

포텐셜 자료를 이용한 한국남동 대륙연변부의 지질구조에 관한 연구

유이선*, 박찬홍*, 김창환*, 석동우**

* 한국해양연구원 자원환경연구본부(cmscdma@kordi.re.kr)

** 한양대학교 지구해양학과

1. 서 론

동해는 서태평양 배호상 분지로서 울릉분지, 일본분지, 그리고 야마토 분지로 구성되며, 이들 분지는 해령 (ridge)과 해저대지 (Korea Plateau)로 경계 분리 되면서 각각 독립적으로 형성되어 있다. 한국대지나 해령들은 일본열도가 유라시아 대륙으로부터 분리될 때 동해에 남아있는 대륙지각의 조각들로 추정된다(Jolivet et al., 1991). 동해의 남서부에 위치하는 울릉분지는 한국대지에 의해 북쪽의 일본분지와 그리고 오키뱅크에 의해 북동쪽 야마토분지와 각각 분리된다. 동해의 형성은 후열도 열개(back-arc opening) 또는 인리형 열개(Pull-apart opening) 모델로 가장 많이 설명된다.

후열도 열개 모델은 울릉분지의 형성을 태평양판, 필리핀판 및 유라시아판의 상호작용에 의해 기인한 것으로 울릉분지는 후기 올리고세에 섭입(subduction)에 의하여 지각이 얇아졌으며 초기-중기 마이오세에 후열도 열개작용이 일어났고, 후기 마이오세에 횡압력에 의한 변형을 받은 것으로 설명한다.

인리형 열개 모델은 울릉분지의 형성이 동해에 발달된 두 개의 우수주향 주향이동 단층(dextral strike-slip fault)에 의한 인리형 열개에 의한 것으로 후기 올리고세 - 초기 마이오세 동안에 울릉분지의 서쪽 경계부에 형성된 전단대(shear zone)를 따라 일본열도가 남서방향으로 이동되면서 울릉분지가 열개되기 시작하였고, 초기 마이오세 - 중기 마이오세 (18 Ma - 15 Ma)에 시계방향으로 일본열도가 회전하면서 동해 전반에 걸쳐 북서-남동 또는 동서 방향으로 작용한 압축력에 의하여 울릉분지는 닫히게 되는 과정으로 설명한다.

동해의 열림과정을 밝히기 위한 연구로는 해외 및 국내에서도 많은 연구가 수행되었고, 특히 국내에서는 김한준 등(2003), 최동립 (1994), 윤석훈 등(1993)에 의해 한국남동 대륙주변부에 대한 탄성과 탐사 및 해저면지진계(OBS: Ocean Bottom Seismometer)를 이용하여 울릉분지 및 대륙주변부의 지각구조에 대한 연구가 진행되어 왔다. 이들 연구에서는 연안에서 울릉분지로 이어지는 대륙사면에서 열개작용에 의해 형성된 화성층서(SDR)를 보여주었다. 하지만 탄성과 탐사시 사용된 에어건의 용량이 작을 경우 SDR(Seaward Dipping Reflector)

의 존재는 분명하게 확인되지 않는다. SDR은 노출된 해저면 확장축에서 발생하는 지각의 부가성장(accretion)의 결과로 생겨나는 화성 층서로서 강한 자력이상대와 관련되어 있는 것으로 알려져 있다(Robert et al., 1989). 그러므로 연구지역 전체에 고른 자료 분포를 가지고 있는 자력자료를 활용함으로써 한반도의 대륙주변부에서 SDR을 형성시킨 분출성 화산작용의 범위를 알아 낼 수 있을 것이다. 이번 연구에서는 기존 탄성과 연구결과와 중력, 자력자료를 이용하여 남동연변부에서 울릉분지로의 중력특성을 알아보고 초기 대륙의 열개로 인해 분출되는 화산분출물(SDR) 및 화산암의 관입으로 인한 자력이상을 알아보고 탄성과 해석도면과 자력이상의 상관관계를 밝히는데 목적이 있다.

연구해역은 부산에서 후포까지의 한국남동 대륙연변부로서 수심 150 m 내외, 폭 30 km 미만의 대륙붕해역과 울릉분지로 이어지는 대륙사면으로 이루어져 있다. 대륙붕 내에는 후포분지, 포항-영덕분지와 같은 열개분지가 해안선과 평행하게 발달되어 있다.

2. 연구방법

이번 연구는 국립해양조사원에서 93년과 96년에 획득한 자력자료 중 경도 129.5°E ~ 130.5°E, 위도 35°N ~ 37°N의 범위의 자력자료를 이용하였다. 국제참고 지자기장을 이용하여 자력이상을 구하였고, cosine low 필터링을 사용하여 단주기의 잡음을 제거하였다. 자력자료는 해저자성체의 서로 다른 자화특성으로 인해 복잡한 분포를 나타내며 이러한 특성은 자기이상 해석을 어렵게 만든다. 그러므로 복잡한 자기이상분포를 단순화하기 위해 자극화 변환방법을 사용하였다. 하지만 자극화변환은 잔류자화가 유도자화에 비해 충분히 작다고 가정했을 때 적합한 필터링 방법으로써 유도자화 뿐만 아니라 잔류자화의 특성 역시 가지고 있는 해저자성체에 적용할 때는 무리가 따른다. 그러므로 이를 효과적으로 단순화하기 위해 Analytic signal을 이용하였다. Analytic signal은 자성체의 자화방향과 관계없이 자기이상분포를 단순화시킬수 있으므로 해저자성체의 자화특성 분석에 적합하다고 할 수 있다.

중력자료의 범위는 자력자료와 같으며 인공위성관측 해수면 고도자료로부터 변환한 후리에어 중력치를 사용하였다. 인공위성 중력자료는 최근 Smith and Sandwell (1995)에 의해서 공개된 것을 사용하였는데, 이것은 ERS-1, Geosat ERM과 Geosat-GM 인공위성고도자료로부터 환산된 2' 간격의 격자자료로 이루어져 있다. 본 연구에서는 연구지역 전체의 현장 해저지형 자료가 확보되어 있지 않은 관계로 연구지역 전체의 해저지형을 파악할 수 있는 자료로써 Sandwell and Smith(1999, Unpublished)이 해수면 고도로부터 산출된 중력자료를 이용하여 변환한 해저지형 자료를 이용하였다. 또한 단순부게이상은 후리에어이상과 수심자료를 이용하여 구하였다. 기존 연구된 OBS 자료 중 연구지역에 포함되어 있는 측선 KCP-98 탄성과 해석단면과 동일한 위치의 자력이상단면을 비교하여 SDR 및 화산암의 관입으로 인한 자력특성을 알아보았다.

3. 결과

후리에어 중력이상은 두꺼운 퇴적층이 존재하는 분지지형에서 저이상이, 화성기반암이 돌출된 지역에서 고이상이 나타나고, 전체적으로 해저지형의 변화와 유사한 양상으로 변한다. 후포분지와 같이 지역적으로 함몰되어 있는 기반암과 두꺼운 퇴적층이 있는 지역에서는 주

변보다 낮은 이상치를 나타내며, 그 주변에 융기되어 존재하는 후포뱅크에서는 높은 이상치를 나타낸다. 수심이 깊어지는 대륙사면을 지나면서 급격히 감소되고, 울릉분지로 이어지면서 $-20 \text{ mGal} \sim -40 \text{ mGal}$ 의 분포를 보이고 있다. 이런 중력변화는 대륙 주변부에서 알려진 전형적인 지각가장자리 효과이다. 또한 울릉분지내에서도 지형과 무관한 저이상대가 존재하는데 이는 국부적인 합몰구조에 기인한 것으로 사료된다(Fig. 1). 부계이상은 대륙붕을 거쳐 울릉분지로 이어지면서 점차적으로 증가하고, 후리에어이상과 달리 지형의 변화와는 일치하지 않음을 보이고 있다. 이는 하부 맨틀의 질량초과 효과이며, 울릉분지로 갈수록 모호면의 깊이가 알아지는 것을 의미한다(Fig. 2).

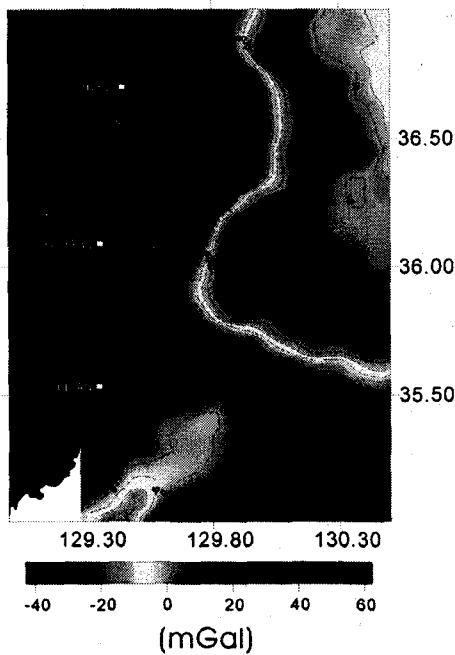


Fig. 1. Free-air anomaly map. Contour interval is 5 mGal.

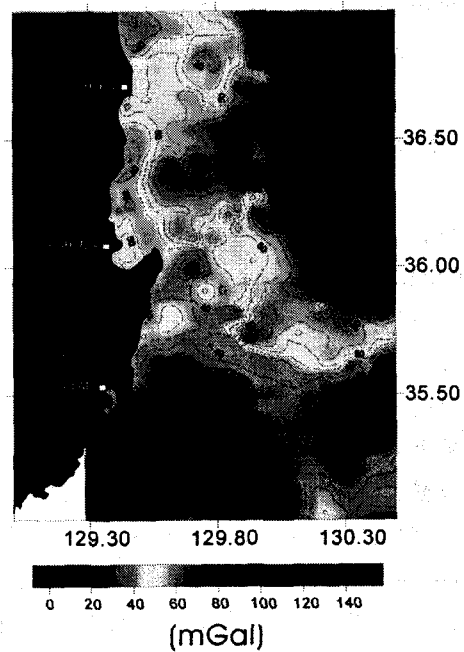


Fig. 2. Bouguer anomaly map. Contour interval is 5 mGal.

자기이상도는 남동연변부를 따라서 북동방향으로 양의 자력이상이 선형으로 존재하고, 후포분지 및 소규모의 분지 내에서는 음의 자력이상을 보이고 있다. 후포분지 주변에 존재하는 후포뱅크는 양의 자기이상이 존재한다. 또한 수심이 급격히 깊어지는 대륙사면에서도 자력이상의 변화가 나타나는 것을 볼 수 있다(Fig. 3).

후포분지에서 음의 자기이상은 이 지역이 화산관입이 거의 없는 대륙지각임을 나타낸다. 반면에 후포뱅크에서 나타나는 양의 자기이상은 이곳이 화산관입으로 융기된 지역임을 지시한다. 또한 후포뱅크의 바깥쪽 대륙사면에서 자력이상은 2차적인 양의 자기이상을 보여주는 데 이는 강하게 자화된 SDR의 존재를 지시하는 것이다. 그러므로 이 지역은 열개(rifting)의 마지막 단계와 해저면 확장 초기 단계에서 예상되는 대규모의 화산작용이 발생한 지역으로서 대륙지각에서 해양지각으로 바뀌는 부분으로 해석될 수 있다. 또한 인접한 육상지각에는 울리고세 말기에서 마이오세 초기에 생성된 현무암 및 응회암과 같은 분출성 화산암이 넓게 분포하는 것으로 보아 이들 화산대가 대륙붕과 대륙사면 기반으로 연장된 것으로 사료된다.

자극화 변환에서는 후포뱅크에 의한 양의 자기이상을 뚜렷이 보여주고 있으며, 앞에서 확인되지 않은 소규모의 관입암체의 자기이상을 확인할 수 있었다. Analytic signal 분석에서는 포항에서 후포분지를 지나는 음의 자기이상이 북북동 방향으로 존재하는 것을 확인할 수 있었으며, 후포뱅크 및 소규모의 뱅크에 의한 양의 자기이상이 뚜렷하게 확인 되었다. 또한 대륙사면으로 가면서 2차적인 양의 자기이상이 관찰되었다. 이런 선형적 음의 자기이상 분포는 대륙지각이 남동연안을 따라서 북북동 방향으로 이루어져 있음을 뜻한다.

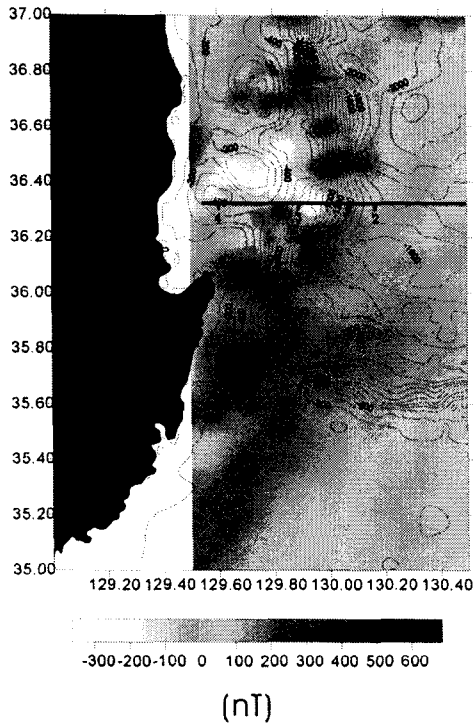


Fig. 3. Location of ocean bottom seismometer(OBS) positions with magnetic anomaly. Bathymetric contours are in meters.

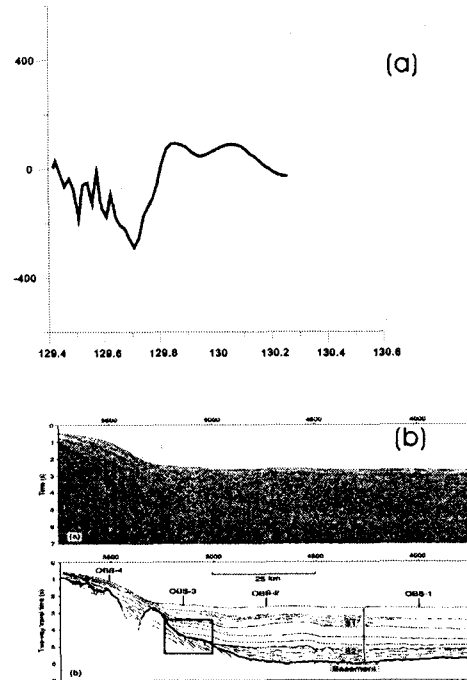


Fig. 4. Geophysical profile along the OBS line. (a) Profile of observed magnetic anomaly. (b) seismic section and interpreted seismic section.

Fig. 4는 OBS 측선에서의 자기이상을 도시한 것이다. 연안에서는 전체적으로 음의 자기이상을 보이며 국부적으로 작은 양의 자기이상을 보이고 있다. 이는 소규모의 화성관입체의 영향으로 사료된다. 대륙사면을 지나면서 자기이상은 급격하게 상승하는데 이는 SDR에 의한 영향으로 해석된다. 이것은 탄성과 도면에서 해석하기 힘든 SDR을 자기이상으로 유추하는 것이 가능하다는 것을 의미한다.

결론적으로 한국남동 대륙연변부는 연안에는 음의 자기이상이 북북동 방향으로 형성되었고, 뱅크 및 대륙 사면에서는 강한 양의 자기이상이 존재하였다. 이는 후포분지를 포함한 연안지역은 화성활동이 없는 대륙지각임을 의미하며, 대륙사면은 전반적으로 SDR이 분포되어 있음을 나타내므로 이 지역이 화산활동이 수반된 대륙의 열개가 있음을 지시한다. 그러므로 이 지역은 올리고세에 시작된 열개 (rifting)에 의해 형성된 전형적인 비활성 대륙주변부(Volcanic margins)임을 알 수 있다.