

지자기 자료를 이용한 남서태평양 라우 분지의 열수분출대 탐사 및 지구조 연구

곽준영^{1)*} · 원중선¹⁾ · 박찬홍²⁾ · 이경용³⁾ · 김창환²⁾ · 박옥¹⁾

1. 서 론

라바(Lava)가 해령의 축에서 분출된 후 해수에 의해 급격히 식게 되면 상부지각층은 당시의 지자기장 방향으로 자화된다. 자기 이상이 매우 불규칙한 육지에 반하여, 해양에서는 자기 이상이 일정한 형태를 가지며, 특히 해저 상부 지각층은 풍부한 자성 광물을 포함하여 전형적으로 강한 자기이상을 나타낸다. 그러나 열수분출대에서 해양지각을 통과하는 열수유체는 자성을 잃게 되는 큐리(Curie)온도 이상의 높은 온도를 가지며 자성광물을 부식시키는 특징이 있기 때문에, 열수유체가 자성광물과 접촉하는 경우 자성광물들이 자성을 잃거나 혹은 낮은 자성을 가진 광물로 변형된다. 따라서 해양지각에서는 열수유체를 따라 국지적으로 낮은 자화강도 이상이 나타나게 된다(Tivey, 2002). 또한 해령의 축 중심을 주변으로 높은 자화(CAMH: Central Anomaly Magnetization High)가 나타나는데 이는 젊은 베게용암에서 초기에 강하게 자화된 자성광물의 존재에 기인한다. 분출 후 자성광물은 시간에 따라 풍화를 받음으로써 베게용암의 자화를 급격히 감쇠시키는 요인이 되며(Schouten, 1999), 따라서 해령의 축은 주변보다 상대적으로 높은 자화값을 나타내게 된다.

라우분지(Lau basin)는 태평양 지각판과 인도-호주 지각판 사이의 수렴 경계에 위치한 활동성 배호분지이다. 본 연구에서는 라우분지 북동쪽에 위치하는 Fonualei Rift and Spreading Center(FRSC)와 Manga tolu Triple Junction(MTJ: King's Triple Junction이라고도 함) 칼데라에서 표층 및 심해견인 자력탐사를 수행하였다. FRSC는 해령-해령-해령 구조를 가진 MTJ의 남쪽 확장축의 연장선에 위치하고 있으며, MTJ 칼데라는 MTJ의 북동쪽 확장축에 평행하게 발달해 있는 또 다른 확장축과 Tofua Volcano Arc(TVA)의 사이에 존재하고 있다. 이 확장축은 라우분지 북동쪽 섭입대까지 연장되며 칼데라는 이 교차점에서 정남쪽에 위치하고 있다(Wright, 2000). 칼데라의 생성기원 및 구조에 관해서는 아직 연구가 미미한 실정이나 Bloomer(1996)는 칼데라에서 채취한 석영안산암 라바가 인접한 TVA와 확장축 모두에서 기원되었음을 주장하였다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구에서는 표층 자력탐사와 심해견인 자력탐사를 병행하였고, 다중빔 음향측심기를 이용하여 정확한 해저지형자료를 획득하였다. 자력계센서의 탐사고도와 케이블 길이를 고려하여 위치를 보정하였고, 탐사에서 획득된 총자기 값에서 IGRF(International Geomagnetic Reference Field)2005값을 빼줌으로서 자기이상치를 획득하였다. 해저지형에 따라 심해견인자력계의 측정고도를 달리하였으므로 정확한 자화이상을 산출하기 위하여 Guspi방법(Guspi, 1986)을 이용하

주요어 : 열수, 자력탐사, 자화, 해령

- 1) 연세대학교 지구시스템과학과 원격탐사연구실 (toywith@yonsei.ac.kr)
- 2) 한국해양연구원 독도전문연구사업단
- 3) 한국해양연구원 심해연구사업단

여 일정한 수평면 측정된 값으로 변환할 필요가 있다. Guspi의 역산식은 다음과 같다.

$$g(x,y) = g^*(x,y) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^n(x,y)}{n!} F^{-1}[\gamma^n G(\alpha,\beta)] \quad (1)$$

$g^*(x,y)$ 는 실제 측정된 자기장값이고, $g(x,y)$ 는 변환 후 자기장이다. $\gamma = 2\pi\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$ 이며, z 는 자력계의 압력센서로 측정된 고도와 우리가 변환하고자 하는 수심의 차이이다. Guspi 변환 결과 최대 약 100 nT의 변화가 나타났다. 변환된 자기이상에서 자화강도를 산출하기 위해서 Parker(1974)의 역산알고리즘을 수행하였다. 식은 다음과 같다.

$$F[M] = \frac{F[A]\exp(-|k|z_0)}{\frac{1}{2}\mu_0[1 - \exp(-|k|h_0)]V(k)} - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{|k|^n}{n!} F[Mh^n] \quad (2)$$

A는 측정된 자기이상이고, z_0 는 측정 고도, h_0 는 자기층 두께, M은 자화의 강도이다. 단, $V(k) = \hat{B}_0 \cdot (\hat{z} + i\hat{x}k/|k|)\hat{M}_0 \cdot (\hat{z} + i\hat{x}k/|k|)$ 이며 \hat{M}_0 는 자화방향의 일정 단위 벡터, \hat{B}_0 는 주변 자장의 단위 벡터이다. 반려암층과 암맥상은 해수면에서 측정된 자기이상에 영향을 주지만 그 크기가 미미하고, 해양지각에서 측정된 대부분의 자기이상은 베게용암층의 특성과 분포에 기인한다(Gee, 1994). 따라서 자화를 계산함에 있어 측정된 모든 자기장은 얇은 베게용암층에서 나타났음을 가정하였고, 그 두께(h_0)를 일정하게 500 m로 가정하였다. 그리고 자화방향은 현재의 지자기장 방향으로 설정하였다.

3. 결과 및 해석

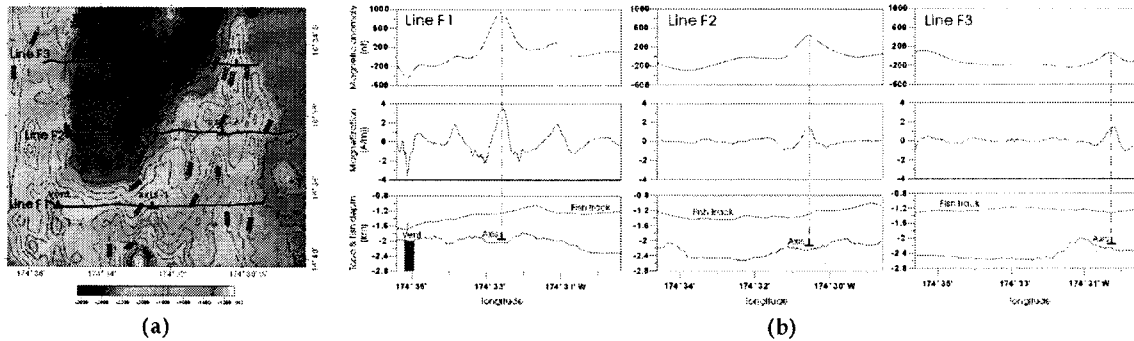


Figure 1. (a) Topography and deep-tow magnetic survey tracks of FRSC, (b) Observed magnetic anomaly(top), magnetization(middle) and bathymetry and fish tracks(bottom).

FRSC에서 수행된 심해건인 자력탐사 결과, 측선 F1의 중앙(174°32.6'W)에서 해령에 주로 나타나는 전형적인 높은 자화이상(CAMH)이 관측되었다(Figure 1). 측선 F2, F3에서도 CAMH가 관측되나 그 크기가 감소하는 경향을 보이는데, 이는 해령의 활동성이 약해지면서 CAMH의 신호가 미약해지는 것으로 사료된다. 또한 FRSC의 측선 F1에서는 열수광상에서 나타나는 저자화상이 관측(174°35.1'W)되었다. 하지만 단면적으로 나타나는 저자화상은 정단층에 의해 베게용암층 밑의 반려암층이나 암맥상들이 해저면에 노출 되었거나 국지적으로 퇴적층이 존재할 경우에도 관측이 가능하므로(Tivey, 2003), 암석 샘플이나 천부지층 자료들을 고려하는 등 해석에 주의해야 한다.

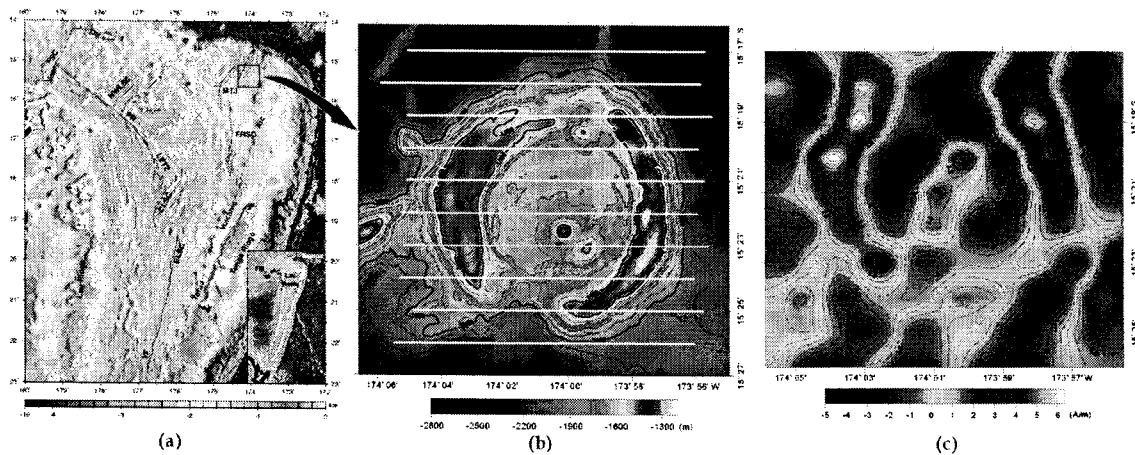


Figure 2. (a) Topography of lau basin, (b) Topography of MTJ caldera and surface magnetic survey tracks, (c) Crustal magnetization of MTJ caldera.

Figure 2는 MTJ 칼데라에서 수행된 표층자력탐사결과이다. 칼데라의 양 벽을 따라서 높은 자화상이 관측되었는데, 이는 칼데라 형성과정에서 풍부한 자성광물들이 포함되었음을 의미한다. 그리고 칼데라의 남남서쪽부터 중심부까지 해령에서 관측할 수 있는 CAMH가 관측되었는데 이를 통해 칼데라의 중심부를 지나는 확장대가 존재 하는 것으로 유추할 수 있다. CAMH의 방향은 지형적으로 붕괴되어진 칼데라의 남남서 및 북북동쪽 벽의 방향 및 MTJ의 북동쪽 연장선의 방향과도 일치하고 있다. 따라서 칼데라의 중심부에 존재 할 것으로 생각되는 확장대는 MTJ의 북동쪽 연장선에서 파생된 것으로 사료된다.

일반적으로 열수분출대는 해령주변에서 잘 발달하기 때문에 해령의 존재 및 방향성을 파악하는 것은 열수광상 탐사에서 매우 중요하며, 지자기 특성을 이용한 자력탐사는 다른 지구물리탐사보다 열수분출대 탐사에 효율적으로 수행될 수 있다. 하지만 수심이 깊은 대양에서의 표층자력탐사는 관측되는 총 자기장 값이 고주파 필터링되는 효과를 받기 때문에 천부 해양지각의 지자기 특성을 명확히 반영하지 못한다. 따라서 정밀한 탐사를 위해서는 심해건인 자력계를 해저면에 최대한 밀착시켜 조사하는 것이 필수적으로 요구된다.

4. 참고문헌

- Bloomer, S.H., Wright, D.J. and Boomerang LEG 8 Shipboard Scientific Party, 1996, Geology of the Tonga Forearc: A supra-subduction zone ophiolite, *Eos Trans. AGU*77:F35
- Dawn J.Wright, Sherman H.Bloomer, Christopher J.MacLeod, Brian Taylor and Andrew M.Goodlife, 2000, Bathymetry of the Tonga Trench and Forearc: a map series, *Marine Geophysical Researches*, **21**, 489-511.
- Gee, J and D. Kent, Variation in layer 2A thickness and the origin of the central anomaly magnetic high, *Geophys. Res. Lett.*, **21**, 297-300.
- Guspi F., Frequency-Domain Reduction of Potential Field Measurements to a Horizontal Plane, 1987, *Geoexploration*, **24**, 11-19.
- Hans Schouten, Maurice A.Tivey, Daniel J.Fornari, James R.Cochran, 1999, Central anomaly magnetization high: constraints on the volcanic construction and architecture of seismic layer 2A at a fast-spreading mid-ocean ridge, the EPR at 9°30'-50'N, *Earth and Planetary Science*

Letters, **169**, 37-50

Maurice A.Tivey, H,Paul Johnson, 2002, Crustal magnetization on reveals subsurface structure of Juan de Fuca Ridge hydrothermal vent fields, *Geology*, **30**, 979-982

Maurice A.Tivey, Hans Schouten, 2003, A near-bottom magnetic survey of the Mid-Atlantic Ridge axis at 26°N: Implications for the tectonic evolution of the TAG segment, *Journal of Geophysical Research*, **108**, B5, 2277.

Parker, R.L, and Huestis, S.P., 1974, The inversion of magnetic anomalies in the presence of topography, *Journal of Geophysical Research*, **79**, 1587-1594.

Zellmer E. Kirsten, Brian Taylor, 2001, A three-plate kinematic model for Lau Basin opening, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, **2**, 200GC000106.

5. 사사

본 연구는 한국해양연구원 ‘2005 남서태평양 광물자원 개발사업’의 지원으로 진행되었습니다. 연구에 도움을 주신 연구원 및 승조원 분들에게 심심한 감사를 드립니다.