

남극 제2기지 전면해역에 대한 지형, 물리해양 기초조사 보고서

2011. 5.

주관연구기관 / 한국해양연구원

국 토 해 양 부
한국해양과학기술진흥원

제 출 문

국토해양부 장관 귀하

이 보고서를 "남극 제2기지 건설사업"과제 (세부과제 "남극 제2기지 전면해역에 대한 지형, 물리해양 기초조사")의 보고서로 제출합니다.

2011. 5.

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 소 재귀

연구원 : 구 본화

김 선정

김 용권

김 윤철

김 한나

백 원대

과제고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간	2010. 8. 1 - 2011. 5. 31	단 계 구 분	1단계/ 1단계
연구사업명	중 사업명	남극 제2기지 건설사업			
	세부사업명	남극 제2기지 전면해역에 대한 지형, 물리해양 기초조사			
연구과제명	대 과제명				
	세부과제명				
연구책임자	소 재 귀	해당단계 참 여 연구원 수	총 : 7명 내부 : 5명 외부 : 2명	해당단계 연구비	정부 : 155,000천원 기업 : 천원 계 : 155,000천원
		총 연구기간 참 여 연구원 수	총 : 7명 내부 : 5명 외부 : 2명	총 연구비	정부 : 155,000천원 기업 : 천원 계 : 155,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국해양연구원 기후·연안재해연구부		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :			상대국연구기관명 :	
위 탁 연 구	연구기관명 :			연구책임자 :	
요약				보고서면수	
<p>2011년 2월 3일부터 14일까지 약 11일 동안 남극 제2기지(장보고과학기지) 예정지 전면해역에서 정밀 수심조사 및 조위, 층별 유속, 파랑 등에 대한 조사를 실시하였으며 측심자료를 이용하여 수심도를 작성하였다. 1개 지점에서 수압식조위관측기 Aanderaa WLR7을 이용한 조위관측을 실시하여 조화상수를 산출하였으며, 1개 지점에서 Aanderaa RDCP600을 이용하여 층별(1m 두께 22개 층) 유속을 관측하였고 파랑센서를 이용하여 유의파고, 주기 등을 산출하였다.</p>					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	남극, 테라노바베이, 제2기지, 장보고과학기지, 수심, 조위, 유속			
	영 어	Antarctic, Tera Nova Bay, Jangbogo Scientific Station, Bathymetry, Tide, Currents			

요 약 문

I. 제 목

남극 제2기지 전면해역에 대한 지형, 물리해양 기초조사

II. 연구개발의 필요성 및 목적

남극 제2기지 건설사업 1차년도 조사에서 남극 제2기지 후보지를 검토한 결과 남극 로스 해 연안 북빅토리아랜드 테라노바 만의 해안 지역에 기지 건설지를 선정하였다. 제2기지 건설을 위한 조사 및 시공을 위해서는 아라온호가 해안 가까이 접근하여 이를 지원해야 할 필요가 있으며 향후 기지 완공 후에도 선박운항의 안전을 위해서는 주변 해역의 지형, 물리해양 특성 등에 대한 정밀자료가 확보되어야 한다.

본 연구는 남극 제2기지 예정지(장보고과학기지) 전면 해역에 대한 정밀 수심, 조위 변동 및 유속 변동 등의 실측자료를 확보하고 당 해역의 해수유동 특성을 파악하여 향후 추진될 남극 제2기지 건설사업 및 주변해역 해양환경 연구에 대한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

연구의 필요성을 충족시키기 위해서 제2기지 예정지 전면 3km × 4km 해역에 대한 정밀수심 조사를 실시하였으며 2011년 2월 3일 ~ 14일 까지 11일간 1개 정점 조위 변동 및 1개 정점 유속변동, 파랑특성에 대한 조사를 실시하였다.

IV. 연구개발 결과

남극 제2기지 전면해역에 대한 조사를 통하여 수심 분포를 비롯한 해저지형 특성을 파악하였으며, 조위 변동, 유속 변동, 파랑특성 등 개략적인 해수유동 특성을 파악하였다. 구체적인 연구 결과로는 측심 자료를 바탕으로 제2기지 예정지 전면해역 수심도를 작성하였으며 조위변동 자료를 분석하여 측심자료에 대한 조석보정에 사용함은 물론 조화분석을 통해 조화상수의 형태로 제시하였다. 유속관측을 통하여 층별 유속특성과 유의파고, 유의파 주기 등 파랑특성을 파악하였다.

V. 연구개발결과의 활용계획

조사 기간 중 측심자료를 바탕으로 수심도를 작성하였으며 이 자료를 이용하여 아라온호가 제2기지 예정지 해안 200m까지 접근할 수 있었다. 측심 자료를 바탕으로 작성된 수심도는 남극 제2기지 주변해역에서 선박의 안전운항을 위한 자료로 활용될 것이다. 또한 조위변동 자료의 경우 수심자료에 대한 조석 보정에 사용함은 물론 유속변

동, 파랑특성 자료와 함께 부두, 취/배수 설비 등 주요 시설물 배치 설계를 위한 기초 자료로 제공할 예정이다. 또한 조사된 자료는 향후 제2기지 주변해역에서 실시될 해양 환경 조사에서도 주요 자료로 활용될 수 있을 것이다.

SUMMARY

I. Title

A Bathymetric and Preliminary Oceanographic Survey on the Coastal Area in the vicinity of the Jangbogo Scientific Station in the Antarctic.

II. Necessity and objective of the study

As a result of the first year survey carried out as a part of the second Korea Antarctic Station Construction Project, the seashore area of the North Victoria Land which fronts the Tera Nova Bay of the Ross Sea was proposed as the most suitable place for the station. Detailed bathymetric and hydrographic information on the coastal area of the proposed place is required in order that R/V Araon and other vessels can approach safely to the coast for preliminary survey, material supply during the construction and logistics for the station in the future.

This study aims to secure the detailed bathymetry and the hydrographic data such as tide and currents by a short-term observation around the coastal area in the vicinity of the Jangbogo station and to provide these basic data for the second Korea Antarctic Station Construction Project and future studies on coastal ocean environment.

III. Contents and scope of the study

To meet the study purpose, the coastal area of 3km × 4km around the Jangbogo station was scrutinized by the single-beam and multi-beam echo-sounders for the detailed bathymetry. And one tide gauge and one current profiler equipped with a wave sensor were moored close to the quay location and outfall location planned respectively from February 3rd to 14th in 2011.

IV. Results of the study

Bottom topography and hydrography such as tide, currents and wave characteristics of the coastal area around the Jangbogo Station were studied. A bathymetric chart was made using the single-beam and multi-beam sounding data. Sea level variation of the sounding data was corrected using the observed tide

data. Major tidal constants were computed from tidal harmonic analysis for the tide data at one point. Current observation produced temporal changes of current profiles and wave characteristics such as significant wave height and wave period at one point.

V. Application plans of the study results

R/V Araon has approached very close to the coast guided by the bathymetric chart made tentatively using the single-beam sounding data during the survey and multi-beam data sounded by R/V Araon was put together reversely to make the whole chart. The final bathymetric chart will be very useful to navigational safety of vessels around the Jangbogo Station.

Tide data was used for the sea level variation correction of depth sounding data. The observed data including tide, currents and wave were used as a primary data for the arrangement design of major facilities such as a quay, intake and outfall. Also they will be used as a reference data for the surveys on coastal ocean environment in the future.

CONTENTS

Summary	iii
Contents	v
List of Figures	ix
List of Tables	x
Chapter I Outline of the study	1
Section 1. Necessity and objectives of the study	1
Section 2. Contents and scopes of the study	2
Chapter II Research trends and outlook	5
Section 1. Research trends in Korea	5
Section 2. Research trends in foreign countries	5
Chapter III Results of the study	7
Section 1 Outline of the survey	7
1. Survey area	7
2. Survey items and instruments	8
3. Survey schedule	9
Section 2 Oceanography of the study area	11
1. Tide	11
2. Circulation	13
3. Temperature and salinity	15
Section 3 Tide observation	16
1. Methods of tide observation	16
2. Results of tide observation	18
Section 4 Currents and wave observation	22
1. Methods of currents and wave observation	22
2. Results of currents observation	23
3. Results of wave observation	28

Section 5. Bathymetric survey	28
1. Methods of bathymetric survey	28
2. Results of bathymetric survey	39
Chapter IV Achievement of goals and expected contributions	55
Section 1. Achievement of goals	55
Section 2. Expected contributions	55
Chapter V Application plan of the study results	57
Chapter VI Oversea data and information collected during the study	59
Chapter VII References	61

목차

요 약 문	i
목 차	vii
표 목 차	ix
그림목차	x
제 1 장 연구과제 개요	1
제 1 절 연구의 필요성 및 목적	1
제 2 절 연구의 내용 및 범위	2
제 2 장 국내외 연구동향	5
제 1 절 국내 연구동향	5
제 2 절 국외 연구동향	5
제 3 장 연구 수행 결과	7
제 1 절 현장조사 개요	7
1. 조사대상 해역	7
2. 조사항목 및 장비	8
3. 조사일정	9
제 2 절 대상해역 특성	11
1. 조석, 조류	11
2. 해수순환	13
3. 수온, 염분	15
제 3 절 조위특성 조사	16
1. 조위특성 조사방법	16
2. 조위특성 조사결과	18
제 4 절 유속특성 조사	22
1. 유속, 파랑특성 조사방법	22
2. 유속특성 조사결과	23
3. 파랑특성 조사결과	28

제 5 절 정밀수심 조사	28
1. 정밀수심 조사방법	28
2. 정밀수심 조사결과	39
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	55
제 1 절 연구목표 달성도	55
제 2 절 관련분야에의 기여도	55
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획	57
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	59
제 7 장 참고문헌	61

표 목차

표 3-1-1-1. 해수유동 특성 조사 내용	8
표 3-1-2-1. 조사항목 및 장비	9
표 3-1-3-1. 조사일정	10
표 3-2-1-1. 해수유동 특성 조사 내용	12
표 3-2-3-1. 수질 특성 조사 내용	16
표 3-3-1-1. Terra Nova Bay 인근 해역에서 관측한 조석 조화상수	18
표 3-3-2-1. T1 정점 조석 조화상수	19
표 3-5-1-1. 레벨의 제원	30
표 3-5-1-2. 측지 매개 변수(geodetic parameters)	33
표 3-5-1-3. 싱글빔 측심기(AquaRuler 200S)의 제원	35
표 3-5-1-4. GPS(Trimble DSM212H)의 제원	36
표 3-5-1-5. 멀티빔측심기의 제원	38
표 3-5-2-1. 수준측량성과	39

그림 목차

그림 1-2-1. 로스 해 해수면의 얼음 변화 위성사진	2
그림 3-1-1-1. 테라노바베이 기존자료 정점	7
그림 3-1-1-2. 현장조사 관측정점	8
그림 3-2-1-1. 월평균 유속벡터도(Cappelletti et al., 2010)	12
그림 3-2-2-1. 남극순환류(ACC) 및 주변 흐름도	13
그림 3-2-2-2. 테라노바베이 위성사진(van Woert et al., 2001)	15
그림 3-3-1-1. 조위관측기 Aanderaa WLR7 및 계류대	17
그림 3-3-1-2. 조위관측기 계류 방법	17
그림 3-3-2-1. 관측된 조위 시계열 곡선	18
그림 3-3-2-2. 관측조위, 예측조위 및 잔차 조위 변동	20
그림 3-3-2-3. T1 정점 창·낙조 조차분포	21
그림 3-3-2-4. T1 정점의 조위 조화상수 진폭 히스토그램	21
그림 3-3-2-5. T1 정점의 수온 및 염분분포	22
그림 3-4-1-1. 연직유속관측기(Aanderaa RDCP600) 및 계류대	23
그림 3-4-1-2. 유속관측기(RDCP600) 계류 방법	23
그림 3-4-2-1. 정점 R1에서의 동서방향(상)과 남북방향(하) 유속 시계열 자료	24
그림 3-4-2-2. 정점 R1에서의 동서방향(상)과 남북방향(하) 유속 시계열 자료	25
그림 3-4-2-3. 정점 R1 해류 산점도(scatter plot)	25
그림 3-4-2-4. 지면 5.5m의 바람장미도	26
그림 3-4-2-5. 정점 R1의 연직유속 벡터도	27
그림 3-4-3-1. 유의파고 및 평균주기	28
그림 3-5-1-1. TBM 위치	29
그림 3-5-1-2. 레벨(좌) 및 함척(우)의 형태	29
그림 3-5-1-3. 표척 관측(좌) 및 수준 측량(우)	30
그림 3-5-1-4. 정밀수심조사 대상해역	31
그림 3-5-1-5. 수심조사 작업 구성도	32
그림 3-5-1-6. 조디악에 장착된 수심측량 장비	33
그림 3-5-1-7. 싱글빔측심기 및 GPS 형태	34
그림 3-5-1-8. 제2기지 건설 예정지와 아라운호	36

그림 3-5-1-9. 멀티빔 수심측량 모식도	38
그림 3-5-2-1. 표척 및 TBM 배치도	39
그림 3-5-2-2. 대기압 시계열 곡선(2010년 3월 ~ 2011년 2월, 1년간)	41
그림 3-5-2-3. 대기압 시계열 곡선(2011년 2월 3일 ~ 14일, 11일간)	41
그림 3-5-2-4. 싱글빔 자료를 이용하여 작성한 수심도	42
그림 3-5-2-5. 멀티빔 자료를 이용하여 작성한 수심도	43
그림 3-5-2-6. 싱글빔과 멀티빔 자료를 이용하여 작성한 수심도	44
그림 3-5-2-7. 정밀수심측량 항적도	45
그림 3-5-2-8. 장보고 과학기지 전면해역 정밀수심도(축척: 1/4,000)	47
그림 3-5-2-9. 장보고 과학기지 전면해역 수심투입도(축척: 1/4,000)	49
그림 3-5-2-10. 장보고 과학기지 전면해역 정밀수심도(축척: 1/5,000)	51
그림 3-5-2-11. 장보고 과학기지 전면해역 수심투입도(축척: 1/5,000)	53
그림 6-1-1. 남극 ATGD 조석관측 위치	59

제 1 장 연구과제 개요

제 1 절 연구의 필요성 및 목적

남극대륙은 면적이 한반도의 약 60배인 약 1,440만 km²로 아시아, 아프리카, 북아메리카, 남아메리카에 이어 다섯 번째로 큰 대륙으로써 약 98%가 얼음으로 덮여있으며 얼음으로 덮이지 않은 면적은 약 28만 km²에 불과하다. 남극 빙하의 평균두께는 약 2.1 km에 이르며, 4 km 이상인 곳도 있다. 또한, 남극 빙하는 지구상 담수의 70%를 차지한다. 남극 대륙은 '마지막 자원의 보고'라고 불릴 만큼 상당양의 석유와 광물자원 등이 매장되어 있을 것으로 추정되는 곳으로서, 새로운 공간으로의 진출 또는 자원개발이라는 관점에서 볼 때 남극은 무궁무진한 가능성을 지닌 곳이다. 때문에 선진국들은 극저온 지대, 최고도 지대 등 남극에서도 극한 환경에 속하는 곳에서 자신들의 과학 기술력과 연구역량을 시험하기 위해서 부단한 노력을 기울이는 중이다.

1988년 완공한 남극 세종과학기지는 남극 최북단 주변부 킹조지 섬에 위치하고 있어, 지리적 위치상의 한계와 이로 말미암은 연구 및 활동범위의 제약이 따른다. 세종과학기지는 현재 남극반도에 위치(남위 62° 13')하며, 남극점으로부터 약 3,100 km, 남극반도와 100 km 이상 떨어져 있어 남극대륙을 기반으로 하는 연구, 자기장과 오로라 등 천문 연구 등에는 많은 제약이 따르며, 접근성의 한계가 존재한다. 실제로 국내 극지연구는 세종 과학기지를 중심으로 약 200 km 지역 내에서 집중 될 수밖에 없었다. 남극대륙의 크기를 생각할 때, 지금까지의 국내 남극연구는 매우 국지적이면서도 부분적이었다고 말할 수 있다. 반면, 대부분의 선진국들은 남극에 2개에서 5개까지의 기지를 건설하고 운영하면서 남극대륙에서 다양한 연구를 수행하고 있다.

세종과학기지의 지리적 편중에 따른 문제점 해결 및 국제 위상 제고를 위해 남극대륙 내 새로운 기지를 건설하기로 결정하고, 최적의 건설 후보지를 선정하기 위하여 2010년 1~2월에 걸쳐 1차 남극 현장조사를 실시하였다. 건설지반 안정성, 빙하분포 및 유동성, 접안하역 등의 경제성, 비상계획 등에 대한 조사를 실시하였으며 그 결과 세종과학기지에 이은 두 번째 남극기지 건설장소로 남극대륙 동남단 로스 해 인접지역인 브라우닝산 테라노바베이 부근으로 최종 선정하였다.

최종 선정된 남극 제2기지 건설을 위한 조사 및 시공을 위해서는 아라온호가 해안 가까이 접근하여 이를 지원해야 할 필요가 있으며 향후 기지 완공 후에도 선박운항의 안

전을 위해서는 주변 해역의 지형, 물리해양 특성 등에 대한 정밀자료가 확보되어야 한다.

본 연구는 남극 제2기지 예정지(장보고과학기지) 전면 해역에 대한 정밀 수심, 조위 변동 및 유속 변동 등의 실측자료를 확보하고 당 해역의 해수유동 특성을 파악하여 향후 추진될 남극 제2기지 건설사업 및 주변해역 해양환경 연구에 대한 기초자료를 제공하는 데 목적이 있다.

제 2 절 연구의 내용 및 범위

남극 제2기지 예정지인 테라노바베이는 빙하의 계절적인 변화가 뚜렷이 나타나는 지역으로서 이는 그림 1-2-1에 제시한 위성사진(Smith Jr. et al., 2007)을 통하여 확인가능하다(Jacobs & Comiso, 1989; Jacobs & Giulivi, 1998; Zwally et al., 2002). 로스 해의 빙호(polynya)는 해양과 대기 간의 열수지가 높아지는 11월부터 얼음이 녹으면서 생성되고 확장되는데, 그림 1-2-1의 위성사진에서 볼 수 있듯이 12월 북서쪽과 동쪽에서 빙호 확장되는 것이 보이며가 1월 중순에 대륙붕의 대부분의 얼음이 녹아 없어지는 것을 볼 수 있다. 남극의 여름으로서, 해수면의 얼음이 거의 녹아 현장 작업이 가능한 2011년 2월에 2차 남극 현장조사가 실시되었으며 현장조사의 일환으로 제2기지 예정지 전면 해역에 대한 지형, 물리해양 기초조사를 실시하게 되었다.

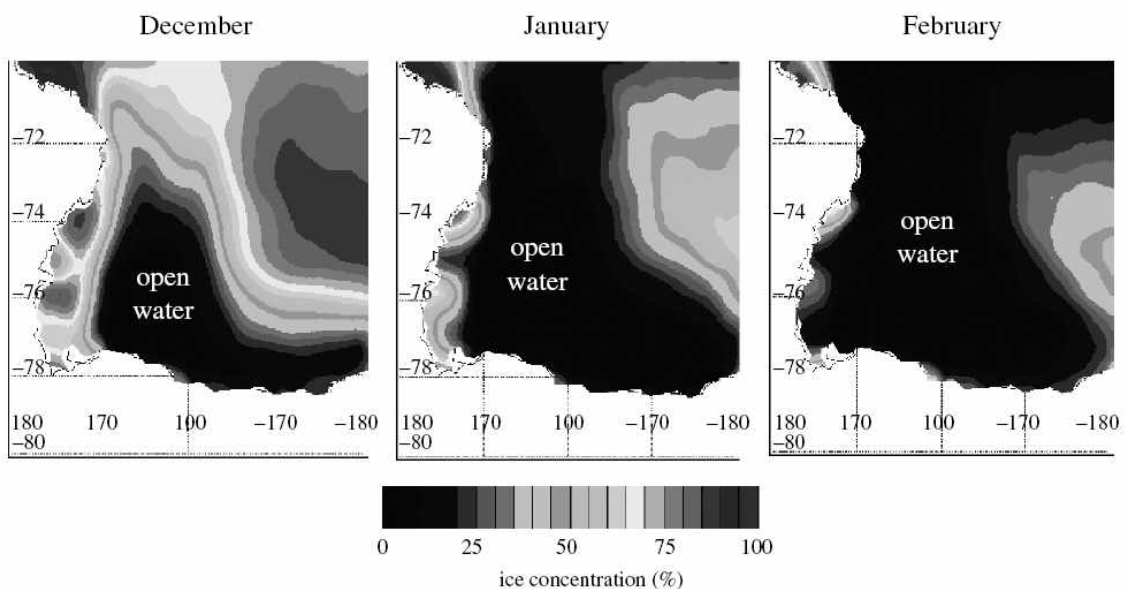


그림 1-2-1. 로스 해 해수면의 얼음 변화 위성사진

연구의 필요성을 충족시키기 위해서 제2기지 예정지인 테라노바베이 전면 3km ×

4km 해역에 대한 정밀수심 조사를 실시하였으며, 2011년 2월 3일 ~ 14일까지 11일간 1개 정점 조위변동 및 1개 정점 유속변동, 파랑특성에 대한 조사를 실시하였다. 아라온호가 테라노바베이에 정박한 기간이 11일로서 조위 및 유속, 파랑 특성 조사 자료의 신뢰도를 확보하기에 충분한 기간은 아니었지만, 자료 분석 결과를 살펴보면 오차범위를 크게 벗어나지 않는 것으로 나타났다.

정밀 수심조사에서는 조사기간의 기상 등 현지상황을 고려하여 I, II, III의 세 구역으로 나누고 우선순위를 정하여 측심을 실시하였다. 조위변동 조사에서는 부두예정지 부근에 1개 정점(164° 14' 9" E, 74° 37' 42" S; 수심 11 m)을 선정하고 해저면에 수압식 자동조위 관측기인 Aanderaa WLR7을 설치하여 5분 간격 조위 관측을 실시하였다. 유속변동 조사에서는 취·배수구 예정진 부근에 1개 정점(164° 14' 40" E, 74° 37' 39" S; 수심 24 m)을 선정하여 유속 연직분포를 관측할 수 있는 Aanderaa RDCP (Recordable Doppler Current Profiler)600을 해저면에 계류하여 표층까지 1 m 간격으로 연직으로 22개 층에 대한 유속관측을 실시하여 20분 간격으로 자료를 저장하였으며, 기기에 장착된 파랑센서를 이용하여 파고 및 주기 등 파랑 관측도 함께 실시하였다.

제 2 장 국내외 연구동향

제 1 절 국내 연구동향

- 남극세종과학기지가 갖는 지리적 위치상의 한계와 이로 말미암은 연구 및 활동범위의 제약성으로 인하여 남극대륙을 기반으로 한 연구에는 접근성의 한계가 존재하며, 이를 극복하기 위해 1990년부터 남극 제2기지 건설을 위한 논의가 지난 20여년간 꾸준히 진행됨.
- 전 해양수산부에서 1996년 제2기지 건설계획안을 입안했고, 2000년 7월 제2기지 건설 예비조사 사업을 착수하였음.
- 2002년 7월 해양수산부, 과학기술부, 기획예산처 등이 제2기지 건설 추진을 포함한 '극지과학기술개발' 계획을 합동 수립하여 국가과학기술위원회에 보고했으며, 국무조정실이 2004년 2월 25일 수립한 '남극 세종과학기지 운영개선 및 극지연구 활성화 대책 방안'에서 남극 제2기지 건설 검토 및 추진을 확정하였음.
- 세계 14위라는 경제규모에 걸맞도록 지속 가능한 환경 보전·개발 그리고 저탄소 녹색성장을 동시에 달성하겠다는 '녹색성장' 비전을 제시하였으며, 현 정부의 100대 국정과제에서 극지인프라 구축 및 극지연구 강화를 통해 기후변화 현상을 규명하고, 국제사회에 이바지하겠다고 선언함.
- 극지가 갖는 중요성과 가치를 인식하고 지난 2006년부터 극지연구 육성 및 진흥을 위한 정책을 수립하고 시행함으로써 지속적인 투자 확대와 더불어 남극 제2기지 건설 및 쇄빙연구선 건조사업 등 극지에 대한 인프라 구축사업을 꾸준히 추진하고 있음.
- 아직까지 국내에서 남극 로스 해 및 테라노바베이 등 해양에 대한 연구는 매우 미비한 실정이나 향후 남극 제2기지가 완공되고 나면 아라온호를 활용한 남극해 연구가 본격적으로 추진될 것으로 기대됨.

제 2 절 국외 연구동향

- 2007~2008년 2년 동안 진행된 제4차 국제 극지의 해(International Polar Year: IPY)가 종료됨에 따라 2009년 4월 미국 워싱턴 볼티모어에서 개최된 남극조약 체결

50주년 기념식에서 그 동안의 연구 성과가 발표됨.

- 각 국가는 전 지구적 기후변화라는 인류 공동 문제에 대처하고자 국가간 국제협력의 중요성과 이에 기반한 국제공동연구의 필요성을 인식하고, 앞으로 극지역에 대한 안정적 관측시스템(Sustaining Observation System)을 구축하기 위해 공동으로 노력하기로 함.
- 남극에서는 미국, 영국, 독일, 일본, 중국 등 주요 국가들을 비롯한 총 29개 국가가 75개 과학기지를 운영하고 있음(2010년 4월 현재, 상주 39개, 하계 36개). 각 국가는 자국의 과학기지를 근간으로 빙하학, 고층대기, 우주·천문학, 생물학, 환경모니터링 등 다양한 연구 활동을 통해 지구시스템에서의 극지의 역할을 규명하고자 노력하고 있음.
- 미국은 남극점에 가장 가까운 곳에 있는 상주기지인 아문젠-스콧 기지를 1956년부터 운영해오면서, 방대한 규모의 인프라를 바탕으로 남극과학연구 선도국의 지위를 유지하고 있음.
- 독일의 Neumayer III 기지는 남위 70도에 위치하고 설계면적이 약 4,473 m²이며, 빙붕 위에 계획된 기지로서 동/하절기 숙소 구분 설계됨.
- 영국의 Halley VI 기지는 남위 76도에 위치하며 설계면적이 약 2,498 m²이며, 독일 기지와 비슷하게 빙붕 위에 계획된 기지로서 겨울에는 16명, 여름에는 최대 52명까지 수용 가능함.
- 중국은 2009년 1월에 남극 최고점인 Dome C(해발 4,093 m)에 세 번째 남극 연구기지인 곤륜(Kulun)기지를 추가로 건설하였으며, 이 기지를 기반으로 빙하, 고층대기, 우주·천문 연구를 추진할 계획임.
- 이외에도 벨기에는 저탄소 친환경의 Princess Elizabeth 기지를 건설하는 등 여러 국가가 극지과학 연구를 위해 남극 내 극지 인프라를 경쟁적으로 보강·강화하는 추세임.

제 3 장 연구수행 결과

제 1 절 현장조사 개요

1. 조사대상 해역

로스 해(Ross Sea)는 남극대륙의 태평양 쪽 빅토리아랜드와 마리버드랜드 사이에 있는 큰 만으로 대부분이 수심 1,000 m 이하로 얇은 곳이 많고, 대륙붕이 발달해 있다. 남극 제2기지 예정지인 테라노바베이(Terra Nova Bay, TNB)는 남극의 빅토리아랜드의 케이프워싱턴(74° 35' S)과 드라이갈스키 빙산(75° 15' S) 사이의 해안에 위치한다. 테라노바베이의 면적은 6,000 km² 이하로 작지만 로스 해의 중심역할을 담당한다.

테라노바베이에서는 3월 ~ 11월에 하강기류를 타고 육지의 사면을 따라 부는 강하고 따뜻한 내륙활강풍(Katabatic wind)이 거의 계속 불어오며(Bromwich, 1989a), 이 바람은 테라노바베이의 해류 흐름에 큰 영향을 준다(van Woert, 2001). 테라노바베이는 강한 내륙활강풍(Katabatic wind)에 의해 표층의 흐름이 동쪽으로 이동한다(Cappelletti et al, 2010).

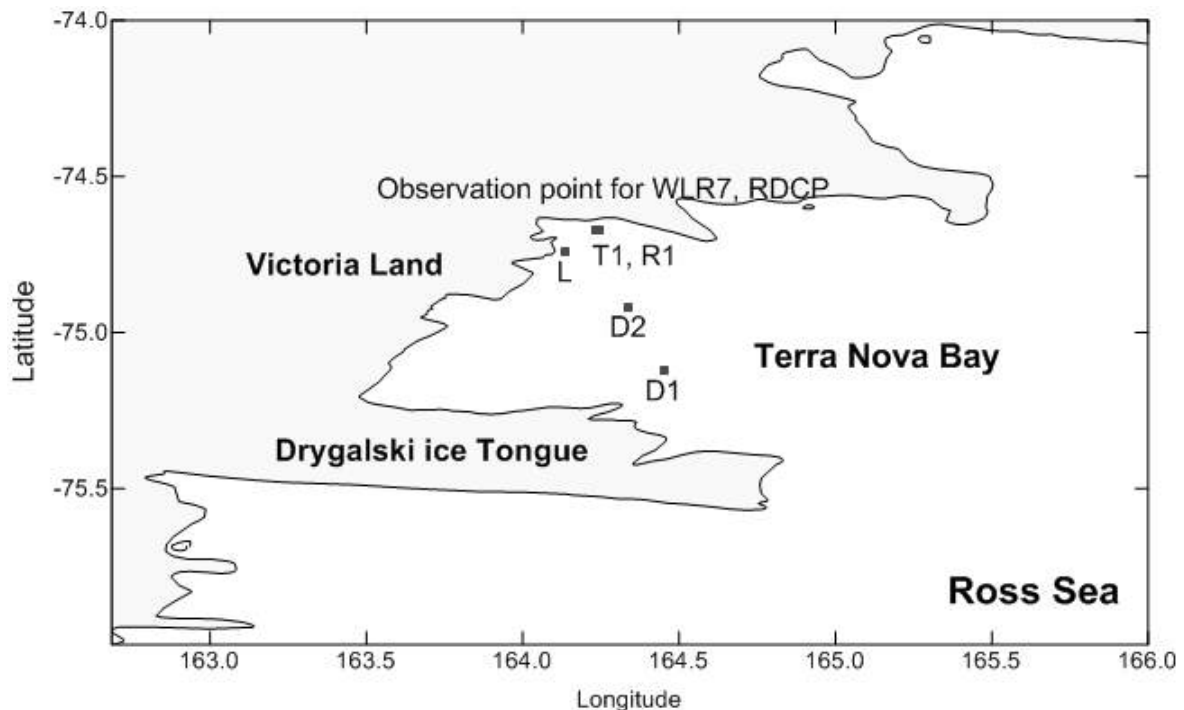


그림 3-1-1-1. 테라노바베이 기존자료 정점

정밀수심 조사의 대상해역 및 현장조사, 기존자료 정점을 그림 3-1-1-1에 제시하였다. 그림 3-1-1-1의 정점 D1, D2, L은 Cappelletti 등(2010)이 PNRA-CLIMA 프로젝트(PNRA 2001)에서 조류, 연직유속, 수온 및 염분에 대해 관측한 정점이다. 본 연구조사에서는 제2기지 예정지 전면해역을 나타낸 그림 3-1-1-2에 표시한 정점 T1에서 조위 현장 조사를, 정점 R1에서는 유속연직분포 관측을 표 3-1-1-1과 같이 실시하였다.

표 3-1-1-1. 해수유동 특성 조사 내용

항목	정점	관측위치	관측기간	관측기기	자료상태
조석	T1	164° 14' 9" E 74° 37' 42" S	2011. 02. 03 - 02. 14	Aanderaa WLR7	양호
유속연직 분포	R1	164° 14' 40" E 74° 37' 39" S	2011. 02. 03 - 02. 14	Aanderaa RDCP600	양호

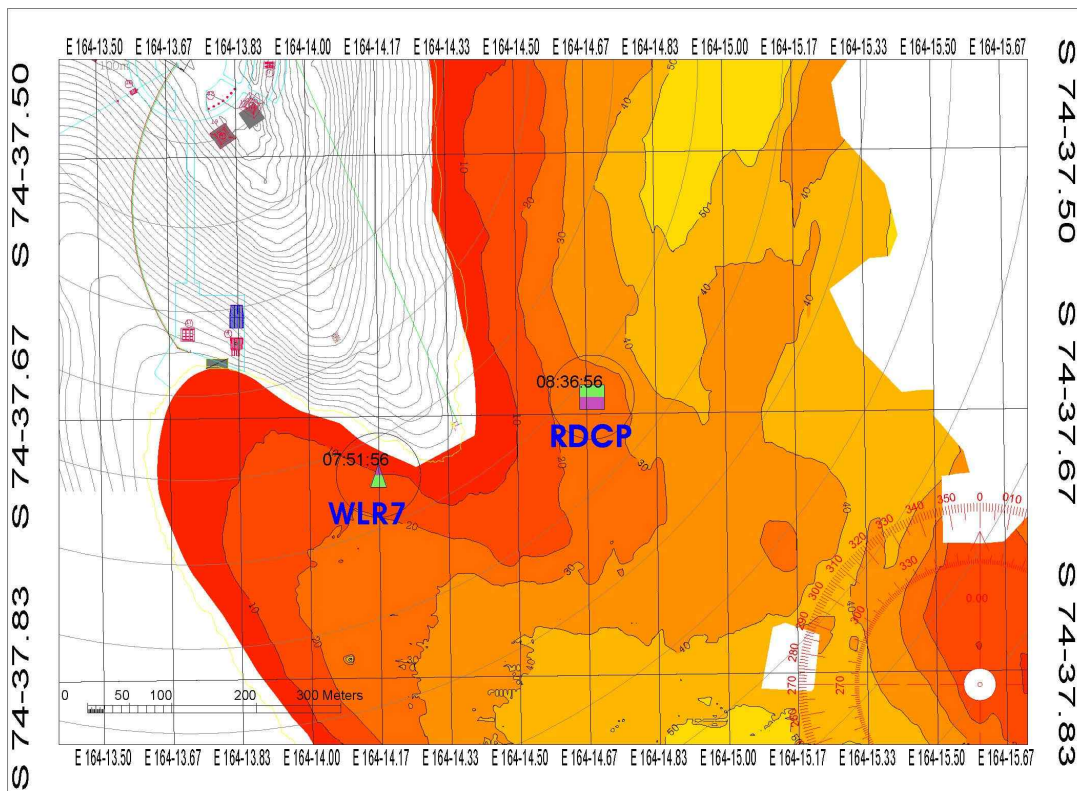


그림 3-1-1-2. 현장조사 관측정점

2. 조사항목 및 장비

남극 제2기지 예정지 전면 해역에 대한 정밀수심조사와 함께 주변해역의 조위변동,

유속변동 등 해수유동 특성을 파악하기 위하여 2011년 2월 3일 ~ 2월 14일까지 11일 동안 관측을 실시하였다.

본 연구의 조사항목인 수심조사, 표척관측, 수준측량, 조위조사, 유속조사에 필요한 장비, 장비의 모델명 및 수량에 대하여 표 3-1-2-1에 기술하였다. 조사기간 동안 운행 장비로는 22인승 조디악(세종 3호)을 사용하였으며, 측심기 설치대와 원치는 다목적용으로 설계, 제작하여 사용하였다.

표 3-1-2-1. 조사항목 및 장비

조사항목	장비	모델명	수량
수심조사	측심기	AquaRuler200s	1대
	GPS	Trimble SP351	1대
	노트북컴퓨터	Sony Vaio	2대
	발전기	2KW	1대
	측심기 설치대	제작	1대
표척관측	표척	제작	1대
	DSLR 카메라	Canon 400D	1대
	캠코더	Sony	1대
수준측량	레벨	Sokkia-SDL30	1대
	표척		1대
조위조사	조위관측기	Aanderaa WLR7	1대
	조위관측기 계류대	제작	1대
	원치	제작	1대
유속조사	층별유속관측기	Aanderaa RDCP600	1대
	유속관측기 계류대	제작	1대
	원치	제작	1대
※ 운행 장비로 조디악(22인승) 사용			
※ 측심기설치대와 원치는 다목적용으로 1대를 설계, 제작하여 겸용 사용함			

3. 조사 일정

현장조사는 1월 22일 인천공항을 출발한 이후 2월 24일 인천공항 도착하기까지 이 동시간을 포함하여 약 한 달간에 걸쳐 이루어졌다. 전체적인 조사 일정을 표 3-1-3-1에 제시하였다.

1월 22일 인천공항을 출발하여 뉴질랜드 크라이스트처치에서 아라온호에 승선하였

으며 약 10일 정도가 소요되어 남극 제2기지 예정지인 테라노바베이에 2월 2일에 도착하였다. 조위변동조사와 유속변동조사를 위해 도착 다음날인 2월 3일 조위계와 유속계를 설치하였으며 2월 14일 회수까지 약 11일간 관측을 실시하였다.

정밀수심조사는 2월 3일 표척 설치 후 I 구역 수심조사를 시작하였는데 오후에 유빙에 의해 표척이 쓰러져 4일 표척을 재설치한 후 작업을 계속하였으며, 기상악화로 인하여 작업을 하지 못한 2월 6일을 제외하고 2월 7일까지 약 3일간 조사를 실시하였다. 2월 8일 ~ 10일 동안 아라온호의 프랭클린 아일랜드 탐사에 참여하였으며 이후 2월 11일 기지건설 예정지 동남쪽 암초 부근 해역 수심을 조사하였으며 2월 12 ~ 13일간은 수심 자료 후처리 작업을 실시하였다.

표 3-1-3-1. 조사일정

날 짜	일 정	비 고
1월 22일 ~ 2월 02일	인천 - 오클랜드 - 크라이스트처치-테라노바베이 이동	
2월 03일	조위계 및 유속계 설치 표척 설치, 표척 관측 I 구역 수심 조사 시작	조사 시작 오후 늦게 유빙에 밀려 표척 쓰러짐
2월 04일 ~ 2월 05일	표척 재설치, 표척 관측 레벨 측량 수심 조사	
2월 06일	기상 악화로 작업 못함	눈 내리고 파고 높음
2월 07일	I 구역 수심 조사 끝냄 II 구역 수심 조사 시작 표척 회수	
2월 08일 ~ 2월 10일	프랭클린 아일랜드 이동	
2월 11일	제2기지 건설 예정지 동남쪽 암초 부근 해역 수심 조사	
2월 12일 ~ 2월 13일	수심 자료 후처리 작업	
2월 14일	조위계 및 유속계 회수	
2월 15일 ~ 2월 24일	테라노바베이 - 크라이스트처치 - 오클랜드 - 인천 이동	

제 2 절 대상해역 특성

1. 조석, 조류

조석 에너지는 다른 물성을 가진 층간의 혼합을 일으키고, 심해 및 저층수의 형성에 중요한 역할을 한다고 알려져 있으며 특히 로스 해는 심해저 해수교환의 중요한 역할을 담당하고 있다. 또한 1800년대부터 조석이 얼음 형성과 밀접한 관련이 있다고 알려져 왔으며(Nansen, 1898), 조석에 의해 혼합작용이 발생하며 이로 인해 따뜻한 심층수를 표층에 열전달을 하고 결빙에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(McPhee et al., 1996; Muench et al., 2002; Beckmann et al., 2001). 즉, 조석이 층간 혼합에 영향을 미치며 이로 인해 로스 해 열교환이 이뤄진다고 한다.

조류속은 로스 해 북서쪽의 대륙사면(continental slope)을 따라 협대역에서 대조기에 최대 약 1 m/s를 초과하나, 대부분 로스 해 대륙붕 중앙의 조류는 10~20 cm/s이며, 빙붕(ice shelf)에서는 약 5 cm/s 이내이다. 로스 해 조류는 일주조가 강하다(Padman et al., 2003). 주요 일주조 분조인 K1 및 O1은 반일주조 분조에 비해 약 5배 강했으며, 일부 지역에서 조석반응이 시간에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났다(Johnson et al., 2006).

Cappelletti 등(2010)이 PNRA-CLIMA 프로젝트(PNRA 2001)에서 3개 정점 (D1, D2, L)에 대하여 조류, 연직유속, 수온 및 염분에 대한 관측을 실시한 결과를 제시하였다. 관측정점의 위치를 그림 3-1-1-1에 표시하였으며, 표 3-2-1-1에 관측 내용을 기술하였다.

ADCP 관측 결과 표층부터 수심에 따른 변화는 유사하게 나타났으며, 유향은 수심의 영향으로 보이는 로스 해 주 흐름인 북동쪽으로의 흐름을 보인다. 평균유속은 표층이 약 40 cm/s이며 점차 감소하여 저층에서는 약 28 cm/s의 흐름을 보이는 것으로 나타났다.

표 3-2-1-1. 해수유동 특성 조사 내용

항목	정점	관측위치	관측기간	관측기기	자료상태
조류	D2	164° 20' 24" E 74° 55' 7" S	2000. 02. 05 - 01. 16	Aanderaa RCM7	양호
조류	D1	164° 27' 10" E 74° 7' 21" S	1994 -	Aanderaa RCM7	양호
조류	L	164° 8' 15" E 74° 44' 34" S	1999 -	Aanderaa RCM7	양호
유속연직 분포	D2	164° 20' 24" E 74° 55' 7" S	2000. 02. 05 - 01. 16	Aanderaa RDCP	양호

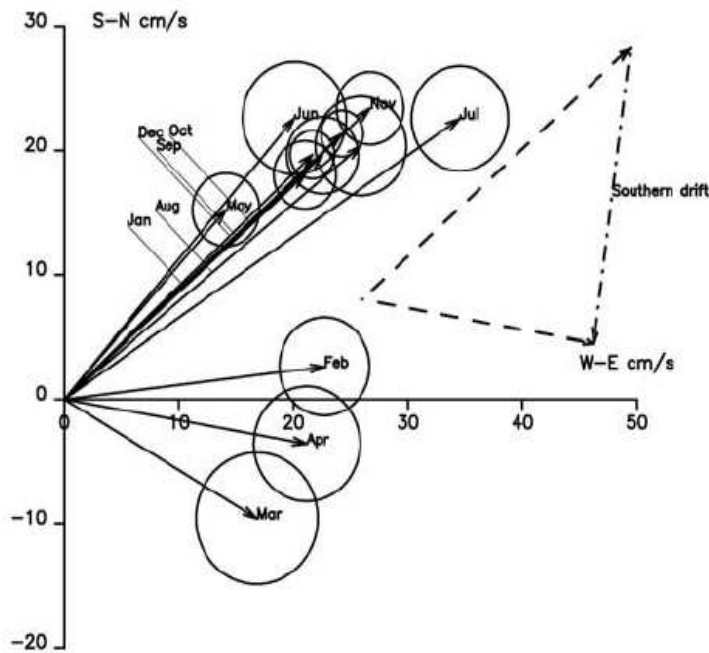


그림 3-2-1-1. 월평균 유속벡터도(Cappelletti et al., 2010)

Cappelletti 등(2010)이 논문에 제시한 월평균 유속벡터도를 그림 3-2-1-1에 제시하였다. 이를 보면, 수평유속은 계절특성을 보이는 것을 확인할 수 있다. 2~4월은 주로 남동쪽의 흐름을 보이며 평균유속은 약 20 cm/s이다. 6~12월은 주로 북동쪽의 흐름을 보이며 평균유속은 약 30 cm/s로 여름철인 2~4월보다 크게 나타난다.

연직유속은 표층에서 최대 약 20 cm/s까지 나타나며, 일반적으로 수심이 깊어짐에 따라 작아진다. 연직유속은 대체로 (-) 방향의 흐름을 보이며 여름철에 표층에서 강한 (+) 방향의 흐름을 보이기도 했다.

2. 해수순환

남극 주변의 해류 흐름도를 그림 3-2-2-1에 제시하였다. 그림의 출처는 웹사이트 (http://www.eoearth.org/article/Weddell_Sea?topic=49523)이다. 남극순환류 (Antarctic Circumpolar Current)는 남극대륙 주변을 서에서 동으로 흐르는 해류로서 그 흐름의 중심은 남위 50~60°이며, 유속은 10~50 cm/s 이내이다. 유폭이 넓고 수심이 3,000~5,000 m로 깊어 유량이 매초 1억 톤을 넘는 대해류를 이룬다. 환류이기는 하나 심해 순환과 성층의 관점에서 태평양, 대서양, 인도양의 해수와 섞여 흘러 중요한 연결고리 역할을 하고 있다.

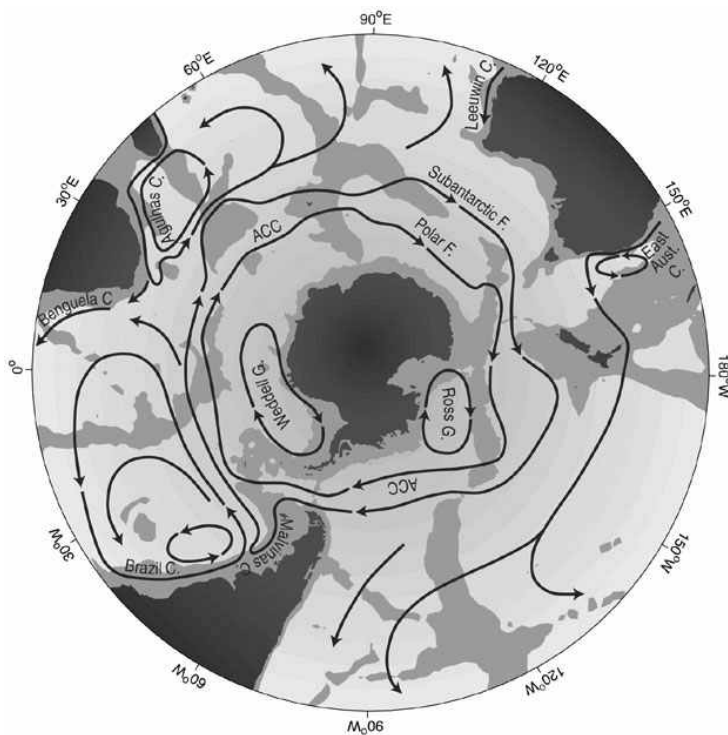


그림 3-2-2-1. 남극순환류(ACC) 및 주변 흐름도

그림 3-2-2-1에서 웨들 해(Weddell Sea) 및 로스 해(Ross Sea)를 중심으로 남극순환류와 같은 방향인 서에서 동으로 흐르는 순환류가 보인다. 남극해는 다양한 수괴가 존재하는데 두 지역은 특히 밀도가 높은 남극저층수(Antarctic Bottom Water, AABW) 형성의 중요한 역할을 하고 있으며, 웨들 해에서 형성된 남극저층수는 주로 대서양 해저로 로스 해 남극저층수는 태평양 해저로 유입된다고 알려져 있다. 이와 같이 남극저층수는 대서양, 태평양, 인도양으로 퍼져나가기 때문에 해양의 해류 순환에 중요한 역할을 할 뿐 아니라, 대양해수의 물리적, 생물학적, 화학적 특성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

로스 해에서 생성되는 남극저층수는 심해저의 냉각 및 순환의 중요한 역할을 하며 (Orsi et al., 2001, 2002), 최근 10년 동안 로스 해의 상층수는 급격한 저염화 현상 (freshening trends)이 발생하는 것으로 알려져 있다(Jacobs et al., 2002; Jacobs, 2006). 즉, 기후 변화로 인하여 빙하가 녹아내리고 이로 인해 상층의 저염화 현상이 나타나 로스 해 상·하층간의 수온과 염분 차이로 인한 밀도 차에 의해 열염분 순환(thermohaline circulation, 밀도류라고도 함)이 발생한다(Orsi et al., 2009).

환극심층수(Circumpolar Deep water, CDW)는 남극해에서 가장 큰 해류인 남극순환류(ACC)에 의해 동쪽으로 움직인다. 환극심층수는 아열대 해역의 산소가 적고, 고온, 고염인 중층 해류에 의해 형성된다(Sverdrup, 1940; Callahan, 1972; Sievers & Nowlin, 1984; Whitworth & Nowlin, 1987). 환극심층수는 극으로 향하며, 로스 자이어(Ross Gyre)의 순환류에 포함되거나, 차가운 남극표층수 (Antarctic Surface Water, AASW; Mosby, 1934)와 남극저층수 (Antarctic Bottom Water below; AABW; Carmack, 1977; Orsi et al., 1999) 사이에 위치하게 된다.

환극심층수는 자오면역전순환(meridional overturning circulation, MOC)에 의해 수심 약 700 m의 남극 대륙붕단까지 올라오며, 대륙붕과 대양 사이의 해저면의 경사도가 급격한 대륙사면을 따라 서쪽으로 흐르는 해류가 발생한다. 차갑고 저염분인 남극표층수 (AASW) 유입으로 인한 밀도 간 혼합에 의해 남극사면(Antarctic Slope Front, ASF) 연안에서 환극심층수의 성질이 바뀌는데 이를 Modified Circumpolar Deep Water (MCDW; Newsom et al., 1965)라고 부른다.

매우 찬 표층의 AASW와 표층에 비해 상대적으로 따뜻한 MCDW는 로스 해 빙하가 형성되면서 밀도가 높은 SW(Shelf Water)로 바뀐다. 웨들 해에서 형성된 MSW (Modified Shelf Water)는 남극저층수 (AABW)를 생성하는 주원인이다(Gill, 1973; Foster & Carmack, 1976). 드라이갈스키 트러프 (Drygalski Trough) 입구에서 장기간 관측을 실시하여 분석한 결과를 통하여 강한 대조기 조류 때에 MSW이 생성되는 것으로 보고되었다(Whitworth & Orsi, 2006; Muench et al., 2009; Padman et al., 2008).

로스 해 저층수(AABW)가 대양으로 유출되는 지역으로는 173°E, 177°E가 잘 알려져 있으며(Jacobs et al., 1970, 1985), 일부 로스 해 북서 측에서 유출된 AABW는 대륙사면을 따라 서쪽으로 흘러 결국 오스트레일리아 남극령 심해저(Australian-Antarctic Basin)로 들어가게 된다(Orsi et al., 1999). 즉, 로스 해는 태평양뿐만 아니라 실질적으로 남극해와 면한 인도양과의 해수교환 역할도 담당한다.

그림 3-2-2-2는 van Woert 등(2001)이 논문에 게재한, 1998년 4월 17일에 연속적으로 촬영하여 얻은 OLS(Operational Linescan System) 위성사진으로서 그림의 (a) ~ (c)

에서 테라노바베이 내의 회전성 흐름을 잘 표현하고 있다. 그림 3-2-2의 (d)에 (c)의 결과 위에 유속벡터장을 함께 제시하였다. 유속벡터는 드라이갈스키 트러프를 따라 서쪽으로 가는 강한 흐름을 볼 수 있다. 유속은 30 cm/s 이내의 크기를 보이며, 자이어(gyre)의 지름은 약 60 km 정도로써 자이어를 따라 한 바퀴 도는데 약 7일 정도 소요되는 것으로 나타났다.

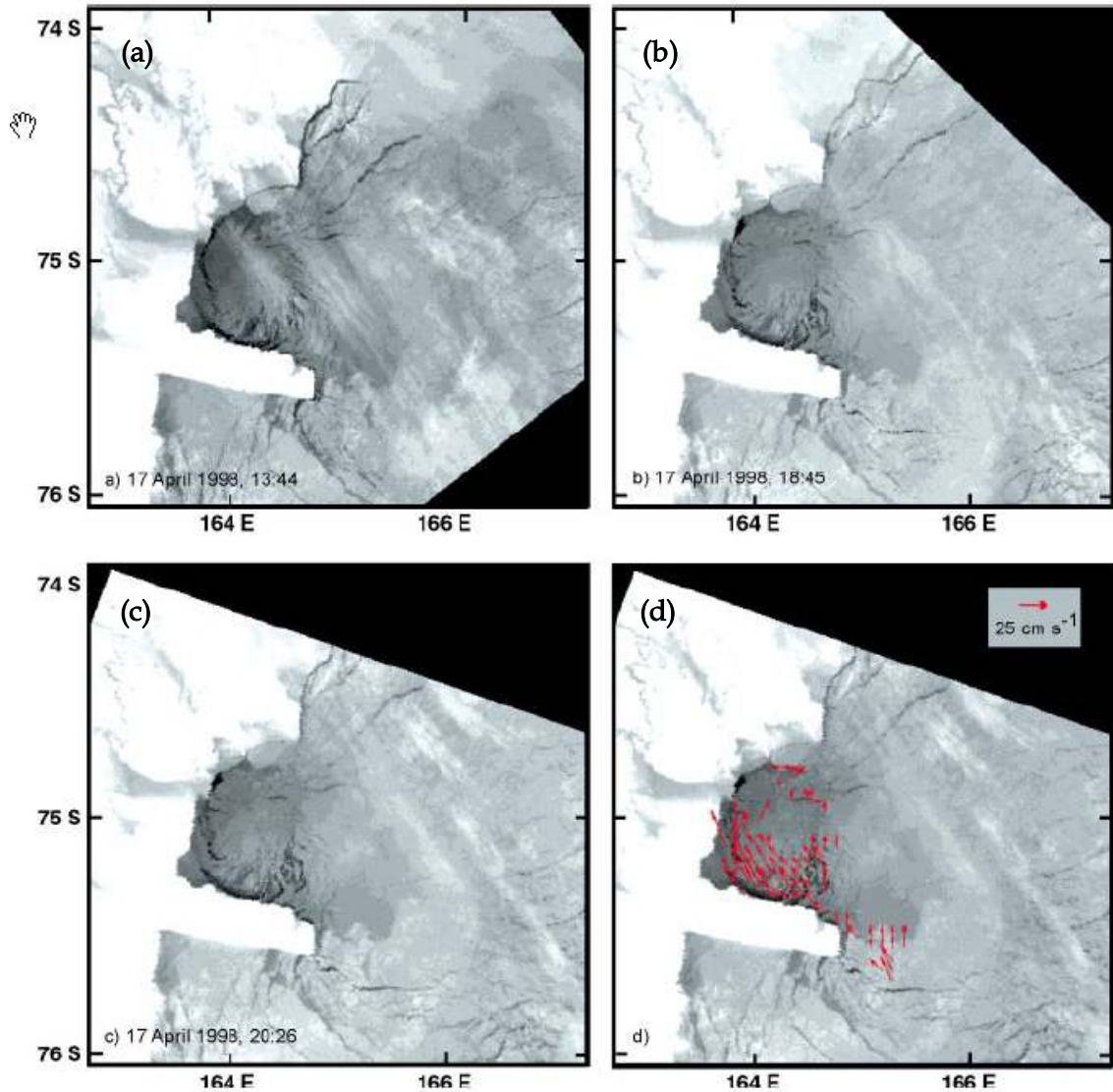


그림 3-2-2. 테라노바베이 위성사진(van Woert et al., 2001)

3. 수온, 염분

표 3-2-3-1에 조사대상해역에서 수온 및 염분 관측이 실시된 정점의 위치 및 기간, 기기에 대한 정보를 제시하였다. 수온은 정점 D1 및 L에서 SBE SeaCat을 사용하여 30분 간격으로 관측이 실시되었다. 정점 D1은 수심 126 m 및 526 m에서, 그리고 정점 L은

수심 114 m에서 관측이 실시되었다.

해안지역에 위치한 정점 L은 빙하가 녹거나 육지로부터 유입되는 민물에 의해 염분이 급격히 떨어지는 현상이 발생하나 대체로 빙하 형성에 의해 염분이 점차 증가하는 것으로 나타났다. 즉 연안에서 밀도경사는 2월에서 4월 사이에 주로 발생한다고 볼 수 있다. 수온의 경우, 3월에서 10월 사이에는 정점 L은 약 -1.96°C 로, 정점 D1은 약 -1.92°C 로 일정하였다.

표 3-2-3-1. 수질 특성 조사 내용

항목	정점	관측위치	관측기간	관측기기	자료상태
수온 염분	D1	164° 27' 10" E 74° 7' 21" S	1994 -	SBE SeaCat	양호
수온 염분	L	164° 8' 15" E 74° 44' 34" S	1999 -	SBE SeaCat	양호

제 3 절 조위특성 조사

1. 조위특성 조사방법

남극 제2기지 예정지(테라노바베이) 전면 해역의 정밀 수심조사와 함께 측심자료 조석보정 및 조석특성 파악을 위하여 정점 T1에서 2011년 2월 3일 ~ 14일까지 11일 동안 관측을 실시하였다. 관측에 사용한 기기는 노르웨이 Aanderaa사의 수압식 자동조위 관측기 WLR-7이며, 기기를 수심 11 m 지점 해저면에 설치하고 5분 간격으로 조위 변화를 관측, 저장하도록 설정하였다. 그림 3-3-1-1에 조위 관측기 및 설치 장비를, 그림 3-3-1-2에 조위관측기 계류 방법을 도시하였다.

WLR7은 계류 시 미리 제작한 설치대에 기기를 장착한 후 그림 3-3-1-2와 같이 앵커를 이용하여 편평한 해저면에 설치하였으며 유빙에 의한 유실을 방지하기 위하여 육상 고정 와이어로프는 설치하지 않았으며 같은 이유로 깃발부이를 설치하지 않았다. 대신에 주먹크기만한 소형부이와 페트병을 사용하여 기기계류 위치를 표시하였다.

관측 종료 후 DSU (Data Storage Unit)에 저장된 수압 기록을 컴퓨터에 입력하여 수위 값으로 변환하였다. 획득한 수위 자료는 모두 양호하였다. 얻어진 수위 자료를 평균치에 대해 보정한 다음 smoothing filter를 사용하여 1시간 간격 자료로 변환하여 분석하였다.



그림 3-3-1-1. 조위관측기 Aanderaa WLR7 및 계류대

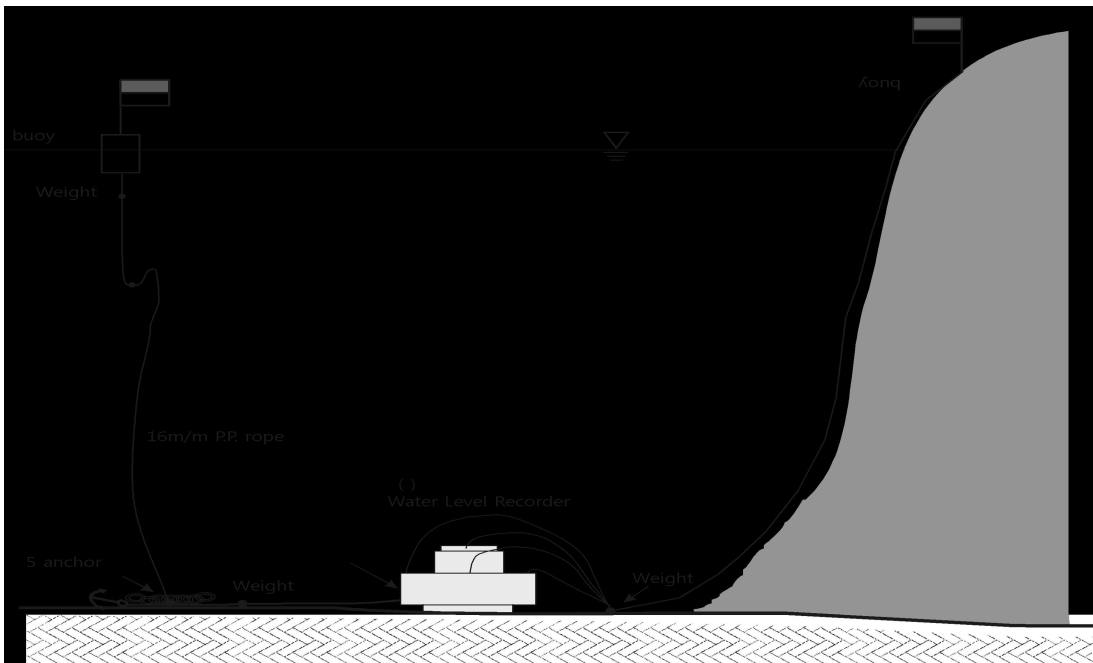


그림 3-3-1-2. 조위관측기 계류 방법.

Goring & Pyne(2003)에 의해 남극 제2기지 예정지인 테라노바베이에 위치한 인근 정점(74.75°S, 164°W)에서 118일 동안 관측, 분석된 주요 8개 분조의 조화상수는 다음 표 3-3-1-1과 같다. 표 3-3-1-1에서 진폭의 크기를 보면 주요 일주조 분조인 O1분조가 18.3 cm이며, K1분조가 16.8 cm로 주요 반일주조 분조인 M2분조가 6.9 cm, S2분조가 5.9 cm 인 것에 비해 약 3배 정도 크다. 표 3-3-1-1의 조화상수를 사용하여 조사 기간 동안의 조위변동을 예측하여 현장조사에 활용하였다.

표 3-3-1-1. Terra Nova Bay 인근 해역에서 관측한 조석 조화상수

079 TERRA NOVA BAY TIDE GAUGE								
Record length :	119 days							
Sample interval :	3,600 seconds							
Lat., Lon. :	-74.75°, 164°							
Instrument type :	BPR Unvented pressure transducer							
Reference :	Goring & Pyne(2003: NZ J. Mar. Freshw. Res., 27, 241-249)							
	Q1	O1	P1	K1	N2	M2	S2	K2
Amp(cm)	4.1	18.3	6.0	16.8	4.4	6.9	5.9	2.5
Phase(Greenwich)	146.0	169.6	204.8	204.2	228.8	336.3	304.7	329.1

2. 조위특성 조사결과

그림 3-3-2-1은 5분 간격으로 11일간 관측된 조위 자료를 나타낸 것이다. 그림에서 관측기간 중 최고조위는 11.85 m, 최저조위는 11.10 m이며, 최대조차는 약 0.75 m로 나타난다. 조위 변동의 형태는 1일 2회조이긴 하나 일조부등이 아주 심하여 거의 1일 1회조에 가깝다.

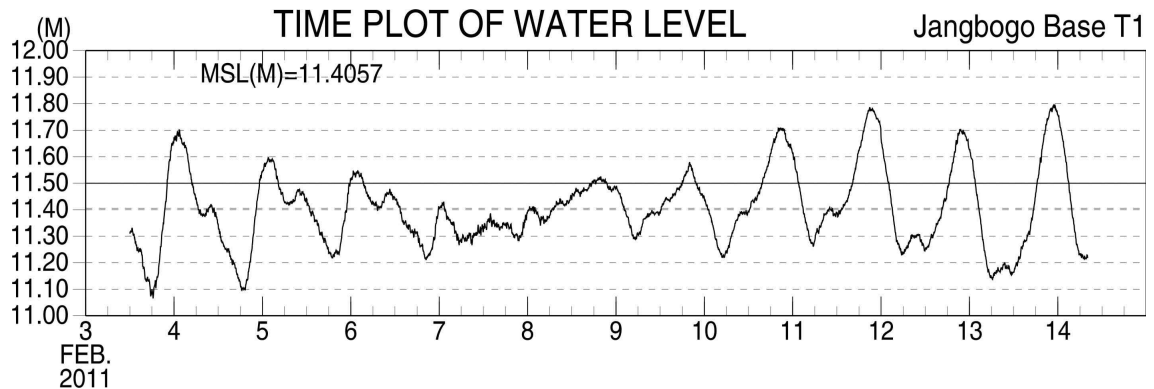


그림 3-3-2-1. 관측된 조위 시계열 곡선

표 3-3-2-1에 조화분석 프로그램 TIRA를 이용하여 분석한 조석 조화상수를 제시하였다. 조화분조는 Goring & Pyne(2003)이 사용한 8개 분조에 N2, Q1 2개 분조를 추가하여 10개 분조에 대하여 계산하였다. Goring & Pyne(2003)의 조화상수는 인근해역인 정점 (74.75°S, 164°W)에서 118일 동안 관측한 조석 조화상수를 분석한 것으로 이를 표 3-3-2-1에 제시하였다. 본 조사에서 최대 분조인 O1분조의 진폭은 17.8 cm이고 Goring &

Pyne(2003)의 경우 18.3 cm로 크기가 유사하다.

그림 3-3-2-2에는 관측조위, 관측조위를 분석한 조화상수로 예측한 예측조위, 그리고 그 차이인 잔차 조위를 도시하였다. 현장조사 일정상 관측기간이 11일에 불과하여 자료 기간 부족에 따른 분석오차가 존재할 수 있으나 관측조위와 예측조위가 거의 유사한 변동을 보이며 잔차 조위가 최대 10 cm 미만으로 나타나 TIRA로 분석한 조화상수가 관측 기간의 조위변동을 예측하는 데 무리가 없음을 나타내 준다.

표 3-3-2-1. T1 정점 조석 조화상수

Location : Jangbogo Base T1 (164°14' 10" E, 74°37' 42" N)					
Duration : 12 days (14:00, Feb. 3, 2011 - 6:00, Feb.14, 2011)					
Observed M. : 0.1141D+02			Observed S.D. : 0.1441D+00		
Residual M. : 0.1265D-04			Residual S.D. : 0.5090D-01		
Related constituents				Nrel= 8	
No	Rel. const.	Ref. const.	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)
1	P1	K1	14.9589314	0.0481	36.609
2	K2	S2	30.0821373	0.0263	341.972
Major constituents				Nsig= 8	
No	Constituent	Speed (deg./hr)	H (m)	g (deg.)	
1	Z0	0.0000000	11.4064	0.000	
2	Q1	13.3986609	0.0305	342.249	
3	O1	13.9430356	0.1776	11.352	
4	K1	15.0410686	0.1346	36.009	
5	N2	28.4397295	0.0195	260.104	
6	M2	28.9841042	0.0556	14.568	
7	S2	30.0000000	0.0621	317.572	
8	M3	43.4761563	0.0077	142.207	
9	M4	57.9682084	0.0089	179.763	
10	M6	86.9523127	0.0001	35.323	

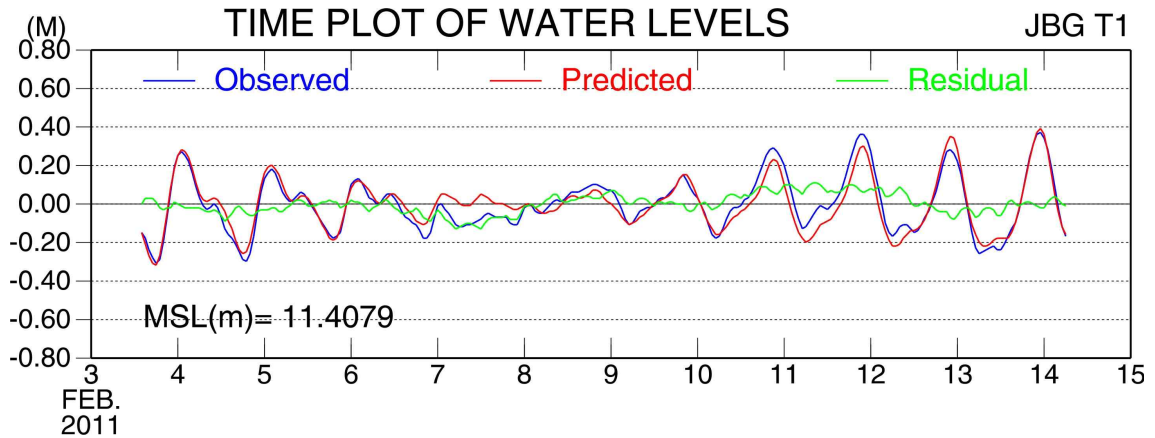


그림 3-3-2-2. 관측조위, 예측조위 및 잔차 조위 변동.

그림 3-3-2-3에는 정점 T1에서 창·낙조의 조차 출현빈도 분포를 계산하여 도시하였다. 창조차는 0~70 cm, 낙조차는 0~60 cm의 분포를 보이며, 창·낙조차는 10 cm 이하에서 출현빈도가 가장 높으며, 창조차는 대부분 20 cm 이하에서, 낙조차는 30 cm 이하에서 출현빈도가 50% 이상 나타난다.

Smoothing filter를 사용하여 변환한 1시간 간격 조위 자료를 조화분석 프로그램 TIRA를 이용하여 분석하여 10개 분조의 조화상수를 산출하였다. 산출된 T1 정점 조화상수는 표 3-3-2-1과 같고, 조화상수 진폭의 히스토그램은 그림 3-3-2-4와 같다.

정점 T1의 조석조화상수를 살펴보면 O1, K1 등의 일주조 성분이 M2, S2 등 반일주조 성분에 비해 월등히 높게 나타났다.

O1분조의 반조차(진폭)는 17.76 cm, 지각은 11.35° 이며, K1분조의 반조차는 13.46 cm, 지각은 36.01° 이며, M2분조의 반조차는 5.56 cm, 지각은 14.57° 이다. S2의 반조차는 6.21 cm, 지각은 317.57° 로 나타났다.

그림 3-3-2-5에 정점 T1에서의 시간에 따른 수온 및 염분 분포를 제시하였다. 관측 시작인 3일부터 9일 오전까지 수온은 0.25°C 로 거의 비슷한 분포를 보이다가 9일 오후부터 관측을 마치는 14일까지 점점 떨어져서 수온이 -1.0°C 이하로 떨어진다. 염분은 3일부터 11일 밤까지 점점 올라가다가 12일 오전 중에 33.40 PSU 이하로 약 1 PSU가 급격히 떨어졌다가 다시 34.40 PSU로 올라가는 현상이 나타난다. 이는 12일 오전에 저염수괴가 기기가 계류된 해저면에까지 유입되었다는 것을 보여준다.

TIDAL RANGE OCCURRENCE AT T1

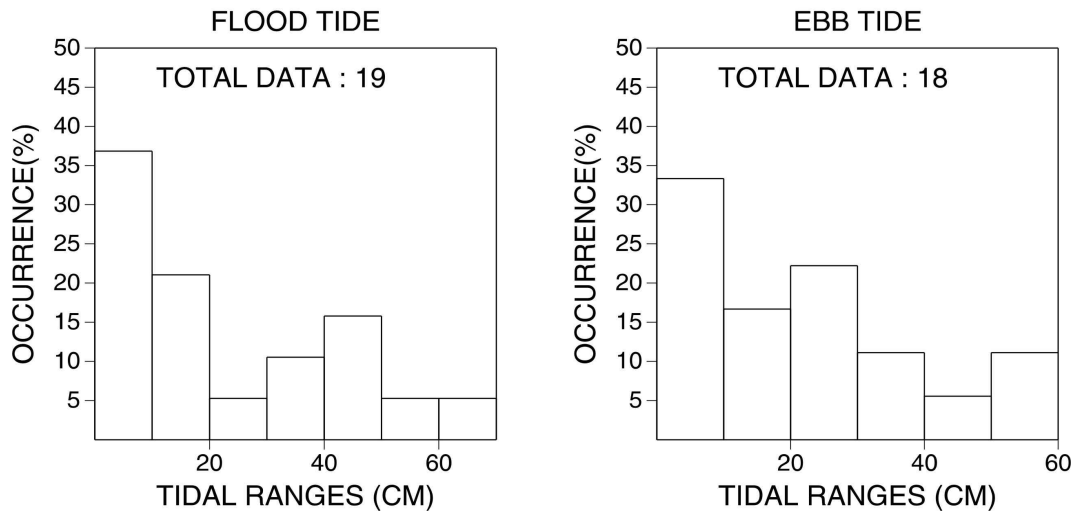


그림 3-3-2-3. T1 정점 창·낙조 조차분포.

HISTOGRAM OF TIDAL AMPLITUDE Jangbogo Base T1

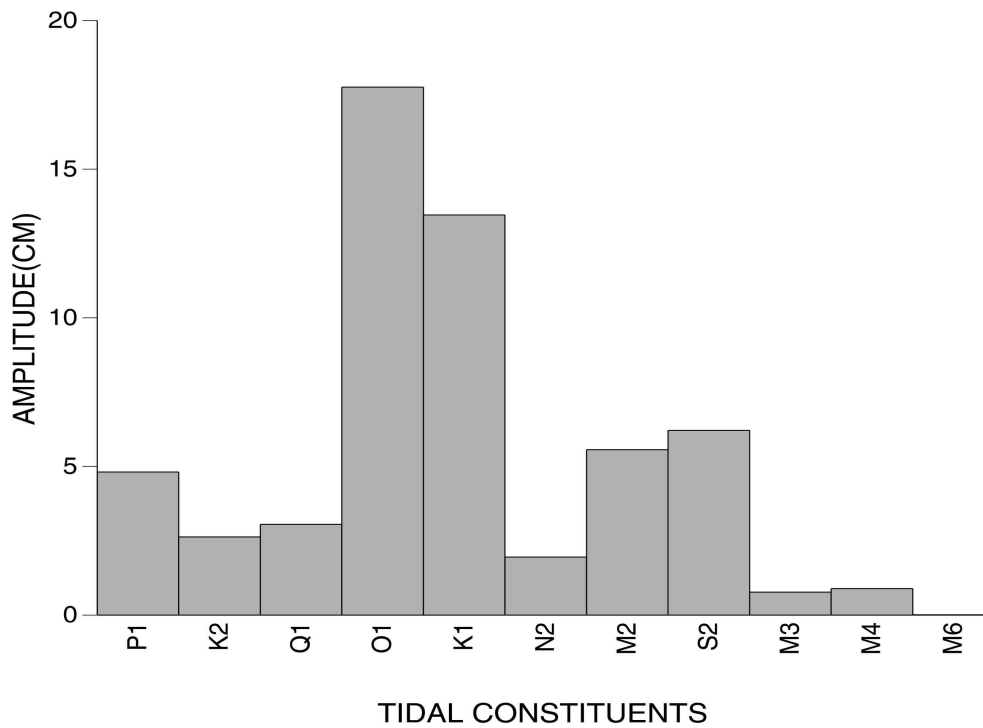


그림 3-3-2-4. T1 정점의 조위 조화상수 진폭 히스토그램

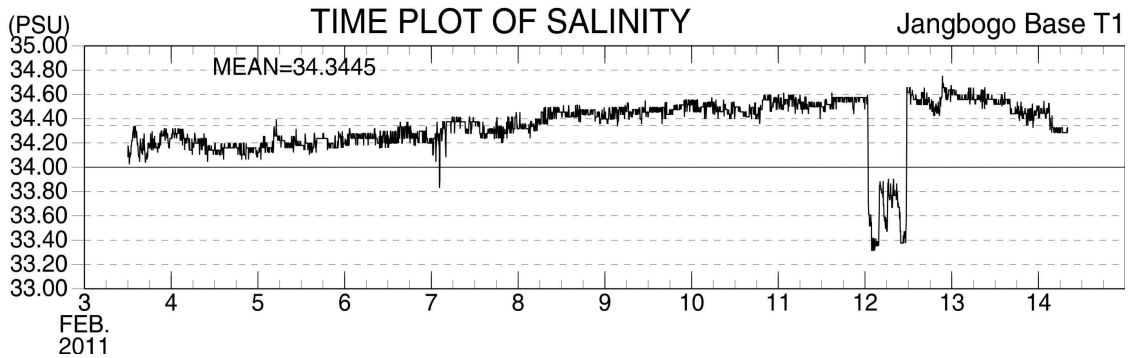
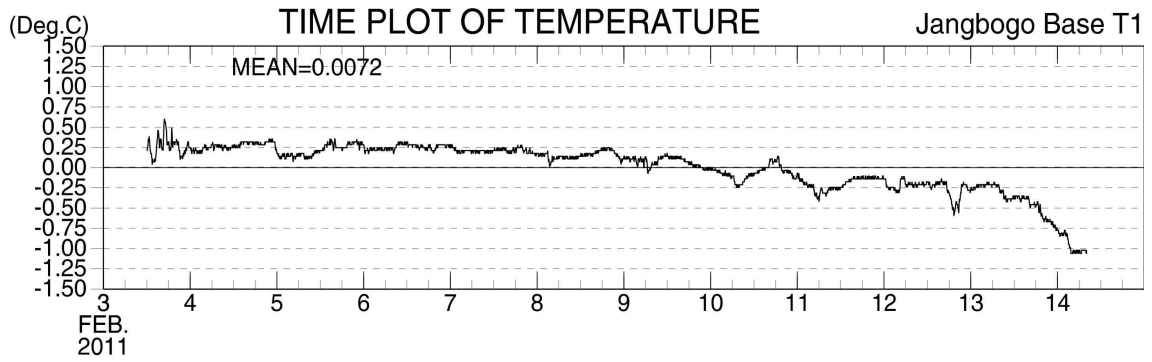


그림 3-3-2-5. T1 정점의 수온 및 염분분포

제 4 절 유속특성 조사

1. 유속, 파랑특성 조사방법

표 3-4-1-1과 같이 2011년 2월 3일부터 2월 14일까지 11일간 그림 3-1-1-1에 표시된 정점 R1에서 Aanderaa RDCP (Recordable Doppler Current Profiler) 600을 수심 24 m 지점 해저면에 계류하여 표층까지 1 m 간격으로 22개 층별 유속관측을 실시하였으며, RDCP600에 장착된 파랑센서를 이용하여 파랑자료를 동시에 수집하였다. 자료는 20분 간격으로 저장하였다. 그림 3-4-1-1에 유속연직분포 관측기인 RDCP600 및 계류대를 나타냈으며, 그림 3-4-1-2에 유속관측 계류방법을 도시하였다.

RDCP600도 WLR7과 동일하게 계류 시 미리 제작한 설치대에 기기를 장착한 후 그림 3-4-1-2와 같이 앵커를 이용하여 편평한 해저면에 설치하였다. 유빙에 의한 유실을 방지하기 위하여 깃발부이를 설치하지 않는 대신에 소형부이(주먹 크기)와 페트병을 사용하여 기기 계류 위치를 표시하였다.

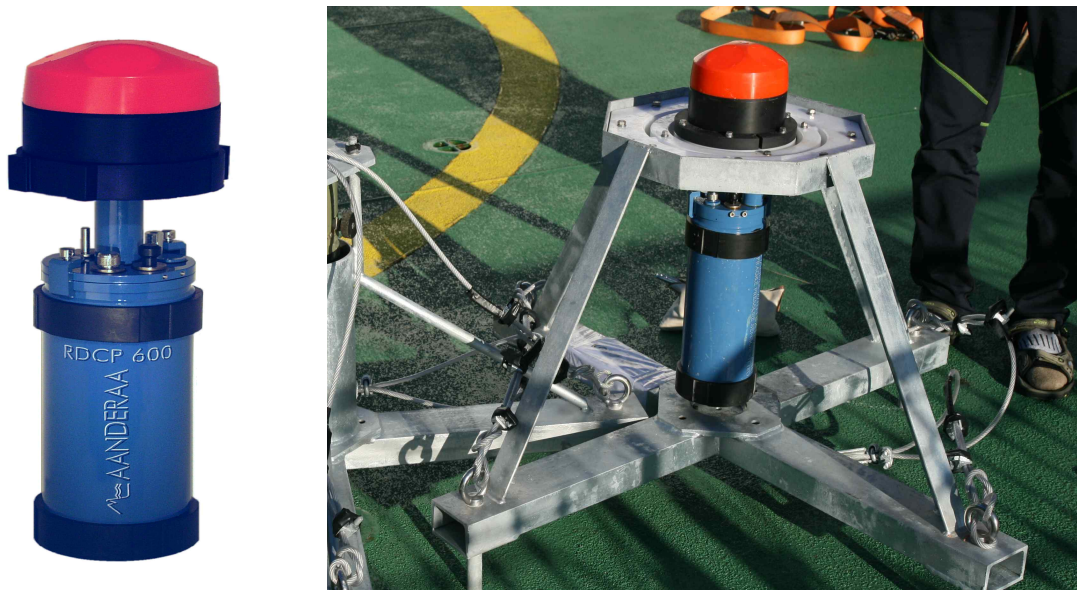


그림 3-4-1-1. 연직유속관측기(Aanderaa RDCP600) 및 계류대

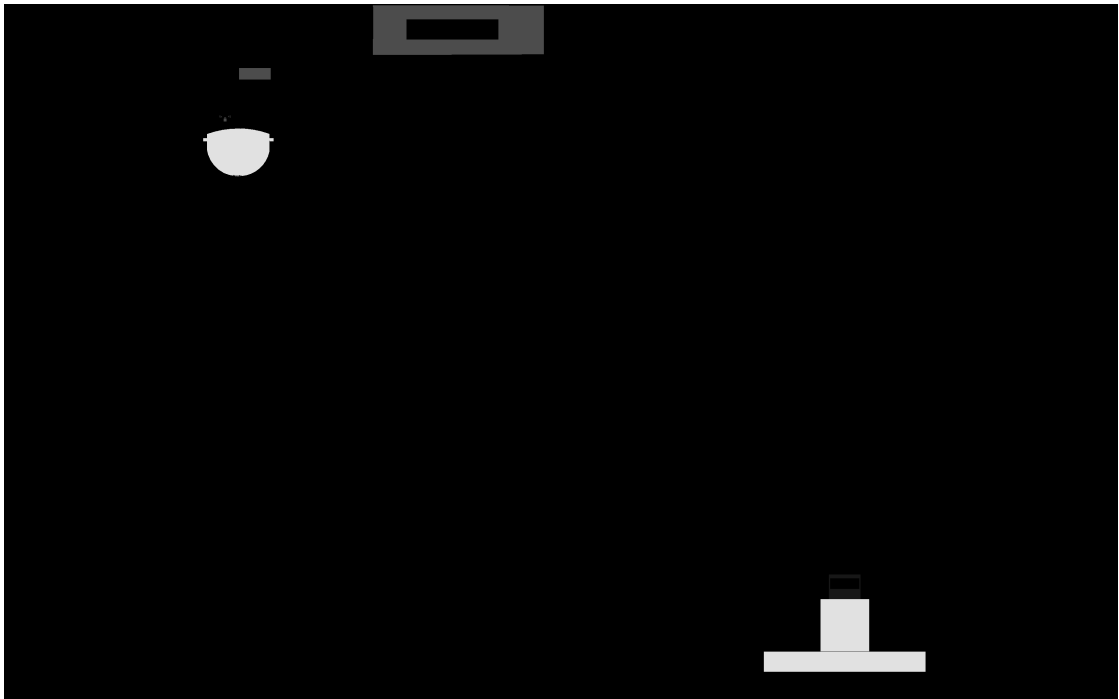


그림 3-4-1-2. 유속관측기(RDCP600) 계류 방법.

2. 유속특성 조사결과

정점 R1의 평균 수심은 25 m이었다. 그림 3-4-2-1에는 정점 R1에서의 동서 및 남북 방향의 유속시계열 자료를 제시하였으며, 그림 3-4-2-2에는 연직방향 유속시계열 자료를 제시하였다. 관측기간 내 동서 및 남북방향 모두 20 cm/s 이하의 유속을 보이며, 연직으

로는 주로 10 cm/s 이하의 유속을 보인다.

그림 3-4-2-3에 정점 R1의 표층, 중층, 저층의 해류에 대한 산점도를 제시하였다. 그림에서 중층은 수면 하 11 m이며, 저층은 수면 하 22 m이다. 표층은 주로 동쪽으로는 흐름을 보이는데, 유속은 중층이나 저층에 비해 크게 나타나 최대 약 0.5 m/s를 보이며 주로 0.25~0.3 m/s의 분포를 보인다. 중층의 유속은 다른 표층, 저층에 비해 작게 나타나 주로 0.1 m/s 이내의 유속을 보이며, 별다른 방향성을 보이지 않는다. 저층은 남북방향의 흐름을 보이며 대체로 0.15 m/s 이내의 유속을 보인다. 표층에서 유향의 원인을 확인하기 위하여 먼저 바람 자료를 살펴보았다. 그림 3-4-2-4에 관측기간의 바람장미도를 제시하였다.

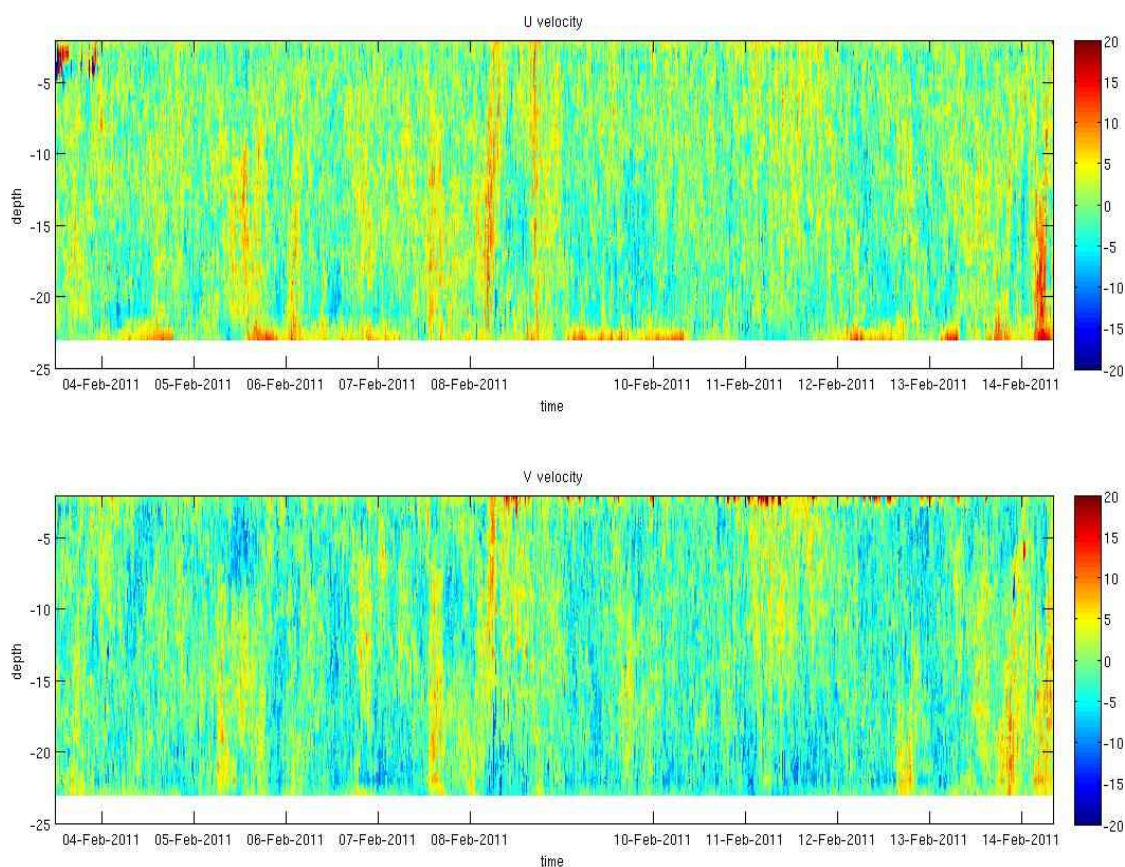


그림 3-4-2-1. 정점 R1에서의 동서방향(상)과 남북방향(하) 유속 시계열 자료.

그림 3-4-2-4에 제시한 바람장미도는 장보고 AWS 기지에서 지면으로부터 5.5 m 높이에서 관측한 것으로서 한 시간 평균한 값이다. 관측 기간은 RDCP 관측기간을 포함한 2011년 1월 27일 ~ 2월 22일이다. 여기서 풍향은 불어오는 방향을 의미하며 대체로 동향이 불며, 3.3~7.9 m/s의 풍속을 보인다. 이를 통해 표층의 유속은 바람의 영향을 크게 받는다는 것을 확인할 수 있다.

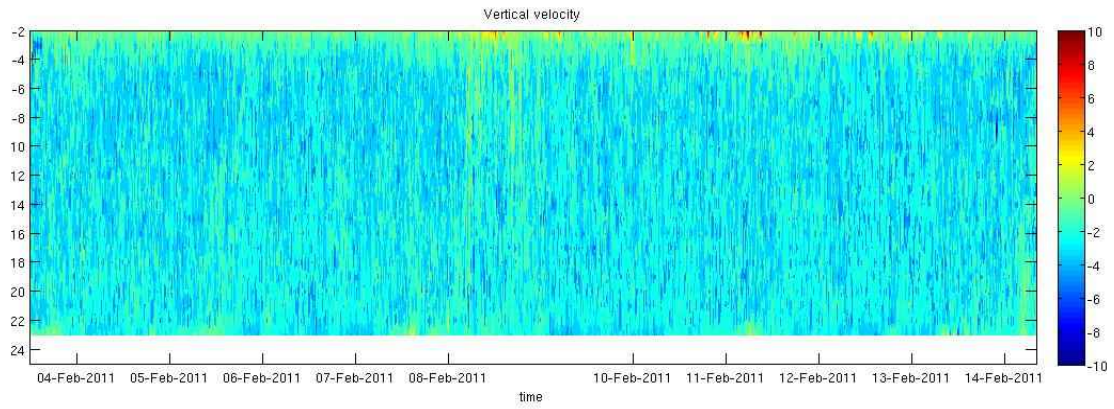


그림 3-4-2-2. 정점 R1에서의 동서방향(상)과 남북방향(하) 유속 시계열 자료.

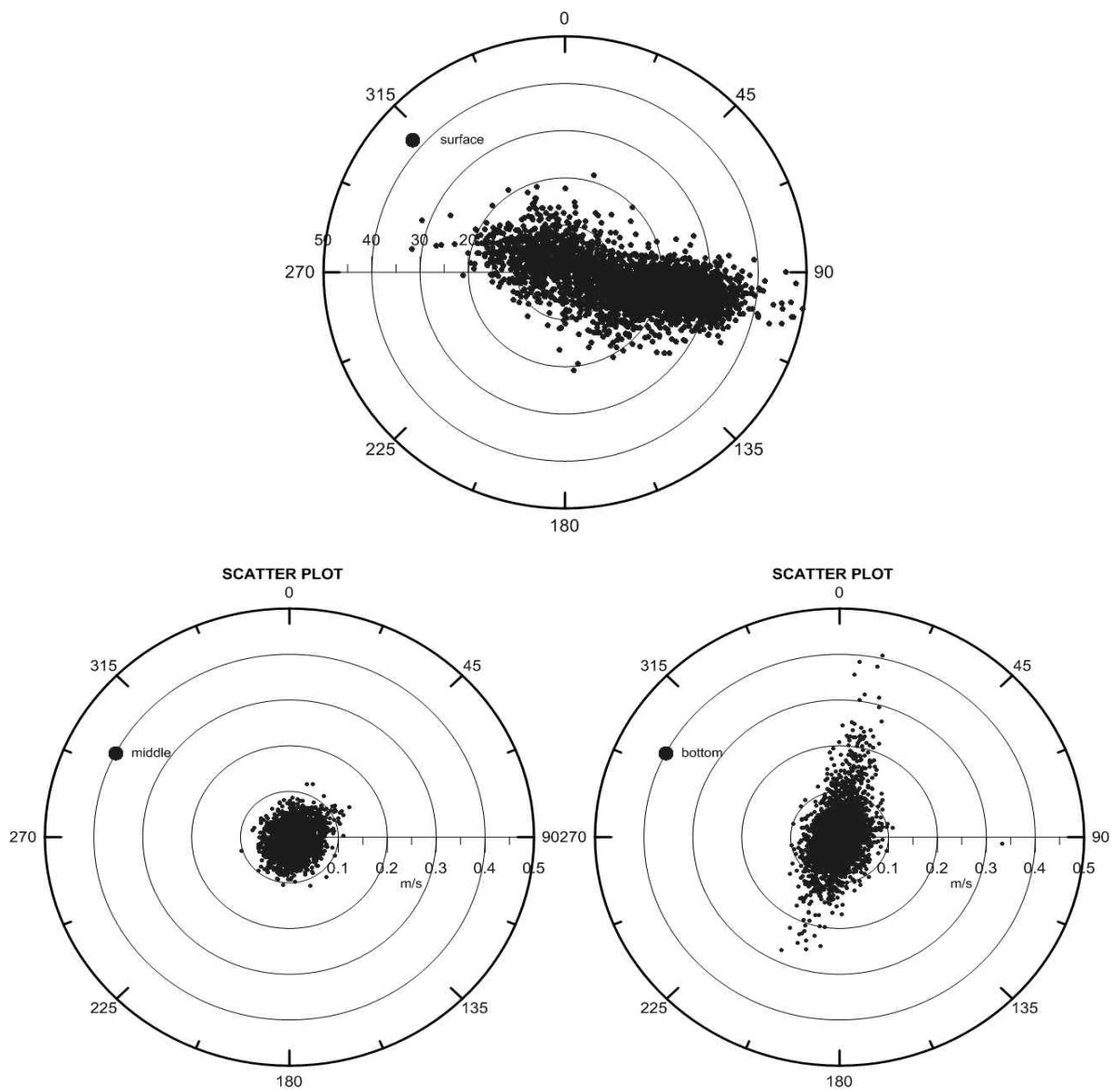


그림 3-4-2-3. 정점 R1 해류 산점도(scatter plot) (상: 표층; 하좌: 중층, 수심 11m; 하우: 저층, 수심 22m).

그림 3-4-2-5에는 관측 자료를 1시간 간격으로 평균하여 표층, 중층, 저층에 대한 유속벡터도를 제시하였다. 이때 중층 및 저층의 수심은 그림 3-4-2-3과 동일하다. 관측기간 동안 최대유속은 표층에서 0.41 m/s이며, 중층에서 0.09 m/s, 저층에서 0.22 m/s이다. 표층의 유향은 그림 3-4-2-3의 산점도와 동일하게 동서방향의 흐름이 주를 이루며, 중층은 방향성이 없다. 저층은 4~10일까지 유속은 대체로 0.05 m/s 미만으로 작으며 방향성이 없으나, 10일 이후 유속이 약 0.20 m/s로 커지며 남북방향의 흐름이 2월 10일에서 12일 사이에 나타난다.

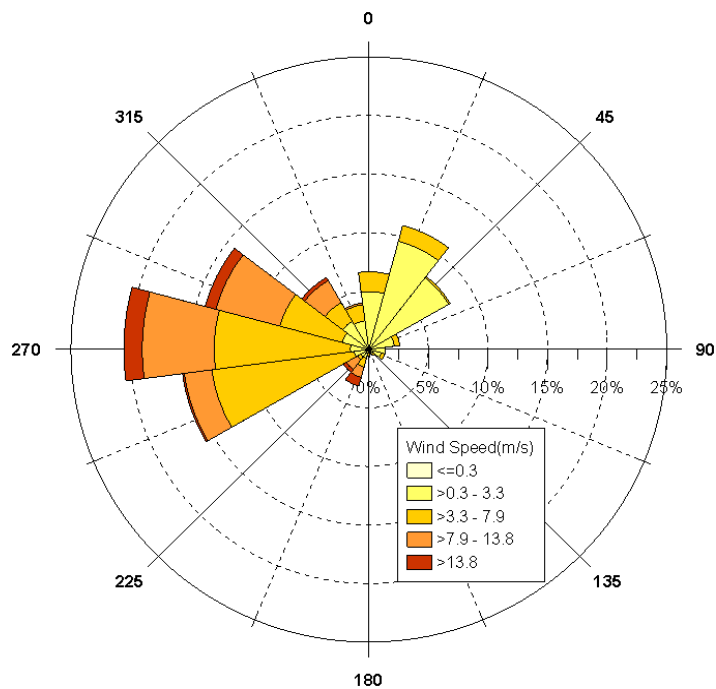


그림 3-4-2-4 . 지면 5.5m의 바람장미도

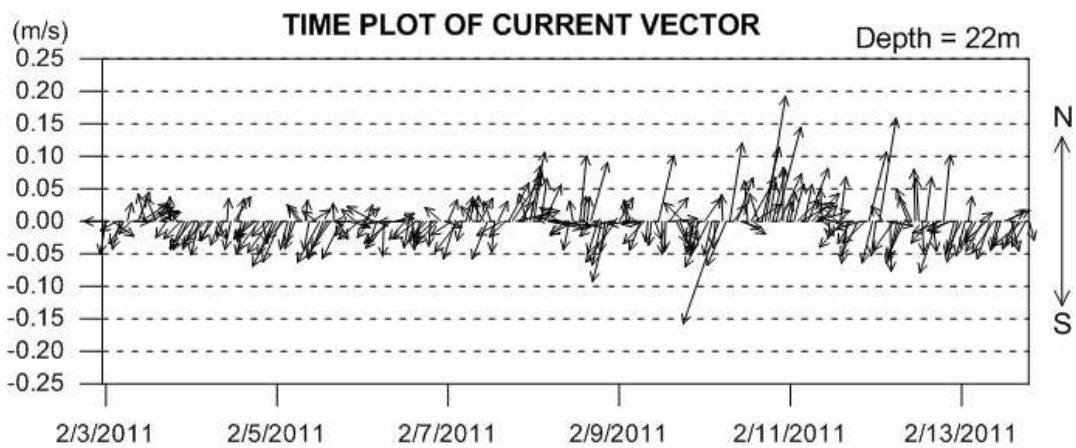
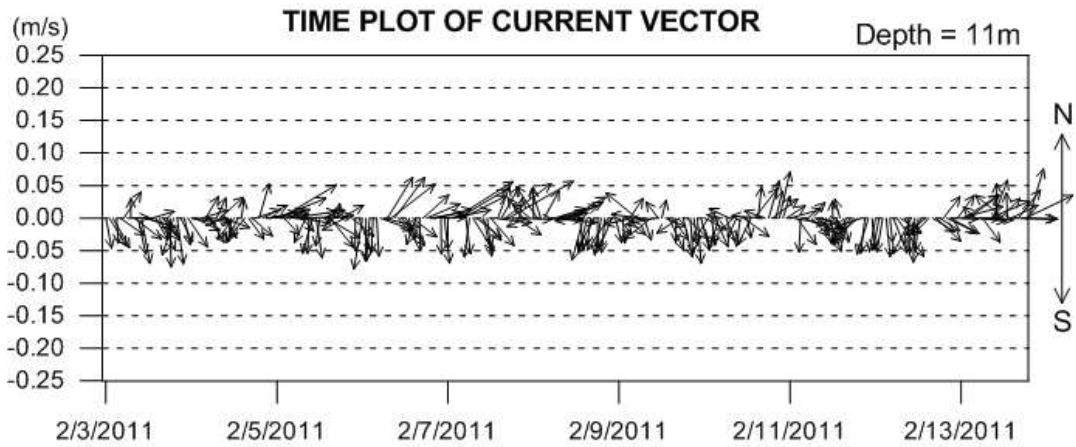
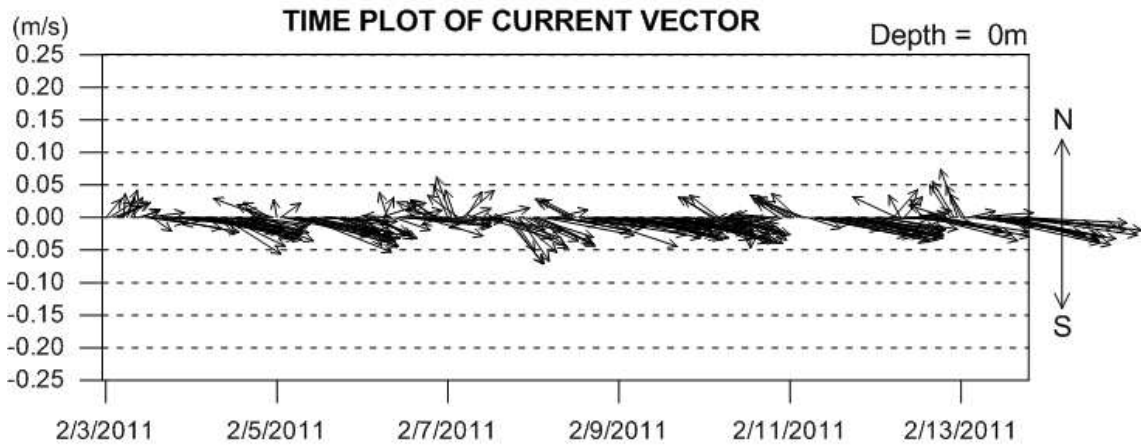


그림 3-4-2-5. 정점 R1의 연직유속 벡터도(상: 표층, 중: 수면하 11m, 하: 수면하 22m)

3. 파랑특성 조사결과

유속 연직분포 관측시 RDCP600에 파랑센서를 부착하여 함께 수집한 파랑자료로부터 산출한 유의파고 및 평균주기를 그림 3-4-3-1에 제시하였다. 유의파고는 0.02~0.25 m, 평균주기는 6.63~13.47 s의 분포를 보인다.

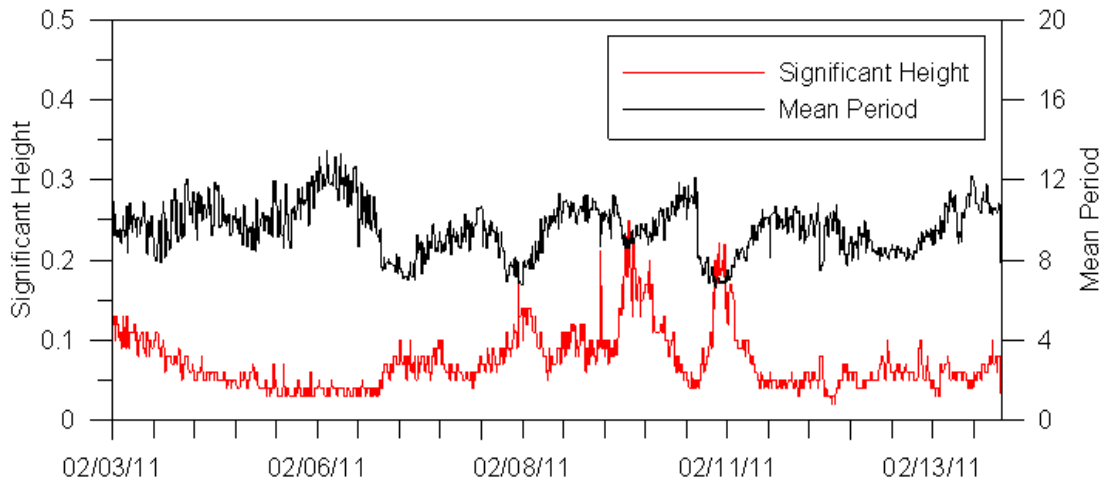


그림 3-4-3-1. 유의파고 및 평균주기

제 5 절 정밀수심조사

1. 정밀수심 조사방법

가. 수준측량 및 표척관측

해안선으로부터 멀지 않은 지점의 바위 위에 TBM (Tidal Bench Mark)을 설치하였으며 TBM의 위치는 그림 3-5-1-1과 같다. 2월 4일 오전에 그림 3-5-1-2에 제시한 Sokkia-SDL30 레벨과 함척을 사용하여 TBM으로부터 표척까지 수준 측량을 실시하였으며, TBM과 표척간의 수준차를 산정하여 TBM 값을 정하였다. 그림 3-5-1-3(우)에 수준 측량하는 관측 모습을 제시하였다. 수준 측량에 사용한 레벨의 제원은 표 3-5-1-1과 같다.

측심 자료에 대해 조위를 보정하고 해도의 기본수준면(Datum)을 결정하기 위하여 표척관측을 실시하였다. 표척은 그림 3-5-1-3(좌)과 같이 예상 기본수준면 이하의 수중에 수직으로 설치였다. 표척관측은 2월 3일 오후부터 캠코더로 표척에 나타난 해수면 수치를 계속 촬영하고 30분마다 카메라로 촬영하는 방식으로 진행하였다. 그러나 당일 관측 마감 무렵 수준측량을 실시하기 이전에 유빙에 의해 표척이 넘어지는 사고가 발생하여 당일 관측된 자료를 분석에서 모두 제외하였다.

2월 4일 오전부터 표적을 다시 세우고 동일한 방식으로 포척관측을 진행하였으며 1차 검토 결과 카메라로 촬영된 자료는 양호하였으나 캠코더로 촬영된 자료는 불량하여 분석에서 제외하였다. 2월 5일에도 동일한 방식으로 표척 관측을 진행하였으며 카메라 및 캠코더 모두 양호한 자료를 확보하였다. 관측 종료 후 표척관측 기록은 수준측량 성과 및 조위관측 결과와 대조하여 측심 자료의 보정에 사용하였다.



그림 3-5-1-1. TBM 위치.

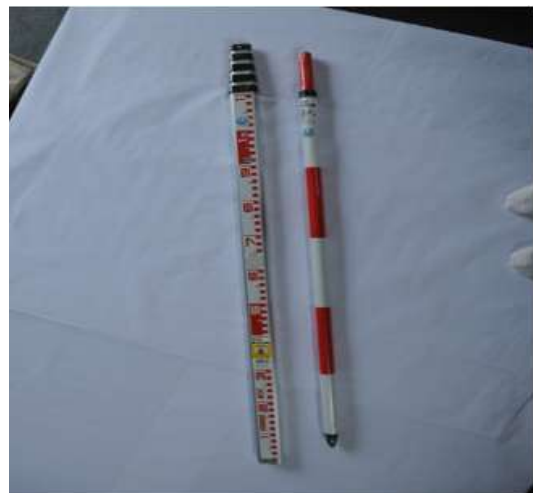


그림 3-5-1-2. 레벨(좌) 및 함척(우)의 형태

표 3-5-1-1. 레벨의 제원

	GEO-24IP	GEO-28IP
Standard Deviation for 1km Double-run levelling	2.0mm	1.5mm
Telescope image	Erect	Erect
Magnification	24X	28X
Clear Objective Aperture	38 (mm)	38 (mm)
Field of view	1°20'	1°20'
Shortest Focusing Distance	0.5m	0.5m
Stadia Multiplying Constant	100	100
Stadia Additive Constant	0	0
Sensitivity of Circular Level	8'/2mm	8'/2mm
Graduation Interval of dail	1°	1°
Compensator type	Air Damping	
Working range	+/- 15'	+/- 15'
Setting Accuracy	0.3"	0.3"
Net Weight	1.46kg	1.46kg
Connecting size to tripod	5/8" x 11	5/8" x 11
Code No.	217424	217428



그림 3-5-1-3. 표척 관측(좌) 및 수준 측량(우)

나. 수심측량

그림 3-5-1-4에 남극 제2기지 예정지(테라노바베이) 전면의 수심조사 대상해역을 제시하였다. 전체 측심 대상 해역은 약 3km × 4km 해역(그림 3-5-1-4에서 흰색실선 영역)으로 조사기간 동안의 기상 등 현지상황을 고려하여 I, II, III의 세 구역(빨간 색 상자)으로 우선순위를 정하여 측심을 실시하였다. 즉, 악기상이 지속되는 최악의 경우에는 I 구역만 조사하는 것으로 조사계획을 수립하였다. I 구역은 기지 예정지 전면해역이며, II

구역의 외측 한계는 1차 조사(2009 및 2010년)시에 아라온호의 해안선 최근접 위치이다.

X축선은 50m, Y축선은 100m 간격으로 측심하는 것으로 계획되어 있었으나 설계/건설팀의 요청에 따라 선박의 접안시설 및 취/배수시설이 건설될 I 구역을 중점 조사하기로 계획을 수정하여 I 구역의 X, Y 축선의 간격을 각각 100m, 30m로 변경하여 수심 조사를 진행하였으며, 해안선 부근, 접안시설 및 취/배수시설 예정지, 암초지대 등은 보다 정밀하게 측심을 실시하였다.

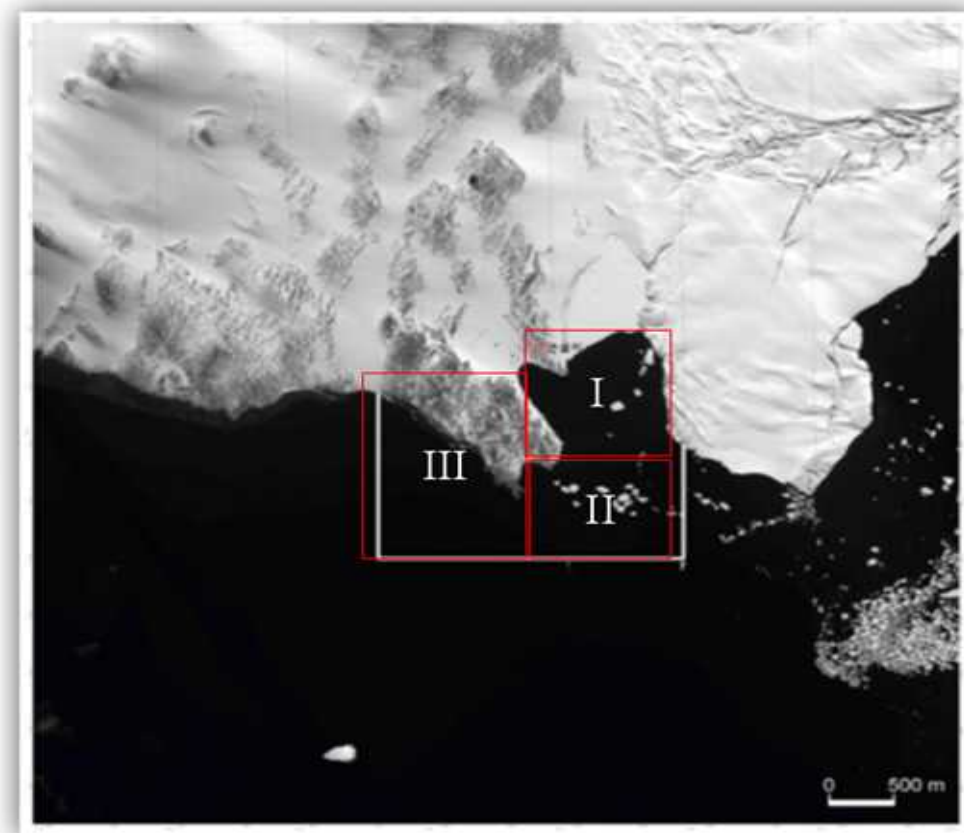


그림 3-5-1-4. 정밀수심조사 대상해역

수심측량에 사용되는 장비는 크게 싱글빔 측심기(SBES: Single-beam Echo Sounder)와 멀티빔측심기(MBES: Multi-beam Echo Sounder)를 사용하는 것으로 분류할 수 있으며 본 조사에서는 두 가지의 측심기를 모두 사용하였다.

싱글빔 측심기를 사용한 수심측량은 횡단면 전체를 동시에 측심할 수 있는 멀티빔 측심기와 달리 한 지점에 대한 측심만 할 수 있으므로 멀티빔측심기를 사용할 때와 비교하면 효율이 떨어지고 측심에 소요되는 시간도 훨씬 늘어나게 된다. 하지만 멀티빔에 비해 장비의 부피가 작고 운영이 쉬운 점이 있어 고정밀 측심을 필요로 하지 않거나 소규

모 영역의 측심작업 또는 횡단 프로파일 측량 등에 주로 이용된다.

본 조사에서는 싱글빔 측심기를 이용한 수심조사가 먼저 진행되었으며, 본 조사기간 중 시간의 기준은 모든 조사에 대하여 동일하게 현지시간(GMT+12h)을 적용하였다. 측심센서는 그림 3-5-1-6과 같이 특별히 설계, 제작한 거치대에 부착한 다음 센서가 약 1 m 정도 수중에 위치하도록 조디악 옆면에 설치하였다. 수심측량 작업 시 조디악의 운항 속도는 약 4 노트를 유지하여 충분한 정밀도를 확보였다. 싱글빔을 이용한 수심조사의 구성도를 그림 3-5-1-5에, 조디악에 수심측량 장비가 장착된 모습을 그림 3-5-1-6에 제시하였다.

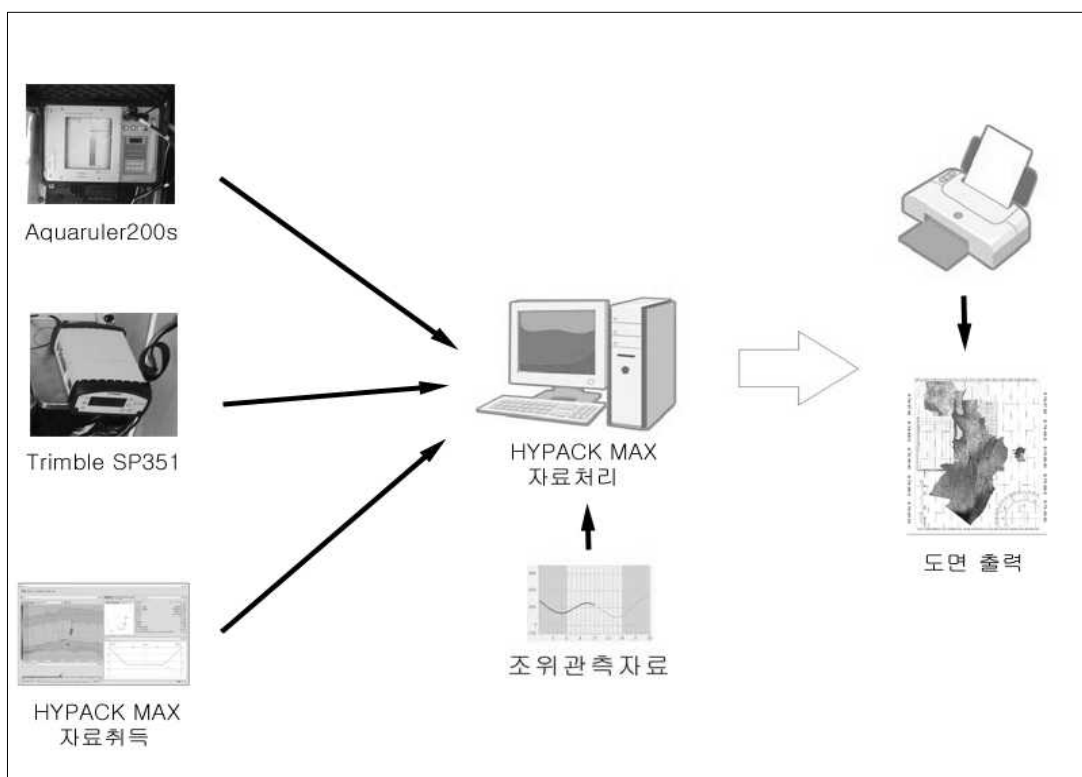


그림 3-5-1-5. 수심조사 작업 구성도.

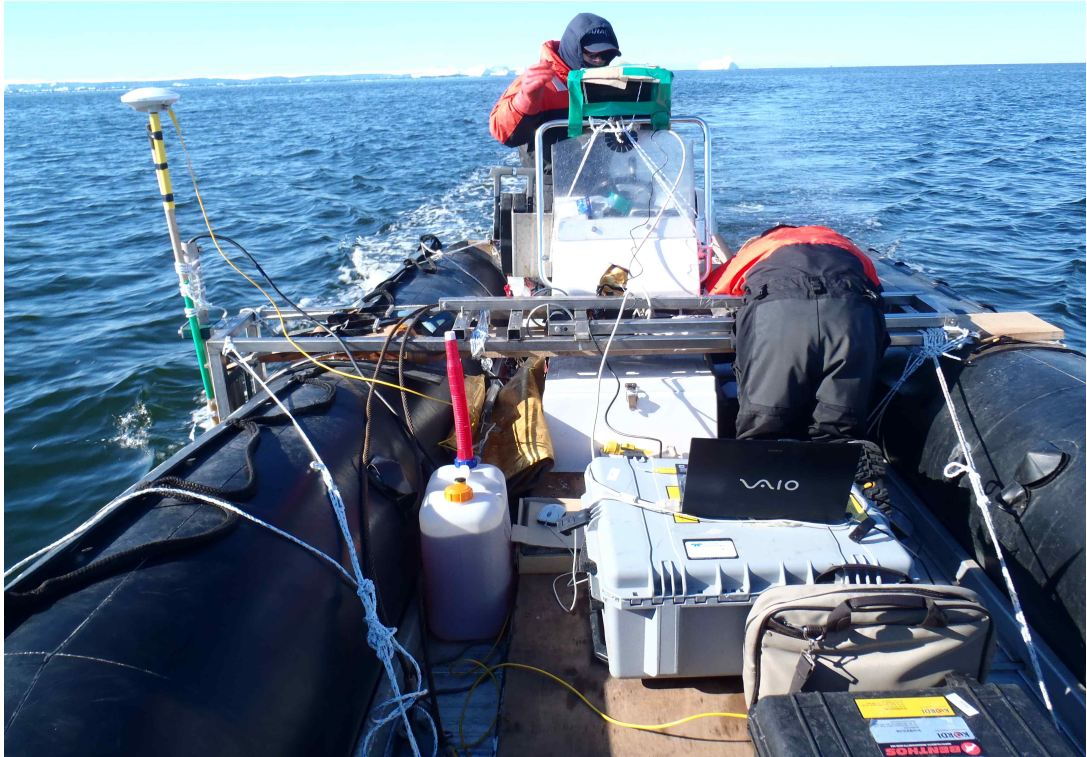


그림 3-5-1-6. 조디악에 장착된 수심측량 장비.

측심작업은 그림 3-5-1-7에 제시한 측심장비 천해용 정밀 음향측심기 AquaRuler-200s(좌)와 좌표 획득 장비인 Trimble사의 SP351 GPS(우)를 미리 제작한 설치대를 이용하여 조디악에 장착하고 조디악을 운항하면서 수심정보와 위치정보를 실시간으로 취득하는 방식으로 진행하였다. 측지매개변수는 표 3-5-1-2와 같고, 측심기 AquaRuler 200S의 제원은 표 3-5-1-3, GPS Trimble DSM212H의 제원은 표 3-5-1-4와 같다.

표 3-5-1-2. 측지 매개 변수(geodetic parameters)

Geodetic Parameters	
Grid Projection	Universal Transverse Mercator Zone 58
Ellipsoid	WGS-84
Central Meridian	165° 0' 0" East
Reference Latitude	0° 0' 0" North
Hemisphere	South
False Easting(X)	500000.0
False Northing(Y)	10000000.0
Scale Factor on CM	0.9996
Units	Meter

조디악에 설치된 측심기와 GPS는 노트북에 연결되며 항로 유도 담당이 노트북에 미리 입력된 계획 항적도를 따라서 조사선의 항로를 유도하면서 운항하면 1초 간격으로 위치와 수심이 결정되고 노트북 내에 측심기록이 저장된다. 측심기 운용 담당은 측심기록에 나타나는 압초 등 이상 수심을 파악하여 항로 유도 담당에게 전달한다. 위치 정밀도는 1 m 정도이고 수심 오차는 1 cm 정도이다.

수심 조사 기간 중 I 구역 동쪽으로는 빙하가 빙벽을 이루고 있어 측심을 실시하지 못하였으며, 간혹 큰 유빙이 장시간 머물러 있던 곳도 측심을 정확하게 하지 못하였다.

조사해역에는 작은 유빙이 산재하여 조디악의 속도를 높일 수 없었고 이에 따라 수심 조사 시간이 계획보다 더 많이 소요되었으며 유빙을 피해 조디악을 운항하느라 수심 조사 항적 또한 직선으로 되지 못하고 구불구불하게 된 경우가 많았다. 특히 유빙이 많은 지역에서는 유빙에 의한 측심오류가 다수 발생하여 측심작업의 진행에 어려움이 있었다.

측심 자료는 측심 당일 HYPACK 소프트웨어를 이용하여 처리하여 항적도 및 수심 투입도를 작성하였으며 수심투입도에 나타나는 오류는 자료에서 배제하고 추후 재측심을 실시하여 이를 보완하였다.

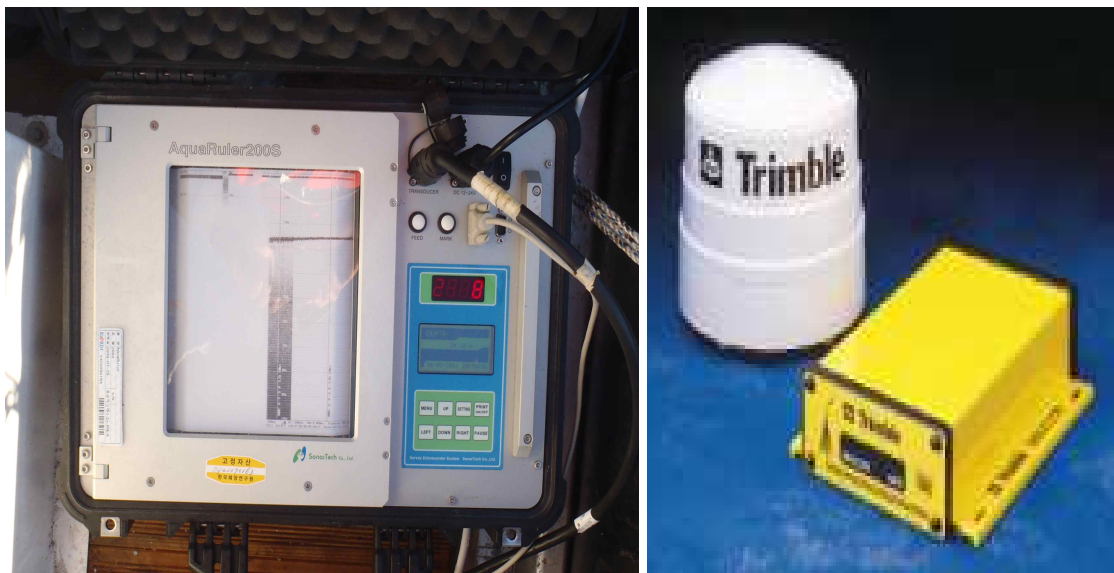


그림 3-5-1-7. 싱글빔측심기 및 GPS 형태(좌: 싱글빔측심기 AquaRuler200s; 우: GPS Trimble DSM212H).

표 3-5-1-3. 싱글빔 측심기(AquaRuler 200S)의 제원

	ECHOSOUNDER(AquaRuler Series) 음향측심기
모델명	AquaRuler 200S
TRANSDUCER	12~210kHz 단소자
메인 보드	MCU : TMS320F2812(DSP), RAM : 256K*16bit
A/D 보드	MCU : TMS320F2812(DSP), 150kHz Sampling
Display 보드	MCU : ATMEGA128, LCD : 128*64 Graphic Display
프린터	PM216(letter-8.5") -A4 Size 최고 프린팅 속도 (65mm/sec.) 고화소수(8 dot/mm)
출력속도	동기 30~190mm/min
측정범위	10~8000m (범위 선택가능)
음속	1,400~1,600 m/s(1m/s 간격 조절 가능)
분해능	±1cm(0~200m), ±10cm(20~2000m), ±1M(2000~8000m)
송신전력	1kW(0~1 kW 가변) 4단계
펄스폭	8단계 가변
게인조절	각 주파수별 수동수신이득, AGC, TVG 조절 가능
시리얼포트	RS-232 PORT(UART), 송수신율 : 4,800~115,200bps 포맷:DESO25 및 모든 포맷 가능
전원	12 to 24VDC MAX 100Watt (Option : AC85~220V)
크기 및 무게	W*H*D : 400 * 300 * 180 mm 13.5kg

표 3-5-1-4. GPS(Trimble DSM212H)의 제원

Receiver	
Size:	14.5cm(W) x 5.1cm(H) x 19.5cm(D) (5.7"(W) x 2.0"(H) x 7.7"(D))
Weight:	0.76kg (1.68 lb.)
Power:	5W (max.), 10 to 32 VDC
Operating temp:	-30°C to +65°C
Storage temp:	-40°C to +85°C
Humidity:	100% condensing, unit fully sealed
Combined Antenna (DSM212L & DSM212H)	
Size:	15cm(D) x 15.5cm(H) (5.8"(D) X 6.0"(H))
Weight:	1.0 kg (2.2 lb.)
Operating temp:	-40°C to +65°C
Humidity:	100%-fully sealed
Compact Dome Antenna (DSM12)	
GPS Receiver	
General	12-channel, parallel tracking, L1 C/A code with carrier phase filtered measurements and multi-bit
digitizer	
Output rate:	1 Hz standard (DSM12, DSM12RS, & DSM212L)
	10 Hz standard (DSM212H)
	Differential speed
accuracy:	0.1 knt (0.1 MPH, 0.16 km/h, 5.6cm/s)*
	Differential position



그림 3-5-1-8. 제2기지 건설 예정지와 아라온호

아라온호 운항시의 안전을 충분히 확보하기 위하여 제2기지 건설 예정지 동남쪽 수심 조사 구역 밖에 위치한, 해수면 위로 돌출된 암초 주변 해역에 대한 수심 조사도 상당 범위 안에서 이루어졌다. 2월 11일 암초 사이와 암초 주변을 수 m 간격으로 돌면서 상세하게 측심하여 그 결과를 수심도에 반영하였다.

I 구역의 수심조사가 진행되는 동안 아라온호는 I 구역의 수심정보가 없어 III구역 근처의 수심이 깊은 해역에 머물고 있었으나 I 구역의 수심 조사가 완료된 후에는 획득한 수심자료를 참고하여 제2기지 건설 예정지 해안으로부터 약 200 m 떨어진, 수심 28 m 부근 해역까지 접근할 수 있었다. 제 2기지 건설 예정지와 I 구역에 접근한 아라온호 모습은 그림 3-5-1-8과 같다. 아라온호가 기지 전면 해역으로 이동하면서 장착된 멀티빔(Multi-beam) 장비를 가동하여 I, II 구역에 대한 수심자료를 획득할 수 있었으며 이 자료를 함께 편집하여 수심도를 작성하는 데 활용하였다.

멀티빔측심기는 수심측량 시 일정한 방사각을 갖는 수십 개 이상의 빔을 수중에서 수신하여 한 번에 수심의 2배 정도 범위를 갖는 자료를 취득하는 방법이다. 상대적으로 매우 조밀한 해저면의 수심 값을 취득할 수 있어 일반적인 수심측량보다 해저면의 지세와 수중 구조물의 형태를 자세히 파악할 수 있다.

멀티빔 측심기를 이용한 수심측량의 보통 해상도는 수 센티미터(cm) 이내로서 한 번 주사되는 빔의 각도는 0.5°~1.5° 범위이며 한 번에 최대 150° 범위를 측량할 수 있다. 멀티빔 음향측심기를 이용한 수심 측량 시에는 해상 DGPS 시스템, 자이로, 모션센서, 기기운동을 위한 컴퓨터가 하나의 시스템을 이룬다. 양질의 자료 획득을 위해서는 사전에 각 장비에 대한 테스트 및 조사구역에 대한 측선배치와 선속계획을 수립하고, 현장조사 시 실시간 파라미터 조정과 수심보정을 위한 음속 측정 등을 병행한다.

수심측량자료는 실시간 조위 변화량, 해수유동에 의한 유도 수평, 파고 값 등을 적용하여 보정하여야 하며, 수중에서 수심별 음속 차이에 의하여 발생하는 측심오차를 보정하기 위하여 수심별 음속 값을 조사 한 후 보정하여 정확도를 높인다. 또한 취득한 수심자료는 조사시점의 조위자료를 통한 조위보정이 필요하다.

또한 멀티빔 소나헤드의 정확한 방향을 결정하기 위한 Patch 테스트는 취득한 측심에 대한 소나헤드 설치 시 발생하는 미세한 수심오차를 보정하기 위한 것으로, 소나헤드의 roll, pitch, yaw 방향에 대한 최소의 수심 오차에 대응하는 방향각을 구하게 된다. 현지 취득한 측량 값은 사후처리를 실시하여 정확도를 향상 시킨다.

멀티빔의 수심측량 모식도를 그림 3-5-1-9에 제시하였으며, 아라온호에 장착된 멀티빔의 에코사운더인 EM 122의 사양은 표 3-5-1-5와 같다. 자세한 정보는 Kongsberg의 웹사이트(<http://www.km.kongsberg.com>)에 제시되어 있다.

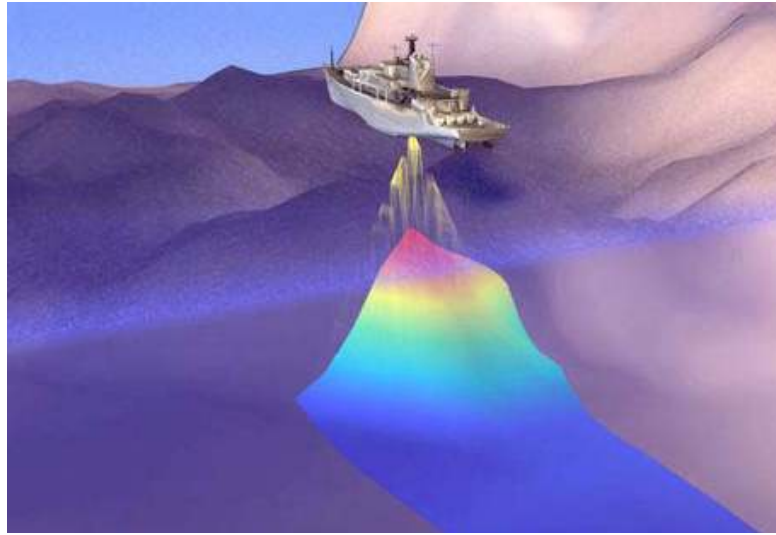


그림 3-5-1-9. 멀티빔 수심측량 모식도

표 3-5-1-5. 멀티빔측심기의 제원

ECHOSOUNDER(EM122) 음향측심기	
Operating frequency	12kHz
Depth range	20 ~ 11,000m
Swath width	6 × Depth, to approx 30km
Pulse forms	CW and FM chirp
Swath profiles per ping	1 or 2
Motion compensation	
- Yaw	± 10 degree
- Pitch	± 10 degree
- Roll	± 15 degree
Sounding pattern	Equi-distant on bottom/equiangular
Depth resolution of soundings	1 cm
High resolution mode	High Density processing
Sidelobe suppression	-25 dB
Suppression of sounding artefacts	9 frequency coded transmit sectors
Beamfocusing	On transmit(per sector) and on reception(dynamic)
Beamforming method	Time delay
Gain control	Automatic
Swath width control	Manual or Automatic
Seabed imagery	Standard
Water column display	Standard
Mammal protection	Standard
Multi frequency operation	by integration with EM3002, EM710 and EM302
Sub bottom profiling	by integration with SBP 120

2. 정밀수심 조사결과

가. 수준측량 및 표척관측

수준측량은 레벨과 표척을 이용하여 측점의 높이를 결정하는 작업으로 고저측량 혹은 레벨측량이라고도 한다. 본 연구에서는 카메라 및 캠코더를 활용하여 그 점에 세운 표척의 눈금 차이로부터 직접 고저차를 구하는 직접수준측량을 실시하였다.

수준측량을 두 구역으로 나누어 실시하였다. 그림 3-5-2-1과 같이 <1>의 TBM과 <2>의 중간에 레벨기를 세우고, 알고 있는 지점인 TBM(후시, back sight)에 스타프를 세우고 레벨기로 수치를 읽고, 알고자 하는 지점인 <2>를 세운 곳(전시, fore sight)에 스타프를 세우고 수치를 읽는다. 이를 표 3-5-2-1의 1에 제시하였다. 또한 같은 방법으로 <2>와 <표척> 사이에 레벨기를 세우고 수치를 읽어 표 3-5-2-1의 2에 제시하였다. 이를 바탕으로 그림 3-5-2-1에 표척 및 TBM 배치도 및 수준측량 결과를 제시하였다.

표 3-5-2-1. 수준측량성과

		후시	전시
1	수준고	0.1964m	3.2213m
	거리	29.03m	43.72m
	명칭	TBM	
2	수준고	0.1420m	0.69m
	거리	9.71m	
	명칭		표척

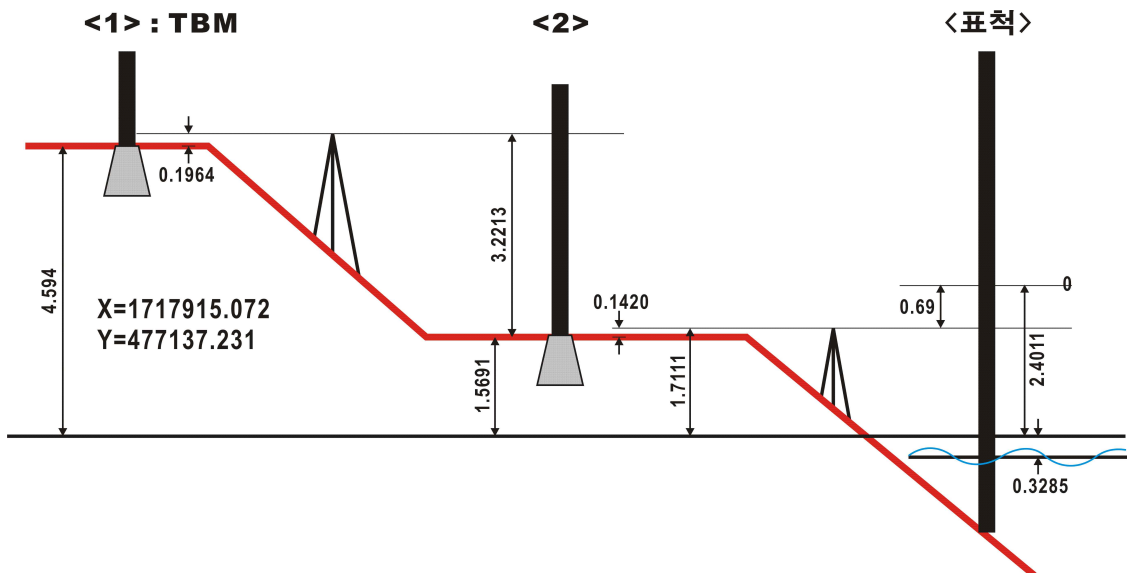


그림 3-5-2-1. 표척 및 TBM 배치도

나. 수심측량

자료 취득 후 자료 처리과정에서 싱글빔 측심자료와 멀티빔 자료를 비교 검토한 결과 같은 위치에서 싱글빔 측심자료가 멀티빔 측심자료보다 측심 값이 더 깊게 측심된 것을 발견하였다. 이는 싱글빔 측심기의 장비오차에 단독 측위 GPS의 위치 오차가 더해지고 아라온호에 장착된 멀티빔 측심기가 천해용이 아닌 심해용이어서 발생할 수 있는 오차와 멀티빔 측심기의 센서깊이 보정 등이 이루어지지 않아서 발생한 오차로 보았으며, 싱글빔 측심자료와 멀티빔 측심자료가 중복되는 지역의 측심자료를 비교하여 관계식 3-5-2-1을 구하여 최종적인 측심 자료를 만들어 수심도를 완성하였다.

$$\text{싱글빔 측심값} = (0.9894 \times \text{멀티빔 측심값}) + 2.6811 \quad (\text{식 3-5-2-1})$$

완성된 수심도는 기본수준면(Datum Level)을 기준으로 하였으며 측심된 전체 구역을 한 도면에 출력한 수심도는 1/5,000 축척으로, 기지 주변을 확대하여 그린 수심도는 1/4,000 축척으로 하여 도면을 완성하였다.

정밀한 수심도를 제작하기 위하여 수심도는 관측기간의 평균 기압을 연평균 기압과 비교하여 연변화 보정을 하였다. 장보고 AWS 기지에서 2010년 3월 ~ 2011년 2월 까지 관측한 기압자료를 그림 3-5-2-2에 제시하였으며, 본 연구를 위해 관측한 기간, 2011년 2월 3일 ~ 14일의 기압도를 그림 3-5-2-3에 제시하였다. 장보고 기지에서 1년간 관측한 평균기압은 984.1631 mb이며, 11일 동안의 평균기압은 989.2888 mb이다.

수심측량을 실시한 기간의 평균기압은 연평균 기압에 비해 5.1251 mb 높다. 일반적으로 해면기압이 1 mb 낮아지면 해수면이 1 cm 상승하며, 1 mb 높아지면 해수면이 1 cm 하강하는 것으로 알려져 있다. 관측기간의 평균기압이 연평균 기압에 비해 5.1251 mb 높았으므로 약 5.13 cm 하강했을 것으로 보아 평균해면을 11.4079 m에서 5.13 cm를 더하여 11.459 m로 보정하여 수심도를 제작하였다.

기본수준면을 기준으로 하여 수심도를 제작하였다. 기본수준면은 평균해면에서 M2, S2, O1, K1 4개 분조 진폭의 합을 뺀 값으로 정의한다. 4개 분조의 진폭은 표 3-4-5에 제시하였다. M2 분조는 5.56 cm이며, S2 분조는 6.21 cm이며, O1 분조는 17.76 cm이며, K1 분조는 13.46 cm이며, 4개 분조 진폭의 합은 42.99 cm이다. 그러므로 기준수심 산정 시 평균해면에서 42.99 cm를 뺀 값을 사용하여 제작한다.

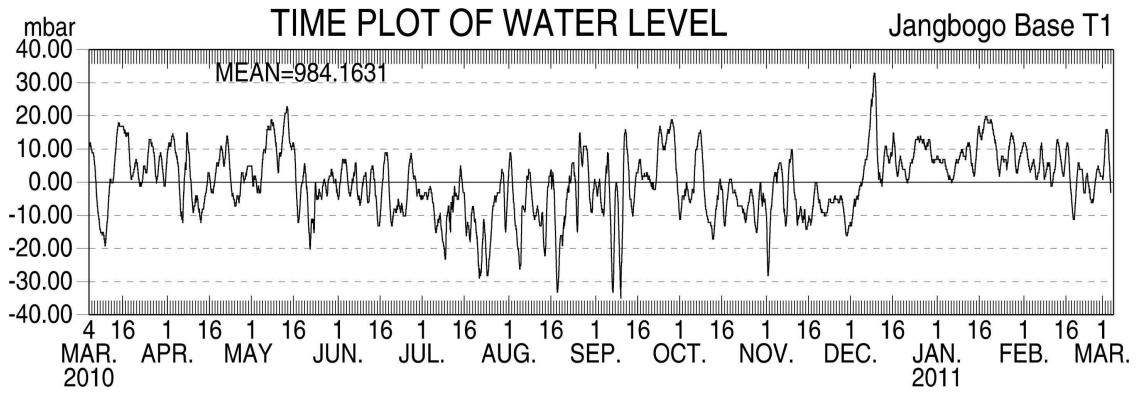


그림 3-5-2-2. 대기압 시계열 곡선(2010년 3월 ~ 2011년 2월, 1년간)

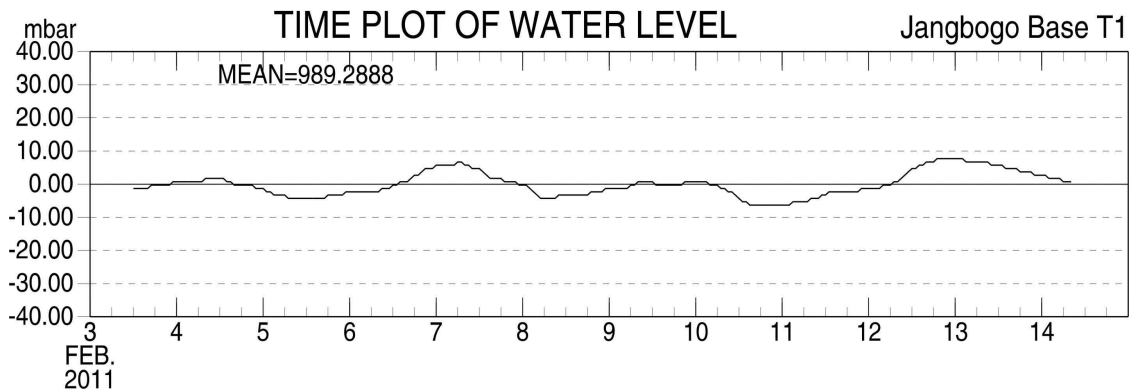


그림 3-5-2-3. 대기압 시계열 곡선(2011년 2월 3일 ~ 14일, 11일간)

그림 3-5-2-4는 조디악에 장착한 싱글빔(Single-beam) 측심기를 사용하여 획득한 자료를 이용하여 그린 수심도이며, 그림 3-5-2-5는 아라온호에 장착된 멀티빔(Multi-beam) 측심기로부터 획득한 자료를 이용하여 그린 수심도이다. 그림 3-5-2-6은 싱글빔 및 멀티빔을 활용하여 관측한 자료로부터 오차 보정 후 편집하여 그린 수심도이다. 도면은 모두 기본수준면(Datum Level)을 기준으로 제작하였다.

본 조사의 최종결과인 제2기지 예정지 부근 1/4,000 수심도와 수심투입도를 그림 3-5-2-8과 그림 3-5-2-9에 제시하였다. 또한 수심조사 전 해역의 1/5,000 수심도와 수심투입도를 그림 3-5-2-10과 3-5-2-11에 제시하였다.

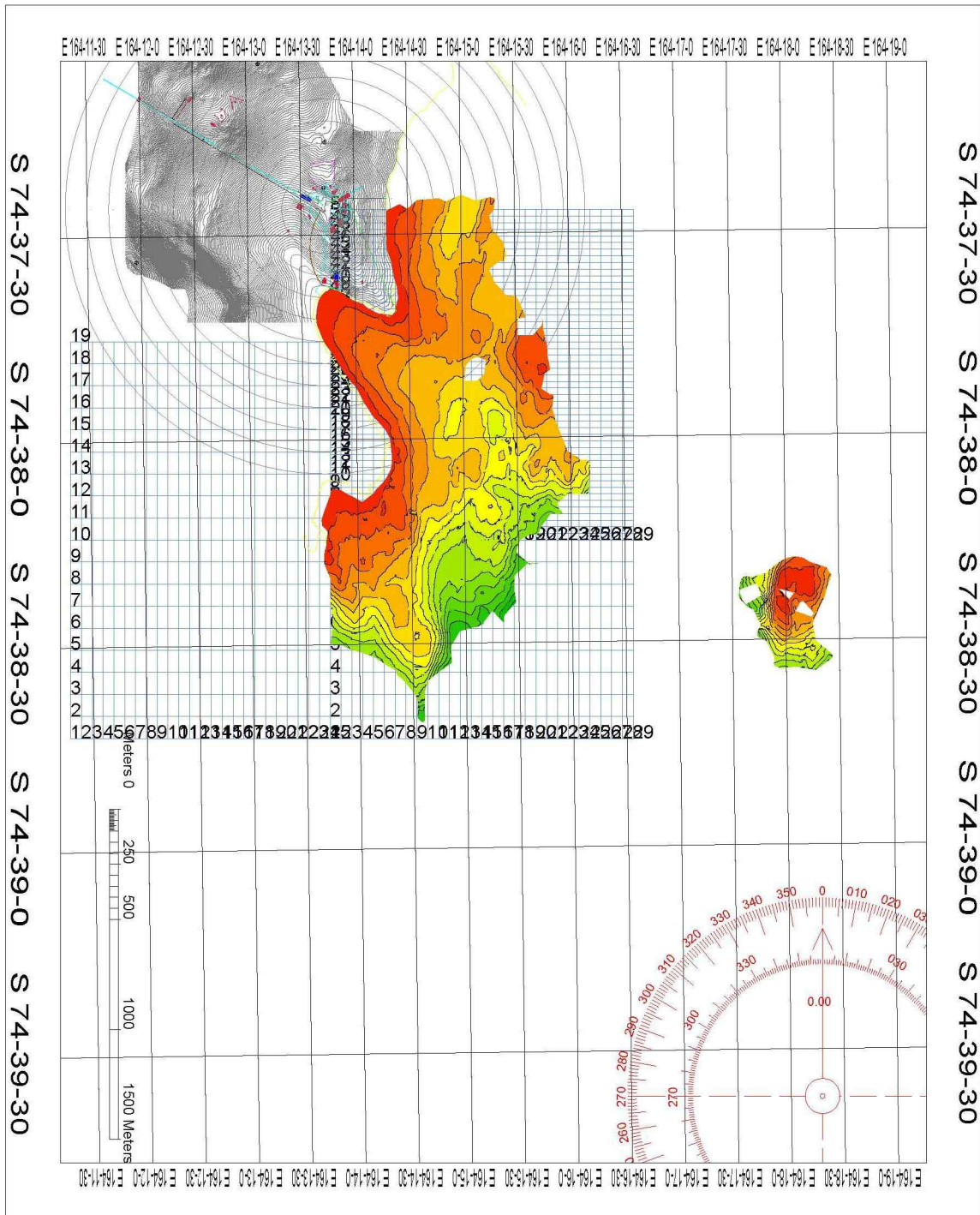


그림 3-5-2-4. 싱글빔 자료를 이용하여 작성한 수심도.

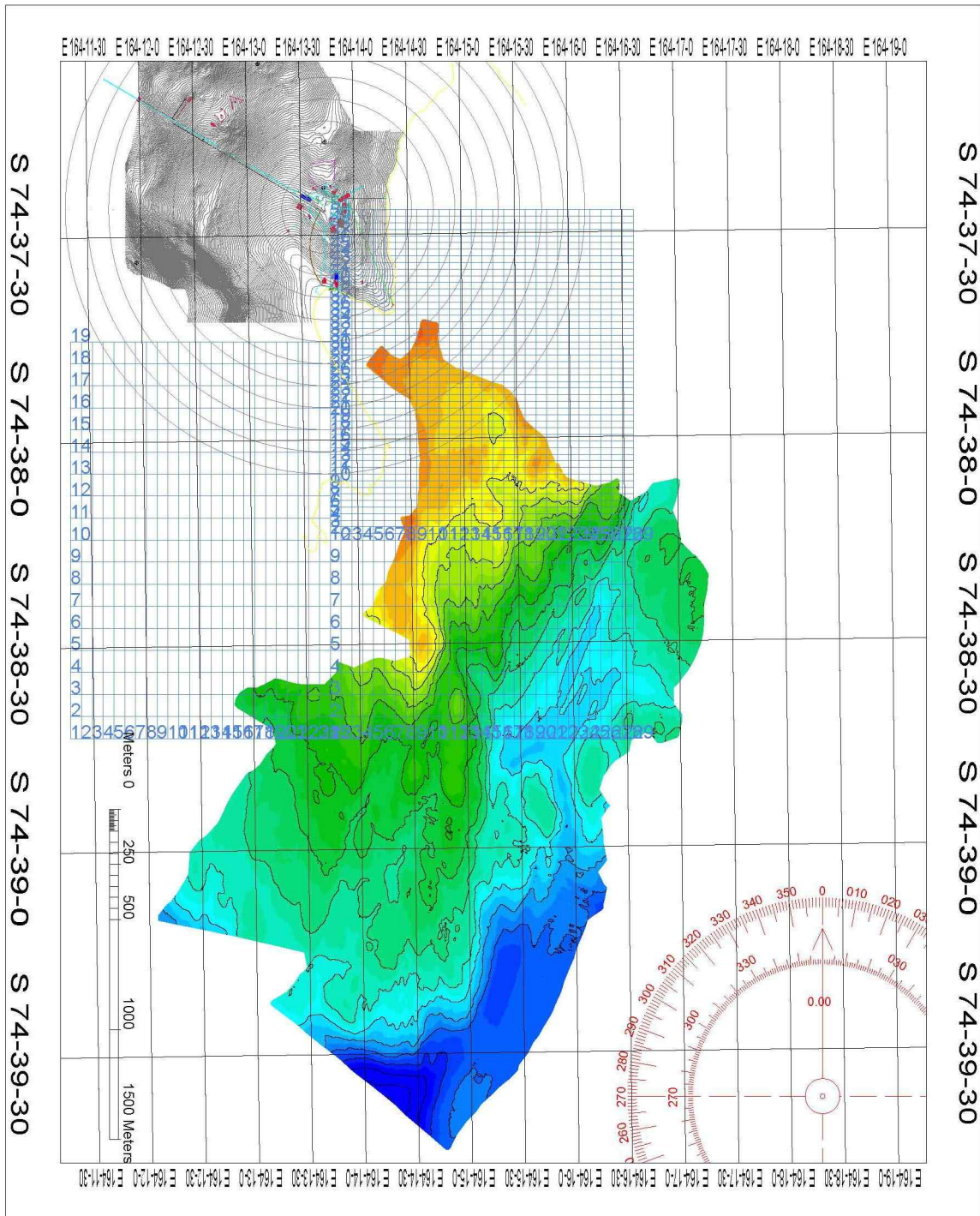


그림 3-5-2-5. 멀티빔 자료를 이용하여 작성한 수심도.

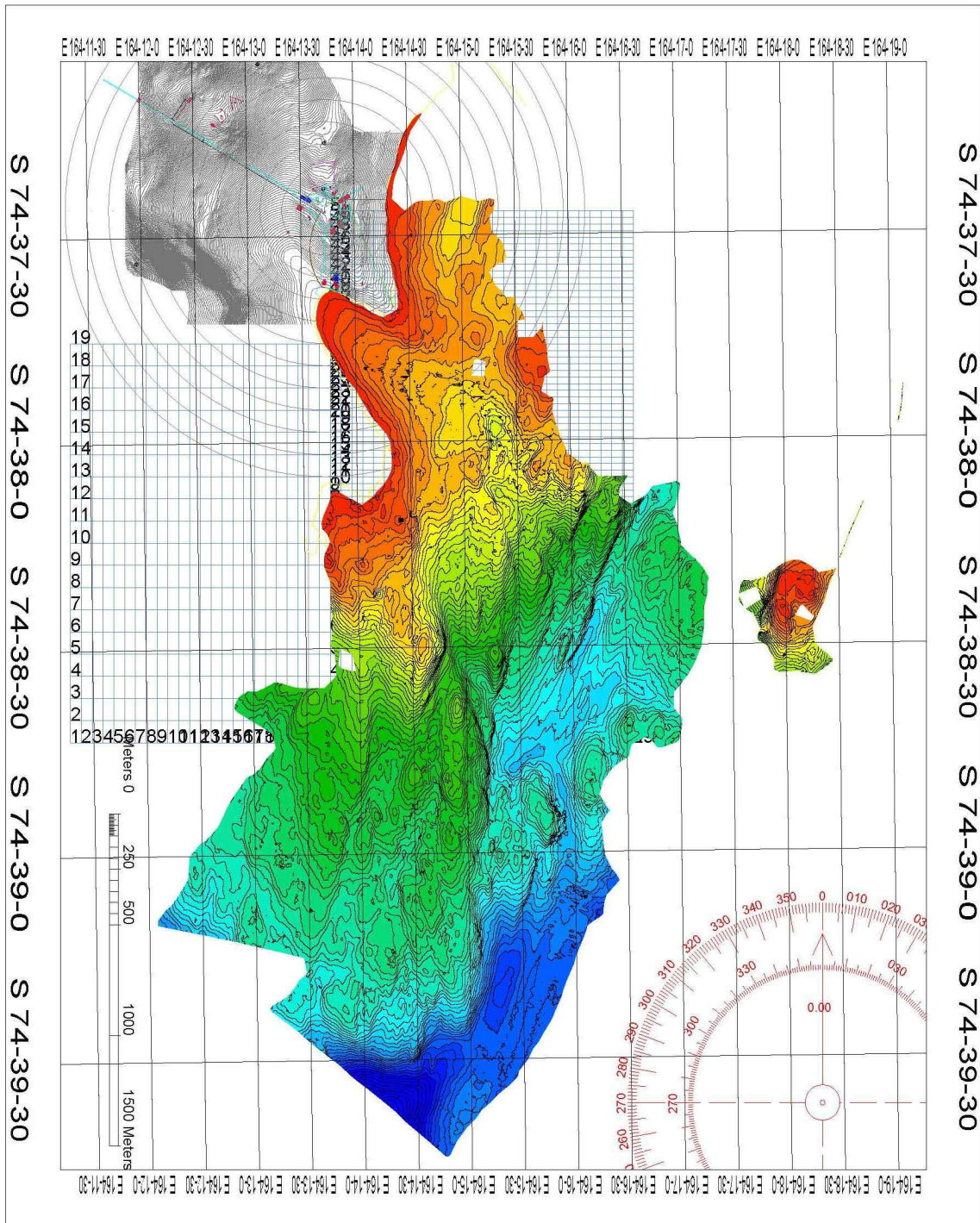


그림 3-5-2-6. 싱글빔과 멀티빔 자료를 이용하여 작성한 수심도

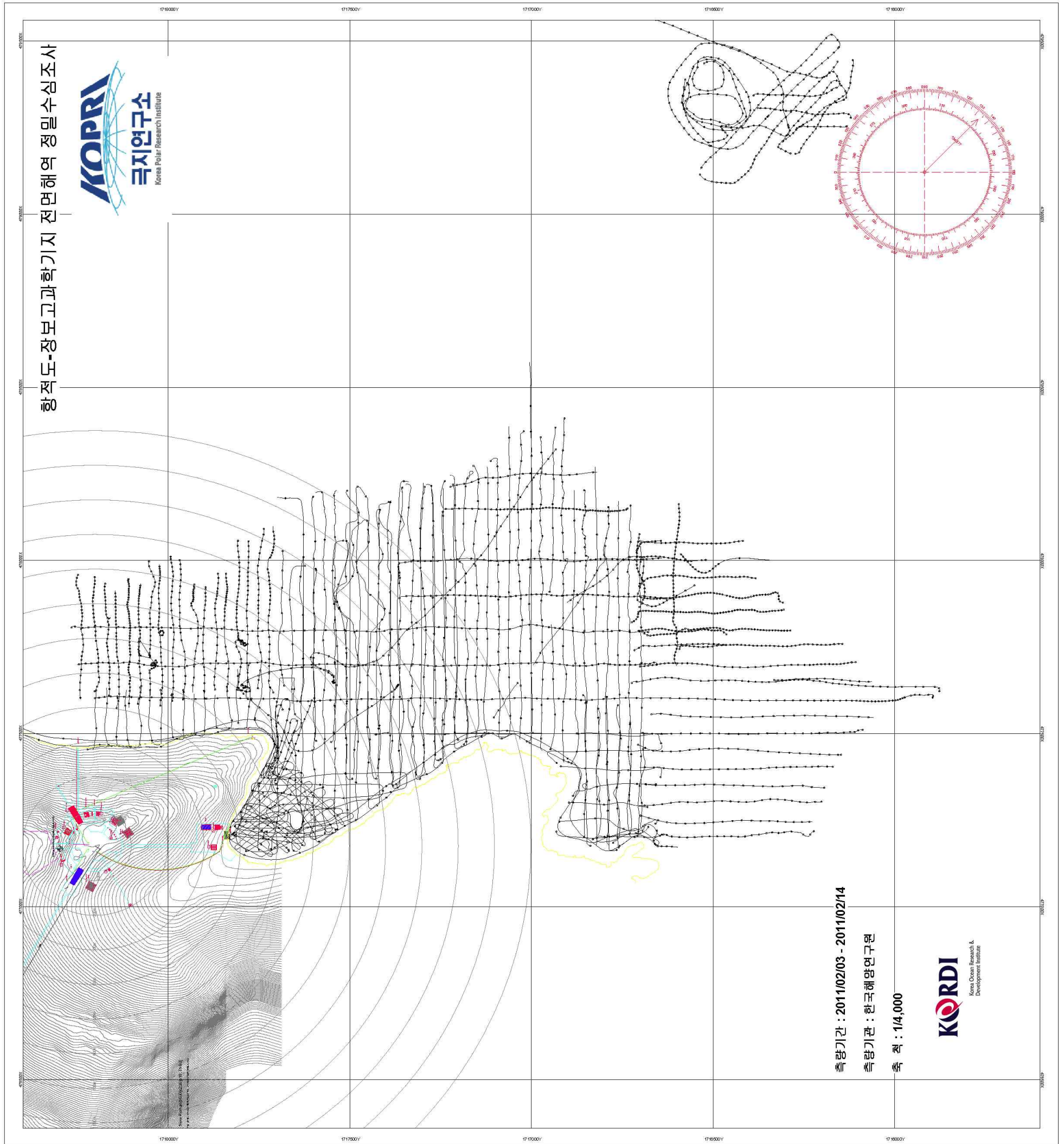


그림 3-5-2-7. 정밀수심측량 항적도

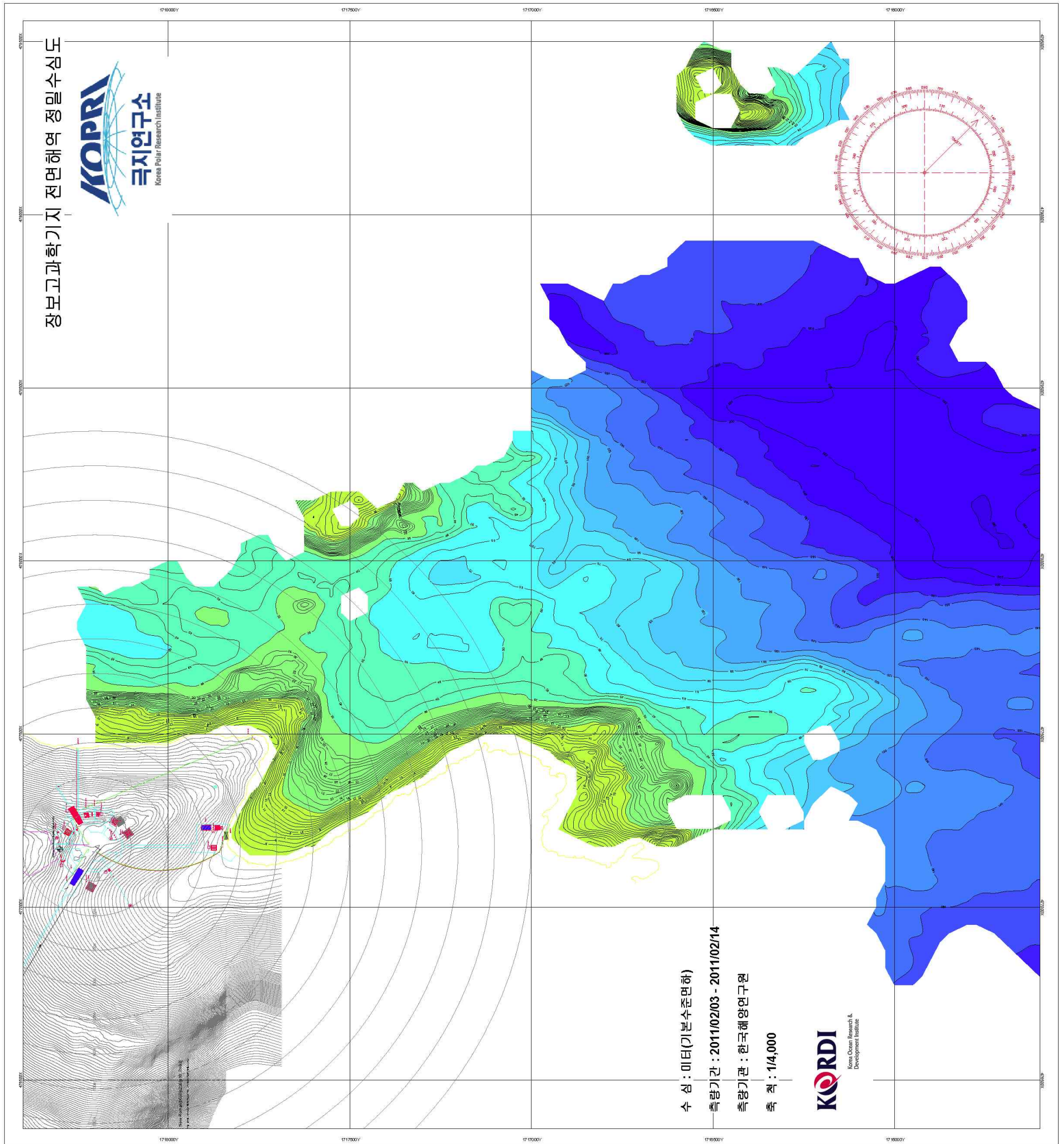


그림 3-5-2-8. 장보고 과학기지 전면해역 정밀수심도(축척: 1/4,000)

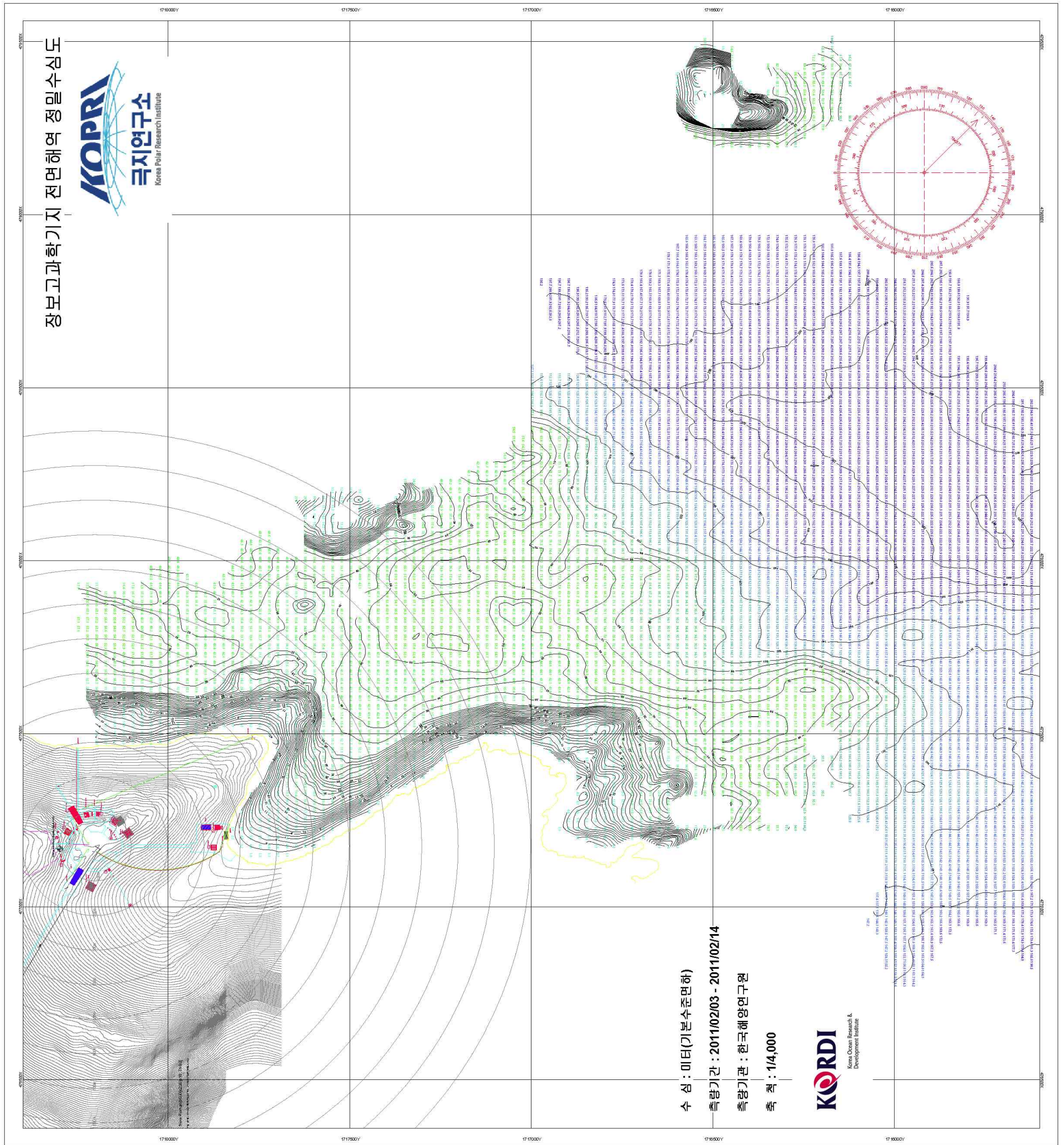
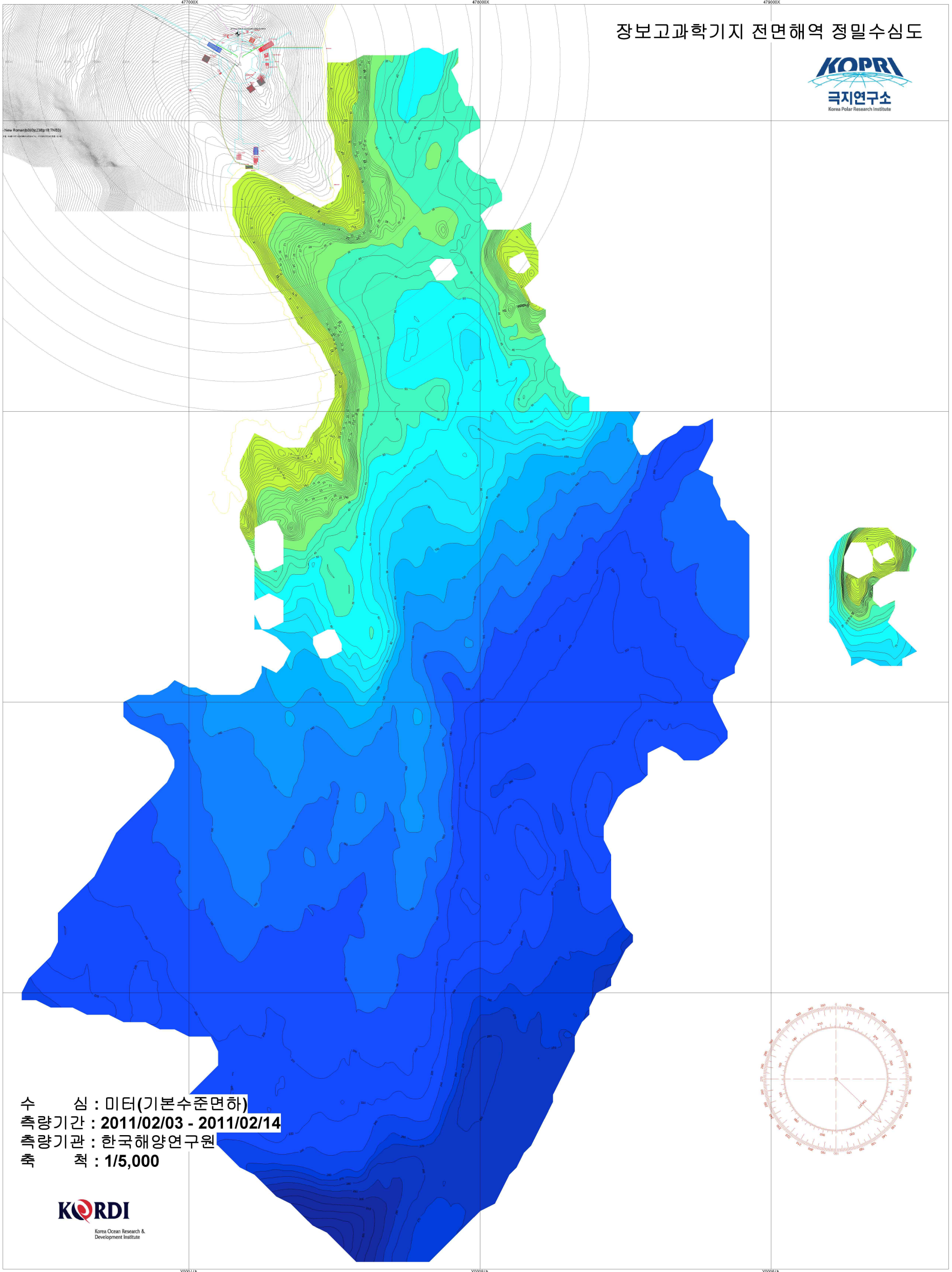


그림 3-5-2-9. 장보고 과학기지 전면해역 수심투입도(축척: 1/4,000)

장보고과학기지 전면해역 정밀수심도

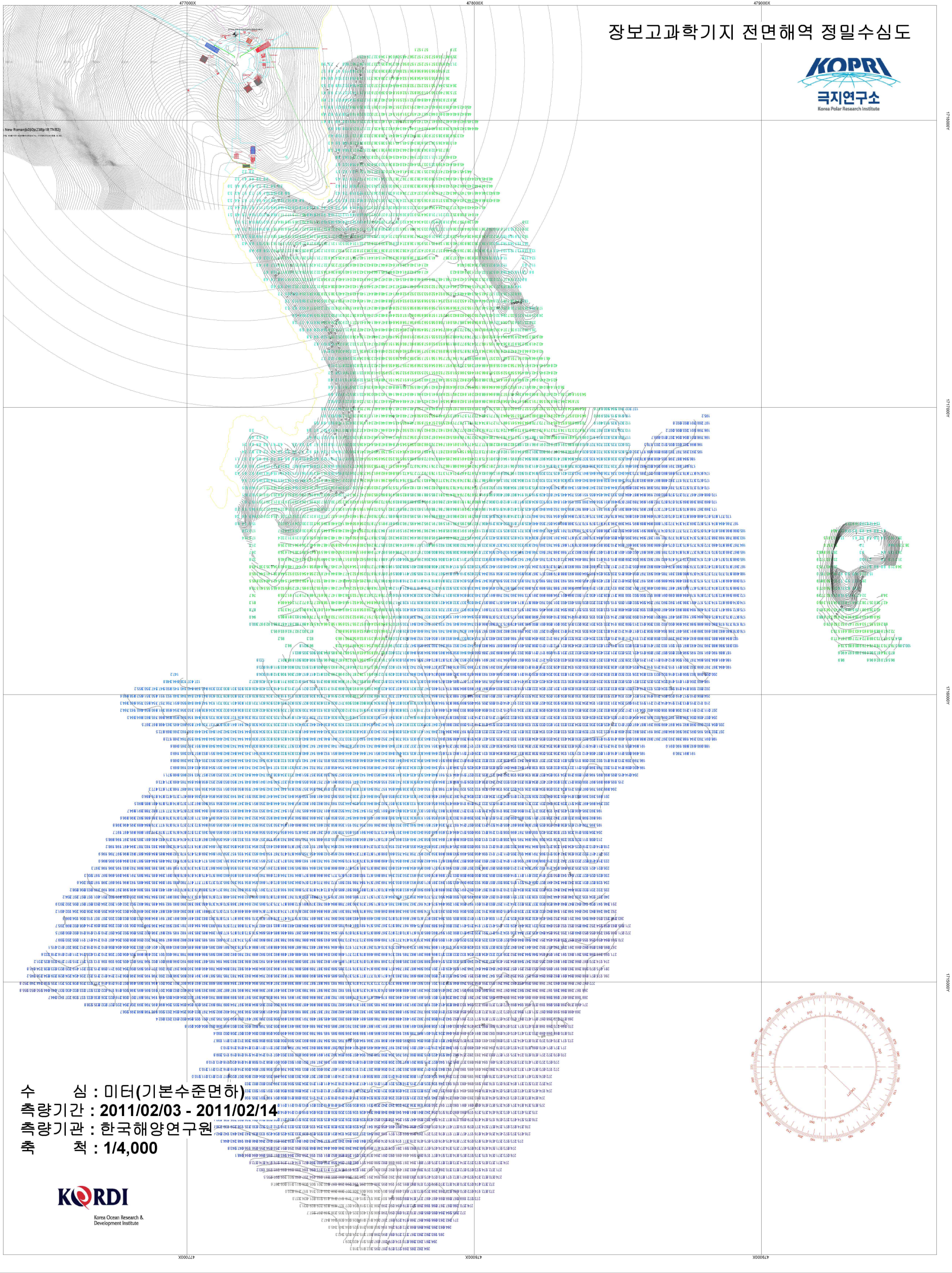


수 심 : 미터(기본수준면하)
측량기간 : 2011/02/03 - 2011/02/14
측량기관 : 한국해양연구원
축 척 : 1/5,000



그림 3-5-2-10. 장보고 과학기지 전면해역 정밀수심도(축척: 1/5,000)

장보고과학기지 전면해역 정밀수심도



수심 : 미터(기본수준면하)
 측량기간 : 2011/02/03 - 2011/02/14
 측량기관 : 한국해양연구원
 축척 : 1/4,000



그림 3-5-2-11. 장보고 과학기지 전면해역 수심투입도(축척: 1/5,000)

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구목표 달성도

이번 조사는 남극 장보고 기지 전면 해역의 정밀 수심 조사를 통하여 아라온호를 비롯한 선박이 외해로부터 기지 예정지에 접근하는 안전 항로를 확보하고 기지 설계시 주요 시설물 배치를 위한 기초자료를 수집, 제공하는 데 일차적인 목표를 두었다.

이를 위해 조디악에 싱글빔을 장착하여 정밀 측심을 실시함으로써 일차적으로 외해로부터 기지 예정지 해안에 이르는 안전항로를 확보하였고 이 항로를 멀티빔을 장착한 아라온호가 운항하면서 이차적으로 멀티빔 수심 자료를 확보하였다. 암초 지역, 해안선 지역 등 관심해역에서는 싱글빔 상세 측심을 실시하였으며 두 자료를 합성하여 보다 효율적으로 당 해역의 정밀 수심 분포를 확인할 수 있었다.

제 2 절 관련분야에의 기여도

본 조사에서는 당초 목표하였던 수심 자료를 충분히 확보하고 이를 현장에서 충분히 활용하였을 뿐만 아니라 정밀 측심을 위하여 싱글빔과 멀티빔을 혼용하는 새로운 방법을 고안하여 활용함으로써 수심조사의 효율성을 제고시키는 성과를 거두었다.

향후 금번 조사와 같이 정밀수심조사가 필요한 경우 싱글빔을 이용하여 멀티빔을 장착한 선박의 수심조사 구역 접근 여부를 먼저 판단하고 가능한 한 멀티빔을 이용하여 수심조사를 하는 방안, 또는 조디악 같은 소형선박에 멀티빔을 장착하여 수심조사를 실시하고 싱글빔 조사로 이를 보정하는 방안 등을 고려해 볼 수 있을 것이다.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

이번 연구 사업에서 확보한 남극 장보고과학기지 예정지 전면 해역의 정밀 수심자료 및 조위 변동, 유속 변동 자료는 향후 이 해역에서 실시될 해양 환경, 지질, 생태계 등 각종 조사의 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다. 또한 확보된 정밀 수심자료는 기지 설계 시 접안시설, 취·배수구 등 과 같은 주요 시설물 배치를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

기지 전면 해역의 정밀 수심도 작성을 통하여 얻어진 상세한 수심정보를 활용하여 외해로부터 기지 예정지에 이르는 안전 항로를 확보할 수 있으며, 이를 통하여 기지 건설 및 운영을 위한 물자운반 선박의 운항 및 접안이 가능하게 되었다. 따라서 향후 건설될 남극 장보고 기지의 운영 및 연구 활동에 크게 기여할 것으로 본다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

● ESR(Earth & Space Research) Antarctic Tide Gauge Database :

ESR 과학자들은 영국 뉴캐슬대학의 매트 킹과 함께 남극 조석 조화상수(진폭, 위상) 데이터베이스를 구축하였다. 이 자료들은 일차적으로 넓은 빙봉해역을 포함하는 남극해역에 대한 조석모델을 검증하는 데 활용될 것이다. 데이터베이스에는 정확도가 낮은 단기 자료에서부터 정확도가 매우 높은 해저 수압식 (BPRs) 자료까지 모두 포함되어 있다. - Laurence Padman, ESR, email: padman@esr.org

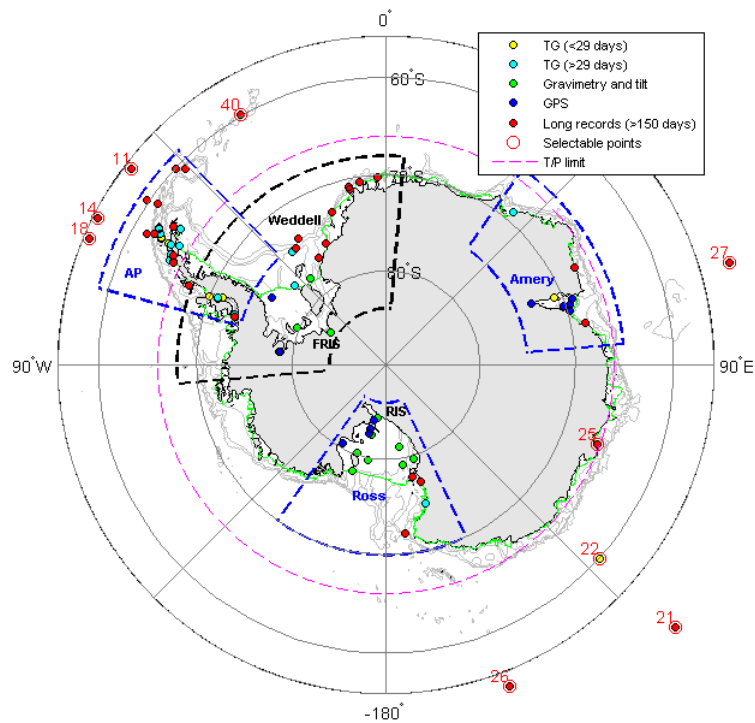


그림 6-1-1. 남극 ATGD 조석관측 위치.

제 7 장 참고문헌

- 김영석, 홍승서, 배규진. 2010. 남극 제2과학기지(장보고) 건설 (Construction of the Jangbogo Antarctic Research Station), 한국지반공학회지 Vol. 26
- Bromwich, D.H.. 1988. An extraordinary katabatic wind regime at Terra Nova Bay, Antarctica. American Meteorological Society, Monthly Weather review, V.117.
- Bromwich, D.H.. 1989b. Satellite analyses of Antarctic katabatic wind behavior. Bull. Am. Meteorol. Soc., 70(7), 738-749.
- Callahan, J.E.. 1972. The structure and circulation of deep water in the Antarctic. Deep-Sea Research 19, 563-575.
- Carmack, E.C.. 1977. Water characteristics of the Southern Ocean south of the polar front. In: Angel, M.(Ed.), A Voyage of Discovery: George Deacon 70th Anniversary. Pergamon, Oxford, pp.15-41.
- Cappelletti, A. et al.. 2010. Upper ocean layer dynamics and response to atmospheric forcing in the Terra Nova Bay polynya, Antarctica. Antarctic Science 22(3), 319-329(2010)
- Foster, T.D., E.C. Carmack. 1976. Frontal zone mixing and Antarctic Bottom Water formation in the Southern Weddell Sea. Deep-Sea Research 23 (4), 301-317.
- Gill, A.E.. 1973. Circulation and bottom water formation in the Weddell Sea. Deep-Sea Research 20, 111-140.
- Jacobs, S.S.. 2006. Observations of change in the Southern Ocean. Philosophical Transactions of the Royal Society 364, 1,657-1,681.
- Jacobs, S.S., A.F. Amos, P.M. Bruchhausen. 1970. Ross Sea oceanography and Antarctic Bottom Water formation. Deep-Sea Research 17, 935-962.
- Jacobs, S.S., J.C. Comiso. 1989. Sea ice and oceanic processes on the Ross Sea continental shelf. J. Geophys. Res. 94, 18,195-18,211.
- Jacobs, S.S., C.F. Giulivi. 1998. Interannual ocean and sea ice variability in the

- Ross Sea. *Antarctic Res. Ser.* 75, 135 - 150.
- Jacobs, S.S., C.F. Giulivi, P.A. Mele. 2002. Freshening of the Ross Sea during the late 20th century. *Science* 297 (5580), 386-389.
- Johnson, E.S., M.L. van Woert. 2006. Tidal currents of the Ross Sea and their time stability, *Antarctic Science* 18(1), 141-154
- Kwok, R., J.C. Comiso, S. Martin, R. Drucker. 2007. Ross Sea polynyas: Response of ice concentration retrievals to large areas of thin ice. *J. Geophys. Res.* 112.
- Locarnini, R.A.. 1994. Water masses and circulation in the Ross Gyre and environs. Ph.D. Thesis, Texas A&M University, unpublished.
- Michael, L., van Woert et al.. 2001. Satellite observations of upper-ocean currents in Terra Nova Bay, Antarctica. *Annals of Glaciology*, 33
- Mosby, H.. 1934. The water of the Atlantic Antarctic Ocean. *Scientific Results of the Norwegian Antarctic Expedition 1927-1928(1)*, 131.
- Newsom, K., L. Francavillese, J. Tierney. 1965. Oceanography in operation deep freeze 62, 1961-1962. US Naval Oceanographic Office, Marine Geophysical Investigations, Technical Report TR-118, Washington, DC, unpublished.
- Orsi, A.H., S.S. Jacobs, A.L. Gordon, M. Visbeck. 2001. Cooling and ventilating the abyssal ocean. *Geophysical Research Letters* 28 (15), 2923-2926.
- Orsi, A.H., G.C. Johnson, J.I. Bullister. 1999. Circulation, mixing, and production of Antarctic Bottom Water. *Progress in Oceanography* 43(1), 55-109.
- Orsi, A.H., W.M. Smethie, J.I. Bullister. 2002. On the total input of Antarctic waters to the deep ocean: a preliminary estimate from chlorofluoro-carbon measurements. *J. Geophys. Res. - Oceans* 107 (C8), 1-14.
- Orsi, A.H., C.L. Wiederwohl. 2009. A recount of Ross Sea waters. *Deep-Sea Research II*, 56, 778-795
- Orsi, A.H., T. Whitworth, W.D. Nowlin. 1995. On the meridional extent and fronts of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea Research part I – Oceanographic Research Papers* 42(5), 641-673.

- Padman, L., S. Erofeeva, I. Joughin. 2003. Tides of the Ross Sea and Ross Ice Shelf cavity, *Antarctic Science* 15(1)
- Sievers, H.A., W.D. Nowlin. 1984. The stratification and water masses at Drake Passage. *J. Geophys. Res. - Oceans* 89(NC6), 489-514.
- Smith Jr., W.O., D.G. Ainley, R. Cattaneo-Vietti. 2007. Trophic interactions within the Ross Sea continental shelf ecosystem. *Phil. Trans. R. Soc. B*(2007) 362, 95-111
- Sverdrup, H.U.. 1940. Hydrology, Section 2, Discussion. Reports of the B.A.N.Z. Antarctic Research Expedition 1921 - 1931, Series A, 3, Oceanography, Part 2, Section 2, pp.88-126.
- van Woert, M.L., W.N. Meier, C.Z. Zou, A. Archer, A. Pellegrini, P. Grigioni, C. Bertola. 2001. Satellite observations of upper-ocean currents in Terra Nova Bay, Antarctica, *Ann. Glaciol.*, 33, 407-412.
- Whitworth, T., W.D. Nowlin. 1987. Water masses and currents of the Southern Ocean at the Greenwich Meridian. *J. Geophys. Res. - Oceans* 92 (C6), 6,462-6,476.
- Zwally, H.J., J.C. Comiso, C.L. Parkinson, D.J. Cavalieri, P. Gloersen. 2002. Variability of Antarctic sea ice 1979-1998. *J. Geophys. Res.* 107, C5 - 3041. (doi:10. 1029/2000JC000733)

주 의

1. 이 보고서는 국토해양부에서 시행한 「남극 제2기지 건설」 사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토해양부에서 시행한 「남극 제2기지 건설」 사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.