

포텐셜자료를 이용한 한반도 동해 대륙주변부의 지각구조에 관한 연구

김창환* · 유이선** · 박찬홍*** · 석동우****

*한국해양연구원 독도전문연구사업단

**오양엔지니어링

***한국해양연구원 해양환경연구본부

****한양대학교 해양환경과학과

A study on the crustal structure of the continental margin in the East Sea along the Korea Peninsula using potential data

Chang Hwan Kim*, Lee Sun Yoo**, Chan Hong Park*** and Dong Woo Suk****

*Dokdo Research Division, KORDI

**PENTA OCEAN ENG. Co.

***Marine Environment Research Department, KORDI

****Department of Environmental Marine Sciences, Hanyang University

요 약

본 연구에서는 중력, 자력자료와 기존 탄성파 연구결과를 이용한 역산 및 모델링을 통하여 모호면의 심도 변화 및 대륙 봉에서 울릉분지로 이어지는 지역의 지각구조를 연구하는데 목적이 있다. 연구지역의 후리에어중력이상은 해저지형 효과를 잘 반영하며 나타나고 있다. 부계중력 이상은 울릉분지 중심부로 갈수록 증가하고 있는데 이는 울릉분지 하부의 모호면이 상승되어 있다는 것을 암시한다. 자기이상의 특징은 대륙주변부를 따라서 북동방향으로 양의 자기이상이 존재하며 울릉분지로 가면서 감소한다. 아날니틱 신호를 보면 후포뱅크에서 소규모의 이상이 존재하고 대륙사면 지역에서는 강한 이상대가 분포되어 있다. 후포뱅크에서 나타나는 이상은 이곳이 화산관입으로 융기된 지역인 것을 암시한다. 대륙사면에서 양의 자기이상은 SDR(seaward dipping reflectors)의 존재를 지시하며 탄성파 단면에서 나타나는 SDR의 위치와 일치한다. 부계중력 이상에 대한 역산과 2차원 중력 모델링 결과에서 나타난 모호면의 변화는 대륙주변부에서 울릉분지쪽으로 갈수록 모호면의 깊이가 상승하였으며 OBS 속도구조에서 나온 결과와 좋은 일치를 보인다. 2차원 중력 모델링 결과 대륙지각 하부에는 magmatic underplating zone이 존재를 암시하며 이는 이 지역에서 리프팅이 일어났을 가능성을 지시한다.

주요어

모호면의 심도, 지각구조, 역산, SDR(seaward dipping reflectors), 2차원 중력 모델링, magmatic underplating zone

ABSTRACT

We investigated the undulation of Moho depth and the crustal structure of the continental margin in the East Sea along the Korea Peninsula from inversion and modelling using potential data and previous seismic results. Free-air gravity anomalies generally reflect topography effect. Bouguer gravity anomalies increase toward the Ulleung Basin, indicating that Moho depth is shallower under the Ulleung Basin. Positive magnetic anomalies exist along the continental margin and decrease toward the Ulleung Basin. In analytic signal, the small anomaly in the Hupo Bank infers that the Hupo Bank is uplifted by igneous intrusion and the strong anomaly on the continental slope denotes existence of SDR(seaward dipping reflectors), which are in accordance with the location of SDR detected in previous seismic studies. The inversion result of Bouguer gravity anomaly and the 2-dimensional gravity modelling indicate that the undulation of Moho depth shallows from the continental shelf toward the Ulleung Basin. This is in good agreement with the Moho depth calculated by the previous seismic velocity model using ocean bottom seismometer(OBS). The 2-dimensional gravity modelling infers magmatic underplating zone under the lower continental crust on the continental margin of the East Sea, indicating the possible rifting of the continental margin.

Key words

Moho depth, crustal structure, inversion, SDR(seaward dipping reflectors), 2-dimensional gravity modelling, magmatic underplating zone

1. 서론

동해의 형성 시기는 연구 초기에는 해저와 육상에 분포하는 암석의 연령 등을 상호대비하여 후기 백악기에서 제 3기 초로 추정하였다(Uyeda & Miyashiro, 1974; Ludwig *et al.*, 1975). 최근에는 육상 및 해상에서 얻은 새로운 많은 지질 및 지구물리학적 자료의 축적과 분석을 통해 형성시기가 좀 더 젊었음이 밝혀졌다. 연구결과에 의하면 적어도 올리고세에서 리프팅(rifting)이 시작되었으며, 초기 마이오세를 걸쳐 중기 마이오세까지 매우 활발한 신장운동과 함께 해저확장이 있었던 것으로 알려지고 있다(Tamaki, 1988; Chough & Barg, 1987; Jolivet & Tmaki, 1992; Tamaki *et al.*, 1992).

최근에 해저면 지진계자료를 바탕으로 Kim *et al.* (1994)은 울릉분지의 지각이 정상보다 두꺼운 해양지각이며 그 이유는 해저면 확장시 내륙에 위치한 맨틀플름의 영향인 것으로 설명하였다. 동해 대륙주변부의 열림을 설명하기 위해 맨틀플름의 영향을 제안한 것은 지금

까지 제시된 모델들과는 다른 것으로 한반도의 동쪽 주변부의 진화가 화산성 열개 주변부(Volcanic rifted margin)의 진화모델에 의해 설명될 수 있음을 의미한다. 화산성 열개 주변부에는 특징적으로 기반면 아래에 SDR (Seaward Dipping Reflector)이 발달해 있다. SDR은 노출된 해저면 확장축에서 발생하는 지각의 부가성장(accretion)의 결과로 생겨나는 화성층서로서 강한 자기 이상대와 관련되어 있는 것으로 알려져 있으며, 또한 여기서 분출되는 용암은 퇴적물과 혼재되어 화성층서(igneous sequences)를 가지게 되는데 이것이 다중채널 탄성과 단면상에 SDR로 나타난다(Mutter *et al.*, 1982; Eldhom *et al.*, 1989). 한반도 동해 대륙주변부 지역의 고응력장을 분석해본 결과에서도 대륙주변부 지역이 동해의 형성과 관련된 응력의 영향이 있는 것으로 설명하였다.(문태현 외, 2000; 장천중 · 장태우, 1998).

연구지역의 범위는 129° 30'E~130° 30'E, 35° 00'N~37° 00'N으로 동해 대륙주변부이며 폭이 약 20 km 미만의 대륙붕과 급한 대륙사면으로 이루어졌다(Fig. 1, Fig.

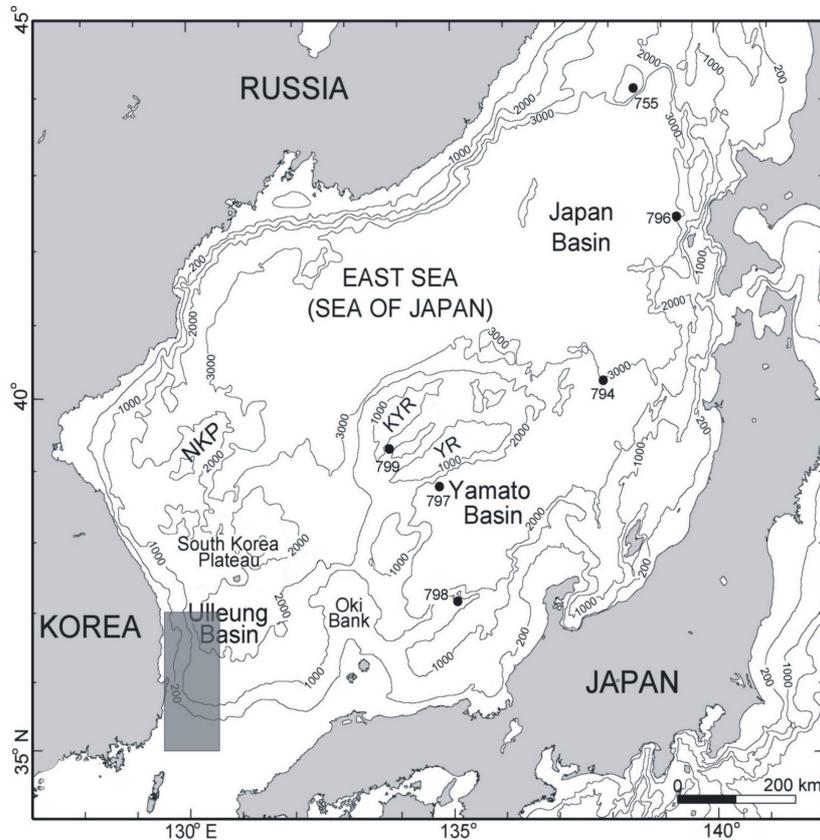


Fig. 1 Topographic map of the East Sea(modified from Tamaki *et al.*, 1992). The rectangular box filled by gray color represents the study area. KYR = Kita Ridge, YR = Yamato Ridge, NKP = North Korea Plateau.

2). 대륙사면에는 해수면 아래 후포뱅크와 후포분지, 영덕분지와 같은 일련의 열개분지가 해안선에 평행하게 분포한다. Yoon and Chough(1995)에 의하면 후포분지와 영덕분지는 주향이동 시스템 내에서 형성된 것으로 설명하였으며 한반도의 동쪽 주변부는 후열도의 리프팅과, 이후 계속된 울릉분지의 열립과 밀접하게 관련된 것으로 여겨지는 화산활동이 일어난 지역으로 해석하였다. 또한 한반도의 남동해안을 중심으로 분출성 화산암의 결과인 현무암과 응회암이 널리 분포하고 있으며, 이들 화산암의 연대는 올리고세 후기에서 마이오세 초기(25~17 Ma)로서 울릉분지의 열립 시기(rifting)와 일치한다(Yoon and Chough, 1995).

동해 대륙주변부에 대한 연구로는 최동림 등(1994), Kim *et al.*(2003), Yoon and Chough(1993) 등이 반사법 탄성파탐사 및 해저면지진계(OBS: Ocean Bottom Seismometer)를 이용하여 지각구조에 대한 연구를 수행하여 왔다. 이들 연구에서는 연안에서 울릉분지로 이어지는 대륙사면에서 열개작용에 의해 형성된 화성층서(SDR)를 확인하였다.

기존 연구에서 사용한 속도모델링 구조는 단 한 개의 OBS 측선을 이용하여 결정되었으므로 동해 대륙주변부에 대한 지각구조를 포괄적으로 결정하는 데는 무리가 있다. 또한 탄성파 속도 모델링은 하부지층의 속도만을 정하는 것으로 대륙지각에서 해양지각으로 변하는 대륙연변부의 전체적인 특징을 정확히 묘사하기는 힘들다. 그러므로 연구지역 전체에 고르게 분포되어 있는 중력, 자력자료를 이용하여 지각변형의 구조를 해석한다면 기존 탄성파 자료를 통하여 밝혀진 지각구조를 증명할 수 있는 중요한 수단이 될 것이다. 알려진 것과 같이 SDR은 화성층서로서 강한 자기이상을 띄고 있으므로 자력자료를 이용하여 SDR의 존재와 분포를 확인할 수 있을 것이다. 또한 중력모델링을 통하여 대륙지각에서 해양지각의 지질변화를 파악하는 것이 가능할 것이다.

이번 연구에서는 중력, 자력자료 및 기존 탄성파 연구결과를 이용하여 동해 대륙주변부지역의 중력특성을 알아보고 대륙주변부지역의 열개로 인해 분출되는 화산분출물(SDR) 및 화산암의 관입으로 인한 자기이상과 기존 탄성파 해석도면을 비교하고 분석하였다. 부계중력이상의 파워스펙트럼분석으로 모호면에 의한 밀도경계면을 추출하여 모호면의 심도변화를 구하고 연구지역의 두 측선에 대해 2차원 모델링을 통하여 대륙붕에서

울릉분지로 이어지는 지역의 지각구조 및 상부맨틀의 경계를 구분하는데 목적이 있다.

2. 자료 및 연구방법

중력자료는 Smith and Sandwell(1995)에 의해서 공개된 것을 사용하였는데, 이것은 ERS-1, Geosat ERM과 Geosat-GM 인공위성고도자료로부터 환산된 1' 간격의 격자자료로 이루어져 있다. 해저지형자료는 해수면 고도로부터 산출된 중력자료를 이용하여 변환된 해저지형자료를 이용하였다. 자력자료는 한국해양연구원 및 국립해양조사원의 자료를 통합하여 사용하였다.

중력자료를 이용하여 후리에어이상과 부계이상을 산출하고 분석하였다. 본 연구에서 적용한 부계 밀도는 울릉분지, 대륙사면 및 연안 대륙지각 등을 고려하여 평균 지각 밀도치인 2.67 g/cm^3 를 적용하였다. OBS 자료와 부계이상의 파워스펙트럼 분석을 통하여 밀도 경계면인 모호면의 평균심도를 구하였고 이를 기초로 부계이상자료의 3차원 역산법을 이용하여 모호면의 심도변화를 산출하였다(Lines *et al.*, 1984; 전정수, 1995).

반사법 탄성파탐사자료, OBS 자료와 후리에어중력 이상자료 및 역산에서 얻어진 결과를 이용하여 연구지역의 두 측선에 대해 2차원 중력 모델링을 통하여 대륙붕에서 울릉분지로 이어지는 지역의 지각구조 및 상부맨틀의 경계를 분석하였다.

자력자료는 일변화보정을 거친후 국제표준지자장(IGRF95)을 계산하여 소거함으로써 자기이상을 구하였다. 자기이상자료에서 천부지각에서의 영향을 분석하기 위하여 자기이상의 분리를 실시하였는데 아날니틱 신호산출법을 이용하였다(Nabighian, 1972, 1974). 또한 자기이상자료와 탄성파 탐사 단면에 대한 비교 분석을 실시하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 연구지역의 해저지형

연구지역은 한반도 동해 대륙주변부 지역으로 대륙붕 지역과 울릉분지로 이어지는 경사가 급한 대륙사면으로 이루어져있다(Fig. 2). 연구지역의 남쪽 대륙붕 지역은 수심 200 m이하로 평탄하게 발달되어 있는 반면에

대륙사면에서는 수심 변화가 급격히 나타난다. 대륙붕의 발달 양상은 남쪽이 비교적 넓고 북쪽으로 가면서 점차 좁아진다. 후포분지는 동쪽 대륙붕 지역과 수심 200 m에서 경계지면서 최고 수심이 400 m까지 감소된다. 후포분지와 후포뱅크는 수심 200 m를 경계로 구분되고 후포뱅크는 거의 수직으로 융기되어 있으며 최상부는 수심 100 m에서 평탄한 지역으로 이루어져있다. 대륙사면은 수심 400 m를 지나면서 동쪽으로 급격한 경사를 보이며 수심이 약 2,200 m까지 급격히 낮아지며 북동부의 울릉분지와 연결된다(Fig. 2).

3.1 연구지역의 중력이상

연구지역의 중력 이상을 알아보기 위하여 중력자료를

1' 간격으로 격자화하였다. 후리에어중력 이상은 두꺼운 퇴적층이 존재하는 분지 지형에서 저이상이, 화성기반암이 돌출된 지역에서 고이상이 나타나고, 대륙사면 및 울릉분지쪽으로 가면서 저이상을 보이며, 전체적으로 해저지형의 변화와 유사한 양상으로 나타났다(Fig 3). 후포분지와 같이 지역적으로 함몰되어 있는 기반암과 두꺼운 퇴적층이 있는 지역에서는 주변보다 낮은 이상치를 나타내며, 그 주변에 융기되어 존재하는 후포뱅크에서는 높은 이상치를 나타낸다. 수심이 깊어지는 대륙사면을 지나면서 급격히 감소되고, 울릉분지로 이어지면서 -20 mGal ~ -40 mGal 의 분포를 보이고 있다. 이런 중력 변화는 대륙 주변부에서 알려진 전형적인 지각 가장자리 효과이다(Dehlinger, 1978). 후리에어중력 이상은 수심이 약 2200 m까지 깊어지는 울릉분지 중심부로 가

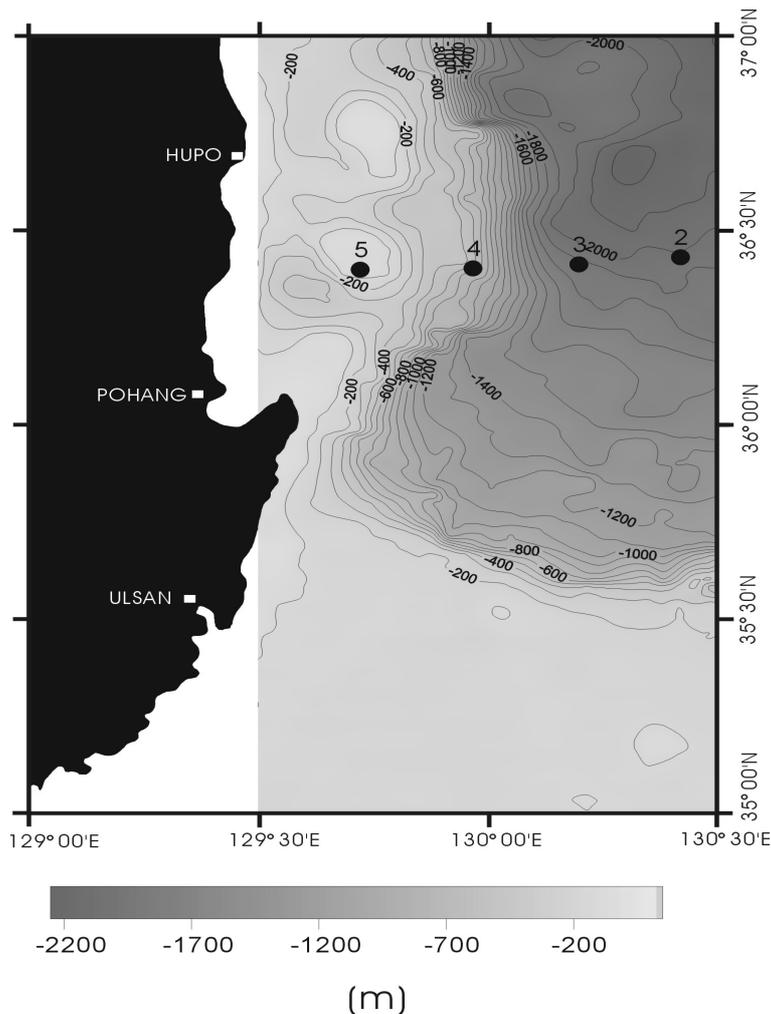


Fig. 2 Bathymetry map of the study area. Numbers are OBS(ocean bottom seismometer) points. Contour intervals are 100 m.

면서 오히려 조금 높아지는데 이는 박찬홍 외(1996), 박찬홍 외(1999) 및 서만철 외(1998)가 제안한 것과 같이 지각두께가 얇아지고, 모호면이 얕아지는 것과 관련이 있는 것으로 판단된다.

부계이상은 대륙붕을 거쳐 울릉분지로 이어지면서 점차적으로 증가하는데 이는 앞서 말한 울릉분지 하부에 존재하는 밀도가 높은 맨틀의 상승에 의한 효과이며 울릉분지로 갈수록 모호면의 깊이가 얕아지는 것을 의미한다(Fig. 4). 또한 후포뱅크 지역에서는 화성암의 용

기로 인해 부계이상이 증가하고 있다.

3.3 연구지역의 자기이상

연구지역의 자기이상을 알아보기 위하여 자력자료를 1' 간격으로 격자화하였다. 자기이상도는 전체적으로 양의 자기이상이 북동 방향으로 분포한다(Fig. 5). 후포분지 및 소규모의 분지 내에서는 음의 자기이상을 보이고 후포분지 주변에 존재하는 후포뱅크는 소규모의 양

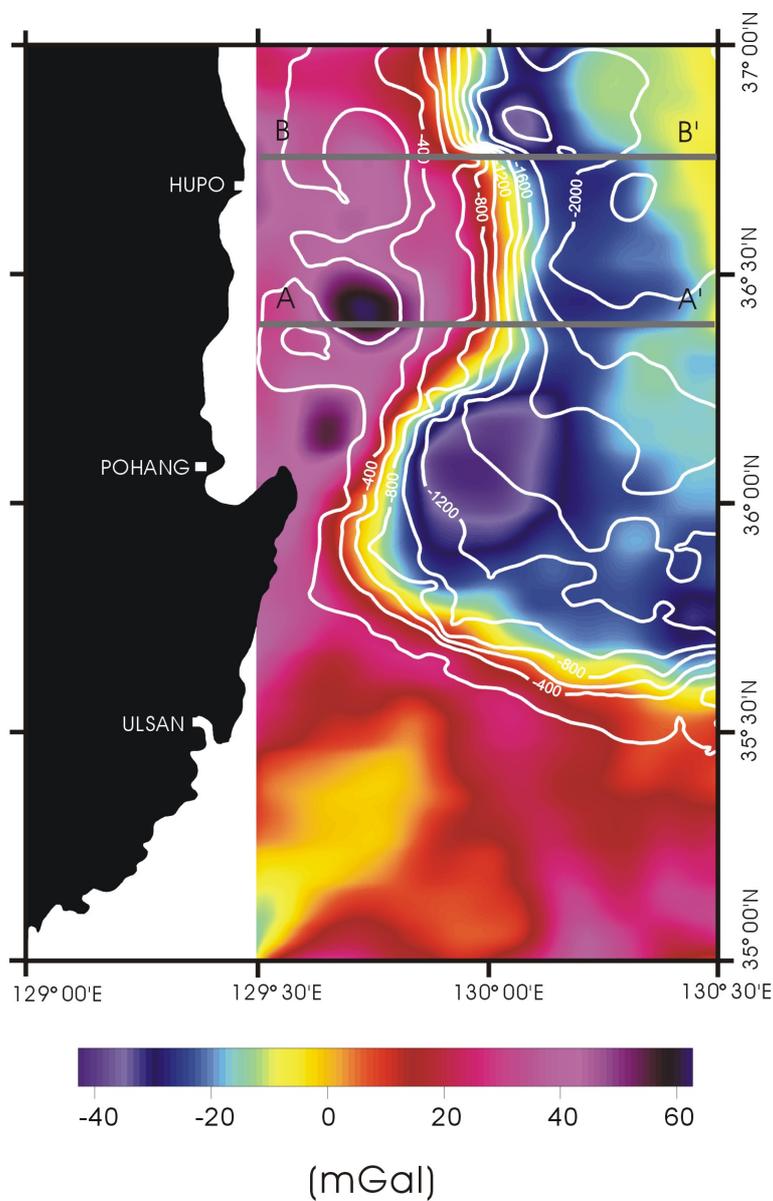


Fig. 3 Free-air gravity anomaly map. White solid lines are bathymetry contours in meters. Contour intervals are 100 m. Gray thick solid lines are 2-dimensional gravity modelling profiles.

의 자기이상이 존재한다. 또한 수심이 급격히 깊어지는 대륙사면에서는 강한 양의 자기이상의 변화가 나타나는 것을 볼 수 있으며, 또한 남서쪽 대륙붕지역은 전체적으로 양의 자기이상을 보이고 있다(Fig. 5).

자기이상도에서는 남동연변부를 따라서 북동방향으로 양의 자기이상이 약 250 km 뻗어 있고 바깥쪽 주변부에서 감쇠된다(Fig. 5). 인접한 한반도 남동부의 해안지역에는 현무암 및 응회암과 같은 분출성 화산암이 널리 분포한다. K-Ar 방사능 측정법에 의하면 이 분출성 화산암의 연대는 25~17 Ma로 알려져 있으므로(Chough and Lee, 1992), 한반도 주변부에서의 리프팅과 그 이후 일어난 울릉분지의 형성과 밀접한 관련을 가진다고 볼 수 있다.

아날티틱신호는 후포뱅크 및 소규모의 뱅크에 의한 이상이 뚜렷이 나타나며 또한 대륙사면에서 대규모의 이상이 집중적으로 분포되어 있는 것을 확인할 수 있다(Fig. 6). 후포뱅크에서 나타나는 이상대는 이곳이 화산관입에 의해 용기된 지역일 가능성을 지시한다. 또한 후포뱅크의 바깥쪽 대륙사면에서 이상대가 나타나는데 이는 강하게

자화된 SDR의 존재를 암시하는 것으로 해석된다.

이러한 한반도 남동 해역의 북동-남서 방향성을 가진 선상의 이상대는 울릉분지의 확장 초기에 구조선을 따라 일어난 화산활동의 결과로 형성된 염기성 관입암 혹은 분출암의 존재를 반영하는 것으로서 이 지역이 열개(rifting)의 마지막 단계와 해저면 확장 초기 단계에서 분출되는 대규모의 화산작용이 발생한 지역으로서 대륙지각에서 해양지각으로 바뀌는 부분으로 해석될 수 있다(Kim *et al.*, 2003; 김한준 외., 2006).

OBS 측선 KCP-98에서 반사법 탄성과 해석도면(Kim *et al.*, 2003)을 자기이상과 비교하였다(Fig. 7). 대륙사면을 지나면서 자기이상이 급격한 변화를 보이는데, 이는 탄성과 단면에 SDR의 위치와 일치하고 있다. 이는 SDR이 강한 자기이상대와 관련되어 있다는 것을 보여준다. 또한 전체적으로 양의 자기이상은 대륙사면에 집중하여 나타나는데, 이는 SDR의 분포가 대륙사면을 따라 분포되어 있는 것으로 해석된다(Fig. 5, Fig. 6). 그러므로 한국 남동 대륙연변부는 화산활동을 수반하여 대륙지각이 열

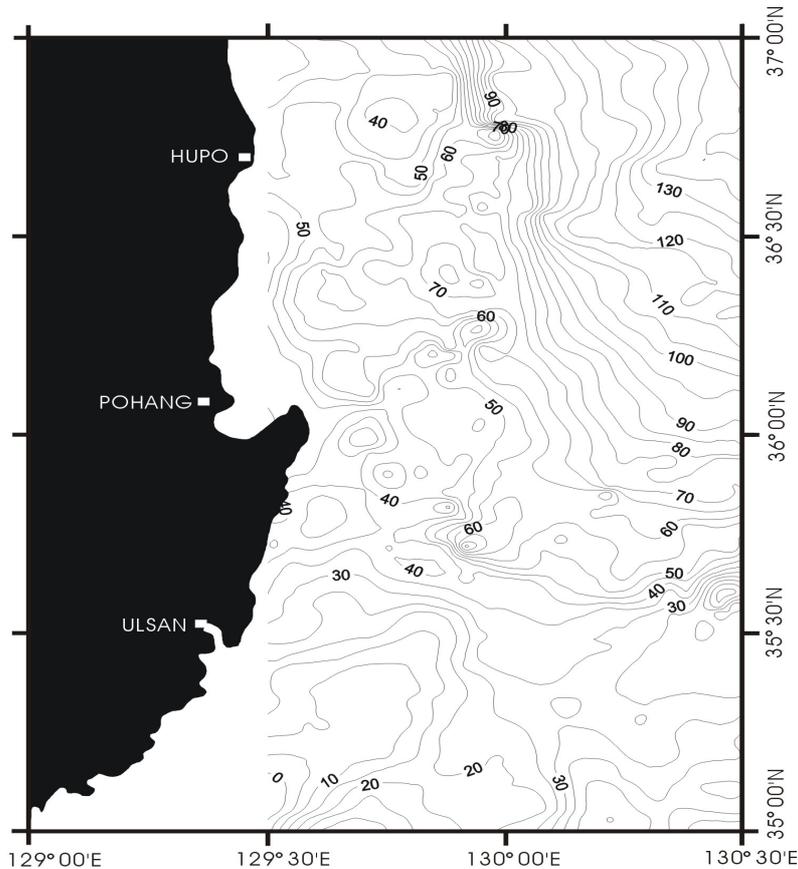


Fig. 4 Bouguer gravity anomaly map. Contour intervals are 5 mGal.

개된 대륙주변부일 가능성이 높을 것으로 판단된다.

3.4 연구지역의 지각구조

Fig. 8는 지하에 존재하는 밀도경계면의 평균 심도를 구하기 위해 부계중력이상을 푸리에 급수로 전개하여 구한 파워스펙트럼이다. 여기서 얻어진 모호면의 평균 깊이는 약 18 km가 계산되었다. 이는 OBS 자료에서 얻어진 울릉분지 지역의 평균 모호면의 깊이 약 16~18 km (Kim *et al.*, 1994; Park, 1998)와 거의 일치하는 것이다.

이 평균 모호면의 심도와 이와 관련된 주파수 대역에서 필터링된 부계중력이상을 이용하여 3차원 역산을 실시하였다. 모델링 지역의 범위는 129° 30'E~130° 30'E,

35° 58'N~36° 38'N 범위이다. 모델링 지역의 심도 계산을 위하여 모델을 상부층과 하부층이 일정한 밀도차를 갖는 동일한 넓이의 직사각주로 설정하였다. 직사각주의 크기는 8 km × 8 km의 넓이의 각주로 모델링지역을 165개로 격자화 시켰다.

역산에 사용된 모호면 상부지각의 밀도는 해양지각의 평균 밀도인 2.85 g/cm³로 정하였고, 맨틀의 밀도는 3.3 g/cm³으로 가정하였다. 3차원 역산에서 나타난 모호면의 변화는 울릉분지 중심부로 갈수록 모호면의 깊이가 약 25 km에서 약 19 km로 얕아지는 것을 알 수 있다 (Fig. 9). 이는 울릉분지에서 동해 대륙주변부로 가면서 모호면이 깊어지며 모호면위의 상부지각이 두꺼워지는 것을 지시하고 두꺼운 육상지각으로의 전이대가 존재할

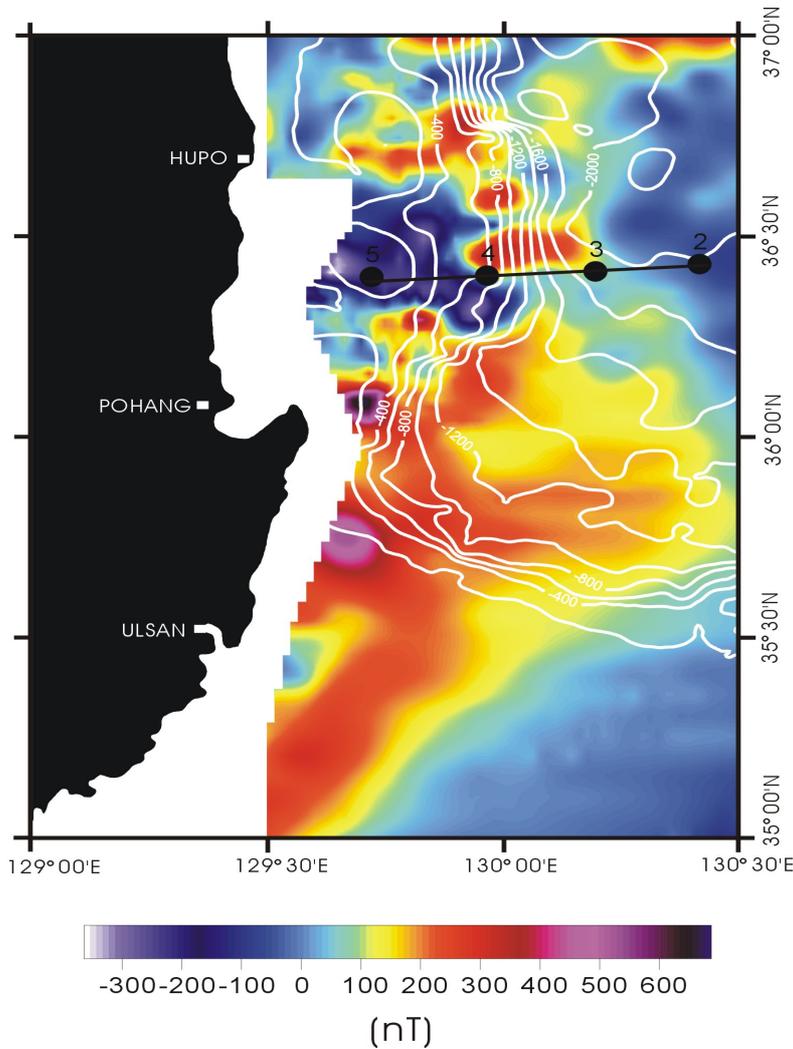


Fig. 5 Magnetic anomaly map. Numbers are OBS(ocean bottom seismometer) points. White solid lines are bathymetry contours in meters. Contour intervals are 100 m.

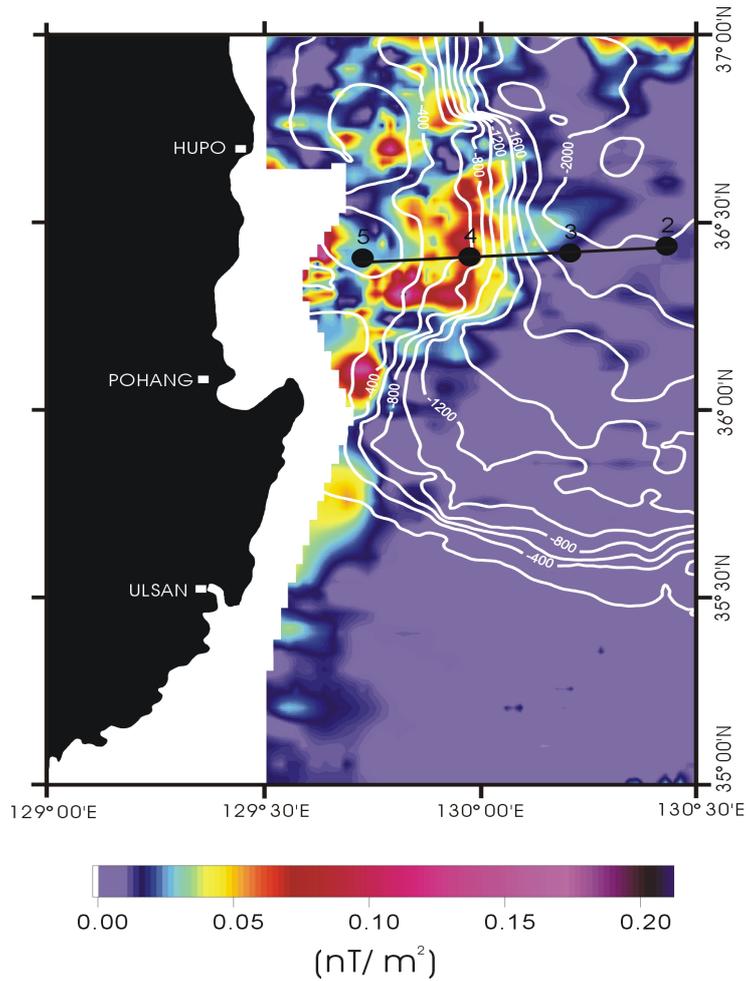


Fig. 6 Analytic signal map. Numbers are OBS(ocean bottom seismometer points). White solid lines are bathymetry contours in meters. Contour intervals are 100 m.

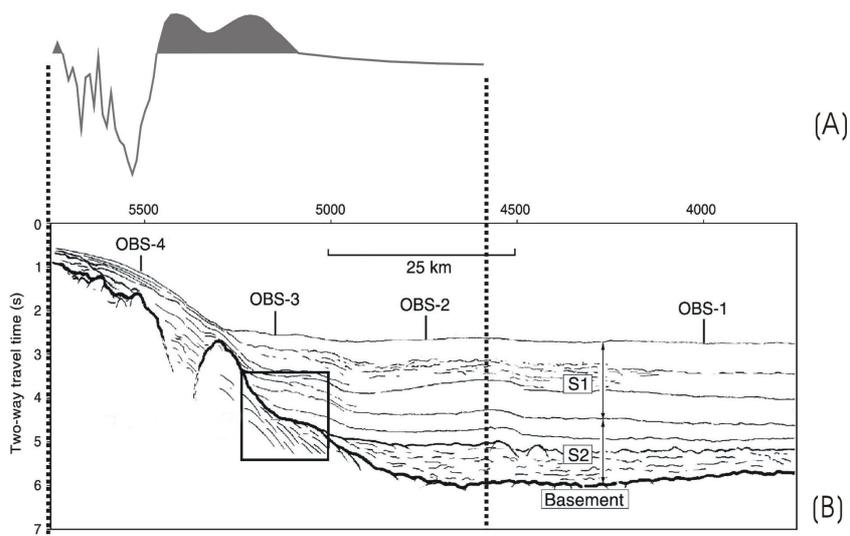


Fig. 7 Comparison of magnetic anomaly and seismic section. (A) Cross-section of magnetic anomaly (Gray filled areas are positive anomalies) (B) Interpretive line of KCP-98 (Kim *et al.*, 2003) Shot point numbers are shown in top of the profile.

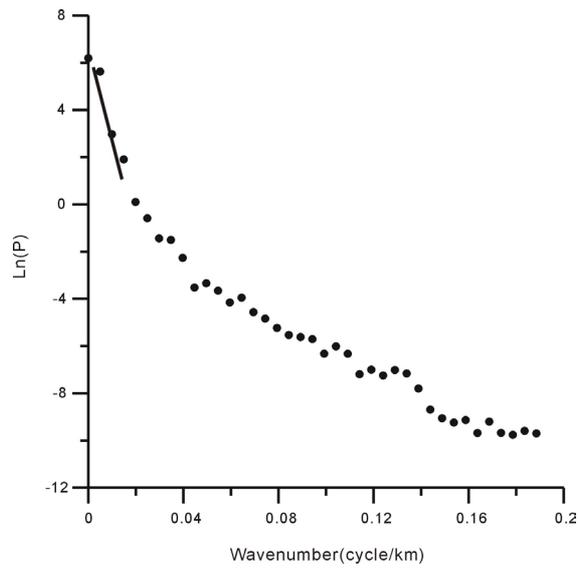


Fig. 8 Two-dimensional radially averaged power spectrum of the Bouguer gravity anomaly.

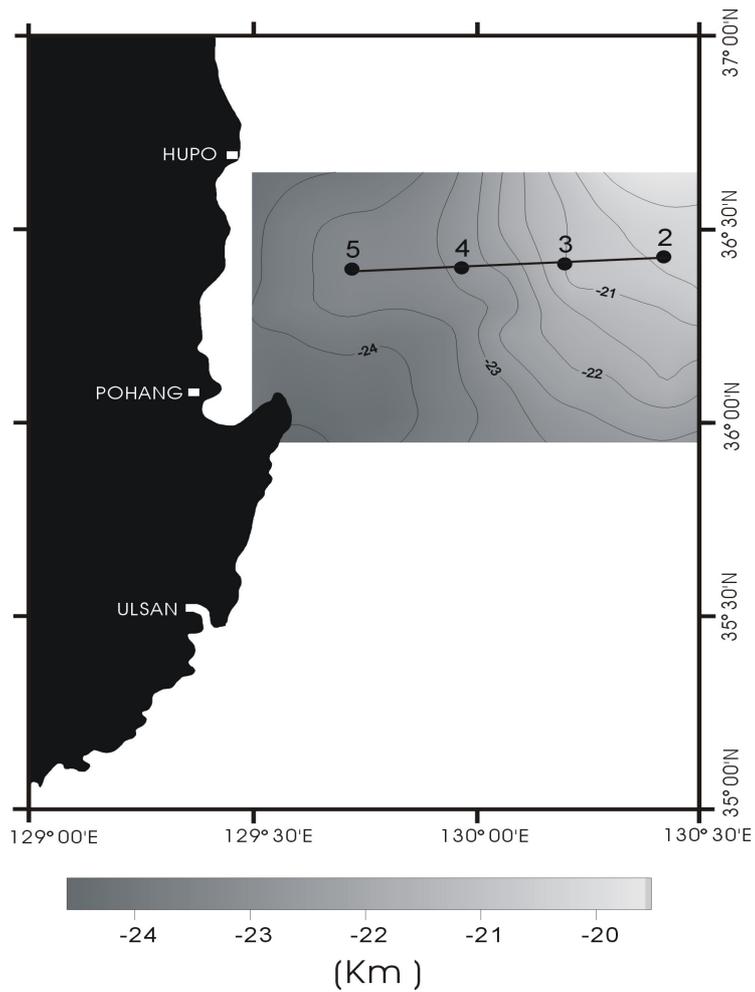


Fig. 9 Undulation of Moho depth from 3-D inversion. Contour intervals are 0.5 km. Numbers are OBS (ocean bottom seismometer) points.

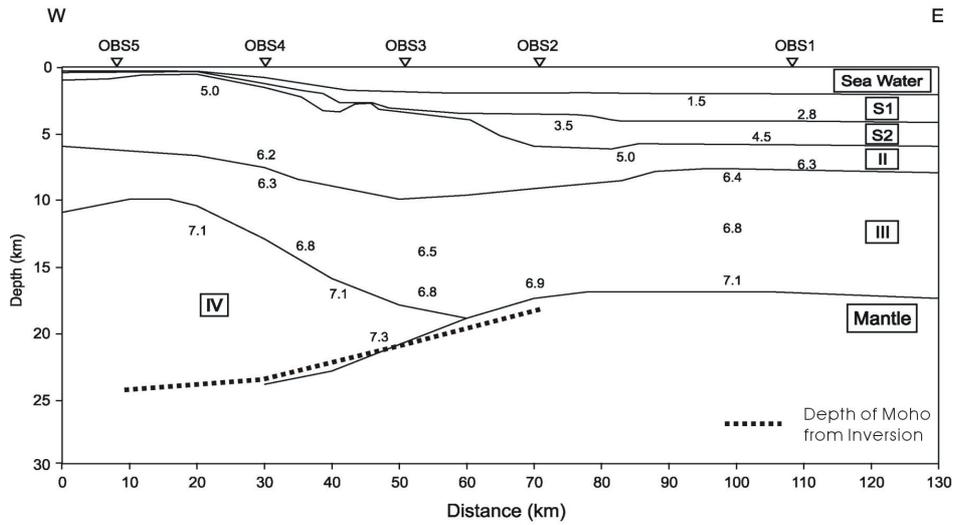


Fig. 10 Comparison of Moho depth undulation determined by inversion of this study and seismic refraction section (Kim *et al.*, 2003). Black thick dashed line is indicate Moho depth from inversion. Inside numbers of the figure are seismic velocities.

가능성을 암시한다. 모델링 지역에 존재하는 KCP-98 축선의 OBS 속도단면의 모호면 기복과 3차원 역산을 통하여 구한 모호면의 기복을 비교해보면 비슷한 양상을 보이며 일치하고 있음을 알 수 있다(Fig. 10).

지각구조 해석을 위해 OBS 자료와 역산에 의한 모호면 심도 및 후리에어 중력이상을 이용하여 중력 2차원 중력 모델링을 실시하였다. 연구지역의 하부지각 규모 및 분포를 밝히고 모호면 깊이의 변화를 파악하도록 동서 방향의 2개의 임의의 축선을 설정하였다(Fig. 3) 축선 A-A'는 OBS 축선 KCP-98과 비슷하게 설정하였다. 축선 모델에 입력된 밀도값은 연구지역에 위치되어 있는 축선 KCP-98의 OBS 속도모델링을 참고로 Nafe-Drake 속도-밀도 상관그래프를 나타내는 실험식(Ludwing *et al.*, 1971)을 사용하였다.

모델링 축선 A-A'에서 지하구조는 2개의 대륙지각과 해양지각으로 구분되어진다(Fig. 11). 대륙지각 I은 평균깊이가 8 km이며 해양쪽으로 갈수록 깊이가 얕아지며 하부에 있는 대륙지각 II의 두께는 해양쪽으로 갈수록 증가함을 보인다. 해양지각 I은 평균깊이가 4 km이며 해양지각 II는 8 km이다. 모호면의 심도변화는 울릉분지쪽으로는 18 km에서 대륙쪽으로 가면서 29 km로 점점 깊어지고 있다. OBS 연구결과 이 연구지역의 대륙 주변부 하부에는 HVLC(High Velocity Lower Crust)의 magmatic underplating의 존재가능성을 지시하였는데 (Kim *et al.*, 2003; Cho *et al.*, 2004) 중력모델링 결과에

서도 대륙지각 하부에 리프팅과 관련하여 형성된 magmatic underplating이 나타날 가능성을 암시하고 있다. magmatic underplating은 대륙이 리프팅 된 지역에서 발견되는 것으로 리프팅동안 약권(asthenosphere)의 온도가 정상보다 높을 때 만들어지는 것으로 알려져 있다 (Kelemen and Holbrook, 1995).

모델링 축선 B-B'에서 중력이상분포의 변화는 축선 A-A'와 비슷하게 나타나고 있지만 그 변화폭은 크지 않다(Fig. 12). 하지만 대륙지각 II 하부에 magmatic underplating의 규모는 축선 A-A' 보다 상당히 작게 나타난다. 이는 하부에 나타나는 magmatic underplating의 양이 지역에 따라 차이가 있었을 것으로 유추되며, 이로 인해 지하구조의 차이가 발생한 것으로 사료된다. OBS 축선이 A-A' 축선 근처에 위치하므로 A-A'의 지하구조는 자세한 비교분석을 할 수 있지만 B-B' 축선의 지하구조는 중력이상의 모델에 의한 추론만 가능하다.

2차원 모델링을 실시 후 2개의 축선을 비교하여 해양지각과 대륙지각의 전이대 가능성 지역을 표시하였다(Fig. 13). 전이대는 수심 600 m를 지나면서 수심히 급격히 떨어지는 대륙사면 지역에 위치할 가능성이 있는 것으로 생각된다. 또한 이 전이대는 반사법 탄성파 단면상에 나타나는 SDR의 위치와 유사하며, 아날니틱 신호에서 대륙사면에 나타나는 고이상대의 위치와도 비슷하다(Fig. 6, Fig. 7).

4. 결론

연구지역의 후리에어이상은 해저지형 효과를 잘 반

영하며 나타나고, 화성암의 관입으로 용기된 지역에서는 고중력이상을 보이며, 수심이 깊어지는 대륙사면 및 울릉분지로 가면서 저중력이상을 나타낸다. 부계이상은

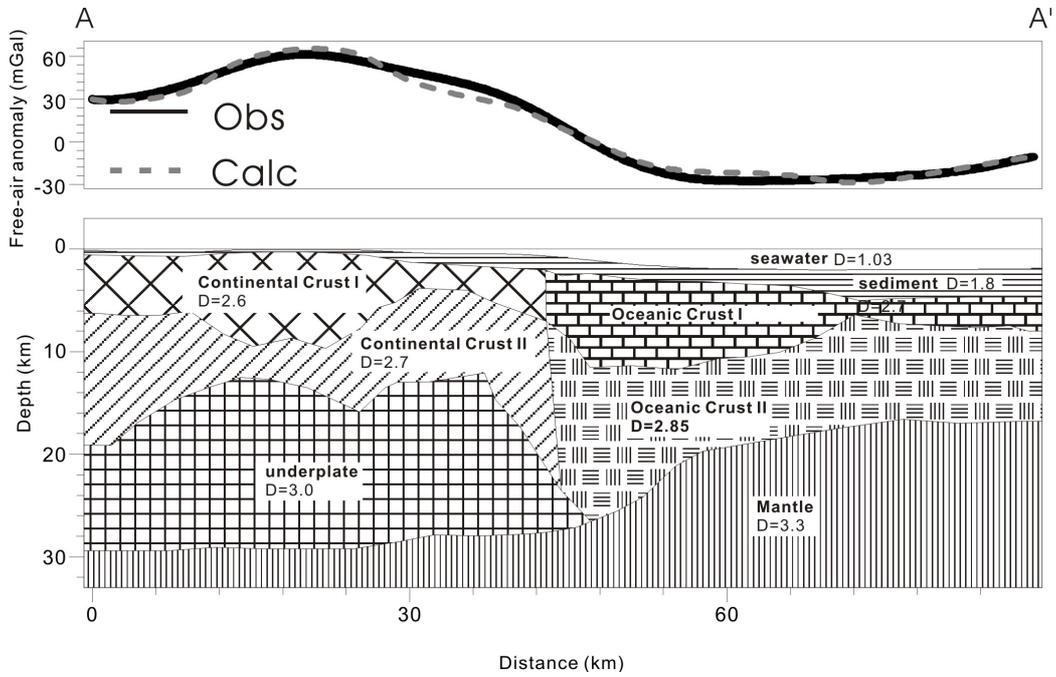


Fig. 11 2-dimensional gravity modelling along profile A-A'. See the location of profile in Fig. 3. Inside numbers of the figure are densities(g/cm^3). Obs=Observed gravity anomaly; Calc=Calculated gravity anomaly.

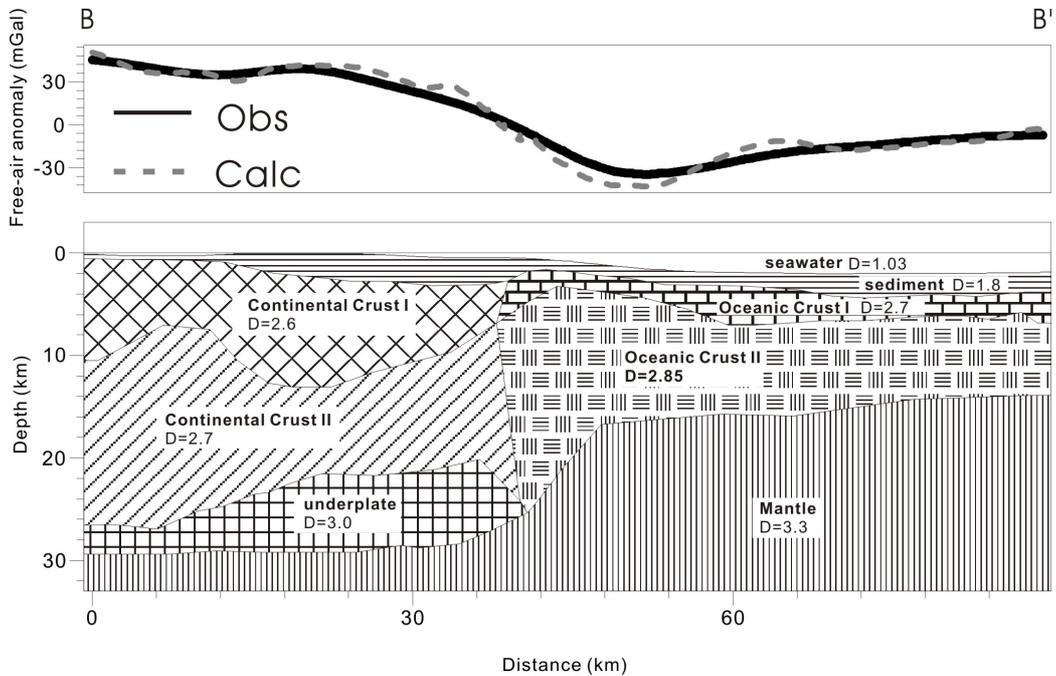


Fig. 12 2-dimensional gravity modelling along profile B-B'. See the location of profile in Fig. 3. Inside numbers of the figure are densities (g/cm^3). Obs=Observed gravity anomaly; Calc=Calculated gravity anomaly.

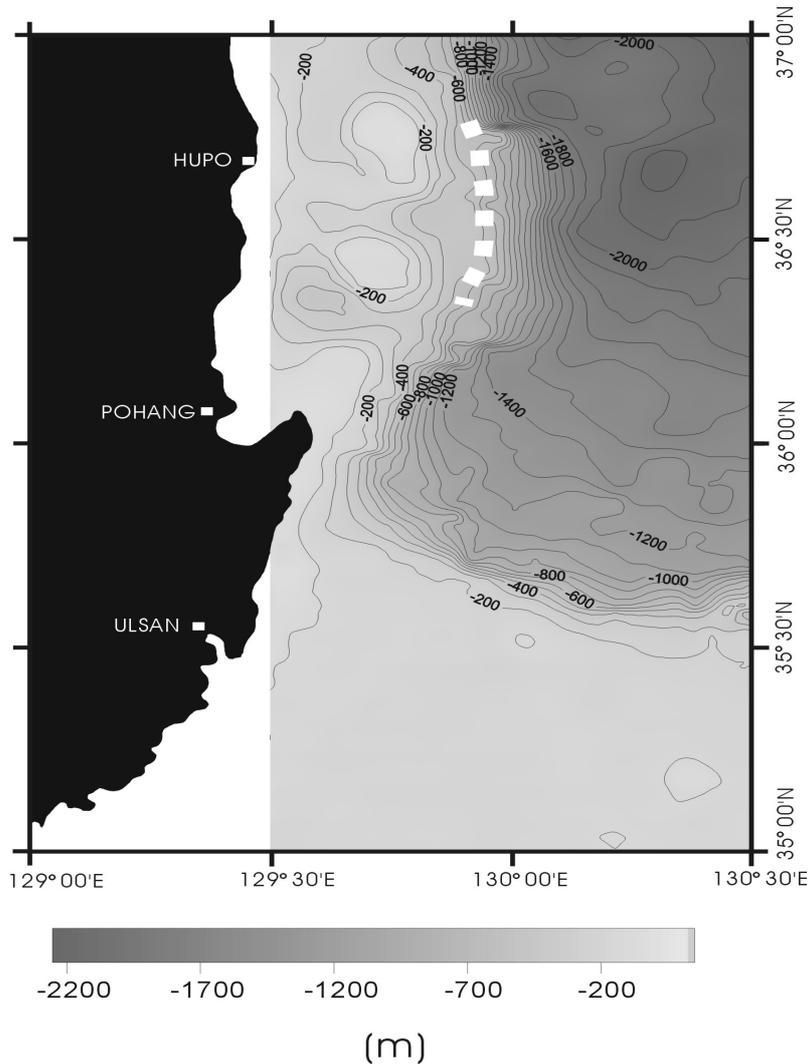


Fig. 13 Possible transition boundary(white thick dashed line) of continental crust and oceanic crust.

대륙붕을 거쳐 울릉분지로 이어지면서 점차적으로 증가하고 있다. 이는 울릉분지쪽의 상부맨틀의 상승에 기인한 것이다. 대륙에서 해양쪽을 가로지르면서 특징적으로 나타나는 급구배의 중력변화는 대륙 주변부에서 나타나는 지각 가장자리 효과로 판단된다.

자기이상의 특징은 대륙주변부를 따라서 북동방향으로 양의 자기이상이 존재하며 울릉분지로 가면서 감소한다. 아날니틱 신호를 보면 후포뱅크에서는 소규모의 이상이 존재하고, 대륙사면 지역에서는 강한 이상대가 분포되어 있다. 후포뱅크에서 나타나는 이상대는 이곳이 화산관입으로 용기된 지역인 것을 지시하고, 대륙사면에서 양의 자기이상은 SDR의 존재를 암시한다. 대륙사면에서 나타나는 강한 양의 자기이상은 탄성과 단면에 존재하는 SDR의

위치와 유사하게 나타난다.

파워스펙트럼 분석과 부계중력이상을 이용한 3차원 역산 결과 대륙쪽에서 해양쪽으로 갈수록 모호면의 깊이는 상승하였으며, 이는 해저면지진계자료를 이용하여 유추된 탄성과 단면의 모호면의 심도와 유사한 결과를 나타낸다.

탄성과 단면 및 중력이상을 이용한 2차원 지하 밀도 구조 모델링 결과는 모호면의 심도가 울릉분지에서 대륙주변주로 가면서 깊어짐을 나타내고 대륙지각 하부에는 대륙 주변부의 리프팅과 관련성이 있는 magmatic underplating zone이 존재할 가능성을 지시한다. 2차원 모델링을 참고로 대륙지각과 해양지각의 전이대 가능성 지역을 추정하면 그 경계선은 수심 600 m를 지나면서 수심히 급격히 감소하는 대륙사면에 위치하고 있다. 이 결

과들로 유추하여 보면 한반도 동해 대륙주변부에 리프팅의 의해 대륙이 갈라지고 해양지각이 형성되는 대륙-해양지각전이대가 존재할 가능성이 있다고 판단된다.

참고문헌

- 문태현, 손문, 장태우, 김인수, 2000, 한반도 동남부 제 3기 분지 지역에서의 고응력장 복원, Korean Earth Science Society 21, 230-249.
- 박찬홍, 김한준, 양철수, 석봉출, Isezaki, N., 1996, 중력 및 해저면지진계탐사 자료에 의한 울릉분지의 지각구조 연구, 지질학회지, 32, 276-290.
- 박찬홍, 김정우, 허식, 원중선, 석봉출, 유해수, 1999, 울릉분지에서의 선상중력과 위성중력 통합에 의한 중력 해상도 향상 및 해석, 지구물리, 32, 27-38.
- 서만철, 이광훈, 손호웅, 1998, 동해울릉분지의 지구조 및 성인에 관한 지구물리학적 연구, 바다, 3, 34-44.
- 장천중, 장태우, 1998, 고응력 분석을 통한 양산단층의 구조운동사, The Journal of Engineering Geology, 8, 35-49.
- 전정수, 1995, 경상분지 남부지역 (밀양소분지)의 지질구조에 관한 지구물리학적연구, 연세대학교 지질학과 박사학위 논문, 14-56.
- 최동립, 오재경, Mikio Satoh, 1994, 동해 울릉분지 남부해역의 신생대 지질구조 및 지구조 진화, Korean Jour. of Petrol. Geol. 2, 59-70.
- Chough, S.K., and Barg, E., 1987, Tectonic history of Ulleung Basin margin, East Sea (Sea of Japan), Geology, 15, 45-48.
- Chough S.K. and Lee, K.E., 1992, Multi-stage volcanism in the Ulleung back-arc Basin, East Sea (Sea of Japan). The Island Arc, 1, 32-39.
- Dehlinger, P., 1978, Marine Gravity, Elsevier Oceanography ser., Elsevier Scientific Publishing Co., v. 22, 322.
- Eldholm, O., Thiede, J., and Taylor, E., 1989, Evolution of the Voring volcanic margins, Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results, 104, 1033-1065.
- Jolivet, L., and Tamaki, K., 1992, Neogene kinematics in the Japan Sea region and volcanic activity of the Northeast Japan arc, in Proceedings of the Ocean Drilling Program, Science Results, 127/128, pt. 2, 1311-1331.
- Kelemen, P.B., and Holbrook, W.S., 1995, Origin of thick, high-velocity igneous crust along the U. S. East Coast Margin, J. Geophys. Res., Vol. 100, No. B7, 10077-10094.
- Kim, H.J., Park, C.H., Hong, J.K., and Jou, H.T., 1994, A seismic experiment in the Ulleung Basin (Tsushima Basin), southwestern Japan Sea (East Sea of Korea), Geophys. Res. Lett., 21, p.1975-1978
- Kim, H.J., Jou, H.T., Cho, H.M., Bijwaard, H., Sato, T., Hong, J.K., Yoo, H.S., and Baag, C.E., 2003, Crustal structure of the continental margin of Korea in the East Sea (Japan Sea) from deep seismic sounding data: Evidence for rifting affected by the hotter than normal mantle, Tectonophysics, 364, 25 - 42.
- Lines, L.R. and Treitel, S., 1984, Tutorial, review of least-squares in inversion and its application to geophysical problems, Geophysical Prospecting, vol. 32, 159-186.
- Ludwig, W.J., Nafe, J.E., and Drake, C.L., 1971, Seismic Refraction, in The Sea. Edited by A.E. Maxwell, Wiley-Interscience, New York, 53-84.
- Ludwig, W.J., Murauchi, S., and Houtz, R.E., 1975, Sediments and Structure of the Japan Sea, Geol. Soc. Am. Bull., v. 86, 651-664.
- Mutter, J.C., Talwani, M. and Stoffa, P.L., 1982, Origin of seaward dipping reflectors in oceanic crust off the Norwegian margin by "subaerial seafloor spreading", Geology, 10, 353-357.
- 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, 37, 507-517.
- Nabighian, N.M., 1974, Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. Geophysics, 39, 85-92.
- Park, C.H., 1998, Crustal structure and evolution of the Ulleung Basin in the east sea of Korea(the Japan Sea) by deep penetrating seismic refraction, reflection, and potential field data, Ph. D. Dissertation, Chiba University, 10-217.
- Smith, W.H.F., and Sandwell, D.T., 1995(a), Marine gravity field from declassified Geosat and ERS-1 altimetry EOS Trans. AGU, 76, G42A-2.
- Smith, W.H.F., and Sandwell, D.T., 1995(b), Oceanographic "pseudogravity" in marine gravity fields derived from declassified Geosat and ERS-1 altimetry, EOS Trans. AGU, 76, G3C-6.
- Tamaki, K., 1988, Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implications, Bull. Geol. Surv. Japan 39, 269-365.
- Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, Jr., J.C., and Pisciotto, K.A., 1992, Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP drilling, Proceedings ODP, Sci. Results, 127/128, Pt. 2, 1333-1348.
- Uyeda, S., and Miyashiro, A., 1974, Plate tectonics and the Japanese island: a synthesis, Geol. Soc. Amer. Bull., 85, 1159-1170.
- Yoon, S.H., and Chough, S.K., 1993, Evolution of Neogene sedimentary basins in the eastern continental margin of Korea, Korean H. of Petrol. Geol., 1, 15-27.
- Yoon, S.H., and Chough, S.K., 1995, Regional strike slip in the eastern continental margin of Korea and its tectonic implications for the evolution of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan), Geol. Soc. Am. Bull., 107, 83-97.