### 자료처리 및 결과

자력탐사 자료는 한국자원연구소에서 측정한 항공자

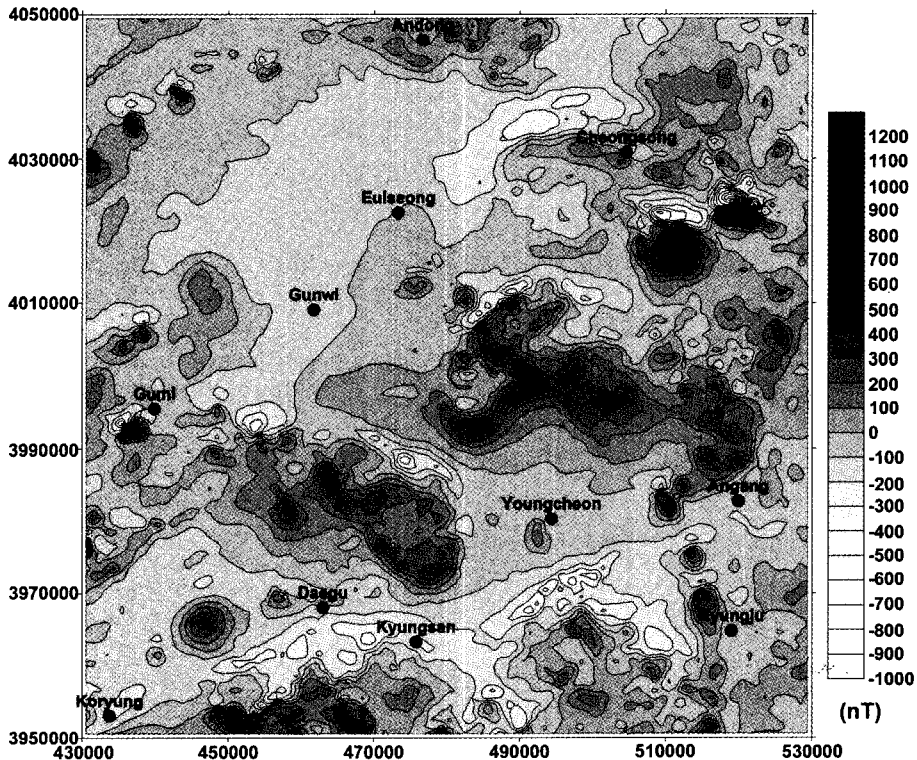


Fig. 3. Downward continued total-field (TF) magnetic anomalies of the study area (AR=(-932.9, 1147.2), AM=-24.6, ASD=152.7, AU=nT, GI=1 km × 1 km, CI=100).

력 자료로서, 1980년대 후반부터 1997년까지 측정된 150 m 등간격의 자료이다. 각 자료는 측정시기가 다르므로 측정 연도를 기준으로 IGRF 보정을 실시하였다. 또한, 해발고도 0 m인 기준면으로 하향연속시킨 후, 1 km×1 km 간격으로 격자화시킨 총자력이상은 Fig. 3과 같고, 범위는 -932.9~1147.2 nT이다. Fig. 3의 AR은 각 자료의 최대값과 최소값을, AM은 평균, ASD는 표준편차, AU는 단위, GI는 그리드의 간격, CI는 등치선의 간격을 나타낸다.

Fig. 4는 Blakely & Simpson (1986)의 조건 중 2의 조건을 만족시키고, 에너지가 0.1 nT/km 이상인 경우를 선택하여 각 점에서의 연속 정도를 나타낸 것이다. 팔공산화강암 (Fig. 4A)과 관입암 (Fig. 4D)의 경계 및 안동단층 (Fig. 4C)등을 따라 수평적 변화의 방향이 잘 일치하고 있어 조건 및 결과의 신뢰도가 높음을 알 수 있다.

Fig. 4의 원 내부의 B와 C는 수평적 불연속성에 의한 선후관계 결정의 예로, B의 NE 방향의 선들은 NW 방향의 선에 의해 절단되며 절단부에서 방향의 변화를 보면 우수향의 센스를 보임을 알 수 있다. Fig. 4C는 NWW 방향의 선에 의해 NE 방향의 선이 변화됨을 보이며, 이는 NWW 방향의 선이 NE 방향의 선보다 후에 생성되었음을 지시한다.

Fig. 5는 Advanced analytic signal을 이용하여 구한 자력기반암의 심도 변화로, 주로 3 km 이내의 심도를 보이며 최대 심도는 5.7 km 이다.

자성암체의 심도는 팔공산화강암을 경계로 남서부 (B, C, D)가 북동부 (E, F, G)보다 깊으며, 이는 최현일 (1985)의 연구결과와 일치한다. 또한 1~3 km 심도를 보이는 B, E, G, F 지역에서 점차 깊어져 H에서 심도가 가장 깊고 I, J로 가면서 다시 심도가 감소하며, 전체적으로 북동-남서 방향의 등심도대를 이룬다.

본 연구에서는 이러한 수평적인 불연속성을 나타내는 성분들이 일정한 방향성을 가지고 연속되고, 연속되는 선을 경계로 자성암체의 심도 변화가 있는 선을 최종적인 자력선구조로 결정하였다

### 해석 및 토론

Fig. 3의 자력이상 분포의 특징은 신동층군 및 하양층군의 퇴적암 분포지역에서 저이상을, 유천층군과 불국사화강암이 분포하는 지역에서 고이상을 보이며, 이는 Table 1의 기존의 연구에 의한 경상분지 내 암석의 대자율 측정 결과와 잘 일치한다. 주라기 화강암의 경우는 대자율 값이 높은 자성 화강암과 낮은 비자성 화강암이 공존하여 (이윤수, 개인통신) 자력이상에서 저이

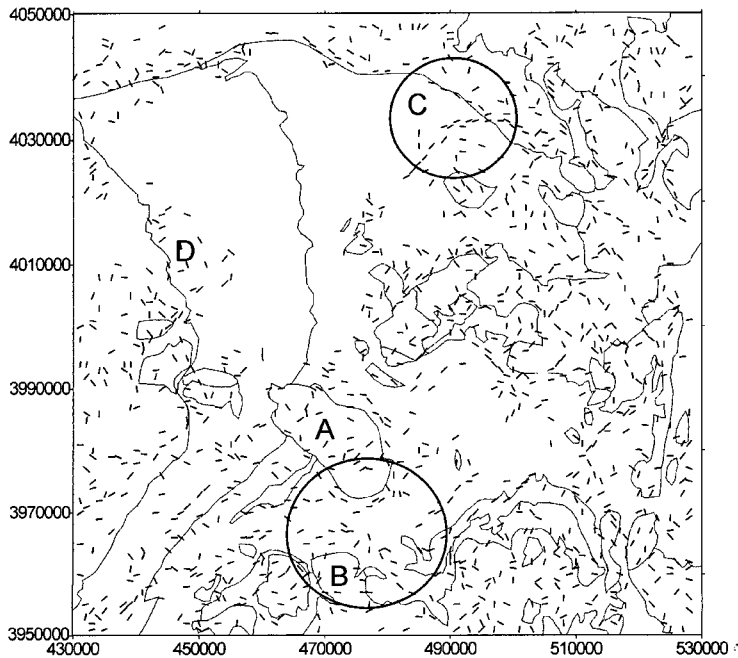


Fig. 4. Magnetic horizontal discontinuity over the geological boundaries.

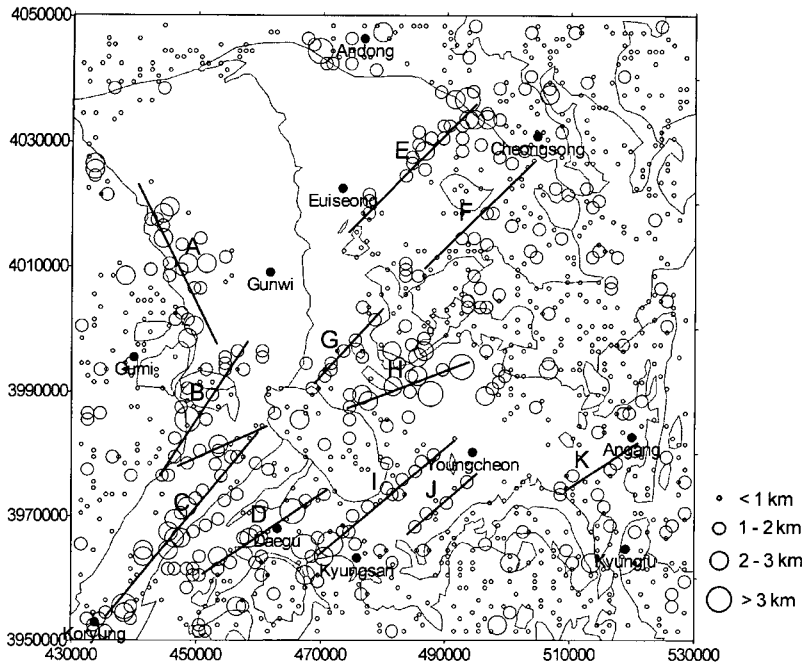


Fig. 5. Depth to the magnetic basement using advanced analytic signal over the geological boundaries. Solid lines represent the trends of iso-depth.

Table 1. Susceptibility of rocks in the Kyungsang Basin.

Rock type	Susceptibility ( $\times 10^6$ in cgs)	
	range	mean
Basement		
- Pre-cambrian Gneiss	191000 <sup>A</sup>	
- granite-Gneiss	56710 <sup>B</sup>	116 <sup>B</sup>
- Granite	70455 <sup>B</sup>	152 <sup>B</sup>
Sedimentary rocks		
- Sandstone	29.33103 <sup>B</sup> 70540 <sup>A</sup>	306.1 <sup>B</sup>
- Shale	29.32963.9 <sup>B</sup> 76524 <sup>A</sup>	225 <sup>B</sup>
- Conglomerate	9241695.4 <sup>B</sup>	1512.6 <sup>B</sup>
Intrusive & Extrusive		
- Granite	10.272311.9 <sup>B</sup>	1210.6 <sup>B</sup>
- Basalt	5800 <sup>A</sup>	
- Andesite	16.956850 <sup>B</sup>	1696.6 <sup>B</sup>
- Tuff	71.9125.4 <sup>B</sup>	86.2 <sup>B</sup>
Tertiary rocks		
- Mudstone	139 <sup>B</sup>	10.4 <sup>B</sup>
- Shale	1949 <sup>B</sup>	37.3 <sup>B</sup>
- Sandstaone	039 <sup>B</sup>	19.1 <sup>B</sup>

A : Koo *et al.* (1968), B : Ahn *et al.* (1971)

상과 고이상을 같이 나타나는 것으로 해석된다. 또한 일반적으로 화강암은 낮은 대자율값을 갖으나, 경상분지에 분포하는 불국사 관입암류는 강자성광물인 자철석의

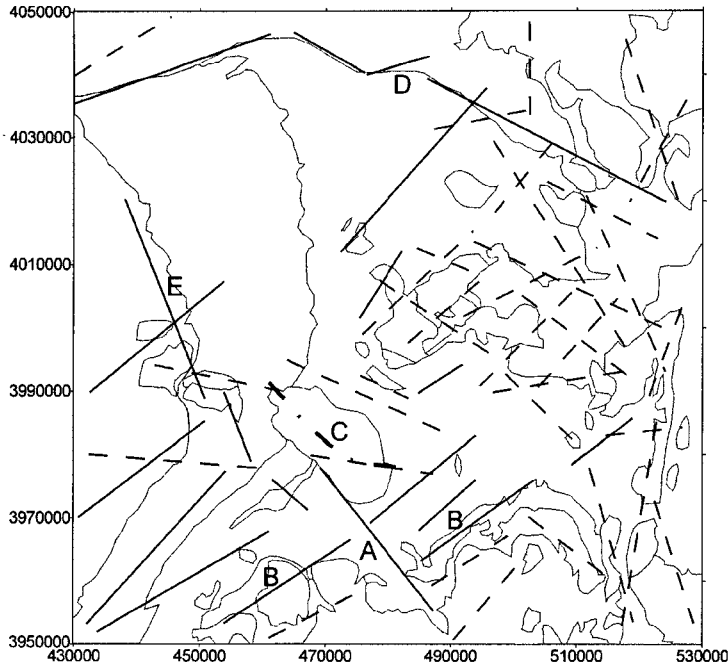
함유 비율이 높아 (Jin, 1985), 고이상을 보인다.

안동단층을 따라 나타나는 이상대는 고이상을 나타내는 자성암체가 단층대의 하부를 따라 관입하여 있거나 단층대를 따라 강자성 물질들이 이동하여 집적되어 있을 가능성을 시사하며, 이는 암층경계 및 단층과 같은 구조적 연약대를 따른 대자율이 높은 화성암체들의 선상분포와 밀접한 관계가 있는 것으로 해석된다. 한편, 고령-대구-경산-영천-안강에 걸친 지역에 저이상대가 넓게 분포하고 있다.

Fig. 6은 불연속성 및 자성암체의 심도 분포로부터 구한 자력선구조를 도시한 것으로서, NE-SW, NW-SE, NWW-SEE, NEE-SWW의 방향이 우세하다.

자력선구조는 일반적으로 단층이나 구조적 약대를 따라 관입한 화성암체들의 선상 배열 (전정수, 1995; 전명순 등, 1993)로 해석된다. 이러한 연약대를 따라 자력선구조가 나타난다면, 본 연구의 자력선구조는 분지의 형성과 관련이 있는 퇴적암 및 선경상계 기반암에 나타나는 자력선구조와 분지형성 말기 또는 그 이후의 화산암 또는 관입암의 경계 및 주향이동단층을 따라 나타나는 자력선구조로 나누어 해석할 수 있다.

Fig. 6의 실선으로 표현된 퇴적층내의 자력선구조는 주로 NE-SW의 방향성을 보이며, 자성암체의 심도는



**Fig. 6.** Magnetic lineaments over the geological boundaries. Solid lines indicate magnetic lineaments in the sedimentary rocks and pre-cretaceous basement, dashed lines igneous rocks and dash-dot line the Palgongsan line which proposed by Chang and Park (1997).

Fig. 5와 같이 동남방향으로 변화를 보인다. 심도는 Fig. 5의 E, G, F 지역에서 점차 깊어져 H에서 심도가 가장 깊고 I, J로 가면서 다시 낮아진다. 낮아지는 심도는 다시 안강-경산을 잇는 저심도대를 경계로 다시 깊어지는 (Fig. 5. K) 양상을 보인다. 이러한 방향의 자력선구조는 하양층군의 퇴적과 함께 분지가 동쪽으로 확장되었다는 분지 발달에 대한 해석과, 하양층군의 주향이 동 내지 동남 방향인 것을 고려하면 분지의 확장과 관련된 방향으로 해석된다.

한편 퇴적층내에 분포하는 자력선구조 중, 자성암체의 심도가 낮아지다가 (Fig. 5, I-J) 다시 증가 (Fig. 5, K)하는 고령-대구, 경산-안강에 이르는 NE 방향의 자력선구조 (Fig. 6, B)와 팔공산화강암의 남서경계와 적제단층을 연결하는 NW 방향의 자력선구조 (Fig. 6, A)는 자성암체가 다른 지역보다 상승한 것으로 해석되며, 이를 경계로 심도의 변화가 심하다. Table 1에 의하면 불국사화강암 및 유천층군 화산암의 대자율은 퇴적암보다 높다. 그러나, B 지역은 화산암 및 화강암이 분포하는 지역임에도 불구하고 저이상을 보이고 있다. 이는 대자율이 낮은 선경상계 기반암의 상승에 의한 것으로 해석된다. Fig. 6의 일점쇄선으로 표시된 의성

소분지와 밀양소분지의 경계인 가상의 팔공산선은 팔공산화강암의 장축 방향으로 예측되어왔다 (장기홍, 1987; 장기홍과 박순옥 1997). 팔공산선과 같은 구조선을 지을 정도의 화성활동이 있었다면, 팔공산화강암 외에도 Fig. 6, C 동부의 연장선상에 지표에 노출되지 않은 관입암의 흔적 또는 자성암체의 용기 등과 같은 화성활동의 증거가 존재할 것으로 판단된다. 그러나, Fig. 5와 Fig. 6의 자력선구조의 불연속성이나 심도 분포에서 그러한 증거는 나타나지 않는다. 반면에, 선경상계 기반암의 상승에 의해 형성된 것으로 해석되는, 팔공산화강암의 남서경계와 적제단층을 연결하는 NW 방향의 자력선구조 (Fig. 6, A)는 기존의 퇴적암상의 차이에 의해 경계를 설정한 퇴적학적인 연구 및 up-doming에 의해 두 분지가 분리됐다는 원종관 외 (1978)의 연구결과와도 잘 일치하는 것으로 보아 밀양소분지와 의성소분지의 경계로 예측된다. 수평적인 불연속성에 의하면 Fig. 6의 A는 B보다 후기에 형성되었으며, B를 우수향의 센스로 절단한다. 그러나, 원종관 등 (1978)과 장기홍 (1988)은 좌수향으로 해석하였으며, B의 운동 방향에 대해서는 더 많은 연구를 필요로 하는 것으로 사료된다.

한편, Fig. 6D와 E는 의성소분지와 영양소분지의 경계인 안동단층 및 선경상계 기반암의 경계와 잘 일치하고 있다. 자력선구조 분석에 의하면, 의성소분지의 범위는 안동단층 (D), 기반암과의 서측 경계 (E), 고령-대구에 이르는 NE 방향 (B), 팔공산화강암의 남서경계와 적제단층을 연결하는 NW방향 (A)의 자력선구조에 의해 한정되는 것으로 해석된다.

화산암류 및 관입암류에 분포하는 자력선구조들은 대부분 암체의 경계 및 주향이동단층들의 방향과 일치한다. 이러한 자력선구조는 분지의 형성 말기 또는 폐쇄기 이후의 화성활동과 관련된 것으로 해석된다. 그러나, 화성활동에 의한 관입은 약대를 따라 진행되므로 이러한 방향 역시 구조적인 약대를 나타내는 것으로 보인다.

연구지역의 중동부에 위치한 보현산 일대는 여러 방향의 선구조가 복합적으로 분포한다. 이러한 선구조 중 화산 칼데라 하부의 자력선구조는 환상단층으로, NWW-SEE 방향 및 NE-SW 방향의 자력선구조는 화성암의 경계로 해석된다.

Advanced analytic signal에 의한 심도 결정 방법은 3차 미분을 이용하기 때문에 잡음이 많이 발생하는 단점이 있다. 이러한 영향으로 지표에 노출된 일부 유천 화산암류와 불국사관입암류 분포지역에서 자성암체의 심도가 1 km 이상으로 나타나는 것으로 판단된다. 그러나 다른 지역에서는 이러한 잡음의 발생이 적으며, 심도의 연장성도 유지된다. 또한, Werner deconvolution을 이용하여 황중선 (1998)이 구한 의성소분지의 자성암체의 심도와 비교하여 보았을 때도 큰 차이를 보이지 않는다. 따라서, Advanced analytic signal을 이용한 자력기반암 심도의 결정은 일반적으로 많이 사용되고 있는 Werner deconvolution이 2차원적인 심도를 추론하고, 암체의 경사방향에 영향을 많이 받는다는 점을 고려하면, 효율적으로 3차원적인 자력기반암의 심도분포를 구할 수 있을 것으로 생각된다.

한편, 다른 지역과 달리 북동부의 퇴적암 지역에서 어떤 이상도 발견할 수가 없다 (Fig. 4, 5, 6). 본 연구의 자력탐사 자료는 1980년대 후반부터 1997년까지 1:50,000 도폭별로 측정된 자료로서 측정시기가 다르다. 측정시기가 다른 자료들을 지역적으로 통합하는 경우, 각 도폭 경계에서 자료값의 차이로 인한 잡음 (edge effect)이 발생하며, 이러한 잡음을 제거하기 위해서는 저주파 통과 필터가 일반적으로 사용된다. 이러한 필터는 전체적인 변화 정도를 줄이면서 동시에 미세한 변화까지도 제거하게 된다. 따라서, 저주파 통과

필터의 사용에 의해 미세한 퇴적층내의 미세한 변화가 제거되었기 때문인 것으로 예상된다.

## 결 론

항공자력이상의 Analytic signal 및 자력선구조의 선 후 판단이 가능한 수평적인 불연속성을 이용한 연구방법은 분지의 해석에 매우 유용하다.

의성소분지의 자력선구조는 북동-남서, 북서-남동, 서북서-동남동, 동북동-서남서의 방향성을 보인다. 퇴적층 및 선경상계 기반암의 북동-남서 방향의 자력선구조는 분지의 확장 방향을, 화산암 및 관입암에 나타나는 자력선구조는 단층과 같은 화성활동의 주 통로 역할을 했던 구조적 약대의 방향을 지시한다.

팔공산화강암의 남서 경계부와 적제단층을 연결하는 북서-남동 방향의 자력선구조는 의성소분지와 밀양소분지의 경계로 추정되며, 의성소분지는 기존의 안동단층, 서부의 선경상계 기반암과의 경계, 경산-안강에 이르는 북동 방향 및 팔공산화강암의 남서경계와 적제단층을 연결하는 북서방향의 자력선구조에 의해 한정되는 것으로 예측된다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단 지원의 의성소분지의 지질 및 지질 구조 연구 (과제번호 97-07-03-02-01-3) 및 1999년 과학기술부 정책연구용역사업의 지원으로 이루어졌음을 밝히며, 이에 감사한다.

## 참고문헌

- 구자학, 유공열, 조동행 (1968) 한국 암석의 대자율에 대하여, 국립지질조사소, 물리탐사보고, 2권, p. 93-105.
- 안은식, 유공열, 문인연, 김원식 (1971) 한반도 동남부 암석의 물리적 성질 측정 결과 보고서, 지질광상 조사보고 제12호, 국립지질조사소, p.43-53.
- 원중관, 강필중, 이상훈 (1978) 경상분지의 구조해석과 Igneous Pluton에 관한 연구, 지질학회지, 14권, p. 79-92.
- 장기홍 (1977) 경상분지 상부중생계의 층서퇴적 및 지질구조, 지질학회지, 14권 p. 76-90.
- 장기홍 (1978) 경상분지의 층서, 퇴적 및 지질구조: (II), 지질학회지, 14권 p.129-135.
- 장기홍 (1982) 상부중생대층 (백악계-경상누층군). 한국의 지질과 광물자원, 연세대학교 지질학과 동문회, p. 113-131.
- 장기홍 (1988) 경상분지 백악기 층서와 고수류 해석, 지질학회지, 24권, p. 194-205.
- 장기홍, 박순옥 (1997) 경상분지 중앙부의 구조발달사와



- 화산활동사, 자연환경지질, 30권, p.143-151.
- 전정수 (1995) 경상분지 남부지역 (밀양소분지)의 지질구조에 관한 지구물리학적 연구, 연세대학교 지질학과 박사학위논문.
- 전명순, 지현철, 전정수, 정승환 (1993) 지진연구, 한국자원연구소, KR-93-1G-4, pp. 41.
- 최현일, 손진담, 오재호, 최영진, 윤현수, 신성천, 양문열, 김상길, 조동행, 오재호, 문창배, 민성식, 박영수 (1982) 의성지역 경상누층군에 대한 연구, 연구특보-28호, 한국동력자원연구소, p. 1-50.
- 최현일 (1985) 백악기 경상분지의 퇴적과 그의 층서분류와의 연관성, 지질학회지, 21권, p. 26-37.
- 황종선 (1998) 항공자력자료를 이용한 의성소분지의 지질구조 연구, 연세대학교 석사학위 논문, pp. 61.
- Blakely, R. J., and Simpson, R. W. (1986) Approximating edge of source bodies from magnetic or gravity anomalies, *Geophysics*, vol. 51, no. 7, p. 1494-1498.
- Casting C., and N. Debeglia (1992) A new method for combining gravimetric and geological data, *Tectonophysics*, vol. 204, p. 151-162.
- Chawe, U. C., K. B. Kim, S. H. Hong, B. J. Lee, k. H. Park, S. K. Hwang, P. Y. Choi, K. Y. Song, and M. S. Jin (1995) Geological map of Korea 1:100,000, Korea Institute of Geology, Mining and materials.
- Chang, K.-H. (1987) Cretaceous Strata, *Geology of Korea* (editor, Lee, Dai-Sung), p. 175-194.
- Hsu, S.-K., J.-C. Sibuet, C.-T. Shyu (1996) High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytic signal technique, *Geophysics*, vol. 61, no. 2, p. 373-386.
- Jin, M.-S. (1985) Geochemistry of the Cretaceous to Early Tertiary Granitic Rocks in Southern Korea: Pt. 1. Major Elements Geochemistry, *The Jour. of Geological Society of Korea*, vol. 21, no. 4, p. 297-316.
- Leaman, D. E. (1997) Application of magnetic Methods to deep Basin Structures, *Exploration Geophysics*, vol. 28, p. 97-105.
- Nabighian N. M. (1972) The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, vol. 37, p. 507-517.
- Nabighian N. M. (1974) Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section, *Geophysics*, vol. 39, p. 85-92.
- Roest, W. R., J. Verhoef and M. Pilkington (1992) magnetic interpretation using the 3-D analytic signal, *Geophysics*, vol. 37, no. 1, p. 116-125.
- Tateiwa (1929) 1:50,000 Elsen (Youngcheon) sheet, Geological Survey of Chosun
- Thurston, J. B., B. R. James (1994) Automated source-edge location with a new variable pass-band horizontal-gradient operator, *Geophysics*, vol. 59, no. 4, p. 546-554.
- Walter R. R., J. Verhoef, P. Mark (1992) Magnetic interpretation using 3-D analytic signal, *Geophysics*, vol 57, p116-125.

---

2000년 4월 12일 원고접수, 2000년 6월 4일 게재승인.