

선상 삼성분 자력계를 활용한 극지지구조 진화 연구

Employment of shipboard three-component magnetometer
to understand basin evolutions in polar regions



서울대학교



제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “양극해 환경변화 이해 및 활용연구”과제의 위탁연구“선상 삼성분 자력계를 활용한 극지 지구조 진화 연구”과제의 최종보고서(보고서 제목: “양극해과제_서울대.pdf”)로 제출합니다.



2016. 6 . 21

(본과제) 총괄연구책임자	:	강 성 호
위탁연구기관명	:	서울대학교
위탁연구책임자	:	이 상 목
위탁참여연구원	:	최 한 진
“	:	김 호 경
“	:	오 유 라
“	:	Erik Sevre

보고서 초록

위탁연구과제명	선상 삼성분 자력계를 활용한 극지지구조 진화 연구				
위탁연구책임자	이상목	해당단계 참여연구원수	이상목 외 4명	해당단계 연구비	40,000,000
연구기관명 및 소속부서명	서울대학교 지구환경과학부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	
<ul style="list-style-type: none"> ○ 판의 확장속도와 확장축의 각도변화에 따른 삼성분 지자기이상 모델 개발 (제작한 모델은 서필리핀판 분지 확장 데이터를 바탕으로 모델의 신뢰성을 확보하였음) ○ 전년도 과제에서 만든 자료처리 알고리즘 개선 ○ 동해시험운항과 남극항해 시 얻은 데이터를 바탕으로 선박고유자성상수를 재 계산, 이를 바탕으로 삼성분 자력데이터 처리 및 해석 ○ 남극 어데어 해곡을 통과하는 축선을 확인한 결과 모델과 달리 큰 자력이상이 나타나는 것으로 보아 이 지역은 매우 복잡하고 느린 분지확장을 겪었으리라 사료됨 ○ 동해 후포분지 일대에서 고지자기 이상을 다시 관측하였고 분지와 가까워질수록 수직 자력이상값이 높게 분포하는 것으로 나타남 ○ 제작한 모델과 실측항로 차이가 매우 커 비교할 수 없었음. ○ 배의 자이로와 자력계 간의 오차 및 데이터 송수신에 문제 발견, 개선시켜나가야 함 ○ 새롭게 ISDV 및 MBSD계산 코드를 만들고 테스트 시도 ○ 이에 기반한 MATLAB 라이브러리 구축 					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	삼성분자력계, 해양자기이상대, 해양분지, 지구물리탐사, 판구조론			
	영 어	Three component magnetometer, Ocean magnetic anomaly, Tectonic basin, Geophysical exploration, Plate tectonics			

요 약 문

I. 제 목

선상 삼성분 자력계를 활용한 극지지구조 진화 연구

Employment of Shipboard Three-Component Magnetometer to Understand Basin Evolutions in Polar Regions

II. 연구개발의 목적 및 필요성

가) 연구의 최종목표

- 전년도 과제수행으로 계산된 고유자성상수를 바탕으로 아라온호에서 획득한 남극해 및 동해 후포분지 자료처리 및 해석
- 분지확장 삼성분 자력모델개발
- 조사 전 기존자료 분석을 통한 연구지역의 분지구조 진화연구

나) 연구의 필요성

- 선상 삼성분 자력계(Shipboard Three-Component Magnetometer)는 기존 프로톤 총 자력계(Proton Precession Magnetometer)처럼 일정 거리에서의 towing이 필요없고, 사람의 수동적인 조작이 필요하지 않아서 남북극을 오고가는 항해기간동안에도 지속적으로 데이터를 수집할 수 있을 뿐만 아니라 유빙 또는 아라온 주변 선박의 출현에도 전혀 영향을 받지 않고 관측할 수 있는 장점이 있음.
- 자력의 강도 뿐만아니라 N-S자기벡터, E-W자기벡터, 그리고 수직자기벡터 성분을 측정할 수 있는 매우 정밀한 탐사법으로 적도부근의 매우 약한 지자기 이상대가 존재하는 곳의 조사 또한 매우 용이함.
- 현재 쇄빙선 아라온 호에 설치되어있는 선상 삼성분 자력계는 배 자체의 고유자성, 기계자체의 잡음 등의 보정 및 분석법이 매우 까다롭기 때문에 설치 이후 제대로 활용되지 않고 있음
- 아라온 자체가 갖는 고유자성을 측정 및 계산하고 노이즈를 분석 및 보정해야 자료의 신뢰성을 가질 수 있고 현장탐사에 제대로 활용될 수 있음.

- 남극은 여러 판들과 맞닿아있는 매우 복잡한 지구구조로 형성되어있음. 과거 Cande et al.(2000)는 뉴질랜드 남섬 아래 그리고 로스해 주변에서 얻어진 자력데이터를 근거로 신생대 시기의 동남극과 서남극간의 상대운동을 규명하였음. 이러한 문제를 비롯하여 남극항로 탐사기간 중 획득된 자료와 시험항해 도중 동해 후포분지 일대에서 얻어진 자료를 처리 및 분석하여 새로운 해석을 이끌어내고자 함.

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 계산된 선박 고유자성을 바탕으로 자료처리 및 결과산출
- 복잡한 프로세스 단순화를 위한 자력데이터처리 매트랩 및 포트란 라이브러리 구축 및 업데이트
- 삼성분 자력모델 코드 구축
- 선진 외국기관 방문 교류를 통한 자력탐사 방법 기술 및 정보에 대한 평가분석
- 자력탐사와 자료처리 방법 전수를 통해 대학원과 학부 학생들이 앞으로 극지연구에 관심을 갖고 기여할 수 있도록 체계적인 인력양성



IV. 연구개발결과

2차년도 본 과제에서 수행한 연구 개발결과는 다음과 같이 구분요약 할 수 있다.

- 삼성분 자력계(Shipboard Three-Component Magnetometer)로 얻어진 데이터는 여러 가지 변수로 인해 데이터처리가 매우 복잡하고 까다로워 2011년 아라온에 설치된 후 단 한 번도 쓰이지 않았음. 또한 데이터 처리 소프트웨어가 공개되어 있지 않아 데이터 처리에 어려움이 있음. 앞으로 장기적인 전망을 볼 때 관련 현재까지 구축한 MATLAB 코드 라이브러리를 업데이트 함
- 새롭게 ISDV 및 MBSD계산 코드를 만들고 테스트 시도
- 현재까지 삼성분 자력모델관련 프로그램이 구축되지 않았는데 판의 확장속도와 확장축의 각도변화에 따른 지자기이상 모델 MATLAB코드 라이브러리 구축
- 전년도 과제에서 만든 자료처리 알고리즘을 개선시키고 계산된 선박고유자성상수를 바탕으로 삼성분 자력데이터 처리 및 해석

V. 연구개발결과의 활용계획

본과제는 크게 세가지 목적으로 활용 가능하다.

- 삼성분 자력 데이터는 자력의 강도 뿐만아니라 N-S 자기벡터, E-W 자기벡터, 그리고 수직자기벡터 성분을 측정할 수 있는 매우 정밀한 탐사법으로 적도부근과 같은 매우 약한 지자기 이상대가 존재하는 곳의 조사가 매우 용이하고 fracture zone이나 fault zone, 그리고 abyssal hill, 그리고 단일 측선으로 해양분지의 확장방향을 탐지하는 등 다양한 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있음. 이러한 정보를 multibeam bathymetry data와 같이 이용할 경우 남극판과 태평양판 간의 지구조적 진화에 대한 연구에 대한 우리의 위상을 높이는 동시에 우리나라의 학문의 세계화에 큰 기여를 하게 될 것이라고 예상됨.
- 지속적인 장비의 유지보수 및 자동화 시스템 개발 및 구축으로 선박운용시 고효율 저비용의 탐사 시스템 이용으로 선박의 연구 활용도가 매우 높아질 것임.
- 향 후 이 고해상도의 자력센서를 이용한 지속적인 탐사기법 개발로 해양자원개발 및 유물탐사, 군사적 해저 물체 탐지 등 여러 분야에 다양하게 활용될 것이라고 사료됨.

이 밖에도 자력탐사기법 개발을 통해 해양장비를 최대한 활용할 수 있는 기반을 확보하고자 한다. 특히 삼성분 자력데이터 처리기술 및 극지 지각구조 연구는 선진국들이 집중적으로 연구하는 분야이므로 우리도 관련 기술개발 및 연구에 노력을 기해야 할 필요성이 대두된다.

S U M M A R Y

(영 문 요 약 문)

I. Title

Employment of Shipboard Three-Component Magnetometer to Understand Basin Evolutions in Polar Regions

II. Research Objectives and Necessity

A) Research Objectives

- To develop a three component magnetic model of basin evolution
- To process and interpret the data from RV Araon in Hupo basin(East Sea) and the Antarctic ocean using the vessel's permanent magnetization constant obtained in the previous year's result.
- To study evolution of basin structure in the study region by literature reviews and analysis of previous data.

B) Research Necessity

- Shipboard three component magnetometer (STCM) has advantages over proton precession magnetometer in the ease of operation e.g. STCM does not need to be towed at a distance or operated manually. Therefore, this instrument records magnetic data continuously regardless of interruption of vessels or floating ice for the whole cruise.
- Shipboard three component fluxgate magnetometer is able to measure high-quality magnetic data, not about only total intensity but also the magnetic field vector(N-S, E-W, vertical components) even in equatorial weak geomagnetic anomalies.
- The shipboard three component fluxgate magnetometer now installed on IBRV Araon not frequently used due to extreme complexities in correction and analysis of instrumental noises and the vessel's permanent magnetic

field.

- Measurement, calculation and correction of the research vessel's permanent magnetic field and instrumental noise are necessary for data credibility and to be used in field studies.
- Major complications lie on the tectonic structure of Antarctica for the complex relationship with other tectonic plates. Cande et al.(2000) employed magnetic data from the northern Ross Sea and the southern Tasman sea to study the relative movement between the East and West Antarctica. Likewise, it is important to acquire and analysis magnetic data from basins in arctic and antarctic region.

III. Scope and Contents of the Research and Development

- To process and produce data using the calculated vessel's permanent magnetization constant
- To develop and update magnetic data processing libraries(Fortran, Matlab) to simplify the data processing procedure
- To build a three-component magnetic model code
- To analyze magnetic exploration skill and information via visiting and academic exchange with foreign research institutes.
- To cultivate succeeding generation in polar research through pass on know-hows of exploration and data processing to undergraduate and graduate students.

IV. Result of the Research and Development

The results of 2nd year (2015) can be summarized as below.

- Because of the difficulties in data processing procedure from the nature Shipboard Three-Component Magnetometer data, the data has not been used after the instrument installation in 2011 on RV Araon. Also, the data processing software is not open to public. Matlab library which had been built in the previous year's study was updated to deal with long term demands.

- ISDV and MBSD calculation codes was developed and tested.
- Matlab library to calculate magnetic anomaly model which takes plate extension speed and extension axis variation into account was built to cope with the absence of three-component magnetic modeling software.
- The data processing algorithm which was developed in the previous year's study was improved. Three-component magnetic data were processed and interpreted using the calculated vessel's permanent magnetization constant.

V. Future Application and Plans

- Three component vector magnetic data acquisition using STCM is a precise method to measure magnetic field vector(N-S, E-W, vertical components) even in a weak magnetic anomaly, i.e. equatorial region. This method can obtain a wide variety of information such as fracture zone, fault zone, abyssal hill and the direction of ridge spreading in a single leg. In conjunction with multibeam bathymetry data, this kind of exploration method may be able to contribute to the improvement of current state of knowledge about tectonic setting between Antarctic and Pacific plates, which might lead to the country's prestige enhancement.
- Continuous maintenance of the instrument and the development of the autonomous system will enable the usage of the high-efficiency measurement system at relatively low cost. As a result, the total efficiency of research vessel operation will be improved.
- With continued efforts to develop a high-resolution magnetic sensing method, this equipment and method might be used in various fields like underwater resource exploration, archeological survey and military purposes.

We are intending to establish the fundamental of instrumental application through the development of magnetic exploration method, as the necessity of research and development of three component magnetic data acquisition and processing is emerging in other developed countries.

CONTENTS

SUBMITTING WORDS (in Korean)	1
SUMMARY (in Korean)	3
SUMMARY	7
CONTENTS	11
CONTENTS (in Korean)	13
Chapter 1. Introduction	2
Paragraph 1. Necessity of research	2
Paragraph 2. Contents of research and scope	2
Chapter 2. Status of domestic and foreign research and development	5
Paragraph 1. Trends of domestic and foreign technology, industry	5
Paragraph 2. Cases of past STCM surveys and research papers	5
1. Domestic case	5
2. Overseas case	6
Paragraph 3. Outline of STCM operation system	7
1. STCM operation	7
2. Data format	8
Chapter 3. Results and details of research and development	11
Paragraph 1. Magnetic survey Antarctic sea route between Christ Church-Jangbogo station	11
1. Introduction	11
2. Data processing using ship magnetization coefficients	12
3. Analysis results	16
4. Discussion and conclusion	21
Paragraph 2. Magnetic survey in the Hupo Basin during Araon Test Cruise	22
1. Introduction	22
2. Analysis results and discussion	23
Paragraph 3. Synthetic three-component vector magnetic anomaly model of Antarctic oceanic basin evolution	27
1. Development of three-component vector magnetic anomaly model for oceanic basin evolution	27
2. Three-component magnetic anomaly model in Adare trough	29

Chapter 4. Goal Attainment and Contributions	32
Paragraph 1. Goal and Attainment	32
1. 2st year goal	32
2. 2st year attainment	32
Paragraph 2. Results of Contributions	35
1. Participations	35
 Chapter 5. Future Applications and Plans	 37
Paragraph 1. Future Applications	37
Paragraph 2. Expectations and Ramifications	37
Paragraph 3. Additional research necessity	38
 Chapter 6. References	 40



목 차

제 출 문	1
보고서 초록	2
요 약 문	3
영문요약서	6
목차 (영문)	9
목차 (국문)	11
본 문	2
제 1 장 서론	2
제 1 절 연구개발의 필요성	2
제 2 절 연구개발의 개요	3
제 2 장 국내외 기술개발 현황	5
제 1 절 국내외 기술, 산업동향	5
제 2 절 과거 탐사사례 및 논문	5
1. 국내 사례	5
2. 국외 사례	6
제 3 절 삼성분 자력계운영시스템 개요	7
1. 삼성분 자력계 운영방식	7
2. 데이터 포맷 형식	8
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	11
제 1 절 크라이스트처치-장보고기지 남극항로 자력탐사	11
1. 서론	11
2. 선박의 고유자성계수를 이용한 자료처리	12
3. 관측데이터 분석결과	16
4. 결 론	21
제 2 절 동해 후포분지 일대 자력탐사	22
1. 서론	22
2. 관측데이터 분석결과	23
제 3 절 남극 해양분지발달 삼성분 자기이상모델	27
1. 삼성분 분지확장모델 개발	27
2. 어테어 해곡 주변 분지 삼성분 자기이상모델 제작	29
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여성과	32

제 1 절 연구개발 목표 달성도	32
1. 2차년도 연구개발 목표	32
2. 2차년도 연구개발 달성도	32
제 2 절 대외기여성과	35
1. 학회참가	35
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	37
제 1 절 연구결과의 활용방안	37
제 2 절 기대성과 및 파급효과(타연구에 응용)	37
제 3 절 추가연구의 필요성	38
제 6 장 참고문헌	40



제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

제 2 절 연구개발의 개요



본 문

제 1 장 서 론

제 1절 연구개발의 필요성

해양자력탐사는 과거 총자력강도(total magnetic intensity)를 측정하는 방식의 자력탐사 중심으로 크게 발달해왔다. 하지만 1986년 Isezaki에 의해 선박에서의 3축 자력계의 사용이 본격적으로 시작되었다. 이 자력계는 기존 프로톤 총자력계(proton precession magnetometer, PPM)처럼 일정 거리에서의 towing이 필요 없고, 사람의 수동적인 조작이 필요하지 않아서 남북극을 오고가는 항해기간동안에도 지속적으로 데이터를 수집할 수 있고, 유빙 또는 아라온 주변 선박의 출현에도 전혀 영향을 받지 않고 관측할 수 있는 장비이다. 그리고 자력의 강도 뿐만 아니라 N-S자기벡터, E-W자기벡터, 그리고 수직자기벡터 성분을 측정할 수 있는 매우 정밀한 탐사법으로 적도부근의 매우 약한 지자기 이상대가 존재하는 곳의 조사 또한 매우 용이하다. 하지만 데이터를 처리하고 분석하기 위해서는 배의 roll, pitch, yaw와 같은 motion reference unit 값과 배의 고유자성과 잡음, 그리고 배의 방향과 움직임에 따라 변하는 대자율(magnetic susceptibility)을 고려해야 하는 등 보정방법이 매우 까다롭고 자료처리가 복잡하여 전 세계적으로 해양조사에 광범위하게 많이 이용되지 못하고 있는 실정이다. 과거 국내 도입이 되었지만 2004년 Lee and Kim의 논문 이후에 출판된 논문이 없는 것으로 볼 때, 현재 자료수집 및 처리가 제대로 이루어지지 않고 있는 것으로 판단된다. 이러한 이유로 과거 아라온에 설치 후 사용되지 않고 있는 삼성분 자력계를 다시 이용하고, 보다 나은 시스템 구축을 위한 단점 보완, 그리고 데이터를 처리할 수 있는 소프트웨어의 개발이 필요하기 때문에 아래 내용과 같이 연구개발을 수행하였다. 또한 남극은 여러 관들과 맞닿아있는 매우 복잡한 지구조로 형성되어있다. 과거 Cande et al.(2000)은 뉴질랜드 남섬 아래 그리고 로스 해 주변에서 얻어진 자력데이터를 근거로 신생대 시기의 동남극과 서남극간의 상대운동을 규명하였다. 이러한 문제를 비롯하여 북극과 남극 주변해역의 분지들에 대한 탐사를 통해 얻어질 자료를 분석하고 기존에 획득된 자료를 제대로 연구함으로써 우리가 기여할 부분을 찾는 것은 매우 중요한 일이다. 이 장비의 기술의 경제적, 산업적 중요성 및 연구개발의 필요성은 장비의 유지보수를 통한 지속적인 활용은 자원탐사 등 환경변화 연구를 하는데 있어서 분지의 발달을 이해하는 것으로 해외에서도 매우 중요시 다루는 기술 중 하나이다.

제 2절 연구개발의 개요

- 아라온 선박 고유자성 재보정
 - 2015년 남극 항해시 획득된 아라온의 고유자성상수 계산을 위한 8자틴을 2회 시도했음. 하지만 확인결과 8자틴 횟수가 부족하여 데이터가 제대로 보정되지 않음
 - 아라온 동해시험운항에서 총 5번의 8자틴을 수행, 아라온 고유자성 보정 시도
 - Isezaki(1986)논문에 근거하여 수행
- 삼성분 자력데이터 처리 및 해석
 - 남극항로 및 동해시험운항 시 획득한 삼성분 자력데이터 처리 및 해석
- 기존 자료에 대한 분석과 국외전문가들과의 교류를 통한 정보획득(AGU 국제학회 참여, IGP과 같이 극지연구를 활발히 진행하는 연구기관과의 공동 연구 진행)



제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 기술, 산업동향

제 2 절 과거 탐사사례 및 논문

제 3 절 삼성분 자력계 운영시스템 개요

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1절 국내외 기술, 산업동향

현재 국외에서는 석유자원개발 및 군사적인 목적으로 널리 이용되고 있다. 하지만 보정방법이 매우 까다로워 현재 기술개발국인 일본을 제외한 다른 나라의 자연과학 분야에서 비교적 많이 이용되지 못하고 있는 실정이었으나 현재는 많이 늘어나는 추세이다. 최근 접근이 어려운 남극이나 북극 같은 지역에서의 삼성분 자력계 활용이 크게 늘고 있다. 삼성분 자력계는 여러 차례 towing이 필요 없고 자동조작이 가능하므로 해황이 나쁜 지역에서 매우 중요한 장비이다. 현재 아라온 호에는 서울대 팀이 설치한 삼성분 플럭스게이트 자력계가 있는데 보정이 되어 있지 않고 자료처리가 매우 까다로워 제대로 활용되지 못하고 있었다.

이 장비의 자료처리에 관한 내용은 이미 Isezaki(1986)에 의해 공개 출판이 된 상태이다. 그리고 시장규모 역시 기초연구로 진행 중이라 매우 작아 예측하기 어렵고 특히 또한 큰 비중을 차지하지 않는다. 하지만 보다 편리한 보정법과 자료처리 방법을 개발한다면 해황이 나쁜 날씨에도 매우 고해상도 자력데이터 획득이 가능하므로 자원개발 및 군사적, 그리고 해저유물탐지 등 여러 분야에서 상용화 될 수 있다고 사료된다.



제 2절 과거 탐사 사례 및 논문

1. 국내 사례

국내에서 선상 삼성분 자력계를 활용한 선례는 매우 드물다. Lee and Kim(2004)는 한국해양과학기술원의 연구선 RV 온누리호에 선상 삼성분 자력계를 설치하여 2001년 적도 근방의 해역에서 Ayu Trough에 대한 지구물리 관측을 실시한 바 있다. 이 탐사에서는 선상 삼성분 자력계와 기존에 사용하던 프로톤 총 자력계를 모두 사용한 고지자기 탐사를 실시하였다. 이 연구에서는 프로톤 총자력계로 측정된 자기장의 크기가 선상 삼성분 자력계를 사용해 측정된 자기장을 선체에 의한 자기장과 일주 차(diurnal), 그리고 국제표준지자기장(International Geomagnetic Reference Field)에 의한 영향을 제거해 보정한 값이 잘 일치함을 보임으로써 선상 삼성분 자력계가 측정된 자기장 값을 신뢰할 수 있음을 보였다.

특히 이 연구에서는 기존 총자력강도 측정값으로는 특정하기 힘든 자기 경계 등을 삼성분 자력계를 사용해 구할 수 있다는 것과, 이외에도 MBSD(magnetic boundary strike diagram), magnetic source의 차원값(dimensionality) 등 자기장의

백터 값을 통해서만 얻을 수 있는 정보들을 활용해 trough의 대칭성과 근처 지형들을 분석하였다. 이를 통해 선상 삼성분 자력계가 지구 물리 탐사를 위해 유용한 도구로 활용될 수 있는 가능성을 보였다. 그러나 이 연구 이후 10여년 가까이 선상 삼성분 자력계를 활용하여 SCI급 학술지에 게재된 국내 연구진의 논문이 없었고, 현재 국내에서 이 기기를 활용한 자료수집 및 처리가 활발하게 이루어지지 않는 것으로 사료된다.

국내 학술지에 출판된 관련 탐사 사례로는 김창환 & 박찬홍(2011)이 있다. 이 연구에서는 삼성분 자력계를 ROV(Remotely Operated Vehicle)에 장착하였으며, 이를 통해 해저 열수광상 개발을 위해 ROV 탑재 삼성분 자력계를 사용할 수 있음을 입증하고자 하였다. 그러나 이 연구는 선체의 영향을 받지 않는 심해에서 2차 노이즈의 영향을 고려하지 않고 단순한 회전 보정만을 거쳤다는 점, 그리고 자력계의 탑재 플랫폼을 ROV로 한정시켜 좁은 지역에 대한 집중적 관측만이 가능하다는 한계점을 지닌다. 이는 연구선에 탑재되어 훨씬 방대한 지역에 대한 지구물리학적 관측을 목표로 하는 선상 삼성분 자력계를 활용한 연구와 탑재 플랫폼과 큰 차이점을 보이는 것이다.

2. 국외 사례

Isezaki(1986)에 의해 삼성분 자력계를 이용한 선상자력연구가 시작된 이후로 해외의 쇄빙선의 자력탐사 및 고유자성에 관한 연구사례로는 Nogi and Kaminuma (1999)가 일본의 쇄빙선 Shirase에 설치된 선상 삼성분 자력계를 활용해 1988년부터 1993년까지 관측한 결과를 보고한 바 있다. 이 논문은 장기간의 관측 결과를 분석하였으며, 이를 통해 선체의 자화율은 안정적으로 유지되며 선체의 형상과 관련이 있다는 것, 그러나 선체의 영구자화는 변화한다는 것을 보였다. 아라온호와 같은 쇄빙선에서 측정된 결과라는 점과 고위도 지방에서의 관측 기록이라는 점, 그리고 남극 기지로 전달되는 보급품의 영향을 분석했다는 점에서 이번 연구개발과 큰 연관성을 가지고 있다.

제 3절 삼성분 자력계운영시스템 개요

1. 삼성분 자력계 운영방식

아래에 설치되어 있는 삼성분 자력계 시스템은 아래 그림과 같이 노트북, 자력계, 데이터로거, 자이로센서, GPS로 구성되어 있다. 삼성분 자력계는 매우 배의 움직임에 따라 각 성분의 값이 다르게 들어오므로 고해상도의 광학 자이로센서와 GPS시스템의 구축이 필수적이다. 배의 움직임은 크게 4가지 성분(roll, pitch, yaw, heave)로 구분되는데 선박의 경우 이중 세 가지 성분인 roll, pitch, yaw의 영향이 가장 크게 나타나므로 이 세 성분만 보정에 쓰이게 된다. GPS는 탐사지역의 위치와 정확한 시간정보를 알려주는데 지자기 이상대를 계산할 경우 측정된 지점에서 해당 시간의 지구 자기장 값(International Geomagnetic Reference Field, IGRF)을 측정된 데이터에서 빼 주어야만 일변화와 연변화, 그리고 위치변화에 대한 자기장 값의 변화를 제거하여 정확한 지자기 이상대를 측정할 수 있으므로 이 장비 또한 매우 중요한 장비이다.

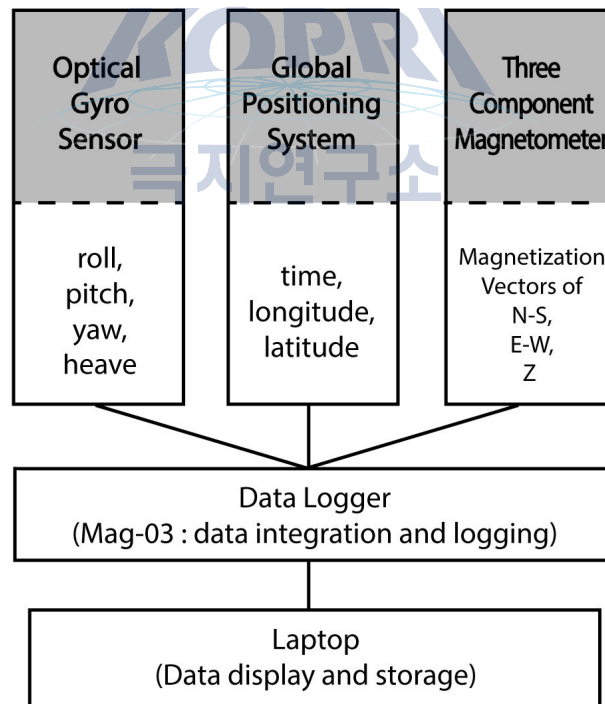


그림 2-1. 아라운 자력센서 데이터 획득 시스템 구조도

이렇게 측정된 데이터는 Mag-03 데이터로거(data logger)에 의해 취합되어 얻어지며 최종적으로 노트북에 저장 및 출력이 된다. 노트북에 기록되는 데이터는 일별로 GPS 파일, 자이로 모션 파일, 삼성분 자력 값 파일, 그리고 모든 데이터를 다 취합한 파일이 모두 따로 기록된다.

2. 데이터 포맷 형식

노트북에 저장된 통합데이터는 아래와 같은 형식으로 기록된다.

```
150612,000009,000009.00, 28.5592, 29.3803, -62.3749,3549.94948,N,13029.89722,E, 0.47, 0.16,270.47, -0.05
```

데이터는 1초에 1개 샘플로 기록되며 당일 0시부터 23시 59분 59초까지 하루 동안 기록된 데이터가 tot 형식의 파일로 저장되는 구조다.

아래 표 2-1에 통합데이터에 대한 내용, 단위, 포맷형식을 나타내었다.

데이터	내용	단위	포맷형식
150612	PC날짜	YYMMDD (년월일)	I6
000009	PC시간	HHMMSS (시분초)	I6
000009.00	GPS시간	HHMMSS.SS (시분초)	F9.2
28.5592	E-W성분 값	μT (마이크로 테슬라)	F9.4
29.3803	N-S성분 값	μT (마이크로 테슬라)	F9.4
-62.3749	Z 성분 값	μT (마이크로 테슬라)	F9.4
3549.94948	위도	ddmm.mmmmm (도분)	F10.5
N			A1
13029.89722	경도	dddmm.mmmmm (도분)	F12.5
E			A1
0.47	roll	ddd.dd (도)	F6.2
0.16	pitch	ddd.dd (도)	F6.2
270.47	yaw	dddd.dd (도)	F7.2
-0.05	heave	ddd.dd (도)	F6.2

표 2-1. 통합데이터의 단위 및 포맷형식

데이터 중 위경도 좌표는 도분 형태의 포맷으로 저장되지만 통상 도(degree) 형태의 자료를 사용하므로 stcm_read.f90 파일로 포맷변환을 시켜주어야 한다. 또한 삼성분 자력 값의 경우 단위가 μT 이므로 자료처리 시 통상적으로 사용되는 nT단 위이므로 데이터 프로세싱 전에 미리 바꿔주어야 사용이 편리하다. 간혹 PC시간이 짧게는 1초 길게는 5초 정도의 차이로 GPS시간과 다르게 나타나는 경우도 있었지만 이 경우 PC시간은 무시하고 GPS시간을 사용하였다.

한편 raw파일의 데이터는 모션 데이터는 roll, pitch의 경우 45도 이상의 값이 들어올 경우 소거시켜 주었다. 왜냐하면 배의 각도가 45도 이상 기울 수 없는 구조이기 때문이다. yaw의 경우 1초에 10도 이상 변화하는 값들에 대하여 제거하였고 E-W성분과 N-S성분은 60000nT이상, Z성분은 80000nT이상의 값들에 대하여 소거하였다. 또한 간헐적으로 위경도 값이 0이 나오는 오류가 생길 때마다 그 값이 포함된 줄을 소거하였다.



제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 크라이스트처치-장보고기지 남극항로 자력탐사

제 2 절 동해 후포분지 일대 자력탐사

제 3 절 남극 해양분지 발달 삼성분 자기이상모델

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 크라이스트처치-장보고기지 남극항로 자력탐사

1. 서 론

남극대륙은 동남극과 서남극으로 나누어져 있으며 남극횡단산맥(Trans-antarctic mountain range)이 두 판의 대략적인 경계에 해당된다. 이 지역의 상대운동을 이해하는 것은 전 지구적 판들의 상관관계(global plate circuitry)를 복원하는데 매우 중요하다. 하지만 이 지역들은 과거 극지 해양탐사기술의 부족으로 탐사가 자세히 이루어지지 않다가 최근 과거 20년 전 부터 많은 조사가 이루어지기 시작하였다.

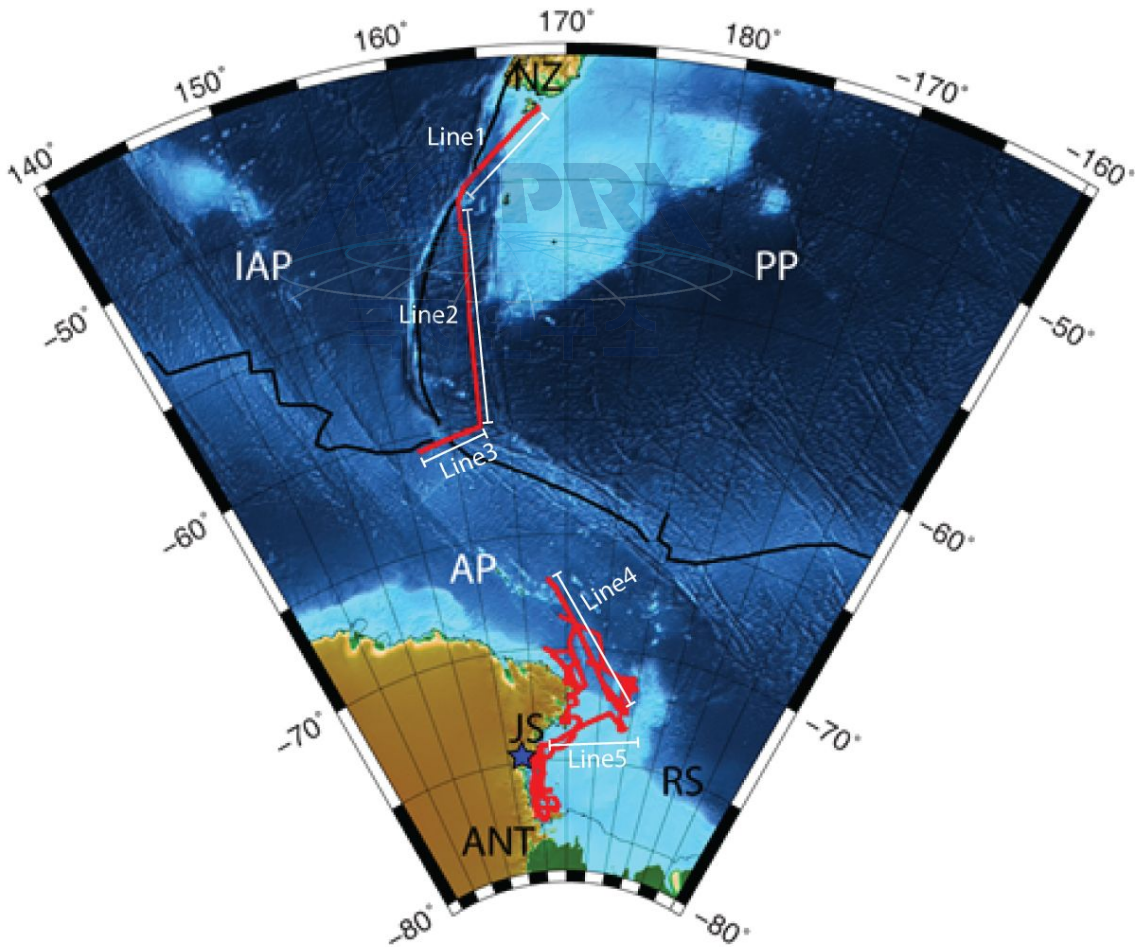


그림 3-10. 아라온호의 자료획득구간(빨간색)과 주변지역의 해저지형도.ETOPO1 데이터를 사용하였으며 해상도는 1 arc-second이다. IAP, 인도-오스트레일리아판; PP, 태평양판; AP, 남극판; JS, 장보고기지; RS, 로스 해; NZ, 뉴질랜드.

쇄빙선 아라온호는 일반 연구선이 잘 다니기 힘든 해역을 많이 지나다닌다. 이러한 해역에서 얻어진 작은 정보라도 지금까지 몰랐던 새로운 사실을 밝히는데 결정적인 역할을 할 수가 있다. 선상삼성분자력계는 일반 프로톤 자력계(PPM)처럼 towing을 하지 않더라도 자기 이상대의 구조를 파악할 수 있는 장점을 가지고 있어 기초 셋업이 잘 되어 있을 경우 관리가 매우 편하고 유용한 장비이다. 이 같은 장점은 해황이 나쁘고 유빙들이 많아 선박의 운항이 용이하지 않는 극지방탐사에 매우 적합할 뿐만 아니라 X축, Y축, Z축 각각의 성분별 분석 및 해석이 가능하므로 수평자기력의 영향을 배제하고 수직자기력만을 분석할 수 있어 단 한 번의 측정으로 프로톤자력계로는 알 수 없는 지자기경계(magnetic boundary)를 구별할 수 있는 장점이 있다. 이 방법을 활용한다면 많은 측선 데이터가 없더라도 측정위치에서의 분지 확장 방향을 알 수 있다.

이번 아라온 자력데이터가 획득된 지역은 남극 판이 서로 교차하는 호주판과 태평양판의 경계부근에서 두 해양판의 변환단층 경계가 발산형 경계로 바뀌며 두 판의 속도 차이에 의해 만들어진 해양분지 Emerald Basin과 Macquarie Ridge, 그리고 서남극 열개 시스템에 의해 만들어진 Adare Trough 이다.

2. 선박의 고유자성계수를 이용한 자료처리

아라온에 설치되어있는 선상삼성분자력계(STCM)는 아라온 내 연구기자재의 이동으로 인한 자성체의 위치변화와 선박자체 자성체의 변화로 인해 항해 시 매번 보정을 해 주는 것이 중요하다. 이번 2015년도 남극 항해 시 뉴질랜드 크라이스트처치(Christ church)에서 장보고기지까지 조사가 이루어졌으며 항해 동안 선상 삼성분자력계의 데이터 획득은 아래 그림 3-1(빨간색선)과 같이 이루어졌다. 총 자력 센서 보정을 위해 총 3번의 figure of eight turn이 시행되었으나 탐사 도중 알 수 없는 오류로 인하여 간헐적인 데이터 획득이 이루어지면서 총 2번의 보정데이터만 계산에 적용하였다. 하지만 데이터가 부족하여 상수가 제대로 계산되지 않아 동해 시험운항 시 획득한 5번의 8자턴 자료를 추가해 총 7번의 8자턴 자료를 활용해 자료 처리를 하였다.

8자 턴을 다른 위도상에서 단반경으로 가능한 많이 해야하는 이유는 배가 같은 지자기장에서 시계 또는 반시계방향으로 돌면서 삼성분 자력센서에서 배의 다양한 움직임에 기인하는 자력값의 변화를 측정하여 수평성분에 대한 선형 계수(linear parameter)를 찾고, 단반경(short diameter)으로 돌면서 roll의 위치변화를 최대로 주며 배의 자기장의 변화를 주기위해서 이며, 또한 해양분지에 기록된 고지자기의 변화를 받지 않고, 자기장의 수직성분에 대한 선형계수를 계산하기 위함이다. 왜냐하면 8자턴으로 배의 roll과 pitch의 회전에 큰 변화를 줄 수 없기 때문에 자기장의 수직 성분에 대하여 상대적으로 매우 좁은 폭의 변화에 대한 변수 값을 나타낼 수 밖에 없기 때문이다.

그림 3-2는 남극항해동안 정박향이었던 뉴질랜드의 크라이스트 처치(Christ church)

에서부터 맥쿼리 해령까지 지나는 동안(line1) 시간에 따른 배의 자세변화와 초기자력데이터를 나타낸 그래프이다. 배가 정박해 있는 동안 자력데이터에 큰 노이즈가 발생한 것으로 나타났다. 하지만 배가 출항한 뒤부터 삼성분 자력데이터의 변위가 줄어든 것을 보아 노이즈가 감소했음을 알 수 있다. 출항 후 roll과 pitch의 변화폭이 점점 커지는 것을 보아 당시 항해동안 파고의 변위가 심했음을 알 수 있다. 남극 항로운항 시 아라온에서 획득된 초기데이터는 그림 3-2, 그림 3-3, 그림 3-4, 그림 3-5, 그림 3-6로 분류하였다.

획득된 초기자료는 그림 3-7의 데이터처리 알고리즘과 같이 진행하였다. 우선 에러로 간주되는 데이터들을 제거해 주었다. 일반적으로 자기장의 F_x 와 F_y 값은 0 또는 ± 60000 nT이상, F_z 값은 0 또는 ± 80000 nT 이상 나올 수 없기 때문에 이 값과 일치하거나 초과하는 데이터들은 모두 소거해 주었다. 또한 배의 특성상 roll 과 pitch가 $\pm 45^\circ$ 이상 올라갈 수 없기 때문에 이 이상의 값들과, yaw값의 경우 아라온 같은 대형 선박은 항해도중 $20^\circ/\text{sec}$ 이상 방향을 바꾸는 것이 불가능 하므로 제거하였다 또한 계산의 편의를 위해 μT 의 단위를 nT로, 위경도 단위도 dddmm.mmm 단위에서 ddd.dddd로 단위변환을 해주었다.

불량데이터 제거 후 측선에 남극 항해 동안 비교적 수직으로 탐사를 진행한 측선을 line 1에서 line 5까지 총 5개의 유효측선을 확보할 수 있었다. 왜냐하면 배가 어떤 한 곳에 정지해 있거나 급회전을 하는 경우 배에서 발생하는 점성잔류자화(Viscous Remnant Magnetization, VRM)의 영향을 받아 정확한 지자기 이상 값을 측정하기 어렵고 지자기 이상분석 또한 어렵기 때문이다.

극지연구소

Line 1

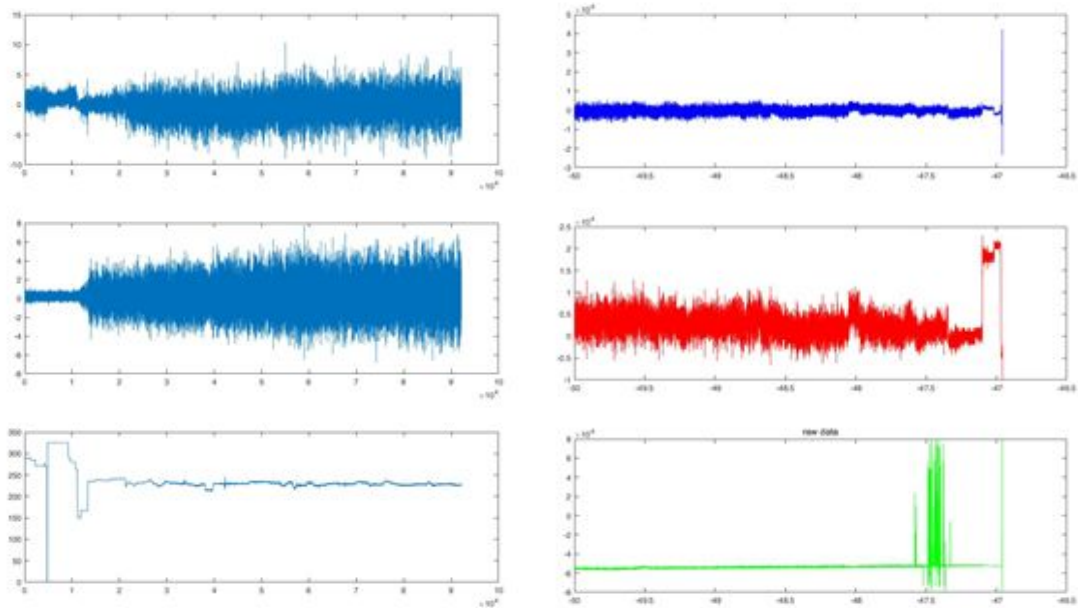


그림 3-2. 아라운 Line1 에서 측정된 자이로(gyro)센서 값(좌)과 측정된 초기 삼성분 자력데이터(우). 그림 3-2(좌)의 y축은 위쪽에서부터 roll, pitch, yaw를 나타내고 단위는 도이다. 그림 3-2(우)의 y축은 위로부터 자력계의 x축, y축, z축으로 측정된 자력데이터의 amplitude를 나타내며 단위는 nT이다.

Line 2

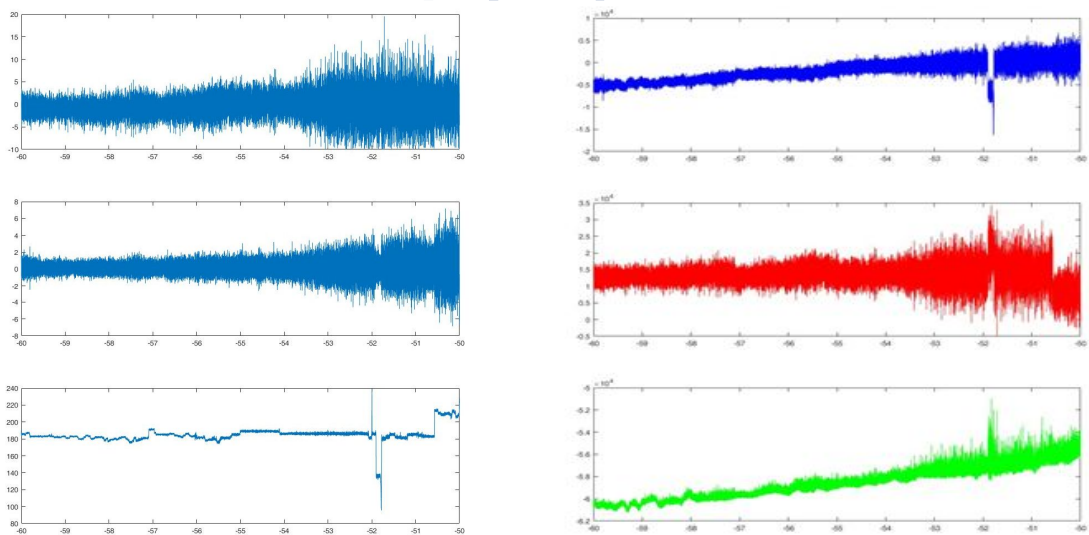


그림 3-3. 아라운 Line2 에서 측정된 자이로(gyro)센서 값(좌)과 측정된 초기 삼성분 자력데이터(우).

Line 3

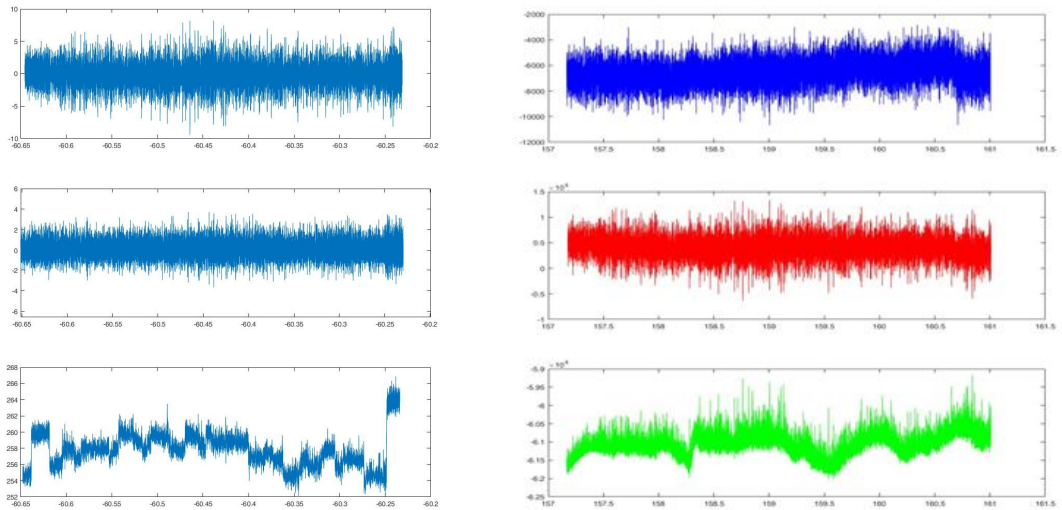


그림 3-4. 아라운 Line3 에서 측정된 자이로(gyro)센서 값(좌)과 측정된 초기 삼성분 자력데이터(우).

Line 4

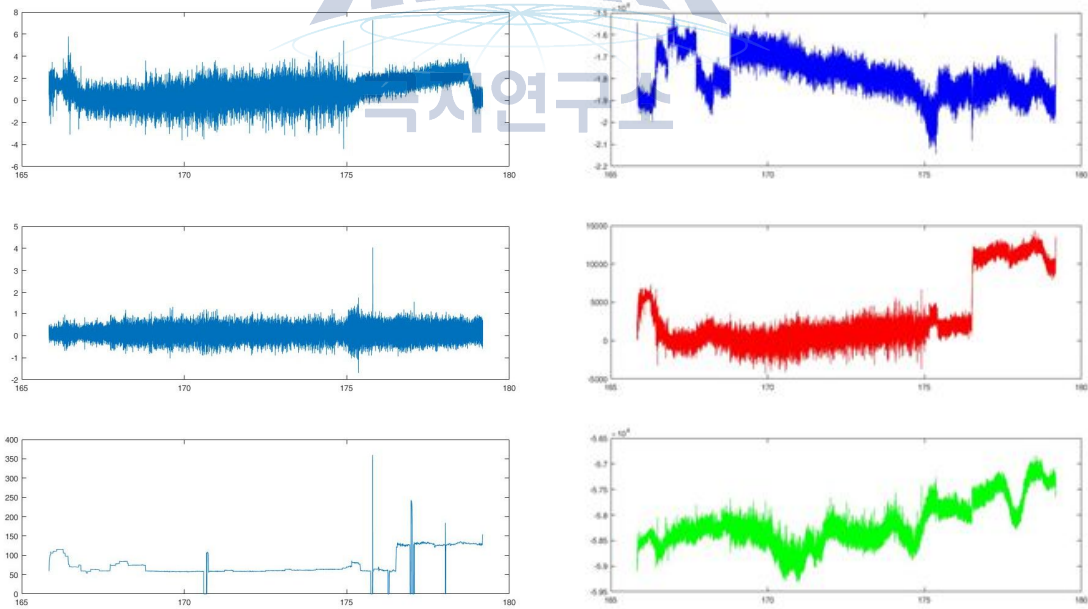


그림 3-5. 아라운 Line4에서 측정된 자이로(gyro)센서 값(좌)과 측정된 초기 삼성분 자력 데이터(우).

Line 5

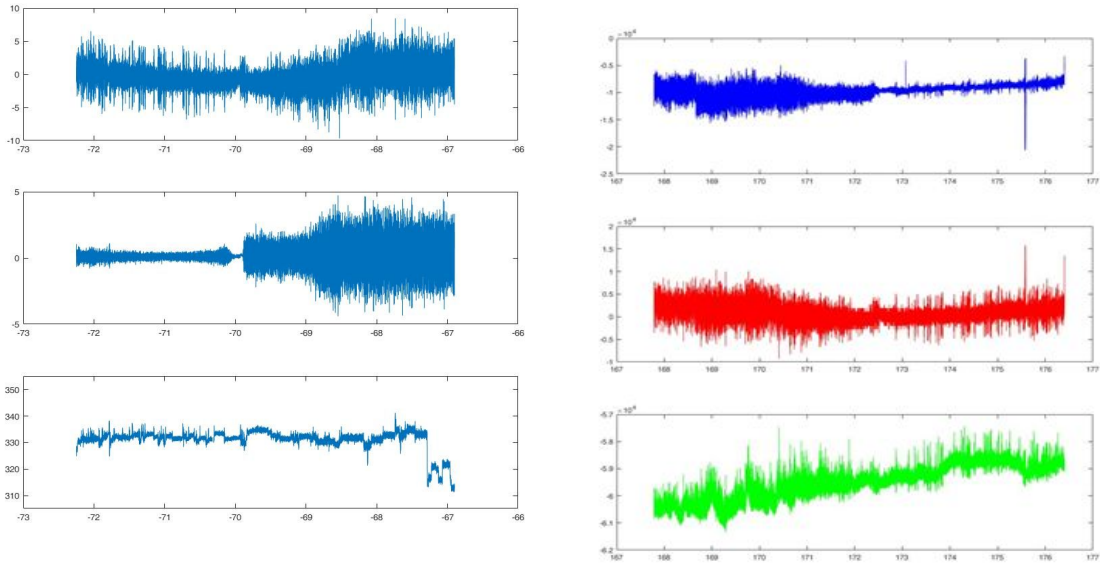


그림 3-6. 아라운 Line5 에서 측정된 자이로(gyro)센서 값(좌)과 측정된 초기 삼성분 자력데이터(우).



아라운 남극항해와 동해 시험운항 기간동안 얻는 8자던 자료를 바탕으로 계산된 아라운호의 STCM센서가 설치되어 있는 곳의 유도자화 모멘트(A)와 고유자성(H_p)은 다음과 같다.

$$A = \begin{pmatrix} -1.197896 & 0.130324 & -0.025148 \\ 0.232021 & -1.145969 & -0.020765 \\ 0.059409 & 0.008149 & 0.844531 \end{pmatrix} \quad H_p = \begin{pmatrix} -24830.275 \\ 5372.207 \\ -12579.186 \end{pmatrix}$$

$$H_p \text{ Standard Deviation} = (2719 \quad 2813 \quad 156)$$

보정값은 다음과 같이 계산하였다. 유도자화 모멘트 A와 고유자성 H_p 를 알 수 있었고 H_{ob} 값은 측정치로 이미 알고 있으므로,

$$RPYF = AH_{ob} + H_p$$

로 정의할 수 있다. 이 때, 계산하고자 하는 변수 F는 합성장(지구자기장 + 암석잔류자

화)이므로 한 지역을 측정했을 때 일정한 값으로 수렴해야 한다. 따라서, 합성장 F는 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$F = Y^{-1}P^{-1}R^{-1}(AH_{op} + H_p)$$

구한 F값과 국제 표준지구자기장값 (IGRF:International Geomagnetic Reference Field)을 이용하여 아래 식과 같이 anomaly를 구할 수 있다.

$$F_{anomaly} = F - F_{igrf}$$

위 식을 이용하여 그림 3-8와 같이 삼성분 자력 값을 산출하였다. 하지만 계산 결과 여전히 많은 spiky noise들이 모든 측선에 걸쳐서 분포하는 것을 볼 수 있다. 이러한 노이즈들은 계산결과에 큰 영향을 미치므로 despike 함수를 이용하여 해당 노이즈들을 제거해 주었다. 전체적인 데이터 처리과정에 대한 자세한 내용은 그림 3-7에 새로 업데이트한 데이터 처리 순서도로 설명해놓았다.

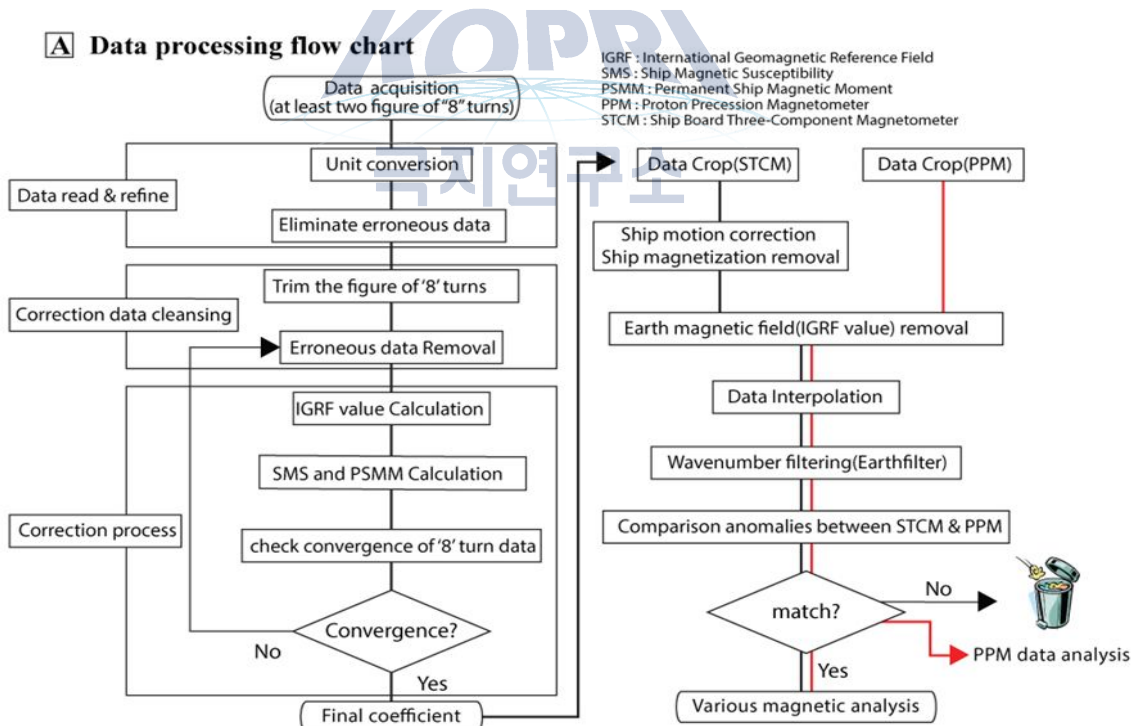
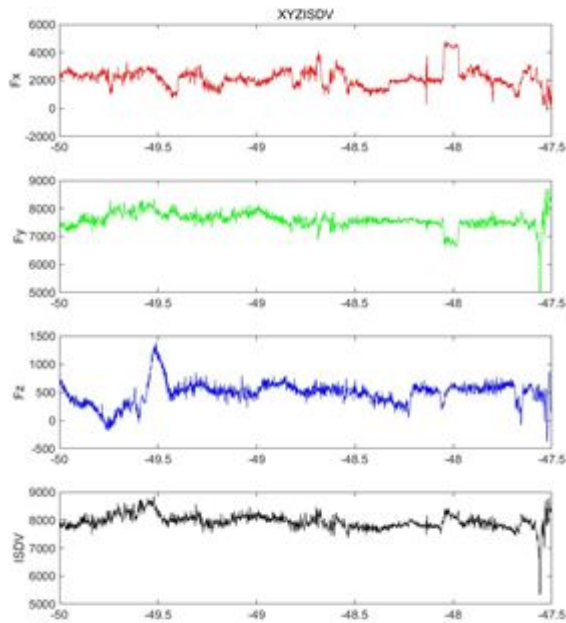


그림 3-7. 데이터 처리에 사용된 데이터처리 알고리즘 (flowchart). 검은색 실선은 STCM자력계 처리방법, 빨간색 실선은 양성자 자력계 처리방법을 나타냄

Line1



Line2

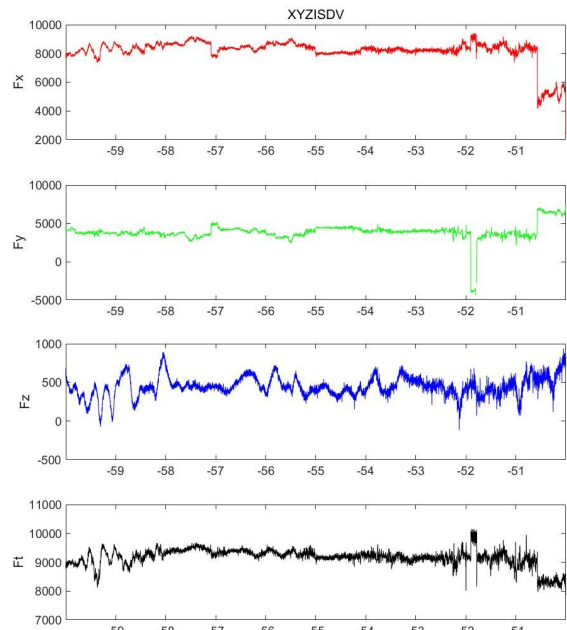
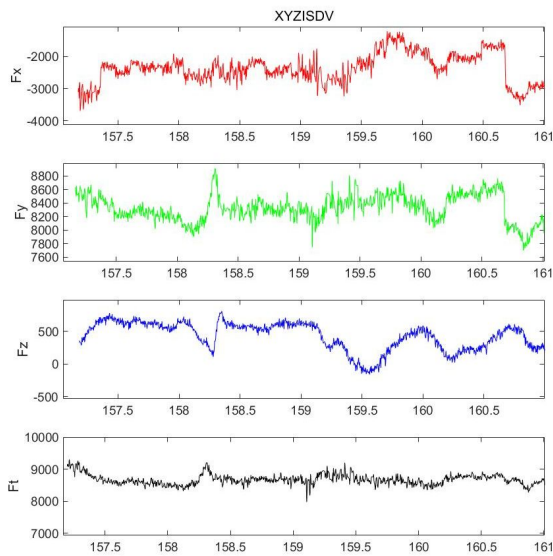


그림 3-8. Line1(좌)과 2(우)의 선박고유자성상수를 이용하여 보정 후 IGRF자기장 값을 소거한 자력이상측선. F_x (빨강), F_y (초록), F_z (파랑), F_{total} (검정) 자력성분을 나타냄.



Line3



Line4

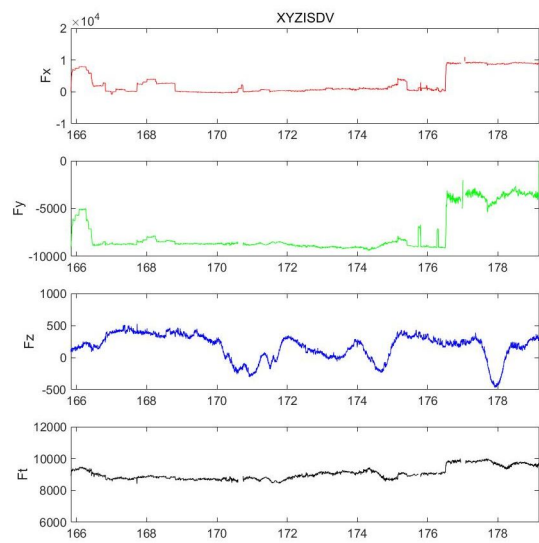


그림 3-9. Line3(좌)과 4(우)의 선박고유자성상수를 이용하여 보정 후 IGRF자기장 값을 소거한 자력이상측선. F_x (빨강), F_y (초록), F_z (파랑), F_{total} (검정) 자력성분을 나타냄.

Line5

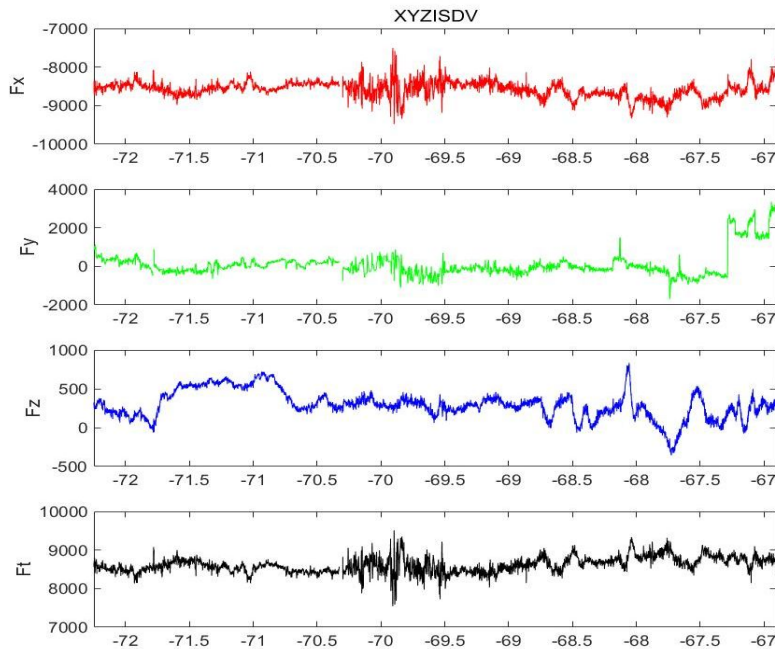


그림 3-10. Line5의 선박고유자성상수를 이용하여 보정후 IGRF자기장 값을 소거한 자력이상측선. F_x (빨강), F_y (초록), F_z (파랑), F_{total} (검정) 자력성분을 나타냄.

3. 관측데이터 분석결과

여전히 남아있는 짧은 파장의 인공 노이즈 그리고 일변화, 그리고 직류효과(DC effect)로 인한 긴 파장의 효과를 제거하기 위해 band-pass 필터가 적용되었다. 일반적으로 해양지각의 자화는 대부분 분출현무암(extrusive basalt)으로부터의 강한 자성효과로 인해 생성된다 (Direk and Furnes., 2014). 이 분출현무암은 일반적으로 대양저 표면(seafloor)에서부터 0.5-1.0km의 두께를 가지고 있으므로 탐사지역의 경우 평균수심인 3km로 컷오프 파장을 2-10km로 놓고 계산한 보정데이터는 그림 3-8, 3-9, 3-10과 같이 나타낼 수 있었다.

계산결과 수직성분 자력이상은 전체적인 데이터가 보정 전 후를 기점으로 잘 수렴하는 것을 보아 비교적 보정이 잘 된 것으로 여겨진다. 하지만 수평성분 자력이상은 데이터가 오히려 보정 전에 비해 발산하여 큰 편차를 나타내는 등 보정에 큰 오차가 나타난 것으로 사료된다.

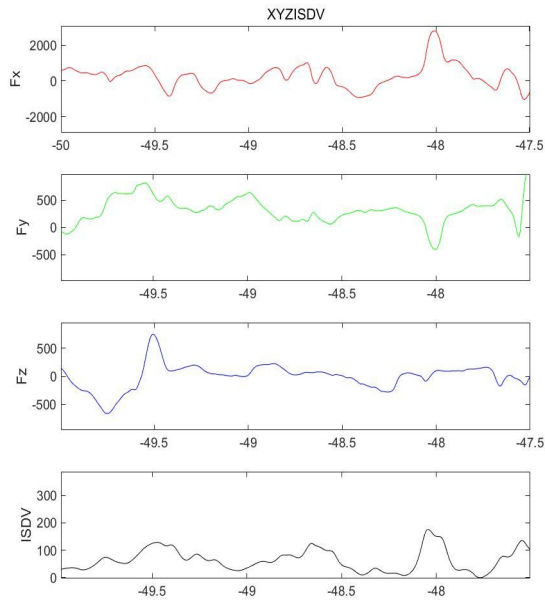
이와 같은 큰 오차가 나온 이유는 1. STCM센서의 오리엔테이션 변화, 2. 남극항해동안 8자턴 데이터의 부족, 3. 아라운에 설치된 gyro센서와의 데이터 오류 등으로 분류할 수 있다. 첫 번째로 동해 시험운항동안 센서의 오리엔테이션 불량으로 같은 위치에서 수평적 방향조정을 한 후, 선박의 자력상수를 계산했다. 이로 인해 배 자체에서 기록되는 자이로센서의 수평성분과 자력계간의 측정오차가 더욱 커져 이와 같은 문제가 발생했을 것이라

고 사료된다. 두 번째로는 8자틴의 데이터 부족이다. 남극에서 수행한 총 3번의 8자틴 중 획득된 데이터는 2번이다. 8자틴으로 배의 고유자성을 측정하기 위해서는 측정오차를 줄이기 위해 한번의 항해동안 일반적으로 10번의 8자틴을 해야한다 (Seama et al., 1993; Korenaga, 1995). 향후 아라온에서 지속적으로 자력데이터를 획득할 경우 다음과 같은 작업이 수행되어야 한다.

1. 자력계 영구설치 - 현재 자력계는 마스트 옆 부분에 알루미늄 봉을 밧줄로 묶어 사용하고 있다. 아무리 단단히 고정이 되어 있더라도 배의 지속적인 움직임이 센서의 위치를 바꾸어 놓으므로 용접을 통한 자력계의 설치로 영구적인 위치고정이 방안이 필요하다.
2. 자력계용 자이로 센서설치 - 자력계의 오리엔테이션을 배의 방향과 일치하게 잡아도 배의 자이로 센서와 자력계간의 위치 편차가 발생한다. 이를 최대한 줄이기 위해 자력계용 자이로 센서를 추가설치하는 방안이다. 현재 일본 JAMSTEC에서 운영하는 STCM센서도 이와 같은 방법으로 센서를 추가설치 하여 데이터를 획득하고 있다. 이 데이터를 처리해본 결과 매우 정확한 값이 산출되는 것으로 확인되었다.
3. 센서 케이블 교체 - 이전년도 과제수행도중 아라온 시험운항 기간동안 센서케이블을 점검해본 결과 피복벗겨짐으로 인해 케이블 내 상당한 부식이 진행된 것을 확인할 수 있었다. 이를 개선하여 보다 깨끗한 신호획득이 필요하다고 사료된다.

극지연구소

Line1



Line2

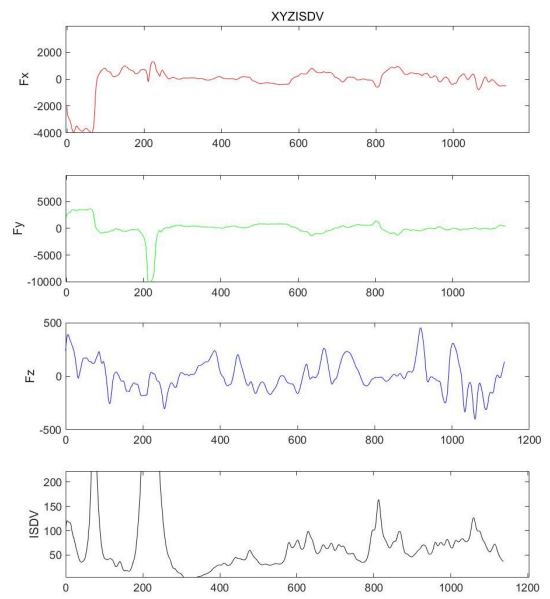
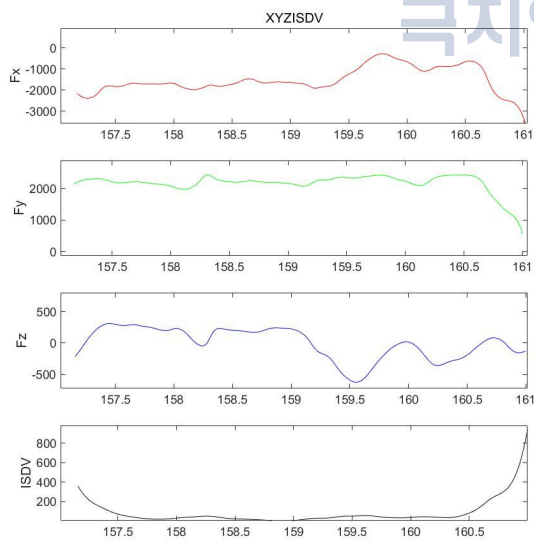


그림 3-11. Line1(좌)과 2(우)의 보정된 데이터에 band pass filter 적용 후

Line3



Line4

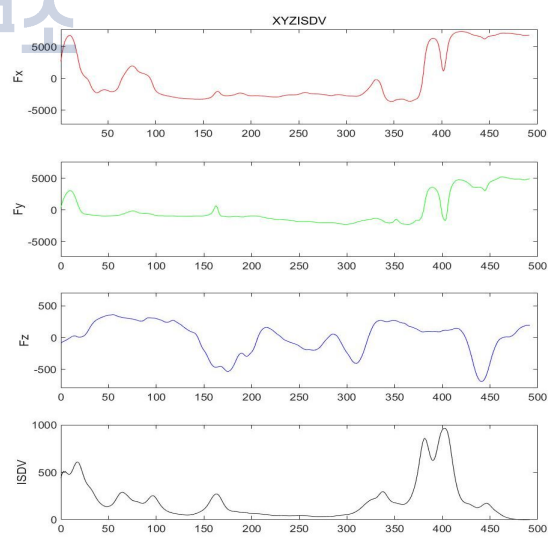
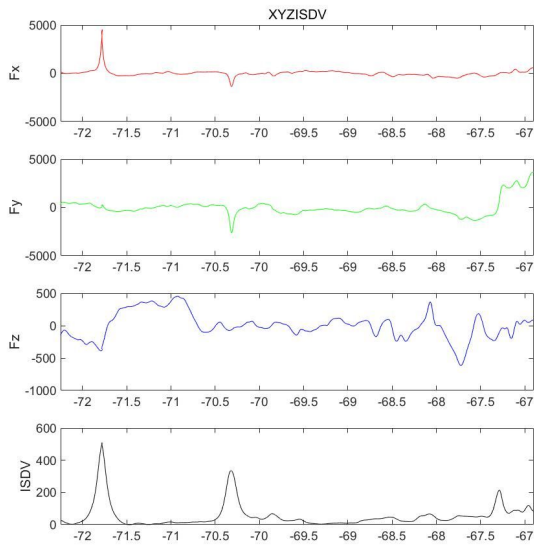


그림 3-12. Line3(좌)과 4(우)의 보정된 데이터에 band pass filter 적용 후

Line5



WDMAM V2 vs STCM

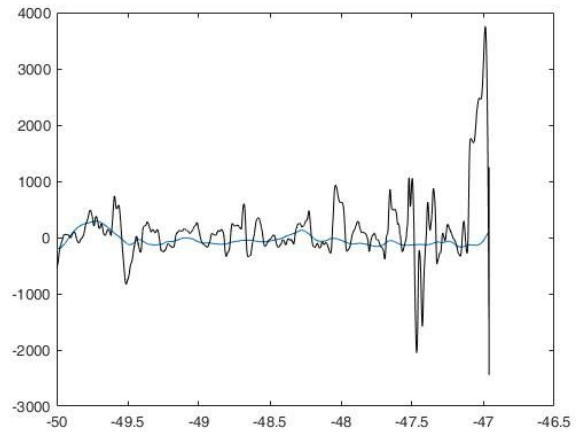


그림 3-13. Line5 의 보정된 데이터에 band pass filter 적용 후(좌), WDMAM V2와 실측 STCM자료 비교

4. 결 론

이번 남극 항해동안 얻은 삼성분 자력데이터는 프로톤 총성분 자력계와 함께 자료를 얻지 못하였다. 따라서 신뢰도 분석을 할 수 없어서 세계 자력이상 그리드(World Digital Magnetic Anomaly Map Version 2, WDMAM V2) (Dyment et al., 2015)를 이용하여 비교분석을 실시하였다 (그림 3-13 (우)). 자력그리드의 자력이상 값이 극지에서 발생하는 일반적인 자력이상보다 amplitude가 매우 낮게 계산되었고, 해상도 또한 매우 떨어져 직접적인 비교는 할 수 없었다. 하지만 자력곡선의 상이 비교적 일치함을 확인할 수 있었지만 신뢰할 수 있을 정도는 아니었다. 앞으로 같은항로를 지나다니는 아라온에 지속적으로 데이터를 획득하여 자료 및 장비의 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다고 사료된다.

제 2절 동해 후포분지 일대 자력탐사

1. 연구개요

동해 후포분지는 한반도 동남쪽에 위치한 해양분지이다. 이 지역은 과거 태평양판의 섭입에 의해 후호분지(Back-arc Basin) 생성과정에서 발달한 곳으로 매우 오랜 시간에 걸쳐 서서히 생성된 곳으로 분지의 규모가 작고 자기 이상대 또한 매우 높게 나타나는 곳이다. 이 분지의 매우 높은 자기이상대가 나타나는 원인은 아직 명확히 규명되지 못했고 또한 분지의 북쪽에서 현재 규모 1-3의 미세지진이 집중적으로 많이 일어나고 있어 한반도 지각구조 연구에 매우 중요한 지역으로 사료된다.

이러한 연구배경을 바탕으로 2015년도 동해 시험운항 기간동안 삼성분 자력계 센서의 위치보정 및 케이블 커넥터 부식고장 해결 후 아래 그림 3-14와 같이 탐사를 진행하였다.

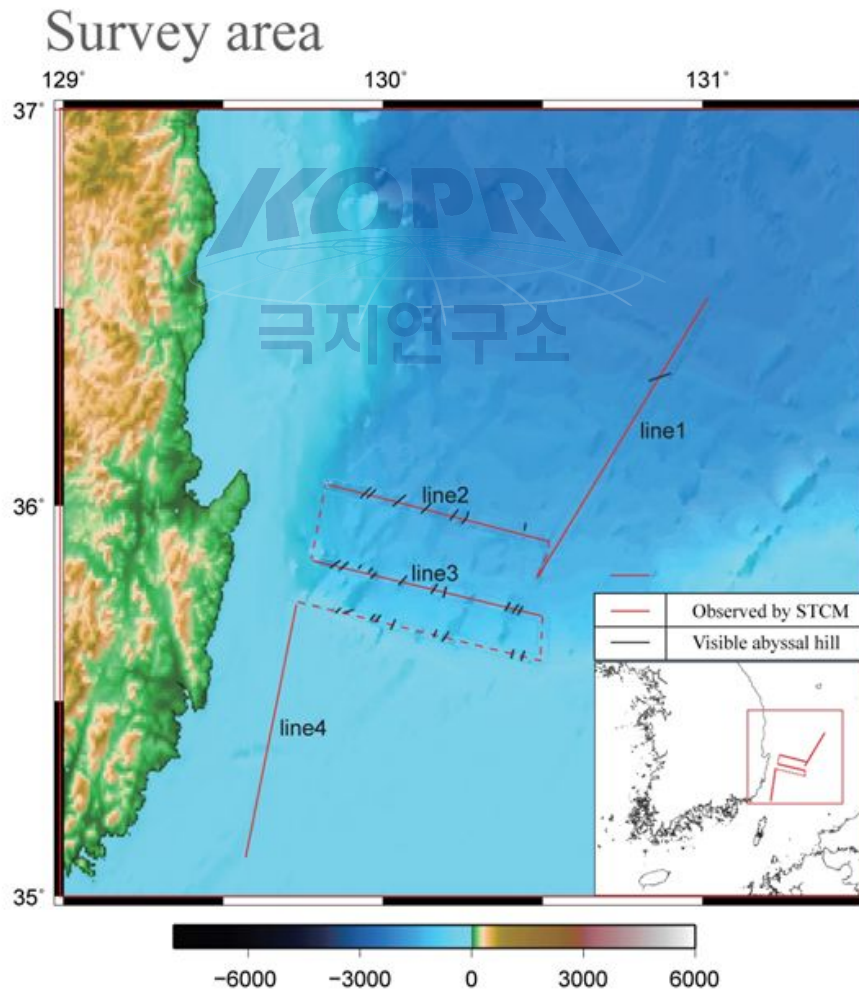


그림 3-14. 2015년 6월 아라온 동해 시험운항기간동안 획득된 데이터. 빨간 선은 자력이 측정된 지역, 빨간 점선은 시험운항 기간동안 소프트웨어 오류로 측정이 되지 않은 지역임

2. 관측데이터 분석결과

탐사 결과 얻은 데이터는 아래 그림 3-15, 3-16, 3-17, 3-18과 같다. 삼성분 자력데이터의 초기데이터와 보정된 데이터 비교해 볼 때 자력곡선이 비교적 잘 수렴하고 있고 보정데이터와 PPM 데이터 간의 비교 또한 잘 맞는 것으로 나타났다. 하지만 despiking function을 사용하지 않고 바로 Earth filter로 데이터를 bandpass시킨 결과 고감도 짧은 파장의 노이즈가 자력 신호로 인식이 되어 필터링 후 결과 값에 큰 영향을 미친 것으로 생각된다.

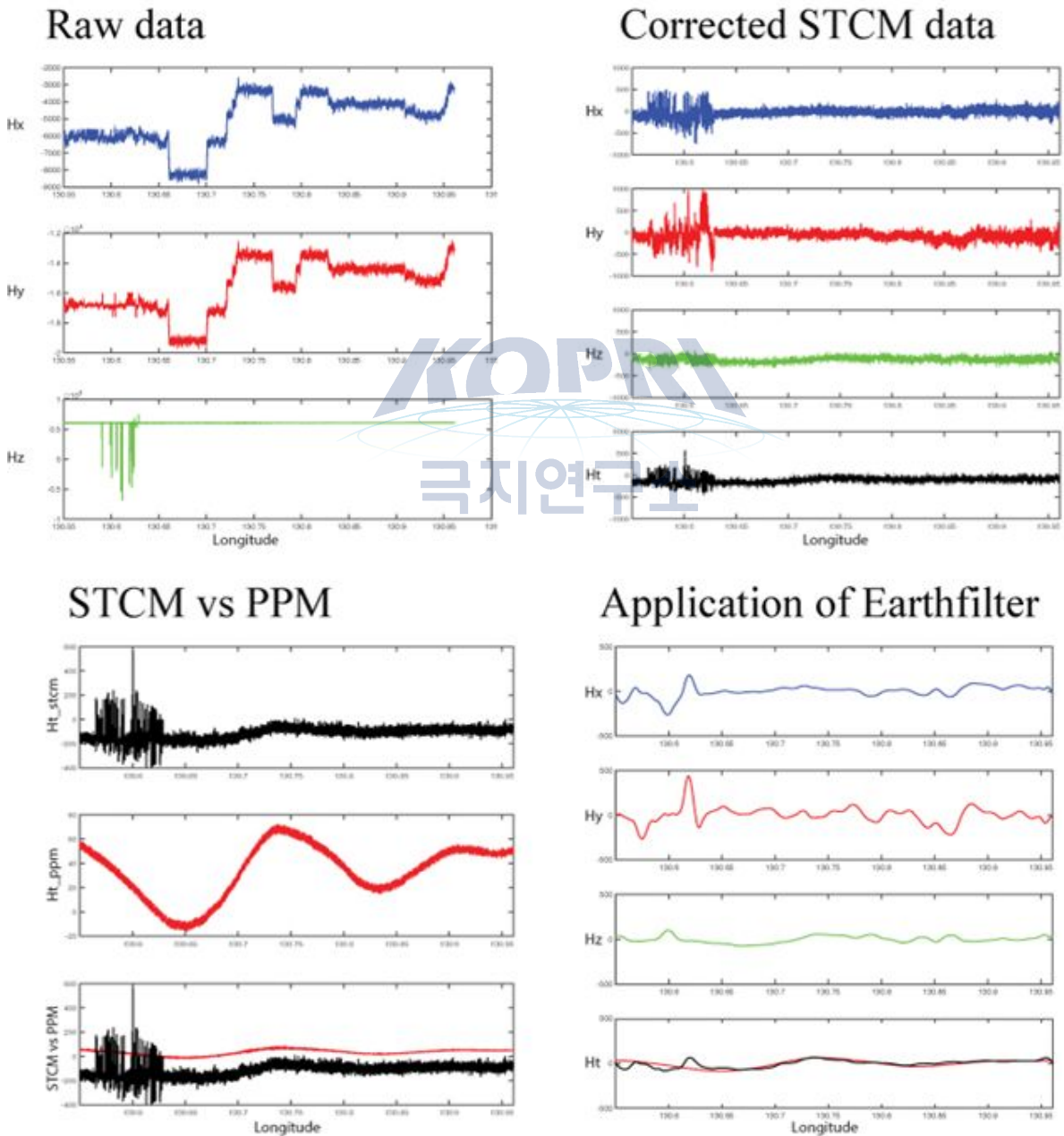
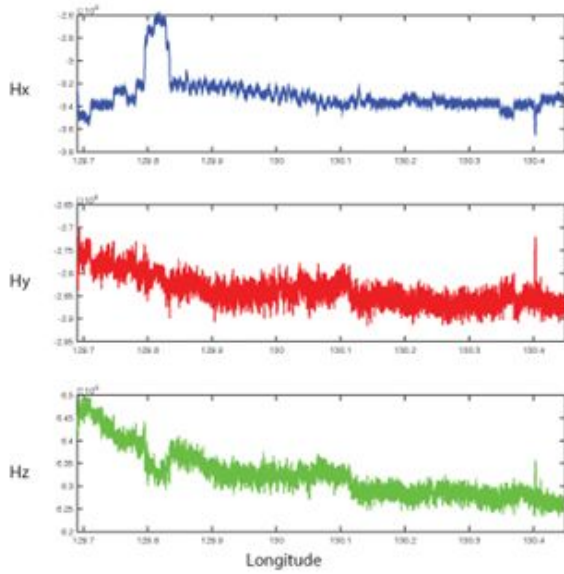
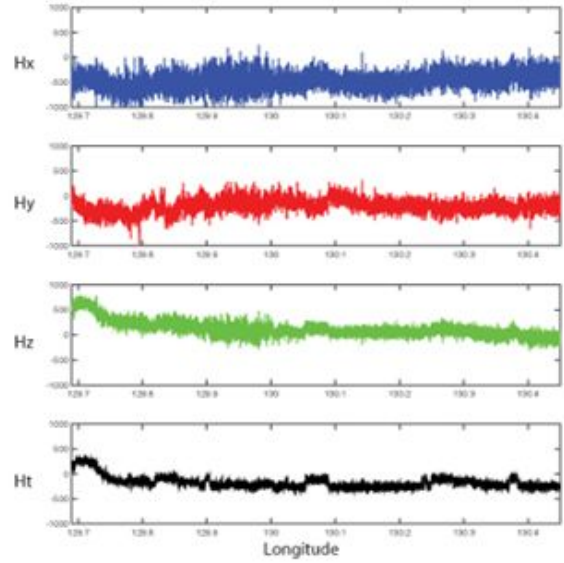


그림 3-15. 후포분지 조사측선 1. 삼성분 자력 데이터와 양성자 자력계가 비교적 잘 일치함

Raw data



Corrected STCM data



STCM vs PPM

Application of Earthfilter

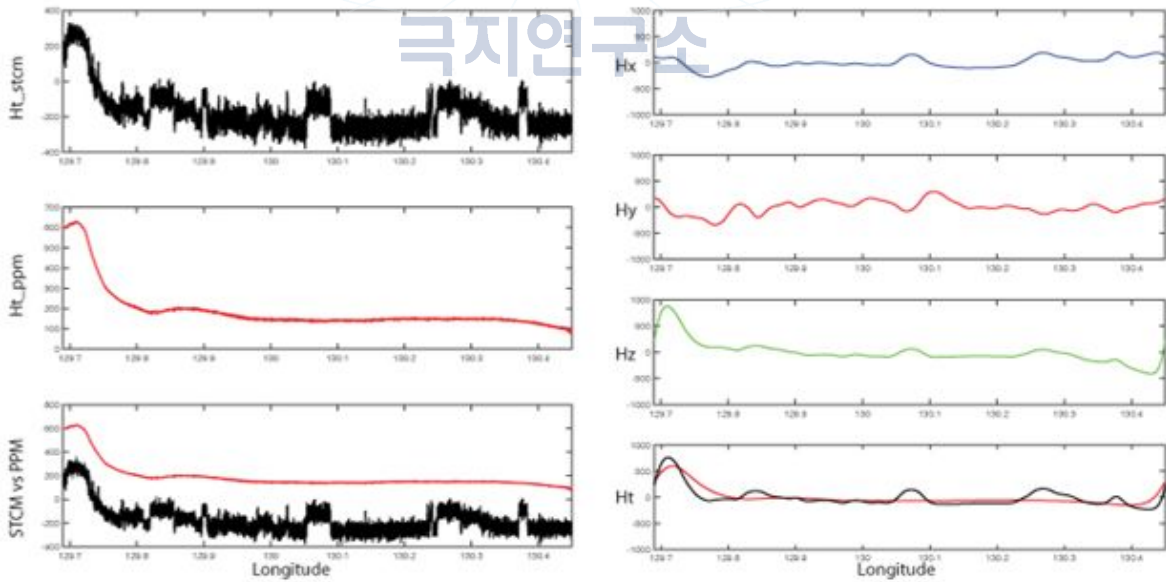
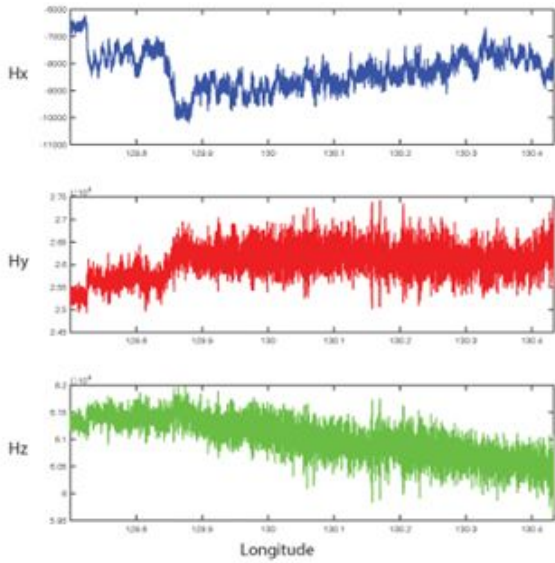
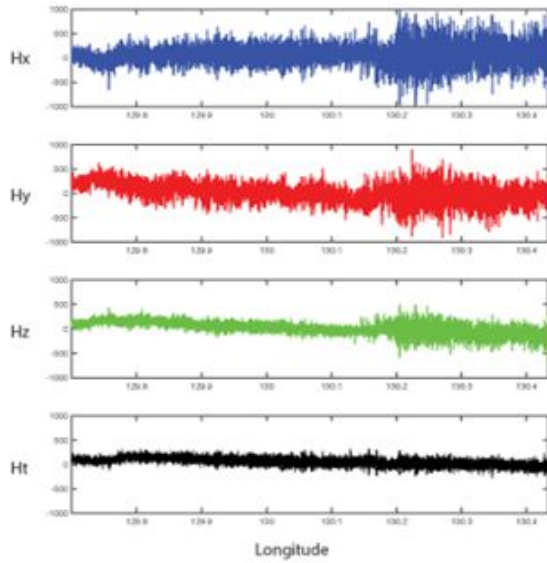


그림 3-16. 후포분지 조사축선 2. 삼성분 자력 데이터와 양성자 자력계가 비교적 잘 일치함

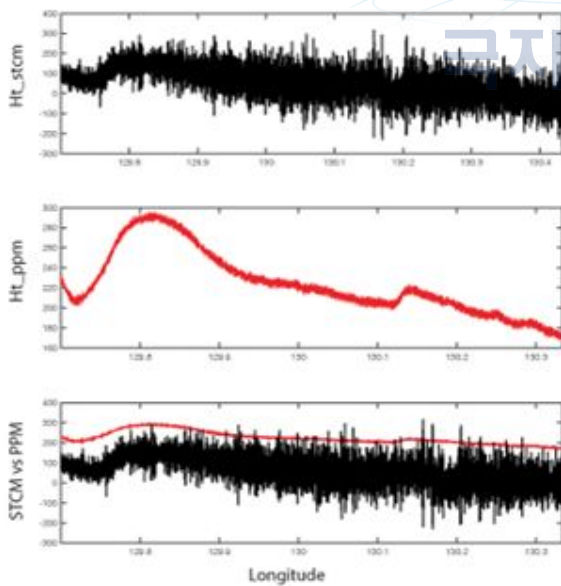
Raw data



Corrected STCM data



STCM vs PPM



Application of Earthfilter

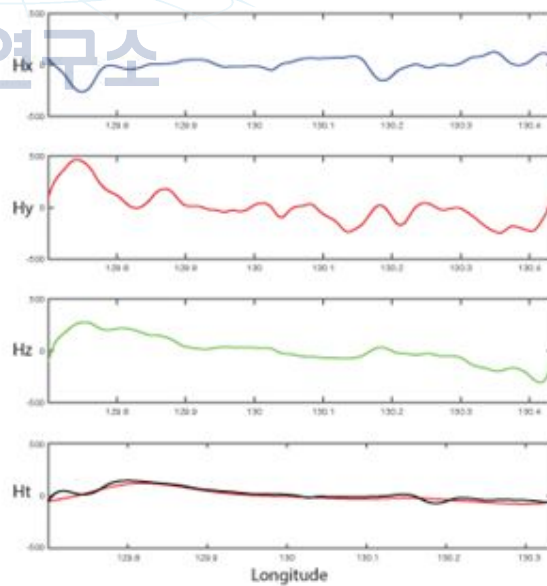
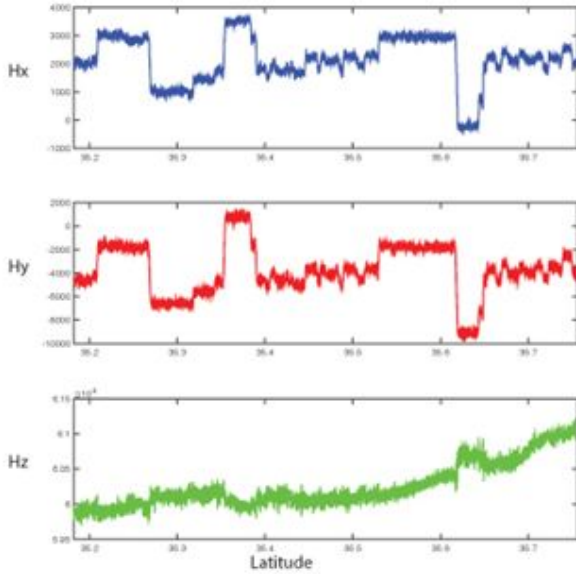
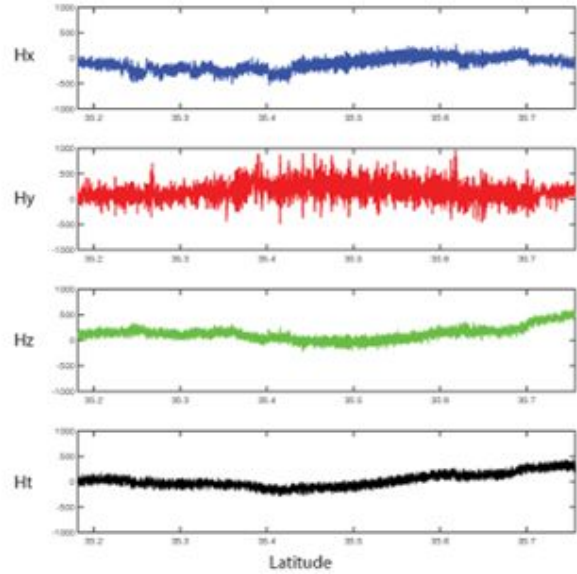


그림 3-17. 후포분지 조사측선 3. 삼성분 자력 데이터와 양성자 자력계가 비교적 잘 일치함

Raw data



Corrected STCM data



STCM vs PPM

Application of Earthfilter

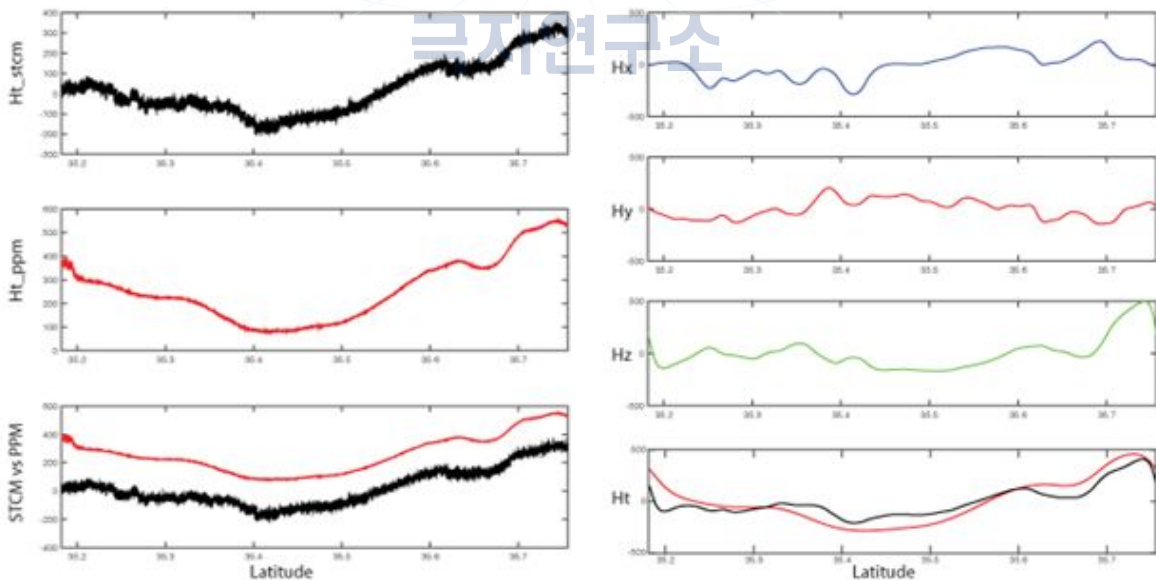


그림 3-18. 후포분지 조사측선 4. 삼성분 자력 데이터와 양성자 자력계가 비교적 잘 일치함

측정데이터 분석결과 지구조 확장을 알 수있을만큼의 지자기 변화는 관측되지 않았다. 그 이유는 크게 두가지 이유로 기인할 수 있다. 첫 번째로는 분지가 매우 느린 확장을 겪어 확장기간 동안 지자기 상쇄현상이 매우 커졌기 때문이다. 두 번째 이유는 대륙지각으

로부터 떨어짐현상 (detachment) 때문이다. 한반도와 일본은 과거 한 대륙이었다고 알려져 있다. 하지만 태평양판의 섭입운동으로 후호분지가 발달하면서 동해가 열 개되었다. 이러한 이유 때문에 다른 해양지각에 비해 지각의 두께가 매우 두껍고 또한 대륙 고지자기의 영향이 매우 크고 간헐적인 확장이 분지 전체에서 이루어졌다고 생각되기 때문에 확장과정 중 해양지자기의 강도가 매우 작게 측정되었을 거라고 사료된다.

후포분지쪽으로 갈수록 총자력 고지자기 이상이 관측되었고 동일한 위치의 삼성분 데이터에서 수직자기 이상 강도가 후포분지 쪽으로 갈수록 점점 증가하는 것으로 관측되었다. H_x 는 N-S방향의 자기이상을, H_y 는 E-W방향의 자기 이상측정을 나타내는데 H_y 의 경우 후포분지 북쪽에서 남쪽으로 갈수록 점점 자기이상이 강해짐을 보였다. 하지만, 지금까지 공개된 후포분지쪽의 데이터는 조사가 많이 이루어지지 않았을 뿐만 아니라 이번 아라온 시험항해 조사측선 간격 또한 매우 넓어 데이터를 해석하기에는 큰 오류를 범할 수 있다. 따라서 이에 대한 해석은 추가조사를 통해 보다 자세히 분석이 필요할 것이다.



제 3절 남극 해양분지발달 삼성분 자기이상모델

1. 삼성분 분지확장모델 개발

기존의 2차원 총자력모델 계산프로그램은 삼성분 자력이상을 구할 수 없기 때문에 Korenaga 1995; Isezaki, 1986; Seama et al., 1993의 문헌자료를 바탕으로 STCM 분석을 위해 분지확장 3성분 자력모델은 모델을 개발하였다.

이번에 만든 분지의 확장방향에 따른 지자기 왜도의 변화를 다음 그림과 같이 나타내었다. 모델은 확장속도 7cm/yr, 분지의 확장 자기주향(magnetic lineation strike)은 그림 3-19부터 그림 3-21까지 북쪽을 기준으로 0, 45, 90도로 변수를 주었다. 측선 방향은 자기주향과 수직이다. 샘플링 비는 0.5km, 확장이 일어난 시기는 26-44 Ma로 전체 확장(full spreading)관한 모델을 만들어보았다.

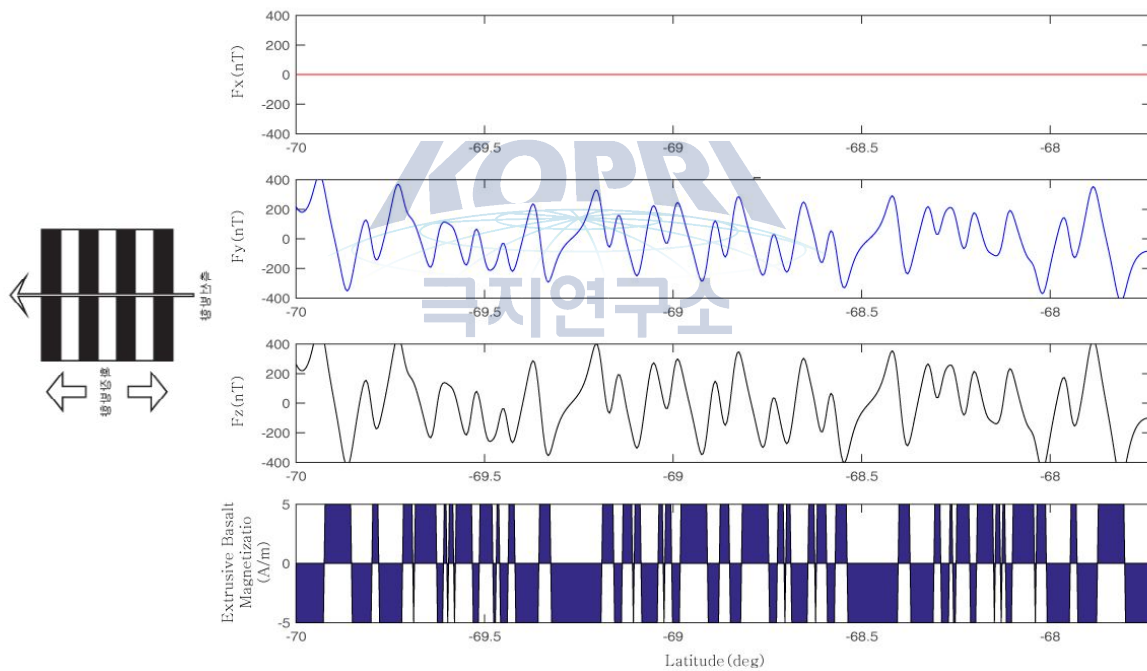


그림 3-19. 삼성분 분지확장모델. 확장속도 7cm/yr, 자기주향(magnetic lineation strike) 0°, 측선 방향 90°, 샘플링 비 0.5km, 확장이 일어난 시기 26-44 Ma

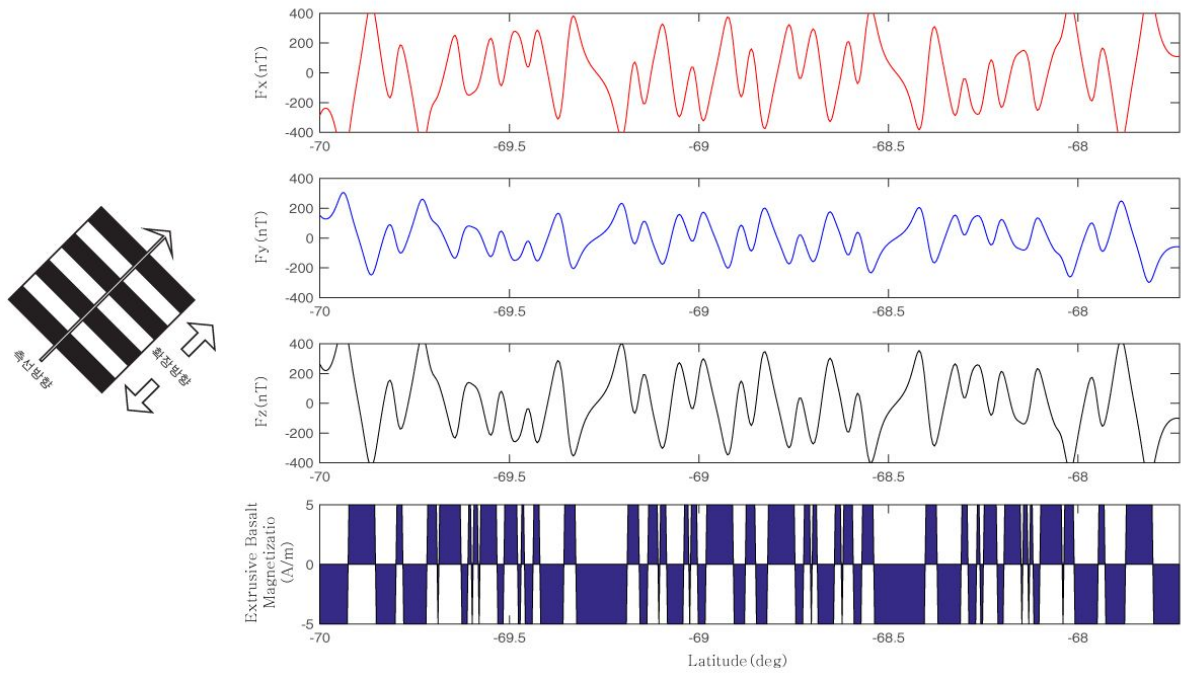


그림 3-20. 삼성분 분지 확장모델. 확장속도 7cm/yr, 자기주향(magnetic lineation strike) 45°, 축선 방향 90°, 샘플링 비 0.5km, 확장이 일어난 시기 26-44 Ma

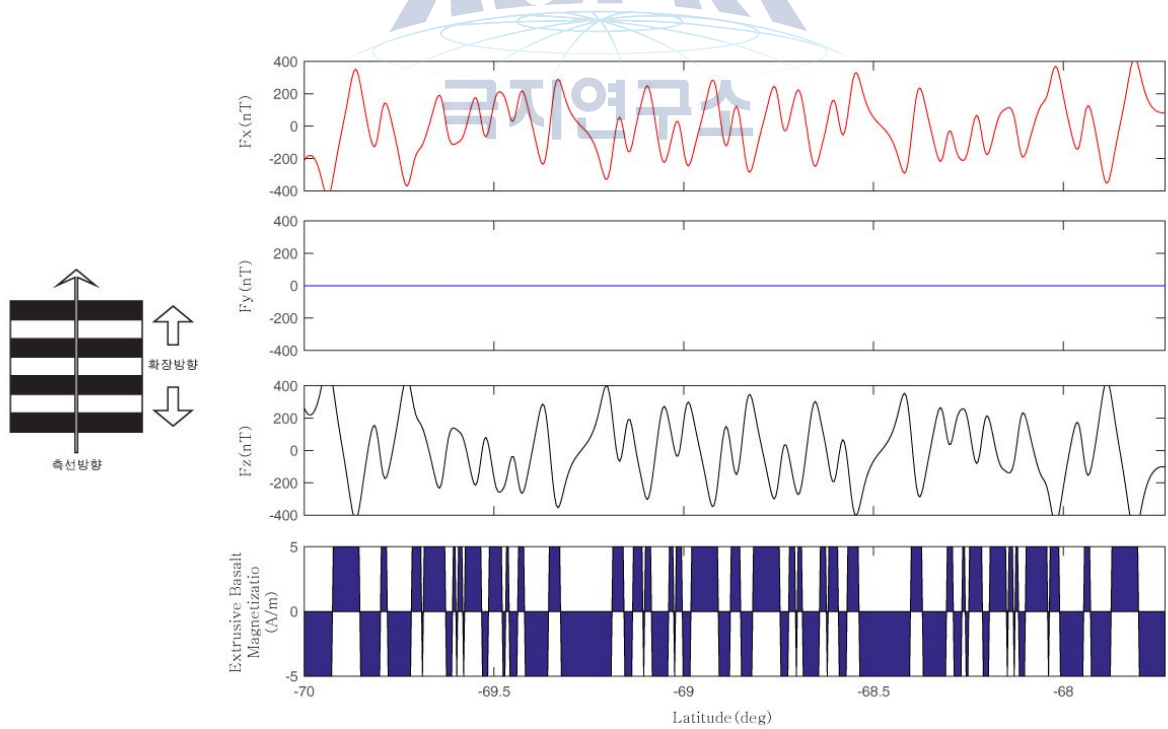


그림 3-21. 삼성분 분지 확장모델. 확장속도 7cm/yr, 자기주향(magnetic lineation strike) 90°, 축선 방향 90°, 샘플링 비 0.5km, 확장이 일어난 시기 26-44 Ma

그림의 모델과 같이 확장방향이 변화함에 따라 x성분과 y성분의 자력이상이 변화함을 볼 수 있다. 하지만 z성분의 경우 변화하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이러한 지자기 왜곡현상을 일반지자기외도normal magnetic skewness라고 한다. 이 모델의 신뢰성은 이미 서필리판분지에서 측정된 STCM자료와 모델자료를 비교함으로써 신뢰성이 확보되어 있는 상태이다.

2. 어테어 해곡 주변 분지 삼성분 자기이상모델 제작

어테어 해곡은 서남극 열개시스템(West Antarctic rift)에 의해 확장이 일어난 해곡 중 하나이다 (Cande and Stock, 2004). 현재까지 조사된 해저지형도 상에 의하면 길이가 350km 폭은 약 28km으로 남극횡단산맥(trans-Antarctic mountain ridge)의 연장선상의 바다에 위치해 있다. 이 열곡구조는 Cande et al.,(2000a) 의 해양지자기탐사 결과 동남극과 서남극 간의 움직임으로 약 44 Ma (chron. 20)에 느린 확장이 진행되다가 26 Ma(chron. 8)에 확장이 멈춘 뒤 갑작스러운 확장으로 생성된 열곡구조이며 현재는 진행이 멈춘 화석화된 열개곡(rift valley)으로 남아있다.

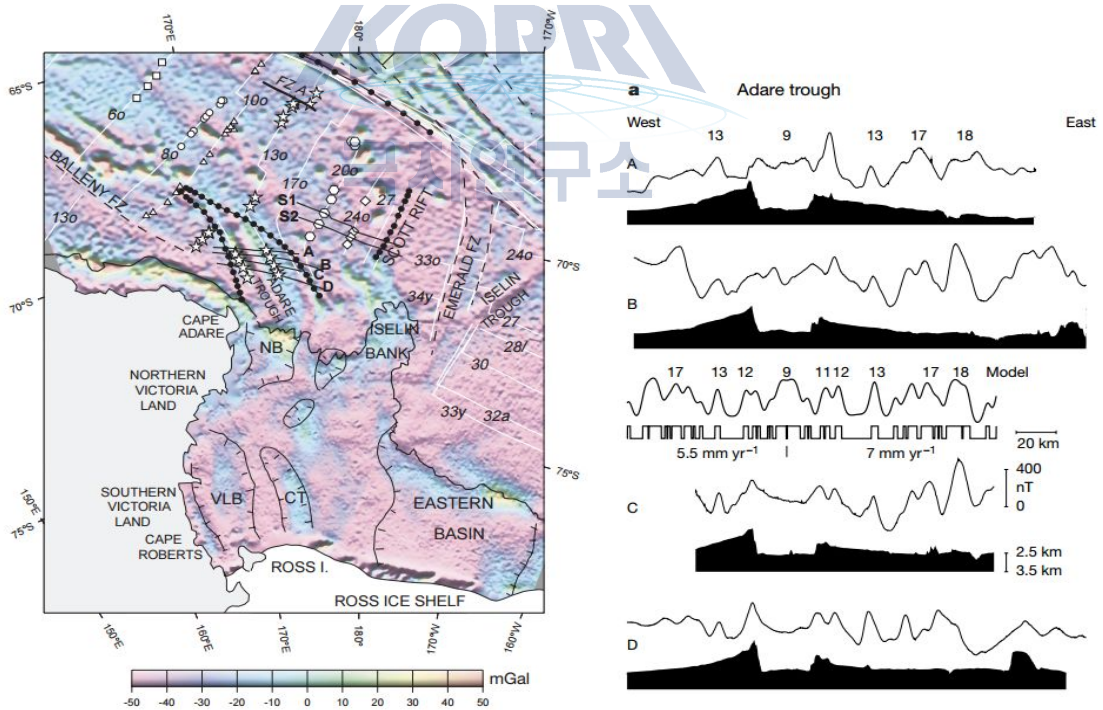


그림 3-22(좌)는 서로스해지역의 구조적 특징을 인공위성 프리에어 중력데이터와 함께 나타내었고, 그림 3-14(우)는 Adare trough의 해저지형과 총자력 이상대를 보여주고 있다. (Cande et al., 2000a)

그림 3-22(좌)는 서로스해지역의 구조적 특징을 인공위성 프리에어 중력데이터와 함께 나타내었고, 그림 3-22(우) A, B, C, D는 왼쪽 그림에서 Adare trough의 해저지

형 수직 단면도(검은색 색칠된 부분)와 해당 지역 동일 축선상의 지자기 이상(magnetic anomaly)을 보여주고 있다. 흰색 선은 동위연대(isochron)를 나타내고 검은 선은 1000m 등고선을 나타낸다. 검은색 점은 지구조적 불연속성을 나타내고 흰색기호(symbol)는 남극 판으로 부터 지자기 동위연대를 나타낸다. 그림 3-22(우)에서 B와 C 사이의 지자기 모델은 확장이 약 44 Ma(지자기연대 20)에 시작되었고 약 28 Ma(지자기연대 9)에 확장이 끝난 것으로 보여주고 있다. 지자기 이상대가 전반적으로 제시된 모델과 비슷하게 나타났으며 Adare 해곡 동쪽은 약 5.5 mm/yr의 속도로 서쪽은 약 7mm/yr로 매우 느린 속도로 서로 다른 차별 확장이 일어나다가 멈춘 것으로 생각된다. 해저지형 수직 단면도를 보면 해곡 주변 지형은 비교적 평평하며 동쪽이 서쪽에 비해서 경사가 더 높고 2.5 km에서 3.5 km의 수심을 나타내고 해곡 내부에서는 약 3 km의 수심을 나타내고 있다.

이와 같은 조건을 바탕으로 삼성분 분지확장 자력모델을 만들었다. 속도는 7 cm/yr, 분지의 확장 방향은 북쪽을 기준으로 시계방향으로 70도, 샘플링 비는 0.5km, 확장이 일어난 시기는 26-44 Ma로 하였다. 어테어 해곡에서 일어난 확장은 전체적으로 x축의 지자기 이상 변화량이 미미할 것으로 판단된다. 하지만 모델 제작 후 이를 비교할 수 있는 삼성분 자력이상 데이터가 없어서 실측 데이터와의 일치여부를 확인을 할 수 없었다.

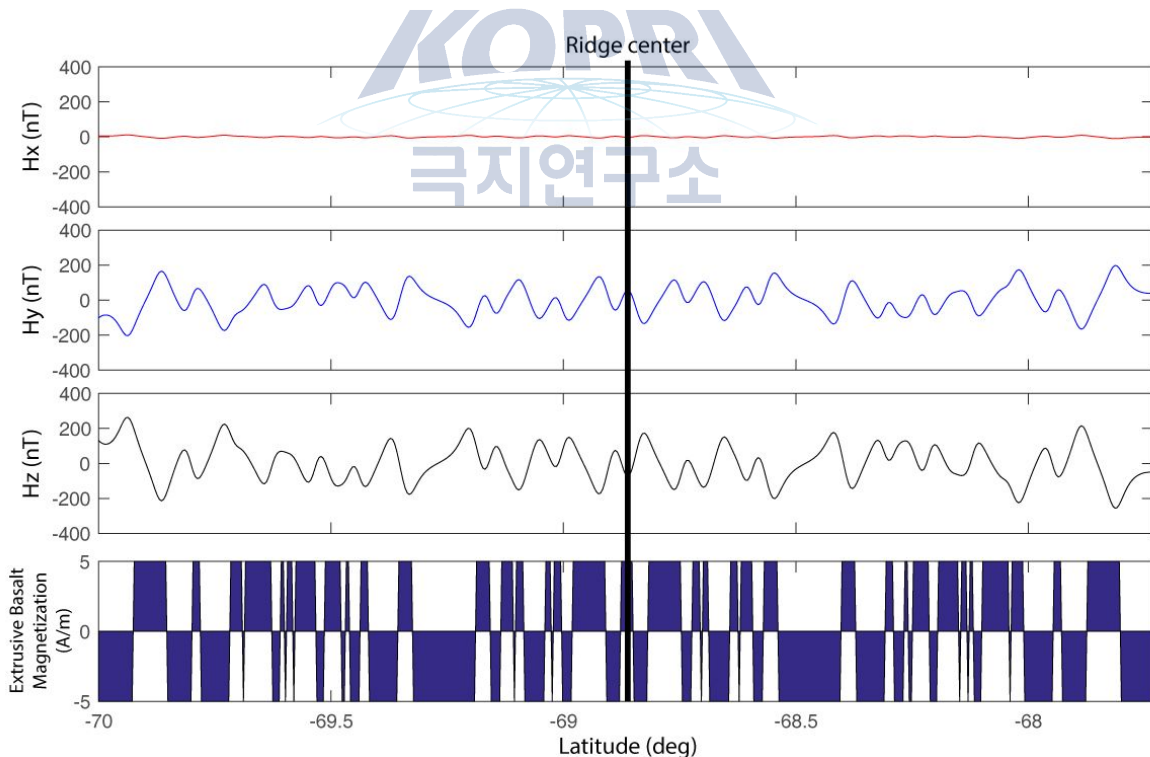


그림 3-20. 어테어 해곡확장구조를 바탕으로 한 분지확장 삼성분 자력모델

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여성과

제 1 절 연구개발 목표 달성도

제 2 절 대외기여성과



제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여성과

제 1절 연구개발목표 달성도

1. 2차년도 연구개발 목표

2차년도에 제출된 제안서의 연구개발목표와 내용 및 범위는 다음과 같다.

해당연도 연구개발 목표	남극주변 해양분지 자력데이터 자료해석 및 해양분지확장 모델 제작
-----------------	-------------------------------------

세부 연구개발 목표	세부 연구개발 내용
탐사자료 분석 및 해석	1차년도 삼성분 자력계 보정자료를 적용하여 남극해 주변 지자기 분석 및 해석
지구동역학 모델 제작 및 해석	탐사자료를 바탕으로 해양분지확장 동역학 모델제작 및 해석

연구개발내용 및 범위 상세기술
<p>현재 설치되어 있는 STCM에서 소프트웨어적으로 감당할 수 없는 하드웨어적으로 생성되는 노이즈를 최대한 보정하여 앞으로 항해 시 양질의 데이터를 획득할 수 있도록 한다. 또한 1차년도 과제로 계산한 아라운 호의 고유자성계수를 이용하여 2015년 1월과 2월 아라운 호의 남극 항해 시 얻은 자료를 처리하고 해석 한 뒤 이와 관련된 지자기 변화에 따른 해양분지확장 모델을 제시하여 극지 해양 분지해석에 대한 우리나라의 과학적 저변을 확대하고 자력탐사와 자료처리 방법 전수를 통해 대학원생 및 학부 학생들의 극지연구에 대한 호기심을 고취시키고 체계적인 인력양성을 도모하고자 한다.</p>

2. 2차년도 연구개발 달성도

2차년도 연구개발 달성도와 내용은 다음과 같다.

- 전년도 아라운에 설치되어 있는 삼성분 자력센서로 얻어진 고유자성을 바탕으로 2015년 1-2월 남극 주변 해령 해양자력탐사 데이터 처리
- 삼성분 자력모델 개발

○ 아라온 동해 시험운항기간 동안 동해 후포분지일대 조사데이터 획득 및 처리

○ 삼성분 자력데이터 자료처리 라이브러리 구축

가. 삼성분 자력계(Shipboard Three-Component Magnetometer)로 얻어진 데이터는 여러 가지 변수로 인해 데이터처리가 매우 복잡하고 까다로워 2011년 아라온에 설치된 후 단 한 번도 쓰이지 않았음. 또한 데이터 처리 프로그램이 인터넷 상에 공개되어 있지 않아 앞으로 장기적인 전망을 볼 때 관련 라이브러리의 구축이 필요하다는 결론에 도달하여 데이터 자르기, 필터링, 내삽, 회전변환, 지구필터, 1-D 자력모델 등 자체 라이브러리를 일부 구축해 놓았다.

나. 전년도를 포함하여 당해연도 구축한 라이브러리 함수 및 파일 내용을 아래와 같이 정리하였다

1. 2015년도 까지 구축한 MATLAB 라이브러리

- ① magfilter(mag, dx, upward, downward, amp, phase) : Shouten and Mccamy (1972)로부터 만들어진 earth filter함수
mag - 자력데이터 배열(A/m)
dx - 데이터 사이의 거리(km)
upward - upward continuation(km)
downward - downward continuation(km)
amp - amplitude 요소 통상적으로 $(\sin I_p / \sin I_s)$ (무차원상수)
phase - 과형의 상변화 (skew)효과를 줄 때 적용(deg)
- ② data_crop(xyz,lat1,lat2,lon1,lon2) : 입력 좌표 내의 좌표 및 자력데이터 추출함수
xyz - 경도, 위도, 자력데이터 배열 (N x 3)
lat1 - 입력좌표의 최소위도
lat2 - 입력좌표의 최대위도
lon1 - 입력좌표의 최소경도
lon2 - 입력좌표의 최대경도
- ③ data_eraze(xyz,lat1,lat2,lon1,lon2) : 입력 내의 좌표 및 자력데이터 제거함수
- ④ rot_r(roll) : 3x3 roll 회전변환행렬함수
- ⑤ rot_p(pitch) : 3x3 pitch 회전변환행렬함수
- ⑥ rot_y(yaw) : 3x3 yaw 회전변환행렬함수
- ⑦ rotation(roll,pitch,yaw): 3x3 roll, pitch, yaw 회전변환행렬함수
- ⑧ dataread.m : raw data 내 모든 데이터를 읽는 파일
- ⑨ data_crop.m : 입력좌표 내의 데이터를 추출하는 파일
- ⑩ data_recrop.m : 입력값 내 순서만 추출하는 파일 - 8자틴 자료추출에 사용
- ⑪ data_correction.m : 8자틴으로부터 고유자성 및 유도모멘트 계산
- ⑫ data_combine.m : 8자틴이 여러 번일 경우 데이터를 합쳐서 계산

- ⑬ mfield_cals.m : 계산된 상수를 이용하여 8자틴 자료를 재계산
- ⑭ syn2d(m2d, h, lat, lon, yr, zobs, thick, slin, dx) : M. Tivey에 의해 만들어진
총자력데이터 1-D 모델링 함수
- m2d - magprf로부터 만들어진 1-d 자화모델
 - h - m2d와 같은 배열의 깊이모델(km)
 - lat - 측정위치의 위도(ddd.ddd)
 - lon - 측정위치의 경도(ddd.ddd)
 - zobs - 해수면으로부터 측정위치의 높이(km)
 - thick - m2d모델의 두께(km)
 - slin - m2d 모델의 자기주향(magnetic strike, deg)
 - dx - 데이터 사이의 거리(km)
- ⑮ magprf(v,start,stop,dx,amp) : M. Tivey에 의해 만들어진 총자력데이터 1-D
magnetic profile 함수
- v - 분지의 확장속도(단위 : cm/Ma)
 - start - 확장이 끝난 지질연도(Ma)
 - stop - 확장이 시작된 지질연도(Ma)
 - dx - 데이터 사이의 거리(km)
 - amp - 자화강도(A/m)
- ⑯ igrfcals : julian day와 좌표값에 맞게 igrf값의 x, y, z 그리고 total 성분을 계
산하는 함수
- ⑰ stcm_read.f90 : raw파일을 읽고 자력값의 단위를 μ T에서 nT로, 좌표의 단위를
ddmm.mmm에서 dd.ddd형태로 바뀌어서 dataread.m의 형식에 맞게 바꾸는 코드
2. 2015년도 까지 구축한 MATLAB 라이브러리
- ⑰ anmd2rel(inputmatrix, output) : 기존에 구축한 STCM 코드를 바탕으로 ISDV
계산 및 despiking, 일반적인 해양분지 깊이에서의 자동 bandpass filtering을 하
게끔 만들어 놓은 종합 프로그램
- ⑰ vec2d(magprf, start, stop, dx, amp, year, latitude, slin, inc, thickness, depth)
- magprf - magprf.m함수로 만들어진 프로파일 input array (A/m)
 - start - spreading start (Ma)
 - stop - spreading end (Ma)
 - dx - sampling distance (km)
 - year - 측정년도
 - latitude - 측정위도
 - slin - 확장 방위각(자력경계 주향의 방향)
 - inc - 북각
 - thickness - 해양지각의 두께
 - depth - seafloor의 깊이

제 2절 대외기여성과

1. 학회 참가

이 과제외 2차년도 연구개발 정량적 성과목표로 학회발표를 2건으로 하였다. 아래 표와 같이 저명한 미국 지구물리학회인 2015 AGU Fall meeting에서 포스터 발표 1건, 2016 EGU에서 2건, 2015 추계 지질공동연합학술대회 구두발표 1건, 2015 추계 지질공학연합학술대회 포스터발표 1건을 진행하여 총 학회 포스터발표 4건, 구두발표 1건의 성과를 거두었다.

날짜	발표 제목	저자	학회	국내/국외
2016. 4. 25	Analysis of Marine Magnetic Field Anomaly Profiles of the West Philippine Basin to Infer Its Style of Opening	Hanjin Choe, Sang-Mook Lee	EGU 2016	국외
2016. 4. 25	Analysis of Marine Gravity Anomalies in the Ulleung Basin (East Sea/Sea of Japan) and Its Implications for the Architecture of Rift-Dominated Backarc Basin	Sang-Mook Lee, Yoon-Mi Kim	EGU 2016	국외
2015. 10. 29	Comparative Analysis of Marine Magnetic Survey Data using Shipboard Three-Component Magnetometer, and Towed Proton Precession Magnetometer in the Hupo Basin	최한진, 최학겸, 김영균, 홍종국, 이상묵	추계 지구물리 지질공학 연합 학술대회	국내
2015. 12. 15	Porosity estimates of the upper crust in the Endeavour segment of the Juan de Fuca Ridge	Eunyoung Kim, Douglas R Toomey, Emilie E E Hooft, William S D Wilcock, Robert T Weekly, Sang-Mook Lee and Younghee Kim	AGU Fall Meeting 2015	국외
2015. 10. 28	Analysis of Marine Magnetic Field Anomaly Profiles in the West Philippine Basin during the Eocene	최한진, 이상묵	2015 추계 지질공동연합 학술대회	국내

표 1. 2차년도 극지연구소 과제외로 진행된 발표

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구결과의 활용방안

제 2 절 기대성과 및 파급효과(타연구에 응용)

제 3 절 추가연구의 필요성

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1절 연구결과의 활용방안

- 삼성분 자력계는 정해진 항로를 최대한으로 활용함으로써 선박활용을 극대화시킬 수 있다.
- 삼성분 자력계를 활용해 남극과 북극해 주변 분지에서 양질의 자료획득 및 분석할 수 있어 지구조 분지변화의 이해로 해당지역의 상대적 판 운동 시스템에 대하여 보다 정확한 해석에 활용한다.
 - 삼성분 자력 데이터는 자력의 강도 뿐만 아니라 N-S 자기벡터, E-W 자기벡터, 그리고 수직자기벡터 성분을 측정할 수 있는 매우 정밀한 탐사법으로 적도부근과 같은 매우 약한 지자기 이상대가 존재하는 곳의 조사가 매우 용이하고 fracture zone이나 fault zone, 그리고 abyssal hill, 그리고 단일 축선으로 해양분지의 확장방향을 탐지하는 등 다양한 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 이러한 정보를 multibeam bathymetry data와 같이 이용할 경우 남극판과 태평양판 간의 지구조적 진화에 대한 연구에 대한 우리의 위상을 높이는 동시에 우리나라의 학문의 세계화에 큰 기여를 하게 될 것이다.

제 2절 기대성과 및 파급효과(타연구에 응용)

- 삼성분 자력계 자력센서를 보정하고 삼성분 해양자력탐사 기술을 개발 및 확보하여 앞으로 아라온으로 해양조사가 이루어질 경우 보다 효율적 운영에 기여할 수 있다.
 - 지속적인 장비의 유지보수 및 자동화 시스템 개발 및 구축으로 선박 운용 시 고효율 저비용의 탐사 시스템 이용으로 선박의 연구 활용도가 매우 높아질 것으로 사료된다.
- 해양자력데이터를 이용하여 다른 지구물리 탐사자료와 함께 종합분석 함으로써 분지발달 해석의 신뢰도 향상시키고 학부학생과 대학원생들을 같이 참여시켜서 젊은 인력양성 및 남극과학의 저변을 확대시킬 수 있다.
- 국제 과학 커뮤니티가 관심을 갖고 있는 지역과 현안에 대한 연구를 통해 우리나라의 학문적 위상 제고한다.

- 향후 이 고해상도의 자력센서를 이용한 지속적인 탐사기법 개발로 해양자원개발 및 유물탐사, 군사적 해저 물체 탐지 등 여러 분야에 다양하게 활용될 수 있다.

제 3절 추가연구의 필요성

- 지금까지 매트랩(matlab) 프로그램을 이용하여 아라운에서 획득한 삼성분 자력데이터를 처리할 수 있는 라이브러리를 일부 구축하였다. 하지만 현재 중기단계이므로 지속적인 코드 업데이트 및 추가적인 라이브러리 구축이 필요한 상태이다.
- 지속적인 관찰 결과 Otronix사의 Aquamag 프로그램에 오류가 있는 것으로 판단된다. 관련 오류는 데이터 기록이 끊기는 현상으로 같은 값의 데이터가 두 번 수신 될 경우 데이터기록이 되지 않고 또한 일정기간 데이터 기록되는 과정에서 일정 시간이 지나면 갑작스럽게 데이터 수신이 되지 않는 현상이 발생하였다. 항해시 실시간 자동관측 시스템 구축을 위해서는 새 프로그램을 만들거나 현재 사용되는 상용프로그램을 개선시켜 추가적인 데이터 획득테스트를 해볼 필요성이 있다.
- 본 과제에서의 추가적인 문제점(영구설치방안, 자이로센서의 추가설치, 소프트웨어 개선 등)에 대하여 개선시켜 나간다면 남북극 항해 중 지속적으로 양질의 데이터를 얻는데 활용될 수 있을 것이다.

제 6 장 참 고 문 헌



제 6 장 참고문헌

김창환, 박찬홍, 2011, ROV를 이용한 심해 삼성분자력탐사 방법연구:지구물리와 물리탐사, vol. 14, no. 4, pp. 298-304

Cande S. C., Kent D. V., 1976, Constraints Imposed by the Shape of Marine Magnetic Anomalies on the Magnetic Source, Jour. of Geophys. Res., vol. 81, no. 23, pp. 4157-4162

Cande S.C., Stock J. M., Müller R. D., Ishihara T., 2000, Cenozoic motion between East and West Antarctica: Nature, vol. 404, pp. 145-150

Cande S. C., Stock J. M., 2004, The Cenozoic Southern Ocean: Tectonics, Sedimentation, and Climate Change between Australia and Antarctica, Geophysical Monograph Series, vol. 151, American Geophysical Union, Washington, D.C. (2004), pp. 5 - 17

Dilek Y., Furnes H., 2014, Ophiolites and Their Origins, Elements, v. 10 no. 2 p. 93-100

Nogi Y., Kaminuma K., 1999, Measurements of vector magnetic anomalies on board the icebreaker Shirase and the magnetization of the ship, Annali di Geofisica, vol. 42, pp. 161-170

Isezaki N., 1986, A new shipboard three-component magnetometer: Geophysics, vol.51, pp.1992-1998

Lee S., Kim S., 2004, Vector magnetic analysis within the southern Ayu Trough, equatorial western Pacific: Geophysical Journal International, vol. 156, no. 2, pp. 213-221

Schouten H., McCamy, K., 1972, Filtering Marine Magnetic Anomalies, Journal of Geophysical Research, vol. 77, no. 35, pp. 7089-7099

Seama N., Nogi Y., Isezaki N., 1993, A new method for precise determination of the position and strike of magnetic boundaries using vector data of the geomagnetic anomaly field, Geophysical Journal International, vol. 113, pp. 155-164