

북동 라우분지의 후열도분지 및 해저칼데라에서의 해저열수활동

김중욱^{1)*} · 고영탁¹⁾ · 손승규¹⁾ · 이경용¹⁾

1. 서 론

해저열수활동은 중앙해령과 후열도확장대 등 해양지각의 활동성 화산대에서 일어나는 해수와 마그마의 상호작용에 의해 형성되며, 지구내부의 물질과 에너지를 암권, 수권, 생물권으로 전달하는 지질현상이다. 지난 1970년대 말 동태평양 해령과 갈라파고스 해령에서 해저열수활동이 처음으로 확인된 이후 해저열수활동은 지판의 생성지역과 소멸지역에서의 다양한 화산활동, 열수분출구 주변의 화학합성에 의한 생태계, 열수활동에 의한 금속광상의 형성 등 근본적인 지질작용을 이해하는데 크게 공헌하였다.

라우분지는 통가해구를 따라 형성되어 있는 후열도분지로 비활동성인 라우해령과 활동성인 토푸아 열도 사이에 존재한다. 라우분지는 지판의 섭입작용에 의한 다양한 확장활동의 결과로 복잡한 지형 특성을 갖는데, 현재 중앙라우확장대 (Central Lau Spreading Center, CLSC), 동라우확장대 (Eastern Lau Spreading Center, ELSC), 포누알레이확장대 (Founualei Rift and Spreading Center, FRSC), 북서라우확장대 (Northwest Lau Spreading Center, NLSC)의 4개의 활동성 확장대가 알려져 있다 (Zellmer and Taylor, 2001). 이중 CLSC와 ELSC의 남단인 Valu Fa 해령에서의 열수분출은 지난 90년대 초반에 발견되어 후열도분지의 해저열수활동을 이해하는데 많은 공헌을 하였다.

한국해양연구원에서는 지난 2004년부터 2006년까지 북동 라우분지의 확장대와 활동성 해저산을 대상으로 세 차례의 실해역조사를 통해 수층의 열수활동을 추적하고 이를 통해 열수분출 지역을 확인하였다. 이 지역은 지난 2004년의 Ridge2000 프로그램에 의해 수행된 탐사에서 처음으로 열수 풀륨의 광역분포가 확인되었으나 당시 열수분출이 일어나는 정확한 위치는 밝혀지지 않은 상태였다 (German et al., 2006). 이 연구는 북동 라우분지의 확장대인 FRSC와 NELSC 그리고 활동성 칼데라인 MTJ-1에서의 열수분출 증거를 제시하고 이들 해저열수활동의 의미를 고찰하는데 그 목적이 있다.

2. 연구지역

북동라우분지의 활동성 확장대인 FRSC는 북동라우분지의 Mangatolu 삼중합점의 남단에서 연장되는 확장대로 여러개의 소규모 열곡과 확장대가 중첩되는 형태로 존재한다. FRSC의 확장속도는 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 47 mm/yr에서 85 mm/yr로 증가하는 것으로 알려져 있는데, 이러한 특성은 라우분지 남쪽의 ELSC와 유사한 형태이다. FRSC의 북동쪽으로 연장되는 확장대인 NELSC는 약 94 mm/yr의 확장속도를 나타내며, 북쪽의 사모아 열점과 인접하고 있어 열점이 NELSC의 화산활동에 영향을 주었을 것으로 추정된다.

MTJ-1 칼데라는 NELSC에서 동쪽으로 약 45 km 떨어져 있는 원형의 칼데라로 원형의 칼데라 구조 내에 새로운 분출에 의한 화산추가 형성되어 있다. 칼데라의 남쪽은 일부 무너져 내린 반면 칼데라의 북쪽은 일부 침하되었으나 소규모 화산활동에 의한 것으로 보이는 소규모의

주요어 : 해저열수활동, 라우분지, 후열도분지, 해저칼데라, 열수분출구

1) 한국해양연구원, 심해연구사업단 (jukim@kordi.re.kr)

구릉이 관찰된다.

연구지역에서의 해저열수활동은 FRSC02 지역, NELSC 지역, MTJ-1의 중앙화산추에서 각각 확인되었다 (Fig. 1).

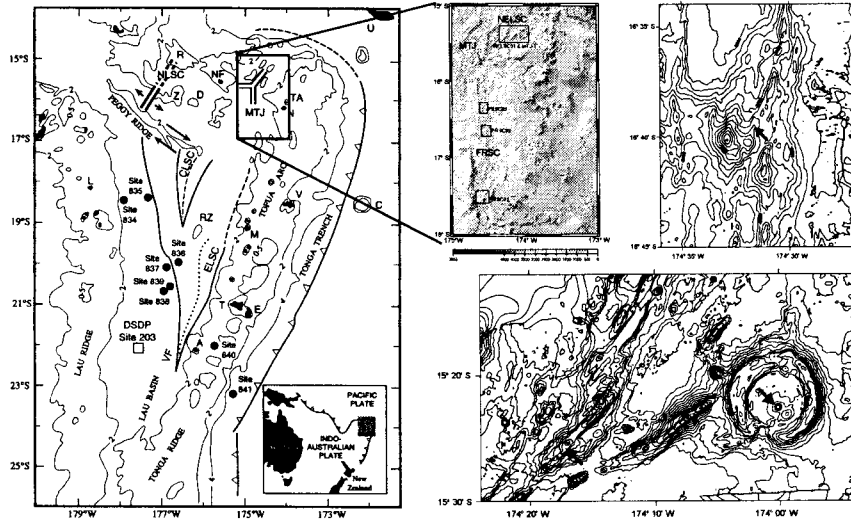


Fig. 1. Tectonic map of the Lau Basin (left panel) and bathymetric map of the study area (right panel). Detailed bathymetric maps of the FRSC02, NELSC, and MTJ-1 are shown in the right panel. Arrows indicate hydrothermal venting sites.

3. 북동 라우분지의 해저열수활동 증거

연구지역의 수층 내 열수풀룸 검출을 위해 CTD 정점조사와 CTD 견인을 수행하였다. Fig. 2는 세 열수분출 지역의 수층 내 투광도, 용존메탄 함량, ATP의 분포를 나타낸 것이다. FRSC02 지역에서 투광도는 1600-1700 m 구간에서 0.4%정도 감소하며, 같은 구간에서 ATP와 용존메탄은 다소 증가하는 경향을 보여준다. NELSC 지역에서 수층 내 1250-1450 m 구간에서 투광도는 약 3.5% 감소하며 용존메탄은 최대 14.1 nM의 함량을 보여 FRSC02 지역에 비해 각각 9배, 15배 증가한다. NELSC 지역의 ATP는 1000 m 이하의 수심에서 큰폭의 변화를 보이지만 1325m 수심에서 관찰되는 ATP의 최대값은 투광도 감소와 일치한다.

MTJ-1 칼데라 지역에서 투광도는 세 지역 중 가장 큰 7.7%의 감소치를 보이며, 투광도의 감소 폭도 1200-1400 m로 가장 넓은 수심구간에서 관찰된다. 용존메탄과 ATP 함량은 이 구간에서 증가하는 패턴을 보이는데 용존메탄의 최대값은 1400 m 수심에서 관찰되는 반면, ATP는 1200 m 수심에서 최대치를 나타낸다. MTJ-1의 해수시료에서는 열수기원의 금속원소인 Mn, Fe가 함께 분석되었는데 이들 금속원소 역시 투광도의 감소구간에서 증가하는 패턴을 나타낸다.

수층 내 열수풀룸 검출결과를 바탕으로 열수분출의 발생지역을 추적하여 암석 채취를 시도하여 열수분출구 및 열수변질암 시료가 채취되었다. FRSC02 지역에서는 분출구의 외벽에서 내부로 진행됨에 따라 섬아연석-황철석-황동석의 누대구조를 보이는 전형적인 고온형 열수분출구와 함께 중정석과 섬아연석 등 주로 저온에서 침전되는 광물로 이루어진 저온형 열수분출구가 함께 채취되었다. NELSC의 열수분출지역에서는 주로 황철석과 황동석으로 이루어진 고온형 열수분출구가 우세하게 관찰되었다. MTJ-1 칼데라에서 열수분출구 시료는 채취되지 않았지만, 칼데라 중앙의 화산추에서 자연황과 화산성 쇄설물을 포함하는 다양한 화산분출물과 함께 세맥상의 황철석을 포함하는 열수변질암석이 채취되었다. 따라서 MTJ-1 칼데라는 현재 화산활동 및 열수활동이 활발하게 일어나고 있는 것으로 판단된다.

4. 토의 및 결론

FRSC02와 NELSC 지역의 기반암은 현무암-현무암질 안산암인 반면, MTJ-1 칼데라는 주로 테사이트질 암석으로 이루어져 있다 (Fig. 2). 이들 기반암의 미량원소 조성은 이들 지역 암석이 섭입물질의 영향을 받아 가벼운 희토류 원소 및 LIL (Large Ion Lithophile) 원소와 같은 불호정원소들의 함량이 높은 특성을 나타낸다. 하지만, NELSC 지역의 기반암 조성에서는 열도화산암의 특성인 HFS (High field Strength) 원소의 결핍이 다른 지역에 비해 두드러지지 않는다. 이러한 미량원소 조성은 NELSC 지역의 마그마 조성이 인접한 사모아 열점의 영향을 받았을 가능성을 시사한다. 따라서 북동 라우분지의 세 열수활동 지역은 상대적으로 좁은 지역 내에 후열도 확장대 (FRSC02), 열점의 영향을 받은 후열도 확장대 (NELSC), 열도 칼데라 (MTJ-1) 등 서로 다른 지구조 환경에서 생성된 것으로 판단된다.

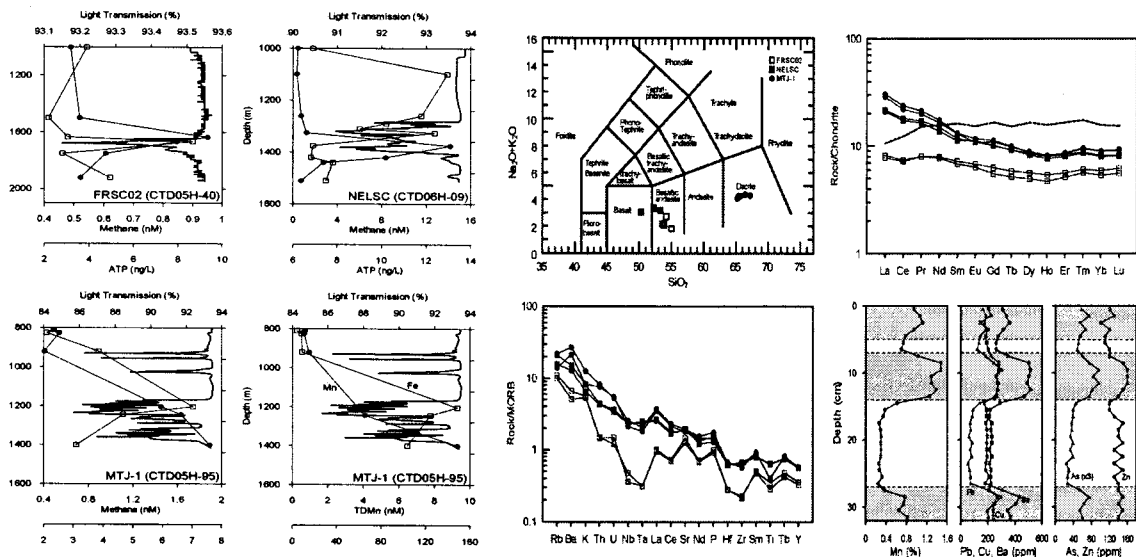


Fig. 2. Profiles of light transmission, dissolved methane, and ATP in the water columns in the three hydrothermal sites in the study area (left panel). Dissolved Mn and Fe concentration is also plotted for MTJ-1 site. Composition of volcanic rocks and sediments from the study area (right panel).

이들 지역의 열수활동 증거로부터 FRSC02 지역은 열수활동이 점차 약해지고 있는 반면 NELSC 지역은 아직 활발한 열수활동이 일어나고 있는 것으로 추측된다. MTJ-1 칼데라에서의 강한 수층 이상치는 열수분출뿐만이 아니라 화산분출의 결과로 판단된다. 비록 MTJ-1 칼데라에서 열수분출구가 발견되지 않았지만, 황철석을 포함하는 열수변질암석의 존재는 칼데라의 주변 혹은 칼데라 하부에 열수광상이 형성되어 있을 가능성을 지시한다.

한편, 태평양의 헬륨분포 조사를 통해 동태평양 해령과, 하와이, 그리고 피지-통가의 세 지역에서 광역 헬륨이상치가 발견된바 있다 (Lupton et al., 2004). 북동 라우분지의 열수활동 지역은 남서태평양의 피지-통가 지역의 헬륨이상치에 가장 인접해 있으며 따라서 그 근원지가 될 수 있다는 점에서도 주목된다.

5. 참고문헌

- German et al., 2006, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7, 2006GC001324
 Lupton et al., 2004, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 5, 2003GC000607
 Zellmer and Taylor, 2001, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2, 2000GC000106