

GOVP1200728869

BSPM06010-36-3

남극해 유용생물자원 개발 연구

Research on the Development of Antarctic Marine Living
Resources

연구기관

한국해양연구원 부설 극지연구소

해양수산부

제 출 문

해양수산부 장관 귀하

본 보고서를 “남극해 유용생물자원 개발 연구”의 최종 보고서로 제출합니다.

주관연구기관명 : 한국해양연구원 부설
극지연구소

주관연구책임자 : 신 형 철

연구 원 : 강성호, 강영철, 김동엽
이상훈, 정경호, 강돈혁
김동선, 유신재, 이운호
이재학, 심정희, 장성태
강민호, 김고은, 김영신
김연성, 박지수, 성보영
손동화, 송수진, 윤성일
이기영, 이두별, 장양희
정웅식, 정윤희, 정인순
조수경, 주종민, 주형민
최정은, 김수암, 조기웅,
신종현, 강수경
Haruko Umeda

여 백

최종(단계)보고서 초록

과제 관리번호		해당단계 연구기간	최종	단계 구분	(해당단계)/(총단계)
연구사업명	마린바이오 21				
연구과제명	남극해 유용생물 자원 개발 연구				
연구책임자	신형철	해당단계 참여연구원수	총: 37 명 내부: 11 명 외부: 26 명	해당단계 연구비	정부: 250 천원 기업: 천원 계: 2,250 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양연구원 부설 극지연구소		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	430
<p>남극해 유용생물자원 개발연구는 생태계 기반 자원 관리 방안 대두와 더불어 강화되는 보전 일변도의 남극해 수산자원 관리 논리에 대안을 제공하기 위한 연구, 특히 크릴 자원의 허용가능어획량 유지 및 확대를 위한 연구를 수행하고 생명공학기술을 이용, 남극해 생물자원을 새로운 용도로 활용하기 위한 연구 개발 수요를 일부 담당함.</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 주요 어장인 대서양 측 남극해에서 크릴 동태는 해마다 큰 폭으로 변하며 해빙 분포와 기상의 자연적인 환경요인이 결정적 역할을 함. ○ 크릴 자원량 자체보다 환경요인에 의한 재배치 효과가 주어진 해역에서 발견되는 크릴의 양과 분포를 결정함. 특히 겨울의 광범위한 해빙은 크릴의 은신처를 제공하고 여름철 크릴 어군 공급에 기여함. ○ 크릴 어업은 대체적으로 일정 수심대 주변에서 이루어지고 크릴을 먹이로 이용하는 자연포식자와 경쟁은 크지 않음. ○ 따라서 크릴 자원의 어획 제한을 통해 생태계 균형을 유지하는 것은 크릴 어획량이 급속하게 증가하는 경우가 아니면 현실적이지 않음. ○ 원격 탐사로 관측할 수 있는 거시적 환경요인의 조합에 의해 크릴 자원의 증장기 동태를 예측하고 단기 크릴 어획 예보를 시도할 수 있는 체제를 구축하는 것이 가능하리라 기대됨. ○ 남극 대구 결빙방지 물질 유전자가 검색, 파악되어 잠재력을 입증했고 크릴 기원 지방산도 크릴의 활용도가 확대될 수 있음을 보여줌. 					
색인어 (각 5개 이상)	한글	남극해, 수산업, 자원관리, 크릴, 생리활성 물질			
	영어	Southern Ocean, fisheries, resources management, krill, bio-active compounds			

여 백

요 약 문

1. 제목

남극해 유용생물자원 개발 연구

2. 연구 개발의 필요성 및 목적

남극해는 막대한 양의 크릴 자원과 저온에 적응한 독특하고 다양한 생물 자원을 보유하고 있다. 본 연구과제는 남극크릴자원의 이용이 본격화될 전망에 대비해서 궁극적으로 남극해에서 크릴 어획 활동을 증진하고 생태적으로 안전한 자원 관리 대안을 개발하기 위해 필요한 기초 자료를 축적하고, 남극 생물 고유의 물질 및 유전자 자원을 발굴하여 고부가 가치의 상품을 창출할 수 있는 기술을 개발하기 위하여 수행되었다.

가. 필요성

- (1) 신어장 개척
- (2) 크릴 어획 쿼타량의 증대
- (3) 크릴 어업 관리 정책에 대한 조언과 정책 방향 제시
- (4) 남극 생물에서 저온 특유의 생리 활성 물질, 유용 유전자의 개발

나. 목표

(1) 연구의 최종 목표

- (가) 남극해에서 해양환경/자원 조사를 실시하여 크릴의 분포와 자원량을 파악하고 이들에 영향을 미치는 해황 조건을 이해함으로써 크릴 자원의 동태를 이해한다.
- (나) 남극 생태계를 총괄적으로 파악하고 생태계 내에서 크릴의 역할과 지위를 이해함으로써 크릴의 어획량을 합리적으로 결정하는데 필요한 과학적

근거 자료를 제공한다.

(다) 크릴 자원량 변동 과정을 파악하여 미래 자원량을 예측하고 이를 크릴 자원 관리 정책에 반영한다.

(라) 남극 생물 특유의 유용 물질, 유용 유전자를 개발하여 우리나라 생명 공학 산업을 진흥시킨다.

(2) 1단계(1998-2000)의 연차별 연구 목표

제 1단계 연구에서는 크릴의 주요 어장인 남쉐틀란드 군도 해역에서 크릴 분포를 조절하는 요인을 파악하기 위해 크릴의 분포 및 자원량 산정 연구를 일반 해양 조사와 병행하여 수행하였다. 아울러 남극 생물에서 유용한 물질을 개발하기 위해 대표적인 생물을 대상으로 기초 연구를 수행한다.

(3) 2단계(2001-2003)의 연차별 연구 목표

본 연구의 제2단계에서는 제1단계 연구의 연속성을 유지하여 크릴 자원 조사의 영역을 확대하고, 남극생물에 독특한 유용물질과 그 유전자를 개발하는데 중점을 둔다. 제2단계에서는 크릴 자원조사의 중심지역을 남오크니군도 해역까지 확대한다. 크릴새우의 유전자 분석을 통해 남쉐틀란드군도 해역에 출현하는 크릴새우 계군의 연간 변동을 조사한다. 남극생물의 독특한 유용물질인 결빙방지 단백질 연구의 일환으로 남극대구의 간에서 발견되는 유전자를 분석하며 유용유전자를 검색한다. 또한, 남극 성게와 남극 곤충의 유용유전자에 대한 기초 연구로서 그 분자계통학적 연구를 수행한다. 그 밖에 남극성게 생식소의 발달 단계별 특징을 조사한다.

(4) 3단계(2004-2006)의 연차별 연구 목표

주요 어장이면 연구해역인 남쉐틀란드 군도 주변 해역에서 크릴 자원의 동태를 조절하는 배경 요인을 파악하고 과정을 이해한다. 크릴 자원의 동태에 영향을 미치는 자연요인과 어획 노력의 특성에 대해 파악한다.

3. 연구 개발의 내용 및 범위

주요 크릴 어장 가운데 하나인 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역과 크릴 월동장에 인접해 있다고 판단되는 북서웨델해역에서 네트채집을 동반한 수산음향조사를 수행하였다. 자원 조사와 동시에 크릴 자원의 분포 조절 요인을 이해하기 위해 해양환경 조사가 동시 수행되었다. 크릴 자원의 장기 광역 동태를 조절하는 대규모 환경요인의 변동을 위성으로 얻은 해빙 분포와 엽록소 생물량 자료를 구하여 분석하였다. 크릴 어업 자료를 활용하여 가능한 연구 분야를 탐색하고 크릴 자원 관리 협약인 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR)에 보관된 어업 자료를 입수하여 분석하였다. 남극해 주변에서 발견되는 크릴 자원군이 자원관리 단위로 단일 계군인지 복수 계군인지 평가하기 위해 유전학적 방법에 의한 크릴의 계군 분석 연구를 수행하였다. 또 크릴 자원의 이용 경향과 관리 자원 방법의 진전을 조사 분석하였다. 남극생물의 독특한 유용물질인 결빙방지 단백질 연구의 일환으로 남극어류 *Notothenia coriiceps*의 간에서 발견되는 유전자를 대량 검색하였다.

1) 남서 스코시아 해역과 남쉐틀랜드 군도 인근 해역의 크릴 분포와 해양 환경 특성

크릴 자원의 성쇠와 그 조절 기작을 규명하기 위해 수산음향 조사와 해양 환경 조사를 남쉐틀랜드군도 북쪽과 남쪽 뿐 아니라 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이를 포함하는 남서 스코시아해까지 조사 범위를 확대하였다. 크릴 분포와 자원량을 2개 주파수의 평균 후방 산란강도의 차를 이용하는 가상 에코그램법을 이용하여 분석하였다. CTD 자료를 이용하여 크릴 서식환경의 수온 염분의 수직 수평 분포를 설명하였다.

2) 남쉐틀랜드 군도 인근 해역 크릴 분포의 특징과 포식자에 미치는 영향

크릴의 출현량과 분포를 결정하는데 크릴 서식지의 환경 조건 그리고 월동장으로부터 공급이 큰 역할을 차지한다. 여름 크릴 분포와 자원량의 변이를 환경요인 그리고 크릴 공급과 연관시켜 설명하고 크릴 포식자, 펭귄의 번식 성공률에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

3) 하계 남쉐틀랜드 군도 해역과 남극반도 해역에서 음향을 이용한 크릴 자원조사

남쉐틀랜드 군도 부근 해역은 크릴이 지나가는 주요 경로이며 주요 어장이다. 크릴 자원의 성쇠와 그 조절 기작을 규명하기 위해 남극해 유용생물자원 개발과제가 그동안 음향을 이용한 크릴 자원 조사 활동을 수행해왔다. 남쉐틀랜드 군도 북쪽 외에도 '위성을 활용한 일차생산 연구'의 조사해역인 남극 반도 해역까지 크릴 조사 범위를 확대하였다. 크릴 분포와 자원량은 2개 주파수 (38 kHz와 120 kHz)의 평균 후방 산란강도의 차를 이용하는 가상 에코그램법을 이용하여 분석되었다.

4) 가까운 두 해역에서 크릴 밀도와 분포 특성의 차이

크릴의 출현량과 분포를 결정하는데 크릴 서식지의 환경조건, 그리고 크릴 월동장으로부터 크릴 공급이 큰 역할을 차지한다. 2001/2002년 초여름, 가까운 두 해역에서 크릴 분포와 자원량이 차이를 보이는 원인을 환경요인, 계절요인과 연결시켜 설명하고 기존의 크릴 이동 이론과 비교한다. 그리고 감소한 크릴 공급이 크릴 포식자인 펭귄의 번식 성공률에 미치는 영향에 대해 고찰하였다.

5) 음향 특성에 따른 남극 크릴 어군의 분류와 환경요인과 상관 관계

2005/2006, 2006/2007 하계 기간에 수집된 수산음향자료를 토대로 남극 크릴이 형성하는 다양한 형태의 크릴 aggregation을 분류, 연구하였다. 크릴 aggregation type의 분포와 환경요인과 상관관계를 탐색하여 크릴 aggregation의 형성과 aggregation이 시간 경과와 환경요인 변화에 따라 다른 type으로 변화하는 과정을 이해하고자 하였으며 조사해역에서 크릴 분포와 양이 결정되는 배경 기작의 이해에 제공하는 단서를 찾고자 하였다.

6) 크릴 어업 자료로 분석한 크릴 선단의 행동과 해양환경 변동성에 대한 반응

주요 크릴 어업국(한국, 일본, 폴란드, 미국, 우크라이나)의 어업선단의 어획 시기, 어획위치, 이동경로 및 어획량 자료를 이용하여 각 국의 크릴어업선단의 행동패턴의 차이가 있는지를 분석하고 크릴어획량의 장기변동과 경향을 파악하여, 크릴어획량의 증감이 크릴어업선단의 행동패턴에 미치는 영향을 파악하고자

연구를 수행하였다.

7) 남극해 크릴 자원의 유전학적 계군 분석

본 연구는 크릴이 대량으로 서식하고 있으며 크릴의 주요 어장으로 알려진 남쉐틀랜드 군도 주변해역에서, 출현하는 크릴 계군이 지역적으로 혹은 시간적으로 어떻게 변동하는지를 분석하기 위해 수행되었다. 시료 채집은 우리 나라 남극 세종기지 근처의 Bransfield 해협과 Maxwell 만, 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역에서 봉고네트를 견인함으로써 이루어졌다.

8) 크릴의 소화샘; 먹이 섭취활동의 지시자

먹이 환경 변화에 남극 크릴이 어떻게 반응하는지 현장에서 쉽게 측정할 수 있는 표준화된 지시자의 확립은 요긴한 과제이다. 크릴의 내부기관 가운데 뚜렷하고 효소 분비와 영양분 저장에 큰 역할을 하는 소화샘을 먹이 섭취 활동의 지시자로 활용할 가능성을 탐색하기 위해 현장에서 소화샘 크기와 색깔에 대한 자료를 수집하고 기아 및 먹이 실험을 수행하였다.

9) 남극해에서 최근 5년간 여름 기간의 (10월-2월) 해빙(sea ice) 분포 변화

크릴 분포를 조절하는 주요 원인 가운데 하나인 해빙의 분포 변화를 최근 5년의 여름 기간에 대해 조사하였다. 본 연구에서는 NASA team 알고리즘을 이용하여 분석된 DMSP-F13 SSM/I 자료를 이용하여 남극해 주변 해빙 분포 농도의 변화를 분석하였다. 1998년부터 2003년까지 최근 5년동안 각각 10월, 11월, 12월, 1월, 2월의 평균 해빙 분포를 살펴보았다. 각 달의 평균 해빙 분포를 구하기 위해서는 매월 15일을 중심으로 1주일 평균한 해빙 분포를 사용하였다.

10) 남극해에서 최근 5년간 표층 엽록소의 분포 변화

크릴의 먹이 환경을 지시하는 엽록소 생물량의 분포 변화를 파악하기 위해 최근 5년간 SeaWiFS 자료를 입수, 표층 엽록소 분포를 분석하였다.

11) 남극해 해빙과 엽록소 분포의 동시 고찰

해빙과 엽록소는 크릴의 분포와 양을 좌우하는 가장 중요한 거시적 환경요인들이며 인공위성을 통해 자료를 획득할 수 있는 경우이다. 최근 5년간 남극해 해빙과 엽록소 분포 변화를 크릴 자원 동태 조절 요인의 관점에서 고찰하였다.

12) 크릴 자원의 이용과 관리

크릴 자원의 이용 실태에 대해 수집된 자료를 제시하고 크릴 자원의 관리에 대해 최근 15년간 자원관리 방법의 발전을 분석하였다. 또한 남극해양생물자원보존협약(CCAMLR)의 움직임을 중심으로 크릴 자원에 적용되는 새로운 관리 동향을 소개한다.

13) 우리나라 크릴 어업의 경과와 전망

우리나라 크릴 어업 참여 양상의 변화, 관련 국제 동향 등 공개적으로 입수할 수 있는 자료를 근거로 전망과 과제를 점검하고 향후 연구 진행 방향에 대한 조언을 제시한다.

14) 남극 크릴의 지질과 지방산 조성 분석

남극 크릴의 활용도를 제고하는 기능성 제품 발굴을 위한 기반 연구의 일환으로 크릴의 지질과 지방산 조성을 분석하였다.

15) 남극 대구의 발현유전자 분석

어류 *Notothenia coriiceps*가 갖고 있는 유전자들 중 생명공학적으로 활용 가능한 유전자를 탐색하기 위해 간에서 발현되는 유전자의 데이터베이스를 구축하였으며 각 유전자의 기능을 유전자 데이터베이스 검색을 통해 유추하였다.

16) 남극에서 분리한 저온성 세균 유래 단백질 분해 효소

남극 생물이 갖고 있는 저온 특유의 효소를 찾아내기 위한 시도로 저온성 세균과 남극 어류의 단백질 분해효소를 분석하였다. 먼저 저온에서 최적 생육을 보이는 호저온성 균주를 분리하고 동정한 결과 생화학적 특성 및 16S rRNA 염기 서열로부터 *Shewanella gelimidimarina*임을 확인한 균주에 대해 조사를 수행

하였다. 남극 냉수성 어류인 *Notothenia* 속 어류의 내장 기관을 대상으로 단백질 분해효소를 탐색하였다.

17) 남극 무척추 동물로부터 신물질 개발 연구

저온 환경에 적응, 진화한 남극 무척추 동물에서 신의약품 소재를 개발하기 위하여 남극 생물의 독특한 대사물질을 분석하였다. 남극세종기지 주변에서 채집한 저서 무척추동물의 조추출물에 대한 화학적 분석과 생리활성 검색을 통하여 일차 대상 시료를 선정하였다. 선정한 시료로부터 유기물질을 추출, 크로마토그래피 기술을 이용하여 2차 대사 물질을 분리 정제하고 신물질의 구조를 화학반응과 분광자료 해석에 의해 결정하였다.

4. 연구 개발 결과

1) 남서 스코시아 해역과 남쉐틀랜드 군도 인근 해역의 크릴 분포와 해양 환경 특성

120 kHz 음향 자료를 이용하여 평균 밀도를 산출한 결과에 의하면 남쉐틀랜드군도 북부 해역은 22.98 g m^{-2} 이며, 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 해역에서는 21.34 g m^{-2} 로 나타났다. 계산된 자원량은 남쉐틀랜드군도 북부 해역에서 $494 \times 10^3 \text{ Mt}$ (area : $6,300 \text{ mile}^2$, CV : 10.4%), 엘리펀트 섬과 남오크니섬 사이의 해역에서 $724 \times 10^3 \text{ Mt}$ (area : $9,900 \text{ mile}^2$, CV : 31.4%)으로 예측되었다.

2) 남쉐틀랜드 군도 인근 해역 크릴 분포의 특징과 포식자에 미치는 영향

조사 시기에 브랜스필드 해역을 포함 남쉐틀랜드 군도 인근 해역에서 크릴이 비교적 적었으나 엘리펀트섬과 남오크니 군도 사이에는 크릴이 상당히 많았으며 큰 떼도 종종 형성되었다. 표층 엽록소 양은 예년 수준이었으며 그 양의 과다가 크릴 분포를 결정하지는 않았다. 브랜스필드 해협에 면한 젠투핑권의 번식성공률은 예년보다 낮아 빈약한 크릴 분포를 반영하였다.

3) 2003/2004 하계 남셰틀랜드 군도 해역과 남극반도 해역에서 음향을 이용한 크릴 자원조사

남셰틀랜드 군도 북쪽 해역의 외해역에 크릴 밀도가 높은 곳이 있었으며 남극반도 서쪽 해역에서는 전반적으로 크릴 밀도가 낮았다. 전반적으로 조사 시간동안 크릴의 자원량은 평년 수준 이하였다.

4) 가까운 두 해역에서 크릴 밀도와 분포 특성의 차이

2001/2002년 초여름 수행된 수산음향을 이용한 크릴 자원 조사 결과 브랜스필드 해협에서 크릴이 매우 적은 반면 남오크니 섬과 엘리펀트 섬 사이 해역에는 예년과 비슷한 밀도로 크릴이 발견되었다. 브랜스필드 해협의 예년보다 낮은 크릴 밀도는 팽귄의 낮은 번식 성공률에 반영되었다. 크릴의 양 뿐 아니라 크릴 떼의 음향 특성도 큰 차이를 보였다. 브랜스필드 해협의 크릴 떼는 훨씬 더 드물게 발견되는 대신 그 크기가 작고 산란 강도가 높았으며 남오크니 섬과 엘리펀트 섬 사이의 해역은 긴 띠 모양에 산란 강도가 강하지 않은 대신 더 자주 발견되었다. 브랜스필드 해협과 오크니섬과 엘리펀트 섬 사이 해역, 이 두 곳의 크릴은 다른 곳에서 기원했거나 혹은 국지적인 환경 조건에 독특하게 반응하고 있던 것으로 생각된다. 크릴은 남극반도 서쪽의 공급원으로부터 남극 순환해류에 의해 운반되는 것으로 흔히 생각했지만 겨울에 해빙이 규칙적으로 형성되는 웨델해 같은 곳은 크릴의 월동장으로, 또 초여름 크릴의 공급처로 기능할 수 있는 몇 군데 후보지 중의 하나일 것으로 생각된다.

5) 음향 특성에 따른 남극 크릴 어군의 분류와 환경요인과 상관 관계

초여름에 수집한 크릴 음향자료로부터 추출한 크릴 aggregation type은 월동기간 동안 해빙 바닥의 밀집 생활형, Type A와 원양(遠洋)성 유영(遊泳) 생활형, Type C, 그리고 두 type 사이의 진행과정인 Type B로 나눌 수 있다. 해빙은 겨울 동안 크릴 월동장 기능을 제공하다 여름으로 진행되면서 크릴 어군을 방출하는 효과를 내는 것으로 생각된다. 이 때 적절한 환경 조건에 의해 안정된 수직 구조의 수층과 식물플랑크톤의 번성이 이루어지면 크릴에게 유리한 먹이 환경이 조성되고 대형 크릴 어군이 형성이 가능해지는 것으로 판단된다. 전통적인 크릴 어장인 남셰틀랜드 군도 북쪽 해역에서 자연 요인에 의한 크릴

어군의 재배치 효과는 대단히 크며 불과 수백 킬로미터 거리에서 크릴의 분포 변이가 나타날 수 있다.

6) 크릴 어업 자료로 분석한 크릴 선단의 행동과 해양환경 변동성에 대한 반응

크릴 어업 선단의 조업은 보통 500m 등수심선 주변에서 이루어지는 것으로 분석되었다. 또한 크릴어업선단의 어업경로는 해마다 남극해빙의 확장 범위에 따라 영향을 받을 수 있다. 단위노력당 어획량(CPUE)는 나라별, 해역별 그리고 연도별로 큰 차이를 보여 자원량의 직접적인 지표로 사용하기는 적당치 않을 것으로 생각된다.

7) 남극해 크릴 자원의 유전학적 계군 분석

미토콘드리아 COI 유전자의 염기서열을 시료 간 서로 비교한 결과 분석된 636개 염기배열 중 56개 위치에서 단일기 다형성(Single Nucleotide Polymorphisms, SNPs)이 발견되었다. 이러한 차이는 66가지의 서로 다른 단상형(haplotype)으로 나타났으며 크게 네가지 형태로 구분되었다 (A, B, C, D types). 단상형의 숫자가 분석된 86개체의 2/3 이상으로 나타난 것은 크릴 계군의 유전적 구성이 다양함을 시사한다. 한편, 시료들은 채집 시기에 따라, 지리적인 위치에 따라 유전적 단상형의 구성에서 커다란 차이를 보이지 않았다. 즉, 특정지역이나 특정 연도 시료에 독특한 염기의 변이가 발견되지 않았다. 이러한 결과는 남쉐틀랜드군도 북서쪽 해역, Bransfield 해협, Maxwell 만에서 채집된 1998-2001년도 크릴새우가 유전적으로 하나의 계군에 속할 수 있음을 시사한다. 본 연구의 결과는 이 해역의 크릴 자원에 대한 관리 및 이용 방안을 수립하는데 기초 자료로서 활용될 것이다.

8) 크릴의 소화샘; 먹이 섭취활동의 지시자

남극 크릴의 소화샘은 중요한 영양 기관으로 두흉부 갑각에 대한 비로 나타낸 소화샘의 상대적 크기는 최근 크릴의 먹이 섭취활동에 대한 지표가 될 수 있다. 한여름 채집된 크릴 소화샘의 색깔은 대개 조류(藻類) 먹이를 반영하지만 예외적인 먹이의 섭취에 신속하게 반응하였다. 소화샘은 먹이섭취활동의 결과로 영양 비축에 기여하며 중량비로 환산한 소화샘 크기의 차는 비축의 정도를 받

영한다. 광범위한 시기와 해역에서 수집된 크릴 소화샘의 크기와 색깔 자료는 크릴이 경험하는 먹이 환경의 변화와 이에 대한 크릴의 반응을 이해하는 지시 자료 활용할 수 있다.

9) 남극해에서 최근 5년간 여름 기간의 (10월-2월) 해빙(sea ice) 분포 변화

남극해 해빙의 분포는 12월부터 본격적으로 감소가 시작, 대체로 2월경 최저 수준에 이르는 계절변화를 보였다. 그러나 해마다 또 지역별로 상당한 변이를 보였다.

10) 남극해에서 최근 5년간 표층 엽록소의 분포 변화

SeaWiFS 자료를 이용해 분석한 남극해 표층 엽록소 분포는 뚜렷한 계절변화를 보이며 연간 변이와 지역변이의 폭이 상당히 컸다.

11) 남극해 해빙과 엽록소 분포의 동시 고찰

해빙에 의해 덮여 있다 여름이 되면 규칙적으로 해빙의 후퇴와 함께 노출되는 지역이 있으며 이들은 대개 천해의 만이다. 또한 이들 해역은 늘 한여름에 고농도의 엽록소가 분포하였다. Marguerite Bay, Weddell Sea, Ross Sea, Prydz Bay 등의 이 해역들은 크릴 자원의 이동과 공급에 중요한 역할을 하는 곳이라 생각되며 추후 이들 목표 해역에 대한 심층 분석을 통해 배경 원인과 크릴 자원 동태에서 차지하는 역할에 대한 이해를 계획하고 있다.

12) 크릴 자원의 이용과 관리

크릴 자원의 이용할 수 있는 다양한 기술 개발이 시도된 바 있으며 이 결과 300건이 넘는 특허가 출원되었다. 현재 크릴의 허용어획량은 자원 자체의 고갈을 막고 포식자를 위한 먹이가 모자라지 않도록 신중하게 계산되고 있으나 새로운 더 엄격하고 크릴어업에게 제한적인 보존조치가 도입될 가능성이 크다. 크릴 자원의 완전한 활용은 제품 개발과 시장 발굴의 미흡으로 실현되지 않고 있으나 선상가공처리 기술, 유통보관기술, 다양한 특질을 종합적으로 이용하는

다양한 제품의 개발 기술이 종합적으로 이루어지면 막대한 잠재력의 실현으로 이어질 가능성이 크다. 그러나 크릴 어획의 생태적 안전성을 보장하는 자원관리 대안의 제시가 선행되어야 한다.

13) 우리나라 크릴 어업의 경과와 전망

우리나라는 이미 1위 크릴 어업국이 되었으며 생태계 친화적 크릴 자원관리 지침을 수용하고 오히려 기여하지 않을 수 없는 입장이 되었다. 크릴 잠재력을 십분 활용하는 복수제품 개발 노력과 선상 가공 패키지의 발굴, 어장 환경의 장단기 변화에 적용할 수 있는 전략의 개발에 대한 노력을 병행할 필요가 있다.

14) 남극 크릴의 지질과 지방산 조성 분석

King George 섬 인근해역에서 채집한 남극 크릴 *Euphausia superba*의 총 지질 함량, 지질 성분, 지방산 조성을 조사하였다. 전체 지질 함량은 72 mg/g 건중량으로 다른 온대해역 종에 대해 조사된 바와 유사하였다. 중성 지질의 함량은 29%, 인지질의 함량은 71%였다. 중성지질의 대부분은 triacylglycerols로 중성지질의 31.6%를 차지하였고 phosphatidyl choline이 인지질의 44%를 차지해 가장 함량이 높은 성분이었다. 남극 크릴의 지방산 조성은 포화 지방산 16:0 (16.6% - 22.1%), 불포화지방산 20:5(ω -3) (20.6% - 22.1%), 22:6(ω -3) (14.9% - 16.9%)이 주요 구성 성분이었다.

15) 남극 대구의 발현유전자 분석

남극 어류 *Notothenia coriiceps*의 간에서 추출된 전체 RNA로부터 cDNA가 합성되고 라이브러리가 만들어졌다. cDNA를 포함하는 클론들에서 1111개의 발현유전자 시퀀스 (Express Sequence Tags; ESTs)가 확인되었다. 얻어진 시퀀스는 유전자 데이터베이스(GenBank) 검색 결과, 기능이 밝혀진 유전자의 상동유전자 23.5%, 미토콘드리아 유전자와 리보솜 유전자 8.0%, 미지의 새로운 유전자 68.5%로 구성되었다. 기능을 유추할 수 있는 상동유전자 중에서 생명공학적인 활용이 가능한 것으로서 혈액생성 줄기세포 유전자, 페리틴 유전자, 인테페론 유도단백질 유전자, 인터류킨 유전자, 결빙방지단백질 유전자 등을 들 수 있다. 이러한 유전자는 단백질 발현벡터를 이용하면 물질의 대량생산이 가능할

것이며 의약 소재로서 활용될 수 있을 것이다.

16) 남극에서 분리한 저온성 세균 유래 단백질 분해 효소

Shewanella gelimidimarina L93 균주로부터 단백질 분해효소를 분리 정제하고 효소 특성을 분석하였다. 이 효소는 pH 7과 25℃에서 가장 활성이 높았으며 온도에 따른 안정도에서는 4℃에서 높은 안정성을 보였다. 남극 냉수성 어류인 *Notothenia* 속 어류의 지라에서 단백질 분해효소를 분리, 정제하고 그 특성을 조사하였다.

17) 남극 무척추 동물로부터 신물질 개발 연구

남극 해면 *Suberites* sp. 로부터 2종의 신물질을 포함한 4종의 sesterpenoids계 화합물을 분리하고 구조를 분광학적인 방법과 화학적인 방법으로 밝혔다. 콜레스테롤 방지 효과가 있다고 알려진 물질로 생리활성을 추가 조사할 필요가 있다.

5. 연구개발 결과의 활용계획

본 연구결과와 크릴 어업계의 실제 크릴 어획 자료를 종합적으로 검토해보면 크릴자원의 분포 특성, 어획 가능 해역의 선정 등에 유용한 자료를 생산할 수 있을 것이다. 크릴 자원량의 증감을 결정하는 자연요인의 역할과 어업과 생태계 간 상호작용과 수요 중복을 보임으로서 어업노력의 규제에 대한 적절한 대응논리를 생성하는데 기여할 것으로 기대된다. 또한, 남쉐틀랜드 군도 해역에 출현하는 크릴 계군의 연간 변동을 유전적으로 분석한 자료는 이 해역의 자원 관리와 이용방안을 마련하는데 유용하게 쓰일 것이다. 한편, 남극성게, 남극대구, 남극곤충에 대한 유전적 분석 자료는 이 생물들이 저온에 적응한 과정과 그 특징을 연구하는 데 기초 자료가 된다. 앞으로 유전체 분석 자료와 발현유전자 분석 자료를 활용하면 생명공학산업에 활용할 수 있는 새로운 유용유전자를 발견할 수 있을 것이다.

가. 남극해 생태계의 파악 및 크릴자원의 변동 특성 규명

크릴 자원량은 그간 연구에서 보듯 연변동이 매우 심하다. 해양생태계에서 한 생물종의 변동은 먹이 연쇄과정에서 살펴보아야 하므로 크릴 자원에 대한 명확한 이해는 생태계의 종합적 연구로서만이 가능하다. 이 연구는 한국해양연구원 부설 극지연구소의 다른 '남극해양생태계 특성 파악' 연구와 상호 보완적으로 진행되어, 남극해 생태계를 총괄적으로 이해하는데 기여하였으며, 이에 따라 크릴 자원의 변동 특성과 기작을 설명하는 개념적 기초를 제공하였다. 크릴 자원의 증장기 동태 예측이 가능하도록 하는 체계 구축에 기여할 것이며 또 과평범위한 해역의 자원 상태를 더 효율적으로 모니터하는 계획 수립에 활용할 것이다.

나. 남극해 어업 정책 기여

자원개발에 회의적이고 무조건 보수적으로 치닫고 있는 남극 조약국들에게 적절하고도 과학적인 자원분석과 관리기법을 개발함으로써, 남극해 유용생물 자원을 최대한 이용할 수 있는 방안을 제시하여 우리나라 원양어업에 새로운 어장을 제공하게 될 것이다. CCAMLR와 같은 국제회의에서 남극해 연구 결과를 제시함으로써 남극해 수산자원에 대한 우리나라의 지속적인 관심을 표명할 수 있고, 어업기득권의 확보와 어획 쿼타의 증대에 본 연구 자료를 활용할 수 있을 것이다. 남극해 수산자원에 대한 경쟁이 치열해짐에 따라 조업활동을 구속하는 조치가 추가로 채택될 가능성이 높으며 본 연구결과는 이를 대비한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

다. 생명공학 산업의 발전

남극해 생물자원은 저온 환경에서도 활성이 요구되는 생물산업 소재의 원천으로 생각되고 있다. 남극해 생물의 대사물질과 유전자에 대한 연구 개발은 새롭게 떠오르고 있는 생명공학산업에 기초 재료를 제공하게 될 것이다. 이 연구에서 검색한 남극 어류 기원 유용유전자들은 실용화에 연결되는 추후 연구의 재료로 대단히 유용하게 쓰일 것이다. 그러나 남극생물의 다양한 특징을 실용화하기 위해서는 가능성이 높은 생물종들을 대상으로 그 유전 정보와 생리 활성에 대한 체계적인 탐색 작업과 데이터베이스 구축 노력을 선행해야할 중요성을 간과할 수 없다.

여 백

SUMMARY

1. Title

Research on the development of Antarctic marine living resources

2. Needs and aims of the project

The Antarctic ocean is known to contain a huge amount of krill stock and a variety of unique living resources adapted to the cold environment. The present research has been conducted to obtain basic information and database on the Antarctic krill to develop an ecologically safe management alternative and assist our fishing activities in the Southern Ocean and also to develop techniques to utilize some unique features of Antarctic organisms.

A. Needs

- (1) Development of new fishing grounds
- (2) Increased quota for the Antarctic krill
- (3) Advice to krill fisheries management policy
- (4) Development of low temperature specific bioactive molecules and genes

B. Aims

(1) Final aims of the project

1) To study the distribution and abundance of the major fisheries species, Antarctic krill, and the regional oceanography in order to provide our fishing operators with advice for efficient fishing activities in the Southern Ocean.

2) To provide scientific data for reasonable determination of krill catch amount by way of comprehensive study of the Antarctic ecosystem and the role of krill within the Antarctic food chain.

3) To formulate krill fisheries management policies with understanding of processes of krill stock fluctuations and with prediction of the stock.

4) To promote nation's bio-tech industries through development of bio-active materials and genes from the Antarctic organisms.

(2) Research goals of the first period (1998-2000)

Most basic and urgent items were selected for the first period. The aims of the first period are to study the distribution and abundance of Antarctic krill in the seas around South Shetland Islands which are the one of the major fishing grounds for krill and to perform basic studies for development of useful materials from the antarctic organisms.

(3) Research goals of the second period (2001-2003)

The aims of the second period are to study the distribution and abundance of the Antarctic krill further to the seas around the South Orkney Islands which comprise the major fishing grounds for krill, to investigate low-temperature active biological metabolites and enzymes which would be useful for development of bio-industries, and to obtain the genes and genomic information specific to the Antarctic organisms.

(4) Research goals of the third period (2004-2006)

The aims of the third period are to understand the governing factors to determine the distribution and abundance of the Antarctic krill in the southwest Atlantic sector of Southern Ocean. Relative importance of natural control and krill harvesting over krill stocks will be examined.

3. Contents and scope of the project

The distribution and abundance of the Antarctic krill are examined in relation to a combination of environmental factors (e.g. sea ice and wind

field) at key locations. The behaviour and effects of krill fishing are studied using fisheries data and other data and records in the public domain. In order to analyse the population structure of the krill, genetic analysis of krill stocks was to be carried out. Baseline studies such as phylogenetic analyses and EST studies for discovering useful molecules and genes from the Antarctic fish species were conducted.

A. Antarctic krill distribution and oceanography in the southwestern Scotia Sea and the vicinity of South Shetland Islands

A hydroacoustic and oceanographic survey was undertaken from 30 November 2001 to 1 January 2002, around South Shetland Islands and in the southwestern Scotia Sea. Krill density and distribution were determined by virtual echogram method which is based on the difference of mean volume back scattering strength of the two frequencies (38 and 120 kHz). Characteristics of vertical and horizontal distributions of temperature, salinity, and density in the study area were examined from CTD data.

B. Distribution of Antarctic krill around South Shetland Islands and the consequences for krill predators during 2001/2002 summer

A hydroacoustic and oceanographic survey was conducted around the South Shetland Islands during 2001/2002 austral summer. Variability in krill distribution and biomass is explained in relation to environmental factors and the sources of krill population. Its consequences on the reproductive performance of penguins is also discussed.

C. Acoustic survey of Antarctic krill around South Shetland Islands and toward Antarctic Peninsula during early summer

A hydroacoustic survey using EK500 scientific echo sounder was conducted on Antarctic krill in early December 2002, in the north of the South Shetland Islands, and the west of the Antarctic Peninsula. Krill

density and distribution were determined by virtual echogram method which is based on the difference of mean volume back scattering strength of the two frequencies (38 and 120 kHz).

D. Differing levels of krill density over mesoscale area in the southwest Atlantic sector of Southern Ocean during early summer; possible causes and consequences

Differences in density as well as acoustic characteristics of Antarctic krill over meso-scale distance are explained in relation to environmental factors and the sources of krill population. Its consequences on the reproductive performance of penguins is also discussed.

E. Characterization of aggregations of Antarctic krill and the linkage with environmental variabilities

We examined morphological characteristics of Antarctic krill aggregations using a scientific echosounder (38 and 120kHz) in the Southern Ocean. Based on the dB difference ($2\text{dB} < Sv_{120-38} < 16\text{dB}$) between mean backscattering strength (Sv) at 120 and 38 kHz, krill aggregations were delineated. Krill swarms were categorized into a number of groups by physical dimension, and the frequency of occurrence was calculated. Various parameters were extracted, and examined in relation to hydrography, sea ice distribution, and chlorophyll level and so on.

F. Utilization of krill fisheries data

CCAMLR-held krill fisheries data from major fishing nations have been analyzed to determine the fishing ground selection and its response to a variety of environmental factors.

G. Genetic analysis of the dynamics of Antarctic krill stocks near the South Shetland Islands

This study aims at the examination of annual and geographical change of the Antarctic krill stocks near the South Shetland Islands. The samples were collected from the seas of north-west of the South Shetland Islands, Bransfield strait and the Maxwell Bay. For the genetic analysis of the samples, DNA sequences of a mitochondrial gene, COI, was analyzed. A total of 86 samples were analyzed up to now (the South Shetland Islands, 31; Bransfield strait, 27; the Maxwell Bay, 23; Indian Ocean, 5).

H. Digestive gland of Antarctic krill as an indicator of feeding activity

Digestive gland, the most conspicuous nutritional organ in Antarctic krill and serves as site of enzyme secretion and nutritional reserve. To explore its potential use as a feeding indicator, data were collected from field-caught specimens and starvation and feeding experiment were performed.

I. Sea ice distribution in the Southern Ocean for the past 5 summers

Sea ice is one of the key factors known to govern the distribution of Antarctic krill. Sea ice distribution in the Southern Ocean for the past 5 summers are described from the data set of DMSP-F13 SSM/I using NASA algorithm. Distribution in the period between October to February from 1998 to 2003 is presented. Monthly distribution was obtained from a weekly average centered 15th day of each month.

J. Surface chlorophyll distribution in the Southern Ocean for the past 5 years

SeaWiFS data were obtained and analyzed to describe the surface chlorophyll distribution in the Southern Ocean for the past 5 years.

K. Concurrent examination of sea ice and surface chlorophyll in relation to krill population

Sea ice and surface chlorophyll are the two key variables most likely to generate the variability of krill population in terms of distribution and biomass. Monitoring of these 2 parameters is routinely conducted using satellites, and satellite data are available to describe the variation of these 2. Variation of sea ice and surface chlorophyll distribution in the Southern Ocean for the past 5 years is concurrently examined in relation to krill population.

L. Utilization and management of krill resources

Previous efforts to develop krill resources and current uses have been tracked and analyzed. Trends and evolvments to manage krill have been investigated. Recent movements by CCAMLR to introduce more strict management regimes are examined.

M. Prospects for Korean krill industry

Past and present of Korean krill industry is described, and new challenges and potential markets that Korean krill industry are facing are discussed. Research directions and strategies are identified.

N. Lipids and fatty acid from Antarctic krill

Total lipid content, lipid class and fatty acid composition of the Antarctic krill *Euphausia superba* collected from the water of King George Island, Antarctica were investigated.

O. Identification of useful genes from the Antarctic fish, *Notothenia coriiceps*

The Antarctic fish lives in the cold environment in which it is

sometimes below the freezing point. Genes of the fish could have unique function in order for the fish to adapt to the harsh environment. In order to identify any biotechnologically useful genes of the fish, a database of the expressed sequence tags (ESTs) was established and their functions were inferred.

P. Purification and characterization of psychrophilic protease isolated from Antarctic bacteria and fish

A psychrophilic bacterium was isolated from Antarctic marine sediments and identified as *Shewanella gelidimarina* species based on the biochemical properties and 16S rRNA sequence, and designated as *Shewanella gelidimarina* L93. Also attempts to identify a protease from Antarctic *Notothenia* fish were made.

Q. A study on the development of novel substances from Antarctic invertebrates

During the course of our search for bioactive metabolites from marine organisms, four sesterterpenoids including two new metabolites of the suberitenone class have been isolated from the Antarctic sponge *Suberites* sp.

4. Results

A. Antarctic krill distribution and oceanography in the southwestern Scotia Sea and the vicinity of South Shetland Islands

Higher density krill aggregations were mostly found on the continental slope (1000 to 2000 m depth) at northern central part of the South Shetland Islands during late in December. In mesoscale area between Elephant island and South Orkney island, higher density krill patches appeared at around

1000 m depth in mid-December. biomass density to the north of the South Shetland Islands during early summer 2001/2002 was within the range of previous years but there were much less krill to the south of the South Shetland Islands than usual years. Water masses from T/S diagram were classified 5 categories - northern part of Polar Front, Polar Front. Antarctic Circumpolar water, Weddell Sea, Bransfield Strait water. The physical properties at western transect in hydrographic station between King George island and Elephant island depend on the water of the Bransfield Strait. On the other hand, Weddell Sea water flow into the upper water column at the eastern transect.

B. Distribution of Antarctic krill around South Shetland Islands and the consequences for krill predators during 2001/2002 summer

During early summer (early to mid December) krill were scarce with very few swarms to the south of the South Shetland Islands (SSI). Krill density was also low between King George island and Elephant Island. Between Elephant Island and South Orkney Island, on the other hand, krill swarms of average density were present. During late December, krill density to the north of the SSI was at its usual level, and particularly high to the north of Livingston Island. Surface chlorophyll concentrations, which were comparable to the past summers, did not seem to bear any significant relationship to the krill distribution. Low breeding success of gentoo penguins is probably due to the krill scarcity in the Bransfield Strait. This may have resulted from the weaker-than-usual inflow of Antarctic Circumpolar Current into the Bransfield Strait and consequent poor supply or late arrival of krill. For the areas other than north of the SSI, such as the area between Elephant Island and South Orkney Islands, and the eastern part of Bransfield Strait, Weddell Sea may be more important in supplying krill to the areas.

C. Acoustic survey of Antarctic krill around South Shetland Islands and toward Antarctic Peninsula during early summer

High density krill were observed only in the offshore waters in the north of South Shetland Islands. Generally krill density in the west of Antarctic Peninsula was far lower. In general, krill biomass is expected to be lower than average years.

D. Differing levels of krill density over mesoscale area in the southwest Atlantic sector of Southern Ocean during early summer; possible causes and consequences

An acoustic survey detected a krill scarcity in the Bransfield Strait during early summer 2001/2002, however, the area west of South Orkney Islands exhibited a density similar to other years. It has been reported that the abundance of krill in different parts of the Southwest Atlantic sector of the Southern Ocean are linked, influenced by the same gross physical and biological factors, and the krill biomass within a season does not vary greatly. There may be, however, within-season, and regional variability of krill densities. The krill then in these two areas may have been supplied from different sources or may be responding to local conditions. Chlorophyll biomass does not explain the different levels of krill biomass density but the temporal, spatial change of chlorophyll gives a clue. Krill have been suspected of being transported in water currents, and may have arrived in the Bransfield Strait from upstream, later than in usual years. On the other hand, krill found west of the South Orkney Islands may have originated from the Weddell Sea, which might be another predictable wintering ground for krill and hence a source of krill supply.

E. Characterization of aggregations of Antarctic krill and the linkage with environmental variabilities

Krill seem to form well-separated, dense aggregations close to the ice

edge, and these tend to turn into layers that are more diffuse and interweaving in offshore waters. This may represent a response to a spectrum in food condition, from concentrated, pulsed to more dilute, well-spread supplies. Sea ice, harboring krill during winter and releasing krill during summer, plays a critical role in re-distributing krill.

F. Utilization of krill fisheries data

Krill fishery is conducted in three major grounds, namely South Shetland Island, South Orkney Islands and South Georgia Island areas. Fishing efforts migrate northward as winter approaches. There appeared to be preferred fishing locations by krill vessels and these tended to scatter around 500 m isobath. CPUE greatly varied between fishing nations and also between years and by areas. CPUE is not likely to be a direct measure the krill availability. Heavy sea ice seems to directly impact the timing and location of krill fishing ground formation. But sea ice condition could cause more inherent changes in the ecosystem and krill population and then krill fishery might respond to this.

G. Genetic analysis of the dynamics of Antarctic krill stocks near the South Shetland Islands

DNA sequences of the mitochondrial gene, COI, showed single nucleotide polymorphisms in 56 out of 636 positions of the examined region. Such differences formed 66 haplotypes, most of which were singletons. The haplotypes were grouped into four types (A, B, C, D). The large number of haplotypes from the 86 individuals indicates that the genetic composition of the krill is diverse. On the other hand, the gene sequences did not show any distinction in terms of their sampling sites and time, indicating that there seems to be a single genetic stock of the krill in the studied area.

H. Digestive gland of Antarctic krill as an indicator of feeding activity

Relative size of digestive gland as a proportion of carapace length and its color can be used as indices of recent feeding activity and prey types. Data from field caught specimens indicate detectable differences in these indices reflecting variable food environment. Starvation and feeding experiments demonstrate that digestive gland accumulate the recent feeding activity of the animals in temporal scale from days to weeks. Determination of the gland size and color over a range of time and space will yield a great deal of useful information regarding the varying food environment and the response of the animals to those changes.

I. Sea ice distribution in the Southern Ocean for the past 5 summers

Sea ice distribution in the Southern Ocean displayed a distinct seasonal pattern. Sea ice starts a considerable retreat from December and reaches a lowest level in February. Nevertheless, inter-annual variation and regional variation in its extent were substantial.

J. Surface chlorophyll distribution in the Southern Ocean for the past 5 years

Surface chlorophyll distribution in the Southern Ocean for the past 5 years is described using the SeaWiFS data. The distribution displayed a distinct seasonal pattern and significant inter-annual and regional variation.

K. Concurrent examination of sea ice and surface chlorophyll in relation to krill population

Some coastal bays are regularly and predictably covered with sea ice and exposed with ice re-retreat during summer. These areas normally experience enhanced chlorophyll level. These areas, Marguerite Bay, Weddell Sea, Ross Sea, Prydz bay, may be critical for maintaining and supplying

krill population to the rest of Southern Ocean. In-depth analysis of these target areas will improve our understanding of the mechanisms how this is maintained and the roles these areas play in governing krill population.

L. Utilization and management of krill resources

A variety of techniques were developed to utilize krill and this resulted in more than 300 patents registered. A package to comprehensively utilize krill and some of their features and marketing may result in realization of krill's potential and an expansion of krill fishery. Currently krill's catch limits are determined by CCAMLR in a conservative way that decline of the target population is highly unlikely and also a sufficient amount is left for the predators. More strict management regimes are likely to be brought into place.

M. Prospects for Korean krill industry

Korean catch of Antarctic krill is now topping the list. Ecosystem based resources management has become the norm to follow and adhere to. Researches to market the new ways to utilize krill to its full potential are warranted, still innovative operation of the krill fleets based on ecological knowledges and information is required and demands further research.

N. Lipids and fatty acid from Antarctic krill

The overall lipid content of *E. superba* was 72 mg/g dry mass similar to the reported values for most temperate species. Their neutral lipid of *E. superba* was 29% of the total lipid and that of phospholipid was 71%. The majority of neutral lipid was triacylglycerols (31.6% of neutral lipids) while phosphatidyl choline (44% of phospholipid) was the most abundant in phospholipids. The quantitative composition of the fatty acid in *E. superba* show consisting mostly of the saturated 16:0 (16.6% - 22.1%), along with the polyunsaturated 20:5(ω -3) (20.6% - 22.1%) and 22:6(ω -3) (14.9% -

16.9%) acids.

O. Identification of useful genes from the Antarctic fish, *Notothenia coriiceps*

From the total RNA of the Antarctic fish's liver, cDNA was synthesized and 1111 clones of the cDNA library were sequenced. The sequences consist of 23.5% of the homologues of the functionally known genes, 8.0% of mitochondria and ribosome genes, and 68.5% of unknown genes. A few examples of the functionally known genes which have potential for commercial use include a stem-cell gene for blood production, Ferritin gene, interferon gamma-inducible protein gene, interleukin 10 homologue, and antifreeze polypeptide precursor gene. These genes of the fish could be utilized biotechnologically by production of proteins which would then be used as new materials in medicine.

P. Purification and characterization of psychrophillic protease isolated from Antarctic bacteria and fish

Extracellular protease produced by *Shewanella gelidimarina* L93 was purified through ammonium sulfate precipitation, High-Q column chromatography, first gel permeation chromatography, BioScale Q2 ion exchange chromatography and second gel permeation chromatography to single band on SDS-PAGE, and basic properties of this enzyme were investigated. A protease purified from spleen of *Notothenia* fish was also investigated and and characterized.

Q. A study on the development of novel substances from Antarctic invertebrates

The structures of the two new metabolites of the suberitenone class from the Antarctic sponge *Suberites* sp., which might possess

anti-cholesterol traits were determined by combined spectral and chemical studies.

5. Planned uses of the research outcomes

Acoustic krill surveys together with oceanographic observations have been conducted near the South Shetland Islands and in the northwestern part of Weddell Sea. This result would provide useful information to the krill fishery and help to establish a sound management scheme for krill resources. For validation of this information, and determination of effects of krill fishing, the result should be compared with the real catch data of krill in these areas. In addition, the genetic information on the krill stocks occurring in the South Shetland Islands could help constitute a plan for proper use and management of this living resource. On the other hand, accumulating the genetic data of the Antarctic organisms would provide better opportunity to find any genes useful for low-temperature biotechnology.

A. Understanding of the Antarctic ecosystem and fluctuation of krill stocks

As the results of the past surveys suggest, annual variation of krill biomass in the study area is very high. To better understand the krill resource, it is necessary that the entire ecosystem of the Antarctic ocean is examined. The present research will complement the 'Research on the characteristics of the Antarctic ecosystem' which is being carried out by the Polar Sciences Laboratory of Korea Ocean Research and Development Institute and help to make clear understanding of the antarctic ecosystem and also of the fluctuation of krill stocks.

B. Assistance to the distant water fisheries industry

Appropriate scientific management scheme needs to be presented to conservation-oriented Antarctic Treaty nations for the full use of the

fisheries resources. Pursuit of national policies need to be backed by science at international conventions and research results are the most important tools in securing the quota. Debate over the far-seas fisheries resources has been continuing at various international conventions with CCAMLR being one of the most influential and prestigious for the Antarctic living resources. The research results of this project help our nation to maintain a major position in CCAMLR and to secure the privilege of fishing in the Antarctic seas. As the Antarctic fishing activities are becoming stronger, it is expected that new measures regulating the Antarctic fisheries will be introduced. The results of this project will be helpful to prepare for such coming event.

C. Promotion of new bio-tech industries

Antarctic marine organisms are the unique resources for new molecules active in low-temperature conditions. Studies on the metabolites and genes of the Antarctic organisms could provide useful materials to the new biotech industries which are presumed to be the leader of the 21 century economy. The results of the current project would contribute to the development of low-temperature specific biotechnology.

여 백

목 차

요 약 문(국문)	5
요 약 문(영문)	19
목 차(국문)	35
목 차(영문)	41
표 목 차	47
그 립 목 차	49

제 1 장 서 론	57
-----------------	----

제 1 절 연구의 필요성	59
---------------------	----

1. 기술적 측면	62
가. 과학 어군 탐지기를 이용한 크릴 자원 평가 기술 개발	62
나. 저온 생명 공학 기술 개발	62
2. 경제, 산업적 측면	62
가. 크릴 자원 개발의 기득권 확보	62
나. 원양어업의 신어장 개척, 어업 우선권의 확보	63
다. 남극 해양생물자원을 이용한 새로운 생명 공학 산업의 창출	63
라. 연구의 경제성	63
3. 사회적, 문화적 측면	63
가. 우리나라 남극 진출의 당위성 제고	64
나. 국제사회에서 남극권에 대한 우리나라의 발언권 제고	64
다. 남극 해양생물자원에 대한 국제적 전문성 확보	64

제 2 절 연구의 목표	65
--------------------	----

1. 연구의 최종 목표	65
--------------------	----

2. 제1단계(1998-2000)의 연차별 연구 목표	65
3. 제2단계(2001-2003)의 연차별 연구 목표	66
4. 제3단계(2004-2006)의 연차별 연구 목표	68
5. 연구의 단계별 목표	69

제 2 장 연구개발수행 내용 및 결과 71

제1절 남서 스코시아 해역과 남쉐틀랜드군도 인근 해역의 크릴 분포와 해양 환경 특성 73

1. 서론	74
2. 다중 주파수 크릴 판별법	75
3. 현장조사와 자료처리	89
4. 결과 및 토의	111
5. 참고 문헌	149

제2절 2001/2002 남쉐틀랜드군도 인근 해역 크릴 분포의 특징과 포식자에 미치는 영향 151

1. 서론	152
2. 재료 및 방법	152
3. 결과	154
4. 고찰	156
5. 참고 문헌	161

제3절 하계 남쉐틀랜드 군도 해역과 남극반도 해역에서 음향을 이용한 크릴 자원조사 165

1. 연구지역	166
2. 음향 조사	167
3. 결과	168

제4절 가까운 두 해역에서 크릴 밀도와 분포 특성의 차이	179
1. 서론	180
2. 재료 및 방법	181
3. 결과	181
4. 고찰	182
5. 참고 문헌	186
제5절 음향 특성에 따른 남극 크릴 어군의 분류와 환경요인과 상관관계 ...	193
1. 서론	195
2. 음향 자료 처리 방법	196
3. 현장조사와 자료처리	212
4. 결과 및 토의	216
5. 참고 문헌	224
제 6 절 크릴 어업 자료로 분석한 크릴 선단의 행동과 해양환경 변동성에 대한 반응	227
1. 서론	228
2. 재료 및 방법	229
3. 결과 및 고찰	229
4. 향후 연구	231
5. 참고문헌	236
제 7 절 남극해 크릴 자원의 유전학적 계군 분석	239
1. 서론	240
2. 재료 및 방법	242
3. 결과 및 고찰	245
4. 결론	247
5. 참고문헌	249
제 8 절 크릴의 소화샘; 먹이섭취활동의 지시자	265

1. 서론	266
2. 재료 및 방법	267
3. 결과	268
4. 고찰	273
5. 결론	275
6. 참고문헌	278
제 9 절 남극해에서 최근 5년간 여름 기간의 해빙(sea ice) 분포 변화	285
1. 서론	286
2. 재료 및 방법	288
3. 결과	291
4. 참고문헌	293
제 10 절 남극해에서 최근 5년간 표층 엽록소의 분포 변화	301
1. 서론	301
2. 재료 및 방법	301
3. 결과	302
제 11 절 남극해 해빙과 엽록소 분포의 동시 고찰	311
1. 서론	311
2. 해빙 및 엽록소 분포의 특성과 상관관계	311
3. 예비 결과와 향후 연구	312
4. 참고문헌	314
제 12 절 크릴 자원의 이용과 관리	319
1. 서론	320
2. 크릴 자원의 이용	320
3. 크릴 자원의 관리	321
4. 결론	323
5. 참고문헌	325

제 13 절 우리나라 크릴 어업의 경과와 전망	331
1. 서론	331
2. 우리나라 크릴 어업의 참가와 현황	332
3. 크릴 어업 주변 다른 요인과 동향 변화	332
4. 결론	334
제 14 절 남극 크릴의 유용 지방산 분석	339
1. 서론	340
2. 실험 방법	341
3. 결과	343
4. 고찰과 향후 전망	345
4. 참고문헌	348
제 15 절 남극 대구의 발현유전자 분석	355
1. 서론	356
2. 재료 및 방법	357
3. 결과 및 고찰	360
4. 참고문헌	363
제 16 절 남극에서 분리한 저온성 세균 유래 단백질 분해 효소	381
1. 서론	381
2. 재료 및 방법	386
3. 결과 및 고찰	397
4. 참고문헌	404
제 17 절 남극 무척추동물로부터 신물질 개발연구	411
1. 서론	411
2. 남극 해면의 대사물질	412
3. 방법과 결과	414

4. 결론	415
5. 참고문헌	418
제 3 장 연구의 평가 및 향후 계획	421
제 1 절 연구목표 달성도 및 결과의 발표	423
1. 연구목표의 달성도 및 문제점	423
2. 결과의 발표	425
제 2 절 대외 기여도 및 활용계획	428
1. 대외기여도	428
2. 활용계획	429
가. 남극해 생태계의 파악과 크릴자원의 변동 특성 규명	429
나. 원양어업의 발전	429
다. 생명공학 산업의 발달	430
라. 국가 위상의 제고 및 CCAMLR 내에서 발언권 강화	430

Contents

Summary (in Korean)	5
Summary (in English)	19
Contents (in Korean)	35
Contents (in English)	41
List of Tables	47
List of Figures	49

Chapter 1. Introduction	57
--------------------------------------	-----------

Section 1. Justification for the research	59
--	-----------

1. Technology development	62
A. Acoustic technology for krill biomass determination	62
B. Low temperature bio-technology	62
2. Industrial application	62
A. Vested interests in krill fishery	62
B. New fishing grounds	63
C. Biotech industry	63
D. Improved research efficacy	63
3. National standing	64
A. Korean presence in Antarctica	64
B. Korean influence in Antarctic community	64
C. Expertise in Antarctic marine living resource management	64

Section 2. Goals for the research	65
--	-----------

1. Final aims	65
---------------------	----

2. Research goals for Stage 1 (1998-2000)	65
3. Research goals for Stage 2 (2001-2003)	66
4. Research goals for Stage 2 (2004-2006)	68
5. Goals for each stage	69
Chapter 2. Research contents and results	71
Section 1. Antarctic krill distribution and oceanography around South Shetland Islands and in the southwestern Scotia Sea	73
1. Introduction	74
2. Multi-frequency krill delineation	75
3. Field survey and data analysis	89
4. Results	111
5. References	149
Section 2. Distribution of Antarctic krill around South Shetland Islands and the consequences for krill predators during 2001/2002 summer	151
1. Introduction	152
2. Materials and methods	152
3. Results	154
4. Discussion	156
5. References	161
Section 3. Acoustic survey of Antarctic krill around South Shetland Islands and toward Antarctic Peninsula	165
1. Study area	166
2. Acoustic survey	167
3. Results	168
Section 4. Differing levels of krill density over meso-scale area in the	

southwest Atlantic sector of Southern Ocean Shetland Islands during early summer; possible causes and consequences	179
1. Introduction	180
2. Materials and methods	181
3. Results	181
4. Discussion	182
5. References	186
Section 5. Characterization of aggregations of Antarctic krill and the linkage with environmental variabilities	193
1. Introduction	195
2. Treatment of acoustic data	196
3. Field survey and data analysis	212
4. Results and discussion	216
5. References	224
Section 6. Utilization of krill fisheries data	227
1. Introduction	228
2. Materials and methods	229
3. Results and discussion	229
4. Future research	231
5. References	236
Section 7. Genetic analysis of the dynamics of Antarctic krill stocks near the South Shetland Islands	239
1. Introduction	240
2. Materials and methods	242
3. Results and discussion	245
4. Conclusion	247
5. References	249

Section 8. Digestive gland of Antarctic krill as a feeding indicator	265
1. Introduction	266
2. Materials and methods	267
3. Results	268
4. Discussion	273
5. Conclusion	275
6. References	278
Section 9. Sea ice distribution in the Southern Ocean for the past 5 summers	
1. Introduction	286
2. Materials and methods	288
3. Results	291
4. References	293
Section 10. Surface chlorophyll distribution in the Southern Ocean for the past 5 years	301
1. Introduction	301
2. Materials and methods	301
3. Results	302
Section 11. Concurrent examination of sea ice and surface chlorophyll in relation to krill population	311
1. Introduction	311
2. Features of sea ice and chlorophyll distribution and inter-relationship ..	311
3. Preliminary results and future research	312
4. References	314
Section 12. Utilization and management of krill resources	319
1. Introduction	320

2. Utilization of krill resources	320
3. Management of krill resources	321
4. Conclusion	323
5. References	325
Section 13. Prospects for Korean krill industry	331
1. Introduction	331
2. Past and present of Korean krill industry	332
3. Factors and trends around krill industry	332
4. Conclusion	334
Section 14. Lipids and fatty acids from Antarctic krill	339
1. Introduction	340
2. Materials and methods	341
3. Results	343
4. Discussion and future prospects	345
5. References	348
Section 15. Identification of useful genes from the Antarctic fish, <i>Notothenia coriiceps</i>	355
1. Introduction	356
2. Materials and methods	357
3. Results and discussion	360
4. References	363
Section 16. Purification and characterization of psychrophilic protease from Antarctic bacteria and fish	381
1. Introduction	381
2. Materials and methods	386
3. Results and discussion	397

4. References	404
Section 17. A study on the development of novel substances from Antarctic invertebrates	411
1. Introduction	411
2. Metabolites from Antarctic sponges	412
3. Methods and Results	414
4. Conclusion	415
5. References	418
Chapter 3. Evaluation of the project and future plan	421
Section 1. Achievements and presentation of the results	423
1. Achievements and the unresolved issues	423
2. Presentation of the research	425
Section 2. Contributions and applications of the research outcomes	428
1. Contributions	428
2. Applications	429
A. Understanding of the Antarctic marine ecosystem and the causes for biomass fluctuation	429
B. Distant water fishery	429
C. Bio-tech industry	430
D. Korean influence in the CCAMLR community	430

List of Tables

Table I 2-1. Research plan for the first stage (1998-2000) of the project	66
Table I 2-2. Research plan for the second stage (2001-2003) of the project	67
Table I 2-3. Research plan for the third stage (2004-2006) of the project	68
Table II 1-1. Informations on CTD and Bongo net stations	93
Table II 1-2. The information of acoustic survey time and distance at each survey	100
Table II 1-3. Input parameters for data logging and processing	103
Table II 1-4. Coefficient to calculate krill weight (w , mg) from length (L , mm) data	107
Table II 1-5. Conversion factor for 120 kHz, integrated volume backscattering (S_A , $m^2/n \text{ mile}^2$) to areal krill biomass density (g/m^2)	107
Table II 1-6. Conversion factor for 120 kHz at each transect, integrated volume backscattering (S_A , $m^2/n \text{ mile}^2$) to areal krill biomass density (g/m^2)	108
Table II 1-7. Estimated krill density at all transect and mesoscale area	134
Table II 1-8. Estimated krill biomass in mesoscale study area during Leg 2 and Leg 3	135
Table II 2-1. Number of penguin chicks raised to creche stage per nest at Barton Peninsula	162
Table II 2-2. Number of gentoo penguin chicks raised to late creche stage per breeding pair at Barton Peninsula and Duthoit Point	162
Table II 2-3. Fledgling weight of penguins at Barton Peninsula	163
Table II 2-4. Various measures of breeding success and fledgling weight of gentoo and chinstrap penguins at Cape Shirreff, Livingston Island	163
Table II 3-1. Information on each acoustic transect	178
Table II 4-1. Density and size of krill aggregations, and the distance apart between aggregations	188
Table II 4-2. Number of penguin chicks raised to creche stage per nest at Barton	

Peninsula	188
Table II 4-3. Number of gentoo penguin chicks raised to late creche stage per breeding pair at Barton Peninsula and Duthoit Point	188
Table II 5-1. Characteristics of Antarctic krill aggregations from 2005/2006 survey	219
Table II 7-1. The krill samples: sampling date, location, and the number of individuals analyzed	251
Table II 7-2. Haplotypes and their frequency of the krill COI gene	252
Table II 9-1. The characteristics of DMSP F8, F11, and F13	299
Table II 9-2. Grid dimensions (column, row) for each channels	299
Table II 9-3. The locations and distances of grid at corner points and midpoints	299
Table II 14-1. Percentage of total fatty acids by types of dietary fat in Eskimo and Danish diets	351
Table II 14-2. Reported pharmacological effects of EPA	351
Table II 14-3. The fatty acid composition of Antarctic krill (<i>Euphausia superba</i>) collected during austral summer 1997-1998	352
Table II 15-1. Composition of EST sequences in terms of their functions	364
Table II 15-2. List of homologous genes identified by GenBanks search with the ESTs	365
Table II 16-1. Purification of protease produced by <i>Shewanella gelidimarina</i> L93 strain	405
Table II 16-2. Purification of protease from spleen of <i>Notothenia coriiceps</i>	405
Table II 17-1. ¹ H and ¹³ C NMR Assignments for 00A-4-C in acetone d ₆ and -D in CDCl ₃	419

List of Figures

Fig. I 2-1. Flow chart for the process and purpose of this project	69
Fig. II 1-1-a. An example of real echogram for 38 kHz acoustic data and input parameters	80
Fig. II 1-1-b. An example of real echogram for 120 kHz acoustic data and input parameters	81
Fig. II 1-2. Integration interval between surface exclusion line and integration stop line	82
Fig. II 1-3-a. Virtual echogram for 38 kHz excluded bad region	83
Fig. II 1-3-b. Virtual echogram for 120kHz excluded bad region	83
Fig. II 1-4-a. Re-sampled echogram for 38 kHz	84
Fig. II 1-4-b. Re-sampled echogram for 120 kHz	84
Fig. II 1-5-a. Noise level for 38 kHz	85
Fig. II 1-5-b. Noise level for 120 kHz	85
Fig. II 1-6-a. Virtual echogram for 38 kHz exclude noise level	86
Fig. II 1-6-b. Virtual echogram for 120 kHz exclude noise level	86
Fig. II 1-7. Subtract resampled noise-free 38 kHz echogram from resampled noise-free 120 kHz	87
Fig. II 1-8. Virtual echogram with difference of mean volume backscattering strength between 2 and 16	87
Fig. II 1-9. Virtual echogram for mask resampled noise-free 120 kHz	88
Fig. II 1-10. Bathymetric configuration in the region of the Scotia Sea and study area	91
Fig. II 1-11. Map of the hydrographic station on November 30, 2001 - January 1, 2002	92
Fig. II 1-12. Hydroacoustic transect during 2001/2002 austral summer	98
Fig. II 1-13. Separated acoustic transect for an each leg	99
Fig. II 1-14. Block diagram for data logging and processing	102

Fig. II 1-15. Geographic distribution of the three clusters	109
Fig. II 1-16. Aggregated length-frequency distributions of krill	110
Fig. II 1-17. Vertical distribution of temperature, salinity, and density at each station of the Scotia Sea	116
Fig. II 1-18. Temperature and salinity distribution in the upper 3000 m along the Scotia Sea transect	117
Fig. II 1-19. Density and voltage of transmissometer distribution in the upper 3000 m along the Scotia Sea transect	118
Fig. II 1-20. Temperature and salinity distribution in the upper 150 m along the Scotia Sea transect	119
Fig. II 1-21. Vertical distribution of temperature, salinity, and density at each station of the Shackleton Fracture	120
Fig. II 1-22. Vertical distribution of temperature, salinity, and density at each station between King George Islands and Elephant Islands	121
Fig. II 1-23. Temperature and salinity distribution in the western transect between King George Islands and Elephant Islands	122
Fig. II 1-24. Density and voltage of transmissometer distribution in the western transect between King George Islands and Elephant Islands	123
Fig. II 1-25. Temperature and salinity distribution in the eastern transect between King George Islands and Elephant Islands	124
Fig. II 1-26. Density and voltage of transmissometer distribution in the eastern transect between King George Islands and Elephant Islands	125
Fig. II 1-27. T/S diagram for all CTD data	126
Fig. II 1-28. Horizontal distribution of mean krill density during Leg 1	136
Fig. II 1-29. Transect line during Leg 2, 3, and 4	137
Fig. II 1-30. Horizontal distribution of mean krill density during Leg 2, 3, and 4	138
Fig. II 1-31. Horizontal distribution of mean krill density in mesoscale area between Elephant Island and South Orkney Island during Leg 2	139
Fig. II 1-32. Horizontal distribution of mean krill density in mesoscale area	

around the northern part of the South Shetland Islands during Leg 3	140
Fig. II 1-33. Krill echogram in the Maxwell Bay for 120 kHz	141
Fig. II 1-34. Variation of krill density between Elephant Island and South Orkney Island	145
Fig. II 1-35. Variation of krill density between Elephant Island and King George Island	146
Fig. II 2-1. Surface chlorophyll distribution in the survey area	164
Fig. II 3-1. Acoustic transect for Antarctic krill (<i>Euphausia superba</i>) during 2003/2004 austral summer	172
Fig. II 3-2. Example of krill echogram at transect B and F. Mean Sv and relative distribution of Sv at krill swarm and all layer were calculated	173
Fig. II 3-3. Relative distribution of mean Sv around the South Shetland Islands (a) and Anvers Island (b)	174
Fig. II 3-4. Vertical distribution of krill aggregation at each transect.	175
Fig. II 3-5. Horizontal distribution of krill aggregations during December 1 - 6 2003	177
Fig. II 4-1. Schematic diagram of 'conveyor belt' theory	189
Fig. II 4-2. Differing levels of krill density over meso-scale distance in the Southwest Atlantic sector of Southern Ocean during early summer 2001/2002	189
Fig. II 4-3. Typical echograms of krill aggregations from the 2 areas	190
Fig. II 4-4. Chlorophyll biomass from satellite image in the krill survey area	191
Fig. II 4-5. Potential mechanism of krill supply from retreating sea ice in the Weddell Sea	191
Fig. II 4-6. Possible over-winter sites and sources of krill population around the Antarctic	192
Fig. II-5-1-a. An example of real echogram from 38 kHz acoustic data and input parameters	201
Fig. II-5-1 b. An example of real echogram from 120 kHz acoustic data and input parameters	202

Fig. II-5-2. Integration interval between surface exclusion line and integration stop line	203
Fig. II-5-3-a. Virtual echogram for 38kHz excluded bad region	204
Fig. II-5-3-b. Virtual echogram for 120kHz excluded bad region	204
Fig. II-5-4 a. Noise level for 38 kHz	205
Fig. II-5-4 b. Noise level for 120 kHz	205
Fig. II 5-5-a. Virtual echogram for 38kHz excluded noise level	206
Fig. II 5-5-b. Virtual echogram for 120kHz excluded noise level	206
Fig. II 5-6. Subtract re-sampled noise-free 38 kHz echogram from re-sampled noise-free 120 kHz echogram	207
Fig. II 5-7. Virtual echogram with difference of mean volume backscattering strength between 2 and 12	207
Fig. II 5-8. Virtual echogram for mask re-sampled noise-free 120 kHz	208
Fig. II 5-9. Virtual echogram for detected schools noise-free 120 kHz	209
Fig. II 5-10-a. Typical Type A aggregation	210
Fig. II 5-10-b. Typical Type B aggregation	210
Fig. II 5-10-c. Typical Type C aggregation	211
Fig. II 5-11. Cruise track during the survey showing the main 7 transects	214
Fig. II 5-12. Block diagram for data logging and processing	215
Fig. II 5-13-a, b, c, d. Length, depth, length to height ratio, and mean volume back-scattering strength of krill aggregation types, 2005/2006	220
Fig. II 5-14-a, b, c. Length, length to height ratio, and mean volume back-scattering strength of krill aggregation types, 2006/2007	221
Fig. II 5-15-a. Distribution of Type A, B, and C aggregations in the study area, 2005/2006	222
Fig. II 5-15-b. Distribution of Type A, B, and C aggregations in the study area, 2006/2007	222
Fig. II 5-16-a. Hydrographic section and distribution of Type A, B, and C aggregations along Line C during 2005/2006 survey	223
Fig. II 5-16-b. Hydrographic section and distribution of Type A, B, and C	

aggregations along Line C during 2006/2007 survey	223
Fig. II 6-1. Krill fishery conducted in 3 major grounds, namely Antarctic Peninsula (48.1), South Orkney Islands (48.2) and South Georgia Islands (48.3) area. Contour indicates 500 m isobath	232
Fig. II 6-2. Movement of krill fishing vessels between years	232
Fig. II 6-3. Average distances between fishing position and 500 m isobath in Subarea 48.1, 48.2 and 48.3	233
Fig. II 6-4. CPUE mean by nations in Subarea 48.1, 48.2 and 48.3	234
Fig. II 6-5. Distribution of fishing efforts by Japanese vessels (open circles) and the location of major Chinstrap penguin colonies (green circles) in subarea 48.1 ..	235
Fig. II 7-1. Sampling site (KR03) for the Antarctic krill during 2003/2004 season cruise	254
Fig. II 7-2. Partial sequences of krill COI gene from the samples collected from north of South Shetland Islands, December 01, 2003	255
Fig. II 7-3. Single nucleotide polymorphisms among the krill samples	262
Fig. II 8-1. The relative length of the digestive gland in field-caught krill during the present survey.	280
Fig. II 8-2. a) The digestive gland length of the krill in a starvation experiment. b) The relative length of the digestive gland in krill in 4 sets of starvation experiments	281
Fig. II 8-3. Commonly found colors of the digestive gland of krill	282
Fig. II 8-4. a) Length and weight of the digestive gland in a 15 mm carapace length standard krill with varying level of relative gland length. b) Length- and weight-wise reserve size of a 15 mm carapace length standard krill with varying level of relative gland length	283
Fig. II 9-1 SSM/I A/B Scan Geometry	295
Fig. II 9-2 Grid map of northern hemisphere	295
Fig. II 9-3 Grid map of southern hemisphere	295
Fig. II 9-4. Sea ice distribution in the Southern Ocean for the past 5 summers	296

Fig. II 9-5. Interannual variation of summer sea-ice extent; comparison of January for the past 5 years	298
Fig. II 10-1. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the Southern Ocean in January, 1998	304
Fig. II 10-2. Color bar used for SeaWiFS chlorophyll imagery	304
Fig. II 10-3. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the Weddell Sea in 1998. Red pixels represent chlorophyll concentration was more than 3 mg m ⁻³	305
Fig. II 10-4. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the Weddell Sea in 2003	305
Fig. II 10-5. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the South Georgia region in 1998	306
Fig. II 10-6. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the South Georgia region in 2003	306
Fig. II 10-7. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the South Shetland Island region in 1998.	307
Fig. II 10-8. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the South Shetland Island region in 2003	307
Fig. II 10-9. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the Ross Sea in 1998	308
Fig. II 10-10. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the Ross Sea in 2003	308
Fig. II 10-11. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the Prydz Bay in 1998	309
Fig. II 10-12. Monthly SeaWiFS chlorophyll <i>a</i> in the Prydz Bay in 2003	309
Fig. II 11-1 Areas that are regularly and predictably covered with sea ice and exposed with ice re-retreat during summer	315
Fig. II 11-2. Surface chlorophyll distribution and approximate sea ice extent in the Weddell Sea	316
Fig. II 11-3. Surface chlorophyll distribution in the Ross Sea	316
Fig. II 11-4. Coastal bays that are characterized by predictable sea-ice retreat and high chlorophyll level during summer	317
Fig. II 12-1. CCAMLR's way of determining catch limit for krill; target population and predator criteria	328
Fig. II 12-2. Newly subdivided management units for krill in Area 48	328

Fig. II 12-3. Schematic diagram for ecosystem based management	329
Fig. II 13-1. Krill catch statistics of 3 major krill fishing nations for the past 10 years	337
Fig. II 13-2. Current status of krill fishery, the factors affecting krill fishing industry, and the measures for orderly development of krill industry	338
Fig. II 14-1. Sampling site of krill	353
Fig. II 14-2. Composition of (a) neutral lipid and (b) phospholipid of krill	354
Fig. II 15-1. The flow chart for construction of cDNA library by using Clontech's Creator SMART cDNA Library Construction Kit	377
Fig. II 15-2. Step-by-Step construction of the cDNA library.	378
Fig. II 15-3. Some of the expressed sequence tags (ESTs) obtained from cDNA library of the Antarctic cod (<i>Notothenia coriiceps</i>) liver	379
Fig. II 16-1. Examples of Halo formation by extracellular protease using milk casein agar plate	406
Fig. II 16-2. Purification of L-93 protease with High-Q ion exchange column chromatography	406
Fig. II 16-3. Purification of L-93 protease with GPC (BioRad SEC-20 GPC column)	407
Fig. II 16-4. SDS-PAGE of L-93 protease purification steps	407
Fig. II 16-5. Activity of extracellular protease of <i>S. gelidimarina</i> L93 at different pH dependence (assayed at room temperature)	408
Fig. II 16-6. Activity of extracellular protease of <i>S. gelidimarina</i> L93 at different temperature	408
Fig. II 16-7. Stability of extracellular protease of <i>S. gelidimarina</i> L93 at different temperatures	409
Fig. II 16-8. Purification of <i>Notothenia coriiceps</i> spleen protease with High-Q ion exchange column chromatography	410
Fig. II 16-9. Purification of <i>Notothenia coriiceps</i> spleen protease with GPC (BioRad SEC-20 GPC column)	410
Fig. II 17-1. Structures of Suberitenone A and B	420

Fig. II 17-2. Structures of Suberitenone C and D 420

제 1 장 서 론

여 백

제 1 절 연구의 필요성

남극대륙과 남극해는 19세기에 발견된 이래 아직까지 어느 나라에도 속하지 않는 인류공동의 재산으로 남아 있으며 지구상 유일한 미개척지이다. 현재, 영국 등의 7개국 이 남극 대륙의 영유권을 주장하고 있으나, 선언적 의미만 있을 뿐 실질적인 지배력이나 국제적인 인정을 받고 있지 못하다. 다만 남극대륙 주위의 아남극권 도서인 South Georgia 섬 (영국), Kerguelen 군도 (프랑스), Prince Edward 섬 (남아프리카공화국), MacDonald와 Heard 섬(호주)과 이에 따른 200해리 배타적 경제수역 (Exclusive Economic Zone: EEZ)의 영유권이 국제사회에서 인정되고 있는 상태이다.

남극대륙과 남극해가 20세기 후반 들어 세계적인 관심의 대상이 되기 시작한 이유는 이곳이 아직 인류의 공유 재산이며 무한한 자원을 갖고 있기 때문이라고 말할 수 있다. 남극대륙과 대륙붕 내부에는 많은 양의 지하자원이 있을 것으로 여겨질 뿐만 아니라 남극대륙 주변 해역에는 막대한 양의 수산자원이 있어, 직접 어획의 대상이 되고 있다. 또한, 남극에 서식하는 생물은 혹한의 독특한 환경에 적어도 2천만년 이상 적응하여 진화한 지구상 독특한 생물자원이다. 최근에 급속히 발달하고 있는 생명공학산업에서는 저온에서 활성을 갖는 단백질과 지질 등 남극생물 특유의 대사물질을 파악하고 그 유전자를 생명공학적인 방법으로 이용하려는 시도가 활발히 모색되고 있다. 이러한 이유로 세계 각국은 남극에 대한 개발 우선권을 확보하려는 경쟁을 벌이고 있다. 현재, 남극조약에 44개국이 가입해 있고 남극에 45개의 상주기지가 운영되고 있는 것도 남극에서 과학적 조사와 함께 자원 개발의 우선권을 확보하려는 목적을 내포하고 있다.

한편, 남극은 훼손되지 않고 보존된 전 인류 공동의 공원으로도 인식되면서 그 자원 개발에 일정한 제한이 부과되어 있다. 환경파괴를 유발할 수 있는 어떠한 활동 (건축, 건설, 관광, 유전 개발 등)도 국제적인 감시와 통제를 받고 있는 실정이다. 특히, 1998년에 발효된 마드리드 협정은 남극 환경을 보호하고 이를 파괴하는 자원개발의 저지를 최우선 목표로 하고 있어, 각국의 남극 활동에 많은 제약을 가하고 있다. 따라서, 남극의 자원을 이용하려면 과학적인 조사와 분석이 선행되어야 하며, 이에 따른 환경친화적이며 효과적인 방법이 제시되어야 한다.

다행스럽게도, 해양의 유용생물자원은 재생산이 가능한 자원으로서 상기 협정의 규제를 받지 않으며, 남극해 생태계를 치명적으로 손상시키지 않는 범위 내에서 그 개발과 이용이 허용되고 있다. 세계 각국은 정부간 국제기구인 남극해양생물자원보존위원회 (Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources: CCAMLR)를 조직하여 남극 생물자원의 관리와 이용을 담당하게 하고 있다. 이 기구에서는 과학위원회의 권고에 기초하여 남극해의 각 어장별, 수산어종별 최대허용어획량(TAC)을 산정하고 허용어획량을 결정한다.

한편, 저온 환경에 적응한 남극생물의 생리적 특징을 분석하여 이를 생명공학적 방법으로 이용하는 것은 아무런 국제규약의 제재를 받지 않고 있어 남극생물자원을 활용하는 최고의 수단으로 등장하고 있다. 더욱이, 남극해에는 지구상 다른 곳과 달리 그 독특한 환경조건에 적응한 남극고유종이 다수 분포하고 있어 새로운 생리대사 물질을 발견하기에 좋은 조건을 제공한다.

남극 크릴과 어류뿐만이 아니라 남극 연근해에 높은 밀도로 분포하고 있는 성게, 해면, 조개 등은 훌륭한 연구대상이 되고 있으며 이들로부터 저온에서 활성을 갖는 단백질(효소)과 지질을 추출하고 그 구조를 밝히는 한편, 관련 유전자를 파악하여 이를 산업적으로 활용하려는 노력이 이루어지고 있다. 또한, 남극 생물의 대사산물을 분석하여 새로운 생리활성 물질을 찾아내고 이를 의약품으로 이용하려는 연구도 활발해지고 있다. 최근 생화학과 분자생물학 연구 기법의 발달은 이와 같은 남극생물의 이용 가능성을 더욱 높여주고 있다.

미국과 캐나다 등의 선진국에서는 남극의 어류를 대상으로 저온에서 활성도가 높은 효소, 결빙방지 물질 등을 연구하여 그 구조를 밝혔으며 어류에서 추출해 낸 수 종의 결빙방지 물질을 상품으로 개발하여 고가에 판매하고 있다. 영국, 벨기에, 프랑스, 이탈리아 등은 저온 활성의 단백질 분해 효소, 지방 분해 효소, 탄수화물 분해 효소를 추출하고 그 유전자를 탐색하고 있다. 21세기에 주목받는 산업으로 등장하는 유전자 DNA를 응용하는 생명공학산업에서 남극생물은 독특한 기초 소재 자원이 될 것이며, 이를 특허로써 선점하려는 국가간의 경쟁이 더욱 치열해 질 것으로 예상된다.

현재 바다에서는 1994년 11월 바다헌장이라고 부르는 UN 해양법협약이 발효되면서 세계 각국이 바다를 제2의 국토로 인식하고 해양자원의 자국화에 나서면서 새로운 해양질서가 만들어지고 있다. 세계 연안국 대부분이 배타적

경제수역(EEZ)을 선포하고 그 권리를 행사하고 있으며, 전 세계 주요어장이 점유되는 실정이다. 한-일 어업협정과 한-중 어업협정 과정의 논란도 해양자원의 자국화 경쟁의 일환이라 할 것이다. 세계적인 EEZ 설정 현상이 연근해 어업뿐만 아니라 원양어업에도 많은 타격을 주면서 막대한 수산자원이 존재하는 것으로 알려진 남극해 어장이 신해양질서 속에서 새로운 원양어업의 대상지로서 전 세계적인 관심의 대상으로 떠오르고 있다. 우리나라의 원양어업계에도 남극해 어장이 새로운 돌파구가 될 수 있을 것으로 생각된다.

세계의 대표적인 어업국들은 남극 해양생물자원의 효율적인 개발을 위하여 그 분포와 자원량을 파악하는데 많은 과학적 투자를 하고 있으며 이를 근거로 남극해양생물자원보존위원회 내에서 적정어획량의 산정과정에 참여하고 발언권을 강화하고 있다. 크릴의 경우, 최대 어장인 대서양측 남극해의 허용어획량이 2000년 국제공동조사연구 (International synoptic survey, CCAMLR-2000)의 결과 400만 톤으로 결정되었다. 이 양은 현재 각국의 실제 어획량보다 많다. 그러나, 연근해 수산어획량이 감소되면서 그 대체자원으로 남극해 수산어종에 대한 관심이 커지고 남극해 어업 강도가 높아지고 있는 상황이다. 크릴의 식용화 연구가 곧 결실을 거둘 것이란 예상과 함께 남극해 어업권을 확보하려는 각국의 경쟁이 점차 심각해질 것으로 예상된다. 머지않아 남극해 어장에도 새로운 해양질서가 요구될 것이고 이에 따라 CCAMLR을 중심으로 다자간 남극해 수산업 관리 체제의 개편이 예상되는 상황이다. 세계 각국은 이에 대비하여 남극생태계 및 수산자원에 대한 과학적 자료를 축적하고 있으며, 이를 근거로 CCAMLR내에서 발언권을 강화하고, 시험 조업을 확대 시행하고 있다. 1999/2000년에 남조지아 군도와 남쉐틀랜드 군도 해역에서 이루어진 크릴에 대한 미국, 일본, 영국, 러시아의 SYNOPTIC SURVEY와 우리나라, 미국, 일본, 페루의 국제공동연구 (international coordinated survey)도 위와 같은 보이지 않는 경쟁의 일환으로서 크릴 자원의 분포 및 자원량과 그 변동원인을 정확히 재분석해 보려는 시도였다.

남극해 생물자원 활용법을 크게 두 가지로 구분하면 경제적 가치가 있는 수산어종을 직접 어획하는 방법과 남극생물의 특성을 활용하여 저온에서 활성을 갖는 신물질과 그 유전자를 개발하는 것이다. 결국, 남극해 유용생물자원 개발 연구의 필요성은 한마디로 인류공동의 재산인 남극생물자원을 개발할 수 있는 권리를 확보하기 위해 과학적 자료를 축적하고 물질특허로써 산업재산권을 우선 확보하며 국제

사회에서 우리나라의 위상을 제고하는데 있다. 본 연구의 필요성을 기술적, 경제적, 사회적 측면에서 요약하면 다음과 같다.

1. 기술적 측면

가. 과학어군탐지기를 이용한 크릴 자원 평가 기술 개발

현재, 수산 자원량을 추정하는 가장 첨단 기술은 최신 과학어군탐지기를 이용하는 방법이다. 본 연구에서는 EK-500과 최신의 자료처리 프로그램 EchoView를 이용함으로써 첨단의 수산자원 평가 기술을 확보하였다. 또한, 수산자원량의 산정에 있어 각 수산생물종마다 독특한 자료처리 방식과 계산식이 적용되는데, 남극해 최대 생물자원인 크릴의 자원량과 상태를 평가하는 최적의 방법을 확립할 필요가 있다.

나. 저온 생명공학 기술 개발

남극생물은 저온 환경에 적응하여 저온에서 활성을 갖는 독특한 물질과 이를 만드는 유전자를 발달시켰다. 따라서, 저온 생리반응과 관련된 유전자의 특성을 파악하고 이를 산업적으로 활용하는 저온생명공학 기술을 개발하는데 남극생물에 대한 연구가 필수적이다. 이러한 저온생명공학 기술은 의료와 보건산업, 농업과 식품산업, 에너지와 환경산업 등 산업계 전반과 밀접히 연관되어 있다. 우리나라는 남극세종기지를 전진기지로 하여 지난 10여년 동안 남극생물 연구의 기반을 닦아왔으므로 남극생물을 이용한 생명공학 연구에 집중적으로 투자하면 충분히 세계적인 기술경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

2. 경제, 산업적 측면

가. 크릴 자원 개발의 기득권 확보

남극해 크릴은 2억-10억 톤에 달하는 막대한 자원량으로 21세기 인류의 주요한 동물성 단백질 공급원으로 간주되고 있다. 현재, 크릴의 상품성은 톤당 약 백만원(1000달러) 수준으로서 10만 톤의 어획량은 약 1000억 원(1억 달러)에 해당한다. 최근 크릴을 이용한 식품가공기술의 발전과 고부가가치 상품 개발이 시도되면서 크릴의 상품성이 현저히 증가할 가능성이 있다. 세계적으로 이미 크릴 어업을

수행하고 있는 우리나라, 일본, 러시아, 우크라이나 외에 미국, 영국이 관심을 유지하고 있고, 노르웨이가 새로운 어획방법으로 대규모 어획에 나설 계획을 세우고 있다. 크릴의 현재 어획량(약 12만 톤 수준)이 허용어획량(400만 톤, 대서양측 남극해)에 못 미치고 있어 크릴 어획권에 대한 국가 간 경쟁이 아직 심각하지 않지만, 앞으로 크릴의 상품성이 증가하고 어획량이 증가하면 CCAMLR을 중심으로 남극해 어장에 새로운 해양질서가 요구될 것이고 이에 따라 수산업 관리체계가 재편될 것에 대비하기 위해서 과학적 조사와 자료의 축적이 필수적이다.

나. 원양어업의 신어장 개척, 어업 우선권의 확보

남극해는 수산생물자원의 보고로서 새로운 원양어업의 대상으로 부상하고 있으나, 아직 그 자원의 분포와 자원량, 계절적 변동에 대한 우리나라의 어업정보는 매우 미약한 실정이다. 새로운 어장을 개척하기 위해서는 수산자원의 분포와 자원량에 대한 과학적 자료가 필수적이다. 또한, 국제사회에서 우리나라의 남극해 어업 우선권을 확보하기 위해서는 시험조업을 활성화시킴과 동시에 이의 기초가 되는 과학적 자료의 축적과 정확한 정보 분석이 절대적으로 필요하다.

다. 남극 해양생물자원을 이용한 새로운 생명공학 산업의 창출

21세기에는 정보통신 산업과 함께 생명공학 산업이 국가 경쟁력을 좌우할 것이란 확신 하에 미국, 일본, 유럽 각국은 유전자 연구에 엄청난 재원을 투자하고 있다. 남극의 해양생물은 지구상 다른 곳에서 찾기 힘든 독특한 생물자원으로서 미래 생명공학산업의 주요한 자원이라 할 수 있다. 21세기 국가경쟁력을 확보하기 위해서는 저온에 적응한 남극생물의 생리대사 특성을 파악하고 그 대사물질의 분석, 유전자의 규명을 통하여 새로운 생명공학 산업을 창출할 필요가 있다. 미국과 캐나다 등은 저온에 적응한 남극생물에서 결빙방지 물질과 저온에서 활성을 갖는 효소와 지질 등의 분석을 이미 시도하였고, 결빙방지 단백질의 경우 일차적인 상품화에 성공하였으나 아직 유전자를 근간으로 하는 본격적인 생명공학 산업화의 단계에는 이르지 못하였다.

라. 연구의 경제성

남극해에서 우리나라 남극세종기지가 위치하고 있는 남쉐틀랜드 군도 해역

과 남오크니군도 해역, 인근 남조지아군도 해역이 크릴과 기타 남극수산자원의 주요 어장이다. 따라서, 본 연구를 세종기지를 거점으로 하는 우리나라의 여타 남극 연구과제와 공동으로 수행함으로써 적은 연구비용으로 최대한 많은 지역을 조사할 수 있는 경제적인 연구방법을 채택할 수 있다.

3. 사회, 문화적 측면

가. 우리나라 남극 진출의 당위성 제고

남극 생물자원연구를 통하여 남극 연구가 직접적으로 국민경제에 기여할 수 있음을 보임으로 해서 남극 기지 운영 등 우리나라의 남극 활동에 대한 당위성을 확보하고 국민적 관심과 지지를 불러일으킬 수 있다.

나. 국제사회에서 남극권에 대한 우리 나라의 발언권 제고

남극과 남극해에 관한 국제사회에서 우리나라의 발언권은 과학적인 조사 활동으로써만 확보될 수 있다. 즉, 과학적인 조사 자료를 바탕으로 CCAMLR와 SCAR등 국제사회에 참여하여 우리의 주장을 펼 수 있는 것이다. 또한, 남극과 남극해는 광활한 지역으로 어느 한 국가가 전 지역을 조사할 수 없어 국가 간의 공동 연구나 각국에서 얻은 정보를 서로 교환할 필요가 있다. 국가 간 관계는 상호주의에 근거하므로 국제정보사회에 참여하기 위해서도 우리나라가 과학적 조사 자료를 갖고 있어야 한다.

다. 남극 해양생물자원에 대한 국제적 전문성 확보

남극해 어장이 EEZ체계의 신해양질서 속에서 새로운 원양어업의 대상지로 세계적인 관심의 대상이 되면서 남극해 수산자원의 분포, 자원량 파악, 어획허용량 설정 등이 긴급한 현안으로 떠오르고 있다. 남극해 어장에 대한 각국의 이해관계 역시 급변할 수 있다. 이에 대응하여 우리나라의 국익을 실현하기 위해서는 남극 해양생물자원에 대한 조사와 자료의 축적과 함께 국제적 여건의 변화에 신속히 대응할 수 있는 국제적 전문성을 확보해야 할 필요가 있다.

제 2 절 연구의 목표

본 연구의 목표는 크게 두 가지로 요약된다. 첫째는 남극해의 수역 톤에 달하는 크릴 자원에 대한 국가간의 개발 우선권 확보 경쟁에서 우위를 점하기 위해 과학적 자료를 축적하고 이를 산업계에 제공하는 것이고 둘째로 남극생물의 고유한 특성을 파악하고 이를 활용할 수 있는 기초 기술을 개발하여 국가 경제에 기여하고자 함이다. 본 연구의 최종 목표를 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

1. 연구의 최종 목표

- 가. 남극해 크릴의 분포와 자원량을 파악하고 연변동 과정을 분석한다: 크릴의 주요 어장인 남쉐틀랜드군도, 남오크니군도, 남조지아군도 해역
- 나. 남극 크릴 자원량의 변동과 생태계 및 환경과의 상관관계를 파악한다.
- 다. 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR) 중심의 남극 국제사회에서 우리나라의 위상을 제고하고 발언권을 강화하여 남극해 신어장에서 우리나라의 장기적 어업 이익을 보호한다.
- 라. 남극해 고유의 생물자원에서부터 독특한 생리대사물질과 효소단백질을 규명하고 그 유전자를 분리하며 특허로써 재산권을 확보한다.
- 마. 남극생물의 신물질과 유전자를 활용하여 생명공학 산업기술을 개발한다.

2. 제1단계(1998-2000)의 연차별 연구 목표

제 1단계 연구에서는 가장 기본적이면서도 산업에 미치는 영향이 직접적이었던 사항을 추진했던 바, 크릴의 주요 어장인 남쉐틀랜드 군도 해역과 그 주변 해역에서 크릴의 분포 및 자원량 산정 연구를 실시하였다. 또한, 크릴 자원의 이용과 관리에 기초가 되는 계군분석을 유전학적 방법에 의하여 수행해 왔으며, 남극생태계를 종합적으로 파악하기 위한 생태계 구조 분석과 환경 요인 조사도

병행하였다. 아울러 남극생물에서 유용한 물질을 개발하기 위한 자료 조사 및 기초 연구를 제1단계 후반기부터 수행하였다. 특히, 1999/2000년에는 일본, 미국, 페루와 함께 본 조사지역에서 국제공동연구를 수행하여 크릴의 기초자원량을 재산정하려는 국제사회의 연구 활동에 적극 참여하였다. 연차별 연구개발 목표와 내용을 정리하면 Table I 2-1과 같다.

Table I 2-1: Research plan for the first stage (1998-2000) of the project.

(단위 : 천원)

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위	연구비
1차 년도 (1998)	남극해 유용생물자원 현황 파악	- 세종기지 주변해역 크릴 자원량 - 주요 남극 수산어종의 자원학적 현황 - 음향탐사기(EK-500) 운용을 위한 산란강도 측정 실험 연구	정부: 250,000 기타:
2차 년도 (1999)	크릴 자원량 변동 원인 연구	- 세종기지 주변해역에서 크릴의 계절적 분포 (국제 공동 연구) - 유전학적 방법에 의한 크릴 계군 분석 - 과학어탐기 운용을 위한 TS 측정 실험	정부: 250,000 기타:
3차 년도 (2000)	- 남극생물의 대사 물질 분석 - 크릴 자원량 변동 원인 연구	- 저온 활성의 효소, 유전자 연구 (기초 연구) - 크릴 분포, 자원량, 계군 분석 - 남극생태계 구조 분석	정부: 250,000 기타:

3. 제2단계(2001-2003)의 연차별 연구 목표

본 연구의 제2단계에서는 제1단계 연구의 연속성을 유지하여 크릴새우 자원 조사의 영역을 확대하고, 남극생물에 독특한 유용물질과 그 유전자를 개발하는데 중점을 두었다. 제2단계에서 크릴 자원조사 지역을 남오크니군도 해역까지 확대하였다. 본 해역은 제1단계의 주요 연구 해역이었던 남셰틀랜드군도 해역과 더불어 크릴의 주요 어장을 형성한다. 또한, 남극순환해류의 특성상 남셰틀랜드군도와 남

오크니군도 해역에 크릴을 공급하는 지역으로 알려져 있는 벨링스하우젠 해역에서 수행되는 국제공동연구 프로그램 Southern Ocean GLOBEC에 참여하여 크릴의 생 활사, 유생 생리, 월동기작 등을 연구하였다. 남극생물의 유용물질과 유전자 연구 는 단백질분해효소와 지질분해효소, 결빙방지 단백질, 남극 생물의 대사물질 분석에 초점을 맞추고 궁극적으로 연구결과의 생명공학산업화를 목표로 추진한다.

연차별 연구개발 목표와 내용을 정리하면 Table I 2-2와 같다.

Table I 2-2. Research plan for the Second stage (2001-2003) of the project.

(단위 : 천원)

구 분	연구 개발 목표	연구 개발 내용 및 범위	추정연구 비
1차 년도 (2001)	저온 활성 효소단백질 분석 결빙방지 단백질 유전자 분석 크릴의 분포와 자원량 파악	저온 활성 단백질분해효소 분리, 정제 남극대구의 결빙방지 단백질 유전자 클로닝 남오크니군도 서쪽해역의 크릴 자원량 조사 벨링스하우젠 크릴의 생리상태 분석	250,000
2차 년도 (2002)	남극생물의 신물질 확보 결빙방지 단백질 유전자 확보 크릴자원 조사, 어업계에 정보 제공	남극생물의 대사물질 분석, 신물질 탐색 결빙방지 단백질 유전자의 클로닝 남오크니군도 북서해역의 크릴 자원량 조사, 고밀도 크릴군 출현지역 파악	250,000
3차 년도 (2003)	크릴자원 조사, 자원관리 대안 모색을 위한 기반 구축 남극 어류 기원 유용 유전자 대량 검색	남쉐틀랜드 군도 해역의 크릴 분포와 자원량 조사, 고밀도 크릴군 출현지역 파악 위성자료, 어업자료 활용 기반 구축 남극 어류에서 유용 유전자 파악	250,000

4. 제3단계(2004-2006)의 연차별 연구 목표

3단계부터는 크릴 자원 관리 대안의 모색에 주력하며 장기 광역 동태를 조절하는 원인에 대한 탐구와 환경 및 다른 생태계 구성원과 상호 관계를 규명하는 연구를 진행하였다.

Table I 2-3. Research plan for the third stage (2004-2006) of the project.

(단위 : 천원)

구분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위	연구비
3단계 1차년도 (2004)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 크릴 분포 조사와 크릴 자원 변동 조절 환경 요인 탐색 ○ 자연 포식자의 크릴 자원 이용 행동 조사 ○ 인간 소비자 (어업)의 크릴자원 이용 행동 조사 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 크릴 분포 현장 자료 수집 ○ 대규모 환경요인 변화와 크릴 변동 상관성 파악 ○ 포식자의 먹이 섭취 요구량과 행동 특성 자료 수집 ○ 크릴 어업 자료 이용한 크릴 선단의 행동 특성 파악 	250,000
3단계 2차년도 (2005)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 자연적 요인에 의한 크릴 개체군 조절 과정 파악 ○ 인위적 영향에 의한 크릴 개체군 조절 과정 파악 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 크릴 분포와 현장 환경요인 자료 수집 및 상관성 파악 ○ 크릴-포식자 상호작용 파악 ○ 크릴 어장 형성 메커니즘과 크릴-어업 상호작용 파악 	250,000
3단계 3차년도 (2006)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 크릴-환경-포식자-어업 상호작용 파악 ○ 생태계 기반 크릴 자원 관리 대안 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 크릴-환경-포식자-어업 상호작용 모형화 ○ 크릴-포식자-어업 모델에 기반한 자원 이용 대안 	250,000

4. 연구의 단계별 목표

2단계 초에 설정된 본 연구의 단계별 목표는 Fig. I 2-1과 같다.

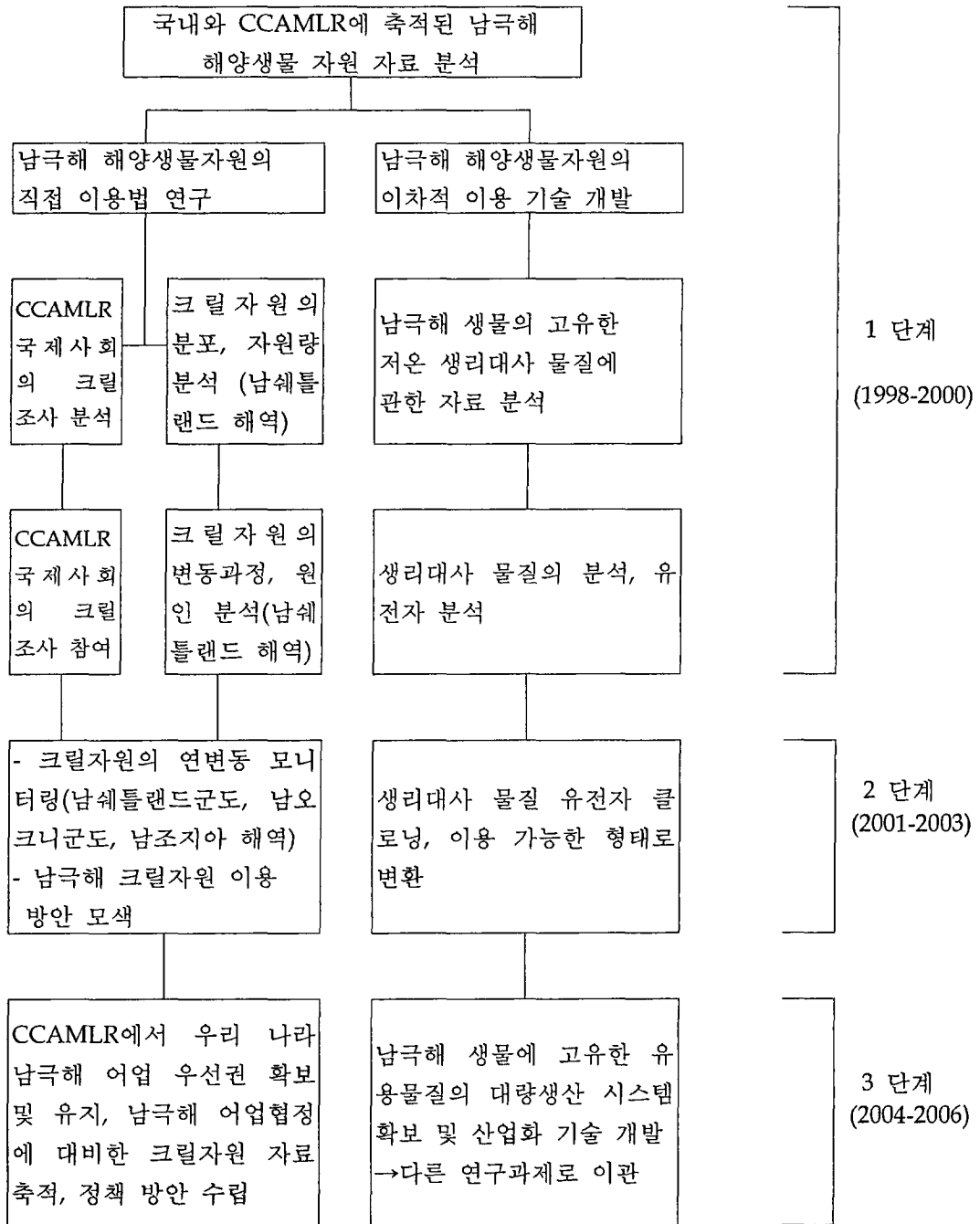


Fig. I 2-1. Flow chart for the process and purpose of this project

여 백

제 2 장 연구개발수행 내용 및 결과

여 백

제 1 절 남서 스코시아 해역과 남쉐틀랜드 군도 인근 해역의 크릴 분포와 해양환경 특성

요약 : 남서대서양측 남극해는 크릴이 지나가는 주요 경로이며 주요 어장이고 크릴을 먹이로 하는 대형포식자가 다량 서식하는 곳이기도 하다. 이 해역의 크릴 자원량은 해마다 큰 폭으로 변동하지만 남극 순환해류의 상류와 하류에 해당하는 곳의 자원변동은 연계하는 곳으로 알려져 있다. 크릴 자원의 성쇠와 그 조절 기작을 규명하기 위한 수산음향 조사와 해양 환경 조사를 남쉐틀랜드 군도 인근 해역에서 수행해왔으며 2001/2002년 조사에서는 남쉐틀랜드군도 북쪽과 남쪽 뿐 아니라 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이를 포함하는 남서 스코시아해까지 조사 범위를 확대하였다. 2001/2002 여름 크릴의 자원량은 적어도 남쉐틀랜드군도 북쪽에서는 예년 수준을 크게 벗어나지 않았지만 남쪽은 적었다. 크릴은 대륙붕과 대륙 사면의 경계 가까이에 분포하는 경향을 보였으며 리빙스턴 섬 북쪽에서 밀도가 높았다. 생물학적 요인 외에도 지형과 수심이 큰 역할을 하며 약 1000 m 수심에서 크릴 떼를 발견한 가능성이 높았다. 여러 여건상 일정한 조사 구역을 장시간 관측하지는 못했지만 다양한 이동 경로와 시기적으로 다른 차이를 이용함으로써 밀도 특성을 파악할 수 있었다. 120 kHz 음향 자료를 이용하여 평균 밀도를 산출한 결과에 의하면 남쉐틀랜드군도 북부 해역은 22.98 g m^{-2} 이며, 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 해역에서는 21.34 g m^{-2} 로 나타났다. 계산된 자원량은 남쉐틀랜드군도 북부 해역에서 $494 \times 10^3 \text{ Mt}$ (area : $6,300 \text{ mile}^2$, CV : 10.4%), 엘리펀트 섬과 남오크니섬 사이의 해역에서 $724 \times 10^3 \text{ Mt}$ (area : $9,900 \text{ mile}^2$, CV : 31.4%)으로 예측되었다. 한편, 크릴 자원량 분석을 위한 기존의 시각적인 분석 방법이 여러 가지 문제점을 가지고 있었으므로 이에 대한 해결 방안으로 다중 주파수의 체적 산란 강도 차이를 이용한 방법을 사용하였다.

1. 서론

국제 식량 기구에 의해 48.1 해역으로 분류된 남쉐틀란드군도는 남극해의 생태계 피라미드의 아래 부분을 차지하고 있지만 동물 플랑크톤과 고래, 어류, 펭귄, 조류 등의 상위 포식자들을 연결하는 중요한 연결 고리의 역할을 하고 있는 남극 크릴(Antarctic krill, *Euphausia superba*)의 분포 밀도가 높은 곳으로 알려져 있다(Murphy *et al.*, 1988). 이 지역은 크릴 분포 및 이동에 대한 연구가 매년 한국, 미국 등의 여러 연구팀에 의해 진행되고 있고, 상업 어선의 크릴 어획이 주로 이루어지고 있는 곳으로 남극해 크릴에 대한 중요한 연구 지역이면서 수산업 측면에서도 중요한 부분을 차지하고 있다(Ichii *et al.*, 1998). 그러나 크릴 밀도의 크기, 분포 위치 및 예측 자원량의 년 변동이 크게 나타나 다년간의 연구 결과에도 불구하고 자원량 예측에 큰 어려움이 있다. 우리나라는 1998/1999 시기에 처음으로 음향 자원 조사 기법을 도입한 이후, 1999/2000, 2000/2001에 걸쳐 3년 동안 이 지역에서 크릴 분포 위치 및 자원량에 관한 조사를 실시하고 있다(강 등, 1998, 1999; 해양수산부, 1999, 2000). 그러나 미국, 페루, 일본 등과 같이 장기간에 걸쳐 넓은 조사 지역을 포함할 수 있는 여건이 되지 못하고 남극 세종 기지를 중심으로 좁은 조사 지역을 선정하거나, 타 연구 과제와 연계되어 불규칙한 지역 및 조사 정선이 이루어져 왔다. 그러나 이와 같이 제한된 조건임에도 불구하고 남극해 해양 생태계에서 크릴이 차지하는 비중을 고려할 때 지속적인 조사가 필요한 시점이다.

남극해 전체를 고려할 때 매우 좁은 연구 지역에 속하는 남쉐틀란드군도 해역의 크릴 분포에 관한 연구는 이 지역의 크릴 자원량 만을 결정하는 요소가 아니라 지리적으로 동쪽에 있는 남 오크니 섬과 멀리 북동 방향으로 떨어진 남조지아섬 해역의 크릴 자원량을 결정하는 요소로 작용하고 있다(Brierley *et al.*, 1999). 그러므로 년 변동 파악 및 동일한 연도이지만 계절적인 특성을 파악함으로써 48 해역 전체의 크릴 자원량에 관한 종합적인 판단이 가능하게 된다. 이 지역에서 1999/2000년에 실시한 4개국(한국, 미국, 일본, 페루)에 의해 실시한 국제 공동 연구 결과에 의하면 1999년 12월 14일 ~ 2000년 2월 26일 동안 총 5회에 걸쳐 동일한 지역에 대한 음향 자원 조사를 실시하였다. 이 당시 연구 결과에 의하면 1999/2000 기간 동안 남쉐틀란드군도 북부 해역의 크릴 밀도는 하계 기간 동안 큰 편차를

보이지 않고 일정한 수준을 유지하는 것으로 나타났다(Hewitt *et al*, 2002). 이러한 결과는 벨링스하우젠해역으로부터 이동하기 시작한 크릴군이 12월 중순경에는 남셰틀란드군도에 도달하였음을 의미하고 또한 동일한 크릴군이 이 지역에 계속해서 머무르거나 혹은 지속적으로 크릴이 공급된다는 것을 암시하고 있다. 따라서 이 지역에서 12월 초순의 크릴 밀도에 대한 조사를 실시함으로써 12월 중순 이후부터 크릴이 본격적으로 출현함을 규명할 필요가 있다.

2001/2002 조사는 시기적으로 매우 이른 11월 30일에 시작하였으므로 기존의 많은 연구 결과가 12월 중순 이후에 실시한 자료를 바탕으로 한 것을 고려하면 좀 더 이른 시기의 크릴 분포 특성 및 밀도 변화를 예측할 수 있었다. 위에서 언급한 대로 여러 여건상 일정한 조사 구역을 장시간 관측하지는 못했지만 다양한 이동 경로와 시기적으로 다른 차이를 이용함으로써 지역별, 시기별로 크릴 분포 및 밀도 특성을 파악할 수 있었다. 또한 크릴 분포 특성 이외에 타 과제에서 수행한 생물, 화학, 물리 요소들을 비교함으로써 종합적인 분석이 가능한 조사를 실시하였다. 본 보고서에서는 현장 관측을 통하여 얻은 자료를 이용하여 크릴의 분포 및 밀도 특성을 기술함을 주요 목적으로 하였고, 이외에 해양 물리 특성에 관한 기본 분석을 실시하였다.

한편, 크릴 자원량 분석을 위한 기존의 시각적인 분석 방법이 여러 가지 문제점을 가지고 있었으므로 이에 대한 해결 방안으로 다중 주파수의 체적 산란 강도 차이를 이용한 방법을 사용하였다 (Watkins & Brierley, 2000; WG-EMM-00/21, 2000). 이 방법은 2000년 이후에 제시된 방법으로 남극해 크릴 자원량 분석의 표준화된 방법으로 제시되었으므로 이에 대한 방법 및 절차를 기술하였다.

2. 다중 주파수의 체적 산란 강도를 이용한 크릴 관별법

가. 다중 주파수의 평균 체적 산란 강도 차이

수중 음향을 이용한 수산 자원량 조사는 음향 장비로 대표되는 모든 시스템 과 관측된 음향 자료로부터 원하는 대상 어종에 대한 음향 자료만을 선택하는 자료 처리 단계에서 큰 오차를 발생시킬 수 있다. 음향 시스템에 의한 오차 가능성은

음향 센서의 정확도에 따라 영향을 받게 되는데 이러한 문제점은 센서 보정에 의해 보완되고 있다. 또한 관측 당시의 음향 변수 설정과 해양 환경의 상황에 따라 오차의 가능성이 발생할 수 있으나, 표준화된 방법이나 적절한 조사 시기를 선택한다면 이러한 요인에 의한 오차는 제거할 수 있다. 만일 관측 시기에 음향 시스템에 문제가 없었고 적절한 음향 변수 사용 및 안정된 해양 환경이라는 조건이 충족되었다면 현장 조사에 의해 발생할 수 있는 큰 오차는 제거되는 셈이다. 이러한 조건이 만족되었다면 자원량 예측 단계에서 가장 큰 문제는 해수에 존재하는 여러 어종과 수중 소음 등에 의해 복합적으로 수신되는 음향 자료 가운데 특정 어종에 대한 자료만을 선택하는 과정이다. 시간(혹은 이동 거리)과 수심에 따른 수신 신호의 강도를 표시하는 대부분의 음향 자료 처리 단계에서 위에서 언급한 단계는 자원량 예측에 큰 어려움을 주게 된다.

일반적으로 음향 자료 처리는 대상 어종에 대한 개개 음향 특성 및 해양에 분포하는 생태학적 특성을 바탕으로 전문화된 인력의 경험에 의존하는 방법을 사용해 왔다. 즉 특정 어종과 잡음(수중 소음+원하지 않는 어종에 의한 신호)을 분리하는 "Scrutinize" 단계에서 시각적인 분석(visual analyze) 방법을 1990년 후반까지 보편적으로 사용해 왔다(Socha *et al.*, 1996). 이 방법은 아직까지도 베링해의 명태(walleye pollock), 북해의 청어(herring), 남극해의 크릴 등과 같이 계절적으로 단일 어종이 우점하게 형성되는 경우에 많이 사용되고 있으며 숙련된 자료 처리자의 경우에는 여전히 유용한 수단으로 이용되고 있다. 그러나 음향 자료 처리의 숙련도는 연구 지역에서 오랫동안 대상 어종에 대한 음향 특성을 파악함으로써 만들어 질 수 있다. 또한 개개 음향 자료 처리자의 판단 기준에 따라 동일한 음향 자료에 대한 자원량 예측에 문제가 될 수 있다. 따라서 이러한 시각적인 분석 방법은 분석자의 주관에 따라 자원량 예측에 문제가 되고 있으며, 특히 중위도 해역에서처럼 여러 어종이 동시에 존재하고 또한 음향 자료의 양이 작지 않을 경우 이 방법은 숙련의 유무에 무관하게 많은 오차를 발생시킬 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존에 많이 사용하던 단일 주파수 방법 대신 다중 주파수를 이용한 평균 체적 산란 강도(Mean Volume Back Scattering, MVBS) 차이법이 이용되고 있다. 이 방법은 동일한 어류 및 동물 플랑크톤에 대한 주파수별 음향 산란 특성이 다른 특징을 이용하여 주파수별 체적 산란 강도를 비교하게 된다. 또한 대상 어종이 다르게 되면 서로 다른 체적 산란 강도 차이를

나타내게 되므로 어군 분리 방법에 많이 사용되고 있다(Miyashita *et al.*, 1996). 이 방법은 대상 어류에 따라 서로 다른 체적 산란 강도 차이를 사용하는데 부레를 가진 어류의 경우, 저주파에서 더 높은 체적 산란 강도를 나타내므로 저주파에서 고주파의 체적 산란 강도를 차이를 빼주는 형태를 나타내고 있다. 그러나 갑각류 같은 종은 고주파에서 더 높은 체적 산란 강도를 나타내므로 어류와는 반대의 형태를 띠게 된다.

남극 크릴의 경우도 고주파에서 더 높은 체적 산란 강도 특성을 나타내므로 다중 주파수를 이용한 체적 산란 강도 차이를 이용할 때 상대적으로 높은 고주파에서 저주파의 체적 산란 강도 차이를 이용하고 있다. 이러한 방법은 2000년 6월에 개최된 CCAMLR synoptic 조사 자료를 위한 workshop에서 남극해에서 수집된 음향 자료로부터 크릴만을 분리하기 위하여 사용하였으며 이를 표준화하였다(WG-EMM-00/21, 20000). 이때 크릴만을 분리하기 위한 다중 주파수에 의한 방법에서 사용한 주파수간 체적 산란 강도 차이는 다음의 식을 이용하였다 (Watkins and Brierley, 2000).

$$2 \text{ dB} < \text{MVBS}_{120\text{kHz}} - \text{MVBS}_{38\text{kHz}} < 16 \text{ dB}$$

나. 가상 에코그램을 이용한 크릴 분리(delineation)

38 kHz와 120 kHz 음원으로부터 수신된 음향 자료로부터 크릴만을 분리하는 방법은 총 16단계의 절차를 이용하여 자료를 처리하며 이때 각 과정에서 가상 에코그램(virtual echogram)을 생성하여 사용한다. 이때 전 단계로 음향 자료를 수신할 때(logging stage)의 센서 입력 변수와 자료 처리할 때(processing stage)의 입력 변수를 이용한다. 센서 보정이 자료 수신 이전(first calibration)과 이후(second calibration)에 걸쳐 두 번을 실시했다면 logging 단계의 센서 입력 변수는 first calibration 결과를, processing 단계의 입력 변수는 second calibration 결과를 이용하게 된다. 예로 사용하는 에코그램과 설명은 다음과 같다.

단계 1. 38 kHz, 120 kHz 음원에서 수신된 각각의 에코그램에서 해수면, 해저면을 분리시킨 후 전기 잡음 등 bad data 지역을 분리시킨다. 설정된 surface exclusion line과 integration stop line 사이의 구간이 적분 구간에

해당한다. 이때 각 주파수별로 logging 및 processing 단계에서의 센서 입력 변수를 이용한다(Fig. II 1-1-a, b). 이 단계에 들어가기 전에 해양 환경 자료를 측정하기 위하여 CTD 및 net를 채집하는 과정에서 생성되는 에코그램은 bad region으로 지정을 해 주어야 한다.

단계 2. 가상 에코그램을 만들기 위한 첫 번째 단계로 단계 1에서 설정한 surface exclusion line과 integration stop line으로부터 적분 구간만을 나타내는 가상 에코그램을 만든다(Fig. II 1-2). 이 단계는 관측 자료에서 표층 잡음 및 해저면 신호를 제외시키고 산란체가 존재하는 지역만을 이용하는 가상 에코그램을 생성하기 위한 공간을 만드는 과정이다.

단계 3. 단계 1의 실측 자료와 단계 2에서 만든 공간 구간을 결합하여 실측 자료에서 bad region을 제거하는 과정이다. 이 과정에서 만들어진 가상 에코그램은 단계 1의 실측 자료에서 surface exclusion line과 integration stop line을 기준으로 생성되므로 적분 구간 내의 에코그램 형태는 단계 1의 형태와 동일하게 형성된다(Fig. II 1-3-a, b). 그러므로 크릴만을 분리해 내는 과정의 출발점이 되므로 동일한 에코그램이 생성되지 않으면 다시 단계 1, 2을 수정해야 한다.

단계 4. 단계 3에서 생성된 가상 에코그램으로부터 수평, 수직 거리를 이용한 각 셀(cell)에서의 체적 산란 강도를 새로 생성하는 단계이다. 이 단계는 2개의 주파수에서 수신된 각각의 음향 자료로부터 임의의 기준으로 나눈 각 셀에서 체적 산란 강도를 계산함으로써 평균 체적 산란 강도 차이를 계산하기 위한 자료를 만들게 된다. 이때 각 셀의 수평 거리는 시간 단위로 나타내어 100 초를, 수직 거리는 5 m로 설정을 한다. 그러므로 조사선이 10 노트로 이동하게 되면 100 초 동안 514 m를 이동하므로 각 셀의 이차원 면적은 2572 m^2 이 된다. 이것이 하나의 기본 셀이 되며 이 셀 내에서의 체적 산란 강도로부터 가상 에코그램을 만들게 된다(Fig. II 1-4-a, b).

단계 5. 단계 4에서 만들어진 가상 에코그램의 셀은 잡음(noise)이 포함되어 있는 상태이다. 따라서 현장에서 passive 형태로 수신한 주변 소음 자료로부터 가상 에코그램을 생성하여(noise generator) 단계 4에서 주변 잡음에 의한 효과를 제외시켜야 한다. 일반적으로 120 kHz에 비해 38 kHz에서 높은

준위의 잡음을 나타내고 있으나 threshold 값으로 설정한 -70 dB에 비해 낮은 수준인 -130 dB 이하의 분포를 보이므로 본 예에서 사용한 에코그램에도 잡음의 효과는 나타나지 않고 있다(Fig. II 1-5-a, b). 이때 noise를 생성하기 위해서는 absorption coefficient, pulse length, nominal beam angle 등의 시스템 변수가 이용된다.

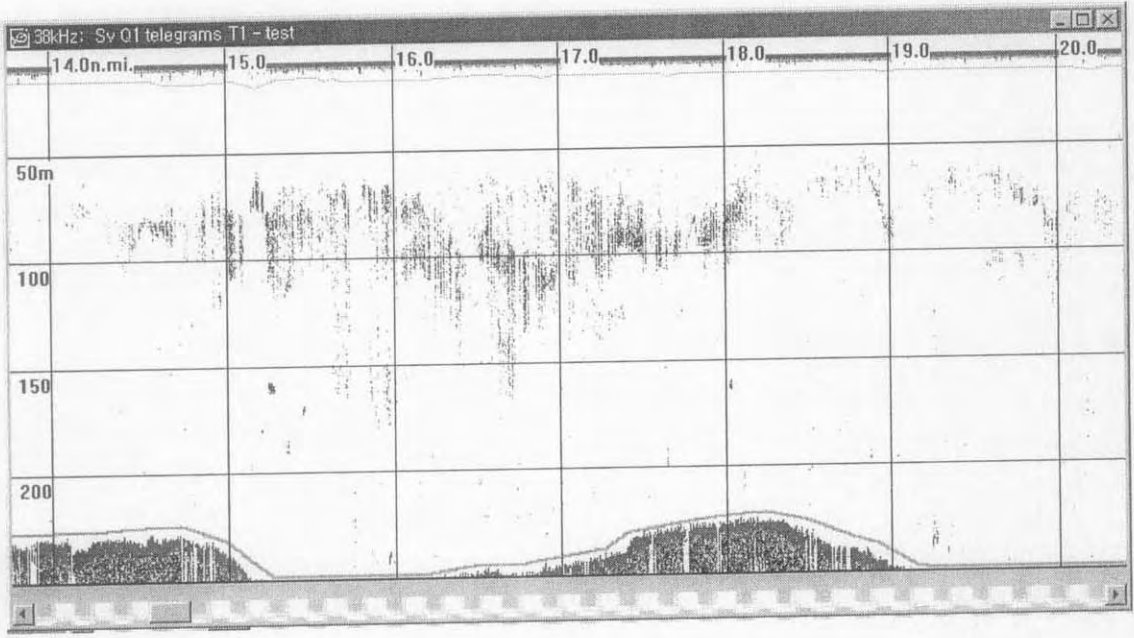
단계 6. 단계 4에서 만들어진 가상 에코그램에서 단계 5에서 만든 가상 잡음을 제거한 후에 새로운 에코그램을 생성하는 단계이다. 이 단계를 거치면서 각 주파수별 가상 에코그램은 주변 소음 준위를 제거한 순수한 생물체에 의한 신호만 남게 된다(Fig. II 1-6-a, b).

단계 7. 단계 6에서 생성된 38, 120 kHz 가상 에코그램은 잡음이 제거된 상태로 각 셀 당 체적 산란 강도로 표시가 된다. 그러므로 각 셀에서 120 kHz에서의 체적 산란 강도 값과 38 kHz 체적 산란 강도 차이를 나타낼 수 있게 된다. 이때 두 주파수의 체적 산란 강도 차이는 크릴의 경우 120 kHz에서 항상 높게 나오므로 0 dB를 기준으로 항상 양의 분포를 나타내게 된다(Fig. II 1-7).

단계 8. 단계 7에서 만들어진 두 주파수간의 평균 체적 산란 강도 차이로부터 크릴로 판정 가능한 2 ~ 16 dB 사이의 값을 나타내는 셀만을 이용하여 새로운 가상 에코그램을 만드는 과정이다(Fig. II 1-8).

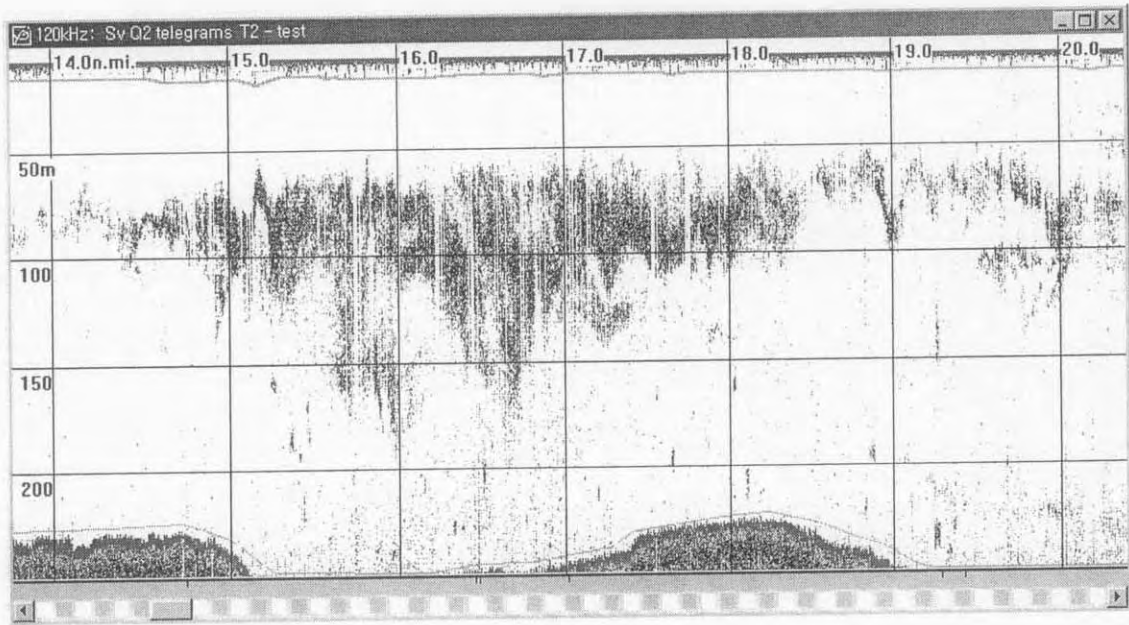
단계 9. 단계 8에서 만들어진 에코그램은 크릴로 판정 가능한 체적 산란 강도 차이를 나타내는 셀로 구성되어 있다. 따라서 이때 만들어진 에코그램과 단계 6에서 만들어진 에코그램에서 -70 dB 이상의 분포를 가지는 셀만을 선택하여 최종적으로 크릴만으로 구성되어 있는 가상 에코그램을 생성하게 된다(Fig. II 1-9). 이때 만들어진 에코그램을 이용하여 1 n mile 당 전체 적분 구간에 대해 각 셀 내의 체적 산란 강도를 합하여 NASC(Nautical Area Scattering Coefficient) 혹은 S_A (면적 후방 산란 계수)를 계산하게 된다.

단계 10. 단계 9에서 계산된 NASC 값으로부터 해수면 혹은 해저면에 의한 영향으로 계수 값이 비이상적으로 높게 나타나는 지점이 나타나면 원래 에코그램으로 돌아가 그 부분의 적분 구간을 새로이 설정하여 재계산을 한다(debugging process).



	Logging	Processing
<input checked="" type="checkbox"/> Apply calibration correction		
Absorption coefficient (dB/m):	0.0100000	0.0100000
Sound speed (m/sec):	1456.00	1456.00
Transmitted power (W):	2000.0	2000.0
Equivalent 2-way solid beam angle:	-15.90	-15.90
Sv gain (dB):	22.3600	23.1100
Wavelength (m):	0.0384400	0.0384400
Transmitted pulse length (ms):	1.000	1.000
Draft correction (m):		0.0
Frequency (kHz):		38.00
Nominal angle (degrees):		7.100

Fig. II 1-1-a. An example of real echogram for 38 kHz acoustic data and input parameters. The threshold level is -70 dB.



	Logging	Processing
<input checked="" type="checkbox"/> Apply calibration correction		
Absorption coefficient (dB/m):	0.0280000	0.0310000
Sound speed (m/sec):	1456.00	1456.00
Transmitted power (W):	2000.0	2000.0
Equivalent 2-way solid beam angle:	-20.40	-20.40
Sv gain (dB):	25.2600	25.6700
Wavelength (m):	0.0122300	0.0122300
Transmitted pulse length (ms):	1.000	1.000
Draft correction (m):		0.0
Frequency (kHz):		120.00
Nominal angle (degrees):		7.100

Fig. II 1-1-b. An example of real echogram for 120 kHz acoustic data and input parameters. The threshold level is -70 dB.

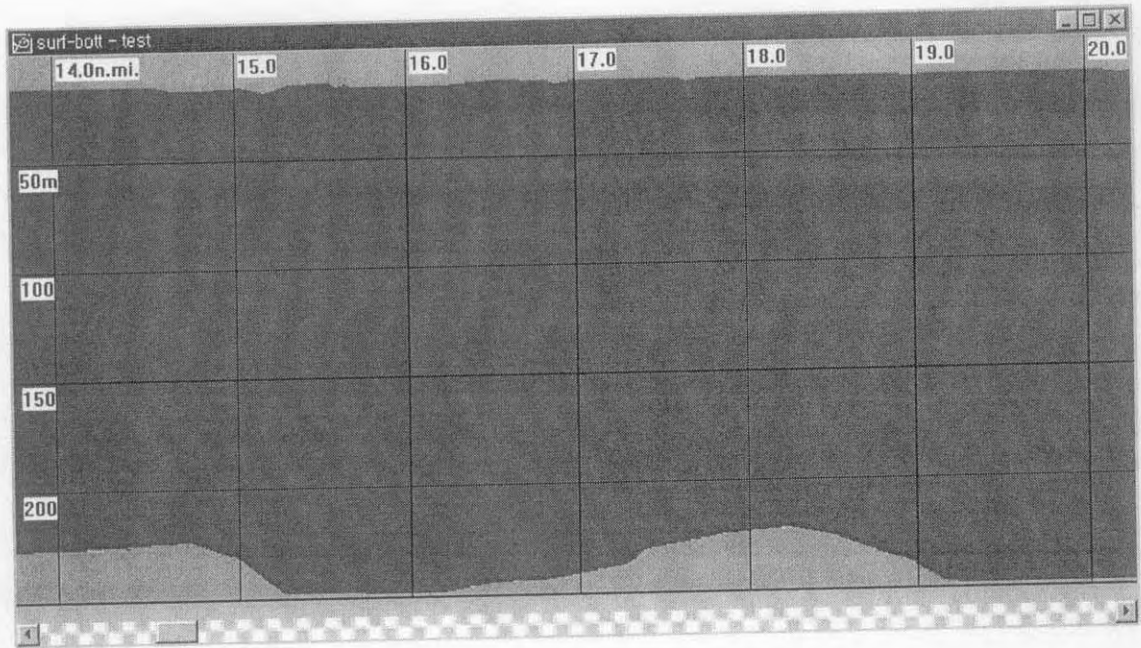


Fig. II 1-2. Integration interval between surface exclusion line and integration stop line. These lines are produced from step 1.

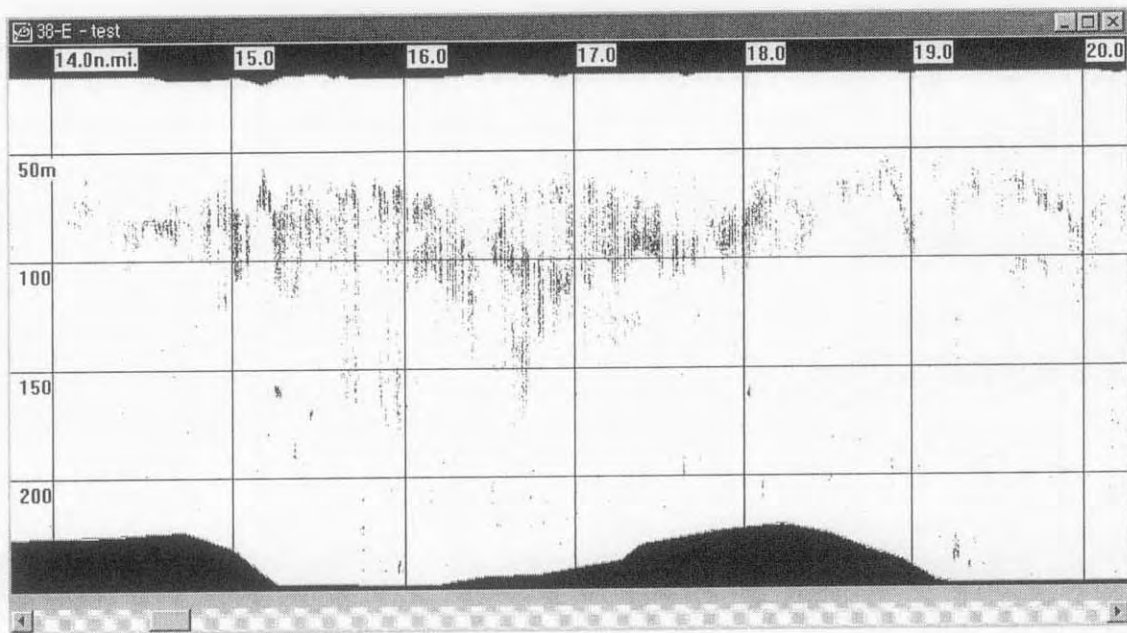


Fig. II 1-3-a. Virtual echogram for 38 kHz excluded bad region. The threshold level is -70 dB.

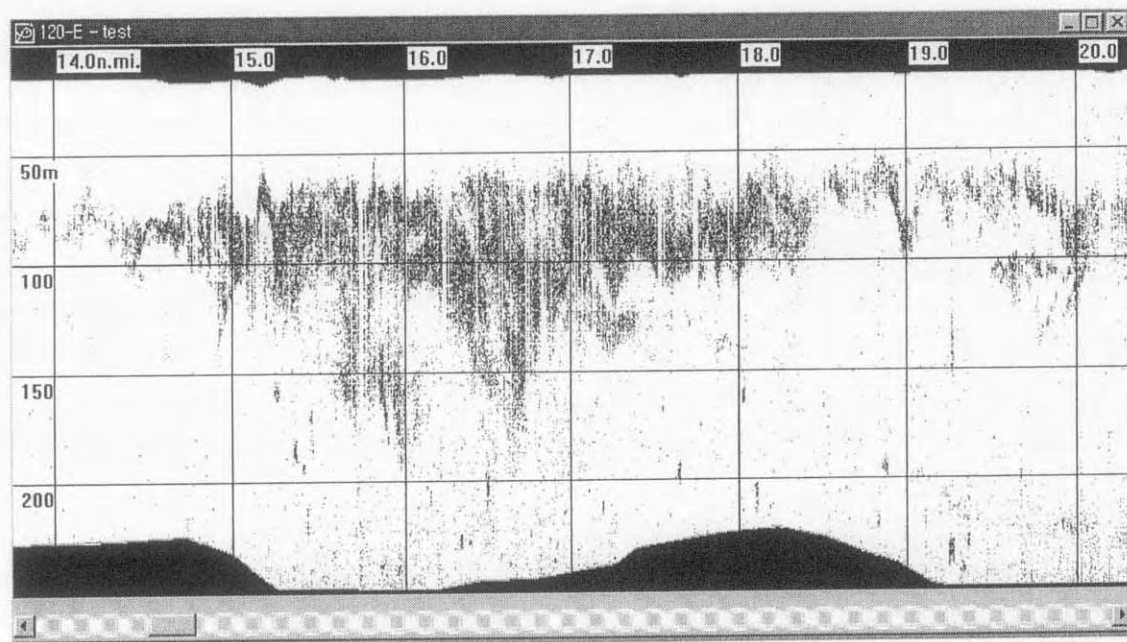


Fig. II 1-3-b. Virtual echogram for 120 kHz excluded bad region. The threshold level is -70 dB.

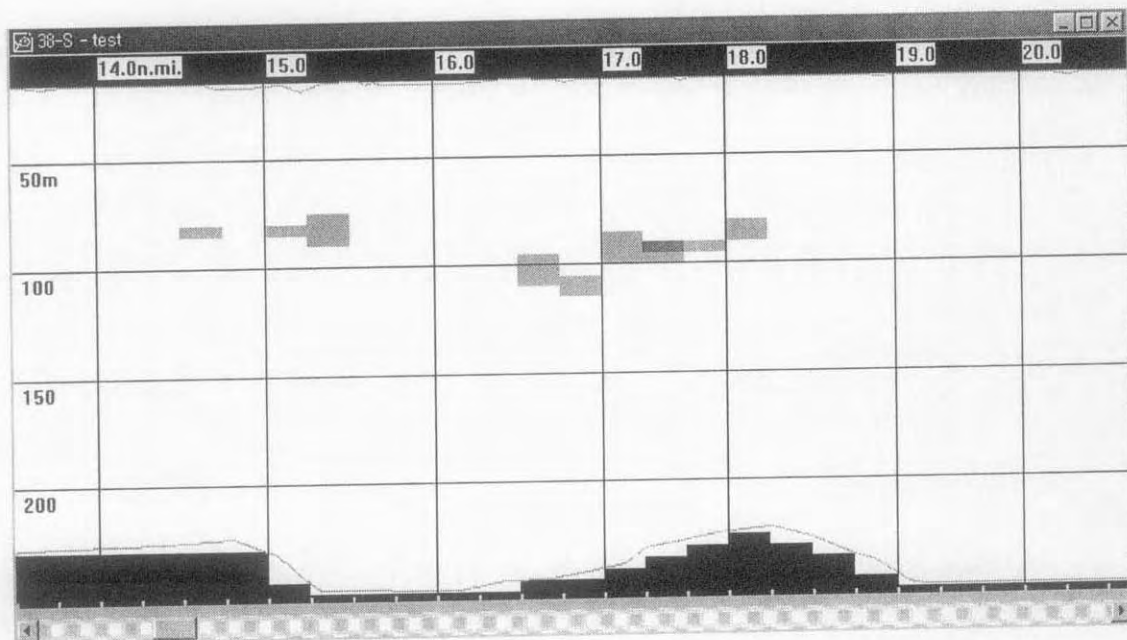


Fig. II 1-4-a. Re-sampled echogram for 38 kHz. Time interval is 100 seconds and vertical bins is 5 m depth. Number of data points is 50. The threshold level is -70 dB.

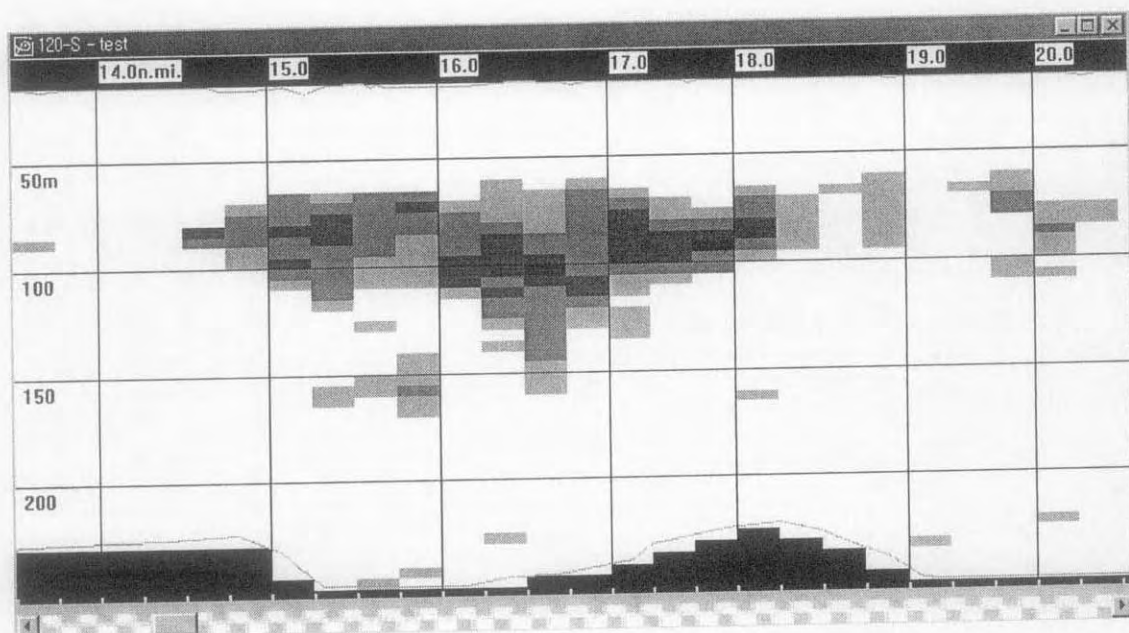


Fig. II 1-4-b. Re-sampled echogram for 120 kHz. Time interval is 100 seconds and vertical bins is 5 m depth. Number of data points is 50. The threshold level is -70 dB.

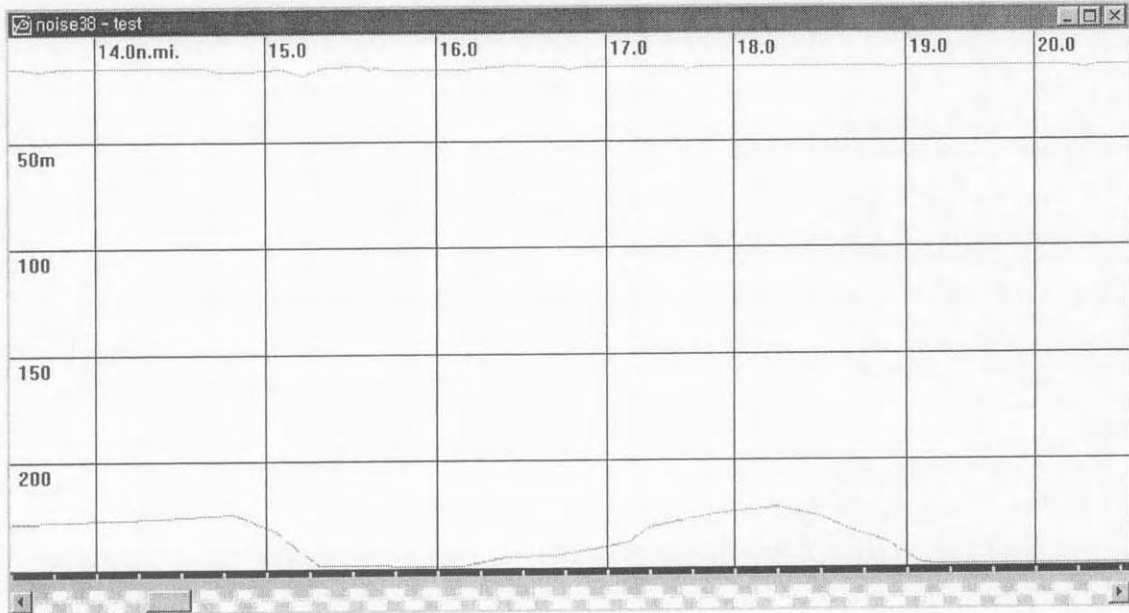


Fig. II 1-5-a. Noise level for 38 kHz. The threshold level is -70 dB.

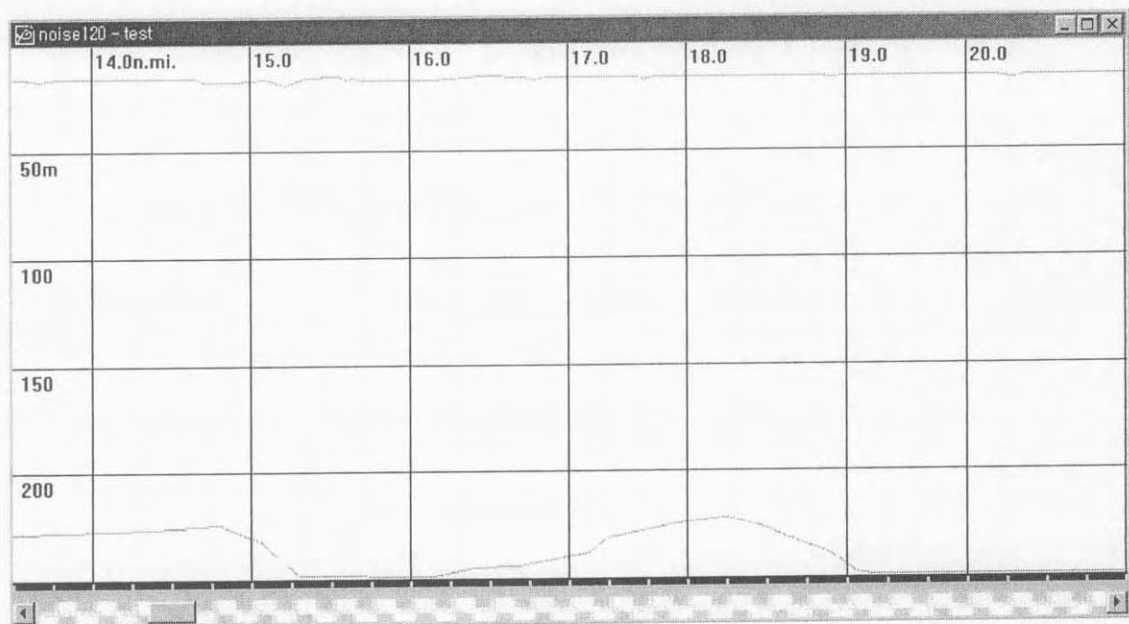


Fig. II 1-5-b. Noise level for 120 kHz. The threshold level is -70 dB.

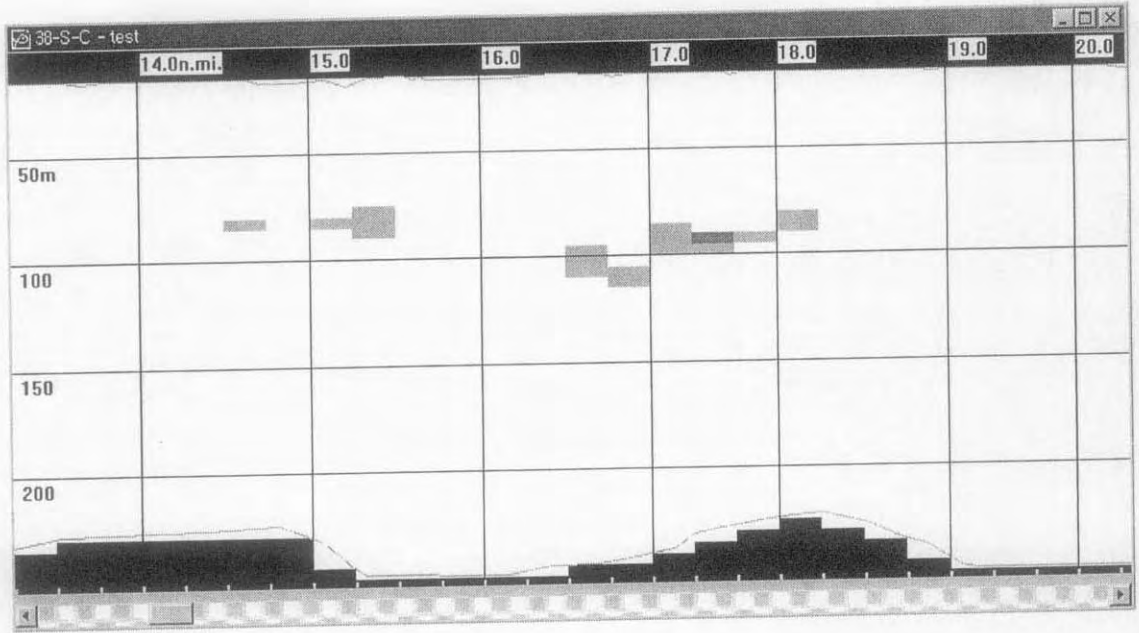


Fig. II 1-6-a. Virtual echogram for 38 kHz exclude noise level. The threshold level is -70 dB.

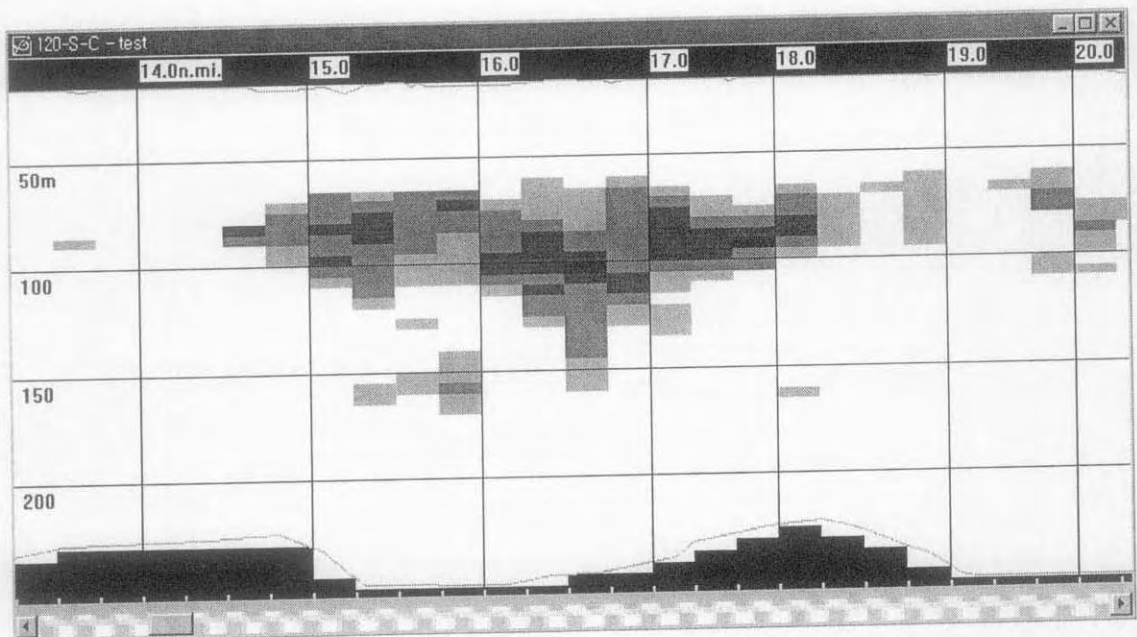


Fig. II 1-6-b. Virtual echogram for 120 kHz exclude noise level. The threshold level is -70 dB.

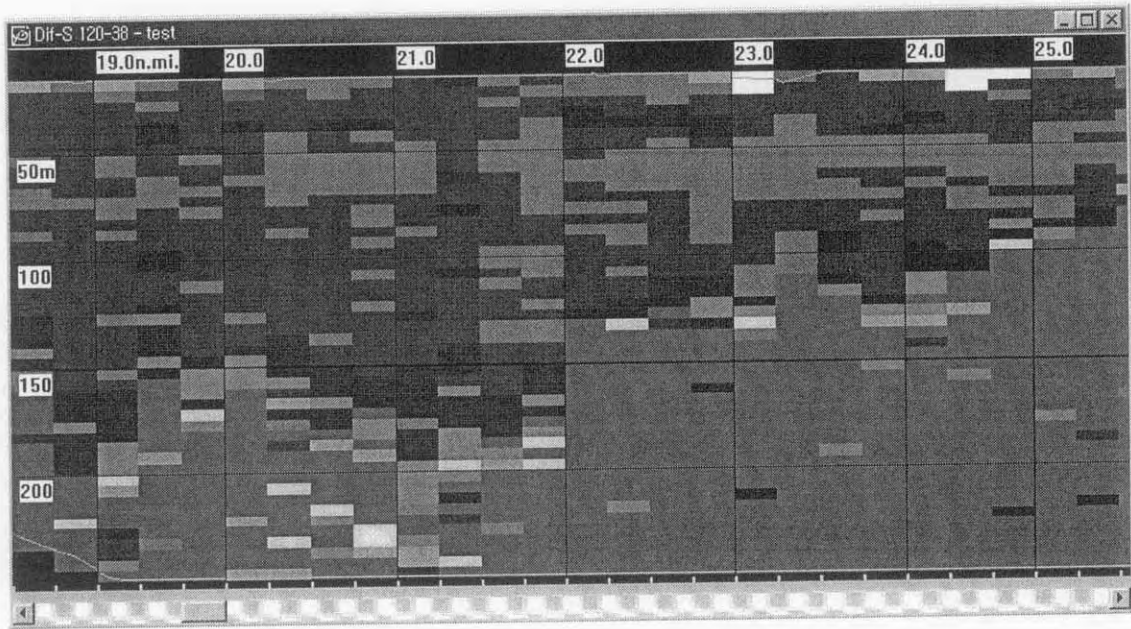


Fig. II 1-7. Subtract resampled noise-free 38 kHz echogram from resampled noise-free 120 kHz. The threshold level is 0 dB.

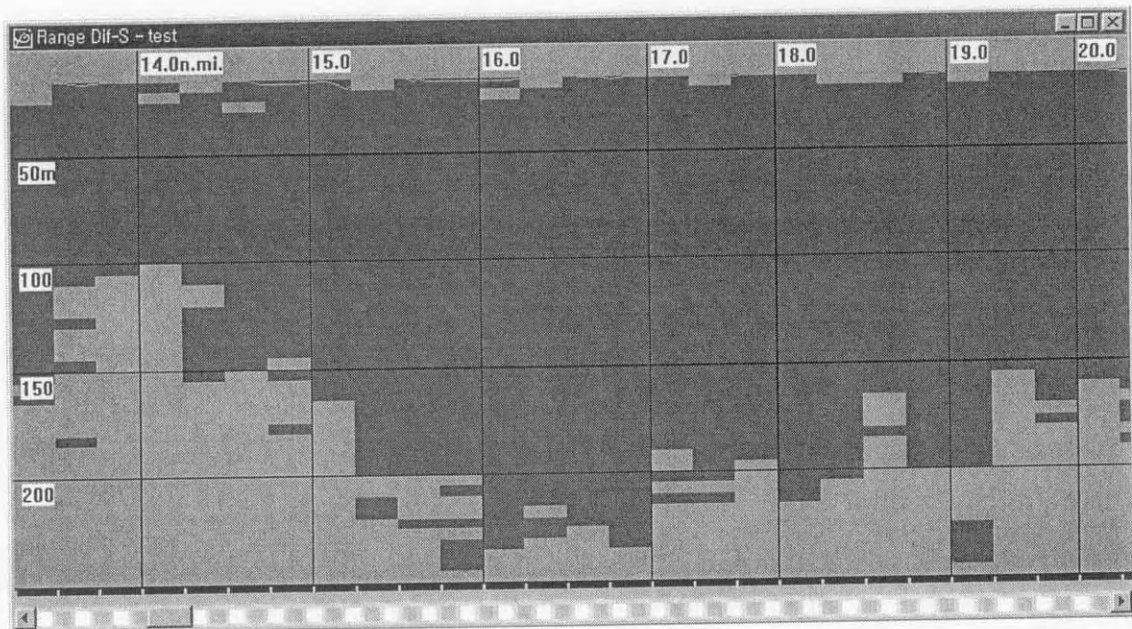


Fig. II 1-8. Virtual echogram with difference of mean volume backscattering strength between 2 and 16.

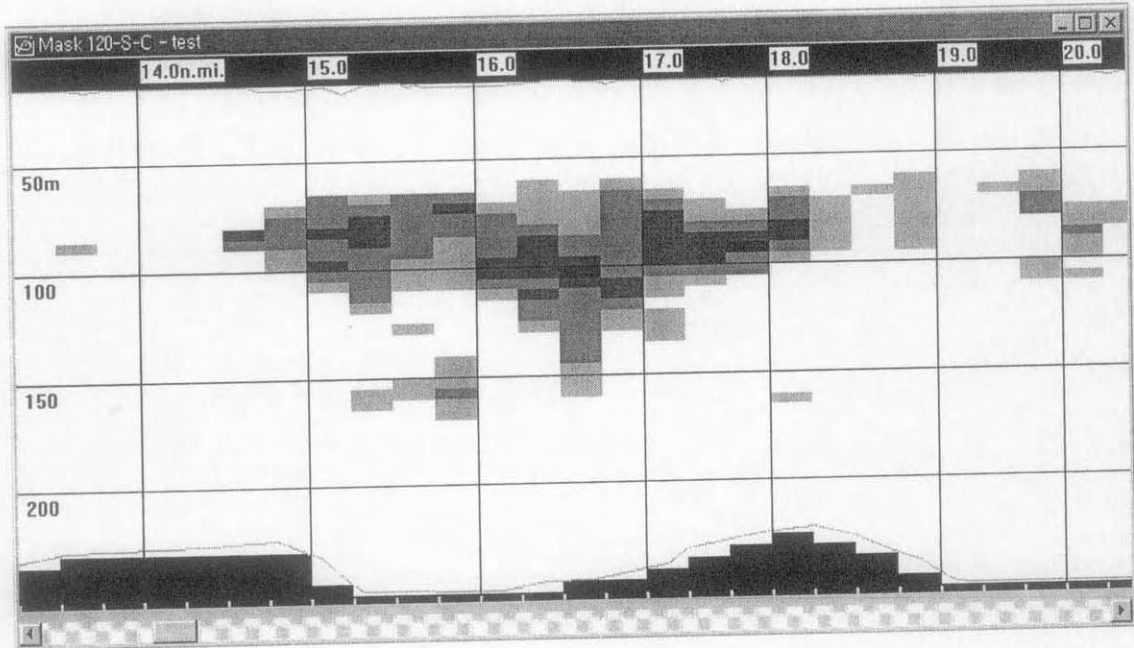


Fig. II 1-9. Virtual echogram for mask resampled noise-free 120 kHz.

3. 현장 조사 및 자료 처리

가. 연구 지역

2001/2002년 남극 하계 기간의 크릴 자원량 조사를 위한 현장 조사는 본 과제인 “남극해 유용 생물 자원 개발 연구”의 연구 지역 이외에도 한국 해양연구원 극지 연구 본부 타 연구 과제인 해양 생물 조사, 해저 지질 및 고기후 조사와 연계하여 실시하였다. 따라서 연구 지역은 2000/2001 조사와 같이 일정한 지역을 포함하였으며, 이외에도 아남극전선역(SubAntarctic Front, SAF)에서 남극 환류 경계면 이남까지 포함하는 광범위한 지역을 조사하였다.

현장 조사의 시작은 2001년 11월 30일 영국령인 포클랜드 동쪽에서($51^{\circ} 58.75'S$, $52^{\circ} 0.0'W$) 출발하여 웨델(Weddell)해 방향으로 서경 52° 를 따라 남위 62° 부근까지 이동하였다(Fig. II 1-10). 이 지역은 스코티아(Scotia)해와 웨델해 북서쪽 해역으로 극전선(Polar Front, PF)과 남극 순환류전선역(Southern Antarctic Circumpolar Current Front, SACCF), 남극 순환류경계면(Antarctic Circumpolar Current Boundary)이 형성되는 지역이다. 복잡한 해저 지형에 기인한 다양한 형태의 물리적 특성으로 인해 여러 유형의 해류 및 수괴가 존재하며, 이로부터 생물, 화학적 인자들의 계절적 변동 및 년 변화가 크게 나타나 남극 생태계에서 중요한 역할을 하는 곳 중의 하나이다(Huntley & Niiler, 1995). 남북으로 이루어진 하나의 긴 정선은 남극해 환경 특성 파악과 크릴의 위도별 분포 특성을 파악하기 용이하였다.

일정한 공간 내에서의 크릴 자원량 및 해양 환경 조사는 SACCF와 남극 반도 사이에 위치한 남셰틀란드군도(South Shetland Islands) 주변 및 남오크니섬(South Orkney Island) 서쪽 해역에서 실시하였으며, 이 지역들은 남극 대륙 주변부에서 고밀도의 크릴떼가 존재하는 지역으로 알려져 왔다. 남셰틀란드군도 주변은 본 과제에서 1999/2000, 2000/2001에 걸쳐 크릴 자원량 및 해양 환경 조사를 실시한 유사한 지역으로 연속적인 조사로부터 크릴 자원량의 년 변동에 관한 특성을 파악할 수 있는 장점이 있다. 특히 남오크니섬 주변부는 1999/2000에 실시한 대규모 크릴 자원량 조사에서 고밀도의 크릴이 발견된 지역으로 크릴 자원량 측면에서 새로운 어장으로 부각되고 있다.

모든 조사를 끝마친 후에 칠레로 돌아오면서 남쉐틀란드군도 서쪽으로 이동한 후, 드레이크 수로(Drake Passage)를 가로질러 해양 조사를 실시하였다. 11월말에 시작한 해양 조사가 서경 52°를 중심으로 남쪽으로 이동하면서 시작한 반면 2002년 1월 1일에 실시한 마지막 조사는 서경 65°부근까지 이동 후, 다시 북쪽으로 이동하면서 관측을 실시하였다. 이로부터 극전선의 위치 변동 같은 해양 환경 특성과 크릴 분포의 북방 한계 및 밀도 변화를 알 수 있는 장점이 있다.

나. 해양환경 조사

연구 해역의 해양 환경을 파악하기 위한 가장 기본적인 자료는 CTD (SeaBird 911/plus)를 이용하였다. 수 층별 식물 플랑크톤 및 일차 생산력 특성과 같은 생물·화학적 자료를 위해서는 여러 개의 채수기(rosette sampler)를 이용하여 각 표준 수심에서 해수를 채수하였다. CTD 프레임에 설치한 관측 센서는 온도 (Temperature), 전도도(Conductivity), 압력(Pressure)을 측정하는 기본 센서 이외에, 일차 생산력에 영향을 주는 광량을 측정하는 Irradiance (PAR) sensor, 상대적인 엽록소 양을 측정하는 fluorometer, 부유 입자량을 측정하는 Transmissometer 등이었다. 이때 온도, 압력, 전도도, Transmissometer 센서는 모든 관측에 사용되었고, 나머지 두 개의 센서는 사용 압력의 한계로 500 m 상층부의 관측에만 사용하였다.

해양 환경 조사 정점은 총 35개로 이루어졌다. 해역 별 조사 정점은 스코티아 해에서 14 정점, 새클톤 균열대(Skacklton Fracture) 지대에서 3 정점, 남쉐틀란드군도 해역에서 10 정점, 포웰 분지(Powell Basin) 북부 지역에서 3 정점, 드레이크 수로에서 5 정점이었다. 각 정점에서 CTD 자료는 남쉐틀란드 지역과 일부 보조 정점을 제외하고는 약 3,000 m까지 측정하여 심층 지역까지 조사하였다(Fig. II 1-11, Table II 1-1).

관측된 해양 환경 자료는 CTD가 하강하는 자료만을 이용하였다. 이때 각 정점 자료는 150 m 상층부만을 조사한 자료는 0.2 m 간격으로 평균을 취했으며, 150 m 이하 수층을 조사한 자료는 0.5 m 간격으로 평균하여 하나의 자료를 구성하였다. 자료 가운데 12월 30일 이후에 관측한 드레이크 해협 자료에서 엽분 센서의 이상으로 이 지역의 자료는 자료 처리에서 제외시켰다.

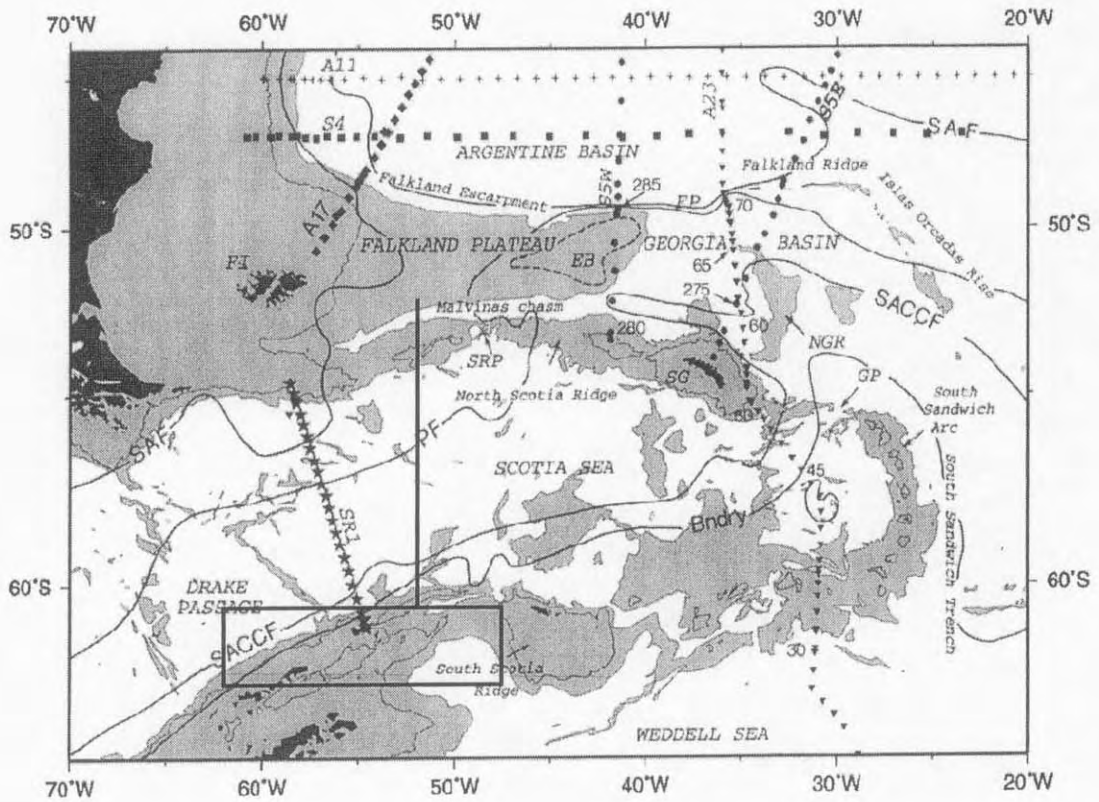


Fig. II 1-10. Bathymetric configuration in the region of the Scotia Sea and study area. Gray boundary indicates bottom contour between 1000 m and 3000 m depth. SAF stands for Sub-Antarctic Front, PF for Polar Front, SACCF for Southern Antarctic Circumpolar Current Front, and the line labeled "Bndry" shows the Southern Antarctic Circumpolar Boundary.

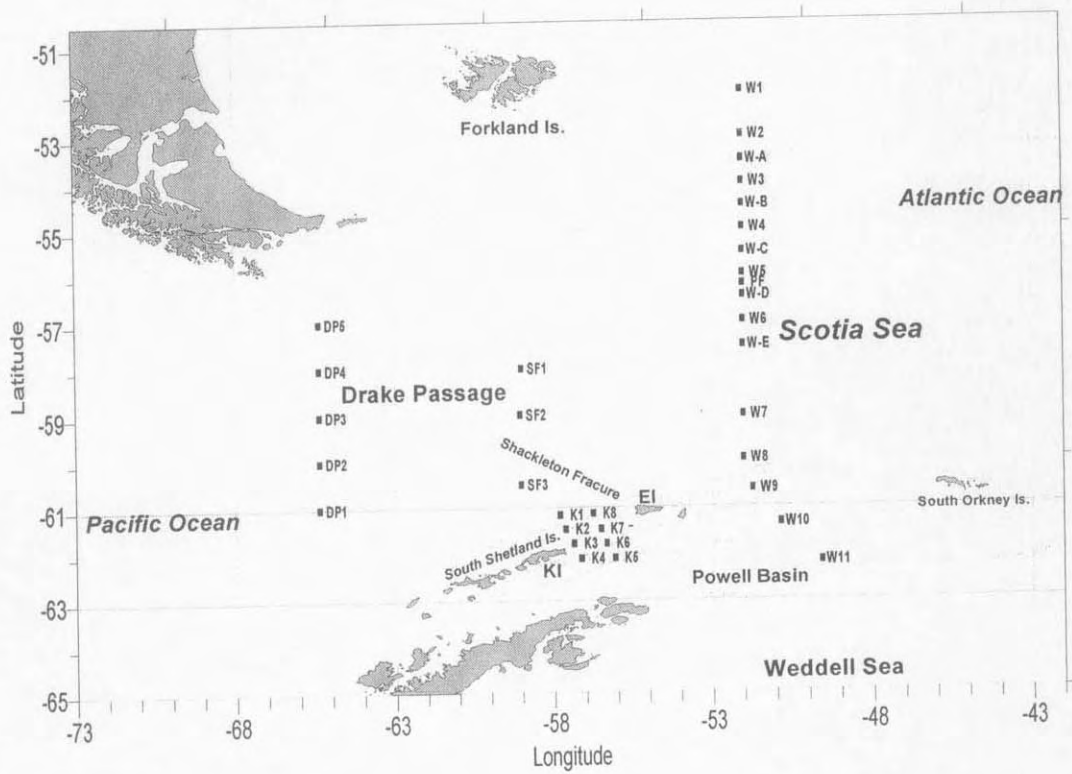


Fig. II 1-11. Map of the hydrographic station on November 30, 2001 ~ January 1, 2002. The number of total station is 34. The contour is 1000 depth line.(DP : Drake Passage, SF : Shackleton Fracture, K : Krill monitoring area, W : Weddell Sea & Scotia Sea, EI : Elephant Island, KI : King George Island).

Table II 1-1. Informations on CTD and Bongo net stations.

Station	Observation time (Local time)	CTD depth/ Total depth (m)	Bongo net	Latitude/ Longitude
W1	Nov. 30, 2001. 10:40	2285 / 2335	ON	S52.025°/ W52.000°
W2	Nov. 30, 2001. 21:50	2854 / 2850	ON	S52.992°/ W52.000°
W_A	Dec. 01, 2001. 06:31	155 / 1149	ON	S53.513°/ W52.000°
W3	Dec. 01, 2001. 12:43	501 / 598	ON	S54.008°/ W52.000°
W_B	Dec. 01, 2001. 16:30	203 / 3774	ON	S54.488°/ W52.000°
W4	Dec. 01, 2001. 23:35	2998 / 4233	ON	S54.983°/ W52.000°
W_C	Dec. 02, 2001. 05:28	152 / 4361	ON	S55.493°/ W52.000°
W5	Dec. 02, 2001. 11:09	2957 / 3928	ON	S55.979°/ W52.000°
PF	Dec. 02, 2001. 21:05	2872 / 4500	ON	S56.200°/ W52.000°
W_D	Dec. 02, 2001. 17:19	154 / 5019	ON	S56.452°/ W52.000°
W6	Dec. 03, 2001. 05:59	2951 / 3707	ON	S56.988°/ W52.000°
W_E	Dec. 03, 2001. 13:08	153 / 3849	ON	S57.515°/ W52.000°
W7	Dec. 04, 2001. 02:34	2868 / 3707	ON	S59.013°/ W52.000°
W8	Dec. 04, 2001. 12:10	2727 / 3252	ON	S59.963°/ W52.000°
W9	Dec. 21, 2001. 23:20	3000 / 3200	ON	S60.619°/ W51.708°
W10	Dec. 19, 2001. 22:30	2849 / 3000	ON	S61.351°/ W50.841°
W11	Dec. 20, 2001. 10:30	2900 / 3250	ON	S62.183°/ W49.582°
SF1	Dec. 04, 2001. 16:21	2872 / 2943	ON	S57.987°/ W58.988°
SF2	Dec. 05, 2001. 02:25	153 / 3692	ON	S58.981°/ W59.036°
SF3	Dec. 05, 2001. 16:01	2903 / 4343	ON	S60.500°/ W59.008°

(Continued)

Station	Observation time (Local time)	CTD depth/ Total depth (m)	Bongo net	Latitude/ Longitude
K1	Dec. 06, 2001. 23:01	498 / 3042	ON	S61.165°/ W57.787°
K2	Dec. 07, 2001. 02:40	498 / 705	ON	S61.472°/ W57.617°
K3	Dec. 07, 2001. 05:34	354 / 380	ON	S61.782°/ W57.359°
K4	Dec. 07, 2001. 08:54	504 / 1750	ON	S62.105°/ W57.127°
K5	Dec. 07, 2001. 13:40	506 / 1466	ON	S62.097°/ W56.066°
K6	Dec. 07, 2001. 21:34	504 / 630	ON	S61.780°/ W56.329°
K7	Dec. 07, 2001. 23:35	494 / 525	ON	S61.468°/ W56.509°
K8	Dec. 08, 2001. 03:03	501 / 2200	ON	S61.132°/ W56.756°
KAST1	Dec. 08, 2001. 11:14	152 / 2328	ON	S61.750°/ W55.000°
KAST2	Dec. 09, 2001. 15:09	154 / 2000	ON	S61.750°/ W55.000° 확인
DP1	Dec. 31, 2001. 05:04		ON	S61.000°/ W65.370°
DP2	Dec. 31, 2001. 19:07		ON	S60.000°/ W65.370°
DP3	Jan. 01, 2002. 04:45		ON	S59.000°/ W65.370°
DP4	Jan. 01, 2002. 14:21		ON	S58.000°/ W65.370°
DP5	Jan. 01, 2002. 14:15		ON	S57.000°/ W65.370°

다. 음향 자원 조사

1) 음향 조사 지역

본 과제의 1단계 조사 기간에는 조사 지역이 남셰틀란드군도 주변 해역과 엘레펀트섬 동쪽 주변부에 국한되었다. 그러나 2단계 1차년도인 2001/2002 조사 시기에는 타 연구 과제와 연계되어 조사 영역이 확대되었다. 남극해의 특징을 나타내는 경계면인 극전선(Polar Front) 보다 북쪽에 위치한 포클랜드 군도 동쪽 해역에서 출발하여 스코티아 해를 거쳐 남극해의 중심 해역 가운데 하나인 웨델해 북부 해역까지 2001년 11월 30일에서 2002년 1월 1일까지 음향 조사를 실시하였다(Fig. II 1-12, Table II 1-2).

4개국(미국, 일본, 영국, 러시아)에 의해 1999/2000에 실시한 크릴 자원량 조사에서 동일한 경도 상에서 북쪽 위도는 약 59°로 남극 환류전선대(Southern Antarctic Circumpolar Front, SACCF)의 경계면 까지만 조사를 실시하였다. 따라서 2001/2002년 조사에서는 SACCF 지역과 극전선(Polar Front, PF) 사이에서 크릴의 분포 경향과 북방 한계 위치를 알아볼 수 있었다. 음향 관측을 위한 조사선의 이동 경로는 일정 지역(남셰틀란드군도 북쪽 해역, 엘레펀트섬과 남오크니섬의 중간 해역)에서 자원량을 산출할 수 있는 여러 정선으로 구성되었다. 또한 조사 지역으로 이동하는 시기에도 하나의 정선으로 이루어져 자원량을 계산하기 불가능하나 단일 정선내의 평균 밀도로부터 지역별, 시기별 분포 경향을 파악하기 위하여 연속적으로 음향 자료를 수집하였다.

음향 조사를 위해 사용한 조사선은 예년과 동일하게 선저에 음향 센서를 부착하고 있는 러시아 선적의 5000톤 급 지구 물리 전용선인 "Yuzmorgeologiya"이었다. 관측 시기가 각각 다르고 또한 이동 경로가 복잡하여 편의상 총 4개의 항차(Leg 1 ~ Leg 4)로 분류하였다(Fig. II 1-13).

첫 번째 항차(Leg 1)는 칠레에서 남극해로 들어가면서 관측한 것으로 포클랜드 군도 동쪽에서 시작하여 남극 세종 과학 기지까지 이동한 경로이다. 총 1,228 마일의 이동 거리로 이루어져 있으나 자원량 산출을 위한 조사 구역으로 이루어지지 않았다. 긴 하나의 정선을 세부 정선으로 분류하면 남위 서경 52. 를 따라 남북으로 긴 정선을 56. 부근에 형성된 극전선을 경계로 극전선 북쪽(Leg1_N_PF)과 남쪽(Leg1_S_PF) 정선, 서경 52. 에서 59. 로 이동한 동서

방향 정선(transit to the Shackleton Fracture, Leg1_EW), 서경 59. 를 기준으로 위도 58. 에서 61. 로 이동한 정선(cross-transect of the Shackleton Fracture, Leg1_NS_SF), 연안으로 접근하면서 킹조지섬과 엘레펀트섬 사이의 설정한 2개의 크릴 모니터링 정선(Leg1_KM) 등 총 5개의 정선으로 구성하였다.

두 번째 항차(Leg 2)는 엘레펀트섬과 남 오크니 섬 사이 지역으로 자원량 산출이 가능한 조사 구역을 형성하였다. 총 조사 거리는 945 마일이며 현장까지 이동 정선(Southeast area of the Elephant Island, Leg2_transit1), 조사선의 이동 방향이 바뀐 시점을 기준으로 총 8개의 정선(Leg2_Box)으로 구성되었다. 한편, 관측 기간 동안 동일한 정선을 시간차를 두고 반복해서 이동한 경로가 있어 시간에 따른 정선내의 크릴 밀도 변동 상황(time series 1)을 비교하였다.

세 번째 항차(Leg 3)의 주요 지역은 남셰틀란드군도 북부 해역으로 남극 환류의 남쪽 경계면(Southern Boundary of the Antarctic Circumpolar Current)이 위치한 지역으로 크릴 밀도가 높은 곳으로 알려진 지역이다. 총 이동 거리는 1156 마일로 크릴 자원량 산출이 가능한 하나의 조사 구역을 포함하여 총 4개의 정선으로 구성되었다. 각각의 정선 및 구역은 다음과 같다. 이 지역으로 이동하기 위해 엘레펀트섬 주변 해역을 이동한 정선(around the Elephant island, Leg3_transit1), 3개의 동서 방향으로 구성된 정선(Leg3_Box), 리빙스턴 섬 북쪽에서 엘레펀트 북서 해역까지의 이동 정선(Leg3_transit2), 킹조지섬과 엘레펀트섬을 가로질러 브랜스필드 남쪽 사면까지 이동한 정선(Leg3_transit3), 마지막으로 브랜스필드 해협을 통과하여 맥스웰만 입구까지 이동한 정선(Leg3_transit4)이다. 맥스웰만 입구에서 만의 중앙부를 따라 마리안 소만까지의 음향 자료만을 분리하여 만 내에서의 크릴 분포를 알아보았다(Leg3_maxwell). 한편, Leg3_transit3 정선과 Leg 1의 Leg1_KM 정선은 비슷한 해역을 통과한 자료이므로 시간별 크릴 밀도 변동 상황(time series 2)을 알아보았다.

네 번째 항차(Leg 4)는 남극해서 칠레로 돌아오는 방향으로 Leg 1과는 위치는 다르지만 SACCF 지역과 PF 위치까지의 크릴 분포 특성을 비교할 수 있는 정선으로 약 455 마일을 조사하였다. 기지를 출발하면서 남극해에서 크릴의 주요 포식자 가운데 하나인 펙귄 군서지 부근에서의 크릴 분포 및 밀도를 알아보기 위하여 세종 기지 주변의 맥스웰만 내에서 일정한 격자를 형성한 음향 자료를 약

20마일에 걸쳐 기록하였다(Leg4_Maxwell). 남쉐틀란드 군도 연안에서 북서쪽으로 이동하는 정선(Leg4_transit1), 서경 65.5. 를 기준으로 드레이크 해협을 남북 방향으로 남위 60. 까지 크릴의 분포 한계 위치를 알아보기 위하여 마지막 정선(Leg4_transit2)으로 선정하였다.

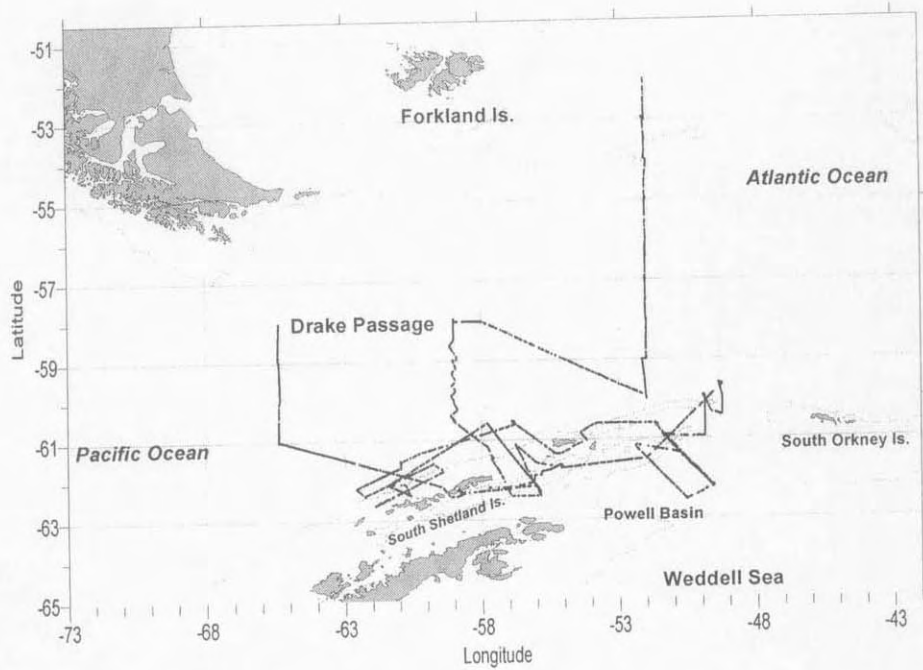


Fig. II 1-12. Hydroacoustic transect during 2001/2002 austral summer. Total distance of the survey is about 3784 nautical mile. The acoustic cruise divided four legs by the survey area and time, conveniently.

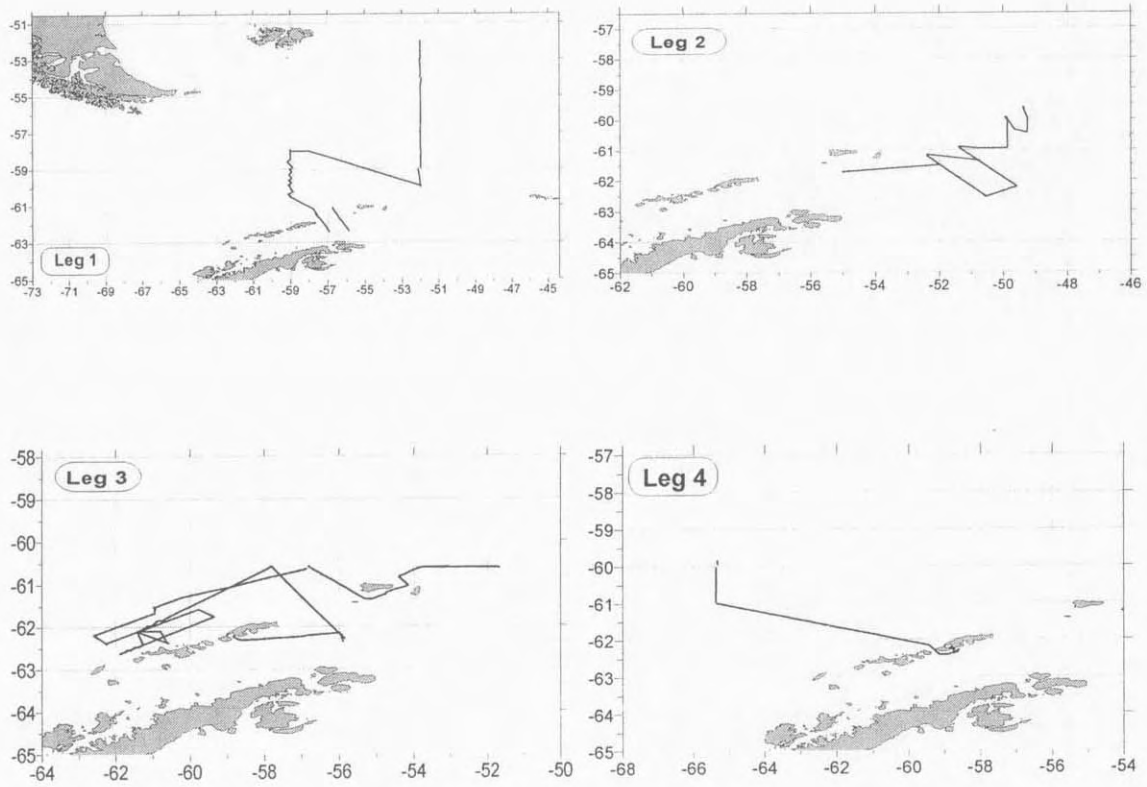


Fig. II 1-13. Separated acoustic transect for an each leg. The large_scale transects are shown on leg 1 and leg 4. The mesoscale transects are shown on leg 2 and leg 3. Especially, the mesoscale transects are covered some area for estimating krill density.

Table II 1-2. The information of acoustic survey time and distance at each survey.

Cruise	Starting Time	End time	Distance(mile)
Leg 1	2001/11/30 12:47	2001/12/08 04:40	1288
Leg 2	2001/12/13 22:46	2001/12/22 00:45	945
Leg 3	2001/12/22 04:10	2001/12/28 23:53	1156
Leg 4	2001/12/29 22:11	2002/01/01 14:21	455

2) 음향 자료 기록

음향 관측을 위한 센서는 split beam의 38, 120 kHz와 single beam의 200 kHz 세 가지를 이용하였다. 조사에 들어가기 앞서 각각의 주파수에 대한 음향 입력 변수들은 1999/2000년 synoptic 조사와 마찬가지로 CCAMLR에서 제안한 방법을 따랐다. 크릴의 분포 수심을 고려하고 주파수별 MVBS 차이법을 사용하기 위하여 38 kHz와 120 kHz는 동일한 탐지 수심인 250 m로, 200 kHz는 150 m로 설정하였다. 예년에는 음향 자료 처리를 위해 센서 제작사인 노르웨이의 BI500을 이용하여 시각적인 분석법(visual analyzing method)을 이용하였으나, 본 조사에서는 앞의 2장에서 기술한 다중 주파수 분석법을 이용하기 위하여 38 kHz와 120 kHz의 두 주파수 자료로부터 PC에서 운용되는 SonarData의 Echoview software version 2.10.53을 사용하였다. 이를 위하여 음향 센서로부터 수신되는 각 주파수의 에코그램 자료는 기존의 방식대로 워크스테이션에 설치되어 있는 BI500에 저장하였다. 저장된 자료는 네트워크 망을 통하여 Echoview software가 설치되어 있는 PC로 자료를 전송하여 다시 저장하였다. 이후 자료 보관(backup) 및 처리는 모두 일반 PC에서 진행하였다(Fig. II 1-14).

자료 수집 단계(logging stage)에서는 동일한 조사선의 시스템을 사용하는 미국 NOAA의 예년 보정 자료를 이용하였으며, 자료 처리 단계(processing stage)에서는 본 조사중간에 실시한 시스템 센서 보정 값을 이용하였다(Table II 1-3). 센서 보정은 2001년 12월 13일 Admiralty 만의 Ezucurra Inlet에서 실시하였으며 보정 당시 센서면 위치 부근의 수중 음속은 1450.5 m/sec였다.

Echoview software 운용에 필요한 항목으로 주변 잡음에 의한 가상 에코그램을 만들어야 한다. 이것은 해양의 순수 잡음 및 조사선의 움직임에 따라 발생하는 잡음이 크릴에 의한 음향 신호에 영향을 주는지 알아보기 위함으로 조사선의 선속을 음향 조사 때와 같은 10 노트 내외로 유지하면서 센서면의 배경 소음을 측정하였다. 이때 각 주파수 별 배경 소음은 38 kHz의 경우 -126.1 ~ -131.6 dB, 120 kHz는 -134.2 ~ -140.2 dB로 측정되었다.

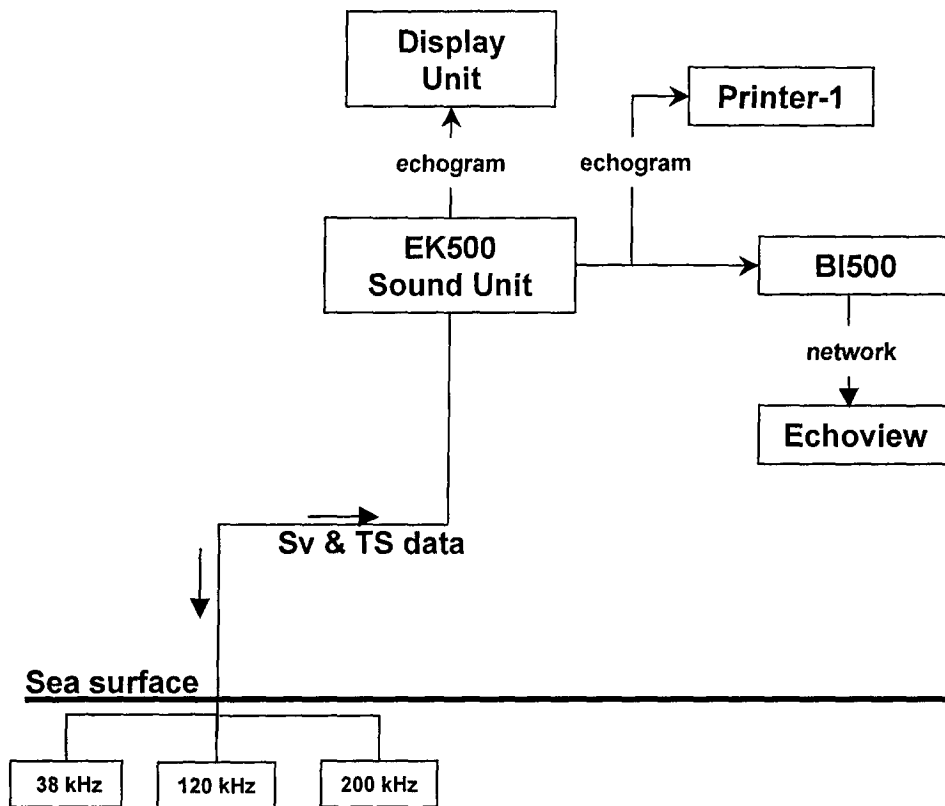


Fig. II 1-14. Block diagram for data logging and processing.

Table II 1-3. Input parameters for data logging and processing.

Parameter	38 kHz		120 kHz	
	Logging	Processing	Logging	Processing
<i>Absorption coefficient</i>	10 dB/Km	10 dB/Km	26 dB/Km	26 dB/Km
<i>Sound speed (m/s)</i>	1450.5	1450.5	1450.5	1450.5
<i>TS gain (dB)</i>	22.51	22.20	24.13	23.52
<i>Sv gain (dB)</i>	22.95	23.26	24.52	25.00
<i>2-way beam angle (dB)</i>	-15.9	-15.9	-20.4	-20.4
<i>Nominal angle (degree)</i>		12.2		7.1
<i>wavelength (m)</i>	0.0383	0.0383	0.0122	0.0122

3) 자원량 계산 및 크릴 밀도 계산을 위한 변환 계수

본 연구 기간 중 모든 CTD 정점에서 Bongo 네트를 이용한 크릴 채집을 실시하였으나 대부분이 Leg 1 기간인 12월 초순경에 이루어졌다. 네트 채집 시기가 크릴의 주요 월동장인 남극 반도 남서쪽에서 연구 지역인 남쉐틀란드군도 해역까지 도달하기에는 이른 시기이므로 대부분의 지역에서 네트 채집에 따른 크릴 포획이 미약한 수준이었다. 이렇게 크릴 분포가 미약하게 나타나는 경향은 Leg 1 기간 동안의 음향 조사에서도 뚜렷이 나타나고 있다. 밀도가 높은 크릴 분포는 많은 경우에 Leg 2, 3 기간에 나타났지만 이 기간 동안에는 크릴 채집을 시도하지 못해 크릴 밀도를 계산하기 위한 네트 자료는 동일한 조사 지역을 광범위하게 조사한 1999/2000 synoptic 조사 자료를 이용하였다.

가상 에코그램 방법으로 생성되는 음향 자료 가운데 크릴 자원량 산출에 많이 사용되고 있는 120 kHz 자료를 이용하였다. 120 kHz 주파수는 Greene 등(1991)과 CCAMLR Working Group(SC-CAMLR-X, 1991)에 의해 길이(L , mm)에 따른 크릴의 산란강도(TS) 및 후방산란 단면적, $\sigma(=4\pi 10^{TS/10})$ 는 다음과 같다.

$$TS_{120kHz} = -127.45 + 34.85 \log_{10}(L) \quad (1)$$

크릴 길이(L , mm)에 따른 크릴의 산란 강도(TS) 및 후방산란 단면적, $\sigma(=4\pi 10^{TS/10})$ 은 다음과 같이 표현된다(MacLennan & Simmonds, 1992)

$$\sigma_{120kHz} = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-12.745} \cdot L^{3.485} \quad (2)$$

크릴의 길이(L , mm)를 이용한 체중(w , mg)을 계산하기 위한 식은 위에서 언급한대로 관측 자료의 미비로 동일한 시기의 자료를 사용하지 못해 1999/2000 synoptic 조사 자료를 이용하였다(Table II 1-4).

$$w = 0.002236(L)^{3.314} \quad (3)$$

그러므로 임의의 체적 전체에 의한 체적 후방산란 단면적 계수(BI500의 S_A 값 혹은 Echoview의 NASC)에 단일 크릴에 의한 후방 산란 단면적을 나눈 후, 크릴 무게를 곱하면 단일 크릴에 의한 밀도가 계산된다. 그러므로 단면적 자료에 대한 밀도

계산식은 다음과 같이 바뀌게 된다(MacLennan & Simmonds, 1992).

$$\rho_{120kHz} = (S_A/\sigma) \cdot w = 0.288 I^{-0.171} S_A \quad (4)$$

식 (4)에서 계산된 밀도는 1 mile²에서 수신된 S_A 자료 가운데 크릴의 길이 조성 자료가 포함되지 않는 값이므로 채집된 크릴 길이 조성을 고려한 밀도량으로 자료를 다시 계산해야 한다. 즉, 적분된 체적 후방산란 단면적(S_A)을 면적당 크릴의 생체 밀도량(areal krill biomass density, g/m²)으로 바꾸어주게 되는 변환 상수(conversion factor)를 이용하여 크릴 밀도량 계산에 사용하게 된다.

사용한 크릴 길이 조성은 CCAMLR-2000 synoptic 조사에서 지형학적 분포 특성을 고려하여 분류한 3개의 cluster 결과를 이용하였다(Fig. II 1-15, Fig. II 1-16, Table II 1-5). 이 가운데 본 연구 기간의 조사 지역과는 일치하지 않는 cluster 1은 사용하지 않았다.

연구 지역에서 관측된 각각의 S_A 자료로부터 크릴의 길이 분포를 고려하여 계산되는 생체량 식은 아래와 같이 나타낼 수 있으며, 지형학적으로 cluster 2, cluster 3, cluster 2 + cluster 3으로 분리된 각 지역에서 변환 상수를 계산 하였다(Table II 1-6).

$$\rho_{120kHz} = 0.288 \cdot \sum_{i=1}^n f_i(I_i)^{-0.171} \cdot S_A \quad (5)$$

여기서, f_i : 표준 체장 I_i 에 대한 크릴의 상대 빈도,

$$\sum_{i=1}^n f_i = 1$$

Leg 2와 3의 기간 동안 관측한 일정 지역에서의 크릴 자원량을 계산하기 위해서 Jolly & Hampton(1990)에 의해 제안된 방법을 이용하였으며 이 방법은 1999/2000 synoptic 조사 때, 2000/2001 조사에도 사용하였다. 즉, 임의의 정선에서 관측된 음향 자료는 하나의 층에 의한 자료로 고려할 수 있으며, 또한 동일 기간 동안 전 조사 지역에서 얻어진 자료도 하나의 자료로 고려 할 수 있다(Jolly and Hampton, 1990; Hewitt and Demer, 1993). 조사 지역의 평균 자원량 밀도($\bar{\rho}$)을

계산하기 위하여 각 정선에서 얻어진 자료를 가중 평균(weighted mean)하여 이용하였다.

$$\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{\rho}_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^N n_i} \quad (6)$$

여기서, $\bar{\rho}_i$ = i 번째 정선의 평균 밀도

n_i = i 번째 정선을 1 n. mile로 환산한 거리의 수

N = 정선의 수

그러므로 평균 크릴 밀도의 변량(variance, var)과 전체 자원량(B)은 다음과 같이 같다.

$$var(\bar{\rho}) = \frac{N}{N-1} \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{\rho}_i - \bar{\rho})^2 \cdot n_i^2}{(\sum_{i=1}^N n_i)^2} \quad (7)$$

$$B = A \times (\bar{\rho}) \quad (8)$$

여기서, A 는 전체 조사 면적(m^2)이고 전체 자원량의 변량과 변량 계수(coefficient of variance, CV)는 다음과 같다.

$$var(B) = A^2 \times var(\bar{\rho}) \quad (9)$$

$$CV = \frac{\sqrt{var(B)}}{B} \quad (10)$$

Table II 1-4. Coefficient to calculate krill weight (w , mg) from length (L , mm) data. This Table II 1-4 was cited from Report of the B₀ Workshop (2000).

a	b	L (mm)	Source
0.000925	3.550	-	FIBEX1
0.001800	3.383	-	FIBEX1
0.003850	3.200	26 ~ 59	Morris <i>et al.</i> (1988)
0.002050	3.325	23 ~ 60	Siegel (1992)
0.002236	3.314	30 ~ 48	Synoptic survey (2000)

Table II 1-5. Conversion factor for 120 kHz, integrated volume backscattering (S_A , $m^2/n \text{ mile}^2$) to areal krill biomass density (g/m^2). This Table was cited from Report of the B₀ Workshop(2000).

	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 2+Cluster 3
FIBEX 1	0.1523	0.1536	0.1526
FIBEX 2	0.1583	0.1557	0.1576
CCAMLR-2000	0.1517	0.1477	0.1506
Morris <i>et al.</i> (1998)	0.1703	0.1630	0.1684
Siegel (1992)	0.1449	0.1414	0.1440

Table II 1-6. Conversion factor for 120 kHz at each transect, integrated volume backscattering (S_A , $m^2/n \text{ mile}^2$) to areal krill biomass density (g/m^2).

	Conversion factor	Survey area	Cluster group	Comments
Leg 1	0.1477	norther part of PF ¹ , Log1_N_PF	3	single transect
	0.1477	southern part of PF ¹ , Log1_S_PF	3	single transect
	0.1477	transit to the SF ² , Leg1_EW	3	single transect
	0.1477	cross-transect of the SF ² , Leg1_NS_SF	3	single transect
	0.1506	between KGI ³ and EI ⁴ , Leg1_KM	2+3	two transects
	0.1517	central Bransfield Strait	2	single transect
Leg 2	0.1517	southeast of the EI ⁴ , Leg2_transit1	2	single transect
	0.1477	mesoscale area between EI ⁴ and SOI ⁵ , Leg2_Box	3	Grid Box
Leg 3	0.1477	around the EI ⁴ , Leg3_transit1	3	single transect
	0.1477	mesoscale area on the northern part of the SSI ⁶ , Leg3_Box	3	Grid Box
	0.1477	transit to northwest part of the EI ⁴ , Leg3_transit2	3	single transect
	0.1506	transit to the BS ⁷ , Leg3_transit3	2+3	single transect
	0.1517	transit to the entrance of MB ⁸ , Leg3_transit4	2	single transect
	0.1517	transit to the MC ⁹ , Leg3_Maxwell	2	single transect
Leg 4	0.1517	Grid survey in the MB ⁸ , Leg4_Maxwell	2	Grid Box
	0.1477	transit to the northwest of the SSI ⁶ , Leg4_transit1	3	single transect
	0.1477	transit to the north of DP ¹⁰ , Leg4_transit2	3	single transect

* 1. Polar Front, 2. Shackleton Fracture, 3. King George Island, 4. Elephant Island, 5. South Orkney Island, 6. South Shetland Islands, 7. Bransfield Strait, 8. Maxwell Bay, 9. Marian Cove, 10. Drake Passage.

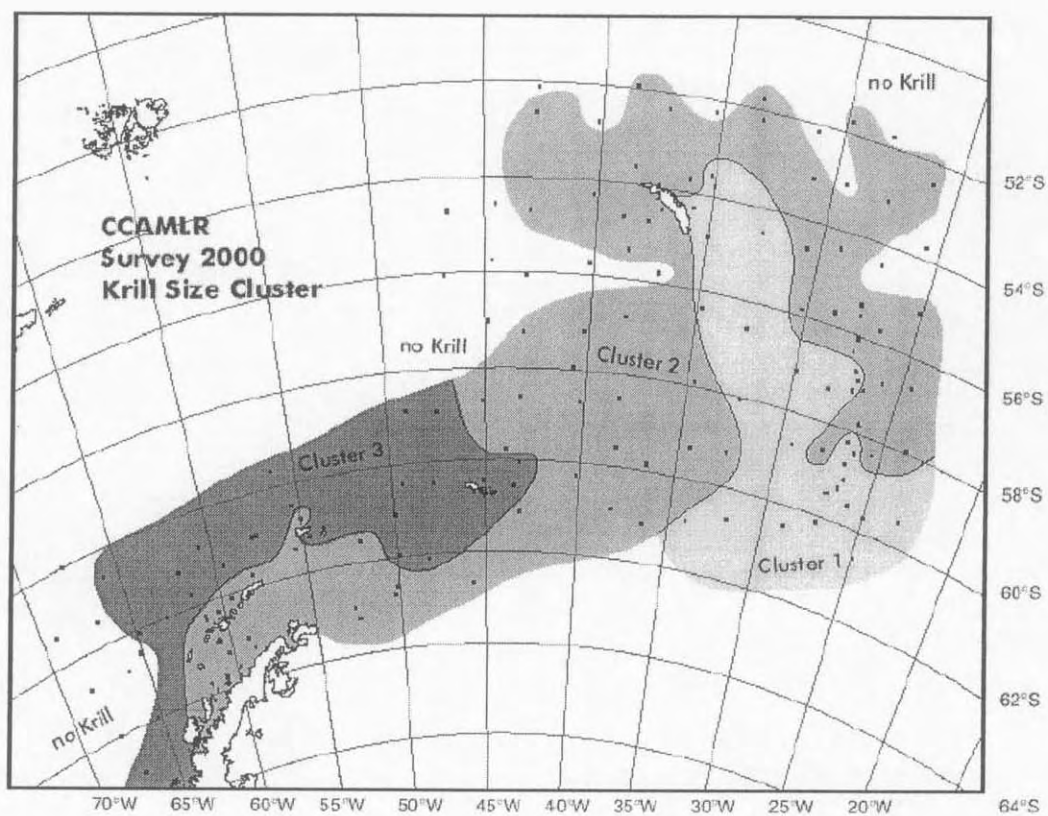


Fig. II 1-15. Geographic distribution of the three clusters. This figure was cited from Report of the B₀ Workshop (2000).

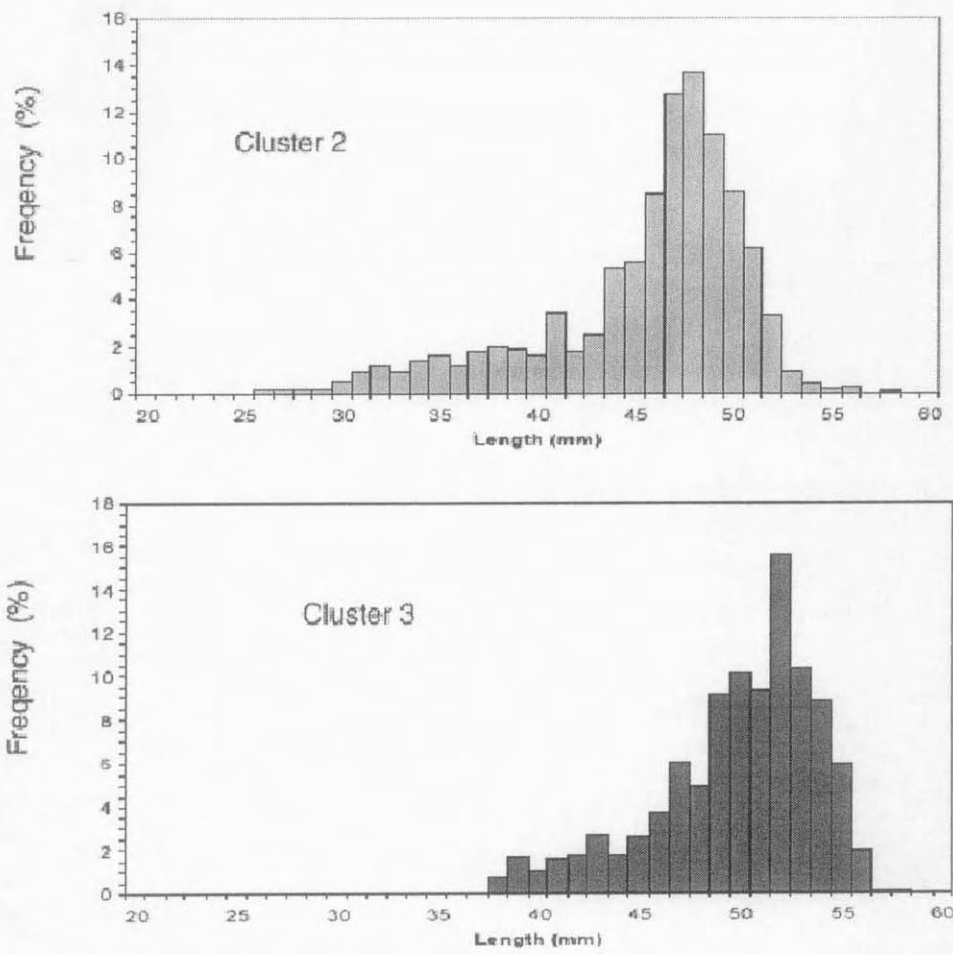


Fig. II 1-16. Aggregated length-frequency distributions of krill. This figure was cited from Report of the B₀ Workshop(2000).

4. 결과 및 토의

가. 해양 환경 특성

1) 스코티아해역

관측된 35개의 CTD 관측 정점 가운데 드레이크해협을 제외한 30개의 자료로부터 해양 환경 특성을 파악하였다(스코티아해역 : 14 정점, 새클톤 균열대 : 3 정점, 남쉐틀란드군도 해역 : 10 정점, 웨델해 포웰 분지 : 3 정점). 남극해 연안 및 스코티아해역 북부까지 광범위한 조사 구역이라는 특성 때문에 수온, 염분 및 밀도의 분포는 해역마다 서로 다른 특성을 나타내고 있다.

남위 52°에서 62°까지 조사한 각 정점에서 대표적인 정점의 수온, 염분의 수직 구조로부터 서로 다른 특성을 비교하였다(Fig. II 1-17).

스코티아해역을 남북으로 가로지르는 긴 정선에서 수온의 급격한 변화는 남위 약 56°부근에 형성된 극전선(Polar Front)을 기준으로 남북으로 형성되고 있다. 극전선 북쪽에 위치한 정점 W4에서 표층 수온의 분포는 5℃ 이상으로 나타났으며 수심이 증가할수록 급격히 감소하는 양상을 보여주고 있다. 500 m 부근에서 온도 혼합 층이 나타나고 있으며 이후 수심에 따라 감소하여 3,000 m에서의 수온은 약 1.0℃로 나타났다. 표층 염분의 경우 34.1 psu를 가지면서 이후 150 ~ 250 m, 300 ~ 500 m 사이에서 염분 수직층이 나타나고 있는 500 m 상층부에서 수괴의 변동성이 큼을 알 수 있다.

극전선 지점에서는 북쪽과는 다른 온도 및 염분 특성을 나타내고 있다. 표층 수온은 2.7℃로 극전선 북쪽에 비해 낮은 분포를 나타내고 있는데, 상층부에서 수온이 감소하는 강한 수온 약층이 형성되고 이후 100 ~ 250 m 사이에서는 혼합층이, 다시 400 m 까지는 수온이 증가하는 현상이 나타나고 있다. 염분의 경우, 표층에서는 극전선 북쪽보다 저염이 존재하나 이후 일정한 혼합층이 나타나지 않고 수심 1000 m 까지 지속적으로 증가하면서 안정된 형태를 보이고 있다. 극전선 북쪽에 비해 500 m 상층부의 온도 변화가 심해 이 지역이 남극해의 일반적인 해양 현상을 나타내는 경계면임을 알 수 있다.

극전선 이남과 SACCF 북쪽의 중간에 위치한 정점 W7에서는 표층 수온이 1℃ 이하로 낮아지면서 전형적인 남극해의 해양 특성을 나타내고 있다. 특히,

겨울에 표층의 냉각에 의해 생성된 0 °C 부근의 Winter Water(WW)가 수심 100 m 부근에 존재하며 500 m 수심 부근에 1.5 °C 정도의 Upper Circumpolar Deep Water(UCDW)가 존재하는 특성은 남쉐틀란드군도 외해 대륙 사면 근처에 존재하는 해수와 동일한 특성을 보이고 있다. 수온의 경우 2,500 m 까지 작은 변동이 계속 나타나는 것으로 보아 남극 대륙을 중심으로 서쪽에서 동쪽으로 년 중 존재하는 남극 환류 이동의 영향을 직접적으로 받는 곳으로 보인다. 표층 염분의 경우 34 psu 이상으로 수심이 500 m 까지 기울기가 극전선보다 증가하고 있다.

정점 W11은 남극 환류의 남쪽 경계면 이남 지역으로 웨델해의 영향을 직접적으로 받는 지역이다. 따라서 위의 지역들과는 전혀 다른 물리적 특성을 나타내고 있다. 표층 수온의 경우 -0.4 °C 이하로 매우 낮은 분포를 보이고 있으며 WW 층은 남극 환류 지역보다 깊은 수심인 200 m 부근에서 -1.5 °C 온도를 나타내고 있다. 500 m까지는 온도가 증가하나 0.5 °C를 넘지 못하는 저온의 수괴가 존재하며 이후 심층까지 안정된 수온 구조를 보이고 있다. 표층 염분은 34.45 psu 정도로 고염의 특성을 나타내는데 약 400 m 까지 지속적으로 증가하여 약 34.60 psu에 이르고 있다.

관측된 모든 자료로부터 표층에서 수심 3,000 m까지의 심층 자료를 이용하여 수온, 염분, 밀도 및 부유 물질의 공간 분포 특성을 나타냈다. 수온의 경우, 두 개의 경계면인 남위 56.5°, 남위 60°부근에서 각각 다른 양상을 보이고 있다. 극전선이 형성된 56.5°의 경우 2.0 ~ 2.4 °C의 등온선이 기울기를 가지며 극전선 북쪽에서는 수심 1,200 ~ 1,700 m까지 형성된 반면, 남쪽에서는 수심 500 m 상층부에만 존재하고 있다. 이러한 극전선을 경계로 500 m 아래에서는 남쪽의 SACCF 경계면까지 일정한 기울기를 가지며 남쪽으로 갈수록 온도가 낮아지는 형태를 보이고 있다. 또한 WW 층은 57 ~ 58°부근에서 100 m 부근에 형성되어 전체 수직 구조에서 가장 낮은 온도 분포를 나타내고 있다. 남위 60° 부근의 수온 구조는 남극 환류와 웨델해 기원의 해수가 수직적으로 혼합이 되어 매우 강한 수직 구조를 보이고 있었다. 염분의 공간적인 분포는 전체적으로 남쪽에서 고염이 북쪽으로 갈수록 저염의 해수가 존재하고 있다. 특히 극전선 부근의 56 ~ 57°사이의 200 m 상층부에서 전체 연구 지역 가운데 가장 낮은 34 psu 미만의 해수가 존재하고 이후 300 ~ 1,700 m에 이르기까지 강한 염분 기울기 층을 형성하고 있다(Fig. II 1-18).

밀도 분포 또한 염분 분포와 유사한 형태를 보이며 극전선 부근에서 큰 기울기를 나타내고 있으며 이러한 밀도 약층의 시작은 남위 60°부근임이 나타났다. 극전선 이남에서 SACCF 경계면까지의 수직 밀도 변위는 500 m 상층부에서 결정이 되며 이후 심층에서의 변위는 작게 보이고 있다. 부유 물질의 특성을 나타내는 전압값은 표층부근에서 낮게 나타나 표층 부근에서 상대적으로 부유 물질의 양이 많음을 보여주고 있다. 대부분의 분포가 300 m 상층부에서만 변위를 보이고 있는 반면, 남위 60°부근에서는 강한 불연속면의 특성을 나타내고 있다(Fig. II 1-19).

대부분의 해양 생물 특성이 표층 부근에서 형성되는 해양 환경에 따라 결정이 되므로 관측 자료의 표층 150 m 상층부만의 자료만을 분리하였다. 수온은 위도상으로 볼 때, 극전선이 위치한 56°에서 매우 강한 수온 분리층이 나타나고 있다. 짧은 거리임에도 불구하고 약 3 °C 이상의 온도 차이가 발생하고 수직적으로는 150 m 전 층에서 혼합이 되어 물리적인 장벽이 이루어지고 있다. 극전선 남쪽에서는 75 m까지 수직 혼합층을 형성하고 있으며 남위 60°부근에서는 음의 수온값을 나타내고 있다. 염분 또한 극전선 및 남위 60°에서 각각 강한 경계면을 형성하여 수온 분포와 더불어 서로 다른 물리적인 특성을 보임을 나타내고 있다(Fig. II 1-20).

2) 새클톤 균열대 지역

관측된 정점이 세 곳이지만 심층까지는 두 곳만 관측을 하였다(Fig. II 1-21). 북쪽의 정점인 SF01에서 표층 수온은 1.0 °C, 염분은 33.80 psu로 비슷한 위도의 스코티아해역에 비해 온도는 높으나 염분은 낮게 나타나고 있다. 이 지역에서의 수온, 염분 구조는 100 m 부근에서의 WW층의 존재로 보아 극전선 보다는 남쪽의 해수 특성을 보여주고 있다. 또한, 200 ~ 500 m 층에서 수온의 미세한 변동폭으로 보아 남극 환류의 영향이 주로 이 층에서 영향을 주는 것으로 보인다. 이보다 남쪽에 위치한 정점 SF03은 SACCF 지역에 가까운 정점으로 표층 수온 및 염분은 각각 0.5 °C, 33.85 psu로 SF01보다 저온 및 고염의 특성을 보이고 있다. WW 층과 UCDW 층 사이의 기울기는 SF03에서 더 크게 나타나 연안에 가까운 SACCF의 특성을 나타내고 있다.

3) 남쉐틀란드군도 지역

총 8개의 정점을 남북 방향으로 각 4정점으로 두 정선을 관측하였다. 조사 정점 가운데 가장 북서쪽에 위치한 K1은 수심 2,000 m 정도의 급경사를 이루는 사면 지대로 표층 수온은 약 0.4 °C, 염분은 33.95 psu를 나타내고 최소 온도층은 수심 100 m 부근에서 -1.0 °C 정도였다. 연안에서 떨어진 사면 지대에 형성된 WW 층은 연안으로 접근할수록 강도가 약해지면서 K2 부근까지만 약하게 나타나고 있다. 브랜스필드 해협에 가까워지면서 수심 400 m지점인 K3에서는 전 층이 혼합되는 다른 양상을 보이고 있어 이 지점이 서로 다른 특성을 가지는 해수가 분리되는 지점으로 보인다. K8 지점은 K1과 유사한 위치임에도 불구하고 WW 층이 나타나지 않은 것으로 보아 100 m 부근의 최소 수온층이 연안으로 접근하는 위치는 지형적인 영향에 좌우되는 것으로 보인다. 이곳에서는 UCDW가 나타나지만 K2와 K7에서는 나타나지 않고 있는데 이곳이 SACCF의 경계면임을 나타낸다(Fig. II 1-22). 총 8개의 정점 가운데 K1, K7은 최소 온도층의 세기만 다를뿐 비슷한 형태를 보이고 나머지 6정점은 다른 구조를 가지는데 이 정점에 형성된 물리 구조는 브랜스필드 해협의 성질을 가지는 해수의 이동에 의해 만들어졌거나, 혹은 브랜스필드 유입 해수와 남쉐틀란드군도 북쪽에서 연안으로 움직이는 해수의 혼합에 의해 형성되었음을 나타내고 있다.

수평 구조에서 보이는 수온 구조는 이러한 현상을 보여주고 있는데 서쪽 정선에서 정점 K3까지는 브랜스필드 해수의 영향이 나타난 반면 K2에서는 100 m 부근을 제외하고는 하층에서 혼합층이 나타나고 있다. 염분 및 밀도 분포에서도 정점 K2가 남북 지점에서 유입되는 해수의 경계면임을 보여주고 있다(Fig. II 1-23). 밀도 분포는 200 m 상층부에서 남쪽으로 갈수록 높게 나타나 고염의 해수가 상층부를 통해 브랜스필드 해협에서 두 섬 사이로 이동함을 나타내고 있다. 한편, 부유 물질의 분포를 나타내는 전압 값은 100 m 상층부에서 주로 나제 나타나 이 수층을 경계로 부유 물질의 양이 변하고 있음을 보여주고 있다(Fig. II 1-24).

약 30 mile 동쪽으로 이동하여 동일한 위도상에서 관측한 수온, 염분의 구조는 서쪽의 정점들과는 다른 형태를 보이고 있어 킹조지섬과 엘레펀트섬 사이의 얇은 지형적 요소에 의해 물리적 요소의 변동이 큼을 알 수 있다. 수온 구조는 정점 K7까지 브랜스필드 해수의 영향이 미치고 있으며, 염분은 북쪽에서 강한 기울기를 가지고 나타났었다(Fig. II 1-25). 서쪽 정선에 비해 100 m 부근의 밀도

분포가 높게 나타나고 있는데 이러한 현상은 서쪽 정선의 경우 브랜스필드 해협을 북쪽을 따라 이동하는 해수의 영향과 웨델해 쪽에서 유입되는 해수의 성질 때문으로 보인다. 따라서, 서쪽 정선의 표층에서는 브랜스필드 해수가, 동쪽 정선의 표층에서는 웨델해 해수가 이동함을 나타내고 있다. 부유 물질의 분포는 서쪽 정선과 유사하게 표층 100 m 부근에서 주로 분포하였다(Fig. II 1-26)

4) T/S 분포

3,000 m까지 관측한 전 정점의 자료로부터 수온, 염분의 분포를 그렸으며, 이로부터 서로 다른 수괴를 분리하였다(Fig. II 1-27). 극전선 북쪽의 w1 ~ w5 정점은 표층 수온 5 ~ 6 °C, 염분은 34.15 psu를 나타내며 전 정점에서 큰 차이를 보이지 않고 있으므로 동일한 형태의 해수 특성을 보여주고 있다. 극전선이 위치한 정점 PF에서는 정점 w5와 짧은 거리임에도 불구하고 전혀 다른 형태를 보여주고 있다. 표층 수온이 3 °C 미만으로 급격히 낮아졌으며 염분 또한 34 psu 미만으로 낮아졌다. 남위 57 °상에 위치한 w6 정점은 남극 해양의 일반적인 특성을 나타내는 경계면의 양상을 보여주고 있다. 즉 이 지점의 남쪽으로부터 저온, 저염의 표층수, WW, CDW 등의 형태들이 SF 지점과 K1, K2, K8 지점까지 나타나고 있다. 브랜스필드 해협의 특징을 나타내는 수괴로는 K3, K4, K5, K6, K7이고 w9, w10, w11은 웨델해의 특징을 나타내고 있다.

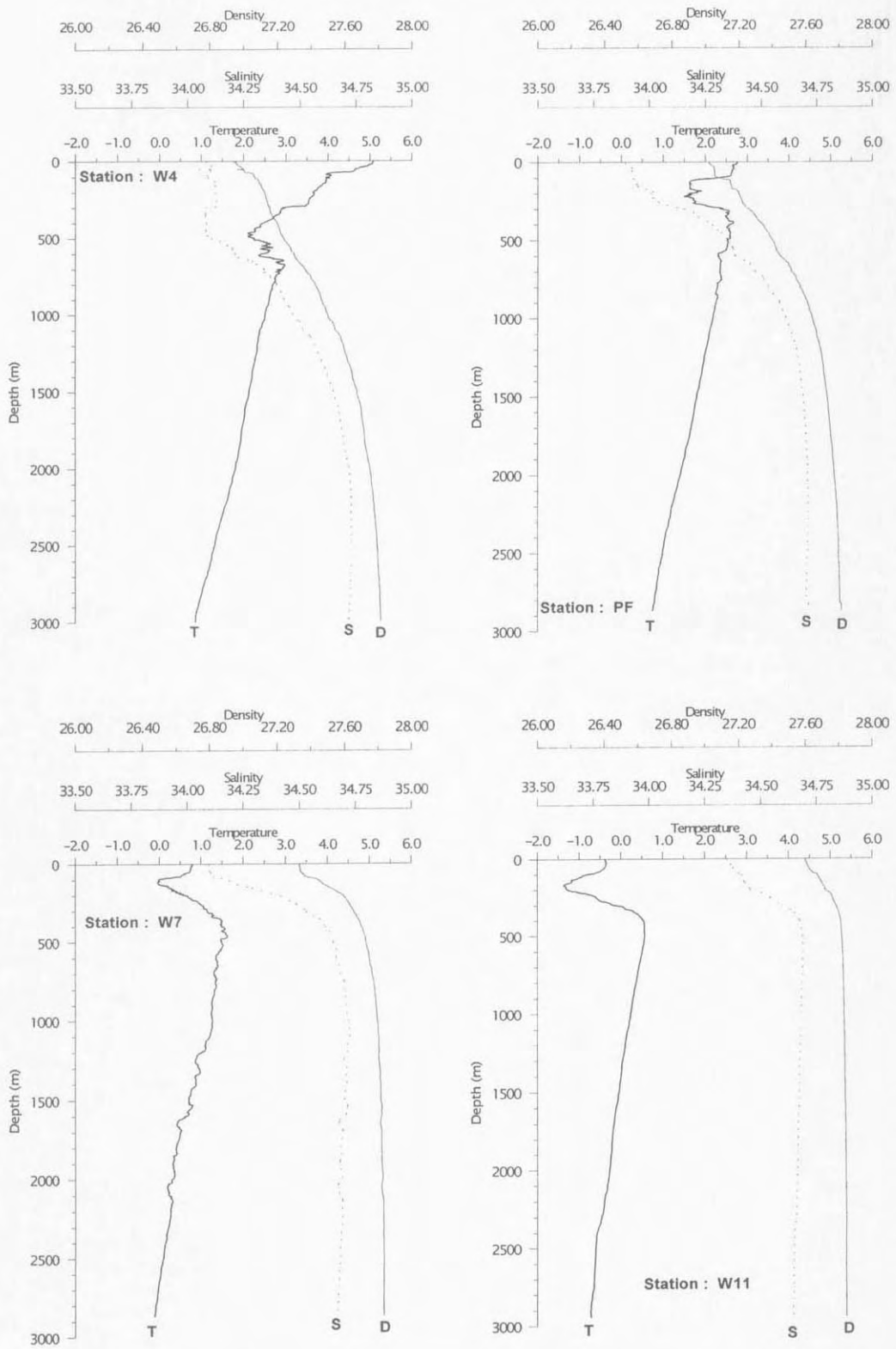


Fig. II 1-17. Vertical distribution of temperature, salinity, and density at each station of the Scotia Sea.

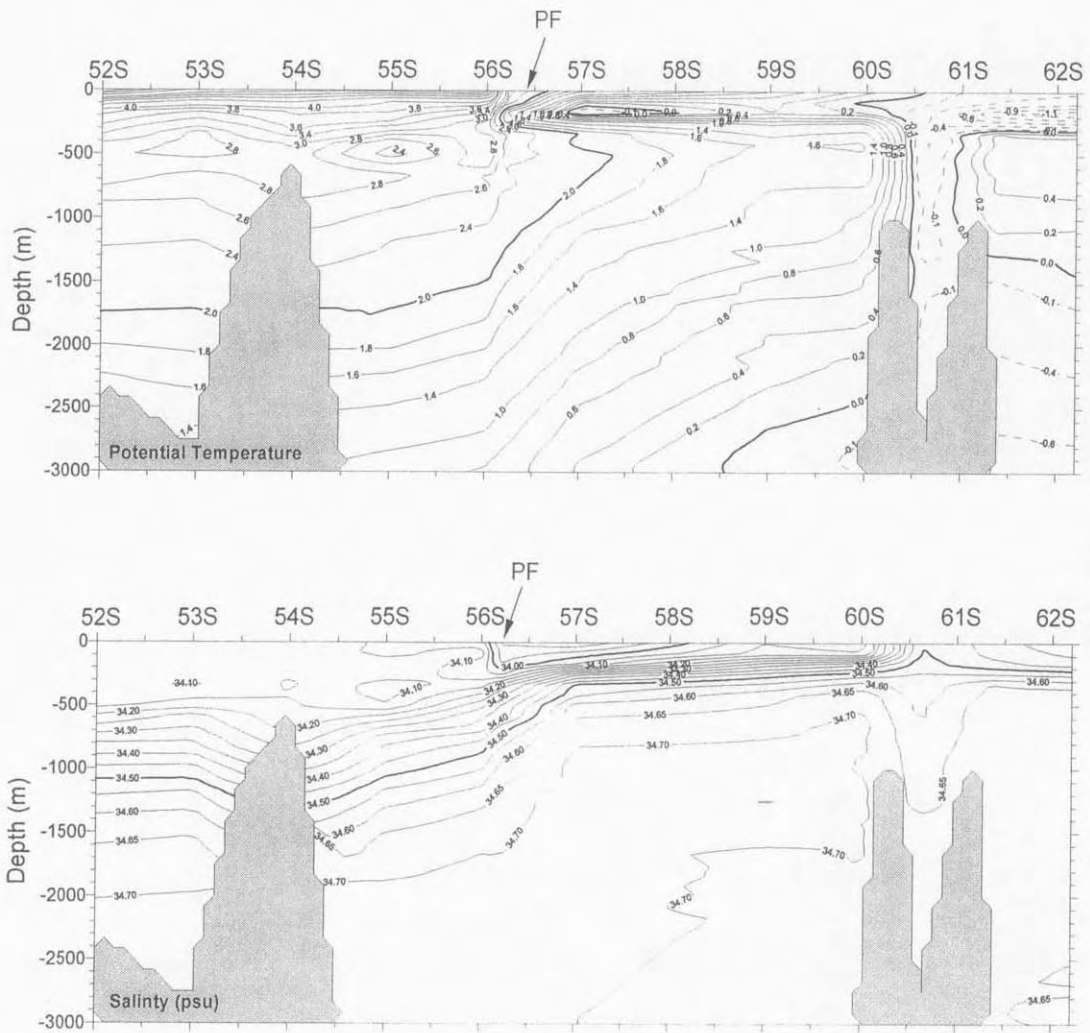


Fig. II 1-18. Temperature and salinity distribution in the upper 3000 m along the Scotia Sea transect. Dashed lines in the temperature distribution represent negative temperature.

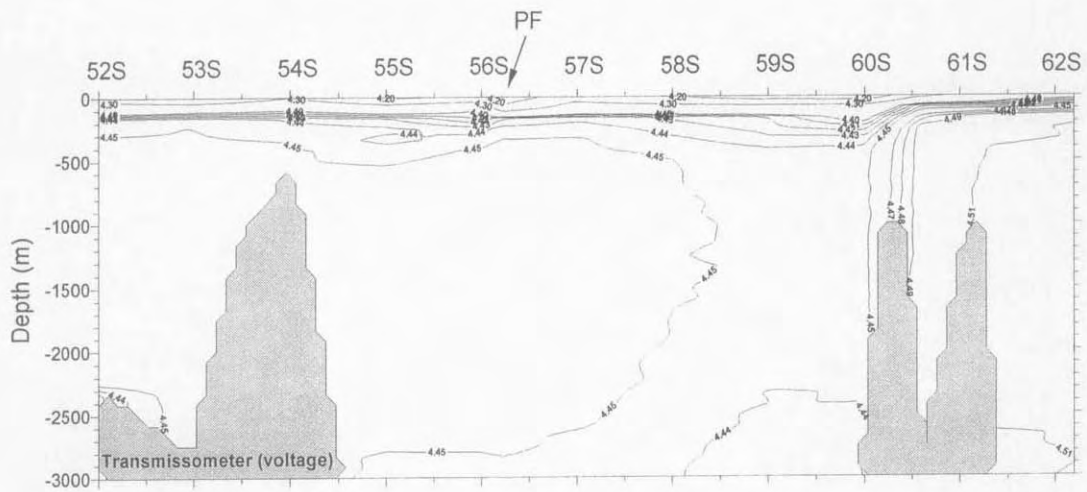
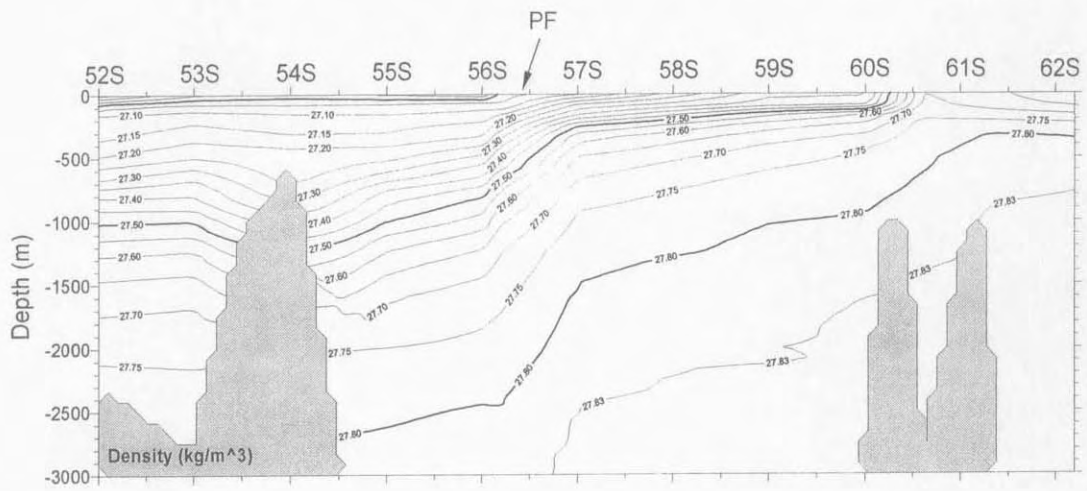


Fig. II 1-19. Density and voltage of transmissometer distribution in the upper 3000 m along the Scotia Sea transect.

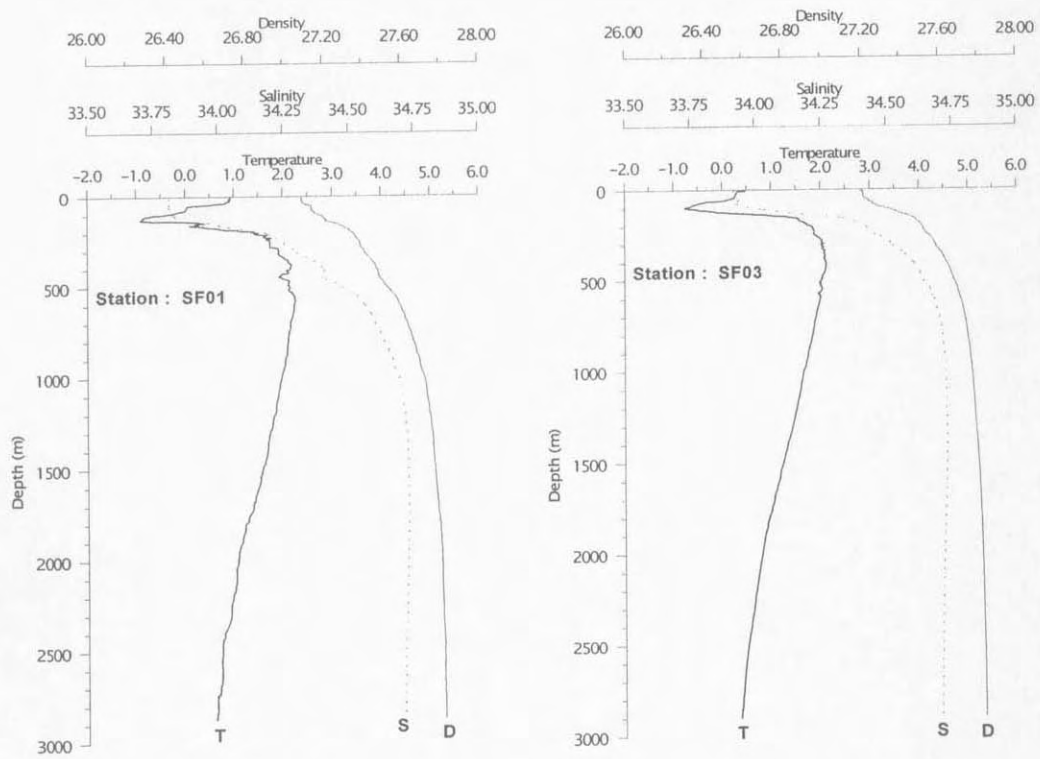


Fig. II 1-21. Vertical distribution of temperature, salinity, and density at each station of the Shackleton Fracture.

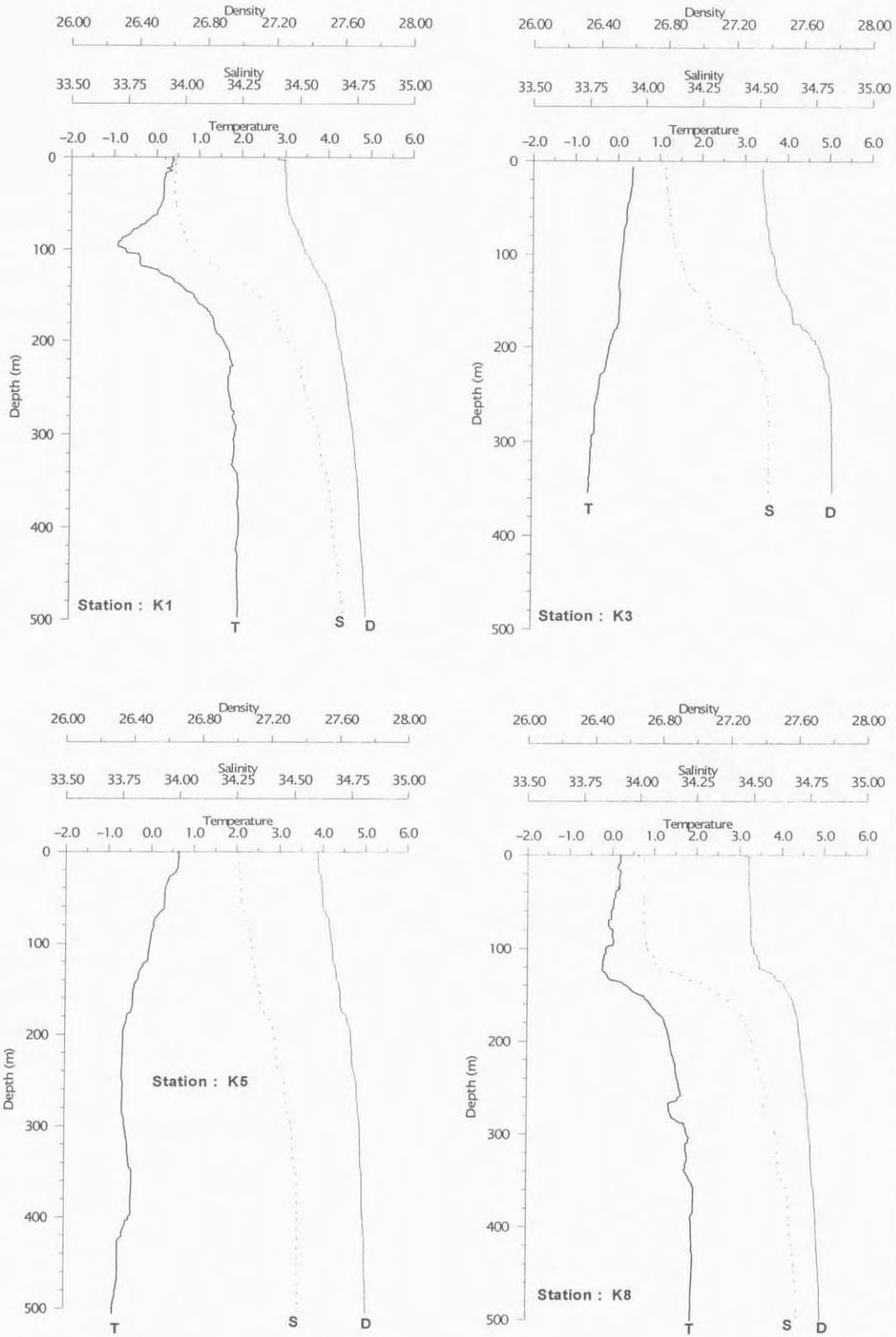


Fig. II 1-22. Vertical distribution of temperature, salinity, and density at each station between King George Islands and Elephant Islands.

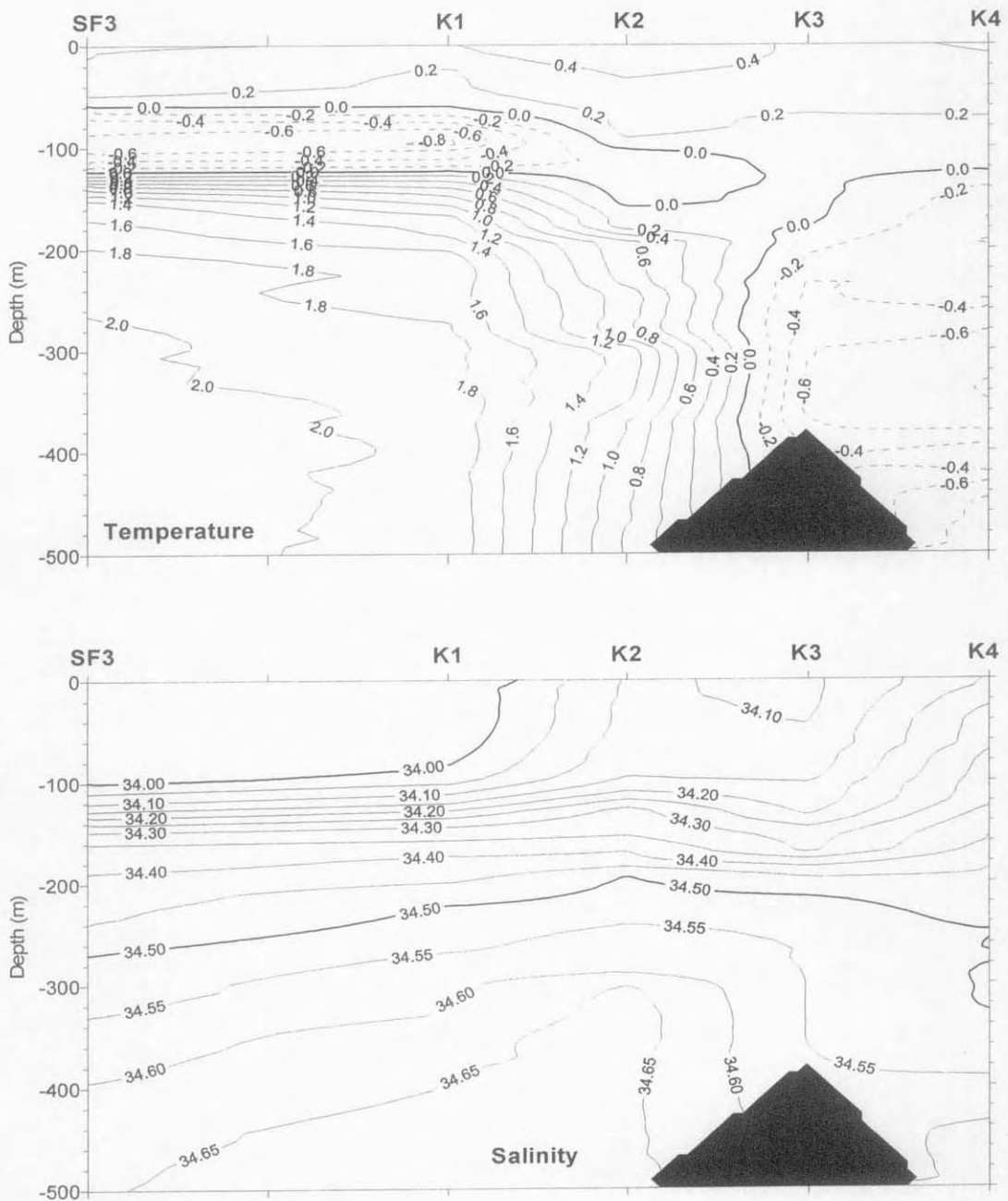


Fig. II 1-23. Temperature and salinity distribution in the western transect between King George Islands and Elephant Islands. Dashed lines in the temperature distribution represent negative temperature.

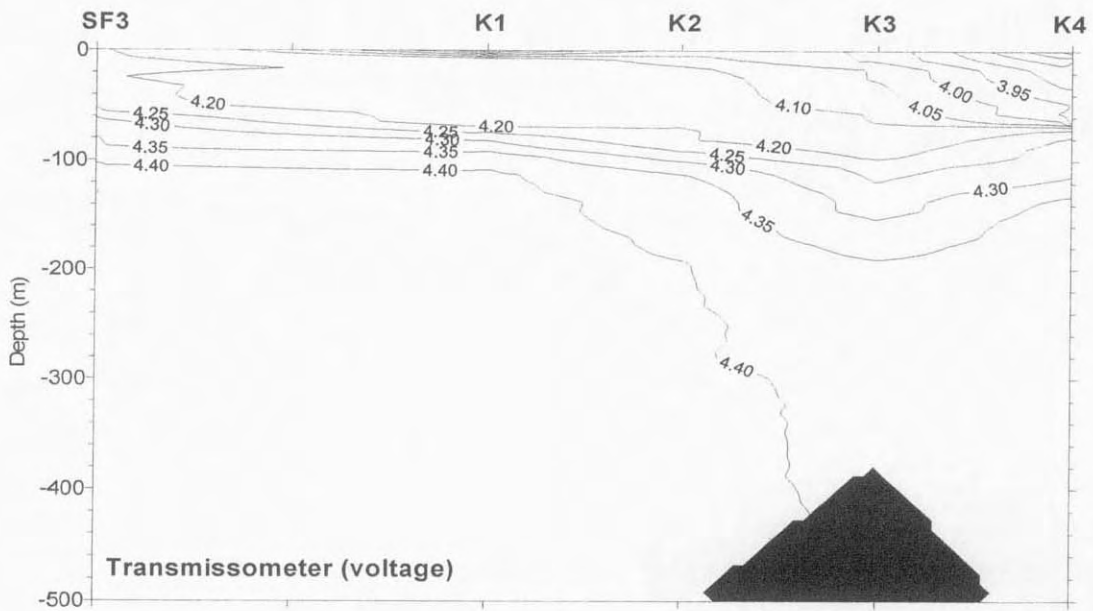
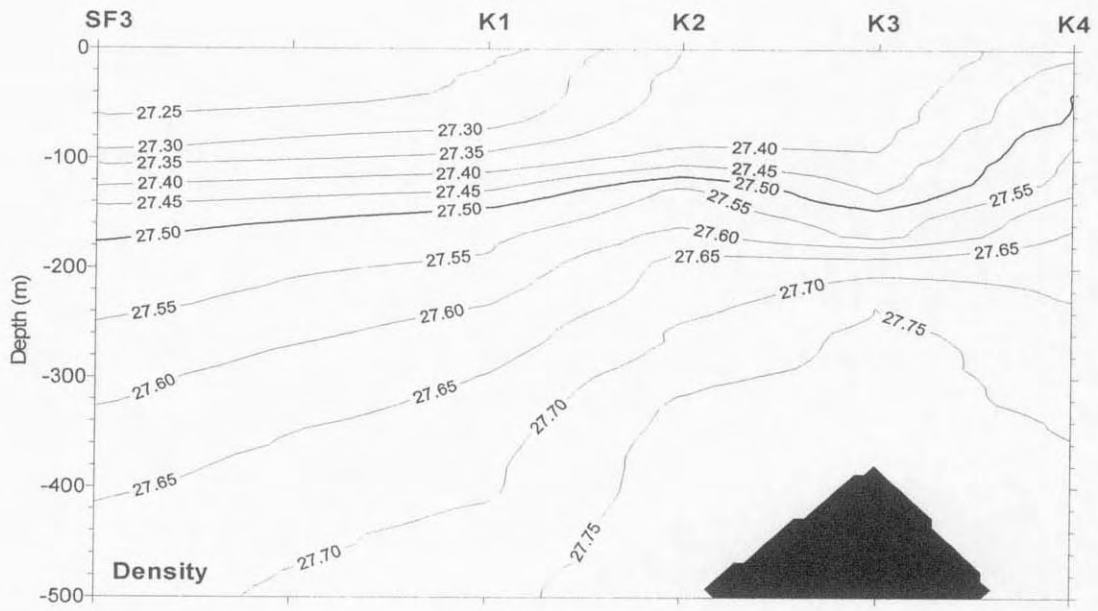


Fig. II 1-24. Density and voltage of transmissometer distribution in the western transect between King George Islands and Elephant Islands.

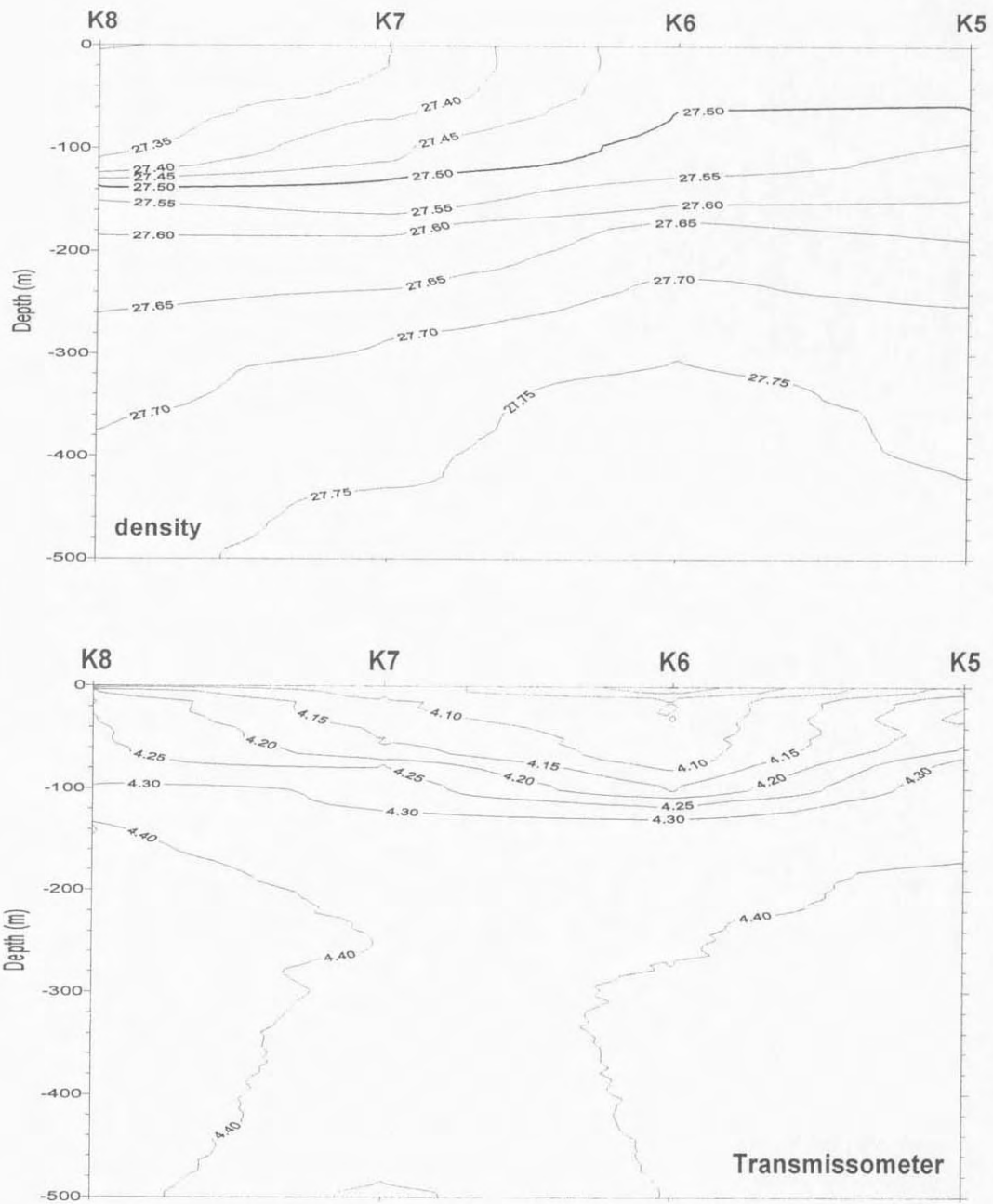


Fig. II 1-26. Density and voltage of transmissometer distribution in the eastern transect between King George Islands and Elephant Islands.

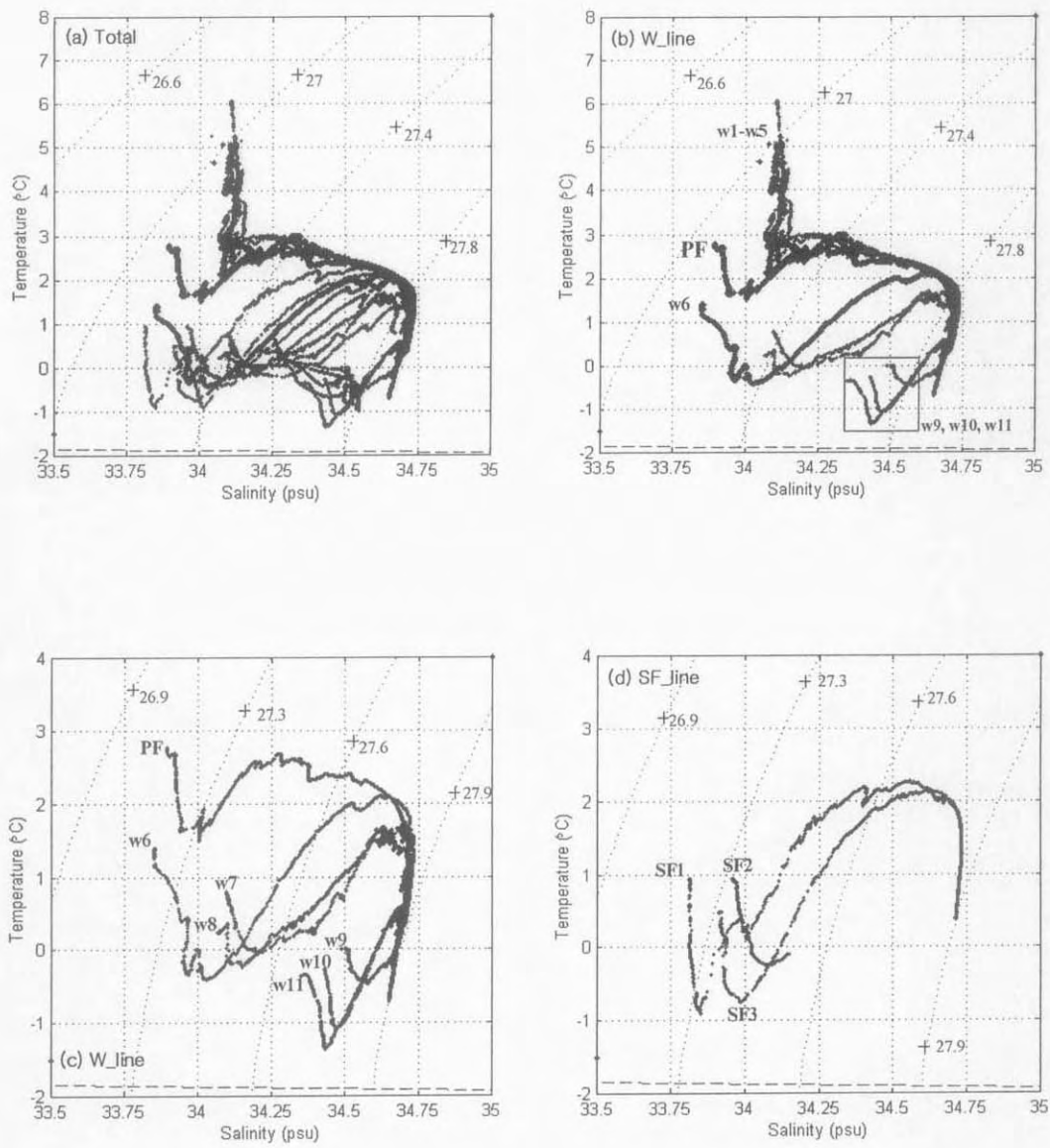
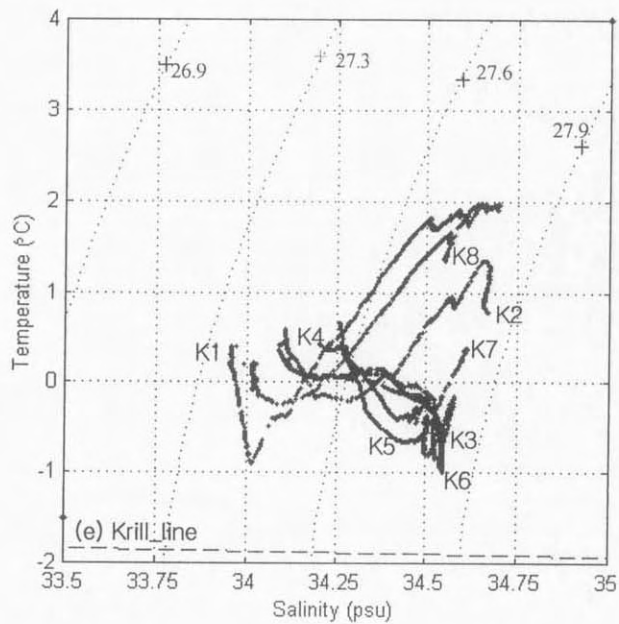


Fig. II 1-27. T/S diagram for all CTD data.

(Continued)



나. 크릴 분포 특성 및 시변동성

1) 크릴 밀도 분포

총 4개의 관측기간으로 나누어진 2001/2002 남극 하계 기간 동안 남극 크릴 음향 자원 조사의 항주 거리는 약 3,845 마일이었다. 이 가운데 남위 61. 근처의 엘레펀트섬과 남 오크니 섬 사이에서 9,900 평방 마일, 남쉐틀란드군도 북부 해역에서 6,300 평방 마일은 공간 내의 자원량을 예측할 수 있게 구성되었다. 시기적으로 2001년 11월 30일에서 2002년 1월 1일까지 약 33일로 각 항차별로 약 7일에서 10일 정도의 시간 간격이 있어 해역별, 시기별로 크릴 밀도를 알아보았다. 이때 음향 자료는 두 가지 방법으로 분류하였는데, 하나의 정선으로 이루어진 지역에서는 5 마일 당 평균 밀도로 계산하였고, 공간내의 자원량 산출이 가능한 해역에서는 1 마일 당 밀도로 계산하였다. 각 항차별 크릴 밀도 및 분포 특성은 다음과 같다.

(1) Leg 1

관측기간이 2001년 11월 30일에서 2001년 12월 8일로 모든 관측이 하나의 정선으로 이루어져 있어 매 정선의 음향 자료를 5 mile 당 평균 밀도로 나타냈다. 음향 관측 정선이 서경 52. 를 따라 남쪽 방향으로 이동하는데 이때 남위 56. 지점에서 극전선이 형성되어 남극해로 들어서는 경계가 되고 있다. 따라서 위도 56. 지점은 극전선과 아남극 전선의 중간 해역으로 남극 크릴이 존재하지 않는 지역으로 알려져 있으며 이러한 결과는 본 연구 조사에서도 나타나고 있다. 즉, 남위 52. 부터 음향 자료를 수신하여 남위 56. 에 이르기까지 총 255 마일에 걸쳐 다중 주파수의 평균 체적 산란 강도 차이에 의해 크릴로 판정되는 가상 에코그램은 전혀 나타나지 않았다(Log1_N_PF 정선, Table II 1-7).

남극해 특성을 나타내기 시작하는 극전선 남쪽에서 남위 60. 에 이르는 정선에서는 극전선 북쪽과는 다른 양상을 보이기 시작했다. 남위 56.6. 지점에서 부터 크릴이 나타내기 시작하여($\bar{\rho}=1.3 \text{ g/m}^2$), 남위 59. 부터 본격적으로 크릴이 출현하기 시작했다(Fig. II 1-28). 59.4. 지점에 이르러서는 평균 밀도가 최대 166.1 g/m^2 까지 증가하여 남쉐틀란드군도에서 남조지아섬 해역으로 이동하는 크릴 이동 경로에서 북방 한계선이 남위 59. 부근임을 나타내고 있다. 이 지점은 남극

환류의 전선역(SACCF)으로 크릴의 주된 분포 위치는 SACCF 남쪽 아래임을 알 수 있다. 이 정선의 총 관측 거리는 238 mile로 평균 밀도는 21.20 g/m^2 으로 나타났다(Log1_S_PF, Table II 1-7).

조사선의 이동 경로가 더 이상 남쪽으로 진행되지 않고 서쪽에 위치한 서경 59. , 남위 58. 의 극전선 해역으로 이동하였다. 앞의 두 정선이 남북 방향의 긴 정선이었다면 이 정선은 동서 방향으로 형성되었다. 251 mile에 걸친 크릴 평균 밀도는 0.54 g/m^2 으로 크릴이 거의 분포하지 않는 것으로 나타났다(Log1_EW_SF, Table II 1-7). 이 지역의 남북 정선은 Shackleton Fracture 지역을 통과하는 지역으로 해저 수심이 주변 해역보다 낮은 ridge 지역으로 알려져 있으며, 남쉐틀란드 군도 북쪽 사면으로 접근하는 곳이다. 이 정선의 남쪽 부분은 SACCF 지역 아래 지역으로 남극해에서 크릴 밀도가 높게 나타나는 지역이나 본 연구의 관측기간에는 이러한 밀도 분포는 나타나지 않았다. 평균 밀도는 1.76 g/m^2 으로 분포 위치는 모두 SACCF 북쪽 해역이었으며, 남쪽에서는 전혀 크릴떼가 출현하지 않았다(Log1_NS_SF, Table II 1-7). 이러한 원인으로는 조사 시기가 12월 초순이라 벨링스하우젠해역에서 남쉐틀란드군도 북서쪽으로 이동하는 크릴군이 이 지역까지 도달하기에는 이른 시기일 수도 있고, 2001/2002 남극 하계 기간 동안 크릴 밀도 자체가 낮을 가능성이 있다.

2000/2001 조사 시기에는 남쉐틀란드군도 주변 해역과 엘레펀트섬 주변까지 여러 조사 정선을 배정하여 집중적으로 조사를 실시하였다. 그러나 올해의 경우는 조사선의 사용 문제로 예년과 동일한 정선을 조사하지 못하고 킹조지섬과 엘레펀트섬 사이에 두 개의 정선을 조사하였는데 이러한 이유는 이 지역이 남극해에서 크릴 밀도가 높게 나타나는 지역으로 년 변화 양상과 다른 해역과의 자료 비교를 위함이다. 즉, 두 개의 정선을 지속적으로 관찰한 크릴 밀도 자료를 통하여 남쉐틀란드군도 주변에서의 크릴 밀도 분포에 대해 대표성을 줄 수 있는 지표로서의 가능성을 조사하였다. 이를 위해 선정한 두 개의 정선은 동서로 30 mile 떨어져 있으며 남북으로는 약 80 mile 정도이다. 북쪽의 경우 수심 2,000 m 부근의 대륙 사면으로 남극 환류의 남쪽 경계면에 해당한다. 중앙부는 킹조지섬과 엘레펀트섬 사이를 통과하는 지점이고 남쪽 지점은 브랜스필드 해협이 중앙부를 포함시켜 벨링스하우젠해에서 북동 방향으로 이동하는 크릴의 주된 경로를 모두 포함시킨 것이다(Fig. II 1-13의 Leg 1). 두 정선 모두 북쪽의 대륙사면 지대와

남쪽의 해협 중앙부에서 상대적으로 높은 밀도 분포를 나타낸 반면 두 섬 사이의 얇은 수심 지역에서는 30 g/m^2 미만의 작은 분포를 나타내고 있다. 두 정선 가운데 킹조지섬에 가까운 서쪽 정선(Leg1_KM1)에서 평균 밀도가 10.26 g/m^2 으로 엘레펀트섬 쪽 정선(Leg1_KM2)의 8.20 g/m^2 보다 다소 높게 나타나고 있으나 두 정선 사이에서 큰 차이를 나타내지 않고 비슷한 분포를 나타내고 있다(Table II 1-7, Fig. II 1-28).

한편, 브랜스필드 중앙부를 동서로 가로지르는 단일 정선에서의 밀도는 10.4 g/m^2 으로 모니터링 정선과 큰 차이를 보이지 않고 있다. 상대적으로 높은 크릴 밀도는 킹조지섬 남서쪽에서 나타났으며 엘레펀트섬 남쪽에서는 크릴이 존재하지 않았다.

Leg 1 기간 동안 크릴 밀도는 서경 52. , 남위 59 ~ 60. 부근(조사 기간 12월 4일) 에서 52.04 gm^2 으로 가장 높게 나타내고 있는데 이러한 분포와는 달리 이곳에 도달하는 크릴의 이동 경로라고 알려진 남쉐틀란드군도 북부 해역 (조사 기간 12월 6일)에서는 이러한 분포 특성을 나타내지 않고 있다. 두 지역의 동서 방향의 거리가 약 350 km가 떨어져 있지만 2일 정도의 짧은 시차 사이에 고려할 때 약 5 배 정도의 평균 밀도 차이는 이 시기에 두 지역에 공급되는 크릴의 이동 경로가 다를 수도 있음을 암시한다. 즉, 서경 52. , 남위 59 ~ 60. 부근에 나타난 높은 밀도의 크릴군은 브랜스필드 해협 혹은 웨델해에서 공급되어 엘레펀트섬 동쪽 해역으로 이동한 크릴일 가능성이 있다.

(2) Leg 2

연구 지역이 남쉐틀란드군도 지역으로 접어들면서 조사선 이동에 따른 단일 정선이 만들어졌으며 2, 3, 4 항차에 대한 음향 자료를 분리하였다(Fig. II 1-29).

Leg 2의 주요 연구 지역은 엘레펀트섬 동쪽 해역으로 지리적으로 남쉐틀란드군도와는 분리되어 있는 지역이다. 관측기간은 2001년 12월 13일에서 2001년 12월 22일로 중순경에 해당한다. 예정된 조사 계획은 일정한 구역을 포함하는 격자 모양이었으나 날씨 악화에 따른 해양 환경 변수로 인해 불규칙한 정선으로 구성된 조사 구역이 되었다(Leg2_Box). 연구 지역에 도달하기 위하여 엘레펀트 남동쪽으로 지났으며(Leg2_transit1), 본 정선의 시작은 Fig. II 1-13의 Leg 2 그림의 동쪽에서 출발하여 서쪽으로 이동하였다.

Leg2_transit1의 이동 거리는 약 90 mile로 5 mile 평균으로 계산한 크릴 밀도는 약 21.86 g/m²로 Leg1_S_PF과 비슷하게 나타났다. 특히 남위 61.5°, 서경 53 ~ 54° 부근에서 최대 94.8 g/m²로 높은 밀도 분포를 나타내는 크릴군이 이동 중이었다(Table II 1-7, Fig. II 1-30). 약 9900 mile²의 조사 면적으로 구성된 구역내의 전체 평균 밀도는 21.34 g/m², 예측된 크릴 자원량은 약 724천 톤, 변동 계수(CV)는 31.4%로 나타났다(Table II 1-8). 평균 밀도는 엘레펀트 남동쪽을 이동하였던 정선과 같은 분포를 보여 이 지역의 크릴군 분포 변위가 크지 않음을 알 수 있었다. 조사 구역내의 각 정선에 대한 크릴 밀도는 엘레펀트섬에 가까운 서쪽에서 가장 높은 분포를 일부 지역에서는 200 g/m² 이상의 고밀도 분포를 나타내고 있으나(Fig. II 1-30), 다른 정선에서는 낮은 분포를 보여 변동 계수가 크게 나타나고 있다.

조사 구역이 한정되어 이러한 높은 밀도를 나타내는 크릴군의 이동 경로를 파악하기 어려우나 Leg2_transit1 정선의 서경 53 ~ 54°에서 발견된 크릴군이 해류의 영향으로 이 지역으로 이동한 것으로 보여진다. 거리상으로 약 60 mile 정도 떨어져 있으며, 시기적으로 정선 이동은 12월 13일에 이루어졌고, 조사 구역내의 고밀도 크릴군 발견은 12월 18일로 5일 정도의 시간차를 보이고 있다. Kils(1979 a, b)에 의하면 크릴이 임의의 수심이 머물기 위해서는 10 ~ 15 cm/sec의 유영 능력이 필요하며, 유영 속도는 20 ~ 40 cm/sec 혹은 그 이상이며 이러한 유영을 몇 일 ~ 몇 주까지 지속할 수 있다. 또한, 성체의 경우 외부 저항에 대한 회피 속도는 길이의 11배 정도다 (45mm의 길이를 가진 크릴의 경우 약 0.5 m/sec). 그러므로, 크릴군의 이동은 자체 유영 능력과 해류의 속도와 방향에 따라 크게 결정된다. 따라서 고밀도를 이루고 있는 크릴군이 매 초당 약 30 cm의 속도로 이동한다면 60 mile 정도를 이동할 때 약 4.3 시간 정도가 소요된다. 따라서 이동 정선내의 크릴군이 시간이 지나면서 조사 구역 내의 서쪽으로 이동될 가능성이 있다. 또한 이것은 Leg 1의 기간 동안 관측된 서경 52. , 남위 59 ~ 60. 부근에 나타난 고밀도 크릴군의 이동 경로가 남셰틀란드군도가 아닌 엘레펀트섬 동쪽일 가능성을 나타내고 있다.

(3) Leg 3

Leg 3의 주요 연구 지역은 기존의 연구 지역과 동일한 남셰틀란드군도의

리빙스턴 섬 북부 해역이었다. 이를 위해 Leg 2 항차가 끝난 후 엘레펀트섬 남쪽 해역을 경유하여 북서쪽 해역으로 이동하였다(Leg3_transit1). 음향 관측은 해저 지형과 평행하게 수심 2,000 이상, 수심 1,000 ~ 2,000 사이, 그리고 연안 정선 등 총 3개의 정선으로 이루어졌다. 관측 시기는 Leg1에 비해 약 2주 이상이 지난 12월 24일경이었다.

엘레펀트섬 주변을 경유하는 총 294 mile의 Leg3_transit1 기간 동안 5mile 당 평균한 크릴 밀도는 약 17 g/m^2 으로 섬의 남쪽을 제외하고는 고른 분포를 나타내고 있었다(Fig. II 1-30, Table II 1-7). 엘레펀트섬 북서쪽의 크릴군은 2주전인 Leg 1 기간 동안에는 관측이 되지 않았으나 시간이 지남에 따라 남서쪽의 크릴군이 이 지역으로 이동한 것으로 보인다.

6,300 mile²의 조사 구역에서 전체 평균 밀도는 22.89 g/m^2 , 예측된 크릴 자원량은 약 495천 톤, 변동 계수(CV)는 10.4%로 나타났다(Table II 1-8). 전체 정선에서 높은 분포를 보이지는 않았으나 남위 62°, 서경 61°부근의 리빙스턴 북부 해역에서 연안 및 외양에 걸쳐 매우 높은 밀도의 크릴군이 나타났다. 수심에 따른 특성은 뚜렷이 나타나지는 않고 남북으로 형성된 크릴군이 이동하는 양상을 보여주고 있다.

중규모 구역에 대한 음향 조사가 끝난 후 수심 3,000 m 등심선을 따라 엘레펀트 북서쪽으로 이동하였다(Leg3_transit2). 12월 26일에 약 144 mile을 이동하는 동안 전 정선에 걸쳐 다른 정선에 비해 높은 밀도의 크릴군이 나타났다(Fig. II 1-30). 평균 밀도는 65.1 g/m^2 으로 전 조사 기간 가운데 가장 높은 분포를 보였으며 이러한 분포 형태는 27일에 킹조지섬과 엘레펀트섬 사이를 가로지르는 정선(Leg3_transit3)의 북쪽 해역에서도 나타나고 있다(Table II 1-7). Leg3_transit3 의 전체 평균 밀도는 29.1 g/m^2 이나 북쪽의 수심 1,000 ~ 2,000 부근에서는 5 mile 당 평균 밀도가 최대 130.1 g/m^2 으로 나타나 12월 초순에는 형성되지 않았던 고밀도의 크릴군이 12월 후반에 접어들면서 나타남을 알 수 있었다.

브랜스필드 해협에서의 크릴 분포는 남셰틀란드군도와는 다르게 크릴군의 규모는 매우 작지만 밀도 분포는 50 g/m^2 정도로 집중적인 분포 특성을 나타내고 있다. 해협 중앙부를 통과하여 맥스웰 만 입구까지 이동한 Leg3_transit4 정선에서의 평균 밀도는 16.2 g/m^2 로 나타나 남셰틀란드군도의 북쪽 해역에 비해 낮은

분포 특성을 나타내고 있다(Table II 1-7).

세종 기지로 들어가기 위해 통과하는 맥스웰 만의 크릴 분포는 기지 주변에 형성된 펭귄 군서지에 생태계에 큰 영향을 줄 수 있으므로 하나의 정선이지만 12월 28일 밤의 음향 자료를 분리하였다(Leg3_Maxwell). 10 mile에서 계산된 크릴의 평균 밀도는 3.6 g/m^2 으로 매우 낮은 수준으로 나타났다. 이러한 낮은 수준의 크릴 밀도는 펭귄 먹이 사슬에 큰 영향을 줄 수 있는데, 이 시기에 알을 부화한 크릴의 먹이량이 많이 필요한 것을 감안하면 펭귄 성장의 큰 장애 요소로 작용할 가능성이 있다.

(4) Leg 4

Leg 3의 마지막으로 조사한 맥스웰 만 내에서의 크릴 조사가 하나의 정선으로 구성되어 있어 좁은 공간내의 자료로 대표성을 주기가 어렵고, 크릴 밀도가 너무 낮은 수준을 나타내어 새롭게 격자를 구성하여 음향 조사를 실시하였다. 24 시간이 지난 29일 밤의 같은 시간대에 조사한 결과 평균 밀도는 약 21 g/m^2 으로 전날보다는 높게 나타나 브랜스필드 해협을 조사한 Leg3_transit4와 유사한 분포를 보이고 있었다. 외양에 비해 작은 규모의 만으로 형성되어 있어 해협의 북쪽 사면을 따라 주로 이동하는 크릴의 이동에 따라 시변동성이 크게 날 수 있음을 나타내고 있다. 만 내에 분포하는 크릴군의 대부분은 100 m 상층부에서 연속적인 띠 모양이 아닌 작은 띠 모양의 구조를 보여주고 있는데(Fig. II 1-33), 이러한 분포 특성은 브랜스필드 해협에서 자주 발견되는 크릴 분포 형태와 유사하다.

칠레로 돌아오기 위해 선정한 항로가 남쉐틀란드군도의 북서쪽이므로 Leg1에서 언급한 극전선과 SACCF 지역에서의 크릴 분포를 알아보기 위하여 음향 자료를 매 5 mile 간격으로 계산하였다. 연안에서 북서쪽으로 이동한 정선(Leg4_transit1)에서 크릴군은 연안과 수심 2,000 미만의 대륙 사면부에서 주로 발견되었는데 이 지역은 모두 SACCF 지역 남쪽이었다. 이 지역의 평균 밀도는 최대 33.7 g/m^2 로 나타났다. 그러나 이후 북서쪽 해역에서는 10 g/m^2 미만의 낮은 분포를 보여주고 있어 벨링스하우젠해역에서 남쉐틀란드군도 해역으로 이동하는 크릴의 이동 한계는 SACCF 지역 남쪽임을 알 수 있다(Leg4_transit2).

Table II 1-7. Estimated krill density at all transect and mesoscale area.

	Survey area	\overline{S}_A	$\overline{\rho}(\text{g/m}^2)$	mile or mile ²
Leg 1	norther part of PF ¹ , Log1_N_PF	0.0	0.00	255 mile
	southern part of PF ¹ , Log1_S_PF	142.9	21.10	238 mile
	transit to the SF ² , Leg1_EW	3.7	0.54	251 mile
	cross-transect of the SF ² , Leg1_NS_SF	11.9	1.76	230 mile
	between KGI ³ and EI ⁴ , Leg1_KM1	68.1	10.26	82 mile
	between KGI ³ and EI ⁴ , Leg1_KM2	54.5	8.20	80 mile
	central Bransfield Strait	68.6	10.41	100 mile
Leg 2	southeast of the EI ⁴ , Leg2_transit1	144.1	21.86	90 mile
	mesoscale area between EI ⁴ and SOI ⁵ , Leg2_Box	144.48*	21.34	9900 mile ²
Leg 3	around the EI ⁴ , Leg3_transit1	113.7	16.79	294 mile
	mesoscale area on the northern part of the SSI ⁶ , Leg3_Box	154.98*	22.89	6300 mile ²
	transit to northwest part of the EI ⁴ , Leg3_transit2	440.9	65.12	144 mile
	transit to the BS ⁷ , Leg3_transit3	192.9	29.05	119 mile
	transit to the entrance of MB ⁸ , Leg3_transit4	107.1	16.24	76 mile
	transit to the MC ⁹ , Leg3_Maxwell	23.7	3.60	10 mile
Leg 4	Grid survey in the MB ⁸ , Leg4_Maxwell	136.4	20.69	22 mile
	transit to the northwest of the SSI ⁶ , Leg4_transit1	35.4	5.23	193 mile
	transit to the north of DP ¹⁰ , Leg4_transit2	0.8	0.12	64 mile

Index : 1. Polar Front, 2. Shackleton Fracture, 3. King George Island, 4. Elephant Island,
5. South Orkney Island, 6. South Shetland Islands, 7. Bransfield Strait,
8. Maxwell Bay, 9. Marian Cove, 10. Drake Passage.

* : weighted mean S_A

Table II 1-8. Estimated krill biomass in mesoscale study area during Leg 2 and Leg 3.

	Leg2_Box	Leg3_Box
Study area	between Elephant Island and South Orkney Island	northern parts of the South Shetland Islands
Transect length (n mile)	506	296
Total S_A	912.5	473
Weighted mean S_A	144.48	154.98
Conversion factor	0.1477	0.1477
$\bar{\rho}$ (g/m ²)	21.34	22.98
Survey area (n mile ²)	9,900	6,300
Variance of mean biomass density	44.96	5.67
CV	31.42 %	10.40 %
Biomass ($\times 10^3$ ton)	724.6	494.6

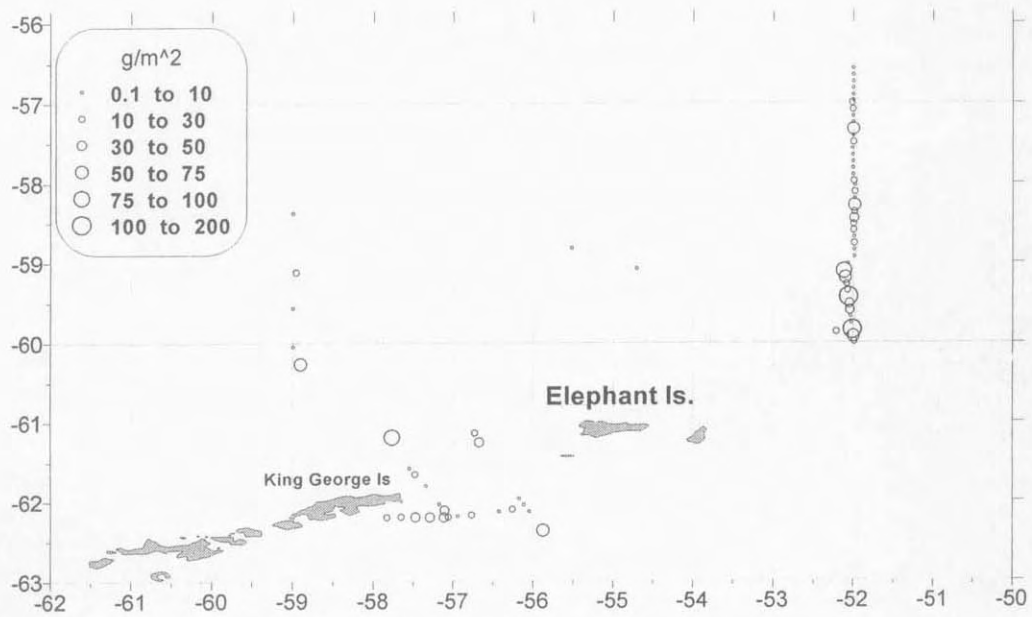


Fig. II 1-28. Horizontal distribution of mean krill density during Leg 1. The density indicates averaged value by 5 nautical mile. Max density is 166.1 g/m^2 around 59.4°S . The contour line shows 1000 m depth.

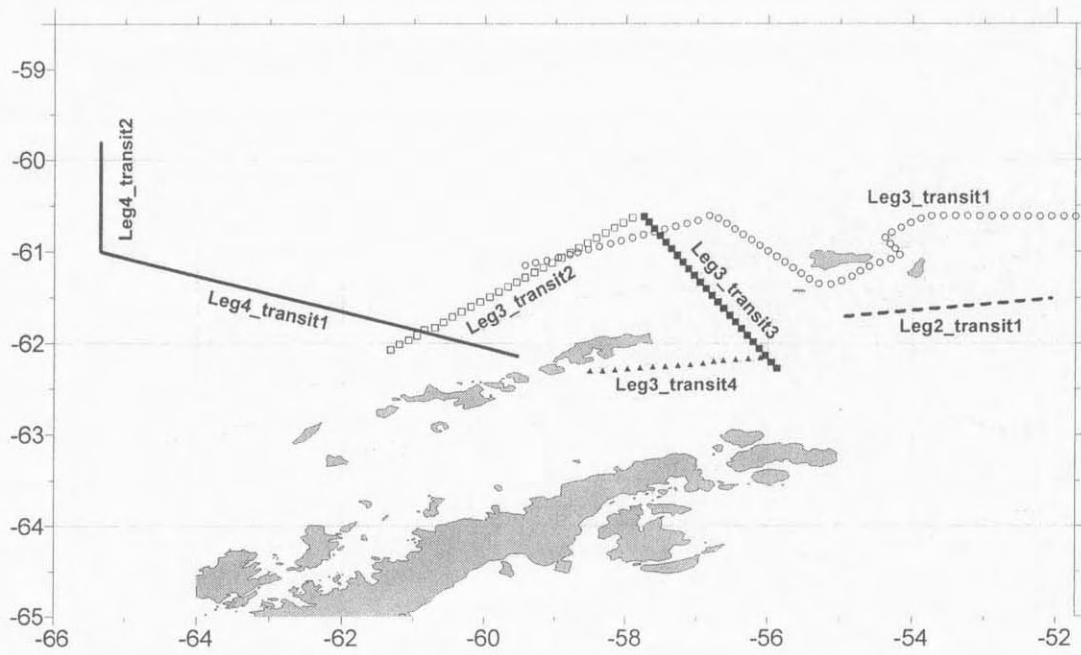


Fig. II 1-29. Transect line during Leg 2, 3, and 4.

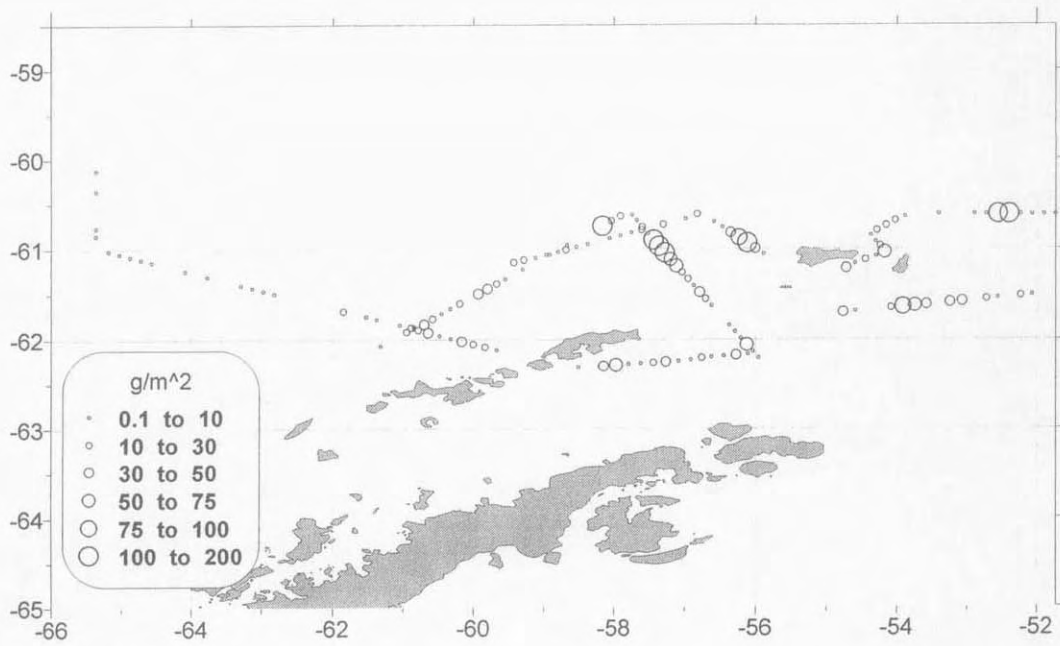


Fig. II 1-30. Horizontal distribution of mean krill density during Leg 2, 3, and 4. The density indicates averaged value by 5 nautical mile. The contour line shows 1000 m depth.

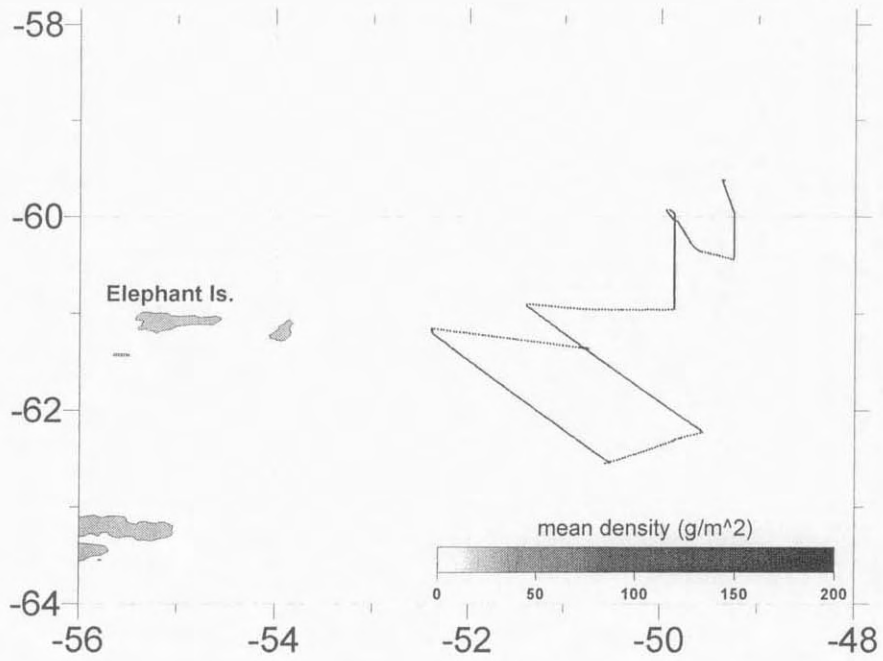


Fig. II 1-31. Horizontal distribution of mean krill density in mesoscale area between Elephant Island and South Orkney Island during Leg 2. The density indicates averaged value by 1 nautical mile.

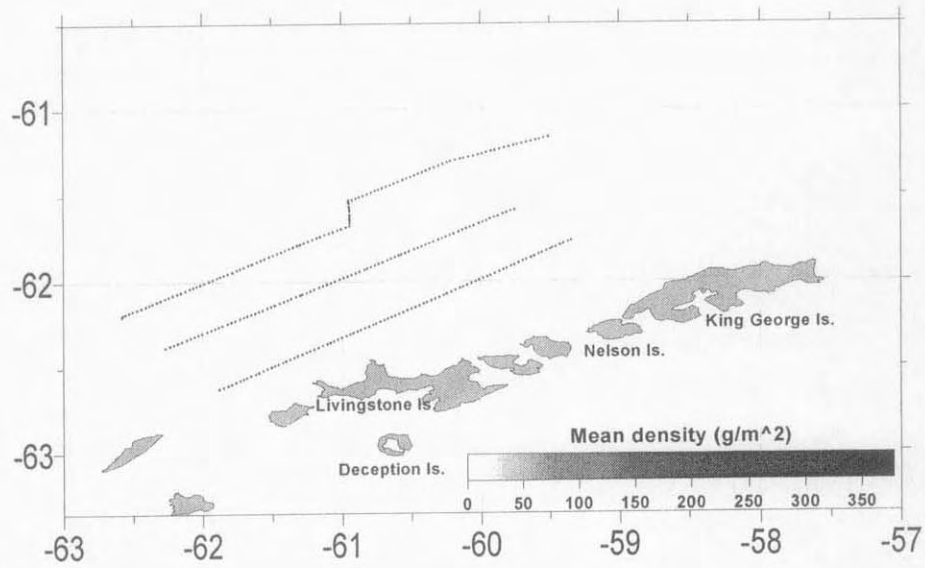


Fig. II 1-32. Horizontal distribution of mean krill density in mesoscale area around the northern part of the South Shetland Islands during Leg 3. The density indicates averaged value by 1 nautical mile.

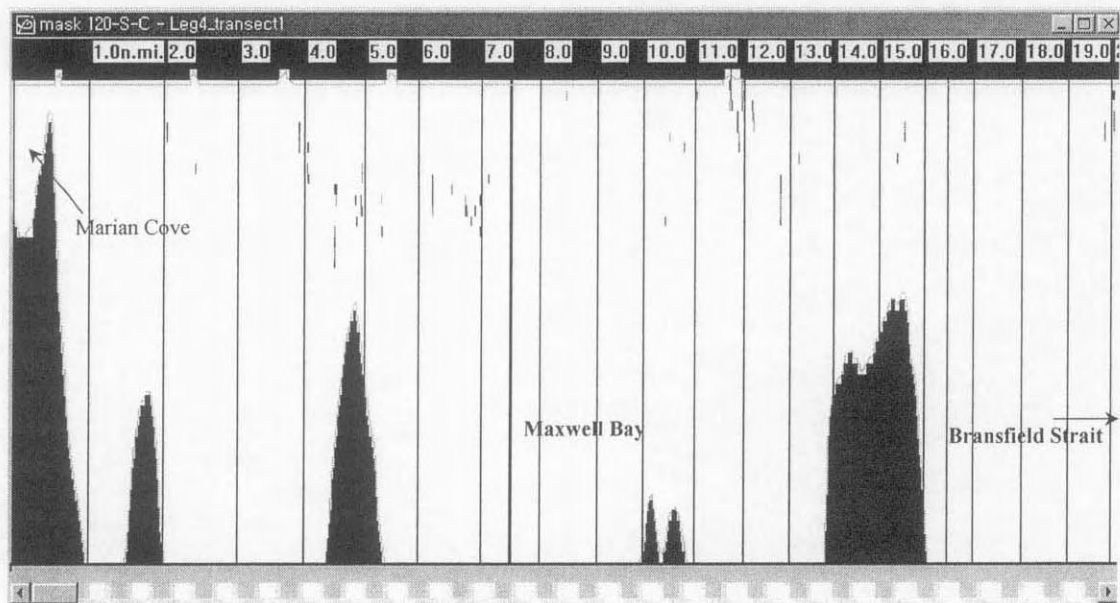


Fig. II 1-33. Krill echogram in the Maxwell Bay for 120 kHz. Most krill patch appeared upper 100 m depth.

2) 크릴 밀도의 시변동성

조사 기간 동안 관측한 음향 정선 가운데 동일한 두 지역을 시기를 달리하여 두 번 이상 조사한 해역에 대해 크릴 밀도의 시변동성을 알아보았다. 이러한 시변동성은 시기적으로 12월에 들어서면서 남쉐틀란드군도 주변 해역으로 본격적으로 이동하는 시기이므로 일정한 지역에 대해 크릴 밀도를 비교함으로써 크릴군의 이동 속도 및 밀도 변화를 파악할 수 있다. 이를 위해 다음의 세 지점에서 각각 2회씩 관측한 선정하였다.

(1) 엘레펀트섬 남동쪽 지역

Leg 2 기간 동안 엘레펀트섬 남동쪽과 남오크니섬 가운데서 북서-남동 방향으로 두 번에 걸쳐 음향 조사를 실시하였다.

첫 번째 조사 : 2001년 12월 17일 02:30 - 23:21

두 번째 조사 : 2001년 12월 21일 01:30 - 22일 01:00

첫 번째 조사에서 높은 밀도의 크릴떼는 남위 61°부근에서 1 mile의 최대 밀도가 약 650 g/m²로 매우 강한 크릴군이 발견되었으며, 전체 정선에 걸쳐 약 25.24 g/m²의 비교적 높은 밀도 분포를 나타내고 있다. 그러나 다시 똑같은 정선을 4일 후에 조사하였을 때는 약 6배 감소한 3.84 g/m²의 평균 밀도를 나타내고 있었다(Fig. II 1-34).

(2) 킹조지섬과 엘레펀트섬 사이 정선

Leg 1과 Leg 3 기간 동안 킹조지섬과 엘레펀트섬 사이에서 두 번에 걸친 음향 조사는 Leg 1의 경우 12월 7일에, Leg 3의 12월 27일에 실시하였다(Fig. II 1-35). 12월 7일에 관측한 음향 정선 내의 평균 밀도는 8.2 g/m²으로 매우 낮은 수준을 나타내고 있으나, 20일이 지난 29.1 g/m²으로 증가하였다. 12월초에 관측한 자료에서는 정선 북쪽의 사면 지대에서 전혀 크릴군이 발견되지 않았으나 12월 말 경에 관측한 자료에서는 최대 밀도가 약 450 g/m²으로 높은 밀도가 연속적으로 나타나는 것으로 보아 2001/2002의 경우 12월 20일경부터 남쉐틀란드군도 남서쪽에서 크릴군이 이 지역으로 이동한 것으로 보인다.

(3) 남쉐틀란드군도 북쪽 해역

Leg 3 기간 동안 12월 24일과 12월 26일에 걸쳐 수심 2,000 m 되는 등심선을 따라 남서-북동 방향으로 음향 조사를 실시하였다. 24일에 실시한 조사는 일정 구역을 조사한 중규모 지역의 자료이고(Leg3_Box), 26일에 실시한 관측은 엘레펀트섬 북서 해역으로 이동하기 위한 정선이었다(Leg3_transit3). 각 지역의 평균 밀도는 22.89 g/m^2 , 29.05 g/m^2 으로 약 6 g/m^2 의 차이가 나고 있지만 위의 두 지역에 비해 밀도 차이가 크게 나타나지 않은 특징이 있다. 즉 12월 하순에 접어들면서 남쉐틀란드군도 북부 해역으로 본격적인 크릴군이 도달하였음을 의미한다.

위의 세 지역에서 시기별로 다른 조건에서 평균 밀도 및 최대 밀도 분포를 고려할 때 12월 17일경에 엘레펀트섬 동쪽에 나타난 높은 밀도의 크릴군은 남쉐틀란드군도로 이동한 크릴군이 엘레펀트섬 북쪽 및 북동쪽을 경유하여 도달한 크릴군이 아니란 것을 나타내고 있다. 이러한 분석은 12월 7일경에 남쉐틀란드군도 북쪽에서 조사한 자료에서는 매우 낮은 평균 밀도를 보여 본격적인 크릴군이 이동하기에는 이른 시간이었음을 나타내고 있다. 본격적인 크릴군의 출현은 12월 24일경에 조사한 자료에서 나타났으므로 이 크릴군이 엘레펀트섬 동쪽 해역까지의 이동 시기는 적어도 12월 24일 이후가 되어야 함을 나타내고 있다. 따라서 엘레펀트섬 남동쪽에 12월 중순에 출현한 크릴과 12월 초순에 실시한 Leg1 기간 동안 남위 $59 \sim 60^\circ$ 사이의 크릴의 공급원은 남쉐틀란드군도가 아닌 것으로 보인다. 따라서 이 시기에 공급된 크릴은 웨델해 혹은 브랜스필드 해협으로 판단된다.

Leg 2 시기인 12월 13일에 관측한 브랜스필드 해협 북동쪽 자료(엘레펀트섬 남동쪽 해역, Leg2_transit1)에서 평균 밀도는 21.86 g/m^2 으로 남쉐틀란드군도 북쪽 해역보다 높은 밀도를 나타내고 있으며, 이러한 밀도 분포는 엘레펀트섬과 남 오크니 섬 서쪽 해역의 첫 번째 조사(2001년 12월 17일 02:30 - 23:21)의 평균 밀도인 25.24 g/m^2 으로 비슷한 분포를 보여주고 있다. 이러한 시기별 밀도 분포로 보아 엘레펀트섬 남동쪽에 12월 중순에 출현한 크릴과 12월 초순에 실시한 Leg1 기간 동안 남위 $59 \sim 60^\circ$ 사이의 크릴의 공급원은 남쉐틀란드군도가 아닌 브랜스필드 해협일 가능성이 가장 큰 것으로 보인다.

한편, 남쉐틀란드군도 북쪽 해역의 경우 본격적인 크릴군은 12월 20일경을

전후해서 도달한 것으로 판단되며 이렇게 도달한 크릴군의 밀도 차이는 본 조사가 끝난 Leg 4의 12월 말경까지 지속된 것으로 보인다.

남쉐틀란드군도 북쪽 해역에서 1999/2000에 실시한 4개국(한국, 미국, 일본, 페루)의 공동 조사 가운데 12월에 실시한 일본 조사의 경우, 1999년 12월 14일 ~ 18일 이었으며 이 시기의 평균 밀도는 50.45 g/m^2 으로 나타났다(Hewitt *et al.* 2002). 한편, 2000/2001년 실시한 본 연구팀의 자료에 의하면 2000년 12월 21일의 경우 평균 밀도는 22.83 g/m^2 의 분포를, 2000년 12월 31일에는 평균 밀도가 22.2 g/m^2 로 크릴군의 밀도가 일정하게 유지되는 것으로 나타났다.

이러한 기존의 결과와 올해의 결과를 비교할 때, 1999/2000 시기에 비해 2001/2002 시기에는 남쉐틀란드군도 북쪽에 본격적인 크릴이 도달하는 시기가 약간 늦어졌으며 평균 밀도 또한 낮은 수준이었음을 나타내고 있다. 그러나 2000/2001 시기와는 평균 밀도에서 비슷한 분포를 보여 강도 측면에서는 큰 차이를 보여주지 못하고 있다.

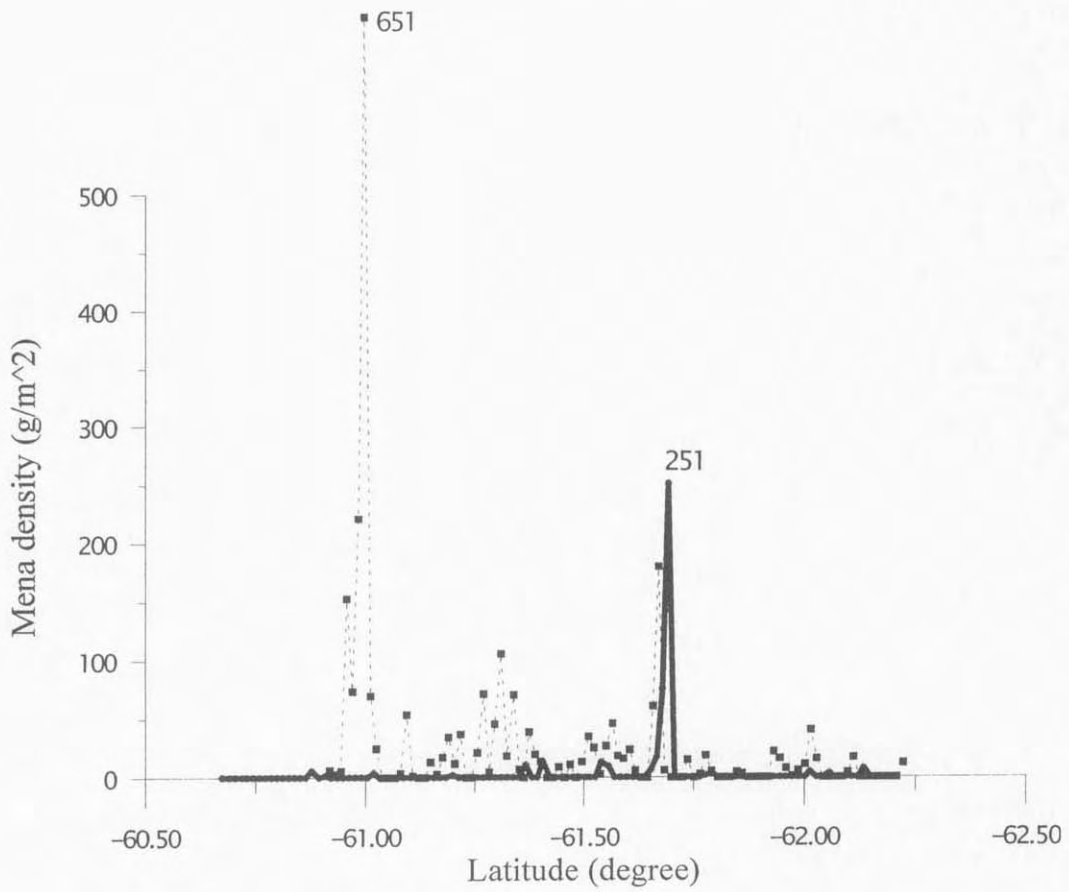


Fig. II 1-34. Variation of krill density between Elephant Island and South Orkney Island. Dotted lines stand for mean density ($\bar{\rho}$) per 1 mile during 17, December, and solid lines for 21, December. The $\bar{\rho}$ of dotted lines is about 25.24 g/m² and of solid lines is about 3.84 g/m².

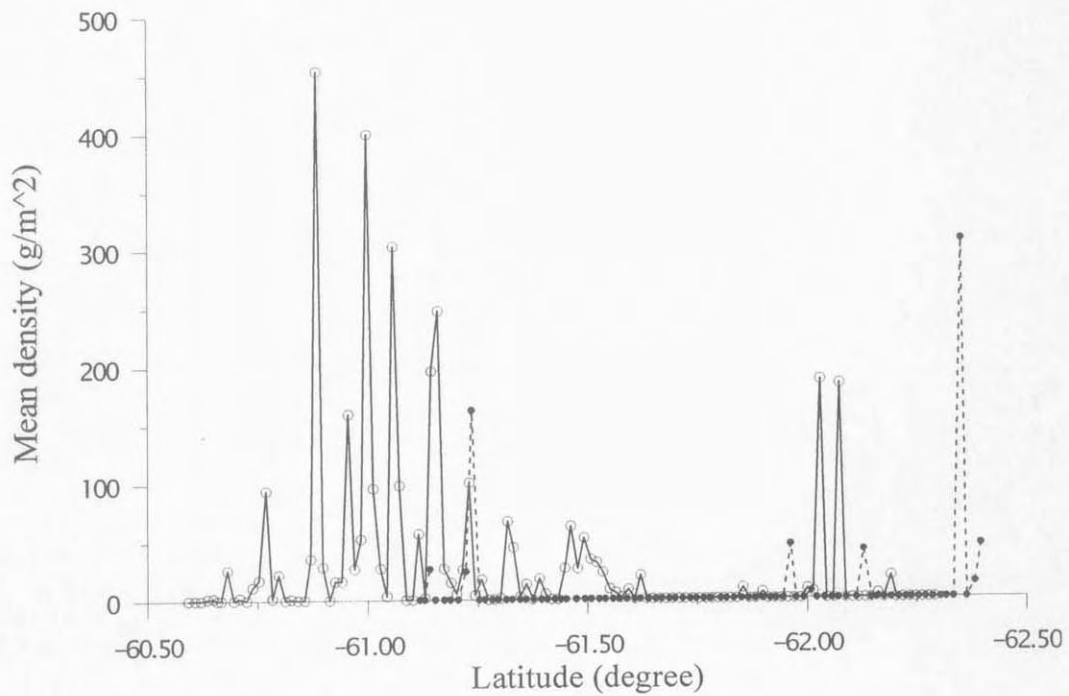


Fig. II 1-35. Variation of krill density between Elephant Island and King George Island. Dotted lines stand for mean density ($\bar{\rho}$) per 1 mile during 7, December, and solid lines for 27, December. The $\bar{\rho}$ of dotted lines is about 8.20 g/m^2 and of solid lines is about 29.05 g/m^2 .

Distribution of Antarctic krill and oceanography in the vicinity of South Shetland Islands and the southwestern Scotia Sea during 2001/2002 austral summer

Abstract : A hydroacoustic survey using EK500 scientific echo sounder was conducted on Antarctic krill from 30 November 2001 to 1 January 2002, around the South Shetland Islands, and the Scotia Sea including the area between Elephant Island and South Orkney Islands. Krill density and distribution were determined by virtual echogram method which is based on the difference of mean volume back scattering strength of the two frequencies (38 and 120 kHz). From mean biomass density data using 120 kHz frequency, $\bar{\rho}$ in this season in the South Shetland Islands was about 22.98 g/m², and in mesoscale area between Elephant Island and South Orkney is about 21.34 g/m². Estimated krill biomass in the northern part of the South Shetland Islands is 494×10^3 Mt (area : 6,300 mile², CV : 10.4%), and in mesoscale area between Elephant Island and South Orkney was about 724×10^3 Mt (area : 9,900 mile², CV : 31.4%). Higher krill aggregations were largely found on the continental slope at northern central part of the South Shetland Islands during late in December. In mesoscale area between Elephant island and South Orkney island, higher krill patches appeared during in mid-December. Krill patches were not found at the northern part of the South Shetland Islands in the beginning of December. But, krill patches appeared at late in December. Krill patches in mesoscale area between Elephant island and South Orkney island maybe migrate from Bransfield Strait. Water masses from T/S diagram were classified 5 categories - northern part of Polar Front, Polar Front. Antarctic Circumpolar water, Weddell Sea, Bransfield Strait water. Polar front formed around 56.2°S with strong gradient of temperature and salinity. The physical properties at western transect in hydrographic station between King George island and Elephant island depends on the water of the

Bransfield Strait. On the other hand, Weddell Sea water flow into the upper water column at the eastern transect.

5. 참고문헌

- 강돈혁, 김수암. 1998. ADCP를 이용한 남극 크릴 분포에 관한 연구. *J. Korean Soc. Fish. Res.*, 1 (1), pp. 67-80.
- 강돈혁, 황두진, 김수암, 1999. 남극 남셰틀란드군도 북부 해역의 크릴 분포 및 자원량. *J. Korean Fish. Soc. Res.*, 32 (6), pp. 737-747.
- 해양수산부. 1999. 남극해 유용 생물 자원 개발 연구(부제: 남극 반도해역 유용 생물의 분포 및 자원량 추정 연구). BSPM98010-00-1143-7.
- 해양수산부. 2000. 남극해 유용 생물 자원 개발 연구. BSPM99028-00-1257-7.
- Brierley, A. S., D. A. Demer, J. L. Watkins and R. P. Hewitt. 1999. Concordance of interannual fluctuations in acoustically estimated densities of Antarctic krill around South Georgia and Elephant Island: biological evidence of same-year teleconnections across the Scotia Sea. *Marine Biology*, 134, pp, 675-681.
- Greene, C. H., T. K. Stanton, P. H. Wiebe and S. McClatchie. 1991. Acoustic estimates of Antarctic krill. *Nature* 349, pp, 110.
- Hewitt, R. P. and D. A. Demer. 1993. Dispersion and abundance of Antarctic krill in the vicinity of Elephant Island in the 1992 austral summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* vol. 99, pp. 29-39.
- Hewitt, R. P. S. Kim, M. Naganobu, M. Gutierrez, D. Kang, Y. Takao, J. Quinones, Y.-H. Lee, H.-C. Shin, S. Kawaguchi, J. H. Emery, D. A. Demer, and V. J. Loeb. 2002. Variation in the biomass density and dispersion of Antarctic krill in the vicinity of the South Shetland Islands throughout the 1999/2000 austral summer. submitted Deep Sea Research.
- Huntley, M. E., and P. P. Niiler. 1995. Physical control population dynamics in the Southern Ocean. *ICES Journal of Marine Sciences* 52, pp. 457-468.
- Ichii, T., K. Katayama, N. Obitsu, H. Ishii, M. Naganobu. 1998. Occurrence of Antarctic krill (*Euphausia superba*) concentrations in the vicinity of the South Shetland Islands: relationship to environmental parameters. *Deep-Sea Research* I 45, pp, 1235-1262.

- Jolly, G. M. and I. Hampton. 1990. A stratified random transect design for acoustic surveys of fish stocks. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47, pp, 1282 - 1291.
- Kils, U. 1979a. Preliminary data on volume, density and cross-section area of Antarctic krill. *Euphausia superba*. *Meerforschung* 27 : 207 - 209.
- Kils, U. 1979b. Swimming speed and escape capacity of Antarctic krill. *Euphausia superba*. *Meerforschung* 27 : 264 - 266.
- MacLennan, D. N. and E. J. Simmonds. 1992. *Fisheries acoustics*. Chapman & Hall, London. 325p.
- Miyashita, K., Aoki, I., Seno, K., Taki, K. and Ogishima, T. 1996. Acoustic identification of isada krill, *Euphausia pacifica* Hansen, off the Sanriku coast, north-eastern Japan. *Fish. Oceanogr.* 6, pp 266-271.
- Murphy, E. J., D. J. Morris, J. L. Watkins and J. Priddle. 1988. Scale of interaction between Antarctic krill and the environment. In: *Antarctic Ocean and Resources variability*, Sahrhage, D., editor, Springer-Verlag, Berlin, pp. 120-130.
- Socha, D. G., J. L. Watkins, and A. S. Brierley. 1996. A visualization-based post-processing system for analysis of acoustic data. *ICES Journal of Marine Science*, 53. pp. 35-338.
- Watkins, J. L., and A. S. Brierley. 2000. Verification of acoustic techniques used to identify Antarctic krill. Submitted *ICES Journal of Marine Science*.
- WG-EMM-00/21. 2000. Report of the B₀ workshop.

제 2 절 2001/2002 남셴틀랜드군도 부근 해역 크릴 분포의 특징과 포식자에 미치는 영향

요약 : 이른 여름의 환경 요인뿐만 아니라 크릴 월동장으로부터의 공급이 크릴의 출현량과 분포를 결정하는데 큰 역할을 하며, 더 나아가 크릴을 먹고사는 펭귄과 같은 포식자의 번식성공률에도 영향을 미친다. 서경 49도에서 52도 사이의 해역을 북쪽에서 남쪽으로 잘라서 볼 때 남위 59도에서 크릴 자원량이 최대값을 보인 반면에 남위 62도를 넘으면 그 양이 많이 감소하였다. 이는 남극순환 해류의 남방 한계가 크릴의 주요 분포대라는 것을 확인시켜준다. 한편, 남셴틀랜드군도 남쪽에서는 조사 시기 전반부(12월 초)에 크릴이 적었으며 큰 떼를 형성하는 경우도 적었다. 예년에 크릴이 높은 밀도로 발견되는 경우가 많았던 킹조지섬과 엘리펀트섬 사이의 해역은 적어도 이번 조사 시기에는 크릴이 적었다. 그러나 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이에서는 크릴이 상당히 많았으며 큰 떼도 종종 형성되었다. 조사 시기 후반부(12월 하순)에 남셴틀랜드군도 북쪽에서는 크릴 자원량이 예년 수준이었으며 특히 리빙스턴 섬 북쪽에 크릴이 많았다. 표층 엽록소 양은 예년 수준이었으며 전체 엽록소 양이나 20 μm 이상 엽록소 양의 많고 적음이 크릴 분포를 결정하지는 않았다. 조사 시기 전반부에 브랜스필드해협 크릴의 양이 적은 것은 크릴을 먹고사는 포식자들의 번식성공률에 영향을 미쳤을 수 있는데 젠투펭귄은 작년보다 번식성공률이 떨어졌고 이는 다른 해역에서 일반적으로 보고된 번식성공률보다 낮은 값이었다. 반면 친스트랩 펭귄의 번식성공률은 작년보다 약간 떨어졌을 뿐이며 다른 군서지나 다른 해에 보고된 것과 비슷한 수준이었다. 이는 더 남쪽에서 올라오는 크릴 개체군의 공급이 브랜스필드해협에 약간 늦게 이루어지거나 공급 자체가 빈약했을 가능성을 시사한다. 또 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이에서는 크릴이 예년 수준인 것으로 볼 때 크릴의 공급이 웨델해에서 상당량 이루어졌을 가능성이 있다. 남극 환류의 영향을 강하게 직접 받는 곳이 아닌 경우 웨델해가 크릴 공급에 상당히 중요한 역할을 한다는 가능성은 추후 연구가 필요하다.

1. 서론

남극 크릴은 잘 알려져 있듯 남극 해양 생태계 먹이그물에서 일차 생산자와 상위 포식자를 연결하는 중요한 고리이고 남서대서양측 남극해는 크릴이 많이 발견되는 곳이다. 남극 크릴은 시계 방향으로 남극 주변을 따라 도는 남극 환류와 함께 움직이는 환남극 분포를 하고 있다. 남쉐틀랜드군도 부근 해역과 남오크니섬 해역은 크릴이 비교적 고밀도로 발견되며 크릴 어업이 실제로 일어나는 곳이다. 우리 나라 남극 연구 프로그램은 남극 유용 생물자원 개발 과제의 일환으로 남쉐틀랜드군도 인근 해역에서 수산 음향을 이용한 크릴 자원 조사와 해양학 조사를 매년 수행해오고 있다. 남극 크릴의 분포와 자원량은 매년 연변동을 보이며 이는 거시적인 환경 변화와 맞물려 있는 것으로 생각된다(Loeb et al. 1997). 또 우리의 조사 해역에서 크릴이 고밀도로 발견될 가능성이 높기 존재하는 곳이 있다는 것을 알게 되었다. 이는 먹이 생물의 분포 뿐 아니라 먹이 생물의 분포와 크릴의 분포를 규제하는 해양 물리학적 특성의 영향을 받는다. 올해는 온전히 크릴 조사만을 위해 투자되는 시간은 대폭 줄었지만 다른 해양 조사와 지질/지구 물리 조사와 병행해 넓은 지역을 조사하였고 일부 환경 요인 자료를 수집하였다. 킹조지섬과 엘리펀트섬 사이에 Circumpolar Deep Water와 Weddell해 기원의 해수가 섞이는 곳에 작은 모니터 상자를 정하여 정규 크릴 조사를 실시하였다. 이 외에 다른 승선 기회를 이용하여 남쉐틀랜드 군도 북쪽 해역과 브랜스필드 해협, 엘리펀트섬 인근 해역, 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 해역에서 크릴 분포와 자원량을 조사할 수 있었다. 또 크릴에 의존하는 펭귄들에 대한 모니터 활동이 작년부터 기지 부근 군서지에서 시작되어 먹이로 이용될 수 있는 크릴의 양과 분포를 포식자들의 번식성공률과 비교할 수 있게 되었다.

2. 재료와 방법

크릴 조사를 일관된 계획에 의해서 가장 바람직한 시간, 공간 순서대로 실시할 수 없었고 조사선이 항해하는 기회와 지역을 최대한 활용할 수밖에 없었다. 앞의 2장 1절에서 언급하였듯 편의상 4개의 항차로 나눌 수 있다(Fig II 1-4). 1항

차에는 서경 52도를 따라 남위 52도에서 60도까지 내려오는 긴 남북 방향 정선을 조사하고 다시 서경 59도, 남위 58도로 이동하여 남하를 시작하였다. 다음에 킹조지섬 동쪽에 설정한 크릴 모니터를 위한 사각형 구역을 조사하고 세종 기지로 돌아 오기 전 브랜스필드해협을 통과하였다. 2항차에는 엘리펀트섬 남쪽을 지나 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 해역을 조사하였다. 이 해역은 1항차의 남북 방향 정선의 끝과 연결된다. 3항차에는 주로 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역에서 조사가 이루어졌다. 다시 세종 기지로 돌아오는 길에 킹조지섬과 엘리펀트 사이에 정한 크릴 모니터 구역을 일부 지나가고 다시 한번 브랜스필드해협을 통과하였다. 4항차에는 기지를 출발, 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역을 거쳐 폰타아레나스로 귀환하였다. 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 해역이 1항차와 2항차 때 조사되었고 브랜스필드해협을 1항차 후반부와 3항차 후반부 2번에 걸쳐 통과하였다. 또 킹조지섬과 엘리펀트 사이 일부 구역을 1항차 후반부와 3항차 후반부, 2차례에 걸쳐 조사할 수 있었다. 수산 음향은 조사선에 장착된 EK500 과학 어군 탐지기를 이용하였으며 자세한 분석 방법은 앞의 1절에서 이미 설명되었다.

크릴이 여름철에 주 먹이로 이용하는 식물 플랑크톤의 생체량을 해수 중의 엽록소 농도로 측정하였다. 해수 250 ml를 GF/F 여과지에 거르고 엽록소를 아세톤으로 추출하여 Turner fluorometer를 이용하여 측정하였다. 정규 조사가 이루어진 모니터 상자 밖의 다른 해역에서 다른 연구 프로그램이 주관하는 승선 기회를 이용할 때에는 2시간 간격으로 표층수를 채수하여 엽록소 농도를 측정하였다. 엽록소 농도를 측정할 때에는 거르지 않고 해수 중의 전체 엽록소 농도를 측정하고 또 20 μm 체로 거른 해수를 이용하여 한번 더 측정함으로써 20 μm 이상 크기의 micro 식물 플랑크톤에 의한 엽록소 양과 20 μm 보다 작은 nano 식물 플랑크톤에 의한 엽록소 양을 구분하였다.

크릴을 주로 먹고사는 크릴 포식자들, 펭귄의 번식성공률을 세종 기지 주변 군서지에서 조사하였다. 번식기 초기에 관찰 대상 등지를 젠투와 친스트랩 2종류의 펭귄에 대하여 선정하고 규칙적으로 관찰하였다. 번식성공률은 부화가 이루어지고 나서 새끼들이 자라 creche 단계까지 무사히 이른 새끼의 수를 부모 한 쌍당 마리수로 나타내었다. 젠투펭귄은 세기가 쉽기 때문에 creche 단계의 후반부에 새끼들의 수를 모두 세어 전체 등지수로 나눈 또 하나의 번식성공률 자료를 제시하였다. 또 새끼들이 다 자라 털갈이를 하고 바다로 나갈 준비를 하는 fledgling 단계

에 이르렀을 때 무게를 측정하였다.

3. 결과

가. 크릴 분포와 자원량

● 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이 해역

서경 52도를 따라 내려오는 남북 방향 정선에서 크릴이 제대로 발견되기 시작한 것은 남위 59도에 이르면서부터였으며 큰 떼가 종종 나타났다(12월 4일). 극전선 이남의 크릴 밀도만 21.10 g m^{-2} 에 달하였다. 2항차 때 다시 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 해역으로 갔을 때(12월 15일 - 12월 20일) 상당량의 크릴이 있었다(22.89 g m^{-2}). 서경 49도와 52.5도 사이의 해역을 조사하였을 때 남위 60도와 62도 사이에 크릴이 많이 분포하였고 큰 떼가 자주 관찰되었다. 남위 62도를 넘어 서면 크릴이 적게 나타났다. 결국 남위 서경 49도와 52도 사이의 해역을 북쪽에서 남쪽으로 내려올 때 크릴이 많은 양으로 나타나는 것은 남위 59도 정도부터이며 남위 62도를 넘으면 그 양이 감소하는 경향을 보였다. 이는 남극 환류의 위치와 대체로 일치한다.

● 킹조지섬과 엘리펀트섬 사이 해역

새클턴 파쇄대를 향해 이동할 때나 새클턴 파쇄대에 가로지르도록 설정한 정점을 지나 거의 킹조지섬에 이를 때까지 크릴의 분포 범위에 들어와도 크릴 떼는 거의 관찰되지 않았다. 킹조지섬과 엘리펀트섬 사이의 해역은 다양한 종류의 수괴가 섞이는 지역이며 세종 기지와 가깝고 매년 우리 남극 프로그램이 현장 조사를 수행하면서 지나가는 곳이기 때문에 조사 일정을 조정하기 좋은 곳이라 크릴 모니터 구역로 선정하였다. 킹조지섬과 엘리펀트섬 사이에 2개의 정선으로 이루어진 본격적인 크릴 모니터 구역을 조사할 때 크릴의 양은 $8-10 \text{ g m}^{-2}$ 로 예년에 비해 매우 낮았다(12월 7일-8일). 적어도 조사가 이루어질 당시에는 크릴의 양이 예년에 비하여 적었고 띠 모양의 크릴 떼도 거의 나타나지 않았다. 이 때 조사한 크릴 모니터 상자 지역과 가까운 정선을 12월 27일 기지로 돌아오면서 조사하였을 때에는

29.05 g m⁻² 였다. 두 번째 조사와 첫 번째 조사 때의 정선이 일치하지는 않고 두 번째 조사 때의 정선이 더 북쪽으로 뻗어 있는데 사실 두 번째 조사 때 크릴 양이 많아진 것에는 이 북쪽 연장분에서 크릴이 많이 발견된 것이 크게 기여한다. 그럼에도 불구하고 첫 번째 조사때보다 크릴 양이 많아진 것은 사실이다(Fig II 1-19).

● 브랜스필드해협

1항차때 크릴 모니터 구역 조사가 끝나고 세종 기지로 돌아가는 길에 브랜스필드해협을 통과 할 때(12월 10일) 크릴 떼가 매우 적게 나타났고 그 양 또한 적어 10 g m⁻² 수준이었다. 그후 3항차를 마치고 두 번째 브랜스필드해협을 통과할 때도 크릴 떼가 역시 적게 나타났고 크릴의 밀도는 16 g m⁻² 정도에 그쳤다. 지난해의 비슷한 시기에 브랜스필드해협에서 크릴 밀도가 40 g m⁻² 정도였다.

● 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역

남쉐틀랜드군도 북쪽 해역에서는 조사 기간의 후반기인 (12월 23일 - 12월 26일)에 상당량의 크릴이 22.89 g m⁻² 분포하고 있었다.

나. 엽록소 분포

표층 엽록소의 분포와 양은 예년과 크게 다르지 않았다 (Fig II 2-1). 전체 엽록소 양이든 20 μm 이상 micro 식물 플랑크톤에 의한 양이든 특별히 표층 엽록소의 양의 많고 적음이 크릴의 많고 적음과 연결되지 않았다.

다. 펭귄의 번식성공률

펭귄은 암수 한 쌍이 둥지를 이루고 2개의 알을 낳아 부화시키고 암수가 교대로 먹이를 나르며 새끼를 기른다. 가장 성공적인 경우 2마리의 새끼를 독립해서 바다로 나갈 때까지 키울 수 있다. 젠투와 친스트랩 펭귄 모두 크릴을 주 먹이로 하기 때문에 펭귄의 번식성공률은 먹이로 이용 가능한 크릴 양의 지표가 된다. 둥지 당 크레쉬 단계까지 무사히 기른 새끼 수로 나타낸 2종류 펭귄의 번식성공률은 모두 2001/2002년 번식기가 2000/2001년보다 낮았다(Table II 2-1). 젠투 펭귄은 세

기가 쉽기 때문에 모니터 둥지를 대상으로 한 번식성공률 외에 전체 새끼 수를 크레쉬 단계의 후반부에 세어 전체 둥지 수로 나눈 또 하나의 번식성공률 자료를 Table II 2-2에 나타내었다. 이는 Table II 2-1에 보인 번식성공률보다 늦은 시기까지의 번식성공률에 해당한다. 2001/2002년에 이 지수가 둥지 당 0.99 마리에 머물러 2000/2001년보다 한층 낮음을 알 수 있고 또 크레쉬 단계에서도 새끼들의 사망이 계속 일어났음을 알 수 있다. 한편 새끼들이 털갈이를 하고 독립해서 바다로 나가기 전 fledgling 단계의 무게 또한 펭귄들이 경험한 먹이의 풍부함과 부족함에 대한 지표가 될 수 있는데 젠투 펭귄 fledgling 무게도 2001/2002년 번식기가 2000/2001년보다 낮았다(Table II 2-3). 이 자료들이 다른 군서지에서 얻은 자료와 어떻게 비교되는지 보기 위해 남쉐틀랜드군도의 리빙스턴섬에 있는 Cape Shirreff 군서지에서 미국 연구진이 얻은 자료를 Table II 2-4에 보였다. 이 자료는 번식성공률을 다른 척도를 이용해서 나타내기 때문에 직접 비교하기는 어렵다. 우리의 번식성공률을 측정할 시기는 리빙스턴 섬 자료의 chicks hatched per nest와 fledglings per nest를 얻은 시기의 사이에 해당한다. Table II 2-2에 보인 전체를 계수하여 얻은 creche 단계의 후반부에 얻은 번식성공률은 리빙스턴 섬 자료의 fledglings per nest와 시기적으로 가까우며 fledglings per nest가 약간 낮을 것이다. 젠투펭귄에 대해 2001/2002년 번식기 creche 단계 후반부에 얻은 둥지는 0.99 마리는 예년 수준에 비해 낮은 것임을 알 수 있다. 친스트랩의 번식성공률은 약간 낮으나 예년 수준과 큰 차가 있지는 않으리라고 짐작할 수 있다. 반면 fledgling 무게는 젠투와 친스트랩 모두 우리 자료가 예년 수준에서 크게 벗어나지 않는다. 요약하며 친스트랩의 번식성공률은 소폭으로 떨어졌을 뿐이고 젠투펭귄의 번식성공률은 예년에 비해 상당히 낮은 수준이었다. 새끼를 기르기가 예년보다 어려웠으나 일단 fledgling 단계까지 기르면 그 무게는 큰 차이가 나지 않는다고 생각된다.

4. 고찰

제한된 용선 시간 때문에 연구 목적을 충분히 달성할 수 있도록 조사 정선을 선정한다는 것은 가능한 일이 아니었다. 다른 연구 목적을 가진 항해에 승선하여 주어진 항로대로 다니며 얻는 음향 자료는 해당 지역의 자원량이나 분포를 제대

로 파악하기 부족하지만 정성적인 정보를 얻을 수 있고 경향을 이해할 수 있다.

우선 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 해역에서 조사된 크릴의 분포를 볼 때 남극 환류의 남방 한계가 크릴의 주요 분포대라는 것을 확인시켜준다. 동쪽으로 흘러가는 남극 환류가 남셰틀랜드군도를 지나면서 적도쪽으로 다소 북상하는 것은 잘 알려져 있다. 크릴의 분포도 남극 환류의 위치를 반영하고 있었다.

남셰틀랜드 군도 북쪽 해역은 적어도 12월 하순에는 작년 수준의 크릴 자원이 분포하고 있었다. 하지만 브랜스필드해협에서는 비록 시간의 경과와 함께(약 18 일) 크릴 자원의 양이 증가하였다고는 하지만 전반적으로 크릴이 적었다. 올해 브랜스필드해협에서 크릴의 양은 예년에 비해 낮은 수준이며 이는 작년에 비하면 1/3 수준으로 낮다. 브랜스필드해협의 크릴이 왜 예년보다 적었는지는 분명치 않다. 남극 환류의 하류에 해당하는 남조지아 섬의 크릴은 남극 환류의 상류에 해당하는 남극 반도 서쪽 해역으로부터 남극 환류에 실려 수송된 것이라는 견해가 최근 받아들여지고 있다(Hofmann et al. 1998). 남셰틀랜드 군도 북쪽 해역의 크릴도 남극 반도 서쪽 해역에서 기원한 것일 것이다. 한편 브랜스필드해협 크릴의 기원은 확실하지 않다. 적어도 일부는 남극 환류의 상류에서 올 것이라 생각된다. 브랜스필드해협은 서쪽은 남극 반도 서쪽 벨링스하우젠해로 열려 있지만 동쪽 끝 역시 웨델해에 열려 있다. 웨델해 역시 해빙이 규칙적으로 형성되는 곳이며 크릴의 공급처가 될 수 있는 곳이다. 남극 반도 서쪽 해역이 크릴의 공급처 역할을 할 수 있다고 생각하는 것은 겨울에 해빙이 매년 안정적으로 생성되는 것이 큰 이유이다. 남극의 겨울에 빛의 양이 감소하면서 수층 속에 크릴이 먹이로 이용하는 식물 플랑크톤의 생체량이 극적으로 감소하는 것은 잘 알려진 사실이다. 겨울에 형성되는 해빙은 조류와 기타 미소 생물이 자랄 수 있는 기질을 제공한다. 해빙 밑 표면에 형성된 미소 생물 군집은 모든 생활사 단계의 크릴에게 특히 유생이 겨울을 안정적으로 넘기는데 매우 중요한 역할을 하고 또 해빙은 크릴이 포식자들로부터 피할 수 있는 은신처를 제공한다. 앞서 언급했듯 웨델해 역시 그 결빙 범위에 연변동이 있지만 해빙이 형성되는 곳이다. 남셰틀랜드군도 인근 해역에서 제안된 것처럼(Siegel 1988) 크릴이 산란을 마치고 연안쪽으로 이동해서 해빙 밑에서 겨울을 넘기고 봄으로 접어들면서 해빙이 후퇴하고 크릴이 외양역으로 나온다면 웨델해 역시 남극 반도 서쪽 해역과는 별도로 크릴의 월동장 역할을 하고 외양역으로 크릴을 공급할 수 있는 곳이다. 적어도 이 조사 시기 동안 브랜스필드해협에서 크릴이 적은

것은 서쪽에서 브랜스필드해협으로 들어오는 해류의 흐름이 예년과 달라 크릴의 공급이 빈약하거나 혹은 늦어졌을 가능성이 있다.

한편 킹조지섬 동쪽 해역이 크릴이 적게 발견될 때도 남오크니섬과 엘리펀트섬 사이에서 크릴이 상당량 발견되었고 두꺼운 patch를 이루는 경우가 종종 있었다. 다시 엘리펀트섬을 향해 이동할 때 크릴이 많지 않았고 남쉐틀랜드군도 북쪽으로 왔을 때서야 크릴이 나타나기 시작했다. 즉 두 지역이 크릴의 양이 적은 지역을 사이에 두고 있다. 이 거리는 크릴이 비교적 빠른 속도로 이동한다고 하더라도 일주일 내지 열흘이 걸리는 거리이다. 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 해역에 크릴이 이미 계속 발견된다는 사실로 볼 때 엘리펀트섬과 남오크니섬 사이의 크릴은 이미 그 해역으로 진출해있었을 것으로 보인다. 남오크니섬과 엘리펀트섬 사이에서 크릴이 많이 발견되었지만 이 지역이 반드시 전체 엽록소 양이나 20 μm 이상 엽록소 양이 많은 것은 아니었다. 적어도 meso scale (수백 km 규모)에서는 식물플랑크톤 생체량이 높은 곳을 찾아 크릴이 모여든다고 할 수 없다. 이상을 종합하여 볼 때 이 크릴들이 남극순환해류의 흐름에 실려온 것이 아니고 다른 기원 즉 웨델해로부터 빠져나왔을 가능성을 보여준다. 추가 증거가 필요하지만 가장 설득력 있는 설명은 벨링스하우젠 해로부터 공급되어 북상하는 크릴과는 별도로 웨델해에서 월동하고 외양역으로 나온 크릴이라는 것이다.

그런 의미에서 본다면 브랜스필드해협의 크릴에 의존하는 젠투펭귄과 친스트랩 펭귄의 번식성공률이 차이를 보이는 것도 설명 가능하다. 젠투 펭귄은 친스트랩 펭귄보다 일찍 번식을 시작하였고 이때는 브랜스필드해협에 크릴이 많지 않았기 때문에 먹이 부족에 시달릴 수밖에 없었고 이것은 젠투 펭귄의 번식성공률에 그대로 반영되었다. 시간이 지나며 상황이 호전되었고 친스트랩 펭귄의 번식성공률은 그렇게 낮지 않아도 되었다. 또 친스트랩 펭귄은 번식 시기만 늦을 뿐 아니라 몸이 작기 때문에 먹이 요구량도 그만큼 작아 크릴 부족에 의한 충격도 젠투펭귄보다 덜 할 수밖에 없다.

크릴 분포 변화가 크릴 포식자에게 미치는 영향을 온전히 이해하려면 크릴의 평균 밀도 외에도 크릴 떼의 길이와 두께 같은 형태적 특성, 일정 크기 이상의 크릴 떼의 출현 빈도에 대한 분석이 필요하나 이는 아직도 연구가 거의 되어 있지 않은 숙제로 남아 있다. 또한 크릴의 분포를 좌우하는 배경요인을 파악하기 위해 문헌과 그간의 자료를 종합하여 남극 순환 해류가 남쉐틀랜드군도와 브랜스필드해

협으로 들어오면서 어떻게 분지하는지 또 그 세기에 어떤 연변동이 있는지 검토하는 것도 다음 단계의 과제로 포함되어야 한다.

Distribution of Antarctic krill around South Shetland Islands and the consequences for krill predators during 2001/2002 austral summer

Abstract : An acoustic survey on Antarctic krill was conducted around the South Shetland Islands during 2001/2002 austral summer. Between 49. W and 52. W, krill were mostly found between 59. S and 62. S, which indicates that the Antarctic Circumpolar Current (ACC) and its southern boundary dictate the major distribution range of the species. During early summer (early to mid December) krill were scarce with very few swarms to the south of the South Shetland Islands (SSI). Krill density was also low between King George island and Elephant Island, where high density krill were often found in previous years. Between Elephant Island and South Orkney Island, on the other hand, krill swarms of average density were present. During late December, krill density to the north of the SSI was at its usual level, and particularly high to the north of Livingston Island. Surface chlorophyll concentrations were comparable to the past summers. Nevertheless, chlorophyll concentrations, either total or from micro fraction ($>20 \mu\text{m}$), did not seem to bear any significant relationship to the krill distribution. One of the most notable features from the current survey, krill scarcity in the Bransfield Strait apparently affected the reproductive performance of penguins in the area. Breeding success of gentoo penguins were clearly lower than last season, and also lower than the level reported from other areas in usual years. Meanwhile, breeding success of chinstrap penguins were only slightly lower than last season, and at an usual level. This may have resulted from the weaker-than-usual inflow of ACC into the Bransfield Strait and consequent poor supply or late arrival of krill. For the areas other than north of the SSI, such as the area between Elephant Island and South Orkney Islands, and the eastern part of Bransfield Strait, Weddell Sea may be more important in supplying krill to the areas.

5. 참고문헌

- Hofmann EE, Klinck JM, Locarini RA, Fach B, Murphy E., 1998. Krill transport in the Scotia Sea and environs. *Antarctic Science* 10: 406-415
- Loeb V, Siegel V, Holm-Hansen O, Hewitt R, Fraser W, Trivelpiece W, Trivelpiece S., 1997. Effects of sea ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. *Nature* 387:897-900
- Siegel V., 1988. A concept of seasonal variation of krill (*Euphausia superba*) distribution and abundance of the Antarctic Peninsula. In Sahrhage (ed) *Antarctic Ocean and Resources Variability*. Springer Verlag, Berlin pp. 220-230

Table II 2-1. Number of penguin chicks raised to creche stage per nest at Barton Peninsula.

	No gentoo chicks raised to creche	No chinstrap chicks raised to creche
2000/2001	1.49	1.44
2001/2002	1.24	1.32

Table II 2-2. Number of gentoo penguin chicks raised to late creche stage per breeding pair at Barton Peninsula and Duthoit Point.

	chicks per nest
2000/2001 Barton Peninsula	1.45
2001/2002 Barton Peninsula	0.99
2001/2002 Duthoit Point	0.72

Table II 2-3. Fledgling weight of penguins at Barton Peninsula (Mean±SD, n=number of individuals weighed).

	gentoo fledgling weight (kg)	chinstrap fledgling weight (kg)
2000/2001	5.01±0.673, n=130	not available
2001/2002	4.77±0.749, n=100	3.28±0.375, n=39

Table II 2-4. Various measures of breeding success and fledgling weight of gentoo and chinstrap penguins at Cape Shirreff, Livingston Island.

	Gentoo			Chinstrap		
	chicks hatched per nest	fledglings per nest	fledgling weight (kg)	chicks hatched per nest	fledglings per nest	fledgling weight (kg)
1997/1998	1.56	1.34	4.2	1.35	0.97	3.27
1998/1999	1.52	1.15	4.45	1.54	1.27	3.18
1999/2000	1.72	1.4	4.04	1.26	1.02	3.2
2000/2001	1.62	1.36	4.509	1.4	1.26	3.166

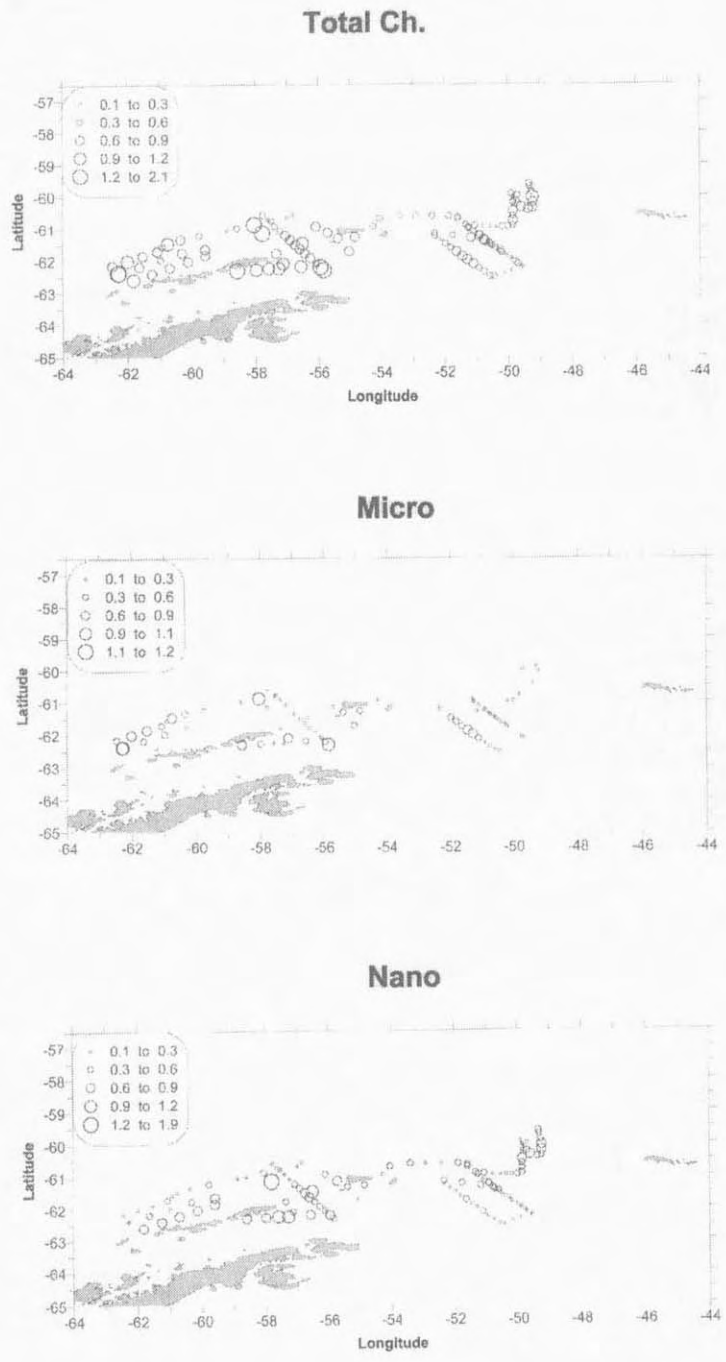


Fig II 2-1. Surface chlorophyll distribution in the survey area, total, from micro size fraction ($>20\mu\text{m}$) and from nano size fraction ($<20\mu\text{m}$)

제 3 절 하계 남쉐틀랜드 군도 해역과 남극반도 해역에서 음향을 이용한 크릴 자원조사

요약: 남쉐틀랜드 군도 북쪽 해역과 남극반도 서쪽 해역에서 2003년 12월 초순 수산 음향을 이용한 크릴 자원조사를 수행하였다. 남쉐틀랜드 군도 북쪽 해역의 외해역에 크릴 밀도가 높은 곳이 있었으며 남극반도 서쪽 해역에서는 전반적으로 크릴 밀도가 낮았으며 전반적으로 크릴 자원량은 평년 수준 이하일 것으로 보인다.

1. 연구 지역

남극 크릴은 남극 생태계에서 하위생태계와 상위 포식자를 연결하는 중요한 연결 고리로, 생태계 연구 자체뿐만 아니라 수산자원 자체로서의 중요성을 가지고 있는 중요한 동물 플랑크톤이다. 이러한 남극 크릴은 남극해 전체에 골고루 분산되어 분포하는 것이 아니라 지역적인 분포 특성을 가지고 있다. 남극 세종기지가 위치하고 있는 남극반도 북서 해역은 지리적으로는 남극해 태평양과 대서양을 연결하는 지역으로 남극해에서 크릴이 많은 곳으로 알려져 왔다.

2003/2004년 남극 하계 연구기간 크릴 분포를 위한 음향 조사는 기존의 모니터링 장소인 남셰틀란드 군도 북쪽 해역과 앤버스섬(Anvers Island) 주변 해역에서 실시되었다. 벨링스하우젠 해역의 크릴은 남셰틀란드 군도에 도달하기 전에 앤버스섬의 부근을 지나가게 된다. 이때 이동하던 크릴은 이 부근에서 외양과 연안쪽으로 분리되는데, 외양쪽으로는 수심 1000 m 부근의 대륙사면을 따라 스미스섬(Smith island) 이동하고 다른 하나는 로우 섬(Low island)과 브래반트섬(Brabant island) 사이의 젤라쉬 해협(Gelache Strait)을 통과하여 브랜스필드 해협으로 이동하고 있다. 많은 연구 결과로부터 남극반도 북서쪽은 남셰틀란드 군도 및 대서양 남서 해역의 아남극 지역으로 크릴을 공급하는 주된 통로로 알려져 왔다. 따라서 남극 반도 북서 해역에 위치한 남셰틀란드 군도는 중요한 크릴 어장으로 최근에도 크릴 어획이 이루어지고 있다.

남셰틀란드 군도 주변은 본 연구과제에서 제한적인 조사 지역이지만 1999년부터 현재까지 해양 환경 및 음향조사로부터 크릴 밀도를 연속적으로 조사하고 있다. 이 지역의 해양 환경은 남극 순환류 전선역(Southern Antarctic Circumpolar Current Front, SACCF), 남극 순환류 경계면(Antarctic Circumpolar Current Boundary)이 형성되는 지역으로, 복잡한 해저 지형에 기인한 다양한 형태의 물리적 특성으로 인해 여러 유형의 해류 및 수괴가 존재하고 있다. 이러한 해양 환경의 복잡성 때문에 생물, 화학적 인자들의 계절적 변동 및 년 변화가 크게 나타나 남극 생태계에서 중요한 역할을 하는 곳 중의 하나이다.

2003/2004년 남극 하계 조사는 2003년 11월 23일부터 12월 31일 동안 이루어졌으나, 크릴 자원량 조사는 해양 생태계 및 지구물리 조사를 제외하면 크릴

조사만을 위한 조사는 2003년 12월 1 ~ 6일까지 실시되었다. 다른 기간동안 음향 자료는 크릴 분포 조사를 위한 조사가 아니므로 조사 정선이 없이 이동 정선에 대한 자료만 있으므로 자료 처리에서는 제외시켰다. 음향 관측은 서경 57 ~ 69°, 남위 60.5 ~ 65°인 남셰틀란드(South Shetland) 군도 북쪽과 군도 남서쪽의 앤버스 섬 부근 해역에서 실시되었다 (Fig. II 1-1).

2. 음향 조사

음향 조사를 위한 조사선은 유즈모지올로기아(5000톤)호 선저에 split 빔 형태의 38, 120 kHz과 단일빔 형태인 200 kHz가 설치되어 있다. 음향 자료는 세 주파수에 대해 동시에 수신하였다. 음향 정선은 모든 조사선의 이동 경로에서 남북 방향의 정선만을 고려하였다(Fig. II 1-1). 이때 남셰틀란드 군도는 정선간 거리는 등 간격으로 배열하였으며 정선내의 거리는 약 55 마일이었다. 한편, 앤버스 섬 외양의 정선에서 정선 간격은 불규칙하게 설정하였으며 정선 내 거리는 50-150 마일로 다르게 구성하였다. 따라서, 남셰틀란드 군도 북쪽 해역에서 4개의 정선에 걸쳐 225 마일을, 앤버스 섬 해역에서 4개의 정선에서 390 마일로 구성되었다 (Table II 3-1).

자료의 저장을 위한 ESDU(Elementary Distance Sampling Unit)는 전체적으로 1 nautical mile을 사용하였으며, 조사선의 위치 정보 인 GPS 신호와 함께 각 주파수별 음향 자료는 음향 신호 적분기인 BI500 소프트웨어를 이용하여 저장하였다. 과학어군 탐지기의 주요 입력 변수는 1999/2000년 synoptic 조사 때 사용한 CCAMLR protocol을 사용하였다. 음향 조사 이전에 음향 센서의 보정을 실시하지 못했으므로, 센서의 TS_{gain} , Sv_{gain} 변수는 센서의 기본 입력값을 사용하였다.

음향 관측을 할 때(logging) 시스템의 입력 변수를 일정한 값으로 고정시킨 후(default 값) 모든 음향 자료를 저장하였지만, 저장된 자료를 후처리하는 과정에서 센서의 수온에 따른 음속 값, 감쇠 계수, 보정 값 등을 관측 당시의 값에 맞게 입력하여 자료를 재계산 할 수 있다. 그러나, 현재 관측된 자료는 이러한 자료 처리 과정을 거치지 않았으므로 크릴의 절대 밀도는 계산이 불가능하고, 크릴의 공간

분포 및 수직 분포를 음향값으로 나타내는 평균 체적 산란강도(mean volume backscattering strength, S_v , dB)로만 나타낼 수 있다.

관측된 세 개의 주파수 자료 가운데 크릴 조사에 가장 많이 사용되는 120 kHz 자료를 중심으로 사용하였으며, 조사선에 설치된 센서의 수심과 이동시 발생하는 해수면 기포의 영향을 고려하여 15 ~ 250 m 사이의 수심 자료를 적분 구간으로 설정하였다. 한편, 50 ~ 150 마일의 간격을 가진 각 정선의 음향 자료를 압축하기 위하여 수평시간은 30 ~ 60 초, 수심은 1 m 구간을 하나의 셀로 만들어 각 정선의 음향 자료를 압축하였다.

3. 결과

12월 초순은 남극에서 여름이 시작되는 시기로 이전의 연구 결과에 의하면 대규모의 크릴이 벨링스하우젠 해역으로부터 남쉐틀란드 군도에 도착하기에는 이른 시기이다. 이러한 연구 결과는 12월 1 ~ 6일에 걸쳐 실시한 본 음향 조사에서도 나타나고 있다. 크릴 밀도를 절대적인 밀도 값으로 계산하기는 현재로서는 불가능하여 밀도 비교는 하지 못하지만, 음향 에코그램에서 뚜렷이 나타나고 있다. 남쉐틀란드 군도와 앤버스 섬 주변에서 관측한 음향 자료 가운데 비교적 크릴이 뚜렷이 나타나고 있는 에코그램을 추출하였다(Fig. II 3-2).

정선 B는 남쉐틀란드 군도 북쪽에서, 정선 F는 앤버스 섬 외양을 나타낸다. 두 지역 모두 크릴은 수심 100 m 상층부에서 나타나고 있다. 임의의 수 층과 전 층에 대해 평균 S_v 와 S_v 의 상대적 분포를 계산하였다. 정선 B의 예에서는 임의의 수 층(50 ~ 100 m)과 전 층에서 평균 S_v 는 -57.3 dB, -63.5 dB로 나타나고 있다. 한편, 정선 F의 예에서는 임의의 수층(15 ~ 50 m)과 전 층에서 평균 S_v 는 -63.9 dB, -71.45 dB로 나타나 남쉐틀란드 군도 북쪽 해역보다 크릴 강도가 낮게 나타나고 있다. 최근에 음향 자원조사에서 많이 사용하고 있는 체적 산란 단면적(S_A)으로 평균 S_v 를 나타내면 정선 B의 50 ~ 100 m 수 층에서는 $4317 \text{ m}^2/\text{mile}^2$, 전 층에서는 $4522 \text{ m}^2/\text{mile}^2$ 이다. 정선 F에서는 각각 $619 \text{ m}^2/\text{mile}^2$, $711 \text{ m}^2/\text{mile}^2$ 으로 나타나고 있다. 본 예에서 사용한 에코그램은 크릴이 뚜렷이 형성된 시간대만을 추출하였으나, 대부분의 정선에서 이러한 크릴 분포는 나타나지 않고

있다.

수심 15 ~ 250 m와 수평 거리 1마일에서 관측된 평균 S_0 를 값으로부터 크릴이 분포하는 최소 기준은 약 -80 dB이었다. 따라서, 두 조사 지역에서 관측된 자료로부터 1 마일 당 평균 S_0 의 빈도수를 계산하였다(Fig. II 3-3). 남쉐틀란드 군도 북쪽 해역에서 -80 dB 이상은 225 마일에서 약 63 %, 앤버스 섬 북쪽 해역에서는 390 마일에서 약 48 %로 남쉐틀란드 군도 북쪽 해역에서 상대적으로 크릴 출현이 높게 나타나고 있다. 고밀도 크릴을 나타내는 -70 dB 이상은 두 지역에서 각각 25 %, 11 % 나타나고 있다.

이전 연구 결과에 의하면 남쉐틀란드 군도 북부 해역에서는 12월 중순 이후에 고밀도의 크릴이 두꺼운 층을 이루며 넓게 분포하는 형태를 보이고 있으며, 브랜스필드 해협 내에서는 작은 규모의 크릴이 밀집된 형태로 나타나는 특성을 나타내고 있었다. 올해 관측 시기가 12월 1 ~ 6일이므로 대규모의 크릴이 남쉐틀란드 군도까지 도달하기에는 이른 시기이므로 중순 이후에 나타나는 크릴군은 나타나지 않았다. 관측된 크릴군의 형태는 작은 규모로 밀집된 형태를 보이고 있었으며, 이러한 특성은 남쉐틀란드 군도 북쪽 해역이 앤버스 섬 외양보다 뚜렷이 나타나고 있었다. 각 정선별 전체 에코그램을 압축하여 전 층에 대해 나타냈다(Fig. II 2-4).

남쉐틀란드 군도 북쪽 정선인 A, B, C, D에서 대부분의 크릴은 표층에서 150 m 사이의 수층에서 나타나고 있으며, 정선간 분포는 동쪽에 치우친 A, B에서 상대적으로 높은 분포를 나타내고 있다. 한편, 앤버스 섬 외양역에서 크릴은 100 m 상층부에 주로 나타나고 있으며, 정선별 분포는 크릴이 전혀 발견되지 않는 G 정선을 제외하고는 E, F, H에서 비슷한 분포 형태를 보여주고 있다.

정선 E의 남쪽의 경우 젤라쉬 해협이 위치한 곳으로 이 지역은 해류 흐름은 남쉐틀란드 군도의 남북으로 분산되어 외양과 브랜스필드로 유입되는 특성을 나타내고 있다. 따라서 외양으로 나가는 해류와 브랜스필드로 유입되는 해류를 타고 이동하는 크릴이 나타날 가능성이 있으나, 본 연구 기간동안 관측된 음향 자료에는 이러한 크릴이 나타나지 않고 있다. 따라서 남쉐틀란드 군도에

도달하는 대규모의 크릴이 이동하는 시기는 본 연구 시기보다 늦어질 가능성이 있다.

관측 해역의 모든 음향 자료를 이용하여 공간적으로 분리된 두 지역에서의 분포 특성을 나타냈다(Fig. II 3-5). 수직 분포에서 보여주고 있듯이 남쉐틀란드 군도에서 높게 나타나고 있으며 이 가운데 정선 A, B에서 상대적으로 높게 나타나고 있다. 또한 앤버스 섬 외양에서의 분포는 낮은 상태를 보여주어 관측 시기동안 대규모의 크릴 이동은 이루어지지 않은 것으로 나타나고 있다.

앞서 기술하였듯이 음향 조사 전에 실시해야 하는 음향 센서의 보정이 이루어지지 않아 이 결과는 상대적인 분포 특성을 나타내고 있다. 이러한 분포는 절대 분포와는 동일하며 다만 크릴 밀도로 직접적인 환산은 현재로는 불가능하지 않다 그러나 이러한 음향 자료는 동일한 조사선에서 같은 음향 센서를 사용하고 있는 다른 연구팀의 보정 결과와 채집된 크릴의 길이-무게 함수를 이용한다면 절대 밀도로 환산할 수 있게 된다.

**Acoustic survey of Antarctic krill in the north of South
Shetland Islands and west of Antarctic Peninsula, early
summer**

Abstract: An acoustic survey to determine the distribution and biomass of Antarctic krill was undertaken in the north of South Shetland Islands and the west of the Antarctic Peninsula, early December 2003. High density krill were observed only in the offshore waters in the north of South Shetland Islands. Generally krill density in the west of Antarctic Peninsula was far lower. Analysis and biomass calculation will be conducted, however, the biomass is expected to be lower than average years.

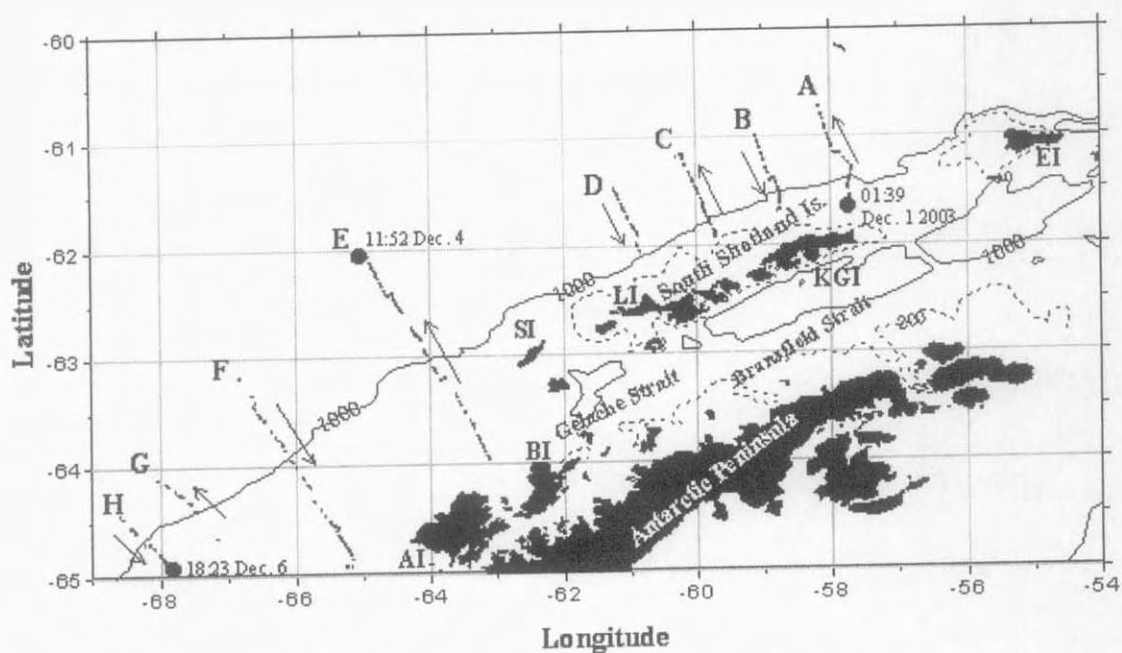


Fig. II 3-1. Acoustic transect for Antarctic krill (*Euphausia superba*) during 2003/2004 austral summer. The periods of the survey were from December 1 to December 6, 2004. The arrows indicate transect direction (EI - Elephant island, KGI - King George islands, LI - Livingston island, AI - Anvers island, BI - Brabant islands, SI - Smith island).

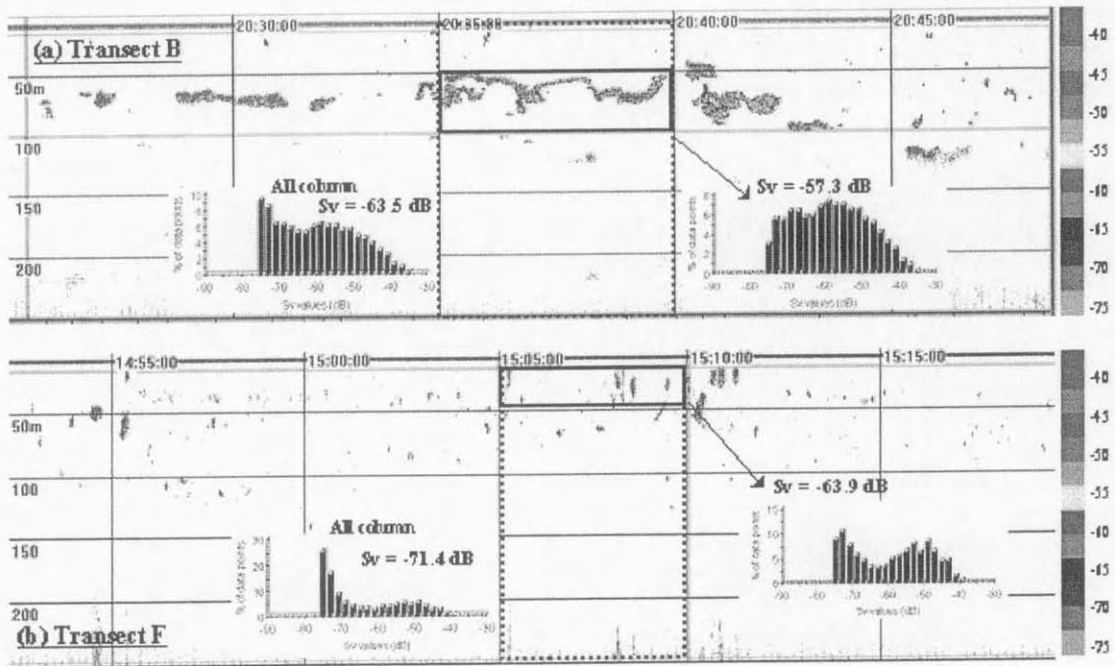


Fig. II 3-2. Example of krill echogram at transect B and F. Mean Sv and relative distribution of Sv at krill swarm and all layer were calculated.

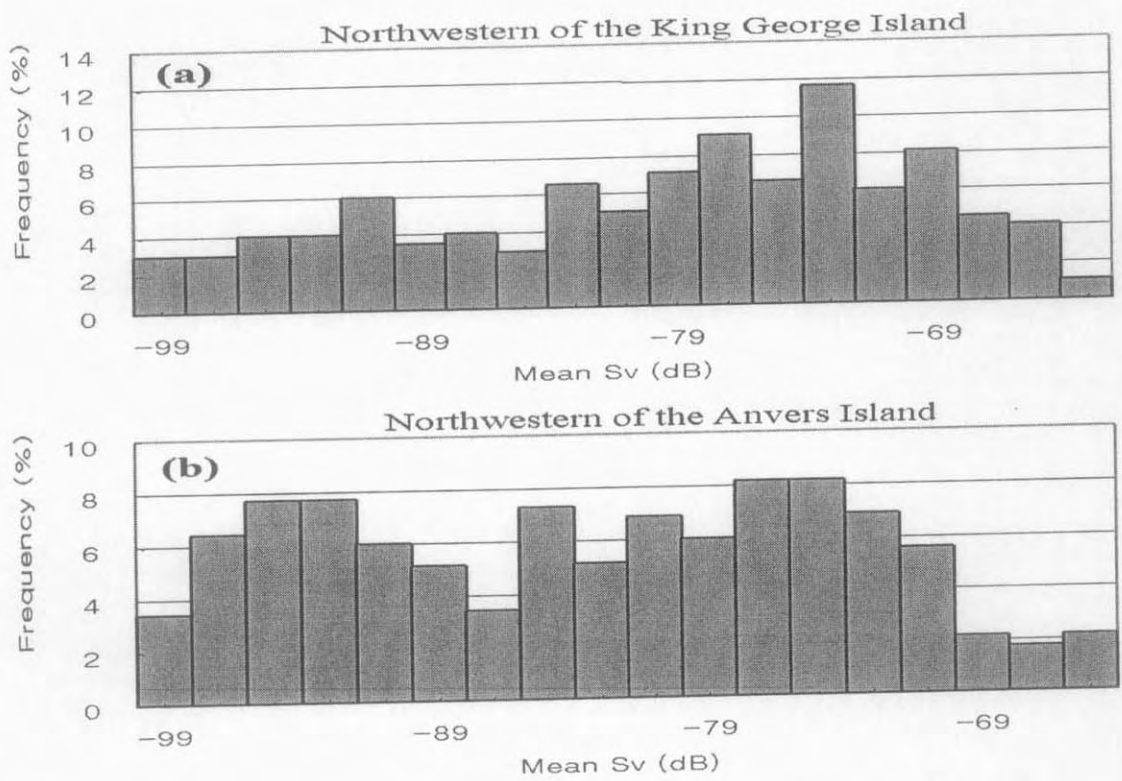


Fig. II 3-3. Relative distribution of mean S_v around the South Shetland Islands (a) and Anvers Island (b).

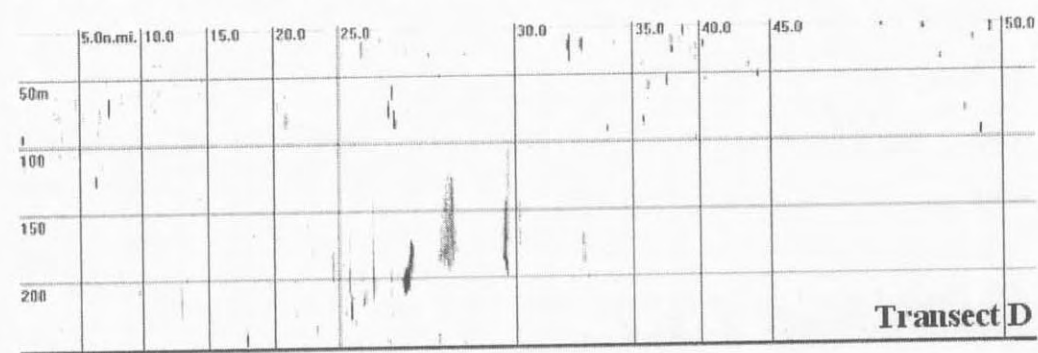
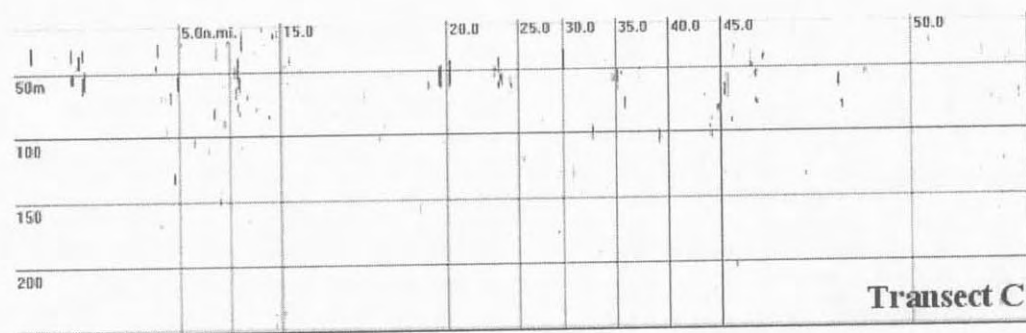
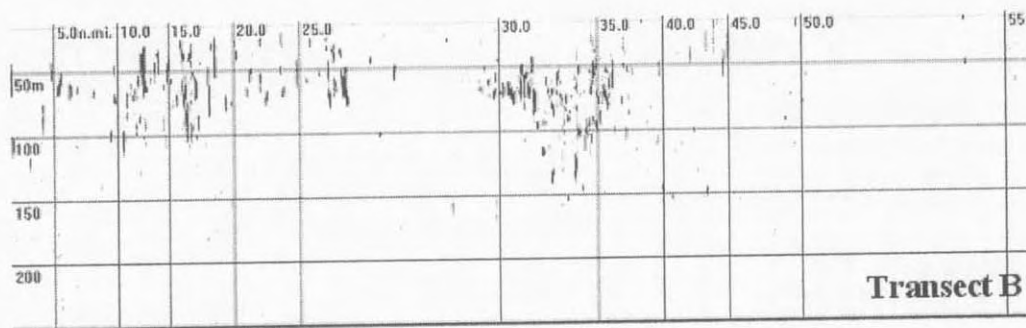
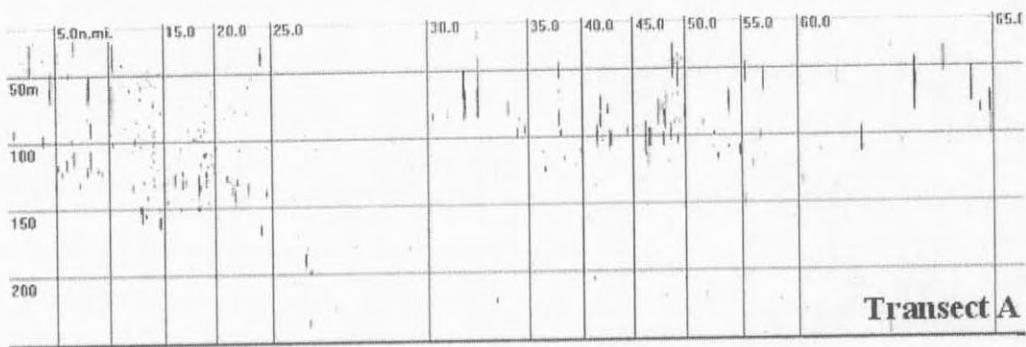


Fig. II 3-4. Vertical distribution of krill aggregation at each transect.

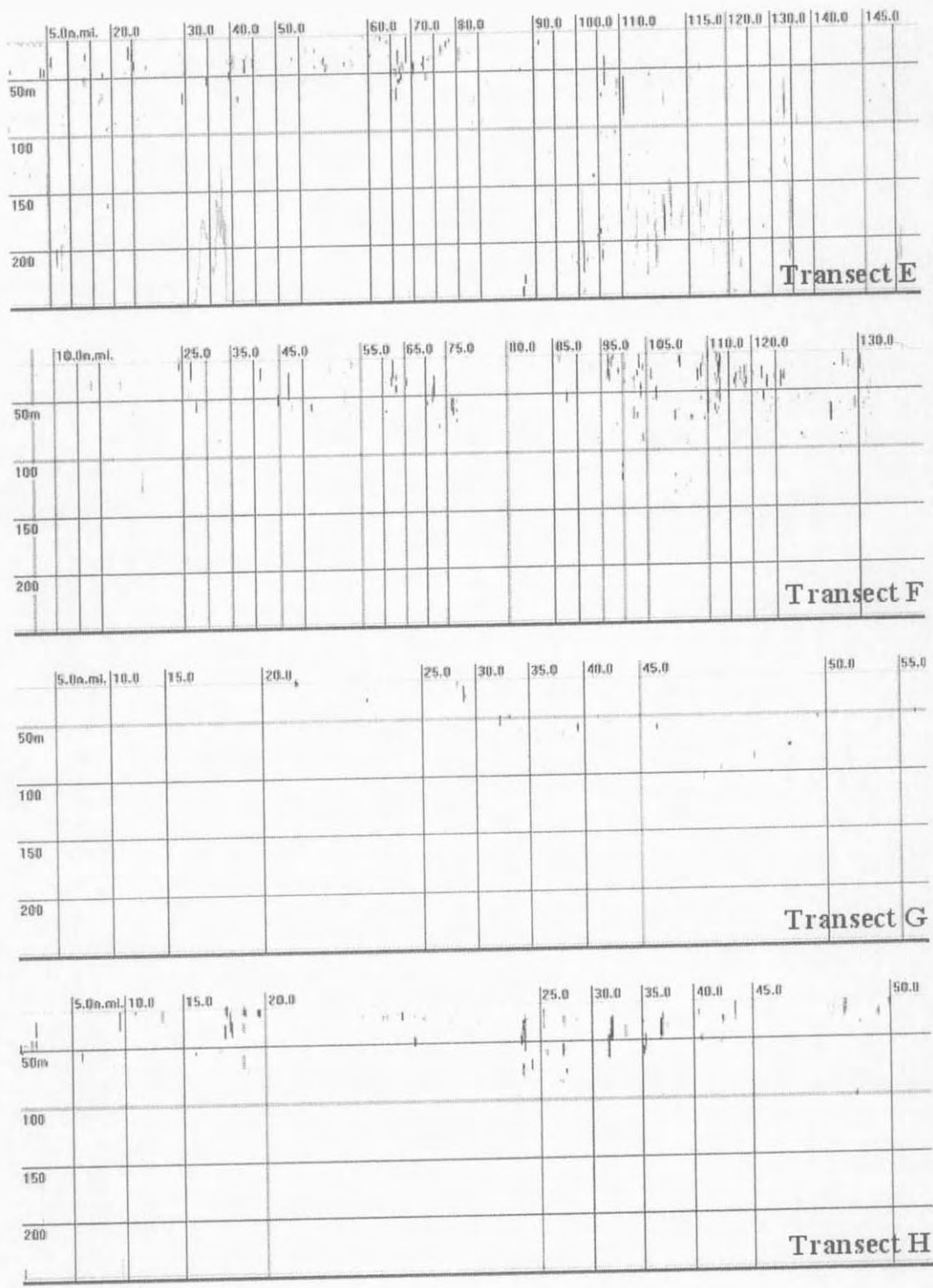


Fig. II 3-4. Vertical distribution of krill aggregation at each transect. (continued)

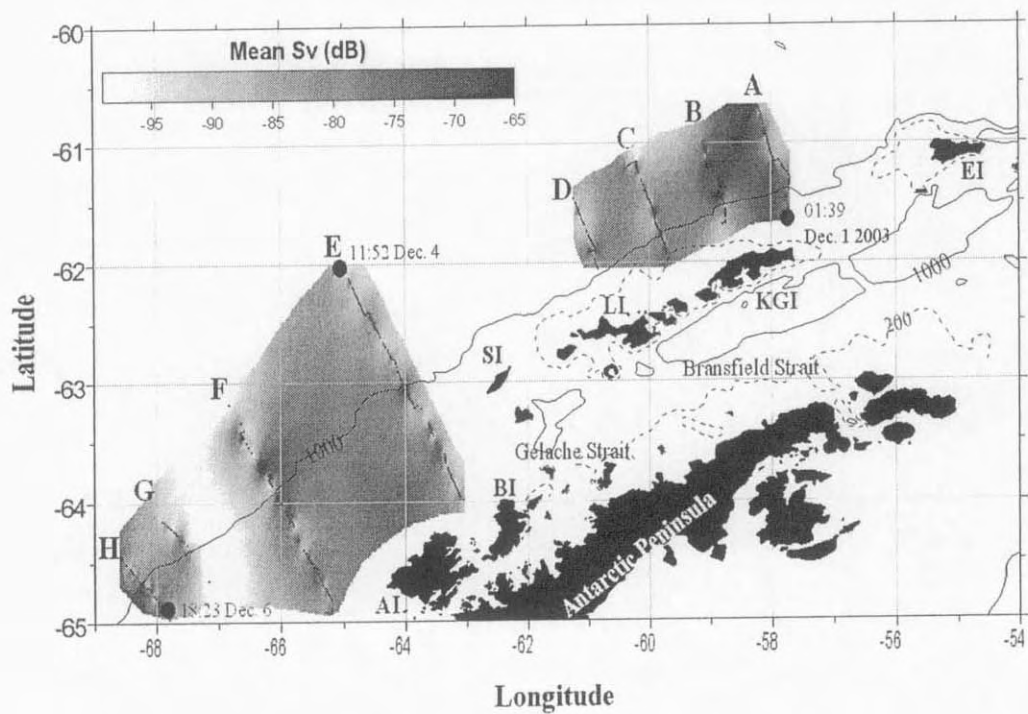


Fig. II 3-5. Horizontal distribution of krill aggregations during December 1 - 6 2003.

Table II 3-1. Information on each acoustic transect.

Transect	Start position	End position	Time (GMT)	Distance (mile)	Region
A	61°34.7'S 57°42.9'W	61°34.7'S 57°42.9'W	01:45 Dec 1 - 10:36 Dec 1	65	South Shetland Is.
B	60°59.0'S 59° 6.6'W	61°39.9'S 58°44.0'W	16:33 Dec 1 - 00:16 Dec 2	55	South Shetland Is.
C	61°55.7'S 59°43.0'W	61° 8.8'S 60°12.2'W	03:41 Dec 2 - 13:02 Dec 2	55	South Shetland Is.
D	61°27.2'S 61°14.9'W	62° 8.5'S 60°46.8'W	18:29 Dec 2 - 00:27 Dec 3	50	South Shetland Is.
E	64° 0.9'S 63° 2.2'W	61°58.9'S 64°59.1'W	17:42 Dec 3 - 12:59 Dec 4	150	Anvers I.
F	63° 3.5'S 66°56.5'W	64°57.1'S 65°11.0'W	23:51 Dec 4 - 18:15 Dec 5	135	Anvers I.
G	64°40.2'S 67° 7.3'W	64° 5.9'S 68° 2.9'W	00:50 Dec 6 - 06:41 Dec 6	55	Anvers I.
H	64°25.5'S 68°36.4'W	65° 0.5'S 67°44.0'W	12:15 Dec 6 - 18:50 Dec 6	50	Anvers I.
				515	Antarctic Peninsula

제 4 절 가까운 두 해역에서 크릴 밀도와 분포 특성의 차이; 원인과 결과

요약: 2001/2002년 초여름 수행된 수산음향을 이용한 크릴 자원 조사 결과 브랜스필드 해협에서 크릴이 매우 적은 반면 남오크니 섬과 엘리펀트 섬 사이 해역에는 예년과 비슷한 밀도로 크릴이 발견되었다. 남서대서양 측 남극해 내 여러 구역에서 발견되는 크릴은 동일한 대규모 물리, 환경 요인의 영향 아래 놓여 있기 때문에 서로 연관을 갖고 있으며 같은 계절 안에 크릴의 자원량은 큰 폭으로 변하지 않는 것으로 알고 있었다. 하지만 이 결과는 한 계절 안에서도 지역간 차이가 있을 수 있다는 것을 보여주고 있다. 브랜스필드 해협의 예년보다 낮은 크릴 밀도는 멧귤의 낮은 번식 성공률에 반영되었다. 크릴의 양 뿐 아니라 크릴 떼의 음향 특성도 큰 차이를 보였다. 브랜스필드 해협의 크릴 떼는 훨씬 더 드물게 발견되는 대신 그 크기가 작고 산란 강도가 높았으며 남오크니 섬과 엘리펀트 섬 사이의 해역은 긴 띠 모양에 산란 강도가 강하지 않은 대신 더 자주 발견되었다. 브랜스필드 해협과 오크니섬과 엘리펀트 섬 사이 해역, 이 두 곳의 크릴은 다른 곳에서 기원했거나 혹은 국지적인 환경 조건에 독특하게 반응하고 있던 것으로 생각된다. 엽록소 생물량으로 대표되는 먹이 생물의 양은 두 해역간에 크게 다르지 않고 오히려 크릴이 적었던 곳이 엽록소 생물량이 높아 배경원인으로 보이지 않는다. 크릴은 남극 반도 서쪽의 공급원으로부터 남극환류에 의해 운반되는 것으로 흔히 생각했는데 브랜스필드 해협의 크릴은 공급원으로부터 예년보다 다소 늦게 도착했을 가능성이 있다. 반면 남오크니 섬 서쪽에서 발견된 크릴은 웨델해의 해빙이 후퇴하면서 풀려나왔을 가능성이 있다. 웨델해는 겨울에 해빙이 규칙적으로 형성되는 곳으로 크릴의 월동장으로, 또 초여름 크릴의 공급처로 기능할 수 있는 몇 군데 후보지 중의 하나일 것으로 생각된다.

1. 서론

남극 크릴의 자원량은 해마다 큰 폭으로 변화하며 이것이 조절되는 기작은 중요한 연구 주제가 되고 있다. 남극해 대부분의 포식자들에게 가장 중요한 먹이이며 어획의 대상인 크릴 자원의 변동을 이해하고 예측하는 것은 크릴 자원 관리에 있어 중요한 문제이다. 가장 큰 크릴 어장인 남서대서양 측 남극해의 크릴 자원은 남극반도의 서쪽에 있는 벨링스하우젠 해에서 공급되며 남극을 둘러싸고 흐르는 남극환류에 의해 운반된다는 이른바 '컨베이어벨트' 이론이 지지를 받아왔다 (Hoffman 등 1998, Murphy 등 1998). Fig. II 2-1에 컨베이어 벨트 이론의 모식도를 보였다.

남쉐틀랜드 군도 주변 해역과 남오크니섬 해역, 남조지아 섬 주변 해역은 남서대서양 측 남극해에서 크릴의 중요한 어장이 형성되는 곳이다 (Everson & Goss 1991). 컨베이어 벨트 이론에 의하면 남서 대서양 측 남극해 여러 구역에서 발견되는 크릴 개체군은 동일한 대규모 물리, 환경 요인의 영향 아래 놓여 있기 때문에 서로 연관을 갖고 있으며 자원량도 함께 변동한다는 것이다 (Loeb 등 1997, Brierley 등 1999). 또한 같은 계절에 같은 구역 안에서 크릴의 자원량의 변화 폭은 그다지 크지 않은 것으로 이해하고 있었다 (Hewitt 등 2003).

남극해 유용생물자원 개발 연구는 지난 수년간 남쉐틀랜드 군도 주변 해역에서 수산 음향을 이용한 크릴 자원 조사를 수행하여 왔고 지난 2001/2002년 여름에는 남오크니섬 주변 해역까지 조사 범위를 확대할 수 있었다. 지난해의 조사에서 남쉐틀랜드 군도 주변의 브랜스필드 해협에서는 크릴이 예년보다 적은 반면 엘리펀트 섬과 남오크니 섬 사이 해역에서는 평년 수준으로 발견되었다 (해양수산부 2002). 크릴이 적었던 브랜스필드 해협으로 면한 세종기지 주변에 서식하는 펭귄의 번식 성공률 또한 낮았다. 크릴 밀도와 포식자의 반응이 보이는 차이에 비하면 두 해역의 거리는 수백 km에 불과했다. 이는 엘리펀트 섬과 남오크니 섬 사이 해역의 크릴은 남극 환류의 상류에 위치한 공급처보다는 웨델해 같은 곳에서 기원했을 가능성을 시사하였다. 남극 환류와 남극 환류의 상류에 위치한 공급처 외에 크릴 분포를 좌우하는 다른 과정과 다른 장소가 있을 가능성은 추후 연구의 대상으로 지목되었다.

2001/2002년 초여름 비교적 가까운 두 해역에서 크릴이 보이는 차이를 이해

하기 위하여 음향자료를 자세히 분석하였고 배경 원인과 과정을 크릴 분포와 공급에 대한 기존의 이론과 비교해 살펴보았다.

2. 재료 및 방법

관측 경위와 방법은 이미 지난 해 보고서 (해양수산부 2002)에 소개되어 있다. 엘리펀트 섬과 남오크니 섬 사이 해역은 12월 중순 경 (12월 15일 - 20일) 조사하였고, 킹조지섬 동쪽 바로 옆과 브랜스필드 해협을 세종기지를 출입할 때 12월 7일-10일, 12월 21일-22일 2회 통과하면서 음향자료를 수집하였다. 수산 음향 자료는 조사선에 장착된 EK 500 과학어군탐지기를 이용하여 수집하였으며 자세한 분석 방법은 앞의 1절에서 이미 설명되었다.

두 해역의 크릴 밀도 외에 크릴 떼의 음향 특성의 차이를 분석하기 위하여 크릴 떼의 산란 강도, 크릴 떼의 수평 길이, 크릴 떼와 크릴 떼 사이의 거리를 해역 별로 계산하였다. 그리고 다른 해와 비교하기 위해 2000/2001년 자료에 대해서도 같은 계산을 하였다 (Table II 4-1)

기지 주변 군서지에 서식하는 펭귄의 번식성공률은 젠투와 친스트랩 2 종류의 펭귄에 대하여 관찰 대상 등지를 선정하고 주기적으로 관찰하였다. 번식 성공률은 부화한 뒤 무사히 자라서 크레쉬 단계까지 도달한 새끼의 마리 수를 부모 한 쌍당 나타내었다. 젠투 펭귄은 세기 쉽기 때문에 크레쉬 단계의 후반부에 새끼들의 수를 모두 세어 전체 등지 수로 나눈 또 하나의 번식성공률 자료를 제시하였다.

3. 결과

‘브랜스필드 해협’과 ‘남오크니 섬과 엘리펀트 섬 사이 해역’ 사이의 크릴 밀도는 상당한 차이를 보였다. 브랜스필드 해협의 크릴 밀도는 10 g m^{-2} 남짓한 반면, 남오크니 서쪽과 엘리펀트 섬 사이 해역은 $> 20 \text{ g m}^{-2}$ 으로 평년 수준이었다 (Fig. II 4-2).

두 해역 사이의 차이는 밀도 뿐 아니라 음향 표적의 특성에서도 보였다. 2001/2002년 초여름 브랜스필드 해협에서는 다른 해역이나 혹은 다른 해와 비교하였을 때 크릴 떼와 크릴 떼 사이의 간격이 멀고 크릴 떼 자체의 길이가 짧은 반면 산란 강도는 높았다 (Table II 4-1). 다시 말해서 크릴 떼가 훨씬 드물게 발견되는 대신 크릴 떼의 크기가 작고 떼 안의 서식 밀도가 높았다.

반면 남오크니섬과 엘리펀트 섬 사이의 해역은 크릴 떼와 크릴 떼 사이의 간격이 더 가깝고 크릴 떼 자체의 길이가 긴 반면 산란 강도는 낮았다. 크릴 떼가 긴 띠 모양을 이루고 크릴 떼 안의 서식 밀도가 좀 더 낮은 것이 더 일반적인 양상이다. 2000/2001년 여름에는 이런 경우가 지배적이었음을 Table II 4-1에 제시된 자료를 통해 알 수 있다.

두 해역에서 발견된 크릴 떼의 음향 특성 차이는 전형적인 에코그램에 의해 분명하게 드러난다 (Fig. II 4-3).

젠투와 친스트랩 펭귄 모두 크릴을 주 먹이로 하기 때문에 펭귄의 번식 성공률은 먹이로 이용 가능한 크릴 양의 지표가 된다. 등지당 크레쉬 단계까지 무사히 기른 새끼 수로 나타낸 2종류 펭귄의 번식성공률은 모두 2001/2002년 번식기가 2000/2001년보다 낮았다 (Table II 4-2). 젠투 펭귄은 세기가 쉽기 때문에 모니터 등지를 대상으로 한 번식 성공률 외에 전체 새끼 수를 크레쉬 단계의 후반부에 세어 전체 등지 수로 나눈 또 하나의 번식 성공률 자료를 Table II 4-3에 나타내었다. 이는 Table II 4-2에 보인 번식성공률보다 더 늦은 시기까지의 번식 성공률에 해당한다. 2001/2002년에 이 지수가 등지당 0.99 마리에 머물러 2000/2001년보다 한층 낮음을 알 수 있고 또 크레쉬 단계에서도 새끼들의 사망이 계속 일어났음을 알 수 있다.

4. 고찰

두 해역에서 크릴의 밀도가 차이를 보인다고 했지만 자료의 양에 있어 두 해역을 직접 비교하기 어려운 것이 사실이다. Table II 4-1에서 보듯 브랜스필드 해협의 조사 강도는 훨씬 낮았다. 남오크니 섬과 엘리펀트 섬 사이 해역에서는 음향 조사가 일정 면적을 가진 구역에서 이루어진 반면 브랜스필드 해협은 정선을 통

과하며 조사한 결과이다. 그럼에도 불구하고 두 해역의 크릴 자원량과 분포 차는 자료 부족에 기인한 인위적인 결과라기 보다 실재하는 것으로 생각된다. 차이는 밀도 뿐 아니라 크릴 떼의 음향 특성에서도 보였다. 평균보다 낮은 크릴의 밀도는 펭귄의 번식 성공률에도 영향을 미쳤다. 2001/2002년 펭귄의 번식 성공률은 2000/2001년의 번식 성공률보다 낮았다.

두 해역 사이의 거리가 수백 km에 불과함에도 불구하고 크릴 밀도 뿐 아니라 크릴 떼의 특성에 있어서도 현저한 차이를 보였다. 단일 영향권 안에서 동일한 일련의 환경조건에 의해 크릴의 분포가 결정되고, 또 한 군데의 공급원만 있다면 이는 설명하기 어려운 현상이다. 크릴이 컨베이어 벨트처럼 작용하는 남극 환류에 실려 온다고 하면 남오크니섬과 엘리펀트섬 사이의 해역은 브랜스필드 해협보다 하류에 해당한다. 상류에 크릴이 도착하기도 전에 하류에 크릴이 풍부해질 가능성은 희박하다. 그렇다고 해서 이것을 먹이생물의 양에 대한 반응으로 보기도 어렵다. 인공위성을 통해 얻은 해색 자료는 크릴이 적게 발견된 브랜스필드 해협에서 남오크니 섬과 엘리펀트 섬 사이의 해역보다 오히려 엽록소 생물량이 높은 것을 보여주고 있다 (Fig. II 4-4). 적어도 meso-scale (수백 km 규모)에서는 식물플랑크톤 생체량이 높은 곳을 찾아 크릴이 모여든다고 할 수 없다. 멀리 떨어지지 않은 두 해역에서 나타나는 크릴의 분포 차를 먹이생물의 양으로 설명될 수 있는 현상이 아닌 것으로 생각된다. 두 해역의 크릴 개체군은 다른 기원일 가능성이 더 높다. 아마 남오크니 섬과 엘리펀트 섬 사이에서 발견된 크릴은 남극환류에 실려 도달한 것이라기 보다 이미 그 곳에 머무르고 있던 개체군일 가능성이 훨씬 높을 것으로 생각된다. 엘리펀트 섬과 남오크니 섬 사이의 크릴은 겨울동안 해빙 밑에서 머물다 여름으로 접어들며 해빙이 후퇴할 때 풀려나온 크릴일 가능성이 높다. 겨울에 형성되는 해빙은 조류와 기타 미소생물이 자랄 수 있는 기질을 제공한다. 해빙 밑 표면에 형성된 미소생물 군집은 모든 생활사 단계의 크릴에게 특히 유생이 겨울을 안정적으로 넘기는데 매우 중요한 역할을 하고 또 해빙은 크릴이 포식자들로부터 피할 수 있는 은신처를 제공한다(Smetacek 등 1990). 실제로 광범위하게 해빙이 형성되면 이듬해 여름에 크릴이 번성함을 자료를 통해 보여주기도 했다 (Siegel 등 1995, Loeb 등 1997). Fig. II 4-5 에 보였듯 겨울동안 해빙 밑에서 은신하던 크릴이 아마 여름으로 접어들면서 해빙이 후퇴하고 크릴 개체군이 풀려나오는 것이 이 조사에서 관측된 크릴 분포의 탓일 가능성이 높다. 이는 남서대서양 측 남극해에

서 크릴 개체군이 남극환류에 의해 상류의 공급처로부터 보급된다는 이른바 컨베이어벨트 이론이 모든 경우를 설명할 수 없다는 것을 시사한다. 남쉐틀랜드군도 인근 해역에서 제안된 것처럼 (Siegel 1988) 크릴이 산란을 마치고 연안쪽으로 이동해서 해빙 밑에서 겨울을 넘기고 봄으로 접어들면서 해빙이 후퇴하고 크릴이 외양역으로 나온다면 웨델해 역시 남극반도 서쪽 해역과는 별도로 크릴의 월동장 역할을 하고 외양역으로 크릴을 공급할 수 있는 곳이다.

크릴에게 월동장이 될만한 조건은 매년 겨울 해빙이 예측 가능하게 형성되는 곳이고 봄에 식물플랑크톤의 번성이 늘 일어나는 곳이라고 짐작할 수 있다. 이런 해역은 남극 주변에 한 곳일 이유는 없으며 웨델해는 후보지 중의 하나가 될 만한 곳이다 (Fig. II 4-6). 초여름의 크릴 분포는 남극환류 방향의 이동도 중요하지만 연안역과 외양역 간의 이동 또한 중요하며 특히 여름으로 접어들며 해빙이 물러갈 때 크릴 개체군이 방출되는 과정이 생각보다 중요한 역할을 할 수 있다. 남서대서양 측 남극해 크릴 자원 변동에 대한 기존의 이론을 재검토할 필요가 제기되며 이는 추후의 연구 주제가 되어야 할 것이다.

Differing levels of krill density over mesoscale area in the Southwest Atlantic sector of Southern Ocean during early summer; possible causes and consequences

Abstract: An acoustic survey detected a krill scarcity in the Bransfield Strait during early summer 2001/2002, however, the area west of South Orkney Islands exhibited a density similar to other years. Krill scarcity in the Bransfield Strait apparently affected the reproductive performance of penguins in the area. Breeding success of gentoo penguins were clearly lower than last season. It has been reported that the abundance of krill in different parts of the Southwest Atlantic sector of the Southern Ocean are linked, influenced by the same gross physical and biological factors, and the krill biomass within a season does not vary greatly. There may be, however, within-season, and regional variability of krill densities. The krill then in these two areas may have been supplied from different sources or may be responding to local conditions. Chlorophyll biomass does not explain the different levels of krill biomass density but the temporal, spatial change of chlorophyll gives a clue. Krill have been suspected of being transported in water currents, and may have arrived in the Bransfield Strait from upstream, later than in usual years. On the other hand, krill found west of the South Orkney Islands may have originated from the Weddell Sea, which might be another predictable wintering ground for krill and hence a source of krill supply.

5. 참고문헌

- 해양수산부. 2002. 남극해 유용생물 자원 개발 연구. BSPM11100-1416-7.
- Brierley AS, Demer DA, Watkins JL, Hewitt RP (1999) Concordance of interannual fluctuations in acoustically estimated densities of Antarctic krill around South Georgia and Elephant Island: biological evidence of same-year teleconnections across the Scotia Sea. *Mar Biol* 134: 675-681
- Everson I, Goss C (1991) Krill fishing activity in the southwest Atlantic. *Antarctic Science* 3:351-358
- Hewitt RP, Kim S, Naganobu M, Gutierrez M, Kang D, Takao Y, Quinones J, Lee Y-H, Shin H-C, Kawaguchi S, Emery JH, Demer DA, Loeb VJ (2003) Variation in the biomass density and dispersion of Antarctic krill in the vicinity of the South Shetland Islands throughout the 1999/2000 austral summer. (submitted to *Deep-Sea Res*, in revision)
- Hofmann EE, Klinck JM, Locarnini R, Fach B, Murphy E (1998) Krill transport in the Scotia Sea and environs. *Antarct Sci* 10: 406-415.
- Loeb V, Siegel V, Holm-Hansen O, Hewitt R, Fraser W, Trivelpiece W, Trivelpiece S (1997) Effects of sea ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. *Nature* 387:897-900
- Murphy EJ, Watkins JL, Reid K, Trathan PN, Everson I, Croxall JP, Priddle J, Brandon MA, Brierley AS, Hofmann E (1998) Interannual variability of the South Georgia marine ecosystem: biological and physical sources of variation in the abundance of krill. *Fish Oceanogr* 7: 381-390.
- Siegel V (1988) A concept of seasonal variation of krill (*Euphausia superba*) distribution and abundance of the Antarctic Peninsula. In Sahrhage (ed) *Antarctic Ocean and Resources Variability*. Springer Verlag, Berlin pp. 220-230
- Siegel V, Loeb V (1995) Recruitment of Antarctic krill *Euphausia superba* and possible causes for its variability. *Mar Ecol Prog Ser* 123:45-56
- Smetacek V, Scharek R, Nothig EM (1990) Seasonal and regional variation in

the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. In: Kerry KR, Hempel G (eds) Antarctic ecosystems. Ecological change and conservation. Springer Verlag, Berlin, p 103-114

Table II 4-1. Density and size of krill aggregations, and the distance apart between aggregations. EI; the area between Elephant Island and South Orkney Islands, BS; Bransfield Strait

Year	Area	Distance surveyed (km)	Number of krill aggregations	Sv (dB)	Horizontal length of aggregations (m)	Distance apart between aggregations (km)
2000/2001	EI	1120	1332	-63±5.6	245±445	0.92±2.27
	BS1	1332	971	-57±5.6	156±236	1.23±3.14
	BS2	559	594	-60±5.5	203±319	0.62±1.26
2001/2002	EI	1761	2661	-61±5.2	150±210	0.63±1.67
	BS1	165	27	-52±6	62±18	6.33±7.23
	BS2	105	23	-50±5.6	57±28	4.76±6.54

Table II 4-2. Number of penguin chicks raised to creche stage per nest at Barton Peninsula.

	No gentoo chicks raised to creche	No chinstrap chicks raised to creche
2000/2001	1.49	1.44
2001/2002	1.24	1.32

Table II 4-3. Number of gentoo penguin chicks raised to late creche stage per breeding pair at Barton Peninsula and Duthoit Point.

	chicks per nest
2000/2001 Barton Peninsula	1.45
2001/2002 Barton Peninsula	0.99
2001/2002 Duthoit Point	0.72

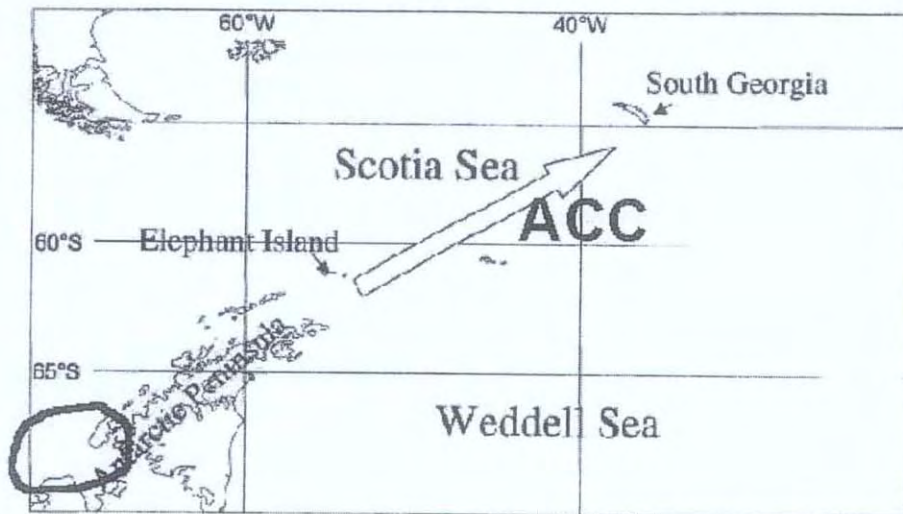


Fig. II 4-1. Schematic diagram of 'conveyor belt' theory. Red circle represents the source spot in the upstream, and ACC stands for Antarctic Circumpolar Current.

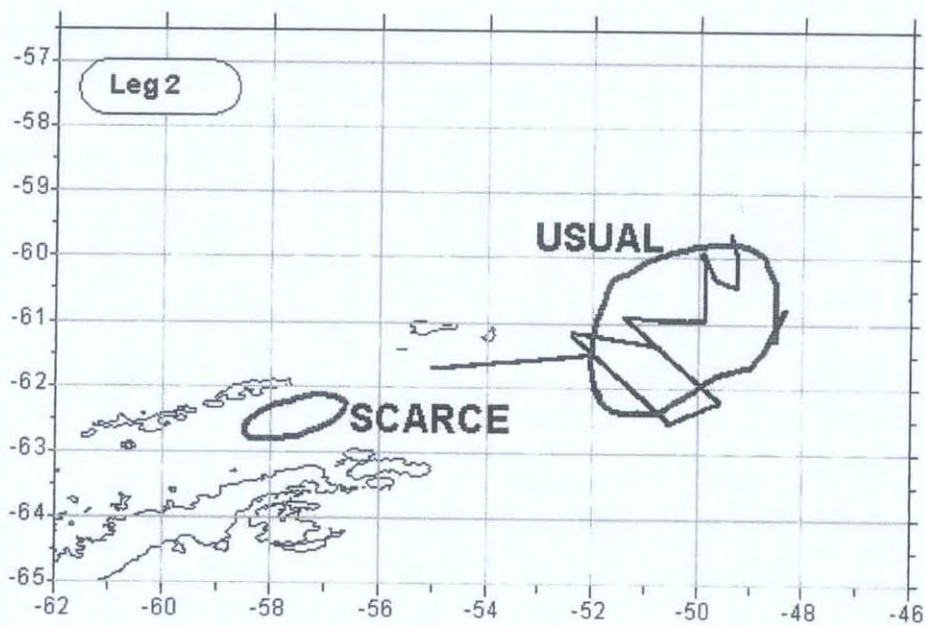


Fig. II 4-2. Differing levels of krill density over meso-scale distance in the Southwest Atlantic sector of Southern Ocean during early summer 2001/2002.

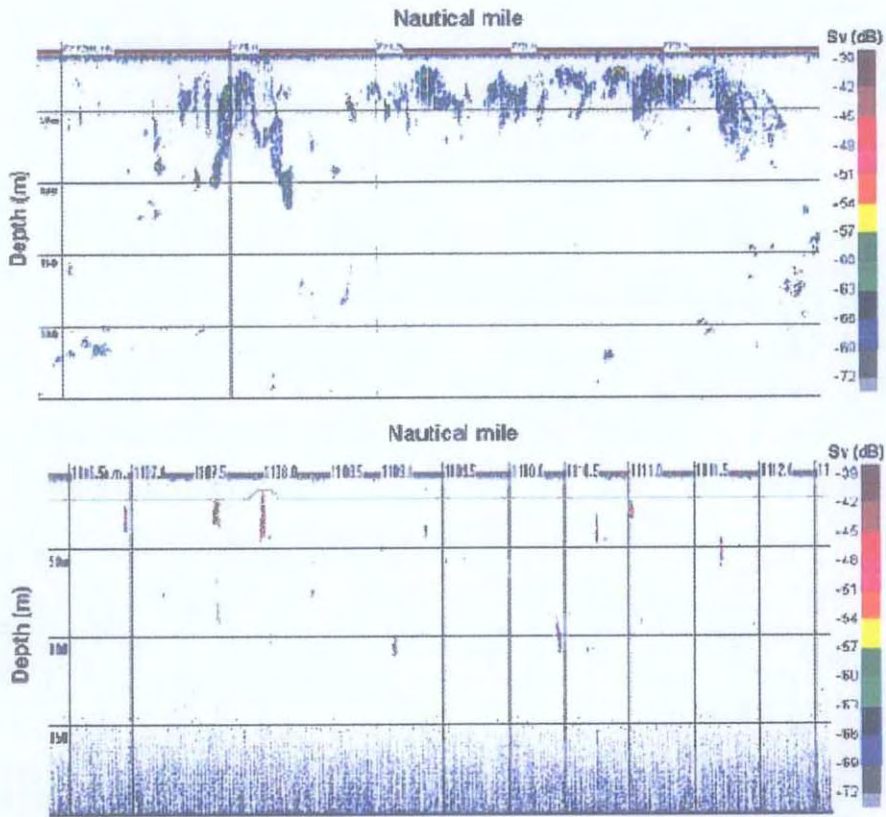


Fig. II 4-3. Typical echograms of krill aggregations from the 2 areas. Upper; the area between Elephant Island and South Orkney Islands, lower; Bransfield Strait.

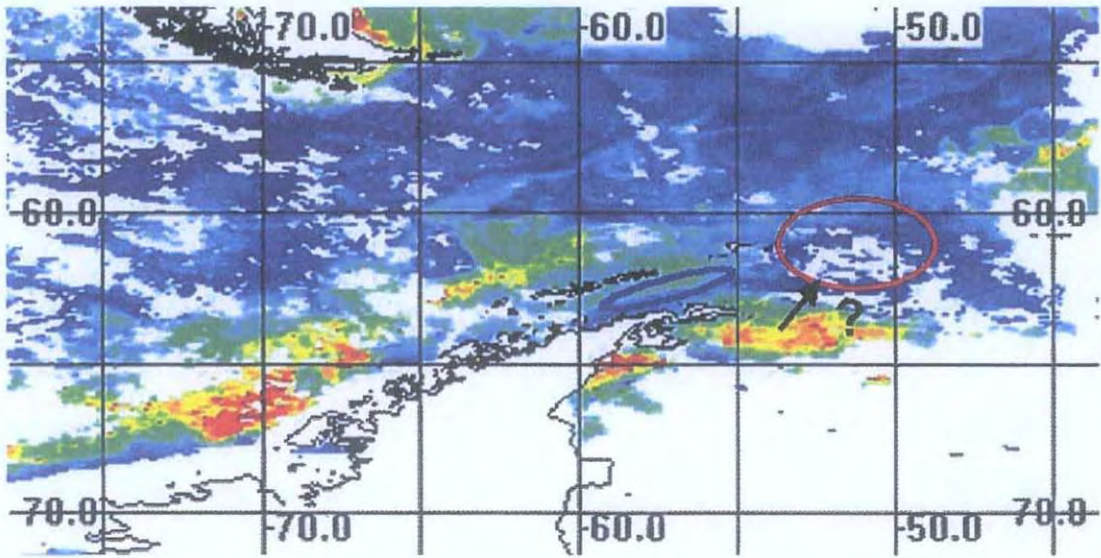


Fig. II 4-4. Chlorophyll biomass from satellite image in the krill survey area. Chlorophyll biomass does not match krill abundance.

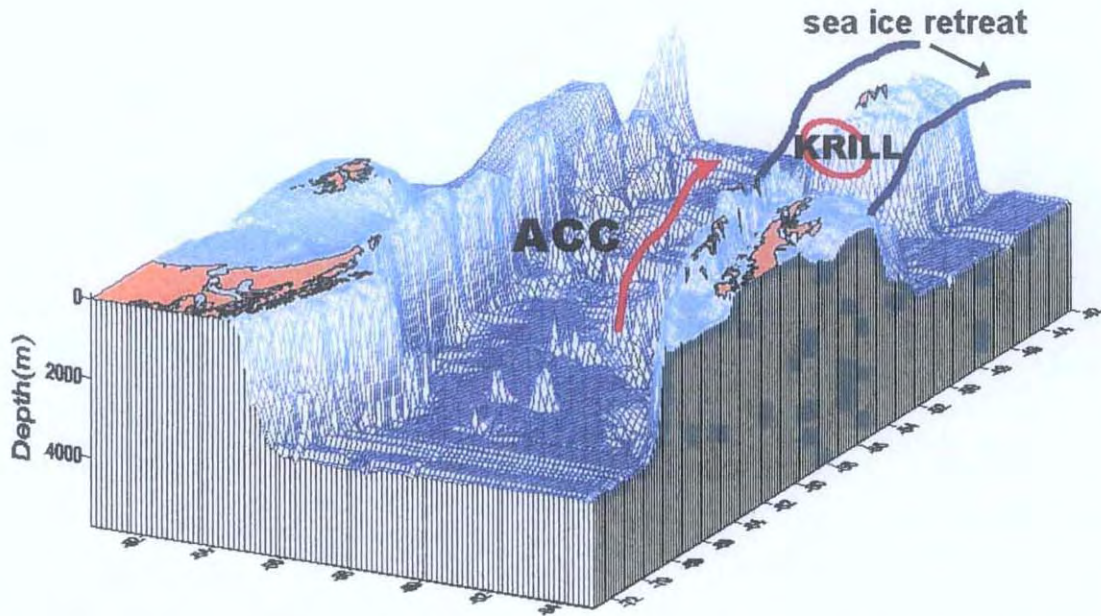


Fig. II 4-5. Potential mechanism of krill supply from retreating sea ice in the Weddell Sea, which might explain differing krill density over meso-scale distance.

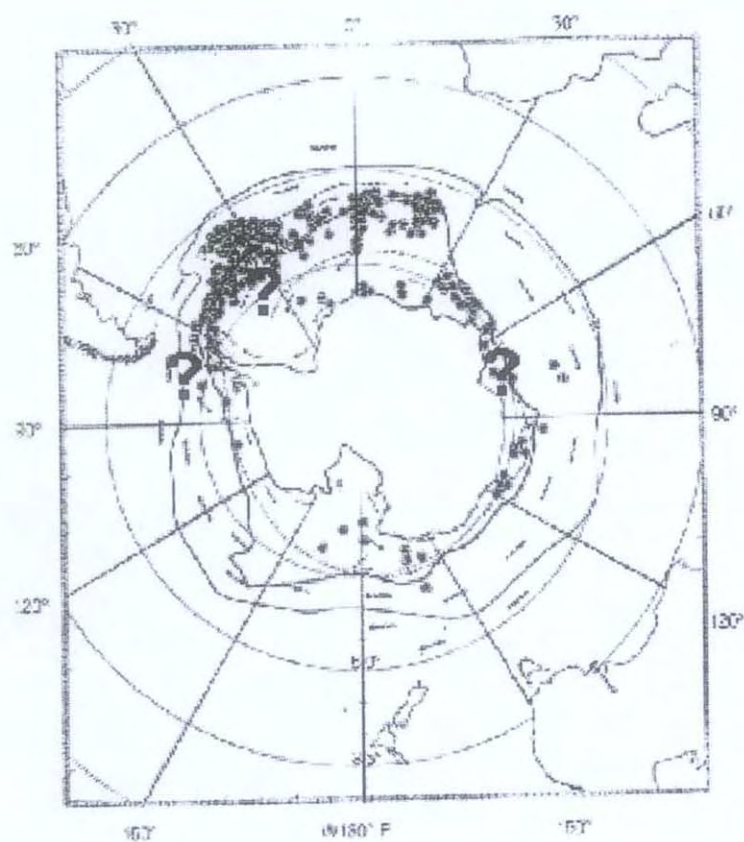


Fig. II 4-6. Possible over-winter sites and sources of krill population around the Antarctic. Solid dots represent principal concentrations of krill and the red line denotes the southern boundary of Antarctic Circumpolar Current.

제 5 절 음향 특성에 따른 남극 크릴 어군의 분류와 환경요인과 상관 관계

요약: 남극 크릴은 동물플랑크톤과 고래, 어류, 펭귄, 조류 등의 상위 포식자들을 연결하는 중요한 연결 고리이며 조사 지역인 남셰틀랜드 군도 인근 해역은 크릴이 지나가는 주요 경로이며 주요 어장이다. 또한 지리적으로 동쪽에 있는 남오크니 섬과 멀리 북동 방향으로 떨어진 남조지아섬 해역의 크릴 자원량을 결정하는 요소로 작용하고 있다. 이러한 특성 때문에 이 지역은 이 지역은 크릴 분포 및 이동에 대한 연구와 아울러 그들의 생태학적 특징에 관한 연구가 매년 한국, 미국 등의 여러 연구팀에 의해 진행되고 있다. 수산업 측면에서도 중요한 부분을 차지하고 있으며 중요한 연구 지역인 이곳에서 크릴 자원의 성쇠와 그 조절 기작을 규명하기 위한 남극해 유용생물자원 개발 과제에 의해 다년간 크릴의 음향조사가 수행되었다. 크릴에 대한 음향 기법의 적용은 하나의 개체에 대한 음향학적 특성과 그것의 현장 연구에 대한 적용이 1980년대 초 시작되었으며 크릴의 자원량 추정에 대한 연구와 생태연구에 기본 데이터를 제공해 주고 있다. 2005/2006년 수집 음향자료를 토대로 남극 크릴이 형성하는 다양한 형태의 크릴 aggregation을 연구하였다. 남극 크릴은 시·공간적 범위에서 다양한 형태의 aggregation을 형성하며 그것의 발생은 생물학적으로 중요한 현상이며 몇몇 연구를 통해 검토되었다(Miller and Hampton 1989; Brierley and Watkins 2000). 이들의 형태 중 가장 일반적인 것이 “swarm”이다. “swarm”은 경계선이 분명하며 일반적으로 가로 세로의 크기가 100m 이내이며 보통 1m³ 안에 수천 마리의 크릴이 밀집되어있는 형태이다. 이 형태는 주로 ice-edge에 가까울수록 많이 나타나며 멀어질수록 “swarm”의 형태가 변화하며 그것에 관한 연구가 수 차례 이루어졌다.(Murray *et al.*, 1995; Bierley *et al.*, 2002). 우리가 얻은 음향 데이터에서도 그들의 형태가 크기와 밀도에 있어서 어떠한 패턴을 가지고 변화하였다. 따라서 크릴 aggregation은 크기와 밀도에 따라 “swarm”에 해당하는 것을 Type A로 분류하였으며 그 밖의 변화하는 형태를 Type B, C 세 가지로 분류하였다. 각각의 형태에 대한 길이, 두께, 위치 수심, 평균 후방 산란 강도등의 변수를 음향 데이터 처리 프로그램을 이용하여 추출하였다. Type A는 남셰틀랜드 군도 북쪽 해역에 고르게 분포한 반면에 넓게 퍼지고 떠 형태를 이루는 Type C는 엘리펀트 섬 북동쪽 해역에 편중하여 분포하고 있었으며 조사 해역의 표층 chlorophyll 농도

를 측정하였다. 한편, 음향 데이터 분석에서 기존 연구에서 사용되었던 다중 주파수의 체적 산란강도를 이용한 크릴 판별법을 응용하였으며 실제 채집된 크릴의 체장을 고려하여 몇 가지 변수를 수정하여 사용하였으며 이에 대한 방법 및 절차를 기술하였다.

1. 서론

국제식량농업기구(FAO)의 통계 해역 48.1 소해역에 해당하는 남쉐틀랜드군도 인근 해역은 남극해의 생태계 피라미드의 아래 부분을 차지하고 있지만 동식물 플랑크톤과 고래, 어류, 펭귄, 조류 등의 상위 포식자들을 연결하는 중요한 고리의 역할을 하고 있는 남극 크릴(Antarctic krill, *Euphausia superba* Dana)의 분포 밀도가 높은 곳으로 알려져 있다(Murphy et al., 1988). 이 지역은 크릴 분포 및 이동에 대한 연구가 매년 한국, 미국 등의 여러 팀에 의해 진행되고 있고, 상업 어선의 크릴 어획이 주로 이루어지고 있는 곳으로 남극해 크릴에 대한 중요한 연구 지역이면서 수산업 측면에서도 중요한 부분을 차지하고 있다. 우리나라의 경우, 1998/1999 시기에 처음으로 음향 조사 기법을 도입한 이후 지속적으로 음향 데이터를 수집하고 있다. 그러나 미국, 페루, 일본등과 같이 장기간에 걸쳐 넓은 조사 지역을 선정하거나, 타 연구 과제와 연계되어 불규칙한 지역 및 조사 정선이 이루어져 왔다. 그러나 이와 같이 제한된 조건임에도 불구하고 남극해 해양 생태계에서 크릴이 차지하는 비중을 고려할 때 지속적인 조사가 필요한 시점이다.

남극해의 크릴 aggregation을 형성하는 기작에 관한 연구는 크릴이 환경에 반응하는 형태로서 먹이 섭취와 번식활동과 관련이 있기 때문에 직접적인 자원량 조사와 함께 크릴의 주된 연구 가운데 하나이다.

해양생태계에서 aggregation을 형성하는 생물 종은 많은 갑각류와 어류에서 나타난다. 이러한 습성에 먹이 섭취와 생식 활동에서의 이득, 포식자로부터의 회피 등 많은 요인들이 원인으로 추정된다. 남극 크릴은 ice-edge와 가까울수록 작고 밀도 높은 aggregation을 형성한다는 연구결과가 발표된 바가 있다(Brierley et al., 2002). 이들의 형태 중 가장 일반적인 것이 "swarm"이다. "swarm"은 경계선이 분명하며 일반적으로 가로 세로의 크기가 100m이내이고 보통 1m³ 안에 수천 마리의 크릴이 밀집되어있는 형태이다. 그러나 "swarm"의 형태는 외해로 나갈수록 변화하며 ice-edge 아래서의 형태와는 확연히 다른 모습을 보인다. 크릴은 때때로 불규칙한 낮은 밀도의 형태로 100m이상의 넓은 수층에 흩어져 분포하기도 하며, 비교적 높은 밀도를 유지하며 두께는 50m내외로 넓은 지역에서 띠 형태로 나타나기도 한다. 밀도가 낮아지고 swarm의 형태가 일그러지거나 커지는 형태는 ice-edge에서 멀어질수록 그 모습이 분명하게 나타난다(Murray et al., 1995). 크릴의 이러한 형태는

남극해가 여름이 되면서 해빙이 녹고 그 아래에 있는 “swarm”이 외해로 빠져 나오면서 환경의 변화에 대한 반응으로 풀이 될 수 있다. krill aggregation의 형성에 영향을 미치는 요인으로는 먹이 섭식과 생식 활동과 같은 생태적 요인들과 계절에 따른 빛의 강도와 다양한 수리학적 요인들을 생각할 수 있다(Hofmann *et al.*,2004). 그들의 관찰과 연구에 있어서 다른 해역에 비해 비교적 덜 복잡한 영양단계를 가지고 있는 남극해역에서 음향 기법을 통한 남극 크릴의 aggregation형성에 관한 연구는 다른 해역에 비해 다른 종들과의 분류가 쉽고 변화하는 모습에 대해 관찰이 용이하다는 장점이 있다. 확연히 구별되는 남극수괴 안에서 남반구 여름에 일어나는 수리적 요인의 변화와 한정된 지역에서의 식물플랑크톤 번성에 반응하는 크릴의 생태적 특성에 대한 연구는 나아가서 다른 해역의 크릴과 비슷한 Euphausiid에도 적용될 수 있다. 따라서 aggregation을 형성하는데 영향을 주는 환경적 요인을 구별하고 메커니즘을 이해하는 것은 그들의 생태를 이해하는데 매우 중요하다.

한편, 음향 자료 분석을 위해 사용된 다중 주파수의 체적 산란 강도 차이를 이용한 방법(Watkins & Bierley, 2000;WG-EMM-00/21,2000) 및 절차를 기술하였다. 이 방법은 2000년 이후에 제시된 방법으로 남극해 크릴의 음향학적 분석의 표준화된 방법으로 제시되었다.

2. 음향자료 처리 방법

다중 주파수의 체적 산란 강도를 이용한 크릴 판별법

가. 다중 주파수의 평균 체적 산란 강도 차이

일반적으로 음향자료 처리는 대상어종에 대한 개개 음향 특성 및 해양에 분포하는 생태학적 특성을 바탕으로 전문화된 인력의 경험에 의존하는 방법을 사용해 왔다. 즉 특정 어종과 잡음(수중 소음+원하지 않는 어종에 의한 신호)을 분리하는 “scrutinize”단계에서 시각적인 분석(visual analyze) 방법을 1990년 후반까지 보편적으로 사용해 왔다(Socha *et al.*, 1996). 이 방법은 아직까지도 베링해의 명태(walleye pollock), 북해의 청어(herring), 남극해의 크릴 등과 같이 계절적으로 단일 어종이 우점하게 형성되는 경우에 많이 사용되고 있으며 숙련된 자료 처리자의 경우에는

여전히 유용한 수단으로 이용되고 있다. 그러나 음향 자료 처리의 숙련도는 연구 지역에서 오랫동안 대상 어종에 대한 음향 특성을 파악함으로써만 얻을 수 있다. 또한 개개 음향 자료 처리자의 판단 기준에 따라 동일한 음향 자료에 대한 자원량 예측에 문제가 될 수 있다. 따라서 이러한 시각적인 분석 방법은 분석자의 주관에 따라 자원량 예측에 문제가 되고 있으며, 특히 중위도 해역에서처럼 여러 어종이 동시에 존재하고 EH한 음향 자료의 양이 작지 않을 경우 이 방법은 숙련의 유무에 무관하게 많은 오차를 발생시킬 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존에 많이 사용하던 단일 주파수 방법 대신 다중 주파수를 이용한 평균 체적 산란 강도(Mean Volume Back-scattering Strength; MVBS) 차이법이 이용되고 있다. 이 방법은 이미 앞의 2장 1절에서 자세하게 설명되었으므로 되풀이하지 않는다. 남극해 크릴과 같은 갑각류 플랑크톤의 경우 저주파에 비해 고주파에서 상대적으로 높은 체적산란 강도 특성을 나타낸다. 수집된 음향자료로부터 크릴만을 분리해내는 방법은 위와 같은 특성을 이용해 2000년 6월에 개최된 'CCAMLR Synoptic 조사자료 분석을 위한 workshop'에서 사용되고 표준화되었다 (WG-EMM 00/21, 2000). 여기에서 사용된 주파수간 체적 산란 강도 (이하 $\Delta MVBS_{120-38}$) 차이는 2~16 dB였다. 그러나 Stanton *et al.* (1994)에서 $\Delta MVBS_{120-38}$ 값은 크릴의 체장이 작을수록 16dB에 가까워지며 $\Delta MVBS_{120-38}$ 값이 12dB보다 작은 경우(약 27mm 이하) 작은 크기의 다른 Euphausiids일 가능성이 높아지는 것을 의미한다. 이번 연구에서는 다른 Euphausiids를 선택하는 오류를 최소화하기 위해 $\Delta MVBS_{120-38}$ 값을 2~12dB로 정하여 사용하였다.

나. 가상에코그램을 이용한 크릴의 분리

EK500으로 얻은 데이터에서 크릴을 분리해 내는 작업은 SonarData Pty Ltd의 Echoview2 프로그램을 사용하였다. 이 과정은 총 16단계의 절차를 거치며 각 과정에서 가상 에코그램(virtual echogram)을 생성하여 사용한다. 센서 보정은 자료 수신 이후 실행했다. 음향 데이터의 기본 셀 크기는 가로 1 ping(1초), 세로 0.5m이다.

다음은 EchoView software 를 이용하여 크릴을 분리해 내는 과정을 요약

한 것으로 2장 1절에서 소개된 방법과 근본적으로 동일하지만 자원량 평가보다 크릴 어군의 식별을 목적으로 변형한 절차이다.

단계 1: 38kHz, 120kHz 음원에서 수신된 각각의 에코그램에서 해수면, 해저면을 분리시킨 후 전기 잡음 지역을 'bad region'으로 분리시킨다. 또한 연구선의 속도가 2knot 이하 일 경우 같은 지역의 음향 데이터가 중복 될 수 있다(I. Sprong *et al.*, 1992). 따라서 연구선의 속도가 2knot이하인 구간의 데이터도 'bad region'으로 분리시킨다. 설정된 surface exclusion line과 integration stop line 사이의 구간이 적분 구간에 해당한다. 이때 각 주파수 별로 logging 및 processing 단계에서의 센서 입력 변수를 이용한다(Fig. II-5-1 a, b).

단계 2; 가상 에코그램을 만들기 위한 첫 번째 단계로 단계 1에서 설정한 surface exclusion line과 integration stop line으로부터 적분 구간만을 나타내는 가상 에코그램을 만든다(Fig. II-5-2). 이 단계는 관측 자료에서 표층 잡음 및 해저면 신호를 제외시키고 산란체가 존재하는 지역만을 이용하는 가상 에코그램을 생성하기 위한 공간을 만드는 과정이다.

단계 3; 단계 1의 실측 자료와 단계 2에서 만든 공간 구간을 결합하여 실측 자료에서 bad region을 제거하는 과정이다. 이 과정에서 만들어진 가상 에코그램은 단계 1의 실측 자료에서 surface exclusion line과 integration stop line을 기준으로 생성되므로 적분 구간내의 에코그램 형태는 단계 1의 형태와 동일하게 형성된다(Fig. II-5-3-a,b). 그러므로 크릴만을 분리해 내는 과정의 출발점이 되므로 동일한 에코그램이 생성되지 않으면 다시 단계 1, 2를 수정해야 한다.

단계 4; 단계 3에서 만들어진 가상 에코그램은 잡음(noise)이 포함되어 있는 상태이다. 따라서 현장에서 passive 형태로 수신한 주변 소음 자료로부터 가상 에코그램을 생성하며(noise generator) 단계 4에서 주변 잡음에 의한 효과를 제외시켜야 한다. 일반적으로 120kHz에 비해 38kHz에서 높은 준위의 잡음을 나타내고 있으나 threshold 값으로 설정한 75dB에 비해 낮은 수준인 130dB 이하의 분포를 보이므로 본 예에서 사용한 에코그램에도 잡음의 효과는 나타나지 않고 있다(Fig. II-5-4-a, b). 이 때 noise를 생성하기 위해서

는 absorption coefficient, pulse length, nominal beam angle 등의 시스템 변수가 이용된다.

단계 5; 단계 3에서 만들어진 가상 에코그램에서 단계 4에서 만든 가상 잡음을 제거한 후에 새로운 에코그램을 생성하는 단계이다. 이 단계를 거치면서 각 주파수 별 가상 에코그램은 주변 소음 준위를 제거한 순수한 생물체에 의한 신호만 남게 된다(Fig. II-5-5 a, b).

단계 6; 단계 5에서 생성된 38, 120kHz 가상 에코그램은 잡음이 제거된 상태로 각 기본 셀당 체적 산란 강도를 표시한다. 그러므로 각 셀에서 120 kHz에서의 체적산란강도 값 ($\Delta MVBS_{120\ 38}$)과 38kHz체적 산란 강도 차이를 나타낼 수 있다. 이때 두 주파수의 두 주파수의 체적 산란 강도 차이는 크릴의 경우 120kHz에서 항상 높게 나오므로 양의 값을 가진다 (Fig. II-5-6).

단계 7; 단계 6에서 만들어진 두 주파수 간의 평균 체적 산란 강도 차이로부터 크릴로 판정 가능한 2~12dB사이의 값을 나타내는 셀만을 이용하여 새로운 가상 에코그램을 만든다(Fig. II-5-7).

단계 8; 단계 7에서 만들어진 에코그램은 크릴로 판정 가능한 체적 산란 강도 차이를 나타내는 셀로 구성되어 있다. 따라서 이 때 만들어진 에코그램과 단계 5에서 만들어진 에코그램에서 75dB이상의 분포를 가지는 셀만을 선택하여 최종적으로 크릴만으로 구성되어 있는 가상 에코그램을 생성하게 된다 (Fig II-1-8).

다. 크릴 aggregation의 식별과 정의

Echoview의 school detection 기능을 이용하여 크릴이 형성하는 aggregation을 식별하고 형태별로 정의한다(Fig. II-5-9). 다음은 Echoview2가 schools detection 과정에 대한 설명이다.

단계 1; Minimum connected length & Minimum connected height

하나의 연속되는 데이터 신호의 길이가 가로 0.5 m, 세로 0.1 m보다 짧으면 하나의 school로 인정하지 않으며 이 길이보다 길면 하나의 school로 간주한다.

단계 2; Maximum vertical & horizontal linking distance

단계 1에서 각각의 스쿨로 구별된 것 중에서 수평거리 최대 5m, 수직거리 최대20m의 범위 안에 들어오면 하나의 school로 연결된다고 본다.

단계 3; Minimum school length & Minimum school height

위의 과정을 거쳐서 크릴 스쿨의 후보가 된 데이터 중 최대 가로 길이가 10m보다 짧고 세로길이가 3m보다 작으면 스쿨의 후보에서 제외된다. 즉 크릴 school로 간주되려면 이 크기보다는 커야 한다.

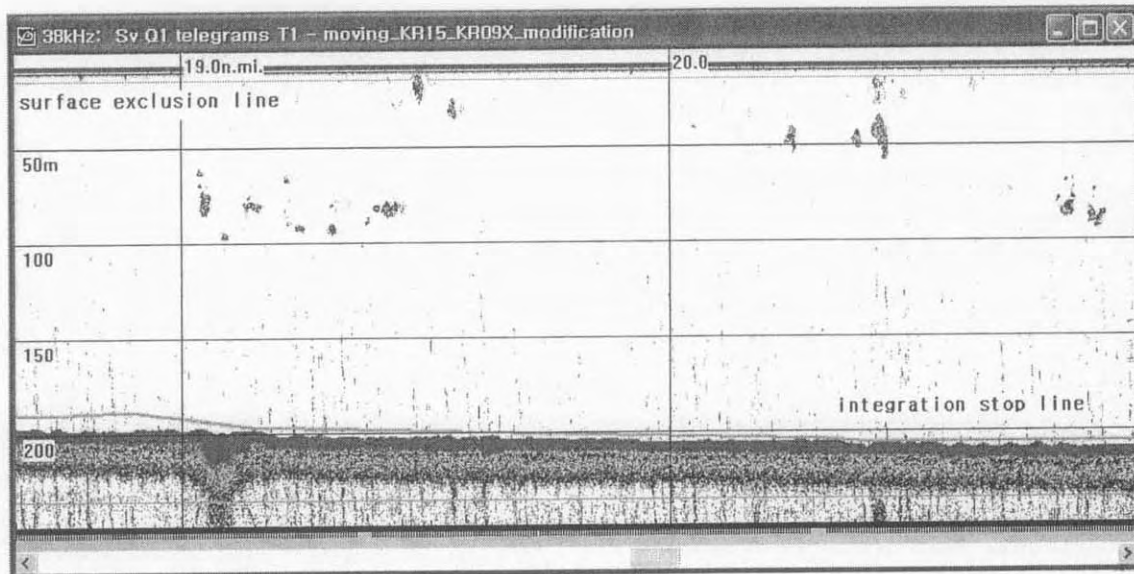
단계 4; 이렇게 얻어진 각각의 스쿨의 NASC, CHeight, CDepth, Dist_S, Dist_E, Dist_M, Date_M, Time_M, Lat_M, Lon_M, Corrected_length, Corrected_height, corrected_perimeter, Corrected_area, Corrected_MVBS, 3D_school_area, 3D_school_volume에 대한 정보를 추출하여 엑셀 파일 형태로 저장한다.

단계 5; 위의 변수들을 참고하여 변수를 추출한 에코그램에서 Type A, B, C를 시각적으로 분류한다 (Fig. II-5-10- a, b, c).

Type A; 밀도가 높으며 krill aggregation의 윤곽이 뚜렷하며 길이는 몇몇 예외를 제외하고 대부분 1km를 넘지 않는다. 대체로 작고 동글동글한 타원형의 형태이다.

Type B; 시작과 끝이 불분명하고 흩뿌려져 있는 형태이며 하나의 aggregation 안에 군데군데 60 dB 이하의 높은 밀도를 나타내는 부분이 존재하기도 한다.

Type C; 1 km 이상의 긴 layer 형태이다.



Variable Properties - 38kHz: Sv Q1 telegrams T1

Data | Display | Grid | Processing | Calibration | Lines | Regions | Notes

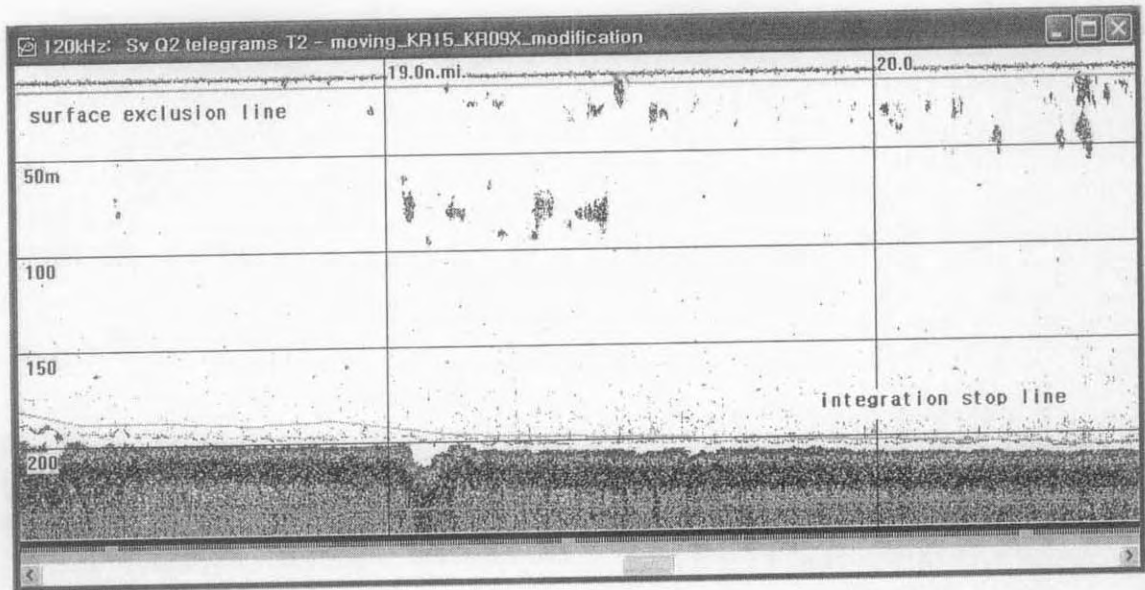
Apply calibration correction

	Logging	Processing
Absorption coefficient (dB/m):	0.0100000	0.0100000
Sound speed (m/sec):	1470.60	1458.61
Transmitted power (W):	1000.0	1000.0
Equivalent 2-way solid beam angle:	-15.90	-15.90
Sv gain (dB):	22.3600	22.6800
Wavelength (m):	0.0387000	0.0383844
Transmitted pulse length (ms):	1.000	1.000
Draft correction (m):		0.0
Frequency (kHz):		38.00
Nominal angle (degrees):		12.500

Note that these calibration settings are shared with:
38kHz: Sv Q1 telegrams with expanded bottom T1

OK Cancel Apply Help

Fig. II-5-1-a. An example of real echogram from 38 kHz acoustic data and input parameters. The threshold level is 75 dB.



Variable Properties - 120kHz: Sv Q2 telegrams T2

Data | Display | Grid | Processing | Calibration | Lines | Regions | Notes

Apply calibration correction

	Logging	Processing
Absorption coefficient (dB/m):	0.0260000	0.0280000
Sound speed (m/sec):	1470.60	1458.61
Transmitted power (W):	1000.0	1000.0
Equivalent 2-way solid beam angle:	-20.80	-20.80
Sv gain (dB):	26.1000	24.8600
Wavelength (m):	0.0122550	0.0121550
Transmitted pulse length (ms):	1.000	1.000
Draft correction (m):		0.0
Frequency (kHz):		120.00
Nominal angle (degrees):		7.100

Note that these calibration settings are shared with:
120kHz: Sv Q2 telegrams with expanded bottom T2

OK Cancel Apply Help

Fig. II-5-1 b. An example of real echogram from 120 kHz acoustic data and input parameters. The threshold level is 75 dB.

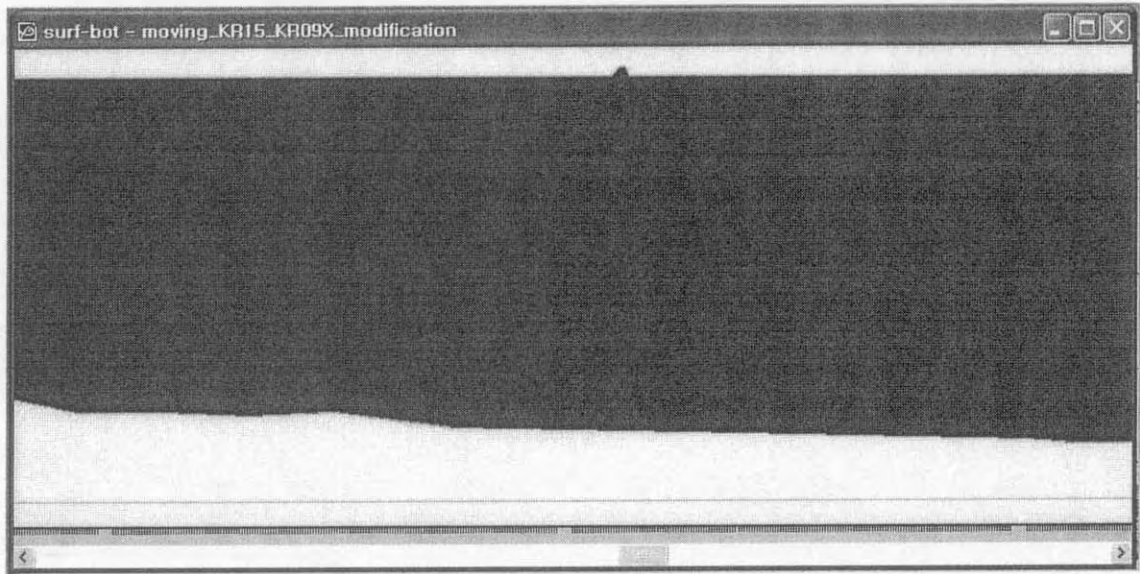


Fig. II-5-2. Integration interval between surface exclusion line and integration stop line. These lines are produced from Step 1.

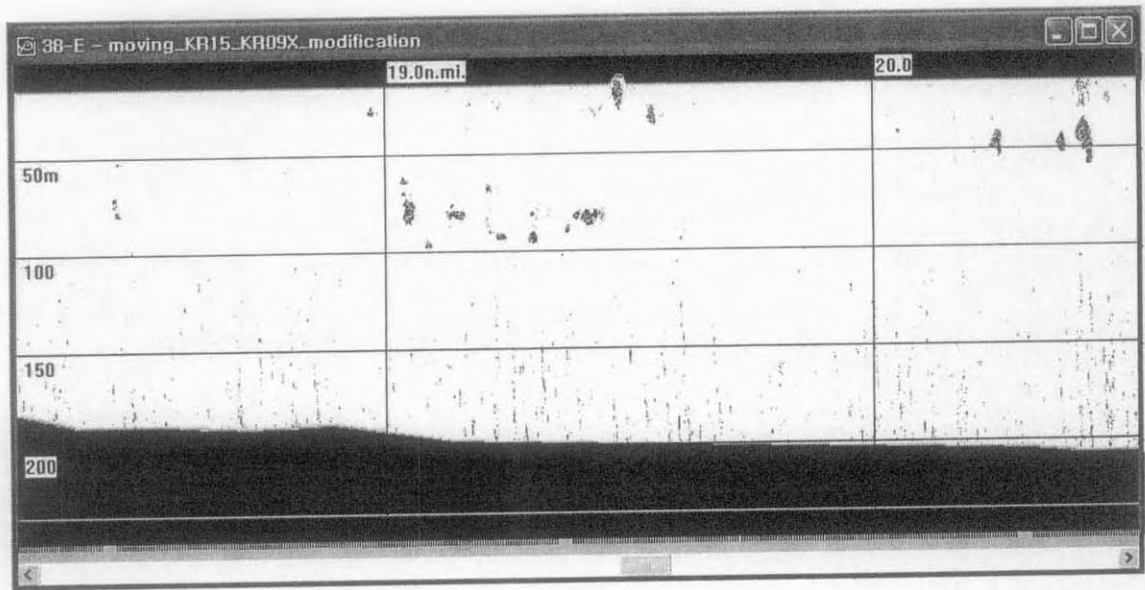


Fig. II-5-3-a. Virtual echogram for 38kHz excluded bad region. The threshold level is -75 dB.

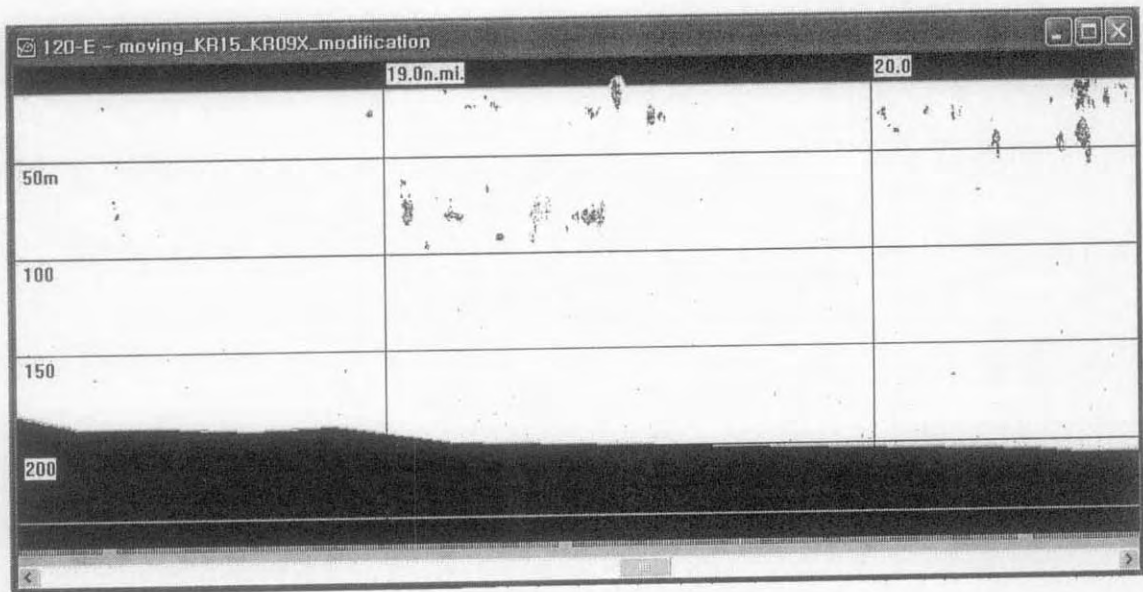


Fig. II-5-3-b. Virtual echogram for 120kHz excluded bad region. The threshold level is -75 dB.

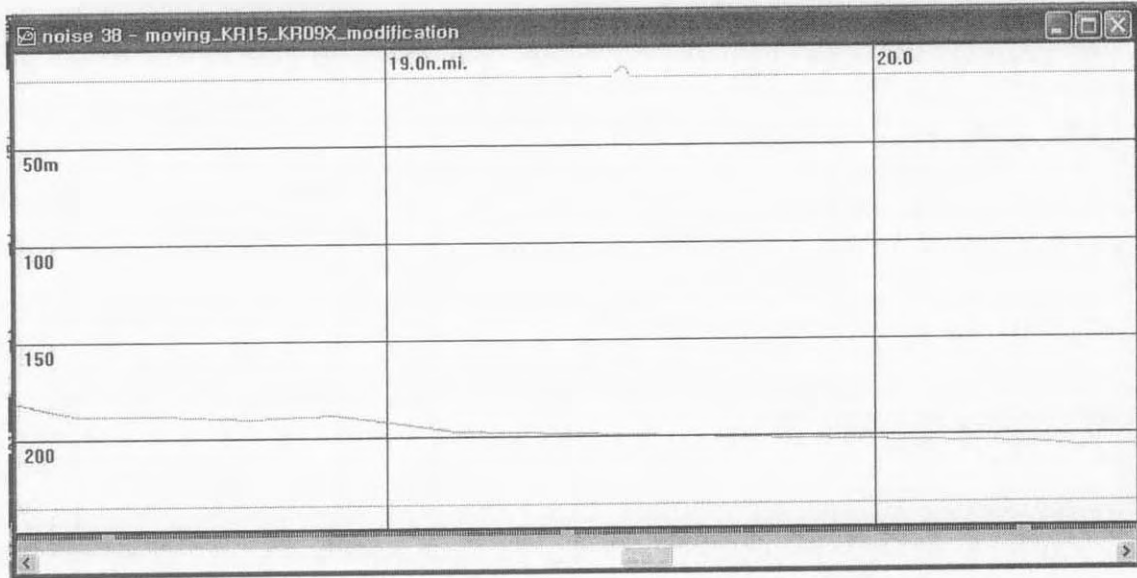


Fig. II-5-4 a. Noise level for 38 kHz. The threshold level is -75 dB.

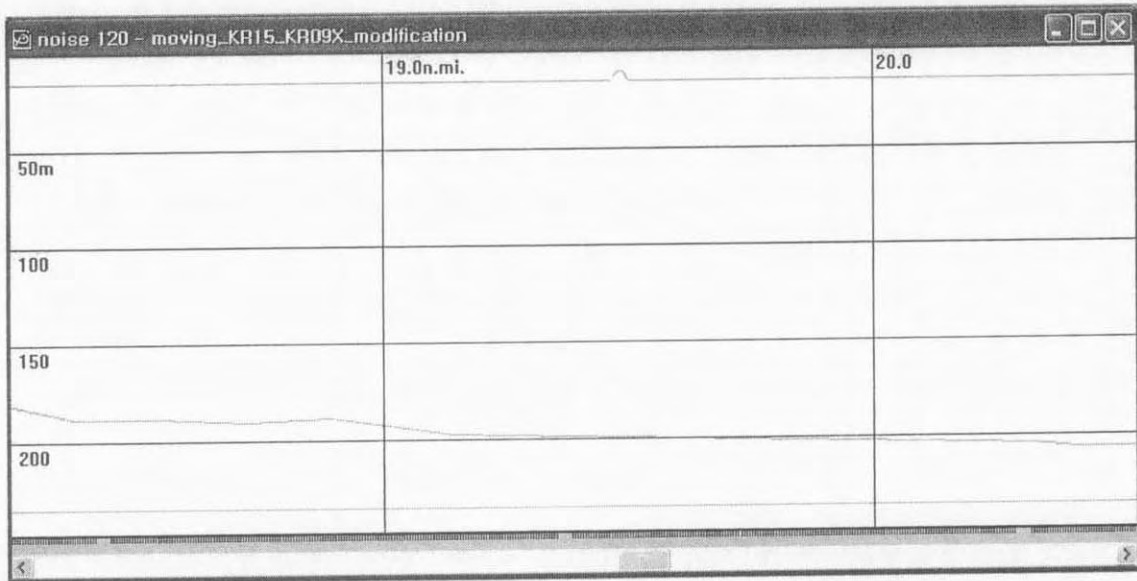


Fig. II-5-4 b. Noise level for 120 kHz. The threshold level is -70 dB.

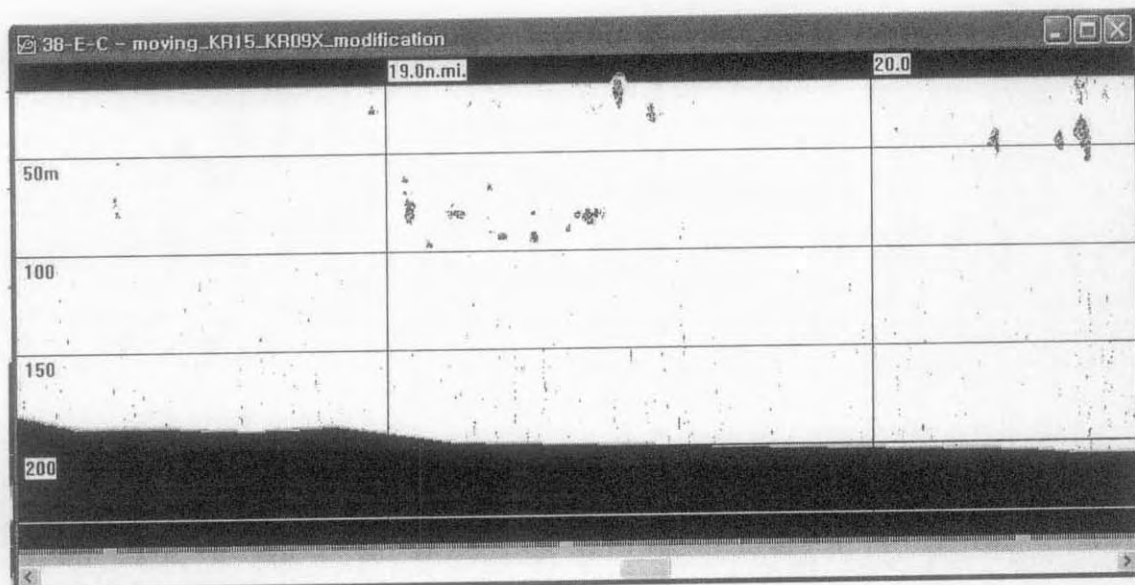


Fig. II-5-5 a. Virtual echogram for 38kHz exclude noise level. The threshold level is -75 dB.

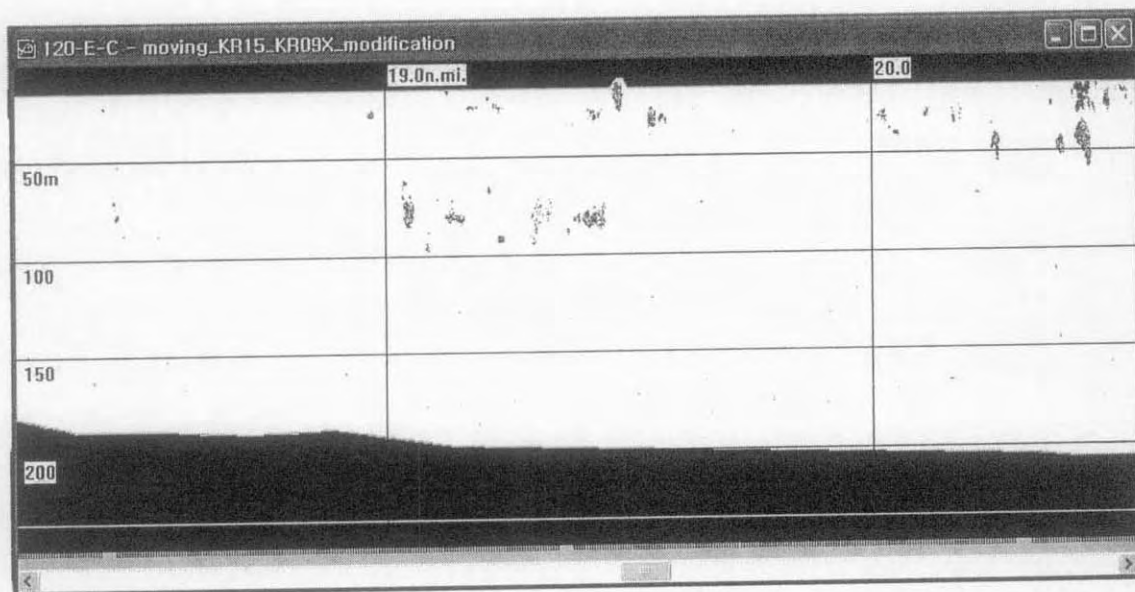


Fig. II-5-5 b. Virtual echogram for 120 kHz exclude noise level. The threshold level is -75 dB.

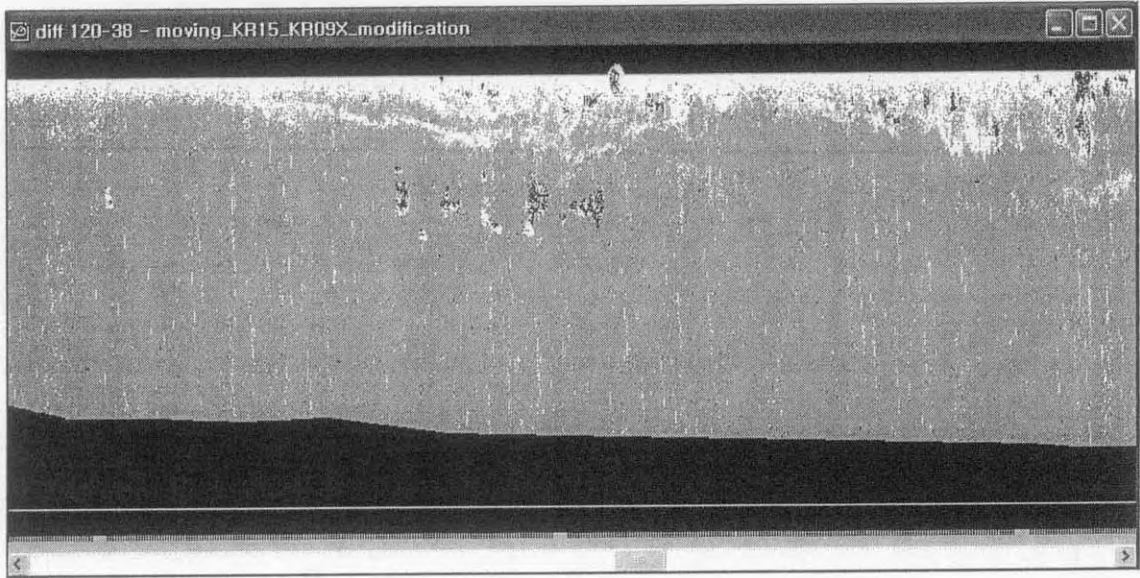


Fig. II-5-6. Subtract re-sampled noise-free 38 kHz echogram from re-sampled noise-free 120 kHz echogram. The threshold level is 0 dB.

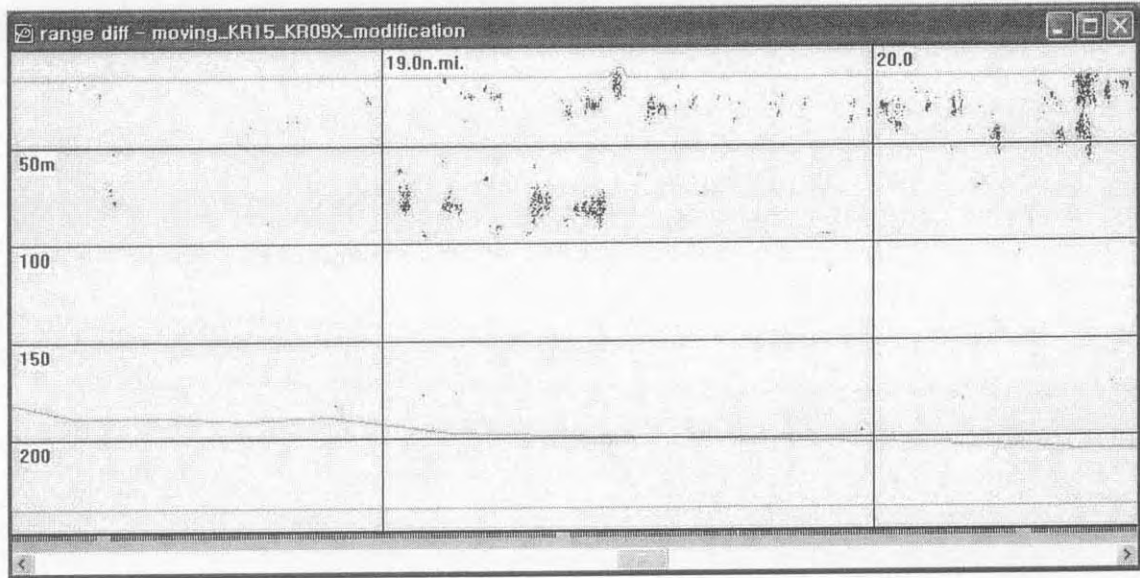


Fig. II-5-7. Virtual echogram with difference of mean volume backscattering strength between 2 and 12.

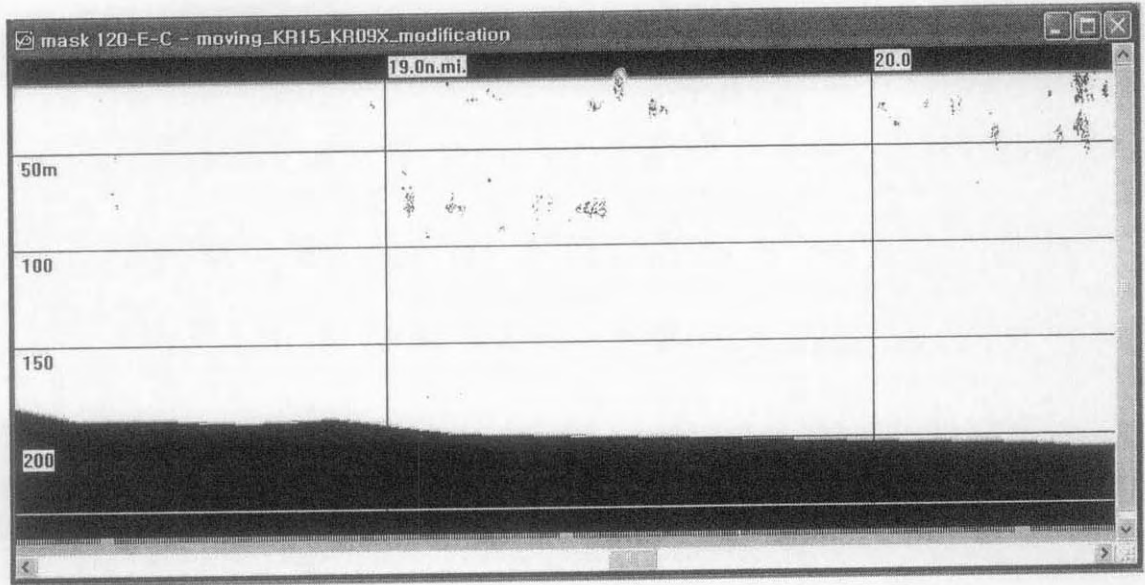


Fig. II-5-8. Virtual echogram for mask re-sampled noise-free 120 kHz.

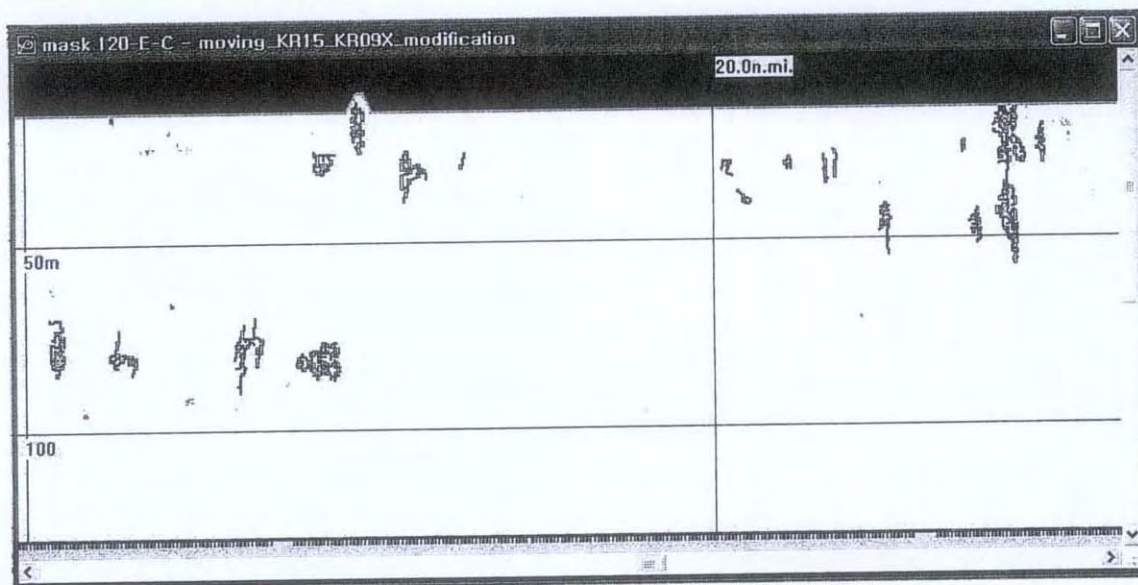
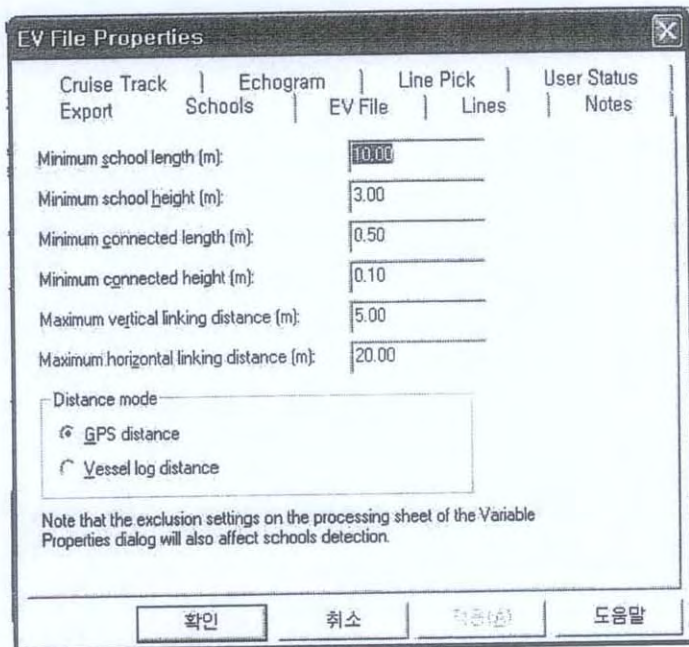


Fig. II-5-9. Virtual echogram for detected schools noise-free 120 kHz.

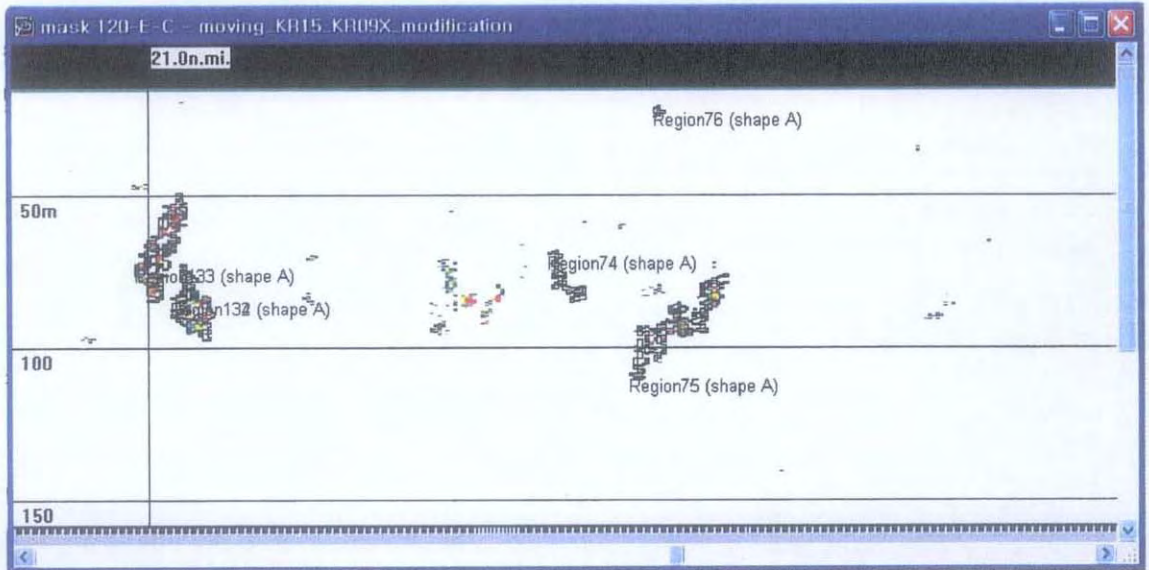


Fig. II-5-10-a. Typical Type A aggregation.

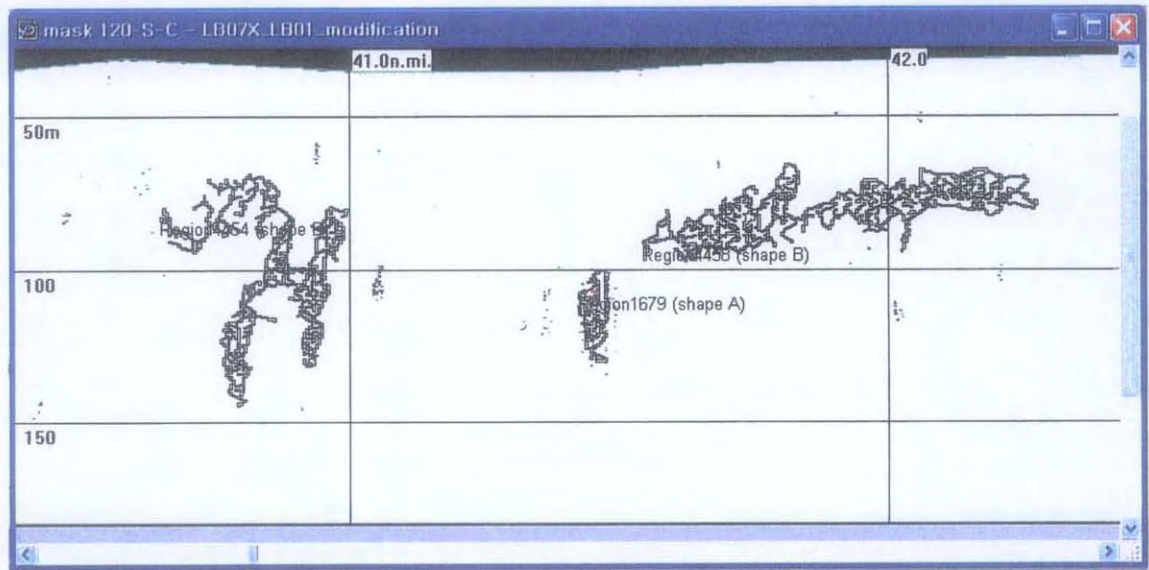


Fig. II-5-10-b. Typical Type B aggregation.

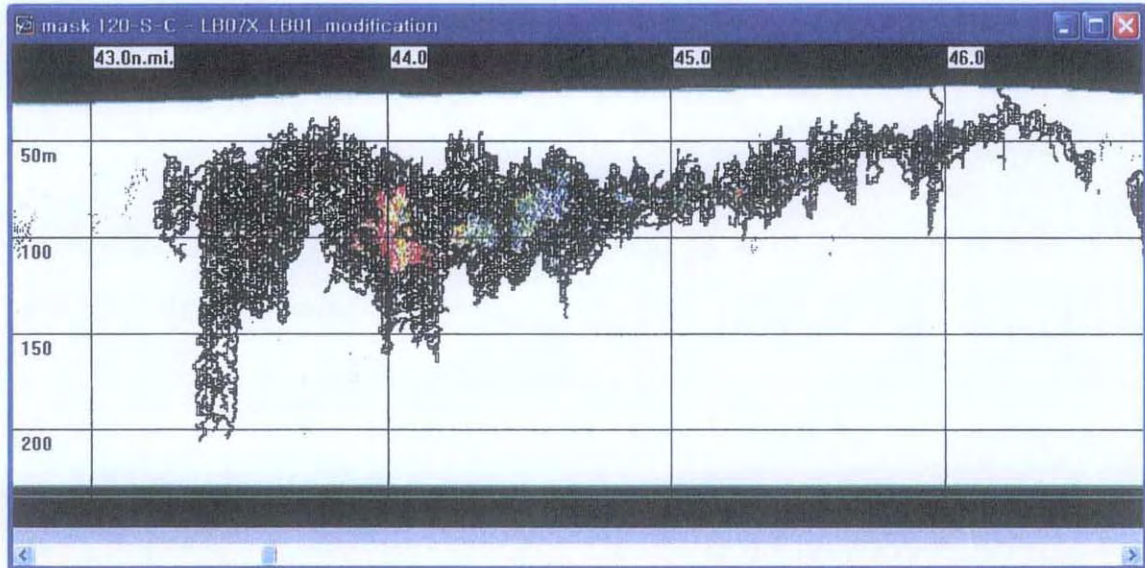


Fig. II-5-10-c. Typical Type C aggregation.

3. 현장 조사 및 자료 처리

가. 음향 조사 해역

2005/2006 남극하계 기간의 크릴 자원조사는 아남극 전선역 (sub-Antarctic Polar Front; SAF)에서 남극순환해류 경계면 이남과 북서웨델해를 포함하는 광범위한 해역을 조사하였다. 현장 조사의 시작은 2005년 11월 24일 킹조지 섬의 세종기지를 출발하여 남쉐틀랜드 군도의 북부해역을 중심으로 엘리펀트 섬의 동쪽해역까지 2005년 12월 4일까지 수행되었다 (Fig II-5-11). 2006/2007 하계조사는 그동안 공동조사를 수행하던 연구프로그램의 종료로 용선시간이 축소되어 2005/2006 하계 조사 때와 거의 같은 정선이지만 Line A, B, C만 조사할 수 있었으며 예년보다 약간 늦은 12월 13일-20일 관측이 이루어졌다. 이 해역은 복잡한 해저 지형에 기인한 다양한 형태의 물리적 특성으로 인해 여러 유형의 해류 및 수괴가 존재하며, 이로 부터 생물, 화학적 요인들의 계절 변화 및 연 변동이 크게 나타나 남극 생태계에서 중요한 역할을 하는 곳 중의 하나이다. 특히 엘리펀트 섬의 동쪽 해역은 웨델해로 터 유입되는 해수와 남극 환류가 만나는 지역으로 복잡한 해양 환경을 가지고 있는 지역이다. 또한 이 지역은 남극 대륙 주변부에서 고밀도의 크릴 떼가 존재하는 지역으로 알려져 왔다. 남쉐틀랜드 군도 주변은 이 과제에서 1999/2000년 이후 크릴 음향 조사 및 해양 환경 조사를 실시한 유사한 지역으로 연속적인 조사로부터 축적된 자료를 얻을 수 있는 장점이 있다. 음향조사를 위해 사용한 조사선은 예년과 동일하게 선저에 음향 센서를 부착하고 있는 러시아 선적의 5000톤 급 지구 물리 전용선인 “Yuhzmorgeologiya”호였다.

나. 음향자료 기록

어군탐지기는 노르웨이 Simrad Ltd.의 EK500을 사용하였고 음향 관측을 위한 센서는 split beam의 38kHz, 120kHz와 single beam의 200kHz 세 가지를 이용하였다. 조사에 들어가기 앞서 각각의 주파수에 대한 음향 입력 변수들은 CCAMLR에서 제안한 방법을 따랐다. 크릴의 분포수심을 고려하고 주파수별 MVBS 차이법을 사용하기 위하여 38kHz와 120kHz는 동일한 탐지 수심인 250m로, 200kHz는 150m

로 설정하였다. 본 조사에서는 예년과 마찬가지로 다중 주파수 분석법을 이용하기 위하여 38kHz와 120kHz의 두 주파수 자료로부터 PC에 운용되는 SonarData Ltd.의 Echoview software version 2.10.53을 사용하였다. EK500으로부터 수신되는 음향 신호는 기존의 워크스테이션과 BI500 프로그램을 사용하지 않고 새로 구입한 Echoview3의 음향 데이터 기록 프로그램인 Echolog500을 노트북에 설치한 후 직접 로깅하였고 또한 Echoview3의 LiveViewing 모듈에 의해 로깅되는 신호를 노트북에서 실시간으로 확인 할 수 있었다. 이는 EK500에서 보이는 음향신호의 그래픽을 노트북에서 그대로 재구성하는 프로그램으로 데이터의 로깅이 제대로 이루어지는지에 대한 확인이 쉽게 이루어지는 장점이 있다. 또한 기존에 워크스테이션에 설치되어 있는 BI500에 저장한 후 PC에 자료를 전송하여 저장하는 방법보다 훨씬 간소화 되었으며 기록된 자료가 실시간으로 확인이 가능하므로 데이터의 안정성이 보장된다. 이후 자료 보관(backup) 및 처리는 모두 일반 PC에서 수행하였다. (Fig. II-5-12).

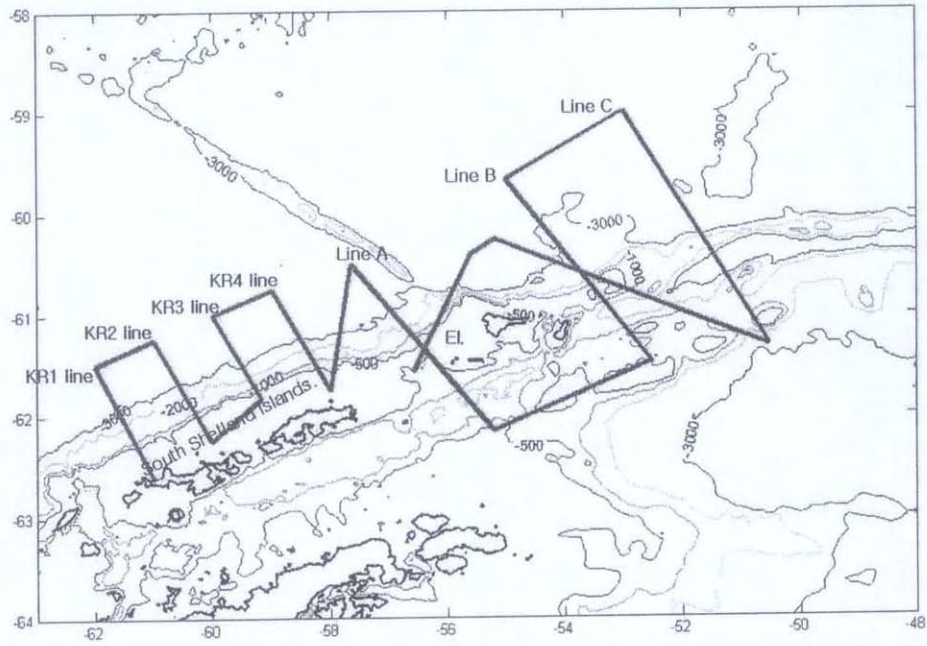


Fig. II-5-11. Cruise track during the survey showing the main 7 transects. For 2006/2007 survey, only Line A, B, and C were occupied.

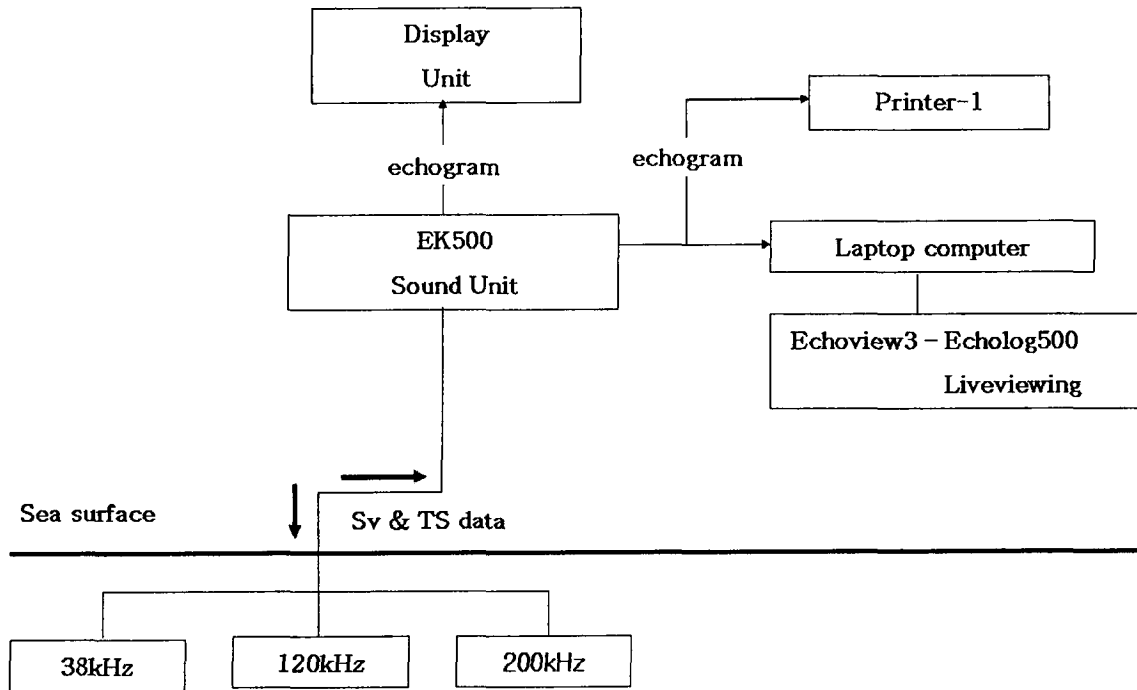


Fig. II-5-12. Block diagram for data logging and processing.

4. 결과 및 토의

가. 크릴 aggregation의 type 별 특성

2005/2006 조사에서 크릴 aggregation으로 분류된 총 데이터 개수는 660개이며, Type A는 561개, Type B는 76개, Type C는 13개이다 (Table II-1-1). Type별로 추출한 변수 length, height, depth, Thickness와 length에 대한 height의 비율의 평균과 표준편차, 그리고 중위수를 구하여 그 특성을 분석하였다. Type A에 length의 평균 길이는 75.78m이며 중위수는 46.27m이다. 표준편차가 102.28m로 변동이 다소 심하지만 전체적으로는 200m 내외의 값을 가짐을 알 수 있다. Type B는 평균 길이가 830.19m, 중위수가 662.31m로 Type보다 10배 가까이 증가했음을 알 수 있다. Type C는 평균 10869.76m, 중위수 7513.56m A에서 C로 갈수록 기하급수적 증가를 보이고 있다. Thickness에서도 A에서 C로 갈수록 확연한 증가세를 보이고 있다. 그러나 aggregation이 위치하고 있는 수심(depth)에서는 Type A가 68.02m, Type B가 76.41m, Type C가 62.48m로 100m이내의 수심에서 큰 차이 없이 나타나고 있었다. 이것은 크릴의 aggregation의 대부분이 100m 이내의 수심에서 발견된다는 기존의 연구와도 일치하는 결과이다(Miller et al., 1993). 반면에 aggregation의 후방 산란 강도(Mean Volume Back-scattering Strength, MVBS)에서는 Type A의 값은 월등히 높으나 Type B와 Type C에서의 값은 크게 차이가 나지 않는 것으로 나타났다. Type A는 전형적인 "swarm"의 형태를 나타냈다. 불규칙하고 형태상의 변화가 심했던 Type B는 가장 낮은 후방 산란 강도를 나타낼것으로 예측했으나 분석 후의 결과는 Type C와의 차이가 거의 없었다. 이와 같은 결과는 Type B로 분류된 하나의 aggregation이 시각적인 판단에서 전체적으로는 낮은 밀도를 가지는 것처럼 보였으나 Type A와 같이 높은 밀도를 보이는 부분이 존재하고 그것이 전체 후방 산란 강도를 높여주었음을 알 수 있었다. Type C는 Type A에 비해서는 낮은 후방 산란 강도를 나타내고 그것은 1m³당 크릴 밀도가 낮음을 의미하지만 Type C의 length를 고려하여 그 크기가 Type A에 비해 지수적으로 증가함을 고려할 때는 Type C가 가지는 biomass를 무시할 수 없다. length 대 height의 비율도 Type A에서 C로 갈수록 지수적으로 증가함을 알 수 있었다. (Fig II-5-13 a, b, c, d).

2006/2007 조사 결과에서도 aggregation type을 구별할 수 있었으나

2005/2006 하계조사 때 나타난 것과 동일한 패턴으로 분리되지는 않았으며 속성이 달랐다 (Fig. II-5-14 a, b, c). 2006/2007 하계조사 때는 그 전 해에 비해 전반적으로 크릴 자원량이 적었고 Type A, B, C 모두 명쾌하게 구별하기 어려웠으며 특히 수심이 깊은 원양역에서 나타나는 긴 layer의 Type C가 분명하지 않았다. 그럼에도 불구하고 음향 특성에 따라 크릴 aggregation을 구분할 수 있다는 사실이 확인되었다.

나. Type 별 분포

2005/2006 하계 조사에서 Type A는 조사해역 전 구간에 걸쳐 나타나며 다른 지역에 비해 엘리펀트 섬의 동쪽해역에서 빈도가 낮아지는 경향을 보였다. Type B와 C의 경우 Type A와는 반대로 엘리펀트 섬의 동쪽 해역에 주로 분포하며 특히 Type C는 수심 3000m이상의 엘리펀트 섬 북동쪽 해역에서 주로 나타나고 있다 (Fig II-5-15 a).

크릴의 aggregation은 남쉐틀랜드 군도 북부 해역과 ice-edge에 가까울수록 밀도가 높고 분리하기 쉬운 형태를 띠고 있었고 외해로 나갈수록 그 형태가 일그러지며 띠 모양을 이루는 경향을 확연히 알 수 있었다. 특히 Type C가 주로 나타나는 외해역은 조사 해역의 식물플랑크톤을 균집 구성 세포의 크기 20 μm 를 경계로 나누었을 때 20 μm 이상의 큰 세포들이 번성하고 있었다. 크릴의 먹이가 되는 식물플랑크톤의 분포와 농도에 대해 크릴이 반응하는 형태로 보인다. 이것은 크릴이 해양 환경의 변화에 반응하는 하나의 중요한 근거가 될 수 있으며 향후 연구에서는 조사 해역의 해양환경조사 자료가 추가되어야 한다.

해빙 가장자리에서 Type A의 크기는 작지만 밀도가 높은 크릴 떼가 나타나고 외해역으로 가면서, 특히 비교적 세포 크기가 큰 식물플랑크톤이 번성할 때, 크릴 떼가 Type C와 같은 모양으로 바뀌는 것은 Line C에서 가장 두드러지게 관측된다. 이것은 크릴이 월동기간 동안 해빙 바닥의 밀집 생활형, Type A에서 원양(遠洋)성 유영(遊泳) 생활형, Type C로 진행하는 것으로 생각된다. 결국 해빙은 겨울 동안 크릴 월동장 기능을 제공하다 여름으로 진행되면서 크릴 어군을 방출하는 효과를 내는 것으로 생각된다. 이 때 비교적 오랫동안 바람과 같은 외력에 의한 교란이 없어 안정된 수직 구조의 수층이 형성되면 식물플랑크톤의 번성으로 이어져 크

릴에게 유리한 먹이 환경이 조성되고 대형 크릴 어군의 형성이 가능해지는 것으로 판단된다. Line C의 북쪽 원양에 형성된 안정된 수층대가 크릴 aggregation의 형태 분포와 일치하는 것은 자원조사와 함께 CTD 관측을 통해 얻은 수온자료를 통해 나타나고 있다. (Fig II-1-15-a). Line C의 남쪽 해빙 가장자리에 가까운 곳에서는 주로 Type A의 크릴 어군이 나타나고 Line C의 북쪽에서 Type C의 크릴 떼가 보이는데 북쪽은 표층에 수온이 상대적으로 높은 혼합층이 형성되어 있어 비교적 오랫동안 수괴가 안정되어 있었음을 시사한다.

남쪽의 해빙 주변부에서 북쪽 원양 해역으로 갈수록 크릴의 aggregation이 해빙 바닥의 밀집 생활형, Type A에서 원양(遠洋)성 유영(遊泳) 생활형, Type C로 진행되는 구배는 2006/2007 하계 조사에서는 그렇게 뚜렷하게 나타나지 않았다 (Fig II-1-15-b). 그럼에도 불구하고 전형적인 Type A와 Type C가 각각 해빙 인근과 원양 해역에서 목격되는 경우가 잦아 이러한 구배는 여전히 존재하는 것으로 생각된다. 2005/2006, 2006/2007 조사에서 감지된 크릴 aggregation의 속성 비교에서 보듯 크릴의 aggregation type은 그 사이에 수많은 중간형이 존재할 것으로 짐작된다. 크릴의 aggregation type 분류가 정량적으로 이루어지려면 다양한 해역과 시기에서 얻은 더 많은 자료를 분석할 필요가 있다고 판단된다.

전통적인 크릴 어장인 남쉐틀랜드 군도 북쪽 해역에서 크릴이 적을 때에도 불과 수백 킬로미터 떨어진 거리에서 대형 크릴 어군이 나타나고 이것이 예측 가능한 자연요인의 상호 조합으로 일어나는 것은 크릴 자원관리에 시사하는 바가 크다. 특히 자연 요인에 의한 크릴 어군의 재배치 효과가 대단히 크며 그러한 효과가 이 연구에서처럼 넓은 해역에서 발생한다면 자원 조사 구역이 중요한 크릴 분포역을 작은 차이로 포함하지 못할 때 그 결과에 의거해서 크릴 자원량을 산출하는 것이 안전하지 않다는 것을 보여준다.

반드시 남극이 아니더라도 크릴 종류가 중추적 역할을 하는 해양생태계라면 다른 해역에서도 크릴 종류의 수산음향 특성과 해양환경요인의 동시 연구는 해양생태계의 작동 메커니즘과 환경변화에 대한 반응을 이해하는 데 큰 도움이 될 것으로 생각된다.

Table II-5-1. Characteristics of Antarctic krill aggregations from 2005/2006 survey.

		Shape A	Shape B	Shape C
Visual Classification of aggregation		discrete	irregular	layered
Total No. of cells		571	76	13
Length (m)	Average	75.78 ±102.28	830.19 ±628.65	10689.76 ±10035.04
	Median	46.27	662.31	7513.56
Thickness (m)	Average	20.77 ±16.11	64.64 ±29.58	114.10 ±39.46
	Median	16.60	58.76	110.83
Depth (m)	Average	68.02 ±34.31	76.41 ±19.90	62.48 ±13.32
	Median	64.17	77.38	58.93
MVBS (dB)	Average	53.71 ±4.49	67.86 ±6.71	66.75 ±5.86
	Median	53.04	67.91	68.02

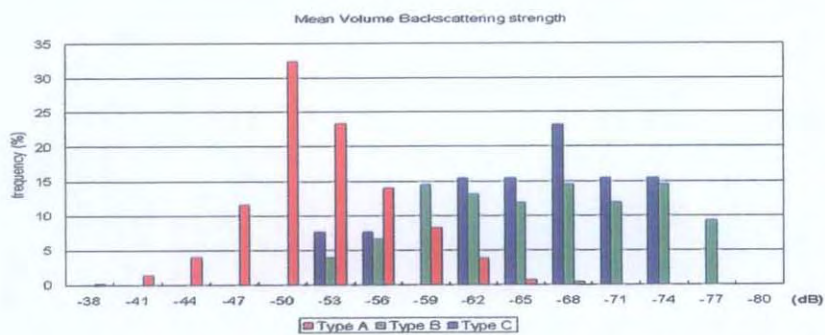
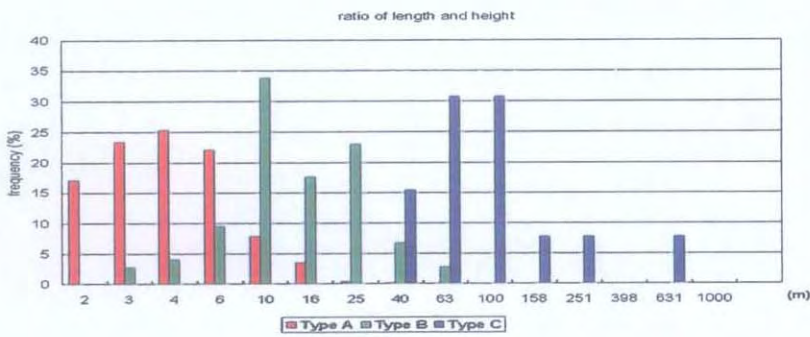
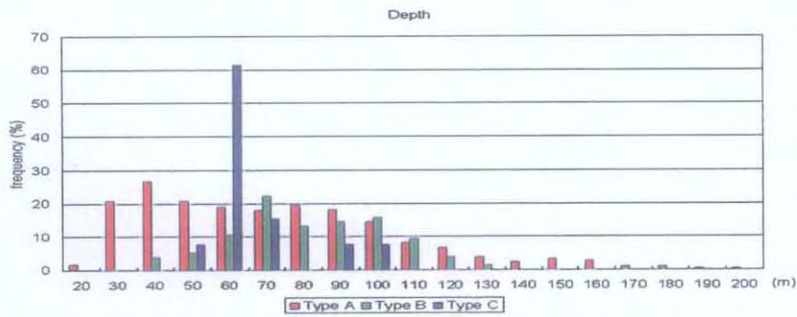
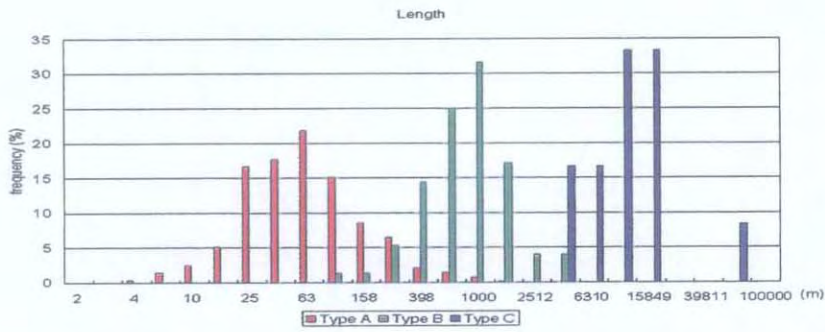


Fig. II-5-13-a, b, c, d. Length, depth, length to height ratio, and mean volume back-scattering strength of krill aggregation types, 2005/2006.

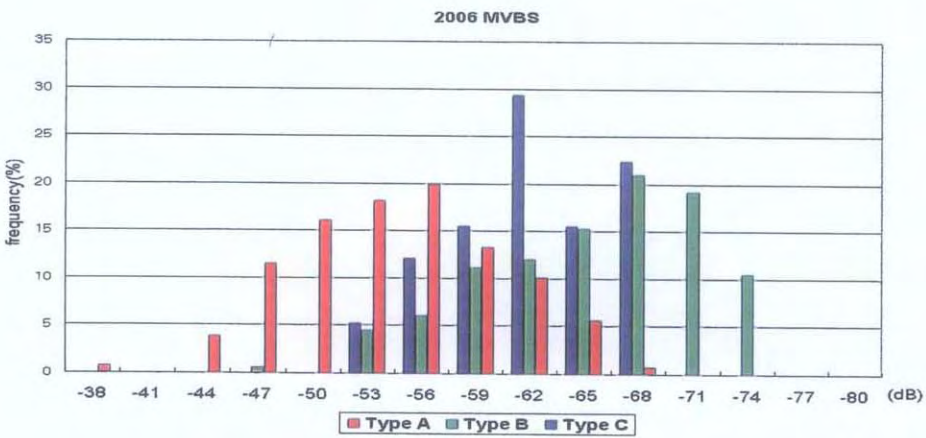
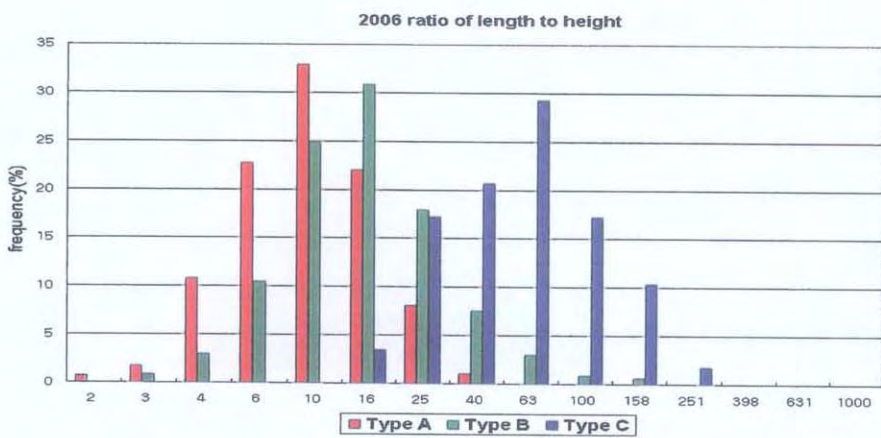
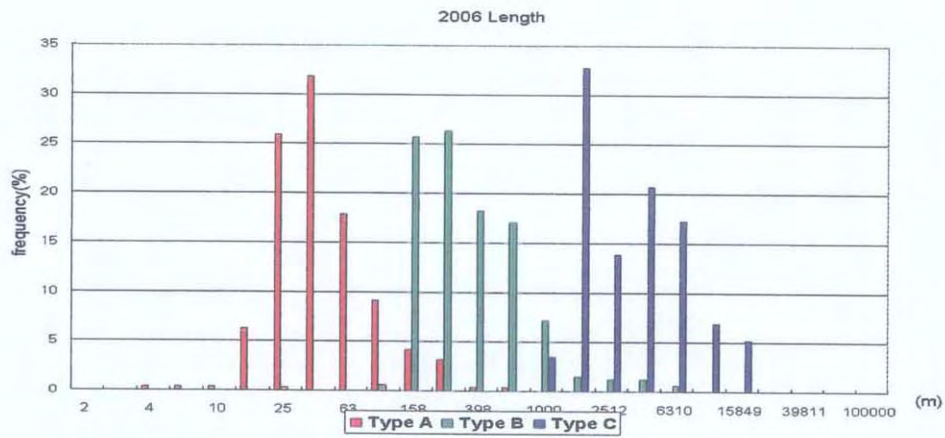


Fig. II-5-14-a, b, c. Length, length to height ratio, mean volume back-scattering strength of krill aggregation types, 2006/2007.

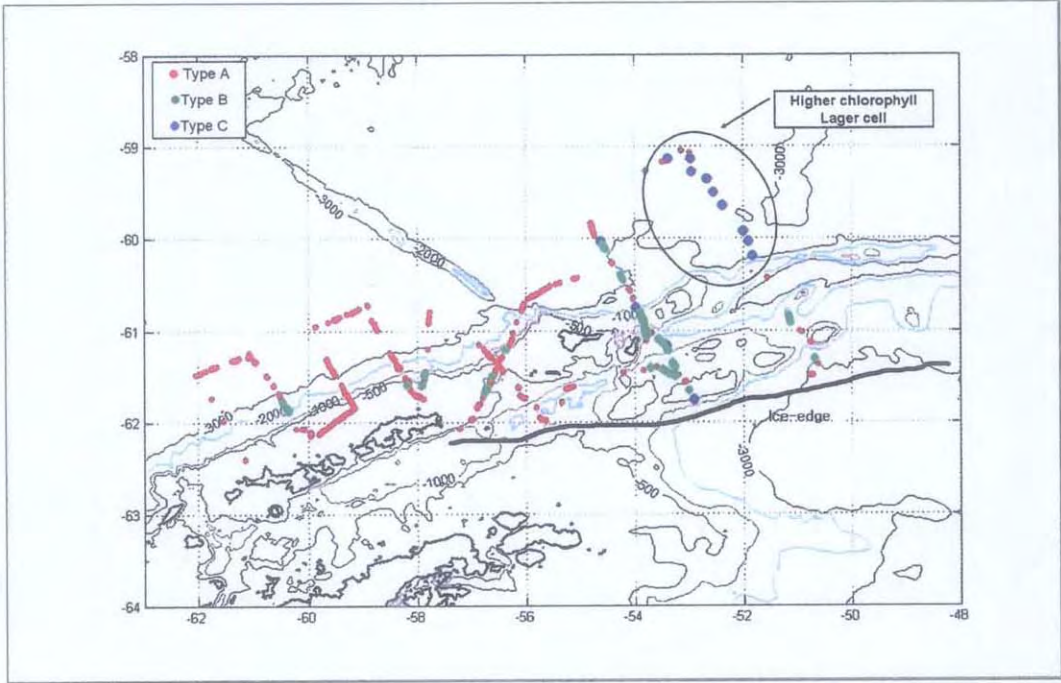


Fig. II-5-15 a. Distribution of Type A, B, and C aggregations in the study area, 2005/2006.

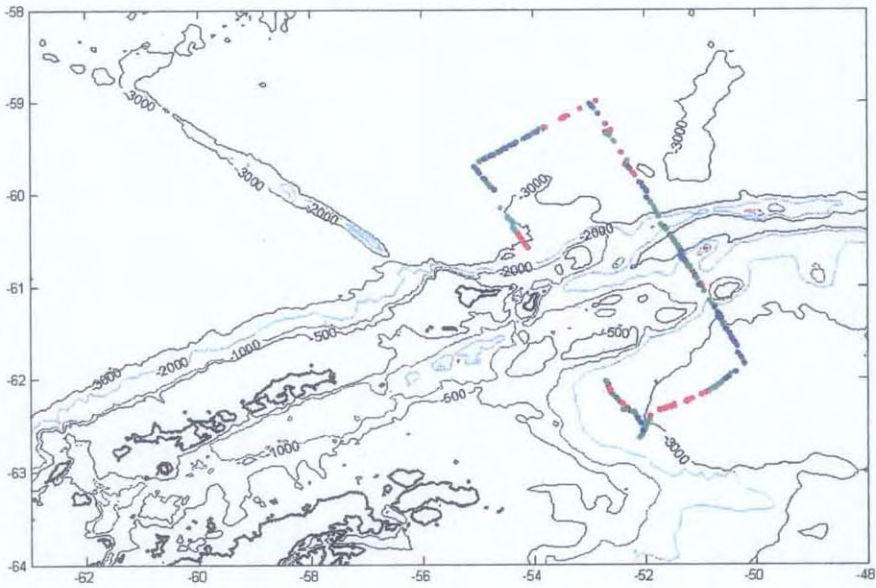


Fig. II-5-15 b. Distribution of Type A, B, and C aggregations in the study area, 2006/2007.

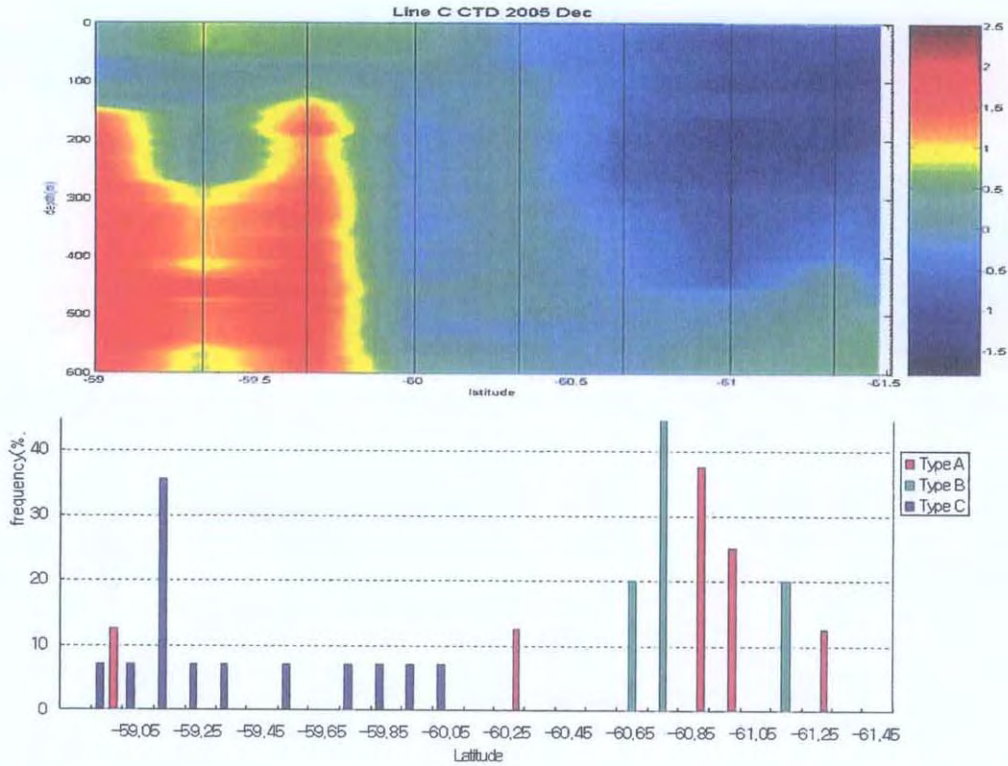


Fig. II-5-16 a. Hydrographic section and distribution of Type A, B, and C aggregations along Line C during 2005/2006 survey.

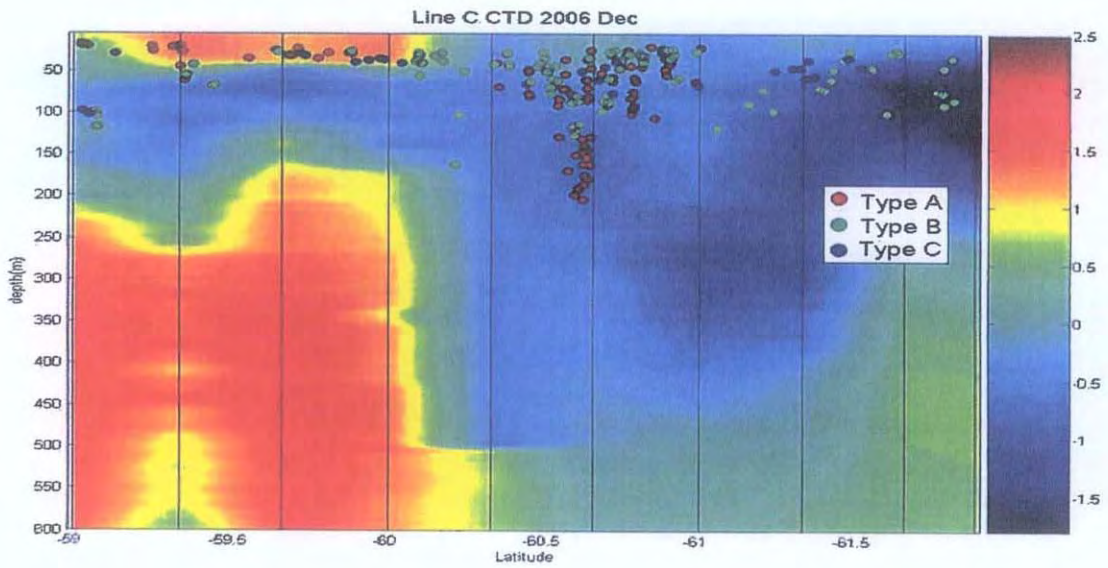


Fig. II-5-16 b. Hydrographic section and distribution of Type A, B, and C aggregations along Line C during 2006/2007 survey.

5. 참고문헌

- 강돈혁, 황두진, 김수암, 1999. 남극 남셰틀랜드군도 북부 해역의 크릴 분포 및 자원량. J. Korean Fish. Soc. Res., 32 (6), pp. 737-747
- 해양수산부. 2000. 남극해 유용 생물 자원 개발 연구. BSPM11100-1416-7
- Alistair W.A. Murray, Jonathan L. Watkins and Douglas G. Bone. 1995. A biological acoustic survey in the marginal ice-edge zone of the Bellingshausen Sea. Deep-Sea Res. II, 42, No.4-5, pp.1159-1175
- Brierley, A. S. and Jonathan L. Watkins. 2000. Effects of sea ice cover on the swarming behaviour of Antarctic krill, *Euphausia superba*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57(Suppl.3), pp, 24-30
- Brierley, A. S., Paul G. Fernandes, Mark A. Brandon, Frederick Armstrong, Nicholas W. Millard, Steven D. McPhail, Peter Stevenson, Miles Pebody, James Perrett, Mark Squires, Douglas G. Bone and Gwyn Griffiths. 2002. Antarctic Krill Under Sea Ice: Elevated Abundance in a Narrow Band Just South of Ice Edge. SCIENCE, 295
- Hofmann, E. E., A.G. Edward Haskell, John M. Klinck, and Cathy M. Lascara. 2004. Lagrangian modelling studies of Antarctic krill (*Euphausia superba*) swarm formation. ICES Journal of Marine Science, 61: 617-631
- Miller, D. G. M., M. Barange, H. Klindt, A. W. Murray, I. Hampton, V. Siegel. 1993. Antarctic krill aggregation characteristics from acoustic observations in the Southwest Atlantic Ocean. Marine Biology, 117, pp, 171-183
- Sprong, I. and P.H. Schalk. 1992. Acoustic observations in krill spring-summer migration and patchiness in the northern Weddell Sea. Polar Biol, 12, pp, 261-268
- Rachel S. Woodd-Walker, R. S., Jonathan L. Watkins, Andrew S. Brierley, and Catherine Goss. 2002. Identification of Southern Ocean acoustic targets using aggregation backscatter and shape characteristics. ICES Symposium, France.
- Watkins, J. L. and A.S. Brierley. 2000. Verification of acoustic techniques used to identify Antarctic krill. Submitted ICES Journal of Marine Science.

WG-EMM-00/21.2000. REPORT OF THE B₀ WORKSHOP.

Watkins, J. L. and A.S. Brierley. 2002. Verification of the acoustic techniques used to identify Antarctic krill. ICES Journal of Marine Science, 59: 1326-1336.

Characterizing krill aggregations and linking them to some environmental factors in Southern Ocean; relevant to other krill-bearing marine ecosystem studies?

Euphausiids, often a key trophic link in marine food webs around the globe, form near-monospecific aggregations in epipelagic zones. Hence, formation and dispersion of these aggregations are subject to a range of environmental conditions. Hydroacoustic techniques have been used extensively to determine krill biomass and also offer a tool to investigate various aspects of their ecology. In this study, we examined morphological characteristics of Antarctic krill aggregations using a scientific echosounder (38 and 120kHz) in the Southern Ocean. Based on the dB difference ($2\text{dB} < Sv_{120-38} < 16\text{dB}$) between mean back-scattering strength (Sv) at 120 and 38 kHz, krill aggregations were delineated. Krill swarms were categorized into a number of groups by physical dimension, and the frequency of occurrence was calculated. Various parameters such as $Sv_{\text{mean}}/Sv_{\text{max}}$, the depth, and the spacing between aggregations were extracted, and examined in relation to hydrography, sea ice distribution, and chlorophyll level and so on. Krill seem to form well-separated, dense aggregations close to the ice edge, and these tend to turn into layers that are more diffuse and interweaving in offshore waters. This may represent a response to a spectrum in food condition, from concentrated, pulsed to more dilute, well-spread supplies. In the Southern Ocean, this range corresponds to 'sea ice to open water'. A similar spectrum in terms of food condition, or at least part of the spectrum, may apply in other krill-bearing marine ecosystems.

제 6 절 크릴 어업 자료로 분석한 크릴 선단의 행동과 해양환경 변동성에 대한 반응

요약; 주요 크릴 어업국(한국, 일본, 폴란드, 미국, 우크라이나)의 어업선단의 어획시기, 어획위치, 이동경로 및 어획량 자료를 이용하여 각 국의 크릴어업선단의 행동패턴의 차이가 있는지를 분석하고 크릴어획량의 장기변동과 경향을 파악하여, 크릴어획량의 증감이 크릴어업선단의 행동패턴에 미치는 영향을 파악하고자 연구를 수행하였다. 크릴 어업 자료는 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR)가 수집 및 보관하고 있는 자료 중 최근 5년간의 자료를 분석하였다. 각 국의 크릴어업선단의 어업위치와 500m 등수심선 간의 거리는 포트란 (FORTRAN) 프로그램을 이용하여 계산하였으며, 등수심선 자료는 GEBCO97에서 추출하여 사용하였다. 크릴어업은 주로 남셴틀랜드 군도(48.1 소해역), 남오크니섬(48.2 소해역) 그리고 남조지아섬 (48.3 소해역) 해역에서 진행되고 있었으며, 일반적으로 크릴어업선단은 남셴틀랜드 군도 해역에서 여름에 조업을 시작하여 겨울에 남조지아섬 주위에서 조업하는 경향을 보였으나 최근 몇 년간 이러한 경향과 다르게 나타났다. 크릴어업선단의 조업은 보통 500 m 등수심선 주변에서 이루어지는 것으로 분석되었다.

1. 서론

남극 크릴(*Euphausia superba*)은 지구상 최대 자원생물종으로 알려져 있으며, 크릴어업은 30년 넘게 진행되어 왔다. 우리나라도 남극 크릴 어업에 대해 관심을 갖고 참여하기 시작하여 지난 여기에는 1위 크릴 어업국이 되었다. 남극의 공해지역을 관리하고 있는 남극해양 생물자원 보존위원회(CCAMLR)는 자원관리를 위하여 남극해 지역별 크릴 적정어획량을 제한하고 있다. 또한 미래자원으로 남극크릴의 활용을 최대화하고 남극크릴자원의 관리를 위한 대안으로 광역의 해양생태계나 특정해역의 생태계 내부에서 종간의 상호작용을 고려하는 생태계 기반 수산자원관리(Ecosystem-based fisheries management)를 정책적으로 진행하려고 하고 있다. 남극 크릴자원이 고갈되지 않고 생태계 내 다른 구성원에게 미치는 영향을 최소화하는 남극크릴에 대한 적정어업이나 자원관리방안 없이는 남극크릴자원의 이용을 제한하려고 하는 국제적 사회 분위기에 따라 우리나라에서도 남극크릴자원에 대한 이용과 관리에 대한 적절한 대응책을 마련할 수 있는 기초연구가 필요하다.

이 연구는 CCAMLR가 지난 20년간 수집, 보관한 주요 크릴 어업국(한국, 일본, 폴란드, 미국, 우크라이나)의 어업 자료를 분석하였다. 이러한 자료의 분석을 통해 보통 10-15일 내외 정도의 기간 동안 진행되는 우리나라의 남극해양과학조사가 취급하지 못하는 다른 계절과 연구선이 출입하지 못하는 해역에 대한 정보를 얻을 수 있다. 주요 크릴 어업국가(한국, 일본, 폴란드, 미국, 우크라이나)의 어업자료(어획시기, 어획위치, 이동경로 및 어획량 자료)를 이용하여 각 나라별로 크릴어업선단의 행동패턴의 차이가 있는지를 분석하였다. 5개국 크릴 어업선단의 어획시기, 어획위치, 이동경로 및 어획량 자료를 이용하여 크릴 어업선단 행동패턴의 차이가 있는지를 분석하고 크릴어획량의 장기변동과 경향을 파악하여, 크릴어획량의 증감이 크릴어업선단의 행동패턴에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

과학조사를 통해 드러난 크릴 자원 밀집 지역과 크릴 어장의 위치를 비교함으로써 크릴 어업 선단의 행동을 결정하는 자연적인 요인과 상업적인 요인을 분리한다. 더 나아가서 인공위성을 통해 수집되는 거시적이고 광역적인 해양 환경자료들을 활용하여 남극해 해양환경 변동(특히, 남극해 해빙의 확장과 수축 그리고 식물플랑크톤의 번성과 쇠퇴)

이 크릴어업선단의 행동패턴과 관계가 있는지를 살펴보고 크릴의 분포 및 번성시기 그리고 크릴의 자원량 변동에 미치는 영향을 이해하는 것을 궁극적인 목표로 하였다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서 각 국가별로 CCAMLR에 제출한 크릴어업자료 중에서 우크라이나 (1999, 2001-2003), 폴란드(1999-2003), 미국(2000-2003), 일본(1999-2003), 한국 (1999- 2001, 2003)의 자료를 이용하여 분석하였다. 크릴어업위치가 어디에 주로 분포하는지를 알기위하여 각 등수심선과 크릴어업위치 사이의 거리를 Fortran 프로그램을 이용하여 계산하였으며, 각 등수심선 자료는 GEBCO 97에서 추출하여 사용하였다. 각 국가별 단위노력당 어획량(CPUE)은 지역 및 연도별로 구하였다.

- 1) 각 나라별 이동경로 및 어획시기 분석 및 정리
- 2) 각 나라별 단위노력당 어획량(어획량/일 또는 어획량/어획시간) 특성 분석
- 3) 어획위치의 분포 특징(해안선으로부터 거리, 대륙붕단으로부터 거리) 분석
 - CCAMLR 각 회원국 별 남극크릴 어업선단의 1990년~2000년의 자료 이용
 - 크릴어업지역을 크게 3개 주요 어장, South Shetland Island (Area 48.1), South Orkney (Area 48.2), South Georgia (Area 48.3) 3개 소해역으로 구분하여 자료 분석
 - 전세계 해양 수심 데이터베이스인 GEBCO97을 활용하여 어획위치의 분포 및 특징파악(예, 해안선으로부터 거리, 대륙붕단 (500m 등수심선)으로부터 거리)

3. 결과

남극해에서 각 국가별 크릴어업은 주로 남쉐틀랜드 군도(48.1 소해역), 남오크니섬(48.2 소해역) 그리고 남조지아섬(48.3 소해역) 해역에서 진행되고 있었으며, 일반적으로 크릴어업선단은 남쉐틀랜드 군도 해역에서 여름에 조업을 시작하여 겨울에 남조지아섬 주위에서 조업하는 경향을 보였다(Fig. II-3-1). 하지만 최근 몇 년의 조업경향이 일반적인 경향과 다르게 분석되었다(Fig. II-3-2). 2001년에는 크릴어업선단이 48.2 소해역에서 조업을 하지 않고 48.1 소해역에서 조업한 이후 바로 48.3 소해역으로 이동을 하였다. 그리고 2003년에는 48.2해역에서 여름에 크릴조업

을 시작하여 48.1 소해역을 지나 48.3 소해역으로 이동하였다. 이러한 크릴어업선단의 어업경로 변화는 남극해빙의 확장에 영향을 받은 것으로 생각된다.

크릴어업선단의 조업은 보통 500m 등수심선 주변에서 이루어지는 것으로 분석되었다(Fig. II-6-3). 48.1해역에서 각 나라별 크릴어업선단들의 조업위치와 500m 등수심선과의 평균거리는 9-10마일이었다. 또한 48.2해역에서 평균거리는 4-9마일이었으며, 48.3해역에서는 약 5마일 정도로 나타났다. 이러한 결과로 500m 등수심선을 따라 분포하는 크릴 어군을 주 대상으로 하고 있음을 유추할 수 있다. Kawaguchi & Segawa (2001)도 48.1 소해역에서 크릴어업이 500m 등수심선을 따라 집중되어 있다고 발표하였다. 또한 연안선과 어업위치와의 거리를 계산해 보았을 때에도 크릴어업위치가 연안선에 가깝게 위치하고 있음을 알 수 있었다.

단위노력당 어획량(CPUE)은 크릴어업선단의 어업경로의 변화가 있는 2001년부터 2003년까지 분석하였으며, 각 국가별 크릴어업 자료에서 어획량을 어획기간으로 나누어 계산하여 나타내었다(Fig. II-6-4). CPUE는 나라별, 해역별 그리고 연도별로 차이를 보였으며, 특히, 48.2 소해역을 제외한 일본의 크릴어업선단 CPUE값은 5개국 중에서 가장 높게 나타났다. 그리고 비교적 48.3 소해역에서는 각 나라별 CPUE 값은 다른 해역에 비하여 뚜렷한 차이를 보이지 않고 있다. 또한 2001년과 비교하였을 때 2002년과 2003년에 48.2 소해역과 48.3 소해역의 각 나라별 CPUE 값이 높게 나타났다.

그동안 가장 어획량이 큰 일본의 어업 자료를 분석하면 48.1 소해역에서 수심대 외에도 크릴 선단이 선호하는 구역이 있으며 이들 구역은 거의 매해 크릴 어선이 방문하여 크릴을 어획하는 곳이다. 48.1 소해역을 10해리*10해리 사각형으로 나누었을 때 크릴 선단이 선호하는 이 사각형들은 48.1 소해역 전체에서 5% 미만의 면적을 차지하지만 50% 이상의 어획량이 기록되는 곳이었다. 이들 해역은 남셰틀랜드 군도에서도 리빙스턴 섬과 스노우 섬 북쪽에 위치하며 대개 10해리*10해리 사각형안에서 1년에 3000톤에서 10,000톤의 크릴이 어획된다 (Fig. II-6-5). 하지만 크릴의 가장 큰 자연포식자인 친스트랩 펭귄의 군서지는 킹조지섬과 로버트 섬 등의 북쪽에 위치하고 있어 어획 중심지와는 일치하지 않는다. 친스트랩 펭귄의 먹이 섭취

를 위한 여행 거리가 20-40 km 범위에 있는 것을 감안하면 크릴 어선과 친스트랩 펭귄 사이의 경쟁은 우려하는 것만큼 심각하지 않을 것으로 판단된다.

4. 향후 연구

이 연구에서 가장 중요한 자료인 일본의 크릴 어업자료 해상도는 10 해리 *10해리 사각형에 10일 간격으로 뚝뚝그려진 자료였다. CCAMLR 사무국에 공식적으로 제출, 보관된 자료의 해상도였지만 조업자로부터 직접 haul-by-haul로 세분화된 자료를 입수할 수 있으면 크릴 조업선의 행동 패턴과 자연포식자 사이의 상호작용에 대해 더 정교한 분석을 할 수 있을 것으로 전망된다.

또한 공개된 환경 자료를 이용하면 다음과 같은 연구가 가능할 것으로 기대된다.

· 남극의 해양환경자료(해빙의 확장과 수축, 플랑크톤 번성과 쇠퇴) 분석과 어업 자료 경향과 비교.

- 공개된 자료를 이용하여 연구지역의 해빙(확장과 수축) 년변동 및 월변동 자료 분석
- 공개된 자료를 이용하여 식물플랑크톤(번성과 쇠퇴) 년변동 및 월변동 자료 분석
- 남극크릴 어업선단의 어획위치 분포특징 및 행동패턴과 환경자료 비교 분석
- 통계프로그램인 S-plus를 이용하여 크릴 자원량 변동을 예측하기 위한 단순모델을 생성

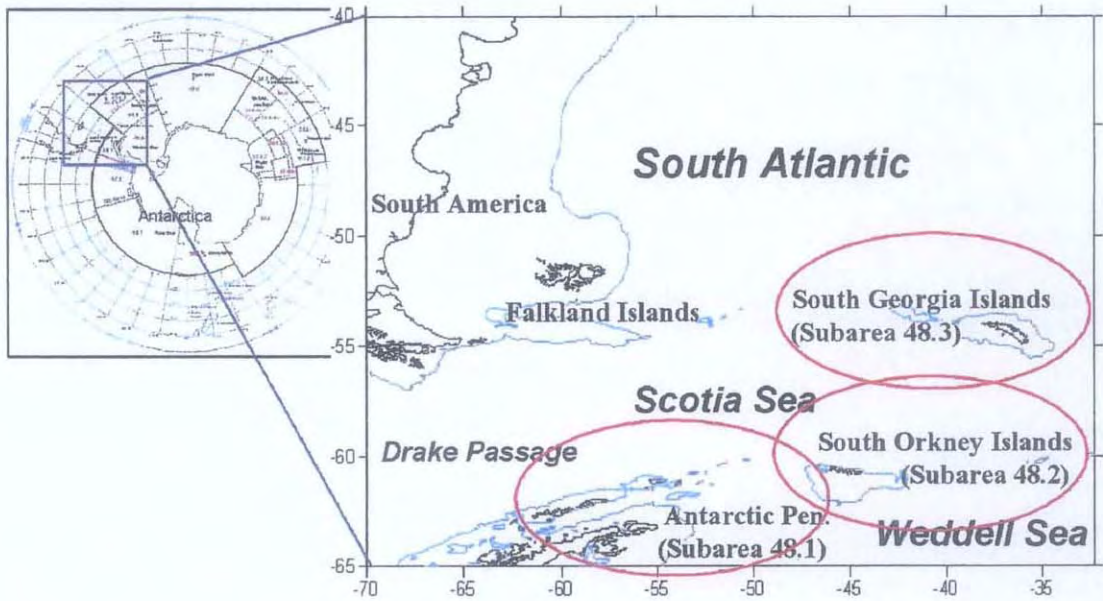


Fig. II-6-1. Krill fishery conducted in 3 major grounds, namely Antarctic Peninsula (48.1), South Orkney Islands (48.2) and South Georgia Islands (48.3) area. Contour indicates 500 m isobath.

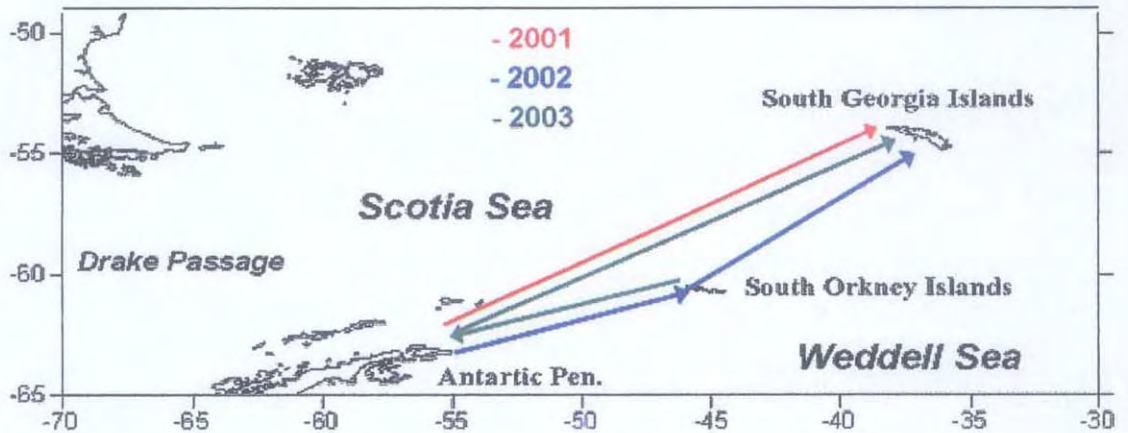


Fig. II-6-2 . Movement of krill fishing vessels between years.

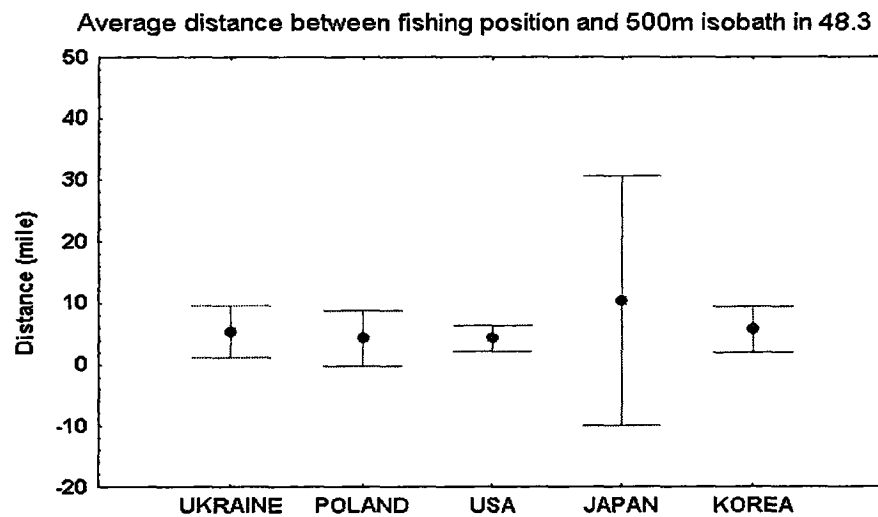
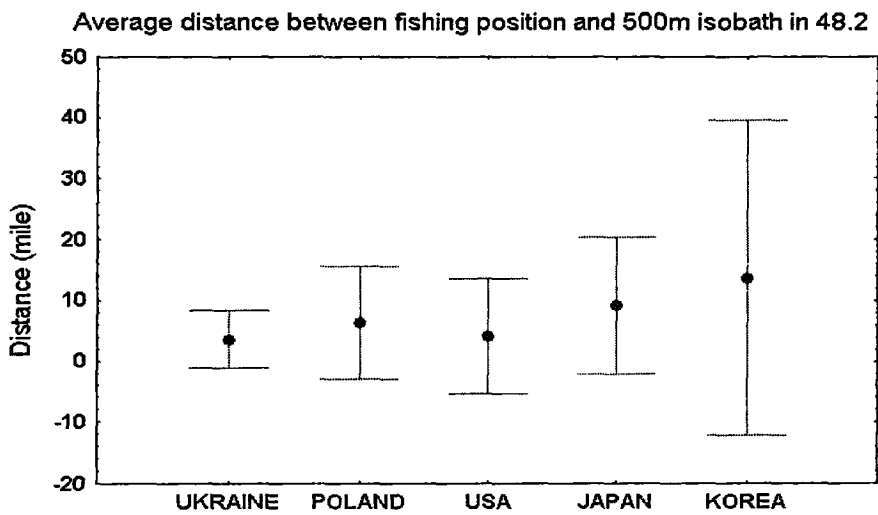
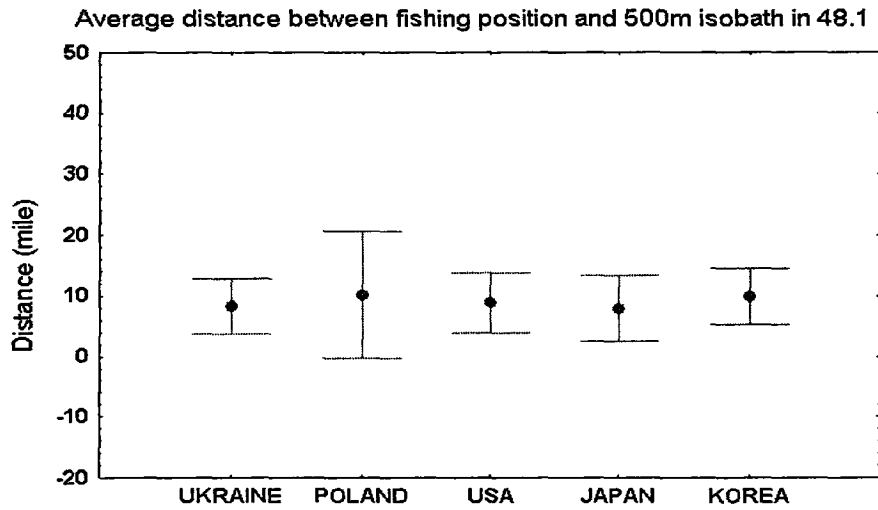


Fig. II-6-3. Average distances between fishing position and 500m isobath in Subarea 48.1, 48.2 and 48.3.

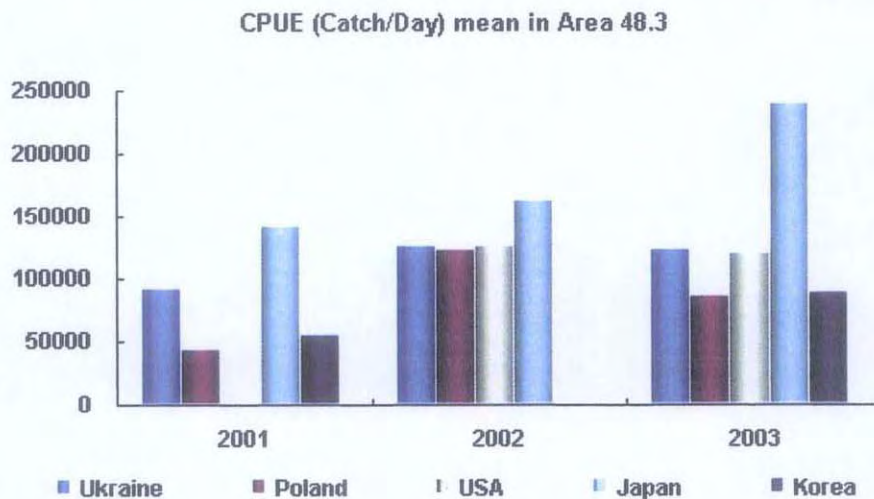
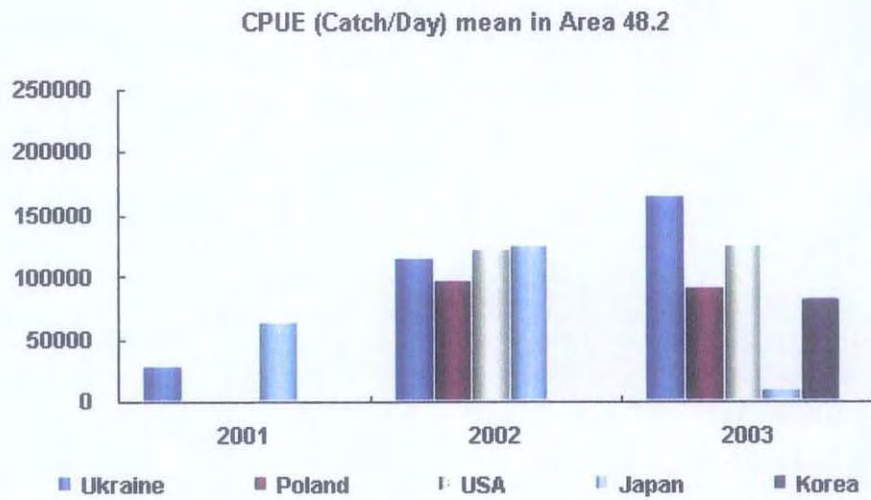
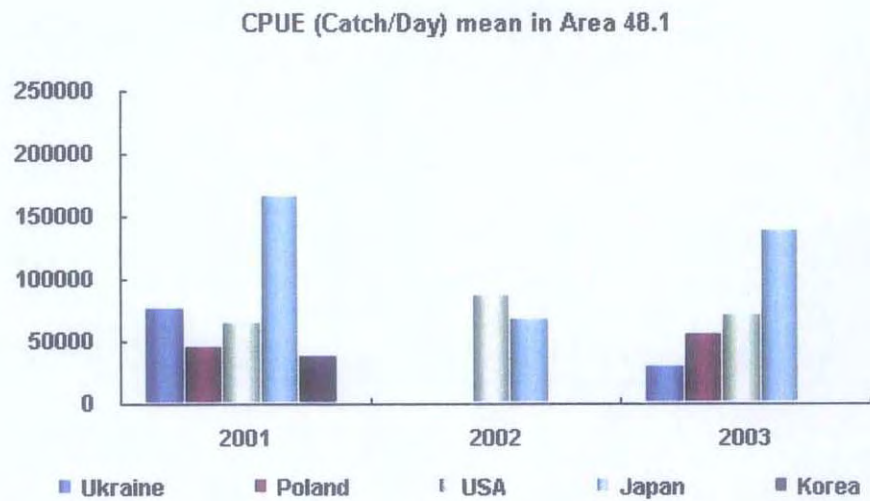


Fig. II-6-4. CPUE mean by nations in Subarea 48.1, 48.2 and 48.3

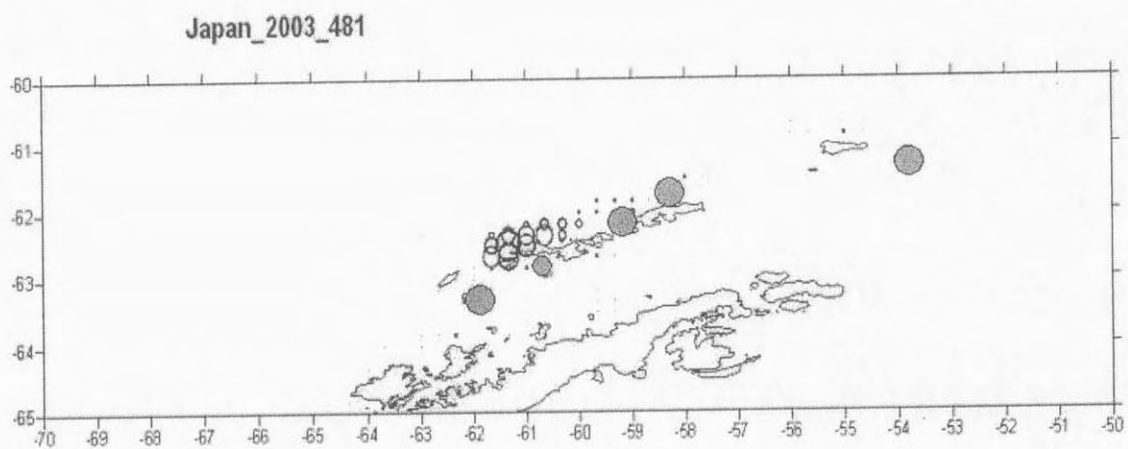


Fig. II-6-5. Distribution of fishing efforts by Japanese vessels (open circles) and the location of major Chinstrap penguin colonies (green circles) in subarea 48.1.

5. 참고 문헌

- Kawaguchi, S. and Segawa, K. 2001. Analysis of krill trawling positions north of the south Shetland islands (Antarctic peninsula area), 1980/81-1999/2000. CCAMLR Science, 8: 25-36.
- Kawaguchi, S., Candy, S. Nicol, S., Taki, K. and Naganobu, M. 2005. Analysis of trends in Japanese krill fishery CPUE data, and its possible use as a krill abundance index. CCAMLR Science, 12: 1-28.
- Kawaguchi, S., Ichii, T., Naganobu, M. and K. de la Mare, W. 1998. Do krill and salps compete Contrary evidence from the krill fisheries. CCAMLR Science, 5: 205-216.
- Kawaguchi, S., Nicol, S., Taki, K. and Naganobu, M. 2006. Fishing ground selection in Antarctic krill fishery: Trends in its patterns across years, seasons, and nations. CCAMLR Science, 13: in press.

Behaviour of krill fishing fleets and its response to marine environmental variability; trends determined from krill fishery logbook data

Antarctic krill (*Euphausia superba*) fishery has been in operation for over 3 decades and its management by an international treaty, CCAMLR (The Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resource) requires an ecosystem-based approach. Krill fishery data submitted to CCAMLR could be a source of valuable information, particularly from areas and the time of year that usual scientific surveys do not cover. We analyzed the fishery data of major krill fishing nations to examine the behaviour of krill vessels and its response to krill abundance and marine environmental variability.

Krill fishery data for the recent 5 seasons obtained from CCAMLR were used. Fishing positions were determined and their distance from the coastline and the shelf break (500 m isobath) were computed. Bathymetric data were extracted from GEBCO. We also calculated catch per unit effort (CPUE : catch per fishing hour and catch per day) by fishing nation, area and season.

Krill fishery is conducted in three major grounds, namely South Shetland Island, South Orkney Islands and South Georgia Island areas. Fishing efforts migrate northward as winter approaches. There appeared to be preferred fishing locations by krill vessels and these tended to scatter around 500 m isobath. CPUE greatly varied between fishing nations and also between years and by areas. CPUE is not likely to be a direct measure the krill availability. Heavy sea ice seems to directly impact the timing and location of krill fishing ground formation. But sea ice condition could cause more inherent changes in the ecosystem and krill population and then krill fishery might respond to this.

여 백

제 7 절 남쉐틀랜드 군도 북쪽 해역 크릴 자원의 유전학적 계군 분석

요약: 남극해 크릴 자원의 적절한 관리와 합리적인 이용을 위해서는 집단구조를 명확히 규명하는 것이 필수적이다. 본 연구는 크릴이 대량으로 서식하고 있으며 크릴의 주요 어장으로 알려진 남쉐틀랜드 군도 주변해역에서, 출현하는 크릴 계군이 지역적으로 혹은 시간적으로 어떻게 변동하는지를 분석하기 위해 수행되었다. 기존 시료에 2003년 12월 1일 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역에 설정된 정점 KR03에서 봉고네트로 채집된 시료가 추가되었다. 채집된 크릴새우 시료 중 28개체를 알코올에 고정하고 실험실로 운반하여 미토콘드리아 유전자 COI의 염기서열을 분석하였다. 이 시료들은 기존에 분석된 86개의 개체들과 비교할 때, COI 유전자의 560개 염기서열 구성에서 수 개의 새로운 개체변이 단염기다형성(SNPs)을 보였으나, 시료들 모두에서 일관되게 보이는 다른 특징은 없었다. 이번에 분석된 28개의 크릴새우는 9개의 새로운 위치에 단염기다형성을 추가하였으며 (기존 56개에서 65개로 증가), 단상형(haplotype)도 14가지를 추가하였다 (기존 66가지에서 80가지로 증가). 이로써 서로 다른 단상형(haplotype)은 크게 다섯 가지로 구분되었다 (A, B, C, D, E types). 단상형의 숫자가 분석된 총 114개체의 2/3 이상으로 나타난 것은 크릴 계군의 유전적 구성이 다양함을 시사한다. 이번 분석 결과는 남쉐틀랜드 군도 북서쪽 해역, Bransfield 해협, Maxwell bay의 크릴새우가 유전적으로 하나의 계군일 것이라는 지난 해 까지 연구 결론을 지지한다. 본 연구의 결과는 이 해역의 크릴새우 자원에 대한 관리 및 이용 방안을 수립하는 데 중요한 기초 자료로 활용될 것이다.

1. 서 론

남극해 크릴새우(*Euphausia superba* Dana)는 그 막대한 자원량(biomass)의 가치 때문에 세계적인 관심의 대상이 되고 있다. 현재 크릴의 연간 생산력이 1억 톤에서 10억 톤 정도로 추산되고 있다. 일본과 러시아를 비롯하여 세계 여러 나라가 약 80,000톤의 크릴을 어획하고 있으며, 앞으로 그 어획량은 급속히 증가할 것으로 전망된다. 배타적경제수역(EEZ) 선포로 해양자원의 자국화 경향이 두드러지고 연근해 및 원양 어장이 감소되면서 남극해 어장이 공해상의 새로운 어장으로 떠오르고 있다.

막대한 자원량을 가진 크릴은 남극 생태계 먹이 구조에서 매우 중요한 위치를 차지한다. 크릴은 먹이 연쇄상 식물 플랑크톤을 먹는 일차 소비자 혹은 작은 동물 플랑크톤을 먹는 이차 소비자로서 먹이사슬의 구조가 비교적 단순한 남극 생태계에서 일차 생산자와 최종 소비자를 연결해 주는 중요한 고리가 되고 있다. 파타고니아 이빨고기 등 여러 종의 남극해 어류뿐만 아니라 오징어, 고래, 물개, 갈매기, 펭귄 등이 크릴을 주 먹이로 삼고 있다. 따라서, 크릴은 남극해 생태계를 지탱해 주고 있는 중심축이라고 할 수 있다.

남극해 및 주변 해역에는 7 종의 크릴 종류가 서식하고 있다. 이들 크릴 종은 서식위치가 서로 다른 것으로 알려져 있다. 현존량이 가장 많은 대표적인 종은 남극크릴(*Euphausia superba* Dana; 일반적으로 크릴로 불림)로서 남극대륙 주변에 광범위하게 분포하고 있으며, 계절적으로 해양의 결빙상태에 따라 남북으로 이동한다. 얼음 크릴이라고 불리는 *E. crystallophias*는 연안 가까운 해역과 빙봉 아래에 서식하고 있다. 아남극해(sub-antarctic waters)에는 *E. vallentini*와 *E. triacantha* 등이 존재한다. 그 외 *E. frigida*와 *Thysanoessa macrura* 등이 남극해에 서식한다(Fisher and Hureau, 1985). 유전적 생체지표의 하나인 미토콘드리아 16S rDNA 유전자의 염기 서열을 분석한 바에 따르면 이 종들은 서로 진화적으로 가까우며 종분화 과정이 남극해의 형성과정과 관련있는 것으로 드러났다(Patarnello et al., 1996). 즉, 남극크릴(*E. superba*)과 얼음크릴(*E. crystallophias*)은 매우 최근에 갈라진 유연관계가 가까운 종들이며, 이들은 아남극해(sub-antarctic waters)에 서식하는 *E. vallentini*와 약 2000만년 전 남극해 극전선이 형성되던 시기에 분리된 것으로 드러났다(vicariance, allopatric speciation).

남극 크릴의 분포에 대한 연구는 크릴의 막대한 자원량이 주목받으면서 1925년 Discovery Investigations을 시작으로 여러 나라가 수행해 오고 있다(김 등, 1998). 14년에 걸친 Discovery Investigations의 결과에 의하면 남극크릴은 남극대륙 주변을 따라 남극해 전체에 퍼져 있으며, 가장 많이 서식하는 해역은 남쉐틀랜드 군도에서 남조지아에 이르는 대서양측 남극해 해역이라고 드러났다(Marr, 1962). 특히, 남극대륙 주변의 크릴 분포 양상은 최근 조사된 해양의 물리적 특성과 비교할 때, 환남극해류 (circum-Antarctic current)의 남방한계와 일치하는 것으로 드러났다(Tynan, 1998). 이러한 크릴의 분포 양상은 먹이 연쇄로 연결되어 있는 오징어 및 고래의 분포에도 영향을 미치며, 결국 인간의 남극해 어획활동에 까지 영향을 주고 있다(Tynan, 1998). 대서양측 남극해의 크릴 분포에 있어 한 가지 흥미로운 사실은 크릴의 난이 채집되는 크릴의 산란장이라고 생각되는 지역이 남쉐틀랜드군도에서 남오크니군도에 이르는 해역과 South scotia ridge 동쪽 해역으로 나뉘어져 있다는 사실이다(Marr, 1962; Hofmann et al., 1998). 이것은 첫째, 크릴의 생육장과 산란장이 분리되어 있으며 둘째, 서로 다른 산란계군(stock or population)이 존재할 수 있음을 시사한다.

남극 크릴 자원에 대한 관심이 증가하면서 이를 적절히 관리하고 효율적으로 이용하기 위한 노력이 정부간 국제기구인 남극 해양생물자원 보존위원회(CCAMLR; Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources)를 중심으로 이루어지고 있다. 이에 따라, 크릴의 자원 관리와 이용의 기초가 되는 계군 구조를 파악해야 할 필요성도 높아지고 있다. 크릴의 계군 구조에 대한 가설들은 크게 두 가지로 요약된다. 첫째는, 남극해 전체의 크릴이 하나의 산란 계군이라는 가설이다. 남극 크릴이 환남극해류를 타고 남극대륙 주위를 회전 이동함으로써 각 지역의 크릴 집단이 서로 혼합되고 유전적 격리가 발달되지 않아, 남극 크릴 전체가 하나의 산란계군을 이룬다는 것이다. 둘째는, 남극 크릴이 남극해 각 지역에 독립적으로 존재하는 몇 개의 산란 계군으로 이루어져 있다는 가설이다. 남극해가 광범위하고 남극대륙 해안선의 지형적 영향으로 각 지역마다 독특한 물리적 환경이 형성되고 이곳에 유전적으로 서로 다른 산란계군들이 분포하게 된다는 것이다. 그런데, 아직 위 두 가설에 대한 유전학적 검증이 확실히 이루어지지 않았다. 알로자임 다형성(allozyme polymorphism)과 같이 생화학적 생체지표법을 이용하여 남극크릴의 개체군 구조를 분석하려는 연구(Schneppenheim and

MacDonald, 1984; Fevolden, 1988; Fevolden and Schneppenheim, 1989)에서는 남극크릴이 유전적으로 동일한 하나의 개체군일 가능성을 제시해 주었다. 그러나, 이 연구방법은 방법 자체의 한계(개체군 변별력이 떨어지며 stabilizing selection에 영향을 받음)로 인하여 명확한 결론을 이끌어 낼 수 없는 단점을 가지고 있어 위의 연구결과들이 그대로 받아들여지지 않고 있다. 한편, 남극 크릴의 16S rDNA 유전자 염기 서열이 밝혀져 유전적 생체 지표가 만들어지기도 하였으나, 이 지표 역시 계군을 분석하기에는 적합하지 못한 것으로 알려져 있다. 16S rDNA 유전자의 구조상 독립된 돌연변이 발생율이 낮아서 종 수준 이하의 개체군간 차이를 밝히기에는 변별력이 떨어진다는 지적이다. 최근, 돌연변이 발생율이 높은 미토콘드리아 유전자 ND1의 염기 서열을 이용하여 남극 크릴의 계군을 분석하려는 시도에서는 (Zane et. al., 1998) 남조지아군도 크릴과 웨델해의 크릴이 서로 다른 계군일 가능성이 제시되기도 하였다. 그러나, 이 연구는 분석한 ND1유전자의 길이가 작다는 문제점이 있고(154bp) 웨델해의 크릴군이 가까이에 위치한 남조지아군도 크릴군보다 더 멀리 떨어져 있는 벨링스하우젠해나 로스해의 크릴과 유전적으로 더 가까운 것으로 나타나 연구결과에 신뢰성에 의문이 제기되기도 한다.

본 연구는 16S rDNA 유전자보다 변별력이 우수한 미토콘드리아의 cytochrome oxidase subunit I (COI) 유전자를 유전적 지표로 설정하고 남쉐틀랜드군도 북서쪽 해역, Bransfield 해협, Maxwell bay의 크릴계군이 지리적으로 시간적으로 변동하는지 여부를 분석하고 있다. 금년도의 연구에서는 지금까지 본 사업에서 수행되어 온 연구를 지속하여 2003년 12월 1일 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역에 설정된 정점 KR03에서 크릴새우 시료를 채집하고 이들의 미토콘드리아 유전자 COI의 염기서열을 분석하였다.

2. 재료 및 방법

가. 크릴 시료

금년도 연구에서 분석된 시료는 2003년 12월 1일 남쉐틀랜드군도 북쪽의 KR03정점(S60°42', W58°13')에서 동물플랑크톤 넷(붕고넷)로 채집되었다 (Table II-7-1, Fig. 1). 채집된 시료 중 28개체를 100% 알코올에 고정하고 실험실

로 운반하였다. 실험실에서 각 시료의 COI 유전자 약 650개 DNA 염기서열을 분석하고 기존에 분석된 개체들과 비교하였다.

나. 크릴의 DNA 추출

크릴 시료 각 개체는 독립적으로 분석되었다. 크릴의 전체 DNA는 육질로부터 NucleoSpin Tissue kit(MACHEREY-NAGEL, Germany)를 이용하여 추출하였다. 먼저, 크릴의 껍질을 벗기고 약 25mg의 크릴 육질을 수술용 메스로 잘라내어 잘게 썬 후, 1.5ml 튜브로 된 마이크로분쇄기에 옮긴다. 여기에 50-75 μ l의 phosphate buffer saline(PBS)를 넣고 육질 덩어리를 분쇄한다. 다시, lysis buffer인 T1 buffer 180 μ l와 proteinase K solution 25 μ l를 넣고 가볍게 vortexing한 후, 튜브를 56°C에서 2시간 동안 반응시킨다. 반응 도중 분쇄기로 1-2회에 걸쳐 육질을 더 곱게 갈아준다. 반응이 끝나면 육질이 보이지 않게 된 상태에서 RNase A solution 20 μ l를 넣고 5분 정도 상온에서 안정시킨다. 이후 B3 buffer 200 μ l를 넣고 70°C에서 10분간 incubation 시킨 후 vortexing 해준다. 이 용액에 210 μ l 에탄올을 첨가한 후 NucleoSpin Tissue column에 붓고 10,000rpm으로 1분간 원심분리 시킨다. 세척을 위해 500 μ l의 BW를 column에 넣고 10,000rpm으로 1분간 원심분리하고, 다시 wash buffer B5 600 μ l를 column에 넣고 10,000rpm으로 1분간 원심분리한다. 이후 최고속도로 3분간 원심분리하여 잔여 버퍼를 제거한다. column을 새로운 1.5 ml 튜브로 옮기고 70°C로 데워진 elution buffer BE 200 μ l를 넣은 후 상온에서 1분간 incubation 한다. 이를 원심분리기로 옮겨 1분간 최고속도로 회전시켜 DNA를 얻는다. DNA의 추출 여부는 DNA 용액 10 μ l를 0.8% 아가로스젤에 전기영동하여 확인하였으며, DNA 농도는 DNA 용액 1 μ l의 자외선 흡광도를 측정하여 산정하였다.

다. COI 유전자 증폭

추출된 전체 DNA에서 미토콘드리아 COI 유전자를 선택적으로 증폭하기 위하여 중합효소연쇄반응(PCR)을 실시하였다. 전년도의 연구에서 이미 밝혀진 크릴의 COI 염기서열을 바탕으로, 크릴에 독특한 프라이머가 합성되었고 이를 시료 분석에 이용하였다 (프라이머 KLCOI 1490, 5'GGACATTGGTACATTATACIT3'; KHCOI2188, 5'AAAAAATCAAATAAATGTTGGTA3'). 중합효소연쇄반응은 50 μ l

의 반응용액(10X PCR buffer 5 μ l, 2.5mM dNTPs 4 μ l, 각각 2.5 μ l의 forward, reverse primers, 0.5 μ l DNA, 1 unit Taq polymerase)을 만든 후, 온도 조건을 95°C 15min; 35cycle의 95°C 1min, 50°C 1min, 72°C 1.5min, 72°C 10min으로 맞추고 진행시켰다. PCR이후 6 μ l를 0.8% 아가로스젤에 전기영동하여 DNA의 증폭 여부를 확인하였다.

라. 시퀀싱 및 유전자 염기 서열 분석

위에서 얻은 PCR 산물 DNA를 QIA quick PCR purification kit(Qiagen, Hilden, Germany)를 사용하여 정제하였다. PCR 산물과 그 반응용액 양의 5배가 되는 PB binding buffer를 섞고 column에 주입한다. 이 column을 소형원심분리기에서 최고속도로 1분 동안 원심분리하여 flow-through를 제거한다. 세척용액인 PE buffer 750 μ l를 column에 붓고 다시 1분 동안 원심분리하여 flow-through를 버린다. 다시 2분 동안 원심분리하여 남아있는 용액을 제거한다. 이 column을 1.5ml 튜브에 올려놓고 50°C로 데워진 EB elution buffer 30 μ l를 넣어 2분 정도 상온에서 incubation한 후, 2분 동안 최고속도로 원심분리하여 DNA를 회수한다.

정제된 DNA는 Topo TA cloning kit를 이용하여 클로닝하고 그 플라스미드 DNA를 추출한 후 시퀀싱하였다. 시퀀싱은 반응용액 10 μ l를 만들고 (4 μ l의 PCR product DNA, 0.8 pmole KLCOI1490 primer 혹은 KHCOI2188primer 2 μ l, 2 μ l BigDye ready reaction mix V. 3.0; PE Biosystems, Foster City, USA), 이를 25cycle의 PCR (96°C 10초; 50°C 5초; 60°C 4분)로서 진행시켰다. PCR이 끝나면 이 반응액을 1.5ml 튜브에 옮기고 여기에 40ul 물, 5ul 3M NaOAc pH 4.6, 125ul 100% ethanol을 넣고 얼음 위에 10분간 놓아둔 후 약 12,000rpm으로 15분 동안 원심분리하여 DNA를 침전시켰다. DNA 침전물은 70% ethanol로 세척한 후, 37°C에서 5분 동안 건조시켰다. 이렇게 준비된 DNA를 ABI prism 377 DNA sequencer (PE Biosystems)에 전기 영동시켜 그 염기서열(시퀀스)을 결정하였다. 이후, MacVector 프로그램(Oxford Molecular, Oxford, UK)으로 염기 서열을 정리하고, MEGA 프로그램(Kumar et al., 2001)으로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 크릴시료 및 COI 유전자

금년도의 분석에는 2003년 12월 1일 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역에서 채집된 28개체가 이용되었다. 따라서, 현재까지 본 연구에서 총 114개체의 크릴 시료를 분석하였다 (남쉐틀랜드군도 북서쪽 해역, 59개체; Bransfield 해협, 27개체; Maxwell Bay, 23개체; 인도양, 5개체). 분석된 각 시료의 채집 날짜와 위치, 분석 개체수는 Table II-7-1과 같다.

모든 크릴 시료의 미토콘드리아 COI 유전자 염기서열은 클로닝한 후 결정되어 프라이머를 제외한 631개의 뉴클레오티드 배열이 밝혀졌다 (Fig. II-7-2). 각 개체의 염기서열을 기존에 분석된 86개의 개체들과 비교할 때, 새로운 개체변이 단염기다형성(SNPs)이 발견되었다 (기존 개체에서 염기서열 분석이 빠진 부분을 고려하여 염기 위치 30번에서 580번까지만 비교함; 총 560개 염기위치). 28개의 개체 중 15개체가 새로운 SNPs를 보였으며, 이 중 단 2개체를 제외하곤 모두 singleton (변이가 1개의 개체에서만 보이는 단상형, haplotype) 이었다. 따라서, 지금까지 본 연구에서 크릴새우의 단상형은 모두 80 종류가 밝혀졌다 (66종류에서 80종류로 증가: Table 2). 이로써 서로 다른 단상형(haplotype)은 크게 다섯 가지로 구분되었다 (A, B, C, D, E types). 단상형 A type은 346번 위치에 C를 갖고 562번 위치에 G를 갖는 공통점이 있으며, 이에 한 두 개의 변이가 추가된 15종류의 단상형이 포함된다. B type은 251번 위치에 G를 갖는 공통점이 있으며, 모두 6종류의 단상형 중 5종류는 346번에 A type과 같이 C를 갖는다. C type은 A type과 같이 346번 위치에 C를 갖으나 562번에는 A를 갖음으로써 A type과 구분된다. 모두 13개의 단상형이 발견된다. D type은 169번 위치에 G (2종류의 단상형은 A)를 갖는 공통점이 있으며, 251번 위치에 C(일부 G), 346번 위치에 T, 457번 위치에 T (일부 A), 562번 위치에 A를 갖는 특징을 보인다. 모두 40가지의 단상형이 포함되어 다섯 가지의 커다란 구분 중 가장 다양한 구성을 보인다. E type은 D type에서 변형된 것으로 457번 위치에 T를 갖고 있으나 169번 위치에서 C를 갖는 것으로 D type과 구분된다. 모두 6종류가 포함된다.

이번에 분석된 시료에서 단상형 B type은 전혀 발견되지 않았다 (Fig. II-7-3). 지금까지, B type은 2000년 1월 10일 남쉐틀랜드 서쪽에서 채집된 시료와

2000년 12월 25일 브랜스필드 해협에서 채집된 개체에서만 발견되었다. 한편, 모두 80 종류의 단상형에서 두 개체 이상에서 공통적으로 발견되는 것은 15가지에 불과하고, 나머지 65가지는 단 한 개체에서만 발견되는 singleton이었다. Singleton의 비율이 높고 서로 다른 단상형의 숫자가 분석된 총 114개체의 2/3 이상 (80종류)으로 나타나는 것은 크릴 계군의 유전적 구성이 매우 다양함을 시사한다. 다른 해석으로 크릴의 COI 유전자가 높은 돌연변이율을 겪고 있다는 가설도 가능하다. 한편, 단염기 다형성이 발견되는 위치는 이번 분석에서 새롭게 9개가 추가되어 모두 65개로 증가하였다 (Table II-7-2).

나. 크릴 시료의 연도별, 지역별 COI 유전자의 차이

각 시료에서 나타난 단염기다형성의 염기 변이를 서로 비교해 볼 때 특정 지역이나 특정 연도의 시료에서 일관되게 나타나는, 지역 혹은 연도 특이적인 변이는 발견되지 않았다. 이번에 분석된 크릴새우 시료도 기존 시료와 유사한 단상형 구성을 보였다 (Fig. II-7-3). 즉, A type, C type, D type의 개체들이 많았으며 B type은 나타나지 않았다. 윗 절에서 언급하였듯이 B type은 지금까지 단 2회의 시료에서만 관찰되었으며, 단상형 A type과 C type, D type은 지리적 차이에 관계없이 모든 지역에서 관찰되었다. 따라서, 남쉐틀랜드 주변 해역 (남쉐틀랜드군도 북서쪽 해역, 브랜스필드 해협, 맥스웰 만 등)에 출현하는 크릴 계군은 유전적 차이가 거의 없는 단일한 계군일 것으로 추론된다. 다만, 2000년 1월 10일 남쉐틀랜드군도 서쪽과 2000년 12월 25일 브랜스필드 해협에서 발견된 B type 개체들의 기원에 대한 조사는 좀 더 이루어져야 할 것이다.

한편, 남쉐틀랜드군도 주변 해역의 크릴새우에서 보이는 유전적 구성은 인도양측 남극해에서 채집된 시료에서도 유사하게 나타났다. 물론, 분석된 개체의 숫자가 적어 통계적 유의성을 찾는 것은 불가능하지만, 남극해 전체의 크릴새우가 유전적으로 크게 다르지 않을 것이란 추론도 가능하다고 생각된다. 즉, 남극해 주변에 분포하는 각 크릴새우 집단들이 생식적으로 떨어져 있지 않고 서로 유전적 확산이 가능한 상태에 있음을 나타낸다.

4. 결론

대서양측 남극해에 속한 남쉐틀랜드군도 북쪽 해역에서 2003년 12월 1일 채집된 크릴새우 시료 28개체를 대상으로 미토콘드리아 유전자 COI의 631개 염기서열을 분석한 결과, 이 시료들은 기존에 분석된 86개의 개체들과 비교할 때 수 개의 새로운 개체변이 단염기다형성(SNPs)을 보였으며, 이에 따라 새로운 단상형을 보여 주었다. 그러나 이들 28개체는 기존의 시료와 다른 공통의 SNPs를 보이지 않았고, 단상형의 유전적 구성 역시 기존의 시료와 유사하여 유전적으로 독립된 계군은 아닌 것으로 판단된다.

Genetic analysis of the Antarctic krill stocks near the South Shetland Islands

Abstract: This study aims at the examination of annual and geographical change of the Antarctic krill stocks near the South Shetland Islands. Particularly this year's analysis used samples collected from the north of the South Shetland Islands (site KR03), Dec. 1st, 2003. For genetic analysis of the samples, 631 nucleotide sequences of a mitochondrial gene, COI, were obtained. A total of 28 samples were analyzed. The DNA sequences showed new single nucleotide polymorphisms, increasing the total number of polymorphic sites to 65 from 56 and of haplotypes to 80 from 66. On the other hand, there was no single polymorphic nucleotide which is consistent among the 28 individuals and so discriminate them from the last 86 individuals previously examined. This result indicates that this year's stock is the same as those of the previous years occurred in this region, corroborating the last year's conclusion that the krill population near the South Shetland Islands is just one in terms of the genetic composition.

5. 참고 문헌

- 김수암 외 1998. 남극해 유용생물자원 개발 연구 보고서. 해양수산부. pp240.
- Andrew, S. Brierkey. 2002. Antarctic Krill Under Sea Ice: Elevated Abundance in a Narrow Band Just South of Ice Edge. *SCIENCE* 295. 1890-1892
- Bo I. Bergstrom. (1998) Genetic identifikation of populations in Antarctic Krill(*Euphausia superba*) and Northern shrimp(*Pandalus borealis*).
- Donhyung KANG, Younho LEE, Hyoung-Chul SHIN, Woncheol LEE, Suam KIM.(2000) Hydrography and acoustic biomass estimates of Antarctic Krill(*Euphausia superba*) near the South Shetland Islands, Antarctica, during January 2000: preliminary results.
- Fevolden, S. E. 1988. Biochemical genetics and population structure of *Euphausia superba*. *Comp Biochem Physiol* 90B: 507-513.
- Fevolden, S. E., Schneppenheim, R. 1989. Genetic homogeneity of krill(*Euphausia superba* Dana) in the Southern Ocean. *Polar Biology* 9: 533-539.
- Fischer, W., Hureau, J. C. 1985. FAO species identification sheets for fishery purposes. Southern Ocean(Fishing Areas 48, 58 and 88)(CCAMLR convention area). Vol. 1 and 2. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Hofmann, E. E., Klinck, J. M., Locarnini, R. A., Fach, B., Murphy, E. 1998. Krill transport in the Scotia sea and environs. *Antarctic Science* 10: 406-415.
- Lorenzo Zane, Tomaso Patarnello.(2000) Krill: a possible model for investigating the effects of ocean currents on the genetic structure of a pelagic invertebrate. *NRC Canada*. 16-23.
- L. Zane, L.Ostellari, L.Maccatrozzo, L. Bargelloni, B. Battaglia and T. Patarnello. (1998). Molecular evidence for genetic subdivision of Antarctic krill(*Euphausia superba* Dana) populations. *The Royal Society*. 2387-2391
- Marr, J. 1962. The natural history and geography of the Antarctic krill (*Euphausia superba* Dana). *Discovery Reports*, 32, 37-465.
- Kumar, S., Koichiro Tamura, Ingrid B. Jakobsen, and Masatoshi Nei (2001)

MEGA2: Molecular Evolutionary Genetics Analysis software, Arizona State University, Tempe, Arizona, USA.

Patarnello T, Bargelloni L, Varotto V and Battaglia B (1996) Krill evolution and the Antarctic ocean currents: evidence of vicariant speciation as inferred by molecular data. *Marine Biology* 126: 603-608.

Schneppenheim R, MacDonald CM (1984) Genetic variation and population structure of krill (*Euphausia superba*) in the Atlantic sector of Antarctic waters and off the Antarctic peninsula. *Polar Biology* 3: 19-28.

Tynan, C. T. 1998. Ecological importance of the southern boundary of the antarctic circumpolar current. *Nature* 392: 708-710.

Zane, L. and Patarnello, T. 2000. Krill: a possible model for investigating the effects of ocean currents on the genetic structure of a pelagic invertebrate. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57(3): 16-23.

Table II-7-1. The krill samples: sampling date, location, and the number of individuals analyzed.

Sample	date	cruise	sampling location	no. individuals	reference
1	98.01	Insung (Inc)	48.1 sector	1	'01report Krill(98)
2	99.01	98/99 Korea cruise	Maxwell bay (S58°50'; W62°15')	3	Krill(99-a,b,c)
3	99.02.04	Australia cruise	Indian Ocean (S64°18'; W105°47')	3	KrillAU(99-a,b,c)
4	00	Italia cruise	Indian Ocean, Rose Sea	2	KrillIK(00-a,b)
5	00.01.10	99/00 Korea cruise	west of the South Shetland Islands St1 (S62°50'; W62°35')	12	'02report K0001S1-12
6	00.01.17	99/00 Korea cruise	north of the South Shetland Islands St2 (S61°35'; W61°40')	3	'01report Krill(00-a,b,c)
7	00.07	Insung (Inc.)	north of the South Shetland Islands	3	'01report Krill(00-d,e,f)
8	00.12.19	00/01 Korea cruise	north of the South Shetland Islands St.K6:trawl1 (S61°40'; W60°00')	6	'01report Krill(01-a~f)
9	00.12.19	00/01 Korea cruise	north of the South Shetland Islands St.K6:trawl2 (S61°40'; W60°00')	6	03 analysis
10	00.12.25	00/01 Korea cruise	Bransfield; St.K17-S01: trawl5 -333 (S62°20'; W56°40')	16	'02 report K0012S5-1~16
"	00.12.25	00/01 Korea cruise	Bransfield; St.K17-S01: trawl5 -505, small, (S62°20'; W56°40')	-	
"	00.12.25	00/01 Korea cruise	Bransfield; St.K17-S01: trawl5 -505, big, (S62°20'; W56°40')	-	
11	00.12.26	00/01 Korea cruise	Bransfield; St.S11: trawl6 -333 (S62°25'; W58°40')	11	03 analysis K001226T61~11
12	01.12.02	01/02 Korea cruise	Drake passage: WS6-WSD: WSPF-505, (S56°15'; W52°00')	-	
13	01.12.10	01/02 Korea cruise	Maxwell bay: St21-St19-1, (S62°18'; W58°42')	20	'02 report K0112S21-1~15; 03 anlysis K0112S21-1~20
"	01.12.10	01/02 Korea cruise	Maxwell bay: St21-St19-2, (S62°18'; W58°42')	-	
14	01.12.26	01/02 Korea cruise	Drake passage: WS07-505, (S58°05'; W52°00')	(8)	03 analysis, processing
15	02.12.08	02/03 Korea cruise	Maxwell bay: KR06-505		stored in formalin
16	03.12.01	03/04 Korea cruise	north of the South Shetland Islands: KR03 (S60°42', W58°13')	28	CEsup03120101-28
총계				114	

* bold; this year's analyses

Table II-7-2. Haplotypes and their frequency of the krill COI gene

Haplotype/ Freq	1111111111111111	22222222	3333333333333333	44444444	5555555555555555	
/Position	3444667	0001234456689	01234559	001222244566799	13445899	01223344566668
	9237473	1562104571977	26927018	143125869517347	30127536	27395856702780
Consensus	GTGAAAT	ATTTTTTGTACTC	ACACAGTT	GTGTACATTTCTATC	TTTAATAA	GCTCCGGCAAATTT
A1	.....	.....	.....	.....C.....G..	.C.....	.....G...
A2	.....	.....	.....	.....	.....	.....G...
A3	.....	.....	.....G.....	.....C.....	.....	.....G...
A4	.....	.....	.....	.....T.C.....	.....	.....G...
A5	.....	.....	.....	.....T.C.....	.....G.....	.....G...
A6	.....	.....C.....	.....	.....T.C.....	.....	.....G...
A7	.....	.....	.....	.....T.C.....	.....C.....	.....G...
A8	.....	.....	.....	.....T.C.....	.....G.....	.....G...
A9	.....	.....	.....	.....TCC.....	.....	.....G...
A10	.....C.....	.....	.....A.....	.....C.....	.....	.....G...
A11	.....C.....	.....	.....A.....	.....C.....	.....T.....	.....GGG
A12	.....C.....	.....	.....	.....C.....	.....	.....GGG
A13	.....C.....	.....GA.....	.....	.....C.....	.....	.....GGG
A14	.....	.....G.....	.....	.....C.....	.....	.....G...
A15	A.A.....	.....	.....	.....C.....	.....G.....	.....G...
B1	.....	.....	.....G.....	.....C.....	.....Y.....	.....G...
B2	.....	.....	.....G.....	.....A.....T.C.....	.....Y.....	.....G...
B3	.....	.....	.....G.....	.....T.C.....	.....Y.....	.....G...
B4	.....	.....	.....G.....	.....T.C.....	.....Y.....	.....G...
B5	.....	.....	.....G.....	.....C.....	.....Y.....	.....G...
B6	.....	.....	.....G.....	.....	.....Y.....	.....T...
C1	.....	.....	.....	.....C.....	.....	.....
C2	.....	.....G.....	.....	.....C.....	.....	.....
C3	.....	.....	.....	.....C.....	.....	.....G.....
C4	.....	.....G.....	.....	.....C.....	.....	.....G.....
C5	.....A.....	.....	.....	.....C.....	.....	.....G.....
C6	A.A.....	.....T.....	.....	.....C.....	.....C.....	.....T.....
C7	G.T.C.....	G.....T.....	.....	.....C.....	.....	.....CT.....
C8	G.T.C.....	G.....A.....	.....	.....C.....	.....	.....A.....
C9	G.T.C.....	G.....G.....	.....	.....A.....	.....	.....
C10	.....	.....	.....	.....A.....	.....T.C.....	.....
C11	.....	.....	.....	.....A.....	.....T.C.....	.....Y.....
C12	.....	.....	.....	.....GT.C.....	.....	.....
C13	.....A.....	.....	.....AC.....	.....C.....	.....	.....
D1	.....	.....G.....	.....C.....	.....A.....	.....TY.....	.....
D2	.....	.....G.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....	.....
D3	.....	.....G.....	.....C.....	.....A.....T.....	.....T.....	.....TY.....
D4	A.A.....	.....G.....	.....C.....	.....A.....T.....	.....T.....	.....TY.....
D5	.....C.....	G.....AG.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D6	.....	G.....G.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D7	.....	G.....G.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D8	.....	C.....G.....	.....C.....	.....A.....A.....	.....GT.....	.....A.....
D9	.....	C.....G.....	.....C.....	.....A.....	.....GT.....	.....A.....
D10	.....	C.....G.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D11	.....	C.....G.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D12	.....	C.....G.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D13	.....	C.....A.....GC.....	.....C.....	.....T.....	.....T.....	.....TY.....
D14	.....G.....	C.....A.....GC.....	.....C.....	.....T.....	.....T.....	.....TY.....
D15	K.....	C.....A.....GC.....	.....C.....	.....T.....	.....T.....	.....TY.....
D16	.....C.....	.....G.....	.....C.....	.....Y.....	.....T.....	.....TY.....
D17	.....	.....G.....	.....C.....	.....	.....T.....	.....TY.....
D18	.....	.....G.....	.....T.C.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....
D19	.....	.....G.....	.....AC.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D20	.....	.....G.....	.....AC.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D21	.....	.....G.....	.....AC.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D22	.....	.....G.....	.....AC.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D23	.....	.....G.....	.....AC.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D24	.....G.....	.....G.....	.....A.....ACA.....	.....AA.....	.....G.....GG.....	.....T.....
D25	.....	.....G.....	.....AC.....	.....G.....	.....	.....TY.....
D26	.....	.....G.....	.....AC.....	.....	.....	.....TY.....
D27	.....	.....G.....	.....AC.....	.....T.....	.....	.....TY.....
D28	.....	.....G.....	.....AC.....	.....T.....	.....	.....TY.....
D29	.....	.....G.....	.....AC.....	.....A.....T.C.....	.....	.....TY.....
D30	.....C.....	.....G.....	.....AC.....	.....T.....	.....	.....TY.....
D31	.....C.....	.....G.....	.....AC.....	.....T.....	.....C.....	.....TY.....
D32	.....C.....	TGAC.....	.....G.....	.....AC.....	.....T.....	.....TY.....
D33	.....C.....	TGAC.....	.....G.....	.....AC.....	.....T.....	.....TY.....
D34	.....	.....G.....	.....AC.....	.....T.....	.....	.....TY.....
D35	.....	.....G.....	.....AC.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D36	.....	.....G.....	.....AC.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....
D37	.....	.....G.....	.....G.....	.....A.....T.G.....	.....	.....TY.....
D38	.....	.....G.....	.....G.....	.....T.G.....	.....	.....TY.....
D39	.....	.....A.....	.....C.....	.....A.....	.....T.....	.....TY.....

D40	.....A.....G. A.A.....TY.....
E1	.....A.....T.G. ....AA...G....
E2	.....A.....T.....
E3	.....C.....A.....TY.....
E4	.....C.....A.....TY.....T.....
E5	.....G.C.....C.....C.....TC.....
E6	.....G.C.....C.....C.....TC.....

* 114 specimens were investigated; 80 different haplotypes were observed.

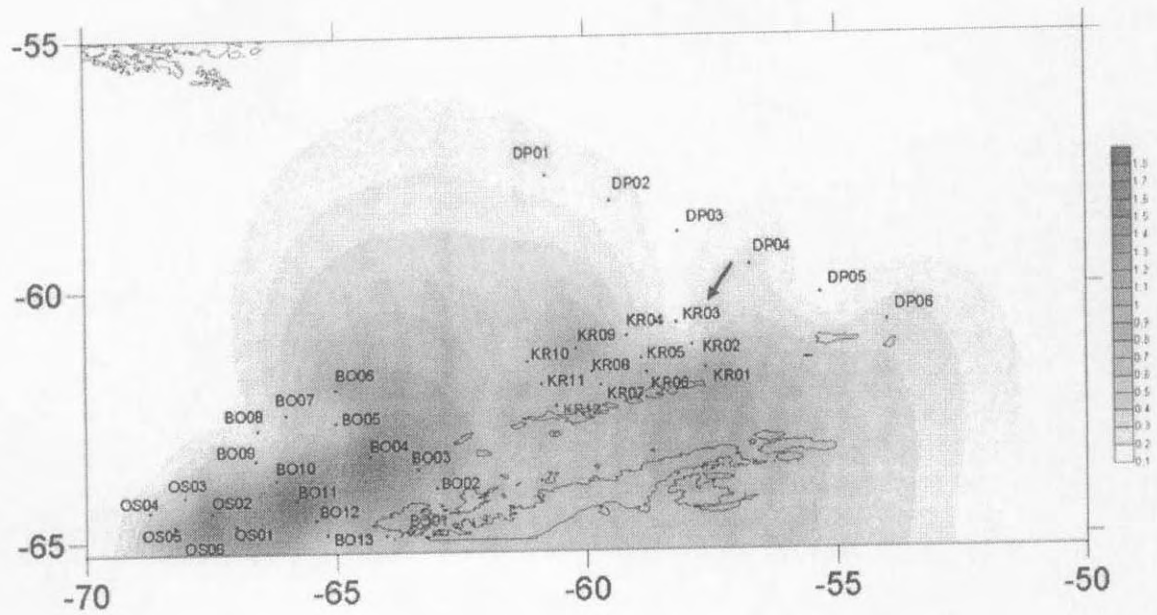


Fig. II 7-1. Sampling site (KR03) for the Antarctic krill during the 2003/2004 cruise

>CEsup03120101
TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

>CEsup03120102
TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

>CEsup03120103
TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

>CEsup03120104
TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

Fig. II 7-2. Partial sequences of krill COI gene from the samples collected north of the South Shetland Islands, Dec. 01, 2003.

>CEsup03120105

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGAATAGTAGGTA CTTCAC TAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTCACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAAACATAAGATTTT
GATTACTACCCCCTTCCCTTA ACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAAACTTTA
TTACA ACTGTAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGT TTTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCTATTCTC

>CEsup03120106

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTA CTTCAC TAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCCTTCCCTTA ACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAAACTTTA
TTACA ACTGTAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGT TTTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCTATTCTC

>CEsup03120107

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTA CTTCAC TAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCCTTCCCTTA ACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAAACTTTA
TTACA ACTGTAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGT TTTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCTATTCTC

>CEsup03120108

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTA CTTCAC TAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCCTTCCCTTA ACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATACCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATGGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAAACTTTCA
TTACA ACTGTAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGT TTTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCTATTCTC

Fig. II-7-2. (continued)

>CEsup03120109

TATTTTCGGTGCCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATACCCACCTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATGGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTCA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGT
ACCCATTCTC

>CEsup03120110

TATTTTCGGTGCCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTMTAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATAGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGCTACCCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGT
ACCCATTCTC

>CEsup03120111

TATTTTCGGTGCCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTACTACCCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTGTACCCACCTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGYGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGT
ACCCATTCTC

>CEsup03120112

TATTTTCGGTGCCATGAGCTGGAAATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGCTACCCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGATGAACAGTATACCCACCTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGT
ACCCATTCTC

Fig. II 7-2. (continued)

>CEsup03120113

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTCCCATAATGCTAGGAGCCCCGTGATATGGCATTCCCACGAATAAACACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

>CEsup03120114

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGGCAACCAGGTAGTTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTCACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATAGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTCCCATAATGCTAGGAGCCCCGTGATATGGCATTCCCACGAATAAACACATAAGATTTT
GATTGCTACCCCTTCCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACTTCTTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

>CEsup03120115

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCATAATGCTAGGAGCCCCGTGATATGGCATTCCCACGAATAAACACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACTTCTTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

>CEsup03120116

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCATAATGCTAGGAGCCCCGTGATATGGCATTCCCACGAATAAACACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACTTCTTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

Fig. II 7-2. (continued)

>CEsup03120117

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTCCTCCTCTCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

>CEsup03120118

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTGCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

>CEsup03120119

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGTTACCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTGTATCCACCTTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

>CEsup03120120

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTACTACCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGAGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGGTCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCTCCCGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCTATTCTC

Fig. II 7-2. (continued)

>CEsup03120121

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGCTACCCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGATGAACAGTATACCCACCTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

>CEsup03120122

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGAATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTACTACCCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGATGAACAGTATACCCACCTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCTGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

>CEsup03120123

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGCAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGCTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTATTACCCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATACCCACCTTATCAGCAGGAATCGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCAGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTTCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATGCTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

>CEsup03120124

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGAATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATCATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGCTACCCCCTTCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGATGAACAGTATACCCACCTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTGATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATTACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

Fig. II 7-2. (continued)

>CEsup03120125

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGCTACCCCCTCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTCGGT
ACTGGGTGAACAGTATACCCACCTTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

>CEsup03120126

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGAATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTACTACCCCCTCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATATCCACCTTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

>CEsup03120127

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGAATAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATGCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGCTACCCCCTCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGATGAACAGTATACCCACCTTTATCAGCAGGAATTGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTAATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

>CEsup03120128

TATTTTCGGTGCATGAGCTGGGRTAGTAGGTAAGATTGATTATTCGAGCTGAGT
TAGGACAACCAGGTAGTTAATTGGAGATGACCAAATTTATAATGTTGTAGTTACAGCACAT
GCTTTTGTATAATCTTCTTTATGGTAATACCAATTATGATTGGTGGGTTTGGTAACTGGCT
TGTTCCACTAATRCTAGGAGCCCCTGATATGGCATTCCCACGAATAAACAACATAAGATTTT
GATTGCTACCCCCTCCTTAACTCTCTTATTAGGAAGAGGTTTAGTAGAAAGTGGGGTTGGT
ACTGGGTGAACAGTATACCCACCTTTATCAGCAGGAATYGCTCATGCTGGAGCCTCTGTTGA
TATAGGAATCTTCTCGCTTCATATTGCCGGTGCTTCTCAATTTTAGGAGCCGTAACTTTA
TTACAACGTAAATTRATATACGATCTGCAGGTATAACTATAGACCGTATTCCATTATTTGTA
TGATCAGTGTATTATACAGCTATCCTACTTCTCCTCTCTCCCGGTTCTAGCTGGAGCAAT
TACTATACTTCTTACAGATCGTAATTTAAATACCTCATTCTTCGACCCAGCCGGTGGTGGTG
ACCCATTCTC

Fig. II 7-2. (continued)

```

11111111111111 22222222 3333333333333333 44444444 55555555555555
3444667 0001234456689 01234559 001222244566799 13445899 01223344566668
9237473 1562104571977 26927018 143125869517347 30127536 27395856702780
consensus GTGAAAT ATTTTTTGTACTC ACACAGTT GTGTACATTTCTATC TTTAATAA GCTCCGGCAAATTT
K9801INSG48.1 ..A..... ..C..... ..G.....
K000110s1-1 .....G..... ..Y.....T...
K000110s1-2 .....G.....T.C.....Y...
K000110s1-3 .....C.....A.....TY...
K000110s1-4 .....C.....A.....TY...T...
K000110s1-5 .....G.....C.....TY...
K000110s1-6 .....G.....AC.....T.....Y.....T...
K000110s1-7 .....G.....C.....Y...
K000110s1-8 .....G.....C.....Y.....G...
K000110s1-9 .....G.....C.....A.T.....TY...
K000110s1-10 .....G.....C.....A.....TY...
K000110s1-11 .....G.....C.....A.....TY...
K000110s1-12 .....G.....G.....C.....Y.....G...
K000117ST2-1 .....G.....A.....T...
K000117ST2-2 .....A.....T...
K000117ST2-3 .....C.....T.....G...
K0007INSG48-1 .....C.....G...
K0007INSG48-2 .....G.....C.....G...
K0007INSG48-3 .....A.....C.....A.....T...A.....G...
K001219TR1-1 .....C.....G...
K001219TR1-2 .....C.....G...
K001219TR1-3 .....C.....G...
K001219TR1-4 .....C.....G...
K001219TR1-5 .....G.....C.....G...
K001219TR1-6 ..A.....G.AC.....C.....G...
K001219TR2-1 .....C.....G...
K001219TR2-2 .....C.....G.....AC.....T.....C.....
K001219TR2-3 .....C.....C.G.....C.A.A.....GT...A.....
K001219TR2-4 .....G.....G.....A.ACA.AA.....G.GG.....T...
K001219TR2-5 .....C.TGAC.....G.....AC.....T...
K001219TR2-6 .....C.....G.....AC.....T...
CEsup03120101 .....C.....T.C.....G...
CEsup03120102 .....C.....G...
CEsup03120103 .....T.C.....G...
CEsup03120104 .....C.....G...
CEsup03120105 .....C.....G.....AC.....T...
CEsup03120106 .....T.C.....G.....G...
CEsup03120107 .....T.C.....G...
CEsup03120108 .....C.....G.....C.....G...
CEsup03120109 .....C.....G.....C.....G...
CEsup03120110 .....C.....A.GC.....C.....T...
CEsup03120111 .....G.....AC.....G...
CEsup03120112 .....G.....C.....A.....T...
CEsup03120113 .....C.....T.C.....G...
CEsup03120114 .....G.....C.....A.GC.....C.....T...
CEsup03120115 .....C.....G...
CEsup03120116 .....C.....G...
CEsup03120117 .....T.C.....C.....G...
CEsup03120118 .....T.C.....G.....G...
CEsup03120119 .....GT.C.....G...
CEsup03120120 .....G.....AC.A.....T.....G...
CEsup03120121 .....G.....C.....A.....T...
CEsup03120122 .....G.....AC.....A.....T...
CEsup03120123 .....C.....G.....A.....C.....T.....G...
CEsup03120124 .....C.G.....C.....A.....GT...
CEsup03120125 .....G.....C.....C.....T...
CEsup03120126 .....G.....AC.....T...
CEsup03120127 .....G.....C.....A.....T...
CEsup03120128 K.....G.....C.....Y.....T...

```

Fig. II 7-3. Single nucleotide polymorphisms among the krill samples. Samples of the first block are from the north of the South Shetland Islands, second block from the Bransfield strait, the third block from the Maxwell bay, and the forth block from the Indian Ocean.

K001225T5-1	.....G.....C...A.....TY.....
K001225T5-2	.....G.....C.....Y.....G.....
K001225T5-3	.....A.....A.....T.C.....Y.....
K001225T5-4	.....A.....A.A.....TY.....
K001225T5-5	.....G.....AC.....Y.....
K001225T5-6	.....G.....AC.....TY.....
K001225T5-7	.....G.....G...A.....TY.....
K001225T5-8	.....G.....AC.A.....TY.....
K001225T5-9	.....G.....G...A.T.G.....TY.....
K001225T5-10	.....G.....G.....T.C.....Y.....G.....
K001225T5-11	.....G.....G...A.....TY.....
K001225T5-12	.....G.....G...A...C.....Y.....G.....
K001225T5-13	.....G.....AC.....Y.....
K001225T5-14	.....G.....AC...A.T.C.....Y.....
K001225T5-15	.....G.....G.....T.G.....TY.....G.....
K001225T5-16	.....G.....AC.....T.....Y.....
K001226T6-01	.....G.G.....A.....C.....A.....
K001226T6-02	.....C.....GA.....C.....GGG.....
K001226T6-03	.....C...G..AG...G.....C...A.....T.....G.....
K001226T6-04	.....G.....G.....C...A.....T.....
K001226T6-05	.....C.....C.....GGG.....
K001226T6-06	.....A.....T.C.....
K001226T6-07	.....C.....A.....C.....G.....
K001226T6-08	.....C.....G.....AC.....T.....
K001226T6-09	.....C.....G.....C.....A.....C.....
K001226T6-10	.G.T.C..G.....T.....C.....CT.....
K001226T6-11	.G.T.C.....A.....C.....
K9901maxbay-1	.....A.....T.G...AA..G.....
K9901maxbay-2	.....G.....C...A.....T.G...A.....
K9901maxbay-3	.....G.....C.A.....T.....
K011210s21-01	.....T.C.....G.....
K011210s21-02	.....G.....AC.....T.....
K011210s21-03	.....G.....AC.A.....T.....
K011210s21-04	.....G.....AC...T.....
K011210s21-05	.....G.....AC...A.....T.....
K011210s21-06	.....G.....C...A.....T.....
K011210s21-07	.....C.....
K011210s21-08	.....C.....
K011210s21-09	.....T.C.....G.....
K011210s21-10	.....G.....AC...A.....T.....
K011210s21-11	.....T.C.....G.....
K011210s21-12	.....G.....C.....T.....
K011210s21-13	.....C.....G.....
K011210s21-14	.....G.....C.....
K011210s21-15	.....G.....C.....
K011210s21-16	.....T.C.....G.....
K011210s21-17	.....G.....C.....T.....
K011210s21-18	.....C.....C.....
K011210s21-19	.....G.C.....C...TC.....
K011210s21-20	.....G.C.....C...TC.....
AUK990204-1	A.A.....T.....C..C.....T.....
AUK990204-2	A.A.....C.....G.....G.....
AUK990204-3	A.A.....G...A.....C.T.....T.....G.....
ITK00-1	.....G.....C.....G.....
ITK00-2	.....G.....T.C.....A...T.....T.....G.....

Fig. II-7-3. (continued: CEsup031201-28; this year's analyses)

여 백

제 8 절 크릴의 소화샘; 먹이섭취 활동의 지시자(指示者)

요약: 남극 크릴의 소화샘은 중요한 영양 기관으로 두흉부 갑각에 대한 비로 나타낸 소화샘의 상대적 크기는 최근 크릴의 먹이 섭취활동에 대한 지표가 될 수 있다. 한여름 채집된 크릴 소화샘의 색깔은 대개 조류(藻類) 먹이를 반영하지만 예외적인 먹이의 섭취에 신속하게 반응하였다. 소화샘은 먹이섭취활동의 결과로 영양 비축에 기여하며 중량비로 환산한 소화샘 크기의 차는 비축의 정도를 반영한다. 광범위한 시기와 해역에서 수집된 크릴 소화샘의 크기와 색깔 자료는 크릴이 경험하는 먹이 환경의 변화와 이에 대한 크릴의 반응을 이해하는 지시자로 활용할 수 있다.

1. 서론

남극 해양생태계 먹이그물의 중심인 남극크릴은 (*Euphausia superba*; 이하 크릴) 남극 환경에 잘 적응한 동물이지만 그 자원량이 해마다 심한 변동을 보이는 것은 잘 알려져 있다. 해빙의 생성 범위와 지속 시기를 비롯한 물리적 환경요인의 연간 변화가 그 배경에 있을 것이라는 설명이 주목을 받고 있으나 (Smetacek et al. 1990, Siegel and Loeb 1995, Loeb et al 1997) 광범위하게 생성된 해빙이 크릴에게 불리하게 작용하는 것이 아니라 먹이와 은신처의 제공으로 겨울나기를 돕고 여름의 번성으로 이르게 한다는 설명을 일반적으로 수용할 수 있으려면 직접적인 현장 증거가 더 필요하다. 반대로 크릴이 겨울에는 심한 먹이 부족 때문에 자라지 못하고 오히려 몸 크기가 줄어든다는 관찰 기록이 있으며 (Quetin and Ross 1991) 아직도 가설들을 입증할 만한 현장 증거가 부족한 상태이다.

하여간 이러한 물리적 변화는 먹이환경의 변화를 가져오고 당연히 크릴의 먹이섭취 활동도 이에 반응을 보일 것이다. 크릴이 변화하는 먹이환경에 육식(肉食)을 포함하는 잡식(雜食)으로 전환하거나 심지어 먹이 없이 오래 버티기 등 다양한 전략으로 대처할 능력이 있다는 것은 잘 알려져 있다 (Ikeda and Dixon 1982, Marschall 1988, Price et al. 1988). 환경조건이 바뀔에 따라 남극크릴의 먹이 섭취활동이 양적으로 질적으로 어떻게 달라지는지 아는 것은 과연 어떠한 요인이 이들의 성쇠에 가장 큰 영향을 미치는 이해하는데 필요하며 크릴 생태학 연구에서 매우 중요한 자료이다. 먹이가 부족할 것으로 생각되는 남극의 겨울과 같은 시기를 어떻게 크릴이 극복하는가 또 여러 가지 가능한 전략 중에 어떤 이유로 무엇을 선택하는지, 이것이 다음 여름에 어떤 영향을 미치는지와 같은 문제를 풀기 위해 표준화된 지시자를 이용하여 현장에서 크릴의 먹이 섭취활동에 대한 자료를 수집할 필요는 매우 크다.

위(胃)가 먹이로 가득 차있는 정도 또 소화샘의 색깔과 같은 몇가지 지시자를 이용하여 먹이섭취활동에 대한 정보를 얻으려는 시도는 있었으나 (Anterzana and Ray 1984, Endo and Kadoya 1991, Morris and Ricketts 1984) 표준화된 지시자가 광범위한 수역과 시기에 적용되어 자료가 축적된 것은 아니었다. 크릴의 소화샘은 소화효소 분비와 영양 흡수가 일어나는 기관으로

먹이환경에 민감하게 반응할 뿐 아니라 크고 눈에 잘 띄는 기관이다. 이 연구에서는 크릴의 소화샘을 현장에서 쉽게 측정할 수 있는 먹이 섭취 활동의 지표로 활용하는 것을 염두에 두었다. 크릴의 소화샘의 크기와 색깔을 자연 상태의 크릴로부터 측정하고 이를 크릴 때 사이에 또 수역별로 비교하고자 하였다. 또 크릴의 소화샘은 섭취한 먹이에서 영양을 흡수하여 짧은 기관의 먹이 부족을 극복 할 수 있도록 저장하는 기관으로 조사된 바 있다. 크릴 소화샘의 크기를 표준화된 방법으로 표현하기 위해 오토 동안 크릴이 기아상태에 놓였을 때 줄어든 소화샘의 크기를 조사하여 크릴의 소화샘이 먹이 섭취로 영양을 축적하기 전 최소 기본 크기를 결정하고자 하였다. 그리고 표준색 차트를 이용하여 크릴 소화샘의 크기와 색깔에 대한 자료를 표준화된 방법으로 얻을 수 있도록 하려고 하였다.

크릴이 가장 선호하는 먹이는 식물플랑크톤, 특히 20 μm 보다 큰 규조류로 알려져 있으나 최적의 먹이가 부족할 때에는 다른 종류의 생물로 먹이를 대체할 수 있다는 것 또한 여러 차례 보고된 바 있다 (Price et al. 1988, Atkinson and Snyder 1997). 선상실험을 통하여 크릴이 조류(藻類)와 다른 종류의 먹이 특히 동물성 먹이를 섭취할 때, 소화샘의 색깔에 어떤 변화가 일어나는지 그 반응을 조사하여 주된 먹이가 바뀌는 것을 감지할 수 있는 지시자로 소화샘의 색깔을 이용할 수 있는 가능성을 조사하고자 하였다.

2. 재료와 방법

1) 현장에서 채집한 크릴의 측정

크릴이 네트로 채집되어 갑판 위에 올라올 때마다 상태가 좋아 보이는 개체들을 골라 가능한 20마리씩은 관찰하였다. 크릴을 흰 바탕 타일 위에 올려놓은 채 소화샘의 색깔을 Munsell 차트와 비교하여 그 중 가장 가깝다고 판단되는 보기 색(色)의 색상, 명도, 채도를 개체별로 기록하였다. 색깔 기록이 끝난 개체는 해부현미경 하에서 캘리퍼스로 두흉부(頭胸部) 갑각(甲殼)의 길이와 소화샘의 길이를 측정하였다. 성적(性的) 성숙(成熟)이 뚜렷한 개체는 성별과 성숙단계도 Makarov and Denys (1980)의 검색표에 따라 가능한 함께 기록하였다.

2) 기아(飢餓) 실험

일부 개체들을 여과해수에 집어넣어 먹이공급을 중단시켰다. 일정한 기간이 지난 다음 크릴을 채집하여 색깔을 기록하고 소화샘의 길이와 두흉부 갑각의 길이를 측정하였다. 2개의 그룹은 20일간 또 다른 2개의 그룹은 각각 36일간, 43일간 기아 상태에 놓이게 하였다.

3) 기아(飢餓) 상태에 있던 크릴에게 먹이를 제공하는 실험

가. 저서성 요각류 먹이 실험

세종기지 주변의 조수 웅덩이에서 채집한 저서성 harpacticoid 요각류 100마리를 굶주린 크릴 2마리에게 먹이로 제공하였다. 처음 6시간은 2시간에 한번씩 관찰하고 그 뒤로는 24시간, 48시간 만에 관찰하였다. 크릴을 살려야 했기 때문에 크릴을 꺼내서 흰 타일 위에 올려놓지 않고 크릴이 담겨있는 용기를 흰 종이 위에 올려놓고 짧은 시간만 관찰하였다.

나. 조류(藻類) 먹이 실험

다른 굶주린 크릴을 2마리씩 각각 4개의 용기에 넣고 2개는 20 μm 보다 큰 조류(藻類) 먹이 처리구로 다른 2개의 용기는 20 μm 이하 조류(藻類) 먹이 처리구로 하였다. 조류 배양액을 첫날은 대략 5 $\mu\text{g Chl krill}^{-1}$ 로 둘째날은 대략 20 $\mu\text{g Chl krill}^{-1}$ 로 주었다. 관찰 간격은 먹이를 주고 난 뒤 6시간은 2시간에 한번씩 관찰하고 24시간째 다시 관찰하였다.

3. 결과

1) 크릴 소화샘의 크기

가. 현장에서 채집된 크릴들의 소화샘 크기

크릴 소화샘의 크기는 몸 크기에 따라 달라질 것이므로 크릴의 소화샘

크기를 어떠한 방법으로든 표준화시킬 필요가 있다. 크릴의 두흉부 갑각의 크기를 몸 크기의 대체 기준으로 선택하고 크릴 소화샘 길이의 두흉부 갑각 길이에 대한 백분율 비(比)를 몸 크기를 고려한 상대적인 크릴 소화샘의 크기로 삼았다. 크릴의 몸 크기가 소화샘의 상대적인 크기에 어떤 영향을 미치는지, 다시 말해서 소화샘의 상대적인 크기가 몸 크기에 따라 달라질 수 있는지 확인하고자 하였다. 그러나 잠정적이거나 결론을 추출할 수 있을 정도로 하나의 크릴 떼 안에서 다양한 크기의 개체가 충분히 많이 채집된 경우가 이번 조사에서는 없었다. 하지만 갑각의 길이가 15 mm 이상 되는 큰 개체들의 경우, 특히 성숙한 암컷의 경우 부풀어 오른 난소 때문에 갑각은 다소 늘어나고 소화샘은 위축되어 소화샘의 상대적인 크기가 작아지는 경향이 뚜렷하였다. 산란 수일 전이라고 생각해도 좋을 정도로 완전 성숙한 것은 아니지만 두흉부 갑각이 난소 때문에 부풀은 것이 완전한 단계, 즉 Makarov and Denys (1980)의 기준으로 3CF에 해당하는 경우에 이르면 소화샘의 크기가 종종 40% 전후 혹은 40%에도 이르지 못할 정도로 낮았다. 따라서 각 정점에서 채집된 크릴의 영양 상태를 나타내는 척도로 소화샘 크기를 사용하고자는 시도에서 3CF와 3DF 개체들은 따로 취급하였다.

크릴 소화샘의 길이는 대부분의 경우 두흉부 갑각 길이의 50% 전후였으며 60%를 넘는 경우도 있었다 (Fig. II-8-1). 이는 전형적인 남극의 한여름에 먹이를 비교적 활발하게 섭취한 수준에 해당하는 것으로 생각된다. 제한적인 관측이었지만 가을에 관찰된, 평균적으로 50%에 못 미치는 작은 소화샘을 갖는 크릴 떼와는 대비가 되었다 (신, 미발표 자료). 길이로 본 소화샘의 상대적인 크기는 다소의 개체 차이가 있었지만 평균 크기에 있어 각각의 정점에서 채집된 크릴 떼 사이에 차이가 있었다. 조사 정점 간 크릴들의 영양 상태에 차이가 있는 것을 평균 소화샘 크기로 보아 알 수 있었다. 예를 들어 정점 2번의 크릴들이 정점 11번의 크릴들에 비해 영양상태가 좋지 못한 것은 분명하다.

3CF와 3DF에 해당하는 암컷들은 거의 대부분 두흉부 갑각 길이가 이미 15 mm 이상이었으며 앞에서 들은 이유 때문에 소화샘의 상대적인 크기가 반드시 작아야만 하는 것은 아니었다. 11번 정점에서는 성숙한 암컷들도 평균 50%를 넘는 큰 소화샘을 갖고 있었다 (Fig. II-8-1). 주목할 만한 것은 이들 11번 정점들의

암컷이 모두 3DF로 수일 이내에 산란할 개체들이었다는 것이다. 크릴이 산란하려면 충분한 먹이가 필요한데 아마 11번 정점에서 채집된 암컷 크릴들은 다른 정점의 암컷들에 비해 예외적으로 큰 소화샘이 보여주듯 그 정도로 먹이를 잘 먹어왔기 때문에 소화샘도 크고 모두 산란 직전까지 이르게 된 것일 것이다. 앞서서도 언급한 것처럼 11번 정점에서는 성숙한 암컷이 아닌 다른 크릴들 역시 큰 소화샘을 갖고 있었으며 실제로 조상 정점 중 소화샘의 크기가 가장 컸다. 이것은 11번 정점에서 채집된 크릴들이 그동안 매우 좋은 먹이 조건에 지속적으로 놓여 있었던 것을 의미한다.

경우에 따라 살파(*Salpa thompsoni*)가 크릴과 함께 채집되기도 하였다. 살파와 크릴의 밀집 서식이 겹치는 경우가 거의 없었다는 것 때문에 두 종이 먹이를 두고 직접적인 경쟁관계에 있다는 주장이 있다 (Loeb et al. 1997). 이번 조사에서는 표본의 수가 너무 적어 일반적인 결론을 끌어낼 수는 없었다. 하지만 살파의 출현과 크릴 소화샘 크기로 대변되는 먹이 섭취 활동의 활발함 사이에 뚜렷한 관계는 드러나지 않았다. 소화샘 크기가 유독 작았던 2번 정점의 경우 살파의 출현량이 크릴의 소화샘이 매우 컸던 11번보다 오히려 적었다. 또 살파가 대량으로 출현한 9번 정점의 경우 소화샘의 크기가 평균 이상의 수준이었다.

나. 기아실험에서 크릴 소화샘의 축소

크릴의 소화샘이 단기간의 먹이 부족에 대처하는데 쓰일 수 있는 여분의 영양을 저장하기도 하기 때문에 크릴에게 먹이 공급이 중단되면 소화기관인 크릴 소화샘의 크기는 줄어들 수밖에 없고 이는 실험으로 확인된 바 있다. 크릴 소화샘이 작아질 수 있는 최소 크기 즉 먹이 섭취로 확대되기 전의 기본 크기를 알면 자연 상태에서 발견되는 크릴의 소화샘 크기가 먹이 섭취에 의해 얼마나 커진 것인지 표현할 수 있게 된다. 2개의 그룹을 20일간 또 다른 2개의 그룹을 약 40일간 기아 상황에 처하게 한 실험 결과 크릴의 소화샘이 기아에 반응하여 그 크기가 작아지는 것은 여실히 보여졌다 (Fig. II-8-2). 그러나 처음 기아 실험이 시작될 때 소화샘 크기는 20일 정도의 기아 뒤에도 영향을 미치고 있었다. 즉 기아 실험이 시작될 때 소화샘이 다소 큰 그룹은 20일간 기아 상태를 경험한 뒤에도 소화샘이 여전히 다른 그룹보다 약간 컸다 (Fig. II-8-2 b). 40일 정도의 기아조차도

모든 크릴이 처음 실험이 시작될 때 소화샘의 크기와 관계없이 일률적인 최소의 크기에 도달할 정도로 긴 기간은 아닌 것으로 보인다. 그러나 비교적 단기간 현장에서 이루어진 이번의 기아 실험에서 크릴들이 도달한 낮은 값들과 실험실에서 수개월동안 미성체 크릴을 기아에 처하게 한 실험의 결과로 보건대 (신, 미발표 자료) 잠정적으로 두홍부 갑각 길이의 30%를 소화샘의 최대로 작아질 수 있는 하한선 즉 크 소화샘의 기본 크기로 간주하는 것이 큰 무리가 없을 것으로 보인다.

2) 크릴 소화샘의 색깔

가. 현장에서 채집된 크릴들의 소화샘 색깔

현장에서 채집된 크릴 소화샘의 색깔은 육안에 의한 구별에 의존할 때 대략 몇가지 전형적인 경우로 나누는 것이 가능하였다. 색상으로 본다면 Munsell scale에 의해 5Y, 10Y, 5GY, 10GY 4가지 계열의 색상이 관찰되었다 (Fig II 8-3, 1-8). 흔히 한여름 크릴이 띠는 연두색 혹은 초록색 가까운 빛깔은 크릴이 이용하는 식물성 먹이 즉 조류(藻類)의 영향인 것은 확실하다.

기아 실험결과 크릴이 오랜 시간 먹이를 공급받지 못했을 때 소화샘 색깔이 색상은 5Y에 머물면서 명도는 높아지고 채도는 낮아지는 경향이 뚜렷하였다. 크릴이 1-2주의 범위 내에서는 기아를 경험하는 시간이 길어질수록 소화샘의 색깔이 옅어지고 밝아진다는 것은 이미 실험을 통해 보여진 바 있다 (Endo and Kadoya 1991). 이번 실험에서 3주에서 6주까지의 기아 상태에 놓여있던 크릴은 대부분 5Y 8/8 정도의 색깔을 띠었다 (Fig. II 8-3 9). 이는 먹이의 영향을 받지 않은 크릴 소화샘 기관 자체의 색깔로 생각된다.

나. 먹이와 크릴 소화샘의 색깔

□ 동종섭식(cannibalism)과 크릴 소화샘의 색깔

많은 크릴을 양동이에 담아 여과해수만 제공하였다. 자연 상태와 달리 높은 서식밀도에 기아환경에 처해있을 때 동종 섭식이 일어났다. 채집되면서 받은 스트레스가 원인이거나 혹은 다른 이유로 이미 허약해져 있는 개체들은 심한 먹이

부족 상황에서 상대적으로 더 강한 크릴에게 먹이가 되는 경우가 종종 있었다. 다른 크릴을 잡아먹은 크릴은 예외 없이 소화샘의 색깔이 Munsell scale로 대략 5YR에 해당하는 붉은 색으로 변하였다 (Fig. II 8-3, 10). 이는 먹이로 잡아먹은 다른 크릴 갑각의 카로티노이드 색소 탓으로 여겨지며 그 색깔의 변화가 상당히 빠르게 진행되어 수시간 안에 일어났다. 그리고 동종섭식으로 소화샘이 붉게 변한 크릴을 분리하여 여과해수가 담긴 다른 용기에 집어넣었을 때 즉 다시 먹이공급이 중단되었을 때 2-3일만에 다시 처음의 5Y에 해당하는 노란색으로 돌아왔다.

□ 저서성 요각류 먹이와 크릴 소화샘의 색깔

남극의 크릴이 여름이 끝나고 가을로 접어들 때 규조류에서 전환하는 대체 먹이로 알려진 표영성 요각류는 아니지만 세종기지 주변의 조수 웅덩이에서 채집한 저서성 harpacticoid 요각류를 굶주린 크릴에게 개체당 50마리 정도 먹이로 주었을 때 크릴은 처음 4시간 동안 크릴 1개체당 40마리 정도의 요각류를 잡아먹었다. 먹이로 제공된 저서성 요각류는 붉은 색이었는데 크릴의 소화샘은 약 20분 미만의 시간에 붉은 색을 이미 띠기 시작하였고 2시간이 지났을 때 10R 5/10 정도에 해당하는 짙은 붉은 색을 띠었다(Fig. II 8-3, 11). 더 이상 먹이를 주지 않고 여과해수 속에 방치하였을 때 소화샘 색깔은 2일 뒤에 거의 원래대로 돌아왔다.

□ 굶주린 크릴에게 제공된 조류(藻類) 먹이와 크릴 소화샘의 색깔

굶주린 크릴에게 조류(藻類)로 제공하였을 현장에서 채집한 크릴에서 볼 수 있었던 것과 같은 농도로 진하고 어두운 소화샘 색깔을 재현하기는 어려웠다. 첫날의 먹이농도 $5 \mu\text{g Chl krill}^{-1}$ 에서는 색깔이 두드러지게 달라지는 개체가 없었다. 다음날 상향 조정된 농도 $20 \mu\text{g Chl krill}^{-1}$ 에서는 $20 \mu\text{m}$ 이하 조류(藻類) 먹이 처리구와 $20 \mu\text{m}$ 이상 처리구 모두에서 각 1개체씩 10GY 5/8까지 색깔이 변하였는데 이 변화는 먹이를 준지 2시간에서 6시간 사이에 일어났다. 다른 크릴들이 반응을 보이지 않은 것은 크릴들이 불충분한 실험조건에서 많이 시달린 뒤라 허약한 상태였다는 것이 큰 이유로 짐작된다. 하지만 충분한 먹이가 섭취되면 소화샘 색깔의 색상이 10Y, 5GY 방향으로 바뀌고 채도가 높아지면 명도가 낮아지리라는 것을 쉽게 짐작할 수 있었다.

4. 고찰

이번 조사에서 현장에서 채집된 크릴들은 대부분 소화샘의 길이가 두흉부 갑각 길이의 50% 이상에 달하였다. 이 정도의 크기는 한여름의 크릴들에게 흔히 발견되는 것으로 최소한 먹이가 부족한 상황에 있지는 않은 것을 반영하는 것으로 생각된다. 소화샘의 크기는 60% 혹은 그 이상에도 이를 수 있으며 이는 최근 몇 주 동안 계속 좋은 먹이 조건에 있었음을 시사한다.

성숙한 암컷은 우선 난소가 부풀고 두흉부도 늘어난 상태라 같은 크기의 다른 크릴에 비해 큰 소화샘을 갖기 어려워 상대적 소화샘의 길이가 50%에도 훨씬 못 미치는 경우가 많았다. 그러나 계속 좋은 먹이 조건에 있었다면 성숙한 암컷들도 비교적 큰 소화샘을 가질 수 있으며 이것은 산란을 위한 필요조건일 수 있다.

먹이 공급의 중단은 소화샘을 현저하게 작게 만들었다. 잠정적으로 크릴 소화샘이 작아질 수 있는 하한, 즉 기본크기를 두흉부 갑각 길이의 30% 정도로 사용하여도 무리가 없을 것으로 보인다. 정점 사이에 드러난 수 %의 차이는 길이로 나타낸 것이기 때문에 중량이나 부피로 바꿔보면 실제로는 더 큰 차이이다. 표준화하는 의미에서 갑각 길이가 15 mm인 크릴을 가정하여 상대적 소화샘의 길이가 30%에서 60%까지 변할 때 소화샘의 길이와 무게가 어떻게 증가하는지 보였다 (Fig. II 8-4 a). 소화샘의 길이로부터 무게를 추정하는 데는 이미 얻어진 경험식을 사용하였다 (신, 미발표 자료).

$$y = 0.1448 x^{2.8567}$$

(y=fresh weight of the digestive gland in mg, x=the gland length in mm)

크릴의 상대적 소화샘의 길이가 30%에서 60%로 변할 때 길이는 4.5 mm에서 9mm로 늘어나지만 무게는 10.6 mg에서 77.1 mg으로 증가한다. 예를 들어 상대적 소화샘의 길이가 50%와 55%라 할 때 그 차이는 중량으로 환산하면 더욱 증폭되게 된다. 앞에서 논의하였듯 크릴의 소화샘이 가장 많이 수축할 수 있는 한계를 정하면 크릴 소화샘 크기를 기본 크기에 대하여 얼마만큼 더 여분으로 갖고 있는지 다음과 같이 표현할 수 있게 된다.

$$\text{여분의 크기 (\%)} = 100 \times (\text{현재크기}-\text{최소크기})/\text{최소크기}$$

예로 상대적 소화샘의 길이가 30%인 크릴은 기본 크기 외에 여분을 전혀 갖지 않

고 있는 상태이나 60%인 크릴은 길이로 보았을 때 기본 크기에 추가로 기본크기만큼을 더 갖고 있는 셈이 된다. 그러나 이를 중량으로 환산하면 30%인 크릴은 그 자체가 기본 크기로 여분이 전혀 없기는 길이로 볼 때와 마찬가지로 상대적 소화샘의 길이가 60%인 크릴은 무게로 보면 기본 크기의 6배 이상을 여분으로 갖고 있다 (Fig. II-8-4 b). 앞에서 예로 든 50%와 55%의 경우 중량으로 본 여분이 각각 3.3배, 4.6배에 해당된다. 상대적 길이로 5% 크다는 것이 소화샘의 중량 증가분으로 보면 매우 왕성하게 먹이를 섭취하여야 축적 가능한 차이라고 생각할 수 있다. 여름에 현장에서 채집한 크릴은 중량 기준으로 보면 대부분 기본 크기의 3배 이상에 해당되는 분량을 여분으로 갖고 있다.

쌀파와 함께 발견된 크릴의 소화샘 크기가 항상 작지는 않았다. 개폐식이 아닌 채집기였기 때문에 크릴과 쌀파가 같이 채집되었다 하더라도 같은 수층에 존재하지 않았을 가능성이 크다는 것을 감안해야 할 것이다. 그러나 쌀파와 크릴이 먹이를 놓고 직접적인 경쟁관계에 있으며 특히 쌀파가 크릴을 먹이 경쟁을 통해 크릴을 배제할 수 있는 주장을 비판적으로 검토할 필요를 충분히 일깨워주는 것으로 생각된다.

크릴 소화샘의 자체 색깔은 옅은 노란색이며 크릴이 잡아먹은 먹이가 위(胃)를 통과하여 중장(中腸)을 지나가기 시작하면서 이미 소화샘의 색깔에 영향을 미치기 시작하는 것으로 달리 표현하면 소화샘을 물들이기 시작하는 것으로 보인다. 현장에서 채집된 크릴이 먹이 공급을 받지 못하면 소화샘의 색깔이 옅어지고 묽어졌으며 또 굽주림 끝에 섭취한 예외적인 갑각류 먹이로 인하여 띠게 된 붉은 색은 먹이 공급이 중단되면 수일 안에 씻겨나가는 경향을 보였다. 크릴의 소화샘 색깔은 섭취한 먹이를 반영하며 그 진하기는 짧은 시간 안에 얼마나 집중적으로 먹이 섭취활동이 일어나느냐에 달려있는 것으로 보인다. 한 여름에 혼한 연두색 혹은 녹색 계통은 조류(藻類) 먹이에 기원하며 조류가 아닌 다른 먹이는 소화샘 색깔을 녹색 계통이 아닌 다른 색이 되게 만들 것이다. 조류 가운데서도 크릴은 크기가 큰 규조류들을 선호하는 것으로 알려져 있으나 남극 해양생태계를 항상 이렇게 큰 규조류들이 우점하는 것은 아니며 크기가 작은 규조류 아닌 다른 종류의 조류들이 종종 우점하기도 한다. Kawaguchi et al. (1999)은 크릴들이 녹색 소화샘을 갖는 정도가 작은 크기와 큰 크기의 식물플랑크톤이 크릴에게 이용가능한 정도를 반영한다

고 하였다. 부속지를 이용하여 먹이를 걸러내는 크릴의 먹이 섭취 방식의 특성상 세포 크기가 작은 조류들은 그 양이 많더라도 규조류만큼 효과적으로 크릴에게 먹히기 힘들 것이다. 따라서 이는 소화샘의 크기와 색깔에 영향을 미칠 수 있다. 이 관계가 더 자세히 조사된다면 먹이 환경에 대해 더 많은 정보를 제공해줄 수 있을 것이다. 또 크릴이 늦여름이나 가을에 조류(藻類)가 아닌 다른 먹이 특히 요각류와 같은 동물성 먹이를 상시 섭취한다면 이를 조사하는데 크릴의 소화샘 색깔이 간단한 방법을 제공할 수 있을 것으로 보인다.

크릴의 상대적 소화샘 크기가 최근의 먹이 섭취활동의 결과가 누적된 것이라면 이는 먹이환경과 섭취활동을 반영하는 것이다. 특히 심한 먹이 부족에 시달린 경우라면 크릴 소화샘의 상거적인 크기로 이를 쉽게 구별해낼 수 없을 것이다. 크릴의 상대적인 소화샘 크기는 복잡한 실험 없이 현장에서 비교적 쉽게 측정할 수 있으며 위(胃) 내용물처럼 cod-end feeding에 의해 영향을 받을 우려도 없다 (Nicol 1984). 크릴 소화샘의 크기를 광범위한 해역에서 또 여러달에 걸친 시간 규모에서 측정한다면 최근 몇주 정도에 걸쳐 크릴이 경험한 누적 먹이 조건을 알게 해주고 시간별, 해역별로 크릴의 먹이 섭취활동이 어떠했는지 비교할 수 있게 해줄 것으로 예상된다. 남극의 여름이 아닌 계절에 크릴 소화샘의 크기와 색깔에 대한 자료를 수집하는 일은 크릴의 전형적인 먹이가 풍부하게 존재하지 않는 시간과 장소에서 크릴이 어떤 먹이에 의존해서 어느 정도까지 에너지 요구를 해결하고 있는지 알 수 있게 해줄 것이다.

5. 결론

- 한 여름의 현장 조사에서 크릴 소화샘의 상대적인 크기는 성숙한 암컷을 제외했을 때 길이로 두흉부 갑각 길이의 약 50% 정도였으며 각 정점에서 평균값은 차이를 보이기도 하였다.
- 성숙한 암컷의 경우 상대적인 소화샘의 크기가 작은 경향이 있었으나 계속 좋은 먹이 조건에 있었다면 성숙한 암컷들도 비교적 큰 소화샘을 가질 수 있으며 이것은 산란을 위한 필요조건일 수 있다.
- 크릴 소화샘이 작아질 수 있는 하한선 즉 먹이 섭취로 축적한 여분이 전혀 없는

상태를 30%로 잡는다면 이번 여름 조사에서 채집한 크릴의 소화샘은 중량 기준으로 기본 크기의 약 3배 이상을 여분으로 갖고 있었다. 상대적 길이로 수 %의 차이라고 하더라도 중량 기준으로 하면 그 차이는 훨씬 증폭되며 상당한 정도의 먹이 섭취가 누적되어야 가능한 양일 수 있다.

- 현장에서 관측된 크릴 소화샘의 색깔은 Munsell scale로 5Y, 10Y, 5GY, 10GY 4가지 계통이었으며 이는 조류(藻類) 먹이의 영향으로 보인다.
- 섭취한 먹이의 영향을 받기 전 크릴 소화샘 자체의 색깔은 옅은 노란 색으로 섭취한 먹이가 지나가면서 소화샘의 색깔을 변하게 하는 것으로 보인다. 흔히 섭취하는 조류 먹이가 아닌 경우 예를 들면 동물성 먹이인 경우 소화샘 색깔도 이를 반영하는 방향으로 바뀌며 이는 현장에서 일부 시기에 조류가 아닌 다른 먹이를 상시 섭취하는지 알아내는데 이용할 수 있을 것이다.
- 크릴의 소화샘 크기와 색깔은 현장에서 비교적 쉽게 측정할 수 있으면 광범위한 해역에서 또 여러 달에 걸친 시간 규모에서 측정된다면 시간별 해역별로 크릴의 먹이 환경과 먹이섭취활동이 어떠했는지 비교할 수 있게 해줄 것으로 예상된다.

Digestive gland as a feeding indicator of Antarctic krill

Abstract: Digestive gland is the most conspicuous nutritional organ in Antarctic krill and serves as site of enzyme secretion and nutritional reserve. Its relative size as a proportion of carapace length and the color can be used as indices of recent feeding activity and prey types. Data obtained from field caught specimens indicate detectable differences in these indices reflecting variable food environment. Starvation and feeding experiments demonstrate that digestive gland accumulate the recent feeding activity of the animals in temporal scale from days to weeks. Determination of the gland size and color over a range of time and space will yield a great deal of useful information regarding the varying food environment and the response of the animals to those changes.

6. 참고문헌

- Antezana T, Ray K, (1984) Active feeding of *Euphausia superba* in a swarm north of Elephant Island. J Crust Biol 4 (Spec No 1): 26-38.
- Atkinson A, Snyder R (1997) Krill-copepod interactions at South Georgia, Antarctica, I. Omnivory by *Euphausia superba*. Mar Ecol Progr Ser 160: 63-76
- Endo Y, Kadoya N (1991) Colorimetry of the hepatopancrease in Antarctic krill, *Euphausia superba*. Polar Biol 11: 135-137.
- Ikeda T, Dixon P (1982) Body shrinkage as a possible over-wintering mechanism of the Antarctic krill *Euphausia superba* Dana. J exp mar Biol Ecol 62: 143-151.
- Kawaguchi S, Ichii, T and Naganobu M (1999); Green krill, the indicator of micro- and nano- size phytoplankton availability to krill. Polar Biol 22: 133-136.
- Loeb V, V Siegel, O Holm-Hansen, R Hewitt, W Fraser, W Trievelpiece, S Trievelpiece (1997) Effect of sea ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. Nature 387; 897-900.
- Makarov RR, CJ Denys (1980) Stages and sexual maturity of *Euphausia superba*. BIOMASS Handbook No 11.
- Marschall H-P (1988) The overwintering strategy of Antarctic krill under the pack-ice of the Weddell Sea. Polar Biol Ecol 9: 129-135.
- Morris DJ and C Ricketts (1984) Feeding of krill around South Georgia, I. A model of feeding activity in relation to depth and time of day. Mar Ecol Progr Ser 16; 1-7.
- Nicol S (1984) Cod end feeding by the euphausiid *Meganyctiphanes norvegica*. Mar Biol 80: 29-33.
- Price JH, KR Boyd, and CM Boyd (1988) Omnivorous feeding behaviour of the Antarctic krill, *Euphausia superba*. Mar Biol 97: 67-77.
- Quetin LB and RM Ross (1991) Behavioral and physiological characteristics of the Antarctic krill, *Euphausia superba*. Amer Zool 31: 49-63.
- Siegel V and V Loeb 1995, Recruitment of Antarctic krill *Euphausia superba* and

possible causes for its variability. *Mar Ecol Progr Ser* 123; 45-56.

Smetacek V, R Scharek and EM Nothing (1990) Seasonal and regional variation in the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. In: Kerry KR, Hempel G (eds) *Antarctic ecosystems. Ecological changes and conservation*. Springer-Verlag, Berlin, pp 103-114.

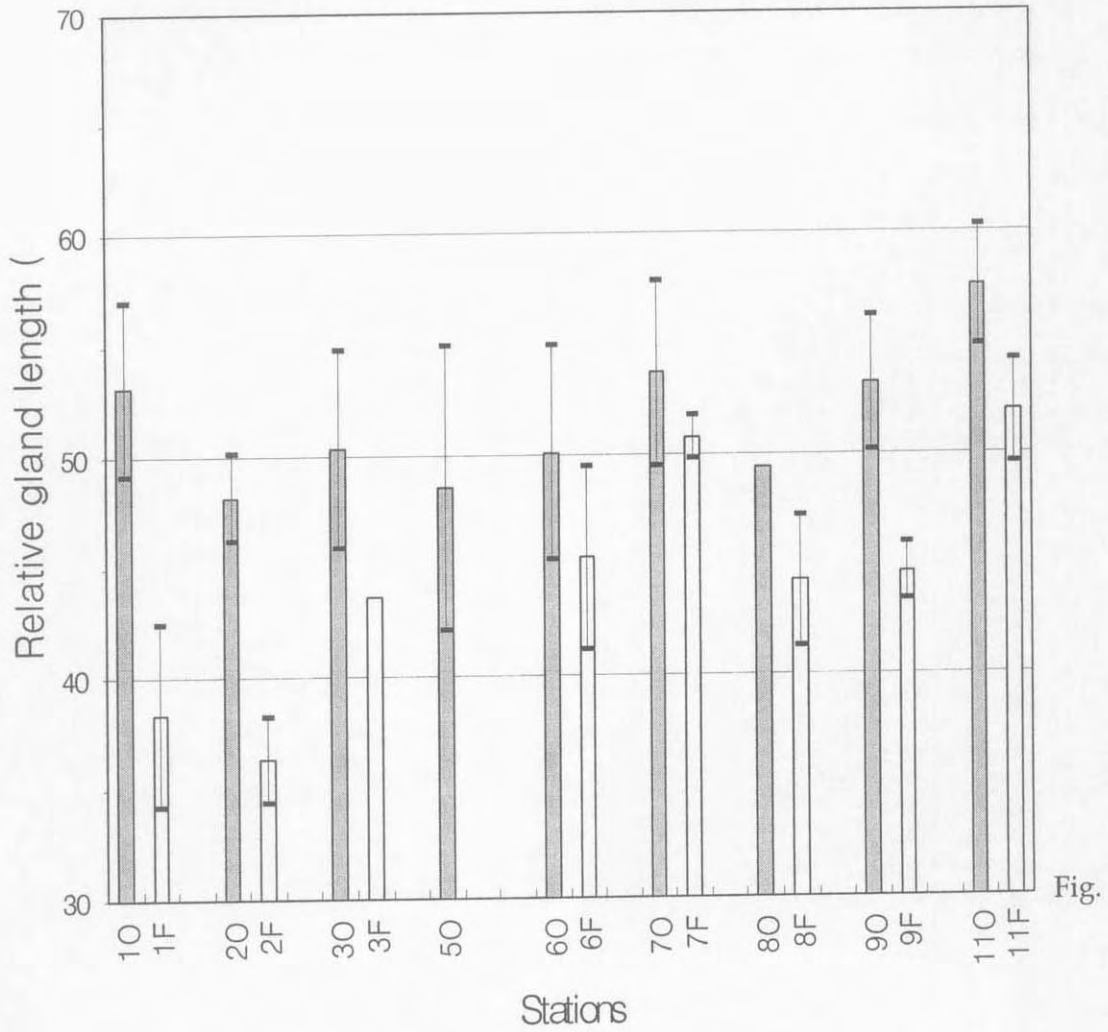


Fig. II 8-1. The relative length of the digestive gland in field-caught krill during the present survey. The numbers on X axis denote the station number. Letter F and the empty columns represent 3CF and 3DF animals and letter O and the shaded ones all other krill. Error bars indicate one standard deviation.

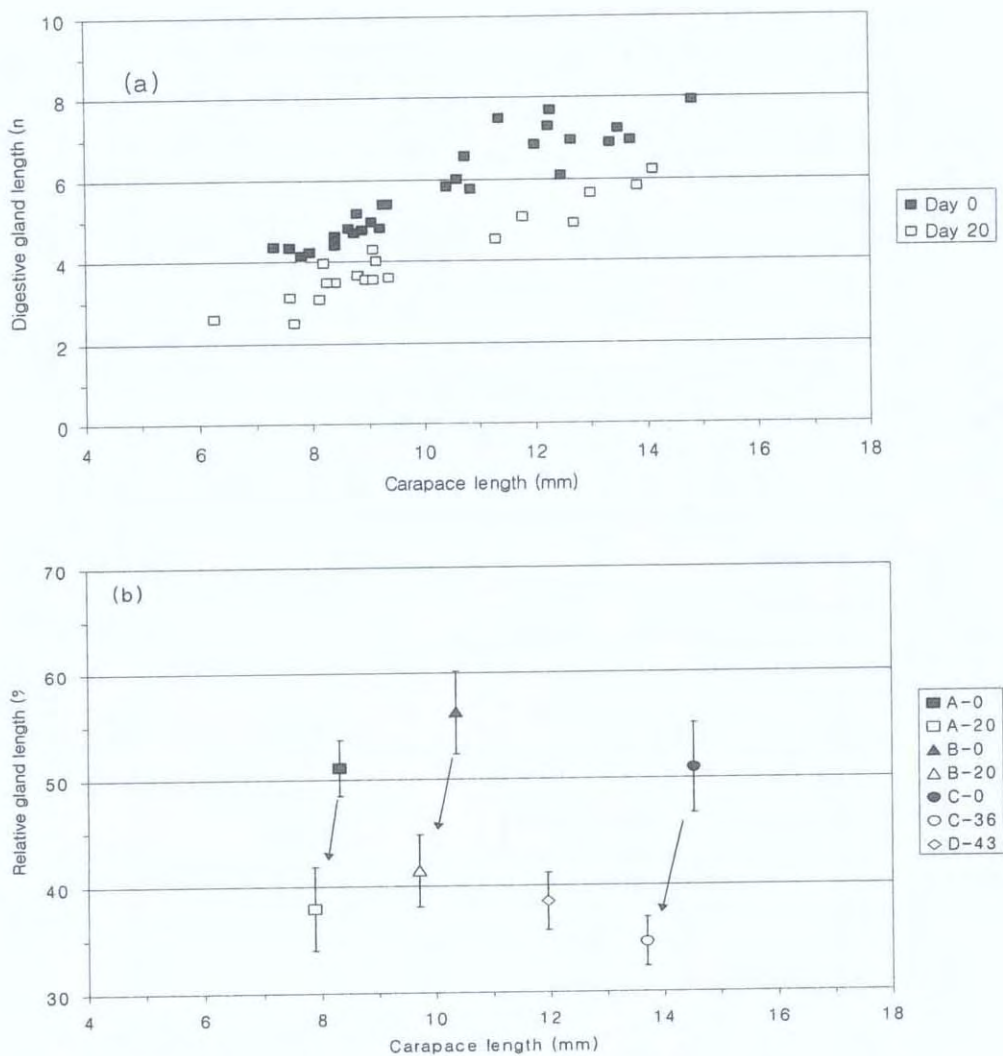


Fig. II 8-2. a) The digestive gland length of the krill in a starvation experiment. Solid symbols represent the field-caught krill and empty ones the animals starved for 20 d.

b) The relative length of the digestive gland in krill in 4 sets of starvation experiments. Solid symbols represent the field-caught krill and empty ones the starved animals starved for the length indicated in the legend. Error bars indicate one standard deviation. The arrows denote the decreases in relative gland length and carapace length due to starvation.



Fig. II 8-3. Commonly found colors of the digestive gland of krill. These colors were determined by comparing the gland colors against the Munsell scale. Foremost numeric and alphabetical codes represent a certain color in the hue circle. The following two numbers separated by a slash indicate lightness/darkness and paleness/vividness of the color, respectively. As it was not feasible to reproduce the colors directly from the Munsell chart, closest colors were selected from a presentation software. Hence the colors may not be the exact Munsell colors as indicated by the codes.

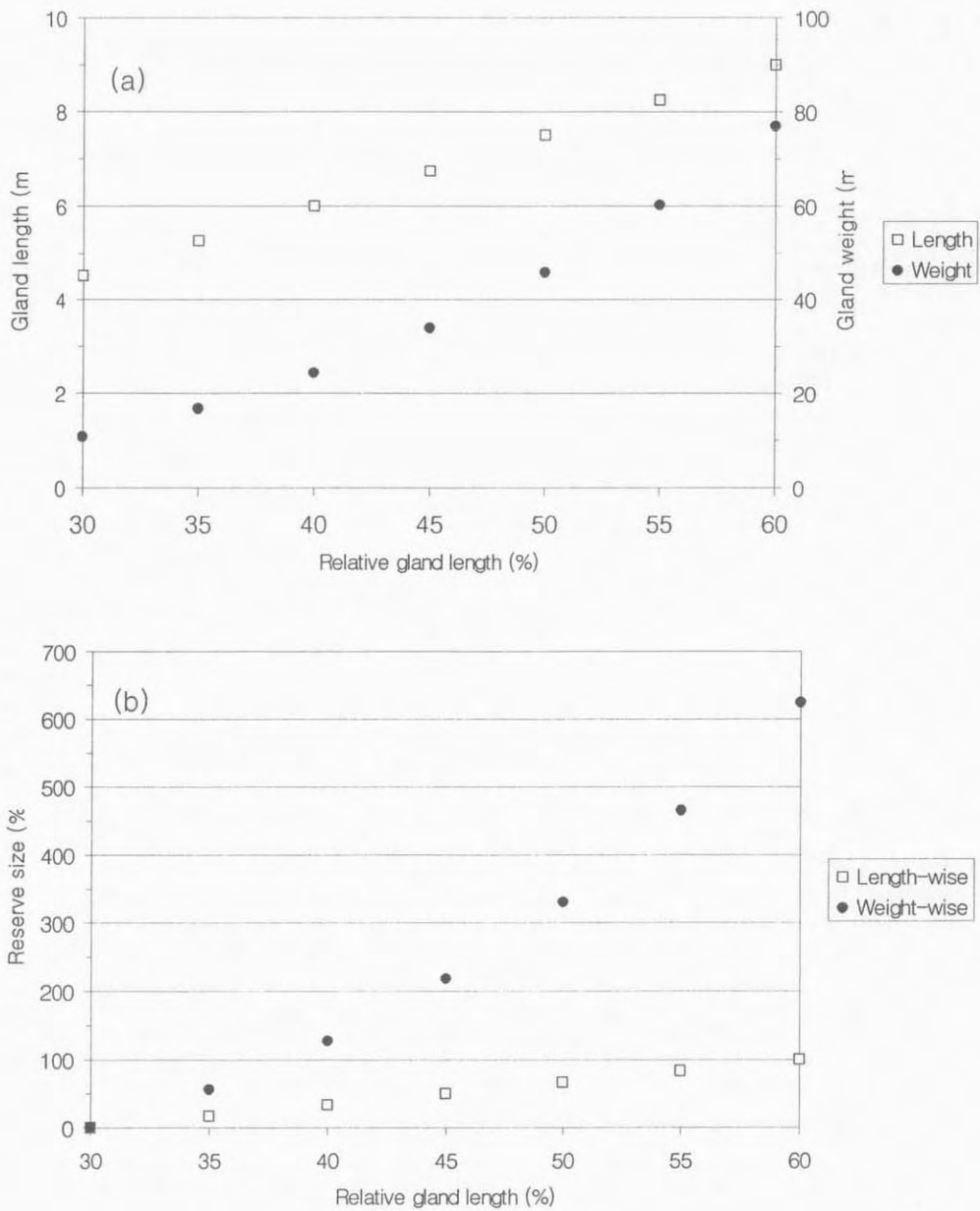


Fig. II 8-4. a) Length and weight of the digestive gland in a 15 mm carapace length standard krill with varying level of relative gland length.
 b) Length- and weight-wise reserve size of a 15 mm carapace length standard krill with varying level of relative gland length.

여 백

제 9 절 남극해에서 최근 5년간 여름 기간의 (10월-2월) 해빙(sea ice) 분포 변화

초록: 크릴 분포를 조절하는 주요 원인 가운데 하나인 해빙의 분포 변화를 최근 5년의 여름 기간에 대해 조사하였다. 본 연구에서는 NASA team 알고리즘을 이용하여 분석된 DMSP-F13 SSM/I 자료를 이용하여 남극해 주변 해빙 분포 농도의 변화를 분석하였다. 1998년부터 2003년까지 최근 5년동안 각각 10월, 11월, 12월, 1월, 2월의 평균 해빙 분포를 살펴보았다. 각 달의 평균 해빙 분포를 구하기 위해서는 각 달의 중간인 15일을 중심으로 1주일 평균한 해빙 분포를 사용하였다. 남극해 해빙의 분포는 12월부터 본격적으로 감소가 시작, 대체로 2월경 최저 수준에 이르는 계절변화를 보였다. 그러나 해마다 또 지역별로 상당한 변이를 보였다.

1. 서론

20년 전만 해도 해빙의 계절적 변화나 연간 변화를 파악하는데는 어려움이 있었다. 즉 해빙의 범위나 그와 관련된 기상 및 해양 요소는 주로 선박이나 섬에 설치한 관측기지 혹은 항공 관측에 의하여 이루어졌으며 이 또한 시간 및 공간적으로 편리하고 가능한 지역에만 국한됨으로서 해빙 분포에 대한 충분한 연구 자료를 제공할 수 없었다. 그러나 이러한 전 지구적인 해빙 분포 자료의 한계는 인공위성에 의한 원격탐사에 의하여 상당히 개선되었다. 즉 1972년 이후 미국에서 세 개의 극초단파 수동 센서가 위성에 탑재되어 발사되었으며 이에 ES MR(Electrically Scanning Microwave Radiometer), SMMR(Scanning Multichannel Microwave Radiometer), DMSP SSM/I (Defense Meteorological Satellite Program's Special Sensor Microwave/Imagers)가 포함된다.

오늘날 극지방에서 관측되는 극초단파 수동 센서에 의하여 제공되는 자료 중 가장 중요한 요소 중의 하나는 해빙 분포 농도이다. 이러한 극초단파 수동 센서는 이 지역에서 거의 항상 존재하는 구름에 의하여 상대적으로 영향을 적게 받기 때문에 년 중의 해빙 분포 자료의 획득이 가능하다. 또한 해빙 농도 분포도는 해빙의 가장자리를 추적하거나 해빙의 범위, 해빙의 종류, 실제 해빙 분포 지역, ice pack 내에서의 open water의 양을 추산하는데 사용된다. 특히 open water의 경우 발생 빈도, 영향도, polynias의 지속기간을 추가적으로 관측함으로써 극지방에서의 대기와 해양간의 열과 염분의 이동양을 계산하는 것이 가능하며 이외에도 여러 분야에 응용될 수 있다. 또한 이러한 전 지구적인 자료는 해양 수송이나 석유 개발과 같은 분야에 즉각적으로 사용 될 수 있을 뿐만 아니라 기상학적 측면이라든지 혹은 전 지구적인 기후 변화 등을 예측하는데 많은 도움이 된다.

극초단파 수동 센서 자료로부터 해빙 농도 분포를 얻는 방법에는 여러 기술들이 개발되어 왔다 (Svendson *et al.* 1983; Cavalieri *et al.* 1984; Swift *et al.* 1985; Comiso 1986; Comiso and Sullivan 1986; Smith 1996). 특히 Steffen *et al.* (1992)과 Smith (1996)는 이러한 기술들을 서로 비교 검토하고 각각에서 계산된 해빙 농도 결과를 비교 분석하였다. 각각의 방법들이 해빙의 범위를 관측하는데는 일치하지만 ice pack 내의 open water를 관측하는데는 차이를 보이고 있는데 이 차이의 일부분은 각각 다른 SSM/I 채널을 사용하기 때문인 것으로 보인다. 특히 Bellingshausen

/Amundsen Seas와 같이 홍수와 거칠기 그리고 눈 등에 의한 영향이 상당한 곳에서는 그 차이가 20% 이상인 것으로 나타났다(Comiso 1991). 제한된 양의 랜셀 영상 자료를 이용하여 비교 연구를 하였으나 각각의 관측 기술에 대한 평가를 하기가 어려웠다. 그러나 최근에 SAR(Synthetic Aperture Radar) 자료를 활용할 수 있게 됨에 따라 이러한 차이에 대한 해결책을 제시할 수 있을 것으로 보인다. 최근에는 이와 같이 SAR 자료를 이용한 비교 연구가 가능하여 짐에 따라 Bootstrap algorithm과 NASA Team algorithm에 대한 교정이 이루어 졌다(Comiso et al.,1997).

해빙 분포 농도 자료가 중요하게 활용되는 분야는 다음과 같다.

- 해빙 범위와 지역에 대한 지도제작
- ice packs 안에 있는 open water의 양에 대한 모니터링
- 극지역에서의 대기 해양간의 열 및 염분의 유동에 대한 계산을 통한 polynyas의 영향과 지속성에 대한 연구

NSIDC에서는 이러한 해빙 분포에 대한 변화와 경향에 대한 연구를 지원하기 위하여 극지역에서의 자료를 제공하고 있다.

본 연구에서는 해빙 농도 분포를 관측하는 장비 및 방법에 대하여 간단히 알아보고 자료의 특성에 대하여 살펴보며 직접 NSIDC에서 제공되는 자료를 이용하여 남극해에서 1998년부터 2003년까지 10월-2월 중 각 월의 15일을 중심으로 1주일 평균 해빙 분포 농도의 변화를 분석하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 관측 장비 및 방법

SSM/I는 1987년 6월 19일 미국의 해군 공군의 합동 프로그램으로 중요한 기상 및 해양 기상도와 전 지구적 규모에서의 기상 요소를 얻기 위하여 처음으로 발사되었다. SSM/I를 통하여 관측할 수 있는 중요 지구물리화학적 요소는 육상에서의 폭풍우, 해상풍, 해빙 분포 농도, 그리고 해빙과 해양과의 경계이다. SSM/I는 7개의 채널과 4개의 주파수, 수평/수직 편광, 그리고 극초단파 복사 수동 시스템으로 이루어져 있다. 이 장비는 19.3, 22.2, 37.0 그리고 85.5 GHz에서의 대기와 지표면에서 함께 복사되는 양을 관측하며 이 장비는 DMSP-F8, DMSP-F11, 그리고 DMSP-F13 형태로 위성에 탑재되어 관측을 하게 된다.

장비는 24 x 26 인치의 포물선 형태의 반사경으로 구성되어 있으며 이 반사경과 feed 부분은 복사계, 디지털 자료 부시스템, 기계적인 스캐닝 부시스템, 전력 부시스템 등을 포함하는 드럼에 설치되게 된다. 반사경과 feed 드럼이 결합된 부분은 동축에 설치된 베어링과 전력 전송 부품(BAPTA)에 의하여 드럼의 축을 중심으로 회전하게 된다. 모든 자료와 명령, 시간, 원격 신호, 그리고 전력 등은 이 BAPTA를 통하여 이루어지게 된다. SSM/I는 1.9초에 한번의 일정한 비율로 회전하게 되며 그 동안에 위성은 12.5km를 전진하게 된다. 안테나 빔은 BAPTA의 회전축에 대하여 약 45도의 각을 갖고 있으며 이는 지구의 표면에 대하여 직각을 의미한다. 따라서 안테나가 회전하게 됨에 따라 빔은 콘 형태의 표면을 형성하며 833km 고도의 궤도로부터 지구 표면에 대하여 53.1도의 입사각을 형성하게 된다. 또한 보여지는 영상은 위성꼬리 부분이 그리는 지상의 진로부분을 중심으로 102.4도의 스캔 각을 갖게 되며 결과적으로 영상의 swath 너비는 1394 km이다. 복사계 출력은 교대로 하는 스캔에 따라서 수집되며 영상을 위하여 스캔하는 동안에 5개의 채널은 각각 64 이상을 수집하게되며 이는 1.6도의 간격을 의미한다. 또한 5개의 채널은 궤도를 따라서 약 24km의 격자 상태로 자료를 수집한다. 작은 거울과 뜨거운 기준 흡수체가 BAPTA에 설치되며 이는 드럼 결합체와 같이 회전하지 않으며 축과 떨어져서 위치하고 feed horn과 우산형의 복사계 사이를 지난다. 거울은 차가운 하늘로부터의 복사를 feed 부분으로 반사하며 뜨거운 흡수체와 함께 SSM/I 에 대한 오차 교정을 위한 기준 값으로의 역할을 한다. Fig. II 9-1은 SSM/I 가 스캔을 하면서

진행하는 모습을 보여 주고 있다.

해빙 분포 농도는 관측된 밝기 온도를 이용하며 이를 극 지역에서의 입체 화법 격자 상에 나타내게 된다. F8, F11 그리고 F13 장비에서 관측한 밝기 온도로부터 두 개의 해빙 분포 자료 세트가 만들어지는데 첫 번째 세트는 NASA Team algorithm를 이용하게 되고 두 번째 세트는 Bootstrap algorithm를 이용하게 된다. Bootstrap 방법은 기초적인 복사 전도식을 사용하며 해빙 반사가 복수의 채널에 분포한다는 잇점을 활용한다. Bootstrap algorithm을 이용하여 해빙 분포 농도를 산출하는 경우 두 개의 극초단파 채널만이 필요하지만 open ocean의 구역을 구별하기 위해서는 추가로 하나의 채널이 필요하다(Comiso (1986), Comiso and Sullivan (1986)). NASA Team Algorithm은 해빙 농도 분포를 계산하기 위하여 세 개의 SSM/I 채널을 이용한다. 즉 19.4-GHz H(horizontal)과 V(vertical) 편광 채널과 37.0-GHz V 편광 채널이다. 산출 방법은 Nimbus-7 의 SMMR algorithm과 동일하다(Cavalieri et al. (1984), Gloersen and Cavalieri (1986))

DMSP Block 5D-2 F8, F11 and F13 위성은 거의 극궤도(polar sun-synchronous orbit)를 운항한다. 각 위성의 특성은 Table II 5-1과 같다. 1987년 6월 18일에 발사된 F8위성은 하루에 14.1의 지구 순환을 하였으며 약 16일의 주기를 갖고 지상의 동일한 구역을 관측하였다. F8 위성은 1991년 12월 31을 마지막으로 관측을 종료했다. F11은 1991년 11월 28일에 발사되어 1995년 9월 30일까지 관측하였으며 계속하여 1995년 5월 5일에 발사된 F13에 의하여 연속적으로 관측이 이루어지고 있다. F8과 F11이 동시에 관측한 기간으로부터의 자료를 이용하여 두 위성에서 사용한 장비와 궤도 변수에 대한 비교 연구를 하였는데(Abdalati *et al.* 1995) 그 결과 0.98 이상의 높은 상관 관계를 보였다. 두 비교에서 나타난 근소한 차이는 두 위성의 궤도 특성의 차이로 인한 것으로 보이며 특히 자료 획득 시간의 차이에 근거한 것으로 보인다. F11과 F13의 비교에 있어서도 각 반구에 있어서의 평균 해빙 분포 농도 측면에서 비교를 하였는데 F11에서 F13으로의 교체에 따른 차이는 통계적으로 중요하지 않을 정도로 적은 것으로 나타났으며 단지 몇 군데 지역에서 심각한 차이를 나타냈다. 분석 결과 자료의 일관성을 유지하기 위하여 자료 교정이 F11에 대하여 이루어졌다.

2000년 1 월부터는 밝기 온도를 처리하는 과정에 있어서 질적 향상을 위한 두 가지 과정이 추가되었다. 그 첫 번째는 교정 오차를 찾기 위하여 밝기온도에

대한 통계 분석을 행하는 것이고 두 번째는 스캔에 따른 조정을 행하는 것으로 이는 100회 혹은 그 이상의 스캔에 대하여 차가운 공간 반사에 의한 간섭을 교정하기 위한 것이다. 교정의 크기는 1 Kelvin 정도로 크게 나타나기도 한다 (Stroeve, 1998). 이렇게 추가된 교정을 포함하는 밝기온도 자료는 2000년 1월 이후 자료에 한하여 이용 가능하다.

2.2 관측 자료 특성

장비의 관측 영역은 북위 87도와 남위 87도 이상의 극 지역, 다시 말하면 극점을 중심으로 280 km의 반경을 갖는 원 부분을 제외한 지구 전체로 볼 수 있다. 위에 언급한 부분은 위성 궤도의 경사로 인하여 관측되어지지 않는 부분이다. 자료의 관측 범위는 극 지역으로 Figure 2, 3 과 같은 부분을 포함하며 측정을 위한 footprint 크기는 19.3 GHz의 경우 70x45 km, 22.2 GHz의 경우 60x40 km, 그리고 37.0 GHz 38x30 km 이다. 해빙 분포 농도 자료는 25km의 공간 분해능을 갖으며 각 채널별로 격자 범위는 Table 2와 같다. 또한 격자 자료는 x, y 격자 형태로 구성되며 원점은 극점이다. 전체 격자의 대략적인 바깥 경계는 Table 3과 같다. 각각의 값들은 모서리 화소의 모서리 값을 말하며 중간 화소에 대해서는 바깥 경계를 의미한다. 극 격자에서는 좌상으로부터 시계 방향으로 읽게 되며 interim 행은 경계의 중간점을 말한다.

자료의 시간적인 특성을 살펴보면 F8의 경우 1987년 7월 9일부터 1991년 12월 18일까지, F11은 1991년 12월 3일부터 1995년 9월 30일까지 자료가 있으며 F13은 1995년 5월 5일 이후로 계속 관측하고 있다. 이들 자료는 일 별 혹은 월별 평균 해빙 분포 농도가 격자별로 정리되어 있다.

자료는 각 격자별로 밝기 온도로부터 계산된 해빙 분포 농도로 구성되어 있으며 농도는 0에서 100%까지의 분포를 갖는다. 이러한 해빙 농도는 화소 안에서의 해빙이 차지하는 비율에 의하여 측정된다. 해빙 농도 분포 자료의 범위는 부호가 없는 1바이트 배열로서 저장되어 0에서 100%까지의 해빙 농도 분포를 나타낸다. 이때 자료에서 168 값은 육지를 의미하며 157값은 자료의 손실로 자료가 없음을 의미한다. 월 평균 해빙 농도 분포 자료도 0%에서 100%의 해빙 농도 분포 자료를 포함한다. 이러한 SSM/I F8, F11, F13 일 평균 및 월 평균 해빙농도 분포 자료는

HDF 포맷으로 제공된다.

3. 결과

본 연구에서는 NASA team 알고리즘을 이용하여 분석된 DMSP-F13 SSM/I 자료를 이용하여 Figure II 5-3에서 나타낸 바와 같이 남극해 분포 농도의 변화를 분석하였다. 먼저 남극의 여름철 해빙 분포의 변화를 분석하기 위하여 1998년부터 2003년까지 최근 5년동안 각각 10월, 11월, 12월, 1월, 2월의 평균 해빙 분포를 살펴보았다. 각 달의 평균 해빙 분포를 구하기 위해서는 각달의 중간인 15일을 중심으로 1주일 평균한 해빙 분포를 사용하였다.

지난 5년 동안 자료에서 보듯 남극해 해빙의 분포는 12월부터 본격적으로 감소가 시작해서 대체로 2월경 최저 수준에 이르는 계절변화를 보였다 (Fig. II 9-4). 그러나 해빙의 분포는 해마다 또 지역별로 상당한 변이를 보였다. 예를 들어 Weddell해의 경우 2003년 1월 해빙의 후퇴가 다른 해보다 훨씬 미미하였으며 이를 1999년 1월과 비교하면 뚜렷하다 (Fig. II 9-5). 또 남극해 해빙의 진퇴가 모든 해역에서 동일한 경향을 보이지는 않는데 예를 들어 로스해에서 해빙 진퇴는 다른 해역과는 조금 다른 양상을 보이고 있다.

Sea ice distribution in the Southern Ocean for the past 5 summers

Abstract: Sea ice is one of the key factors known to govern the distribution of Antarctic krill. Sea ice distribution in the Southern Ocean for the past 5 summers are described from the data set of DMSP-F13 SSM/I using NASA algorithm. Distribution in the period between October to February from 1998 to 2003 is presented. Monthly distribution was obtained from a weekly average centered 15th day of each month. Sea ice distribution in the Southern Ocean displayed a distinct seasonal pattern. Sea ice starts a considerable retreat from December and reaches a lowest level in February. Nevertheless, inter-annual variation and regional variation in its extent were substantial.

4. 참고 문헌

- Abdalati, W., K. Steffen, C. Otto, and K. C. Jezek. 1995. Comparison of brightness temperatures from SSMI instruments on the DMSP F8 and F11 satellites for Antarctica and the Greenland Ice Sheet. *International Journal of Remote Sensing* 16(7):1223-1229.
- Cavalieri, D.J., P. Gloersen, and W. J. Campbell. 1984. Determination of sea ice parameters with the NIMBUS-7 SMMR. *Journal of Geophysical Research* 89(D4):5355-5369.
- Comiso, J. C. 1991. Satellite remote sensing of the polar oceans. *Journal of Marine Systems* 2:295-434.
- Comiso, J. C. 1986. Characteristics of Arctic winter sea ice from satellite multispectral microwave observations. *Journal of Geophysical Research* 91(C1): 975-994.
- Comiso, J. C., and C. W. Sullivan. 1986. Satellite microwave and in-situ observations of the Weddell Sea ice cover and its marginal ice zone. *Journal of Geophysical Research* 91(C8):9663-9681.
- Comiso J.C., D.J. Cavalieri, C.L. Parkinson, and P. Gloersen. 1997. Passive Microwave Algorithms for Sea Ice Concentration: A Comparison of Two Techniques, *Remote Sensing of the Environment* 60:357-384.
- Gloersen P. and D. J. Cavalieri. 1986. Reduction of weather effects in the calculation of sea ice concentration from microwave radiances. *Journal of Geophysical Research* 91(C3):3913-3919.
- Smith, D.M. 1996. Extraction of winter total sea-ice concentration in the Greenland and Barents Seas from SSM/I data. *International Journal of Remote Sensing* 17(33): 2625-2646.
- Steffen, K. and A. Schwieger. 1991. NASA Team algorithm for sea ice concentration retrieval from Defense Meteorological Satellite Program Special Sensor Microwave/Imager: Comparison with Landsat satellite imagery. *Journal of Geophysical Research* 96(C12):21,971-21,988.
- Stroeve, J. 1998. Impact of various processing options on SSM/I-derived

brightness temperatures. NSIDC Special Report-7.
<http://nsidc.org/pubs/special/7/index.html>

Svendsen, E., K. Kloster, B. Farrelly, O. M. Johannessen, J. A. Johannessen, W. J. Campbell, P. Gloersen, D. Cavalieri, and C. Matzler. 1983. Norwegian Remote Sensing Experiment: Evaluation of the Nimbus 7 scanning multichannel microwave radiometer for sea ice research. *Journal of Geophysical Research* 88(C5):2781-2791.

Swift, C. T., D. J. Cavalieri. 1985. Passive microwave remote sensing for sea ice research. *EOS* 66(49):1210-1212.

Swift, C. T., Fedor, L. S. and Ramseier, R. O. 1985. An algorithm to measure sea ice concentration with microwave radiometers. *Journal of Geophysical Research* 90(C1):1087-1099.

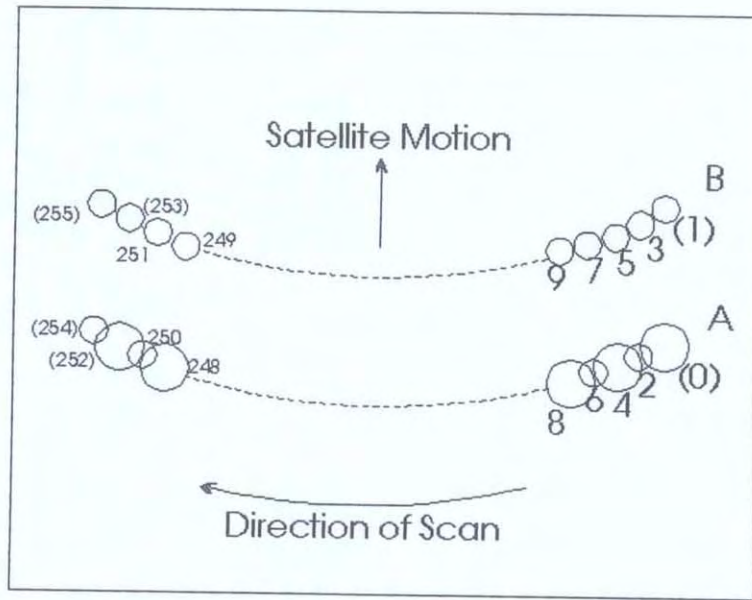


Fig. II 9-1 SSM/I A/B Scan Geometry

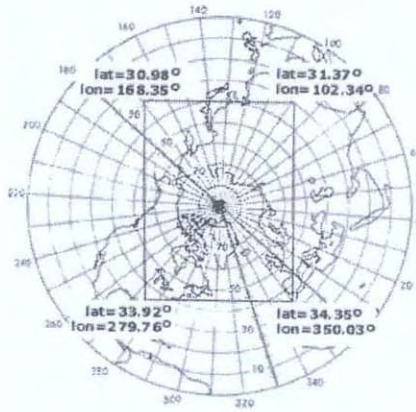


Fig. II 9-2 Grid map of northern hemisphere

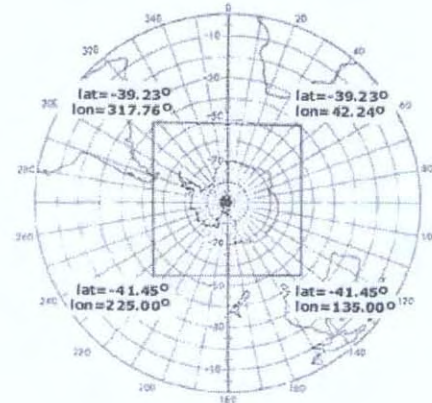
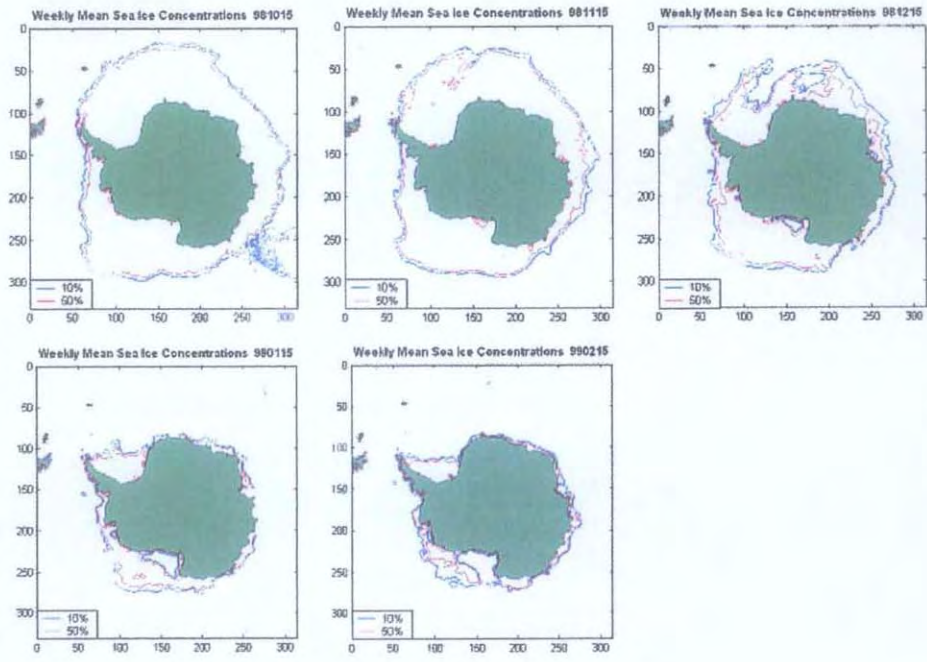
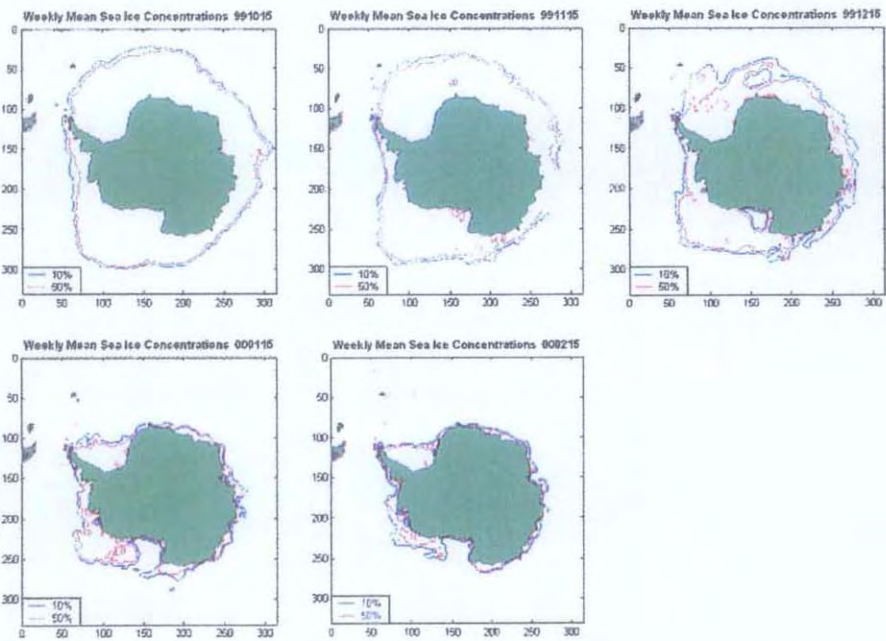


Fig. II 9-3 Grid map of southern hemisphere



1998/1999 (Oct-Feb)



1999/2000 (Oct-Feb)

Fig. II 9-4. Sea ice distribution in the Southern Ocean for the past 5 summers.

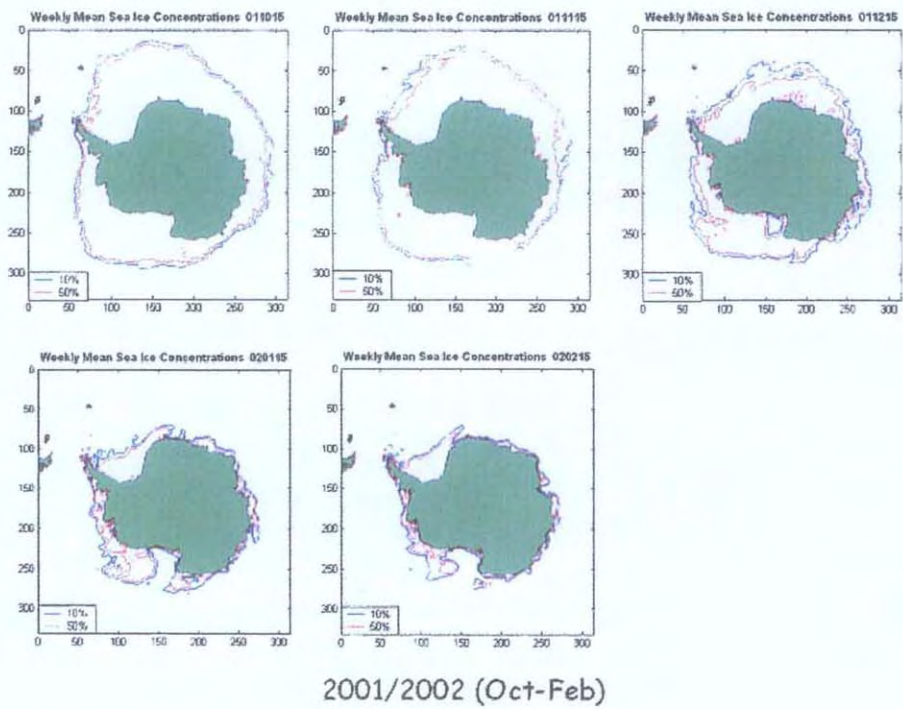
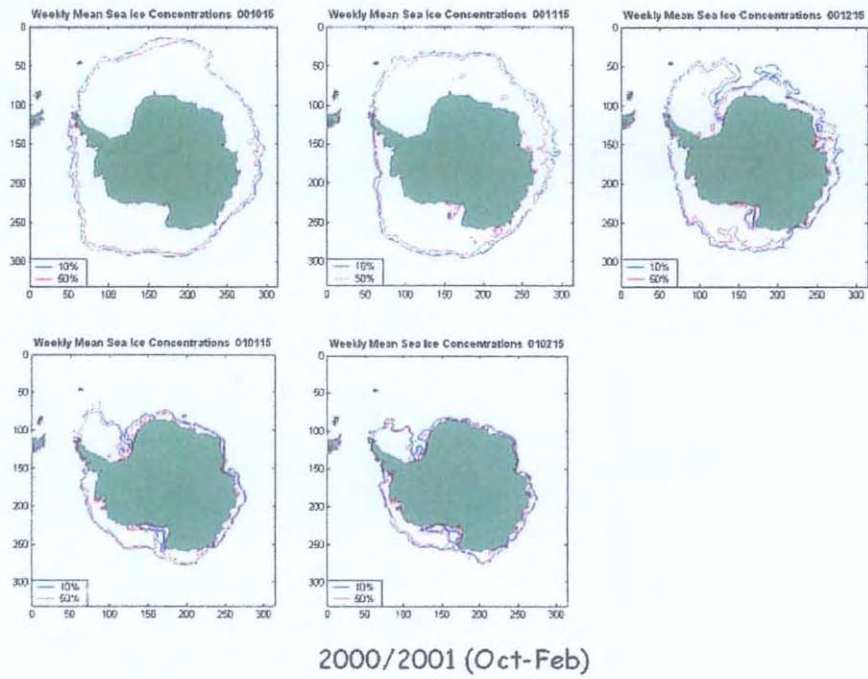


Fig. II 9-4. (continued)

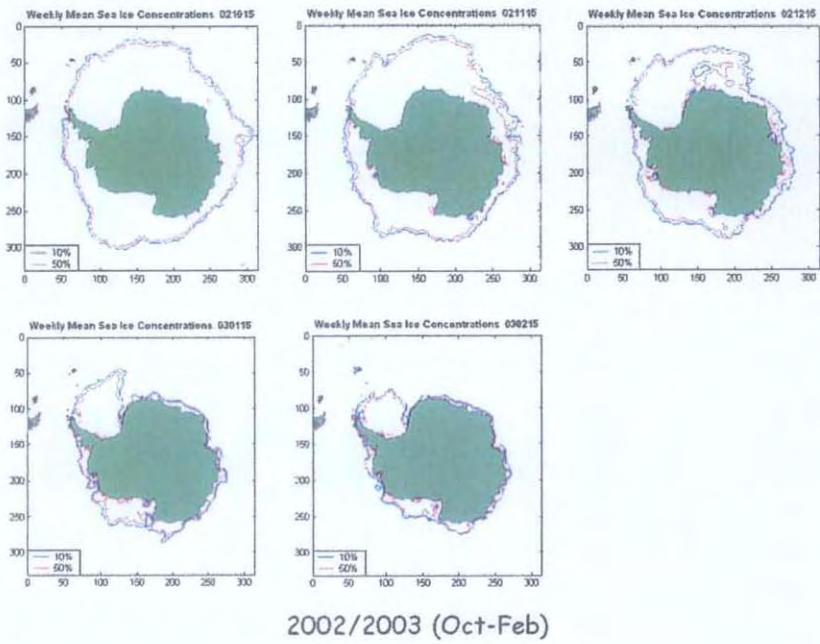


Fig. II 9-4. (continued)

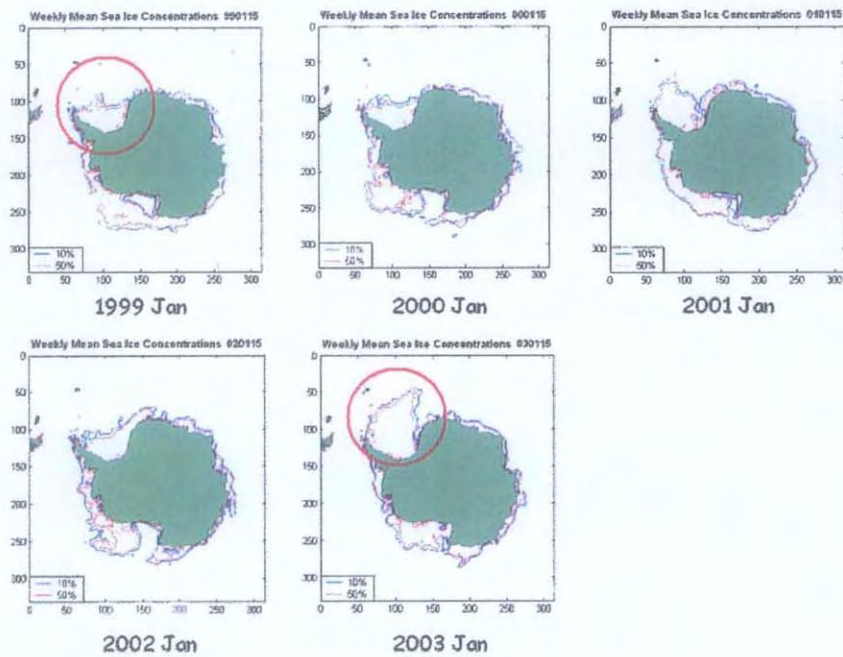


Fig. II 9-5. Interannual variation of summer sea-ice extent; comparison of January for the past 5 years. Note the difference in Weddell Sea between 1999 and 2003.

Table II 9-1. The characteristics of DMSP F8, F11, and F13

Parameter	DMSP F8	DMSP F11	DMSP F13
Nominal Altitude	860 km	830 km	850 km
Inclination Angle	98.8 degrees	98.8 degrees	98.8 degrees
Orbital Period	102 minutes	101 minutes	102 minutes
Ascending Node Equatorial Crossing (local time)	approximately 6:00 a.m.	approximately 5:00 p.m.	approximately 5:43 p.m.

Table II 9-2. Grid dimensions (column, row) for each channels

	85.5 GHz	All other channels
North	(608,896)	(304,448)
South	(632,664)	(316,332)

Table II 9-3. The locations and distances of grid at corner points and midpoints

	X(km)	Y(km)	Latitude (deg)	Longitude (deg)	
North Polar	-3850	5850	30.98	168.35	corner
	0	5850	39.43	135.00	midpoint
	3750	5850	31.37	102.34	corner
	3750	0	56.35	45.00	midpoint
	3750	-5350	34.35	350.03	corner
	0	-5350	43.28	315.00	midpoint
	-3850	-5350	33.92	279.26	corner
	-3850	0	55.50	225.00	midpoint

	X(km)	Y(km)	Latitude (deg)	Longitude (deg)	
South Polar	-3950	4350	-39.23	317.76	corner
	0	4350	-51.32	0.00	midpoint
	3950	4350	-39.23	42.24	corner
	3950	0	-54.66	90.00	midpoint
	3950	-3950	-41.45	135.00	corner
	0	-3950	-54.66	180.00	midpoint
	-3950	-3950	-41.45	225.00	corner
	-3950	0	-54.66	270.00	midpoint

여 백

제 10 절 남극해에서 최근 5년간 표층 엽록소의 분포 변화

1. 서론

조사선을 이용한 전통적인 연구는 비용 문제와 더불어 모든 조사지역에서 동시 관측이 이루어질 수 없다는 제한점이 있다. 따라서, 시·공간적 제약이 적은 원격탐사에 의한 위성 자료의 활용이 점차 중요해졌으며, 이러한 위성 자료에는 과거의 CZCS (1978~1986), OCTS (1996~1997)와 현재 생산되고 있는 SeaWiFS (1997~현재), OSMI (1999~현재) 등이 있으며, 이 밖에도 MODIS, MERIS, OCI, GLI 등이 현재 광범위하게 사용되고 있다. 이와 같은 광범위한 해상센서 자료의 축적은 지역적인 현상뿐만 아니라 전 지구적이고, 장기간의 해양생태계 변화와 기후변동 연구 측면에서도 유용하게 이용될 것이다.

본 보고서에는 미국 NASA SeaWiFS 데이터센터 DAAC (Distributed Active Archive Center)에서 제공하는 Level 3 SeaWiFS 엽록소 자료를 이용하였다. 현재 NASA에서 제공받는 Level 3 엽록소 자료는 약 10km × 10km 해상도를 가지며, 1997년 9월부터 최근 수개월 직전까지의 자료가 이용 가능하다. 이들 자료는 전 세계 엽록소 값을 포함하고 있으며, 이들 중 본 연구의 목적에 맞게, 5개의 연구 해역별 월평균 자료를 우선 분석하여 보았다.

2. 자료 및 방법

NASA 데이터센터에서 얻어진 월평균 엽록소 Level 3 자료는 전 세계 해양의 엽록소 값을 포함하고 있으며, 약 8메가 바이트 크기의 HDF 포맷 형태로 구성되어 SeaWiFS 자료 전용 처리 프로그램인 SeaDAS 상에서 자료분석 및 이미지 생성이 가능하다. 본 연구에서는 이들 자료에서 관심 해역인 5개 해역, 즉, 웨델해, 남조지아섬 주변, 로스해, 프리즈만, 남쉐틀랜드군도 주변 해역으로 나뉘어 엽록소 값을 각 픽셀별로 추출하였으며, 추출된 자료는 Matlab 프로그램을 이용하여 다시 가

공 처리하여 월간 분포 및 연간 변화를 관찰하기 위한 그림을 생산하였다.

3. 결과

Fig. II 10-1은 1998년 1월 남위 50도 이하 남극해의 엽록소 분포를 보여주고 있다. 대서양 남부와 웨델해, 로스해 등지와 함께 남극반도의 연안해역에서 상대적으로 높은 엽록소 값이 나타나고 있다. 또한, 드레이크 해협과 인도양 남부해역은 전반적으로 낮은 농도의 엽록소 분포를 보이고 있다. 그림에서, 검게 처리된 부분은 구름 등의 기상조건이 좋지 않거나 유빙에 의해 관측이 제한된 해역으로서, 특히 웨델해의 경우 년중 내내 많은 양의 유빙에 의해 관측 범위가 매우 제한됨을 보였다. 또한, Fig. II 10-2는 SeaWiFS 엽록소 이미지에 사용된 색상범위를 나타내는 color bar를 보여주고 있다.

Fig. II 10-3 ~ 12는 5개의 연구해역별로 자세히 본 월평균 SeaWiFS 엽록소 분포 이미지들이다. 그림에서, 왼쪽 위에서부터 오른쪽으로 1월~12월을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 거의 대부분의 해역에서 5~8월 시기엔 태양고도가 낮아져 관측이 이루어지지 않았다. 실제 위성으로 관측된 해역에는 극히 일부 해역에서 3 mg m^{-3} 농도 이상의 엽록소 값도 나타내고 있었으나, 전체적인 경향을 파악하는데 용이하도록 색상범위를 3까지 고정하여 그 이상의 값을 갖는 모든 픽셀도 붉은색으로 표시되도록 조정하였다.

현재까지 1997년 9월부터 2004년 1월까지의 모든 월평균 자료의 처리가 이루어졌으나, 본 보고서에서는 지면관계상 대표적으로 1998년과 2003년의 연간 월평균 자료만 수록하였다.

Fig. II 10-3, 4의 웨델해 해역의 경우, 대부분의 경우에 있어 많은 유빙으로 인해 관측범위가 매우 제한되어 있음을 알 수 있다. 특히, 1998년에 비해 2003년의 경우엔 그 정도가 더 심각해 거의 자료를 얻을 수 없었다. 이 중 2003년 1월과 12월은 한국해양연구원 남극 하계 연구 16차와 17차 연구 시기로서 다른 해에 비해 상대적으로 유빙이 매우 멀리까지 확장되어 있었던 시기로 현장조사에 있어서도 어려웠던 상황이 있었던 시기였다. 제한된 자료 내에서 관찰한 웨델해의 엽록소 분포를 살펴보면, 다른 남극해에 비해 상대적으로 높은 엽록소 분포를 보이는데, 이는 남극대륙 연안과 가깝고 얼음이 녹는 해역에서의 식물플랑크톤 증식에 의한 것으로

생각된다.

Fig. II 10-5, 6의 남조지아 해역 엽록소 분포는 여름철을 중심으로 10월부터 길게는 3, 4월까지 높은 엽록소 농도의 패취가 여기저기 형성됨을 보여준다. 이러한 현상은 해마다 거의 전반적으로 비슷했으나 높은 농도가 나타나는 해역은 해마다 조금씩 차이를 보이고 있었다.

Fig. II 10-7, 8의 남세틀랜드군도 주변 해역의 엽록소 분포를 보면, 북쪽의 드레이크해협 해역은 전반적으로 모든 시기에 낮은 농도 분포를 보이고 있으며, 남서쪽의 벨링스하우젠해 근처에서만 제한적으로 높은 엽록소 해역이 관찰되고 있었다.

Fig. II 10-9, 10의 로스해 해역 또한 관측해역이 매우 제한되어 있었으며, 전반적으로 남위 75도 이하 해역인 남극대륙 연안에서 매우 높은 엽록소 농도값을 보이고 있었다.

Fig. II 10-11, 12의 프리즈만을 살펴보면, 만 입구를 중심으로 매우 높은 엽록소 농도가 12월부터 3월 사이에 유지되고 있었으며, 모든 해의 4월의 경우엔 유빙에 의해 만 입구 전체가 막혀있는 것으로 관찰되었다.

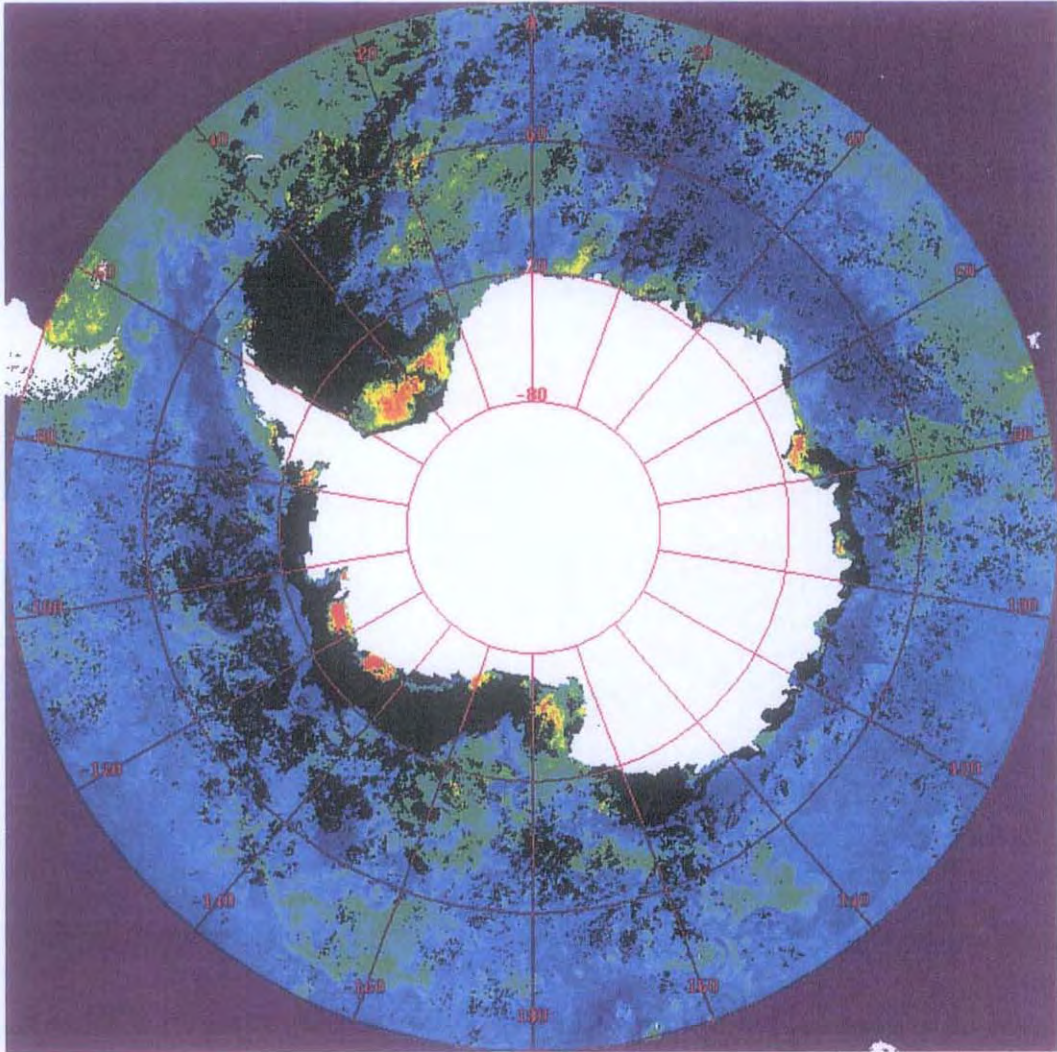


Fig. II 10-1. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the Southern Ocean in January, 1998.

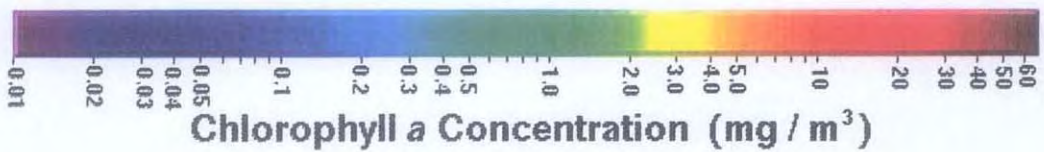


Fig. II 10-2. Color bar used for SeaWiFS chlorophyll imagery.

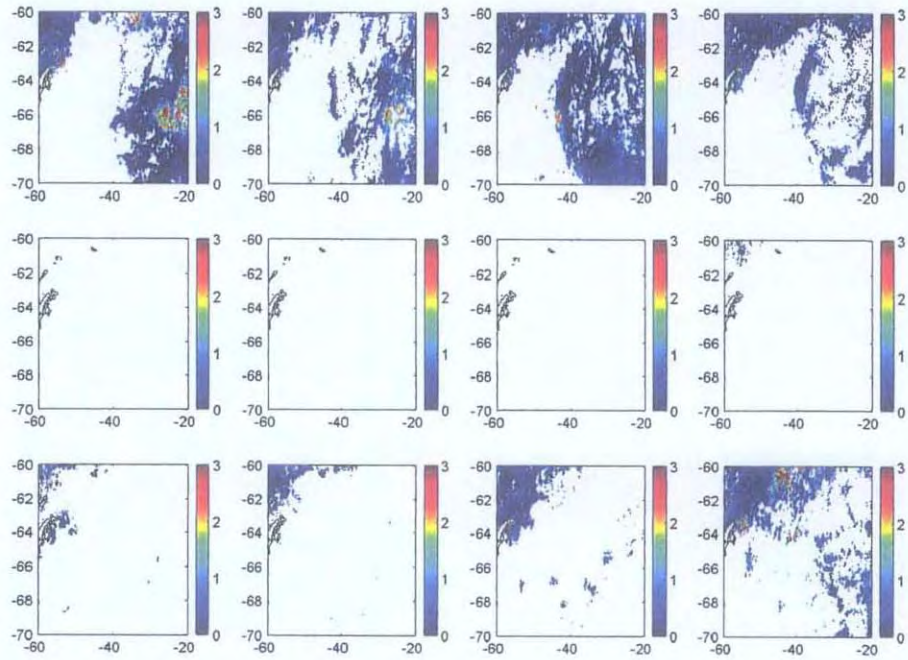


Fig. II 10-3. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the Weddell Sea in 1998. Red pixels represent chlorophyll concentration was more than 3 mg m^{-3} .

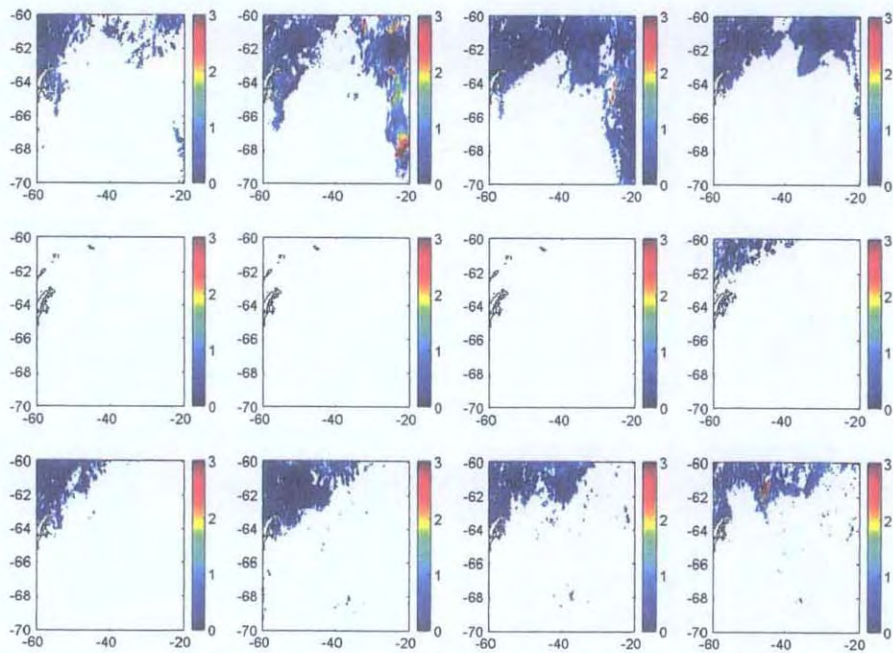


Fig. II 10-4. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the Weddell Sea in 2003.

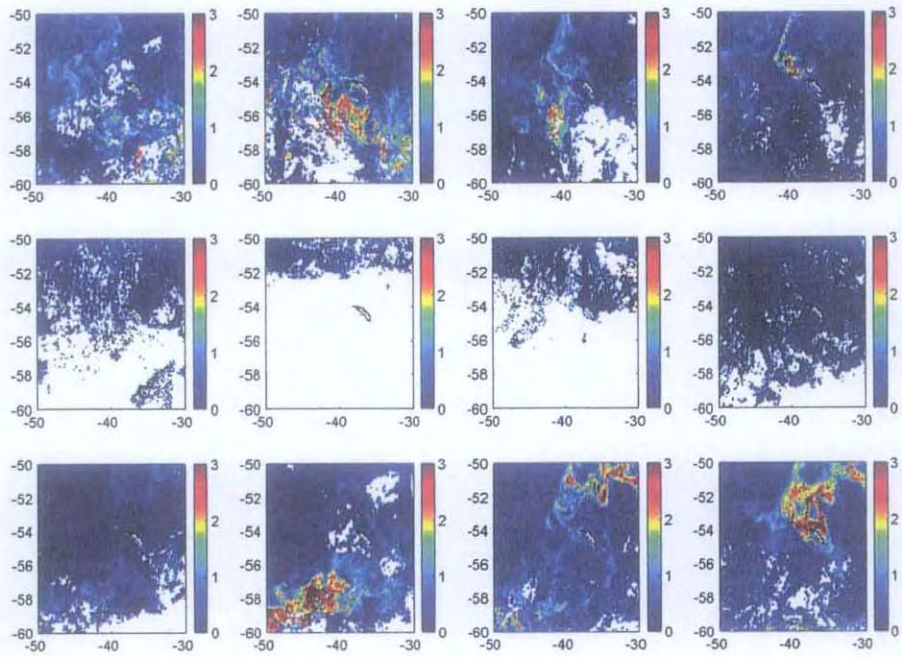


Fig. II 10-5. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the South Georgia region in 1998.

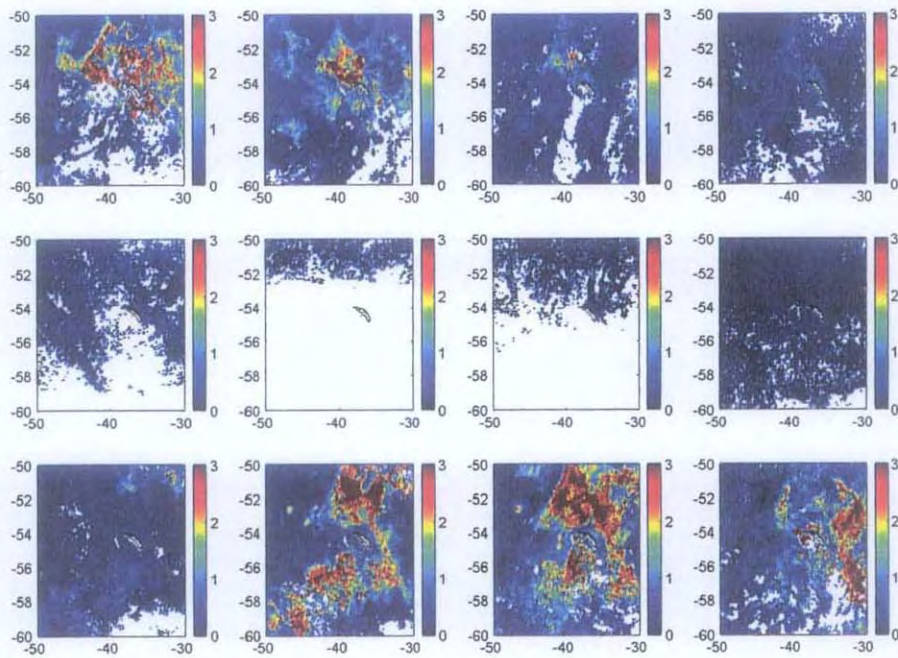


Fig. II 10-6. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the South Georgia region in 2003.

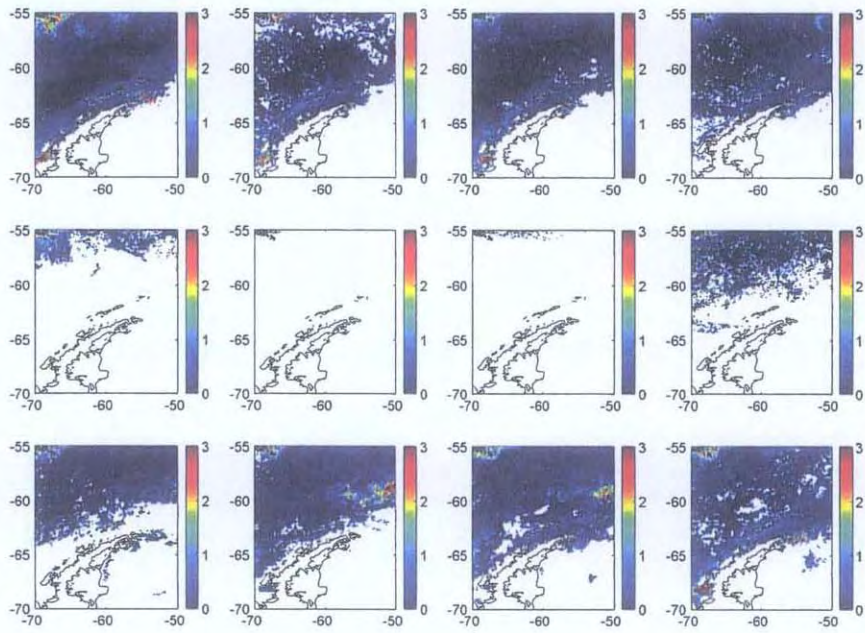


Fig. II 10-7. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the South Shetland Island region in 1998.

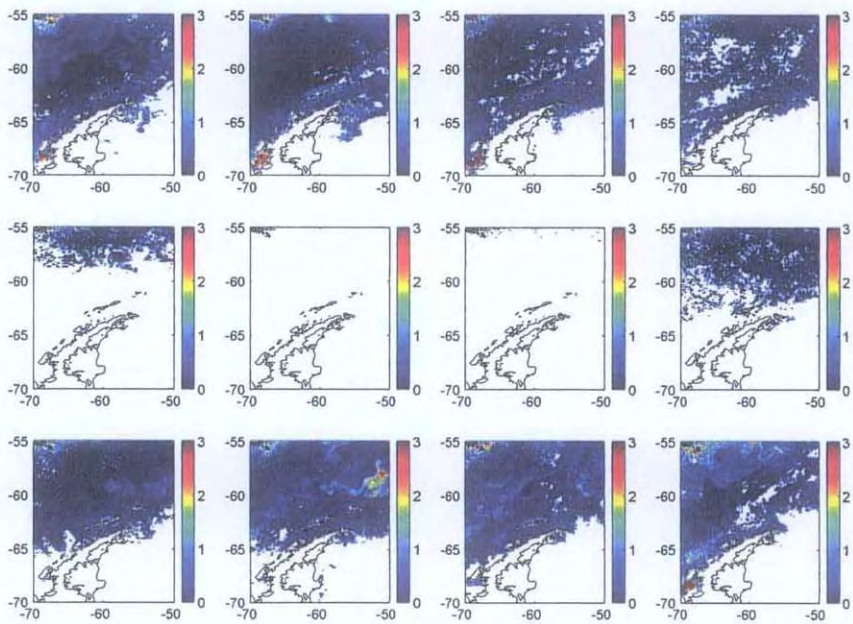


Fig. II 10-8. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the South Shetland Island region in 2003.

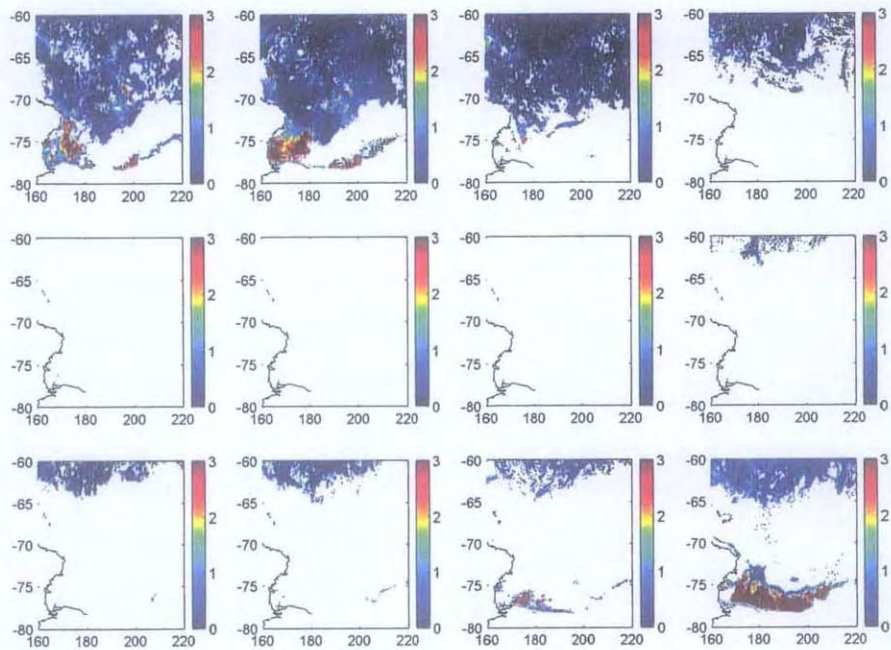


Fig. II 10-9. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the Ross Sea in 1998.

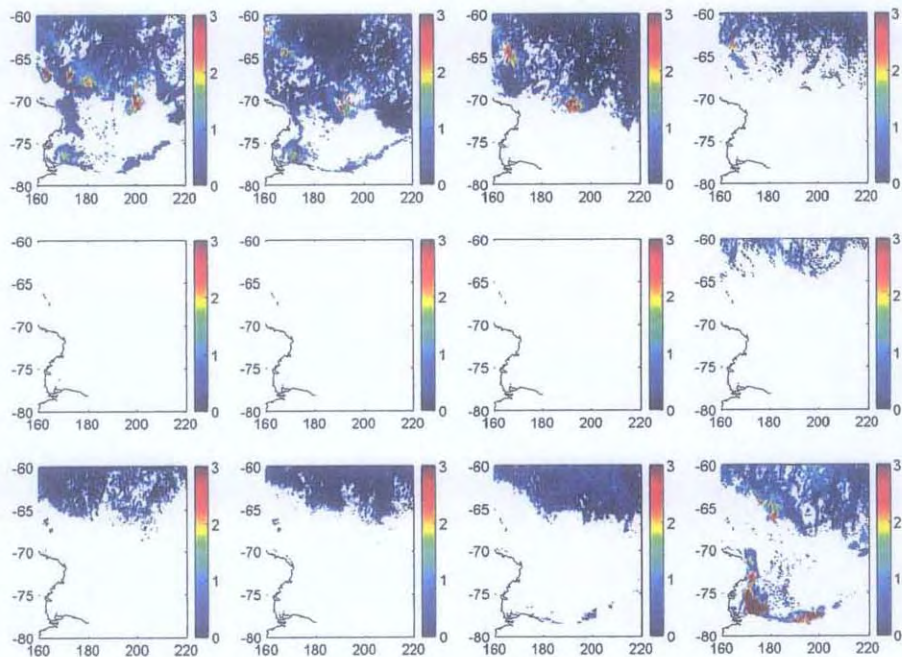


Fig. II 10-10. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the Ross Sea in 2003.

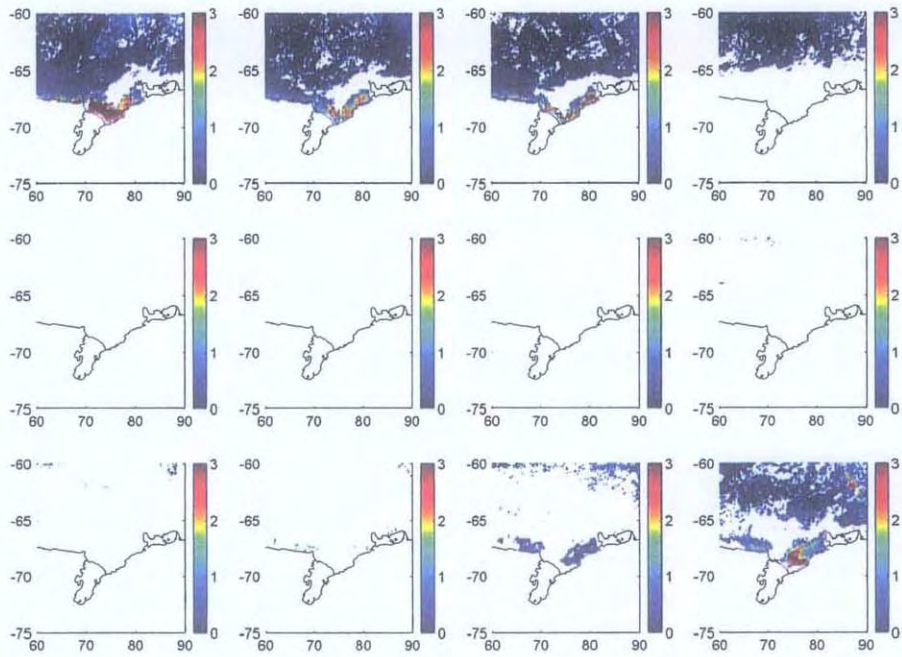
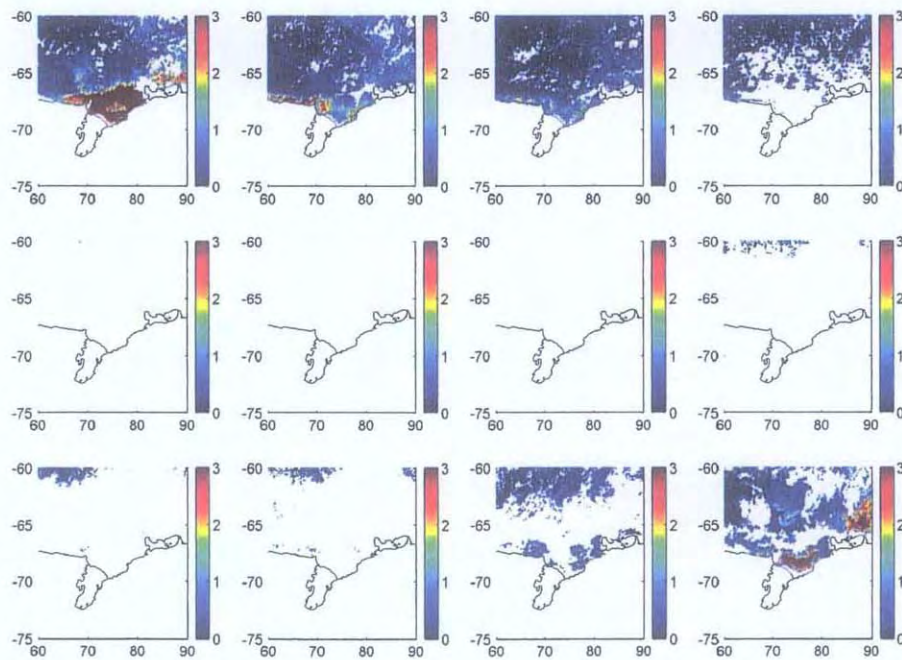


Fig. II 10-11. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the Prydz Bay in 1998.



II 10-12. Monthly SeaWiFS chlorophyll *a* in the Prydz Bay in 2003.

ig.

여 백

제 11 절 남극해 해빙과 엽록소 분포의 동시 고찰

요약: 해빙과 엽록소는 크릴의 분포와 양을 좌우하는 가장 중요한 거시적 환경요인들이며 인공위성을 통해 자료를 획득할 수 있는 경우이다. 최근 5년간 남극해 해빙과 엽록소 분포 변화를 크릴 자원 동태 조절 요인의 관점에서 고찰하였다. 남극 주변을 따라 해빙에 의해 덮여 있다 여름이 되면 규칙적으로 해빙의 후퇴와 함께 노출되는 지역들이 있으며 이들은 대개 천해의 만이다. 또한 이들 해역에서 한여름 엽록소 농도는 늘 높았다. Marguerite Bay, Weddell Sea, Ross Sea, Prydz Bay 등이 해역들은 크릴 자원의 이동과 공급에 중요한 역할을 하는 곳이라 생각되며 추후 이들 목표 해역에 대한 심층 분석을 통해 배경 원인과 크릴 자원 동태에서 차지하는 역할에 대한 이해가 필요하다.

1. 서론

해빙이 크릴의 분포와 양을 좌우하는 중요한 요인임은 여러 문헌에서 거론되었으며 최근에 장기 자료를 통해 보여진 바 있다 (Smetacek et al. 1990, Kawaguchi and Satake 1994, Loeb et al 1997). 또 엽록소 생물량은 적어도 여름에는 초식자로 알려진 크릴에게 가장 중요한 환경요인 중의 하나이다.

크릴의 자원량과 분포가 해마다 큰 폭으로 변화함은 잘 알려져 있으며 이 배경에 거시적인 대규모 환경요인의 변동이 있을 것으로 짐작된다 (Hewitt et al 2003). 해빙과 엽록소 생물량은 크릴의 분포와 양을 좌우하는 중요한 요인이며 인공위성을 통해 동시 광역 자료를 얻는 것이 가능하다. 최근 5년간 얻은 해빙과 엽록소 자료를 동시에 크릴 자원 동태를 조절하는 요인으로 염두에 두고 고찰하였다.

2. 해빙 및 엽록소 분포의 특성과 상관관계

해빙 분포가 뚜렷한 계절 패턴을 보임은 앞에서 이미 지적한대로이다. 5년 자료를 보았을 때 어떤 지역은 겨울에 해빙으로 덮여 있다 여름에는 해빙의 후퇴와 함께 노출되며 해빙 분포의 연변동에도 불구하고 예측 가능할 정도로 반복된다. Marguerite Bay, Weddell Sea, Ross Sea, Prydz Bay 등이 이들 해역인데 모두 중심이 낮은 천해의 만이다 (Fig. II 11-1). 이들 해역은 크릴의 어장이거나 혹은 크릴

자원의 공급과 이동에 중요한 역할을 할 것으로 생각된다.

엽록소 생물량 변화의 가장 큰 특징은 여름에 해빙의 후퇴와 함께 엽록소 생물량의 증가가 발생한다는 것이다. 해빙의 후퇴가 여름철 엽록소 생물량의 분포와 농도를 좌우하는 가장 큰 요인임이 확실하다. 이는 Weddell 해와 Ross 해의 여름철 엽록소 분포를 해빙 가장자리의 위치와 함께 고려하면 뚜렷하게 드러난다 (Fig. II 11-2, 3). 엽록소 생물량의 빠른 증가 뒤에 해류의 흐름이 어느 정도 엽록소 패치의 이동과 운반에 기여하는 효과를 보이지만 시간이 경과하면서 엽록소 패치가 다시 분산된다. 가장 강력하게 여름철 엽록소 분포를 지배하는 것은 해빙의 후퇴로 보인다.

또한 앞에서 언급한대로 해빙의 진퇴와 특히 여름철 노출을 경험하는 천해만 지역에서는 한여름에 대개 엽록소 양이 높은 것을 볼 수 있다. Fig. II 11-4는 이 예를 남서 대서양에 면한 남극해에서 Marguerite 만과 Weddell해에서 보여주고 있다.

3. 예비 결론과 향후 연구

크릴은 여름에 외해에서 산란을 마치면 내해로 이동하는 것으로 알려지고 있다 (Hewitt et al. in press) 천해의 만이 늘 규칙적으로 겨울에는 해빙에 덮였다 여름에는 해빙이 물러나면서 노출되고 고농도 엽록소 환경이 조성된다면 산란을 마치고 내해로 이동하는 크릴에게 이상적인 은신처가 될 가능성이 높다. 따라서 이들 해역이 크릴 개체군의 유지와 공급에 중요한 역할을 할 가능성이 높다. 추후 이들 목표 해역에서 해빙의 농도 분포와 엽록소 농도 추이에 대해 시공간적으로 더 세밀한 심층 분석이 이루어진다면 이러한 현상의 배경 원인과 이 지역이 중요한 서식처로 크릴 자원 동태에서 발휘하는 역할에 대해 이해가 증진될 것으로 생각된다.

Concurrent examination of sea ice and surface chlorophyll in relation to krill population

Abstract: Sea ice and surface chlorophyll are the two key variables most likely to generate the variability of krill population in terms of distribution and biomass. Monitoring of these 2 parameters is routinely conducted using satellites, and satellite data are available to describe the variation of these 2. Variation of sea ice and surface chlorophyll distribution in the Southern Ocean for the past 5 years is concurrently examined in relation to krill population. Some coastal bays are regularly and predictably covered with sea ice and exposed with ice re-retreat during summer. These areas normally experience enhanced chlorophyll level. These areas, Marguerite Bay, Weddell Sea, Ross Sea, Prydz bay, may be critical for maintaining and supplying krill population to the rest of Southern Ocean. In-depth analysis of these target areas will improve our understanding of the mechanisms how this is maintained and the roles these apparently critical habitats play in governing krill population.

4. 참고 문헌

- Hewitt, RP; Demer, DA; Emery, JH (2003) An 8-year cycle in krill biomass density inferred from acoustic surveys conducted in the vicinity of the South Shetland Islands during the austral summers of 1991-1992 through 2001-2002. *Aquatic living resources* 16(3): 205-213.
- R.P. Hewitt, S. Kim, M. Naganobu, M. Gutierrez, D. Kang, Y. Takao, J. Quinones, Y.-H. Lee, H.-C. Shin, and S. Kawaguchi (2004) Variation in the biomass density and dispersion of Antarctic krill in the vicinity of the South Shetland Islands throughout the 1999/2000 austral summer. (Deep-Sea Res II, in press)
- Kawaguchi, S; Satake, M (1994) Relationship between recruitment of the Antarctic krill and the degree of ice cover near the South Shetland Islands. *Fisheries Science* 60(1): 123-124.
- Loeb V, Siegel V, Holm-Hansen O, Hewitt R, Fraser W, Trievelpiece W, Trievelpiece S (1997) Effects of sea ice extent and krill or salp dominance on the Antarctic food web. *Nature* 387:897-900
- Smetacek V, Scharek R, Nothing EM (1990) Seasonal and regional variation in the pelagial and its relationship to the life history cycle of krill. In: Kerry KR, Hempel G (eds) *Antarctic ecosystems. Ecological changes and conservation* Springer-Verlag, Berlin, pp 103-114.

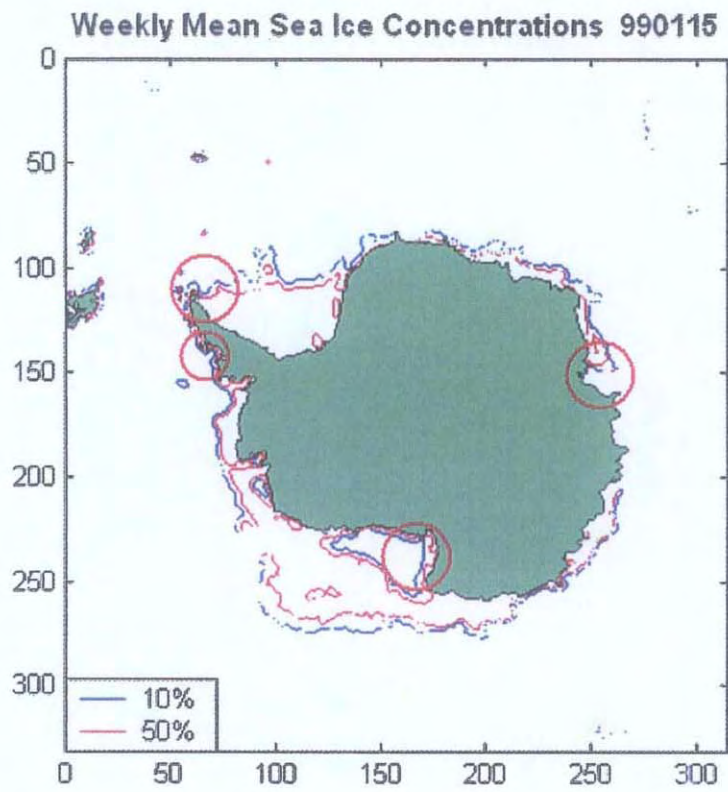


Fig. II 11-1 Areas that are regularly and predictably covered with sea ice and exposed with ice re-retreat during summer.

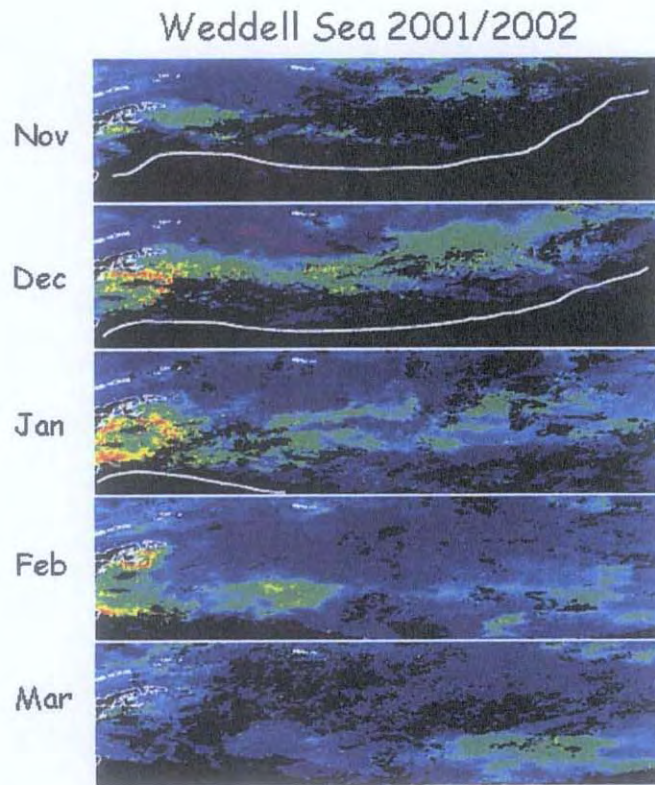


Fig. II 11-2. Surface chlorophyll distribution and approximate sea ice extent in the Weddell Sea.

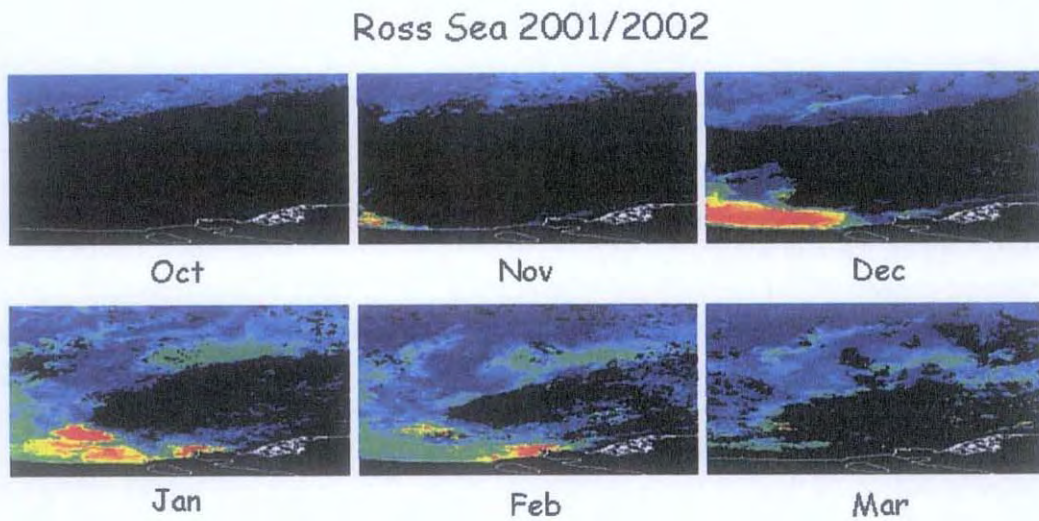


Fig. II 11-3. Surface chlorophyll distribution in the Ross Sea.

Antarctic Peninsula Region 1998-2003

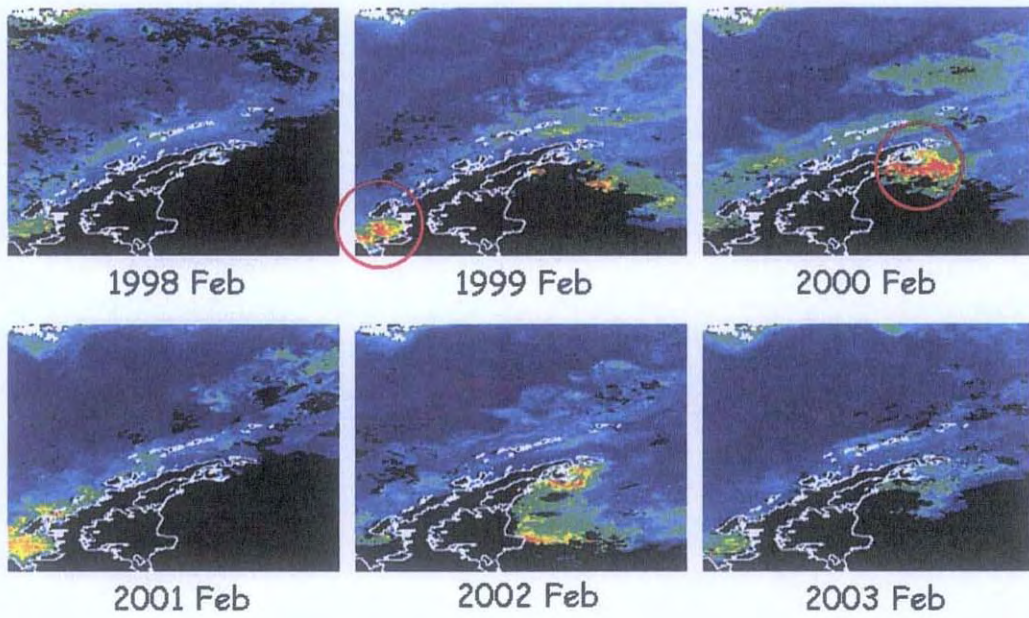


Fig. II 11-4. Coastal bays that are characterized by predictable sea-ice retreat and high chlorophyll level during summer.

여 백

제 12 절 크릴 자원의 이용과 관리

초록: 크릴 자원을 이용할 수 있는 다양한 기술 개발이 시도된 바 있으며 크릴에 대해 300건이 넘는 특허가 출원된 바 있다. 크릴 자원의 다양한 특징과 장점을 종합적으로 이용하는 기술 패키지의 개발과 시장 발굴은 막대한 잠재력의 실현으로 이어질 가능성이 크다. 현재 크릴의 허용어획량은 자원 자체의 고갈을 막고 포식자를 위한 먹이가 모자라지 않도록 신중하게 계산되고 있다. 그러나 크릴 자원을 더 엄격하게 관리하는, 크릴어업에게 제한적인 보존조치가 도입되기 시작하고 있다. 여기에는 크릴 자원 관리 단위를 더 지리적으로 세분하는 것과 허용어획량을 더 작은 단위에 대해 나누는 것들이 포함되며 이는 크릴 자원 이용과 관련된 결정의 기준의 일부로 크릴의 자연포식자의 건강 상태를 포함시키는 것을 의미한다.

1. 서론

포경업의 몰락과 금지로 발생하는 잉여 크릴은 한동안 인류의 미래 식량자원이라는 기대를 받았으며 2억-5억톤에 이르는 엄청난 자원량은 (Ross and Quetin 1988) 여전히 크릴 자원의 가장 큰 매력 중의 하나이고 크릴에게 미래 자원으로 위상을 부여한다. 또 떼를 이루는 특성 때문에 어획하기 쉽다는 것도 큰 장점 가운데 하나이다. 따라서 크릴 자원을 식량으로 이용할 수 있을 거라는 기대는 여전히 계속되고 있다 (Joseph et al. 1999, Jones D 1999). 크릴 자원 이용이 현황은 어떠하며 크릴 자원을 이용할 수 있는 기술로 어떤 것이 개발되었는지 조사하였다.

2. 크릴 자원의 이용

크릴 자원의 장점에도 불구하고 문제는 여전히 남아 있다. 크릴 자원이 대량 어획이 가능한 몇 안되는 종 가운데 하나임이 분명한 반면 상업화를 가로막는 요인들로 다음을 들 수 있다; 강력한 효소 작용 때문에 빠르게 상함, 껍데기에 함유된 비교적 높은 불소 함량, 시장에 쉽게 진입할 수 있는 제품을 생산하기 어려움. 또 식용으로 가장 적합한 제품 생산을 위해 껍질을 제거할 경우 수율이 낮아지는 문제가 있다. 이러한 문제는 비단 남극 크릴 뿐 아니라 다른 크릴 종에도 그대로 적용된다.

크릴 어업 가운데 가장 규모가 큰 남극 크릴 어업의 산물은 대부분 사료, 특히 양식 사료로 쓰인다. 지난 10년 이상 대략 연 10만톤 정도가 어획되었고 소련의 붕괴 이후 가장 큰 어업국은 일본이며 그 뒤를 폴란드, 우리나라 등이 잇고 있다 (Nicol & Foster 2003). 현재 크릴 제품은 신선 냉동 (46%), 자숙 냉동 (10%), 껍질을 벗긴 tail meat (10%), 크릴 meal (43%)의 비중으로 생산되고 있다 (Nicol & Endo 1999). 제조과정에서 수율은 냉동이 80-90%, 껍질을 벗긴 meat가 8-17%, 크릴 meal의 경우 10-15%에 이른다. 용도에 따른 비중은 양식 사료가 43%, 낚시 미끼가 45%이며 일본에서는 약 12%를 직접 식용한다는 정도로 알려져 있다 (Nicol & Endo 1999). 일본과 캐나다 등지에서 남극어업의 규모에는 훨씬 미치지 못하지만 *Euphausia pacifica*를 대상으로 하는 어업이 있으며 일본 연안 어업의 경우 50% 이상이 낚시 미끼로 쓰이고 있다.

이제까지 개발된 크릴 활용 기술은 매우 다양하다. 중요한 것을 예로 들면 껍데기의 제거와 활용 (Tenuta Filho 1993, Anderson et al 1978)과 액체 상태 부산물 (Dolganova 1994) 처리 등이 있다. 그 밖에 고부가 약품 재료로 활용 (Mekkes et al 1997), 키틴, 키토산 재료로 이용 (Anderson et al 1978), 효소 제품과 기타 다른 용도 이용 (Melrose et al 1995, Makes 1992)을 들 수 있다. 또한 양식 사료로 크릴의 우수함은 여러 차례 입증된 바 있다 (Storebakken 1988, Anderson et al 1997). 질 좋은 양식 사료에 대한 수요는 증가하는 반면 공급은 불안정하기 때문에 (Rumsey 1993), 또 양질의 천연 색소에 대한 수요가 증가하면서 천연 아스타크산틴 색소를 함유한 크릴 제품에 대한 수요는 계속 유지될 전망이다. 따라서 현재와 같이 양식사료로 사용되는 용도가 지배적인 현재의 추세는 당분간 계속될 것으로 보인다.

그럼에도 불구하고 크릴의 식용화와 어업에 대한 관심은 계속되고 있다 (Budzinski 1984, Griffin 2002). 크릴 어업이 크게 확대된다면 다른 해역의 다른 종일 가능성은 희박하고 아마 남극해역의 남극 크릴 *Euphausia superba*가 첫 번째가 될 것이다. 크릴의 관리가 결코 쉬운 문제가 아닌 것은 생태적 지위가 비교적 낮고 다른 구성원들이 크게 의존하는 종을 대량 어획해본 적이 없다는 데에 있다. 크릴 어업이 대폭 확대되기 전에 적절한 관리 지침을 확립하는 문제는 여전히 선결 과제로 남을 것이다.

최근 2-3년 사이에 크릴을 가장 많이 어획하던 일본이 크릴 어획량이 어획량을 축소시키고 우리나라가 1위 크릴 어업국으로 등장하였다. 한편 CCAMLR에 예고되는 기대 크릴 어획량은 계속 늘고 있으며 구체적인 조업 계획이 제시되고 있어 새로운 수요와 시장 발굴에 의해 10만톤을 크게 넘지 않던 크릴 시장이 크게 변화할 조짐을 보이고 있다.

3. 크릴 자원의 관리

크릴 자원의 관리가 이론적 틀을 갖추기 시작한 것은 1990년대 초반이라 할 수 있다. 크릴은 다른 종에게 먹이로 이용되는 정도가 매우 크기 때문에 또 자원변동의 폭이 크기 때문에 전통적인 자원관리 방법과 개념 (예, 최대지속생산량 MSY)

을 그대로 적용하는 것은 무리라는 것이 지배적인 의견이 되었다. 크릴 자원의 관리를 담당하는 국제협약인 남극해양생물자원 보존협약 (CCAMLR)이 협약의 자원관리 원칙인 '사전예방 원칙 (precautionary principle)'과 '생태계적 접근 (ecosystem approach)'를 구체화한 크릴 허용어획량 모델 (KYM; krill yield model)을 제시한 것은 1994년에 이르러서였다. (de la Mare 1994a, de la Mare 1994b). 크릴 허용어획량 모델은 자원 자체가 고갈될 가능성이 어느 기준 이하로 매우 낮도록 어획강도를 계산하고 또 포식자를 위한 먹이가 모자라지 않도록 어획강도를 계산해서 둘 중 낮은 값을 택하도록 하고 있다 (Fig. II 12-1). 이 계산은 생물학적 정보의 불확실성과 자료의 부족을 감안하도록 하며 반복적인 컴퓨터 모의 실험을 통한 확률론적 예측에 의존하고 있다. 크릴의 허용어획량 산정 모델을 완성한 외에도 크릴 포식자들의 안위와 상태를 남극 도처에서 지속적으로 모니터하는 프로그램을 각 회원국들이 운영하도록 하였다 (Agnew 1997).

크릴의 허용어획량을 신중하고 안전하게 계산하는 것에서 그치지 않았고 크릴 어업과 자연포식자 사이에 있을 수 있는 상호작용은 늘 이슈가 되어왔다. 크릴 포식자와 크릴 어업 사이에 가능한 수요 충돌을 최소화하기 위해 크릴 어선이 연안에 접근할 수 있는 거리를 제한한다는 구상은 90년대 초반부터 Critical Period Distance라는 개념으로 등장하였다 (Agnew 1992, Agnew & Marin 1994, Agnew & Phegan 1995). 이후 크릴 어장이 실제 포식자들의 군서지와는 상당한 거리가 있다는 것이 보여졌다 (Ichii et al 1994, Ichii et al 1996).

현재 크릴의 어획량이 적더라도 좁은 해역에서 집중적으로 일어난다면 포식자의 먹이 수요와 충돌할 수 있다는 생각은 크릴 허용 어획량을 지리적으로 더 자게 나누어진 단위로 세분, 배당해야 한다는 논리로 이어졌다. 이미 CCAMLR는 크릴 자원의 관리 단위를 지리적으로 세분하였으며 (Fig. II 12-2), 곧 허용 어획량도 이에 따라 나눌 것으로 보인다.

앞으로 계속될 것으로 예상되는 경향은 크릴 포식자의 상태, 생태계 균형에 대한 상태에도 목표값을 설정하여 크릴 자원에 대한 관리 기준으로 삼는 것이다 (Constable et al 2000, Constable 2001). 또 크릴 자원 동태가 해양환경 변화에 크게 좌우된다는 것이 알려지면서 (Trathan et al 2003) 해양환경 변화 역시 자원 관리에 감안해야 한다는 의견이 강하게 대두되고 있다. 즉 자원대상 생물 뿐 아니라 자원대상 생물과 관계를 맺고 있는 다른 생물 종의 상태, 그리고 해양환경 변화로 인해

크릴 자원의 이용이 제한될 수도 있는 것이다 (Fig. II 12-3).

4. 결론

크릴 어업이 현재의 크릴 어장에서 허용어획량을 모두 소진하게 되면 그 규모가 약 4조원에 이르게 될 저개발 자원이다. 하지만 크릴 어업의 잠재력을 실현하기 위해서는 새로운 시장과 제품 개발 외에 여러 가지 선결조건이 있다. 쉽게 상하는 크릴의 특징 때문에 선상으로 올라온 어획물을 신속하게 1차 처리해야 하기 때문에 현재의 크릴 조업은 어획능력보다 어획물 처리 능력에 더 크게 좌우된다. 현재와 급속 냉동이나 자숙 외에 부가가치가 가능한 부분과 부위만 남기고 1차 처리 부산물의 중량을 대폭 줄여주는 선상 가공 처리 방법의 개발이 크릴 어획량 증대를 위해 필요하다. 또한 육질부, 키틴을 포함하는 껍질 부분, 각종 생리활성 성분 활용이 가능한 효소 등의 부분에 대해 각각 다양한 제품을 회수할 수 있는 종합적 기술 패키지의 개발이 크릴 어업의 경제성을 큰 폭으로 개선할 것이다. 또한 크릴의 생태적 특징을 감안한 효과적인 어로 방법의 개발과 어황의 장단기 예측을 통한 선단의 효율적 운영 또한 뒷받침되어야 한다.

크릴 어업은 잠재력 실현 전에 각종 자원보존 조치의 실험대상이 되고 있다. 크릴 자원 이용에 대한 각종 제한 조치는 필연적으로 어업에 미치는 영향을 낱지 않을 수 없다. 지금의 어획량이 크지 않음에도 불구하고 어업 노력의 분포를 강제로 다른 해역으로 돌리도록 하는 효과를 낱을 수 있다. 이는 종종 조업 활동의 수익성을 저하시키는 방향으로 진행될 수 있다. 크릴 잠재력을 실현시킬 수 있는 기술이 확보되기 전에 어업활동을 과도하게 제한하는 관리 체계가 고착될 위험이 있다. 뿐만 아니라 이는 남극해에서 그치는 것이 아니라 다른 저개발 해역이나 공해역으로 확대될 수 있다. 적절한 관리 대안에 대한 모색과 연구가 필요하다.

이 연구에서 보인 것처럼 어획 노력의 증감과 조절 이전에 배경으로 작용하는 자연 요인에 의한 큰 폭의 크릴 자원 변동, 실질적인 자연 경쟁자와 수요 중복 정도에 근거한 자원 관리 대안과 대체 논리의 제시가 크릴 어업의 잠재력 실현과 확대 조짐이 뚜렷해지기 전에 이루어지지 않으면 그 자체가 크릴 자원 활용의 큰 장애가 될 것으로 전망된다.

Utilization and management of krill resources

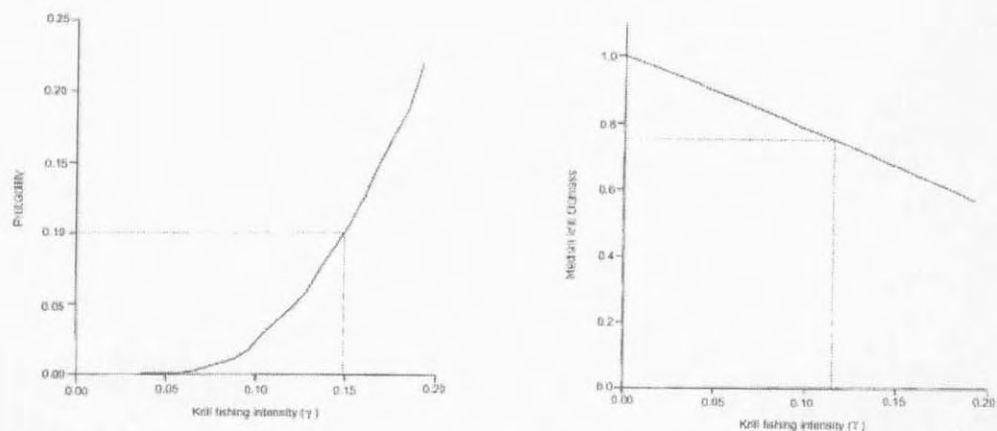
Abstract: Previous efforts to develop krill resources and current uses have been tracked and analyzed. Trends and evolvments to manage krill have been investigated. A variety of techniques were developed to utilize krill and this resulted in more than 300 patents registered. A package to comprehensively utilize krill and some of their features and marketing efforts may result in realization of krill's potential and an expansion of krill fishery. Currently krill's catch limits are determined by an international treaty, CCAMLR in a conservative way that possibilities of decline of the target population is minimized, and also a sufficient amount of prey is left for the predators. Even more strict management regimes are likely to be brought into place in near future. This includes subdivision of management units and re-allocation of catch limits among them. The status of ecosystem and predator fitness can be a criteria to make management decisions, and this is likely to affect the harvest of resources.

4. 참고문헌

- Agnew, DJ (1992) Distribution of krill (*Euphausia superba*) catches in the South Shetlands and South Orkneys. In: Selected Scientific Papers, 1992 (SC-CAMLR-SSP/9). CCAMLR, Hobart, Australia: 287-303
- Agnew, DJ (1997) The CCAMLR ecosystem monitoring programme. Antarctic Science 9(3); 235-242
- Agnew, DJ; Marin, VH (1994) Preliminary model of krill fishery behaviour in subarea 48.1. CCAMLR Science. 1; 71-79
- Agnew, DJ; Phegan, G (1995) A fine-scale model of the overlap between penguin foraging demands and the krill fishery in the South Shetland Islands and Antarctic Peninsula. CCAMLR Science 2; 99-110.
- Anderson, JS, Richardson, NL, Higgs, DA, Dosanjh, BS (1997) The evaluation of air-dried krill meal as a dietary protein supplement for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). Can Tech Rep Fish Aquat Sci 17 pp.
- Anderson, CG, de Pablo N, Romo CR (1978) Antarctic krill (*Euphausia superba*) as a source of chitin and chitosan. In Muzzarelli RAA, Pariser ER (eds) Proc of the first Int. Conf. on Chitin/Chitosan. MIT Cambridge, USA, pp 54-63
- Budzinski, E; Bykowski, P, Dutkiewicz, D (1985) Possibilities of processing and marketing of products made from Antarctic krill. FAO fisheries technical paper. no. 268, 46 pp
- Constable, AJ (2001) The ecosystem approach to managing fisheries: achieving conservation objectives for predators of fished species. CCAMLR Science 8; 37-63
- Constable, AJ; de la Mare, WK; Agnew, DJ; Everson, I; Miller, D (2000) Managing fisheries to conserve the Antarctic marine ecosystem: practical implementation of the Convention on the Conservation of Antarctic Marine Living Resources (CCAMLR). ICES Journal of Marine Science 57(3); 778-791
- de la Mare, WK (1994a) Modelling krill recruitment. CCAMLR Science 1; 49-54
- de la Mare, WK (1994b) Estimating krill recruitment and its variability. CCAMLR Science 1; 55-69
- Dolganova N (1994) Comprehensive processing of krill and fish press waters and

- other liquid by-products. *Acta Ichthyol Piscator* 24(2); 171-177
- Griffin, N (2002) Top Ocean looks south. An Alaskan company fishes krill in Antarctica. *Pacific Fishing* 23(4): 32-35.
- Ichii T, Naganobu M, Ogishima T (1994) An assessment of the impact of the krill fishery on penguins in the South Shetland Islands. *CCAMLR Science* 1; 107-128
- Ichii, T; Naganobu, M; Ogishima, T (1996) Competition between the krill fishery and penguins in the South Shetland Islands. *Polar Biology* 16(1): 63-70.
- Jones D (1999) Sweeping the seas. *Nature* 398: 201
- Joseph, J; Muraleedharan, V; Thankamma, R; Ravishankar, CN (1999) Products for human consumption from Antarctic krill. *Fishery Technology* 36(1): 19-23
- Mekkes JR, Le Poole IC, Das PK, Kammeyer A, Wsterhof W (1997) In vitro tissue -digesting properties of krill enzymes compared to fibrinolysin/DNAs, papain and placebo. *Int J Biochem Cell Biol* 29: 703-706
- Melrose J, Hall A, Macpherson C, Bellenger CR, Ghosh P (1995) Evaluation of digestive proteinase from the Antarctic krill *Euphausia superba* as potential chemonucleolytic agents. In vitro and in vivo studies. *Arch Orthorp Trauma Surg* 114: 145-152
- Mackintosh NA (1973) Distribution of postlarval krill. *Discovery Report* 36: 1-94
- Makes F (1992) Enzymatic examination of the authenticity of a painting attributed to Rembrandt. in Rosevall J (ed) *Krill enzyme as diagnostic tool for identification of 'The Repentant Magdalene'*. Institute of Conservation of the University of Gothenburg, Sweden, 66 p
- Nicol S, Endo Y (1997) Krill fisheries of the world. *FAO Fish Tech Pap* 367
FAO, Rome, pp 100
- Nicol S, Endo Y (1999) Krill fisheries; Development, management, and ecosystem implications. *Aquatic living resources* 12(2): 105-120
- Nicol S, Foster J (2003) Recent trends in the fishery for Antarctic krill. *Aquatic living resources* 16(1): 42-45
- Ross and Quetin (1988) *Euphausia superba*: a critical review of annual production. *Comp Biochem Physiol* 90B(3): 499-505.
- Rumsey GL (1993) Fish meal and alternate sources of protein in fish feeds. Update 1993. *Fisheries* 18: 14-19

- Storebakken, T (1988) Krill as a potential feed source for salmonids. *Aquaculture* 70(3); 193-205
- Tenuta Filho, A (1993) Fluoride removal during production of krill paste and protein concentrates. *Acta Aliment.* 22; 269-281
- Trathan, PN; Brierley, AS; Brandon, MA; Bone, DG; Goss, C; Grant, SA; Murphy, EJ; Watkins, JL (2003) Oceanographic variability and changes in Antarctic krill (*Euphausia superba*) abundance at South Georgia. *Fisheries Oceanography* 12(6); 569-583.



The probability that krill spawning biomass falls below 20% of its median level in the absence of fishing, plotted against the intensity of krill fishing as measured by γ . The factor γ is the number that multiplies a single survey estimate of biomass to provide the total allowable catch taken in each of the 20 years of the simulation period considered.

Median spawning biomass of krill at the end of the 20-year harvest simulation period, plotted against γ , where the biomass is shown as a fraction of the corresponding level in the absence of krill harvesting.

Fig. II 12-1. CCAMLR's way of determining catch limit for krill; target population and predator criteria.

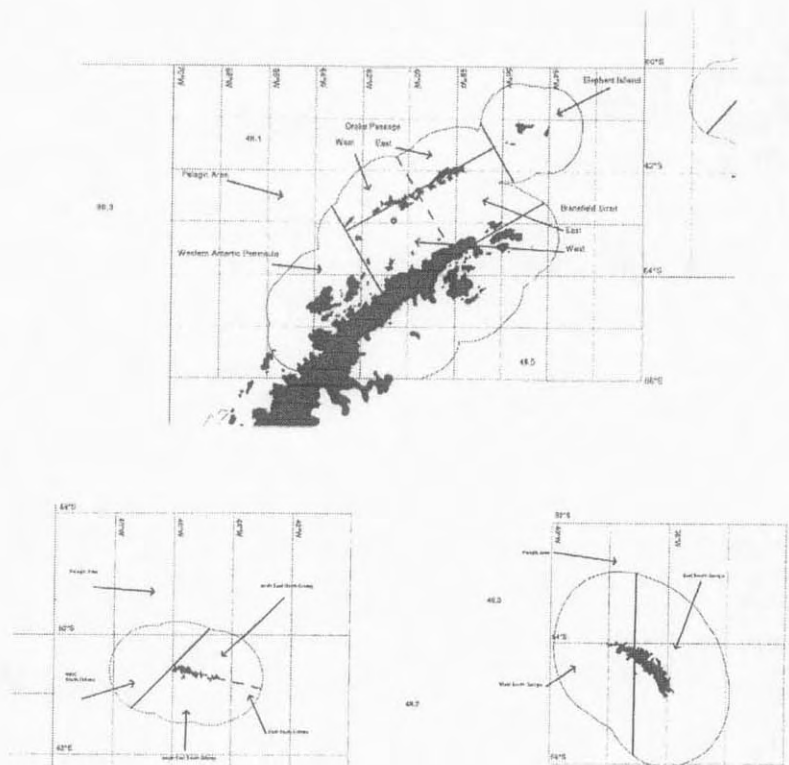


Fig. II 12-2. Newly subdivided management units for krill in Area 48.

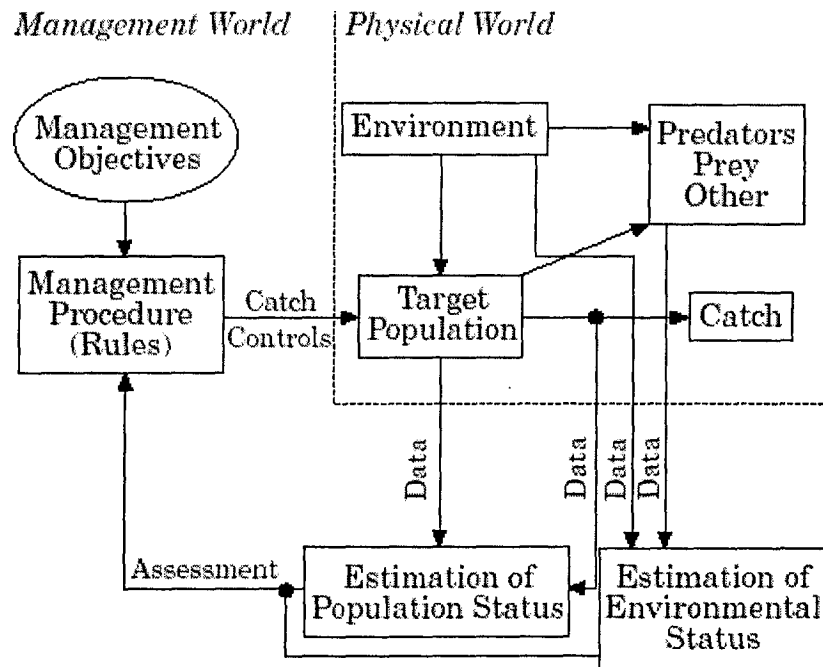


Fig. II 12-3. Schematic diagram for ecosystem based management

여 백

제 13 절 우리나라 크릴 어업의 경과와 전망

1. 서론

엄청난 자원량과 표층에서 떼를 이루는 습성에 따른 어획 용이성 때문에 미래 자원으로 기대되는 크릴이지만 크릴 자원의 잠재력은 완전 활용되고 있지 않으며 세계적으로 어획량도 낮은 수준에서 유지되고 있다. 우리나라는 1970년대 크릴 시험조업에 처음 참여한 이후 한동안 크릴 어업에 참여하지 않다가 1990년대 후반부터 꾸준히 참여해왔다. 우리나라가 크릴 자원의 잠재력을 어떻게 활용할 수 있을지 그동안의 경과와 미래 동향, 대책을 점검한다.

하지만 우리나라 크릴 어업의 시장 현황 분석은 근본적인 한계가 있음을 인정하지 않을 수 없다. 크릴 제품의 경우 우선 그동안 우리나라 어획분이 작고 또 어업회사에 의해 다분히 비공개적인 경로에 의해 처분되기 때문에 경제성 분석이나 시장 분석을 시도하는 것은 무리가 따른다. 예를 들어 도·소매 시장에서 가격이 형성되고 정보화되는 것이 아니고 또 크릴 어획물의 제품 구성 및 처분 경로에 대해서는 조업회사로부터 단편적인 정보를 얻는 것 외에는 거의 방법이 없다. 그동안 우리나라에서 크릴을 어획하고 처분하는 기업은 2개사였으며 그나마 이 가운데 한 회사는 다른 회사보다 크릴 어업에 더 최근에 진출하여 크릴 관련 이력이 더 짧다. 해당 회사가 관련 정보를 자발적으로 공개하기 전에는 이를 취득하는 것은 매우 어려우며 다분히 상업적인 성격의, 회사 입장에서는 영업 정보로 간주되는 사항이기 때문에 이러한 정보를 기대하는 것도 무리라 할 것이다.

그러나 세계 다른 해역 원양 어장의 고갈에 따라 남극과 같은 저개발 해역으로 어업 노력이 옮겨갈 가능성은 더욱 높아졌으며 양식어업의 지속적인 확대에 따른 양식사료 수요의 증가, 각종 가공 기술의 발달은 남극해 어업, 특히 크릴 어업이 팽창할 가능성을 더욱 크게 하고 있다. 현재 주요 크릴 어장인 남서 대서양측 남극해에 면한 48 통계해역에서 크릴의 허용어획량은 (추정 자원량의 약 10% 미만임) 크릴을 먹이로 이용하는 포식자의 수요 등 생태적 안전성을 감안해 신중하게 낮추어 잡았음에도 불구하고 400만 톤에 달하나 실제 어획량은 약 3% 수준에 그쳐 미개발 잠재력은 막대한 것으로 평가되고 있다. 따라서 우리나라 크릴 어업 참여 양상의 변화, 관련 국제 동향 등 공개적으로 입수할 수 있는 자료를 근거로 전망과 과제를 점검할 필요가 있다 하겠다.

2. 우리나라의 크릴 어업 참가와 현황

크릴 어획량은 구 소비에트가 주요 어획국이던 시절 50만 톤을 넘어선 적도 있지만 구 소비에트의 몰락 이후 지난 15년간 한두해를 제외하고는 10만 톤에서 12만 톤 사이를 오가는 수준을 유지해왔다. 일본은 이 기간 동안 6만 톤 내지 8만 톤을 어획하여 1위 어획국의 위치를 유지해 왔으며 또 일본이 크릴의 가장 큰 수요처라는 것은 잘 알려진 사실이었다. 그러나 2000년을 기점으로 일본은 점진적으로 크릴 어획량을 줄여나가기 시작했고 이는 한국의 크릴 어획량 증가와 거의 일치한다 (Fig. II 13-1). 우리나라는 2년 전부터 1위 크릴 어업국이 되었으며 가장 최근 여기에 4만 톤을 어획하였다. 일본의 크릴 어획량 축소는 조업선 수의 축소를 동반하여 크릴 조업선 수가 4척에서 1척까지 줄었고 일본의 대표적 2개 수산 기업이 참여하다 1개 기업만 남았다. 어획통계로 볼 때 그동안 국가별 어획량 순위 변동이 있을 수 있지만 전체 어획량은 그 변화 폭이 크지 않았음은 분명해 보인다. 어느 정도 정해진 전체 어획량 범위에서 어획량이 어업국간 재분배된다고 할 수 있다. 결국 크릴 수요는 세계적으로 일정하고 누가 크릴을 어획하느냐만 달라지는 것이 현황이라고 볼 수 있으며 주요 크릴 수요처인 일본이 직접 크릴 어획에서 손을 서서히 떼고 아웃 소싱하는 경향으로 판단된다.

우리나라 크릴 어업의 수익구조에 대해서는 분명한 설명을 하기 어렵다. 크릴의 시장 가격이 알려져 있지 않기 때문인데 실제로 가장 최근 우리나라의 어획기록인 4만 톤의 크릴 어획은 양륙가격 (landing price)을 1톤당 1,000 달러로 쳤을 때 약 400억 원의 규모의 사업이라고 규모를 추정할 수 있다. 크릴 어업의 결과물을 어떻게 처분하는지 또한 명쾌하게 알려져 있지 않다. 일본의 경우처럼 취미 낚시의 미끼, 그리고 낚시 밑밥으로 활용되는 양이 가장 많을 것으로 짐작되며 국내 유통되거나 일본에 수출하는데 일본 수출 물량은 우리나라 어획량의 증가 후 증가했을 것으로 판단된다. 우리나라가 크릴 조업에 나서기 전에는 국내 낚시 미끼 시장이 거의 전적으로 일본 수입 제품에 의존하였고 소규모 낚시 미끼 수입 회사들이 존재했었지만 지금은 일본 수입 제품에 대한 수입 대체 효과도 발생하고 일본으로 공급하는 단계까지 이른 것으로 보인다.

3. 크릴 어업 주변의 다른 요인과 동향 변화

우리나라는 그동안 비교적 크릴을 2차 가공 없이 그대로 유통시키고 처분하는 형태를 취하여왔으나 나름대로 기울인 실용화 연구 노력이 있었다. 먼저 우리나라의 크릴 식품화 사업은 우리나라가 크릴 시험 조업에 참가한 이후 초보적인 형태로 간헐적으로 추진된 바 있다. 이때 연구는 매우 기본적인 크릴의 영양 성분 분석에서 초보적이고 다분히 경험적인 시작품(젓갈류, 장류) 제작을 포함하였다. 그 후 1990년대 말부터 식품화 개발 연구가 수산특정연구개발사업으로 착수되었으나 실용화 결과를 산출하기에는 연구기간이 너무 짧았다. 그 후 크릴을 어획하는 민간 기업이 자체 연구를 통해 시장에 제품을 내놓았으나 두드러진 호평을 받아 장수제품이 되는 단계까지는 가지 못한 것으로 보인다.

한편 잠재적으로 크릴 소비처가 될 수 있는 키틴과 키토산 연구와 시장은 우리나라에서 건강성 기능 식품의 수요 증가와 함께 최근 몇 년동안 크게 확대되었다. 키틴과 키토산의 재료로 갑각류의 껍질이 이미 가장 흔하게 사용되고 있기 때문에 크릴의 경우도 재료 산출 비용과 선상 가공처리 과정에 포함시키는 것이 가능해지면 그동안 발굴되지 않은 큰 크릴 수요가 될 수 있을 것으로 보인다.

크릴 사료와 어분(fish meal) 사이에 가격 경쟁 요소가 있음은 알려진 사실이다. 한동안 크릴을 양식장에서 고품질 대체 사료로 활용하려는 시도가 있었으나 크릴 사료의 다른 어분에 비해 높은 가격은 다른 매우 저렴한 수입 사료에 의해 크릴 사료의 장점이 상쇄되는 경우에만 이르렀다. 그러나 세계적으로 어분의 재료가 되는 소형 어류의 (예, 페루산 멸치) 어획이 저조하여 어분 가격이 상승하면 크릴의 가격 경쟁력이 높아지는 것으로 알려져 있다. 따라서 크릴 어분의 장점을 살리면서 가격경쟁력을 개선할 수 있는 방안이 나오면 일반 어분의 고급 대체재로 등장할 수 있을 것으로 생각되며 이는 양식어업이 계속 확대되는 현실을 감안할 때 계속 추구할만한 가치가 있는 분야로 생각된다. 실제로 최근 들어 정부간 협약인 남극해 생물자원 관리위원회를 통해 크릴 어업에 대해 조업 개시 의사를 보이는 대형트롤어선들이 다수 등장하고 있어 이미 크릴을 재료로 한 양식 사료의 가능성이 높아졌을 가능성이 높다. 그러나 우리나라는 크릴을 활용한 양식사료 분야에 대해서는 재료를 넘겨주는 외에 직접적인 가공 계획을 실행에 옮길 단계에까지 이른 것 같지는 않아 보인다.

위와 같은 여건을 감안할 때 우리나라의 크릴어업을 둘러싸고 전개될 수 있는 상황은 다음과 같은 몇 가지 경우로 예측할 수 있다.

시나리오 1

세계 크릴 수요가 현행수준에서 유지되고 일본이 주요 크릴 소비처로 남으면서 아웃소싱을 계속한다. 전체 크릴 어획량은 크게 변하지 않으며 우리나라 크릴 어획량은 계속 조금씩 증가하지만 우리나라가 1위 크릴 어업국으로 계속 남게 되면 자원보전 압력에 노출되게 된다.

시나리오 2

어분(魚粉) 수요가 증가하면서 일반 어분과 어유(魚油)에 비해 상대적으로 비싼 크릴 어분의 가격 경쟁력이 향상, 크릴 어업이 전반적으로 확대되고 새로운 경쟁자들이 등장한다. 크릴 어업의 선발 주자로서 우리나라 크릴 어업의 수익성은 강화되거나 강화되는 자원보전 압력에 더 세계 노출되고 새로운 판매처와 고객을 계속 발굴해야 한다.

시나리오 3

어분 수요 외에 키틴·키토산, 효소 제품 등 기존의 전통적 사례가 아닌 다른 용도와 제품이 구체적으로 발굴되고 크릴을 활용하는 여지를 넓혀 크릴 수율을 획기적으로 개선하는 패키지가 개발된다. 이러한 상황은 업계 전반으로 쉽게 전파되기보다 소수의 기술 개발 주도자가 혜택을 누리는 상황이 될 것으로 예상된다. 기술개발자의 수익성은 크게 증가되나 생태계 친화적인 엄격한 자원보전 지침을 준수할 필요는 여전하다.

이상과 같은 예측에 의할 때 어획량 증가 뿐 아니라 자원 잠재력의 최대 활용을 위해서는 여러 가지 대책이 필요할 것으로 보이며 직접 크릴을 어획하는 한 남극해 생물자원에 적용되는 엄격한 자원보전 압력은 어느 경우에도 예외 없이 해당될 것이다.

4. 결론

크릴 어업은 고가어종 어업에서 얻을 수 있는 고수익을 기대할 수는 없지만 전통적 수요에 의존해도 안정적인 판매처 확보 여부에 따라 일정한 수익을 가져올 수 있는 조업으로 판단된다. 지금은 천천히 조업에서 손을 떼어가고 있는 듯이 보이지만 한동안 주로 내국인으로 선원을 구성했던 일본 선단이 높은 선단 운영비용

에도 불구하고 이 조업에 꾸준히 참여해온 것이 이를 반증한다. 역설적으로 일본 어업의 철수가 한국 어업에 그만큼 자리를 만들어주었다. 만일 앞으로 주요 크릴 어장에서 허용어획량의 5%인 20만 톤만 어획할 수 있도록 크릴 수요를 확대할 수 있다면 양륙 가격 기준으로만 2조 원 규모의 사업에 이르게 된다. 하지만 남극해에서 이루어지는 어떠한 어업도 모항과 소비처에서 먼 거리에 있기 때문에 발생하는 상대적 고비용 문제를 감수할 수밖에 없고 선단의 효율적인 운영, 국제적인 협력관계의 유지, 시장의 개척과 관리를 위한 종합적인 노력의 필요성은 아무리 강조해도 지나치지 않다.

다음과 같은 측면에서 크릴어업의 전망을 개선하기 위한 조치들이 필요하다고 생각된다.

1) 크릴 선단 운영의 효율 개선

- 인근해역이나 다른 어종과 연계조업 및 어종(魚種)간, 조업해역간 교차 조업으로 선단운용 효율을 증대한다. 남미권 해역의 다른 표영성 어종과 남극해의 빙어와 같은 표영성 어종이 그 대상이 된다.
- 이 어종들은 몇 년을 주기로 풍어와 흉어를 반복하거나 분포 해역의 변동이 큰 쪽으로 바뀌므로 어황의 단기, 중장기 예측에 근거해 융통성 있는 조업 전략을 수립하는 것이 필요하다. 어느 정도 어획량과 수익을 기대하고 어장을 선택할 수 있도록 어장 이동과 정착 과정에서 낭비 요소를 최소화하는 것이 필요하다.

2) 크릴의 새로운 시장 발굴

- 양식어업과 레저 낚시는 한동안 크릴의 가장 주요한 소비처로 남을 것이다. 어장이 남반구 끝에 위치하므로 남반구에서 새로운 시장을 창출하려는 노력이 필요하다. 시장 발굴 및 진입 초기 단계에 초기 비용이 클 것으로 생각되나 칠레의 연어 양식이나 호주의 참치 양식 수요를 점점할 필요가 있다.
- 크릴은 크기가 작기 때문에 다른 대형 어종에 비해 수율이 낮은 문제를 근본적으로 갖고 있으며 큰 약점으로 작용한다. 반면 다른 용도로 활용될 수 있는 다양한 특징을 지니고 있으며 키틴과 키토산 소재로 활용할 수 있는 크릴의 껍질, 강력한 소화효소, 풍부한 지방산 등은 그 예이다.
- 수율이 낮은 반면 신속히 가공해야 하는 문제 때문에 크릴 어업의 효율은 종종 크릴 어획 능력보다 어획물 처리 능력에 의해 좌우된다. 어획한 크릴을 한 종류가 아닌 다수의 제품으로 생산하거나 혹은 소재를 제공할 수 있는 종합적인 선상 가공 처리 패키지의 개발은 크릴 어업의 수익성을 획기적으로 개선하는데 필요하다. 어

분 공장에 그대로 원재료를 제공하기보다 일차가공이 끝나 부피를 대폭 줄이고 바람직한 성분으로 압축한 소재를 제공하는 것이 예가 될 것이다. 또한 최종 제품의 생산 기술과 유통 기술도 연구대상이 될 수 있다.

3) 생태계 친화적 크릴 어로 방법의 개발

- 크릴이 남극해양생태계 먹이 그물에 차지하는 중심적 위치 때문에 크릴의 수확은 잠재적으로 생태계 균형을 깨뜨릴 수 있는 인간 활동으로 간주되고 있다. 우선 크릴을 먹이로 하는 대형포식자들과 조우를 최소화하는 어로 어법이 개발되어야 하고 어획 효율이 높고 상업적 가치가 낮은 비목표종이 (예, 젤라틴질 동물플랑크톤, 살파) 지나치게 많이 혼획되지 않도록 하는 조업 전략의 수립이 필요하다.

4) 산·학·연 공동 연구 체계와 정책·기업 간 협력 체계의 개발

- 크릴의 잠재력 활용을 위해서는 자원생물의 생태 파악을 근간으로 한 자원 관리 과학과 어선 선단 경영 효율 유지를 위한 단기·중장기 자원 예보 체제, 생태계 친화적 어로 기술, 다양한 제품의 가공 개발 기술, 그리고 복수 제품 생산과 어획물의 신속한 압축 처리를 장담할 수 있는 종합적 선상 가공 개발 패키지의 개발이 필요하다. 서로 다른 연구 분야를 연계할 수 있는, 업계의 예측 수요에 대응할 수 있는 연구 체계의 정립이 필요하다.

- 남극해 생물자원의 이용은 남극해가 갖는 보전적 가치나 남극해 수산자원관리가 저개발 공해역 자원관리에서 하는 시금석 역할과 떨어지기 어려울 것이며 국외 자원관리 정책 입안가, 과학연구자, 기업 간의 협력 체계의 구축이 필요할 것으로 판단된다.

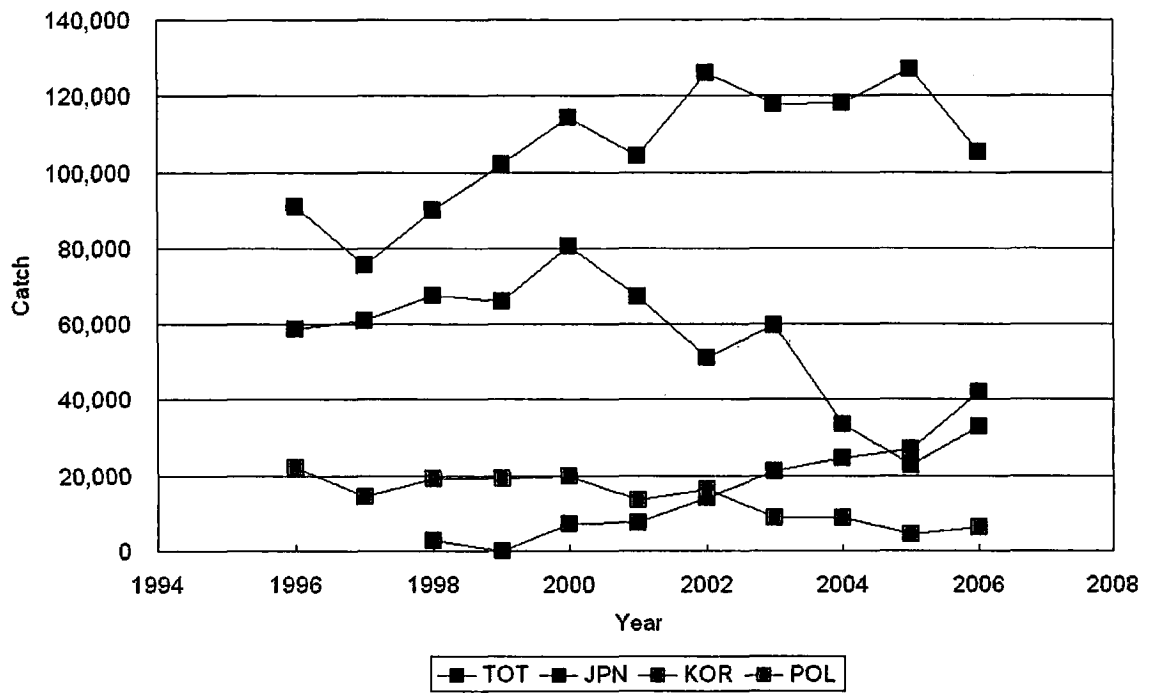


Fig. II 13-1. Krill catch statistics of 3 major krill fishing nations for the past 10 years

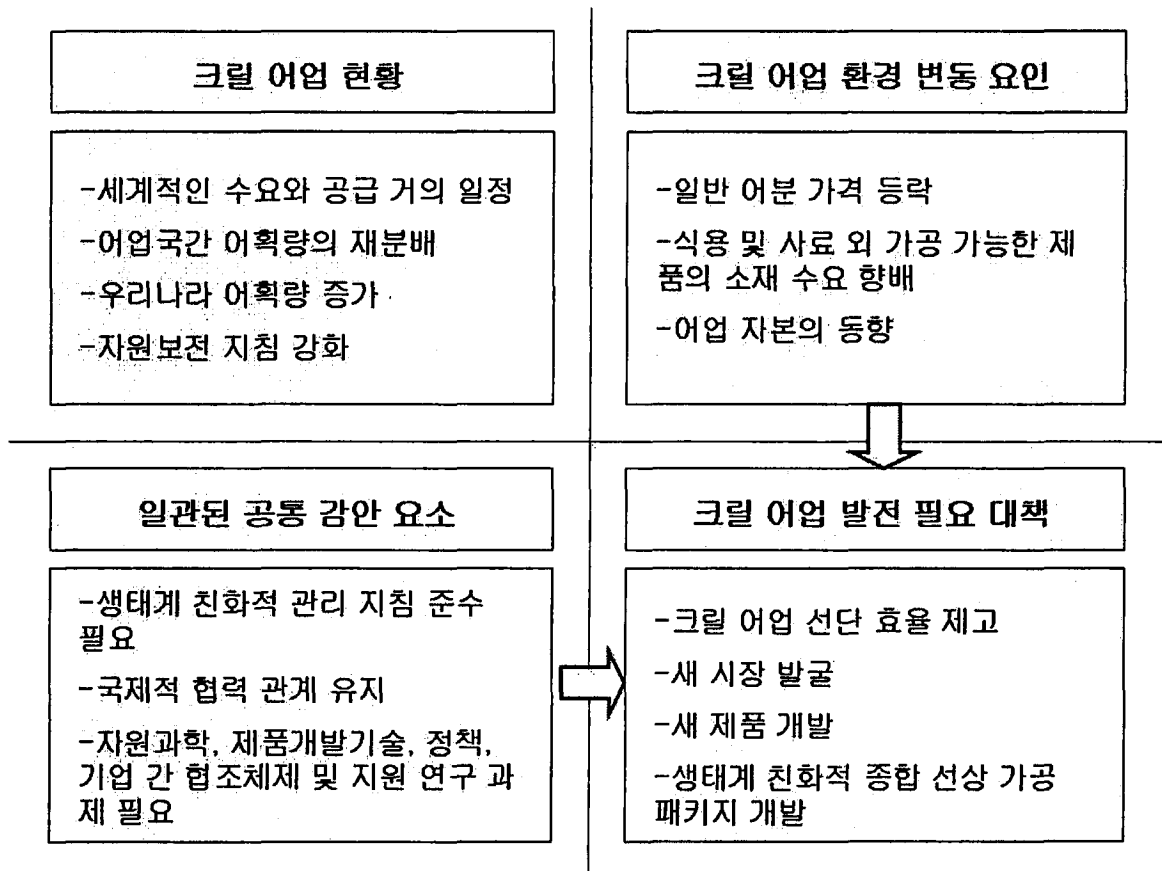


Fig. II 13-2. Current status of krill fishery, the factors affecting krill fishing industry, and the measures for orderly development of krill industry.

제 14 절 남극 크릴, *Euphausia superba*의 지방과 지방산 조성 분석

요약; King George 섬 인근해역에서 채집한 남극 크릴 *Euphausia superba*의 총지질 함량, 지질 성분, 지방산 조성을 조사하였다. 전체 지질 함량은 72 mg/g 건중량으로 다른 온대해역 종에 대해 조사된 바와 유사하였다. 중성 지질의 함량은 29%, 인지질의 함량은 71%였다. 중성지질의 대부분은 triacylglycerols로 중성지질의 31.6%를 차지하였고 phosphatidyl choline이 인지질의 44%를 차지해 가장 함량이 높은 성분이었다. 남극 크릴의 지방산 조성은 포화 지방산 16:0 (16.6% - 22.1%), 불포화지방산 20:5(ω -3) (20.6% - 22.1%), 22:6(ω -3) (14.9% - 16.9%)이 주요 구성 성분이었다.

1. 서론

크릴 (*Euphausiid superba*)은 절지동물 연갑아강 난바다 곤쟁이목 난바다곤쟁이과의 갑각류로서 남극새우라고도 불리우며 주로 식물성 플랑크톤을 걸러서 섭취하는 해양 동물이다. 이들은 지구상 전해역에 걸쳐 분포하고 있으나 주로 남극해에서 많이 발견되고 있으며 수염고래류, 어류, 오징어류, 바닷새류의 주요 먹이가 된다. 인류의 식량등으로의 이용도는 그리 높지 않으나 그 부존량은 10 - 30 억톤에 달하고 있어 (추정) 새로운 식량자원으로서의 개발가치가 크다. 현재까지의 연구는 주로 단백질 원으로서의 가치에 주안점을 두어왔으나 실제로 크릴의 주된 먹이가 소형플랑크톤이라는 점을 감안한다면 소형플랑크톤에 다량 함유되어 있는 것으로 보고되어있는 EPA (eicosapentaenoic acid)나 DHA (docosahexaenoic acid)등 고도불포화지방산의 원천으로서의 가치도 높다고 사료된다 (Omega-3 fatty acid in health and disease).

EPA나 DHA는 항암, 항혈전, 동맥경화 방지, 고혈압 방지, 노화방지 등의 다양한 생리활성을 보이는 불포화 지방산으로서 경구 섭취가 가능하고 식품 첨가물로서 사용이 용이하고 부작용이 없으므로 성인병의 예방 및 치료에 높은 가능성을 보이고 있다.

현재 문명사회 인류의 주된 사망 원인으로서는 전쟁, 사고, 질병, 노쇠 등을 들 수 있는데 이들 중 사망의 원인이 되는 질병은 고혈압, 동맥 경화, 뇌졸중, 심장 질환 등의 순환기 질병이 간질환, 암, AIDS, 전염병 등보다 훨씬 많은 요인이 되고 있다. 이러한 현상은 현대 의학의 발전에 따라 과거 주 사망 원인이었던 미생물 감염에 의한 질병의 예방 및 치료에 따른 평균 수명 연장으로 노령인구가 증가함으로써 노화된 생체 기관을 갖는 인구수의 증가에 따른 필연적 귀결이라 할수 있다.

이러한 관점에서 볼 때 Greenland Eskimo 에서 매우 낮은 빈도의 순환기 장애 발생을 주된 동물성 단백질 공급원으로서 주로 등푸른 생선을 섭취해 왔다는 사실과 결부시켜 등푸른 생선에 다량 포함되어 있는 n-3 계열 고도 불포화 지방산 (Polyunsaturated fatty acid, PUFA), 특히 EPA (Eicosapentaenoic acid)의 역할을 밝혀낸 Dyberg 등의 연구 결과는 주목할 만하다 (Bang et al.,1971; Bang and Dyberg, 1972; Dyberg and Bang, 1978; Dyberg et al.,1981). 즉, 추운 지방이므로 동물성 단백질 및 지방질이 다량 필요하나 이를 등푸른 생선으로부터 주로 섭취하

여 일반 육류를 주된 단백질 및 지방 공급원으로 이용해온 인근 유럽인에게서 순환기 장애가 주된 사망 원인임을 대비하여 과연 생선의 무엇이 순환기 장애를 감소시키는가 하는 흥미로운 문제를 제기 시켰다. 조사 결과 Eskimo의 경우 순환기 장애의 주된 원인으로 지목되고 있는 cholesterol과 중성 지방 triglyceride의 혈액내 함량에서 혈액 100 ml 당 각각 233 mg과 57 mg인 반면 인접한 덴마크인의 경우 각각 273 mg과 129 mg으로 나타났고 지방성분중 지방산의 불포화도를 나타내는 P/S ratio (Polyunsaturated fatty acid/Saturated fatty acid)가 Eskimo의 평균적인 식사에는 0.8인 반면 네덜란드인의 경우 25 %에 불과한 0.2로 나타났으며 이결과는 그들의 일상 식생활과 밀접한 관련이 있음이 밝혀졌다 (Table II 14 1).

연구 결과 Eskimo인들의 주된 지방 및 단백질원인 생선의 어유(魚油)에 많이 포함되어 있는 것으로 알려져 있는 고도 불포화 지방산중 Eicosapentaenoic acid (EPA) 나 Docosahexaenoic acid (DHA) 등 n-3 계열의 지방산들은 혈액 내 지질감소, 혈전 용해, 관상동맥, 심장질환의 억제, 암세포의 선택적 파괴, 류머치스성 관절염 치료등의 효능을 보이고 있는 것으로 보고되었다 (Table II 14 2). 이에 따라 어유로 부터 n-3 계열 고도 불포화 지방산들을 추출, 정제하여 의약 및 건강 식품으로 개발하려는 시도가 선진 각국에서 이루어져 왔다. 어유로부터 EPA 생산에는 정어리, 고등어, 청어 등의 등푸른 생선에 EPA 의 함량이 10 % 이상으로 비교적 높고 화학적 합성보다는 손쉽다는 장점, 또 어류가 전통적으로 많이 이용되어 온 식품이라는 점등에서 EPA 생산의 주된 원료로 사용되어 왔다.

2. 실험 방법

Chemicals

지방 분석에 사용된 n-Hexane, acetyl chloride, chloroform, methanol, ethanol, diethylether 등 유기 용매들은 Analytical grade로 Merck Co (Germany)에서 구입하였고 BHT (butyl hydroxy toluene), aliphatic 지방산 standards와 phosphatidyl choline, phosphatidyl ethanol amine, phosphatidyl serine 등의 인지질 표준 물질들은 Sigma Chemical Co (USA)에서 구입하였다. 기타 화합물들은 analytical grade로 사용하였다.

전체 지방 및 각 지방 성분 분석

살아있는 krill (*Euphausia superba*) 시료는 1997-1998 하기에 남극 세종기지 앞 Marina cove 건너 Weaver peninsula 일원에서 채집하였다 (Figure 1). 채집된 krill 시료는 기지로 옮겨 냉동 보관하였으며 dry-ice에 채워져 냉동 상태를 유지하여 연구소로 옮겨 분석하였다. 추출 및 분석은 약 20 g의 krill 시료를 동결 건조하여 건조 중량을 측정하고 이를 30 volume의 Folch solution (Chloroform:MeOH = 2:1, V/V)으로 3 회 추출하였다 (Folch et al., 1957). 여기서 비지방 성분을 제거하기 위하여 0.88 % KCl 용액으로 재추출한 후 이를 무수 Na₂SO₄으로 미량의 수분을 제거한 후 rotary evaporator를 이용한 감압 증류로 용매를 제거하여 추출된 총 지방의 양을 구하였다.

추출된 총 지방은 silica gel column chromatography를 이용하여 중성지방군과 인지질군으로 분리하였으며 이과정은 chloroform에 녹인 약 10 mg의 총지방을 silica gel column (0.6 X 8.0 cm)에 가한 후 이를 10 bed volume의 chloroform (flow rate : 2 ml/min)으로 용출하여 중성지방을 구하고 다시 10 bed volume의 methanol로 인지질 군을 용출하였다. 각 지방군은 rotary evaporator를 이용한 감압 증류로 용매를 제거하여 추출된 각 지방군의 양을 구하였다.

각 지방 군의 지방 성분 조성은 TLC-FID (Thin Layer Chromatography with Flame Ionization detector, Iatron Co., Japan)를 이용하여 분석하였다. 사용된 solvent system은 중성지방군의 경우 hexane:diethyl ether:formic acid (80:20:0.2, V/V)를 사용하였고 니지방 성분은 chloroform:MeOH:water:AcOH (65:30:5:1, V/V)을 사용하였다. 방법은 약 50 µg의 지방 군을 Chromarod-3 TLC rod (Iatron Co., Japan)에 1 µl 정도 점적하고 중성 지방 용 solvent로 1 차 전개한 후 TLC-FID로 10 % partial scan 방법으로 인지질이 남아있는 origin 부분을 제외하고 scanning하여 중성 지질을 정량하고 이어서 동일 Chromarod를 phospholipid solvent system에서 다시 전개하여 인지질을 분리하고 이를 full scan하여 인지질 성분을 분석하였다. 분석 결과는 각 peak의 R_f 값의 비교와 integrated area를 미리 첨가한 정량의 internal standard와 비교하여 결정하였다.

지방산 조성 분석

지방산의 조성 분석을 위하여 각 지방균을 밀폐된 용기에 넣고 5 % KOH 용액 (in ethanol)을 가한 후 80 °C에서 2 시간 동안 반응시켜 비누화를 완결하고 여기에 증류수 (5 ml)와 diethylether (5 ml)를 가하여 지방산을 추출하였다. 이를 1 N HCl로 pH 2로 조절한 후 다시 diethyl ether (3 X 5 ml)로 유리 지방산을 추출하였다. 추출된 지방산은 5 % methanolic HCl로 60 °C에서 1 시간 반응하여 지방산 메틸에스테르로 전환시킨 후 이를 n-hexane (3 X 5 ml)으로 추출하고 speed-vac concentrator (Vision Co., Korea)로 농축하여 분석하였다.

지방산의 조성은 Chromate data aquisition interface(Interface Co., Korea)를 장착한 Gas chromatography(Hewlett-packard, HP5890II)를 이용하여 수행되었으며 사용한 column은 Omegawax-320 capillary column (30 m X 0.32 mm)을 사용하였고 oven의 온도는 200 °C에서 수행하였다. Injector와 detector (Flame Ionization Detector)의 온도는 각각 250 °C와 260 °C로 설정하였다. 각 지방산의 동정은 표준 시료와의 비교와 equivalent chain length (ECL) 계산에 의하여 결정되었다 (Christie, 1989)

3. 분석 결과

지방 분석을 위하여 약 2 kg의 살아있는 krill (*E. superba*)를 1998 년 1 월 남극세종기지 Marian cove 건너편 Weaver 반도일원에서 채집하였다. 각 시료 생물의 길이는 약 3 - 4 cm (mean = 34 mm, SD = 0.4 mm, n = 10) 정도였고 무게는 약 1.8 - 2.5 gram (mean = 2.1 g, SD = 0.2 gram, n = 10)이었다. 보고된 자료에 따르면 성숙한 Krill은 길이가 약 5 - 6 cm까지 성장하므로 본 시료들은 미성숙 개체 들인 것으로 판명된다. 동결 건조 후의 건조 중량은 습 중량의 약 24 % 로 나타났으며 추출된 지방의 양은 건조 중량 1 gram 당 약 72 mg/g dry weight으로 나타났다. 총 지방 성분 중 약 29 %가 중성지방 균이었으며 나머지 71 %가 인지질인 것으로 밝혀졌다. 여기서 인지질 대비 중성 지질의비율은 해당 생물의 영양상태를 반증하는 지표이므로 본 시료들의 경우 그다지 좋은 영양상태에 있다고 여겨지지는 않는다. 이것은 본 시료다 채집된 시점이 남극해의 여름으로 phytoplankton의 번식

시기와 일치하여 다량의 먹이가 공급되는 시점이라는 점을 생각하면 다소 의외의 결과라 할 수 있다.

중성 지방 중에서는 triacylglycerol이 총 중성 지방 중 75 %로 가장 많은 성분을 차지하고 있으며 그 다음이 cholesterol (12 %)과 diacyl glycerol (8 %)로 나타났다. 중성 지방중 triacylglycerol은 여러 남극 지방의 동물성 plankton 등 일부 생물에서 주요 저장성 지방으로 알려진 wax esters와 함께 많은 육상과 해양 생물의 저장성 지방으로 잘 알려져 있다 (see the review by Clarke, 1983). Wax ester는 미량으로 존재하였으며 krill의 주 저장성 지질은 triacylglycerol인 것으로 보인다. 인지질 군에서는 phosphatidyl choline (PC; 44% of total phospholipid)과 phosphatidyl ethanolamine (PE; 21%)이 가장 많았고 이어서 phosphatidic acid (PA)와 diphosphoglyceride (DPG)가 각각 11 %와 12 %로 나타났다. 또 전체 인지질의 약 2 % 수준의 낮은 함량의 lysophosphatidyl choline이 발견되었는데 이러한 Lysophosphatidyl choline(LPC)이나 and lysophosphatidyl ethanolamine (LPE) 등의 lysophospholipids 들은 정상 세포에서의 함량은 대개 매우 낮은 수준이고 소량 함유되어 있는 것들은 항진균 효과나 세포의 사멸 후 lipase나 phospholipase 등의 지질 분해 효소 활성에 의하여 정상 인지질로부터 자연적으로 생성된 것들이라고 보여진다. 유리 지방산의 함유 역시 비슷한 맥락으로 형성된 것으로 이해될 수 있으나 이 역시 고유의 기능 수행을 위하여 세포에서 생산되었을 가능성도 배제할 수는 없다.

본 연구에서 생 krill 시료를 분석하기에 앞서 예비연구로서 칠레에서 시판되고 있는 krill powder를 대상으로 지방산의 조성 분석을 수행하였다 (Table II 14 1). 본 시료에서는 EPA와 DHA의 함량은 각각 전체 지방산의 16.1와 14.1%로 비교적 높게 나타나 이 krill powder가 ω -3 고도불포화지방산의 좋은 공급원이 될 수 있다고 보인다. 다른 지방산으로는 palmitic acid (19.6%)와 stearic acid (12.4%) 그리고 5.3 %의 18:1(n-7)와 5.4 %의 14:0 (myristic acid)가 발견된다. 단일 불포화 지방산의 함량은 (18:1 + 16:1)은 13.6 % 였으며 총 포화지방산의 함량은 37.8 %인데 비하여 ω -3 고도불포화지방산 는 33.7 %로 나타나 고도불포화지방산과 포화 지방산의 비율 (고도불포화지방산/포화지방산: P/S ratio)이 0.89로 높게 나타나고 있다, 그러나 동정 확인되지 않는 지방산의 14.68 %로 매우 높아 이들이 상온에서의 오랜 보관 기간 중에 산화된 지방산 불순물이거나 본 제품의 제조 과정에서

임의로 투여된 여타 화합물일 가능성이 있다. 고도불포화 지방산은 공기중의산화에 매우 민감하기 때문이다.

생 krill의 지방산 조성 분석은 중성 지방과 인지질의 각 지방 군에 따라 별도로 수행되었는데 양자간에 EPA나 DHA의 분포나 함량에서 그리 큰 차이를 보이지 않아 이들 지방산이 세포내에서 특별한 역할을 수행하는 것으로 보이지는 않는다. 중성지방에서 주로 발견되는 지방산은 EPA (22.1 %), palmitic acid (16.6 %) 그리고 DHA (14.9 %)의 순서였으며 인지질에서는 palmitic acid (22.1 %), EPA (20.6 %) 그리고 DHA (16.9 %)의 순서로 나타난다. 이는 EPA나 DHA 등 ω -3 계열 지방산의 분포가 세포막에서의 특별한 기능을 수행한다기 보다는 무작위로 분포하고 있음을 시사하고 있으며 체내 ω -3 고도불포화지방산의 원천이 이들 지방산이 풍부한 식물성 플랑크톤 등의 먹이에서 섭취되었음을 말해주고 있다. 생 크릴의 P/S ratio는 비교적 높아 중성 지방에서 약 1.92, 그리고 인지질 군에서 약 1.60의 값을 보이고 있는데 이는 단일 생물로서는 매우 높은 수준에 속한다. 이 krill과 같은 filter-feeding하는 생물들의 체내 지방산 조성은 서식 수역의 먹이 생물 (주로 식물성 플랑크톤이나 세균)의 조성에 크게 의존한다 (see the review by Sargent, 1976).

본 시료가 채집된 시점 (January of 1998)의 marian cove의 주 phytoplankton 은 nanoflagellates (>2 - <20 μ m)인 *Cryptomonas* spp. (Cryptophyceae) 인 것으로 알려져있으며 (60% of microalgal carbon biomass, Ahn et al., in press) 이들은 16:0, 18:3(ω -3) 그리고 20:5(ω -3)를 높은 농도로 함유하고 있다 (Sargent, 1976).

4. 고찰 및 향후 전망

현재 크릴은 실제로 본적이 없는 사람들도 그 이름만큼은 대개 잘 알고 있고 남극하면 떠오르는 몇 가지 단상중의 중요한 한 부분을 이루고 있다. 또 EPA나 DHA는 그 동안 국내 매스컴이나 기업체들의 지속적인 홍보로 거의 모르는 사람이 없을 정도로 잘 알려져 있으며 과자, 우유, 계란 등에도 DHA등의 소위 omega-3 지방산이 포함되어 있는 실정이다. 현재와 같이 환경 오염문제가 심각하게 때로는 과도하게 인식되고 있는 상황에서 남극이라고 하는 단어는 무공해의 청정함의 이미지로 다가온다. 따라서 남극산 크릴에서 분리된 omega-3 지방산은 충분히

주목받을 수 있는 개념이라고 사료된다. 그러나 이를 실제로 산업화하는데는 몇 가지 문제점이 제기될 수 있다.

1. 요즘도 크릴이 정말 수십억 톤의 부존량을 유지하고 있는가?
2. 산업화가 가능할 정도의 어획량을 지속적으로 유지할 수 있는가?
3. 기존의 어류와는 다른 크릴만의 포획 법이 구축되어있는가?
4. 원거리 운송에 드는 비용이 상품화를 막는 요인으로 작용하지 않는가?
5. 고등어나 정어리 등 값싸고 쉽게 접할 수 있는 어류에 비하여 실제로 함량이나 공정과정에서 어느 정도의 유리한 점을 가지고 있는가?

시장 물가에서 쉽게 추측할 수 있듯이 고등어나 정어리는 국내에서 가장 쉽게 접할 수 있는 어류중하나이다. 이들은 그 안에 다량의 지방성분을 축적하고 있으며 이로 인하여 쉽게 부패하고 그 특유의 냄새로 기피하는 사람들도 있다. 그러나 총 어획량이나 고도불포화 지방산의 함량에서는 크릴에 비하여 모자람이 없다고 여겨진다. 단지 그 지방산 조성에서 매우 복잡한 양상을 보이고 있으므로 고도불포화지방산만의 분리 정제는 쉽지 않은 상황이다. 현재로서는 약간의 농축과정과 탈취, 탈색과정을 거쳐 연질 캡슐로 제조하여 농축 어유의 개념으로 시판되고 있다.

크릴은 고단백, 고지방의 우수한 식품원으로서의 가능성과 고도불포화지방산의 높은 함량으로 건강 보조기능을 갖는 기능성 식품으로의 가치가 크다. Krill의 지방산 조성은 고등어 등 여러 가지 등푸른 생선의 지방산 조성 보다 비교적 단순하여 krill의 전체 지방산으로부터 EPA나 DHA의 분리 정제가 상대적으로 간편할 것으로 여겨진다. 또 blood viscosity 치료나 적혈구 deformability의 치료에 고순도 EPA가 어유에 비하여 훨씬 우수한 치료 효과를 보이고 있음이 밝혀졌고 (Singer et al., 1984; Terano et al., 1983) 1997 년에 미국 FDA로부터 EPA ethyl ester가 hypercholesteremia disease의 치료제로 공인됨에 따라 고순도 EPA 제제에 대한 수요가 급증하고 있다. 이러한 문제들이 해결된다면 향후 krill은 ω -3 고도불포화지방산의 중요한 공급원이 될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구의 결과 크릴의 이용 방법이 개발되고 이에 따라 현재 주로 수입하고 있는 고도불포화지방산의 수입 대체효과가 클 것으로 사료된다.

Lipids and fatty acids from Antarctic krill, *Euphausia superba*

Abstract: Total lipid content, lipid class and fatty acid composition of the Antarctic krill *Euphausia superba* collected from the water of King George Island, Antarctica during austral summer of 1997-1998, were investigated. The overall lipid content of *E. superba* was 72 mg/g dry mass similar to the reported values for most temperate species. Their neutral lipid of *E. superba* was 29% of the total lipid and that of phospholipid was 71%. The majority of neutral lipid was triacylglycerols (31.6% of neutral lipids) while phosphatidyl choline (44% of phospholipid) was the most abundant in phospholipids. The quantitative composition of the fatty acid in *E. superba* show consisting mostly of the saturated 16:0 (16.6% - 22.1%), along with the polyunsaturated 20:5(ω -3) (20.6% - 22.1%) and 22:6(ω -3) (14.9% - 16.9%) acids.

5. 참고 문헌

- Ahn, I.-Y., K. W. Cho, K. Choi, Y. Seo, and J. Shin (1999) Lipid content and composition of the Antarctic lamellibranch, *Laternula elliptica* in King George Island during an austral summer, *Polar Biology*, in press.
- Bang, H. O. and J. Dyerberg, (1972) Plasma lipids and lipoproteins in Greenlandic west coast Eskimos. *Acta Med. Scand.*, 192, 85-94.
- Bell, M. V. and D. R. Tocher, (1989) Molecular species composition of the major phospholipids in brain and retina from rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Biochem. J.* 224, 909-915
- Cho, K. W. and S. J. Mo, (1999) Screening and characterization of eicosapentaenoic acid-producing marine bacteria, *Biotech. Lett.*, 21, 215 - 218.
- Chohen, Z. (1986) in *Handbook of Microalgal Mass Culture* (ed. By Richmond, A.), pp421-454, CRC press, Boca Raton, Fl. USA.
- Christie, W.W. (1989) *Gas chromatography and lipids, A practical guide*, The Oily press. Ayr, Scotland.
- Clarke, A. (1983) Life in cold water: The physiological ecology of polar marine ectotherms. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 21, 341-453.
- DeLong E. F. and Yayanos, A. A. (1986) Biochemical function and ecological significance of novel bacterial lipids in deep-sea prokaryotes, *Appl. & Env. Microbiol.* 51. 730-737
- Dyeberg, J., H. O. Bang, E. Stoffersen,, S. Moncada, and J. R. Vane, (1978) Eicosapentaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis? *Lancet*, ii, 117-119.
- Dyeberg, J, and H. O. Bang, (1979) Lipid metabolism, atherogenesis, and

haemostasis in Eskimos : the role of the prostaglandin ω -3 family. *Haemostasis*, 8, 227-233.

Folch, J., M. Lees, and G. H. Stanley, (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 226, 497-499.

Kaneda, T., K. Arai, and S. Tokuda, (1964) Studies on the effects of Marine products on cholesterol metabolism in rats-II. The comparison of the effects of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 30, 419-423.

Kelly, F. J., (1991) The metabolic role of n-3 fatty acid: relationship of human disease. *Comp. Biochem. and Physiol.*, 98, 581-585

Nichols D. S., P. D. Nichols and T. A. McMeekin, (1993) Polyunsaturated fatty acids in Antarctic bacteria, *Antarctic Sciences*, 5, 149-160

Sanders, T. A. B., M. Vickers, and A. P. Haines, (1981) Effect on Blood Lipids and haemostasis of a supplement of cod-liver oil, rich in eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids, in healthy young men. *Clinic. Sci.*, 61, 317-324.

Sargent, J. R. 1976. The structure, metabolism and function of lipids in marine organisms. *Biochem. Biophys. Perspect. Mar. Biol.* 3, 149-212.

Schoene, N. W. and D. Fiore, (1982) Effect of a diet containing fish oil on blood pressure in spontaneously hypertensive rats. *Prog. Lipid Res.*, 20, 569-570.

Seto, A., H. H. L. Wang, and C. W. Hasseltine, (1984) Culture conditions affect eicosapentaenoic acid contents of *Chlorella minutissima*. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 61, 892-894.

Simopoulos, A. P., R. R. Kifer, and R. E. Martin. Health effects of polyunsaturated fatty acids in seafoods. Academic Press, INC., London.

Singer, P., M. Worth, S. Voigt, S. Zimontkowski, W. Godicke, and H. Heine, (1984) Clinical studies on lipid and blood pressure lowering effect of

eicosapentaenoic acid-rich diet. *Biomed. Biochim. Acta*, 43, s421-s425.

Terano, Y., A. Hirai, T. Hamazaki, S. Kobayashi, T. Fujita, Y. Tamura, and A. Kumagai, (1983) Effect of oral administration of highly purified eicosapentaenoic acid on platelet function, blood viscosity and red cell deformability in healthy human subjects. *Atherosclerosis*, 46, 321-331.

Von Rossonczy, T. O., A. Ruitter, H. . Bronsgeest-Schoute, C. M. Van Gent, and R. J. Hermus, (1978) The effect of a fish diet on serum lipids in healthy human subjects. *Amer. J. Clin. Nutr.*, 31, 1340-1346.

Yazawa, K., K. Araki, N. Okazaki, K. Watanabe, C. Ishikawa, A. Inoue, O. Numao, K. Kondo, (1988) Production of eicosapentaenoic acid by marine bacteria, *J. Biochem. (Japan)*, 103, 5-7.

Table II 14-1. Percentage of total fatty acids by types of dietary fat in Eskimo and Danish diets.

Type of fat	% total fatty acids	
	Eskimos	Danes
saturated	22.8	52.7
Monounsaturated	57.3	34.6
Polyunsaturated	19.2	12.7
P/S ratio	0.8	0.2

Table II 14-2. Reported pharmacological effects of EPA*

<p>Anti-coagulation of platelets (thrombolysis)</p> <p>Lowering of plasma triglyceride level</p> <p>Lowering of VLDL and LDL-cholesterol</p> <p>Increasing of HDL-cholesterol levels in Blood</p> <p>Lowering of blood viscosity</p> <p>Lowering of blood pressure</p> <p>Anti-inflammation</p> <p>Anti-tumorigenesis</p> <p>Essential nutrient for marine animals</p>
--

*; Kinsella et al., 1987

Lands et al., 1986.

Table II 14-3. The fatty acid composition of Antarctic krill (*Euphausia superba*) collected during austral summer 1997-1998.

Major fatty acids	Content of fatty acid (%)		
	total Krill powder	Neutral lipid	Phospholipid
14:0 (Myristic acid)	5.44	6.85	5.32
16:0 (Palmitic acid)	19.95	16.59	22.12
16:1 (n-7, Palmitoleic acid)	4.51	3.35	3.12
18:0 (Stearic acid)	12.37	1.34	1.03
18:1 (n-9, Oleic acid)	4.07	8.28	5.44
18:1 (n-7)	5.25	5.83	5.54
18:2 (n-6, Linoleic acid)	1.69	2.06	1.99
18:3 (n-3, Linolenic acid)	0.71	3.48	2.89
18:4 (n-3, ODTA)	1.10	7.01	5.19
20:5 (n-3, EPA)	16.14	22.14	20.59
22:6 (n-3, DHA)	14.09	14.86	16.86
other fatty acids	14.68	8.21	9.91
Saturated fatty acid	37.76	24.78	28.47
Polyunsaturated fatty acid	33.73	47.49	45.53
P/S ratio	0.89	1.92	1.60
	85.32	91.79	90.09

Marian Cove

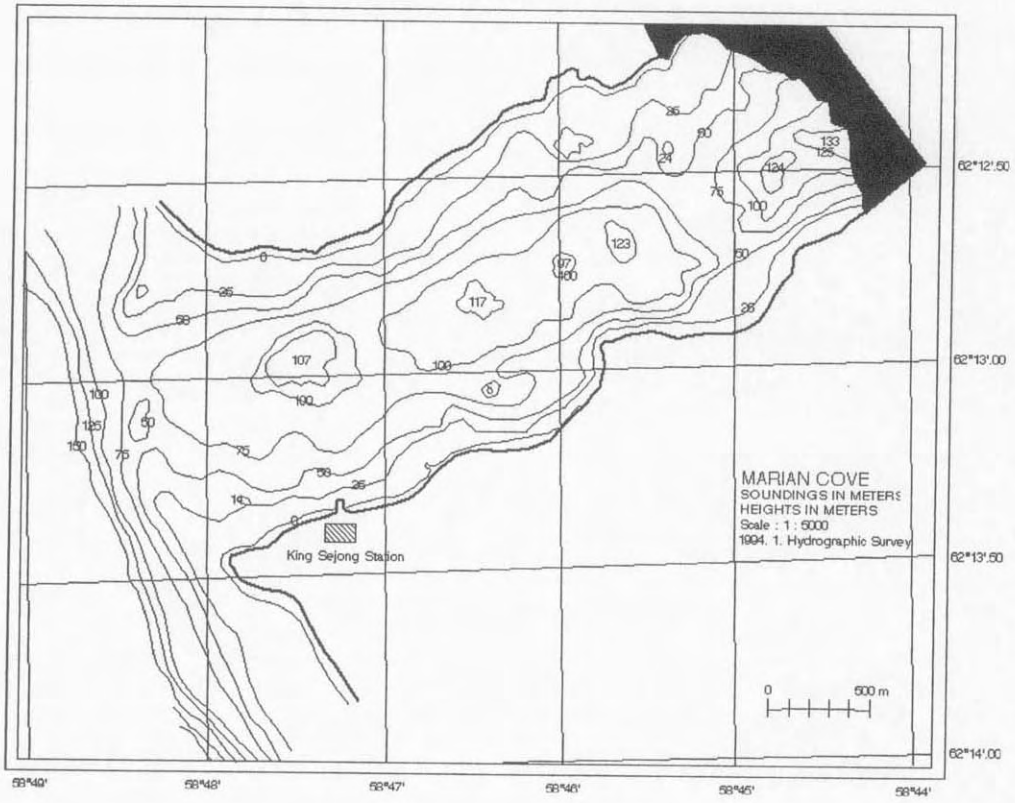


Fig. II 14-1. Sampling site of krill. Collection sites were marked with arrows.

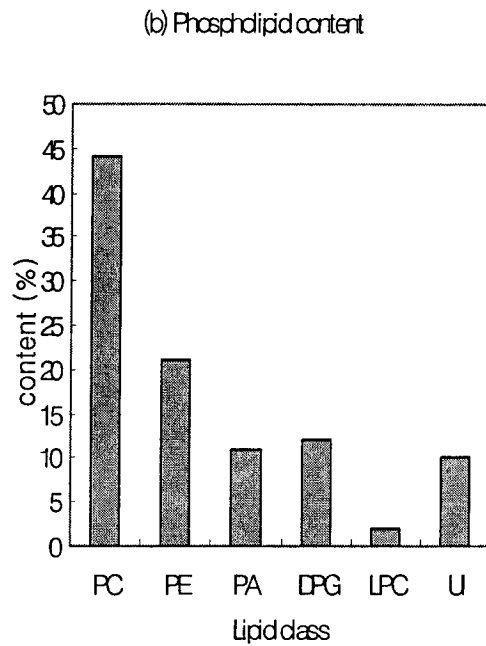
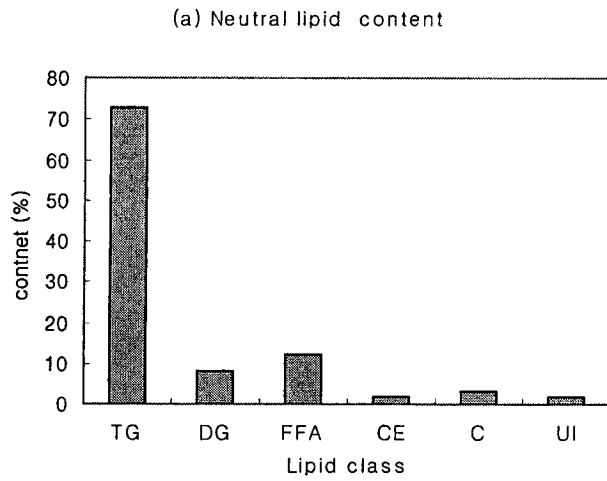


Figure II 14-2. Composition of (a) neutral lipid and (b) phospholipid of krill
 TG : Triacyl glycerol, DG : diacyl glycerol, C: cholesterol, CE
 cholesterol ester, FFA: free fatty acid, PC: Phosphatidyl choline, PE
 Phosphatidyl ethanol amine, PA: Phosphatidic acid, DPG
 Diphosphoglyceride, LPC : lysophosphatidyl choline, UI: Unidentified.

제 15 절 남극 대구 (*Notothenia coriiceps*)의

유용유전자 분석 및 확보

요약 : *Notothenia coriiceps*는 온도가 때로 빙점 이하로 내려가는 남극해의 차가운 바다 속에 서식하면서 그 환경에 적응하였다. 따라서, 이 어류는 저온 적응의 진화과정을 통해 독특한 기능을 갖는 유전자를 발달시켰을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 이 어류가 갖고 있는 유전자들 중 생명공학적으로 활용 가능한 유전자를 탐색하기 위해 간에서 발현되는 유전자의 데이터베이스를 구축하였으며 각 유전자의 기능을 유전자 데이터베이스 검색을 통해 유추하였다. *Notothenia coriiceps*의 간에서 추출된 전체 RNA로부터 cDNA가 합성되고 라이브러리가 만들어졌다. cDNA를 포함하는 클론들에서 1111개의 발현유전자 시퀀스 (Express Sequence Tags; ESTs)가 확인되었다. 얻어진 시퀀스는 유전자 데이터베이스(GenBank) 검색 결과, 기능이 밝혀진 유전자의 상동유전자 23.5%, 미토콘드리아 유전자와 리보솜 유전자 8.0%, 미지의 새로운 유전자 68.5%로 구성되었다. 기능을 유추할 수 있는 상동유전자 중에서 생명공학적 활용이 가능한 것으로서 혈액생성 줄기세포 유전자, 페리틴 유전자, 인테페론 유도단백질 유전자, 인터류킨 유전자, 결빙방지단백질 유전자 등을 들 수 있다. 이러한 유전자는 단백질 발현벡터를 이용하면 물질의 대량생산이 가능할 것이며 의약 소재로서 활용될 수 있을 것이다.

1. 서론

남극해와 북극해에 서식하는 어류들은 -1.7°C 나 -1.8°C 에 이르는 해수에서도 얼지 않고 신진대사를 유지하며 활동을 계속하고 있다. 보통 어류의 체액은 어는 온도가 -0.7°C 라고 알려져 있어 남/북극해 어류가 체액의 어는 온도보다 낮은 해수에서 살 수 있다는 것은 과학자들의 호기심을 불러일으키기에 충분하였다. Dr. Scholander 등은 북극해 근처에 서식하는 어류의 혈액을 조사해 보고 그 속에 어는 온도를 내려주는 물질이 함유된 것을 밝히고 그 물질을 결빙방지 물질(Antifreeze molecule)이라고 불렀다. 이후 결빙 방지 물질에 대한 많은 연구가 이루어지다가 1971년 마침내 미국의 Dr. DeVries가 남극대구류(Notothenioids)에서 이 물질의 구조를 밝히게 되었다.

결빙방지 물질은 간 조직에서 만들어지는 것으로 알려져 있다. 결빙방지 물질은 지금까지 4 종류(type I, II, III, IV)가 알려져 있다. 남극 대구의 일종으로 알려진 *Notothenia coriiceps*에서는 지금까지 한 종류의 결빙방지 물질이 알려져 있으며 이에 대한 유전자도 1종류가 알려져 있다. 본 연구는 이 어류가 갖고 있는 결빙방지 물질 유전자를 독자적으로 확보할 목적에서 시도되었다. 또한, 알려진 유전자 이외에 다른 종류의 결빙방지 물질 유전자도 가능하면 확보하려고 시도하였다. 그동안, 알려진 유전자의 염기서열에 근거하여 중합효소연쇄반응(PCR)으로써 유전자를 확보하려고 시도해 왔다. 그러나, 이 유전자의 대부분이 반복구조로 이루어져 있어 중합효소연쇄반응으로 결과물을 얻는데 실패하였다. 올해의 연구에서는 간 조직에서 발현되는 유전자 전체를 분석하는 방법을 채택하여, 간 조직의 cDNA 라이브러리를 만들고 cDNA의 염기배열을 대량으로 분석하여 발현유전자 데이터베이스(expressed sequence tags, ESTs)를 확립하였다.

유전체의 대량 분석이 용이하게 된 현재의 생명공학산업에서 특정 조직에서 발현되는 유전자 전체를 분석하는 방법인 ESTs 분석법이 널리 쓰인다. 이 방법은 유전자 염기서열 결정 기술이 발달하면서 가능해진 방법으로 mRNA를 구성하는 모든 분자를 cDNA로 만든 후 그 염기서열을 대량으로 분석하는 방법이다. 본 연구에서는 남극 대구의 간 조직에서 전체 RNA를 추출하고 이로부터 직접 cDNA 라이브러리를 만들었다. cDNA라이브러리의 각 클론에서 DNA를 얻고 이를 5'쪽에서 시퀀싱하여 염기서열을 결정하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시료 채집

Notothenia coriiceps 시료는 남극 세종기지 서쪽 도보로 약 30분 거리에 위치한 펭귄 군서지 앞 바다의 돌섬 주변에서 낚시로 채집하였다. 채집한 후 살아있는 남극 대구를 실험실로 가져와 복부를 절개하고 즉시 간을 분리하여 알코올에 고정 한 후 -70°C Deep freezer에 바로 보관하였다. 간 조직의 일부를 전체 RNA 추출에 사용하였다. 본 연구에서 cDNA 라이브러리 제작에 사용한 시료는 9월에 채집한 시료이다.

나. 남극 대구로부터 전체 RNA 추출

전체 RNA의 추출을 위해 Trizol (Invitrogen)을 사용하였다. 간 조직 약 700-800 mg을 떼내어 Trizol 10ml에 넣고 분쇄 막대로 완전히 분쇄한다. Sample-Trizol 혼합액 10ml을 10개의 1.5 ml 튜브에 1ml씩 분주하고 chloroform을 각 튜브에 200 μ l를 넣은 후 잘 섞는다. RNA를 DNA나 단백질과 분리하기 위해 이 용액을 마이크로원심분리기로 4°C, 12,000g 상태에서 15분 동안 원심분리한다. 원심분리된 튜브에서 상층액만을 다른 1.5ml 튜브로 옮기고 위의 chloroform 추출 과정을 반복한다. 상등액을 새로운 튜브로 옮기고, RNA를 침전시키기 위해 isopropanol 500 μ l를 넣고 완전히 섞어준 후, 4°C에서 10분간 12,000g로 원심분리한다. 튜브 바닥에 모인 RNA pellet을 세척하기 위하여 DEPC (Diethylpyrocarbonate)로 처리한 물로 희석한 70% 에탄올을 1ml 넣고 4°C, 12,000g로 다시 10분간 원심분리한다. 에탄올을 따라버리고 장기간 보존하기 위해 다시 70% 에탄올 1ml을 튜브에 넣고 RNA 침전물을 -70°C에 보관한다.

다. 남극 대구의 전체 RNA 확인

남극 세종기지에서 추출한 남극 대구의 RNA를 dry ice를 이용하여 냉동된 상태로 한국해양연구원으로 운반하였다. 매일 채집된 남극 대구에서 얻은 전체 RNA 중 남극의 겨울철(6월-9월)에 채집된 개체의 RNA를 선택하여 흡광도를 측정하고 RNA의 농도를 산정하였다. 또, 전기영동 방법으로 RNA의 상태를 분석하였

다. 전체 RNA는 다소 분해되기는 하였으나 cDNA를 합성하는데 커다란 문제는 없을 것으로 생각되었다.

라. cDNA 라이브러리 제작

전체 RNA에서 cDNA library를 제작하기 위해 Clontech의 Creator SMART cDNA Library Construction Kit를 이용하였다. 실험 과정은 Fig. II 15-1의 각 단계를 순차적으로 실시하였다. 첫번째 cDNA 가닥을 합성하기 위해 전체 RNA 약 500 ng, SMART IV Oligonucleotide 1 ul, CDS III/3' PCR primer 1 ul을 1.5ml 튜브에 넣고 RNAase-free 물로써 전체용액을 5 ul이 되도록한다. 이 용액을 72°C에서 2분간 데운 후 얼음에 넣어 2분간 식힌다. 이 후 용액을 간단히 원심분리하여 내용물이 튜브 바닥에 모이게 한다(spin down). 여기에 5X First-Strand Buffer 2.0 ul, DTT (20 mM) 1.0 ul, dNTP Mix (10 mM) 1.0 ul와 PowerScript Reverse Transcriptase 1.0 ul을 첨가하고 거품이 일어나지 않게 잘 섞은 후, spin down하고 42°C에서 1시간 동안 반응시킨다. 한 시간 후, 이 용액을 바로 얼음에 넣어 첫 번째 cDNA 가닥의 합성을 끝낸다 (Fig. II 15-2, A).

두 번째 가닥 cDNA를 합성하기 위해 Long-Distance (LD) PCR을 실시하였다. 위에서 합성한 첫째 가닥 cDNA 2 ul, 물 80 ul, 10X Advantage 2 PCR Buffer 10 ul, 50X dNTP Mix 2 ul, 5' PCR Primer 2 ul, CDS III/3' PCR Primer 2 ul와 50X Advantage 2 Polymerase Mix 2 ul를 PCR 튜브에 넣고 잘 섞은 후, spin down시킨다. PCR 조건은 95°C에서 1분 동안 데운 후, 95°C 15초, 68°C 6분을 24회 반복하는 것으로 설정한다. PCR이 끝나면, 반응용액 5ul를 1.1% agarose/EtBr gel에 전기영동시켜 반응이 제대로 되었는지 확인한다 (Fig. II 15-2, B).

두 가닥의 ds-cDNA가 잘 합성되었으면 반응용액 50ul를 새 튜브에 옮기고 proteinase K (20ug/ul) 2ul를 넣어준 후, 45°C에서 20분간 반응시킨다. 이 후 물 50ul를 튜브에 더 넣어 주고 phenol:chloroform:isoamyl alcohol 100ul를 첨가하고 잘 섞어준다. 이 용액을 마이크로원심분리기에서 14000 rpm으로 5분간 원심분리 한 후, 상층액만을 새 튜브에 옮긴다. DNA를 침전시키기 위해 이 용액에 3M Sodium Acetate 10ul, Glycogen (20ug/ul) 1.3 ul, 상온의 95% 에탄올 260ul를 첨가한다. 이 혼합액을 바로 실온에서 14000 rpm으로 20분간 원심분리한다. 원심분리가 끝나면 침전물이 떨어지지 않도록 조심하면서 상층액을 버린다. 80% 에탄올로 침전물을 씻어내고 잘 말린 다음 물 79 ul

에 녹인다. 여기에 10X Sfi Buffer 10ul, Sfi I Enzyme 10ul, 100X BSA 1ul를 넣어 주고 잘 섞은 다음 50°C에서 2시간 반응시킨다. 이로서 cDNA의 양쪽 끝에 Sfi I adapter가 만들어진다.

다음 단계로 합성된 cDNA 중 크기가 큰 DNA만을 선택하기 위해 size fractionation을 실시한다. 먼저 위에서 처리한 cDNA에 1% xylene cyanol dye 2ul를 넣고 잘 섞는다. 다음으로 1.5 ml 튜브 16개에 표지를 하고 CHROMA SPIN-400 column을 준비한다. Gel matrix가 완전히 풀리도록 column을 여러 번 뒤집은 후 기포가 생기지 않도록 유의하면서 1000 ul pipet으로 gel matrix를 섞는다. 만일 기포가 생기면 pipet을 이용하여 제거한다. 이 후 column의 cap을 열어 자연적으로 buffer를 떨어드리고, 3분 후 방울이 더 이상 떨어지지 않으면 cap을 닫고 ring stand에 column을 고정시킨다. 다시 cap을 열어 중력에 의해 자연적으로 storage buffer가 방울져 떨어지게 한다. Column matrix의 gel band가 보이면 멈춘다. 만일 gel band가 1.0ml mark 아래에 보이면 다른 column의 matrix로 더 채운다. 떨어지는 방울의 속도는 대략 1drop/100sec가 좋고, 1drop은 약 40 ul정도이다. 만일 drop이 너무 느리면, matrix를 다시 섞어준다. Column의 storage buffer가 다 떨어지면 column buffer 700ul를 위에서 넣어주고 drop시킨다. Buffer가 다 떨어졌으면 준비한 시료, Sfi I-digested cDNA와 xylene cyanol dye 혼합액 100ul를 조심스럽게 column의 matrix 중심에 넣어 준다. 혼합액이 matrix의 표면에 완전히 흡수되었을 때 column buffer 100ul를 다시 matrix위에 조심해서 넣는다. Column의 matrix band의 위에 buffer가 없을 때까지 drop시킨 후, 위에서 준비한 1.5ml 튜브를 column 밑에 놓아두고 column buffer 600 ul를 넣는다. 이때부터 각 튜브당 1drop(약 35ul 정도)씩 모으면서 16번째까지 drop시키고 column에 cap을 씌운다. 각 fraction의 3ul를 1.1% agarose/EtBr gel에 전기영동하여 확인한다. Gel에서 DNA를 확인하여 같은 크기의 fraction들(보통 3-4개)을 함께 모은다. 여기에 sodium acetate (3M; pH 4.8) 1/10 volume (약 10ul), glycogen (20mg/ml) 1.3ul, 상온의 95% 에탄올 2.5 volume (약 250ul)를 넣고 잘 섞은 다음, dry-ice/ethanol bath에 1시간 정도 보관한다 (-20°C에서 밤새 보관하면 회수율이 더 좋음). 1시간 후, 실온에서 14000 rpm으로 20분간 원심분리하여 DNA를 침전시킨다. 조심해서 에탄올을 제거하고, 공기 중에서 말린다. 여기에 물 7ul를 넣어 침전물을 녹인다.

이 DNA를 플라스미드 벡터 pDNR-LIB에 연결시킨다. cDNA 1.0ul, pDNR -LIB

(0.1ug) 1.0ul, 10X Ligation Buffer 0.5ul, ATP (10mM) 0.5ul, T4 DNA Ligase 0.5ul, 물 1.5ul를 한 튜브에 넣고 16°C에서 밤새 반응시킨다. 반응용액에 물 95ul와 glycogen 1.5ul를 첨가하여 잘 섞고 95% 에탄올 280 ul을 추가한 후, dry-ice/ethanol bath에서 1시간 동안 보관한다. 한 시간 후 15000 rpm으로 실온에서 20분 동안 원심분리하여 DNA를 침전시키고 에탄올을 조심스럽게 제거한 후 상온에서 침전물을 말린다. 침전된 DNA를 물 5ul에 녹이고 E. coli에 전이시킨다. 영하 70도에서 보관 중이던 electrocompetent cells을 얼음에 넣고 녹인 후 ligation한 DNA와 positive control (100 ng plasmid DNA; pUC19, pBR322), negative control (no DNA)에 각각 25 ul씩 옮긴다. DNA와 cell의 혼합액을 차게 한 0.1-cm cuvette으로 옮기고, electroporator를 이용하여 transformation시킨다. 전이된 세포를 1ml LB 액체 배지가 있는 polypropylene tube로 옮기고 37°C에서 225 rpm으로 진탕시키면서 1시간 동안 배양한다. 배양 후, 전이 혼합액 1ul를 LB 액체 배지 50ul에 섞고, 남은 것은 4°C에 보관한다. LB 50ul는 chloramphenicol (30 ug/ml)이 들어 있는 90-mm LB agar plate에 도포하고, 37°C에서 밤새 배양한다. 배지에 나타난 colony를 배양하여 plasmid DNA를 얻고 이를 시퀀싱하여 ESTs 유전자 데이터베이스를 구축한다. 시퀀싱 PCR에서 5'쪽 프라이머를 이용함으로써 가능한 ORF가 포함될 수 있도록 한다 (Fig. II 15-2. C).

마. 유전자 데이터베이스 검색과 기능 분석

유전자의 염기배열순서가 결정되면 이를 유전자 데이터베이스(GenBank)에 들어 있는 유전자들과 비교하여 상동유전자의 존재 유무를 검색한다. 우연에 의한 상동의 가능성 P 가 10^{-12} 보다 작으면 상동유전자가 확실하다고 할 수 있으며, 10^{-12} 보다 크고 10^{-6} 보다 작으면 상동일 가능성이 있으며, 10^{-6} 보다 크면 상동일 가능성이 거의 없다고 할 수 있다. 유전자 데이터베이스에 존재하는 상동유전자의 기능으로부터 본 연구에서 얻은 ESTs의 기능을 유추할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 남극 대구인 *Notothernia corriceps*의 간 조직에서 발견되는 유전자의 cDNA 라이브러리가 만들어졌다. 간 조직은 남극 생물에 독특한 결빙방지 단백질을 만들어 분비하는 기관이며, 여러 가지 효소나 대사물질을 만드는 기관이

기도 하다. 따라서, 간 조직에서 발현되는 유전자를 분석하면 남극생물에 독특한 유용유전자를 밝힐 수 있을 것이다.

발현유전자 분석은 만들어진 간 조직의 cDNA 라이브러리에서 모두 1111개의 클론을 무작위로 선정하여 이루어졌다. 이 클론들은 발현유전자의 단편을 대체로 500bp- 1000bp의 길이로서 포함하고 있었다. Fig. II 9-2는 얻어진 유전자 일부의 시퀀스를 예로 보여준다. 분석된 1111개의 유전자를 유전자 데이터베이스 GenBank에 검색한 결과 261개(23.5%)는 기능이 이미 알려진 유전자의 상동유전자이었으며, 89개(8%)는 미토콘드리아나 리보솜을 구성하는 단백질의 유전자이고, 761개(68.5%)는 기능이 알려지지 않은 미지의 유전자인 것으로 나타났다 (Table II 15-1).

상동유전자가 알려진 클론들을 정리하면 Table II 15-2와 같다. 본 연구에서 얻은 발현유전자들을 상동유전자를 통해 그 기능을 유추할 때, 다수의 클론들이 유용한 기능이 있을 것으로 예상되었다. 결빙방지 단백질 유전자를 비롯하여 혈액 생성 줄기세포 유전자, 페리틴 유전자, 인테페론 유도단백질 유전자, 인터류킨 유전자 등이 얻어졌으며 스트레스 관련 유전자, 다양한 효소유전자들이 밝혀졌다. 이러한 유전자들은 생명공학적인 방법을 활용하면 산업적 가치가 높을 것으로 생각된다. 단백질 발현벡터를 이용하면 각 유전자가 만드는 물질을 인공적으로 대량 생산할 수 있을 것이며, 이 물질들은 새로운 의약품 소재로서 쓰일 수 있을 것이다.

앞으로 남극 생물의 유용유전자를 얻는 방법은 발현유전자의 대량 분석과 유전자 데이터베이스를 활용한 각 분석유전자의 기능 유추가 바람직한 방법일 것으로 생각된다. 유용유전자가 확보되면 산/학/연의 공동 연구를 통해 물질의 대량생산과 산업적 활용을 모색해야 할 것이다.

Identification of useful genes from the Antarctic fish, *Notothenia corriceps*

Abstract : The Antarctic fish lives in the cold environment in which it is sometimes below the freezing point. Genes of the fish could have unique function in order for the fish to adapt to the harsh environment. In order to identify any biotechnologically useful genes of the fish, a database of the expressed sequence tags (ESTs) was established and their functions were inferred. From the total RNA of the Antarctic fish's liver, cDNA was synthesized and 1111 clones of the cDNA library were sequenced. The sequences consist of 23.5% of the homologues of the functionally known genes, 8.0% of mitochondria and ribosome genes, and 68.5% of unknown genes. A few examples of the functionally known genes which have potential for commercial use include a stem-cell gene for blood production, Ferritin gene, interferon gamma-inducible protein gene, interleukin 10 homologue, and antifreeze polypeptide precursor gene. These genes of the fish could be utilized biotechnologically by production of proteins which would then be used as new materials in medicine.

4. 참고문헌

- Chi-Hing C. C., Liangbiao C. 1999. Evolution of an antifreeze glycoprotein. *Nature* 401: 443-444.
- Davies, P. L., Hew, C. L. 1990. Biochemistry of fish antifreeze proteins. *FASEB J.* 4: 2460-2468.
- DeVries, A. L. 1998. The role of antifreeze glycopeptides and peptides in the freezing avoidance of Antarctic fishes. *Comp Biochem Physiol* 90: 611-621.
- Ku-chuan Hsiao, Chi-Hing C. Cheng, Indira E. Fernandes, H. William Detrich, and Arthur L. Devries. 1990. An antifreeze glycopeptide gene from the Antarctic cod *Notothenia coriiceps neglecta* encodes a polyprotein of high peptide copy number. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 87: 9265-9269.
- K. V. Ewart, Q. Lin and C. L. Hew. 1999. Structure, function and evolution of antifreeze protein. *CMLS, Cell. Mol. Life Sci.* 55: 271-283.
- Scott, G. K., G. L. Fletcher, and P. L. Davies. 1986. Fish antifreeze proteins : recent gene evolution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1028-1034.
- Vivienne, Baillie Gerritsen. 2000. Antifreeze existed before the penny-farthing. *Protein Spotlight* 5: 1-2.

Table II 15-1. Composition of EST sequences in terms of their function

category	No. of sequences	%
known protein coding genes	261	23.5
mitochondrial genes	5	0.5
ribosomal genes	84	7.5
unknown genes	761	68.5
Total	1111	100

Table II 15-2. List of homologous genes identified by GenBank search with the ESTs

Name	Length	Start	End	AC	Gene	Length	Start	End	EValue
NAM_01-A04-F.ab1	669	505	645	P56513|PLM_CANFA	Phospholemman precursor (FXYD domain-containing ion transport	92	16	61	2.00E-04
NAM_01-A05-F.ab1	234	35	124	P42026|NUKM_BOVIN	NADH-ubiquinone oxidoreductase 20 kDa subunit, mitochondrial	216	187	216	2.00E-08
NAM_01-B03-F.ab1	473	12	338	AAK95148.1	ribosomal protein L22 [Ictalurus punctatus]	128	11	119	4.00E-42
NAM_01-B04-F.ab1	424	39	320	AAK95163.1	ribosomal protein L36 [Ictalurus punctatus]	105	1	94	1.00E-45
NAM_01-B06-F.ab1	480	253	363	AAAD25980.1	PTH-responsive osteosarcoma D1 protein [Homo sapiens]	273	1	37	2.00E-04
NAM_01-C01-F.ab1	479	33	401	AAQ63320.1	60S ribosomal protein L35 [Hippocampus comes]	123	1	123	1.00E-45
NAM_01-C05-F.ab1	710	4	138	CAA56124.1	tyrosine phosphatase [Homo sapiens]	1267	1213	1257	6.00E-14
NAM_01-C06-F.ab1	138	5	64	CAC36098.1	putative ribosomal protein L14 [Takifugu rubripes]	137	118	137	0.002
NAM_01-C07-F.ab1	684	5	145	AAH44373.1	Similar to protein tyrosine phosphatase, non-receptor type 2 [Danio	393	344	391	0.004
NAM_01-C08-F.ab1	377	5	286	AAQ94564.1	ribosomal protein S3 [Danio rerio]	245	152	245	5.00E-48
NAM_01-C10-F.ab1	558	5	490	AAK70070.1	ATPase subunit 6 [Rhamdia quelen]	227	65	226	7.00E-47
NAM_01-C12-F.ab1	152	5	76	AAQ63320.1	60S ribosomal protein L35 [Hippocampus comes]	123	100	123	3.00E-05
NAM_01-D01-F.ab1	203	14	202	Q14247|SRC8_HUMAN	Src substrate cortactin (Amplixin) (Oncogene EMS1)	550	471	531	7.00E-13
NAM_01-D05-F.ab1	668	63	665	NP_956083.1	proteasome (prosome, macropain) 26S subunit, non-ATPase, 7 (Mov34)	327	45	245	1.00E-107
NAM_01-D06-F.ab1	565	17	445	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	6.00E-77
NAM_01-D07-F.ab1	695	73	411	XP_087761.1	similar to protein related with psoriasis [Homo sapiens]	177	45	163	1.00E-17
NAM_01-E01-F.ab1	242	3	242	AAH46741.1	Atp5b-prov protein [Xenopus laevis]	525	196	275	2.00E-37
NAM_01-E03-F.ab1	191	6	122	AAK95159.1	ribosomal protein L32 [Ictalurus punctatus]	135	97	135	4.00E-13
NAM_01-E11-F.ab1	589	22	432	AAF29139.1	HSPC176 [Homo sapiens]	139	1	137	3.00E-64
NAM_01-F03-F.ab1	486	5	364	I51012	hemoglobin beta chain - black rockcod	147	28	147	3.00E-64
NAM_01-F04-F.ab1	551	210	551	P49947|FRI M_SALSA	Ferritin, middle subunit (Ferritin M)	176	1	114	3.00E-54
NAM_01-F06-F.ab1	462	4	459	NP_058017.1	stress-induced phosphoprotein 1; stress-inducible protein; IEF SSP	543	393	543	1.00E-68
NAM_01-F08-F.ab1	410	6	410	O42249|GB LP_ORENI	Guanine nucleotide-binding protein beta subunit-like protein	317	151	285	6.00E-76
NAM_01-F09-F.ab1	624	73	501	S32659	integrin beta 2 chain (CD18) - chicken	772	564	703	4.00E-38
NAM_01-G03-F.ab1	340	5	220	NP_659802.1	hypothetical protein DKFZp727G131 [Homo sapiens]	573	494	573	2.00E-10
NAM_01-H01-F.ab1	341	34	273	A24864	ubiquinol-cytochrome-c reductase (EC 1.10.2.2) 9.5K protein -	81	1	80	1.00E-23
NAM_01-H03-F.ab1	519	31	459	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	5.00E-77
NAM_01-H05-F.ab1	577	31	459	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	7.00E-76
NAM_01-H08-F.ab1	755	24	521	AAF62400.1	EVH1 domain binding protein [Homo sapiens]	829	427	577	3.00E-25
NAM_01-H09-F.ab1	539	30	458	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	6.00E-77
NAM_02-A0	188	61	5	AAD19348.1	reverse transcriptase-like protein	1027	241	259	0.019

2-F.ab1					[Takifugu rubripes]				
NAM_02-A03-F.ab1	427	135	4	CAD61871.1	putative antennapedia protein 2 [Calanus helgolandicus]	234	155	197	0.068
NAM_02-A06-F.ab1	707	4	543	NP_114405.1	MLN64 N-terminal homolog; MLN64 N-terminal domain homolog [Homo]	234	51	229	4.00E-73
NAM_02-A07-F.ab1	410	5	409	AAL99934.1	IgM heavy chain secretory form [Notothenia coriiceps]	598	437	571	2.00E-77
NAM_02-A09-F.ab1	435	4	294	Q90YQ5|RS18_ICTPU	40S ribosomal protein S18	152	35	131	2.00E-50
NAM_02-A12-F.ab1	699	4	588	XP_342094.1	similar to DOM-3 homolog Z [Rattus norvegicus]	397	194	388	4.00E-60
NAM_02-B04-F.ab1	488	5	364	A60508	hemoglobin beta chain - black rockcod	146	27	146	3.00E-64
NAM_02-B09-F.ab1	431	6	182	AAF61072.1	40S ribosomal protein S15A [Paralichthys olivaceus]	130	69	127	2.00E-28
NAM_02-B10-F.ab1	454	5	166	AAH59707.1	Unknown (protein for MGC:73406) [Danio rerio]	89	36	89	1.00E-26
NAM_02-B11-F.ab1	678	3	257	AAH46043.1	Similar to SEC22 vesicle trafficking protein-like 1 (S. cerevisiae)	215	131	215	1.00E-33
NAM_02-B12-F.ab1	559	4	558	AAO24740.1	creatine kinase brain isoform [Chaenocephalus aceratus]	377	52	236	4.00E-99
NAM_02-C03-F.ab1	538	30	458	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	6.00E-77
NAM_02-C04-F.ab1	477	5	373	AAH42268.1	Arbp-prov protein [Xenopus laevis]	315	193	315	8.00E-36
NAM_02-C05-F.ab1	567	72	350	S14851	actin - fruit fly (Drosophila melanogaster)	100	8	100	2.00E-40
NAM_02-C07-F.ab1	475	19	333	XP_216554.2	similar to Complement component 1, q subcomponent, alpha	257	156	254	9.00E-16
NAM_02-D04-F.ab1	485	24	452	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	4.00E-77
NAM_02-D07-F.ab1	604	45	485	I51012	hemoglobin beta chain - black rockcod	147	1	147	1.00E-80
NAM_02-D12-F.ab1	494	1	399	XP_342664.1	similar to 9930021O16 protein [Rattus norvegicus]	182	27	159	4.00E-46
NAM_02-E03-F.ab1	298	5	241	AAK95152.1	ribosomal protein L26 [Ictalurus punctatus]	145	67	145	2.00E-26
NAM_02-E09-F.ab1	603	170	60	NP_062289.1	DNA binding protein with his-thr domain; nuclear localization	143	63	99	0.021
NAM_02-E10-F.ab1	566	6	296	AAQ83892.1	interferon gamma-inducible protein 30 [Branchiostoma belcheri]	254	152	246	4.00E-21
NAM_02-E11-F.ab1	721	6	482	AAH38987.1	Similar to RIKEN cDNA 1700023B02 gene [Homo sapiens]	289	57	217	4.00E-64
NAM_02-E12-F.ab1	452	3	116	NP_957393.1	similar to heterogeneous nuclear ribonucleoprotein L [Danio rerio]	536	492	529	3.00E-14
NAM_02-F04-F.ab1	542	5	541	AAK95128.1	ribosomal protein L5a [Ictalurus punctatus]	296	69	247	3.00E-91
NAM_02-F07-F.ab1	297	3	95	S25848	polyubiquitin 5 - Tetrahymena pyriformis	381	351	381	2.00E-09
NAM_02-G02-F.ab1	551	5	490	AAK70070.1	ATPase subunit 6 [Rhamdia quelen]	227	65	226	7.00E-47
NAM_02-G03-F.ab1	351	5	256	Q9I836|RL18_OREMO	60S ribosomal protein L18	188	105	188	2.00E-41
NAM_02-G09-F.ab1	581	42	479	P83614|HB B2_GOBGI	Hemoglobin beta-2 chain	146	1	146	8.00E-76
NAM_02-H04-F.ab1	259	3	137	A60508	hemoglobin beta chain - black rockcod	146	102	146	7.00E-18
NAM_02-H06-F.ab1	649	4	141	NP_057707.2	hypothetical protein BM-009 [Homo sapiens]	324	279	324	2.00E-17
NAM_02-H12-F.ab1	650	110	544	AAL12230.1	microsomal glutathione S-transferase [Oryctolagus cuniculus]	152	1	145	4.00E-51
NAM_03-A06-F.ab1	469	5	370	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	21	142	4.00E-35
NAM_03-A10-F.ab1	319	4	204	P29624|HB A1_NOTAN	Hemoglobin alpha-1 chain	142	76	142	1.00E-31
NAM_03-A12-F.ab1	707	4	699	AAH42268.1	Arbp-prov protein [Xenopus laevis]	315	84	315	8.00E-90
NAM_03-B02-F.ab1	400	42	194	NP_000991.1	ribosomal protein L39; 60S ribosomal protein L39 [Homo sapiens]	51	1	51	5.00E-24

NAM_03-B05-F.ab1	203	5	124	NP_937786.1	ribosomal protein L13 [Danio rerio]	211	172	211	2.00E-14
NAM_03-B08-F.ab1	408	4	114	NP_851009.1	glycyl-tRNA synthetase [Mus musculus]	729	689	725	9.00E-08
NAM_03-B09-F.ab1	537	5	373	AAH56526.1	Unknown (protein for MGC:65791) [Danio rerio]	172	50	172	8.00E-61
NAM_03-B12-F.ab1	371	4	303	AAK95147.1	ribosomal protein L21 [Ictalurus punctatus]	160	61	160	4.00E-43
NAM_03-C03-F.ab1	451	166	23	AAH06206.3	T1 protein [Homo sapiens]	912	425	472	4.00E-13
NAM_03-C09-F.ab1	752	692	72	NP_956085.1	myotubularin related protein 6 [Danio rerio]	643	337	543	1.00E-104
NAM_03-C10-F.ab1	603	112	300	1LM8|C	Chain C, Structure Of A Hif-1a-Pvhl-Elonginb-Elonginc Complex	96	34	96	7.00E-30
NAM_03-C12-F.ab1	494	4	111	XP_228039.2	similar to Bromodomain and PHD finger-containing protein 3 [Rattus	1374	1339	1374	1.00E-08
NAM_03-D03-F.ab1	554	5	472	AAP20149.1	60S ribosomal protein L24 [Pagrus major]	157	2	157	4.00E-63
NAM_03-D04-F.ab1	631	101	631	O73688|HO_FUGRU	Heme oxygenase (HO)	277	1	175	3.00E-74
NAM_03-D06-F.ab1	365	4	189	BAB14343.1	unnamed protein product [Homo sapiens]	765	695	753	3.00E-13
NAM_03-D10-F.ab1	499	4	273	AAP20210.1	ribosomal protein L9 [Pagrus major]	192	103	192	7.00E-39
NAM_03-D12-F.ab1	728	30	614	Q90YV8|R10A|ICTPU	60S ribosomal protein L10a	216	1	195	4.00E-94
NAM_03-E03-F.ab1	326	1	249	Q90YQ6|RS17|ICTPU	40S ribosomal protein S17	134	52	134	6.00E-39
NAM_03-E04-F.ab1	467	4	423	BAB27070.1	unnamed protein product [Mus musculus]	245	105	244	1.00E-60
NAM_03-E05-F.ab1	582	5	580	AAK95128.1	ribosomal protein L5a [Ictalurus punctatus]	296	69	260	5.00E-98
NAM_03-E06-F.ab1	726	403	68	T08746	hypothetical protein DKFZp586B0319.1 - human (fragment)	154	10	121	1.00E-06
NAM_03-E09-F.ab1	540	42	479	P83614|HB_B2_GOBG|	Hemoglobin beta-2 chain	146	1	146	2.00E-69
NAM_03-E10-F.ab1	715	1	714	BAB79524.1	MAP kinase kinase 4 [Cyprinus carpio]	407	73	310	5.00E-84
NAM_03-F01-F.ab1	169	1	132	AAH03518.1	Similar to ribosomal protein L23 [Homo sapiens]	134	91	134	4.00E-17
NAM_03-F02-F.ab1	457	444	28	AAM93546.1	polyprotein [Schistosoma japonicum]	976	48	196	1.00E-10
NAM_03-F04-F.ab1	284	97	282	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	22	83	2.00E-22
NAM_03-F06-F.ab1	547	7	240	AAH43811.1	Tpt1-prov protein [Xenopus laevis]	172	95	172	2.00E-24
NAM_03-F08-F.ab1	790	546	142	NP_274961.1	transcriptional regulator, AraC family [Neisseria meningitidis]	305	116	254	0.007
NAM_03-F12-F.ab1	229	5	160	AAM27203.1	40s ribosomal protein S27a [Epinephelus coioides]	156	105	156	7.00E-28
NAM_03-G01-F.ab1	98	2	91	NP_957408.1	wu:fj83g12 [Danio rerio]	455	128	157	2.00E-06
NAM_03-G02-F.ab1	386	7	312	Q9I836|RL18|OREMO	60S ribosomal protein L18	188	87	188	4.00E-49
NAM_03-G05-F.ab1	259	4	114	BAC56389.1	similar to ribosomal protein S18 [Bos taurus]	125	89	125	2.00E-14
NAM_03-G10-F.ab1	242	5	157	NP_599180.1	poly(A) binding protein, cytoplasmic 1 [Rattus norvegicus]	636	585	635	6.00E-16
NAM_03-H02-F.ab1	352	5	352	AAG37201.1	immunoglobulin light chain [Salmo salar]	119	3	119	3.00E-27
NAM_03-H03-F.ab1	544	82	543	AAP20162.1	beta-actin [Pagrus major]	198	1	154	9.00E-86
NAM_03-H04-F.ab1	549	34	459	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	2	143	1.00E-75
NAM_03-H06-F.ab1	524	266	505	AAO14672.1	TCRzeta subunit [Xenopus laevis]	160	29	103	3.00E-04
NAM_04-A01-F.ab1	402	277	26	EAA63801.1	hypothetical protein AN2483.2 [Aspergillus nidulans FGSC A4]	531	312	399	0.042

NAM_04-A0 3-F.ab1	459	211	459	P49947|FRI M_SALSA	Ferritin, middle subunit (Ferritin M)	176	1	83	5.00E-37
NAM_04-A0 5-F.ab1	864	49	495	AAH56724.1	Similar to ubiquitin-conjugating enzyme E2L 3 [Danio rerio]	149	1	149	1.00E-61
NAM_04-B0 3-F.ab1	543	444	542	NP_036025. 1	solute carrier family 35 (CMP-sialic acid transporter), member 1	336	283	315	5.00E-07
NAM_04-B0 6-F.ab1	238	5	160	AAH49478.1	Zgc:66168 protein [Danio rerio]	172	121	172	7.00E-28
NAM_04-B0 8-F.ab1	618	49	495	AAH56724.1	Similar to ubiquitin-conjugating enzyme E2L 3 [Danio rerio]	149	1	149	2.00E-61
NAM_04-B1 0-F.ab1	645	271	17	NP_702771. 1	hypothetical protein [Plasmodium falciparum 3D7]	1928	563	639	2.00E-05
NAM_04-B1 2-F.ab1	456	4	378	AAR97600.1	beta actin [Epinephelus coioides]	375	251	375	2.00E-59
NAM_04-C0 3-F.ab1	645	42	479	P83614|HB B2_GOBGI	Hemoglobin beta-2 chain	146	1	146	3.00E-76
NAM_04-C0 5-F.ab1	751	111	446	BAB13932.1	unnamed protein product [Homo sapiens]	146	20	130	6.00E-17
NAM_04-C0 9-F.ab1	320	3	185	AAQ63318.1	40S ribosomal protein S30 [Hippocampus comes]	133	73	133	3.00E-21
NAM_04-C1 0-F.ab1	640	5	262	NP_003742. 2	eukaryotic translation initiation factor 3, subunit 9 eta, 116kDa	814	727	812	2.00E-24
NAM_04-C1 2-F.ab1	287	5	79	AAH61601.1	Unknown (protein for MGC:75666) [Xenopus tropicalis]	212	149	170	0.004
NAM_04-D0 2-F.ab1	447	6	332	A60508	hemoglobin beta chain - black rockcod	146	38	146	1.00E-54
NAM_04-D0 8-F.ab1	491	68	424	NP_956340. 1	Unknown (protein for MGC:73055) [Danio rerio]	132	10	128	1.00E-60
NAM_04-D0 9-F.ab1	480	4	291	P49947|FRI M_SALSA	Ferritin, middle subunit (Ferritin M)	176	81	176	1.00E-41
NAM_04-D1 1-F.ab1	535	103	459	AAH62282.1	Unknown (protein for MGC:77758) [Danio rerio]	119	1	119	1.00E-60
NAM_04-E0 1-F.ab1	541	3	458	AAL99934.1	IgM heavy chain secretory form [Notothenia coriiceps]	598	447	598	2.00E-87
NAM_04-E0 2-F.ab1	561	489	13	AAH16249.1	Similar to RIKEN cDNA 1110054P19 gene [Mus musculus]	202	30	192	0.001
NAM_04-E0 5-F.ab1	557	12	389	1PC2|A	Chain A, Solution Structure Of Human Mitochondria Fission Protein	152	1	126	4.00E-46
NAM_04-E0 9-F.ab1	536	5	454	AAK95137.1	ribosomal protein L11 [Ictalurus punctatus]	178	29	178	6.00E-79
NAM_04-F0 5-F.ab1	469	35	181	AAP82941.1	putative ATP synthase c-subunit [Paralichthys olivaceus]	120	72	120	3.00E-19
NAM_04-F0 9-F.ab1	286	243	4	S32437	pol polyprotein - Volvox carteri f. nagariensis retrotransposon	1462	74	153	0.003
NAM_04-F1 0-F.ab1	501	5	274	AAH60461.1	Unknown (protein for MGC:68593) [Xenopus laevis]	275	187	275	3.00E-38
NAM_04-G0 1-F.ab1	765	277	462	XP_228770. 1	similar to DXImx40e protein [Rattus norvegicus]	677	615	676	2.00E-24
NAM_04-G0 2-F.ab1	507	6	389	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	16	143	7.00E-68
NAM_04-G0 6-F.ab1	456	4	213	NP_956562. 1	similar to cystatin B (stefin B) [Danio rerio]	100	31	100	4.00E-21
NAM_04-G0 9-F.ab1	455	279	455	NP_956318. 1	DEAH (Asp-Glu-Ala-His) box polypeptide 16 [Danio rerio]	1054	1	59	7.00E-14
NAM_04-G1 1-F.ab1	487	1	411	P41116|RLB _XENLA	60S RIBOSOMAL PROTEIN L8	257	121	257	1.00E-66
NAM_05-A0 1-F.ab1	413	5	340	P30151|EF1 B_XENLA	ELONGATION FACTOR 1-BETA (EF-1-BETA) (P30)	227	116	227	1.00E-47
NAM_05-A0 4-F.ab1	523	4	111	AAH43811.1	Tpt1-prov protein [Xenopus laevis]	172	137	172	6.00E-10
NAM_05-A0 6-F.ab1	398	5	334	Q90YQ6|RS 17_ICTPU	40S ribosomal protein S17	134	25	134	3.00E-54
NAM_05-A0 7-F.ab1	161	3	83	AAQ63320.1	60S ribosomal protein L35 [Hippocampus comes]	123	97	123	2.00E-06
NAM_05-B0 8-F.ab1	381	101	3	Q16465|YZ A1_HUMAN	Very hypothetical protein	122	87	119	5.00E-05
NAM_05-B1 0-F.ab1	302	6	89	Q90YP3|RS 28_ICTPU	40S ribosomal protein S28	69	28	55	6.00E-08
NAM_05-B1	383	102	4	AAH62632.1	Unknown (protein for MGC:70830)	102	56	88	5.00E-05

2-F.ab1					[Homo sapiens]				
NAM_05-C06-F.ab1	743	5	310	AAH57660.1	Unknown (protein for MGC:68133) [Mus musculus]	218	116	217	1.00E-42
NAM_05-C07-F.ab1	413	23	283	AAH59704.1	Unknown (protein for IMAGE:4788333) [Danio rerio]	87	1	87	6.00E-32
NAM_05-C10-F.ab1	364	12	212	1PK6|B	Chain B, Globular Head Of The Complement System Protein C1q	132	62	131	1.00E-04
NAM_05-C12-F.ab1	602	5	424	AAL99934.1	IgM heavy chain secretory form [Notothernia coriiceps]	598	334	473	1.00E-96
NAM_05-D01-F.ab1	307	6	233	NP_937786.1	ribosomal protein L13 [Danio rerio]	211	136	211	3.00E-32
NAM_05-D04-F.ab1	440	5	310	AAQ63319.1	60S ribosomal protein L21 [Hippocampus comes]	155	14	115	2.00E-54
NAM_05-D06-F.ab1	660	205	660	P49947|FRIM_SALSA	Ferritin, middle subunit (Ferritin M)	176	1	152	6.00E-75
NAM_05-D09-F.ab1	831	5	739	AAP20201.1	60S ribosomal protein L6 [Pagrus major]	249	4	249	1.00E-110
NAM_05-D10-F.ab1	723	3	722	BAC56953.1	polyubiquitin C [Gorilla gorilla]	609	105	344	1.00E-129
NAM_05-E01-F.ab1	622	61	501	I51012	hemoglobin beta chain - black rockcod	147	1	147	4.00E-81
NAM_05-E03-F.ab1	754	105	485	CAD62446.1	interleukin 10 homologue [Takifugu rubripes]	183	55	181	2.00E-44
NAM_05-E07-F.ab1	734	4	360	BAC57565.1	tropomyosin1-1 [Takifugu rubripes]	248	130	248	3.00E-47
NAM_05-E10-F.ab1	750	63	749	AAH45970.1	Similar to proteasome (prosome, macropain) subunit, alpha type, 4	261	1	229	1.00E-125
NAM_05-E11-F.ab1	637	77	592	AAH56526.1	Unknown (protein for MGC:65791) [Danio rerio]	172	1	172	2.00E-90
NAM_05-F03-F.ab1	621	172	585	AAO19847.1	MHC class II beta subunit [Stizostedion vitreum]	249	111	248	1.00E-54
NAM_05-F04-F.ab1	328	101	187	S26689	hypothetical protein hc1 - mouse (fragment)	118	78	106	3.00E-04
NAM_05-F05-F.ab1	444	5	217	CAC44218.1	putative ribosomal protein S27 protein [Oncorhynchus mykiss]	76	6	76	8.00E-37
NAM_05-F06-F.ab1	586	42	479	P83614|HB B2_GOBGI	Hemoglobin beta-2 chain	146	1	146	1.00E-75
NAM_05-F08-F.ab1	500	17	334	XP_342952.1	similar to C1q C chain [Rattus norvegicus]	248	140	245	2.00E-23
NAM_05-F10-F.ab1	612	105	533	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	3.00E-76
NAM_05-F12-F.ab1	535	5	535	AAP20201.1	60S ribosomal protein L6 [Pagrus major]	249	43	219	2.00E-88
NAM_05-G01-F.ab1	455	179	379	NP_443638.1	cytochrome c oxidase subunit III [Antigonina capros]	261	195	261	9.00E-28
NAM_05-G04-F.ab1	259	6	179	AAK95187.1	40S ribosomal protein S5 [Ictalurus punctatus]	203	146	203	1.00E-25
NAM_05-G05-F.ab1	435	4	294	Q90YQ5|RS 18_ICTPU	40S ribosomal protein S18	152	35	131	4.00E-50
NAM_05-G07-F.ab1	589	9	587	NP_957289.1	similar to aminoacylase 1 [Danio rerio]	420	149	341	1.00E-101
NAM_05-G08-F.ab1	387	4	135	BAB22128.2	unnamed protein product [Mus musculus]	227	184	227	2.00E-18
NAM_05-G12-F.ab1	251	62	250	XP_208356.1	similar to cytochrome c oxidase subunit VIa polypeptide 1	109	15	79	2.00E-07
NAM_05-H01-F.ab1	493	4	294	NP_957109.1	hypothetical protein MGC73391 [Danio rerio]	124	18	114	2.00E-34
NAM_05-H08-F.ab1	476	9	329	NP_766514.1	RIKEN cDNA C330035N22 [Mus musculus]	937	819	925	8.00E-39
NAM_05-H11-F.ab1	632	205	630	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	142	3.00E-75
NAM_06-A01-F.ab1	480	5	361	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	25	143	2.00E-63
NAM_06-A03-F.ab1	479	156	7	NP_701038.1	hypothetical protein [Plasmodium falciparum 3D7]	1739	565	615	0.012
NAM_06-A04-F.ab1	520	8	403	Q8R3L2|FK 26_MOUSE	FKSG26 protein	676	541	669	2.00E-24
NAM_06-A06-F.ab1	490	4	372	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	21	143	1.00E-65

NAM_06-A07-F.ab1	556	4	396	AAP20200.1	ribosomal protein L4 [Pagrus major]	367	214	344	5.00E-64
NAM_06-A10-F.ab1	567	4	315	D41727	retinoid X receptor beta - mouse	448	345	448	1.00E-51
NAM_06-A11-F.ab1	404	217	282	S47633	RXR protein - African clawed frog	452	420	441	5.00E-06
NAM_06-B02-F.ab1	362	5	235	NP_031789.1	cysteine-rich protein 1 (intestinal); cysteine rich intestinal	77	1	77	7.00E-40
NAM_06-B03-F.ab1	474	109	5	AAH05517.1	Arhgef3 protein [Mus musculus]	524	347	380	3.00E-04
NAM_06-B04-F.ab1	507	70	444	NP_853103.1	conserved hypothetical [Mycoplasma gallisepticum R]	1931	1165	1294	9.00E-05
NAM_06-B06-F.ab1	548	62	334	AAH32201.1	Unknown (protein for MGC:35617) [Mus musculus]	462	367	457	4.00E-18
NAM_06-B07-F.ab1	447	54	146	AAA51320.1	immunoglobulin heavy chain VDJ region	124	85	114	0.066
NAM_06-B08-F.ab1	489	61	408	AAH59681.1	Unknown (protein for MGC:73372) [Danio rerio]	115	1	115	6.00E-21
NAM_06-B10-F.ab1	576	30	458	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	7.00E-77
NAM_06-B11-F.ab1	514	105	512	NP_955972.1	Unknown (protein for MGC:65984) [Danio rerio]	272	1	136	5.00E-47
NAM_06-C03-F.ab1	848	87	848	AAQ91574.1	receptor for activated protein kinase C [Oreochromis mossambicus]	317	1	254	1.00E-137
NAM_06-C06-F.ab1	409	88	237	AAP58960.1	dicentraxine [Dicentrarchus labrax]	79	8	59	0.011
NAM_06-C07-F.ab1	640	145	38	AAH45889.1	BRG1/brm-associated factor 53A [Danio rerio]	429	156	191	6.00E-11
NAM_06-C08-F.ab1	584	92	502	A60508	hemoglobin beta chain - black rockcod	146	10	146	3.00E-54
NAM_06-C11-F.ab1	505	57	284	NP_003087.1	small nuclear ribonucleoprotein polypeptide G [Homo sapiens]	76	1	76	4.00E-33
NAM_06-C12-F.ab1	428	5	352	NP_956340.1	Unknown (protein for MGC:73055) [Danio rerio]	132	13	128	1.00E-60
NAM_06-D01-F.ab1	649	4	552	Q9I836|RL18_OREMO	60S ribosomal protein L18	188	6	188	4.00E-96
NAM_06-D04-F.ab1	497	5	298	NP_957109.1	hypothetical protein MGC73391 [Danio rerio]	124	17	114	2.00E-35
NAM_06-D07-F.ab1	317	43	156	BAC41141.1	unnamed protein product [Mus musculus]	170	18	52	0.036
NAM_06-D09-F.ab1	376	5	310	Q90YQ6|RS17_ICTPU	40S ribosomal protein S17	134	33	134	5.00E-49
NAM_06-E01-F.ab1	599	79	558	XP_230827.2	similar to dj881L22.2 (novel protein) [Rattus norvegicus]	300	57	216	5.00E-26
NAM_06-E02-F.ab1	726	4	474	AAQ01147.1	cathepsin [Paralabidochromis chilotes]	334	178	334	2.00E-74
NAM_06-E04-F.ab1	518	30	458	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	6.00E-55
NAM_06-E07-F.ab1	529	6	386	AAK02014.1	enterophilin-2L [Cavia porcellus]	397	18	147	1.00E-08
NAM_06-E10-F.ab1	406	6	179	BAB60851.1	b2-microglobulin [Oryzias latipes]	116	59	116	2.00E-10
NAM_06-E12-F.ab1	419	4	309	I51012	hemoglobin beta chain - black rockcod	147	47	147	2.00E-14
NAM_06-F03-F.ab1	378	11	346	NP_648504.1	CG6004-PB [Drosophila melanogaster]	1444	512	639	0.033
NAM_06-G01-F.ab1	597	6	173	XP_215658.2	similar to Protein-tyrosine phosphatase, non-receptor type 8	763	707	761	0.035
NAM_06-G02-F.ab1	377	5	226	NP_957133.1	wu:fc55e01 [Danio rerio]	446	372	445	1.00E-29
NAM_06-G03-F.ab1	387	100	309	NP_000990.1	ribosomal protein L38; 60S ribosomal protein L38 [Homo sapiens]	70	1	70	1.00E-19
NAM_06-G04-F.ab1	212	12	212	XP_345934.1	similar to ribosomal protein S26 [Rattus norvegicus]	127	44	110	0.024
NAM_06-G05-F.ab1	615	5	388	AAK02014.1	enterophilin-2L [Cavia porcellus]	397	17	147	4.00E-10
NAM_06-G09-F.ab1	519	4	519	AAP20200.1	ribosomal protein L4 [Pagrus major]	367	79	250	2.00E-77
NAM_06-H0	608	5	136	BAC57565.1	tropomyosin1-1 [Takifugu rubripes]	248	205	248	3.00E-15

1-F.ab1										
NAM_06-H03-F.ab1	566	5	424	AAP20203.1	putative transient receptor protein 2 [Pagrus major]	171	31	170	6.00E-65	
NAM_06-H09-F.ab1	469	6	293	XP_126043.2	histone H2A.F/Z variant [Mus musculus]	131	36	131	3.00E-47	
NAM_06-H11-F.ab1	451	14	223	CAE59383.1	Hypothetical protein CBG02739 [Caenorhabditis briggsae]	197	14	83	4.00E-07	
NAM_09-A01-F.ab1	462	5	370	Q9I836|RL18_OREMO	60S ribosomal protein L18	188	67	188	4.00E-62	
NAM_09-A04-F.ab1	475	21	221	ZP_00100008.1	hypothetical protein [Desulfitobacterium hafniense]	116	48	114	1.00E-06	
NAM_09-A08-F.ab1	324	105	233	BAC85519.1	unnamed protein product [Homo sapiens]	274	9	49	0.061	
NAM_09-B04-F.ab1	581	6	521	AAK95130.1	ribosomal protein L6 [Ictalurus punctatus]	260	89	260	3.00E-84	
NAM_09-B06-F.ab1	523	5	454	AAH55508.1	Unknown (protein for IMAGE:3819162) [Danio rerio]	558	98	239	1.00E-42	
NAM_09-B09-F.ab1	390	5	163	AAQ91254.1	myosin light chain alkali, smooth-muscle isoform [Danio rerio]	151	99	151	3.00E-14	
NAM_09-B11-F.ab1	635	629	297	AAH16249.1	Similar to RIKEN cDNA 1110054P19 gene [Mus musculus]	202	82	192	4.00E-04	
NAM_09-B12-F.ab1	454	70	303	NP_957036.1	ribosomal protein S26 [Danio rerio]	115	17	94	6.00E-37	
NAM_09-C01-F.ab1	607	2	607	JC7736	C3G protein, long type - mouse	1086	880	1077	2.00E-73	
NAM_09-C04-F.ab1	267	6	155	AAP20207.1	ribosomal protein L37a [Pagrus major]	68	19	68	1.00E-22	
NAM_09-C06-F.ab1	507	4	228	AAB27085.1	adipocyte acid phosphatase alpha; HAAP alpha [Homo sapiens]	146	69	143	2.00E-23	
NAM_09-C08-F.ab1	522	7	435	AAM27202.1	ribosomal protein L27a [Epinephelus coioides]	148	6	148	2.00E-67	
NAM_09-D03-F.ab1	435	6	215	NP_956335.1	mitochondrial ATP synthase gamma-subunit [Danio rerio]	292	223	292	7.00E-28	
NAM_09-D08-F.ab1	559	26	559	AAP20199.1	40S ribosomal protein S5 [Pagrus major]	198	1	178	9.00E-89	
NAM_09-D09-F.ab1	436	5	295	Q90YQ5|RS18_ICTPU	40S ribosomal protein S18	152	35	131	2.00E-50	
NAM_09-D12-F.ab1	587	4	507	AAK95187.1	40S ribosomal protein S5 [Ictalurus punctatus]	203	36	203	2.00E-89	
NAM_09-E02-F.ab1	413	23	283	AAH59704.1	Unknown (protein for IMAGE:4788333) [Danio rerio]	87	1	87	5.00E-32	
NAM_09-E07-F.ab1	326	153	7	AAL35360.1	reverse transcriptase/ribonuclease H [Tetraodon nigroviridis]	785	698	746	2.00E-06	
NAM_09-E08-F.ab1	406	4	327	O42249|GBLP_ORENI	Guanine nucleotide-binding protein beta subunit-like protein	317	210	317	6.00E-57	
NAM_09-E09-F.ab1	673	31	459	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	8.00E-76	
NAM_09-E11-F.ab1	550	4	480	AAH42268.1	Arbp-prov protein [Xenopus laevis]	315	157	315	7.00E-52	
NAM_09-F03-F.ab1	538	30	536	Q60445|COPE_CRIGR	COATOMER EPSILON SUBUNIT (EPSILON-COAT PROTEIN) (EPSILON-COP)	308	14	182	1.00E-63	
NAM_09-F04-F.ab1	577	42	479	P83614|HBB2_GOBGI	Hemoglobin beta-2 chain	146	1	146	7.00E-76	
NAM_09-F07-F.ab1	467	82	339	XP_215607.1	similar to 8KDa amlexanox-binding protein [Rattus norvegicus]	98	6	91	1.00E-05	
NAM_09-F10-F.ab1	475	190	474	BAC79221.1	p67phox [Takifugu rubripes]	495	395	488	7.00E-29	
NAM_09-F11-F.ab1	491	444	43	NP_705576.1	hypothetical protein [Plasmodium falciparum 3D7]	2825	624	744	0.047	
NAM_09-G01-F.ab1	246	6	245	NP_000989.1	ribosomal protein L37a; 60S ribosomal protein L37a [Homo sapiens]	92	5	84	2.00E-40	
NAM_09-G04-F.ab1	518	56	190	AAH23528.2	Unknown (protein for MGC:14129) [Homo sapiens]	157	99	143	4.00E-17	
NAM_09-G06-F.ab1	418	6	356	AAF61072.1	40S ribosomal protein S15A [Paralichthys olivaceus]	130	14	130	2.00E-62	
NAM_09-G07-F.ab1	346	5	268	AAQ63320.1	60S ribosomal protein L35 [Hippocampus comes]	123	36	123	6.00E-41	
NAM_09-G0	540	5	532	AAH63907.1	Unknown (protein for IMAGE:5307745)	402	206	381	3.00E-64	

8-F.ab1					[Xenopus tropicalis]				
NAM_09-G10-F.ab1	569	23	217	NP_060081.1	likely ortholog of mouse embryonic epithelial gene 1 [Homo sapiens]	491	416	480	3.00E-14
NAM_09-H05-F.ab1	591	4	129	AAH65891.1	Unknown (protein for IMAGE:6997570) [Danio rerio]	564	520	561	1.00E-06
NAM_09-H11-F.ab1	520	5	208	P53473|ACTB_STRPU	ACTIN, CYTOSKELETAL IB	376	323	376	3.00E-12
NAM_12-A03-F.ab1	242	5	214	AAK95130.1	ribosomal protein L6 [Ictalurus punctatus]	260	191	260	4.00E-23
NAM_12-A06-F.ab1	534	68	271	AAG17444.1	cytochrome C oxidase copper chaperone [Ophiophagus hannah]	69	3	69	2.00E-13
NAM_12-A08-F.ab1	700	5	310	NP_055603.2	tripartite motif protein TRIM14 isoform alpha; tripartite motif	442	338	438	6.00E-11
NAM_12-A09-F.ab1	349	No Hits							
NAM_12-A10-F.ab1	313	4	189	AAH56311.1	Unknown (protein for MGC:66086) [Danio rerio]	518	433	493	3.00E-14
NAM_12-A12-F.ab1	525	227	523	AAC64129.1	actin 1 [Psilotum nudum]	360	98	196	5.00E-58
NAM_12-B03-F.ab1	665	164	541	AAA49617.1	antifreeze polypeptide (AFP) precursor	195	72	191	1.00E-24
NAM_12-B04-F.ab1	527	4	525	P22451|RL5_CHICK	60S RIBOSOMAL PROTEIN L5	297	71	244	3.00E-88
NAM_12-B05-F.ab1	530	91	309	AAP92539.1	Ab1-108 [Rattus norvegicus]	323	251	323	1.00E-33
NAM_12-B06-F.ab1	247	43	237	AAL99929.1	IgM heavy chain secretory form [Chaenocephalus aceratus]	591	5	69	3.00E-17
NAM_12-B07-F.ab1	662	370	549	NP_207004.1	hypothetical protein [Helicobacter pylori 26695]	793	118	176	0.002
NAM_12-B08-F.ab1	364	3	245	P29624|HBA1_NOTAN	Hemoglobin alpha-1 chain	142	62	142	1.00E-38
NAM_12-B11-F.ab1	612	5	304	NP_956674.1	hypothetical protein MGC64125 [Danio rerio]	220	121	220	5.00E-29
NAM_12-C07-F.ab1	158	119	6	AAH59488.1	Unknown (protein for MGC:73125) [Danio rerio]	463	405	442	3.00E-13
NAM_12-C11-F.ab1	495	88	198	NP_660784.1	protoheme IX farnesyltransferase [Buchnera aphidicola str. Sg]	284	153	189	0.083
NAM_12-C12-F.ab1	616	45	482	P83614|HBB2_GOBGI	Hemoglobin beta-2 chain	146	1	146	1.00E-74
NAM_12-D01-F.ab1	196	25	126	NP_702066.1	hypothetical protein [Plasmodium falciparum 3D7]	203	159	192	0.032
NAM_12-D11-F.ab1	298	5	202	I51012	hemoglobin beta chain - black rockcod	147	28	93	8.00E-35
NAM_12-D12-F.ab1	604	4	375	AAP36545.1	Homo sapiens galactosidase, beta 1 [synthetic construct]	678	504	642	2.00E-29
NAM_12-E01-F.ab1	549	4	432	NP_958892.1	tyrosine 3-monooxygenase/tryptophan 5-monooxygenase activation	245	93	236	1.00E-58
NAM_12-E03-F.ab1	616	6	608	AAP04329.1	G-protein-coupled receptor GPR34 type 1 [Tetraodon nigroviridis]	386	157	357	5.00E-69
NAM_12-E05-F.ab1	597	3	548	AAP20200.1	ribosomal protein L4 [Pagrus major]	367	163	344	3.00E-90
NAM_12-E08-F.ab1	667	29	541	AAA49617.1	antifreeze polypeptide (AFP) precursor	195	28	191	6.00E-28
NAM_12-E09-F.ab1	574	4	435	AAM21714.1	nascent polypeptide-associated complex alpha polypeptide [Danio]	215	72	215	4.00E-57
NAM_12-E12-F.ab1	576	170	574	XP_341520.1	ion transporter protein [Rattus norvegicus]	681	72	225	1.00E-28
NAM_12-F01-F.ab1	358	5	211	NP_955883.1	IK cytokine, down-regulator of HLA II [Danio rerio]	548	480	548	8.00E-33
NAM_12-F02-F.ab1	564	1	114	AAF65679.1	MHC class II alpha subunit [Aulonocara hansbaenschii]	237	200	237	0.002
NAM_12-F03-F.ab1	421	81	386	BAC82604.1	gag-like protein [Tetraodon nigroviridis]	416	40	141	1.00E-30
NAM_12-F12-F.ab1	375	11	274	AAP20208.1	ribosomal protein L37 [Pagrus major]	97	1	88	7.00E-48
NAM_12-G03-F.ab1	254	6	200	AAP20214.1	ribosomal protein S19 [Pagrus major]	146	82	146	2.00E-29
NAM_12-G04-F.ab1	521	72	299	NP_003087.1	small nuclear ribonucleoprotein polypeptide G [Homo sapiens]	76	1	76	5.00E-33

NAM_12-G06-F.ab1	370	52	252	NP_058846.1	ribosomal protein L29 [Rattus norvegicus]	156	1	68	3.00E-24
NAM_12-G10-F.ab1	573	138	572	AAO88998.1	T cell receptor alpha chain [Stegastes partitus]	261	27	171	2.00E-21
NAM_12-G11-F.ab1	555	5	406	XP_309306.1	ENSANGP00000018476 [Anopheles gambiae]	337	207	334	6.00E-16
NAM_12-H02-F.ab1	236	3	122	CAB46816.1	Ribosomal protein S14 [Canis familiaris]	79	29	68	1.00E-15
NAM_12-H03-F.ab1	561	90	353	NP_956562.1	similar to cystatin B (stefin B) [Danio rerio]	100	13	100	3.00E-21
NAM_12-H04-F.ab1	556	4	432	AAH55147.1	Unknown (protein for MGC:63583) [Danio rerio]	494	349	491	1.00E-62
NAM_12-H12-F.ab1	450	251	415	NP_710620.1	2,3-bisphosphoglycerate-independent phosphoglycerate mutase	552	103	156	0.05
NAM_07-A02-M13F.ab1	462	6	461	AAR95665.1	plectin 11 [Rattus norvegicus]	4545	2703	2854	1.00E-56
NAM_07-A06-M13F.ab1	416	32	286	AAK95131.1	ribosomal protein L7 [Ictalurus punctatus]	262	83	167	2.00E-48
NAM_07-A09-M13F.ab1	500	60	287	NP_003087.1	small nuclear ribonucleoprotein polypeptide G [Homo sapiens]	76	1	76	4.00E-33
NAM_07-A11-M13F.ab1	419	5	118	AAP36465.1	Homo sapiens guanine nucleotide binding protein (G protein), gamma	69	31	68	7.00E-13
NAM_07-A12-M13F.ab1	575	5	496	AAP20163.1	BTF3a [Pagrus major]	168	8	168	5.00E-70
NAM_07-B02-M13F.ab1	220	4	219	AAP20202.1	S6 ribosomal protein [Pagrus major]	187	9	80	8.00E-27
NAM_07-B05-M13F.ab1	365	11	211	NP_000482.2	complement component 1, q subcomponent, beta polypeptide precursor;	253	180	249	1.00E-04
NAM_07-B06-M13F.ab1	678	5	676	NP_955940.1	Unknown (protein for MGC:55770) [Danio rerio]	261	1	224	1.00E-61
NAM_07-B07-M13F.ab1	148	4	63	XP_319443.1	ENSANGP00000014430 [Anopheles gambiae]	135	116	135	5.00E-04
NAM_07-B12-M13F.ab1	454	447	40	AAH16249.1	Similar to RIKEN cDNA 1110054P19 gene [Mus musculus]	202	54	179	0.01
NAM_07-C05-M13F.ab1	176	5	61	NP_956322.1	Unknown (protein for MGC:77683); ribosomal protein L30 [Danio rerio]	117	88	106	0.003
NAM_07-C06-M13F.ab1	809	5	310	NP_957493.1	similar to phosphoinositide-3-kinase, catalytic, delta polypeptide	1039	938	1039	6.00E-47
NAM_07-C10-M13F.ab1	524	4	69	AAN62920.1	glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase [Ctenopharyngodon idella]	204	183	204	4.00E-05
NAM_07-C11-M13F.ab1	256	30	140	AAD25980.1	PTH-responsive osteosarcoma D1 protein [Homo sapiens]	273	1	37	1.00E-04
NAM_07-C12-M13F.ab1	503	4	399	NP_659120.2	RIKEN cDNA C630029K18 [Mus musculus]	860	457	590	3.00E-05
NAM_07-D07-M13F.ab1	408	204	46	Q14558|KPAIRA_HUMAN	Phosphoribosyl pyrophosphate synthetase-associated protein 1 (PRPP)	356	304	356	7.00E-21
NAM_07-D09-M13F.ab1	493	250	492	AAH44327.1	Eef2-prov protein [Xenopus laevis]	858	575	655	1.00E-34
NAM_07-D10-M13F.ab1	662	5	661	XP_307180.1	ENSANGP00000025171 [Anopheles gambiae]	511	62	277	2.00E-34
NAM_07-D12-M13F.ab1	471	3	467	AAH65333.1	Unknown (protein for MGC:77271) [Danio rerio]	636	353	510	5.00E-61
NAM_07-E02-M13F.ab1	569	8	256	CAA72813.1	aminopeptidase [Lumbricus rubellus]	237	135	217	4.00E-33
NAM_07-E03-M13F.ab1	642	38	460	BAA95482.1	glia maturation factor beta [Cyprinus carpio]	142	1	141	2.00E-55
NAM_07-E06-M13F.ab1	615	95	325	NP_031789.1	cysteine-rich protein 1 (intestinal); cysteine rich intestinal	77	1	77	1.00E-27
NAM_07-E08-M13F.ab1	577	55	423	AAH61000.1	Brain and reproductive organ-expressed protein [Mus musculus]	383	261	383	1.00E-64
NAM_07-E09-M13F.ab1	595	27	437	AAF29139.1	HSPC176 [Homo sapiens]	139	1	137	5.00E-63
NAM_07-F02-M13F.ab1	485	6	470	AAQ63319.1	60S ribosomal protein L21 [Hippocampus comes]	155	1	155	1.00E-76
NAM_07-F08-M13F.ab1	540	64	393	NP_116147.1	SF3b14b; PHD-finger 5a [Homo sapiens]	110	1	110	3.00E-64

NAM_07-F09-M13F.ab1	297	136	2	XP_342963.1	similar to RIKEN cDNA 1110012E06 [Rattus norvegicus]	1184	621	665	2.00E-05
NAM_07-F12-M13F.ab1	574	32	460	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	1.00E-74
NAM_07-G02-M13F.ab1	745	4	744	O42249|GB LP_ORENI	Guanine nucleotide-binding protein beta subunit-like protein	317	66	312	1.00E-134
NAM_07-G03-M13F.ab1	526	450	521	CAC04184.1	dJ677H15.2 (splicing factor, arginine/serine-rich 1) [Homo]	491	425	448	3.00E-05
NAM_07-G07-M13F.ab1	464	5	373	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	21	143	3.00E-64
NAM_07-G08-M13F.ab1	563	7	240	AAH43811.1	Tpt1-prov protein [Xenopus laevis]	172	95	172	3.00E-25
NAM_07-H03-M13F.ab1	706	56	619	NP_956665.1	hypothetical protein MGC64051 [Danio rerio]	221	2	184	9.00E-50
NAM_07-H04-M13F.ab1	577	61	501	I51012	hemoglobin beta chain - black rockcod	147	1	147	4.00E-77
NAM_08-A07-M13F.ab1	148	4	63	XP_319443.1	ENSANGP00000014430 [Anopheles gambiae]	135	116	135	5.00E-04
NAM_08-A10-M13F.ab1	332	225	332	NP_571530.1	ribonucleotide reductase protein r1 class I [Danio rerio]	794	685	720	6.00E-12
NAM_08-B01-M13F.ab1	677	227	586	NP_957135.1	pleckstrin [Danio rerio]	352	232	352	5.00E-81
NAM_08-B05-M13F.ab1	409	8	331	O73813|RS 3A_ORYLA	40S RIBOSOMAL PROTEIN S3A (V-FOS TRANSFORMATION EFFECTOR PROTEIN)	266	159	266	2.00E-53
NAM_08-B07-M13F.ab1	186	5	106	BAB21249.1	ribosomal protein L36 [Gallus gallus]	105	72	105	4.00E-05
NAM_08-C06-M13F.ab1	231	5	160	AAQ63320.1	60S ribosomal protein L35 [Hippocampus comes]	123	72	123	3.00E-22
NAM_08-C07-M13F.ab1	320	125	280	NP_899079.1	RIKEN cDNA 2310016M24 [Mus musculus]	57	1	52	1.00E-10
NAM_08-C08-M13F.ab1	540	42	479	P83614|HB B2_GOBGI	Hemoglobin beta-2 chain	146	1	146	6.00E-76
NAM_08-C11-M13F.ab1	487	5	409	AAH54266.1	Rps8-prov protein [Xenopus laevis]	208	74	208	4.00E-68
NAM_08-D01-M13F.ab1	472	29	364	Q9DFZ4|CH UR_XENLA	Churchill protein	112	1	112	8.00E-46
NAM_08-D03-M13F.ab1	586	9	404	XP_344660.1	similar to RIKEN cDNA 2610028L19 [Rattus norvegicus]	173	42	173	2.00E-64
NAM_08-D04-M13F.ab1	198	5	124	CAC36098.1	putative ribosomal protein L14 [Takifugu rubripes]	137	98	137	1.00E-13
NAM_08-D06-M13F.ab1	412	23	283	AAH59704.1	Unknown (protein for IMAGE:4788333) [Danio rerio]	87	1	87	2.00E-32
NAM_08-E04-M13F.ab1	415	54	338	AAQ63320.1	60S ribosomal protein L35 [Hippocampus comes]	123	29	123	2.00E-43
NAM_08-F02-M13F.ab1	465	5	181	AAD54014.1	cytochrome P450 [Fundulus heteroclitus]	506	448	506	2.00E-12
NAM_08-F03-M13F.ab1	561	5	523	Q28479|IDH B_MACFA	ISOCITRATE DEHYDROGENASE [NAD] SUBUNIT BETA, MITOCHONDRIAL	381	204	376	8.00E-78
NAM_08-F04-M13F.ab1	500	156	500	AAH45894.1	Similar to ATP synthase, H+ transporting, mitochondrial F0 complex,	140	1	116	4.00E-33
NAM_08-F05-M13F.ab1	735	401	595	BAB70860.1	unnamed protein product [Homo sapiens]	488	80	150	4.00E-16
NAM_08-F09-M13F.ab1	344	4	114	AAH55860.1	Ribosomal protein, large P2 [Mus musculus]	115	26	62	4.00E-07
NAM_08-F10-M13F.ab1	504	5	487	AAB65436.1	acidic ribosomal phosphoprotein PO [Bos taurus]	302	64	224	9.00E-66
NAM_08-F11-M13F.ab1	600	5	559	CAE51166.1	Sl:zK16K6.1 (novel protein similar to human and mouse capping	273	89	273	9.00E-96
NAM_08-F12-M13F.ab1	428	41	310	NP_285431.1	minor tail protein gp26-related protein [Deinococcus radiodurans]	1225	834	945	0.031
NAM_08-G04-M13F.ab1	630	27	629	XP_215262.1	similar to CG13901-PA [Rattus norvegicus]	203	1	201	2.00E-68
NAM_08-G10-M13F.ab1	582	5	580	AAH54256.1	Fars1-prov protein [Xenopus laevis]	499	172	363	1.00E-90
NAM_08-G12-M13F.ab1	426	71	349	AAL58575.1	invariant chain-like protein 14-1 [Oncorhynchus mykiss]	201	2	97	5.00E-16
NAM_08-H0	336	4	240	NP_063918.1	ribosomal protein L36a; ribosomal	106	28	106	2.00E-40

6-M13F.ab1				1	protein L44 [Mus musculus]				
NAM_08-H10-M13F.ab1	118	30	116	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	29	0.02
NAM_10-A06-M13F.ab1	372	5	103	XP_358554.1	hypothetical protein XP_358554 [Mus musculus]	97	24	56	0.011
NAM_10-A11-M13F.ab1	230	5	169	AAK95140.1	ribosomal protein L13a [Ictalurus punctatus]	201	147	201	3.00E-09
NAM_10-A12-M13F.ab1	469	6	293	XP_126043.2	histone H2A.F/Z variant [Mus musculus]	131	36	131	3.00E-47
NAM_10-B03-M13F.ab1	245	101	214	NP_956120.1	Unknown (protein for MGC:63480) [Danio rerio]	259	19	56	5.00E-08
NAM_10-B07-M13F.ab1	377	4	162	P82951|HEPC_MORCS	Hepcidin precursor	85	30	84	0.043
NAM_10-B08-M13F.ab1	442	61	441	AAQ95586.1	HSP-90 [Dicentrarchus labrax]	725	280	406	2.00E-59
NAM_10-B12-M13F.ab1	494	5	298	NP_957109.1	hypothetical protein MGC73391 [Danio rerio]	124	17	114	6.00E-35
NAM_10-C04-M13F.ab1	316	5	232	NP_937786.1	ribosomal protein L13 [Danio rerio]	211	136	211	1.00E-31
NAM_10-C08-M13F.ab1	533	4	84	AAG15322.1	alpha tubulin [Notothenia coriiceps]	324	287	313	3.00E-07
NAM_10-C09-M13F.ab1	662	6	182	AAH61677.1	Unknown (protein for MGC:68812) [Xenopus laevis]	75	17	75	8.00E-25
NAM_10-C11-M13F.ab1	394	5	286	AAQ94564.1	ribosomal protein S3 [Danio rerio]	245	152	245	5.00E-48
NAM_10-D03-M13F.ab1	644	5	208	AAH53229.1	Unknown (protein for MGC:64056) [Danio rerio]	369	292	358	4.00E-21
NAM_10-D08-M13F.ab1	411	5	217	CAC44218.1	putative ribosomal protein S27 protein [Oncorhynchus mykiss]	76	6	76	9.00E-37
NAM_10-D11-M13F.ab1	439	4	240	NP_957109.1	hypothetical protein MGC73391 [Danio rerio]	124	36	114	3.00E-34
NAM_10-D12-M13F.ab1	541	5	196	NP_955885.1	eukaryotic translation initiation factor 5 [Danio rerio]	429	348	411	1.00E-08
NAM_10-E02-M13F.ab1	549	102	548	AAO24740.1	creatine kinase brain isoform [Chaenocephalus aceratus]	377	1	149	7.00E-76
NAM_10-E04-M13F.ab1	560	81	362	NP_957109.1	hypothetical protein MGC73391 [Danio rerio]	124	21	114	7.00E-33
NAM_10-E05-M13F.ab1	223	15	194	XP_216137.2	hypothetical protein XP_216137 [Rattus norvegicus]	356	207	266	3.00E-04
NAM_10-E09-M13F.ab1	462	50	382	AAP20204.1	ribosomal protein L10a [Pagrus major]	197	87	197	1.00E-56
NAM_10-E11-M13F.ab1	588	8	166	BAB17845.1	complement C1r/s-A~isotype (C1r/s-A) of complement C1r/s-like	686	629	683	6.00E-09
NAM_10-F02-M13F.ab1	471	42	314	XP_146606.1	expressed sequence AA589584 [Mus musculus]	94	1	90	4.00E-18
NAM_10-F05-M13F.ab1	397	5	328	AAL48255.1	ribosomal protein L32 [Epinephelus coioides]	135	28	135	2.00E-55
NAM_10-F09-M13F.ab1	589	4	393	AAH44524.1	Unknown (protein for IMAGE:3818635) [Danio rerio]	492	349	478	6.00E-65
NAM_10-G01-M13F.ab1	604	4	258	AAH64265.1	Unknown (protein for MGC:76279) [Xenopus tropicalis]	300	215	299	1.00E-32
NAM_10-G04-M13F.ab1	640	5	541	NP_003962.3	sperm associated antigen 9 isoform 1; sperm surface protein;	1307	1121	1302	6.00E-54
NAM_10-G05-M13F.ab1	667	5	640	AAM19759.1	glutamic acid-rich protein cNBL1500 [Trichinella spiralis]	498	233	426	3.00E-08
NAM_10-G09-M13F.ab1	572	40	477	P83614|HBB2_GOBG1	Hemoglobin beta-2 chain	146	1	146	3.00E-76
NAM_10-G12-M13F.ab1	612	106	432	XP_371322.1	similar to KAT protein [Homo sapiens]	115	7	114	1.00E-20
NAM_10-H02-M13F.ab1	203	5	124	NP_937786.1	ribosomal protein L13 [Danio rerio]	211	172	211	2.00E-14
NAM_10-H03-M13F.ab1	482	4	366	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	23	143	1.00E-64
NAM_11-A01-M13F.ab1	368	139	366	NP_062415.1	N-acetylglucosamine kinase; GlcNAc kinase [Mus musculus]	343	38	113	7.00E-28
NAM_11-A03-M13F.ab1	341	127	336	NP_062316.1	NADH dehydrogenase (ubiquinone) 1 alpha subcomplex, 1 (7.5kD,	70	1	70	1.00E-24
NAM_11-A06-M13F.ab1	242	5	112	P83614|HBB2_GOBG1	Hemoglobin beta-2 chain	146	111	146	4.00E-11

NAM_11-B05-M13F.ab1	258	5	61	AAQ82789.1	Na/K ATPase alpha subunit isoform 1b [Oncorhynchus mykiss]	1028	1006	1024	1.00E-04
NAM_11-B10-M13F.ab1	690	4	264	NP_775331.1	Niemann-Pick disease, type C2 [Danio rerio]	149	63	149	9.00E-33
NAM_11-B11-M13F.ab1	561	4	459	NP_957135.1	pleckstrin [Danio rerio]	352	200	352	8.00E-72
NAM_11-B12-M13F.ab1	492	218	490	BAC27534.1	unnamed protein product [Mus musculus]	251	12	101	5.00E-31
NAM_11-C03-M13F.ab1	312	6	89	Q90YP3|RS28_ICTPU	40S ribosomal protein S28	69	28	55	6.00E-08
NAM_11-C09-M13F.ab1	407	7	201	AAP20154.1	apolipoprotein E [Pagrus major]	194	130	194	3.00E-17
NAM_11-C10-M13F.ab1	610	5	514	CAA74664.1	K18, simple type I keratin [Oncorhynchus mykiss]	438	265	434	2.00E-72
NAM_11-D01-M13F.ab1	473	3	365	A60508	hemoglobin beta chain - black rockcod	146	26	146	2.00E-64
NAM_11-D02-M13F.ab1	503	33	461	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	1	143	9.00E-76
NAM_11-D05-M13F.ab1	562	14	562	AAQ97801.1	KIAA0103-like protein [Danio rerio]	297	1	183	2.00E-83
NAM_11-D07-M13F.ab1	493	4	273	AAP20210.1	ribosomal protein L9 [Pagrus major]	192	103	192	6.00E-39
NAM_11-D09-M13F.ab1	422	1	354	Q9IA76|RL31_PAROL	60S ribosomal protein L31	124	7	124	2.00E-52
NAM_11-E05-M13F.ab1	518	153	512	BAB70958.1	unnamed protein product [Homo sapiens]	347	68	191	4.00E-14
NAM_11-E06-M13F.ab1	246	5	169	AAK95140.1	ribosomal protein L13a [Ictalurus punctatus]	201	147	201	3.00E-09
NAM_11-E07-M13F.ab1	491	14	490	BAB83846.1	LMP2-like~partially supported by GENSCAN and GrailEXP [Oryzias	217	1	159	5.00E-65
NAM_11-E08-M13F.ab1	563	5	373	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	21	143	2.00E-65
NAM_11-E09-M13F.ab1	758	83	298	NP_689862.1	hypothetical protein FLJ34389 [Homo sapiens]	471	396	469	5.00E-06
NAM_11-E11-M13F.ab1	706	5	550	AAP20200.1	ribosomal protein L4 [Pagrus major]	367	163	344	2.00E-90
NAM_11-E12-M13F.ab1	431	69	353	AAQ63320.1	60S ribosomal protein L35 [Hippocampus comes]	123	29	123	5.00E-45
NAM_11-F02-M13F.ab1	445	4	441	AAK95191.1	40S ribosomal protein S9 [Ictalurus punctatus]	194	42	187	2.00E-76
NAM_11-F07-M13F.ab1	578	380	490	NP_003190.1	transcription factor 4 isoform b; Transcription factor-4	667	1	40	1.00E-06
NAM_11-F10-M13F.ab1	469	155	337	XP_371042.1	similar to cytokine [Homo sapiens]	92	31	90	7.00E-07
NAM_11-F12-M13F.ab1	532	5	445	NP_956893.1	hypothetical protein MGC63512 [Danio rerio]	570	423	569	1.00E-69
NAM_11-G06-M13F.ab1	502	4	369	AAP20179.1	heat shock protein 90 beta [Pagrus major]	480	357	478	3.00E-35
NAM_11-G07-M13F.ab1	486	1	273	I51011	hemoglobin alpha chain - black rockcod	143	53	143	2.00E-45
NAM_11-G08-M13F.ab1	467	4	363	AAH42268.1	Arbp-prov protein [Xenopus laevis]	315	196	315	1.00E-33
NAM_11-G10-M13F.ab1	501	91	294	AAP36465.1	Homo sapiens guanine nucleotide binding protein (G protein), gamma	69	1	68	2.00E-26
NAM_11-H05-M13F.ab1	383	4	312	P50894|RS7_FUGRU	40S RIBOSOMAL PROTEIN S7	194	92	194	1.00E-49
NAM_11-H08-M13F.ab1	420	4	207	P29624|HB A1_NOTAN	Hemoglobin alpha-1 chain	142	75	142	2.00E-32
NAM_11-H11-M13F.ab1	314	4	231	AAH03518.1	Similar to ribosomal protein L23 [Homo sapiens]	134	59	134	1.00E-37

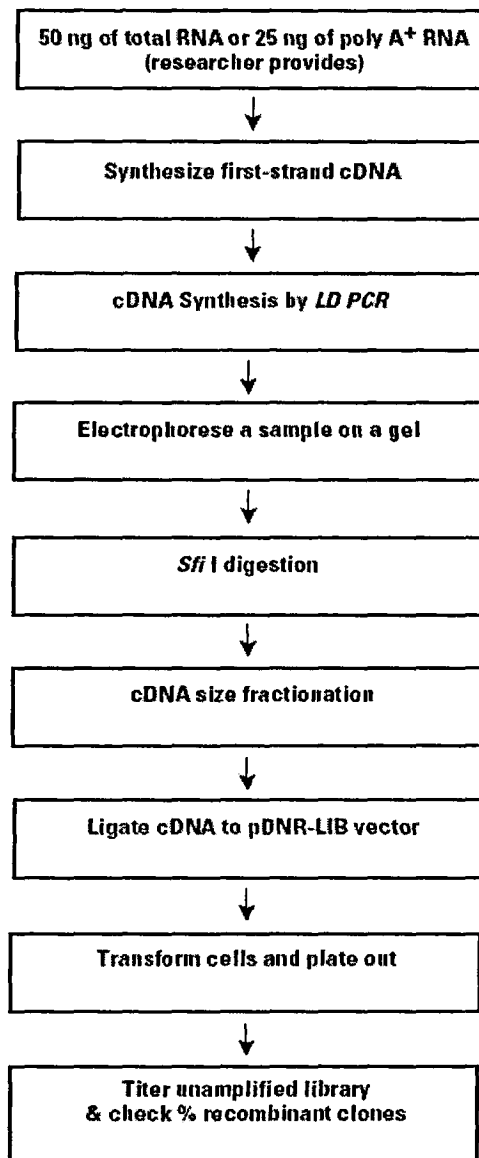
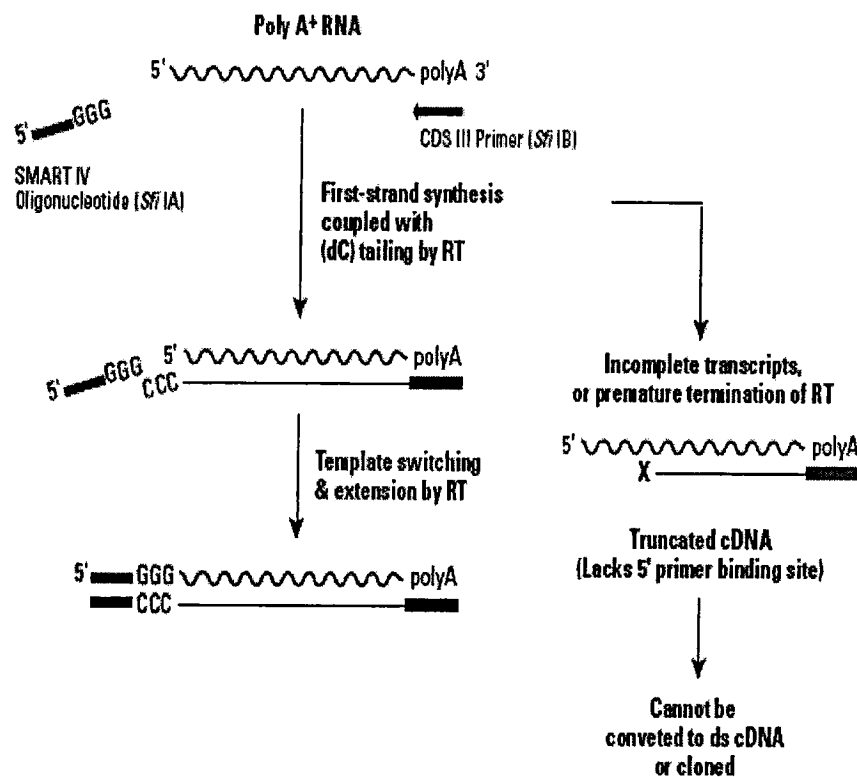
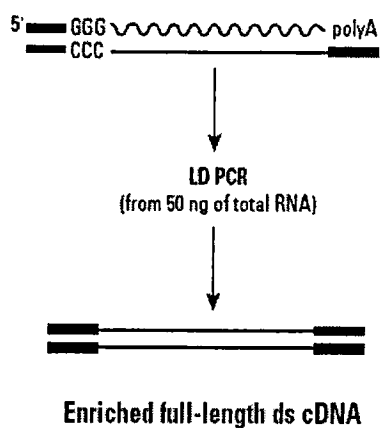


Fig. II 15-1. The flow chart for construction of cDNA library by using Clontech's Creator SMART cDNA Library Construction Kit

A)



B)



C)

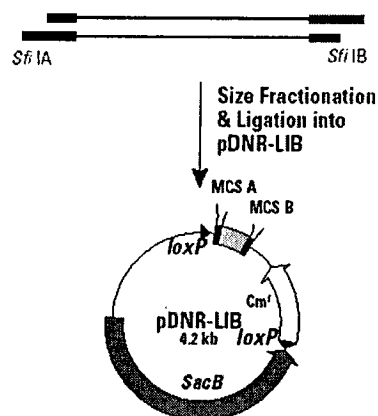


Fig. II 15-2. Step-by-Step construction of the cDNA library.

A) synthesis of the first cDNA strand, B) synthesis of the second strand by LDPCR, C) *Sfi*I digestion, size fractionation, and cloning.

Fig. II 15-3. Some of the expressed sequence tags(ESTs) obtained from the cDNA library of the Antarctic cod (*Notothernia coriiceps*) liver.

>NAM_01-A02-F.ab1 1 515

GGGGGAGTGAGAGAGATGGAGGAAGTGGAACTCAGTGACGGAGACTCGCC
CTACACGGTGGAGAAGGCGCCTCTCAGAAACCCGGACCTGACCCCCCTGA
GCCTGAACGGTAACGTTACCGTGAAAACCTTTATCTCCCTATCGGAGAGCT
GTATTTAATGCTAAACGTTAGCATGGCACTGCGTTTTAGCGGCTTATGTT
TGTTGGGAGTTATACGTCATAACGTTGCTGTGAGAAACATTGTACCTTTA
TAGCTGCTTACTATAACATTCCGTCCTGTGTAGACTATTTAATGCGCCAC
AGTCTCATTATAGTCGCAGTGTATCTCACATCATGGTCAGTATAATCAT
TCTTCATGTTTCCGCTGGCCTGTTAAAGTTGTTATTGTCCCCTGTCTC
TTTGTTACGTCATCTGGCCTATATGAAAGTTCCACTGTCTCCATAGTGA
GAGAGCTGCTGTCCCTGTATGGATGGTACCTGTTGTTCCGGACTCTGCTG
GTCTACCTGCTCCTC

>NAM_01-A04-F.ab1 1 669

GGGGGAAGTAGAGATGGTGAGCACATGGGTGTGGTTGGTTAGCAGTTAGC
CCATCAGCCTTTCAGGAGTGACAGACACAGGAAAGCAGCGTGGATGATGA
GGCCAACGATGAACCTCTGGACCCGGGAGCTCCCAAGATGGATACTAAG
ATTTATTTTTCCCTCATTGACCTTCATCCTCTTTGTGTCATGTTAAAAGTGGC
AAGAGCTCAGTCTCCACAACGGCGGATCAAATGCAGTCTGTGAGCAACA
ATATGGCAAACGGAACAACAATGCCCACTGCTCATACCCCCACTGGAAGA
GGAGTGCAGAGCAGATTCACCAGAGATGCTGACTCCTCCCAAGAACTCC
CGCCACGAAACGCGCCACAAGCCAGCAAACCTAGCAAACCAGTCAACGCCA
CTATGATACAAATGAACAGTACACTAGCTCCCAATAATGGCACAACCTAAG
CTACAAACCAAGCCAACAGTGACATCTTCCCCATCCACAACAACCTAGGAA
AGCCACCAAAGTTGTTGCCCTGGGACCCGGAGCAGGATAAAGATTTACCT
ATGATTACGAGTCCCTGCGCTATGCTGGACTGACCATCGCAGCAGTTCTT
TTCATTTGTGGGCATCATGGTCATTGGCTGTGGCAGGATCTGTCCGGCTGCC
CAACTGTCACAAGAAGTCA

>NAM_01-A06-F.ab1 1 605

GGGGTAAGGGGAAACATAGGAACAAGTCAGAGCTGGACATTAATAAGACA
TATCAGGTTGTGATAAGACGTGTTTCTACTGTCAGTGGAAGAAATCAACA
GCTCTGCTCACTGTGGTTCTTTCTGTTTCATTTTTATGTACGTGGTTTTT
AGACTGTTTGTAAGTCTGTGTGCAGACATGAGTATTTGTTGTAACCGTGT
TTTGTGTCTTTGAATGCTTTGTTGCCCTATTTGAGGTCTCCTTTGTAATCA
TGCACTAGTGTATAAACCAAACACAGACAGACAAAGCGAGTGTGGACAGA
CTGAAACCAGAACTCACTTTACGTGCACTGTGGCCAGTTTCTCTTCTGCT
GACGAAAAAAGCAACGCTCTCCATTCATTTCCACTTAAGAGAGTATTTTT
GGATGCCCGCTGTTTCATTTTACTCGTCCATTCATGACATTTATTATGA

Fig. II 15-3. (continued)

CGCTTTTATCCAAAGCAACTTACAAAAAGTGCAATTAATCATAAGGATAC
AAATTCAGAACAGCAAGAATCCTGCGAGTACATTACCTTAAAATCGGCTA
AACCATTTGAAATACTTTTATAAAGATTGTATTTGTCAAGGTGCAGTTGA
GCTTA

>NAM_01-A10-F.ab1 1 437

GGGGACACAAATAAAAGCCATCCTTATCACCTAAAGCTCTTTATTATGTA
ATATAGATTCAATATTTACATTTGACTCCCTTATATTTGCTGTTTTGGAG
GTAGGGAGCAGTTGTAATTCCTTCTTACTGTATTTGTCCACAGTTCT
TTGTAAGAAAATGTGAAAGTGTTTTTTTTGCATACTTTAGAATGATTAT
GTTGCTTTGTTCCAAATCGATGCTTCTACCACACTCACTTGTGCACATGT
TCCAAAGATGGCACAGATCTGGCTGCTAATGGAGTCACTTTGTAAAGCAA
CCAGTTTAAAGCTTCCCATGTTTGCTTATTCAACCTGTACTGTAAGTAAA
GGTCACATTTGTTCCATAAAGATTTATATTCCTCAATAAAGAGAAAATTAC
GATTGAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAACATGT

>NAM_01-A12-F.ab1 1 436

GGGGTATTAGGAGTATTAATACATATATAAATAACAAGTAAACAGAGAGC
AACAGCAACTGTATAATATGACAGATATACATTCATATTTTTTAAAGCTA
TTTTGTGAAGTTATACACCTCTCTGTGTAATACTAGAAACTGAAATCA
TGTAGGACTTTTTATTTGTAGTATTTTCAGTATTTTTACATAAGAATGTT
TTTTTTAATTTGTTTTTCAGAAAATACATTTAACTGCTGACATTTTGCT
TAAATGAGATGGGTTTTGGATCAGACTGACATACAAATGTGTAACGTTGT
GTTGTATAGACAAACTGATGTTGTTGTTTTTGAATCATTATGCCTTGTGT
TCGTGTTTTTAGTGGCTGTAATTATTTTTGAATAAATCAGAACTTTTT
CAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAACATGT

>NAM_01-B04-F.ab1 1 424

GGGGCCTTCCGGTCTGACCGCCATCATAGACAGCAGAAATGGCTATCCGC
TACCCTATGGCTGTTGGCCTTAACAAGGGCCACCCAGTCACCAAAAATGT
GACTGCCCCAAACACAGCCGCCGGCGTGGGCGTCTAACCAAACATAGCA
AGTTTGTCCGGGACATGATCCGTGAGGTGTGTGGCTTTGCTCCATATGAG
AGGAGAGCCATGGAGTTGCTCAAGGTGTCCAAGGACAAGCGAGCCCTCAA
GTTTCATTAAGAAGAGGATTGGCACTCACATCCGTGCCAAGAGAAAGAGGG
AGGAGCTGAGCAACGTTCTGGCTGCCATGAGGAAAGCTGCTGCCAAGAAG
GACTAATCTGTCACTTAATAAACGTTTTTCTAAACTCTGAAAAAAAAAAAA
AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAACATGT

제 16 절 남극에서 분리한 저온성 세균 유래 단백질 분해 효소

요약 : 저온에서 최적 생육을 보이는 호저온성 균주를 남극 해양에서 분리하여 생화학적 특성 및 16S rRNA 염기서열로부터 *Shewanella gelidimarina*에 속하는 균주로 동정하고 *S. gelidimarina* L93으로 명명하였다. 본 균주에서 생산되는 저온성 세포의 단백질 분해 효소(extracellular protease)를 ammonium sulfate precipitation, High-Q column chromatography, 일차 gel permeation chromatography, BioScale Q2 ion exchange chromatography 및 gel permeation chromatography를 통하여 SDS-PAGE 상에서 단일 band로 정제하고 그 특성을 조사하였다. 이와 아울러 남극 냉수성 어류인 *Notothenia* 속의 어류의 지라에서 단백질 분해 효소를 정제하고 그 특성을 조사하였다.

1. 서론

효소는 생체내의 생화학 반응을 촉진시키는 촉매로서 소수의 극한 환경 서식 생물의 경우를 제외하고는 효소 반응이 일반 화학반응에 비해 상온 상압에서 일어난다는 점과 효소 반응의 결과 자연계에 수많은 종류의 유기 물질이 존재한다는 사실은 효소 촉매 작용의 막대한 잠재력을 보여준다.

효소가 유기 화합물 합성에 촉매로서 사용될 수 있는 가능성은 효소의 여러 장점에 기인하고 있는데 효소의 촉매 효율성은 비슷한 반응 조건하에서의 비효소 반응(nonenzymatic reaction), 화학반응에 비해 무려 10^8 - 10^{14} 배나 되며 기질에 대한 특이성, 광학활성에 대한 특이성, 화학 구조상의 특정 부위에 대한 특이성 등의 특성이 있어 화학 촉매 반응에 비해 반응의 선택성이 매우 높다.

그러나 이러한 많은 장점에도 불구하고 효소 촉매의 실제 산업적 응용 범위가 제한적인 것은 효소를 유기합성 공정의 촉매로 사용하는 경우 나타나는 문제점에 기인하고 있다. 즉, 단백질의 일종인 효소는 본질적으로 열이나 산, 염기에 약

하며 유기합성에 사용되는 유기 용매에 의해 쉽게 변성되거나 불활성화되는 경우가 많고 또한 반응 기질이나 생성물에 의해 효소 활성이 저해되는 경우도 있어 기질 또는 생성물의 농도를 증가시키는데 한계가 있어 화학 공정에 비해 상대적으로 저농도 반응 체계가 되며 효소를 이용한 합성 반응에서는 많은 경우 소모성 조효소를 필요로하여 공정이 복잡하게 되고 경제성을 낮추는 요인이 되고 있다. 이외에도 효소의 기질 특이성으로 인하여 다양한 기질의 사용이 제한되어 유사한 구조를 갖는 저렴한 반응 기질의 사용이 어려워지기도 한다.

그러나 최근 들어 유전 공학, 단백질 공학 및 효소 화학 등 기초 학문 분야의 발전과 생물 공정 분야의 기술 개발로 이러한 문제점들을 개선시킬 수 있을 것으로 전망되고 있다. 특히 자연 상태에 적합하도록 되어있는 효소를 산업적 목적에 적합하도록 변형시키는 효소의 새로운 기능 개발과 비수용성(non-aqueous) 효소 반응기 기술 개발 등 효소 기술의 활용 기술 개발은 효소 촉매의 이용에 혁신적인 변화를 가져올 것으로 기대되고 있다. 즉, 최근까지의 효소 반응은 상온 상압등 온화한 조건하에 수용액 상태에서 생체 내에 일어나는 자연 반응을 이용하는 것이 거의 대부분이었으나 1980년대 들어 기존의 효소 반응의 개념을 벗어난 인위적, 비자연적 상태에서의 효소 반응에 대해 연구한 결과 새로운 효소 반응의 특성이 밝혀지면서 종래의 효소 촉매 반응과 구별되는 nontraditional biocatalyst의 개념이 형성되었다.

효소가 산업적으로 의미를 갖기 시작한 것은 1884년 네덜란드의 Hansen이 송아지의 위액에서 rennet를 추출하여 사용한 것이 처음이고 1894년 일본에서 Takamine가 Koji 배양법으로 곰팡이의 Amylase를 생산하여 상업화하면서 미생물을 이용한 효소 생산이 본격화되었다. 이후 20세기 들어 독일의 Tohm에 의하여 피혁 가공 및 세제에 효소를 이용하기 시작하였고 1911년 미국의 Waltersten이 효소를 이용한 Chill proffing 맥주를 개발하여 효소의 이용 용도가 식품, 환경 공업 등으로 확대되었다.

효소 산업의 발전은 현재까지 대략 3 단계로 구분하는데 제 1 단계는 1908년 Boidin 과 Effront가 *Bacillus subtilis*를 액체 배양하여 amylase를 생산하기 시작한 이후 제 2 차 세계대전을 전후하여 심부배양법(Submerged fermentation)에 의하여 효소를 대량 생산하는 기술이 정립되다. 이 때에는 주로 식품 분야에 이용되었고 주요 효소는 주로 전분 당화 효소와 단백질 용유 효소로서 효소원은 주로 동식

물 및 곰팡이가 이용되었으며 효소 자원의 탐색은 주로 고 역가 효소의 탐색에 집중되었다.

효소 공업 발전의 제 2 단계는 1953년 효소 고정화(Enzyme immobilization) 기술 개발 이래 1969년 Glucose isomerase의 효소 고정화 반응기를 통해서 고농도 과당의 생산이 가능해지고 이에 따라 효소 산업도 식품 생산을 포함하여 정밀 화학 제품의 생산에도 이용되기 시작했다. 이 때의 효소 생산 방법은 제 1 세대의 심부 배양법 이외에 유가식 배양을 하는 유가식 배양법(Fed batch fermentation)으로 발전하였고 효소 자원도 그 배양 시간이 짧은 세균을 대상으로 변화하기 시작하였다.

제 3 세대 효소 기술의 발전은 1977년 비수계 효소 반응 합성이 성공하였고 1988년 비수계 효소 반응기가 실용화되면서 활성화되었는데 이 때의 효소 생산 방식은 주로 유전자 재조합균주발효계를 사용하여 효소를 대량 생산하는 방식을 택하였고 효소의 활성도 단백질 공학 기술을 활용하여 변형된, 산업적으로 이용도가 높은 효소의 생산이 시도되었다. 신효소 자원의 탐색도 초기의 고역가 효소 자원 중심에서 신반응성, 선택이성, 신이용성이 있는 효소 자원을 선정하여 유전자 재조합 기술을 이용하여 대량 생산하는 체제로 발전하였다. 제 3 세대 효소 기술의 발전에 기여한 효소들은 esterase, hydrogenase, lipase, oxidase 등의 효소가 가장 많고 이 시기의 효소 세계 시장은 세계의 전체 효소 시장을 제 3 세대 효소기로 분류되는 1985년에 비해서 8년 후인 1993년의 효소 시장이 225% 증가된 9억 달러 수준이고 이중 특기 사항은 진단, 정밀 화학 분야가 급속히 성장하는 시장으로 대두되고 있다. 기타 의약, 펄프 및 폐수 처리 섬유, 동물 사료 분야가 획기적으로 증가하여 효소 시장이 초기의 식품 산업 중심에서 전산업으로 그 활용폭이 넓어졌다. 제 3 세대에서의 효소 이용이 화학 반응의 촉매로 사용되기 시작하는데 이는 효소의 높은 기질 특이성(Substrate specificity), enantioselectivity, regioselectivity 등의 성질을 이용하여 고가의 chiral intermediates를 제조, 향생물질의 중간체 합성, 탄수화물 구조의 의약품, 신물질의 효소적 합성 및 고분자 화합물의 합성 등에 다양하게 이용됨에 따라 이러한 효소들을 생촉매(Biocatalyst)라 명명하고 효소 산업 분야의 신규 분야로 대두되고 있다. 이러한 생촉매에 대한 수요도 정밀 화학 분야에서 1993년도에는 1985년 대비 563% 증가한 4500만달러로 늘어나고 있으며 이러한 추세는 점차 심화될 것으로 보인다. 이와 같이 효소의 다양한 반응성을 이용함에 따라 보고되고 있는 효소의 종류도 점차 다양해져 1961년 712개, 1964년 875개, 1972년

1770개, 1978년 2122개 1984년 2477개 그리고 1993년 현재 3300여 개가 보고 되고 있다. 제 3 세대의 효소 이용 기술은 지구 환경 보존과 관련 청정 산업화 기술 (Clean technology)의 여파로 효소를 사용하려는 움직임이 증가하여 산업 전반에 고효율, 저에너지, 저공해 기술인 효소 이용 기술을 도입하는 추세이다.

제 3 세대 효소 공학 기술의 개발에 필요한 주요 관련 기술들은 기초 연구 분야에 미생물 탐색 기술, 유전 공학 기술, 단백질 공학 기술, 단일 클론 항체 기술 등이, 그리고 응용 연구 분야에 유기 합성 기술, 생물 반응 기술, 발효 공학 기술, 분리 정제 기술 등이 연계되어있다.

미래의 효소 공학 기술은 생체 모방 기술(Biomimetics)의 한 분야인 효소 모방 기술(Enzyme mimetics)로 1982년 최초의 인공효소가 합성된 후 가시화 되었고 현재까지 천연 효소가 가지고 있는 고분자성, 안정성, 반응성 및 재사용성 등의 한계점을 극복한 인공효소인 xenozyme, abzyme, 및 chemozyme 등의 생산이 가능해짐에 따라서 효소의 생산 기술도 전통적인 미생물 발효에 의한 방법보다도 획기적으로 저렴할 뿐 아니라 동시에 특성이 다른 효소를 대량 생산 가능한 효소 모방 합성법에 의해서 생산 할 것으로 예상된다. 이와 같은 기술이 확립되면 효소 이용 산업도 현재 활용되고 있는 일부 식품, 정밀 화학 및 의약 분야에서 전 산업 분야로 확대 이용될 것이고 효소 반응도 순환되면서 연속적으로 사용되는 동시에 효소 자체가 재생되는 현재의 생체 기능과 같은 방식으로 원하는 산물을 생산하게 될 것으로 기대된다.

이상과 같은 효소 산업의 발전은 사회적 요구와 주변 기술의 발달에 의해서 획기적으로 발전하고 있으며 산업적 중요성이 점차 가중됨에 따라서 기존의 알려진 효소에 대해서도 신규 기능이 있는지 여부를 확인하고 아울러 반응성에 맞는 신규 효소의 탐색이 중요하고 이런 효소들을 이용한 새로운 공정 개발을 통한 산업 적용은 중요한 의미가 있다.

효소를 분리하는 원료는 여러 가지가 있을 수 있으나 미생물의 경우 순수한 형태로 분리된 균주는 일단 배양 조건만 수립되면 원하는 시기에 신속하게 필요한 양의 균체를 유용 물질의 원료로서 공급할 수 있으며 생산 작업의 규모도 Fermentation 등을 이용하여 필요한 대로 증대시킬 수 있다는 장점이 있고 아울러 균주 개량 등을 통하여 생산량을 증대시킬 수도 있다. 또한 미생물 특히 세균의 경우 유전자 검색 및 조작 기술이 비교적 잘 확립되어있으며 그 genome 크기가 작

아 고난도의 기술 없이도 유전자 조작의 가능성도 열려있다는 점도 장점으로 꼽을 수 있다.

세계 효소 시장 규모는 연간 1조 6천억원(1999년 기준) 정도이며, 거의 세계 시장 전부를 덴마크 노보사, 미국 제넨코 등 몇몇 선진국 기업들이 장악하고 있다. 국내 세제용 효소 시장의 경우도, 수요의 대부분을 수입에 의존하고 있으며 그 시장 규모는 연간 수 백억원에 달한다. 따라서 국내 생물에서 개발된 단백질 분해 효소가 산업화될 경우 세제용, 의약품용, 산업 소재 가공용 및 학술 연구용 등의 분야에서 광범위하게 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 수입 대체 효과는 물론 수출을 통한 세계 시장 점유로, 국가 경쟁력 강화에 크게 기여할 것으로 예상된다.

공업용 효소의 세계 총 생산량은 1994년에 약 10억불로 추정되고 있으며 효소의 이용용도 별로 세제용 32%, 전분 가공용 15%, 유가공 14%, 섬유 가공 10% 그리고 기타 29%로 집계되고 있으며 이러한 효소의 사용은 급격히 증가하여 2005년에는 17 - 20억불 수준에 달할 것으로 추정된다.

단백질 분해 효소(프로테아제, Protease)란 파파인, 트립신 등의 단백질 가수분해 활성을 갖는 단백질 분해 효소를 총칭하는 것으로, 이들 물질이 표피에 적용될 경우 박리된 표피의 각질을 이루는 케라틴 등의 단백질을 분해하고 유도 단백질의 일종으로 소화 흡수가 용이한 영양 성분인 펩톤을 생성하는 등의 작용을 수행함으로써 표피 신진대사의 원활화를 기하고 피부 기능의 정상화를 유지할 수 있을 뿐만 아니라 보습 첨가제로서 탁월한 수분 조절 작용을 나타내어 화장품 및 향장품의 첨가제로서 많이 이용되고 있는 물질이다. 이는 동식물의 조직이나 세포, 미생물에 널리 존재하며 대부분은 분자량 수만인 단순 단백질인데, 당이나 금속 이온을 수반하는 복합단백질인 경우도 있다. 분해 양식에 의하여 엑소펩티다아제(exopeptidase)와 엔도펩티다아제(endopeptidase)로 크게 둘로 나눈다. 엑소펩티다아제는 펩티드사슬의 말단에만 작용하여 아미노산을 차례로 유리시킨다. 로이신아미노펩티다아제나 카르복시펩티다아제가 대표적이다. 엔도펩티다아제는 말단보다는 오히려 내부에 작용하여 여러 가지 크기의 펩티드를 유리시킨다. 펩신 · 트립신 · 키모트립신 등 수많은 예가 있다. 또, 촉매 작용하는 필수아미노산 잔기(殘基)나 조건에 의하여 세린 효소 · 티올 효소 · 금속 효소 · 산성 효소의 4종으로 분류된다. 프로테아제는 생물에 의하여 불가결한 단백질의 재료인 아미노산을 다른 단백질 분해에 의하여 섭취할 때에 필요하며, 또 단백질 화학에 있어서 단백질의 아미

노산 배열 결정에 중요한 역할을 한다.

본 연구에서는 다양한 해양 환경에 서식하고 있는 해양 생물에 공생 혹은 공존하는 미생물과 단독으로 서식하는 미생물들을 대상으로 균주를 순수 분리, 보존하고 이들을 대상으로 산업적으로 활용도가 높은 효소들의 생산 여부를 검색하고 배양량 당의 효소 역가 검사를 통하여 활성도가 높은 효소원을 확보하였다. 이렇게 확보된 효소원을 이용하여 효소 생산의 최적 조건을 수립하고 해당 효소를 분리 정제하고 그 응용 분야를 개발한다. 이렇게 분리 확보된 균주들은 현 단계에서의 신물질 및 유용 물질의 생산자로서의 가능성뿐만 아니라 비교적 보존이 용이하므로 장래에 현재 여건에서 검색할 수 없는 새로운 유용 물질의 원천으로서 소중한 자산의 의미를 지니고 있기도 하다.

2. 재료 및 방법

가. 균주의 분리 (남극 저온성 세균 균주 확보)

남극 저서 퇴적물은 SCUBA를 이용하여 깊이 32 m의 수심에서 채집되었으며 채집된 해역은 남극 세종 기지 앞 Marian cove에서 얻어졌다. 채집 당시 수온은 0.5 - 0.8 °C였다. 채집된 시료는 기지로 옮겨져 ZoBell 배지를 기본으로 한 plate에서 각 균주가 순수 분리되었으며 분리된 균주는 야외 Igloo chamber(임야 실험용간이 실험실, 평균 온도 2-5 °C)에서 10 일간 배양하였다.

- 시료 채취 : 한국 해양 연구소 세종과학 기지 주변 해역 및 인근 기지 주변
해역 (Barton peninsula, King George Island)
- 시료 채취 시기 : 1999. 12. - 2000. 1. (Austral summer)
- 해당 지역의 온도 : 해수 온도: 1-2 °C
육지 온도: -5 - 5 °C
- 시료의 종류 : 토양 시료, 해수 시료, 담수 시료, 생물 시료 등 총 47 종
- 저온성 균주의 분리 :

Autoclave로 고압 멸균된 15ml conical tube(PP)에 시료 1gram을 넣고 여기에 멸균된 50% ZoBell 배지 10ml를 가한 후 3분간 격렬하게 흔들어 세균들을 추

출한 후 방치하여 무거운 시료가 가라앉은 후 상등액을 0.1ml 씩 취하여 미리 준비한 50% ZoBell-agar plate에 가한 후 도말하여 실외에서 15일간 배양하였다.

균주 분리를 위한 해양 생물 시료는 SCUBA로 채집된 즉시 2-3 g 정도의 시료를 취하여 외부에 묻은 물기를 제거하고 멸균된 가위를 이용하여 최대길이 0.5 cm 이하로 잘게 자른 뒤 1ml의 멸균된 해수를 가하고 막자사발로 갈았다. 이를 미리 준비된 평판 배지에 0.1ml 씩 가하고 도말하여 균체 집락이 형성될 때까지 배양하였다. 해저 퇴적물이나 해수는 멸균된 50ml conical tube에 담아 실험실로 운반하여 처리하였다.

· 균주 분리에 사용된 배지

1. Bennet's

2 g Glucose
2 g peptone
1 g Malto extract
1 g Yeast extract
Agar 20 g/liter
Aged sea Water
pH 7.2

2. Starch Casein KNO₃ (단백질 분해 효소 검출용)

18 g starch
10 g KNO₃
2 g K₂HPO₄
2 g NaCl
0.3 g casein
0.05 g MgSO₄·7H₂O
0.02 g CaCO₃
0.01 g FeSO₄·7H₂O
Agar 18 g/liter
Aged sea Water 70% (pH 7.0)

3. Chitin (Chitin 분해 효소 검출용)

4 g	chitin
0.7 g	K ₂ HPO ₄
0.5 g	MgSO ₄ ·7H ₂ O
0.3 g	KH ₂ PO ₄
0.01 g	FeSO ₄ ·7H ₂ O
1 mg	MnCl ₂ ·4H ₂ O
0.1 mg	ZnSO ₄ ·7H ₂ O
Agar	20 g/liter
Aged sea Water 70% (pH 8.0)	

4. M3-I

0.732 g	Na ₂ HPO ₄	
0.466 g	KH ₂ PO ₄	
0.29 g	NaCl	
0.2 g	Sodium propionate	
0.1 g	MgSO ₄	
0.02 g	CaCO ₃	
0.01 g	KNO ₃	
0.2 mg	FeSO ₄ ·7H ₂ O	
0.18 mg	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	
0.02 mg	MnSO ₄ ·4H ₂ O	
Cycloheximide solution		10ml/liter
Thiamin-HCl solution		10ml/liter
Agar	18 g/liter	
Aged sea water 70 % (pH 7.0)		

5. M3-II

0.732 g	Na ₂ HPO ₄
---------	----------------------------------

0.466 g KH_2PO_4
 0.29 g NaCl
 0.1 g KNO_3
 0.1 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
 0.02 g CaCO_3
 0.1 g Sodium propionate
 4.0 mg Thiamine.HCl
 0.2 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
 0.18 mg ZnSO_4
 0.02 mg MnSO_4
 Cycloheximide solution 10ml/liter
 Thiamine.HCl solution 10ml/liter
 Agar 18 g/liter
 Aged sea water 70% (pH 7.0)

6. ZoBell 배지;

5 g peptone,
 1 g yeast extract,
 Agar 15 g/liter
 Aged Sea Water 50 % (pH 7.0).

7. Sea Water Complete media

5 g Bacto tryptone,
 3 g Yeast extract
 3 ml Glycerol
 Agar 15 g/liter
 Aged Sea Water 75 % (pH 7.0)

배양 기간 후 각 plate를 검사하여 균체 균집이 생성된 plate에서 각 colony
 를 멸균된 loop로 따서 새로운 agar plate 2장에 옮기고 한 장은 실외에서 또 다른

한 장은 실내에서 배양하여 매일 관찰하면서 colony의 형성을 모니터링하여 저온 (실외)에서의 성장이 뛰어난 균주를 선발하였다.

나. 균주의 동정

1) 생화학적 특성의 조사

분리된 균주의 생화학적 특성의 조사는 API-20NE kit(BioMed)를 사용하였다. 본 kit는 원래 동정을 위한 것으로서 해양 세균의 경우 동정 결과는 그 신빙도는 떨어지지만 kit 화 되어있어 단시간에 각 균주의 특징을 분석하는데는 유용하다.

2) 16S rRNA variable domain sequence

L93으로부터 chromosomal DNA 분리하기 위하여 L93 균주를 200ml SWC 배지에서 10℃, 160rpm으로 16시간 정도 배양한 후 centrifugation에 의해 cell pellet 1g(wet weight)정도를 얻었다. 이로부터 weak alkaline lysis method로 약 50 μ g 정도의 chromosomal DNA를 회수하였다. Agarose gel electrophoresis에서 결정된 chromosomal DNA의 평균 길이는 약 200kbp 정도인 것으로 판명되었으며 이를 TE buffer에 녹여 보관하였다. 이를 template로 사용하여 27F 및 342R PCR primer set를 이용하여 PCR을 수행하였다. Bioneer Co(Korea)의 Premix PCR kit를 사용하였고 기기는 Perkin-Elmer PCR-480을 사용하여 30 cycle 반응 결과 Agarose gel electrophoresis에서 340bp에 해당되는 band를 얻어 이를 PCR sequencing 방법으로 염기 서열을 결정하였다. Automatic DNA sequencer(ABI prism-377)와 Big-dye termination kit(Perkin-elmer)를 사용하여 서열을 결정하고 얻어진 염기 서열은 Genbank의 16S rRNA sequencer data-bank와 비교하여 균주의 동정을 수행하였다.

3) 지방 및 지방산 조성의 조사

배양된 균주를 회수하여 Folch solution(CHCl₃-MeOH = 2:1)로 추출하여 그 조추출된 지방의 무게를 달고 이를 silica-gel column(6 mm X 15 cm)에서 분리하였다. CHCl₃에 녹인 총 지방을 silica-gel column에 가하고 1차로 CHCl₃(10 column volume)으로 중성 지방을 용출하고 2차로 acetone으로 당지질을 용출한 후 최종적으로 MeOH를 이용하여 인지질을 용출하였다. 분리된 각 지방 성분은 rotary

evaporator로 용매를 제거하고 무게를 달아 대략적인 조성을 분석하고 각 지방 성분별로 TLC-FID(thin layer chromatography-flame ionization detector, Iatroscanner, Iatron lab, Japan, MK-5)와 ChromaRod III를 이용하여 분석하였다.

n-Hexane, acetyl chloride, chloroform, methanol, ethanol, diethylether, BHT(Butyl hydroxy toluene) 들은 Merck 사의 제품을 사용했으며 fatty acid 들과 fatty acid methyl ester 표준 시료는 Sigma Chemical Co. 의 제품을 사용하였다. 본 실험에 사용한 모든 용매에는 지방산 조성 분석을 위한 특별한 경우를 제외하고는 항 산화제로서 50 - 100mg/l 의 BHT를 첨가하였으며 지방산의 methylation에 사용된 methanolic HCl 의 제조는 acetyl chloride 30ml을 4°C 로 식힌 메틸알콜 300ml에 천천히 부으면서 섞어 형성된 HCl이 메틸알콜에 용해된 용액을 제조하였다.

약 50mg 가량의 대상 균체를 Eppendorf tube(2.2 ml) 에 들어 있는 0.3ml 의 methanolic HCl 에 옮긴 후 5 초간 Vortex로 흔들어 현탁시킨다. 현탁 된 시료를 55°C 항온조에서 2시간 동안 반응시켜 methylation 을 완결한 후 0.4ml 의 5% NaCl 용액과 1.5ml 의 n-hexane 을 가한 후 30초간 Vortex로 흔들어 형성된 fatty acid methyl ester를 n-hexane 층으로 추출한다. 깨끗한 층 분리를 위하여 약 1 분간 15,000rpm 에서 원심 분리한 후 n-hexane 층을 pasteur pipet 을 사용하여 새로운 1.5ml 들이 Eppendorf tube 로 옮긴 후 이를 40°C 에서 Heto 사의 Speed-Vac 과 aspirator를 사용하여 시료 부피를 약 0.1ml로 감압 농축시킨 후 지방산 조성을 기체 크로마토그래피로 분석하였다.

- Gas Chromatography

Hewlett-Packard gas chromatography(model HP5890IIplus)와 Hewlett-Packard ChemStation data aquisition S/W를 사용했고 EC-wax(Altech, USA) capillary column(30m X 0.32mm)을 사용하여 195°C 에서 분리하였고 Flame Ionization Detector로 검출하였고 carrier gas로는 헬륨을 사용하였다. Gas chromatogram 에서 각 peak 는 ECL(Equivalence Chain Length) 값을 구하여 해당 되는 fatty acid로 동정하였다.

- Equivalent Chain Length(ECL)의 결정

Fatty acid의 동정을 ECL 값을 그 retention time으로 부터 구하는 것은 한 종류의 column을 사용하고 동일 조건에서 분석할 때 가능한 것으로 여러 개의 이중결합들을 갖고 있는 지방산의 분석에 유용한 방법이다. ECL 계산을 위한 표준 물질로는 tetradecanoic acid methyl ester(C14:0)와 hexadecanoic acid methyl ester(C16:0) 을 사용하였다. 그 계산식은 아래와 같다.

$$ECL = 14 + 2 \times \frac{\log(Rt_x - Rt_s) - \log(Rt_{14} - Rt_s)}{\log(Rt_{16} - Rt_s) - \log(Rt_{14} - Rt_s)}$$

Rt_x : Retention time of unknown peak

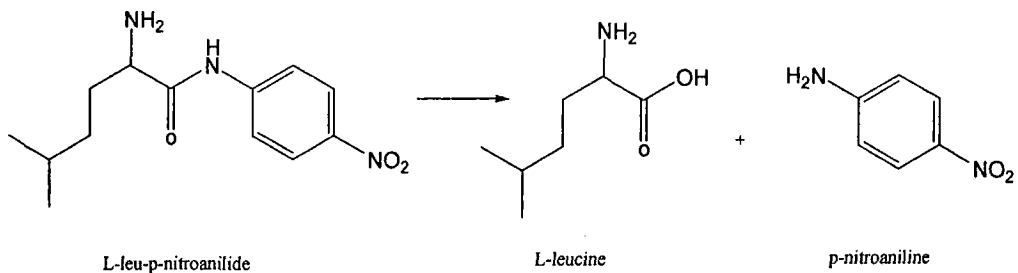
Rt_s : Retention time of solvent

Rt_{16} : Retention time of hexadecanoic acid methyl ester

Rt_{14} : Retention time of tetradecanoic acid methyl ester

4) 단백질 분해 효소의 분리 정제

가) 단백질 분해 효소 활성의 분석



배양 분리된 균주를 소량(5ml) 액체 배양하여 균체를 제거한 배양액을 기질 L-leucine-p-nitro phenylanilide와 반응하여 405nm에서 발색 시료 선발(Microplate reader 사용)하였다.

대조 실험용 Microsomal leucine aminopeptidase (AP-N)와 L-leu-p-nitroanilide.HCl은 Sigma Chemical Co.에서 구입하여 사용하였다. 96 well microplate의 각 well에 L-leu-p-nitroanilide.HCl stock solution(15mg/ml in

DMSO) 0.1ml를 사용 직전에 10ml의 0.1M TrisHCl buffer(pH 7.0)로 희석하여 이 용액 0.16ml를 가한 후 세균 배양액 100ul를 첨가하여 Microplate reader (BioRad model 3550)으로 초기 흡광도를 405nm에서 측정한 후 30분간 반응시키고 다시 405nm에서의 흡광도 변화를 측정하여 형성된 p-nitroaniline을 정량하였다.

나) 배양액에서 PLC의 초기 농축

- Acetone powder 방법에 의한 extracellular protein의 농축:

4℃로 식힌 broth 500ml를 Dewar bottle에 담아서 dry ice를 가하여 영하 30℃로 식힌 acetone 1 liter를 가하고 영하 20℃를 유지한 상태에서 30분간 방치한 다음 Whatmann #1 filter를 사용하여 Buchner funnel에서 vacuum filtration하고 filtration후 diethyl ether로 washing 하여 남아있는 acetone을 완전히 제거하였다. 다시 diethyl ether를 날려서 건조된 pellet을 speed-vac에서 완전히 말린 후 여기에 50ml의 TrisHCl buffer(50mM, pH 8.0)를 가하여 녹인 후 이를 다시 10,000rpm에서 10분간 centrifuge하여 denaturation된 protein을 제거하고 활성을 검사한다.

Acetone powder ppt 법의 장점은 생성 균주의 autolysis등에 의하여 생성되는 여타 lipid들이 acetone에 녹아 나가므로 이들의 제거가 매우 용이하여 나중 분석 시 chromatogram이 매우 명백해진다는 점이다. Acetone precipitation의 문제점은 본 균주가 sea water에서 배양하므로 acetone 존재 하에서는 salt가 다량 침전된다는 사실이다. 따라서 acetone powder로 여겨지는 시료의 상당량은 sea salt이고 이는 EtOH ppt로 제거될 수 있다.

- Ultrafiltration 에 의한 extracellular enzyme의 농축

총 20 liter의 배양액을 Microgon 사의 ultrafiltration tangential filter (MWCO 50,000dalton)를 사용하여 여과법으로 enzyme을 농축하였다. Masterflex peristaltic pump를 사용하였고 압력은 20psi를 유지하였으며 flow rate는 120ml/min으로 조절하였다. 작업 시 방안 온도는 10℃로 유지하였으며 효소 용액의 온도는 ice-water bath에 담아 10℃이하를 유지하였다. 농축된 효소액은 cold chamber (4℃)에 보관하여 정제 과정에 들어갔다. 본 방법을 사용

하기 전에 우성 소형 (50ml 들이) stirred cell ultrafiltration unit(Amicon, USA) 를 이용하여 여러 종류의 MWCO 값을 갖는 UF membrane을 이용하여 효소 활성이 나타나는 fraction을 결정하여 대략적인 효소의 분자량을 구하고 이를 바탕으로 대량 여과를 수행하였다.

- Fractional Ammonium sulfate precipitation

배양액에 Ammonium sulfate powder를 포화도 35%, 55%, 80%를 각각 포화시키고 단백질을 salt-out 시켜 centrifugation으로 각 fraction을 분리하여 각 활성을 조사하였다. 그러나 본 방법은 배양액내에 protein의 함량이 낮고 부피가 크므로 직접 사용하기에는 문제가 많다. 따라서 Ultrafiltration을 이용하여 적정 수준까지 농축시킨 후 사용하였다.

다) 배양액에서 PLC의 분리 정제

- DEAE-cellulose ion exchange column chromatography

배양액은 SWC 배지이므로 약 75%의 해수를 포함하고 있다. 배양 후에는 배지에 따라 다르지만 보편적으로 다량의 갈색 색소가 포함되어있으며 방선균의 경우 이러한 경향이 심하다. 이러한 색소는 효소 분리 정제 과정에 저해를 주므로 사전에 제거하는 것이 바람직하다. 여기서는 배양액을 그대로 DEAE-cellulose column(2.5X 30cm)에 loading하고 흘러내려 이 salt 농도에서도 resin에 흡착되는 색소 성분을 제거하였다. 이를 다시 200ml의 50mM TrisHCl (pH 8.0) buffer로 washing하고 0.1M NaCl부터 1.0M NaCl을 함유하는 동일 buffer로 linear gradient를 걸어 binding 된 효소와 색소의 정도를 조사하였다. 이때 Flow rate는 1ml/min였고 UA-6 uv-monitor(ISCO Co., USA)로 protein의 elution을 검출하였다.

- Desalting with desalting column(Econo DG-10 column)

4 liter의 시료는 다시 Microgon ultrafiltration module(Minikross lab. system, Spectrum Co, USA)로 MWCO 50,000 짜리 filter(area 3,500cm²)를 사용하여 대략 500ml로 농축하였고, 이를 다시 Amicon사의 ultrafiltration stirred cell (600ml capacity)과 MWCO 50,000 filter(YM50, 7.6cm)을 사용하여 100ml로 농축

하였다. 이를 desalting column(DG-10, Bio-Rad Co., USA)을 사용하여 SWC 배지에 함유된 염분과 배지 성분을 제거하고 50mM TrisHCl buffer(pH 8.0, containing 0.1M NaCl)으로 buffer를 교환하였다.

- High-Q ion exchange column chromatography:

Sample 10 ml를 High-Q cartridge(5ml vol., BioRad, USA) 3 개를 직렬로 연결한 column에 가하여 흡착시키고 이를 다시 15ml의 20mM Tris buffer (pH 8.0)로 washing 하여 binding 되지 않은 protein을 제거하였다(Flow rate = 1.0ml/min). 그리고 난 뒤 0 - 0.4mM의 NaCl을 포함하는 동일한 Tris buffer 1차 gradient로 binding 된 protein을 elution 시켰다(Flow rate = 1ml/min). 다시 0.4 - 1.2M NaCl 2차 gradient로 강하게 흡착된 protein을 elution 시켰다. 사용한 기기는 Bio-Rad의 Biologic protein purification system을 사용하였고 fraction collector(Model 2128) 각각 1.0ml씩의 fraction을 받아 각 fraction의 활성을 검사한 후 Active fraction을 모아서 다시 ultrafiltration으로 농축하였다. 동일한 시료를 반복하여 분획, 분취하여 활성 fraction을 수집하였다. 각 chromatography 단계에서 효소의 정제 정도는 HPLC-GPC(Xer-chrom-400, monopump, Alltech GPC column, TSK-gel G-3000sw, 0.75X 30cm, flow rate : 1.0ml/min)을 사용하여 분석하였다.

- BioSec-25 gel filtration column chromatography

High-Q ion exchange column chromatography에서 가장 높은 활성을 보인 fraction인 0.4M NaCl eluting fraction을 Bio-Rad GPC column(Sec 0.75X 30cm)을 사용하여 분리하였다. 동일한 50mM TrisHCl buffer(50mM NaCl)를 사용하였으며 flow rate는 1.0ml/min으로 설정하였다. 각 시료는 1ml씩을 반복하여 주입하여 Model2128 fraction collector를 이용하여 overlay collection으로 수집하였다.

- Bio-Scale Q2 column chromatography

Gel filtration column chromatography에서 활성을 보인 분획을 모아 Bio-Scale Q₂ column(Bio-Rad)을 이용하여 2차 ion exchange column

chromatography를 수행하였다. BioScale Q-2 column(BioRad Co, bed volume : 5ml)를 이를 2 column volume의 PC/25 buffer로 평형을 이루게 한 뒤 1차 GPC column에서 용출된 protease 시료 10ml를 천천히 (flow rate : 0.5ml/min) 가하여 column에 흡착시킨 뒤 2 column volume의 초기 buffer(Q/20 buffer : 50mM TrisHCl, pH 7.5, 1mM EDTA, 1mM DTT, 20mM NaCl)로 BioScale Q-2 column 을 세척하여 (1ml/min) 흡착되지 않은 protein을 제거하고 column 부피의 약 8 배에 해당되는 부피의 Q/20 buffer에서 Q/1000 buffer(50mM TrisHCl, pH 7.5, 1mM EDTA, 1mM DTT, 1M NaCl)로 NaCl concentration gradient를 사용하여 흡착된 enzyme 들을 용출하였다.

- SDS-polyacrylamide gel electrophoresis

Novex precasted gel(8%, 8cm X 8cm X 1mm)을 사용하여 native gel electrophoresis를 수행하였다. Soybean lechithine plate에서 halo를 형성하는 위치에서 효소의 존재를 확인하였다.

Native gel sample buffer (Tris-Glycine, 2 X)

1.5 M TrisHCl (pH 8.8)	4.0 ml
0.1 % Bromophenol blue	0.5 ml
Glycerol	2.0 ml
D.W.	to 10.0 ml

Native gel running buffer (10 X)

Tris base	29 g (2.9 g)
Glycine	144 g(14.4 g)
D.W.	to 1 liter (to 100 ml)

1 X running buffer should be pH 8.3.

3. 연구 결과와 고찰

가. 우수 균주 선발 및 기본 배양

본 연구 수행 결과 총 분리 세균 수는 549 균주였으며 이들 중 저온성 균주는 273 균주가 얻어졌다. 이들 중 저온성 protease 생산 우수 균주로는 저온에서의 생장이 우수한 균주 번호 Y2K-AL93 (L93) 균주 외 5 종을 선택하였으며 이들 중 최종적으로 L93 균주를 대상으로 동정 및 protease 분리 정제를 수행하였다. 본 균주는 현미경하에서(1,000 배율) 막대 모양의 균주로 5 - 10℃에서 ZoBell 액체 배양 시 18시간만에 cell density를 보이는 660nm에서의 흡광도가 6 이상으로 증가하는 매우 우수한 저온성 균주이며 Gram (-)성 세균으로서 현미경으로 본 형태는 rod form으로 agar 평판 배지에 배양할 경우 colony의 색깔은 옅은 오렌지 색깔이며 배양 시간이 지날수록 형광을 나타낸다. 편모를 가지고 있어 이동성이 있으며 길이 최대 2 μ m 수준이었다. 생존 가능 온도는 4 - 20℃ 범위이고 가장 잘 자라는 온도는 10 - 15℃ 범위이다. V/P test에서는 양성이고 citrate를 이용할 수 있었으며 catalase, oxidase, arginine dehydrolase, tryptophan deaminase 활성을 가지고 있었으나 β -galactosidase, lysine decarboxylase, ornithine decarboxylase의 활성은 검출되지 않았다. 최소 배지에서 단일 탄소원의 이용은 glucose 등 실험에 사용된 8종의 단당류 모두를 이용하지 못해 복합 배지를 필요로 하는 균주로 여겨진다. 본 균주에서 total DNA를 분리하여 E. coli의 16S rRNA의 27F와 342R primer set를 사용하여 16 S rRNA의 변이 부위를 PCR로 증폭한 후 염기 서열을 결정하고 (Fig. II 16-3) 이의 염기 서열을 GenBank data base와 비교하여 균주명을 동정한 결과 *Shewanella gelidimarina* 종으로 동정되어 이를 *S. gelidimarina* sp.L93으로 명명하였다.

나. 최적 배양조건 수립

SWC, ZoBell, LB, HI 등 4 종류의 배지를 사용하여 동일한 물리적 조건 (최적 온도 10℃와 pH 7.2에서 수행)에서 배양할 경우 역시 HI(heart infusion) 배지에서의 생장이 가장 우수하였다. 배양 후 3일째부터 급격한 성장을 보여 4일째

A600nm의 값이 15.12-15.14의 높은 값을 보이는데 이러한 현상은 Heart 추출물에는 필수 지방을 위시하여 다량의 성장 필수 영양소가 포함되어 있기 때문이라고 보여진다. LB 배지에서도 이와 유사한 성장을 보이고 있는데 HI의 최대 14.13-14.70%에 비하여 LB에서는 11.41-13.37의 다소 낮은 값을 보였다. SWC 배지에서는 성장은 LB나 HI에 비하여 다소 낮았다.

ZoBell broth 배지를 사용하여 각 4, 10, 15, 20℃에서 본 균주를 배양하여 최적 성장 온도를 측정하였다. 약 7 일간의 배양 결과 남극 저온성 세균 L93은 20℃에서는 거의 성장을 보이지 않았다. 초기 cell density를 0.4로 조정하여 접종한 상태에서 7 일까지 cell density는 전혀 증가하지 않았으며 세포가 분열하여 성장하는 대신 고온에 적응한 상태로 지방산 조성만을 변화시키며 생존하고 있는 것으로 나타났다. 이 배양액을 새로 plate에 접종하여 저온에서 배양할 경우 정상적인 성장을 보여 완전히 사멸하지는 않는 것으로 보인다. 반면에 불과 5℃ 차이인 15℃에서는 매우 활발한 성장을 보인다. 배양 후 2일까지는 lag phase가 계속되나 3일째부터 급격히 성장하여 최대 cell density 3.75 - 4.01로 초기 접종량의 10배까지 성장하고 있으나 역시 고온의 영향으로 배양 후 6일째부터는 cell density의 감소가 나타나고 있다.

본 균주의 최적 배양 온도는 10℃ 근처로 나타났다. 배양 후 6일째까지 지속적인 성장을 보이고 있으며(cell density : 4.13 - 5.31) 7일째 가서야 다소간의 감소를 보이고 있다. 이 온도는 남극 세균 기지 근처의 연중 최고 온도에 해당된다. 반면에 일반적인 배양 온도로 초기에 설정하였던 4℃에서도 10℃ 근처와 거의 유사한 성장 형태를 보이고 있다. 본 실험으로 L93균주는 psychrotolerant가 아니고 psychophilic 균주임을 확인하였다. 단백질 분해 효소의 검출은 casein 함유 평판 배지에서 casein의 분해에 따라 불투명하던 배지가 해당 균주 주위로 맑은 halo를 형성하게 되는 것으로 확인할 수 있다(Fig. II 16-1).

다. 단백질 분해 효소의 분리 정제

1) 초기 농축법의 결정

본 균주의 일반적인 배양에는 Sea water complete(SWC) 배지를 사용하였다. 그러나 본 배지는 ZoBell 배지와 함께 일반적인 해양 미생물에 전반적으

로 많이 사용되기는 하나 특정 목적물의 대량생산에는 별개의 최적 배지를 필요로 한다. 본 효소의 대략적인 분자량을 알기 위하여 Microcon centrifugal ultrafiltration kit(Microcon-10, Microcon-30, Microcon-50, Amicon Co., USA)를 이용하여 분획을 나누고 각 분획의 효소 활성을 측정하였다. 실험 결과 95%이상의 효소 활성이 분자량 30,000 이상에서 50,000 사이의 fraction에서 검출되어 본 효소의 분자량은 30,000과 50,000 dalton 사이인 것으로 판명되었다.

Ultrafiltration은 효소 활성의 농축에 효율적이기는 하나 용량이 크지 않고 비용이 많이 들어 효소 활성의 농축을 위한 다른 방법들의 효율성을 비교하였다. 우선 가장 흔히 사용되는 ammonium sulfate에 의한 precipitation방법을 수행하였는데 ammonium sulfate의 최적 포화 농도를 결정하기 위하여 Fractional $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ppt 방법을 사용하였다. 원액과 30% 포화 시, 50% 포화 시, 그리고 80% 포화시의 각 침전물을 회수하여 최소량의 TrisHCl buffer(50mM, pH 8.0)에 녹여 활성을 비교한 결과 대부분의 효소 활성은 0 - 30% 포화도의 fraction에서 발견되었고 30 - 50% 포화도의 침전물에서도 약간의 활성이 나타나 0 - 50% 포화도를 사용할 경우 대부분의 효소 활성을 침전시킬 수 있는 것으로 판명되었다.

2). 해양세균 *Shewanella gelidimarina* L-93 에서 protease의 분리 정제

Shewanella gelidimarina L-93 균주를 SWC 배지를 이용하여 10liter를 4일 간 배양한 후 이를 0.22 μm filter를 부착한 tangential filter(Microgon, area: 3,500 cm^2)를 사용하여 배양액을 얻고 이를 다시 MWCO 10,000 짜리 tangential filter(Microgon, area: 3,500 cm^2)를 이용한 한외여과 장치로 300ml로 농축하였다.

이 배양액은 세균의 성장과 함께 분비되는 여러 종류의 단백질, 효소뿐만 아니라 배지 제조 시 사용된 해수 속의 염 성분 및 세균 대사산물 등 저분자 물질이 녹아 있으므로 이를 제거하고 용액을 buffer로 교환하기 위하여 Buffer exchange를 수행하였다. 시료 90ml를 덜어서 DG-10 column 10개를 이용하여 3회 실시하여 총 120ml의 protease 용액을 얻었다. 3ml를 Econo DG-10 column으로 desalting하면 protein 부위인 4ml를 받으면 전체 A_{280} 이 15.4에서 dilution factor(1.33)을 포함하여 5.2로 감소하였다. 높은 A_{280} 을 보이는 nonprotein small molecules(pigments 등)은 이 과정에서 제거된다. 활성은 거의 손실이 없었으나

salt fraction을 제거한 만큼의 손실이 있다.

- High Performance column chromatography-GPC

현재까지 분리된 protein 시료를 GPC column(BioSec-25, Bio-Rad Co., USA)을 이용하여 순도를 조사하였다. pH 8에서 1.0ml 효소액을 loading 하고 standard buffer(5- mM TrisHCl, 0.1M NaCl)로 분리한 결과 대략 4 종류의 protein 균으로 이루어져 있음을 알 수 있었다(Fig. not shown).

- BioScale Q2 ion exchange column chromatography

이를 다시 BioScale Q2 ion exchange column chromatography로 분리하였다. 50mM NaCl부터 0.5M NaCl 간의 농도 구배를 이용하여 분리한 결과 본 column에 흡착되지 않는 fraction을 제외하고는 단일 peak의 protein으로 분리되었으며(Fig. II 16-2), 이 과정을 다시 gel filtration column chromatography로 확인하였다.

- Gel filtration column chromatography

이상과 같은 방법으로 Phosphocellulose column, High-Q column 및 Bioscale Q2 column으로 impurity 제거하고 50ml를 10ml로 ultrafiltration (MWCO : 10K)으로 농축한 후 이 단계에서 HPLC-GPC로 purity 확인한 결과 약간의 impurity가 발견되어 이를 다시 Biologic GPC(Bio-Rad Co., USA)로 분리하였다. 각 1ml 씩 15 회에 걸쳐 분리된 활성 fraction을 모두 합쳐 이를 다시 50ml를 5ml로 ultrafiltration (MWCO : 50K)으로 농축한 후 이 단계에서 HPLC-GPC 및 SDS-PAGE로 purity 확인한 결과 단일 peak의 형태로 정제되었다(Fig. II 16-3 & 4).

본 연구에서 탐색 대상으로 설정한 protease는 주로 균체의 배양액으로부터 쉽게 분리 정제할 수 있는 extracellular protease를 대상으로 수행하였으며 3 liter의 Casein 함유 ZoBell 배지에서 L93 균주를 배양하여 배양액을 Whatmann #1 filter pater로 여과하여 분해되지 않은 casein을 제거하고 이를 다시 membrane filtration(Tangential, 0.22 μ m)하여 clear supernatant를 얻었다. Ultrafiltration (Tangential, MWCO 10K)으로 300ml로 농축한 후 이를 다시 MWCO 30K 짜리 ultrafiltration membrane을 사용하여 10ml로 농축한 후 GPC column

chromatography를 수행하였다. 사용 buffer로는 50mM TrisHCl buffer (pH 7.2, containing 0.1M NaCl)를 사용하여 현 상태의 효소액에 포함된 해수 성분을 buffer로 치환시켰다. 활성 분획을 모아 High-Q ion exchange chromatography를 0.1 - 0.4M NaCl 농도 gradient로 용출하여 다시 활성 분획을 모은 뒤 Ultrafiltration(Disk, MWCO 30K)으로 5ml 까지 농축하고 이를 다시 HPLC로 분리 하였다.

남극에서 분리된 저온성 균주 L93의 protease는 fractional ammonium sulfate precipitation, High-Q ion exchange column chromatography, BioScale-Q2 ion exchange column chromatography, 그리고 gel filtration column chromatography를 통하여 purification fold 19.3, yield 0.7%로 정제되었다(Table II 16-1). 본 정제는 extracellular enzyme으로서는 초기 농축 과정에서 손실이 비교적 크게 나타나는 등 분리 정제 과정 중에 많은 효소 활성의 손실이 있었는데 저온성 효소의 특징의 하나로 사료된다.

3) Basic characterization of Extracellular Protease from L93

본 효소는 해양 세균에서 생산되는 체외 분비 효소로서 중성 pH(pH 7)에서 optimal activity를 보이는 효소로서 pH 6 이나 pH 8에서보다 3 배가 넘는 활성을 보였으며 온도 변화에 따른 활성도에서는 20℃에서 가장 높은 활성을 보였다 (Fig. II 16-5 & 6). 열에 대한 안정성에서는 비교적 낮은 열 안정성을 보여 30℃에서 2 시간 정치 후에도 활성의 60%이상이 소실되었으며 45℃에서는 불과 1시간 안에 활성의 대부분이 소멸되었다(Fig. II 16-7). 이 효소는 aminoacid의 sequence에 대한 특이성은 확인되지 않았으나 현재 exopeptidase로 추정되고 있으며 이 경우 쉽게 구할 수 있는 일반적인 단백질로부터 amino acid를 생산할 때 등 수단으로서의 가치가 있다고 사료된다. 그러나 정제도가 높아질수록 autocatalysis가 일어나는 것으로 여겨지는 현상이 나타난다. 즉, 효소들이 순도가 높아짐에 따라 스스로를 기질로 인식하여 분해하는 현상이 일어나 High-Q를 통한 정제 이후에는 단순한 방치에 의하여서도 활성의 감소가 매우 빠르게 나타났다. 이러한 현상은 대부분의 protease에서 일어나는 현상으로 이를 극복하기 위하여서는 적절한 protease inhibitor를 이용한 affinity chromatography의 수행이 권장된다.

라. *Notothenia coriiceps* 지라에서 분리한 단백질 분해 효소

Krill과 함께 중요한 남극 생물군을 이루고 있으며 일명 남극 대구로 불리는 *Notothenia coriiceps*를 대상으로 단백질 분해 효소 활성을 조사하였으며 분리 정제를 수행하였다. 이들 어류는 저온에서 보관 중에도 매우 왕성한 단백질 분해 능력을 보여 쉽게 부패하는 현상을 보이며 간과 함께 매우 커다란 지라(spleen)를 가지고 있어 이 지라를 효소원으로 단백질 분해 효소를 분리 정제하였다.

효소 정제 과정은 초기 추출 분야만 다를 뿐 여타 분리 과정은 L93 세균의 extracellular protease 의 분리 정제와 동일하다. 간략하게 정리하면 *Notothenia coriiceps* 지라를 3회 냉동과 해동을 반복한 후 10배 부피의 추출 완충액(20mM TrisHCl buffer, pH 7.5, with 10mM EDTA, 50mM sucrose)을 가하고 glass homogenizer로 갈아서 완전히 분산시킨 후 Fractional ammonium sulfate fractionation을 수행하여 주로 활성이 검출되는 50 - 80% saturation fraction 만을 모은 후 Econo DG-10 desalting column을 이용하여 과량의 ammonium sulfate를 제거하고 High-Q ion exchange chromatography(Fig. II 5-8)와 Gel filtration chromatography 수행하여 single peak로 분리 정제하였다(Fig. II 16-9). Purification fold 16.4 그리고 활성 회수율은 3.4%로 그 정제 정도는 Table II 16-2에 나타내었다.

본 남극 대구는 단백질 원으로써 뿐만 아니라 그 저온 적응성에 기인한 새로운 생리 활성 물질의 자원으로 개발 여지가 있다. 이를테면 저온에서의 동결 방지 단백질이나 EPA나 DHA 등의 고도불포화지방산 원료로도 가치가 있다고 사료된다. 또 저온성 효소원으로서의 가치도 높으나 저온성 효소들의 낮은 열 안정성은 해결해야할 과제로 남아있다.

**Purification and characterization of psychrophilic protease isolated from
Antarctic bacteria and fish.**

Abstract : A psychrophilic bacterium was isolated from Antarctic marine sediment and identified as *Shewanella gelidimarina* species based on the biochemical properties and 16S rRNA sequence, and designated as *Shewanella gelidimarina* L93. Extracellular protease produced by this strain was purified through ammonium sulfate precipitation, High-Q column chromatography, first gel permeation chromatography, BioScale Q2 ion exchange chromatography and second gel permeation chromatography to single band on SDS-PAGE, and basic properties of this enzyme were investigated. At the same time, a protease from *Notothenia* genus fish was also purified and characterized.

4. 참고문헌

Protein Biotechnology, Isolation, Characterization, and stabilization (Ed. by F Franks), 1993. Humana Press, Totowa, NJ

Basic protein and peptide protocols (Ed. by J. M. Walker), Methods in Molecular Biology Vol.32, 1994. Humana Press, Totowa, NJ

M. Dixon and E. C. Webb, 1979. Enzymes, 3rd Edition, Longman, London

Table II 16-1. Purification of protease produced by *Shewanella gelidimarina*
L-93 strain

Fraction	Vol (ml)	A ₂₈₀	total Protein (mg)	protease activity (A405/ml)	Total Activity (dA405)	Specific Activity (dA405/mg)	yield (%)
Broth	4000	5.3	21200	44.6	178400	8.41	100
Ultrafiltration (MWCO;10K)	300	12.3	3690	82.5	24750	6.70	15.4
Ammonium sulfate (30-50 % Sat)	75	4.5	337.5	77.2	5790	17.2	3.21
High-Q	34	3.3	112.2	102	3468	30.9	1.94
BioScale-Q2	25	0.7	17.5	72	1800	102.8	1.00
GPC/UF(50K)	19	0.4	7.6	65	1235	162.5	0.7

Table II 16-2. Purification of protease from spleen of *Notothenia coriiceps*

Fraction	Vol (ml)	A ₂₈₀	total Protein (mg)	protease activity (dA405/ml)	Total Activity (dA405)	Specific Activity (dA405/mg)	yield (%)
Crude lysate	400	5.3	2120	4.6	1,840	0.87	100
Ammonium sulfate (50-80 % Sat)	40	4.5	180	7.2	288	1.6	15.6
High-Q	10	0.85	8.5	9.7	97	11.4	5.3
GPC/UF(50K)	11	0.4	4.4	5.7	62.7	14.3	3.4

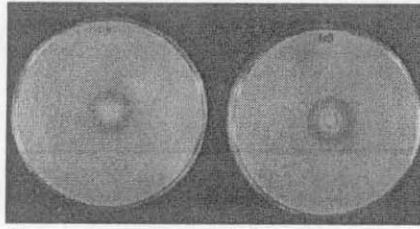


Fig. II 16-1. Examples of Halo formation by extracellular protease using milk casein agar plate.

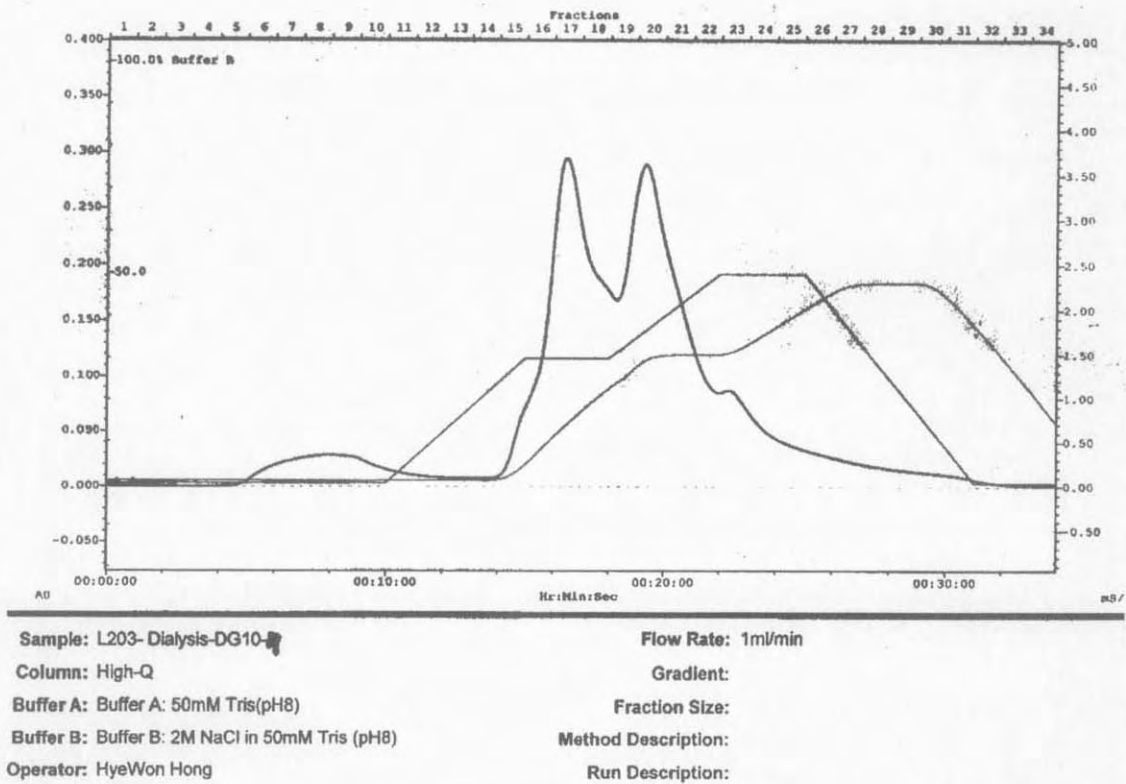


Fig. II 16-2. Purification of L-93 protease with High-Q ion exchange column chromatography.

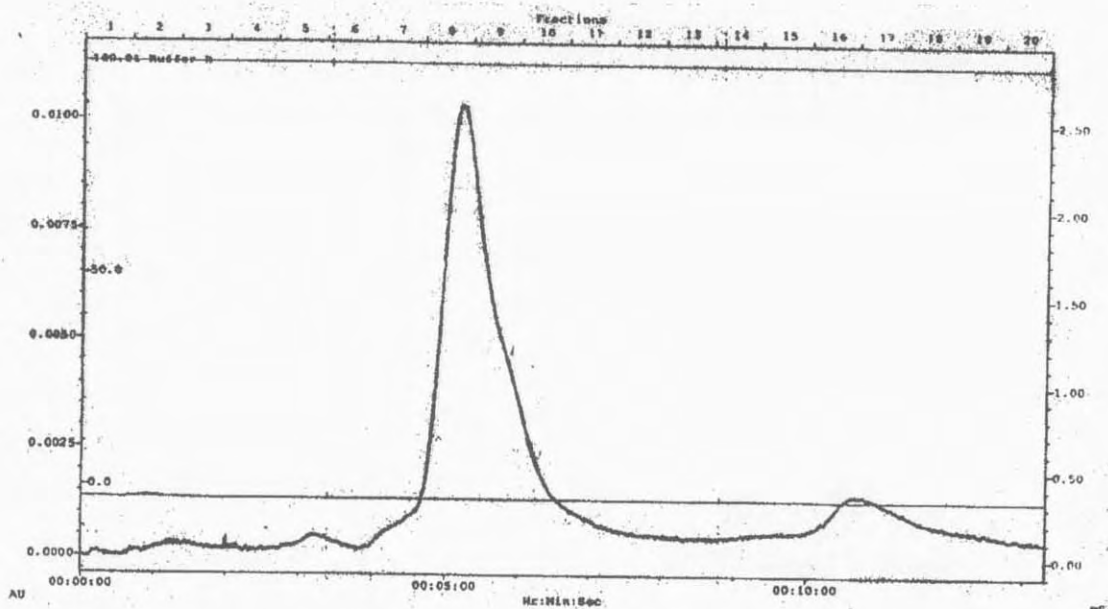


Fig. II 16-3. Purification of L-93 protease with GPC (BioRad SEC-20 GPC column)

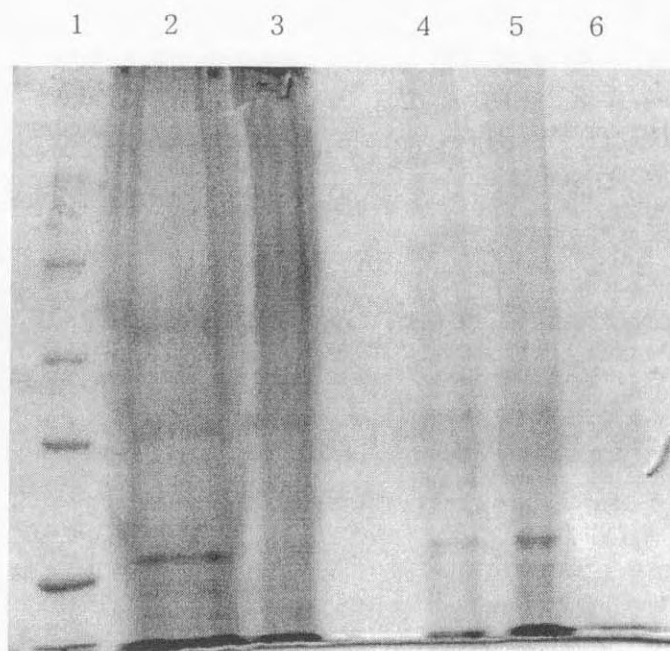


Fig. II 16-4. SDS-PAGE of L-93 protease purification steps. (1: molecular weight standard, 2: crude lysate, 3: High-Q column, 4, 5: GPC column 6: BioScaleQ2 column), stained with silver.

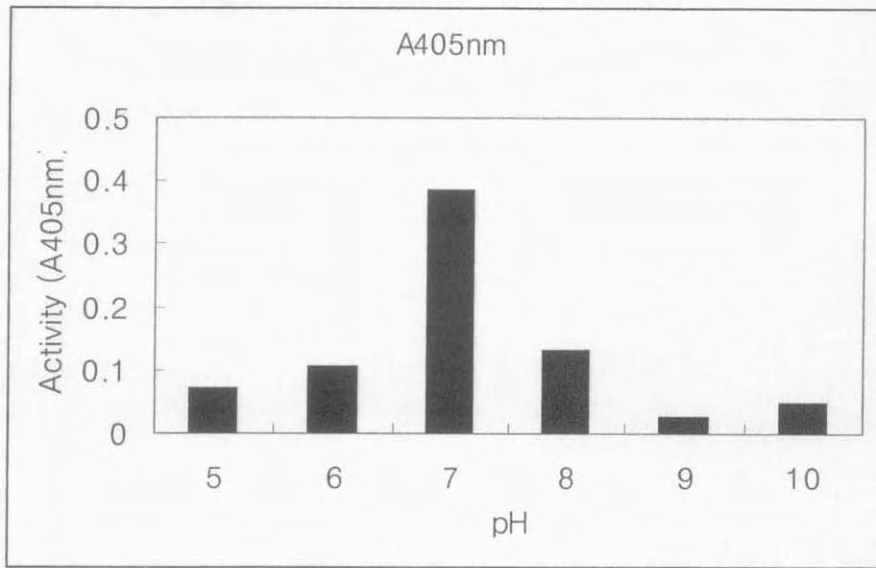


Fig. II 16-5. Activity of extracellular protease of *S. gelidimarina* L93 at different pH dependence (assayed at room temperature)

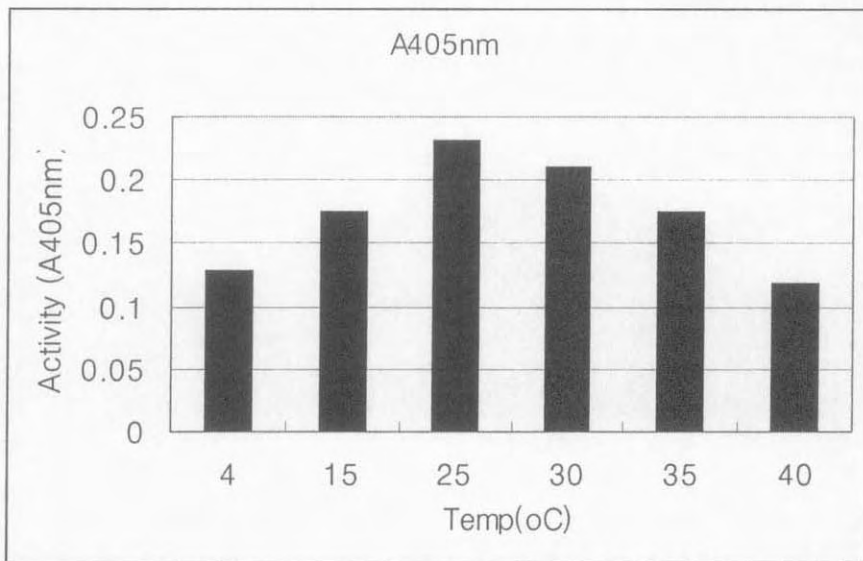


Fig. II 16-6. Activity of extracellular protease of *S. gelidimarina* L93 at different temperature.

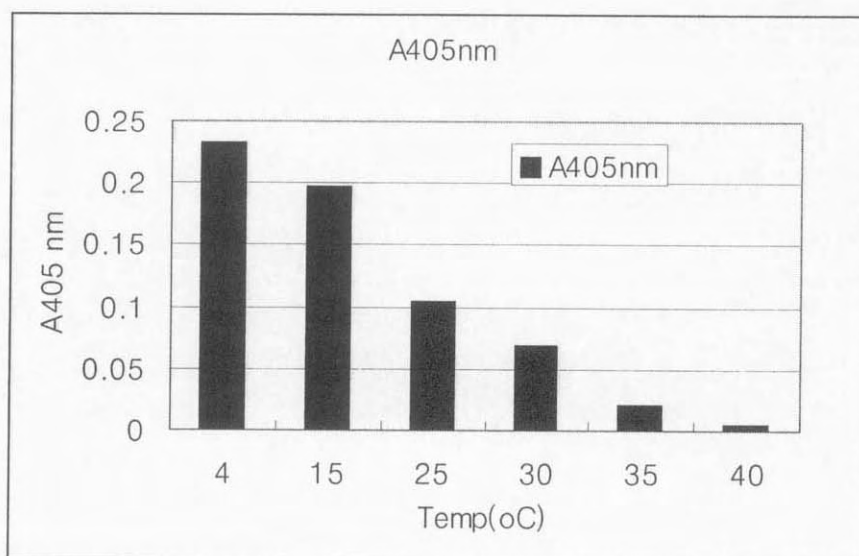


Fig. II 16-7. Stability of extracellular protease of *S. gelidimarina* L93 at different temperatures. Assay after 2 hr incubation at given temperature.

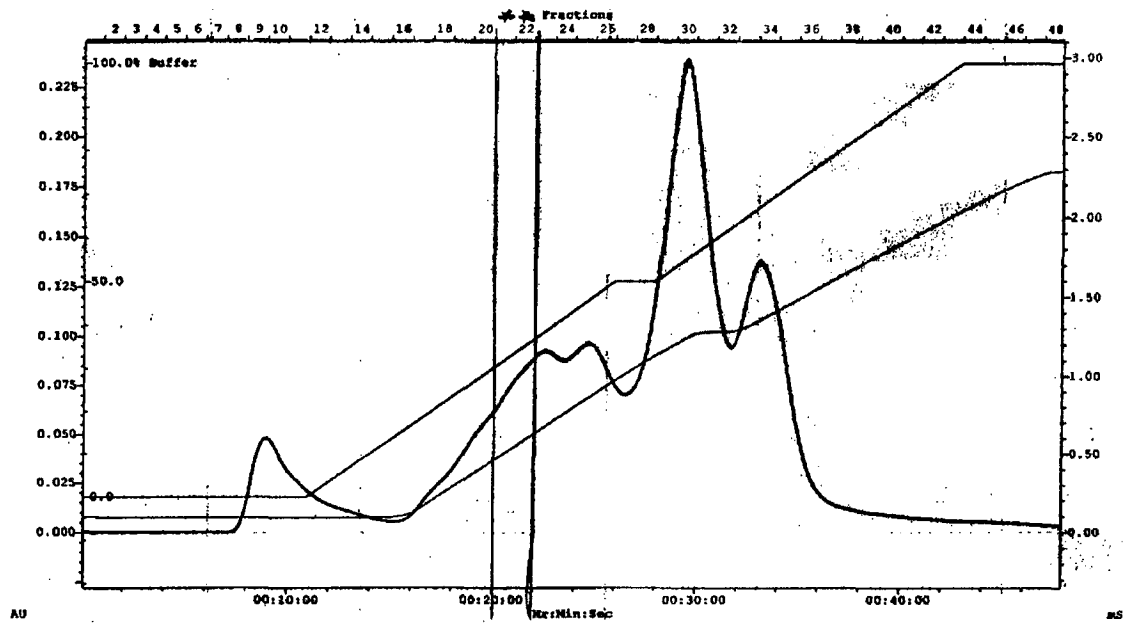


Fig. II 16-8. Purification of *Notothenia coriiceps* spleen protease with High-Q ion exchange column chromatography.

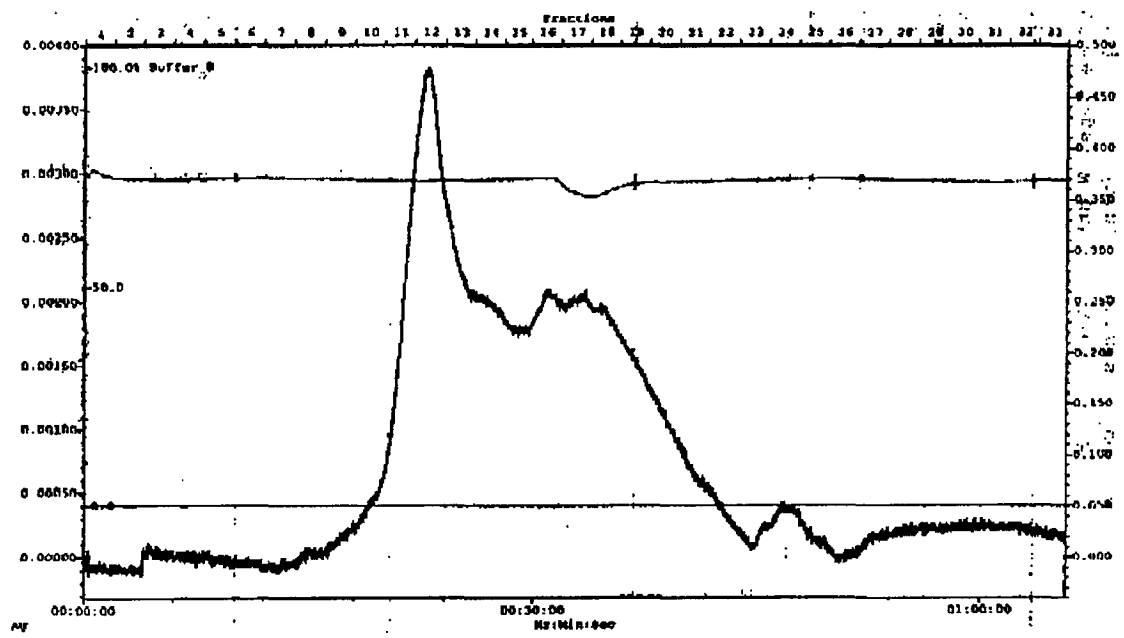


Fig. II 16-9. Purification of *Notothenia coriiceps* spleen protease with GPC (BioRad SEC-20 GPC column).

제 17 절 남극 무척추동물로부터 신물질 개발 연구

요약: 남극 해면 *Suberites* sp.로부터 2종의 신물질을 포함하여 4종의 sesterterpenoids 계 화합물을 분리하였다. 이들의 구조는 분광학적인 방법과 화학적인 방법을 이용하여 밝혔다. 각각 subeitenone C, D라 명명된 신물질은 기존에 알려진 subeitenone A의 이성질체이거나 suberitenone B의 아세틸화 유도체로 밝혀졌다. Suberitenone A와 B는 콜레스테롤 축적 방지 효과가 있는 것으로 알려졌으며 새롭게 밝혀진 C와 D의 구조가 A와 B와 유사한 점을 고려할 때, 기능면에서도 역시 유사한 역할을 보일 수 있을 것으로 판단된다.

1. 서론

해양 생물 유래의 천연물들은 그 구조와 생리 활성에서 육상 천연물에 비하여 상이한 점이 많아 무한한 개발 가능성을 드러내고 있다. 해양은 공간적으로 지구 표면의 70%를 차지하고 있을 뿐만 아니라 지구상에 현존하는 생물-곤충을 제외한 약 80%에 해당하는 다양한 생물이 서식하고 있다. 그럼에도 불구하고 수산 식품과 몇 종류의 해조류를 제외하면 극히 일부분의 제한된 종만이 산업적으로 이용되고 있는 실정이다. 따라서 대부분의 생물이 전인미답으로 남아있는 해양에서 강력한 생리 활성과 특이한 구조를 가진 신물질이 발견될 가능성은 육상을 능가할 것으로 추측되고 있다(Fenical, 1988; 1993). 더욱이 해양 생물은 해양이라는 특이한 환경에서 오랜 기간의 진화 과정을 거쳐 생화학적인 적응에 성공하였으며 육상 생물과는 효소 체계의 상이점이 많아 특이한 구조와 강력한 생리 활성을 가진 물질을 함유하고 있을 확률이 매우 높다. 또한 천연물의 특성상 동일한 생물의 경우에도 서식 지역의 물리적 환경에 따라 대사 물질의 구조와 농도가 크게 영향을 받게 되므로 우리나라 근해 등 기존의 연구가 미미한 지역의 해양 생물로부터 우수한 신물질이 발견될 가능성이 매우 높으며 이미 상당한 증거도 확보되어 있다(해양연구소, 1994).

본 연구를 위한 생물의 채집 지역은 세종 기지 주변의 남극 연안이 주된

연구 대상이다. 이 지역을 선정한 이유로서는 남극 연안의 생물에 대한 기존의 연구가 미미하였을 뿐 아니라 극한 환경에 적응한 고유한 생물 종이 많아 신물질 발견의 가능성이 매우 높기 때문이다. 따라서 본 연구 사업에서는 화학 생태학적 측면에서 특이한 생물 시료를 확보하여 독특한 구조의 신물질을 규명함과 동시에 극지 시료에 대한 화학적 분석 기술의 향상을 함께 도모하였다.

2. 남극 해면 *Suberites* sp.의 대사 물질

가. 생리 활성 검색

남극 해양 동물로부터 새로운 천연물을 찾기 위한 일환으로 2000년 1월 남극의 킹조오지 섬 연안에서 스킨스쿠버로 7종의 해면을 채집하였다. 이들은 채집 즉시 동결 보관되었으며, 온누리호를 통해 한국으로 반입된 다음 본 연구실로 운송되었다. 냉동 보관된 시료의 생리 활성을 측정하기 위하여 조추출물을 만들었고, 이들 조추출물에 대하여, cytotoxicity, acetyl choline esterase inhibition, brine shrimp lethality, DNA/RNA cleavage, antifungal activity, antibacterial activity, 항산화활성, 등을 측정하였다. 측정 결과 1종의 해면 조추출물에서 cytotoxicity가 있는 것으로 나타났고, 2종에서 brine shrimp lethality, 1종에서 DNA/RNA cleavage 활성이 있는 것으로 나타났으며, 활성이 중복으로 나타난 해면 시료는 없었다.

나. 남극 해면 *Suberites* sp.의 대사 물질

생리 활성이 있는 4종의 해면 가운데 시료 번호 00A-4로 명명된 해면 *Suberites* sp.가 선택되어 화학적 연구에 들어갔다. 이 해면은 1992년에 1차 채집되어 본 연구실에서 연구되었으며, 당시 suberitenone A와 B가 분리되어 외국 전문 학술지에 보고된 바 있다(Shin, 1995, Fig. II 17-1). 특히 Suberitenone A와 B는 기존에 없는 새로운 골격을 가진 화합물이었으며, 이들의 구조는 화학적인 방법과 분광학적인 방법이 동원되어 밝혀진 바 있다. Suberitenone B는 cholesteryl ester transfer protein assay에 활성이 있는 화합물로서 추가적인 연구가 필요한 것으로

판단되었다.

해면 *Suberites* sp.(시료 번호 00A-4)는 2000년 1월 남극대륙 킹조오지 섬의 Weaver반도의 연안에서 채집되었고 동결 보관되어 본 연구진에 전달되었으며 화학적인 연구가 이루어지기 전까지 냉동 보관되었다. 젖은 해면 시료 00A-4에 대하여 methanol과 dichloromethane을 반복적으로 가하여 추출물을 얻었다. 각각의 용매를 증발시킨 후에 합한 조추출물을 물과 *n*-butanol의 분획을 이용하여 염과 기타의 수용성 불순물을 제거하였다. 감압 건조하여 얻은 *n*-butanol층은 다시 *n*-hexane과 15% aqueous methanol의 분획으로 극성에 따라 분리하였다. 이어 15% aqueous methanol 층은 다시 normal-phased vacuum flash chromatography 하여 극성에 따른 분리를 하였다. 용리 용매는 *n*-hexane과 ethyl acetate의 혼합 용매(20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 75% EA/Hex)와 100% ethyl acetate를 사용하였다. ¹H NMR 실험 결과 이들 분획 중 40%, 50%, 60% EA/Hex 영역에서 suberitenones와 유사한 화합물이 존재하는 것을 확인할 수 있었고, 40% EA/Hex 분획에서는 suberitenone A, 60% EA/Hex 분획에서는 suberitenone B가 주요 화합물로 포함된 것으로 나타났고, 50% EA/Hex 분획에서는 suberitenone A와 B가 섞여 있는 것으로 판별되었다. 40% EA/Hex 분획에 대하여 정밀 분석한 결과 suberitenone A 이외에 suberitenone A와 유사한 소량의 새로운 sesterterpenoid 화합물이 함유되어 있음을 확인하고 normal phase HPLC로 분리를 시도하였다. 크로마토그램을 분석한 결과 suberitenone A의 큰 signal 가장자리 쪽으로 작은 signal이 포함되어 있는 것으로 판단하고, 분리를 시도하다. 이를 다시 reversed phase HPLC하여 1.2 mg과 2.1 mg의 새로운 화합물을 분리하였고 각각 신물질임을 확인하고, suberitenone C, D라 명명하였다(Fig. II 17-2).

조추출물로부터 분리된 화합물 suberitenone C(00A-4-C)의 분자식은 정밀한 질량 분석(HRFABMS) 실험과 ¹³C NMR 실험 결과로부터 C₂₇H₄₀O₄로 나타나 suberitenone A의 이성질체임이 밝혀졌다. 종합적인 2D NMR 실험 결과 suberitenone C의 분광학적 자료는 suberitenone A의 분광 자료와 아주 유사하였다. 그러나 ¹³C NMR의 정밀한 분석을 통해 몇몇 탄소의 chemical shifts가 차이남을 발견할 수 있었다. 가장 큰 변화는 C-12와 C-14의 탄소 신호에서 나타났다. ¹H NMR 실험 결과의 경우, 마찬가지로 동일한 위치의 신호들에서 큰 변화가 발견되었다. ¹H COSY, TOCSY, ROESY, gradient HSQC, gradient HMBC 등의 종합

적인 실험 결과 이중결합의 위치가 이동한 이성질체임을 확인할 수 있었다.

Suberitenone D라 명명된 화합물 00A-4-D의 분자식은 정밀한 질량 분석(HRFABMS) 실험 결과와 ^{13}C NMR 실험 결과 $\text{C}_{29}\text{H}_{44}\text{O}_6$ 로 나타났다. 이 화합물의 ^{13}C NMR 분광 자료는 suberitenone B의 분광 자료와 아주 유사하였다. 그러나 ^{13}C NMR의 가장 큰 변화는 suberitenone B에서 나타나는 두 개의 carbonyl 신호(δ 170.7, 200.9)가 세 개의 carbonyl 신호(δ 169.7, 170.4, 199.8)로 바뀌었고 δ 21.2 ppm에 새로운 methyl 기가 나타났다는 점이다. 아울러 suberitenone B에서 hydroxy 기가 연결된 C-20의 chemical shift가 64.3 ppm에서 66.7 ppm으로 이동하였음이 관찰되었다. 이러한 분광학적인 자료의 변화와 종합적인 2-D NMR 실험의 결과를 바탕으로 suberitenone D의 구조는 suberitenone B의 C-20 hydroxy 기에 acetyl 기가 도입된 구조로 결정되었다. 이 결정은 suberitenone B의 acetylation 반응으로 확인할 수 있었다. Pyridin 용매조건에서 suberitenone B는 acetic anhydride와 반응하여 suberitenone D를 생성하였다.

3. 실험 방법과 결과

해면 *Suberites* sp.(시료 번호 00A-4)는 2000년 1월 남극대륙 킹조지 섬의 Weaver반도의 연안에서 스킨 스쿠바로 채집되었고 채집 즉시 동결 보관되었으며, 온누리호를 통해 한국으로 반입된 다음 본 연구실로 운송되어 화학적인 연구가 이루어지기 전까지 냉동 보관되었다. 해면 시료 00A-4를 해동한 후 물기를 제거하고, 젖은 시료 1.4kg에 대하여 methanol과 dichloromethane을 반복적으로 가하여 추출물 약 120g을 얻었다. 각각의 용매를 증발시킨 후에 합한 조추출물을 물과 n-butanol의 분획을 이용하여 염과 기타의 수용성 불순물을 제거하였다. 감압 건조하여 얻은 약 23g의 n-butanol층은 다시 n-hexane과 15% aqueous methanol의 분획으로 극성에 따른 분리를 하여 각각 14.6g 과 7.7g의 유기물을 얻었다. 이어 15% aqueous methanol 층은 다시 normal-phased vacuum flash chromatography 하여 극성에 따른 분리를 하였다. 용리용매는 n-hexane과 ethyl acetate의 혼합용매(20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 75% EA/Hex)와 100% ethyl acetate를 사용하였으며, 각 분획에서 0.80 g, 0.92 g, 380 mg, 70 mg, 140 mg, 150 mg, 190 mg의 시료

를 분리하였다. ^1H NMR 실험 결과 이들 분획 중 40%, 50%, 60% EA/Hex 영역에서 suberitenones와 유사한 화합물이 존재하는 것을 확인할 수 있었고, 40% EA/Hex 분획에서는 suberitenone A, 60% EA/Hex 분획에서는 suberitenone B가 주요 화합물로 포함된 것으로 나타났고 50% EA/Hex 분획에서는 suberitenone A와 B가 섞여 있는 것으로 판별되었다. 40% EA/Hex 분획에 대하여 정밀 분석한 결과 suberitenone A 이외에 suberitenone A와 유사한 소량의 새로운 sesterterpenoid 화합물이 함유되어 있음을 확인하고 normal phase HPLC(Silica, 20%EA/Hex)로 분리를 시도하였다. 크로마토그램을 분석한 결과 suberitenone A의 큰 signal 가장자리 쪽으로 작은 signal이 포함되어 있는 것으로 판단하고, 분리를 시도하여 380mg의 분획으로부터 정제된 299 mg의 순수한 suberitenone A와 혼합물 17.8mg을 얻었다. 이를 다시 reversed phase HPLC (ODS-AM, 20% aq.MeOH) 하여 1.2 mg과 2.1 mg의 새로운 화합물을 분리하였고 각각 suberitenone C, D라 명명하였다.

Suberitenone C(00A-4-C): $[\alpha]_D^{25}$ -8.0° (*c* 0.02, MeOH); UV (MeOH) λ_{max} (log ϵ) 229 (4.15) nm; IR (KBr) ν_{max} 3428, 2923, 1735, 1676, 1572, 1417, 1247, 1026 cm^{-1} ; ^1H and ^{13}C NMR data, see Table II 6-1; HRFABMS m/z 451.2821 $[\text{M}+\text{Na}]^+$ (calcd for $\text{C}_{27}\text{H}_{40}\text{O}_4\text{Na}$, 451.2824 Δ +0.3 mmu)(Fig. II 17-2).

Suberitenone D(00A-4-D): $[\alpha]_D^{25}$ -67.5° (*c* 0.05, MeOH); UV (MeOH) λ_{max} (log ϵ) 227 (3.99) nm; IR (KBr) ν_{max} 3429, 2922, 1735, 1681, 1569, 1364, 1247, 1022 cm^{-1} ; ^1H and ^{13}C NMR data, see Table II 6-1; HRFABMS m/z 511.3036 $[\text{M}+\text{Na}]^+$ (calcd for $\text{C}_{29}\text{H}_{44}\text{O}_6\text{Na}$, 511.3033, Δ -0.3 mmu)(Fig. II 17-2).

4. 결론

본 '남극 생물로부터 신물질 개발 연구'를 위한 생물의 채집 지역은 세종기지 주변의 남극 연안이다. 이 지역을 선정한 이유는 남극 연안의 생물에 대한 기존의 천연물 연구가 미미하였을 뿐 아니라 극한 환경에 적응한 고유한 생물 종이 많아 신물질 발견의 가능성이 매우 높기 때문이다. 남극 세종기지 주변 연안에서 채집된 시료로부터 획득한 조추출물에 대한 화학적 분석과 생리 활성 검색의 결과에 근거하여 종의 시료를 분석 대상으로 선정하였으며 그 중에서 해면

Suberites sp.로부터 신물질 2종을 포함한 4종의 물질을 분리 정제하여 분광학 및 유기 화학적 방법에 의하여 구조의 결정을 완료하였다.

본 연구 사업을 통해 생태학적 측면에서 특이한 생물 시료를 확보하였고 독특한 구조의 신물질을 규명함으로써 극지 시료에 대한 화학적 분석 기술을 향상할 수 있었다. 다소 아쉬운 점은 남극의 하계에만 접근이 가능한 지역적 특수성과 SCUBA에 적합하지 못하였던 현지의 기후로 인하여 천연물 연구에 충분한 양의 시료를 획득하는 것이 대단히 어려웠다는 것이다. 따라서 남극 연안 저서 동물의 효율적 채집에 대한 방안이 강구된다면 신물질 개발 연구를 위한 우수한 소재로 이용될 것이다.

A Study on the Development of Novel Substances from the Antarctic invertebrates

Abstract: During the course of our search for bioactive metabolites from marine organisms, four sesterterpenoids including two new metabolites of the suberitenone class have been isolated from the Antarctic sponge *Suberites* sp. The structures of these compounds have been determined by combined spectral and chemical studies.

5. 참고문헌

한국해양연구소, 한국근해 저서군체생물로부터 신물질 추출연구, 과학기술처
1994, 340pp.

Fenical, W., 1993. *Chem. Rev.* 93, 1673-1684.

Fenical, W., 1998. *Concluding Remarks.*, 159. Fautin, D.G. ed., *Biomedical Importance of Marine Organisms, California Academy of Science, San Francisco.*

Shin, J.; Seo, Y.; Rho, J.-R.; Baek, E.; Kwon, B.-M.; Jeong, T.-S.; Bok, S.-H.
J., 1995. *Org. Chem.* 60, 7582-7588.

Table II 17-1. ^1H and ^{13}C NMR Assignments for 00A-4-C in acetone d_6 and -D in CDCl_3 .

Position	C		D	
	δ_{H}	δ_{C}	δ_{H}	δ_{C}
1	1.70 m; 0.96 m	42.7 t	1.76 m; 0.83 m	41.9 t
2	1.73 m; 1.44 m	19.2 t	1.74 m; 1.46 m	18.7 t
3	1.38 m; 1.23 m	44.6 t	1.36 m; 1.16 m	44.3 t
4		34.5 s		34.0 s
5	1.19 d (2.4)	56.8 d	1.01 d (2.4)	56.7 d
6	5.49 ddd (3.4, 2.4, 2.4)	70.5 d	5.45 ddd (3.4, 2.4, 2.4)	70.5 d
7	1.92 dd (14.2, 2.4); 1.44 dd (14.2, 3.4)	46.8 t	1.92 dd (14.7, 2.4); 1.20 dd (14.7, 3.4)	46.8 t
8		32.9 s		34.4 s
9	1.36 br d (11.2)	53.7 d	0.87 dd (11.7, 2.0)	58.9 d
10		37.7 s		37.2 s
11	2.10 m	23.3 t	1.67 m; 1.58 m	16.9 t
12	5.53 br s	123.3 d	2.02 m; 1.13 m	37.5 t
13		135.3 s		72.7 s
14	1.86 m; 1.77 m	49.0 t	1.35 m; 1.16 m	53.9 t
15	0.95 s	33.5 q	0.91 s	32.9 q
16	1.04 s	23.6 q	1.00 s	23.0 q
17	1.07 s	21.1 q	1.31 s	22.8 q
18	1.30 s	16.9 q	1.18 s	17.2 q
19	2.58 br d (12.7)	46.6 d	1.97 ddd (13.7, 3.4, 3.4)	47.8 d
20	4.34 br s	65.5 d	5.50 dd (5.9, 3.4)	67.6 d
21	6.79 dq (5.4, 1.5)	144.9 d	6.80 dq (5.9, 1.5)	137.6 d
22		135.9 s		139.1 s
23		200.0 s		199.8 s
24	2.80 dd (17.1, 12.7) 2.19 dd (17.1, 3.4)	38.1 t	2.82 dd (17.1, 13.7); 2.57 dd (17.1, 3.4)	34.0 t
25	1.71 brs	15.6 q	1.80 d (1.5)	15.6 q
OAc		170.4 s		170.4 s
	2.01 s	21.7 q	2.04 s	21.8 q
OAc'				169.7 s
			2.10 s	21.2 q

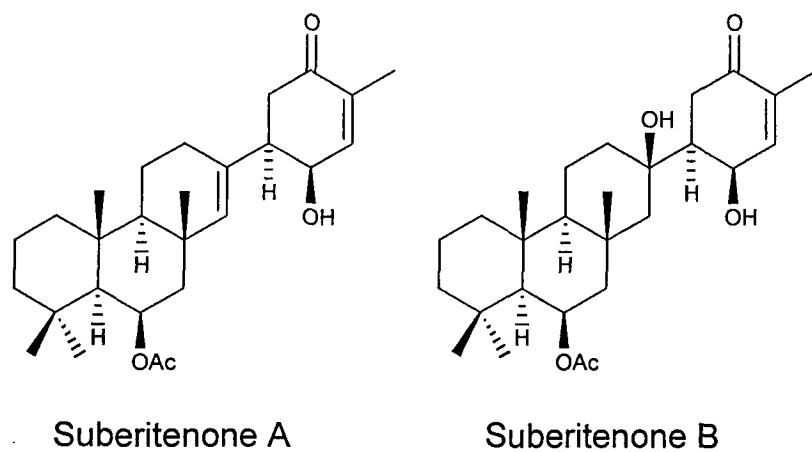


Fig. II 17-1. Structures of Suberitenone A and B

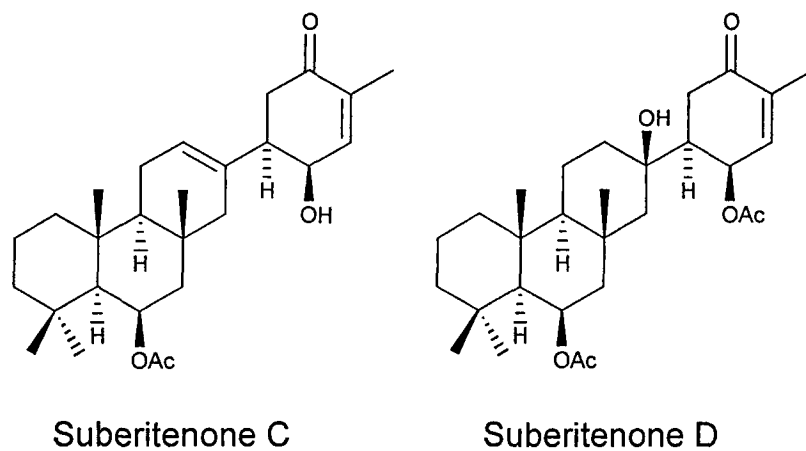


Fig. II 17-2. Structures of Suberitenone C and D

제 3 장 연구의 평가 및 향후 계획

여 백

제 1 절 연구목표 달성도 및 결과의 발표

1. 연구목표의 달성도 및 문제점

크릴 자원 조사 해역은 그동안 남쉐틀랜드 군도 북쪽 해역을 중심으로 남극순환해류 기준으로 상류에 해당하는 남극반도 서쪽 해역에서 하류에 해당하는 남오크니섬 인근 해역까지 포함하였으며 최근에는 크릴 월동장에 인접해 있는 것으로 판단되는 북서 웨델해까지 확대하였다. 북서 웨델해로 조사해역을 확대하게 된 것은 북서 웨델해가 그동안 정기적인 크릴 자원 조사의 범위 밖에 있었지만 크릴의 월동장 겸 공급원으로 지역 크릴 분포의 결정에 큰 역할을 할 것이라는 기대가 있었다. 이 해역이 적당한 환경 조건의 조합 하에서는 지역 크릴 자원조사 결과에 크게 영향을 미칠 수 있을 정도로 크릴 분포 양상을 좌우한다는 연구 가설 위에 조사 해역을 확대하였다. 전 연구 기간에 걸쳐 극지연구소의 다른 연구사업과 용선시간을 공유하는 것으로 확대된 연구해역을 유지하고자 하였다. 또한 흔히 다른 나라의 자원 조사가 이루어지는 한여름 대신 초여름의 음향자료를 수집한 것도 성과 중 하나였다. 1, 2 단계를 거쳐 자료를 축적해온 남쉐틀랜드 군도 북쪽 해역 외에 드레이크 해협 일부와 브랜스필드 해협에서도 조사선 이동 기회를 활용하여 음향 자료를 수집함으로써 크릴 자원 변동 과정을 이해하기 위한 기반을 강화하였다.

그 동안의 현장 자료 수집 결과와 특히 지난 해 스코시아해 조사 결과로 보건대 남서대서양 측 남극해 크릴의 분포와 자원량 변동에 있어 기존의 이론이 설명하는 이상으로 다른 과정과 다른 지역의 역할이 크다고 의심하게 되었다. 이 연구 주제를 계속 추구하기 위한 자료를 축적하는 성과를 거두었다. 문제는 현재의 예산 규모가 허락하는 용선시간이 너무 짧기 때문에 기상이나 해황에 의해 본래 계획이 불과 수일만 지장을 받아도 전체 과정이 타격을 입는다는 것이다. 이를 극복하기 위해 다른 사업과 연계를 최대한 강화하였다. 또한 다른 남극연구 사업에서 진행되는 연구 결과와 시료를 크릴 자원 연구에 활용하는 방안을 강구하기 시작했다. 일례로 침강입자 포집 장치에서 발견되는 크릴 배설물 시료를 활용하여 크릴 자원의 계절 변동에 대한 실마리를 얻는 연구가 연구기간 종료

후에도 추진될 수 있다.

그 동안 결과로 크릴의 분포는 먹이생물의 분포 뿐 아니라 해류와 지형 혹은 이들 물리적 요인과 먹이생물 분포 사이의 상호작용에 의해 좌우된다는 것을 알게 되었다. 지난 해 자료 분석과 올해 조사의 결과는 특히 이른 여름의 크릴 분포에는 크릴의 공급도 큰 몫을 할 수 있다는 것을 시사하고 있다. 흔히 크릴의 공급처로 지목되는 남극환류의 상류인 벨링스하우젠해 외에 웨델해도 남쉐틀랜드군도 인근 해역의 일부에 크릴을 공급할 수 있는 가능성을 발견하게 되었다. 이는 추후 연구를 계속해야 할 부분이다. 크릴의 먹이 생물인 식물플랑크톤의 생물량을 위성 자료를 통해 시계열로 입수함으로써 크릴의 이동과 분포, 해류의 영향을 연구하는 것이 미비한 우리의 현장조사 여건을 보완할 수 있는 방안으로 추구하였으며 다음 단계에서 연구항목의 일부로 포함될 것이다. 또 크릴의 조기 공급과 출현 여부가 크릴 포식자에게 미치는 영향을 연구 범위에 포함시킬 수 있도록 하기 위하여 세종기지 부근 펭귄 군서지에서 초보적인 모니터를 실시하여 크릴 포식자인 펭귄의 번식성공률을 크릴 자원량에 대한 정성적 지표로 이용할 수 있는 가능성을 제공하였다. 이러한 종합적 생태계 연구는 크릴 자원 연구가 단순 자원량 추정에서 그치는 것이 아니고 크릴의 분포와 자원량의 변동을 조절하는 요인과 기작에 대해서까지 확대될 수 있는 가능성을 보여주었다.

지난 몇 년간의 크릴 자원조사 결과를 비교할 때 고밀도 크릴 떼가 발견될 가능성이 높은 해역을 지적할 수 있었다. 이는 올해에도 거듭 확인되었는데 수심의 변화와 같은 지형적 요인과 해류의 흐름 등의 요인이 작용해 크릴의 집적에 유리한 환경을 조성하는 탓으로 여겨지며 여기에 크릴의 먹이가 되는 식물플랑크톤도 영향을 받을 가능성이 있다. 또 크릴 자원량은 심한 연변동을 보이며 여기에 5년 내지 10년 단위의 주기가 있는 듯 한데 어떤 해는 크릴이 유난히 적은 해에 해당하는 것으로 판단된다. 크릴의 분포와 자원량 변동 그리고 조절 기작은 추후의 연구과제로 남을 것이며 이를 위해 조사 해역의 장기적인 모니터가 필요하다.

그 외, 유전학적 방법에 의한 크릴의 계군분석 연구 결과는 매해 조사해역을 지나는 크릴 개체군이 유전학적으로 구분되지 않는 무리일 수도 있다는 가능성을 더 뚜렷하게 보여주었다. 남쉐틀랜드 군도 이외의 다른 남극해역에서 채집된 크릴을 분석한 결과는 이에 신빙성을 더하여 주고 있다. 이는 남극크릴의 계군 구조에 대한 이해를 확대시켜줄 것이고 과연 크릴 자원을 소해역별로 나누어 관리해야

하는지에 대한 문제에 실마리를 제공해줄 수 있을 것으로 보인다.

연구 기간 중 전통적인 수산 자원 외에 신기술로 해양생물자원을 활용할 수 있는 유용물질과 유전자 분야의 연구로서 남극 어류 기원의 유전자 대량 검색에 집중하였다. 1000개 이상의 Expressed Sequence Tags를 검색한 결과 가능성 있는 유용 유전자의 목록을 확보하게 되었다.

그러나, 이러한 연구는 아직 연구비의 부족 등의 이유로 초보적인 단계에 머물러있다. 본격적으로 유용유전자 분석과 확보, 활용의 단계에 이르려면 개개 유전자의 연구보다는 한 생물종의 유전체 전체를 연구하는 총체적 연구의 수준으로 발전해야 한다. 국제적인 유전자 분석 연구도 유전자 분석기술의 발달로 전체 유전체 연구 쪽으로 진행되고 있다. 현재, 세계적으로 유전체 전체 염기배열이 분석 완료된 미생물 수가 100여종에 이르며 분석이 진행 중인 미생물도 180여종에 이르고 있다. 우리나라는 분석 완료되었거나 분석이 진행 중인 미생물이 10여종 수준에 머물러 있다. 다행히 아직 극지 생물의 유전체 연구는 과학 선진국들도 본격적으로 시작한지 오래되지 않았다. 미국이 2003년부터 이 분야 연구를 집중적으로 지원하기 시작하였고 우리나라의 극지 생물 연구도 유전체 연구를 주요 연구 분야 중의 하나로 여기게 되면서 몇몇 분야에 대해 독립 과제로 추진되고 있다.

2. 결과의 발표

가. 논문 발표

강돈혁 외 (2005) 음향 조사에 의한 2002/2003 하계 시기의 남극 남쉐틀랜드 군도와 남오크니섬 사이의 크릴 밀도. *Ocean & Polar Research* 27(1): 75-86.

주세종 외 (2004) 남극크릴은 몸체축소를 월동기작으로 사용하는가? *Ocean & Polar Research* 26(4): 679-684.

강돈혁, 신형철, 김수암, 이윤호, 황두진 (2003) 다중 주파수의 체적산란강도 차이를 이용한 에코그램 내에서의 종 분리와 잡음 제거. *한국수산학회지* 36(5): 541-548.

조기웅 외 (2002) 남극에서 분리한 저온성 세균 유래 단백질 분해 효소. *The*

Korean J of Microbiology 38(4): 254-259.

김수암 (2001) Recent developments in multi-national marine ecosystem surveys along the Antarctic Peninsula. *Ocean & Polar Research* 23(4): 425-431.

김동선 외 (2001) 남극 남셰틀랜드 군도 주변 해역의 영양염과 식물플랑크톤 생물량 분포. *Ocean & Polar Research* 23(2): 77-95.

조기웅 외 (1999) Lipid and Fatty Acid Composition of the Antarctic Krill *Euphausia superba*. *Ocean Research* 21(2): 109-116.

강돈혁 외 (1999) 남극 남셰틀랜드 군도 북부 해역의 크릴 분포 및 자원량. *한국수산학회지* 32(6): 737-747.

강돈혁 외 (1998) ADCP를 이용한 에코그램 내에서의 종 분리와 잡음 제거. *한국수산자원학회지* 1(1): 67-80.

R.P. Hewitt, S. Kim, M. Naganobu, M. Gutierrez, D. Kang, Y. Takao, J. Quinones, Y.-H. Lee, H.-C. Shin, and S. Kawaguchi (2004) Variation in the biomass density and dispersion of Antarctic krill in the vicinity of the South Shetland Islands throughout the 1999/2000 austral summer. *Deep-Sea Research Part II*, 51; 1411-1419.

Lee Y-H et al (2004) Molecular phylogeny and divergence time of the Antarctic sea urchin (*Sterechinus neumeyeri*) in relation to the South American sea urchins *Antarctic Science* 16(10); 29-36.

Shin HC, Nicol S, King RA (2003) Nucleic acid content as a potential growth rate estimator of Antarctic krill; results from field-caught krill from the Indian Sector of the Southern Ocean. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 36; 295-305.

Shin HC, Nicol S (2002) Using the relationship between eye diameter and body length to detect the effects of long-term starvation on Antarctic krill; *Euphausia superba*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 239; 157-167.

나. 학술회의 발표

2006 PICES

- Characterizing krill aggregations and linking them to some environmental variabilities in Southern Ocean; relevance to other krill-bearing marine ecosystem studies? (포스터) 발표

2006 SCAR (남극과학위원회)

- Differing marine ecological regimes over a meso-scale distance in the Southwest Atlantic Sector of Southern Ocean; response to sea ice retreat or eddie? 구두 발표

외 다수

다. 정부간 회의 활동

2001년 이래 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR) 과학위원회 혹은 생태계 감시 및 관리 워킹그룹 회의에 정부 대표단으로 참석

제 2 절 대외 기여도 및 활용계획

1. 대외 기여도

지금까지의 연구 결과 남셰틀랜드군도 주변 해역에서 고밀도 크릴군을 분포할 가능성이 높은 해역이 존재함을 보일 수 있었다. 또 아직 분명하지 않지만 이렇게 유도하는 기작의 모형화에 개념적 기초를 제공하였고 자료의 심층 분석과 후속 연구를 통하여 이를 이해하려고 한다. 이러한 결과는 크릴을 어획하는 우리나라 원양어업계에 직접적인 도움을 주는 정보가 되겠지만 크릴 패치의 형성 기작과 분포 양상을 이해하게 된다는 의미가 크며 궁극적으로 크릴 자원량 변동의 주기 이해와 예측은 장기적인 크릴 자원 이용 전략을 세우는데 꼭 필요한 자료가 될 것이다.

유전학적 방법에 의한 계군 분석 결과는 남극크릴의 계군 구조에 대한 흥미로운 결과를 보여주고 있다. 유전적 특성의 연변화를 계속 관측하며 다른 해역의 크릴을 분석하고 다른 유전적 지시자를 시도할 때 새로운 학문적 성과가 나올 수 있다. 이는 크릴자원의 관리와 이용 방안을 마련하는데 반드시 필요한 기초자료로 사용될 뿐만 아니라 크릴 자원의 관리에 새로운 접근 방법이 필요함을 시사할 수도 있다.

인공위성 자료를 장기 자원 관리에 활용하는 연구와 어업 자료를 자원 관리에 필요한 연구에 활용하는 연구는 비교적 국내에 새로운 분야이지만 미래형 자원 관리 시스템에서 중요한 요소로 등장할 전망이다. 남극해는 이런 새로운 분야를 개척하기 상대적으로 쉬운 곳으로 국내 연구 분위기를 환기시키는데 일조할 것으로 본다.

우리 연구진이 크릴의 주요 어장인 남셰틀랜드군도 주변 해역에서 지속적인 연구를 수행할 때 남극 해양생물자원 보존협약 (CCAMLR) 중심의 남극 국제사회에서 우리 나라의 위상을 제고하는데 기여할 뿐만 아니라, 크릴자원의 관리와 이용 방안을 새롭게 입안하려는 국제 정세의 흐름에 맞추어 국익을 신장하는 데 크게 기여할 것이다.

남극 생물의 유용물질과 유용유전자 개발은 시작단계에 있으나 고무적인 결과를 얻고 있다. 연구를 가능성이 높은 분야에 전략적으로 집중함으로써 활용 가능한 물질과 유전자를 개발, 대량 생산 체계를 갖추면 우리나라 국가 경제에 크게 기

여하게 될 것이다. 앞으로 급속히 발전하는 유전자 분석 기술을 남극 생물 연구에 접목시켜 유용유전자를 개별적으로 연구하는 것을 지양하고 유전체 전체를 연구하는 게놈 연구를 수행할 필요가 있다. 이로써, 저온 고유의 특성을 가진 다양한 물질을 만들어내는 유전자 전체를 한꺼번에 확보할 수 있을 것이며 이를 생명공학산업체에 제공한다면 새로운 물질의 산업적 생산을 조기에 실현시킬 수 있을 것이다.

2. 활용계획

가. 남극해 생태계의 파악 및 크릴자원의 변동 특성 규명

크릴 자원량은 이 과제가 수행한 연구에서 보듯 연변동, 공간변동이 매우 심하다. 해양생태계에서 한 생물종의 변동은 먹이 연쇄과정에서 살펴보아야 하므로 크릴 자원에 대한 명확한 이해는 생태계의 종합적 연구로서만이 가능하다. 본 연구는 한국해양연구소 부설 극지연구소가 수행하는 남극 해양생태계 관련 연구와 상호 보완적으로 진행하여, 남극해 생태계를 총괄적으로 이해하는데 기여하였고, 이에 따라 크릴 자원의 변동 특성과 기작을 규명하게 될 것이다. 또 광범위한 해역의 자원상태를 더 효율적으로 모니터링하는 계획 수립에 활용할 것이다.

나. 원양어업의 발전

자원개발에 회의적이고 무조건 보수적으로 차단고 있는 남극 조약국들에게 적절하고도 과학적인 자원분석과 관리기법을 개발함으로써, 남극해 유용생물자원을 최대한 이용할 수 있는 방안을 제시하여 우리나라 원양어업에 새로운 기회를 제공하게 될 것이다. CCAMLR와 같은 국제기구에서 남극해 연구 결과를 제시함으로써 남극해 수산자원에 대한 우리나라의 지속적인 관심을 표명할 수 있고, 어업기득권의 확보와 어획쿼타의 증대에 본 연구자료를 활용할 수 있을 것이다. 남극해 수산자원에 대한 경쟁이 치열해짐에 따라 조업활동을 구속하는 조치가 추가로 채택될 가능성이 높으며 본 연구결과는 이를 대비한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

다. 생명공학 산업의 발달

남극해 해양생물자원은 저온 환경에서 필요한 독특한 물질의 원천으로 생각되고 있어, 이러한 생물의 유전자 연구는 새롭게 떠오르고 있는 생명공학 산업에 필요한 기초 재료를 제공하게 될 것이다. 본 연구의 결과는 저온과 관련된 생명공학 산업의 발달에 크게 기여할 것으로 생각된다. 올해에 진행된 남극 어류 기원 유전자 대량 검색은 유용 유전자를 활용할 수 있는 가능성을 검증하고 대량생산 기술을 확립하는 미래 연구에 필요한 기반을 마련했다고 할 수 있다.

라. 국가 위상의 제고 및 CCAMLR 내에서 발언권 강화

소규모지만 크릴 자원조사와 해양환경 조사를 접목하여 매년 반복 실시하는 연구 활동은 우리나라가 CCAMLR 중심의 남극 국제사회에서 국가 위상을 제고하고 발언권을 강화하는 계기가 되었다. 향후 우리의 연구 결과에서 자원 관리 대인 형성에 기여할 수 있는 부분을 적극 발표함으로써 우리의 위상은 강화될 것이다.