

BSPE 00540

지자기 및 탄성파 자료를 이용한
동해 속초-삼척 육상 및 연안의 해저지질 해석

Geological Interpretation based on Magnetic and
Seismic Data on land and offshore Sokcho-Samchuk, East Sea

1996. 7

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소 소장 귀하

본 보고서를 “지자기 및 탄성과 자료를 이용한 동해 속초-삼척 육상 및 연안의 해저지질 해석”의 최종보고서로 제출합니다.

1996년 7월

연구책임자 : 박 찬 홍

요 약 문

I. 제 목

지자기 및 탄성과 자료를 이용한 동해 속초-삼척 육상 및 연안의 해저 지질 해석

II. 연구내용 및 결과

속초-삼척 사이의 동해 연안에서 얻은 해상지자기자료를 처리·분석하고, 이를 바탕으로 탄성과 및 다중빔 정밀 수심 측정자료와 대비하여 인근 육상 지질분포의 연장성에 관하여 논의하였다.

단파장의 잡음을 감소시키고 보다 연속적인 자기이상분포를 얻기 위하여 자기이상에 저주파 통과 필터를 적용하였으며, 암석의 자화벡터에 의한 자기이상의 왜곡을 줄임으로써 암체의 위치 및 형태를 쉽게 파악하도록 자기이상을 극환원하였다. 자기이상은 해저지형 변화에 대하여 낮은 상관성을 가지는 반면에 극환원처리 후의 자기이상은 보다 향상된 상관성을 나타내면서 대륙붕과 대륙사면 지역에서 진폭이 큰 장·단주기의 자기이상 변화를 보여준다. 이는 자기이상에 주로 기여하는 화성기원의 기반암들이 해저면 하부에 은폐되어 있음을 지시하는 것이다. 기반암 상승부나 화성암의 관입으로 인해 주위의 층들과 지형적인 차이를 나타내는 지역에서 고이상대를 형성하고 있다. 자기이상 및 극환원 자기이상은 탄성과 단면에서 일부 확인되는 대륙붕 및 대륙사면에 위치한 기반암 상승부 혹은 그 하부에 존재하고 있는 화강암 관입에 의한 영향을 잘 반영하고 있다. 이러한 기반암 돌출이나 관입암체들은 특히 극환원 자기이상단면과 다항식에 의한 광역적인 자기이상을 분리한 후의 잔여자기이상단면에서 구분이 용이하다. 인근 육지의 고생대 퇴적암층군 및 화성암체에 대한 대자율을 비교 검토한 결과 중생대 화강암은 고생대 퇴적층군보다 대자율이 현격히 높게 나타나며 이는 해양 연장 지역의 자기이상분포에서 양이상대 및 음이상대로 뚜렷이 구분되었다. 자기이상 및 필터링자기이상도에서는 강릉 이북 연안에서 화강암의 연장 지역은 양이상으로 구분되었으며 129° 15' E까지 발달하고 있다. 한편, 대자율이 낮아 음이상대로 나타나는 고생대 퇴적층군은 강릉부근에서 북동방향으로 경계를 이루며 해안에서 약 50-60 km 외해로 연장·발달하다가, 동측과 북쪽의 화성 기반암에 의해서 폐쇄된다.

SUMMARY

I. Title

Geological Interpretation based on Magnetic and
Seismic Data on land and offshore Sokcho-Samchuk, East Sea

II. Abstract

The study area is located offshore Sokcho-Samchuk areas, East Sea. The integration of the marine magnetic, multichannel seismic, and multi-beam echo sounding data obtained by KORDI(Korea Ocean Research and Development Institute) makes possible the interpretation of the basement characteristics and deep structures.

We filtered the magnetic anomalies by the low-pass filter to suppress the short wavelength noises. Magnetic anomaly has less correlation with the bathymetric change because the igneous rocks underlain by sediments mainly cause the magnetic anomalies. However, the RTP(Reduced To the magnetic Pole) magnetic anomaly, which considers the variations of the geomagnetic field and magnetization over the study area, results in the enhanced correlation with the location and shape of the magnetic bodies. Igneous intrusions are well recognized on the magnetic anomaly and RTP anomaly, especially on the residual anomaly after the removal of regional trend, over the continental shelf and slope. Mesozoic granites are magnetically well defined due to the high contrast in magnetic susceptibilities compared with Paleozoic sedimentary rocks. The magnetic studies suggest that large parts of the Paleozoic sedimentary rock be extended seaward by 50-60 km and blocked by the Mesozoic granite and the raised basement in the northern and eastern parts of the study area.

차 례

그림 목 차	6
제 1 장 서 론	7
제 2 장 자료획득 및 기본처리	11
제 3 장 해저지형	14
제 4 장 자기이상분포의 일반적 특징	16
제 5 장 저주파 통과 필터링	18
제 6 장 극환원 자기이상	20
제 7 장 해저지형과 자기이상	23
제 8 장 육상암석의 대자율 분포	27
제 9 장 고생대 퇴적층군 및 화성암의 해저분포	28
제 10 장 탄성과 단면상의 자기이상 해석	31
제 11 장 결 론	37
참고문헌	38

그림 목 차(List of Figures)

- Fig. 1. Study area with the general bathymetry of the East Sea. Contours are 200 m intervals.
- Fig. 2. Geologic map in the northeastern Okcheon Basin adjacent to the study area modified from Geological and Mineral Institute of Korea(1973).
- Fig. 3. Ship's tracks for seismic data acquisition. Numeric numbers on the track lines represent the shot point numbers.
- Fig. 4. Magnetic survey tracks used in this study.
- Fig. 5. Bathymetry with the simplified land geologic map. Contours are 100 m intervals. 1=Jurassic and Cretaceous granites, 2=Paleozoic sedimentary rocks and 3=Precambrian metamorphic complex
- Fig. 6. Color image map of the magnetic anomaly with 20 nT contour intervals in the study area. Thick lines and bold numbers represent seismic survey lines.
- Fig. 7. Magnetic anomaly after low-pass filtering with a cutoff wavenumber of (a) 0.2 cycles/km and (b) 0.125 cycles/km. Contour intervals are 20 nT.
- Fig. 8. Magnetic anomaly after RTP of the low-pass filtered anomaly (cutoff wavenumber=0.125 cycles/km) for various magnetization parameters
- Fig. 9. Comparison of the subbottom topography and magnetic profiles before RTP and after RTP on the Line 1, Line 2 and Line 3
- Fig. 10. Responses of the magnetic anomaly, RTP anomaly and their residual anomaly on seismic profile of Line 1
- Fig. 11. Responses of the magnetic anomaly, RTP anomaly and their residual anomaly on seismic profile of Line 2
- Fig. 12. Responses of the magnetic anomaly, RTP anomaly and their residual anomaly on seismic profile of Line 3

제 1 장 서 론

동해는 북동-남서방향으로 길고 북서-남동방향으로 볼록한 형태를 이루고 있는 울릉분지를 중심으로 한국연안의 대륙붕 및 대륙사면과 북쪽의 한국 대지를 포함한다(Fig. 1). 동해의 한반도 연안 및 북쪽의 한국대지 주변은 급한 사면을 이루고 있는 반면에 남쪽 주변 및 일본 서해 연안쪽으로 완만하게 경사져 있는데, 동해연안에서의 대륙붕은 울산에서 북쪽으로 가면서 매우 좁게 발달하고 있다. 이와 같은 좁은 대륙붕은 경사가 급한 대륙사면으로 이어지며 심해 분지와 연결되어 있다. 연구지역은 한반도 동해의 북부 연안인 속초-삼척간 외해로써 한국대지의 남쪽 부분이며, 울릉분지의 북서쪽 주변부로부터 동해연안의 대륙붕, 대륙사면 및 심해 분지를 포함한다(Fig.1). 한국대지는 인근 육지에서 중생대 쥬라기에 선크브리아기의 편마암내로 관입한 화강암체의 해저연장으로 보인다(Chough, 1983). 마이오세 말기에 동해연안 대륙붕, 대한해협 및 북서 혼슈 연안에서 지구조운동에 의해 수반된 구획단층(block faulting)이 일어났으며(Honza *et al.*, 1979; Minami, 1979; Park *et al.*, 1981), 지각변형은 화산활동과 관입을 수반하였다(Chough, 1983).

본 연구 지역의 인근 육상지역은 육천 신지향사대의 북쪽지역으로써 선크브리아계부터 현세에 이르는 다양한 암석을 포함하는 복잡한 지질 분포를 보이고 있다(Fig. 2). 선크브리아기 원남층군 및 경기변성복합체를 하부로하여 주로 규암과 셰일로 구성되어 하부 캬브리아계를 이루는 양덕통위에 대석회암층군과 홍점통, 사동통, 고방산통 및 녹암통으로 구성된 평안계 등의 퇴적층군이 남쪽에 주로 분포하고 있으며, 대부분의 북부 지역은 중생대 쥬라기에 관입한 대보 화강암이 점유하고 있다. 묵호의 서쪽으로는 쥬라기 대보화강암에 의해서 관입당한 편마상 화강암이 북북서-남남동 방향으로 위치하고 있다. 묵호 남쪽으로는 제 3 기 연일층군이 소규모로 분포하고 있다. 그 이외에도 시대 미상의 여량층군이 분포하고 있다.

여타 육천 신지향사대를 포함해서 이 지역은 캬브리아기에서부터 쥬라기 말기까지 계속적인 퇴적작용이 있었다(Schluter and Chun, 1974). 부분적으로 쥬라기 및 백악기 육성 퇴적물이 퇴적되어 있으며, 고생대 초기 및 말기로부터 트라이아스기까지는 해성층과 육성층을 포함하고 있다(Lee, 1987). 특히, 페름기와 석탄기에는 묵호를 포함하는 이 지역에 채광가능한 석탄층이 형성되었으며, 이 층은 쥬라기와 트라이아스기 동안 추가로 축적되었다. 육천 신지향사대에서 지향사 분지의 주방향은 조선층군이나 평양층군에서 나타난 바와 같이 거의 동-서방향이다. 이러한 구조적 발달 경향은 송림변동의 영향 때문인

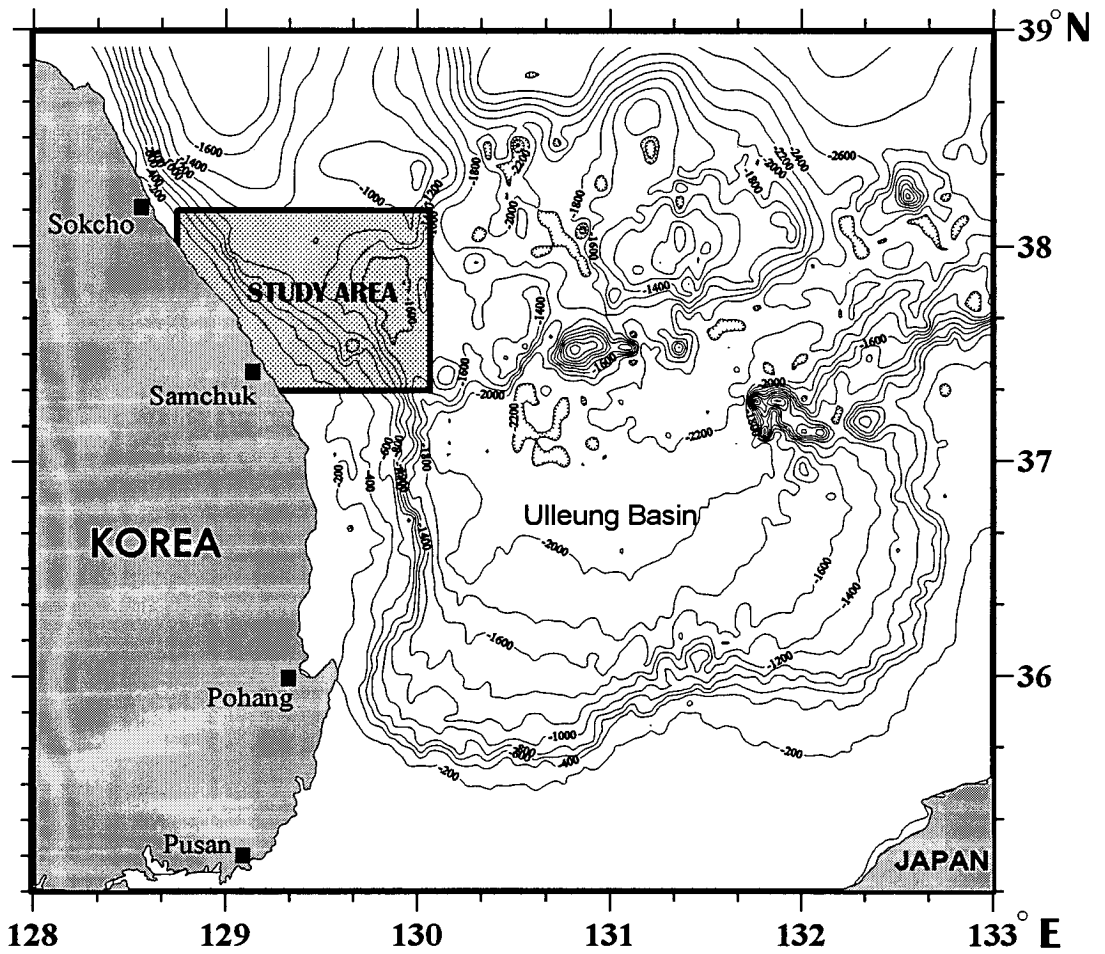


Fig. 1. Study area with the general bathymetry of the East Sea. Contours are 200 m intervals.

데 이 구조의 서쪽 경계지역은 후기의 대보변동에 의해서 시니안 방향으로 바뀐다(Lee, 1987). 대보화강암은 중생대 쥐라기에 일어난 대보변동시 관입되었으며, 퇴적층들은 부분적으로 대보 화강암의 관입으로 변성되었다. 지금까지는 해양자료의 부족으로 이와 같은 옥천신지향사대의 지질분포가 해양으로 어떻게, 얼마나 연장되고 어떤 관련성이 있는 지에 대하여 논의하기 어려웠던 것이 사실이다.

강릉-포항간 동해연안에서는 1972년 국립지질조사소와 독일 연방 지질조사소가 공동으로 실시한 반사법 및 굴절법 탄성과 탐사 결과와 1987년 한국해양연구소가 획득한 해상지자기자료 등 한정된 자료만이 연안의 해저지질 연구자료로 활용되어 왔다. Schluter and Chun(1974)은 1972년 탐사자료를 근거로 묵호연안에서 옥상의 고생대 퇴적층은 해저로 연장되지 않고 신생대 퇴적층만이 결정편암 상부에 얇게 피복되어 있다고 보고하였다. 그러나 1994년 한국해양연구소가 종합해양 조사선 온누리호를 이용하여 속초-삼척간 해역에서 다중채널 탄성과 탐사와 해상지자기탐사를 비롯하여 다중 빔 측심기를 이용한 정밀 해저지형조사를 실시함으로써 이 지역의 해저지질을 보다 정확하게 파악할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 동해 속초-삼척간 연안에서 획득한 다중채널 탄성과 탐사 자료 및 해상지자기 자료를 이용하여 해저 지질 분포 및 구조를 해석하고 그 결과를 인근 옥상지질분포와 대비함으로써 그 연관성에 대하여 토의하고자 한다.

제 2 장 자료획득 및 기본처리

한국해양연구소는 1994년 10월 4일 부터 17일까지 종합조사선 은누리호 (1422 톤)와 해상자력계를 이용하여, 동해 중부인 동경 $129^{\circ} - 130^{\circ} E$, 북위 $37^{\circ} 15' - 38^{\circ} 15' N$ 사이에서 해상지자기조사를 실시하였다. 10월 4일부터 10일까지 진행된 1 차 조사에서는 지자기조사와 함께 지층구조 및 기반암의 특성을 파악하기 위하여 2 개의 남서-북동 방향 축선과 이를 가로지르는 2 개의 동-서방향 축선에서 다중채널 탄성과 탐사를 실시하였다(Fig. 3). 10월 11일 부터 17일까지의 2 차 조사시에는 약 2' 간격으로 계획된 남북방향 축선을 주 축선으로 하고 이를 횡단하는 4 개의 동서방향 보조축선상에서 지자기 조사, 다중빔 수심측정기(Seabeam 2000)에 의한 해저지형조사 및 고해상 탄성과 탐사를 실시하였다(Fig. 4).

해상지자기 조사를 위해서 고감도 해상 그라디오메터(G811G, Geometrics)를 사용하였다. 해상그라디오메터는 각각 두 개씩인 콘솔과 센서, 약 450 m 길이의 신호케이블과 윈치, 측정치를 컴퓨터에 디지털로 자동 기록할 수 있는 탐사 전용 컴퓨터와 logging S/W 등으로 구성되어 있다. 자력측정시 샘플링 간격은 1 초로 하였으며, 이때 자력계의 감도는 0.05 nT이다. 센서는 예인에 문제가 없으면서 선체의 영향을 최소화하기 위한 거리로써 통상 조사선 전장의 3 배 거리 만큼 조사선으로부터 이격하는 것이 보통이다. 본 조사에서는 은누리호의 전장이 약 64 m인 것을 감안하여 자력계의 센서 예인거리를 약 250 m로 하였다. 센서로부터의 해상지자기 관측치는 GPS(Global Positioning System)로부터 전송된 위치자료와 함께 1 초 간격으로 컴퓨터에 수록하였다. 한편, 본 연구에서는 1994년 측정자료에 1987년 및 1993년에 한국해양연구소가 취득한 지자기 자료를 보충하여 사용하였으며, 국제표준지자장(IGRF90)을 이용하여 통합 재처리하였다. 측정된 전자기장값으로부터 표준지자장을 소거하여 자기이상값을 산출하였으며, 이를 등자력선도로 작성하였다.

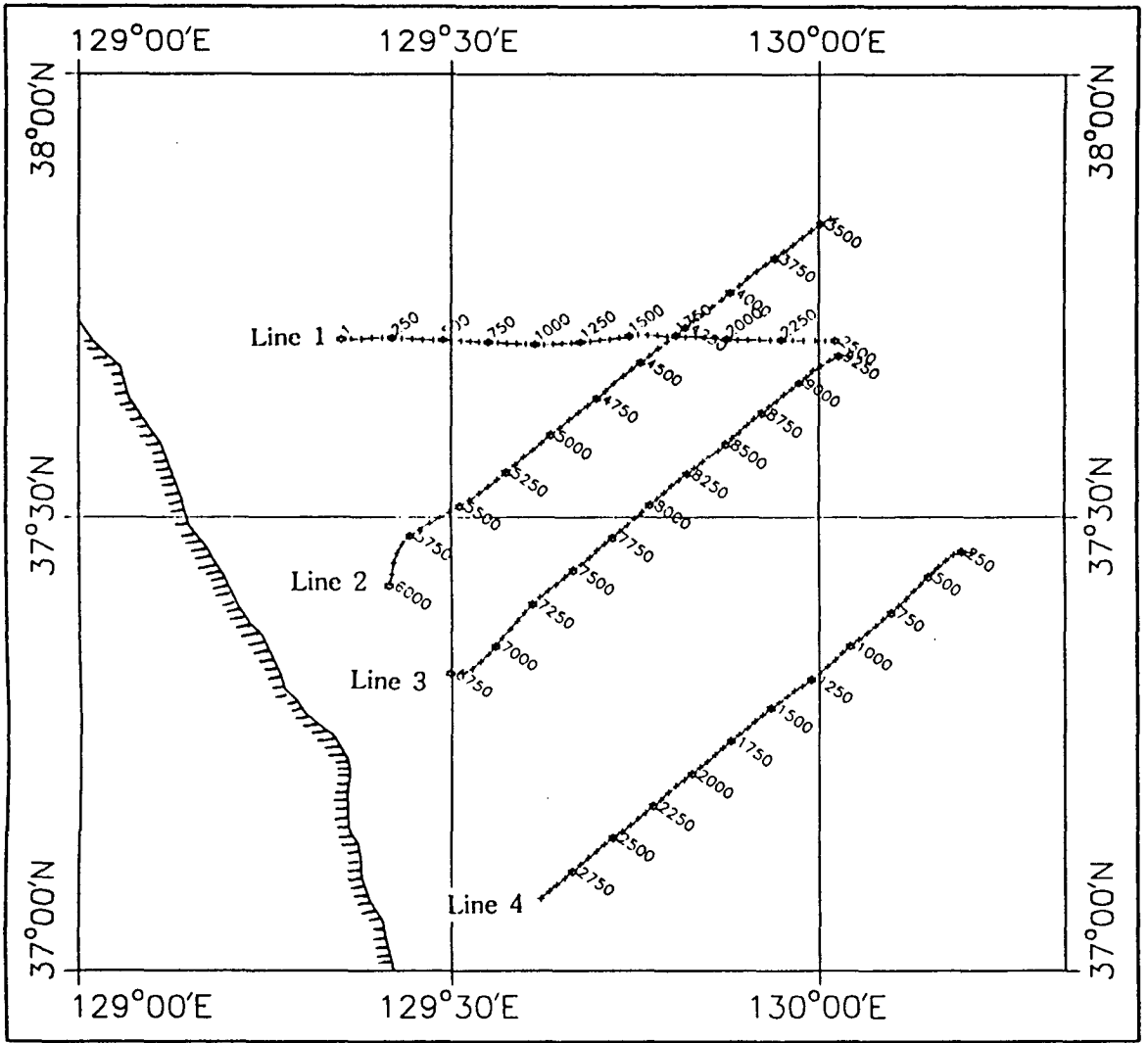


Fig. 3. Ship's tracks for seismic data acquisition. Numeric numbers on the track lines represent the shot point numbers.

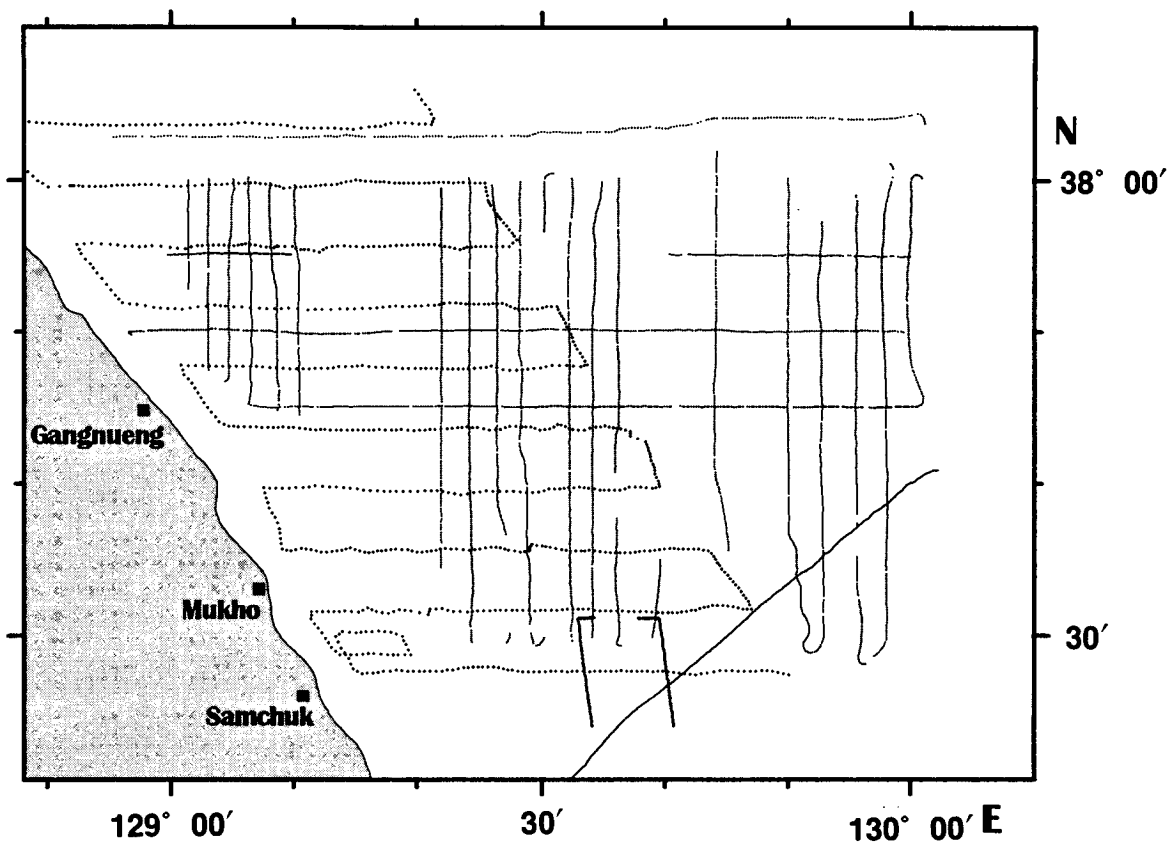


Fig. 4. Magnetic survey tracks used in this study.

제 3 장 해저 지형

연구해역은 한반도 동해 속초-삼척간 연안의 대륙붕, 대륙사면과 울릉분지의 북서단 및 한국대지(Korea Plateau)의 퇴적분지를 포함한다(Fig. 1). 1994년에 다중빔 음향측심기 및 단일빔 정밀 음향측심기를 이용하여 본 연구지역의 정밀한 해저 지형을 조사한 바 있으며(한상준 외, 1995), Fig. 5는 이들 자료를 바탕으로 작성한 해저 지형도이다. Fig. 5의 해저지형도에서 대륙붕은 폭이 20 km 이하이고 좁게 발달하고 있으며, 대륙사면은 2-8°의 경사를 갖는 급한 구배를 보이고 있다. 대륙사면은 남쪽에서는 상대적으로 완만한 경사로 이루어져 있으나 북쪽으로 갈수록 급한 경사를 가지고 발달하고 있다. 대륙붕과 대륙사면에서의 등수심선은 북위 37° 20'을 경계로 북쪽은 해안선의 발달방향과 거의 평행하게 북서-남동 방향으로 발달하고, 이남은 남북방향으로 발달하고 있는 것으로 미루어 육지의 지형이 연속되고 있음을 알 수 있다. 강릉 이북의 대륙사면에는 남북방향의 뱅크(bank)가 중부 대륙사면에 발달하고 있다. 이 뱅크의 서쪽에는 남북방향의 해저계곡(trough)이 북쪽으로 깊어지며, 뱅크 동쪽의 대륙사면은 남북방향으로 신장된, 수심 1500-1700 m의 퇴적분지로 이어진다. 이 퇴적분지의 남쪽에는 역시 남북으로 신장된 해저산(seamount)이 해저면에서 500 m 높이로 솟아있다. 한국대지와 접한 수심 800 m 이하의 상부 대륙사면에는 3 개의 해저협곡(submarine canyon) 혹은 수로(submarine channel)가 대륙붕단으로부터 시작되어 발달하고 있다. 이중 강릉이북의 해저협곡 2 개는 중부 대륙사면으로 가면서 방향을 북쪽으로 바꿔 뱅크의 서쪽 해저계곡으로 들어가고, 강릉 이남의 단층대에 발달된 해저협곡은 북동쪽으로 발달되어 한국대지의 해저분지로 들어가 한국대지 해곡의 서측경계에 발달한 해저수로(submarine channel)로 이어진다. 한국대지 해저곡은 강릉 이남의 대륙사면과 접해 있으며, 동쪽과 서쪽 경계부에서 6° 이상의 급경사를 보이는데, 이는 기반암까지 연장되는 단층과 관련이 있는 것으로 보인다(한상준 외, 1995). 급경사의 대륙사면에는 수심 400-650 m 사이에서 15-45 m 높이의 급경사 단애(scarp)를 경계로 하는 함몰대(scar)가 광범위하게 발달되어 있다(Fig 5). 이러한 함몰대는 사면사태에 의해 기존의 퇴적층이 하부사면으로 이동될 때 남은 자국으로 추정된다(Chough *et al.*, 1991; Lee *et al.*, 1991). 함몰대의 하부 대륙사면에는 다소 불규칙한 기복을 보이는 퇴적층이 혀모양으로 분포한다. 한국대지와 접한 대륙사면에는 수심 800 m 근처에서 해저사태에 의한 급경사의 단애(scarp)가 광범위하게 발달되어 있으며, 그 하부 대륙사면에는 이러한 사면사태에 의한 침식과 운반된 사태퇴적물의 퇴적에 의해 불규칙한 지형을 보인다.

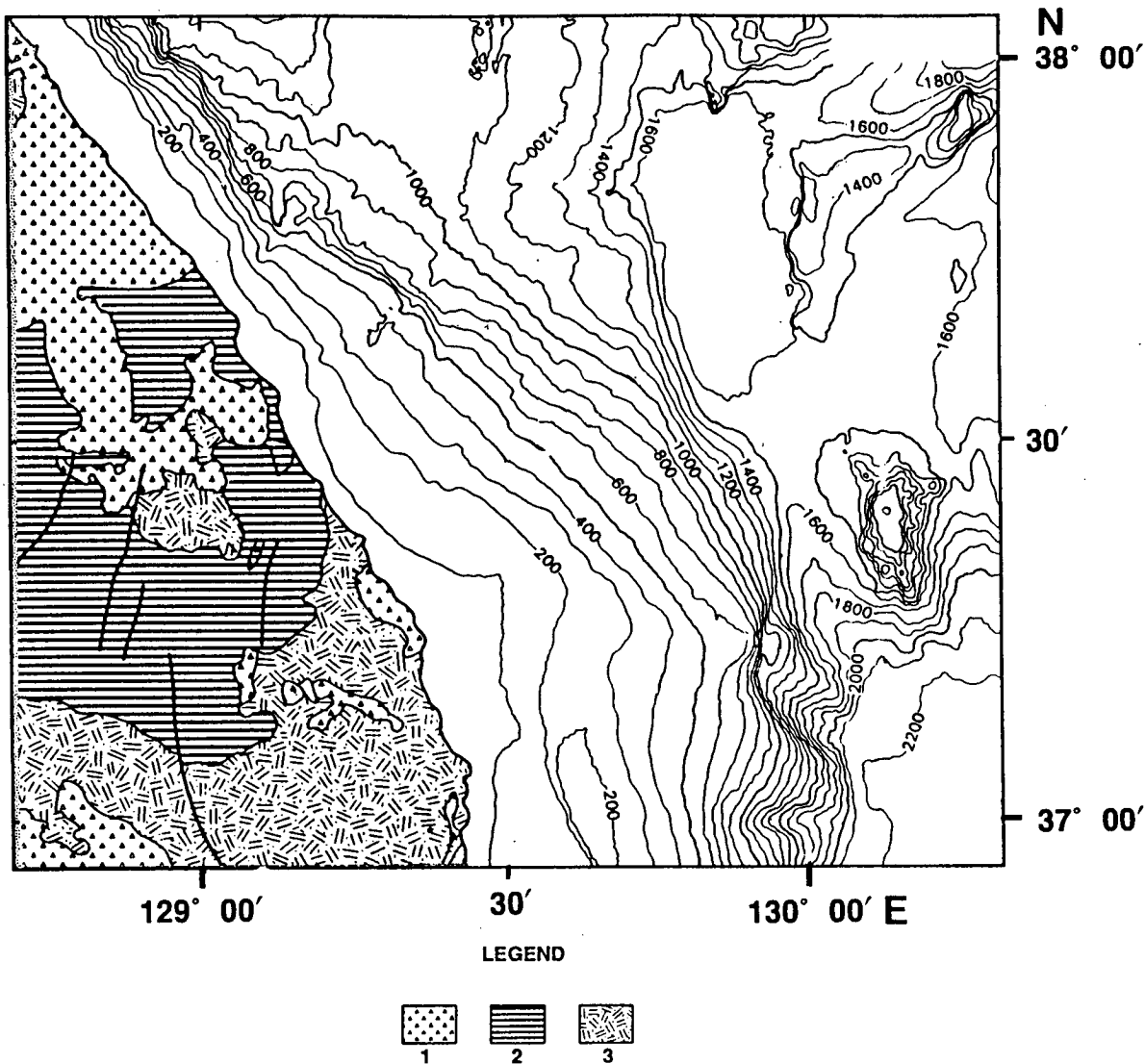


Fig. 5. Bathymetry with the simplified land geologic map. Contours are 100 m intervals. 1=Jurassic and Cretaceous granites, 2=Paleozoic sedimentary rocks and 3=Precambrian metamorphic complex

제 4 장 자기이상분포의 일반적 특징

총지자장으로부터 국제표준지자장(IGRF: International Geomagnetic Reference Field)에 의해서 정규 보정을 한 후의 자기이상치를 이용하여 공간적인 자기이상 분포도를 작성하면 Fig.6과 같다. Fig. 6의 자기이상분포에서 음이상대는 강릉과 삼척지역 연안으로부터 북동쪽으로 약 50 km까지 연장되고 있으나 북쪽과 동쪽에서 양이상대에 의하여 폐쇄되고 있다. 음이상대 내에는 크고 작은 단주기 이상대들이 도처에 분포하고 있으며, 이는 해저면상이나 해저면하에서 기반암을 관입하고 있는 화성관입체의 존재를 반영한다. 양이상대는 은누리 분지 동측의 단층에 의한 급경사의 해저 고지대와 화성암의 관입에 의한 것으로 추정되는 불규칙한 지형상에 넓게 분포하며, 연구지역 중앙부와 남부에는 쌍극자기장에 의한 양이상대도 나타나고 있다. 연구지역 중앙부와 북서단 육지에 접한 해역에서는 파장이 3-7 km인 단주기의 자기이상들이 빈번하게 나타나며, 해안에서 약 40 km 떨어진 외해에서는 파장이 15 km 이상으로 비교적 파장이 긴 자기이상이 특징적으로 분포한다. 연안 지역의 단주기 자기이상들은 -70 내지 50 nT 정도 진폭으로 고립적이고 강도가 큰 이상분포를 나타내고 있으나, 그 주변이 평탄한 지형변화를 보이고 있는 것으로 보아 국지적인 강한 자기이상 변화는 화강암 관입체나 화강편마암 등으로 구성된 기반암의 존재가 원인일 것으로 해석된다. 중앙 북부지역에는 소규모 화산지형들이 나타나고 있는데, 산발적으로 나타나는 짧은 파장의 자기이상들은 그와 같은 해저화산 지형의 영향을 받은 것이다(Figs. 5, 6). 수심이 약 700-800 m되는 지역으로부터 약 1300 m에 이르는 해역을 따라 음이상대가 북서-남동방향으로 분포하고 있으며 동측과 서측에서 양이상대에 의하여 고립되어 있다. 분지 동측 경계를 따라 발달한 남북방향의 단층 주위의 기반암 상승부에 기인하는 자기이상분포가 남북방향으로 발달하기보다는 북동-남서 방향의 축을 가지고 길죽하게 분포하는 것은 이 해저 고지형이 연구지역의 동측으로 더 연장되어 있음을 시사한다(Fig. 5).

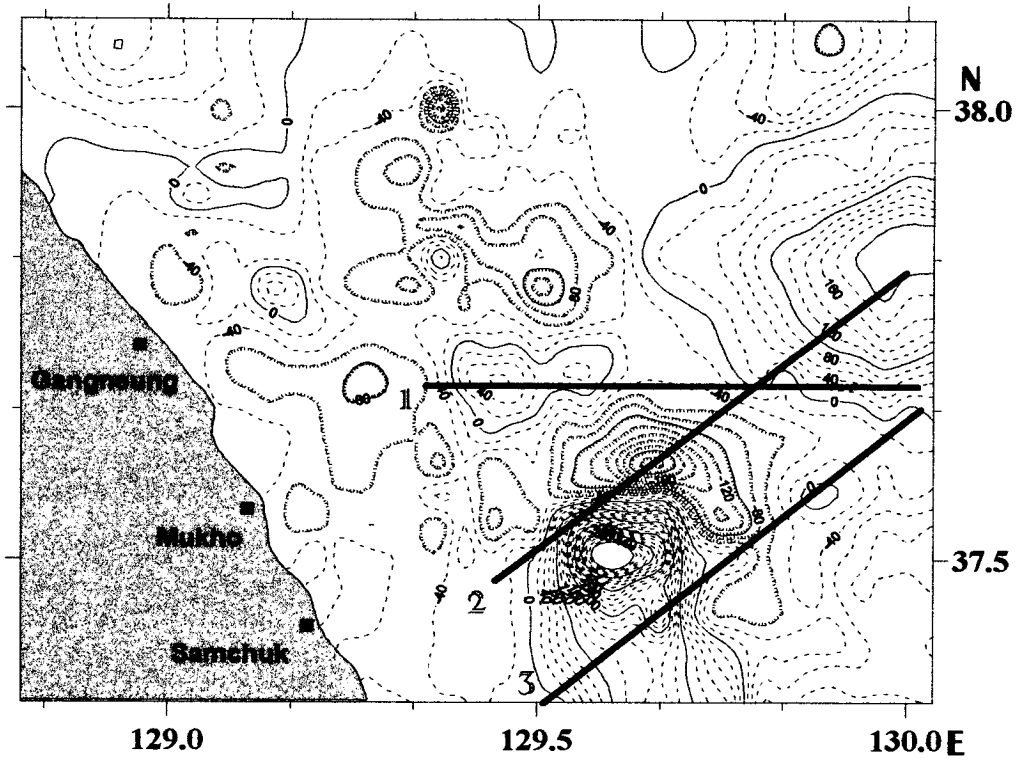
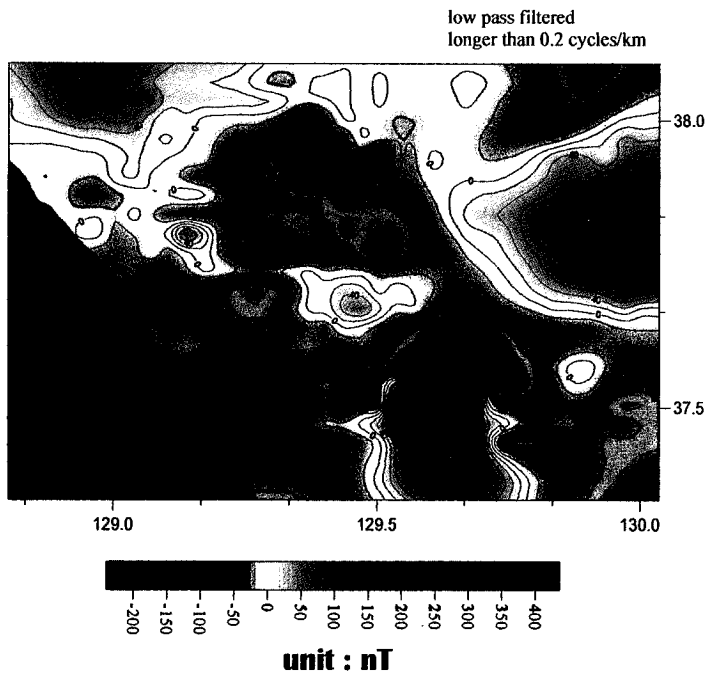


Fig. 6. Magnetic anomaly contour map with 20 nT contour intervals in the study area. Thick lines and bold numbers represent seismic survey lines.

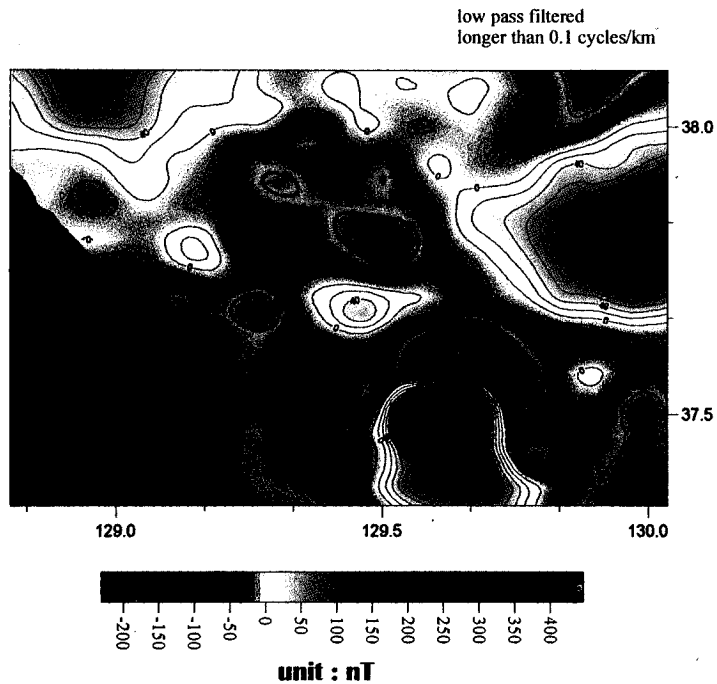
제 5 장 저주파 통과 필터링

자기이상분포도는 국부적으로 상세한 자기이상을 표현하고 있지만 측선간 자료공백 지역에서 나타나는 불연속성으로 인하여 부자연스러울 뿐 아니라 실제로 연속적인 지하 구조임에도 불구하고 자료가 있는 부분만이 강조됨으로써 해석에도 영향을 미치게 된다. 따라서 측선간 자료 결손으로 인한 불연속성을 완화시키고 고주파 잡음을 억제시키기 위하여 저주파 통과 필터링을 실시하였다. 1 차적으로 약 0.2 cycle/km 파장 이하의 고주파 잡음을 절단한 자기이상 분포를 산출한 결과는 Fig. 7-(a)에서 보여준다. 저주파 통과 필터링을 적용시킨 후의 자기이상 분포는 보다 향상된 연속성을 보이고 있다. 지역적이고 불연속적인 분포를 해소하고 보다 광역적인 변화 경향을 파악하기 위하여 0.125 cycle/km 이하의 고주파 자기이상을 절단하는 저주파 통과 필터링도 적용하였다(Fig. 7-(b)).

Fig. 7-(a)의 필터자기이상도는 연구지역 중앙부 육지 연안에서 북동쪽으로 연장·발달하고 있는 음이상대의 동측 경계가 필터링 전에 비해서 북서-남동방향으로 뚜렷해지고, 쌍극자기이상의 분포양상을 파악하기가 보다 용이하다. 남쪽에 북북동-남남서 방향의 큰 쌍극자 자기이상대와 지역 중앙에 거의 같은 방향의 쌍극자 자기이상대가 두드러지게 잘 나타나고 있으며, 북쪽의 연안을 중심으로 보다 작은 규모의 쌍극자기이상이 여러 개 분포한다. Fig. 7-(b)의 필터자기이상도는 보다 단순화된 자기이상분포를 보여주는 데, 육상 지질분포와의 연장성을 광역적으로 파악하는데 도움이 된다. 육상의 지질분포(Fig. 2)에서 중생대 화강관입체와 평안누층군 및 대석회암층군 경계의 해양연장부 이북에 놓이는 고이상대는 해저로 연장되어 있는 이 화강암 관입체의 영향을 뚜렷이 반영하며, 고이상대의 분포 범위로 볼 때 대보 화강암은 보다 북동쪽으로 연장·발달할 것으로 예상된다. 자기이상분포에서 강릉-삼척간 연안에서부터 약 50 km 북동방향으로 연장·발달되고 있는 음이상대는 평안누층군 및 대석회암층군의 해저 연장으로 인한 저이상대로 추정된다. 음이상대 내에 분포하고 있는 쌍극자를 포함하는 단주기 자기이상은 육상지역과 같이 두퇴층군 내에 관입되어 있는 화강관입체에 기인하는 것으로 해석할 수 있다. 묵호해안 약 30 km 해역에서 북서-남동 방향의 뚜렷한 쌍극자기이상과 그 북쪽의 쌍극자기이상은 대륙사면의 해저면 하부에 관입된 화강암체의 영향을 반영한다.



(a)



(b)

Fig. 7. Magnetic anomaly after low-pass filtering with a cutoff wavenumber of (a) 0.2 cycles/km and (b) 0.125 cycles/km. Contour intervals are 20 nT.

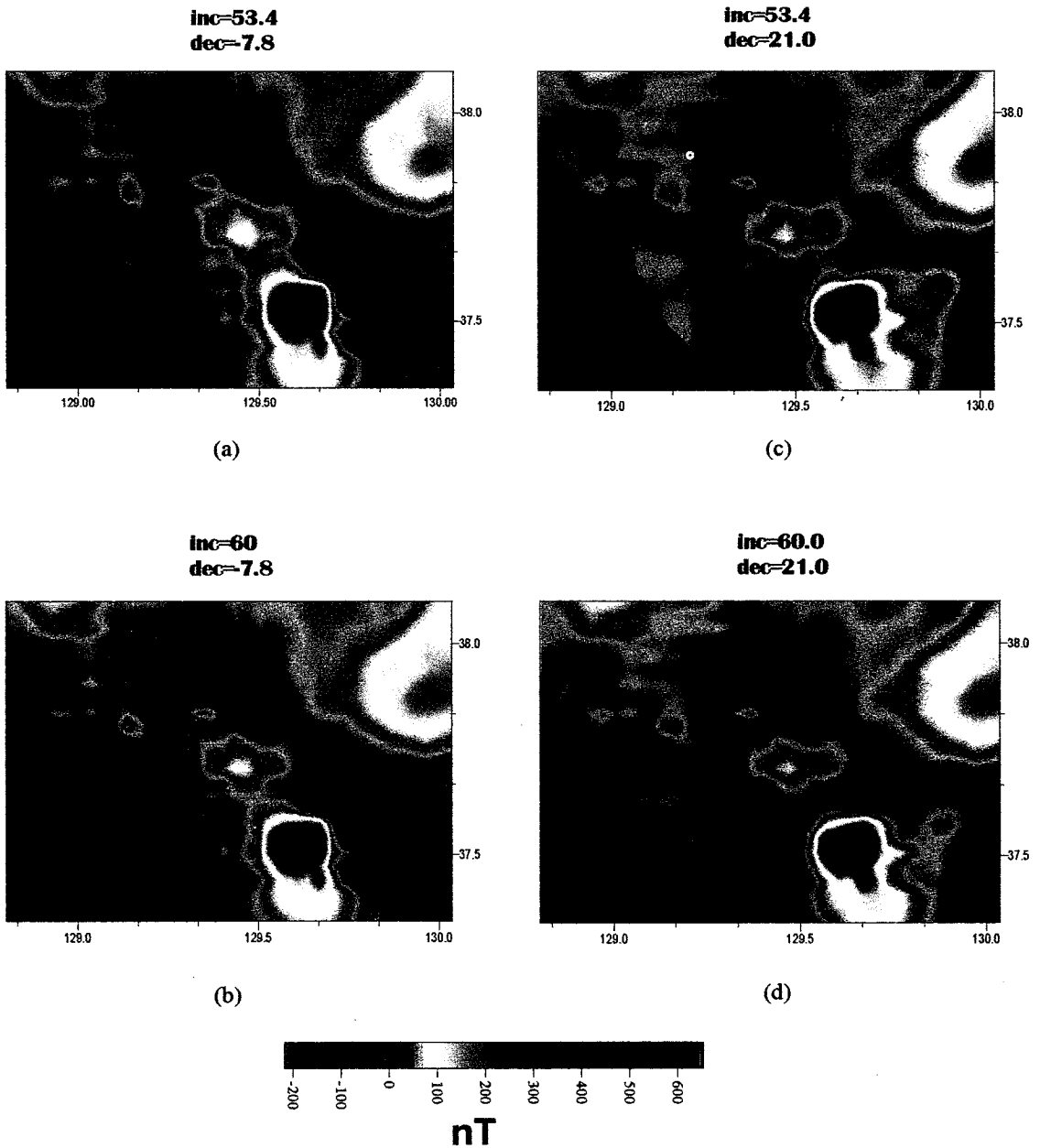


Fig. 8. Magnetic anomaly after RTP of the low-pass filtered anomaly (cutoff wavenumber=0.125 cycles/km) for various magnetization parameters



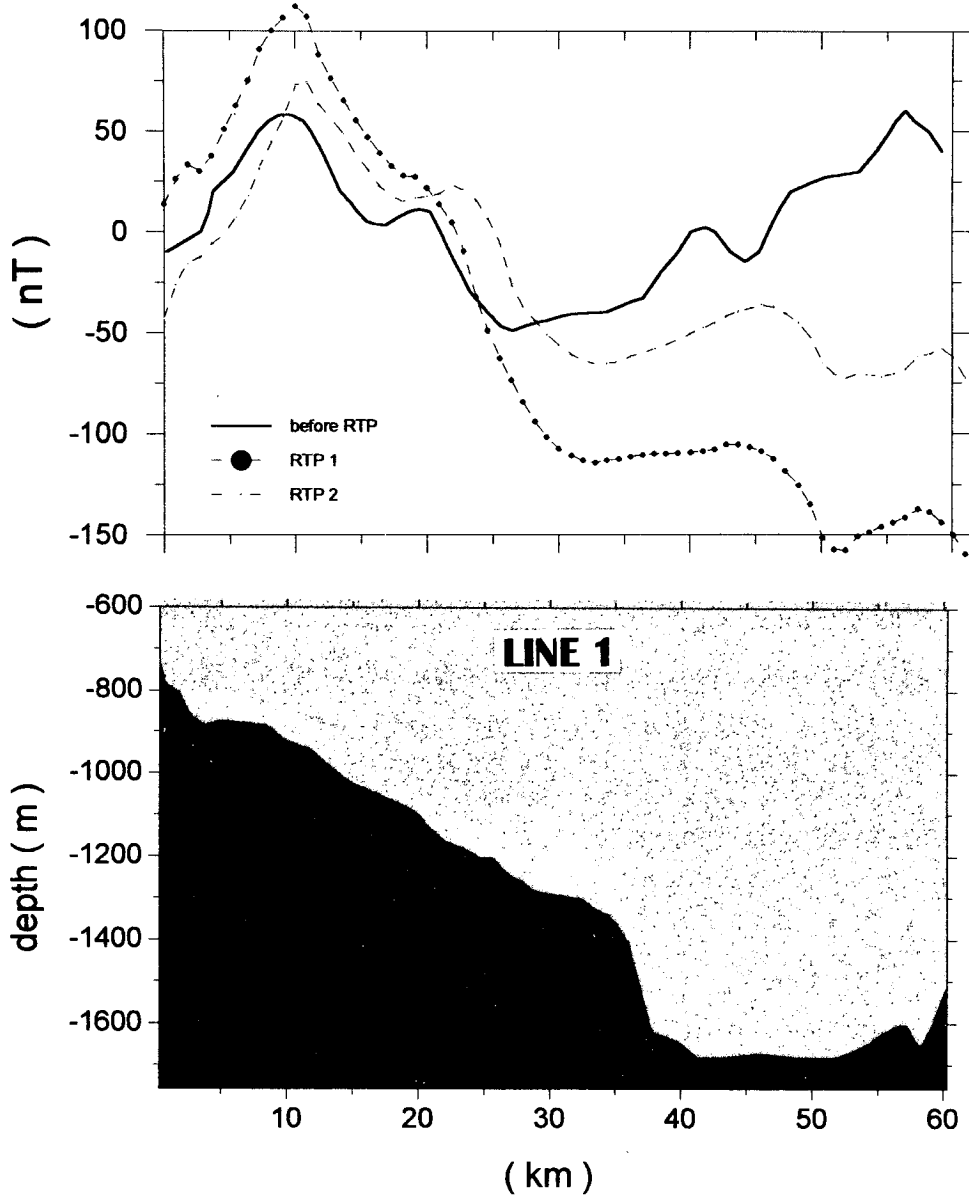


Fig. 9. Comparison of the subbottom topography and magnetic profiles before RTP and after RTP on the Line 1, Line 2 and Line 3

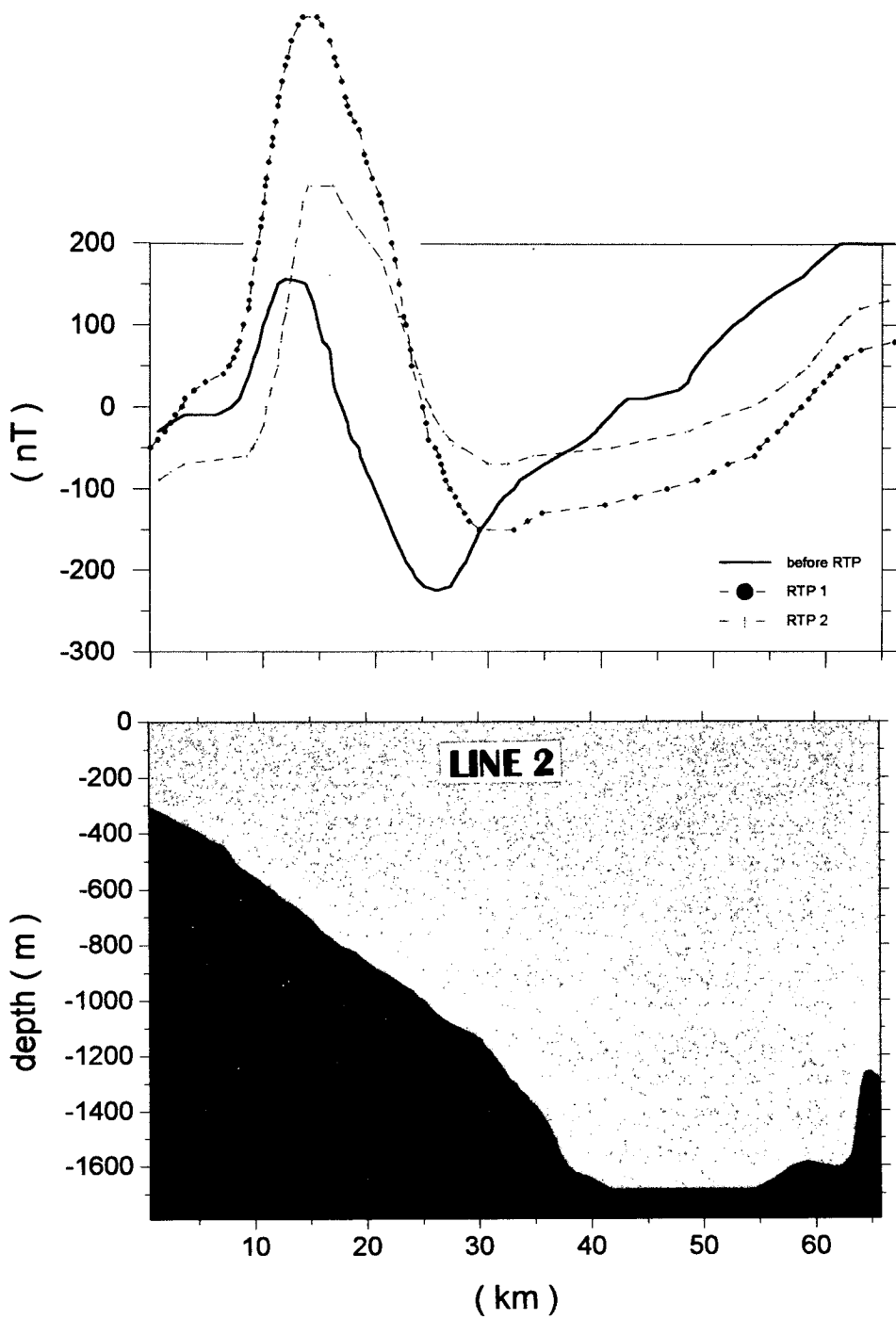


Fig. 9. (continued)

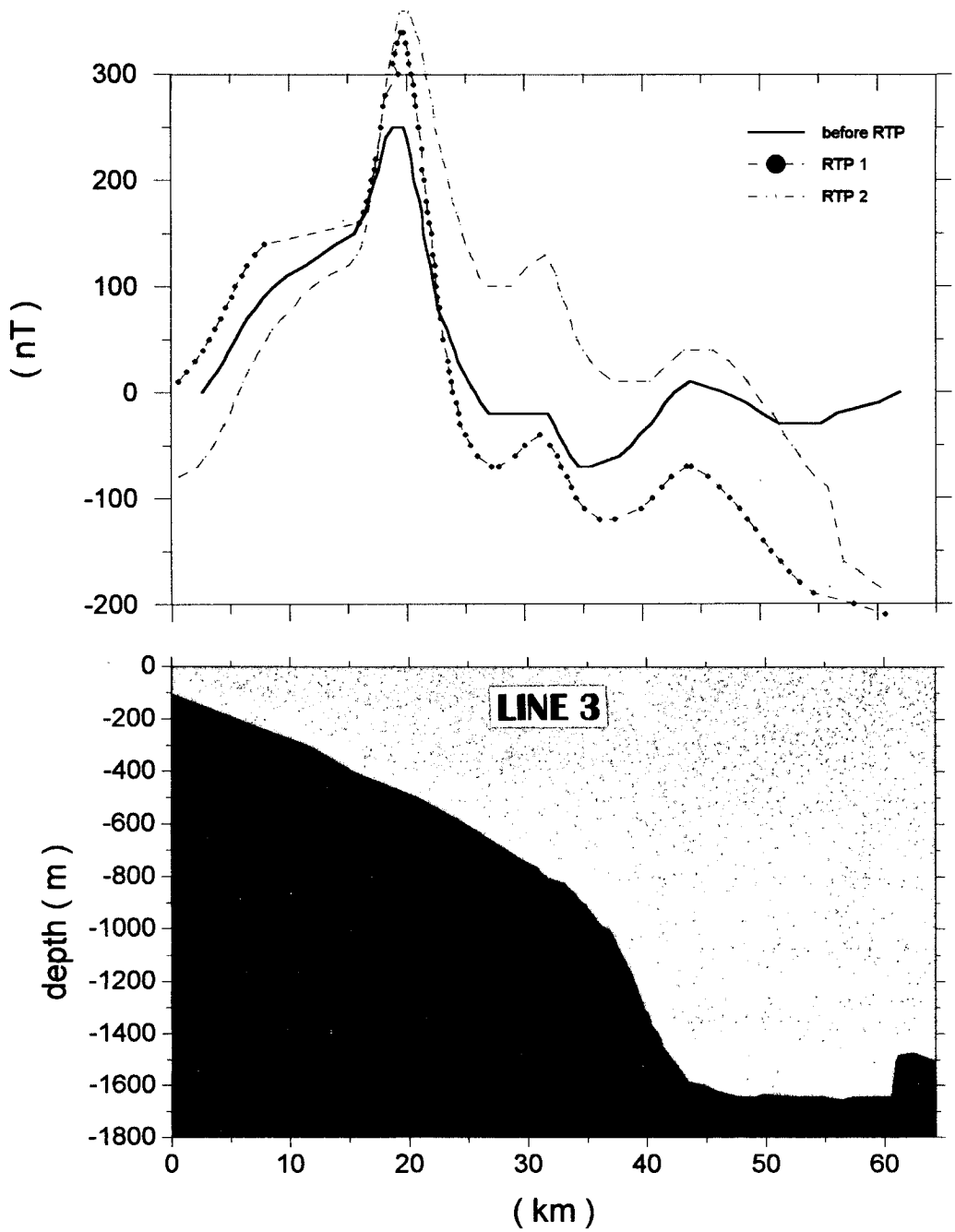


Fig. 9. (continued)

제 8 장 육상 암석의 대자율 분포

인근 육상 지질에 의하면 본 연구지역에서 예상할 수 있는 자력기반암은 화강암체, 신생대 화산암 및 선캄브리아기 편마암 및 편암류 등이 있다(국립 지질광물연구소, 1973). 본 연구해역의 인근 육상에서 분포하는 선캄브리아계의 원남층군의 대자율은 70×10^{-6} cgs emu 내지 105×10^{-6} cgs emu로써 대부분 매우 낮은 대자율을 갖는 화강편마암, 안구상편마암, 호상편마암, 운모편암, 주입편암 및 사질원 변성퇴적물 등으로 구성되어 있으며 평균 대자율은 약 78×10^{-6} cgs emu 이하이다(안은식 등, 1969). 특히 원남통의 경우 화강편마암의 대자율이 77×10^{-6} cgs emu로써 중생대 불국사통 화강암(또는 대보화강암)의 평균치인 1210.6×10^{-6} cgs emu 와 큰 차이를 보이고 있다. 한편, 동해안을 기준으로 북위 $37^{\circ} 35'$ 부터 $37^{\circ} 43'$ 까지 분포하는 평안계 퇴적암류는 점판암 및 사암류로 구성되어 있는 데 대자율의 평균치로 볼 때 고방산통 및 사동통군에서 점판암인 경우 48.5×10^{-6} cgs emu에서 58.9×10^{-6} cgs emu 사암인 경우 41.4×10^{-6} cgs emu 에서 48.6×10^{-6} cgs emu 범위내에 속해 있어서 편마암류나 화강암류의 대자율에 비해서 상대적으로 매우 낮음을 알 수 있다.

제 9 장 고생대 퇴적층군 및 화성암의 해저 분포

연구지역에서 암석류의 대자율 분포로 볼 때 고생대 퇴적암류는 자기이상에 매우 미미한 영향을 주기 때문에 국부적인 고이상대의 주요 근원은 화강암 및 화강반암 등으로 구성된 중생대 화성암 내지 신생대 화산암일 것으로 추정된다. 특히 육상지질 분포와 대비할 때 육상지역에서 대규모 화강암 점이지대를 이루고 있는 북위 37° 45' 이북의 연안을 중심으로 대규모 양이상대가 북쪽으로 발달되어 있으며, 이는 육상에서 쥬라기 말기에 관입된 것으로 알려진 북북동-남남서 방향의 소위 대보 화강암의 해양연장과 관련이 있다(Figs. 6, 7, and 8). 본 연구지역 만을 고려할 때 대보화강암의 동측 경계는 동경 129° 15' 부근일 것으로 사료되나(Figs. 6 and 7), 연구지역 이북으로의 연장성은 자료가 없어 추정하기 어렵다. 또 다른 화강암 관입에 의한 자기이상이 목호-삼척 연안 약 40 km 동측에서 나타난다. 이 이상대는 양-음의 쌍극자기이상으로 관측이 되었으나(Fig. 6) 극환원 결과 동경 129° 38' 북위 37° 30' 부근에 중심을 둔 단일 양이상대로 나타났으며(Fig. 7) 이는 남서-북동방향으로 자화되어 있는 화강관입체로써 해석된다. 강릉 연안에서 약 50 km 동쪽에 나타나고 있는 쌍극자기이상도 규모만 작을 뿐 그 남쪽의 것과 유사하게 자화되어 있다(Fig. 6). 극환원으로 동경 129° 30' 과 북위 37° 45' 에 중심을 둔 양이상대로 변환되었으며, 이 위치가 실제 해저에 존재하는 화강관입암체의 위치로 볼 수 있다. 강릉 북서 연안에서도 소규모이긴 하지만 동일한 자화형태를 나타내고 있는 쌍극자기이상들이 분포하고 있다. 이와같은 자화 형태는 퇴적암층의 해저연장지역에 거의 동일 시대로 추정되는 화강 관입체들이 도처에서 퇴적 기반을 관입하고 있음을 지시한다.

본 연구지역은 육지의 고생대 하부 퇴적층군인 조선누층군과 상부인 평안누층군이 각각 남서-북동방향으로 발달하여 해안에 이르고 있다(Fig. 2). 이 퇴적층군들이 해양쪽으로 어느정도 연장되어 있는지 뚜렷하지는 않지만 매우 낮은 대자율을 갖는 이들 퇴적층군의 물성적 특징 때문에 자기이상분포에서 저이상대로 구역화된다. 평안누층군은 동해 연안에서 북쪽과 남쪽에서 중생대 관입화강암과 접촉하고 있고, 서쪽으로는 북북서-남남동 방향으로 관입된 화강관입체에 의해서 평안누층군과 단절되어 있다. 사암 및 점판암으로 구성되어 있는 평안누층군의 퇴적암에서 측정된 대자율은 매우 낮은 값을 보이고 있다(안은식 등, 1969). 평안누층군내 고방산통, 사동통, 녹암통에 대하여 점판암,

조립점판암, 조립사암, 세립사암 등으로 구분하여 대자율을 측정한 결과 점판암인 경우 녹암통이 108×10^{-6} cgs emu로서 사동통 및 고방산통의 73.3×10^{-6} cgs emu, 49.9×10^{-6} cgs emu 에 비해 훨씬 높게 나타났다. 조립점판암의 대자율은 사동통과 고방산통에서 48.5×10^{-6} cgs emu, 49.9×10^{-6} cgs emu 로써 비슷한 분포를 보였다. 한편 사동통과 고방산통에서 조립사암은 각각 41.4×10^{-6} cgs emu, 43.8×10^{-6} cgs emu 이고 세립사암은 23.5×10^{-6} cgs emu, 52.9×10^{-6} cgs emu 의 대자율 값을 갖는 것으로 보아 사암은 전반적으로 낮은 자성을 띠고 있음을 알 수 있다. 평안누층군의 하부를 이루고 있는 조선누층군은 대석회암층군이 주류를 이루며 광범위한 석회암질 암석으로 구성되어 있다. 일반적으로 석회암은 자성이 낮은 퇴적암 중에서도 매우 낮은 대자율을 갖는다. 사암이 $0-133 \times 10^{-6}$ cgs emu 점판암이 $0-118 \times 10^{-6}$ cgs emu 범위의 대자율을 갖는 반면에 석회암은 $0-22 \times 10^{-6}$ cgs emu 수준으로 훨씬 낮은 범위에 있다(Kearey and Brooks, 1984).

이와 같은 퇴적암들의 낮은 자성으로 미루어 볼 때 동해 연안의 해저에 연장되어 있을 것으로 추정되는 퇴적암 지역의 자기이상은 매우 낮을 것이며 실제로 자기이상분포에서 음이상대를 나타나고 있다. 음이상대는 육지에서 대보화강암과 퇴적암층군이 접촉하고 있는 강릉부근에서 북동방향으로 경계를 이루며 약 50 km까지 이어지고 동쪽으로는 연안에서 60 km까지 연장되다가 북쪽과 동쪽의 양이상대에 의하여 폐쇄되고 있다. 이러한 퇴적암층군에 기인한 대규모 음이상대 내에는 관입한 화강암들에 의해 곳곳에 양·음의 쌍극자기 이상이 형성되어 있으며 극환원에서 관입체의 존재가 부각되고 있다. 이 음이상대는 남쪽으로는 육지쪽으로 좁아드는 경향을 보이면서 삼척 이남까지 연장되어 내려오고 있다. 육지의 삼척 이남에서 분포하는 양덕통하부를 이루고 있는 원남층군은 화강편마암인데도 불구하고 매우 낮은 대자율을 보이고 있어서 상부의 퇴적층군의 자화강도와 크게 구별되지 않고 있으며, 이것은 이들의 해저연장지역에서 음이상대로 확인된다. 묵호 남부지역에서도 연안에 퇴적층군의 해저연장에 의한 음이상대가 발달하고 있으나 그 북부에 비하여 현저히 좁은 지역을 형성하고 있으며, 관입 화강암으로 추정되는 외해쪽의 기반암 음기부에 의해서 차단되고 있다. 극변환 자기이상분포에서 묵호 저이상대는 동측과 북측의 고이상대에 의해 보다 철저히 폐쇄되어 나타나고 있으며 동부 고이상대와 북부 저이상대와 구분되어 있다. 육상의 지질분포와 자기이상분포를 종합할 때 고생대 퇴적층군은 육지에서 묵호의 남쪽 및 북쪽 연안으로 연장·

분포하며 북동쪽으로 확장되고, 북북서-남남동 방향으로 배열된 해저화강암 관입대에 의해서 분리되고 있는 것으로 추정된다.

제 10 장 탄성과 단면상의 자기이상 해석

Fig. 10(a)-(c)는 측선 1, 2, 3에서의 탄성과 단면을 자기이상, 극환원자기이상 및 그들의 잔여이상분포와 대비한 것이다. 측선 1은 동-서 횡단방향이고 측선 2와 3은 북동-남서방향으로 놓여 있다(Fig. 6) 잔여이상분포는 자기상이나 극환원 자기이상에서 적절한 차수의 다항식에 의하여 결정된 광역적인 경향을 소거한 것으로써 국지적인 자력원에 의한 자력효과를 보다 효과적으로 나타내 준다.

측선 1, 2 및 측선 3의 탄성과 단면 해석에 따르면 연구지역의 퇴적층은 육지에서 연장되어 온 것으로 추정되는 기반암 상부에 최대 약 1800 m 정도 쌓여 있다. 탄성과 단면상에서 기반암 상부는 심부 기반암 단층들로 인하여 변형을 받아 강하고 불규칙한 반사특성을 보이고 있다. 대륙붕과 상부 및 중부 대륙사면에서 기반암은 비교적 평탄하고 완만한 경사를 보이는 반면 외해쪽은 기복이 심하고 훨씬 급한 경사를 갖는다. 온누리 분지로 급경사져 있는 기반암은 대규모 단층이거나 울릉분지의 서측 경계를 이루고 있는 기반암 단애의 북쪽 연장으로 보인다(Yoon, 1994). 온누리 분지는 남북방향으로 작용한 확장 지운동으로 형성된 길쭉한 지구(graben)구조로 되어 있다. 비교적 평탄한 내측 해저의 기반암은 오랜기간 노출되어 있으면서 침식을 받은 것으로 보이며, 인근 육지 지역에 분포하는 기반암의 연장으로 추정된다. 반면에 외해쪽으로 기반암이 불규칙한 것은 기반암에 형성된 대규모 단층군의 영향을 받았으며, 해저지형상에 나타나는 국부적인 굴곡들은 화성활동으로 기반암을 관입 분출한 화성암들에 의한 것이다. 퇴적층은 3 개의 층으로 분류되며 시대는 각각 마이오세 말, 플라이오세 및 플라이토세로 보인다. 비대칭 형태를 갖는 온누리 분지는 북쪽으로 넓어지며, 40-50 km 연장을 갖는 남북방향의 대규모 단층이 분지의 경계를 이루고 있다. 퇴적층내 단층이 복잡하게 발달되고 있는 것은 지구조운동에 의해서 기반암이 변형을 받았다는 것을 시사한다. 화성활동으로 한국대지 부근의 해저화산과 대륙붕상에 기반암의 돌출로 나타나는 심부 관입암체 등이 형성되었다.

자기이상단면 및 극환원자기이상단면과 탄성과 단면과 비교해 보면 측선 1에서 극환원 전의 자기이상은 기반암의 영향을 많이 받고 있으나, 자력원의 자화벡터에 의해서 실제 존재 위치와는 어긋나 있다(Fig. 10). 자기이상은 두 가지 변수를 이용하여 극환원하였는데, 첫번째는 본 연구지역의 대표적인 표

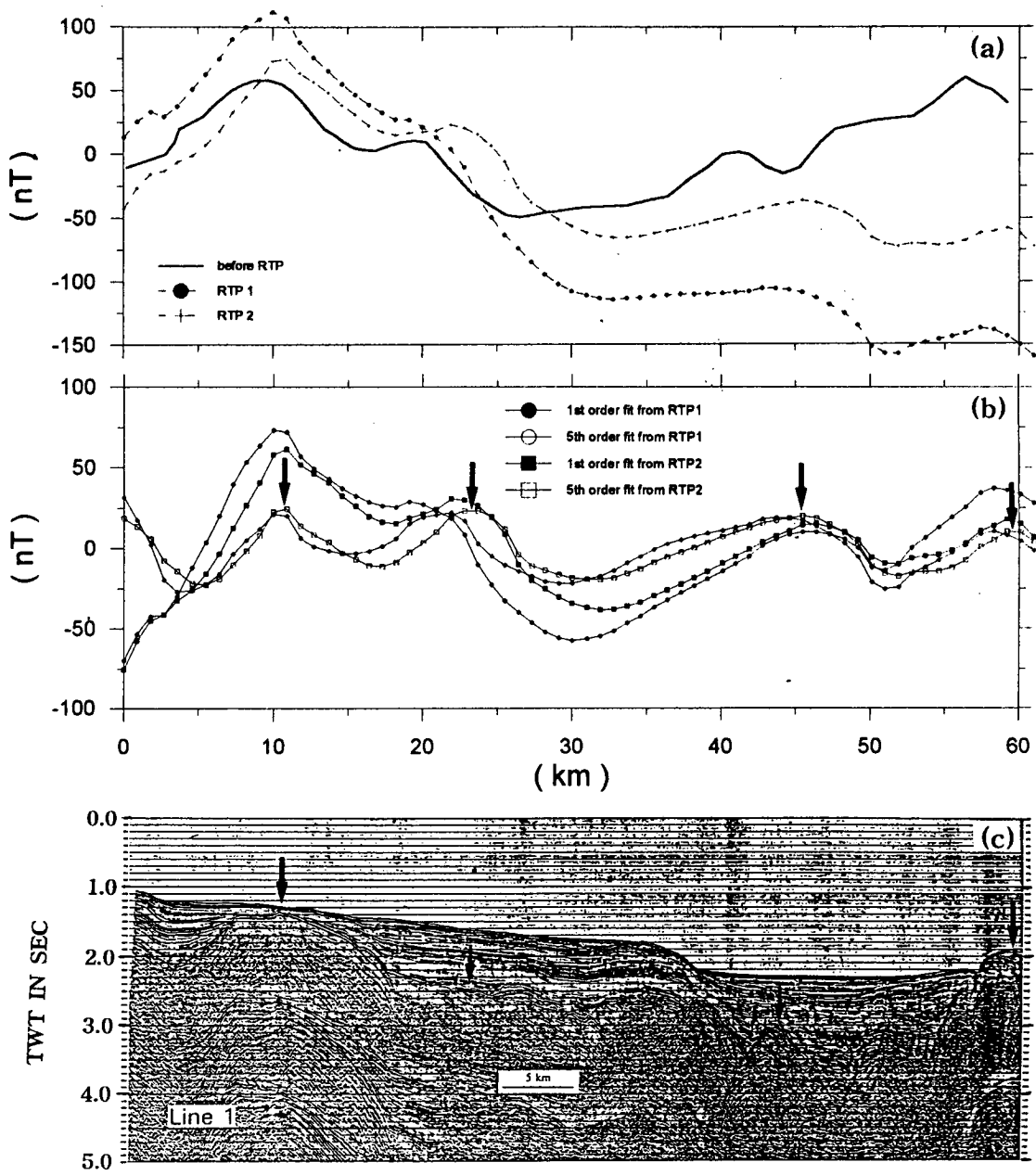


Fig. 10. Responses of the magnetic anomaly, RTP anomaly and their residual anomaly on seismic profile of Line 1

준값으로써 복각 53.4° , 편각 -7.8° 를 적용한 것이고(RTP 1), 두번째는 복각은 그대로 두고 공간분포에서 쌍극자 이상분포의 방향에 맞추어 자북에서 시계방향으로 20° 인 편각을 적용한 것(RTP 2)이다. 극환원전에 비해 극환원된 자기이상분포는 탄성과 단면에서 나타나는 기반암과 퇴적분지의 구조의 영향을 잘 반영하고 있다. 극환원된 자기이상 중에서도 첫번째 변수에 의한 것보다는 편각을 쌍극자 자기이상의 배열방향에 맞춘 두번째 변수에 의한 극환원 자기이상분포가 탄성과 단면상의 하부 구조 변화에 근접되어 있다. 즉, 자기이상이 탄성과 단면상에서 나타나는 기반암과 그 하부의 관입암체들의 위치에 보다 근접되고 집중된다. 극환원자기이상 단면에 의하면 측선 1의 10 km 지점 및 25 km 지점에서 나타나는 돌출된 기반암이나 하부 관입암에 의한 영향은 극환원전의 자기이상에서 나타나는 지점보다 동측으로 이동되어 있으며 극환원전에 비해서 보다 최고치 값 주위에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 탄성과 단면에서 굴곡져 있는 음향기반 하부에도 관입암의 존재가 예상되나 쉬게 인식되지 않고 있는데 이와 같은 국부적인 돌출 기반암이나 관입암의 존재를 파악하기 위하여 극환원자기이상에서 잔여이상치를 분리하였다. Fig. 10-(b)는 극환원 자기이상으로부터 1 차 및 5 차 다항식으로 표현되는 지역적인 이상분포를 분리한 후의 잔여자기이상분포를 나타낸다. 4 개의 잔여자기이상단면에서 탄성과 단면과 비교할 때 RTP 2로부터 5 차 다항식을 분리한 잔여자기이상단면이 하부 구조와 가장 잘 대비된다. 측선 전체의 4 개 지점에서 음향기반 및 그 하부에 존재하는 관입암체의 존재를 지시하는 자기이상이 뚜렷하다.

Fig. 11의 측선 2에서는 약 15 km 지점 약 350 nT 진폭을 갖는 뚜렷한 쌍극자 자기이상이 특징적으로 나타나는데, 이는 하부에 존재할 것으로 추정되는 대규모 화성관입체에 의해 영향을 받은 것이다. 측선 1에서와 같이 RTP 1은 연구지역의 대표적인 지자장으로써 복각을 53.4° , 편각을 -7.8° 을 가정하여 계산한 극환원 자기이상치이며, RTP 2는 편각만을 21° 로 바꾼 후 계산한 극환원 자기이상치이다. 극환원 자기이상 단면은 극환원전의 자기이상에 비해 대륙사면에서 연결되는 분지 내의 기반암 구조 변화에 잘 대비되며, 쌍극자로 표현되어 식별하기 곤란했던 하부 화성관입체 위치를 보다 쉽게 파악할 수 있게 해준다. Fig. 11-(b)는 극환원 자기이상분포에서 1 차 직선적 경향을 분리한 잔여자기이상분포를 나타낸다. 쌍극자 자기이상의 극환원은 RTP 2인 경우가 RTP 1에 비해서 상대적으로 실제에 근접하며, RTP 2의 극환원 자기이상분포에서 1 차 경향을 분리한 자기이상분포에서는 약 15 km 지점 음

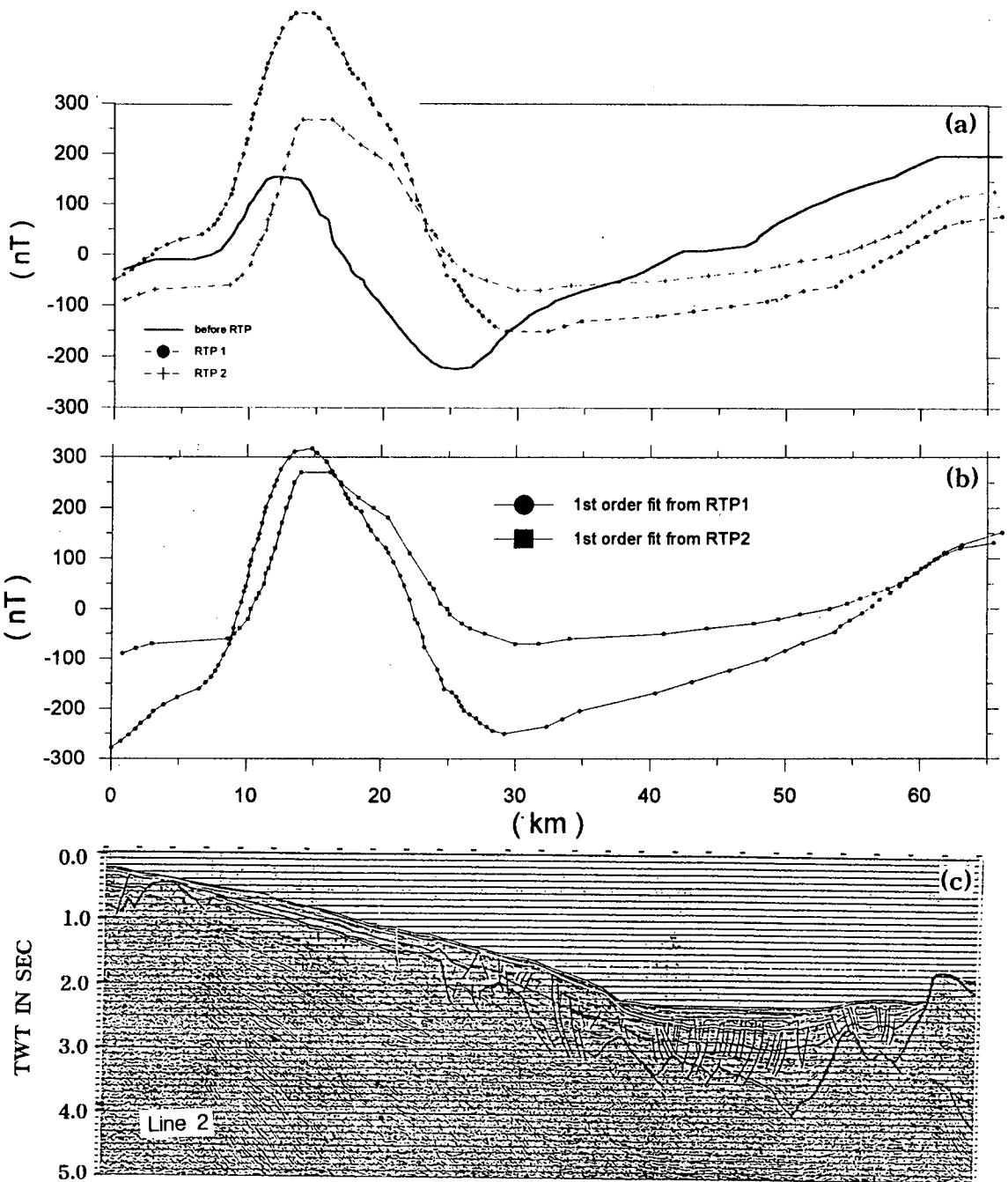


Fig. 11. Responses of the magnetic anomaly, RTP anomaly and their residual anomaly on seismic profile of Line 2

향기반 하부에 화성관입체의 존재를 예상케 해준다. 기반암이 함몰되고 단층이 심하게 발달하고 있는 측선 약 25 km에서 57 km까지는 저이상대로 특성화되며 측선 58-65 km 지점에서 나타나는 급구배의 자기이상은 분지의 동측 경계를 이루고 있는 단층에 의한 것이다.

Fig. 12는 연구지역 남쪽에서 남서-북동 방향으로 놓여 있는 측선 3의 자기이상분포 및 탄성과 단면이다. 여기서도 Fig. 10과 11에서와 같이 자기이상치를 극환원하고 다시 이들로부터 지역적인 경향을 소거한 잔여자기이상분포를 도시하였다. 극환원된 자기이상에서는 극환원전에 비해서 파정이 자력 근원체의 직상부에 보다 가깝게 이동하였음을 보여준다. 또한, 극환원 자기이상분포에서는 대륙붕에서 대륙사면을 거쳐 분지로 오면서 기반암이 깊어지는 것에 대한 영향을 보다 잘 반영하고 있다. 측선 20 km, 32 km, 45 km 지점 등과 같이 탄성과 단면도에서 식별 가능한 기반암의 돌출지역에서는 뚜렷한 고이상치를 나타내고 있다. 한편, 측선 7 km 지점에서는 탄성과 단면상에 뚜렷한 기반암 도출 반사특성이 잘 식별되지 않고 자기이상분포나 극환원자기이상에도 뚜렷한 고이상대로 구분이 되지 않는 반면에 6 차 다항식에 의한 경향을 분리한 결과 기반암 하부에 은폐된 것으로 추측되는 관입암에 의한 자기이상이 확인되었다. 이 잔여자기이상분포에 따르면 측선 7 km와 18 km 지점 사이에도 소규모 퇴적분지에 의한 것으로 보이는 저이상대가 나타나고 있다.

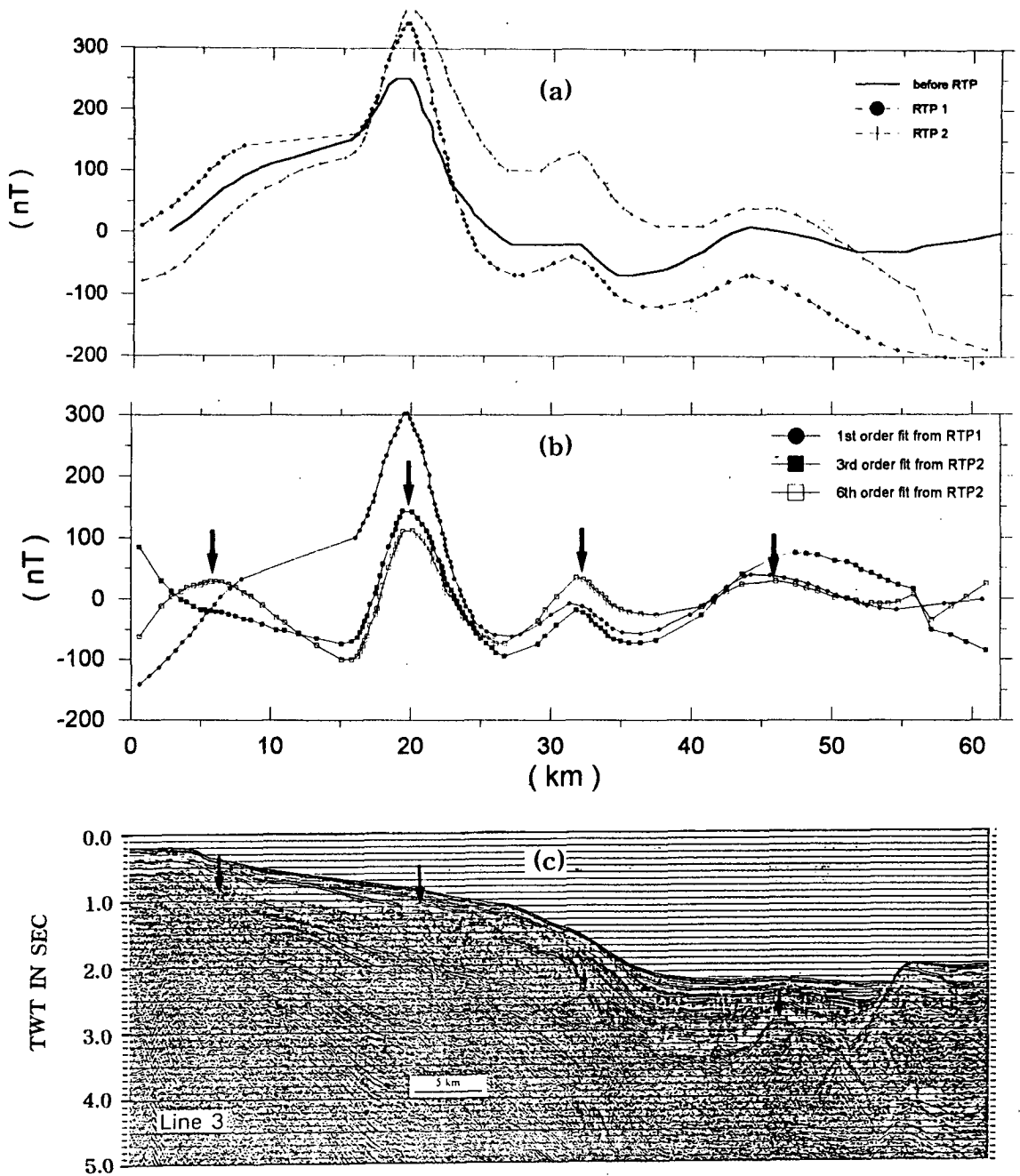


Fig. 12. Responses of the magnetic anomaly, RTP anomaly and their residual anomaly on seismic profile of Line 3

제 11 장 결 론

1. 자기이상은 해저지형 변화에 대하여 낮은 상관성을 가지는 반면에 극환원처리 후의 자기이상은 보다 향상된 상관성을 나타내면서 대륙붕과 대륙사면 지역에서 진폭이 큰 장·단주기의 자기이상 변화를 보여준다. 이는 자기이상에 주로 기여하는 화성기원의 기반암들이 해저면 하부에 존재하고 있음을 지시하는 것이다.
2. 자기이상 및 극환원 자기이상과 탄성과 단면을 종합적으로 고려할 때 크고 작은 화성암관입체는 대륙붕 및 대륙사면에 하부에 집중적으로 분포한다.
3. 인근 육지의 고생대 퇴적암층군 및 화성암체에 대한 대자율을 비교 검토한 결과 중생대 화강암은 고생대 퇴적층군보다 대자율이 현격히 높게 나타나며, 강릉 이북 연안에서 발달하고 있는 고이상대는 인근 육지의 중생대 화강암이 연안으로 연장된 결과로 분포범위는 동경 129° 15' 까지로 추정된다.
4. 대자율이 낮아 음이상대로 구분되는 고생대 퇴적층군은 강릉부근에서 북동방향으로 경계를 이루며 해안에서 약 50-60 km 외해까지 연장·발달하며 동측과 북쪽의 화성 기반암에 의해서 폐쇄된다.

참 고 문 헌

- 국립지질광물연구소, 1973, 춘천지질도폭(1/250,000). 한림출판사
- 국립지질광물연구소, 1973, 삼척지질도폭(1/250,000). 한림출판사
- 안은식, 유공열, 문인언, 김원식, 1969. 한반도 동남부 암석의 물리적 성질 측정 결과 보고서, 지질광상, 12:43-53.
- 윤석훈, 이희준, 한상준, 김성렬, 1996, 동해 대륙사면(삼척-양양)에서의 제 4기 퇴적 작용, 지질학회지, 32(2)(in press).
- 한상준, 석봉출, 김성렬, 김한준, 이희준, 김석현 외, 1995, 한국 대수심 해역의 지구적 해저환경 연구, 한국해양연구소 보고서, 407p.
- Chough, S.K., 1983, Marine Geology of Korean Seas. International Human Resources Development Corporation, Boston, 157p.
- Chough, S.K., Yoon, S.H. and Lee, H.J., 1991, Submarine slides in the eastern continental margin, Korea. Mar. Geotech., 10, 71-82.
- Honza, E., Tamaki, K., Yuasa, M. and Murakami, F., 1979, Geological map of the southern Japan Sea and Tsushima Strait, 1:1,000,000: Geol. Surv. Japan.
- Kearey, P. and Brooks, M., 1984, An Introduction to Geophysical Exploration, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 254p.
- Lee, D.S., 1987, Geology of Korea, Geological Society of Korea, Kyohak-Sa, Seoul, 514p.
- Lee, H.J., Chough, S.K., Chun, S.S. and Han, S.J., 1991, Sediment failure on the Korea Plateau slope, East Sea(Sea of Japan). Mar. Geol., 97, 363-377.
- Minami, A., 1979, Distribution and characteristics of the sedimentary basin offshore San-in to Tsushima Island: Jour. Japanese Assoc. Petrol. Tech., 44(5), 321-328.
- Park K.P., Shin, W.C., Kim, C.S. Cho, K.J., Kim, C.M. and Park, K.S., 1981, Marine geology and mineral resources of East Sea, Korea(Gangneung-Pohang): Rept. Geosci. Mineral Resour., Korea Inst. Energy and Resour. (KIER), 10, 149-161.
- Schluter, H.U. and Chun, W.C., 1974, Seismic surveys off the east coast of Korea, CCOP Technical Bulletin, v.8.

Yoon, S.H., 1994, The Eastern Continental Margin of Korea: Seismic Stratigraphy, Geologic Structure and Tectonic Evolution, Unpublished Ph.D. Thesis, Seoul National University, Seoul, 232p.